

**YIĞMA YAPILARIN
ÇELİK ŞERİTLERLE REHABİLİTASYONU**

FİKRET KURAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OCAK 2006
ANKARA**

Fikret KURAN tarafından hazırlanan YIĞMA YAPILARIN ÇELİK ŞERİTLERLE REHABİLİTASYONU adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.



Prof. Dr. Sinan ALTIN

Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: : Prof. Dr. Haluk SUCUOĞLU

Üye : Prof. Dr. Sinan ALTIN (Danışman)

Üye : Prof. Dr. Hüsnü CAN

Üye : Doç. Dr. Ahmet YAKUT

Üye : Yrd. Doç. Dr. Özgür ANIL



Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

**YIĞMA YAPILARIN
ÇELİK ŞERİTLERLE REHABİLİTASYONU
(Yüksek Lisans Tezi)**

Fikret KURAN

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Ocak 2006**

ÖZET

Özellikle kırsal alanlarda yoğun olarak üretilen yığma yapılar orta şiddetli depremlerde hasar almakta veya yıkılarak önemli can kayıplarına neden olmaktadır. Türkiye’de mevcut yapı stokunun önemli bir bölümünü oluşturan bu yapıların deprem dayanımlarının artırılması gerekmektedir. Bu çalışmada düşey delikli tuğladan yapılmış üç boyutlu tek katlı yığma bir yapı sarsma tablasında test edilerek önce hasar verdirilmiş, ardından hasarlı yapı dört farklı türde düzenlenen çelik şeritlerle rehabilitasyonu yapılarak tekrar test edilmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlar kullanılarak, çelik şeritlerle rehabilitasyonun dayanım, periyot, rijitlik, sönüm oranı ve enerji tüketimi üzerinde etkileri ortaya konularak değerlendirilmiştir.

Bilim Kodu : 911.1.029
Anahtar Kelimeler : Yığma Yapı, Rehabilitasyon, Çelik Şerit
Sayfa Adedi : 181
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Sinan ALTIN

**RETROFITTING OF MASONRY STRUCTURES
USING STEEL STRIPS**

(M.Sc. Thesis)

FİKRET KURAN

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

January 2006

ABSTRACT

Masonry structures suffer damage even during moderate earthquakes and cause life losses especially at rural areas. The earthquake strengths of these types of buildings that are very common in Turkey must be improved to prevent losses. In this study, three dimension one story masonry structure was constructed with vertically hallow bricks and were tested on shaking table. Firstly, structure was damaged and then was repaired with four different arrangements of steel strips. By evaluating the test results, strength, period, stiffness, damping ratio and energy consumption capacity of the tested structures were examined.

Science Code : 911.1.029

Key Words : Masonry Structure, Retrofitting, Steel Strips

Page Number: 181

Adviser : Prof. Dr. Sinan ALTIN

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının gerçekleştirilmesinde büyük emeği olan, çalışmanın her aşamasında değerli katkılarını esirgemeyen, tez danışmanım kıymetli hocam sayın Prof. Dr. Sinan ALTIN'a teşekkür ederim.

Deney yapılarının inşası ve deneyler sırasında katkılarından dolayı Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı Deprem Mühendisliği Şube Müdürü Cahit KOCAMAN'a, Yrd. Doç. Dr. Özgür ANIL'a, Araştırma Görevlisi M. Emin KARA'ya ve bilgisinden her zaman faydalandığım sayın Nejat BAYÜLKE'ye teşekkürlerimi sunarım.

Deneylerde ivme kayıtlarının alınmasında katkılarından dolayı Jeofizik Yüksek Mühendisi Mustafa GÜRBÜZ'e teşekkür ederim.

Deney yapılarının inşası için mali destekte bulunan Tuğla ve Kiremit Sanayicileri Birliği'ne, sayın Kadir BAŞOĞLU'na ve sayın Fahrettin Selami LOKMAN'a, İnşaat Mühendisleri Odası'na teşekkür ederim.

Son olarak her zaman bana destek olan eşime ve biricik oğluma sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	ix
RESİMLERİN LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. DENEYSEL ÇALIŞMA	11
2.1. Genel	11
2.2. Deney Yapıları	11
2.3. Malzeme Dayanımları	23
2.4. Deney Yapılarının Üretilmesi	25
2.5. Deney Düzeni	31
2.5.1. Yükleme düzeni.....	31
2.5.2. Ölçüm düzeni	32
2.5.3. Ölçümlerin değerlendirilmesi.....	33
3. DENEYLER.....	39
3.1. Deney Yapısı-1	39
3.2. Deney Yapısı-2.....	67
3.3. Deney Yapısı-3	83
3.4. Deney Yapısı-4.....	100

	Sayfa
3.5. Deney Yapısı-5.....	119
4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	141
4.1. Dayanım ve Davranış	141
4.2. Periyot	148
4.3. Sönüm Oranı.....	155
4.4. Yanal Rijitlik	161
4.5. Tüketilen Enerji.....	168
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	173
5.1. Sonuçlar	174
5.2. Öneriler.....	177
KAYNAKLAR	179
ÖZGEÇMİŞ	181

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 1.1. DAD-Sarsma tablasında yapılan yığma yapı deney sonuçları.....	5
Çizelge 2.1. Deney yapılarının özellikleri.....	13
Çizelge 2.2. Burulma olmaksızın uzun yönde duvar rijitlikleri.....	15
Çizelge 2.3. Burulma olmaksızın kısa yönde duvar rijitlikleri	15
Çizelge 2.4. Uzun yönde rijitlik merkezinin hesabı.....	16
Çizelge 2.5. Kısa yönde rijitlik merkezinin hesabı	16
Çizelge 2.6. Burulma etkisi ile duvar parçalarının rijitlikleri	17
Çizelge 3.1. Deney Yapısı-1’de her yükleme adımında ölçülen ivme ve gelen kuvvet	51
Çizelge 3.2. Deney Yapısı-2’de her yükleme adımında ölçülen ivme ve gelen kuvvet	70
Çizelge 3.3. Deney Yapısı-3’de her yükleme adımında ölçülen ivme ve gelen kuvvet	85
Çizelge 3.4. Deney Yapısı-4’de her yükleme adımında ölçülen ivme ve gelen kuvvet	103
Çizelge 3.5. Deney Yapısı-5’de her yükleme adımında ölçülen ivme ve gelen kuvvet	124
Çizelge 4.1. Deney yapılarına gelen kuvvet ve kayma gerilmesi sonuçları özeti....	143
Çizelge 4.2. Deney yapılarına her yüklemede gelen maksimum yatay yük ve nominal kayma gerilmesi	145
Çizelge 4.3. Deney yapılarının her yüklemedeki periyodu ve değişim oranı	153
Çizelge 4.4. Deney yapılarının her yüklemedeki sönümü ve değişim oranı.....	159
Çizelge 4.5. Deney yapılarının her yüklemedeki etkin yanal rijitliği ve değişim oranı	166
Çizelge 4.6. Deney yapılarının her yüklemedeki tüketilen enerji ve değişim oranı	171

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Deney Yapısı-1'in plan ve detayları	14
Şekil 2.2. Uygulanan rehabilitasyonun plan ve detayları.....	19
Şekil 2.3. Sarsma tablasının yükleme düzeneği	31
Şekil 2.4. Sistemin hareket biçimi ve oluşan ivmeler	33
Şekil 2.5. Kayma birim deformasyonu ölçüm yerler	35
Şekil 3.1. Deney Yapısı-1'in duvarlarında ölçülen kalıcı birim kesme deformasyonu	52
Şekil 3.2. Deney Yapısı-1 çatı ivme kayıtları	53
Şekil 3.3. Deney Yapısı-1 tabla ivme kayıtları	56
Şekil 3.4. Deney Yapısı-1 tepki fonksiyonu grafikleri	59
Şekil 3.5. Deney Yapısı-1 relatif deplasman grafikleri.....	61
Şekil 3.6. Deney Yapısı-1 yatay yük-ötelenme oranı grafikleri	63
Şekil 3.7. Deney Yapısı-1 tüketilen enerji enerji grafikleri	65
Şekil 3.8. Deney Yapısı-2 çatı ivme kayıtları	71
Şekil 3.9. Deney Yapısı-2 tabla ivme kayıtları	73
Şekil 3.10. Deney Yapısı-2 tepki fonksiyonu grafikleri	76
Şekil 3.11. Deney Yapısı-2 relatif deplasman grafikleri.....	78
Şekil 3.12. Deney Yapısı-2 yatay yük-ötelenme oranı grafikleri.....	79
Şekil 3.13. Deney Yapısı-2 tüketilen enerji grafikleri	81
Şekil 3.14. Deney Yapısı-3 çatı ivme kayıtları	86
Şekil 3.15. Deney Yapısı-3 tabla ivme kayıtları	89
Şekil 3.16. Deney Yapısı-3 tepki fonksiyonu grafikleri	92

Şekil	Sayfa
Şekil 3.17. Deney Yapısı-3 relatif deplasman grafikleri.....	94
Şekil 3.18. Deney Yapısı-3 yatay yük-ötelenme oranı grafikleri.....	96
Şekil 3.19. Deney Yapısı-3 tüketilen enerji grafikleri	98
Şekil 3.20. Deney Yapısı-4 çatı ivme kayıtları	104
Şekil 3.21. Deney Yapısı-4 tabla ivme kayıtları	107
Şekil 3.22. Deney Yapısı-4 tepki fonksiyonu grafikleri	111
Şekil 3.23. Deney Yapısı-4 relatif deplasman grafikleri.....	113
Şekil 3.24. Deney Yapısı-4 yatay yük-ötelenme oranı grafikleri.....	115
Şekil 3.25. Deney Yapısı-4 tüketilen enerji grafikleri	117
Şekil 3.26. Deney Yapısı-5 çatı ivme kayıtları	125
Şekil 3.27. Deney Yapısı-5 tabla ivme kayıtları	129
Şekil 3.28. Deney Yapısı-5 tepki fonksiyonu grafikleri	132
Şekil 3.29. Deney Yapısı-5 relatif deplasman grafikleri.....	135
Şekil 3.30. Deney Yapısı-5 yatay yük-ötelenme oranı grafikleri.....	137
Şekil 3.31. Deney Yapısı-5 tüketilen enerji grafikleri	139
Şekil 4.1. Deney Yapısı-1'in tüm yüklemelerdeki yatay yük katsayısı- yanal ötelenme oranı grafiği	146
Şekil 4.2. Deney Yapısı-2'nin tüm yüklemelerdeki yatay yük katsayısı- yanal ötelenme oranı grafiği	146
Şekil 4.3. Deney Yapısı-3'ün tüm yüklemelerdeki yatay yük katsayısı- yanal ötelenme oranı grafiği	147
Şekil 4.4. Deney Yapısı-4'ün tüm yüklemelerdeki yatay yük katsayısı- yanal ötelenme oranı grafiği	147
Şekil 4.5. Deney Yapısı-5'in tüm yüklemelerdeki yatay yük katsayısı- yanal ötelenme oranı grafiği	148
Şekil 4.6. Deney yapılarında periyot değişimi	150

Şekil	Sayfa
Şekil 4.7. Deney yapılarının yükleme adımına göre periyodundaki değişim	154
Şekil 4.8. Deney yapılarının yatay kuvvete göre periyodundaki değişim.....	154
Şekil 4.9. Deney yapılarının sönüm oranı değişimi	156
Şekil 4.10. Deney yapılarının yükleme adımına göre sönüm oranındaki değişim	160
Şekil 4.11. Deney yapılarının yatay kuvvete göre sönüm oranındaki değişim.....	160
Şekil 4.12. Deney yapılarının etkin yanal rijitlik değişimi	162
Şekil 4.13. Deney yapılarının yükleme adımına göre yanal rijitliğindeki değişim	167
Şekil 4.14. Deney yapılarının yatay kuvvete göre yanal rijitliğindeki değişim	167
Şekil 4.15. Deney yapılarının tüketilen enerji değişimi.....	169
Şekil 4.16. Deney yapılarının yükleme adımına göre tüketilen enerji değişimi	172
Şekil 4.17. Deney yapılarının yükleme adımına göre tüketilen enerji değişimi	172

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Deney yapısının duvarlarının örülmesi.....	25
Resim 2.2. Deney yapısının döşeme demirleri.....	26
Resim 2.3. Deney yapısının üst hatıl ve döşeme betonunun dökümü.....	26
Resim 2.4. Deney yapısının onarılması (kuzey cephe).....	27
Resim 2.5. Deney yapısının onarılması (güney cephe).....	27
Resim 2.6. Deney Yapısı-2'nin görünümü	28
Resim 2.7. Deney Yapısı-2'nin iç duvarlarının görünüşü.....	29
Resim 2.8. Bağlantı detayları	29
Resim 2.9. Deney Yapısı-3'ün görünüşü	30
Resim 2.10. Deney Yapısı-4'ün görünüşü	30
Resim 2.11. Deneylerde kullanılan ivme kayıtcısı ve algılayıcısı	32
Resim 3.1. Deney Yapısı-1'in 5. yükleme sonunda görünüşü.....	40
Resim 3.2. Deney Yapısı-1 güney cephenin 7. yükleme sonunda görünüşü	40
Resim 3.3. Deney Yapısı-1 güney cephenin 11. yükleme sonunda görünüşü	41
Resim 3.4. Deney Yapısı-1 kuzey cephenin 11. yükleme sonunda görünüşü	41
Resim 3.5. Deney Yapısı-1 doğu cephenin 11. yükleme sonunda görünüşü.....	42
Resim 3.6. Deney Yapısı-1 güney cephenin 12. yükleme sonunda görünüşü	42
Resim 3.7. Deney Yapısı-1 kuzey cephenin 12. yükleme sonunda görünüşü	43
Resim 3.8. Deney Yapısı-1 kuzey cephenin 12. yükleme sonunda görünüşü	43
Resim 3.9. Deney Yapısı-1 kuzey cephenin 13. yükleme sonunda görünüşü	44
Resim 3.10. Deney Yapısı-1 güney cephenin 13. yükleme sonunda görünüşü	44
Resim 3.11. Deney Yapısı-1 batı cephenin 13. yükleme sonunda görünüşü.....	45

Resim	Sayfa
Resim 3.12. Deney Yapısı-1 kuzey cephe iç duvarın 13. yükleme sonunda görünüşü.....	45
Resim 3.13. Deney Yapısı-1 kuzey cephenin 14. yükleme sonunda görünüşü	46
Resim 3.14. Deney Yapısı-1 güney cephenin 14. yükleme sonunda görünüşü	46
Resim 3.15. Deney Yapısı-1 güney cephenin 15. yükleme sonunda görünüşü	47
Resim 3.16. Deney Yapısı-1 kuzey cephenin 16. yükleme sonunda görünüşü	47
Resim 3.17. Deney Yapısı-1 batı cephenin 16. yükleme sonunda görünüşü.....	48
Resim 3.18. Deney Yapısı-1 kuzey cephenin 17. yükleme sonunda görünüşü	49
Resim 3.19. Deney Yapısı-1 güney cephenin 17. yükleme sonunda görünüşü	49
Resim 3.20. Deney Yapısı-1 doğu cephenin 17. yükleme sonunda görünüşü.....	50
Resim 3.21. Deney Yapısı-2 güney cephenin 18. yükleme sonunda görünüşü	67
Resim 3.22. Deney Yapısı-2 kuzey cephenin 18. yükleme sonunda görünüşü	68
Resim 3.23. Deney Yapısı-2 doğu cephenin 18. yükleme sonunda görünüşü.....	68
Resim 3.24. Deney Yapısı-2 batı cephenin 18. yükleme sonunda görünüşü.....	69
Resim 3.25. Deney Yapısı-2 güney cephe A2 duvar parçasının 18. yükleme sonunda görünüşü	69
Resim 3.26. Deney Yapısı-3 güney ve batı cephenin 18. yükleme sonunda görünüşü	83
Resim 3.27. Deney Yapısı-3 kuzey ve batı cephenin 18. yükleme sonunda görünüşü	84
Resim 3.28. Deney Yapısı-3 batı cephenin 18. yükleme sonunda görünüşü.....	84
Resim 3.29. Deney Yapısı-4 kuzey cephenin 20. yükleme sonunda görünüşü	100
Resim 3.30. Deney Yapısı-4 güney cephenin 20. yükleme sonunda görünüşü	101

Resim	Sayfa
Resim 3.31. Deney Yapısı-4 güney cephenin 20. yükleme sonunda görünüşü	101
Resim 3.32. Deney Yapısı-4 güney cephe A2 duvarının 20. yükleme sonunda görünüşü	102
Resim 3.33. Deney Yapısı-5 güney cephenin 20. yükleme sonunda görünüşü	119
Resim 3.34. Deney Yapısı-5 kuzey cephenin 20. yükleme sonunda görünüşü	120
Resim 3.35. Deney Yapısı-5 güney cephe A1 duvarının 20. yükleme sonunda görünüşü	120
Resim 3.36. Deney Yapısı-5 kuzey cephe B1 duvarının 20. yükleme sonunda görünüşü	121
Resim 3.37. Deney Yapısı-5 batı cephe iç duvarının 20. yükleme sonunda görünüşü	121
Resim 3.38. Deney Yapısı-5 doğu cephe iç duvarının 20. yükleme sonunda görünüşü	122
Resim 3.39. Deney Yapısı-5 güney cephe A2 duvar köşesinin 20. yükleme sonunda görünüşü	122
Resim 3.40. Deney Yapısı-5 doğu cephenin 20. yükleme sonunda görünüşü	123
Resim 3.41. Deney Yapısı-5 batı cephenin 20. yükleme sonunda görünüşü	123

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu tez çalışmasında kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
f_{ctf}	Harcın eğilmeden çekme dayanımı
f_b	Harcın basınç dayanımı
τ	Duvar kayma dayanımı
τ_0	Duvar çatlama dayanımı
σ	Duvardaki düşey gerilme
k	Duvarın kesme rijitliği
h	Dolu duvar parçasının yüksekliği
α	Duvar biçim katsayısı
G	Duvar kayma modülü
M_b	Burulma momenti
F	Yatay kuvvet
I_0	Duvarın burulma rijitliği
e	Eksantirite
C	Yatay yük katsayısı
W	Yapı ağırlığı
ΔW	Ağırlıktaki artış miktarı
m	Kütle
$\ddot{y}(t)$	Çatıda ölçülen ivme
$y_r(t)$	Relatif deplasman
$x(t)$	Tablanın yaptığı deplasman
$y(t)$	Yapının yaptığı deplasman
d'_1, d'_2	Yükleme sonrası karelaj diyagonalin uzunluğu
d_1, d_2	Karelaj diyagonalin başlangıç uzunluğu

Simgeler**Açıklama**

h	Karelaj yüksekliği
L	Karelaj uzunluğu
c	Sönüm katsayısı
k	Elastik rijitlik
K_e	Etkin yanal rijitlik
H_c	İvme kayıtlarından bulunan tepki fonksiyonu
H_a	Hareket denkleminde bulunan tepki fonksiyonu
Y(ω), X(ω)	Fourier tranformu
ω_n	Doğal açısal frekans
ω	Zorlamanın açısal frekansı
ξ	Sönüm oranı
T	Doğal titreşim periyodu
E	Tüketilen enerji

Kısaltmalar**Açıklama**

ABYYHY	Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
DAD	Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı
ODTÜ	Orta Doğu Teknik Üniversitesi

1. GİRİŞ

Türkiye'deki yapıların yarısına yakın bir bölümü yığma türü yapılar olup özellikle kırsal bölgelerde bir ve iki katlı yığma yapılar çok yaygın kullanılmaktadır. Bu yapılar genelde mühendislik hizmeti görmemiş yapılardır. Taşıyıcı duvarları tuğla olan yığma yapıların dayanımını belirleyen en önemli parametreler tuğlanın boşluk oranı, kullanılan harcın kalitesi ve işçiliktir. Günümüzde boşluk oranı az tuğla bulmak zordur. Boşluk oranı az tuğlalar daha ağır olduklarından işçiliği daha zahmetlidir. Tuğla örümünde kullanılan harcın kalitesi genelde iyi değildir. Kolay ve hızlı örülebilmesi için harca bol miktarda kireç katılmaktadır. Bu tip harçların basınç dayanımı düşük olmakta, tuğla ile yeterli aderansı sağlayamamaktadır. Örüm sırasında tuğlalar arasındaki yatay ve düşey derzler tam olarak doldurulmamaktadır. Depreme karşı yetersiz bu yapıların güçlendirilmesi, yaşam güvencesi ve ekonomik kayıpların önlenmesi bakımından ülkemiz için öncelikli bir sorundur.

Güçlendirme, hasar görmemiş bir yapı veya yapı elemanını yönetmeliğin öngördüğü güvenlik düzeyine çıkarma işlemidir. Onarım, bir yapı veya yapı elemanını hasar öncesi durumuna getirme işlemidir. Rehabilitasyon ise hasar görmüş bir yapı veya yapı elemanının hasar öncesi durumundan daha yüksek bir güvenlik düzeyine çıkarma işlemidir.

Bu tip yapılar şiddetli olmayan depremlerde bile hasar görmektedir. 1970'ler ve 1980'lerde kırsal kesimde meydana gelen bazı depremlerde (Lice, 1975 – 2300 ölü; Çaldıran 1976 – 3800 ölü; Erzurum 1983 - 1200 ölü) can kayıplarının başlıca nedeni bu tür binaların göçmesi olmuştur. Bu binalar genellikle köylerde ya da kent ve kasabaların çevresindeki gayri resmi yerleşim alanlarında inşa edilmişlerdir. Hasar gören yığma yapıların rehabilitasyonu, ülkemizde yaşanan depremlerden sonra sıkça uygulanmıştır.

Wasti, Erberik, Kaur ve Sucuoğlu, 1995 Dinar Depremi sonrasında rehabilitasyonuna karar verilen orta hasarlı mühendislik hizmeti görmemiş kırsal konutların

rehabilitasyonu hakkında genel bir strateji oluşturmak için bir çalışma yapmıştır. 1995 Dinar depremi sonrasında 152 adet yığma yapının orta hasarlı olduğu görülmüştür. Daha sonra yapılan teknik değerlendirme sonrası 100 tanesine yıkım kararı verilmiş, 42 tanesinin rehabilitasyonu yapılmış, 10 tanesi de kısmen yıkılıp rehabilite edilmiştir. Bu yapıların duvarlarının basınç dayanımı ve kesme dayanımı alınan numunelerle laboratuarda belirlenmiş, harman tuğlası için ortalama duvar basınç dayanımı 4 N/mm^2 , fabrika tuğlası için $2,4 \text{ N/mm}^2$ ve kerpiç için $1,1 \text{ N/mm}^2$ olarak bulunmuştur. Bu duvar malzemelerinin ortalama kayma emniyet gerilmesi ise, harman tuğlası için $0,25 \text{ N/mm}^2$, fabrika tuğlası için $0,1 \text{ N/mm}^2$ ve kerpiç için $0,05 \text{ N/mm}^2$ olarak bulunmuştur. Kayma emniyet gerilmeleri bulunurken kesme dayanımları 1,5-2 gibi emniyet faktörlerine bölünmüştür. Yığma yapıların rehabilitasyon uygulamasında, dış duvar sıva ve boya kaldırılmış, duvar tipine göre rapits teli yada hasır çelik ile çepeçevre sarılarak donatılandırılmış, donatılar mevcut duvara ankraj çubukları ile bağlanmıştır. Binanın çevresine en az 50 mm kalınlığında püskürtme beton bir kabukla mantolanması öngörülmüştür. Donatılar, yapının dış duvarı boyunca 500 mm kazılarak dökülen betonlu temel içine mesnetlenmiştir. Çatı seviyesinde, kapı ve pencere boşlukları çevresinde donatılar hatıl ve lentolara ankrajlanarak süreklilik sağlanmıştır. İncelenen 152 adet orta hasarlı kırsal yapıların büyük bir kısmının deprem dayanımının yetersiz olduğu , malzeme türlerinin, işçilik düzeyinin ve kat sayısının performansa büyük etkisi olduğu ortaya çıkmıştır. Uygulanan rehabilitasyon ile yapılara kutuvari bir özellik kazandırılması , gelecek depremlerde yapının tüm duvarlarının birlikte çalışması ve aynı deformasyonu yapması hedeflenmiştir. Detaylarına özen gösterilen, düzgün çatı, hatıl ve duvarları olan kırsal yapılarda hasar düzeyi azalmakta ve bu yapıların onarım ve rehabilitasyonu da hem teknik, hem de ekonomik açılardan mümkün olabilmektedir (1).

Yığma yapıların güçlendirilmesi veya rehabilitasyonunda ana amaç yapının kesme dayanımını artırmaktır. Bu tip yapılar sünek bir davranış göstermediğinden dayanımına ulaştıktan sonra yük taşıma kapasitelerinde düşme olmakta ve göçmeye ulaşmaktadır. Bu nedenle bu tip yapıların rehabilitasyonu veya güçlendirilmesinde

eleman güçlendirmesi/rehabilitasyonu yerine sistem güçlendirmesi/rehabilitasyonu uygulamak daha doğrudur. Bu çalışmada tuğla yığma yapılarda güçlendirme ve rehabilitasyon amaçlı kullanılabilecek sistem güçlendirmesi/rehabilitasyonu tekniği geliştirilmesi amacı doğrultusunda bir deneysel çalışma düzenlenmiştir. Yığma yapıların davranışı ve güçlendirilmesi üzerine yapılmış çalışmalar aşağıda özet olarak verilmiştir.

Lenczner, harçların basınç dayanımını araştırmıştır. Harçların basınç dayanımı malzemenin granülometrisine, agreganın dayanımına, işçiliğe, su/çimento oranına bağlı olduğu, çimento/kireç/kum karışım oranı 1/1/6 için 28 günlük basınç dayanımı 2,8-7,0 N/mm² arasında değiştiği belirlenmiştir (2).

Yorulmaz ve Atan, tarafından yapılan deneysel çalışmada 1/4 çimento harcı ile 1/1.5/8 melez harç kullanılmış ve 28 günlük basınç dayanımı çimento harcı için 12,8 N/mm², melez harç için 3,5 N/mm² olarak bulunmuştur. Harcın dayanımını etkileyen faktörler ise çimento miktarı ve su/çimento oranı olduğu, kumun ince ya da kaba oluşu da dayanımını etkilediği gözlenmiştir (3).

Foster, tarafından tuğla ve tuğla duvar basınç dayanımları arasındaki ilişki deneysel olarak belirlenmiş ve harç dayanımının bir kaç kat arttırılması tuğla duvar dayanımında % 25-30 kadar bir artış sağladığı görülmüştür. Aynı tuğla ile bir kaç kat daha yüksek dayanımlı harç kullanılması duvar dayanımında anlamlı bir artış sağlayamamaktadır. Buna karşılık aynı harç ile daha yüksek dayanımlı tuğla kullanılması duvar basınç dayanımında çok daha önemli artışlar sağlamaktadır. Duvarın basınç dayanımının arttırılması için daha yüksek basınç dayanımlı tuğla kullanılması gerektiği belirtilmiştir (4).

Bayülke, 1982 yılında yaptığı çalışmada "tuğla/tuğla duvar" basınç dayanımı ilişkisi kullanılan harcın basınç dayanımı ile tuğlanın basınç dayanımına bağlı olarak boyutsuz bir biçimde incelenmiştir. Bu deneylerde dolu, düşey ve yatay delikli fabrika tuğlalarından yapılmış yaklaşık 50 cm x 50 cm boyutlarında duvar elemanları

denenirken uygulamada üretilenlere benzer koşul ve karışımlarda harçlar kullanılmıştır. Kullanılan her bir grup tuğlanın ortalama basınç dayanımları 7-11,8 N/mm² arasında değişmektedir (5).

Tolunay, 1966 yılında yaptığı deneylerde tuğla duvar elastisite modülü ile duvar basınç dayanımı arasında ilişkiyi bulmuştur. 1/3 kireç karışımlı harçta duvarın elastisite modülü duvar basınç dayanımının 35 katı, 1/2/8 melez karışımda 97 katı olarak bulunmuştur (6).

Bayülke, 1996 yılındaki çalışmasında 290x190x135 mm boyutunda ve % 35 delik oranı olan tuğlalardan yapılmış yığma bir yapının deprem davranışını incelemiştir. Yapılan deney sonucunda tuğladaki boşuk oranının az olması duvarın kesme dayanımını artırdığı gözlenmiştir (7).

Bayülke, Hürata, ve Doğan, yaptıkları çalışmada tuğla boşluk oranı ve harç basınç dayanımı farklı olan 3 adet yığma yapıyı sarsma tablasında test etmişlerdir. Birinci deney yapısı, % 50 boşluk oranına sahip tuğla kullanılarak yapılmış, tuğla basınç dayanımı 5,21 N/mm², harç basınç dayanımı 1,51 N/mm², harcın eğilmeden çekme dayanımı 0,61 N/mm² olarak bulunmuştur. İkinci deney yapısı % 59,5 boşluk oranına sahip tuğladan yapılmış, tuğla basınç dayanımı 2,54 N/mm², harç basınç dayanımı 3,11 N/mm², harcın eğilmeden çekme dayanımı 1,10 olarak bulunmuştur. Üçüncü deney yapısı % 50 boşluk oranına sahip tuğladan yapılmış, tuğla basınç dayanımı 6,70 N/mm², harç basınç dayanımı 0,81 N/mm² olarak bulunmuştur. Kullanılan harçların basınç ve eğilmeden çekme dayanımları arasında ampirik bir eşitlik geliştirilmiş ve

$$f_{ctf} = 0,215 f_b + 3,234 \quad [1.1]$$

olarak bulunmuştur. Burada f_{ctf} = harcın eğilmeden çekme dayanımı, f_b ise harcın basınç dayanımıdır. Ampirik eşitlikte birimler kg/cm²'dir. Yapılan deneyler sonucu birinci deney yapısında ulaşılan en büyük kayma gerilmesi 0,111 N/mm², ikinci deney yapısında 0,074 N/mm² ve üçüncü deney yapısında 0,136 N/mm² olarak

bulunmuştur. Deneyler sonucunda, tuğlalar arasındaki yatay derzlerle harç konulmasının duvarın kesme kapasitesini artırdığı, tuğladaki düşey delik oranının azalmasının da duvarın kesme dayanımını arttırdığı bulunmuştur. Duvarlarda oluşan nominal kayma gerilmelerinin kullanılan harcın eğilmeden çekme dayanımına bölünmesi ile elde edilen boyutsuz verilere göre tuğladaki boşluk oranındaki azalmanın dayanıma etkisinin daha belirgin olduğu görülmüştür (8).

Bayülke, Köksal, Gürbüz, Kocaman ve Kuran, Deprem Araştırma Dairesi'ndeki sarsma tablasında, 1986 yılından bu yana çok sayıda tuğla, beton blok, gaz beton blok yığma yapı deneyi sonucunda sarsma yönündeki duvarlarda oluşmuş nominal kayma gerilmelerini özetlemiştir. Çizelge 1.1'de daha önce yapılmış deneylerde duvarlarda oluşmuş en büyük nominal kayma gerilmeleri verilmektedir (9).

Çizelge 1.1. DAD-Sarsma tablasında yapılan yığma yapı deney sonuçları

Duvar Tipi ve Delik Oranı	τ_{nominal} (N/mm ²)	$\tau_{\text{nominal}} / f_{\text{ctf}}$
% 50	0,111	0,182
% 60	0,074	0,067
% 50	0,136	0,314
% 35	0,282	0,094
Harçla Dolu Briket (Aube)	0,241	0,595
Pomzalı Bimsbeton	0,178	0,198
Gazbeton 1 (2 katlı)	0,124	0,0653
Gazbeton 2 (Tek katlı)	0,213	0,112
AUBE Boş (harç yok)	0,1211	-

Muzino, Goto, Hiroto ve Iiba, yaptıkları deneysel çalışmada 1/2 ölçekli iki boyutlu düşey hatıllı ve yatay donatıları olan donatılı yığma duvarı sarsma tablasında test ederek davranışını araştırmışlardır. Deney elemanına $1/\sqrt{2}$ zaman ölçeğinde 1968 Tokachioki depreminin ivme kaydı uygulanmıştır. Yapılan deneysel çalışma sonucunda gelişen hasar biçiminin statik yüklerle yapılan deney sonuçları ile benzer olduğu, tuğla duvarda bulunan yatay donatıların duvarın sünekliğini artırdığı, göçmesini önlediği görülmüştür. Düşey hatıllardaki boyuna donatıların sargılı yığma duvarların maksimum kapasitesini belirlemiştir (10).

Zepeda, Alcocer ve Flores, yaptıkları çalışmada donatılı ve donatısız tuğla duvarların değişik kişilerce yapılmış deneylerden çıkarılmış çeşitli özellikleri incelenmiştir. Duvarların ilk çatlak birim deformasyonu donatılı ya da donatısız olarak ortalama % 0.1 olarak bulunmuştur. Duvarın kesme dayanımının harcın basınç dayanımının kareköküne bağlı olarak arttığı gözlenmiştir. Eksenel yükün duvarın kesme dayanımına olan katkısı sonucu kesme dayanımının

$$\tau = 0,4\tau_0 + 0,3\sigma \quad [1.2]$$

eşitliği ile hesaplanacağı bulunmuştur. Donatılı duvarlarda yatay donatıların duvar kenarlarındaki düşey hatıllara bağlanmasının duvarın davranışına olumlu katkı yaptığı gözlenmiştir. Aynı biçimde düşey hatılların da duvarın dayanım ve ötelenme oranlarına olumlu katkısı olmuştur. Bu çalışmada kullanılan düşey delikli tuğlaların deliklerinin arasına harç doldurulmasının bir tür kesme takozları oluşturduğu için duvar kesme dayanımını artırdığı da gözlenmiş ancak bu özellikten yararlanılması için tuğla bloklarının arasına konulan harcın daha fazla miktarlarda konulması gereği hatırlatılmıştır. Duvar kesme dayanımında gözlenen büyük dağılım sonucu bu tasarımda kullanılacak dayanımın çok güvenli bir tarafta seçilmesi önerilmektedir (11).

Canales, De la Vega, yaptıkları deneysel çalışmada hasır çeliklerle yığma yapıların güçlendirilmesini araştırmıştır. Tuğla duvarların depreme karşı güçlendirilmesi bir bakıma bu duvarların kesme dayanımlarının artırılmasıdır. Bu güçlendirme yöntemi pek çok ülkede deprem öncesinde ve sonrasında hasarlı tuğla yığma yapılarda uygulanmıştır. Bu yöntemde hasır çelik duvar yüzeyinden 20-30 mm kadar dışarı konulmakta, mevcut duvara ankraj ya da dübellerle bağlanmakta ve duvarla arasındaki mesafeyi sağlamak için aralıklı olarak 20-30 mm kalınlıkta tahta takozlar duvar yüzeyi ile çelik hasır arasına konulmakta ve hasır çeliğin üstü 50-60 mm kalınlıkta püskürtme betonla ya da sıva ile kaplanmaktadır. Bu uygulamada kaplama işlemi yapı yüksekliği boyunca yapılmalıdır. Bu güçlendirme yöntemi birkaç katlı yığma yapılar için uygundur. Yapının dışında uygulandığı için yapının iç tarafının kullanımı engellenmemektedir. Ankraj ve dübellerin yerleştirilmesi iç tarafta delikler

açılabilir. Bu güçlendirme tekniğinin yapının yatay yük taşıma gücünde çok büyük artışlar sağlamadığı gibi önemli bir rijitlik artışı da gerçekleşmemekte ancak duvarların kesme dayanımını artırdığı gözlenmiştir. Binaya eklenen ağırlıkta çok önemli olmamaktadır (12).

Maldonado, Olivencia, yaptıkları çalışmada hasır çelikle güçlendirme yöntemi ile duvardaki çatlakların yalnızca epoksi ya da çimento şerbeti ile doldurulması yöntemini karşılaştırmıştır. Donatı ile kaplama yöntemi duvarın kesme dayanımında ve rijitliğinde güçlendirme öncesine göre önemli bir artış sağlamamıştır. Diğer yöntemlerden çatlakların epoksi ile doldurulması duvarın enerji tüketme gücünü artırırken kesme modülü ve kesme kuvveti taşıma gücünde bir artış olmadığı gibi hasar öncesi düzeylere de ulaşamamıştır. Çatlaklara konulan epoksinin daha esnek oluşu duvar parçasının daha çok yatay ötelenmesini sağlamıştır. Çatlakların yalnızca çimento şerbeti ya da enjeksiyonu ile doldurulmasının hiçbir yararı olmamıştır (13).

Alcocer, Ruiz, Pineda ve Zepeda, yaptıkları çalışmada betonarme çerçeve içindeki dolgu duvarların hasır çelikle güçlendirilmesini araştırmıştır. Çerçeve elemanlarının hasır çelikle kaplanmış olmasının davranışa olumlu katkısı olduğu gözlenmiştir. Duvar yüzeylerine uygulanan hasır çelik miktarının duvarın hem kesme dayanımını artırdığı hem de ötelenme oranının büyüdüğü gözlenmiştir. Hasır çeliğin duvara bağlanmasında metrekaresine 9 adet ankrajın yapılması önerilmektedir (14).

Sofronie ve Bolander, polimer gridlerle donatılı yığma yapıların güçlendirilmesini araştırmıştır. Sentetik donatı içeren polimer gridler yüksek yoğunluğu ve dayanımı olan ve servis ömrü 120 yıl olan bir malzemedir. Üç tip güçlendirme tekniği araştırılmıştır. Birincisi tuğla ile harç arasına gridler koymak, ikincisi duvar yüzeyini sentetik gridlerle kaplamak, üçüncüsü ise taşıyıcı elemanları sargılamaktır. İlk teknik yeni binalara uygulanabilirken diğer iki teknik mevcut binalara uygulanabilmektedir. Yöntemlerin geçerliliği statik ve dinamik yükler altında deneysel olarak araştırılmıştır. Tüm yöntemler sünekliği sağlamakta ve yük kapasitesini artırmaktadır. Derzler arasına polimer grid koymak tuğlalar arası yük aktarma kapasitesini artırmaktadır. Duvar yüzeyini gridlerle kaplamak duvarın kesme

kapasitesini artırmaktadır. Ancak bu yöntem gridlerin duvar yüzüne iyi yapışması ile geçerli olmaktadır. Polimer gridlerle duvarı sargılamak hem basınç hem de kesme dayanımını artırmaktadır. Deneyler sonucunda polimer gridlerle yığma yapıların onarım ve güçlendirilmesinin uygun bir güçlendirme tekniği olduğu sonucuna varılmıştır. Bu malzemeler ekonomik, kolay uygulanabilen ve uzun ömürlü yapı malzemeleri olup güçlendirme tekniği hasarlı yapıların onarım ve güçlendirilmesinde de kullanılabileceği belirtilmiştir. Polimer gridler mevcut malzeme ile uyumu iyi sağlamaktadır (15).

Taghdi, Bruneau ve Saaatçioğlu, yaptıkları deneysel çalışmada diyagonal ve düşey çelik şeritlerle donatılı ve donatısız yığma duvarlar ile betonarme duvarların güçlendirilmesini 1/6 ölçekli 2 boyutlu elemanlarda araştırmış ve referans elemanlarıyla karşılaştırmışlardır. Ayrıca hasar verilen betonarme duvar sadece düşey çelik şeritlerle rehabilite edilmiş ve hasar öncesi durumu ile karşılaştırılmıştır. Güçlendirmede, 220 mm genişliğinde ve 3,81 mm kalınlığında diyagonal çelik şeritler ile 80 mm genişliğinde ve 3,81 mm kalınlığında düşey çelik şeritler kullanılmıştır. Çelik şeritler duvarın her iki yüzünde uygulanmıştır. Çelik şeritlerin duvarın her iki yüzüne sargılanması 9,5 mm ve 15,9 mm kalınlığında çelik çubuklarla yapılmıştır. Bağlantı aralıkları çelik şeritlerde lokal burkulmayı önleyecek aralıkta seçilmiştir. Düğüm noktalarında bayrak levhası kullanılmış, çelik şeritler deney elemanının temeline ve üst kirişine bağlanmıştır. Deney elemanlarına hidrolik krikolarla eksenel basıç ve yatay kuvvetler verilmiştir. Donatısız yığma duvarın göçmesi çelik şeritlerde akma ve lokal burkulma ile olduğu gözlenmiştir. Donatılı yığma duvarda ve betonarme duvarda daha iyi davranış gözlenmiş ve göçmenin düşey çelik şeritlerin akmaya ulaşması ile oluştuğu görülmüştür. Uygulanan güçlendirme tekniği ile donatısız yığma duvarda 5,5 kat, donatılı yığma duvarda 3,8 kat, betonarme duvarda ise 2,9 kat dayanım artışı belirlenmiştir. Çalışma sonucunda bu güçlendirme tekniğinin az katlı yığma ve betonarme duvarların güçlendirmesinde etkin olduğu belirtilmiştir. Çelik şeritler duvarların düzlemi içinde dayanım, süneklik ve enerji tüketimini önemli dercede artırdığı görülmüştür. Güçlendirilen 3 tip duvarda çelik şeritler dayanımı yaklaşık 300 kN artırmıştır. Çelik şeritlerin elemanların temele ve üst kiriş betonuna bağlanması kayma direncini artırmıştır. Bu

araştırmada yapılmamasına karşın, duvarın her iki yüzüne uygulanan çelik şeritlerin düzlem dışı dayanımını artıracığı ve düzlem dışı deplasmanları sınırlayacağı belirtilmiştir. Duvarların sadece düşey çeliklerle güçlendirilmesi durumunda dayanımda bir artış sağlamamakta, göçme biçimin sünek olmayan kesme kırılması belirlemektedir (16).

Bu tez çalışması kapsamındaki deneysel çalışmada, düşey delikli tuğladan yapılmış üç boyutlu tek katlı yığma bir yapı üretilmiş, sarsma tablasında test edilerek önce hasar verdirilmiş, ardından hasarlı yapı dört farklı türde düzenlenen çelik şeritlerle rehabilite edilerek tekrar test edilmiştir.

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde yığma yapıların çelik şeritlerle rehabilitasyonu veya güçlendirilmesi ile ilgili az sayıda çalışmaya rastlanılmıştır. Bu yöntemle yapılan iki boyutlu ve ölçekli duvar güçlendirme çalışmasında duvarın her iki yüzüne diyagonal ve düşey çelik şeritler konularak yapılan güçlendirme tekniğinin dayanım, süneklik ve rijitliği önemli derecede etkilediği sonucuna varılmıştır. Bu çalışmada yukarıdaki çalışmaya benzer olarak üç boyutlu hasarlı yığma yapının rehabilitasyonunda çelik şerit düzenlemesi temel değişken olarak belirlenmiştir. Deney programında yer alan deney yapıları aşağıda kısaca özetlenmiştir. Deneysel değişkenler Bölüm 2’de detaylı olarak verilecektir.

- Karşılaştırma amacı ile üretilen deney yapısı
- Hasar verildikten sonra onarım yapıp, çelik şeritle rehabilitasyonun ve çelik şerit düzenlemesinin dayanım ve davranış üzerindeki etkilerinin incelenmesi amacı ile kontrol yapısından türetilen deney yapıları;
 1. Yükleme doğrultusundaki duvarların iç ve dış yüzeylerine düşey ve diyagonal çelik şeritler ile yükleme doğrultusuna dik duvarların iç ve dış yüzeylerine sadece düşey çelik şeritler yerleştirilmiş deney yapısı,

2. Yükleme doğrultusundaki duvarların iç ve dış yüzeylerine düşey ve diyagonal çelik şeritler yerleştirilmiş deney yapısı,
3. Yükleme doğrultusundaki duvarların iç ve dış yüzeylerine sadece diyagonal çelik şeritler yerleştirilmiş deney yapısı,
4. Yükleme doğrultusundaki duvarların sadece dış yüzeylerine diyagonal çelik şeritler yerleştirilmiş deney yapısı,

Yukarıda tanımlanan deney yapılarından elde edilen sonuçları ışığında, yığma yapıların dinamik yükler etkisi altındaki davranışları, çelik şeritlerle rehabilitasyonun ve çelik şerit düzenleme biçiminin dayanım, davranış, rijitlik, periyot, sönüm oranı ve enerji tüketimi üzerindeki etkileri incelenmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1. Genel

Duvar malzemesi tuğla olan yığma yapıların güçlendirilmesinde ve rehabilitasyonunda çeşitli yöntemler uygulanmıştır. Bu çalışmada, çelik levhalar ile rehabilitasyonu yapılmış yığma yapının davranışı araştırılmaktadır.

Deney yapıları prototipe yakın ölçekte, tek katlı, tek açıklıklı ve taşıyıcı duvarları düşey delikli tuğla olarak üretilmiştir. Afet İşleri Genel Müdürlüğü'nde bulunan sarsma tablasında Bayülke, Hürata ve Doğan'ın tuğla yığma yapılarla ilgili yaptıkları çalışmada kullandıkları benzer geometri seçilmiştir (8).

Deney yapısında kullanılan düşey delikli tuğlanın boyutu 280x185x135 mm ve % 60,4 boşluk oranına sahiptir. TS-2510 Kagir Duvarlar Hesap ve Yapım Kuralları'na göre yığma yapılarda izin verilen en büyük boşluk oranı % 35'dir (17). Mevcut tuğla yığma yapıların büyük çoğunluğu boşluk oranı fazla tuğlalardan yapılmıştır. Bu nedenle deneyde boşluk oranı yüksek tuğla kullanılmıştır.

Deney yapıları depremlerde oluşan atalet kuvvetlerine benzer kuvvetleri oluşturan tek yönlü serbest titreşim üretebilen sarsma tablasında test edilmiştir.

2.2. Deney Yapıları

Bu çalışmada toplam 5 deney yapısı üretilmiştir. İlk deney için üretilen deney yapısına hasar verilmiştir. Daha sonra bu deney yapısı onarılmıştır. Diğer 4 deney yapıları, onarılan yapının farklı düzenlemelerle çelik şeritler kullanarak türetilmiştir. Deney programında test edilen deney yapıları Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Deneysel Değişkenler

Deneysel çalışma, düşey delikli tuğla ile üretilmiş yığma yapıların yatay yük kapasitelerinin iyileştirilmesinde, çelik levhalarla rehabilitasyonun dayanım ve davranış üzerinde etkilerinin araştırılması amacı ile düzenlenmiştir.

Deneysel çalışmada kullanılan değişkenler rehabilitasyonda 4 farklı türde düzenlenen çelik şeritlerin kullanılmasıdır.

Deney Yapısı-1 rehabilitasyonu yapılmış yapılarla karşılaştırmak üzere üretilmiş kontrol yapısıdır.

Deney Yapısı-1

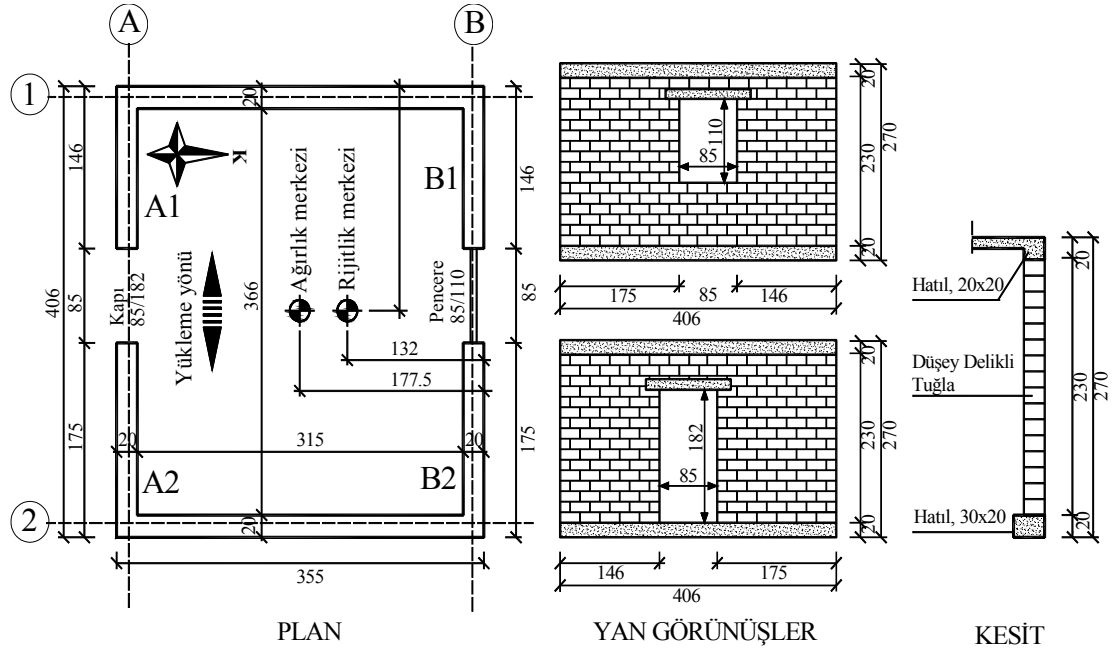
Deney yapısı üç boyutlu olarak üretilmiştir. Deney yapısının plan boyutları 3550x4060 mm, kat yüksekliği 2700 mm, duvar kalınlığı 200 mm'dir. Duvar altlarına mevcut yapılardaki duvar altı hatılı temsil eden 300x200 mm ebadında betonarme yatay hatıl yapılmıştır. Yine döşeme ile duvar arasında 200x200 mm boyutlu betonarme yatay hatıllar bulunmaktadır. Deney yapısının döşemesi 100 mm kalınlığında betonarme plak olarak üretilmiştir.

Döşeme betonunda her iki yönde $\phi 8$ mm çapında ve 150 mm aralıklarla S420 inşaat demiri yer almaktadır. Duvar alt ve döşeme altı hatıl donatısı olarak 4 $\phi 12$ S420 inşaat demiri kullanılmıştır. Bu hatılarda etriye donatısı olarak $\phi 8$ mm çapında S420 inşaat demiri 300 mm aralıkla kullanılmıştır. Kapı ve pencere boşluklarının üstüne 1250 mm uzunluğunda 200x200 mm kesitli betonarme hatıl yerleştirilmiştir. Bu hatıllarda da aynı boyuna ve enine donatı kullanılmıştır. Deney yapısının ağırlığı 112,28 kN olarak hesaplanmıştır. Deney yapısının dış duvar yüzleri 10 mm kalınlığında sıva ile sıvanmıştır. Oluşacak çatlakların daha iyi görünebilmesi için sıva üzerine kireç badana yapılmıştır. Deney yapısının geometrik ölçüleri Şekil 2.1'de verilmektedir.

Çizelge 2.1. Deney yapılarının özellikleri

Deney Yapısı	Tuğla		Döşeme	Hatıl		Diyagonal Çelik Şerit		Düşey Çelik Şerit		Bayrak Levhası
	Ebat (mm)	Boşluk Oranı (%)		Boyuna Donatı	Enine Donatı	Duvar Dışı Genişlik Kalınlık (mm)	Duvar İçi Genişlik Kalınlık (mm)	Yükleme Yönü Genişlik Kalınlık (mm)	Yükleme Yönüne Dik Genişlik Kalınlık (mm)	
1	280x185x135	60,40	Ø8/150	4Ø12	Ø8/300	----	----	----	----	----
2	280x185x135	60,40	Ø8/150	4Ø12	Ø8/300	150 5	150 5	150 5	150 5	250 400
3	280x185x135	60,40	Ø8/150	4Ø12	Ø8/300	150 5	150 5	150 5	----	250 400
4	280x185x135	60,40	Ø8/150	4Ø12	Ø8/300	150 5	150 5	----	----	250 400
5	280x185x135	60,40	Ø8/150	4Ø12	Ø8/300	150 5	----	----	----	250 400

Deney yapısında, A aksı boyunca uzunluğu 146 cm olan duvar parçası A1, uzunluğu 175 cm olan duvar parçası A2 olarak adlandırılmıştır. Yine B aksı boyunca uzunluğu 146 cm olan duvar parçası B1 ve uzunluğu 175 cm olan duvar parçası B2 olarak adlandırılmış ve bu isimlendirme ile anılacaktır.



Şekil 2.1. Deney Yapısı-1'in plan ve detayları

Pencere bulunan kuzey cephesi duvarı ile kapı bulunan güney cephesi duvarının boşluk miktarları farklı olduğundan rijitlik merkezi ile kütle merkezi çakışmamaktadır. Bu nedenle kayma gerilmelerinin hesaplanmasında yapının kütle merkezi (KM) ile rijitlik merkezinin (RM) çakışmaması sonucu oluşan burulma etkileri de dikkate alınmıştır.

Duvarların kesme rijitliği;

$$k = AG / ah \quad [2.1]$$

eşitliğinden hesaplanmaktadır. Burada G ; duvarın kayma modülü, h ; dolu duvar parçasının yüksekliği, A ; kesit alanı, α ; duvarın biçimine göre değişen bir katsayıdır. α katsayısı başka duvarla kesişmeyen dikdörtgen kesitli duvarlar için 1.5, L, T gibi kanatları olan duvarlar için 1 olmaktadır. Deney yapısında duvarların hepsi

dikdörtgen biçimde olduğundan α değişken değildir. Ayrıca yapıda tüm duvarlar aynı malzemeden yapıldığından duvarın kayma modülü (G) bütün duvar parçaları için aynıdır. Bir duvar parçasının kesme etkisinde duvar düzlemi içinde etkiyen yatay kuvvet rijitliği;

$$D_1 = k / G = A / h \quad [2.2]$$

olmaktadır (18).

Uzun yönde ve kısa yönde hesaplanan duvar rijitlikleri Çizelge 2.2 ve Çizelge 2.3’de verilmektedir.

Çizelge 2.2. Burulma olmaksızın uzun yönde duvar rijitlikleri

Aks No	Uzunluk (m)	En (m)	Yükseklik (m)	Alan-A (m ²)	$D_x=A/h$ (m ² /m)
A-1	1,46	0,200	1,82	0,2920	0,1604
A-2	1,75	0,200	1,82	0,3500	0,1923
B-1	1,46	0,200	1,10	0,2920	0,2655
B-2	1,75	0,200	1,10	0,3500	0,3182

Çizelge 2.3. Burulma olmaksızın kısa yönde duvar rijitlikleri

Aks No	Uzunluk (m)	En (m)	Yükseklik (m)	Alan-A (m ²)	$D_x=A/h$ (m ² /m)
1	3,55	0,200	2,30	0,7100	0,3087
2	3,55	0,200	2,30	0,7100	0,3087

Çizelge 2.4. Uzun yönde rijitlik merkezinin hesabı

Aks No	Y (m)	D_x	YD_x	Y^2	Y^2D_x
A-1	3,45	0,1604	0,5535	11,90	1,90963
A-2	3,45	0,1923	0,6635	11,90	2,28894
B-1	0,10	0,2655	0,0265	0,01	0,00265
B-2	0,10	0,3182	0,0318	0,01	0,00318
Σ		0,9364	1,2753		4,20441

Rijitlik merkezinin x ekseninden uzaklığı (y_0)

$$y_0 = \Sigma yD_x / \Sigma D_x \quad [2.3]$$

eşitliğinden hesaplanmış ve 1,362 m olarak bulunmuştur.

Çizelge 2.5. Kısa yönde rijitlik merkezinin hesabı

Aks No	X(m)	D_y	XD_y	X^2	X^2D_y
1	0,10	0,3087	0,0309	0,01	0,00309
2	3,96	0,3087	1,2224	15,68	4,84084
Σ	-	0,6174	1,2533	-	4,84393

Rijitlik merkezinin y ekseninden uzaklığı (x_0)

$$x_0 = \Sigma xD_y / \Sigma D_y \quad [2.4]$$

eşitliğinden hesaplanmış ve 2,03 m olarak bulunmuştur.

Deney yapısının kütle merkezinin (KM) x ekseninden uzaklığı 1,712 m ve y ekseninden uzaklığı 2,03 m olarak hesaplanmıştır.

Kütle merkezi ile rijitlik merkezi arasındaki fark $e=(y_{KM}-y_0)=(1,712- 1,362) = 0,35$ m olmaktadır. Rijitlik merkezi kütle merkezinden 350 mm kuzey cephesi duvarına doğru kayık olarak bulunmuştur.

Kütle merkezi ile rijitlik merkezinin çakışmamasından dolayı F deprem kuvveti olmak üzere oluşan burulma momenti Eş. 2.5’de verilmiştir.

$$M_b = 0,35 F \quad [2.5]$$

Yapının burulma rijitliği Eş. 2.6, Eş. 2.7 ve Eş. 2.8’e göre hesaplanmış ve 4.767 m^3 olarak bulunmuştur.

$$I_0 = I_{x_0} + I_{y_0} \quad [2.6]$$

$$I_{y_0} = \sum y^2 D_x - y_0^2 \sum D_x \quad [2.7]$$

$$I_{x_0} = \sum x^2 D_y - x_0^2 \sum D_y \quad [2.8]$$

Yapıya gelen yatay kuvvetin (F) % 19.59’u A1 duvar parçasına, % 23.48’i A2 duvar parçasına, %30.81’i B1 duvar parçasına ve % 36.93’ü B2 duvar parçasına gelmektedir (Çizelge 2.6).

Çizelge 2.6. Burulma etkisi ile duvar parçalarının rijitlikleri

Aks No	y_0-y (1)	D_x (2)	$D_x/\sum D_x$ (3)	$(y_0-y)D_x$ (4)	$\frac{(y_0-y)D_x eF}{I_0}$ (5)	F_i (3+5)
A-1	2,088	0,1604	0,1713	0,3349	0,0246F	19,59F %
A-2	2,088	0,1923	0,2054	0,4015	0,0295F	23,48F %
B-1	1,262	0,2655	0,2835	0,3351	0,0246F	30,81F %
B-2	1,262	0,3182	0,3398	0,4016	0,0295F	36,93F %

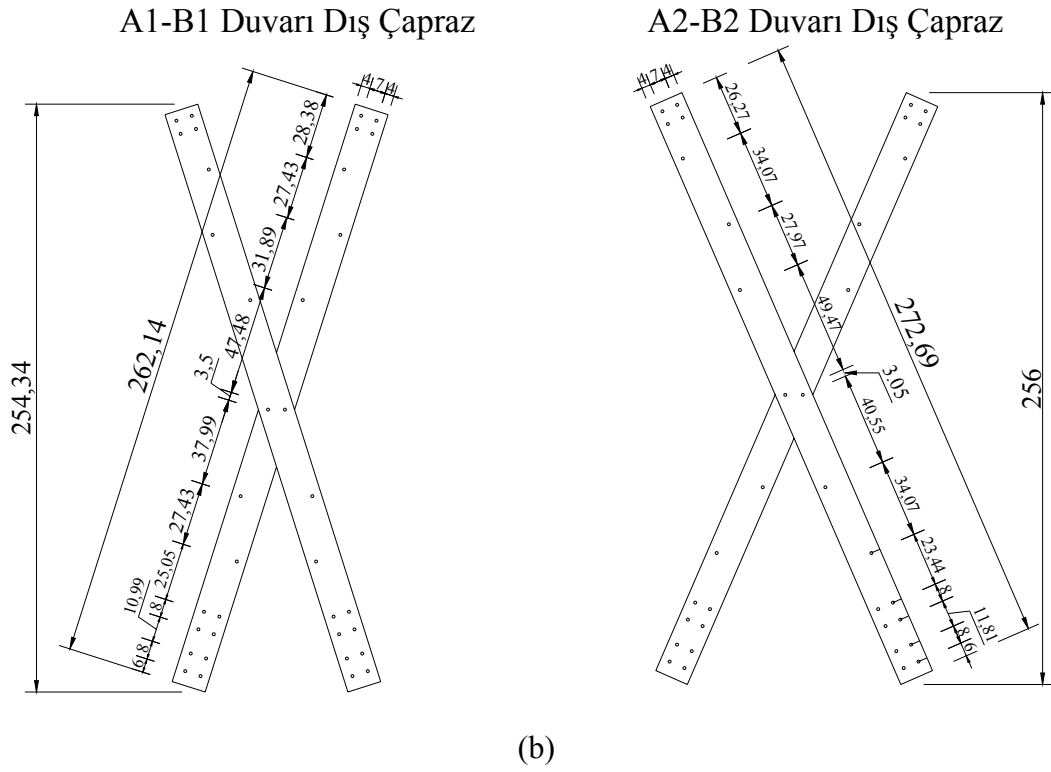
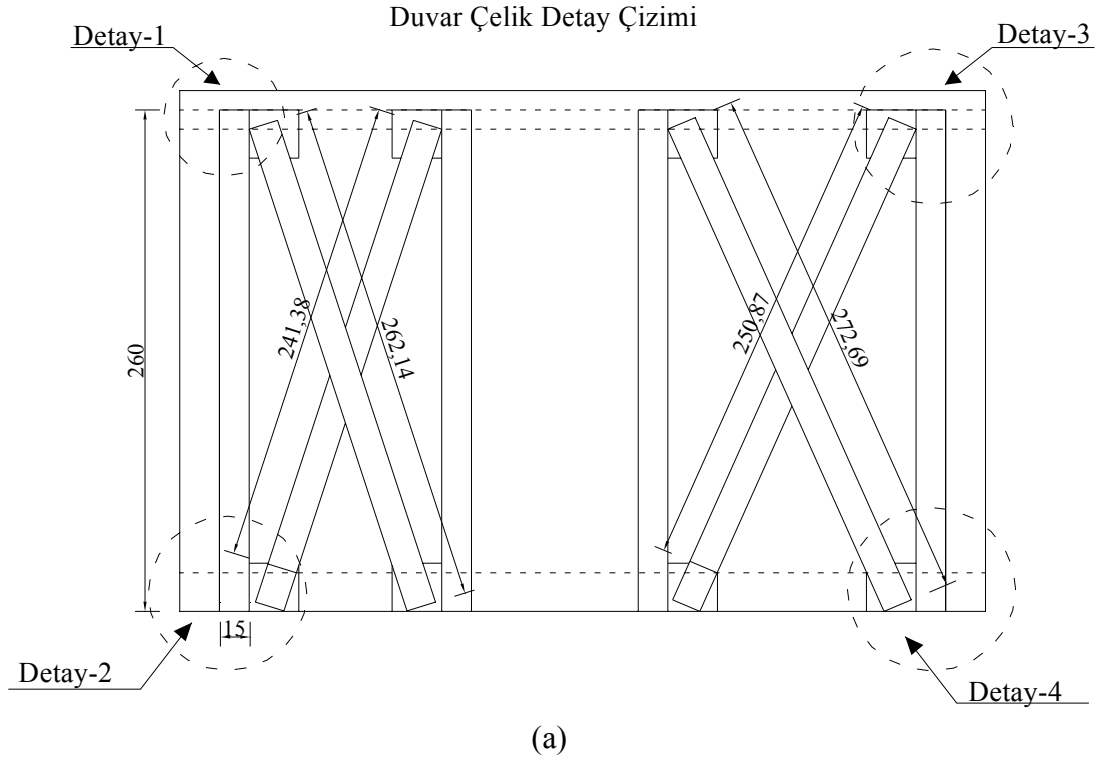
Deney Yapısı-2

Deney Yapısı-2, kontrol yapısı olan Deney Yapısı-1'den türetilmiştir. Deney Yapısı-1'e hasar verildikten sonra oluşan çatlaklar onarılmış, yükleme doğrultusundaki duvarların iç ve dış yüzeylerine düşey ve diyagonal çelik şeritler yerleştirilmiştir. Yükleme doğrultusuna dik duvarların iç ve dış yüzeylerine sadece düşey çelik şeritler yerleştirilmiştir. Duvarların iç ve dış yüzeylerindeki çelik şeritler birbirlerine çelik çubuklarla bağlanmıştır.

St-37 çelik levhalardan kesilerek hazırlanan şeritlerin kalınlığı 5 mm, genişliği 150 mm'dir. Tüm çelik şerit uygulamalarında 250x400 mm boyutunda ve 5 mm kalınlığında tasarlanan bayrak levhaları yardımıyla çelik şeritler yapının üst ve alt hatıllarına sabitlenmiştir. Çelik şeritlere ve yapının duvarlarına açılan deliklerden geçirilen çelik çubuklarla şeritler yapının duvarına somunlarla sıkıca bağlanmıştır.

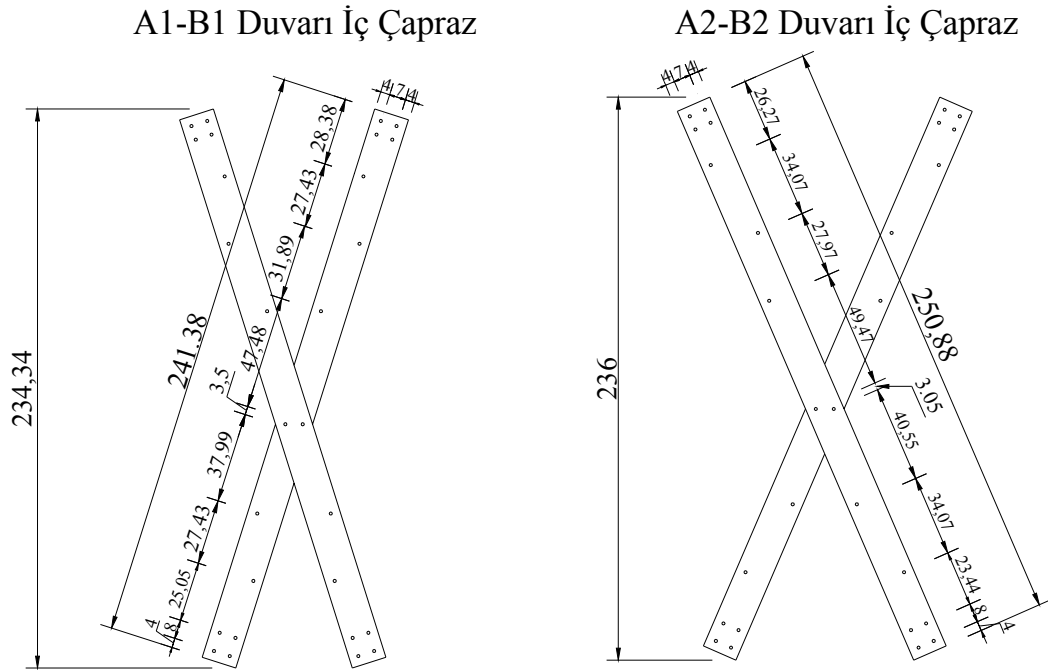
Uygulanan rehabilitasyon yönteminin simetrik olmasından dolayı duvar parçalarının yanal rijitlik oranları değişmemiştir.

Bu deney yapısının kontrol yapısına göre ağırlığındaki artışı (ΔW) 9 kN olmuş ve deney yapısının toplam ağırlığı (W) 121,28 kN olarak hesaplanmıştır. Yapı ağırlığındaki artış % 8,02'dir.



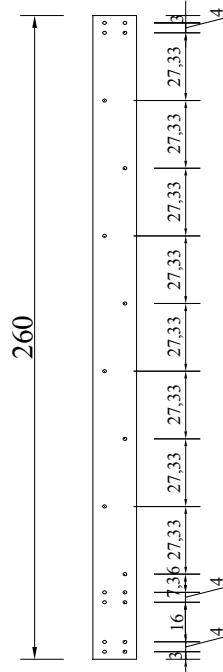
Şekil 2.2. Uygulanan rehabilitasyonun plan ve detayları (Ölçüler cm'dir.)

a) Çelik şeritlerin duvarlara yerleşimi b) Duvar dışı diyagonal şeritler

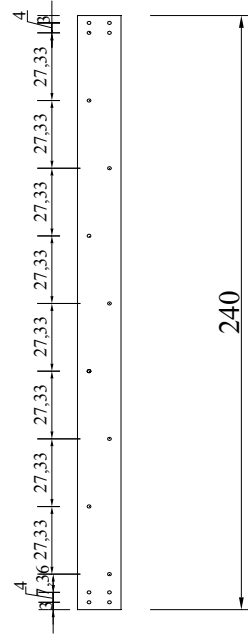


(c)

Ön Dikme



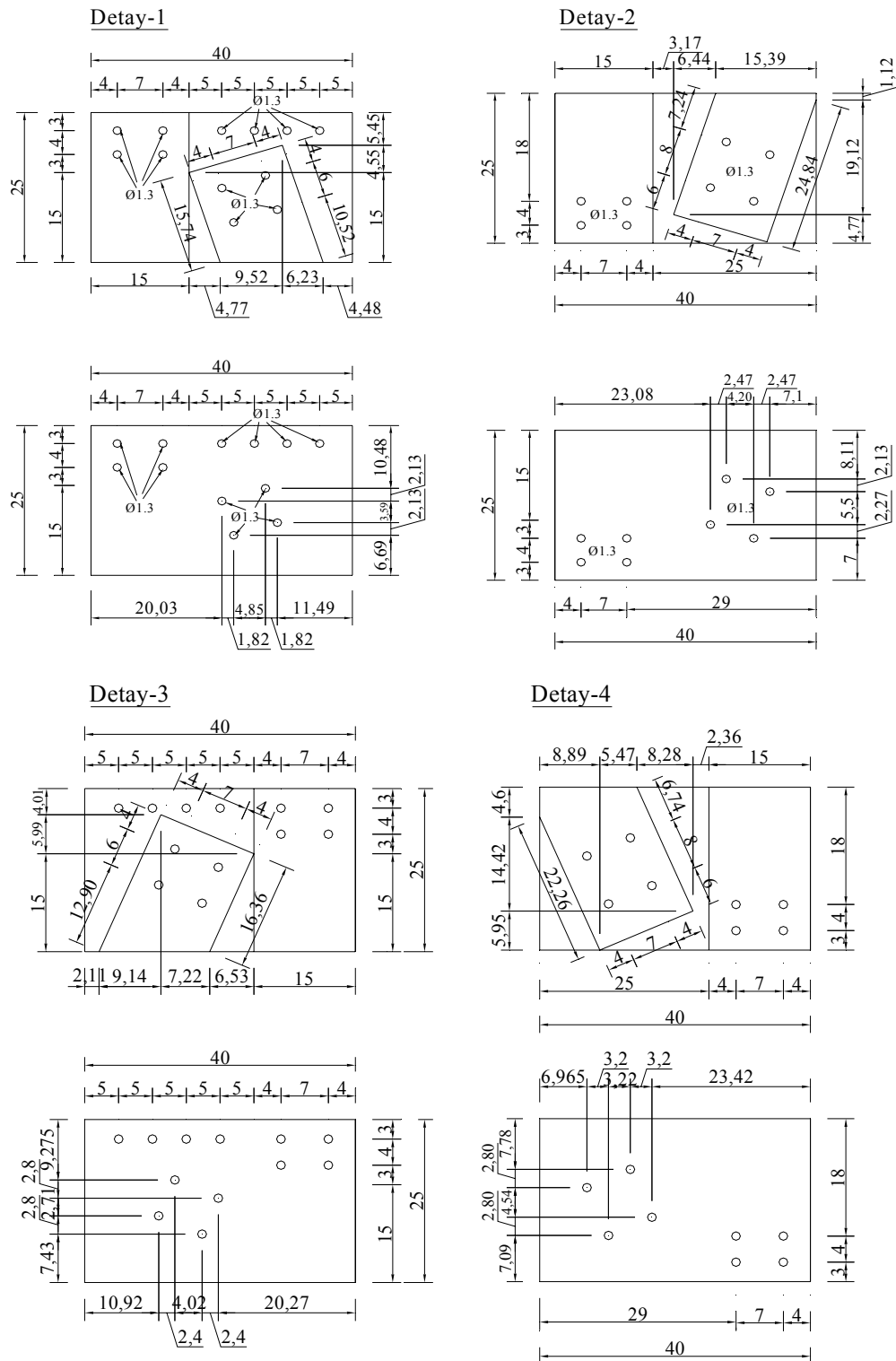
Arka Dikme



(d)

Şekil 2.2. (Devam) Uygulanan rehabilitasyonun plan ve detayları (Ölçüler cm'dir.)

c) Duvar içi diyagonal şeritler d) Düşey çelik şeritler



(e)

Şekil 2.2. (Devam) Uygulanan rehabilitasyonun plan ve detayları (Ölçüler cm'dir.)

e) Bağlantı detayları

Deney Yapısı-3

Bu deney yapısı, Deney Yapısı-2'nin yükleme yönüne dik olan doğu ve batı duvarlarında yer alan düşey çelik şeritler kaldırılarak türetilmiştir. Deney yapısının yükleme doğrultusundaki duvarlarının iç ve dış yüzeylerine düşey ve diyagonal çelik şeritler yerleştirilmiştir. Duvarların iç ve dış yüzeylerindeki çelik şeritler birbirlerine çelik çubuklarla bağlanmıştır. Çelik çubuklar 12 mm çapında ve klavuzludur. Bu bağlantı elemanları 300 mm aralıklarla yerleştirilmiştir.

Uygulanan rehabilitasyon yönteminin simetrik olmasından dolayı duvar parçalarının yanal rijitlik oranları değişmemiştir.

Bu deney elemanının kontrol elemanına göre ağırlığındaki artış (ΔW) 6,648 kN olarak hesaplanmıştır. Yapı ağırlığındaki artış % 5,92, toplam ağırlık (W) 118,928 kN olarak bulunmuştur.

Deney Yapısı-4

Deney Yapısı-4, Deney Yapısı-3'de bulunan yükleme yönündeki düşey çelik şeritler çıkartılarak elde edilmiştir. Deney yapısının yükleme doğrultusundaki duvarlarının iç ve dış yüzeylerine sadece diyagonal çelik şeritler yerleştirilmiş ve birbirlerine çelik çubuklarla bağlanmıştır.

Uygulanan rehabilitasyon yönteminin simetrik olmasından dolayı duvar parçalarının yanal rijitlik oranları değişmemiştir.

Bu deney yapısının kontrol yapısına göre ağırlığındaki artış (ΔW) 4,163 kN olarak hesaplanmıştır. Yapı ağırlığındaki artış % 3,71, toplam ağırlık (W) 116,443 kN olarak bulunmuştur.

Deney Yapısı-5

Bu deney yapısı, Deney Yapısı-4' de bulunan yükleme yönündeki duvarların iç diyagonal çelik şeritler çıkartılarak elde edilmiştir. Deney yapısının yükleme doğrultusundaki duvarlarının sadece dış yüzeylerine yerleştirilen diyagonal çelik şeritler çelik çubuklarla duvara sabitlenmiştir.

Uygulanan rehabilitasyon yönteminin simetrik olmasından dolayı duvar parçalarının yanal rijitlik oranları değişmemiştir.

Bu deney yapısının kontrol yapısına göre ağırlığındaki artış (ΔW) 2,78 kN olarak hesaplanmıştır. Yapı ağırlığındaki artış % 2.48, toplam ağırlık (W) 115,06 kN olarak bulunmuştur.

2.3. Malzeme Dayanımları

Tuğla

Deney yapısında kullanılan taşıyıcı düşey delikli tuğladan 6 adet tuğla örneği alınarak, Yapı İşleri Genel Müdürlüğü Laboratuar Şube Müdürlüğünde basınç dayanımları test edilmiş, birim hacim ağırlıkları belirlenmiştir. Bu tuğlaların basınç dayanımları ortalama $4,47 \pm 0,52 \text{ N/mm}^2$, birim hacim ağırlığı $6,8 \text{ kN/m}^3$ olarak bulunmuştur. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik'de (ABYYHY) taşıyıcı duvarlarda kullanılacak yığma yapı malzemesinin en düşük basınç dayanımı 5 N/mm^2 'dir (19). Bu tuğlalar, düşey delikli taşıyıcı tuğlalar için koşullar getiren TS-2510'a göre minimum delik oranı ve ABYYHY'nin öngördüğü minimum basınç dayanımı koşullarını sağlamamaktadır.

Harç

Deney yapısında tuğla duvar örülmesinde kullanılan harç karışım oranı, Çimento/Kum (1/6)'dır. Kullanılan harcın 28 günlük basınç dayanımı $26,05 \pm 3,55$ N/mm², harcın eğilmeden çekme dayanımı $6,35 \pm 0,64$ N/mm² olarak bulunmuştur.

Beton

Deney yapısı üretimi esnasında iki kez beton dökümü yapılmıştır. Birincisi duvar altı hatıllar, ikincisi ise döşeme ve duvar üstü hatıdır. Üst hatıl, döşeme betonu ile birlikte dökülmüştür. Beton dökümleri sırasında 3'er adet 150 mm çapında ve 300 mm yüksekliğinde silindir numune alınmıştır. Alt hatıl betonunun 28 günlük basınç dayanımı $22,36 \pm 0,40$ N/mm² üst hatıl ve döşeme betonunun 28 günlük basınç dayanımı $22,70 \pm 0,36$ N/mm² olarak bulunmuştur.

Tamir Harcı

Hasar verilen yapıdaki çatlaklar Concrecive 1406 yüksek dayanımlı tamir harcı ile onarılmıştır. Kullanılan harç iki bileşenlidir. A bileşeninin karışım oranı ağırlıkça 3,75 kg ve B bileşeni karışım oranı 1,25 kg'dır. 1 günlük eğilme mukavemeti 17 N/mm², 7 günlük eğilme mukavemeti 25 N/mm²'dir.

St-I Çelik Levha

Rehabilitasyonda 5 mm kalınlığında St-37 sınıfı çelik levhalardan kesilmiş 150 mm genişliğinde çelik şeritler kullanılmıştır. Bu sınıf çelik levhalarda, 3 mm kalınlığa kadar olanların akma dayanımı 235 N/mm², kopma dayanımı 360 N/mm²'dir. 3 mm' den kalın olan levhaların ise akma dayanımı 225 N/mm², kopma dayanımı 340 N/mm² dir.

2.4. Deney Yapılarının Üretilmesi

Deney Yapısı-1'in taşıyıcı duvarları düşey delikli tuğla duvarlardan yapılmıştır. Deney yapısının duvar altına betonu elle üretilmiş betonarme yatay hatıl yapılmıştır. Tuğla duvarın örülmesinde düz örgü kullanılmıştır. Bu örgü düz dizinin üst üste tekrarı ile olmaktadır. Düşey derzlerin üst üste gelmemesi için tuğlalar alttaki tuğlaya göre yarım tuğla boyu kaydırılarak yerleştirilir. Bu tip örgüde bağlantı boyu 1/2 tuğla boyu olmaktadır (18). Kapı ve pencere boşluğu üzerine lento konulmuştur. Duvar örülmesinde 1/6 çimento-kum karışımı kullanılmıştır. Karışım da kireç kullanılmamıştır. Deney yapısının alt hatıl betonu elle hazırlanmış, döşeme ve üst hatılı birlikte dökülmüş ve hazır beton kullanılmıştır. Beton dökümlerinde vibratör kullanılmamıştır. Beton dökümlerinde basınç dayanımlarının tespiti için 3'er adet silindir numuneler alınmıştır. Deney yapısının dış duvar yüzeylerine sıva ve çatlakların daha iyi gözlenebilmesi için kireç badana yapılmıştır (Resim 2.1, Resim 2.2 ve Resim 2.3).

Deney yapısının deney sırasında tabandan kaymasının önlemek için boşluk olmayan doğu ve batı cephesi duvarlarının iç ve dış yüzeylerinden alt hatıl ile tablaya 40x40x3 mm ebadında köşebentlerle bağlanmıştır.



Resim 2.1. Deney yapısının duvarlarının örülmesi



Resim 2.2. Deney yapısının döşeme demirleri



Resim 2.3. Deney yapısının üst hatıl ve döşeme betonunun dökümü

Deney Yapısı-2, Deney Yapısı-3, Deney Yapısı-4 ve Deney Yapısı-5, Deney Yapısı-1'den türetilmiştir. Birinci deney sonucunda hasar verilen Deney Yapısı-1 onarılmıştır. İlk deneyde oluşan çatlaklar 100 mm genişliğinde tuğla ortaya çıkacak

biçimde açılmıştır. Daha sonra bu boşluklar yüksek dayanımlı tamir harcı ile doldurulmuştur (Resim 2.4, Resim 2.5).



Resim 2.4. Deney yapısının onarılması (kuzey cephe)



Resim 2.5. Deney yapısının onarılması (güney cephe)

Deney Yapısı-2 rehabilitasyon düzeninde, yükleme doğrultusundaki duvarlarının iç ve dış yüzeylerine düşey ve diyagonal çelik şeritler, yükleme doğrultusuna dik duvarların iç ve dış yüzeylerine sadece düşey çelik şeritler yerleştirilmiştir. Çelik şeritler ve bayraklar imalathanede levhalardan gerekli ölçülerde kesilmiş ve bağlantı

delikleri delinmiştir. Hazırlanan bu elemanların deney yapısına yerinde montajı yapılmıştır. Duvarların iç ve dış yüzeylerindeki çelik şeritler birbirlerine çelik çubuklarla bağlanmıştır. Bu çubuklar 12 mm çapında ve klavuzludur. Çelik levhaların deliklerine karşılık gelen duvar ve betonarme hatıl yerleri 14 mm kalınlığında delinmiştir. Çelik şeritlere, bayrak levhalarına ve yapının duvarlarına açılan deliklerden geçirilen çelik çubuklarla şeritler yapının duvarı ile alt ve üst hatıla somunlarla sıkıca bağlanarak yapının duvarı sargılanmıştır. Yükleme yönüne dik duvarlardaki düşey çelik şeritlerin duvar alt ve üst hatıl bağlantılarında bayrak levhası bulunmamaktadır. Bu düşey çelik şeritlerin alt ve üst hatıla bağlantısı, açılan deliklerden geçen çelik çubukların her iki yüzde somunlarla iyice sıkılması ile yapılmıştır (Resim 2.6, Resim 2.7 ve Resim 2.8).



Resim 2.6. Deney Yapısı-2'nin görünümü



Resim 2.7. Deney Yapısı-2'nin iç duvarlarının görünüşü



(a)



(b)

Resim 2.8. Bağlantı detayları

a) Üst hatıla bağlantı detayı b) Alt hatıla bağlantı detayı

Deney Yapısı-3, Deney Yapısı-2'den yükleme yönüne dik olan doğu ve batı duvarlarındaki iç ve dışta bulunan düşey çelik şeritler kaldırılarak elde edilmiştir (Resim 2.9).



Resim 2.9. Deney Yapısı-3'ün görünüşü

Deney Yapısı-4, Deney Yapısı-3'de yer alan yükleme yönündeki duvarların iç ve dış yüzeylerindeki düşey çelik şeritler kaldırılarak elde edilmiştir (Resim 2.10).



Resim 2.10. Deney Yapısı-4'ün görünüşü

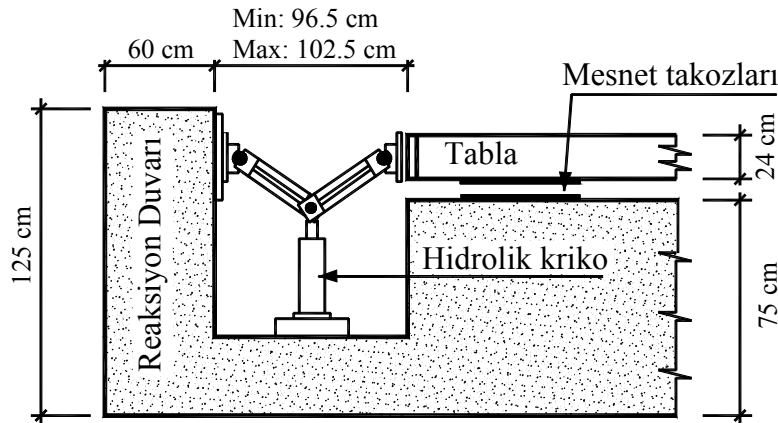
Deney Yapısı-5, Deney Yapısı-4'deki yükleme yönündeki iç duvarlardaki diyagonaller kaldırılarak elde edilmiştir (Resim 2.10).

2.5. Deney Düzeni

2.5.1. Yükleme düzeni

Deneyler, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü'nde bulunan sarsma tablasında test edilmiştir. Sarsma tablası tek doğrultuda ve her iki yönde verilen bir başlangıç ötelemesinden sonra serbest salınım yapmaktadır. Başlangıç ötelemesi, bir ucundan rijit bir duvara diğer ucundan sarsma tablasına mesnetlenen üç mafsallı labil bir çelik çubukla verilmektedir (Şekil 2.3). Serbest salınım sırasında tabla üzerinde depremlerde oluşan atalet kuvvetlerine benzer atalet kuvvetleri oluşur ve bu kuvvetler yapılara depremlerde oluşan kuvvetlerin yaptıkları etkilere benzer etkileri ve hasarı oluşturmaktadır. Testler 30-65 mm arasında değişen 17 adet doğu ve batı yönlü başlangıç ötelemesi verilerek gerçekleştirilmiştir.

Sarsma tablası neopren takozlar üzerinde oturmaktadır. Takozlar 50 mm kadar elastik yatay öteleme yapabilmektedirler. İki sıra üst üste konuldukları için tablaya toplam 100 mm yatay öteleme yaptırılabilir. Ancak deneylerde emniyet amacı ile en çok 65 mm yatay öteleme yaptırılmaktadır. Üzerine model yapı konulan tablanın boyutları sarsma yönünde 6 metre diğer yönde 5 metredir. Neopren takozlar üzerindeki tabla yüzeyi çelik profil çerçeveden oluşmakta ve arası betonarme betonu ile doldurulmuştur. Tablanın boş iken ağırlığı 20.5 ton'dur.



Şekil 2.3. Sarsma tablasının yükleme düzeneği

2.5.2. Ölçüm düzeni

Deneyleerde sarsma tablası ve deney yapısının üst döşemesine konulan 2 adet Akashi marka JEP-6A3 model, 3 bileşenli ve frekans bandı 0.2-20 Hz arasında düz olan algılayıcılar kullanılmıştır. Bu algılayıcılar ile ivme verileri Datamark LS-8000WD model data kayıtçısına saklanmıştır (Resim 2.11). Sarsma tablasının tek yönlü olması nedeni ile çalışmada kayıtlardan yalnızca salınım yönü olan doğu-batı bileşeni kullanılmıştır. İvme kayıtlarında eksen düzeltmesi uygulanmış, filtreleme yapılmamıştır.

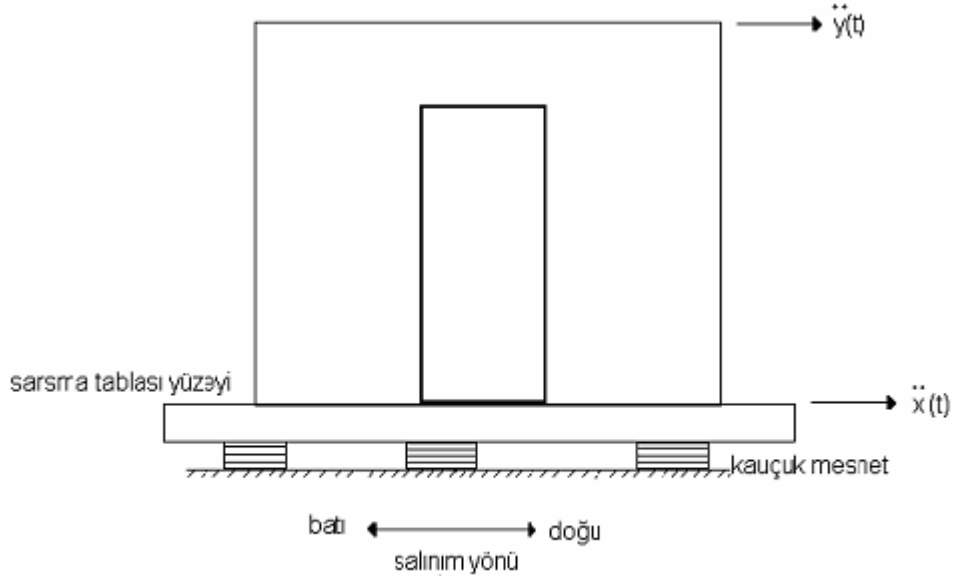


Resim 2.11. Deneylerde kullanılan ivme kayıtçısı ve algılayıcısı

İşaret Uyumu

Sarsma tablasına batı yönünden doğu yönünde doğru başlangıç ötelemesi verilerek yapılan yüklemeler pozitif, doğu yönünden batı yönüne doğru başlangıç ötelemesi verilerek yapılan yüklemeler negatif yönlü olarak adlandırılmıştır. Pozitif yönlü ötelemelerde tabla ilk hareketini batı yönünde yapmaktadır. Bu yönde oluşan deplasman ve kuvvetler pozitif (+) yönlü olarak tanımlanmıştır. Negatif yönlü

yüklemelerde, tabla ilk hareketini doğu yönünde yapmaktadır. Bu yönde oluşan deplasman ve kuvvetler negatif (-) yönlü olarak tanımlanmıştır (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Sistemin hareket biçimi ve oluşan ivmeler

2.5.3. Ölçümlerin değerlendirilmesi

Deney Yapısına Gelen Kuvvetler

Deney yapısına gelen kuvvetler ivme kayıtlarından bulunmuştur. Deney yapısının çatısında ölçülen ivme ile kütlesi çarpılarak her bir yüklemde gelen atalet kuvvetleri hesaplanmıştır.

$$F = m\ddot{y}(t) \quad [2.9]$$

Bu eşitlikte F ; deney yapısına gelen atalet kuvveti, m ; yapının kütlesi, $\ddot{y}$; deney elemanının çatısında ölçülen ivmedir.

Kayma Gerilmesi Hesabı

Yapıya gelen kuvvetler duvar rijitlikleri oranında duvar parçalarına dağıtılmış, duvar parçalarının kesit alanlarına bölünerek kayma gerilmesi hesaplanmıştır. Kayma

gerilmesinin hesabında gelen kuvvetlerin tümünün yükleme doğrultusunda olan duvarlar tarafından karşılandığı varsayılmıştır. Hasarla birlikte değişen duvar parçalarının yanal rijitliklerinin sabit olduğu varsayılmıştır. Bu nedenle oluşan gerilmeler nominal kayma gerilmesidir.

$$\tau = F / A_d \quad [2.10]$$

Eşitlikte τ duvar parçasında oluşan kayma gerilmesi, F duvar parçasına gelen kuvvet ve A_d duvar alanıdır.

Kat Yanal Deplasman Hesabı

Deney yapısının döşeme üstüne ve sarsma tablasının üzerine konulan ivme kayıtları ile alınan ivme kayıtlarının, iki kez nümerik integrali alınarak tabla üzerinde ve çatıda oluşan deplasmanlar hesaplanmıştır. Çatıdaki deplasmandan sarsma tablasındaki deplasmanlar çıkartılarak relatif deplasmanlar bulunmuştur. Kat yanal deplasmanları her yükleme adımı için hesaplanmıştır.

$$y_r(t) = y(t) - x(t) \quad [2.11]$$

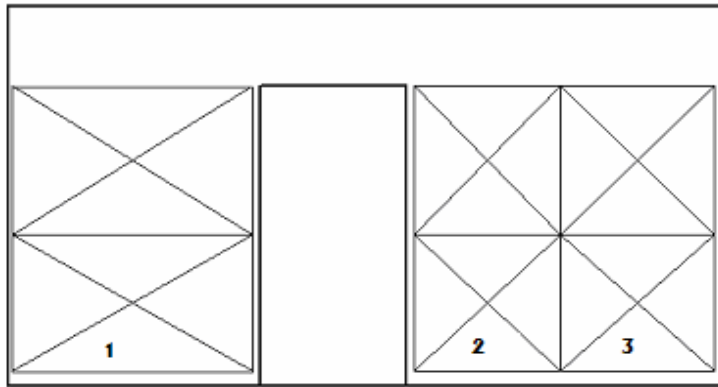
Bu eşitlikte $y_r(t)$; deney yapısının yaptığı relatif yanal deplasman, $y(t)$; deney yapısının üst döşemesinin yaptığı yanal deplasman, $x(t)$; sarsma tablasının yaptığı yanal deplasmandır.

Kayma Birim Deformasyonu Hesabı

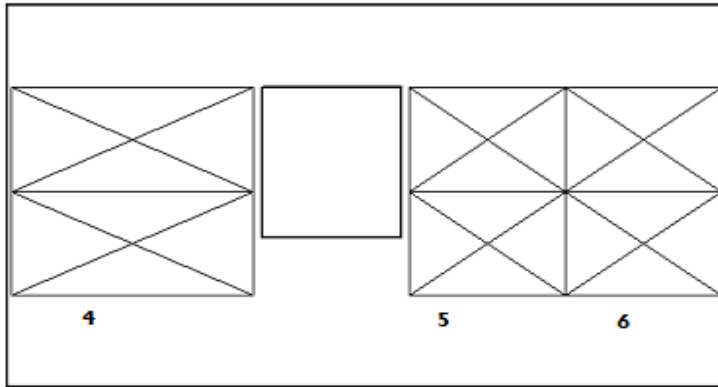
Deney yapısının sarsma yönündeki duvarlarında , bu yönde düzlemleri içine olan kalıcı deformasyonlar ölçülmüştür. Birim kesme deformasyonu Eş. 2.12'den hesaplanmıştır (20). Karelaj noktaları arası mesafe metreyle ölçülmüştür.

$$\gamma = \frac{(d'_1 - d_1)d_1 - (d'_2 - d_2)d_2}{2hL} \quad [2.12]$$

Eşitlikte h ve L karelajın boyu ve yüksekliği, d_1 , d_2 başlangıç diyagonal uzunluk, d'_1 , d'_2 yükleme adımıyla ölçülen diyagonal uzunluktur. Kesme deformasyonu sadece Deney Yapısı-1’de ölçülmüştür. Diğer deney yapılarında belirgin bir hasar meydana gelmediği için ölçüm yapılmamıştır. Deney yapısında ölçüm alınan yerler Şekil 2.5’de verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 2.5. Kayma birim deformasyonu ölçüm yerleri

a) Güney cephesi b) Kuzey cephesi

Deney Yapısının Dinamik Parametrelerinin Belirlenmesi

Yapıların en önemli dinamik özellikleri periyot ve sönümdür. Doğrusal ve elastik davranmayan yapıların periyot ve sönümü yapıya gelen yatay yük düzeyine bağlıdır. Periyot ve sönüm arttıkça gelen yatay kuvvet azalacaktır. Yapıların tasarımında,

hesaplanan ya da seçilen periyot ve sönüm değerleri tasarım yüklerini belirlerken, bu parametreler deprem sırasında yapının hasarına, dolayısı ile inelastik davranışına bağlı olarak değişmektedir.

Deney yapısının yapı ile tabla arasındaki etkileşimi ortadan kaldırmak ve salt yapı davranışını elde etmek için çatısında ve tabla üzerindeki ivme kaydının fourier transformu alınıp oranlanarak frekans ortamındaki tepki fonksiyonu bulunmuştur. Periyot ve sönüm tepki fonksiyonundan hesaplanmıştır (21-23).

Deney yapısı tek serbestlik dereceli sisteme sahiptir. Bu sistemin zaman ortamında hareket denklemi:

$$m\ddot{y} + c\dot{y}_r + ky_r = 0 \quad [2.13]$$

şeklinde ifade edilmektedir. Bu eşitlik yapının tabanına göre yaptığı relatif deplasmana göre ise:

$$m\ddot{y}_r + c\dot{y}_r + ky_r = -m\ddot{x} \quad [2.14]$$

olarak tekrar yazılabilir. Eşitliklerde y ; deney yapısının üst döşemesinin yaptığı yanal deplasman, y_r ($y_r = y - x$); deney yapısının yaptığı relatif yanal deplasman, x ; sarsma tablasının yaptığı yanal deplasman, k ; elastik yay sabiti, c ; sönüm katsayısıdır.

Çatı ve tabla üzerindeki ivme kaydının frekans ortamındaki tepki fonksiyonu

$$H_c(\omega, \xi) = \frac{Y(\omega)}{X(\omega)} = H_R(\omega) + iH_I(\omega) \quad [2.15]$$

olmaktadır. Eşitlikte Y , X ve H kompleks sayıdır. $H_c(\omega, \xi)$; İvme kayıtlarından hesaplanan, frekans ortamındaki tepki fonksiyonudur. Tepki fonksiyonunun genliği sanal ve gerçek sayı bileşenlerinin karelerinin toplamının kareköküne eşittir.

$$|H_c| = \sqrt{H_R^2 + H_I^2} \quad [2.16]$$

Eş. 2.15’de $Y(\omega)$ deney yapısının çatısında kaydedilen ivmenin frekans ortamındaki fourier transformu olup

$$Y(\omega) = FT(\ddot{y}(t)) \quad [2.17]$$

olarak ifade edilmektedir.

$X(\omega)$; sarsma tablası üzerinde kaydedilen ivmenin frekans ortamındaki fourier transformudur.

$$X(\omega) = FT(\ddot{x}(t)) \quad [2.18]$$

Tek serbestlik dereceli sistemlerin hareket denkleminde göre frekans ortamındaki tepki fonksiyonu;

$$H_a(\omega, \xi) = \left[\frac{1}{(1 - \beta^2) + i(2\xi\beta)} \right] \quad [2.19]$$

olarak ifade edilmektedir. Eşitlikte $H_a(\omega, \xi)$ analitik olarak hesaplanan frekans ortamındaki tepki fonksiyonudur. Eşitlikte $\beta = \omega/\omega_n$ olup, ω_n yapının doğal titreşim açısal frekansı, ω zorlamanın açısal frekansıdır. Bu tepki fonksiyonunun genliği

$$|H_a| = \sqrt{H_R^2 + H_I^2} \quad [2.20]$$

olmaktadır.

İvme kayıtlarından bulunan frekans ortamındaki tepki fonksiyonun (H_c) genliği ile tek serbestlik dereceli sistemin hareket denkleminde elde edilen tepki

fonksiyonunun (H_a) genliğinin eşitlenmesiyle deney yapısının periyot ve sönümü hesaplanmıştır.

Rijitlik Hesabı

Deney yapısının her yükleme adımında frekans ortamındaki kompleks tepki fonksiyonundan bulunan periyotlar, hareket denkleminde bulunan periyoda eşitlenerek rijitlikler bulunmuştur. Tepki fonksiyonu hareketin tümünü temsil ettiği için Eş. 2.21'den bulunan rijitlik değeri etkin yanal rijitlik olarak tanımlanmıştır.

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{K_e}{m}}} \quad [2.21]$$

Tüketilen Enerji

Yığma yapıların sünek olmamasından dolayı elastik ötesi davranış ile enerji tüketmesi çok düşüktür. Ancak sönüm yoluyla oldukça yüksek enerji tüketim kapasitelerine sahiptirler. Yapıya gelen atalet kuvveti Eş. 2.9'da verilmektedir. Bu kuvvet elastik kuvvet ($k y_r$) ile sönüm kuvvetinin ($c \dot{y}_r$) toplamına eşittir. Eş. 2.22'de verilen enerji yapının elastik kuvvet ve sönüm kuvvetinin yaptığı enerjiye eşit olmaktadır (24).

$$E = \int (m\ddot{y})dx \quad [2.22]$$

Bu eşitlikte E; sönüm ve elastik kuvvetin tükettiği enerji, m; kütle, y deney yapısının üst döşemesinin yaptığı yanal deplasman, x tablanın yaptığı deplasmandır.

3. DENEYLER

Bu bölümde deney programında yer alan yapıların deneyleri anlatılmıştır. Deney yapısının her bir yüklemesinde gözlenen davranışı ve deney sırasında dikkati çeken ayrıntılar yükleme sırası ile verilmiştir. Deney sırasında önemli hasarın gözlemlendiği yüklemelerde oluşan hasarlar anlatılmış, yüklemeye ait resimler anlatımın sonunda verilmiştir.

Sarsma tablasına başlangıç ötelemesi verilerek yapılan her yüklemde, deney yapısında ölçülen ivmeler ile yapı ağırlığı (W) çarpılarak her bir yükleme adımında oluşan kuvvetler hesaplanmıştır. Bu hesaplamalarda, elastik ötesi davranış sonucunda duvar rijitliklerindeki değişim ihmal edilmiş, sabit olduğu varsayılmıştır.

Tüm deneylerde, her bir yükleme için sarsma tablası ve deney yapısının çatısında ölçülen ivme, fourier transformu oran grafikleri (tepki fonksiyonu), deney yapısının salınım süresince yaptığı relatif yanal öteleme, deney yapısına gelen yatay kuvvet-yanal ötelenme oranı, salınım süresince elastik kuvvet ve sönüm kuvvetinin tükettiği enerji grafikleri verilmiştir.

3.1. Deney Yapısı-1

Bu deney yapısı, rehabilitasyonu yapılan deney yapıları ile karşılaştırmak amacıyla üretilmiş kontrol yapısıdır. Deney yapısına, sarsma tablasına sırası ile +30, +30, +40, +40, -40, -40, -50, -50, +50, +50, +55, +55, +55, +55, -55, -65, +65 mm başlangıç ötelenmeleri verilerek toplam 17 kez dinamik kuvvet verilmiştir. Deney yapısının rehabilitasyonu yapılacak olması nedeni ile yüklemeler sonucunda, deney yapısında onarılabilir ve rehabilitasyonu yapılabilir düzeyde hasar oluşturulduktan sonra deney sona erdirilmiştir.

Deney yapısında ilk dört yüklemde çatlak meydana gelmemiştir. Hasarın geliştiği yüklemeler sırası ile aşağıda anlatılmıştır.

Beşinci yükleme: +40 mm başlangıç ötelemesi verilerek yapılan beşinci yüklemede kuzey cephedeki pencerenin sol alt köşesinde 45^0 açı ile ilerleyen kılcal ve sürekli olmayan çatlaklar meydana gelmiştir (Resim 3.1).



Resim 3.1. Deney Yapısı-1'in 5. yükleme sonunda görünüşü

7. yükleme: -50 mm başlangıç ötelemesi verilerek yapılan yedinci yüklemede güney cephenin sağ alt köşesinde çatlaklar oluşmuş ve bu köşedeki sıvada kabarmalar meydana gelmiştir.



Resim 3.2. Deney Yapısı-1 güney cephenin 7. yükleme sonunda görünüşü

Onbirinci yükleme: +55 mm başlangıç ötelemesi verilerek yapılan on birinci yüklemede, kuzey ve güney cephe duvarlarında kapı ve pencere kenarlarından alt ve üst köşelere doğru diyagonal biçimde kılcal çatlaklar meydana gelmiştir. Yükleme yönüne dik olan doğu cephesi duvarında, alt hatıl üzerinden 250 mm yukarıda yatay biçimde ve duvar boyunca ilerleyen çatlak oluşmuştur.



Resim 3.3. Deney Yapısı-1 güney cephenin 11. yükleme sonunda görünüşü



Resim 3.4. Deney Yapısı-1 kuzey cephenin 11. yükleme sonunda görünüşü



Resim 3.5. Deney Yapısı-1 doğu cephenin 11. y¼kleme sonunda g¼r¼n¼ř¼

Onikinci y¼kleme: +55 mm başlangıç ¼teleme verilerek yapılan onikinci y¼klemede oluşan diyagonal çatlakların genişliğinde artma meydana gelmiştir. Yer yer sıva d¼k¼lmesi olmuştur.



Resim 3.6. Deney Yapısı-1 g¼ney cephenin 12. y¼kleme sonunda g¼r¼n¼ř¼



Resim 3.7. Deney Yapısı-1 kuzey cephenin 12. yükleme sonunda görünüşü



Resim 3.8. Deney Yapısı-1 kuzey cephenin 12. yükleme sonunda görünüşü

Onüçüncü yükleme: Sarsma tablasına +55 başlangıç ötelemesi verilerek yapılan bu yüklemede daha önceki yüklemelerde oluşan çatlaklarda genişleme olmuştur. Çatlaklar kapı ve pencere boşluklarından alt ve üst hatıl köşelerine doğru ilerlemiş ve tamamen birleşmiştir. Yükleme yönüne dik duvarlarda oluşan yatay çatlaklar

ilerlemiş ve genişliği artmıştır. Kesme çatlakları derzlerin yanında tuğlayı da keserek ilerlemiştir.



Resim 3.9. Deney Yapısı-1 kuzey cephenin 13. yükleme sonunda görünüşü



Resim 3.10. Deney Yapısı-1 güney cephenin 13. yükleme sonunda görünüşü



Resim 3.11. Deney Yapısı-1 batı cephenin 13. yükleme sonunda görünüşü



Resim 3.12. Deney Yapısı-1 kuzey cephe iç duvarın 13. yükleme sonunda görünüşü

Ondördüncü yükleme: +55 mm başlangıç ötelemesi verilerek yapılan bu yükleme adımımda önceki yüklemelerde oluşan çatlaklar genişlemiştir.



Resim 3.13. Deney Yapısı-1 kuzey cephenin 14. yükleme sonunda görünüşü



Resim 3.14. Deney Yapısı-1 güney cephenin 14. yükleme sonunda görünüşü

Onbeşinci yükleme: Sarsma tablasına -55 mm başlangıç ötelemesi verilerek yapılan bu yükleme adımımda önceki yüklemelerde oluşan çatlaklar genişlemiştir. Köşe birleşim yerlerinde ezilmeden dolayı dökülmeler başlamıştır.



Resim 3.15. Deney Yapısı-1 güney cephenin 15. yükleme sonunda görünüşü

Onaltıncı yükleme: Sarsma tablasına -65 mm başlangıç ötelemesi verilerek yapılan bu yükleme adımında önceki yüklemelerde oluşan çatlaklar genişlemiştir.



Resim 3.16. Deney Yapısı-1 kuzey cephenin 16. yükleme sonunda görünüşü



Resim 3.17. Deney Yapısı-1 batı cephenin 16. yükleme sonunda görünüşü

Onyedinci yükleme: Sarsma tablasına +65 mm başlangıç ötelemesi verilerek yapılan bu yükleme adımı sonunda kapı ve pencere köşelerinden, üst ve alt hatıl köşelerine doğru diyagonal uzanan çatlaklar boyunca duvarlar birbirinden ayrılmıştır. B2 duvar parçasında pencere köşesinden üst hatıla doğru derzlerden ve tuğla duvardan geçen diyagonal çatlağın en büyük genişliği 12 mm düzeyine ulaşmıştır. Yine bu duvar parçasında alt hatıldan pencere alt köşesine doğru derzlerden geçen çatlağın en büyük genişliğinin 8 mm mertebesine ulaştığı görülmüştür. B1 duvar parçasında, pencerenin alt köşesinden alt hatıla doğru ilerleyen diyagonal çatlağın boyutu 8 mm olarak ölçülmüştür. Yine bu duvar parçasında pencere alt köşesindeki tuğlanın derzinden 15 mm genişliğinde ayrılma meydana gelmiştir. B1 duvar parçasının pencere üst köşesinden üst hatıla doğru ilerleyen diyagonal çatlağın en büyük genişliği ise 5 mm düzeyindedir. A1 duvar parçasının üst hatıldan kapı üst köşesine doğru ilerleyen diyagonal çatlağın en büyük genişliği 10 mm düzeyindedir. Yine bu duvar parçasında alt hatıldan kapı alt köşesine doğru ilerleyen diyagonal çatlağın en büyük genişliği 15 mm mertebesinde olduğu gözlenmiştir. Çatlak boyunca bazı tuğlalarda ezilme meydana gelmiştir. A2 duvar parçasında kapı üst köşesinden üst hatıla doğru ilerleyen diyagonal çatlağın en büyük boyutu 4 mm olarak gözlenmiştir. A2 duvar parçasının alt hatıl ile kapı alt köşesi boyunca ilerleyen çatlakların en

büyük genişliği ise 7 mm olarak ölçülmüştür. Yine bu çatlak boyunca bazı tuğlalarda ezilmeler meydana gelmiştir.

Doğu ve batı cephe duvarları alt hatıl üzerinden ayrılmış, çatlaklar duvar boyunca ilerlemiştir. Doğu cephesi duvarda oluşan çatlak genişliği 2-3 mm , batı cephesindeki duvarda da 1-2 mm düzeyinde olmuştur.



Resim 3.18. Deney Yapısı-1 kuzey cephenin 17. yükleme sonunda görünüşü



Resim 3.19. Deney Yapısı-1 güney cephenin 17. yükleme sonunda görünüşü



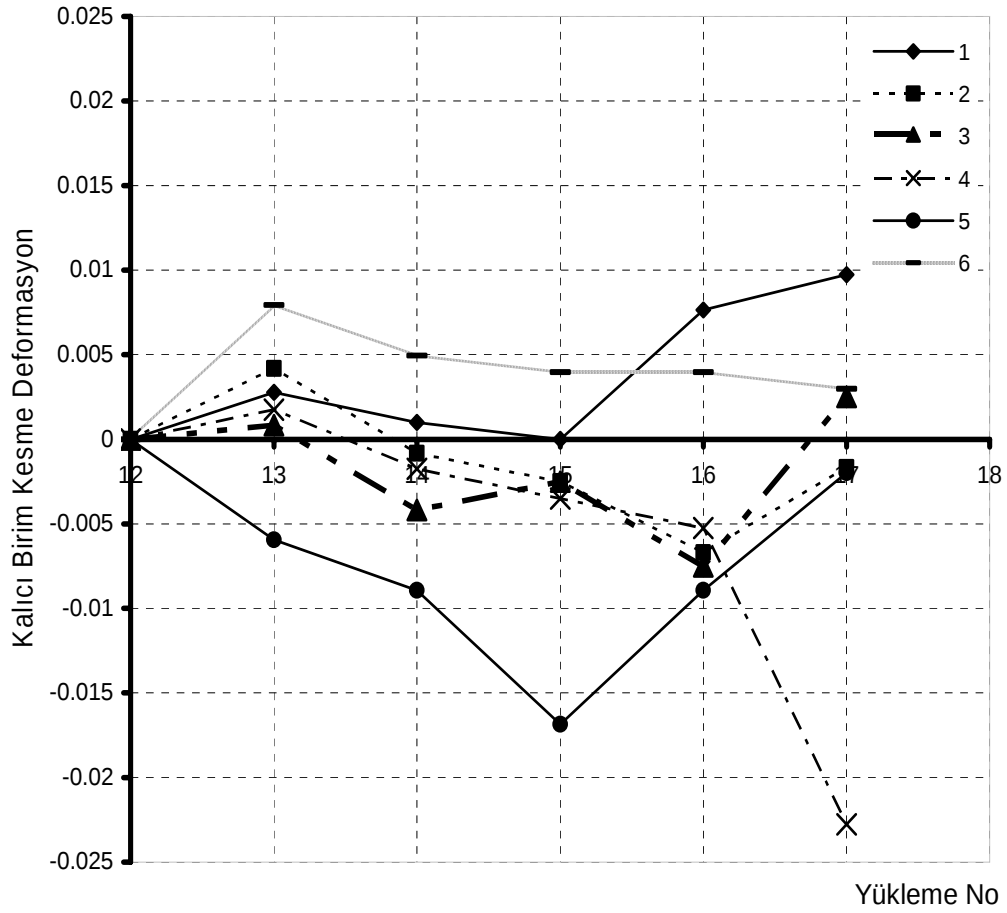
Resim 3.20. Deney Yapısı-1 doğu cephenin 17. y¼kleme sonunda g¼r¼n¼ř¼

Artan başlangıç ¼telemeleri ile birlikte yapıya gelen atalet kuvvetleri artmıştır. Her y¼kleme adımındaki sarsma tablası ve deney yapısının ¼zerinde ¼lç¼len ivme değerleri ile yapıya gelen atalet kuvvetleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Yapı ¼zerinde 13. y¼klemeden sonra belirgin d¼zeyde çatlaklar olduğundan bu y¼klemeden sonra birim kesme deformasyonları ¼lç¼lm¼řt¼r. Sarsma y¼n¼ndeki duvarlarda ¼lç¼len en b¼y¼k kalıcı birim kesme deformasyonu 0,023 ve 0,01 kadar olmuştur (şekil 3.1). ¼lç¼mlerde karelajlar arası mesafe metre ile ¼lç¼ld¼đ¼ için hata payının olduğu unutulmamalıdır.

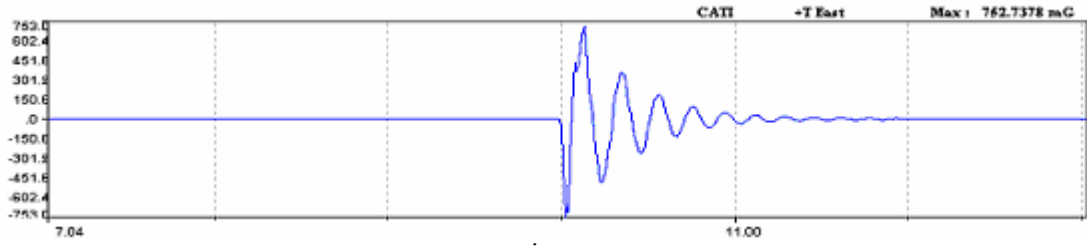
Çizelge 3.1. Deney Yapısı-1’de her yükleme adımında ölçülen ivme ve gelen kuvvet

Yükleme No	Başlangıç Ötelemesi (mm)	Tabla İvme- a (cm/sn ²)	Çatı İvme- a (cm/sn ²)	Yatay Yük Katsayısı ($C=a/g$)	Yatay Kuvvet (kN) $F=C \times W$
1	+30	624,80	752,73	0,77	86,46
2	+30	638,90	730,41	0,74	83,09
3	+40	1027,89	1191,60	1,21	135,86
4	+40	1067,22	1209,05	1,23	138,10
5	-40	633,13	855,03	0,87	97,68
6	-40	672,73	786,03	0,80	89,82
7	-50	1098,91	1251,16	1,28	143,72
8	-50	1086,31	1299,57	1,32	148,21
9	+50	1451,37	1680,82	1,71	192,00
10	+50	1332,97	1840,62	1,88	211,09
11	+55	1680,40	2090,27	2,13	239,16
12	+55	1799,42	1959,75	2,00	224,56
13	+55	1884,35	2010,03	2,05	230,17
14	+55	1819,90	1926,03	1,96	220,07
15	-55	1382,41	1690,03	1,72	193,12
16	-65	2106,57	2154,22	2,20	247,02
17	+65	2297,08	1707,75	1,74	195,37

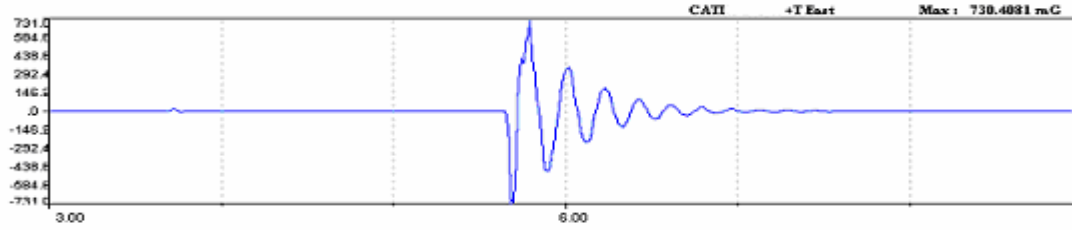


Şekil 3.1. Deney Yapısı-1'in duvarlarında ölçülen kalıcı birim kesme deformasyonu

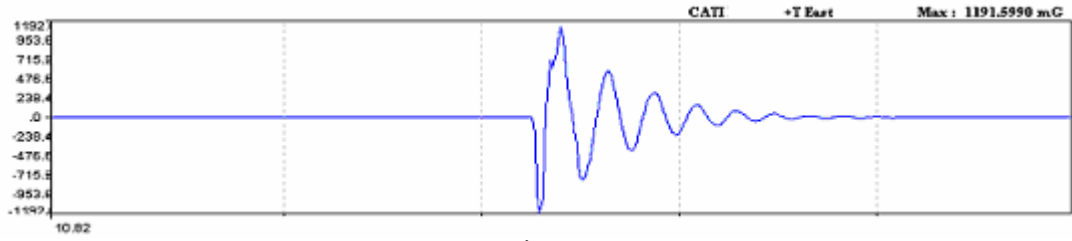
Sarsma tablasına verilen başlangıç ötelemesi arttıkça yapıya gelen kuvvetler ve relatif yanal ötelenme miktarı artmıştır. Pozitif yönlü yüklemelerden sonra yapılan negatif yönlü yüklemelerde ivme genliğinin azalması nedeniyle gelen kuvvet ve deplasmanlarda azalma olmuştur. Bu deneyde her yükleme adımı için deney yapısının çatısında ölçülen ivme kayıtları Şekil 3.2'de, sarsma tablası üzerinde ölçülen ivme kayıtları Şekil 3.3'de verilmiştir. Her yükleme için deney yapısının çatısındaki ve tablasındaki ivme kayıtlarının fourier transformu oranı (tepki fonksiyonu) grafiği Şekil 3.4'de, salınım süresince yapılan relatif yanal deplasman grafiği Şekil 3.5'de, yatay yük katsayısı-ötelenme oranı grafiği Şekil 3.6'da ve tüketilen enerji Şekil 3.7'de verilmiştir.



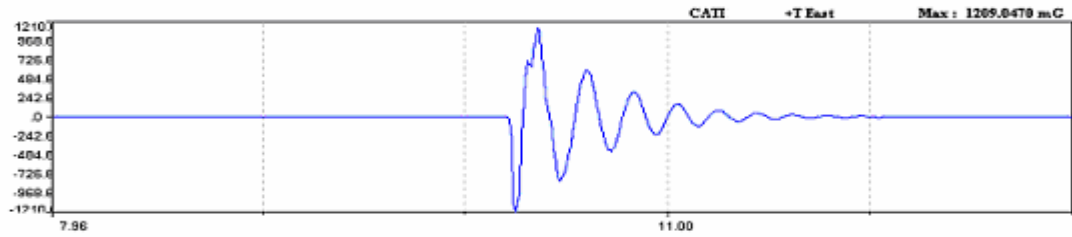
a) 1. Yükleme Çatı İvme Kaydı (+30 mm)



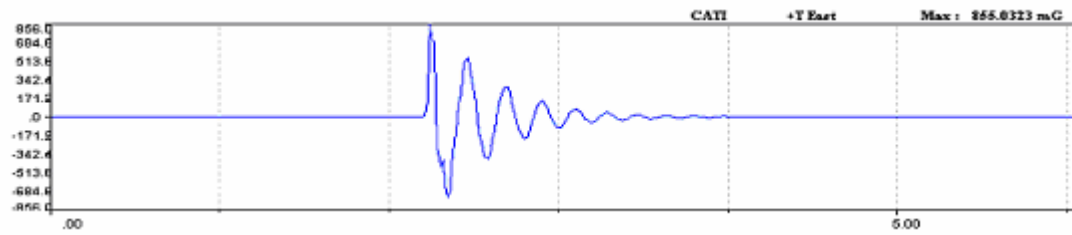
b) 2. Yükleme Çatı İvme Kaydı (+30 mm)



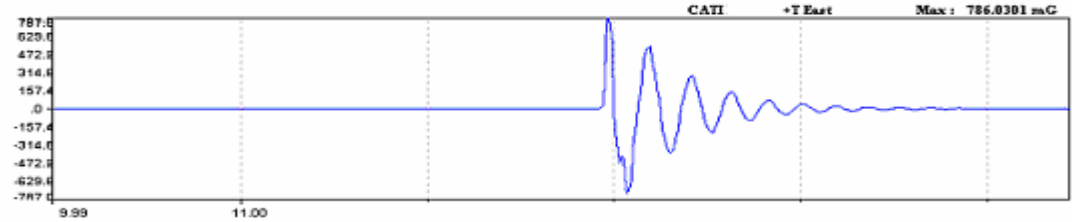
c) 3. Yükleme Çatı İvme Kaydı (+40 mm)



d) 4. Yükleme Çatı İvme Kaydı (+40 mm)

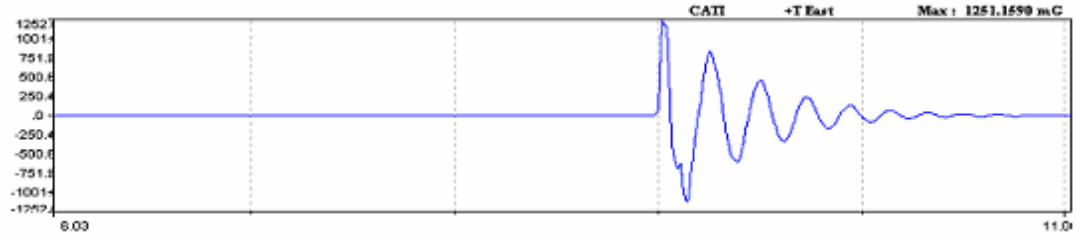


e) 5. Yükleme Çatı İvme Kaydı (-40 mm)

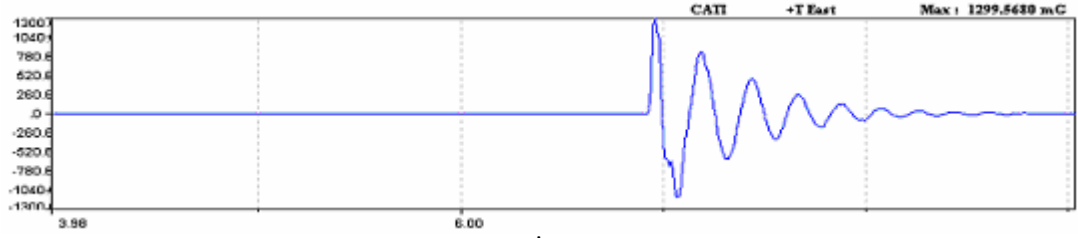


f) 6. Yükleme Çatı İvme Kaydı (-40 mm)

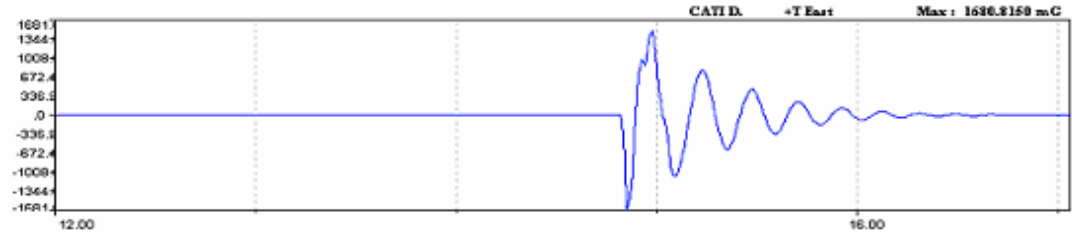
Şekil 3.2. Deney Yapısı-1 çatı ivme kayıtları (düşey eksen ivme-cm/sn², yatay eksen zaman-sn.)



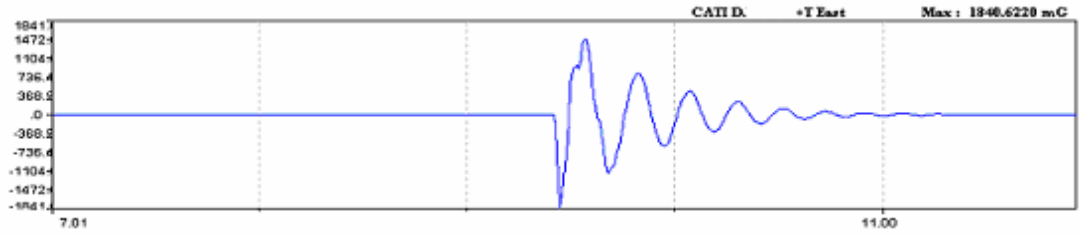
g) 7. Yükleme Çatı İvme Kaydı (-50 mm)



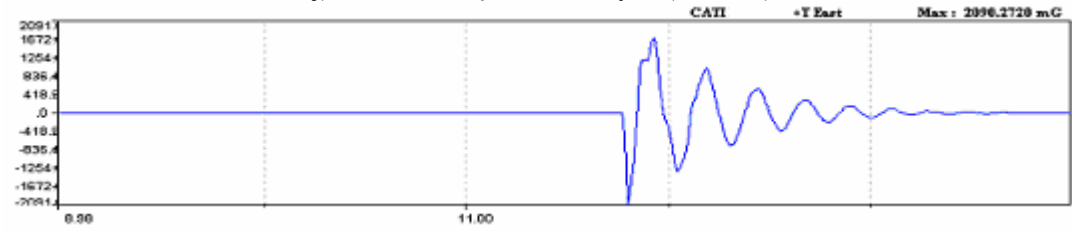
h) 8. Yükleme Çatı İvme Kaydı (-50 mm)



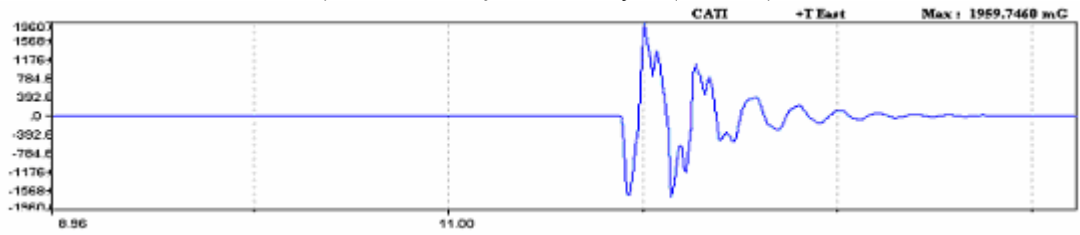
i) 9. Yükleme Çatı İvme Kaydı (+50 mm)



j) 10. Yükleme Çatı İvme Kaydı (+50 mm)

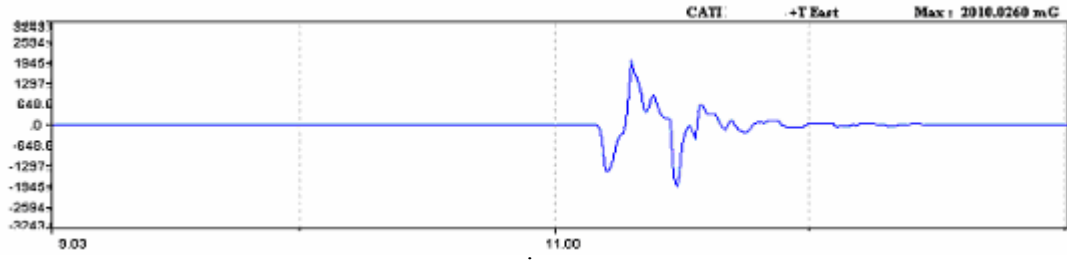


k) 11. Yükleme Çatı İvme Kaydı (+55 mm)

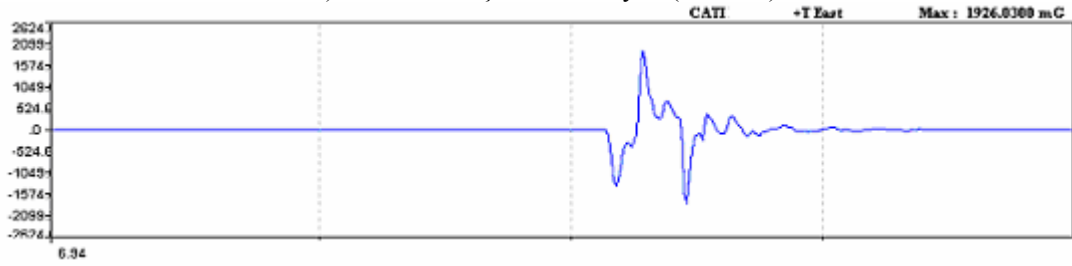


l) 12. Yükleme Çatı İvme Kaydı (+55 mm)

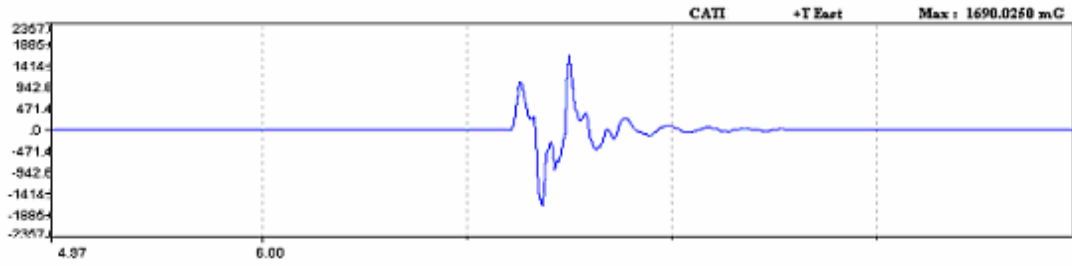
Şekil 3.2. (Devam) Deney Yapısı-1 çatı ivme kayıtları



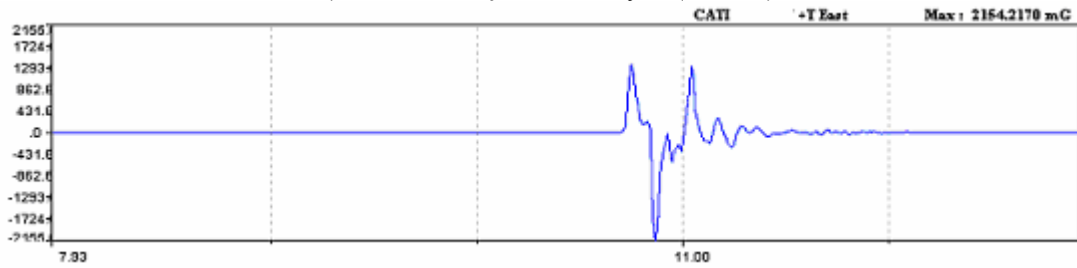
m)13. Yükleme Çatı İvme Kaydı (+55 mm)



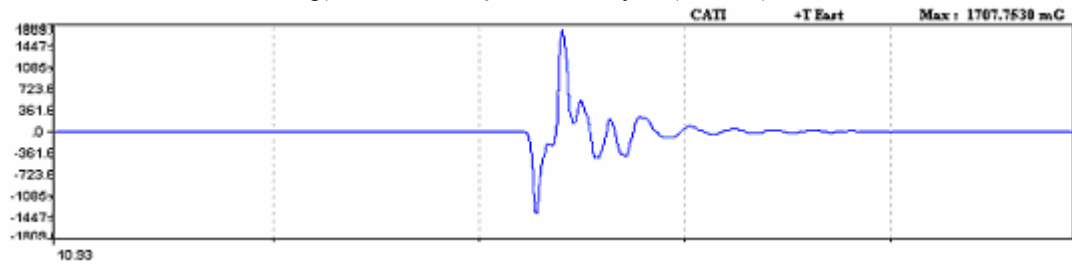
n)14. Yükleme Çatı İvme Kaydı (+55 mm)



o)15. Yükleme Çatı İvme Kaydı (-55 mm)

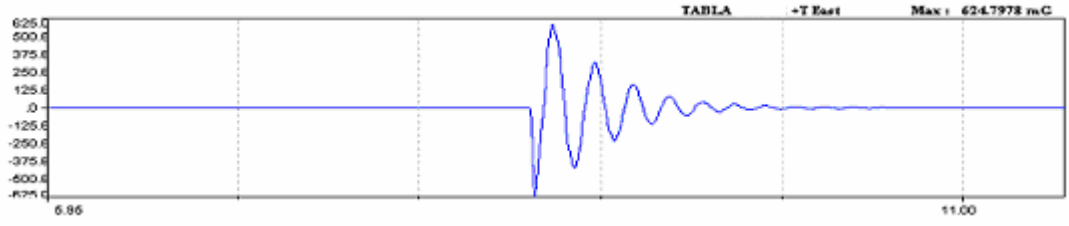


p)16. Yükleme Çatı İvme Kaydı (-65 mm)

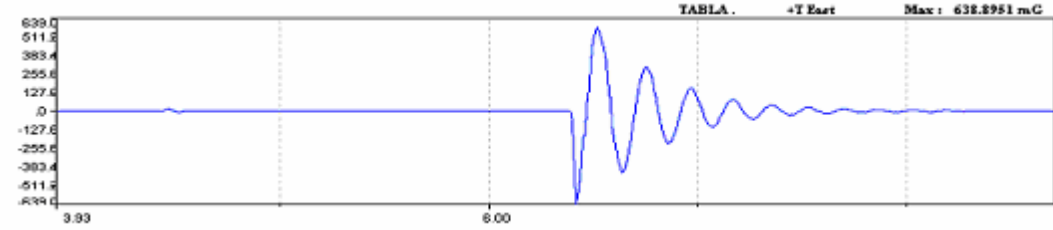


r)17. Yükleme Çatı İvme Kaydı (+65 mm)

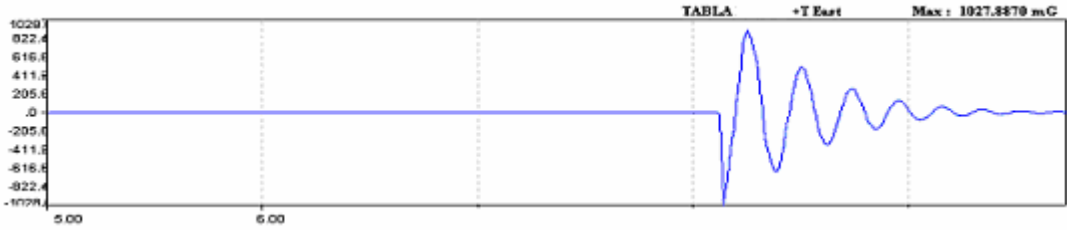
Şekil 3.2. (Devam) Deney Yapısı-1 çatı ivme kayıtları



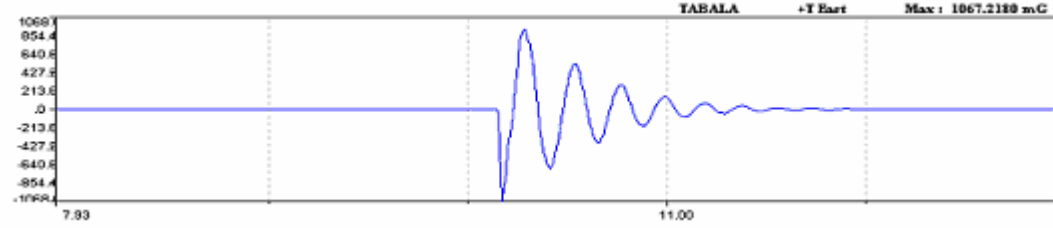
a)1. Yükleme Tabla İvme Kaydı (+30 mm)



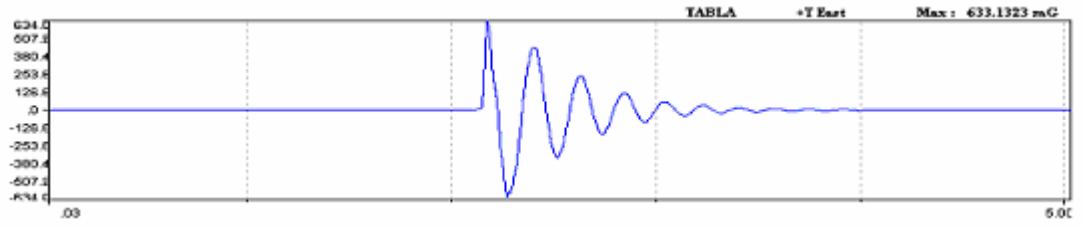
b) 2. Yükleme Tabla İvme Kaydı (+30 mm)



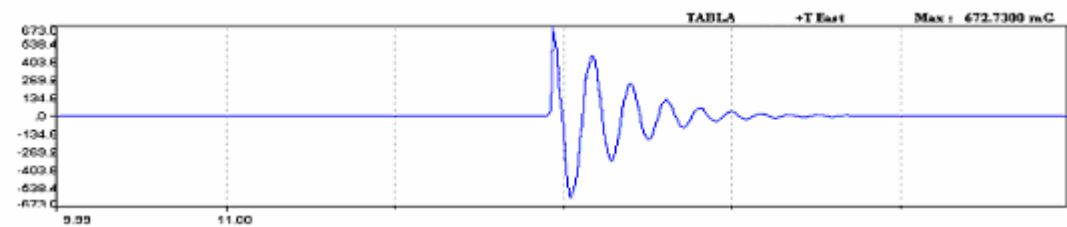
c) 3. Yükleme Tabla İvme Kaydı (+40 mm)



d) 4. Yükleme Tabla İvme Kaydı (+40 mm)

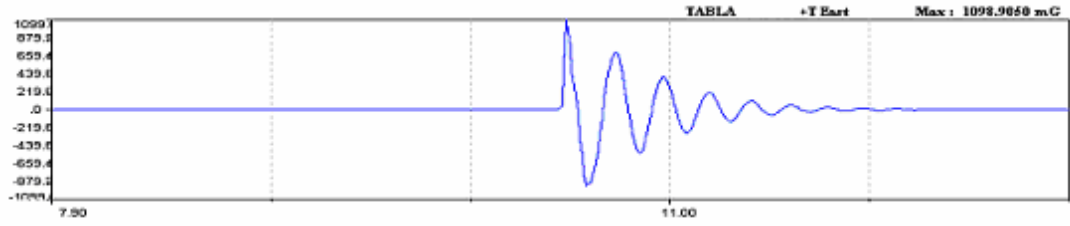


e) 5. Yükleme Tabla İvme Kaydı (-40 mm)

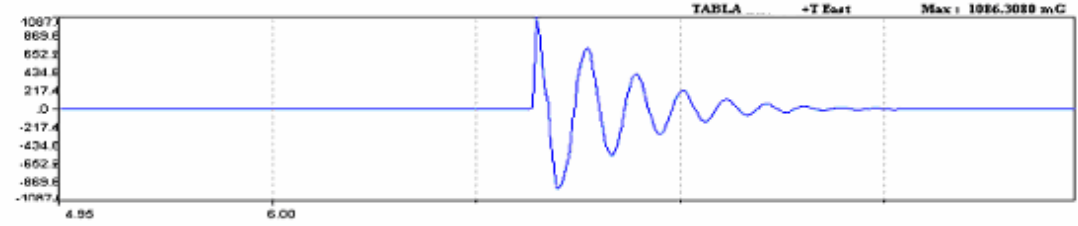


f) 6. Yükleme Tabla İvme Kaydı (-40 mm)

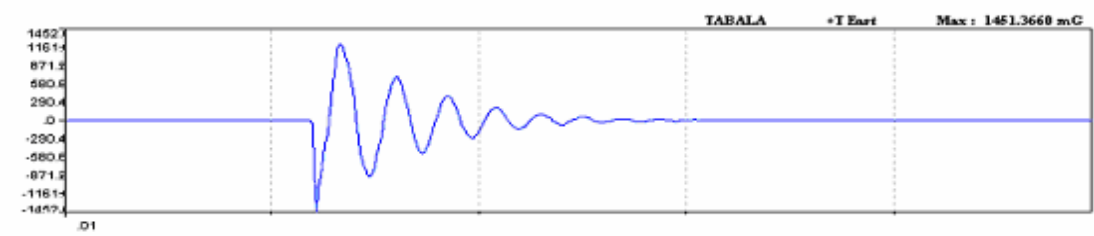
Şekil 3.3. Deney Yapısı-1 tabla ivme kayıtları (düşey eksen ivme-cm/sn², yatay eksen zaman-sn.)



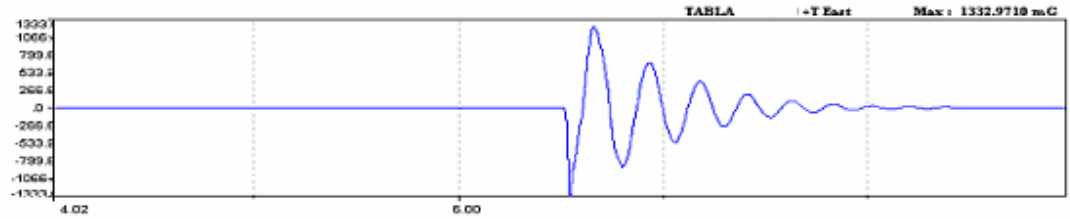
g) 7. Yükleme Tabla İvme Kaydı (-50 mm)



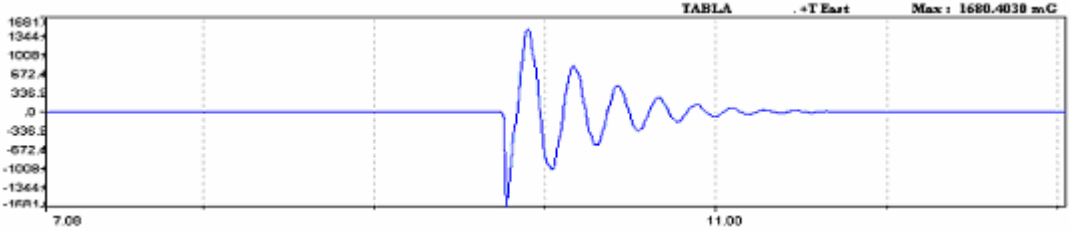
h) 8. Yükleme Tabla İvme Kaydı (-50 mm)



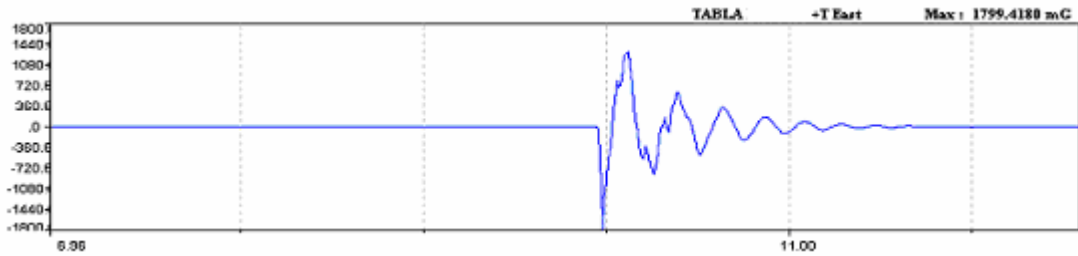
i) 9. Yükleme Tabla İvme Kaydı (+50 mm)



j) 10. Yükleme Tabla İvme Kaydı (+50 mm)

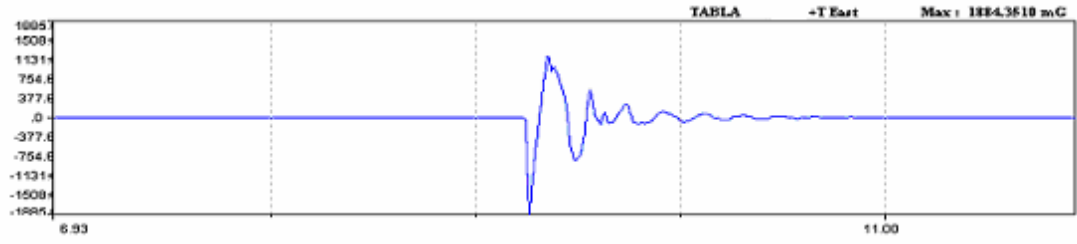


k) 11. Yükleme Tabla İvme Kaydı (+55 mm)

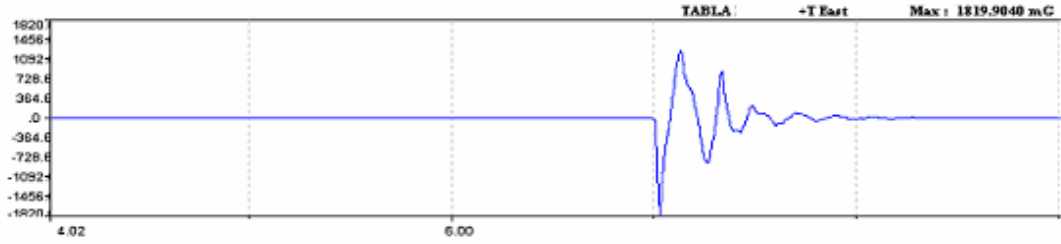


l) 12. Yükleme Tabla İvme Kaydı (+55 mm)

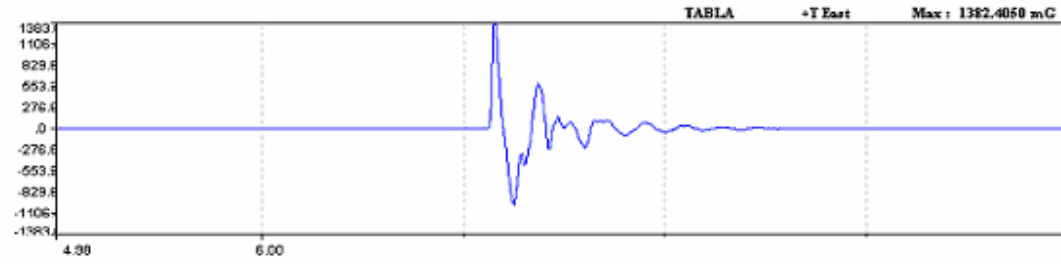
Şekil 3.3. (Devam) Deney Yapısı-1 tabla ivme kayıtları



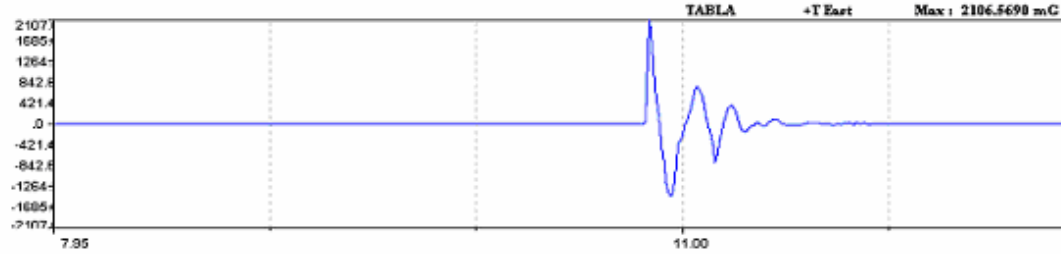
m) 13. Yükleme Tabla İvme Kaydı (+55 mm)



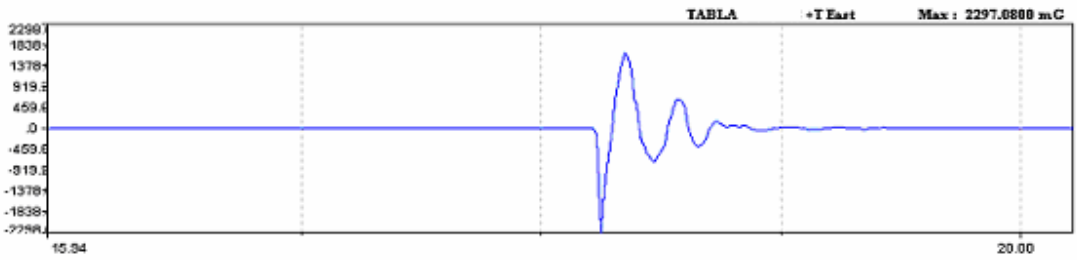
n) 14. Yükleme Tabla İvme Kaydı (+55 mm)



o) 15. Yükleme Tabla İvme Kaydı (-55 mm)

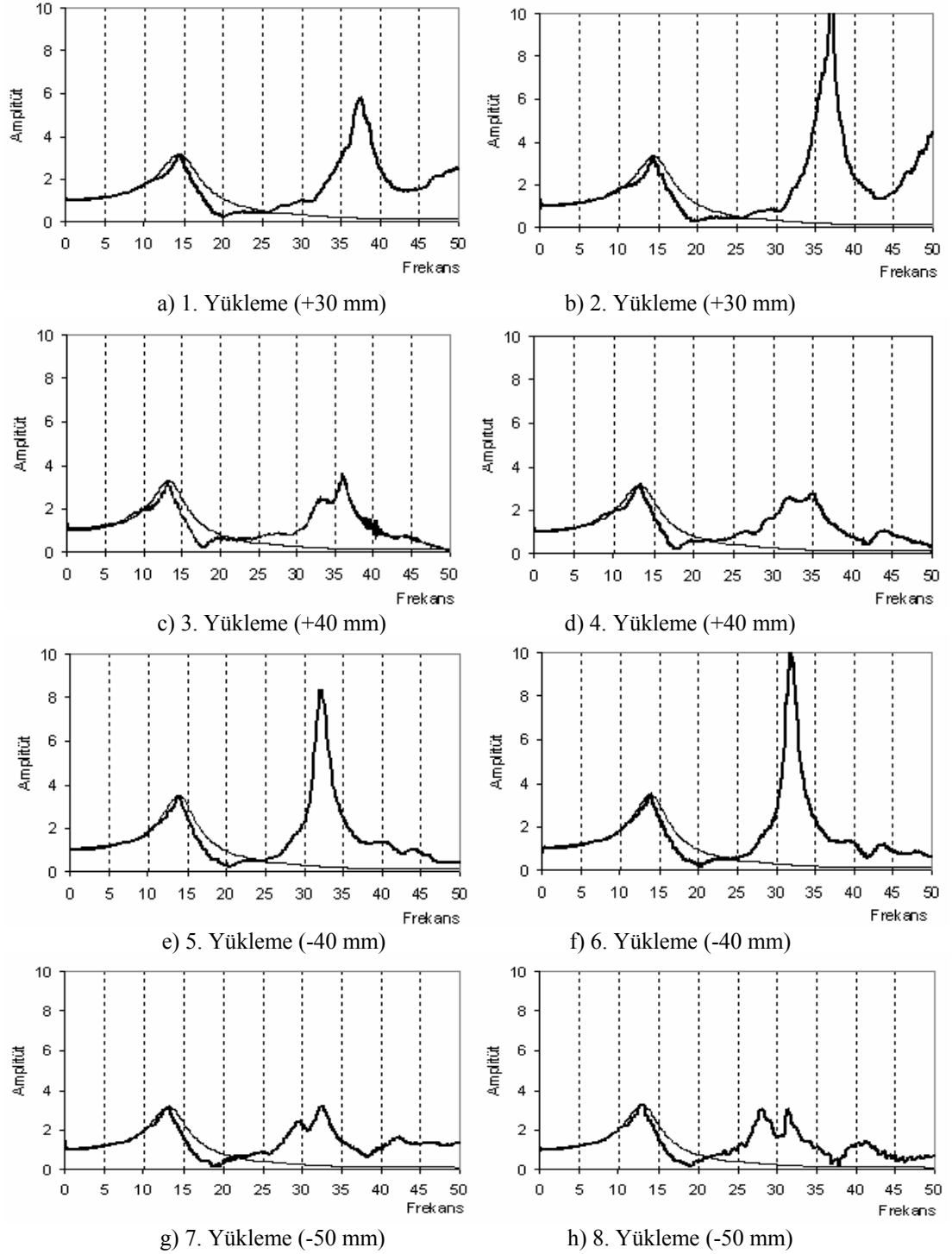


p) 16. Yükleme Tabla İvme Kaydı (-65 mm)

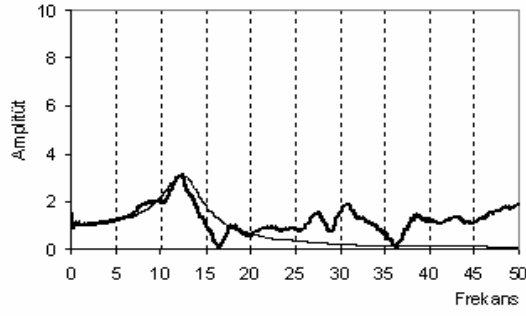


r) 17. Yükleme Tabla İvme Kaydı (+65 mm)

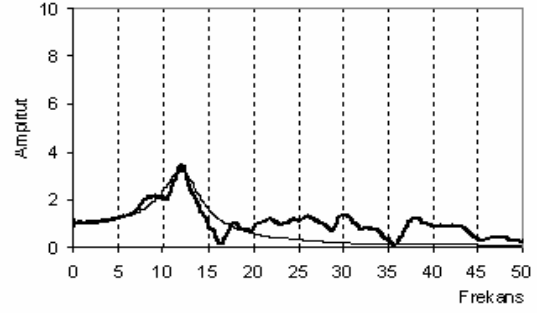
Şekil 3.3. (Devam) Deney Yapısı-1 tabla ivme kayıtları



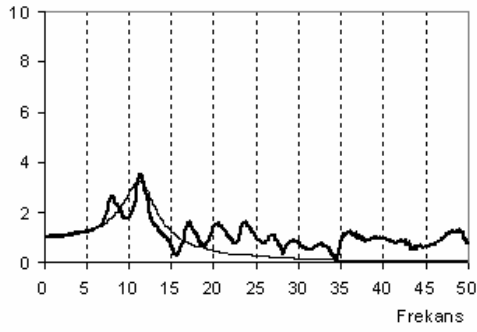
Şekil 3.4. Deney Yapısı-1 tepki fonksiyonu (—; ivme kayıtlarından, —; tek serbestlik dereceli elastik sistemin hareket denkleminde)



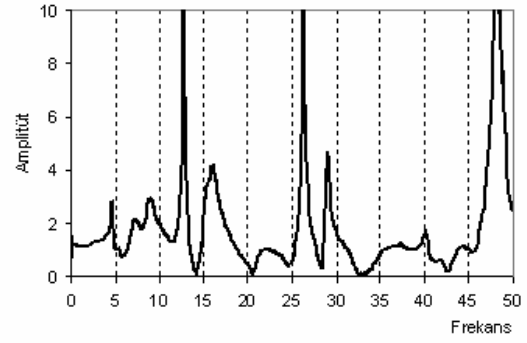
i) 9. Yükleme (+50 mm)



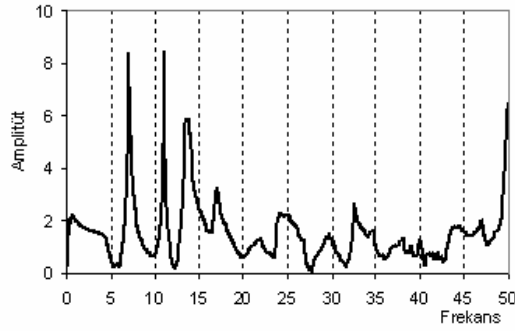
j) 10. Yükleme (+50 mm)



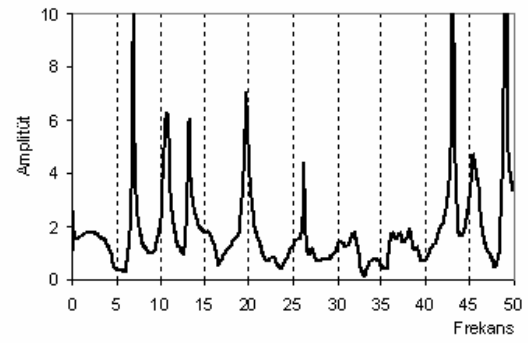
k) 11. Yükleme (+55 mm)



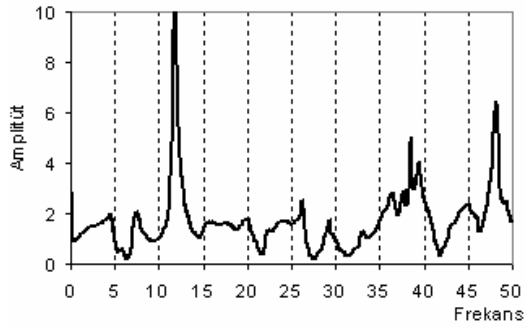
l) 12. Yükleme (+55 mm)



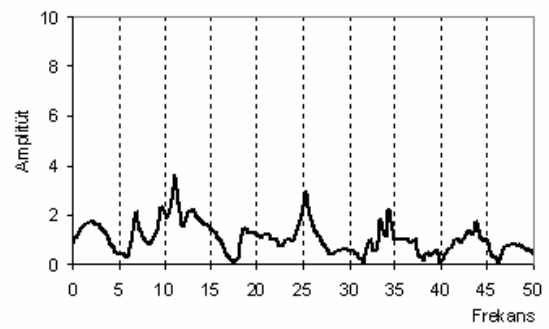
m) 13. Yükleme (+55 mm)



n) 14. Yükleme (+55 mm)

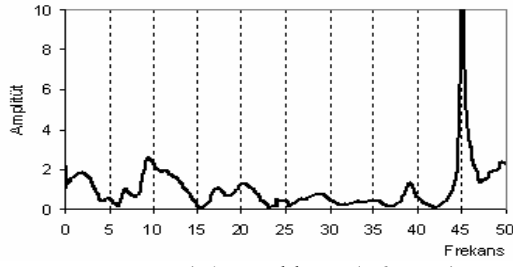


o) 15. Yükleme (-55 mm)



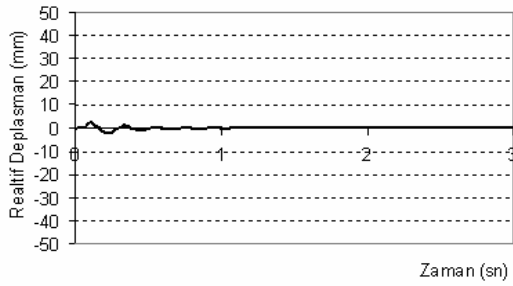
p) 16. Yükleme (-65 mm)

Şekil 3.4. (Devam) Deney Yapısı-1 tepki fonksiyonu grafikleri

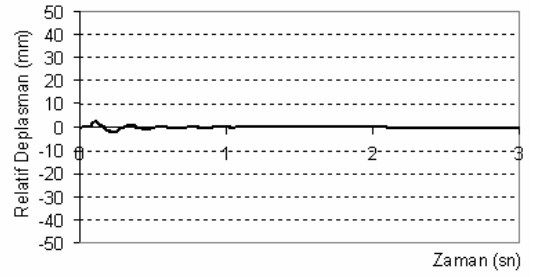


r) 17. Yükleme (+65 mm)

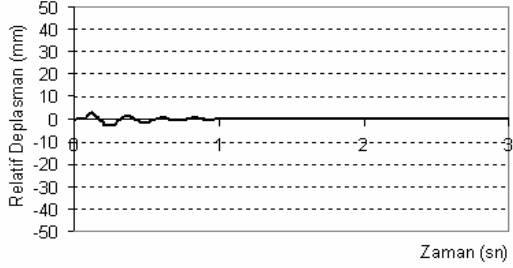
Şekil 3.4. (Devam) Deney Yapısı-1 tepki fonksiyonu grafikleri



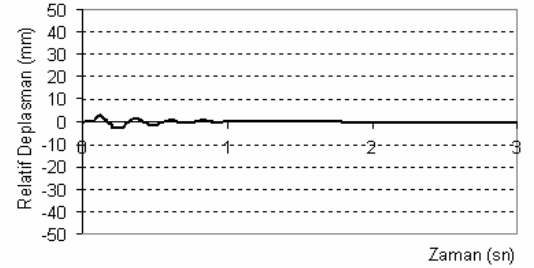
a) 1. Yükleme (+30 mm)



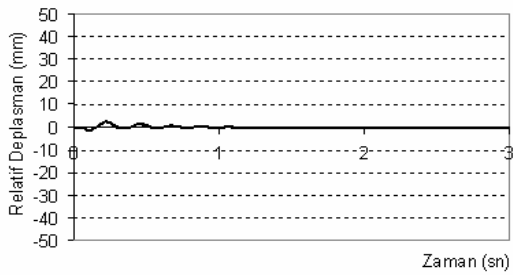
b) 2. Yükleme (+30 mm)



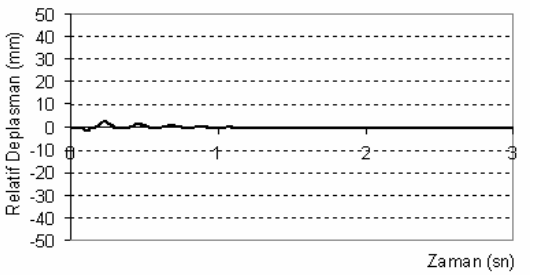
c) 3. Yükleme (+40 mm)



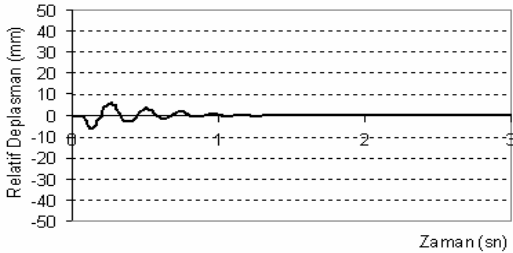
d) 4. Yükleme (+40 mm)



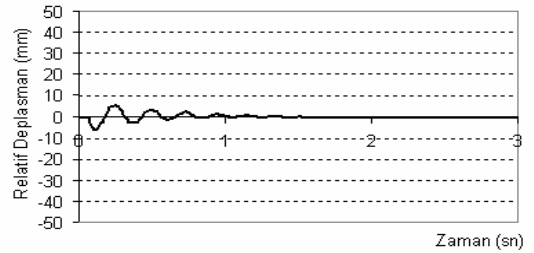
e) 5. Yükleme (-40 mm)



f) 6. Yükleme (-40 mm)

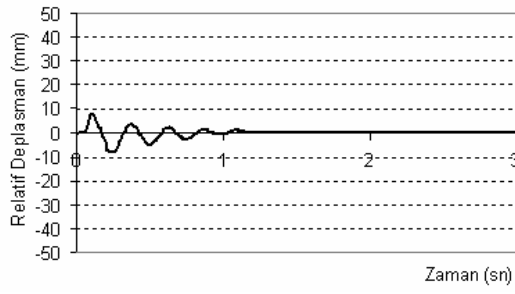


g) 7. Yükleme (-50 mm)

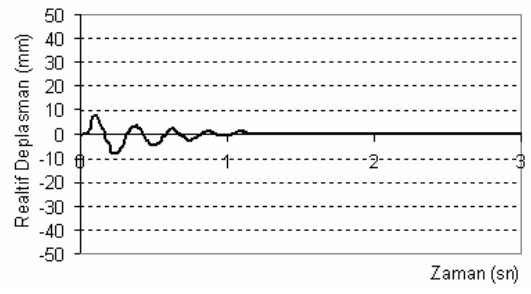


h) 8. Yükleme (-50 mm)

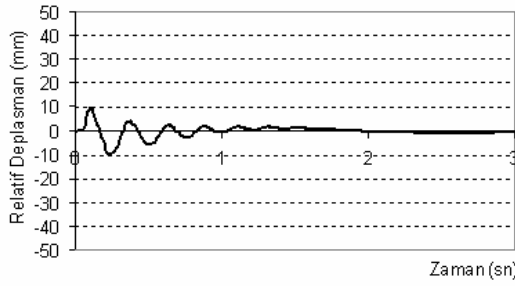
Şekil 3.5. Deney Yapısı-1 relatif deplasman grafikleri



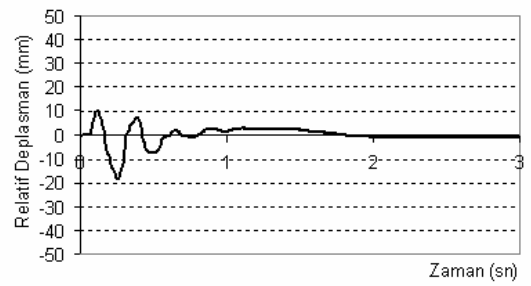
i) 9. Yükleme (+50 mm)



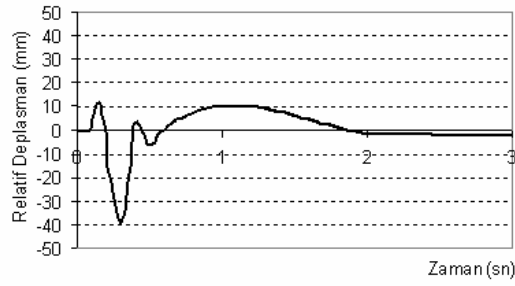
j) 10. Yükleme (+50 mm)



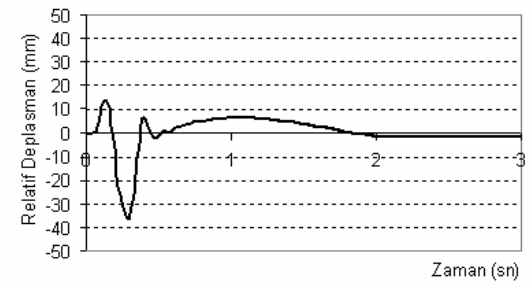
k) 11. Yükleme (+55 mm)



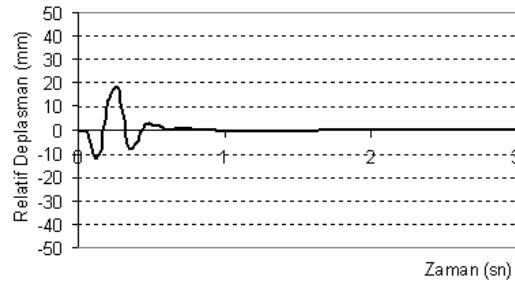
l) 12. Yükleme (+55 mm)



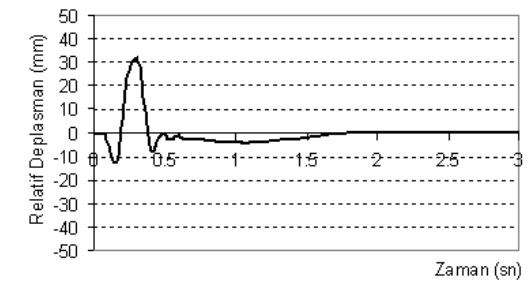
m) 13. Yükleme (+55 mm)



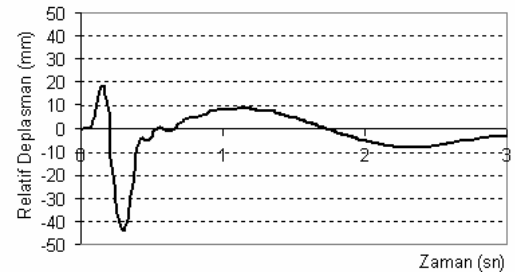
n) 14. Yükleme (+55 mm)



o) 15. Yükleme (-55 mm)

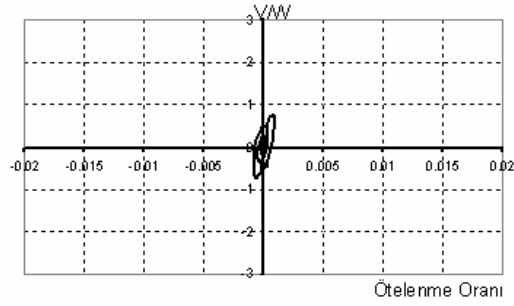


p) 16. Yükleme (-65 mm)

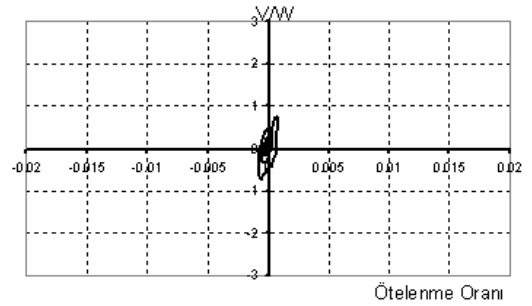


r) 17. Yükleme (+65 mm)

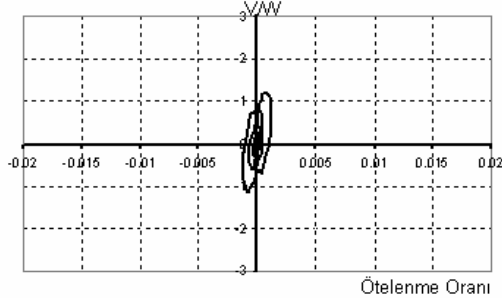
Şekil 3.5. (Devam) Deney Yapısı-1 relatif deplasman grafikleri



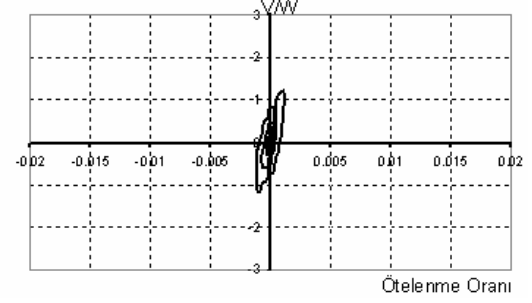
a) 1. Yükleme (+30 mm)



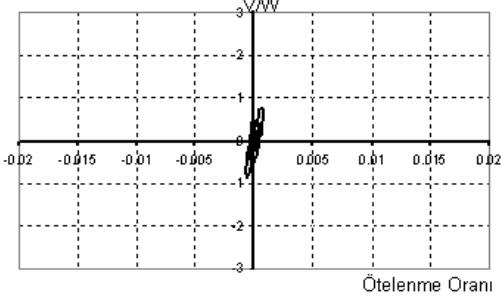
b) 2. Yükleme (+30 mm)



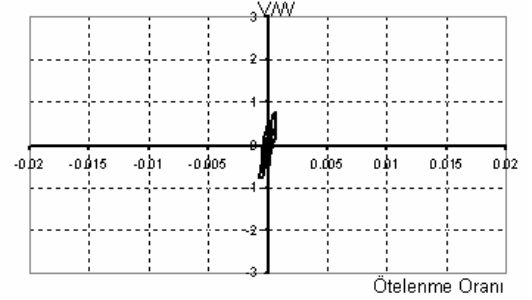
c) 3. Yükleme (+40 mm)



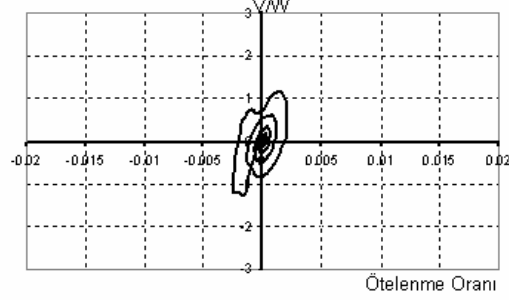
d) 4. Yükleme (+40 mm)



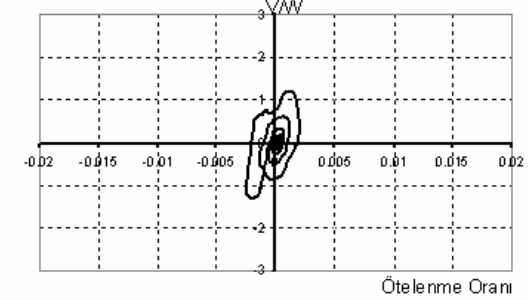
e) 5. Yükleme (-40 mm)



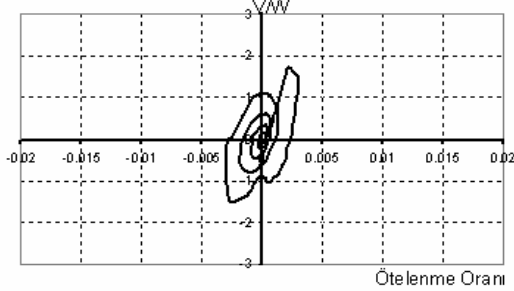
f) 6. Yükleme (-40 mm)



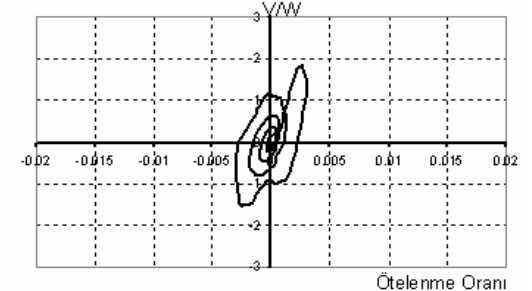
g) 7. Yükleme (-50 mm)



h) 8. Yükleme (-50 mm)

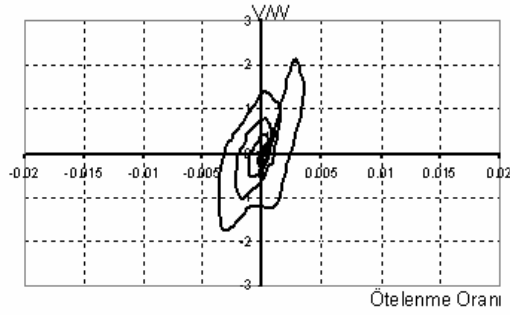


i) 9. Yükleme (+50 mm)

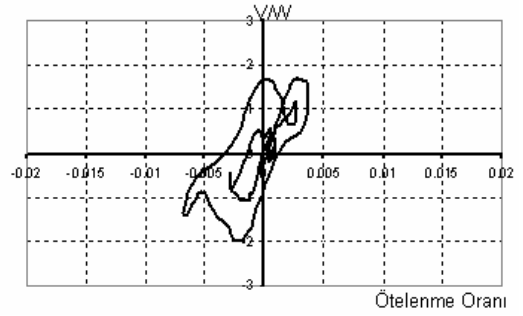


j) 10. Yükleme (+50 mm)

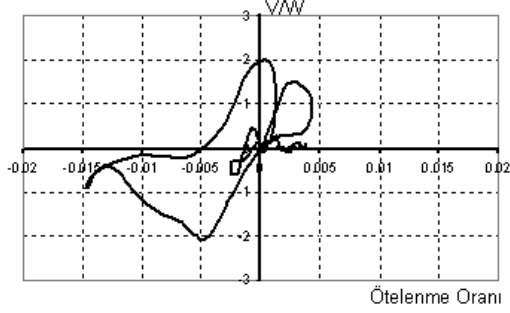
Şekil 3.6. Deney Yapısı-1 yatay yük-ötelenme oranı grafikleri



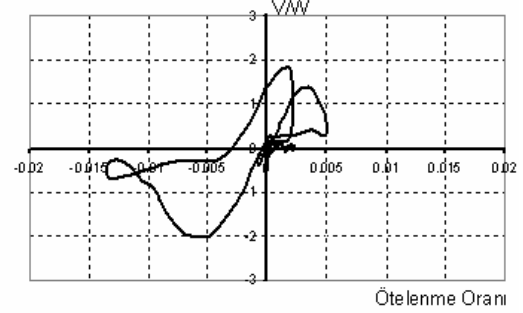
k) 11. Yükleme (+55 mm)



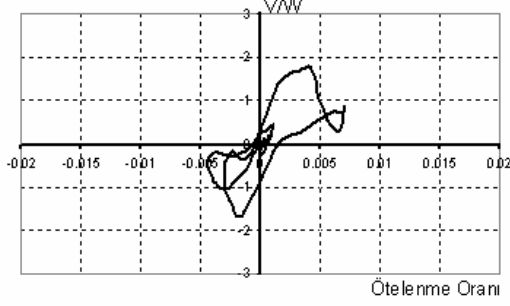
l) 12. Yükleme (+55 mm)



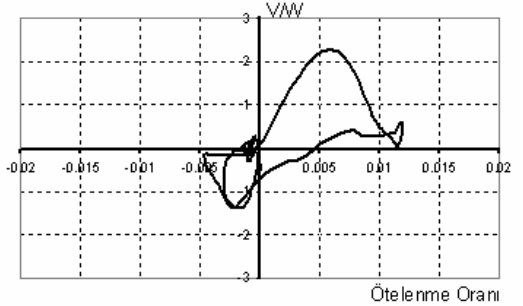
m) 13. Yükleme (+55 mm)



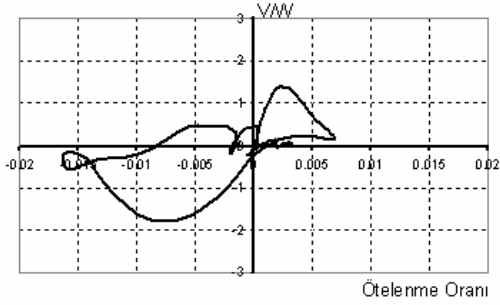
n) 14. Yükleme (+55 mm)



o) 15. Yükleme (-55 mm)

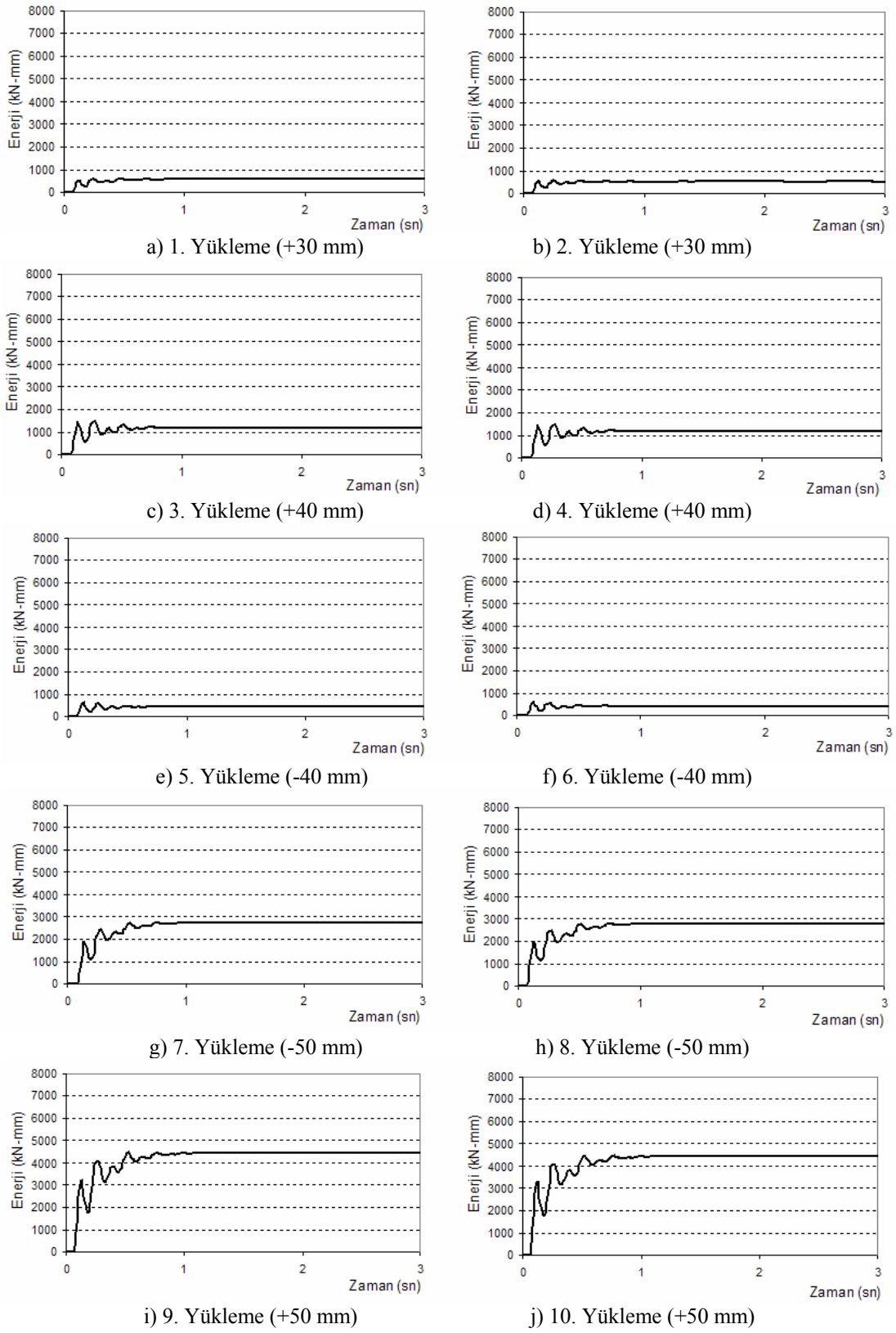


p) 16. Yükleme (-65 mm)

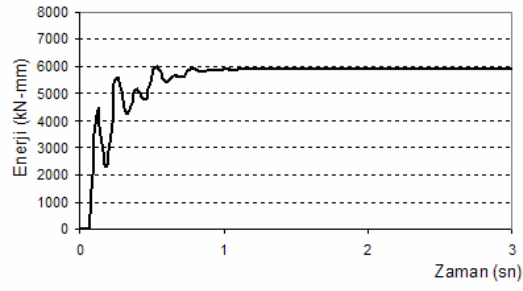


r) 17. Yükleme (+65 mm)

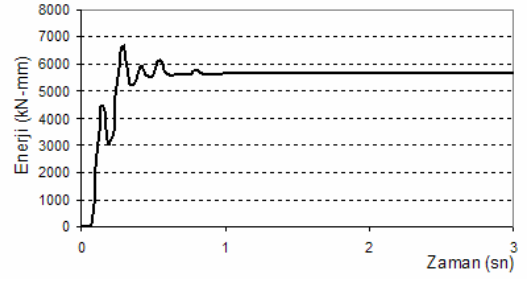
Şekil 3.6. (Devam) Deney Yapısı-1 yatay yük-ötelenme oranı grafikleri



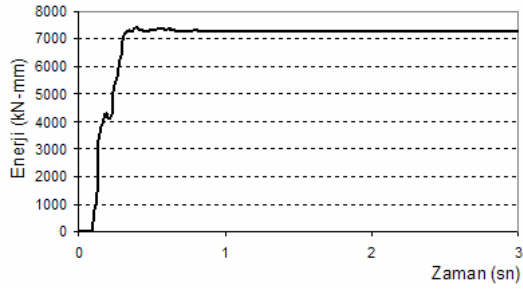
Şekil 3.7. Deney Yapısı-1 tüketilen enerji grafikleri



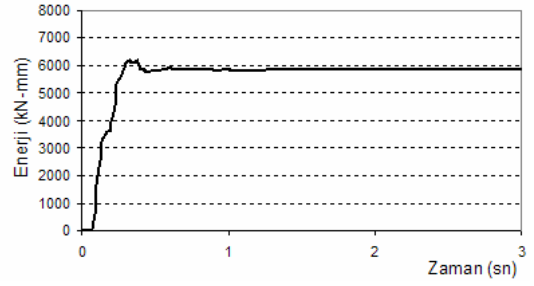
k) 11. Yükleme (+55 mm)



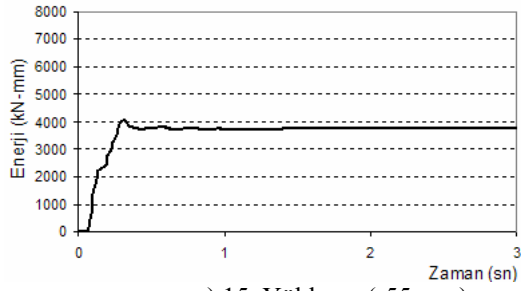
l) 12. Yükleme (+55 mm)



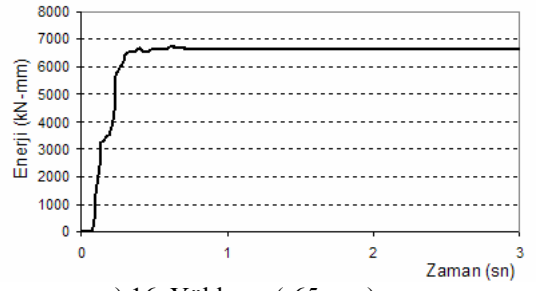
m) 13. Yükleme (+55 mm)



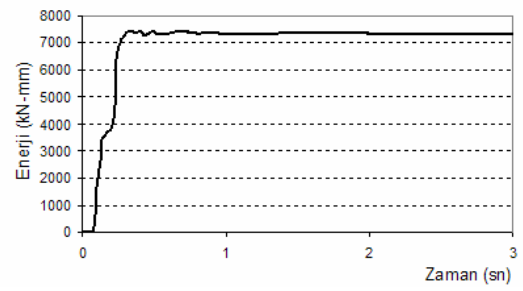
n) 14. Yükleme (+55 mm)



o) 15. Yükleme (-55 mm)



p) 16. Yükleme (-65 mm)



r) 17. Yükleme (+65 mm)

Şekil 3.7. (Devam) Deney Yapısı-1 tüketilen enerji grafikleri

3.2. Deney Yapısı-2

Bu deney yapısına uygulanan yükleme düzeni birinci deney ile aynıdır. Sadece +55 mm başlangıç ötelemesi verilerek yapılan yükleme sayısı 4'den 5'e çıkarılmıştır. Bu deneyde ivme kayıtcısındaki sorun nedeni ile çatıda 14. yükleme ve sonrasında kayıt alınamamıştır. Yine sarsma tablası üzerindeki kayıtcıdan da 18. yüklemedeki kayıt alınamamıştır.

Deney Yapısı-2'de yüklemeler sonunda yapı yükleme düzlemine dik ve paralel duvarlarda, Deney Yapısı-1'de oluşan çatlakların tamir harcı ile onarıldığı yerlerin bazı bölümlerinde lokal ve kılcal düzeyde çatlaklar haricinde herhangi bir çatlak görülmemiştir. Çelik şeritlerin alt ve üst hatıl ile duvarların bağlantı yerlerinde herhangi bir gevşeme oluşmamıştır. Deney yapısı bu rehabilitasyon düzeyinde uygulanan yüklere karşı elastik bir davranış sergilemiştir. Deney yapısının son yükleme olan 18. yükleme sonrasında görünüşleri Resim 3.21, Resim 3.22, Resim 3.23, Resim 3.24 ve Resim 3.25'de verilmiştir.



Resim 3.21. Deney Yapısı-2 güney cephenin 18. yükleme sonunda görünüşü



Resim 3.22. Deney Yapısı-2 kuzey cephenin 18. yükleme sonunda görünüşü



Resim 3.23. Deney Yapısı-2 doğu cephenin 18. yükleme sonunda görünüşü



Resim 3.24. Deney Yapısı-2 batı cephenin 18. yükleme sonunda görünüşü

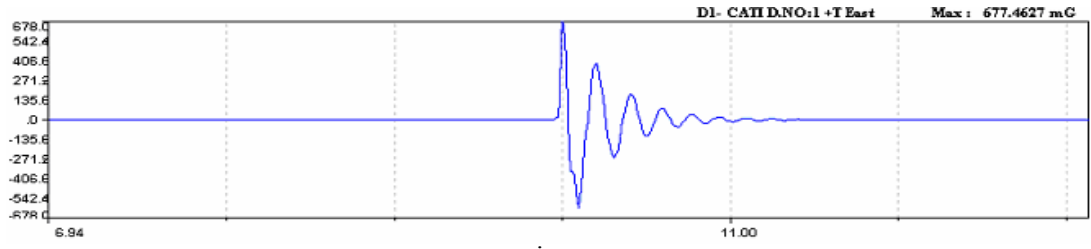


Resim 3.25. Deney Yapısı-2 güney cephe A2 duvar parçasının 18. yükleme sonunda görünüşü

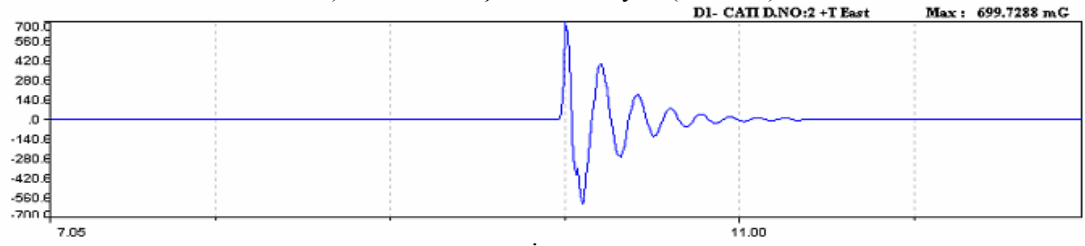
Deney Yapısı-2'ye her yükleme adımında gelen kuvvet ve sarsma tablasında ölçülen ivme değerleri Çizelge 3.2'de verilmiştir. Her yükleme adımı için sarsma tablası üzerinde ve deney yapısının çatısında ölçülen ivme kayıtları Şekil 3.8 ve Şekil 3.9'da verilmiştir. Deney yapısının her bir yükleme adımında tepki fonksiyonu grafikleri Şekil 3.10'da, relatif yanal ötelenmeler Şekil 3.11'de, yatay yük-ötelenme oranı Şekil 3.12'de ve tüketilen enerji Şekil 3.13'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Deney Yapısı-2’de her yükleme adımında ölçülen ivme ve gelen kuvvet

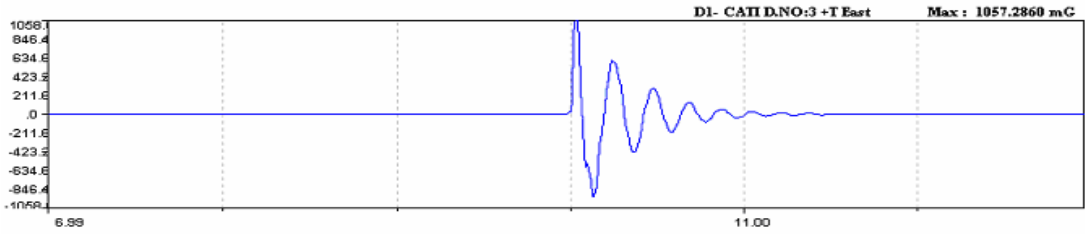
Yükleme No	Başlangıç Ötelemesi (mm)	Tabla İvme- a (cm/sn ²)	Çatı İvme- a (cm/sn ²)	Yatay Yük Katsayısı ($C=a/g$)	Yatay Kuvvet (kN) $F=C \times W$
1	+30	598,51	677,46	0,69	83,68
2	+30	625,26	699,73	0,71	86,11
3	+40	961,55	1057,29	1,08	130,98
4	+40	993,43	1088,43	1,11	134,62
5	-40	677,73	762,89	0,78	94,60
6	-40	654,25	738,81	0,75	90,96
7	-50	961,35	1038,05	1,06	128,56
8	-50	955,06	1068,38	1,09	132,20
9	+50	1305,21	1445,01	1,47	178,28
10	+50	1286,30	1389,39	1,42	172,22
11	+55	1450,92	1643,98	1,68	203,75
12	+55	1468,48	1602,80	1,63	197,69
13	+55	1334,87	1459,05	1,49	180,71
14	+55	1410,04	kayıt alınamadı	-	-
15	+55	1280,63	kayıt alınamadı	-	-
16	-55	1093,19	kayıt alınamadı	-	-
17	-65	1465,18	kayıt alınamadı	-	-
18	+65	kayıt alınamadı	kayıt alınamadı	-	-



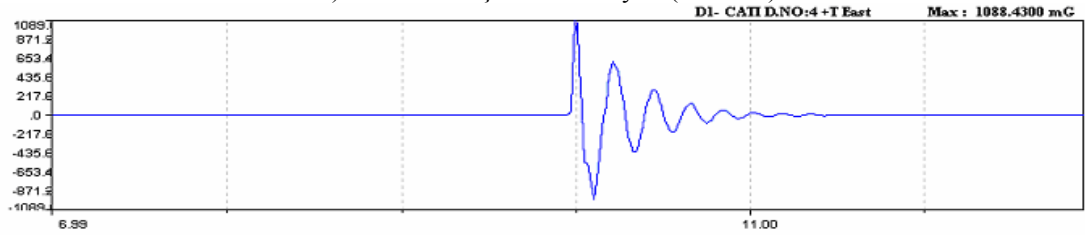
a) 1. Yükleme Çatı İvme Kaydı (+30 mm)



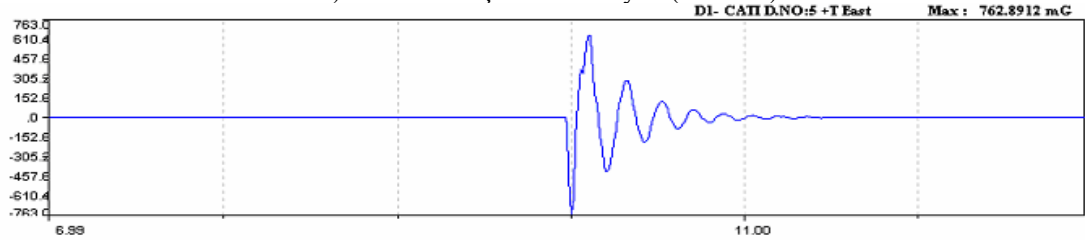
b) 2. Yükleme Çatı İvme Kaydı (+30 mm)



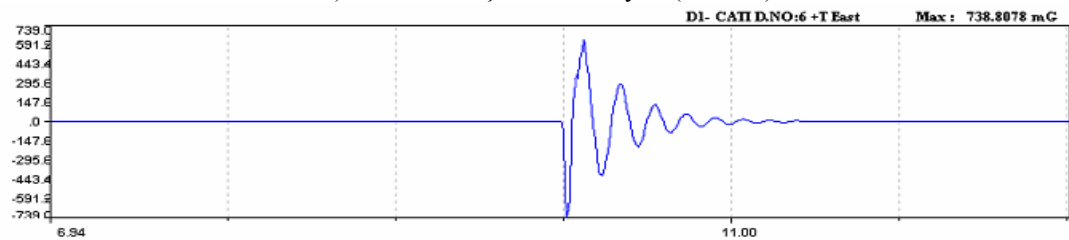
c) 3. Yükleme Çatı İvme Kaydı (+40 mm)



d) 4. Yükleme Çatı İvme Kaydı (+40 mm)

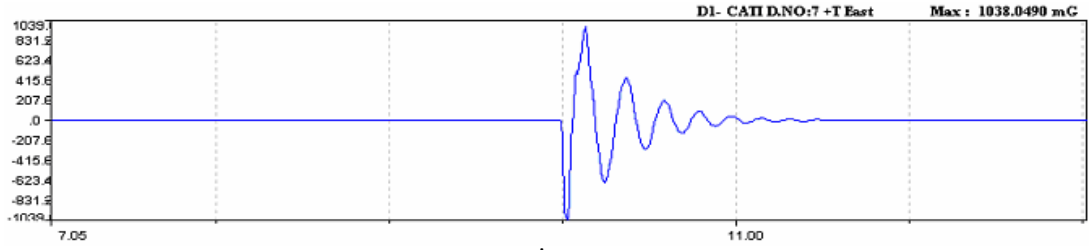


e) 5. Yükleme Çatı İvme Kaydı (-40 mm)

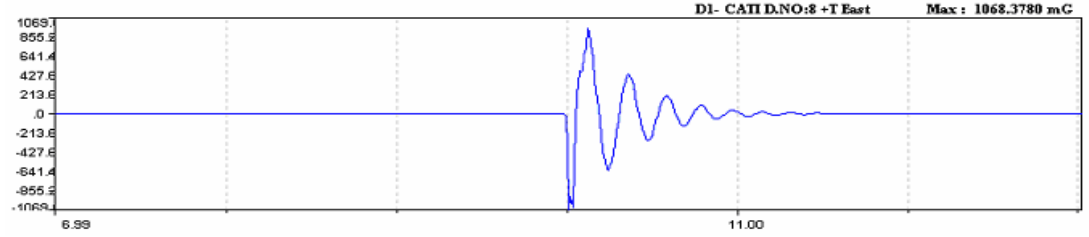


f) 6. Yükleme Çatı İvme Kaydı (-40 mm)

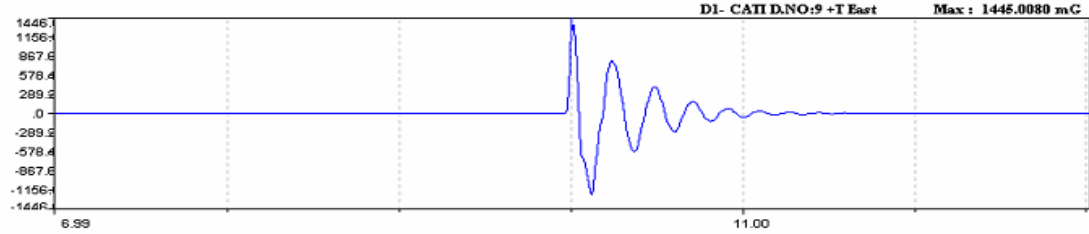
Şekil 3.8. Deney Yapısı-2 çatı ivme kayıtları (düşey eksen ivme-cm/sn², yatay eksen zaman-sn.)



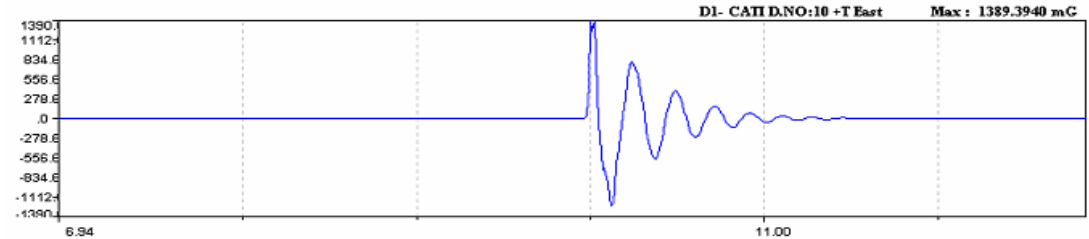
g) 7. Yükleme Çatı İvme Kaydı (-50 mm)



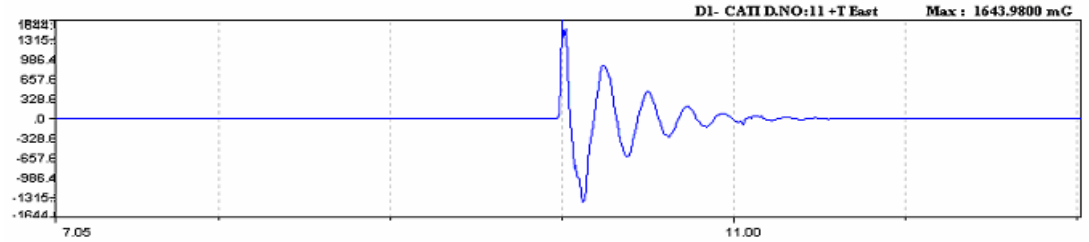
h) 8. Yükleme Çatı İvme Kaydı (-50 mm)



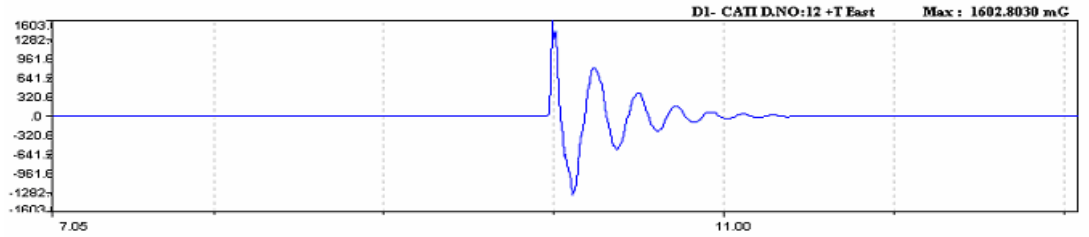
i) 9. Yükleme Çatı İvme Kaydı (+50 mm)



j) 10. Yükleme Çatı İvme Kaydı (+50 mm)

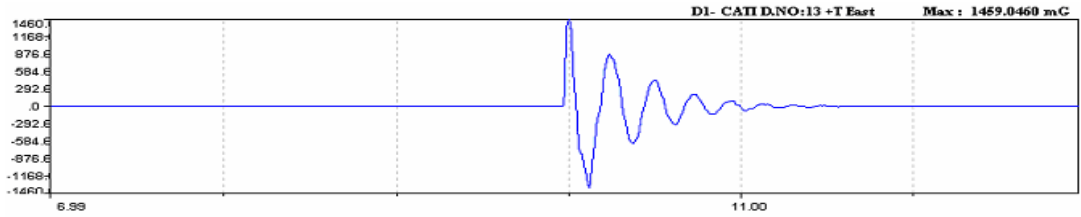


k) 11. Yükleme Çatı İvme Kaydı (+55 mm)



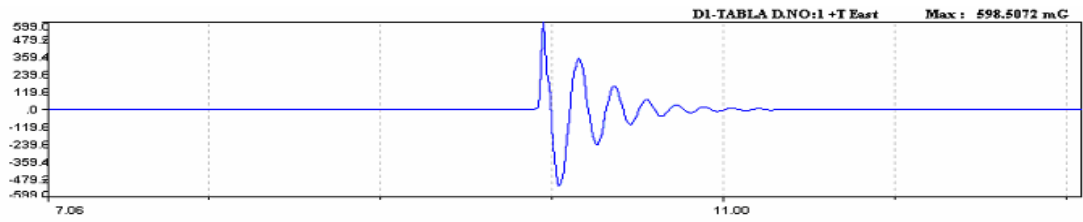
l) 12. Yükleme Çatı İvme Kaydı (+55 mm)

Şekil 3.8. (Devam) Deney Yapısı-2 çatı ivme kayıtları

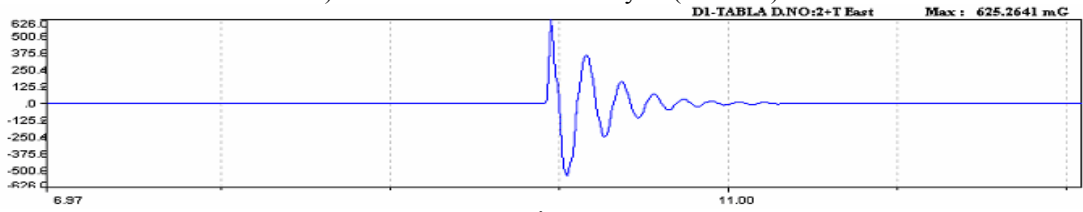


m)13. Yükleme Çatı İvme Kaydı (+55 mm)

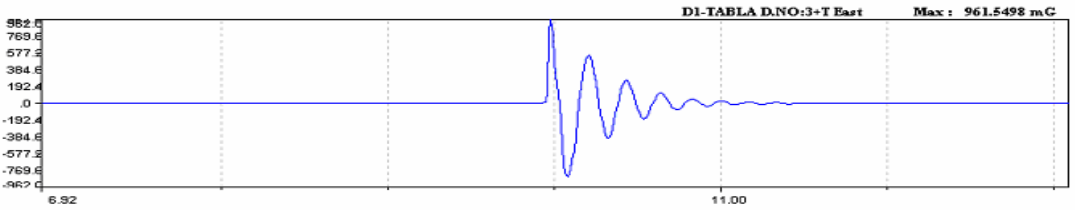
Şekil 3.8. (Devam) Deney Yapısı-2 çatı ivme kayıtları



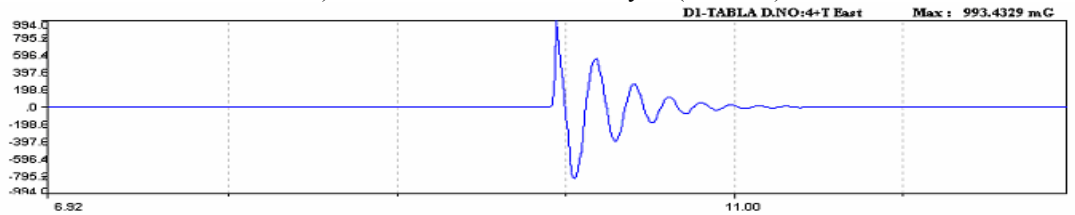
a)1. Yükleme Tabla İvme Kaydı (+30 mm)



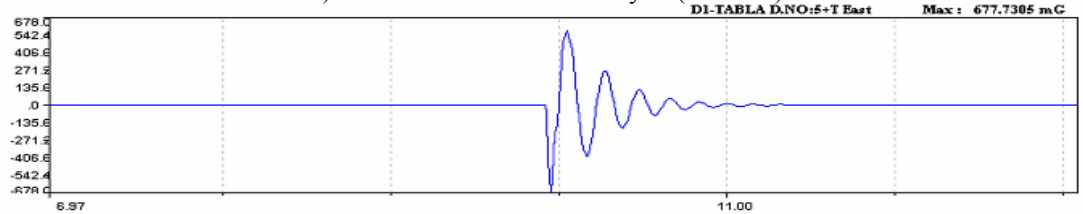
b) 2. Yükleme Tabla İvme Kaydı (+30 mm)



c) 3. Yükleme Tabla İvme Kaydı (+40 mm)

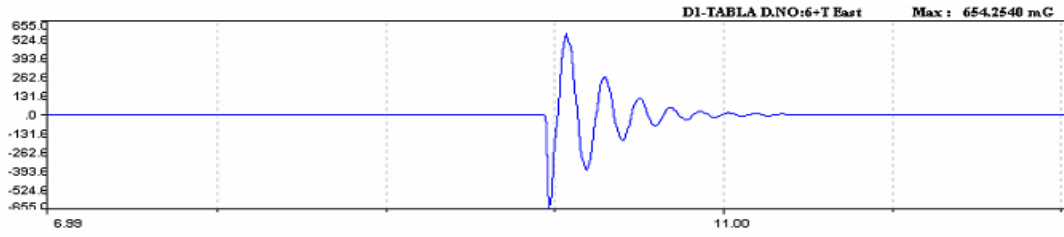


d) 4. Yükleme Tabla İvme Kaydı (+40 mm)

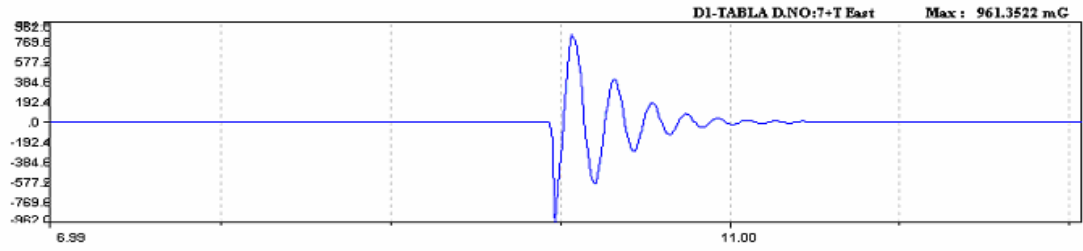


e) 5. Yükleme Tabla İvme Kaydı (-40 mm)

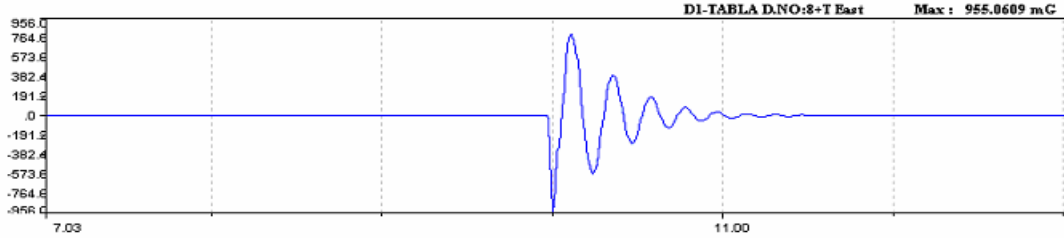
Şekil 3.9. Deney Yapısı-2 tabla ivme kayıtları (düşey eksen ivme-cm/sn², yatay eksen zaman-sn.)



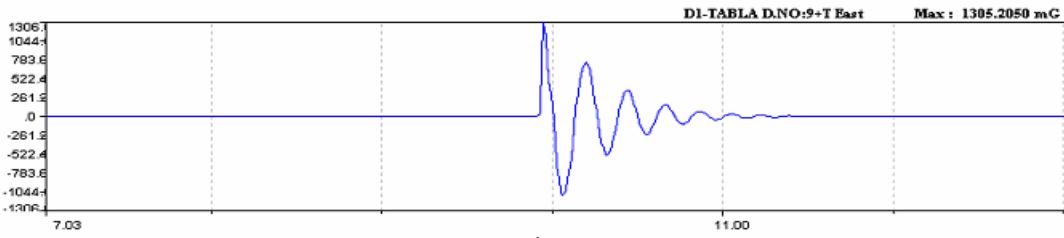
f) 6. Yükleme Tabla İvme Kaydı (-40 mm)



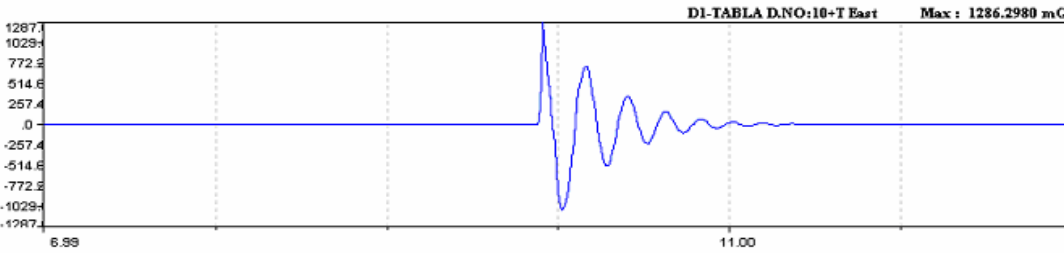
g) 7. Yükleme Tabla İvme Kaydı (-50 mm)



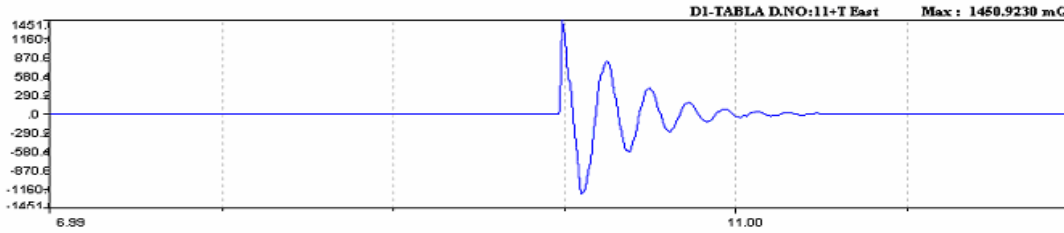
h) 8. Yükleme Tabla İvme Kaydı (-50 mm)



i) 9. Yükleme Tabla İvme Kaydı (+50 mm)

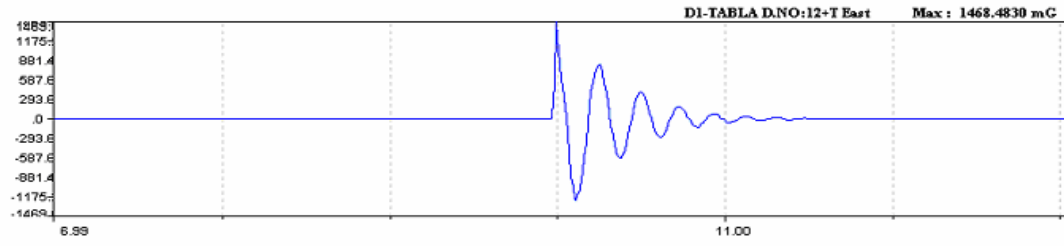


j) 10. Yükleme Tabla İvme Kaydı (+50 mm)

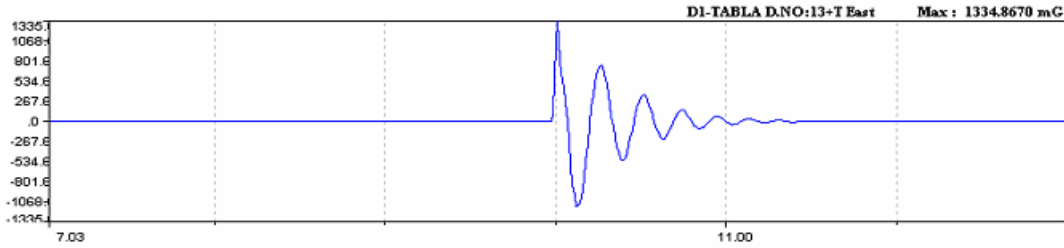


k) 11. Yükleme Tabla İvme Kaydı (+55 mm)

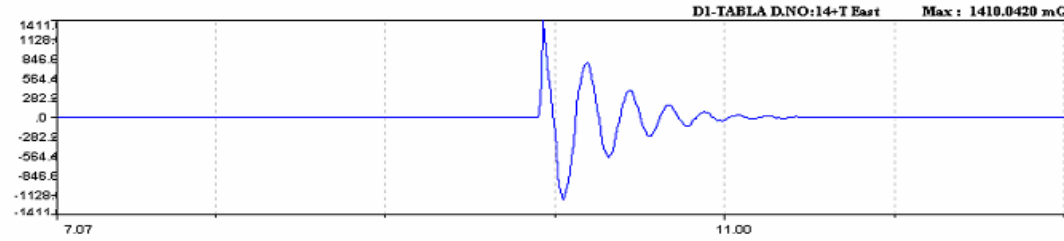
Şekil 3.9. (Devam) Deney Yapısı-2 tabla ivme kayıtları



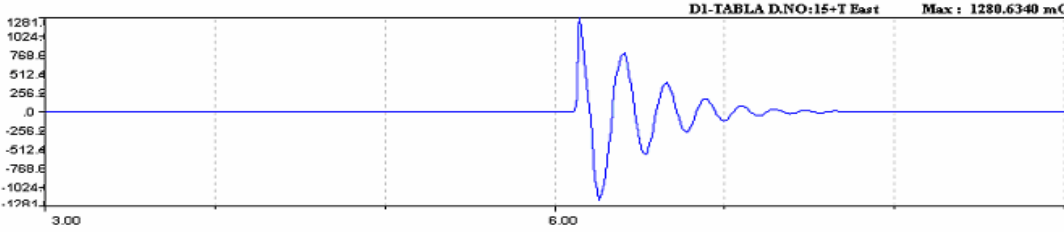
l) 12. Yükleme Tabla İvme Kaydı (+55 mm)



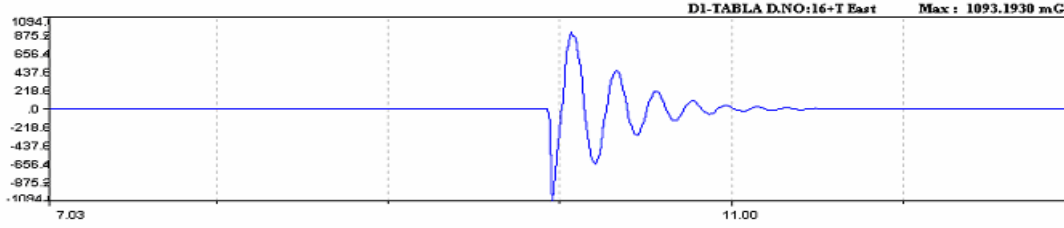
m) 13. Yükleme Tabla İvme Kaydı (+55 mm)



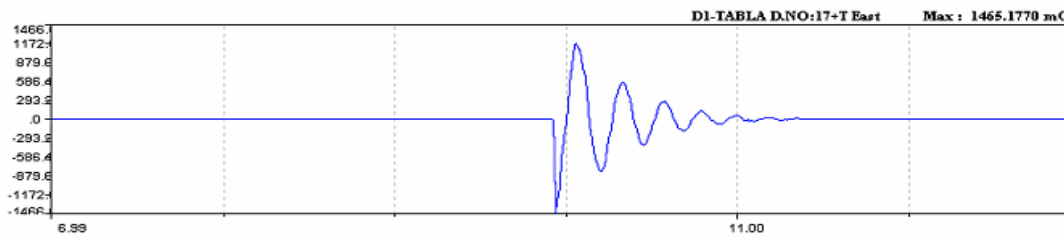
n) 14. Yükleme Tabla İvme Kaydı (+55 mm)



o) 15. Yükleme Tabla İvme Kaydı (+55 mm)

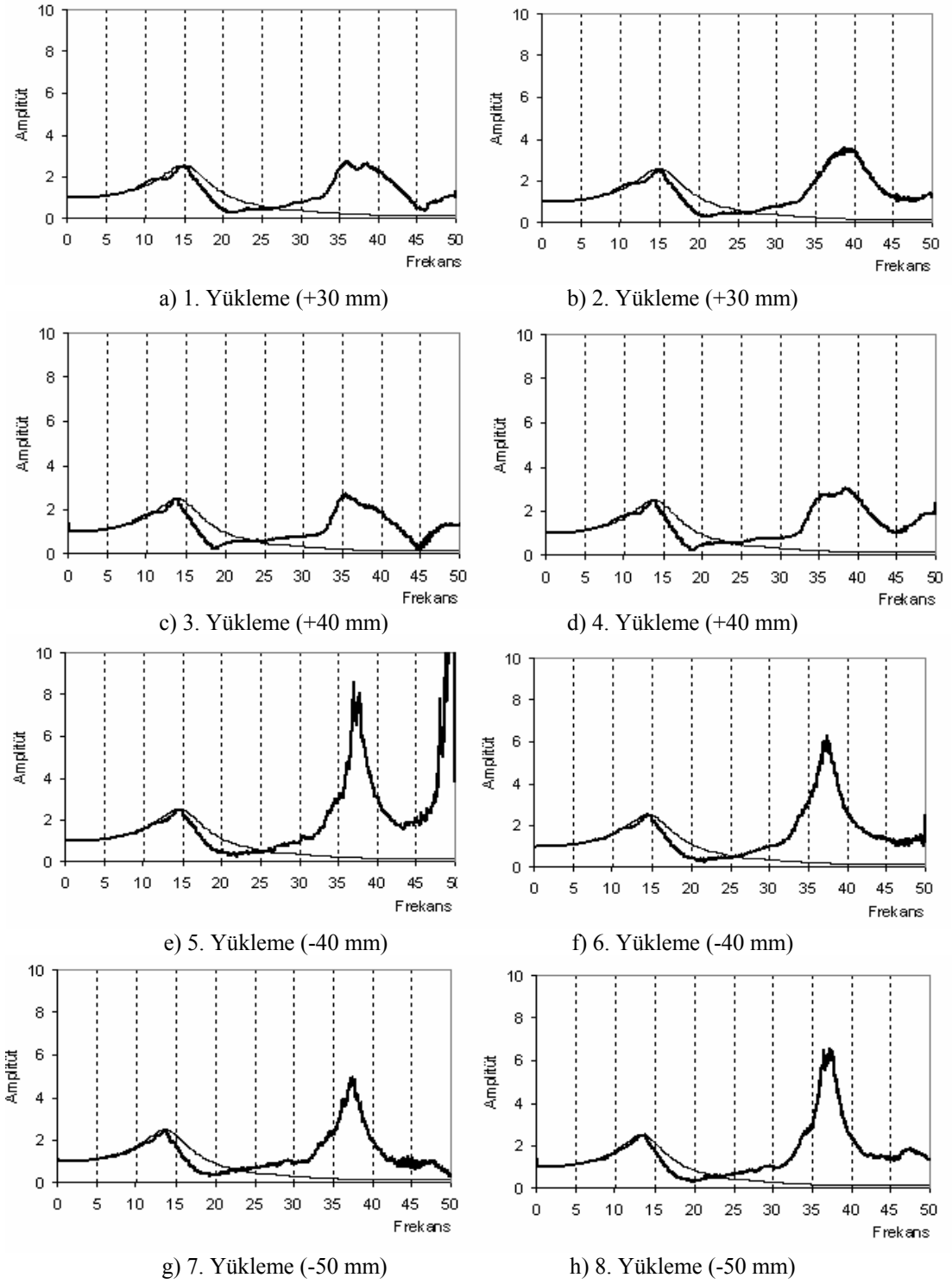


p) 16. Yükleme Tabla İvme Kaydı (-55 mm)

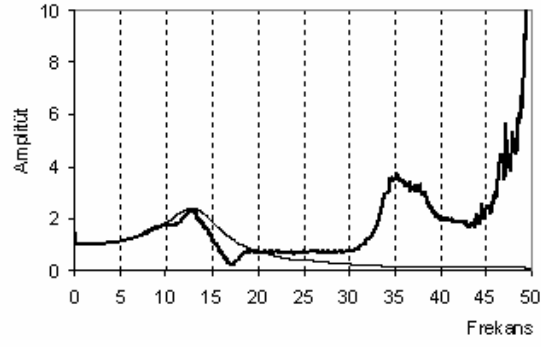


r) 17. Yükleme Tabla İvme Kaydı (-55 mm)

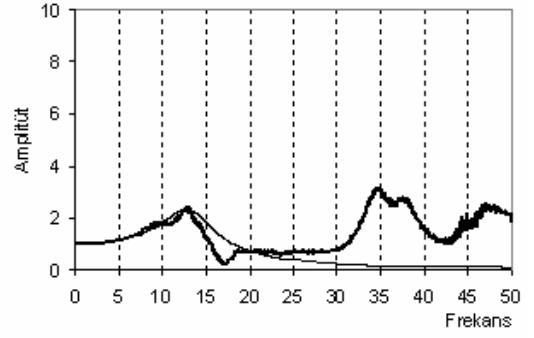
Şekil 3.9. (Devam) Deney Yapısı-2 tabla ivme kayıtları



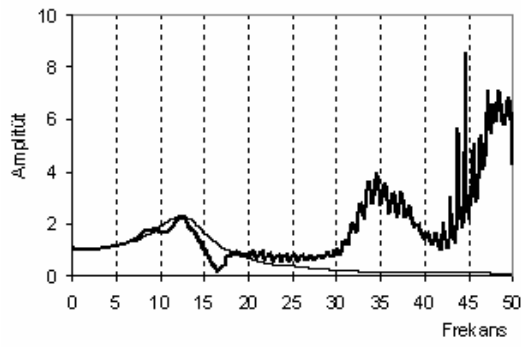
Şekil 3.10. Deney Yapısı-2 tepki fonksiyonu grafikleri (—; ivme kayıtlarından, - -; tek serbestlik dereceli elastik sistemin hareket denkleminde)



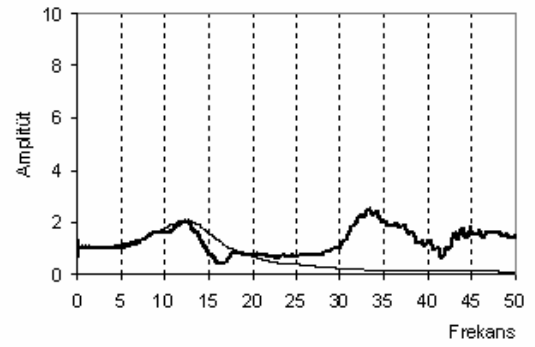
i) 9. Yükleme (+50 mm)



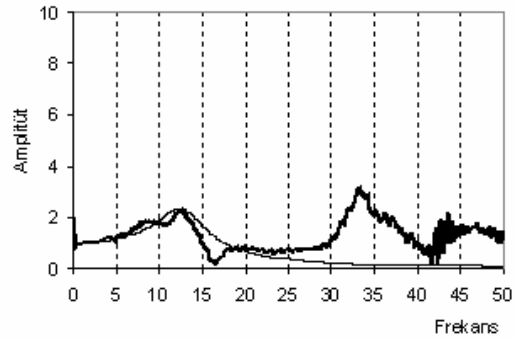
j) 10. Yükleme (+50 mm)



k) 11. Yükleme (+55 mm)

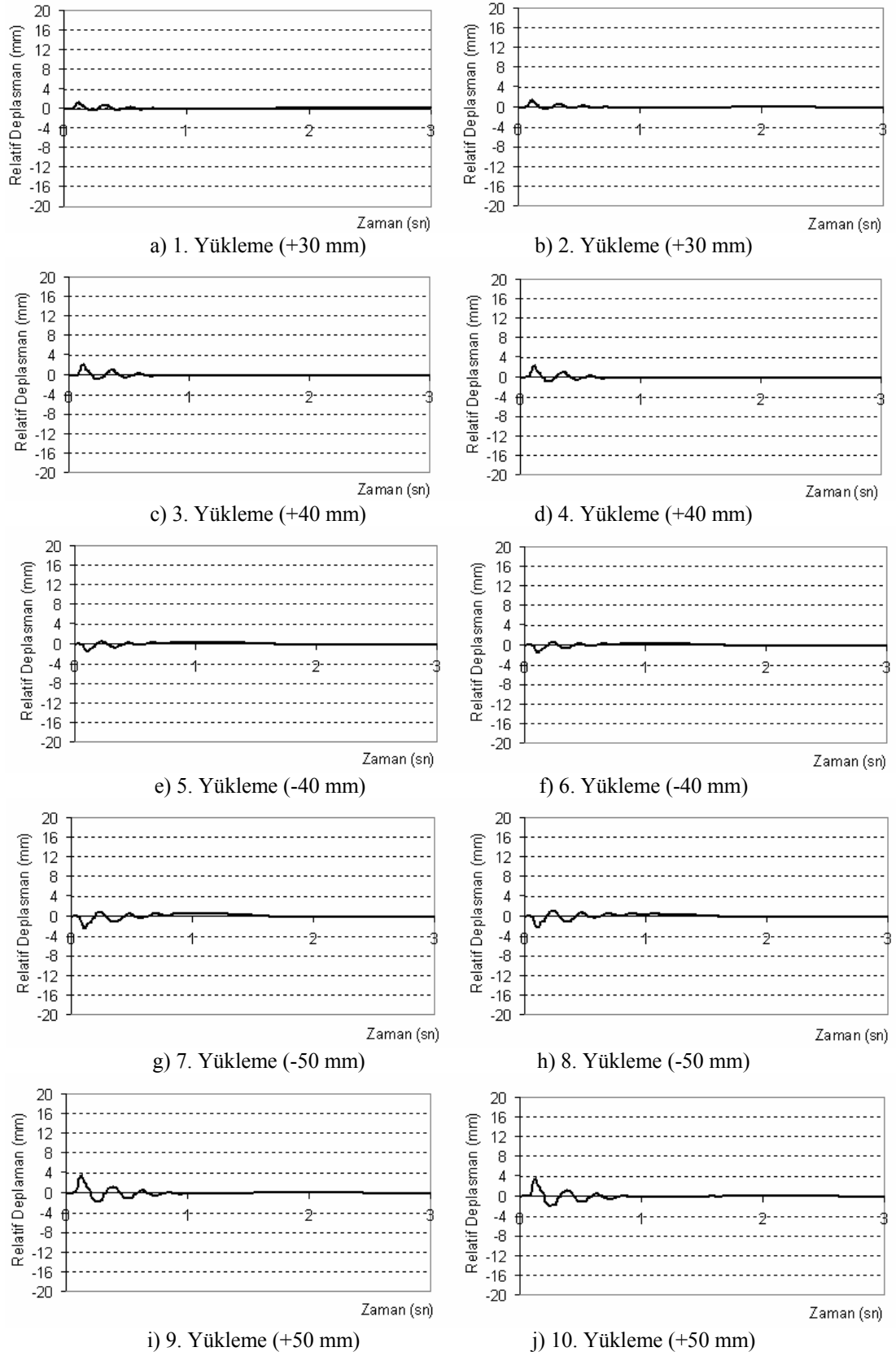


l) 12. Yükleme (+55 mm)

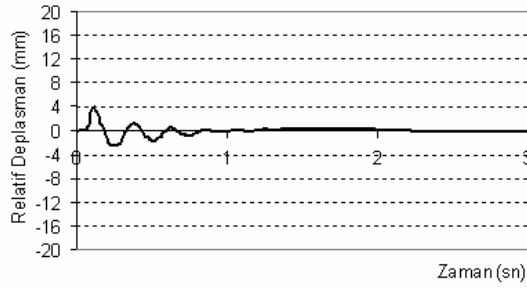


m) 13. Yükleme (+55 mm)

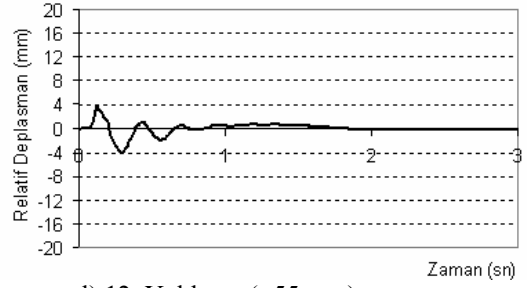
Şekil 3.10. (Devam) Deney Yapısı-2 tepki fonksiyonu grafikleri



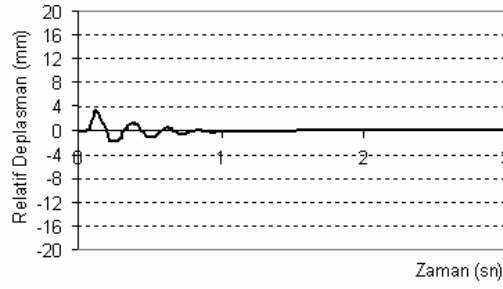
Şekil 3.11. Deney Yapısı-2 relatif deplasman grafikleri



k) 11. Yükleme (+55 mm)

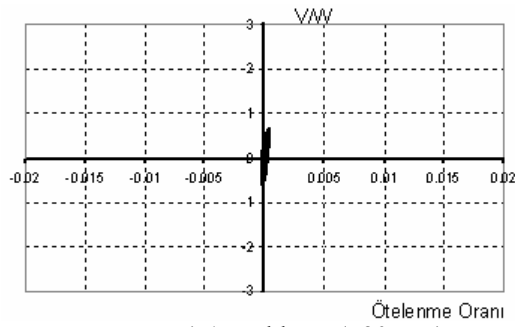


l) 12. Yükleme (+55 mm)

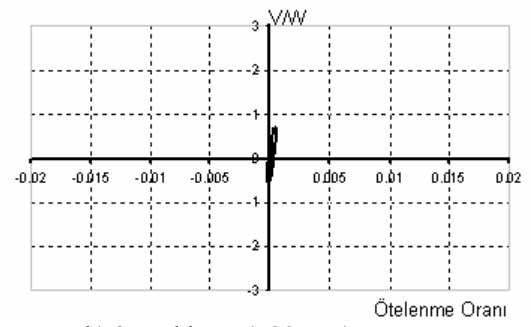


m) 13. Yükleme (+55 mm)

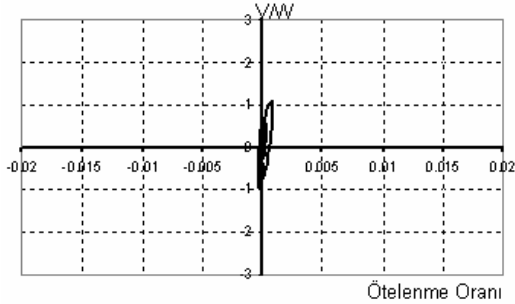
Şekil 3.11. (Devam) Deney Yapısı-2 relatif deplasman grafikleri



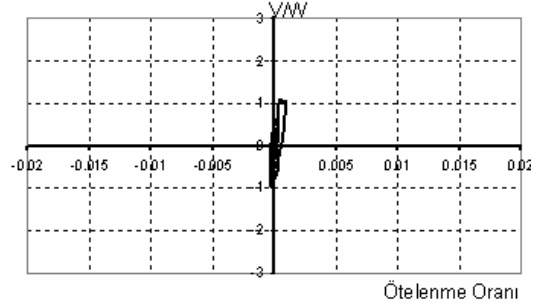
a) 1. Yükleme (+30 mm)



b) 2. Yükleme (+30 mm)

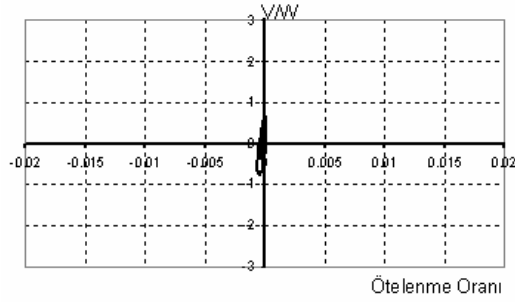


c) 3. Yükleme (+40 mm)

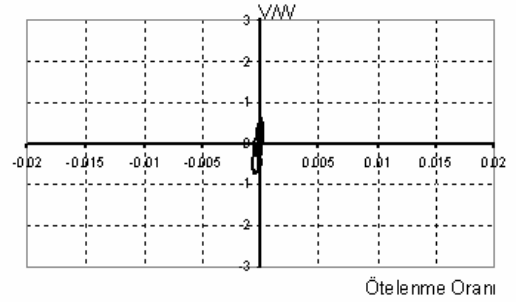


d) 4. Yükleme (+40 mm)

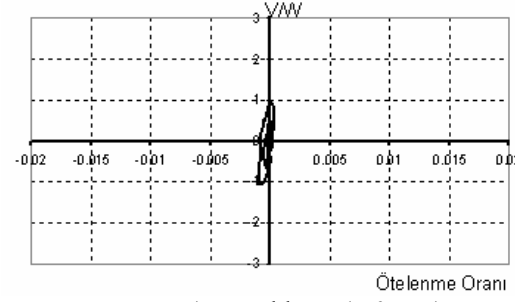
Şekil 3.12. Deney Yapısı-2 yatay yük-ötelenme oranı grafikleri



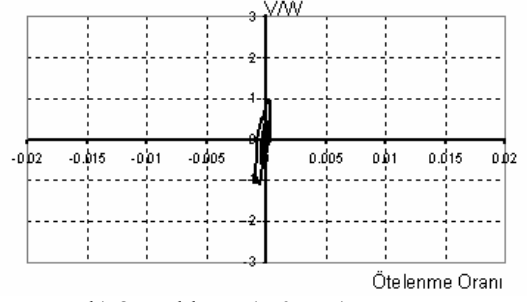
e) 5. Yükleme (-40 mm)



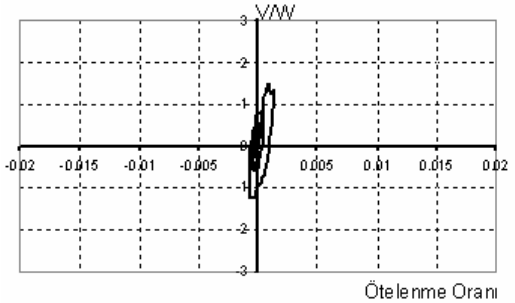
f) 6. Yükleme (-40 mm)



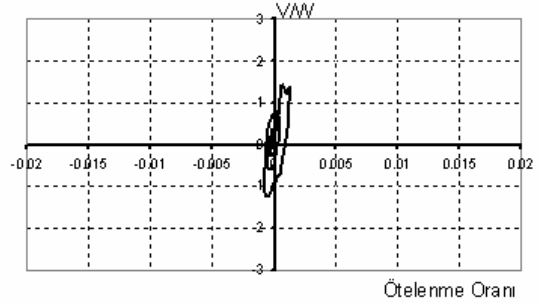
g) 7. Yükleme (-50 mm)



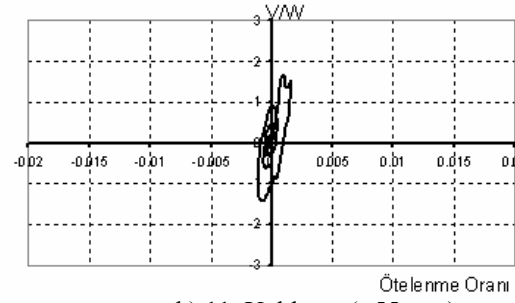
h) 8. Yükleme (-50 mm)



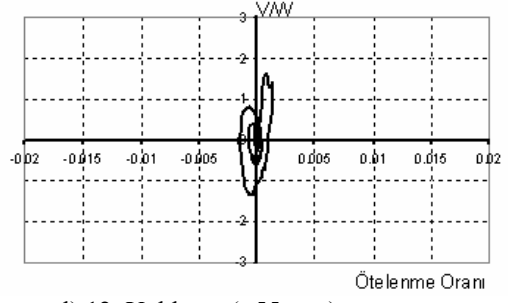
i) 9. Yükleme (+50 mm)



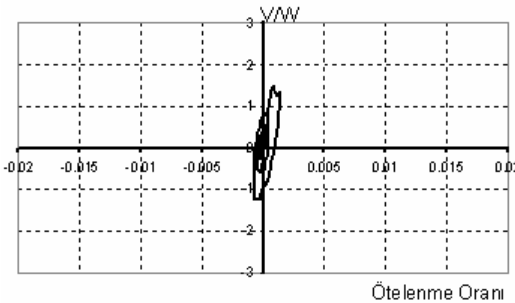
j) 10. Yükleme (+50 mm)



k) 11. Yükleme (+55 mm)

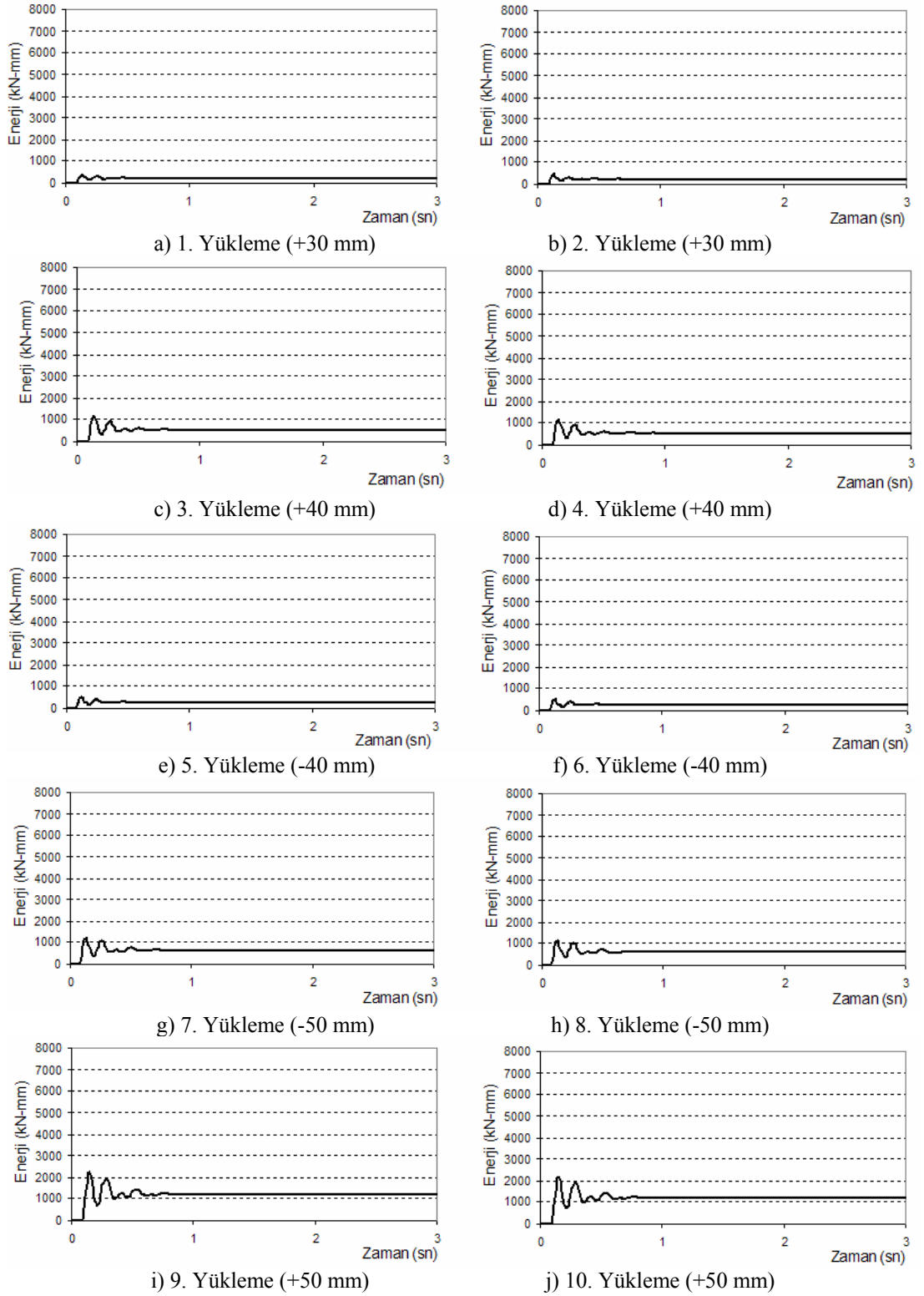


l) 12. Yükleme (+55 mm)

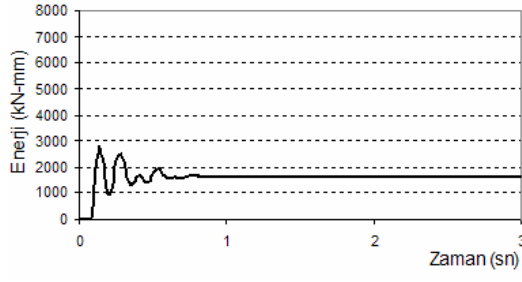


m) 13. Yükleme (+55 mm)

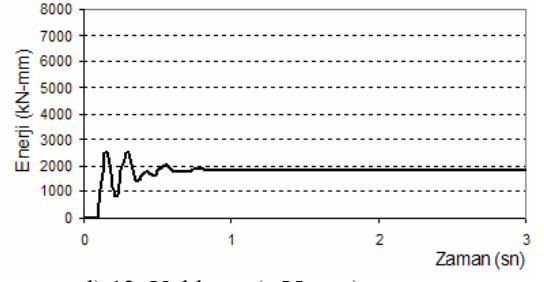
Şekil 3.12. (Devam) Deney Yapısı-2 yatay yük-ötelenme oranı grafikleri



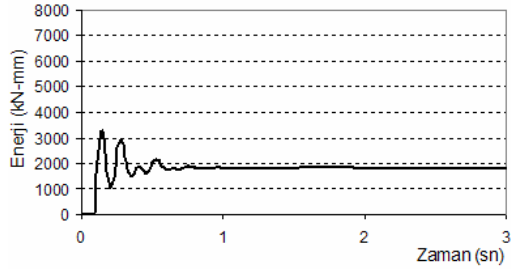
Şekil 3.13. Deney Yapısı-2 tüketilen enerji grafikleri



k) 11. Yükleme (+55 mm)



l) 12. Yükleme (+55 mm)



m) 13. Yükleme (+55 mm)

Şekil 3.13. (Devam) Deney Yapısı-2 tüketilen enerji grafikleri

3.3. Deney Yapısı-3

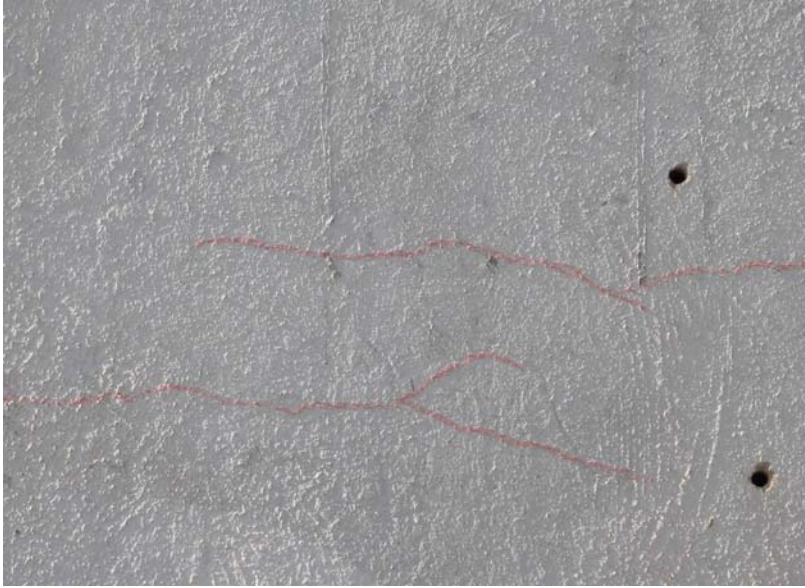
Deney yapısına uygulanan yükleme düzeni Deney Yapısı-2 ile aynıdır. Deney sonunda, yükleme yönüne paralel olan güney cephesinde kapı üst köşesinden diyagonal çelik levhaya doğru yatay biçimde uzanan sürekliliği olmayan kılcal boyuttaki çatlak haricinde kesme veya eğilme çatlağı oluşmamıştır. Oluşan bu kılcal çatlak daha önce tamir yapılan bölgenin soğuk derz oluşturduğu yerde olmuştur. Batı duvarı ile güney cephesinin birleştiği bölgede yerde yatay hatıl kenarı boyunca kılcal çatlaklar meydana gelmiştir. Çelik levha bağlantılarında bir gevşeme veya oynama meydana gelmemiştir (Resim 3.26, Resim 3.27 ve Resim 3.28).



Resim 3.26. Deney Yapısı-3 güney ve batı cephenin 18. yükleme sonunda görünüşü



Resim 3.27. Deney Yapısı-3 kuzey ve batı cephenin 18. yükleme sonunda görünüşü

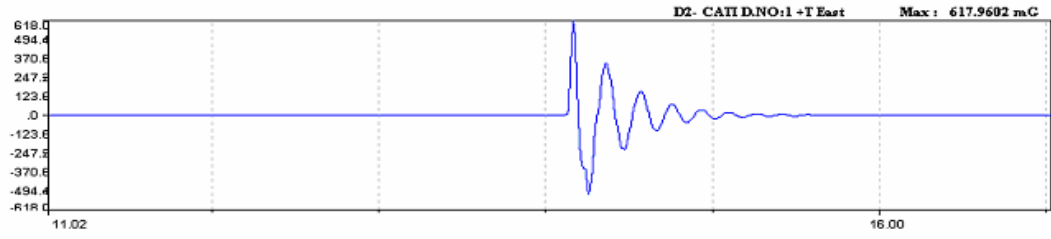


Resim 3.28. Deney Yapısı-3 batı cephenin 18. yükleme sonunda görünüşü

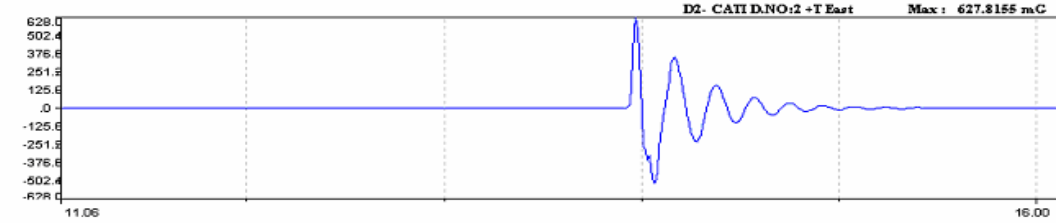
Her yükleme adımında deney yapısına gelen kuvvet ve sarsma tablası üzerinde ölçülen ivme Çizelge 3.3’de verilmiştir. Deneyde her yükleme adımı için deney yapısının çatısında ve sarsma tablası üzerinde ölçülen ivme kayıtları Şekil 3.14 ve Şekil 3.15’de verilmiştir. Tepki fonksiyonu grafikleri Şekil 3.16’da, relatif yanıl ötelemeler Şekil 3.17’de, yatay yük-ötelemelme oranı Şekil 3.18’de ve tüketilen enerji Şekil 3.19’da verilmiştir.

Çizelge 3.3. Deney Yapısı-3’de her yükleme adımında ölçülen ivme ve gelen kuvvet

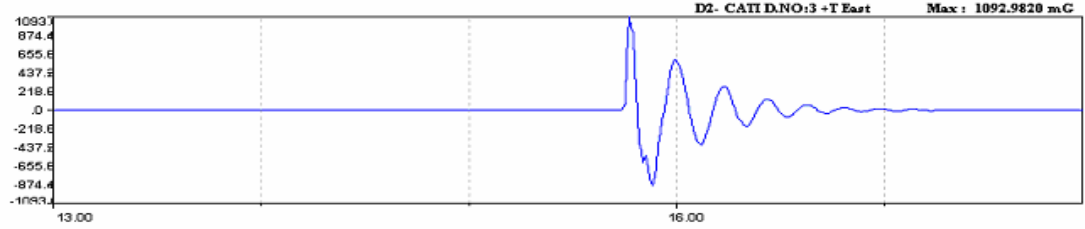
Yükleme No	Başlangıç Ötelemesi (mm)	Tabla İvme- <i>a</i> (cm/sn ²)	Çatı İvme- <i>a</i> (cm/sn ²)	Yatay Yük Katsayısı ($C=a/g$)	Yatay Kuvvet (kN) $F=CxW$
1	+30	516,64	617,96	0,63	74,92
2	+30	514,88	627,82	0,64	76,11
3	+40	951,94	1092,98	1,11	132,01
4	+40	954,49	1098,00	1,12	133,20
5	-40	679,44	770,06	0,78	92,76
6	-40	627,38	717,52	0,73	86,82
7	-50	974,56	1143,61	1,17	139,15
8	-50	980,24	1072,69	1,09	129,63
9	+50	1296,23	1467,06	1,50	178,39
10	+50	1309,38	1489,70	1,52	180,77
11	+55	1386,54	1611,51	1,64	195,04
12	+55	1317,15	1565,42	1,60	190,28
13	+55	1397,16	1605,05	1,64	195,04
14	+55	1405,64	1597,32	1,63	193,85
15	+55	1477,54	1644,86	1,68	199,80
16	-55	1233,30	1302,68	1,33	158,17
17	-65	1473,34	1775,71	1,81	215,26
18	+65	1718,07	2153,42	2,20	261,64



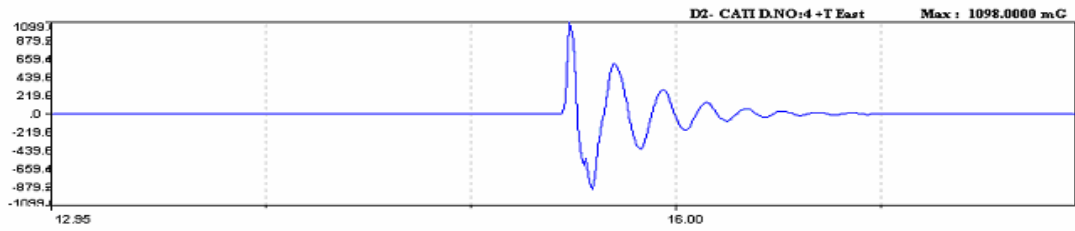
a) 1. Yükleme Çatı İvme Kaydı (+30 mm)



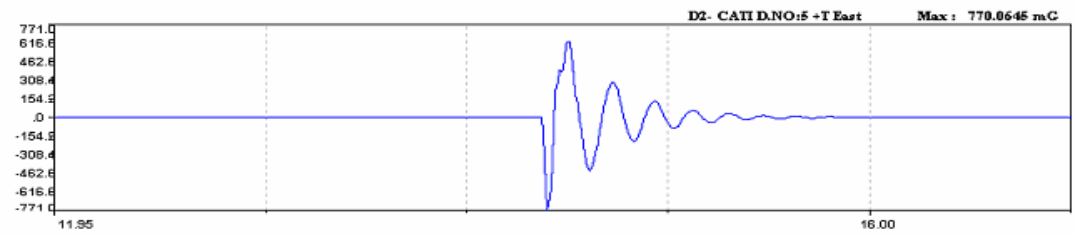
b) 2. Yükleme Çatı İvme Kaydı (+30 mm)



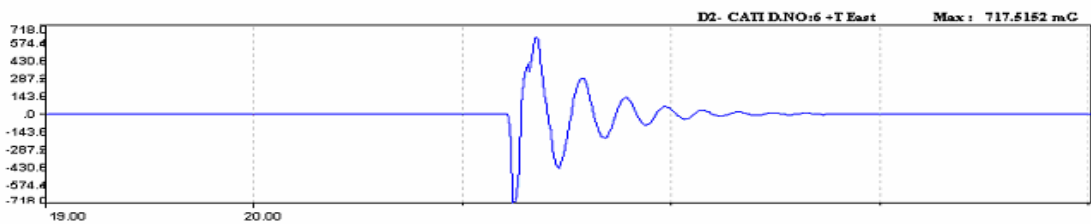
c) 3. Yükleme Çatı İvme Kaydı (+40 mm)



d) 4. Yükleme Çatı İvme Kaydı (+40 mm)

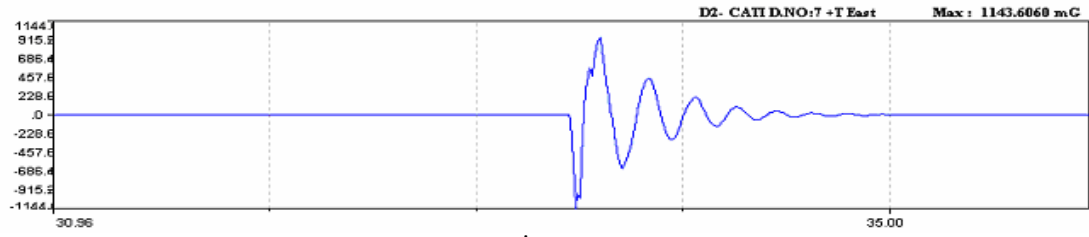


e) 5. Yükleme Çatı İvme Kaydı (-40 mm)

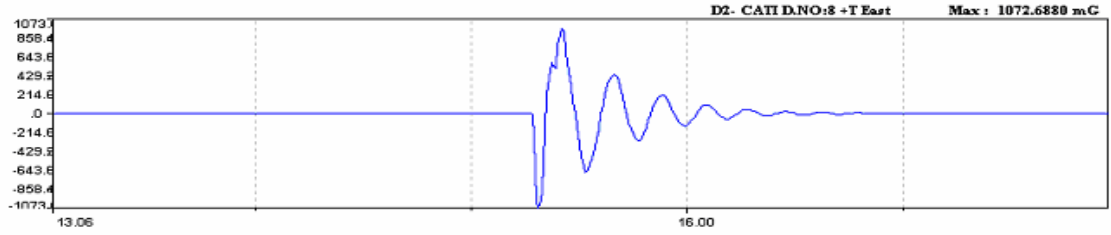


f) 6. Yükleme Çatı İvme Kaydı (-40 mm)

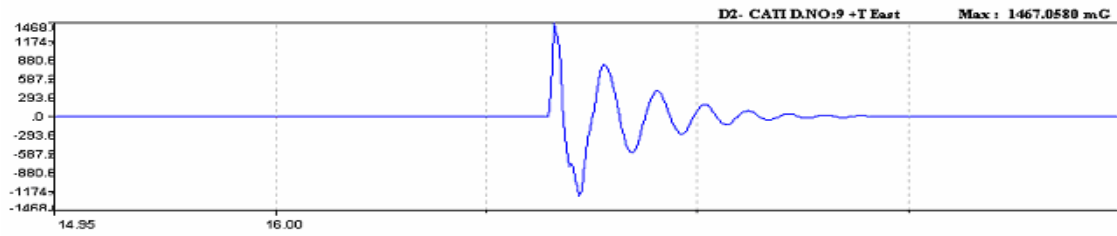
Şekil 3.14. Deney Yapısı-3 çatı ivme kayıtları (düşey eksen ivme-cm/sn², yatay eksen zaman-sn.)



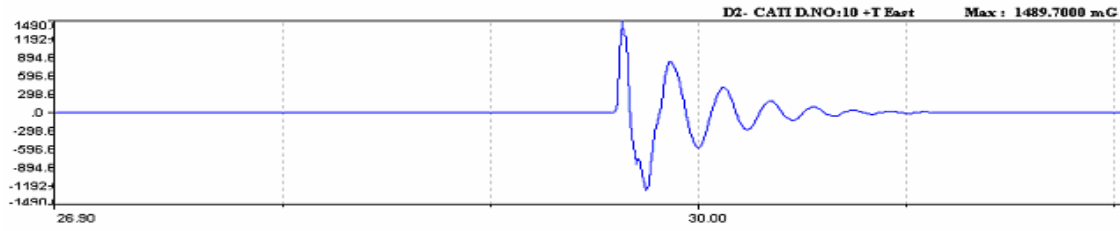
g) 7. Yükleme Çatı İvme Kaydı (-50 mm)



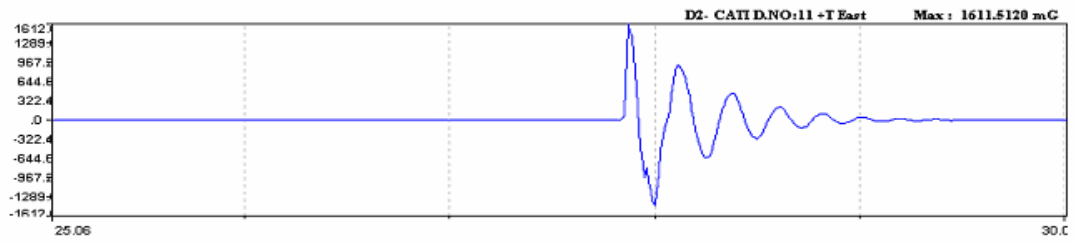
h) 8. Yükleme Çatı İvme Kaydı (-50 mm)



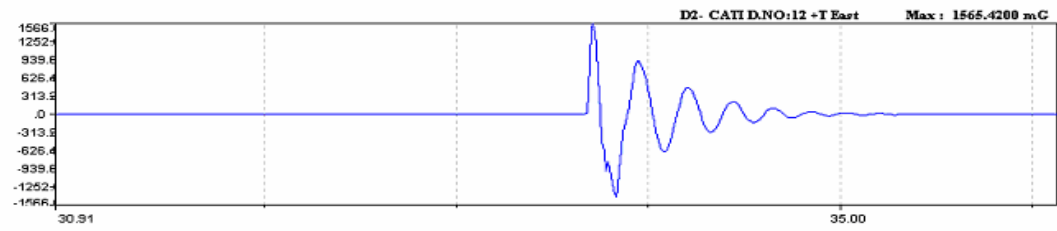
i) 9. Yükleme Çatı İvme Kaydı (+50 mm)



j) 10. Yükleme Çatı İvme Kaydı (+50 mm)

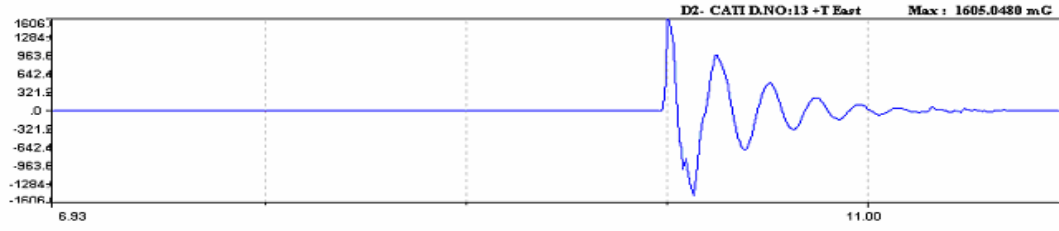


k) 11. Yükleme Çatı İvme Kaydı (+55 mm)

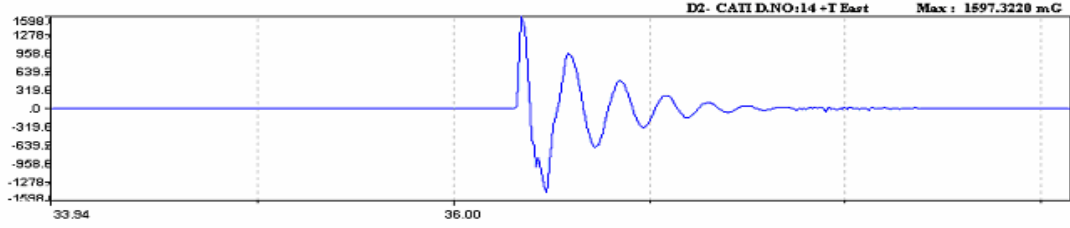


l) 12. Yükleme Çatı İvme Kaydı (+55 mm)

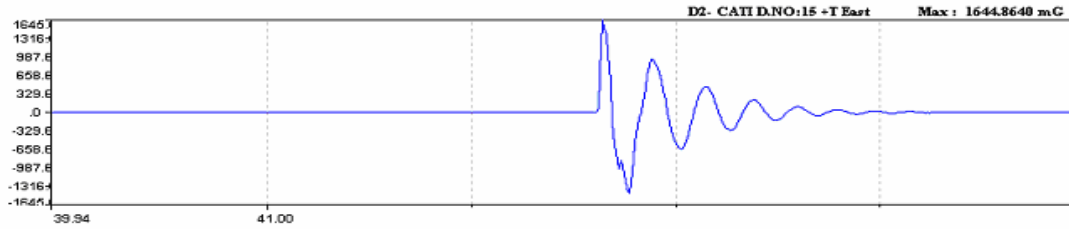
Şekil 3.14. (Devam) Deney Yapısı-3 çatı ivme kayıtları



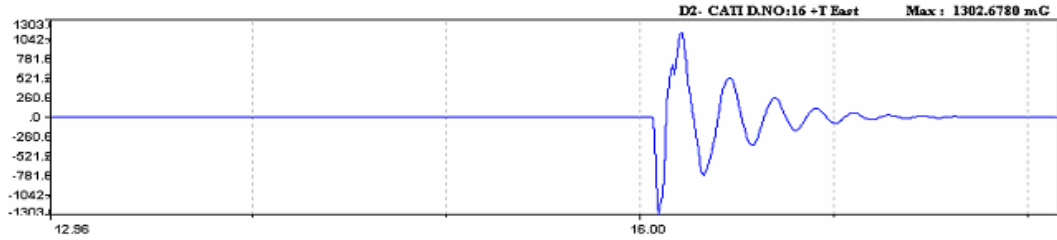
m)13. Yükleme Çatı İvme Kaydı (+55 mm)



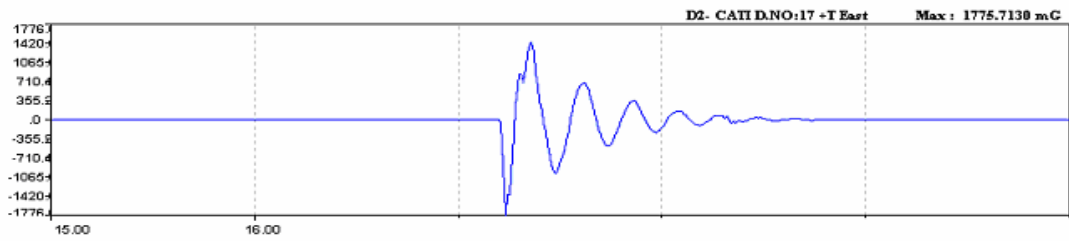
n)14. Yükleme Çatı İvme Kaydı (+55 mm)



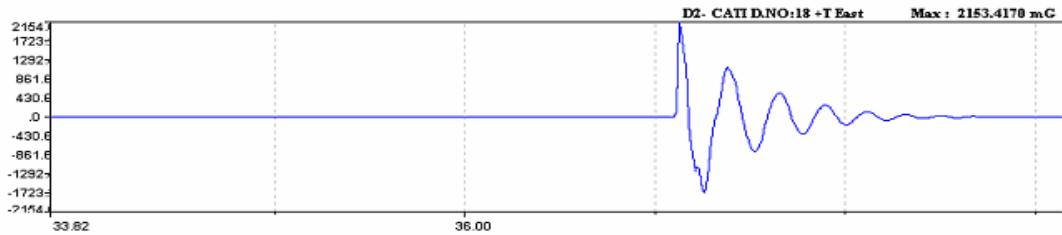
o)15. Yükleme Çatı İvme Kaydı (+55 mm)



p)16. Yükleme Çatı İvme Kaydı (-55 mm)

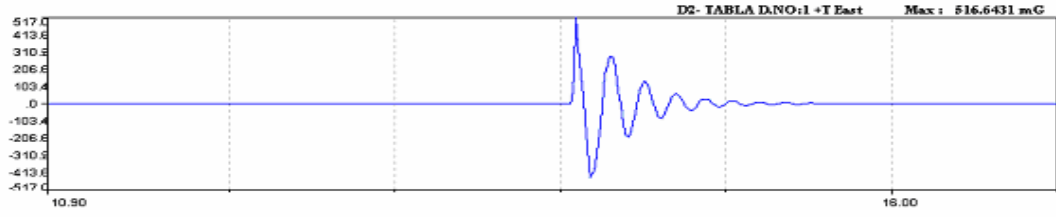


r)17. Yükleme Çatı İvme Kaydı (-65 mm)

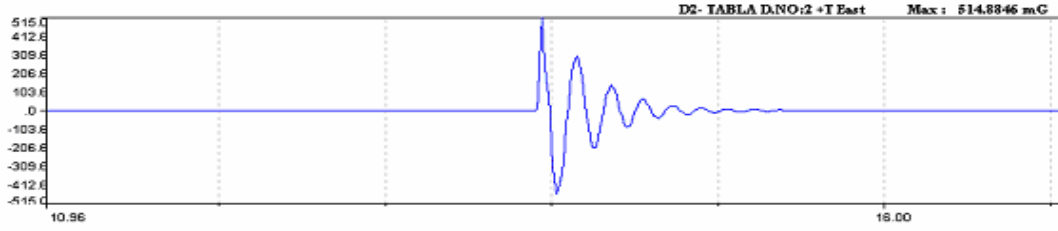


s)18. Yükleme Çatı İvme Kaydı (+65 mm)

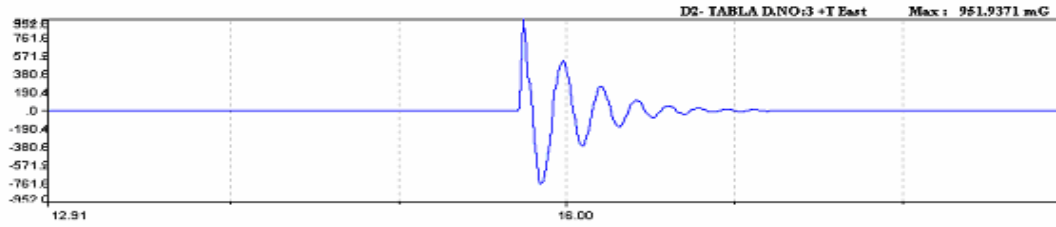
Şekil 3.14. (Devam) Deney Yapısı-3 çatı ivme kayıtları



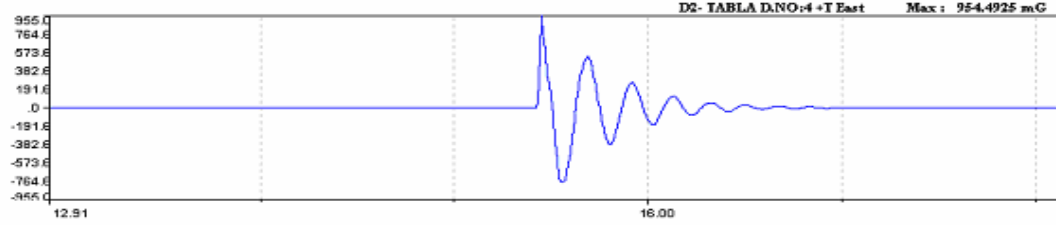
a) 1. Yükleme Tabla İvme Kaydı (+30 mm)



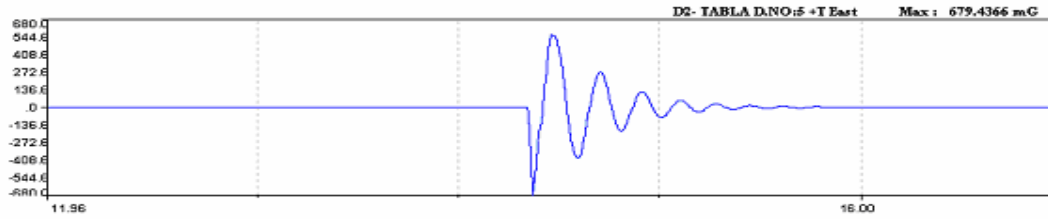
b) 2. Yükleme Tabla İvme Kaydı (+30 mm)



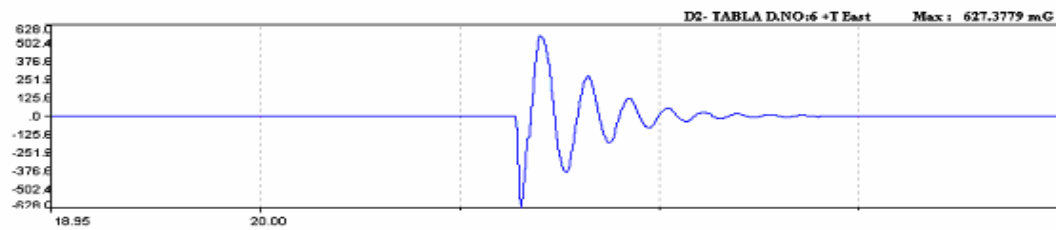
c) 3. Yükleme Tabla İvme Kaydı (+40 mm)



d) 4. Yükleme Tabla İvme Kaydı (+40 mm)

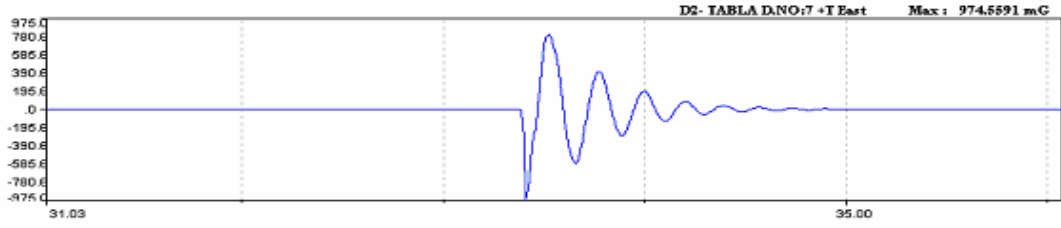


e) 5. Yükleme Tabla İvme Kaydı (-40 mm)

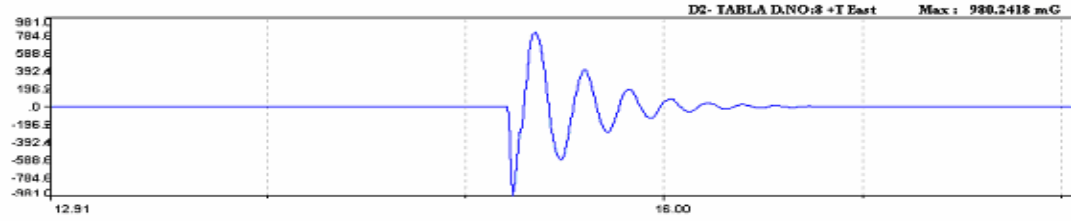


f) 6. Yükleme Tabla İvme Kaydı (-40 mm)

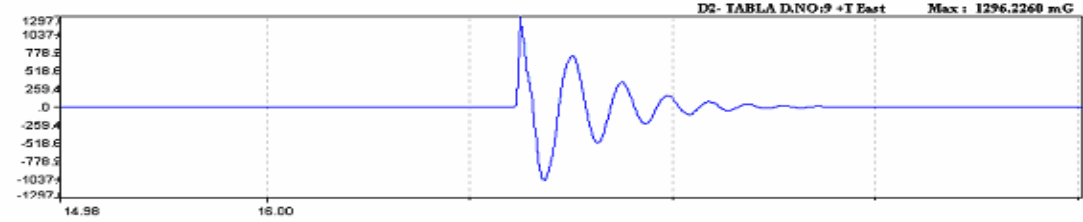
Şekil 3.15. Deney Yapısı-3 tabla ivme kayıtları (düşey eksen ivme-cm/sn², yatay eksen zaman-sn.)



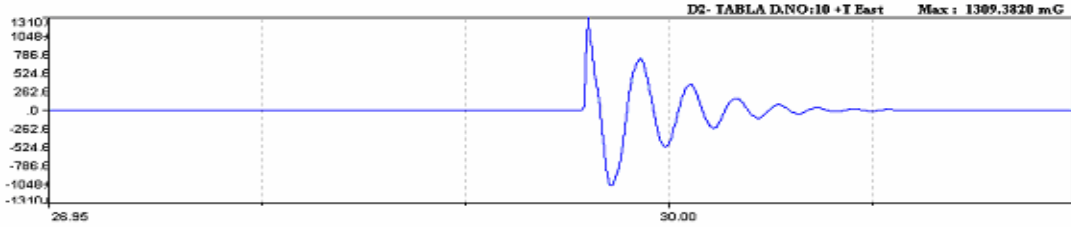
g) 7. Yükleme Tabla İvme Kaydı (-50 mm)



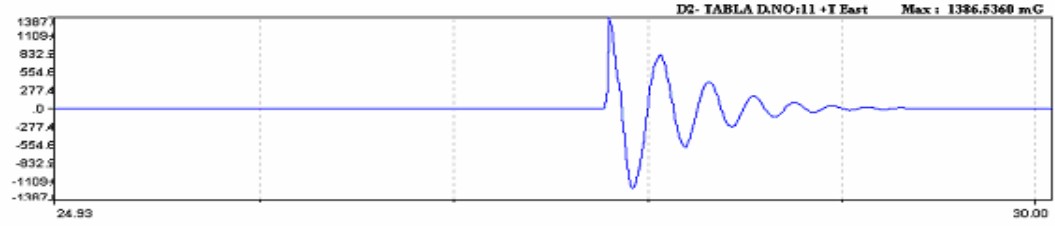
h) 8. Yükleme Tabla İvme Kaydı (-50 mm)



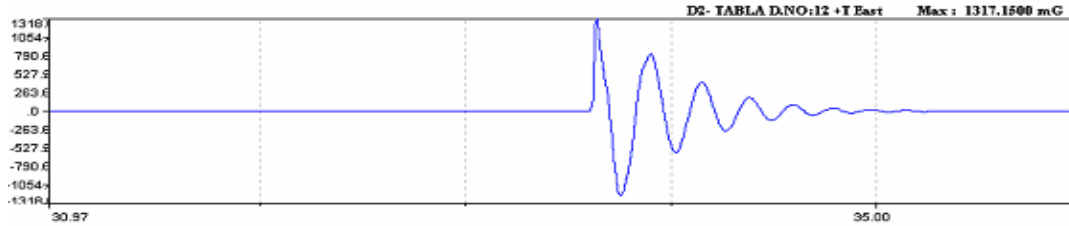
i) 9. Yükleme Tabla İvme Kaydı (+50 mm)



j) 10. Yükleme Tabla İvme Kaydı (+50 mm)

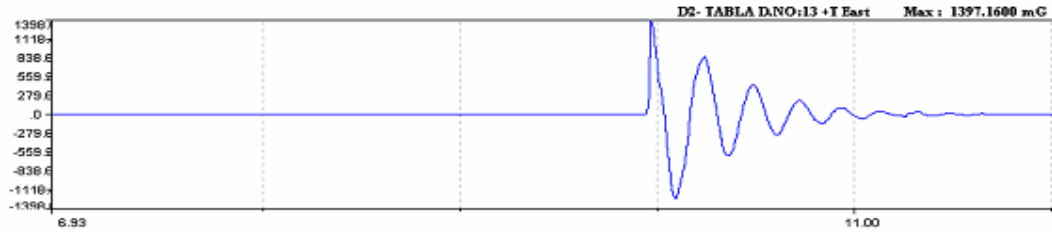


k) 11. Yükleme Tabla İvme Kaydı (+55 mm)

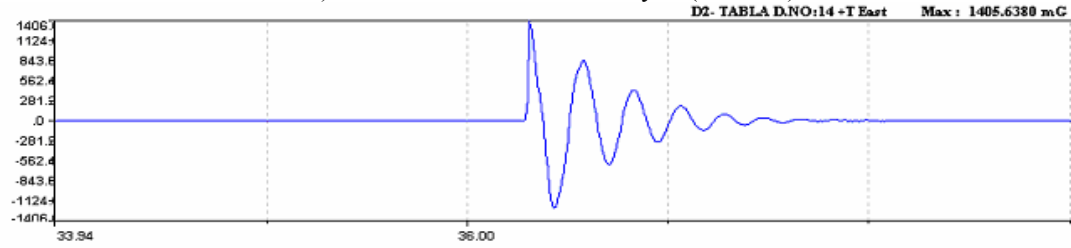


l) 12. Yükleme Tabla İvme Kaydı (+55 mm)

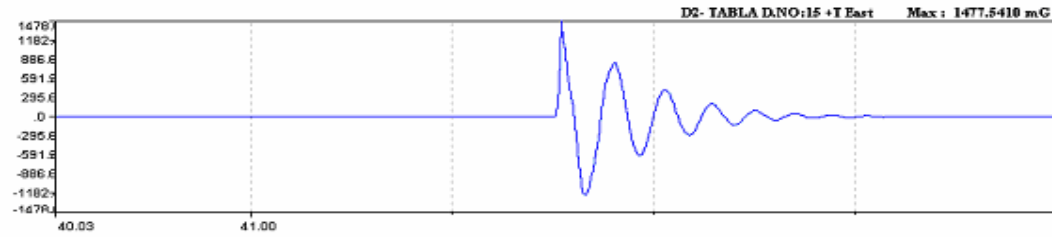
Şekil 3.15. (Devam) Deney Yapısı-3 tabla ivme kayıtları



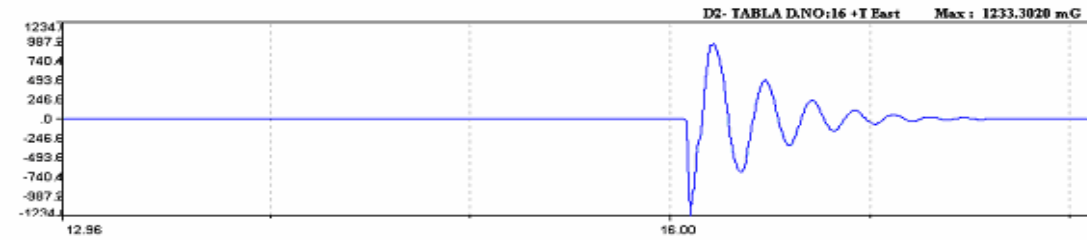
m) 13. Yükleme Tabla İvme Kaydı (+55 mm)



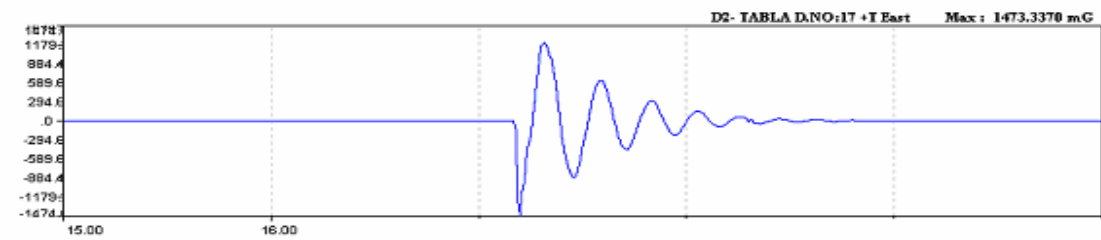
n) 14. Yükleme Tabla İvme Kaydı (+55 mm)



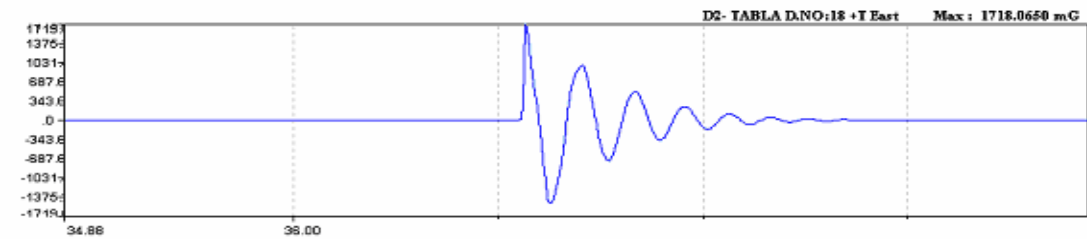
o) 15. Yükleme Tabla İvme Kaydı (+55 mm)



p) 16. Yükleme Tabla İvme Kaydı (-55 mm)

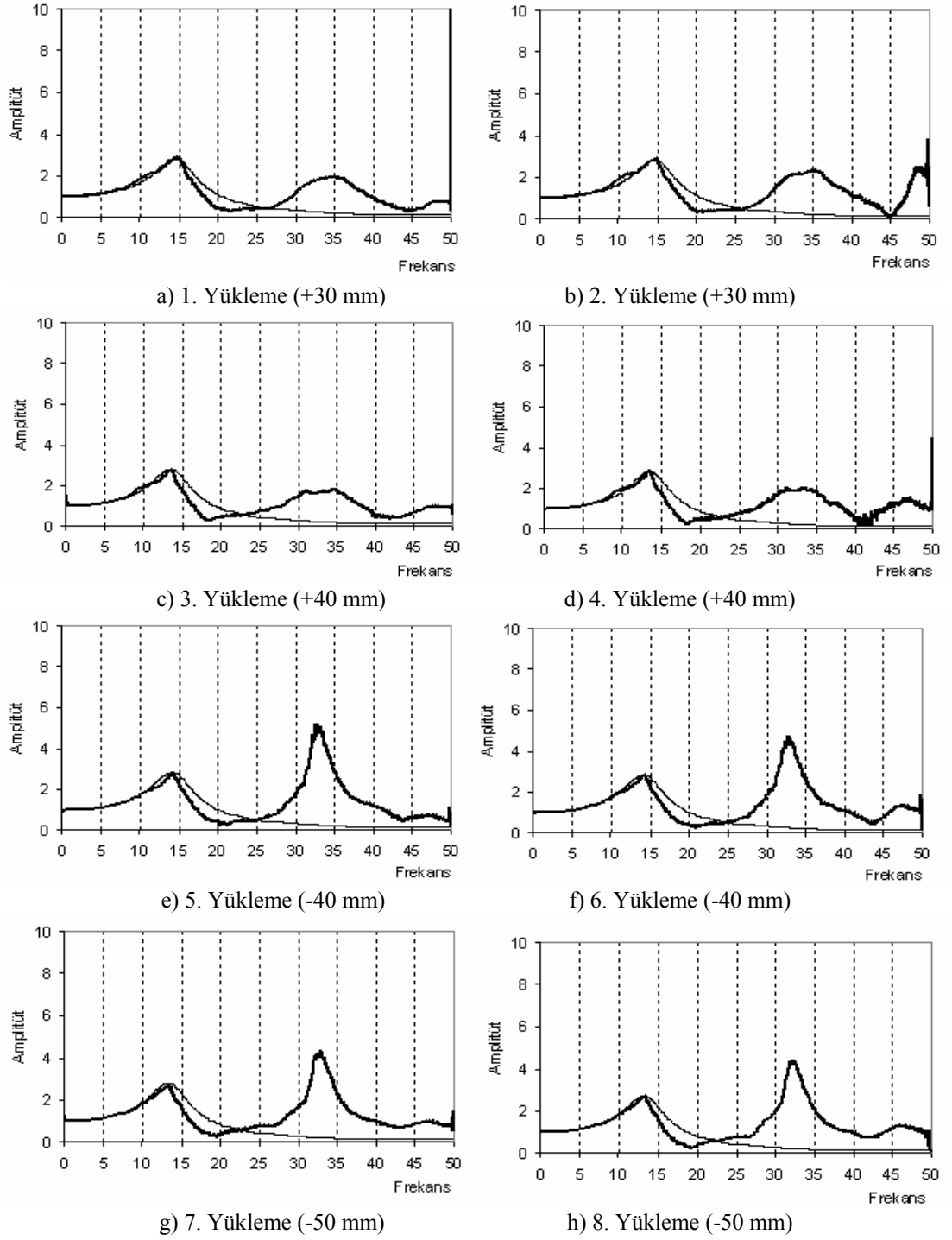


r) 17. Yükleme Tabla İvme Kaydı (-65 mm)

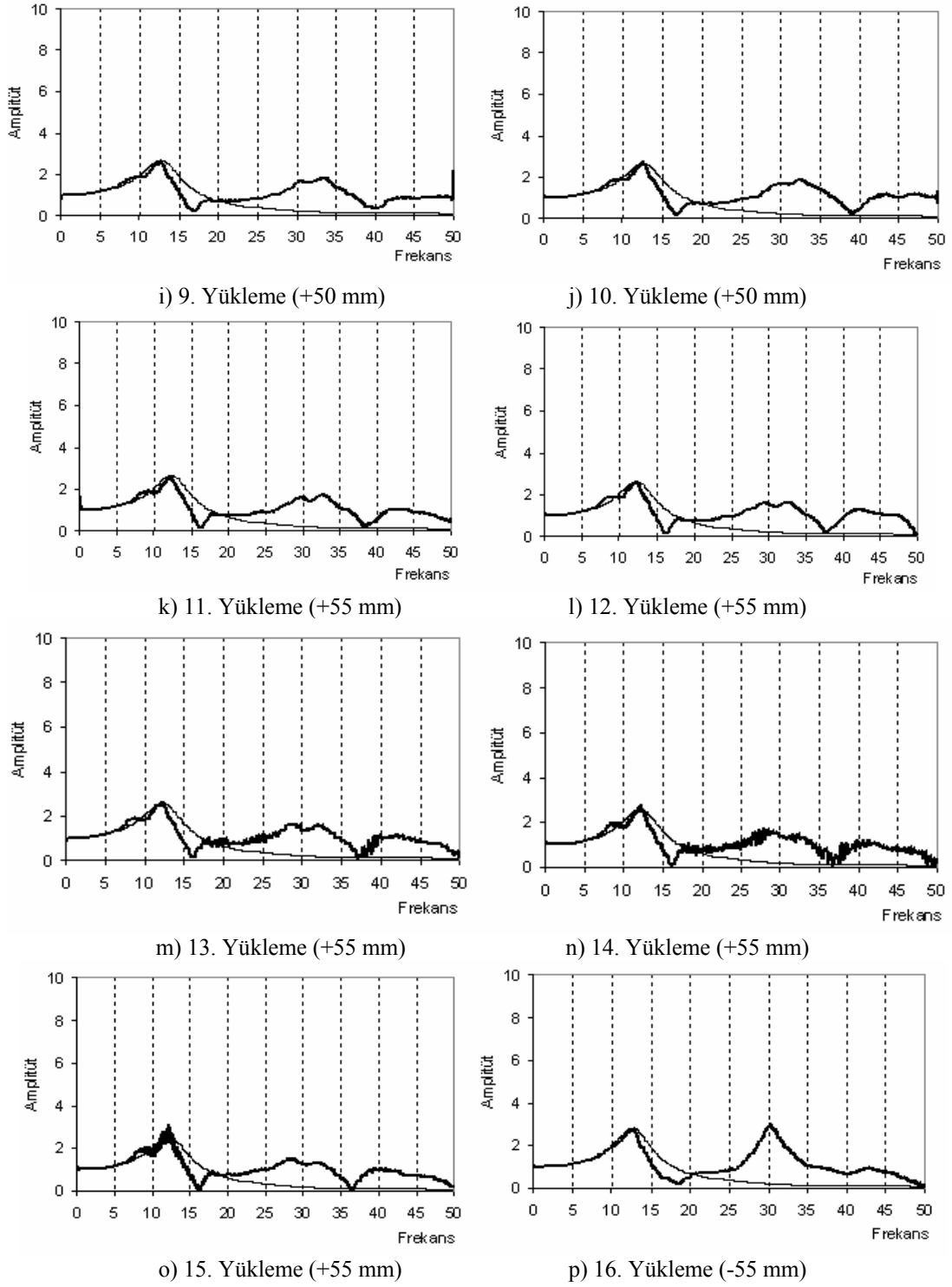


s) 18. Yükleme Tabla İvme Kaydı (+65 mm)

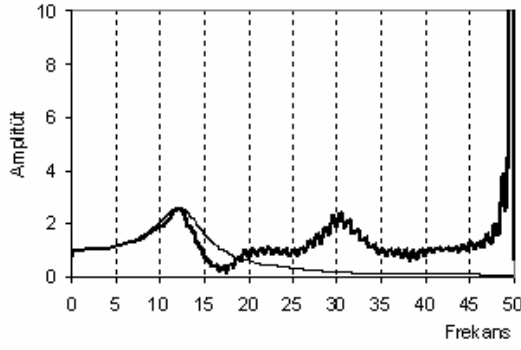
Şekil 3.15. (Devam) Deney Yapısı-3 tabla ivme kayıtları



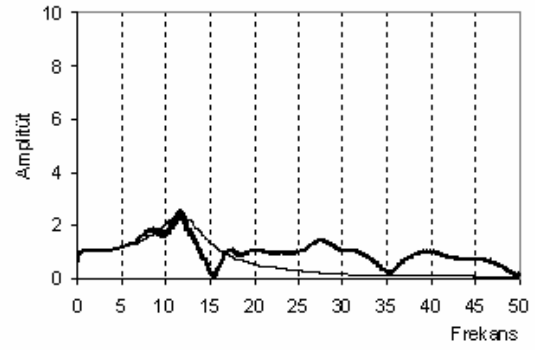
Şekil 3.16. Deney Yapısı-3 tepki fonksiyonu grafikleri (—; ivme kayıtlarından , —; tek serbestlik dereceli elastik sistemin hareket denkleminde)



Şekil 3.16. (Devam) Deney Yapısı-3 tepki fonksiyonu grafikleri

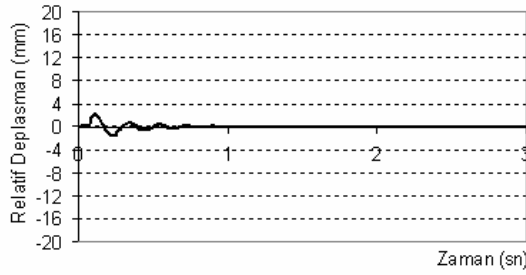


r) 17. Yükleme (-65 mm)

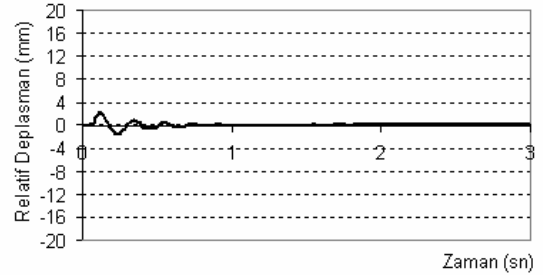


s) 18. Yükleme (+65 mm)

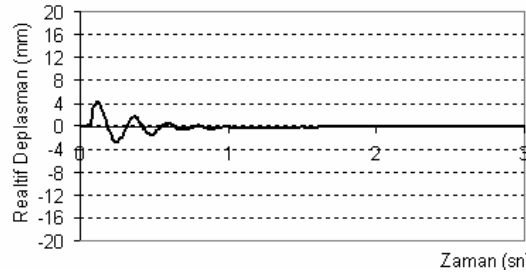
Şekil 3.16. (Devam) Deney Yapısı-3 tepki fonksiyonu grafikleri



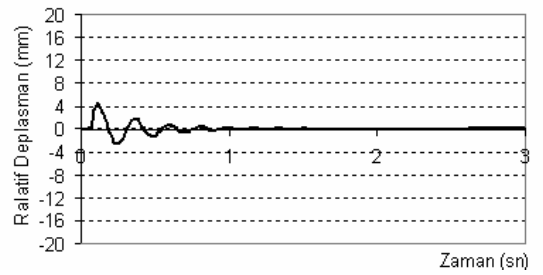
a) 1. Yükleme (+30 mm)



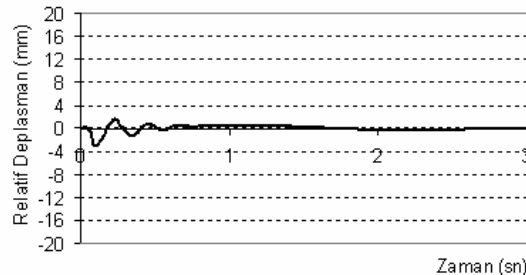
b) 2. Yükleme (+30 mm)



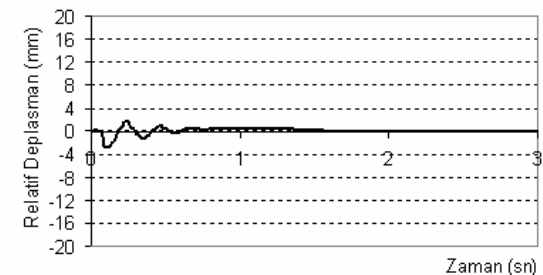
c) 3. Yükleme (+40 mm)



d) 4. Yükleme (+40 mm)

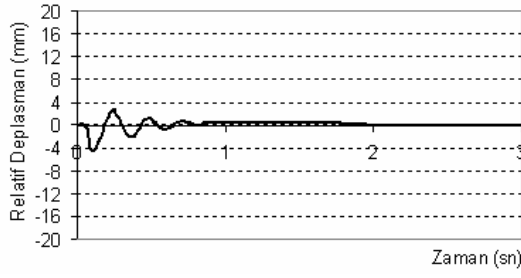


e) 5. Yükleme (-40 mm)

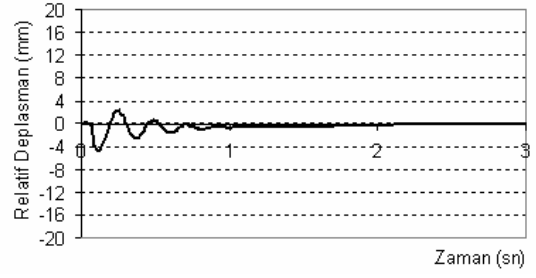


f) 6. Yükleme (-40 mm)

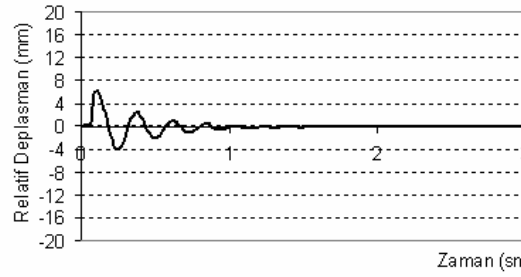
Şekil 3.17. Deney Yapısı-3 relatif deplasman grafikleri



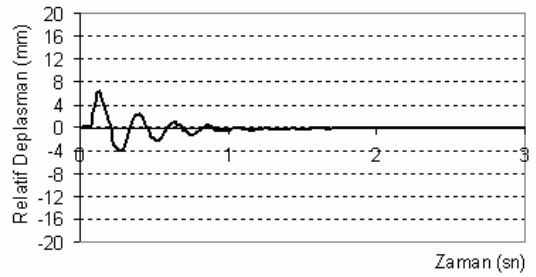
g) 7. Yükleme (-50 mm)



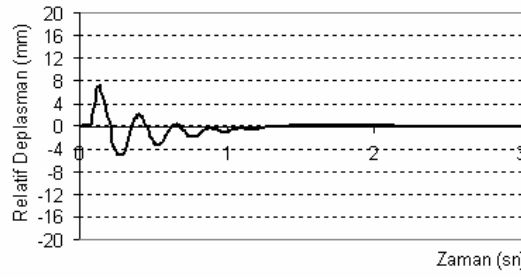
h) 8. Yükleme (-50 mm)



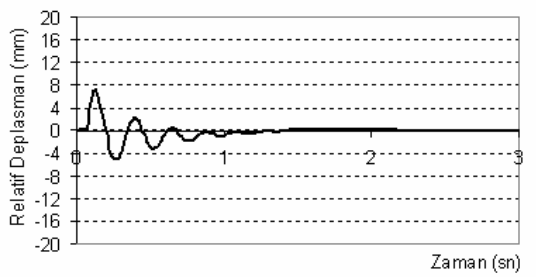
i) 9. Yükleme (+50 mm)



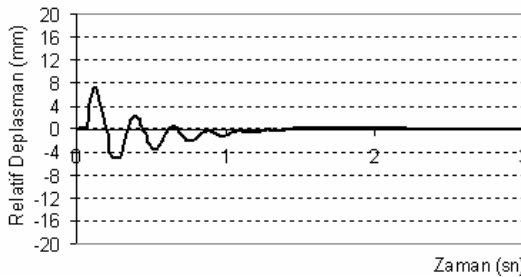
j) 10. Yükleme (+50 mm)



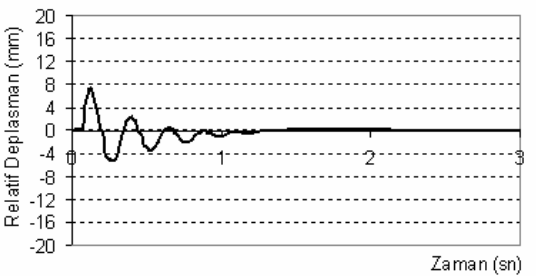
k) 11. Yükleme (+55 mm)



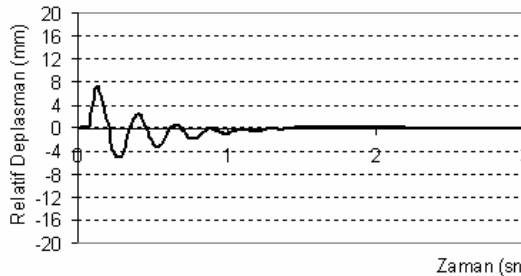
l) 12. Yükleme (+55 mm)



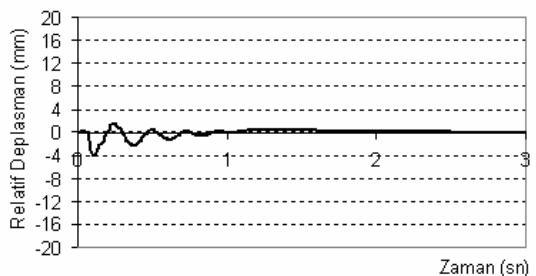
m) 13. Yükleme (+55 mm)



n) 14. Yükleme (+55 mm)

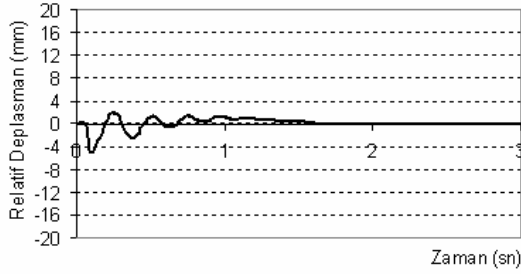


o) 15. Yükleme (+55 mm)

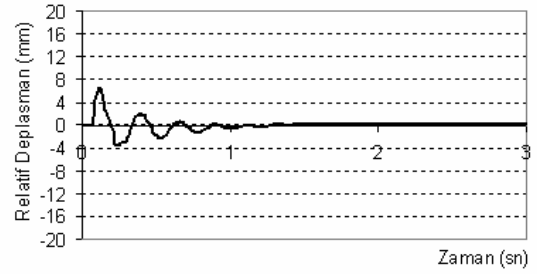


p) 16. Yükleme (-55 mm)

Şekil 3.17. (Devam) Deney Yapısı-3 relatif deplasman grafikleri

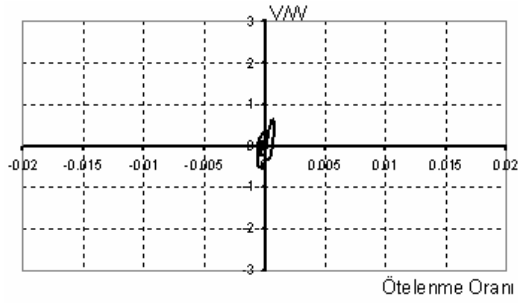


r) 17. Yükleme (-65 mm)

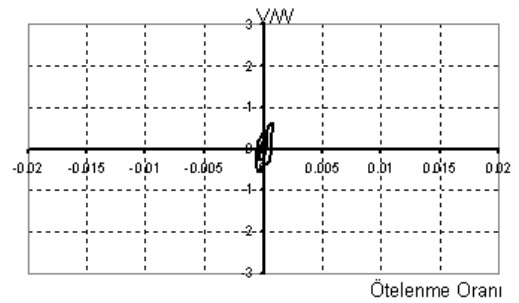


s) 18. Yükleme (+65 mm)

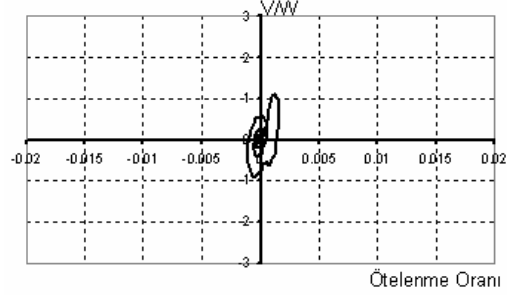
Şekil 3.17. (Devam) Deney Yapısı-3 relatif deplasman grafikleri



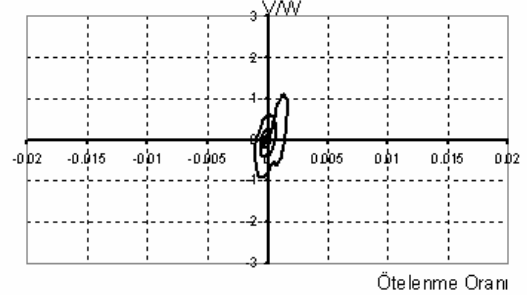
a) 1. Yükleme (+30 mm)



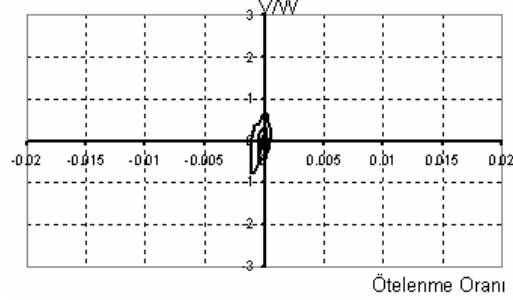
b) 2. Yükleme (+30 mm)



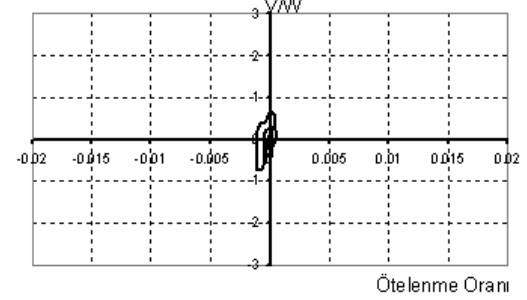
c) 3. Yükleme (+40 mm)



d) 4. Yükleme (+40 mm)

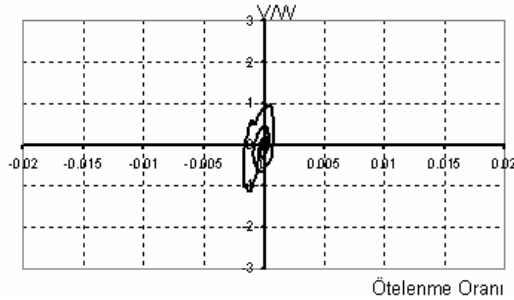


e) 5. Yükleme (-40 mm)

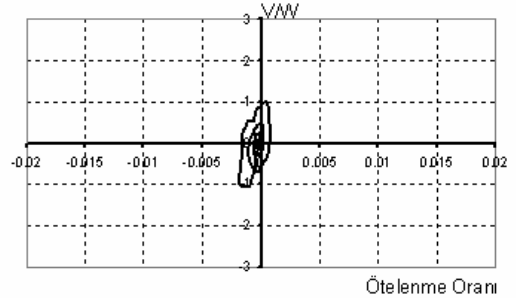


f) 6. Yükleme (-40 mm)

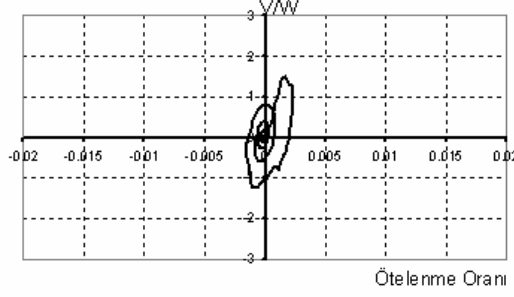
Şekil 3.18. Deney Yapısı-3 yatay yük-ötelenme oranı grafikleri



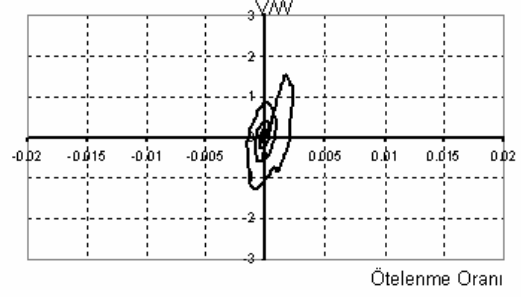
g) 7. Yükleme (-50 mm)



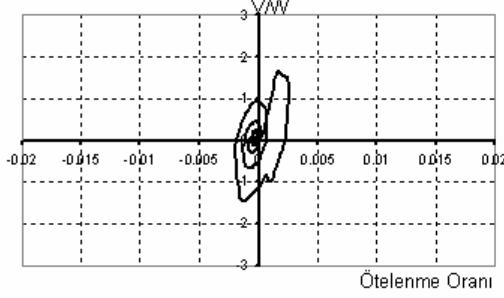
h) 8. Yükleme (-50 mm)



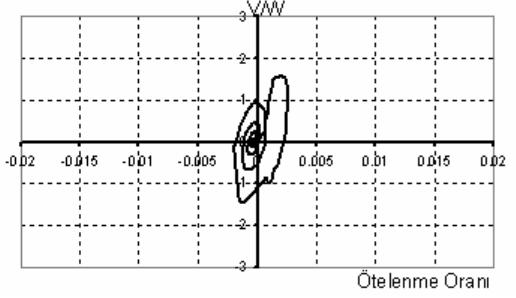
i) 9. Yükleme (+50 mm)



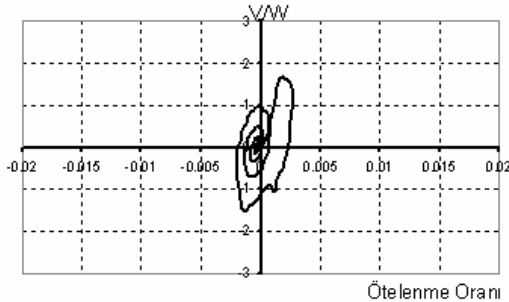
j) 10. Yükleme (+50 mm)



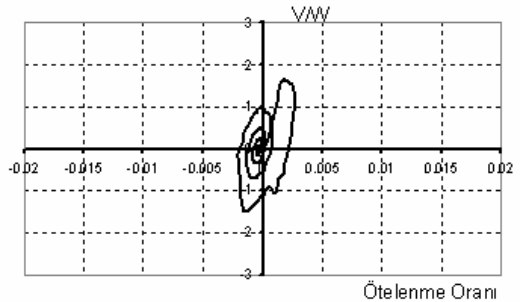
k) 11. Yükleme (+55 mm)



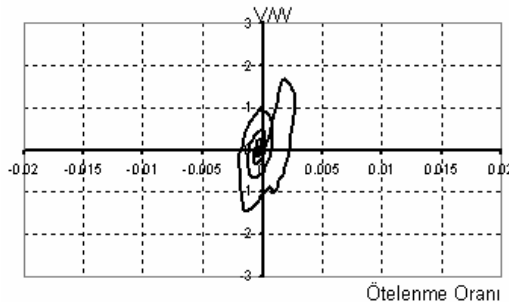
l) 12. Yükleme (+55 mm)



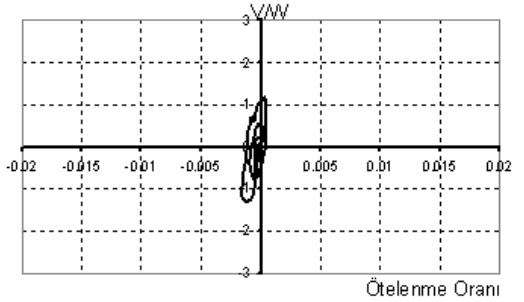
m) 13. Yükleme (+55 mm)



n) 14. Yükleme (+55 mm)

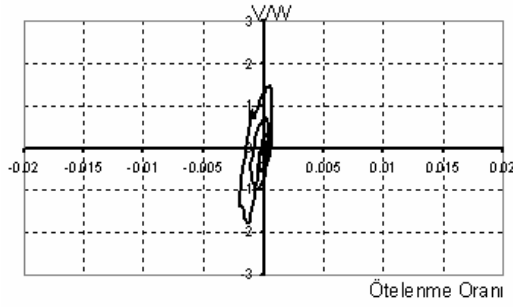


o) 15. Yükleme (+55 mm)

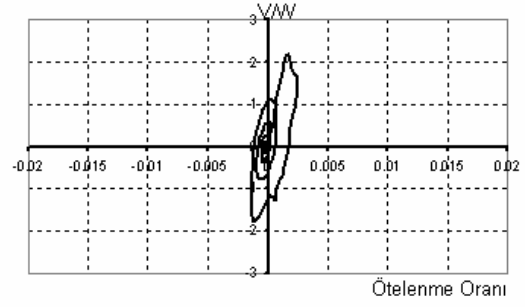


p) 16. Yükleme (-55 mm)

Şekil 3.18. (Devam) Deney Yapısı-3 yatay yük-ötelenme oranı grafikleri

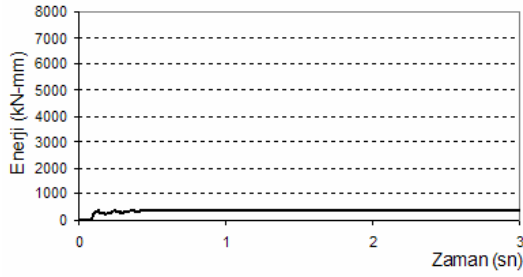


r) 17. Yükleme (-65 mm)

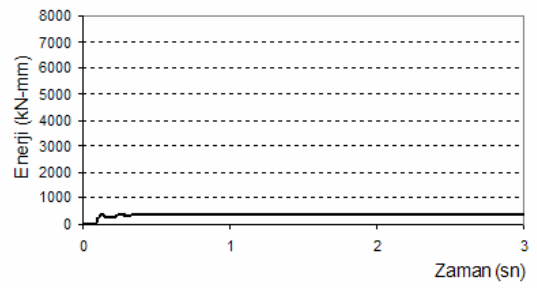


s) 18. Yükleme (+65 mm)

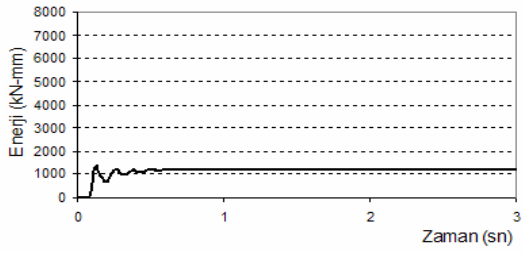
Şekil 3.18. (Devam) Deney Yapısı-3 yatay yük-ötelenme oranı grafikleri



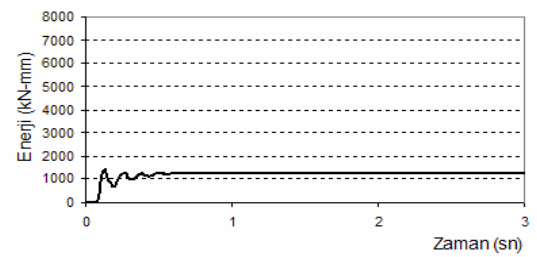
a) 1. Yükleme (+30 mm)



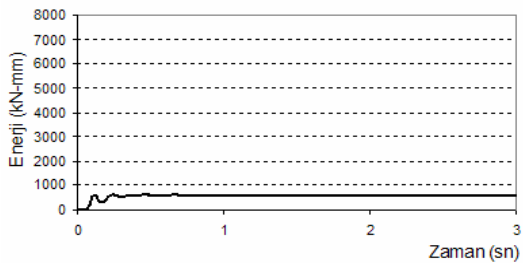
b) 2. Yükleme (+30 mm)



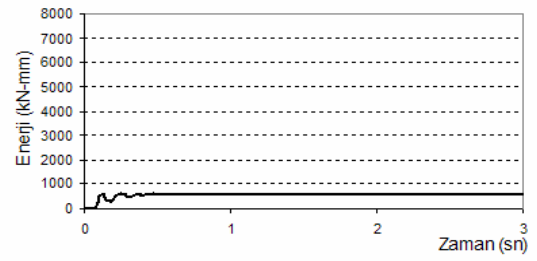
c) 3. Yükleme (+40 mm)



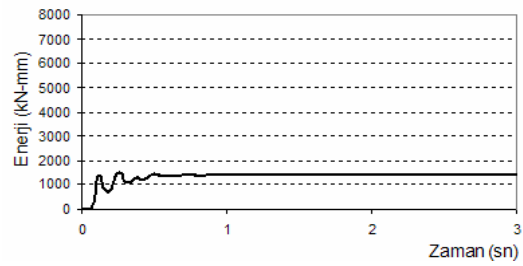
d) 4. Yükleme (+40 mm)



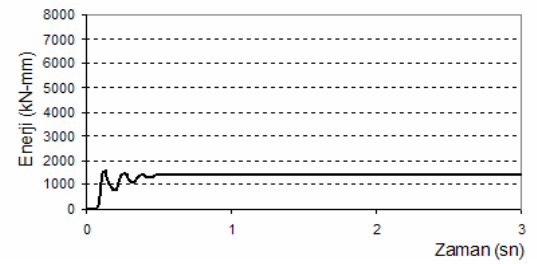
e) 5. Yükleme (-40 mm)



f) 6. Yükleme (-40 mm)

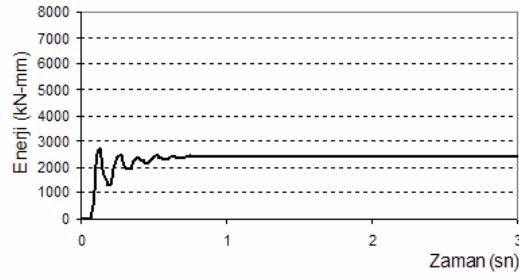


g) 7. Yükleme (-50 mm)

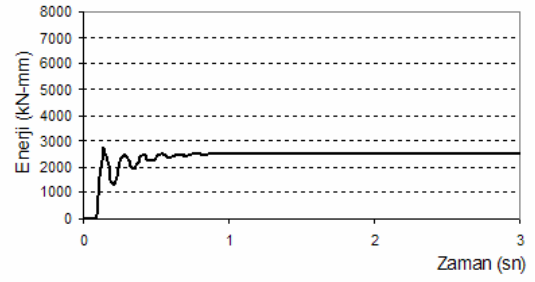


h) 8. Yükleme (-50 mm)

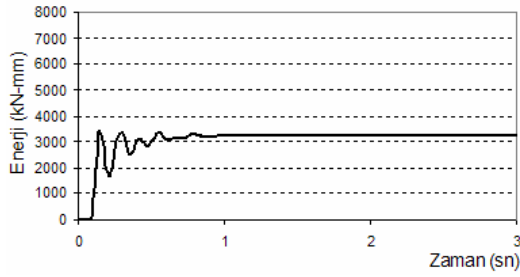
Şekil 3.19. Deney Yapısı-3 tüketilen enerji grafikleri



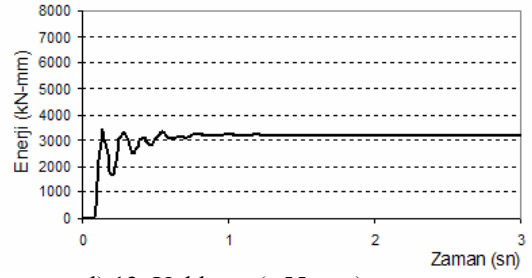
i) 9. Yükleme (+50 mm)



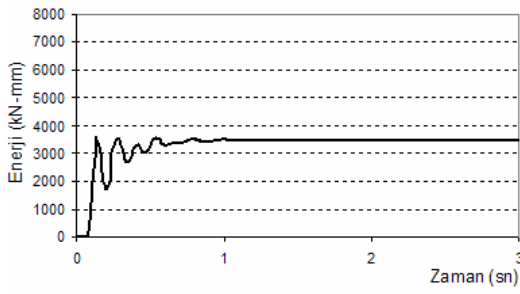
j) 10. Yükleme (+50 mm)



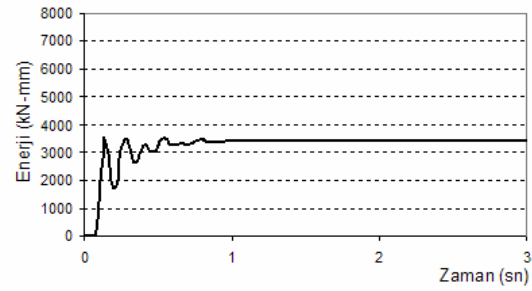
k) 11. Yükleme (+55 mm)



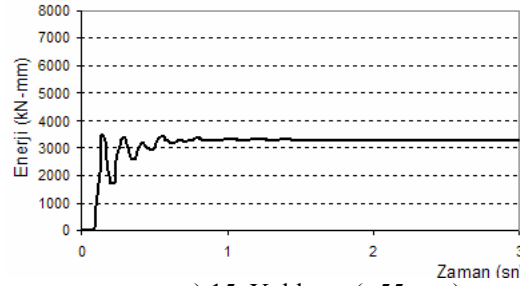
l) 12. Yükleme (+55 mm)



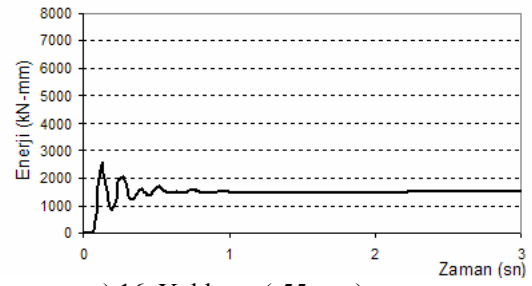
m) 13. Yükleme (+55 mm)



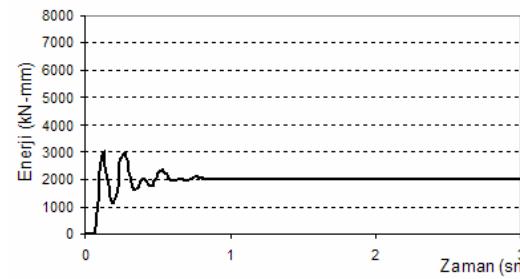
n) 14. Yükleme (+55 mm)



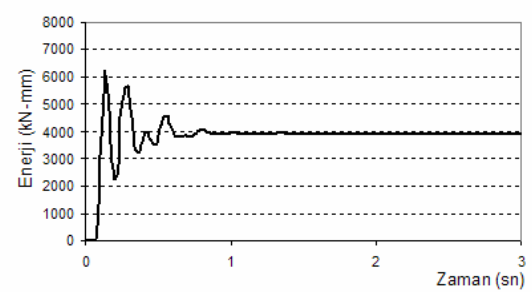
o) 15. Yükleme (+55 mm)



p) 16. Yükleme (-55 mm)



r) 17. Yükleme (-65 mm)



s) 18. Yükleme (+65 mm)

Şekil 3.19. (Devam) Deney Yapısı-3 tüketilen enerji grafikleri

3.4. Deney Yapısı-4

Bu deney yapısına uygulanan yükleme düzeni önceki deneylerle aynıdır. Ancak diğer deneylerden farklı olarak, -40 mm başlangıç ötelenmesi ile yapılan yükleme 2 kez yapılmayıp 1 kez yapılmış, +55 mm başlangıç ötelemeli yükleme 5 kez yapılmayıp 4 kez yapılmış son olarak +65 mm başlangıç ötelemesi verilerek yapılan yükleme 1 kez yerine 5 kez yapılmıştır. Toplam 20 kez yükleme uygulanmıştır. 16. yükleme ve sonrasında ivme kayıtcıdaki sorun nedeni ile kayıt alınamamıştır.

Deney sonunda, yükleme yönüne paralel olan güney ve kuzey cephelerindeki duvarlarda alt hatıl üstünde ve kapı üst hizasında yatay kılcal çatlaklar gelişmiştir. Duvar köşelerinde bayrak levhalarının bulunduğu bölgede kılcal düzeyde çatlaklar oluşmuştur. Çapraz çelik levhaların varlığı nedeni ile diyagonal kesme çatlakları oluşmamış, çelik levhaların bağlantı yerlerinde oynama ve gevşeme meydana gelmemiştir. Yükleme yönüne dik doğu cephesi duvarında alt hatıl üstünden ve duvar boyunca ilerleyen kılcal düzeyde çatlak meydana gelmiştir (Resim 3.29, Resim 3.30, Resim 3.31, Resim 3.32).



Resim 3.29. Deney Yapısı-4 kuzey cephenin 20. yükleme sonunda görünüşü



Resim 3.30. Deney Yapısı-4 güney cephenin 20. yükleme sonunda görünüşü



Resim 3.31. Deney Yapısı-4 güney cephenin 20. yükleme sonunda görünüşü

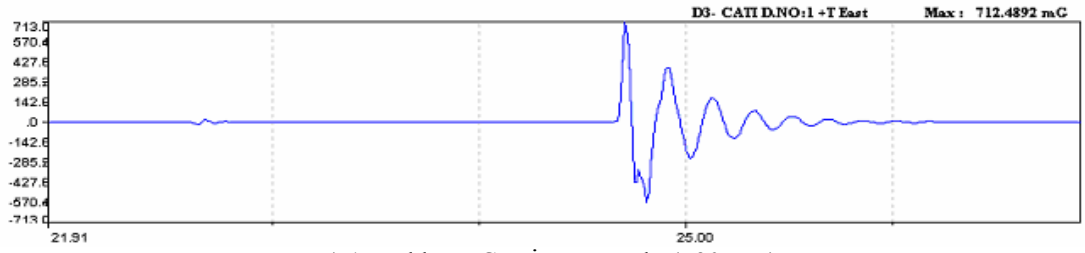


Resim 3.32. Deney Yapısı-4 güney cephe A2 duvarının 20. yükleme sonunda görünüşü

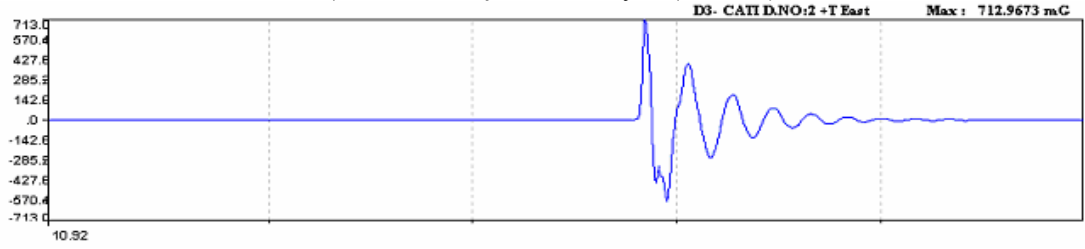
Deney yapısına her yükleme adımında gelen kuvvetler ve sarsma tablasında ölçülen ivmeler Çizelge 3.4’de verilmiştir. Her yükleme adımı için deney yapısının çatısında ve sarsma tablası üzerinde ölçülen ivme kayıtları Şekil 3.20 ve Şekil 3.21’de verilmiştir. Tepki fonksiyonu grafikleri Şekil 3.22’de, deney yapısının her yükleme adımında yaptığı yanal ötelemeler Şekil 3.23’de, yatay yük-ötelenme oranı grafikleri Şekil 3.24’de, tüketilen enerji Şekil 3.25’de verilmiştir.

Çizelge 3.4. Deney Yapısı-4’de her yükleme adımında ölçülen ivme ve gelen kuvvet

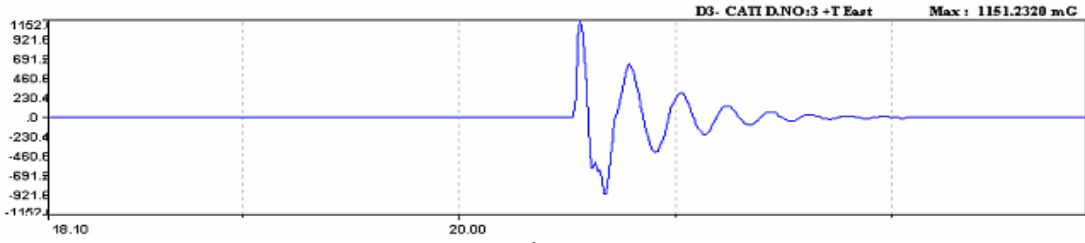
Yükleme No	Başlangıç Ötelemesi (mm)	Tabla İvme- <i>a</i> (cm/sn ²)	Çatı İvme- <i>a</i> (cm/sn ²)	Yatay Yük Katsayısı ($C=a/g$)	Yatay Kuvvet (kN) $F=C \times W$
1	+30	594,60	712,49	0,73	85,00
2	+30	600,73	712,97	0,73	85,00
3	+40	988,18	1151,23	1,17	136,24
4	+40	985,11	1155,57	1,18	137,40
5	-40	612,68	787,40	0,80	93,15
6	-50	1035,81	1235,60	1,26	146,72
7	-50	992,39	1214,50	1,24	144,39
8	+50	1326,05	1579,88	1,61	187,47
9	+50	1332,22	1585,01	1,62	188,64
10	+55	1620,26	1760,95	1,80	209,60
11	+55	1419,86	1834,97	1,87	217,75
12	+55	1426,73	1794,59	1,83	213,09
13	+55	1542,99	1737,39	1,77	206,10
14	-55	1250,59	1404,41	1,43	166,51
15	-65	1432,40	1885,04	1,92	223,57
16	+65	1992,28	kayıt alınamadı	-	-
17	+65	1901,85	kayıt alınamadı	-	-
18	+65	2023,59	kayıt alınamadı	-	-
19	+65	1765,61	kayıt alınamadı	-	-
20	+65	1923,16	kayıt alınamadı	-	-



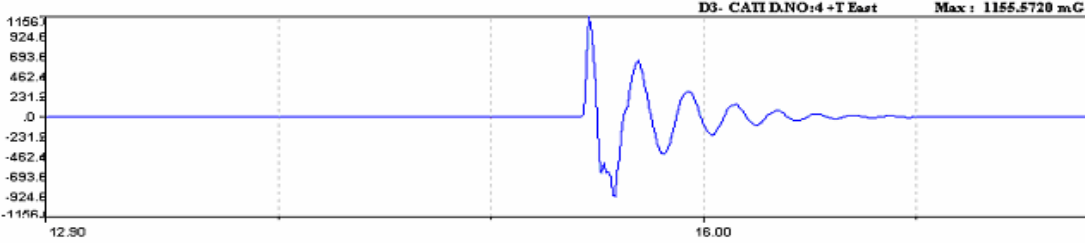
a) 1. Yükleme Çatı İvme Kaydı (+30 mm)



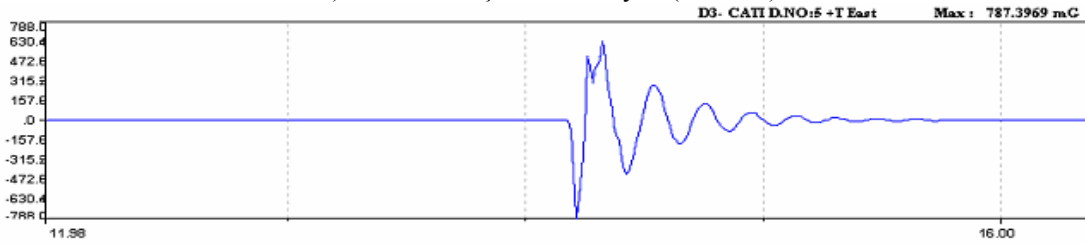
b) 2. Yükleme Çatı İvme Kaydı (+30 mm)



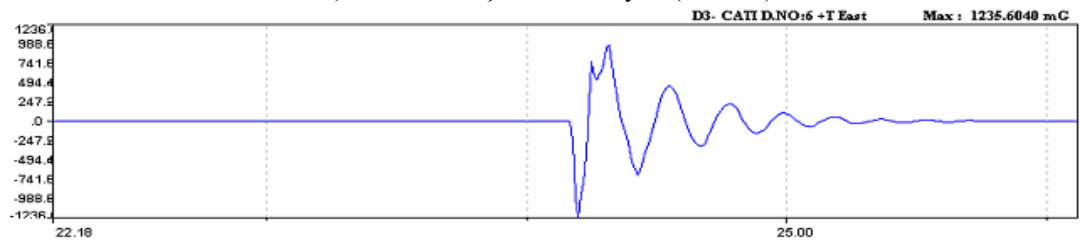
c) 3. Yükleme Çatı İvme Kaydı (+40 mm)



d) 4. Yükleme Çatı İvme Kaydı (+40 mm)

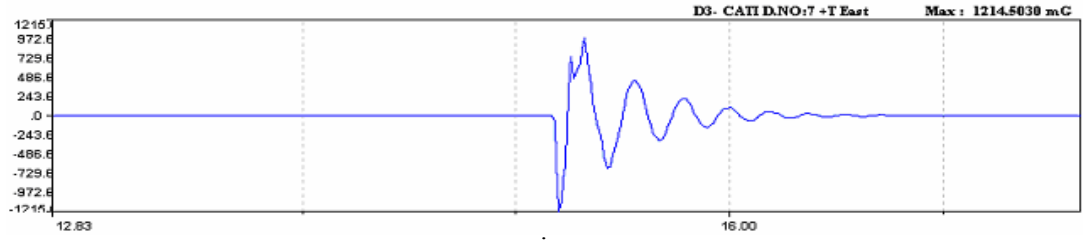


e) 5. Yükleme Çatı İvme Kaydı (-40 mm)

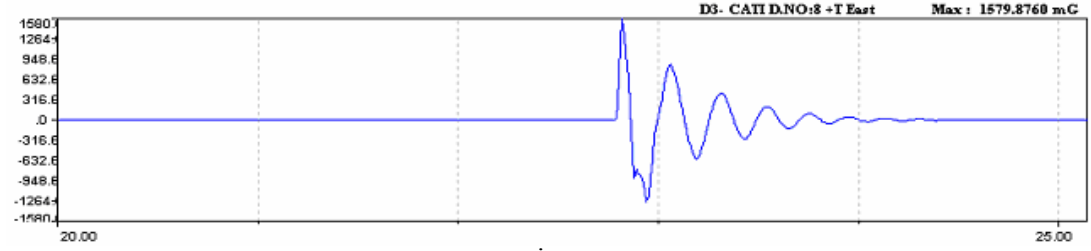


f) 6. Yükleme Çatı İvme Kaydı (-50 mm)

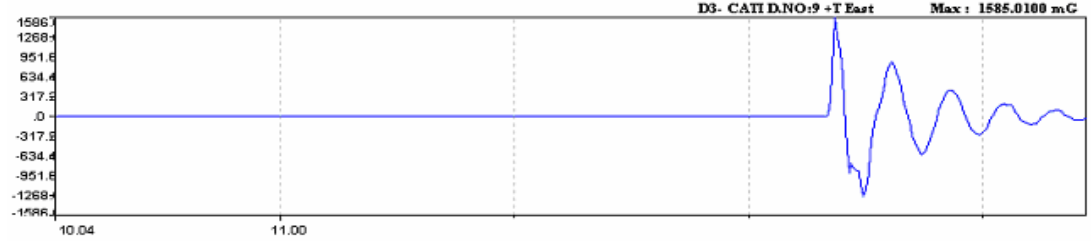
Şekil 3.20. Deney Yapısı-4 çatı ivme kayıtları (düşey eksen ivme-cm/sn², yatay eksen zaman-sn.)



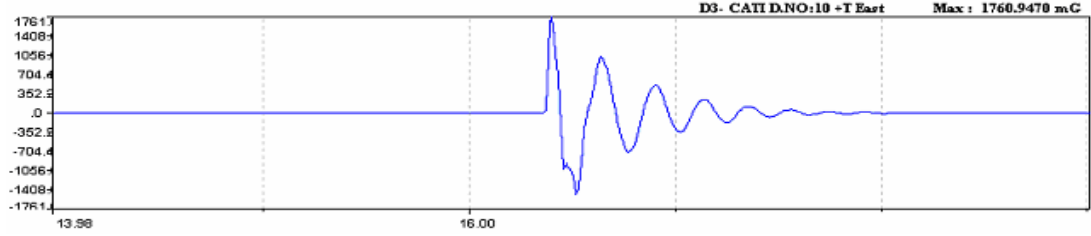
g) 7. Yükleme Çatı İvme Kaydı (-50 mm)



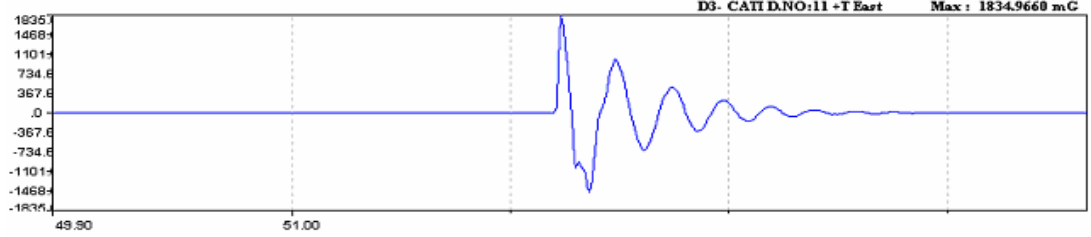
h) 8. Yükleme Çatı İvme Kaydı (+50 mm)



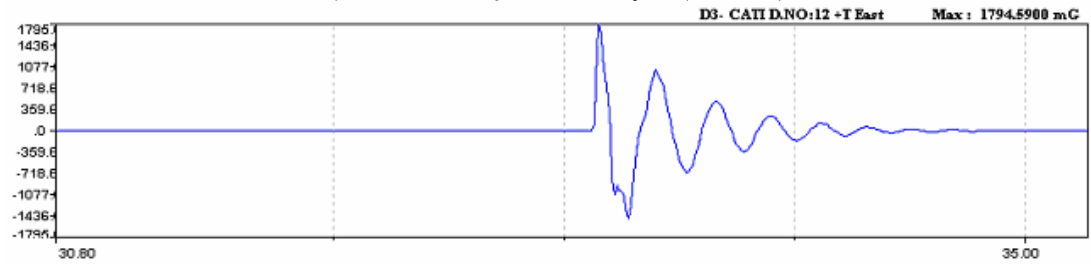
i) 9. Yükleme Çatı İvme Kaydı (+50 mm)



j) 10. Yükleme Çatı İvme Kaydı (+55 mm)

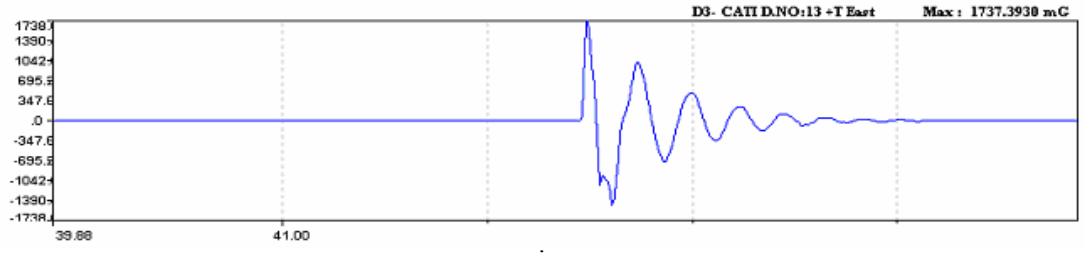


k) 11. Yükleme Çatı İvme Kaydı (+55 mm)

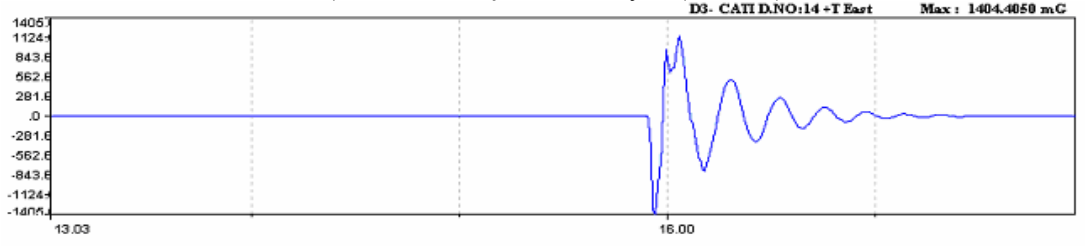


l) 12. Yükleme Çatı İvme Kaydı (+55 mm)

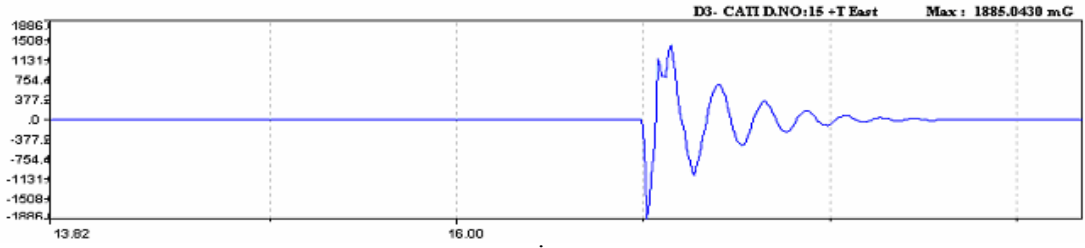
Şekil 3.20. (Devam) Deney Yapısı-4 çatı ivme kayıtları



m)13. Yükleme Çatı İvme Kaydı (+55 mm)

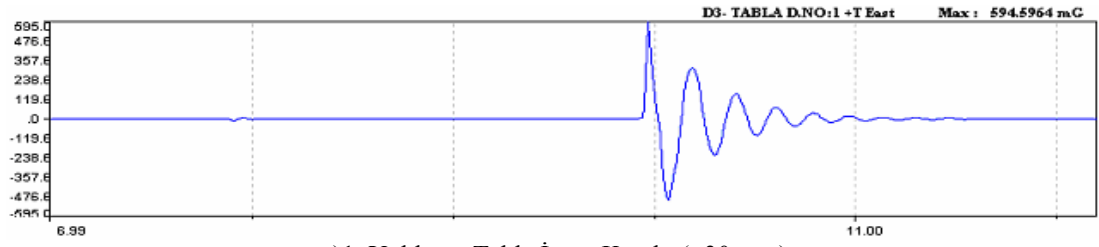


n)14. Yükleme Çatı İvme Kaydı (-55 mm)

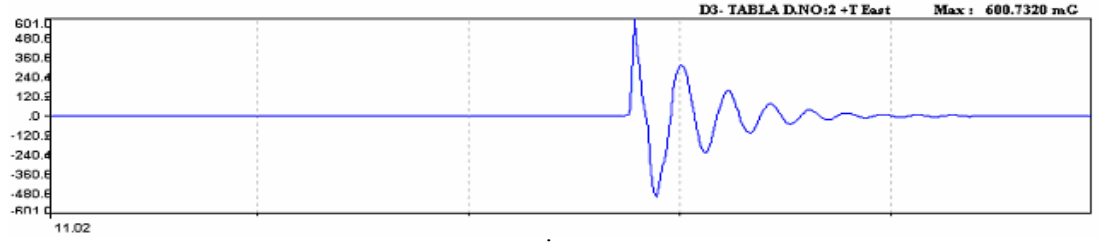


o)15. Yükleme Çatı İvme Kaydı (-65 mm)

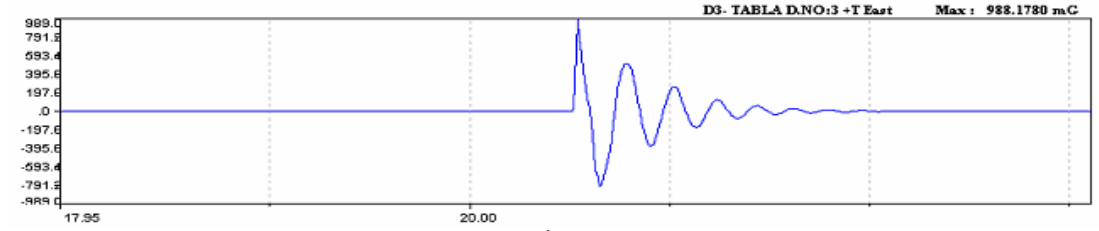
Şekil 3.20. (Devam) Deney Yapısı-4 çatı ivme kayıtları



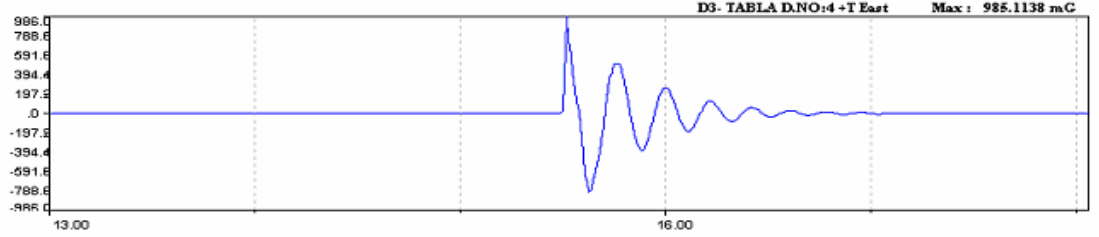
a)1. Yükleme Tabla İvme Kaydı (+30 mm)



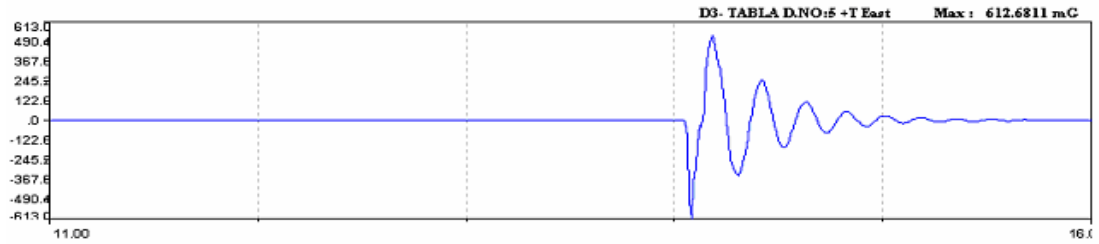
b) 2. Yükleme Tabla İvme Kaydı (+30 mm)



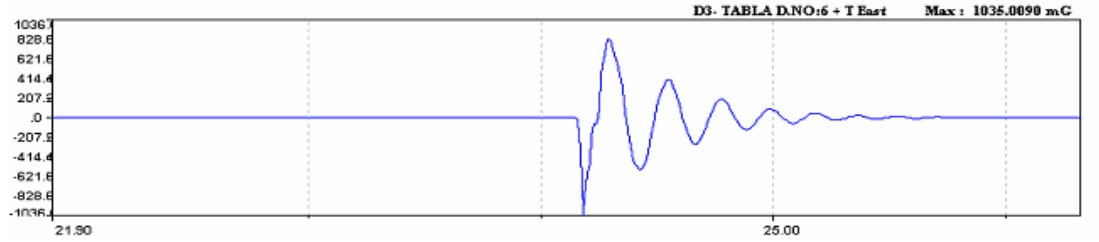
c) 3. Yükleme Tabla İvme Kaydı (+40 mm)



d) 4. Yükleme Tabla İvme Kaydı (+40 mm)

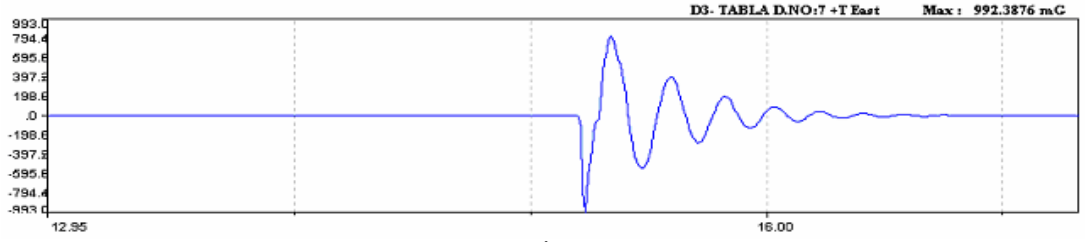


e) 5. Yükleme Tabla İvme Kaydı (-40 mm)

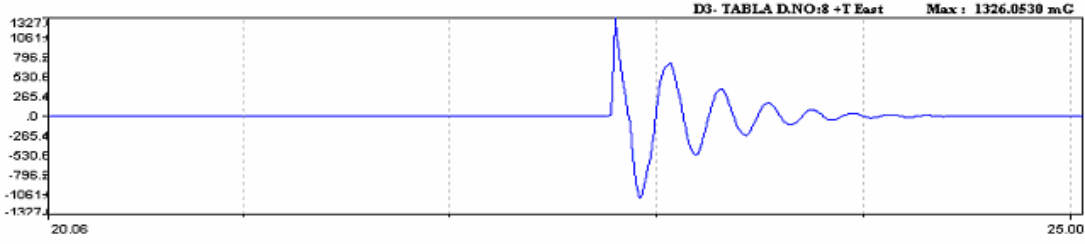


f) 6. Yükleme Tabla İvme Kaydı (-50 mm)

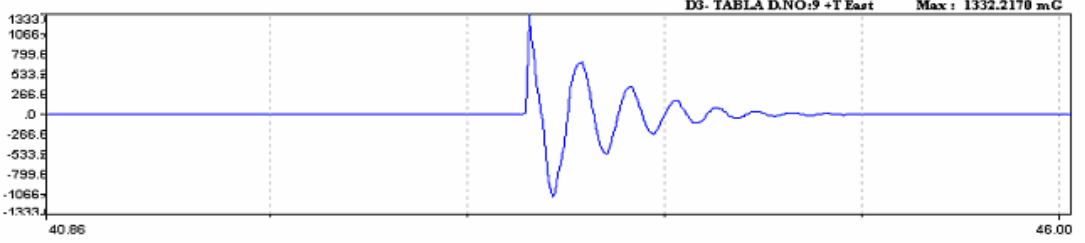
Şekil 3.21. Deney Yapısı-4 tabla ivme kayıtları (düşey eksen ivme-cm/sn², yatay eksen zaman-sn.)



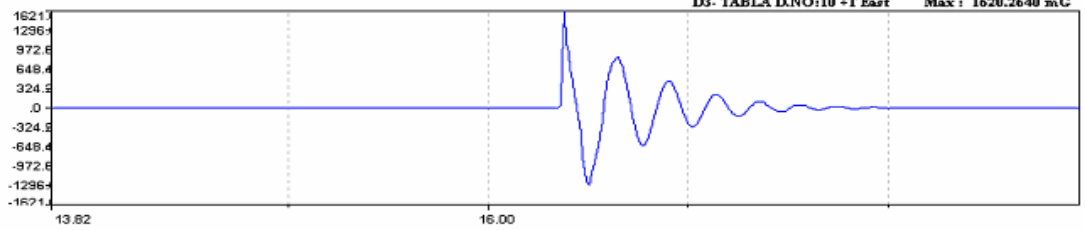
g) 7. Yükleme Tabla İvme Kaydı (-50 mm)



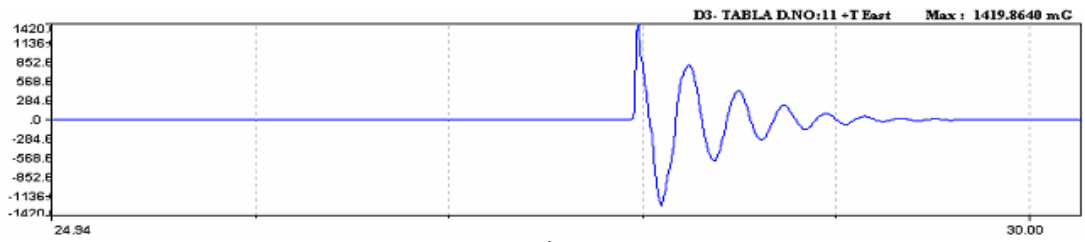
h) 8. Yükleme Tabla İvme Kaydı (+50 mm)



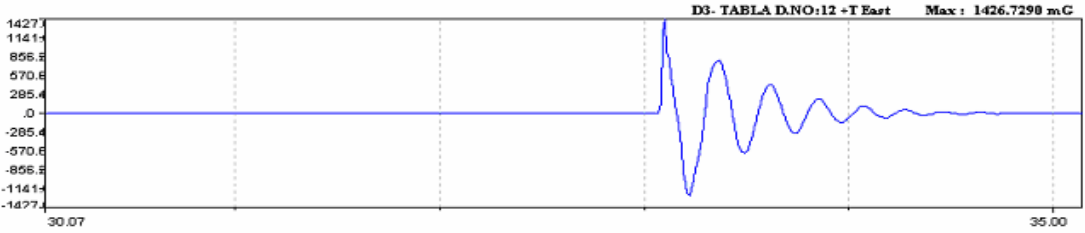
i) 9. Yükleme Tabla İvme Kaydı (+50 mm)



j) 10. Yükleme Tabla İvme Kaydı (+55 mm)

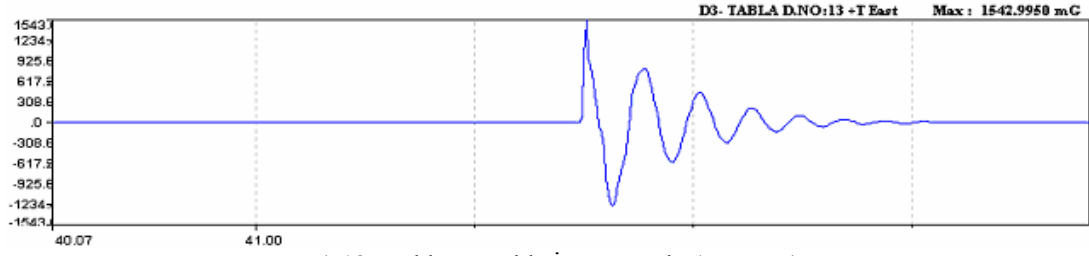


k) 11. Yükleme Tabla İvme Kaydı (+55 mm)

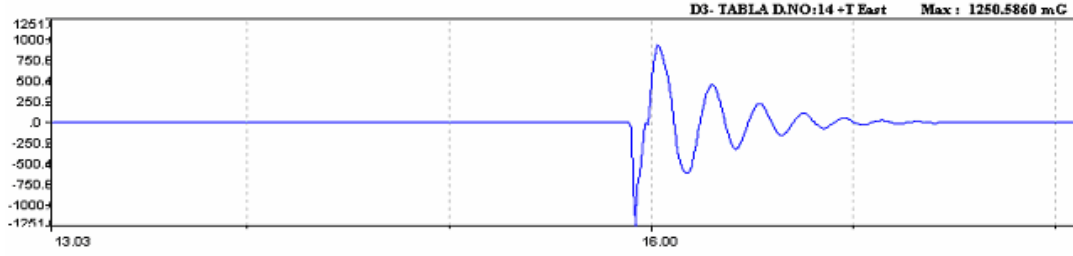


l) 12. Yükleme Tabla İvme Kaydı (+55 mm)

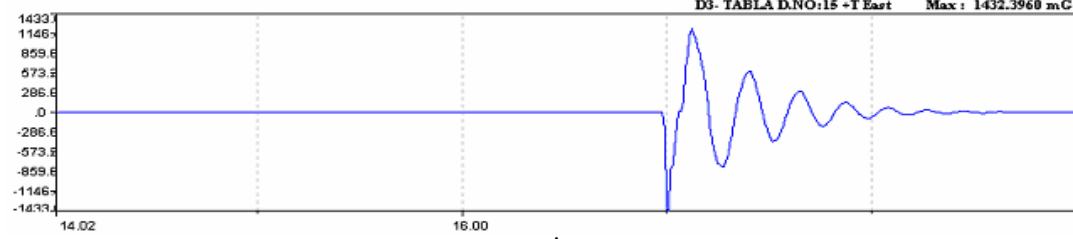
Şekil 3.21. (Devam) Deney Yapısı-4 tabla ivme kayıtları



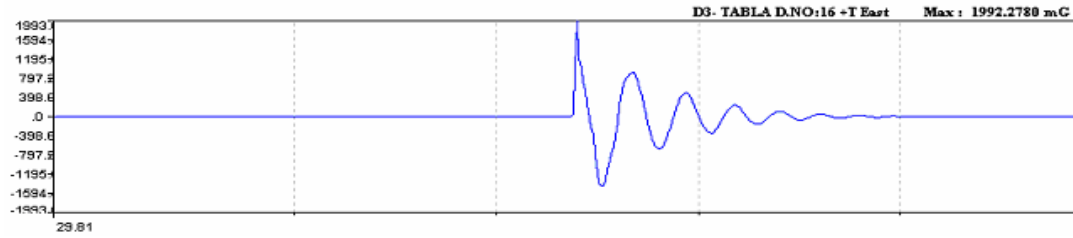
m) 13. Yükleme Tabla İvme Kaydı (+55 mm)



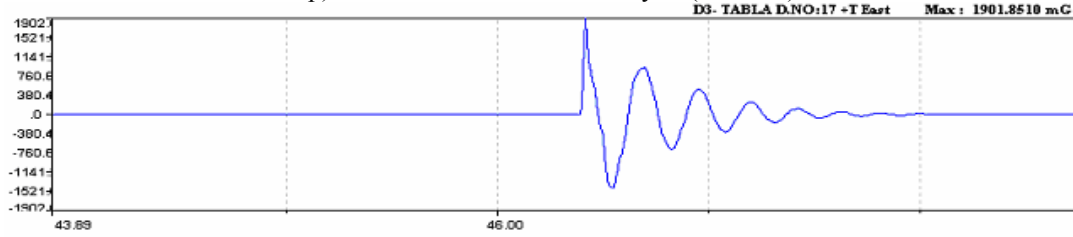
n) 14. Yükleme Tabla İvme Kaydı (-55 mm)



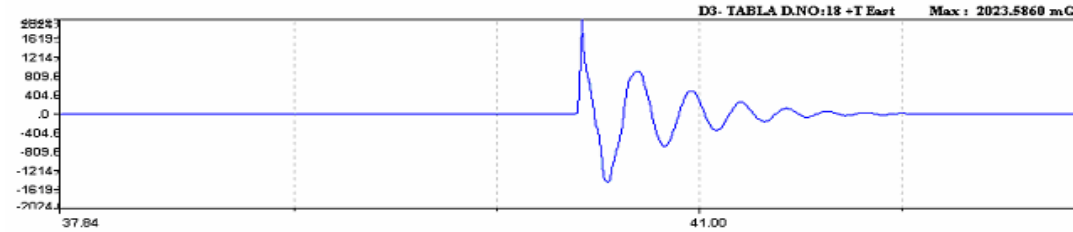
o) 15. Yükleme Tabla İvme Kaydı (-65 mm)



p) 16. Yükleme Tabla İvme Kaydı (+65 mm)

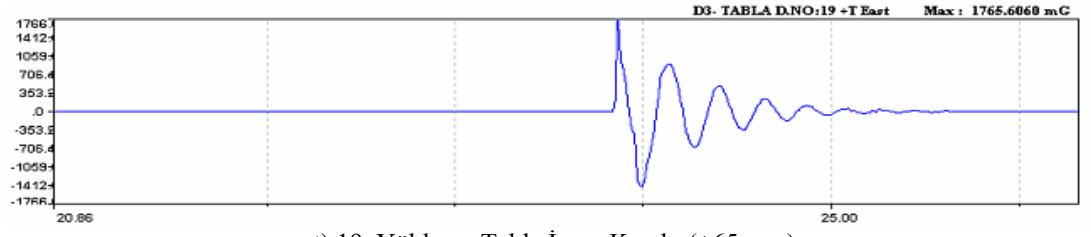


r) 17. Yükleme Tabla İvme Kaydı (+65 mm)

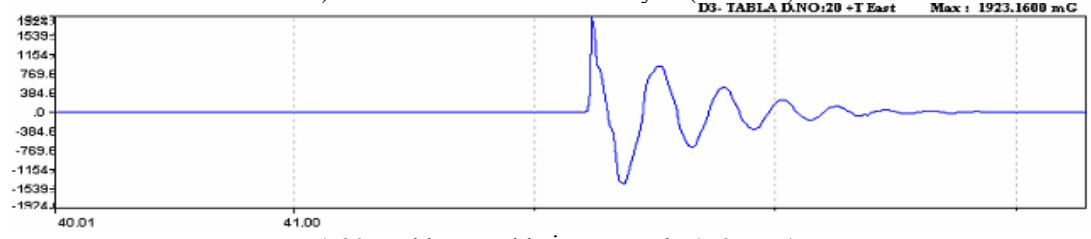


s) 18. Yükleme Tabla İvme Kaydı (+65 mm)

Şekil 3.21. (Devam) Deney Yapısı-4 tabla ivme kayıtları

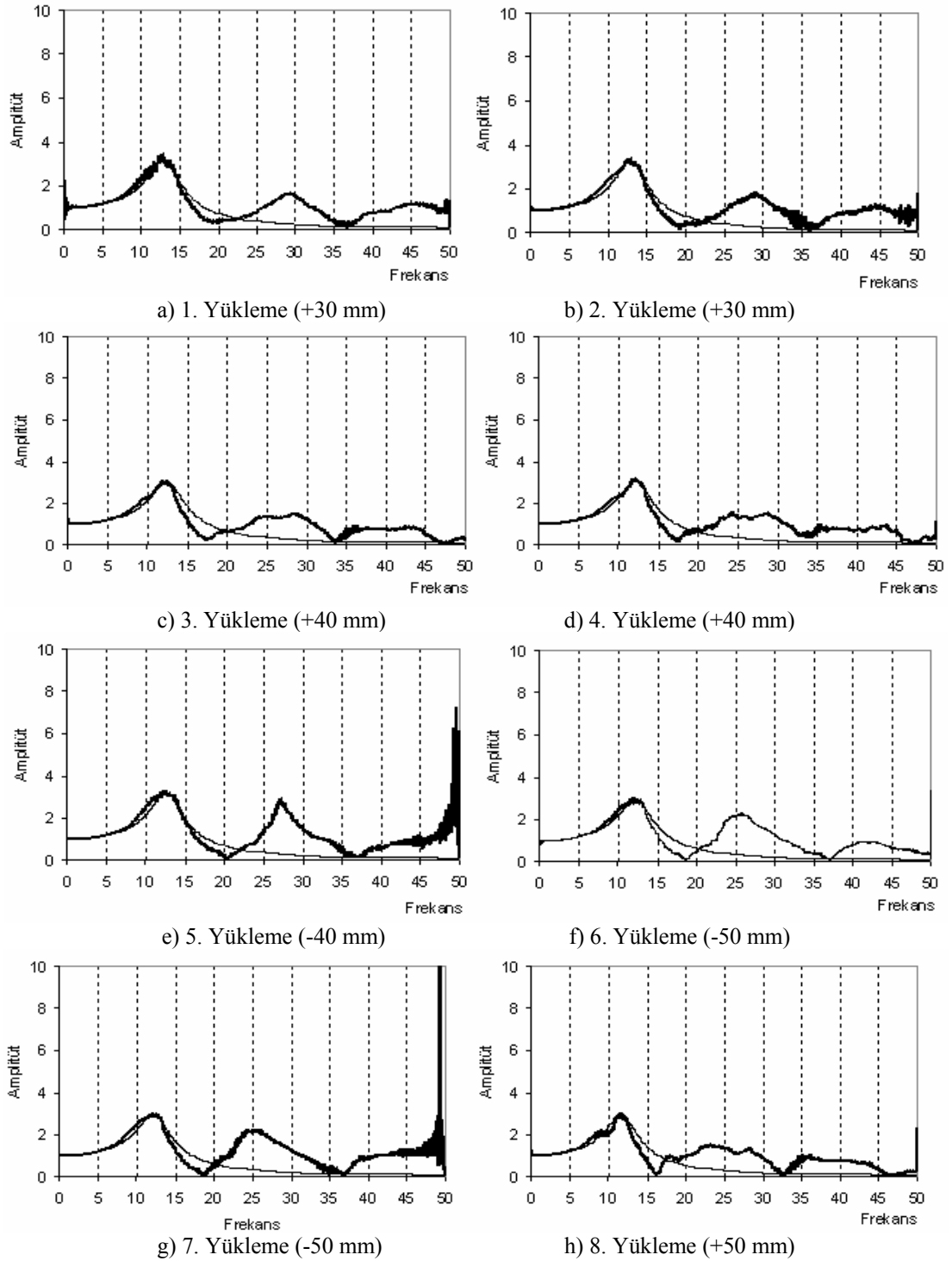


t) 19. Yükleme Tabla İvme Kaydı (+65 mm)

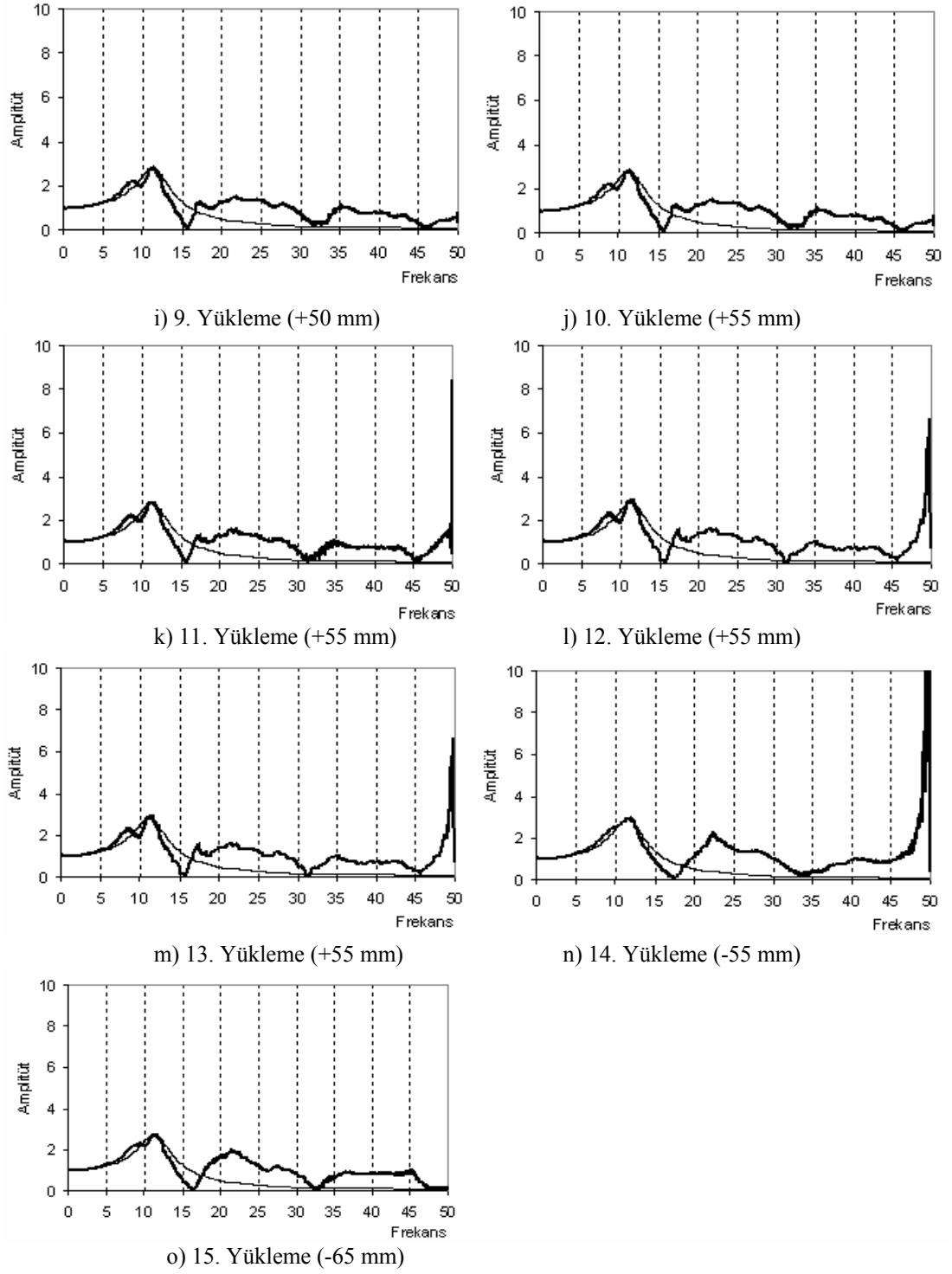


u) 20. Yükleme Tabla İvme Kaydı (+65 mm)

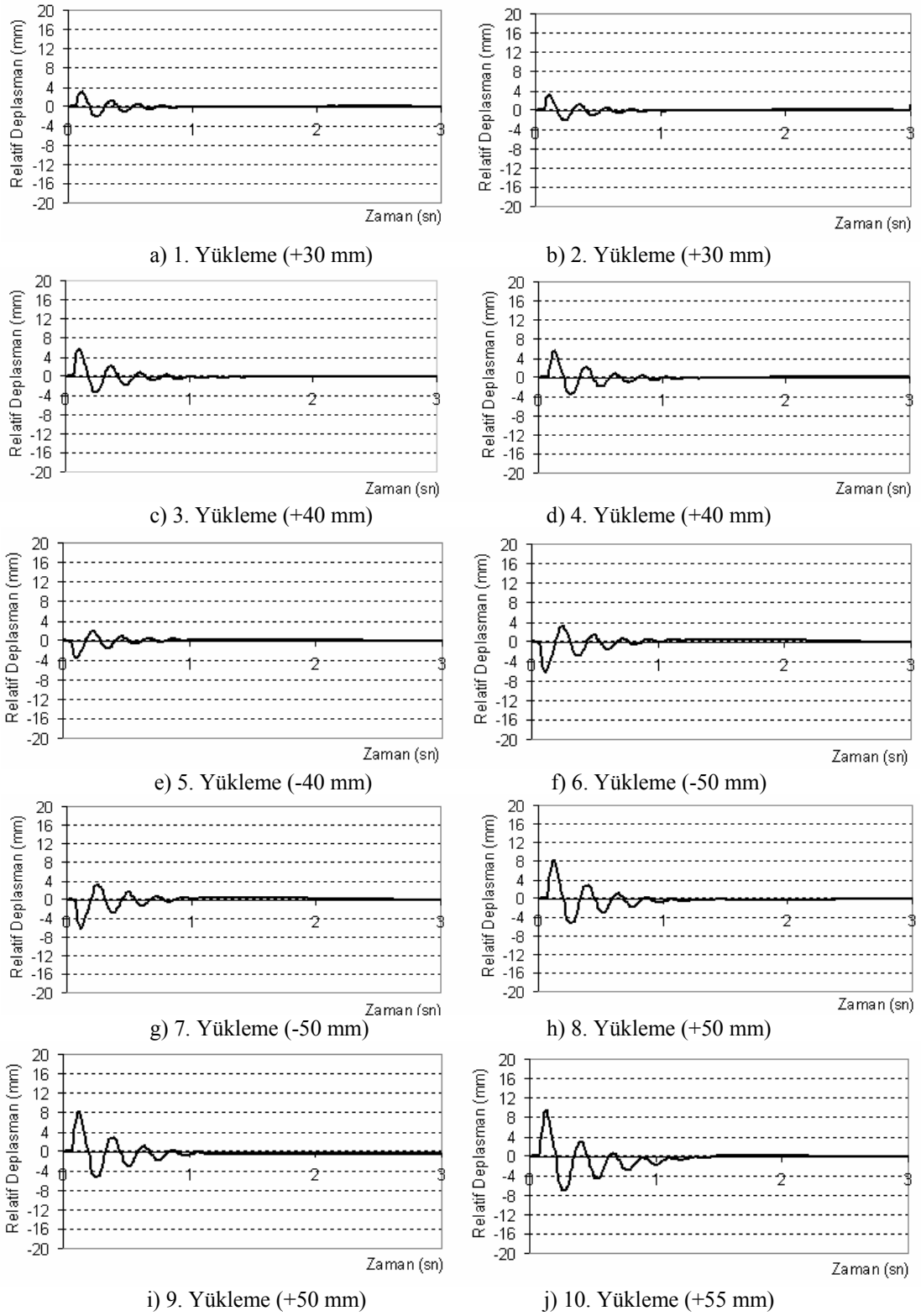
Şekil 3.21. (Devam) Deney Yapısı-4 tabla ivme kayıtları



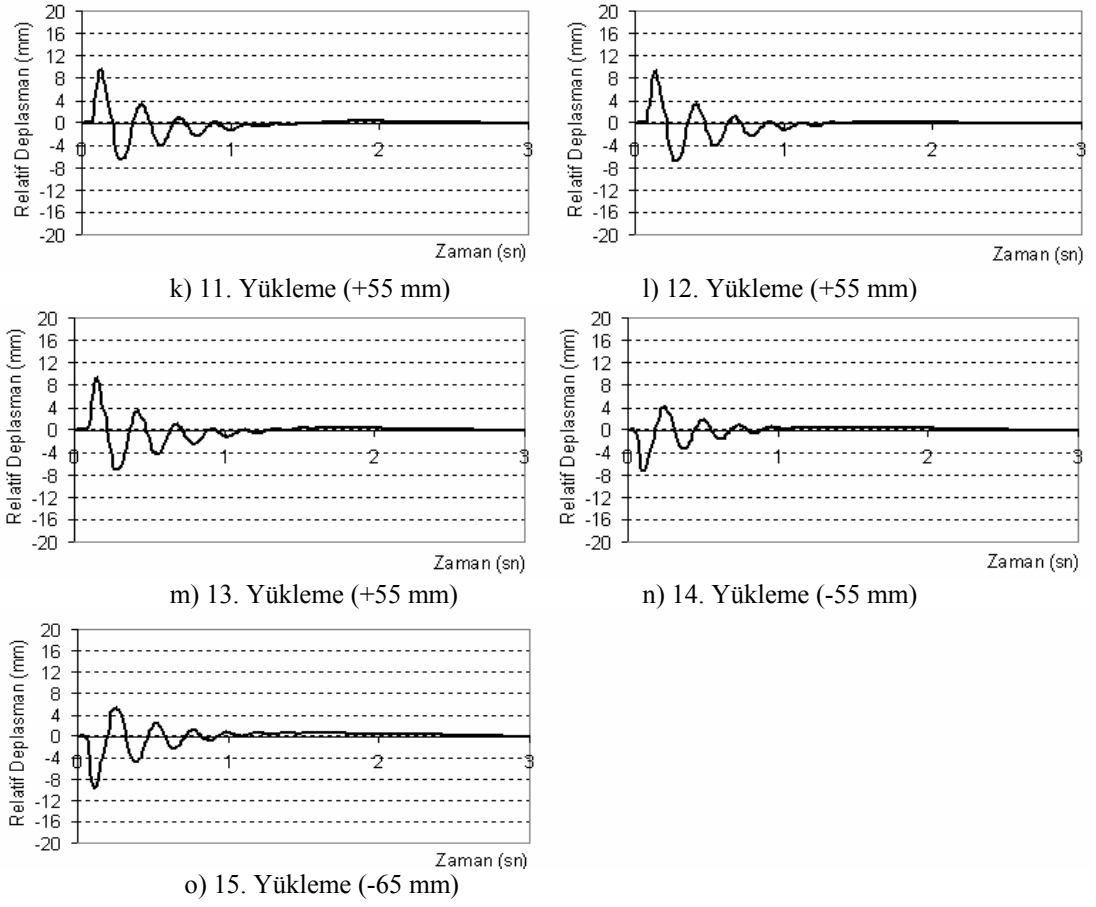
Şekil 3.22. Deney Yapısı-4 tepki fonksiyonu grafikleri (—; ivme kayıtlarından, - -; tek serbestlik dereceli elastik sistemin hareket denkleminden)



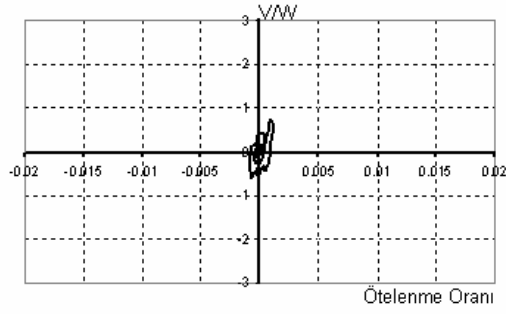
Şekil 3.22. (Devam) Deney Yapısı-4 tepki fonksiyonu grafikleri



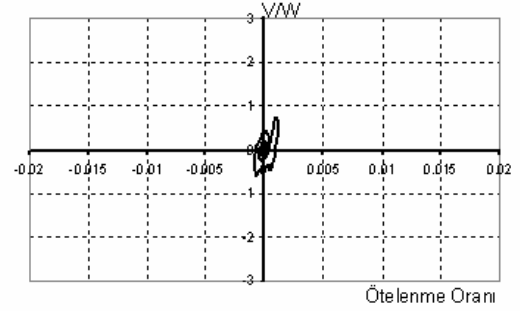
Şekil 3.23. Deney Yapısı-4 relatif deplasman grafikleri



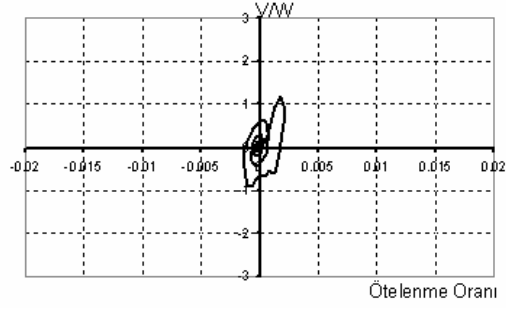
Şekil 3.23. (Devam) Deney Yapısı-4 relatif deplasman grafikleri



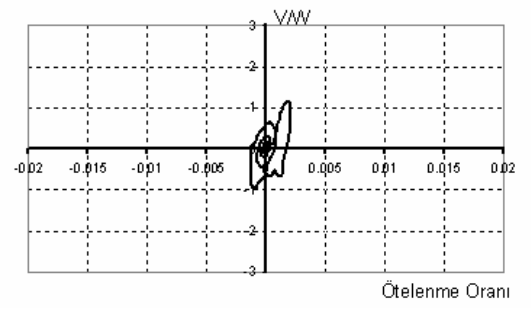
a) 1. Yükleme (+30 mm)



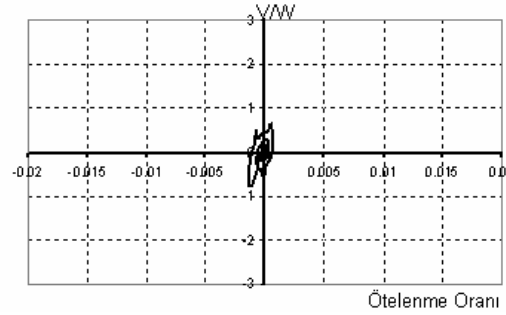
b) 2. Yükleme (+30 mm)



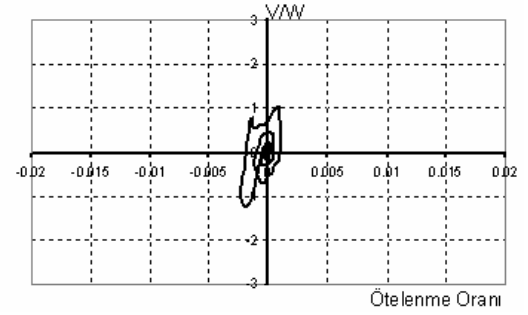
c) 3. Yükleme (+40 mm)



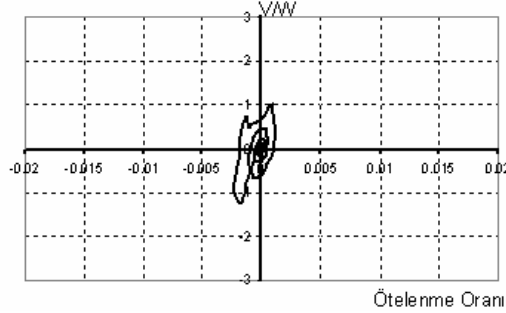
d) 4. Yükleme (+40 mm)



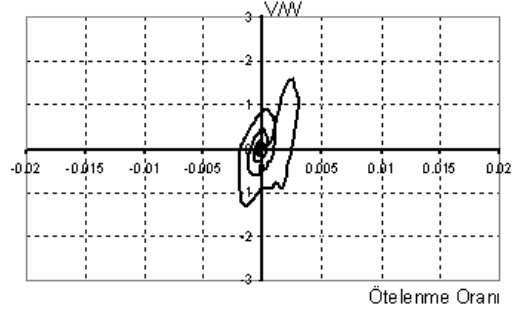
e) 5. Yükleme (-40 mm)



f) 6. Yükleme (-50 mm)

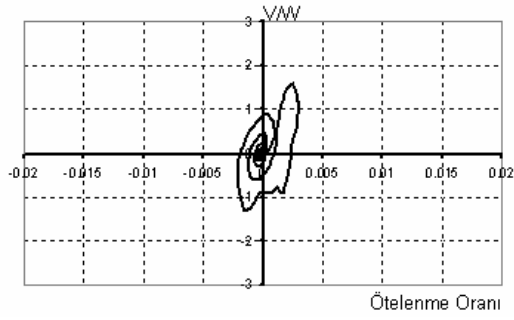


g) 7. Yükleme (-50 mm)

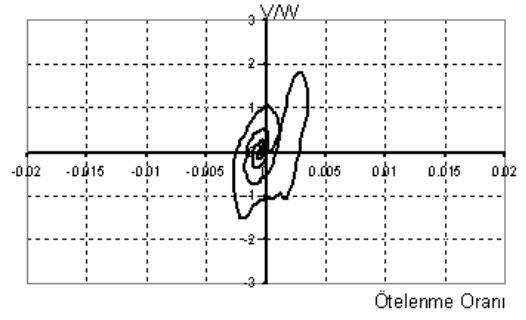


h) 8. Yükleme (+50 mm)

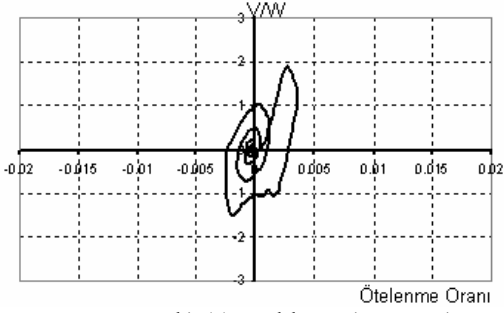
Şekil 3.24. Deney Yapısı-4 yatay yük-ötelenme oranı grafikleri



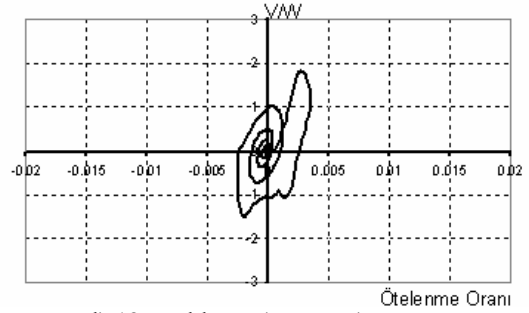
i) 9. Yükleme (+50 mm)



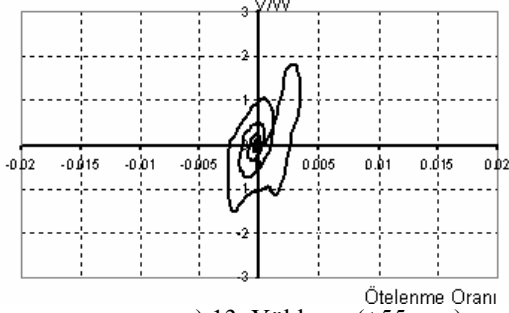
j) 10. Yükleme (+55 mm)



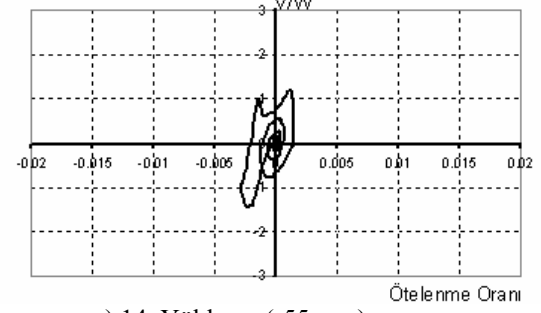
k) 11. Yükleme (+55 mm)



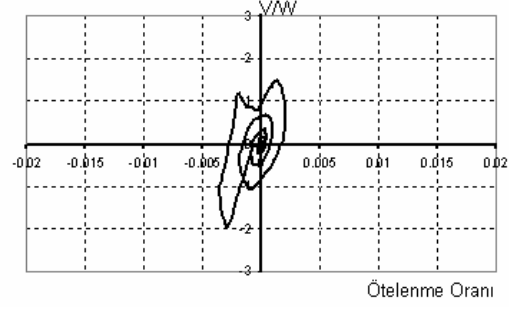
l) 12. Yükleme (+55 mm)



m) 13. Yükleme (+55 mm)

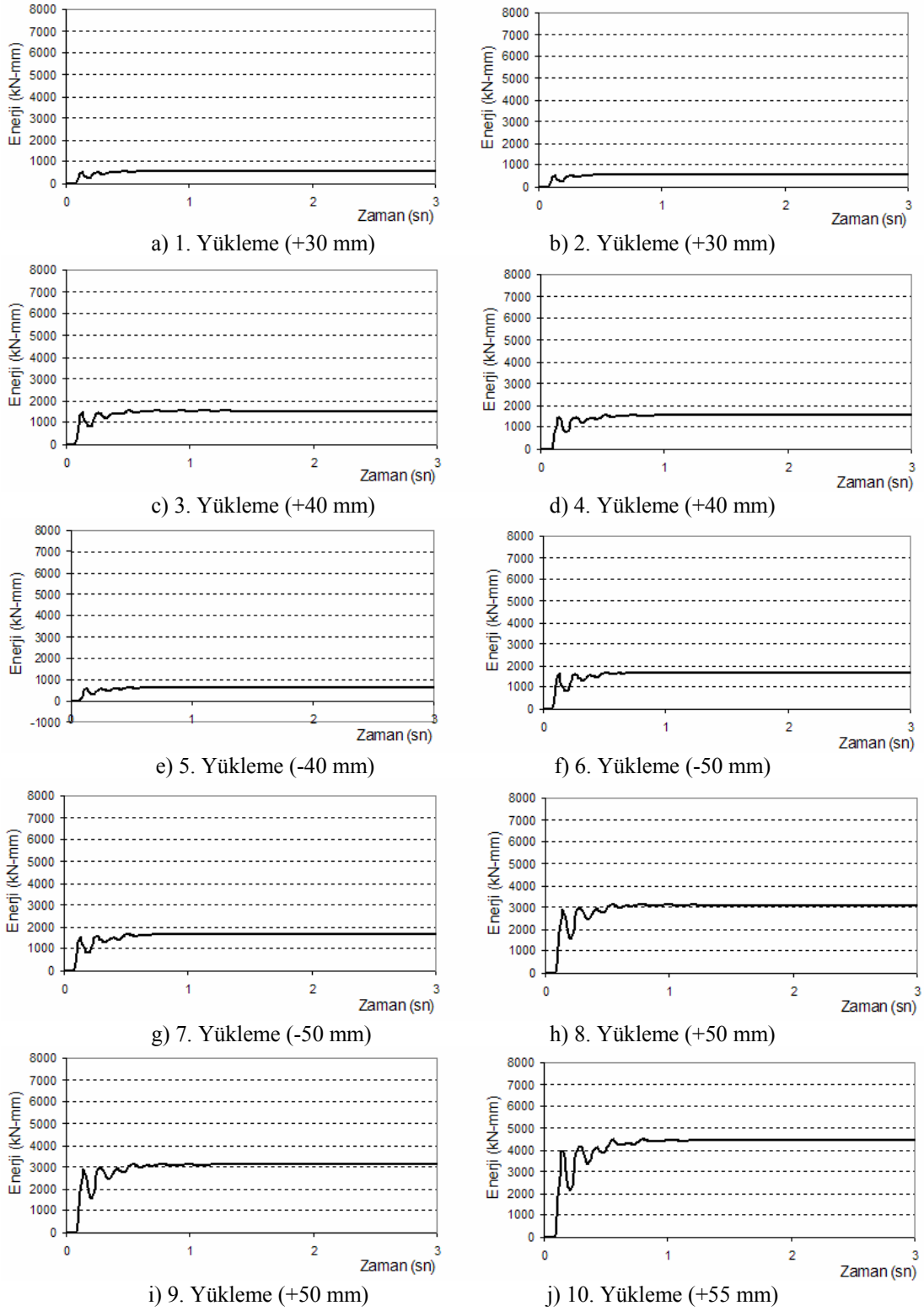


n) 14. Yükleme (-55 mm)

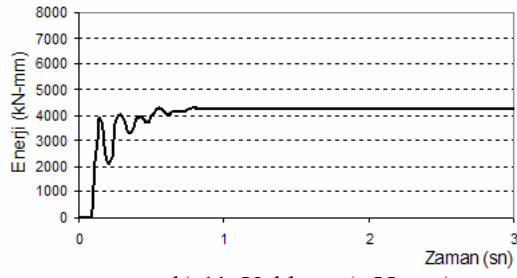


o) 15. Yükleme (-65 mm)

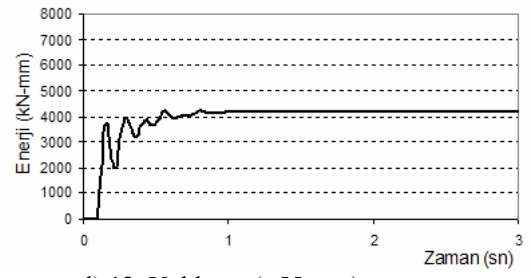
Şekil 3.24. (Devam) Deney Yapısı-4 yatay yük-ötelenme oranı grafikleri



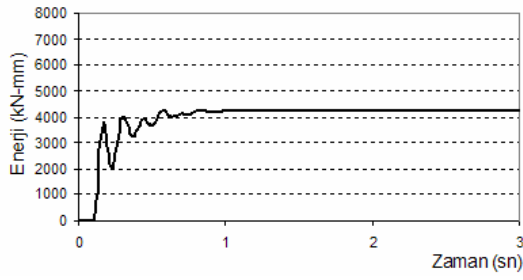
Şekil 3.25. Deney Yapısı-4 tüketilen enerji grafikleri



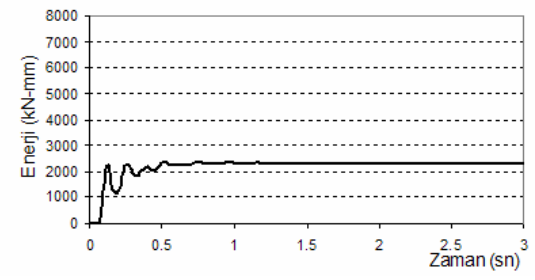
k) 11. Yükleme (+55 mm)



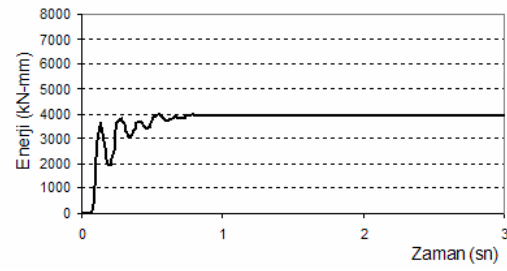
l) 12. Yükleme (+55 mm)



m) 13. Yükleme (+55 mm)



n) 14. Yükleme (-55 mm)



o) 15. Yükleme (-65 mm)

Şekil 3.25. (Devam) Deney Yapısı-4 tüketilen enerji grafikleri

3.5. Deney Yapısı-5

Bu deney yapısına dinamik yükleme, sarsma tablasına sırası ile +30, +55, +55, +55, +55, +55, -55, -55, -55, -65, -65, -65, -65, +65, +65, +65, +65, +65, +65, 65 mm başlangıç ötelemesi uygulanarak 20 kez uygulanmıştır.

Deneyde oluşan çatlaklarda, rehabilitasyon uygulanarak yapılan daha önceki deneylere göre önemli bir miktar artma meydana gelmiştir. Yükleme yönüne paralel olan güney ve kuzey cephe duvarlarının alt hatıl üzerinde yapı uzunluğunca uzanan yatay kılcal çatlaklar oluşmuştur. Penceresi olan kuzey cephesi duvarında pencere köşesinden alt hatıla ve kapı olan güney cephesi duvarında üst hatıla doğru 45^0 ile ilerleyen kılcal düzeyde çatlaklar oluşmuştur. Yükleme düzlemine dik olan duvarlarda yine alt kısmından duvar boyunca uzanan çatlaklar meydana gelmiştir. Duvarların köşe birleşim yerlerindeki tuğlalarda ezilme meydana gelmiştir.



Resim 3.33. Deney Yapısı-5 güney cephenin 20. yükleme sonunda görünüşü



Resim 3.34. Deney Yapısı-5 kuzey cephenin 20. yükleme sonunda görünüşü



Resim 3.35. Deney Yapısı-5 güney cephe A1 duvarının 20. yükleme sonunda görünüşü



Resim 3.36. Deney Yapısı-5 kuzey cephe B1 duvarının 20. yükleme sonunda görünüşü



Resim 3.37. Deney Yapısı-5 batı cephe iç duvarının 20. yükleme sonunda görünüşü



Resim 3.38. Deney Yapısı-5 doğu cephe iç duvarının 20. yükleme sonunda görünüşü



Resim 3.39. Deney Yapısı-5 güney cephe A2 duvar köşesinin 20. yükleme sonunda görünüşü



Resim 3.40. Deney Yapısı-5 doğu cephenin 20. yükleme sonunda görünüşü

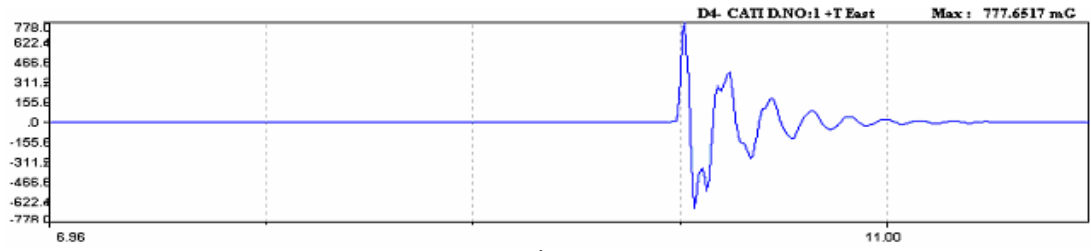


Resim 3.41. Deney Yapısı-5 batı cephenin 20. yükleme sonunda görünüşü

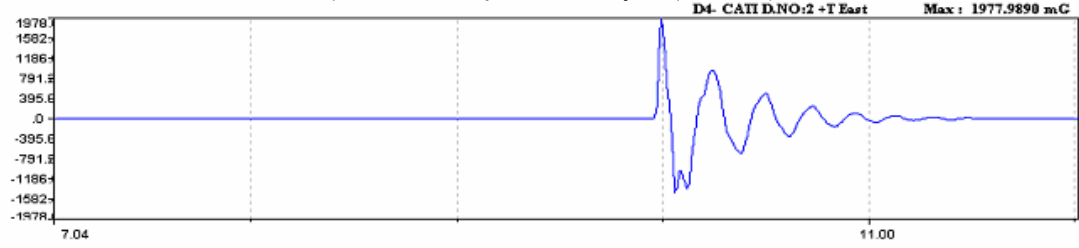
Her yükleme adımında deney yapısına gelen kuvvetler ve sarsma tablası üzerinde ölçülen ivmeler Çizelge 3.5’de verilmiştir. Her yükleme adımı için deney yapısının çatısında ve sarsma tablası üzerinde ölçülen ivme kayıtları Şekil 3.26 ve Şekil 3.27’de verilmiştir. Tepki fonksiyonu grafikleri Şekil 3.28’de, yanal ötelemeler Şekil 3.29’da, yatay kuvvet-ötelemeler grafikleri Şekil 3.30’da, tüketilen enerji Şekil 3.31’de verilmiştir.

Çizelge 3.5. Deney Yapısı-5’de her yükleme adımında ölçülen ivme ve gelen kuvvet

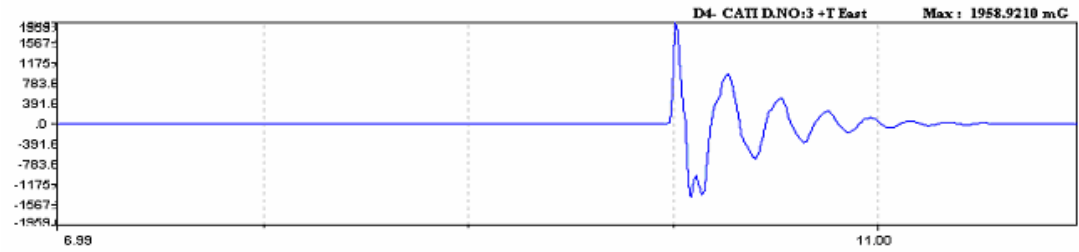
Yükleme No	Başlangıç Ötelemesi (mm)	Tabla İvme- a (cm/sn ²)	Çatı İvme- a (cm/sn ²)	Yatay Yük Katsayısı ($C=a/g$)	Yatay Kuvvet (kN) $F=C \times W$
1	+30	598,77	777,65	0,79	90,90
2	+55	1700,34	1977,99	2,02	232,42
3	+55	1674,92	1958,92	2,00	230,12
4	+55	1743,48	2005,35	2,04	234,72
5	+55	1718,53	1981,28	2,02	232,42
6	+55	1635,73	1971,59	2,01	231,27
7	-55	1378,26	1565,09	1,60	184,10
8	-55	1323,34	1560,08	1,59	182,95
9	-55	1290,03	1528,16	1,56	179,49
10	-65	1863,70	1988,02	2,03	233,57
11	-65	1516,58	1727,25	1,76	202,51
12	-65	1586,41	1806,39	1,84	211,71
13	-65	1394,90	1548,78	1,58	181,79
14	+65	2153,54	2396,42	2,44	280,75
15	+65	2199,14	2467,83	2,52	289,95
16	+65	1951,19	2377,81	2,42	278,45
17	+65	1924,35	2374,89	2,42	278,45
18	+65	2236,73	2376,57	2,42	278,44
19	+65	2211,48	2308,64	2,35	270,39
20	+65	2227,26	2302,11	2,35	270,39



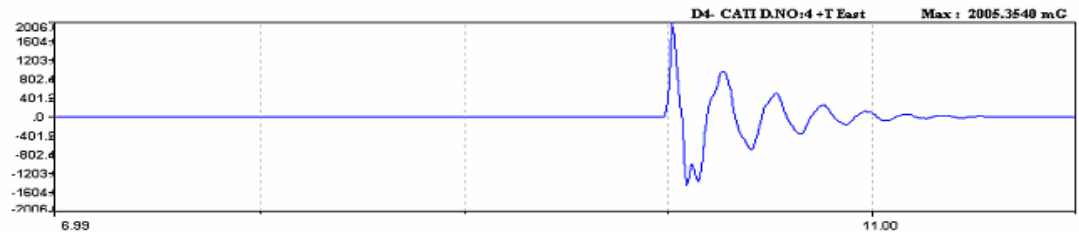
a) 1. Yükleme Çatı İvme Kaydı (+30 mm)



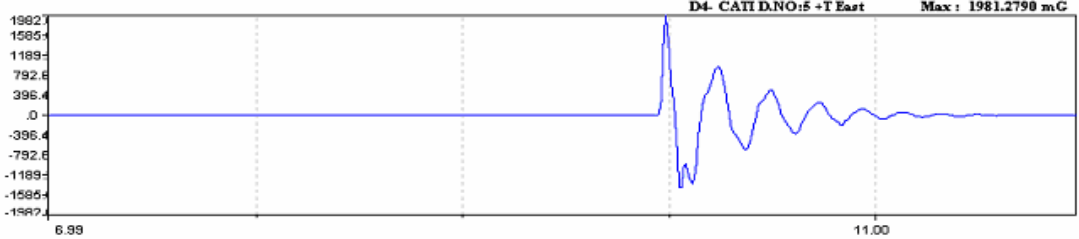
b) 2. Yükleme Çatı İvme Kaydı (+55 mm)



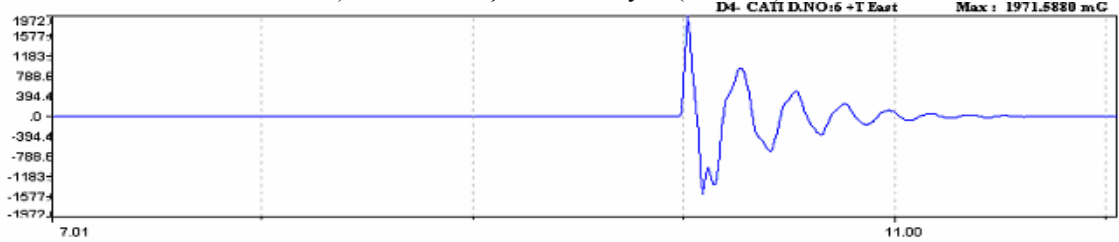
c) 3. Yükleme Çatı İvme Kaydı (+55 mm)



d) 4. Yükleme Çatı İvme Kaydı (+55 mm)

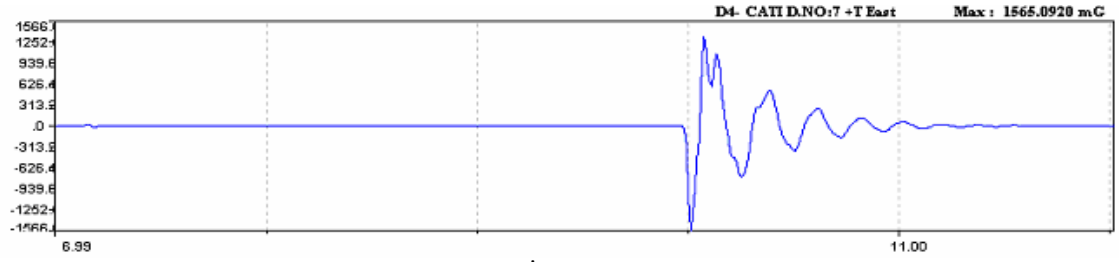


e) 5. Yükleme Çatı İvme Kaydı (+55 mm)

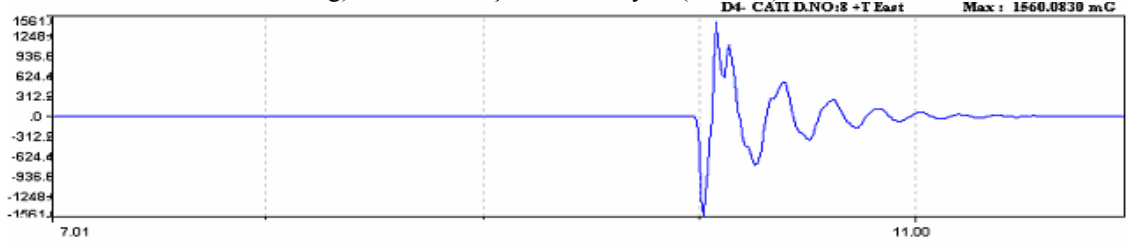


f) 6. Yükleme Çatı İvme Kaydı (+55 mm)

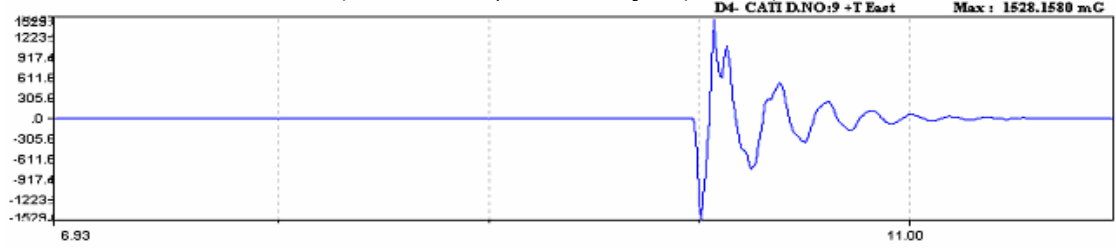
Şekil 3.26. Deney Yapısı-5 çatı ivme kayıtları (düşey eksen ivme-cm/sn², yatay eksen zaman-sn.)



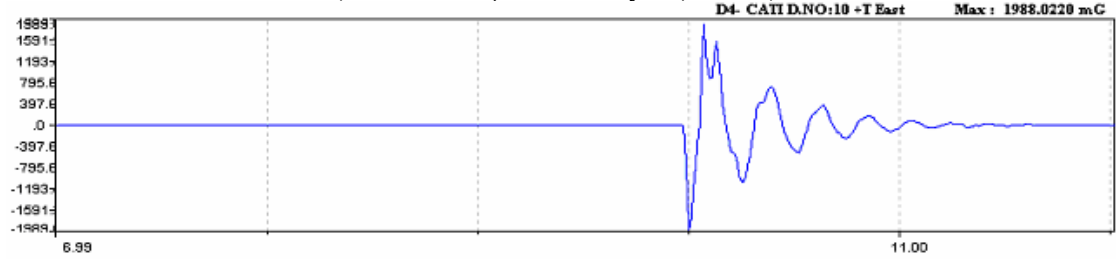
g) 7. Yükleme Çatı İvme Kaydı (-55 mm)



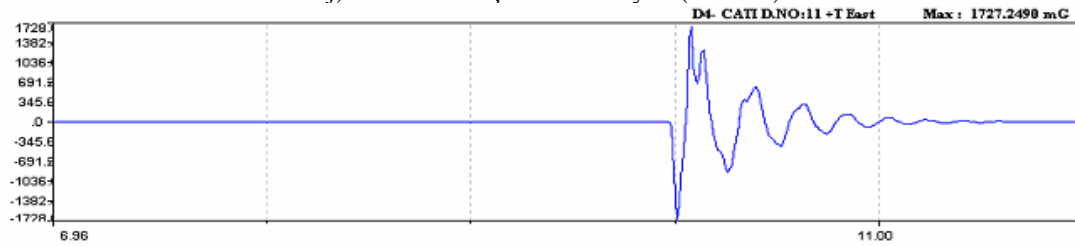
h) 8. Yükleme Çatı İvme Kaydı (-55 mm)



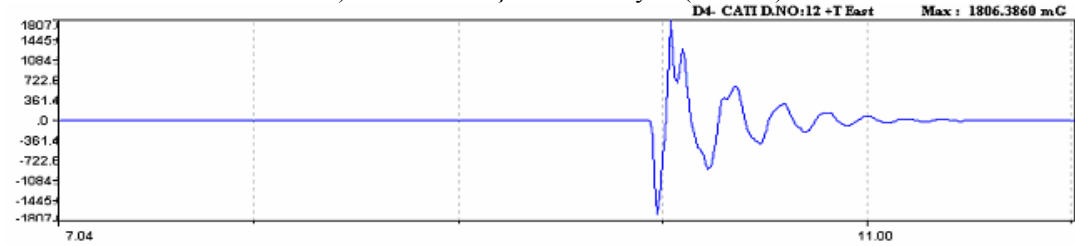
i) 9. Yükleme Çatı İvme Kaydı (-55 mm)



j) 10. Yükleme Çatı İvme Kaydı (-65 mm)

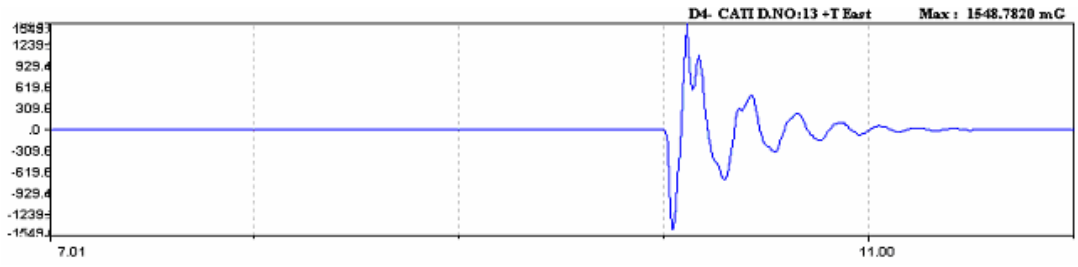


k) 11. Yükleme Çatı İvme Kaydı (-65 mm)

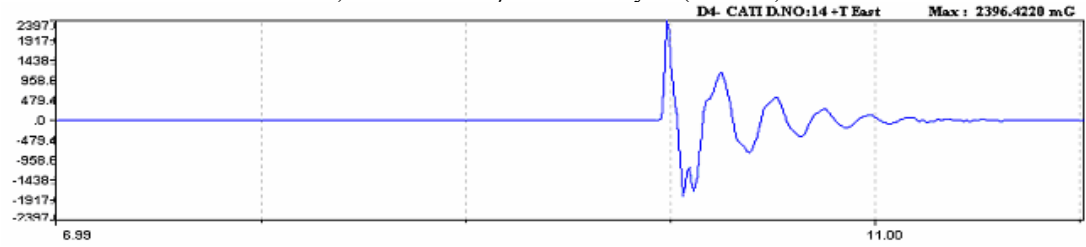


l) 12. Yükleme Çatı İvme Kaydı (-65 mm)

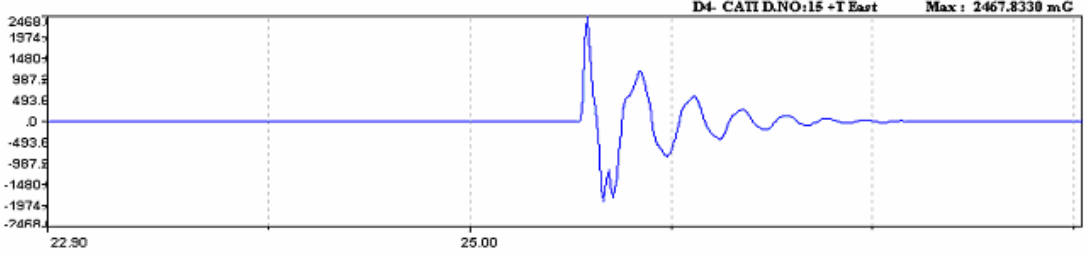
Şekil 3.26. (Devam) Deney Yapısı-5 çatı ivme kayıtları



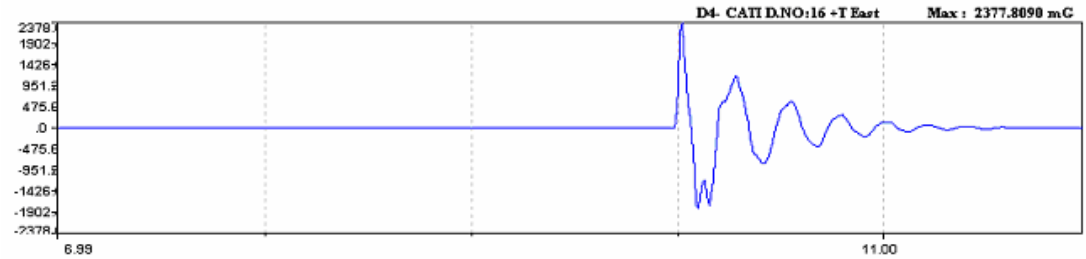
m)13. Yükleme Çatı İvme Kaydı (-65 mm)



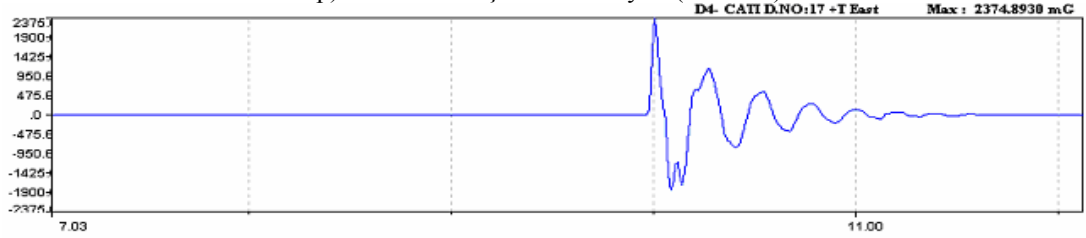
n)14. Yükleme Çatı İvme Kaydı (+65 mm)



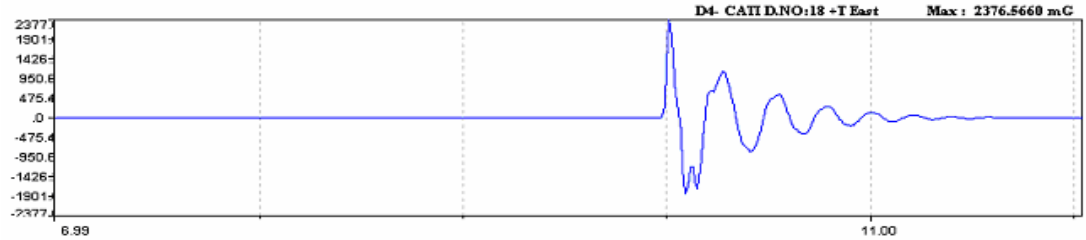
o)15. Yükleme Çatı İvme Kaydı (+65 mm)



p)16. Yükleme Çatı İvme Kaydı (+65 mm)

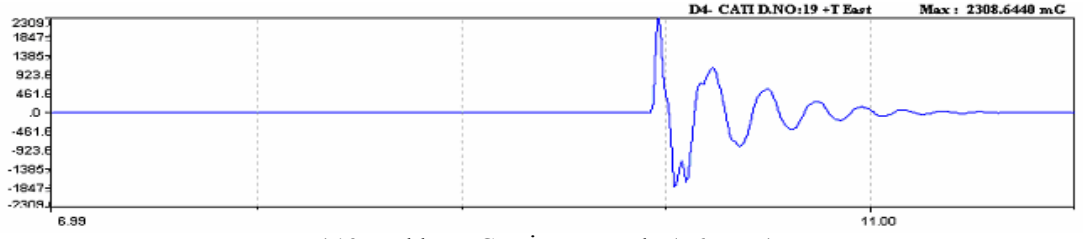


r)17. Yükleme Çatı İvme Kaydı (+65 mm)

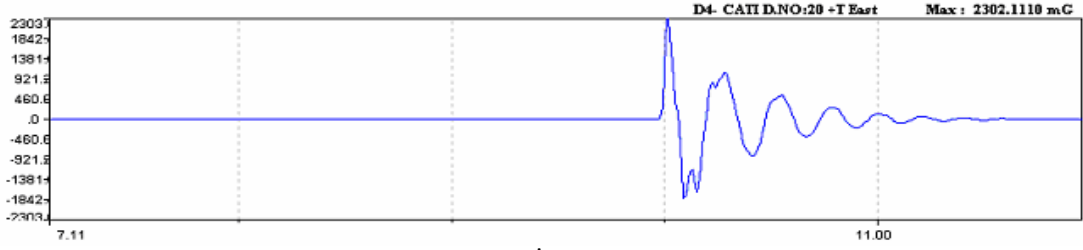


s)18. Yükleme Çatı İvme Kaydı (+65 mm)

Şekil 3.26. (Devam) Deney Yapısı-5 çatı ivme kayıtları

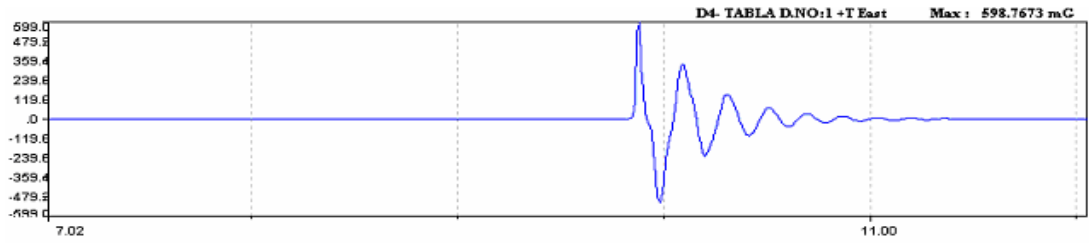


t)19. Yükleme Çatı İvme Kaydı (+65 mm)

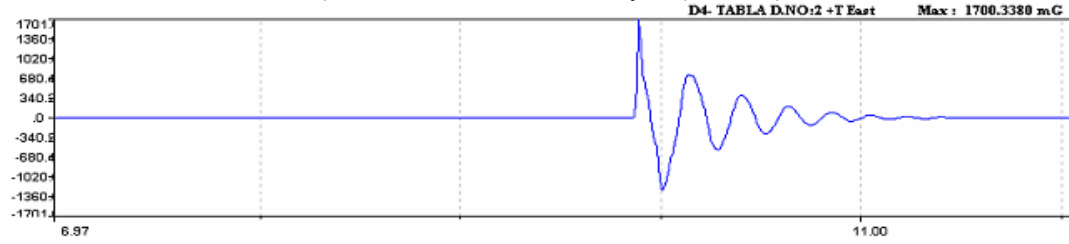


u) 20. Yükleme Çatı İvme Kaydı (+65 mm)

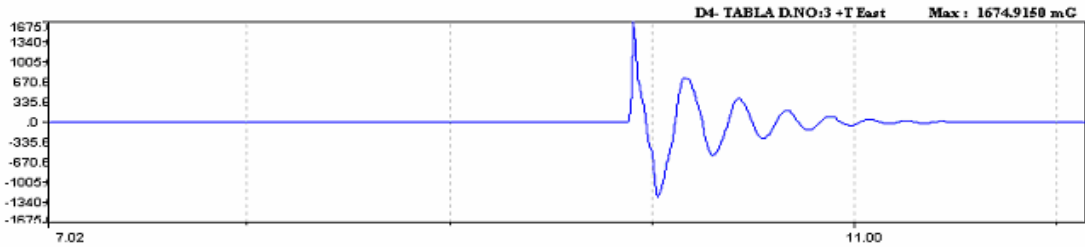
Şekil 3.26. (Devam) Deney Yapısı-5 çatı ivme kayıtları



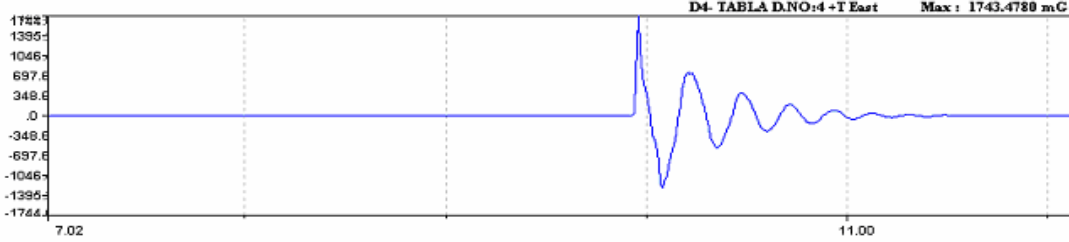
a) 1. Yükleme Tabla İvme Kaydı (+30 mm)



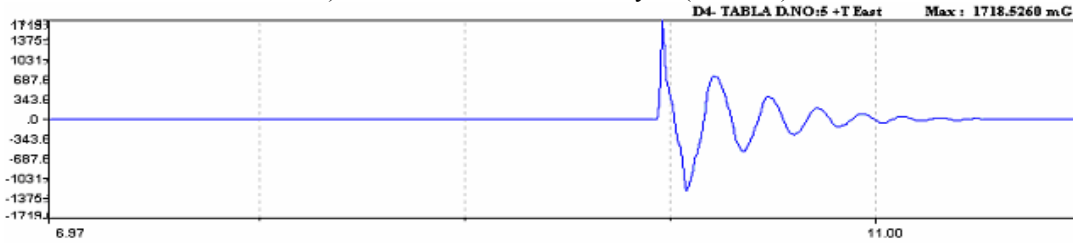
b) 2. Yükleme Tabla İvme Kaydı (+55 mm)



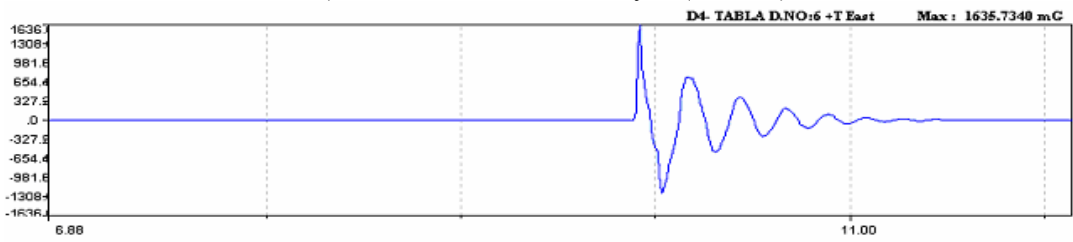
c) 3. Yükleme Tabla İvme Kaydı (+55 mm)



d) 4. Yükleme Tabla İvme Kaydı (+55 mm)

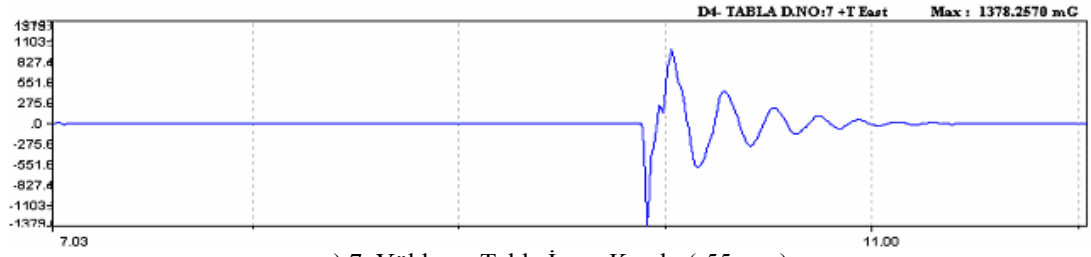


e) 5. Yükleme Tabla İvme Kaydı (+55 mm)

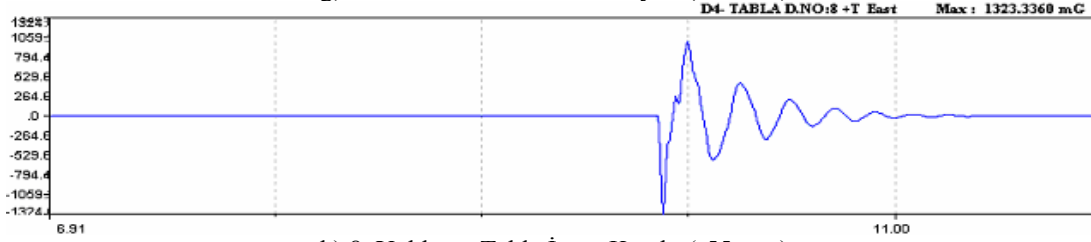


f) 6. Yükleme Tabla İvme Kaydı (+55 mm)

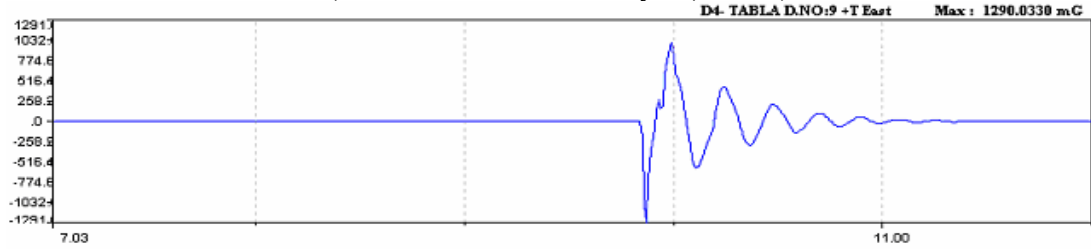
Şekil 3.27. Deney Yapısı-5 tabla ivme kayıtları (düşey eksen ivme-cm/sn², yatay eksen zaman-sn.)



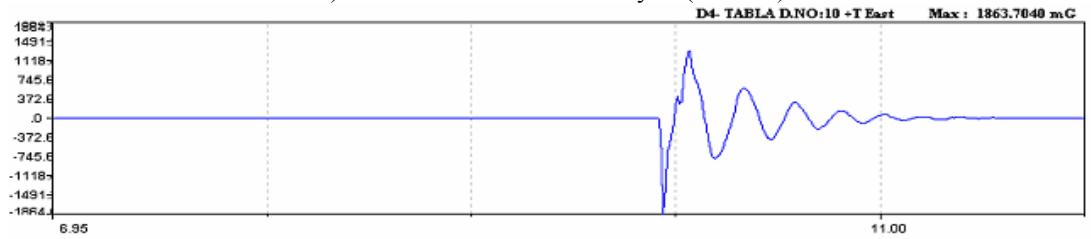
g) 7. Yükleme Tabla İvme Kaydı (-55 mm)



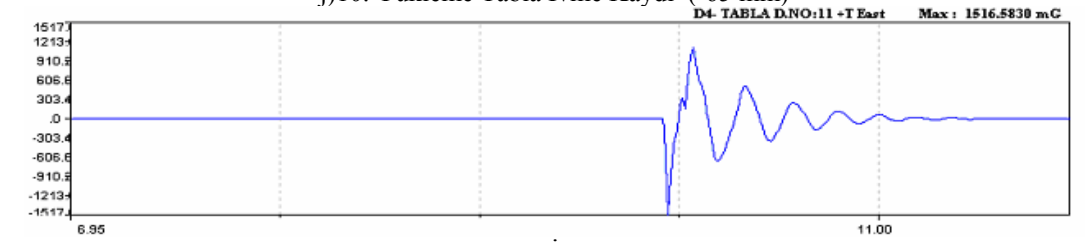
h) 8. Yükleme Tabla İvme Kaydı (-55 mm)



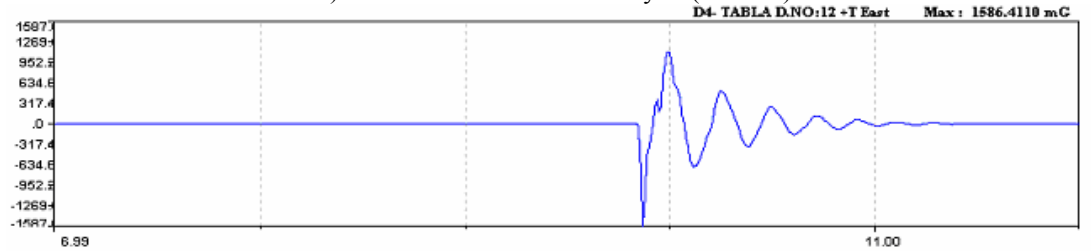
i) 9. Yükleme Tabla İvme Kaydı (-55 mm)



j) 10. Yükleme Tabla İvme Kaydı (-65 mm)

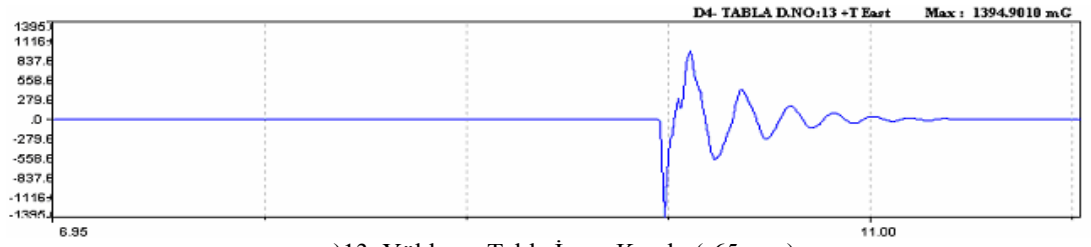


k) 11. Yükleme Tabla İvme Kaydı (-65 mm)

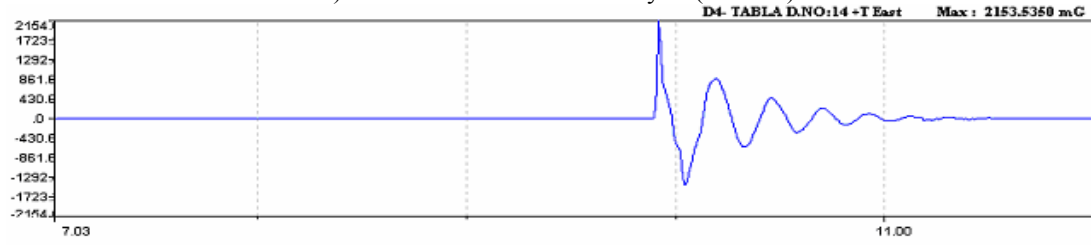


l) 12. Yükleme Tabla İvme Kaydı (-65 mm)

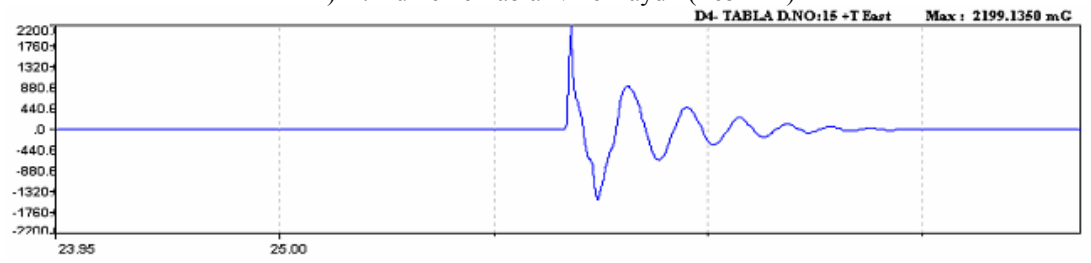
Şekil 3.27. (Devam) Deney Yapısı-5 tabla ivme kayıtları



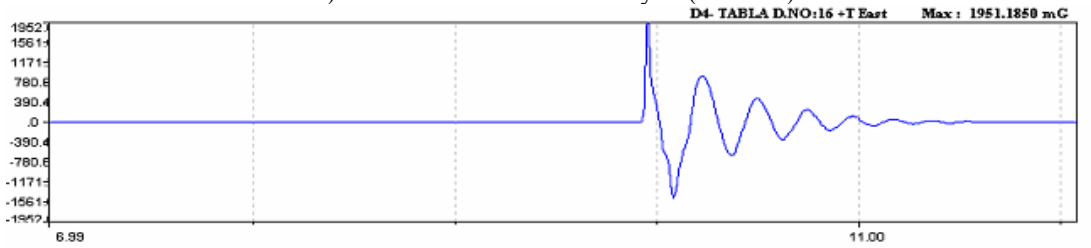
m)13. Yükleme Tabla İvme Kaydı (-65 mm)



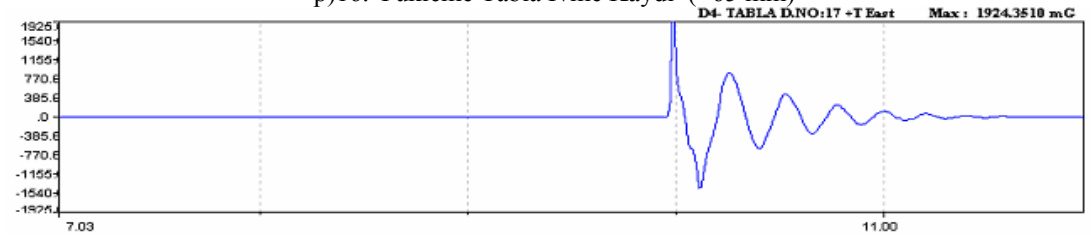
n)14. Yükleme Tabla İvme Kaydı (+65 mm)



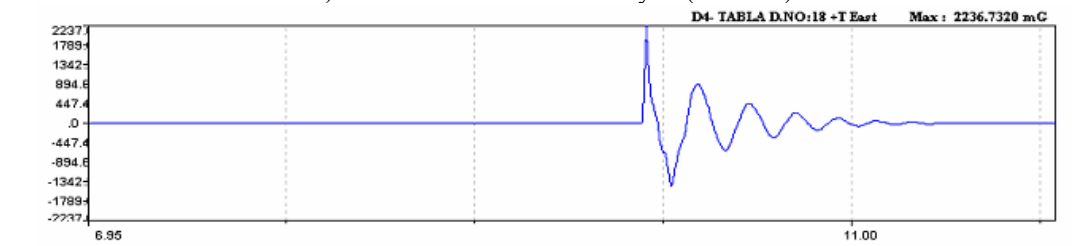
o)15. Yükleme Tabla İvme Kaydı (+65 mm)



p)16. Yükleme Tabla İvme Kaydı (+65 mm)

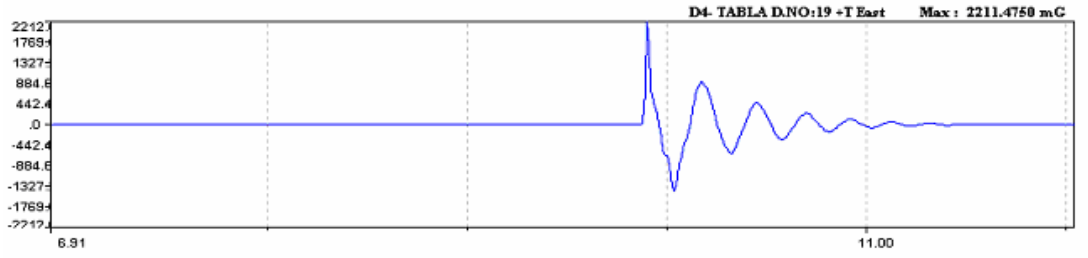


r)17. Yükleme Tabla İvme Kaydı (+65 mm)

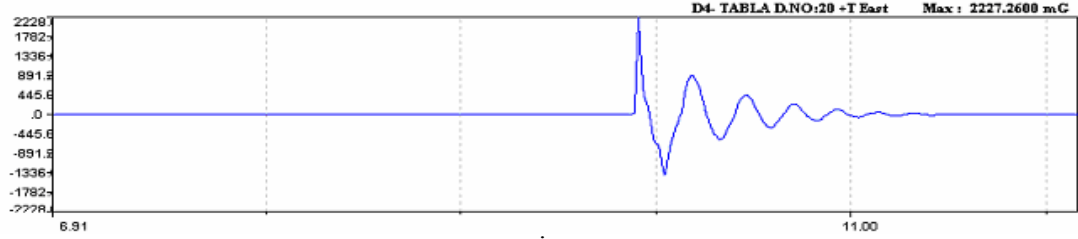


s)18. Yükleme Tabla İvme Kaydı (+65 mm)

Şekil 3.27. (Devam) Deney Yapısı-5 tabla ivme kayıtları

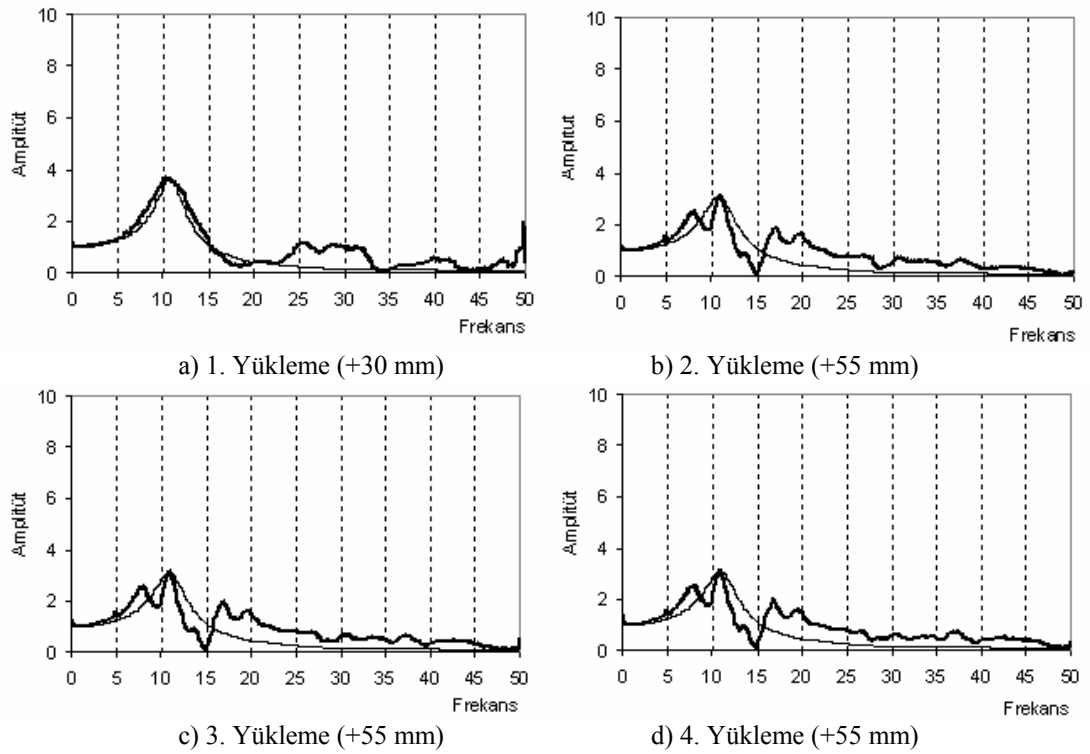


t) 19. Yükleme Tabla İvme Kaydı (+65 mm)

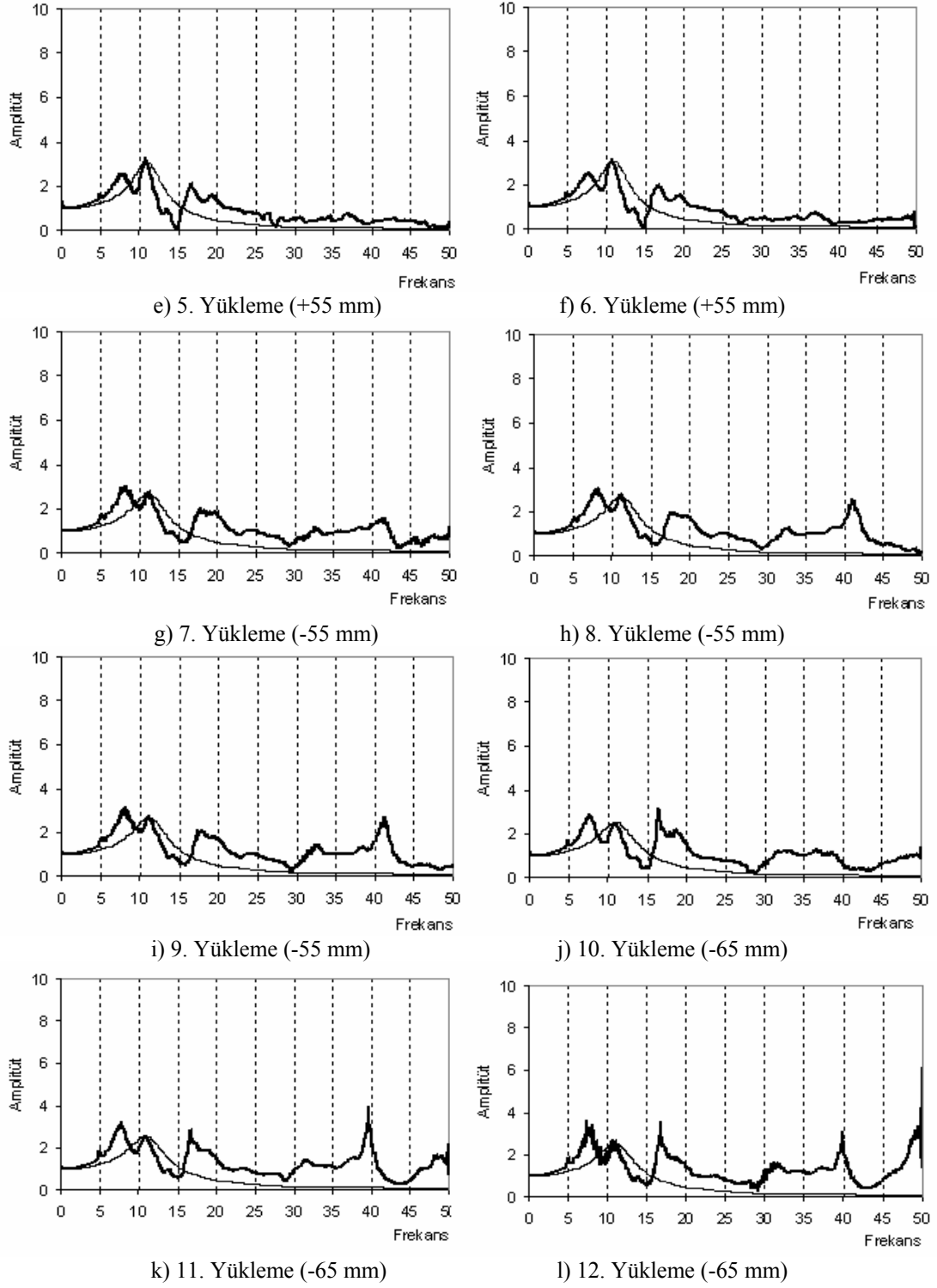


u) 20. Yükleme Tabla İvme Kaydı (+65 mm)

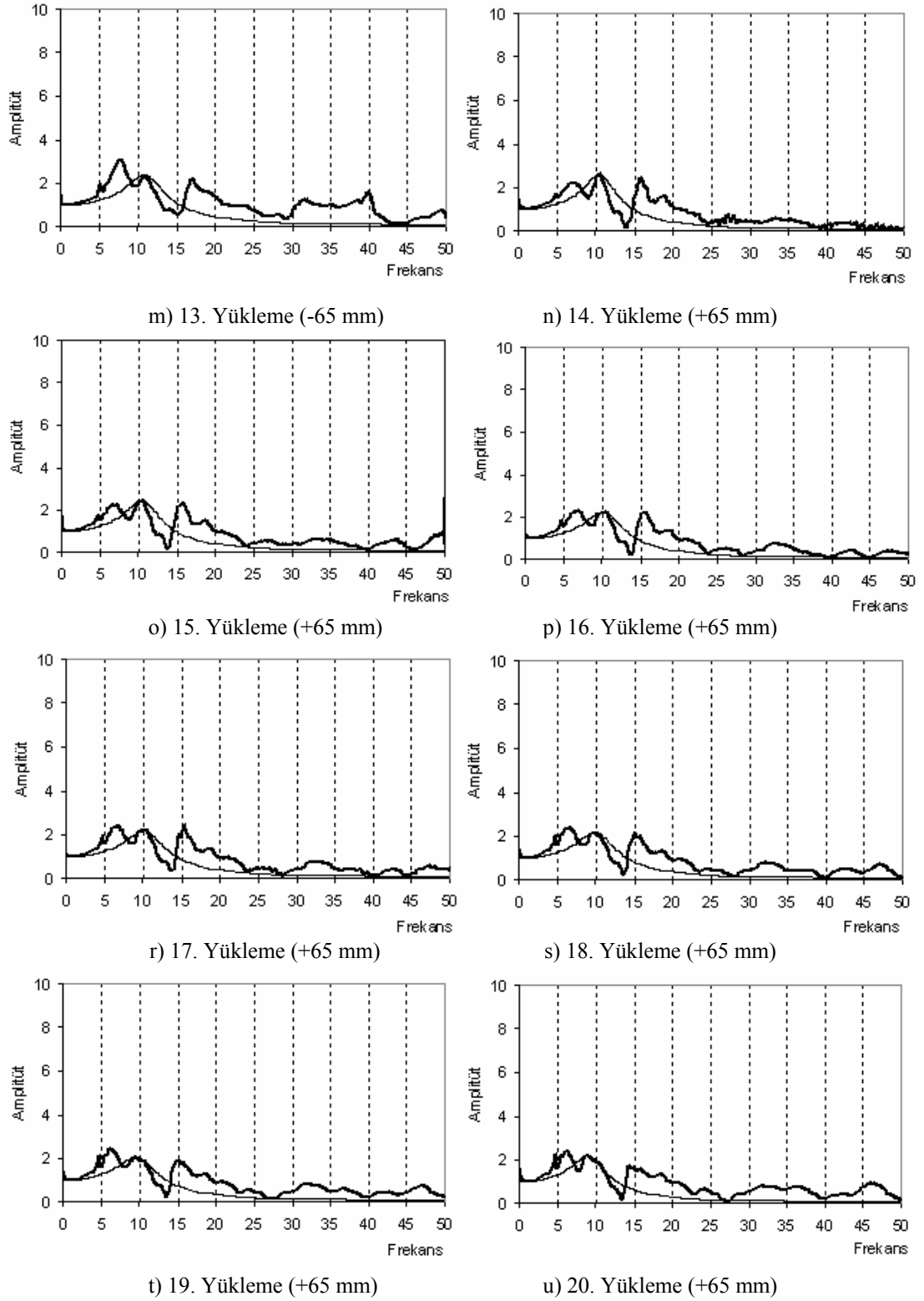
Şekil 3.27. (Devam) Deney Yapısı-5 tabla ivme kayıtları



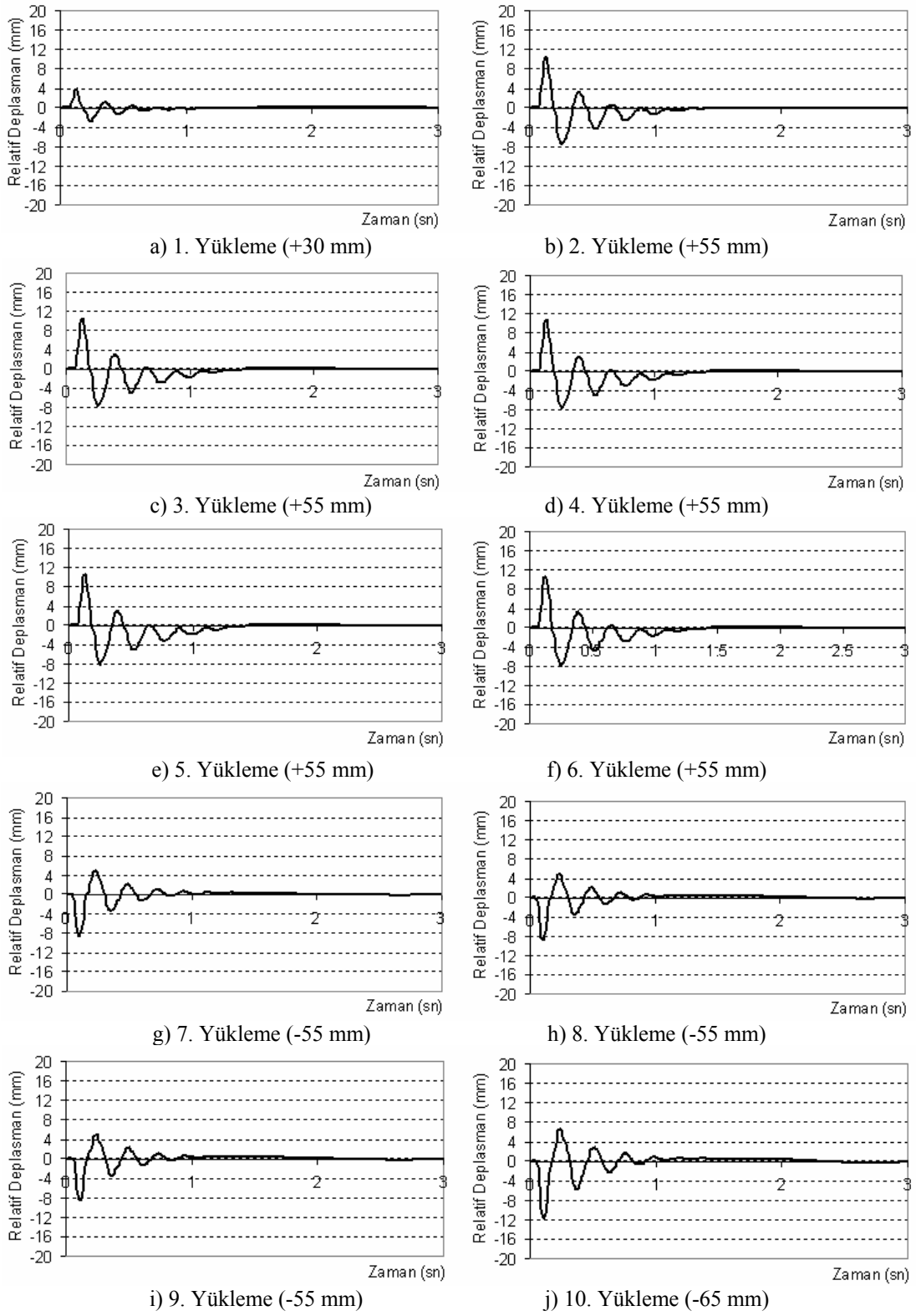
Şekil 3.28. Deney Yapısı-5 tepki fonksiyonu grafikleri (—; ivme kayıtlarından, - -; tek serbestlik dereceli elastik sistemin hareket denkleminde)



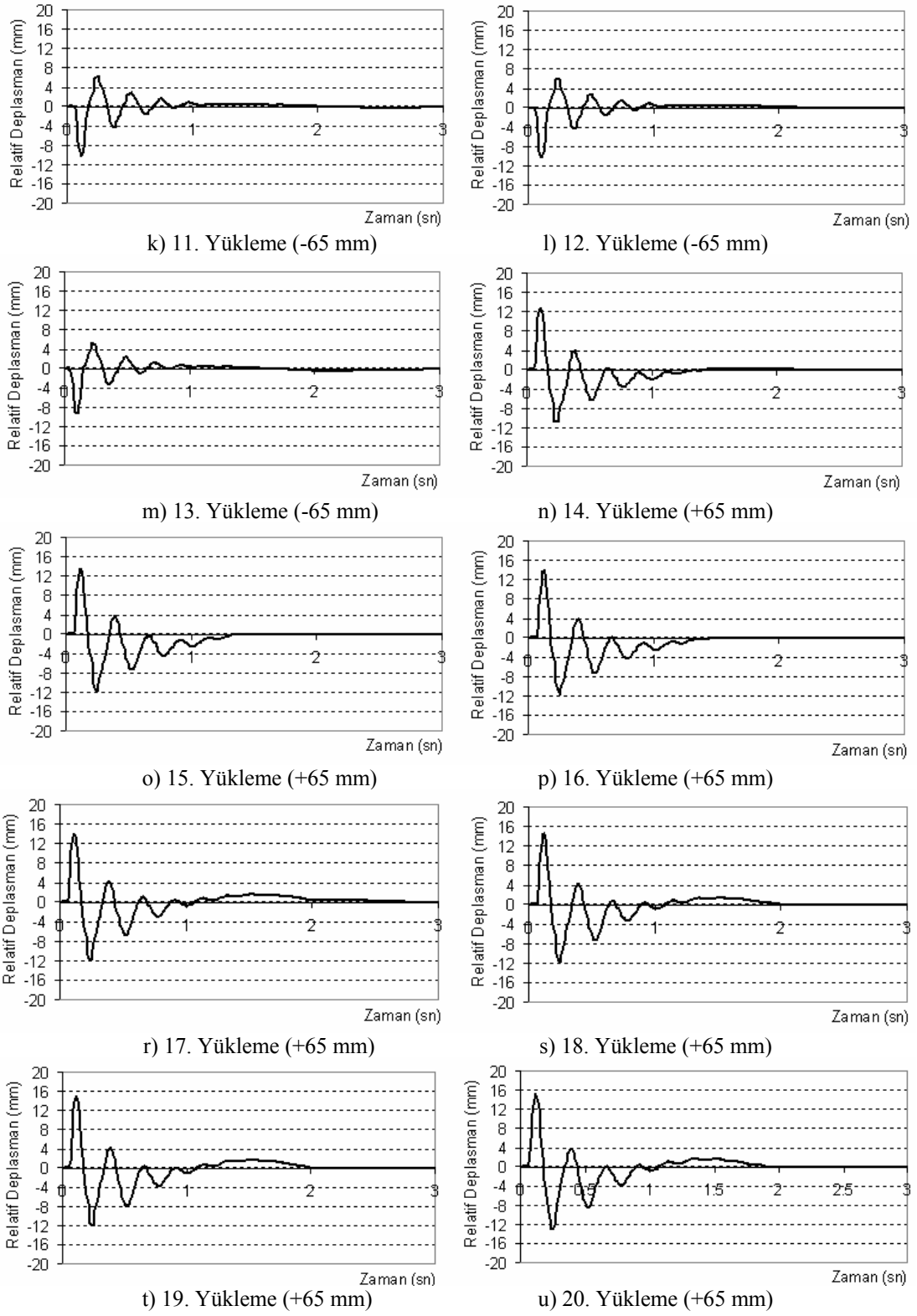
Şekil 3.28. (Devam) Deney Yapısı-5 tepki fonksiyonu grafikleri



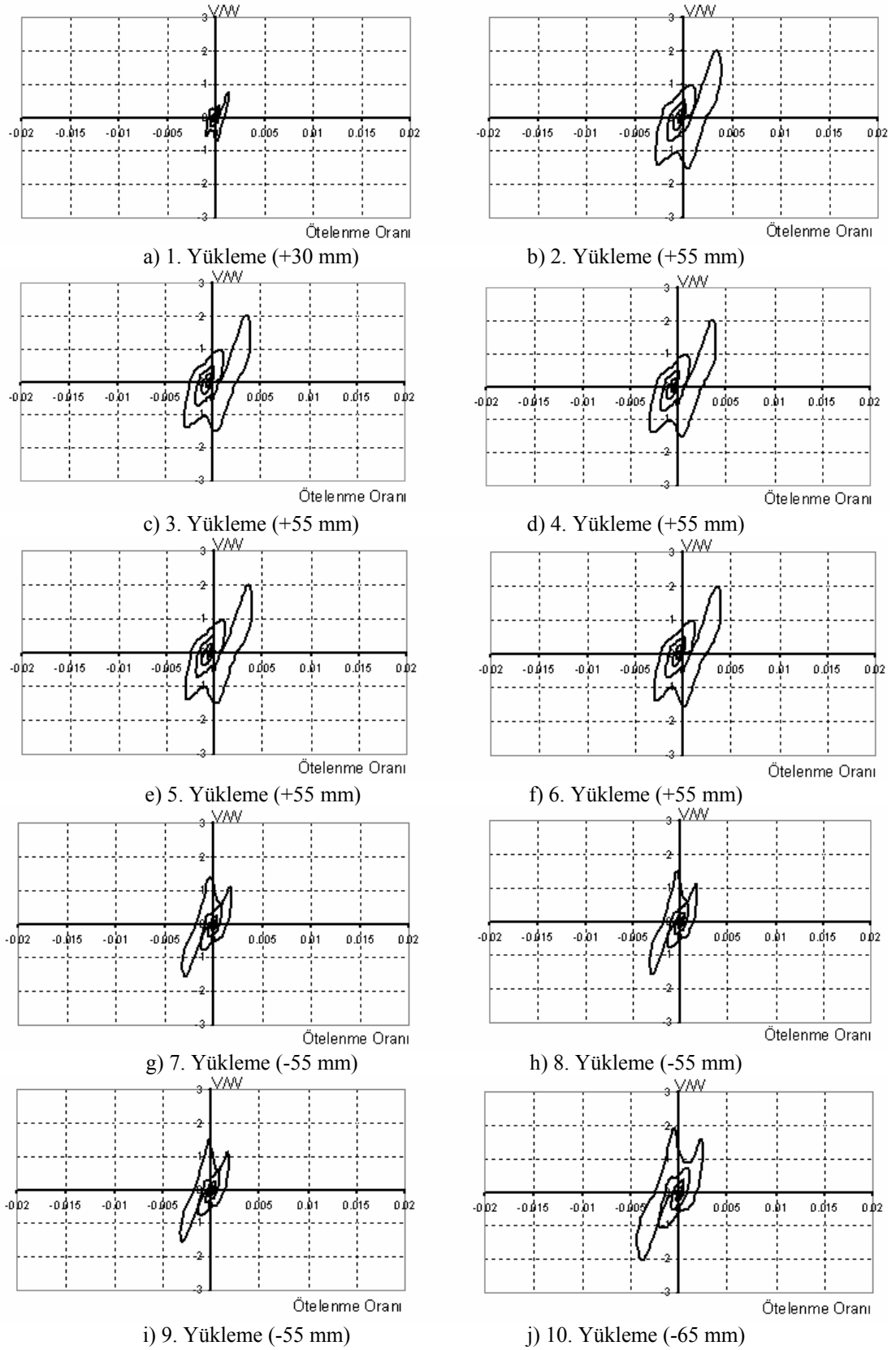
Şekil 3.28. (Devam) Deney Yapısı-5 tepki fonksiyonu grafikleri



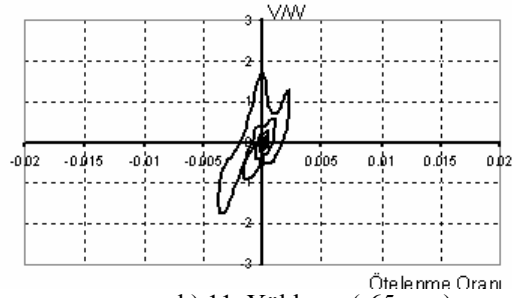
Şekil 3.29. Deney Yapısı-5 relatif deplasman grafikleri



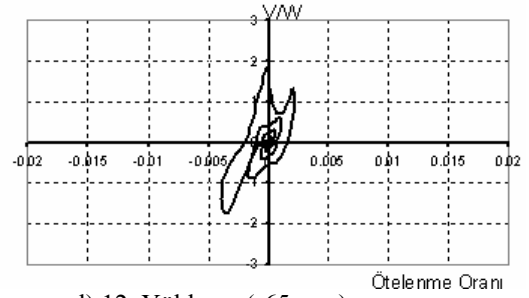
Şekil 3.29. (Devam) Deney Yapısı-5 relatif deplasman grafikleri



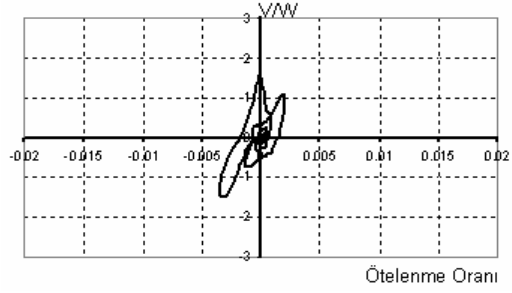
Şekil 3.30. Deney Yapısı-5 yatay yük-ötelenme oranı grafikleri



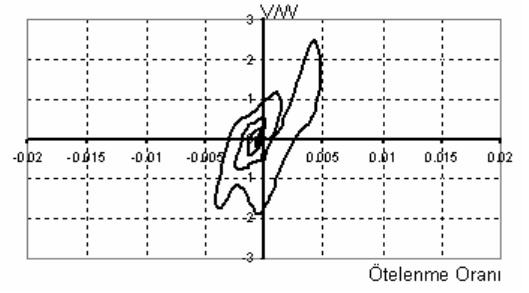
k) 11. Yükleme (-65 mm)



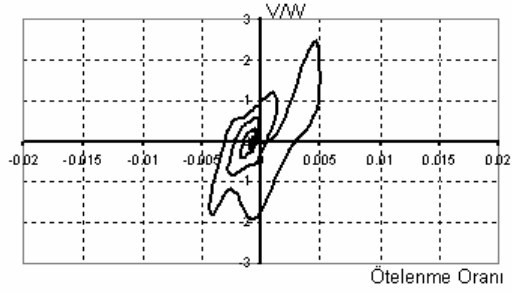
l) 12. Yükleme (-65 mm)



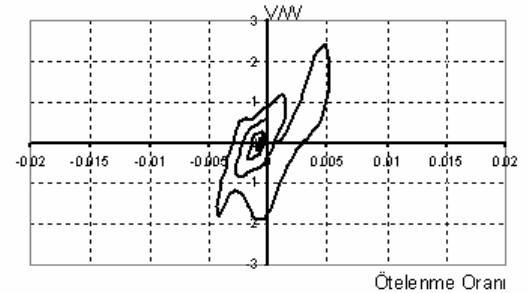
m) 13. Yükleme (-65 mm)



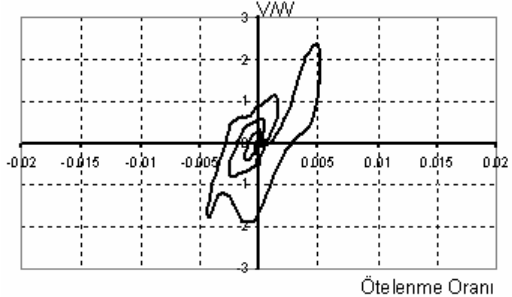
n) 14. Yükleme (+65 mm)



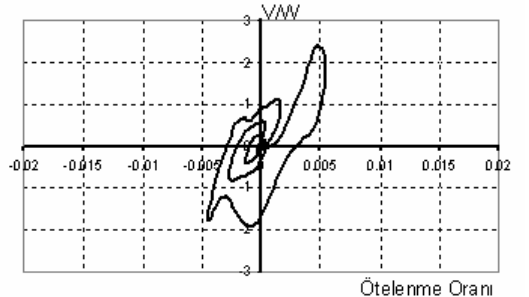
o) 15. Yükleme (+65 mm)



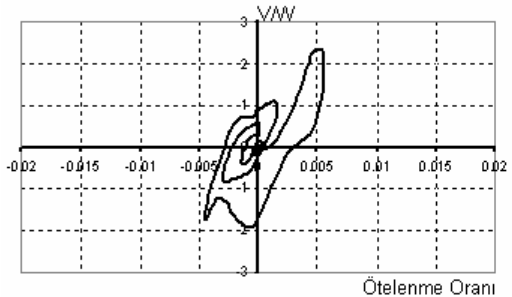
p) 16. Yükleme (+65 mm)



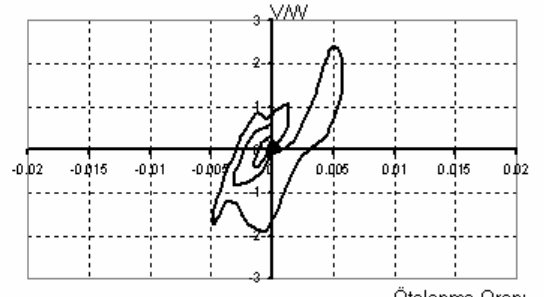
r) 17. Yükleme (+65 mm)



s) 18. Yükleme (+65 mm)

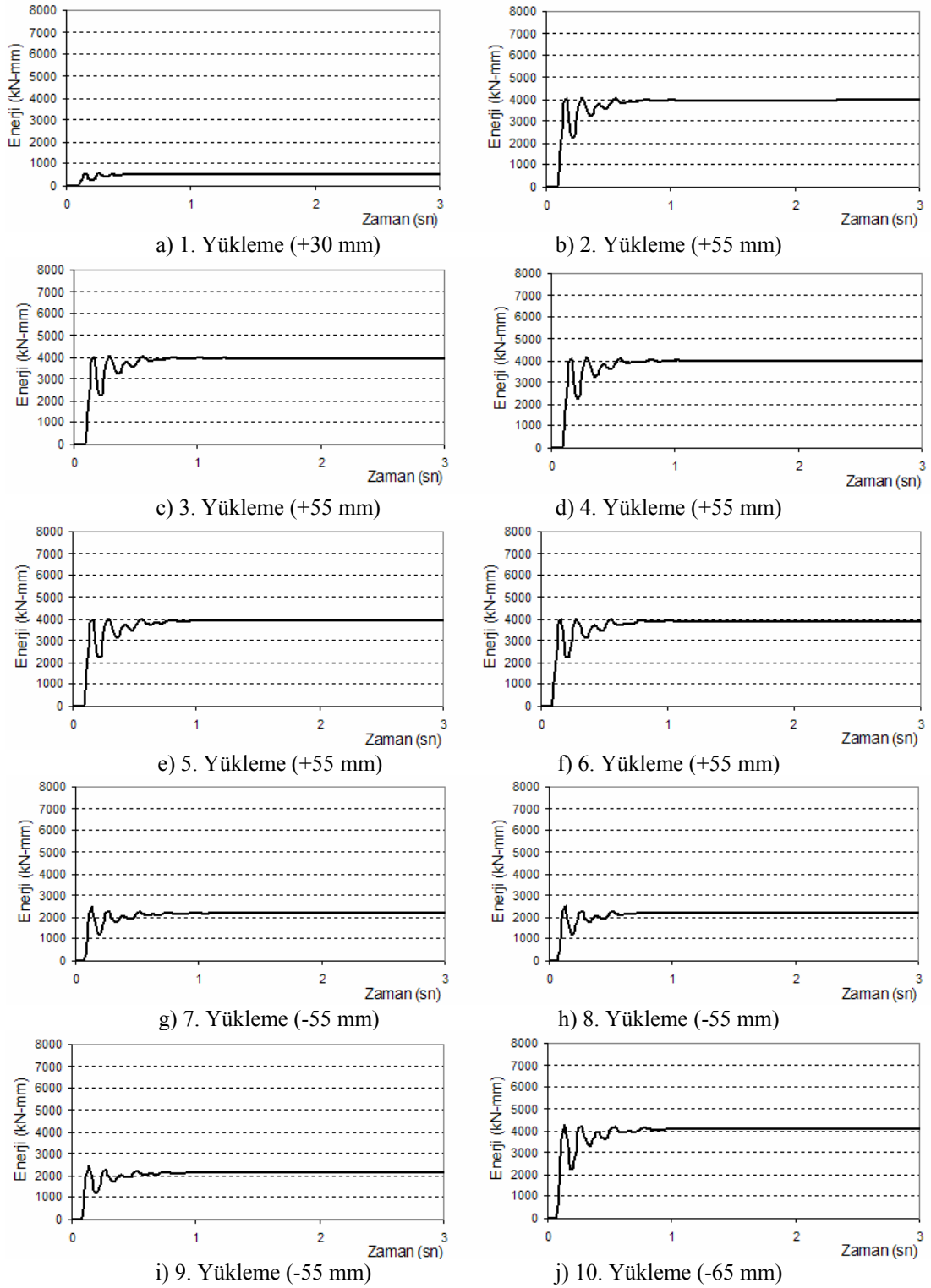


t) 19. Yükleme (+65 mm)

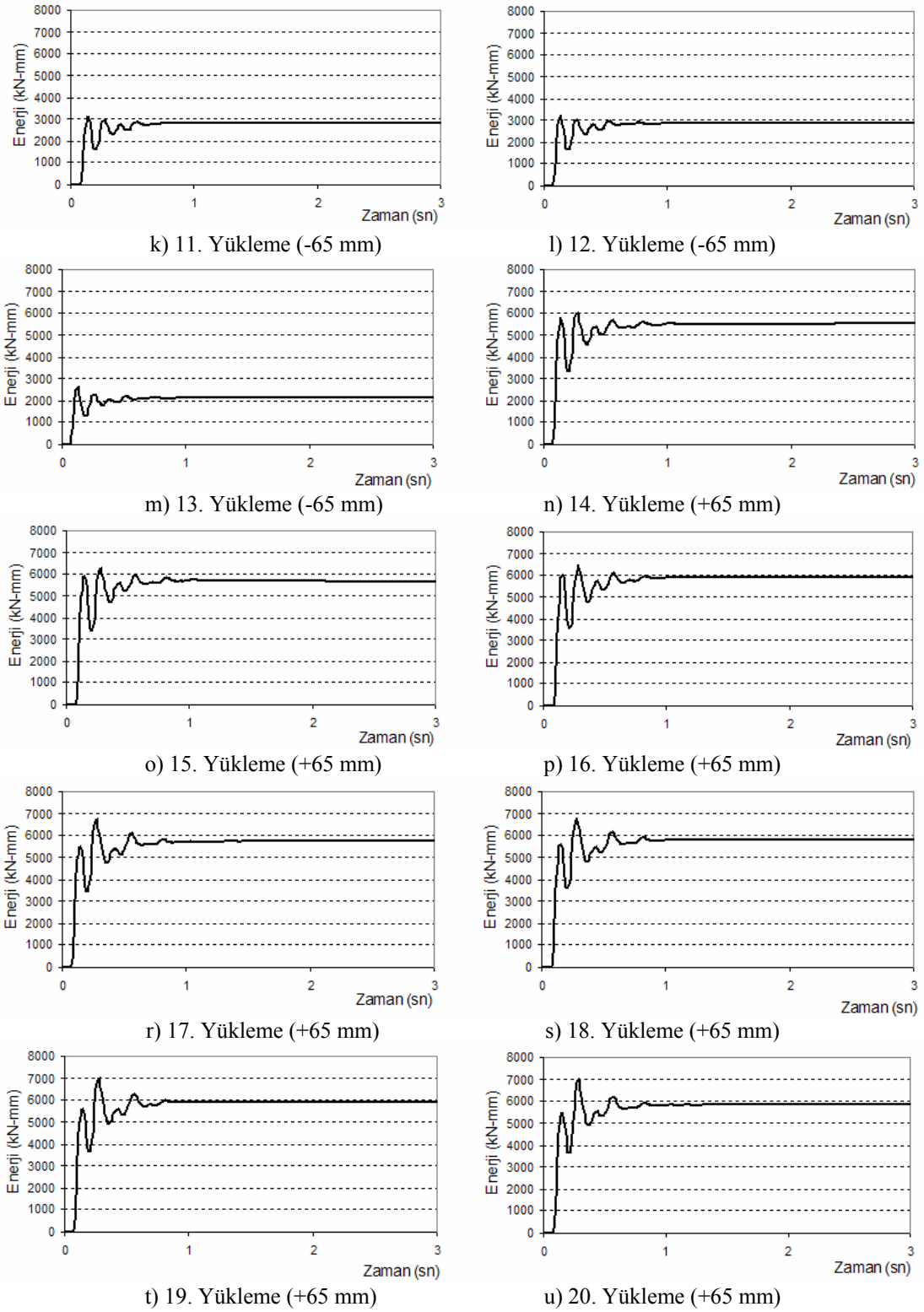


u) 20. Yükleme (+65 mm)

Şekil 3.30. (Devam) Deney Yapısı-5 yatay yük-ötelenme oranı grafikleri



Şekil 3.31. Deney Yapısı-5 tüketilen enerji grafikleri



Şekil 3.31. (Devam) Deney Yapısı-5 tüketilen enerji grafikleri

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde deney sonuçları değerlendirilmiştir. Deney yapılarının sergiledikleri davranış; dayanım, rijitlik, enerji tüketimi, periyot ve sönümdeki değişimler, ana başlıklar altında incelenmiştir. Değerlendirme üç aşamada yapılmıştır. Birinci aşamada her deney yapısının deney süresince artan yükleme adımlarındaki davranış, rijitlik, periyot, sönüm ve tüketilen enerji değişimleri, ikincisinde rehabilitasyon yapılan deney yapılarının kontrol yapısına göre karşılaştırılması, üçüncüsü ise rehabilitasyonu yapılan deney yapıları kendi arasında karşılaştırılmıştır. Deney yapılarında çelik levha şeritlerin düzenlenme şeklinin yapı davranışı üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

4.1. Dayanım ve Davranış

Deney yapılarının dayanım ve genel davranış yatay yük katsayısı-yanal ötelenme oranı, periyot, sönüm oranı, tüketilen enerji grafikleri ile incelenmiştir. Deney programı içinde gerçekleştirilen beş deneyin özeti Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2’de verilmiştir. Sarsma tablasının kapasitesinden dolayı her deneyde yapılara ağırlığının 2-2,2 katı kadar yük verilmiş, her deneydeki çatlak gelişimi farklı olmuştur. Deney Yapısı-1’de kapasiteye ulaşıldığından maksimum yükten sonra yük düşüşü olmuştur. Rehabilitasyonu yapılan diğer 4 deney yapısında ise yük düşüşü yaşanmamıştır. Bu deney yapılarına sarsma tablasının kapasitesinden dolayı, yatay yük kapasitelerine ulaştıracak kuvvetler verilememiştir. Deney Yapısı-2 ve Deney Yapısı-4’de ileri yüklemelerde ivme kayıtçısındaki sorun nedeni ile bazı kayıtlar alınamamıştır. Bu nedenle bu deneylerde sadece kayıt alınan yüklemelerde oluşan kuvvetler verilmiştir.

Deney Yapısı-1’in test edildiği ilk deneyde yükleme doğrultusundaki duvarlarda kapı ve pencerelerin köşelerinden başlayan eğik çatlaklar gelişmiştir. Bu eğik çatlakların hatıllara kadar ilerlediği ve çatlakların derz aralarını takip ettiği gözlenmiştir. Yapı yükleme doğrultusuna dik duvarlarında alt hatılın yaklaşık 250 mm üzerinden ayrılarak devrilme hareketi sergilemiştir. Deney yapısı, tabandan kayma ve duvarların yukarıya doğru kalkma hareketini birlikte sergilemiş ve oluşan çatlaklar

bu ortak harekete göre meydana gelmiştir. Deney elemanında sıvalar dökülmüş, eğik çatlak genişlikleri 15 mm ölçülmüştür.

Deney Yapısı-2’de düzenlenen güçlendirme ile belirgin bir çatlak oluşmamıştır. Tamir harcı ile sıva arasında kılcal düzeyde kalan sınırlı çatlaklar meydana gelmiştir.

Deney Yapısı-3’ün test edildiği 3. deneyde, yüklemeye dik duvarlarda yatay gelişen kılcal çatlakların uzunluğu artmasına rağmen yüklemeye yönündeki duvarlarda kesme çatlağı oluşmamıştır.

Deney Yapısı-4’de yüklemeye dik olan duvarlarda alt hatılın üstünde gelişen yatay çatlaklar duvar boyunca ilerlemiştir. Yükleme yönündeki duvarlarda da alt hatıl üstünde bazı yatay çatlaklar gelişmiş, kesme çatlağı oluşmamıştır.

Deney Yapısı-5’de yüklemeye doğrultusundaki duvarlarda az sayıda olsa da kesme çatlakları gelişmiş, çelik şeritler çatlakların açılmasını önlemiştir. Yükleme yönündeki duvarların tümünde alt hatıl üstünde, duvar boyunca ilerleyen kılcal çatlak meydana gelmiştir. Yüklemeye dik duvarlarda çok sayıda ve tüm duvar boyunca devam eden yatay çatlaklar gelişmiştir. Bu testte deney yapısının duvarlarının dış yüzlerine ve sadece diyagonal doğrultularda yerleştirilen çelik şeritler yüklemeye dik duvarlarda gelişen çatlakların ayrılmasını önlemiştir.

Rehabilitasyon yapılan Deney Yapısı-2, Deney Yapısı-3, Deney Yapısı-4 ve Deney Yapısı-5’in test edildiği deneylerde, çelik elemanları deney yapısına bağlayan birleşimlerde herhangi bir hasar gözlenmemiş ve birleşimler yatay kuvvetleri başarıyla taşımışlardır.

Çizelge 4.1. Deney yapılarına gelen kuvvet ve kayma gerilmesi sonuçları özeti

Deney Yapısı No	1	2*	3	4*	5
Ağırlık Artışı (%)	1,00	8,02	5,92	3,71	2,48
Maksimum Tabla İvmesi (cm/sn ²)	2297,08	1468,48	1718,07	2023,59	2236,73
Maksimum Çatı İvme (cm/sn ²)	2154,22	1643,98	2153,42	1885,04	2467,83
Maksimum Yatay Yük Oranı	2,20	1,68	2,20	1,92	2,52
Maksimum Yatay Yük Oranı Değişimi	1	0,76	1	0,87	1,15
Maksimum Yatay Yük (kN)	247,02	203,75	261,64	223,57	289,95
İlk Kesme Çatlağı Yüğü (kN)	239,16	--	--	--	289,45
Maksimum Nominal Kayma Gerilmesi (kN/mm ²)	0,260	0,214	0,275	0,236	0,305
Maksimum Nominal Kayma Gerilmesi Değişimi	1	0,82	1,06	0,91	1,17
Maksimum Yanal Deplasman (mm)	44,04	4,15	7,48	9,80	15,36
Maksimum Yükteki Yanal Ötelenme Oranı (x10 ⁻³)	2,68	1,02	1,72	2,77	4,50
Maksimum Yükteki Yanal Ötelenme Oranı Değişimi	1	0,38	0,64	1,03	1,68

* İvme değerleri kayıt alınan son yüklemelerdeki değerlerdir.

Deney Yapısı-1'e gelen en büyük kuvvet 239,16 kN olmuştur. Bu yükten sonra yatay yük kapasitesine ulaşıldığından diğer yüklemelerde gelen yatay kuvvet azalmıştır. Deney yapısının duvarlarında ulaşılan en büyük nominal kayma gerilmesi 0,260 kN/mm² olmuştur. En büyük yatay yükte deney yapısının yaptığı yanal öteleme oranı 0,00268 iken yük düşüşüne rağmen oluşan çatlaklar nedeni ile yanal öteleme oranı önemli miktarda artmıştır.

Deney Yapısı-2'ye gelen en büyük kuvvet kayıtların alınabildiği 13. yüklemeye kadar 203,75 kN olmuştur. Kayıt alınmadığı yüksek başlangıç ötelemesi verilerek yapılan yüklemelerde, diğer deneylerde olduğu gibi ağırlığının 2-2,2 katı büyüklüğündeki yatay kuvvetler oluşmuş ve deney yapısı bu kuvvetlere elastik olarak karşı koymuştur. Deney yapısının duvarlarında kayıt alınabilen yüklemelerde

ulaşılan en büyük nominal kayma gerilmesi $0,214 \text{ kN/mm}^2$ olmuştur. En büyük yatay yükte deney yapısının yaptığı yanal öteleme oranı $0,00102$ olmuştur.

Deney yapısı-3'e gelen en büyük kuvvet $261,64 \text{ kN}$ ve deney yapısının duvarlarında ulaşılan en büyük nominal kayma gerilmesi $0,275 \text{ kN/mm}^2$ olmuştur. En büyük yatay yükte deney yapısının yaptığı yanal öteleme oranı $0,00172$ olmuştur.

Deney Yapısı-4'e gelen en büyük kuvvet kayıt alınabilen 15. yüklemeye kadar $223,57 \text{ kN}$ olmuştur. Deney yapısının duvarlarında ulaşılan en büyük nominal kayma gerilmesi $0,236 \text{ kN/mm}^2$, en büyük yatay yükte deney yapısının yaptığı yanal öteleme oranı $0,00277$ kadar olmuştur.

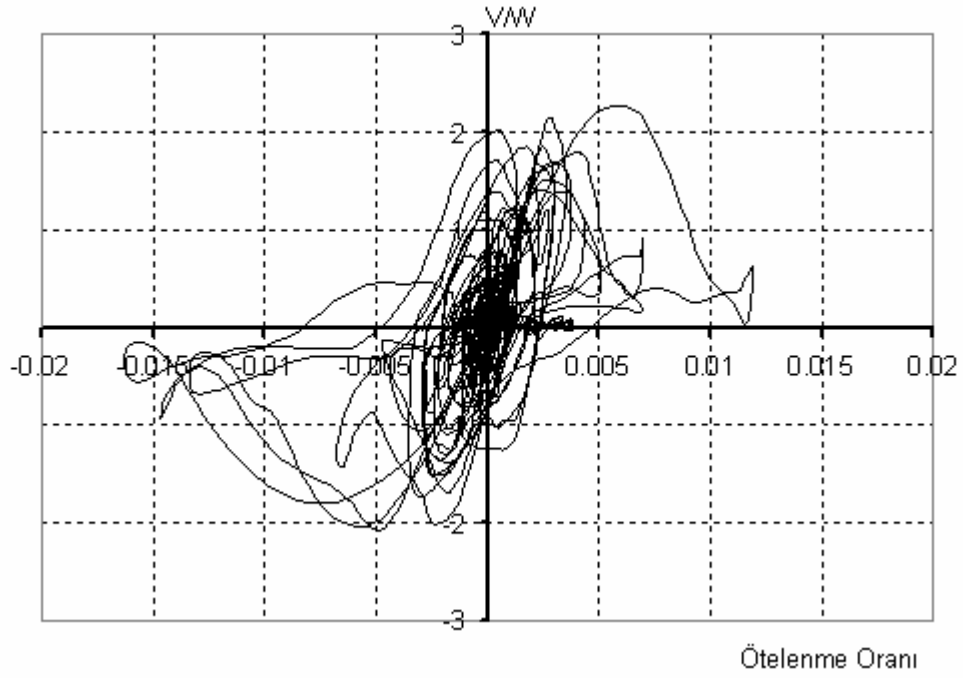
Deney yapısı-5'e gelen en büyük kuvvet $289,95 \text{ kN}$ ve deney yapısının duvarlarında ulaşılan en büyük nominal kayma gerilmesi $0,305 \text{ kN/mm}^2$ olmuştur. En büyük yatay yükte deney yapısının yaptığı yanal öteleme oranı $0,0045$ olmuştur.

Uygulanan rehabilitasyon ile Deney Yapısı-2, Deney Yapısı-3, Deney Yapısı-4 ve Deney Yapısı-5'in kontrol yapısı olan Deney Yapısı-1'e göre ağırlıklarındaki artış sırası ile % 8,02, % 5,92, % 3,71 ve % 2,48 gibi çok az düzeyde olmuştur. Deney yapılarına gelen yatay yük oranının kontrol yapısına göre artış oranı sırası ile 0,76, 1, 0,87, 1,15 olmuş, deney yapılarının maksimum nominal kayma gerilmesindeki artma yine sırası ile 0,82, 1,06, 0,91, 1,17 olmuştur. Kontrol yapısına göre artışın 1'den küçük olması kayıt alınamayan yüklemelerde yapıya gelen kuvvetlerin ölçülememesinden dolayıdır. Bu deneylerde kayıt alınabilen yüklemelerde oluşan kuvvetler verilmiştir. Deney yapılarının maksimum yükteki yaptığı en büyük yanal ötelenme oranının kontrol elemanına göre değişimi ise sırası ile 0,38, 0,65, 1,03 ve 1,68 olmuştur. Deney Yapısı-2 ve Deney Yapısı-3'ün en büyük yükteki yanal ötelenme oranında azalma varken Deney Yapısı-4'te aynı kalmış, Deney Yapısı-5'de artış olmuştur. Rehabilitasyon düzenlemesinde diyagonal çelik şeritlerle birlikte konulan düşey çelik şeritler yanal ötelenme miktarını düşürmüştür.

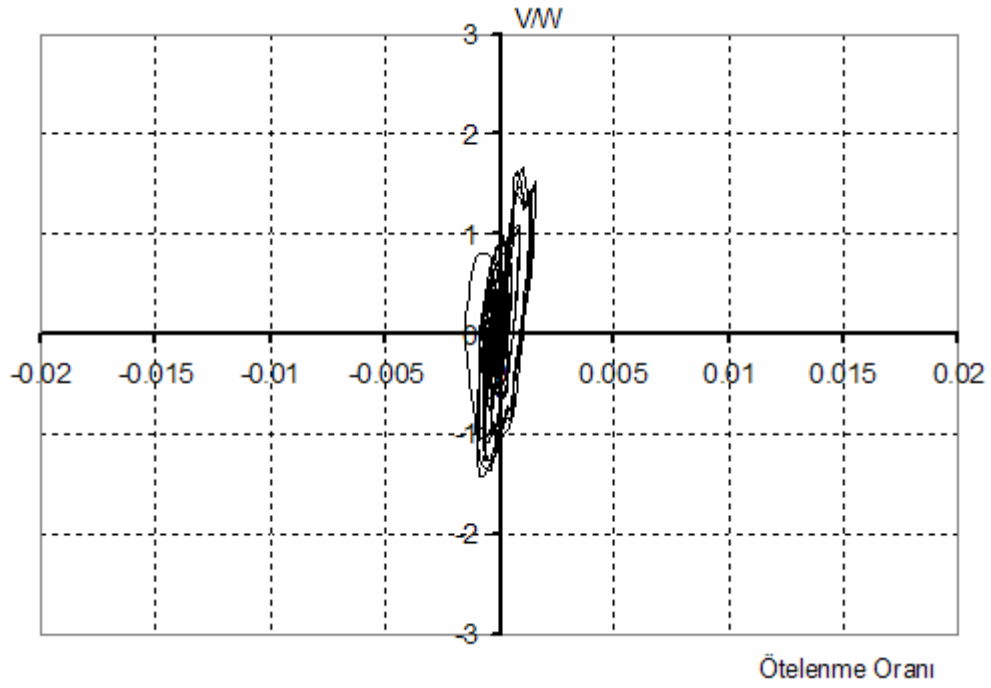
Çizelge 4.2. Deney yapılarına her yüklemeye gelen maksimum yatay yük ve nominal kayma gerilmesi

No	Başlangıç Ötelemesi (mm)	Yatay Kuvvet (kN)					Maksimum Nominal Kayma Gerilmesi (kN/mm ²)				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	+30	86,46	83,68	74,92	85,00	90,90	0,091	0,088	0,079	0,089	0,096
2	+30	83,09	86,11	76,11	85,00	-	0,088	0,091	0,080	0,089	
3	+40	135,86	130,98	132,01	136,24	-	0,144	0,138	0,140	0,144	
4	+40	138,10	134,62	133,20	137,40	-	0,146	0,142	0,140	0,145	
5	-40	97,68	94,60	92,76	93,15	-	0,103	0,099	0,098	0,099	
6	-40	89,82	90,96	86,82	-	-	0,095	0,096	0,092		
7	-50	143,72	128,56	139,15	146,72	-	0,151	0,135	0,146	0,155	
8	-50	148,21	132,20	129,63	144,39	-	0,157	0,139	0,137	0,152	
9	+50	192,00	178,28	178,39	187,47	-	0,203	0,188	0,188	0,198	
10	+50	211,09	172,22	180,77	188,64	-	0,222	0,181	0,190	0,198	
11	+55	239,16	203,75	195,04	209,60	232,42	0,252	0,214	0,206	0,220	0,245
12	+55	224,56	197,69	190,28	217,75	230,12	0,236	0,209	0,200	0,230	0,242
13	+55	230,17	180,71	195,04	213,09	234,72	0,243	0,190	0,205	0,225	0,248
14	+55	220,07	-*	193,85	206,10	232,42	0,232	-	0,204	0,217	0,245
15	+55	-	-*	199,80	-	231,27	-	-	0,210		0,244
16	-55	193,12	-*	158,17	166,51	184,10	0,204	-	0,167	0,176	0,194
17	-55	-	-	-	-	182,95	-	-	-	-	0,193
18	-55	-	-	-	-	179,49	-	-	-	-	0,189
19	-65	247,02	-*	215,26	223,57	233,57	0,260	-	0,227	0,236	0,246
20	-65	-	-	-	-	202,51	-	-	-	-	0,214
21	-65	-	-	-	-	211,71	-	-	-	-	0,223
22	-65	-	-	-	-	181,79	-	-	-	-	0,192
23	+65	195,37	-*	261,64	-*	280,75	0,206	-	0,275	-	0,296
24	+65	-	-	-	-*	289,95	-	-	-	-	0,305
25	+65	-	-	-	-*	278,45	-	-	-	-	0,294
26	+65	-	-	-	-*	278,45	-	-	-	-	0,294
27	+65	-	-	-	-*	278,45	-	-	-	-	0,294
28	+65	-	-	-	-	270,39	-	-	-	-	0,285
29	+65	-	-	-	-	270,39	-	-	-	-	0,285

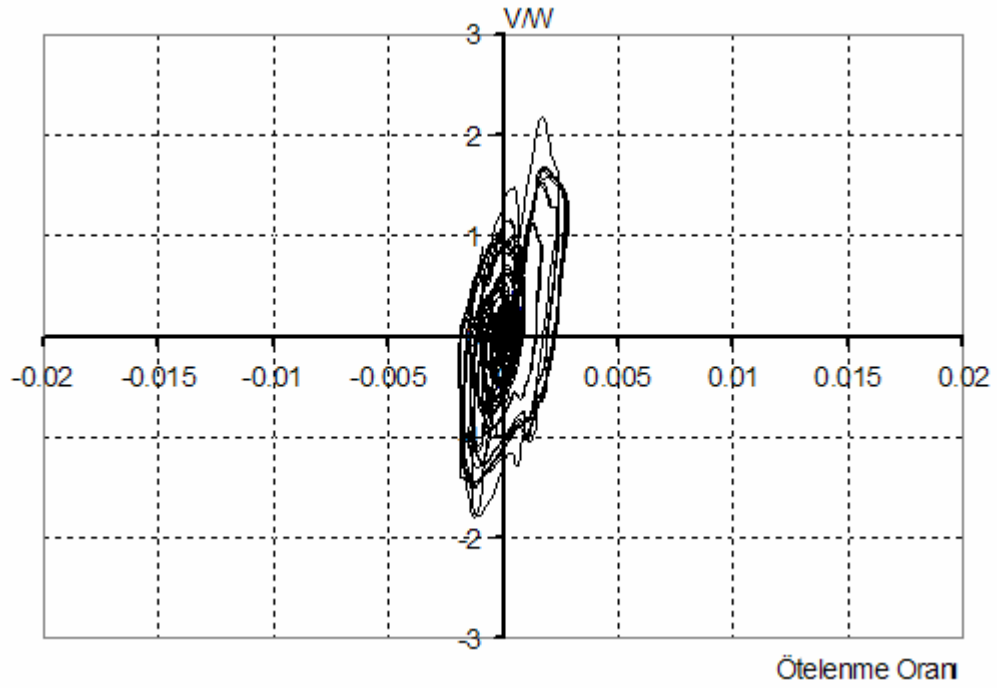
* Kayıt alınamayan yüklemeleri, - yapılmayan yüklemeleri göstermektedir.



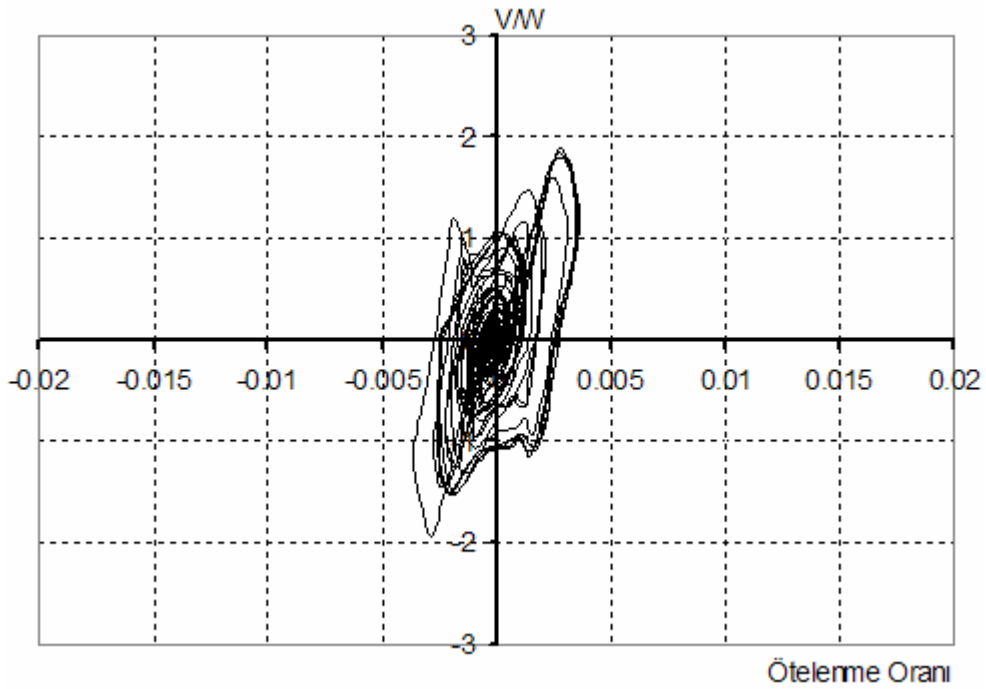
Şekil 4.1. Deney Yapısı-1'in tüm yüklemelerdeki yatay yük katsayısı-yanal ötelenme oranı grafiği



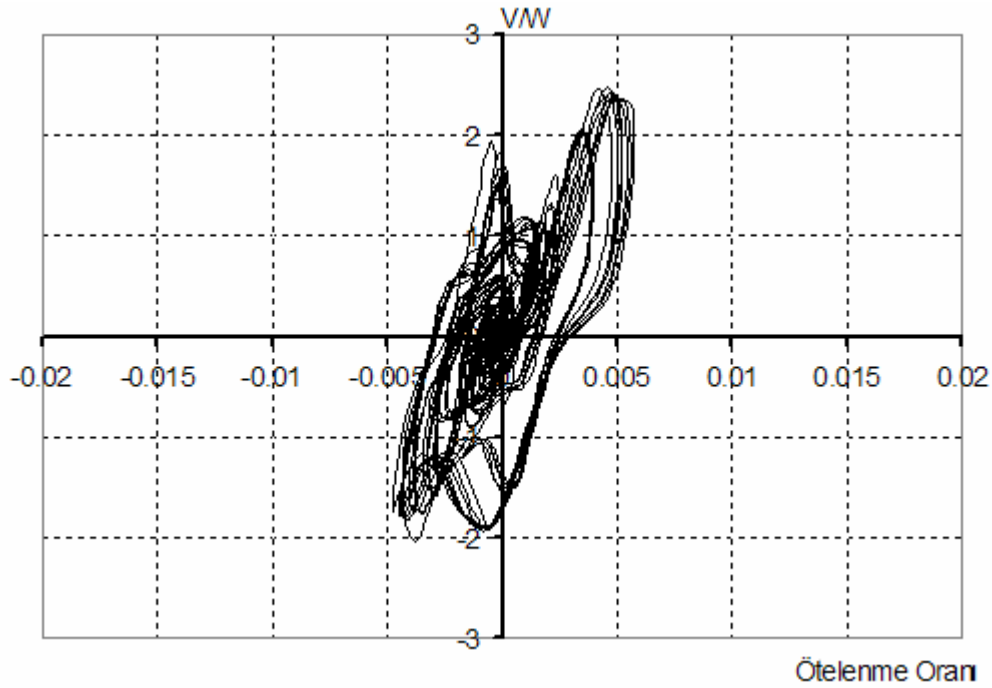
Şekil 4.2. Deney Yapısı-2'nin tüm yüklemelerdeki yatay yük katsayısı-yanal ötelenme oranı grafiği



Şekil 4.3. Deney Yapısı-3'ün tüm yüklemelerdeki yatay yük katsayısı-yanal ötelenme oranı grafiği



Şekil 4.4. Deney Yapısı-4'ün tüm yüklemelerdeki yatay yük katsayısı-yanal ötelenme oranı grafiği



Şekil 4.5. Deney Yapısı-5'in tüm yüklemelerdeki yatay yük katsayısı-yanal ötelenme oranı grafiği

4.2. Periyot

Tüm deney yapılarının periyodu artan yatay kuvvetle birlikte artmıştır. Deneylerde pozitif yönlü başlangıç ötelemesi verilerek yapılan yükleme adımından sonra negatif yönlü yükleme adımında yatay kuvvetin genliğinin düşmesinden dolayı pozitif yüklemeye göre periyotta da bir kısalma olmuştur.

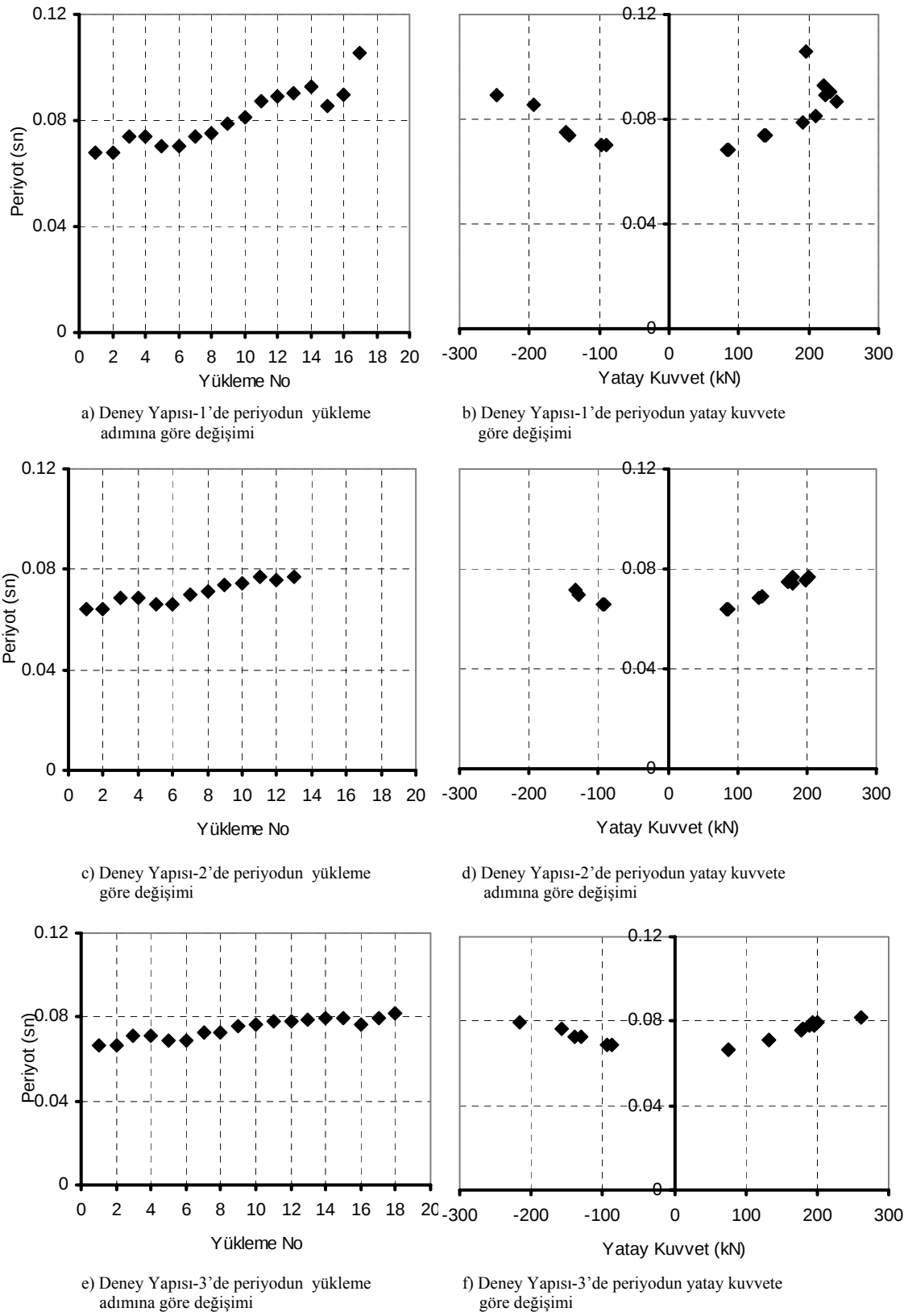
Deney yapısı-1'in sarsma tablasının salınım yönünde birinci titreşim periyodu ilk yüklemeye 0,068 saniye iken en son yüklemedeki periyodu 0,106 saniyedir. Deney yapısının periyodu ilk yüklemeye göre 1,55 kat uzamıştır. İlk kesme çatlağına ulaşıncaya kadar deney elemanına gelen taban kesme kuvveti arttıkça yapının periyodunda lineere yakın bir artış olmuştur. Bu bölümde periyot 1,28 kat artmış ve yatay kuvvete göre artış hızının eğimi 0,000114 olarak bulunmuştur. Deney yapısında kesme çatlağı meydana geldikten sonra gelen kuvvetin düşmesine yada çatlama kuvvetine yakın kuvvet gelmesine rağmen kalıcı deformasyonlar nedeni ile periyot uzamıştır.

Deney Yapısı-2'nin birinci titreşim periyodu ilk yüklemede 0,064 saniye iken deney yapısının çatısında kayıt alınabilen en son yüklemedeki periyodu 0,077 saniye olarak bulunmuştur. Kayıt alınabilen 13. yüklemeye kadar periyotta 1.2 kat artış olmuştur. Periyodun yatay kuvvete göre artış hızının eğimi % 0,000113 olarak bulunmuştur.

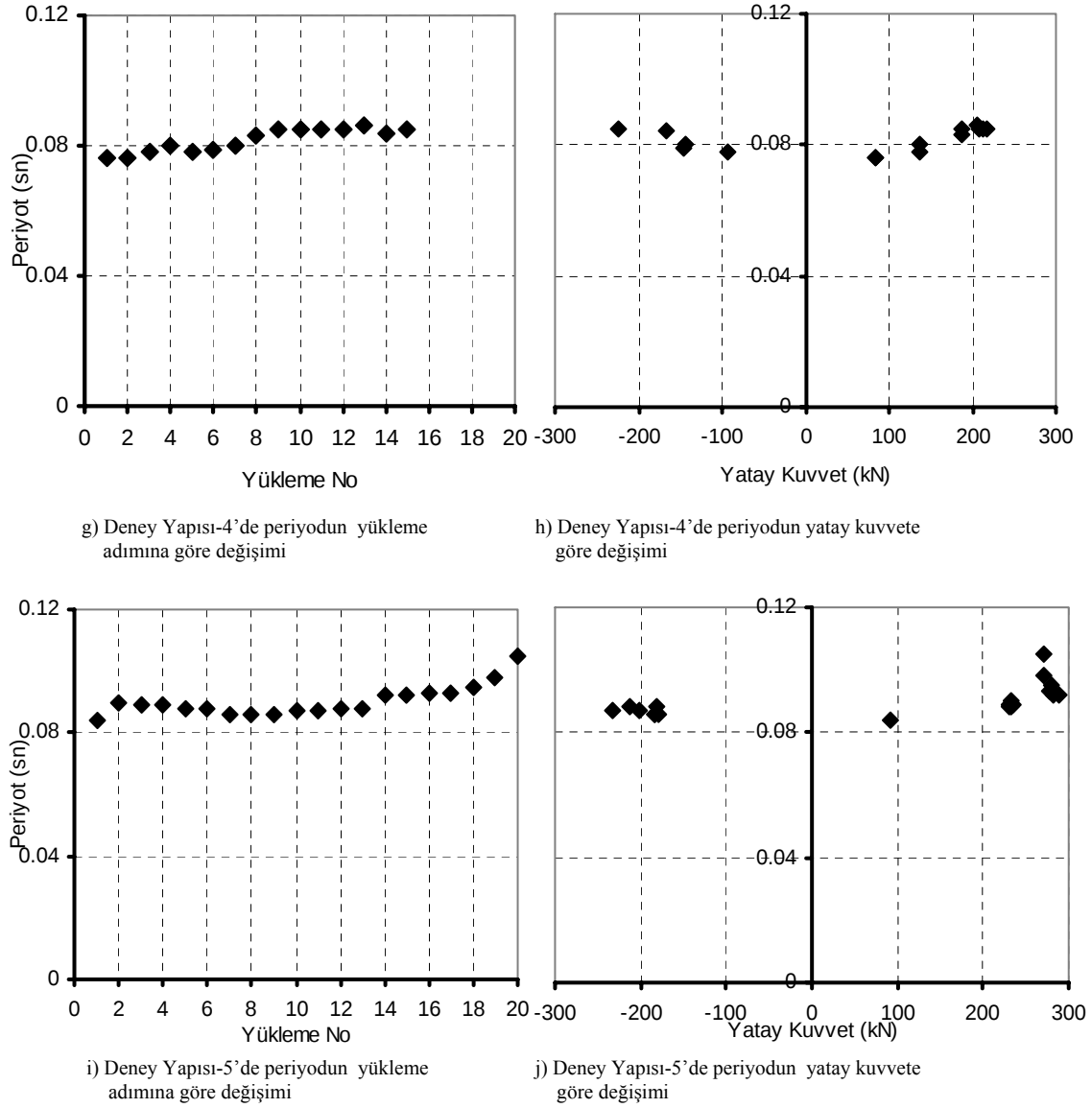
Deney Yapısı-3'ün birinci titreşim periyodu ilk yüklemede 0,067 saniye iken son yüklemedeki periyodu 0,082 saniyedir. Periyot 1,22 kat uzamıştır. Artış hızının eğimi 0,000093 olarak bulunmuştur.

Deney Yapısı-4'ün periyodu ilk yüklemede 0,076 saniye iken kayıt alınan son yüklemedeki periyodu 0,085 saniyedir. Periyot 1,12 kat uzamıştır. Artışın eğimi 0,000075 olmuştur.

Deney Yapısı-5'in periyodu ilk yüklemede 0,084 saniye iken kayıt alınan son yüklemedeki periyodu 0,105 saniyedir. Periyot 1,25 kat uzamıştır. Deney Yapısı-5'in yüklemeleri kademeli başlangıç ötelemesi verilerek yapılmadığından periyottaki artışın eğimi hesaplanmamıştır .



Şekil 4.6. Deney yapılarında periyot değişimi



Şekil 4.6. (Devam) Deney yapılarındaki periyot değişimi

Çizelge 4.3'de tüm deneylere ait her yüklem adımında hesaplanan birinci titreşim periyotları ve kontrol deney yapısı olan Deney Yapısı-1' e göre değişimi verilmiştir. Yüklem adımları ile birlikte yatay kuvvet arttıkça Deney Yapısı-1' e göre aynı yüklem adımındaki periyot değişimi artmış ve periyot kontrol yapısına göre daha küçülmüştür. Deney Yapısı-2'nin periyodu ilk yüklem adımında ve düşük yatay kuvvetler altında Deney Yapısı-1'in periyodunun 0,94 katına, Deney Yapısı-3'ün periyodu ise 0,99 katına düşmüştür. Deney Yapısı-4'ün periyodu 1,12 kat ve Deney Yapısı-5'in periyodu 1,24 kat uzamıştır.

Rehabilitasyonu yapılan deney yapılarının periyotları, kontrol yapısının ileri miktarda hasarlı olduğu en son yüklemesindeki periyoduna göre önemli miktarda kısalmıştır. Deney Yapısı-2' nin ilk yüklemesindeki periyodu, Deney Yapısı-1'in son yükleme adımındaki periyodunun 0,60 katına, Deney Yapısı-3 0,63 katına, Deney Yapısı-4 0,72 katına ve Deney Yapısı-5 0,79 katına düşmüştür.

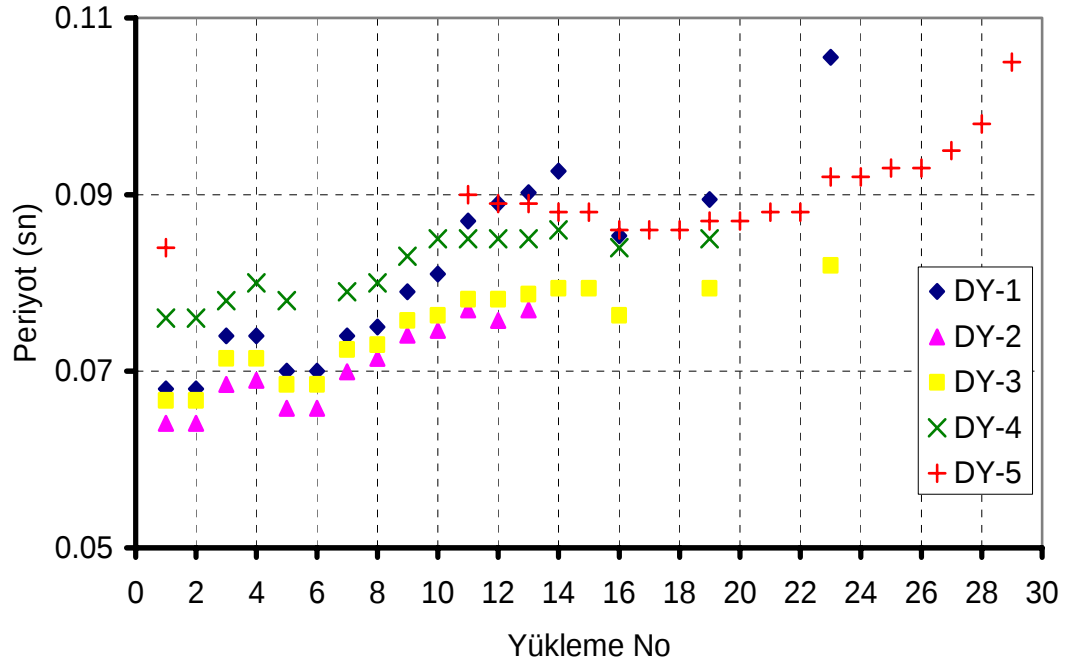
Deney Yapısı-1 ile Deney Yapısı-2'nin yatay kuvvete göre periyodundaki artış eğimi aynı olmuş, rehabilitasyondaki çelik şeritlerin azalması ile artış eğimi azalmıştır. Deney Yapısı-3'ün periyot artış eğimi Deney Yapısı-1 ve Deney Yapısı-2'ye göre 1,23 kat, Deney Yapısı-4'ün eğimi 1,52 kat azalmıştır.

Dış ve iç duvar yüzeylerinde çapraz çelik şeritlerin yanında yükleme yönüne dik duvarlarında ve yükleme yönünde düşey çelik şeritleri bulunan Deney Yapısı-2 ile yükleme yönüne dik duvarlardaki düşey çelik şeritlerin kaldırıldığı Deney Yapısı-3'ün periyotları arasında önemli bir fark bulunmamıştır. Deney Yapısı-3'ün periyodu Deney Yapısı-2'den ilk yüklemelerde 1,04 kat daha uzun bulunmuş, yükleme adımı arttıkça bu oran 1,02'ye kadar inmiştir. Sadece yükleme yönündeki duvarlarının dış ve iç yüzünde çelik şeritlerin bulunduğu Deney Yapısı-4'ün periyodunda bu iki rehabilitasyon durumuna göre önemli miktar artış olmuştur. Bu oran ilk yükleme adımımda 1,19 iken son yükleme adımımda 1,10 kadar olmuştur. Yükleme yönündeki düşey çelik şeritlerin varlığı yapının periyodunda önemli etkisi olurken yükleme yönüne dik duvarların periyoda etkisi ihmal edilebilir bir düzeyde olmuştur. Sadece duvarlarının dış yüzeyinde çelik çapraz bulunan Deney Yapısı-5'in ise Deney Yapısı-4'e göre periyodu ilk yükleme adımımda 1,10 kat uzun iken yükleme adımı arttıkça değişim azalmış ve son yükleme adımımda 1,02'ye inmiştir.

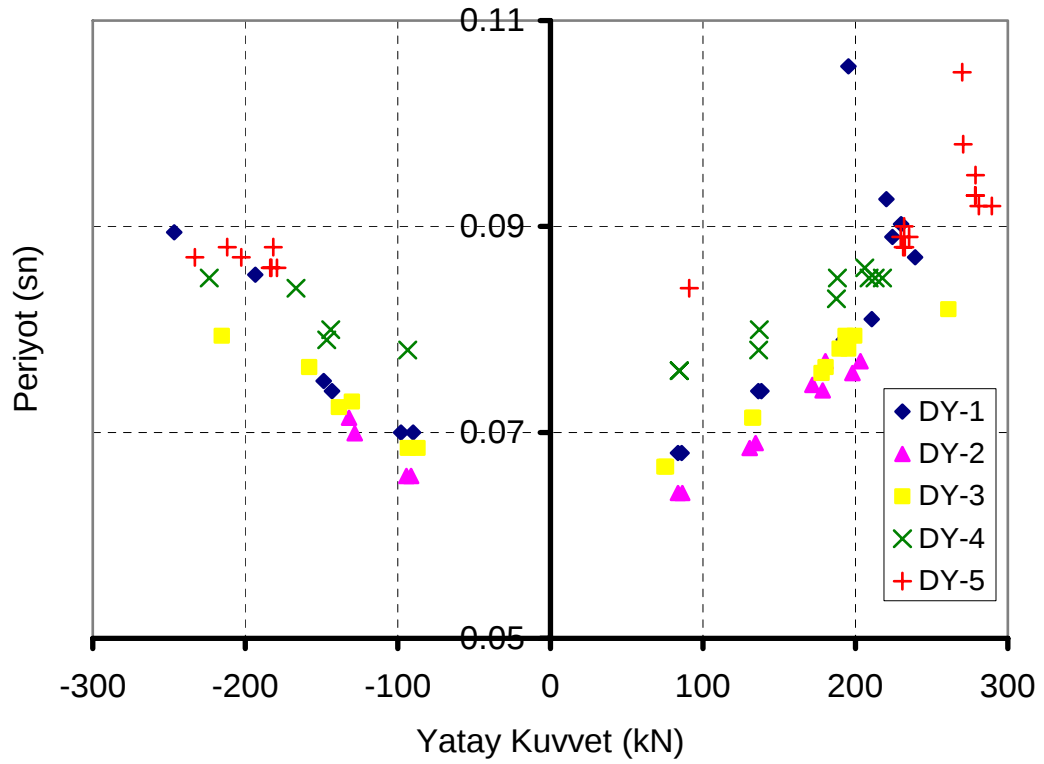
Çizelge 4.3. Deney yapılarının her yüklemdeki periyodu ve değişim oranı

No	Başlangıç Ötelemesi (mm)	Periyot (sn)					Deney Yapısı-1'e Göre Değişim Oranı (T_i/T_1 ; $i=1,5$)				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	+30	0,068	0,064	0,067	0,076	0,084	1,00	0,94	0,99	1,12	1,24
2	+30	0,068	0,064	0,067	0,076	-	1,00	0,94	0,99	1,12	-
3	+40	0,074	0,068	0,071	0,078	-	1,00	0,92	0,96	1,05	-
4	+40	0,074	0,069	0,071	0,080	-	1,00	0,93	0,96	1,08	-
5	-40	0,070	0,066	0,068	0,078	-	1,00	0,94	0,97	1,11	-
6	-40	0,070	0,066	0,068	-	-	1,00	0,94	0,97	-	-
7	-50	0,074	0,070	0,072	0,079	-	1,00	0,95	0,97	1,07	-
8	-50	0,075	0,071	0,073	0,080	-	1,00	0,95	0,97	1,07	-
9	+50	0,079	0,074	0,076	0,083	-	1,00	0,94	0,96	1,05	-
10	+50	0,081	0,075	0,076	0,085	-	1,00	0,93	0,94	1,05	-
11	+55	0,087	0,077	0,078	0,085	0,090	1,00	0,89	0,90	0,98	1,03
12	+55	0,089	0,076	0,078	0,085	0,089	1,00	0,85	0,88	0,96	1,00
13	+55	0,090	0,077	0,079	0,085	0,089	1,00	0,86	0,88	0,94	0,99
14	+55	0,093	-*	0,079	0,086	0,088	1,00	-	0,85	0,92	0,95
15	+55	-	-*	0,079	-	0,088	-	-	-*	-	-
16	-55	0,085	-*	0,076	0,084	0,086	1,00	-	0,89	0,99	1,01
17	-55	-	-	-	-	0,086	-	-	-	-	-
18	-55	-	-	-	-	0,086	-	-	-	-	-
19	-65	0,089	-*	0,079	0,085	0,087	1,00	-	0,89	0,96	0,98
20	-65	-	-	-	-	0,087	-	-	-	-	-
21	-65	-	-	-	-	0,088	-	-	-	-	-
22	-65	-	-	-	-	0,088	-	-	-	-	-
23	+65	0,106	-*	0,082	-*	0,092	1,00	-	0,77	-	0,87
24	+65	-	-	-	-*	0,092	-	-	-	-	-
25	+65	-	-	-	-*	0,093	-	-	-	-	-
26	+65	-	-	-	-*	0,093	-	-	-	-	-
27	+65	-	-	-	-*	0,095	-	-	-	-	-
28	+65	-	-	-	-	0,098	-	-	-	-	-
29	+65	-	-	-	-	0,105	-	-	-	-	-

-* Kayıt alınamayan yüklemeleri, - yapılmayan yüklemeleri göstermektedir.



Şekil 4.7. Deney yapılarının yükleme adımına göre periyodundaki değişim



Şekil 4.8. Deney yapılarının yatay kuvvete göre periyodundaki değişim

4.3. Sönüm Oranı

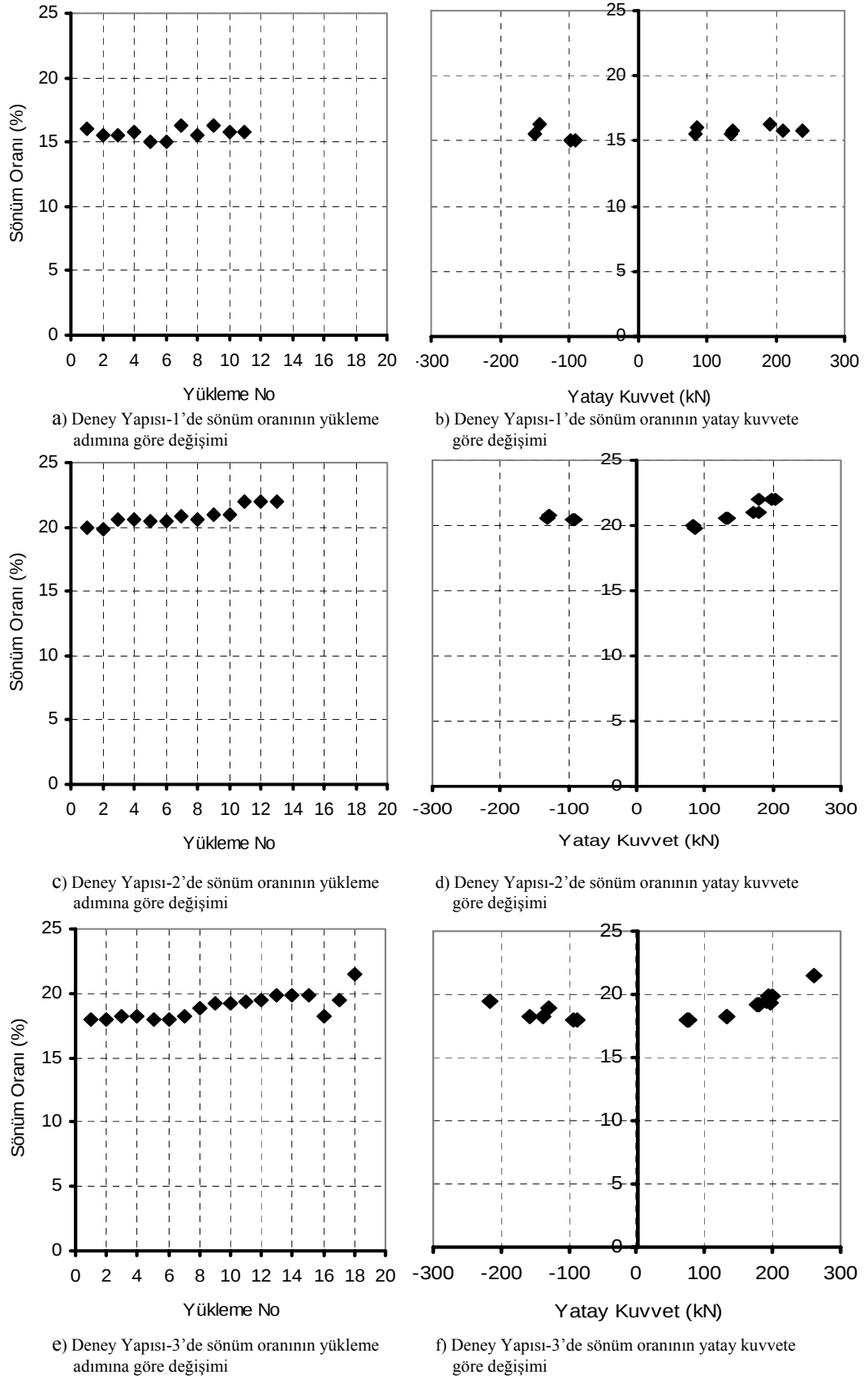
Deney Yapısı-1'de ilk kesme çatlağının oluştuğu 11. yükleme kadar sönüm oranında bir değişim olmamıştır. Deney yapısının elastik olarak davrandığı bu yükleme kadar sönüm oranı % 16'dır. Sönüm oranı tasarımda kullanılan % 5 sönüm oranına göre oldukça yüksektir. Bu yapıların elastik durumda sönüm oranı % 10-20 arasında olabilmektedir (25). Deney yapısının elastik ötesi davranış gösterdiği 11. yükleme sonrasında sönüm oranı yöntemin elastik davranışta geçerli olmasından dolayı hesaplanmamıştır.

Deney Yapısı-2'nin sönüm oranı ilk yükleme göre 1,1 kat artmıştır. Deney yapısının elastik olarak davrandığı bu deneyde sönüm oranı ilk yüklemede % 20 iken kayıt alınabilen 13. yüklemede % 22 kadar olmuştur.

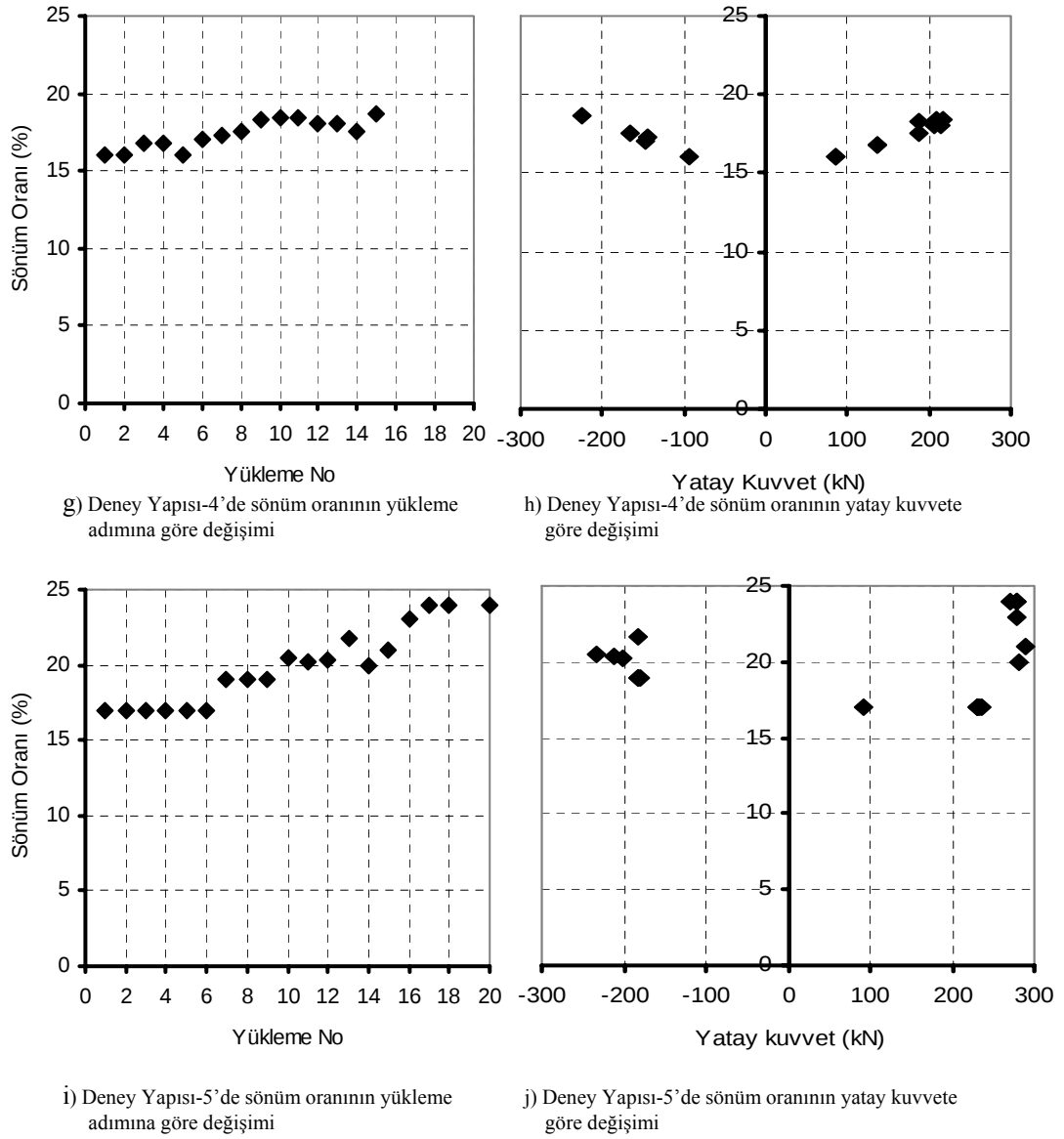
Deney Yapısı-3'ün sönüm oranı ilk yükleme göre 1,19 kat artmıştır. Deney yapısının sönüm oranı ilk yüklemede % 18 iken son yüklemede % 21,5 kadar olmuştur.

Deney Yapısı-4'ün sönüm oranı ilk yükleme göre 1,17 kat artmıştır. Deney yapısının sönüm oranı ilk yüklemede % 16 iken son yüklemede % 18,7 kadar olmuştur.

Deney Yapısı-5'in sönüm oranı ilk yükleme göre 1,5 kat uzamıştır. Deney yapısının sönüm oranı ilk yüklemede % 17 iken artan kuvvet ve çatlakların gelişimi ile % 25,5 kadar olmuştur.



Şekil 4.9. Deney yapılarının sönüm oranı değişimi



Şekil 4.9. (Devam) Deney yapılarının sönüm oranı değişimi

Deney Yapısı-1'e hasar verildikten sonra rehabilitasyonu yapılan deney yapılarının sönüm oranı, Deney Yapısı-1'deki aynı yükleme adımında hesaplanan sönüm oranından daha büyüktür. Hasar verilen Deney Yapısı-1'deki çatlakların yalnız dış yüzeyleri onarılmış, duvar kalınlığınca olan çatlaklar tamir edilmemiştir. Rehabilitasyon yapılmasına karşın sönüm oranında azalma olmaması, duvar kalınlığı içinde bulunan çatlakların etkili olduğunu göstermiştir.

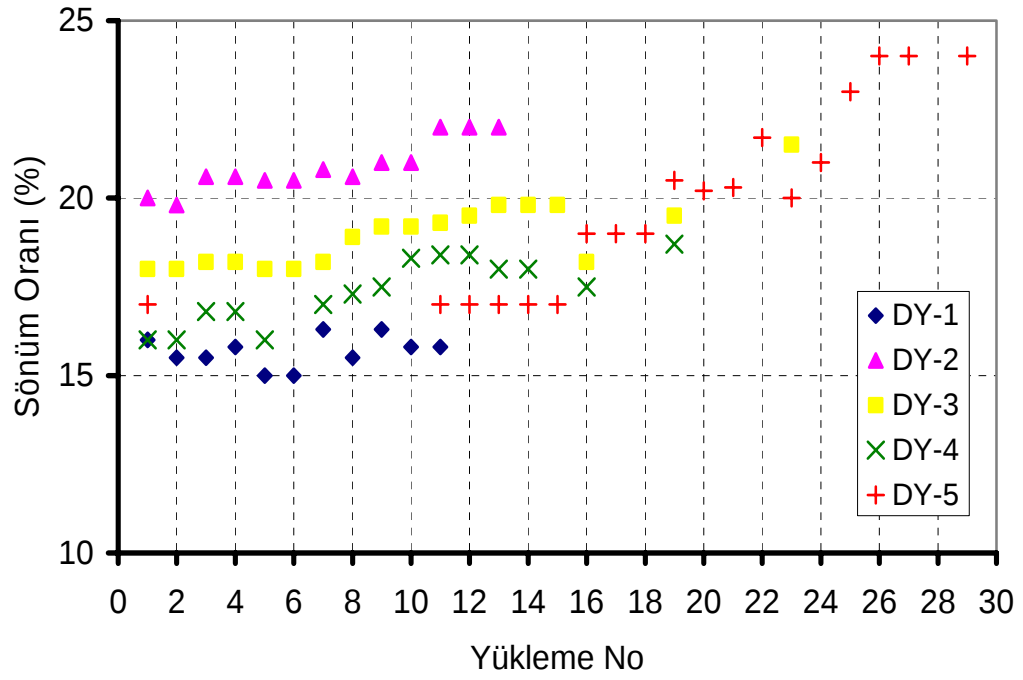
Tüm deney yapılarının sönüm oranı artan yatay kuvvetle birlikte artmıştır. Rehabilitasyonu yapılan deney yapılarına gelen kuvvetler büyüdükçe ve yükleme

adımı arttıkça deney yapılarının sönüm oranlarındaki artış hızı aynı olmuştur. Artış hızının eğimi % 1,8 olarak bulunmuştur. Kontrol yapısı olan Deney Yapısı-1’de ilk kesme çatlağı olan 11. yükleme kadar olan bölümde ise artış hızı % 0,14’tür ve hemen hemen yoktur. Deney Yapısı-5’de kademeli başlangıç ötelemesi verilerek yapılmadığından bu deneydeki artış eğimi dikkate alınmamıştır. Rehabilitasyon düzeyi sönüm oranının artış hızını etkilememiştir. Hasarsız binalarda ise elastik davranış içerisinde sönüm oranı değişimi hemen hemen hiç yoktur. Çelik şerit düzenlemeleri azaldıkça deney yapılarının sönüm oranı azalmıştır.

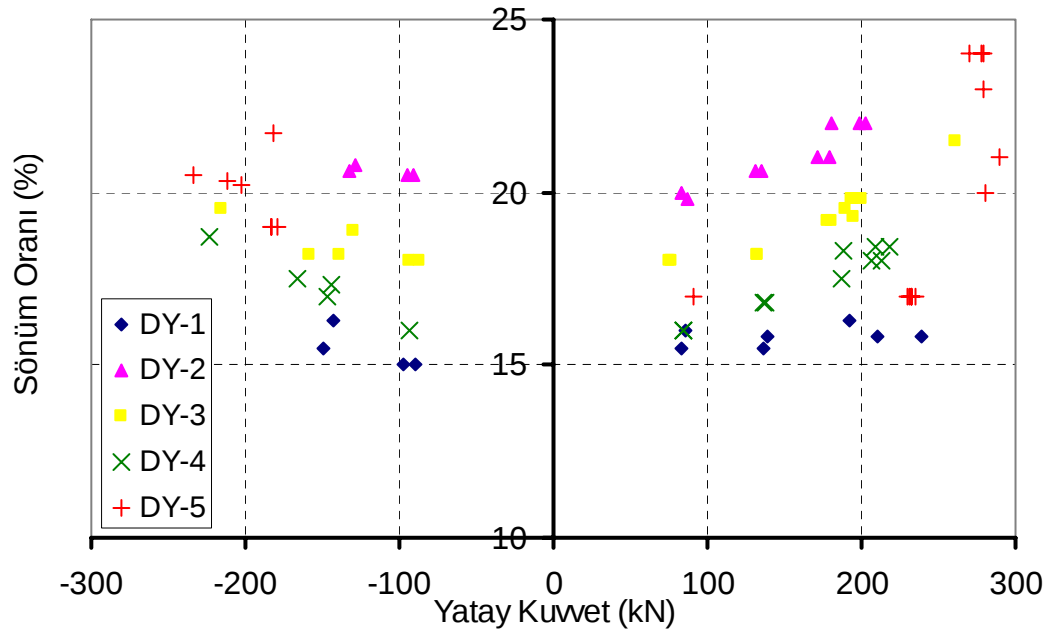
Çizelge 4.4. Deney yapılarının her yüklemdeki sönümü ve değişim oranı

No	Başlangıç Ötelemesi (mm)	Sönüm (%)					Deney Yapısı-1'e Göre Değişim Oranı (ξ_i/ξ_1 ; $i=1,5$)				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	+30	16,00	20,00	18,00	16,00	17,00	1,00	1,25	1,13	1,00	1,06
2	+30	15,50	19,80	18,00	16,00	-	1,00	1,28	1,16	1,03	-
3	+40	15,50	20,60	18,20	16,80	-	1,00	1,33	1,17	1,08	-
4	+40	15,80	20,60	18,20	16,80	-	1,00	1,30	1,15	1,06	-
5	-40	15,00	20,50	18,00	16,00	-	1,00	1,37	1,20	1,07	-
6	-40	15,00	20,50	18,00	-	-	1,00	1,37	1,20	-	-
7	-50	16,30	20,80	18,20	17,00	-	1,00	1,28	1,12	1,04	-
8	-50	15,50	20,60	18,90	17,30	-	1,00	1,33	1,22	1,12	-
9	+50	16,30	21,00	19,20	17,50	-	1,00	1,29	1,18	1,07	-
10	+50	15,80	21,00	19,20	18,30	-	1,00	1,33	1,22	1,16	-
11	+55	15,80	22,00	19,30	18,40	17,00	1,00	1,39	1,22	1,16	1,08
12	+55	- [#]	22,00	19,50	18,40	17,00	-	-	-	-	-
13	+55	- [#]	22,00	19,80	18,00	17,00	-	-	-	-	-
14	+55	- [#]	-*	19,80	18,00	17,00	-	-	-	-	-
15	+55	-	-*	19,80	-	17,00	-	-	-	-	-
16	-55	- [#]	-*	18,20	17,50	19,00	-	-	-	-	-
17	-55	-	-	-	-	19,00	-	-	-	-	-
18	-55	-	-	-	-	19,00	-	-	-	-	-
19	-65	- [#]	-*	19,50	18,70	20,50	-	-	-	-	-
20	-65	-	-	-	-	20,20	-	-	-	-	-
21	-65	-	-	-	-	20,30	-	-	-	-	-
22	-65	-	-	-	-	21,70	-	-	-	-	-
23	+65	- [#]	-*	21,50	-*	20,00	-	-	-	-	-
24	+65	-	-	-	-*	21,00	-	-	-	-	-
25	+65	-	-	-	-*	23,00	-	-	-	-	-
26	+65	-	-	-	-*	24,00	-	-	-	-	-
27	+65	-	-	-	-*	24,00	-	-	-	-	-
28	+65	-	-	-	-	25,50	-	-	-	-	-
29	+65	-	-	-	-	24,00	-	-	-	-	-

-* Kayıt alınamayan yüklemeleri, -[#] yüklemesi yapılan ancak sönümü hesaplanmayan yüklemeleri, - yapılmayan yüklemeleri göstermektedir.



Şekil 4.10. Deney yapılarının yükleme adımına göre sönüm oranındaki değişim



Şekil 4.11. Deney yapılarının yatay kuvvete göre sönüm oranındaki değişim

4.4. Yanal Rijitlik

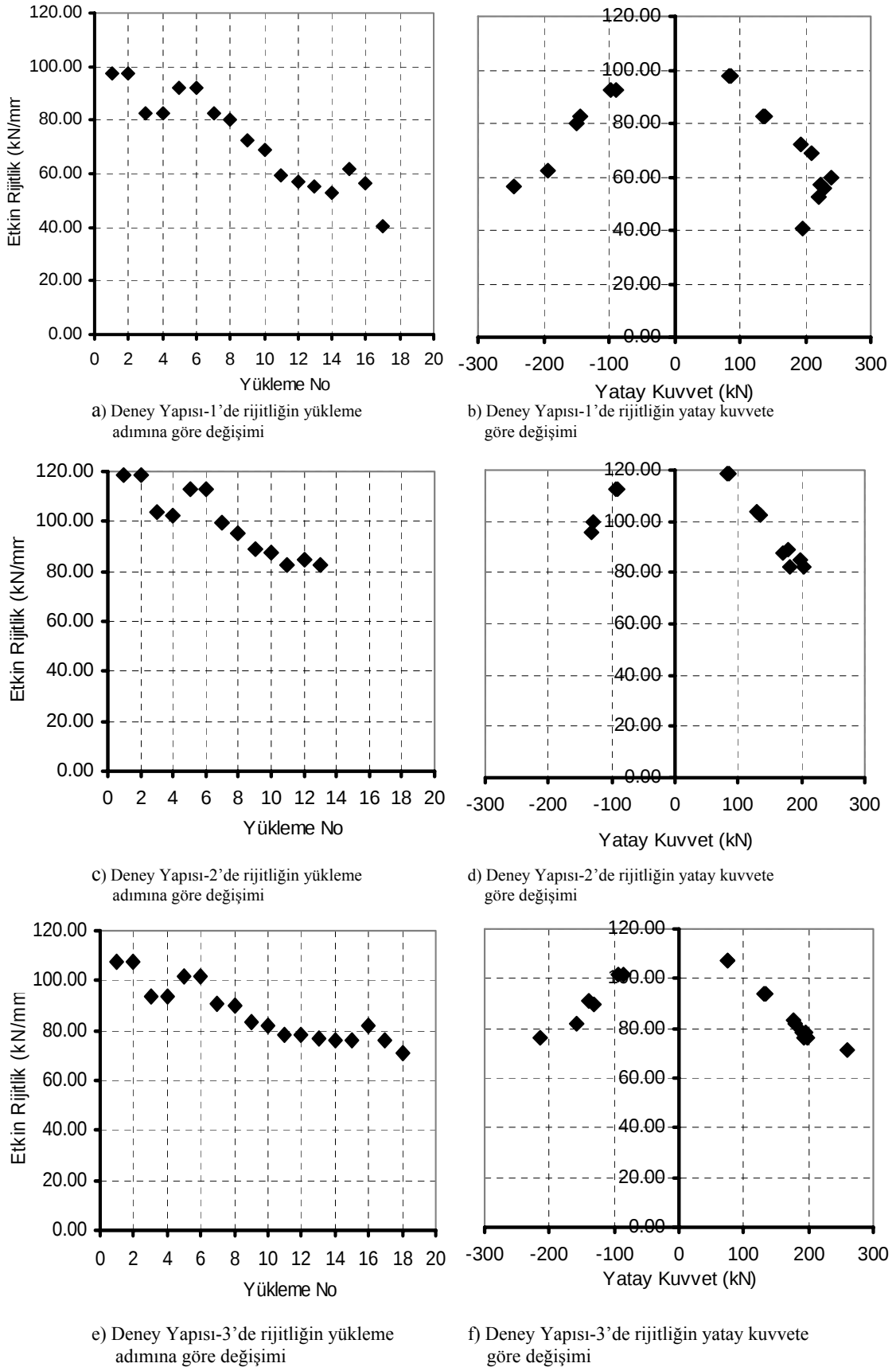
Deney Yapısı-1'in etkin yanal rijitliği artan kuvvetle birlikte azalmıştır. Çatlama oluştuktan sonra gelen kuvvetin düşmesine rağmen yanal rijitlikte azalma meydana gelmiştir. İlk yüklemde etkin yanal rijitlik 97,66 kN/mm iken en son yüklemde yanal rijitlik 40,52 kN/mm olmuştur. Yanal rijitlik başlangıç değerinin 0,42 katına kadar azalmıştır. Deney yapısının etkin yanal rijitliği ilk kesme çatlağının oluştuğu 11. yükleme kadar olan bölümde, başlangıç değerinin 0,61 katına düşmüştür. Bu bölgede rijitliğin azalma eğimi % 23,51 olarak bulunmuştur.

Deney Yapısı-2'nin etkin yanal rijitliği artan kuvvetle birlikte azalmıştır. İlk yüklemde etkin yanal rijitlik 118,66 kN/mm iken kayıt alınabilen 13. yüklemde yanal rijitlik 82,40 kN/mm olmuştur. Yanal rijitlik başlangıç değerinin 0.69 katına kadar azalmıştır. Rijitlikteki azalmanın eğimi % 32,15 olarak bulunmuştur.

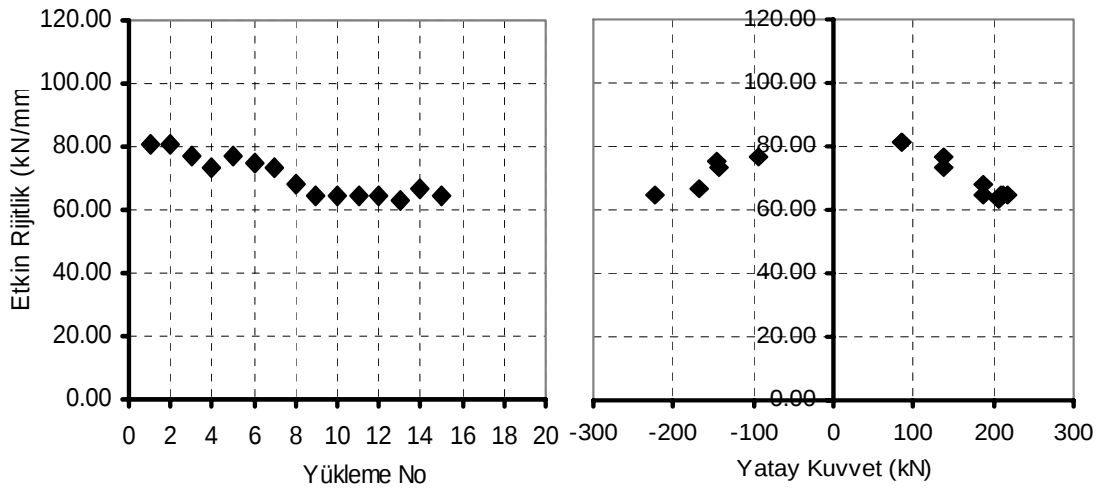
Deney Yapısı-3'ün etkin yanal rijitliği artan yatay kuvvetle birlikte azalmıştır. İlk yüklemde etkin yanal rijitlik 107,58 kN/mm iken son yüklemde yanal rijitlik 71,16 kN/mm olmuştur. Yanal rijitlik başlangıç değerinin 0,66 katına düşmüştür. Rijitlikteki azalmanın eğimi % 22,4 olarak bulunmuştur.

Deney Yapısı-4'ün yanal rijitliği artan yatay kuvvetle birlikte azalmıştır. İlk yüklemde etkin yanal rijitlik 81,05 kN/mm iken kayıt alınan son yüklemde yanal rijitlik 64,79 kN/mm olmuştur. Yanal rijitlik başlangıç değerinin 0,80'ine azalmıştır. Rijitlikteki azalmanın eğimi % 13,45 olarak bulunmuştur.

Deney Yapısı-5'in ilk yüklemde etkin yanal rijitliği 65,56 kN/mm iken son yüklemde yanal rijitlik 41,96 kN/mm olmuştur. Yanal rijitlik başlangıç değerinin 0,64'ine azalmıştır. Aynı yükleme altında tekrarlanan ve aynı yatay kuvvet altında rijitlikte azalma meydana gelmiştir. Bu deneyde başlangıç ötelemesi kademeli artırılmadan yapıldığı için rijitlikteki azalmanın eğimi bulunmamıştır.

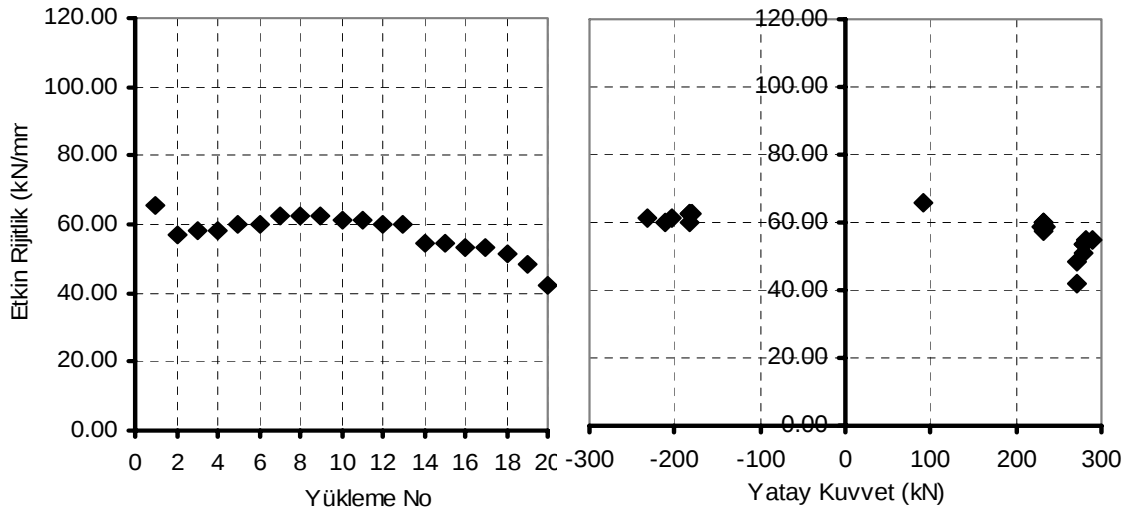


Şekil 4.12. Deney yapılarının etkin yanal rijitlik değişimi



g) Deney Yapısı-4'de rijitliğin yükleme adımına göre değişimi

h) Deney Yapısı-4'de rijitliğin yatay kuvvete göre değişimi



i) Deney Yapısı-5'de rijitliğin yükleme adımına göre değişimi

j) Deney Yapısı-5'de rijitliğin yatay kuvvete göre değişimi

Şekil 4.12. (Devam) Deney yapılarının etkin yanal rijitlik değişimi

Deney Yapısı-1'e göre ilk yükleme adımında Deney Yapısı-2'nin yanal rijitliği 1,22 katına, Deney Yapısı-3'ün yanal rijitliği 1,10 katına yükselmiştir. Deney Yapısı-4'ün yanal rijitliği 0,83 katına, Deney Yapısı-5'in yanal rijitliği ise 0,67 katına düşmüştür. Çelik şeritlerin azalması ile deney yapılarının yanal rijitlikleri de azalmış, Deney Yapısı-4 ve Deney Yapısı-5'in başlangıç durumunda Deney Yapısı-1'in yanal rijitliğine göre daha küçük bulunmuştur. Çatlakların yalnızca çatlak yüzeyi boyunca

onarımı yapılmış olması, duvar kalınlığı içindeki çatlakların meydana getirdiği rijitlik kaybını önleyememiştir.

Yükleme adımları ile birlikte yatay kuvvet arttıkça aynı yükleme adımındaki yanal rijitlikler Deney Yapısı-1'e göre daha fazla olmuştur. Son yüklemelerde Deney Yapısı-1'e göre yanal rijitlik Deney Yapısı-2, Deney Yapısı-3, Deney Yapısı-4 ve Deney Yapısı-5 için sırası ile 1,49, 1,76, 1,15 ve 1,35 kat büyümüştür. Deney Yapısı-2 ve Deney Yapısı-4'ün artış oranlarının diğer deney yapılarına göre az olması, bu deneylerde bazı yükleme adımında kayıt alınamaması ve kayıt alınabilen son yüklemeler dikkate alınmasından kaynaklanmıştır. Uygulanan rehabilitasyon ile büyük kuvvetler altında Deney Yapısı-1'e göre yanal rijitlik artmıştır.

Deney Yapısı-2, Yapısı-3, Deney Yapısı-4 ve Deney Yapısı-5'in ilk yüklemelerindeki yanal rijitliği, Deney Yapısı-1'in son yükleme adımındaki yanal rijitliğine göre sırası ile 2,93, 2,65, 2,00 ve 1,62 katı kadar büyümüştür.

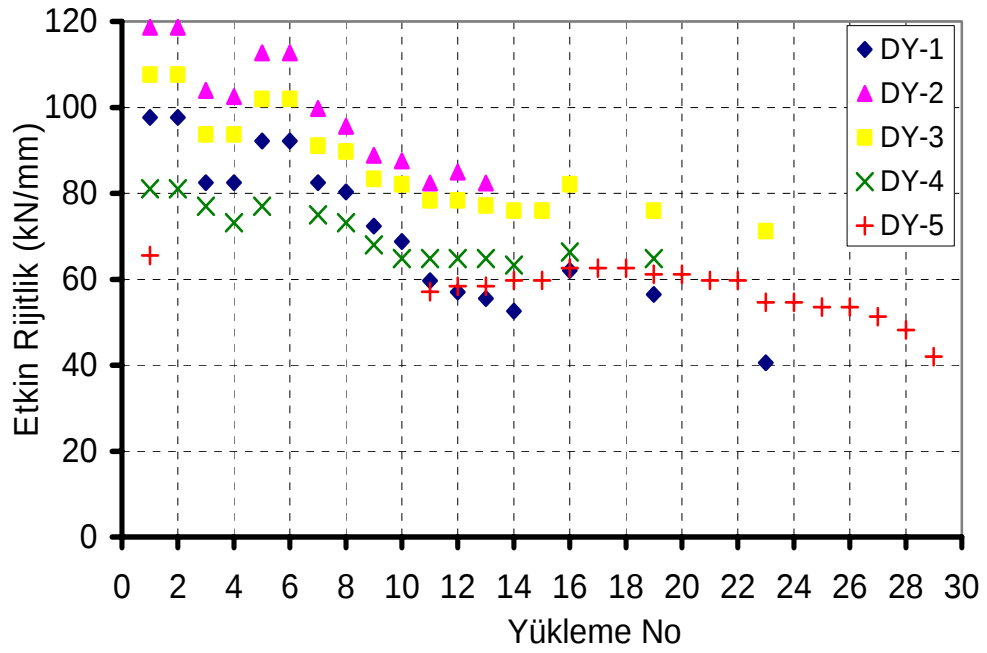
Dış ve iç duvar yüzeylerinde çapraz çelik şeritlerin yanında yükleme yönüne dik duvarlarında ve yükleme yönünde düşey çelik şeritleri bulunan Deney Yapısı-2 ile yükleme yönüne dik duvarlardaki düşey çelik şeritlerin kaldırıldığı Deney Yapısı-3'ün yanal rijitlikleri arasında önemli bir fark bulunmamıştır. Deney Yapısı-2'nin yanal rijitliği Deney Yapısı-3'den ilk yüklemelerde 1,10 kat daha büyük bulunmuş, yükleme adımı arttıkça bu oran 1,06'ya kadar inmiştir. Sadece yükleme yönündeki duvarlarının dış ve iç yüzünde çelik şeritlerin bulunduğu Deney Yapısı-4'ün rijitliğinde bu iki rehabilitasyon durumuna göre önemli miktar düşüş olmuştur. İlk yükleme adımında Deney Yapısı-4'ün yanal rijitliği Deney Yapısı-3'ün 0,75 katı iken son yükleme adımında 0,85 katı kadar olmuştur. Yüklemeye yönündeki düşey çelik şeritlerin varlığı yapının rijitliğinde önemli etkisi olurken yüklemeye yönüne dik duvarların yanal rijitliğe etkisi ihmal edilebilir bir düzeyde olmuştur. Sadece duvarlarının dış yüzeyinde çelik çapraz bulunan Deney Yapısı-5'in ilk yüklemeye adımındaki rijitliği Deney Yapısı-4'ün 0,81 katına düşmüş iken yüklemeye adımı arttıkça değişim azalmış ve son yüklemeye adımında 0,94 katı olmuştur. Büyük yatay kuvvetler altında rehabilitasyon düzeyinin yanal rijitlik üzerindeki etkisi azalmıştır.

Artan yatay kuvvetle rijitliğin azalma hızı rehabilitasyondaki çelik şerit düzenlemesi arttıkça daha fazla olmuş, çelik şeritler azaldıkça yanıl rijitlikteki değışim hızı azalmıştır. Deney Yapısı-2'nin rijitliğindeki azalmanın eğimi % 32, Deney Yapısı-3'ün % 22 ve Deney Yapısı-4'ün % 13 olarak bulunmuştur. Kontrol yapısı olan Deney Yapısı-1'in ilk kesme çatlağının oluştuğı 11. yükleme ye kadar olan bölümde rijitliğinin azalma eğimi ise % 24 olarak hesaplanmıştır.

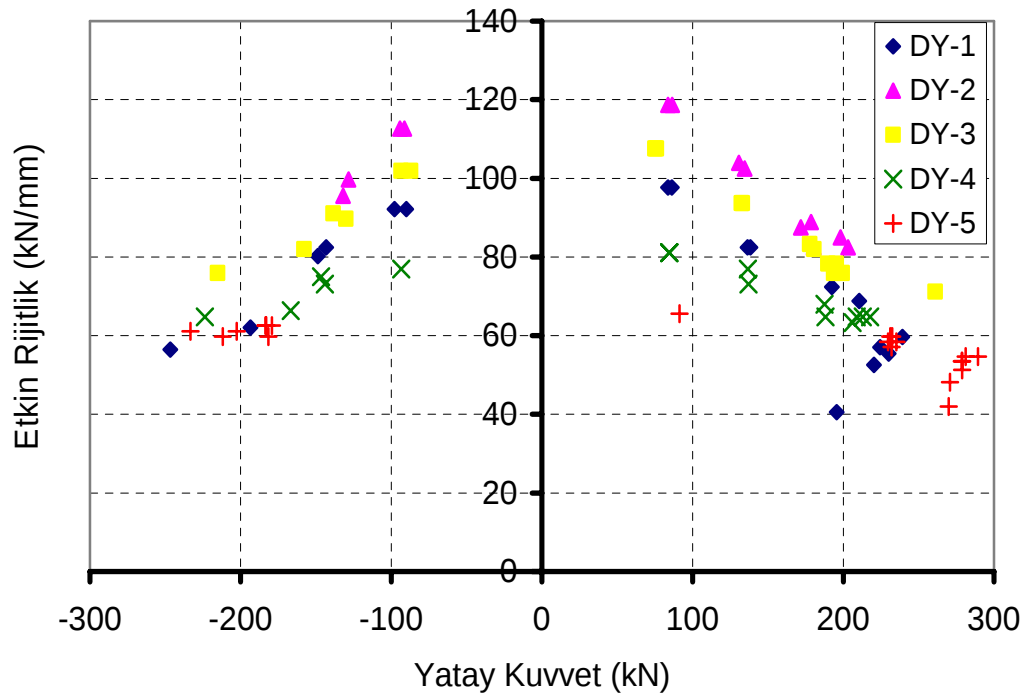
Çizelge 4.5. Deney yapılarının her yüklemdeki etkin yanal rijitliği ve değişim oranı

No	Başlangıç Ötelemesi (mm)	Etkin Yanal Rijitlik (kN/mm)					Deney Yapısı-1'e Göre Değişim Oranı (K_{ei}/K_{e1} ; $i=1,5$)				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	+30	97,66	118,66	107,58	81,05	65,56	1,00	1,22	1,10	0,83	0,67
2	+30	97,66	118,66	107,58	81,05	-	1,00	1,22	1,10	0,83	-
3	+40	82,46	103,93	93,71	76,95	-	1,00	1,26	1,14	0,93	-
4	+40	82,46	102,51	93,71	73,15	-	1,00	1,24	1,14	0,89	-
5	-40	92,16	112,65	101,91	76,95	-	1,00	1,22	1,11	0,83	-
6	-40	92,16	112,65	101,91	-	-	1,00	1,22	1,11	-	-
7	-50	82,46	99,70	91,05	75,01	-	1,00	1,21	1,10	0,91	-
8	-50	80,28	95,57	89,74	73,15	-	1,00	1,19	1,12	0,91	-
9	+50	72,36	88,86	83,31	67,95	-	1,00	1,23	1,15	0,94	-
10	+50	68,83	87,55	82,05	64,79	-	1,00	1,27	1,19	0,94	-
11	+55	59,66	82,40	78,33	64,79	57,11	1,00	1,38	1,31	1,09	0,96
12	+55	57,01	84,96	78,33	64,79	58,40	1,00	1,49	1,37	1,14	1,02
13	+55	55,48	82,40	77,11	64,79	58,40	1,00	1,49	1,39	1,17	1,05
14	+55	52,58	-*	75,91	63,30	59,74	1,00	-	1,44	1,20	1,14
15	+55	-	-*	75,91	-	59,74	-	-	-	-	-
16	-55	62,02	-*	82,05	66,35	62,55	1,00	-	1,32	1,07	1,01
17	-55	-	-	-	-	62,55	-	-	-	-	-
18	-55	-	-	-	-	62,55	-	-	-	-	-
19	-65	56,46	-*	75,91	64,79	61,12	1,00	-	1,34	1,15	1,08
20	-65	-	-	-	-	61,12	-	-	-	-	-
21	-65	-	-	-	-	59,74	-	-	-	-	-
22	-65	-	-	-	-	59,74	-	-	-	-	-
23	+65	40,52	-*	71,16	-*	54,66	-	-	1,76	-	1,35
24	+65	-	-	-	-*	54,66	-	-	-	-	-
25	+65	-	-	-	-*	53,49	-	-	-	-	-
26	+65	-	-	-	-*	53,49	-	-	-	-	-
27	+65	-	-	-	-*	51,26	-	-	-	-	-
28	+65	-	-	-	-	48,17	-	-	-	-	-
29	+65	-	-	-	-	41,96	-	-	-	-	-

* Kayıt alınamayan yüklemeleri, - yapılmayan yüklemeleri göstermektedir.



Şekil 4.13. Deney yapılarının yükleme adımına göre yanal rijitliğindeki değişim



Şekil 4.14. Deney yapılarının yatay kuvvete göre yanal rijitliğindeki değişim

4.5. Tüketilen Enerji

Deney Yapısı-1'in tükettiği enerji ilk yüklemeye 558 kN-mm iken son yüklemeye 7311 kN-mm olmuştur. Enerji tüketimi ilk yüklemeye göre 13,10 kat artmıştır. Deney yapısının elastik olarak davrandığı 11. yüklemeye kadar olan bölümde ise enerji artışı ilk yüklemeye göre 10,59 kat olmuştur.

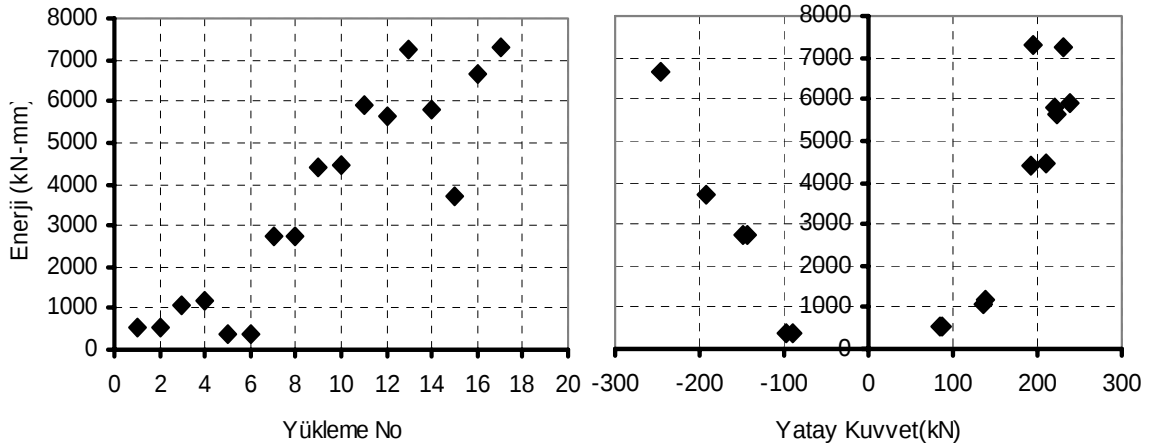
Deney Yapısı-2'nin ilk yüklemeye tükettiği enerji 181 kN-mm iken, son yüklemeye 1786 kN-mm olmuştur. İlk yüklemeye göre tüketilen enerji 9,86 kat artmıştır.

Deney Yapısı-3'ün ilk yüklemeye tükettiği enerji 351 kN-mm iken son yüklemeye tükettiği enerji 3917 kN-mm olmuştur. İlk yüklemeye göre tüketilen enerji 11,16 kat artmıştır.

Deney Yapısı-4'ün ilk yüklemeye tükettiği enerji 522 kN-mm iken son yüklemeye 3936 kN-mm olmuştur. Enerji tüketimi ilk yüklemeye 7,54 kat artmıştır.

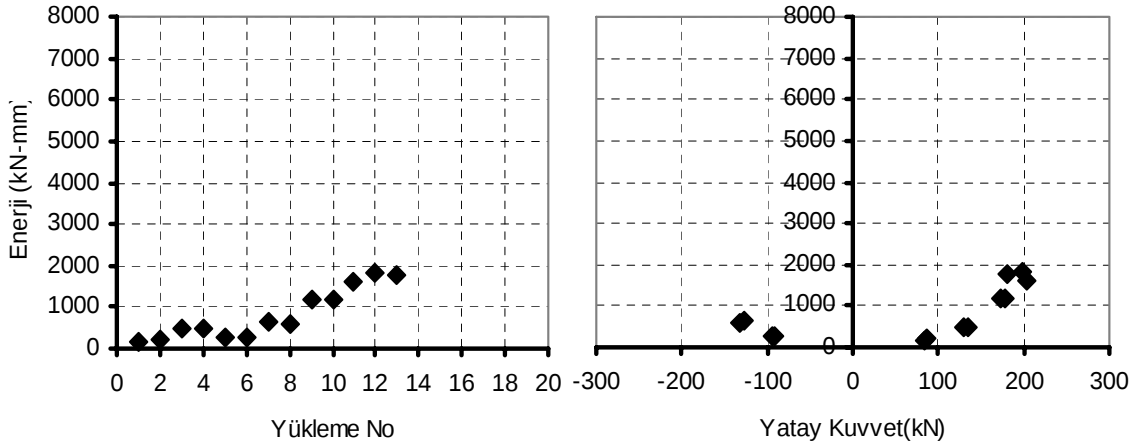
Deney Yapısı-5'in ilk yüklemeye tükettiği enerji 501 kN-mm iken son yüklemeye 5830 kN-mm olmuştur. Enerji tüketimi ilk yüklemeye göre 11,64 kat artmıştır.

Tüm deneylerde enerji tüketimi artan yatay yük ve başlangıç ötelemesine göre artmıştır. Deney Yapısı-1'de hasar oluştuktan sonra gelen kuvvetin azalmasına karşın enerji tüketimi artmıştır. Aynı başlangıç ötelemesi verilerek yapılan yüklemelerde ve aynı yatay kuvvetlerde eşit enerji tüketilmiştir. Pozitif yönlü başlangıç ötelemesi verilerek yapılan yüklemelerden sonra yapılan negatif yönlü yüklemelerde gelen ivmenin genliğinin düşmesinden dolayı tüketilen enerji de azalmıştır.



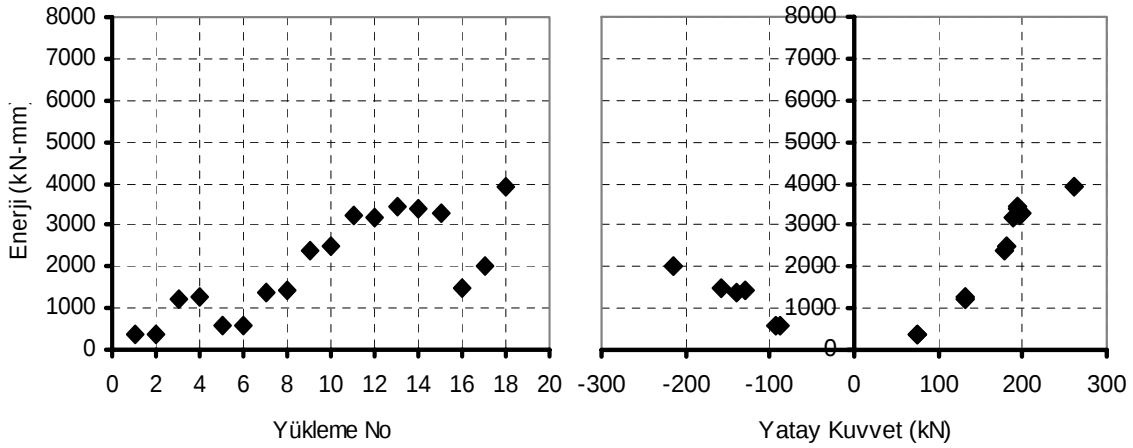
a) Deney Yapısı-1'de tüketilen enerjinin yüklem adımına göre değişimi

b) Deney Yapısı-1'de tüketilen enerjinin yatay kuvvete göre değişimi



c) Deney Yapısı-2'de tüketilen enerjinin yüklem adımına göre değişimi

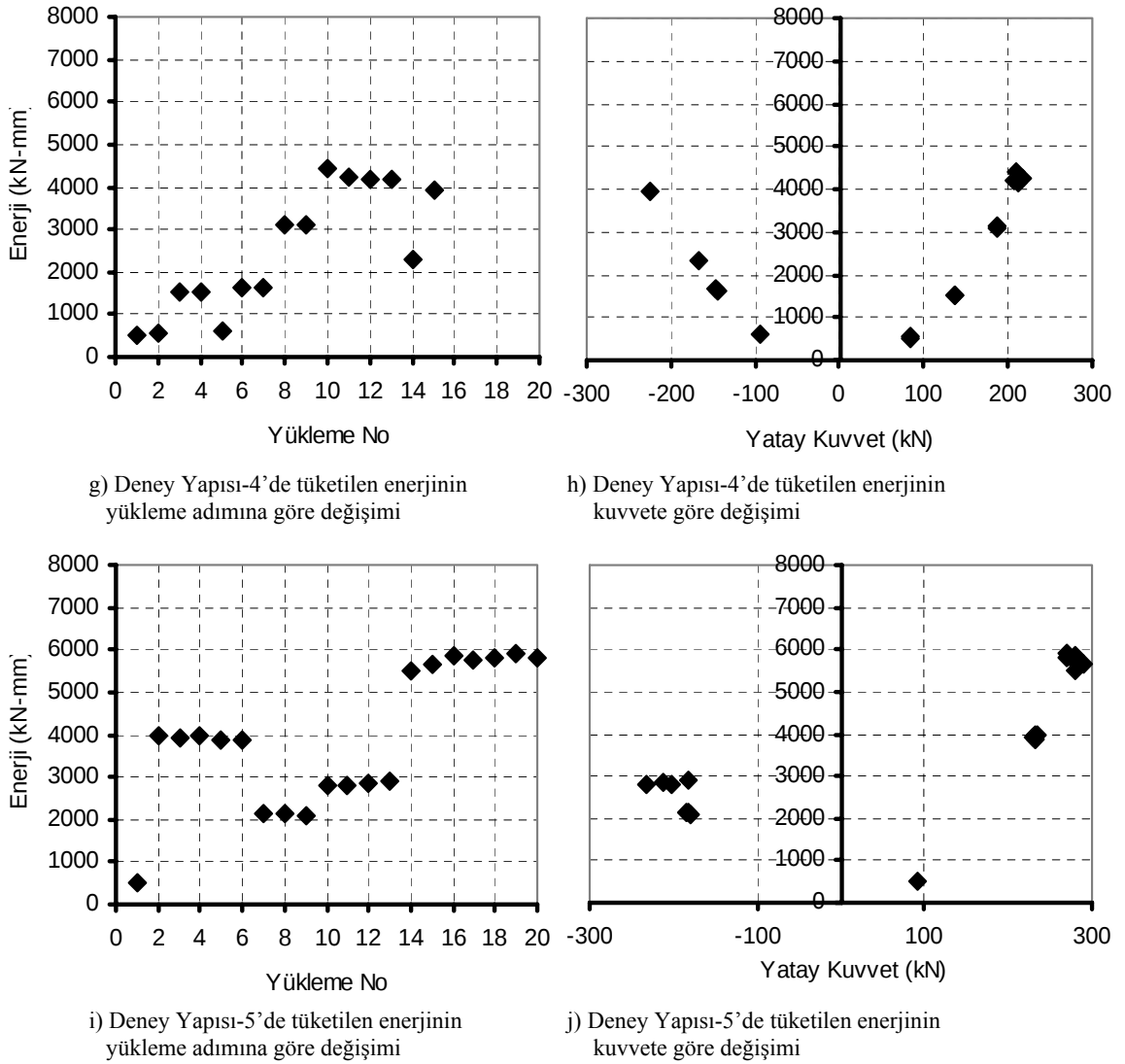
d) Deney Yapısı-2'de tüketilen enerjinin yatay kuvvete göre değişimi



e) Deney Yapısı-3'de tüketilen enerjinin yüklem adımına göre değişimi

f) Deney Yapısı-3'de tüketilen enerjinin yatay kuvvete göre değişimi

Şekil 4.15. Deney yapılarının tüketilen enerji değişimi



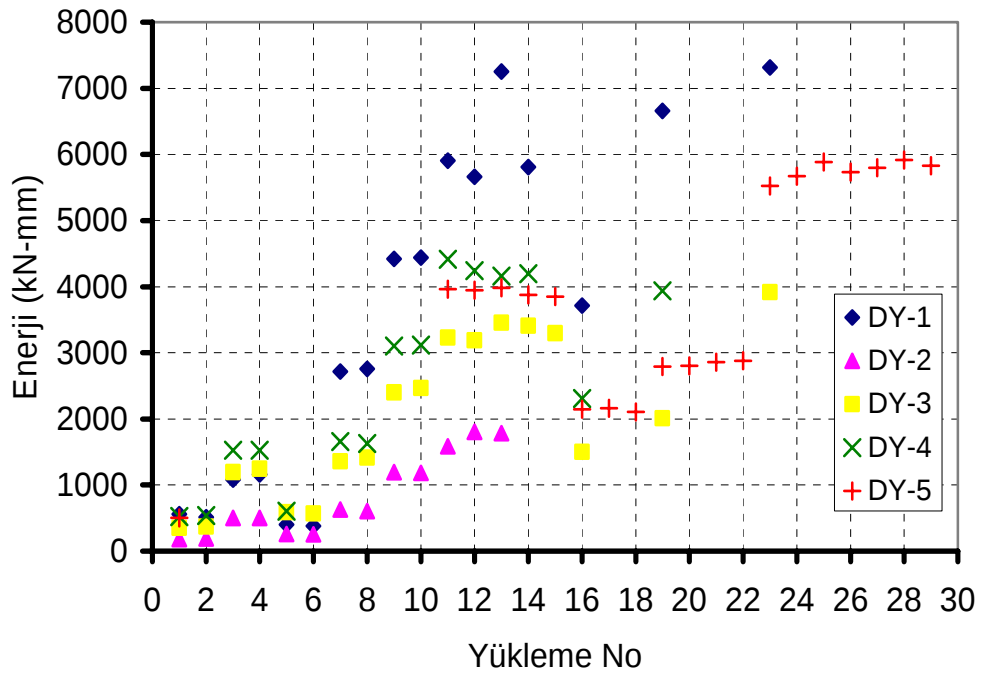
Şekil 4.15. (Devam) Deney yapılarının tüketilen enerji değişimi

Deney Yapısı-1'e göre ilk yüklemeye adımında Deney Yapısı-2'nin enerji tüketimi 0,32 katına, Deney Yapısı-3'ün enerji tüketimi 0,63 katına, Deney Yapısı-4'ün enerji tüketimi 0,94 katına ve Deney Yapısı-5'in enerji tüketimi 0,90 katına düşmüştür. Yatay kuvvet düzeyi arttıkça rehabilitasyonu yapılan yapıların Deney-1'e göre enerji tüketimleri daha azalmıştır. Çelik şeritlerin azalması ile deney yapılarının enerji tüketimleri de artmıştır.

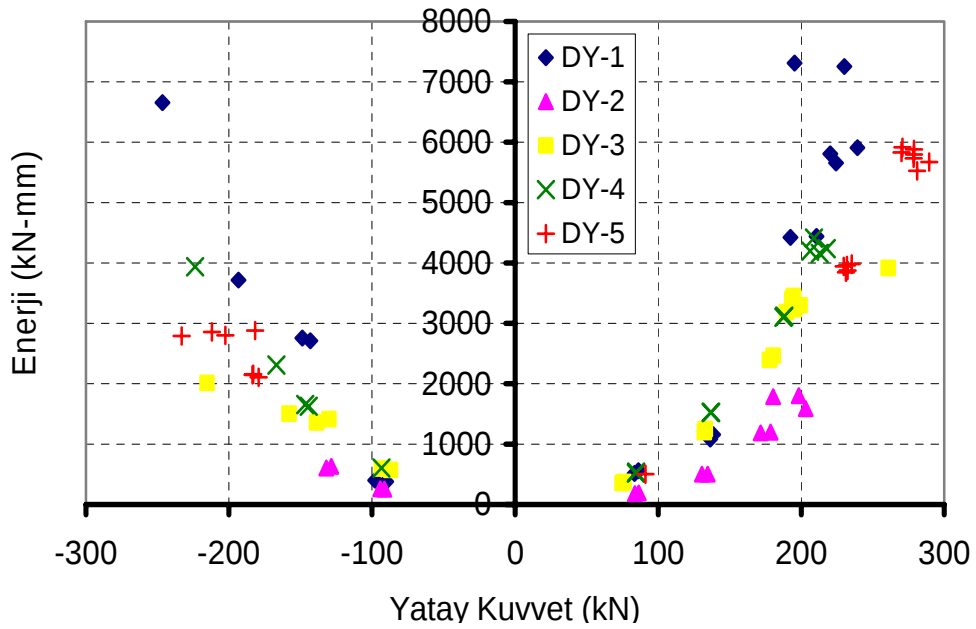
Çizelge 4.6. Deney yapılarının her yüklemdeki tüketilen enerji ve değişim oranı

No	Başlangıç Ötelemesi (mm)	Tüketilen Enerji (kN-mm)					Deney Yapısı-1'e Göre Değişim Oranı (E_{ei}/E_{e1} ; $i=1,5$)				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	+30	558	181	351	522	501	1,00	0.32	0.63	0.94	0,90
2	+30	513	191	372	537	-	1,00	0.37	0.73	1.05	-
3	+40	1082	504	1196	1524	-	1,00	0.47	0,76	0,90	-
4	+40	1159	505	1246	1528	-	1,00	0.44	0,70	0,82	-
5	-40	400	258	592	607	-	1,00	0.65	0,72	0,90	-
6	-40	379	254	572	-	-	1,00	0.67	0,72	-	-
7	-50	2714	631	1358	1656	-	1,00	0.23	0.50	0.61	-
8	-50	2757	607	1415	1628	-	1,00	0.22	0.51	0.59	-
9	+50	4421	1196	2398	3104	-	1,00	0.27	0.54	0.70	-
10	+50	4442	1187	2465	3118	-	1,00	0.27	0.55	0.70	-
11	+55	5907	1588	3229	4413	3960	1,00	0.27	0.55	0.75	0.67
12	+55	5658	1804	3189	4240	3946	1,00	0.32	0.56	0.75	0.70
13	+55	7253	1786	3451	4159	3982	1,00	0.25	0.48	0.57	0.55
14	+55	5808	-*	3406	4198	3874	1,00	-	0.59	0.72	0.67
15	+55	-	-*	3298	-	3848	-	-	-	-	-
16	-55	3715	-*	1501	2309	2147	1,00	-	0,40	0,62	0,58
17	-55	-	-	-	-	2161	-	-	-	-	-
18	-55	-	-	-	-	2105	-	-	-	-	-
19	-65	6657	-*	2011	3936	2791	1,00	-	0,30	0,59	0,42
20	-65	-	-	-	-	2803	-	-	-	-	-
21	-65	-	-	-	-	2857	-	-	-	-	-
22	-65	-	-	-	-	2880	-	-	-	-	-
23	+65	7311	-*	3917	-*	5525	-	-	0,54	-	0,76
24	+65	-	-	-	-*	5672	-	-	-	-	-
25	+65	-	-	-	-*	5884	-	-	-	-	-
26	+65	-	-	-	-*	5733	-	-	-	-	-
27	+65	-	-	-	-*	5799	-	-	-	-	-
28	+65	-	-	-	-	5913	-	-	-	-	-
29	+65	-	-	-	-	5830	-	-	-	-	-

-* Kayıt alınamayan yüklemeleri, - yapılmayan yüklemeleri göstermektedir.



Şekil 4.16. Deney yapılarının yükleme adımına göre tüketilen enerji değişimi



Şekil 4.17. Deney yapılarının yükleme adımına göre tüketilen enerji değişimi

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Türkiye’deki yapıların yarısına yakın bir bölümü yığma türü yapılar olup özellikle kırsal bölgelerde bir ve iki katlı yığma yapılar çok yaygın kullanılmaktadır. Bu tür yapılar da çeşitli nedenlerden dolayı yeterli deprem güvenliğine sahip değildir ve bu durumlarıyla potansiyel göçme riski taşımaktadırlar. Depreme karşı yetersiz bu yapıların güçlendirilmesi, yaşam güvencesi ve ekonomik kayıpların önlenmesi bakımından ülkemiz için öncelikli bir sorundur. Uygulamada bu tip yapıların güçlendirilmesi daha çok hasır çelik ile duvar yüzüne beton püskürtülmesi ile yapılmıştır. Ülkemizde yaşanan depremler sonrasında bu tip rehabilitasyon tekniği sıkça kullanılmıştır. Son yıllarda bu tip yapıların güçlendirilmesinde lifli polimer gibi ileri malzemeler de kullanılmaktadır. Rehabilitasyonda ana amaç yapının dayanım, süneklik ve rijitliğinin yönetmeliğin öngördüğü asgari düzeye getirilmesidir. Ayrıca rehabilitasyon yöntemi gerek uygulama kolaylığı ve gerek ekonomik açıdan uygun olmalıdır. Literatürde yer alan deneysel çalışmalarda üretilen deney elemanları genellikle ölçekli ve iki boyutludur. Gerçekte ise bu yapılar üç boyutludur.

Bu çalışmada tuğla yığma yapılarda güçlendirme ve rehabilitasyon amaçlı kullanılabilecek bir tekniğin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Deneysel çalışmada prototipe yakın ölçeklerde 3-boyutlu tek katlı tuğla bir yığma yapı deney yapısı olarak seçilip üretilmiştir. Deney Yapısı-1’in karşılıklı iki duvarında pencere ve kapı boşlukları bulunmaktadır. Önce deney yapısı sarsma tablasında test edilerek taşıyıcı duvarlarına hasar verdirilmiştir. Hasarlı deney yapısının taşıyıcı duvarları dört farklı tipte düzenlenen çelik şeritlerle rehabilite edilerek ardışık dört defa test edilmiştir. Deney Yapısı-2’nin yükleme doğrultusundaki duvarlarının iç ve dış yüzeylerine düşey ve diyagonal çelik şeritler yerleştirilmiştir. Yükleme doğrultusuna dik duvarların iç ve dış yüzeylerine sadece düşey çelik şeritler yerleştirilmiştir. Duvarların iç ve dış yüzeylerindeki çelik şeritler birbirlerine çelik çubuklarla bağlanmıştır. Deney Yapısı-3’ün yükleme doğrultusundaki duvarlarının iç ve dış yüzeylerine düşey ve diyagonal çelik şeritler yerleştirilmiştir. Duvarların iç ve dış yüzeylerindeki çelik şeritler birbirlerine çelik çubuklarla bağlanmıştır. Deney Yapısı-4’ün yükleme doğrultusundaki duvarlarının iç ve dış yüzeylerine sadece diyagonal

elik şeritler yerleştirilmiş ve birbirlerine elik çubuklarla bağlanmıştır. Deney Yapısı-5'in yükleme doğrultusundaki duvarlarının sadece dış yüzeylerine yerleştirilen diyagonal elik şeritler elik çubuklarla duvara sabitlenmiştir.

Deney sonuçları, dayanım, davranış, kat yatay ötelenme oranı, titreşim periyodu, sönüm oranı, rijitlik ve enerji tüketim kapasitelerine göre değerlendirilmişdir.

5.1. Sonuçlar

Deneysel çalışmada gerçek boyutlarda, tek açıklıklı, tek katlı 5 adet deney yapısı deprem kuvvetlerine benzer dinamik kuvvetleri oluşturabilen sarsma tablasında test edilmiştir.

- Deney Yapısı-1'e gelen en büyük kuvvet 239,16 kN, duvarın kayma gerilmesi dayanımı 0,26 N/mm² olarak bulunmuş, ilk kesme çatlağı % 0,268 yanal ötelenme oranında olmuştur. Rehabilitasyonu yapılan yapılara dayanımlarına ulaştıracak kuvvetler verilemediğinden rehabilitasyonun dayanımı hangi düzeyde artırdığı bulunamamıştır. Tüm deney yapılarına deney düzeneğinin kapasitesi nedeniyle ağırlıklarının 2-2,2 katı kadar yatay kuvvetler uygulanmıştır.
- Uygulanan rehabilitasyon tekniği, aynı yatay kuvvetler altında çatlakların gelişimini önemli ölçüde sınırlamıştır. Deney Yapısı-1' de ileri düzeyde kesme çatlakları oluşmuş, uygulanan rehabilitasyon yapılan deney yapılarındaki çatlakların oluşumunu ve gelişmesini önlemiştir.
- Hasarlı yığma yapının kat döşemelerini birbirine bağlayan diyagonal elik şeritlerle rehabilitasyonu etkili bir tekniktir. Rehabilitasyon tipleri içinde diyagonal elik şeritlerin düşey elik şeritlerle beraber kullanıldığı Deney Yapısı-2 ve Deney Yapısı-3 en başarılı rehabilitasyon tekniği gibi görünmektedir. Bu elik şerit düzenlemesi ile yapıda devrilme nlenmiş ve yükleme doğrultusunda taşıyıcı duvarlarda kesme çatlaklarının gelişimi engellemiştir. Hasarlı yığma yapılar için

geliştirilen bu güçlendirme tekniği yeterli deprem güvenliği bulunmayan yığma yapıların güçlendirilmesi için de kullanılabilir görünmektedir.

- Tüm deneylerde çelik elemanları deney yapısına bağlayan birleşim detaylarının yatay kuvvetleri başarıyla taşıdıkları gözlenmiştir. Uygulanan rehabilitasyon yönteminin başarısı deney yapısı ile çelik elemanlar arasındaki bağlantının başarısına bağlı olduğu unutulmamalıdır. Uygulama hassas bir işçilikle yapılmalıdır.
- Düşey çelik şeritler yükleme yönüne dik duvarlardaki çatlakların önlenmesinde başarılı olmuş, duvarın düzlem dışı hareketini önemli ölçüde sınırlamıştır. Yükleme yönündeki duvarlarda bulunan düşey çelik şeritlerin kaldırılması ile, yükleme yönüne dik duvarlarda alt hatıl üstünden duvarın düzlem dışına doğru hareketi nedeni ile duvar boyunca çatlak meydana gelmiştir.
- Yapıların periyodu ve rijitliği elastik davranışta bile gelen yük düzeyine göre önemli miktarda değişmiştir. Periyot, yatay kuvvetle birlikte artış göstermiş, rijitlik azalmıştır. Malzemenin gerilme-birim şekil değiştirme eğrisinin elastik bölgede lineer olmayan özellik göstermesi bu değişime neden olduğu düşünülmektedir. Deney Yapısı-1’de kapasiteye ulaşıldıktan sonra, gelen yükün düşmesine rağmen periyottaki uzama ve rijitlikteki düşüş daha da artmıştır.
- Uygulanan rehabilitasyon ile deney yapılarının periyodu kontrol yapısına göre önemli miktarda kısalma, rijitliğinde çok fazla artış sağlanmamıştır. Çelik şerit düzenlemesi azaldıkça periyot uzamış, rijitlik azalmıştır. Yapılan deneylerde, oluşan çatlakların onarılmasına ve ek elemanlar konulmasına rağmen, ilk deneyde oluşan ve duvar içi boyunca giden çatlakların rijitlik, periyot, sönüm oranı üzerinde etkin olduğu gözlenmiştir. Deneylerde yükleme yönündeki duvarlarda diyagonal çelik şeritlere ek olarak düşey çelik şeritler bulunmasının rijitlik ve periyot üzerindeki etkisi belirgin olmuştur.

- Yatay kuvvete göre periyodun uzama ve rijitliğin azalma hızı, rehabilitasyondaki çelik şerit düzenlemesi arttıkça daha fazla olmuş, çelik şeritler azaldıkça periyottaki ve rijitlikteki değişim hızı, çelik şerit düzeyinin periyot ve rijitlik üzerindeki etkisi azalmıştır.
- Yüksek yatay kuvvetler altında rehabilitasyon uygulanan deney yapıları arasında periyot ve rijitlik değişim oranı çelik şerit düzenlemesinin azalması ile azalmaktadır. Bu azalma, düşük kuvvetler altında çelik şeritlerin gelen kuvvetin büyük kısmını aldığını göstermektedir. Yatay kuvvet düzeyi arttıkça tuğla duvarın katkısı artmakta ve çatlakların açılıp kapanması bu parametrelerdeki değişimi yavaşlatmaktadır.
- Yükleme yönündeki düşey çelik şeritlerin varlığı yapının periyot ve rijitliğinde önemli etkisi olurken yükleme yönüne dik duvarlardaki düşey çelik şeritlerin periyoda ve rijitliğe etkisi sınırlı bir düzeyde olmuştur. Yükleme yönündeki duvarların iç ve dışında çelik çaprazların bulunması, yalnız dış duvarlarda çelik çaprazların bulunmasına göre periyot ve rijitlik değişiminde etkili olmuştur. Deney Yapısı-2 ile Deney Yapısı-3'ün periyot ve rijitlikleri arasında önemli bir fark bulunmamıştır. Deney Yapısı-4'ün periyot ve rijitliğinde bu iki rehabilitasyon durumuna göre önemli miktar değişim olmuştur.
- Tüm deney yapılarının sönüm oranı artan yatay kuvvetle birlikte artmıştır. Deney Yapısı-1'in kesme çatlağının olduğu yüklemeye kadar olan bölümde sönüm % 16'dır ve artış çok azdır. Tasarımda kullanılan % 5 sönüm oranına göre bulunan sönüm oranı oldukça yüksektir. Rehabilitasyonu yapılan yapıların sönüm oranı ise kontrol yapısının sönüm oranından daha fazladır. Sönüm oranının kontrol yapısının sönüm oranından daha fazla olması ilk deneyde oluşan ve duvar içlerinde kalan çatlakların etkili olduğunu göstermiştir.
- Rehabilitasyonu yapılan deney yapılarına gelen kuvvetler büyüdükçe ve yükleme adımı arttıkça deney yapılarının sönüm oranlarındaki artış hızı aynı olmuştur. Artış hızının eğimi % 1,8 olarak bulunmuştur. Rehabilitasyon düzeyi sönüm oranının

yatay kuvvete göre artış hızını etkilememiştir. Kontrol yapısı olan Deney Yapısı-1’de ilk kesme çatlağı olan 11. yüklemeye kadar olan bölümde ise artış hızı % 0,14’tür ve hemen hemen yoktur.

- Tüm deney yapılarının enerji tüketimleri artan kuvvetle birlikte artmıştır. Deney Yapısı-1’de hasar oluştuktan sonra gelen kuvvetin azalmasına rağmen enerji tüketimi artmıştır. Elastik bölge sınırları içerisinde gelen kuvvetin azalması ile tüketilen enerji de azalmıştır. Aynı başlangıç ötelemesi verilerek yapılan yüklemelerde ve aynı yatay kuvvetlerde eşit enerji tüketilmiştir.

- Rehabilitasyon ile aynı kuvvetler altında deney yapılarının enerji tüketimi azalmıştır. Deney Yapısı-1’e göre ilk yükleme adımı Deney Yapısı-2’nin enerji tüketimi 0,32 katına, Deney Yapısı-3’ün enerji tüketimi 0,63 katına, Deney Yapısı-4’ün enerji tüketimi 0,94 katına ve Deney Yapısı-5’in enerji tüketimi 0,90 katına düşmüştür. Yatay kuvvet düzeyi arttıkça rehabilitasyonu yapılan yapıların Deney Yapısı-1’e göre enerji tüketimleri daha azalmıştır.

5.2. Öneriler

Çelik şeritler düzenlemesinin yığma yapıların davranışı üzerinde etkileri incelendiği bu araştırmayı geliştirebilecek öneriler aşağıda sıralanmıştır.

- Bu çalışmada deney düzeneğinin kapasitesinden dolayı rehabilitasyon yapılan deney yapılarına kapasitelerine ulaştıracak kuvvetler verilememiştir. Hasarlı yığma yapılarda çelik şeritlerle rehabilitasyonun dayanımı ne kadar artırdığı araştırılmalıdır.
- Hasar görmemiş yapılar üzerinde bu güçlendirme yönteminin dayanım, rijitlik, periyot, sönüm, enerji gibi parametreler üzerinde etkileri incelenmelidir.

- Bu rehabilitasyon ve güçlendirme tekniğinin rijit diyafram etkisi yaratacak kat döşemesi bulunmayan tuğla, taş, kerpiç gibi yığma yapılar üzerindeki dayanım ve davranışı araştırılmalıdır.
- Çelik şeritlerle güçlendirme tekniği, hasar görmemiş az katlı betonarme yapılar üzerinde araştırılmalıdır.
- Deneysel veriler ışığında çelik şeritlerle rehabilitasyonu ve güçlendirilmesi yapılmış yığma yapıların kapasitelerini belirlemeye yönelik analitik modeller geliştirilmelidir.

KAYNAKLAR

1. Wasti, S., T., Erberik, M., A., Kaur, C., Sucuoğlu, H., “Dinar Depreminde Hasar Görmüş Yığma Yapıların Onarım ve Güçlendirme Çalışması”, **Dördüncü Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı**, ODTÜ, Ankara, 230-240 (1997).
2. Lenczner, D., “Elements of Load Bearing Brickwork”, **Pergamon Press**, Oxford, 47-49 (1972).
3. Yorulmaz, M., Atan, Y., T., “Çeşitli Forme Yapı Taşlarıyla Yapılmış Duvar Numunelerinin İki İstikametli Yükleme Altında Davranışları” **İTÜ Mimarlık Fakültesi**, İstanbul, 12-14 (1971).
4. Foster, J., S., “Structure and Fabric Part I”, **Mitchell’s Building Construction, Bastford Limited**, London, 11-12 (1978).
5. Bayülke, N., “Çeşitli Tip Tuğlalardan Yapılmış Duvar Örneklerinin Tek Yönde Yükleme Deneyleri Raporu”, **İmar ve İskan Bakanlığı, Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı**, Ankara, 12-14 (1982).
6. Tolunay H., “Investigations on the Characteristics of Brick Masonry Walls”, Yüksek Lisans Tezi, **ODTÜ**, Ankara, 28 (1966).
7. Bayülke, N., Doğan, A., Yazar, E., “% 35 Düşey Delik Oranlı Taşıyıcı Tuğladan Yapılmış Yığma Yapının Sarsma Tablası Deneyi Raporu”, **Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı**, Ankara , 33 (1996).
8. Bayülke, N., Hürata, A., Doğan, A., “Düşey Delikli Taşıyıcı Tuğladan Yapılmış Yığma Yapıların Sarsma Tablası Deneyleri Raporu”, **Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı**, Ankara, 61-67 (1989).
9. Bayülke, N., Köksal, T., S., Gürbüz, M., Kocaman C., Kuran, F., “Özel Biçimde Şekil Verilmiş Gazbeton Bloklarla Yapılmış Yığma Bir Yapının Sarsma Tablası Deney Raporu”, **Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı**, Ankara, 51 (2003).
10. Muzino, Goto, Hiroto ve Iiba, “Study on Seismic Performance of Confined Masonry Walls (Part-1)”, **Japan Building Disaster Prevention Association**, 21-43 (1993).
11. Zepeda, J., A., Alcocer, S., M., Flores, L., E., “Earthquake Resistant Construction with Multi-Perforated Clay Brick Walls” **12th World Conference on Earthquake Engineering**, 1541 (2000).
12. Canales, M., D., De la Vega, R. B., “Retrofitting Techniques Used in Telephone Buildings in Mexico” **10th World Conference on Earthquake Engineering**, Spain, 5143-5148 (1992).

13. Maldonado, N., G., Olivencia, L., A., "Etechniques Used to Repair Seismic-Resistant Masonry Walls" *10th World Conference on Earthquake Engineering*, Spain, 5389-5394 (1992).
14. Alcocer, S., M., Ruiz, J., Pineda, A., Zepeda, J., A., "Retrofitting of Confined Masonry Walls with Welded Wire Mesh" *11th World Conference on Earthquake Engineering*, 1471 (1996).
15. Sofronie, R., A., Bolander, J., E., "Repair and Stregthening of Masonry Buildigs", *Third Japan-Turkey Workshop on Earthquake Engineering*, İstanbul, 359-370 (2000).
16. Taghdi, M., Bruneau M., Saaatçioğlu, M., "Seismic Retrofitting of Low-Rise Masonry and Concrete Walls Using Steel Strips" *Journal of Structural Engineering*, 1017-1025 (2000).
17. "TS 2510: Kargir Duvarlar Hesap ve Yapım Kuralları", *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 6 (1977).
18. Bayülke, N., "Yığma Yapılar", *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı*, İkinci Baskı, Ankara, 81-88, 118-121 (1982).
19. "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik", *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı*, Ankara, 67 (1997).
20. Sittipunt, C., Wood, S., L., Lukkunaprasit, P., Pattararattanakul, P., "Cyclic Behavior of Reinforced Concrete Structural Walls with Diagonal Web Reinforcement", *ACI Structural Journal*, 554-562 (2001).
21. Shen, J., H., Astaneh-Asl, A., "Seismic Response Evaluation of an Instrumeted Six-Story Steel Building", *University of California at Berkeley*, Report No: UCB/EERC-90/20, Berkeley, 8-18 (1990).
22. Chopra, A., K., "Dynamics of Structures", Second Edition, *Prentice Hall*, U.S.A., 783-786 (2001).
23. Cherry, S., "Dynamics of Structures", *International Institute of Seismology and Earthquake Engineering*, Tokyo, Japan, 19-30 (1968).
24. Uang, C., M., Bertero, V., V., "Evaluation of Seismic Energy in Structures", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 77-84 (1990).
25. Sucuoğlu, H., "Ülkemizdeki Yığma Yapıların Deprem Dayanımları", *TÜBİTAK Deprem Sempozyumu*, Ankara, 191-200 (1996).

ÖZGEÇMİŞ

1974 yılında Gümüşhane’ de doğmuştur. Evli ve 1 çocuk babasıdır. Lise öğrenimini Samsun 19 Mayıs Lisesi’nde 1991 yılında tamamlamıştır. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nü 1995 yılında tamamlayarak mezun olmuştur. 1996-1998 yılları arasında Yüksel İnşaat A.Ş. ve Ecesan A.Ş. şirketlerinde saha mühendisi olarak çalışmıştır. 1998 yılından itibaren Bayındırlık ve İskan Bakanlığında çalışmaktadır. Halen Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığında görev yapmaktadır. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik’in hazırlanmasında çalışmıştır.