

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YENİ BİR ENERJİ SÖNÜMLEYİCİ ELEMAN VE
PREFABRİKE YAPI SİSTEMLERİNDEKİ
MOMENT AKTARMAYAN BİRLEŞİMLERE UYGULANMASI**

DOKTORA TEZİ

Cihan SOYDAN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

EKİM 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YENİ BİR ENERJİ SÖNÜMLEYİCİ ELEMAN VE
PREFABRİKE YAPI SİSTEMLERİNDEKİ
MOMENT AKTARMAYAN BİRLEŞİMLERE UYGULANMASI**

DOKTORA TEZİ

**Cihan SOYDAN
(501012003)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ercan YÜKSEL
Tez Eş Danışmanı: Prof. Dr. Erdal İRTEM**

EKİM 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501012003 numaralı Doktora Öğrencisi Cihan Soydan, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “Yeni Bir Enerji Sönümleyici Eleman ve Prefabrike Yapı Sistemlerindeki Moment Aktarmayan Birleşimlere Uygulanması” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Ercan YÜKSEL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Eş Danışman : **Prof.Dr. Erdal İRTEM**
Balıkesir Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Engin ORAKDÖĞEN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Konuralp GİRĞİN
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Bülent AKBAŞ
Gebze Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Metin AYDOĞAN
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Mustafa ZORBOZAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **05 Ağustos 2015**

Savunma Tarihi : **12 Ekim 2015**

Depremlerde hayatlarını kaybedenlerin anısına,

ve aileme.

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının tüm aşamalarında değerli bilgi ve tecrübesine başvurduğum, kıymetli Hocalarım Doç. Dr. Ercan Yüksel ve Prof. Dr. Erdal İrtem'e gösterdikleri her türlü ilgi, destek ve anlayış için en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışması süresince yaptıkları değerli öneriler ve eleştiriler için Prof. Dr. Engin Orakdöğen, Prof. Dr. Konuralp Girgin ve Prof. Dr. Bülent Akbaş'a şükranlarımı sunarım.

Özel bir kurşun ekstrüzyon sönümleyicinin geliştirildiği ve moment aktarmayan bir prefabrike betonarme kiriş-kolon birleşimine yerleştirilmesi durumunda kiriş-kolon birleşiminin deprem performansına katkısının incelendiği bu tez çalışması, 34014 numaralı İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü BAP projesi ve 34285 numaralı İTÜ Rektörlük BAP projesinin sağladığı imkanlar ile İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Labotaruvarı ile Yapı Malzemesi Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Bu kuruluşlara vermiş oldukları destekten ötürü teşekkür ederim.

Kurşun ekstrüzyon sönümleyici eleman deneylerindeki yardımlarından ötürü İnş. Yük. Müh. Ahmet Güllü, İnş. Yük. Müh. Mir Alireza Mahdavi ve İnş. Yük. Müh. Arastoo Khajehdehi'ye teşekkür ederim. Kurşun ekstrüzyon sönümleyici eleman deneyleri ve sarsma tablası deney sisteminde gerçekleştirilen prefabrike betonarme kiriş-kolon birleşim deneylerindeki katkılarından dolayı İnş. Yük. Müh. Tansu Gökçe'ye teşekkür ederim. İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Labotaruvarı personelinin başta İnş. Yük. Müh. Hakan Saruhan olmak üzere Teknisyen Ahmet Şahin ve Teknisyen Mahmut Şamlı'ya teşekkür ederim.

Kurşun ekstrüzyon sönümleyicinin tasarımı ve üretilmesi aşamasında değerli katkılarından ötürü Mak. Müh. Nedim Kaya'ya ve Irmak Çağdaş Makine Sanayi ve Tic. Ltd. şirketine şükranlarımı sunarım. Prefabrike kiriş, kolon ve temel elemanlarının üretilmesi aşamasında yapmış olduğu katkıdan dolayı Emek Prefabrik Yapı Elemanları Sanayi şirketine teşekkür ederim.

Namık Kemal Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde görevli değerli hocalarım ve çalışma arkadaşlarıma gösterdikleri destek ve anlayış dolayısıyla teşekkür ederim.

Son olarak, verdikleri tarifsiz destek için değerli annem Ruhşen Soydan ve değerli babam Hasan Soydan ile sevgili eşim Evrim Soydan'a teşekkür ederim.

5 Ağustos 2015

Cihan Soydan

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xxi
ÖZET.....	xxxiii
SUMMARY	xxxv
1. GİRİŞ VE ÇALIŞMANIN AMACI.....	1
1.1 Genel Tanımlar.....	1
1.2 Özgün Değer ve Motivasyon.....	3
1.3 Kapsam.....	3
1.4 Tezin Genel Yapısı.....	4
2. KURŞUN EKSTRÜZYON SÖNÜMLEYİCİNİN GELİŞTİRİLMESİ.....	5
2.1 Giriş.....	5
2.2 Önceki Çalışmalar	8
2.2.1 Robinson ve Greenbank (1975, 1976)	8
2.2.2 Cousins ve Porritt (1993)	11
2.2.3 Tsai, Lai, Chang ve Li (2002)	16
2.2.4 Rodgers, Chase, Mander, Leach, Denmead, Cleeve ve Heaton (2006a) ..	21
2.2.5 Rodgers, Chase, Mander, Leach ve Denmead (2006b).....	25
2.2.6 Rodgers (2009).....	29
2.2.7 Golondrino, Chase, Rodgers, MacRae ve Clifton (2012)	36
2.3 Kurşun Ekstrüzyon Sönümleyicinin Tasarımı ve Üretimi	38
2.4 Deneysel Çalışma	44
2.5 Kurşun Ekstrüzyon Sönümleyici Özelliklerinin Belirlenmesi	46
2.6 Öngerilmemiş KES’e Ait Deneysel Çalışma Sonuçları	47
2.7 Öngerilmeli KES’e Ait Deneysel Çalışma Sonuçları	53
2.8 Değerlendirme ve Yorumlar.....	58
3. PREFABRİKE KOLON-KİRİŞ BÖLGESİNDE KES UYGULAMASI.....	61
3.1 Giriş.....	61
3.2 Yapılan Çalışmalar	62
3.2.1 Vintzeleou ve Tassisos (1985, 1987)	62
3.2.2 Tsoukantas ve Tassisos (1989)	62
3.2.3 Martinelli ve Mulas (2009)	62
3.2.4 Kramar, Isakovic ve Fischinger (2010).....	63
3.2.5 Soydan, Koçak, Özkaynak, Yüksel ve İrtem (2011).....	64
3.2.6 Capozzi, Magliulo ve Manfredi (2012).....	65
3.2.7 Fischinger, Zoubek, Kramar ve Isakovic (2012)	65
3.2.8 Apatolska, Necevska-Cvetanovska, Bojadziev, Fischinger, Isakovic ve Kramar (2012).....	65
3.2.9 Psycharis ve Mouzakis (2012a)	67

3.2.10 Psycharis ve Mouzakis (2012b)	70
3.2.11 Soydan, Yüksel ve İrtem (2014)	72
3.3 Sarsma Masası Üzerinde Yapılan Deneyler	73
3.3.1 Deprem kaydı seçimi.....	73
3.3.2 Sarsma masasının özellikleri.....	75
3.3.3 Deney numunelerinde kullanılan malzeme özellikleri.....	76
3.3.3.1 Beton deneyleri	76
3.3.3.2 Donatı çeliği deneyleri	77
3.3.3.3 Harç deneyleri	79
3.3.4 Deney numunelerinin özellikleri.....	79
3.3.5 Deney numunelerine ölçüm cihazlarının yerleştirilmesi.....	92
3.4 Deney Numunelerinin Davranışını Kuramsal Olarak Belirlemeye Yönelik Çalışmalar.....	95
3.4.1 Analitik modele ait genel özellikler	95
3.4.2 Analitik model ile gerçekleştirilen analizler	99
3.5 Deneysel Çalışmalar.....	101
3.5.1 Yalın birleşim.....	102
3.5.1.1 Uygulanan testler ve oluşan hasar biçimi.....	102
3.5.1.2 Aletsel büyüklükler	110
3.5.2 Sönümleyicili birleşim	130
3.5.2.1 Uygulanan testler ve oluşan hasar biçimi.....	130
3.5.2.2 Aletsel büyüklükler	136
3.5.3 Yalın ve sönümleyicili birleşim davranışlarının karşılaştırılması.....	161
3.5.3.1 Hasar biçimi ve ölçülen titreşim frekansı değerleri	161
3.5.3.2 Aletsel büyüklükler	167
3.6 Kuramsal ve Deneysel Çalışma Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	178
3.6.1 Yalın birleşim.....	179
3.6.1.1 Tepe yer değiştirme-zaman ilişkisi	179
3.6.1.2 Tepe ivme-zaman ilişkisi	182
3.6.1.3 Temel üstü (kolon alt ucu) ivme-zaman ilişkisi	185
3.6.1.4 Kolon alt uç kesiti dönme-zaman ilişkisi	188
3.6.2 Sönümleyicili birleşim	191
3.6.2.1 Tepe yer değiştirme-zaman ilişkisi	191
3.6.2.2 Tepe ivme-zaman ilişkisi	194
3.6.2.3 Temel üstü (kolon alt ucu) ivme-zaman ilişkisi.....	197
3.6.2.4 Kolon alt uç kesiti dönme-zaman ilişkisi	200
3.6.2.5 KES eksenel kuvvet-eksenel yer değiştirme ilişkisi	203
3.7 Değerlendirme ve Yorumlar.....	205
3.7.1 Deneysel çalışma sonuçlarının karşılaştırılması	207
3.7.2 Deneysel ve kuramsal çalışma sonuçlarının karşılaştırılması.....	211
4. GERÇEK BİR PREFABRİKE YAPIDA KES UYGULAMASI.....	215
4.1 Prefabrike Yapı Sistemine Ait Özellikler.....	216
4.2 Deprem Kayıtlarının Seçilmesi	220
4.3 Analitik Modellerin Oluşturulması.....	231
4.4 Analiz Sonuçları	237
4.4.1 Kolon tepe yer değiştirmeleri	238
4.4.2 Kolon alt uç kesiti eğilme momenti-eğrilik ilişkisi.....	242
4.4.3 Kolon alt uç kesiti eğilme momenti-normal kuvvet ilişkisi	244
4.4.4 Kolon alt uç kesiti birim şekildeğiştirme	247
4.4.5 Kolon üst uç kesiti kesme kuvveti.....	251

4.4.6 Kolon üst ucu ivme	257
4.4.7 Kolon-KES bağlantı noktası alt kesiti kesme kuvveti	258
4.4.8 KES eksenel kuvvet-eksenel yerdeğiştirme ilişkileri.....	260
4.5 Değerlendirme ve Yorumlar.....	266
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	271
KAYNAKLAR	277
EKLER.....	281
ÖZGEÇMİŞ.....	369

KISALTMALAR

KES	: Kurşun Ekstrüzyon Sönümleyici
DBYBHY	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
LED	: Kurşun Ekstrüzyon Sönümleyici (Lead Extrusion Damper)
ER	: Ekstrüzyon Oranı (Extrusion Ratio)
MTS	: Malzeme Test Sistemleri (Material Testing Systems)
PVC	: Polivinil Klorid (Polyvinyl Chloride)
SAP	: Yapısal Analiz Programı (Structural Analysis Program)
İTÜ	: İstanbul Teknik Üniversitesi
NKÜ	: Namık Kemal Üniversitesi
TML	: Tokyo Sokki Kenkyujo Co. Ltd.
TS	: Türk Standartları
H	: Çekiç (Hammer)
WN	: Beyaz Gürültü (White Noise)
SF	: Basamak Fonksiyonu (Step Function)
ERZ	: Erzincan
DD	: Düzlem Dışı
Dİ	: Düzlem İçi
CB	: Kolon Taban (Column Base)
CBB	: Kolon Taban-Alt (Column Base-Bottom)
CBM	: Kolon Taban-Orta (Column Base-Middle)
CBT	: Kolon Taban-Üst (Column Base-Top)
DBT	: Rod-Kiriş Üst (Dowel-Beam Top)
DBB	: Rod-Kiriş Alt (Dowel-Beam Bottom)
DC	: Rod-Kolon (Dowel-Column)
CAS	: Kolon Adaptör Şekildeğiştirme (Column Adapter Strainguge)
BAS	: Kiriş Adaptör Şekildeğiştirme (Beam Adapter Straingauge)
PEER	: Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi (Pacific Earthquake Engineering Research Center)
YD	: Yükleme Durumu

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : 100 kN kuvvet kapasiteli çıkıntılı şaft tipi KES'in görelî enerji tüketimi (12 Adet ardışık deney çalışması, $\pm 150\text{mm}/0.033\text{ Hz}$ yerdeğiştirme). 16	
Çizelge 2.2 : $\pm 10\text{ mm}$ yerdeğiştirme kapasiteli sönümleyicide 0.45 Hz frekansında $\pm 2\text{ mm}$ yerdeğiştirme etkisi altında her çevrimde tüketilen enerji miktarı. 20	20
Çizelge 2.3 : 100 kN kuvvet kapasiteli çıkıntılı şaft tipi KES'in görelî enerji tüketimi (12 adet ardışık deney çalışması, $\pm 150\text{mm}/0.033\text{ Hz}$ yerdeğiştirme)... 21	21
Çizelge 2.4 : Yalın ve sönümleyici yerleştirilmiş birleşimlerin tükettikleri enerji miktarları (Joule)..... 33	33
Çizelge 2.5 : Bazı metallere ait özellikler..... 39	39
Çizelge 3.1 : Beton karakteristik değerleri. 96	96
Çizelge 3.2 : Donatı çeliği karakteristik değerleri. 96	96
Çizelge 3.3 : Yalın birleşime ait dinamik test geçmişi ve kolondaki hasar dağılımı. 108	108
Çizelge 3.4 : Sönümleyicili birleşime ait dinamik test geçmişi ve kolondaki hasar dağılımı. 136	136
Çizelge 3.5 : Yalın ve sönümleyicili birleşime ait frekans geçmişi. 163	163
Çizelge 3.6 : Yalın ve sönümleyicili birleşim kolonlarında oluşan hasar biçimi. ... 164	164
Çizelge 3.7 : Yalın ve sönümleyicili birleşim numunelerinde oluşan hasar biçimi (WN4, ERZ0.50, ERZ0.75) (Deney). 165	165
Çizelge 3.8 : Yalın ve sönümleyicili birleşim numunelerinde oluşan hasar biçimi (ERZ1.00, ERZ1.25, ERZ1.40) (Deney). 166	166
Çizelge 3.9 : Tepe ivmesi en büyük değerleri (Deney). 169	169
Çizelge 3.10 : Kolon alt ucu dönme en büyük değerleri (Deney). 169	169
Çizelge 3.11 : Kiriş-kolon birleşimi dönme en büyük değerleri (Deney). 172	172
Çizelge 3.12 : Kolon alt uç bölgesi altında yer alan kesitte boyuna donatıda meydana gelen en büyük kısalma değerleri (Deney). 175	175
Çizelge 3.13 : Kolon alt uç bölgesi altında yer alan kesitte boyuna donatıda meydana gelen en büyük uzama değerleri (Deney). 175	175
Çizelge 3.14 : Yalın ve sönümleyicili birleşim numuneleri görelî yerdeğiştirme ve görelî kat öteleme büyüklükleri ile görelî kat ötelemesi hasar sınırları. 207	207
Çizelge 3.15 : Yalın ve sönümleyicili birleşim numuneleri kiriş-kolon birleşimi görelî kayma değerleri. 210	210
Çizelge 4.1 : Analizlerde kullanılan yer hareketlerine ait özellikler. 222	222
Çizelge 4.2 : Seçilen yer hareketlerinin hasar ölçütleri. 226	226
Çizelge 4.3 : Analizlerde kullanılan yer hareketlerinin diğer yatay bileşenlerine ait özellikler. 227	227
Çizelge 4.4 : Seçilen yer hareketlerinin diğer yatay bileşenlerine ait hasar ölçütleri. 230	230
Çizelge 4.5 : Kesit hasar sınırları ve karşı gelen şekildeğiştirme büyüklükleri..... 233	233

Çizelge 4.6 : Göreli kat ötelemesi sınırları.	240
Çizelge A.1 : Yalın yapı modelinin x eksenı doğrultusunda kolon üst ucunda meydana gelen yerdeğıştirmenin en büyük değeri (Yalın-YD1)....	347
Çizelge A.2 : Yalın yapı modelinin x eksenı doğrultusunda meydana gelen kat göreli ötelemesinin en büyük değeri (Yalın-YD1).....	347
Çizelge A.3 : Yalın yapı modelinin y eksenı doğrultusunda kolon üst ucunda meydana gelen yerdeğıştirmenin en büyük değeri (Yalın-YD1)....	347
Çizelge A.4 : Yalın yapı modelinin y eksenı doğrultusunda meydana gelen kat göreli ötelemesinin en büyük değeri (Yalın-YD1).....	348
Çizelge A.5 : Yalın yapı modelinin x eksenı doğrultusunda kolon üst ucunda meydana gelen yerdeğıştirmenin en büyük değeri (Yalın-YD2)....	348
Çizelge A.6 : Yalın yapı modelinin x eksenı doğrultusunda meydana gelen kat göreli ötelemesinin en büyük değeri (Yalın-YD2).....	348
Çizelge A.7 : Yalın yapı modelinin y eksenı doğrultusunda kolon üst ucunda meydana gelen yerdeğıştirmenin en büyük değeri (Yalın-YD2)....	349
Çizelge A.8 : Yalın yapı modelinin y eksenı doğrultusunda meydana gelen kat göreli ötelemesinin en büyük değeri (Yalın-YD2).....	349
Çizelge A.9 : Yalın yapı modelinin y eksenı etrafında kolon alt ucunda meydana gelen eğilme momentinin en büyük değeri (Yalın-YD1).	349
Çizelge A.10 : Yalın yapı modelinin x eksenı etrafında kolon alt ucunda meydana gelen eğilme momentinin en büyük değeri (Yalın-YD1).	350
Çizelge A.11 : Yalın yapı modelinin y eksenı etrafında kolon alt ucunda meydana gelen eğilme momentinin en büyük değeri (Yalın-YD2).	350
Çizelge A.12 : Yalın yapı modelinin x eksenı etrafında kolon alt ucunda meydana gelen eğilme momentinin en büyük değeri (Yalın-YD2).	350
Çizelge A.13 : Yalın yapı modelinin y eksenı etrafında kolon alt ucunda oluşan en büyük eğrilik değeri (Yalın-YD1).	351
Çizelge A.14 : Yalın yapı modelinin x eksenı etrafında kolon alt ucunda oluşan en büyük eğrilik değeri (Yalın-YD1).	351
Çizelge A.15 : Yalın yapı modelinin y eksenı etrafında kolon alt ucunda oluşan en büyük eğrilik değeri (Yalın-YD2).	351
Çizelge A.16 : Yalın yapı modelinin x eksenı etrafında kolon alt ucunda oluşan en büyük eğrilik değeri (Yalın-YD2).	352
Çizelge A.17 : Yalın yapı modeli S11 ve S61 kolonları alt uç kesitinde, boyuna donatıda oluşan en büyük birim şekildeğıştirme değeri (Yalın-YD1).	352
Çizelge A.18 : Yalın yapı modeli S11 ve S61 kolonları alt uç kesitinde, kabuk betonda oluşan en büyük birim şekildeğıştirme değeri (Yalın-YD1).	352
Çizelge A.19 : Yalın yapı modeli S11 ve S61 kolonları alt uç kesitinde, çekirdek betonda oluşan en büyük birim şekildeğıştirme değeri (Yalın-YD1).	353
Çizelge A.20 : Yalın yapı modeli S11 ve S61 kolonları alt uç kesitinde, boyuna donatıda oluşan en büyük birim şekildeğıştirme değeri (Yalın-YD2).	353
Çizelge A.21 : Yalın yapı modeli S11 ve S61 kolonları alt uç kesitinde, kabuk betonda oluşan en büyük birim şekildeğıştirme değeri (Yalın-YD2).	353

Çizelge A.22 : Yalın yapı modeli S11 ve S61 kolonları alt uç kesitinde, çekirdek betonda oluşan en büyük birim şekildeğiştirme değerleri (Yalın-YD2).	354
Çizelge A.23 : Yalın yapı modeli kolon alt ucunda meydana gelen normal kuvvetin en büyük değerleri (Yalın-YD1).	354
Çizelge A.24 : Yalın yapı modeli kolon alt ucunda meydana gelen normal kuvvetin en büyük değerleri (Yalın-YD2).	354
Çizelge A.25 : Yalın yapı modelinin x eksenı doğrultusunda kolon üst ucunda meydana gelen kesme kuvvetinin en büyük değerleri (Yalın-YD1).	355
Çizelge A.26 : Yalın yapı modelinin y eksenı doğrultusunda kolon üst ucunda meydana gelen kesme kuvvetinin en büyük değerleri (Yalın-YD1).	355
Çizelge A.27 : Yalın yapı modelinin x eksenı doğrultusunda kolon üst ucunda meydana gelen kesme kuvvetinin en büyük değerleri (Yalın-YD2).	355
Çizelge A.28 : Yalın yapı modelinin y eksenı doğrultusunda kolon üst ucunda meydana gelen kesme kuvvetinin en büyük değerleri (Yalın-YD2).	356
Çizelge A.29 : Yalın yapı modelinin x eksenı doğrultusunda kolon üst ucunda meydana gelen ivmenin en büyük değerleri (Yalın-YD1).	356
Çizelge A.30 : Yalın yapı modelinin y eksenı doğrultusunda kolon üst ucunda meydana gelen ivmenin en büyük değerleri (Yalın-YD1).	356
Çizelge A.31 : Yalın yapı modelinin x eksenı doğrultusunda kolon üst ucunda meydana gelen ivmenin en büyük değerleri (Yalın-YD2).	357
Çizelge A.32 : Yalın yapı modelinin y eksenı doğrultusunda kolon üst ucunda meydana gelen ivmenin en büyük değerleri (Yalın-YD2).	357
Çizelge A.33 : Yalın yapı modelinin x eksenı doğrultusunda kolon üst ucunda meydana gelen yerdeğiştirmenin en büyük değerleri (Sönümleyicili-YD1).	358
Çizelge A.34 : Yalın yapı modelinin x eksenı doğrultusunda meydana gelen kat görelı ötelemesinin en büyük değerleri (Sönümleyicili-YD1).	358
Çizelge A.35 : Yalın yapı modelinin y eksenı doğrultusunda kolon üst ucunda meydana gelen yerdeğiştirmenin en büyük değerleri (Sönümleyicili-YD1).	358
Çizelge A.36 : Yalın yapı modelinin y eksenı doğrultusunda meydana gelen kat görelı ötelemesinin en büyük değerleri (Sönümleyicili-YD1).	359
Çizelge A.37 : Yalın yapı modelinin x eksenı doğrultusunda kolon üst ucunda meydana gelen yerdeğiştirmenin en büyük değerleri (Sönümleyicili-YD2).	359
Çizelge A.38 : Yalın yapı modelinin x eksenı doğrultusunda meydana gelen kat görelı ötelemesinin en büyük değerleri (Sönümleyicili-YD2).	359
Çizelge A.39 : Yalın yapı modelinin y eksenı doğrultusunda kolon üst ucunda meydana gelen yerdeğiştirmenin en büyük değerleri (Sönümleyicili-YD2).	360
Çizelge A.40 : Yalın yapı modelinin y eksenı doğrultusunda meydana gelen kat görelı ötelemesinin en büyük değerleri (Sönümleyicili-YD2).	360
Çizelge A.41 : Yalın yapı modelinin y eksenı etrafında kolon alt ucunda meydana gelen eğilme momentinin en büyük değerleri (Sönümleyicili-YD1).	360
Çizelge A.42 : Yalın yapı modelinin x eksenı etrafında kolon alt ucunda meydana gelen eğilme momentinin en büyük değerleri (Sönümleyicili-YD1).	361
Çizelge A.43 : Yalın yapı modelinin y eksenı etrafında kolon alt ucunda meydana gelen eğilme momentinin en büyük değerleri (Sönümleyicili-YD2).	361

Çizelge A.44 : Yalın yapı modelinin x eksenı etrafında kolon alt ucunda meydana gelen eğilme momentinin en büyük değeri (Sönümleyicili-YD2).	361
Çizelge A.45 : Yalın yapı modelinin y eksenı etrafında kolon alt ucunda oluşan en büyük eğrilik değeri (Sönümleyicili-YD1).....	362
Çizelge A.46 : Yalın yapı modelinin x eksenı etrafında kolon alt ucunda oluşan en büyük eğrilik değeri (Sönümleyicili-YD1).....	362
Çizelge A.47 : Yalın yapı modelinin y eksenı etrafında kolon alt ucunda oluşan en büyük eğrilik değeri (Sönümleyicili-YD2).....	362
Çizelge A.48 : Yalın yapı modelinin x eksenı etrafında kolon alt ucunda oluşan en büyük eğrilik değeri (Sönümleyicili-YD2).....	363
Çizelge A.49 : Yalın yapı modeli S11 ve S61 kolonları alt uç kesitinde, boyuna donatıda oluşan en büyük birim şekildeğıştirme değeri (Sönümleyicili-YD1).	363
Çizelge A.50 : Yalın yapı modeli S11 ve S61 kolonları alt uç kesitinde, kabuk betonda oluşan en büyük birim şekildeğıştirme değeri (Sönümleyicili-YD1).	363
Çizelge A.51 : Yalın yapı modeli S11 ve S61 kolonları alt uç kesitinde, çekirdek betonda oluşan en büyük birim şekildeğıştirme değeri (Sönümleyicili-YD1).	364
Çizelge A.52 : Yalın yapı modeli S11 ve S61 kolonları alt uç kesitinde, boyuna donatıda oluşan en büyük birim şekildeğıştirme değeri (Sönümleyicili-YD2).	364
Çizelge A.53 : Yalın yapı modeli S11 ve S61 kolonları alt uç kesitinde, kabuk betonda oluşan en büyük birim şekildeğıştirme değeri (Sönümleyicili-YD2).	364
Çizelge A.54 : Yalın yapı modeli S11 ve S61 kolonları alt uç kesitinde, çekirdek betonda oluşan en büyük birim şekildeğıştirme değeri (Sönümleyicili-YD2).	365
Çizelge A.55 : Yalın yapı modeli kolon alt ucunda meydana gelen normal kuvvetin en büyük değeri (Sönümleyicili-YD1).	365
Çizelge A.56 : Yalın yapı modeli kolon alt ucunda meydana gelen normal kuvvetin en büyük değeri (Sönümleyicili-YD2).	365
Çizelge A.57 : Yalın yapı modelinin x eksenı doğrultusunda kolon üst ucunda meydana gelen kesme kuvvetinin en büyük değeri (Sönümleyicili-YD1).	366
Çizelge A.58 : Yalın yapı modelinin y eksenı doğrultusunda kolon üst ucunda meydana gelen kesme kuvvetinin en büyük değeri (Sönümleyicili-YD1).	366
Çizelge A.59 : Yalın yapı modelinin x eksenı doğrultusunda kolon üst ucunda meydana gelen kesme kuvvetinin en büyük değeri (Sönümleyicili-YD2).	366
Çizelge A.60 : Yalın yapı modelinin y eksenı doğrultusunda kolon üst ucunda meydana gelen kesme kuvvetinin en büyük değeri (Sönümleyicili-YD2).	367
Çizelge A.61 : Yalın yapı modelinin x eksenı doğrultusunda kolon üst ucunda meydana gelen ivmenin en büyük değeri (Sönümleyicili-YD1). ...	367
Çizelge A.62 : Yalın yapı modelinin y eksenı doğrultusunda kolon üst ucunda meydana gelen ivmenin en büyük değeri (Sönümleyicili-YD1). ...	367
Çizelge A.63 : Yalın yapı modelinin x eksenı doğrultusunda kolon üst ucunda meydana gelen ivmenin en büyük değeri (Sönümleyicili-YD2). ...	368

Çizelge A.64 : Yalın yapı modelinin y eksenini doğrultusunda kolon üst ucunda meydana gelen ivmenin en büyük değerleri (Sönümleyicili-YD2). ... 368

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Girintili tüp tipi KES boyuna kesiti ve çalışan metalin mikroyapısında oluşan değişimler.....	6
Şekil 2.2 : KES boyuna kesiti; (a) Girintili tüp tipi KES, (b) Çıkıntılı şaft tipi KES..	7
Şekil 2.3 : KES yük-yerdeğiştirme çevrimleri.....	7
Şekil 2.4 : Kuvvet-yerdeğiştirme çevrimleri (0.167 mm/s hız etkisi altında); (a) 15 kN Girintili tüp tipi KES (b) 150 kN girintili tüp tipi KES.....	9
Şekil 2.5 : Kuvvet-yerdeğiştirme çevrimleri (0.167 mm/s hız ekisi altında); (a) 30 kN çıkıntılı şaft tipi KES (b) 170 kN çıkıntılı şaft tipi KES.	9
Şekil 2.6 : Ekstrüzyon enerji sönümleyicilerin hız duyarlılığı.	9
Şekil 2.7 : KES; (a) Girintili tüp ve çıkıntılı şaft tipi KES, (b) 100 ve 700 kN kuvvet kapasiteli çıkıntılı şaft tipi KES.	12
Şekil 2.8 : $\pm 150\text{mm}/0.033$ Hz sinüzoidal yerdeğiştirme uygulanması durumunda 700 kN kapasiteli çıkıntılı tüp tipi KES'in davranışı.	13
Şekil 2.9 : Yerdeğiştirme hızının KES davranışına etkisi.	14
Şekil 2.10 : Çevrimsel yerdeğiştirme geçmişinin 700 kN kuvvet kapasiteli çıkıntılı şaft tipi KES enerji tüketim kapasitesine etkisi ($\pm 150\text{mm}/0.033$ Hz sinüzoidal yerdeğiştirme uygulanması durumunda.	15
Şekil 2.11 : $\pm 150\text{mm}/0.033$ Hz yerdeğiştirme hızı için elde edilen deneysel ve kuramsal sonuçların karşılaştırılması; (a) Deneysel sonuçlar (b) Kuramsal sonuçlar.	18
Şekil 2.12 : KES'den elde edilen kuramsal ve deneysel sonuçların karşılaştırılması.	19
Şekil 2.13 : ± 50 mm yerdeğiştirme kapasiteli sönümleyici için 0.01 Hz frekansında ± 3 mm yerdeğiştirme etkisi altındaki davranış; (a) Kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi (b) Kuvvet-zaman ilişkisi.	19
Şekil 2.14 : ± 50 mm yerdeğiştirme kapasiteli sönümleyici için 0.05, 0.1 ve 0.2 Hz frekanslarında ± 3 mm yerdeğiştirme etkisi altındaki davranış.	19
Şekil 2.15 : ± 10 mm yerdeğiştirme kapasiteli sönümleyici için 0.45 Hz frekansında ± 2 mm yerdeğiştirme etkisi altında her çevrimde tüketilen enerji miktarı.	20
Şekil 2.16 : ± 10 mm yerdeğiştirme kapasiteli sönümleyici için 0.45 Hz frekansında ± 2 mm yerdeğiştirme etkisi altında 5 dakika dinlenme süreleri bırakılarak gerçekleştirilen çalışmada elde edilen 18'er çevrimde tüketilen toplam enerji miktarları.	20
Şekil 2.17 : Üretilen ilk prototipe ait kesit (Aygıt 1).	21
Şekil 2.18 : 30 mm şaft ve 40 mm çıkıntı çapına sahip, kurşuna önerilmenin uygulanmadığı sönümleyiciye ait çevrimler (Aygıt 1).	23
Şekil 2.19 : 30 mm şaft ve 50 mm çıkıntı çapına sahip, kurşuna önerilmenin uygulanmadığı sönümleyiciye ait çevrimler (Aygıt 1).	23
Şekil 2.20 : 30 mm şaft ve 40 mm çıkıntı çapına sahip, kurşuna önerilmenin uygulandığı sönümleyiciye ait çevrimler (Aygıt 1).	25

Şekil 2.21 : 30 mm Şaft ve 50 mm çıkıntı çapına sahip, kurşuna öngerilmenin uygulandığı sönümleyiciye ait çevrimler (Aygıt 1).	25
Şekil 2.22 : Deneysel sonuçlardan elde edilen ekstrüzyon ilişkisi (Öngerilmeli sönümleyici).	25
Şekil 2.23 : Farklı boyutlardaki KES (Aygıt 2).	26
Şekil 2.24 : 40 mm çıkıntı çaplı sönümleyicinin davranışı (Aygıt 2).	26
Şekil 2.25 : 50 mm çıkıntı çaplı sönümleyicinin davranışı (Aygıt 2).	27
Şekil 2.26 : KES (Aygıt 3).	27
Şekil 2.27 : Statik yükleme etkisinde sönümleyicinin davranışı (Aygıt 3).	27
Şekil 2.28 : Sönümleyicilere ait kuvvet-alan oranı ilişkisi.	28
Şekil 2.29 : Sönümleyicilere ait normalleştirilmiş kuvvet-alan oranı ilişkisi.	29
Şekil 2.30 : Kiriş-kolon birleşiminin alındığı üç boyutlu yapı.	30
Şekil 2.31 : Kiriş-kolon birleşimi ve deney düzeneği.	30
Şekil 2.32 : KES ve ankraj levhasının açık görünümü.	31
Şekil 2.33 : KES'in kiriş-kolon birleşimine yerleştirilmesi.	31
Şekil 2.34 : Yalın ve sönümleyici yerleştirilmiş prefabrike kiriş-kolon birleşimlerinin % 2 ötelenme aşamasına kadar olan yük-ötelenme ilişkileri.	32
Şekil 2.35 : KES'lerin kullanıldığı ardgermeli prefabrike kiriş-kolon birleşiminin % 3 ötelenme seviyesine kadar olan yük-ötelenme ilişkisi.	32
Şekil 2.36 : Prefabrike kiriş uç bölgesi; (a) Kiriş boyuna donatıları, sönümleyici bağlantısı için kullanılacak çubuklar, PVC kanal içerisine konulmuş ardgerme çubukları (b) PVC kanal içerisine konulmuş ardgerme çubukları ve sönümleme aygıtı.	33
Şekil 2.37 : KES'ler ve sönümleyicinin açık görünüşü (Aygıt 4).	34
Şekil 2.38 : KES kuvvet-alan oranı ilişkileri.	34
Şekil 2.39 : KES normalleştirilmiş kuvvet-alan oranı ilişkileri.	35
Şekil 2.40 : Aynı boyutta üretilen üç sönümleyiciye ait çevrimler.	35
Şekil 2.41 : KES'lerin kiriş içine yerleştirildiği ardgermeli prefabrike kiriş-kolon birleşimlerinin % 3 ötelenme değerine kadar performansı.	35
Şekil 2.42 : KES; (a) İç görünüş, (b) Girintili şaft (c) Çıkıntılı şaft, (d) Sönümleyici genel görünümü, (e) Kuvvet-yerdeğiştirme çevrimi.	37
Şekil 2.43 : Deney düzeneği ve yerdeğiştirme fonksiyonu.	38
Şekil 2.44 : Farklı hız seviyelerinde elde edilen kuvvet-yerdeğiştirme çevrimleri. ..	38
Şekil 2.45 : KES tipik kesiti.	40
Şekil 2.46 : KES'in bileşenleri.	40
Şekil 2.47 : KES boyutları ve üç boyutlu canlandırma.	41
Şekil 2.48 : KES'in üretiminde kullanılan gazbeton bloklar.	42
Şekil 2.49 : Gazbeton blokların ve sönümleyici parçalarının ön ısıtılması.	43
Şekil 2.50 : Kurşunun eritilmesi ve sönümleyici içerisine yerleştirilmesi.	43
Şekil 2.51 : Kurşunun yerleştirilmesi sonrasında gazbeton blokları ve sönümleyiciye ait parçalar.	43
Şekil 2.52 : Kurşunun işlenmesi ve sönümleyici aygıt elemanlarının bir araya getirilmesi.	44
Şekil 2.53 : Deney düzeneği.	45
Şekil 2.54 : Yerdeğiştirme ve yük ölçüm düzeneği.	45
Şekil 2.55 : Yerdeğiştirme fonksiyonu; (a) Öngerilmemiş KES (b) Öngerilmeli KES.	46
Şekil 2.56 : Eşdeğer sönüm tanımında enerji oranları yöntemi.	47
Şekil 2.57 : İlk kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi ($f=0.5\text{Hz}$) (Öngerilmemiş KES).	48
Şekil 2.58 : İkinci kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi ($f=0.5\text{Hz}$) (Öngerilmemiş KES).	48

Şekil 2.59 : Kuvvet-yerdeğiştirme ilişkileri (0.1Hz ~ 1.0Hz) (Öngerilmemiş KES)..	50
Şekil 2.60 : Akma dayanımlarının yerdeğiştirme genliği ile değişimi (Öngerilmemiş KES).	51
Şekil 2.61 : Filtre uygulanmış kuvvet-yerdeğiştirme ilişkileri (0.1Hz ~ 1.0Hz) (Öngerilmemiş KES).	52
Şekil 2.62 : Sönümleyici özellikleri; (a) Eşdeğer sönüm oranı (b) Tüketilen enerji miktarı (Öngerilmemiş KES).	53
Şekil 2.63 : İlk kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi ($f=0.1$ Hz) (Öngerilmeli KES).	54
Şekil 2.64 : İkinci kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi ($f=0.1$ Hz) (Öngerilmeli KES).	54
Şekil 2.65 : Kuvvet-yerdeğiştirme ilişkileri (0.1Hz ~ 0.5Hz) (Öngerilmeli KES). ...	56
Şekil 2.66 : Akma dayanımının yerdeğiştirme genliği ile değişimi (Öngerilmeli KES).	56
Şekil 2.67 : Filtre uygulanmış kuvvet-yerdeğiştirme ilişkileri (0.1Hz ~ 0.5Hz) (Öngerilmeli KES).	57
Şekil 2.68 : Sönümleyici özellikleri; (a) Eşdeğer sönüm oranı (b) Tüketilen enerji miktarı (Öngerilmeli KES).	58
Şekil 3.1 : (a) Enerji sönümleme aygıtı, (b) Taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirme.	63
Şekil 3.2 : Tek rodlu kiriş-kolon birleşimi deney düzeneği.	63
Şekil 3.3 : Kolonda meydana gelen dönme ve kiriş yüzünde oluşan hasarlar.	64
Şekil 3.4 : (a) Sönümleyicili birleşim, (b) Sönümleyicili birleşim kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi, (c) Yalın birleşim, (d) Yalın birleşim kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi.	64
Şekil 3.5 : Deney düzeneği.	65
Şekil 3.6 : Birleşim türleri.	66
Şekil 3.7 : Deney düzeneği.	66
Şekil 3.8 : Merkezi bir rodlu birleşim için deneysel ve kuramsal sonuçların karşılaştırılması.	66
Şekil 3.9 : Betonarme çerçeve için oluşturulan iki boyutlu matematik modeller.	67
Şekil 3.10 : Deney düzeneği.	67
Şekil 3.11 : Numunelerin genel görünüşü.	68
Şekil 3.12 : 2Ø25 rodlu birleşimin farklı d değerleri için monotonik itme ve monotonik çekme deneylerine ait kuvvet-yerdeğiştirme eğrileri.	68
Şekil 3.13 : 2Ø25 rodlu ve $d=0.10$ m olan birleşimin monotonik ve çevrimsel davranışlarının karşılaştırılması.	68
Şekil 3.14 : Farklı harç dayanımlarının birleşimin monotonik ve çevrimsel davranışları üzerindeki etkisi.	70
Şekil 3.15 : (a) Tek açıklıklı ilk örnek çerçeve ve dikkate alınan yarım çerçeve, (b) Deney düzeneği ve ilave kütleler, (c) Kirişin serbest ucunda oluşturulan kayıcı mesnet.	71
Şekil 3.16 : (a) Yalın birleşim, (b) Yalın birleşim analitik modeli, (c) Sönümleyicili birleşim, (d) Sönümleyicili birleşim analitik modeli.	72
Şekil 3.17 : 1. derece deprem bölgesi ve Z2 zemin sınıfı için elastik tasarım ivme spektrumu.	74
Şekil 3.18 : Erzincan depremi (1992) doğu-batı bileşeni ivme (g)-zaman (sn) ilişkisi.	74
Şekil 3.19 : Erzincan depremi (1992) doğu-batı bileşeni; a) Hız (cm/sn)-zaman (sn) ilişkisi; b) Yerdeğiştirme (cm)-zaman (sn) ilişkisi.	75
Şekil 3.20 : ARI-1 Sarsma masası.	75

Şekil 3.21 : Beton basınç deneyi; (a) Deney öncesi, (b) Deney sonrası, (c) Yalın numuneye ait beton gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri, (d) Sönümleyicili numune ait beton gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri.	77
Şekil 3.22 : Donatı çeliği çekme deneyi; (a) Numune üzerinde 1 cm aralık ile işaretleme yapılması, (b) Deney düzeneği, (c) Donatı çeliğinin kopması.	78
Şekil 3.23 : Gerilme-birim şekildeğiştirme ilişkileri; (a) Ø8 mm, (b) Ø10 mm, (c) Ø12 mm, (d) Ø14 mm.	78
Şekil 3.24 : Harç numunelerinin alınması ve basınç deneyinin yapılması.	79
Şekil 3.25 : Deney sisteminin üç boyutlu olarak canlandırılması.	80
Şekil 3.26 : Deney sisteminde kayıcı mesnet olarak kullanılan çelik kolon.	80
Şekil 3.27 : Kiriş ve kolon kesitlerine ait boyutlar.	81
Şekil 3.28 : Kiriş-kolon birleşim bölgesine ait boyutlar.	81
Şekil 3.29 : Kiriş donatı detayları; (a) Tabla; (b) Gövde; (c) Gövde uç bölgesi.	82
Şekil 3.30 : Kolon donatı detayı.	83
Şekil 3.31 : Betonarme prefabrike numuneler; (a) Yalın durum (b) Sönümleyicili durum.	84
Şekil 3.32 : Soket temel boyutları.	85
Şekil 3.33 : Yapı elemanlarının donatıları.	86
Şekil 3.34 : Boyuna donatılara ve rodla şekildeğiştirme ölçerlerin yerleştirilmesi.	86
Şekil 3.35 : Kolon üretimi.	87
Şekil 3.36 : Kiriş üretimi.	87
Şekil 3.37 : Temel üretimi.	88
Şekil 3.38 : Yapı elemanlarının depolanması.	88
Şekil 3.39 : Soket temel-kolon montajı (Kolonların düşeyliğinin sağlanması).	88
Şekil 3.40 : Soket temel-kolon montajı (Harcın hazırlanması ve yerleştirilmesi).	89
Şekil 3.41 : İlave kütlelerin kiriş tabliyesine bağlantısı.	89
Şekil 3.42 : Soket temel ile sarsma masasının bağlantısı.	89
Şekil 3.43 : Kirişin kayıcı mesnete 36 mm çapında mil ile bağlantısı.	90
Şekil 3.44 : Birleşim numunesi.	91
Şekil 3.45 : Rodların sıkılanması.	91
Şekil 3.46 : Ankraj civataları için delik açılması ve civataların yerleştirilmesi.	91
Şekil 3.47 : Bağlantı levhalarının ve KES'in montajı.	92
Şekil 3.48 : Deney numunesine ölçüm cihazlarının yerleştirilmesi.	93
Şekil 3.49 : Birleşim bölgesinde meydana gelen dönme miktarının belirlenmesi.	94
Şekil 3.50 : Yapı elemanı kesitleri; (a) Kolon, (b) Kiriş.	95
Şekil 3.51 : Malzeme davranış modelleri; (a) Beton, (b) Donatı çeliği.	97
Şekil 3.52 : Moment aktarmayan kiriş-kolon birleşimi analitik modeli; (a) Yalın, (b) Sönümleyicili.	98
Şekil 3.53 : Kinematik pekleşmeli iki doğrulu simetrik eğri.	98
Şekil 3.54 : Yalın birleşimin üç boyutlu olarak canlandırılması.	99
Şekil 3.55 : Sönümleyicili birleşimin üç boyutlu olarak canlandırılması.	99
Şekil 3.56 : Analitik modelde kullanılan ivme-zaman fonksiyonu.	100
Şekil 3.57 : WN4 testi sonrasında kolonda bulunan eğilme çatlağı.	103
Şekil 3.58 : ERZ0.50 testi sonrasında kolonda bulunan eğilme çatlakları.	104
Şekil 3.59 : ERZ0.75 testi sonrasında kolonda bulunan eğilme çatlakları.	105
Şekil 3.60 : ERZ1.00 testi sonrasında kolonda bulunan eğilme çatlakları.	106
Şekil 3.61 : ERZ1.25 testi sonrasında kolonda bulunan eğilme çatlakları.	106
Şekil 3.62 : ERZ1.40 testi sonrasında kolonda bulunan eğilme çatlakları.	107

Şekil 3.63 : ERZ1.40 testi sonrasında kolon ile temel arasına yerleştirilen harçta meydana gelen çatlaklar.	109
Şekil 3.64 : Yalın birleşim numunesi (dinamik deney sonrası); (a) Guse ön bölgesi, (b) Kolon üstü oluk girişi mesneti-kiriş ara bölgesi, (c) Rodların somunlu bağlantısı.	109
Şekil 3.65 : Yalın birleşim numunesi (Dinamik deney sonrası).	109
Şekil 3.66 : Deneysel çalışmada sarsma masasına uygulanan ve sarsma masasında gerçekleşen yerdeğiştirme-zaman ilişkileri (Yalın birleşim).	110
Şekil 3.67 : Deneysel çalışmada sarsma masasına uygulanan ve sarsma masasında oluşan ivme-zaman ilişkileri (Yalın birleşim).	111
Şekil 3.68 : Deneysel çalışma sürecinde temel üst kotunda ve sarsma masasında oluşan yerdeğiştirme-zaman ilişkileri (Yalın birleşim).	112
Şekil 3.69 : Deneysel çalışma sürecinde temel üst kotunda ve sarsma masasında oluşan ivme-zaman ilişkileri (Yalın birleşim).	113
Şekil 3.70 : Deneysel çalışma sürecinde temel üst kotunda oluşan düzlemiçi (Dİ) ve düzlem dışı (DD) ivme-zaman ilişkileri (Yalın birleşim).	115
Şekil 3.71 : Deneysel çalışma sürecinde numunenin tepe ve temel üst kotunda oluşan yerdeğiştirme-zaman ilişkileri (Yalın birleşim).	116
Şekil 3.72 : Deneysel çalışma sürecinde numunenin tepe ve temel üst kotlarında oluşan ivme-zaman ilişkileri (Yalın birleşim).	117
Şekil 3.73 : Deneysel çalışma sürecinde numune tepe kotunda oluşan düzlem içi (Dİ) ve düzlem dışı (DD) ivme-zaman ilişkileri (Yalın birleşim).	118
Şekil 3.74 : Kolon alt ucuna yerleştirilen yerdeğiştirme ölçerler (Yalın birleşim).	119
Şekil 3.75 : Deneysel çalışma sürecinde kolon alt ucunda oluşan dönme-zaman ilişkileri (Yalın birleşim).	119
Şekil 3.76 : Deneysel çalışma sürecinde kolon alt ucu alt kesitte oluşan şekildeğiştirme-zaman ilişkileri (Yalın birleşim).	121
Şekil 3.77 : Deneysel çalışma sürecinde kolon alt ucu orta kesitte oluşan şekildeğiştirme-zaman ilişkileri (Yalın birleşim).	122
Şekil 3.78 : Deneysel çalışma sürecinde kolon alt ucu üst kesitte oluşan şekildeğiştirme-zaman ilişkileri (Yalın birleşim).	123
Şekil 3.79 : Kiriş-kolon birleşim bölgesine yerleştirilen yerdeğiştirme ölçerler (Yalın birleşim).	124
Şekil 3.80 : Deneysel çalışma sürecinde kiriş-kolon birleşim bölgesine ait görelî yerdeğiştirme-zaman ilişkileri (Yalın birleşim).	125
Şekil 3.81 : Deneysel çalışma sürecinde elde edilen kiriş-kolon birleşim bölgesine ait dönme-zaman ilişkileri (Yalın birleşim).	126
Şekil 3.82 : Kiriş-kolon birleşim bölgesinde rodların üzerine yerleştirilen şekildeğiştirme ölçerlerin yerleri ve etiketleri.	126
Şekil 3.83 : Kiriş-kolon birleşiminde kullanılan rodlar üzerine kiriş üst kısmına yakın yerleştirilen şekildeğiştirme ölçerlerden (DBT-1 ve DBT-2) alınan birim şekildeğiştirme-zaman ilişkileri (Yalın birleşim).	127
Şekil 3.84 : Kiriş-kolon birleşiminde kullanılan rodlar üzerine kiriş alt kısmına yakın yerleştirilen şekildeğiştirme ölçerlerden (DBB-1 ve DBB-2) alınan birim şekildeğiştirme-zaman ilişkileri (Yalın birleşim).	128
Şekil 3.85 : Kiriş-kolon birleşiminde kullanılan rodlar üzerine kolon guse kısmına yerleştirilen şekildeğiştirme ölçerlerden (DC-1 ve DC-2) alınan birim şekildeğiştirme-zaman ilişkileri (Yalın birleşim).	129
Şekil 3.86 : SF1 testi sonrasında kolonda bulunan eğilme çatlağı.	130
Şekil 3.87 : ERZ0.50 testi sonrasında kolonda bulunan eğilme çatlakları.	131

Şekil 3.88 : ERZ0.75 testi sonrasında kolonda bulunan eğilme çatlakları.	132
Şekil 3.89 : ERZ1.00 testi sonrasında kolonda bulunan eğilme çatlakları.	133
Şekil 3.90 : ERZ1.25 testi sonrasında kolonda bulunan eğilme çatlakları.	133
Şekil 3.91 : ERZ1.40 testi sonrasında kolonda bulunan eğilme çatlakları.	134
Şekil 3.92 : ERZ1.40 testi sonrasında kolon-temel birleşimi.	135
Şekil 3.93 : ERZ1.40 testi sonrasında kiriş-kolon birleşimi.	135
Şekil 3.94 : Deneyssel çalışmada sarsma masasına uygulanan ve sarsma masasında gerçekleşen yerdeğiştirme-zaman ilişkileri (Sönümleyicili birleşim)... 137	
Şekil 3.95 : Deneyssel çalışmada sarsma masasına uygulanan ve sarsma masasında gerçekleşen ivme-zaman ilişkileri (Sönümleyicili birleşim).	138
Şekil 3.96 : Deneyssel çalışma sürecinde temel üst kotunda ve sarsma masasında oluşan yerdeğiştirme-zaman ilişkileri (Sönümleyicili birleşim).	139
Şekil 3.97 : Deneyssel çalışma sürecinde temel üst kotunda ve sarsma masasında oluşan ivme-zaman ilişkileri (Sönümleyicili birleşim).	140
Şekil 3.98 : Deneyssel çalışma sürecinde temel üst kotunda oluşan düzlemiçi (Dİ) ve düzlem dışı (DD) ivme-zaman ilişkileri (Sönümleyicili birleşim).	141
Şekil 3.99 : Deneyssel çalışma sürecinde numunenin tepe ve temel üst kotlarında oluşan yerdeğiştirme-zaman ilişkileri (Sönümleyicili birleşim).	142
Şekil 3.100 : Deneyssel çalışma sürecinde numunenin tepe ve temel üst kotlarında oluşan ivme-zaman ilişkileri (Sönümleyicili birleşim).	143
Şekil 3.101 : Deneyssel çalışma sürecinde numune tepe kotunda oluşan düzlem içi (Dİ) ve düzlem dışı (Dİ) ivme-zaman ilişkileri (Sönümleyicili birleşim).	144
Şekil 3.102 : Kolon alt ucuna yerleştirilen yerdeğiştirme ölçerler (Sönümleyicili birleşim).	145
Şekil 3.103 : Deneyssel çalışma sürecinde kolon alt ucunda oluşan dönme-zaman ilişkileri (Sönümleyicili birleşim).	146
Şekil 3.104 : Deneyssel çalışma sürecinde kolon alt ucu alt kesitte oluşan şekildeğiştirme-zaman ilişkileri (Sönümleyicili birleşim).	148
Şekil 3.105 : Deneyssel çalışma sürecinde kolon alt ucu orta kesitte oluşan şekildeğiştirme-zaman ilişkileri (Sönümleyicili birleşim).	149
Şekil 3.106 : Deneyssel çalışma sürecinde kolon alt ucu üst kesitte oluşan şekildeğiştirme-zaman ilişkileri (Sönümleyicili birleşim).	150
Şekil 3.107 : Kiriş-kolon birleşim bölgesine yerleştirilen yerdeğiştirme ölçerler (Sönümleyicili birleşim).	151
Şekil 3.108 : Deneyssel çalışma sürecinde kiriş-kolon birleşim bölgesine ait görelî yerdeğiştirme-zaman ilişkileri (Sönümleyicili birleşim).	151
Şekil 3.109 : Deneyssel çalışma sürecinde elde edilen kiriş-kolon birleşim bölgesine ait dönme-zaman ilişkileri (Sönümleyicili birleşim).	152
Şekil 3.110 : Kiriş-kolon birleşim bölgesinde rodların üzerine yerleştirilen şekildeğiştirme ölçerlerin yerleri ve etiketleri (Sönümleyicili birleşim).	153
Şekil 3.111 : Kiriş-kolon birleşiminde DBT-1 ve DBT-2 etiketli şekildeğiştirme ölçerlerden alınan birim şekildeğiştirme-zaman ilişkileri (Sönümleyicili birleşim).	154
Şekil 3.112 : Kiriş-kolon birleşiminde DBB-1 ve DBB-2 etiketli şekildeğiştirme ölçerlerden alınan birim şekildeğiştirme-zaman ilişkileri (Sönümleyicili birleşim).	155

Şekil 3.113 : Kiriş-kolon birleşiminde DC-1 ve DC-2 etiketli şekildeğiştirme ölçerlerden alınan birim şekildeğiştirme-zaman ilişkileri (Sönümleyicili birleşim).	156
Şekil 3.114 : KES eksenel yerdeğiştirme-zaman ilişkileri (Sönümleyicili birleşim).	157
Şekil 3.115 : KES eksenel kuvvet- eksenel yerdeğiştirme ilişkileri (Sönümleyicili birleşim); (a) Kolon bağlantı elemanı, (b) Kiriş bağlantı elemanı.	159
Şekil 3.116 : Eleman deneyi ve ERZ1.40 testi ile belirlenen KES eksenel kuvvet-eksenel yerdeğiştirme ilişkileri (Sönümleyicili birleşim); (a) Kolon bağlantı elemanı, (b) Kiriş bağlantı elemanı.	160
Şekil 3.117 : Kiriş-kolon birleşimi görelî yerdeğiştirme-zaman ilişkileri (Deney); (a) Yalın numune, (b) Sönümleyicili numune.	168
Şekil 3.118 : Yalın ve sönümleyicili birleşim numuneleri tepe ivme-zaman ilişkileri (Deney).	170
Şekil 3.119 : Yalın ve sönümleyicili birleşim numuneleri kolon alt ucunda oluşan dönme-zaman ilişkileri (Deney).	171
Şekil 3.120 : Yalın ve sönümleyicili birleşim numuneleri kiriş-kolon birleşiminde oluşan dönme-zaman ilişkileri (Deney).	173
Şekil 3.121 : Yalın ve sönümleyicili birleşim numuneleri kiriş-kolon birleşiminde oluşan kayma-zaman ilişkileri (Deney).	174
Şekil 3.122 : Kiriş içerisinde kalan rod alt ucu birim şekildeğiştirme-zaman ilişkileri (Deney); (a) Yalın birleşim, (b) Sönümleyicili birleşim.	176
Şekil 3.123 : Yalın ve sönümleyicili birleşim numuneleri efektif kuvvet-görelî yerdeğiştirme ilişkileri (Deney).	177
Şekil 3.124 : Yalın birleşim tepe yerdeğiştirme-zaman ilişkisi (ERZ0.10).	179
Şekil 3.125 : Yalın birleşim tepe yerdeğiştirme-zaman ilişkisi (ERZ0.25).	180
Şekil 3.126 : Yalın birleşim tepe yerdeğiştirme-zaman ilişkisi (ERZ0.50).	180
Şekil 3.127 : Yalın birleşim tepe yerdeğiştirme-zaman ilişkisi (ERZ0.75).	181
Şekil 3.128 : Yalın birleşim tepe yerdeğiştirme-zaman ilişkisi (ERZ1.00).	181
Şekil 3.129 : Yalın birleşim tepe yerdeğiştirme-zaman ilişkisi (ERZ1.25).	181
Şekil 3.130 : Yalın birleşim tepe yerdeğiştirme-zaman ilişkisi (ERZ1.40).	182
Şekil 3.131 : Yalın birleşim tepe ivme-zaman ilişkisi (ERZ0.10).	182
Şekil 3.132 : Yalın birleşim tepe ivme-zaman ilişkisi (ERZ0.25).	183
Şekil 3.133 : Yalın birleşim tepe ivme-zaman ilişkisi (ERZ0.50).	183
Şekil 3.134 : Yalın birleşim tepe ivme-zaman ilişkisi (ERZ0.75).	184
Şekil 3.135 : Yalın birleşim tepe ivme-zaman ilişkisi (ERZ1.00).	184
Şekil 3.136 : Yalın birleşim tepe ivme-zaman ilişkisi (ERZ1.25).	184
Şekil 3.137 : Yalın birleşim tepe ivme-zaman ilişkisi (ERZ1.40).	185
Şekil 3.138 : Temel üst kotu ivme-zaman ilişkisi (ERZ0.10).	186
Şekil 3.139 : Temel üst kotu ivme-zaman ilişkisi (ERZ0.25).	186
Şekil 3.140 : Temel üst kotu ivme-zaman ilişkisi (ERZ0.50).	187
Şekil 3.141 : Temel üst kotu ivme-zaman ilişkisi (ERZ0.75).	187
Şekil 3.142 : Temel üst kotu ivme-zaman ilişkisi (ERZ1.00).	187
Şekil 3.143 : Temel üstü kotu ivme-zaman ilişkisi (ERZ1.25).	188
Şekil 3.144 : Temel üstü kotu ivme-zaman ilişkisi (ERZ1.40).	188
Şekil 3.145 : Kolon alt ucu dönme-zaman ilişkisi (ERZ0.10).	189
Şekil 3.146 : Kolon alt ucu dönme-zaman ilişkisi (ERZ0.25).	189
Şekil 3.147 : Kolon alt ucu dönme-zaman ilişkisi (ERZ0.50).	190
Şekil 3.148 : Kolon alt ucu dönme-zaman ilişkisi (ERZ0.75).	190
Şekil 3.149 : Kolon alt ucu dönme-zaman ilişkisi (ERZ1.00).	190

Şekil 3.150 : Kolon alt ucu dönme-zaman ilişkisi (ERZ1.25).....	191
Şekil 3.151 : Kolon alt ucu dönme-zaman ilişkisi (ERZ1.40).....	191
Şekil 3.152 : Sönümleyicili birleşim tepe yerdeğiştirme-zaman ilişkisi (ERZ0.10).	192
Şekil 3.153 : Sönümleyicili birleşim tepe yerdeğiştirme-zaman ilişkisi (ERZ0.25).	192
Şekil 3.154 : Sönümleyicili birleşim tepe yerdeğiştirme-zaman ilişkisi (ERZ0.50).	192
Şekil 3.155 : Sönümleyicili birleşim tepe yerdeğiştirme-zaman ilişkisi (ERZ0.75).	193
Şekil 3.156 : Sönümleyicili birleşim tepe yerdeğiştirme-zaman ilişkisi (ERZ1.00).	193
Şekil 3.157 : Sönümleyicili birleşim tepe yerdeğiştirme-zaman ilişkisi (ERZ1.25).	193
Şekil 3.158 : Sönümleyicili birleşim tepe yerdeğiştirme-zaman ilişkisi (ERZ1.40).	194
Şekil 3.159 : Sönümleyicili birleşim tepe ivme-zaman ilişkisi (ERZ0.10).	194
Şekil 3.160 : Sönümleyicili birleşim tepe ivme-zaman ilişkisi (ERZ0.25).	195
Şekil 3.161 : Sönümleyicili birleşim tepe ivme-zaman ilişkisi (ERZ0.50).	195
Şekil 3.162 : Sönümleyicili birleşim tepe ivme-zaman ilişkisi (ERZ0.75).	195
Şekil 3.163 : Sönümleyicili birleşim tepe ivme-zaman ilişkisi (ERZ1.00).	196
Şekil 3.164 : Sönümleyicili birleşim tepe ivme-zaman ilişkisi (ERZ1.25).	196
Şekil 3.165 : Sönümleyicili birleşim tepe ivme-zaman ilişkisi (ERZ1.40).	196
Şekil 3.166 : Sönümleyicili birleşim temel üst kotu ivme-zaman ilişkisi (ERZ0.10).	198
Şekil 3.167 : Sönümleyicili birleşim temel üst kotu ivme-zaman ilişkisi (ERZ0.25).	198
Şekil 3.168 : Sönümleyicili birleşim temel üst kotu ivme-zaman ilişkisi (ERZ0.50).	198
Şekil 3.169 : Sönümleyicili birleşim temel üst kotu ivme-zaman ilişkisi (ERZ0.75).	199
Şekil 3.170 : Sönümleyicili birleşim temel üst kotu ivme-zaman ilişkisi (ERZ1.00).	199
Şekil 3.171 : Sönümleyicili birleşim temel üst kotu ivme-zaman ilişkisi (ERZ1.25).	199
Şekil 3.172 : Sönümleyicili birleşim temel üst kotu ivme-zaman ilişkisi (ERZ1.40).	200
Şekil 3.173 : Sönümleyicili birleşim kolon alt ucu dönme-zaman ilişkisi (ERZ0.10).	200
Şekil 3.174 : Sönümleyicili birleşim kolon alt ucu dönme-zaman ilişkisi (ERZ0.25).	201
Şekil 3.175 : Sönümleyicili birleşim kolon alt ucu dönme-zaman ilişkisi (ERZ0.50).	201
Şekil 3.176 : Sönümleyicili birleşim kolon alt ucu dönme-zaman ilişkisi (ERZ0.75).	201
Şekil 3.177 : Sönümleyicili birleşim kolon alt ucu dönme-zaman ilişkisi (ERZ1.00).	202
Şekil 3.178 : Sönümleyicili birleşim kolon alt ucu dönme-zaman ilişkisi (ERZ1.25).	202

Şekil 3.179 : Sönümleyicili birleşim kolon alt ucu dönme-zaman ilişkisi (ERZ1.40).	202
Şekil 3.180 : Sönümleyicili birleşimde kullanılan KES ve bağlantı elemanları.....	203
Şekil 3.181 : Sönümleyicili birleşim KES eksenel kuvvet-eksenel yerdeğiştirme ilişkileri; (a) Orijinal, (b) Ötelenmiş.	204
Şekil 4.1 : Prefabrike yapı planı; (a) Kolon yerleşim planı, (b) Çatı yerleşim planı (Bütün ölçüler cm cinsinden verilmiştir).	216
Şekil 4.2 : Kenar aks çerçeveleri.	217
Şekil 4.3 : Ara aks çerçeveleri.	217
Şekil 4.4 : Yapı elemanları; a) Çerçeve kirişleri, b) Çerçeve kolonları (Bütün ölçüler cm cinsinden verilmiştir).	218
Şekil 4.5 : Eleman kesitleri; (a) Kiriş açıklık ortası (A-A kesiti), (b) Kiriş mesnet (B-B görünüşü), (c) Kolon (A-A kesiti) (Bütün ölçüler cm cinsinden verilmiştir).	219
Şekil 4.6 : Eleman kesitleri; (a) Aşık kirişi, (b) Oluk kirişi (Bütün ölçüler cm cinsinden verilmiştir).	220
Şekil 4.7 : 1.derece deprem bölgesi ve Z2 zemin sınıfı için elastik tasarım ivme spektrumu.	220
Şekil 4.8 : 1.derece deprem bölgesi ve Z2 zemin sınıfı için tanımlanan elastik tasarım ivme spektrumu.	221
Şekil 4.9 : Hedef spektruma uygun olarak belirlenen kayıtlara ait ivme spektrumu eğrileri ve geometrik ortalamaları.	221
Şekil 4.10 : Seçilen yer hareketlerine ait elastik ivme spektrumları.	222
Şekil 4.11 : Seçilen yer hareketlerine ait spektral hız-periyot ilişkileri.	223
Şekil 4.12 : Seçilen yer hareketlerine ait spektral yerdeğiştirme-periyot ilişkileri..	223
Şekil 4.13 : Seçilen yer hareketlerine ait elastik ivme spektrumları geometrik ortalamasının hedef ivme spektrumuna oranı.	224
Şekil 4.14 : Seçilen yer hareketlerinin ivme-zaman ilişkileri.	225
Şekil 4.15 : Seçilen yer hareketlerinin diğer yatay bileşenlerine ait elastik ivme spektrumları.	227
Şekil 4.16 : Seçilen yer hareketlerinin diğer yatay bileşenlerine ait spektral hız-periyot ilişkileri.	228
Şekil 4.17 : Seçilen yer hareketlerinin diğer yatay bileşenlerine ait spektral yerdeğiştirme-periyot ilişkileri.	228
Şekil 4.18 : Seçilen yer hareketlerinin diğer yatay bileşenlerine ait elastik ivme spektrumları geometrik ortalamasının hedef ivme spektrumuna oranı.	229
Şekil 4.19 : Seçilen yer hareketlerinin diğer yatay bileşenlerine ait ivme-zaman ilişkileri.	229
Şekil 4.20 : İki farklı durum için hazırlanan matematik modeller; (a) Yalın sistem, (b) Sönümleyici yerleştirilmiş sistem.	231
Şekil 4.21 : Yapı modellerinde aşık kirişi ve oluk kirişi ile eğik çatı kirişi birleşim noktalarına atanan tekil yükler; (a) Yalın sistem, (b) Sönümleyici yerleştirilmiş sistem.	231
Şekil 4.22 : Kolonlarda kullanılan beton ve donatı davranış modelleri; (a) Kolon uç ve orta bölgesi kabuk betonu, (b) Kolon uç bölgesi çekirdek betonu, (c) Kolon orta bölgesi çekirdek betonu, (d) Donatı çeliği.	232
Şekil 4.23 : Kolon kesitinin 200 adet lif elemana bölünmesi ve liflerin yerleşimi.	233
Şekil 4.24 : Kesit hasar bölgeleri.	233
Şekil 4.25 : Yapı modelleri; (a) Mevcut, (b) Güçlendirilmiş.	235
Şekil 4.26 : Güçlendirilmiş yapı modelinin görünüşü.	235

Şekil 4.27 : Çerçeve düzlemine dik doğrultuda (YZ düzlemi) yerleştirilen çapraz elemanların bağlantı detayları.	236
Şekil 4.28 : Çerçeve düzlemine dik doğrultuda (YZ düzlemi) yerleştirilen KES'lerin kuşak ve çapraz elemanlar ile bağlantı detayları.	236
Şekil 4.29 : Yalın yapı modelinin üç boyutlu görünümü.	238
Şekil 4.30 : S11, S41 ve S61 kolonları tepe noktası yerdeğiştirme büyüklükleri....	239
Şekil 4.31 : S11, S41 ve S61 kolonları görelî kat ötelemesi büyüklükleri.	241
Şekil 4.32 : S11, S41 ve S61 kolonları alt uç kesiti eğilme momenti-eğrilik ilişkisi.	242
Şekil 4.33 : S11, S41 ve S61 kolonları alt uç kesiti eğilme momenti-normal kuvvet ilişkisi (Basınç eksenel kuvveti “-” işareti ile gösterilmiştir.).....	246
Şekil 4.34 : S11, S41 ve S61 kolonları alt uç kesiti normal kuvvet büyüklükleri. ..	247
Şekil 4.35 : Kolon alt uç kesitinde birim şekildeğiştirmenin takip edildiği lifler; (a) Kabuk beton, (b) Çekirdek beton, (c) Çelik donatı.....	248
Şekil 4.36 : S11 ve S61 kolonları alt uç kesiti birim şekildeğiştirme büyüklükleri.	249
Şekil 4.37 : S11, S41 ve S61 kolonları üst uç kesiti kesme kuvveti büyüklükleri. .	252
Şekil 4.38 : KES yerleştirilmiş birleşimin kesme dayanımının artırılması için önerilen detaylar.	254
Şekil 4.39 : S11, S41 ve S61 kolonları üst uç ivme büyüklükleri.	258
Şekil 4.40 : S11, S41 ve S61 kolonları KES bağlantı noktası alt kesiti kesme kuvveti büyüklükleri.....	259
Şekil 4.41 : Sönümleyici yerleştirilmiş yapı modeli ve takip edilen KES'ler.	261
Şekil 4.42 : KES1 eksenel kuvvet-eksenel yerdeğiştirme ilişkileri (YD1).....	262
Şekil 4.43 : KES12 eksenel kuvvet-eksenel yerdeğiştirme ilişkileri (YD1).....	263
Şekil 4.44 : KES1 eksenel kuvvet-eksenel yerdeğiştirme ilişkileri (YD2).....	264
Şekil 4.45 : KES12 eksenel kuvvet-eksenel yerdeğiştirme ilişkileri (YD2).....	265
Şekil A.1 : Çatı makası (iç aks).	283
Şekil A.2 : Çatı makası (dış aks).....	284
Şekil A.3 : S11, S41 ve S61 kolonları üst uçlarında yapının x eksenî doğrultusunda oluşan yerdeğiştirme-zaman ilişkisi (Yalın-YD1).	285
Şekil A.4 : S11, S41 ve S61 kolonları üst uçlarında yapının y eksenî doğrultusunda oluşan yerdeğiştirme-zaman ilişkisi (Yalın-YD1).	286
Şekil A.5 : S11, S41 ve S61 kolonları üst uçlarında yapının x eksenî doğrultusunda oluşan yerdeğiştirme-zaman ilişkisi (Yalın-YD2).	287
Şekil A.6 : S11, S41 ve S61 kolonları üst uçlarında yapının y eksenî doğrultusunda oluşan yerdeğiştirme-zaman ilişkisi (Yalın-YD2).	288
Şekil A.7 : S11, S41 ve S61 kolonları alt uçlarında yapının y eksenî etrafında oluşan eğilme momenti-zaman ilişkisi (Yalın-YD1).....	289
Şekil A.8 : S11, S41 ve S61 kolonları alt uçlarında yapının x eksenî etrafında oluşan eğilme momenti-zaman ilişkisi (Yalın-YD1).....	290
Şekil A.9 : S11, S41 ve S61 kolonları alt uçlarında yapının y eksenî etrafında oluşan eğilme momenti-zaman ilişkisi (Yalın-YD2).....	291
Şekil A.10 : S11, S41 ve S61 kolonları alt uçlarında yapının x eksenî etrafında oluşan eğilme momenti-zaman ilişkisi (Yalın-YD2).	292
Şekil A.11 : S11, S41 ve S61 kolonları alt uçlarında, yapının y eksenî etrafında oluşan eğrilik-zaman ilişkisi (Yalın-YD1).....	293
Şekil A.12 : S11, S41 ve S61 kolonları alt uçlarında, yapının x eksenî etrafında oluşan eğrilik-zaman ilişkisi (Yalın-YD1).....	294
Şekil A.13 : S11, S41 ve S61 kolonları alt uçlarında, yapının y eksenî etrafında oluşan eğrilik-zaman ilişkisi (Yalın-YD2).....	295

Şekil A.14 : S11, S41 ve S61 kolonları alt uçlarında, yapının x eksenı etrafında oluşan eğrilik-zaman ilişkisi (Yalın-YD2).....	296
Şekil A.15 : S11 ve S61 kolonları alt uç kesitinde boyuna donatıda oluşan birim şekildeğiştirme-zaman ilişkisi (Yalın-YD1).	297
Şekil A.16 : S11 ve S61 kolonları alt uç kesitinde kabuk betonda oluşan birim şekildeğiştirme-zaman ilişkisi (Yalın-YD1).	298
Şekil A.17 : S11 ve S61 kolonları alt uç kesitinde çekirdek betonda oluşan birim şekildeğiştirme-zaman ilişkisi (Yalın-YD1).	299
Şekil A.18 : S11 ve S61 kolonları alt uç kesitinde boyuna donatıda oluşan birim şekildeğiştirme-zaman ilişkisi (Yalın-YD2).	300
Şekil A.19 : S11 ve S61 kolonları alt uç kesitinde kabuk betonda oluşan birim şekildeğiştirme-zaman ilişkisi (Yalın-YD2).	301
Şekil A.20 : S11 ve S61 kolonları alt uç kesitinde çekirdek betonda oluşan birim şekildeğiştirme-zaman ilişkisi (Yalın-YD2).	302
Şekil A.21 : Kolon alt uç kesitinde meydana gelen normal kuvvet-zaman ilişkisi (Yalın-YD1).	303
Şekil A.22 : Kolon alt uç kesitinde meydana gelen normal kuvvet-zaman ilişkisi (Yalın-YD2).	304
Şekil A.23 : Kolon üst uç kesitinde, yapının x eksenı doğrultusunda, meydana gelen kesme kuvveti-zaman ilişkisi (Yalın-YD1).....	305
Şekil A.24 : Kolon üst uç kesitinde, yapının y eksenı doğrultusunda, meydana gelen kesme kuvveti-zaman ilişkisi (Yalın-YD1).....	306
Şekil A.25 : Kolon üst uç kesitinde, yapının x eksenı doğrultusunda, meydana gelen kesme kuvveti-zaman ilişkisi (Yalın-YD2).....	307
Şekil A.26 : Kolon üst uç kesitinde, yapının y eksenı doğrultusunda, meydana gelen kesme kuvveti-zaman ilişkisi (Yalın-YD2).....	308
Şekil A.27 : Kolon üst ucunda, yapının x eksenı doğrultusunda, meydana gelen ivme-zaman ilişkisi (Yalın-YD1).....	309
Şekil A.28 : Kolon üst ucunda, yapının y eksenı doğrultusunda, meydana gelen ivme-zaman ilişkisi (Yalın-YD1).....	310
Şekil A.29 : Kolon üst ucunda, yapının x eksenı doğrultusunda, meydana gelen ivme-zaman ilişkisi (Yalın-YD2).....	311
Şekil A.30 : Kolon üst ucunda, yapının y eksenı doğrultusunda, meydana gelen ivme-zaman ilişkisi (Yalın-YD2).....	312
Şekil A.31 : S11, S41 ve S61 kolonları üst uçlarında yapının x eksenı doğrultusunda oluşan yerdeğiştirme-zaman ilişkisi (Sönümleyicili-YD1).....	313
Şekil A.32 : S11, S41 ve S61 kolonları üst uçlarında yapının y eksenı doğrultusunda oluşan yerdeğiştirme-zaman ilişkisi (Sönümleyicili-YD1).....	314
Şekil A.33 : S11, S41 ve S61 kolonları üst uçlarında yapının x eksenı doğrultusunda oluşan yerdeğiştirme-zaman ilişkisi (Sönümleyicili-YD2).....	315
Şekil A.34 : S11, S41 ve S61 kolonları üst uçlarında yapının y eksenı doğrultusunda oluşan yerdeğiştirme-zaman ilişkisi (Sönümleyicili-YD2).....	316
Şekil A.35 : S11, S41 ve S61 kolonları alt uçlarında yapının y eksenı etrafında oluşan eğilme momenti-zaman ilişkisi (Sönümleyicili-YD1).....	317
Şekil A.36 : S11, S41 ve S61 kolonları alt uçlarında yapının x eksenı etrafında oluşan eğilme momenti-zaman ilişkisi (Sönümleyicili-YD1).....	318
Şekil A.37 : S11, S41 ve S61 kolonları alt uçlarında yapının y eksenı etrafında oluşan eğilme momenti-zaman ilişkisi (Sönümleyicili-YD2).....	319
Şekil A.38 : S11, S41 ve S61 kolonları alt uçlarında yapının x eksenı etrafında oluşan eğilme momenti-zaman ilişkisi (Sönümleyicili-YD2).....	320

Şekil A.39 : S11, S41 ve S61 kolonları alt uçlarında, yapının y eksenine etrafında oluşan eğrilik-zaman ilişkisi (Sönümleyicili-YD1).	321
Şekil A.40 : S11, S41 ve S61 kolonları alt uçlarında, yapının x eksenine etrafında oluşan eğrilik-zaman ilişkisi (Sönümleyicili-YD1).	322
Şekil A.41 : S11, S41 ve S61 kolonları alt uçlarında, yapının y eksenine etrafında oluşan eğrilik-zaman ilişkisi (Sönümleyicili-YD2).	323
Şekil A.42 : S11, S41 ve S61 kolonları alt uçlarında, yapının x eksenine etrafında oluşan eğrilik-zaman ilişkisi (Sönümleyicili-YD2).	324
Şekil A.43 : S11 ve S61 kolonları alt uç kesitinde boyuna donatıda oluşan birim şekil değiştirme-zaman ilişkisi (Sönümleyicili-YD1).	325
Şekil A.44 : S11 ve S61 kolonları alt uç kesitinde kabuk betonda oluşan birim şekil değiştirme-zaman ilişkisi (Sönümleyicili-YD1).	326
Şekil A.45 : S11 ve S61 kolonları alt uç kesitinde çekirdek betonda oluşan birim şekil değiştirme-zaman ilişkisi (Sönümleyicili-YD1).	327
Şekil A.46 : S11 ve S61 kolonları alt uç kesitinde boyuna donatıda oluşan birim şekil değiştirme-zaman ilişkisi (Sönümleyicili-YD2).	328
Şekil A.47 : S11 ve S61 kolonları alt uç kesitinde kabuk betonda oluşan birim şekil değiştirme-zaman ilişkisi (Sönümleyicili-YD2).	329
Şekil A.48 : S11 ve S61 kolonları alt uç kesitinde çekirdek betonda oluşan birim şekil değiştirme-zaman ilişkisi (Sönümleyicili-YD2).	330
Şekil A.49 : Kolon alt uç kesitinde meydana gelen normal kuvvet-zaman ilişkisi (Sönümleyicili-YD1).	331
Şekil A.50 : Kolon alt uç kesitinde meydana gelen normal kuvvet-zaman ilişkisi (Sönümleyicili-YD2).	332
Şekil A.51 : Kolon üst uç kesitinde, yapının x eksenine doğrultusunda, meydana gelen kesme kuvveti-zaman ilişkisi (Sönümleyicili-YD1).	333
Şekil A.52 : Kolon üst uç kesitinde, yapının y eksenine doğrultusunda, meydana gelen kesme kuvveti-zaman ilişkisi (Sönümleyicili-YD1).	334
Şekil A.53 : Kolon üst uç kesitinde, yapının x eksenine doğrultusunda, meydana gelen kesme kuvveti-zaman ilişkisi (Sönümleyicili-YD2).	335
Şekil A.54 : Kolon üst uç kesitinde, yapının y eksenine doğrultusunda, meydana gelen kesme kuvveti-zaman ilişkisi (Sönümleyicili-YD2).	336
Şekil A.55 : Kolon üst ucunda, yapının x eksenine doğrultusunda, meydana gelen ivme-zaman ilişkisi (Sönümleyicili-YD1).	337
Şekil A.56 : Kolon üst ucunda, yapının y eksenine doğrultusunda, meydana gelen ivme-zaman ilişkisi (Sönümleyicili-YD1).	338
Şekil A.57 : Kolon üst ucunda, yapının x eksenine doğrultusunda, meydana gelen ivme-zaman ilişkisi (Sönümleyicili-YD2).	339
Şekil A.58 : Kolon üst ucunda, yapının y eksenine doğrultusunda, meydana gelen ivme-zaman ilişkisi (Sönümleyicili-YD2).	340
Şekil A.59 : KES4 eksenel kuvvet-eksenel yer değiştirme ilişkileri (YD1).	341
Şekil A.60 : KES4 eksenel kuvvet-eksenel yer değiştirme ilişkileri (YD2).	342
Şekil A.61 : KES6 eksenel kuvvet-eksenel yer değiştirme ilişkileri (YD1).	343
Şekil A.62 : KES6 eksenel kuvvet-eksenel yer değiştirme ilişkileri (YD2).	344
Şekil A.63 : KES45 eksenel kuvvet-eksenel yer değiştirme ilişkileri (YD1).	345
Şekil A.64 : KES45 eksenel kuvvet-eksenel yer değiştirme ilişkileri (YD2).	346

YENİ BİR ENERJİ SÖNÜMLEYİCİ ELEMAN VE PREFABRİKE YAPI SİSTEMLERİNDEKİ MOMENT AKTARMAYAN BİRLEŞİMLERE UYGULANMASI

ÖZET

Bu tez çalışmasında gerçekleştirilen çalışmalar iki ana grupta toplanabilir. İlk aşamada özel bir kurşun ekstrüzyon sönmleyici (KES) geliştirilmiştir. Bu eleman, üretim aşamasını önemli ölçüde basitleştiren bazı özellikleri ile literatürdeki benzerlerinden farklılık göstermektedir. İkinci aşamada ise prefabrike inşaatta yaygın olarak kullanılan moment aktarmayan kiriş-kolon birleşimlerinin tersinir tekrarlı yükler etkisindeki davranışını iyileştirmek üzere KES'in bu tür birleşimlerde kullanılmasına yönelik deneysel ve sayısal çalışmalar yapılmıştır.

Geliştirilen özel bir deney çerçevesi kullanılarak KES'in değişen frekans ve yerdeğiştirme genliği değerleri için, dinamik deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucu KES'e ait kuvvet-yerdeğiştirme ilişkileri, enerji depolama özellikleri ve eşdeğer sönm özellikleri belirlenmiştir.

Gerçekleştirilecek deneysel ve sayısal çalışmalarda kullanılmak üzere, *Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007 (TDY 2007)*'de tanımlanan tasarım ivme spektrumu hedef alınarak *PEER Yer Hareketi Veri Tabanı*'ndan indirilen gerçek deprem ivme kayıtları kullanılarak bir ivme kaydı havuzu oluşturulmuştur. Sarsma masası deneylerinde bu havuzda yer alan Erzincan depremi doğu-batı ivme kaydı farklı genlik çarpanları ile kullanılırken, sayısal çalışmalarda on adet deprem ivme kaydı kullanılmıştır.

Gerçek betonarme prefabrike yapı sisteminden çıkarılan tipik bir moment aktarmayan kiriş-kolon birleşimi laboratuvar ortamında yaklaşık 1/2 ölçeklendirildikten sonra sarsma masası üzerinde deneysel olarak incelenmiştir. İncelenen birleşimde kiriş, kolon üzerinde bırakılan kısa konsola oturmakta, 2 adet 14 mm çaplı ucuna dış açılmış donatı, kiriş içinde bırakılan 60×40 mm boyutlarındaki boşluktan geçirilmektedir. Boşluk büzülme yapmayan harç ile doldurulmakta ve harç pirizini yaptıktan sonra donatının kiriş üzerinde kalan ucuna pul ile somun takılarak sıkılmaktadır. Birinci grup sarsma masası deneylerinde yalın birleşim incelenmiştir. İkinci grupta ise özdeş birleşime KES çapraz konumlu biçimde bağlanarak güçlendirilmiş birleşimin davranışı incelenmiştir. Oluşturulan ölçüm düzenekleri ile numune tepe yerdeğiştirmesi, kolon alt ucundaki dönme, kolon-kiriş birleşim bölgesi dönmesi, kolon alt ucunda oluşan donatı şekildeğiştirme durumu, temel ve numune tepe seviyesinde oluşan ivmeler, sönmleyiciye ait eksenel kuvvet ve yerdeğiştirme büyüklükleri kaydedilmiş ve numuneler arasındaki değişimler irdelenmiştir.

Deneysel çalışmada incelenen kiriş-kolon birleşiminin matematik modeli *Seismostruct* yazılımı kullanılarak oluşturulmuştur. Bu modelde kirişin düğüm noktasına birleşen ucu adi mafsallı olarak idealleştirilmiştir. Kolon ve kiriş elemanlar ağırlık merkezlerinden geçen çubuk elemanlar ile idealleştirilmiş, numune geometrisi

ve kütle konumlarının doğru olarak modellenenebilmesi için sonsuz rijit uzunluklu çubuk elemanlar kullanılmıştır. Kütleler kiriş üzerinde tanımlanmış olan noktalarda yoğunlaştırılmıştır. KES davranışı *Seismostruct* yazılımında yer alan iki doğrulu kinematik eğri tanımı kullanılarak tanımlanmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan farklı genlik çarpanlı Erzincan doğu-batı ivme kaydı seri olarak arka arkaya bağlanarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan çözümleme yapılmıştır. Böylece numunede oluşan hasar biçimi temsil edilebilmiştir. Sayısal model ile elde edilen farklı büyüklükler deneysel çalışma sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Yapılan karşılaştırmalar sonucunda; i) sönümleyici eleman ilave edilen birleşime ait davranışın farklı inelastik davranış düzeylerinde yeter yaklaşımla temsil edilebildiği, ii) KES ilave edilmiş birleşimin genel davranış özelliklerinin yalın duruma göre önemli ölçüde iyileştiği görülmüştür. Bunların başında kiriş-kolon birleşim bölgesi şekildeğiştirmeleri, kolon taban kesitinde oluşan şekildeğiştirmeler ve kolondaki hasar dağılımı gelmektedir.

Çalışmanın son bölümünde KES'ler kullanılarak gerçek bir prefabrike sanayi yapısının mevcut deprem performansının iyileştirilmesi örneklendirilmiştir. İncelenen yapı sisteminde, ana çerçeve doğrultusunda kiriş-kolon birleşim bölgelerinde çapraz olarak yerleştirilmiş sönümleyiciler kullanılırken, çerçeve düzlemine dik doğrultuda çelik kuşak-çapraz sistemi içerisine yerleştirilen yatay konumlu sönümleyiciler kullanılmıştır. Yapı sistemi için *Seismostruct* yazılımı kullanılarak üç boyutlu matematik model oluşturulmuştur. Deneysel çalışmada elde edilen KES davranış biçimi sayısal modelde tanımlanmıştır. Yalın ve sönümleyiciler ilave edilmiş durumlar için deprem ivme kaydı havuzundaki kayıtlar kullanılarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yapılmıştır. Analizler sonucu elde edilen farklı istemlere ait en büyük değerlerin ortalamaları hesaplanarak karşılaştırılmıştır.

KES'ler ilave edilen yapı sisteminde çerçeve doğrultusundaki tepe yerdeğiştirmesi istemi % 40 ve çerçeve düzlemine dik doğrultudaki tepe yerdeğiştirme istemi de % 90 oranında azalmıştır. Benzer şekilde, kolon taban kesitinde oluşan eğrilik sırasıyla % 54 ve % 93 oranında azalmıştır. Aynı kesitte kabuk beton, sargılı beton ve boyuna donatıda oluşan birim şekildeğiştirme ise % 60 mertebesinde azalmıştır.

Gerçekleştirilen sarsma masası deneyleri ile yapılan sayısal analizler neticesinde, geliştirilen KES'in betonarme prefabrike yapı sistemlerinde moment aktarmayan birleşimlerin tersinir tekrarlı yatay yükleme etkisindeki davranışını anlamlı ölçüde iyileştirdiği ve bu tür yapı sistemlerin deprem performansının iyileştirilmesi için kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

A NEW ENERGY DISSIPATING DEVICE AND ITS APPLICATION TO PINNED CONNECTIONS IN PRECAST STRUCTURAL SYSTEMS

SUMMARY

RC structures consisting of single story precast frames with pinned beam-to-column connections are widely used in Turkey and globally, mostly as industrial type of structures. The seismic design of these type of structures is performed as the plastic deformations concentrate on lower end of column where the horizontal rebars are intensified while the beam-to-column connections remain in the elastic range.

Some of these type of precast structures had suffered extensive damages during recent major earthquakes (Ceyhan (1998), Kocaeli (1999), Düzce (1999)) in Turkey. The damages had been generally concentrated on the pinned connections as failure of the dowels or at the column base as large plastic deformations.

The damages on the structural members are suffered because of plastic deformations occurred on mechanical properties of materials by cyclic plastic effects during earthquakes. Existing seismic codes aim to limit the plastic deformations and to concentrate them into special regions located in structural elements, thus a part of the energy that is released during earthquakes can be absorbed by plastic deformations. However, because of the need to large displacement for the formation of limited structural damage and the need to hysteresis in the regions where the energy is exhausted, the non-structural elements can be extremely damaged.

Even though the damage on the structural and non-structural elements can be repairable, repair technique will affect the usability and repairing time of structure. The form and amount of damage, especially in the industrial buildings, might cause by-damage on high cost investments that are located inside the structure. As well as economic losses might be larger if the manufacturing process in these structures cannot be activated for a long time.

In recent years, energy dissipating devices began to be installed into the structures to provide additional damping and/or stiffness, so that the behavior of the structures under seismic loads can be improved and the demand of the structures can be reduced. Energy dissipating devices can be installed into the structures which are going to be built as well as the existing ones. It is possible to concentrate the damage on the energy dissipating devices, which are easier to replace than the structural elements.

The studies in this Ph.D. thesis can be grouped in two main parts. In the first part a special lead extrusion damper (LED) is developed. The LED has some differences from its similars with some features that significantly simplifies the manufacturing process. In the second part of the study, experimental and numerical studies are conducted on the application of LED to the pinned beam-to-column connections used in precast construction to improve their seismic behavior.

Dynamic tests are performed with variable frequency and displacement thresholds to obtain some characteristics of LED through an experimental setup in Structural and Earthquake Engineering Labotatory (*STEEL*) of Istanbul Technical University. The force-displacement relationships, energy dissipating characteristics and equivalent damping properties of LED are amongst the obtained results.

Earthquake acceleration records, which are downloaded from *PEER Groundmotion Database* with a target design acceleration spectrum that is defined in *Turkish Earthquake Code 2007 (TDY 2007)*, are used in the experimental and numerical studies. The east-west component of Erzincan earthquake (1992) is adopted in shake table tests with different scales, while ten acceleration records are used in numerical studies.

The nearly 1/2 scaled specimens which are representing one half of the single story precast RC frames with pinned beam-to-column connections are tested on the shake table facility. Pinned beam-to-column connections of precast members are made of two dowels with a diameter of 14 mm that protrude from the top of the column end enter into waiting sleeves with a dimension of 60×40 mm inserted in the beams. The sleeves are filled with nonshrinking mortar and the dowels are bolted at their top. In the first stage the bare connection and in the second stage the connection equipped with the LED is examined through shake table tests. The LED is installed in the beam-to-column connection region diagonally with 45° from beam and column elements. Top displacement, column base rotation, beam-to-column connection rotation, rebar deformation at the base section of the column, the accelerations on the top of the foundation and beam of the specimen, the displacement and force of LED are recorded during the skake table tests and the differences between two specimens are examined.

The numerical models of the specimens are built with using *Seismostruct* software. The beam and column are idealised with frame elements while the connection of the beam to the column is idealised by a bending hinge. The infinitely rigid frame type elements are used for the accurate modeling of geometry and mass location of specimens. The additional masses are concentrated on the elements that are defined on the top of the beam. The LED is represented by a bilinear link element with its initial stiffness, yield force and post yield hardening ratio characteristics. The 0.10, 0.25, 0.50, 0.75, 1.00, 1.25 and 1.40 scales of the east-west component of Erzincan earthquake acceleration record are combined and an acceleration-time function is built for the nonlinear time history analysis. The results that are obtained from the numerical models are compared with the experimental results.

It is observed that *i)* the behavior of the connection equipped with LED at different inelastic behavior levels can be represented sufficiently, *ii)* the general behavior characteristics of the connection equipped with LED is improved in comparison with the bare connection. The deformations of beam-to-column connections, the deformations at the base section of the column and the damage propagation on the columns are diminished in the connection equipped with LED.

Finally, the improvement of seismic performance of an industrial type precast RC building with LEDs is exemplified. In the frame direction, the LEDs are installed into the beam-to-column connections diagonally. The LEDs are installed horizontally via chevron braces and girders in the orthogonal plane. A three dimensional analytical model of the industrial type building is generated by using *Seismostruct* software. The force-displacement relationship of LED, which is obtained from the

accomplished experimental works, is assigned to the numerical model. Nonlinear time history analysis are performed for the bare and the LED installed structure for ten distinct acceleration records. Seismic performance of the bare structure and the structure with LED are compared by means of average values of maximum structural demands.

The LEDs reduce the top displacement demand by % 40 in the frame plane and % 90 in the orthogonal plane. Similarly, the curvature at the base section of the column decreases % 54 and % 93 respectively. The deformations on unconfined (cover) concrete, confined (core) concrete and rebars at the same section lessen by % 60.

As a general conclusion, the behavior of the pinned beam-to-column connections used in precast RC structures under seismic loads can be improved with the installation of the developed LED. Hence, the LEDs can be used for seismic retrofitting of precast frame type structures with pinned beam-to-column connections.

1. GİRİŞ VE ÇALIŞMANIN AMACI

Moment aktarmayan kiriş-kolon birleşimlerine sahip tek katlı prefabrike betonarme çerçeveler ülkemizde sık olarak kullanılmaktadır. Bu türdeki prefabrike yapılar yakın zamanda yaşanan depremlerde (Ceyhan (1998), Kocaeli (1999), Düzce (1999)) önemli hasarlar görmüştür. Oluşan hasarlar, moment aktarmayan birleşimlerde kullanılan rodlarda taşıma kapasitesinin tükenmesi veya kolon alt uçlarında büyük miktarda plastik şekildeğiştirme oluşması şeklinde ortaya çıkmıştır.

Son yıllarda, yapıların ve içindekilerin güvenliğini daha üst seviyelerde sağlamak üzere, enerji sönümlenmesinin kullanımına dayanan yeni yapı tasarımı kavramları geliştirmiştir. Yapılara enerji sönümleme aygıtlarının yerleştirilmesi fikriyle oluşan yeni tekniklerin amacı, kiriş ve kolon gibi yapısal elemanlardaki süneklik talebini azaltmak ve yapıya etkiyecek ivme değerlerini düşürmektir. Enerji sönümleme aygıtları, yeni veya mevcut yapılara uygulanabilmekte, dolayısıyla yapıların deprem tasarımı veya yapı davranışının iyileştirilmesi amacı ile kullanılabilir.

Deneysel ve kuramsal bölümlerden oluşan bu tez çalışması kapsamında prefabrike yapı sistemlerinde moment aktarmayan kiriş-kolon türü eleman birleşimlerinin genel davranışını iyileştirmek üzere özel bir birleşim detayının geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda özel bir kurşun ekstrüzyon sönümleyici geliştirilmiştir. Geliştirilen sönümleyici tek katlı prefabrike betonarme bir çerçevenin moment aktarmayan birleşim bölgesine yerleştirilmiş ve oluşan birleşim biçiminin deprem performansı deneysel ve sayısal olarak irdelenmiştir.

1.1 Genel Tanımlar

Geleneksel deprem mühendisliğinde, tam elastik davranıştan beklenen kuvvetlere göre daha küçük olan kuvvetler ile yapı sistemlerinin tasarlanmasına izin verilmektedir (Hanson ve diğ., 1993). Deprem sırasında ortaya çıkan enerjinin sönümlenmesi, süneklik düzeyi yüksek olacak şekilde tasarlanan yapının kritik kesitlerinde meydana gelmektedir (Barbat ve Bozzo, 1997). Enerjinin sönümlendiği

bölgeler genellikle kiriş-kolon birleşim bölgelerinin yakın civarlarıdır oluşturulmaktadır. Deprem sırasında ortaya çıkan elastik olmayan çevrimsel etkilere bağlı olarak birçok yapı elemanı, malzemenin mekanik özelliklerinde meydana gelen plastik şekildeştirmeler (betonun çatlaması ve donatının akması gibi) nedeni ile büyük miktarda hasar görmektedir (Mata ve diğ., 2008a).

Yapısal hasarın belirli miktarlarda meydana gelmesi, deprem sırasında ortaya çıkan enerjinin bir bölümünün sönümlenmesini ve dinamik davranışın rezonans halinden ayrılmasını sağlasa da (Mata ve diğ., 2008b), enerjinin sönümleneceği bölgelerde çevrimsel davranışın oluşması için ihtiyaç duyulan büyük miktardaki yerdeştirmeler, yapısal olmayan elemanların da ağır hasar görmesine neden olmaktadır.

Enerji sönümleme aygıtları yapıya yerleştirildiğinde, yapı sisteminin elastik ötesi davranışı ile yutulan enerji miktarı ve enerji sönümleyici cihazlar tarafından yutulan enerji miktarı toplamı artmakta, buna karşın kinetik enerji ve elastik şekildeştirme enerjisi toplamı azalmaktadır. Diğer bir deyişle, enerji sönümleme aygıtlarının yapıya yerleştirilmesi durumunda, yapıdaki mutlak deprem enerjisi girdisine herhangi bir etki olmadığı kabul edilirse, yapıda sağlanacak ilave enerji sönümünün yapı içerisinde daha küçük yerdeştirme ve hız değerlerinin oluşmasını sağlayacağı bilinmektedir.

Pasif enerji sönümleme aygıtları yapıya ilave rijitlik ve sönüm özelliği sağlamakta, dolayısıyla yapıda meydana gelebilecek istemi azaltmaktadır. Yapıda oluşması beklenen enerji tüketiminin pasif sönümleme aygıtlarında toplanması sağlanabildiği gibi, meydana gelebilecek hasarın yapısal elemanlardan çok kolay değiştirilebilecek pasif enerji sönümleme aygıtlarında toplanması ve sınırlandırılması da mümkün olabilmektedir.

Akademik ve endüstriyel alanda yapılan araştırma ve geliştirme çalışmaları, pasif sönümleme aygıtlarının kavram ve donanım konularında farklı çevrimsel özelliklere sahip çok sayıda ve birbirinden farklı pasif enerji sönümleme çözümlerine ulaşmasını sağlamıştır.

1.2 Özgün Değer ve Motivasyon

İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı'nda bir tür pasif enerji sönümleme aygıtı olan kurşun ekstrüzyon sönümleyici geliştirilmiştir. Bu sönümleyici moment aktarmayan kiriş-kolon birleşimlerine sahip tek katlı prefabrike çerçevelerin birleşim bölgesine yakın kesitlere yerleştirilerek kullanılmıştır. Bu uygulamanın iki temel amacı; i) sönümleyici ve bağlantı biçimi ile ortaya çıkan ilave rijitliğin prefabrike çerçevelerde meydana gelen tepe yerdeğiştirme ve kolon temel kesitinde meydana gelen dönme miktarını azaltması, ii) sönümleyicinin yapıda sağlayacağı ilave sönüm özelliği ile yapıda oluşacak ivme miktarının azalması şeklinde özetlenebilir. Kurşun ekstrüzyon sönümleyici, moment aktarmayan kiriş-kolon birleşimlerine sahip tek katlı prefabrike çerçevelerin birleşim bölgesine yakın kesitlere yerleştirilerek yeni bir birleşim detayı geliştirilmiştir.

1.3 Kapsam

Kuramsal ve deneysel olarak gerçekleştirilen bu çalışmada moment aktarmayan kiriş-kolon birleşimlerine sahip tek katlı prefabrike çerçeveyi temsil eden numuneler tasarlanmıştır. Çerçeve sisteminin yarısını temsil etmek üzere, yaklaşık 1/2 ölçekli olarak tasarımı yapılan soket temel, kolon ve kiriş elemanlar üretilerek, laboratuvarında bir araya getirilmiştir. Sönümleyicinin mevcut bir yapının davranışına olan etkisini incelemek üzere, sönümleyicinin bağlantısı için numunelerde herhangi bir öndetay oluşturulmamıştır. Yalın ve sönümleyicili birleşimlerin deprem etkisi altındaki davranışları, günümüzde kullanılan deney sistemleri içerisinde yer hareketinin gerçeğe en yakın biçimde numuneye aktarılabilirdiği deney sistemi olan sarsma masası deney sistemi kullanılarak, belirlenmiştir.

Elde edilen deneysel ve kuramsal çalışma sonuçlarının, numunelere ait tepe yerdeğiştirmesi-zaman ilişkisi, tepe noktası ve temel üst noktasında hareket doğrultusunda oluşan ivme-zaman ilişkisi, kolon alt uç kesitinde dönme-zaman ilişkisi açısından değerlendirmesi yapılmıştır. İlave olarak, sönümleyicili birleşim numunesinde yer alan kurşun ekstrüzyon sönümleyiciye ait eksenel kuvvet-ksenel yerdeğiştirme ilişkisi açısından da değerlendirme yapılmıştır. Deneysel ve kuramsal çalışma sonuçları karşılaştırılarak, oluşturulan özel birleşim biçimi için bir davranış modeli önerilmiştir.

Önerilen davranış modeli kullanılarak, seçilen bir örnek yapının üç boyutlu modelleri oluşturulmuştur. Önerilen birleşimin kullanılması durumunda üç boyutlu yapı modeli davranışı üzerinde oluşacak etkiler, zaman tanım alanında doğrusal olmayan çözümlemeler yapılarak, belirlenmiştir.

1.4 Tezin Genel Yapısı

Bu tez çalışmasının kapsamı her bölüm için ayrı ayrı aşağıda verilmiştir.

Bölüm 1, araştırma konusu ile ilgili genel kavramları, araştırma gereksinimini, ana amacı ve özgün değeri ifade etmektedir.

Bölüm 2, kurşun ekstrüzyon sönümleyici ile ilgili yapılan çalışmalar hakkında kaynak taraması ile tasarımı ve üretimi yapılan sönümleyici ile ilgili deneysel çalışma sonuçlarını içermektedir. Deneysel çalışma sonucu elde edilmiş olan veriler işlenerek sönümleyiciye ait tüketilen enerji miktarı ve eşdeğer sönüm oranı büyüklüklerinin belirlenmesi bu bölüm içerisinde yer almaktadır.

Bölüm 3, moment aktarmayan kiriş-kolon birleşimleri ile ilgili yapılan çalışmalar hakkında kaynak taramasını, moment aktarmayan kiriş-kolon birleşimini temsil eden numunelerin özelliklerini, hazırlanmasını, malzeme deneylerini, sarsma masası özelliklerini, sarsma masası deneylerinde kullanılacak uygun deprem kaydı seçimini, sistem deneylerini ve deney sonuçlarını içermektedir. Bununla birlikte, birleşime ait kuramsal modelin *Sesimstruct* yazılımı kullanılarak oluşturulması, sarsma masası deneylerinin bilgisayar ortamında simüle edilmesi ve kuramsal çalışmadan elde edilen sonuçların deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılması bu bölüm içerisinde sunulmaktadır.

Bölüm 4, moment aktarmayan kiriş-kolon birleşimine sahip olan mevcut bir endüstri yapısının üç boyutlu olarak modellenmesini, önerilen birleşimin kullanılması durumunda üç boyutlu yapı modelinin oluşturulmasını içermektedir. Bu bölümde, her iki modele ait sistem ve eleman davranışları belirlenmiştir. Davranış biçimleri ve davranış üzerinde oluşacak etkiler, zaman tanım alanında doğrusal olmayan çözümlemeler yapılarak, irdelenmiştir.

Bölüm 5, tez çalışmasında ulaşılan genel sonuçları ifade etmektedir.

2. KURŞUN EKSTRÜZYON SÖNÜMLEYİCİNİN GELİŞTİRİLMESİ

2.1 Giriş

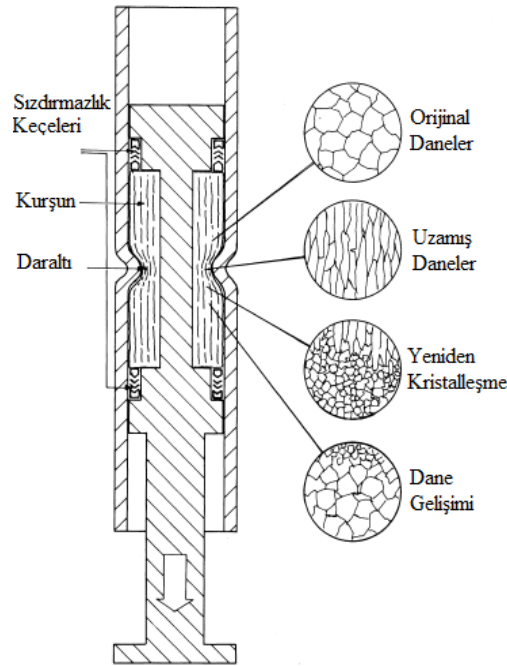
Bir metal veya malzemeye plastik şekildeğiştirme yaptırılarak enerji tüketimi uygulanan bir yöntemdir. Bir malzemenin ileri derecede plastik şekildeğiştirmeye uğraması için uygulanan en basit yöntemlerden biri ekstrüzyon işlemidir (Pearsons, 1944). Ekstrüzyon işlemi, bir malzeme bloğunun bir daraltıdan veya orijinal kesitinden daha küçük olan bir kesitten geçirilmeye zorlanması işlemi olarak tanımlanabilir (Robinson ve Greenbank, 1975).

Malzeme daraltıdan geçmeye zorlandığında, çok sayıda bozulmuş kristal kafes içeren ve uzamış danelerden oluşan bir mikroyapı ortaya çıkmaktadır. Malzemenin ekstrüzyonu için gerekli olan enerjinin bir kısmı ısıya dönüşmektedir. Ancak enerjinin diğer kısmı şekildeğiştirmiş malzeme içerisinde kalmakta ve birbiri ile ilgili olan üç işlem için başlangıç kuvvetini oluşturmaktadır. Bu işlemler sırasıyla toparlanma, tekrar kristalize olma ve dane gelişimidir (Şekil 2.1). Bu işlemler sonucunda malzeme orijinal haline geri dönmektedir (Wulff ve diğ., 1956 ve Birchenall, 1959). Malzemenin orijinal halini geri kazanma mertebesi sıcaklık, süre ve şekildeğiştirme derecesinin bir fonksiyonudur ve daha çok malzemenin kendisine bağlıdır. Örneğin, şekildeğiştirmiş kurşunun özelliklerini yeniden kazanması oda sıcaklığında 10 saniyeden kısa sürmektedir. Şekildeğiştirmiş bakırın özelliklerini yeniden kazanması ise aynı sıcaklıkta 100 yıl sürmektedir. Ancak bakır 100°C'ye kadar ısıtılırsa bu işlem yaklaşık üç saatte tamamlanmaktadır. Metallerdeki bu süreci tanımlamak için kullanılan terim “*Yeniden Kristalleşme Sıcaklığı*”dır. Yeniden kristalleşme sıcaklığı, yaklaşık bir saat içerisinde, soğuk işlenmiş metalin tamamen yeniden kristalleştiği, dolayısıyla orijinal özelliklerinin çoğunu yeniden kazandığı sıcaklık olarak ifade edilmektedir (Robinson ve Greenbank, 1975).

Kurşun ekstrüzyon sönümleyicinin başarılı bir şekilde çalışması için çevrimsel olarak ekstrüze olan kurşun kullanılmaktadır. Kurşun oda sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda da (-5°C) yeniden kristalize olabilmektedir (Wulff ve diğ., 1956). Bu

nedenle her bir çevrimde kurşunun ekstrüze olması için gerekli kuvvet hemen hemen aynı kalmaktadır. -20°C mertebesindeki ortam sıcaklığında kurşunun çevrimsel olarak ekstrüze edilebilir olduğu görülmüştür. Kurşunun soğuk işlemi sırasında ortaya çıkan ısı, daraltı bölgesindeki sıcaklığı, yeniden kristalleşme süresinin kısa olduğu bir mertebeye çıkarmaktadır (Robinson ve Greenbank, 1975). Dolayısıyla tüketilen enerji miktarı kurşunun pekleşmesi veya yorulması ile sınırlı olmayacaktır. Daha çok aygıtın ısı kapasitesine bağlı olarak, kurşunun erime sıcaklığı sönümleyicinin işleyişi için bir üst sınır oluşturmaktadır (Robinson ve Greenbank, 1976).

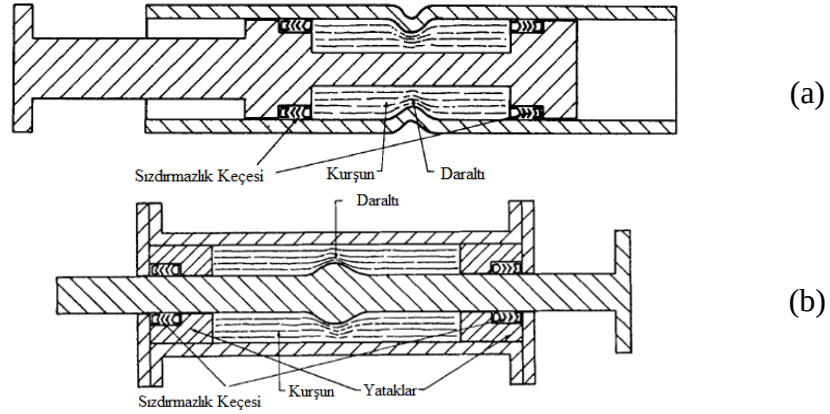
Kurşun ekstrüzyon sönümleyici (KES), (Lead Extrusion Damper (LED)), metallerin histeretik enerji tüketme özelliklerinden faydalanan bir sönümleyici türüdür. Skinner ve diğ. (1993)'ne göre KES, taban izolatörlü yapılar için pasif enerji sönümleme aygıtı olarak ilk defa Robinson tarafından önerilmiştir.



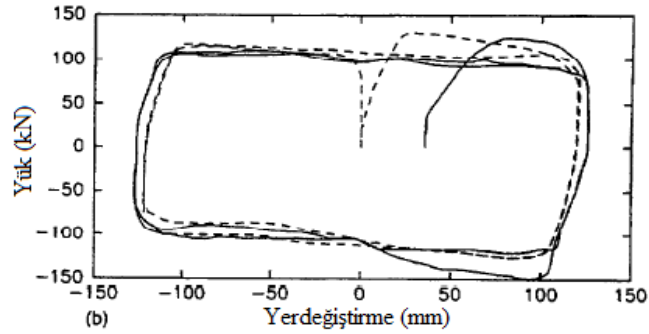
Şekil 2.1 : Girintili tüp tipi KES boyuna kesiti ve çalışan metalin mikroyapısında oluşan değişimler.

Robinson tarafından tanıtılan iki aygıt Şekil 2.2'de görülmektedir (Robinson ve Cousins, 1987). İlk aygıt (Şekil 2.2a) kalın duvarlı bir tüp ve bir piston ile eş eksenli olan bir şafttan meydana gelmektedir. Pistonun uç noktaları arasında tüp üzerinde bir girinti bulunmakta ve piston uç noktaları arasındaki boşluk kurşun ile doldurulmaktadır. Kurşun ile tüp ince bir yağ tabakası ile birbirinden ayrılmakta ve piston başlarında bulunan sızdırmazlık keçeleri ile bu yağ tabakasının kaçıışı

önlenmektedir. Merkez şaft tüpün bir ucundan dışarıya çıkmaktadır. Dış etki uygulandığında piston tüp boyunca hareket etmekte ve kurşun tüp üzerindeki girinti nedeni ile (ileriye ve geriye doğru, pistonun hareket yönüne zıt yönde) ekstrüze olmaya zorlanmaktadır. İkinci aygıt birinci aygıta benzemekte ancak farklı olarak tüp üzerindeki girinti yerine merkez şaft üzerindeki bir çıkıntı ile ekstrüzyon açıklığı oluşturulmaktadır (Şekil 2.2b). Yataklar şaftı desteklemekte ve aynı zamanda kurşunu yerinde tutmaktadır. Şaft hareket ettiğinde kurşun şaft üzerindeki çıkıntı ve tüp arasındaki boşluktan ekstrüze olmaktadır. Sürtünme aygıtlarının çoğuna benzer olarak KES aygıtlarının histeretik davranışı da dikdörtgen şekline oldukça yakındır (Şekil 2.3) (Sadek ve diğ., 1996).



Şekil 2.2 : KES boyuna kesiti; (a) Girintili tüp tipi KES, (b) Çıkıntılı şaft tipi KES.



Şekil 2.3 : KES yük-yerdeğiştirme çevrimleri.

Kurşun ekstrüzyon aygıtlarının üstünlükleri şöyle sıralanmıştır (Sadek vd., 1996).

- Yük-şekildeğiştirme eğrileri karardır ve yükleme çevrimi sayısından etkilenmemektedir.
- Çevresel koşullara ve yaşlanma etkilerine karşı hassasiyeti bulunmamaktadır.

- Dış etki ortadan kalktıktan sonra sönümleyici içerisindeki kurşun şekil değiştirmemiş haline geri döndüğü için değiştirilmesine veya onarılmasına ihtiyaç olmamaktadır.

2.2 Önceki Çalışmalar

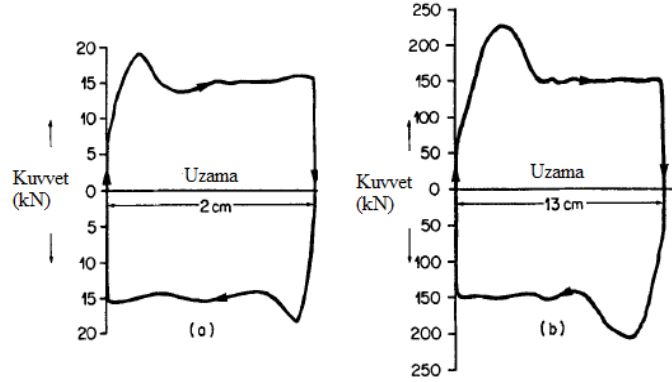
2.2.1 Robinson ve Greenbank (1975, 1976)

Kurşun ekstrüzyon sönümleyiciler ile ilgili ulaşılabilen ilk araştırma Robinson ve Greenbank (1975, 1976) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada girintili tüp ve çıkıntılı şaft tipi olmak üzere iki farklı kurşun ekstrüzyon sönümleyici üretilmiş ve test edilmiştir. Hareket uzunluğu 20 mm kuvvet kapasitesi 15 kN olan ve hareket uzunluğu 130 mm kuvvet kapasitesi 150 kN olan girintili tüp sönümleyici için elde edilen eğriler Şekil 2.4'te görülmektedir. Hareket uzunluğu 152 mm kuvvet kapasitesi 30 kN olan ve hareket uzunluğu 180 mm kuvvet kapasitesi 170 kN olan çıkıntılı şaft sönümleyici için elde edilen eğriler de Şekil 2.5'te görülmektedir. Bu aygıtlar 250 kN kapasiteli Instron Universal deney cihazı ile test edilmiş ve 0.167 mm/san (1 cm/dak) hız için kuvvet-yerdeğiştirme eğrileri elde edilmiştir. Bu eğrilerden performans katsayıları (eğri içinde kalan alan/eğriyi çevreleyen dikdörtgen içinde kalan alan) belirlenmiştir. Etkinlik katsayıları girintili tüp tipi için 0.73 ile 0.79 değerleri arasında değişirken, çıkıntılı şaft tipi için ise 0.90 ile 0.93 değerleri arasında değişmektedir.

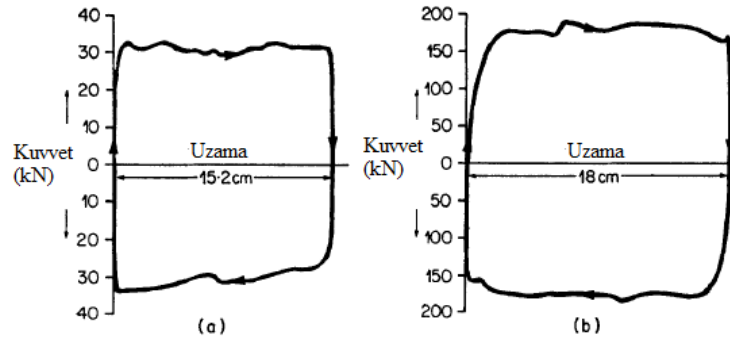
Bunun yanında üretilen diğer sönümleyiciler için 2×10^{-8} cm/san ile 60 cm/san hız değerleri arasında deneyler yapılmıştır ve aygıtların hıza duyarlılığı incelenmiştir. 0.17 cm/san ve altındaki hız değerleri için Instron cihazı kullanılarak sonuçlar elde edilmiştir. 1.67 cm/san hız değeri için PACRA 450 kN yapısal yükleme sistemi (MTS Model 904.09) kullanılırken, 60 cm/san hız değeri için 62 kg'lık bir ağırlık sönümleyici şaftı üzerine düşürülmüştür. Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar Şekil 2.6'da görülmektedir.

10^{-1} cm/dak seviyesinin altındaki ve üstündeki hız mertebelerinde sönümleyici performansının iki farklı karaktere sahip olduğu görülmektedir. 10^{-1} cm/dak hız seviyesinin altında, hızda 10 kat artma meydana geldiğinde yük % 32 mertebesinde artmaktadır. Diğer bir değişle yükün iki katına çıkması için hızın 320 kat büyümesi gerekmektedir. 10^{-1} cm/dak seviyesinin üstünde, yükte % 7 mertebesindeki artış

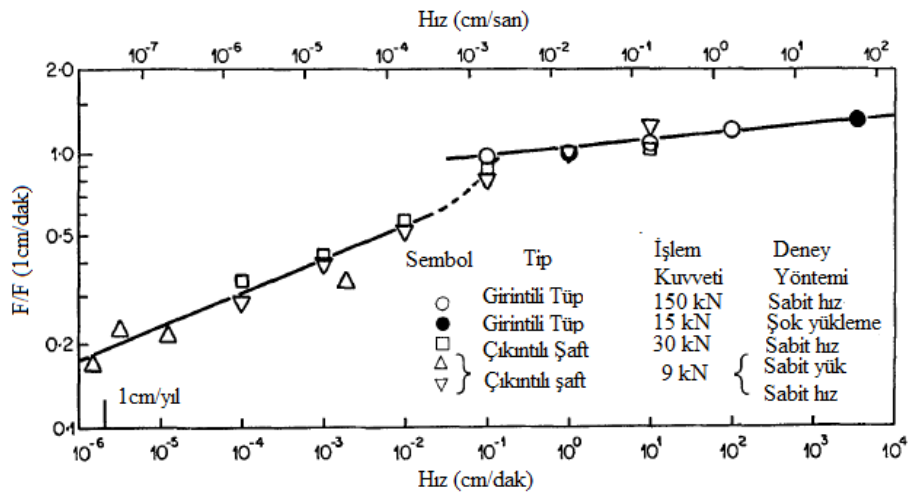
meydana gelmesi hız değerini 10 katına çıkarmaktadır veya yükte % 40 mertebesinde bir artış oluşması için hızın 10^5 kat artması gerekmektedir. Elde edilen sonuçlar 10^{-1} cm/dak seviyesinin üstündeki hız değerleri için ekstrüzyon enerji sönümleyicilerin neredeyse hızdan bağımsız çalıştığını göstermektedir.



Şekil 2.4 : Kuvvet-yerdeğiştirme çevrimleri (0.167 mm/s hız etkisi altında); (a) 15 kN Girintili tüp tipi KES (b) 150 kN girintili tüp tipi KES.



Şekil 2.5 : Kuvvet-yerdeğiştirme çevrimleri (0.167 mm/s hız ekisi altında); (a) 30 kN çıkıntılı şaft tipi KES (b) 170 kN çıkıntılı şaft tipi KES.



Şekil 2.6 : Ekstrüzyon enerji sönümleyicilerin hız duyarlılığı.

Ekstrüzyon oranı (ER), orijinal kesit alanının ekstrüzyon alanına oranı olarak tanımlanmaktadır. Ekstrüzyon basıncının;

$$p = K \ln(ER) + p_o \quad (2.1)$$

ifadesi ile hesaplanabildiği deneysel olarak gösterilmiştir. Bu ifadede p ekstrüzyon basıncını, K ve p_o ise sabitleri göstermektedir. Merak edilen diğer bir konu ise ekstrüzyon basıncı (p) ile ekstrüzyon hızı (v) arasındaki ilişkidir. Bu ilişki;

$$p = av^b \quad (2.2)$$

ile ifade edilmektedir. 25°C'deki kurşun için b değerinin 0.13 olduğu belirtilmiştir (Pearsons,1944; Pugh, 1970). Ekstrüzyon hızında % 10 mertebesinde bir artış meydana gelmesi için ekstrüzyon basıncının % 35 artması gerekmektedir.

Sıcaklığın ekstrüzyon enerji sönümleyici üzerindeki etkisi karmaşıktır. Ortam sıcaklığı veya deprem sırasında tüketilen enerji etkisi ile artan sıcaklığın iki yönlü etkisi bulunmaktadır. İlk olarak sıcaklık arttıkça ekstrüzyon kuvveti azalacak, dolayısıyla tüketilen enerji miktarı düşecektir. İkincisi ise sıcaklık arttıkça kurşunun toparlanma ve yeniden kristalize olma hızı artacak, dolayısıyla pekleşme ortadan kalkacaktır.

Bu etkenler ekstrüzyon enerji sönümleyicinin kararlı bir aygıt olduğunu göstermektedir. 15 kN'luk girintili tüp tipi enerji sönümleyici 1 Hz frekansında 1800 çevrim için sürekli olarak çalıştırılmış ve daraltının dış yüzündeki sıcaklık izlenmiştir. Sıcaklık 210°C'ye ulaşmış ve bu noktada dengede kalmıştır. Bu deney yapılırken kuvvetin kayıt edilmesi mümkün olmamıştır. Enerji sönümleyici -20°C'ye kadar soğutularak sıcaklık azalmasının etkisi kontrol edilmiş ve ekstrüzyon kuvvetinde 25°C ile kıyaslandığında kayda değer bir farklılık gözlemlenmemiştir.

Bir ekstrüzyon enerji sönümleyicinin ömrünü belirlemek için 15 kN'luk girintili tüp tipi enerji sönümleyici 0.5, 1 ve 2 Hz frekanslarında 3400 çevrim için sürekli olarak çalıştırılmıştır. Sönümleyicinin, işletme koşullarında karşılaşacağından çok daha zorlu koşullara tabi tutulduğu bu deneyden sonra (aygıtın deprem sırasında yaklaşık 10 çevrim çalışması öngörülmektedir), 10 cm/dak hızından önceki gibi işlem gördüğü tespit edilmiştir. "Sıcak işlenmiş" kurşun durmaksızın orijinal mekanik

özelliklerini geri kazandığı için bu sonuç şaşırtıcı değildir. Bu nedenle, bu tür enerji sönümleyiciler deprem sırasında etkili olarak kullanılmaktadır.

2.2.2 Cousins ve Porritt (1993)

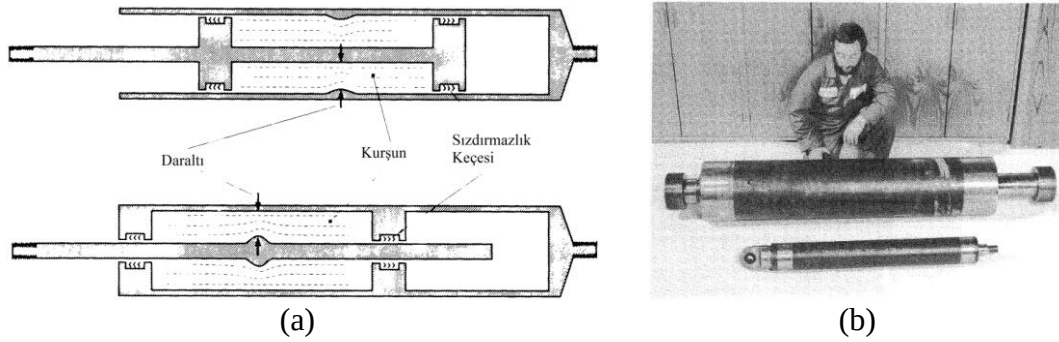
Kurşun ekstrüzyon sönümleyiciler ile ilgili diğer bir araştırma Cousins ve Porritt (1993) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada girintili tüp tipi sönümleyici imalatının daha güç ve maliyetli olduğu ifade edilmektedir. Kurşun ekstrüzyon sönümleyicinin tutarlı ve önceden belirlenebilir bir performans sergileyebilmesi için kurşun-çelik arayüzünün iyi bir biçimde yağlanması gerektiği vurgulanmaktadır. Ekstrüzyon için yüksek basıncın gerekmesi durumunda yağ tabakası bütünlüğünün korunması için çelik yüzeylerin pürüzsüzleştirilmesi gerektiği ifade edilmektedir.

Bir şaftın dış yüzeyinin pürüzsüzleştirilmesi işlemi, bir tüpün iç yüzeyinin pürüzsüzleştirilmesi işleminden nispeten daha kolay yapılabilir. Sönümleyicilere ait girintili tüplerin üç aşamada üretilmesi gerekmektedir. İlk iki aşamada her iki uçta birbirine paralel olan kenarlara sahip kesitler oluşturulurken, üçüncü aşamada girinti kesiti teşkil edilmektedir. Üç kısmın bir araya getirilmesi ve birleşim noktalarında yüzey bozukluklarının giderilmesi maliyeti oldukça yüksek olan imalat adımlarıdır. Bu işlemin tersine, üzerinde çıkıntı olan bir şaftın bütün bir çubuktan işlenmesi ve yüzeyinin pürüzsüzleştirilmesi işlemi kolaylıkla yapılabilir. Çıkıntılı şaft tipi sönümleyicinin dış haznesi ise tek bir parçadan oluşmakta ve içi oyularak boşaltılmış bir çelik tüp şeklinde teşkil edilmektedir.

Her iki sönümleyici tipi için de geçerli olan ve ideal şekilde gerçekleştirilemeyen diğer bir imalat ise işlenmiş kurşun yüzleridir. Kurşun, küçük toleranslar ile işlenmesi güç bir malzemedir. Dolayısıyla imal edilen sönümleyicilerin çekirdeğinde bulunan kurşunun iki veya daha çok aşamada üretilmesi ve her bir bölüme ait yüzeylerin işlenmesi gerekmektedir. Bu durum iki nedenle istenmemektedir. İlk neden, yüzeylerin işlenmesi maliyetinin yüksek olması, ikinci neden ise kurşun çekirdekte oluşan birleşim geçişlerinin, sönümleyicilere ait kuvvet-yerdeğiştirme çevrimlerinde görülen dalgalanmanın artmasına neden olmasıdır (Cousins ve diğ., 1992; Robinson ve Cousins, 1988).

Bu çalışma kapsamında 100 kN ve 700 kN kuvvet kapasiteli iki adet çıkıntılı şaft tipi sönümleyici üretilmiştir (Şekil 2.7). Sönümleyicilere ait kuvvet ve enerji tüketme karakteristiklerini, yerdeğiştirme hızı etkisini ve servis ömürlerini belirlemek için

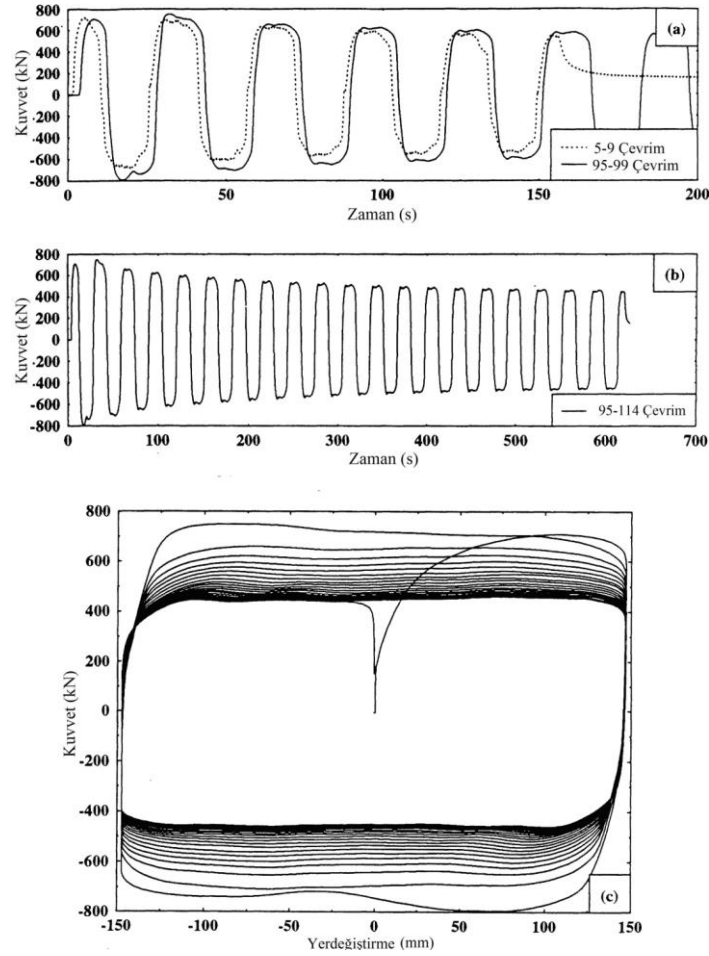
dinamik deneyler yapılmıştır. Deneyler, sönümleyici dış haznesi sabit tutulurken sönümleyici şaftına sinüzoidal yerdeğiştirme uygulanması şeklinde gerçekleştirilmiştir. Uygulanan yerdeğiştirmeler ve elde edilen kuvvetler, bir X-Y kaydedici kullanılarak yük-yerdeğiştirme eğrileri şeklinde ve bir veri kaydedici kullanılarak yük-zaman ve yerdeğiştirme-zaman eğrileri şeklinde kayıt altına alınmıştır. Her iki durumda, deneyde kullanılacak yerdeğiştirme hızı ve toplam yerdeğiştirme miktarı büyük ölçüde deney aletlerinin kapasitelerinden yola çıkılarak belirlenmiştir.



Şekil 2.7 : KES; (a) Girintili tüp ve çıkıntılı şaft tipi KES, (b) 100 ve 700 kN kuvvet kapasiteli çıkıntılı şaft tipi KES.

100 ve 700 kN kuvvet kapasiteli çıkıntılı şaft tipi sönümleyicilerin özellikleri birçok bakımdan daha önceki çalışmalarda kullanılan prototipler ile benzerlik göstermektedir (Robinson ve Greenbank 1976, Cousins vd., 1992; Robinson ve Cousins, 1988). Kuvvet-yerdeğiştirme çevrimleri genellikle dikdörtgen biçimindedir ve çevrimler içerisinde dayanım yaklaşık olarak sabit kalmıştır. Sürekli çevrimler sırasında sönümleyici ısındıkça dayanım ve tüketilen enerji miktarı azalmıştır (Şekil 2.8). İlk üç çevrim içerisinde tüketilen enerjinin ortalama değeri, deneyde ulaşılan en büyük kuvvet ve yerdeğiştirme değerleri esas alınarak belirlenen dikdörtgen çevrim içinde kalan *anma alanının* % 80'inden fazladır. İlk beş çevrimde oluşan en küçük kuvvet değeri ise en büyük kuvvetin yaklaşık % 75'i mertebesindedir.

Şekil 2.8'de görülen (a) eğrisi, ilk beş çevrimli deney çalışmasını ve son deney çalışmasının ilk beş çevrimini ifade etmektedir. (b) eğrisinde son deney çalışmasının tamamı görülmektedir. (c) eğrisinde ise son deney çalışmasının kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi görülmektedir.

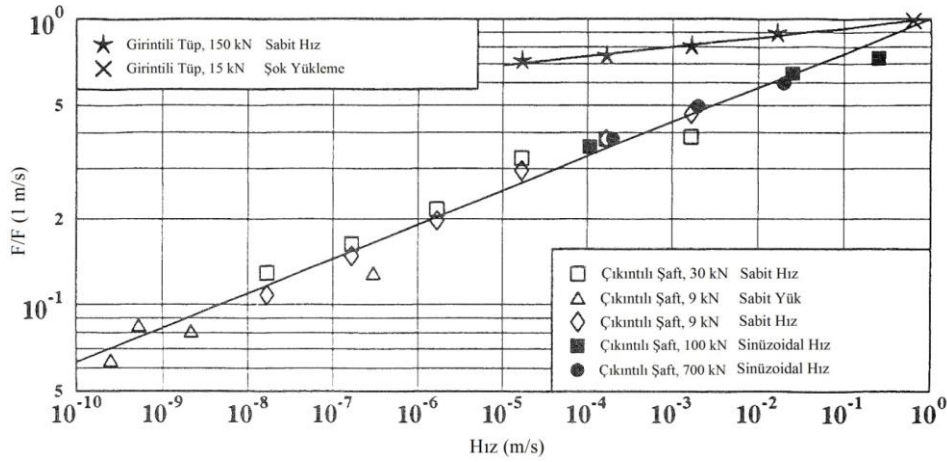


Şekil 2.8 : $\pm 150\text{mm}/0.033$ Hz sinüzoidal yerdeğiştirme uygulanması durumunda 700 kN kapasiteli çıkıntılı tipi KES'in davranışı.

Sönümleyicilerin özellikleri birçok bakımdan daha önceki çalışmalarda kullanılan prototipler ile benzerlik göstermekle birlikte bazı farklarda bulundurmaktadır. İlk olarak işletme dayanımı daha önceki çalışmalarda elde edilenlerden daha düzgündür. Bunun nedeni kurşun çekirdeklerde oluşan birleşim geçişlerinin oldukça azaltılmış olmasıdır. Çıkıntılı şaft sönümleyicilerin kurşun çekirdeklerindeki tek geçiş olabildiğince uca yakın ve ekstrüzyonun gerçekleştiği bölgeden uzakta olacak şekilde imal edilmiştir.

Bu çalışmada ekstrüzyon hızının sönümleyici performansına etkisinin tekrar yorumlanması gerektiği vurgulanmış, Robinson ve Greenbank (1976) tarafından yapılan çalışmada belirlenen b ifadesi tartışılmıştır. Bu değerin 10^{-1} cm/dak üzerindeki yerdeğiştirme hızı mertebelerinde 0.03 ve 10^{-1} cm/dak altındaki yerdeğiştirme hızı mertebelerinde ise 0.12 değerini aldığı vurgulanmıştır. Ancak, bu sonucun 1 cm/dak mertebesindeki yerdeğiştirme hızına ait kuvvet değerine referans verilerek belirlendiği ifade edilmiştir. Buradaki ilişkinin, düşük hızlarda çıkıntılı şaft

tipi sönümleyicilerden elde edilen sonuçlara göre, yüksek hızlarda ise girintili tüp tipi sönümleyicilerden elde edilen sonuçlara göre belirlendiği vurgulanmıştır. Elde edilen eğimlerin iki farklı tipteki sönümleyici arasındaki farklılıklardan kaynaklanabileceği ifade edilmiş, bu ifadeyi desteklemek üzere çalışmada kullanılan 100 kN ve 700 kN kuvvet kapasiteli sönümleyicilerden elde edilen sonuçlar ile Robinson ve Greenbank tarafından verilen ilişki (Şekil 2.6) bir araya getirilmiştir (Şekil 2.9).

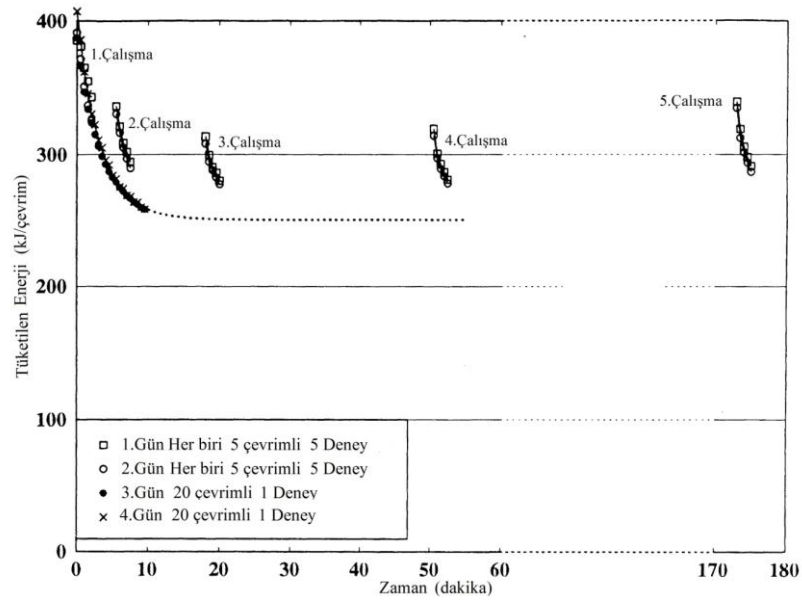


Şekil 2.9 : Yerdeğiştirme hızının KES davranışına etkisi.

20 çevrimli deneysel çalışmalar sırasında kurşun çekirdek ısındıkça dayanım azalmış, ancak 15 ila 20 çevrim arasında düşüşün hızı yavaşlayarak sönümleyici kararlı bir duruma ulaşmıştır. 700 kN kuvvet kapasiteli sönümleyicinin tüketilen enerji verilerine azalan türde bir üstel fonksiyon yerleştirilmiş (Şekil 2.8 ve Şekil 2.10) ve kararlı durumda oluşan enerji tüketiminin ilk çevrimde oluşan enerji tüketiminin % 65'i olduğu görülmüştür.

Deprem ve sonrasında ortaya çıkan ve birbirini izleyen ana şok ve artçı şoklar etkisi altındaki sönümleyicilerin potansiyel davranışı, sönümleyicilerin her biri için birbirini takip eden 12 adet deneysel çalışma yapılarak araştırılmıştır. 700 kN kuvvet kapasiteli sönümleyici için yapılan deney serileri, her biri 5 çevrimden oluşan 10 adet deney ve bunu takiben 20 çevrimden oluşan 2 adet deneyden oluşmaktadır. 1. ve 2. gruplar arasında 3 dakika, 2. ve 3. gruplar arasında 10 dakika, 3. ve 4. gruplar arasında 30 dakika, 4. ve 5. gruplar arasında ise 120 dakika zaman aralıkları bırakılmıştır. Daha sonra sönümleyici 21 saat boyunca dinlenmeye bırakılmış ve sürenin sonunda bu 5 grup deney tekrarlanmıştır. 20 adet çevrimden oluşan son iki çalışmadan önceki dinlenme süreleri sırasıyla 21 ve 24 saatten oluşmaktadır.

Sönümleyicinin, tekrarlanan şiddetli deprem etkisinin veya ana şok ve artçı şoklar etkisinin üstesinden başarı ile geldiği elde edilen sonuçlardan görülmektedir (Şekil 2.10). Ana şoklar arasındaki zaman farkı 20 saatten fazla ise her iki etki altında sönümleyicinin performansı aynı olmaktadır. Eğer iki etki arasındaki zaman farkı birkaç saat veya daha az ise, sönümleyici ikinci şok etkisi gelene kadar ortam sıcaklığına geri dönemediği için, kuvvet ve enerji tüketimi ilk şok etkisinde oluşan mertebelerden daha az olmaktadır. Enerji tüketimi açısından, beş çevrimden oluşan veya aralarında sadece birkaç dakika bulunan çalışmalarda elde edilen sonuçlar birbirine oldukça yakın olmaktadır. Etkiler arasındaki sürenin 10 dakika veya daha fazla olması halinde sönümleyicinin enerji tüketim kapasitesi başlangıç değerinin % 75'i veya üzerinde değerler almaktadır.



Şekil 2.10 : Çevrimsel yerdeğiştirme geçmişinin 700 kN kuvvet kapasiteli çıkıntılı şaft tipi KES enerji tüketim kapasitesine etkisi ($\pm 150\text{mm}/0.033\text{ Hz}$ sinüzoidal yerdeğiştirme uygulanması durumunda).

100 kN kuvvet kapasiteli sönümleyici ile 12 adet deney gerçekleştirilmiştir. Çalışmalar üç gün sürmüş ve farklı koşullar etkisinde yürütülmüştür. Her bir çalışma 10 adet çevrimden oluşmaktadır ve her gün 4 adet deney gerçekleştirilmiştir. Çalışmalar arasında bırakılan dinlenme süreleri 5 ile 30 dakika arasında değişmektedir. Genel olarak 100 kN kuvvet kapasiteli sönümleyicinin performansı 700 kN kuvvet kapasiteli sönümleyicinin performansına benzerlik göstermektedir. Aralarındaki temel fark çevrimlerden sonra 100 kN kuvvet kapasiteli sönümleyicinin özelliklerini daha çabuk geri kazanmasıdır. Bu nedenle 10 dakika sonra

sönümleyicinin enerji tüketim kapasitesi başlangıç değerinin % 90'ı mertebesinde kalmaktadır (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1 : 100 kN kuvvet kapasiteli çıkıntılı şaft tipi KES'in görelî enerji tüketimi (12 Adet ardışık deney çalışması, $\pm 150\text{mm}/0.033\text{ Hz}$ yerdeğiştirme).

Gün	Çalışmalar Arasında Dinlenme Süreleri (dakika)	Tüketilen Enerji (%)			
		Çalışma 1	Çalışma 2	Çalışma 3	Çalışma 4
1	5	100	88	82	79
2	10	102	90	84	81
3	30	103	95	91	89

Bu çalışmada yapılan bir gözlem de, ortam sıcaklığındaki sönümleyicilerde, her bir çevrimdeki başlangıç kuvvet kapasitesinin ve başlangıç enerji tüketim kapasitesinin, önceki çevrim sayısının artmasına bağlı olarak yavaş yavaş artması olmuştur. Her 100 adet çevrimde bu değişimin yaklaşık % 10 mertebesinde olduğu tespit edilmiştir (Şekil 2.8a). Bir sönümleyicinin tüm ömrü boyunca 10 veya 20 adet çevrimden daha fazla çevrime maruz kalması olasılığı çok düşük olduğundan bu değişimin çok önemli olmadığı ifade edilmiştir.

2.2.3 Tsai, Lai, Chang ve Li (2002)

Tayvan'da bulunan Feng-Chia Üniversitesi tarafından üretilen kurşun ekstrüzyon sönümleyiciye ait karakteristiklerin test edilmesi ve araştırılması amaçlanmıştır. Üretilen sönümleyicinin en büyük yerdeğiştirme kapasitesi $\pm 10\text{ mm}$ 'dir. 25 ton kapasiteye sahip MTS cihazı tarafından gerçekleştirilen yerdeğiştirme miktarı $\pm 5\text{ mm}$ 'dir. Elde edilen sonuçlar kurşun ekstrüzyon sönümleyiciye ait enerji tüketim özelliğinin çok iyi olduğunu göstermiştir. Sinüs dalgası formundaki etkiye maruz olan sönümleyici için dayanım ile hareket hızı arasındaki ilişki elde edilmiştir. Önerilen analitik model kullanılarak elde edilen sayısal sonuçlar, çeşitli yerdeğiştirme ve frekans değerlerine sahip etkiler kullanılarak yürütülen deneylerden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Kuramsal ve deneysel sonuçlar arasındaki ilişkinin birbirine oldukça yakın olduğu ifade edilmiştir.

Enerji sönümleme aygıtları, hıza bağımlı ve hızdan bağımsız aygıtlar olmak üzere iki gruba ayrılabilir. Kurşun ekstrüzyon sönümleyiciler gibi hıza bağımlı olan aygıtlar üzerinde yapılan çalışmalar, bu tür sönümleyicilerin, yapılarıdaki deprem

etkisinin azaltılması için kullanılabilecek güvenilir enerji tüketim aygıtları olduğunu göstermiştir.

Kurşun ekstrüzyon sönümleyiciler kurşunda oluşan çevrimsel şekil değiştirme ile mekanik enerjiyi plastik şekil değiştirme enerjisine ve ısıya dönüştüren aygıtlardır. Ekstrüzyon kuvveti $P(t)$, ekstrüzyon hızına $v(t)$ veya şekil değiştirme hızına bağlıdır. Eşitlik 2.2’de verilen ifade çevrimsel veya deprem benzeri etkiler altındaki sönümleyicilerde sıcaklık etkisini tam olarak yansıtamamaktadır. Deneysel sonuçlara göre Eşitlik 2.2’de verilen a değeri bir sabit olmamalıdır. Bu nedenle, rastgele yükler ve sıcaklık etkisi altındaki kurşun ekstrüzyon sönümleyicilerin davranışını tanımlamak için aşağıdaki eşitlik önerilmektedir.

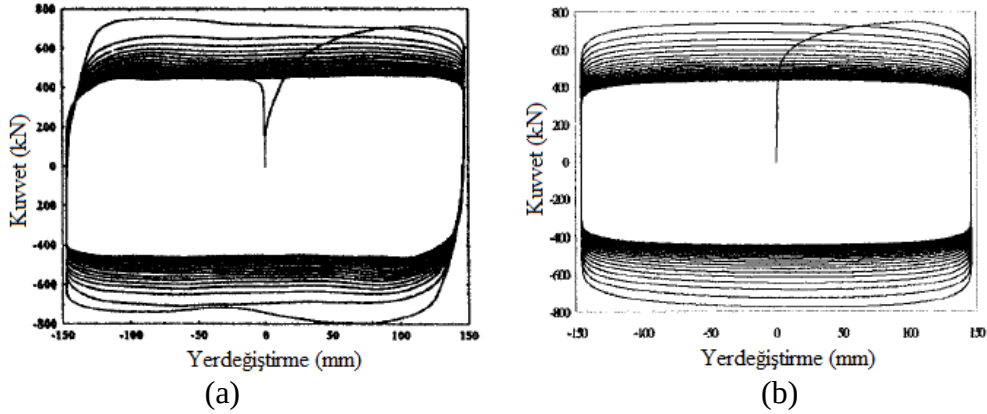
$$P(t) = \alpha \left(1 + \gamma e^{-\beta \left(\int P(t) dU(t) + \theta(T - T_0) \right)} \right) v^b(t) \quad (2.3)$$

Eşitlik 2.3’te verilen α , β , γ ve θ deneysel verilerden elde edilen sabitlerdir. $U(t)$ ekstrüzyon yer değiştirmesini, T ortam sıcaklığını ve T_0 ise bilinmeyen katsayıların belirlendiği referans sıcaklığı ifade etmektedir. Eşitlik 2.3, deprem etkisi altındaki sönümleyici için sıcaklık etkilerini de dikkate almaktadır. Aynı zamanda Eşitlik 2.3, plastik şekil değiştirme enerjisi ve ortam sıcaklığının yükselmesine neden olan (ısıya dönüşen) enerji miktarı arttıkça ekstrüzyon kuvvetinin azaldığını işaret etmektedir. Kurşun ekstrüzyon sönümleyicinin hıza bağımlılığı eşitlik içerisinde otomatik olarak dikkate alınmaktadır. Bunun nedeni Eşitlik 2.3 içerisine dahil edilmiş olan plastik şekil değiştirme enerjisi birikim miktarının, farklı frekans ve genlik değerleri için değişiyor olmasıdır. Eşitlik 2.3 içerisinde rüzgar ve deprem yükleri gibi rastgele yüklerin davranışı da dikkate alınabilmektedir.

Önerilen analitik modelin doğruluğunu ortaya koymak için daha önceki çalışmalardan elde edilmiş olan çok sayıdaki deneysel veriden yararlanılmıştır. Cousins ve Porritt (1993) tarafından yapılan deneysel çalışmada kullanılan 700 kN kuvvet kapasiteli çıkıntılı şaft tipi kurşun ekstrüzyon sönümleyiciye ait sonuçlar ile önerilen analitik modelden elde edilen sonuçlar Şekil 2.11’de görülmektedir.

Şekil 2.11’den görüldüğü gibi elde edilen kuramsal ve deneysel sonuçları iyi bir uyum göstermektedir. Ekstrüzyon çevrimleri arttıkça ve kurşun ısındıkça sönümleyicinin enerji tüketim kapasitesinin azaldığı da şekilden görülmektedir.

Kurşun ekstrüzyon sönümleyicinin davranışı hıza, frekansa ve sıcaklığa bağlı olmakla birlikte bütün bu etkiler önerilen analitik model ile dikkate alınabilmektedir.



Şekil 2.11 : $\pm 150\text{mm}/0.033$ Hz yerdeğiştirme hızı için elde edilen deneysel ve kuramsal sonuçların karşılaştırılması; (a) Deneysel sonuçlar (b) Kuramsal sonuçlar.

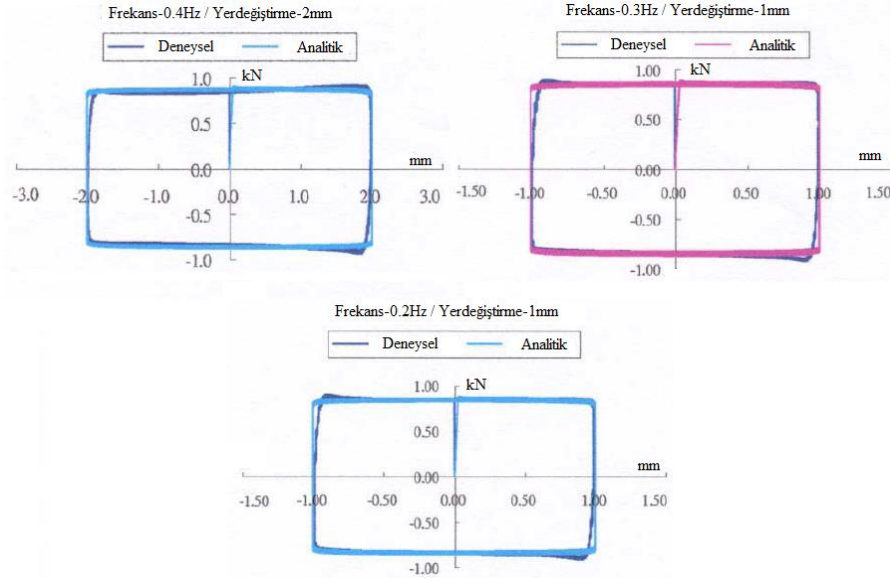
Kurşun ekstrüzyon sönümleyicilerin deneysel davranışı, analitik modelden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada T_o referans sıcaklığında α , β ve γ büyüklükleri için değerler sırasıyla 0.81559, 0.06493 ve 0.0602 olarak belirlenmiştir. 0.2 Hz ve 0.3 Hz frekansında ± 1 mm yerdeğiştirme miktarı için ve 0.4 Hz frekansında ± 2 mm yerdeğiştirme için elde edilen deneysel ve kuramsal sonuçlar Şekil 2.12’de görülmektedir. Kuramsal ve deneysel sonuçların uyum içinde olduğu görülmektedir.

Bu çalışma kapsamında kurşun ekstrüzyon sönümleyicilerin çeşitli frekans ve genlik değerlerindeki hareketler etkisinde, mekanik özelliklerinin araştırılması için ± 50 mm ve ± 10 mm yerdeğiştirme kapasiteli sönümleyiciler üretilmiştir. Bu özelliklerin araştırılması için MTS hidrolik veren kullanmıştır.

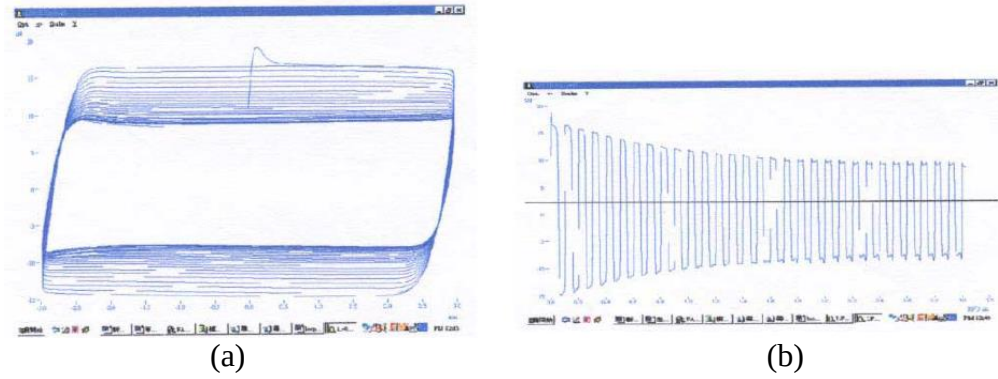
± 50 mm yerdeğiştirme kapasiteli sönümleyicide, 0.01 Hz frekansı için ± 3 mm yerdeğiştirme etkisindeki davranış Şekil 2.13(a)’da verilmiştir. Aynı etki altında elde edilen kuvvet-zaman ilişkisi ise Şekil 2.13(b)’de görülmektedir. Yerdeğiştirme büyüklüğü sabit tutulup, frekans veya hız değeri arttırılırsa çevrimler büyümektedir (Şekil 2.14). Bu durum sönümleyici davranışının hıza bağımlı olduğunu doğrulamaktadır.

± 10 mm yerdeğiştirme kapasiteli sönümleyicide, 0.45 Hz frekans değeri için ± 2 mm yerdeğiştirme etkisinde elde edilen çevrimler içerisinde kalan alanlar belirlenmiştir. Şekil 2.15’te ve Çizelge 2.2’de çevrimlere bağlı olarak değişen alan büyüklükleri görülmektedir. İlk çevrimdeki enerji tüketim oranı % 100 olarak kabul edilirse,

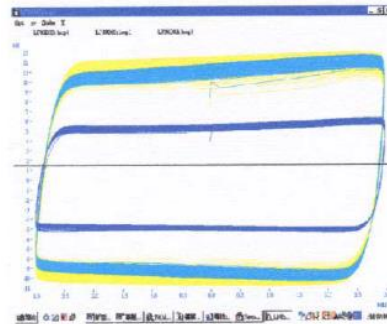
tüketilen enerji oranının ilk dört çevrimde hızla azaldığı, onbeşinci ve onsekizinci çevrimler arasında ise yaklaşık olarak sabit kaldığı görülmektedir.



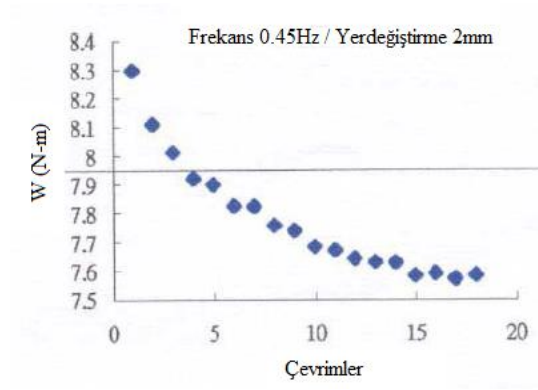
Şekil 2.12 : KES'den elde edilen kuramsal ve deneysel sonuçların karşılaştırılması.



Şekil 2.13 : ± 50 mm yerdeğiştirme kapasiteli sönümleyici için 0.01 Hz frekansında ± 3 mm yerdeğiştirme etkisi altındaki davranış; (a) Kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi (b) Kuvvet-zaman ilişkisi.



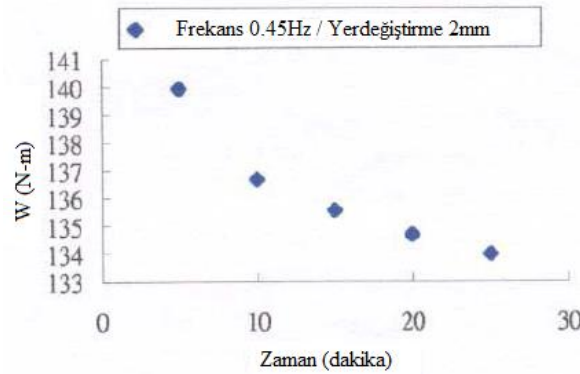
Şekil 2.14 : ± 50 mm yerdeğiştirme kapasiteli sönümleyici için 0.05, 0.1 ve 0.2 Hz frekanslarında ± 3 mm yerdeğiştirme etkisi altındaki davranış.



Şekil 2.15 : ± 10 mm yerdeğiştirme kapasiteli sönümleyici için 0.45 Hz frekansında ± 2 mm yerdeğiştirme etkisi altında her çevrimde tüketilen enerji miktarı.

Çizelge 2.2 : ± 10 mm yerdeğiştirme kapasiteli sönümleyicide 0.45 Hz frekansında ± 2 mm yerdeğiştirme etkisi altında her çevrimde tüketilen enerji miktarı.

Çevrim	Enerji (J)	Azalma (%)	Çevrim	Enerji (J)	Azalma (%)
1	8.29	0.00	10	7.68	7.39
2	8.11	2.25	11	7.67	7.54
3	8.01	3.42	12	7.64	7.90
4	7.92	4.54	13	7.63	8.04
5	7.90	4.78	14	7.63	8.06
6	7.82	5.69	15	7.58	8.61
7	7.82	5.70	16	7.59	8.52
8	7.75	6.51	17	7.57	8.74
9	7.74	6.71	18	7.58	8.60



Şekil 2.16 : ± 10 mm yerdeğiştirme kapasiteli sönümleyici için 0.45 Hz frekansında ± 2 mm yerdeğiştirme etkisi altında 5 dakika dinlenme süreleri bırakılarak gerçekleştirilen çalışmada elde edilen 18'er çevrimde tüketilen toplam enerji miktarları.

± 10 mm yerdeğiştirme kapasiteli sönümleyicide, 0.45 Hz frekansında ± 2 mm yerdeğiştirme etkisi altında her biri 18 çevrimden oluşan ve aralarında 5 dakika dinlenme süreleri bulunan deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar Şekil 2.16'da ve Çizelge 2.3'te verilmiştir. Bu çalışma, deprem sırasında ve sonrasında meydana

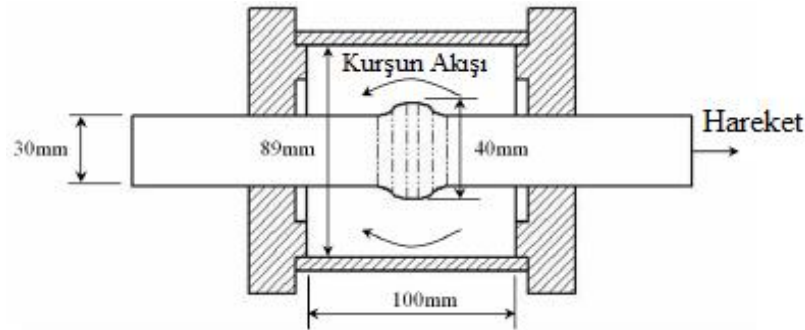
gelen ana şok ve artçı şok etkilerinin sönümleyici enerji tüketim kapasitesi üzerindeki etkilerini araştırmak için gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 2.3 : 100 kN kuvvet kapasiteli çıkıntılı şaft tipi KES'in görelî enerji tüketimi (12 adet ardışık deney çalışması, $\pm 150\text{mm}/0.033\text{ Hz}$ yerdeğiştirme).

Dinlenme Süresi (dakika)	Enerji (Nm)	Azalma Oranı (%)
-	139.929870	0.00
5	136.669069	2.33
5	135.546225	3.13
5	134.655735	3.77
5	133.960704	4.27

2.2.4 Rodgers, Chase, Mander, Leach, Denmead, Cleeve ve Heaton (2006a)

Bu çalışmada kurşun ekstrüzyon sönümleyicilere ait etkinliğin belirlenmesi ile deneysel araştırma yapılması amaçlanmıştır. Üretiminin kolay ve maliyetinin düşük olması nedeni ile çıkıntılı şaft tipi sönümleyiciler üretilmiş ve test edilmiştir. Üretilen ilk prototip ana ölçüleri ile birlikte Şekil 2.17'de görülmektedir. Bu çalışma kapsamında, üretilen ilk prototipin tasarımına benzer, ikinci bir prototip te üretilmiş ve test edilmiştir. İkinci prototipe ait dış hazne iç çapı 66 mm ve cidar kalınlığı 20 mm'dir.



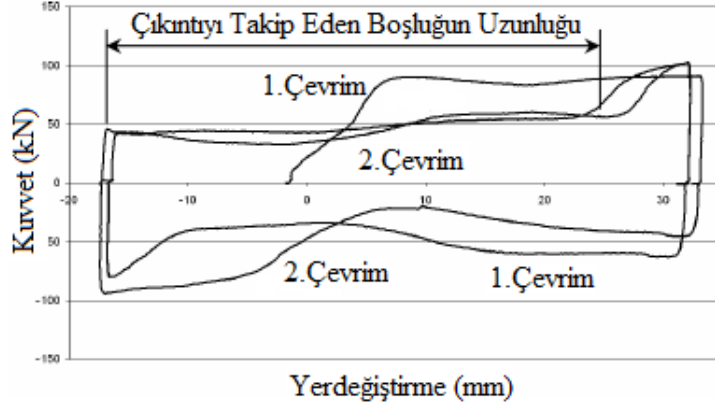
Şekil 2.17 : Üretilen ilk prototipe ait kesit (Aygıt 1).

Ekstrüzyon işleminden dolayı meydana gelen plastik şekil değiştirme dolayısıyla büyük miktarda enerji tüketimi gerçekleşmekte ve daha rijit bir sönümleyici üretilmektedir. Kurşun ekstrüzyon sönümleyiciler, kurşunun elastisite modülü çok daha büyük olduğu için, eşdeğer boyuttaki bir viskoz akışkan sönümleyiciden daha fazla enerji sönümleyebilmektedir. Sönümleyici tarafından tüketilen enerji miktarı iki ana neden ile sınırlanmaktadır. Birinci neden şaftın (malzeme ve boyutuna bağlı olarak değişen) akma kuvvetidir. İkinci neden ise tekrarlı çevrimler ile ortaya çıkan ısının kurşunu yumuşatması ve dayanımı azaltmasıdır. Her iki neden, aygıtın uygun bir şekilde tasarlanması ve üretimi ile kontrol altına alınabilmektedir.

Bu türdeki bir sönümleme sisteminin oluşturulmasında önemli konulardan biri, çalışacak malzeme (kurşun) içerisinde boşlukların oluşumudur. Kurşun ekstrüzyon sönümleyicilerde bu boşlukların oluşumu, kurşunun yerleştirilmesi ve ekstrüzyon işlemi sırasında ortaya çıkabilmektedir. Şaft üzerindeki çıkıntının kurşun içerisindeki hareketi esnasında, kurşunun daha küçük bir hacme sıkıştırılması dolayısıyla, çıkıntıyı takip eden bir boşluk oluşmaktadır. Bu nedenle, tekrarlı çevrimlerde çıkıntı bu boşluk içerisinden geçerken sönümleyicinin dayanımı ve tüketilen enerji miktarı azalmaktadır. Bu çalışmada kurşunda oluşan boşlukların azaltılması için önerilme uygulanmıştır. Bu şekilde boşluk miktarı (toplam kurşun hacmine oranla), son aygıt tasarımının performansını optimize etmek için en aza indirilmiştir.

Bu çalışma kapsamında farklı prototipler üretilmiş ve test edilmiştir. Prototiplerdeki farklılıklar şaft üzerindeki çıkıntı, dış hazne iç çapı ve dış hazne cidar kalınlığı boyutlarının aynı olmamasından kaynaklanmaktadır. Elde edilen deneysel sonuçlar, ileride yapılacak sönümleyici tasarımlarında kuvvet mertebelerinin belirlenmesi için ampirik bağıntıların oluşturulmasında kullanılmıştır. Üretilen prototiplerin çoğu, kurşunda önerilmenin oluşturulduğu ve oluşturulmadığı durumlar için denenmiştir. Böylece kurşunda boşluk oluşumunun ve önerilme bulunmasının, sönümleyiciden elde edilen kuvvet-yerdeğiştirme çevrimlerine ve performansa olan etkisi araştırılmıştır.

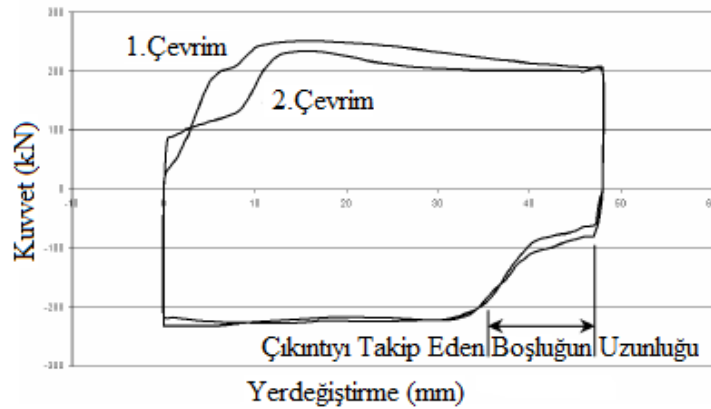
30 mm şaft ve 40 mm çıkıntı çapına sahip, kurşuna önerilmenin uygulanmadığı sönümleyicinin statik yükleme etkisindeki davranışı Şekil 2.18’de verilmiştir. İlk çevrimde ulaşılan en büyük kuvvet 90 kN’dur ve bu değer ilk çevrimin gidişinde yaklaşık olarak sabit kalmıştır. İlk çevrimin dönüşünde kuvvet önemli ölçüde azalmış ve sönümleyicinin merkez noktasına kadar yaklaşık olarak 50 kN mertebesinde kalmıştır. İlk çevrimden sonra her iki doğrultudaki kuvvet yaklaşık olarak 50 kN mertebesinde sabit kalmıştır. Kuvvetteki azalmanın nedeni şaftın hareketi ile kurşunun merkezden uzaklaşmasıdır. Kurşunun hareketi amaçlandığı gibi şaft etrafında gerçekleşmemiştir. Şaftın üzerindeki çıkıntıyı takip eden boşluk çapının 38 mm olduğu görülmüştür. Bu durum kurşunun, çıkıntı arkasında her yönden sadece 1 mm merkeze yaklaştığı anlamına gelmektedir.



Şekil 2.18 : 30 mm şaft ve 40 mm çıkıntı çapına sahip, kurşuna öngerilmenin uygulanmadığı sönümleyiciye ait çevrimler (Aygıt 1).

30 mm şaft ve 50 mm çıkıntı çapına sahip olan sönümleyicide, kurşuna öngerilme uygulanmadığı durumda, statik yükleme etkisinde oluşan davranış Şekil 2.19’da görülmektedir. Ulaşılan kuvvetin tepe noktası değeri 220-230 kN mertebelerindedir. Çıkıntının çapı arttığı için boşluğun genişliği ve uzunluğu azalmıştır. Sonuçlar 40 mm çıkıntı çaplı sönümleyiciden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırıldığında, daha düzgün bir dikdörtgen çevrim elde edildiği görülmektedir. Şaftın üzerindeki çıkıntıyı takip eden boşluk uzunluğunun yaklaşık 10 mm olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 2.19).

Sönümleyicinin 6.5 mm kalınlığındaki cidarlarına birim şekildeğiştirme ölçerler yerleştirilmiştir. Sönümleyici dış hazne cidarında, şaft üzerindeki çıkıntı hareketi sırasında % 2 mertebesinde plastik şekildeğiştirme meydana geldiği anlaşılmıştır. Kurşun çevresinde sarılma etkisinin tam olarak gerçekleşmediği görülmüştür.



Şekil 2.19 : 30 mm şaft ve 50 mm çıkıntı çapına sahip, kurşuna öngerilmenin uygulanmadığı sönümleyiciye ait çevrimler (Aygıt 1).

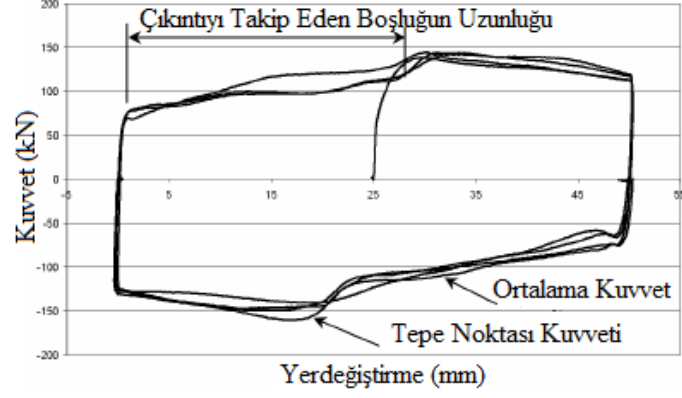
30 mm şaft ve 40 ile 50 mm çıkıntı çapına sahip sönümleyicide, kurşuna öngerilme uygulandığı durumda, statik yükleme etkisinde elde edilen davranış sırasıyla

Şekil 2.20 ve Şekil 2.21’de verilmiştir. Bu sönümleyicilerde, kurşun hazne içine yerleştirilip katılaştıktan sonra 400 kN’luk bir kuvvet uygulanmış ve kurşun üzerinde kalıcı bir basınç gerilmesi oluşturulmuştur. Dikdörtgene daha yakın ve daha düzgün biçimli çevrimler elde edilmiştir. Şaftın üzerindeki çıkıntıyı takip eden boşluk hala mevcuttur ancak uzunluğu oldukça azalmıştır. Boşluğun uzunluğu, 40 mm çaplı çıkıntıya sahip olan sönümleyicide 20 mm’ye, 50 mm çaplı çıkıntıya sahip sönümleyicide ise 2-3 mm’ye kadar düşmüştür. Oluşan hacimsel boşluk öngerilmenin olmadığı duruma göre yaklaşık üç kat azalmıştır. Aynı zamanda kuvvetteki dalgalanmalar azalmış ve en büyük dayanım platosu uzamıştır. Dolayısıyla tüketilen enerji miktarı da artmıştır.

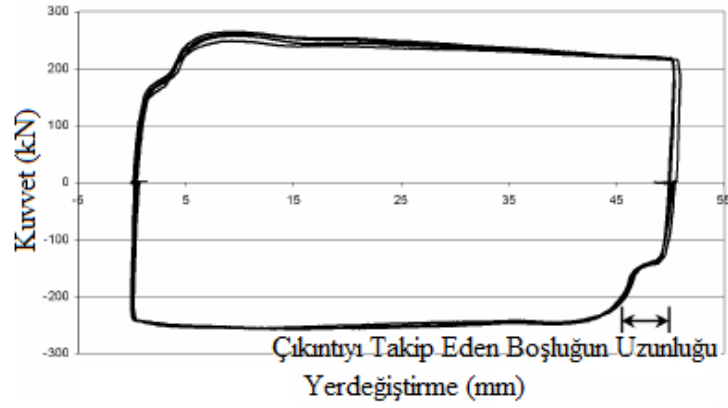
Kurşunda öngerilmenin bulunduğu 40 mm çıkıntı çaplı sönümleyicide elde edilen kuvvet değeri, aynı çıkıntı çaplı fakat kurşunda öngerilmenin bulunmadığı sönümleyiciye göre 80 kN artmıştır. 50 mm çıkıntı çaplı sönümleyicilerde bu artış 35 kN mertebesinde-dir. Bunun nedeni, öngerilme işlemi dolayısıyla kurşunda boşluk miktarının azalmış olması ve kurşunun daha küçük bir hacme sıkıştırılmaya zorlanmasıdır.

Ancak 40 mm çapındaki çıkıntı kullanıldığında kuvvette meydana gelen azalmanın hala devam ettiği görülmektedir. Çok büyük bir öngerilme kuvveti uygulanmadıkça bu azalmanın ortadan kalkması kaçınılmaz görünmektedir. Kuvvetin azalıyor olmasının diğer bir nedeni de 30 mm çaplı şaft üzerinde bulunan 40 mm çaplı çıkıntının göreceli olarak küçük olmasıdır. 40 mm çaplı çıkıntıya ait yüzey alanının küçük olması nedeniyle çıkıntıyı takip eden bir boşluk oluşmakta dolayısıyla yerdeğiştirmenin büyük bir bölümünde kuvvet azalarak devam etmektedir. Bu etki daha büyük çapta çıkıntı kullanılarak veya başka bir imalat şekli kullanılarak en aza indirilebilir.

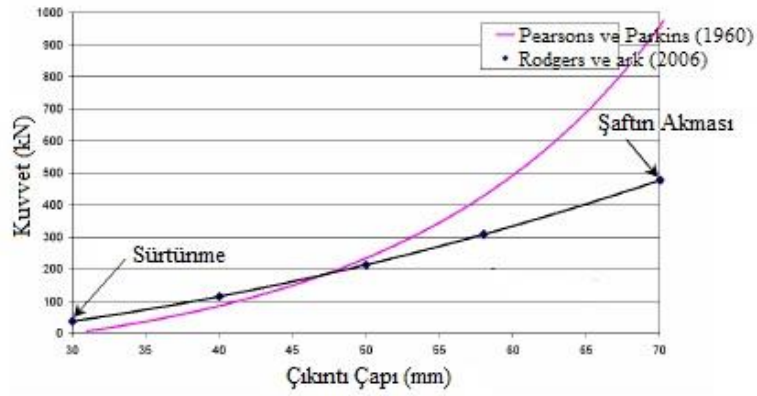
Elde edilen dayanım pik noktalarının ortalaması, sönümleyici parametreleri ile kuvvet arasında bir ilişki oluşturmak için kullanılmıştır. Çıkıntı çapı ile kuvvet arasındaki ilişki Şekil 2.22’de görülmektedir. Elde edilen eğri doğrusala çok yakındır ancak Pearsons ve Parkins (1960) tarafından önerilen ilişkiden oldukça farklıdır.



Şekil 2.20 : 30 mm şaft ve 40 mm çıkıntı çapına sahip, kurşuna öngerilmenin uygulandığı sönümleyiciye ait çevrimler (Aygıt 1).



Şekil 2.21 : 30 mm Şaft ve 50 mm çıkıntı çapına sahip, kurşuna öngerilmenin uygulandığı sönümleyiciye ait çevrimler (Aygıt 1).



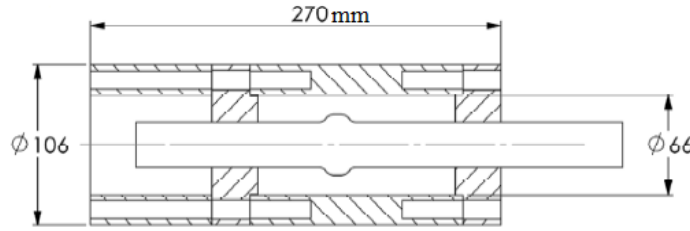
Şekil 2.22 : Deneysel sonuçlardan elde edilen ekstrüzyon ilişkisi (Öngerilmeli sönümleyici).

2.2.5 Rodgers, Chase, Mander, Leach ve Denmead (2006b)

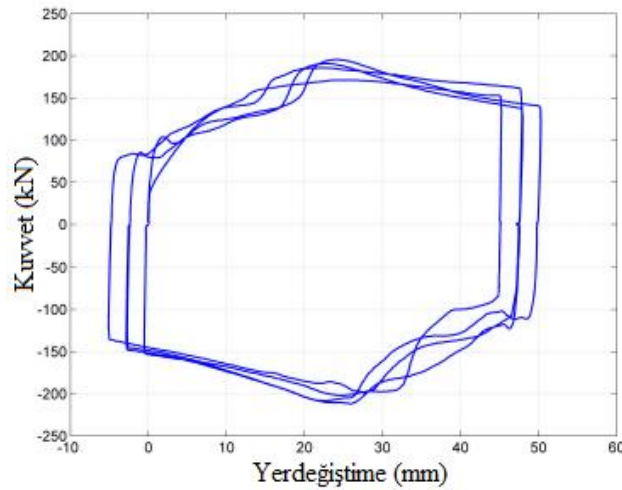
Bu çalışma kapsamında, Rodgers vd. (2006a) çalışmasının devamı olarak, sönümleyici boyutlarında yapılan değişikliklerin ve kurşunda oluşturulan öngerilmenin sönümleyici davranışına etkisini incelemek için başka bir sönümleyici

üretilmiştir (Şekil 2.23). Bu sönümleyicinin davranışı, 40 mm ve 50 mm büyüklüklerinde olmak üzere iki farklı çıkıntı çapı için araştırılmıştır. Sönümleyicide 100 kN mertebesinde sınırlı bir öngerilme kuvveti oluşturulabilmektedir. Aygıtın şaft çapı 30 mm, gövde iç çapı da 66 mm'dir. Bu sönümleyicinin cidar kalınlığı, önceki çalışmada üretilen 6.5 mm'den daha kalın bir cidar kalınlığı sağlayacak şekilde, 20 mm olarak seçilmiştir. Böylelikle daha iyi bir sarılma etkisi oluşturulmuştur. Bu sönümleyiciye ait kuvvet-yerdeğiştirme çevrimleri Şekil 2.24 ve Şekil 2.25'te görülmektedir.

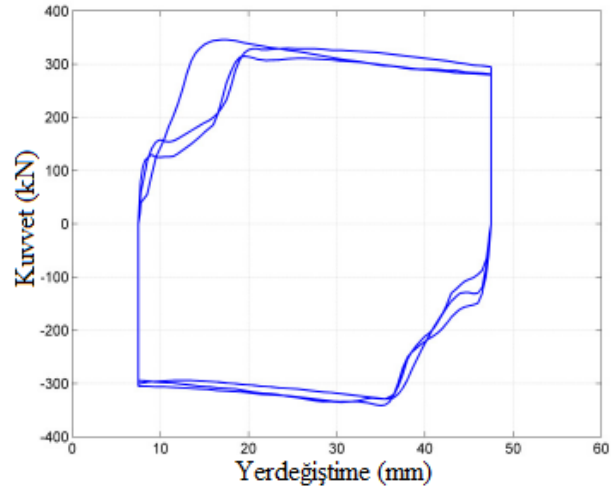
Bu çalışmada, boyutları daha küçük olan kurşun eksrüzyon sönümleyiciler de üretilmiş, davranış şekilleri deneysel ve kuramsal olarak incelenmiştir. Bu tür sönümleyiciler dar alanlarda kullanım için geliştirilmiştir. Üretilen sönümleyicinin şaft çapı 20 mm, şaft üzerindeki çıkıntı çapı 32 mm ve gövde hazne iç çapı da 50 mm'dir (Şekil 2.26). Bu sönümleyicilerin statik yük etkisi altındaki davranışı Şekil 2.27'de verilmiştir.



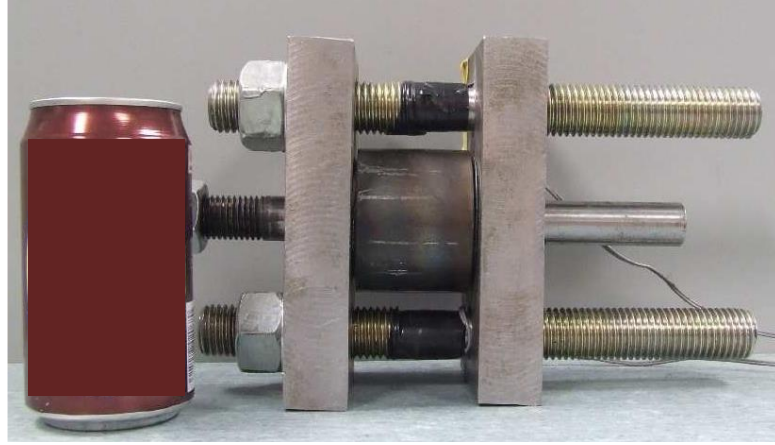
Şekil 2.23 : Farklı boyutlardaki KES (Aygıt 2).



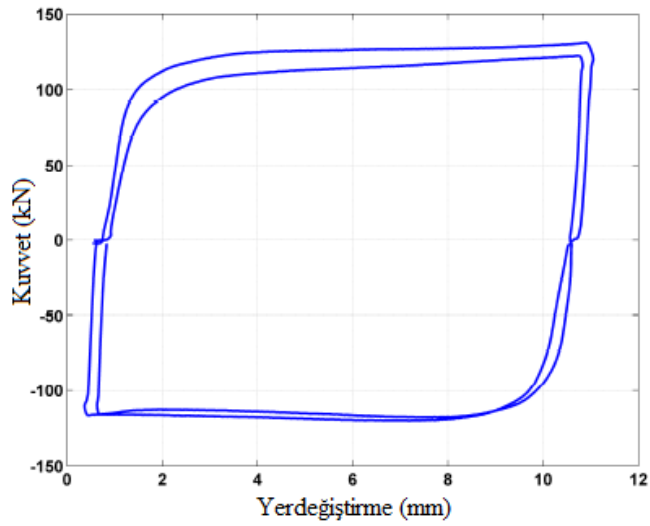
Şekil 2.24 : 40 mm çıkıntı çaplı sönümleyicinin davranışı (Aygıt 2).



Şekil 2.25 : 50 mm çıkıntı çaplı sönümleyicinin davranışı (Aygıt 2).



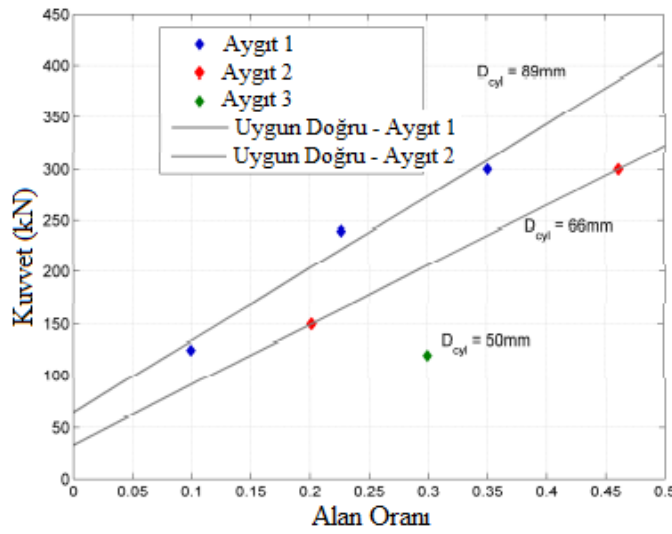
Şekil 2.26 : KES (Aygıt 3).



Şekil 2.27 : Statik yükleme etkisinde sönümleyicinin davranışı (Aygıt 3).

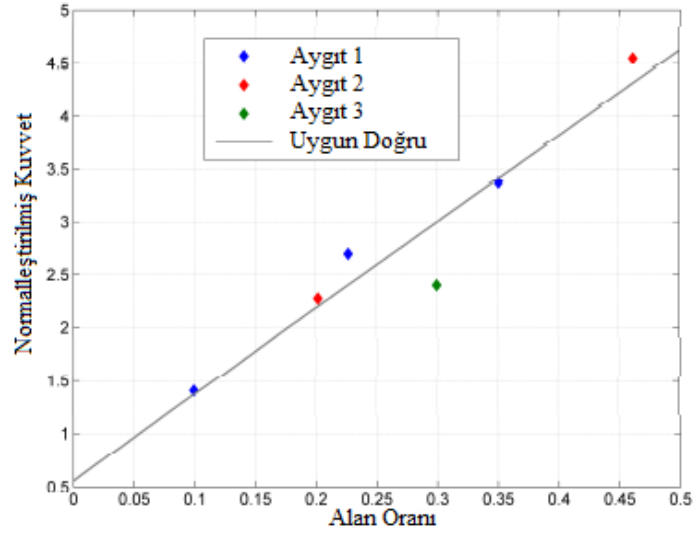
Bu çalışmada, ulaşılan kuvvetler ile aygıt boyutları arasındaki ilişkiyi belirlemek üzere bir bağıntı oluşturulmuştur. Bu bağıntı kuvvet ile *aygıt alan oranı* arasında

tanımlanmıştır. Çıkıntı kesit alanından şaft kesit alanının çıkarılması ile çıkıntı net alanı tarif edilmiştir. Ayrıca gövde içi toplam alanından şaft kesit alanının çıkarılması ile kurşun net alanı tarif edilmiştir. Çıkıntı net alanının kurşun net alanına oranı *aygıt alan oranını* vermektedir. Önceki çalışma içerisinde ve bu çalışmada kullanılan sönümleyici aygıtlara ait kuvvet-alan oranı ilişkisi Şekil 2.28’de görülmektedir. Her aygıt için kuvvet ile alan oranı arasında doğrusal bir ilişkinin olduğu görülmektedir. Ancak her aygıt için doğrusal ilişki birbirinden farklıdır. Bu doğrusal ilişkiler gövde iç çapı arttıkça (dolayısıyla sönümleyicinin boyutu) kuvvetin arttığını göstermektedir.



Şekil 2.28 : Sönümleyicilere ait kuvvet-alan oranı ilişkisi.

İleriki çalışmalarda üretilecek farklı boyutlardaki kurşun ekstrüzyon sönümleyicilerin tasarımında kullanılmak üzere aygıt boyutundan bağımsız olan deneysel ilişkiler geliştirmek oldukça önemlidir. Bu nedenle, boyut etkisini ortadan kaldırmak için bir normalleştirme işlemine gereksinim duyulmuş ve bu işlem için kullanılacak boyut değişkeni olarak gövde iç çapı seçilmiştir. Normalleştirme işleminden sonra, tüm aygıtlar için elde edilen deneysel ortalama kuvvet seviyesinin gövde iç çapına bölünmesi ile elde edilen, normalize edilmiş kuvvet seviyeleri belirlenmiştir (Şekil 2.29). Tüm sonuçlar arasında, aygıt boyutundan bağımsız olarak, güçlü bir doğrusal ilişki olduğu görülmektedir.

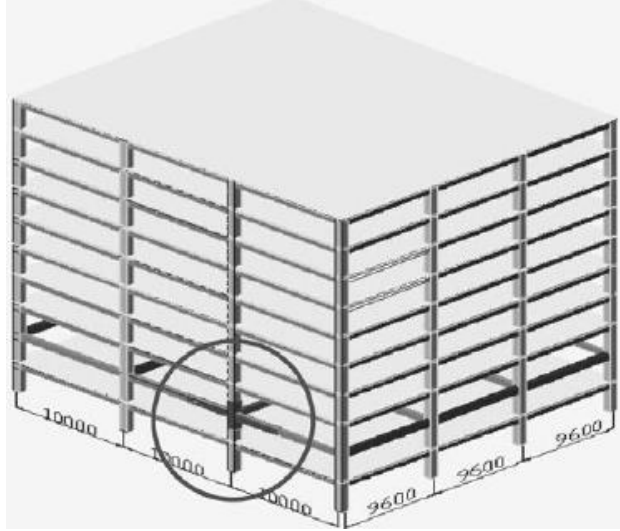


Şekil 2.29 : Sönümleyicilere ait normalleştirilmiş kuvvet-alan oranı ilişkisi.

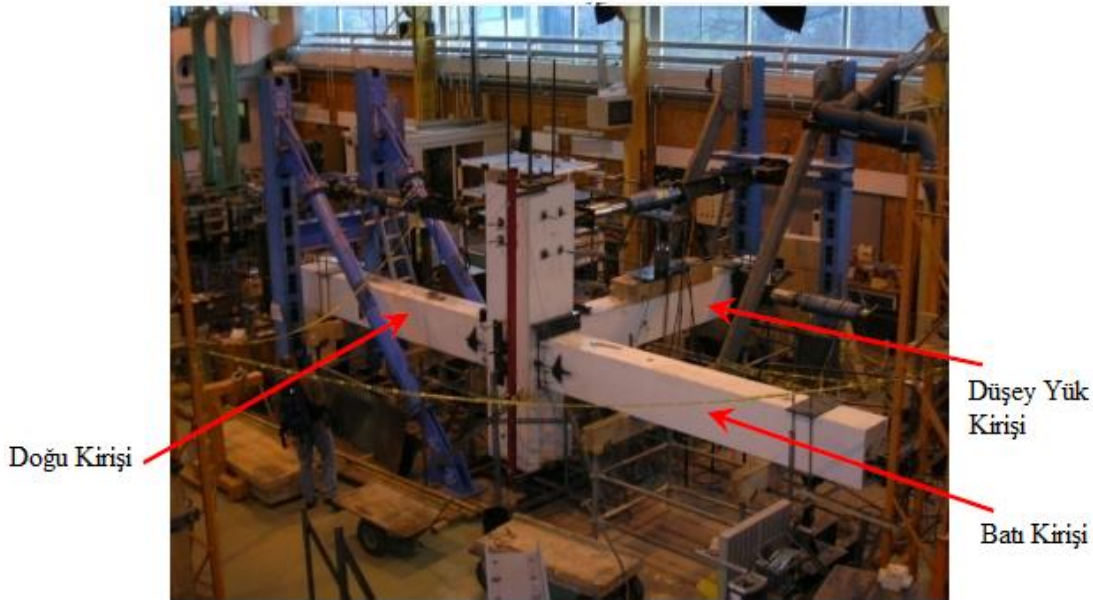
2.2.6 Rodgers (2009)

Bu çalışmada, Rodgers vd. (2006b) tarafından üretilen ve boyutları küçültülmüş olan kurşun ekstrüzyon sönümleyiciler, ardgermeli tendonlar ile bir araya getirilmiş bir kiriş-kolon birleşiminde, kiriş yüzlerine yerleştirilmiştir. 10 katlı bir örnek yapının alt katlarında ve dış cephede yer alan bir kiriş-kolon birleşimini temsil eden üç boyutlu bir alt örnek oluşturulmuştur (Şekil 2.30 ve Şekil 2.31). Bu alt örnek açıklık orta noktalarından kesilmiş iki adet kirişten ve bu kirişlere dik olarak birleşen açıklık orta noktasından kesilmiş bir adet kirişten oluşmaktadır. Düşey yük kirişi olarak adlandırılan dik kiriş, tek doğrultulu prefabrike döşeme panellerinin mesnetlenmesi için tasarlanmıştır. Deprem yükü kirişleri olarak adlandırılan diğer iki kirişin tasarımı ise baskın olarak deprem yükleri için yapılmıştır. Örnek yapı içerisindeki kiriş-kolon birleşiminde eleman boyutları kolon için 850×850 mm ve kiriş için 700×500 mm'dir. Kat yüksekliği ise 3.6 m'dir. İlk örneği oluşturulan bu düğüm noktasının 500 kNm mertebesinde bir moment taşıma kapasitesine sahip olduğu kabul edilmiştir.

Örnek, üç boyutlu yapıda bulunan elemanlar yaklaşık olarak % 80 oranında ölçeklendirilerek oluşturulmuştur. Dolayısıyla denenen kiriş-kolon birleşiminde eleman boyutları kolon için 700×700 mm ve kiriş için 560×400 mm olmuştur. Kiriş ve kolon için boyuna donatı miktarı izin verilen en alt seviyede (0.01) tutulmuştur. Birleşimde oluşturulan ardgerme kuvvetinin başlangıç büyüklüğü 400 kN mertebesinde dir. Kullanılan sönümleyicilerin tasarım anma kuvveti ise 120 kN'dur.



Şekil 2.30 : Kiriş-kolon birleşiminin alındığı üç boyutlu yapı.

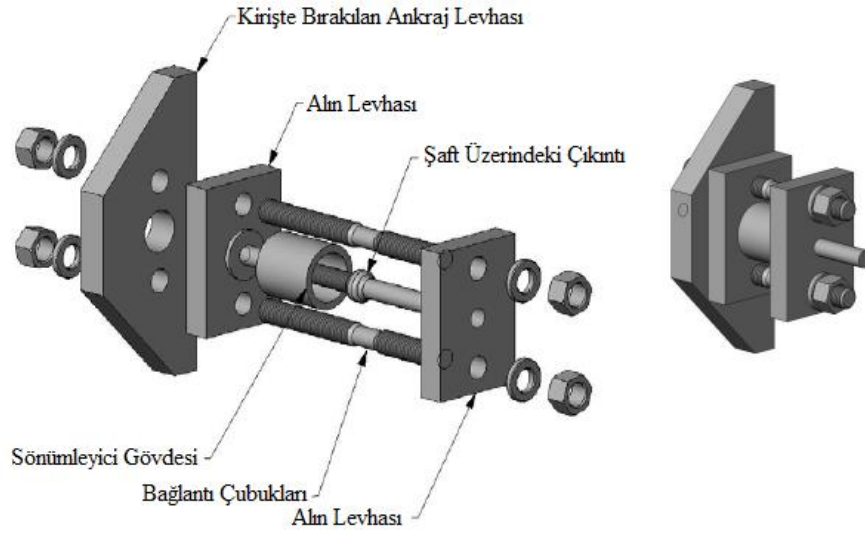


Şekil 2.31 : Kiriş-kolon birleşimi ve deney düzeneği.

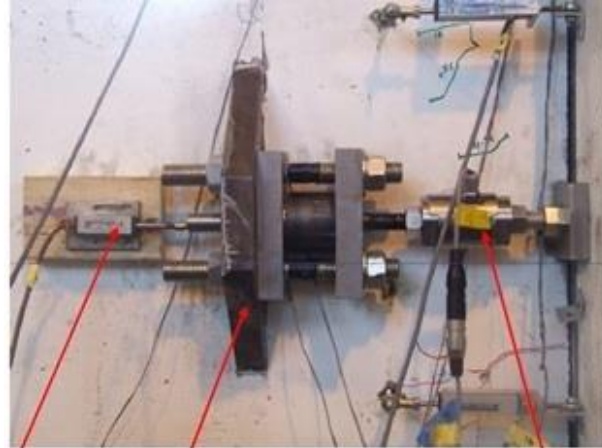
Kurşun ekstrüzyon sönümleyicilerin bağlantısı, kirişlerin imalatı sırasında yerleştirilen ankraj plakaları üzerine yapılmıştır. Kurşun ekstrüzyon sönümleyici ve bağlantısı için kirişe yerleştirilen levha Şekil 2.32’de görülmektedir. Dikdörtgen alın levhalarının birbirine bağlantısı ve sönümleyicinin kirişteki ankraj levhaları ile bağlantısı iki adet bağlantı çubuğu ile yapılmaktadır. Sönümleyici şaftının bir ucuna dış açılmış ve kolon ile bağlantısı yapılmıştır. Kolon içerisine yerleştirilen ve kolon kesiti boyunca devam eden çubuğun her iki ucuna dış açılmıştır. Bu çubuğun kolon dışındaki uçlarına levha ve somun bağlanmıştır (Şekil 2.33).

Kat ötelenmesinin farklı seviyeleri için kurşun ekstrüzyon sönümleyicinin performansı incelenmiştir. Deneysel çalışmada çevrimsel statik yükleme kullanılmış ve yatay yükleme doğu-batı doğrultusunda gerçekleştirilmiştir.

Sönümleyicilerin bulunduğu kiriş-kolon birleşiminin, % 2 görelî kat hareketi düzeyine kadar olan davranışı Şekil 2.34'te görülmektedir. Yalın kiriş-kolon birleşiminin davranışı ile çelik çubukların sönümleyici olarak kullanıldığı numunenin davranışı da aynı şekil üzerinde verilmiştir.



Şekil 2.32 : KES ve ankraj levhasının açık görünümü.

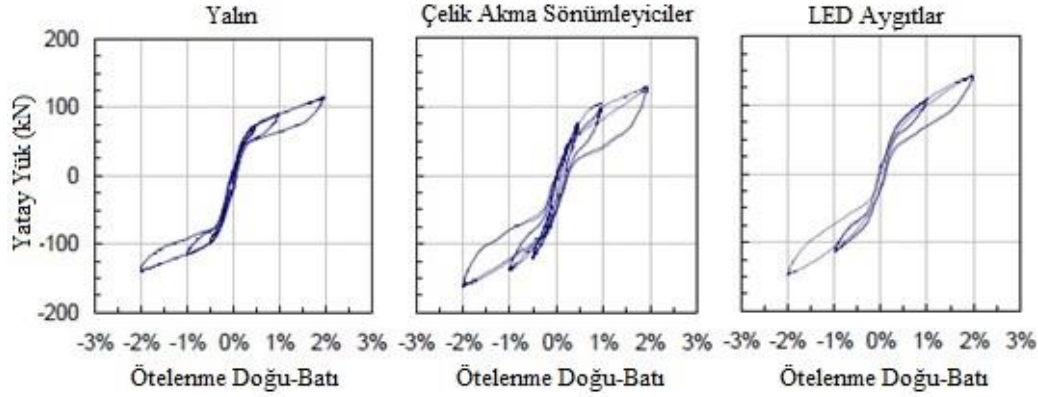


Sönümleyici Şaftının Kiriş Ankraj Levhası Yükleme Yerdeğiştirmesini Ölçen Potansiyometre Yükleme Hücresi ve Bağlantı Çubuğu

Şekil 2.33 : KES'in kiriş-kolon birleşimine yerleştirilmesi.

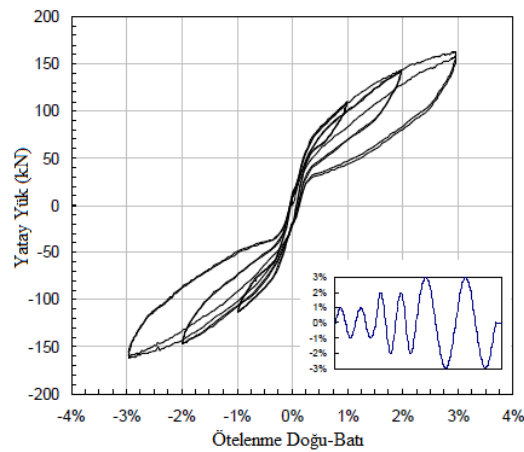
Yalın birleşim durumunda birleşimde bir miktar enerji tüketimi gerçekleşmektedir. Küçük ötelenme çevrimlerinde en fazla enerji tüketimi çelik akma sönümleyicilerinin kullanıldığı birleşimde olmuştur Kurşun ekstrüzyon sönümleyici aygıtlar çelik akma sönümleyici aygıtlara yaklaşık olarak eşit ilave enerji tüketimi sağlamıştır. Çelik

akma sönümleyicilerin kullanıldığı alt örneklerin davranışında dayanım kaybı meydana gelmiştir. Bunun nedeni çelik sönümleyicilerin basınç kuvveti etkisinde burkulmasıdır. Kurşun ekstrüzyon sönümleyicilerin kullanıldığı numunede kararlı çevrimler gerçekleşmiştir (Şekil 2.34) (Rodgers, 2009).



Şekil 2.34 : Yalın ve sönümleyici yerleştirilmiş prefabrike kiriş-kolon birleşimlerinin % 2 ötelenme aşamasına kadar olan yük-ötelenme ilişkileri.

Kurşun ekstrüzyon sönümleyicilerin kullandığı numune, % 3 görelî ötelenme aşamasında daha büyük çevrimsel enerji tüketmiştir (Şekil 2.35). Ardışık çevrimler arasında bir miktar dayanım kaybı olsa da genel yükleme kapasitesinde azalma olmamıştır. Yük-yerdeğiştirme eğrilerinin kapadığı alanlar hesaplanarak, üç farklı numune için, farklı kat ötelemeleri düzeyinde tüketilen enerji miktarları hesaplanmıştır (Çizelge 2.4). Sönümleyici yerleştirilmiş birleşimin daha fazla enerji tükettiği görülmektedir.

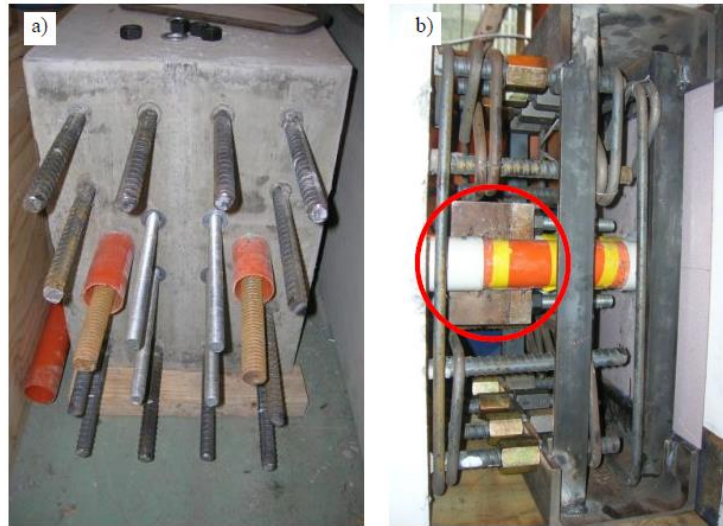


Şekil 2.35 : KES'lerin kullanıldığı arduermeli prefabrike kiriş-kolon birleşiminin % 3 ötelenme seviyesine kadar olan yük-ötelenme ilişkisi.

Çizelge 2.4 : Yalın ve sönümleyici yerleştirilmiş birleşimlerin tükettikleri enerji miktarları (Joule).

	Ötelenme Seviyesi (%)				
	0.25	0.50	1.00	2.00	3.00
Yalın	67	141	420	1208	2372
Çelik Akma Sönümleyiciler	114	331	819	2200	-
LED Sönümleyiciler	-	-	440	1601	3419

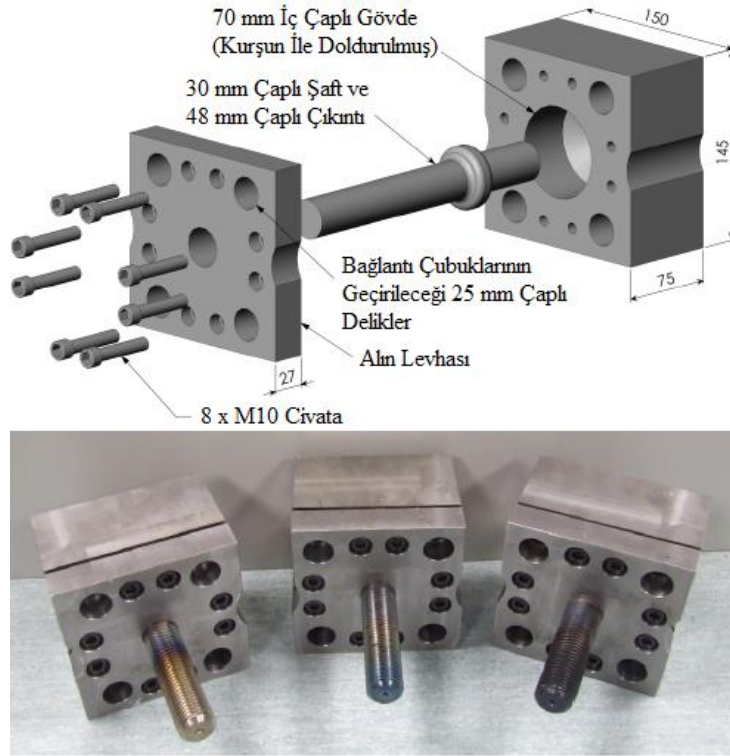
Bu çalışmada ayrıca, ardgermeli tendonlar ile bir araya getirilmiş kiriş-kolon birleşiminde, kiriş gövdesine kurşun ekstrüzyon sönümleyiciler yerleştirilmiştir. Kullanılan sönümleyicilerin tasarım kuvveti 250 kN'dur. Önceki çalışmada birleşimde oluşturulan ardgerme kuvvetinin başlangıç büyüklüğü 400 kN iken, burada çubuk başına 250 kN olmak üzere toplam 500 kN'luk kuvvet hedeflenmiştir. Bu numunenin diğer bir farklılığı ise sönümleyicilerin yerleştirildiği kiriş uç bölgesinin teşkil biçimidir. Kiriş ucunda 300 mm'lik bölgede yerinde dökme beton kullanılmıştır. Deprem yükü kirişlerinin tasarımı kesit merkezine yerleştirilen 150×150 mm boyutundaki sönümleyiciler ile yapılmıştır. Kirişler ile sönümleyicilerin bağlantısının yapılabilmesi için kiriş ucunda dış açılmış çubuklar kirişlere döküm aşamasında ankre edilmiştir (Şekil 2.36).



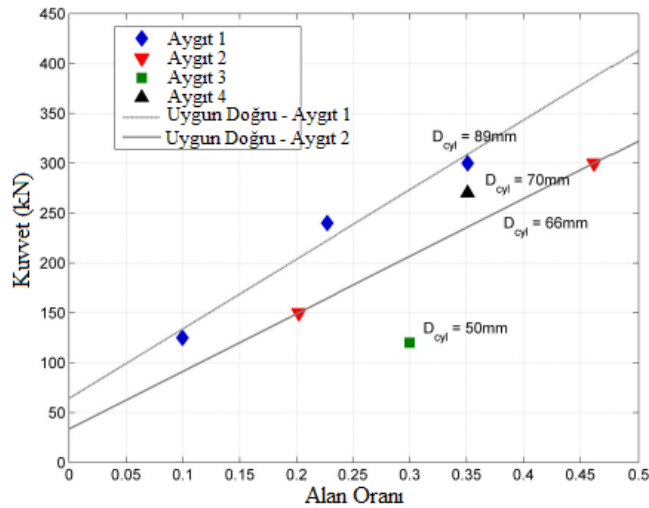
Şekil 2.36 : Prefabrike kiriş uç bölgesi; (a) Kiriş boyuna donatıları, sönümleyici bağlantısı için kullanılacak çubuklar, PVC kanal içerisine konulmuş ardgerme çubukları (b) PVC kanal içerisine konulmuş ardgerme çubukları ve sönümleme aygıtı.

Kullanılan sönümleyicilerin shaft çapı 30 mm olup shaft üzerinde bulunan çıkıntının çapı ise 48 mm'dir. Gövde iç çapı 70 mm olan sönümleyici "Aygıt 4" olarak adlandırılmıştır (Şekil 2.37). Bu sönümleyicinin üretim şekli daha önce anlatılan sönümleyicilerin üretim şeklinden farklıdır. Bu sönümleyici bütün bir çelik parçanın

makinede işlenmesi ile oluşturulmuştur. Bu işlemin iki üstünlüğü vardır. Birincisi, kurşunda daha iyi bir sarılma etkisi oluşturacak kalın bir cidar kalınlığı elde edilmesidir. İkincisi ise, çeliğe şekil verilerek yapılan üretimin daha ekonomik olmasıdır.



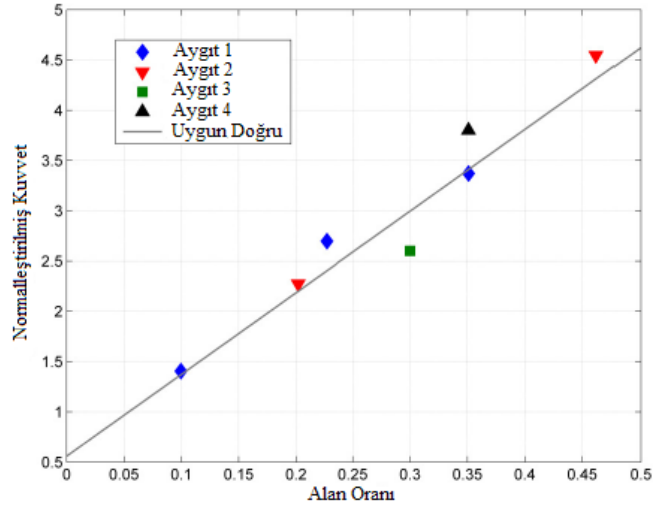
Şekil 2.37 : KES'ler ve sönümleyicinin açık görünüşü (Aygıt 4).



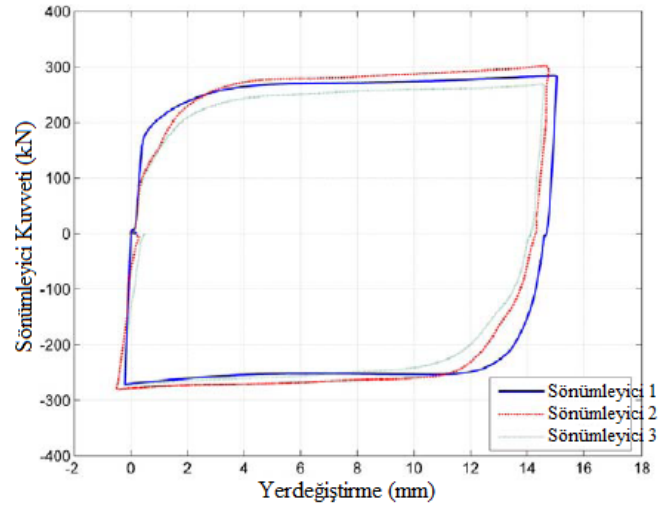
Şekil 2.38 : KES kuvvet-alan oranı ilişkileri.

Üretilen sönümleyicilere ait kuvvet-alan oranı ve normalleştirilmiş kuvvet-alan oranı ilişkileri daha önceki sönümleyiciler ile karşılaştırılmıştır (Şekil 2.38 ve Şekil 2.39). Gövde iç çapı 70 mm olan sönümleyiciden elde edilen kuvvet-alan oranı, gövde iç

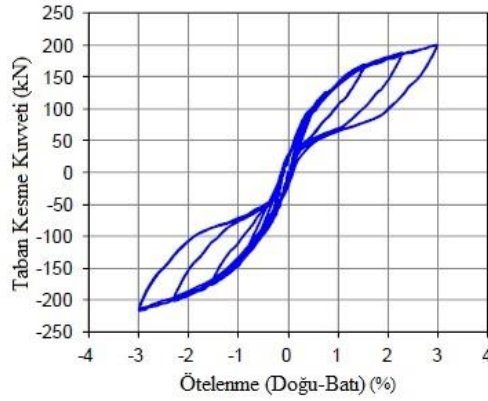
apı 66 mm ve 89 mm olan sönümleyicilere ait doğruların belirlediğı alanda kalmaktadır. Sönümleyicilere ait çevrimsel eğriler Şekil 2.40'ta görölmektedir.



Şekil 2.39 : KES normalleştirilmiş kuvvet-alan oranı ilişkileri.



Şekil 2.40 : Aynı boyutta üretilen üç sönümleyiciye ait çevrimler.



Şekil 2.41 : KES'lerin kiriş içine yerleştirildiğı ardgermeli prefabrike kiriş-kolon birleşimlerinin % 3 ötelenme değerine kadar performansı.

Numunede doğu-batı doğrultusunda yerdeğiştirme kontrollü olarak gerçekleştirilen çalışma, % 3 ötelenme seviyesine kadar yapılmıştır (Şekil 2.41). Her yerdeğiştirme eşiğinde ikişer çevrim uygulanmıştır.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar řu şekilde özetlenebilir.

1. Statik yükleme etkisinde elde edilen sonuçlar, ötelenmenin küçük değerlerinde kurşun ekstrüzyon sönümleyicilerin, aynı akma dayanımına sahip yumuşak çelik çubuklardan oluşan sönümleyiciler kadar veya onlardan daha çok enerji tüketebildiğini göstermiştir.
2. Kurşun ekstrüzyon sönümleyiciler, yumuşak çelik çubuklardan oluşan akma esaslı sönümleyicilere göre oldukça cazip bir seçenek oluşturmaktadır. Kurşun ekstrüzyon sönümleyicilerde, yorulmadan dolayı herhangi bir taşıma gücü kaybı meydana gelmemekte ve yükleme bittikten sonra sönümleyicide artık kuvvet kalmamaktadır. Dolayısıyla bu sönümleyicilerde, deprem hareketinden sonra bakım ihtiyacı doğmamaktadır.
3. Kiriş uç bölgelerinde kiriş içersine yerleştirilen sönümleyicilerin kullanıldığı prefabrike kiriş-kolon birleşimlerinde performans hedefleri karşılanmıştır. Deneyssel olarak incelenen birleşimde hasar meydana gelmemiştir.
4. Kiriş uç bölgelerinde kiriş içersine yerleştirilen sönümleyicilerin kullanıldığı prefabrike kiriş-kolon birleşimlerinde rijitlik ve dayanım kaybı oluşmamıştır. Sönümleyici içersinde oluşan kuvvetler zaman içersinde azalarak sıfırlanmıştır.

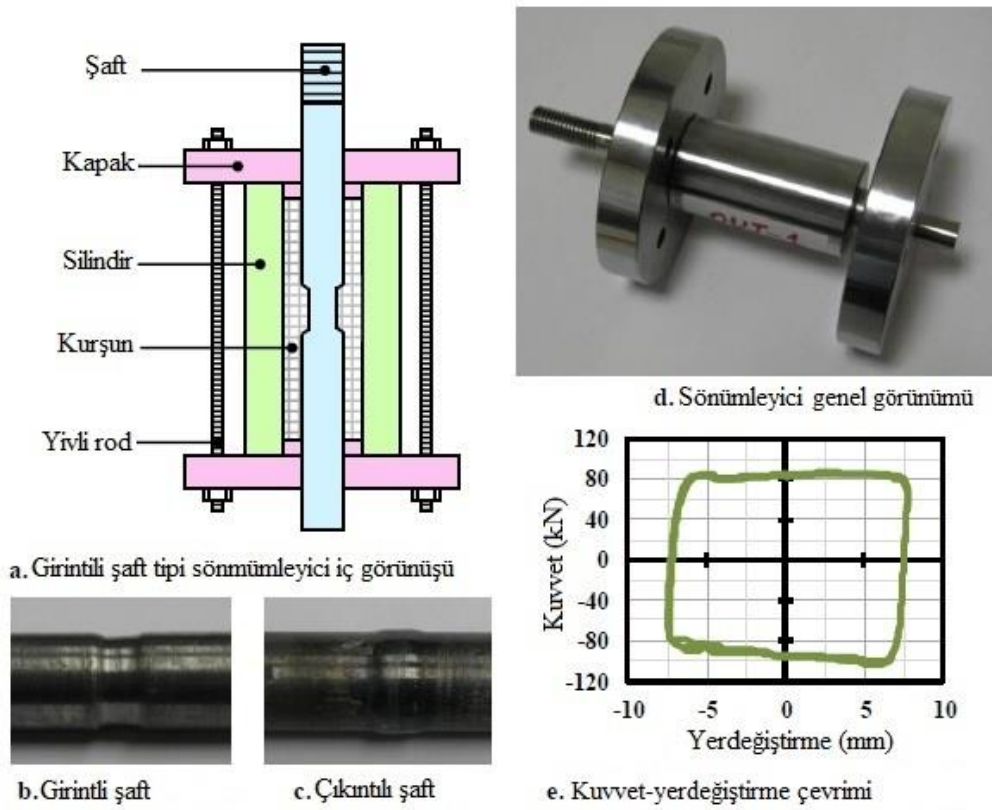
2.2.7 Golondrino, Chase, Rodgers, MacRae ve Clifton (2012)

Bu çalışmada, girintili ve çıkıntılı şafta sahip olan kurşun ekstrüzyon sönümleyiciler kullanılmış (Şekil 2.42) ve bu sönümleyiciler 0.15-190 mm/s hız aralığında yapılan deneyssel çalışmalar ile test edilmiştir. Hızın, sönümleyici çevrimsel davranışı ve dayanımı üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Kullanılan aygıtların şaft çapları 16 mm ve silindir iç çapı 20 mm olup, kurşuna verilen öngerme kuvveti 150 kN'dur. Çıkıntı ve girinti biçimleri şaft çapını sırasıyla 1 mm arttırmak ve azaltmak suretiyle oluşturulmuştur. Çalışmada kullanılan aygıtların yerdeğiştirme kapasiteri 10 mm'dir.

Deneyisel çalışma, sarsma masası üzerinde, yatay bir deney düzeneği içerisinde birbirine seri olarak bağlanmış yük hücresi, potansiyometre ve sönümleme aygıtı ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.43). Deneyler 10 mm genliğinde sinüzoidal yerdeğiştirme etkisi altında yapılmıştır (Şekil 2.43). Hız 0.15 mm/s ile 190 mm/s aralığında değişirken frekans 0.0025 Hz ile 3 Hz arasında değişmektedir.

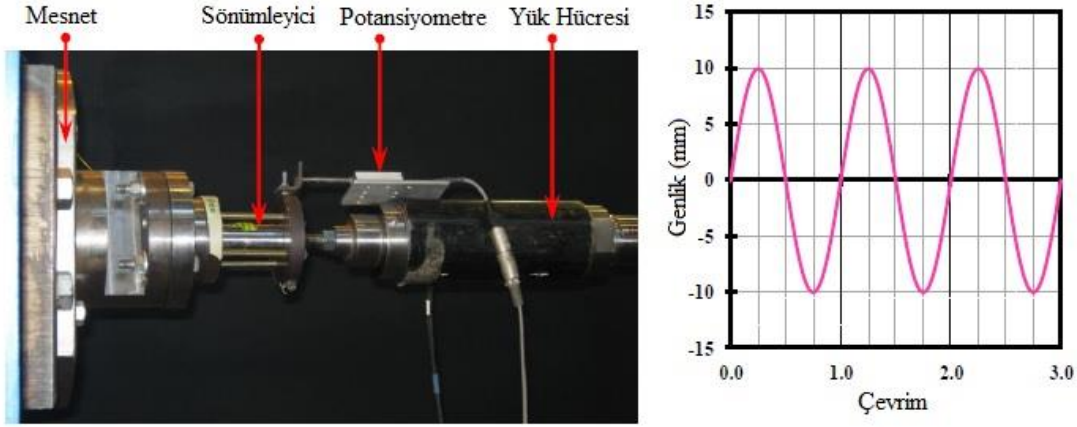
Sönümleyiciler düşük ve yüksek hız şartları altında tekrarlanan, kararlı bir davranış sergilemiştir. Girintili şafta sahip sönümleyicilerde, düşük ve yüksek hız seviyelerinde, çevrim biçimleri arasında çok küçük farklar oluşmuştur. Düşük hızlarda çevrim köşelerinde meydana gelen kuvvet artışları, yüksek hızlarda yerini yuvarlatılmış köşelere bırakmıştır. Çıkıntılı şafta sahip aygıtlarda, düşük hızlardaki çevrimler yaklaşık dikdörtgen biçiminde iken yüksek hızlarda eğrilerin iki köşesinde kuvvette artış meydana gelmiştir.



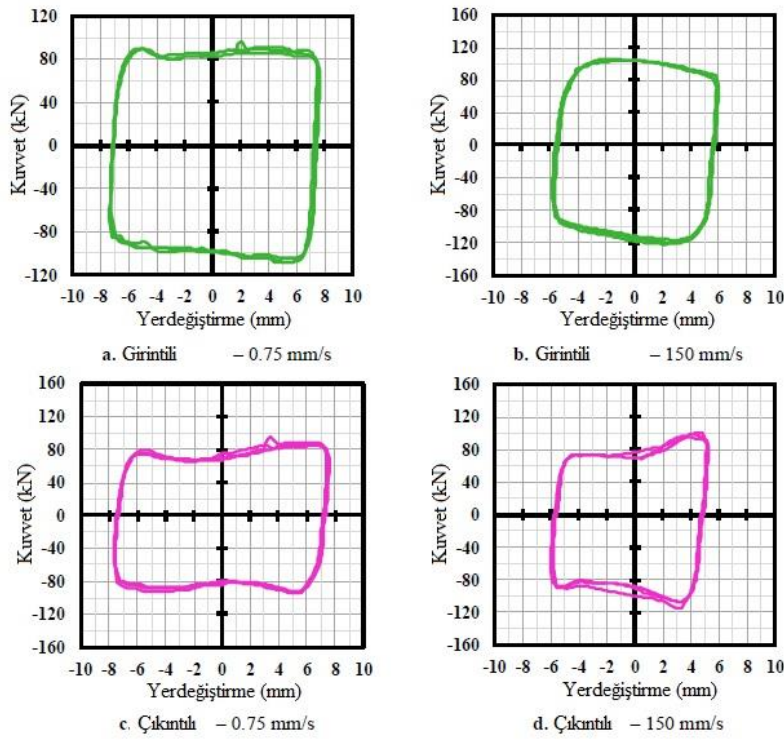
Şekil 2.42 : KES; (a) İç görünüş, (b) Girintili şaft (c) Çıkıntılı şaft, (d) Sönümleyici genel görünümü, (e) Kuvvet-yerdeğiştirme çevrimi.

Her iki şaft biçimi için, çevrimlerin akma sonrasındaki bölümlerinde, yaklaşık %10 ile %20 arasında dayanım değişimleri gözlenmiştir. İlave olarak yüksek hızlarda, kuvvetin sıfır olduğu yerdeğiştirme değerlerinde süreksizlikler meydana geldiği görülmüştür. Bu süreksizliğin, deney düzeneğinin esnekliğinden ve sarsma masası

kontrolündeki yetersizliklerden kaynaklandığı düşünülmüştür. Her iki şaft tipine sahip sönümleyiciler için iki farklı hız düzeyinde elde edilen çevrimler Şekil 2.44'te verilmiştir.



Şekil 2.43 : Deney düzeneği ve yerdeğiştirme fonksiyonu.



Şekil 2.44 : Farklı hız seviyelerinde elde edilen kuvvet-yerdeğiştirme çevrimleri.

2.3 Kurşun Ekstrüzyon Sönümleyicinin Tasarımı ve Üretimi

Kurşun (Pb) atom numarası 82 ve atom ağırlığı 207.2 g/mol olan mavi-gümüş renkli bir elementtir. 327.5 °C sıcaklıkta erimekte ve 1740 °C sıcaklıkta kaynamaktadır. Birim hacim ağırlığı 11.34 g/cm³ olan kurşun metalinin elastisite modülü ortalama

16000 MPa' dır. Karşılaştırma amacıyla kurşun, yapı çeliği ve diğer bazı metallerin özellikleri Çizelge 2.5'te verilmiştir.

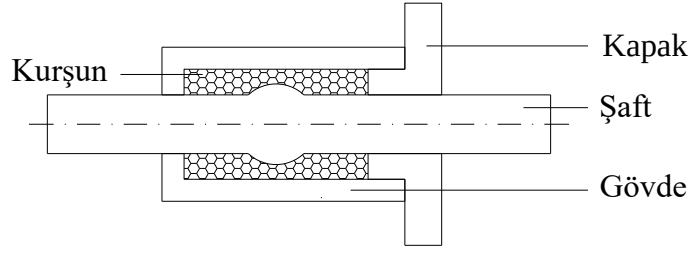
Kurşun, enerji yutabilen şekil değiştirebilir bir malzeme olarak tercih edilmektedir. Bunun nedenlerinden ilki, oda sıcaklığında yaklaşık 15 MPa gerilme etkisinde kurşunda akma meydana gelmesidir. İkincisi ise, akmadan dolayı meydana gelen plastik şekildeğiştirmeyi takiben, kurşunun yeniden kristalleşmeye uğramasıdır. Kurşun oda sıcaklığında yeniden kristalleşebilmektedir. Yeniden kristalleşme sonucunda, malzeme şekildeğiştirmeden önceki özelliklerini tekrar kazandığı gibi, genellikle daha ince taneli bir yapıya sahip olmaktadır. Üçüncü neden de, bu özellikleri gösterecek saflık derecesindeki kurşun metalinin kolayca bulunabilmesidir.

Çizelge 2.5 : Bazı metallere ait özellikler.

Metaller	Elastisite Modülü (MPa)	Poisson Oranı	Akma Gerilmesi (MPa)	Kopma Gerilmesi (MPa)	Birim Hacim Ağırlığı (g/cm ³)	Kopma Uzaması (%)	Erime Sıcaklığı (°C)
Alüminyum	70000	0.35	20-30	40-50	2.70	30-50	660.32
Bakır	130000	0.34	33	210	8.94	40	1084.62
Kurşun	16000	0.44	15	-	11.34	-	327.46
Çinko	108000	0.25	-	110-200	7.14	60	419.53
Nikel	170000	0.30	14-35	140-195	8.91	-	1453.00
Titanyum	120000	0.32	100-225	240-370	4.51	-	1668.00
Tantal	186000	0.34	180	200	16.69	-	3017.00
Yapı Çeliği	210000	0.30	220-250	400-550	7.80	25	-

Malzemenin orijinal halini geri kazanması sıcaklık, süre ve şekildeğiştirme geçmişi değişkenlerine bağlıdır. Örneğin, şekildeğiştirmiş kurşunun özelliklerini yeniden kazanması oda sıcaklığında 10 saniye düzeyindedir. Şekildeğiştirmiş bakır için bu süre 100 yıl'dır. Ancak bakır 100°C sıcaklığa kadar ısıtılırsa bu işlem yaklaşık üç saate kadar inmektedir. Metallerdeki bu süreci tanımlamak için kullanılan *Yeniden Kristalleşme Sıcaklığı*; yaklaşık bir saat içerisinde, soğukta işlenmiş metalin tamamen yeniden kristalleştiği, dolayısıyla orijinal özelliklerinin çoğunu yeniden kazandığı sıcaklık olarak ifade edilmektedir (Robinson ve Greenbank, 1975).

Bu çalışma kapsamında geliştirilen sönümleyici aygıt, şaft, gövde ve kapak olmak üzere üç ana parçadan oluşmaktadır. Parçaların çelik sınıfı CK45'tir. Sönümleyicinin şaft, gövde ve kapak arasında kalan boşluk kısımları kurşun ile doldurularak kurşun ekstrüzyon sönümleyici (KES) imal edilmiştir (Şekil 2.45 ve Şekil 2.46).



Şekil 2.45 : KES tipik kesiti.

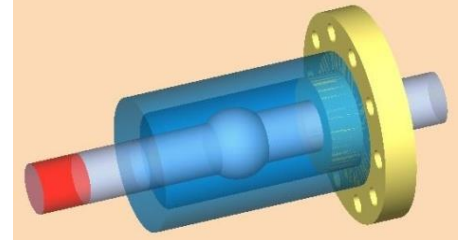
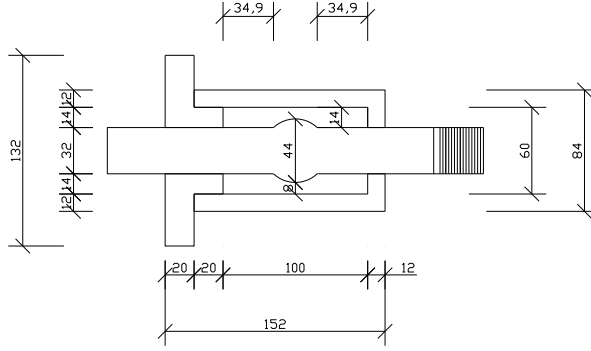


Şekil 2.46 : KES'in bileşenleri.

Şaftın çapı 32 mm olup üzerinde 44 mm çapında küre biçiminde bir çıkıntı bulunmaktadır. Şaftın ucuna sönümleyici aygıtın deney düzeneğine bağlantısını sağlamak üzere 30 mm (15×2 mm) uzunluğunda diş açılmıştır (Şekil 2.46). Gövde kısmının dış çapı 84 mm, iç çapı 60 mm ve cidar kalınlığı 12 mm' dir. Gövde içerisine şaft yerleştirildiğinde şaft ile gövde arasında 14 mm, çıkıntı ile gövde arasında 8 mm boşluk kalmaktadır (Şekil 2.47). Gövde kısmının dış uzunluğu 132 mm' dir. Kapak yerleştirildiğinde gövde iç kısmının serbest açıklığı 100 mm olmaktadır. Aynı zamanda bu uzunluk şaft üzerinde bulunan çıkıntının hareket edebileceği bölgenin uzunluğudur. Şaft üzerindeki çıkıntı, gövde kısmının 100 mm uzunluğundaki kısmının ortasında kalacak şekilde kurşun dökümü gerçekleştirilmiştir. Bu durumda çıkıntının her iki yanında kalan serbest hareket mesafesi 34.9 mm olmaktadır (Şekil 2.47).

Kapak kısmının gövde içerisine yerleştirilen bölümünün cidar kalınlığı 14 mm'dir. Deney düzeneğine bağlantıyı sağlamak üzere kullanılan ve gövde dışında kalan bölümün cidar kalınlığı ise 20 mm'dir. Kapağın çapı 132 mm olup, merkezinde 32 mm çapındaki şaftın hareket etmesi için 32.02 mm çapında delik açılmıştır

(Şekil 2.46 ve Şekil 2.47). Bununla birlikte sönümleyici aygıtın deney düzeneğine bağlantısını sağlamak üzere 13 mm çapında 10 adet delik açılmıştır. Bu delikler, aralarında 36^0 açı olacak şekilde kapak merkezi çevresinde, radyal olarak yerleştirilmiştir (Şekil 2.46).



Şekil 2.47 : KES boyutları ve üç boyutlu canlandırma.

Kurşun ekstrüzyon sönümleyicinin tasarımı ve boyutlandırılmasında daha önce yapılan çalışmalarda edinilen tecrübeler kullanılmıştır. Girintili tüp tipi sönümleyici imalatının daha güç ve maliyetli olması dolayısıyla çıkıntılı şaft tipi sönümleyici tasarımına gidilmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında tasarımı ve imalatı yapılan kurşun ekstrüzyon sönümleyicilerde; Robinson ve Greenbank (1975), Robinson ve Greenbank (1976) ve Cousins ve Porritt (1993) tarafından oluşturulan kurşun ekstrüzyon sönümleyicilerden farklı olarak, kurşun ve gövde yüzeyi arasında yağ tabakası kullanılmamıştır. Dolayısıyla yağ tabakasının sızıntısını engellemek için gerekli olan sızdırmazlık keçeleri de bu çalışmada geliştirilen sönümleyicilerde bulunmamaktadır (Şekil 2.45, Şekil 2.46 ve Şekil 2.47).

Sönümleyici gövdesi ve kapağının tasarımı, şaftın kendi ekseninde ileriye ve geriye doğru olan hareketini sağlayacak şekilde yapıldığından, sönümleyici şaftı için ayrıca bir yatak oluşturulmasına gerek kalmamıştır (Şekil 2.45, Şekil 2.46 ve Şekil 2.47).

Robinson ve Greenbank (1975), Robinson ve Greenbank (1976), Cousins ve Porritt (1993) ile Tsai vd. (2002) tarafından yapılan çalışmalarda kullanılan kurşun ekstrüzyon sönümleyicilerde kurşun üzerinde bir öngerilme kuvveti oluşturulmamıştır. Rodgers vd. (2006a) ile Rodgers vd. (2006b) tarafından yapılan çalışmalarda kullanılan sönümleyicilerde, kurşun üzerine öngerilme kuvveti uygulanmıştır. Bu tez çalışmasında geliştirilen sönümleyicilerin kapak tasarımı

kurşun üzerinde öngerilme kuvveti oluşturulabilecek şekilde yapılmıştır. Kapak elemanı, gövde elemanın içerisine doğru uzanan bir çıkıntıya sahiptir (Şekil 2.45, Şekil 2.46 ve Şekil 2.47).

Kurşun ekstrüzyon sönümleyiciye sıvı haldeki kurşun yerleştirilirken, öncelikle şaft üzerindeki küre biçimli çıkıntının sönümleyici boşluğunun orta noktasına denk gelmesi için bir düzen oluşturulmuştur. Bu durum, sönümleyicinin her iki yöndeki hareket kapasitesinin eşit olması açısından önemlidir. Bu amaçla gazbeton bloklar kullanılmıştır. Gazbeton blokların içerisinde sönümleyici aygıtın geometrisine uygun boşluklar açılmıştır. Gövde ile şaft, gazbeton bloklarda oluşturulan boşlukların içerisine yerleştirildiğinde, şaft üzerinde bulunan küre biçimindeki çıkıntının, sönümleyici içerisindeki boşluğun ortasına isabet etmesi sağlanmıştır (Şekil 2.48).



Şekil 2.48 : KES'in üretiminde kullanılan gazbeton bloklar.

Kurşun dökümü gerçekleştirilmeden önce kullanılan gazbeton bloklar ve sönümleyici aygıt bileşenleri laboratuvar ortamında ön ısıtma işlemine tabi tutulmuştur. Bu durum iki nedenle önemlidir.

1. Gazbeton bloklarındaki nemin uzaklaştırılması,
2. Dökülen kurşunun çok hızlı bir biçimde soğumasının önüne geçilerek kurşun hacminde oluşacak boşlukların en aza indirilmesi.

Bu işlem sırasında ilk olarak gazbeton bloklar, önceden 220-230°C sıcaklığa kadar ısıtılmış etüve yerleştirilmiştir. Gazbeton bloklar yaklaşık olarak bir saat etüv içerisinde bekledikten sonra sönümleyici aygıtı ait gövde ve şaft elemanları etüv içerisinde gazbeton bloklara yerleştirilmiştir (Şekil 2.49). Gazbeton bloklar ve sönümleyici aygıtı ait elemanlar etüv içerisinde yaklaşık olarak bir saat daha bekletildikten sonra kurşunun yerleştirilmesi işlemine başlanmıştır. Gazbeton bloklar ve sönümleyici aygıtı ait elemanların etüv içerisindeki geçen sürelerinin tamamlanmasından yaklaşık yarım saat önce kurşunun eritilmesi işlemine başlanmıştır. Bunun nedeni yaklaşık 2500 gr ağırlığındaki kurşun metalinin erimesi

için geçen sürenin 25 dakika olmasıdır. Eritilen kurşun, etüv içerisindeki parçalar dışarı çıkarılmadan, sönümleyici aygıt içerisine yerleştirilmiştir (Şekil 2.50).



Şekil 2.49 : Gazbeton blokların ve sönümleyici parçalarının ön ısıtılması.



Şekil 2.50 : Kurşunun eritilmesi ve sönümleyici içerisine yerleştirilmesi.



Şekil 2.51 : Kurşunun yerleştirilmesi sonrasında gazbeton blokları ve sönümleyiciye ait parçalar.

Kurşun yerleşimi gerçekleştirildikten sonra gazbeton bloklar ve sönümleyici aygıt elemanları etüv içerisinde yavaş yavaş soğumaya bırakılmıştır. Daha sonra soğuyan parçalar etüv dışına alınarak soğutma işlemine devam edilmiştir. Tam olarak soğuyan parçalar birbirinden ayrılmıştır (Şekil 2.51).

Daha sonra sönümleyiciye ait parçalar atölyeye götürülmüştür. Şafta yapışık durumdaki kurşunun, sönümleyici kapak kısmına temas edecek yüzeyi, kurşun bölümün uzunluğu 101.5 mm olacak şekilde düzleştirilmiştir. İstenilen ölçülere

getirilen kurşun ve şaft, sönümleyici gövdesine yerleştirilmiştir. Kapak parçası yerine yerleştirildikten sonra civatalar ile montajı yapılmıştır (Şekil 2.52). 101.5 mm uzunluğundaki kurşun 100 mm olarak tasarlanan boşluk içerisine sıkıştırılarak yerleştirilmiş ve bu şekilde kurşun üzerinde bir öngerilme kuvveti oluşturulmuştur. Kurşunda gerçekleşen birim kısalma değeri ile kurşun elastisite modülü çarpılarak, kurşun üzerinde oluşan gerilmeye geçilmiştir. Gerilme ile kurşun yüzey alanı çarpılarak öngerilme kuvveti 478 kN olarak hesaplanmıştır.



Şekil 2.52 : Kurşunun işlenmesi ve sönümleyici aygıt elemanlarının bir araya getirilmesi.

2.4 Deneysel Çalışma

Tasarımı ve üretimi gerçekleştirilen kurşun ekstrüzyon sönümleyiciye ait eleman deneyleri, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı'nda bulunan DARTEC hidrolik veren sistemi önünde oluşturulan bir deney düzeneği üzerinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.53).

Deneyler yerdeğiştirme kontrollü olarak gerçekleştirilmiştir. Farklı genlik ve frekans değerlerine sahip sinüs dalgası biçiminde oluşturulan yerdeğiştirme fonksiyonları, KES'e şaft eksenini doğrultusunda uygulanmıştır. KES'de oluşan eksenel yerdeğiştirmenin kontrolü için Heidenhain MT2571 tipi hassas yerdeğiştirme ölçer kullanılmıştır (Şekil 2.54).

Dört adet CDP10 türünde yerdeğiştirme ölçer, KES'e ait eksenel yerdeğiştirmeyi ölçmek üzere KES üzerine 90° açı aralıklarıyla yerleştirilmiştir (Şekil 2.54). Yerdeğiştirme ölçerlerin KES üzerine montajını sağlayacak ölçüm aparatları tasarlanmış ve imal edilmiştir. Deney düzeneğinde, hidrolik verene ait 30 ton kapasiteli HC-30 tipi bir yük hücresi de bulunmaktadır (Şekil 2.54).



Şekil 2.53 : Deney düzeneği.



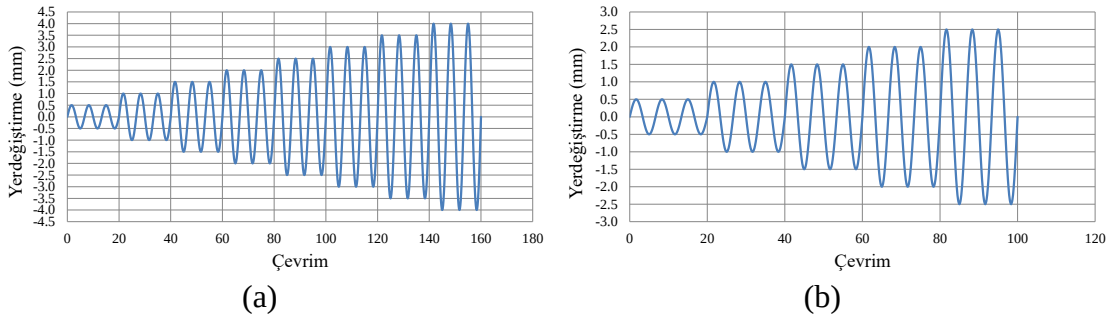
Şekil 2.54 : Yerdeğiştirme ve yük ölçüm düzeneği.

Tez çalışması kapsamında iki tür KES üretilmiştir. Geometri bakımından tamamen özdeş olan iki KES'i birbirinden ayıran özellik, KES içerisinde yer alan kurşuna ön sıkıştırma (öngerilme) işlemi uygulanıp uygulanmadığıdır. KES'lerden birinde kurşun hacmin boyu 101.5 mm'den 100 mm'ye düşürülerek kurşun üzerinde öngerilme oluşması sağlanırken, diğer KES'te ön sıkıştırma işlemi yapılmamıştır.

Öngerilmesiz KES'e uygulanan yerdeğiştirme fonksiyonun genlik değerleri 0.5 mm değerinden 4.0 mm değerine kadar 0.5 mm adımlar ile arttırılmıştır. Uygulanan yerdeğiştirme fonksiyonun frekans alt sınırı 0.1 Hz, üst sınırı da 1.0 Hz olarak belirlenmiş ve 0.1 Hz frekans artım adımları kullanılmıştır.

Öngerilmeli KES'e uygulanan yerdeğiştirme fonksiyonun frekans değerleri 0.1 Hz değerinden 0.5 Hz değerine kadar 0.1 Hz adımlar ile arttırılmıştır. Uygulanan genlik değerleri ise 0.5 mm ile 2.5 mm değeri arasında 0.5 mm adımlar ile değiştirilmiştir.

KES'lere uygulanan yerdeğiştirme fonksiyonlarına ait genlik ve frekans değerleri, kullanılan deney sistemi ve düzeneğinin kapasitesi doğrultusunda belirlenmiştir. Üretimi yapılan KES'lerin, genlik ve frekans değerleri değişen sinüzoidal yerdeğiştirme fonksiyonları etkisinde, kuvvet-yerdeğiştirme ilişkileri elde edilmiştir. Deneysel alışmalar, sabit bir frekans değeri için gerçekleştirilmiş, yerdeğiştirme genlikleri 0.5 mm değerinden başlamak üzere ardışık olarak uygulanmıştır. Öngerilmeli KES'te, her bir genlik değeri için 20 çevrim olmak üzere bir deneysel çalışma boyunca toplam 160 çevrim gerçekleştirilmiştir (şekil 2.55). Öngerilmeli KES için uygulanan toplam çevrim sayısı ise 100'dür. Çevrimlerin grafik içerisinde daha etkin şekilde ifade edilmesi için şekil 2.55'te 20 çevrim 3 çevrim ile temsil edilmiştir.



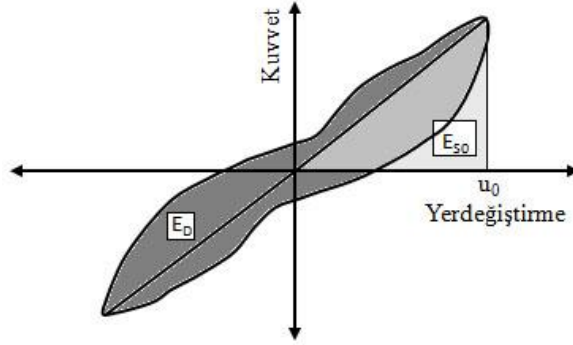
şekil 2.55 : Yerdeğiştirme fonksiyonu; (a) Öngerilmeli KES (b) Öngerilmeli KES.

Öngerilmeli KES için belirli bir frekans değerinde gerçekleştirilen deneysel çalışma sona erdikten 48 saat sonra diğer frekans değeri için deneysel çalışma başlatılmıştır. Öngerilmeli KES için ise bu değer 24 saat olarak belirlenmiştir.

2.5 Kurşun Ekstrüzyon Sönümleyici Özelliklerinin Belirlenmesi

Harmonik etkiler altında doğrusal davranış gösteren bir sistemde gerçekleşen sönüm *viskoz sönüm* olarak isimlendirilmektedir. Serbest titreşim deneylerinde ya da statik ve dinamik karakterli yükleme deneylerinde gerçekleşen eşdeğer sönümü, enerji ilişkilerinden yaklaşık olarak hesaplamak mümkün olmaktadır. Yerdeğiştirme genliği u_0 olan çevrimsel yükleme etkisinde elde edilen temsili bir kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi şekil 2.56'da görölmektedir.

Bir kapalı çevrimde harcanan enerji E_D ile gösterilmektedir. E_{S0} ise en büyük şekildeğiştirme enerjisi olarak adlandırılmaktadır. En büyük şekildeğiştirme enerjisi miktarı viskoz sönüm ile harcanan enerjiye eşitlenerek Eşitlik 2.4'te yer alan *eşdeğer sönüm ifadesine* ulaşılmıştır (Chopra, 2001).



Şekil 2.56 : Eşdeğer sönüm tanımında enerji oranları yöntemi.

$$\xi_{eq} = \frac{1}{4\pi} \frac{E_D}{E_{S0}} \quad (2.4)$$

Elde edilen eksenel kuvvet-eksenel yerdeğiştirme eğrileri içerisinde kalan alan büyüklükleri hesaplanarak sönümleyici tarafından tüketilen enerji miktarları belirlenmiştir. Deneysel sonuçların eşdeğer sönüm bakımından irdelenmesi için Eşitlik 2.4'te verilen ifade kullanılmıştır.

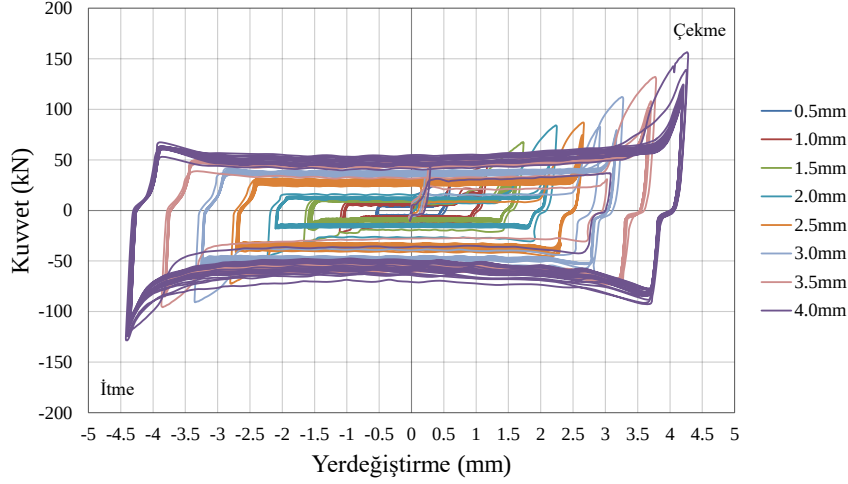
2.6 Öngerilmesiz KES'e Ait Deneysel Çalışma Sonuçları

Öngerilmesiz KES kullanılarak gerçekleştirilen ilk deneysel çalışmadan elde edilen kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi Şekil 2.57'de verilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi, üretimi gerçekleştirilmiş öngerilmesiz KES'e ait ilk davranış biçimini ortaya koyması bakımından önemlidir.

0.5 mm yerdeğiştirme genliği değerinden başlanarak, 0.5 mm adımlar ile 4.0 mm yerdeğiştirme değerine ulaşılan çalışmada yerdeğiştirme genliği arttıkça KES akma kuvveti değeri de artmıştır. Kuvvet-yerdeğiştirme eğrisinin yatay bölümü yerdeğiştirme eksenine, düşey bölümü de kuvvet eksenine yaklaşık paralel biçimde oluşmuştur.

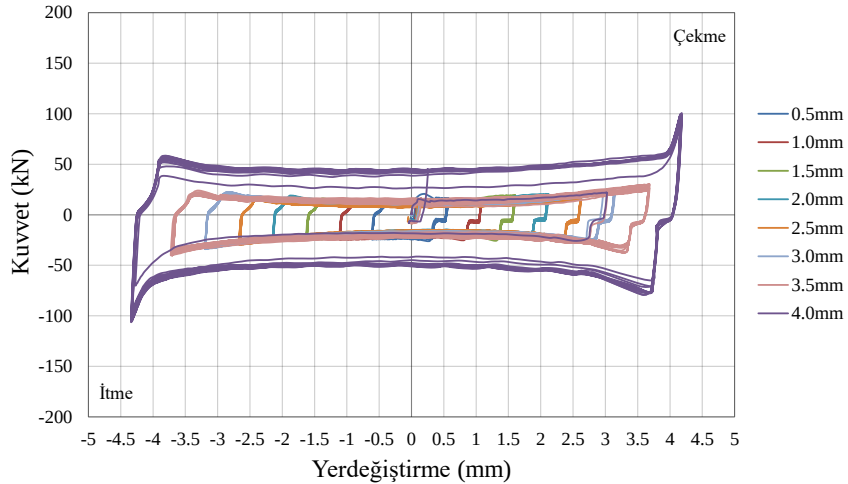
Çekme ve itme durumları için grafiğin uç bölgelerinde dayanımda ani yükselme gözlenmektedir. Bunun KES'in davranışından dolayı olmadığı, deney düzeneğinden

kaynaklandığı anlaşılmıştır. Sistemin düzlem dışı hareketini sınırlandırmak üzere deney düzeneğine ilave elemanlar (Şekil 2.54) yerleştirilmiştir. Eksenel yerdeğiştirmenin numuneye etkilmesiyle miktarı küçültülmüş olmakla birlikte bir miktar düzlem dışı hareket oluşmaktadır. Grafiklerde görülen dayanım artışı bu durumla ilişkilendirilmiştir.



Şekil 2.57 : İlk kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi ($f=0.5\text{Hz}$) (Öngerilmesiz KES).

Öngerilmesiz KES kullanılarak, ilk deneysel çalışmada uygulanan frekans için gerçekleştirilen ikinci deneysel çalışmadan elde edilen kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi Şekil 2.58'de verilmiştir. Elde edilen kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi, bir kez çalıştırılmış öngerilmesiz KES'e ait ilk davranış biçimini ortaya koymaktadır.



Şekil 2.58 : İkinci kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi ($f=0.5\text{Hz}$) (Öngerilmesiz KES).

İlk deneysel çalışmada kullanılan en büyük eksenel yerdeğiştirme değeri olan 4 mm'ye kadar tüm yerdeğiştirme eşiklerinde KES akma kuvveti neredeyse sabit

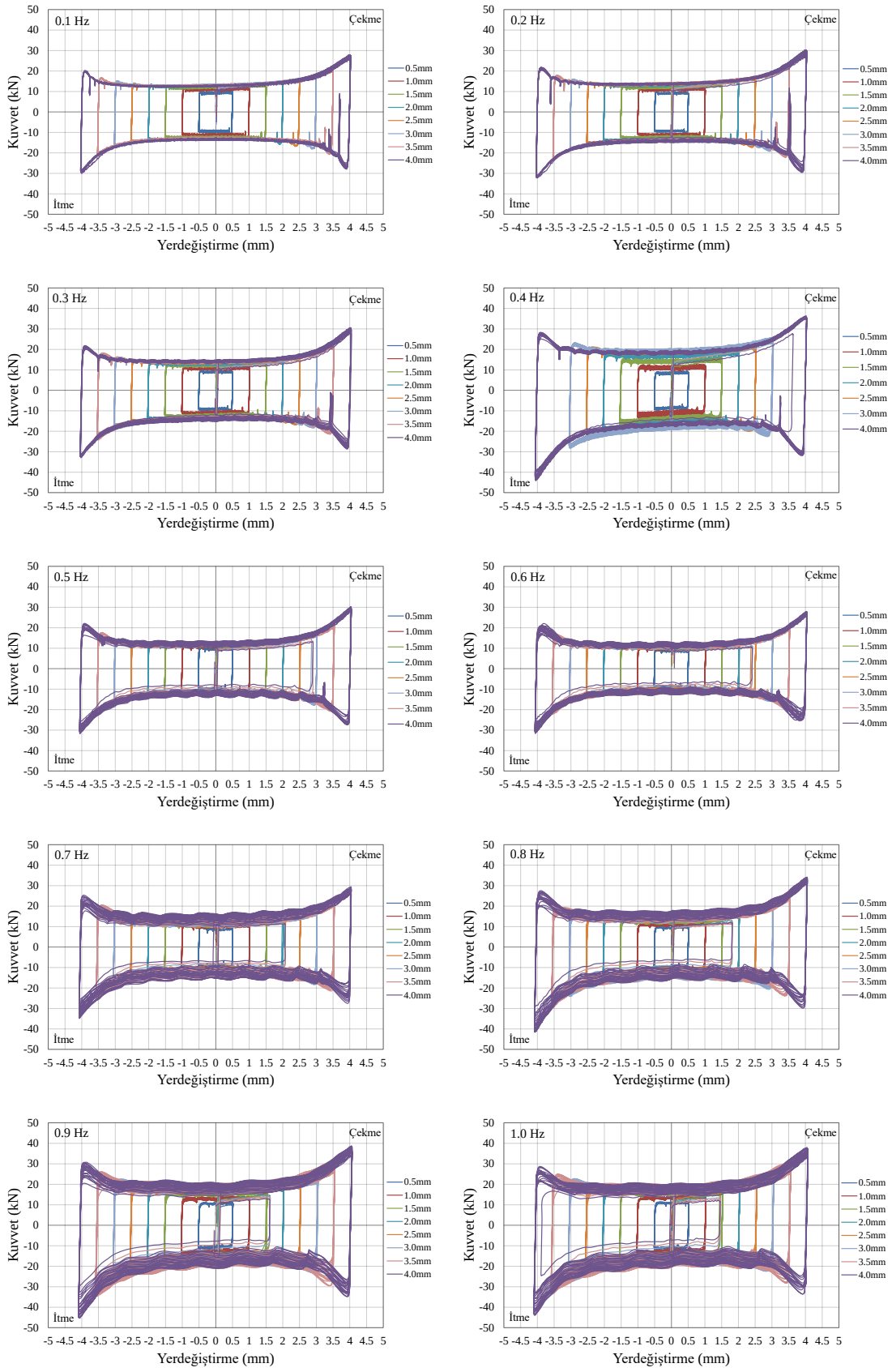
kalmıştır. 4 mm genlik değeri hariç diğer genlik değerleri için çekme ve itme bölgeleri uç noktalarındaki kuvvet değerlerinde ani bir artış meydana gelmemiştir.

Çekme bölgesinde, kuvvetin sıfır olduğu ve yerdeğiştirmenin kullanılan genliğın en büyük değerine ulaştığı noktalarda bir girinti oluşmaktadır (şekil 2.57 ve şekil 2.58). İtme bölgesinde ise, kullanılan genliğın en büyük yerdeğiştirme değerine ulaştığı noktalardan geri döndüğü bölgede, kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisine ait eğride bir yatıklık oluşmaktadır (şekil 2.57 ve şekil 2.58). Deney sisteminde, KES şaftı ve hidrolik veren arasındaki bağılantıyı sağılayan adaptör bir eleman ile KES kapağı ve yük hücresi arasında bağılantıyı sağılayan diğeri bir adaptör elemandan yararlanılmaktadır (şekil 2.54). Deneyler sırasında yapılan gözlemlerden, KES kuvvet-yerdeğiştirme eğrilerinde oluşan ve yukarıda bahsedilen girinti ve yatıklığın, kullanılan adaptör elemanların bağılantı noktalarından kaynaklandığı anlaşılmıştır. Bu bağılantılar deneysel çalışmalardan önce sıkılaştırılarak, etkiler önemli ölçüde azaltılabilmıştir.

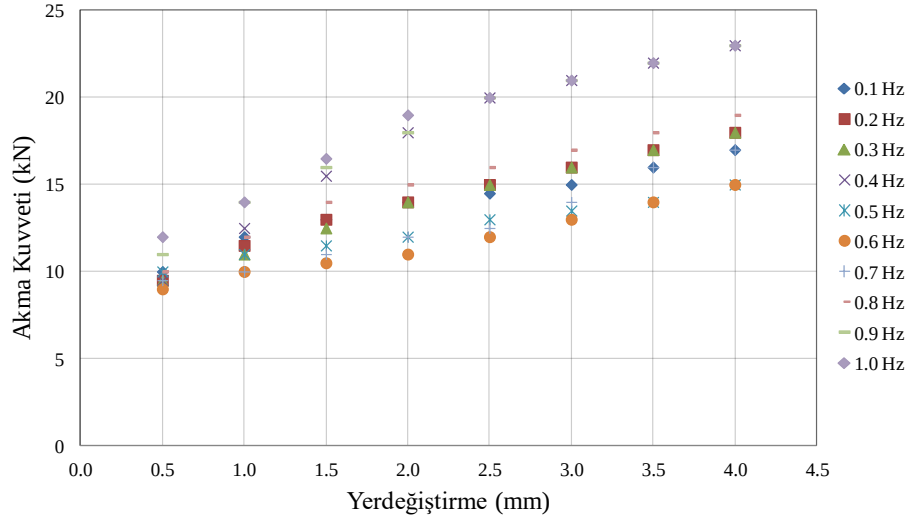
Bu iki deneysel çalışmadan sonra öngerilmesiz KES'e ait frekans ve genlik tarama deneyleri yapılmıştır. Frekans değeri 0.1 Hz'den başlayarak 1.0 Hz değerine kadar 0.1 Hz adımlar ile arttırılmıştır. Yerdeğiştirme genliğı değeri de 0.5 mm değerinden 4.0 mm değerine kadar 0.5 mm adımlar ile arttırılarak tarama çalışması gerçekteştirilmiştir. Her bir tarama çalışması için frekans değeri sabit tutulup yerdeğiştirme genliğı değıştirilmiştir. Yapılan bu çalışmadan elde edilen kuvvet-yerdeğiştirme ilişkileri şekil 2.59'da verilmiştir. şekil 2.59'da yer alan grafiklerin sol üst köşelerinde, deneylerin gerçekteştirilmiş olduğı frekans düzeyleri belirtilmiştir.

Kuvvet-yerdeğiştirme ilişkileri incelendiğinde tüm frekans değerleri için elde edilen grafiklerin birbirlerine oldukça benzedikleri görölmektedir (şekil 2.59). Akma dayanımı değerleri farklı frekanslar için birbirine yakındır (şekil 2.60). 0.4 Hz, 0.9 Hz ve 1.0 Hz frekans değerleri için akma kuvveti bir miktar farklılık göstermektedir.

Çekme ve itme bölgesi uç noktalarında kuvvet değerlerinde meydana gelen yükselmenin KES davranışından kaynaklanmayıp deney düzeneğı ile ilgili olduğı düşünöldüğü için, deneysel çalışmadan elde edilen verilere filtre uygulanmıştır.



Şekil 2.59 : Kuvvet-yerdeğiştirme ilişkileri (0.1Hz ~ 1.0Hz) (Öngerilmesiz KES).



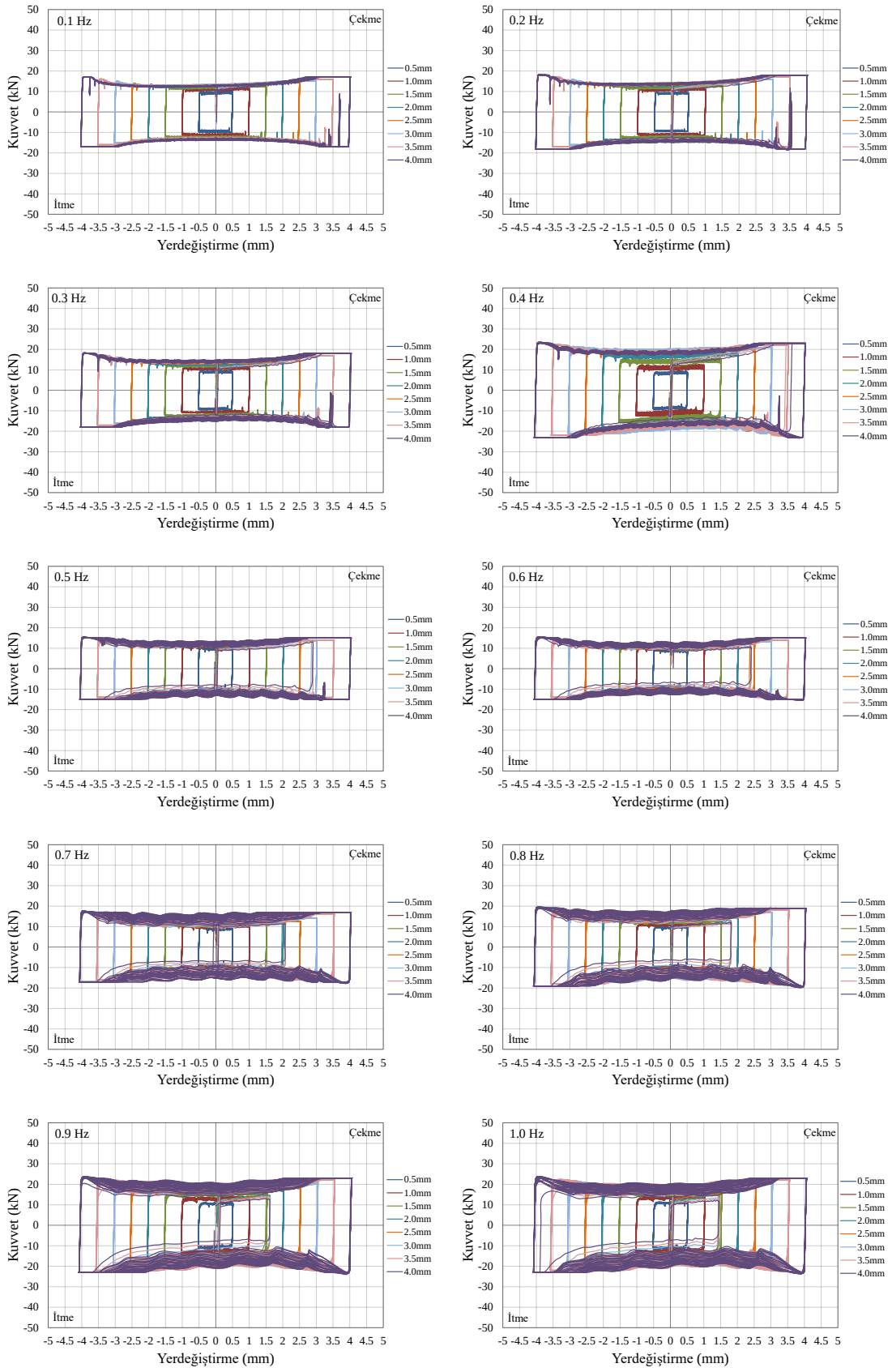
Şekil 2.60 : Akma dayanımlarının yerdeğiştirme genliği ile değişimi (Öngerilmesiz KES).

Kuvvet değerinin artma eğilimi gösterdiği bölgelerde, kuvvet değerindeki artışı kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisine dahil etmeyecek şekilde bir filtreleme yapılmıştır. Yapılan bu filtreleme çalışmasından sonra elde edilen kuvvet-yerdeğiştirme ilişkileri ise Şekil 2.61’de verilmiştir.

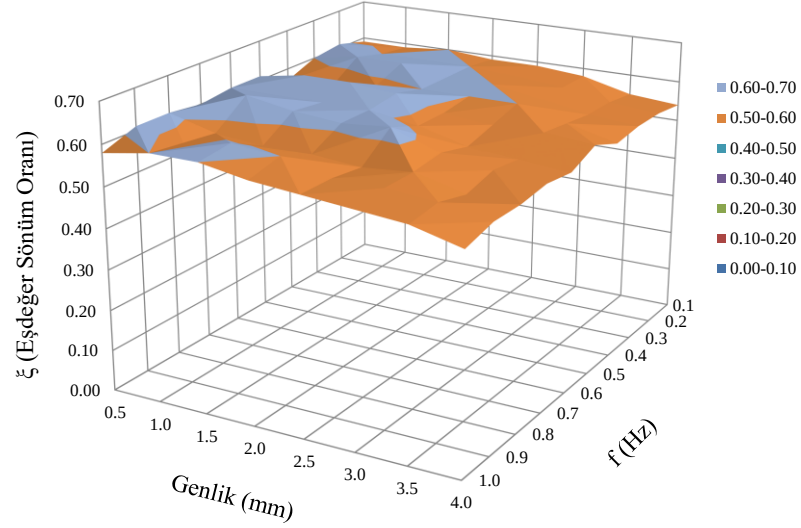
Tüketilen enerji miktarları ve eşdeğer sönüm oranı büyüklükleri, filtre edilen kuvvet-yerdeğiştirme ilişkileri kullanılarak, Bölüm 2.5’te anlatılan hesap yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Öngerilmesiz KES için tüketilen enerji miktarının ve eşdeğer sönüm oranının, incelenen frekanslar ve genlikler için değişimi Şekil 2.62’de görülmektedir.

Tüketilen enerji miktarının, aynı genlik değerleri için yaklaşık olarak eşit olduğu, 0.4 Hz, 0.9 Hz ve 1.0 Hz frekans değerleri için görece olarak daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bunun nedeni, söz konusu frekans değerleri için elde edilen akma dayanımlarının diğer frekans değerleri için belirlenen dayanımlardan büyük olmasıdır. Aynı genlik için elde edilen daha büyük akma dayanımı, tüketilen enerji miktarının görece olarak artmasına neden olmuştur.

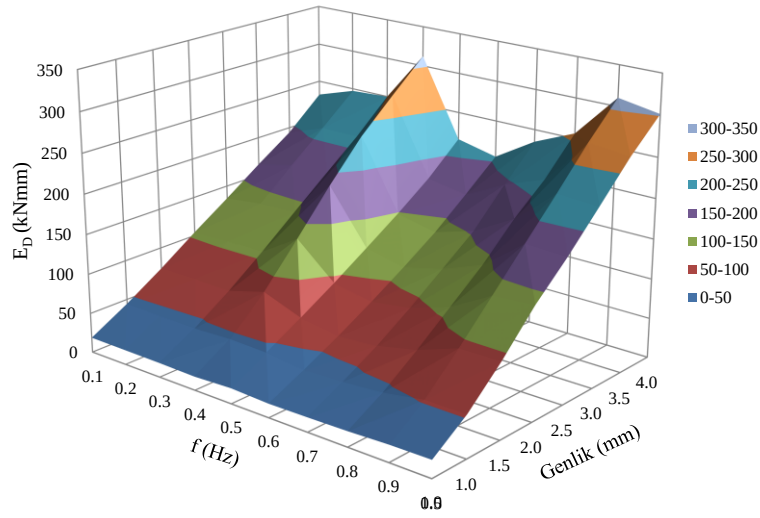
Öngerilmesiz KES’e ait eşdeğer sönüm oranı, 0.48 ile 0.64 değerleri arasında değişmekte olup ortalama değeri 0.58 olarak belirlenmiştir. Eşdeğer sönüm oranının, 0.4 Hz, 0.9 Hz ve 1.0 Hz frekans değerleri için, görece olarak küçük olduğu görülmektedir. Bu durumun, söz konusu frekans değerleri için en büyük şekildeğiştirme enerjisi (E_{S0}) değerindeki artışın, elde edilen tüketilen enerji miktarı (E_D) artışından az olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 2.61 : Filtre uygulanmış kuvvet-yerdeğiştirme ilişkileri (0.1Hz ~ 1.0Hz) (Öngerilmemiş KES).



(a)



(b)

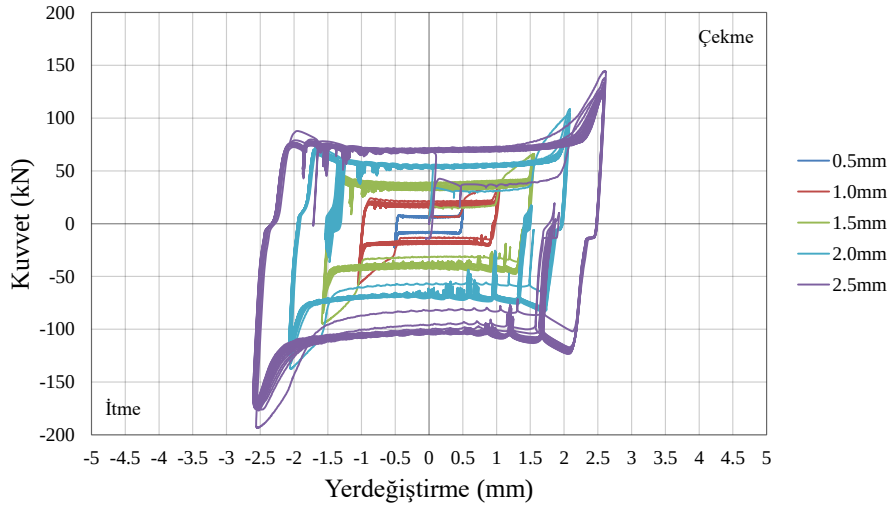
Şekil 2.62 : Sönümleyici özellikleri; (a) Eşdeğer sönüm oranı (b) Tüketilen enerji miktarı (Öngerilmemiş KES).

2.7 Öngerilmeli KES'e Ait Deneysel Çalışma Sonuçları

Öngerilmeli KES kullanılarak gerçekleştirilen ilk deneysel çalışmadan elde edilen kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi Şekil 2.63'te verilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi, üretimi gerçekleştirilmiş öngerilmeli KES'e ait ilk davranış biçimini ortaya koyması bakımından önemlidir.

0.5 mm yerdeğiştirme genliği değerinden başlanarak, 0.5 mm artımlar ile 2.5 mm yerdeğiştirme değerine ulaşılan çalışmada yerdeğiştirme genliği arttıkça KES akma

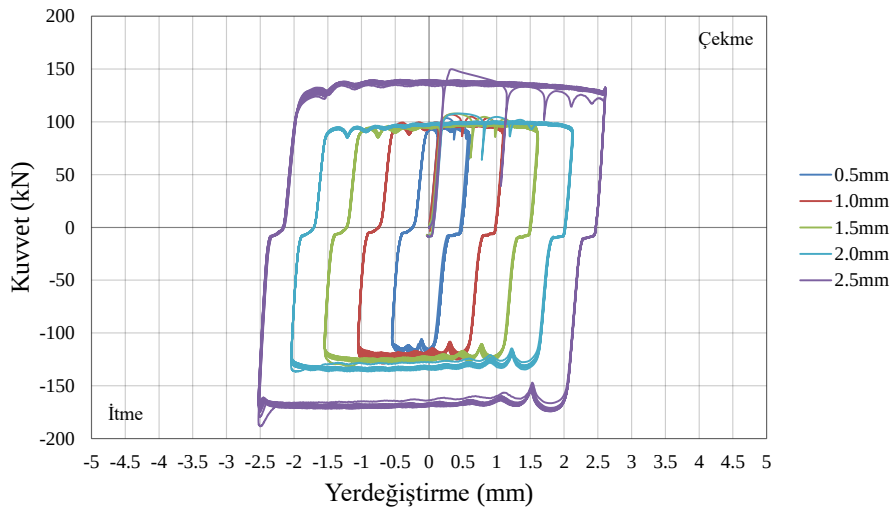
dayanımı da artmıştır. Kuvvet-yerdeğiştirme eğrisinin yatay kolları yerdeğiştirme eksenine, düşey kolları da kuvvet eksenine yaklaşık paralel biçimde oluşmuştur.



Şekil 2.63 : İlk kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi ($f=0.1\text{Hz}$) (Öngerilmeli KES).

Çekme ve itme bölgesi uç bölgelerinde, dayanımda ani bir yükselme meydana gelmektedir. Bu davranış, öngerilmeli KES'te de yapısal olmayıp, öngerilmemiş KES'te olduğu gibi, deney düzeneğinden kaynaklanmaktadır.

İlk deneysel çalışmada da uygulanan frekans (0.1 Hz) değeri için gerçekleştirilen ikinci deneysel çalışmadan elde edilen kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi Şekil 2.64'te verilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi, bir kez çalıştırılmış öngerilmeli KES'e ait ilk davranış biçimini ortaya koymaktadır.



Şekil 2.64 : İkinci kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi ($f=0.1\text{Hz}$) (Öngerilmeli KES).

İlk deneysel çalışmada kullanılan en büyük eksenel yerdeğiştirme değeri olan 2.5 mm'ye kadar tüm yerdeğiştirme genliği değerlerinde KES akma dayanımı

neredeyse sabit kalmıştır. 2.5 mm genlik değeri hariç diğer genlik değerleri için çekme ve itme bölgesi uç noktalarında kuvvet değerinde ani bir artış meydana gelmemiştir.

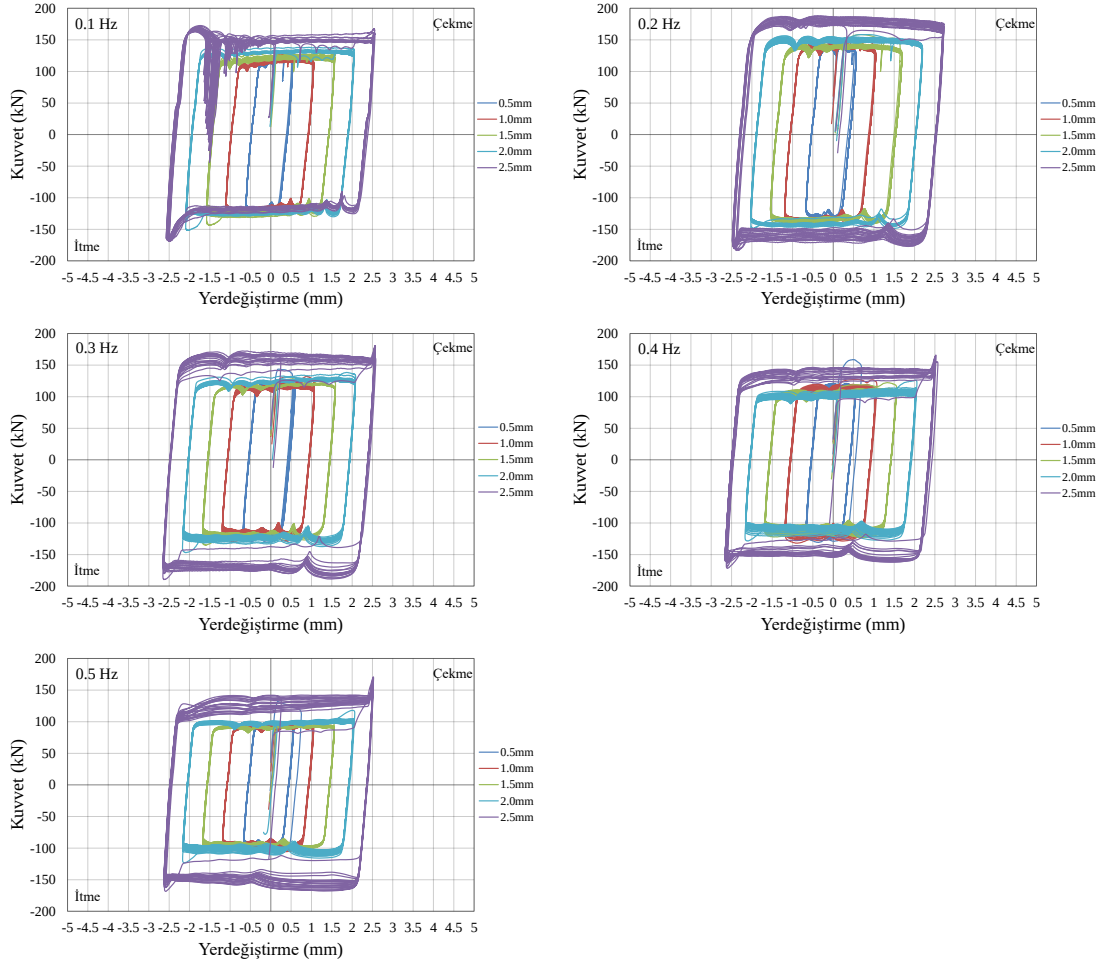
Çekme bölgesinde, kuvvetin sıfır olduğu ve yerdeğiştirmenin ilgili genliğin en büyük değerine ulaştığı bölgelerde girinti oluşmaktadır (şekil 2.63 ve şekil 2.64). İtme bölgesinde de, kuvvetin sıfır olduğu ve yerdeğiştirmenin ilgili genliğin en büyük değerine ulaştığı bölgelerde bir girinti oluşmaktadır (şekil 2.63 ve şekil 2.64). Öngerilmemiş KES'in kullanıldığı deneyde de olduğu gibi, elde edilen kuvvet-yerdeğiştirme ilişkilerinde karşılaşılan girintinin kullanılan adaptör elemanların bağlantı detaylarından kaynaklandığı bilinmektedir. Bu bağlantılar deneysel çalışmalardan önce sıkılaştırılarak bu etkilerin oluşması önlenmiştir.

Yukarıda anlatılan ilk iki deneysel çalışmadan sonra öngerilmeli KES'e ait frekans ve genlik tarama deneyleri yapılmıştır. Frekans değeri 0.1 Hz'den başlayarak 0.5 Hz'e 0.1 Hz adımlar ile, yerdeğiştirme genliği de 0.5 mm değerinden 2.5 mm değerine kadar 0.5 mm adımlar ile arttırılmıştır. Bir seri deneyde frekans değeri sabit tutulup yerdeğiştirme genliği değiştirilmiştir. Yapılan bu çalışmadan elde edilen kuvvet-yerdeğiştirme ilişkileri şekil 2.65'te toplu olarak verilmiştir.

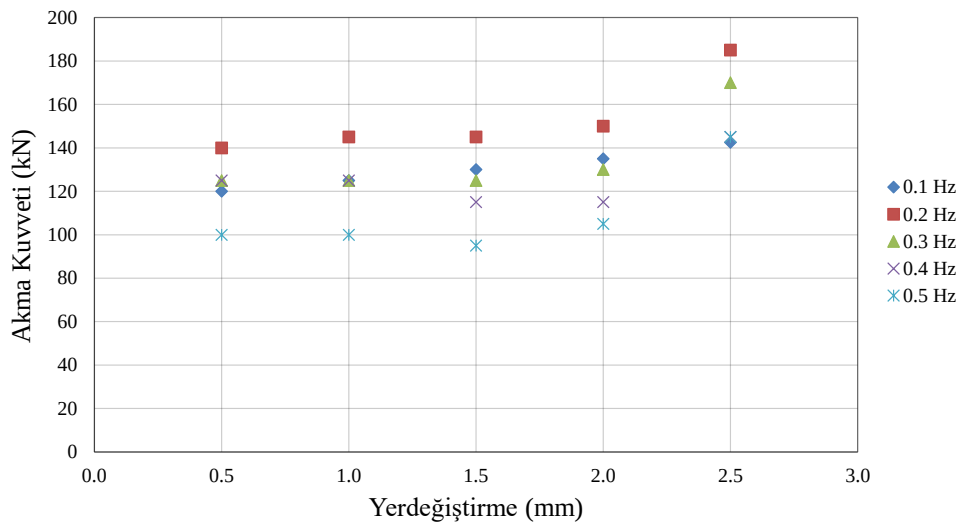
Kuvvet-yerdeğiştirme ilişkileri incelendiğinde tüm frekans değerleri için elde edilen ilişkilerin birbirine oldukça benzediği görölmektedir (şekil 2.65). Farklı frekans değerleri için, akma dayanımları birbirine yakın değerler vermektedir (şekil 2.66). 2.5 mm genlik değeri için elde edilen akma dayanımının diğer genliklerden elde edilen değerlerden büyük olduğu görölmektedir. Bu durumun 2.5 mm yerdeğiştirme genliğinin, deney düzeneğinde incelenebilen en büyük yerdeğiştirme değeri olmasından kaynaklandığı düşünölmektedir. Akma dayanımı-frekans ilişkisi incelenecek olursa en büyük ve en küçük akma dayanımlarının sırasıyla 0.2 Hz ve 0.5 Hz için yapılan deneylerden elde edildiği görölmektedir (şekil 2.65 ve şekil 2.66).

Çekme ve itme uç bölgelerinde, dayanımlarda meydana gelen ani yükselmenin, öngerilmeli KES davranışına ait olmadığı tesbit edildiğinden, sonuçların değerlendirilmesi aşamasında, kuvvetin artma eğilimi gösterdiği bölgelerde, sabit kuvvet değerinin devamını sağlayacak türde bir filtreleme işlemi yapılmıştır.

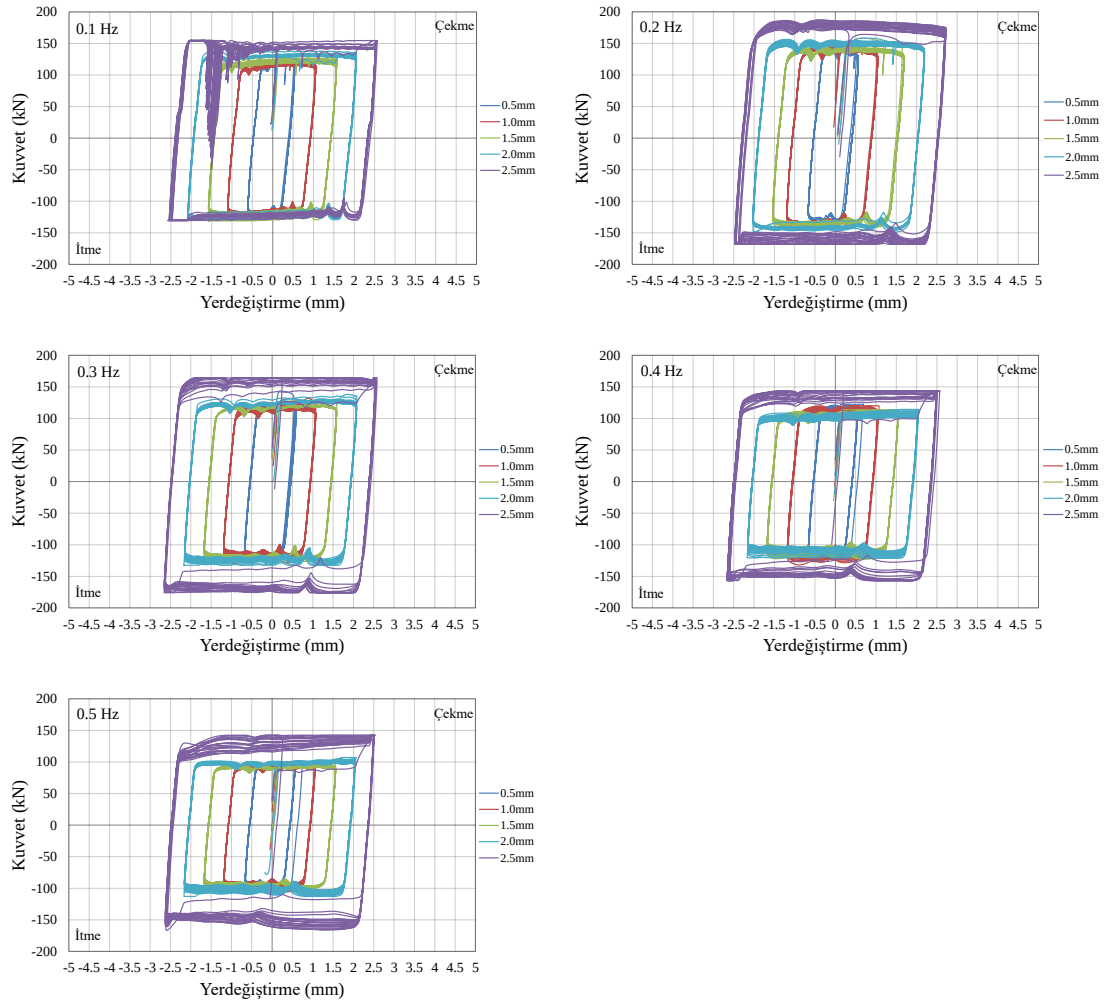
Filtreleme çalışmasından sonra ulaşılan kuvvet-yerdeğiştirme ilişkileri Şekil 2.67’de verilmiştir.



Şekil 2.65 : Kuvvet-yerdeğiştirme ilişkileri (0.1Hz ~ 0.5Hz) (Öngerilmeli KES).



Şekil 2.66 : Akma dayanımının yerdeğiştirme genliği ile değişimi (Öngerilmeli KES).

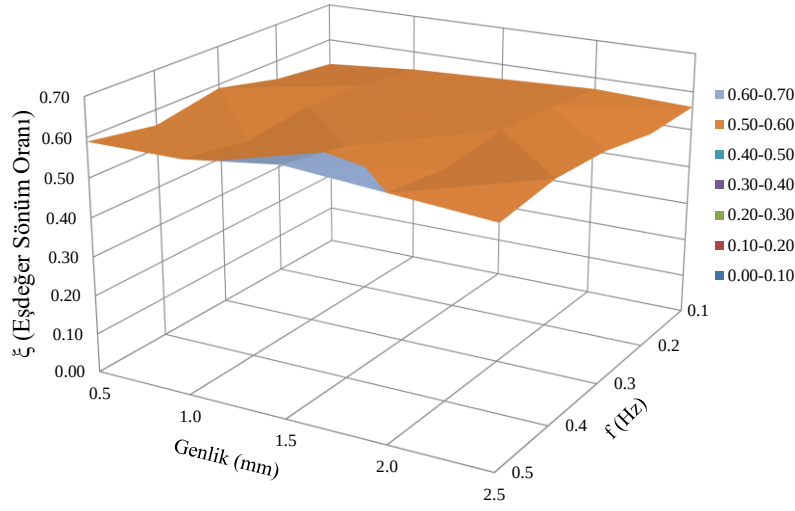


Şekil 2.67 : Filtre uygulanmış kuvvet-yerdeğiştirme ilişkileri (0.1Hz ~ 0.5Hz)
(Öngerilmeli KES).

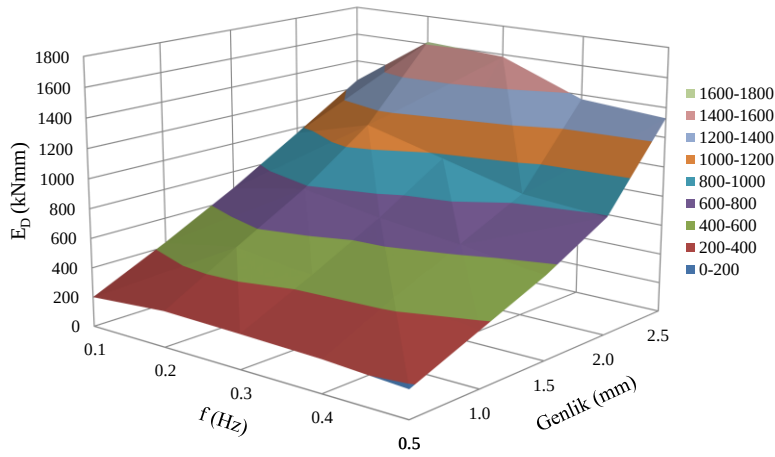
Tüketilen enerji miktarları ve eşdeğer sönüm oranı, filtre edilen veriler kullanılarak, Bölüm 2.5'te anlatılan hesap yöntemi ile belirlenmiştir. Öngerilmeli KES için tüketilen enerji miktarının ve eşdeğer sönüm oranının, incelenen frekans ve genlik için değişimi Şekil 2.68'te verilmiştir.

Tüketilen enerji miktarının, aynı genlik değerleri için yaklaşık olarak eşit olduğu, 0.2 Hz frekans değerleri için görel olarak daha fazla olduğu görölmektedir. Bunun nedeni, bu frekans değerleri için elde edilen akma dayanımının diğer frekans değerleri için belirlenen dayanımlardan büyük olmasıdır (Şekil 2.66). 0.5 Hz frekans değerinde tüketilen enerji miktarı görel olarak küçüktür. Bu durum, söz konusu frekans değeri için elde edilen akma dayanımının belirlenen diğer akma dayanımlarından görel olarak küçük olmasından kaynaklanmaktadır (Şekil 2.66). Aynı genlik için elde edilen daha büyük akma dayanımı tüketilen enerji miktarının

artmasına, benzer şekilde akma dayanımının azalması ise tüketilen enerji miktarının azalmasına neden olmuştur.



(a)



(b)

Şekil 2.68 : Sönümleyici özellikleri; (a) Eşdeğer sönüm oranı (b) Tüketilen enerji miktarı (Öngerilmeli KES).

Öngerilmeli KES'e ait eşdeğer sönüm oranı 0.53 ile 0.62 değerleri arasında değişmekte olup ortalama değeri 0.58 olarak belirlenmiştir.

2.8 Değerlendirme ve Yorumlar

Tasarım ve üretimi yapılan KES'lere ait özelliklerin belirlenmesi için deneysel bir çalışma yapılmıştır. Deneysel çalışmada iki tür KES incelenmiştir. Geometri bakımından tamamen özdeş olan iki KES'in birbirinden farkı, kurşun üzerinde ön sıkıştırma (öngerilme) olup olmadığıdır.

Deneysel çalışmalarda elde edilen kuvvet-yerdeğiştirme ilişkileri öngerilmesiz ve öngerilmeli KES durumları için değerlendirilmiştir. Her iki KES'in ilk kez çalıştırılması ile elde edilen kuvvet değerleri, takip eden çalışmalardan farklı olmaktadır. Bu durumun KES'lerin üretimi aşamasında gerçekleştirilen kurşun dökümü sırasında kurşunda boşluklar oluşmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Sönümleyicilerin ilk çalışmasından sonra kuvvet-yerdeğiştirme ilişkilerinin kararlı duruma geldiği görölmüştür.

Her iki KES için elde edilen kuvvet-yerdeğiştirme ilişkileri dikdörtgen formdadır. Öngerilmesiz KES'e ait kuvvet-yerdeğiştirme eğrilerinde yerdeğiştirme eksenine paralel olan akma platosunda bir çöküntü oluşmaktadır. Öngerilmeli KES'e ait kuvvet-yerdeğiştirme eğrilerinde ise böyle bir çöküntü oluşmamaktadır.

Öngerilmesiz ve öngerilmeli KES'e ait eksenel kuvvet-eksenel yerdeğiştirme ilişkilerinde yükleme ve boşaltma kolları başlangıç rijitlik kolona paralel oluşmaktadır.

Öngerilmesiz KES'e ait akma dayanımı yaklaşık olarak 15 kN mertebesindedir. Öngerilmeli KES'de ise bu değer yaklaşık olarak 125 kN mertebesindedir. KES içerisinde bulunan kurşuna uygulanan öngerilme işleminin KES'e ait akma dayanımını önemli ölçüde artırmaktadır.

Deneysel çalışmadan elde edilen kuvvet-yerdeğiştirme ilişkilerine ait çevrimler ayrılaştırılmış ve her bir çevrimin kapadığı alan hesaplanmıştır. KES'e ait kuvvet-yerdeğiştirme ilişkilerinden kapalı çevrimler içerisinde harcanan enerji (E_D) miktarları belirlenmiştir. Bununla birlikte çevrimlere ait en büyük şekildeğiştirme enerjisi (E_{S0}) miktarları da belirlenmiş ve KES için eşdeğer sönüm oranları hesaplanmıştır.

Öngerilmesiz KES'e ait eşdeğer sönüm oranı değeri, 0.48 ile 0.64 arasında değişmekte olup ortalama değeri 0.58 olarak belirlenmiştir. Öngerilmeli KES'e ait eşdeğer sönüm oranı ise 0.53 ile 0.62 değerleri arasında değişmekte olup ortalama değeri 0.58 olarak belirlenmiştir.

3. PREFABRİKE KOLON-KİRİŞ BÖLGESİNDE KES UYGULAMASI

3.1 Giriş

Tek katlı prefabrike betonarme çerçeveler dünyada daha çok endüstriyel yapıların taşıyıcı sistemlerinin oluşturulmasında kullanılmaktadır. Ülkemizde bulunan endüstriyel yapıların büyük bir kısmı, kiriş-kolon birleşimleri moment aktarmayacak biçimde teşkil edilen prefabrike çerçeveler ile oluşturulmaktadır. Bu tür sistemlerde kolonların üst ucunda kısa konsollar oluşturulmakta ve bu bölgede kiriş ile kolon bağlantısını gerçekleştirmek üzere iki adet rod kullanılmaktadır. Prefabrike kirişlerin uç bölgelerinde, rodların konumuna uygun olacak şekilde, boşluklar bırakılmaktadır.

Prefabrike kolonların üst kısmında oluşturulan konsolların üzerine neopren veya kauçuk pedler yerleştirilmektedir. Prefabrike kirişler, bu pedlerin üzerine ve konsolda bırakılan rodlar kirişteki boşluklardan geçecek şekilde, yerleştirilmektedir. Prefabrike kiriş uçlarında bırakılan ve montaj işleminden sonra içerisinden rodlar geçen boşluklar, büzülmesi önlenmiş harç ile doldurulmakta, böylece rodların aderans yolu ile ankrajları sağlanmış olmaktadır. Oluşturulan moment aktarmayan kiriş-kolon birleşiminde kullanılan kauçuk pedler, birleşimde meydana gelecek dönmeye müsaade etmekte ve dönme esasında kiriş ve kolon elemanların birbirlerine çarparak zarar görmesini de önlemektedir.

Moment aktarmayan kiriş-kolon birleşimlerine sahip tek katlı prefabrike çerçeve kolonlarında plastik şekildeğiştirmeler alt ucta, temele yakın kesitlerde yoğunlaşmaktadır. Yatay yükler etkisinde kiriş-kolon birleşiminin büyük ölçüde elastik bölge içerisinde davranış göstermesi, yapıdan beklenen enerji tüketiminin ise kolonlardaki alt uç kesitlerinde gerçekleşmesi beklenmektedir.

Bu çalışma kapsamında moment aktarmayan kiriş-kolon birleşimine sahip olan ve yaklaşık 1/2 ölçekli olarak tasarlanan tek katlı prefabrike betonarme çerçevelerin deprem etkisi altındaki davranışının incelenmesi amaçlanmaktadır. Bölüm 2’de anlatılan ve bu çalışma kapsamında geliştirilen kurşun ekstrüzyon sönümleyicinin, diyagonal biçimde kiriş-kolon birleşim bölgesine yerleştirildiği çerçevenin deprem

etkisi altındaki davranışı ile yalın çerçeve davranışının karşılaştırılması amaçlanmıştır. Yalın birleşim ile KES yerleştirilmiş birleşimin seçilen deprem kaydı etkisindeki davranışları karşılaştırılmıştır.

Laboratuvar imkânları ve kullanılan sarsma masası fiziksel kapasitesine bağlı olarak, tek katlı prefabrike betonarme çerçevenin bir düğüm noktası civarındaki elemanları incelenmiştir. Gerçek kiriş açıklığının yaklaşık 1/5'i uzunluğunda, bir ucu kolon üzerine diğer ucu ise kayıcı biçimde mesnetlenen bir kiriş eleman kullanılmıştır.

3.2 Yapılan Çalışmalar

3.2.1 Vintzeleou ve Tassisos (1985, 1987)

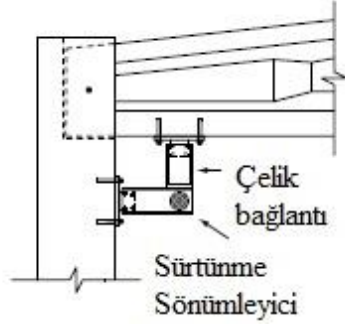
Bu çalışmalarda rodların davranış mekanizması araştırılmıştır. Geliştirilen rod davranış modelleri kullanılarak monotonik ve çevrimsel kesme kuvveti aktaran arayüzlerin tasarımı için pratik önerilerde bulunulmuştur.

3.2.2 Tsoukantas ve Tassisos (1989)

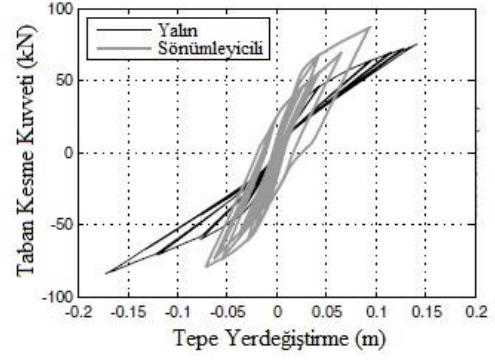
Betonarme prefabrike elemanlara ait birleşimlerin monotonik ve çevrimsel yükleme etkisi altında kesme dayanımları incelenmiştir. Farklı kesme kuvveti aktarım mekanizması (rod hareketi, sürtünme, dışarı çekme) için tasarım değerleri önerilmiştir. Birleşim davranışına katkıda bulunan mekanizmalar arasındaki olası etkileşimleri dikkate alan formüller sunulmuştur.

3.2.3 Martinelli ve Mulas (2009)

Prefabrike bir endüstri yapısına ilave sönüm özelliği eklemek üzere, yapının kiriş-kolon birleşim bölgesine sürtünme tipi bir sönümleyici yerleştirilmiştir (Şekil 3.1). Orta-yüksek sismik risk düzeyi için örnek bir yapı tasarımı yapılmıştır. Yalın ve sönümleyici yerleştirilmiş çerçevenin deprem etkisindeki davranışları karşılaştırılarak, tasarım depremi düzeyine ölçeklenmiş oniki adet yer hareketi etkisi altında, sönümleyicinin etkinliği irdelenmiştir. Sönümleyicinin yerleştirildiği bölgede önemli olmayan bir kesme kuvveti artışı görülmüştür. Buna karşın, çerçevenin tepe yatay yerdeğiştirmesi ile kolon taban momentinde ve betonarme kesitlerde tüketilen enerji miktarında önemli ölçüde azalma görülmüştür.



(a)

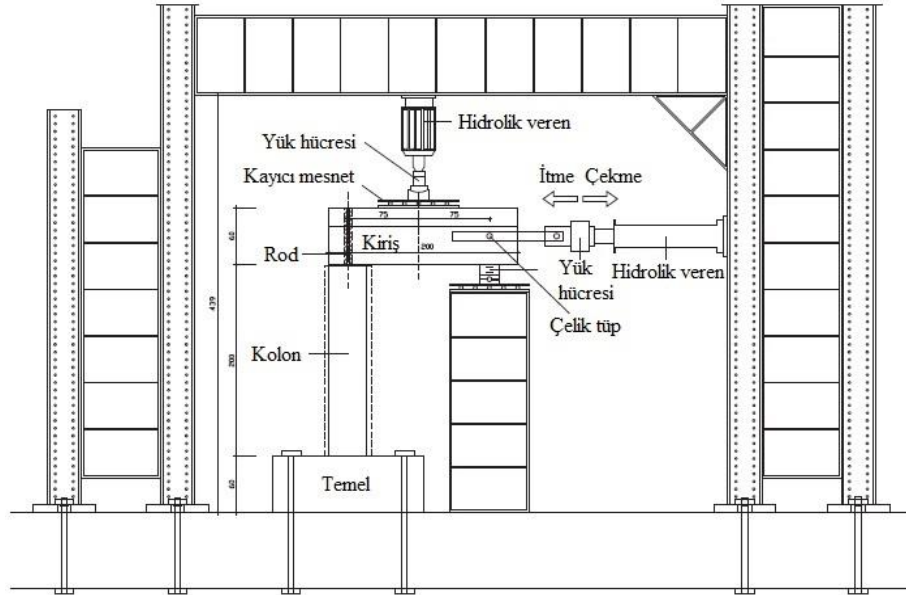


(b)

Şekil 3.1 : (a) Enerji sönümleme aygıtı, (b) Taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirme.

3.2.4 Kramar, Isakovic ve Fischinger (2010)

Bu çalışmada monotonik ve çevrimsel deneyler gerçekleştirilmiş, kirişin merkezine yerleştirilen tek rodlu moment aktarmayan kiriş-kolon birleşimlerinin dayanım ve deformasyon kapasitesi araştırılmıştır (Şekil 3.2, Şekil 3.3). Birleşim bölgesinde meydana gelen dönme, farklı eğilme rijitliklerine sahip kolonlar kullanılarak incelenmiştir. Monotonik ve çevrimsel yükleme etkisindeki birleşimler için elde edilen dayanım ve deformasyon değerlerinin, kullanılan analitik ifadeler ile hesaplanan büyüklüklere göre oldukça büyük olduğu belirtilmiştir.



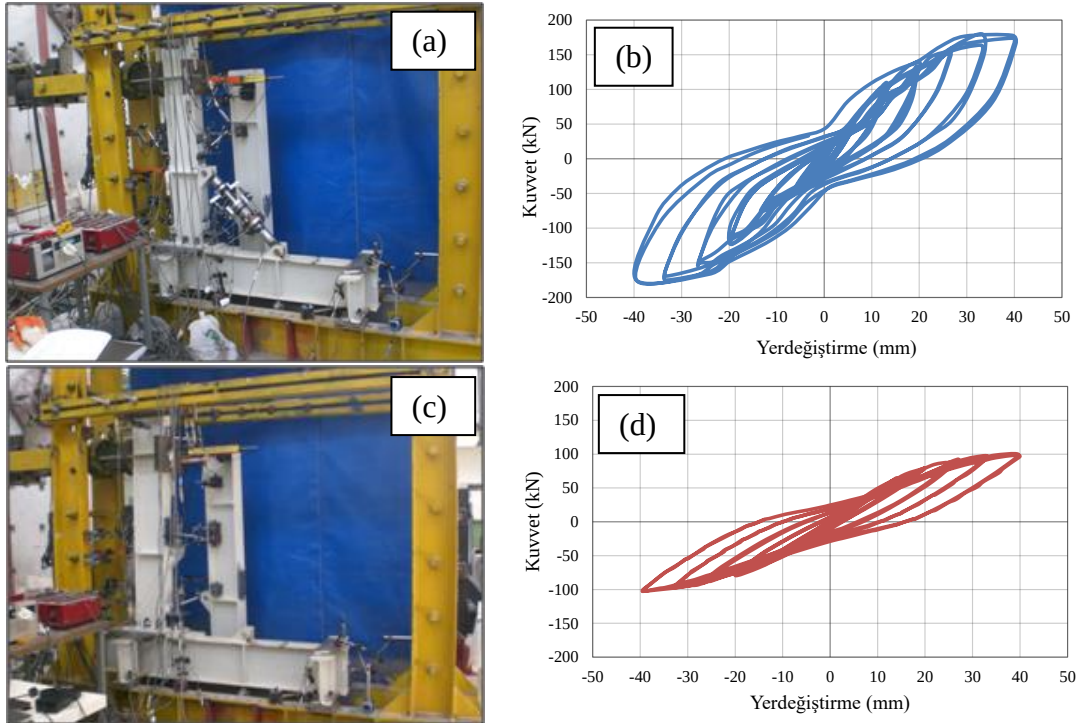
Şekil 3.2 : Tek rodlu kiriş-kolon birleşimi deney düzeneği.



Şekil 3.3 : Kolonda meydana gelen dönme ve kiriş yüzünde oluşan hasarlar.

3.2.5 Soydan, Koçak, Özkaynak, Yüksel ve İrtem (2011)

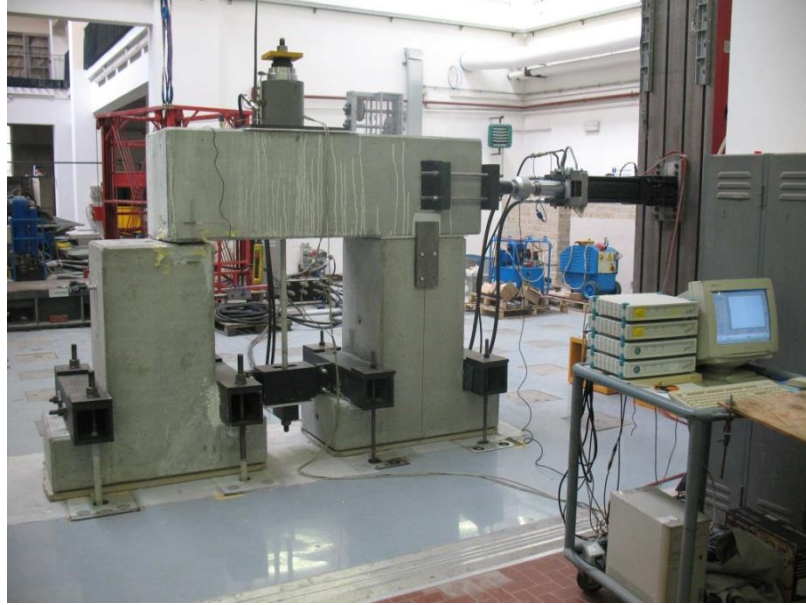
Bu çalışmada, çelik kiriş-kolon birleşimi içerisine yerleştirilen bir kurşun ekstrüzyon sönümleyicinin, birleşimin davranışı üzerindeki etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Yalın ve sönümleyicili birleşimler için tüketilen enerji, eşdeğer sönüm katsayısı ve efektif rijitlik değerleri belirlenmiştir. Birleşime yerleştirilen kurşun ekstrüzyon sönümleyicinin, birleşimin düzlem içi rijitlik ve dayanımını arttırdığı, sönüm özelliklerini ise oldukça iyileştirdiği ifade edilmiştir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 : (a) Sönümleyicili birleşim, (b) Sönümleyicili birleşim kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi, (c) Yalın birleşim, (d) Yalın birleşim kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi.

3.2.6 Capozzi, Magliulo ve Manfredi (2012)

Rodlu birleşimlere ait kuvvet-yerdeğiştirme eğrilerinin belirlenmesi için birleşimler taşıma gücü kaybı oluşana kadar monotonik olarak yüklenmiştir (Şekil 3.5). Moment aktarmayan kiriş-kolon birleşimlerinde oluşan mekanizma durumu için doğrusal olmayan bir analitik model önerilmiştir.



Şekil 3.5 : Deney düzeneği.

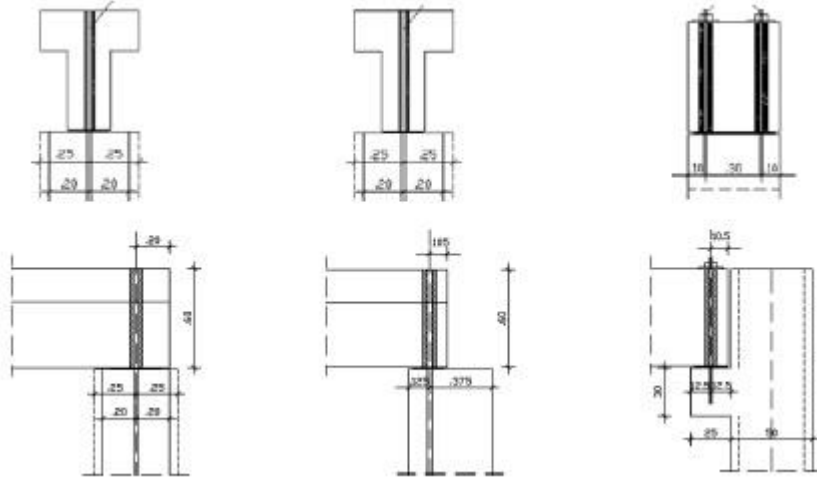
3.2.7 Fischinger, Zoubek, Kramar ve Isakovic (2012)

Merkezi yerleştirilmiş bir rodlu, dışmerkez yerleştirilmiş bir ve iki adet rodlu birleşimler (Şekil 3.6) deneysel olarak incelenmiş ve bu birleşimlerin taşıma gücü kaybını kontrol eden parametreler belirlenmeye çalışılmıştır (Şekil 3.7). SAP2000 yapı analiz yazılımında yer alan ve doğrusal olmayan tek eksenli bir bağlantı elemanı olan pivot model makro eleman olarak kullanılmıştır. Deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar ile kuramsal modelden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır (Şekil 3.8).

3.2.8 Apatolska, Necevska-Cvetanovska, Bojadziev, Fischinger, Isakovic ve Kramar (2012)

Bu çalışmada rodlu kiriş-kolon birleşimlerine ait davranışın temsil edilebilmesi için kuramsal bir model önerilmiştir. Deprem etkisine maruz farklı türdeki kiriş-kolon birleşimleri için gerçekleştirilen kuramsal çalışma sonuçları verilmiştir. Birleşimlerin

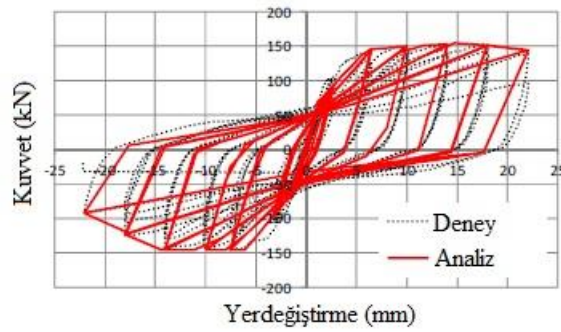
doğrusal olmayan davranışı, SAP2000 yazılımında bulunan çok doğrulu pivot model kullanılarak temsil edilmiştir (Şekil 3.9).



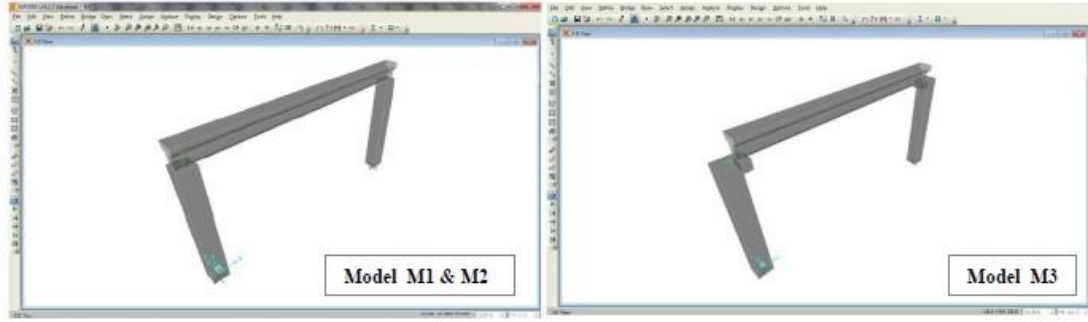
Şekil 3.6 : Birleşim türleri.



Şekil 3.7 : Deney düzeneği.



Şekil 3.8 : Merkezi bir rodlu birleşim için deneysel ve kuramsal sonuçların karşılaştırılması.

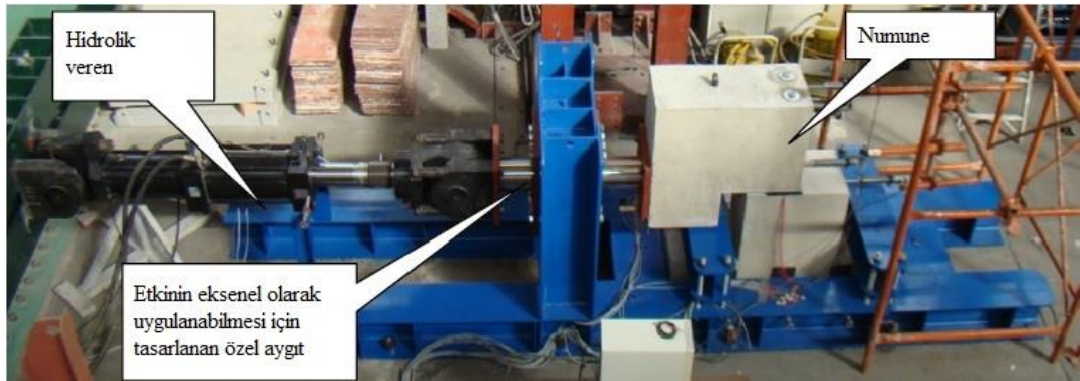


Şekil 3.9 : Betonarme çerçeve için oluşturulan iki boyutlu matematik modeller.

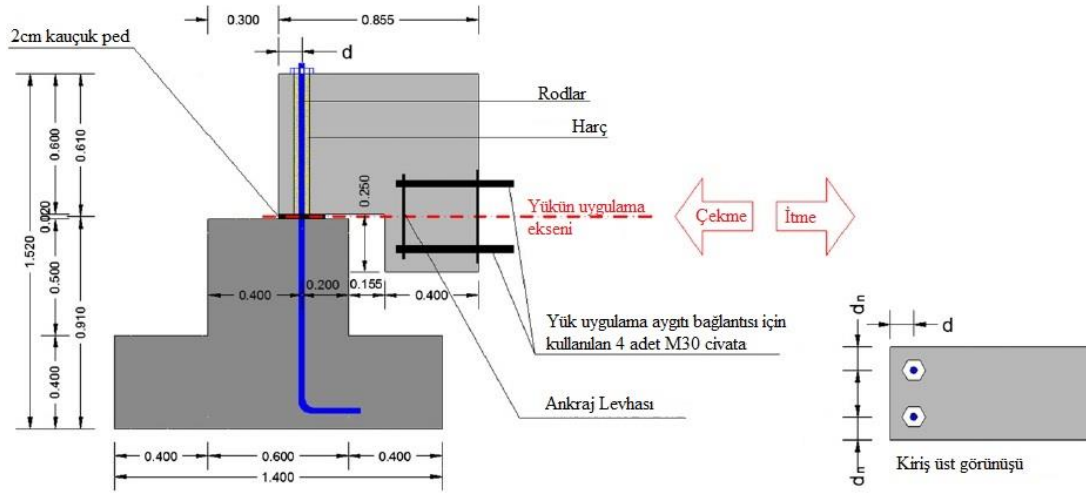
3.2.9 Psycharis ve Mouzakis (2012a)

Prefabrike kiriş ve kolon elemanların rodlu birleşimleri monotonik ve çevrimsel yük etkisi altında test edilmiştir (Şekil 3.10). Birleşimde sadece kayma etkisi oluşacak şekilde bir deney düzeneği oluşturulmuştur (Şekil 3.11). Yapılan çalışma, birleşimlerin kesme süneklik kapasitesi ve dayanımına etkisi olan değişkenler üzerine yoğunlaşmıştır. İncelenen değişkenler, birleşimde kullanılan rodların sayısı ve çapı, rodların kiriş yüzünden enine ve boyuna doğrultudaki mesafeleri ve rod ile boşluk arasına yerleştirilen harcın dayanımı olarak sıralanabilir.

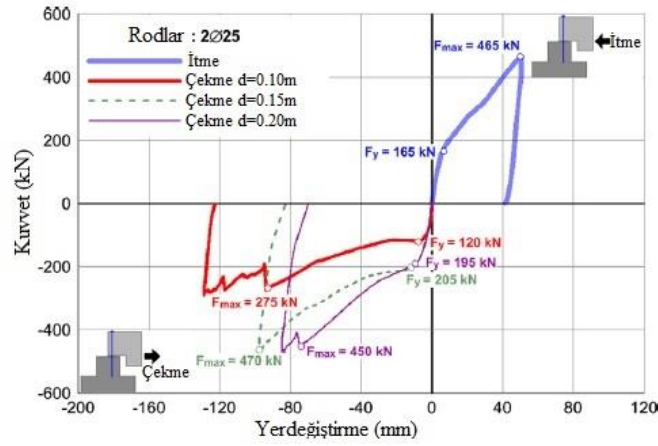
Rodun kiriş yüzüne olan mesafesinin boyuna doğrultudaki bileşeninin rod çapına oranı küçüldükçe birleşimin çekme yönündeki dayanımı da itme yönündeki dayanımına göre küçülmektedir (Şekil 3.12). Bunun nedeni kiriş yüzündeki betonun erken aşamada hasar görmesidir. Birleşimin çevrimsel yükleme etkisindeki dayanımı nispeten küçük olup, monotonik yükleme durumundaki dayanımının yarsından az olarak gerçekleşmiştir (Şekil 3.13). Rodların etrafındaki beton kabuğun yeterli kalınlıkta olması durumunda, çevrimsel yükleme etkisinde kesme sünekliği için büyük değerler elde edilmiştir.



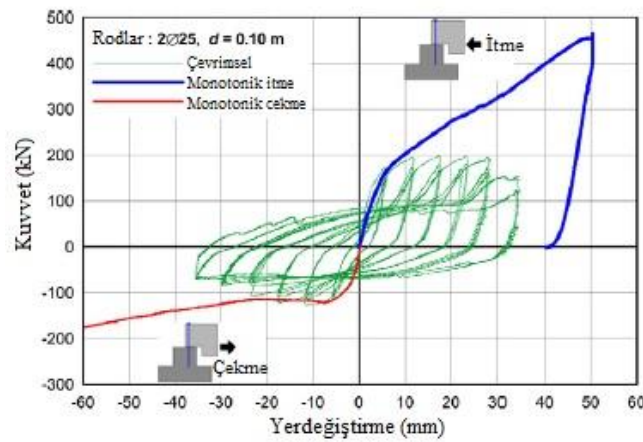
Şekil 3.10 : Deney düzeneği.



Şekil 3.11 : Numunelerin genel görünüşü.



Şekil 3.12 : 2Ø25 rodlu birleşimin farklı d değerleri için monotonik itme ve monotonik çekme deneylerine ait kuvvet-yerdeğiştirme eğrileri.



Şekil 3.13 : 2Ø25 rodlu ve $d=0.10m$ olan birleşimin monotonik ve çevrimsel davranışlarının karşılaştırılması.

Moment aktarmayan birleşimlerin deprem etkisindeki tasarımında birleşimin kesme dayanımını belirlemek amacı ile kullanılabilecek formüller önerilmiştir. Bu

formüller, rodun giriş yüzüne olan boyuna doğrultudaki mesafesi / rod çapı (d/D) durumuna göre verilmiştir.

$$R_d = \frac{C_0}{\gamma_R} n D^2 \sqrt{f_{cd} f_{yd}} \quad d/D > 6.00 \quad (3.1)$$

$$R_d = \frac{C_0}{\gamma_R} \left(0.25 \frac{d}{D} - 0.50 \right) n D^2 \sqrt{f_{cd} f_{yd}} \quad 4.00 \leq d/D \leq 6.00 \quad (3.2)$$

Bu eşitliklerde yer alan C_0 değeri düğüm noktasında beklenen dönme miktarına bağlı olarak 0.90 ile 1.10 arasında değişen bir katsayıdır. Düğüm noktasında büyük miktarda dönme bekleniyor ise 0.90-0.95 aralığında bir değer kullanılması önerilmektedir. C_0 için kullanılabilecek en büyük değer olan 1.10 durumunda, düğüm noktasında dönme oluşmadığı ifade edilmektedir.

Eşitlik 3.1’de ve Eşitlik 3.2’de kullanılan γ_R genel bir güvenlik faktörü olup, deneysel yöntemdeki belirsizlikler ile kullanılan deneysel verinin sınırlı sayıda olması dolayısıyla ifadelere eklenmiştir. γ_R için 1.30 değerinin kullanılması önerilmiştir. Aşağıda sıralanan koşulların sağlanması durumunda Eşitlik 3.1’in ve Eşitlik 3.2’nin kullanılabileceği uyarısında bulunulmuştur.

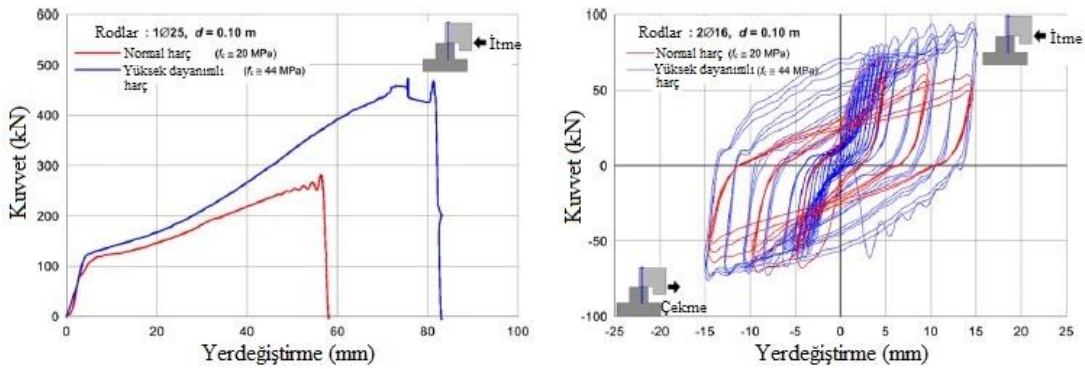
- Rodların uygun biçimde ankrajının yapılmış olması ve üstlerinde somun kullanılmış olması.
- Rodların bulunduğu boşluğa yerleştirilen harca ait basınç dayanımının prefabrike elemanların basınç dayanımı ile yakın olması.
- Rodların civarında yeterli sargı donatısının (U biçimli donatının) bulunması.
- Birleşim bölgesinde, giriş ve kolon arasında yaklaşık 20 mm mesafe bulunması.
- Rodlarda, başka bir etki dolayısıyla önemli eksenel kuvvet oluşmaması. Elastomerik pedlerin esnekliğine bağlı olarak rodlarda ilave eksenel kuvvet oluşabilmektedir. Bu tür eksenel kuvvetler yer hareketinin düşey bileşenine bağlı olarak meydana gelebildiği gibi, iki rodlu birleşimlerde düzleme dik doğrultudaki etkilerden de oluşabilmektedir.

Mafsallı birleşimlerin tasarımı kapasite esaslı yapıldığı için deprem etkisinde elastik davranış göstermeleri beklenmektedir. Bu nedenle birleşimin kesme süneklik

kapasitesi tasarımı dikkate alınmamakta, ancak birleşimde oluşması beklenmeyen kesme yerdeğiştirmesinin oluşması durumunda bir rezerv olarak düşünülmektedir.

Birleşimlerin kesme süneklik kapasitesi, μ_s , birleşimlere ait çevrimsel davranışlardan belirlenmiştir. Nihai yerdeğiştirme değeri, dayanımdaki düşüşün %20'ye eriştiği nokta olarak kabul edilmiş ve birleşimlerin kesme süneklik kapasitesi hesaplanmıştır. Rodların kiriş kenarlarından olan uzaklığı yeteri kadar büyük ($d/D \geq 6$) ise μ_s değeri için, 4 ile 6 arasında değişen değerler elde edilmiştir. $d/D = 4$ olduğu durumda μ_s değeri için, 2.5 ile 3.5 arasında değişen değerler elde edilmiştir.

Moment aktarmayan birleşimlerin kesme dayanımı yüksek dayanımlı harç kullanılarak artırılabilir. Normal ve yüksek dayanımlı harcın kullanıldığı deneylerde, yüksek dayanımlı harç ile oluşturulan birleşimlere ait kesme dayanımının arttığı gösterilmiştir. Yüksek dayanımlı harcın kullanıldığı birleşimlerde, monotonik itme durumunda aynı yerdeğiştirme değeri için daha büyük dayanım elde edilmiştir. Yüksek dayanımlı harcın kullanıldığı birleşimlerde, çevrimsel yükleme etkisinde daha düzgün çevrimler elde edilmiştir. Dayanım kaybı görülmemiş, süneklik artmış, nihai dayanım ise bir miktar artmıştır (Şekil 3.14).



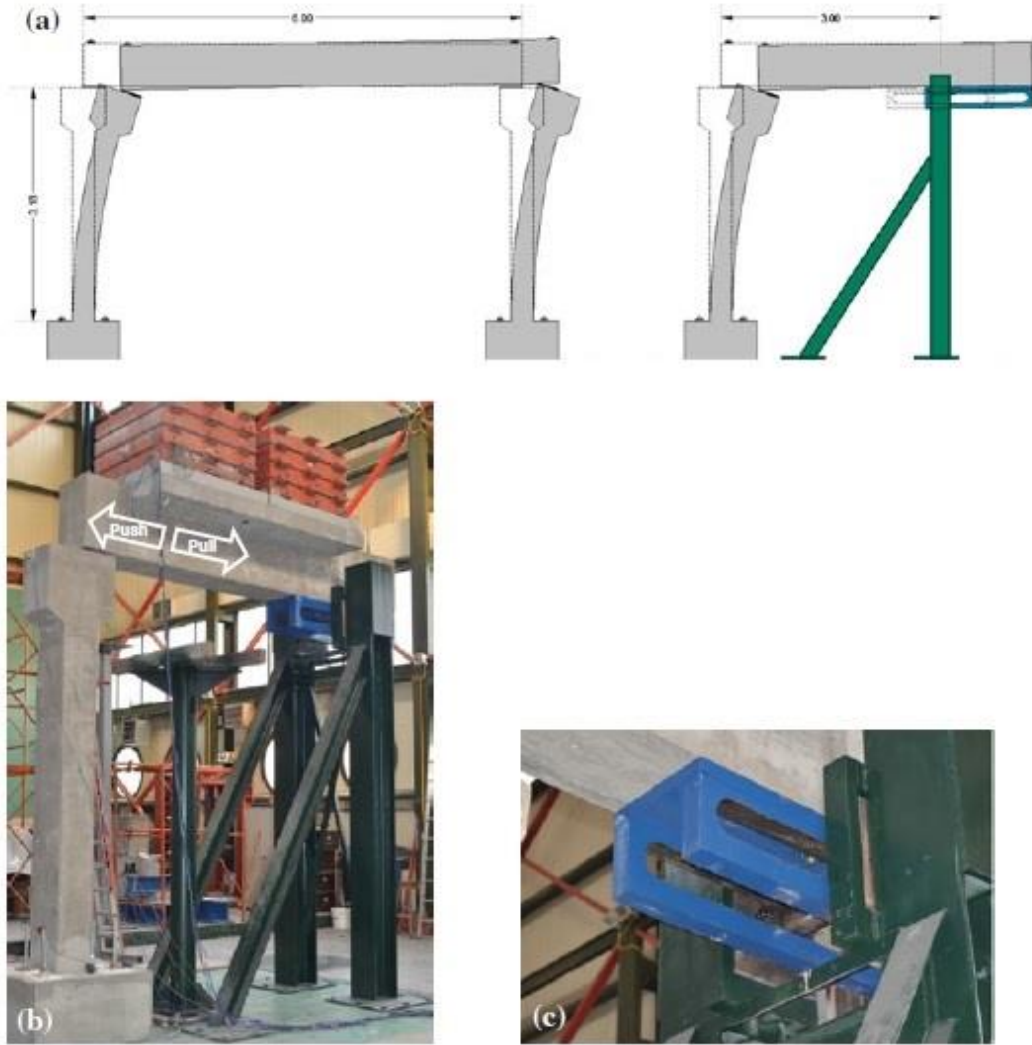
Şekil 3.14 : Farklı harç dayanımlarının birleşimin monotonik ve çevrimsel davranışları üzerindeki etkisi.

3.2.10 Psycharis ve Mouzakis (2012b)

Bu çalışmada, moment aktarmayan kiriş-kolon birleşimlerine sahip prefabrike çerçevelerin davranışı sarsma masası deneyleri ile incelenmiştir (Şekil 3.15). Farklı boyuna donatı oranına sahip kolonlar kullanılmış, kiriş enkesiti değiştirilmemiştir. Çerçeve kolonları, düğüm noktasında büyük dönme meydana gelmesi için esnek ve zayıf (boyuna donatı oranı az), düğüm noktasında dönme oluşması ve kesme kuvveti elde etmek için esnek ve kuvvetli (boyuna donatı oranı fazla), düğüm noktasında

küçük dönme oluşması ve büyük kesme kuvveti elde etmek için rijit ve kuvvetli (boyuna donatı oranı çok fazla) olacak şekilde tasarlanmıştır.

Kirişin serbest ucunda uygun sınır koşulları oluşturulmuştur (Şekil 3.15a). Bu uçta, düzlem içerisinde dönme ve kirişin boyuna doğrultusunda kayma meydana gelmesine izin verilirken, düşey hareket oluşumuna izin verilmemiştir. Sınır koşulları, sarsma masasına bağlı bağımsız bir rijit çelik çerçeve kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.15b, Şekil 3.15c).



Şekil 3.15 : (a) Tek açıklıklı ilk örnek çerçeve ve dikkate alınan yarım çerçeve, (b) Deney düzeneği ve ilave kütleler, (c) Kirişin serbest ucunda oluşturulan kayıcı mesnet.

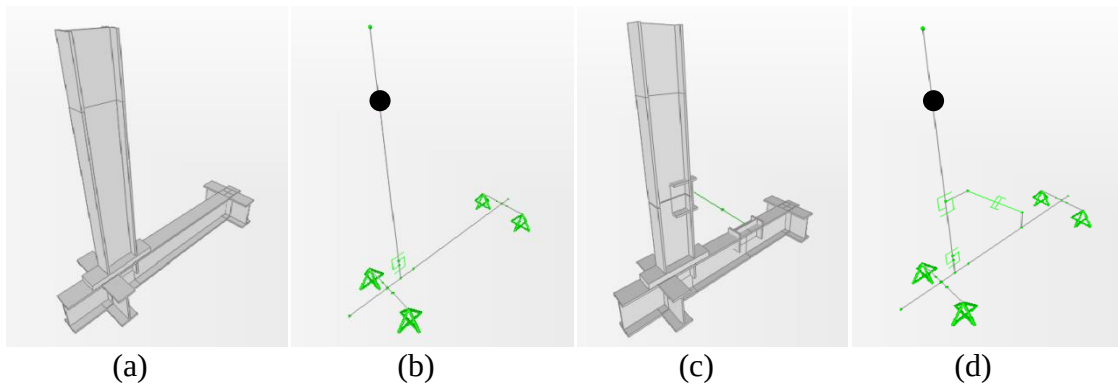
Kolon ve kirişten meydana gelen numuneye, düzlemi içerisinde deprem ivme kayıtları uygulanmıştır. İvme genlikleri numunede önemli hasar oluşumu sağlanana kadar adım adım arttırılmıştır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, Psycharis ve Mouzakis (2012a) tarafından yapılan çalışmada kullanılan özdeş geometriye sahip

numunelerin, sadece kesme etkisinde ortaya koydukları çevrimsel deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Yapılan karşılaştırma, ulaşılan kesme dayanımı değerinde küçük farklar olduğunu ortaya koymuştur. Dinamik deneylerde çevrimsel statik deneylere göre daha az hasar oluşmuştur. Moment aktarmayan birleşimlerde, dayanımda önemli bir azalma olmadan, büyük dönme değerlerine (> 0.10 radyan) uyum sağlanabildiği görülmüştür. Ayrıca, deprem düşey bileşeninin birleşim davranışı üzerinde önemli bir etkisi olmadığı ifade edilmiştir.

3.2.11 Soydan, Yüksel ve İrtem (2014)

Yalın ve kurşun ekstrüzyon sönümleyici yerleştirilen çelik kiriş-kolon birleşimlerinin davranışı deneysel çalışma ile belirlenmiş ve birbiri ile karşılaştırılmıştır. Çalışmanın kuramsal bölümünde SAP2000 yazılımı kullanılarak, yalın birleşimin analitik modeli oluşturulmuştur. Deneysel çalışmada kullanılan yerdeğiştirme protokolü etkisinde doğrusal olmayan statik analiz gerçekleştirilmiş ve kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi belirlenmiştir. Yalın birleşim için deneysel ve kuramsal çalışma ile belirlenen kuvvet-yerdeğiştirme ilişkileri karşılaştırılmıştır. Yalın ve sönümleyicili birleşimler için oluşturulan analitik modeller ile (Şekil 3.16), Koaceli (1999), Erzincan (1992) ve Düzce (1999) deprem ivme kayıtları kullanılarak, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre yerdeğiştirmelerin % 45-75 mertebesinde azaldığı, oluşan kuvvetin ise en fazla %25 arttığı ifade edilmiştir.



Şekil 3.16 : (a) Yalın birleşim, (b) Yalın birleşim analitik modeli, (c) Sönümleyicili birleşim, (d) Sönümleyicili birleşim analitik modeli.

3.3 Sarsma Masası Üzerinde Yapılan Deneyler

Moment aktarmayan kiriş-kolon birleşimine sahip olan tek katlı prefabrike betonarme endüstri yapısına ait bir orta çerçevenin deprem etkisindeki davranışının incelenmesi amacı ile yaklaşık 1/2 ölçekli modeli sarsma masası üzerinde denenmiştir. Deneysel çalışma kapsamında, yalın (KES'in yerleştirilmediği) ve sönümleyicili (KES'in yerleştirildiği) birleşimlere sahip iki grup numune üzerinde çalışılmıştır.

Laboratuvar olanakları ve kullanılan sarsma masasının fiziksel kapasite sınırları dolayısıyla, tek katlı prefabrike betonarme çerçevenin bütünü sarsma tablası üzerine yerleştirilememektedir. Bu sebeple, kiriş açıklığının yaklaşık 1/5'ine karşılık gelecek 2.0 m uzunluğundaki kiriş parçası, kolon ile birleştirilmiştir. Kiriş serbest ucunda ise kayıcı bir mesnet detayı oluşturulmuştur.

Numunelerde tepe yatay yerdeğiştirmesi ve ivme, kolon taban kesitinde dönme ve ivme, moment aktarmayan rodlu birleşimde kirişin kolon üzerinde kayma miktarı ve kiriş-kolon arasında oluşan dönme farkı deneysel olarak ölçülmüştür.

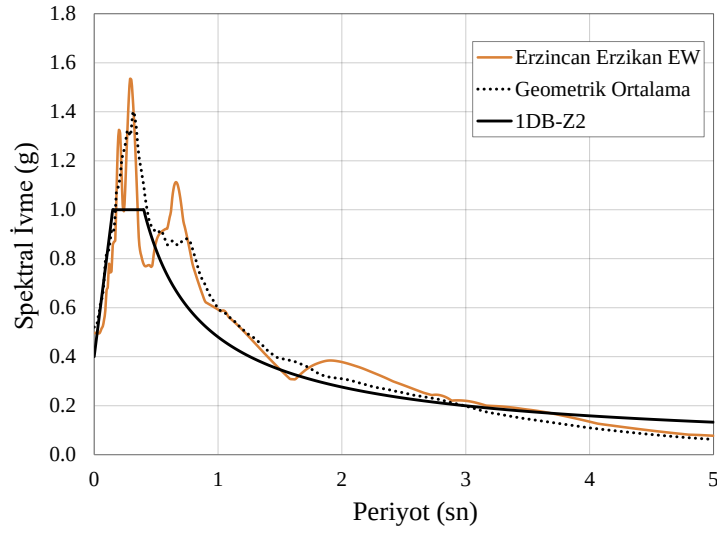
Yalın birleşim ile KES yerleştirilmiş birleşimin deprem etkisindeki davranışları karşılaştırılmış ve KES yerleştirilerek oluşturulan yeni birleşim biçiminin deprem etkisi altındaki performansı irdelenmiştir.

3.3.1 Deprem kaydı seçimi

Moment aktarmayan kiriş-kolon birleşimine sahip olan sanayi yapısının 1. derece deprem bölgesinde yer aldığı ve Z2 türü zemin üzerine oturduğu kabul edilmiştir. *Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007 (TDY 2007)*'e göre etkin yer ivmesi katsayısı (A_0) 0.40 ve spektrum karakterisitik periyotları (T_A , T_B) sırasıyla 0.15 s ve 0.40 s olan yapı sistemi için, kullanılan elastik tasarım ivme spektrumunun 0.0 ile 5.0 s periyotları arasındaki değişimi Şekil 3.17'de görülmektedir.

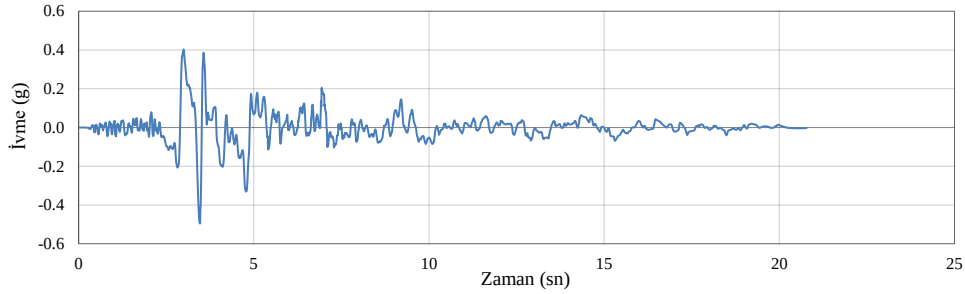
Bölüm 4'te anlatılan ve incelenen sisteminin doğrusal olmayan üç boyutlu analizi için *TDY 2007*'e uygun olarak *PEER Yer Hareketi Veri Tabanı*'ndan alınan 10 adet yer hareketi arasından 13 Mart 1992 Erzincan depremi doğu-batı bileşeni sarsma masası deneylerinde kullanılacak deprem kaydı olarak seçilmiştir. Erzincan depremi

doğu-batı bileşenine ait elastik ivme spektrumu ile diğer 9 adet depreme ait elastik ivme spektrum değerlerinin geometrik ortalama eğrisi Şekil 3.17’de verilmiştir.



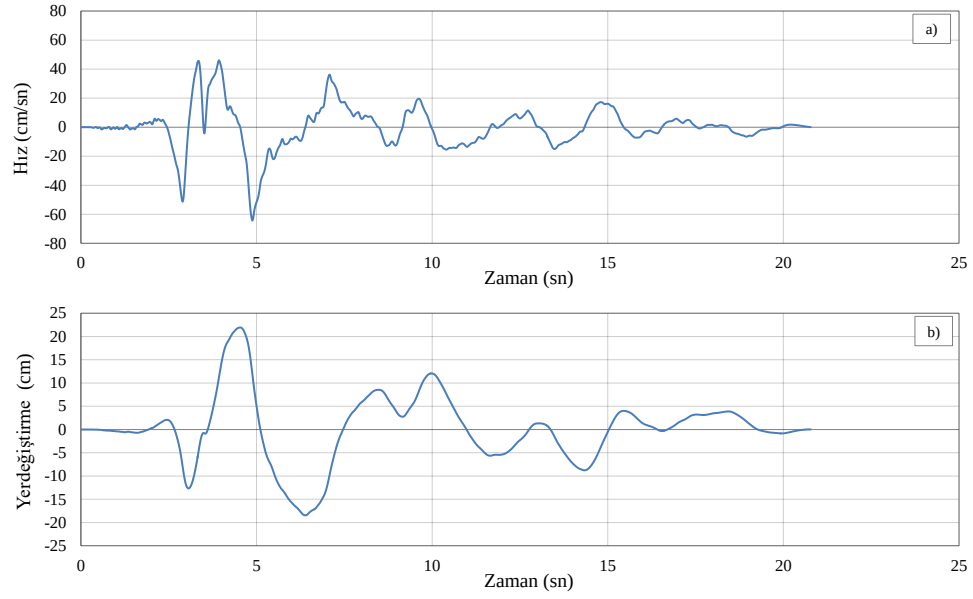
Şekil 3.17 : 1. derece deprem bölgesi ve Z2 zemin sınıfı için elastik tasarım ivme spektrumu.

13 Mart 1992 tarihinde meydana gelen Erzincan depremi sırasında, Erzincan istasyonundan alınmış olan kaydın doğu-batı bileşenine ait ivme (g)-zaman (sn) ilişkisi Şekil 3.18’de görülmektedir. Yaklaşık olarak 21 saniye süren depremde oluşan en büyük ivme değeri 0.496g olarak kaydedilmiştir.



Şekil 3.18 : Erzincan depremi (1992) doğu-batı bileşeni ivme (g)-zaman (sn) ilişkisi.

Erzincan deprem kaydı doğu-batı bileşenine ait hız (cm/sn)-zaman (sn) ve yerdeğiştirme (cm)-zaman (sn) ilişkileri Şekil 3.19’da verilmiştir. Yer hareketi sırasında meydana gelen hız ve yerdeğiştirmenin en büyük değerleri sırasıyla 64.28 cm/sn ve 21.94 cm olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.19 : Erzincan depremi (1992) doğu-batı bileşeni; a) Hız (cm/sn)-zaman (sn) ilişkisi; b) Yerdeğiştirme (cm)-zaman (sn) ilişkisi.

3.3.2 Sarsma masasının özellikleri

Sarsma masası, deprem hareketinin gerçeğe en yakın biçimde numunelere etkitilebildiği bir deney sistemidir. İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı'nda bulunan ARI-I sarsma masasının plandaki boyutları 2.35 m×2.35 m'dir (Şekil 3.20).



Şekil 3.20 : ARI-1 Sarsma masası.

Sarsma masasının hız kapasitesi 1 m/sn, yerdeğiştirme kapasitesi ± 325 mm, etkin ivme kapasitesi 1.0g iken devrilme momenti kapasitesi de 320 kNm'dir. Tek doğrultuda çalışan sarsma masasının hareket doğrultusundaki sürtünme katsayısı yaklaşık % 1.5'tir.

3.3.3 Deney numunelerinde kullanılan malzeme özellikleri

Deneyisel çalışmada kullanılmak üzere tasarımı ve üretimi yapılmış olan prefabrike betonarme elemanlar için öngörülen beton sınıfı C30, çelik donatı sınıfı da S420a'dır. Elemanların montajı için, kiriş-kolon ve kolon-temel birleşimlerinde rötre yapmayan harç kullanılmıştır.

Prefabrike eleman üretimine geçilmeden önce, farklı çaptaki donatılardan 4 adet 50 cm uzunluğunda numuneler alınmıştır. Bu donatılara ait gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri çekme deneyleri ile belirlenmiştir.

Prefabrike eleman üretimi yapılırken 80 (2×4×10) adet 15 cm×15 cm×15 cm boyutlu beton numunesi alınmıştır. Bu numunelere, üretimden 7 ve 28 gün sonra, basınç deneyi uygulanmıştır. Prefabrike deney numuneleri için dinamik deneylerin gerçekleştirildiği günlerde, üretim sırasında alınan 15 cm×30 cm boyutlu silindirik numuneler, şekildeğiştirme okuması da yapılarak basınç deneyine tabi tutulmuştur.

Üretimi yapılan prefabrike temel, kolon ve kirişlerin birleşiminde rötre yapmayan harç kullanılmıştır. Hazırlanan harçtan 3'er adet 7 cm×7 cm×7 cm ebatlarında küp numuneler alınmıştır. Alınan küp numunelerin 7 ve 28 günlük basınç deneyleri yapılarak basınç dayanımları belirlenmiştir.

Beton, donatı çeliği ve harç malzeme deneyleri İTÜ İnşaat Fakültesi Malzeme Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

3.3.3.1 Beton deneyleri

Deney numunelerinde kullanılan betonun basınç dayanımının belirlenebilmesi için 40 (4×10) adet standart silindir (150×300 mm) numunesi alınmıştır. 500 ton kapasiteli Amsler marka pres kullanılarak standart beton basınç deneyleri yapılmıştır. Betonun gerilme-şekildeğiştirme ilişkisinin belirlenebilmesi için, TML CM-15 ölçüm çerçevesi kullanılarak numunede meydana gelen kısalma şekildeğiştirmeleri ve 150 ton kapasiteli TML marka CLH-1.5MNA model yük hücresi kullanılarak oluşan gerilme hesaplanmıştır.

Beton basınç deneyleri için kullanılan deney düzeneği, deney öncesinde ve sonrasında beton numunesinin durumu Şekil 3.21'de görülmektedir. Yalın ve sönümleyicili birleşim numunelerinde kullanılan betona ait gerilme-birim şekildeğiştirme eğrileri sırasıyla Şekil 3.21c ve Şekil 3.21d'de

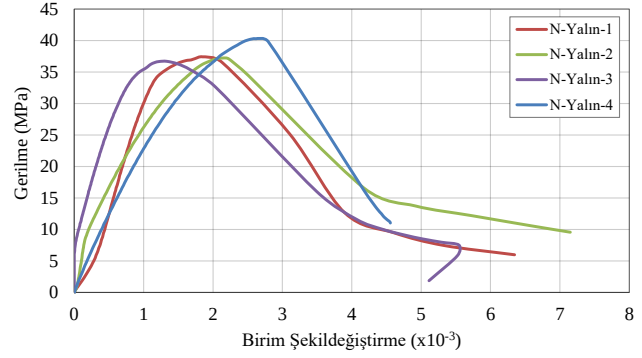
verilmiştir. Yalın birleşim numunesine ait kolon betonu için basınç dayanımı 37.91 MPa ve birim şekildeğiştirme 1.99×10^{-3} olarak belirlenmiştir. Sönümleyicili birleşim numunesi kolonuna ait beton basınç dayanımı ve birim şekildeğiştirme ise sırasıyla 38.28 MPa ve 2.28×10^{-3} 'tür.



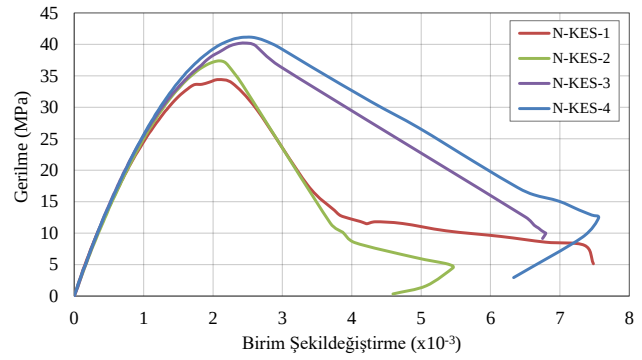
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 3.21 : Beton basınç deneyi; (a) Deney öncesi, (b) Deney sonrası, (c) Yalın numuneye ait beton gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri, (d) Sönümleyicili numune ait beton gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri.

3.3.3.2 Donatı çeliği deneyleri

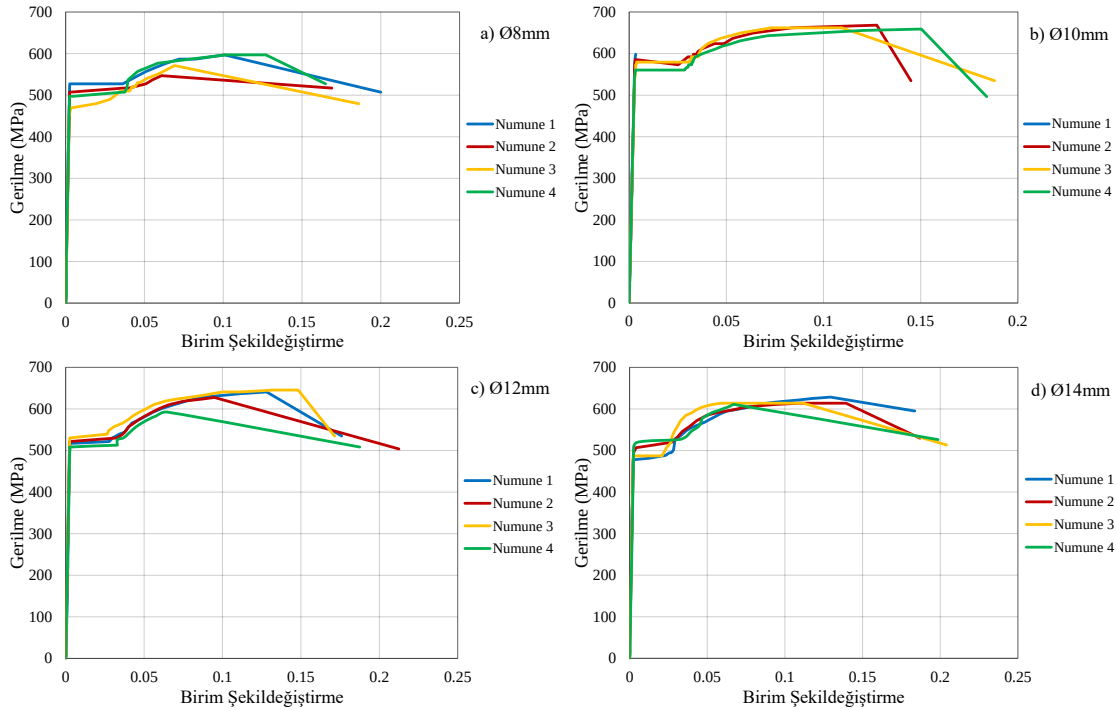
Donatı çeliği çekme deneyleri 20 ton kapasiteli Amsler marka mekanik çekme aleti kullanılarak, TS 708 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Kiriş ve kolon elemanlarda enine ve boyuna doğrultuda kullanılan donatılar ile temel donatılarından alınan örnekler için çekme deneyleri yapılmıştır.

Prefabrike birleşim numunesini oluşturan kolon, kiriş ve temel elemanlarında, çapları 8 mm, 10 mm, 12 mm ve 14 mm olmak üzere dört farklı çapta donatı kullanılmıştır. Yapı elemanlarında kullanılan her bir çaptaki donatıyı temsil etmek üzere, 50 cm uzunluğunda 4 adet donatı numunesi alınmıştır. Çekme deneyi öncesinde numuneler üzerine, 1 cm aralık ile işaretleme yapılmıştır (Şekil 3.22a). Gerçekleşen şekildeğiştirme, donatı üzerinde aynı kesitin ön ve arka yüzüne yerleştirilen 2 adet

YFLA-5-5L tipindeki şekil değiştirme ölçer ile kaydedilmiştir. Deney düzeneği ve deney sonunda çelik donatının kopma hali sırasıyla Şekil 3.22b ve Şekil 3.22c’de görülmektedir. Dört farklı çaptaki (Ø8, Ø10, Ø12, Ø14) donatı numunelerine ait gerilme-şekil değiştirme ilişkileri Şekil 3.23’de sunulmuştur.



Şekil 3.22 : Donatı çeliği çekme deneyi; (a) Numune üzerinde 1 cm aralık ile işaretleme yapılması, (b) Deney düzeneği, (c) Donatı çeliğinin kopması.



Şekil 3.23 : Gerilme-birim şekil değiştirme ilişkileri; (a) Ø8 mm, (b) Ø10 mm, (c) Ø12 mm, (d) Ø14 mm.

Yalın ve sönümleyicili birleşim numunesi kolon kesitlerinde yer alan 12 mm çaplı boyuna donatılara ait akma ve kopma dayanımı sırasıyla 516.15 MPa ve 520.57 MPa olarak belirlenmiştir. 8 mm çapındaki enine donatı için elde edilen akma dayanımı 497.66 kN, kopma dayanımı ise 507.80 kN’dur.

3.3.3.3 Harç deneyleri

Üretimi yapılan prefabrike elemanların birleştirilmesinde çimento esaslı, tek bileşenli, polimer takviyeli ve kendiliğinden yerleşen bir harç kullanılmıştır. Harca ait basınç dayanımının belirlenmesi için $7 \times 7 \times 7$ cm ebatlarında 3'er adet küp numune alınmıştır (Şekil 3.24). Alınan küp numunelere 7. ve 28. günlerde basınç deneyleri uygulanarak basınç dayanımları belirlenmiştir. Harç numunelerinin basınç deneyleri 300 ton kapasiteli Alşa marka pres aleti kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elemanların birleşiminde kullanılan rötre yapmayan harcın $7 \times 7 \times 7$ cm ebatlarında numunelerden hareketle belirlenen basınç dayanımı yaklaşık olarak 55 MPa olarak belirlenmiştir.

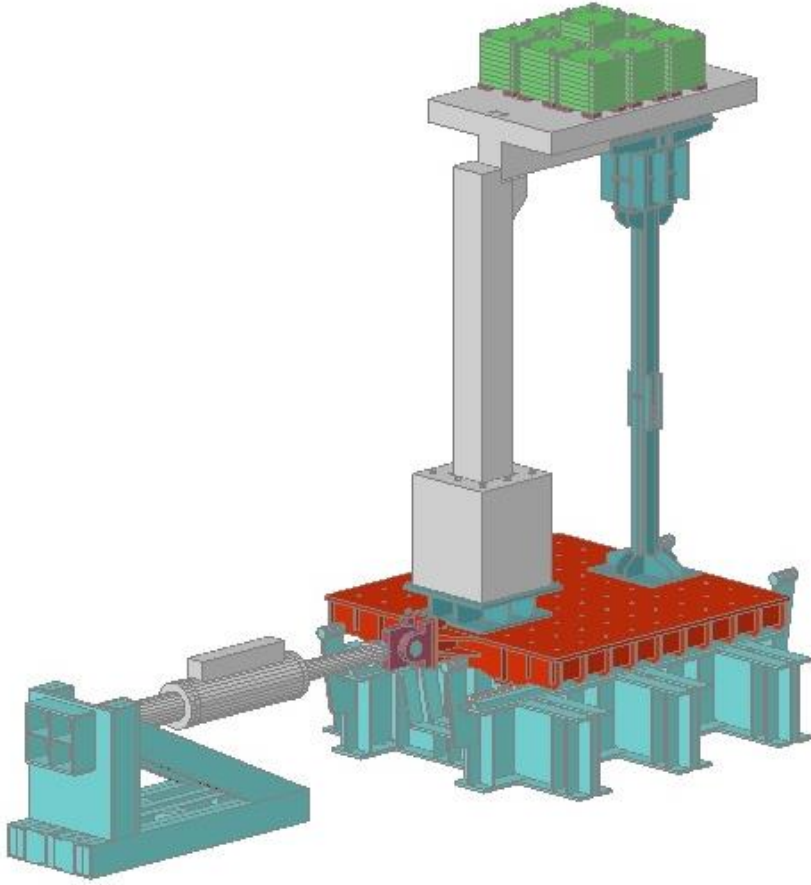


Şekil 3.24 : Harç numunelerinin alınması ve basınç deneyinin yapılması.

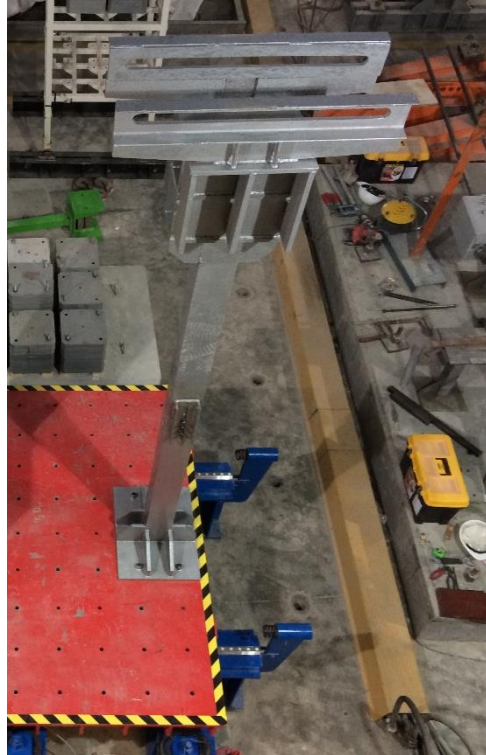
3.3.4 Deney numunelerinin özellikleri

Plandaki boyutları $2.35\text{m} \times 2.35\text{m}$ olan sarsma masası (Şekil 3.25) üzerine yerleştirilecek olan numuneler, betonarme prefabrike bir endüstri yapısından yaklaşık olarak 1/2 geometrik ölçekle çıkarılmışlardır. Numunede kiriş serbest ucunun düşey doğrultudaki hareketinin sınırlandırılması, yatay doğrultudaki hareketinin ise serbest bırakılması için özel bir mesnetlenme detayı oluşturulmuştur. Bu kayıcı mesnet detayında, ayağı sarsma masasına sabitlenen, özel bir çelik kolon kullanılmıştır (Şekil 3.26). Çelik kolonun yaklaşık orta yüksekliğinde, gövdesinde hazırlanan özel bir mafsal detayı ile titreşim frekansı ayarlanabilmektedir.

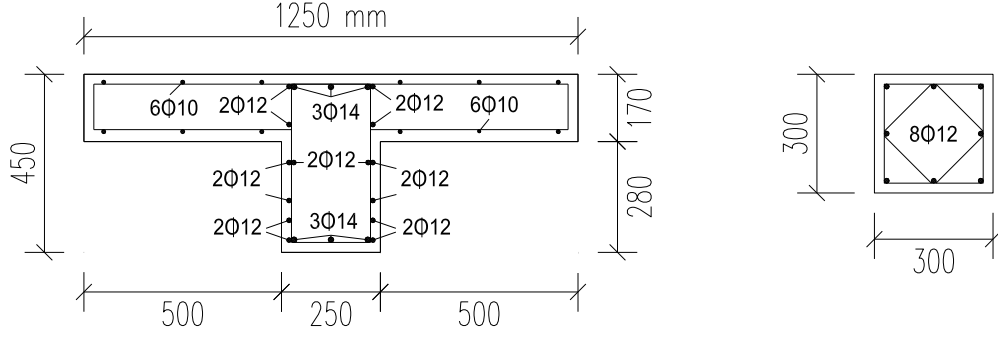
Prefabrike kolon kesiti $30\text{ cm} \times 30\text{ cm}$ (Şekil 3.27) ve kolon toplam yüksekliği de 2.28 m olarak seçilmiştir. Kolonun soket temel içerisinde kalan uzunluğu 60 cm'dir. Kolon boyuna donatı oranı %1'dir. Kolon üst ucunda, kirişin mesnetleneceği bir guse bölgesi bulunmaktadır (Şekil 3.28). Kiriş ile guse arasına 1 cm kalınlığında kauçuk yastık yerleştirilmiştir. Kauçuk yastık planda $18.5\text{ cm} \times 21\text{ cm}$ boyutlarına sahiptir. Kiriş ile kolon arasındaki düşey boşluk 2.5 cm olarak belirlenmiştir.



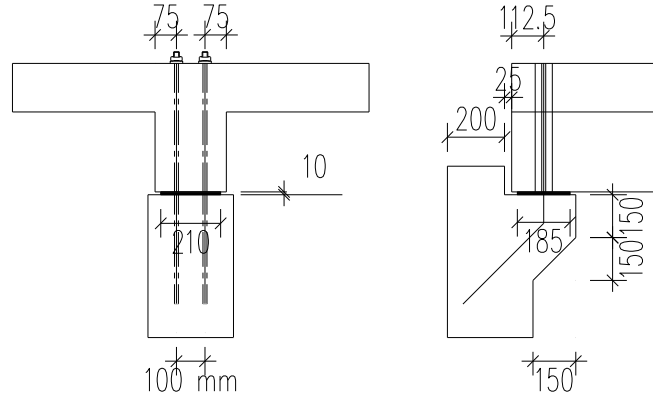
Şekil 3.25 : Deney sisteminin üç boyutlu olarak canlandırılması.



Şekil 3.26 : Deney sisteminde kayıcı mesnet olarak kullanılan çelik kolon.



Şekil 3.27 : Kiriş ve kolon kesitlerine ait boyutlar.



Şekil 3.28 : Kiriş-kolon birleşim bölgesine ait boyutlar.

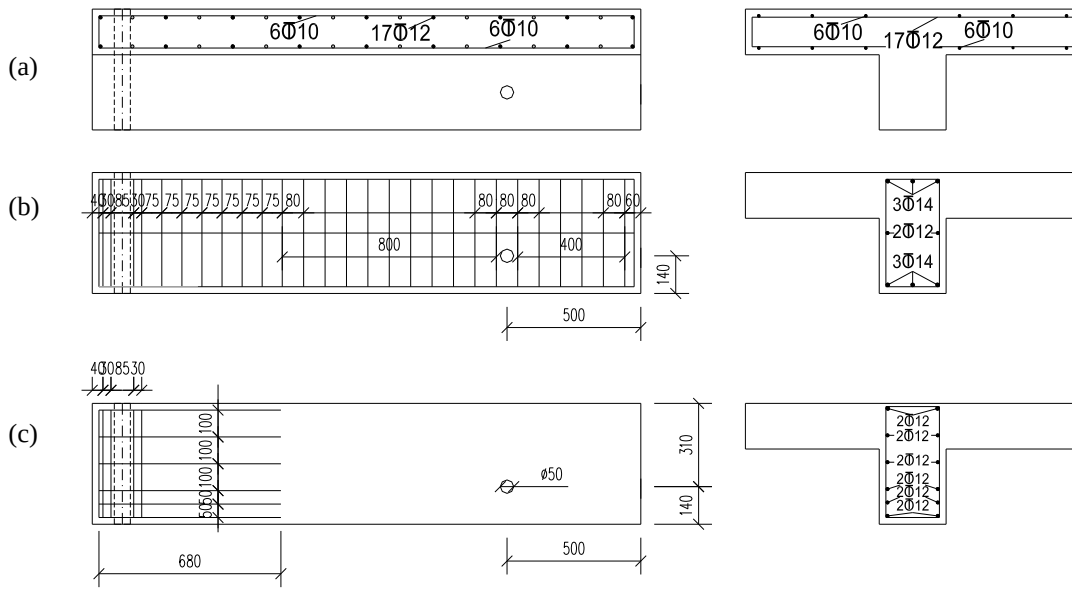
T kesitli olan kiriş, 25 cm gövde ve 125 cm tabla genişliğine sahiptir. T kesitli kirişler genelde prefabrike betonarme sanayi yapılarında kullanılmamaktadır. Ancak deneyde kullanılacak yaklaşık 30 kN’luk ilave kütlenin numune üzerine emniyetle mesnetlenebilmesi için bu kesit seçilmiştir. Kiriş boyutlarına karar verilirken, pratikte sıklıkla kullanılan kolon ve kiriş boyutlarına sahip çerçevelerin *kiriş ortalama atalet momenti / kolon atalet momenti* oranı (5) göz önüne alınmıştır. Deney numunesi için bu oran 5.385 olarak belirlenmiştir.

Kiriş-kolon birleşiminde 14 mm çapında iki adet rod kullanılmıştır. Rod merkezleri arasındaki mesafe 10 cm’dir. Rod merkezlerinin kiriş kenarına olan uzaklıkları yükleme düzleminde ve yükleme düzlemine dik doğrultuda sırasıyla 11.25 cm (8Ø) ve 7.5 cm (5.4Ø) olarak tasarlanmıştır (Şekil 3.28).

Kirişlerin kolon tarafındaki uç bölgesinde, kolon guse bölgesine yerleştirilen iki adet rodun geçeceği dikdörtgen kesitli (60 mm×40 mm) boşluk bırakılmıştır. Kiriş ve kolon birleştirilirken, içerisinden rodların geçtiği bu boşluklara rötne yapmayan harç doldurulmuştur. Harç prizini tamamladığında rodların kiriş içerisindeki ankrajı

gerçekleşmiş olmaktadır. Kiriş uç bölgesinde, iki adet rodu içerisine alan ve kiriş merkezine doğru devam eden 70 cm uzunluğunda U biçimli altı adet sargı donatısı kullanılmıştır. Kirişte kullanılan enine donatı aralığı, uçta 7.5 cm ara bölgede ise 8 cm olarak seçilmiştir (Şekil 3.29).

Kolonda kullanılan enine donatı aralıkları kolon uç bölgelerinde 7.5 cm, orta bölgede ise 15 cm olarak seçilmiştir. Kolon donatı düzeni Şekil 3.30'da verilmiştir. Numunelere ait genel ölçüler ise Şekil 3.31'de yer almaktadır. Kolon serbest yüksekliği 2.64 m, kiriş boyu da 2.05 m'dir. Sarsma masası üzerinde toplam numune yüksekliği 3.465 m olmaktadır.

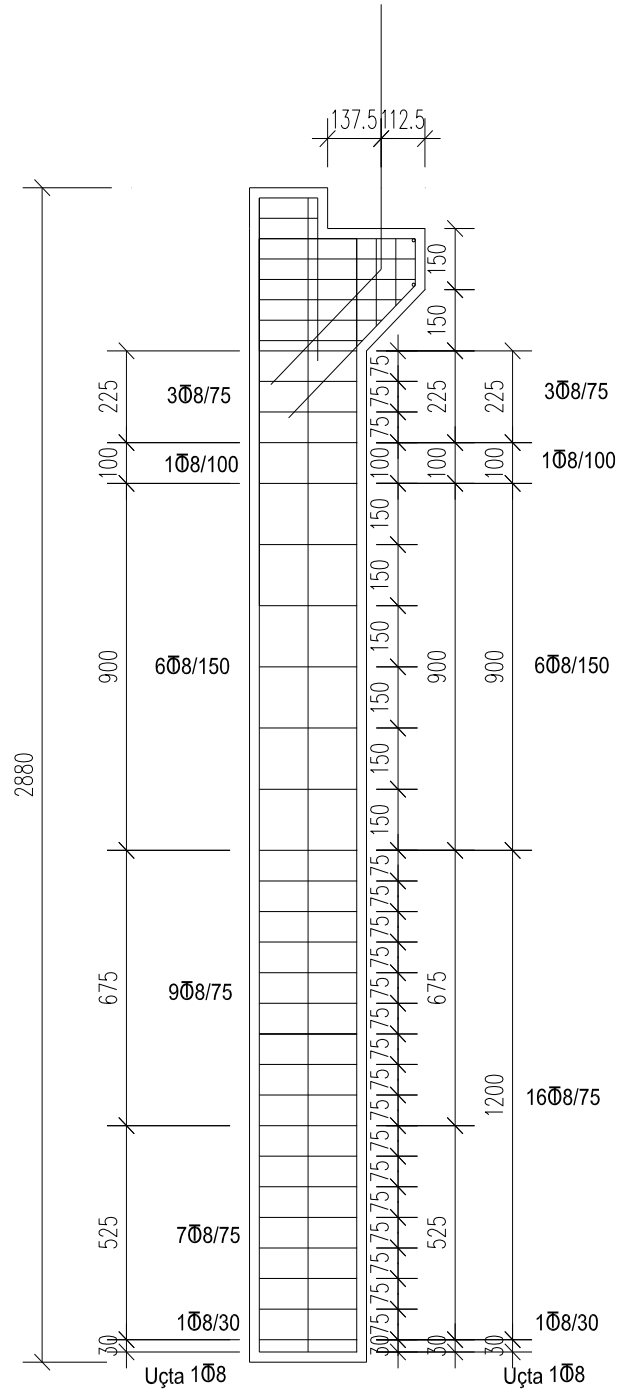


Şekil 3.29 : Kiriş donatı detayları; (a) Tabla; (b) Gövde; (c) Gövde uç bölgesi.

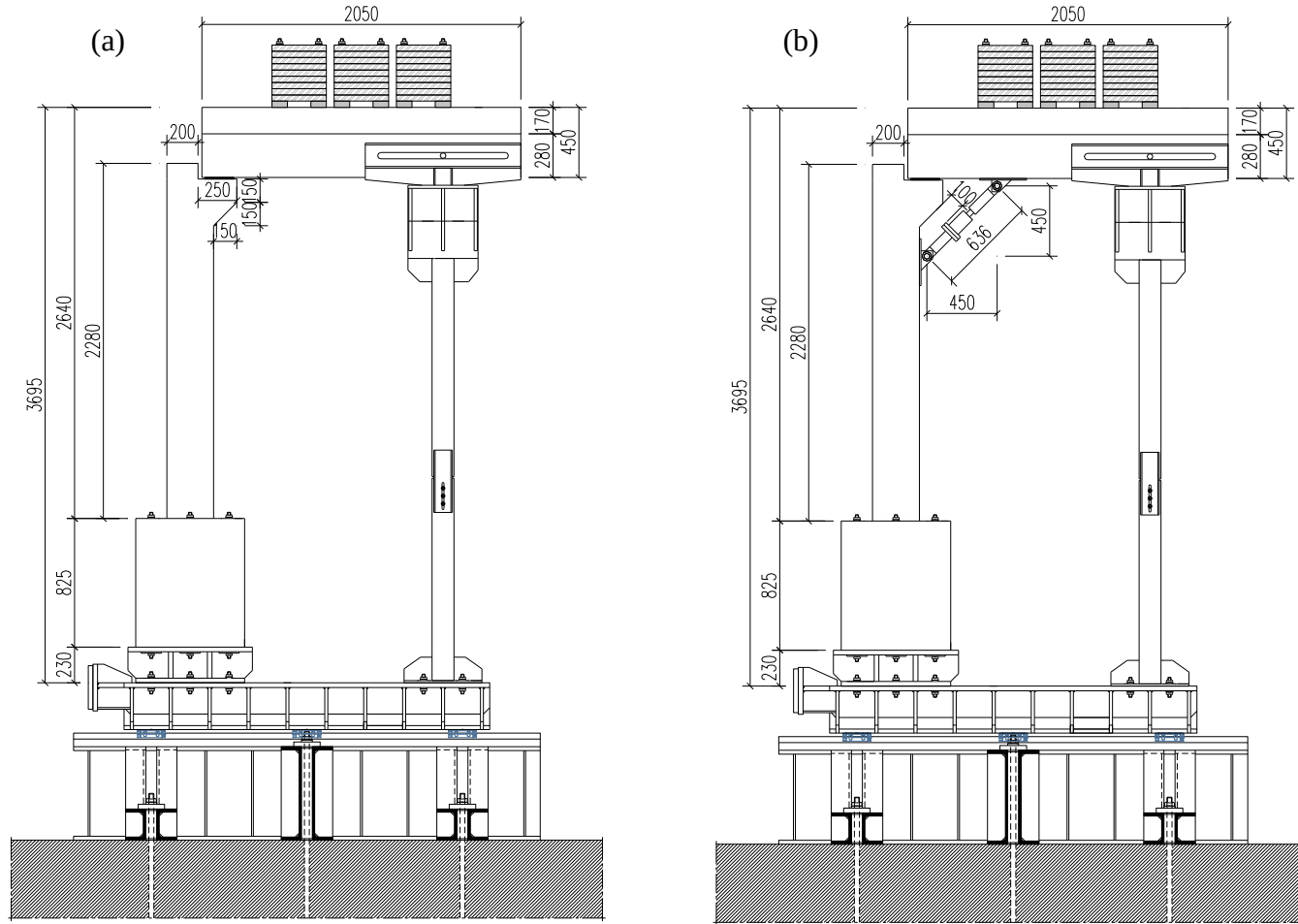
Numunelerde kolon için boyuna donatı çapı 12 mm, enine donatı için kullanılan donatı çapı ise 8 mm olarak kullanılmıştır. Örnek olarak alınan prefabrike endüstri yapısına ait bir iç çerçevenin kolonunda boyuna donatı olarak 24 mm çapında donatılar kullanılmıştır. Örnek yapıda kullanılan etriye 8 mm çapında seçilmiştir. Benzer hacimsel enine donatı oranını sağlamak üzere enine donatı çapı 8 mm, enine donatı aralığı kolon uç bölgelerinde 7.5 cm, kolon ara bölgelerinde ise 15 cm olarak seçilmiştir. Kolon üst ucunda bulunan rodların çapı örnek yapıda 28 mm'dir. Deney numunesinde kullanılan rod çapı 14 mm olarak seçilmiştir (Şekil 3.30).

Uygulamada kullanılan 60 cm×60 cm kesitli bir kolon yaklaşık 1/2 geometrik ölçekle küçültülmüştür. Dolayısıyla deney numunesinde kolon kesit boyutları

Deney numunelerini oluşturan kiriş, kolon ve temel elemanların toplam kütlesi $2.923 \text{ kNsn}^2/\text{m}$ 'dir. Sarsma masası kütle kapasitesi yaklaşık $6.5 \text{ kNsn}^2/\text{m}$ olduğu için numune üzerine yerleştirilecek kütle miktarı $2.94 \text{ kNsn}^2/\text{m}$ seçilmiştir.

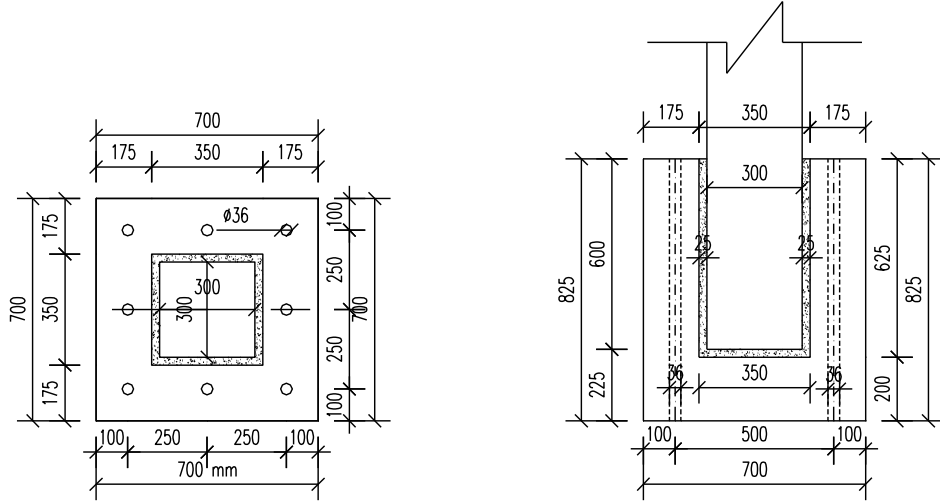


Şekil 3.30 : Kolon donatı detayı.



Şekil 3.31 : Betonarme prefabrike numuneler; (a) Yalın durum (b) Sönümleyicili durum.

Deney numunelerinde dış ölçüleri 70 cm×70 cm ve yüksekliği 82.5 cm olan soket temeller kullanılmıştır (Şekil 3.32). Temelerde kolonların yerleştirileceği 35 cm×35 cm ve derinliği 62.5 cm olan soketler oluşturulmuştur. Kolon yüzeyi ile soket yüzeyi arasında bırakılan boşluk 2.5 cm genişliğindedir. Kolon ile temelin montajı, boşluğun rötire yapmayan harç ile doldurulması ile gerçekleştirilmiştir. Temel ile sarsma masası bağlantısını sağlamak üzere soket temel yanaklarında 8 adet 36 mm çapında delik bırakılmıştır.



Şekil 3.32 : Soket temel boyutları.

Deney numunelerinin üretimi bir prefabrikasyon üretim tesisinde gerçekleştirilmiştir. Üretim sürecinde öncelikle yapı elemanlarının donatıları hazırlanmıştır (Şekil 3.33). Kolon elemanların boyuna donatılarına ve kiriş-kolon birleşimindeki rodlara şekildeğiştirme ölçerlerin yerleştirilmesi için gerekli ön hazırlık yapılmıştır. Şekildeğiştirme ölçerler, beton dökümü sırasında zarar görmeyecek şekilde uygun yalıtım malzemesi ile kaplanmıştır (Şekil 3.34). Donatılar ve rodlar çelik saç kalıba yerleştirildikten sonra beton dökülmüştür (Şekil 3.35).

Kirişlerin tabliyesi üzerine ilave kütleinin bağlantısı için manşonlar hazırlanmış ve manşonların istenilen biçimde yerleştirilmesi için bir şablon üretilmiştir. Kiriş üretimi donatıların çelik saç kalıba yerleştirilmesi, manşon şablonunun kalıp üzerine oturtulması ve betonun dökülmesi şeklinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.36).

Üretim süreci, donatısı hazırlanarak ahşap kalıplara yerleştirilen soket temellerin betonu dökülerek tamamlanmıştır (Şekil 3.37). Beton dökümü gerçekleştirilen yapı elemanları buhar küründe bırakılmış, yaklaşık 24 saat sonra beton prizini

tamamladıktan sonra kalıptan çıkarılarak depolama sahasına aktarılmıştır (Şekil 3.38).



Şekil 3.33 : Yapı elemanlarının donatıları.



Şekil 3.34 : Boyuna donatılara ve rodla şekil değiştirme ölçerlerin yerleştirilmesi.



Şekil 3.35 : Kolon üretimi.



Şekil 3.36 : Kiriş üretimi.



Şekil 3.37 : Temel üretimi.



Şekil 3.38 : Yapı elemanlarının depolanması.

Üretimi gerçekleştirilen numuneler laboratuvara taşınmış ve montajı laboratuvarında yapılmıştır. Montajın ilk aşamasında soket temel-kolon bağlantısı gerçekleştirilmiştir. Soket temel içerisine, kolon merkezine gelecek şekilde 2.5 cm kalınlığında çelik levhalar konulmuştur. Kolonlar, üretim aşamasında bırakılan montaj deliklerinden yararlanılarak, kren yardımı ile soket temellerin içerisine yerleştirilmiştir. Kolon yan yüzleri ile soket temel iç yüzleri arasında üçgen ahşap kamalar yerleştirilmiştir. Bu kamalar kolonun düzecini sağlamak için kullanılmıştır (Şekil 3.39). Soket temel ile kolon arasında kalan boşluğa rötne yapmayan harç yerleştirilmiştir (Şekil 3.40). Kamaların yerinden sökülebilmesi için temel üst yüzüne kadar harç dökülmemiştir. Harç prizini aldıktan sonra kamalar çıkarılmış ve bırakılan boşluklar harç ile doldurulmuştur.



Şekil 3.39 : Soket temel-kolon montajı (Kolonların düşeyliğinin sağlanması).



Şekil 3.40 : Soket temel-kolon montajı (Harcın hazırlanması ve yerleştirilmesi).

Kiriş ile kolon birleşimi yapılmadan önce kiriş tabliyesi üzerine ilave kütleler yerde yerleştirilmiştir. İlave çelik kütleler ile kiriş tabliyesi arasında ahşap takozlar yerleştirilerek yüzey teması önlenmiştir (Şekil 3.41). Kiriş tabliyesinde bırakılan manşonlara tijler bağlanmış ve ahşap takozlar tijlere geçirilmiştir. Çelik kütleler ahşap takozlar üzerine konulmuş, somunlar ile sıkılarak sabitlenmiştir.



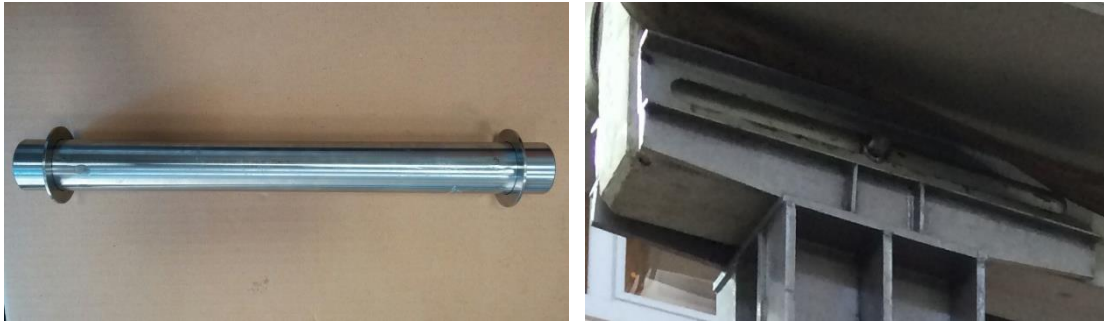
Şekil 3.41 : İlave kütlelerin kiriş tabliyesine bağlantısı.

Soket temelin sarsma masası ile bağlantısı, tasarımı ve üretimi yapılan bir çelik adaptör ile gerçekleştirilmiştir. Çelik adaptör ile sarsma tablasının montajı ise 8 adet M24 yüksek dayanımlı (10.9) cıvata ile yapılmıştır. Soket temelin çelik adaptör ile bağlantısı ise 8 adet Ø24 (4140 ıslah çeliği) tij ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.42).



Şekil 3.42 : Soket temel ile sarsma masasının bağlantısı.

Kirişin kayıcı olarak mesnetleneceği çelik kolon ayağı sarsma masasına 6 adet M20 yüksek dayanımlı (10.9) cıvata ile bağlanmıştır. Soket temel-kolon birleşimi ve çelik kolon ayağı sarsma masası üzerine bağlandıktan sonra kiriş kren yardımı ile kaldırılmıştır. Kolon gusesi üzerine 10 mm kalınlığında ve 185×210 mm boyutlarında kauçuk yastık yerleştirilmiş ve kiriş uç bölgesinde bırakılan düşey boşluklardan rodler geçirilerek kiriş betonarme kolon gusesi üzerine oturtulmuştur. Kirişin gövdesi, kirişin diğer uç kısmında çelik kolon üst kısmındaki ray içerisine yerleştirilmiştir. Kirişte bırakılan yatay boşluk ve çelik ray aynı konuma getirilerek 36 mm çapında mil ile bağlantı gerçekleştirilmiştir. Rayın dışında kalacak şekilde milin her iki ucunda oluşturulan yuvalara pullar yerleştirilmiştir. Pullar segmanlar ile sabitlenerek deney süresince milin yerinden çıkması önlenmiştir (Şekil 3.43).



Şekil 3.43 : Kirişin kayıcı mesnete 36 mm çapında mil ile bağlantısı.

Sarsma masası ile kiriş tabliyesi arasında teleskopik çelik ayaklar konularak kirişin yataylığı sağlanmıştır. Kirişin betonarme kolon uç tarafında bulunan ve içerisinden rodlerin geçirildiği boşluklar rötreye yapmayan harç ile doldurulmuştur. Harcın prizi tamamlanana kadar teleskopik çelik ayaklar sarsma masası üzerinde bırakılmıştır (Şekil 3.44). Harç prizini tamamladıktan sonra dış açılmış rodler pul ve somun takılmıştır (Şekil 3.45).

Sönümevicili birleşim numunesinde KES'in kiriş ve kolon ile bağlantısı için çelik levhalar ve ankraj cıvataları kullanılmıştır. Ankraj cıvatalarının boyuna ve enine donatılara isabet etmemesi için paşometre ile donatıların yerleri belirlenmiştir. Kiriş-kolon birleşimine yatay ile 45° açı yapacak şekilde yerleştirilen KES için bağlantı noktaları işaretlendikten sonra ankraj cıvatalarının yerleştirileceği delikler açılmıştır (Şekil 3.46). Bu deliklere M16×125 özelliğindeki kimyasal ankraj çubukları yerleştirilmiştir. Yeterli dayanımını kazandıktan sonra cıvatalar sıkılarak levhalar bağlanmış ve KES montajı yapılmıştır (Şekil 3.47).



Şekil 3.44 : Birleşim numunesi.



Şekil 3.45 : Rodların sıkılanması.



Şekil 3.46 : Ankraj civataları için delik açılması ve civataların yerleştirilmesi.



Şekil 3.47 : Bağlantı levhalarının ve KES'in montajı.

3.3.5 Deney numunelerine ölçüm cihazlarının yerleştirilmesi

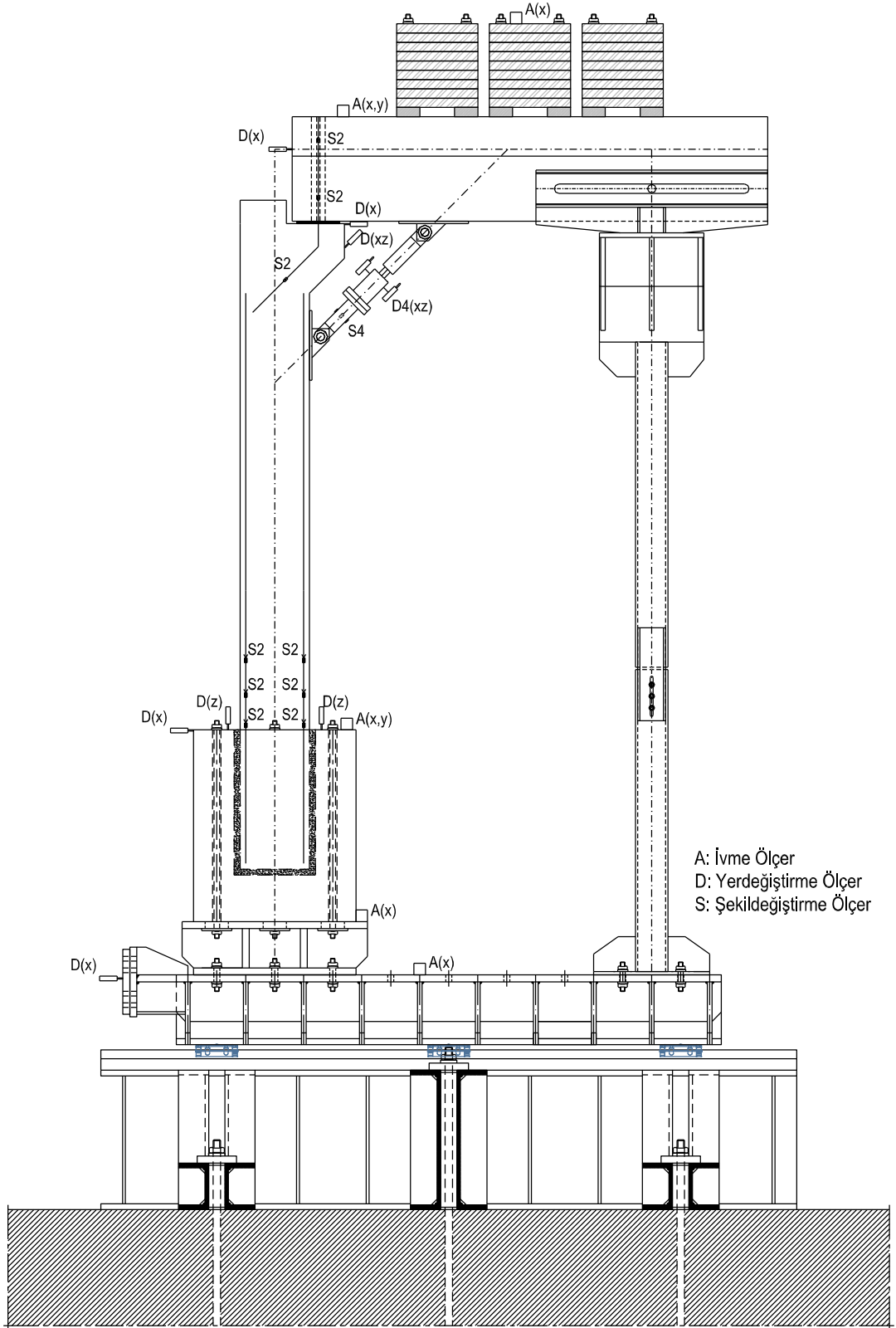
Numunelerde tepe yerdeğiştirmesi, temel tepe yerdeğiştirmesi, kolon alt ucunda dönme, kirişin kolon üzerinde kayma ve kiriş-kolon arasında oluşan dönme gerçekteştirilen dinamik deneyler boyunca takip edilmiştir (Şekil 3.48).

Kiriş ile kolon arasında meydana gelen dönme miktarı birleşim bölgesine yatay ve diyagonal konumda yerleştirilen iki adet yerdeğiştirme ölçer ile dolaylı olarak ölçölmüştür. Birleşimde meydana gelen dönme, diyagonal biçimde yerleştirilen yerdeğiştirme ölçerden alınan veriler ile kiriş-kolon arasında meydana gelen görelî yerdeğiştirmeyi (diğer bir deyişle düğüm noktasında meydana gelen kaymayı) belirlemek için yatay konumda yerleştirilmiş olan yerdeğiştirme ölçerden alınan verilerden, Eşitlik 3.3'ten (Psycharis ve Mouzakis, 2012b) yararlanılarak hesaplanmıştır.

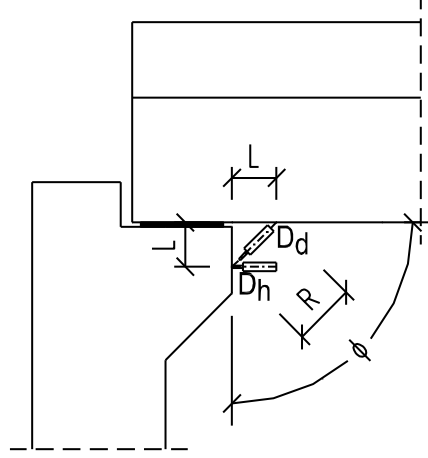
$$\Delta\varphi(t) = \cos^{-1} \left[\frac{L^2 + [L + D_h(t)]^2 - [R + D_d(t)]^2}{2L[L + D_h(t)]} \right] - \frac{\pi}{2} \quad (3.3)$$

Eşitlik 3.3'teki L ve R sırasıyla birleşim bölgesinde ölçümün yapıldığı noktaların yatay ve diyagonal doğrultudaki mesafelerini ifade etmektedir (Şekil 3.49).

Sarsma tablasına verilen etki doğrultusunda numunede oluşan ivmelenme, ilave kütlelerin üst noktasında, kiriş tablası üzerinde ve temel üst noktasında dinamik deney süresince takip edilmiştir. Kiriş tablası üzerinde etki doğrultusunda oluşan ivme değerî ile birlikte düşey ve düzlem dışı doğrultuda oluşan ivme değerleri de izlenmiştir (Şekil 3.48).



Şekil 3.48 : Deney numunesine ölçüm cihazlarının yerleştirilmesi.



Şekil 3.49 : Birleşim bölgesinde meydana gelen dönme miktarının belirlenmesi.

Kolon alt ucunda üç farklı kesite şekildeğiştirme ölçer yerleştirilmiştir. Kolon kesitinin köşe noktalarında bulunan boyuna donatılar üzerine şekildeğiştirme ölçerler yerleştirilmiştir. Böylece, kolon alt ucunda oluşması beklenen plastik şekildeğiştirmelerin çelik donatı bakımından değişimi takip edilebilmiştir. Bununla birlikte, kolon üst ucuna yerleştirilen rodların üzerine de şekildeğiştirme ölçerler yerleştirilmiştir. Bu şekildeğiştirme ölçerler kolon ve kiriş elemanların içerisinde kalacak şekilde yerleştirilmiştir. Dolayısıyla, deney süresince yapı elemanları içerisinde kalan rod kesitlerinde meydana gelen boyuna doğrultudaki şekildeğiştirmenin takip edilebilmesi mümkün olmuştur.

KES yerleştirilen prefabrike birleşim numunesinde, KES gövdesi üzerine yerleştirilen dört adet yerdeğiştirme ölçer ile KES'e ait eksenel yerdeğiştirme takip edilmiştir. Bu yerdeğiştirmelerden alınan verilerin ortalaması sönümleyici ekseninde meydana gelen yerdeğiştirme olarak dikkate alınmıştır. Diğer taraftan, sönümleyici bağlantı elemanları gövdesine ikişer adet şekildeğiştirme ölçer yerleştirilmiştir. Eksenel yerdeğiştirmenin belirlenme biçimine benzer şekilde, eksende meydana gelen şekildeğiştirme değeri için elde edilen verilerin ortalaması kullanılmıştır. Bağlantı elemanları için kullanılan malzemeye ait elastisite modülü ve kesit alanı büyüklükleri ile eksenel şekildeğiştirme değeri çarpılarak eksende meydana gelen kuvvet değeri hesaplanmıştır.

Sarsma masasının hidrolik veren bağlantı noktasına yerleştirilen bir yerdeğiştirme ölçer ve sarsma masası üzerine yerleştirilen ivme ölçer sarsma masasına uygulanan yer hareketinin kaydedilmesi amacı ile kullanılmıştır.

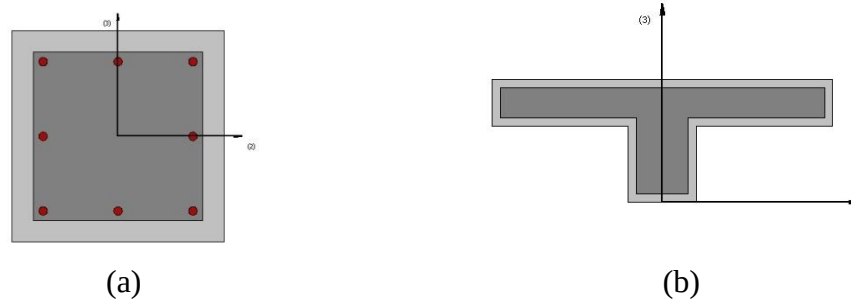
3.4 Deney Numunelerinin Davranışını Kuramsal Olarak Belirlemeye Yönelik Çalışmalar

Prefabrike betonarme moment aktarmayan kiriş-kolon birleşiminin analitik olarak modellenmesi çalışmasında *SeismoStruct* yapı analiz programı kullanılmıştır. *SeismoStruct* yapı analiz programı, statik ve dinamik yükleme etkisi altındaki yapıların, geometri ve malzeme bakımından doğrusal olmayan davranışını dikkate alarak, meydana gelebilecek büyük yerdeğiştirme davranışını modelleyebilen bir sonlu elemanlar yazılımıdır.

Analitik modelin oluşturulmasındaki amaç, sarsma masasında gerçekleştirilen dinamik deney çalışmasından elde edilen sonuçların kuramsal çalışma sonuçları ile karşılaştırılması ve iki analiz sonucu arasındaki benzerliklerin-farklılıkların irdelenmesidir.

3.4.1 Analitik modele ait genel özellikler

Prefabrike betonarme moment aktarmayan birleşim numunesine ait analitik model, 30x30 cm kare kesitli kolonlar (Şekil 3.50a) ile tabla genişliği 125 cm, kiriş genişliği 25 cm, tabla kalınlığı 17 cm ve kiriş toplam yüksekliği 45 cm olan “T” kesitli kirişler (Şekil 3.50b) ile oluşturulmuştur. Kolon yüksekliği ve kiriş açıklığı sırasıyla 2.5 m ve 1.625 m olarak alınmıştır.



Şekil 3.50 : Yapı elemanı kesitleri; (a) Kolon, (b) Kiriş.

Oluşturulan numunelerin beton sınıfı C30, enine ve boyuna donatı sınıfı ise S420a olarak seçilmiştir. Numunelerde kullanılan beton ve donatı çeliği karakteristik değerleri, yapılan malzeme deneyleri ile belirlenmiştir. Analitik modelde betonarme elemanlar için kullanılan malzeme karakteristikleri Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3’de verilmiştir. Çizelge 3.2’de f_{co} beton basınç dayanımını, ε_{co} beton basınç dayanımına karşılık gelen şekildeğiştirmeyi ifade etmektedir. Çizelge 3.3’de f_{sy} ve ε_{sy} donatı

akma dayanımı ve akma şekildeğiştirmesini, ε_{su} en büyük şekildeğiştirme ve f_{su} en büyük şekildeğiştirmeye karşı gelen dayanımı göstermektedir. f_{sf} ve ε_{sf} ise donatı kopma dayanımını ve kopma şekildeğiştirmesini ifade etmektedir.

Kolon elemanları temsil eden çerçeve elemanlar elastik olmayan elemanlar ile tanımlanmıştır. Bu elemanlar kuvvet tabanlı yayılı plastisite formülasyonunu kullanmaktadır. Yalın durumdaki birleşimde kolonlar iki parça, KES'in yerleştirilmiş olduğu birleşimde ise kolonlar üç parça olarak tanımlanmıştır.

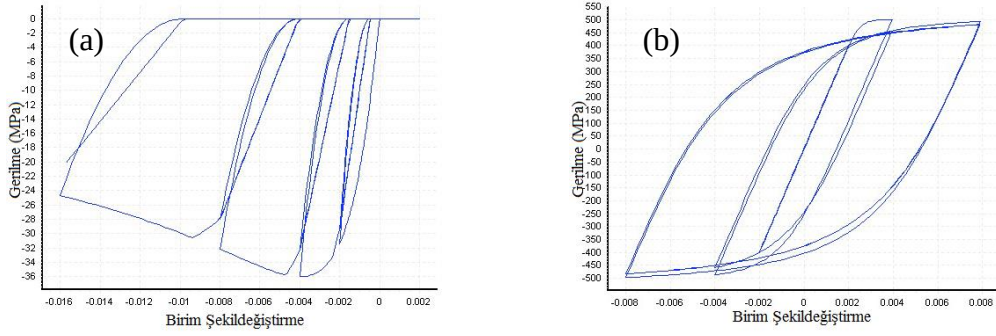
Oluşturulan modellerdeki çekirdek ve kabuk beton davranışı doğrusal olmayan beton modeli ile tanımlanmıştır (Şekil 3.51a). Bu model tek eksenli, doğrusal olmayan ve sabit bir sargı etkisi içeren bir model olup başlangıçta Madas (1993) tarafından, Mander ve ark. (1988) tarafından önerilen temel ilişkiyi takip ederek, programlanmıştır. Modelin çevrimsel özellikleri ise Martinez-Rueda ve Elnashai (1997) tarafından önerilmiştir. Enine donatı tarafından sağlanmakta olan sargı etkisi, Mander ve ark. (1988) tarafından önerilen kurallar ile birleştirilmiş, tüm gerilme-birim şekildeğiştirme bölgesi boyunca sabit sargı basıncı kabulü yapılmıştır. Kolon için kullanılan çekirdek beton modelindeki sargı etkisi, kolon boyuna donatısının nitelik ve niceliğine göre belirlenmektedir.

Çizelge 3.1 : Beton karakteristik değerleri.

Eleman	Etiket	f_{co} (MPa)	ε_{co} ($\times 10^{-3}$)
Kiriş	B1	34.57	1.51
Kiriş	B2	32.67	1.70
Kiriş	B3	37.99	1.94
Kiriş	B4	35.72	1.85
Kiriş/Kolon	B5/C1	33.22	1.99
Kiriş/Kolon	B6/C2	38.28	2.28
Kolon	C3	34.45	2.13
Kolon	C4	38.35	1.98
Kolon	C5	37.91	1.99
Kolon	C6	35.22	2.40

Çizelge 3.2 : Donatı çeliği karakteristik değerleri.

Çap (mm)	Eleman	f_{sy} (MPa)	ε_{sy} ($\times 10^{-3}$)	f_{su} (MPa)	ε_{su} ($\times 10^{-3}$)	f_{sf} (MPa)	ε_{sf} ($\times 10^{-3}$)	E (MPa)
Ø8	Kolon	497.66	2.4	578.00	90	507.80	180	204822
Ø10	Kiriş	574.97	3.4	666.06	129	533.17	173	196097
Ø12	Kolon-Kiriş	516.15	2.6	626.67	109	520.57	187	195062
Ø14	Kiriş-Rod	479.21	2.4	616.72	112	540.96	193	199819



Şekil 3.51 : Malzeme davranış modelleri; (a) Beton, (b) Donatı çeliği.

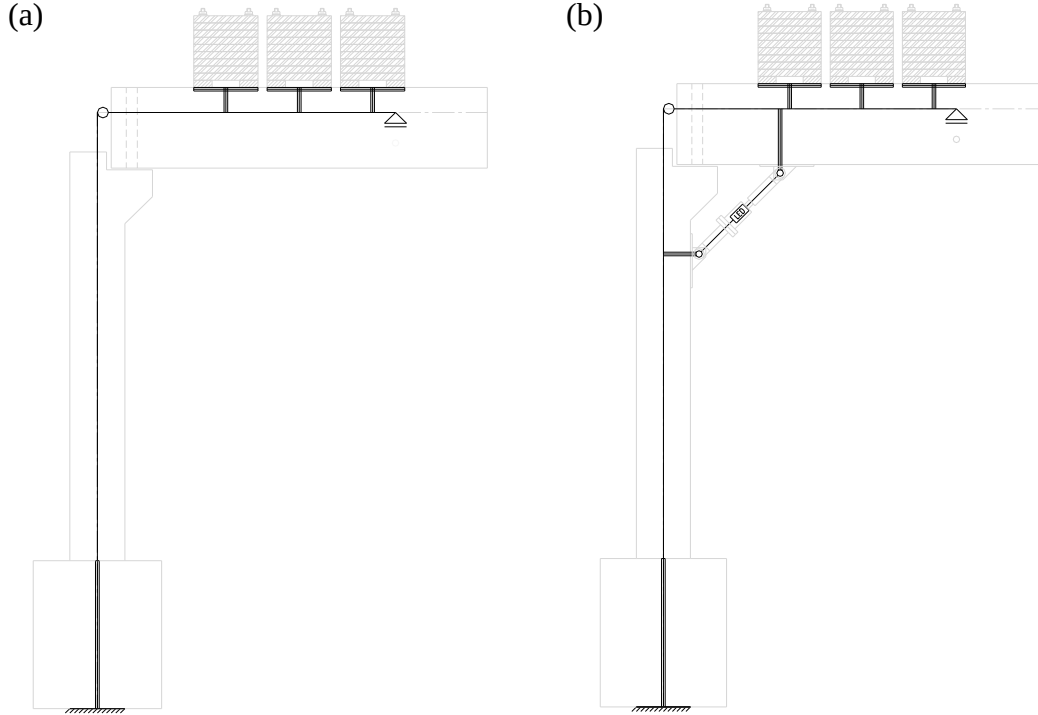
Kolon kesitindeki boyuna donatının davranışı Menegatto-Pinto çelik modeli ile tanımlanmıştır. Menegotto ve Pinto (1973) tarafından önerilen gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi, Filippou vd. (1983) tarafından tanımlanan izotropik pekleşme kurallarıyla birleştirilerek, Yassin (1994) tarafından programlanmıştır. Uygulamanın mevcut durumu Monti vd. (1993) tarafından yapılan çalışmayı takip etmektedir. Sismik yükler etkisinde modelin sayısal kararlılığının ve doğruluğunun artırılması için, Fragiadakis vd. (2008) tarafından önerilen ilave bir hafıza kuralı, modele dahil edilmiştir (Şekil 3.51b).

Prefabrike betonarme numunelerin tasarımı, kolon alt ucunda plastik şekildeğiştirme ve rodlerde taşıma gücü kaybı meydana gelecek şekilde yapılmıştır. Kiriş elemanında herhangi bir hasar beklenmemektedir. Dolayısıyla kiriş elemanlar elastik çerçeve elemanları kullanılarak modellenmiştir. Numunelerde kiriş tablasının üzerine yerleştirilen ilave kütleler, analitik modelde kullanılan diğer elemanlara nazaran daha rijit olan ve yayılı kütlenin atandığı elastik çerçeve elemanlar ile tanımlanmıştır. İlave kütleler ile kiriş elemanları birbirine bağlayan elemanlar ise analitik modelde kullanılan diğer elemanlara nazaran daha rijit olan ancak kütlenin atanmadığı elastik çerçeve elemanlar ile tanımlanmıştır (Şekil 3.52).

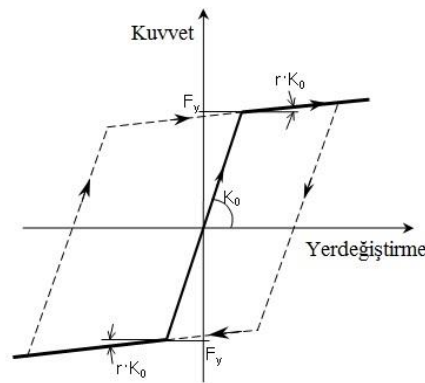
Kirişin başlangıç bölgesinde, kiriş eksenine dik olan elemanlar, modelde kullanılan diğer elemanlara nazaran daha rijit olan elastik çerçeve elemanlar ile tanımlanmıştır. İlave kütleler ile bağlantı için oluşturulan elemanlar dışındaki tüm elemanlar kendi kütleleri ile tanımlanmıştır (Şekil 3.52).

KES'in tanımlanması için *Seismostruct* yazılımının iki doğrulu kinematik eğri tanımından yararlanılmıştır (Şekil 3.53). Kinematik pekleşmeli iki doğrulu simetrik eğri, genellikle idealleştirilmiş elastik-plastik davranışı modellemek için

kullanılmaktadır. Bu davranış eğrisini tanımlamak için üç parametreye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu parametreler başlangıç rijitliği (K_0), akma kuvveti (F_y) ve akma sonrası pekleşme oranı (r) olarak ifade edilmektedir. KES'in özelliklerini tanımlamak için başlangıç rijitliği, akma kuvveti ve akma sonrası pekleşme oranı değerleri sırasıyla 1550000 kN/m, 50 kN ve 0.0001 alınmıştır.



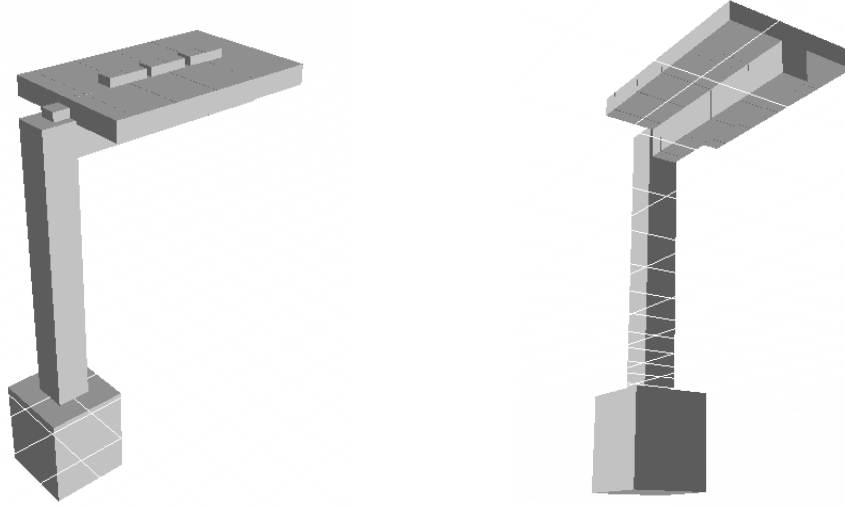
Şekil 3.52 : Moment aktarmayan kiriş-kolon birleşimi analitik modeli; (a) Yalın, (b) Sönümleyicili.



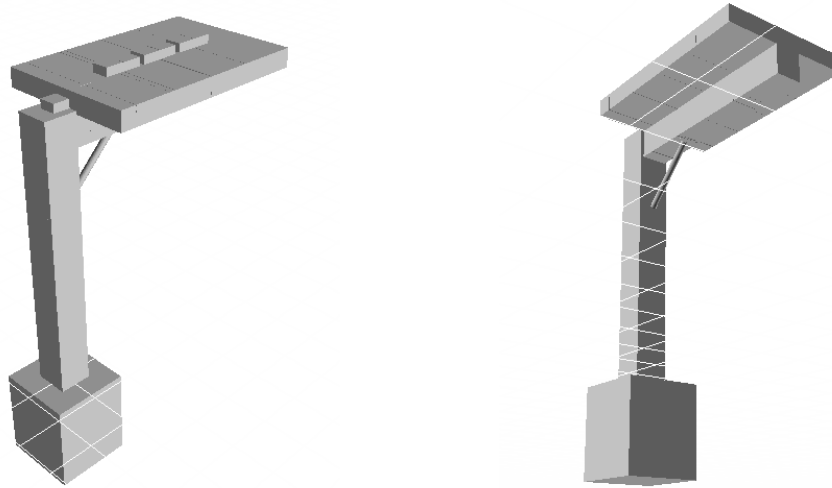
Şekil 3.53 : Kinematik pekleşmeli iki doğrusal simetrik eğri.

Kiriş ve kolon ile KES'in bağlantısını sağlayan elemanlar, analitik modelde kullanılan diğer elemanlara nazaran daha rijit olan elastik çerçeve elemanlar aracılığı ile tanımlanmıştır. Kiriş-kolon birleşimi pratikte de yapıldığı üzere, kiriş ucunda bir eğilme mafsalı ile modellenmiştir. Yalın ve sönümleyicili deney numuneleri için

oluşturulan analitik modellerin üç boyutlu görünüşleri sırasıyla Şekil 3.54 ve Şekil 3.55'te verilmiştir.



Şekil 3.54 : Yalın birleşimin üç boyutlu olarak canlandırılması.



Şekil 3.55 : Sönümleyicili birleşimin üç boyutlu olarak canlandırılması.

3.4.2 Analitik model ile gerçekleştirilen analizler

Hazırlanan analitik model kullanılarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler gerçekleştirilmiştir. Erzincan depreminde Erzincan istasyonundan alınmış olan kaydın doğu-batı bileşenine ait ivme (g)-zaman (sn) ilişkisi modellere etkitilmiştir.

Analizler için zaman artımı, kullanılan deprem kaydının zaman aralığına eşit biçimde 0.005 s olarak göz önüne alınmıştır. Yapılan analizlerde Newmark zaman integrasyon yöntemi kullanılmış ve integrasyon parametreleri olan β ve γ için sırasıyla 0.25 ve 0.50 değerleri dikkate alınmıştır.

Modellere ait sönüm Rayleigh türü sönüm özelliği ile dikkate alınmış ve modelin ilk iki moduna ait periyotlar için %5 sönüm miktarı dikkate alınmıştır. Periyot (T) ve sönüm (ξ) değerine bağlı olarak kütle orantılı katsayı (α_M) ve rijitlik orantılı katsayı (α_K), kullanılan yapı analiz programı tarafından, Eşitlik 3.4 ve Eşitlik 3.5 ile belirlenerek modele dahil edilmektedir.

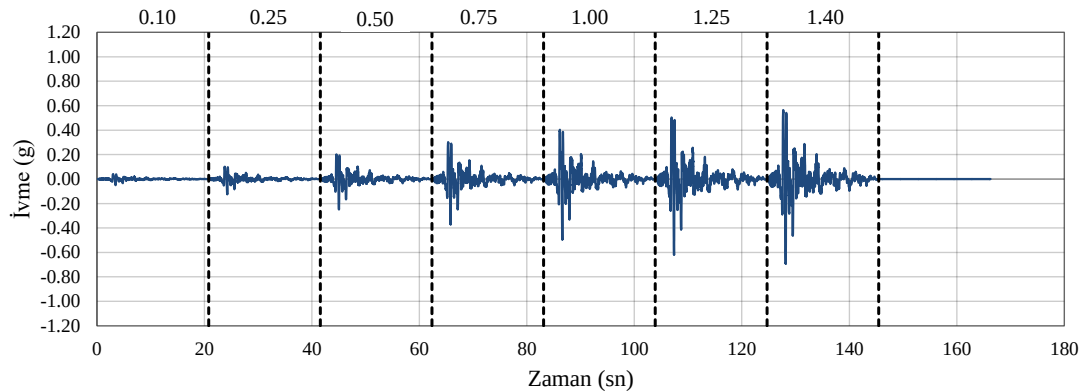
$$\alpha_M = 4\pi \frac{\xi_1 T_1 - \xi_2 T_2}{T_1^2 - T_2^2} \quad (3.4)$$

$$\alpha_K = \frac{T_1 T_2}{\pi} \frac{\xi_2 T_1 - \xi_1 T_2}{T_1^2 - T_2^2} \quad (3.5)$$

Zaman tanım alanında yapılan doğrusal olmayan analizlerde malzemeye ait doğrusal olmayan davranış ile birlikte modelin geometri bakımından doğrusal olmayan özellikleri de dikkate alınmıştır.

Sarsma masası deneylerinde kullanılan numuneler temeli ile birlikte tabla üzerine yerleştirildiği ve ivme etkisi temel alt kotundan numuneye etki ettiği için oluşturulan analitik modele temel dahil edilmiştir.

Sarsma masası deneylerinde kullanılan deprem kaydı artımsal olarak numuneye etkilmiştir. Erzincan depremi doğu-batı bileşeni ivme-zaman kaydının, sırasıyla 0.10, 0.25, 0.50, 0.75, 1.00, 1.25 ve 1.40 katları deney numunelerine etkilmiştir. Analitik model için kullanılan ivme-zaman fonksiyonu deneysel çalışmada kullanılan tüm kayıtlar arka arkaya eklenerek oluşturulmuştur (Şekil 3.56).



Şekil 3.56 : Analitik modelde kullanılan ivme-zaman fonksiyonu.

Kuramsal çalışma için oluşturulan ivme-zaman fonksiyonu sayesinde, sarsma tablası deneylerinde, numuneye etkitilen her bir ivme kaydı sonunda numunede oluşan hasar, analitik modelde de dikkate alınabilmektedir.

3.5 Deneysel Çalışmalar

Moment aktarmayan kiriş-kolon birleşimi numuneleri ile gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda, yalın ve sönümleyicili birleşimler için aynı deprem kaydı kullanılmış ve ortaya çıkan davranış farklılıkları irdelenmiştir.

Deneysel çalışmaların başlangıcında ve deneysel çalışma süresince ara adımlarda numunelere çekiç testi uygulanmıştır. Çekiç testi, belirli bir süre içerisinde birkaç defa çekiç ile numunede vurularak titreşim oluşturulması ve oluşan ivme değerlerinin zamana bağlı olarak kayıt edilmesidir. Çekiç testi uygulanmasındaki amaç numune üzerine yerleştirilmiş olan ivmeölçerler aracılığı ile numuneden alınan ivme-zaman kayıtlarına Fourier dönüşümü yapılması ve elde edilen ivme spektrumu eğrilerinden yararlanarak numunede oluşan titreşim frekanslarının belirlenmesidir. Numuneye etkitilen Erzincan depremi doğu-batı bileşeni ivme kaydının belirli katları sonrasında çekiç testi tekrarlanmıştır. Böylece numuneye ait başlangıç periyot değeri belirlenmiş ve uygulanan ivme kayıtları sonrasında numunenin periyot değerindeki değişim takip edilmiştir.

Deneysel çalışmaların başlangıcında ve deneysel çalışma süresince numunelere beyaz gürültü testi (white noise test) de uygulanmıştır. Beyaz gürültü testi, frekansı çok yüksek olan, genliği çok küçük ancak büyük hız ve ivme değerlerine sahip olan bir yerdeğiştirme-zaman fonksiyonunun deney numunesine etkilmesinden oluşmaktadır. Bu test ile numuneye ait titreşim frekansları ile dışarıdan etkitilen fonksiyona ait frekansların örtüşmesi (rezonans) sağlanarak, numuneye ait titreşim frekanslarının alınan kayıtlarda belirgin şekilde ortaya çıkarılması hedeflenmektedir. Numune üzerine yerleştirilmiş olan ivmeölçerler aracılığı ile numuneden alınan ivme-zaman kayıtlarına Fourier dönüşümü yapılmakta ve elde edilen ivme spektrumu eğrilerinden yararlanarak numunede oluşan titreşim frekansları belirlenmektedir. Numuneye etkitilen Erzincan depremi doğu-batı bileşeni ivme kaydının belirli katları sonrasında beyaz gürültü testi de gerçekleştirilmiştir.

Numuneye deprem kaydı etkililmeden önce son olarak yapılan test basamak fonksiyonu testidir. Basamak fonksiyonu testi genliğı değışen dikdörtgen biçimli bir yerdeğıştirme-zaman fonksiyonun deney numunesine etkililmesi şeklinde uygulanmaktadır. İtme ve çekme şeklinde tersinir tekrarlı olarak numuneye etkililen basamak fonksiyonu sabit bir yerdeğıştirme genliğı ile sisteme etkililmektedir. Ancak uygulanan her bir basamak tesitindeki genlik değeri değıştirilmektedir. Basamak testi, çekiç testi ve beyaz gürültü tesitinden farklı olarak, sadece deneysel çalışmanın başlangıcında uygulanmakta olup numuneye etkililen ivme kayıtları sonrasında tekrarlanmamaktadır.

Deneysel çalışmanın başlangıcında uygulanan bu testlerden sonra dinamik deney için seçilmiş olan Erzincan depremi doğu—batı bileşeni deney numunesine etkililmiştir. İvme kaydı genlikleri belirli çarpanlar (0.10, 0.25, 0.50, 0.75, 1.00, 1.25 ve 1.40) ile çarpılarak elde edilen ivme-zaman fonksiyonları yerdeğıştirme-zaman fonksiyonuna dönüştürülmüştür. Yerdeğıştirme-zaman fonksiyonları sarsma tablasına uygulanmış ve numunelere temel tabanı seviyesinde etkililmiştir.

Deney sırasında numunede oluşan ivme, yerdeğıştirme ve birim şekideğıştirme büyüklükleri değışik düzeylerde gürültü içermektedir. Tüm kanallardan gelen zaman fonksiyonlarına Fourier dönüşümü uygulanmış ve fonksiyonlara ait frekans yoğunluğu belirlenmiştir. Alınan kayıtlara, belirli bir alt değerden büyük olan ve yoğunluğu çok düşük olan frekans değerlerini dışarıda bırakılacak şekilde bir filtre (lowpass filter) uygulanmış ve kayıtlardaki gürültünün olabildiğince azalması sağlanmıştır.

3.5.1 Yalın birleşim

3.5.1.1 Uygulanan testler ve oluşan hasar biçimi

Moment aktarmayan kiriş-kolon birleşimin yalın hali için gerçekleştirilen dinamik deney öncesinde yapılan çekiç testinden (H1) 3.6 Hz titreşim frekansı değeri elde edilmiştir. Bu testlerden sonra en büyük ivme ve yerdeğıştirme değeri sırasıyla 0.10g ve 0.5 mm olan ilk beyaz gürültü testi (WN1) gerçekleştirilmiştir. Birinci beyaz gürültü testinden titreşim frekans değeri 2.93 Hz olarak elde edilmiştir. Uygulanan ikinci beyaz gürültü testine (WN2) ait en büyük ivme değeri 0.25g, en büyük yerdeğıştirme değeri ise 1.0 mm olarak belirlenmiştir. İkinci beyaz gürültü testinden elde edilen frekans değeri 2.93 Hz büyüklüğündedir. Üçüncü beyaz gürültü testinde

(WN3) numuneye etkitilen en büyük ivme değeri 0.38g ve en büyük yerdeğiştirme değeri ise 2 mm büyüklüğündedir. İkinci ve üçüncü beyaz gürültü testlerinden 2.93 Hz titreşim frekans değeri elde edilmiştir. Bu testlerden sonra çekiç testi (H2) gerçekleştirilmiş ve titreşim frekansı 3.6 Hz olarak elde edilmiştir.

Deneyisel çalışma başlangıcında gerçekleştirilen iki adet çekiç ve üç adet beyaz gürültü testinden sonra basamak testlerine geçilmiştir. Gerçekleştirilen dört adet basamak fonksiyonu testinde (step function test) (SF1, SF2, SF3, SF4) 1 mm, 2 mm, 4 mm ve 6 mm büyüklüğünde yerdeğiştirme genlikleri kullanılmıştır. Bu deneylerden elde edilen frekans değerleri sırasıyla 2.93 Hz, 2.73 Hz, 2.73 Hz ve 2.73 Hz olarak elde edilmiştir.

Basamak fonksiyonu testlerini takiben numuneye etkitilen en büyük ivme değeri 0.38g ve en büyük yerdeğiştirme değeri ise 2 mm olan beyaz gürültü testi (WN4) ve ardından çekiç testi (H3) gerçekleştirilmiştir. Dördüncü beyaz gürültü testinden elde edilen titreşim frekansı değeri 2.66 Hz iken çekiç testinden elde edilen titreşim frekans değeri 3.5 Hz büyüklüğündedir.

Dördüncü beyaz gürültü testinden sonra göz ile yapılan incelemede kolon alt ucunda, temel üstünden yaklaşık olarak 10 cm yukarıda, kalınlığı 0.1 mm'den daha küçük olan eğilme çatlak tespit edilmiştir (Şekil 3.57).



Şekil 3.57 : WN4 testi sonrasında kolonda bulunan eğilme çatlak.

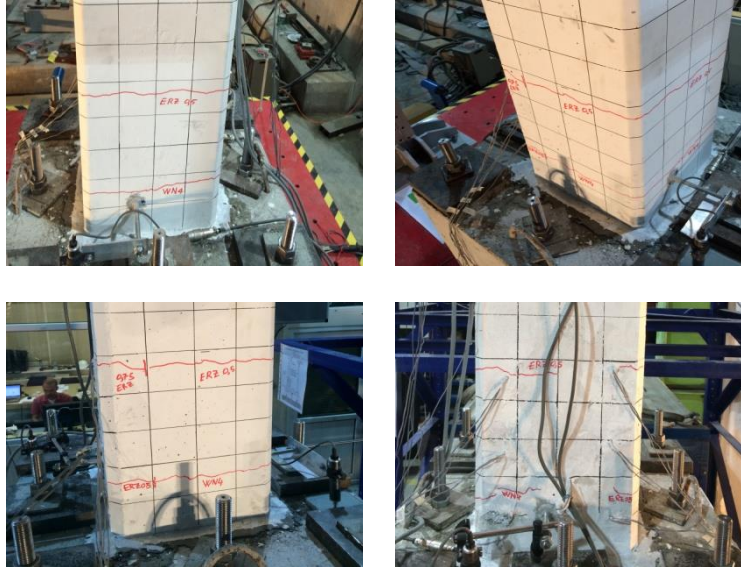
Dördüncü beyaz gürültü testinden sonra Erzincan depremi doğu-batı bileşeni ivme kaydının 0.10 katı (ERZ0.10) deney numunesine etkitilmiştir. Deney sırasında numune üzerinde herhangi bir çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir. Uygulanan beyaz gürültü testi (WN5) ve çekiç testinden (H4) elde edilen titreşim frekansı bir önceki testlerden (WN4 ve H3) elde edilen değerler ile aynı olup sırasıyla 2.66 Hz ve 3.5 Hz büyüklüğündedir.

Erzincan depremi doğu-batı bileşeni ivme kaydının 0.25 katı (ERZ0.25) deney numunesine etkitildiğinde numunede herhangi bir çatlak oluşmamıştır. Bu deneyi

takiben yapılan beyaz gürültü (WN6) ve çekiç testlerinde (H5) titreşim frekansı değerleri sırasıyla 2.66 Hz ve 3.5 Hz olarak elde edilmiştir.

Erzincan depremi doğu-batı bileşeni ivme kaydının 0.50 katı (ERZ0.50) deney numunesine etkitildiğinde numunede yeni bir eğilme çatlağı oluşumu gözlenmiştir. İkinci çatlak temel üst yüzünden yaklaşık olarak 35 cm yukarıda meydana gelmiştir. İlk çatlağın olduğu kesitte çatlak oluşumu ilerlemiş ve kolonun neredeyse dört yüzünü sarmıştır (Şekil 3.58). Her iki kesitteki çatlağın kalınlığı da 0.1 mm'den küçüktür.

ERZ0.50 testinden sonra gerçekleştirilen beyaz gürültü (WN7) testinden elde edilen titreşim frekansı 2.26 Hz ve çekiç testinden (H6) elde edilen titreşim frekansı 3.10 Hz büyüklüğündedir.

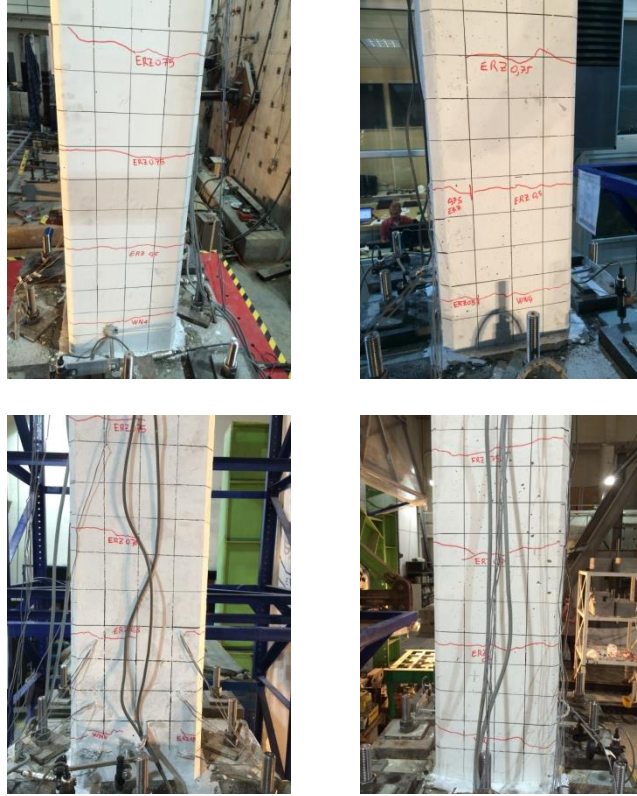


Şekil 3.58 : ERZ0.50 testi sonrasında kolonda bulunan eğilme çatlakları.

Deney numunesine Erzincan depremi doğu-batı bileşeni ivme kaydının 0.75 katı (ERZ0.75) etkitildiğinde üçüncü ve dördüncü çatlak oluşumları gözlemlenmiştir. Bu çatlaklar temel üst yüzünden sırasıyla yaklaşık olarak 60 cm ve 80 cm yukarıda meydana gelmiştir. Kolon alt ucunda oluşan birinci çatlaklar ilerlememiş ancak bir miktar genişlemiştir. İkinci çatlaklar ise ilerlemiş ve bu kesitteki çatlaklar kolonun neredeyse dört yüzünü sarmıştır (Şekil 3.59). Birinci ve ikinci kesitteki çatlakların kalınlığı 0.1 mm'den küçüktür.

ERZ0.75 testinden sonra beyaz gürültü (WN8) ve çekiç testi (H7) gerçekleştirilmiştir. Bu testler sonucunda numuneye ait titreşim frekansı sırasıyla

2.19 Hz ve 3.10 Hz olarak belirlenmiştir. Frekans değerlerindeki düşme oluşan hasarlar ile ilgilidir.



Şekil 3.59 : ERZ0.75 testi sonrasında kolonda bulunan eğilme çatlakları.

Deney numunesine Erzincan depremi doğu-batı bileşeni ivme kaydının kendisi (ERZ1.00) etkitildiğinde beşinci çatlak oluşumu gözlemlenmiştir. Bu çatlak temel üst yüzünden yaklaşık olarak 95 cm yukarıda meydana gelmiştir. Kolon alt ucunda oluşan birinci, ikinci ve üçüncü çatlaklar ilerlememiş ancak bir miktar genişlemiştir. Dördüncü çatlaklar ise ilerlemiş ve bu kesitteki çatlaklar ve kolonun neredeyse dört yüzünü sarmıştır (Şekil 3.60). Kolon üzerinde oluşan tüm çatlakların kalınlığı 0.1 mm'den küçüktür.

ERZ1.00 testinden sonra beyaz gürültü (WN9) ve çekiç testi (H8) gerçekleştirilmiş ve numuneye ait titreşim frekansı sırasıyla 2.00 Hz ve 3.10 Hz olarak belirlenmiştir.

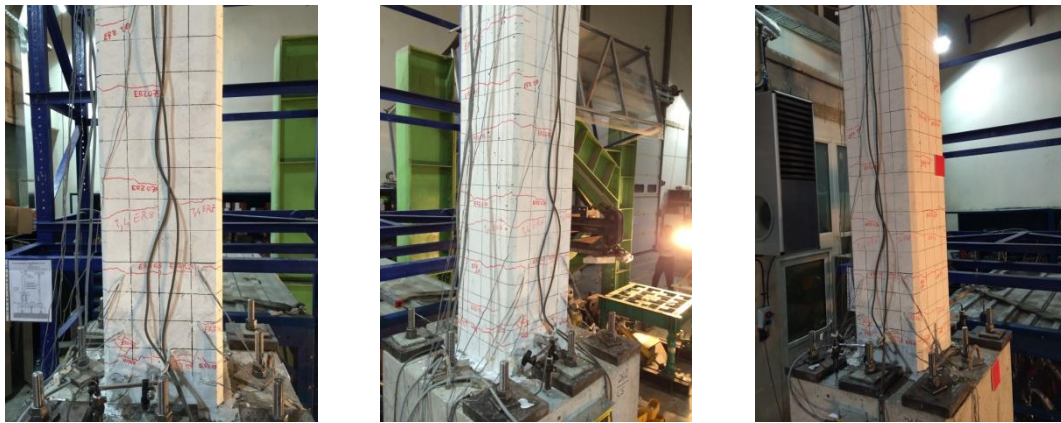
Deney numunesine Erzincan depremi doğu-batı bileşeni ivme kaydının 1.25 katı etkitildiği testte (ERZ1.25) altıncı çatlak oluşumu gözlemlenmiştir. Bu çatlak temel üst yüzünden yaklaşık olarak 110 cm yukarıda meydana gelmiştir. Kolon alt ucunda oluşan birinci ve ikinci çatlaklar ilerlemiş ve kolonun dört yüzünü tamamen sarmıştır (Şekil 3.61). Kolon üzerinde oluşan birinci çatlakların kolon dış tarafında kalan

bölümlerine ait kalınlık 0.1mm'ye ulaşmış veya kısmen geçmiştir. Kolon üzerinde oluşan diğer tüm çatlakların kalınlığı 0.1 mm'den küçüktür.

Bu deneyi takiben beyaz gürültü (WN10) testi ve çekiç testi (H9) yapılmıştır. WN10'dan elde edilen titreşim frekansı değeri 2.00 Hz ve çekiç testinden elde edilen titreşim frekansı değeri 2.34 Hz olarak elde edilmiştir.



Şekil 3.60 : ERZ1.00 testi sonrasında kolonda bulunan eğilme çatlakları.



Şekil 3.61 : ERZ1.25 testi sonrasında kolonda bulunan eğilme çatlakları.

Son testte deney numunesine Erzincan depremi doğu-batı bileşeni ivme kaydının 1.40 katı (ERZ1.40) etkitilmiştir. Sarsma tablasının yerdeğiştirme kapasitesine

ulaşılması dolayısıyla ivme kaydının 1.40 katı sisteme verilmek sureti ile deneysel çalışma tamamlanmıştır.

ERZ1.40 testi ile yedinci ve sekizinci çatlak oluşumu gözlemlenmiştir. Kolonun neredeyse dört yüzünde de oluşan bu çatlaklar temel st yüzünden sırasıyla yaklaşık olarak 20 cm ve 50 cm yukarıda meydana gelmiştir. Kolon üzerinde oluşan birinci çatlakların kolon dış tarafında kalan kısımlarına ait kalınlık 0.1 mm'yi oldukça geçmiştir. Kolon üzerinde oluşan diğerk çatlakların kalınlığı ise 0.1 mm'den kktr (şekil 3.62 ve şekil 3.63). ERZ1.40 testi ile kolon elemanda meydana gelen eğilme çatlakları dışında, kolon ile temel arasında yerleştirilen harçta da çatlaklar meydana gelmeye başlamıştır (şekil 3.63).



şekil 3.62 : ERZ1.40 testi sonrasında kolonda bulunan eēilme çatlakları.

ERZ1.40 testinden sonra beyaz gürültü (WN11) ve eki testi (H10) gerçekleştirilmiştir. Bu testler sonucunda numuneye ait titreşim frekansı sırasıyla 1.76 Hz ve 2.73 Hz olarak belirlenmiştir. Frekans deēerlerinde oluşan büyük düşüş hasar düzeyi hakkında fikir vermektedir.

Betonarme prefabrike kiriş-kolon birleşiminin yalın hali için gerçekleştirilen dinamik deney süresince uygulanan tüm testler, elde edilen titreşim frekansı deēerleri, test

sırasında yeni oluşan çatlakların konumları ve kalınlıkları, test sırasına uygun olarak, Çizelge 3.3 ile özetlenmiştir.

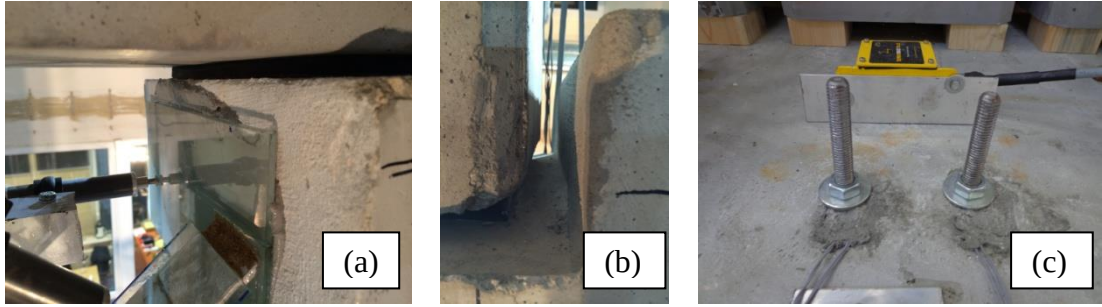
Çizelge 3.3 : Yalın birleşime ait dinamik test geçmişi ve kolondaki hasar dağılımı.

Test Etiketi	Frekans (Hz)	Açıklama	Çatlak Konumu (cm) (Kolon alt ucundan mesafe)	Çatlak kalınlığı (mm)
H1	3.60	1. çekiç testi	-	-
WN1	2.93	1. beyaz gürültü testi	-	-
WN2	2.93	2. beyaz gürültü testi	-	-
WN3	2.93	3. beyaz gürültü testi	-	-
H2	3.60	2. çekiç testi	-	-
SF1	2.93	1. basamak fonksiyonu testi	-	-
SF2	2.73	2. basamak fonksiyonu testi	-	-
SF3	2.73	3. basamak fonksiyonu testi	-	-
SF4	2.73	4. basamak fonksiyonu testi	-	-
WN4	2.66	4. beyaz gürültü testi	10	≤ 0.1
H3	3.50	3. çekiç testi	-	-
ERZ0.10	-	Erzincan D-B (×0.10)	-	-
WN5	2.66	5. beyaz gürültü testi	-	-
H4	3.50	4. çekiç testi	-	-
ERZ0.25	-	Erzincan D-B (×0.25)	-	-
WN6	2.66	6. beyaz gürültü testi	-	-
H5	3.50	5. çekiç testi	-	-
ERZ0.50	-	Erzincan D-B (×0.50)	35	≤ 0.1
WN7	2.26	7. beyaz gürültü testi	-	-
H6	3.10	6. çekiç testi	-	-
ERZ0.75	-	Erzincan D-B (×0.75)	60-80	≤ 0.1
WN8	2.19	8. beyaz gürültü testi	-	-
H7	3.10	7. çekiç testi	-	-
ERZ1.00	-	Erzincan D-B (×1.00)	95	≤ 0.1
WN9	2.00	9. beyaz gürültü testi	-	-
H8	3.10	8. çekiç testi	-	-
ERZ1.25	-	Erzincan D-B (×1.25)	110	≤ 0.1
WN10	2.00	10. beyaz gürültü testi	-	-
H9	2.34	9. çekiç testi	-	-
ERZ1.40	-	Erzincan D-B (×1.40)	20-50	≤ 0.1
WN11	1.76	11. beyaz gürültü testi	-	-
H10	2.73	10. çekiç testi	-	-

Deneyisel çalışma süresince temelde, kolon üst ucunda, kısa konsol (guse) bölgesinde, kiriş-kolon birleşiminde bulunan rodlarda ve kirişte göz ile görülür herhangi bir hasar meydana gelmemiştir (Şekil 3.64 ve Şekil 3.65).



Şekil 3.63 : ERZ1.40 testi sonrasında kolon ile temel arasına yerleştirilen harçta meydana gelen çatlaklar.



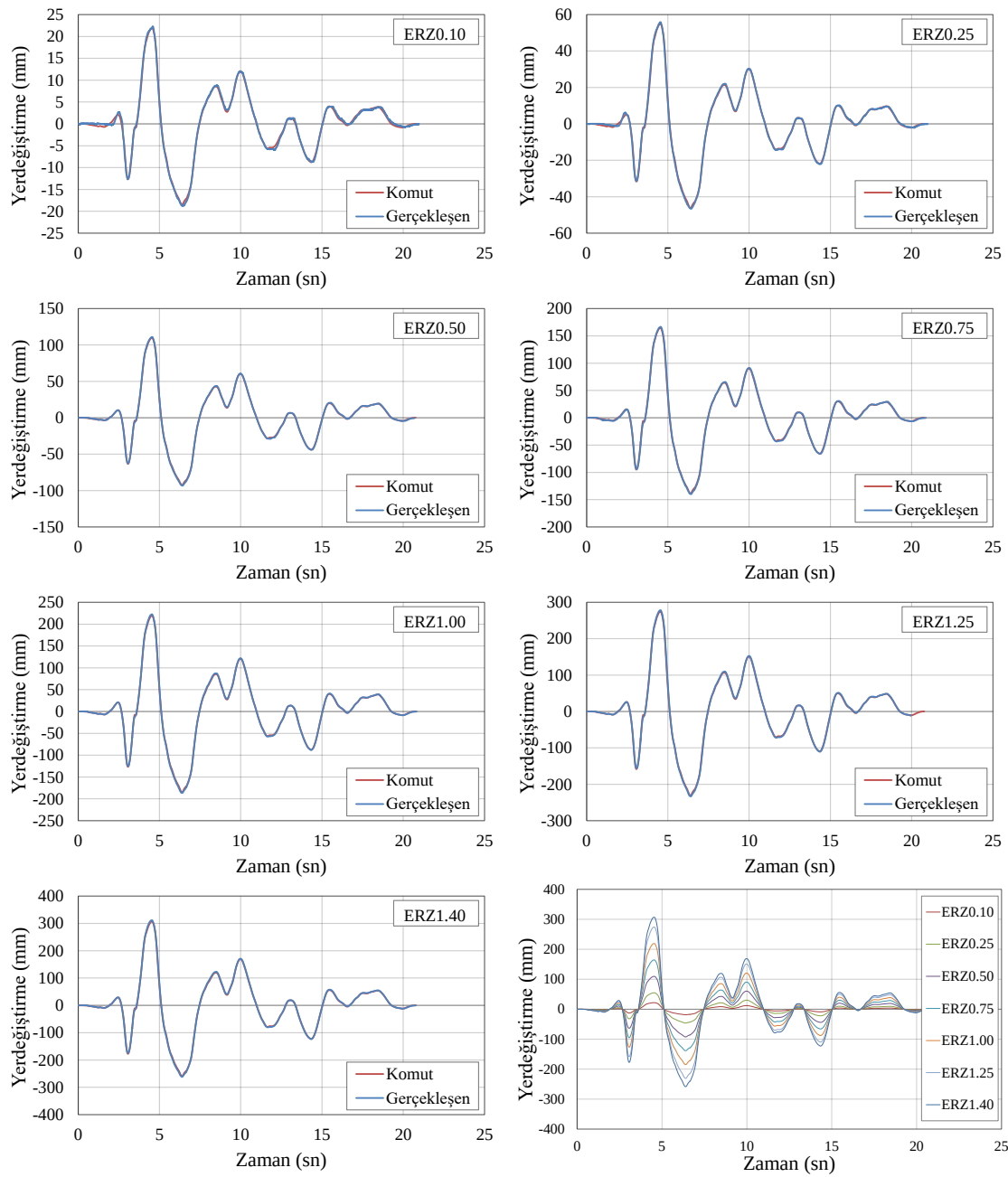
Şekil 3.64 : Yalın birleşim numunesi (dinamik deney sonrası); (a) Guse ön bölgesi, (b) Kolon üstü oluk kirişi mesneti-kiriş ara bölgesi, (c) Rodların somunlu bağlantısı.



Şekil 3.65 : Yalın birleşim numunesi (Dinamik deney sonrası).

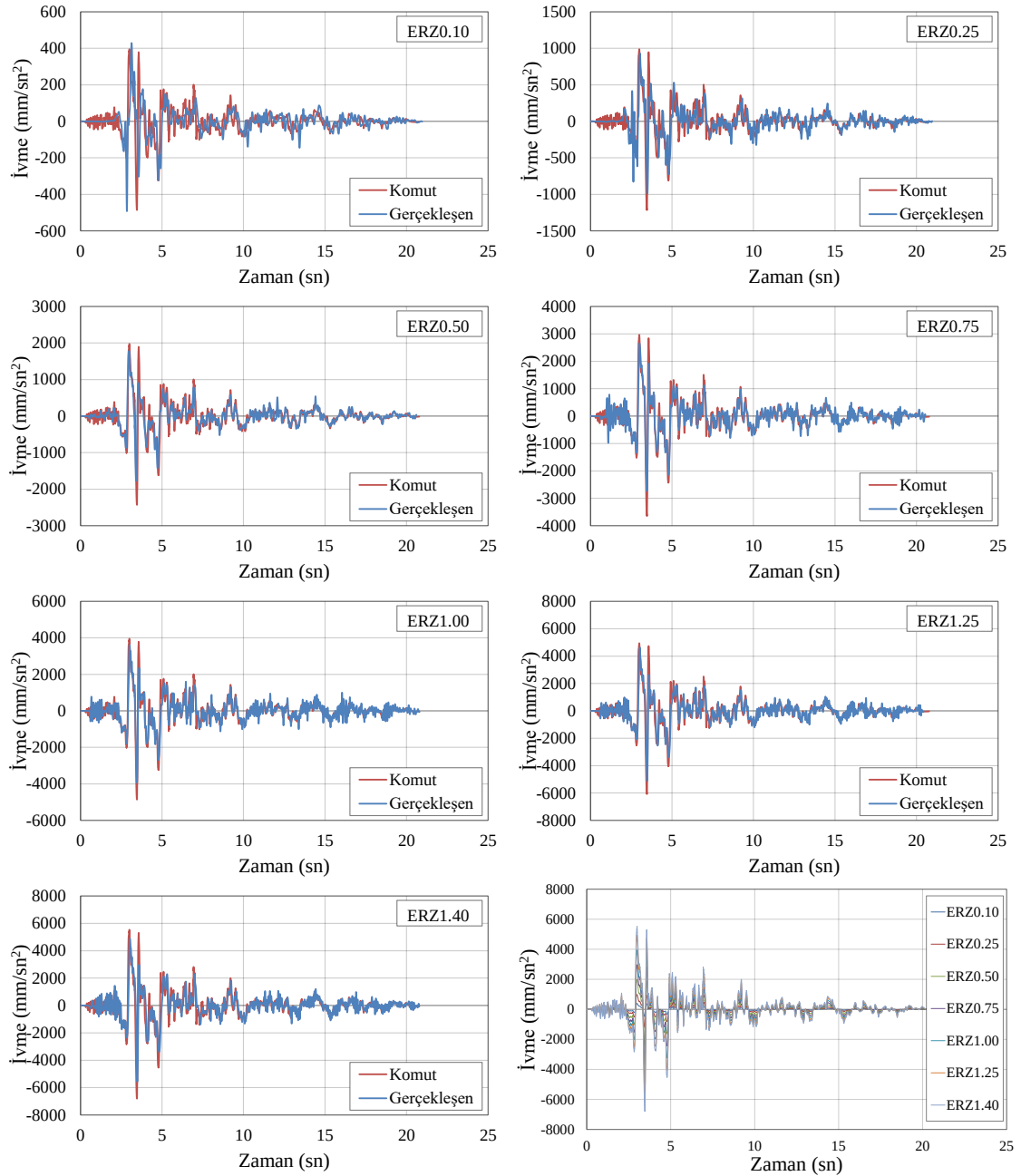
3.5.1.2 Aletsel büyüklükler

Deney süresince uygulanan tüm testler için sarsma masasında meydana gelen yerdeğiştirme ile sarsma masasına uygulanan yerdeğiştirme komutu karşılaştırılmıştır (Şekil 3.66). Böylece oluşturulan deprem etkisinin yerdeğiştirme biçimindeki doğruluğu kontrol edilmiştir. Gerçekleştirilen tüm testlerde sarsma masasına komut olarak verilen yerdeğiştirme ile kayıt altına alınan sarsma masasındaki yerdeğiştirme birbirine oldukça yakın biçimde gerçekleşmiştir (Şekil 3.66).



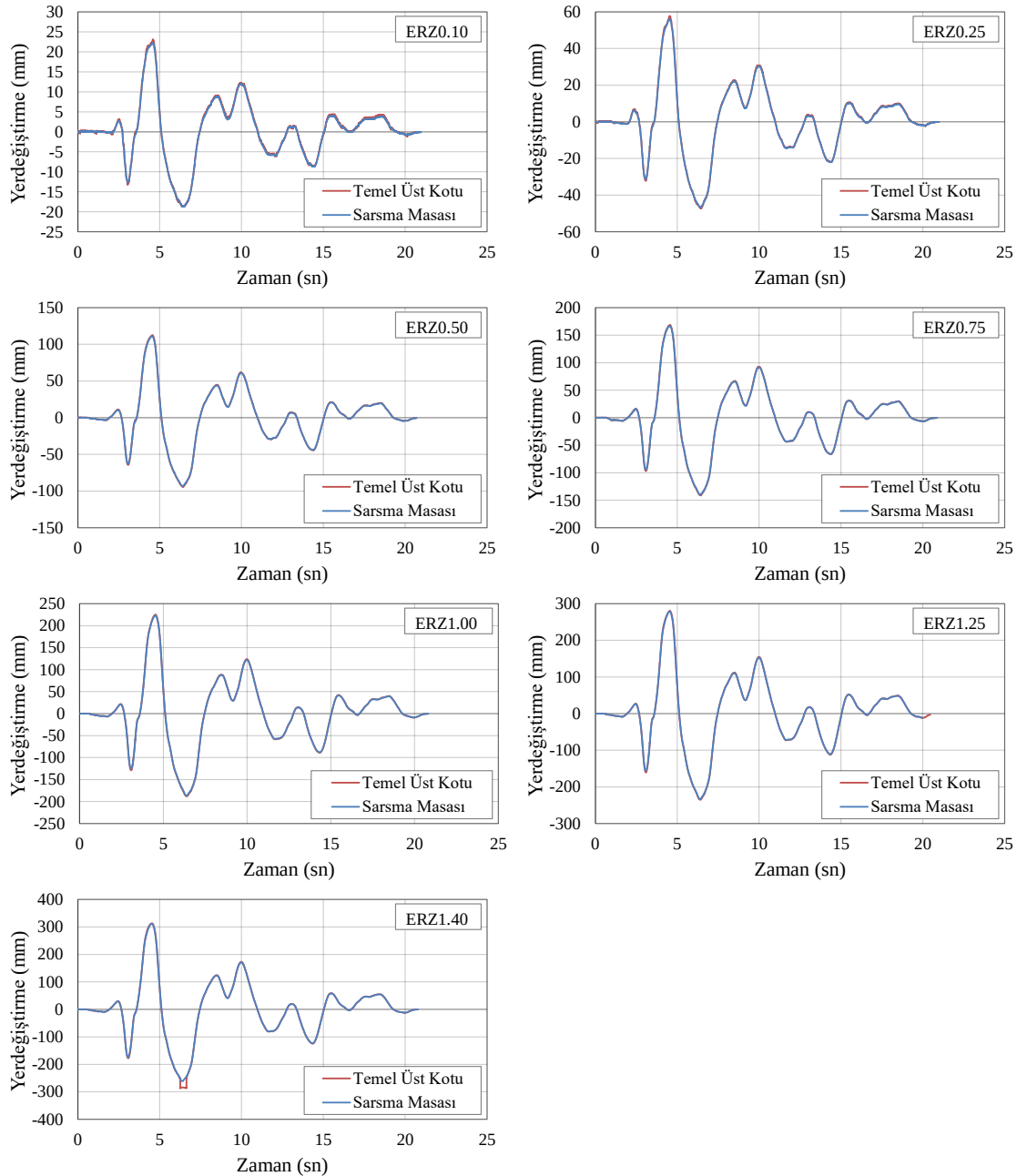
Şekil 3.66 : Deneysel çalışmada sarsma masasına uygulanan ve sarsma masasında gerçekleşen yerdeğiştirme-zaman ilişkileri (Yalın birleşim).

Sarsma masası üzerine yerleştirilen ivmeölçer aracılığı ile kaydedilen ivme-zaman fonksiyonu ile sarsma masasına etkitilen ivme kaydı karşılaştırılmış ve deprem etkisinin ivme biçimindeki doğruluğu kontrol edilmiştir (Şekil 3.67). Deney boyunca gerçekleştirilen testlerde sarsma masasına etkitilen Erzincan depremi doğu-batı bileşeni ivme-zaman kayıtlarının katları ile sarsma tablasında oluşan ivme değerleri uyum içerisinde dir.



Şekil 3.67 : Deneysel çalışmada sarsma masasına uygulanan ve sarsma masasında oluşan ivme-zaman ilişkileri (Yalın birleşim).

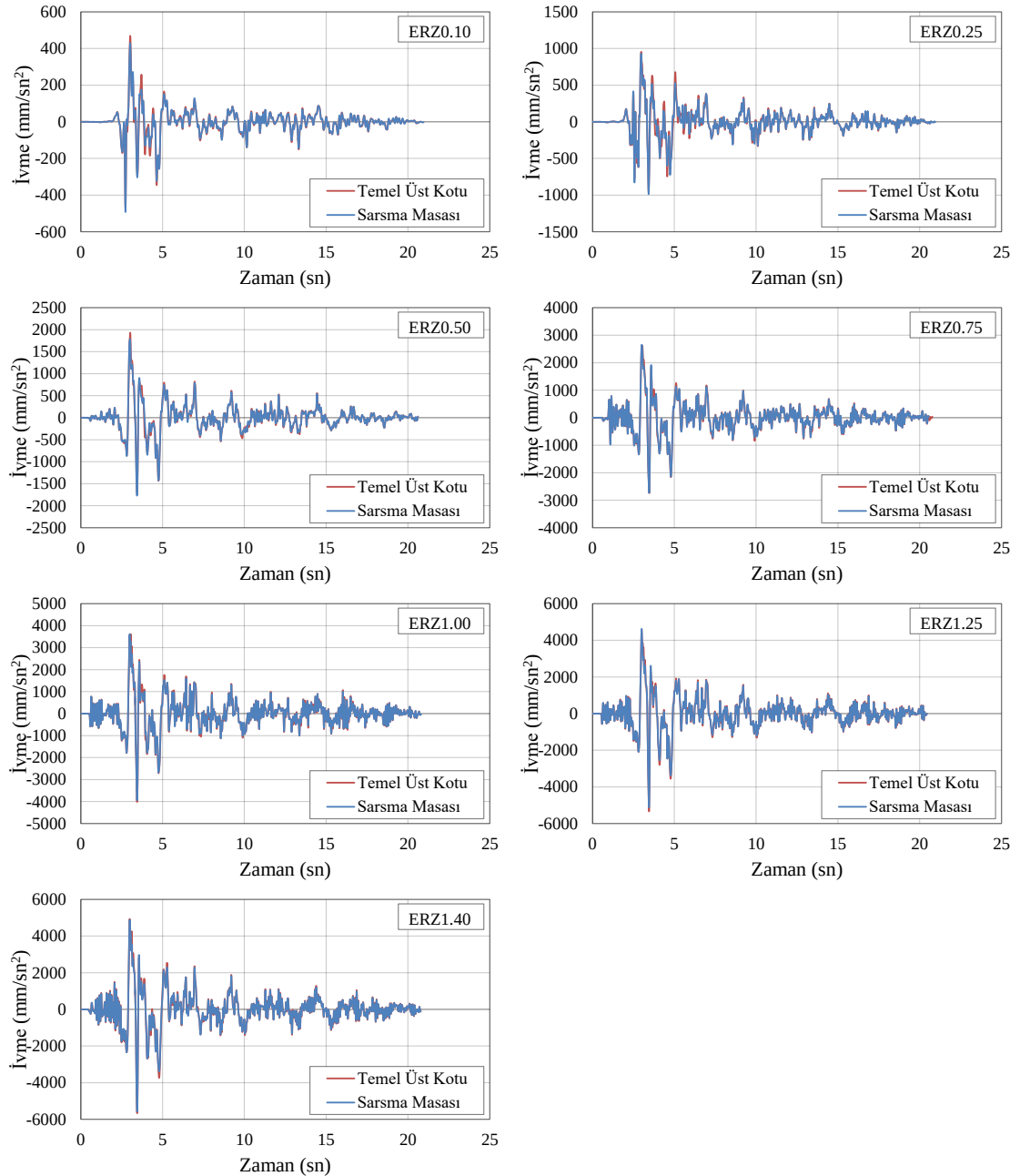
Deneyisel çalışma süresince temel üzerinde oluşan yerdeğiştirme ve ivme değerleri kayıt altına alınmış ve sarsma masasından alınan aynı özellikteki büyüklükler ile karşılaştırılmıştır. Soket temelin sarsma masası ile bağlantısı rijit olacak biçimde yapıldığı için karşılaştırılan büyüklüklerin aynı olması beklenmektedir. Sarsma masası ve temel üst kotunda hareket doğrultusunda gerçekleşen yerdeğiştirme-zaman ilişkileri Şekil 3.68’de verilmiştir.



Şekil 3.68 : Deneyisel çalışma sürecinde temel üst kotunda ve sarsma masasında oluşan yerdeğiştirme-zaman ilişkileri (Yalın birleşim).

Erzincan depremi doğu-batı bileşenine ait ivme kaydının, uygulanan tüm katları için, sarsma masasında ve temel üst kotunda meydana gelen yerdeğiştirme değerlerinin

nerede ise aynı olduğu görülmektedir. Uygulanan yer hareketi kaydının 1.40 katı için, çekme yönündeki en büyük yerdeğiştirme bölgesinde, 6. saniye civarında temel üst kotundaki yerdeğiştirme değerinde bir farklılık göze çarpmaktadır. Bu farklılığın nedeninin veri toplanması sırasında oluşan kısa süreli bir aksaklık olduğu düşünülmektedir. Kayıt incelendiğinde, söz konusu farklılık dışında, ilişkinin oldukça uyumlu olduğu görülmektedir (Şekil 3.68).



Şekil 3.69 : Deneysel çalışma sürecinde temel üst kotunda ve sarsma masasında oluşan ivme-zaman ilişkileri (Yalın birleşim).

Temel üst kotunda meydana gelen yerdeğiştirme-zaman ilişkisi ile birlikte ivme-zaman ilişkisi de deneysel çalışma boyunca kontrol edilmiştir. Soket temelin

sarsma masası ile bağlantısı rijit olacak biçimde yapıldığı için karşılaştırılan ivme-zaman ilişkisinin sarsma masasında kaydedilen ivme-zaman ilişkisi ile aynı olması beklenmektedir. Temel üst kotu ve sarsma masası seviyesinde hareket doğrultusunda kaydedilen ivme-zaman ilişkileri Şekil 3.69’da sunulmuştur. Çalışmada kullanılan yer hareketi kaydının tüm katlarında, karşılaştırılan her iki büyüklüğün zamana bağlı değişimi arasındaki uyum oldukça iyi gözükmektedir.

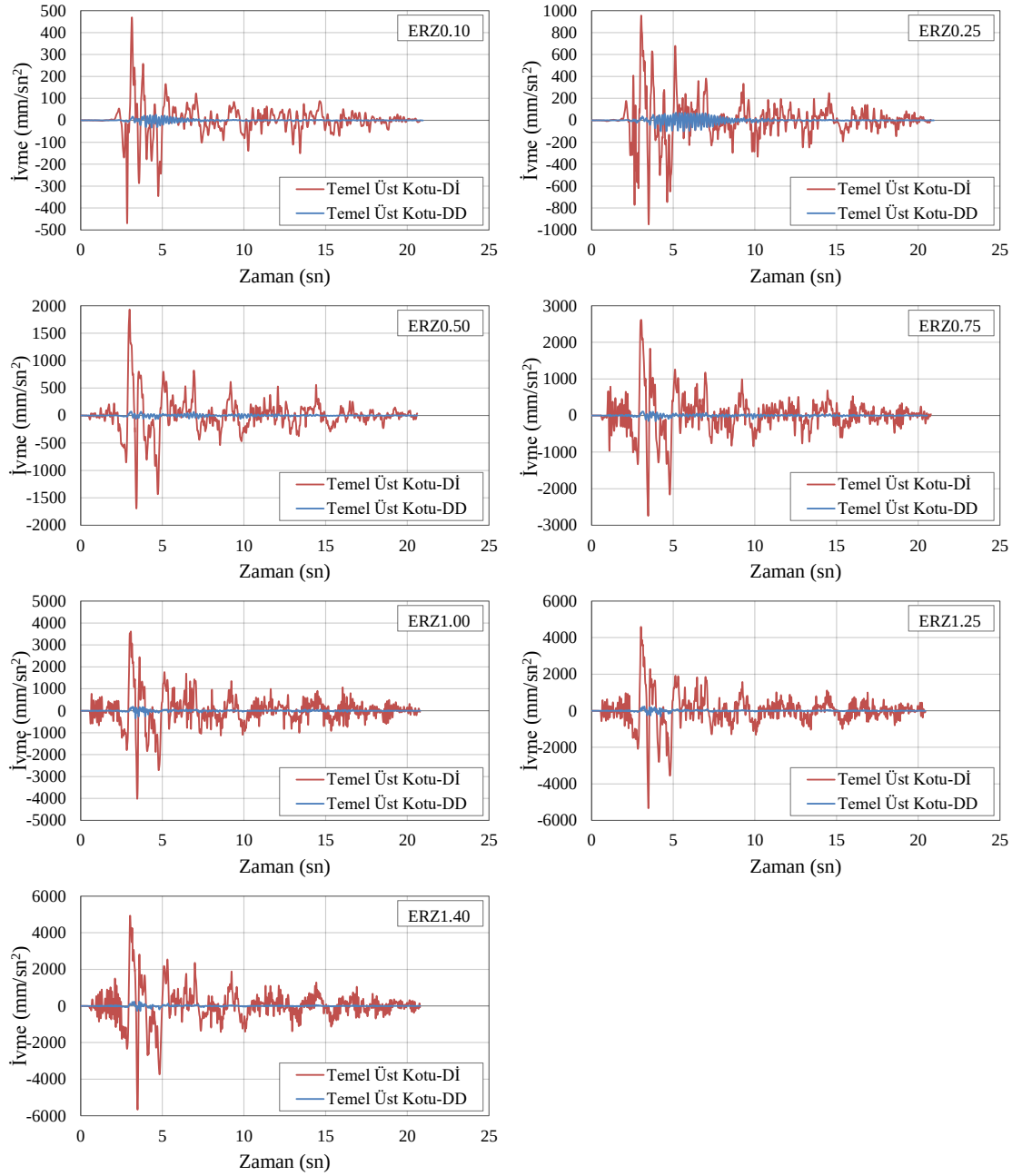
Prefabrike betonarme kiriş-kolon birleşimi numunesinin soket temeli üst kotunda takip edilen diğer bir büyüklük de deprem etkisine dik doğrultuda (düzlem dışı) oluşan ivme büyüklüğüdür. Deney süresince harekete dik doğrultuda ivme oluşup oluşmadığını anlamak, oluşuyor ise hareket doğrultusunda verilen etki ile ilişkisini belirlemek üzere düzlem dışı ivme oluşumu kayıt edilmiştir.

Deneysel çalışmada kullanılan yer hareketinin tüm katları için temel tepe noktasında hareket doğrultusuna dik (düzlem dışı, DD) ve hareket doğrultusunda (düzlem içi, Dİ) oluşan ivme-zaman ilişkisi Şekil 3.70’de verilmiştir.

Deney numunesinin sarsma tablasına bağlantı biçimi, numune ağırlık merkezi ile sarsma tablası hareket eksenini arasında fark oluşabilmesi ve deney düzeneği içerisinde düzlem dışı hareketi sınırlayacak bir sistem kullanılmaması gibi nedenler ile düzlem dışı ivmenin oluşması beklenmekte ancak düzlem içinde oluşan ivmeye göre mertebesinin küçük olması gerekmektedir. Deneysel çalışma süresince hareket doğrultusuna dik doğrultuda oluşan ivme, hareket doğrultusunda oluşan ivmeye kıyasla oldukça küçük kalmıştır (Şekil 3.70).

Prefabrike betonarme kiriş-kolon birleşimi numunesinin sönümleyicisiz olarak (yalın) incelendiği bu deneysel çalışmada numuneye ait tepe yerdeğiştirme-zaman ilişkisi kayıt altına alınmıştır. Şekil 3.71’de verilen yerdeğiştirme-zaman ilişkileri numune tepe kotunun hareket doğrultusundaki mutlak yerdeğiştirme değerlerini ifade etmektedir. Numune ve temel tepe kotları arasındaki farklılığı sunabilmek amacı ile, temel üst kotu için elde edilen yerdeğiştirme-zaman ilişkileri aynı grafikte verilmiştir.

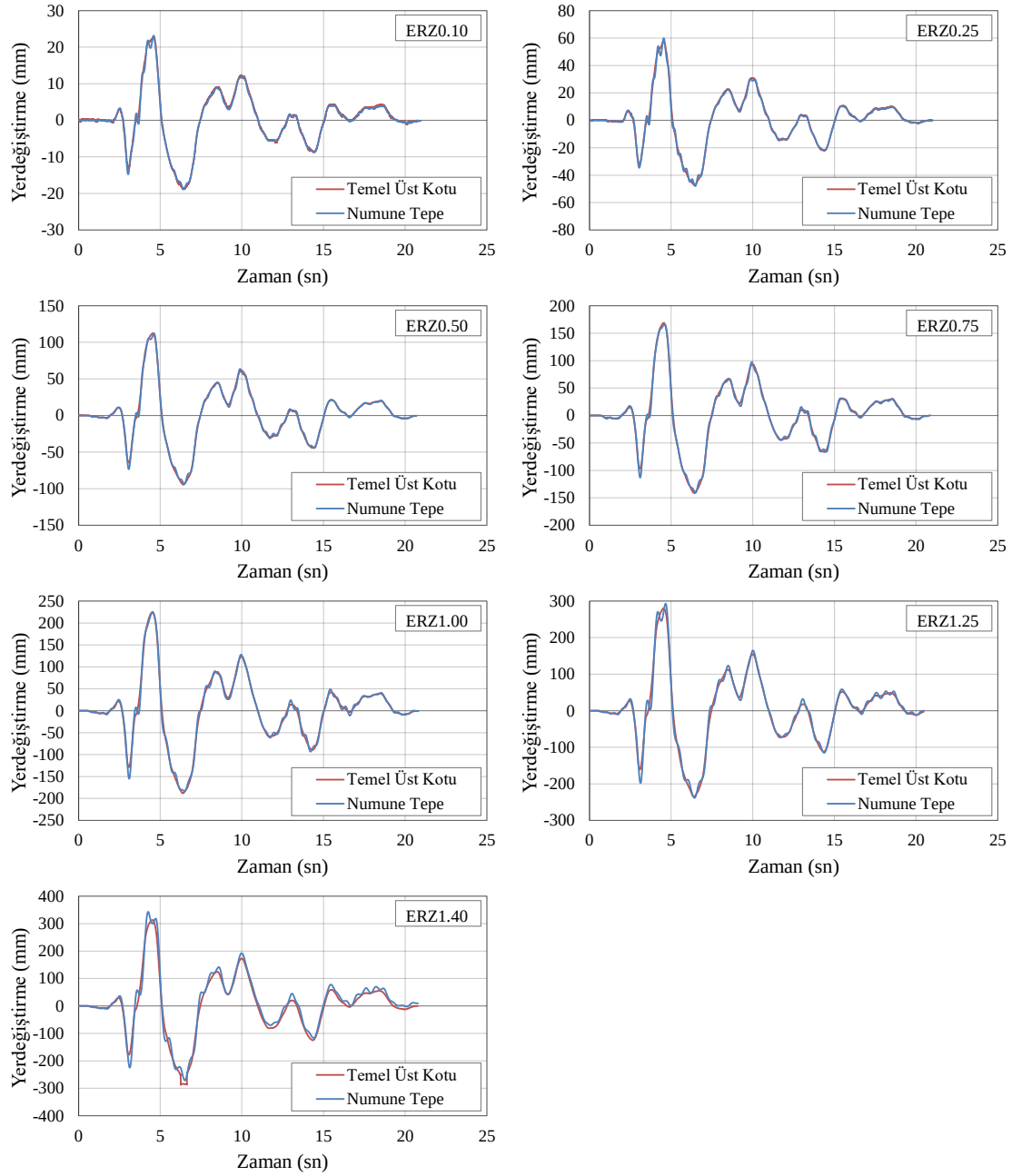
Kullanılan yer hareketi kaydının küçük katlarının etkitildiği testlerde numune tepesi ile temel üst kotu arasındaki fark oldukça küçüktür. Ölçek katsayısı arttıkça, oluşan hasar ile birlikte, takip edilen iki ilişki arasındaki fark artmaktadır (Şekil 3.71).



Şekil 3.70 : Deneysel çalışma sürecinde temel üst kotunda oluşan düzlemiçi (Dİ) ve düzlemdışı (DD) ivme-zaman ilişkileri (Yalın birleşim).

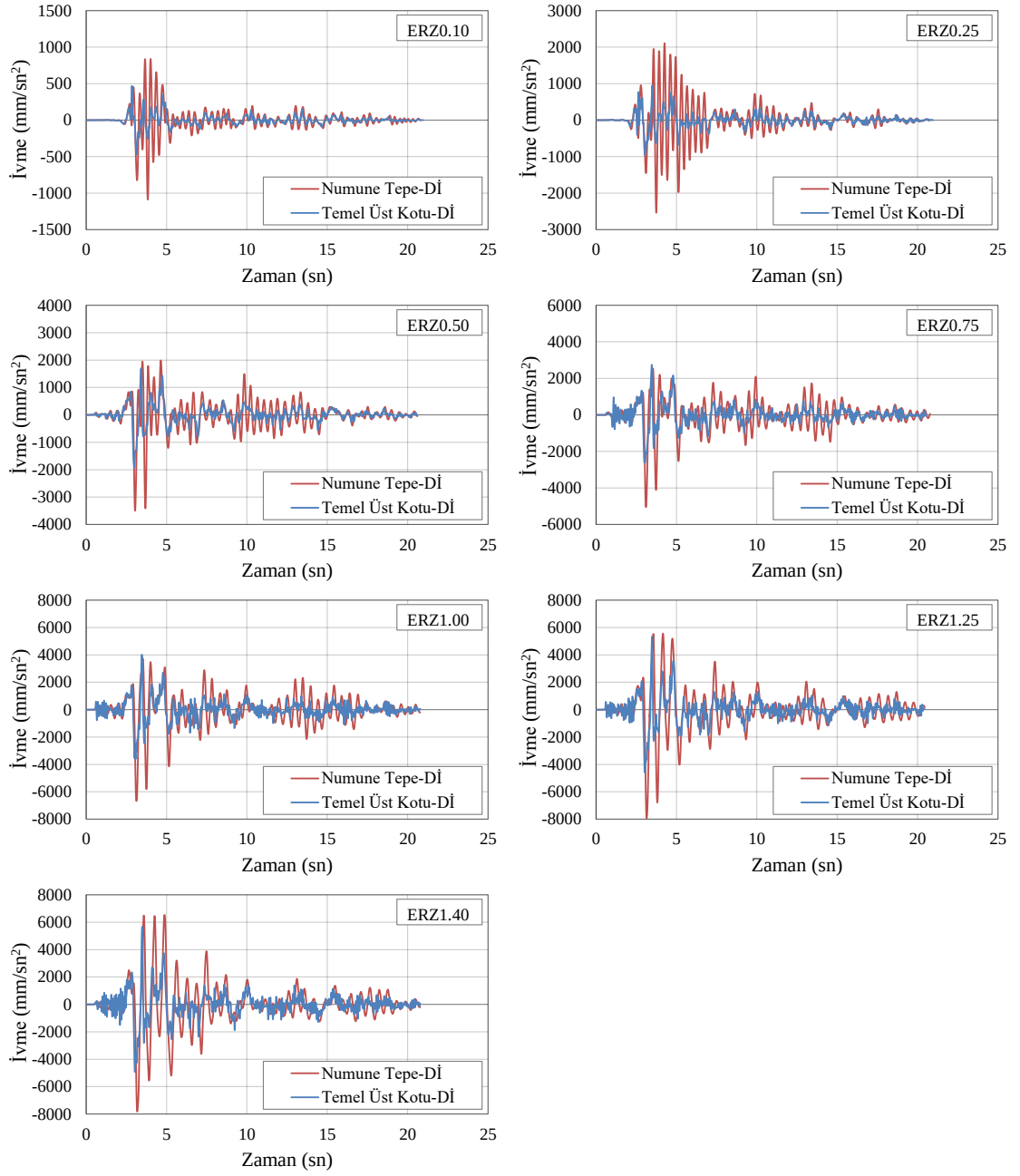
Numune tepe kotunda, hareket doğrultusuna paralel (düzlem içi) ve hareket doğrultusuna dik (düzlem dışı) meydana gelen ivme büyüklükleri, kiriş tablası üzerine yerleştirilen bir ivmeölçer ile kayıt altına alınmıştır.

Numune tepesinde ve temel üzerinde düzlem içinde oluşan ivme büyüklüklerinin zamana göre değişimi Şekil 3.72’de verilmiştir. Uygulanan her testte oluşan ivme değerleri bir önceki testte elde edilen ivme değerlerinden büyüktür.



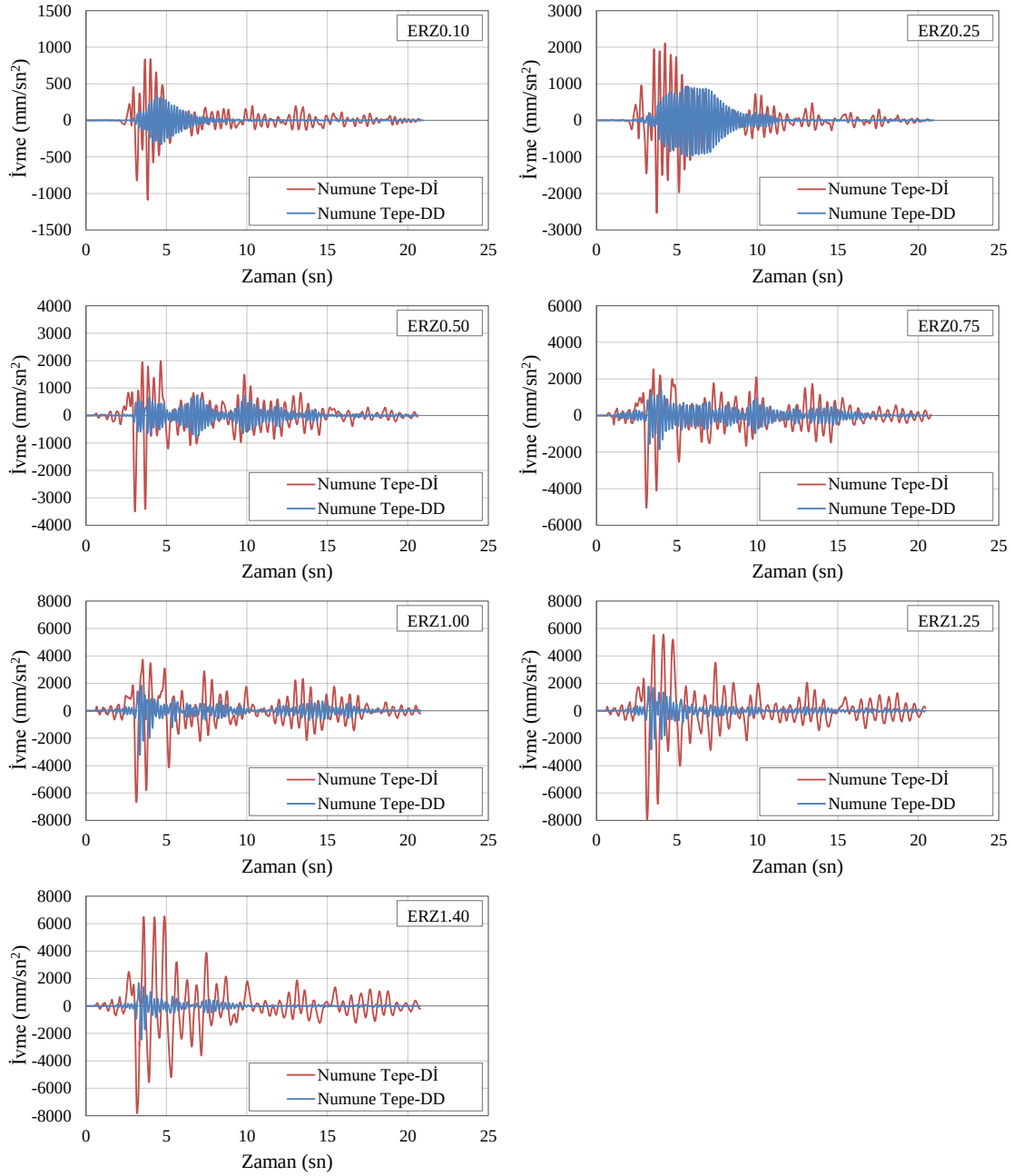
Şekil 3.71 : Deneysel çalışma sürecinde numunenin tepe ve temel üst kotunda oluşan yerdeğiştirme-zaman ilişkileri (Yalın birleşim).

Deney düzeneği içerisinde numunenin düzlem dışı hareketini sınırlandıracak bir sistemin kullanılmamış olması ve kütlenin yoğunlukla numune tepe seviyesinde olması dolayısıyla hareket doğrultusuna dik doğrultuda da ivme oluşumu beklenmektedir. Numune tepe kotunda düzlem içi ivme büyüklükleri ile birlikte düzleme dik doğrultuda oluşan ivme büyüklükleri Şekil 3.73'te görülmektedir.



Şekil 3.72 : Deneysel çalışma sürecinde numunenin tepe ve temel üst kotlarında oluşan ivme-zaman ilişkileri (Yalın birleşim).

Deneysel çalışmada gerçekleştirilen tüm testler için, numune tepe kotunda oluşan düzlem dışı ivmenin temel üst kotunda oluşan düzlem dışı ivmeden oldukça büyük olduğu görülmektedir (Şekil 3.70 ve Şekil 3.73). Numune tepe kotunda gerçekleşen düzlem dışı ivmenin, düzlem içinde gerçekleşen ivme genliğine oranının yaklaşık olarak 1/3~1/2'si mertebesinde olduğu anlaşılmaktadır.



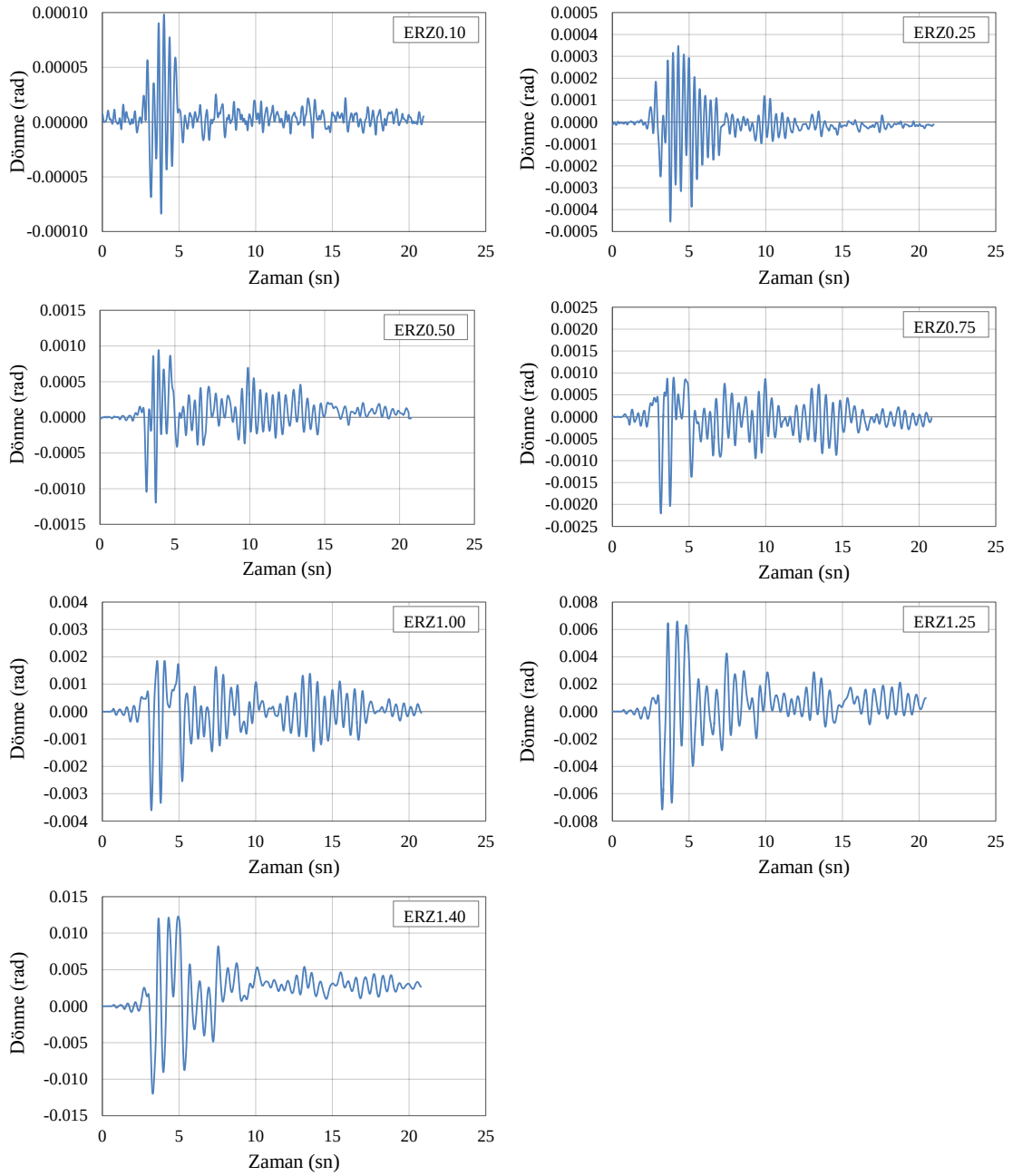
Şekil 3.73 : Deneyisel çalışma sürecinde numune tepe kotunda oluşan düzlem içi (Dİ) ve düzlem dışı (DD) ivme-zaman ilişkileri (Yalın birleşim).

Kolon alt ucuna, temel üst kotundan yaklaşık olarak 7.5 cm yukarıya, numunenin hareket doğrultusunda iki adet yerdeğiştirme ölçer yerleştirilmiştir (Şekil 3.74). Yalın numune için yerdeğiştirme ölçerler arasındaki yatay mesafe 570 mm'dir.

Yerleştirilen iki yerdeğiştirme ölçerden alınan kayıtların farkı, iki yerdeğiştirme ölçer arasındaki yatay mesafeye bölünmek sureti ile kolon alt ucunda meydana gelen dönme belirlenmiştir. Deneyisel çalışma sırasında gerçekleştirilen tüm testlerden, kolon alt ucu için elde edilen dönme-zaman ilişkileri Şekil 3.75'te sunulmuştur.



Şekil 3.74 : Kolon alt ucuna yerleştirilen yerdeğiştirme ölçerler (Yalın birleşim).



Şekil 3.75 : Deneysel çalışma sürecinde kolon alt ucunda oluşan dönme-zaman ilişkileri (Yalın birleşim).

Kullanılan yer hareketi kaydının 0.10 katı ile gerçekleştirilen testte kolon alt ucunda oluşan dönmenin en büyük değeri 0.0001 radyan iken, 1.40 katı ile gerçekleştirilen test için elde edilen en büyük dönme değeri yaklaşık 0.012 radyan'dır. ERZ1.25 ve ERZ1.40 testlerinde, kolon alt ucunda oluşan şekildeğiştirme miktarına bağlı olarak kalıcı dönme meydana geldiği Şekil 3.75'te görülmektedir.

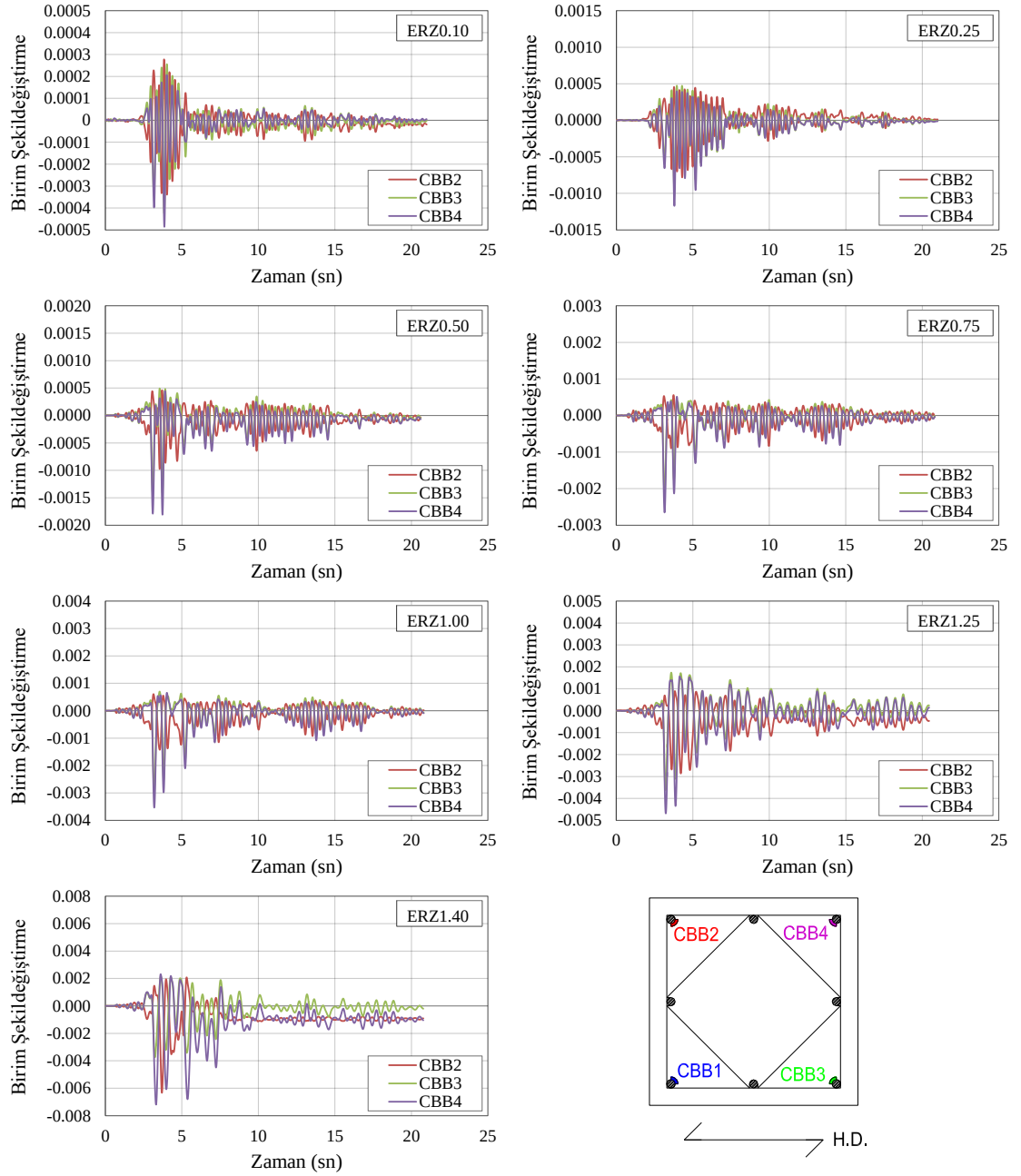
Plastik şekildeğiştirmelerin yoğunlaşmasının beklendiği kolon alt ucunda, yaklaşık olarak kolon kesit boyutlarına eşit (300 mm) olarak belirlenen bir bölgede, kolon kesitinde köşelerde yer alan boyuna donatılara şekildeğiştirme ölçerler yerleştirilmiştir. Bu bölge içerisinde alt, orta ve üst olmak üzere üç farklı yükseklikte, her kesitte dört adet olmak üzere toplam on iki adet şekildeğiştirme ölçer ile birim şekildeğiştirme değişiminin takip edilmesi planlanmıştır (Şekil 3.48).

CB1 ve CB2 etiketli şekildeğiştirme ölçerden alınan verilerin birbiri ile yakın ve aynı işaretli olması beklenmektedir (Şekil 3.76). Benzer şekilde CB3 ve CB4 etiketli şekildeğiştirme ölçerlerden alınan verilerin de yakın ve aynı işaretli olması gerekmektedir. Numunede hareket doğrultusuna dik oluşacak hareketin mertebesine bağlı olarak beklenen değerler farklılık gösterebilecektir.

CB1 ve CB3 ile CB2 ve CB4 etiketli şekildeğiştirme ölçerden alınan verilerin birbiri ile zıt işaretle olması beklenmektedir. Bunun nedeni yatay deprem etkisinde, kolon kesitinde meydana gelen eğilme ile kesitte çekme ve basınç bölgeleri oluşmasıdır. Kesite etki eden iç kuvvetler dolayısıyla kesitin tarafsız eksenini kesitin ağırlık merkezinden geçmeyecektir. Ayrıca, düzlem dışı harekete bağlı olarak bu değerlerde bir miktar farklılık ortaya çıkması beklenmektedir.

Takip edilen üç farklı kesitte benzer değişimler beklenmektedir. Ancak en alt kesitte oluşması beklenen şekildeğiştirme değerleri, orta kesitte oluşması beklenen şekildeğiştirme değerlerine göre büyük olmalıdır. Benzer şekilde, orta kesitte oluşması beklenen şekildeğiştirmelerin, üst kesitteki şekildeğiştirmelerden büyük olması beklenmektedir.

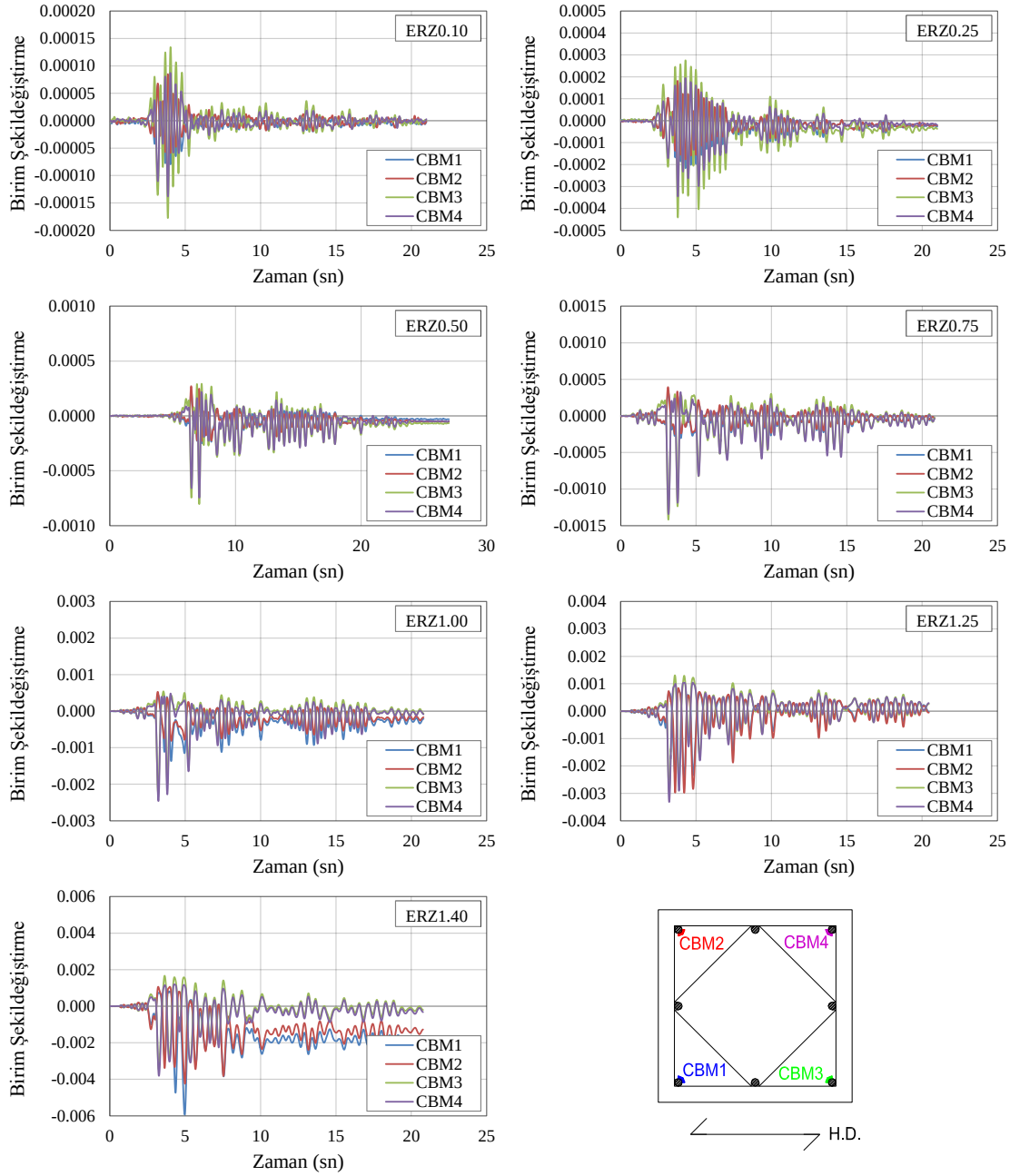
Yalın birleşimi temsil eden numunenin montajı esnasında alt kesitte yer alan şekildeğiştirme ölçerlerin birine (CBB1) ait kablo koptuğu için alt kesitte üç adet şekildeğiştirme ölçer ile veri toplanabilmiştir. Gerçekleştirilen tüm testlerde, tanımlanmış alt, orta ve üst kesitlerde elde edilen birim şekildeğiştirme-zaman ilişkileri sırasıyla Şekil 3.76, Şekil 3.77 ve Şekil 3.78'de sunulmuştur.



Şekil 3.76 : Deneysel çalışma sürecinde kolon alt ucu alt kesitte oluşan şekildeğiştirme-zaman ilişkileri (Yalın birleşim).

Alt kesitte okunan şekildeğiştirme değerleri beklenildiği gibi gerçekleşmiştir. Yer hareketinin 0.10 katının etkitildiği testte birim şekildeğiştirme büyüklükleri 0.0005 değerinin altındadır. Numunelerde kullanılan kolon boyuna donatısı için malzeme deneylerinden elde edilen akma birim şekildeğiştirme ortalama değeri 0.0026'dır. Akma birim şekildeğiştirme değerine, kolon alt ucu alt kesiti için, kullanılan yer hareketinin 0.75 katının etkitildiği test (ERZ0.75) sırasında ulaşılmıştır. Kolon alt ucu orta ve üst kesitleri için akma birim şekildeğiştirme değerlerine ise ERZ1.00 testinde ulaşılmıştır. Deneyisel çalışma süresince boyuna donatıda meydana gelen

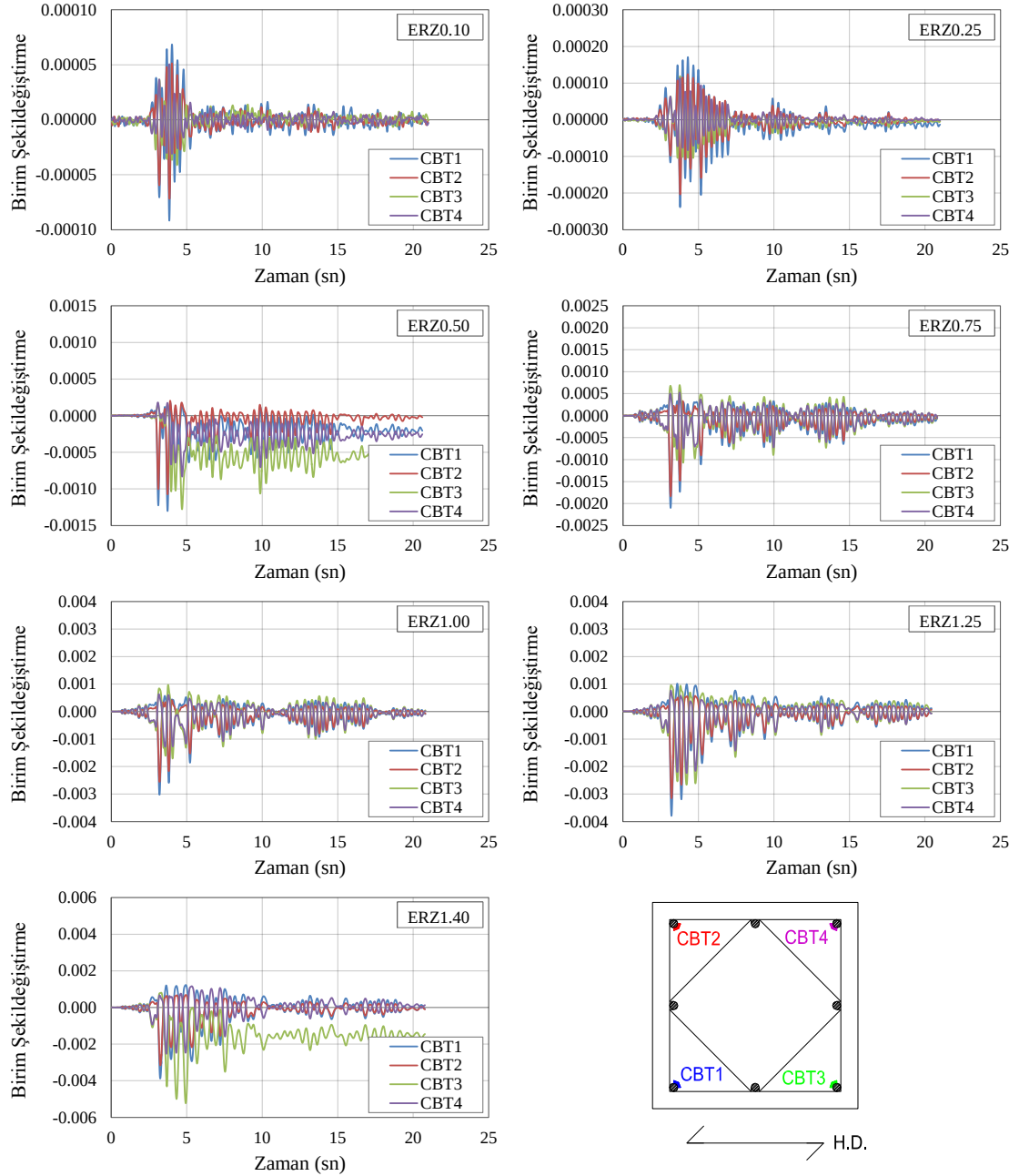
birim şekildeğiştirme değerleri giderek artmış ve takip edilen üç kesitte de kalıcı şekildeğiştirme oluşmuştur.



Şekil 3.77 : Deneysel çalışma sürecinde kolon alt ucu orta kesitte oluşan şekildeğiştirme-zaman ilişkileri (Yalın birleşim).

Erzincan depremi doğu-batı bileşeninin kullanıldığı deneysel çalışmada, yer hareketinin 0.10, 0.25 ve 0.50 katlarının etitildiği ERZ0.10, ERZ0.25 ve ERZ0.50 testlerinde elde edilen birim şekildeğiştirme değerleri alt kesitten üst kesite çıkıldıkça azalmıştır. 0.50ERZ testinde kolon alt ucunda meydana gelen eğilme çatlakları, şekildeğiştirme ölçerlerin yerleştirildiği alt ve üst kesite oldukça yakın meydana gelmiştir. Bu testten sonra uygulanan testlerde alt ve üst kesitte meydana gelen birim

şekildeğiştirme değerleri, orta kesitte meydana gelen değerlerden büyük olarak elde edilmiştir. Deneysel çalışma boyunca kolonda oluşan çatlakların, kolonun yarısı boyunca yayılması ve genişlemesi dolayısıyla son test (ERZ1.40) için elde edilen birim şekildeğiştirme değerleri her üç kesit içinde birbirine yakın biçimde oluşmuştur (Şekil 3.76, Şekil 3.77, Şekil 3.78).



Şekil 3.78 : Deneysel çalışma sürecinde kolon alt ucu üst kesitte oluşan şekildeğiştirme-zaman ilişkileri (Yalın birleşim).

Deneysel çalışma süresince takip edilen yerdeğiştirme büyüklüklerinden diğer ikisi, kiriş-kolon birleşiminde yatay ve yatay ile 45° açı yapan doğrultulardadır (Şekil 3.79). Bu iki yerdeğiştirme ölçerden alınan verilerden ve Bölüm 3.3.5’de

verilen Eşitlik 3.3'ten yararlanılarak, kiriş-kolon birleşiminde meydana gelen dönme miktarı hesaplanmıştır.



Şekil 3.79 : Kiriş-kolon birleşim bölgesine yerleştirilen yerdeğiştirme ölçerler (Yalın birleşim).

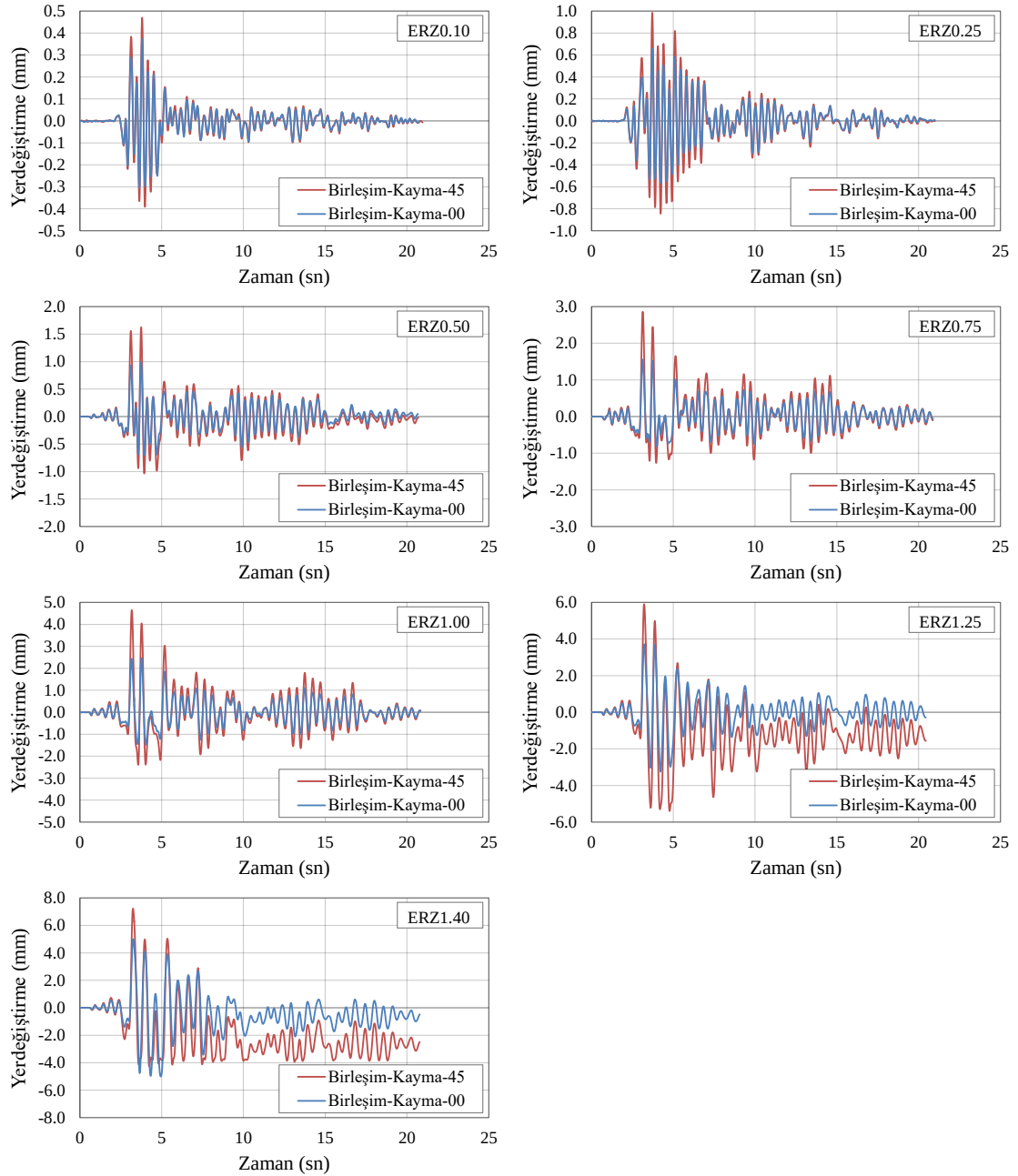
DeneySEL çalışma süresince uygulanan tüm testlerde birleşim bölgesinde kayıt edilen yerdeğiştirme-zaman ilişkileri ve hesaplanan dönme-zaman ilişkileri sırasıyla Şekil 3.80 ve Şekil 3.81'de verilmiştir.

Birleşimde ölçülen her iki yerdeğiştirmenin takip edilmesi için CDP10 türü yerdeğiştirme ölçer kullanılmış olup bu yerdeğiştirme ölçerlerin kapasitesi $\pm 5 \text{ mm}$ 'dir. Yatay ile 45° açı yapacak şekilde yerleştirilen yerdeğiştirme ölçer, deneysel çalışmada kullanılan yer hareketinin 1.25 katının uygulandığı test (ERZ1.25) sırasında kapasitesine ulaşmış ve ideal doğrultusunu kaybetmiştir. Benzer şekilde birleşimde yatayda konumlandırılmış olan yerdeğiştirme ölçer ise, deneysel çalışmada kullanılan yer hareketinin 1.40 katının uygulandığı test (ERZ1.40) sırasında kapasitesine ulaşmıştır. Bu nedenle, ERZ1.25 ve ERZ1.40 testleri için kiriş-kolon birleşiminde meydana gelen dönme değeri, doğru biçimde hesaplanamayacağı için, Şekil 3.81'de verilmemiştir.

ERZ0.10 testi sırasında kiriş-kolon birleşiminde meydana gelen en büyük yatay hareket (kayma) değeri 0.4 mm 'dir. Yer hareketinin diğer katlarında birleşimde meydana gelen kayma değeri giderek artmıştır. Birleşimde meydana gelen kayma için elde edilen en büyük değer yaklaşık olarak 3.7 mm olup, ERZ1.25 testinde kayıt edilmiştir.

DeneySEL çalışma süresince kiriş-kolon birleşiminde meydana gelen dönme-zaman ilişkileri, kiriş-kolon arasında bulunan açıda meydana gelen farklılığı ifade etmektedir. Dönme için sağlıklı biçimde hesaplanabilen en büyük ve en küçük

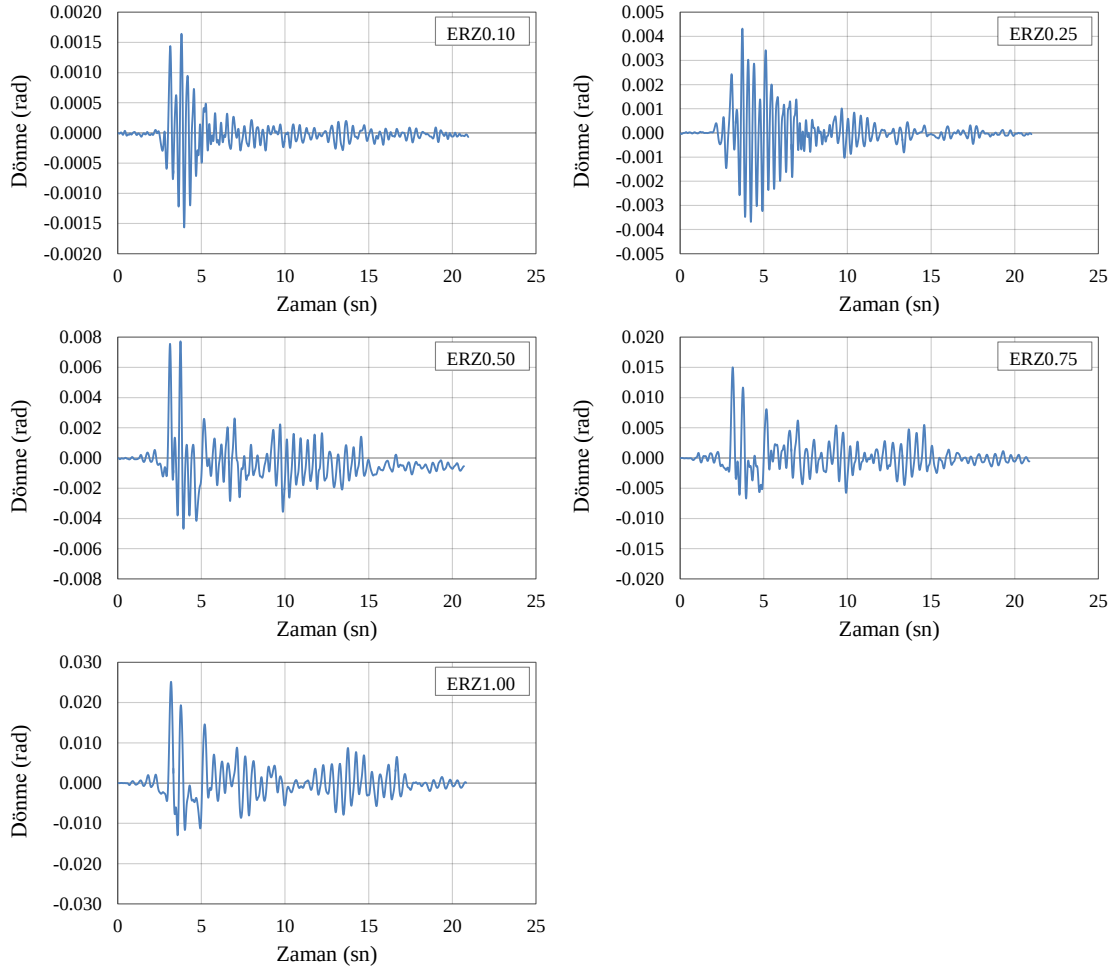
değerler sırasıyla 0.0252 radyan ve 0.0130 radyan olarak elde edilmiş olup ERZ1.00 testine ait veriler kullanılarak belirlenmiştir (Şekil 3.81).



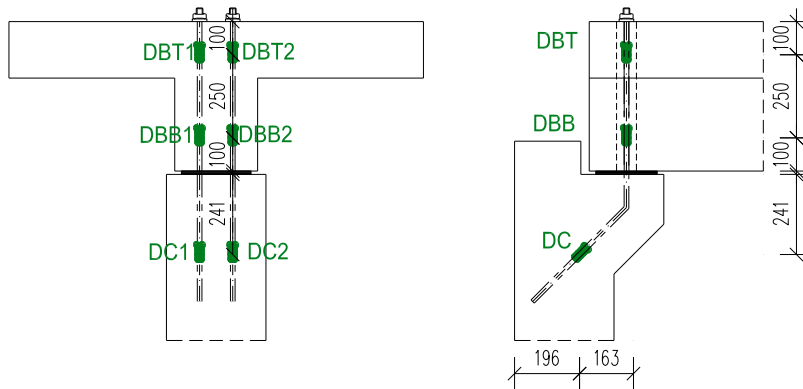
Şekil 3.80 : Deneysel çalışma sürecinde kiriş-kolon birleşim bölgesine ait görelî yerdeğiştirme-zaman ilişkileri (Yalın birleşim).

Betonarme prefabrike kiriş-kolon birleşiminin yalın halî ile gerçekleştirilen deneysel çalışmada, kiriş ve kolon birleşiminde sürekliliği sağlayan eleman olarak kullanılan iki adet rod üzerine şekildeğiştirme ölçerler yerleştirilmiştir. Bir rod üzerinde ikisi kiriş içerisinde birisi de kolon gövdesinde kalmak üzere üç adet şekildeğiştirme ölçer kullanılmıştır. Şekildeğiştirme ölçerlerin ikisi kiriş üst (DBT) ve alt hizasından (DBB) 10 cm içeride kalacak şekilde yerleştirilmiştir. Diğer şekildeğiştirme ölçer ise

kolonda kısa konsol (guse) bölgesinde (DC) kalacak şekilde yerleştirilmiştir (Şekil 3.82).



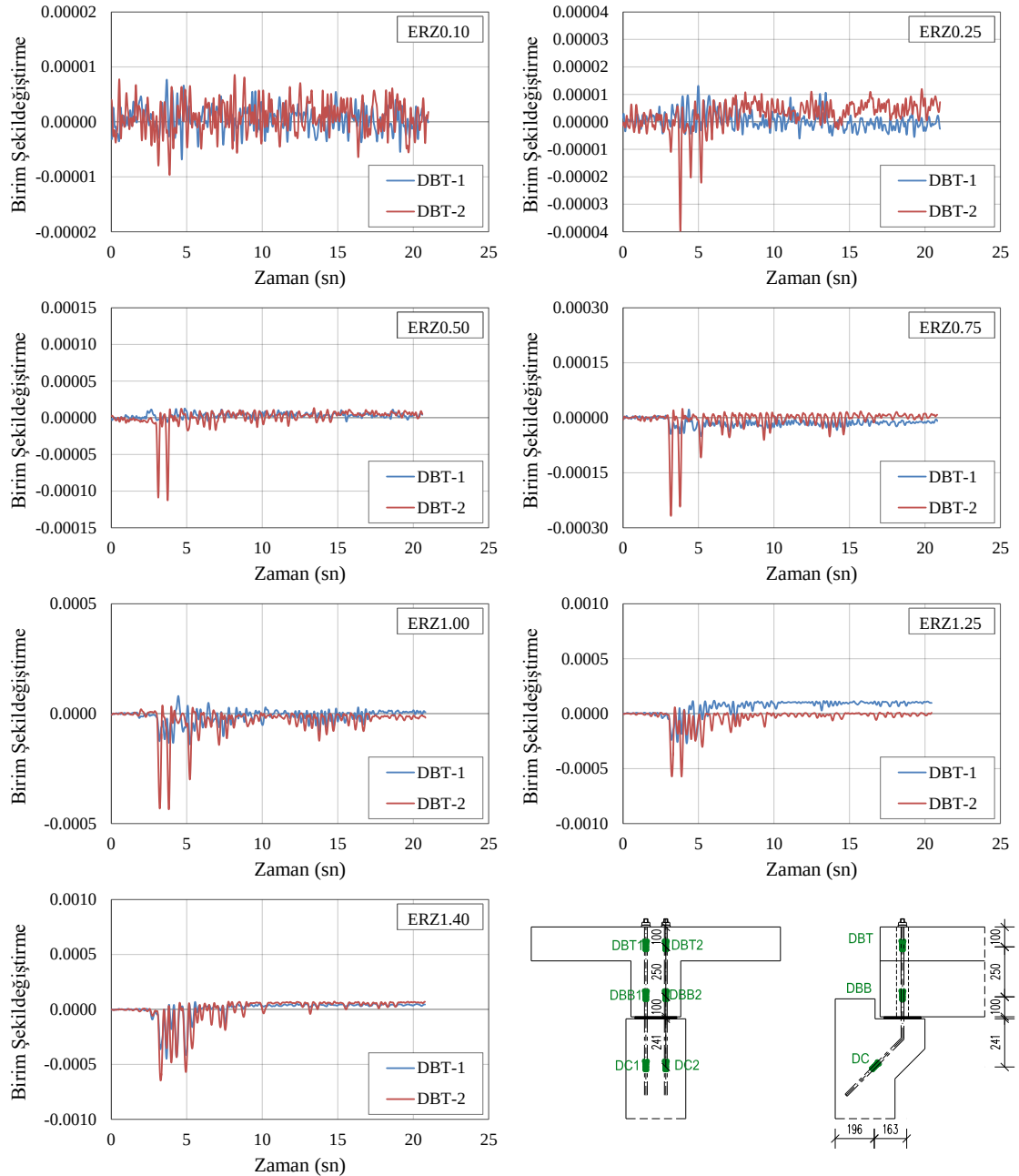
Şekil 3.81 : Deneyisel çalışma sürecinde elde edilen kiriş-kolon birleşim bölgesine ait dönme-zaman ilişkileri (Yalın birleşim).



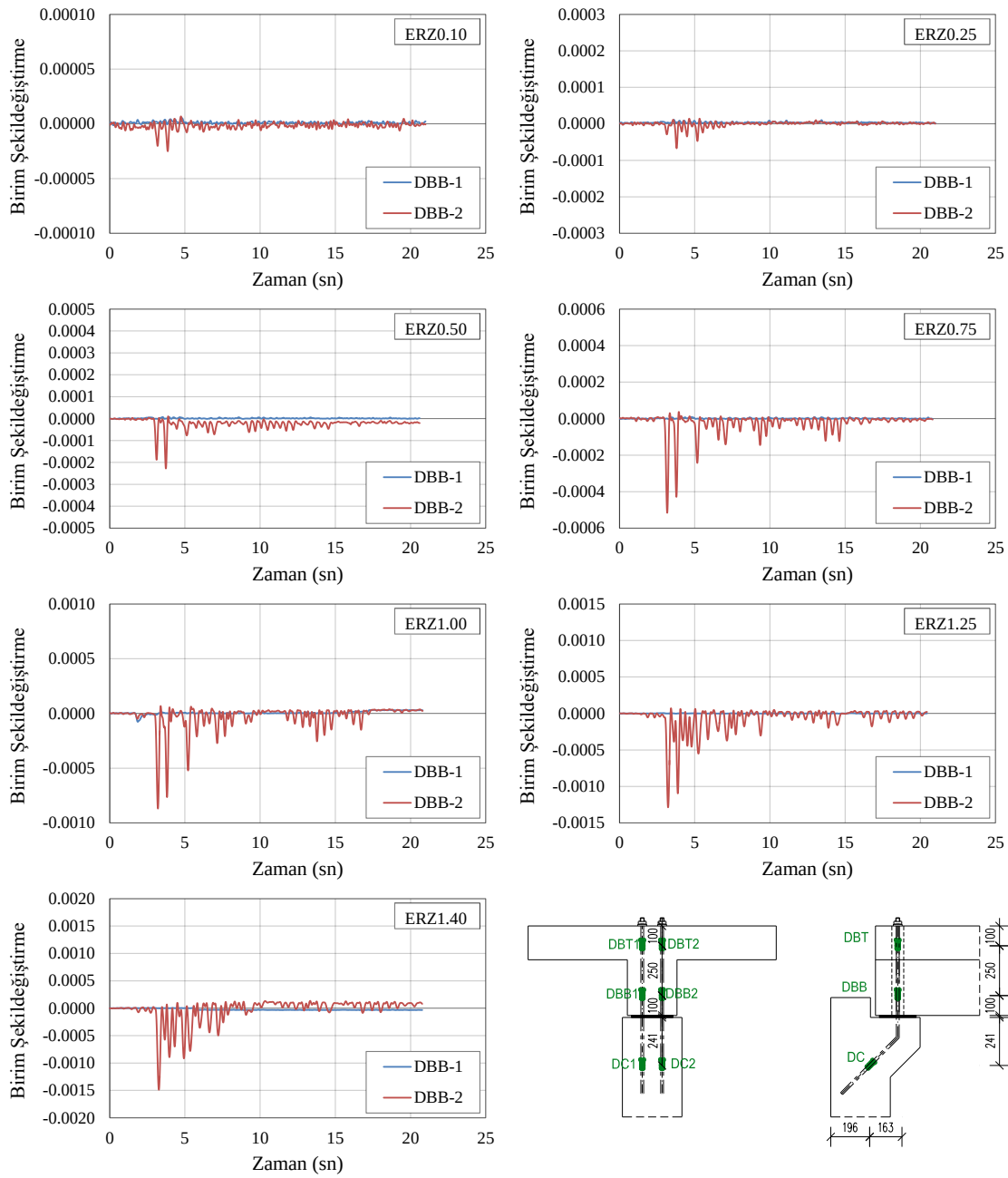
Şekil 3.82 : Kiriş-kolon birleşim bölgesinde rodların üzerine yerleştirilen şekildegistirme ölçerlerin yerleri ve etiketleri.

Kiriş-kolon birleşiminde kullanılan rodlardan alınan birim şekildegistirme okumaları Şekil 3.83, Şekil 3.84 ve Şekil 3.85’te verilmiştir.

Rodların kiriş üst kısmında kalan uç bölgesinde, DBT-1 ve DBT-2 için, deneysel çalışma boyunca gözlenen en büyük birim şekil değiştirme değerleri, ERZ1.40 testinde ölçülmüş olup, sırasıyla 0.00045 ve 0.00065 olarak elde edilmiştir (Şekil 3.83). Rod için gerçekleştirilen malzeme deneylerinden elde edilen akma birim şekil değiştirme değeri 0.0024'tür. Rodların kiriş üst kısmında kalan uç bölgesinde oluşan birim şekil değiştirme değerleri akma sınırından oldukça küçüktür.



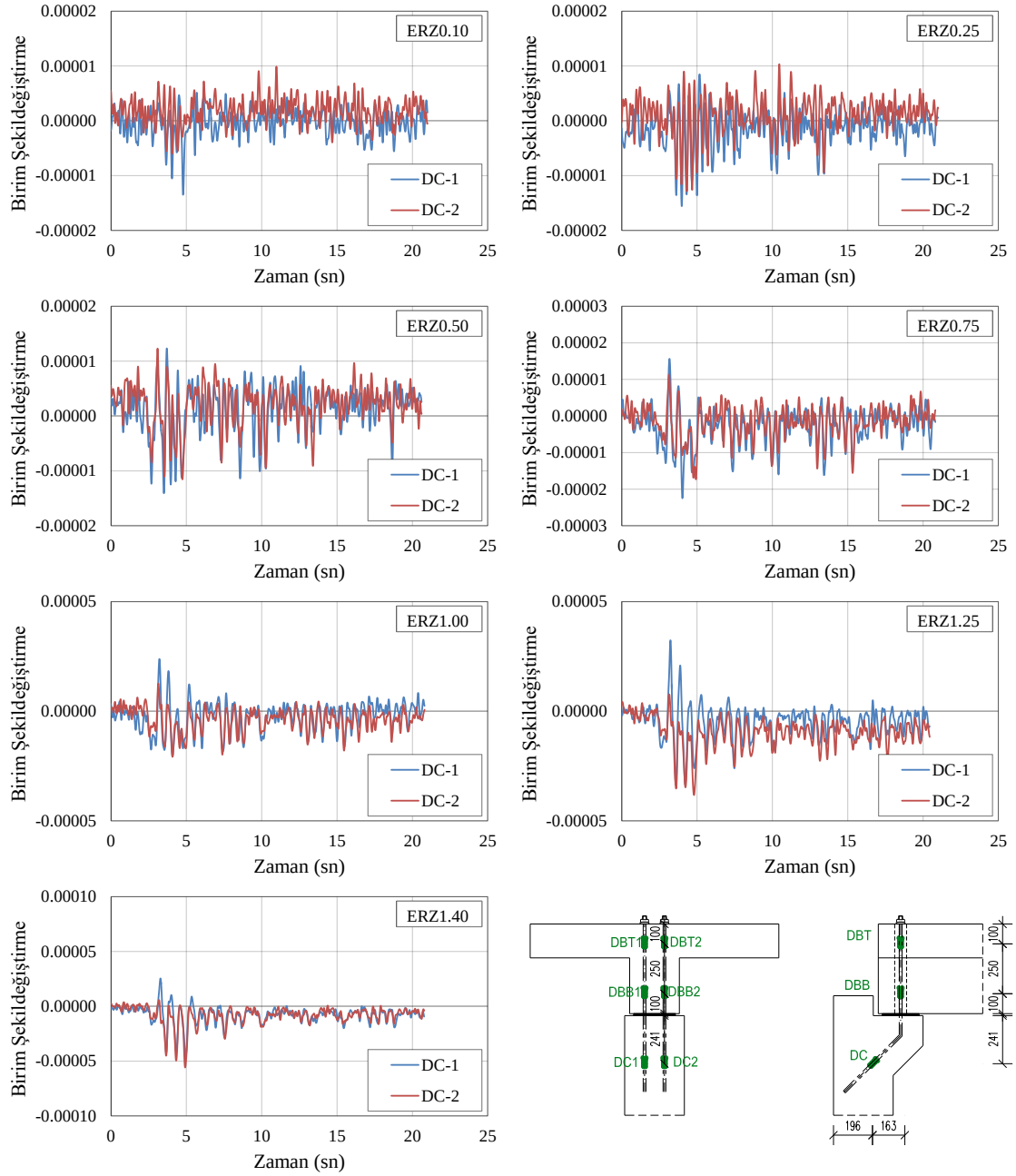
Şekil 3.83 : Kiriş-kolon birleşiminde kullanılan rodlar üzerine kiriş üst kısmına yakın yerleştirilen şekil değiştirme ölçerlerden (DBT-1 ve DBT-2) alınan birim şekil değiştirme-zaman ilişkileri (Yalın birleşim).



Şekil 3.84 : Kiriş-kolon birleşiminde kullanılan rodlar üzerine kiriş alt kısmına yakın yerleştirilen şekildeğiştirme ölçerlerden (DBB-1 ve DBB-2) alınan birim şekildeğiştirme-zaman ilişkileri (Yalın birleşim).

Rodların kiriş alt kısmında kalan uç bölgesine yerleştirilen DBB-1 ve DBB-2 etiketli şekildeğiştirme ölçerlerden deneysel çalışma boyunca kayıt alınmıştır. Ancak DBB-1'den alınan kaydın gerçekçi olmadığı düşünülmektedir. Çünkü tüm testlerde DBB-1 ile alınan şekildeğiştirme değeri yaklaşık olarak sabit kalmıştır. DBB-2'den alınan kayıt incelendiğinde oluşan birim şekildeğiştirme değerinin ERZ1.40 testinde olduğu ve en fazla 0.00149 değerine ulaştığı görülmektedir (Şekil 3.84). Deneysel

çalışma süresince, rodların kiriş alt bölgesinde, akma birim şekildeğiştirme değerine (0.0024) ulaşmamıştır.



Şekil 3.85 : Kiriş-kolon birleşiminde kullanılan rodlar üzerine kolon guse kısmına yerleştirilen şekildeğiştirme ölçerlerden (DC-1 ve DC-2) alınan birim şekildeğiştirme-zaman ilişkileri (Yalın birleşim).

Rodların kolon guse bölgesine yerleştirilen DC-1 ve DC-2 etiketli şekildeğiştirme ölçerlerden deneysel çalışma boyunca alınan kayıtlar birbirine oldukça benzemektedir. DC-1 ve DC-2 etiketli şekildeğiştirme ölçerler ile takip edilen birim şekildeğiştirmeye ait en büyük değerler sırasıyla 0.000047 ve 0.000056 olarak elde edilmiştir. Bu değerler ERZ1.40 testinden elde edilen değerler olup, rodlar için

belirlenen akma birim şekildeğiştirme değerinden (0.0024) oldukça küçüktür (Şekil 3.85).

Rodlara yerleştirilen şekildeğiştirme ölçerlerden alınan kayıtlara göre tüm testler boyunca rodların elastik davranış sergilediği söylenebilir.

3.5.2 Sönümleyicili birleşim

3.5.2.1 Uygulanan testler ve oluşan hasar biçimi

Moment aktarmayan kiriş-kolon birleşimin sönümleyicili hali için gerçekleştirilen dinamik deney öncesinde ilk çekiç (H1) testi yapılmış ve titreşim frekansı 3.4 Hz olarak elde edilmiştir. İlk çekiç testinden sonra, en büyük ivme değeri 0.38g ve en büyük yerdeğiştirme değeri 2 mm olan ilk beyaz gürültü (WN1) testi gerçekleştirilmiştir. Birinci beyaz gürültü testi ile sönümleyicili birleşim numunesine ait titreşim frekans değeri 2.80 Hz olarak elde edilmiştir.

Deneysel çalışma başlangıcında ilk çekiç ve ilk beyaz gürültü testi gerçekleştirildikten sonra ilk basamak fonksiyonu testi icra edilmiştir. İlk basamak fonksiyonu testinde (SF1), 4 mm büyüklüğünde yerdeğiştirme genliği kullanılmış ve sönümleyicili birleşim numunesine ait frekans değeri 2.50 Hz olarak belirlenmiştir. Bu test sonrasında temel üstünden yaklaşık 10 cm yukarıda, kalınlığı 0.1 mm'den daha küçük olan eğilme çatlağı tespit edilmiştir (Şekil 3.86).



Şekil 3.86 : SF1 testi sonrasında kolonda bulunan eğilme çatlağı.

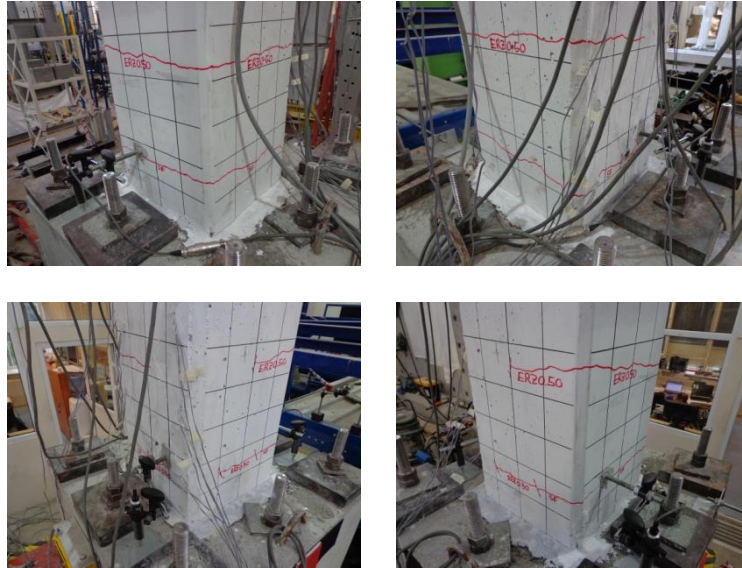
Basamak fonksiyonu testinin ardından, Erzincan depremi doğu-batı bileşeni ivme kaydının 0.10 katı (ERZ0.10) sönümleyicili birleşim numunesine etkiltilmiştir. ERZ0.10 testinden sonra, ilk basamak fonksiyonu testi sırasında oluşan, eğilme çatlağının kalınlığı 0.1 mm'den küçük olmakla birlikte numune üzerinde yeni bir çatlak oluşumu meydana gelmemiştir.

ERZ0.10 testinden sonra çekiç (H2) testi gerçekleştirilmiş ve sönümleyicili birleşim numunesi ait titreşim frekansı 3.30 Hz olarak belirlenmiştir. H2 testini takip eden beyaz gürültü testi (WN2) ile 2.50~2.60 Hz mertebesinde titreşim frekansı büyüklüğü elde edilmiştir.

Erzincan depremi doğu-batı bileşeni ivme kaydının 0.25 katının (ERZ0.25) deney numunesine etkitildiği test sonrasında numunede herhangi bir çatlak oluşumu gözlenmemiştir. ERZ0.25 testini takiben gerçekleştirilen çekiç (H3) testi ile numuneye ait titreşim frekansı değeri 3.20 Hz olarak elde edilmiştir. Beyaz gürültü (WN3) testinde elde edilen titreşim frekansı değeri ise 2.50~2.60 Hz mertebesinde dir.

Erzincan depremi doğu-batı bileşeni ivme kaydının 0.50 katı (ERZ0.50) deney numunesine etkitildiğinde, temel üst kotundan yaklaşık olarak 32.5 cm yukarıda, yeni bir eğilme çatlak ı meydana gelmiştir. İlk çatlak ı oluştu ęu kesitte, çatlak oluşumunun ilerledi ęi gözlenmiştir (Şekil 3.87). Her iki kesitte oluş an çatlakların kalınlı ęı 0.1 mm'den küçüktür.

ERZ0.50 testinden sonra icra edilen çekiç (H4) testinden elde edilen titreşim frekansı 3.20 Hz büyüklü ęünde, beyaz gürültü (WN4) testinden elde edilen titreşim frekansı ise 2.30~2.40 Hz mertebesinde dir.

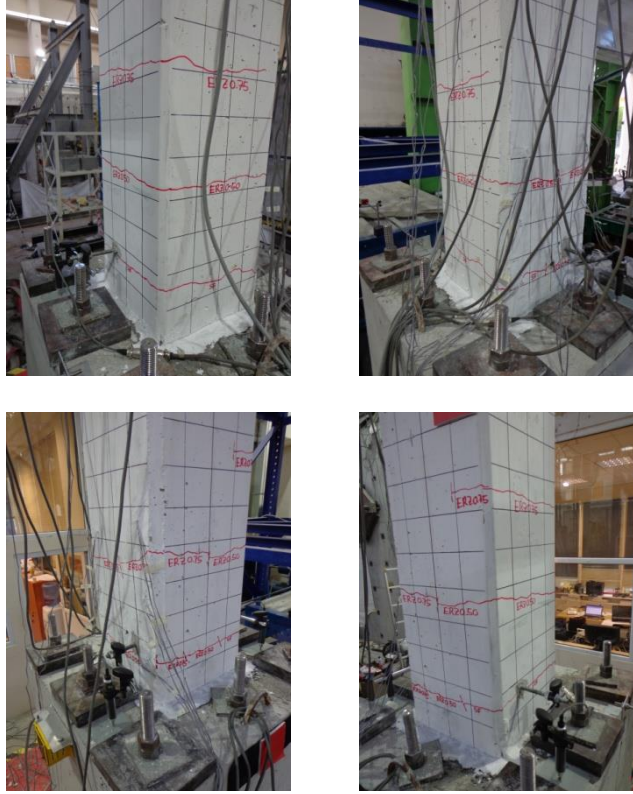


Şekil 3.87 : ERZ0.50 testi sonrasında kolonda bulunan eğilme çatlakları.

Deney numunesine Erzincan depremi doğu-batı bileşeni ivme kaydının 0.75 katı (ERZ0.75) etkitildiğinde temel üst yüzünden 55 cm yukarıda eğilme çatlak ı meydana gelmiştir. Kolon alt ucunda oluş an birinci çatlaklar ilerlemiş ve neredeyse kolonun

dört yüzünü sarmıştır. İkinci çatlaklar da ilerlemiş ve kolonun dört yüzünü sarmıştır (Şekil 3.88). Birinci ve ikinci kesitteki çatlakların kalınlığı 0.1 mm'den küçüktür.

ERZ0.75 testinden sonra çekiç (H5) testi ve beyaz gürültü (WN5) testi uygulanmıştır. Bu testler sonucunda numuneye ait titreşim frekansı sırasıyla 3.20 Hz ve 2.20 Hz olarak elde edilmiştir.



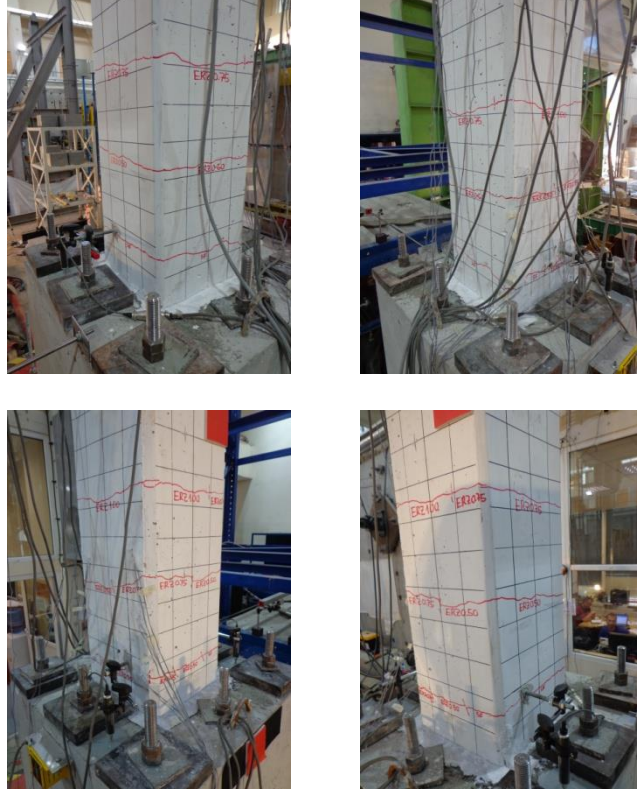
Şekil 3.88 : ERZ0.75 testi sonrasında kolonda bulunan eğilme çatlakları.

Deney numunesine Erzincan depremi doğu-batı bileşeni ivme kaydının kendisi (ERZ1.00) etiktilendiğinde yeni bir çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir. Kolon alt ucunda oluşan birinci çatlak genişliği 0.1 mm'ye ulaşmıştır. İkinci çatlakların kalınlığı ise 0.1 mm'den küçüktür. Üçüncü çatlakların kalınlığı 0.1 mm'den küçük olmakla birlikte, çatlak kolonun dört yüzünü sarmıştır (Şekil 3.89).

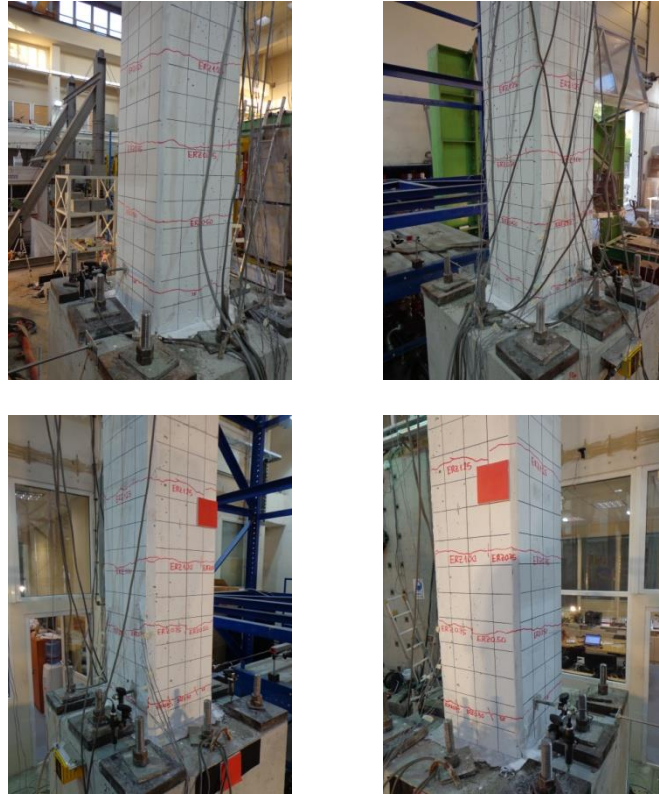
ERZ1.00 testinden sonra çekiç (H6) testi ve beyaz gürültü (WN6) testi gerçekleştirilmiştir. Sönümleyicili birleşim numunesine ait titreşim frekansı H6 testi için 2.50 Hz olarak belirlenirken, WN6 testi için bu değer 2.10 Hz olarak belirlenmiştir.

Deney numunesine Erzincan depremi doğu-batı bileşeni ivme kaydının 1.25 katının etiktilendiği testte (ERZ1.25) dördüncü çatlak oluşumu gözlemlenmiş ve bu çatlak temel üst kotundan yaklaşık olarak 80 cm yukarıda oluşmuştur (Şekil 3.90). Kolon

alt ucundaki birinci çatlak 0.2 mm kalınlığa ulaşmıştır. Kolon üzerinde oluşan diğer tđm çatlakların kalınlığı ise 0.1 mm'den kđđđktđr.



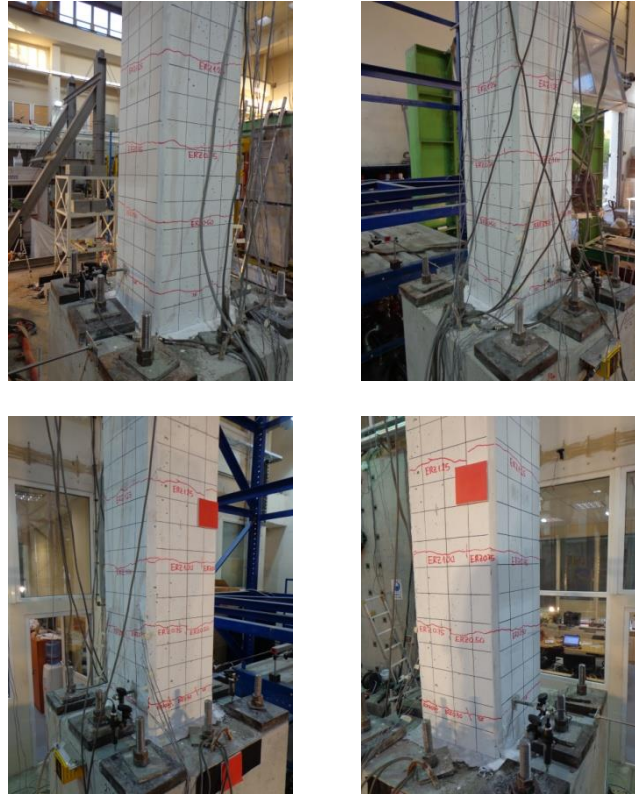
şekil 3.89 : ERZ1.00 testi sonrasında kolonda bulunan eğilme çatlakları.



şekil 3.90 : ERZ1.25 testi sonrasında kolonda bulunan eğilme çatlakları.

ERZ1.25 testini takiben çekiç (H7) testi ve beyaz gürültü (WN7) testi yapılmıştır. H7 ve WN7 testlerinden elde edilen titreşim frekansı değerleri sırasıyla 2.50 Hz ve 2.00 Hz olarak belirlenmiştir.

Sönümleyicili birleşim numunesine, Erzincan depremi doğu-batı bileşeni ivme kaydı 1.40 katının (ERZ1.40) etkitildiği test, sarsma tablasının yerdeğiştirme kapasitesine ulaşılması dolayısıyla, deneysel çalışmanın son testi olmuştur. ERZ1.40 testinde herhangi bir ilave çatlak oluşumu gözlemlenmediği gibi (Şekil 3.91) kolon ile temel arasına yerleştirilen harçta da çatlak meydana gelmemiştir (Şekil 3.92).



Şekil 3.91 : ERZ1.40 testi sonrasında kolonda bulunan eğilme çatlakları.

Deneysel çalışma süresince temelde, kolon üst ucunda, kısa konsol (guse) bölgesinde, kiriş-kolon birleşiminde bulunan rodlarda, kirişte, KES elemanda ve KES eleman bağlantılarında göz ile görülür herhangi bir hasar meydana gelmemiştir (Şekil 3.93).

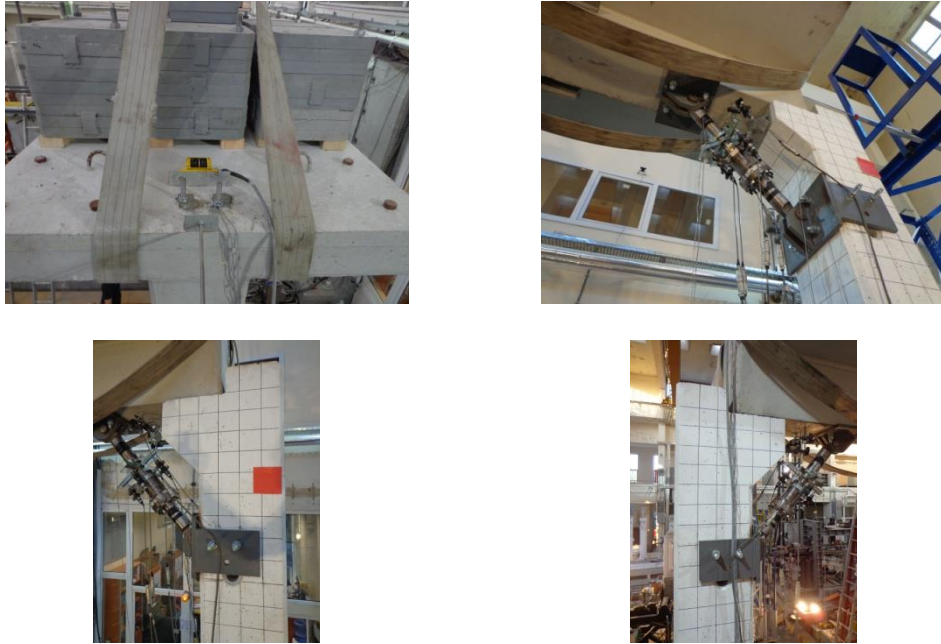
ERZ1.40 testinden sonra çekiç (H8) testi ve beyaz gürültü (WN8) testi gerçekleştirilmiştir. Bu testler sonucunda numuneye ait titreşim frekansı sırasıyla 2.40 Hz ve 2.00 Hz olarak elde edilmiştir.

Çalışma süresince deney güvenliğini sağlamak için laboratuvar kreninden sarkıtılan halatlar ile numune bağlanmıştır. Kiriş gövdesinin her iki yanında, tabla altlarından

geçirilen halatların sıklığı numune davranışını etkilemeyecek şekilde ayarlanmıştır (Şekil 3.93).



Şekil 3.92 : ERZ1.40 testi sonrasında kolon-temel birleşimi.



Şekil 3.93 : ERZ1.40 testi sonrasında kiriş-kolon birleşimi.

Betonarme prefabrike kiriş-kolon birleşiminin sönümleyicili hali için gerçekleştirilen dinamik deney süresince yürütülen tüm testler, elde edilen titreşim frekansı değerleri, test sırasında oluşan yeni çatlakların konumları ve kalınlıkları, test sırasına uygun olarak, Çizelge 3.4’te özet olarak sunulmuştur.

Çizelge 3.4 : Sönümleyicili birleşime ait dinamik test geçmişi ve kolondaki hasar dağılımı.

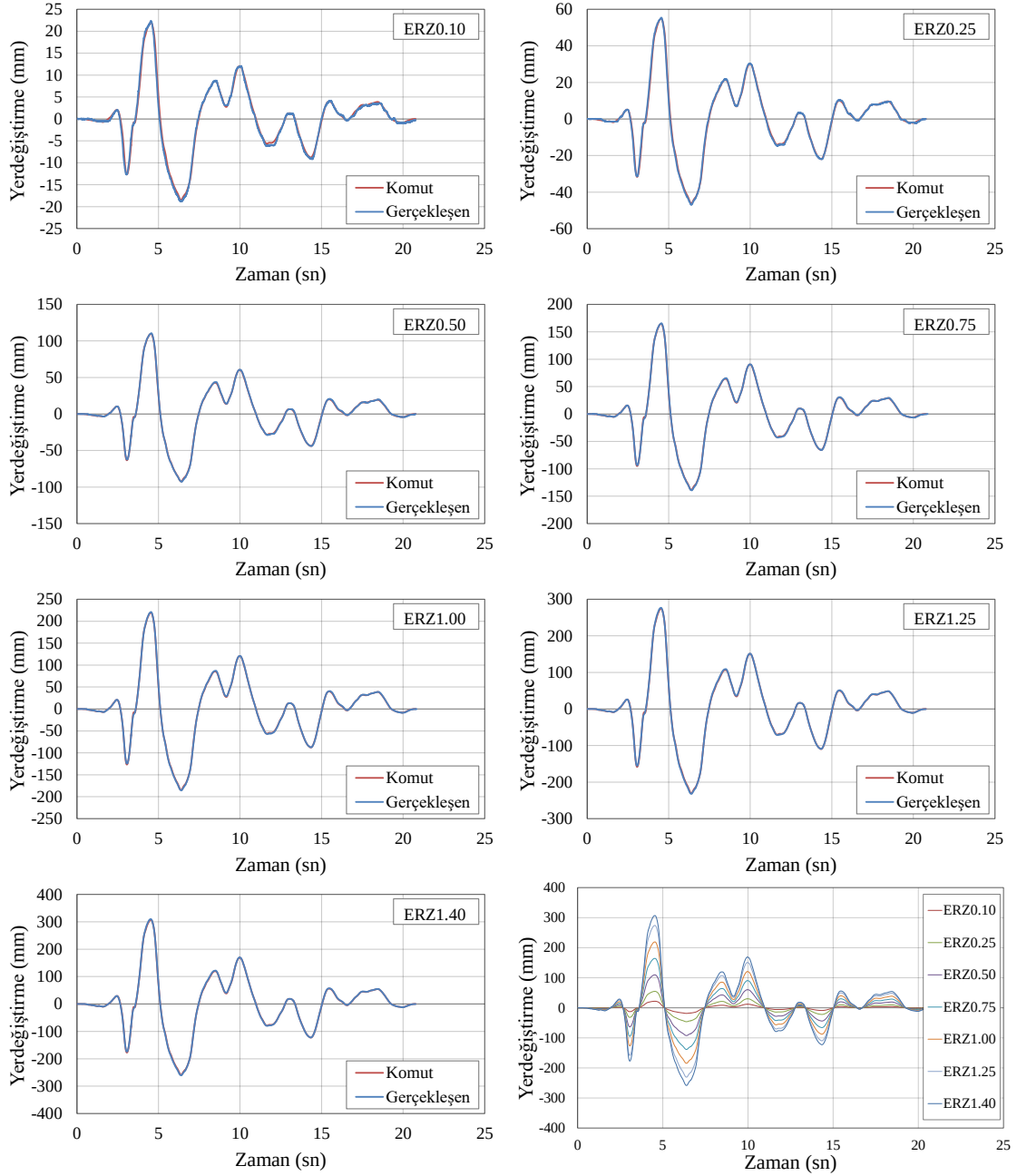
Test Etiketleri	Frekans (Hz)	Açıklama	Çatlak Konumu (cm) (Kolon alt ucundan mesafe)	Çatlak kalınlığı (mm)
H1	3.40	1. çekiç testi	-	-
WN1	2.80	1. beyaz gürültü testi	-	-
SF1	2.50	1. basamak fonksiyonu testi	10	≤ 0.1
ERZ0.10	-	Erzincan D-B (×0.10)	-	-
H2	3.30	2. çekiç testi	-	-
WN2	2.50~2.60	2. beyaz gürültü testi	-	-
ERZ0.25	-	Erzincan D-B (×0.25)	-	-
H3	3.20	3. çekiç testi	-	-
WN3	2.50~2.60	3. beyaz gürültü testi	-	-
ERZ0.50	-	Erzincan D-B (×0.50)	32.5	≤ 0.1
H4	3.20	4. çekiç testi	-	-
WN4	2.30~2.40	4. beyaz gürültü testi	-	-
ERZ0.75	-	Erzincan D-B (×0.75)	55	≤ 0.1
H5	3.20	5. çekiç testi	-	-
WN5	2.20	5. beyaz gürültü testi	-	-
ERZ1.00	-	Erzincan D-B (×1.00)	-	-
H6	2.50	6. çekiç testi	-	-
WN6	2.10	6. beyaz gürültü testi	-	-
ERZ1.25	-	Erzincan D-B (×1.25)	80	≤ 0.1
H7	2.50	7. çekiç testi	-	-
WN7	2.00	7. beyaz gürültü testi	-	-
ERZ1.40	-	Erzincan D-B (×1.40)	-	-
H8	2.40	8. çekiç testi	-	-
WN8	2.00	8. beyaz gürültü testi	-	-

3.5.2.2 Aletsel büyüklükler

Sönümleyicili birleşim numunesinin test edildiği deneysel çalışmada, Erzincan yer hareketinin doğu-batı bileşenine ait ivme fonksiyonu yerdeğiştirme-zaman fonksiyonuna dönüştürülerek sarsma masasına etkilmiştir. Deneysel çalışma boyunca gerçekleştirilen tüm testler için sarsma masasında meydana gelen yerdeğiştirme kayıt altına alınmış ve uygulanan komut fonksiyonu ile karşılaştırılmıştır. Tüm testler için sarsma masasına komut olarak gönderilen yerdeğiştirme ile gerçekleşen yerdeğiştirme fonksiyonu birbirine oldukça yakındır (Şekil 3.94).

Hedef ivme-zaman ilişkisi (komut) ile sarsma masası üzerine yerleştirilen ivmeölçer ile kaydedilen ivme-zaman ilişkisi karşılaştırılmıştır. Böylece deprem etkisinin ivme biçimindeki doğruluğu da kontrol edilmiştir. Deneysel çalışmada gerçekleştirilen

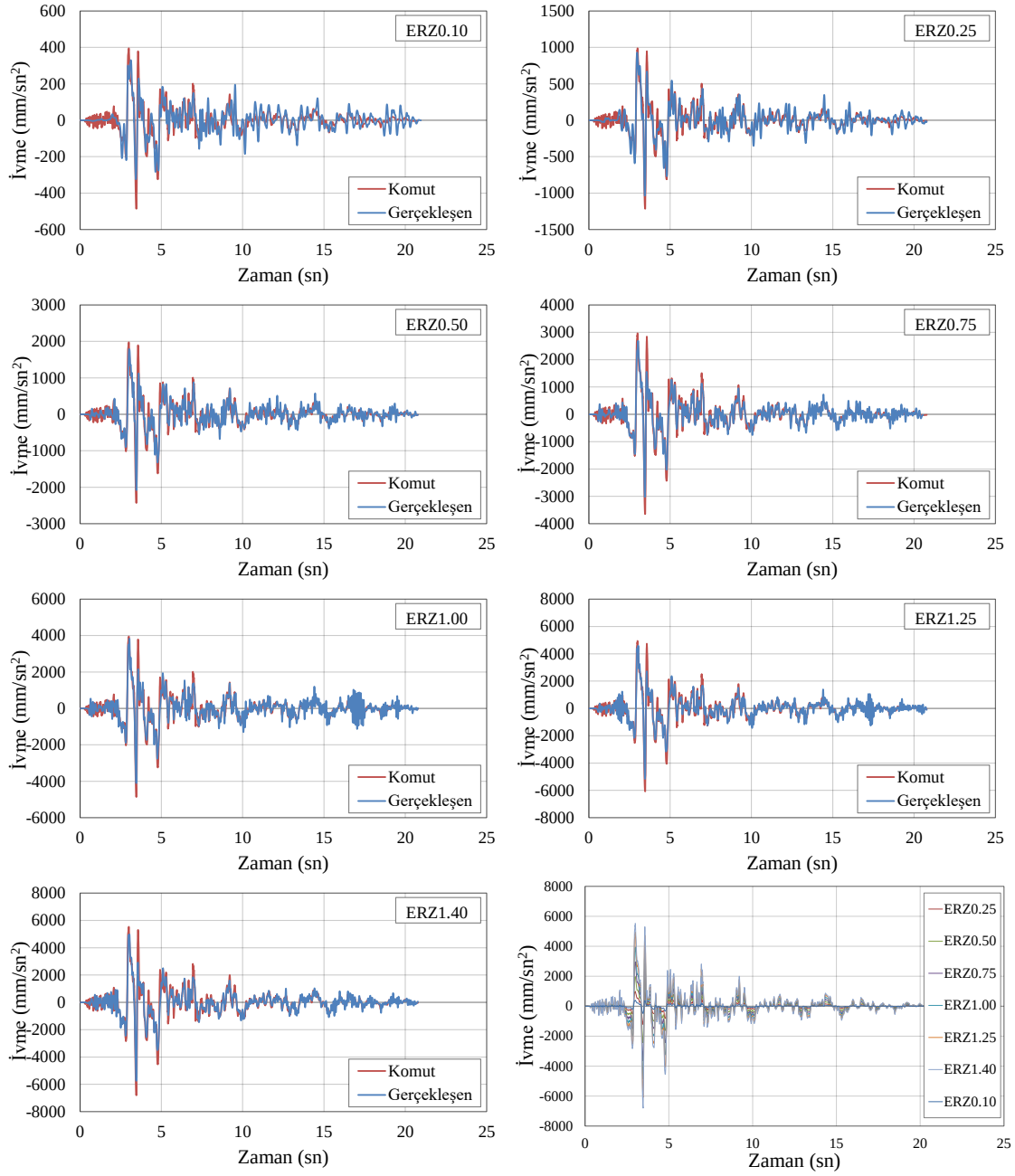
testler için, sarsma masasına etkililen Erzican depremi doğu-batı bileşeni ivme-zaman kayıtları ile sarsma masasında oluşan ivme-zaman kayıtları uyum içerisinde (Şekil 3.95).



Şekil 3.94 : Deneysel çalışmada sarsma masasına uygulanan ve sarsma masasında gerçekleşen yerdeğiştirme-zaman ilişkileri (Sönümleyicili birleşim).

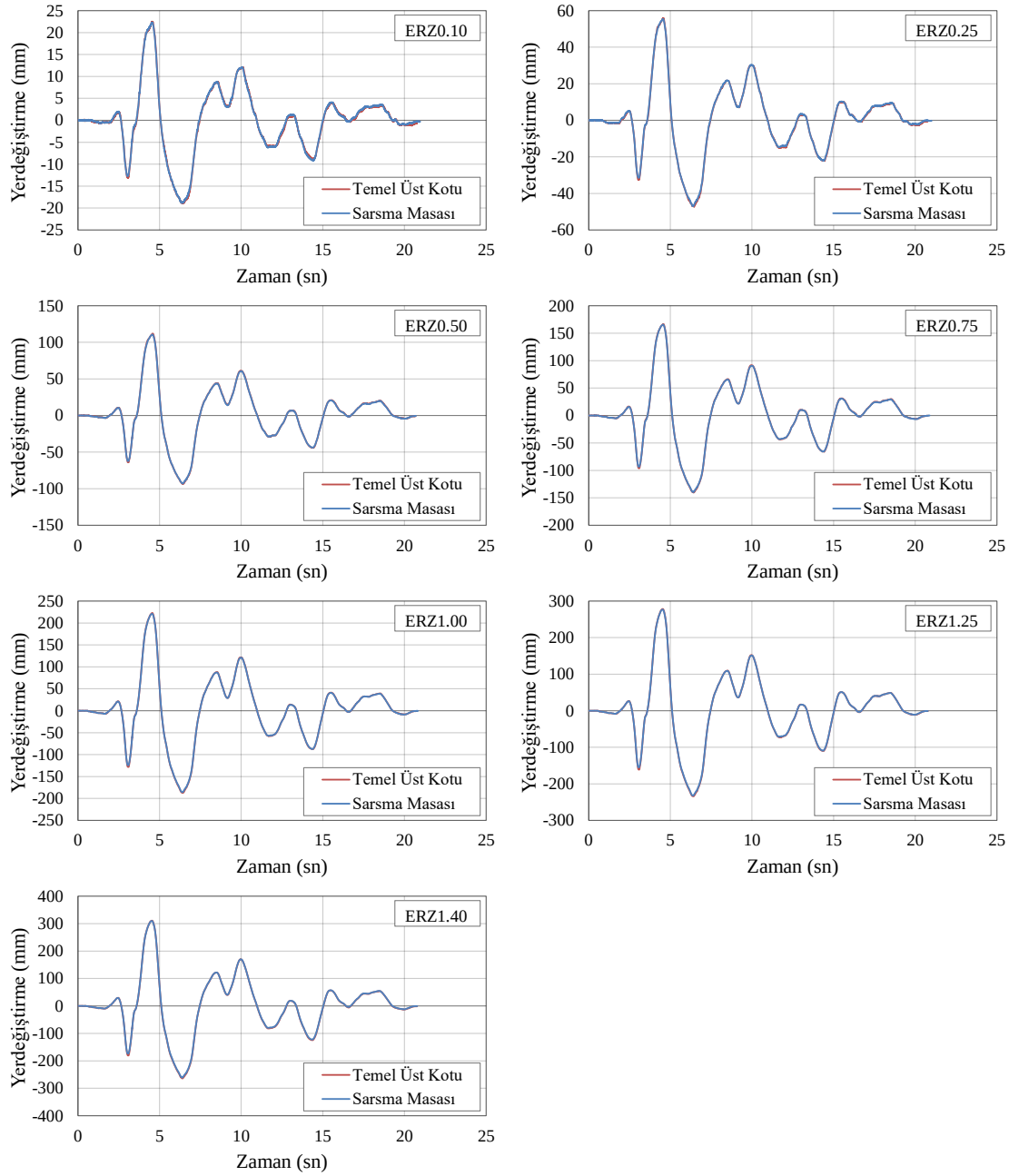
Numune temelinin sarsma masası ile bağlantısı rijit olacak biçimde yapıldığı için karşılaştırılan büyüklüklerin çok yakın olması beklenmektedir. Bu nedenle, deneysel çalışma süresince temel üst kotunda oluşan yerdeğiştirme-zaman ilişkisi ile sarsma masasında oluşan yerdeğiştirme-zaman ilişkisi karşılaştırılmıştır (Şekil 3.96). Benzer

şekilde temel üst kotunda oluşan ivme-zaman ilişkisi ile sarsma masasında oluşan ivme-zaman ilişkisi de karşılaştırılmıştır (Şekil 3.97).



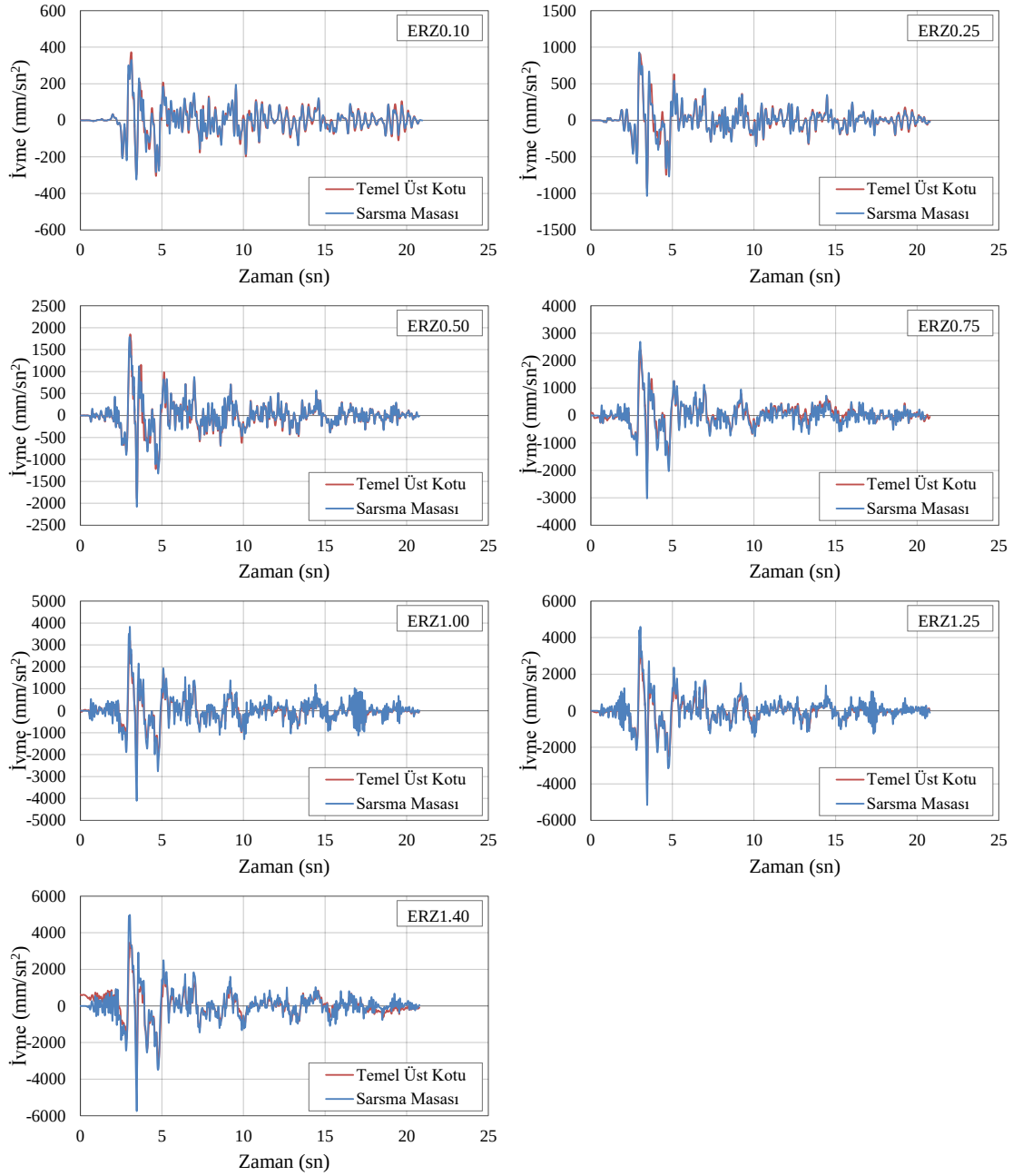
Şekil 3.95 : Deneysel çalışmada sarsma masasına uygulanan ve sarsma masasında gerçekleşen ivme-zaman ilişkileri (Sönümleyicili birleşim).

Deneysel çalışma boyunca sarsma masasında ve temel üst kotunda meydana gelen yerdeğiştirme değerlerinin zamana bağlı olarak değişimi, Erzincan depremi doğu-batı bileşenine ait ivme kaydının uygulanan tüm oranları için, aynı biçimde elde edilmiştir (Şekil 3.96).



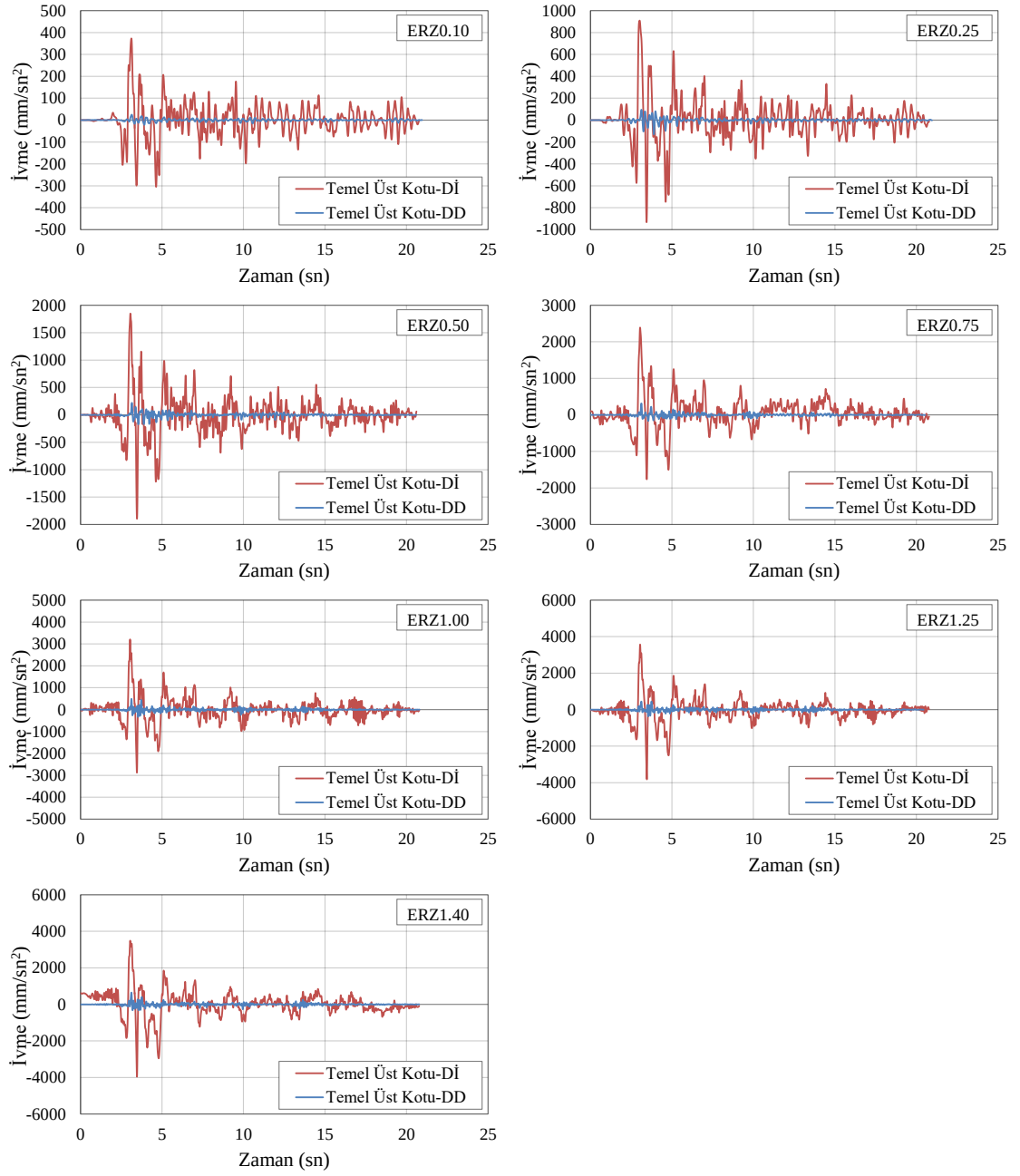
Şekil 3.96 : Deneysel çalışma sürecinde temel üst kotunda ve sarsma masasında oluşan yerdeğiştirme-zaman ilişkileri (Sönümleyicili birleşim).

Temel üst kotu ve sarsma tablası seviyesinde, hareket doğrultusunda kaydedilen ivme-zaman ilişkileri de Şekil 3.97’de verilmiştir. Tüm yer hareketi durumlarında karşılaştırılan her iki seviyedeki ivme-zaman ilişkileri arasındaki uyum oldukça iyidir. ERZ1.40 testinin başlangıcında temel üst kotunda oluşan ivme, sarsma masasında oluşan ivmeden biraz büyük olsa da 2. saniyeden sonra bu fark kapanmış ve testin geri kalan süresinde iyi bir uyum yakalanmıştır.



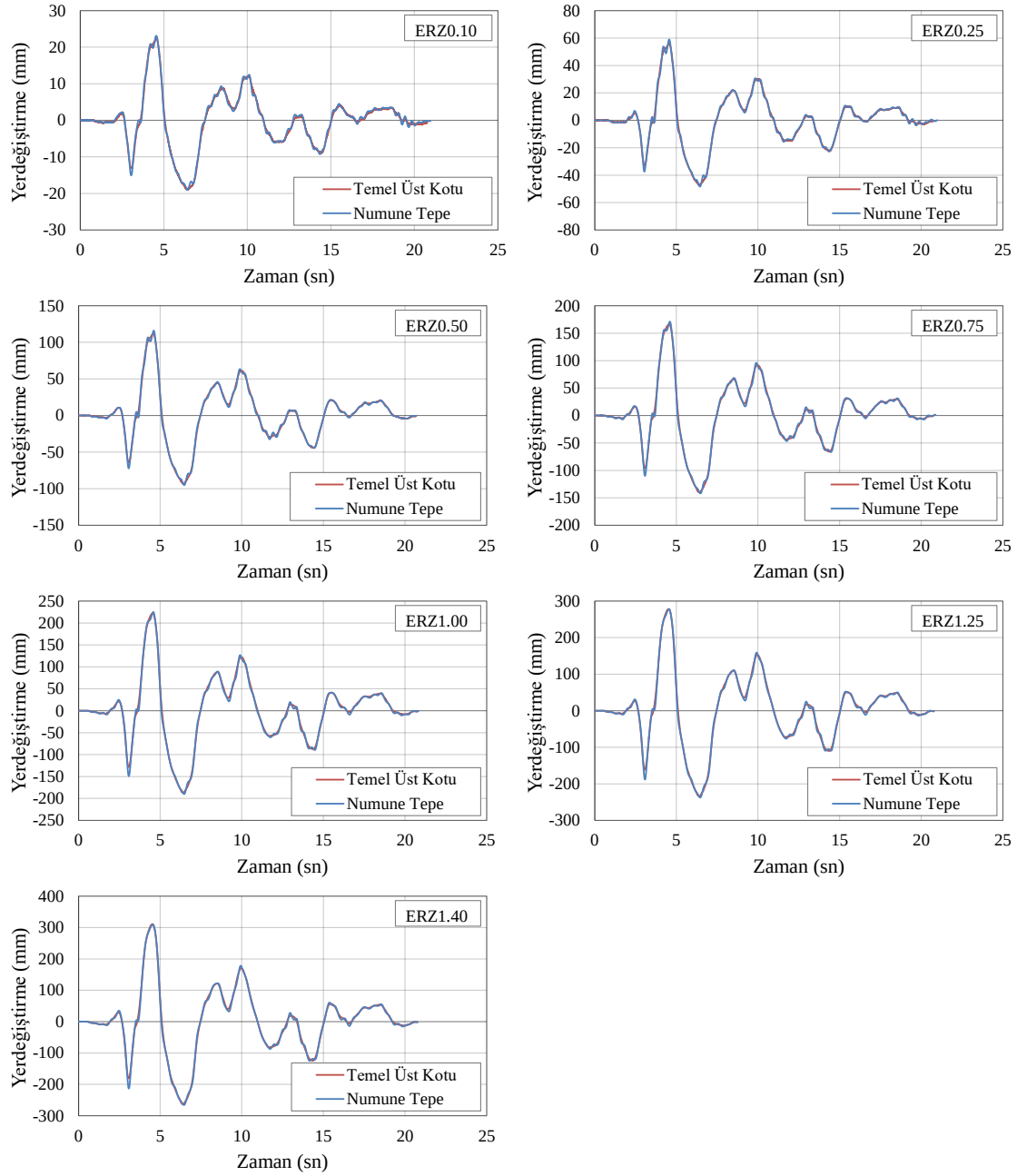
Şekil 3.97 : Deneysel çalışma sürecinde temel üst kotunda ve sarsma masasında oluşan ivme-zaman ilişkileri (Sönümleyicili birleşim).

Deneysel çalışmada kullanılan yer hareketinin tüm katları için, temel üst kotunda hareket doğrultusuna dik (düzlem dışı, DD) ve hareket doğrultusunda (düzlem içi, Dİ) oluşan ivme-zaman ilişkisi Şekil 3.98’de verilmiştir. Deneysel çalışma süresince hareket doğrultusuna dik doğrultuda oluşan ivmelenmenin, hareket doğrultusunda oluşan ivmelenmeye kıyasla oldukça küçük kaldığı görülmektedir.



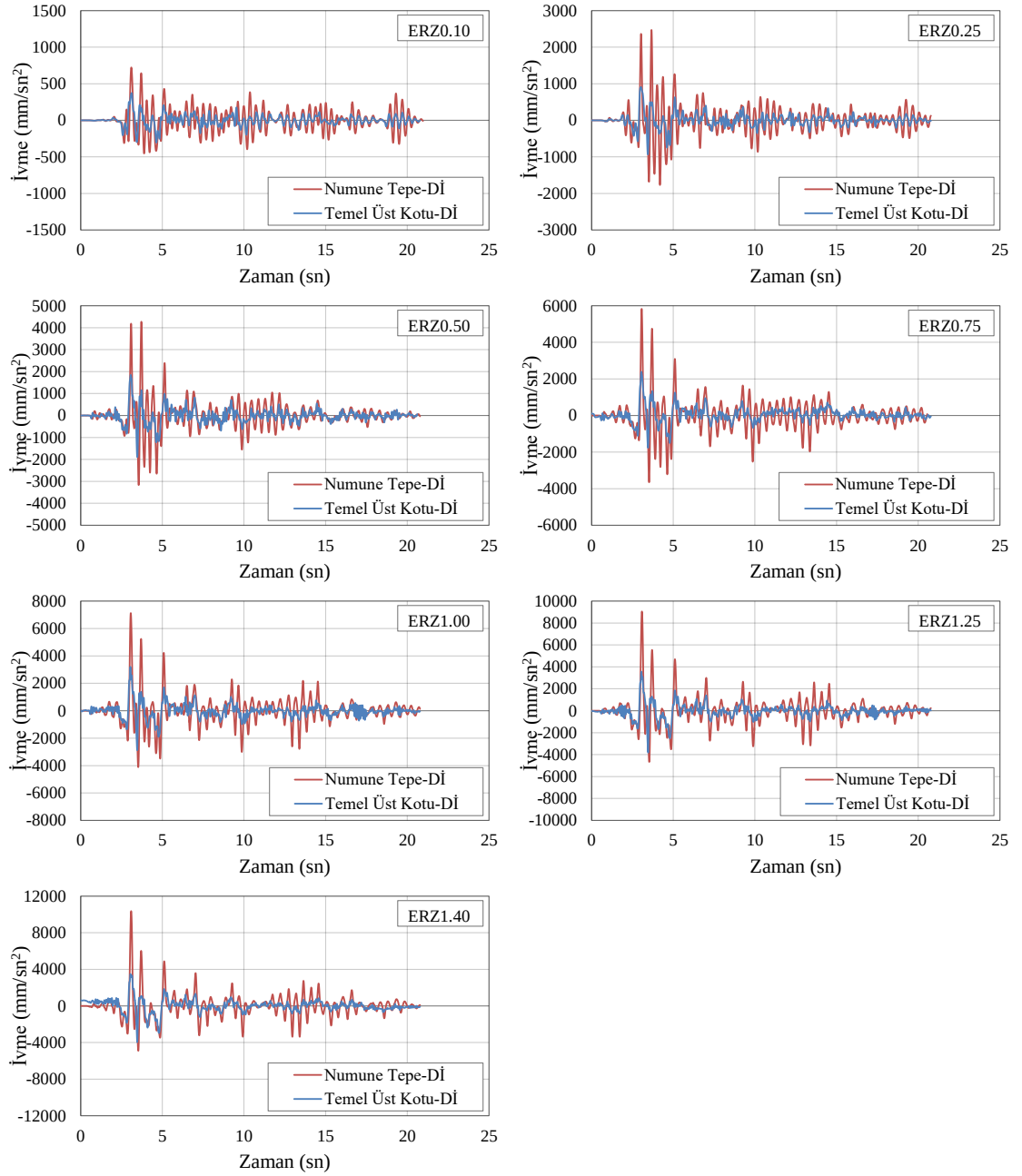
Şekil 3.98 : DeneySEL çalışma sürecinde temel üst kotunda oluşan düzlemiçi (Dİ) ve düzlem dışı (DD) ivme-zaman ilişkileri (Sönümleyicili birleşim).

Prefabrik betonarme kiriş-kolon birleşimi numunesinin sönümleyicili olarak incelendiği dENEYSEL çalışmadan elde edilen numune tepe ve temel üst kotu yatay yerdeğiştirme-zaman ilişkisi kayıt altına alınmıştır. Numune tepe ve temel üst kotu yatay yerdeğiştirmeleri Şekil 3.99’da bir arada sunulmuştur. Yerdeğiştirme-zaman ilişkileri hareket doğrultusundaki mutlak yerdeğiştirme değerlerini ifade etmektedir.



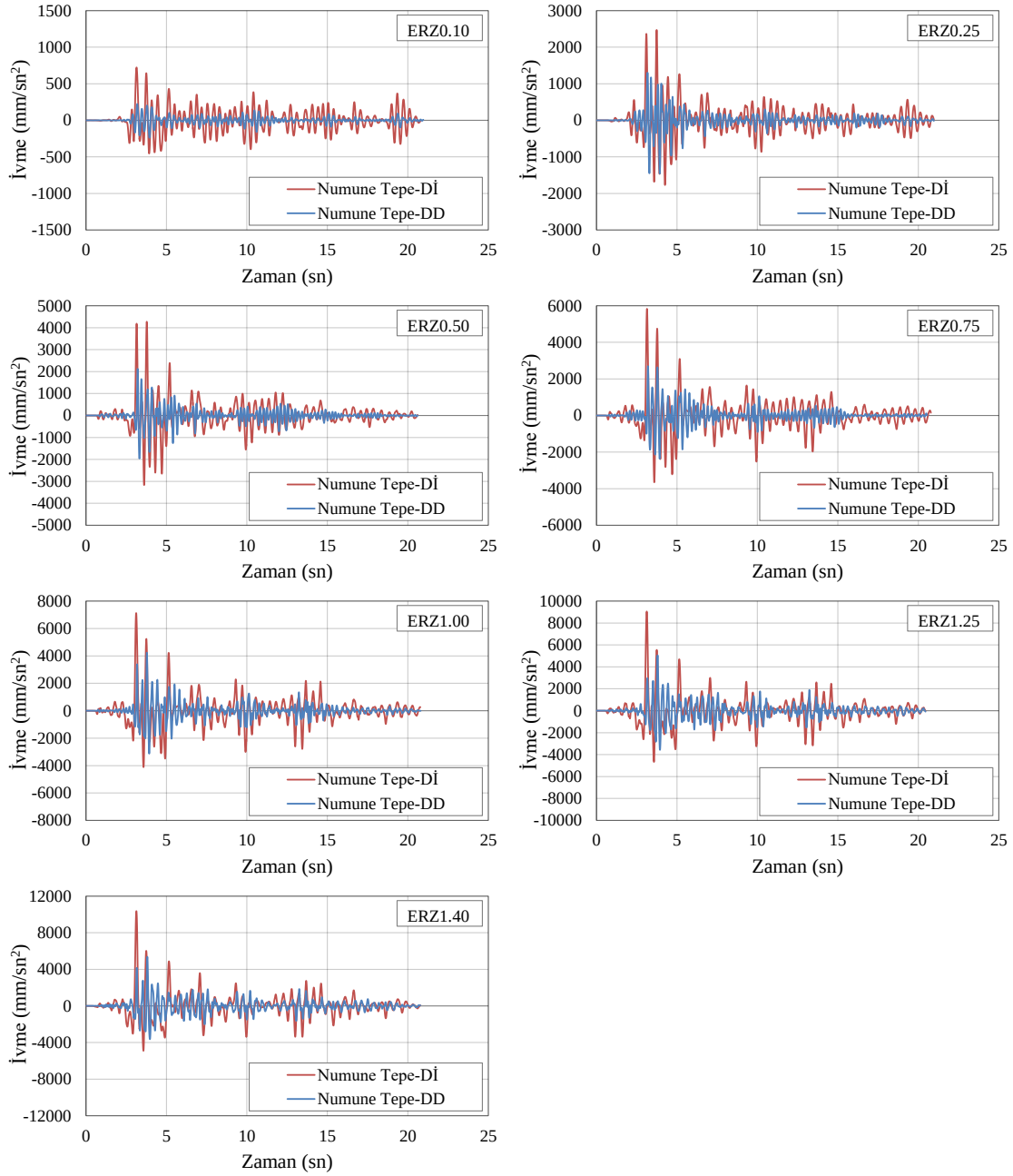
Şekil 3.99 : Deneysel çalışma sürecinde numunenin tepe ve temel üst kotlarında oluşan yerdeğiştirme-zaman ilişkileri (Sönümleyicili birleşim).

Sönümleyicili birleşim numunesi tepe ve temel üst kotunda düzlem içinde oluşan ivme büyüklüklerinin zamana göre değişimi incelendiğinde, uygulanan yer hareketi kat sayısının büyümesiyle, her iki kotta oluşan ivme büyüklüklerinin giderek arttığı görülmektedir (Şekil 3.100).



Şekil 3.100 : Deneysel çalışma sürecinde numunenin tepe ve temel üst kotlarında oluşan ivme-zaman ilişkileri (Sönümleyicili birleşim).

Numune tepesinde, hareket doğrultusuna paralel (Dİ) ve hareket doğrultusuna dik (DD) olarak meydana gelen ivme büyüklükleri Şekil 3.101’de sunulmuştur. Deney düzeneği içerisinde numunenin düzlem dışı hareketini sınırlandıracak herhangi bir sistem bulunmaması, numune kütlelerinin yoğunlukla numune tepe seviyesinde olması ve numuneye sönümleyici ilave edilmesi dolayısıyla numune tepe kotunda oluşacak düzlem dışı ivme değerinin, temel üst kotunda oluşacak düzlem dışı ivme değerinden büyük olması beklenmektedir.



Şekil 3.101 : Deneysel çalışma sürecinde numune tepe kotunda oluşan düzlem içi (Dİ) ve düzlem dışı (Dİ) ivme-zaman ilişkileri (Sönümleyicili birleşim).

Numune tepe kotunda kaydedilen en büyük düzlem dışı ivme değerleri, düzlem içi ivme değerlerinin yaklaşık olarak yarısı mertebesinde (Şekil 3.101). Deneysel çalışmada gerçekleştirilen tüm testler için, numune tepe kotunda oluşan düzlem dışı ivme, temel üst kotunda oluşan düzlem dışı ivmeden daha büyüktür (Şekil 3.98 ve Şekil 3.101).

Kolon alt ucuna temel üst kotudan 12.5 cm yukarıya, numunenin hareket doğrultusunda iki adet yerdeğiştirme ölçer yerleştirilmiştir (Şekil 3.102). Kolon alt ucuna yerleştirilen yerdeğiştirme ölçerler arasındaki yatay mesafe 547 mm'dir.



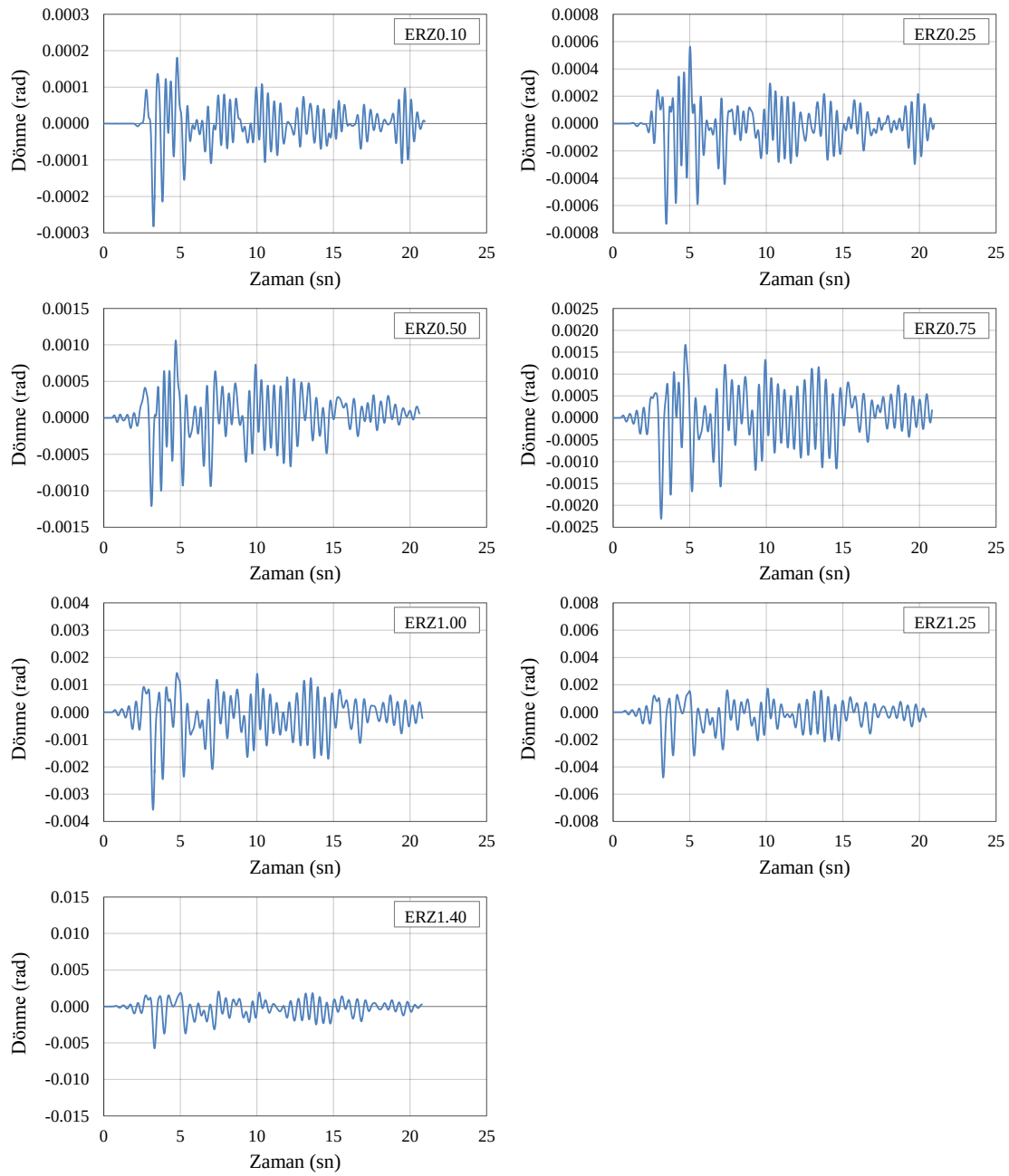
Şekil 3.102 : Kolon alt ucuna yerleştirilen yerdeğiştirme ölçerler (Sönümleyicili birleşim).

Kolon alt ucuna yerleştirilmiş iki adet yerdeğiştirme ölçerden alınan kayıtların farkı, yerdeğiştirme ölçerler arasındaki yatay mesafeye bölünerek, kolon alt ucundaki dönme hesaplanmıştır. Sönümleyicili birleşim numunesi için deneysel çalışmadan elde edilen kolon alt ucu dönme-zaman ilişkileri, testler için ayrı ayrı olmak üzere, Şekil 3.103'te verilmiştir.

Kullanılan yer hareketi kaydının 0.10 katı ile gerçekleştirilen testte kolon alt ucunda oluşan dönmenin en büyük değeri 0.00028 radyan iken, 1.40 katı ile gerçekleştirilen test için elde edilen en büyük dönme değeri yaklaşık 0.0057 radyan olarak hesaplanmıştır.

Sönümleyicili birleşim numunesinin kolon alt uç bölgesinde (yaklaşık olarak kolon enkesit boyutlarına eşit olarak (300 mm) belirlenen bir uzunluk içerisinde), kolon enkesitinde köşelerde yer alan boyuna donatılarda oluşan birim şekildeğiştirmeler izlenmiştir (Şekil 3.48). Bu bölge içerisinde boyuna donatı üzerine yerleştirilen şekildeğiştirme ölçerler alt, orta, üst olmak üzere üç farklı yükseklikte ve her yükseklikte dört adet olmak üzere kullanılmıştır (Şekil 3.104, Şekil 3.105 ve Şekil 3.106).

Deneysel çalışmada kullanılan yer hareketi, sönümleyicili birleşim numunesine tek doğrultuda uygulanmıştır. Dolayısıyla, CB1 ve CB2 etiketli şekildeğiştirme ölçerden alınacak verilerin birbiri ile yakın ve aynı işaretli olması beklenmektedir. Benzer şekilde, CB3 ve CB4 etiketli şekildeğiştirme ölçerlerden alınan verilerin de yakın ve aynı işaretli olması gerekmektedir. Ancak, numunede hareket doğrultusuna dik oluşacak (düzlem dışı) hareketin mertebesine bağlı olarak beklenen değerler farklılık gösterebilecektir.



Şekil 3.103 : Deneysel çalışma sürecinde kolon alt ucunda oluşan dönme-zaman ilişkileri (Sönümleyicili birleşim).

Deneysel çalışma esnasında sönümleyicili birleşime tek doğrultuda uygulanan deprem etkisi ile birlikte, kolon kesitinde eğilme meydana gelecek, kesitte çekme ve basınç bölgeleri oluşacak ve bu bölgeler zamana bağlı olarak yer değiştirecektir. Kolon kesitine etki eden iç kuvvetlere bağlı olarak tarafsız eksen, kesitin ağırlık merkezinden geçmeyecektir. Dolayısıyla CB1 ve CB3 ile CB2 ve CB4 etiketli şekildeğiştirme ölçerden alınacak verilerin birbiri ile zıt işarette ve farklı büyüklükte olması beklenmektedir. Ayrıca, düzlem dışı harekete bağlı olarak boyuna donatıda

meydana gelecek birim şekildeğiştirme değerlerinde bir miktar farklılık da ortaya çıkabilecektir.

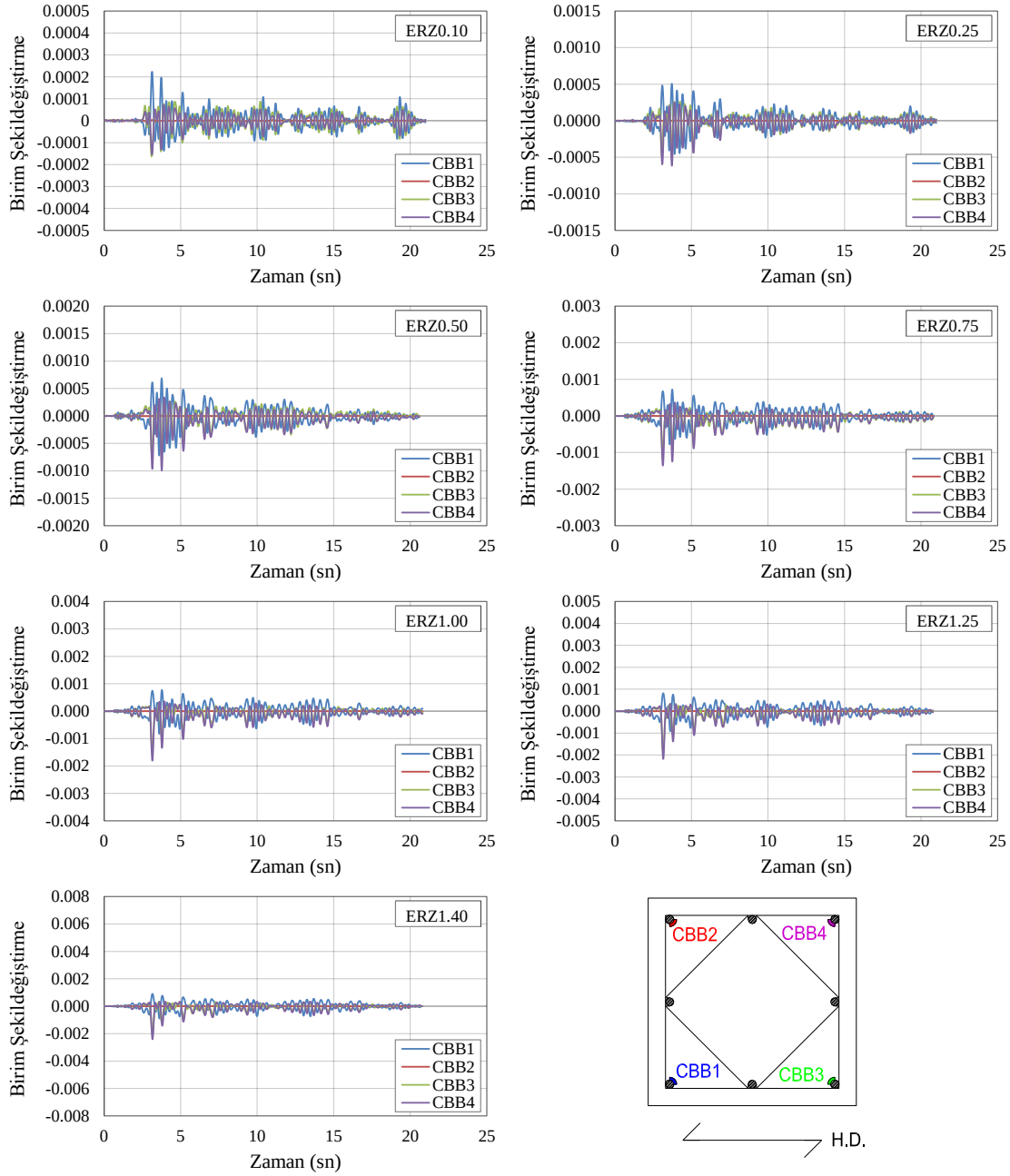
Kolon alt ucunda yer alan üç farklı kesitte, kolon enkesitinin köşelerinde bulunan boyuna donatılarda meydana gelecek birim şekildeğiştirme değerleri için yukarıda ifade edilen beklentiler geçerlidir. Ancak alt kesitte oluşması beklenen şekildeğiştirme değerleri (CBB1, CBB2, CBB3, CBB4), orta kesitte oluşması beklenen şekildeğiştirme değerlerine (CBM1, CBM2, CBM3, CBM4) kıyasla büyük olmalıdır. Benzer şekilde, orta kesitte oluşması beklenen şekildeğiştirme değerlerinin, üst kesitte oluşması beklenen şekildeğiştirme değerlerinden (CBT1, CBT2, CBT3, CBT4) büyük olması beklenmektedir.

Sönümleyicili birleşim numunesinde, alt kesitte yer alan 2 numaralı (CBB2) şekildeğiştirme ölçer ile alınan veri tüm testler için aynı mertebededir ve diğer şekildeğiştirme ölçerlerden alınan verilerden oldukça küçük kalmıştır. Bu nedenle CBB2 etiketli veriler grafiklerde yer almış ancak değerlendirmeye alınmamıştır. Deneysel çalışma sırasında gerçekleştirilen tüm testlerden, kolon alt ucu alt, orta ve üst kesiti için elde edilen birim şekildeğiştirme-zaman ilişkileri sırasıyla Şekil 3.104, Şekil 3.105 ve Şekil 3.106'da sunulmuştur.

Sönümleyicili birleşim numunesi ile gerçekleştirilen deneysel çalışmada, kolon alt ucu alt kesitinden alınan şekildeğiştirme değerlerinin beklenildiği gibi oluştuğu görülmektedir. Yer hareketinin 0.10 katının etkilendiği testte oluşan en büyük birim şekildeğiştirme büyüklüğü 0.000223 olarak elde edilmiştir. ERZ1.40 testinde kolon alt ucu alt kesiti için ulaşılan en büyük boyuna donatı birim şekildeğiştirme değeri ise 0.0024 olarak belirlenmiştir. Numunelerde kullanılan kolon boyuna donatısı için, malzeme deneylerinden elde edilen akma birim şekildeğiştirme ortalama değeri 0.0026 olduğu göz önüne alındığında, deneysel çalışma süresince kolon alt ucu alt kesitinde bulunan boyuna donatılarda akma birim şekildeğiştirme değerine oldukça yaklaşıldığı ancak bu değerin aşamadığı anlaşılmaktadır (Şekil 3.104).

Sönümleyicili birleşim numunesi ile gerçekleştirilen deneysel çalışmada, kolon alt ucu orta ve üst kesitlerinden alınan şekildeğiştirme değerlerinin de beklenildiği gibi oluştuğu görülmektedir. Deneysel çalışma süresince uygulanan testlerde boyuna donatıda meydana gelen birim şekildeğiştirme değerleri giderek artmıştır ancak

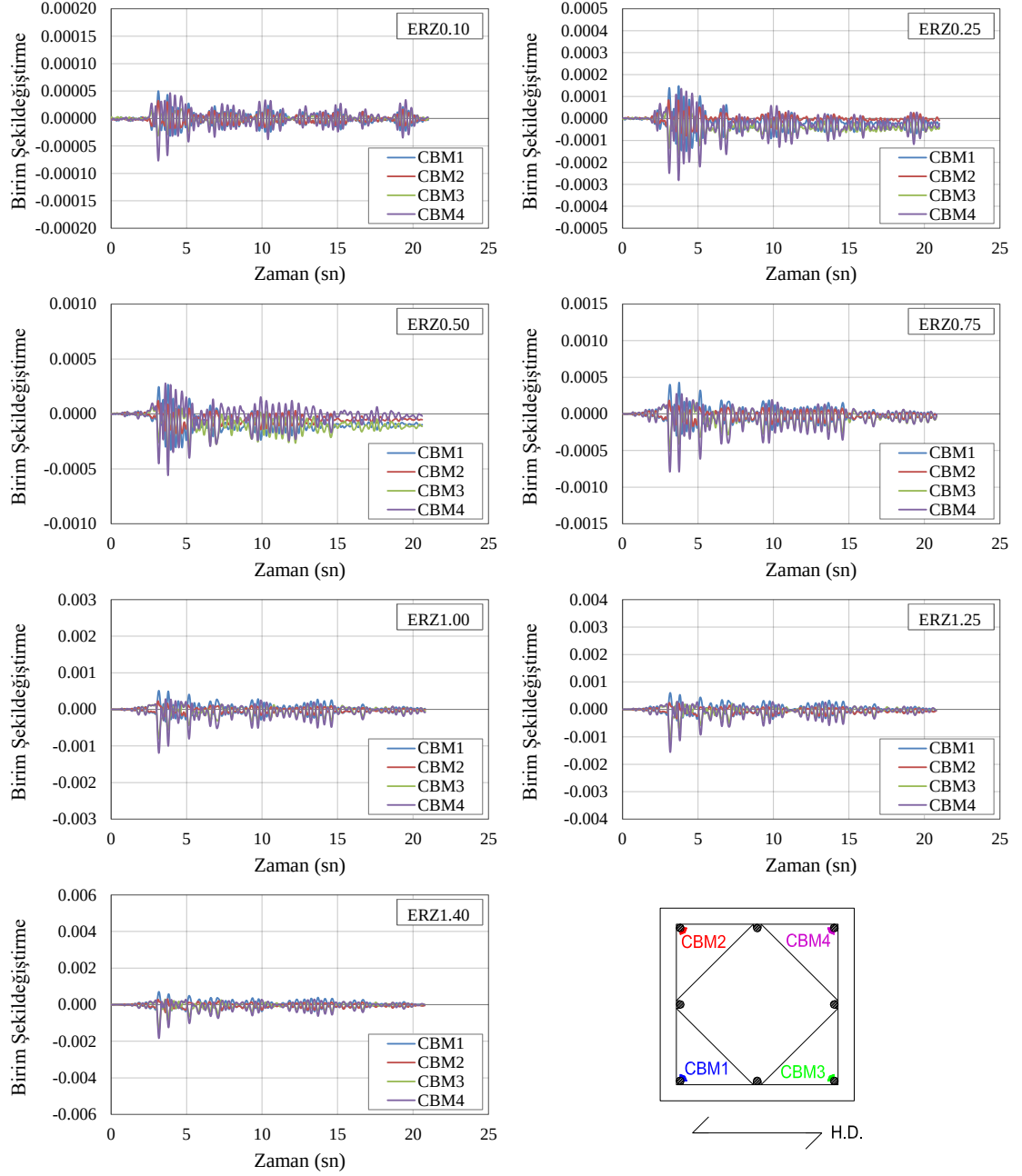
boyuna donatıda akma birim şekildeğiştirme değerine ulaşlamamıştır (Şekil 3.105 ve Şekil 3.106).



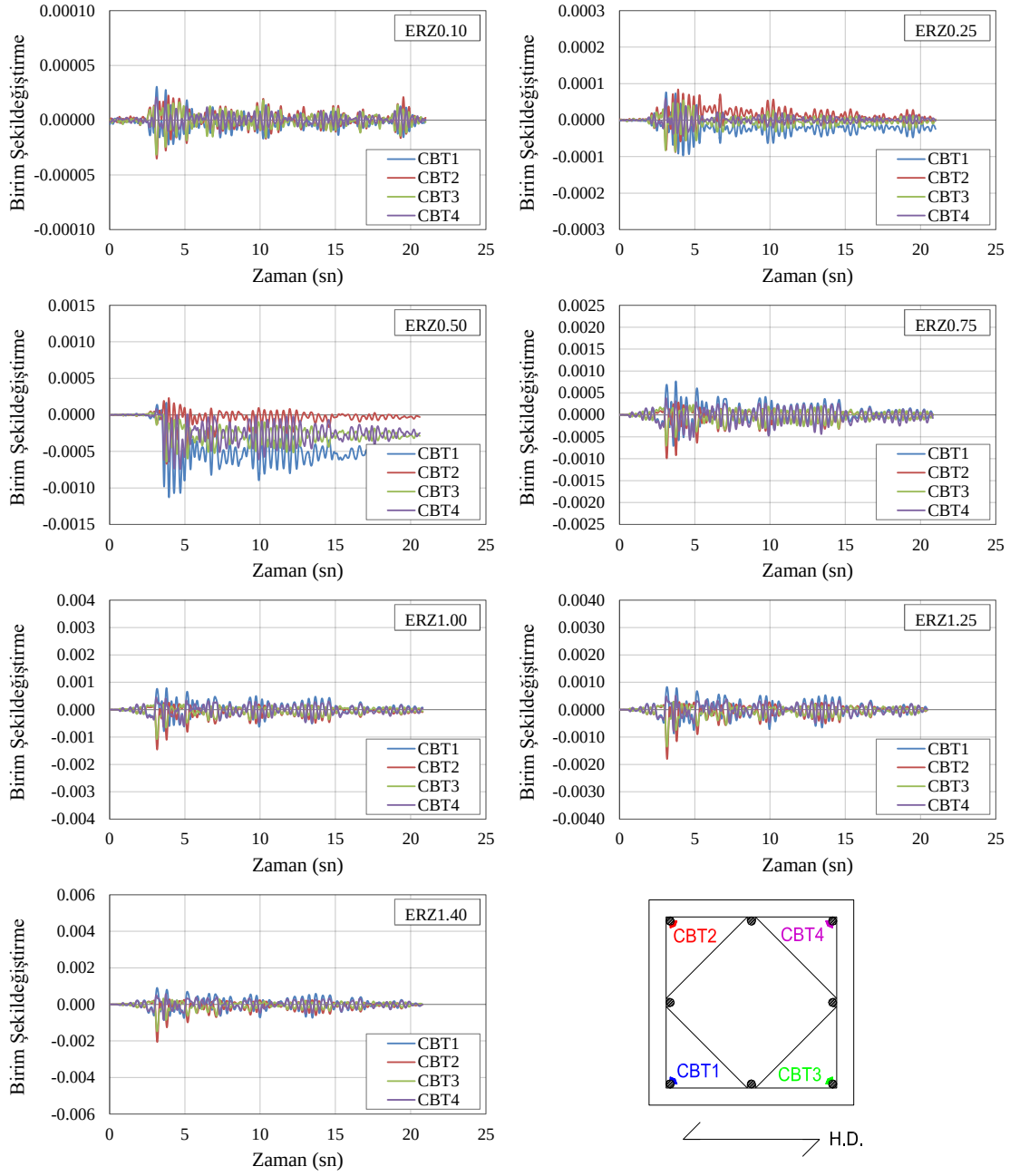
Şekil 3.104 : Deneysel çalışma sürecinde kolon alt ucu alt kesitte oluşan şekildeğiştirme-zaman ilişkileri (Sönümleyicili birleşim).

Erzincan depremi doğu-batı bileşeninin sönümleyicili birleşim numunesine etkitildiği deneysel çalışmada, ERZ0.10, ERZ0.25 ve ERZ0.50 testlerinden elde edilen boyuna donatı birim şekildeğiştirme değerleri alt kesitten üst kesite çıkıldıkça azalmıştır. 0.50ERZ testi ile birlikte kolon alt ucunda meydana gelen eğilme çatlakları, şekildeğiştirme ölçerlerin yerleştirildiği alt ve üst kesite oldukça yakın meydana gelmiştir. İlerleyen testlerde ise alt kesitte meydana gelen boyuna donatı birim

şekildeğiştirme değeri üst kesitte meydana gelen değlerden daha büyüktür. Üst kesitte meydana gelen boyuna donatı birim şekildeğiştirme değeri ise orta kesitte meydana gelen değlere yakın fakat büyük olarak elde edilmiştir (Şekil 3.104, Şekil 3.105, Şekil 3.106).



Şekil 3.105 : Deneysel çalışma sürecinde kolon alt ucu orta kesitte oluşan şekildeğiştirme-zaman ilişkileri (Sönümleyicili birleşim).

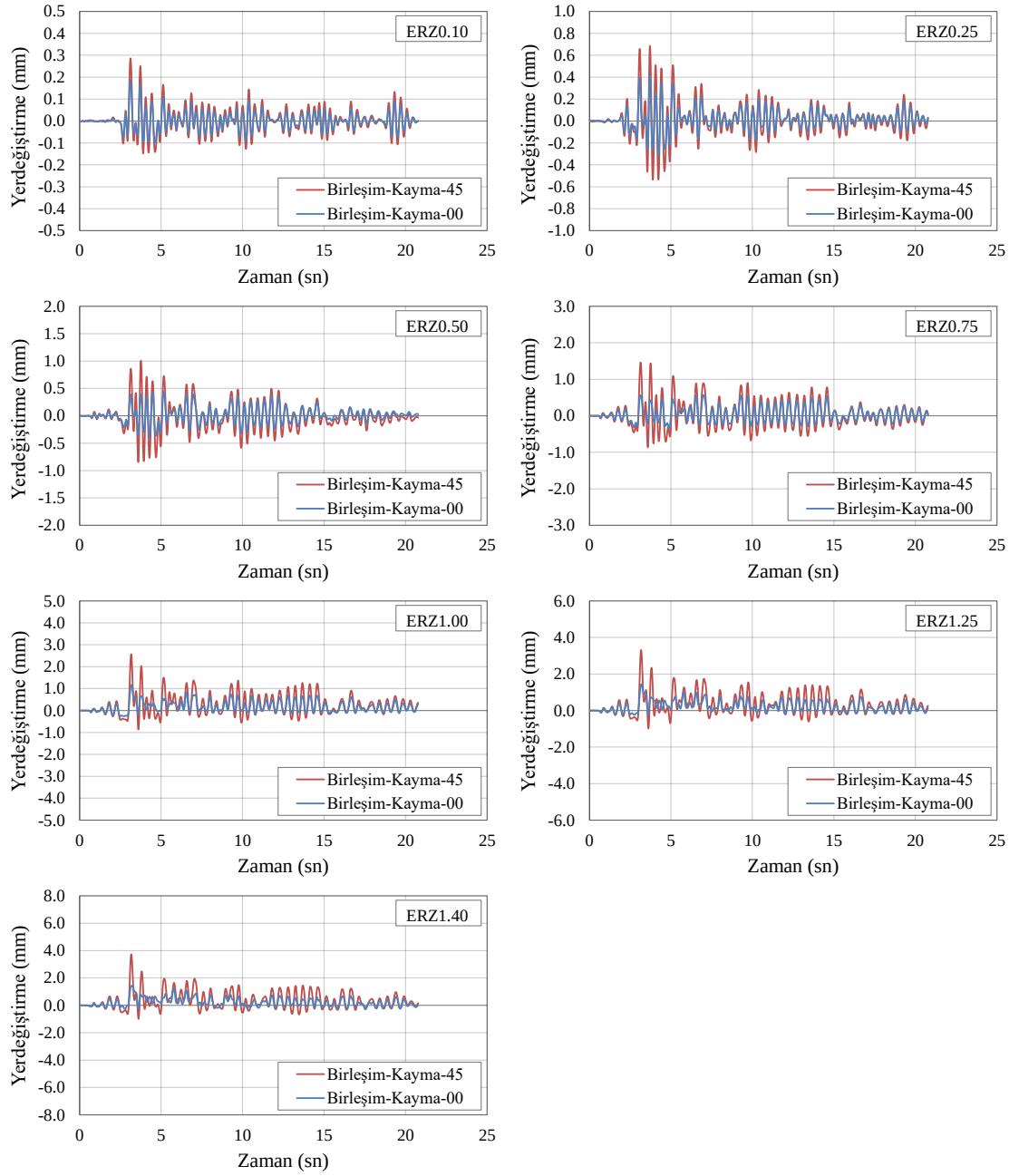


Şekil 3.106 : Deneysel çalışma sürecinde kolon alt ucu üst kesitte oluşan şekildeğiştirme-zaman ilişkileri (Sönümleyicili birleşim).

Sönümleyici yerleştirilmiş kiriş-kolon birleşimine, yataya ve yatay ile 45° açılı yapacak doğrultuda iki adet yerdeğiştirme ölçer yerleştirilmiştir (Şekil 3.107). Kiriş-kolon birleşiminde meydana gelen bağıl kaymanın zamana bağlı olarak değişimi bu yerdeğiştirme ölçerler aracılığı ile takip edilmiştir (Şekil 3.108). Yerdeğiştirme ölçerlerden alınan veriler ve Eşitlik 3.3 kullanılarak, kiriş-kolon birleşiminde meydana gelen dönme miktarı belirlenmiştir (Şekil 3.109).

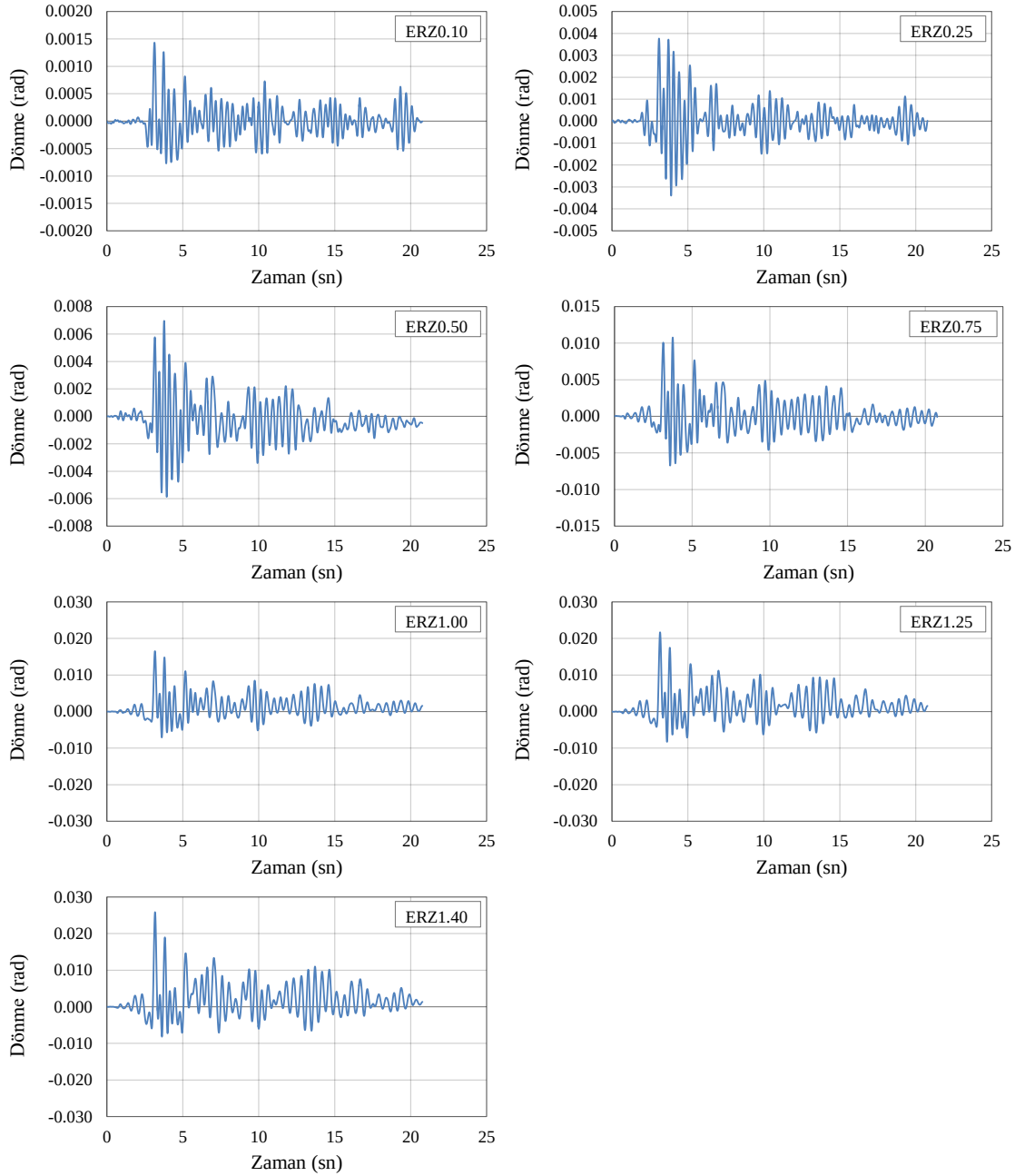


Şekil 3.107 : Kiriş-kolon birleşim bölgesine yerleştirilen yerdeğiştirme ölçerler (Sönümleyicili birleşim).



Şekil 3.108 : Deneyisel çalışma sürecinde kiriş-kolon birleşim bölgesine ait göreceli yerdeğiştirme-zaman ilişkileri (Sönümleyicili birleşim).

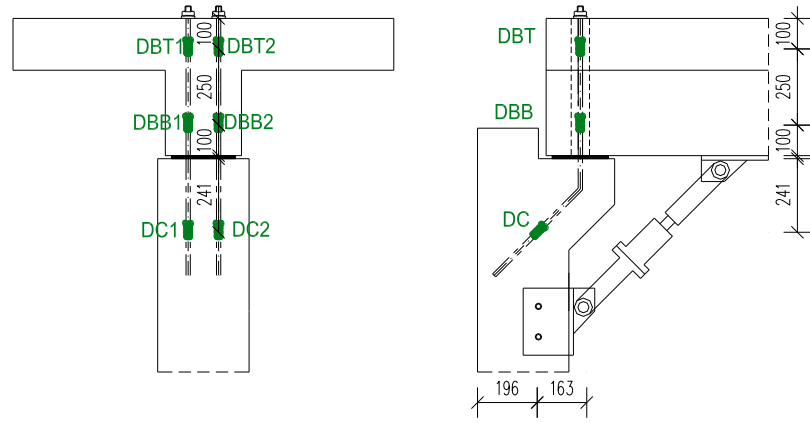
Kiriş-kolon birleşiminde takip edilen her iki yerdeğiştirmenin ölçülebilmesi için, kapasitesi ± 5 mm olan CDP10 türü yerdeğiştirme ölçer kullanılmıştır. Sönümleyicili birleşim numunesi ile gerçekteştirilen tüm deney süresince her iki yerdeğiştirme ölçerden sağlıklı biçimde veri alınabilmıştır. ERZ0.10 testi sırasında kiriş-kolon birleşiminde meydana gelen en büyük yatay hareket (kayma) değeri yaklaşık olarak 0.20 mm'dir. Kiriş-kolon birleşimi için elde edilen en büyük kayma değeri ise yaklaşık olarak 1.45 mm olup, ERZ1.40 testinde kayıt edilmiştir (şekil 3.108).



şekil 3.109 : Deneysel çalışma sürecinde elde edilen kiriş-kolon birleşim bölgesine ait dönme-zaman ilişkileri (Sönümleyicili birleşim).

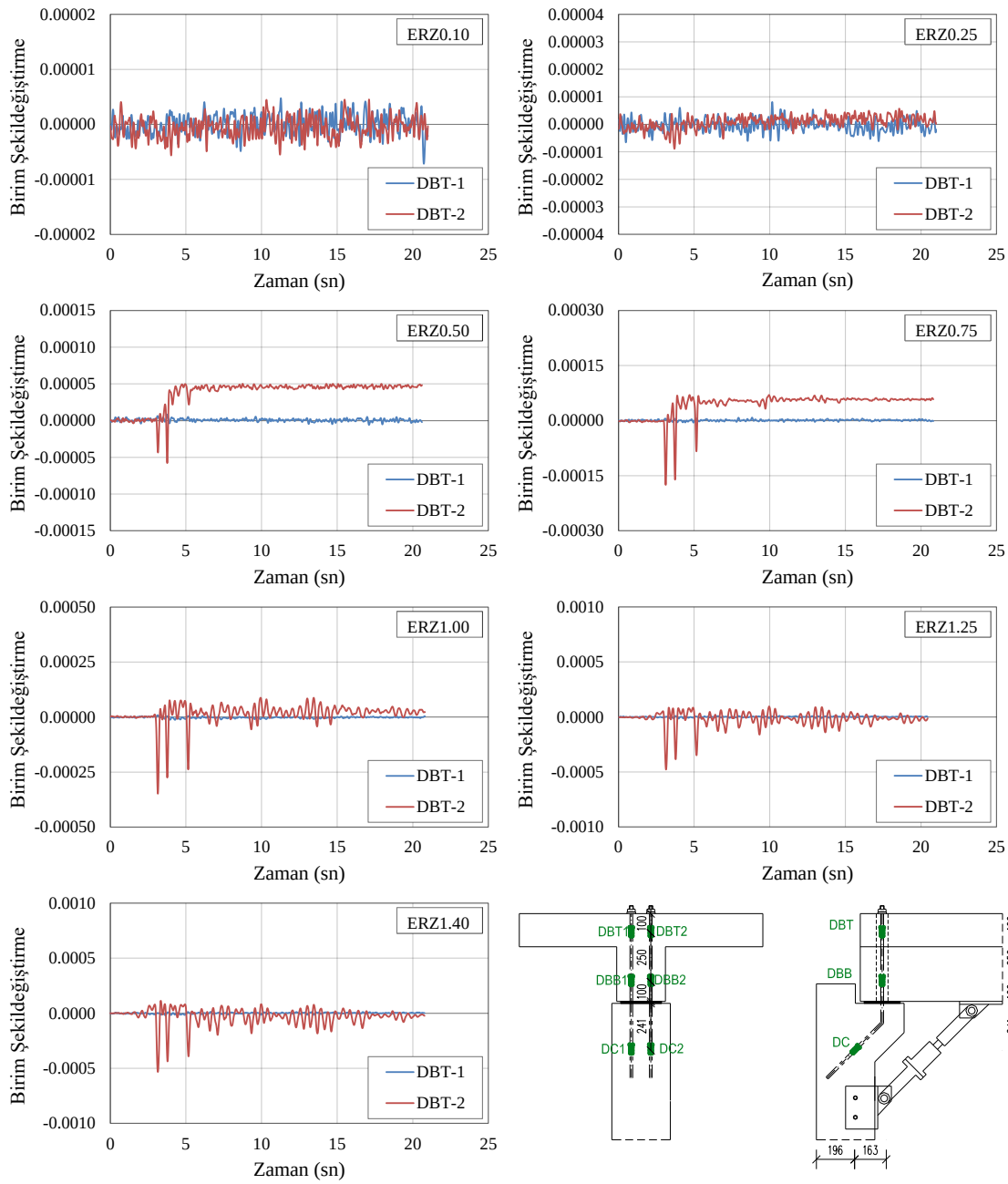
Deneysel çalışma süresince kiriş-kolon birleşiminde meydana gelen dönme-zaman ilişkileri (Şekil 3.109), kiriş-kolon arasındaki mevcut açıda meydana gelen farklılığı ifade edecek şekilde düzenlemiştir. ERZ1.40 testi için kiriş-kolon birleşiminde meydana gelen en büyük ve en küçük dönme değerleri sırasıyla 0.026 radyan ve 0.008 radyan olarak hesaplanmıştır.

Betonarme prefabrike kiriş-kolon birleşiminin sönümleyicili durumu için gerçekleştirilen deneysel çalışmada, kiriş ve kolon birleşiminde sürekliliği sağlayan iki adet rodla meydana gelen birim şekildeğiştirme değerleri takip edilmiştir. Rodlardaki şekildeğiştirme ölçerlerin yerleşimi yalın birleşim numunesi ile aynı şekilde gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.110). Sönümleyicili kiriş-kolon birleşiminde yer alan rodlarda, deneysel çalışma süresince meydana gelen birim şekildeğiştirme-zaman ilişkileri Şekil 3.111, Şekil 3.112 ve Şekil 3.113'te verilmiştir.



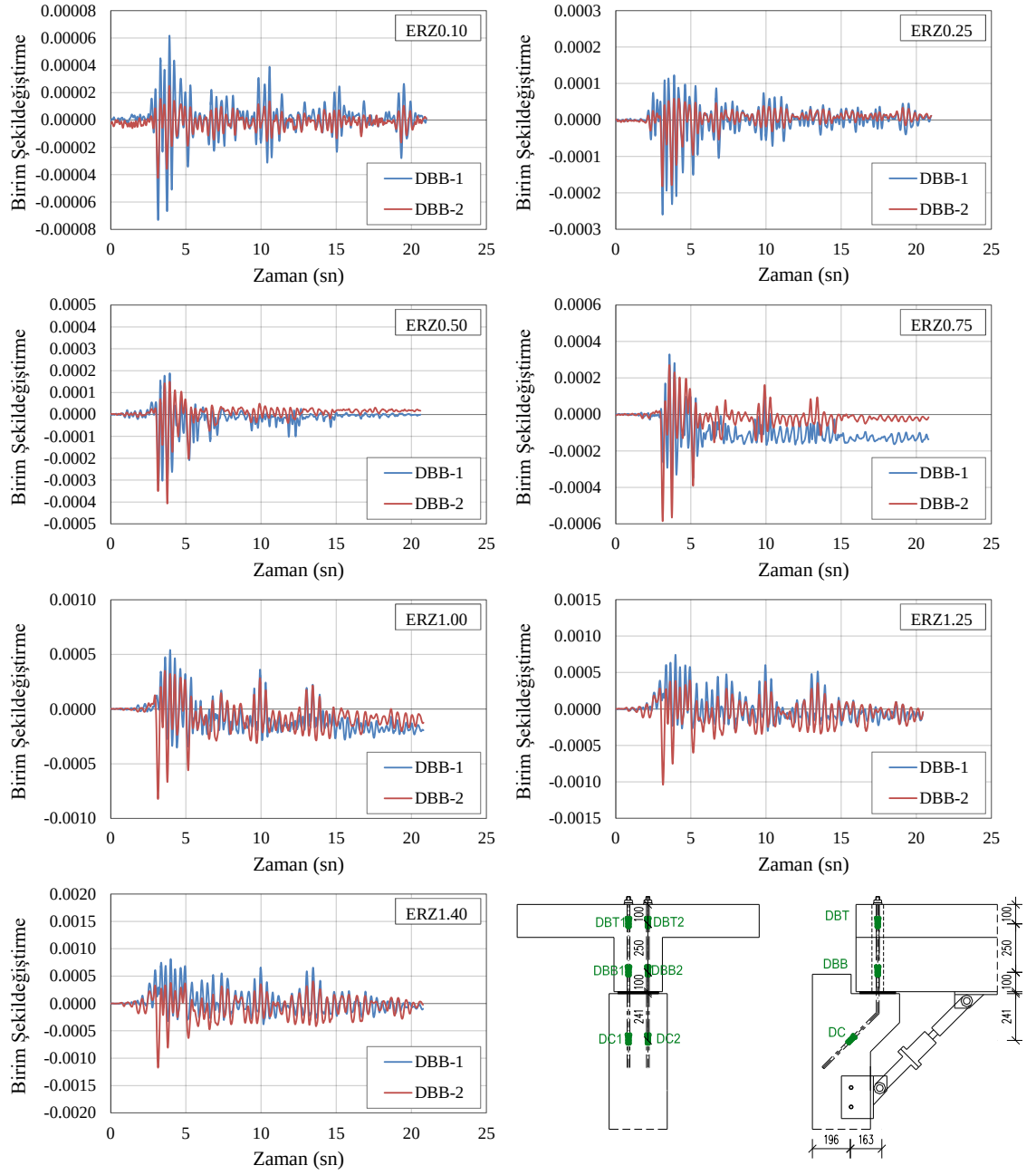
Şekil 3.110 : Kiriş-kolon birleşim bölgesinde rodların üzerine yerleştirilen şekildeğiştirme ölçerlerin yerleri ve etiketleri (Sönümleyicili birleşim).

Rodların kiriş üst kısmında kalan bölgesine yerleştirilen DBT-1 ve DBT-2 etiketli şekildeğiştirme ölçerlerden deneysel çalışma boyunca kayıt alınmıştır. Ancak DBT-1'den alınan kayıt gerçeği yansıtmamaktadır çünkü tüm testler için elde edilen şekildeğiştirme değeri yaklaşık olarak aynı kalmıştır. DBT-2 etiketli şekildeğiştirme ölçer ile okunan en büyük birim şekildeğiştirme değeri, ERZ1.40 testi için 0.00053 olarak elde edilmiştir. Malzeme deneyleri ile rod ait akma birim şekildeğiştirme değeri 0.0024 olarak belirlenmiştir. 2 nolu rodun kiriş üst kısmında kalan uç bölgesinde oluşan birim şekildeğiştirme değerleri, rod için belirlenen akma sınırından oldukça altında kalmıştır (Şekil 3.111).



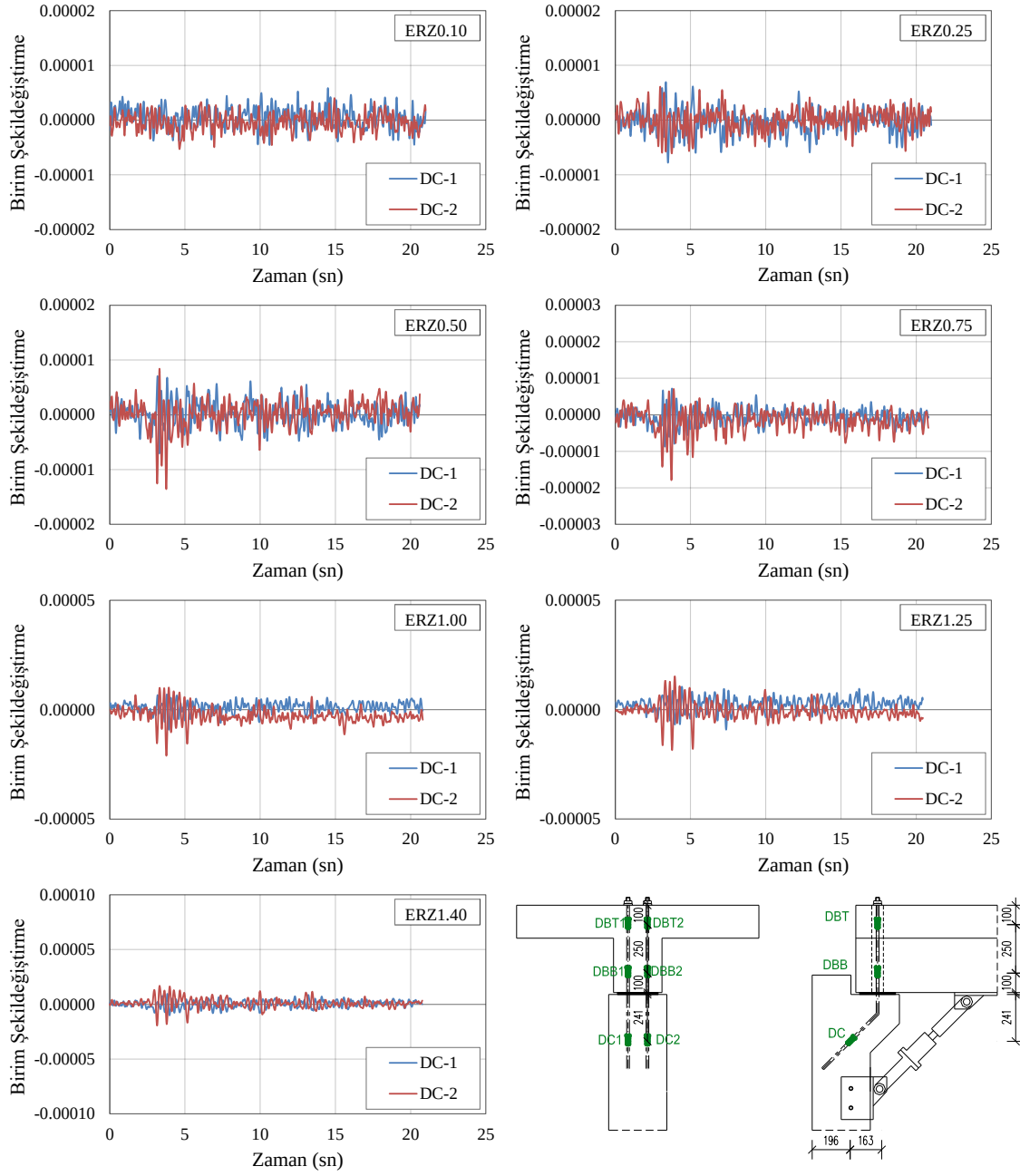
Şekil 3.111 : Kiriş-kolon birleşiminde DBT-1 ve DBT-2 etiketli şekildeğiştirme ölçerlerden alınan birim şekildeğiştirme-zaman ilişkileri (Sönümleyicili birleşim).

Rodların kiriş alt kısmında kalan bölgesine yerleştirilen DBB-1 ve DBB-2 etiketli şekildeğiştirme ölçerlerden deneysel çalışma boyunca düzgün olarak kayıt alınmıştır. DBB-1 ve DBB-2 ile takip edilen birim şekildeğiştirme-zaman ilişkileri incelendiğinde, ERZ1.40 testinde oluşan en büyük birim şekildeğiştirme değerlerinin sırasıyla 0.0008 ve 0.0012 değerlerine ulaştığı görülmektedir (Şekil 3.112). Deneysel çalışma süresince, rodların kiriş alt bölgesinde, akma birim şekildeğiştirme değerine (0.0024) ulaşılmamıştır.



Şekil 3.112 : Kiriş-kolon birleşiminde DBB-1 ve DBB-2 etiketli şekildeğiştirme ölçerlerden alınan birim şekildeğiştirme-zaman ilişkileri (Sönümleyicili birleşim).

Sönümleyicili birleşim numunesi ile gerçekleştirilen deneysel çalışma boyunca, rodların kolon guse kısmında kalan bölgesine yerleştirilen DC-1 ve DC-2 etiketli şekildeğiştirme ölçerlerden alınan kayıtlar birbirine oldukça yakındır. DC-1 ve DC-2 etiketli şekildeğiştirme ölçerler aracılığı ile elde edilen en büyük birim şekildeğiştirme değerleri sırasıyla 0.00001 ve 0.00002 olarak belirlenmiştir. Bu değerler ERZ1.40 testinden elde edilen değerler olup, rodlar için belirlenen akma birim şekildeğiştirme değerinden (0.0024) oldukça uzaktır (Şekil 3.113).

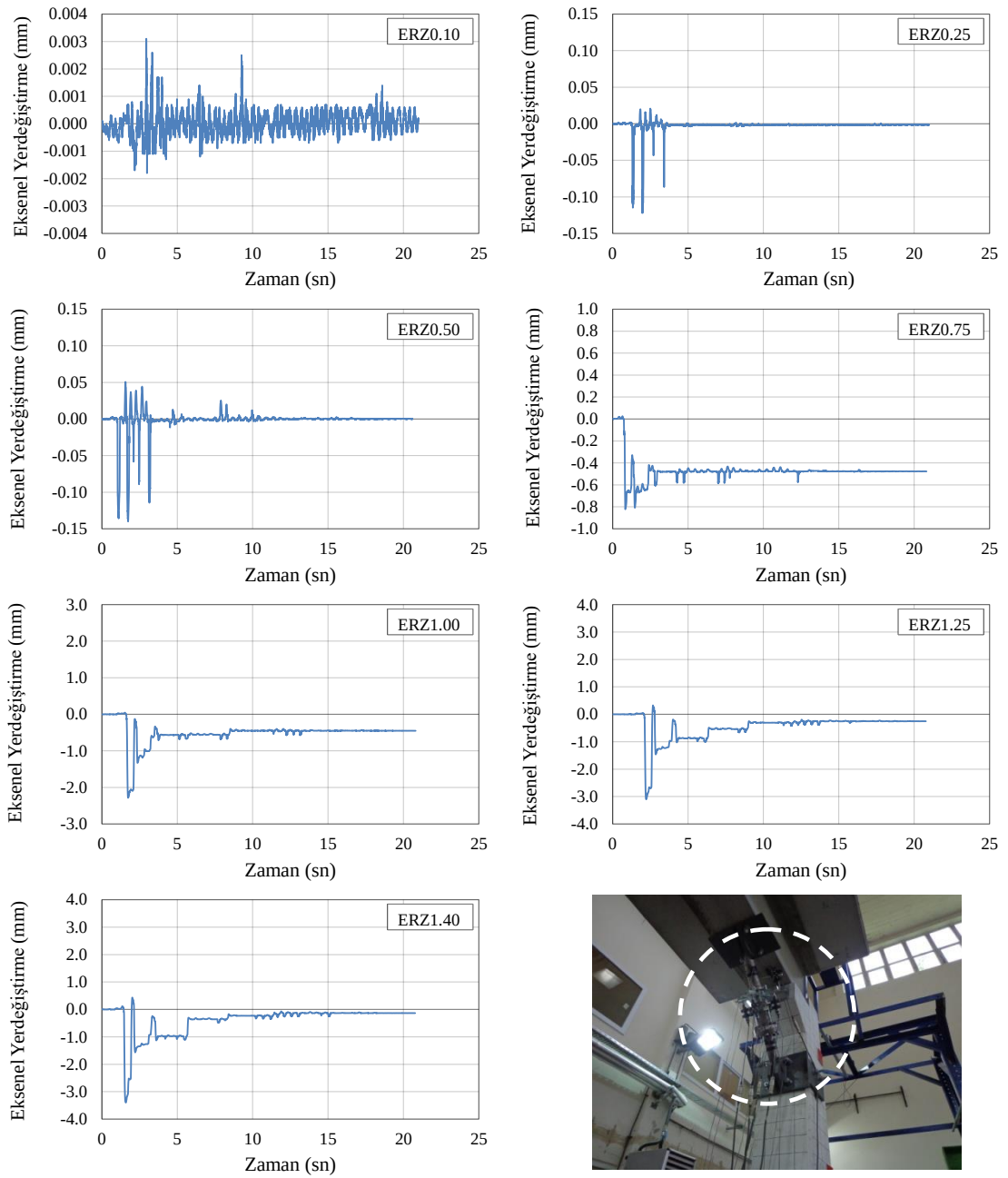


Şekil 3.113 : Kiriş-kolon birleşiminde DC-1 ve DC-2 etiketli şekildeğiştirme ölçerlerden alınan birim şekildeğiştirme-zaman ilişkileri (Sönümleyicili birleşim).

Sönümleyicili birleşim numunesinde, kurşun ekstrüzyon sönümleyici (KES) üzerine özel bir ölçüm sistemi yerleştirilmiş ve KES şaftında meydana gelen eksenel yerdeğiştirme kayıt altına alınmıştır. Şekil 3.114'te verilen eksenel yerdeğiştirme-zaman ilişkileri, KES'in etrafına yerleştirilen dört adet yerdeğiştirme ölçerden alınan verilerin ortalaması kullanılarak hazırlanmıştır.

ERZ0.10 testinde KES şaftında meydana gelen eksenel yerdeğiştirmenin en büyük değeri yaklaşık olarak 0.003 mm'dir. ERZ0.25 ve ERZ0.50 testlerinde meydana gelen eksenel yerdeğiştirme için en büyük değerler 0.10-0.15 mm arasında kalmıştır.

Gerçekleştirilen bu üç test sonrasında, KES'in merkezinde yer alan şaft çıkıntısının yeri değişmemiştir. ERZ0.75 testinde KES'te oluşan aksel yerdeğiştirme değeri 0.8 mm'ye ulaşmış ve şaft çıkıntısının yeri 0.5 mm kaymıştır. ERZ1.00, ERZ1.25 ve ERZ1.40 testlerinde, KES'te meydana gelen aksel yerdeğiştirme giderek artmış ve elde edilen en büyük değerler sırasıyla 2.20 mm, 3.00 mm ve 3.50 mm mertebesine ulaşmıştır. ERZ1.00, ERZ1.25 ve ERZ1.40 testlerinde, KES içerisinde bulunan şaft çıkıntısının test öncesindeki konumu ile test sonrasındaki konumu arasında fark oluşmuştur.



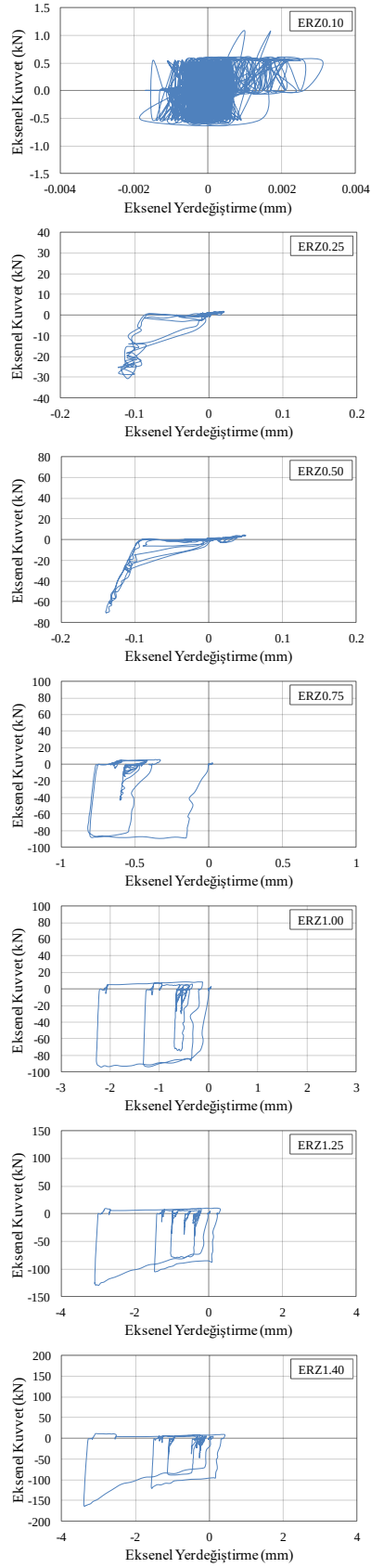
Şekil 3.114 : KES aksel yerdeğiştirme-zaman ilişkileri (Sönümleyicili birleşim).

Deneysel çalışma süresince, KES'in kiriş ve kolon elemanlarına bağlantısını sağlamak üzere kullanılan adaptör elemanlar üzerine yerleştirilen birim şekildeğiştirme ölçerler aracılığı ile birim şekildeğiştirme değerleri takip edilmiştir. Kolon adaptör elemanındaki birim şekildeğiştirme ölçerler CAS1 ve CAS2, kiriş adaptör elemanındakiler ise BAS1 ve BAS2 olarak adlandırılmıştır. Deneysel çalışma boyunca CAS1 etiketli birim şekildeğiştirme ölçerden alınan veriler sabit kaldığı için, bu verilerin doğru alınamadığı düşünülmüş ve değerlendirmeye alınmamıştır.

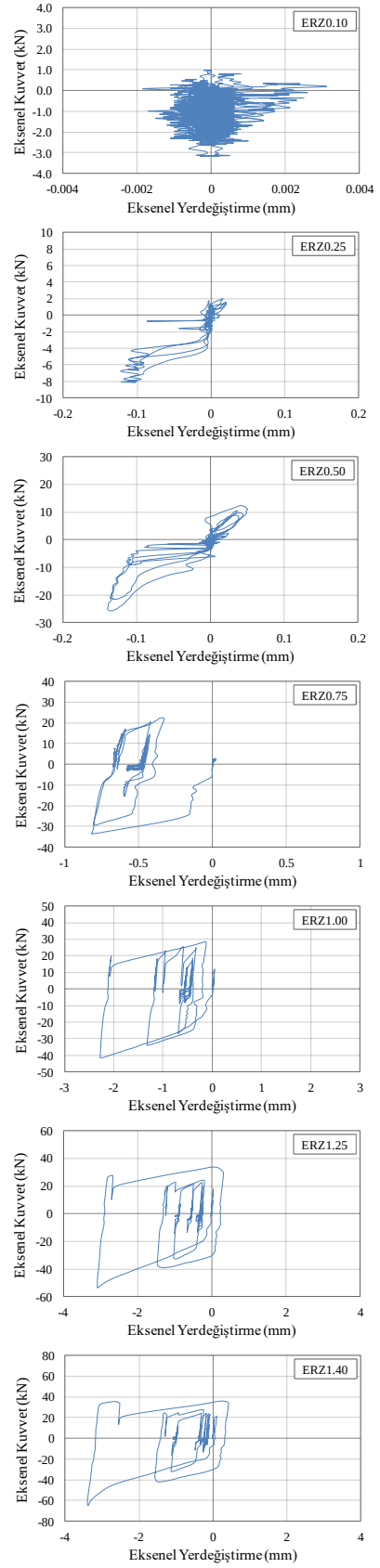
Bağlantı elemanlarında oluşan birim şekildeğiştirme değerleri, ilgili elemanın elastisite modülü ile çarpılarak gerilme değerleri hesaplanmıştır. Benzer şekilde, hesaplanan gerilme değerleri bağlantı elemanlarının kesit alanı ile çarpılarak, bağlantı elemanlarında oluşan eksenel kuvvet değerleri hesaplanmıştır. Kolon bağlantı elemanında oluşan eksenel kuvvet değeri sadece CAS2 etiketli birim şekildeğiştirme ölçerden elde edilen veriler ile belirlenirken, kiriş bağlantı elemanında oluşan eksenel kuvvet değerleri, BAS1, BAS2 etiketli birim şekildeğiştirme ölçerlerden elde edilen veriler için ortalama değer alınarak belirlenmiştir.

Yukarıda bahsedilen şekilde belirlenen KES eksenel kuvvet ve eksenel yerdeğiştirme değerleri bir araya getirilmiş ve deneysel çalışma süresince gerçekleştirilen testlerde, KES'te meydana gelen eksenel kuvvet-eksenel yerdeğiştirme ilişkileri elde edilmiştir (Şekil 3.115).

Kolon ve kiriş bağlantı elemanından elde edilen eksenel kuvvet-eksenel yerdeğiştirme ilişkileri incelendiğinde, KES'in ERZ0.10 testinde henüz harekete geçemediği ve eksenel yerdeğiştirme değerinin 0.004 mm'nin altında kaldığı görülmektedir. ERZ0.25 ve ERZ0.50 testlerinde hareketlenme başlamış ancak tam anlamı ile bir kapalı alan meydana gelememiştir. ERZ0.75 testi ile birlikte kapalı dikdörtgen biçimine çok yakın olan bir kapalı alan oluşumu gözlenmiş ve ilerleyen testlerde (ERZ1.00, ERZ1.25 ve ERZ1.40) kapalı alan oluşumları devam etmiştir (Şekil 3.115).



(a)



(b)

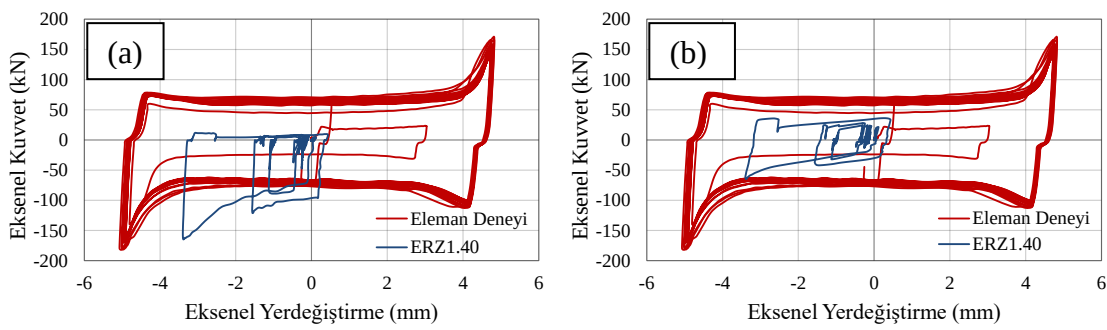
Şekil 3.115 : KES eksenel kuvvet- eksenel yerdeğiştirme ilişkileri (Sönümleyicili birleşim); (a) Kolon bağlantı elemanı, (b) Kiriş bağlantı elemanı.

Kolon bağlantı elemanından elde edilen aksenal kuvvet değerleri ile oluşturulan aksenal-kuvvet aksenal yerdeğiştirme ilişkilerinin oluşumu daha çok nc bölgede gerçekleşmiştir. Kiriş bağlantı elemanından elde edilen aksenal kuvvet değerleri ile oluşturulan aksenal-kuvvet aksenal yerdeğiştirme ilişkileri ise nc ve dördüncü bölgede oluşmuştur.

Kolon bağlantı elemanından elde edilen aksenal kuvvet değerleri ile oluşturulan aksenal-kuvvet aksenal yerdeğiştirme ilişkilerinin platoları, ERZ0.75 ve ERZ1.00 testlerinde, aksenal yerdeğiştirme eksenine neredeyse paraleldir. ERZ1.00 testinde aksenal yerdeğiştirme değeri henüz 2.5 mm'ye ulaşmamıştır. ERZ1.25 ve ERZ1.40 testlerinde ise, aksenal yerdeğiştirme değerinin artması ile birlikte aksenal kuvvette artış meydana geldiği grlmektedir.

Kiriş bağlantı elemanından elde edilen aksenal kuvvet değerleri ile oluşturulan aksenal-kuvvet aksenal yerdeğiştirme ilişkileri paralelkenar biçimlidir. ERZ0.75 ve ERZ1.00 testlerinde, platolar birbiri ile neredeyse paraleldir. ERZ1.25 ve ERZ1.40 testlerinde ise, platoların paralelliği bozulmuş, aksenal yerdeğiştirme değerinin artması ile birlikte aksenal kuvvette artış meydana gelmiştir.

nėerilmesiz KES'in, Bölüm 2'de verilen KES eleman deneyleri ile belirlenen, aksenal kuvvet-aksenal yerdeğiştirme ilişkisi ile sönümleyicili kiriş-kolon birleşim deneyinden elde edilen iki ayrı aksenal kuvvet-aksenal yerdeğiştirme ilişkisi şekil 3.116'da verilmiştir.



şekil 3.116 : Eleman deneyi ve ERZ1.40 testi ile belirlenen KES aksenal kuvvet-aksenal yerdeğiştirme ilişkileri (Sönümleyicili birleşim); (a) Kolon bağlantı elemanı, (b) Kiriş bağlantı elemanı.

İlişkilerin biçimleri karşılaştırıldığında, kolon bağlantı elemanından elde edilen aksenal kuvvet değerleri ile oluşturulan aksenal-kuvvet aksenal yerdeğiştirme ilişkisinin, eleman deneyinden elde edilen aksenal-kuvvet aksenal yerdeğiştirme ilişkisine daha yakın olduğu grlmektedir. Ancak kolon bağlantı elemanından elde

edilen eksenel-kuvvet eksenel yerdeğiştirme ilişkisi sadece üçüncü bölgede oluştuğu için, platodaki kuvvet değerinde farklılık meydana gelmiştir. Kiriş bağlantı elemanından elde edilen eksenel kuvvet değerleri ile oluşturulan eksenel-kuvvet eksenel yerdeğiştirme ilişkisi ise eleman deneyinden elde edilen eksenel-kuvvet eksenel yerdeğiştirme ilişkisinin içerisinde kalmaktadır.

3.5.3 Yalın ve sönümleyicili birleşim davranışlarının karşılaştırılması

Yalın ve sönümleyici yerleştirilmiş prefabrike betonarme kiriş-kolon birleşimi ile gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sonucunda, yalın ve sönümleyicili birleşim numunelerinde ortaya çıkan hasar bičiimi ve takip edilen aletsel büyüklükler karşılaştırılmıştır.

3.5.3.1 Hasar bičiimi ve ölçülen titreřim frekansı deđerleri

Moment aktarmayan kiriş-kolon birleşimin, yalın ve sönümleyicili durumları için, dinamik deney öncesinde gerçekleştirilen çekiç testi ile, sırasıyla 3.60 Hz ve 3.40 Hz titreşim frekansı değerleri elde edilmiştir. İlk çekiç testinden sonra uygulanan beyaz gürültü testlerinden elde edilen titreşim frekansı değerleri yalın birleşim için 2.93 Hz, sönümleyicili birleşim için ise 2.80 Hz olarak belirlenmiştir. Beyaz gürültü testinden sonra gerçekleştirilen basamak fonksiyonu testinde yalın birleşim için belirlenen titreşim frekansı değeri 2.73 Hz iken, sönümleyicili birleşim için belirlenen titreşim frekansı değeri 2.50 Hz'dir (Çizelge 3.5).

Dinamik etki olarak yer hareketi kaydı kullanılmadan önce her iki numunenin kolon alt uç bölgesinde, temel üst yüzünden yaklaşık olarak 10 cm yukarıda, kalınlığı 0.1 mm'den daha küçük olan eğilme çatlağı meydana gelmiştir (Çizelge 3.6 ve Çizelge 3.7).

Yalın ve sönümleyicili birleşim numunelerine uygulanan ERZ0.10 testi sonrasında her iki numunede herhangi bir hasar oluşumu gözlenmemiştir. Yalın ve sönümleyicili birleşim numuneleri için, ERZ0.10 testinin hemen sonrasında gerçekleştirilen çekiç testinden elde edilen titreşim frekansı değerleri sırasıyla 3.50 Hz ve 3.30 Hz olarak elde edilmiştir. Beyaz gürültü testlerinden elde edilen titreşim frekansı değerleri ise yalın birleşim için 2.66 Hz, sönümleyicili birleşim için 2.55 Hz'dir (Çizelge 3.5).

ERZ0.25 testi sonrasında yalın ve sönümleyicili birleşim numunelerinde herhangi bir hasar ortaya çıkmamıştır. ERZ0.25 testi sonrasında yalın birleşim numunesi için

Çekiç testi ile belirlenen titreşim frekansı değeri 3.50 Hz'dir. Sönümleyicili birleşim numunesi için eki testi sonucunda elde edilen titreşim frekansı değeri ise 3.20 Hz'dir. Beyaz gürültü testi ile belirlenen titreşim frekansı değerleri, yalın birleşim numunesi için 2.66 Hz iken sönümleyicili birleşim numunesi için 2.55 Hz'dir (Çizelge 3.5).

Yalın ve sönümleyicili birleşim numunelerine ERZ0.50 testi uygulandıktan sonra eğilme çatlağı oluşumu gözlenmiştir. Yalın birleşim numunesi kolonunda, temel üst yüzünden yaklaşık olarak 35 cm yukarıda, kalınlığı 0.1 mm'den küçük olan yeni bir eğilme çatlağı meydana gelmiştir. Sönümleyicili birleşim numunesi kolonunda, temel üst yüzünden yaklaşık olarak 32.5 cm yukarıda yeni bir eğilme çatlağı oluşmuştur ve kalınlığı 0.1 mm'den küçüktür (Çizelge 3.6 ve Çizelge 3.7). ERZ0.50 testinden sonra numunelere uygulanan eki testi sonucunda titreşim frekansı değerleri 3.10 Hz (yalın birleşim) ve 3.20 Hz (sönümleyicili birleşim) olarak belirlenmiştir. Yalın birleşim numunesi için beyaz gürültü testinden elde edilen titreşim frekansı değeri 2.26 Hz'dir. Sönümleyicili birleşim numunesi için beyaz gürültü testi ile belirlenen titreşim frekansı değeri ise 2.35 Hz'dir (Çizelge 3.5).

Erzincan depremi doğu-batı bileşeni kaydının 0.75 katı yalın birleşim numunesine etkitildiğinde, kolon üzerinde, temel üst yüzünden yaklaşık olarak 60 cm ve 80 cm yukarıda, kalınlığı 0.1 mm'den daha küçük olan eğilme çatlağı meydana gelmiştir. Sönümleyicili birleşim numunesine ERZ0.75 testi uygulandığında çatlak oluşumu gözlenmiştir. Kolon üzerinde, temel üst yüzünden 55 cm yukarıda oluşan eğilme çatlağı kalınlığı 0.1 mm'den küçüktür (Çizelge 3.6 ve Çizelge 3.7). ERZ0.75 testi arkasından gerçekleştirilen eki testi ile, yalın ve sönümleyicili birleşim numunesi ait titreşim frekansları sırasıyla 3.10 Hz ve 3.20 Hz olarak belirlenmiştir. Beyaz gürültü testi sonrasında elde edilen titreşim frekansı değerleri, yalın birleşim için 2.19 Hz ve sönümleyicili birleşim için 2.20 Hz'dir (Çizelge 3.5).

ERZ1.00 testi ile, yalın birleşim numunesinin kolonu üzerinde, temel üst yüzünden yaklaşık olarak 95 cm yukarıda, kalınlığı 0.1 mm'den daha küçük olan eğilme çatlağı oluşmuştur. Bu test ile birlikte kolon üzerinde oluşan tüm çatlakların kalınlığı 0.1 mm'den küçüktür. Sönümleyicili birleşim numunesinde ise yeni çatlak oluşumu gözlenmemiştir. Ancak ilk oluşan (temel üst yüzünden yaklaşık olarak 10 cm yukarıda) atlak kalınlığı 0.1 mm'ye ulaşmıştır (Çizelge 3.6 ve Çizelge 3.8). Yalın birleşim numunesi için, ERZ1.00 testi sonrasında, eki testi ile belirlenen titreşim

frekansı değeri 3.10 Hz'dir. Sönümleyicili birleşim numunesi için çekiç testi sonucunda elde edilen titreşim frekansı değeri ise 2.50 Hz'dir. Beyaz gürültü testi ile belirlenen titreşim frekansı değerleri, yalın ve sönümleyicili birleşim numuneleri için sırasıyla 2.00 Hz ve 2.10 Hz'dir (Çizelge 3.5).

Çizelge 3.5 : Yalın ve sönümleyicili birleşime ait frekans geçmişi.

Test	YalınBirleşim	Sönümleyicili Birleşim
	Frekans (Hz)	Frekans (Hz)
H1	3.60	3.40
WN1	2.93	2.80
SF1	2.73	2.50
ERZ0.10	-	-
H2	3.50	3.30
WN2	2.66	2.50~2.60
ERZ0.25	-	-
H3	3.50	3.20
WN3	2.66	2.50~2.60
ERZ0.50	-	-
H4	3.10	3.20
WN4	2.26	2.30~2.40
ERZ0.75	-	-
H5	3.10	3.20
WN5	2.19	2.20
ERZ1.00	-	-
H6	3.10	2.50
WN6	2.00	2.10
ERZ1.25	-	-
H7	2.34	2.50
WN7	2.00	2.00
ERZ1.40	-	-
H8	2.73	2.40
WN8	1.76	2.00

Yalın ve sönümleyicili birleşim numunelerine ERZ1.25 testi uygulandıktan sonra her iki numunede de yeni çatlak oluşumu gözlenmiştir. Yalın birleşim numunesindeki yeni eğilme çatlağı, kolon üzerinde ve temel üst yüzünden yaklaşık 110 cm yukarıda meydana gelmiştir. Temel üst yüzü ile kolon gusesi üst yüzü arasında kalan mesafe 218 cm'dir. Yani, ERZ1.25 testi ile birlikte oluşan eğilme çatlakları, kolon yüksekliğinin yarısına kadar yayılmıştır. Bununla birlikte, kolon üzerinde ilk oluşan (temel üst yüzünden yaklaşık olarak 10 cm yukarıda) çatlak kalınlığı 0.1 mm'ye ulaşmıştır veya geçmiştir. Kolon üzerinde oluşan diğer tüm çatlakların kalınlığı 0.1 mm'den küçüktür. Sönümleyicili birleşim numunesinde ise, kolon üzerinde ve temel üst yüzünden yaklaşık 80 cm yukarıda oluşan yeni bir eğilme çatlağı

bulunmaktadır. Ayrıca, kolon üzerinde ilk oluşan eğilme çatlağı kalınlığı 0.2 mm'ye ulaşmıştır. Kolon üzerinde yer alan diğer çatlaklar ise 0.1 mm'den incedir (Çizelge 3.6 ve Çizelge 3.8).

ERZ1.25 testi sonrasında, yalın ve sönümleyicili birleşim numunelerine uygulanan çekiş testinden elde edilen titreşim frekansı değerleri sırasıyla 2.34 Hz ve 2.50 Hz'dir. Beyaz gürültü testlerinden yalın ve sönümleyicili birleşim numunelerine ait titreşim frekansı değerleri birbirine eşit ve 2.00 Hz olarak belirlenmiştir (Çizelge 3.5).

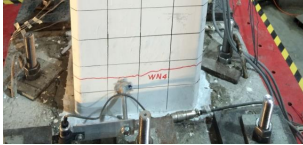
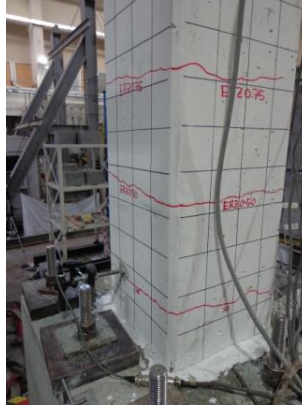
Çizelge 3.6 : Yalın ve sönümleyicili birleşim kolonlarında oluşan hasar biçimi.

Test	Yalın Birleşim		Sönümleyicili Birleşim	
	Çatlak Konumu (Kolon alt ucundan mesafe) (cm)	Çatlak kalınlığı (mm)	Çatlak Konumu (Kolon alt ucundan mesafe) (cm)	Çatlak kalınlığı (mm)
H1			-	-
WN1	10	≤ 0.1	-	-
SF1			10	≤ 0.1
ERZ0.10			-	-
H2			-	-
WN2			-	-
ERZ0.25			-	-
H3			-	-
WN3			-	-
ERZ0.50	35	≤ 0.1	32.5	≤ 0.1
H4			-	-
WN4			-	-
ERZ0.75	60-80	≤ 0.1	55	≤ 0.1
H5			-	-
WN5			-	-
ERZ1.00	95	≤ 0.1	-	-
H6			-	-
WN6			-	-
ERZ1.25	110	≤ 0.1	80	≤ 0.1
H7			-	-
WN7			-	-
ERZ1.40	20-50	≤ 0.1	-	-
H8			-	-
WN8			-	-

Yalın birleşim numunesine ERZ1.40 testi uygulanması ile birlikte, kolon üzerinde ve temel üst yüzünden 20 cm ve 50 cm yukarıdaki iki kesitte eğilme çatlağı meydana gelmiştir. Kolon üzerinde ilk oluşan eğilme çatlağı kalınlığı 0.2 mm'ye yaklaşmış, diğer çatlakların kalınlığı ise 0.1 mm'ye ulaşmamıştır. Yalın birleşim numunesinde,

kolon üzerinde oluşan çatlakların dışında, kolon ile temel arasına yerleştirilen büzülmesi önlenmiş harçta da çatlak oluşumu gözlenmiştir. ERZ1.40 testinden sonra, sönümleyicili birleşim numunesinin kolonu üzerinde veya kolon ile temel arasında yerleştirilen harcında herhangi bir çatlak meydana gelmemiştir (Çizelge 3.6 ve Çizelge 3.8).

Çizelge 3.7 : Yalın ve sönümleyicili birleşim numunelerinde oluşan hasar biçimi (WN4, ERZ0.50, ERZ0.75) (Deney).

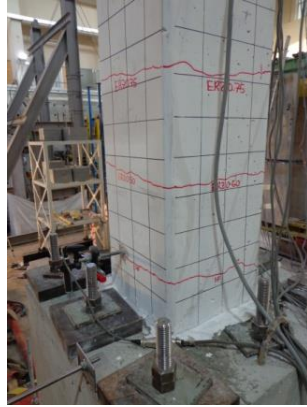
Test	Yalın Birleşim	Sönümleyicili Birleşim
WN4		
ERZ0.50		
ERZ0.75		

ERZ1.40 testinden sonra, uygulanan çekiç testi sonucunda elde edilen titreşim frekansı değerleri, yalın birleşim numunesi için 2.73 Hz ve sönümleyicili birleşim numunesi için 2.40 Hz'dir. Yalın birleşim numunesi için beyaz gürültü testinden elde edilen titreşim frekansı değeri 1.76 Hz iken, sönümleyicili birleşim numunesi için titreşim frekansı değeri 2.00 Hz olarak belirlenmiştir (Çizelge 3.5).

Her iki numune için, deneysel çalışma boyunca gerçekleştirilen titreşim ölçümleri, numunelerde meydana gelen rijitlik azalışını (yumuşamayı) yakalamaktadır. Ancak, küçük titreşimler düzeyinde gerçekleştirilen serbest titreşim analizi, KES dolayısıyla

sönümleyicili numunede yatay rijitlikte meydana gelecek artışı yakalayamamaktadır. Yalın ve sönümleyici numuneler için başlangıçta çekiç testinden elde edilen frekanslar sırasıyla 3.60 Hz ve 3.40 Hz iken, deney sonunda numunelere ait frekanslar sırasıyla 2.73 Hz ve 2.40 Hz olarak belirlenmiştir. Beyaz gürültü testinden elde edilen frekans değerleri başlangıçta yalın numune için 2.93 Hz ve sönümleyicili numune için 2.80 Hz elde edilmiş, deney sonunda ise bu değerler yalın numune için 1.76 Hz değerine, sönümleyicili numune için ise 2.00 Hz değerine düşmüştür (Çizelge 3.5).

Çizelge 3.8 : Yalın ve sönümleyicili birleşim numunelerinde oluşan hasar biçimi (ERZ1.00, ERZ1.25, ERZ1.40) (Deney).

Test	Yalın Birleşim	Sönümleyicili Birleşim
ERZ1.00		
ERZ1.25		
ERZ1.40		

Yalın ve sönümleyicili birleşim numuneleri ile gerçekleştirilen deneysel çalışma boyunca, ne yalın ne de sönümleyicili birleşim numunesinde, temelde, kiriş-kolon birleşiminde yer alan rodlarda ve kirişte hasar oluşumu gözlenmemiştir. Bununla birlikte, sönümleyicili birleşim numunesinin KES elemanında ve bağlantılarında da herhangi bir hasara rastlanmamıştır.

3.5.3.2 Aletsel büyüklükler

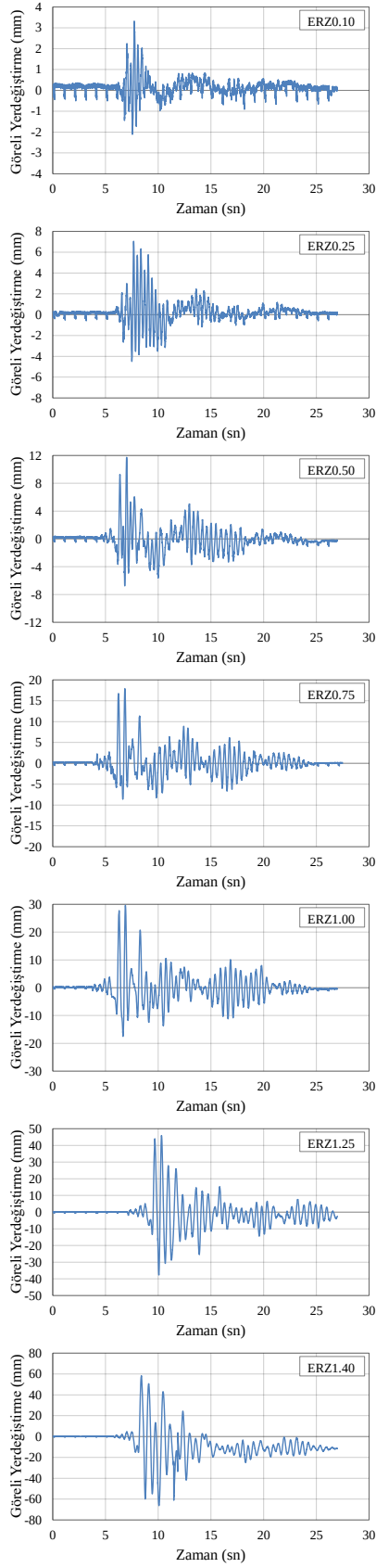
Prefabrike betonarme kiriş-kolon birleşimi numunesinin yalın ve sönümleyicili olarak incelendiği deneysel çalışmalar ile belirlenen, numune tepesinin temel üst kotuna göre görelî yerdeğiştirme değerlerinin zamana bağılı olarak değişimi Şekil 3.117’de sunulmuştur.

Deneysel çalışma süresince gerçekleştirilen tüm testlerde, sönümleyicili birleşim numunesinde meydana gelen görelî yerdeğiştirme, yalın numunede meydana gelen görelî yerdeğiştirmeden daha küçüktür. ERZ1.00, ERZ1.25 ve ERZ1.40 testlerinde, sönümleyici numuneye ait görelî yerdeğiştirmede oluşan azalma çok daha belirgin şekilde görülmektedir.

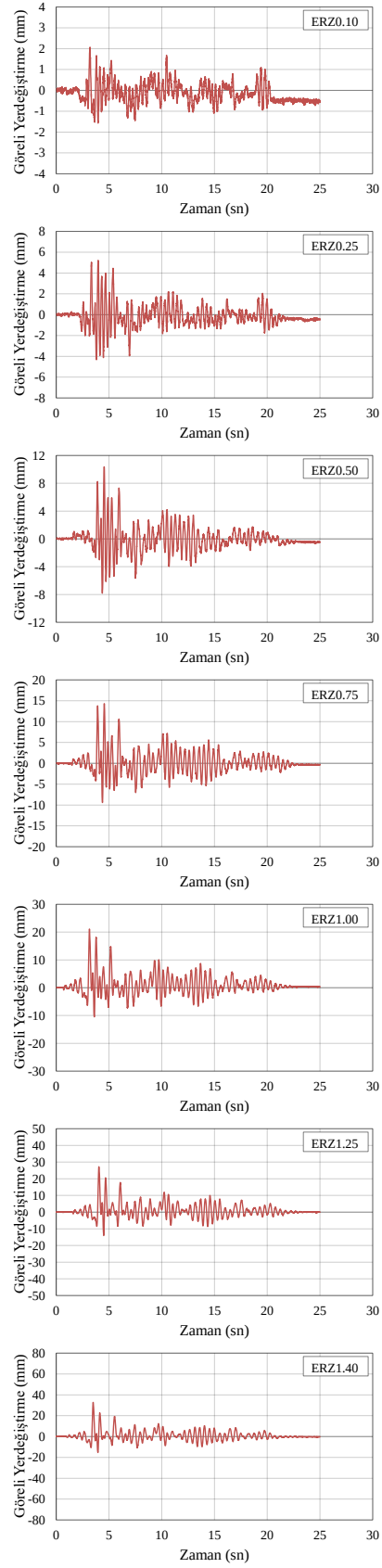
Yalın birleşim için ERZ1.25 ve ERZ1.40 testleri sonrasında oluşan artık görelî yerdeğiştirme, birleşim numunesinde meydana gelen kalıcı şekildeğiştirmeyi işaret etmektedir. Sönümleyicili birleşim numunesinde ise herhangi bir artık görelî yerdeğiştirme oluşumu görülmemektedir.

Yalın ve sönümleyicili kiriş-kolon birleşimi numunelerine ait tepe ivme değerleri Çizelge 3.9’da görülmektedir. ERZ0.10 testinde yalın birleşim numunesinden elde edilen tepe en büyük ivme değerleri, sönümleyicili birleşim numunesine ait tepe en büyük ivme değerlerinden büyüktür.

ERZ0.25, ERZ0.50, ERZ0.75 ve ERZ1.00 testlerinde, sönümleyicili birleşim numunesine ait tepe en büyük ivme değerleri, yalın birleşim numunesine ait değerlerden daha büyüktür. ERZ1.25 ve ERZ1.40 testlerinde, yalın birleşim numunesi için (+) yönde oluşan en büyük ivme değerleri daha büyük, sönümleyicili birleşim numunesi için (-) yönde oluşan en büyük ivme değerleri daha büyüktür.



(a)



(b)

Şekil 3.117 : Kiriş-kolon birleşimi görelî yerdeğıştirme-zaman ilişkileri (Deney);
(a) Yalın numune, (b) Sönümleyicili numune.

Çizelge 3.9 : Tepe ivmesi en büyük değerleri (Deney).

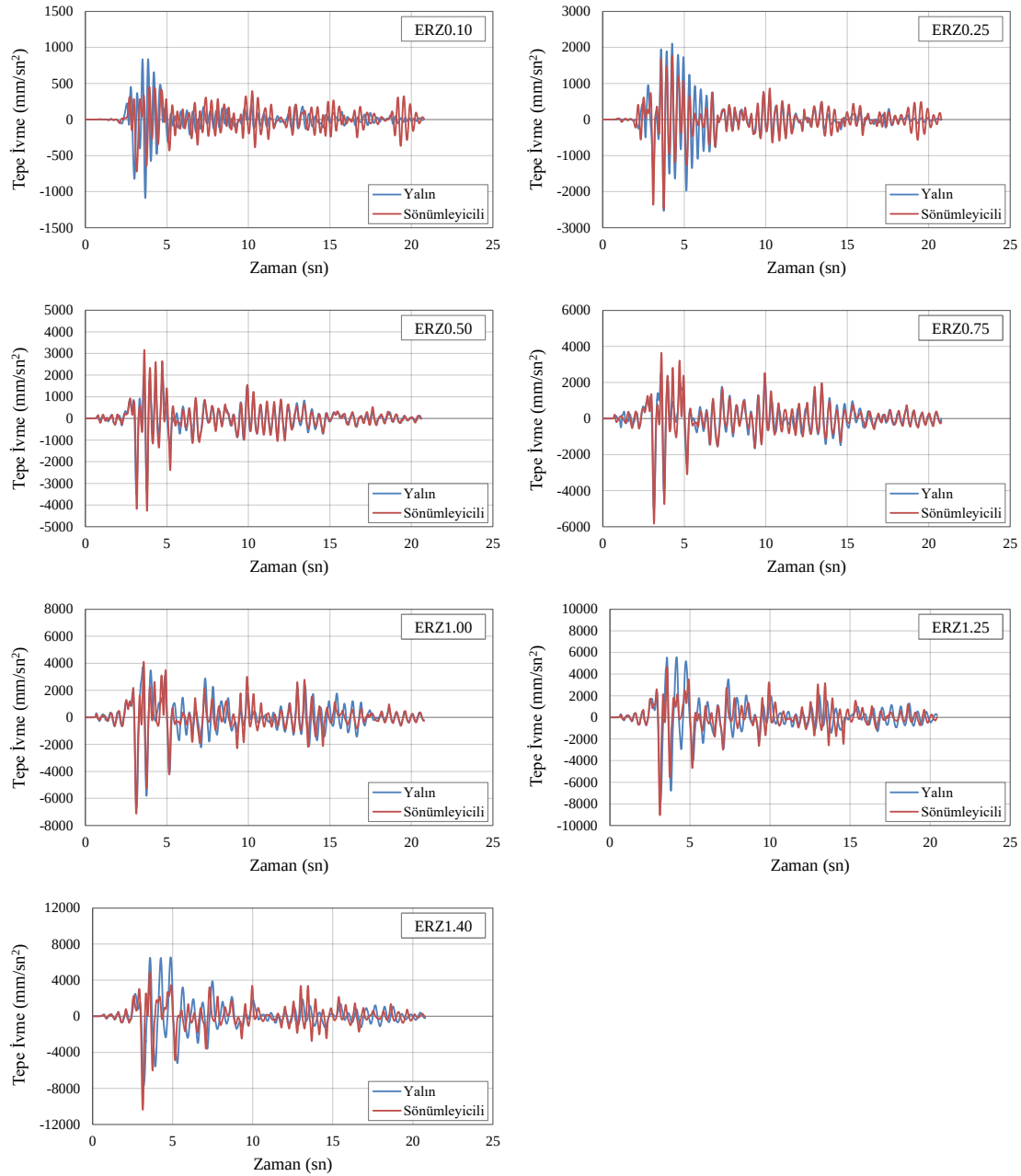
Test	Yalın Birleşim		Sönümleyicili Birleşim	
	İvme (+) (mm/sn ²)	İvme (-) (mm/sn ²)	İvme (+) (mm/sn ²)	İvme (-) (mm/sn ²)
ERZ0.10	837	1088	453	723
ERZ0.25	1513	1774	1769	2472
ERZ0.50	1987	3498	3164	4272
ERZ0.75	2536	5049	3650	5827
ERZ1.00	3737	6675	4113	7124
ERZ1.25	5561	7935	4665	9048
ERZ1.40	6530	7823	4900	10366

Sönümleyicili numunede tepe kotunda elde edilen ivme değerindeki artış, kiriş-kolon birleşim numunesindeki düğüm noktası davranışının moment aktarmayan durumdan yarı rijit duruma dönüştüğünü göstermektedir. Deneyisel çalışma boyunca, yalın ve sönümleyicili kiriş-kolon birleşimi numunelerinde hareket doğrultusunda kaydedilen ivme değerlerinin, her bir test için, zamana bağlı olarak değişimi Şekil 3.118’de verilmiştir.

Yalın ve sönümleyicili kiriş-kolon birleşimi numunelerinde kolon alt ucunda oluşan dönme için elde edilen en büyük değerler Çizelge 3.10’da verilmiştir. ERZ0.10 ve ERZ0.25 testlerinde sönümleyicili birleşim numunesinin kolon alt ucunda oluşan en büyük dönme değerleri, yalın birleşim numunesine ait değerlerden büyüktür. ERZ0.50 testinde, her iki birleşim numunesinin kolon alt ucu için elde edilen en büyük dönme değerleri birbirine oldukça yakındır. ERZ0.75 testinde, sönümleyicili birleşim numunesinin kolon alt ucunda oluşan (+) işaretli en büyük dönme değeri, yalın birleşim numunesine ait değerden büyüktür. Aynı test için, her iki numunede oluşan (-) işaretli en büyük dönme değerleri neredeyse aynıdır.

Çizelge 3.10 : Kolon alt ucu dönme en büyük değerleri (Deney).

Test	Yalın Birleşim		Sönümleyicili Birleşim	
	Dönme (+) (rad)	Dönme (-) (rad)	Dönme (+) (rad)	Dönme (-) (rad)
ERZ0.10	0.0001	0.0001	0.0002	0.0003
ERZ0.25	0.0003	0.0005	0.0006	0.0007
ERZ0.50	0.0009	0.0012	0.0011	0.0012
ERZ0.75	0.0009	0.0022	0.0017	0.0023
ERZ1.00	0.0019	0.0036	0.0014	0.0036
ERZ1.25	0.0066	0.0072	0.0017	0.0048
ERZ1.40	0.0123	0.0120	0.0020	0.0057

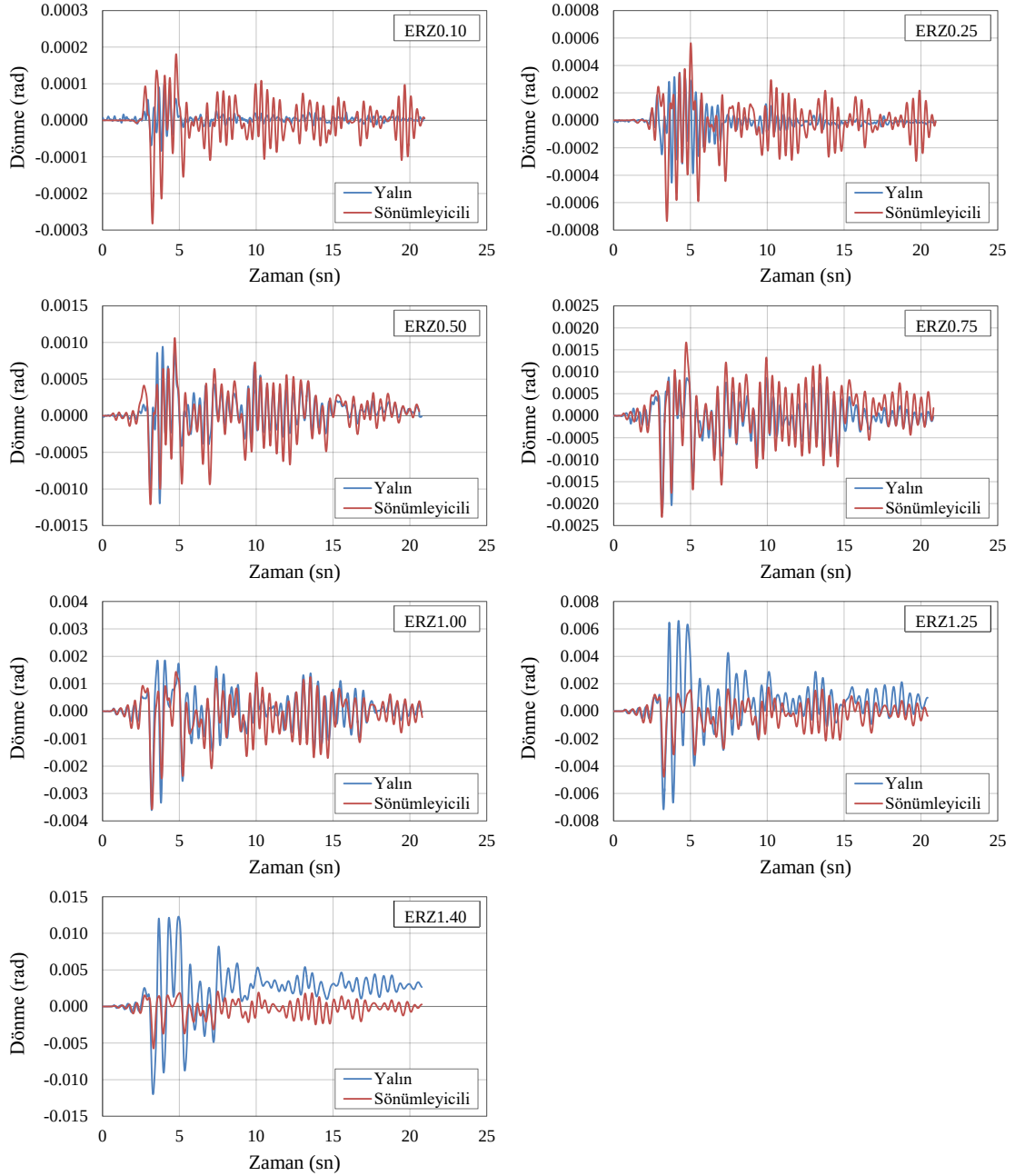


Şekil 3.118 : Yalın ve sönümleyicili birleşim numuneleri tepe ivme-zaman ilişkileri (Deney).

ERZ1.00 testinde, yalın birleşim numunesine ait kolon alt ucunda meydana gelen (+) işaretli en büyük dönme değeri, sönümleyicili birleşim numunesine ait değerden daha büyüktür. ERZ1.00 testinden elde edilen (-) işaretli en büyük dönme değerleri ise birbirine eşittir. ERZ1.25 ve ERZ1.40 testlerinde, sönümleyicili birleşim numunesinde oluşan en büyük dönme değerleri, yalın birleşim numunesi için elde edilen en büyük dönme değerlerinden daha küçüktür.

Yalın ve sönümleyicili kiriş-kolon birleşimi numuneleri kolon alt ucunda, hareket doğrultusunda oluşan dönme değerlerinin zamana bağlı olarak değişimi, deneysel

Çalışma içerisinde gerçekleştirilen her bir test için, şekil 3.119’da sunulmuştur. Yalın birleşim numunesi kolon alt ucunda, ERZ1.25 ve ERZ1.40 testlerinden sonra plastik dönme oluşumu gözlenirken, sönümleyicili birleşim numunesinde kalıcı şekildeğiştirme oluşmamıştır.



şekil 3.119 : Yalın ve sönümleyicili birleşim numuneleri kolon alt ucunda oluşan dönme-zaman ilişkileri (Deney).

Deneysel çalışmada, yalın ve sönümleyicili birleşim numunelerinin kiriş-kolon birleşim bölgesinde meydana gelen dönme, bu bölgeye yerleştirilen iki adet yerdeğiştirme ölçer kullanılarak takip edilmiştir. Yalın birleşim ile gerçekleştirilen deneysel çalışmanın ERZ1.25 testinde, yatay ile 45° yapacak şekilde yerleştirilen

yerdeğiştirme ölçer, kapasitesine ulaşarak doğrultusunu kaybetmiştir. Yatayda konumlandırılmış olan yerdeğiştirme ölçer ise, ERZ1.40 testi sırasında kapasitesine ulaşmıştır. Bu nedenle, ERZ1.25 ve ERZ1.40 testleri için kiriş-kolon birleşiminde meydana gelen dönme değerleri doğru biçimde hesaplanamadığı için, yalın ve sönümleyicili birleşimlerin karşılaştırılmasında göz önüne alınamamıştır.

Yalın ve sönümleyicili kiriş-kolon birleşimlerinde meydana gelen dönme için elde edilen en büyük değerler Çizelge 3.11’de verilmiştir. Sadece ERZ0.50 testinde, sönümleyici numune kiriş-kolon birleşimi için elde edilen (-) işaretli en büyük dönme değeri, yalın numune için elde edilen değerden büyüktür. Bunun dışında gerçekleştirilen tüm testlerde, sönümleyicili numunenin kiriş-kolon birleşiminde oluşan dönme değerleri, yalın numune kiriş-kolon birleşiminde oluşan dönme değerlerinden küçük olarak elde edilmiştir.

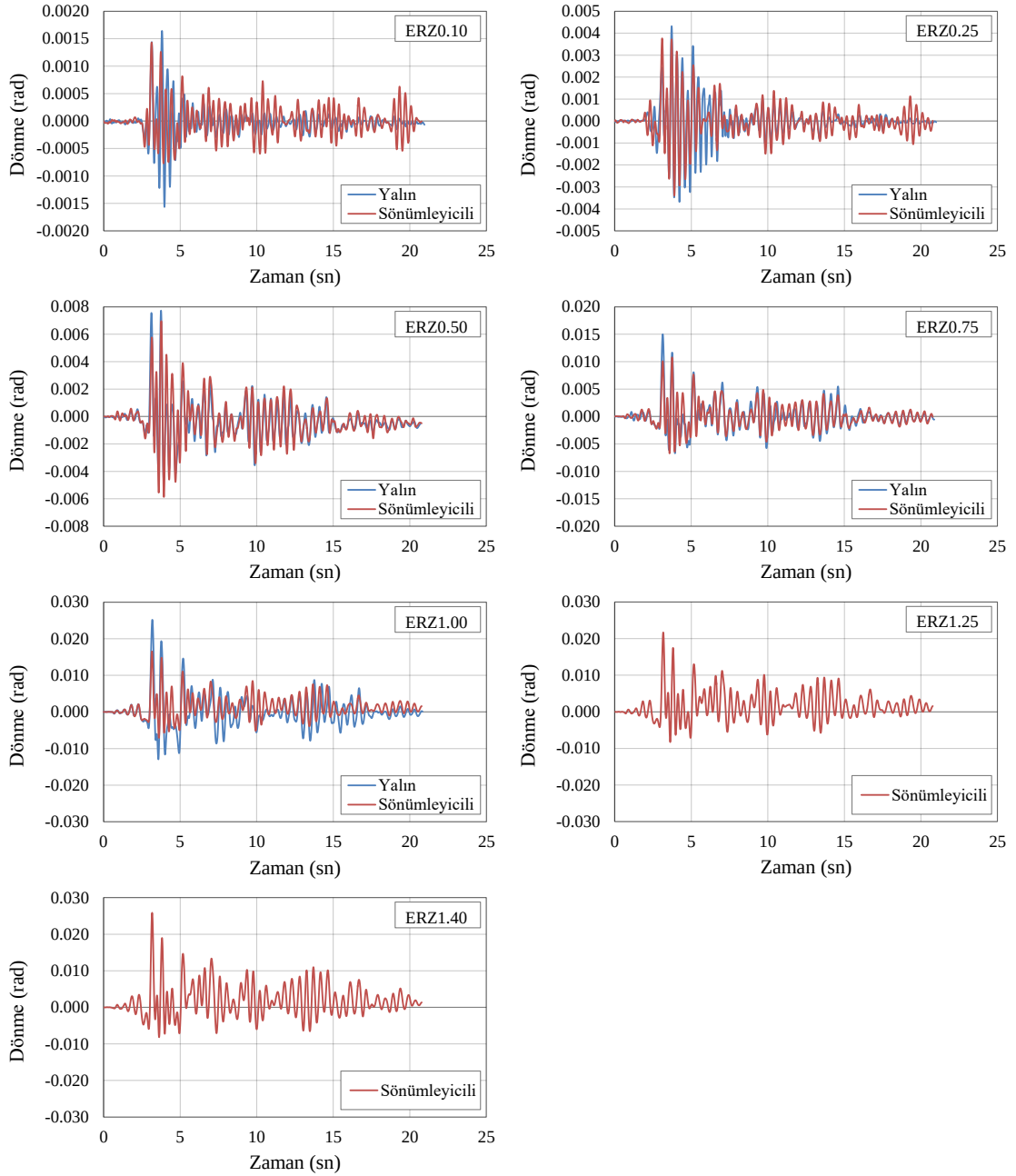
Çizelge 3.11 : Kiriş-kolon birleşimi dönme en büyük değerleri (Deney).

Test	Yalın Birleşim		Sönümleyicili Birleşim	
	Dönme (+) (rad)	Dönme (-) (rad)	Dönme (+) (rad)	Dönme (-) (rad)
ERZ0.10	0.0016	0.0016	0.0014	0.0008
ERZ0.25	0.0043	0.0037	0.0038	0.0034
ERZ0.50	0.0077	0.0047	0.0070	0.0059
ERZ0.75	0.0150	0.0067	0.0108	0.0067
ERZ1.00	0.0252	0.0130	0.0165	0.0071
ERZ1.25	-	-	0.0217	0.0083
ERZ1.40	-	-	0.0259	0.0082

Deneysel çalışma içerisinde gerçekleştirilen ERZ0.10, ERZ0.25, ERZ0.50, ERZ0.75 ve ERZ1.00 testleri için, yalın ve sönümleyicili numunelerin kiriş-kolon birleşiminde, hareket doğrultusunda oluşan dönme değerlerinin zamana bağlı olarak değişimi şekil 3.120’de verilmiştir. ERZ1.25 ve ERZ1.40 testleri için sadece sönümleyicili numune kiriş-kolon birleşimine ait dönme-zaman ilişkileri ifade edilmiştir.

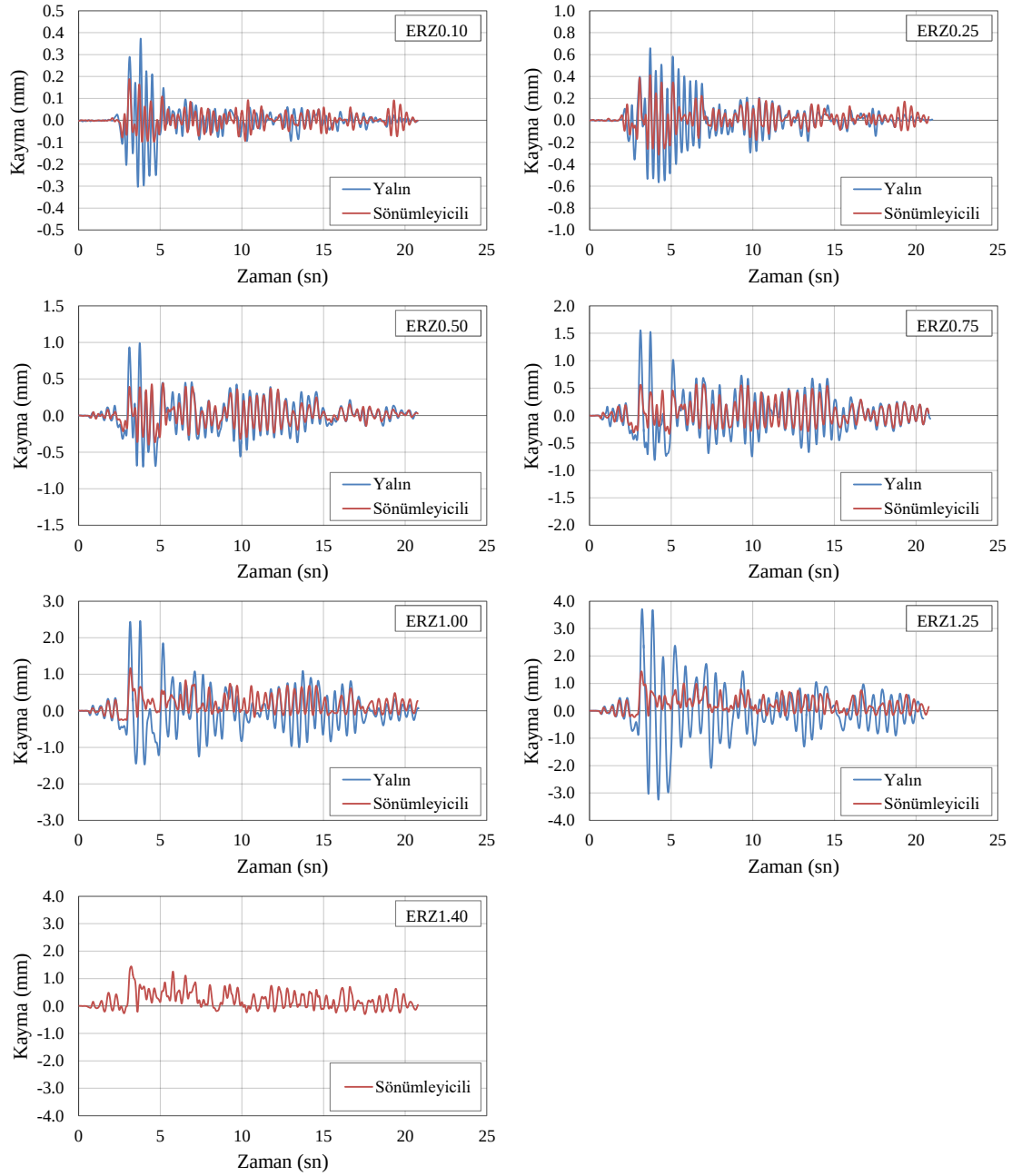
Yalın ve sönümleyicili birleşim numunelerinde, kiriş-kolon birleşiminde oluşan kaymanın zamana bağlı olarak değişimi ise şekil 3.121’de görölmektedir. Yatayda konumlandırılmış olan yerderğiştirme ölçer ERZ1.40 testi sırasında kapasitesine ulaştığı için, ERZ1.40 testine ait olan kayma-zaman ilişkisinde yalnızca sönümleyicili kiriş-kolon birleşiminde oluşan kaymanın zamana göre değişimine yer verilmiştir. KES’in, yerleştirilmiş olduğu kiriş-kolon birleşiminde meydana gelen

kaymayı önemli ölçüde sınırladığı görülmektedir (Şekil 3.121). Yalın numuneye ait birleşimde oluşan kayma testler ilerledikçe artmış, sönümleyicili numune birleşiminde ise ERZ1.00 testinden sonra nerede ise aynı kalmıştır.



Şekil 3.120 : Yalın ve sönümleyicili birleşim numuneleri giriş-kolon birleşiminde oluşan dönme-zaman ilişkileri (Deney).

Kolon alt ucundaki enkesitte, boyuna donatı üzerine yerleştirilen birim şekildeğiştirme ölçerler ile kayıt altına alınan birim şekildeğiştirmenin, kısalma ve uzama için elde edilen en büyük değerleri sırasıyla Çizelge 3.12 ve Çizelge 3.13'te verilmiştir.



Şekil 3.121 : Yalın ve sönümleyicili birleşim numuneleri kiriş-kolon birleşiminde oluşan kayma-zaman ilişkileri (Deney).

Yalın birleşim numunesi için CBB-1 etiketli birim şekildeğiştirme ölçer ile sönümleyicili birleşim numunesi için CBB-2 etiketli birim şekildeğiştirme ölçerden, değerlendirmeye alınabilecek büyüklükler elde edilememiştir. Kayıt altına alınan diğer birim şekildeğiştirme değerleri incelendiğinde sönümleyicili birleşim numunesine ait olan değerlerin, yalın birleşim numunesi için elde edilen değerlerden küçük olduğu görülmektedir.

Çizelge 3.12 : Kolon alt uç bölgesi altında yer alan kesitte boyuna donatıda meydana gelen en büyük kısalma değerleri (Deney).

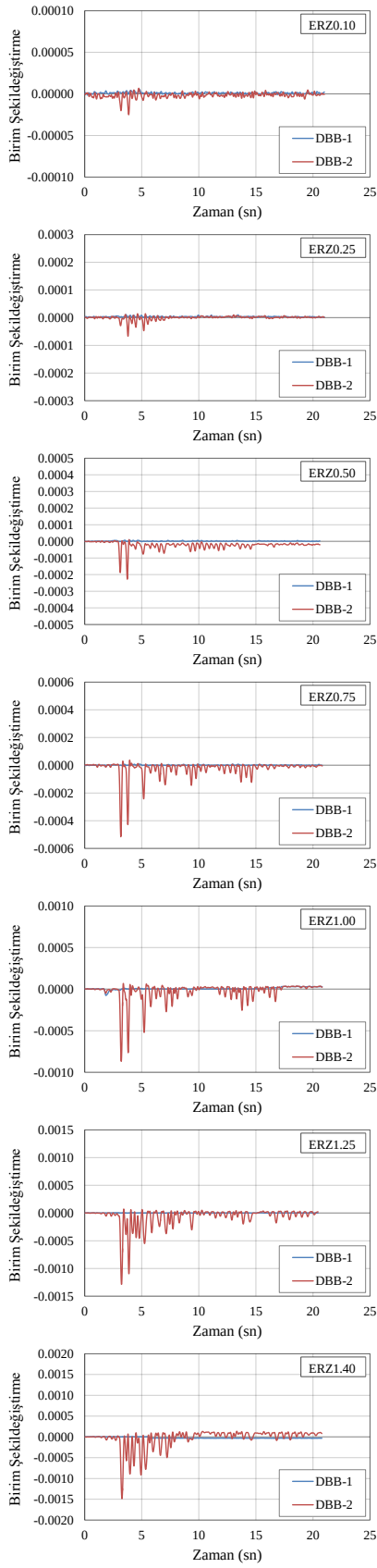
Test	Yalın Birleşim				Sönümleyicili Birleşim			
	CBB1	CBB2	CBB3	CBB4	CBB1	CBB2	CBB3	CBB4
ERZ0.10	-	0.00028	0.00026	0.00021	0.00022	-	0.00009	0.00007
ERZ0.25	-	0.00046	0.00047	0.00040	0.00051	-	0.00026	0.00025
ERZ0.50	-	0.00046	0.00049	0.00045	0.00069	-	0.00027	0.00034
ERZ0.75	-	0.00056	0.00043	0.00051	0.00072	-	0.00023	0.00037
ERZ1.00	-	0.00061	0.00070	0.00065	0.00077	-	0.00023	0.00036
ERZ1.25	-	0.00089	0.00174	0.00156	0.00082	-	0.00030	0.00034
ERZ1.40	-	0.00208	0.00215	0.00231	0.00090	-	0.00033	0.00034

Çizelge 3.13 : Kolon alt uç bölgesi altında yer alan kesitte boyuna donatıda meydana gelen en büyük uzama değerleri (Deney).

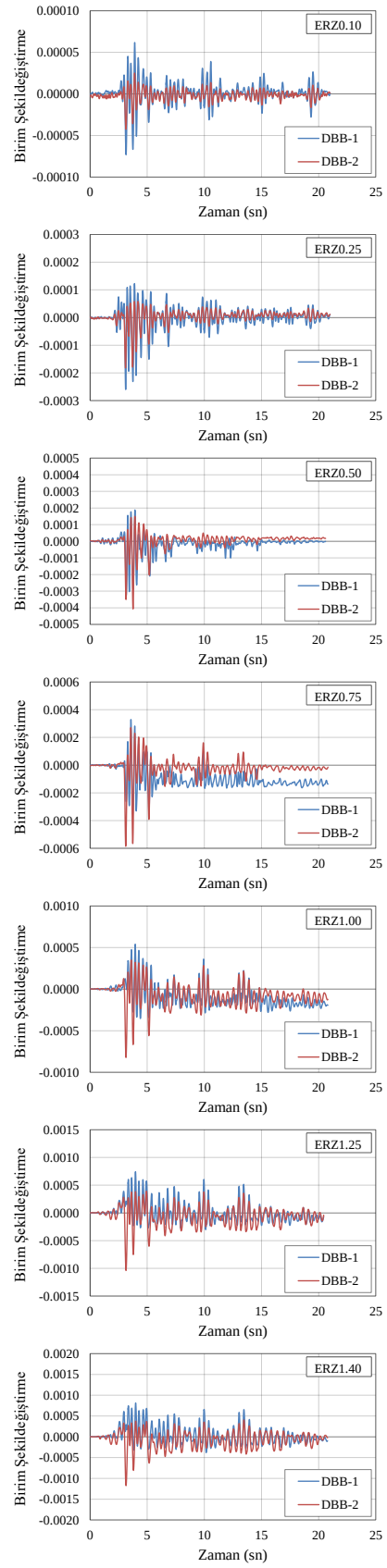
Test	Yalın Birleşim				Sönümleyicili Birleşim			
	CBB1	CBB2	CBB3	CBB4	CBB1	CBB2	CBB3	CBB4
ERZ0.10	-	0.00034	0.00042	0.00049	0.00014	-	0.00016	0.00015
ERZ0.25	-	0.00078	0.00095	0.00117	0.00046	-	0.00050	0.00062
ERZ0.50	-	0.00098	0.00142	0.00181	0.00072	-	0.00075	0.00100
ERZ0.75	-	0.00090	0.00219	0.00265	0.00078	-	0.00107	0.00136
ERZ1.00	-	0.00142	0.00299	0.00354	0.00082	-	0.00148	0.00181
ERZ1.25	-	0.00286	0.00362	0.00468	0.00092	-	0.00184	0.00218
ERZ1.40	-	0.00634	0.00374	0.00719	0.00089	-	0.00203	0.00241

Yalın ve sönümleyicili numunelerin kiriş-kolon birleşiminde, kiriş içerisinde kalan rodların alt kısmına yerleştirilen birim şekildeğiştirme ölçerden elde edilen birim şekildeğiştirme değerlerinin zamana göre değişimi Şekil 3.122’de verilmiştir. Yalın birleşim numunesinde yer alan DBB-1 etiketli birim şekildeğiştirme ölçerden alınan veriler, deneysel çalışma boyunca aynı kaldığı için, Şekil 3.122’de sunulmuş ancak değerlendirmeye alınmamıştır.

ERZ0.10, ERZ0.25, ERZ0.50 ve ERZ0.75 testlerinde, yalın birleşim numunesinin rodunda meydana gelen birim şekildeğiştirme, sönümleyicili birleşim numunesinden daha küçüktür. ERZ1.00, ERZ1.25 ve ERZ1.40 testleri sırasında, sönümleyicili birleşim numunesi rodunda, yalın birleşim numunesine kıyasla daha küçük birim şekildeğiştirme değerleri olduğu anlaşılmaktadır.



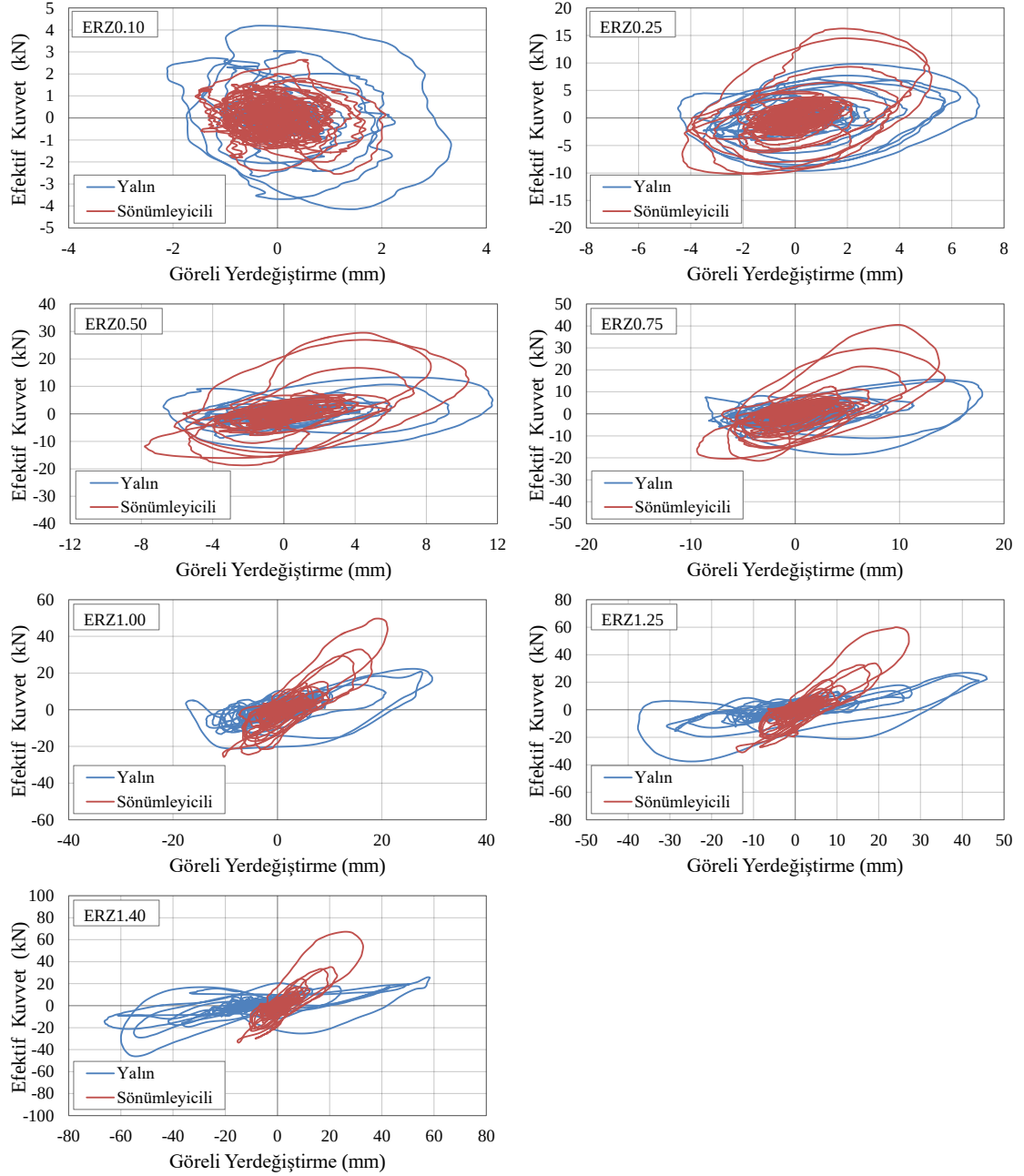
(a)



(b)

Şekil 3.122 : Kiriş içerisinde kalan rod alt ucu birim şekildeğiştirme-zaman ilişkileri (Deney); (a) Yalın birleşim, (b) Sönümleyicili birleşim.

Deneysel çalışmada yalın ve sönümleyicili numunelerin temel üstüne ve kiriş üstüne yerleştirilen ivme ölçerler ile takip edilen ivme kayıtlarının farkı alınmış, temel üzerinde kalan numune parçalarının (kolon, kiriş ve ilave ağırlıklar) kütleleri toplamı ile çarpılarak, kolon alt uç kesitinde oluşacağı düşünülen kesme kuvvetine eşit olan efektif kuvvet hesaplanmıştır.



Şekil 3.123 : Yalın ve sönümleyicili birleşim numuneleri efektif kuvvet-görel yerd eğiştirme ilişkileri (Deney).

Kolon kütlesi $0.533 \text{ kNs}^2/\text{m}$, kiriş kütlesi $1.498 \text{ kNs}^2/\text{m}$ ve ilave kütle $2.94 \text{ kNs}^2/\text{m}$ olarak dikkate alınmıştır. Efektif kuvvet ile numunelere ait görel yerd eğiştirme bir

araya getirilerek efektif kuvvet-görelî yerdeğîştirme ilişkileri elde edilmiştir (Şekil 3.123).

Efektif kuvvet-görelî yerdeğîştirme ilişkileri incelendiğinde, ERZ0.25 testi itibari ile, sönümleyicili numuneye ait yatay rijitliğîn yalın numuneye göre daha büyük olduğı görölmektedir. Yatay rijitliğîn artması ile birlikte numunede oluşân görelî yerdeğîştirme azalırken, efektif kuvvet artmaktadır. ERZ1.00 testi itibari ile oluşân hasar dolayısıyla yalın numunede yatay rijitlik azalmaya başlamaktadır. Sönümleyicili numunenin davranışında belirgin farklılık ortaya çıkmamıştır ve bu durum deneysel çalışma sırasında gözlemlenen çatlak oluşumu ile örtüşmektedir.

Kolon alt ucunda yer alan etriye sıkılaştırma bölgesinde kolon kesiti kesme kuvveti kapasitesi 402 kN olarak belirlenmiştir. Kolon orta bölgesi için ise kesme kuvveti kapasitesi 246 kN olarak hesaplanmıştır. Deneysel çalışma sürecince, yalın ve sönümleyicili numunelerin kolon alt uç kesitinde hesaplanan efektif kuvvet, kolon kesiti kesme kuvveti kapasitesinin oldukça altında kalmıştır.

3.6 Kuramsal ve Deneysel Çalışma Sonuçlarının Karşılaştırılması

Yalın ve sönümleyicili birleşim numunelerine ait malzeme özellikleri, deneysel çalışmada uygulanan ivme kayıtları ve KES eleman deneyleri ile belirlenen büyüklükler kullanılarak analitik modeller oluşturulmuştur. Moment aktarmayan prefabrike betonarme kiriş-kolon birleşiminin yalın ve sönümleyicili durumları için gerçekleştirilen kuramsal ve deneysel çalışmalara ait sonuçlar, bu çalışmalar sırasında takip edilen aşağıdaki büyüklükler kullanılarak karşılaştırılmıştır.

1. Numuneye ait tepe yerdeğîştirme-zaman ilişkisi,
2. Kiriş tablası üzerinde oluşân yatay ivme-zaman ilişkisi,
3. Temel üst (kolon alt ucu) kotunda oluşân yatay ivme-zaman ilişkisi,
4. Kolon alt ucunda meydana gelen dönme-zaman ilişkisi,

Sönümleyicili birleşim için, yukarıda ifade edilen büyüklüklere ilave olarak, KES eksenel kuvvet-eksenel yerdeğîştirme ilişkisi de karşılaştırılmıştır.

3.6.1 Yalın birleşim

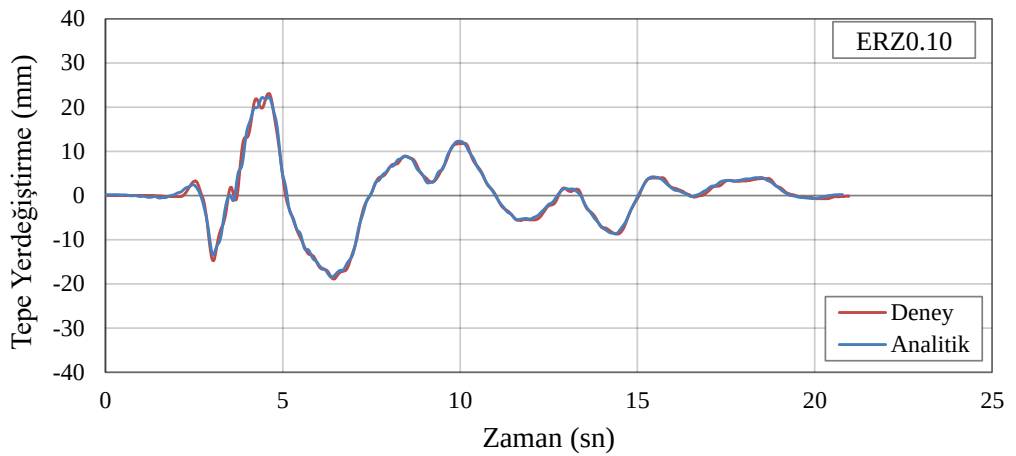
3.6.1.1 Tepe yerdeğiştirme-zaman ilişkisi

Tepe yerdeğiştirme büyüklükleri, masa hareketini içerecek şekilde mutlak yerdeğiştirme olarak dikkate alınmıştır. Bunun nedeni, deneysel çalışmadan elde edilen temel üst kotu yerdeğiştirme değerleri ile yalın birleşim numunesi tepe yerdeğiştirme değerleri arasında faz farkı olması dolayısıyla, hesaplanan fark değerlerin analitik model ile karşılaştırılabilir olamamasıdır.

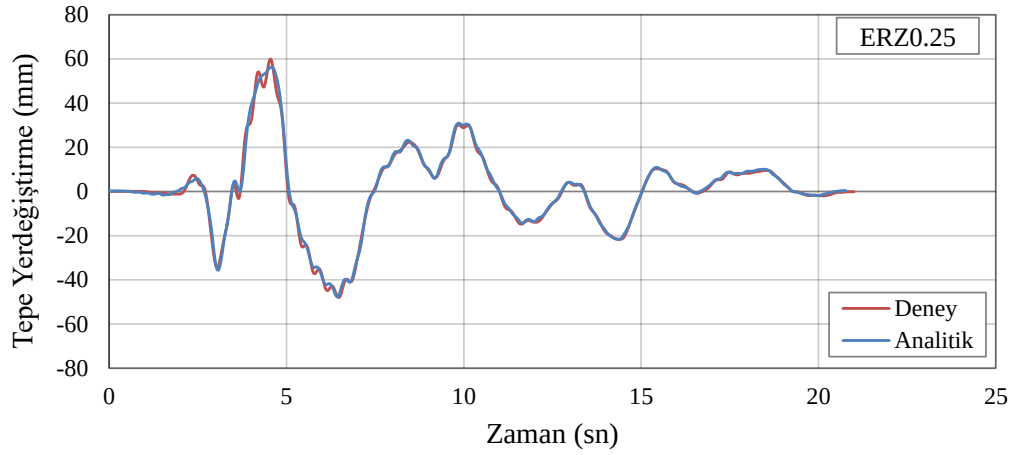
ERZ0.10 için yalın birleşim tepe yatay yerdeğiştirme-zaman ilişkisi Şekil 3.124'te verilmiştir. Sarsma masasına uygulanan yer hareketlerinin en küçüğü olan ERZ0.10 için, kuramsal ve deneysel çalışma sonuçları birbirine oldukça yakınlık göstermektedir. İki ve beş saniyeleri arasındaki itme tepe yerdeğiştirme değerlerinde küçük farklar bulunmaktadır.

ERZ0.25 için yalın birleşim tepe yatay yerdeğiştirme-zaman ilişkisi Şekil 3.125'te görülmektedir. ERZ0.25 için, itme ve çekmede ulaşılan en büyük yerdeğiştirme değerlerinde küçük farklar oluşmuştur.

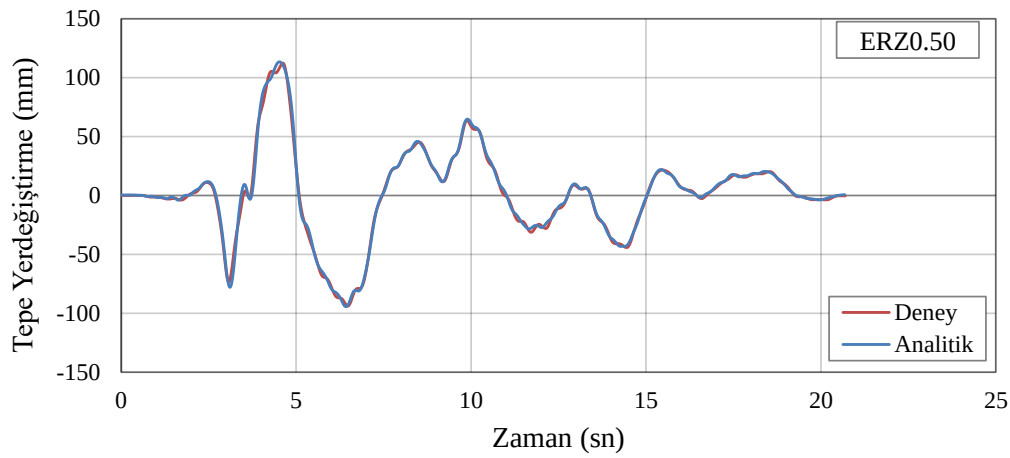
Kuramsal ve deneysel çalışmada, ERZ0.50 için elde edilen yalın birleşim tepe yatay yerdeğiştirme-zaman ilişkisi incelendiğinde, sonuçların birbiri ile oldukça uyumlu olduğu görülmektedir. Kuramsal ve deneysel çalışma sonuçları arasındaki farklar oldukça küçüktür (Şekil 3.126).



Şekil 3.124 : Yalın birleşim tepe yerdeğiştirme-zaman ilişkisi (ERZ0.10).



Şekil 3.125 : Yalın birleşim tepe yerdeğiştirme-zaman ilişkisi (ERZ0.25).

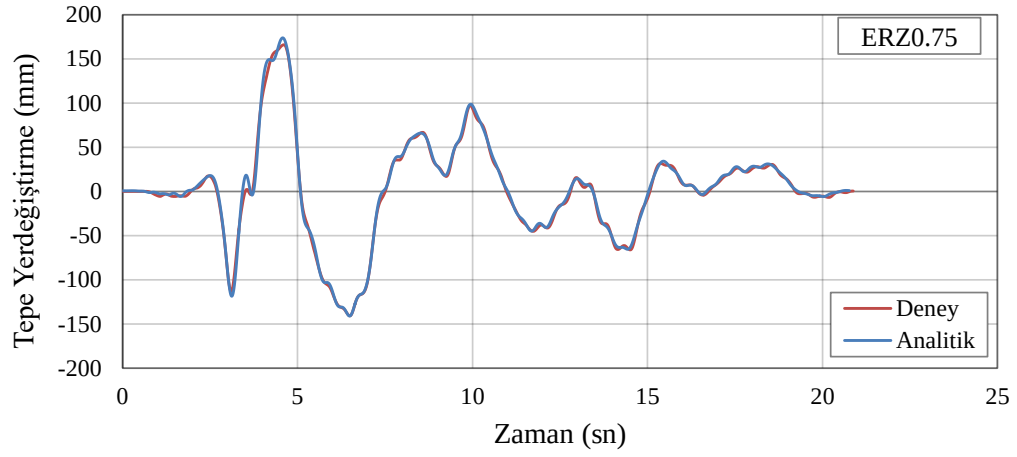


Şekil 3.126 : Yalın birleşim tepe yerdeğiştirme-zaman ilişkisi (ERZ0.50).

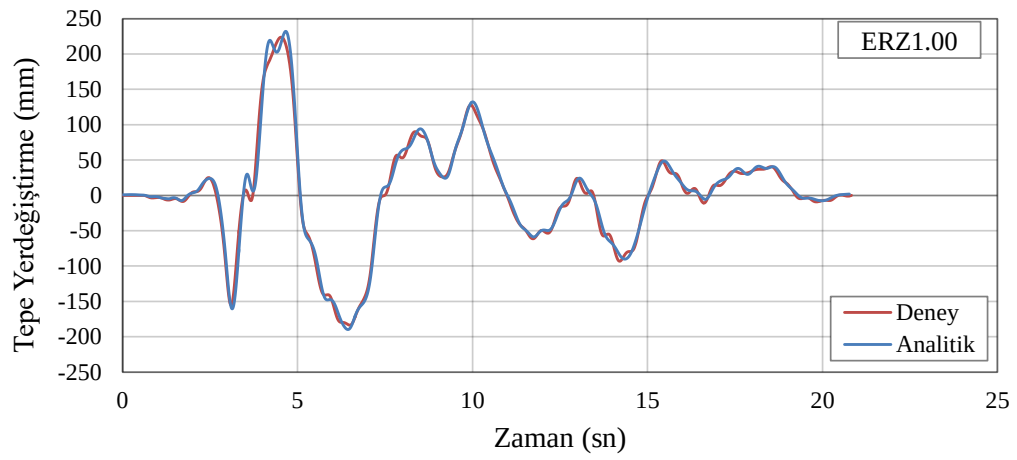
Kuramsal ve deneysel çalışmada, ERZ0.75 için elde edilen yalın birleşim tepe yatay yerdeğiştirme-zaman ilişkisi oldukça uyumludur. Kuramsal ve deneysel çalışma sonuçları arasında küçük farklar oluşmaktadır (Şekil 3.127).

Yalın birleşim için kuramsal ve deneysel çalışmadan (ERZ1.00) elde edilen tepe yatay yerdeğiştirme-zaman ilişkisi Şekil 3.128’de sunulmuştur. Kuramsal ve deneysel çalışma sonuçları birbirine oldukça yakındır.

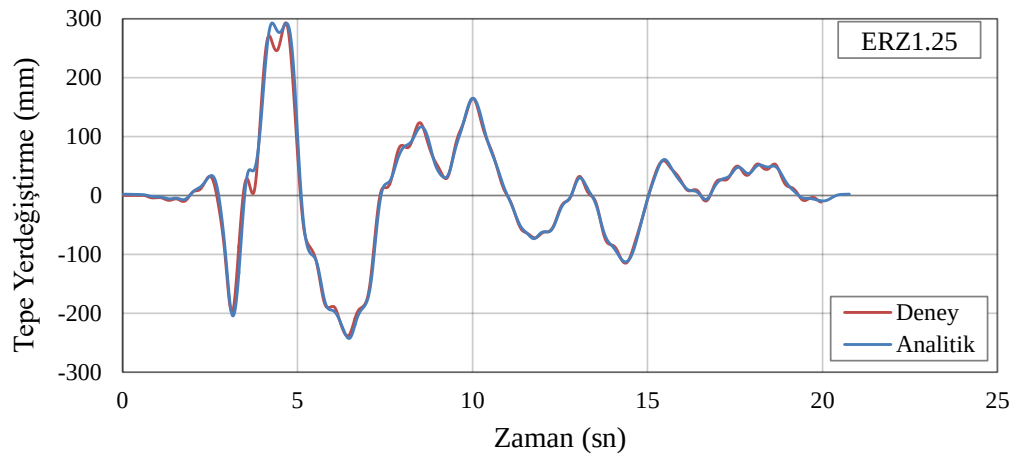
ERZ1.25 ve ERZ1.40 için, kuramsal ve deneysel çalışmadan elde edilen yalın birleşim tepe yatay yerdeğiştirme-zaman ilişkileri sırasıyla Şekil 3.129 ve Şekil 3.130’da verilmiştir. Her iki test için, kuramsal ve deneysel çalışmadan elde edilen sonuçların birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir.



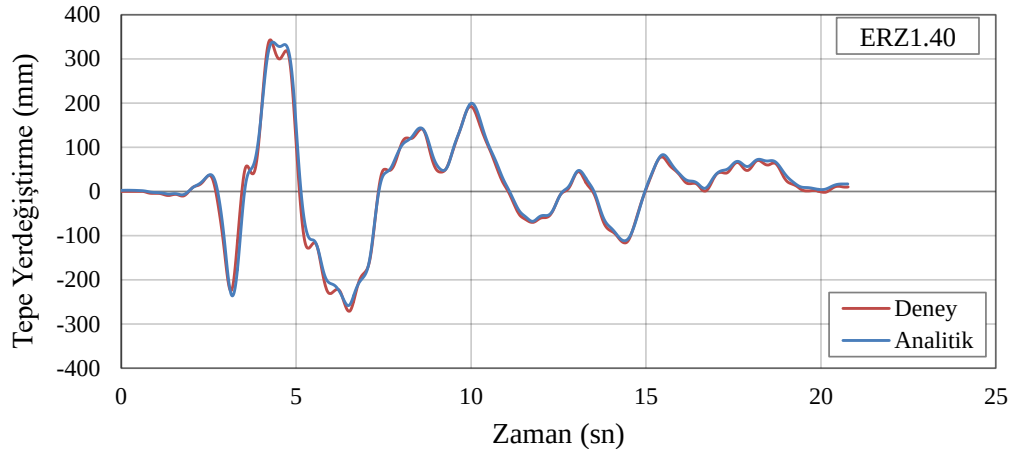
Şekil 3.127 : Yalın birleşim tepe yerdeğiştirme-zaman ilişkisi (ERZ0.75).



Şekil 3.128 : Yalın birleşim tepe yerdeğiştirme-zaman ilişkisi (ERZ1.00).



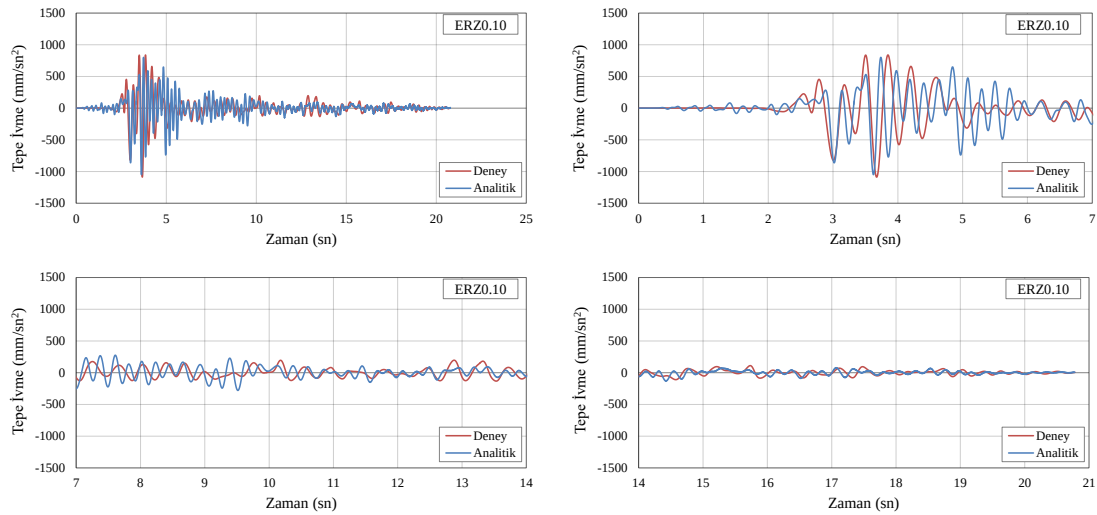
Şekil 3.129 : Yalın birleşim tepe yerdeğiştirme-zaman ilişkisi (ERZ1.25).



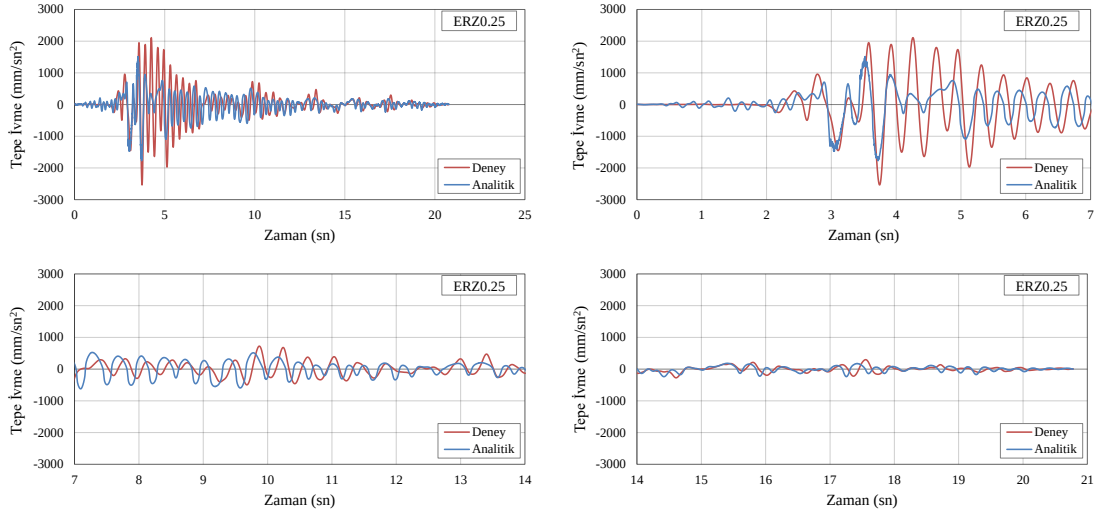
Şekil 3.130 : Yalın birleşim tepe yerdeğiştirme-zaman ilişkisi (ERZ1.40).

3.6.1.2 Tepe ivme-zaman ilişkisi

Deneysel çalışmada numune tepe ivme büyüklükleri, hareketin olduğu düzlem içi ve düzlem dışı olmak üzere iki farklı doğrultuda takip edilmiştir. Kuramsal ve deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar karşılaştırılırken, düzlem içerisinde oluşan ivme büyüklükleri kullanılmıştır. İvmenin değişimi, daha yakından izleyebilmek için, dört ayrı zaman dilimi ile sunulmuştur. İlk grafik tüm yer hareketini, ikinci grafik başlangıç-7.saniye, üçüncü grafik 7.-14.saniye, dördüncü ve son grafik ise 14.saniye-bitiş zaman aralıklarını ifade etmektedir (Şekil 3.131-Şekil 3.137).



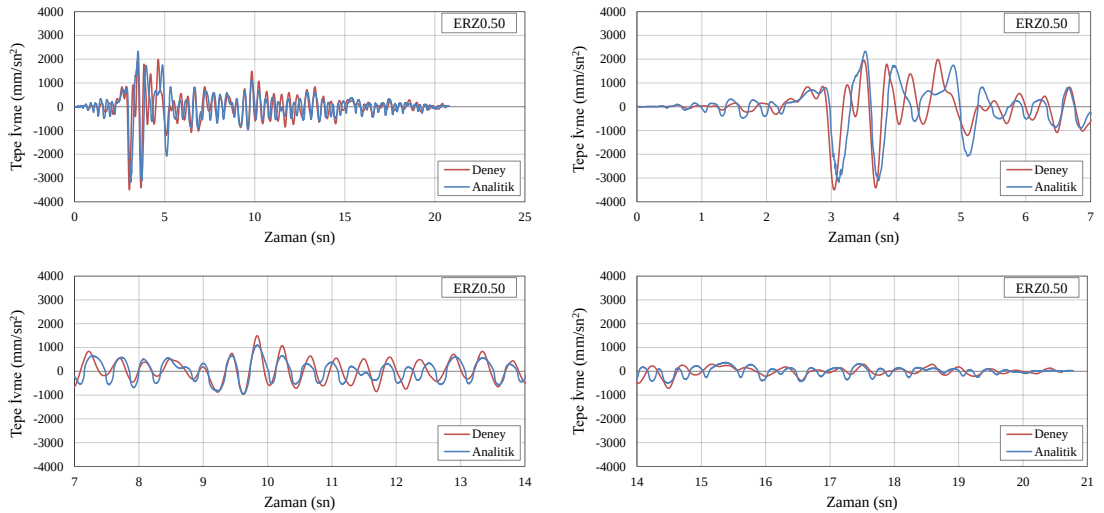
Şekil 3.131 : Yalın birleşim tepe ivme-zaman ilişkisi (ERZ0.10).



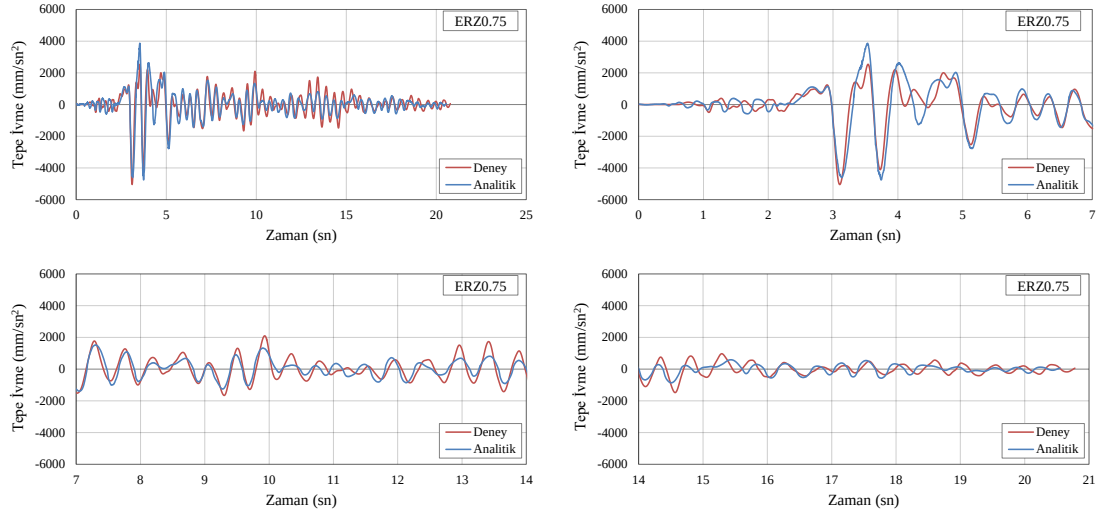
Şekil 3.132 : Yalın birleşim tepe ivme-zaman ilişkisi (ERZ0.25).

ERZ0.10 için, kuramsal ve deneysel çalışmadan elde edilen yalın birleşim tepe noktası ivme-zaman ilişkileri Şekil 3.131’de görülmektedir. İvmeye ait en büyük değerlerin olduğu bölgede, kuramsal ve deneysel çalışmadan elde edilen değerler arasındaki fark küçüktür. İvme genliklerinin azalmaya başlaması ile birlikte, genlikler arasında bir miktar fark oluşmuştur.

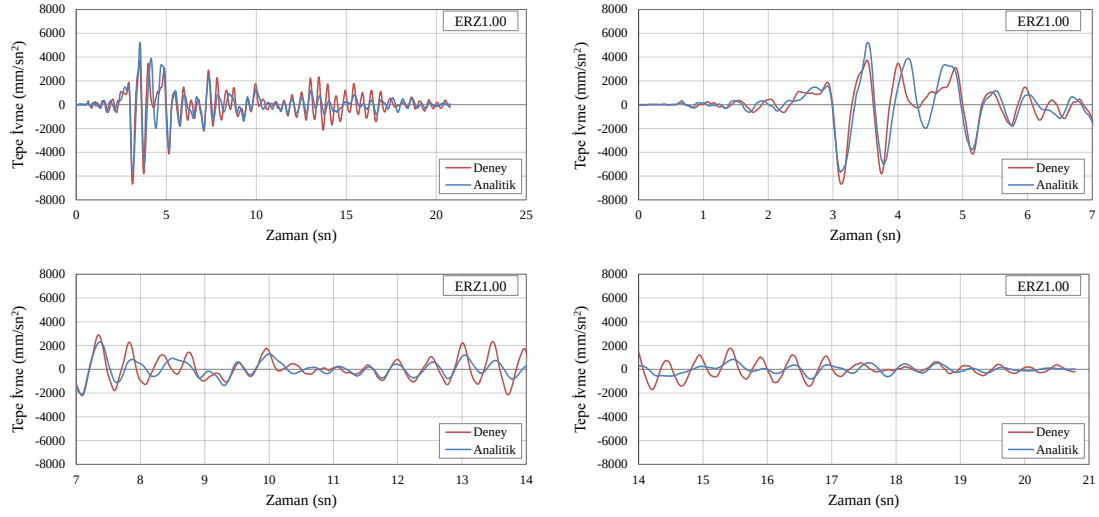
ERZ0.25 için, deneysel çalışmadan elde edilen ivmeye ait en büyük değerler kuramsal çalışmadan elde edilen değerlerden bir miktar büyüktür (Şekil 3.132). Bununla birlikte deneysel ve kuramsal çalışmadan elde edilen ivme-zaman ilişkileri arasında faz farkı olduğu görülmektedir.



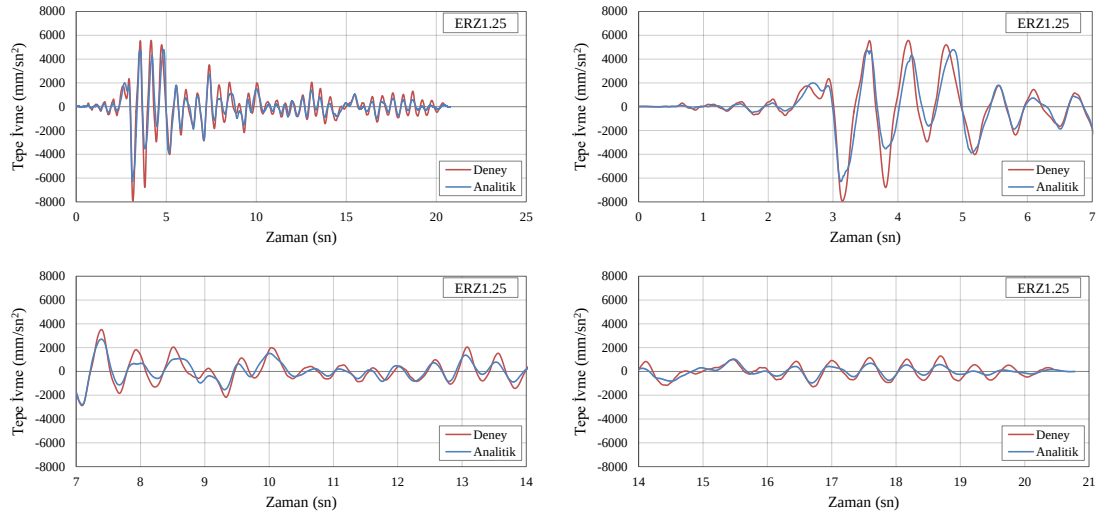
Şekil 3.133 : Yalın birleşim tepe ivme-zaman ilişkisi (ERZ0.50).



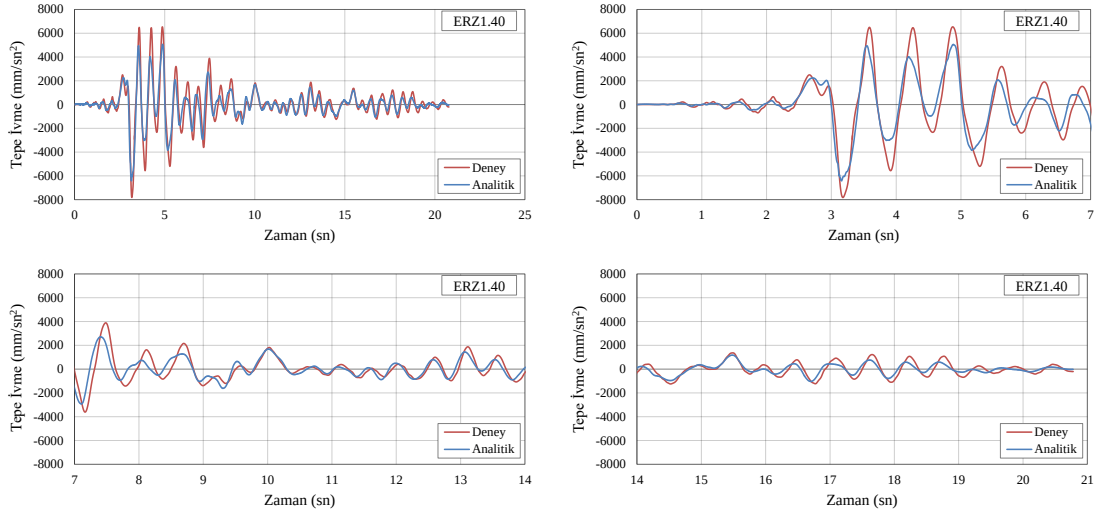
Şekil 3.134 : Yalın birleşim tepe ivme-zaman ilişkisi (ERZ0.75).



Şekil 3.135 : Yalın birleşim tepe ivme-zaman ilişkisi (ERZ1.00).



Şekil 3.136 : Yalın birleşim tepe ivme-zaman ilişkisi (ERZ1.25).



Şekil 3.137 : Yalın birleşim tepe ivme-zaman ilişkisi (ERZ1.40).

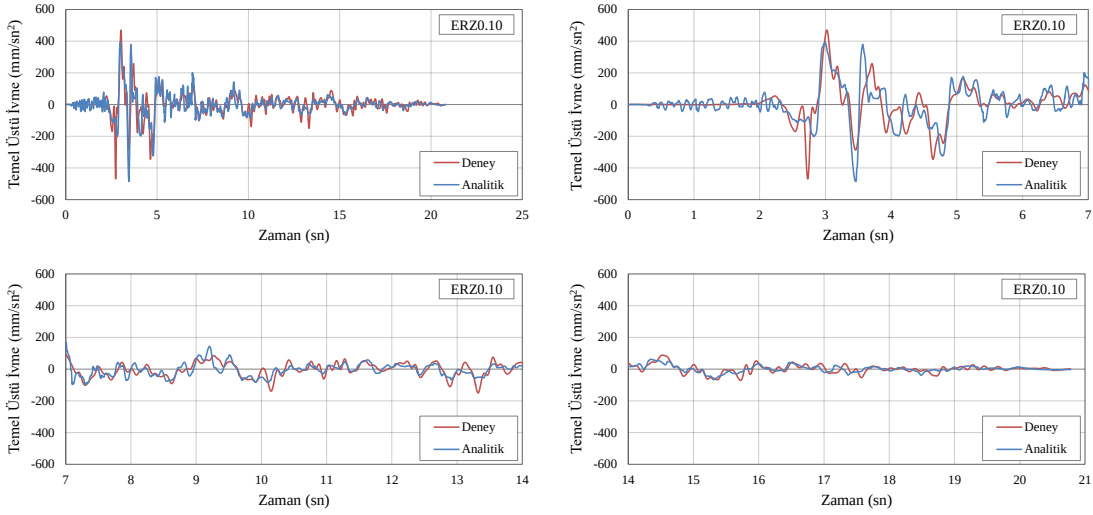
ERZ0.50 ve ERZ0.75 için, kuramsal ve deneysel çalışmadan elde edilen yalın birleşim tepe noktası ivme-zaman ilişkileri oldukça uyumludur. Kuramsal ve deneysel çalışma sonuçları arasında küçük farklar oluşmaktadır (Şekil 3.133 ve Şekil 3.134).

ERZ1.00 ve ERZ 1.25 için, yalın birleşim tepe noktası ivme-zaman ilişkileri sırasıyla Şekil 3.135’te ve Şekil 3.136’da sunulmuştur. Kuramsal ve deneysel çalışmadan elde edilen tepe ivme-zaman ilişkileri birbiri ile uyumlu ve aralarındaki farklar küçüktür.

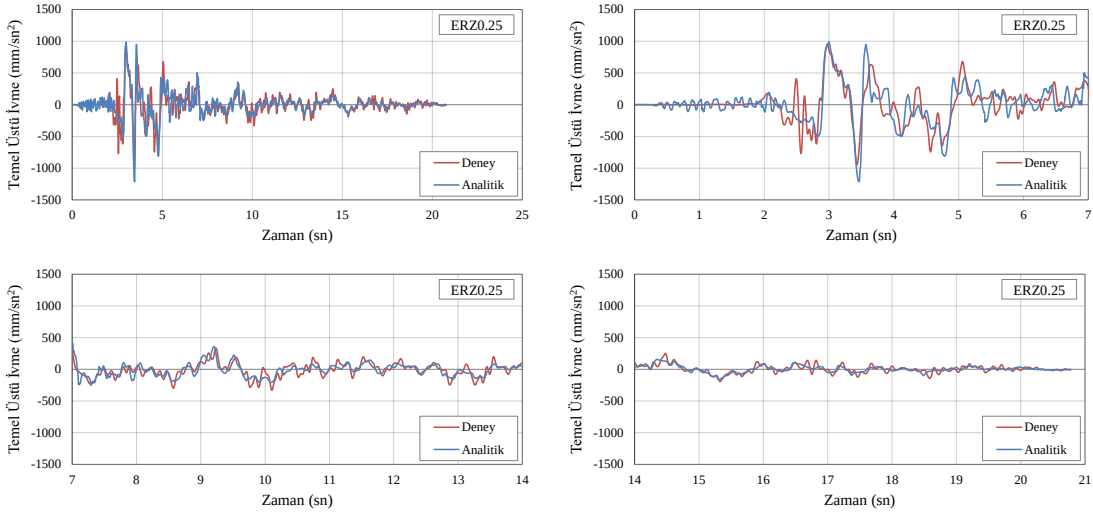
ERZ1.40 için, kuramsal ve deneysel çalışmadan elde edilen yalın birleşim tepe ivme-zaman ilişkileri arasındaki uyum oldukça iyidir. Ancak ivmenin en büyük değerleri arasındaki fark artmıştır. Bununla birlikte ERZ1.40 için tepe ivme-zaman ilişkilerinin tümü incelendiğinde faz farkının neredeyse oluşmadığı görülmektedir (Şekil 3.137).

3.6.1.3 Temel üstü (kolon alt ucu) ivme-zaman ilişkisi

Deneysel çalışmada temel üst kotu ivme büyüklükleri, hareketin olduğu düzlem içi ve düzlem dışı olmak üzere iki farklı doğrultuda takip edilmiştir. Kuramsal çalışmada kullanılan model, sarsma masası üzerine yerleştirilen deney numunesinin doğru biçimde temsil edilmesi için, temel ile birlikte oluşturulmuştur. Temel üstünde oluşan ivme değerlerinin, kuramsal ve deneysel çalışma sonuçları açısından karşılaştırılması, düzlem içerisinde oluşan ivme büyüklükleri kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 3.138 : Temel üst kotu ivme-zaman ilişkisi (ERZ0.10).

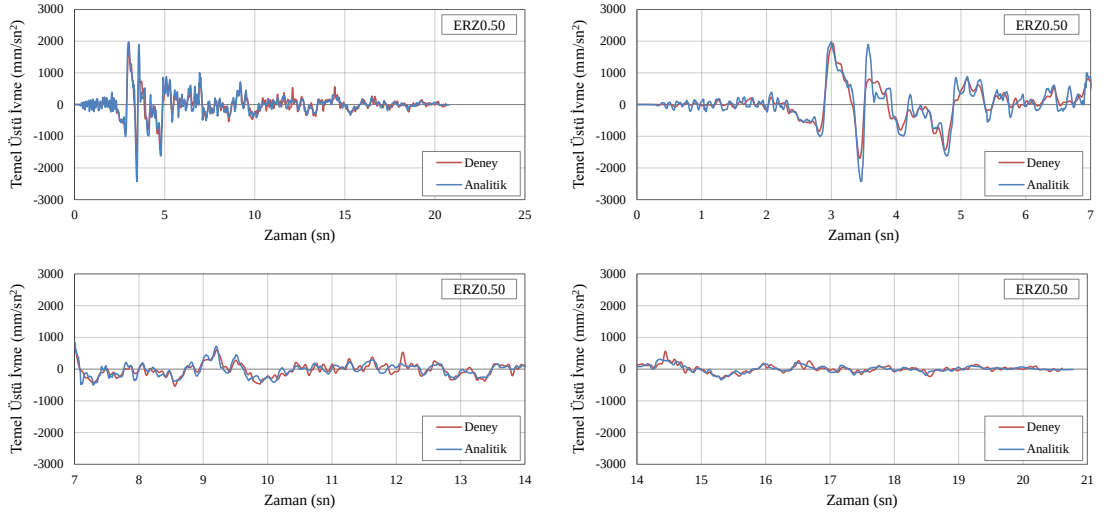


Şekil 3.139 : Temel üst kotu ivme-zaman ilişkisi (ERZ0.25).

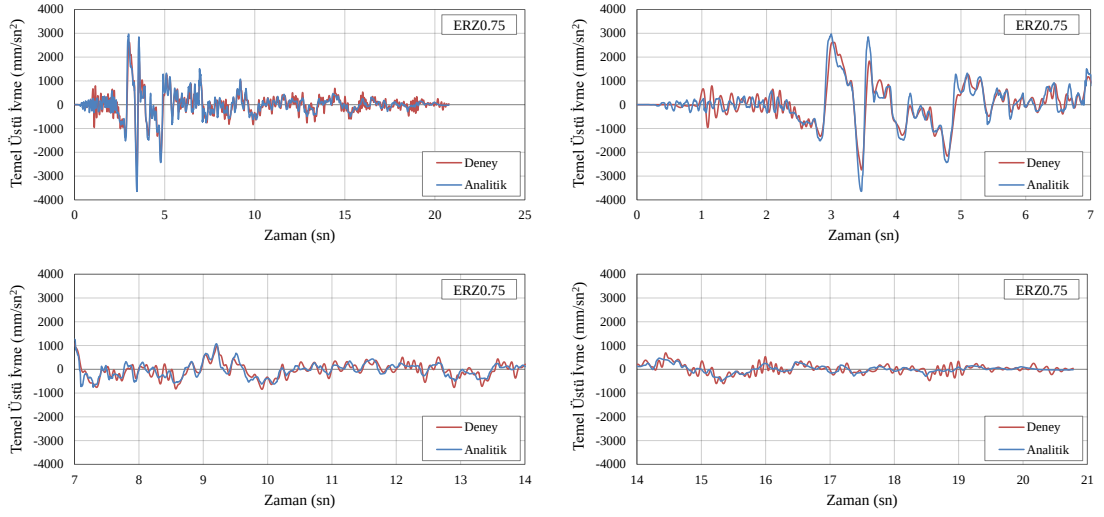
ERZ0.10 ve ERZ0.25 için, deneysel ve kuramsal çalışmadan elde edilen temel üst kotu ivme-zaman ilişkileri, aralarında küçük farklar oluşsa da, ivme genliği ve faz açısından uyumludur.

Deneysel çalışma sırasında yürütülen her iki test için, 2. ve 3. saniyeler arasında, kuramsal çalışmadan elde edilen ilişkiden farklı bir dalgalanma oluşmuş (Şekil 3.138 ve Şekil 3.139) ancak diğer testlerde bu dalgalanmaya rastlanmamıştır.

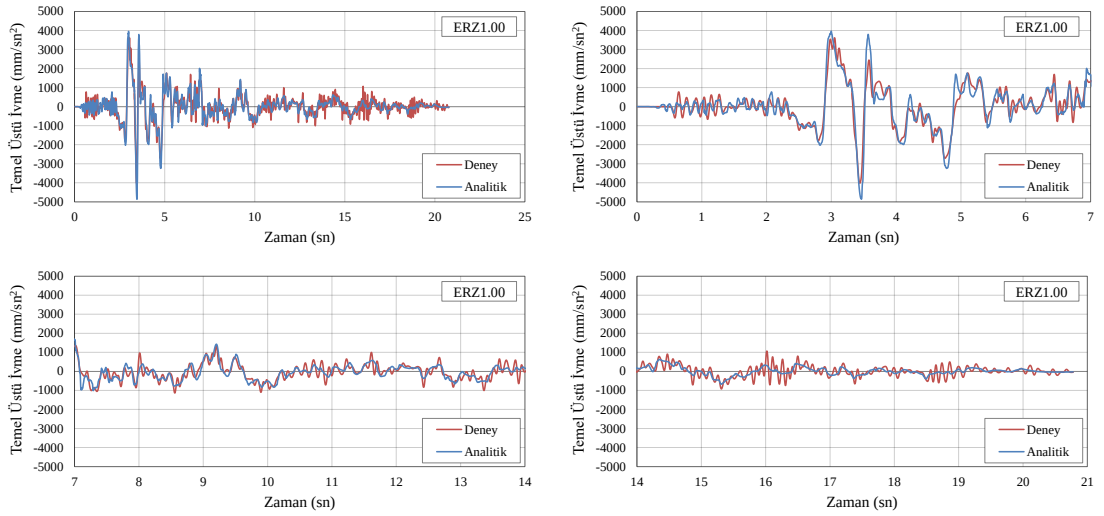
ERZ0.50, ERZ 0.75, ERZ1.00, ERZ1.25 ve ERZ1.40 için, kuramsal ve deneysel çalışmadan elde edilen temel üstü ivme-zaman ilişkileri arasındaki farklar küçüktür ve ilişkiler birbiri ile oldukça uyumludur (Şekil 3.140-Şekil 3.144).



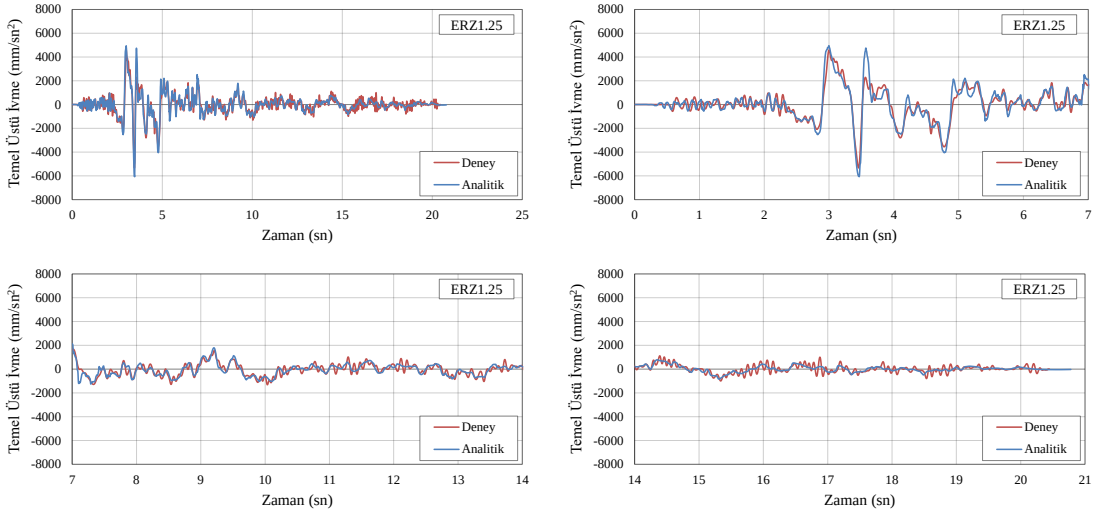
Şekil 3.140 : Temel üst kotu ivme-zaman ilişkisi (ERZ0.50).



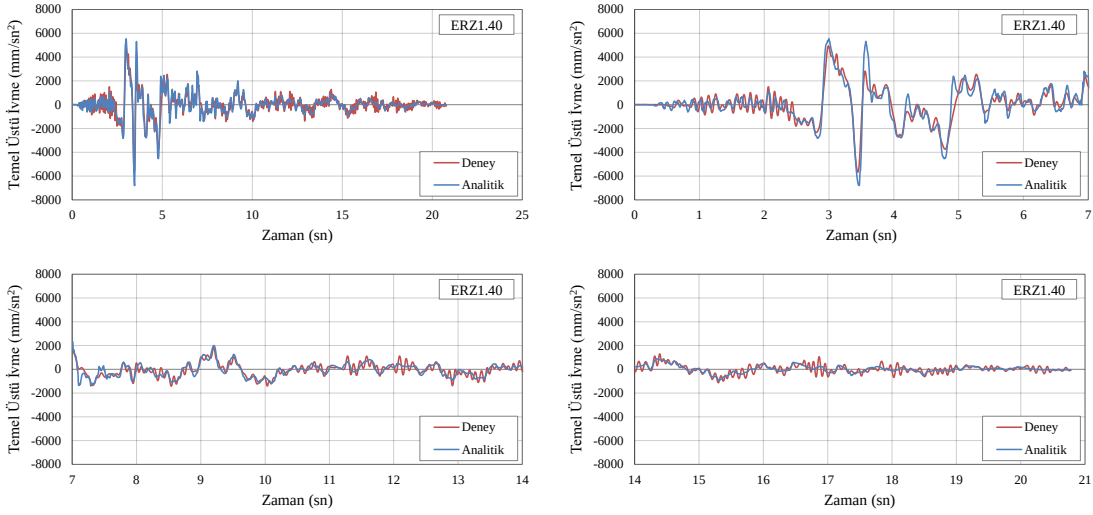
Şekil 3.141 : Temel üst kotu ivme-zaman ilişkisi (ERZ0.75).



Şekil 3.142 : Temel üst kotu ivme-zaman ilişkisi (ERZ1.00).



Şekil 3.143 : Temel üstü kotu ivme-zaman ilişkisi (ERZ1.25).



Şekil 3.144 : Temel üstü kotu ivme-zaman ilişkisi (ERZ1.40).

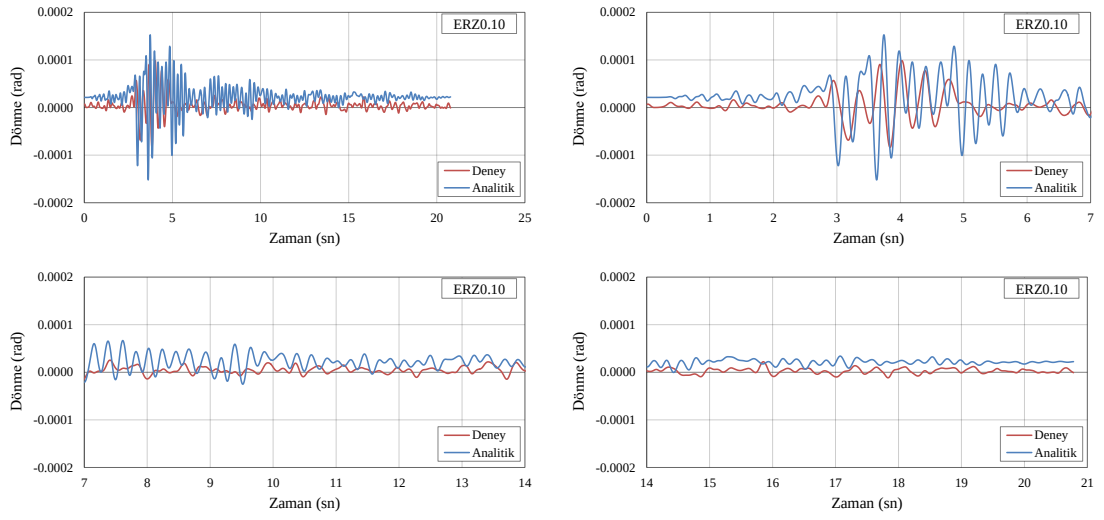
3.6.1.4 Kolon alt uç kesiti dönme-zaman ilişkisi

Kuramsal çalışma ile kolon alt ucunda meydana gelen dönme belirlenebilmektedir. Deneysel çalışmada kolon alt ucuna iki adet yerdeğiştirme ölçer yerleştirilmiştir (Şekil 3.102). Bu yerdeğiştirme ölçerden alınan verilerin farkı, iki yerdeğiştirme ölçerin eksenleri arasındaki mesafeye bölünerek kolon alt uç kesitinde oluşan dönme belirlenebilmektedir.

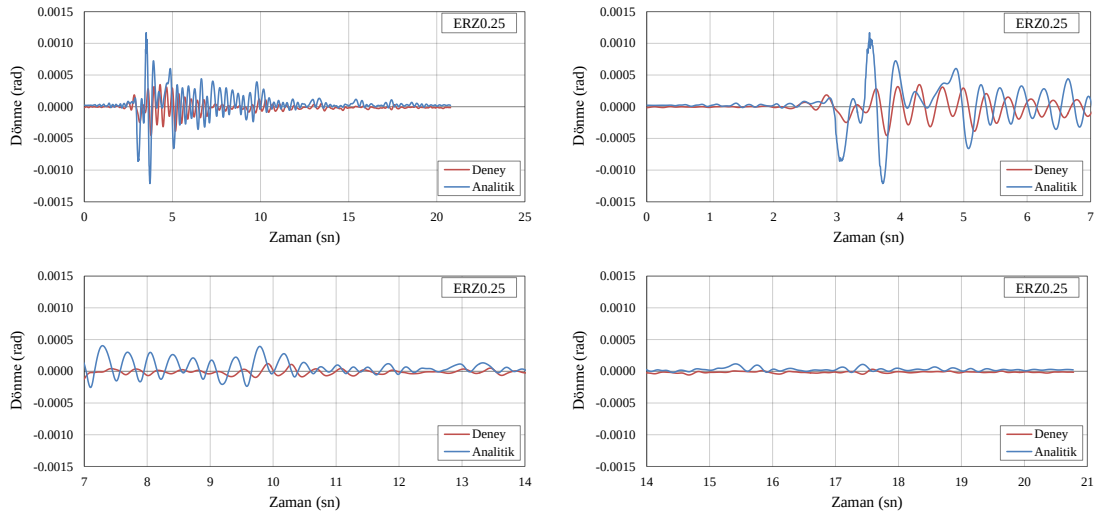
ERZ0.10 ve ERZ0.25 için, deneysel ve kuramsal çalışmadan elde edilen kolon alt uç kesiti dönme-zaman ilişkileri arasında dönme genliği ve faz açısından farklılıklar bulunmaktadır (Şekil 3.145 ve Şekil 3.146). ERZ0.10 için kuramsal çalışmadan elde edilen dönme-zaman ilişkisine dikkat edilecek olursa zamanın sıfır olduğu anda dönme değerinin sıfıra çok yakın ancak sıfırdan farklı olduğu görülecektir. Bunun

nedeni kuramsal çalışmada zamanın sıfır olduğu an için düşey yük etkisinin bulunmasıdır (Şekil 3.145).

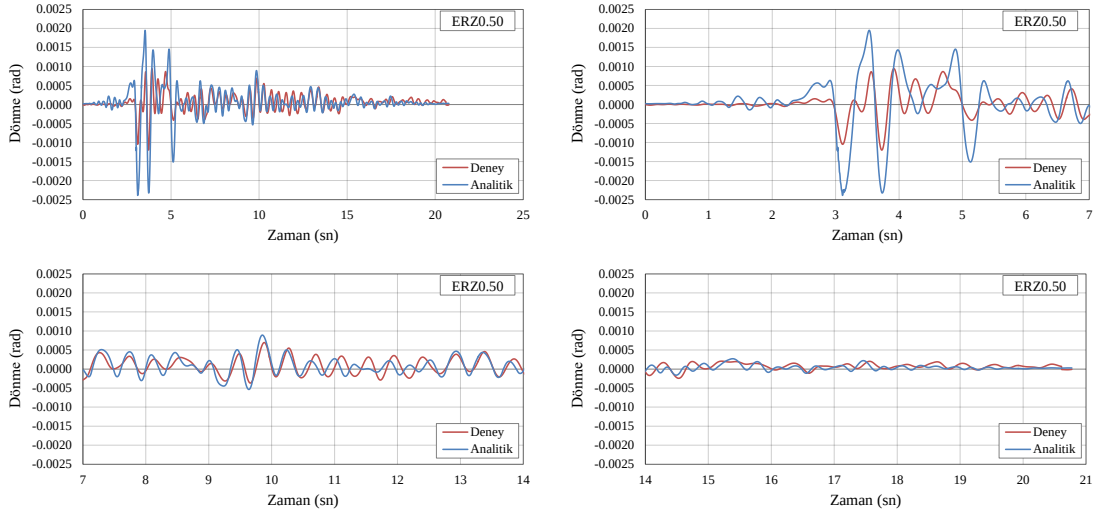
ERZ0.50, ERZ0.75, ERZ1.00 ve ERZ1.25 için, kuramsal ve deneysel çalışmadan elde edilen yalın birleşim kolon alt uç kesiti dönme-zaman ilişkileri faz açısından uyumludur. Ancak özellikle dönmenin büyük olduğu bölümlerde genlikler bakımından arada fark oluşmaktadır (Şekil 3.147-Şekil 3.150). ERZ1.40 için, kolon alt uç kesiti dönme-zaman ilişkileri arasında benzer farklılıklar oluşmakla birlikte, kolon alt uç kesitinde meydana gelen kalıcı dönme deneysel ve kuramsal çalışmada görülebilmektedir (Şekil 3.151).



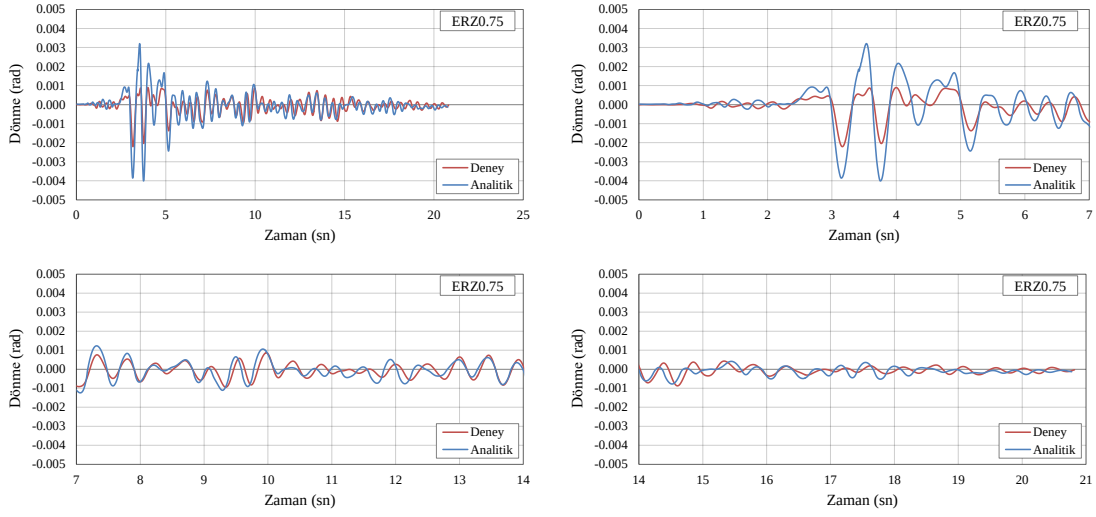
Şekil 3.145 : Kolon alt ucu dönme-zaman ilişkisi (ERZ0.10).



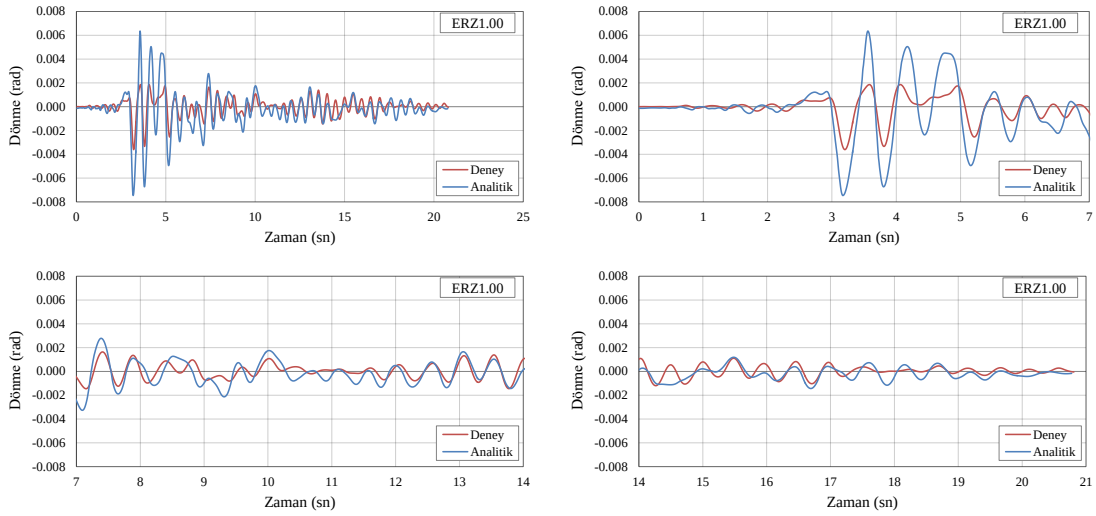
Şekil 3.146 : Kolon alt ucu dönme-zaman ilişkisi (ERZ0.25).



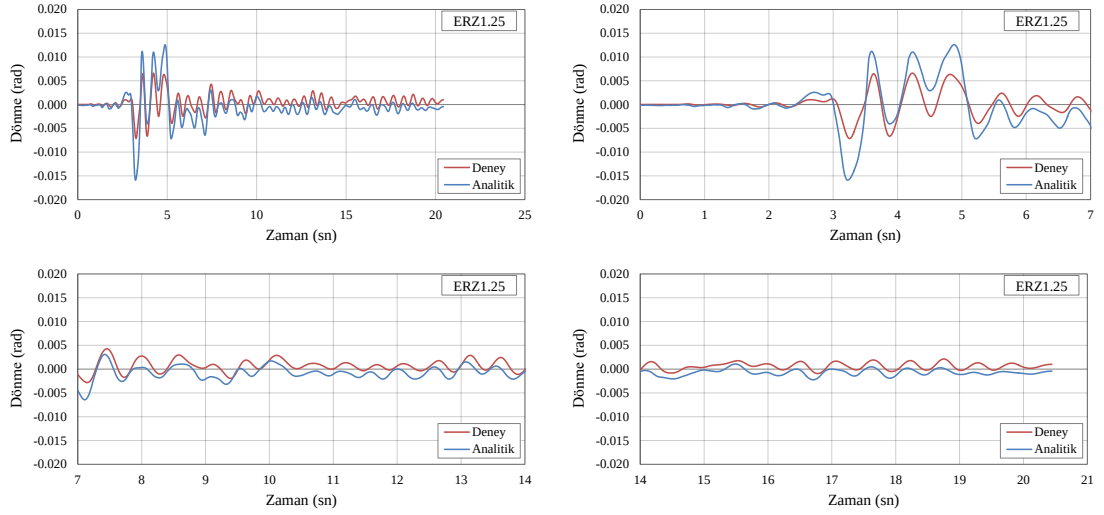
Şekil 3.147 : Kolon alt ucu dönme-zaman ilişkisi (ERZ0.50).



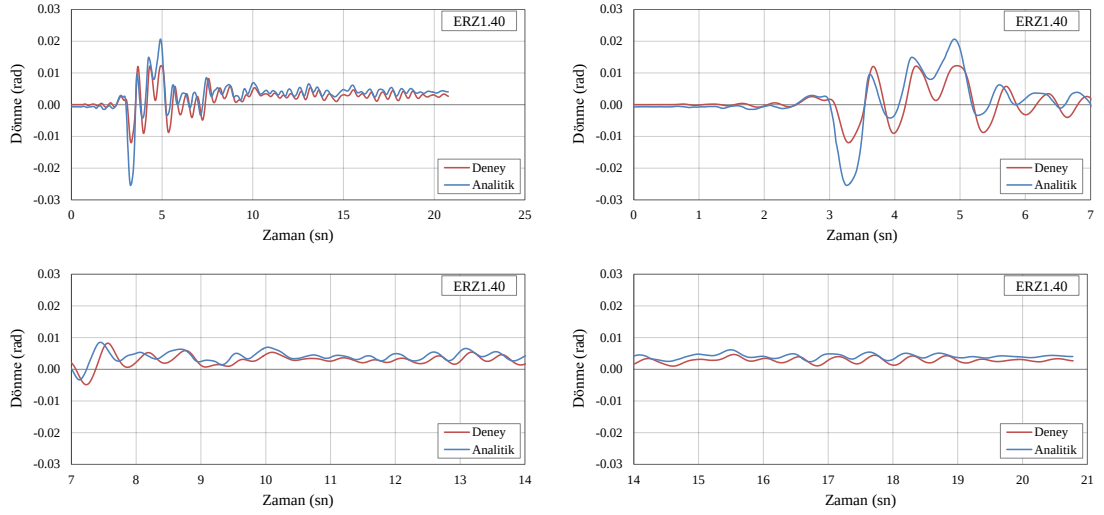
Şekil 3.148 : Kolon alt ucu dönme-zaman ilişkisi (ERZ0.75).



Şekil 3.149 : Kolon alt ucu dönme-zaman ilişkisi (ERZ1.00).



Şekil 3.150 : Kolon alt ucu dönme-zaman ilişkisi (ERZ1.25).



Şekil 3.151 : Kolon alt ucu dönme-zaman ilişkisi (ERZ1.40).

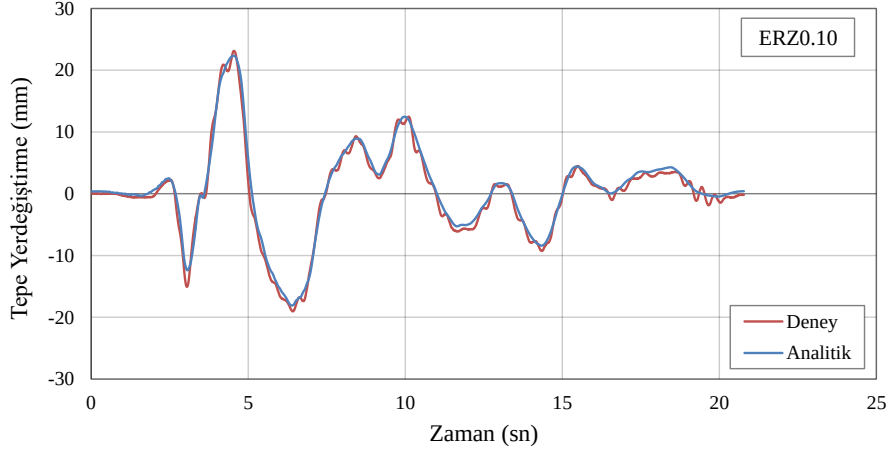
3.6.2 Sönümleyicili birleşim

3.6.2.1 Tepe yerdeğiştirme-zaman ilişkisi

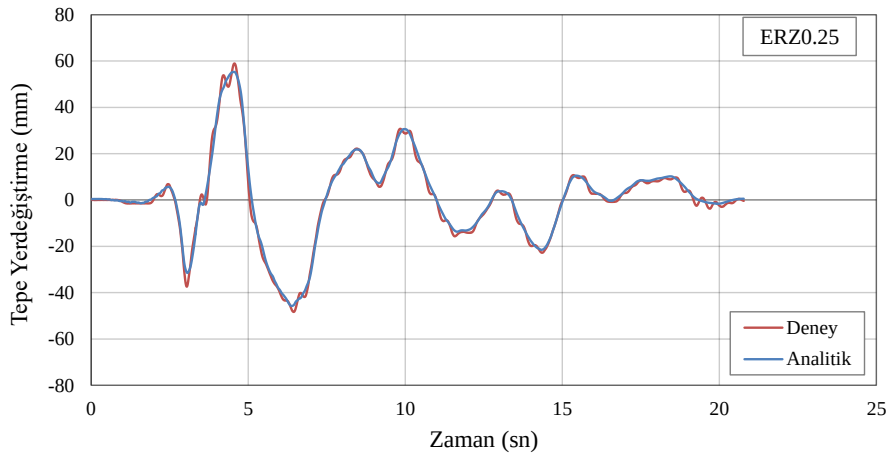
Sönümleyicili birleşim numunesine ait tepe yerdeğiştirmesi değişimi, yalın birleşim numunesinde olduğu gibi, masa hareketini içerecek şekilde mutlak yerdeğiştirme olarak izlenmiştir. Deneysel çalışmadan elde edilen temel üst kotu yerdeğiştirme değerleri ile numune tepe yerdeğiştirme değerleri arasında faz farkı bulunduğu için, bu iki nokta arasında hesaplanan fark değerleri analitik modelden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılamamaktadır.

Sönümleyicili birleşim numunesinin tepe kotu için, deneysel çalışma süresince gerçekleştirilen tüm testlerden elde edilen yatay yerdeğiştirme-zaman ilişkileri

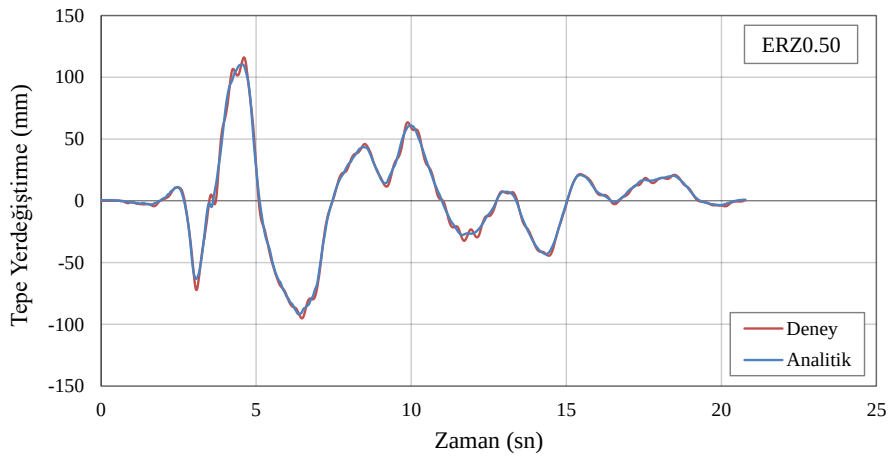
Şekil 3.152-Şekil 3.158’de verilmiştir. Testlere ait kuramsal ve deneysel çalışma sonuçları birbirine oldukça yakınlık göstermektedir. Bununla birlikte, yaklaşık olarak 3. saniyede ulaşılan yatay yerdeğiştirme değerinde bir miktar fark bulunmaktadır.



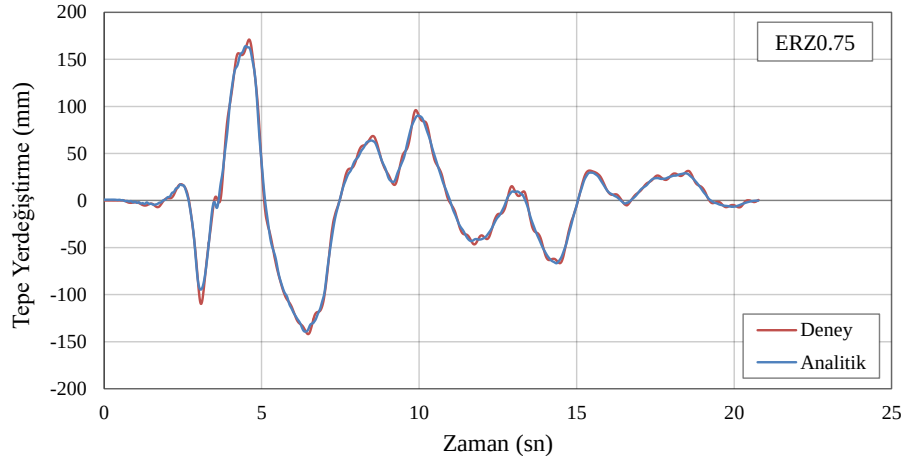
Şekil 3.152 : Sönümleyicili birleşim tepe yerdeğiştirme-zaman ilişkisi (ERZ0.10).



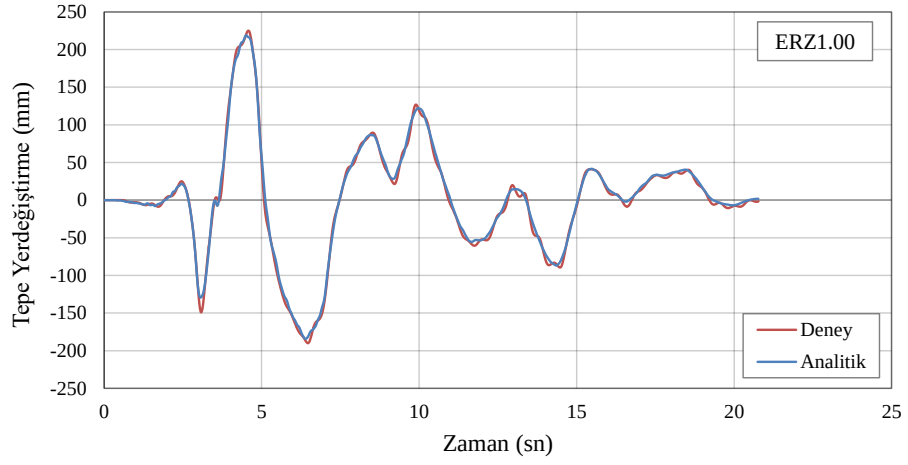
Şekil 3.153 : Sönümleyicili birleşim tepe yerdeğiştirme-zaman ilişkisi (ERZ0.25).



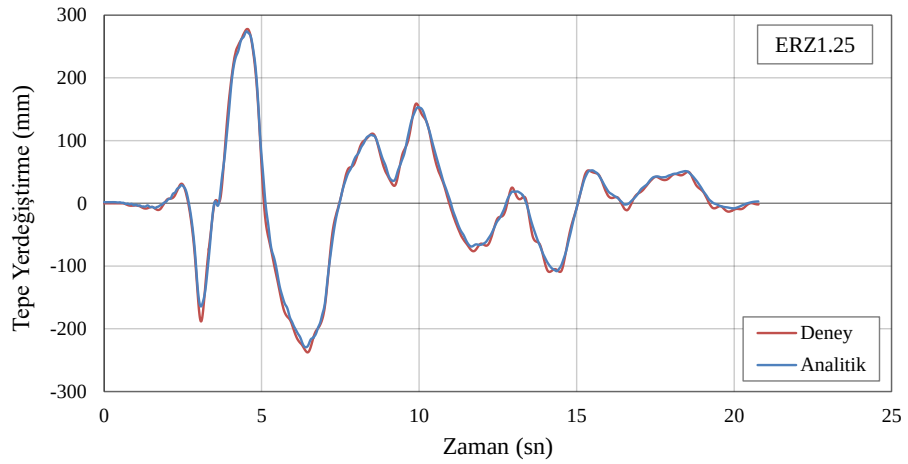
Şekil 3.154 : Sönümleyicili birleşim tepe yerdeğiştirme-zaman ilişkisi (ERZ0.50).



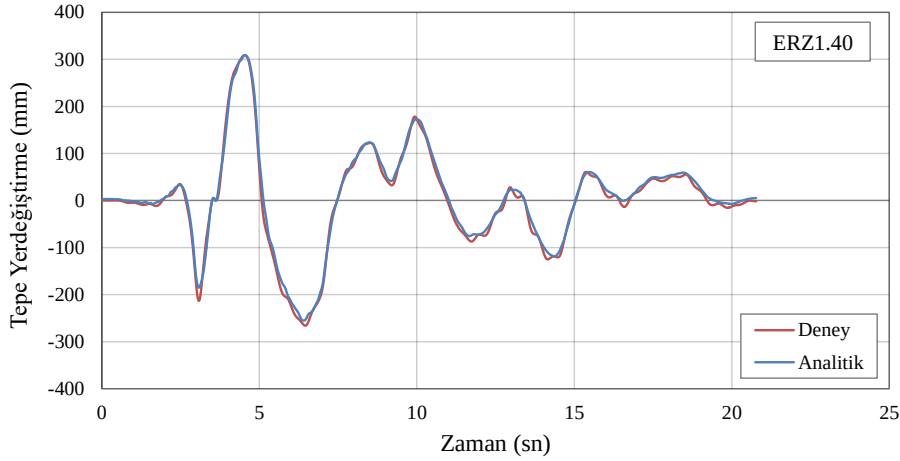
Şekil 3.155 : Sönümleyicili birleşim tepe yerdeğiştirme-zaman ilişkisi (ERZ0.75).



Şekil 3.156 : Sönümleyicili birleşim tepe yerdeğiştirme-zaman ilişkisi (ERZ1.00).



Şekil 3.157 : Sönümleyicili birleşim tepe yerdeğiştirme-zaman ilişkisi (ERZ1.25).

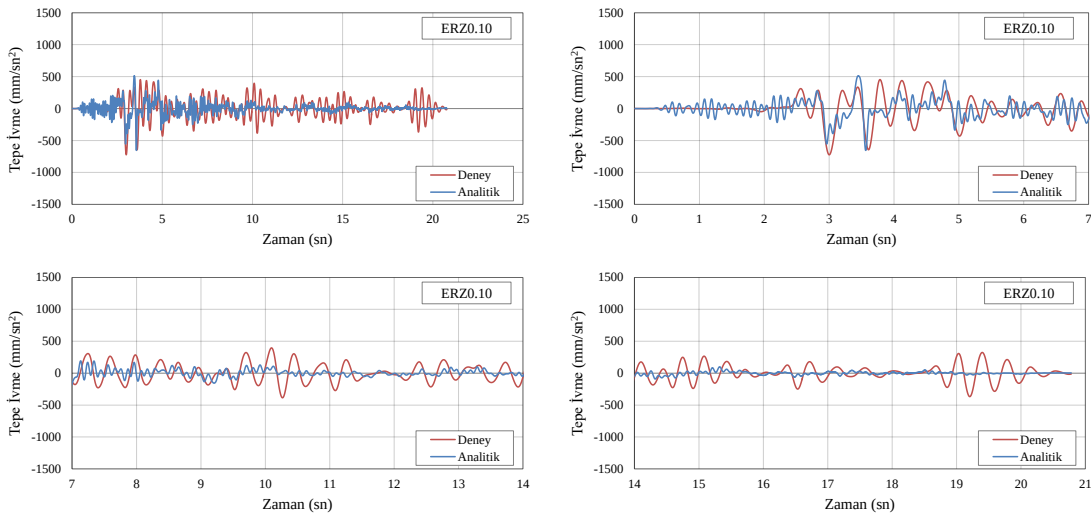


Şekil 3.158 : Sönümleyicili birleşim tepe yerdeğiştirme-zaman ilişkisi (ERZ1.40).

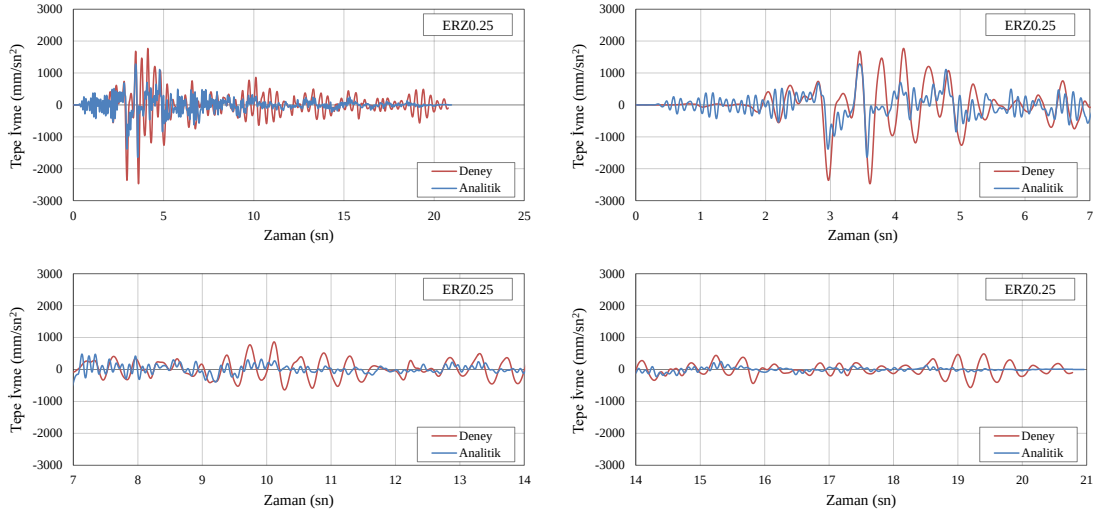
3.6.2.2 Tepe ivme-zaman ilişkisi

Sönümleyicili numune için kiriş üzerinde oluşan ivme, yer hareketi süresince değişiminin daha yakından izlenebilmesi için, dört ayrı zaman dilimi halinde gösterilmiştir. İlk grafik tüm yer hareketini, ikinci grafik yer hareketinin başlangıcı ile 7. saniye arasında kalan bölgeyi, üçüncü grafik 7. saniye ile 14. saniye arasında kalan bölgeyi, dördüncü grafik ise 14. saniye ile yer hareketinin bitiş zamanı arasında kalan bölgeyi ifade edecek şekilde düzenlenmiştir (Şekil 3.159-Şekil 3.165).

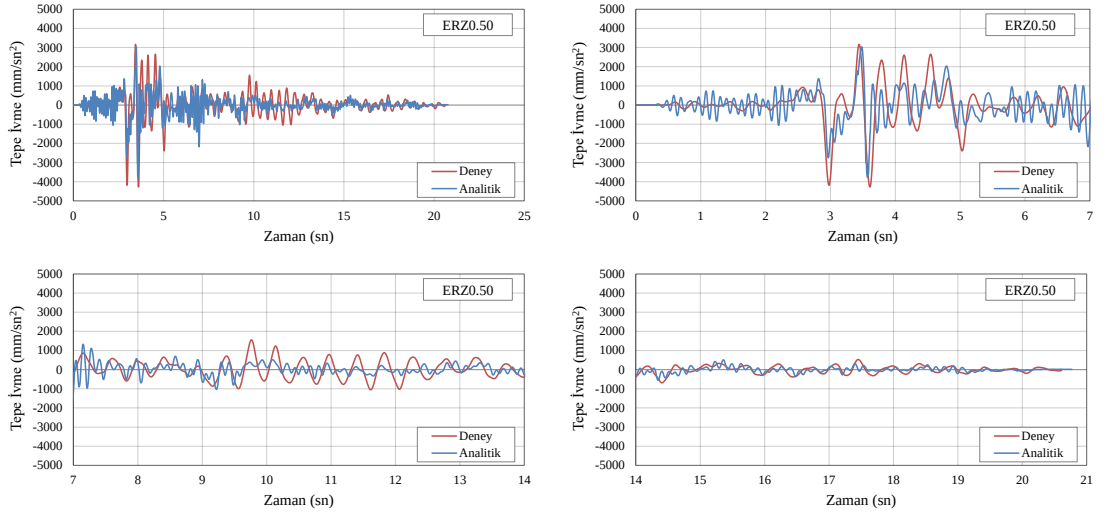
Sönümleyicili birleşim numunesine ait kuramsal ve deneysel çalışmadan elde edilen tepe noktası ivme-zaman ilişkileri incelendiğinde, yaklaşık olarak 3.0, 3.5 ve 5.0 saniyelerinde oluşan ivme-zaman değişiminin, birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir.



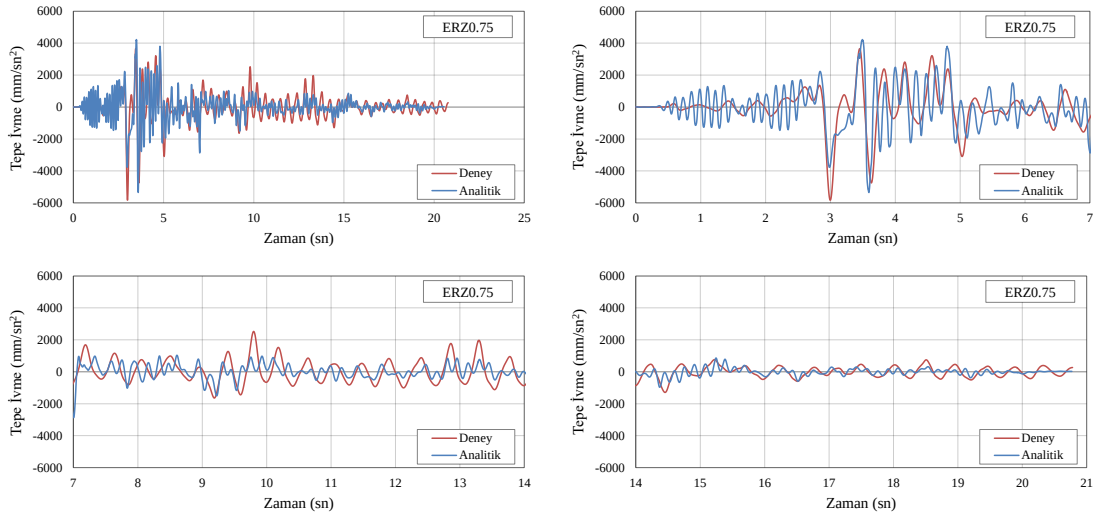
Şekil 3.159 : Sönümleyicili birleşim tepe ivme-zaman ilişkisi (ERZ0.10).



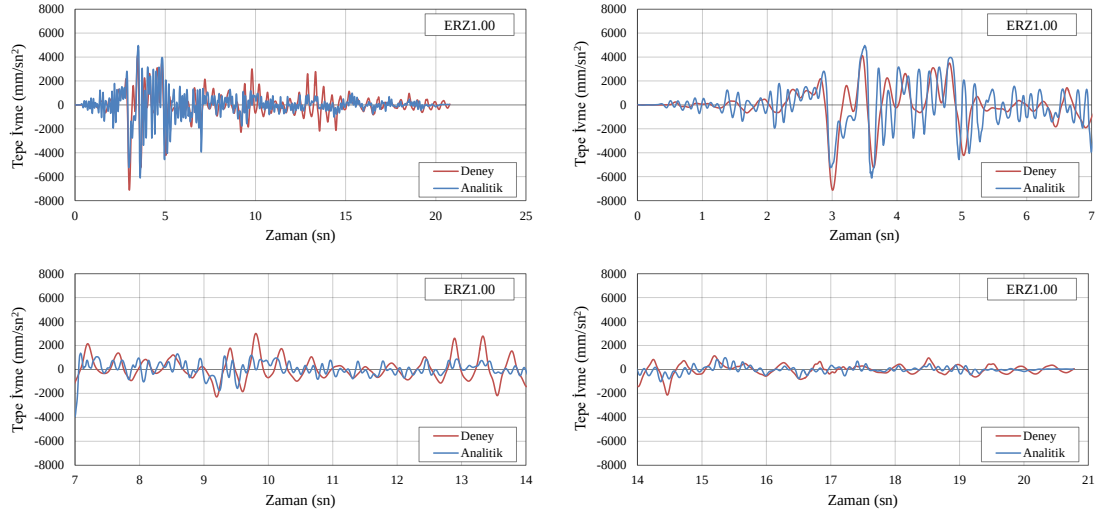
Şekil 3.160 : Sönümleyicili birleşim tepe ivme-zaman ilişkisi (ERZ0.25).



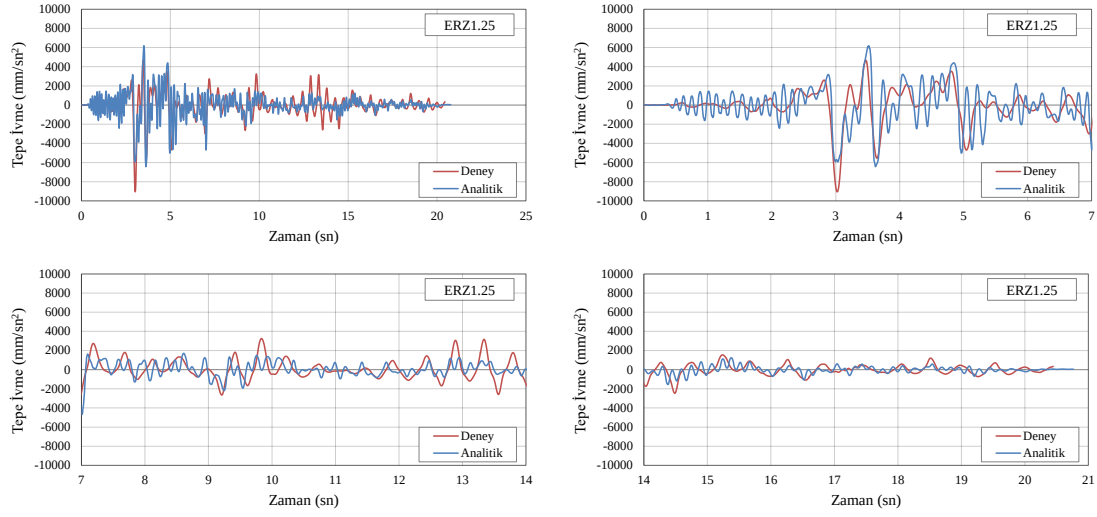
Şekil 3.161 : Sönümleyicili birleşim tepe ivme-zaman ilişkisi (ERZ0.50).



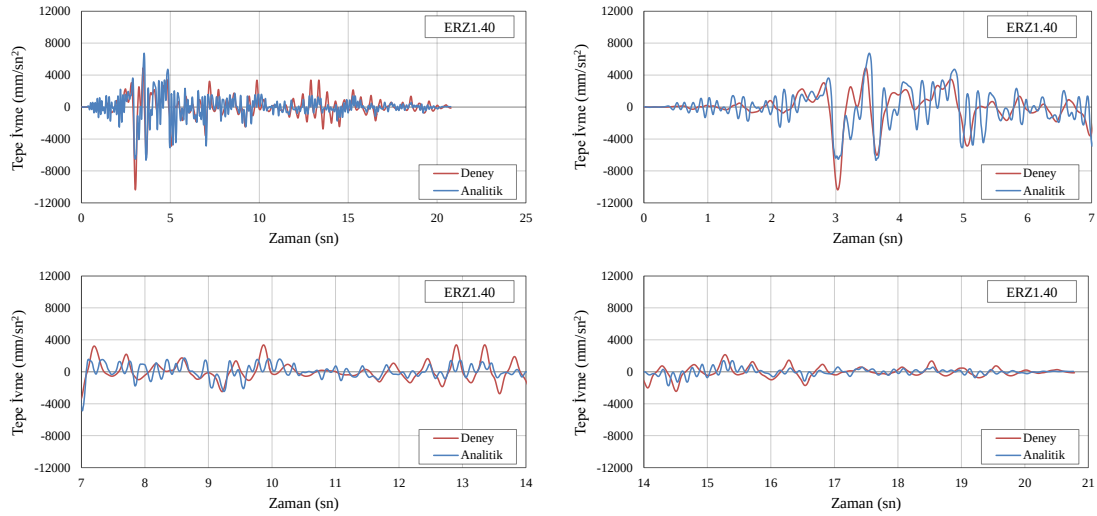
Şekil 3.162 : Sönümleyicili birleşim tepe ivme-zaman ilişkisi (ERZ0.75).



Şekil 3.163 : Sönümleyicili birleşim tepe ivme-zaman ilişkisi (ERZ1.00).



Şekil 3.164 : Sönümleyicili birleşim tepe ivme-zaman ilişkisi (ERZ1.25).



Şekil 3.165 : Sönümleyicili birleşim tepe ivme-zaman ilişkisi (ERZ1.40).

Deneysel çalışmada gerçekleştirilen tüm testlerin 3.0. saniyesinde oluşan ivme değeri, kuramsal çalışmadan elde edilen ivme değerinden bir miktar büyüktür. Testlerin 3.50. saniyesinde, her iki yönde oluşan deneysel ve kuramsal çalışma ivme değerleri birbirine oldukça yakındır. Testlerin 5.0. saniyesinde oluşan ivme değerleri ERZ0.10, ERZ0.25, ERZ0.50 ve ERZ0.75 için bir miktar farklı iken, ERZ1.00, ERZ1.25 ve ERZ1.40 testleri için birbirine oldukça yakındır. Bununla birlikte, kuramsal çalışmadan elde edilen ivme-zaman ilişkisinin frekansı, deneysel çalışmaya ait ivme-zaman ilişkisi frekansından yüksektir.

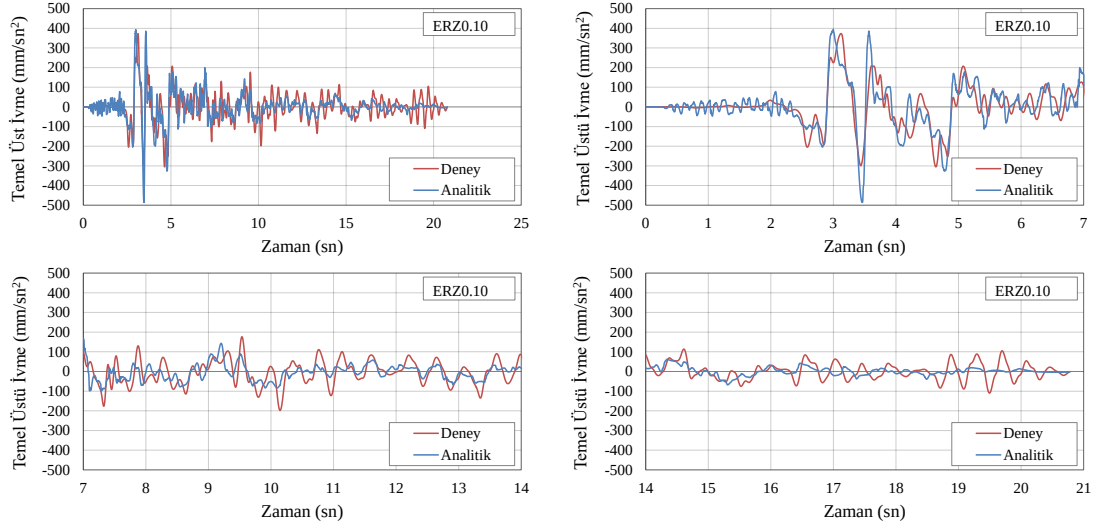
3.6.2.3 Temel üstü (kolon alt ucu) ivme-zaman ilişkisi

Sarsma masası üzerine yerleştirilen sönümleyicili birleşim numunesinin analitik olarak doğru biçimde temsil edilmesi için, temel elemanı da analitik modele dahil edilmiştir. Sönümleyicili birleşim numunesinin temeli üstünde (kolon alt ucunda), hareket doğrultusunda oluşan ivmenin, uygulanan testler süresince zamana bağlı olarak değişimini yakından takip edebilmek için, dört ayrı zaman dilimi oluşturulmuştur. Temel üstünde oluşan ivme değerleri için kuramsal ve deneysel çalışmadan elde edilen sonuçların zamana bağlı olarak değişimi Şekil 3.166-Şekil 3.172’de görülmektedir.

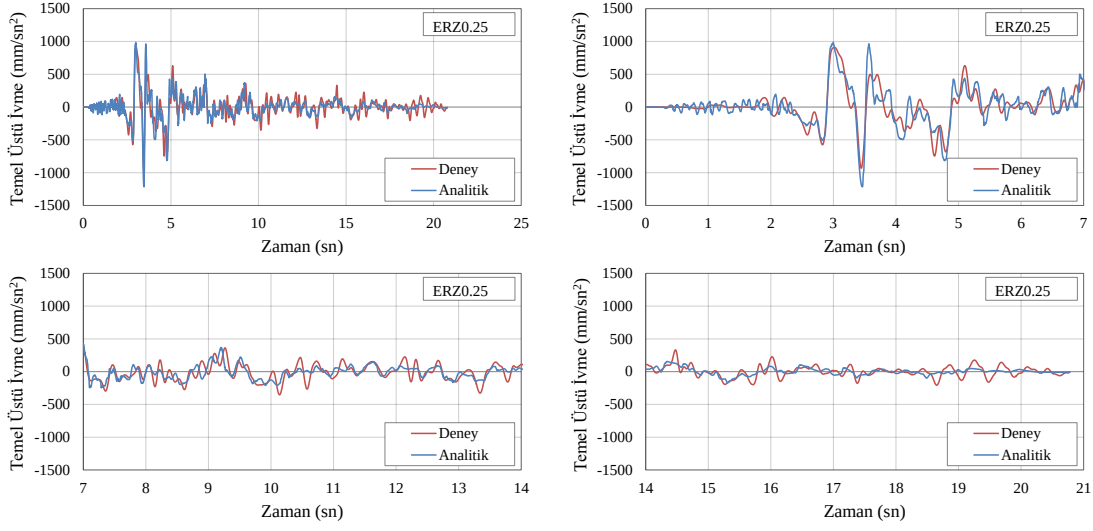
ERZ0.10 için 3.0. saniyede oluşan kuramsal ve deneysel çalışma ivme değeri arasında bir kayma olduğu görülmektedir. 3.0. ve 4.0. saniyeler arasında oluştuğu görülen itme ve çekme en büyük değerleri arasında fark meydana gelmektedir.

ERZ0.25 ve ERZ0.50 testlerinin 3.0. saniyesinde elde edilen ivme değerleri kuramsal ve deneysel çalışma için birbirine eşittir. ERZ0.75, ERZ1.00, ERZ1.25 ve ERZ1.40 testlerinde ise kuramsal çalışmadan elde edilen ivme değerleri, deneysel çalışmada oluşan ivme değerlerinden daha büyük değerlere sahiptir.

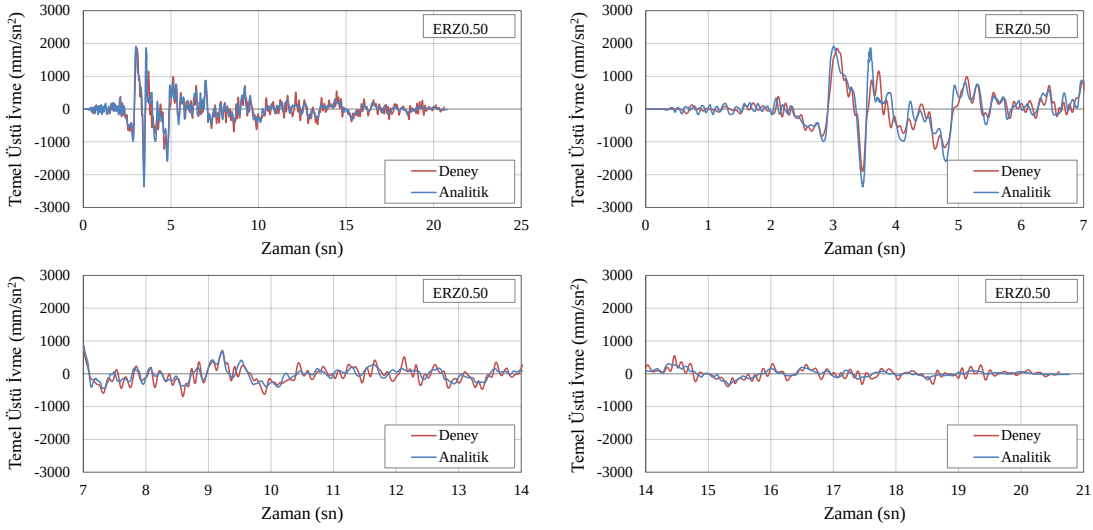
Gerçekleştirilen tüm testlerin 3.0 ve 4.0 saniyeleri arasında oluştuğu görülen en büyük ivme değerleri için, kuramsal ve deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar açısından bir miktar fark bulunmaktadır. Bununla birlikte tüm testler için kuramsal ve deneysel çalışmadan elde edilen ivme-zaman ilişkilerinin birbiri ile uyum içinde olduğu görülmektedir.



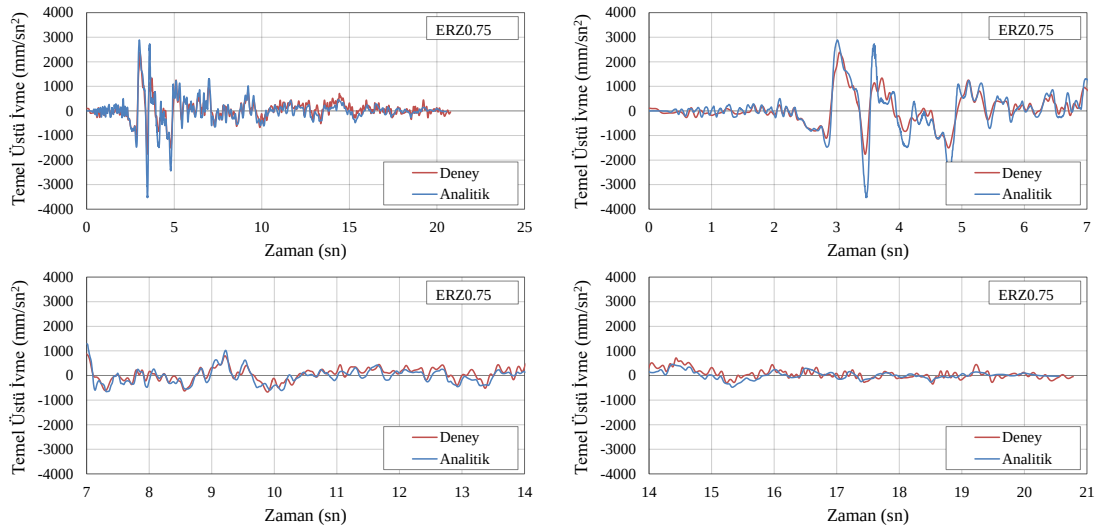
Şekil 3.166 : Sönümleyicili birleşim temel üst kotu ivme-zaman ilişkisi (ERZ0.10).



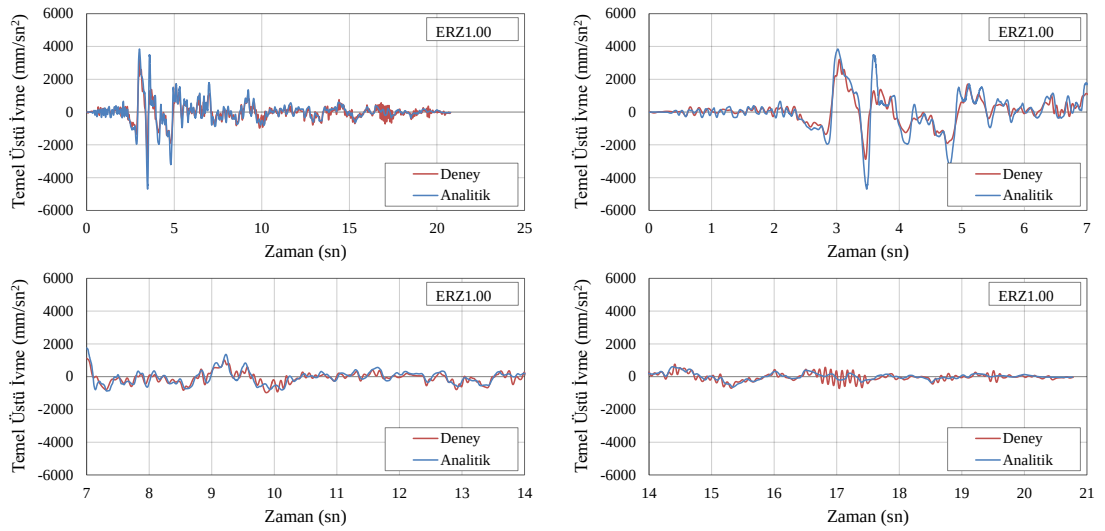
Şekil 3.167 : Sönümleyicili birleşim temel üst kotu ivme-zaman ilişkisi (ERZ0.25).



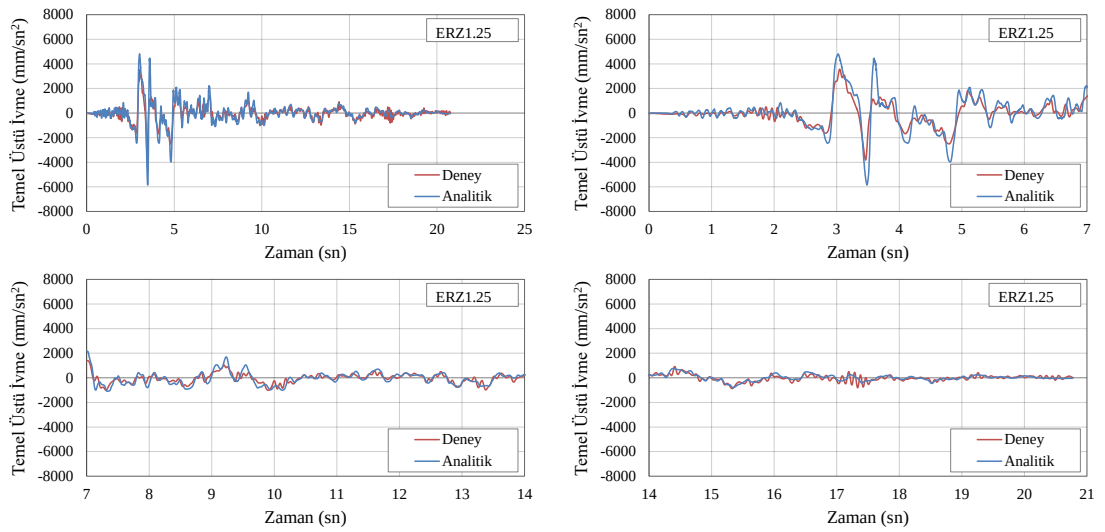
Şekil 3.168 : Sönümleyicili birleşim temel üst kotu ivme-zaman ilişkisi (ERZ0.50).



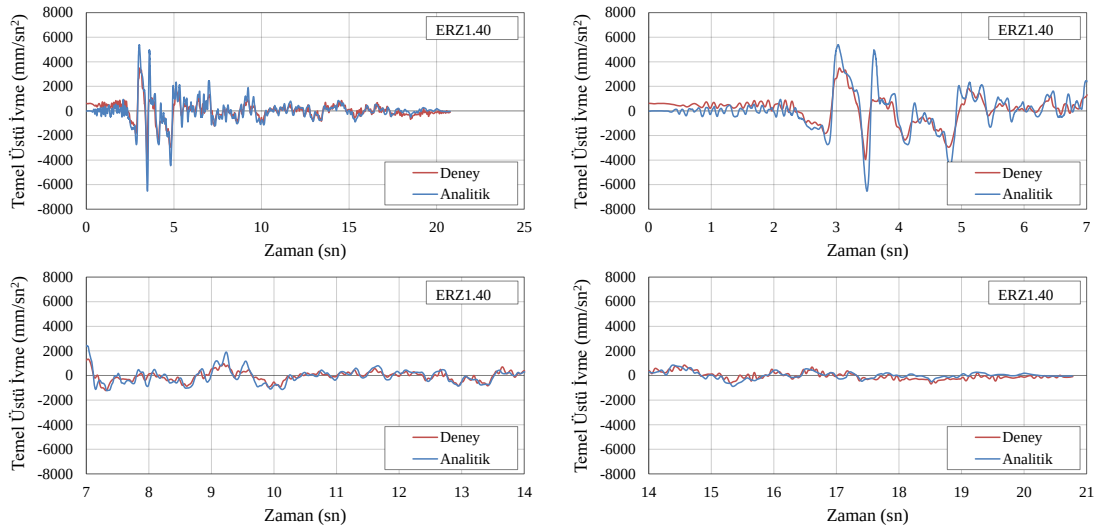
Şekil 3.169 : Sönümleyicili birleşim temel üst kotu ivme-zaman ilişkisi (ERZ0.75).



Şekil 3.170 : Sönümleyicili birleşim temel üst kotu ivme-zaman ilişkisi (ERZ1.00).



Şekil 3.171 : Sönümleyicili birleşim temel üst kotu ivme-zaman ilişkisi (ERZ1.25).

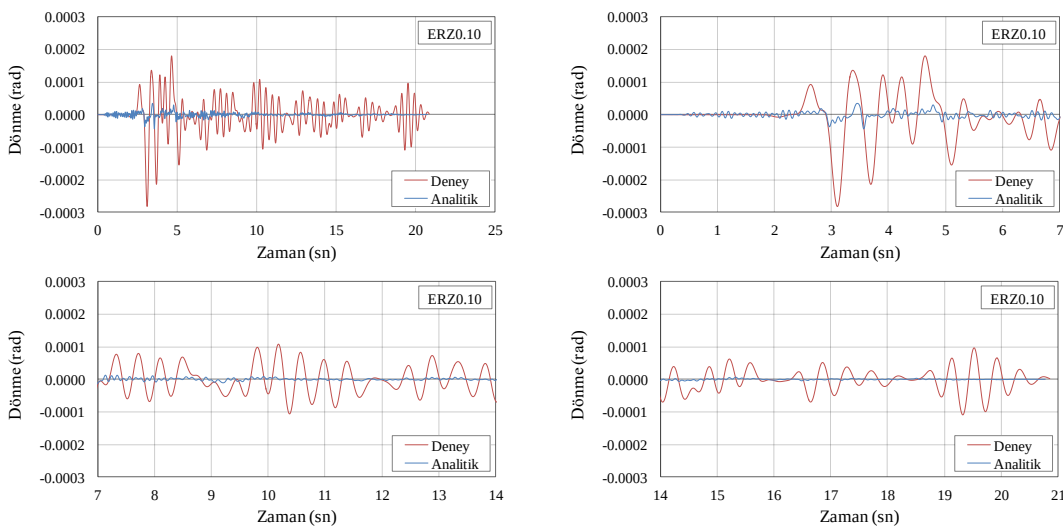


Şekil 3.172 : Sönümleyicili birleşim temel üst kotu ivme-zaman ilişkisi (ERZ1.40).

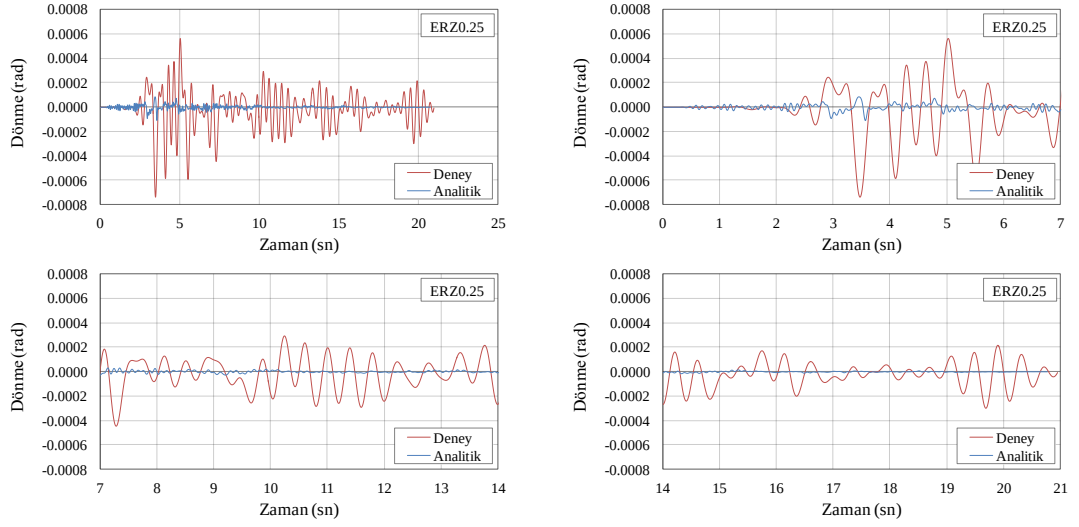
3.6.2.4 Kolon alt uç kesiti dönme-zaman ilişkisi

Sönümleyicili birleşim numunesinin kolon alt ucunda meydana gelen dönme, yalın birleşim numunesinde olduğu gibi, deneysel ve kuramsal olarak belirlenebilmektedir (Şekil 3.173-Şekil 3.179).

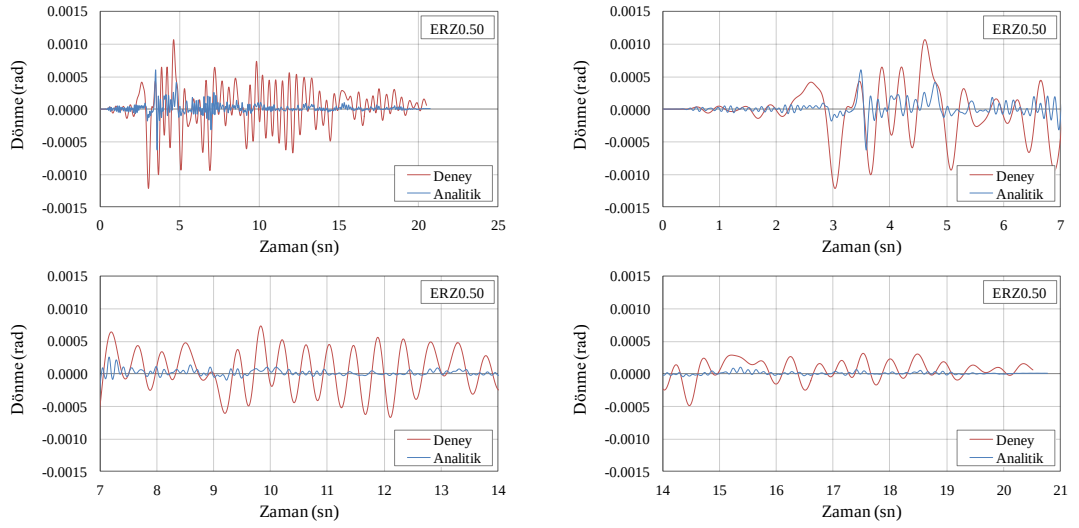
Gerçekleştirilen tüm testlerde, deneysel ve kuramsal çalışmadan elde edilen kolon alt uç kesiti dönme-zaman ilişkileri arasında dönme genliği ve faz açısından farklılık bulunmaktadır. Bununla birlikte, kuramsal çalışma ile belirlenen dönme-zaman ilişkilerinin frekansı, deneysel çalışmadan elde edilen dönme-zaman ilişkilerinin frekansından daha büyüktür. ERZ0.10 ve ERZ0.25 için, deneysel ve kuramsal çalışmadan elde edilen dönme-zaman ilişkileri arasındaki fark diğer testlere kıyasla daha fazladır.



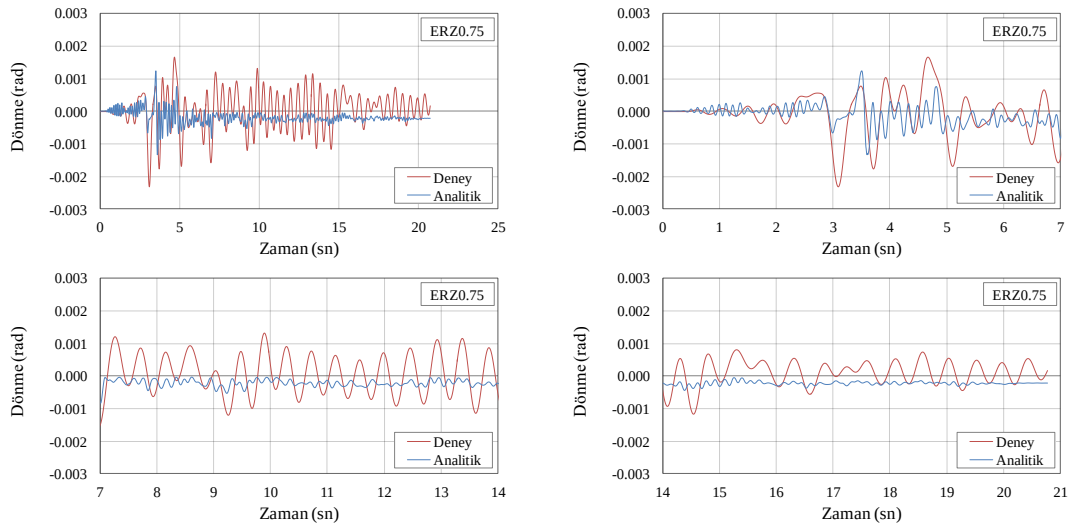
Şekil 3.173 : Sönümleyicili birleşim kolon alt ucu dönme-zaman ilişkisi (ERZ0.10).



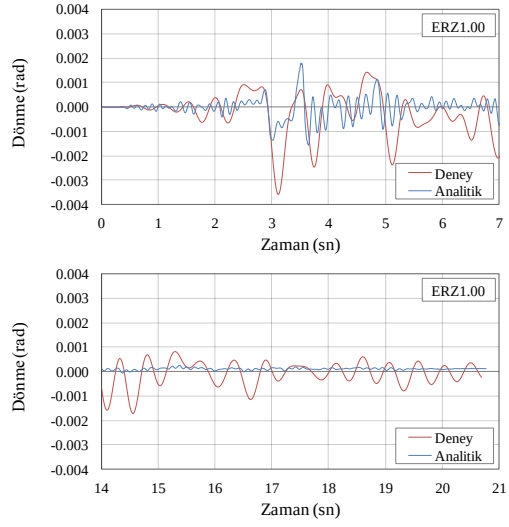
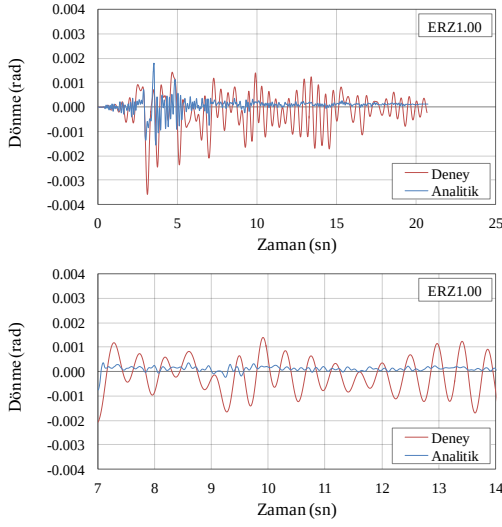
Şekil 3.174 : Sönümleyicili birleşim kolon alt ucu dönme-zaman ilişkisi (ERZ0.25).



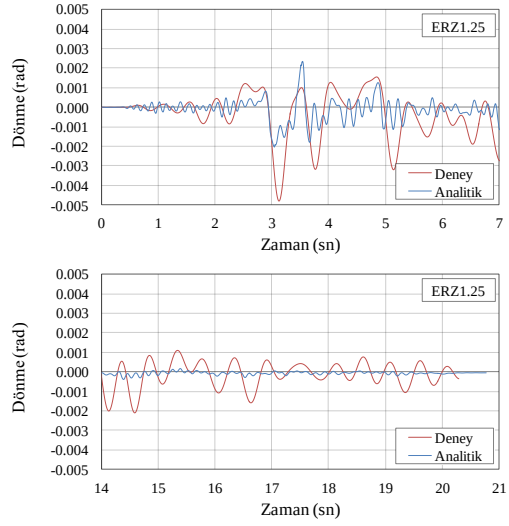
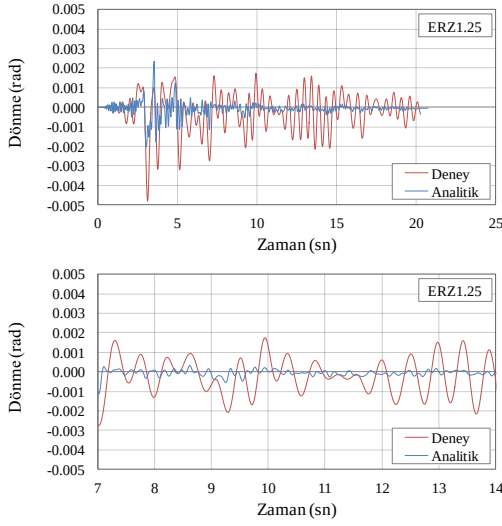
Şekil 3.175 : Sönümleyicili birleşim kolon alt ucu dönme-zaman ilişkisi (ERZ0.50).



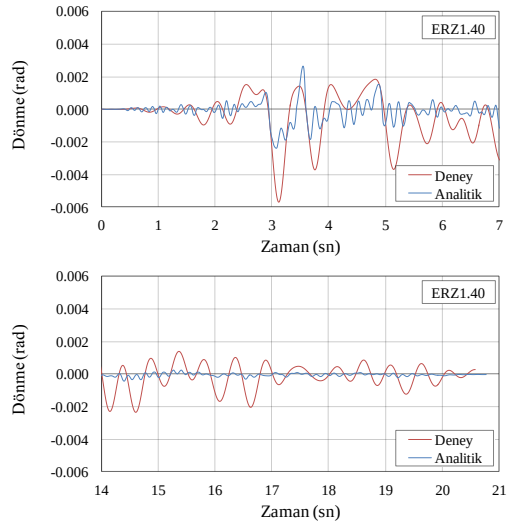
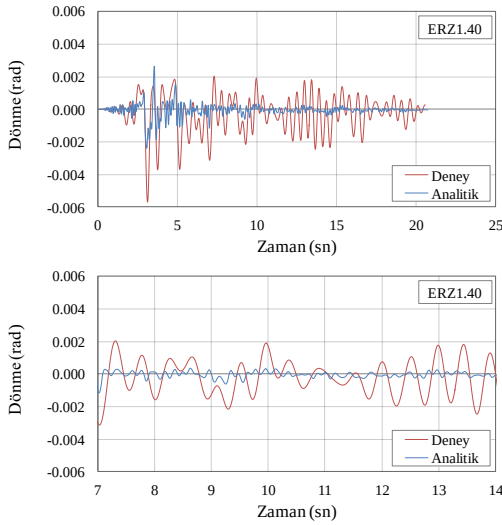
Şekil 3.176 : Sönümleyicili birleşim kolon alt ucu dönme-zaman ilişkisi (ERZ0.75).



Şekil 3.177 : Sönümleyicili birleşim kolon alt ucu dönme-zaman ilişkisi (ERZ1.00).



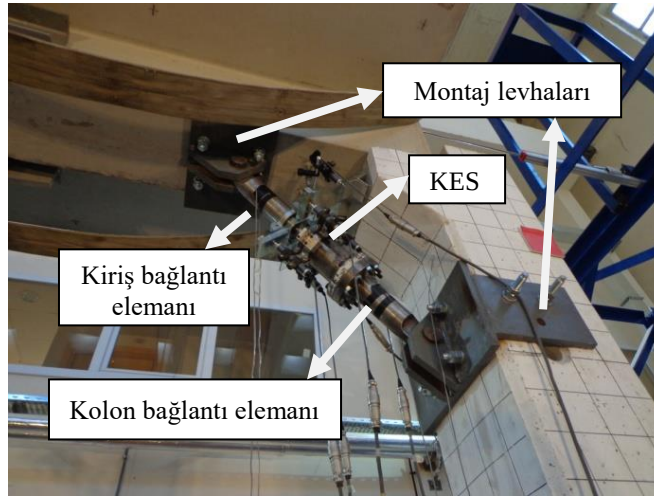
Şekil 3.178 : Sönümleyicili birleşim kolon alt ucu dönme-zaman ilişkisi (ERZ1.25).



Şekil 3.179 : Sönümleyicili birleşim kolon alt ucu dönme-zaman ilişkisi (ERZ1.40).

3.6.2.5 KES eksenel kuvvet-eksenel yerdeşiştirme ilişkisi

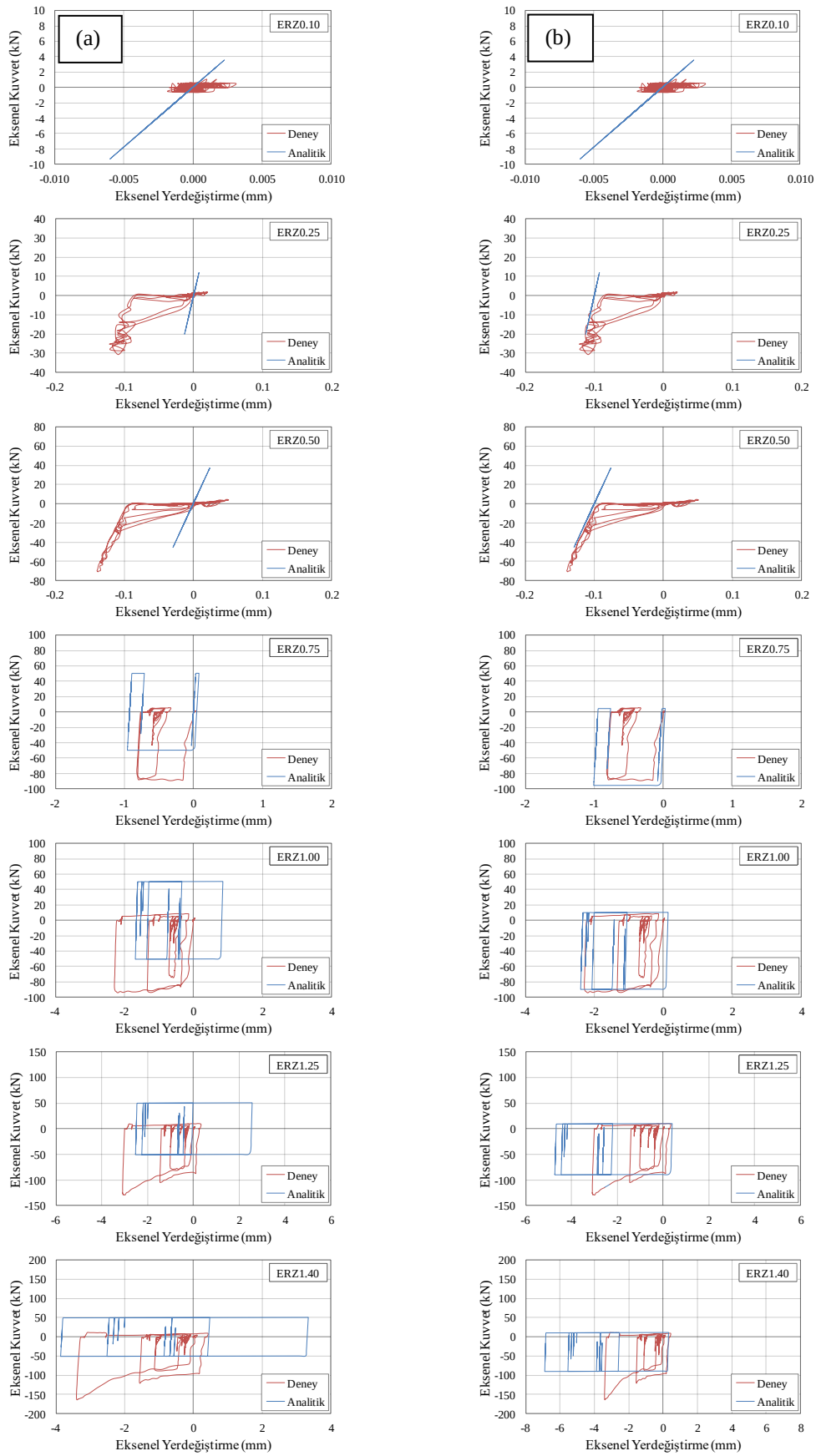
Sönümleyicili birleşim numunesinde KES'in yapı elemanlarına bağlantısı için kullanılan bağlantı elemanlarının (şekil 3.180) üzerine yerleştirilen birim şekildeğiştirme ölçerlerden alınan veriler kullanılarak, bağlantı elemanlarında dolayısıyla KES'te oluşan eksenel kuvvet hesaplanmıştır. KES üzerine yerleştirilen dört adet yerdeğiştirme ölçerlerden alınan verilerin ortalaması ile hesaplanan eksenel kuvvet değerleri bir araya getirilerek, KES'e ait eksenel kuvvet-eksenel yerdeğiştirme ilişkileri belirlenmiştir.



şekil 3.180 : Sönümleyicili birleşimde kullanılan KES ve bağlantı elemanları.

Kuramsal çalışmada, KES'i temsilen kullanılan bağlantı elemanında oluşan eksenel kuvvet-eksenel yerdeğiştirme ilişkileri ile deneysel çalışma ile belirlenen ilişkiler şekil 3.181'de sunulmuştur.

Kuramsal çalışma sonucunda elde edilen KES'e ait eksenel kuvvet-eksenel yerdeğiştirme ilişkisi, koordinat eksenleri merkezinden başlayarak, analitik modele dahil edilen bağlantı elemanı özelliği doğrultusunda hareket etmektedir. Deneysel çalışmadan elde edilen ilişkide, yaklaşık olarak 0.1 mm uzunluğunda, rijitliğin çok küçük olduğu bir bölge görölmektedir. Kuramsal ve deneysel çalışmadan elde edilen eksenel kuvvet-eksenel yerdeğiştirme ilişkilerinin daha rahat karşılaştırılabilmesi için, kuramsal çalışmadan elde edilen eksenel kuvvet-eksenel kuvvet ilişkilerinin orijinal hali ile birlikte ötelenmiş hali de şekil 3.181'de verilmiştir.



Şekil 3.181 : Sönümleyicili birleşim KES eksenel kuvvet-eksenel yerdeğiştirme ilişkileri; (a) Orijinal, (b) Ötelenmiş.

Her iki çalışmada belirlenen ilişkiler incelendiğinde, iniş ve çıkış kollarının birbirine paralel olduğu görülmektedir. Ayrıca, eksenel yerdeğiştirme eksenine paralel giden bölgeler de birbiri ile uyum içindedir.

Deneysel ve kuramsal çalışmalarda, ERZ0.10, ERZ0.25 ve ERZ0.50 testlerinde, KES'in tam olarak harekete geçemediği görülmektedir. Benzer şekilde, ERZ0.75 ve ERZ1.00 testlerinden elde edilen ilişkiler birbirine oldukça benzemektedir. ERZ1.25 testinde deneysel çalışmaya ait ilişkide ani bir kuvvet artışı başlamıştır. Kuvvetteki bu ani artış ERZ1.40 testinde de kendisini göstermiştir.

Deneysel çalışma sırasında KES'teki eksenel hareket, KES'in eleman deneylerinde test edildiği bölgenin ilerisine geçmiştir. Dolayısıyla, deneysel çalışmadan elde edilen KES'e ait eksenel kuvvet-eksenel yerdeğiştirme ilişkisindeki bu ani artışın, KES şaftı üzerindeki çıkıntının, kurşunun hiç zorlanmadığı bir bölgeye ulaşmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

3.7 Değerlendirme ve Yorumlar

Kiriş-kolon birleşimleri moment aktarmayacak şekilde tasarlanan ve üretilen tek katlı prefabrike betonarme çerçeveler, genelde endüstriyel yapıların taşıyıcı sistemleri olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışma kapsamında, moment aktarmayan giriş-kolon birleşimine sahip olan ve yaklaşık olarak 1/2 ölçekli olarak tasarlanan tek katlı prefabrike betonarme endüstri yapısına ait bir çerçevenin deprem etkisi altındaki davranışının incelenmesi amacı ile sarsma masası deneyleri yapılmıştır. Deneysel çalışma kapsamında, yalın (KES'in yerleştirilmediği) ve sönümleyicili (KES'in yerleştirildiği) birleşimlere sahip olan yarım çerçeve sarsma masası üzerine yerleştirilmiş ve Erzican depremi doğu-batı bileşeni etkisi altında davranışı dinamik olarak takip edilmiştir.

Laboratuvar imkânları ve kullanılan sarsma masasının fiziksel kapasitesine bağlı olarak, tek katlı prefabrike betonarme çerçevenin tümü sarsma masası üzerine yerleştirilememektedir. Dolayısıyla sarsma masasının plandaki boyutlarına bağlı olarak, giriş açıklığının yaklaşık 1/5'ine (2.0 m) karşılık gelecek şekilde, giriş gövdesi altında kayıcı bir mesnet oluşturulmuştur. Çelik bir kolonun üst ucunda teşkil edilen kayıcı mesnetin hareket mesafesi 840 mm olacak şekilde imal edilmiştir. Çelik kolonun yaklaşık olarak orta noktasında numunenin düşey hareketine kısmen

izin verecek şekilde bir ek oluşturulmuştur. Bu ekin yapılmasının diğer bir amacı ise montaj sırasında kolaylık sağlamasıdır. Çelik kolonun alt ucu, sarsma masası ile bağlantısı ankastre olacak şekilde yapılmıştır.

Numunelerde tepe yerdeğiştirme miktarı, kolon alt ucunda oluşan dönme, moment aktarmayan rodlu birleşimde kirişin kolon üzerinde kayma miktarı ve kiriş-kolon birleşiminde meydana gelen dönme dinamik deney süresince numune üzerinde takip edilen büyüklüklerden bazılarını oluşturmaktadır. Bunlar dışında sarsma masasının hidrolik veren bağlantı noktasına yerleştirilen bir yerdeğiştirme ölçer ve sarsma masasının hemen üstüne yerleştirilen ivme ölçer sarsma masasına uygulanan yer hareketinin kontrol edilmesi amacı ile kullanılmıştır.

Deneysel çalışma sırasında, Erincan depremi doğu-batı bileşeni ivme-zaman kaydının, sırasıyla 0.10, 0.25, 0.50, 0.75, 1.00, 1.25 ve 1.40 katları, yalın ve sömümleyicili birleşim numunelerine etkilmiştir. Bu testler, çalışma için seçilen ivme kaydının adını ve katını ifade edecek şekilde, ERZ0.10, ERZ0.25, ERZ0.50, ERZ0.75, ERZ1.00, ERZ1.25 ve ERZ1.40 isimleri ile etiketlenmiştir. Sarsma masası deney sistemi, yerdeğiştirme kontrollü olarak çalıştırıldığı için, yer hareketine ait ivme-zaman kaydının tüm katları yerdeğiştirme-zaman kayıtlarına dönüştürülmüş ve numunelere temel alt hizasından uygulanmıştır. Sarsma masası deney sistemi ± 325 mm yerdeğiştirme kapasitesine sahip olduğundan, Erzincan depremi doğu-batı bileşeni ivme-zaman kaydının 1.40 katı uygulanması durumunda, sarsma masasında gerçekleşen yerdeğiştirme miktarı (+307 mm ve -258 mm) sistem kapasitesine yaklaştığı için, deneysel çalışmada kullanılan son kayıt olarak belirlenmiştir. Deneysel çalışma içerisinde yer alan tüm testlerin öncesinde ve sonrasında, birleşim numunelerinin serbest titreşim karakteristiklerinin belirlenmesi için *beyaz gürültü testi* (white noise test) ve *çekiç testi* (hammer test) gerçekleştirilmiştir. Bu testler ile birleşim numunelerinin serbest titreşim frekansı belirlenerek, birleşim numunelerinde meydana gelen hasar dolayısıyla numuneye ait frekans değerindeki azalma takip edilmiştir.

Deneysel çalışma gerçekleştirildikten sonra, numunelere ait malzeme özellikleri, kesit ve geometrik özellikler ile KES için eleman deneylerinden elde edilen büyüklükleri içeren analitik modeller oluşturulmuş, deneysel çalışmada kullanılan ivme kayıtları bir araya getirilerek hazırlanan ivme-zaman kaydı etkisi altında zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler gerçekleştirilmiştir. Bu kuramsal çalışma

ile elde edilen sonuçlar, deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar ile karşılaştırma amacı ile kullanılmıştır.

Moment aktarmayan betonarme prefabrike kiriş-kolon birleşimi numunelerinin, yalın ve sönümleyicili durumları için, gerçekleştirilen dinamik deney sonuçları ile deneysel ve kuramsal çalışmadan elde edilen sonuçları iki ayrı başlık altında değerlendirilmiştir.

3.7.1 Deneysel çalışma sonuçlarının karşılaştırılması

Yalın ve sönümleyicili birleşim numunelerinin davranışını ortaya koymak üzere göz önüne alınması gereken büyüklüklerden biri, numunelerin tepe ve temel üst kotu arasındaki görelî yerdeğiştirme ve dolayısıyla görelî yerdeğiştirmenin kolon yüksekliğine oranı olarak belirlenen görelî kat öteleme değeridir (Çizelge 3.14). Numune tepesi ile temel üst kotu arasında kalan mesafe 2640 mm'dir.

Çizelge 3.14 : Yalın ve sönümleyicili birleşim numuneleri görelî yerdeğiştirme ve görelî kat öteleme büyüklükleri ile görelî kat ötelemesi hasar sınırları.

Test	Yalın Birleşim			Sönümleyicili		
	Görelî Yerdeğiştirme (mm)	Görelî Kat Öteleme (%)	Hasar Sınırı	Görelî Yerdeğiştirme (mm)	Görelî Kat Öteleme (%)	Hasar Sınırı
ERZ0.10	3.3	0.13	-	2.1	0.08	-
ERZ0.25	7.1	0.27	-	5.2	0.20	-
ERZ0.50	11.7	0.44	-	10.4	0.39	-
ERZ0.75	17.9	0.68	-	14.3	0.54	-
ERZ1.00	29.6	1.12	MN	21.1	0.80	-
ERZ1.25	45.9	1.74	MN	27.2	1.03	MN
ERZ1.40	66.3	2.51	MN	32.8	1.24	MN

Yalın ve sönümleyicili birleşim numunelerinde oluşan görelî yerdeğiştirme değerlerinde, KES'in birleşim davranışına sağladığı ilave rijitlik ve sönüm özelliği dolayısıyla, azalma meydana geldiği görülmektedir. TDY 2007'de ifade edilen görelî kat ötelemesi sınırları dikkate alınacak olursa, sönümleyicili birleşim numunesinde ERZ1.25 testi ile minimum hasar sınırının geçildiği ve belirgin hasar bölgesine ulaşıldığı görülmektedir. Yalın birleşim numunesinde ise ERZ1.00 testi ile minimum hasar sınırı geçilmiştir. Her iki numunenin minimum hasar sınırını geçtiği ilk testlerde, sönümleyicili birleşim numunesinde meydana gelen görelî kat ötelemesi değerinin, yalın birleşim numunesine göre daha küçük olduğu görülmektedir. Deneysel çalışmada gerçekleştirilen son test olan ERZ1.40'de, yalın birleşim

numunesinde oluşan görelî kat ötelemesi değeri % 2.51'e ulaşmıştır. Sönümleyicili birleşim numunesinde ise bu değeri % 1.24 olup, yalın birleşim numunesinin yaklaşık olarak yarısı kadardır.

Yalın birleşim numunesinin ERZ1.25 ve ERZ1.40 testlerine ait görelî yerdeğıştirme-zaman ilişkileri incelendiğinde, deney sonunda artık bir değeri kaldığı görülmektedir (Şekil 3.117). Oluşan bu artık görelî yerdeğıştirme değeri, yalın birleşim numunesinde oluşan plastik şekildeğıştirmeyi işaret etmektedir. Sönümleyicili birleşim numunesinde ise artık bir görelî yerdeğıştirme oluşmamıştır.

Yalın ve sönümleyicili birleşim numunelerinin kirişleri üzerinde, hareket doğrultusunda oluşan ivme değeri kıyaslandığında, ERZ0.10 ve ERZ0.25 testlerinden elde edilen ivme değeri arasında büyük bir fark bulunmadığı görülmektedir. Gerçekleştirilen diğeri testlerde ise sönümleyicili birleşim numunesine ait değeri değerlerin yalın birleşim numunesi ait değeri değerlerden büyük olduğu görülmektedir. Birleşime yerleştirilen KES'in sağlamış olduğu ilave rijitlik özelliği dolayısıyla, sönümleyicili birleşim numunesi kiriş üzerinde oluşan ivme değeri artmıştır.

Yalın ve sönümleyicili birleşim numunelerinin kolon alt ucunda meydana gelen dönme, ERZ0.10, ERZ0.25, ERZ0.50, ERZ0.75 ve ERZ1.00 testleri için birbirine oldukça yakın değeri değerler sunmuştur. Sönümleyicili birleşim numunesi için, ERZ1.25 ve ERZ1.40 testlerinde oluşan kolon alt uç dönme değeri, yalın birleşim numunesine göre oldukça küçüktür. Birleşim numunesine yerleştirilen KES, Erzincan depremi doğu-batı bileşeni ivme-zaman kaydının 1.25 ve 1.40 katlarının uygulandığı testlerde, kolon alt ucunda oluşan dönmeyi oldukça sınırlamıştır.

Kolon alt uç bölgesinde, kesit köşelerinde yer alan boyuna donatılarda meydana gelen birim şekildeğıştirme büyüklükleri, deneysel çalışma süresince takip edilmiştir. Gerçekleştirilen testlerde, sönümleyicili birleşim numunesi kolon alt uç kestinde yer alan köşe boyuna donatılarda gerçekleşen birim şekildeğıştirme değeri, yalın birleşim numunesinden küçük olarak elde edilmiştir. Yalın ve sönümleyicili birleşim numunleri kolonlarında kullanılan boyuna donatılar için donatı malzeme deneyi yapılmış ve akma birim şekildeğıştirme ortalama değeri 0.0026 olarak belirlenmiştir. Yalın birleşim numunesi için ERZ0.75 testinde donatı akma birim şekildeğıştirme ortalama değeri ulaşılmıştır. ERZ1.40 testinde boyuna donatılarda meydana gelen birim şekildeğıştirme için en büyük değeri 0.0072 olarak belirlenmiştir. Sönümleyicili

birleşim numunesi kolon alt uç bölgesinde, ERZ1.40 testi için, kesit köşelerinde yer alan boyuna donatılarda oluşan birim şekildeğiştirme için en büyük değer 0.00241'dir. Bu değer, köşe boyuna donatısı için malzeme deneylerinden elde edilen akma birim şekildeğiştirme değeri ortalamasından küçüktür. ERZ1.25 ve ERZ1.40 testlerinde kolon alt ucunda meydana gelen dönmenin sınırlandırılmış olması donatılarda oluşan birim şekildeğiştirmeyi de sınırlandırmıştır.

Deneyisel çalışma süresince oluşan dönme büyüklüklerinin bir diğeri, kiriş-kolon birleşimi için takip edilmiştir. Yalın ve sönümleyicili birleşim numunelerinin kiriş-kolon birleşiminde meydana gelen dönme değerleri, birleşim içerisine yerleştirilen iki adet yerdeğiştirme ölçerden alınan verilerden yararlanılarak dolaylı olarak hesaplanmıştır. Yalın birleşim numunesinin test edildiği deneyde, ERZ1.25 ve ERZ1.40 testleri gerçekleştirilirken, bu iki yerdeğiştirme ölçer kapasitelerine ulaşarak devre dışı kalmışlardır. Dolayısıyla yalın birleşim numunesi için gerçekleştirilen ERZ1.25 ve ERZ1.40 testlerinden, kiriş-kolon birleşiminde oluşan dönme miktarı belirlenememiştir. Sönümleyicili birleşim numunesinde ise kiriş-kolon birleşiminde oluşan yerdeğiştirme değerleri daha küçük olduğu için bu tür bir durum ile karşılaşılmamıştır.

Yalın ve sönümleyicili birleşim numunelerinin kiriş-kolon birleşimine ait dönme değerleri, ERZ0.10, ERZ0.25, ERZ0.50 ve ERZ0.75 testleri için birbirine yakındır. ERZ1.00 testinde, yalın birleşim numunesi kiriş-kolon birleşiminde oluşan dönmenin en büyük değeri 0.0252 radyan olarak belirlenmiştir. Aynı test için, sönümleyicili birleşim numunesinde elde edilen değer 0.0165 radyan olup, bu değer yalın birleşim numunesine ait dönme değerinden yaklaşık olarak % 35 azdır. Sönümleyicili birleşim numunesi ile gerçekleştirilen ERZ1.40 testinde, kiriş-kolon birleşimine ait dönme için elde edilen en büyük değer 0.0259 radyan olarak belirlenmiştir. Bu değer, yalın birleşim numunesinde ERZ1.00 testi sırasında oluşan kiriş-kolon dönme değerinin nerede ise aynısıdır.

Yalın birleşim numunesi için, kiriş-kolon birleşiminde meydana gelen görel kayma değeri, deneyisel çalışma boyunca uygulanan testlerde giderek artmış ve 3.71 mm değerinde ulaşmıştır. Sönümleyicili birleşim numunesinde kiriş-kolon birleşiminde oluşan görel kayma için en büyük değer 1.44 mm olarak belirlenmiştir. Bu değer yalın birleşiminde meydana gelen en büyük görel kayma değerinin yaklaşık olarak % 40'ı mertebesinde-dir. Yalın birleşim numunesi için ERZ0.75 testinde elde edilen

görelî kayma değeri 1.55 mm olup, sönümleyicili numune için gerçekleştirilen ERZ1.40 testinde ulaşılan en büyük görelî kayma değeri (1.44 mm) büyüktür (Çizelge 3.15).

Çizelge 3.15 : Yalın ve sönümleyicili birleşim numuneleri kiriş-kolon birleşimi görelî kayma değerleri.

	Yalın Birleşim	Sönümleyicili Birleşim
Test	Kayma (mm)	Kayma (mm)
ERZ0.10	0.37	0.19
ERZ0.25	0.66	0.41
ERZ0.50	0.99	0.44
ERZ0.75	1.55	0.57
ERZ1.00	2.46	1.17
ERZ1.25	3.71	1.44
ERZ1.40	-	1.44

Kiriş-kolon birleşimi için kullanılan rodların üzerine, ikisi kiriş içinde biri guse içerisinde kalacak şekilde üçer birim şekil değiştirme ölçer yerleştirilmiştir. Deneysel çalışma boyunca, yalın ve sönümleyicili birleşim numuneleri için elde edilen birim şekil değiştirme değerleri elastik bölgede kalmıştır. ERZ0.10, ERZ0.25, ERZ0.50 ve ERZ0.75 testlerinde sönümleyicili birleşim numunesinde daha büyük birim şekil değiştirme değerleri elde edilmiştir. ERZ1.00, ERZ1.25 ve ERZ1.40 testlerinde ise sönümleyicili birleşim numunesi için elde edilen birim şekil değiştirme değerleri, yalın birleşim numunesine ait değerlerin altında kalmıştır.

KES, kiriş-kolon birleşim bölgesine yatay ile 45° açı yapacak şekilde yerleştirilmiştir. KES'e ait eksenel kuvvet-eksenel yer değiştirme ilişkileri, ERZ0.10 testinde KES'in henüz harekete geçemediğini göstermektedir. ERZ0.25 ve ERZ0.50 testlerinde hareket başlamış olsa da kapalı bir alan oluşumu görülmemektedir. Bu testlerde oluşan eksenel kuvvet-eksenel yer değiştirme ilişkileri, daha çok iki doğrusal bölgeye sahip bir davranış biçimi ortaya koymaktadır. ERZ0.75 testi ile birlikte, KES'e ait eksenel kuvvet-eksenel yer değiştirme ilişkileri, dikdörtgen biçimine çok yakın olan kapalı bir alan biçimini elde etmiştir. ERZ1.00, ERZ1.25 ve ERZ1.40 testlerinde kapalı alan biçiminde ilişkiler oluşmaya devam etmiştir.

Kiriş ve kolon bağlantı elemanlarından elde edilen eksenel kuvvet değerleri ile oluşturulan iki ayrı eksenel kuvvet-eksenel yer değiştirme ilişkisi birbirine benzemekte ancak arada farklılıklar bulunmaktadır. Kiriş bağlantı elemanından

alınan eksenel kuvvet ile oluşturulan eksenel kuvvet-eksenel yerdeğiştirme ilişkisi bir paralelkenarı andırmaktadır. Bölüm 2’de öngerilmesiz KES’e ait eksenel kuvvet-eksenel yerdeğiştirme ilişkisi ile Bölüm 3’te kolon bağlantı elemanından alınan eksenel kuvvet ile oluşturulan eksenel kuvvet-eksenel yerdeğiştirme ilişkisi arasındaki benzerlik, akma kuvveti, akma platolarının biçimi, çıkış ve dönüş kollarının paralelliği dolayısıyla birbirine daha yakındır.

Yalın ve sönümleyicili birleşim numunelerinin kiriş ve temeli üzerine yerleştirilen ivme ölçerlerden alınan ivme kayıtlarının farkı alınarak, temel üstünde kalan numune parçalarının (kolon, kiriş, ilave kütleler) kütleleri toplam değeri (yaklaşık olarak $5 \text{ kNs}^2/\text{m}$) ile çarpılmış ve kolon alt uç kesitinde olduğu düşünülen efektif kuvvet hesaplanmıştır. Efektif kuvvet ile görelî yerdeğiştirme büyüklükleri bir araya getirilerek, yalın ve sönümleyicili birleşim numunelerine ait efektif kuvvet-görelî yerdeğiştirme ilişkileri belirlenmiştir.

Deneyisel çalışma boyunca gerçekleştirilen tüm testlerde, sönümleyicili birleşim numunesine ait yatay rijitliğin daha büyük olduğu görülmektedir. Oluşan görelî yerdeğiştirme değerleri daha küçük, buna karşılık elde edilen efektif kuvvet değerleri daha büyüktür. Yalın birleşim numunesinde, ERZ1.00 testi itibari ile yatay rijitlik azalmaya başlamıştır. Bu durum deney sırasında gözlemlenen ve ölçülen hasar dağılımı ile paralellik göstermektedir. Sönümleyicili birleşim numunesine ait ERZ1.00 ve ERZ1.25 ve ERZ1.40 testleri ile elde edilen efektif kuvvet-görelî yerdeğiştirme ilişkileri incelendiğinde, bu numuneye ait yatay rijitlikte, yalın birleşim numunesinde oluşan belirgin düşüş görülmemektedir.

3.7.2 Deneyisel ve kuramsal çalışma sonuçlarının karşılaştırılması

Deneyisel çalışmada kullanılan numunelere ait malzeme özellikleri ve ivme-zaman geçmişi kullanılarak kuramsal çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Yalın ve sönümleyicili birleşim numunesi için, deneyisel ve kuramsal çalışmalardan elde edilen, numune tepe yerdeğiştirmesi, kiriş ve temel üzerinde hareket doğrultusunda oluşan ivme ile kolon alt ucunda meydana gelen dönmenin zamana bağlı değişimleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca, sönümleyicili birleşim numunesinde, kuramsal modelde KES elemanın davranışını tanımlamak üzere kullanılan bağlantı elemanına (*link element*) ait eksenel kuvvet-eksenel yerdeğiştirme ilişkisi ile deneyisel çalışmadan KES için elde edilen eksenel kuvvet-eksenel yerdeğiştirme ilişkisi karşılaştırılmıştır.

Deneysel ve kuramsal çalışmadan elde edilen numune tepe yerdeğiştirme ilişkileri uyum içerisindedir. Gerçekleştirilen tüm testler için elde edilen numune tepe yerdeğiştirme-zaman ilişkileri birbirleri ile yakındır. Kuramsal alışma içerisinde oluşturulan analitik model, yalın ve sönümleyicili birleşim numunelerinin tepe noktası yerdeğiştirme büyüklüklerini ve bu büyüklüklerin zamana bağlı olarak değişimini belirlemekte oldukça başarılı olmuştur.

Numunede kiriş üzerine yerleştirilen ivme ölçerlerden alınan ivme kayıtları ve kuramsal çalışma ile elde edilen ivme-zaman ilişkileri birbirlerine oldukça benzemektedir. Yalın birleşim numunesi için gerçekleştirilen tüm testlerde, elde edilen değerler arasında küçük farklar bulunmaktadır. Bununla birlikte ivme değerlerinin zamana göre değişimi birbiri ile uyumludur. Özellikle ERZ1.25 ve ERZ1.40 testleri için tepe noktası ivme büyüklükleri ve ivmenin zamana bağlı olarak değişimi oldukça başarılı bir şekilde belirlenmiştir. Sönümleyicili birleşim numunesi için elde edilen deneysel ve kuramsal çalışma sonuçları arasında bir miktar fark bulunmaktadır. Bununla birlikte, kuramsal çalışmadan elde edilen ivme-zaman değişimine ait frekans, deneysel çalışmadan elde edilen ivme-zaman değişimine ait frekanstan daha yüksektir.

Numune temeli üzerinde oluşan ivme-zaman ilişkileri, deneysel ve kuramsal çalışma sonuçları bakımından birbirine benzerlik göstermektedir. Yalın ve sönümleyicili birleşim numuneleri için, deneysel ve kuramsal çalışmalardan elde edilen ivme büyüklükleri arasında bir miktar fark oluşmuştur. Ancak yalın birleşim numunesi ile gerçekleştirilen kuramsal çalışma sonuçları, temel üstünde oluşan en büyük ivme değerlerinin belirlenmesi konusunda, sönümleyicili birleşim numunesinden daha başarılıdır. Genel olarak, yalın ve sönümleyicili numunelerin analitik modelleri, numune temel üstünde oluşan ivmenin zamana bağlı olarak değişiminin belirlenmesi için başarılı olmuştur.

Yalın ve sönümleyicili birleşim numuneleri kolon alt ucunda meydana gelen dönmenin zamana bağlı olarak değişimi, deneysel ve kuramsal çalışma sonuçları açısından değerlendirildiğinde, karşılaştırılan diğer büyüklükler (numune tepe noktası yerdeğiştirme, kiriş ve temel üzerinde hareket doğrultusunda oluşan ivme) kadar başarılı olamadığı grlmektedir. Yalın birleşim numunesi için deneysel ve kuramsal çalışmadan elde edilen kolon alt ucu dönme büyüklükleri arasında fark olmakla birlikte, dönme-zaman ilişkisi başarılı bir şekilde belirlenmiştir.

Sönümleyicili birleşim numunesi için hem dönme büyüklükleri hem de dönme-zaman ilişkileri açısından fark oluşmaktadır.

Deneysel ve kuramsal çalışmadan elde edilen KES'e ait eksenel kuvvet-eksenel yerdeğiştirme ilişkileri karşılaştırılırsa, deneysel çalışma süresince gerçekleştirilen testlerde, KES'in birleşim davranışı üzerindeki etkisinin analitik modele aktarıldığı görülmektedir. Deneysel çalışma sonuçları, ERZ0.10 testinde KES'in henüz harekete geçemediğini, ERZ0.25 ve ERZ0.50 testlerinde ise eksenel kuvvet-eksenel yerdeğiştirme ilişkilerinin daha çok iki doğrusal bölgeye sahip bir davranış biçimi ortaya koyduğunu göstermektedir. Kuramsal çalışma ile elde edilen sonuçlar ise KES davranışının elastik bölgede kaldığını, dolayısıyla KES içerisinde bir enerji tüketimi gerçekleşmediğini göstermektedir.

Deneysel çalışma sonuçlarına göre, ERZ0.75 testi ile birlikte, KES'e ait eksenel kuvvet-eksenel yerdeğiştirme ilişkileri, dikdörtgen kapalı bir alan biçimini oluşturmuş, ERZ1.00, ERZ1.25 ile ERZ1.40 testlerinde ise kapalı alanlar büyümeye devam etmiştir. ERZ0.75 ve ERZ1.00 testlerinde, kuramsal çalışma için belirlenen KES eksenel kuvvet-eksenel yerdeğiştirme ilişkilerinin, deneysel çalışma ile elde edilen ilişkiler ile benzerliği görülmüştür. İniş ve çıkış kollarının eğimi ve akma platosu biçimi birbiri ile oldukça uyumludur.

Deneysel çalışmada ERZ1.25 ve ERZ1.40 testleri sırasında, eksenel yerdeğiştirmenin ilerlemesi ile birlikte KES eksenel kuvvetinin ani bir şekilde arttığı görülmektedir. Analitik modelde KES davranışını temsil eden iki doğru parçalı bağlantı elemanı dolayısıyla, kuramsal çalışma sonuçlarında benzer bir etki oluşmamıştır.

4. GERÇEK BİR PREFABRİKE YAPIDA KES UYGULAMASI

Tek katlı prefabrike betonarme çerçeveler dünyada ve ülkemizde daha çok endüstriyel yapılar için tercih edilmektedir. Ülkemizde inşa edilen büyük açıklıklı endüstriyel yapılarda kullanılan tek katlı çerçevelerin kiriş-kolon birleşimleri genellikle moment aktarmayacak biçimde teşkil edilmektedir.

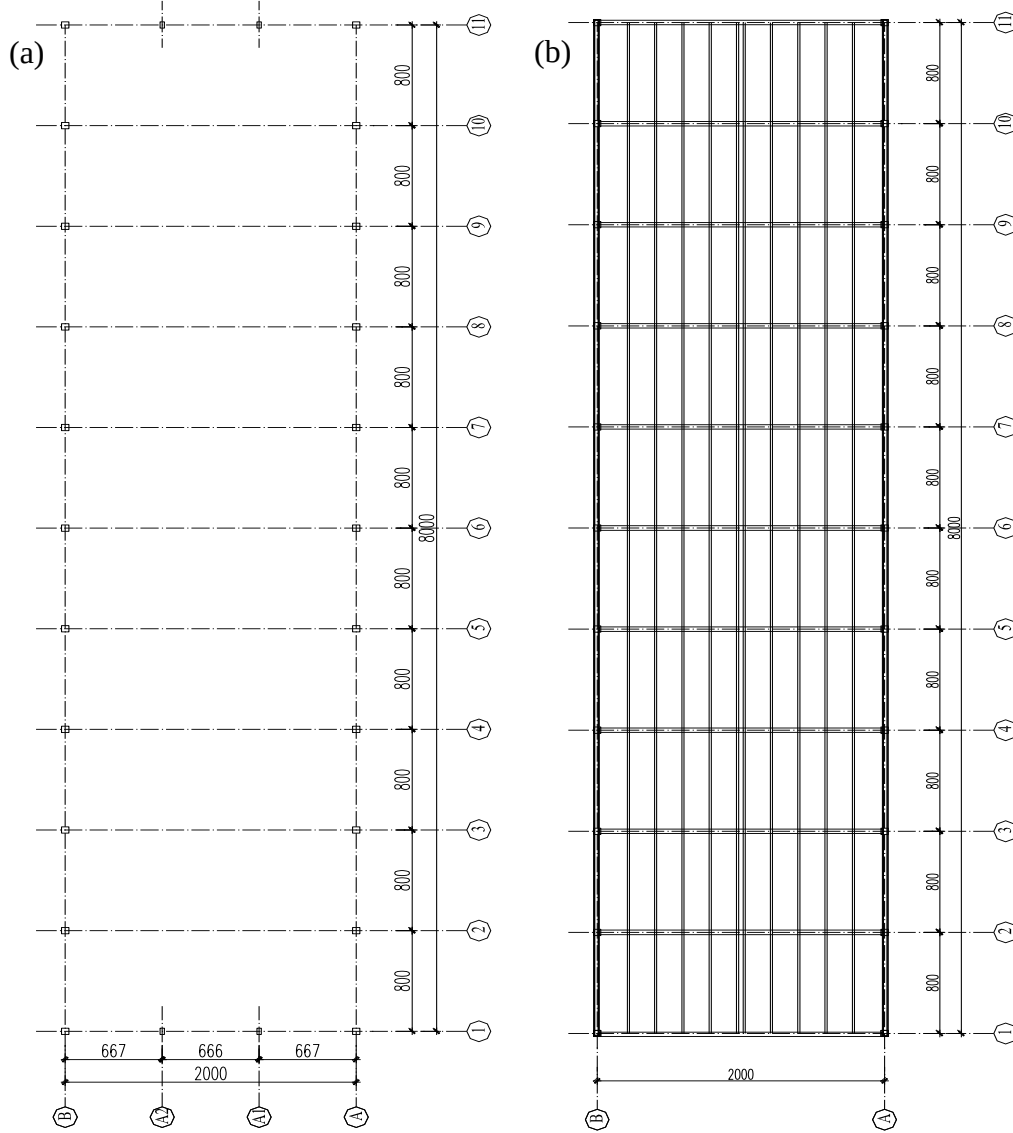
Bu tez çalışması kapsamında moment aktarmayan kiriş-kolon birleşimine sahip olan ve *Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007 (TDY 2007)*'e göre tasarlanan, tek katlı prefabrike betonarme bir yapının deprem performansının iyileştirilmesi çalışması yapılmıştır. Yalın ve KES yerleştirilmiş iki ayrı matematik model kullanılarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler gerçekleştirilmiştir. Matematik modellerin oluşturulması ve analizi için *SeismoStruct* yapı analiz programı kullanılmıştır.

Doğrusal olmayan zaman tanım alanı analizlerinde kullanılmak üzere, gerçek yapının bulunduğu deprem bölgesi ve zemin koşulları dikkate alınarak, bir elastik tasarım ivme spektrumu belirlenmiştir. Bu spektrum, *PEER Yer Hareketi Veritabanı* kullanımında hedef spektrum olarak seçilmiş ve içerisinde 30 adet deprem ivme kaydı bulunan bir havuz oluşturulmuştur. Bu kayıtlar arasından, *TDY 2007*'de belirtilen şartlara uygun olan 10 adet ivme kaydı seçilmiştir.

Yalın ve sönümleyici yerleştirilmiş yapıları temsilen oluşturulan üç boyutlu yapı modellerinde, depremin üç bileşeni de dikkate alınarak, seçilen 10 farklı ivme kaydı için, doğrusal olmayan analizler gerçekleştirilmiştir. Tepe yerdeğiştirmesi, kolon alt kesitlerine ait moment-eğrilik ve moment-normal kuvvet ilişkileri, kolon kesme kuvveti, kolon üst ucunda oluşan ivme, sönümleyici eksenel kuvvet-eksenel yerdeğiştirme ilişkisi gibi sonuçlar takip edilmiştir. On farklı ivme kaydı için gerçekleştirilen analiz sonuçlarının ortalaması cinsinden yalın ve sönümleyicili yapıların sistem ve eleman davranışları tartışılmıştır.

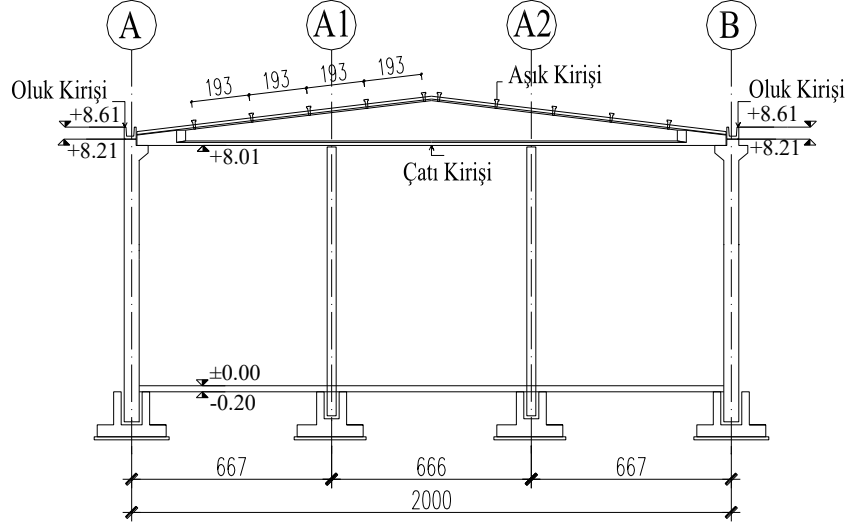
4.1 Prefabrike Yapı Sistemine Ait Özellikler

Prefabrike betonarme tek katlı çerçevelerden oluşan yapı, planda 20 m×80 m boyutlarındadır ve toplam 1600 m² büyüklüğünde bir alana oturmaktadır. Yapı sisteminde yatay doğrultuda 11 adet (1-11), düşey doğrultuda ise 2 adet ana (A, B) ve 2 adet tali (A1, A2) aks bulunmaktadır. Tali akslar, yapının ön ve arka cephelerinde, cephe panellerinin bağlandığı kolonların yerleşimi için oluşturulan aksları ifade etmektedir (Şekil 4.1).

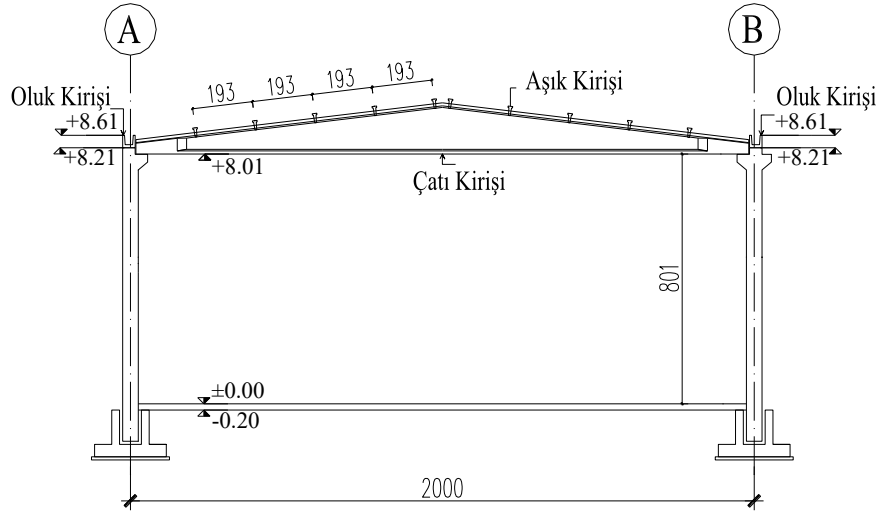


Şekil 4.1 : Prefabrike yapı planı; (a) Kolon yerleşim planı, (b) Çatı yerleşim planı (Bütün ölçüler cm cinsinden verilmiştir.).

Yapı sistemini oluşturan kenar ve orta aks çerçeveleri sırasıyla Şekil 4.2’de ve Şekil 4.3’te verilmiştir. Yapıda kullanılan beton sınıfı C30, donatı çeliği sınıfı ise BÇIIIa’dır. Ana çerçeveyi oluşturan çatı kirişinin net uzunluğu 19.65 m’dir.



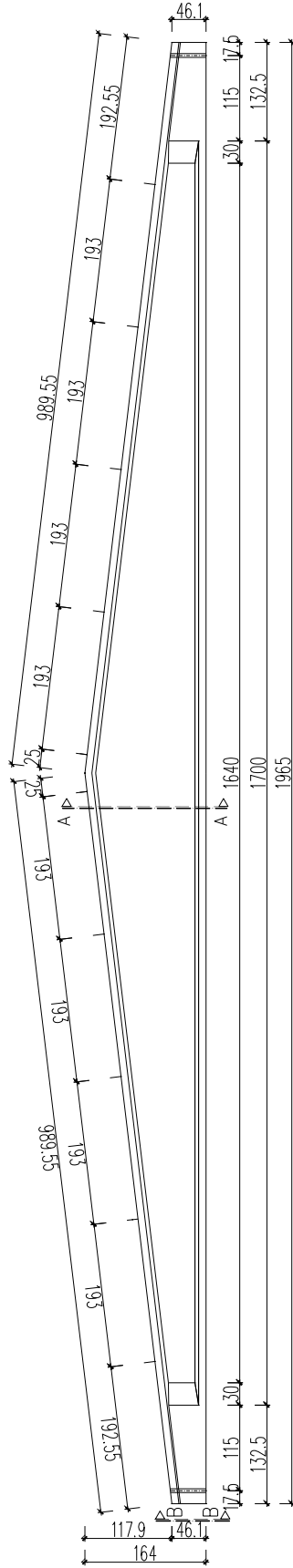
Şekil 4.2 : Kenar aks çerçeveleri.



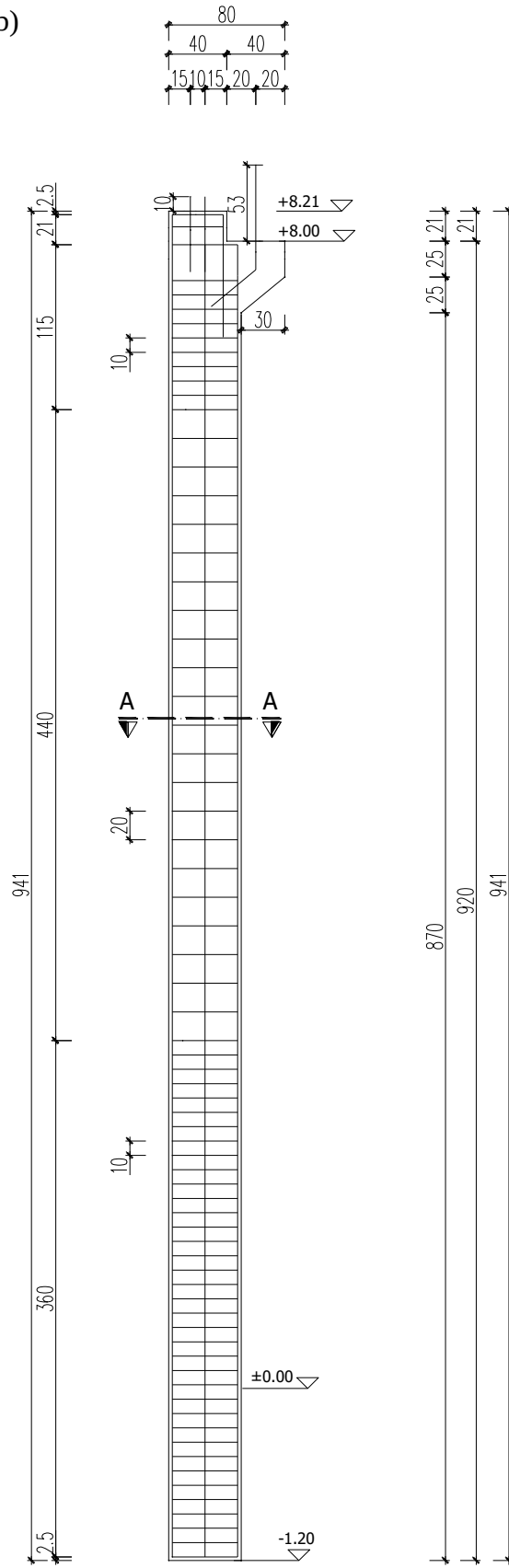
Şekil 4.3 : Ara aks çerçeveleri.

Çatı kirişi alt yüzünün yerden yüksekliği 8.01 m’dir. Kiriş-kolon birleşimlerinde, kısa konsol üzerinde 1 cm kalınlığında neopren yastık kullanılmıştır. Kenar ve iç aks kirişlerine ait geometrik boyutlar Şekil 4.4a’da görülmektedir. Kiriş değişken kesitli olarak teşkil edilmiş olup, kiriş yüksekliği mesnetlerde ve açıklık ortasında sırasıyla 46.1 cm ve 164 cm olarak imal edilmiştir (Şekil 4.5). Geometrik boyutları özdeş olan iki kirişin donatılandırma biçimleri birbirinden farklıdır. Kirişlere ait donatı detayları EK-A’da verilmiştir.

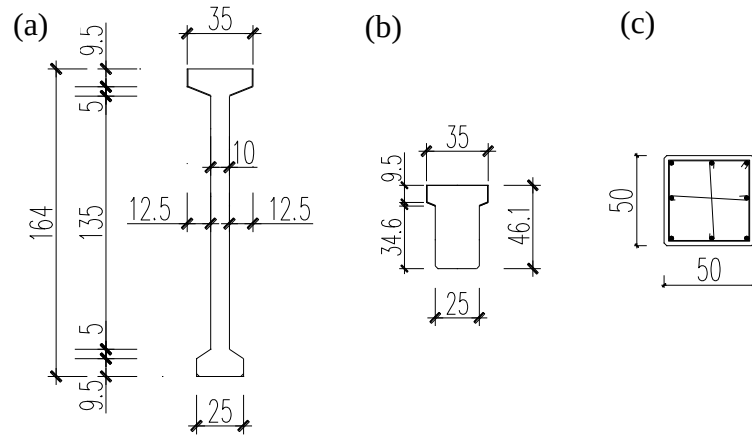
a)



b)



Şekil 4.4 : Yapı elemanları; a) Çerçeve kirişleri, b) Çerçeve kolonları (Bütün ölçüler cm cinsinden verilmiştir.).



Şekil 4.5 : Eleman kesitleri; (a) Kiriş açıklık ortası (A-A kesiti), (b) Kiriş mesnet (B-B görünüşü), (c) Kolon (A-A kesiti) (Bütün ölçüler cm cinsinden verilmiştir.).

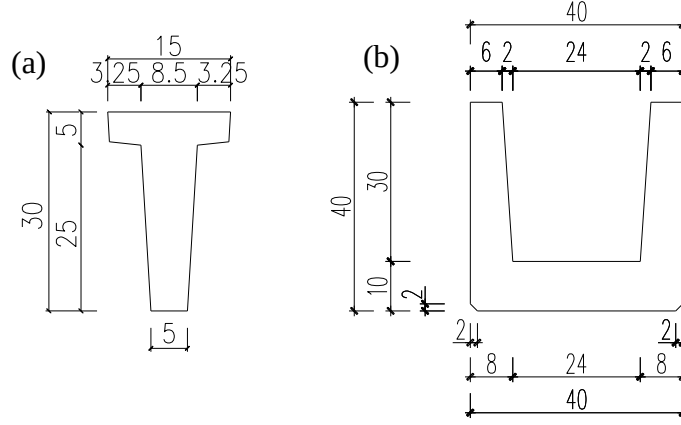
Kenar ve ara aks çerçevelerinde kullanılan kolon elemanlar geometri ve donatı bakımından özdeştir. 50×50 cm boyutlarında kare kesitli olan kolonların toplam boyu 9.41 m'dir. Kolonun 1.20 m uzunluğundaki bölümü soket temel içine yerleştirilmiştir. Dolayısıyla, kolon üst ucunun yerden yüksekliği 8.21 m olarak belirlenmiştir. 1 cm kalınlığında neopren yastığın kullanıldığı kiriş-kolon birleşiminde kısa konsol üst yüzünün yerden yüksekliği 8.00 m'dir (Şekil 4.4b).

Kolon kesitinde köşelerde 4 adet Ø22mm ve kenar orta noktalarında 4 adet Ø20mm çapında boyuna donatı kullanılmıştır. Ø8mm çapındaki enine donatıların aralığı, kolon alt ve üst ucunda 10 cm, orta bölgede ise 20 cm olarak uygulanmıştır. Kolon alt ucunda sıklaştırma bölgesi uzunluğu 3.60 m'dir. Soket temel dışında kalan sıklaştırma bölgesi uzunluğu 2.40 m'dir. Kolon orta bölgesinin uzunluğu 4.40 m'dir. Üst uç sıklaştırma bölgesinin uzunluğu 90 cm olup, bunun 22.5 cm uzunluğundaki bölümü guse içerisinde kalmaktadır (Şekil 4.4b).

Kolon üst ucunda bulunan guse üst yüzü 40 cm genişliğinde ve 50 cm derinliğindedir. Guse alt yüzünün kolon yüzünden mesafesi 30 cm, uçtaki yüksekliği de 25 cm'dir (Şekil 4.4b).

Çatı kirişlerinin üzerine basit olarak mesnetlenen aşık ve oluk kirişlerinin kesit özellikleri Şekil 4.6'da verilmiştir. Kenar ve ara açıklıklarda kullanılan aşık ve oluk kirişlerinin boyutları özdeştir.

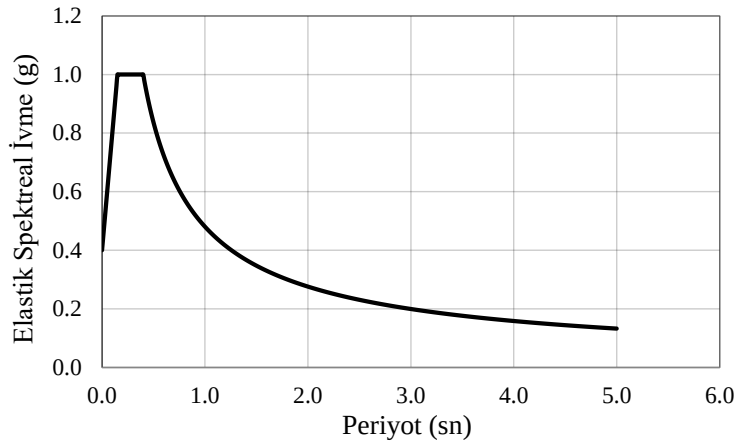
Çatı kaplaması olarak alüminyum sandviç panel kullanılmış ve çatı örtü ağırlığı olarak 12 kg/m² değeri kullanılmıştır. Yapının bulunduğu kar bölgesi ve rakıma bağlı olarak kar yükü de 75 kg/m² olarak alınmıştır.



Şekil 4.6 : Eleman kesitleri; (a) Aşık kirişi, (b) Oluk kirişi (Bütün ölçüler cm cinsinden verilmiştir.).

4.2 Deprem Kayıtlarının Seçilmesi

Betonarme prefabrike çerçevelere sahip yapı sisteminin 1. derece deprem bölgesinde bulunduğu ve zemin sınıfının Z2 olduğu kabul edilmiştir. *TDY 2007*'ye göre etkin yer ivmesi katsayısı (A_0) 0.40 ve spektrum karakteristik periyotları (T_A , T_B) sırasıyla 0.15 sn ve 0.40 sn olan yapı sistemi için kullanılan elastik tasarım ivme spektrumu Şekil 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.7 : 1.derece deprem bölgesi ve Z2 zemin sınıfı için elastik tasarım ivme spektrumu.

Zaman tanım alanında yapılan doğrusal olmayan analizlerde kullanılan yer hareketlerinin aşağıdaki koşulları sağlaması amaçlanmıştır (*TDY 2007*).

- Kuvvetli yer hareketi kısmının süresi, binanın birinci doğal titreşim periyodunun 5 katından ve 15 saniyeden daha kısa olmayacaktır.

- Üretilen deprem yer hareketinin sıfır periyoda karşı gelen spektral ivme değerlerinin ortalaması A_{0g} değerinden daha küçük olmayacaktır.
- Yapay olarak üretilen her bir ivme kaydına göre %5 sönüm oranı için yeniden bulunacak spektral ivme değerlerinin ortalaması, göz önüne alınan deprem doğrultusundaki birinci (hakim) periyot T_1 'e göre $0.2T_1$ ile $2T_1$ arasındaki periyotlar için, elastik spektral ivmelerinin %90'ından daha az olmayacaktır.

Edit Spectra

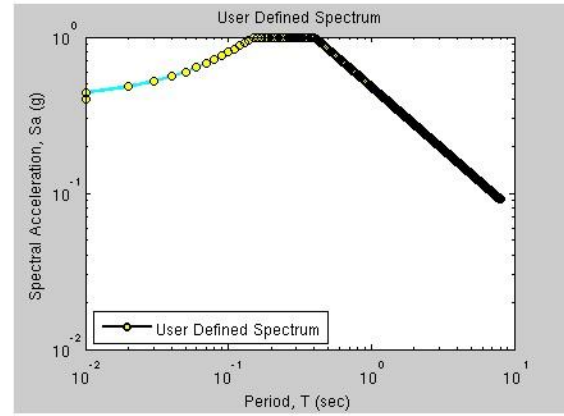
Select Spectrum Model

Select models to generate target spectrum : **User Defined Spectrum**

User Defined Spectrum

Filename: [Upload File](#)

[Download Example file\(.csv\)](#)



Şekil 4.8 : 1.derece deprem bölgesi ve Z2 zemin sınıfı için tanımlanan elastik tasarım ivme spektrumu.

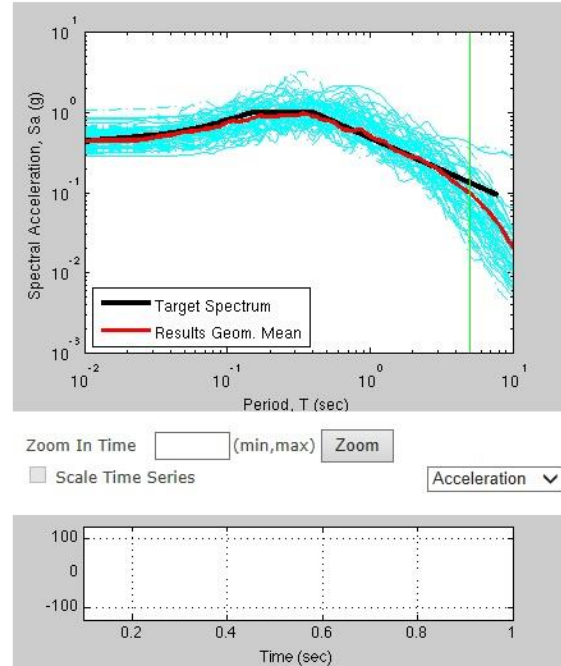
Edit Search

PEER-NGA Spectrum

Magnitude : (min,max)
Fault Type : **All types**
D9-95(sec) :
R_JB(km) : (min,max)
R_rup(km) : (min,max)
Vs30(m/s) : (min,max)
Pulse : **Any Record**
Scaling : ☐ [learn more](#)
Single Period : ☐
Factor Limit : (min,max)
T (sec) :
[Additional Search Options](#)

Weight Function

Period : (min max)
Weight : (wt. wt.)

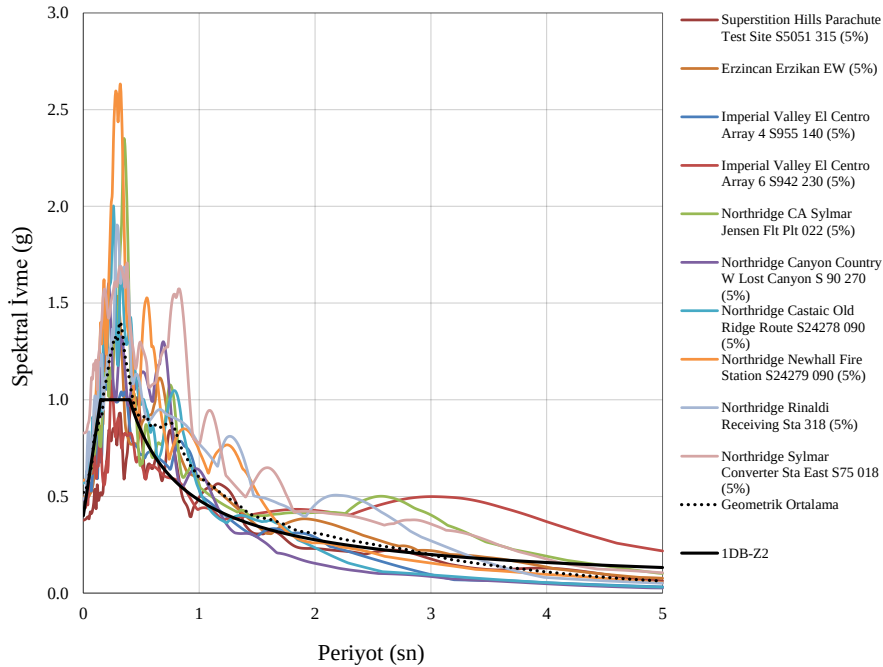


Şekil 4.9 : Hedef spektruma uygun olarak belirlenen kayıtlara ait ivme spektrumu eğrileri ve geometrik ortalamaları.

Çizelge 4.1 : Analizlerde kullanılan yer hareketlerine ait özellikler.

İstasyon	Yer Hareketi	Yıl	Magnitüd	Bileşen	Süre (sn)
Parachute Test Site S5051	Superstition Hills	1987	6.54	315	22.31
Erzikan	Erzincan	1992	6.69	E-W	20.78
El Centro Array #4	Imperial Valley	1979	6.53	140	39.00
El Centro Array #6	Imperial Valley	1979	6.53	230	39.04
CA Sylmar, Jensen Flt Plt	Northridge	1994	6.69	022	28.62
Canyon Country-W Lost Can.	Northridge	1994	6.69	270	19.99
Castaic-Old Ridge Route	Northridge	1994	6.69	090	40.00
Newhall-Fire Station	Northridge	1994	6.69	090	40.00
Rinaldi Receiving Sta	Northridge	1994	6.69	318	19.91
Sylmar-Converter Sta-East	Northridge	1994	6.69	018	40.00

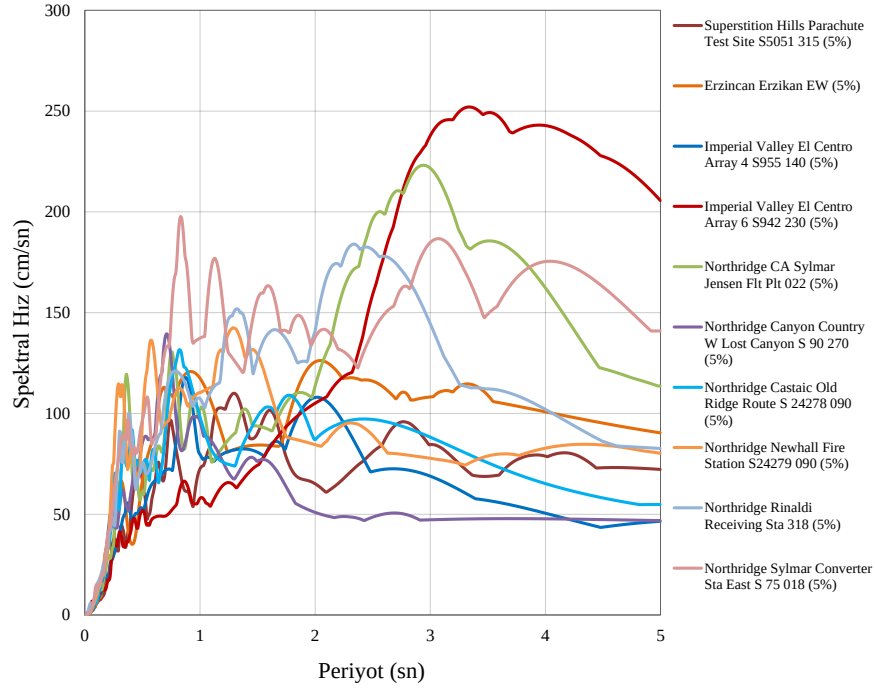
Öncelikle, Şekil 4.7’de verilen elastik tasarım ivme spektrumu *PEER Yer Hareketi Veri Tabanı*’na (PEER NGA Database) kullanıcı tanımlı spektrum olarak yüklenmiştir (Şekil 4.8). Her fay türünü dikkate alacak şekilde yapılan taramada ağırlık fonksiyonu periyot aralığı 0.01 sn-5.00 sn olarak seçilmiştir (Şekil 4.9). Veritabanında yapılan arama sonucunda, ivme spektrumu değerlerinin geometrik ortalaması belirlenen hedef spektruma yaklaşık olarak eşit olacak şekilde, 30 adet yer hareketi belirlenmiştir. Belirlenen bu yer hareketlerine ait kayıtlar ilgili veritabanından alınmış ve *Seismosignal* bilgisayar yazılımından yararlanılarak, %5 sönüm için, elastik ivme spektrumları oluşturulmuştur.



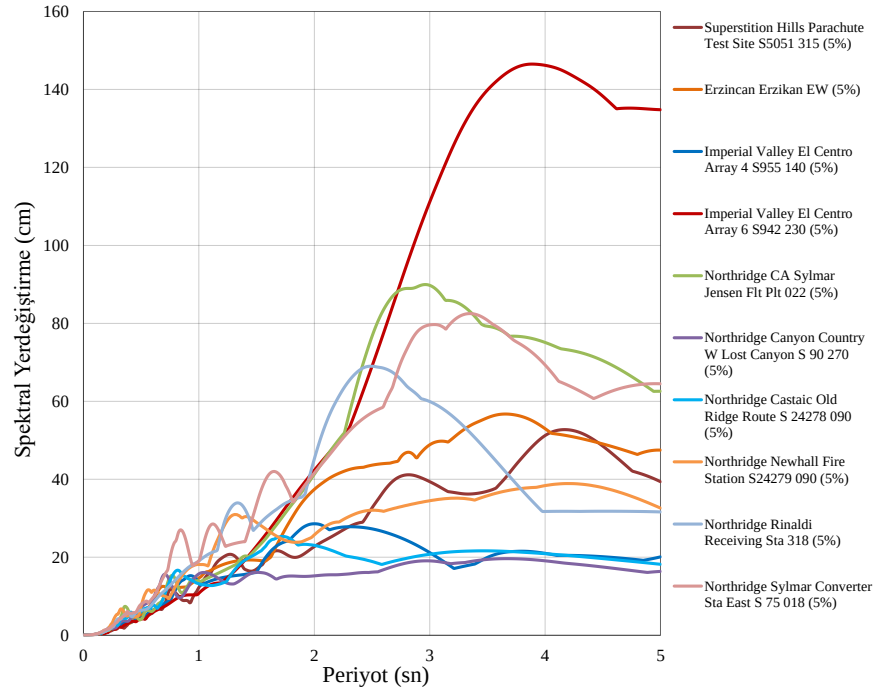
Şekil 4.10 : Seçilen yer hareketlerine ait elastik ivme spektrumları.

TDY 2007’de belirtilen şartlara uygun olarak 10 adet yer hareketi, veri tabanından alınan kayıtlar arasından seçilmiştir. Yer hareketlerinin önemli özellikleri Çizelge 4.1’de verilmiştir. Bu 10 adet yer hareketine ait elastik ivme spektrumu,

geometrik ortalaması ve hedef spektrum Şekil 4.10’da birlikte görülmektedir. Seçilen yer hareketlerine ait spektral hız ve spektral yerdeğiştirme grafikleri de sırasıyla Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de verilmiştir.

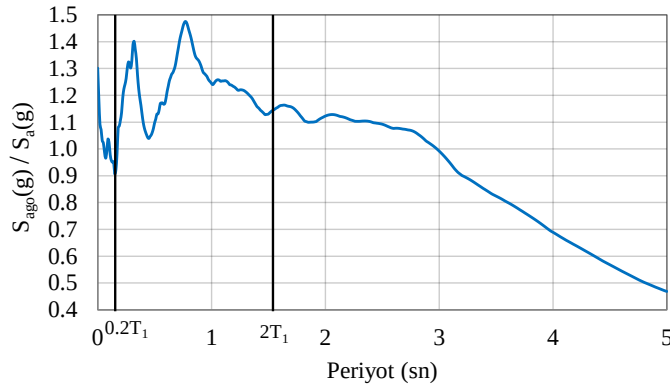


Şekil 4.11 : Seçilen yer hareketlerine ait spektral hız-periyot ilişkileri.



Şekil 4.12 : Seçilen yer hareketlerine ait spektral yerdeğiştirme-periyot ilişkileri.

Seçilen yer hareketlerinin sureleri 15 sn'den ve yapının birinci doğal titreşim periyodunun ($T_1 = 0.77$ sn) 5 katı olan 3.85 sn değerinden fazladır. Yer hareketlerinin sıfır periyoduna karşı gelen spektral ivme değerlerinin geometrik ortalaması (0.521g) 0.40g değerinden büyüktür. Seçilen ivme kayıtlarının %5 sönüm oranı için belirlenen spektral ivme değerlerinin geometrik ortalaması, birinci (hâkim) yapı periyodu olan 0.77 sn değeri kullanılarak hesaplanan 0.154 sn ($0.2T_1$) ve 1.54 sn ($2T_1$) sınır değerleri arasında, hedef spektrum ordinatlarının %90'ından büyüktür (Şekil 4.13).



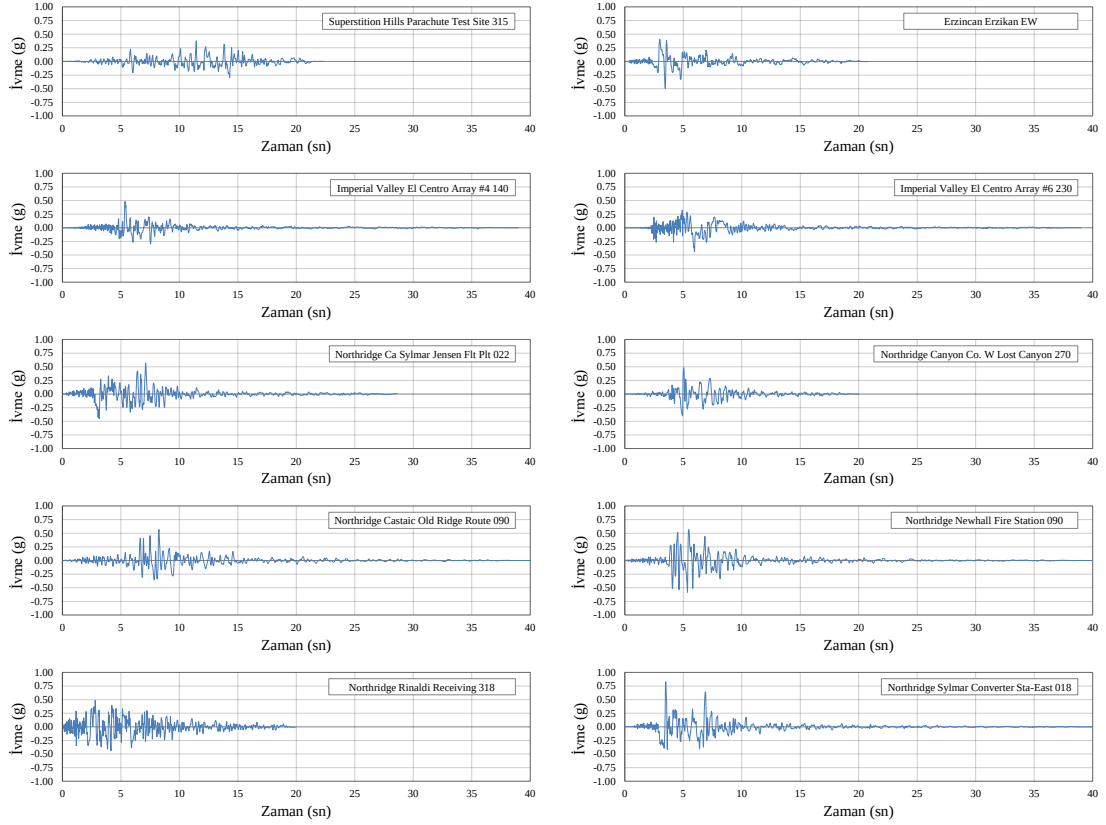
Şekil 4.13 : Seçilen yer hareketlerine ait elastik ivme spektrumları geometrik ortalamasının hedef ivme spektrumuna oranı.

Seçilen 10 adet yer hareketinin ivme-zaman ilişkileri Şekil 4.14'te sunulmuştur. Yer hareketlerinin farklı sürelerde gerçekleştiği ve bu süre içerisinde meydana gelen en büyük yer ivmesi değerlerinin farklı olduğu görölmektedir. Northridge (Castaic-Old Ridge Route, Newhall-Fire Station, Sylmar-Converter Sta-East) yer hareketi ivme kayıtları en uzun süreli kayıtlarıdır. En kısa süren yer hareketi ivme kaydı Northridge Rinaldi Receiving Station 318 olup toplam süre 19.91 s olarak kaydedilmiştir. Yer hareketlerine ait en büyük ivme, hız ve yerdeğiştirme değerleri ile hesaplanmış bazı hasar ölçütleri Çizelge 4.2'de verilmiştir.

En büyük ivme (PGA) değerinin en büyüğü 0.828g olup Northridge depreminde Sylmar-Converter Sta-East S78 istasyonunda kaydedilmiştir. Housner şiddetine göre en büyük hasarı Northridge depremine ait Sylmar-Converter Sta-East S78 istasyonu kaydının, en az hasarı ise Northridge depremine ait Canyon Country-W Lost Canyon S90 istasyonu kaydının oluşturması beklenmektedir.

Zaman tanım alanında yapılan doğrusal olmayan analizlerde yer hareketlerinin iki yatay bileşeni ile düşey bileşeni birlikte kullanılmıştır. Seçilen 10 adet yer

hareketinin yataydaki diğer bileşenlerine ait özellikler Çizelge 4.3'te verilmiştir. Bu bileşenlere ait elastik ivme spektrumları, geometrik ortalaması ve hedef spektrum Şekil 4.15'de birlikte verilmiştir. Bu bileşenler için oluşturulan spektral hız-periyot ilişkileri Şekil 4.16'da, spektral yerdeğiştirme-periyot ilişkileri ise Şekil 4.17'de verilmiştir.



Şekil 4.14 : Seçilen yer hareketlerinin ivme-zaman ilişkileri.

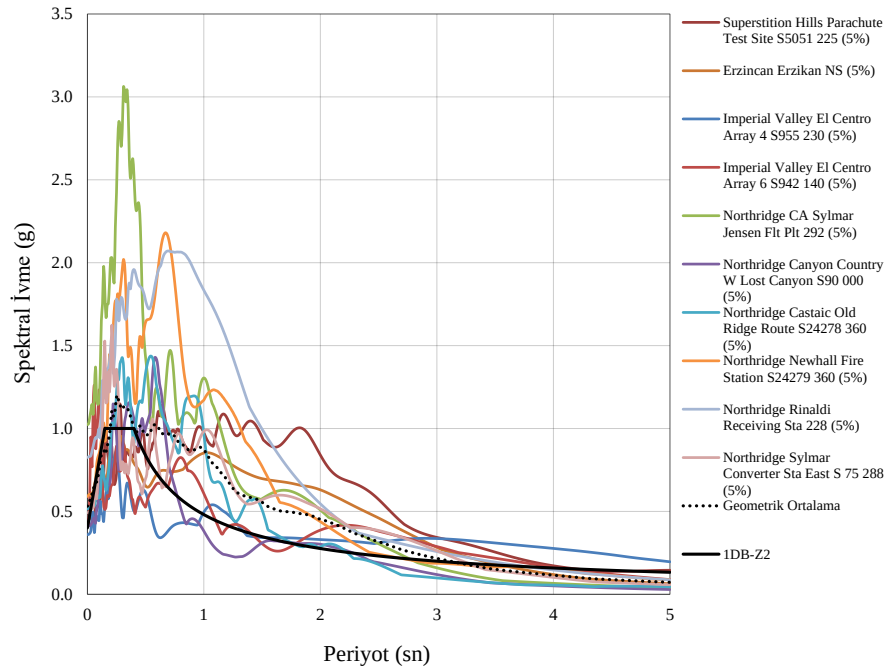
Seçilen kayıt süreleri 15 sn'den ve yapının birinci doğal titreşim periyodunun ($T_1 = 1.25$ sn) 5 katı olan 6.25 sn değerinden uzundur. Sıfır periyoda karşı gelen spektral ivme değerlerinin geometrik ortalaması 0.531g olarak hesaplanmıştır. %5 sönüm oranı için üretilen spektral ivme değerlerinin geometrik ortalaması, dikkate alınan deprem doğrultusundaki birinci (hâkim) yapı periyodu olan 1.25 sn değerine göre hesaplanan 0.25 sn ($0.2T_1$) ve 2.50 sn ($2T_1$) eşik değerleri arasında, hedef spektrum ordinatlarının %90'ından fazladır (Şekil 4.18).

Çizelge 4.2 : Seçilen yer hareketlerinin hasar ölçütleri.

Deprem	Superstition Hills	Erzincan	Imperial Valley	Imperial Valley	Northridge	Northridge	Northridge	Northridge	Northridge	Northridge
İstasyon	Parachute Test Site	Erzikan	El Centro Array #4	El Centro Array #6	CA Sylmar	Canyon Country	Castaic-Old Ridge	Newhall-Fire Sta.	Rinaldi Rec. Sta.	Sylmar-Co Sta-East
Bileşen	315	E-W	140	230	022	270	090	090	318	018
En Büyük İvme (g)	0.38	0.50	0.49	0.44	0.57	0.48	0.57	0.58	0.49	0.83
En Büyük Hız (cm/sn)	43.88	64.28	37.40	109.84	76.05	44.91	51.80	74.89	74.57	117.49
En Büyük Yerdeğiştirme (cm)	15.30	21.94	20.17	65.94	42.41	12.52	8.80	17.87	26.82	34.47
Vmaks / Amaks (sn)	0.12	0.13	0.08	0.26	0.14	0.10	0.09	0.13	0.16	0.15
Arias Şiddeti (m/sn)	1.70	1.79	1.34	1.75	3.24	1.98	2.79	4.36	4.23	4.50
Karakteristik Şiddet (Ic)	0.09	0.09	0.06	0.08	0.14	0.10	0.11	0.15	0.18	0.16
Spesifik Enerji Yoğunluğu (cm ² /sn)	2800.17	4389.44	2467.81	14717.56	7625.09	1514.33	2110.59	3584.96	5778.37	8250.42
Hız Spektrum Yoğunluğu (cm)	171.90	224.56	187.64	178.68	244.04	165.96	212.36	240.56	293.31	306.81
Housner Şiddeti (cm)	169.50	216.97	176.86	218.59	244.42	158.36	183.87	236.47	291.12	301.40
A95 parametresi (g)	0.37	0.49	0.48	0.43	0.57	0.48	0.56	0.57	0.48	0.82
Etkili Süre (sn)	11.25	7.50	6.75	8.50	7.00	5.75	9.00	6.00	9.25	7.00

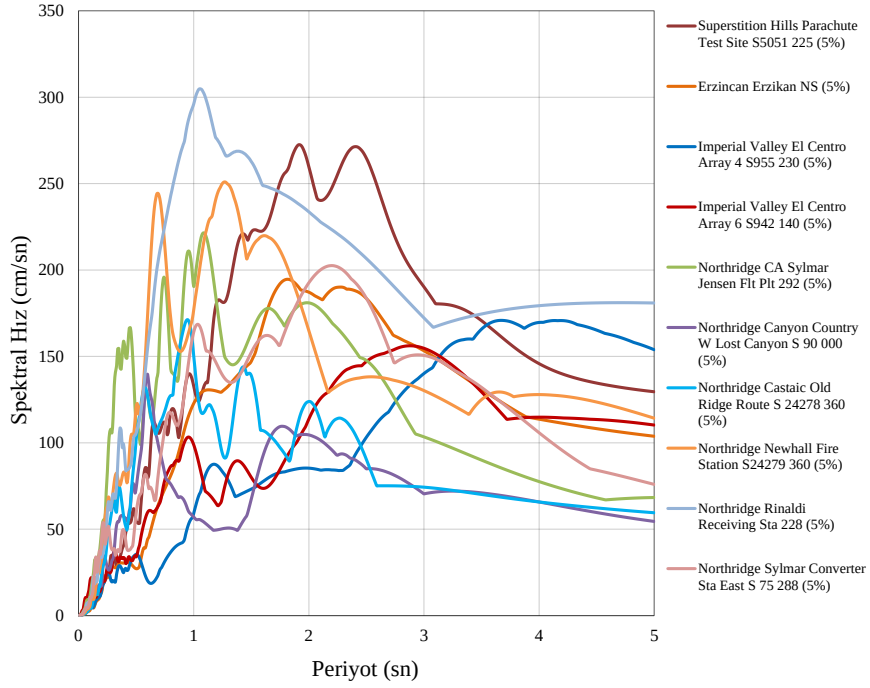
Çizelge 4.3 : Analizlerde kullanılan yer hareketlerinin diğer yatay bileşenlerine ait özellikler.

İstasyon	Yer Hareketi	Yıl	Magnitüd	Bileşen	Süre (sn)
Parachute Test Site S5051	Superstition Hills	1987	6.54	225	22.31
Erzikan	Erzincan	1992	6.69	N-S	20.78
El Centro Array #4	Imperial Valley	1979	6.53	230	39.00
El Centro Array #6	Imperial Valley	1979	6.53	140	39.04
CA Sylmar, Jensen Flt Plt	Northridge	1994	6.69	292	28.62
Canyon Country-W Lost Can.	Northridge	1994	6.69	000	19.99
Castaic-Old Ridge Route	Northridge	1994	6.69	360	40.00
Newhall-Fire Station	Northridge	1994	6.69	360	40.00
Rinaldi Receiving Sta	Northridge	1994	6.69	228	19.91
Sylmar-Converter Sta-East	Northridge	1994	6.69	288	40.00

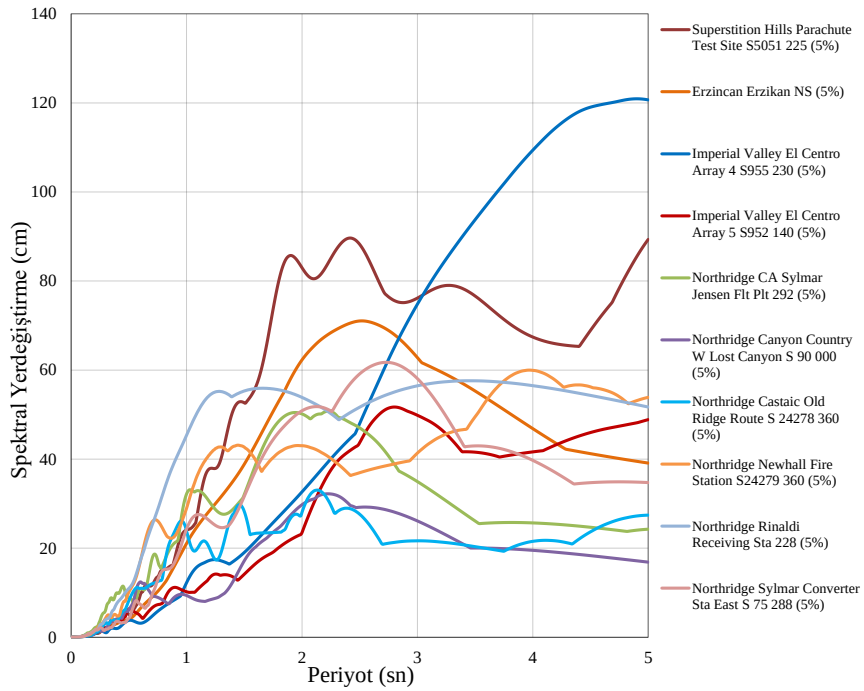


Şekil 4.15 : Seçilen yer hareketlerinin diğer yatay bileşenlerine ait elastik ivme spektrumları.

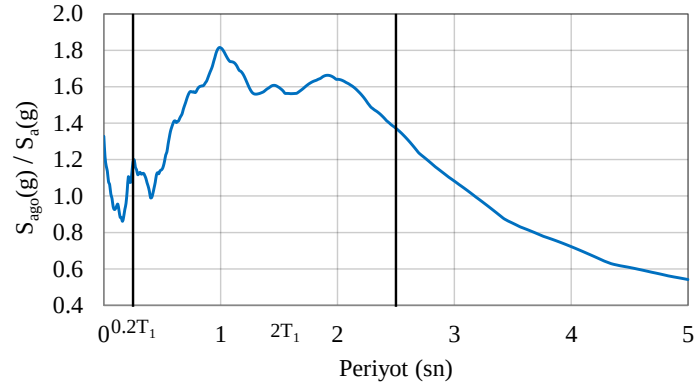
Seçilen 10 adet yer hareketinin diğer yatay bileşenlerine ait ivme-zaman ilişkileri Şekil 4.19’da, hesaplanan hasar ölçütleri de Çizelge 4.4’te verilmiştir. Meydana gelen en büyük ivmenin (PGA) 1.024g ile Northridge depremi Sylmar-Jensen Flt Plt istasyonuna ait olduğu görülmektedir. Housner hasar ölçütü bakımından yapılan karşılaştırmada Northridge depremi Rinaldi Receiving istasyonunda kaydedilen yer hareketinin önde geldiği görülmektedir.



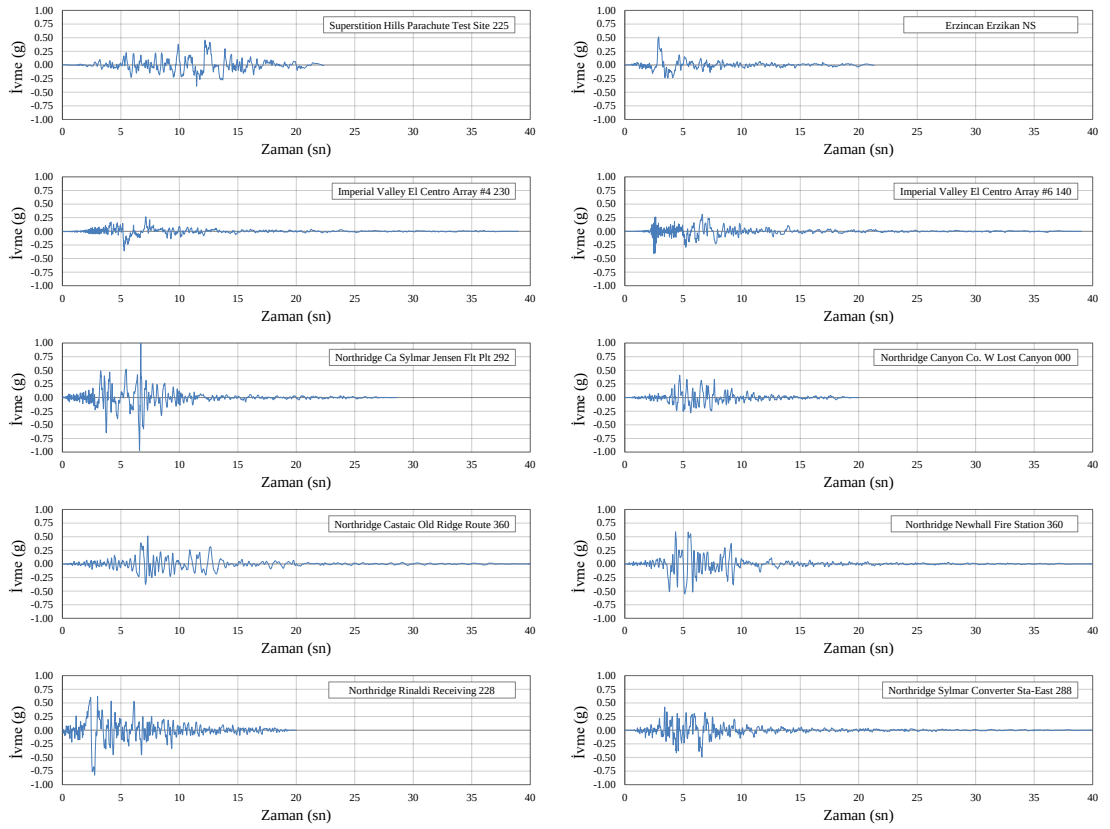
Şekil 4.16 : Seçilen yer hareketlerinin diğer yatay bileşenlerine ait spektral hız-periyot ilişkileri.



Şekil 4.17 : Seçilen yer hareketlerinin diğer yatay bileşenlerine ait spektral yerdeğiştirme-periyot ilişkileri.



Şekil 4.18 : Seçilen yer hareketlerinin diğer yatay bileşenlerine ait elastik ivme spektrumları geometrik ortalamasının hedef ivme spektrumuna oranı.



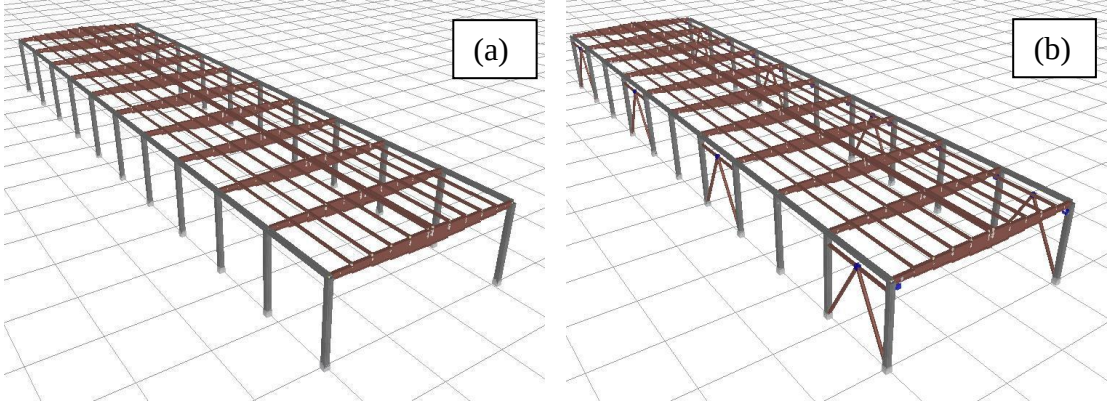
Şekil 4.19 : Seçilen yer hareketlerinin diğer yatay bilşenlerine ait ivme-zaman ilişkileri.

Çizelge 4.4 : Seçilen yer hareketlerinin diğer yatay bileşenlerine ait hasar ölçütleri.

Deprem	Superstition Hills	Erzincan	Imperial Valley	Imperial Valley	Northridge	Northridge	Northridge	Northridge	Northridge	Northridge
İstasyon	Parachute Test Site	Erzikan	El Centro Array #4	El Centro Array #6	CA Sylmar	Canyon Country	Castaic-Old Ridge	Newhall-Fire Sta.	Rinaldi Rec. Sta	Sylmar-Co Sta-East
Bileşen	225	N-S	230	140	292	0	360	360	228	288
En Büyük İvme (g)	0.45	0.52	0.36	0.41	1.02	0.41	0.51	0.59	0.83	0.49
En Büyük Hız (cm/sn)	111.96	83.96	76.56	64.86	67.94	42.97	52.06	96.94	160.08	74.58
En Büyük Yerdeğiştirme (cm)	52.46	27.67	59.10	27.66	24.66	11.68	15.62	38.14	29.70	29.25
Vmaks / Amaks (sn)	0.25	0.17	0.22	0.16	0.07	0.11	0.10	0.17	0.20	0.15
Arias Şiddeti (m/sn)	3.73	1.51	0.93	1.49	6.52	1.91	3.16	5.67	7.50	2.90
Karakteristik Şiddet (Ic)	0.16	0.08	0.05	0.07	0.23	0.10	0.12	0.19	0.28	0.11
Spesifik Enerji Yoğunluğu (cm ² /sn)	13442.60	6665.54	9559.20	4844.81	5840.34	1799.70	3466.27	7477.08	10700.13	4966.62
Hız Spektrum Yoğunluğu (cm)	406.14	296.99	148.46	199.45	374.69	183.97	254.42	398.72	505.56	322.68
Housner Şiddeti (cm)	415.78	319.94	179.80	205.90	338.56	170.58	229.40	350.50	453.52	286.77
A95 parametresi (g)	0.45	0.51	0.36	0.41	1.01	0.40	0.51	0.58	0.82	0.49
Etkili Süre (sn)	10.25	7.25	10.75	11.50	5.75	6.25	8.50	5.50	7.25	7.00

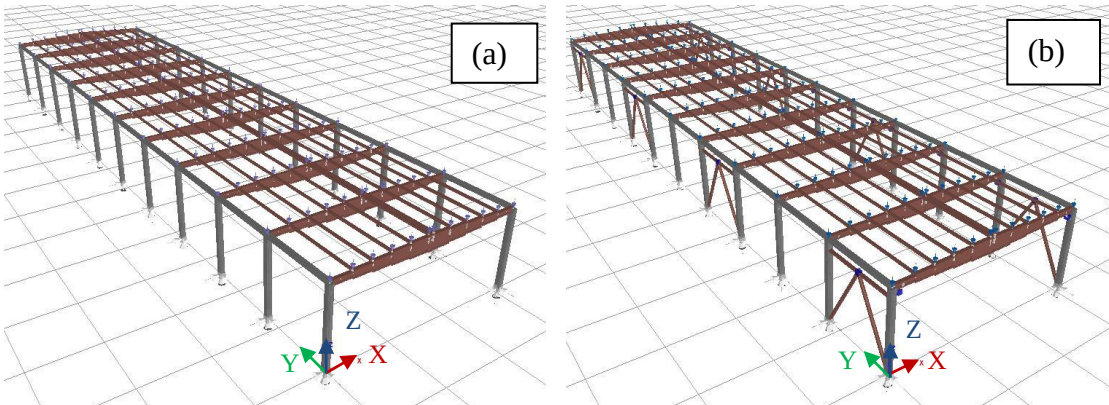
4.3 Analitik Modellerin Oluşturulması

İncelenen prefabrike betonarme yapının analitik modeli üç boyutlu olarak oluşturulmuştur. Taşıyıcı sistemi meydana getiren tüm elemanlara kesitleri ve sınır şartları ile temsil edilmiştir (Şekil 4.20). Şekil 4.20a'da mevcut duruma ait, Şekil 4.20b'de ise güçlendirilmiş duruma ait modeller yer almaktadır.



Şekil 4.20 : İki farklı durum için hazırlanan matematik modeller; (a) Yalın sistem, (b) Sönümleyici yerleştirilmiş sistem.

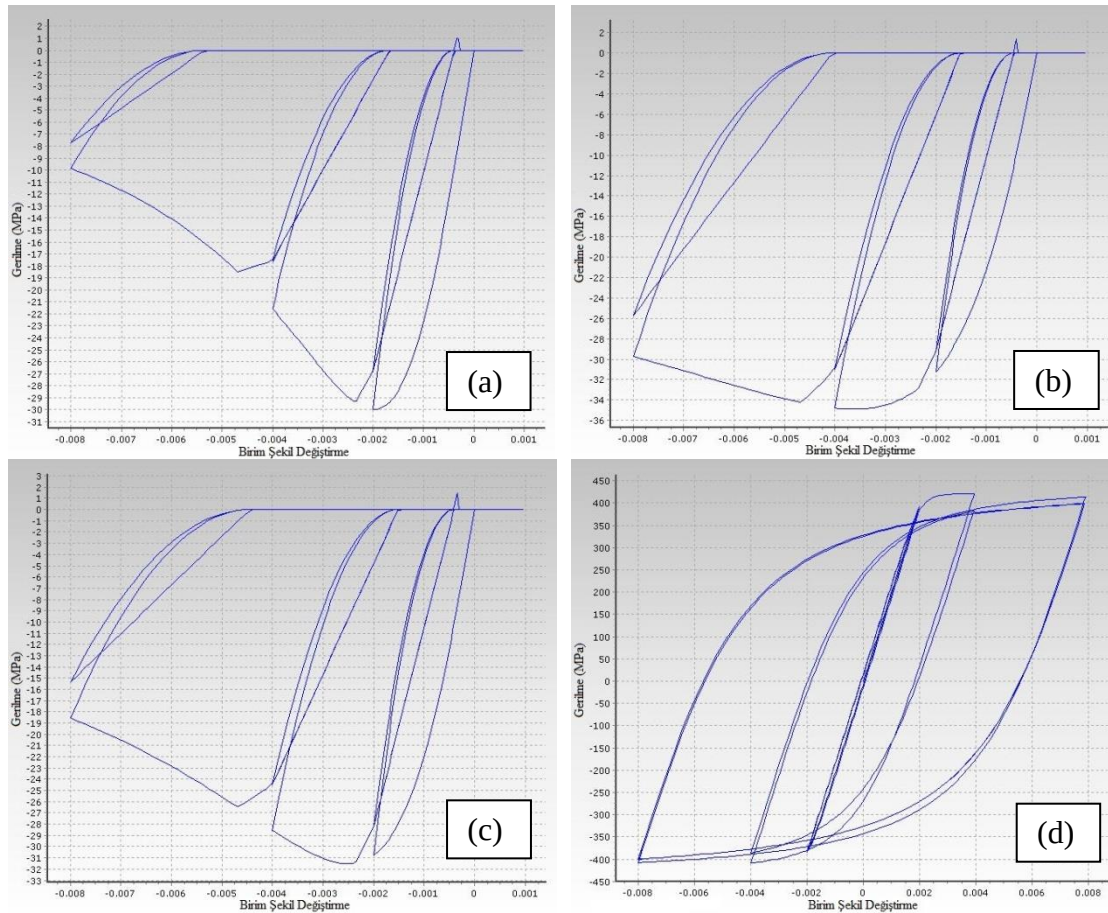
Eleman öz ağırlıkları, kullanılan yapı analiz programı tarafından, otomatik olarak hesaplanmaktadır. Yapı kütleline kar yükünün katılımı, hareketli yük katılım katsayısı ($n=0.30$) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte, aşık ve oluk kirişlerinin eğik çatı kirişi ile birleştiği düğüm noktalarına, kar yükünün %70'i düşey tekil yük olarak etkilmiştir (Şekil 4.21). Böylelikle yapı modelinde, kütle ve yükler gerçeğe en yakın olarak temsil edilmiştir.



Şekil 4.21 : Yapı modellerinde aşık kirişi ve oluk kirişi ile eğik çatı kirişi birleşim noktalarına atanan tekil yükler; (a) Yalın sistem, (b) Sönümleyici yerleştirilmiş sistem.

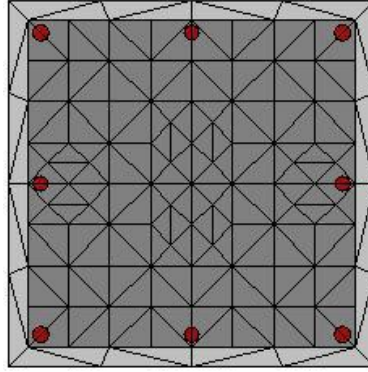
Modelde, aşıklar ve oluk kirişleri elastik çubuk elemanlar ile tanımlanmıştır. Bu kirişlerin her iki ucuna, iki ana eksende eğilme momenti mafsalları atanmıştır. *Seismostruct* yazılımında değişken kesitli eleman tanımlama imkânı bulunmadığından, eğik çatı kirişi 10 parçaya bölünerek, elastik çubuk elemanlar ile tanımlanmıştır. Kiriş eksenine ile aşıklar konumlarının birleştirilmesi için, rijitlikleri çok büyük olan tali çubuk elemanlar kullanılmıştır. Eğik çatı kirişinin her iki ucuna, kendi düzlemi içerisinde eğilme momenti mafsalları atanmıştır.

Yapı modelinde kolonlar üç parça olarak tanımlanmıştır. Bunun nedenlerinden biri kolon uç ve orta bölgesindeki sargılı beton davranış modelinin farklı karakteristikte olmasıdır. Diğer bir neden ise yapı modeline XZ düzleminde yerleştirilen kurşun ekstrüzyon sönümleyiciler (KES) ile YZ düzleminde yerleştirilen kuşak bağlantı noktalarının tanımlanmasını sağlamaktır. *Seismostruct* yazılımında, kolonlar kuvvet tabanlı doğrusal olmayan çerçeve elemanlar olarak modellenmiştir.

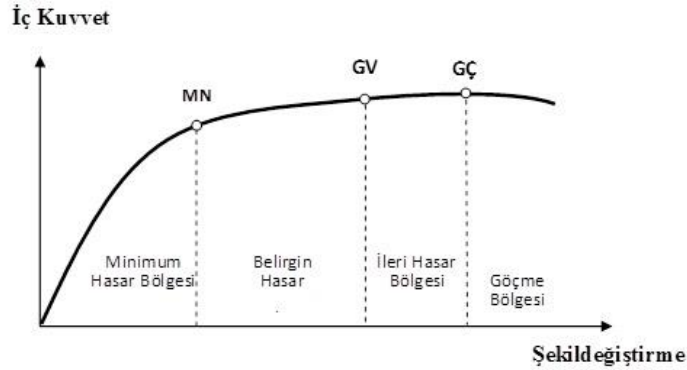


Şekil 4.22 : Kolonlarda kullanılan beton ve donatı davranış modelleri; (a) Kolon uç ve orta bölgesi kabuk betonu, (b) Kolon uç bölgesi çekirdek betonu, (c) Kolon orta bölgesi çekirdek betonu, (d) Donatı çeliği.

Kabuk ve çekirdek beton davranışının tanımlanması için Mander beton modeli kullanılmıştır. Kolon kesitindeki boyuna donatının davranışı ise Menegatto-Pinto çelik modeli ile tanımlanmıştır (Şekil 4.22). Mander beton modeli ve Menegatto-Pinto çelik modeli ile ilgili ayrıntılı bilgi Bölüm 3.4.1’de verilmiştir. Etriyeler kolon sargı bölgesinde 10 cm aralık ile, kolon orta bölgesinde ise 20 cm aralık ile yerleştirilmiştir. Bu bölgeler için belirlenen Mander Modeli sargı etkisi katsayısı sırası ile 1.163 ve 1.051’dir.



Şekil 4.23 : Kolon kesitinin 200 adet lif elemana bölünmesi ve liflerin yerleşimi.



Şekil 4.24 : Kesit hasar bölgeleri.

Çizelge 4.5 : Kesit hasar sınırları ve karşı gelen şekildeğiştirme büyüklükleri.

Sınır	Beton	Donatı
Minimum Hasar	0.0035	0.01
Güvenlik	0.0135	0.04
Göçme	0.0180	0.06

Kolon kesitinin doğrusal olmayan davranışı, kesitte 200 adet lif eleman kullanılarak takip edilmiştir (Şekil 4.23). Yapı modelinde kolonlarda oluşan hasar durumunun tanımlanması için, TDY 2007 Bölüm 7.6.9’da belirtilen şekildeğiştirme sınırları kullanılmıştır. Böylece zaman tanım alanında gerçekleştirilen doğrusal olmayan analizler esnasında yapıdaki hasar durumu takip edilmiştir. Kolon kesitleri için

dikkate alınan şekildeğiştirme sınırları Şekil 4.24'te, büyüklükleri ise Çizelge 4.5'te verilmiştir. Kesit *Minimum Hasar Sınırı* için kesit en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi, *Güvenlik Sınırı* ve *Göçme Sınırı* için de kesitte etriye içindeki bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi takip edilmiştir.

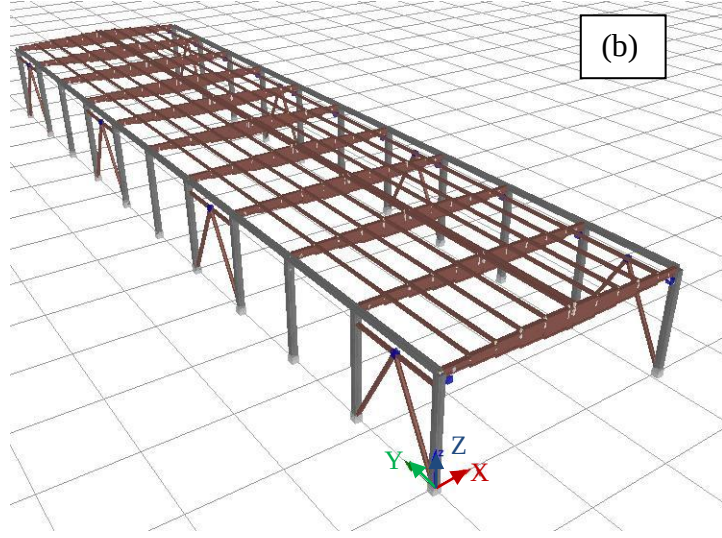
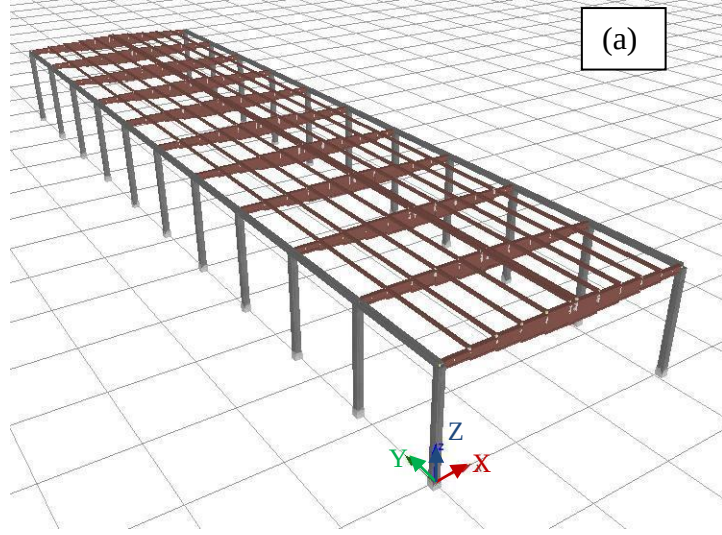
İncelenen yapının mevcut ve güçlendirilmiş durumları temsil edilmek üzere iki farklı matematik model oluşturulmuştur (Şekil 4.25). Sönümleyici ilave edilmiş yapı modeli, yalın yapı modeline XZ ve YZ düzlemlerinde KES yerleştirilmesi ile oluşturulmuştur. XZ düzleminde kullanılan KES'ler bağlantı elemanları ile kiriş ve kolon arasına eğik olarak yerleştirilmiştir. YZ düzleminde kullanılan KES'ler ise iki kolon arasına yerleştirilen kuşak eleman ile aynı açıklıkta oluşturulan Λ şeklinde çapraz eleman arasına yerleştirilmiştir.

XZ düzleminde yerleştirilen KES'ler, kolon üst ucunda bulunan kısa konsolun üst yüzünden 75 cm aşağıdaki bir noktaya bağlanacak şekilde yerleştirilmiştir. Dolayısıyla, KES ile kolon bağlantı noktası, kolon üst ucunda bulunan kısa konsol altında kalan ve etriye aralığının 10 cm olduğu bölgede oluşturulmuştur. Kolon üst ucunda oluşturulan sargı bölgesi kolon-KES bağlantı noktasının 42.5 cm aşağısına kadar devam etmektedir.

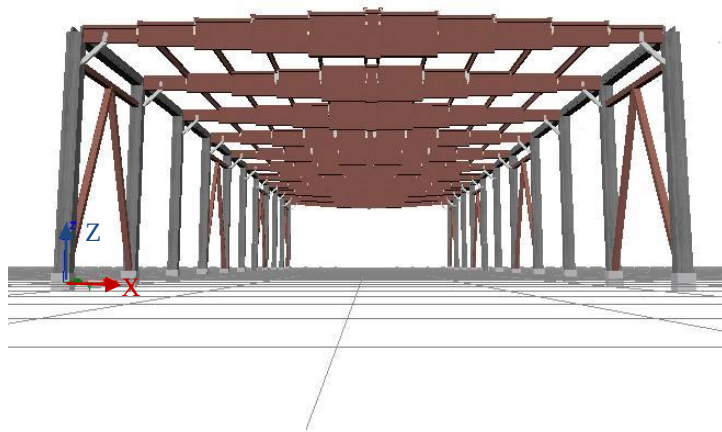
KES ile kiriş bağlantısı kolon yüzünden 75 cm ileride oluşturulmuştur. Bu şekilde KES'in yatayla 45° açı yapacak şekilde yerleştirilmesi sağlanmıştır. Kiriş üzerinde oluşturulan KES bağlantı noktası, kiriş kesitinin gövde kalınlığının henüz azalmaya başlamadığı ve etriye aralığının 10 cm olduğu bölgede oluşturulmuştur. Kiriş-KES bağlantı noktasının, kiriş gövde kalınlığının azalmaya başladığı noktaya mesafesi 50 cm, etriye aralığının 15 cm'e çıktığı bölgeye mesafesi de 95 cm'dir.

XZ düzleminde, kolon-kiriş birleşim bölgesi civarında, her aksta 2 adet olmak üzere toplam 22 adet KES kullanılmıştır (Şekil 4.26). YZ düzlemine yerleştirilen KES'lerin bağlantısı için, iki kolon arasına yerleştirilen kuşak elemanlar ve üçgen biçimli çapraz elemanlardan yararlanılmıştır (Şekil 4.26 ve Şekil 4.27).

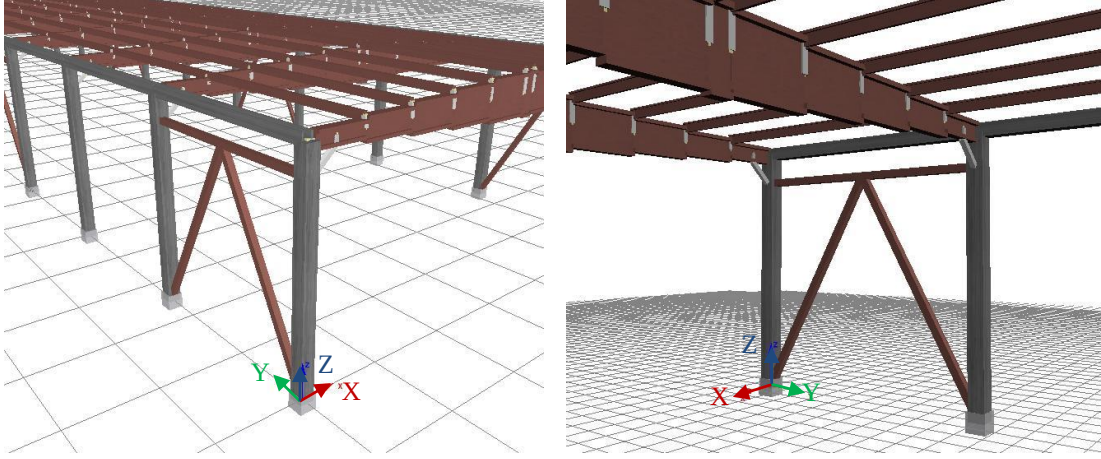
Kuşak elemanlar ile çapraz elemanların bağlantısı KES ile yapılmıştır. Kuşakların açıklık ortasında, kuşakların alt kısmına yerleştirilecek bir detay ile çaprazların birleştiği üst noktaya yerleştirilen KES'in eksenel doğrultuda (yapının global y eksenine doğrultusunda) hareketi sağlanacaktır (Şekil 4.28).



Şekil 4.25 : Yapı modelleri; (a) Mevcut, (b) Güçlendirilmiş.

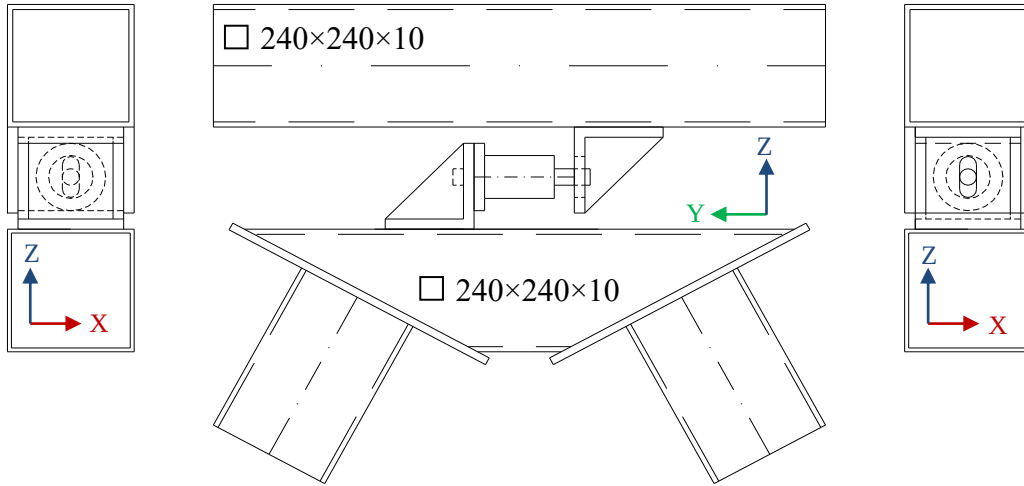


Şekil 4.26 : Güçlendirilmiş yapı modelinin görünüşü.



Şekil 4.27 : Çerçeve düzlemine dik doğrultuda (YZ düzlemi) yerleştirilen çapraz elemanların bağlantı detayları.

KES şaft ucunun bağlantısı, aksenal doğrultuda (yapı y eksenini) çekme ve itmenin gerçekleşmesi için, sabit şekilde yapılacaktır. Düşey doğrultuda (yapı z eksenini) hareket meydana gelmesi halinde KES şaftının eğilmemesi için, şaft ucunun birleşim ile bağlantısı kayıcı olacak şekilde gerçekleştirilecektir. Düzlem dışı hareket esnasında (yapı x eksenini) kuşak ve çaprazların birlikte hareketini sağlamak üzere, çapraz üst noktasına bağlı olan KES'i içerisinde muhafaza edecek şekilde, kuşaktan aşağıya inen bir yuva hazırlanacaktır (Şekil 4.28).



Şekil 4.28 : Çerçeve düzlemine dik doğrultuda (YZ düzlemi) yerleştirilen KES'lerin kuşak ve çapraz elemanlar ile bağlantı detayları.

YZ düzleminde, ilk ve son açıklığa kuşak ve Λ şeklinde çapraz elemanlar yerleştirilmiştir. Bunlardan başka iki açıklık boş bırakılmak suretiyle aradaki iki açıklığa da kuşak ve çapraz elemanlar yerleştirilmiştir. YZ düzleminde toplam 8 adet KES kullanılmıştır (Şekil 4.25 ve Şekil 4.26).

Sönümleyicili yapı modelinde kullanılan kuşakların kolon elemanlar ile bağlantısı basit (moment aktarmayan) biçimde yapılmıştır. Benzer olarak Λ şeklinde çapraz elemanların kolon alt ucuna bağlantısı da basit (moment aktarmayan) biçimde yapılmıştır. Bu elemanlar 240×240×10 mm boyutlarında kutu kesitli çelik profillerden oluşturulmuştur (Şekil 4.28).

Sönümleyicili yapı modelinde KES'in tanımlanması için *Seismostruct* yazılımının *iki doğrulu kinematik eğri* modelinden yararlanılmıştır. Bölüm 3.4.1'de ayrıntıları verilen bu modelde başlangıç rijitliği (K_0), akma kuvveti (F_y) ve akma sonrası pekleşme oranı (r) olarak sırasıyla 350000 kN/m, 50 kN ve 0.0003 değerleri göz önüne alınmıştır.

Zaman tanım alanında gerçekleştirilen doğrusal olmayan analizlerde *Newmark* integrasyon yöntemi ($\beta=0.25$, $\gamma=0.50$) kullanılmıştır. Analizlerde kullanılan hesap zaman adımları, yer hareketi kayıtlarının adım aralıkları ile aynı alınmıştır.

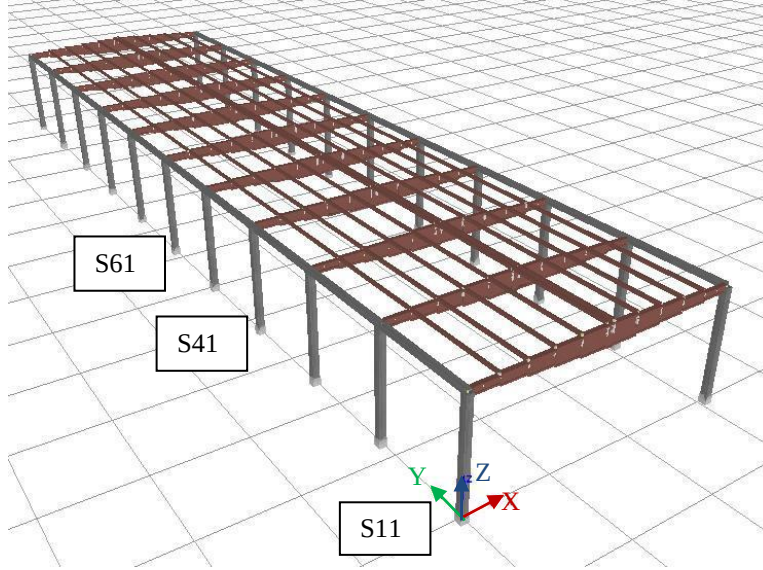
Modellere ait sönüm, Rayleigh türü sönüm özelliği ile dikkate alınmış ve modelin ilk iki moduna ait periyotlar için %5 sönüm oranı kullanılmıştır. Periyot (T) ve sönüm (ζ) değerine bağlı olarak kütle orantılı katsayı (α_m) ve rijitlik orantılı katsayı (α_k), *Seismostruct* yazılımı tarafından belirlenerek modele dahil edilmiştir.

Yalın yapı modeli için elde edilen analiz sonuçları, kolon üst ucuna ait yatay yerdeğiştirme, kolon alt ucuna ait eğilme momenti-eğrilik ilişkisi, kolon alt ucuna ait eğilme momenti-normal kuvvet ilişkisi, kolon kesme kuvveti, kolon üst ucunda meydana gelen ivme ve kolon alt ucuna ait birim şekildeğiştirme açısından değerlendirilmiştir. Sönümleyicili yapı modelinde ise yalın yapı modelinde takip edilen büyüklüklere, sönümleyiciye ait eksenel kuvvet-eksenel yerdeğiştirme ilişkisi de dahil edilmiştir. Yalın ve sönümleyicili yapı modelleri için takip edilen büyüklüklerin zamana bağlı değişimleri ve göz önüne alınan yer hareketlerine ait zaman süresince oluşan en büyük değerler ve ortalamaları EK-A'da sunulmuştur.

4.4 Analiz Sonuçları

Yalın haldeki prefabrike betonarme endüstri yapısı için oluşturulan analitik model Şekil 4.29'da görülmektedir. Yalın yapı modeli için iki farklı analiz grubu oluşturulmuştur. Birinci grup (Yükleme Durumu 1 (YD1)), dikkate alınan 10 adet yer hareketi kaydı yatay bileşeninin, yapıya x eksenine doğrultusunda tanımlandığı,

aynı kaydın diğer yatay bileşeninin ise yapıya y eksenini doğrultusunda etkitildiği durumu temsil etmektedir. İkinci grup (Yüklem Durumu 2 (YD2)) ise, YD1 için yapıya x ve y eksenini doğrultusunda etkitilen yer hareketi yatay bileşenlerinin birbiri ile yer değiştirmek sureti ile yapıya etkitildiği durumu temsil etmektedir. Geçleştirilen analizlerde, yer hareketlerinin düşey bileşeni YD1 ve YD2 durumlarında dikkate alınmıştır. Bu bölümde analizlerden elde edilen sonuçlar, YD1 ve YD2 için ayrı ayrı, S11, S41 ve S61 kolonları için, sunulmuştur.



Şekil 4.29 : Yalın yapı modelinin üç boyutlu görünümü.

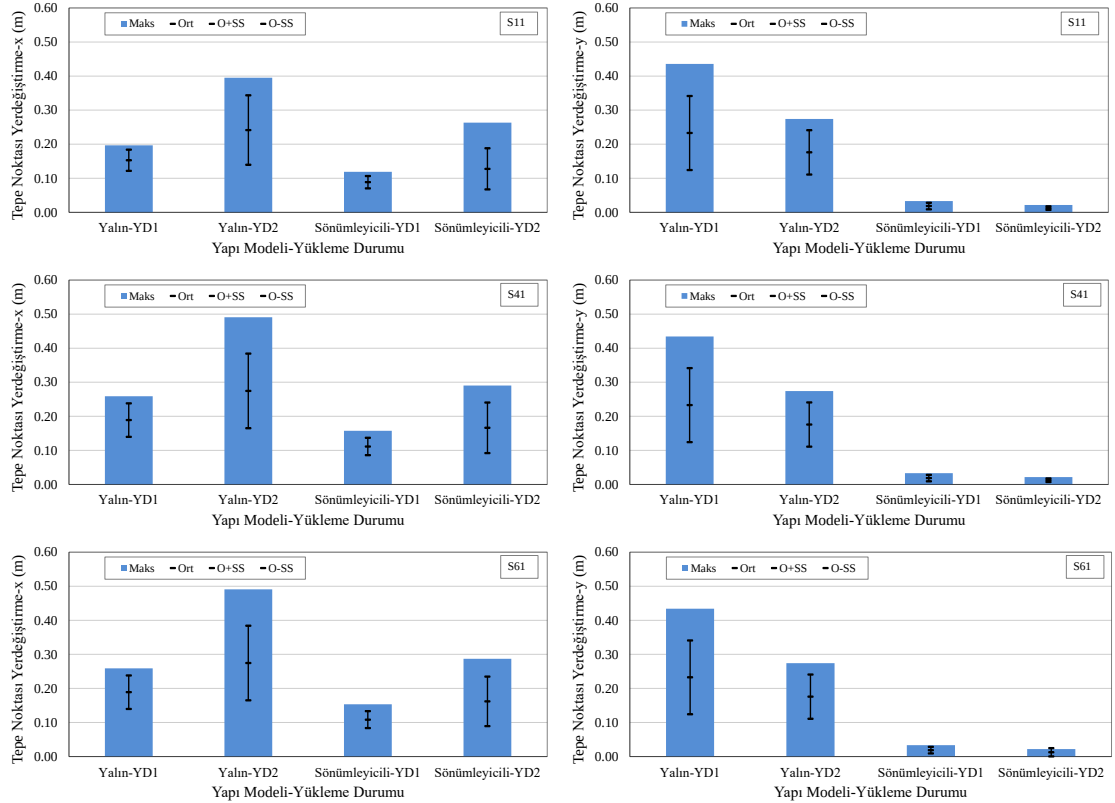
4.4.1 Kolon tepe yer değiştirmeleri

Yapının x ve y doğrultusunda, S11, S41 ve S61 kolonları üst uç noktalarında meydana gelen yer değiştirme için, dikkate alınan yer hareketleri sürelerince oluşan en büyük değerler ve en büyük değerlerin ortalaması Şekil 4.30’da sunulmuştur.

Analizlerden elde edilen en büyük değerler mavi sütunlar ile gösterilmiştir. Elde edilen en büyük değerlerin ortalaması ise mavi sütunlar içerisinde verilen üç adet siyah yatay çizgiden ortada yer alan çizgi ile ifade edilmektedir. Üstte ve altta verilen siyah yatay çizgiler, elde edilen değer gruplarına ait standart sapma değerlerinin, ortalama değerlere sırasıyla bir kere eklenmesi ve bir kere çıkarılması ile belirlenen değerleri işaret etmektedir. Aynı temsil biçimi, bu bölümde sütun ile ifade edilen diğer grafikler için de kullanılmıştır.

Yapının yalın durumunda, YD1 için, S11, S41 ve S61 kolonlarına ait x doğrultusunda oluşan tepe noktası yer değiştirmesi için en büyük değerlerin ortalaması sırasıyla 15.3 cm, 18.9 cm ve 18.9 cm olarak elde edilmiştir. Bu

kolonlarda y doğrultusunda oluşan en büyük değerlerin ortalaması ise birbirine oldukça yakın ve yaklaşık olarak 23.5 cm'dir.



Şekil 4.30 : S11, S41 ve S61 kolonları tepe noktası yerdeğiştirme büyüklükleri.

YD2 için, Erzincan (Erzikan) ve Northridge (Sylmar Converter Sta-East) yer hareketi kayıtlarının kullanıldığı analizlerde yapı modeli göçmeye ulaşmıştır. Yapı modelinde göçme oluştuğundan sonra analiz devam etmediği için, bu yer hareketlerinin kullanıldığı analizler kesintiye uğramıştır. S11, S41 ve S61 kolonlarında, yapı modeli x doğrultusunda oluşan, tepe noktası yerdeğiştirmesi için en büyük değerlerin ortalaması sırasıyla 24.1 cm, 27.4 cm ve 27.4 cm olarak belirlenmiştir. Yapı modelinin y doğrultusunda, tüm kolonlara ait en büyük tepe noktası yerdeğiştirme değerleri ortalaması birbirine çok yakın ve 17.6 cm olarak elde edilmiştir.

Sönümleyicili yapı modelinde, YD1 için, S11, S41 ve S61 kolonlarına ait x doğrultusunda oluşan tepe noktası yerdeğiştirmesi için en büyük değerlerin ortalaması sırasıyla 8.8 cm, 11.1 cm ve 10.8 cm olarak elde edilmiştir. Bu değerler, YD1 için yalın yapı modelinden elde edilen değerler ile karşılaştırıldığında, yaklaşık olarak % 40 oranında azalma meydana geldiği anlaşılmaktadır. Tüm kolonların y doğrultusundaki en büyük tepe noktası yerdeğiştirme değerlerinin ortalaması birbirine eşit ve 1.8 cm olarak elde edilmiştir. Yalın yapı modelinde meydana gelen

yerdeğiştirme değerinin yaklaşık olarak 23.5 cm olduğu dikkate alındığında, y doğrultusunda meydana gelen tepe noktası yerdeğiştirmesinin yaklaşık olarak % 90 mertebesinde azaldığı görölmektedir.

Sönümleyicili yapı modelinde, YD2 için, S11, S41 ve S61 kolonlarına ait x doğrultusunda oluşan tepe noktası yerdeğiştirmesi için en büyük değerlerin ortalaması sırasıyla 12.7 cm, 16.6 cm ve 16.2 cm olarak elde edilmiştir. Elde edilen bu değerler, YD2 için yalın yapı modelinden elde edilen değerlere göre yaklaşık olarak % 40 azalmıştır. Kolonların tepe noktasında y doğrultusunda meydana gelen en büyük yerdeğiştirme değerlerinin ortalaması birbirine eşit ve 1.2 cm olarak belirlenmiştir. Bu değer, yalın yapı modelinde YD2 için elde edilen değere göre yaklaşık olarak % 90 azalmıştır.

Kolon üst ucunun sıfır kotundan yüksekliği 8.235 m'dir. Yapının x ve y doğrultusunda, S11, S41 ve S61 kolonları görel kat ötelemeleri için hesap edilen en büyük değerler ve bu değerlerin ortalamaları şekil 4.31'de görölmektedir.

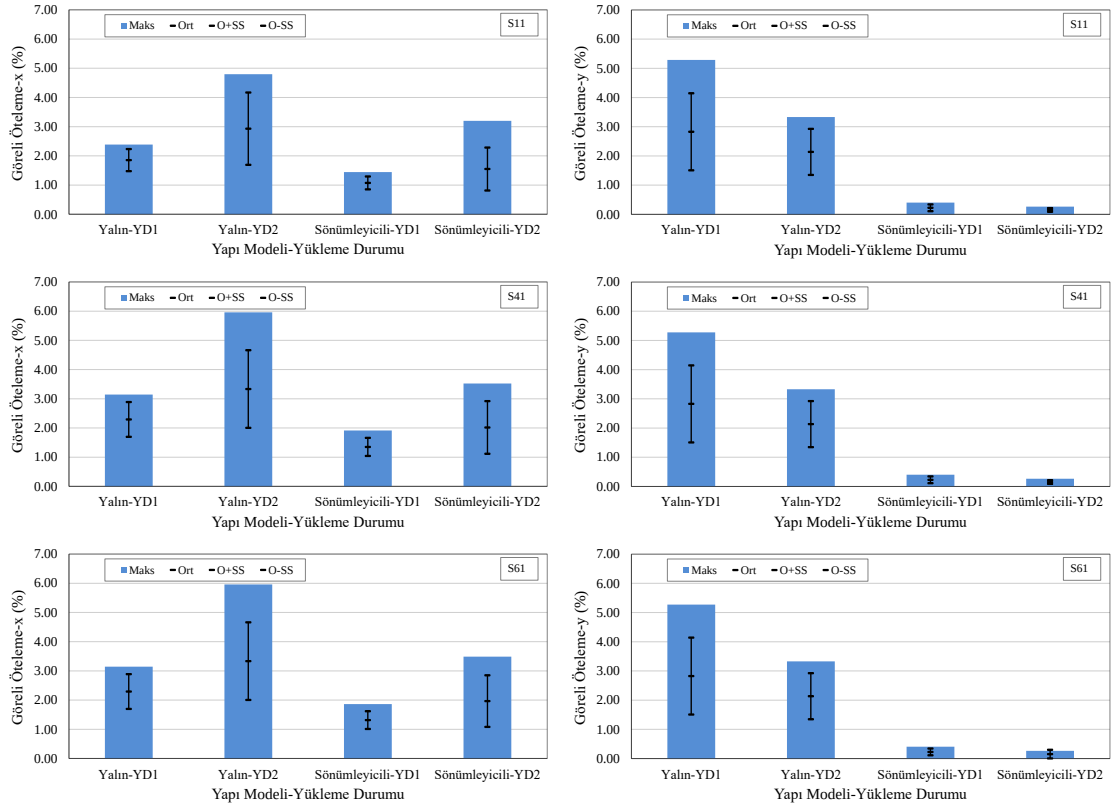
Çizelge 4.6 : Görel kat ötelemesi sınırları.

Görel kat ötelemesi oranı	MN (%)	GV (%)	GÇ (%)
δ_{ji}/h_{ji}	1	3	4

Yalın yapı modelinde, YD1 için meydana gelen görel kat ötelemesi değerleri ile TDY 2007'de verilen sınır değerler (Çizelge 4.6) karşılaştırıldığında, x doğrultusunda meydana gelen en büyük görel kat ötelemesi ortalama değerinin (% 2.3), S41 ve S61 kolonları için, minimum hasar sınırının geçildiği ancak güvenlik sınırının geçilmediği anlaşılmaktadır. S11 kolonu için elde edilen en büyük görel kat ötelemesi değerlerinin ortalaması % 1.85 olup minimum hasar sınırını geçmektedir. Yapının y doğrultusunda kolonlara ait görel kat ötelemesi en büyük değerlerinin ortalaması ise tüm kolonlar için birbirine eşit ve yaklaşık % 2.66'dır. Yapının y doğrultusunda meydana gelen en büyük görel kat ötelemesi ortalama değerleri, minimum hasar sınırını geçmekte ancak güvenlik sınırını geçmemektedir.

Yalın yapı modelinde, YD2 için, yapının x doğrultusunda meydana gelen görel kat ötelemesine ait en büyük değerler ortalamasının, S11 kolonu için (% 2.93) güvenlik sınırına yaklaştığı, S41 ve S61 kolonları için (% 3.33) güvenlik sınırını geçtiği görölmektedir. Yapının y doğrultusunda meydana gelen en büyük görel kat

ötelemesi ortalama değerinin (% 2.15) minimum hasar sınırı ile güvenlik sınırı arasında kaldığı görülmektedir.



Şekil 4.31 : S11, S41 ve S61 kolonları görelî kat ötelemesi büyüklükleri.

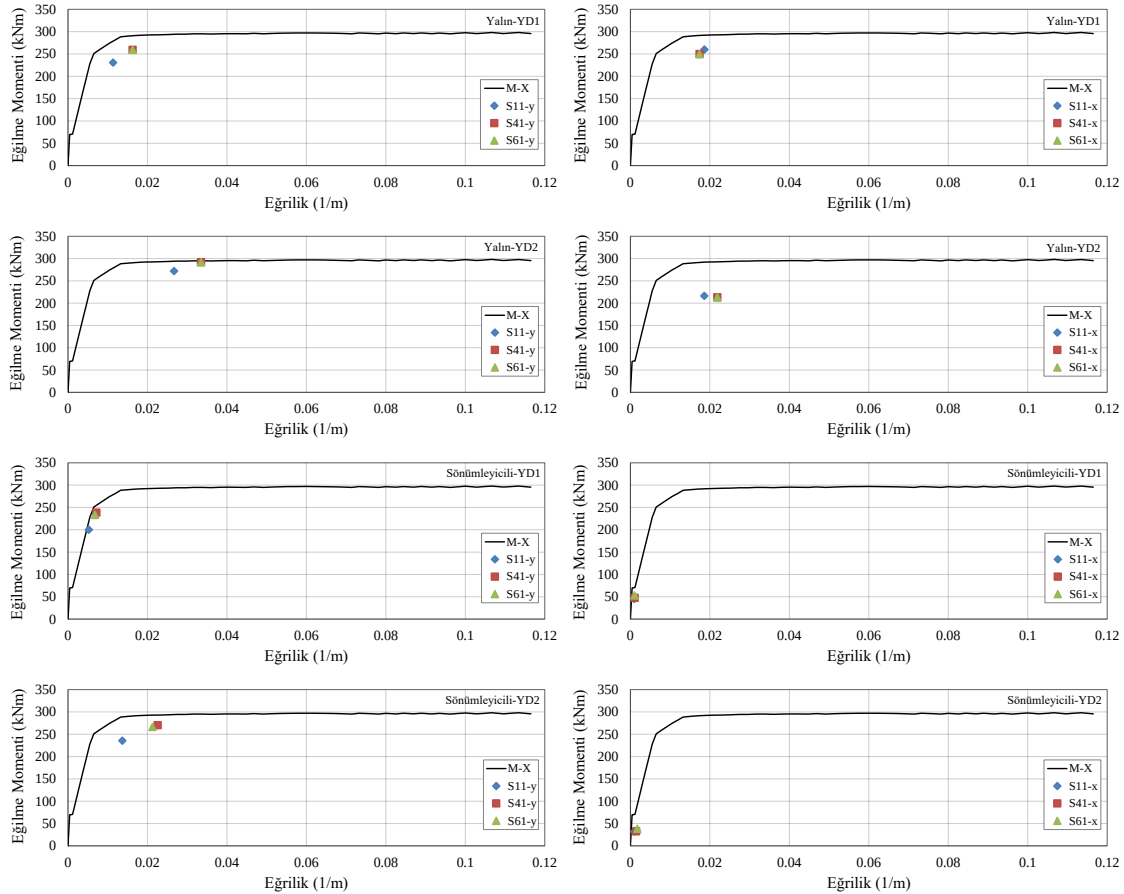
Sönümleyicili yapı modelinde, YD1 için, yapının x doğrultusunda meydana gelen en büyük görelî kat ötelemesi ortalama değeri S11 kolonu için % 1.07 olup minimum hasar sınırını geçmektedir. S41 ve S61 kolonları için en büyük görelî kat ötelemesi ortalama değerleri sırasıyla % 1.35 ve % 1.31 olarak elde edilmiş ve bu kolonlar minimum hasar sınırını geçmiştir. Yapının y doğrultusunda kolonlara ait görelî kat ötelemesi en büyük değerlerinin ortalaması birbirine eşit ve yaklaşık % 0.20 olarak belirlenmiştir. Bu değer minimum hasar sınırının oldukça altındadır. Sönümleyicili yapı modeli ile yalın yapı modeli, aynı yük durumu ile karşılaştırıldığında, meydana gelen görelî kat ötelemesi değerlerinin, yapının x doğrultusunda yaklaşık olarak % 40, y doğrultusunda ise yaklaşık olarak % 90 azaldığı görülmektedir.

Sönümleyicili yapı modelinde, YD2 için, yapının x doğrultusunda meydana gelen en büyük görelî kat ötelemesi ortalama değeri S11 kolonu için % 1.55 olarak elde edilmiştir. S41 ve S61 kolonları için en büyük görelî kat ötelemesi ortalama değerleri ise sırasıyla % 2.02 ve % 1.96 olarak belirlenmiştir. Yapının x doğrultusunda S11,

S41 ve S61 kolonları minimum hasar sınırını geçmiştir. Yapının y doğrultusunda kolonlara ait görelî kat ötelemesi en büyük değerlerinin ortalaması birbirine eşit ve yaklaşık % 0.14 olarak belirlenmiştir. Kolonlar yapının y doğrultusunda minimum hasar sınırına ulaşmamıştır. Sönümleyicili yapı modeli ile yalın yapı modeli, YD2 için karşılaştırılırsa, meydana gelen görelî kat ötelemesi değerlerinin, yapının x ve y doğrultusunda sırasıyla yaklaşık olarak % 40 ve % 90 azaldığı anlaşılmaktadır.

4.4.2 Kolon alt uç kesiti eğilme momenti-eğrilik ilişkisi

Kolon alt uç kesitinde oluşan eğilme momenti-eğrilik ilişkisi, S11, S41 ve S61 kolonları için, yapı modelinin xz düzlemi içerisinde (yapı modeli y eksenî etrafında) ve yapı modelinin yz düzlemi içerisinde (yapı modeli x eksenî etrafında) yer alan iki bileşeni ile takip edilmiştir.



Şekil 4.32 : S11, S41 ve S61 kolonları alt uç kesiti eğilme momenti-eğrilik ilişkisi.

Yapı modelinin yalın ve sönümleyicili durumlarında, YD1 ve YD2 için, S11, S41 ve S61 kolonlarının alt uç kesitinde oluşan en büyük eğilme momenti ve en büyük eğrilik değerlerinin ortalama değerleri ile kesit eğilme momenti-eğrilik ilişkisi Şekil 4.32’de verilmiştir. Kolon alt uç kesitlerine ait moment-eğrilik ilişkisi, kolon

kesiti, malzeme cinsi ve donatı miktarı her üç kolon için eşit olduğu için, birbiri ile aynı özellik göstermektedir. Kolon geometrisi, yapı modelinin y ve x eksenini etrafında, aynı özelliklere sahip olduğundan, her iki eksen etrafında oluşan eğilme momenti-eğrilik ilişkisi de aynıdır. Kolonlara ait eğilme momenti-eğrilik ilişkisi malzeme güvenlik katsayıları kullanılmadan oluşturulmuştur.

YD1 durumunda, yalın yapı modeli y eksenini etrafında S11 kolonu için elde edilen en büyük değerlerin ortalaması 231 kNm'dir. S41 ve S61 için en büyük değerlerin ortalaması ise 259 kNm olarak belirlenmiştir. Yapı modeli x eksenini etrafında oluşan eğilme momentine ait en büyük değerlerin ortalaması ise S11 için 260 kNm, S41 ve S61 için 250 kNm olarak elde edilmiştir. S11, S41 ve S61 kolonlarının alt uç kesitlerinde, yapı modeli y eksenini etrafında, oluşan en büyük eğrilik değerleri ortalaması ise sırasıyla 0.0113, 0.0163 ve 0.0163 1/m olarak belirlenmiştir. Kolon alt uç kesitlerinde, yapı modeli x eksenini etrafında meydana gelen en büyük eğrilik değerlerinin ortalaması ise S11 kolonu için 0.0186 1/m, S41 ve S61 kolonları için 0.0174 1/m olarak elde edilmiştir.

YD2 için, yalın yapı modeli y eksenini etrafında S11, S41 ve S61 kolonlarında meydana gelen eğilme momentine ait en büyük değerlerin ortalaması sırasıyla 272, 292 ve 292 kNm olarak elde edilmiştir. S11 kolonu için, yapı modeli x eksenini etrafında oluşan eğilme momentine ait en büyük değerlerin ortalaması 216 kNm iken, S41 ve S61 kolonları için bu değer 213 kNm'dir. S11 kolonu alt uç kesitinde oluşan en büyük eğrilik değerleri ortalaması, yapı modelinin y eksenini etrafında 0.0267 1/m ve x eksenini etrafında 0.0186 1/m olarak elde edilmiştir. S41 ve S61 kolonları alt uç kesitlerinde oluşan en büyük eğrilik değerleri ortalaması ise yapı modeli y eksenini etrafında 0.0335 1/m ve x eksenini etrafında 0.0219 1/m olarak belirlenmiştir.

YD1 durumunda, sönümleyicili yapı modeli y eksenini etrafında S11 kolonu için elde edilen en büyük değerlerin ortalaması 200 kNm olarak belirlenmiştir. S41 ve S61 için en büyük değerlerin ortalaması sırasıyla 238 kNm ve 233 kNm'dir. Yapı modeli x eksenini etrafında oluşan eğilme momentine ait en büyük değerlerin ortalaması S11 için 45 kNm, S41 için 47 kNm ve S61 için 53 kNm olarak hesaplanmıştır. Yalın ve sönümleyicili yapı modelleri için elde edilen değerler birbiri ile kıyaslanacak olursa, yapı modeli y eksenini etrafında meydana gelen eğilme momenti değerinin yaklaşık

olarak % 20 azaldığı görülmektedir. Yapı modeli x eksenine etrafında meydana gelen eğilme momenti değerindeki azalma miktarı % 75'tir.

YD1 için, S11, S41 ve S61 kolonlarının alt uç kesitlerinde, yapı modeli y eksenine etrafında, oluşan en büyük eğrilik değerleri ortalaması sırasıyla 0.0052, 0.0071 ve 0.0068 1/m olarak hesaplanmıştır. Kolon alt uç kesitlerinde, yapı modeli x eksenine etrafında meydana gelen en büyük eğrilik değerlerinin ortalaması S11 kolonu için 0.0009 1/m, S41 kolonu için 0.0011 1/m ve S61 kolonları için 0.0010 1/m olarak belirlenmiştir. Sönümleyicili yapı modeli için, yapı modeli y ve x eksenleri etrafında oluşan en büyük eğrilik değerleri ortalaması, yalın yapı modeline göre sırasıyla yaklaşık olarak % 67 ve % 93 azalmaktadır.

YD2 için, sönümleyicili yapı modeli y eksenine etrafında S11, S41 ve S61 kolonlarında meydana gelen eğilme momentine ait en büyük değerlerin ortalaması sırasıyla 236, 270 ve 266 kNm olarak elde edilmiştir. S11 kolonu için, yapı modeli x eksenine etrafında oluşan eğilme momentine ait en büyük değerlerin ortalaması 32 kNm iken, S41 kolonu için 33 kNm, S61 kolonu için 38 kNm'dir. Yalın ve sönümleyicili yapı modelleri için elde edilen değerler birbiri ile kıyaslandığında, yapı modeli y eksenine etrafında meydana gelen en büyük eğilme momenti değeri ortalamasının yaklaşık olarak % 11 azaldığı anlaşılmaktadır. Yapı modeli x eksenine etrafında meydana gelen eğilme momenti değerindeki azalma miktarı yaklaşık olarak % 83 mertebesinde.

YD2 durumunda, sönümleyicili yapı modeli için, S11 kolonu alt uç kesitinde oluşan en büyük eğrilik değerleri ortalaması, yapı modelinin y eksenine etrafında 0.0137 1/m ve x eksenine etrafında 0.0010 1/m olarak elde edilmiştir. S41 kolonu alt uç kesitinde oluşan en büyük eğrilik değerleri ortalaması, yapı modeli y eksenine etrafında 0.0226 1/m ve x eksenine etrafında 0.0014 1/m olarak belirlenmiştir. S61 kolonu için yapı modeli y ve x eksenine etrafında oluşan en büyük eğrilik değerleri ortalaması sırasıyla 0.0212 1/m ve 0.0017 1/m hesap edilmiştir. Sönümleyicili yapı modeli için, yapı modeli y ve x eksenleri etrafında oluşan en büyük eğrilik değerleri ortalaması, yalın yapı modeline göre sırasıyla yaklaşık olarak % 40 ve % 93 azalmaktadır.

4.4.3 Kolon alt uç kesiti eğilme momenti-normal kuvvet ilişkisi

Kolon alt uç kesitinde oluşan eğilme momenti-normal kuvvet ilişkisi, S11, S41 ve S61 kolonları için, eğilme momentinin, yapı modeli y eksenine etrafında ve yapı modeli x eksenine etrafında oluşan iki bileşeni ile takip edilmiştir. Aynı zamanda, S11,

S41 ve S61 kolonlarının alt uç kesitinde oluşan normal kuvvet de takip edilmiştir. Bunun nedenlerinden biri, yalın ve sönümleyicili yapı modellerinde dikkate alınan kolonların alt uç kesitlerinde, analizlerde kullanılan yer hareketleri süresince oluşan M-N ilişkisini belirlemek ve bu ilişkinin kolona ait M-N etkileşim diyagramının içerisinde kalıp kalmadığını tespit etmektir. Diğer neden ise yapıya sönümleyici yerleştirilmesi ile birlikte, sönümleyicide oluşacak eksenel kuvvet dolayısıyla, kolon eksenel kuvvetinde değişme olacağı beklentisidir.

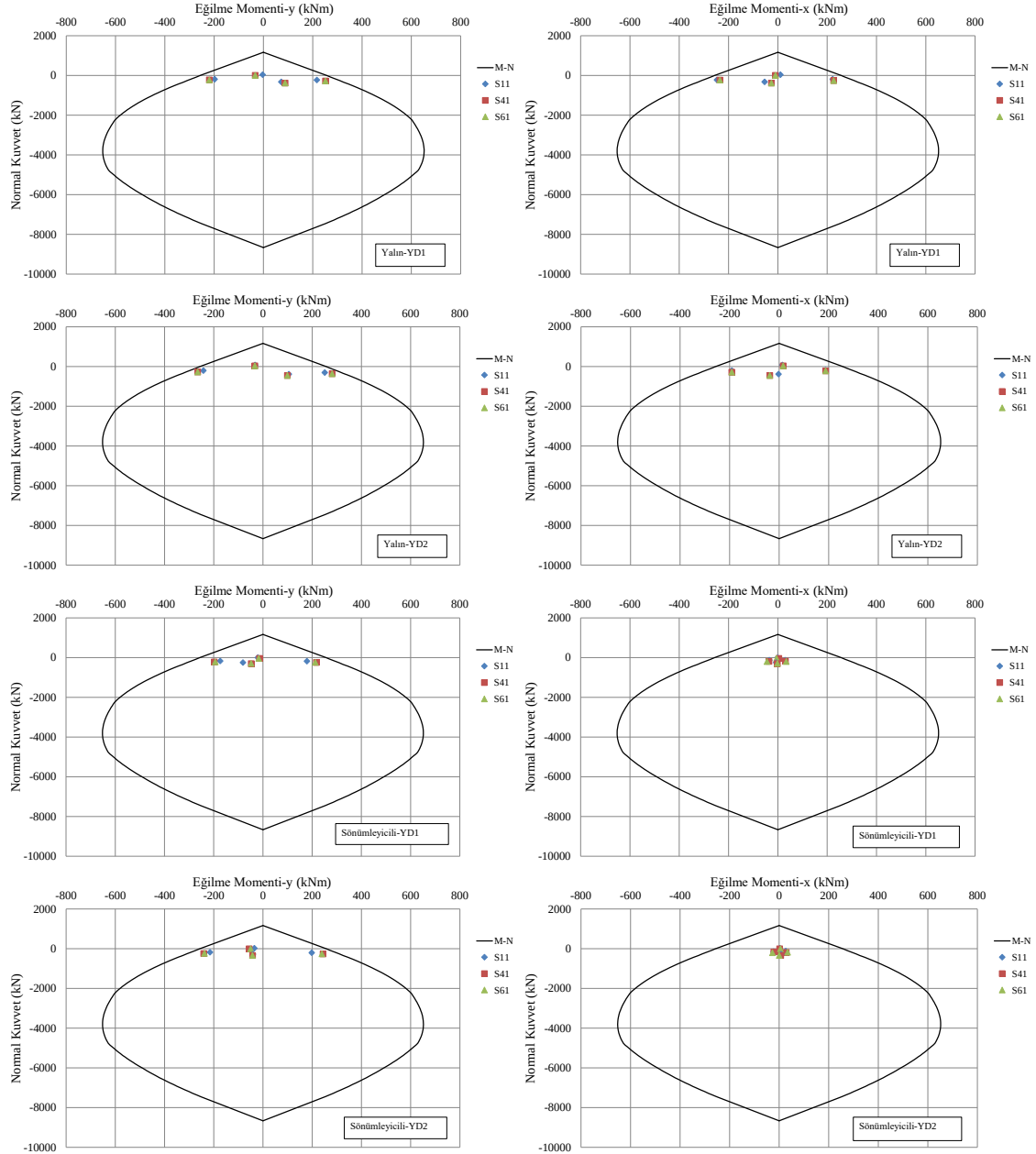
Yapı modelinin yalın ve sönümleyicili durumlarında, YD1 ve YD2 için, S11, S41 ve S61 kolonlarının alt uç kesitinde oluşan en büyük eğilme momenti ve en büyük normal kuvvet değerlerinin ortalama değerleri ile kesit M-N ilişkisi Şekil 4.33'te görülmektedir. Eğilme momenti ve normal kuvvetin işaretlerine dikkat edilerek en büyük eğilme momenti değerlerine karşılık gelen normal kuvvet değerleri ve en büyük normal kuvvet değerlerine karşılık gelen eğilme momenti değerleri tespit edilmiştir. Bu değerler noktalar biçiminde Şekil 4.33'te verilmiştir.

Kolonlara ait M-N ilişkisi malzeme güvenlik katsayıları kullanılmadan oluşturulmuştur. M-N ilişkisi Şekil 4.33'te sürekli çizgi ile ifade edilmiş olup, normal kuvvet için “-” işareti basıncı gösterecek biçimde düzenlenmiştir. Kolon alt uç kesitlerine ait moment-normal kuvvet ilişkisi, kolon kesiti, malzeme cinsi ve donatı miktarı her üç kolon için eşit olduğu için, birbiri ile aynı özellik göstermektedir. Kolon geometrisi, yapı modelinin y ve x eksenini etrafında, aynı özelliklere sahip olduğundan, her iki eksen etrafında oluşan M-N ilişkisi de aynıdır.

Eğilme momenti büyüklükleri ve değişimi Bölüm 4.4.2'de anlatıldığı için bu bölümde sadece normal kuvvet değişiminden bahsedilmiştir. Yalın ve sönümleyicili yapı modellerinde, S11, S41 ve S61 kolonlarında meydana gelen normal kuvvete ve eğilme momentine ait en büyük değerlerin ortalaması M-N kapasite eğrisinin içerisinde kalmaktadır.

Şekil 4.34'te S11, S41 ve S61 kolonlarında oluşan normal kuvvetlere ait en büyük değerler ve ortalamaları mutlak değerce ifade edilmiştir. Yalın yapı modelinde, YD1 için S11 kolonu alt uç kesitinde oluşan en büyük normal kuvvet değerlerinin ortalaması 322 kN olarak elde edilmiştir. S41 ve S61 kolonları alt uç kesitleri için elde edilen en büyük normal kuvvet değerleri ortalaması ise 382 kN'dur. YD2 için

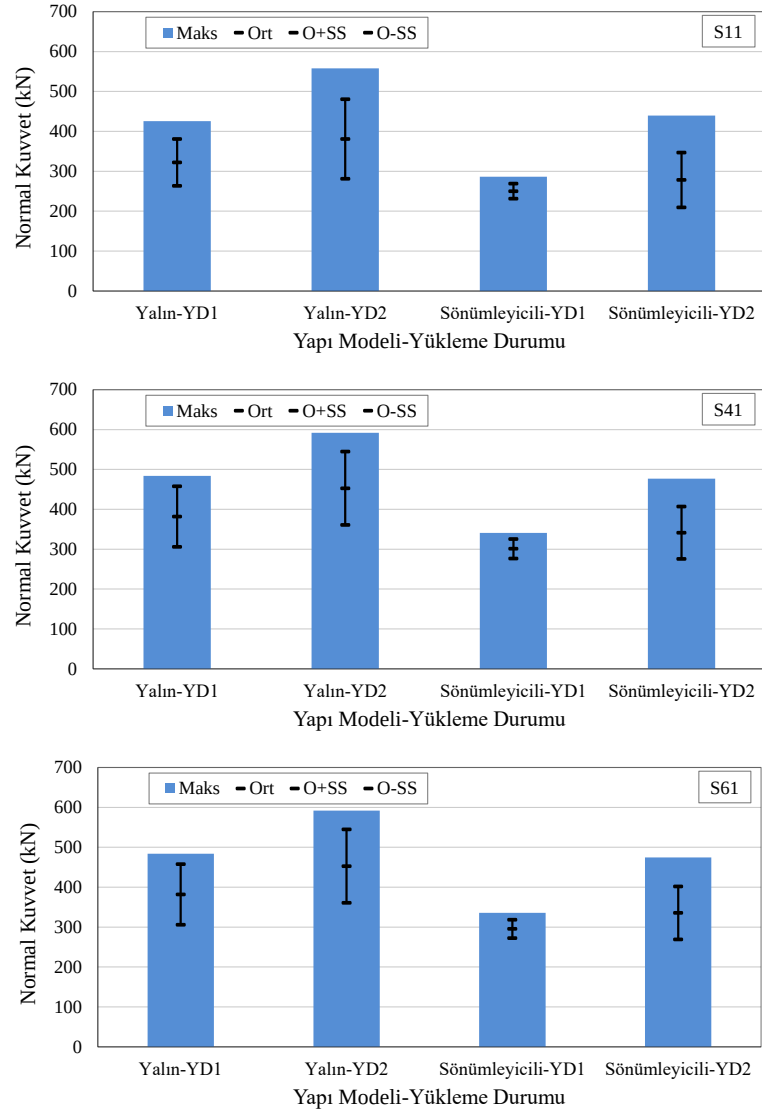
S11, S41 ve S61 kolonları alt uç kesitlerinde oluşan en büyük normal kuvvet değerleri ortalaması sırasıyla 381 kN, 453 kN ve 453 kN olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.33 : S11, S41 ve S61 kolonları alt uç kesiti eğilme momenti-normal kuvvet ilişkisi (Basınç eksenel kuvveti “-” işareti ile gösterilmiştir.).

Sönümleyicili yapı modelinde, YD1 için en büyük normal kuvvet değerlerinin ortalaması S11 kolonu için 250 kN, S41 kolonu için 301 kN ve S61 kolonu için 295 kN olarak belirlenmiştir. YD2 için en büyük normal kuvveti değerlerinin ortalamaları, S11, S41 ve S61 kolonları için sırasıyla 278 kN, 341 kN ve 335 kN olarak hesaplanmıştır. Yalın ve sönümleyicili modellerde S11, S41 ve S61

kolonlarında oluşan en büyük normal kuvvetin ortalama değeri, YD1 için % 22 ve YD2 için % 26 azalmaktadır.



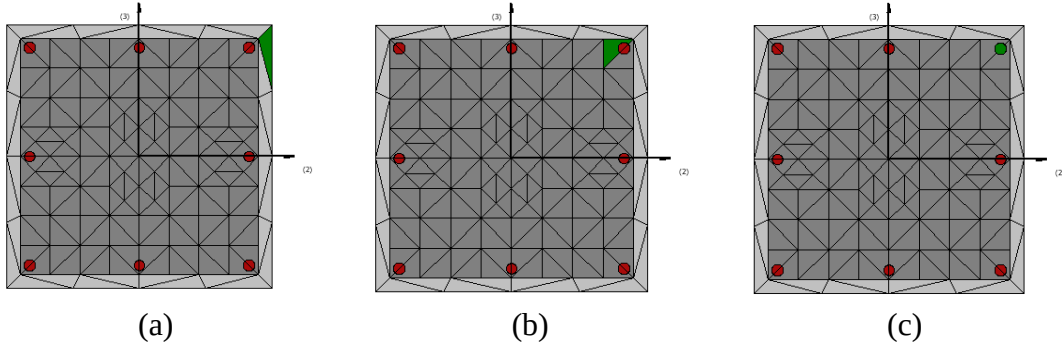
Şekil 4.34 : S11, S41 ve S61 kolonları alt uç kesiti normal kuvvet büyüklükleri.

4.4.4 Kolon alt uç kesiti birim şekildeğiştirme

S11 ve S61 kolonu alt uç kesitinde boyuna donatı, kabuk beton ve çekirdek betonda meydana gelen birim şekildeğiştirmeler takip edilmiştir (Şekil 4.35). S61 ve S41 kolonlarının eğrilik-zaman ilişkileri çok benzer olduğu için S41 kolonunda birim şekildeğiştirme takibi yapılmamıştır. Kolon alt uç kesitinde birim şekildeğiştirme takibi yapılan lifler Şekil 4.35'te yeşil renk ile gösterilmiştir.

Yalın yapı modelinde, YD1 için, S11 ve S61 kolonları alt uç kesitleri boyuna donatısında oluşan en büyük birim şekildeğiştirme değerleri ortalaması sırasıyla 0.0048 ve 0.0052 olarak elde edilmiştir. Boyuna donatıda oluşan birim

şekildeğiştirme için elde edilen en büyük değerlerin ortalaması, *TDY 2007*'de verilen ve donatı için kesit minimum hasar sınırı olan 0.01 değerinin altındadır.

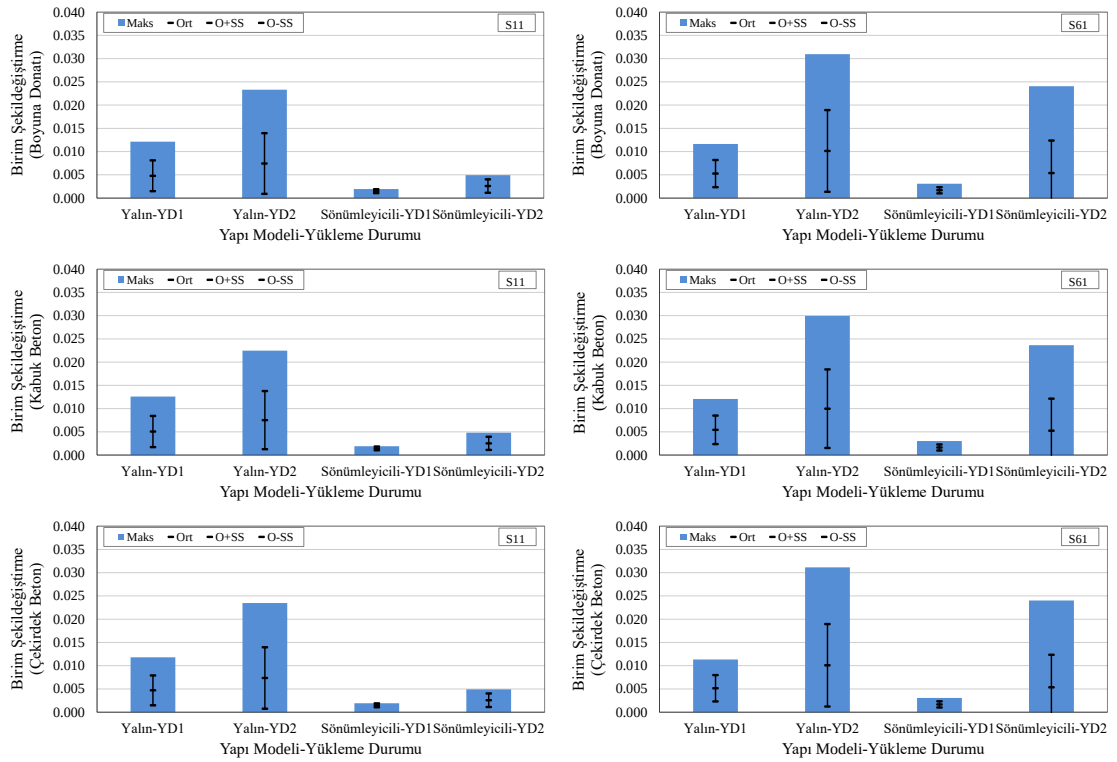


Şekil 4.35 : Kolon alt uç kesitinde birim şekildeğiştirmenin takip edildiği lifler; (a) Kabuk beton, (b) Çekirdek beton, (c) Çelik donatı.

S11 kolonu alt uç kesiti kabuk beton lifinde meydana gelen en büyük birim şekildeğiştirme değerleri ortalaması 0.0051'dir. S61 kolonu alt uç kesitinde oluşan en büyük birim şekildeğiştirme değerleri ortalaması ise 0.0054 olarak belirlenmiştir. S11 ve S61 kolonlarında, kabuk betonda oluşan birim şekildeğiştirme için elde edilen en büyük değerlerin ortalaması, *TDY 2007*'de verilen ve kesit minimum hasar sınırı için kesitin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirme değeri üst sınırı olan 0.0035 değerinden büyüktür (Şekil 4.36).

S11 ve S61 kolonları alt uç kesitinde oluşan en büyük birim şekildeğiştirme değerleri ortalaması sırasıyla 0.0047 ve 0.0051 olarak elde edilmiştir. S11 ve S61 kolonlarında, çekirdek betonda oluşan birim şekildeğiştirme için elde edilen en büyük değerlerin ortalamaları, *TDY 2007*'de verilen ve kesit güvenlik sınırı için etriye içindeki bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirme değeri üst sınırı olan 0.0135 değerinden küçüktür.

Yalın yapı modelinde, YD2 için, S11 kolonu alt uç kesiti boyuna donatıda oluşan en büyük birim şekildeğiştirme değerleri ortalaması 0.0074 olarak belirlenmiştir. S61 kolonu alt uç kesitlerinde oluşan en büyük birim şekildeğiştirme değerleri ortalaması ise 0.0101 olarak elde edilmiştir. Boyuna donatıda oluşan birim şekildeğiştirme için elde edilen en büyük değerlerin ortalaması, S11 kolonu için, *TDY 2007*'de verilen ve donatı için kesit minimum hasar üst sınırı olan 0.010 değerinin altındadır. S61 kolonunda ise boyuna donatı birim şekildeğiştirme değeri, minimum hasar üst sınırı civarındadır.



Şekil 4.36 : S11 ve S61 kolonları alt uç kesiti birim şekildeğiştirme büyüklükleri.

Kolon alt uç kesiti kabuk betonda oluşan en büyük birim şekildeğiştirme değerleri ortalaması S11 kolonu için 0.0075 ve S61 kolonu için 0.0100 olarak elde edilmiştir. S11 ve S61 kolonlarında, kabuk betonda oluşan birim şekildeğiştirme için elde edilen en büyük değerlerin ortalaması, *TDY 2007*'de verilen ve kabuk beton için kesit minimum hasar üst sınırı olan 0.0035 değerinden büyüktür.

S11 ve S61 kolonları alt uç kesitinin çekirdek beton liflerinde oluşan en büyük birim şekildeğiştirme değerleri ortalaması sırasıyla 0.0073 ve 0.0101 olarak belirlenmiştir. S11 ve S61 kolonlarında, çekirdek betonda oluşan birim şekildeğiştirme için elde edilen en büyük değerlerin ortalamaları, *TDY 2007*'de verilen ve çekirdek beton için kesit güvenlik üst sınırı olan 0.0135 değerinden küçüktür.

Sönümleyicili yapı modelinde, YD1 için, S11 ve S61 kolonları alt uç kesitleri boyuna donatısında oluşan en büyük birim şekildeğiştirme değerleri ortalaması sırasıyla 0.0015 ve 0.0017 olarak elde edilmiştir. Boyuna donatıda oluşan birim şekildeğiştirme için elde edilen en büyük değerlerin ortalaması, *TDY 2007*'de verilen ve donatı için kesit minimum hasar sınırı olan 0.01 değerinin altındadır. Sönümleyicili yapı modelinden elde edilen değerler, yalın yapı modelinden elde edilen değerlere kıyasla yaklaşık olarak % 60 azalmıştır.

S11 kolonu alt uç kesiti kabuk beton lifinde meydana gelen en büyük birim şekildeğiştirme değerleri ortalaması 0.0014'tür. S61 kolonu alt uç kesitinde oluşan en büyük birim şekildeğiştirme değerleri ortalaması ise 0.0016 olarak belirlenmiştir. S11 ve S61 kolonlarında, kabuk betonda oluşan birim şekildeğiştirme için elde edilen en büyük değerlerin ortalaması, *TDY 2007*'de verilen ve kesit minimum hasar sınırı için kesitin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirme değeri üst sınırı olan 0.0035 değerinden küçüktür. Sömümleyicili yapı modelinden elde edilen değerler, yalın yapı modelinden elde edilen değerlere göre yaklaşık olarak % 62 azalmış ve birim şekildeğiştirme kesit minimum hasar sınırının altına düşmüştür.

S11 ve S61 kolonları alt uç kesitinde oluşan en büyük birim şekildeğiştirme değerleri ortalaması sırasıyla 0.0015 ve 0.0017 olarak elde edilmiştir. S11 ve S61 kolonlarında, çekirdek betonda oluşan birim şekildeğiştirme için elde edilen en büyük değerlerin ortalamaları, *TDY 2007*'de verilen ve kesit güvenlik sınırı için etriye içindeki bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirme değeri üst sınırı olan 0.0135 değerinden küçüktür. Sömümleyicili yapı modelinden elde edilen değerler, yalın yapı modelinden elde edilen değerlere kıyaslanacak olursa, yaklaşık olarak % 59 azalma olduğu görülmektedir.

Sömümleyicili yapı modelinde, YD2 için, S11 kolonu alt uç kesiti boyuna donatıda oluşan en büyük birim şekildeğiştirme değerleri ortalaması 0.0026 olarak belirlenmiştir. S61 kolonu alt uç kesitlerinde oluşan en büyük birim şekildeğiştirme değerleri ortalaması ise 0.0054 olarak elde edilmiştir. Boyuna donatıda oluşan birim şekildeğiştirme için elde edilen en büyük değerlerin ortalaması, S11 ve S61 kolonları için, *TDY 2007*'de verilen ve donatı için kesit minimum hasar üst sınırı olan 0.010 değerinin altındadır. Sömümleyicili yapı modelinden elde edilen değerler, yalın yapı modelinden elde edilen değerlere göre yaklaşık olarak % 53 oranında azalmış ve S61 kolonu alt uç kesitinde boyuna donatıda oluşan en büyük birim şekildeğiştirme değerleri ortalaması kesit minimum hasar sınırının altına düşmüştür.

Kolon alt uç kesiti kabuk betonda oluşan en büyük birim şekildeğiştirme değerleri ortalaması S11 kolonu için 0.0025 ve S61 kolonu için 0.0053 olarak elde edilmiştir. S11 kolonunda, kabuk betonda oluşan birim şekildeğiştirme için elde edilen en büyük değerlerin ortalaması, *TDY 2007*'de verilen ve kabuk beton için kesit minimum hasar üst sınır değerinden (0.0035) küçüktür. S61 kolonunda kabuk

betonda oluşan birim şekildeğiştirme için elde edilen en büyük değerlerin ortalaması ise kesit minimum hasar üst sınır değerinden büyüktür. Sönümleyicili yapı modelinden elde edilen değerler, yalın yapı modelinden elde edilen değerlerden yaklaşık olarak % 55 oranında azalma göstermiştir. S11 kolonu alt uç kesitinde kabuk betonda oluşan en büyük birim şekildeğiştirme değerleri ortalaması kesit minimum hasar sınırının altına düşmüştür. S61 kolonu alt uç kesitinde kabuk betonda oluşan en büyük birim şekildeğiştirme değerlerinin ortalaması ise meydana gelen azalmaya rağmen kesit minimum hasar üst sınır değerinin altına düşmemiştir.

S11 ve S61 kolonları alt uç kesitinin çekirdek beton liflerinde oluşan en büyük birim şekildeğiştirme değerleri ortalaması sırasıyla 0.0026 ve 0.0053 olarak belirlenmiştir. S11 ve S61 kolonlarında, çekirdek betonda oluşan birim şekildeğiştirme için elde edilen en büyük değerlerin ortalamaları, *TDY 2007*'de verilen ve çekirdek beton için kesit güvenlik üst sınırı olan 0.0135 değerinden küçüktür. Sönümleyicili yapı modelinden elde edilen değerler, yalın yapı modelinden elde edilen değerlere göre yaklaşık olarak % 53 oranında azalmıştır.

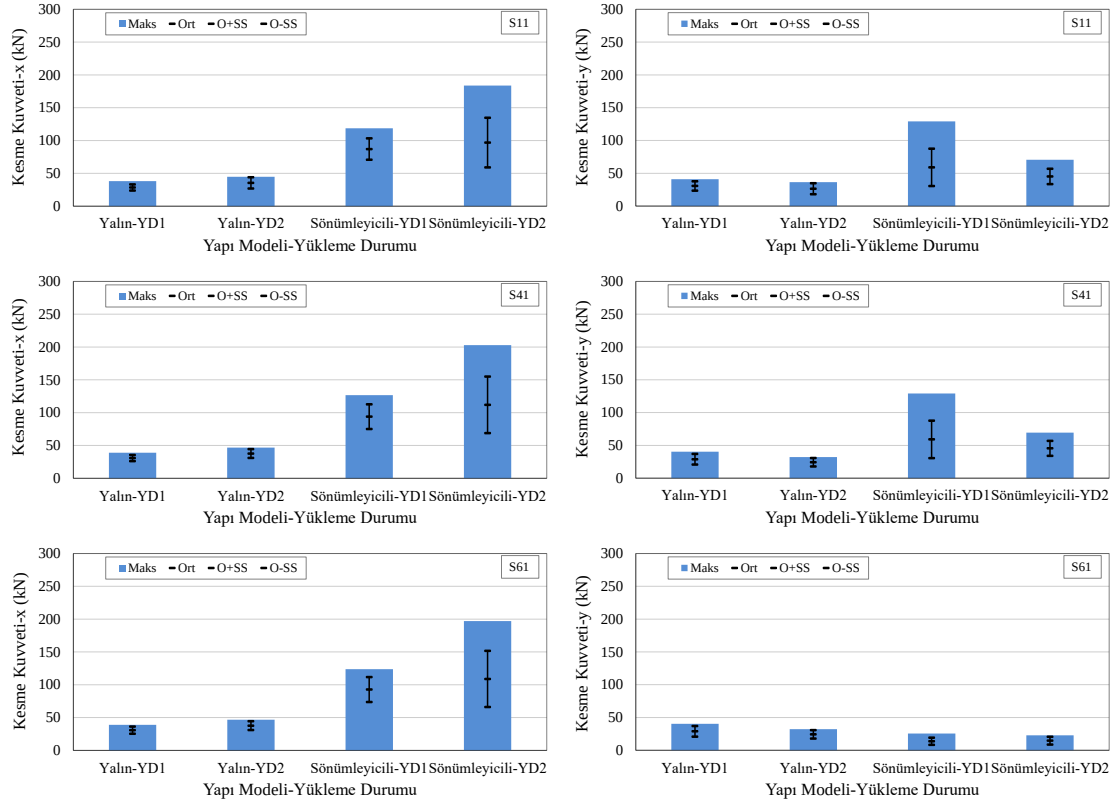
4.4.5 Kolon üst uç kesiti kesme kuvveti

Yapıya sönümleyici eleman yerleştirilmesi durumunda, moment aktarmayan rodlu birleşimin kesme kuvveti dayanımının aşılp aşılmadığının kontrol edilebilmesi için kolon üst uç kesitinde oluşan kesme kuvveti izlenmiştir. Bununla birlikte, kolon üst uç kesiti ile KES bağlantı noktası arasında kalan kolon bölgesinde oluşacak kesme kuvveti ile kolon kesiti kesme dayanımının da karşılaştırılması gerekmektedir. S11, S41 ve S61 kolonları üst uç kesitinde oluşan kesme kuvveti, yapı modelinin x ve y eksenleri doğrultusunda olmak üzere, iki doğrultuda incelenmiştir (Şekil 4.37).

YD1 için, yalın yapı modelinin x eksen doğrultusunda, S11 kolonu üst uç kesitinde oluşan en büyük kesme kuvveti değerleri ortalaması 28.3 kN olarak elde edilmiştir. S41 ve S61 kolonları üst uç kesitleri için elde edilen değer 30.7 kN'dur. Yapı modelinin y eksen doğrultusunda, S11 kolonu üst uç kesitinde oluşan en büyük kesme kuvveti değerleri ortalaması 30.7 kN iken, S41 ve S61 kolonları için elde edilen değer ise 28.9 kN'dur.

YD2 için, yalın yapı modelinin x eksen doğrultusunda, kolon üst uç kesitinde oluşan en büyük kesme kuvveti değerleri ortalaması S11 için 35.3 kN, S41 ve S61 kolonları için 37.5 kN olarak elde edilmiştir. Yapı modelinin y eksen doğrultusunda ise üst uç

kesitte oluşan en büyük kesme kuvveti değerleri ortalaması S11, S41 ve S61 kolonları için sırasıyla 26.4 kN, 24.3 kN ve 24.4 kN olmuştur.



Şekil 4.37 : S11, S41 ve S61 kolonları üst uç kesiti kesme kuvveti büyüklükleri.

YD1 için, sönümleyicili yapı modelinin x eksenı doğrultusunda, S11 kolonu üst uç kesitinde oluşan en büyük kesme kuvveti değerleri ortalaması 86.8 kN olarak hesaplanmıştır. S11 kolonu için hesaplanan bu değer yalın yapı modeline göre % 210 oranında artış göstermiştir. S41 ve S61 kolonları üst uç kesitleri için en büyük kesme kuvveti değerleri ortalaması sırasıyla 93.7 kN ve 92.5 kN olarak belirlenmiş ve yalın yapı modeline göre sırasıyla % 210 ve % 205 artış göstermiştir.

YD1 için, sönümleyicili yapı modelinin y eksenı doğrultusunda, üst uç kesitinde oluşan en büyük kesme kuvveti değerleri ortalaması S11 kolonu için 59.1 kN, S41 kolonu için 59.1 kN ve S61 kolonu için 13.9 kN olarak belirlenmiştir. Yalın yapı modelinden elde edilen değerler ile kıyaslanacak olursa, sönümleyicili yapı modelinden elde edilen değerler S11 kolonu için % 88 artmış, S41 kolonu için % 100 artmış, S61 kolonu için % 52 azalmıştır. S11 ve S41 kolonlarında y doğrultusunda meydana gelen kesme kuvveti artarken S61 kolonunda azalma meydana gelmesinin nedeni, S61 kolonuna yapı modeli y doğrultusunda çapraz ve kuşak elemanların bağlanmamış olmasıdır.

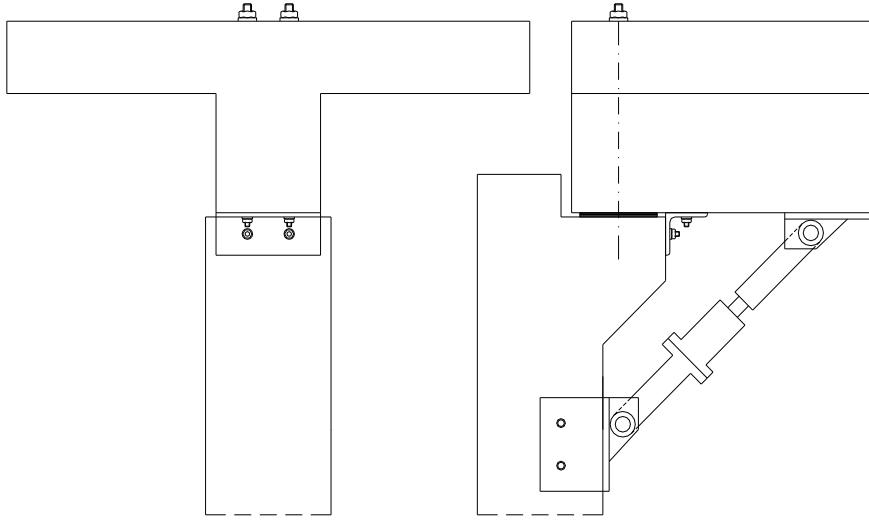
YD2 için, sönümleyicili yapı modelinin x eksenı doğrultusunda, S11, S41 ve S61 kolonları üst uç kesitinde oluşan en büyük kesme kuvveti değeri ortalaması sırasıyla 96.8 kN, 111.7 kN ve 108.7 kN olarak belirlenmiştir. S11 kolonu için elde edilen değeri yalın yapı modeline göre % 176 artış gösterirken, S41 ve S61 kolonları için elde edilen değeri sırasıyla % 196 ve % 189 artış göstermiştir.

YD2 için, sönümleyicili yapı modelinin y eksenı doğrultusunda, üst uç kesitinde oluşan en büyük kesme kuvveti değeri ortalaması S11 kolonu için 45.3 kN, S41 kolonu için 45.5 kN ve S61 kolonu için 14.7 kN olarak belirlenmiştir. Sönümleyicili yapı modelinden elde edilen değeri, yalın yapı modeline göre, S11 ve S41 kolonları için sırasıyla % 82 ve % 94 artmış, S61 kolonu için ise % 39 azalmıştır.

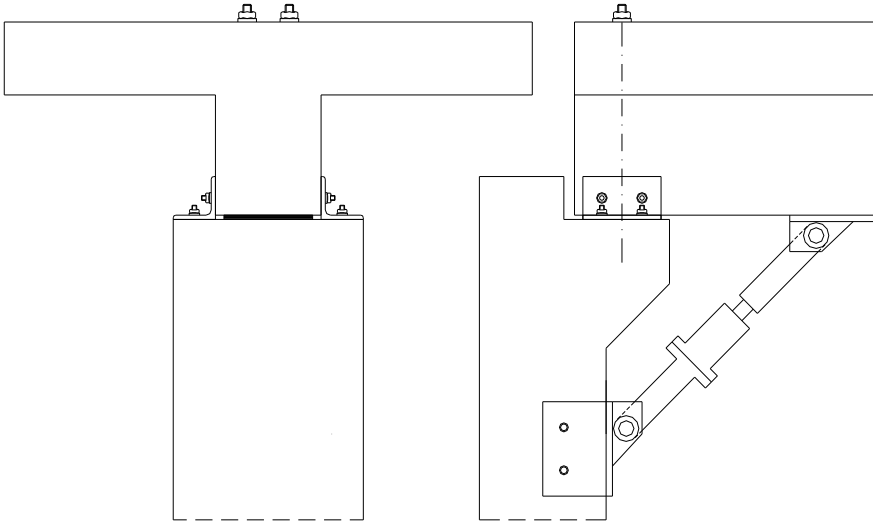
Davranışı incelenen kiriş-kolon birleşimlerinde iki adet rod kullanılmış olup, çapı 26 mm'dir. Rod ekseninin kiriş veya kolon yüzüne mesafesi (kiriş boyuna doğrultusunda) ise sırasıyla 175 mm ve 200 mm'dir. *Rod ekseninin eleman yüzüne boyuna doğrultuda olan mesafesi / rod çapı oranı, (d/D)* yaklaşık olarak 6.73 olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla birleşime ait kesme dayanımı, Bölüm 3'de verilen Eşitlik 3.1 kullanılarak, 88 kN olarak belirlenmiştir. Eşitlik 3.1'deki ifadede malzeme karakteristik dayanımları ilgili güvenlik katsayılarına bölünerek elde edilen malzeme tasarım değeri yer almaktadır. Birleşim kesme dayanımı, malzeme karakteristik dayanımları ile hesaplanacak olursa 116 kN olarak hesaplanmaktadır. Eşitlik 3.1 ifadesinde yer alan C_o ve γ_R için sırasıyla 1.00 ve 1.30 değeri dikkate alınmıştır.

Sönümleyicinin yapıya yerleştirilmesi ile kolon üst ucunda x eksenı doğrultusunda oluşan en büyük kesme kuvveti değeri ortalamarı 86.8 kN ile 111.7 kN değeri arasında değişmektedir. Bu değeri birleşim için hesap edilen kesme dayanımı mertebesinde olmakla birlikte birbirine çok yakındır. Bununla birlikte kolon üst uçlarında elde edilen en büyük kesme kuvveti değeri 118.6 kN ile 203 kN arasında değişmektedir. Dolayısıyla birleşimin kesme dayanımının, yapı modeli x eksenı doğrultusunda iyileştirilmesi (güçlendirilmesi) gerektiği anlaşılmaktadır.

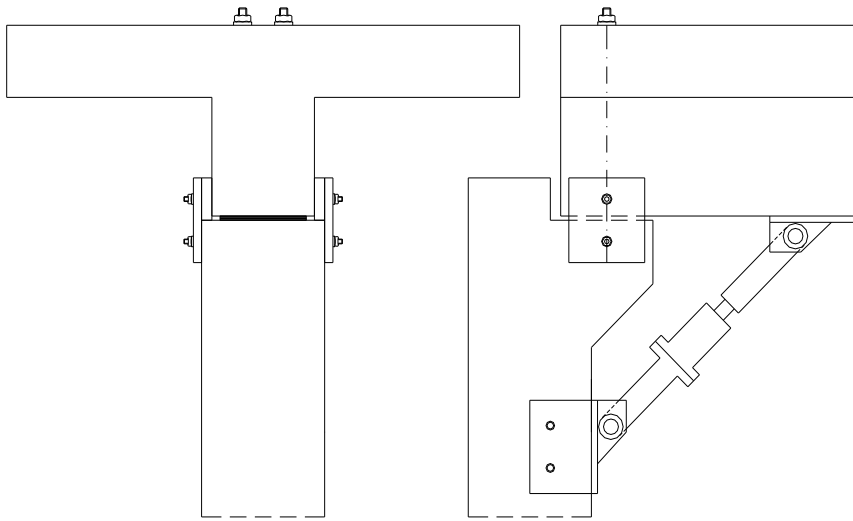
Kiriş-kolon birleşiminin kesme dayanımı, kiriş ile kolon gusesi arasına, kiriş ve kolon gusesine ankre edilecek yeterli sayıda civata ile yerleştirilecek köşebent veya köşebentler yardımı ile arttırılabilecektir (Şekil 4.38a ve Şekil 4.38b). Ayrıca, kiriş ile guse yan yüzlerinin bağlantısını sağlayacak levhalar ve rod ekseninde yerleştirilen civatalar kullanılarak birleşimin kesme dayanımı arttırılabilir (Şekil 4.38c).



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.38 : KES yerleştirilmiş birleşimin kesme dayanımının arttırılması için önerilen detaylar.

Önerilen ilk detayda (Şekil 4.38a) kiriş-kolon birleşimi için ilave kesme dayanımı sağlanmakta, aynı zamanda birleşimdeki rodlar ile köşebent bağlantısı arasında mesafe olduğu için birleşimin dönme rijitliği de artmaktadır. Şekil 4.38b’de verilen detay, sadece kolon genişliğinin yeterli olduğu birleşimlerde uygulanabilecektir. Bu birleşim teşkilinde, rodlar ile civatalar arasındaki mesafe dolayısıyla birleşime ait dönme rijitliğinin artması beklenmektedir. Şekil 4.38c’da önerilen detayda ise kiriş ile guse yan yüzlerinin bağlantısını sağlayacak levhalar yardımı ile birleşimin kesme dayanımı artacaktır. Levhaların bağlantısı için kullanılacak civatalar ile rodların aynı düşey ekseninde teşkil edilmesi durumunda birleşimin dönme rijitliğindeki artış az olacaktır.

Kolonların üst ucuna, yapı modelinin y doğrultusunda oluk kirişleri bağlanmaktadır. Oluk kiriş-kolon bağlantısı için 4 adet 20 mm çapında rod kullanılmaktadır. Rodların kenar mesafesi, oluk kirişi için 90 mm ve kolon için 150 mm olup d/D oranı 4.5 olarak elde edilmektedir. Oluk kiriş-kolon bağlantısının kesme dayanımı, Psycharis ve Mouzakis (2012a)’da (Bölüm 3.2.8) ifade edilen koşullar sağlanmadığı için, Eşitlik 3.2 kullanılarak hesaplanamamaktadır. Vintzeleou ve Tassios (1987) tarafından yapılan çalışmada (Bölüm 3.2.1) verilen kesme dayanımı ifadesi, d/D oranının 6-8 değerleri arasında olması şartı getirdiğinden, oluk kiriş-kolon birleşiminin kesme dayanımının belirlenmesi için kullanılamamaktadır. Bu nedenle kesme dayanımı, kullanılan 4 adet rodun kesme dayanımı dikkate alınarak hesaplanmış olup, kayma emniyet gerilmesi 1.05 t/cm^2 için, yaklaşık 132 kN olarak belirlenmiştir.

Sönümleyicinin yapıya yerleştirilmesi ile birlikte kolon üst ucunda ve yapı modelinin y eksenine doğrultusunda oluşan en büyük kesme kuvveti değerleri ortalamaları 13.9 kN ile 59.1 kN değerleri arasında değişmektedir. Kolon üst ucunda, yapı modeli y doğrultusunda elde edilen en büyük kesme kuvveti değerleri ise 22.8 kN ile 129.2 kN arasında değişmektedir. Oluk kiriş-kolon birleşiminde aktarılacak kesme kuvveti, birleşimdeki rodlara ait kesme dayanımı dikkate alınarak hesaplanan kesme kuvveti kapasitesine oldukça yakındır.

Kolon kesitinin kesme dayanımı (V_r), betonun kesme dayanımına katkısı (V_C), betonun kesmede çatlama dayanımı (V_{cr}) ve enine donatının kesme dayanımına katkısı (V_w) sırasıyla Eşitlik 4.1, Eşitlik 4.2, Eşitlik 4.3 ve Eşitlik 4.4 kullanılarak belirlenmiştir.

$$V_r = V_c + V_w \quad (4.1)$$

$$V_c = 0.80V_{cr} \quad (4.2)$$

$$V_{cr} = 0.65 f_{ctd} b_w d \left(1 + \gamma \frac{N_d}{A_c} \right) \quad (4.3)$$

$$V_w = \frac{A_{sw}}{s} f_{ywd} d \quad (4.4)$$

Eşitlik 4.3'te f_{ctd} beton tasarım eksenel çekme dayanımını, b_w kesit genişliğini, d kesit faydalı derinliğini, N_d tasarım eksenel kuvvetini, A_c tüm kesit beton alanını, γ ise bir katsayıyı ifade etmektedir. Eksenel basınç durumunda $\gamma = 0.07$, eksenel çekme durumunda ise $\gamma = 0.3$ alınacaktır (TS500). Eşitlik 4.4'te yer alan A_{sw} kesme donatısı toplam kesit alanını, s etriye aralığını ve f_{ywd} enine donatı tasarım akma dayanımını ifade etmektedir.

Matematik modellerde kullanılan malzeme davranış biçimlerinde, malzeme karaktersitik değerleri dikkate alındığı için Eşitlik 4.3'te f_{ctd} yerine f_{ctk} (1.9 MPa), Eşitlik 4.4'te ise f_{ywd} yerine f_{ytk} (420 MPa) kullanılmıştır. Kolon kesit genişliği 50 cm, faydalı yükseklik 47.5 cm, tüm kesit beton alanı ise 2500 cm²'dir. Kolon tasarım eksenel kuvveti 200 kN, γ ise eksenel basınç durumu için 0.07 olarak dikkate alınmıştır. 8 mm çapında donatı için kesme donatısı toplam kesit alanı 150 mm²'dir.

Yapı modelinde bulunan kolonların enine donatı aralığı sarılma bölgesinde 10 cm, orta bölgede 20 cm olarak düzenlenmiştir. Kolon kesitinin kesme dayanımına enine donatının katkısı sarılma bölgesinde 300 kN, orta bölgede ise 150 kN olarak hesaplanmıştır. Kesme dayanımına beton katkısı ise 248 kN olarak belirlenmiştir. Böylece yapı modelinde kullanılan kolonların kesit kesme dayanımı, kolon sarılma bölgesi ve orta bölgesi için sırasıyla 548 kN ve 398 kN olarak elde edilmektedir. Sönümleyicili yapı modelinde, kolon elemanların üst ucu ile KES bağlantı noktası arasında kalan kolon bölgesinde oluşan kesme kuvveti değerleri, kolon kesiti kesme dayanımını aşmamaktadır.

4.4.6 Kolon üst ucu ivme

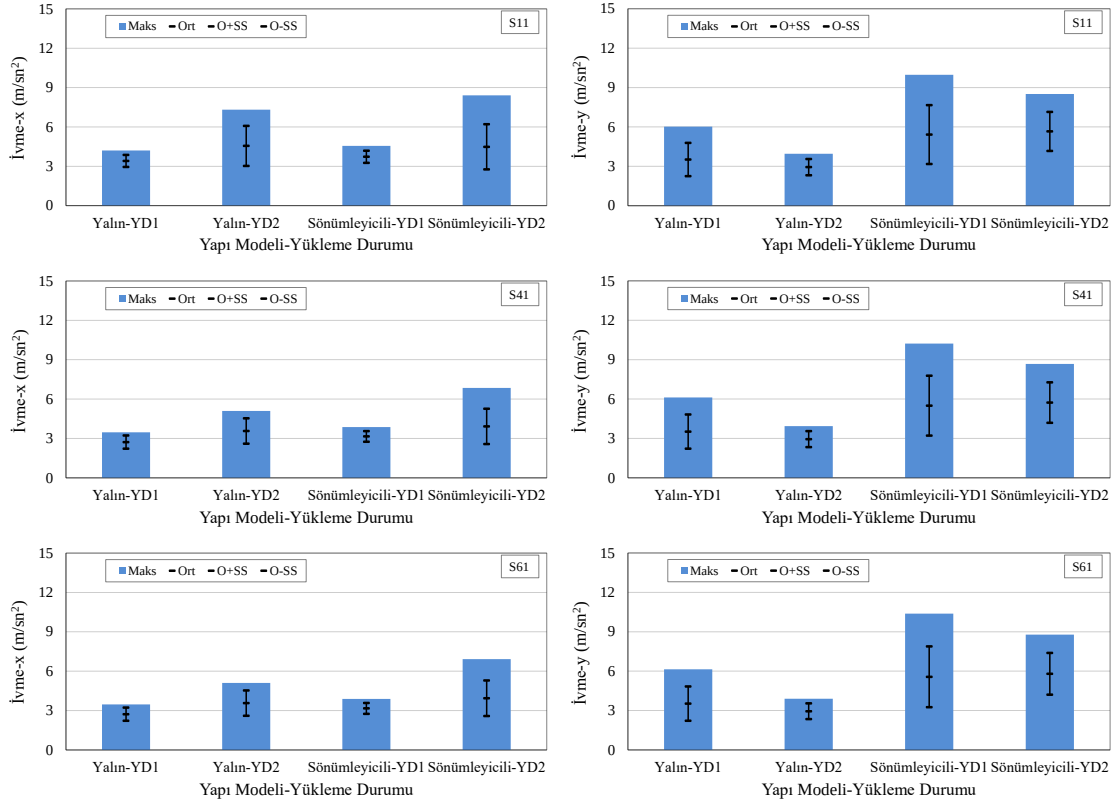
S11, S41 ve S61 kolonlarının üst ucunda oluşan ivme büyüklükleri takip edilmiştir. Yapıya sönümleyici yerleştirilmesi durumunda, toplam yapısal sönüm miktarının artması buna bağlı olarak da kolon üst uç noktalarında ivme büyüklüklerinin bir miktar küçülmesi beklenmektedir. Ancak sönümleyici elemanların montajı, bağlantı elemanları (yapı modelinin x doğrultusundaki çerçeveler içerisinde), çapraz elemanlar ve kuşak elemanları (yapı modelinin y doğrultusundaki çerçeveler içerisinde) aracılığı ile gerçekleştirileceği için yapının rijitliğinde bir miktar artış olması da beklenmektedir. Kolon üst ucunda oluşan ivme büyüklüğü yapı modelinin x ve y eksenleri doğrultusunda takip edilmiştir.

YD1 için, yalın yapı modelinin x eksenı doğrultusunda kolon üst ucunda oluşan en büyük ivme değeri ortalaması S11 kolonu için 3.4 m/sn^2 , S41 ve S61 kolonları için 2.7 m/sn^2 olmuştur. Yapı modelinin y eksenı doğrultusunda, S11, S41 ve S61 kolonları üst ucunda oluşan en büyük ivme değeri ortalaması 3.5 m/sn^2 olarak elde edilmiştir (Şekil 4.39).

YD2 için, kolon üst ucunda, yalın yapı modelinin x eksenı doğrultusunda oluşan en büyük ivme değeri ortalaması S11, S41 ve S61 kolonları için sırasıyla 4.5 m/sn^2 , 3.6 m/sn^2 ve 3.6 m/sn^2 olarak belirlenmiştir. Yapı modelinin y eksenı doğrultusunda, her üç kolon için elde edilen en büyük ivme değeri ortalamaları birbirine eşit ve 2.9 m/sn^2 olarak hesaplanmıştır.

YD1 için, sönümleyicili yapı modelinin x eksenı doğrultusunda kolon üst ucunda oluşan en büyük ivme değeri ortalaması S11 kolonu için 3.7 m/sn^2 , S41 kolonu için 3.1 m/sn^2 ve S61 kolonu için 3.2 m/sn^2 olarak belirlenmiştir. Yapı modelinin y eksenı doğrultusunda, S11, S41 ve S61 kolonları üst ucunda oluşan en büyük ivme değeri ortalaması 5.5 m/sn^2 olarak elde edilmiştir.

Sönümleyicili yapı modelinde, YD1 için, kolon üst ucunda oluşan ivme değeri yalın yapı modeline göre artmıştır. Yapı modelinin x eksenı doğrultusunda S11 kolonunda meydana gelen artış miktarı % 10 iken, S41 ve S61 kolonlarında oluşan artış % 18 mertebesinde dir. Yapı modelinin y doğrultusunda oluşan ivme değeri ise her üç kolon için yaklaşık olarak % 60 mertebesinde artış göstermiştir.



Şekil 4.39 : S11, S41 ve S61 kolonları üst uç ivme büyüklükleri.

YD2 için, sönümleyicili yapı modelinin x eksenı doğrultusunda kolon üst ucunda oluşan en büyük ivme değeri ortalaması S11 kolonu için 4.5 m/s^2 , S41 ve S61 kolonları için ise 3.9 m/s^2 olarak elde edilmiştir. Yapı modelinin y eksenı doğrultusunda, her üç kolonun üst ucunda oluşan en büyük ivme değeri ortalaması 5.7 m/s^2 olarak hesaplanmıştır.

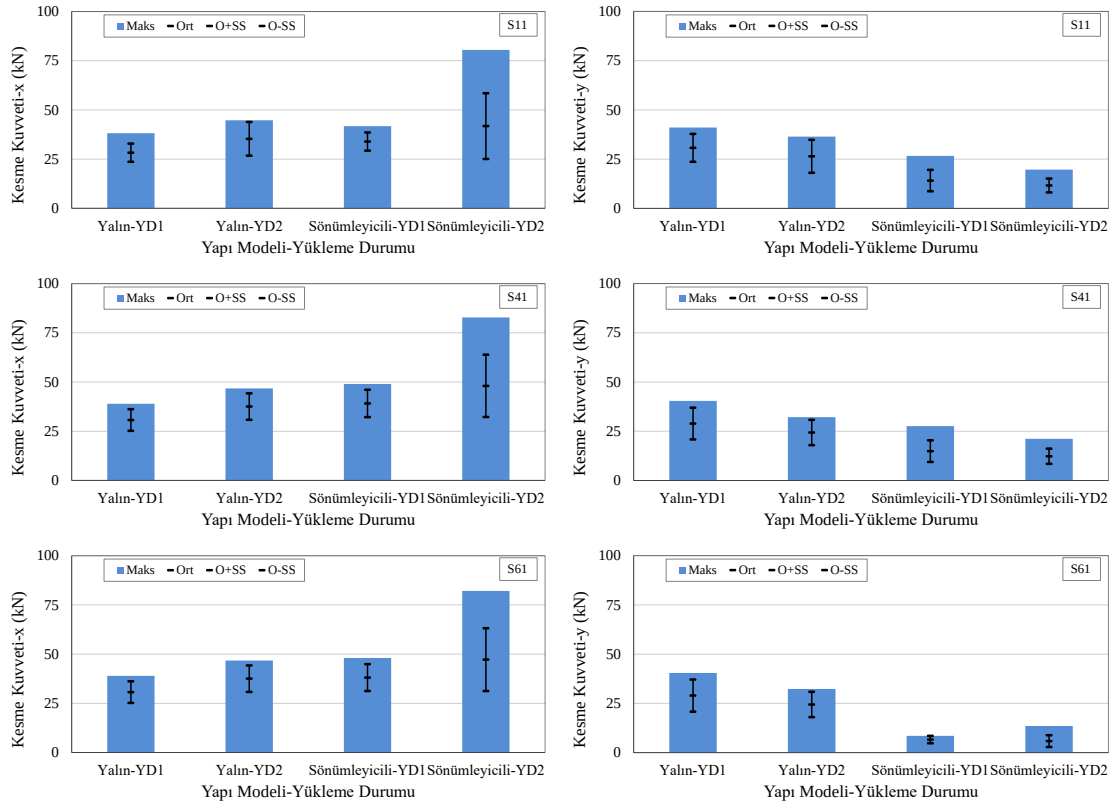
Sönümleyicili yapı modelinde, YD2 için, kolon üst ucunda oluşan ivme değeri yalın yapı modeline göre artmıştır. Yapı modelinin x eksenı doğrultusunda sadece S11 kolonu üst ucunda oluşan ivme değeri yaklaşık olarak aynı kalmıştır. S41 ve S61 kolonlarında ise % 9 artış meydana gelmiştir. Yapı modelinin y doğrultusunda oluşan ivme değerlerindeki artış S11, S41 ve S61 kolonları için yaklaşık olarak % 100 mertebesindedir.

4.4.7 Kolon-KES bağlantı noktası alt kesiti kesme kuvveti

Sönümleyici yerleştirilmiş durumda, kolonda oluşacak kesme kuvvetinin kesme dayanımı ile karşılaştırılması gerekmektedir. S11, S41 ve S61 kolonlarının KES ile bağlantı noktası alt kesitinde oluşan kesme kuvveti, yapı modelinin x ve y eksenleri doğrultusunda olmak üzere, iki doğrultuda takip edilmiştir (Şekil 4.40).

YD1 için, yalın yapı modelinin x eksenini doğrultusunda, S11, S41 ve S61 kolonları ile KES'in bağlantı noktası alt kesitlerinde oluşan en büyük kesme kuvveti değerleri ortalaması sırasıyla 28.3 kN, 30.7 kN ve 30.7 kN olarak elde edilmiştir. Yapı modelinin y eksenini doğrultusunda, S11 kolonu-KES bağlantı noktası alt kesitinde oluşan en büyük kesme kuvveti değerleri ortalaması 30.7 kN iken, S41 ve S61 kolonları için elde edilen değer ise 28.9 kN'dur.

YD2 için, yalın yapı modelinin x eksenini doğrultusunda, kolon-KES bağlantı noktası alt kesitinde oluşan en büyük kesme kuvveti değerleri ortalaması S11 için 35.3 kN, S41 için 37.5 kN ve S61 kolonu için 37.5 kN olarak belirlenmiştir. Yapı modelinin y eksenini doğrultusunda kolon-KES bağlantı noktası alt kesitinde oluşan en büyük kesme kuvveti değerleri ortalaması S11, S41 ve S61 kolonlar için sırasıyla 26.4 kN, 24.3 kN ve 24.4 kN olduğu görülmektedir.



Şekil 4.40 : S11, S41 ve S61 kolonları KES bağlantı noktası alt kesiti kesme kuvveti büyüklükleri.

YD1 için, sönümleyici yerleştirilen yapı modelinde x eksenini doğrultusunda, S11 kolonu-KES bağlantı noktası alt kesitinde oluşan en büyük kesme kuvveti değerleri ortalaması 33.9 kN olarak belirlenmiştir. S11 kolonu için hesaplanan kesme kuvveti değeri yalın yapı modeline göre % 21 artmıştır. S41 ve S61 kolonları-KES

bağlantı noktası alt kesitleri için en büyük kesme kuvveti değerleri ortalaması sırasıyla 39.1 kN ve 38.1 kN olarak elde edilmiş ve yalın yapı modeline göre sırasıyla % 29 ve % 25 yükselmiştir.

YD1 için, sönümleyicili yapı modelinin y eksenini doğrultusunda, KES bağlantı noktası alt kesitinde oluşan en büyük kesme kuvveti değerleri ortalaması S11 kolonu için 14.1 kN, S41 kolonu için 14.9 kN ve S61 kolonu için 6.6 kN olarak belirlenmiştir. Yalın yapı modelinden elde edilen değerler ile kıyaslandığında, sönümleyicili yapı modelinden elde edilen değerler S11 kolonu için % 55, S41 kolonu için % 49 ve S61 kolonu için % 77 azaldığı görülmektedir.

YD2 için, sönümleyicili yapı modelinin x eksenini doğrultusunda, S11, S41 ve S61 kolonları-KES bağlantı noktası alt kesitinde oluşan en büyük kesme kuvveti değerleri ortalaması sırasıyla 41.8 kN, 48 kN ve 47.2 kN olarak elde edilmiştir. S11 kolonu için belirlenen değer yalın yapı modeline göre % 18 artış gösterirken, S41 ve S61 kolonları için elde edilen değerler sırasıyla % 27 ve % 25 artış göstermiştir.

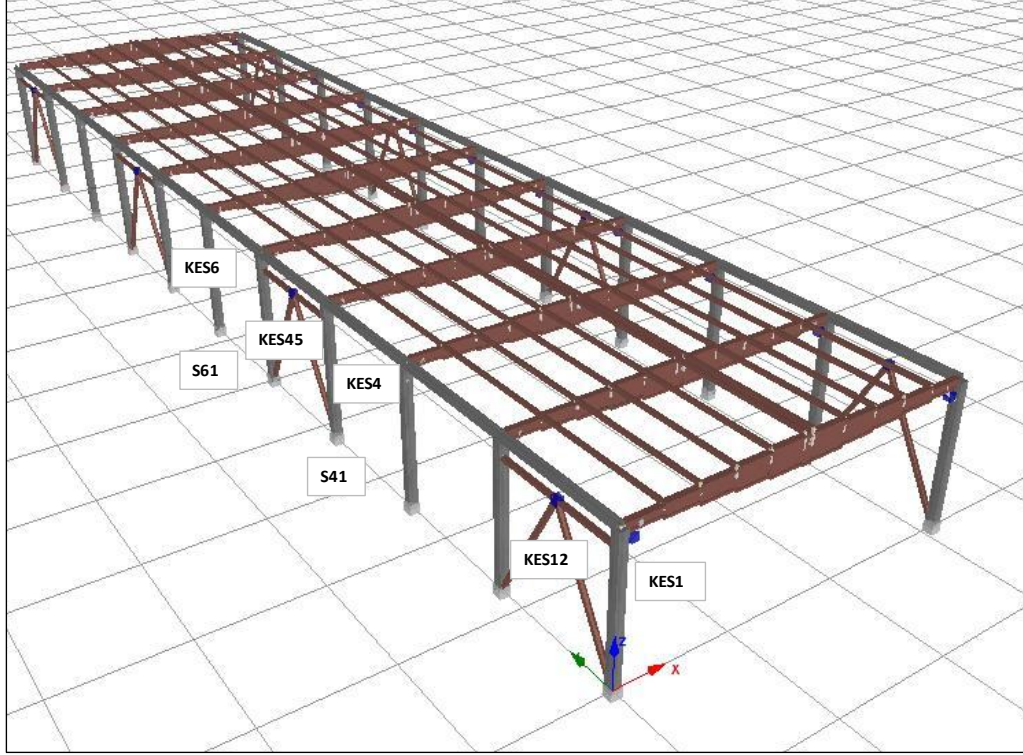
YD2 için, sönümleyicili yapı modelinin y eksenini doğrultusunda, KES bağlantı noktası alt kesitinde oluşan en büyük kesme kuvveti değerleri ortalaması S11 kolonu için 11.6 kN, S41 kolonu için 12.3 kN ve S61 kolonu için 5.8 kN olarak elde edilmiştir. Sönümleyicili yapı modelinden elde edilen değerler, yalın yapı modeline göre, S11, S41 ve S61 kolonları için sırasıyla % 55, % 48 ve % 76 azaldığı anlaşılmaktadır.

Kolon kesme dayanımı, kolon sarılma bölgesi ve orta bölgesi için sırasıyla 548 kN ve 398 kN'dur. Sönümleyici eklenmiş yapı modelinde, KES bağlantı noktası ile kolon alt ucu arasında kalan bölgede oluşan kesme kuvveti değerleri, kolon kesme dayanımının altında kalmaktadır.

4.4.8 KES eksenel kuvvet-eksenel yerdeğiştirme ilişkileri

Sönümleyici yerleştirilmiş yapı modelinde, x doğrultusunda 22 adet, y doğrultusunda ise 8 adet olmak üzere, toplam 30 adet KES kullanılmıştır. Diğer yapısal istemlerin takip edildiği S11, S41 ve S61 kolonlarının yer aldığı akslarda kullanılan KES'lere ait eksenel kuvvet-eksenel yerdeğiştirme ilişkileri takip edilmiştir. Yapı modelinin x doğrultusunda 1., 4. ve 6. akslarında yer alan KES'lere sırasıyla KES1, KES4 ve KES6 etiketleri verilmiştir. Yapı modelinin y doğrultusunda ise 1-2 aksları arasında

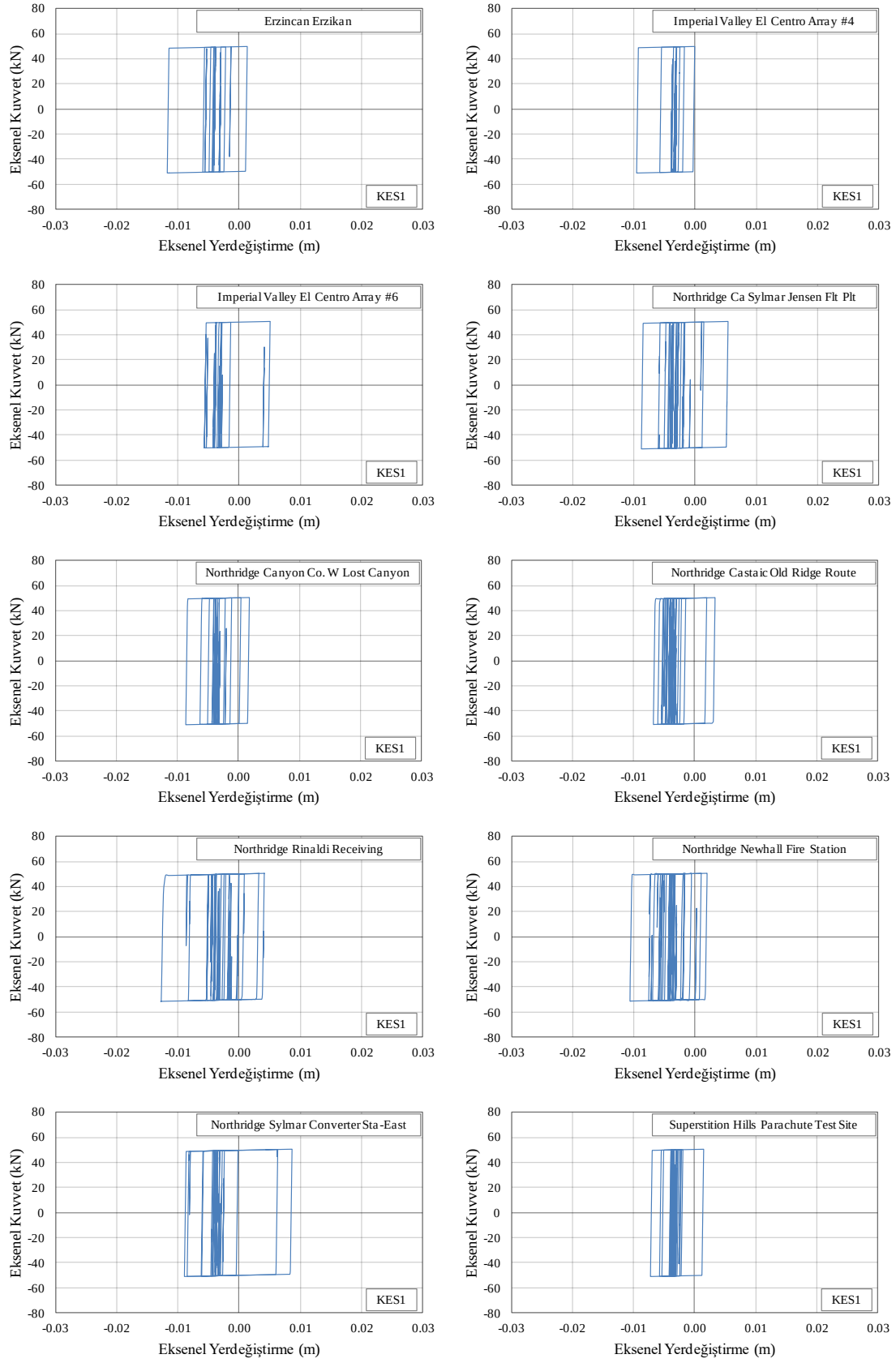
yer alan KES'e KES12, 4-5 aksları arasında yer alan KES'e ise KES45 etiketi verilmiştir (Şekil 4.41).



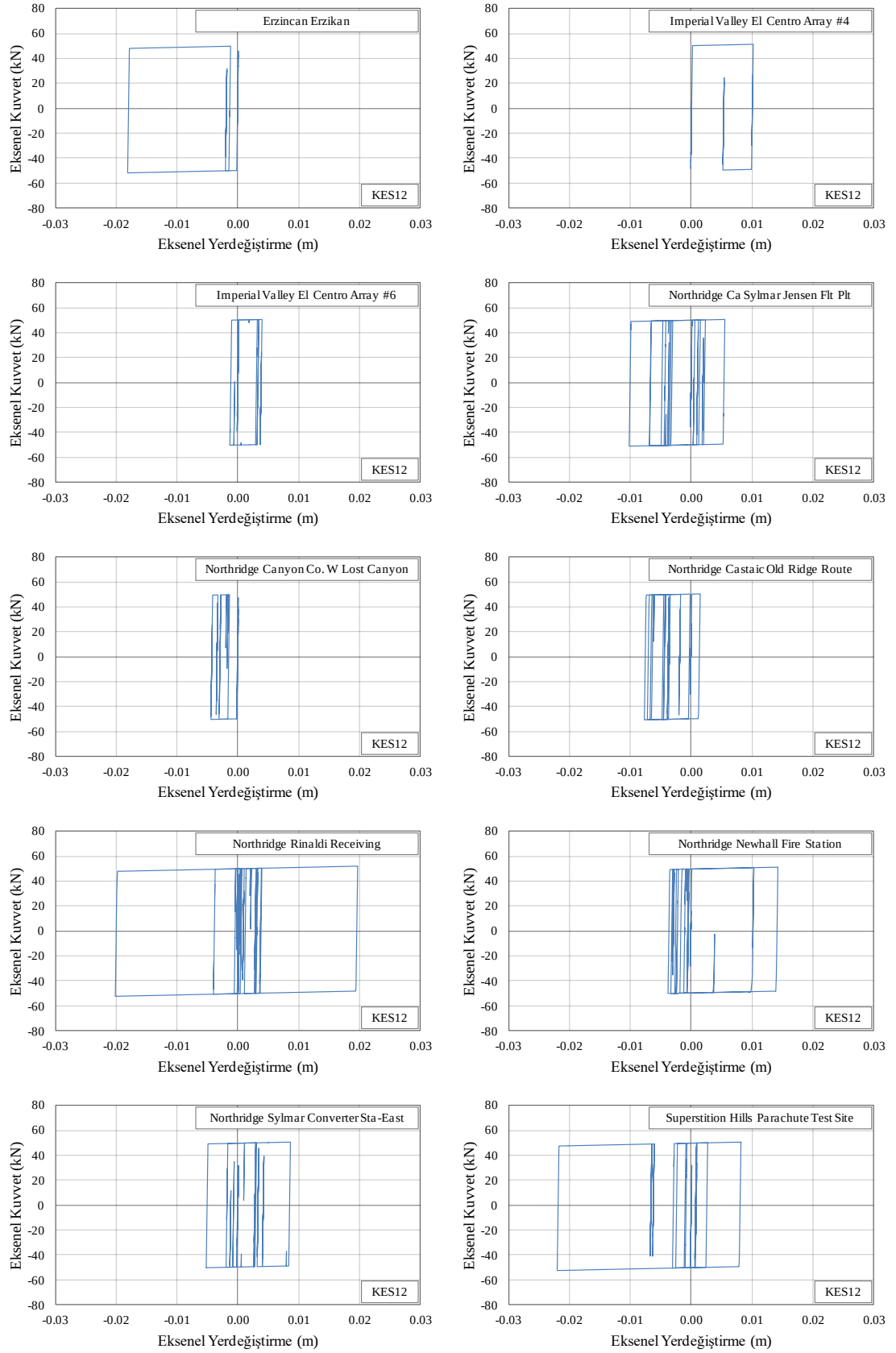
Şekil 4.41 : Sönümleyici yerleştirilmiş yapı modeli ve takip edilen KES'ler.

YD1 için, doğrusal olmayan analizlerde kullanılan tüm yer hareketleri etkisi altında KES1 ve KES12'de meydana gelen eksenel kuvvet-eksenel yerdeğiştirme ilişkileri Şekil 4.42'de ve Şekil 4.43'te verilmiştir. KES1'de meydana gelen en büyük yerdeğiştirme değeri 9 mm, en küçük yerdeğiştirme değeri ise -13 mm olarak belirlenmiştir. KES12'de elde edilen en büyük ve en küçük eksenel yerdeğiştirme ise sırasıyla 20 mm ve -22 mm'dir. Takip edilen diğer KES'lerde meydana gelen eksenel kuvvet-eksenel yerdeğiştirme ilişkileri EK-A'da yer almaktadır. YD1 için, yapıya yerleştirilen tüm KES'lerde çalışma meydana geldiği görülmektedir.

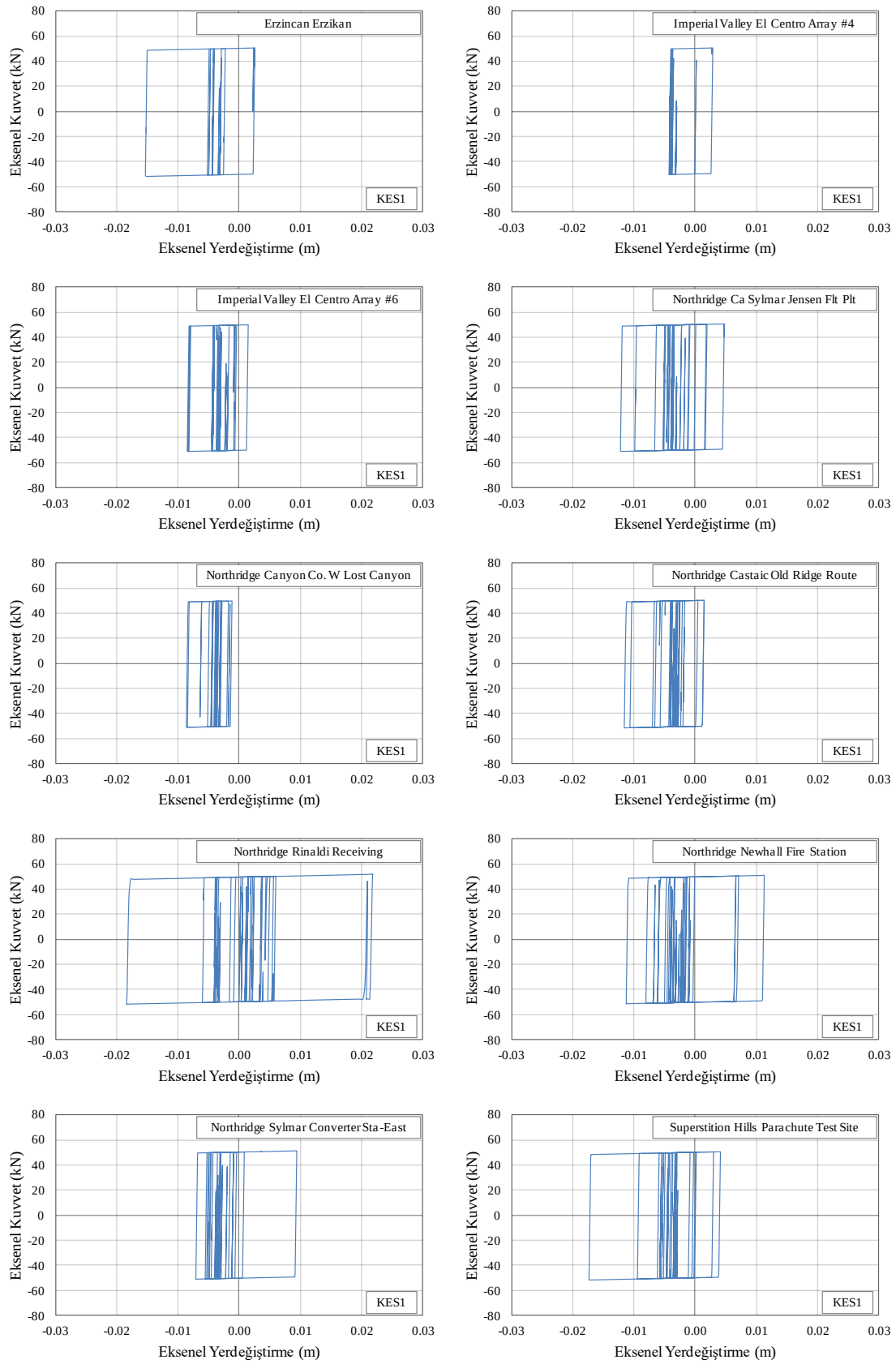
YD2 için, kullanılan tüm yer hareketleri etkisi ile KES1 ve KES12'de oluşan eksenel kuvvet-eksenel yerdeğiştirme ilişkileri Şekil 4.44 ve Şekil 4.45'te verilmiş olup, KES1 ve KES12'de çalışma meydana geldiği görülmektedir. KES1'de eksenel yerdeğiştirme için en büyük değer 22 mm iken, KES12 için 15 mm elde edilmiştir. KES1 ve KES12'de oluşan eksenel yerdeğiştirme için belirlenen en küçük değerler ise sırasıyla -18 mm ve -9 mm'dir. Takip edilen diğer KES'lerde de çalışma meydana gelmiştir. Elde edilen diğer eksenel kuvvet-eksenel yerdeğiştirme ilişkileri EK-A'da sunulmuştur.



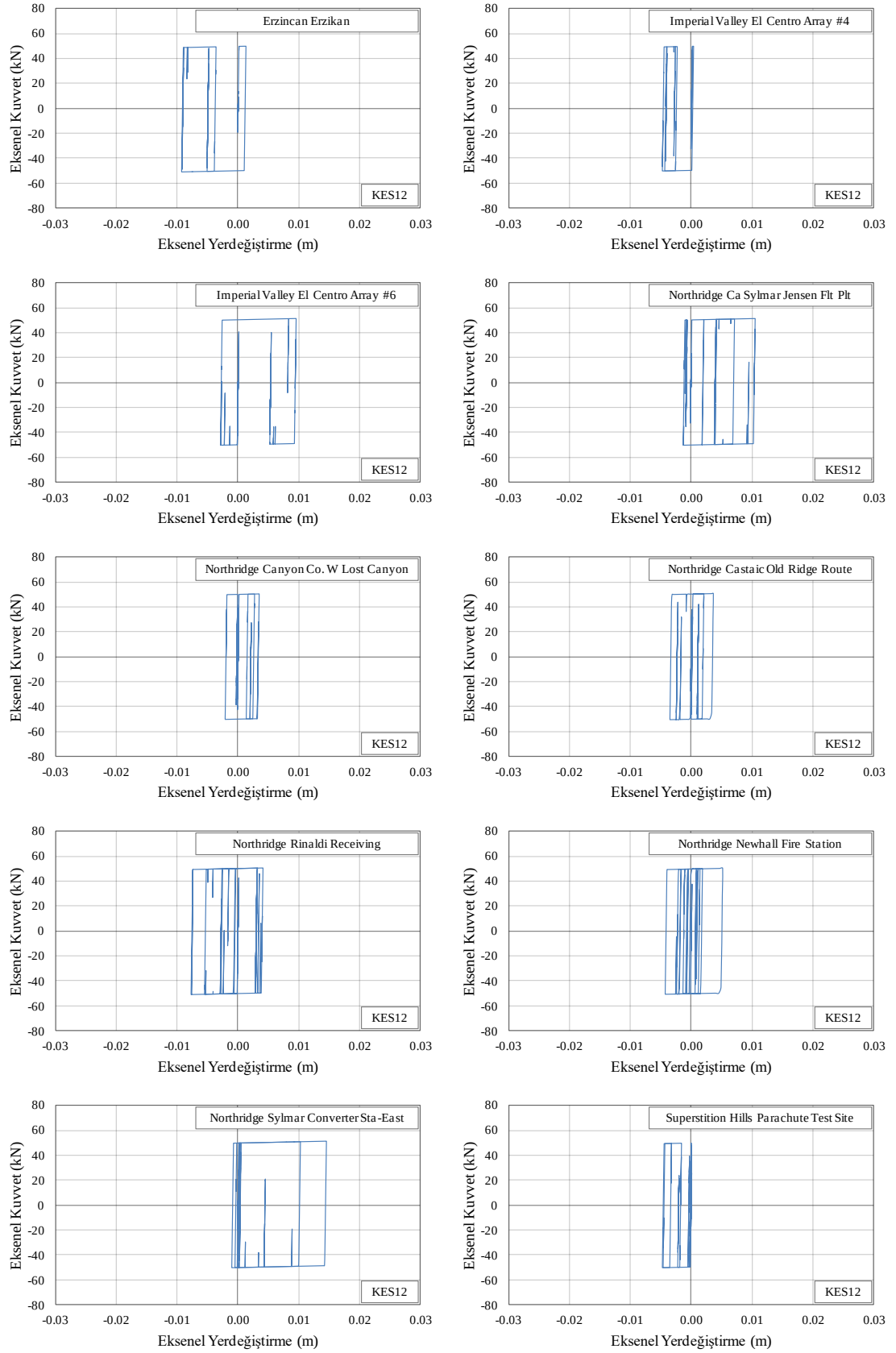
Şekil 4.42 : KES1 eksenel kuvvet-eksenel yerdeğiştirme ilişkileri (YD1).



Şekil 4.43 : KES12 eksenel kuvvet-eksenel yerdeğiştirme ilişkileri (YD1).



Şekil 4.44 : KES1 eksenel kuvvet-eksenel yerdeğiştirme ilişkileri (YD2).



Şekil 4.45 : KES12 eksenel kuvvet-eksenel yerdeğiştirme ilişkileri (YD2).

4.5 Değerlendirme ve Yorumlar

Kiriş-kolon birleşimleri moment aktarmayan tek katlı prefabrike betonarme çerçevelerden oluşan yapılar, ülkemizde inşa edilen endüstriyel yapılar içinde oldukça geniş bir yer kaplamaktadır.

Bu çalışma kapsamında *Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007*'e göre tasarımı yapılan tek katlı prefabrike betonarme bir yapının üç boyutlu analitik modeli oluşturulmuştur. *Seismostruct* yapı analiz programı kullanılarak, yalın ve sönümleyicili (KES yerleştirilmiş) olmak üzere iki ayrı model oluşturulmuştur. Seçilen 10 adet yer hareketi kaydının üç bileşeni dikkate alınmak suretiyle zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler gerçekleştirilmiştir. Yer hareketine ait kayıtların iki yatay bileşeni, doğrultuları değiştirilmek suretiyle yapı modeline uygulanmıştır. Dolayısıyla analizler iki farklı yükleme durumu (YD1 ve YD2) için gerçekleştirilmiştir.

Yukarıda özellikleri ayrıntılı biçimde verilen tek katlı prefabrike betonarme endüstriyel yapıya ait yalın ve sönümleyicili modellerin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri, YD1 ve YD2 için icra edilmiş, böylece dört grup çözüm gerçekleştirilmiştir. Elde edilen analiz sonuçları, dört farklı çözümde kullanılan 10 yer hareketinden elde edilen en büyük değerler ve bu değerlerin ortalaması ile değerlendirilmiştir.

Yalın yapı modeli için, kolon üst ucuna ait yatay yerdeğiştirme, kolon alt ucuna ait eğilme momenti-eğrilik ilişkisi, kolon alt ucuna ait eğilme momenti-normal kuvvet ilişkisi, kolonda oluşan kesme kuvveti, kolon üst ucunda meydana gelen ivme ve kolon alt ucuna ait birim şekildeğiştirme büyüklükleri takip edilmiştir. Sönümleyicili yapı modelinde ise, yalın yapı modelinde takip edilen büyüklüklere ilave olarak, sönümleyici eksenel kuvvet-eksenel yerdeğiştirme ilişkisi de takip edilmiştir.

Yalın yapıya KES'ler yerleştirildikten sonra, kolon üst uçlarında oluşan yatay yerdeğiştirme değerleri, yapı modelinin x eksenini doğrultusunda yaklaşık % 40, y eksenini doğrultusunda ise yaklaşık % 90 mertebesinde azalmıştır. Yapı modelinin y eksenini doğrultusunda yerleştirilen sönümleyicilerin bağlantı elemanları olarak kullanılan kuşak elemanlar ve çapraz elemanlar dolayısıyla yapı modelinin bu doğrultudaki yatay rijitliği oldukça artmıştır. Dolayısıyla kolon üst uçlarında, yapı modelinin y eksenini doğrultusunda oluşan yatay yerdeğiştirmedeki azalma miktarı,

x eksenini doğrultusunda oluşan yatay yerdeğiştirmedeki azalma miktarından daha fazladır.

Görelî kat ötelemesinde meydana gelen azalma miktarları, yapı modelinin x eksenini doğrultusunda yaklaşık % 40, y eksenini doğrultusunda ise yaklaşık % 90 mertebesinde gerçekleşmiştir. Yalın yapı modelinde, x eksenini doğrultusunda meydana gelen görelî kat ötelemesi değeri *TDY 2007*'de belirtilen *güvenlik sınırını* geçmektedir. Sönümleyicili yapı modelinde ise x eksenini doğrultusunda meydana gelen görelî kat ötelemesi değeri *güvenlik sınırının* altında kalmaktadır. y eksenini doğrultusunda oluşan görelî kat ötelemesi değeri, yalın yapı modeli için *minimum hasar sınırını* aşarken, sönümleyicilerin yerleştirilmesi ile birlikte *minimum hasar sınırının* çok altında kalmaktadır.

Kolon alt uç kesitinde oluşan eğilme momenti, normal kuvvet ve eğrilik değerleri, yapıya KES'lerin eklenmesi ile birlikte, azalmaktadır. Yapı modeli y eksenini etrafında oluşan eğilme momenti % 16 mertebesinde azalırken, x eksenini etrafında oluşan eğilme momentindeki azalma % 80 mertebesinde dir. Yapı modelinin y ve x eksenleri etrafında oluşan eğrilik değerlerindeki azalma sırasıyla % 54 ve % 93 olarak belirlenmektedir. Kolonların alt ucunda oluşan normal kuvvet büyüklükleri ise % 24 mertebesinde azalmaktadır.

Kolon alt uç kesitinde oluşan birim şekildeğiştirme değerleri, kolon kesitinde belirlenen boyuna donatı, kabuk beton ve çekirdek beton liflerinde oluşan birim şekildeğiştirme değerleri ile takip edilmiştir. Yalın yapı modelinde kolon alt uç kesitindeki boyuna donatıda meydana gelen ortalama birim şekildeğiştirme değerleri için en büyük değeri 0.0101 (S61 kolonu) olup neredeyse *minimum hasar üst sınırında* (0.010) iken, sönümleyicili yapı modeli için bu değeri 0.0054 olup *minimum hasar üst sınırının* altına düşmektedir. Boyuna donatıda meydana gelen ortalama birim şekildeğiştirme değerlerinin en büyüğündeki azalma yaklaşık olarak % 47 mertebesinde dir. Ortalama değerler dikkate alındığında, yalın yapı modeli için kolon alt uç kesitlerinde oluşan birim şekildeğiştirme değeri ortalaması 0.0069, sönümleyicili yapı modeli için ise 0.0028 olarak belirlenmektedir. Bu durumda azalma miktarı % 59 mertebesinde gerçekleşmektedir.

Yalın yapı modelinde kolon alt uç kesitindeki kabuk betonda meydana gelen ortalama birim şekildeğiştirme değerleri için en büyük değeri 0.010 (S61 kolonu)

olup *minimum hasar üst sınırının* (0.0035) üzerindedir. Sönümleyicili yapı modeli için kabuk betonda meydana gelen ortalama birim şekildeğiştirme değeri 0.0053'tür. Kabuk betonda oluşan birim şekildeğiştirme yaklaşık olarak % 47 azalmakla birlikte *minimum hasar üst sınırının* üzerindedir. Ortalama değerler dikkate alınacak olursa, yalın yapı modeli için kolon alt uç kesitlerinde oluşan birim şekildeğiştirme değeri ortalaması 0.0070, sönümleyicili yapı modeli için ise 0.0027 olarak belirlenmekte ve azalma miktarı % 61 mertebesinde gerçekleşmektedir.

Yalın yapı modelinde kolon alt uç kesitindeki çekirdek betonda oluşan ortalama birim şekildeğiştirme değerleri için en büyük değer 0.0101 (S61 kolonu) olup *kesit güvenlik üst sınırının* (0.0135) altındadır. Sönümleyicili yapı modeli için çekirdek betonda meydana gelen ortalama birim şekildeğiştirme değeri 0.0053'tür. Çekirdek beton birim şekildeğiştirmesi yaklaşık olarak % 48 azalmaktadır. Ortalama değerler karşılaştırıldığında, yalın ve sönümleyicili yapı modeli için kolon alt uç kesitlerinde oluşan birim şekildeğiştirme değeri ortalaması sırasıyla 0.0068 ve 0.0028 olarak belirlenmektedir. Sönümleyicilerin yapıya yerleştirilmesi ile birlikte kolon alt uç kesitlerinde çekirdek betonda oluşan birim şekildeğiştirme değeri ortalamasında meydana gelen azalma % 61 mertebesinde dir.

Yalın yapı ve sönümleyicili yapı modellerinde kolonlarda oluşan kesme kuvveti değerleri takip edilerek, kolon kesiti kesme dayanımı ve kiriş-kolon birleşimi kesme dayanımı ile karşılaştırılmıştır. Kolon üst ucunda, yapı modelinin x ve y eksenleri doğrultusunda oluşan kesme kuvvetleri, iki farklı birleşim kesme dayanımı değeri ile karşılaştırılmıştır. Çünkü kolonlar üst uçlarında, yapı modeli x eksen doğrultusunda eğik çatı kirişleri ile birleştirilirken, y eksen doğrultusunda ise oluk kirişleri ile birleştirilmektedir. Ayrıca, kolon üst ucu ile KES'lerin bağlantı noktası arasında kalan bölgede oluşan kesme kuvveti (kolon üst ucunda oluşan kesme kuvvetine eşittir) kolon kesiti kesme dayanımı ile karşılaştırılmıştır. Bununla birlikte KES bağlantı noktası-kolon alt ucu arasında kalan bölgede oluşan kesme kuvveti, kolon kesiti kesme dayanımı ile karşılaştırılmıştır.

Kiriş-kolon birleşimi kesme dayanımı, yapı modeli x eksen doğrultusunda 88 kN (malzeme karakteristik dayanımları kullanılacak olursa 116 kN) olarak belirlenmiştir. Sönümleyicili yapı modeli için kolon üst ucunda ve yapı modelinin x eksen doğrultusunda oluşan en büyük kesme kuvveti değerleri ortalamaları 86.8 kN ile 111.7 kN değerleri arasında değişmekte olup birleşim için hesap edilen kesme

dayanımına oldukça yakındır. Bununla birlikte kolon üst uçlarında elde edilen en büyük kesme kuvveti değerleri 118.6 kN ile 203 kN arasında değişmektedir. Dolayısıyla birleşimin kesme dayanımının, yapı modeli x eksenini doğrultusunda uygun bir detay kullanılarak artırılması gerekmektedir.

Kiriş-kolon birleşiminin yapı modeli y eksenini doğrultusundaki kesme dayanımı 132 kN olarak belirlenmiştir. Sönümleyicili yapı modeli kolon üst ucunda ve y eksenini doğrultusunda oluşan en büyük kesme kuvveti değerleri ortalamaları 13.9 kN ile 59.1 kN değerleri arasında değişmektedir. Kolon üst ucunda, yapı modeli y doğrultusunda elde edilen en büyük kesme kuvveti değerleri ise 22.8 kN ile 129.2 kN arasında değişmektedir. Oluk kirişi-kolon birleşiminde aktarılacak kesme kuvveti, birleşimdeki rodlara ait kesme dayanımı dikkate alınarak hesaplanan kesme kuvveti kapasitesine oldukça yakındır.

Yapı modelinde kullanılan kolonların kesit kesme dayanımı, kolon sarılma bölgesi ve orta bölgesi için sırasıyla 548 kN ve 398 kN olarak hesaplanmıştır. Sönümleyicili yapı modelinde, kolon üst ucu-KES bağlantı noktası ile KES bağlantı noktası-kolon alt ucu arasında kalan bölgelerde oluşan kesme kuvveti değerleri, kolon kesiti kesme dayanımını, yapı modelinin x ve y doğrultularında aşmamaktadır.

Sönümleyicili yapı modelinde, kolon üst ucunda oluşan ivme değerleri yalın yapı modeline göre artmıştır. Yapı modelinin x eksenini doğrultusunda meydana gelen artış miktarı yaklaşık olarak % 11 iken, y eksenini doğrultusunda meydana gelen artış S41 ve S61 kolonlarında oluşan artış % 81 mertebesindedir. Sönümleyicili yapı modelinde y eksenini doğrultusuna yerleştirilen sönümleyicilerin bağlantısını sağlamak için kullanılan kuşak elemanlar ve çapraz elemanlar dolayısıyla yapı modelinin bu doğrultudaki yatay rijitliği oldukça artmıştır. Dolayısıyla yapı modelinin y eksenini doğrultusunda kolon üst uçlarında oluşan yatay ivme değerindeki artış, x eksenini doğrultusunda oluşan yatay ivme artışına kıyasla daha fazladır.

Sönümleyicili yapı modeli, yalın yapı modelinin içerisine x eksenini doğrultusunda 22 adet (11×2) ve y eksenini doğrultusunda 8 adet (2×4) KES yerleştirilerek oluşturulmuştur. Kullanılan tüm KES'lerin eksenel kuvvet-eksenel yerdeğiştirme ilişkileri incelenmiş ve icra edilen analizler sırasında çalışmaları tespit edilmiştir. Yapı x ve y eksenini doğrultusunda yerleştirilen KES'lerde meydana gelen en büyük eksenel yerdeğiştirme miktarı sırasıyla 26 mm ve 22 mm olarak belirlenmiştir.

İncelenen sanayi yapısının, iki ana doğrultuda KES'ler kullanılarak güçlendirilmesi durumunda; güçlendirme maliyeti, yapı taşıyıcı sistem maliyetinin % 60-65'i düzeyinde olmaktadır. Bu güçlendirme maliyeti belirlenirken KES boyutları ve sayısı üzerinde bir optimizasyon çalışması yapılmamıştır. Yapının esas çerçeve doğrultusunda KES'ler ile, çerçeve düzlemine dik doğrultuda ise sadece çelik çaprazlarla güçlendirilmesi halinde, güçlendirme maliyetinin taşıyıcı sistem bedelinin % 20-25'i mertebesinde kalacağı hesaplanmıştır.

Bir sanayi tesisinin güçlendirilmesi için yöntem belirlenirken dikkate alınacak en önemli kısıtlardan biri tesisteki imalat sürecinin en az etkilenmesidir. Diğer yöntemler ile karşılaştırıldığında, bu çalışmada önerilen güçlendirme yönteminin gerek uygulama süresinin kısalığı gerekse tesisteki ekipmanların konumlarında değişiklik gerektirmemesi dolayısıyla avantajlı durumda olduğu söylenebilir.

Sanayi tesisi faaliyetinin sınırlandırılması ya da durdurulması, tesis için önemli bir maliyet kaybı oluşturabilecektir. Bu nedenle, seçilecek güçlendirme yönteminin toplam maliyeti sadece uygulama maliyeti ile sınırlı kalmayıp tesisinin çalışma düzeninin etkilenmesi ile ortaya çıkacak maliyet kayıplarını da içerecektir. Bu çalışmada önerilen güçlendirme yönteminin, ortaya çıkacak toplam maliyet dikkate alındığında, daha ekonomik bir çözüm olacağı öngörülmektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Kiriş-kolon birleşimleri moment aktarmayan tek katlı prefabrike betonarme çerçeveler endüstriyel yapı sistemlerinde yaygın olarak kullanılan taşıyıcı sistemlerdir.

Ülkemizde yakın zamanda yaşanan depremlerde (Ceyhan (1998), Kocaeli (1999), Düzce (1999)) bu tür yapı sistemlerinin bir kısmında hasar meydana geldiği görülmüştür. Oluşan hasarlar, moment aktarmayan kiriş-kolon birleşim rodlarında taşıma kapasitesinin tükenmesi veya kolon alt ucunda büyük plastik şekil değiştirme oluşması şeklinde ortaya çıkmıştır.

Son yıllarda, yapı sistemlerinin deprem etkisi altındaki davranışını iyileştirebilmek için, yapı sistemleri içerisine ilave sönüm katkısı sağlamak üzere, enerji sönümleme aygıtları yerleştirilme yoluna gidilmektedir. Enerji sönüm aygıtları, yeni yapılacak veya mevcut olan yapılara uygulanarak, yapı sistemlerinin davranışı iyileştirebilmekte ve deprem etkisinde oluşacak istem azaltılabilmektedir. Enerji sönümleme aygıtının türüne bağlı olarak, yapı sistemleri içerisinde meydana gelebilecek hasarın, yapısal elemanlardan çok daha kolay değiştirilebilecek olan enerji sönüm aygıtlarında toplanması da mümkün olabilmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında, moment aktarmayan kiriş-kolon birleşimlerine sahip betonarme prefabrike yapı sistemlerinde kullanılmak üzere bir enerji sönümleme aygıtı geliştirilmiştir. Pasif enerji sönümleyici grubunda yer alan kurşun ekstrüzyon sönümleyici (KES), farklı genlik ve frekansa sahip sinüzoidal dalgalar etkisinde yer değiştirme kontrollü olarak test edilerek, dinamik özellikleri belirlenmiştir. KES içerisinde yer alan kurşun üzerinde, öngerilme etkisi oluşturulması ve oluşturulmaması hallerinde, KES özelliklerinin nasıl etkilendiği araştırılmıştır.

Moment aktarmayan kiriş-kolon birleşimine sahip tek katlı betonarme prefabrike çerçeveyi temsil edecek şekilde, İstanbul Teknik Üniveristesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı'nda yer alan sarsma masası deney sisteminde test edilecek boyutlarda numuneler üretilmiştir. Soket temel, kolon ve kirişten oluşan bu

numuneler, ülkemizde kullanılan prefabrike betonarme yapı elemanlarının üretilme ve montaj tekniğine uygun olarak oluşturulmuştur. Yalın haldeki ve KES yerleştirilerek (sönümleyicili) oluşturulan numuneler, sarsma masası deney sisteminde, Erzincan depremi doğu-batı bileşeni ivme kaydı kullanılmak suretiyle dinamik olarak test edilmiştir. Böylece yalın ve sönümleyicili numunelerin deprem etkisi altındaki davranışı belirlenmiş ve birbirleri ile karşılaştırılmıştır.

Deneysel çalışmadan sonra, yalın ve sönümleyicili birleşim numunelerine ait malzeme özellikleri, deneysel çalışmada belirlenen ivme kayıtları ve KES eleman deneyleri ile belirlenen büyüklükler analitik modelin oluşturulması için kullanılmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan ivme kayıtları, Erzincan depremi doğu-batı bileşeni ivme kaydının 0.10, 0.25, 0.50, 0.75, 1.00, 1.25 ve 1.40 katları olarak belirlenmiştir. Yalın ve sönümleyicili birleşim numuneleri için gerçekleştirilen kuramsal çalışmadan elde edilen tepe yerdeğiştirme, tepe ve temel üstü (kolon alt ucu) ivme ve kolon alt ucu dönme değerlerinin zamana bağlı olarak değişimleri, deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

Tez çalışmasının son bölümünde, *TDY 2007*'e göre tasarımı yapılmış, kiriş-kolon birleşimleri moment aktarmayan tek katlı betonarme prefabrike bir yapı sisteminin analitik modeli üç boyutlu olarak oluşturulmuştur. Yapı sisteminin analitik modelinin kurulması ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerinin gerçekleştirilmesi için *Seismostruct* yapı analiz programı kullanılmıştır. İncelenen sistemin mevcut deprem güvenliğinin artırılması için her iki doğrultuda yeter sayıda KES kullanılmıştır.

Yapısal analizlerde kullanmak üzere, yapı tasarımının gerçekleştirildiği deprem bölgesi ve zemin koşullarına uygun olarak elastik ivme spektrumu oluşturulmuş ve *TDY 2007*'de belirtilen şartlara uygun olacak şekilde 10 adet ivme kaydı belirlenmiştir. Oluşturulan üç boyutlu yalın ve sönümleyicili yapı modellerinde, depremin üç bileşeni de dikkate alınarak sayısal analizler gerçekleştirilmiştir. Yer hareketine ait kayıtların iki yatay bileşeni, doğrultuları değiştirilmek suretiyle yapı modellerine uygulanmıştır. Dolayısıyla, iki farklı yükleme durumu için zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yapılmıştır.

Yalın ve sönümleyicili yapı modelleri için, kolon üst ucu yatay yerdeğiştirme, ivme ve kesme kuvveti ile kolon alt ucu eğilme momenti-eğrilik, eğilme momenti-normal

kuvvet ve birim şekildeğiştirme büyüklükleri takip edilmiş ve yapı model davranışlarının karşılaştırılması için kullanılmıştır. Sönümleyicili yapı modelinde, yalın yapı modeline ilave olarak, kolon-KES bağlantı noktası alt kesitinde oluşan kesme kuvveti ile yerleştirilen KES'lere ait eksenel kuvvet-eksenel yerdeğiştirme ilişkileri de takip edilmiştir.

Yukarıda kısaca özetlenen tez çalışmasında ulaşılan önemli sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

- 1) KES'lere ait eksenel kuvvet-eksenel yerdeğiştirme ilişkileri, enerji tüketme potansiyelinin yüksek olduğunu gösteren, dikdörtgen biçimindedir.
- 2) Kurşun üzerinde oluşturulan öngerilme işlemi, KES'e ait akma kuvvetini önemli miktarda arttırmaktadır.
- 3) KES'lere ait eksenel kuvvet-eksenel yerdeğiştirme ilişkilerinde yükleme ve boşaltma kolları başlangıç rijitlik koluna paralel oluşmaktadır.
- 4) KES'lere ait eşdeğer sönüm oranı % 58 olarak belirlenmiştir.
- 5) Moment aktarmayan kiriş-kolon birleşimlerine sahip betonarme prefabrike çerçevelerin kiriş-kolon birleşimi bölgesine yerleştirilen KES, çerçevenin yatay rijitliğini arttırdığı için, çerçevede oluşan tepe yerdeğiştirmesini sınırlandırmaktadır. Dolayısıyla bu tür çerçevelerde oluşan görelî kat öteleme ve kolon alt ucunda meydana gelen dönme miktarı azalmaktadır.
- 6) Çerçeve yatay hareketi sınırlandırıldığı ve çerçeveye ilave sönüm özelliği kazandırıldığı için, kolon alt ucunda meydana gelen plastik deformasyonun mertebesi azalmaktadır.
- 7) Çerçeve yatay rijitliğinin artması dolayısıyla meydana gelecek ivme değerleri artabilmektedir. Ancak çerçeve içerisinde kullanılacak KES'in rijitlik ve sönüm özelliklerine bağlı olarak, çerçevede oluşacak ivme değerleri kontrol altında tutulabilecektir.
- 8) Moment aktarmayan kiriş-kolon birleşimlerinde meydana gelen kayma ve dönme, bu bölgeye yerleştirilen KES tarafından sınırlandırılmaktadır. Bu tür çerçevelerde KES uygulamasının yapılması, sismik tasarımda oluşması beklenen etkilerin üzerine çıkılması durumunda dahi kiriş-kolon birleşimi için ilave kayma ve dönme güvenliği sağlayacaktır.

- 9) Moment aktarmayan kiriş-kolon birleşim bölgesine yerleştirilen KES dolayısıyla, kiriş-kolon birleşim bölgesi elemanlarındaki iç kuvvet dağılımı değiştiği için bu elemanların mevcut taşıma kapasiteleri kontrol edilmelidir.
- 10) Moment aktarmayan kiriş-kolon birleşim numunelerine ait kuramsal çalışma sonuçları ile deneysel çalışma sonuçları birbirine oldukça yakındır. Yalın ve sönümleyicili durumlar için, tepe yerdeğiştirmesinin zamana bağlı değişimi çok yakın olarak takip edilebilmiştir. Tepe ivme-zaman ve temel ivme-zaman ilişkilerinde ise kuramsal ve deneysel çalışma sonuçları birbirine yakındır.
- 11) Deneysel ve kuramsal çalışmalardan elde edilen KES eksenel kuvvet-eksenel yerdeğiştirme ilişkileri birbirine oldukça benzemektedir. Dolayısıyla, KES'in temsil edilmesi için *Seismostruct* yazılımında kullanılan bağlantı elemanı seçiminin uygun olduğu anlaşılmaktadır. Ancak bağlantı elemanı davranışını tanımlamak üzere kullanılacak büyüklükler mutlaka sönümleyici eleman deneyleri ile belirlenmelidir.
- 12) Betonarme prefabrike kiriş-kolon birleşim bölgesine KES yerleştirilmesi için, kiriş ve kolon elemanlar üzerine monte edilecek bağlantı detayları önem kazanmaktadır. Yeterli dayanım ile uzunluğa sahip ankraj bulonları ve sadece alın levhası kullanılarak, kolon ve kiriş elemanların bir yüzünde bağlantı detayı oluşturulabilmektedir. Kolon ve kiriş elemanların bir yüzünde bağlantı yapılmasının yeterli olmayacağı ve yerinde bağlantı detayı montajına uygun bir alan bulunan kiriş-kolon birleşim bölgelerinde, kolon ve kiriş elemanların üç yüzü kullanılarak bağlantı detayı oluşturulması da mümkündür.
- 13) Bölüm 4'te incelenen üç boyutlu gerçek yapı sisteminde KES kullanımı ile kolon tepe yerdeğiştirmeleri çerçeve doğrultusunda % 40, çerçeve düzlemine dik doğrultuda % 90 mertebesinde küçülmektedir. Mertebeler arasındaki farkın büyük olmasının nedeni her iki doğrultuda KES'lerin yerleştirilme biçiminin farklı olmasıdır.
- 14) Üç boyutlu gerçek yapı sisteminde, KES ile yapılan güçlendirme sonrasında kolon üst uçlarındaki yatay ivmeler çerçeve doğrultusunda % 11, çerçeve düzlemine dik doğrultuda ise % 81 artmaktadır.
- 15) KES ile güçlendirilmiş yapıda, kolonlarda artan kesme kuvveti istemleri mevcut kolon kesme kapasitesi ile taşınabilmektedir. Güçlendirilmiş yapının

kolonlarında oluşan en büyük kesme kuvveti değerleri, kolon sarılma ve orta bölgesi kesit kesme dayanımı değerlerinin yarısına ulaşmamaktadır.

- 16) KES ile güçlendirilmiş yapıda, kiriş-kolon birleşiminde oluşan kesme kuvveti, özellikle çerçeve doğrultusunda artmakta ve kiriş-kolon birleşimi kesme dayanımını aşmaktadır. Dolayısıyla güçlendirilme aşamasında kiriş-kolon birleşimi kesme dayanımlarının da artırılması gerekmektedir. Bu amaçla uygulanabilecek bir birleşim detayı Bölüm 4'te verilmiştir.
- 17) KES ile güçlendirilmiş yapıda, çerçeve düzlemine dik doğrultuda yer alan oluk kiriş-kolon birleşiminde oluşan kesme kuvveti artmakta ve birleşimin kesme dayanımına oldukça yaklaşmaktadır. Oluk kiriş-kolon birleşimi kesme dayanımlarının da artırılması gerekebilecektir.
- 18) KES ile güçlendirilmiş yapının kolon-KES bağlantı noktasında, beklenildiği gibi, eğilme momenti artışı gerçekleştiğinden kolon alt ucunda oluşan eğilme momenti azalmaktadır.
- 19) KES ile güçlendirilmiş yapıda kolonların alt uç kesitlerinde eğrilik azalmaktadır. Bu kesitlerde kabuk beton, çekirdek beton ve boyuna donatıda meydana gelen birim şekildeğiştirme değerlerindeki azalma yaklaşık olarak % 50-60 mertebesinde.
- 20) Farklı rijitlik ve sönüm özelliklerine sahip yapı sistemlerinde, uygun KES seçiminin yapılabilmesi ve uygun konumlara yerleştirilebilmesi için, doğru analitik modeller ile kuramsal çalışma yapılması gerekmektedir. Deprem etkisindeki bir yapı sisteminde gerçekleşecek istemlerin, özellikleri ve yerleşimi doğru belirlenmiş KES'ler yardımıyla, istenilen düzeye indirilebileceği bu tez çalışması ile ispatlanmıştır.

Bu tez çalışması kapsamında tasarımı ve üretimi gerçekleştirilen KES ± 34.9 mm yerdeğiştirme kapasitesine sahiptir. Kullanılan deney düzeneğinin yükleme kapasitesi dolayısıyla, öngerilmemiş KES için ± 4.0 mm ve öngerilmeli KES için ± 2.5 mm yerdeğiştirme bölgesi içerisinde, KES'e ait özellikler belirlenmiştir. Frekans taraması yapılabilen alan sınırları öngerilmeli KES'de 0.1Hz ile 0.5Hz iken, öngerilmemiş KES'de 0.1 Hz ile 1.0 Hz olmuştur.

Aynı geometrik özelliklere sahip olan öngerilmemiş ve öngerilmeli KES için, yükleme kapasitesi yeterli olan bir deney düzeneği içerisinde, yerdeğiştirme

kapasitesinin tümü kullanılarak gerçekleştirilecek bir deneysel çalışmanın, daha büyük yerdeğiştirme düzeylerinde KES'e ait özelliklerin değişip değişmediğini anlamak bakımından faydalı olacağı düşünölmektedir.

KES'e ait geometrik özellikler, sönümleyiciye ait akma kuvvetini etkilemektedir. Farklı geometrik özelliklere sahip KES'ler üzerinde deneysel çalışmalar yapılarak, geometri-akma kuvveti ilişkisi kurulması, istenilen özelliklere sahip KES üretimine olanak sağlayabilecektir.

Bu tez çalışması kapsamında kullanılan KES'e ait şaft üzerinde yer alan çıkıntı küre şeklindedir. Çıkıntıya ait geometrik biçimin değiştirilmesi durumunda, KES'e ait özelliklerin değişimini belirleyecek bir deneysel çalışma yeni KES türlerinin geliştirilmesi için önemlidir.

KES'ler; tersinir tekrarlı yükler etkisindeki davranışın iyileştirilmesi amacıyla, prefabrike betonarme yapı sistemlerindeki moment aktarmayan kiriş-kolon birleşimlerinin yanı sıra, geleneksel betonarme ve çelik çerçeve türü sistemlerin moment aktaran rijit ya da yarı rijit birleşimlerinde de kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- Apostolska R., Necevska-Cvetanovska G., Bojadziev J., Fishinger M., Isakovic T., Kramar M.** (2012). Analytical Investigations of Beam-Column Connections in Precast Buildings Under Seismic Loads, *15th World Conference on Earthquake Engineering*, Lisbon, Portugal, 24-28 September.
- Barbat A.H., Bozzo L.M.** (1997). Seismic Analysis of Base Isolated Buildings, *Archives of Computational Methods in Engineering*, 4 (2):153-192.
- Birchenall C.E.** (1959). *Physical Metallurgy*, McGraw Hill, London.
- Capozzi V., Magliulo G., Manfredi G.** (2012). Nonlinear Mechanical Model of Seismic Behaviour of Beam-Column Pin Connections, *15th World Conference on Earthquake Engineering*, Lisbon, Portugal, 24-28 September.
- Chopra A.K.** (2001). *Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering*. Pearson Prentice Hall, Pearson Education Inc., Upper Saddle River, NJ 07458.
- Cousins W.J., Porritt T.E.** (1993). Improvements to Lead Extrusion Damper Technology, *Bulletin of the New Zealand National Society for Earthquake Engineering*, 26 (3), pp. 342-348.
- Cousins W.J., Robinson W.H., McVerry G.H.** (1992). Recent Developments in Devices for Seismic Isolation, *Bulletin of the New Zealand National Society for Earthquake Engineering*, 25 (3), pp. 167-174.
- Filippou F.C., Popov E.P., Bertero V.V.** (1983). Effects of bond deterioration on hysteretic behaviour of reinforced concrete joints, *Report EERC 83-19*, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley.
- Fischinger M., Zoubek B., Kramar M., Isakovic T.** (2012). Cyclic Response of Dowel Connections in Precast Structures, *15th World Conference on Earthquake Engineering*, Lisbon, Portugal, 24-28 September.
- Fragiadakis M., Pinho R., Antoniou S.** (2008) Modelling Inelastic Buckling of Reinforcing Bars Under Earthquake Loading. In *Progress in Computational Dynamics and Earthquake Engineering*. M. Papadrakakis, D.C. Charmpis, N.D. Lagaros and Y. Tsompanakis (Eds.), A.A. Balkema Publishers-Taylor&Francis, The Netherlands.
- Golondrino J.C., Chase J.G., Rodgers G.W., MacRae G.A.ve Clifton C.G.** (2012). Velocity Effects on the Behaviour of High-Force-to-Volume Lead Dampers (HF2V) Using Different Shaft Configurations, *15th World Conference On Earthquake Engineering*, Lisbon/Portugal, 24-28 September.

- Hanson R.D., Aiken I.D., Nims D.K., Richter P.J., Batchman R.E.** (1993). State of the Art and State of The Practice in Seismic Engineering Dissipation, *Proceedings of ATC-17-1 Seminar on Seismic Isolation, Passive Energy Dissipation and Active Control*, Applied Technology Council, San Francisco, California.
- Kramar M., Isakovic T., Fischinger M.** (2010). Experimental Investigation of Pinned Beam-to-Column Connections in Precast Industrial Buildings, *14th European Conference on Earthquake Engineering*, Ohrid, Republic of Macedonia, 30 August-03 September.
- Madas P.(1993).** *Advanced Modeling of Composite Frames Subjected to Earthquake Loading*, PhD Thesis, Imperial College, University of London, London, UK.
- Mander J.B., Priestley M.J.N., Park R.** (1988). Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete, *Journal of Structural Engineering*, Vol. 114, No.8, pp. 1804-1826.
- Martinelli P., Mulas MG.** (2010). An Innovative Passive Control Technique for Industrial Precast Frames, *Engineering Structures*, 32 (4), pp.1123-1132.
- Martinez-Rueda J.E., Elnashai A.S.** (1997). Confined Concrete Model Under Cyclic Load, *Materials and Structures*, Vol. 30, No. 197, pp. 139-147.
- Mata P., Barbat A.H., Oller S., Boroscchek R.** (2008). Constitutive and Geometric Nonlinear Models for the Seismic Analysis of RC Structures with Energy Dissipators. *Arch Comput Methods Eng* 15:489-539.
- Mata P, Oller S, Barbat AH.** (2008). Dynamic Analysis of Beam Structures Considering Geometric and Constitutive Nonlinearity, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 197:857–878.
- Menegotto M., Pinto P.E.** (1973) Method of analysis for cyclically loaded R.C. plane frames including changes in geometry and non-elastic behaviour of elements under combined normal force and bending, *Symposium on the Resistance and Ultimate Deformability of Structures Acted on by Well Defined Repeated Loads*, International Association for Bridge and Structural Engineering, Zurich, Switzerland, pp. 15-22.
- Monti, G., Nuti, C., Santini, S.** (1996). CYRUS-Cyclic Response of Upgraded Sections, *Report No. 96-2*, University of Chieti, Italy.
- Noor, F.A., Boswell, L.F.,** (1992). *Small Scale Modeling of Concrete Structures*. Elsevier Science Publisher Ltd.
- Pearsons C.E.** (1944). *The Extrusion of Metals*, John Wiley and Sons, New York.
- Pearsons C.E, Parkins R.N.** (1960). *The Extrusion of Metals*, pp. 201-221, Chapman and Hall, London.
- PEER NGA Database.** Pacific Earthquake Engineering Research Center: NGA database. (http://peer.berkeley.edu/peer_ground_motion_database/)
- Psycharis I.N., Mouzakis H.P.** (2012a). Shear Resistance of Pinned Connections of Precast Members to Monotonic and Cyclic Loading. *Engineering Structures*, 41:413-427.

- Pscharis I.N., Mouzakis H.P.** (2012b). Assessment of the Seismic Design of Precast Frames with Pinned Connections from Shaking Table Tests. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 10:1795-1817.
- Pugh H. Li. D.** (1970). Hydrostatic Extrusion, *Mechanical Behaviour of Materials Under Pressure*, Applied Science, London.
- Robinson W.H., Cousins W.J.** (1987). Recent Developments in Lead Dampers for Base Isolation, *Pacific Conference On Earthquake Engineering*, Vol.2, New Zealand.
- Robinson W.H., Cousins W.J.** (1988). Lead Dampers for Base Isolation, *Proceedings of the Ninth World Conference on Earthquake Engineering*, August 2-9, Tokyo-Kyoto, Japan, Vol VIII, pp. 427-432.
- Robinson W.H., Greenbank L.R.** (1975). Properties of an Extrusion Energy Absorber, *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, 8 (3), pp. 187-191.
- Robinson W.H., Greenbank L.R.** (1976). Extrusion Energy Absorber Suitable for the Protection of Structures During an Earthquake. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 4 (3), 251-259.
- Rodgers G.W.** (2009). *Next Generation Structural Technologies: Implementing High Force-to-Volume Energy Absorbers*, PhD Thesis. University of Canterbury. New Zealand.
- Rodgers G.W., Chase J.G., Mander J.B., Leach N.C., Denmead C.S., Cleeve D., Heaton D.** (2006a). High Force-to-Volume Extrusion Dampers and Shock Absorbers for Civil Infrastructure, *19th Australasian Conference on Mechanics of Structures and Materials*, Christchurch, New Zealand.
- Rodgers G.W., Chase J.G., Mander J.B., Leach N.C., Denmead C.S.** (2006b). Experimental Development, Tradeoff Analysis and Design Implementation of High Force-to-Volume Extrusion Damper Technology, *Bulletin of the New Zealand National Society for Earthquake Engineering*, 40 (2), pp. 35-48.
- Sadek F., Mohraz B., Taylor A.W., Chung, R.M.** (1996). Passive Energy Dissipating Devices for Seismic Applications, *Report NISTIR 5923*, Building and Fire Research Laboratory, National Institute of Standards and Technology. Gaithersburg, Maryland.
- SeismoSignal** (Version 5.1). A Computer Program for Signal Processing of Strong-Motion Data, (<http://www.seismosoft.com>).
- SeismoStruct** (Version 5.2.2). A Computer Program for Static and Dynamic Nonlinear Analysis of Framed Structures, (<http://www.seismosoft.com>).
- Skinner R.I., Robinson W.H., McVerry G.H.** (1993). *An Introduction to Seismic Isolation*, John Wiley and Sons, New York.
- Soydan C., Koçak M., Özkaynak H., Yüksel E., İrtem E.** (2011). Kurşun Ekstrüzyon Sönümleyicinin Bir Birleşimin Davranışına Olan Etkisi, *7. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, Maslak/İstanbul, 31 Mayıs-3 Haziran.

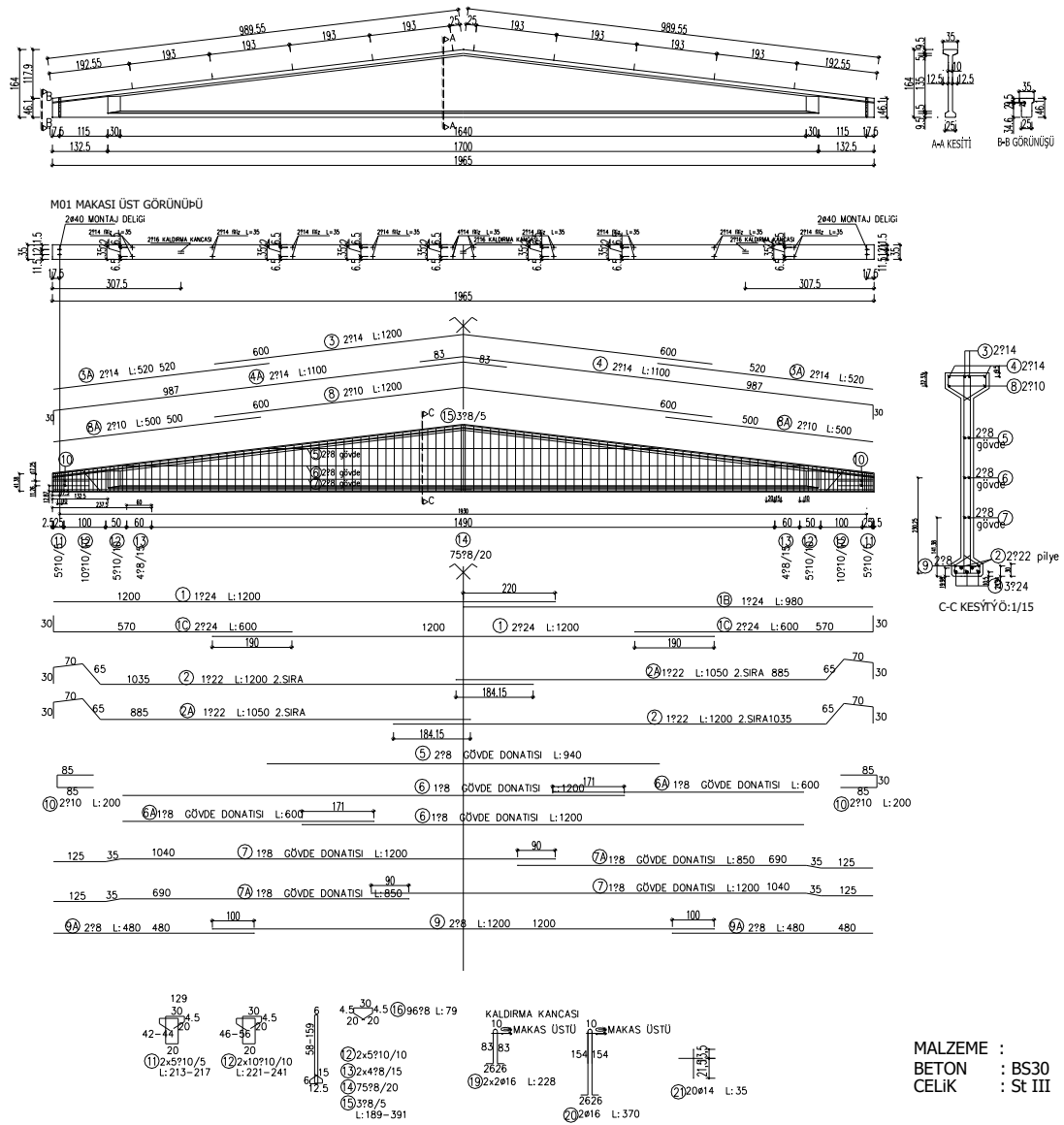
- Soydan C., Yüksel E., İrtem E.** (2014). The Behavior of a Steel Connection Equipped with the Lead Extrusion Damper, *Advances in Structural Engineering-An International Journal*, 17 (1), pp. 25-40.
- TS 500** (2000). *Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 708** (2010). *Çelik-Betonarme İçin-Donatı Çeliği*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Tsai C.S., Lai W.S., Chang C.W., Li M.C.** (2002). Testing and Analysis of a New Lead Extrusion Damper, *Proceedings of Pressure Vessels and Piping Conference*, August 5-9, Vancouver, BC, Canada.
- Tsoukantas S.G., Tassios T.P.** (1989). Shear Resistance of Connections Between Reinforced Concrete Linear Precast Element. *ACI Structural Journal*, 86 (3), pp. 242-249.
- TDY** (2007). *Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik*, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- Vintzeleou E.N., Tassios T.P.** (1985). Mechanics of Load Transfer Along Interfaces in Reinforced Concrete, Prediction of Shear Force vs. Shear Displacement Curves. *Studie de Reserche, No.7*, Corpo di Perfezionamento per le Construzioni in Cemento Amato, Italcementi Societa per Azioni (S. p:A), Bergamo, pp. 121-161.
- Vintzeleou E.N., Tassios T.P.** (1987). Behavior of Dowels Under Cyclic Deformations. *ACI Structural Journal*, 84 (1), pp. 18-30.
- Yassin M.H.M.** (1994). *Nonlinear analysis of prestressed concrete structures under monotonic and cyclic loads*, PhD Thesis. University of California, Berkeley, USA.
- Wulff J., Taylor J.F., Shaler A.J.** (1956). *Metallurgy for Engineers*, John Wiley and Sons, New York.

EKLER

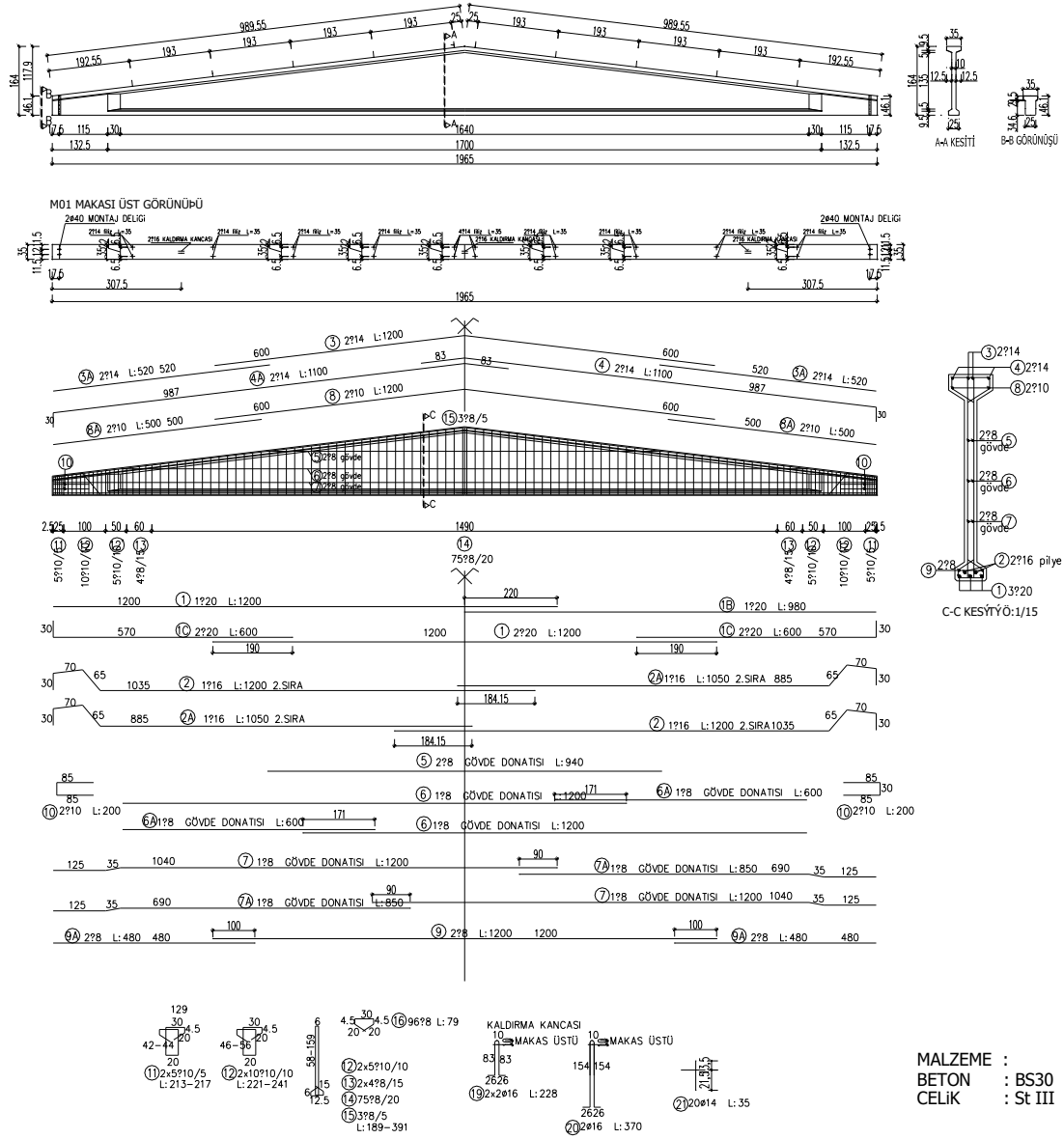
EK A:

- Çatı makası detayları.
- Yalın yapı için zaman tanım alanında gerçekleştirilen doğrusal olmayan analiz sonuçlarının zamana bağlı değişimi.
- Yalın yapı için zaman tanım alanında gerçekleştirilen doğrusal olmayan analiz sonuçlarına ait en büyük değerler, en büyük değerlerin ortalaması ile en büyük değerlerin standart sapma değerleri.

Çatı Makası Detayları

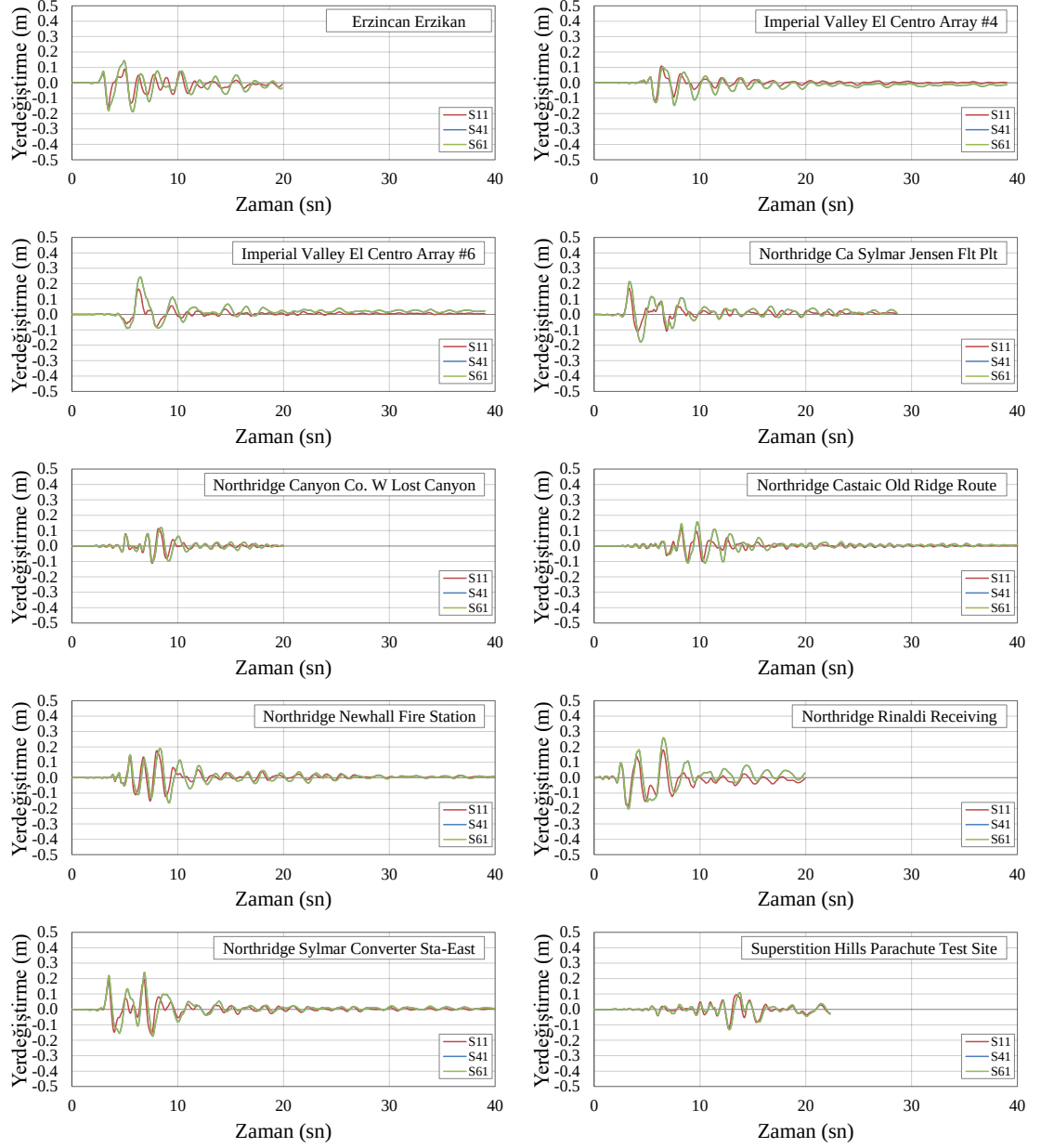


Şekil A.1 : Çatı makası (iç aks).

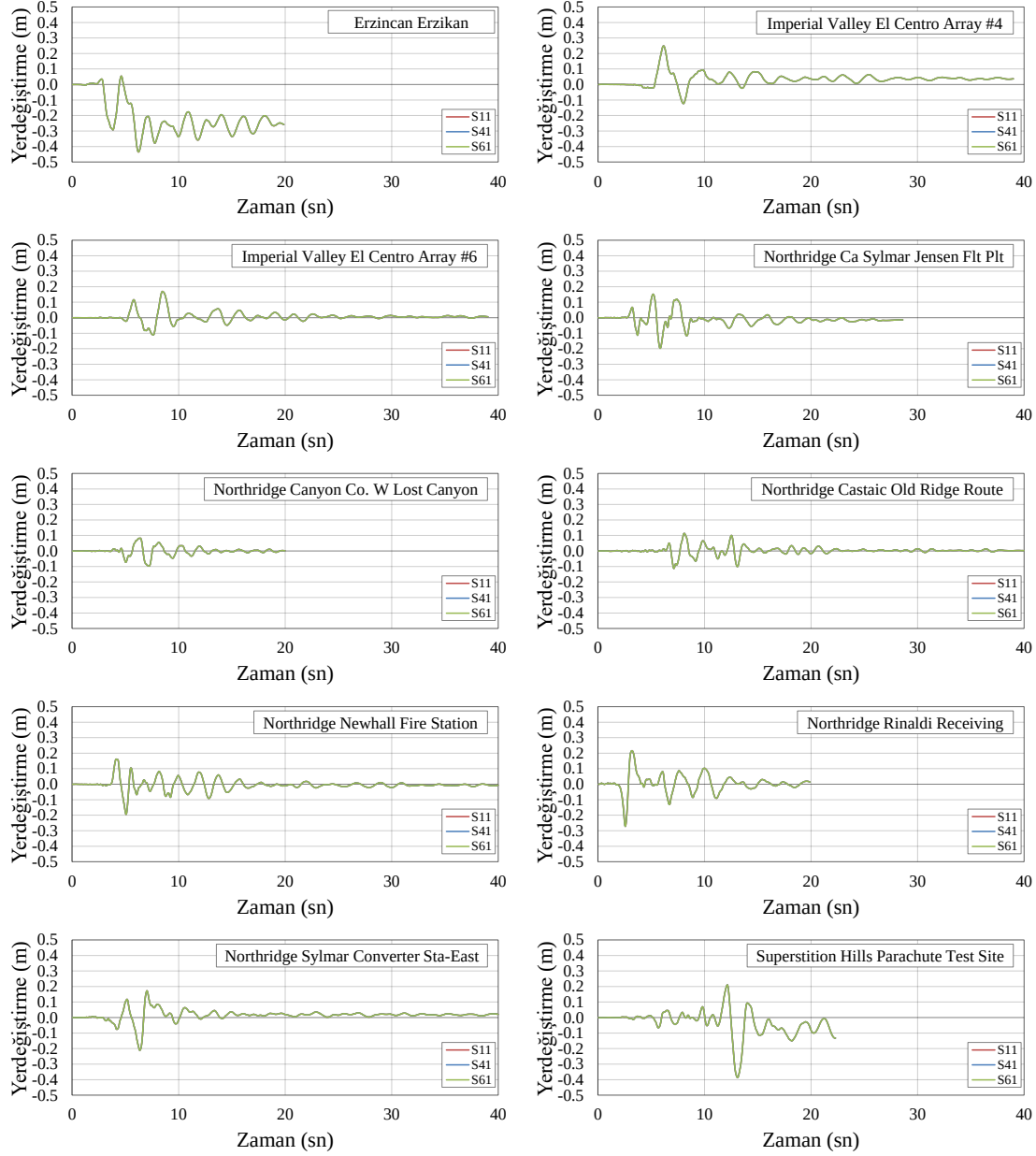


Şekil A.2 : Çatı makası (dış aks).

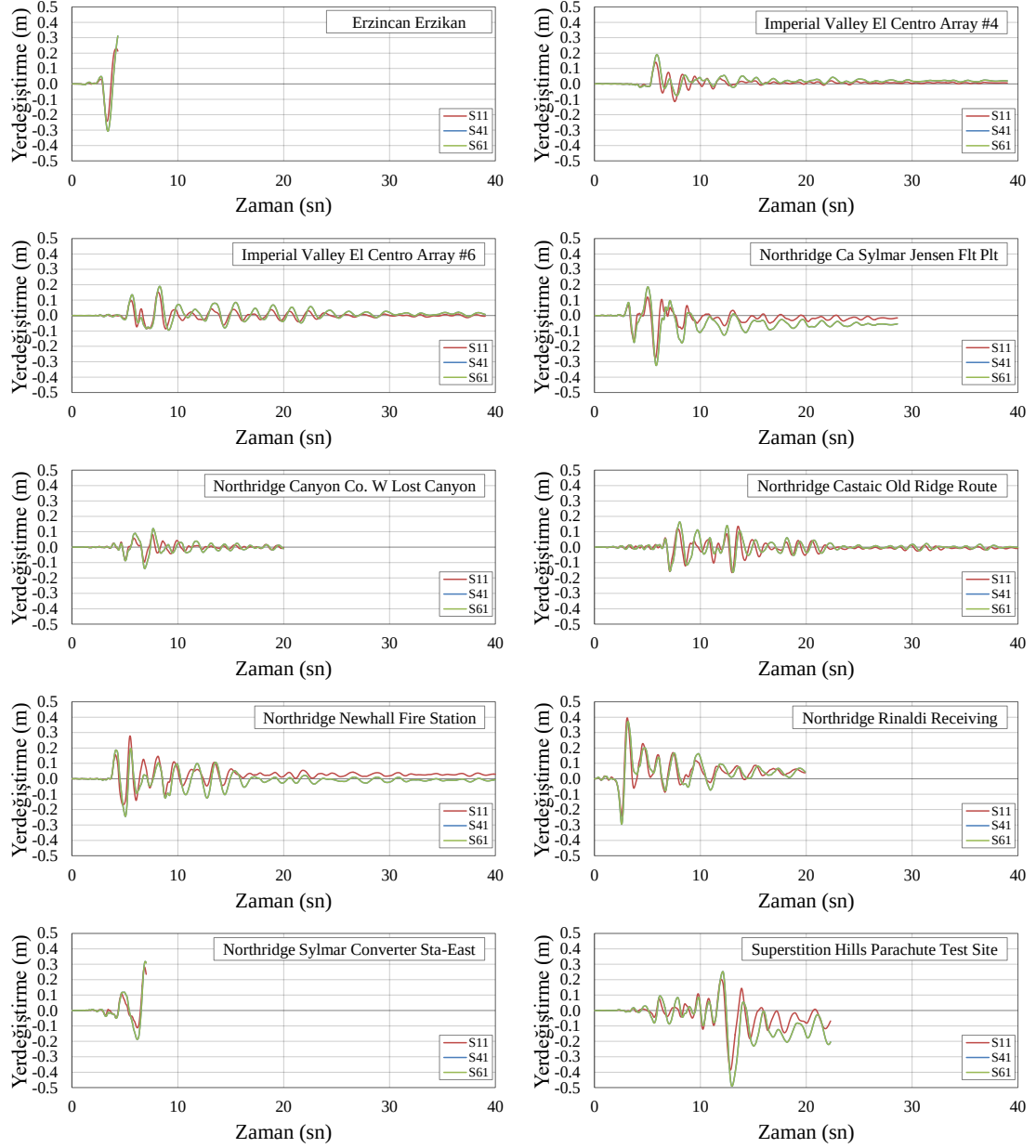
Yalın Yapı İçin Zaman Tanım Alanında Gerçekleştirilen Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçlarının Zamana Bağlı Değişimi



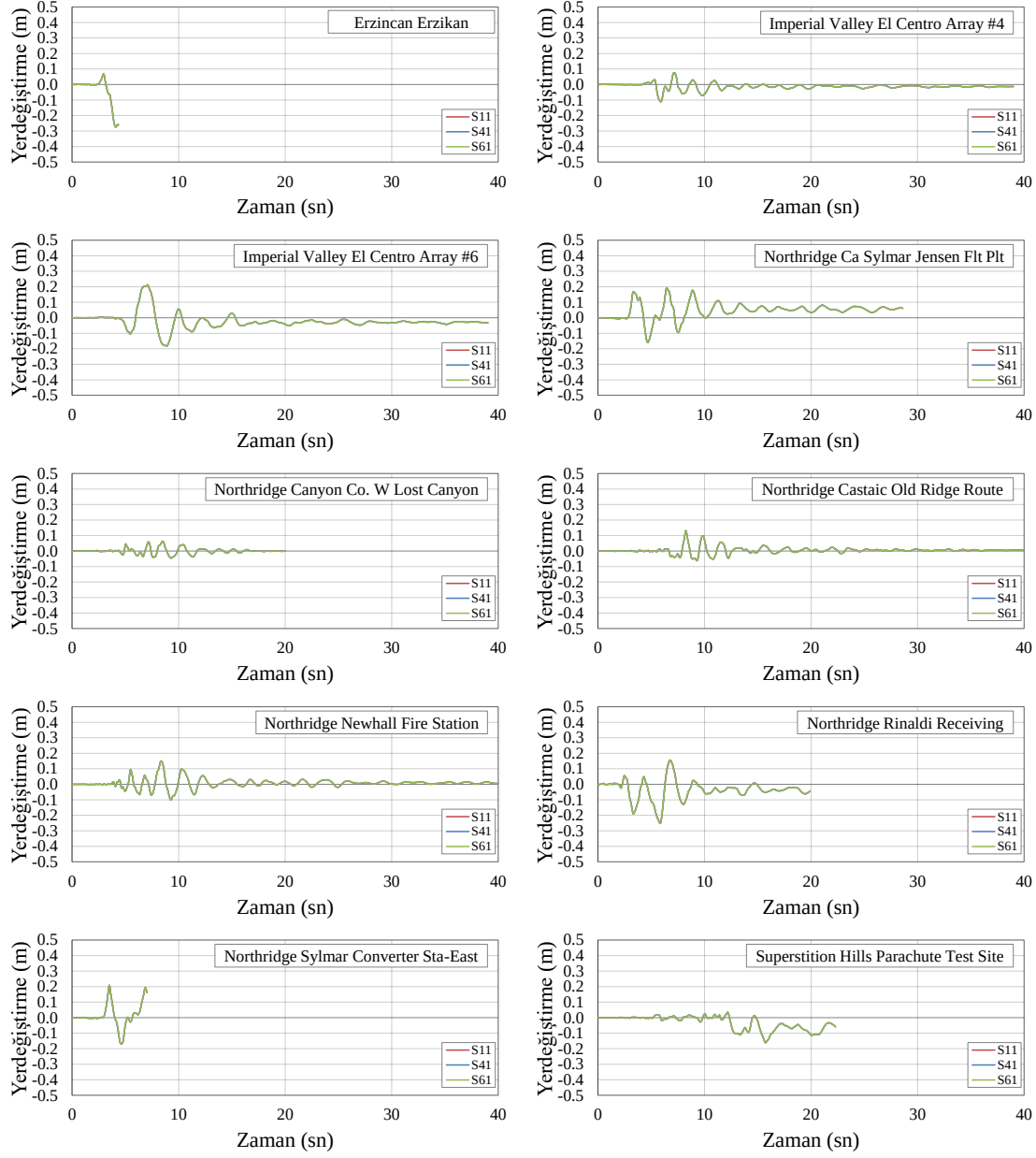
Şekil A.3 : S11, S41 ve S61 kolonları üst uçlarında yapının x eksenini doğrultusunda oluşan yerdeğiştirme-zaman ilişkisi (Yalın-YD1).



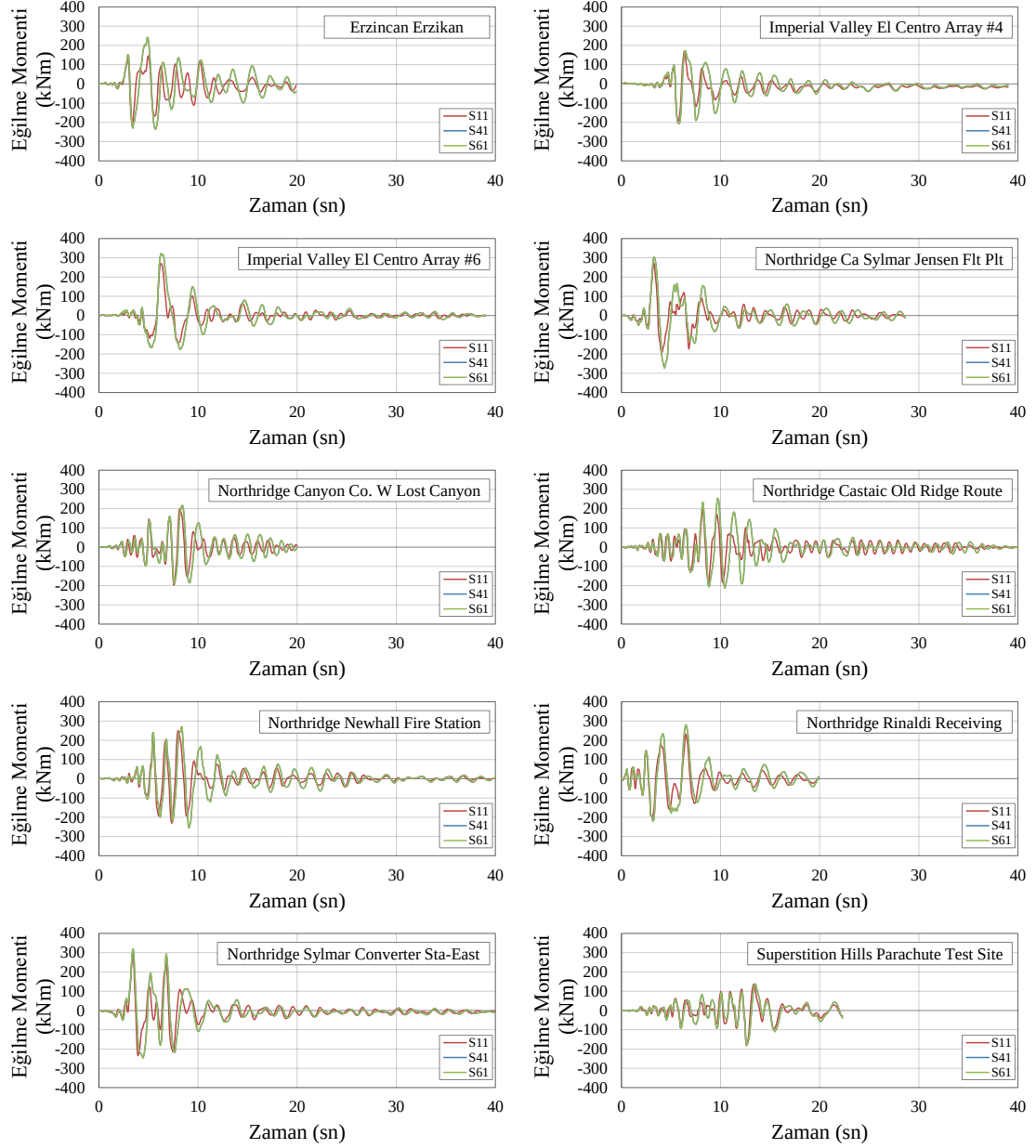
Şekil A.4 : S11, S41 ve S61 kolonları üst uçlarında yapının y eksenini doğrultusunda oluşan yerdeğiştirme-zaman ilişkisi (Yalın-YD1).



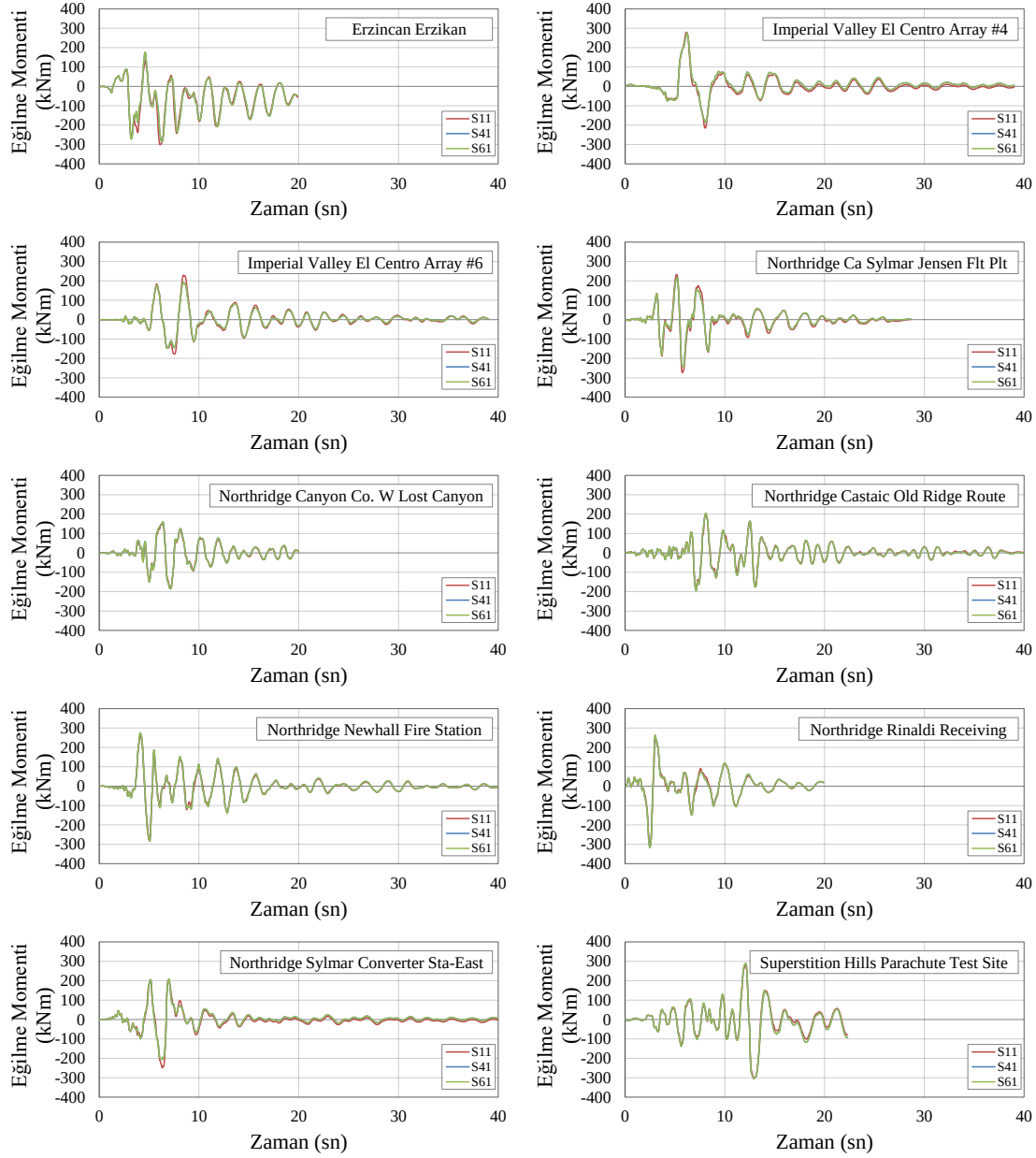
Şekil A.5 : S11, S41 ve S61 kolonları üst uçlarında yapının x eksenini doğrultusunda oluşan yerdeğiştirme-zaman ilişkisi (Yalın-YD2).



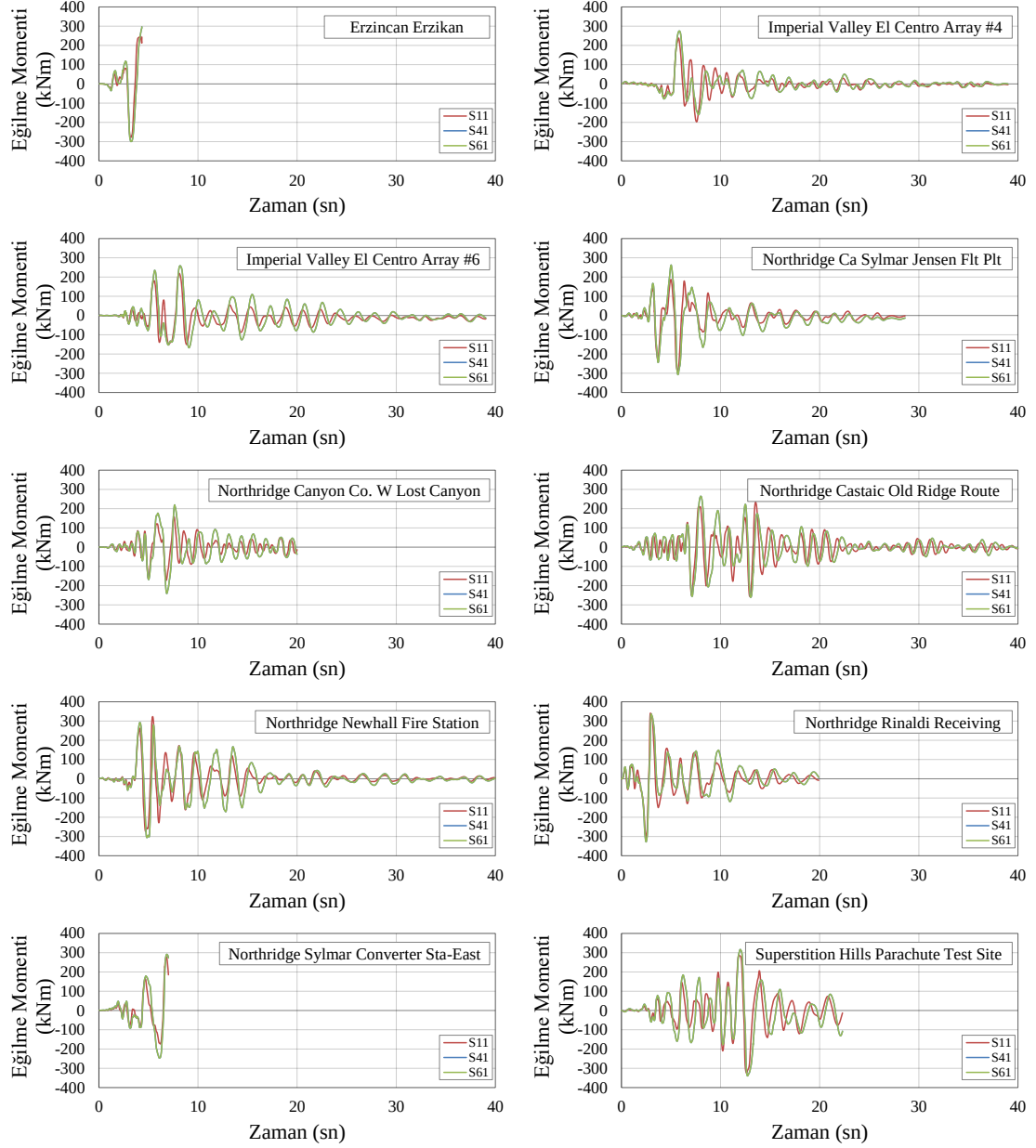
Şekil A.6 : S11, S41 ve S61 kolonları üst uçlarında yapının y eksenini doğrultusunda oluşan yerdeğiştirme-zaman ilişkisi (Yalın-YD2).



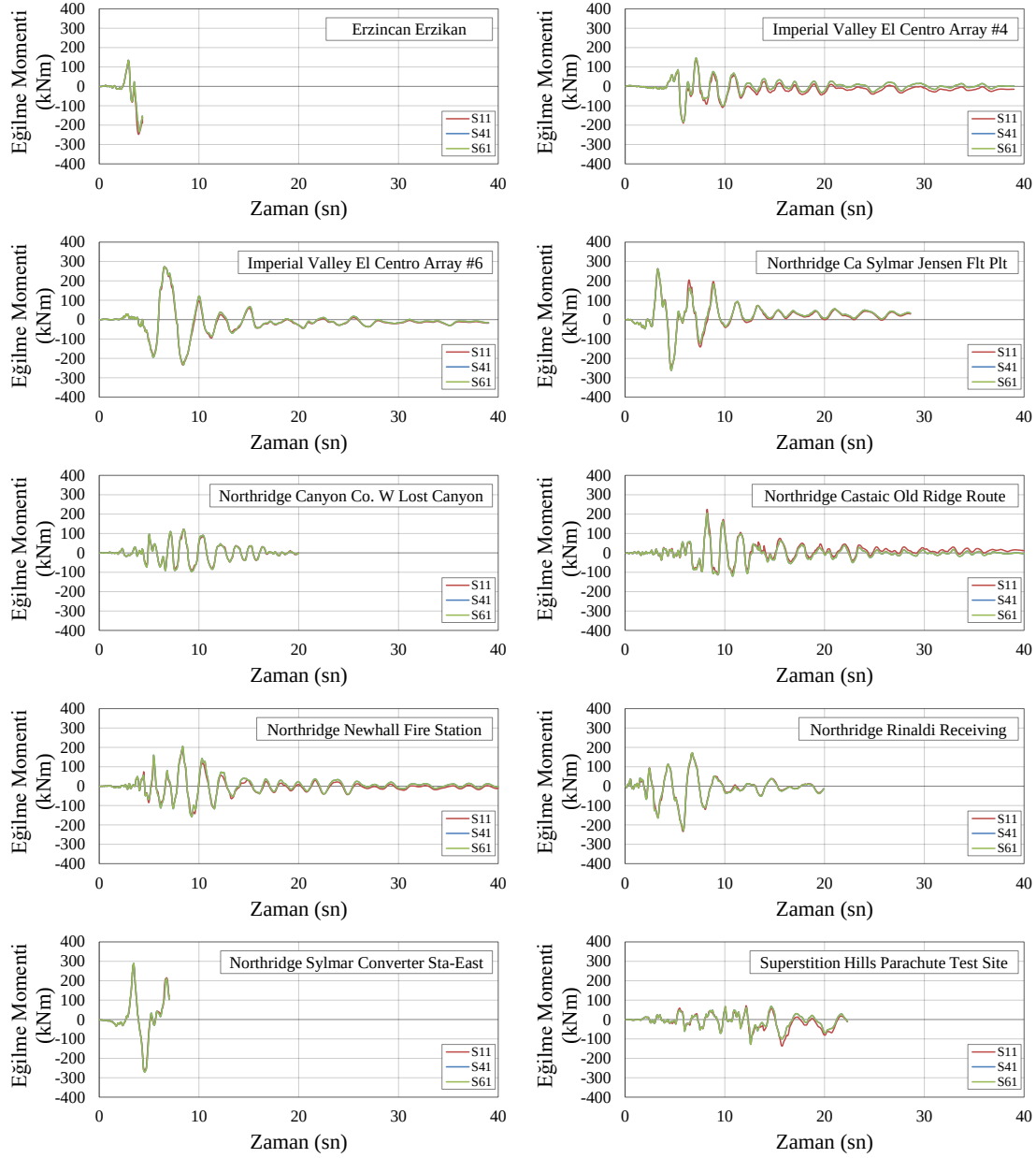
Şekil A.7 : S11, S41 ve S61 kolonları alt uçlarında yapının y ekseninde oluşan eğilme momenti-zaman ilişkisi (Yalın-YD1).



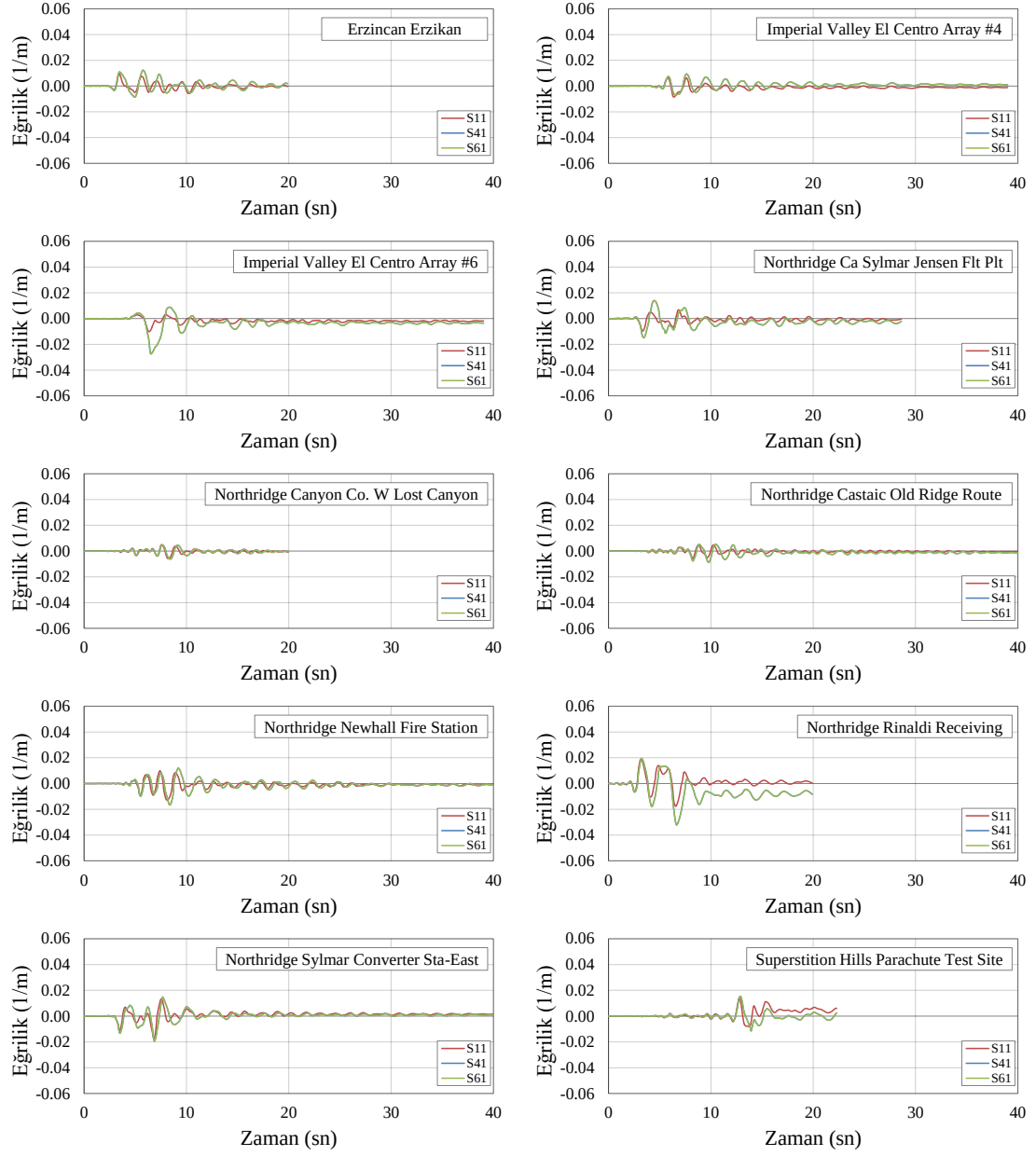
Şekil A.8 : S11, S41 ve S61 kolonları alt uçlarında yapının x ekseninde oluşan eğilme momenti-zaman ilişkisi (Yalın-YD1).



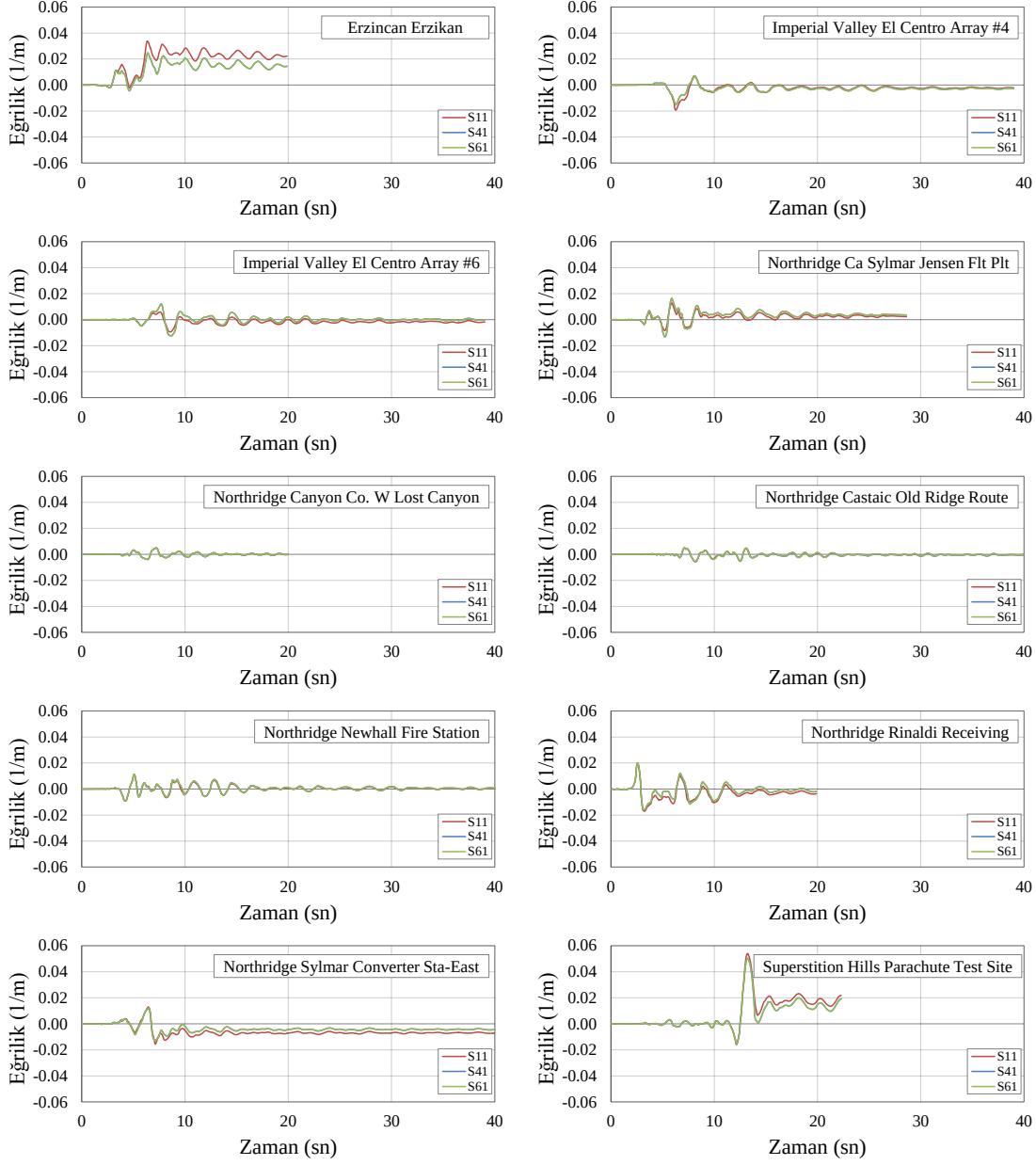
Şekil A.9 : S11, S41 ve S61 kolonları alt uçlarında yapının y eksenı etrafında oluşan eğilme momenti-zaman ilişkisi (Yalın-YD2).



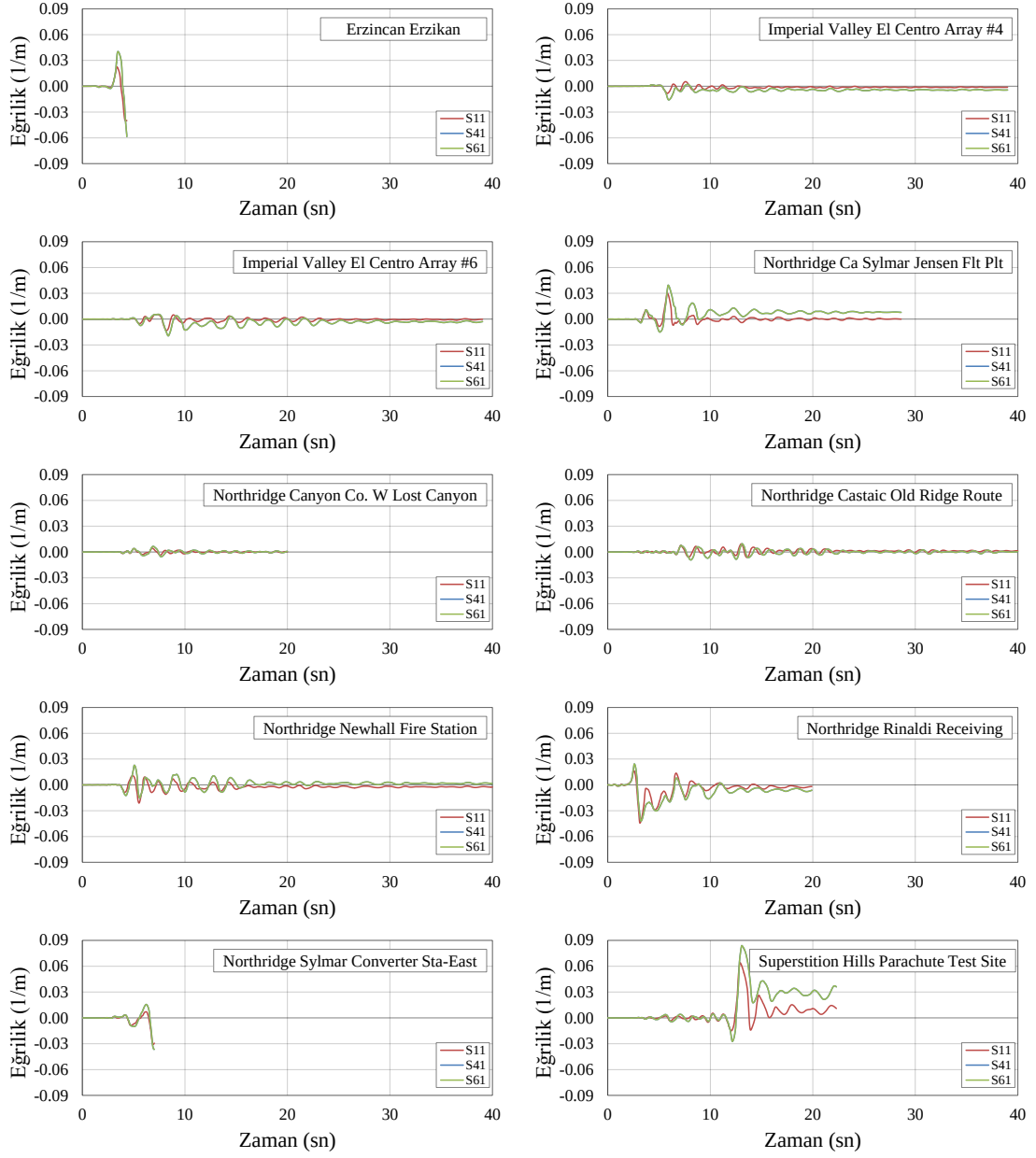
Şekil A.10 : S11, S41 ve S61 kolonları alt uçlarında yapının x ekseninde oluşan eğilme momenti-zaman ilişkisi (Yalın-YD2).



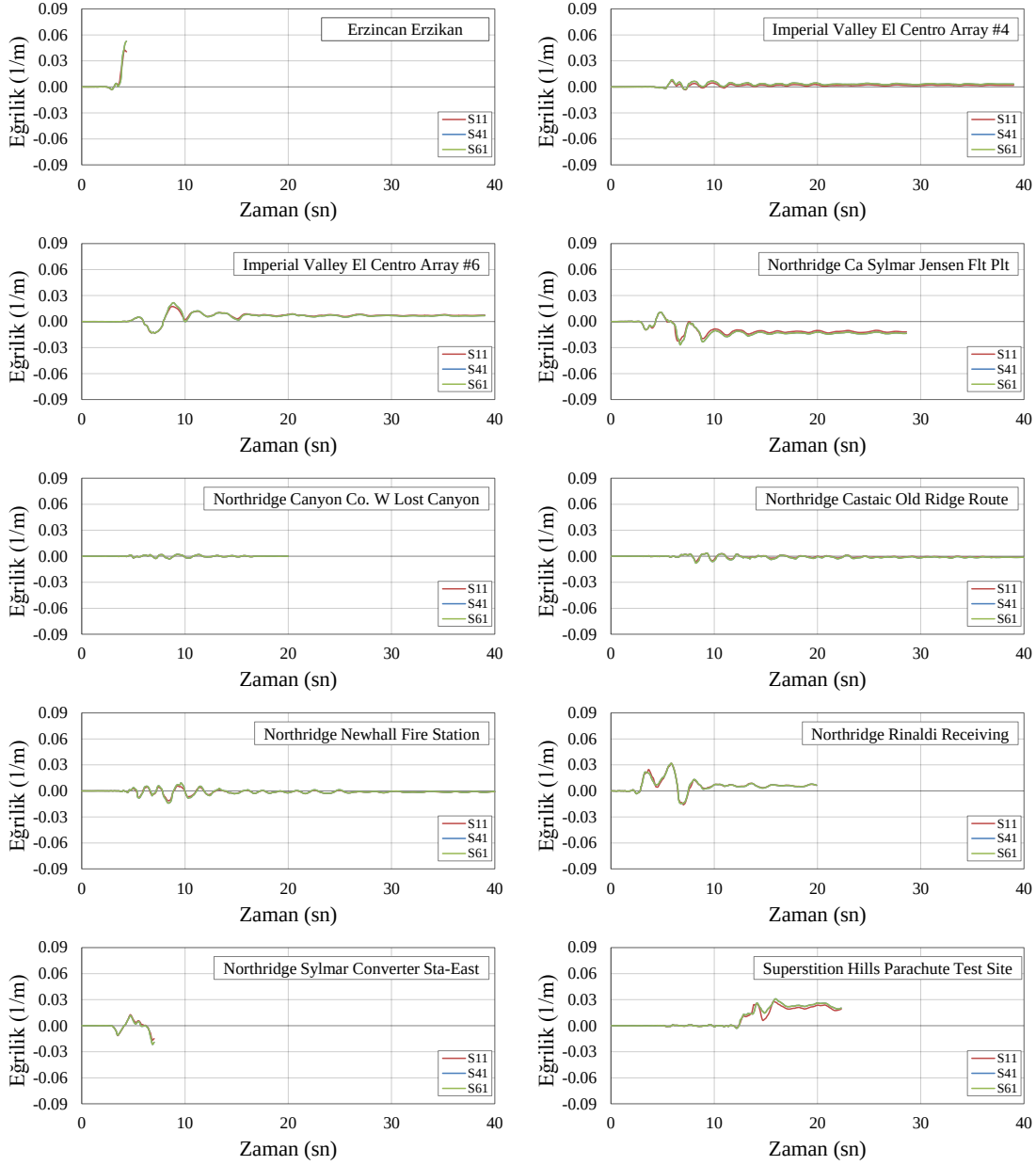
Şekil A.11 : S11, S41 ve S61 kolonları alt uçlarında, yapının y eksenı etrafında oluşan eğrilik-zaman ilişkisi (Yalın-YD1).



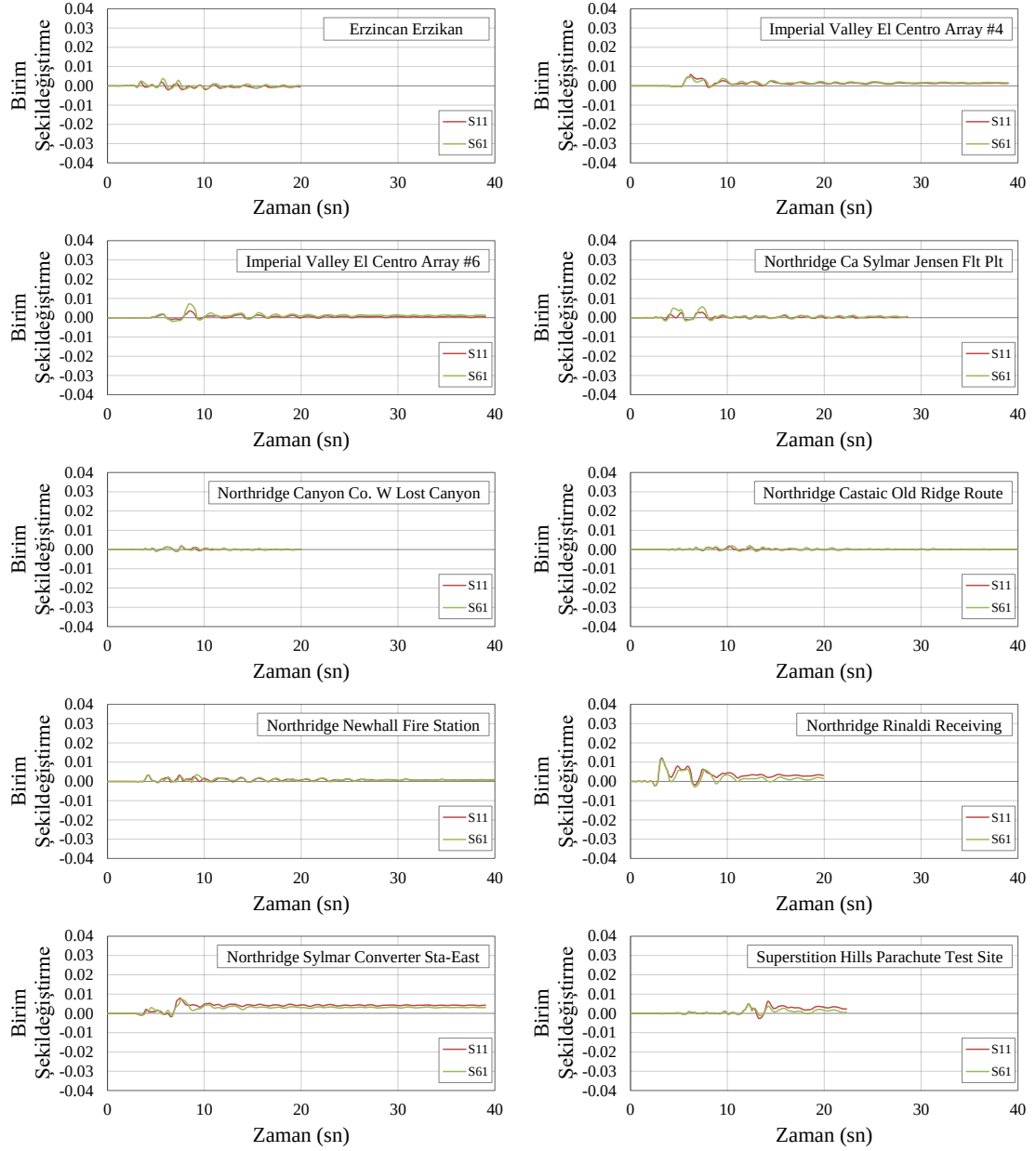
Şekil A.12 : S11, S41 ve S61 kolonları alt uçlarında, yapının x eksenini etrafında oluşan eğrilik-zaman ilişkisi (Yalın-YD1).



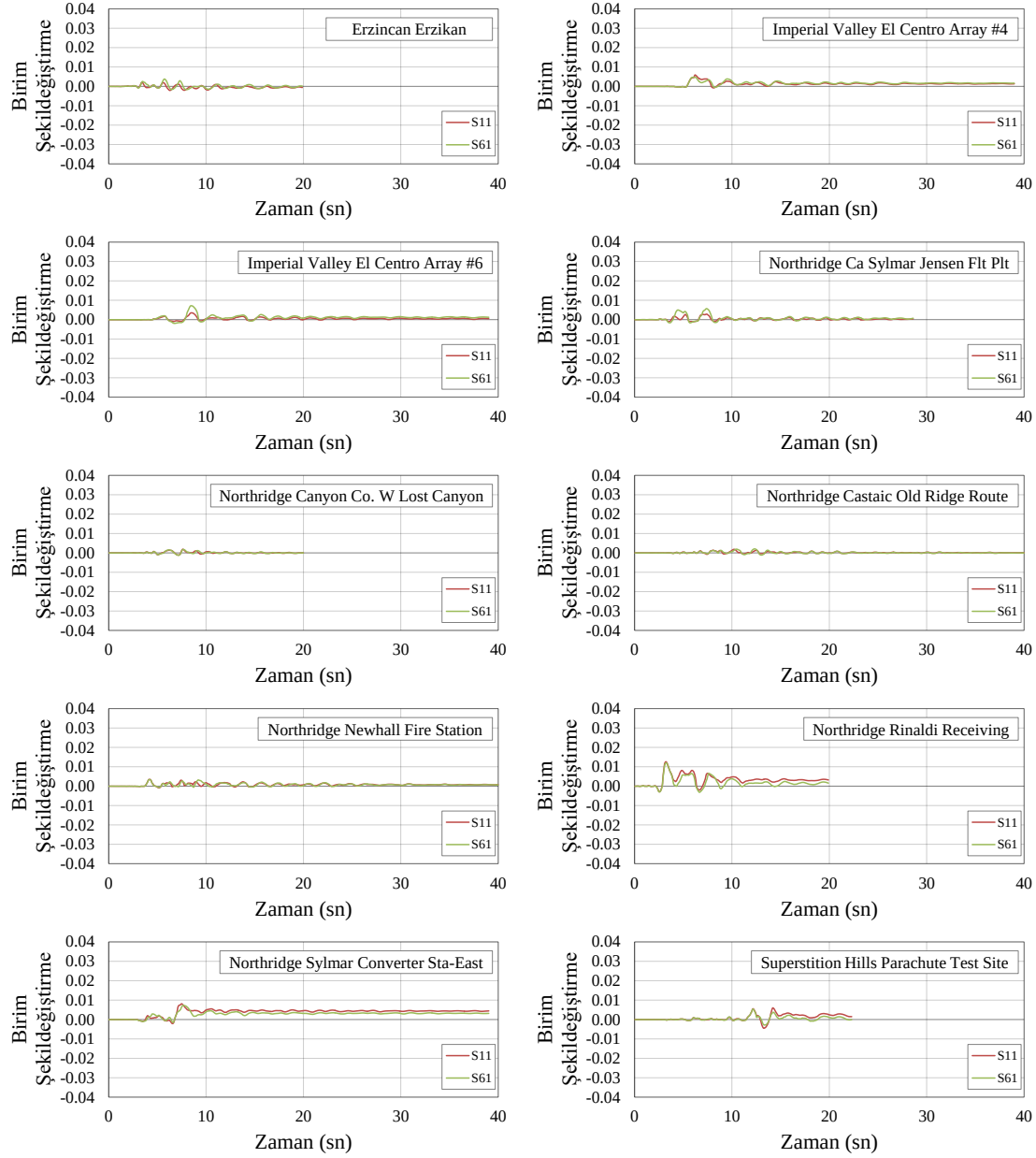
Şekil A.13 : S11, S41 ve S61 kolonları alt uçlarında, yapının y eksenı etrafında oluşan eğrilik-zaman ilişkisi (Yalın-YD2).



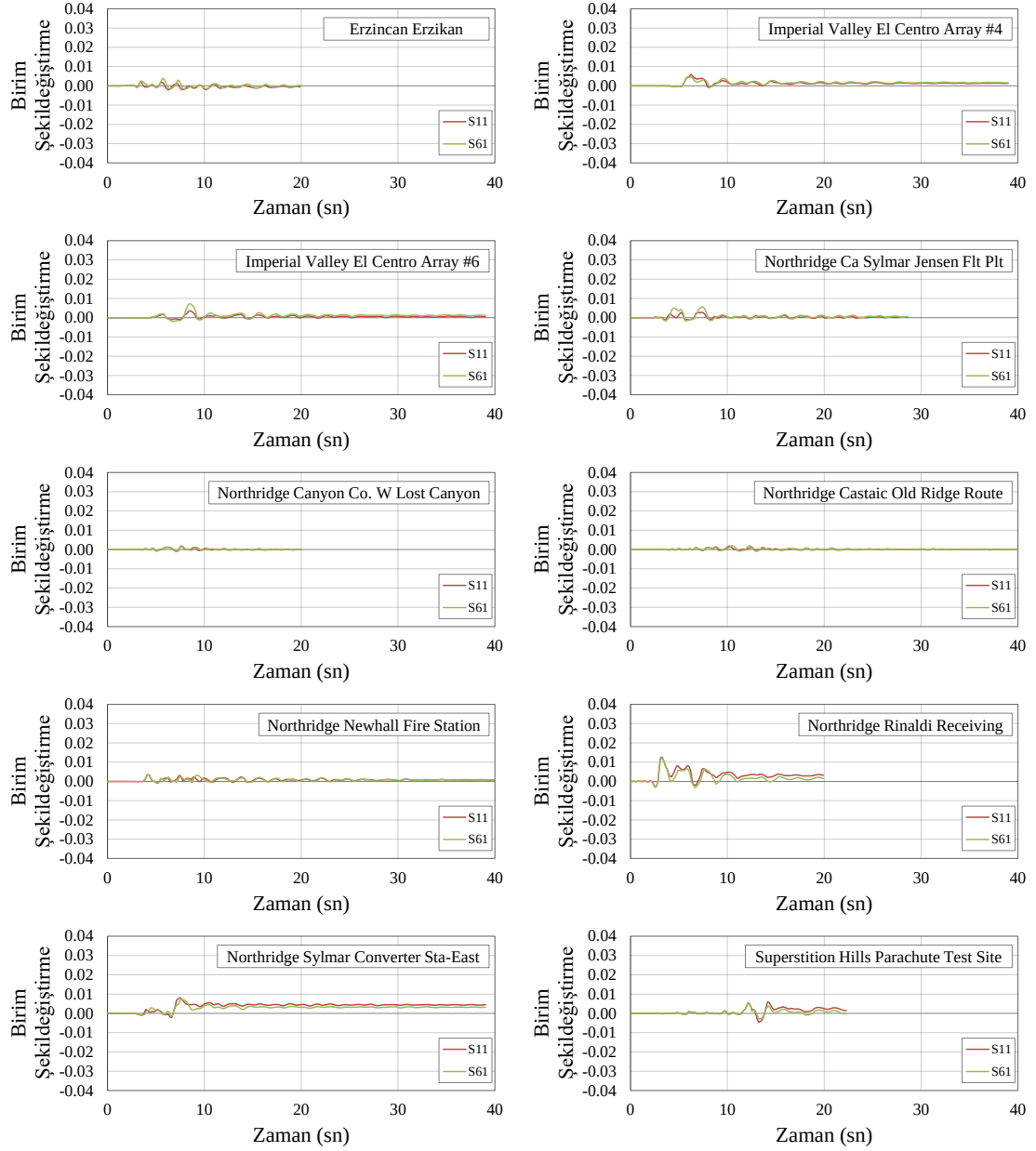
Şekil A.14 : S11, S41 ve S61 kolonları alt uçlarında, yapının x eksenini etrafında oluşan eğrilik-zaman ilişkisi (Yalın-YD2).



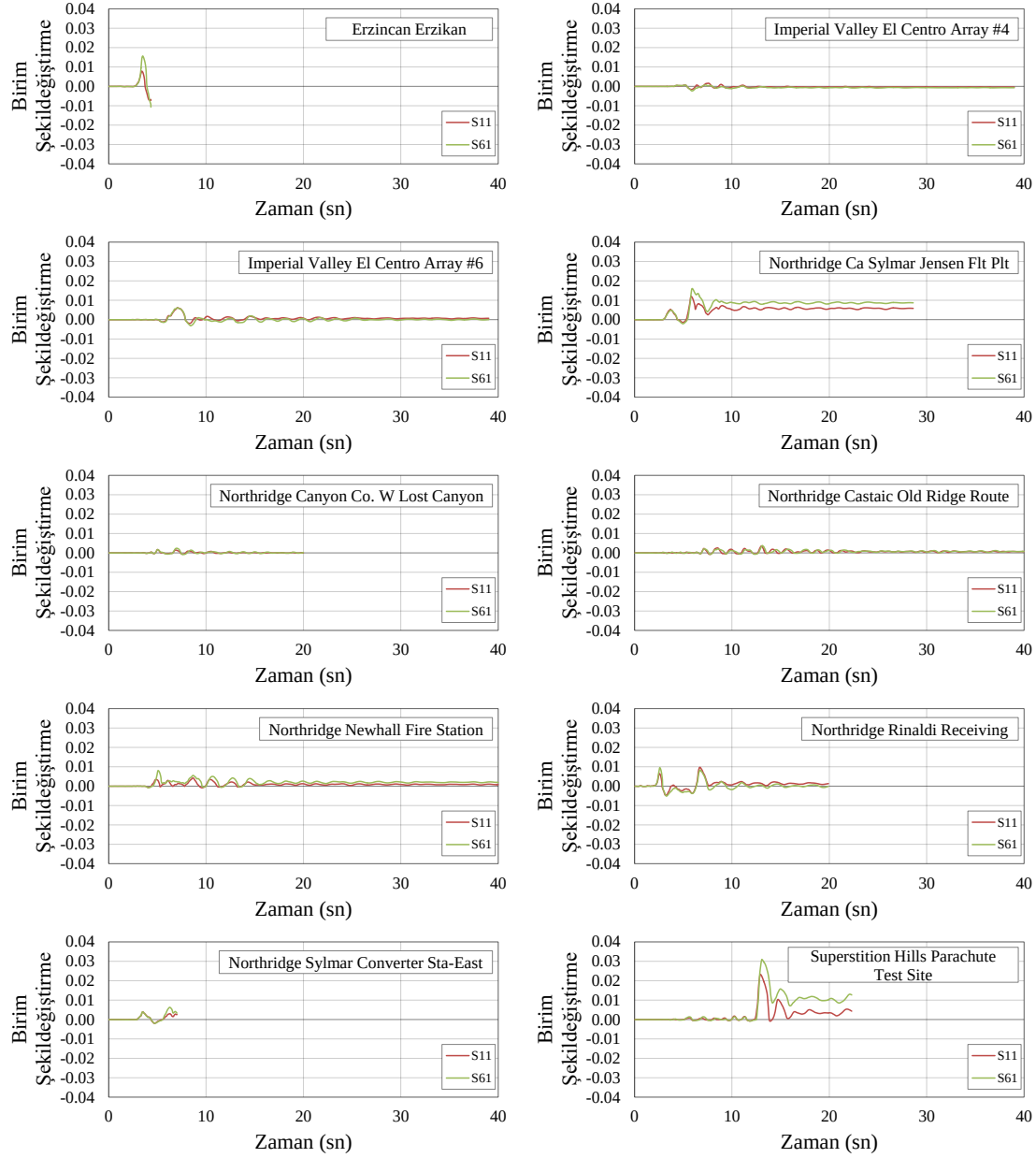
Şekil A.15 : S11 ve S61 kolonları alt uç kesitinde boyuna donatıda oluşan birim şekildeğiştirme-zaman ilişkisi (Yalın-YD1).



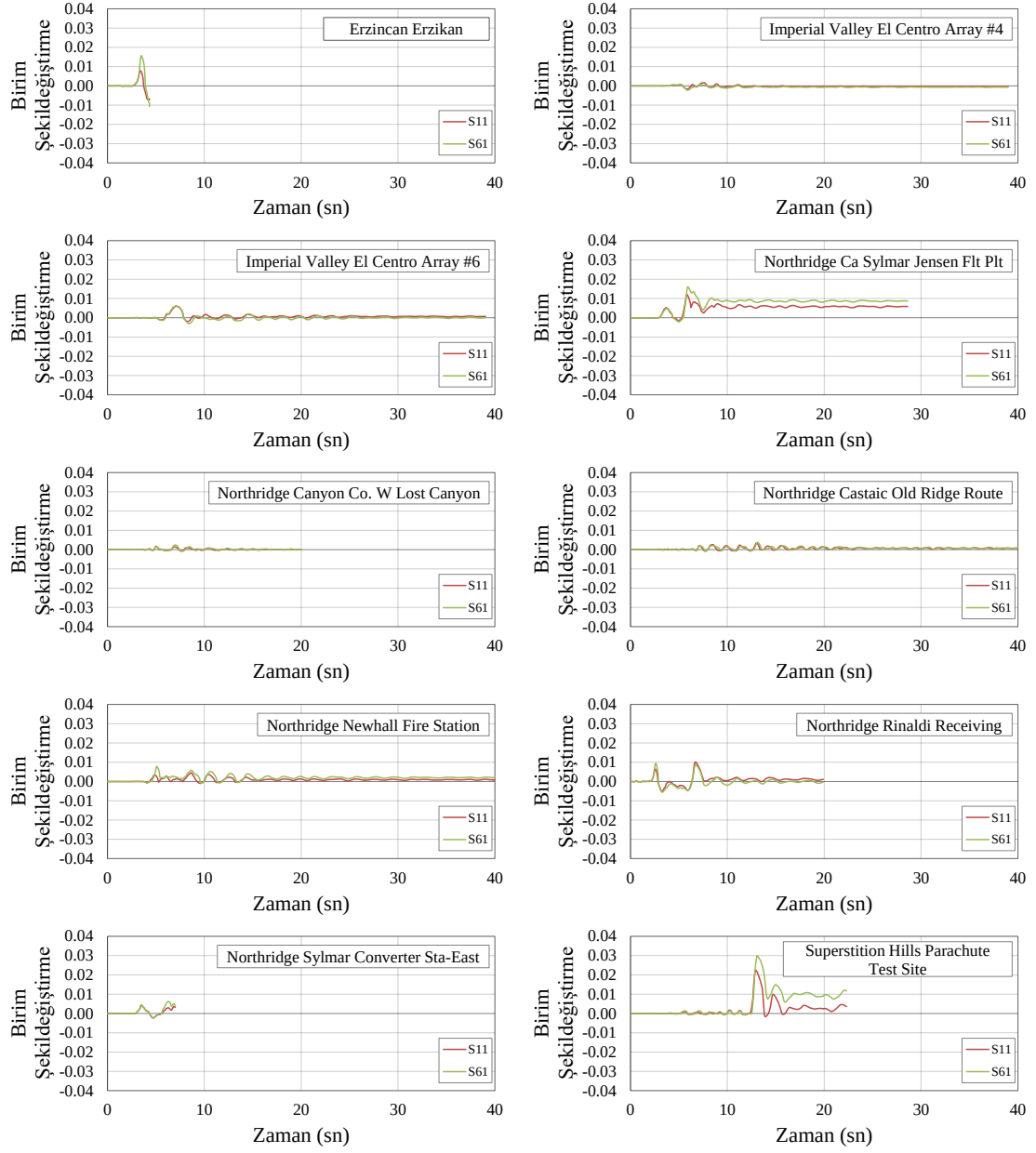
Şekil A.16 : S11 ve S61 kolonları alt uç kesitinde kabuk betonda oluşan birim şekildeğiştirme-zaman ilişkisi (Yalın-YD1).



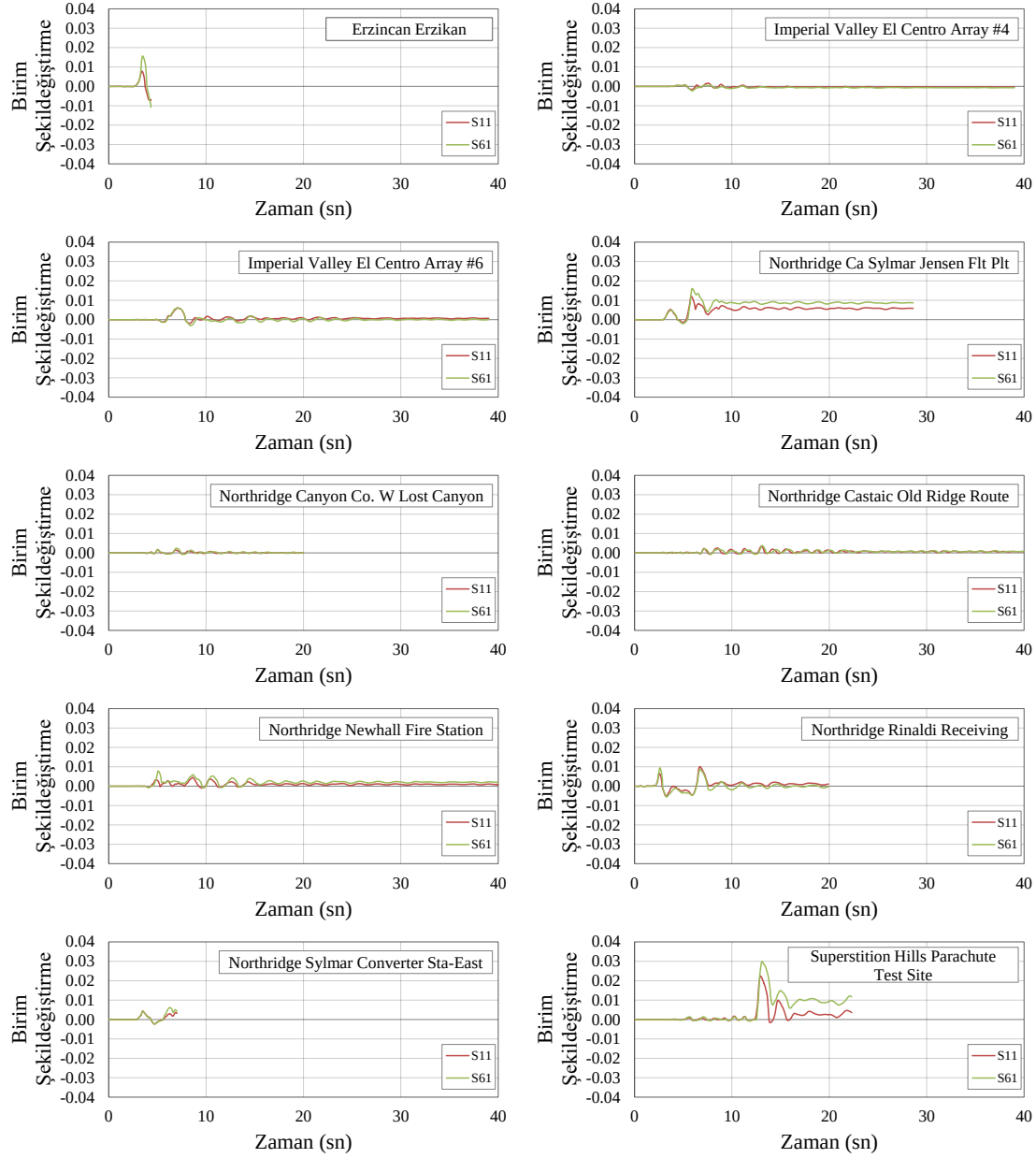
Şekil A.17 : S11 ve S61 kolonları alt uç kesitinde çekirdek betonda oluşan birim şekildeğiştirme-zaman ilişkisi (Yalın-YD1).



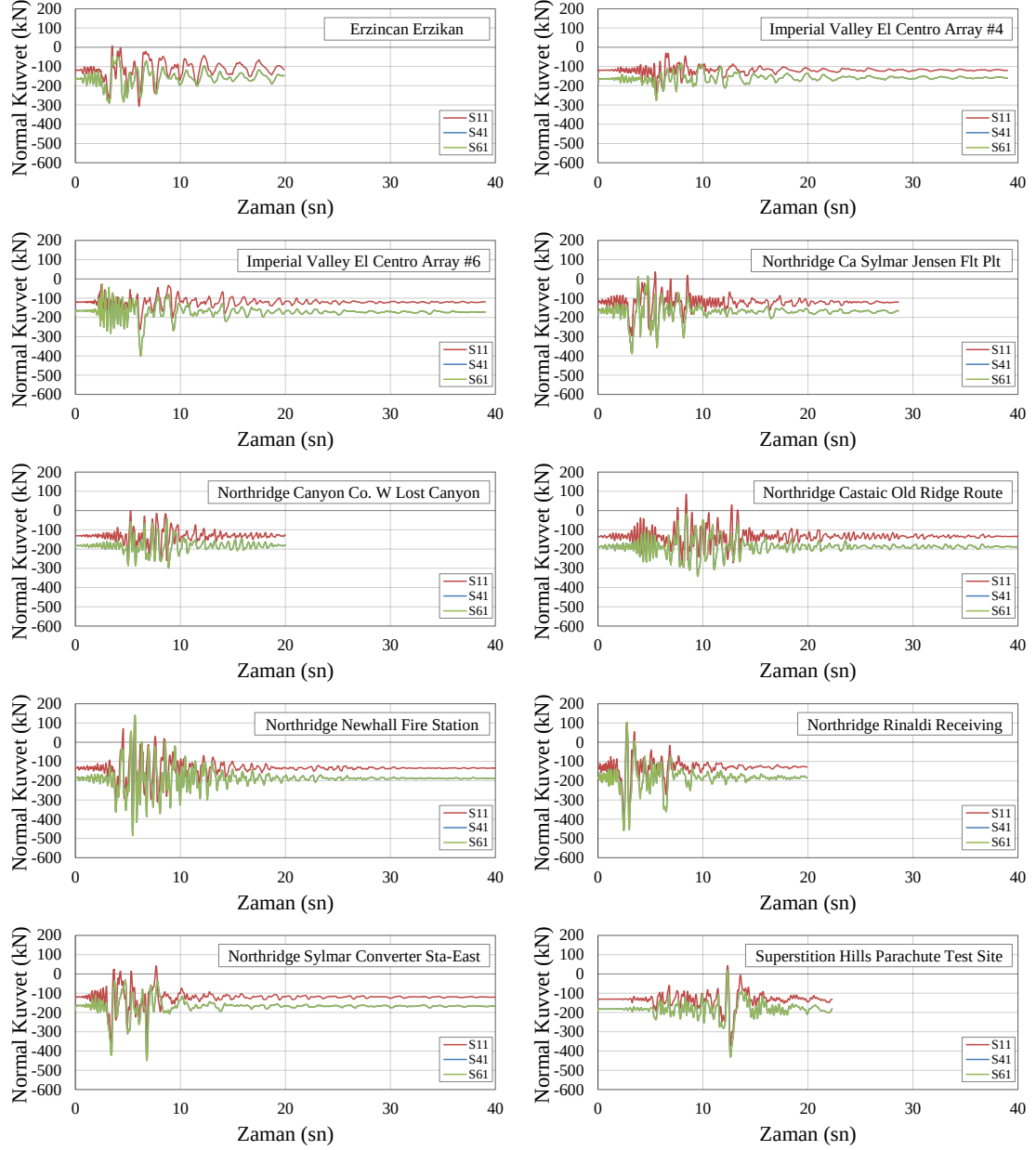
Şekil A.18 : S11 ve S61 kolonları alt uç kesitinde boyuna donatıda oluşan birim şekildeğiştirme-zaman ilişkisi (Yalın-YD2).



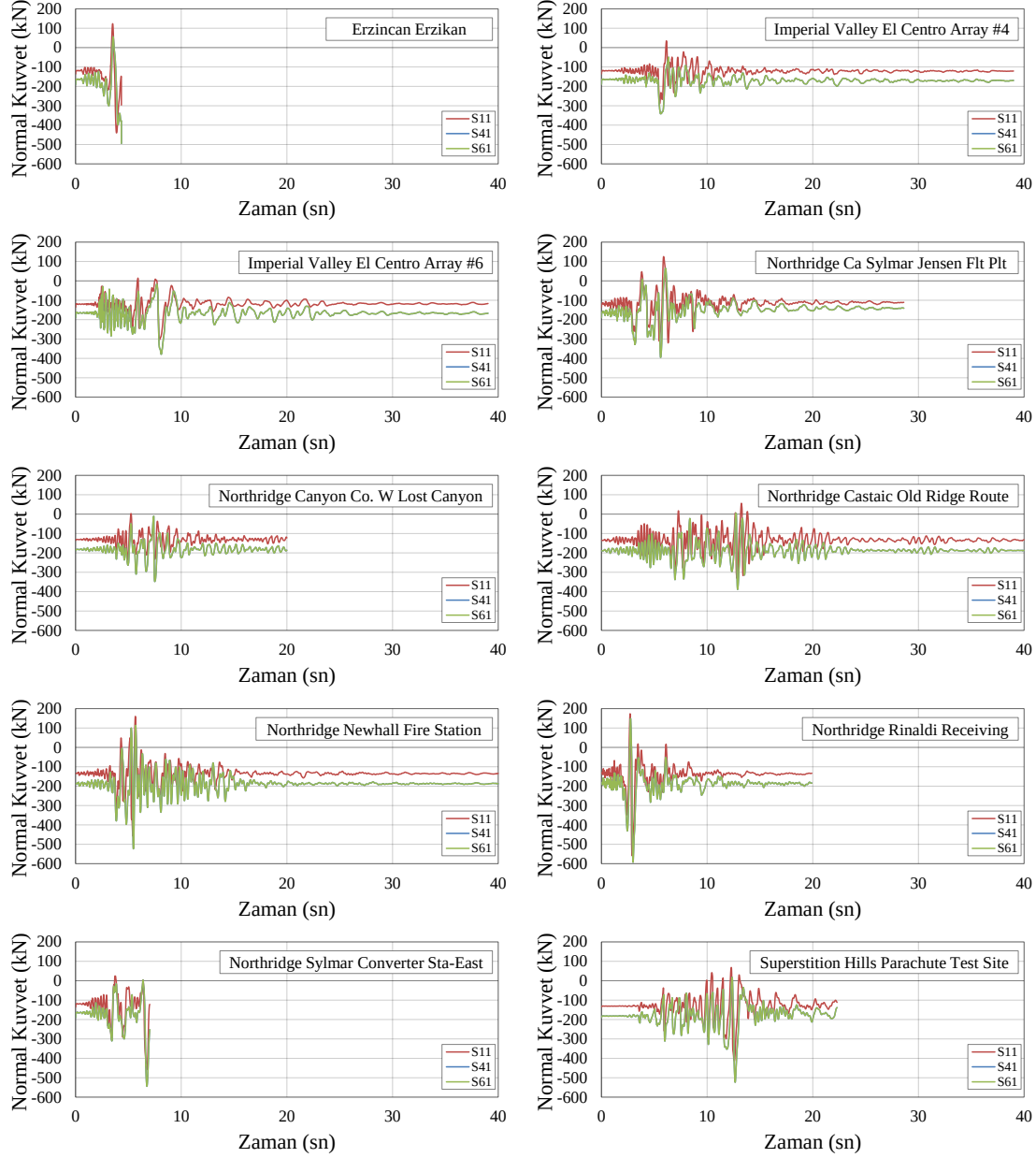
Şekil A.19 : S11 ve S61 kolonları alt uç kesitinde kabuk betonda oluşan birim şekildeğiştirme-zaman ilişkisi (Yalın-YD2).



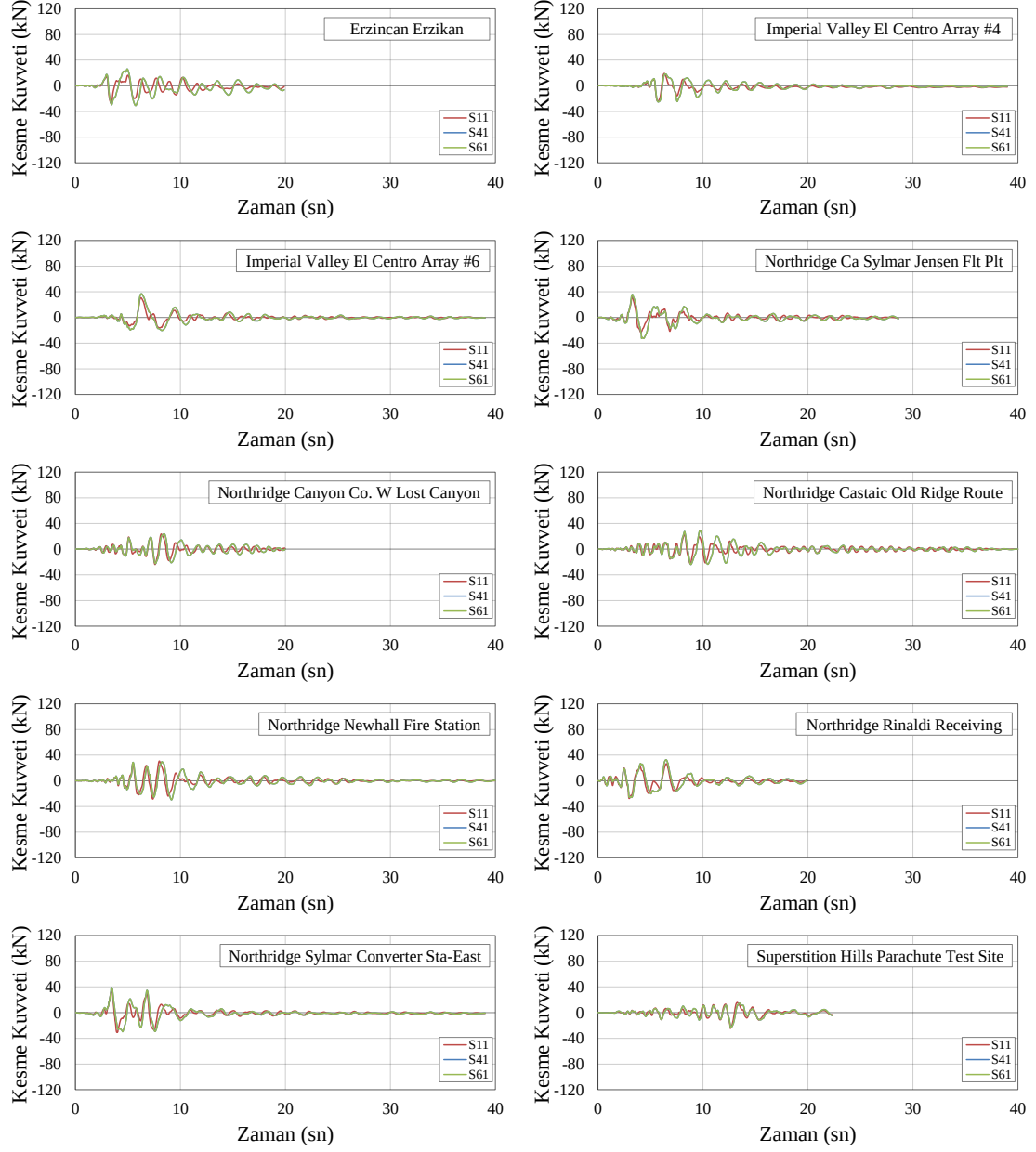
Şekil A.20 : S11 ve S61 kolonları alt uç kesitinde çekirdek betonda oluşan birim şekildeğiştirme-zaman ilişkisi (Yalın-YD2).



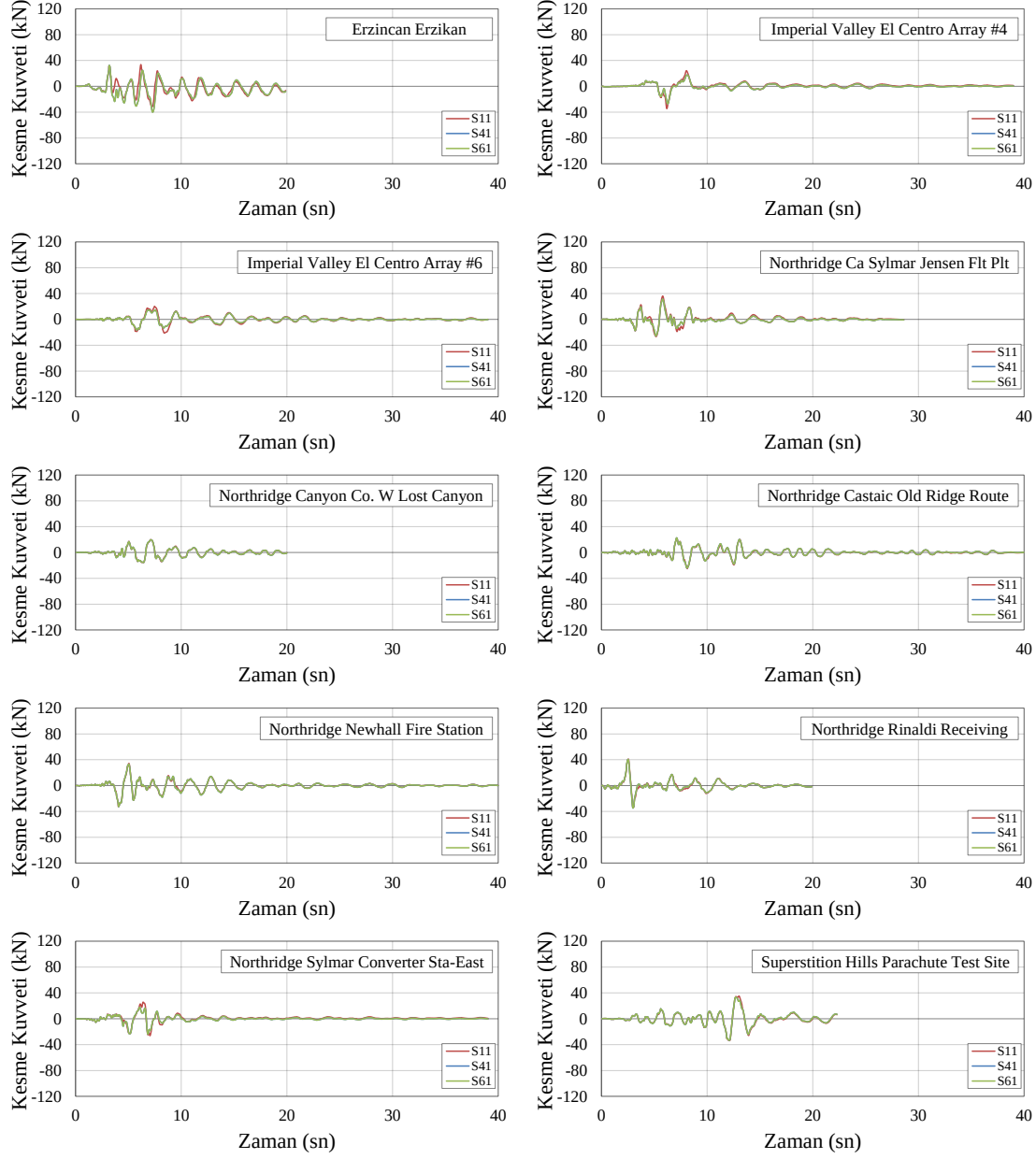
Şekil A.21 : Kolon alt uç kesitinde meydana gelen normal kuvvet-zaman ilişkisi (Yalın-YD1).



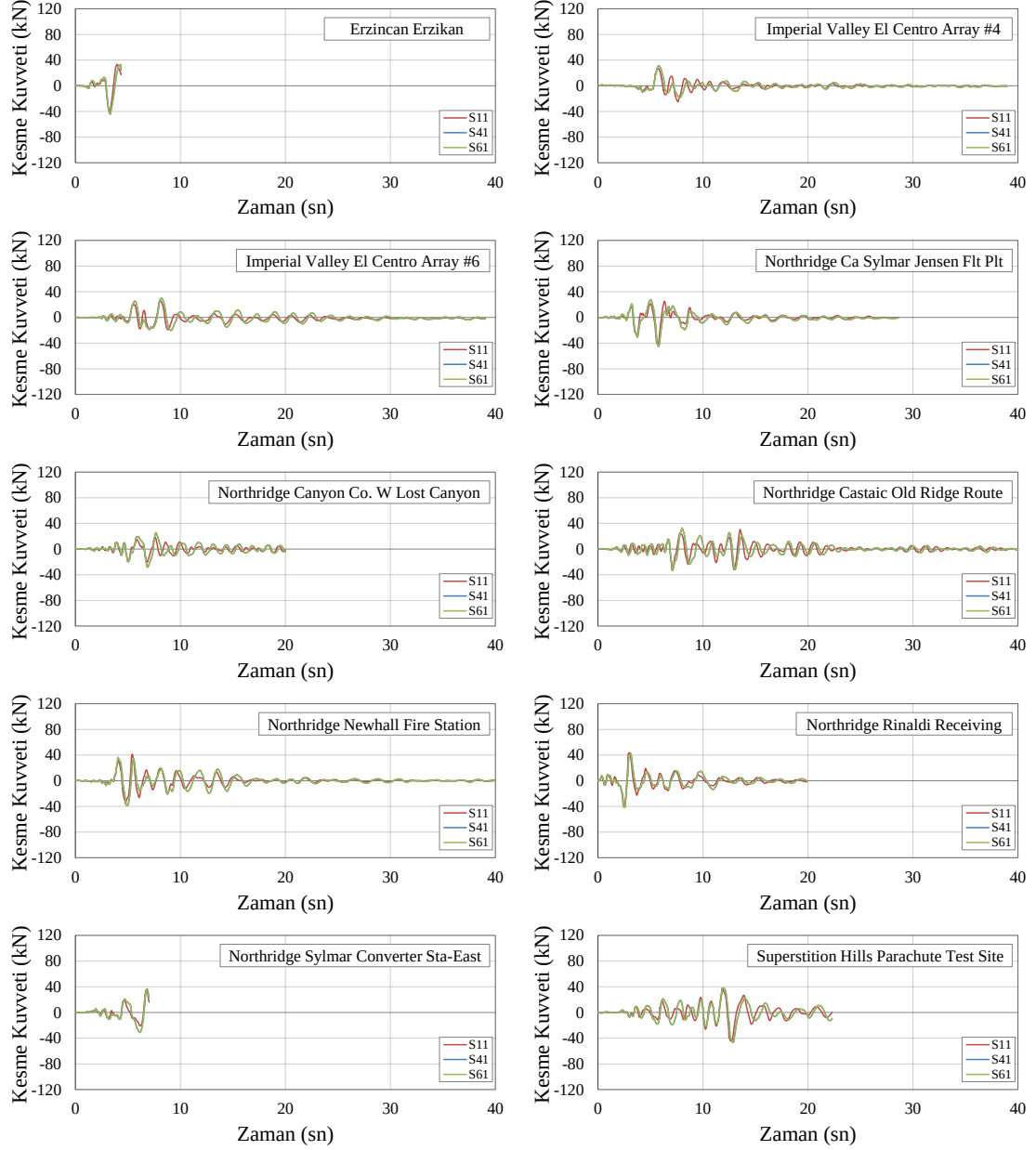
Şekil A.22 : Kolon alt uç kesitinde meydana gelen normal kuvvet-zaman ilişkisi (Yalın-YD2).



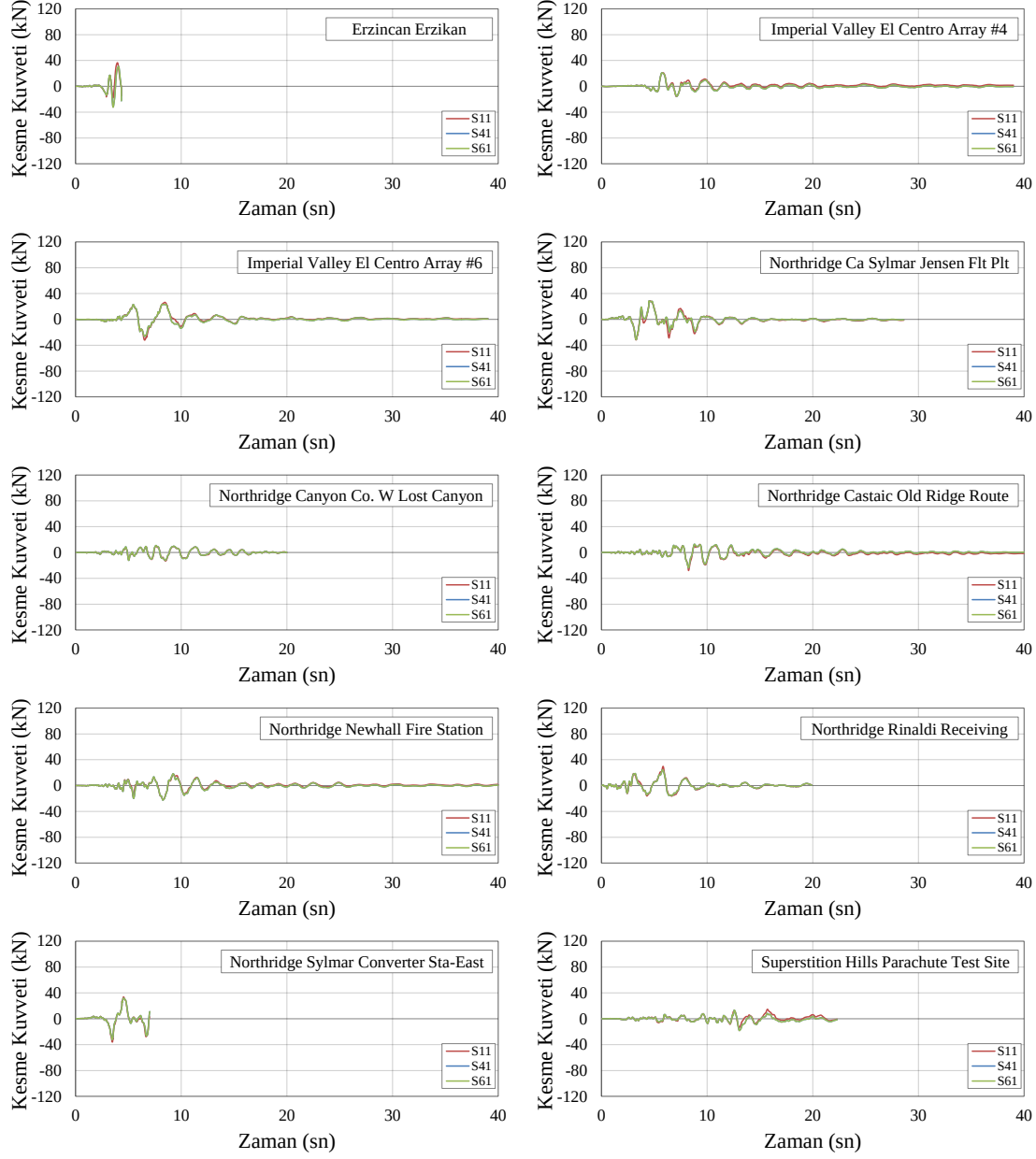
Şekil A.23 : Kolon üst uç kesitinde, yapının x eksenine doğrultusunda, meydana gelen kesme kuvveti-zaman ilişkisi (Yalın-YD1).



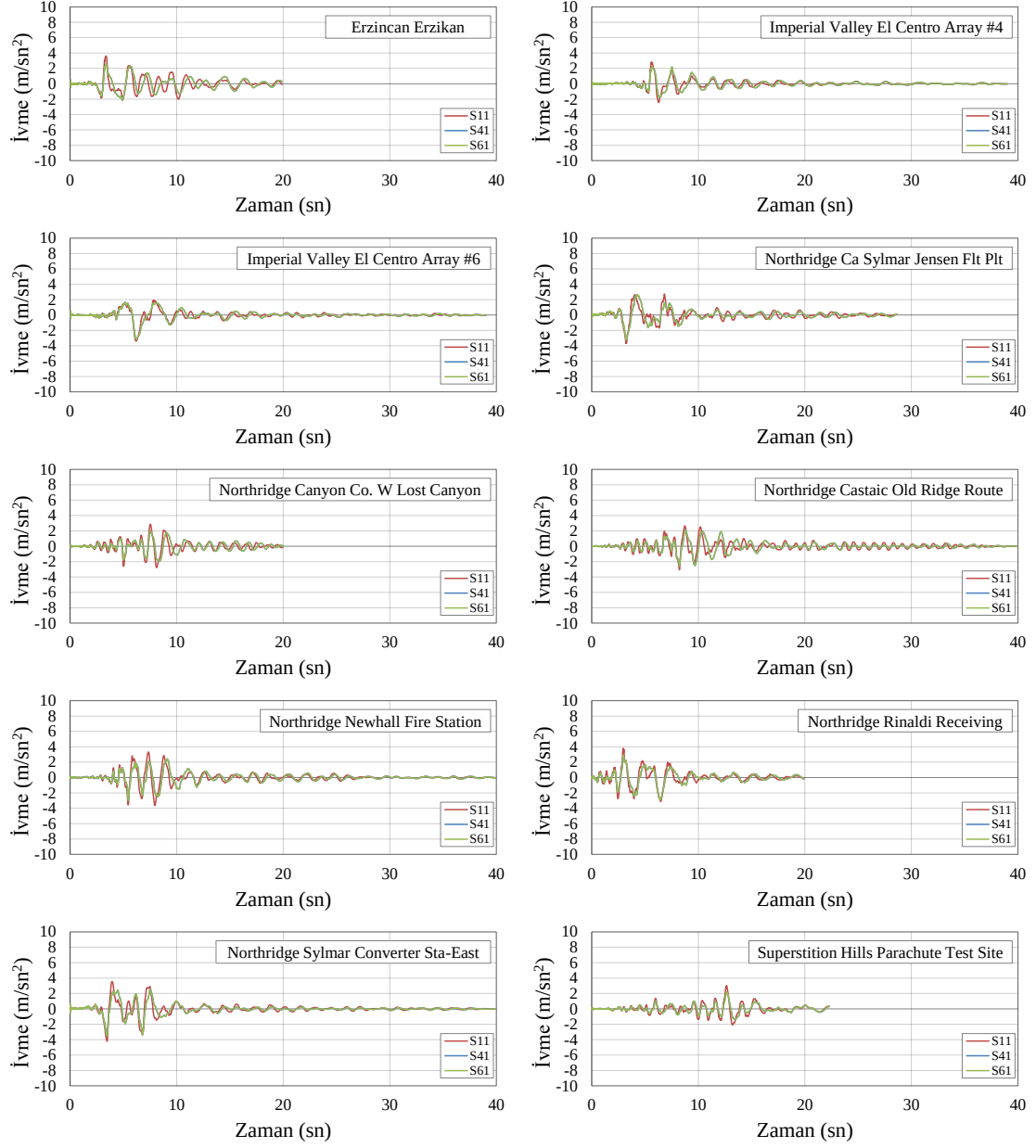
Şekil A.24 : Kolon üst uç kesitinde, yapının y eksenini doğrultusunda, meydana gelen kesme kuvveti-zaman ilişkisi (Yalın-YD1).



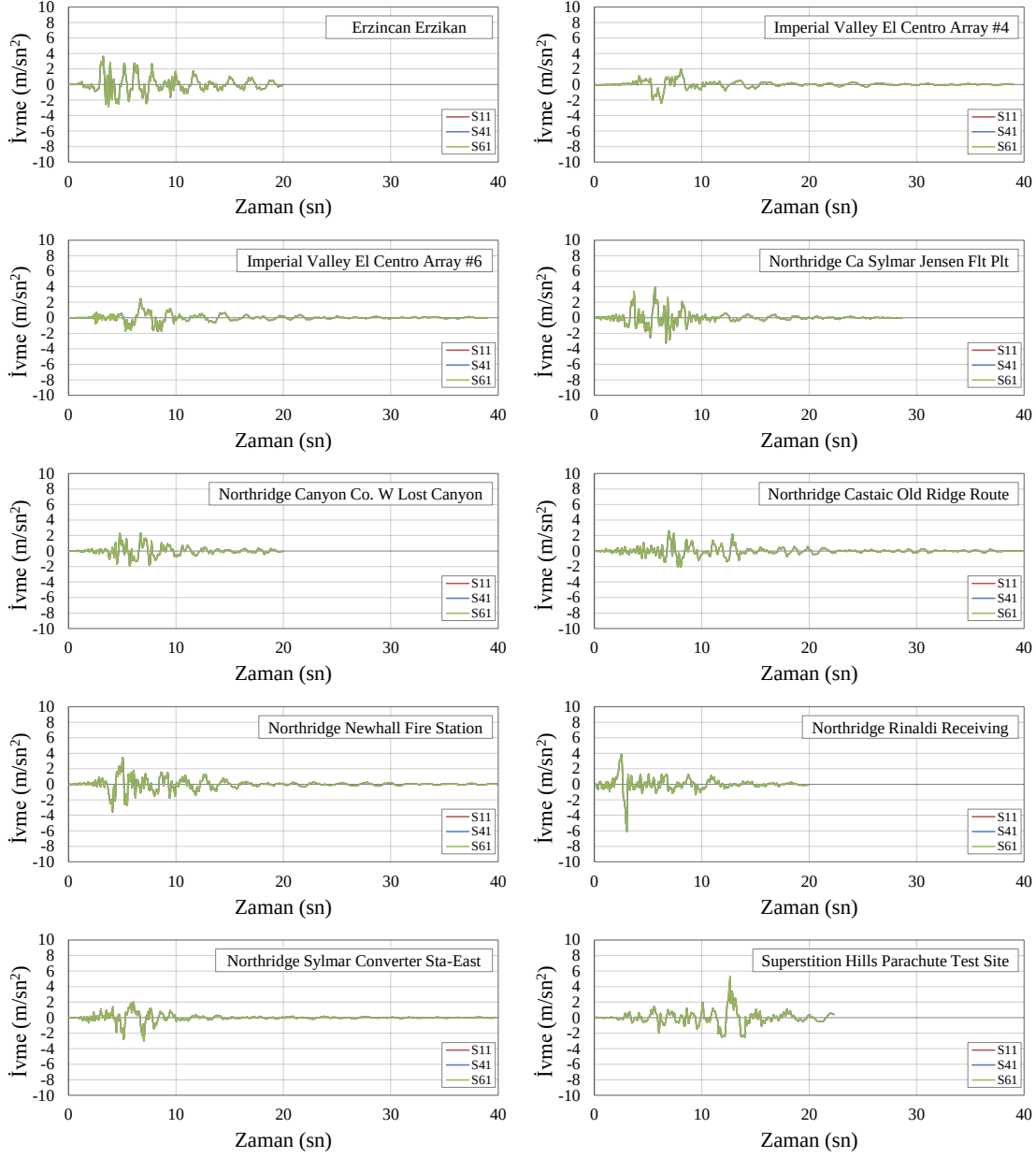
Şekil A.25 : Kolon üst uç kesitinde, yapının x eksenı doğrultusunda, meydana gelen kesme kuvveti-zaman ilişkisi (Yalın-YD2).



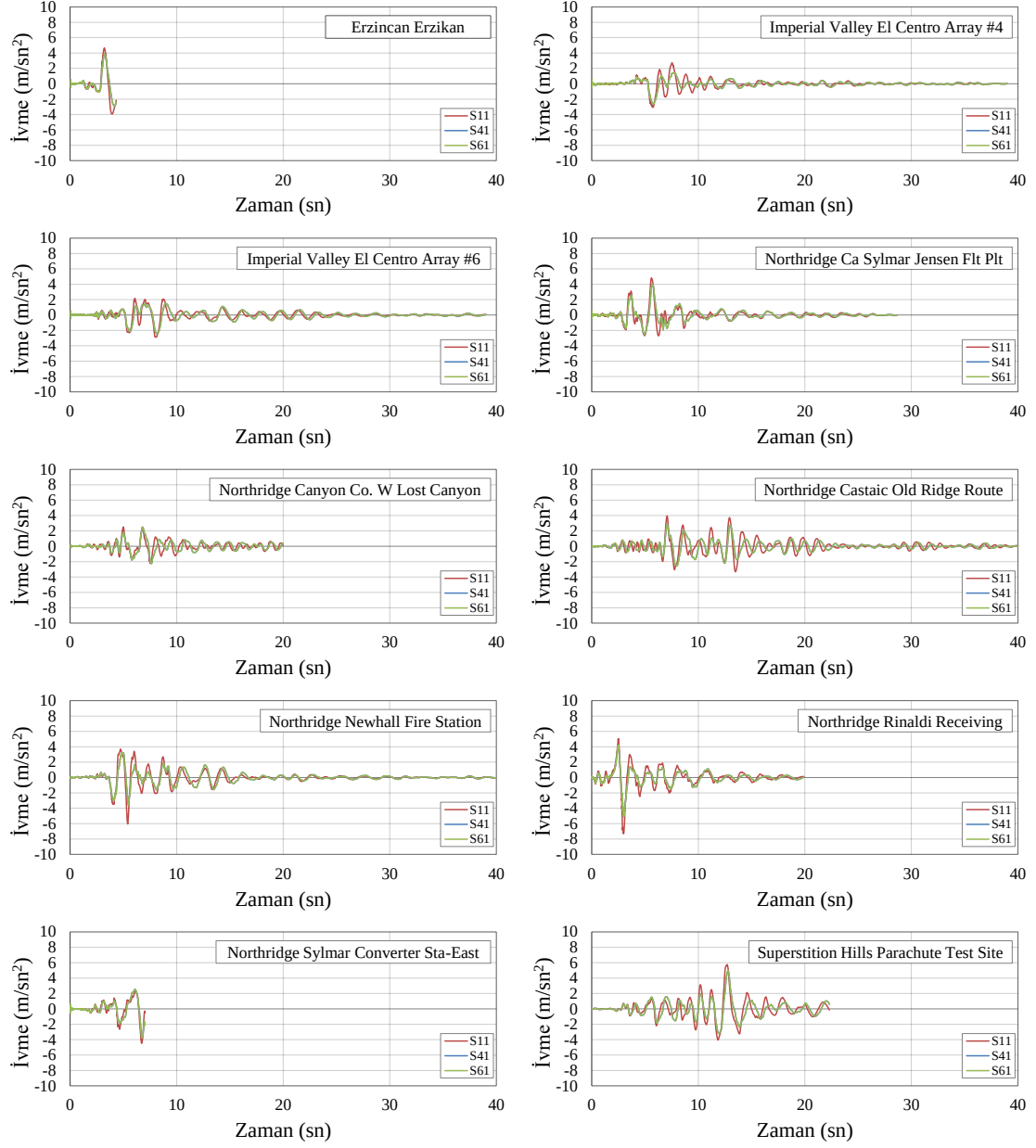
Şekil A.26 : Kolon üst uç kesitinde, yapının y eksenini doğrultusunda, meydana gelen kesme kuvveti-zaman ilişkisi (Yalın-YD2).



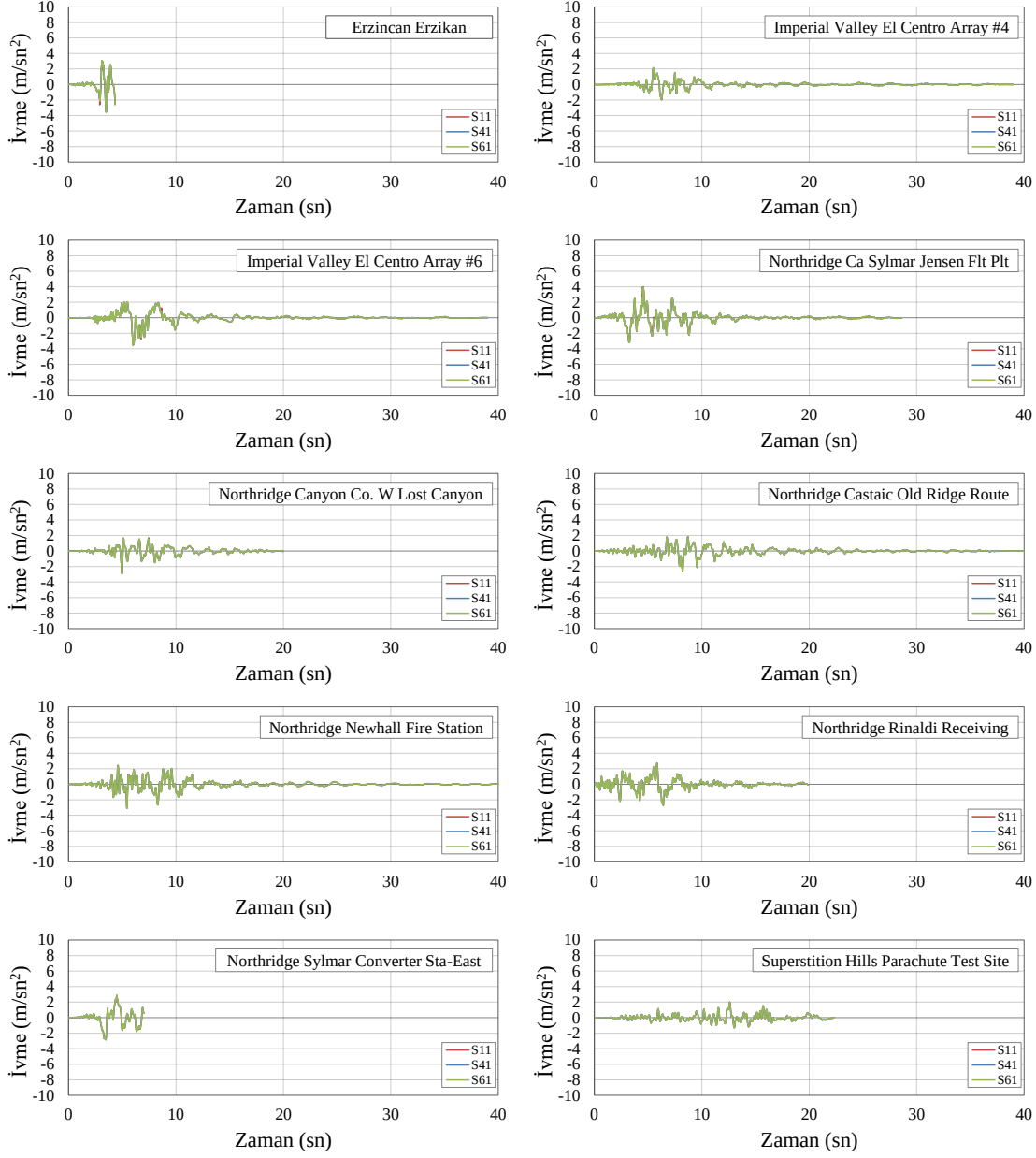
Şekil A.27 : Kolon üst ucunda, yapının x eksenine doğrultusunda, meydana gelen ivme-zaman ilişkisi (Yalın-YD1).



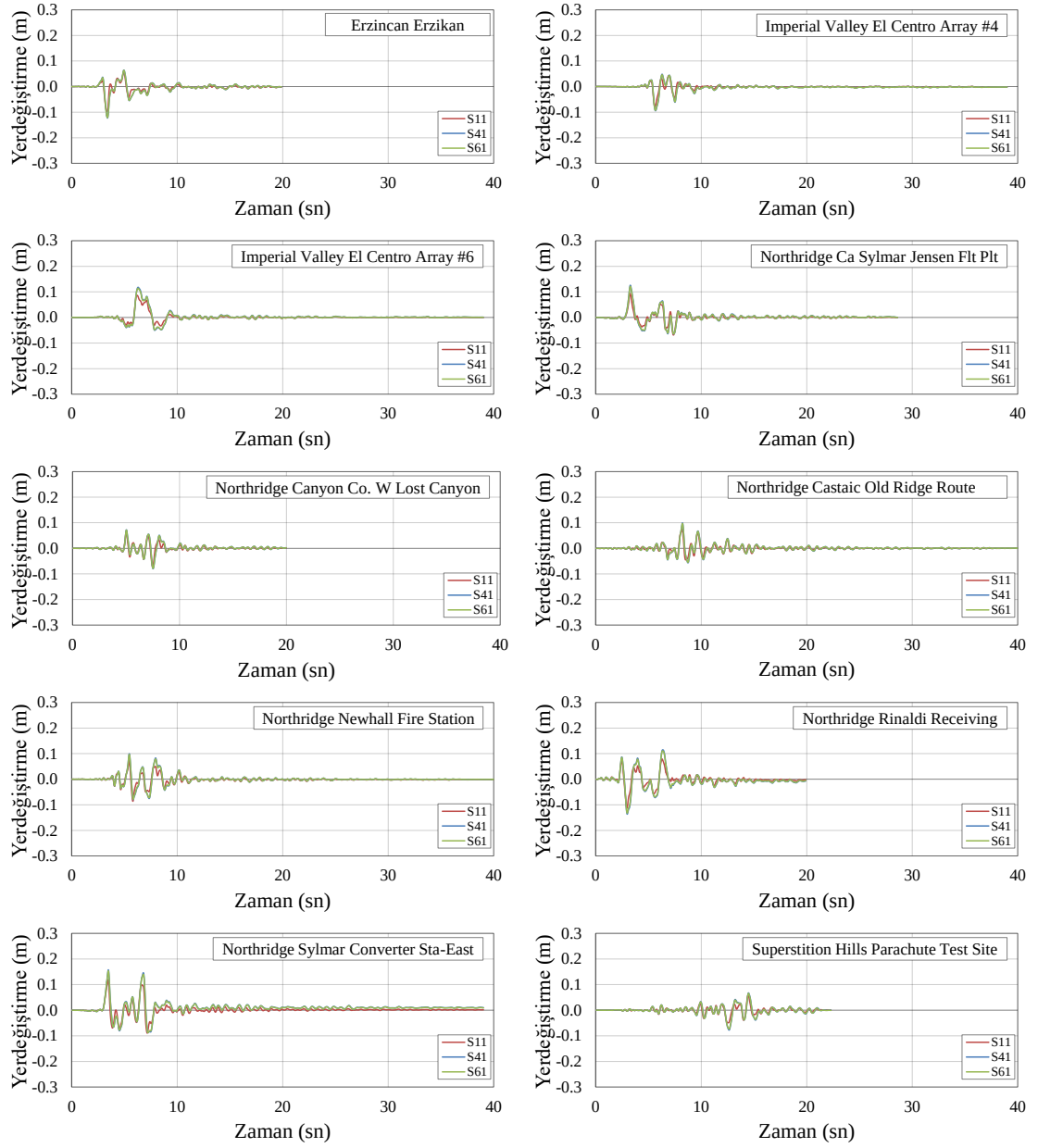
Şekil A.28 : Kolon üst ucunda, yapının y eksenini doğrultusunda, meydana gelen ivme-zaman ilişkisi (Yalın-YD1).



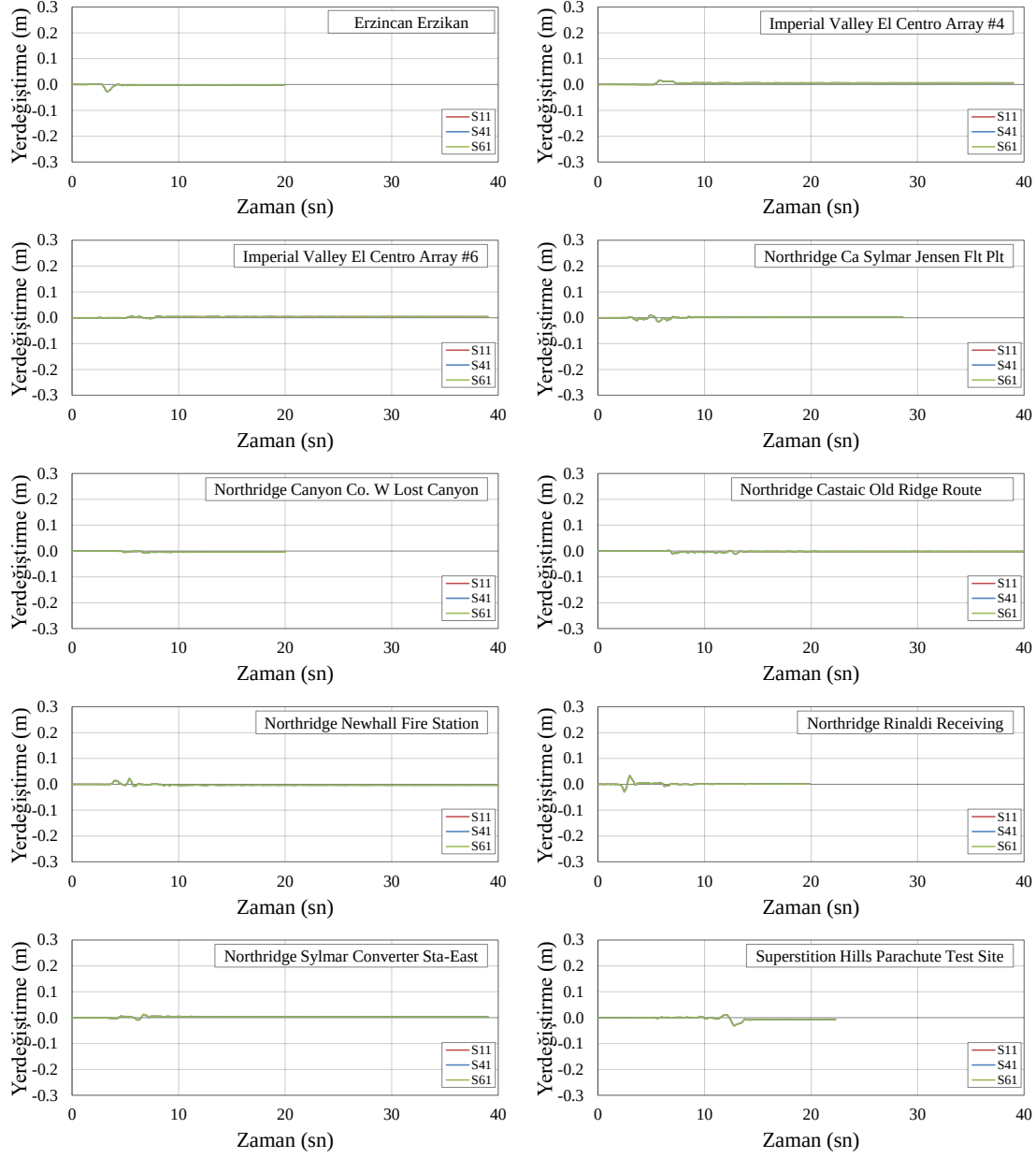
Şekil A.29 : Kolon üst ucunda, yapının x eksenine doğrultusunda, meydana gelen ivme-zaman ilişkisi (Yalın-YD2).



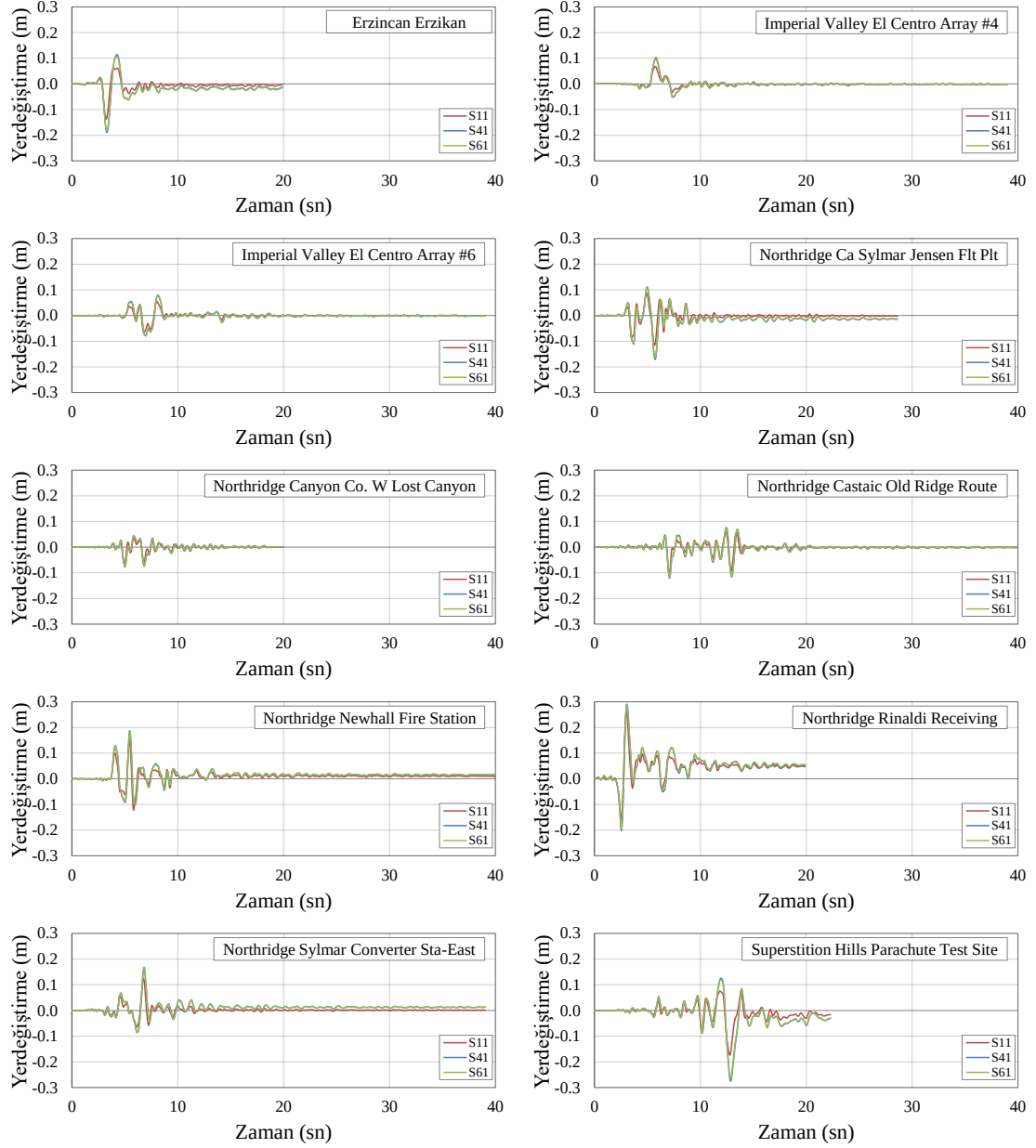
Şekil A.30 : Kolon üst ucunda, yapının y eksenini doğrultusunda, meydana gelen ivme-zaman ilişkisi (Yalın-YD2).



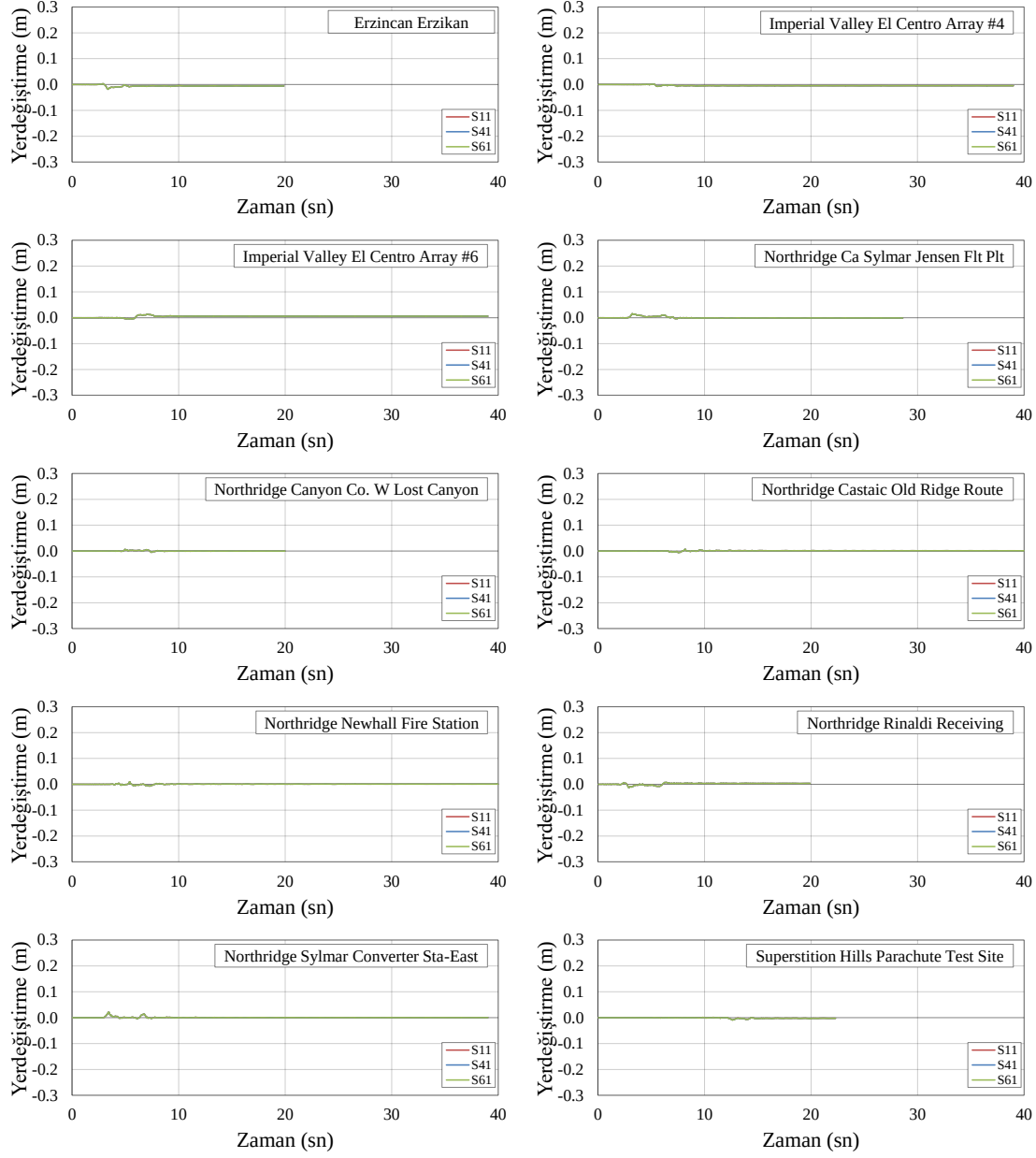
Şekil A.31 : S11, S41 ve S61 kolonları üst uçlarında yapının x eksenini doğrultusunda oluşan yerdeğiştirme-zaman ilişkisi (Sönümleyicili-YD1).



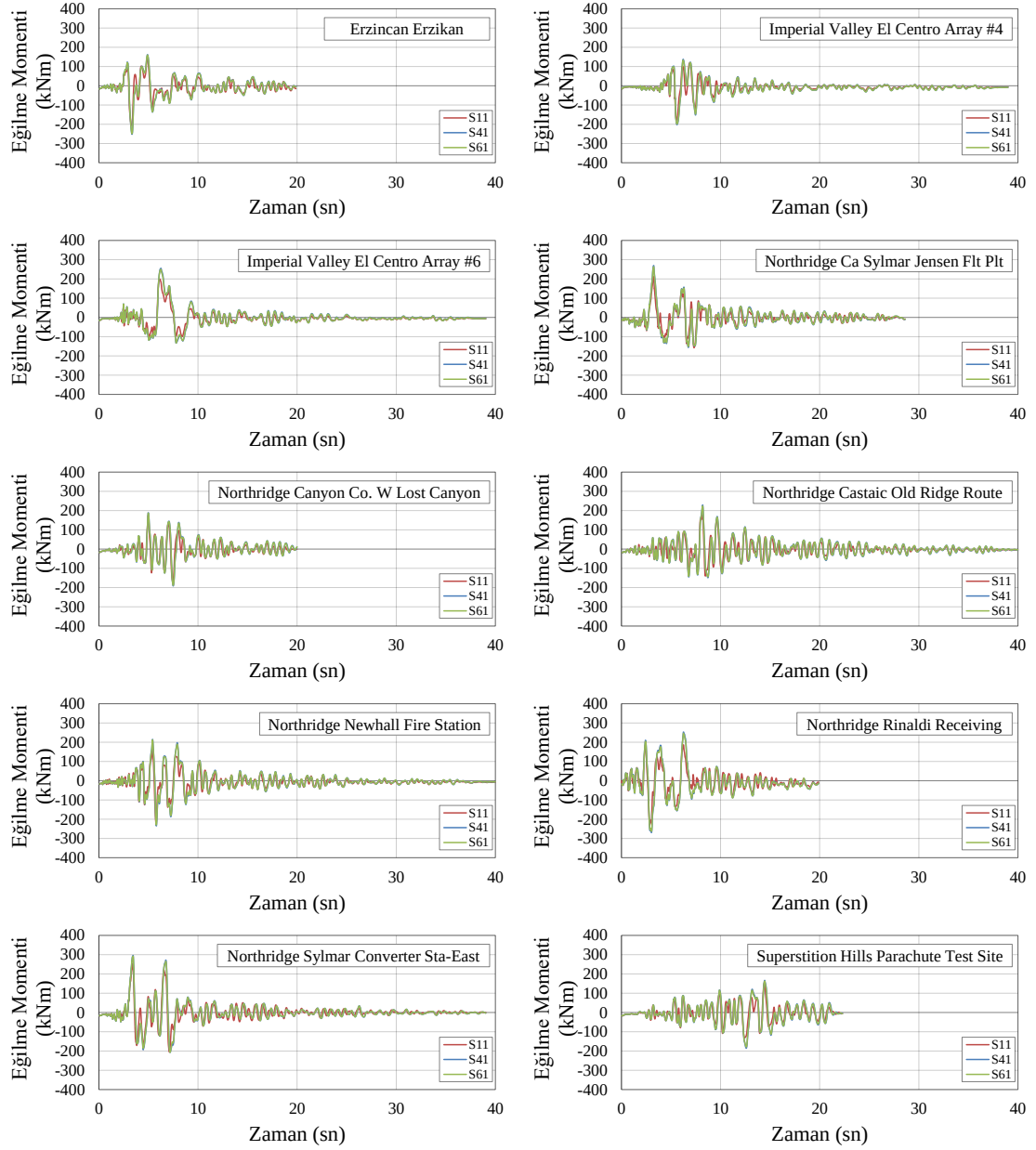
Şekil A.32 : S11, S41 ve S61 kolonları üst uçlarında yapının y eksenini doğrultusunda oluşan yerdeğiştirme-zaman ilişkisi (Sönümleyicili-YD1).



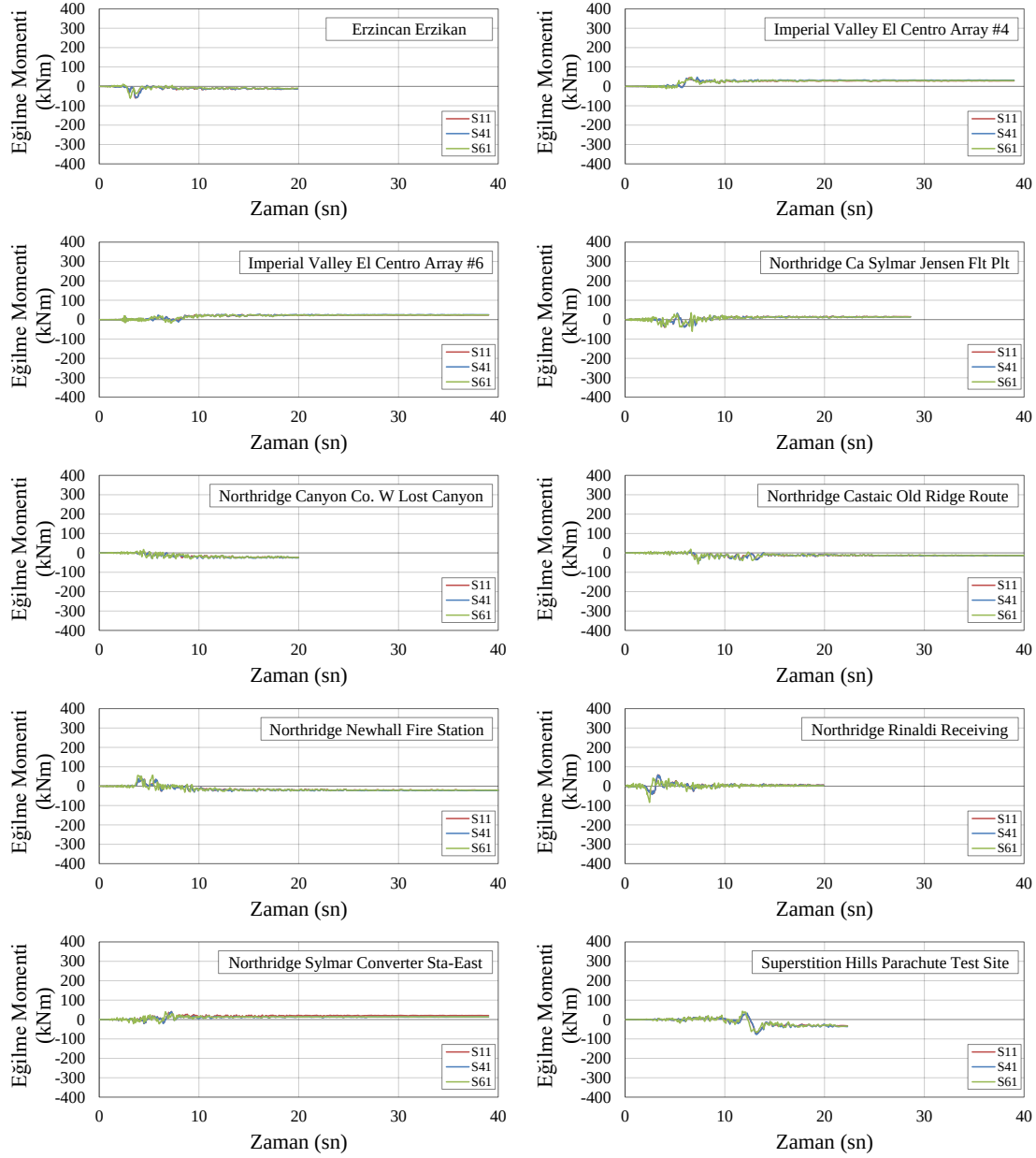
Şekil A.33 : S11, S41 ve S61 kolonları üst uçlarında yapının x eksenini doğrultusunda oluşan yerdeğiştirme-zaman ilişkisi (Sönümleyicili-YD2).



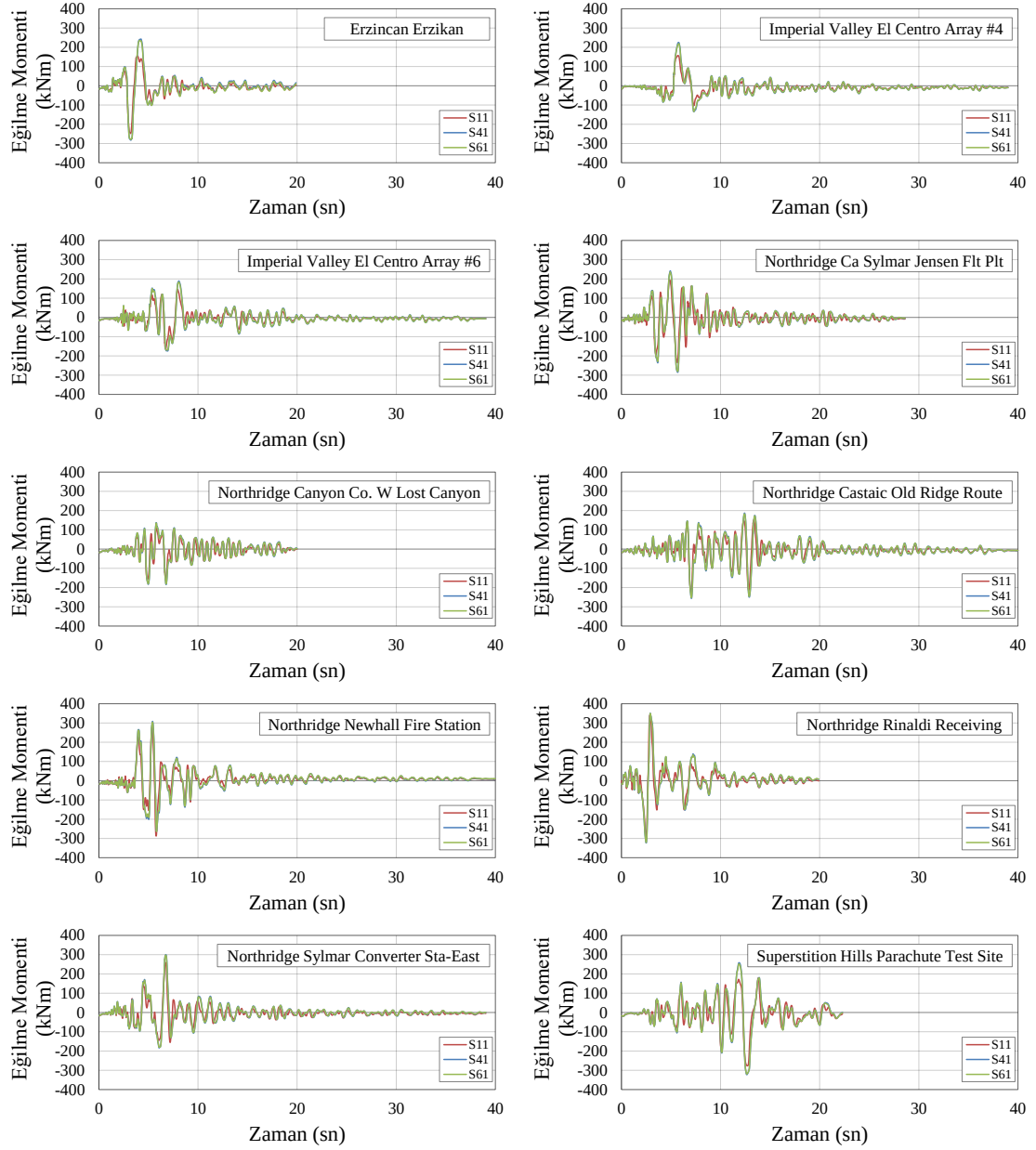
Şekil A.34 : S11, S41 ve S61 kolonları üst uçlarında yapının y eksenini doğrultusunda oluşan yerdeğiştirme-zaman ilişkisi (Sönümleyicili-YD2).



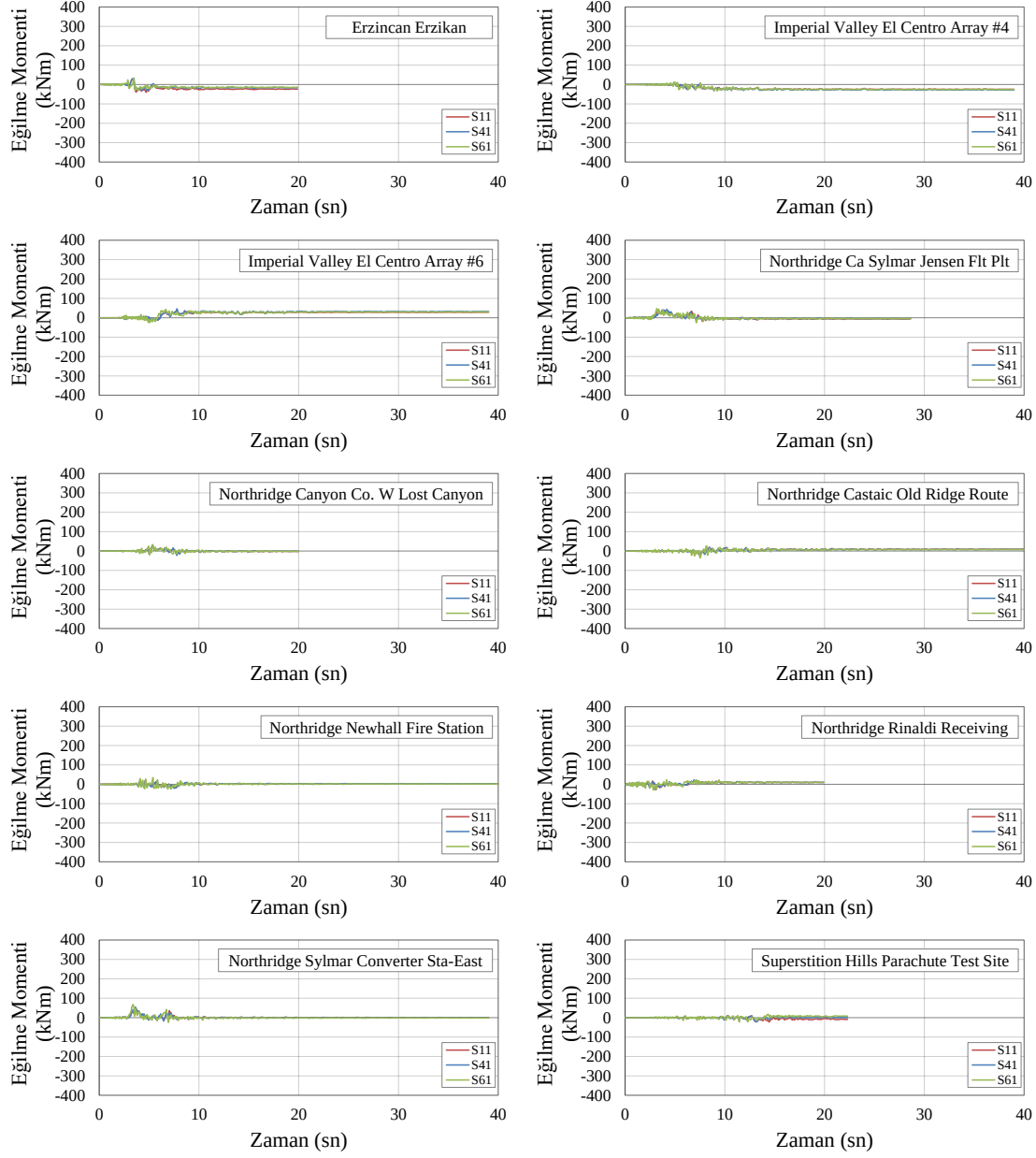
Şekil A.35 : S11, S41 ve S61 kolonları alt uçlarında yapının y eksenini etrafında oluşan eğilme momenti-zaman ilişkisi (Sönümleyicili-YD1).



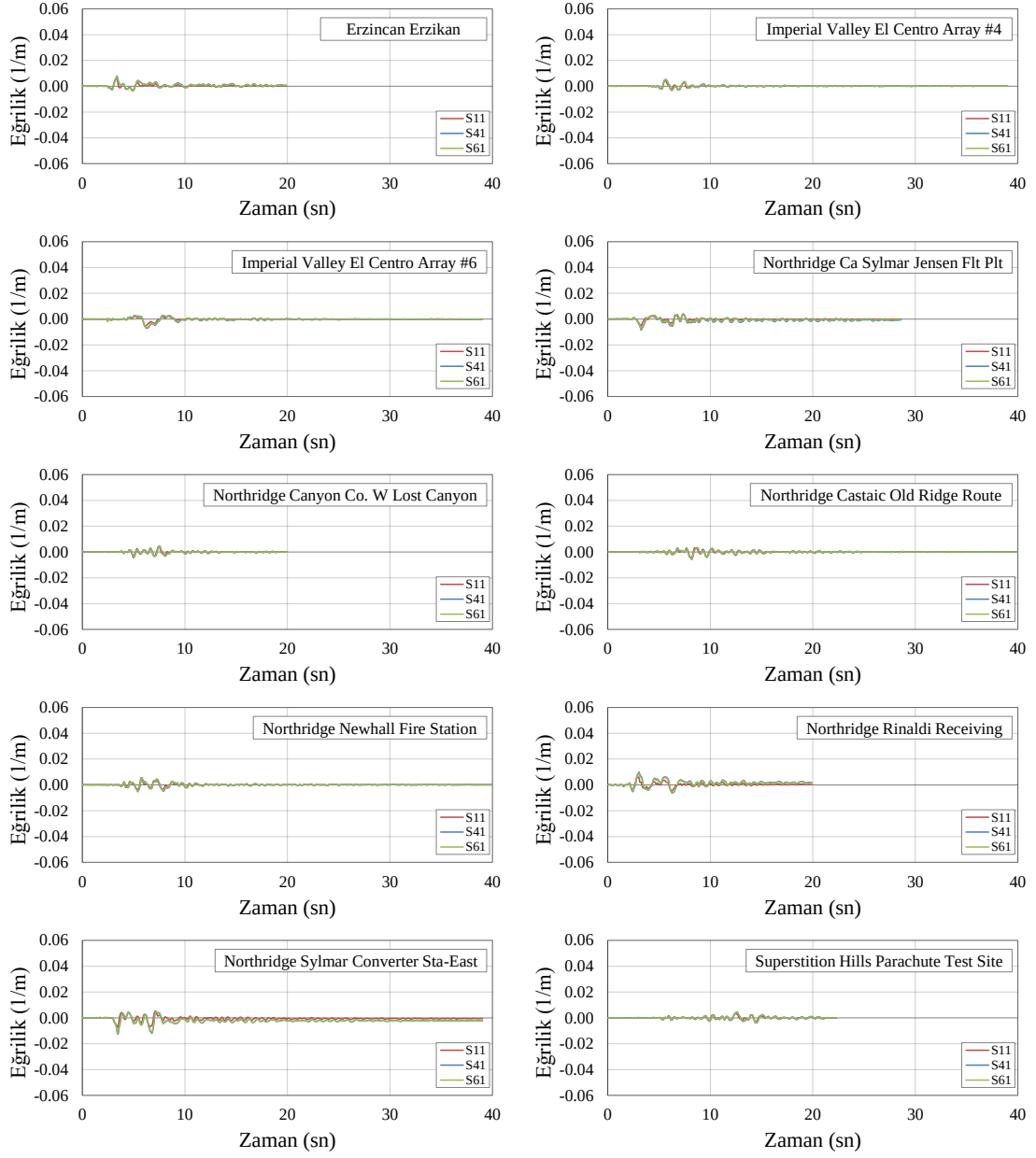
Şekil A.36 : S11, S41 ve S61 kolonları alt uçlarında yapının x eksenı etrafında oluşan eğilme momenti-zaman ilişkisi (Sönümleyicili-YD1).



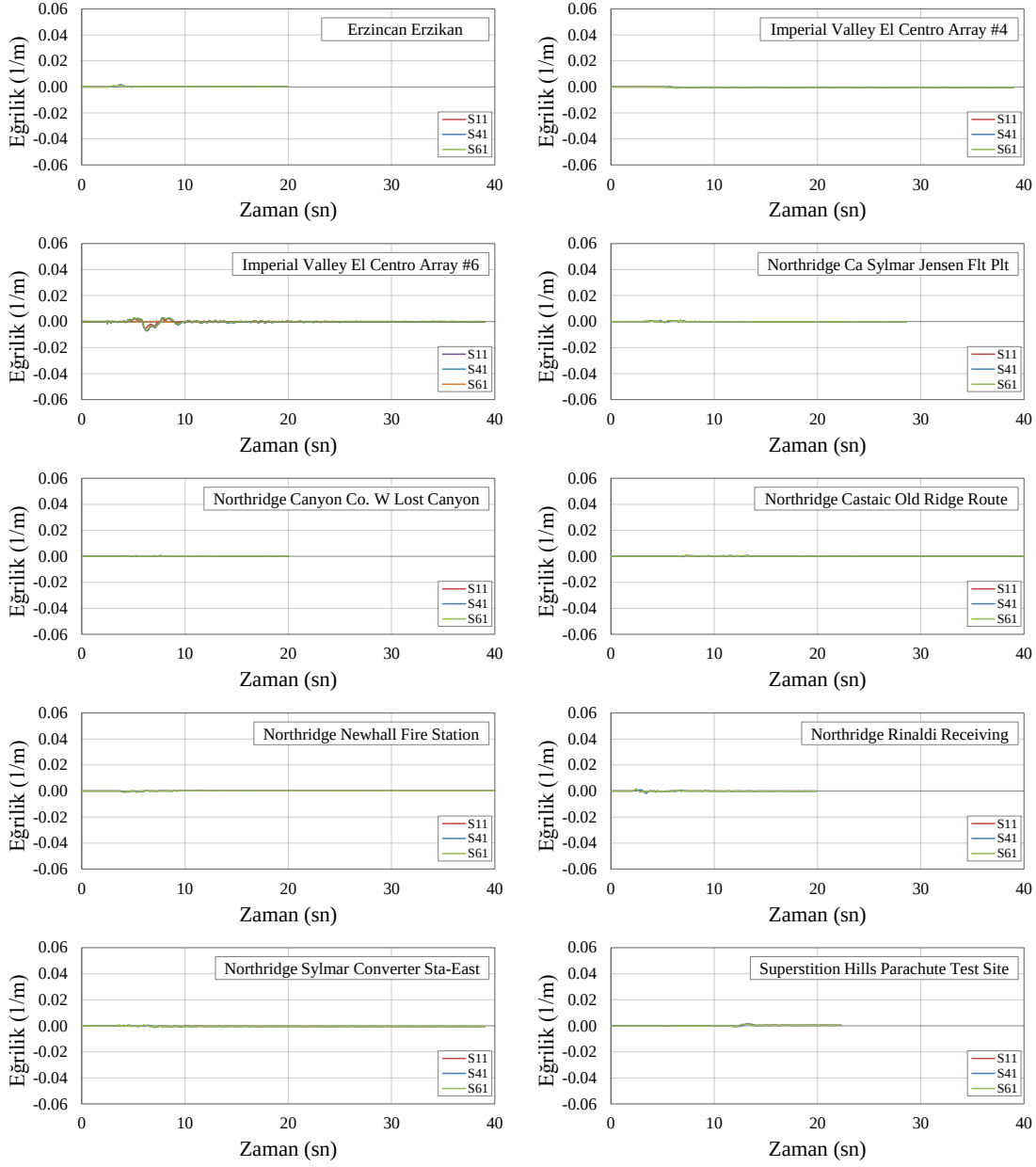
Şekil A.37 : S11, S41 ve S61 kolonları alt uçlarında yapının y eksenini etrafında oluşan eğilme momenti-zaman ilişkisi (Sönümleyicili-YD2).



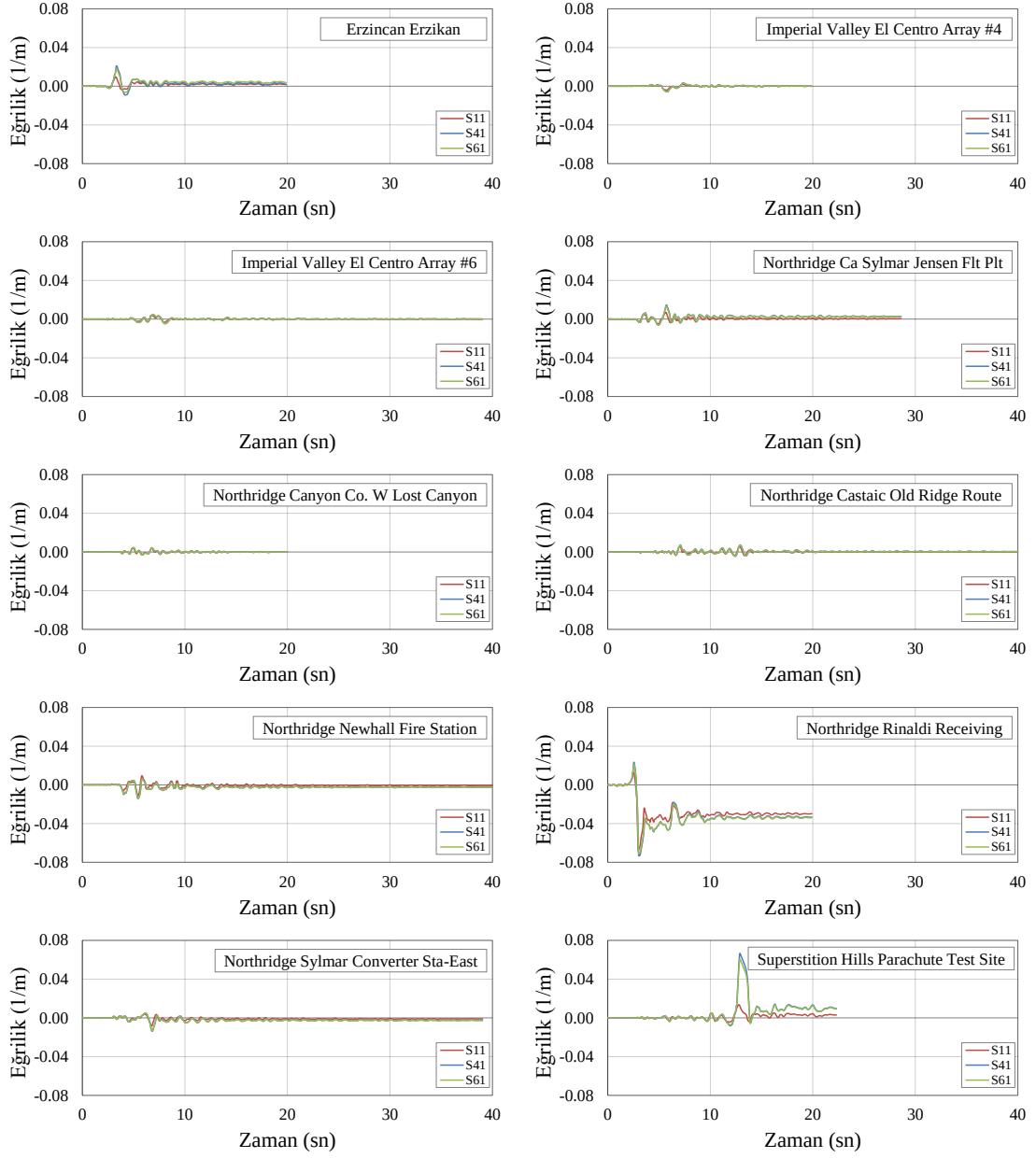
Şekil A.38 : S11, S41 ve S61 kolonları alt uçlarında yapının x eksenı etrafında oluşan eğilme momenti-zaman ilişkisi (Sönümleyicili-YD2).



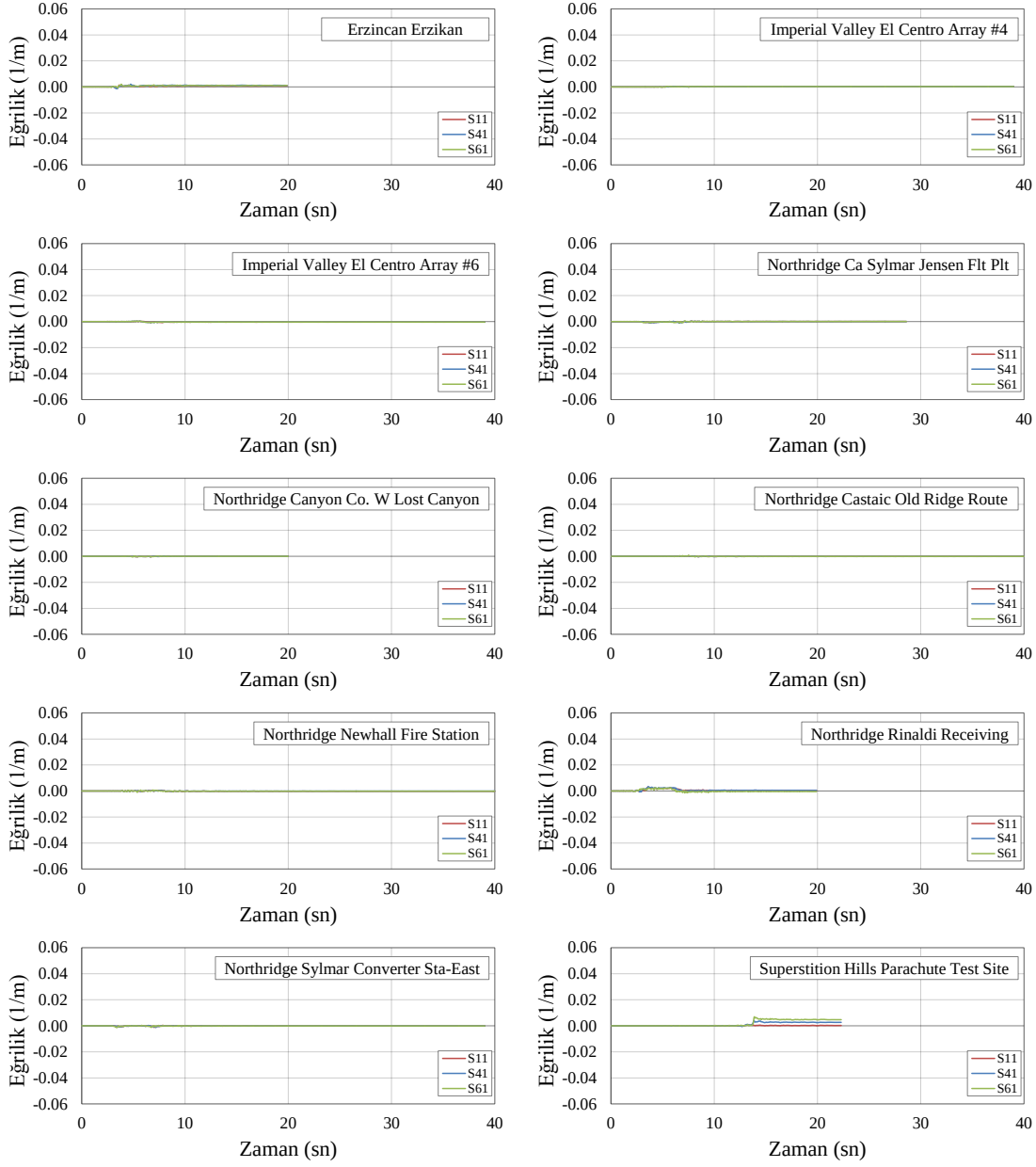
Şekil A.39 : S11, S41 ve S61 kolonları alt uçlarında, yapının y eksenı etrafında oluşan eğrilik-zaman ilişkisi (Sönümleyicili-YD1).



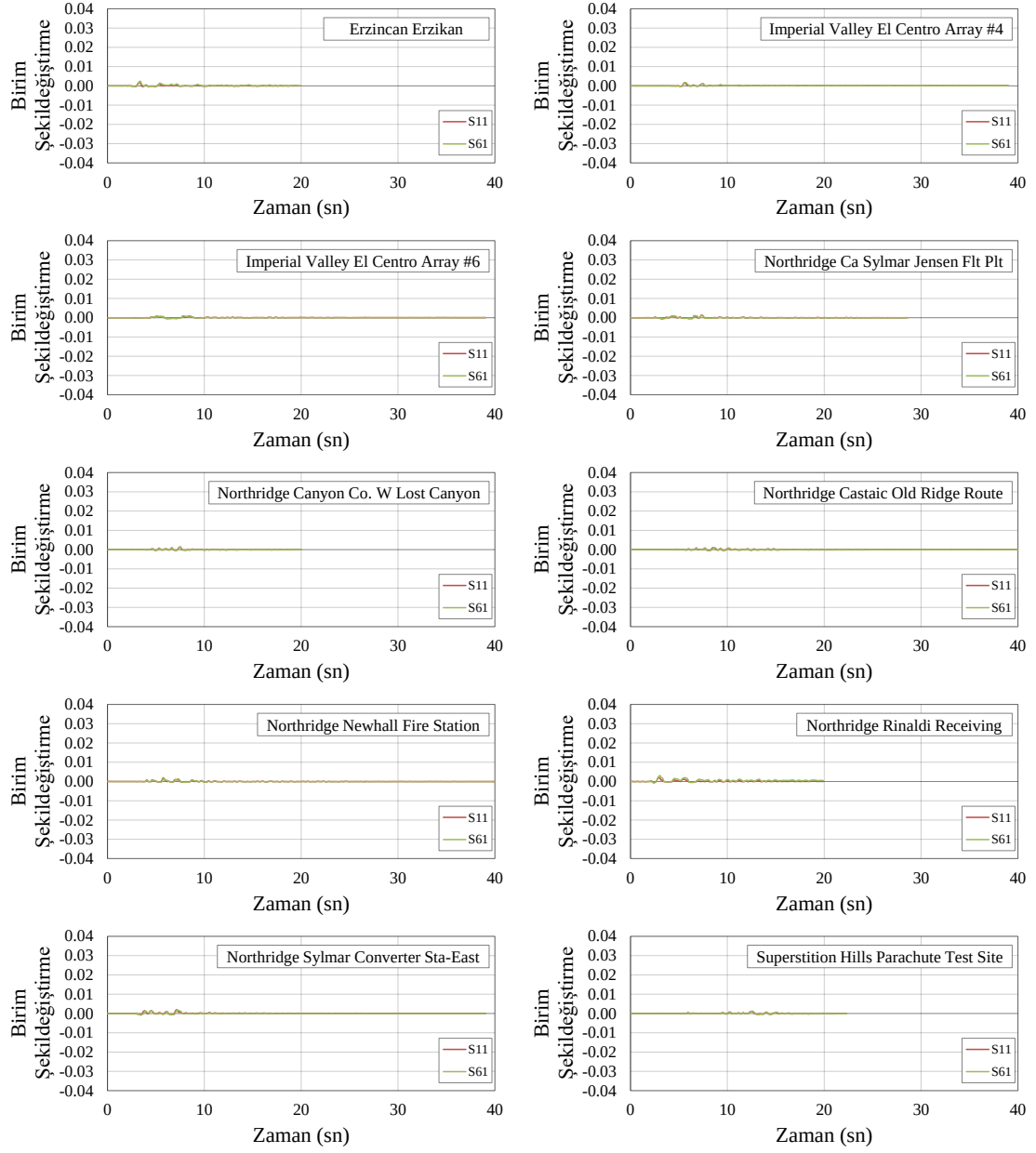
Şekil A.40 : S11, S41 ve S61 kolonları alt uçlarında, yapının x eksenini etrafında oluşan eğrilik-zaman ilişkisi (Sönümleyicili-YD1).



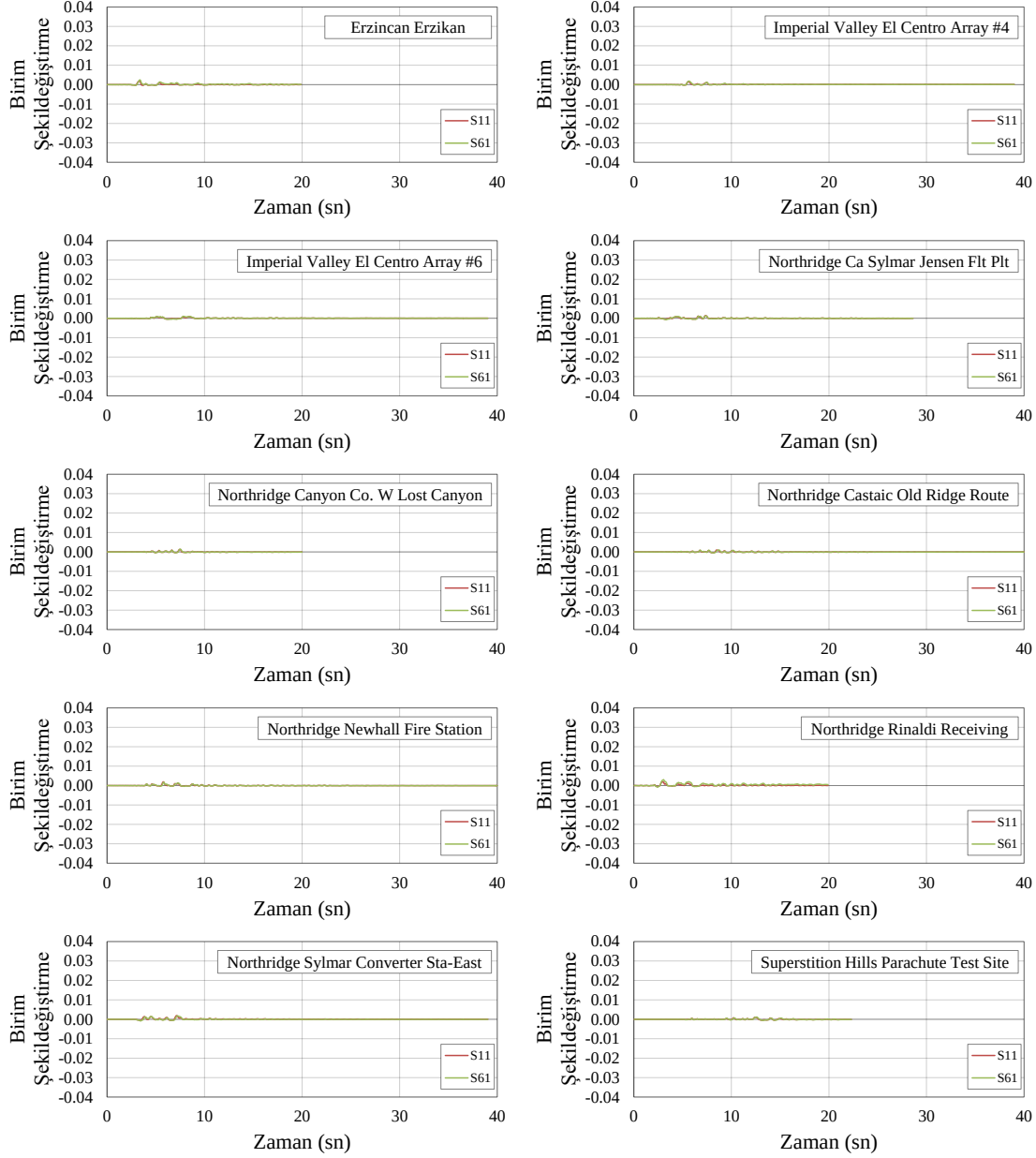
Şekil A.41 : S11, S41 ve S61 kolonları alt uçlarında, yapının y eksenı etrafında oluşan eğrilik-zaman ilişkisi (Sönümleyicili-YD2).



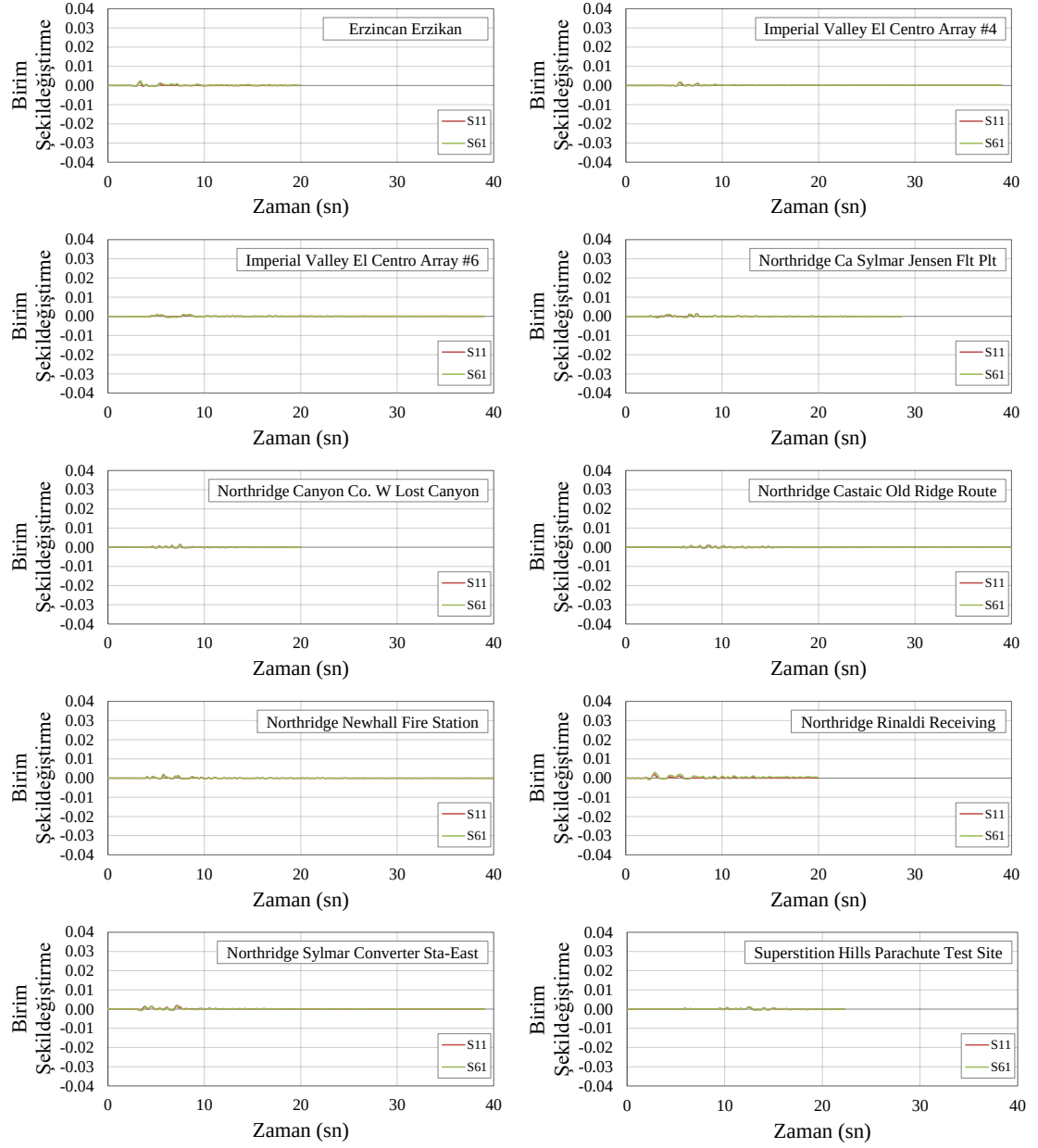
Şekil A.42 : S11, S41 ve S61 kolonları alt uçlarında, yapının x eksenini etrafında oluşan eğrilik-zaman ilişkisi (Sönümleyicili-YD2).



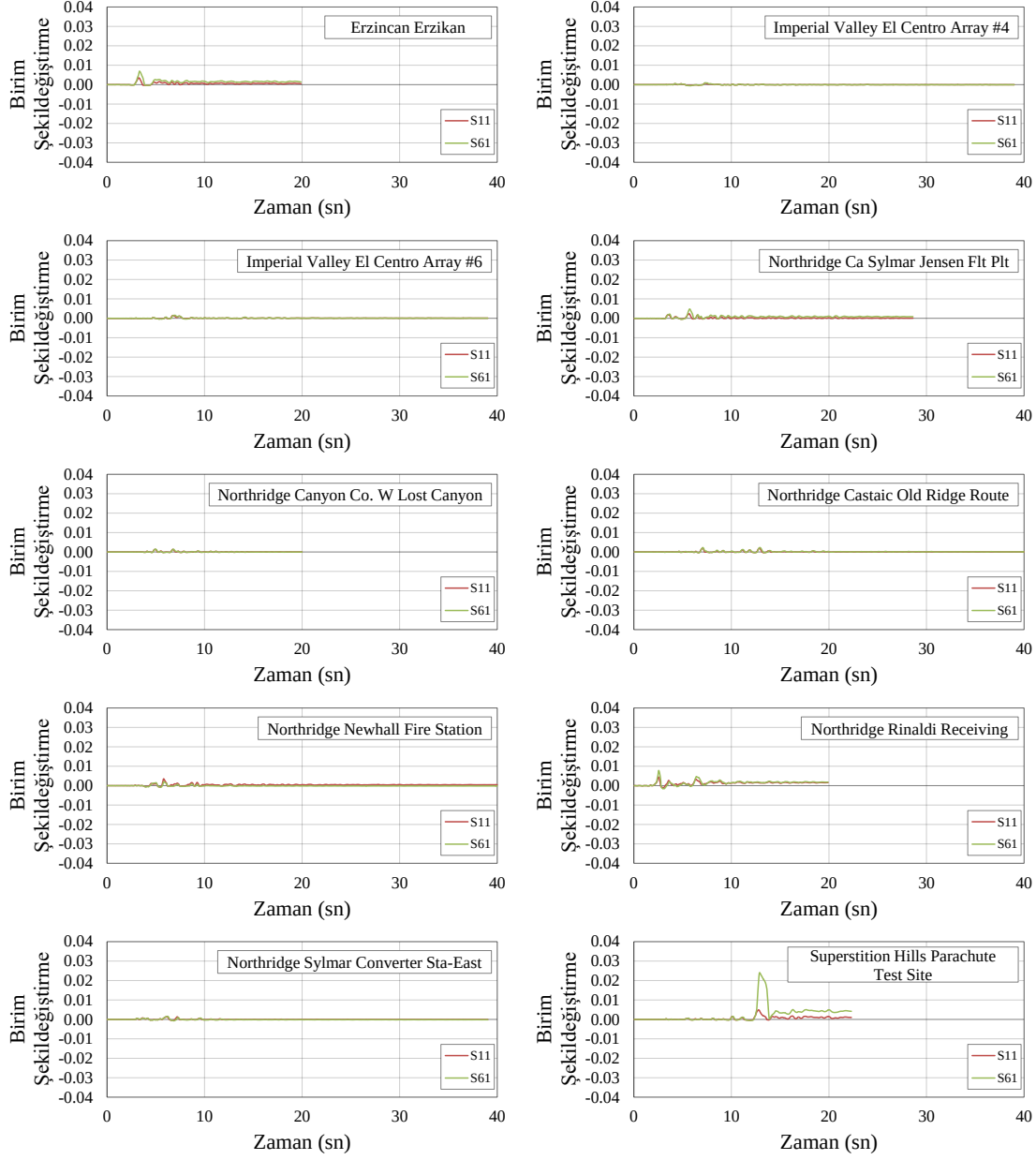
Şekil A.43 : S11 ve S61 kolonları alt uç kesitinde boyuna donatıda oluşan birim şekildeğiştirme-zaman ilişkisi (Sönümleyicili-YD1).



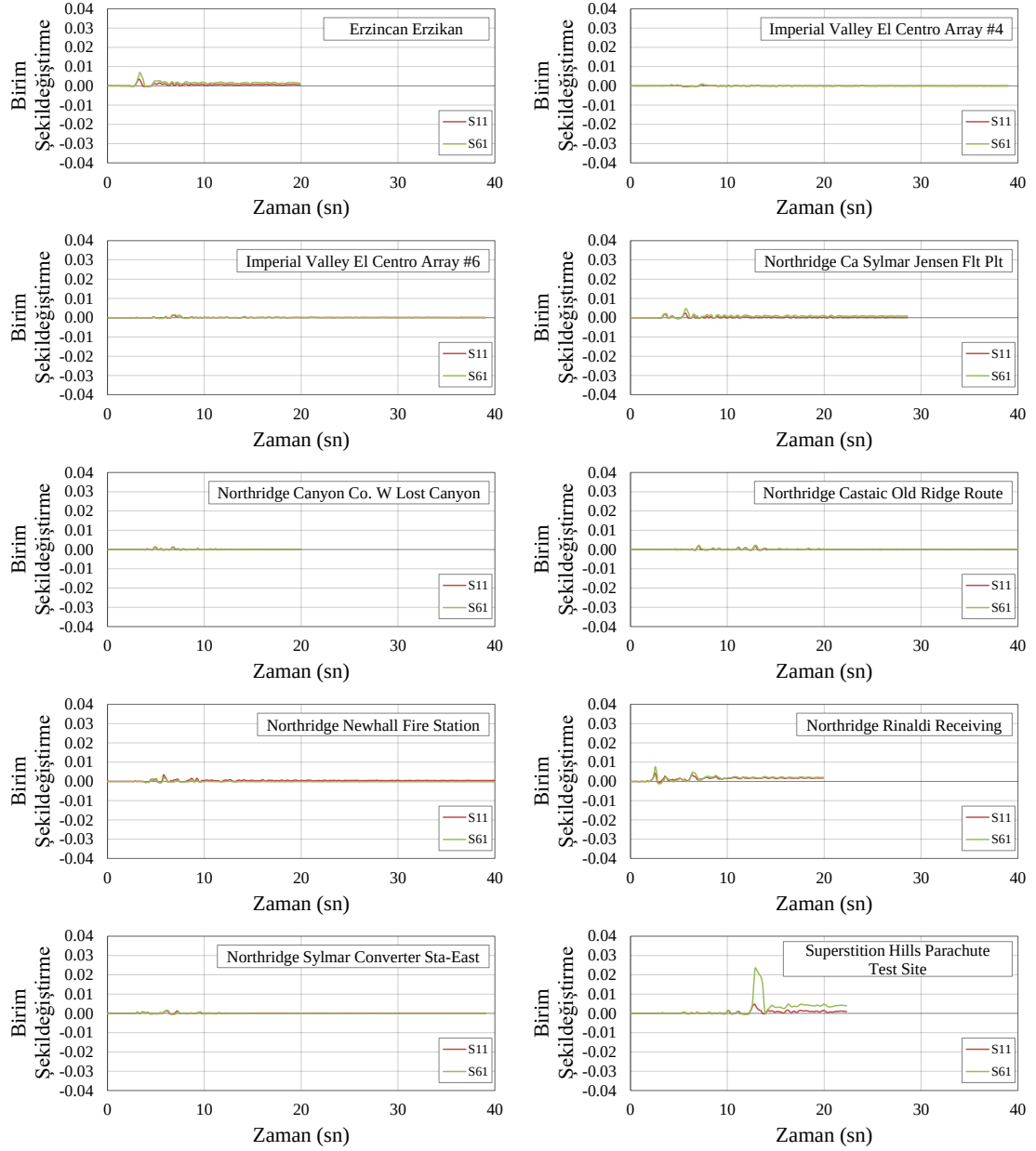
Şekil A.44 : S11 ve S61 kolonları alt uç kesitinde kabuk betonda oluşan birim şekildeğiştirme-zaman ilişkisi (Sönümleyicili-YD1).



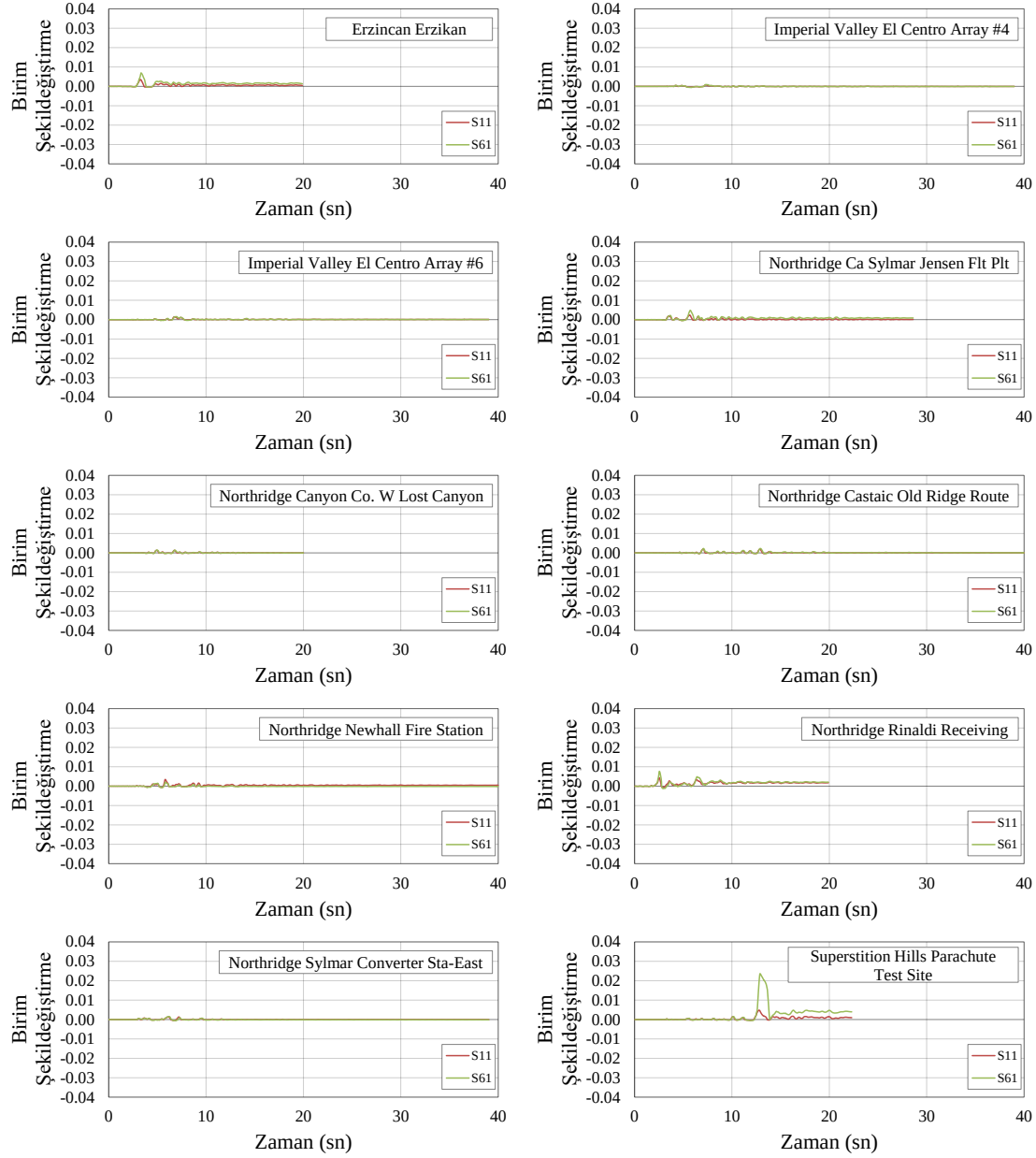
Şekil A.45 : S11 ve S61 kolonları alt uç kesitinde çekirdek betonda oluşan birim şekildeğiştirme-zaman ilişkisi (Sönümleyicili-YD1).



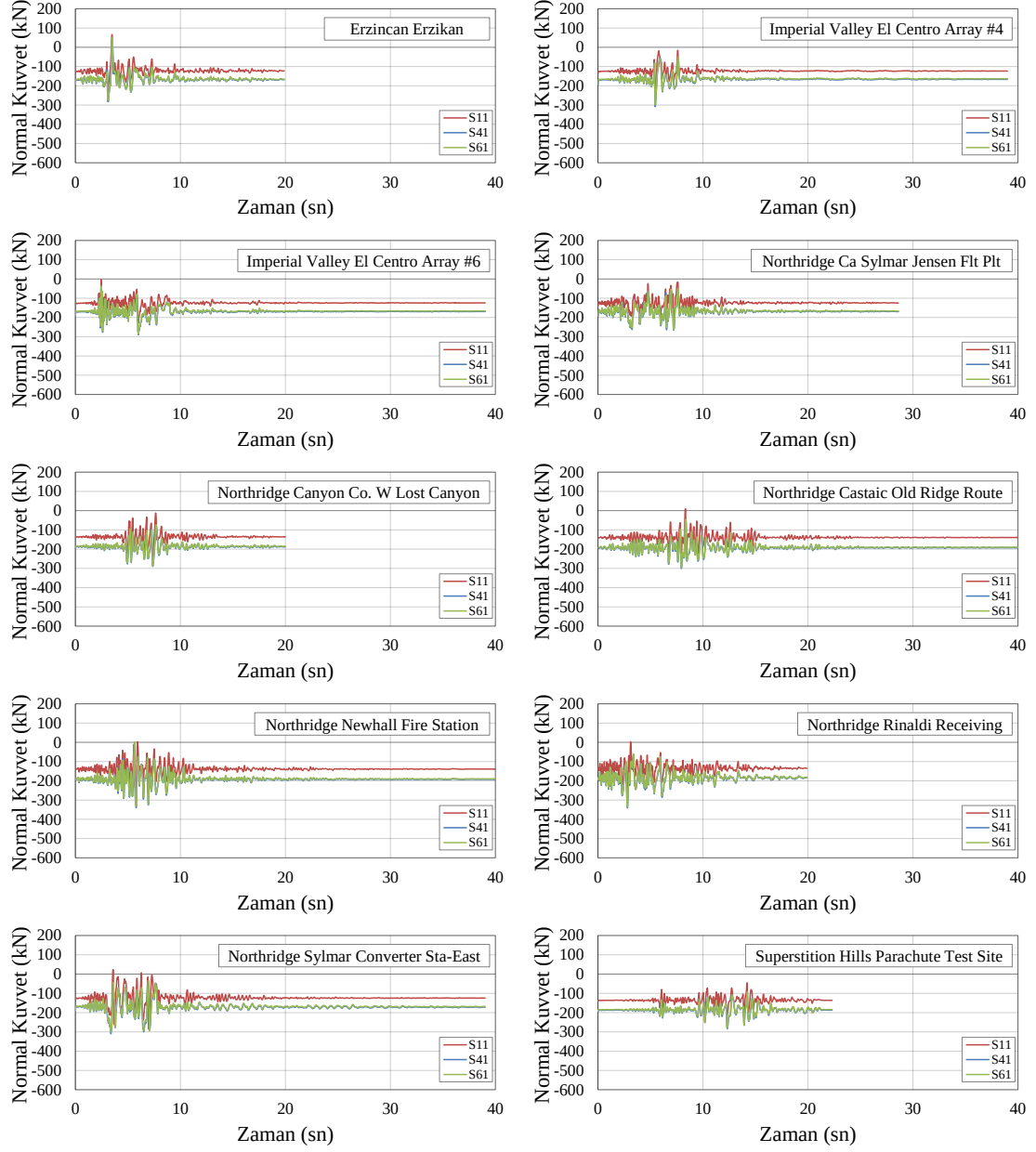
Şekil A.46 : S11 ve S61 kolonları alt uç kesitinde boyuna donatıda oluşan birim şekildeğiştirme-zaman ilişkisi (Sönümleyicili-YD2).



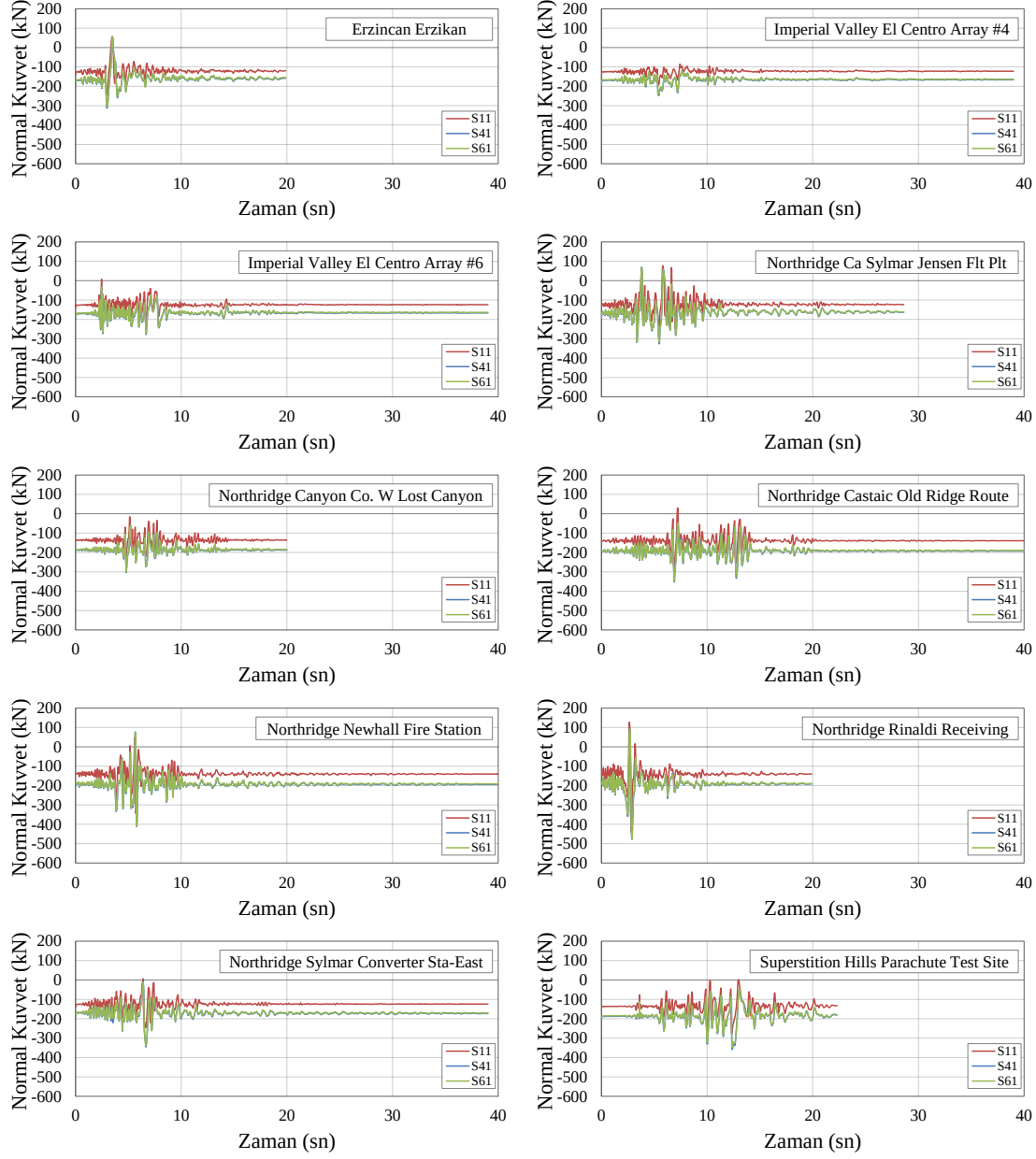
Şekil A.47 : S11 ve S61 kolonları alt uç kesitinde kabuk betonda oluşan birim şekildeğiştirme-zaman ilişkisi (Sönümleyicili-YD2).



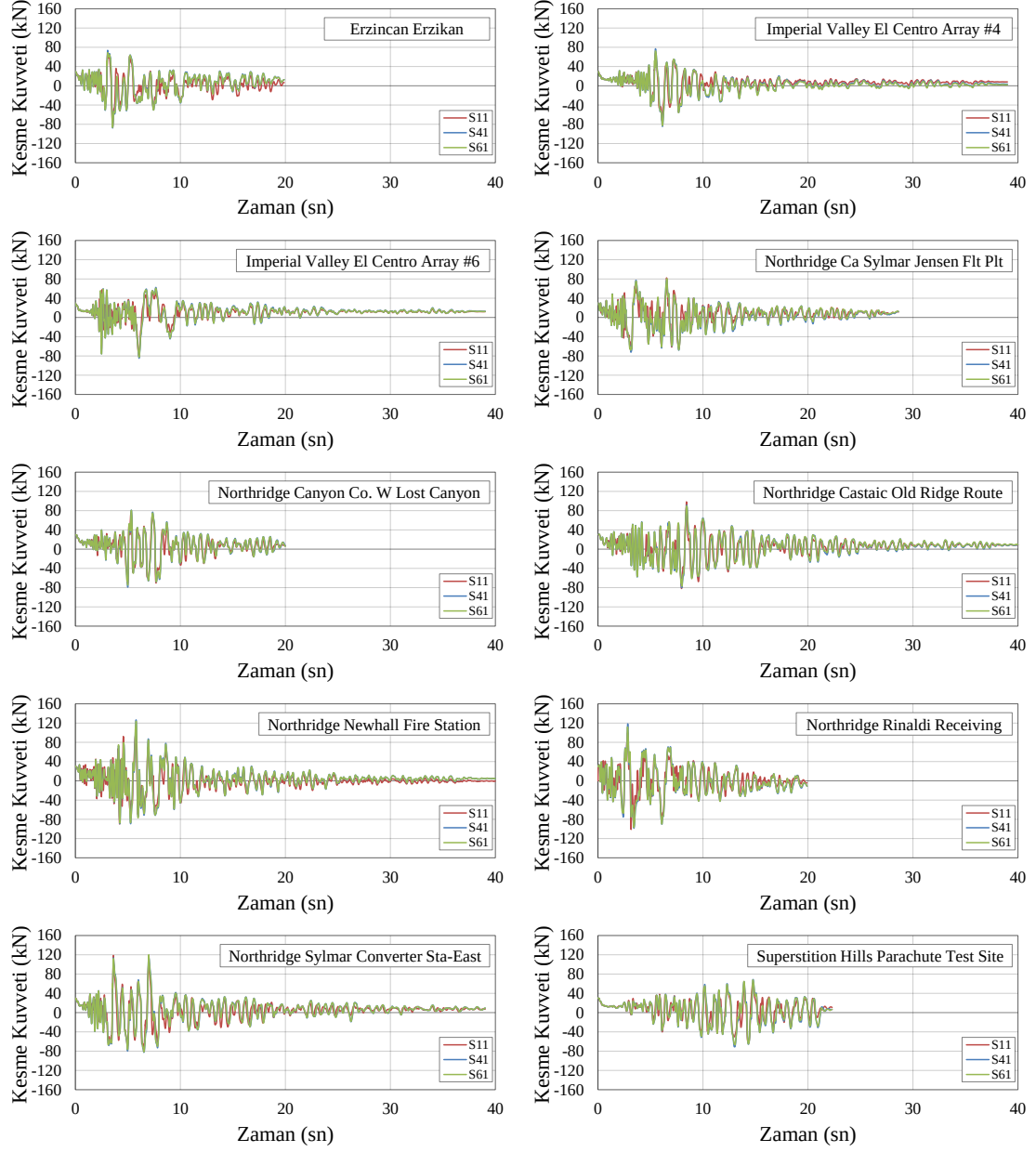
Şekil A.48 : S11 ve S61 kolonları alt uç kesitinde çekirdek betonda oluşan birim şekildeğiştirme-zaman ilişkisi (Sönümleyicili-YD2).



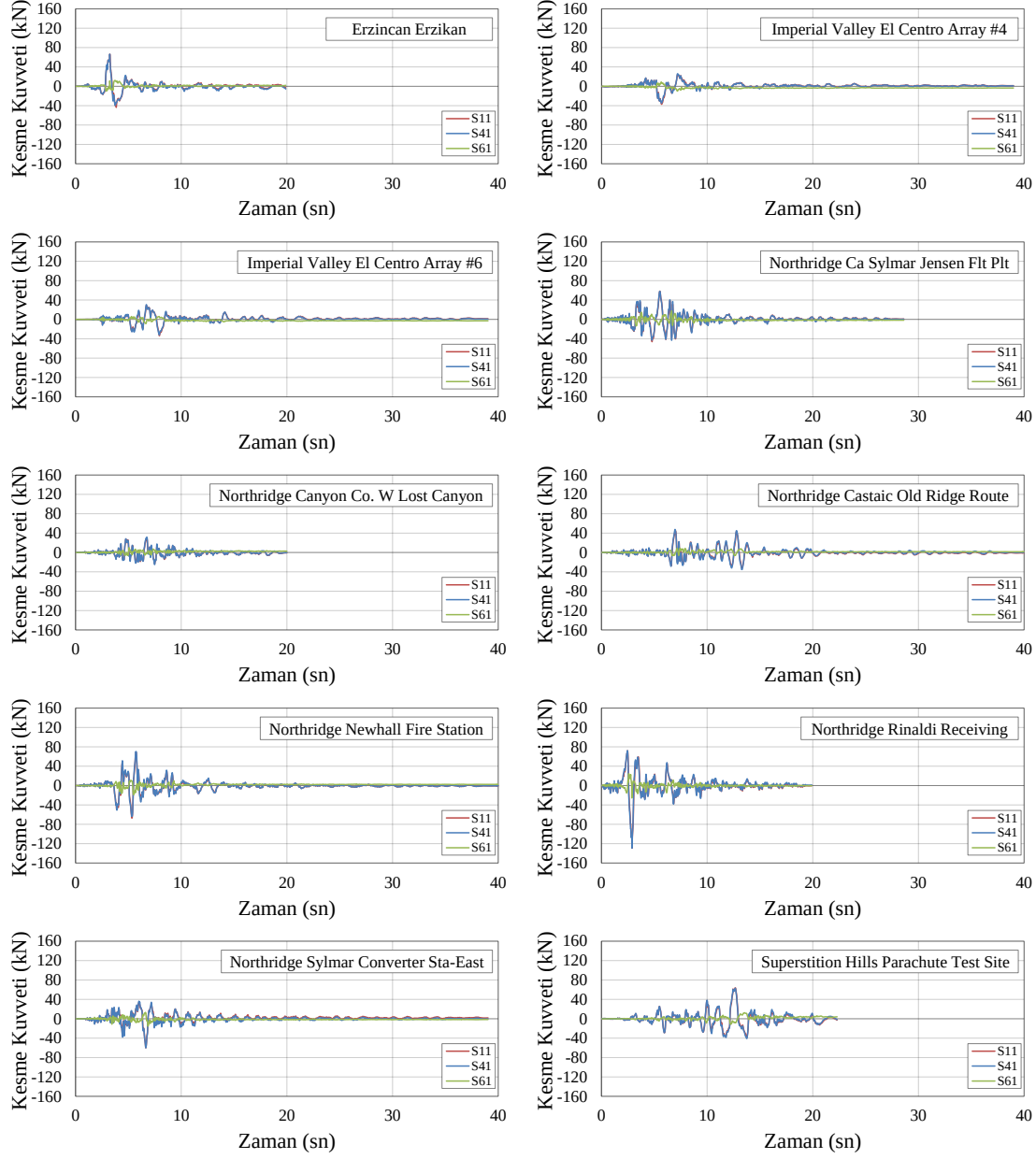
Şekil A.49 : Kolon alt uç kesitinde meydana gelen normal kuvvet-zaman ilişkisi (Sönümleyicili-YD1).



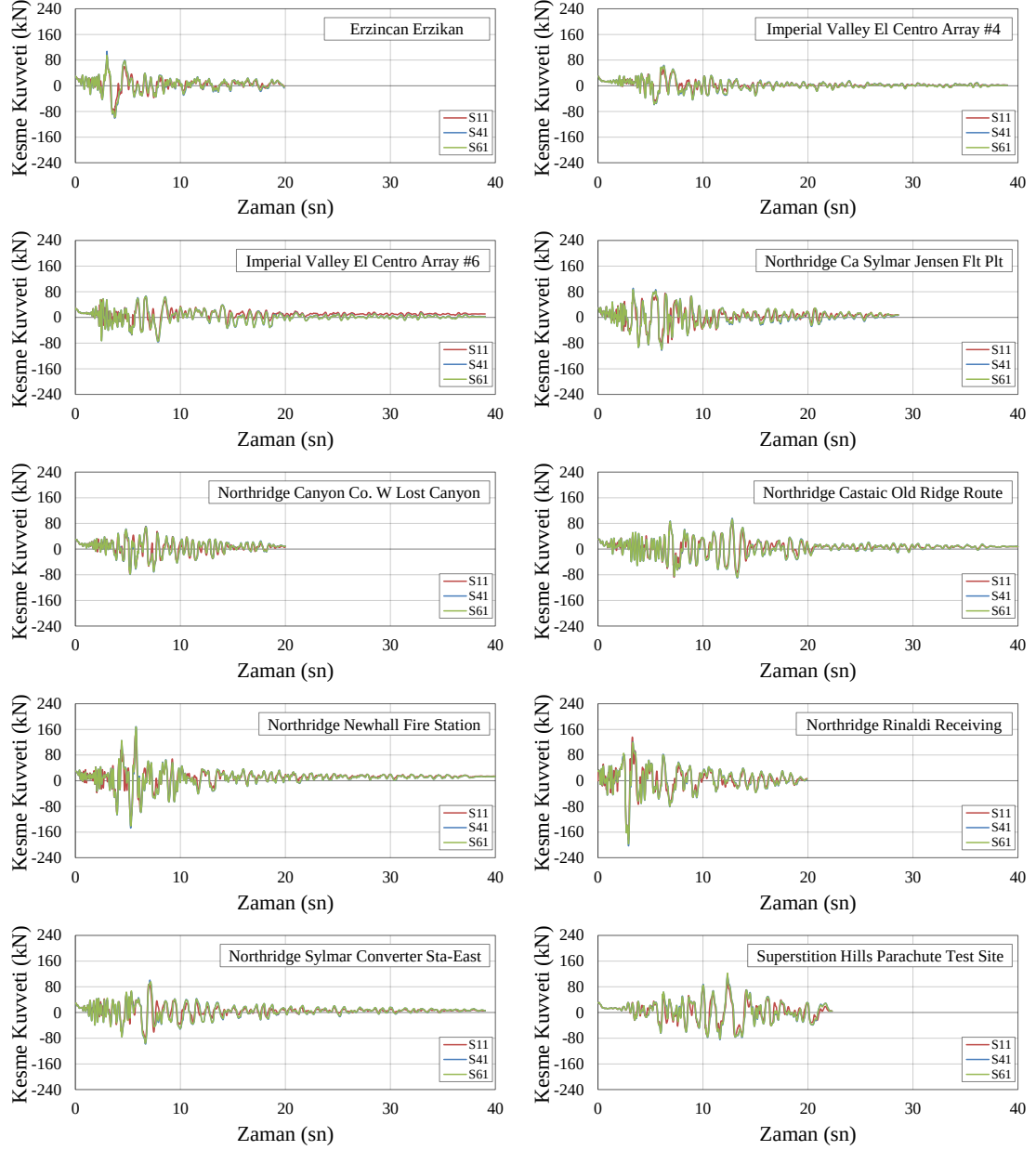
Şekil A.50 : Kolon alt uç kesitinde meydana gelen normal kuvvet-zaman ilişkisi (Sönümleyicili-YD2).



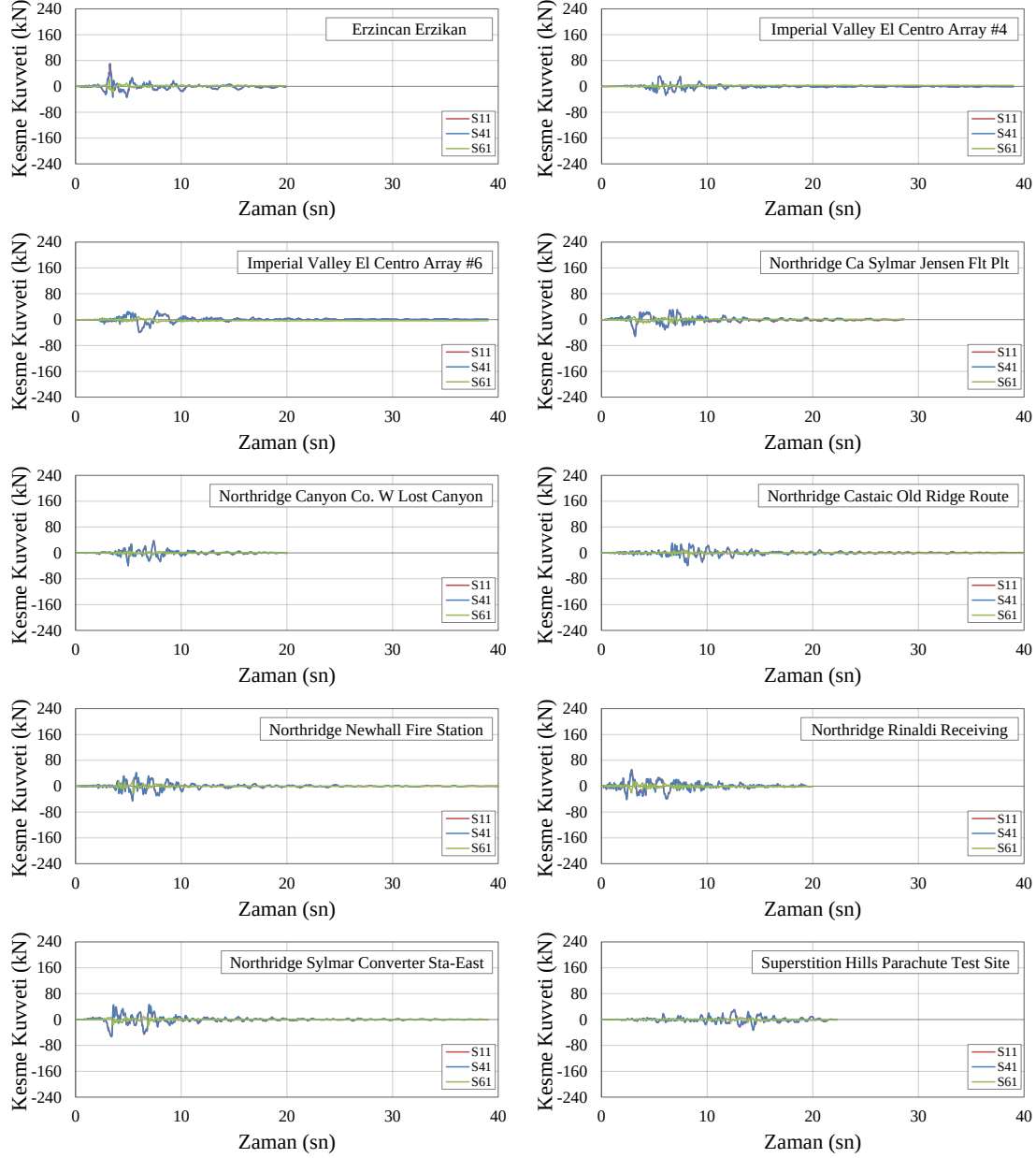
Şekil A.51 : Kolon üst uç kesitinde, yapının x eksenine doğrultusunda, meydana gelen kesme kuvveti-zaman ilişkisi (Sönümleyicili-YD1).



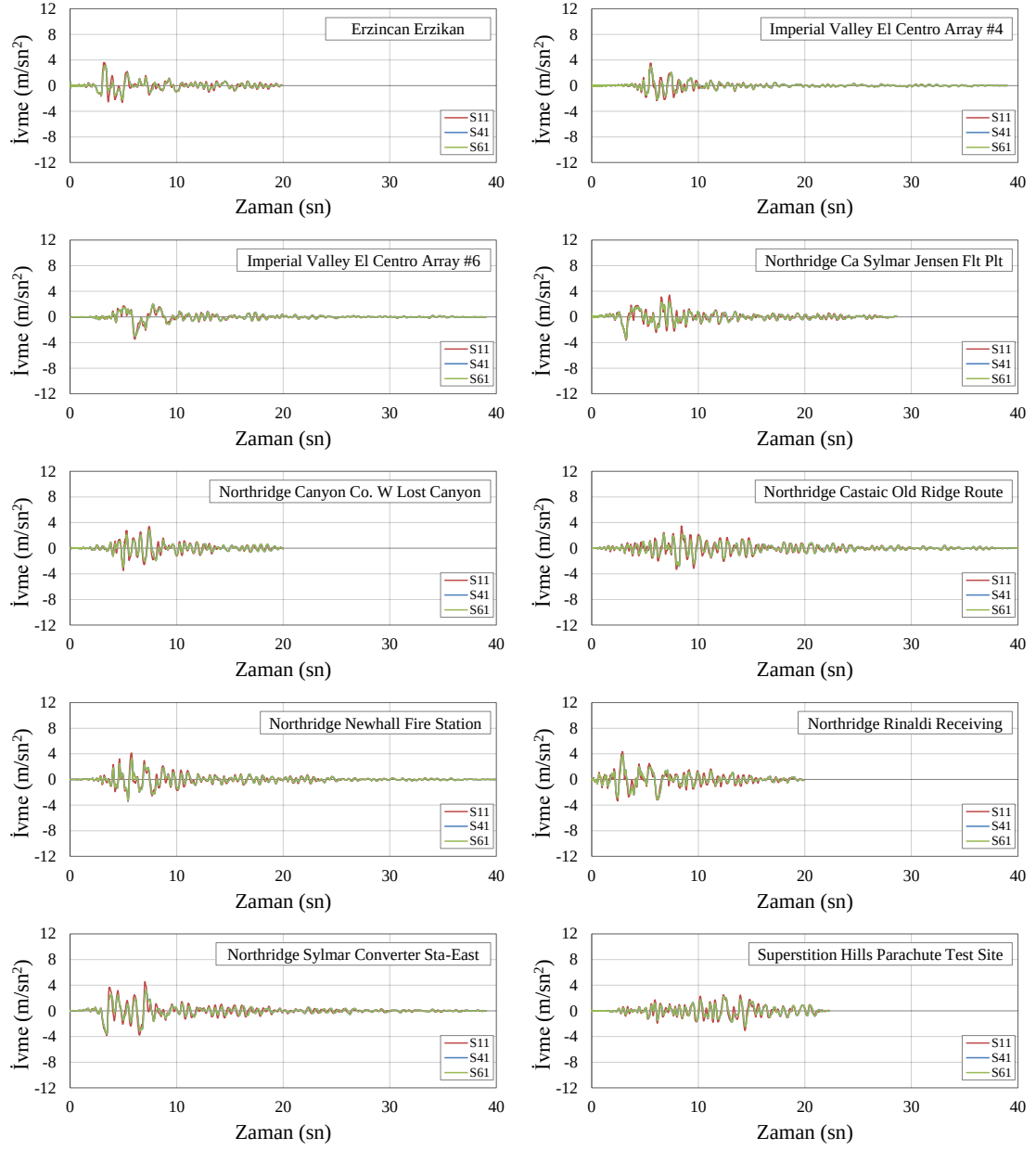
Şekil A.52 : Kolon üst uç kesitinde, yapının y eksenini doğrultusunda, meydana gelen kesme kuvveti-zaman ilişkisi (Sönümleyicili-YD1).



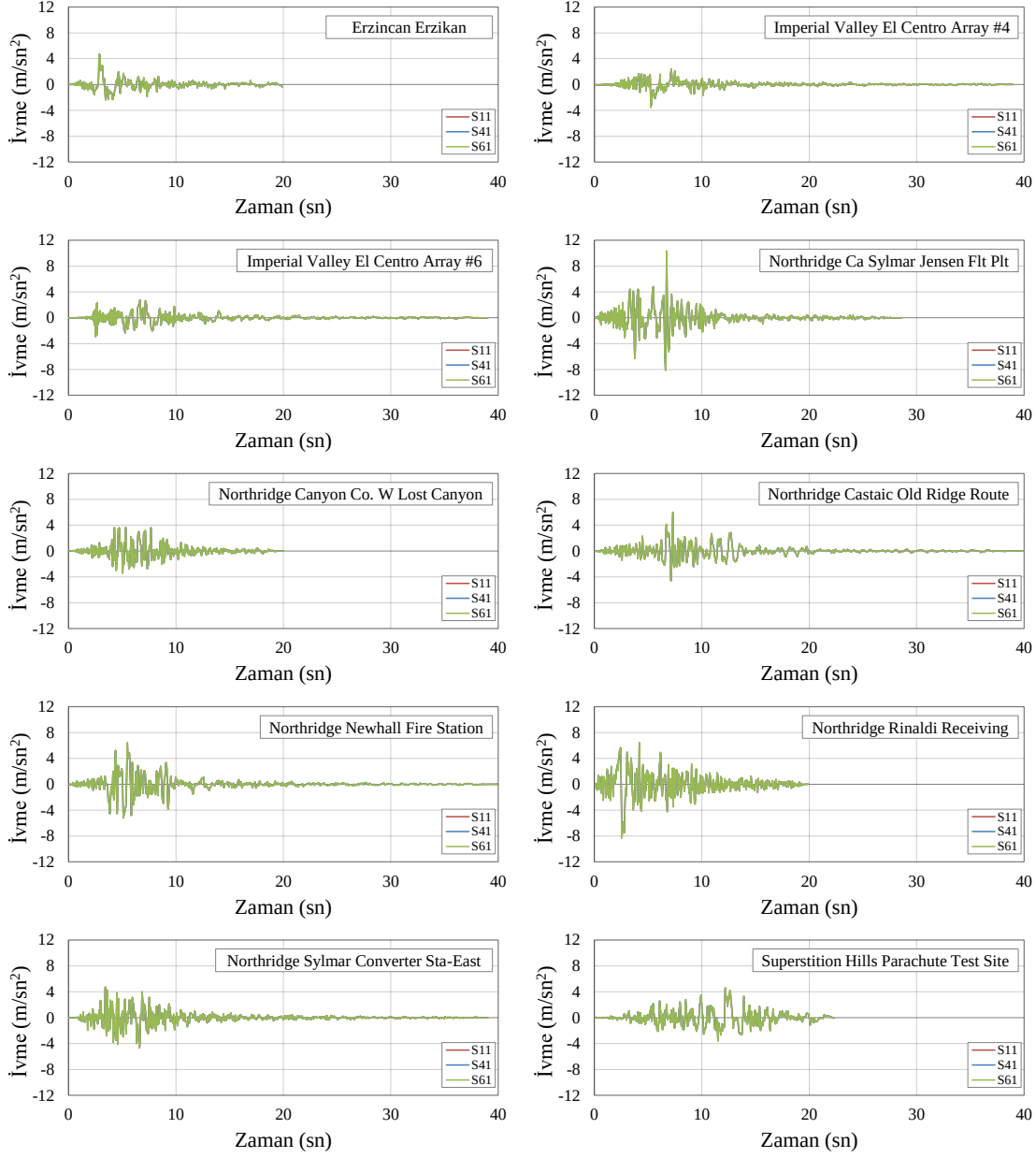
Şekil A.53 : Kolon üst uç kesitinde, yapının x eksenini doğrultusunda, meydana gelen kesme kuvveti-zaman ilişkisi (Sönümleyicili-YD2).



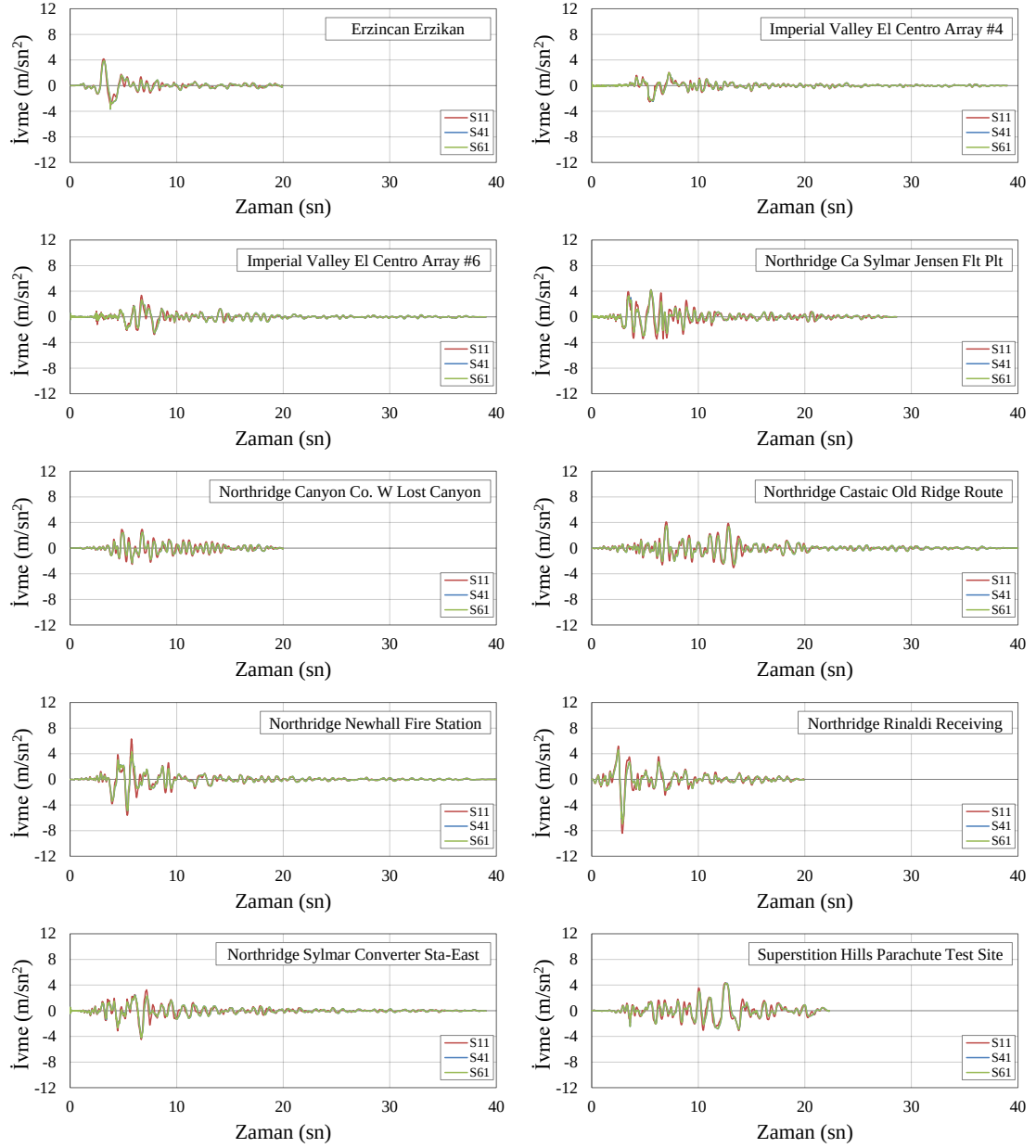
Şekil A.54 : Kolon üst uç kesitinde, yapının y eksenini doğrultusunda, meydana gelen kesme kuvveti-zaman ilişkisi (Sönümleyicili-YD2).



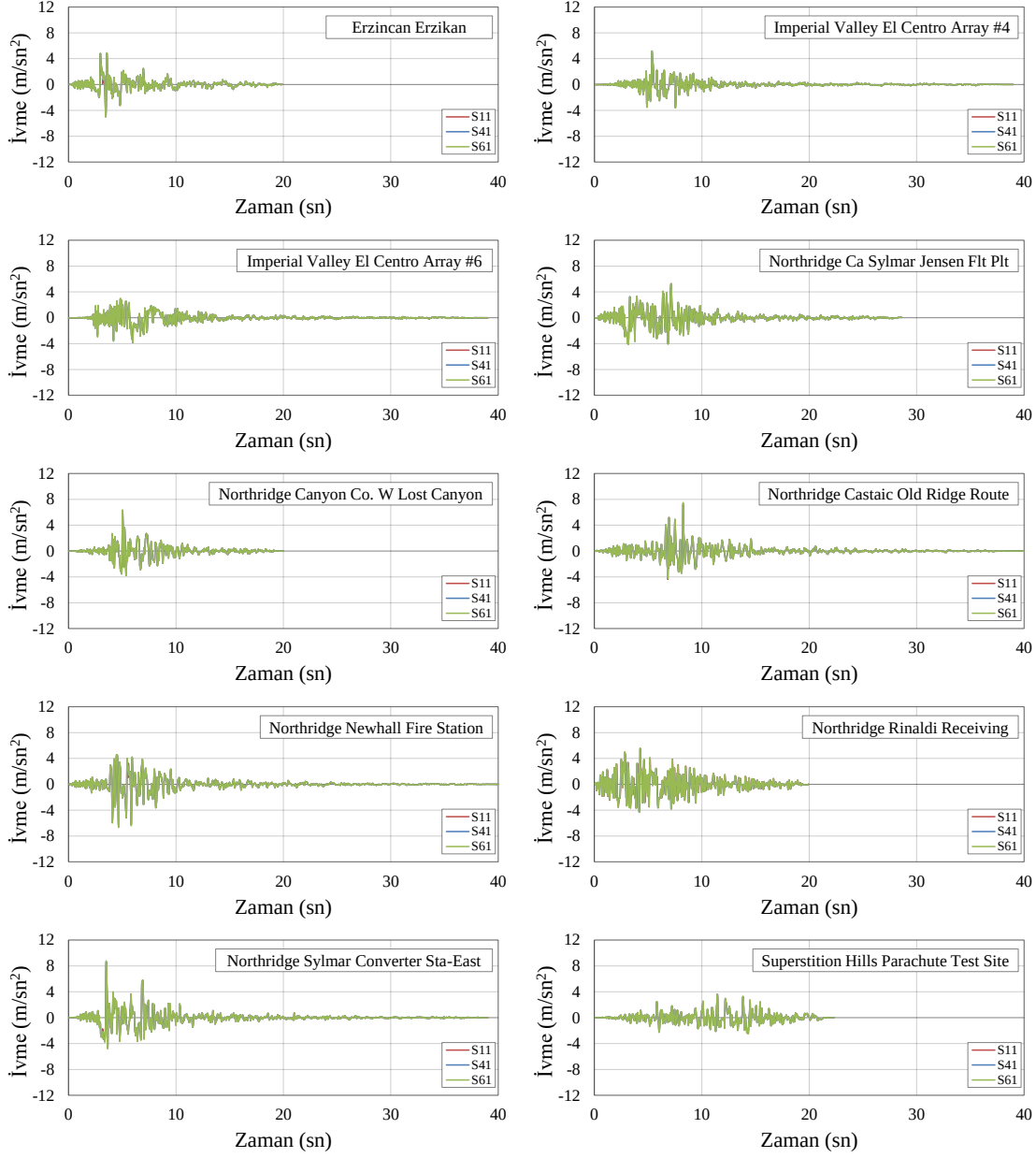
Şekil A.55 : Kolon üst ucunda, yapının x eksenini doğrultusunda, meydana gelen ivme-zaman ilişkisi (Sönümleyicili-YD1).



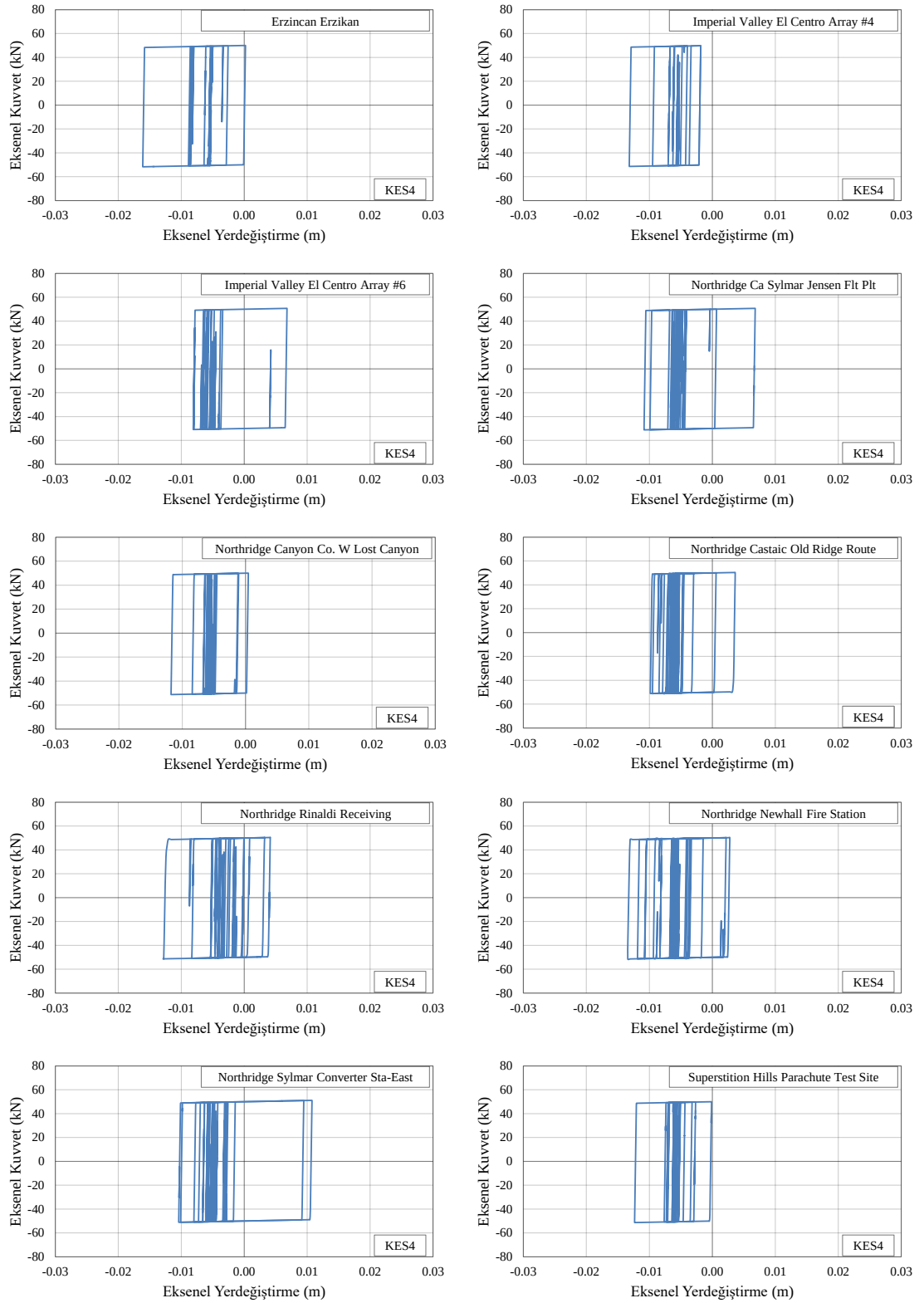
Şekil A.56 : Kolon üst ucunda, yapının y eksenini doğrultusunda, meydana gelen ivme-zaman ilişkisi (Sönümleyicili-YD1).



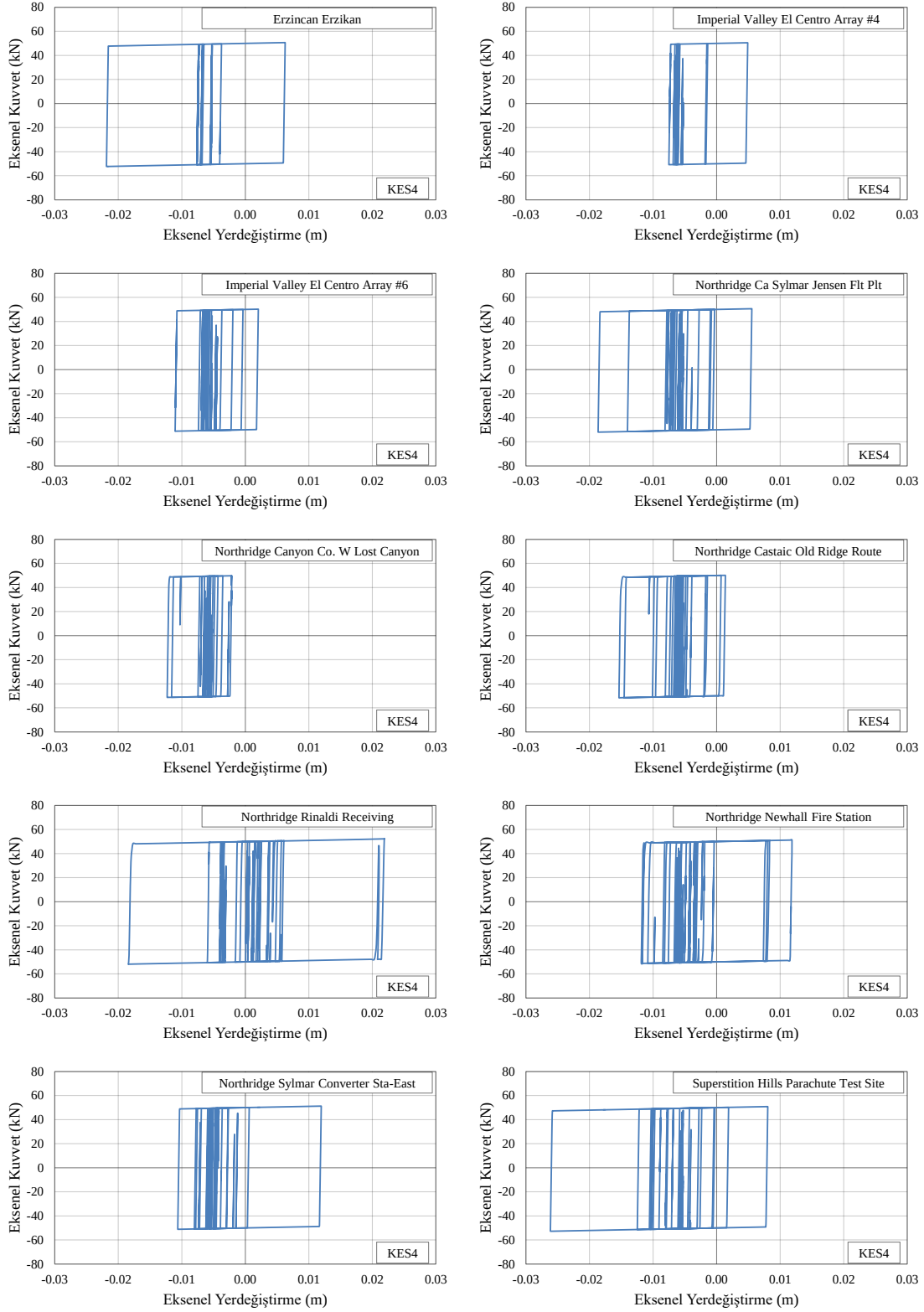
Şekil A.57 : Kolon üst ucunda, yapının x eksenine doğrultusunda, meydana gelen ivme-zaman ilişkisi (Sönümleyicili-YD2).



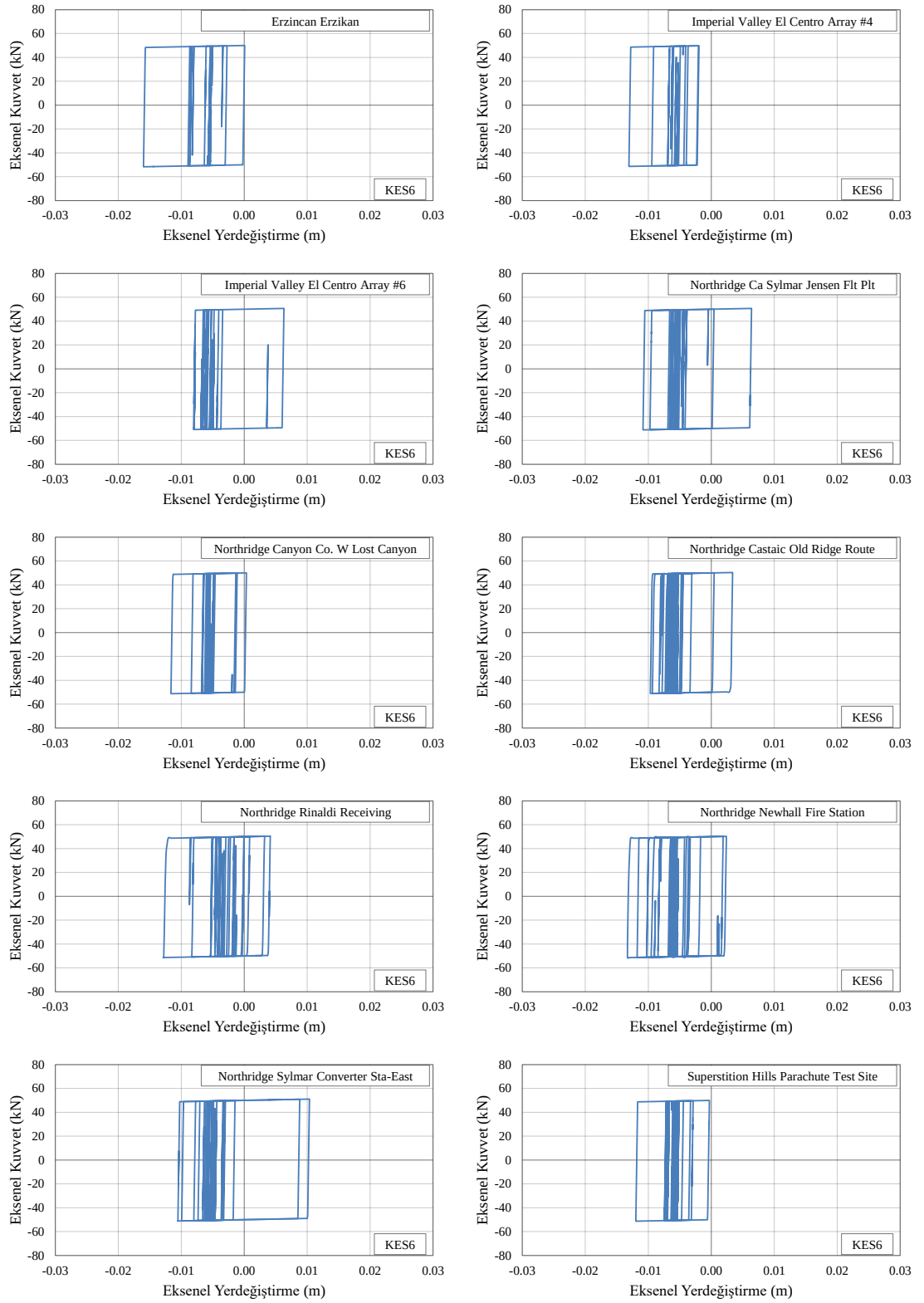
Şekil A.58 : Kolon üst ucunda, yapının y eksenini doğrultusunda, meydana gelen ivme-zaman ilişkisi (Sönümleyicili-YD2).



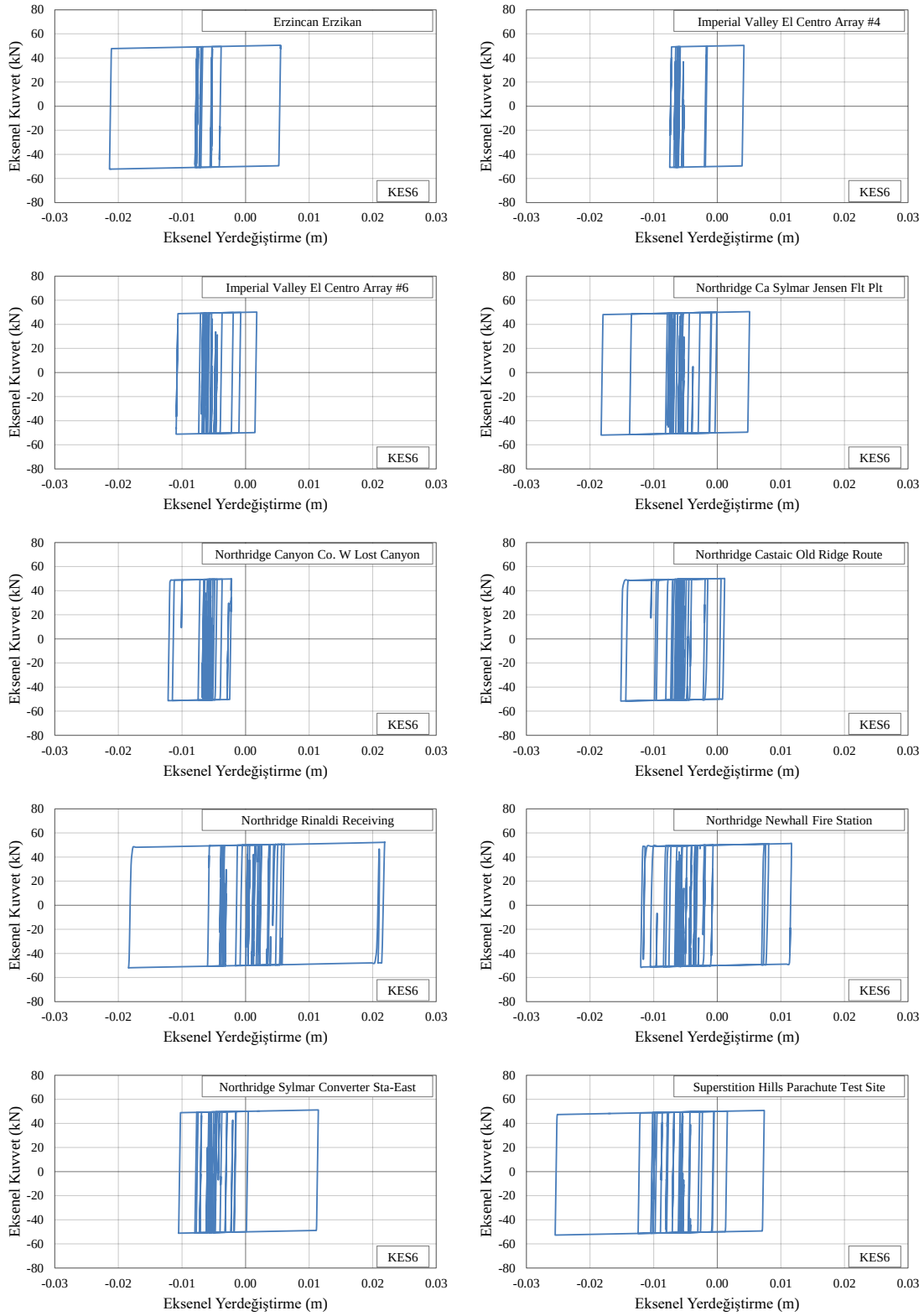
Şekil A.59 : KES4 eksenel kuvvet-eksenel yerdeğiştirme ilişkileri (YD1).



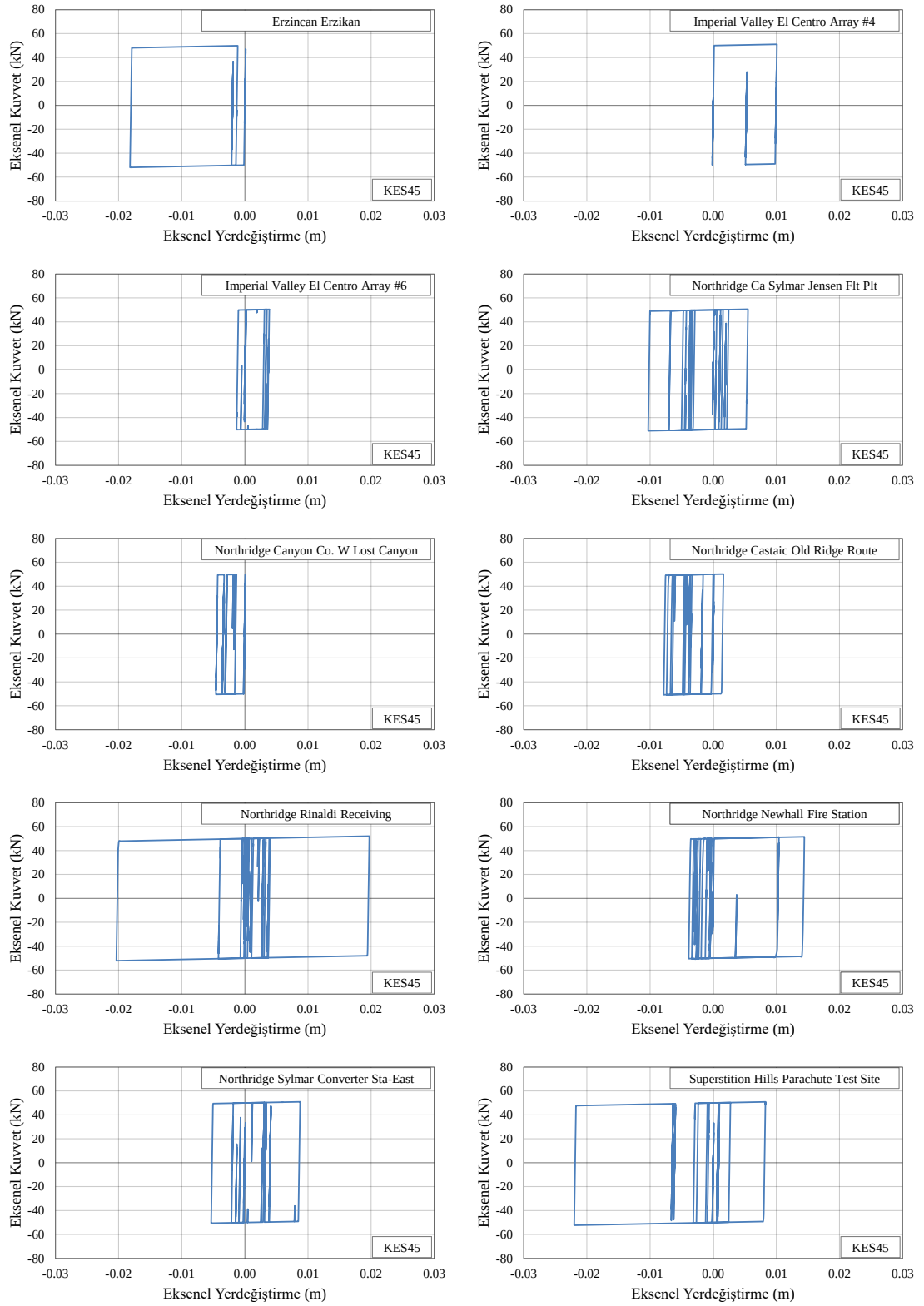
Şekil A.60 : KES4 eksenel kuvvet-eksenel yerdeğiştirme ilişkileri (YD2).



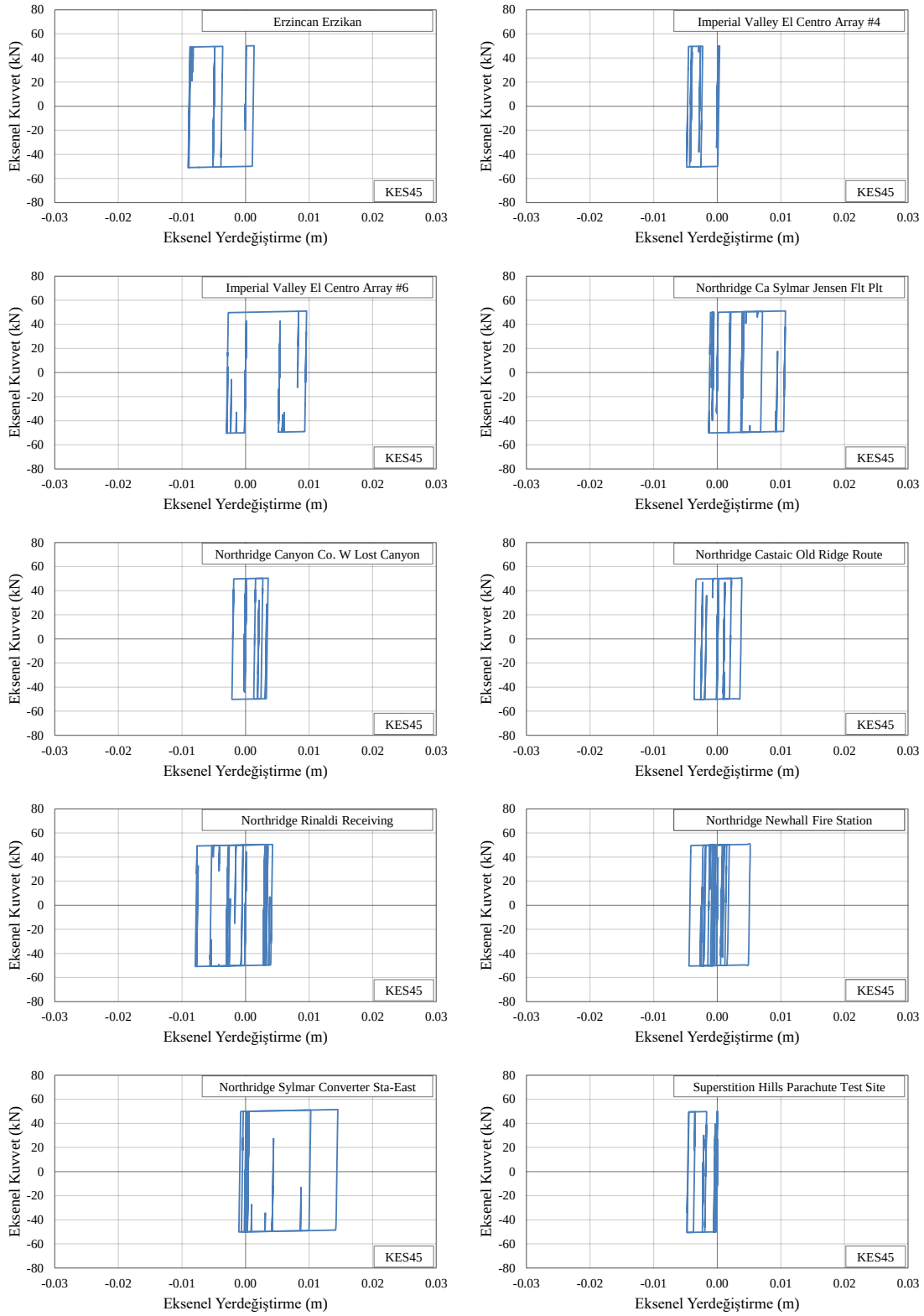
Şekil A.61 : KES6 eksenel kuvvet-eksenel yerdeğiştirme ilişkileri (YD1).



Şekil A.62 : KES6 eksenel kuvvet-eksenel yerdeğiştirme ilişkileri (YD2).



Şekil A.63 : KES45 eksenel kuvvet-eksenel yerdeğiştirme ilişkileri (YD1).



Şekil A.64 : KES45 eksenel kuvvet-eksenel yerdeğiştirme ilişkileri (YD2).

Yalın Yapı İçin Zaman Tanım Alanında Gerçekleştirilen Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçlarına Ait En Büyük Değerler, En Büyük Değerlerin Ortalaması İle En Büyük Değerlerin Standart Sapma Değerleri

Çizelge A.1 : Yalın yapı modelinin x eksenı doğrultusunda kolon üst ucunda meydana gelen yerdeğıştirmenin en büyük değeri (Yalın-YD1).

Yer Hareketi	İstasyon	S11 (m)	S41 (m)	S61 (m)
Erzincan	Erzikan	0.166	0.188	0.188
Imperial Valley	El Centro Array #4	0.117	0.147	0.147
Imperial Valley	El Centro Array #6	0.164	0.243	0.243
Northridge	CA Sylmar Jensen Flt Plt	0.169	0.212	0.212
Northridge	Canyon Country	0.114	0.120	0.120
Northridge	Castaic Old Ridge Route	0.119	0.156	0.156
Northridge	Rinaldi Receiving Sta	0.182	0.259	0.259
Northridge	Newhall Fire Station	0.176	0.189	0.189
Northridge	Sylmar Converter Sta	0.197	0.240	0.240
Superstition Hills	Parachute Test Site	0.123	0.131	0.131
Ortalama		0.153	0.189	0.189
Standart Sapma (S.S.)		0.031	0.049	0.049
Ortalama+S.S.		0.184	0.238	0.238

Çizelge A.2 : Yalın yapı modelinin x eksenı doğrultusunda meydana gelen kat görelı ötelemesinin en büyük değeri (Yalın-YD1).

Yer Hareketi	İstasyon	S11 (%)	S41 (%)	S61 (%)
Erzincan	Erzikan	2.019	2.288	2.287
Imperial Valley	El Centro Array #4	1.416	1.788	1.788
Imperial Valley	El Centro Array #6	1.997	2.948	2.948
Northridge	CA Sylmar Jensen Flt Plt	2.051	2.575	2.575
Northridge	Canyon Country	1.384	1.462	1.461
Northridge	Castaic Old Ridge Route	1.442	1.900	1.900
Northridge	Rinaldi Receiving Sta	2.211	3.143	3.143
Northridge	Newhall Fire Station	2.134	2.297	2.297
Northridge	Sylmar Converter Sta	2.388	2.909	2.910
Superstition Hills	Parachute Test Site	1.488	1.591	1.590
Ortalama		1.853	2.290	2.290
Standart Sapma		0.379	0.597	0.597
Ortalama+S.S.		2.232	2.887	2.887

Çizelge A.3 : Yalın yapı modelinin y eksenı doğrultusunda kolon üst ucunda meydana gelen yerdeğıştirmenin en büyük değeri (Yalın-YD1).

Yer Hareketi	İstasyon	S11 (m)	S41 (m)	S61 (m)
Erzincan	Erzikan	0.436	0.434	0.434
Imperial Valley	El Centro Array #4	0.249	0.249	0.248
Imperial Valley	El Centro Array #6	0.170	0.169	0.169
Northridge	CA Sylmar Jensen Flt Plt	0.197	0.197	0.197
Northridge	Canyon Country	0.098	0.098	0.098
Northridge	Castaic Old Ridge Route	0.113	0.113	0.113
Northridge	Rinaldi Receiving Sta	0.272	0.272	0.272
Northridge	Newhall Fire Station	0.194	0.194	0.194
Northridge	Sylmar Converter Sta	0.211	0.211	0.211
Superstition Hills	Parachute Test Site	0.387	0.387	0.387
Ortalama		0.233	0.232	0.232
Standart Sapma		0.109	0.108	0.108
Ortalama+S.S.		0.341	0.341	0.341

Çizelge A.4 : Yalın yapı modelinin y eksenini doğrultusunda meydana gelen kat göreceli ötelemesinin en büyük değerleri (Yalın-YD1).

Yer Hareketi	İstasyon	S11 (%)	S41 (%)	S61 (%)
Erzincan	Erzikan	5.290	5.275	5.271
Imperial Valley	El Centro Array #4	3.025	3.018	3.017
Imperial Valley	El Centro Array #6	2.061	2.057	2.057
Northridge	CA Sylmar Jensen Flt Plt	2.389	2.391	2.391
Northridge	Canyon Country	1.184	1.184	1.184
Northridge	Castaic Old Ridge Route	1.378	1.377	1.377
Northridge	Rinaldi Receiving Sta	3.297	3.297	3.297
Northridge	Newhall Fire Station	2.359	2.359	2.359
Northridge	Sylmar Converter Sta	2.563	2.560	2.560
Superstition Hills	Parachute Test Site	4.694	4.695	4.694
Ortalama		2.661	2.657	2.656
Standart Sapma		1.397	1.392	1.391
Ortalama+S.S.		4.058	4.050	4.047

Çizelge A.5 : Yalın yapı modelinin x eksenini doğrultusunda kolon üst ucunda meydana gelen yerdeğiştirmenin en büyük değerleri (Yalın-YD2).

Yer Hareketi	İstasyon	S11 (m)	S41 (m)	S61 (m)
Erzincan	Erzikan	0.242	0.311	0.311
Imperial Valley	El Centro Array #4	0.141	0.190	0.190
Imperial Valley	El Centro Array #6	0.152	0.189	0.189
Northridge	CA Sylmar Jensen Flt Plt	0.277	0.324	0.324
Northridge	Canyon Country	0.097	0.139	0.139
Northridge	Castaic Old Ridge Route	0.165	0.164	0.164
Northridge	Rinaldi Receiving Sta	0.395	0.372	0.372
Northridge	Newhall Fire Station	0.278	0.244	0.244
Northridge	Sylmar Converter Sta	0.281	0.318	0.318
Superstition Hills	Parachute Test Site	0.385	0.491	0.491
Ortalama		0.241	0.274	0.274
Standart Sapma		0.102	0.109	0.109
Ortalama+S.S.		0.343	0.384	0.384

Çizelge A.6 : Yalın yapı modelinin x eksenini doğrultusunda meydana gelen kat göreceli ötelemesinin en büyük değerleri (Yalın-YD2).

Yer Hareketi	İstasyon	S11 (%)	S41 (%)	S61 (%)
Erzincan	Erzikan	2.937	3.780	3.779
Imperial Valley	El Centro Array #4	1.710	2.306	2.306
Imperial Valley	El Centro Array #6	1.840	2.300	2.300
Northridge	CA Sylmar Jensen Flt Plt	3.358	3.935	3.935
Northridge	Canyon Country	1.175	1.691	1.691
Northridge	Castaic Old Ridge Route	2.004	1.989	1.989
Northridge	Rinaldi Receiving Sta	4.798	4.521	4.521
Northridge	Newhall Fire Station	3.375	2.967	2.967
Northridge	Sylmar Converter Sta	3.418	3.858	3.858
Superstition Hills	Parachute Test Site	4.680	5.958	5.958
Ortalama		2.930	3.331	3.330
Standart Sapma		1.238	1.329	1.329
Ortalama+S.S.		4.167	4.660	4.660

Çizelge A.7 : Yalın yapı modelinin y eksenini doğrultusunda kolon üst ucunda meydana gelen yerdeğiştirmenin en büyük değerleri (Yalın-YD2).

Yer Hareketi	İstasyon	S11 (m)	S41 (m)	S61 (m)
Erzincan	Erzikan	0.274	0.274	0.274
Imperial Valley	El Centro Array #4	0.111	0.111	0.111
Imperial Valley	El Centro Array #6	0.212	0.212	0.212
Northridge	CA Sylmar Jensen Flt Plt	0.193	0.193	0.193
Northridge	Canyon Country	0.063	0.063	0.063
Northridge	Castaic Old Ridge Route	0.131	0.131	0.131
Northridge	Rinaldi Receiving Sta	0.252	0.252	0.252
Northridge	Newhall Fire Station	0.150	0.149	0.149
Northridge	Sylmar Converter Sta	0.209	0.208	0.208
Superstition Hills	Parachute Test Site	0.161	0.161	0.161
Ortalama		0.176	0.176	0.176
Standart Sapma		0.065	0.065	0.065
Ortalama+S.S.		0.241	0.241	0.240

Çizelge A.8 : Yalın yapı modelinin y eksenini doğrultusunda meydana gelen kat göreli ötelemesinin en büyük değerleri (Yalın-YD2).

Yer Hareketi	İstasyon	S11 (%)	S41 (%)	S61 (%)
Erzincan	Erzikan	3.330	3.329	3.328
Imperial Valley	El Centro Array #4	1.350	1.353	1.353
Imperial Valley	El Centro Array #6	2.579	2.578	2.578
Northridge	CA Sylmar Jensen Flt Plt	2.349	2.340	2.339
Northridge	Canyon Country	0.770	0.766	0.766
Northridge	Castaic Old Ridge Route	1.594	1.586	1.587
Northridge	Rinaldi Receiving Sta	3.064	3.063	3.062
Northridge	Newhall Fire Station	1.816	1.815	1.815
Northridge	Sylmar Converter Sta	2.534	2.532	2.531
Superstition Hills	Parachute Test Site	1.954	1.956	1.956
Ortalama		2.148	2.145	2.145
Standart Sapma		0.940	0.941	0.940
Ortalama+S.S.		3.088	3.086	3.085

Çizelge A.9 : Yalın yapı modelinin y eksenini etrafında kolon alt ucunda meydana gelen eğilme momentinin en büyük değerleri (Yalın-YD1).

Yer Hareketi	İstasyon	S11 (kNm)	S41 (kNm)	S61 (kNm)
Erzincan	Erzikan	215	242	242
Imperial Valley	El Centro Array #4	193	207	207
Imperial Valley	El Centro Array #6	270	322	322
Northridge	CA Sylmar Jensen Flt Plt	272	303	303
Northridge	Canyon Country	199	217	217
Northridge	Castaic Old Ridge Route	202	253	253
Northridge	Rinaldi Receiving Sta	231	280	280
Northridge	Newhall Fire Station	250	271	271
Northridge	Sylmar Converter Sta	292	320	320
Superstition Hills	Parachute Test Site	182	178	178
Ortalama		231	259	259
Standart Sapma		38	49	49
Ortalama+S.S.		269	308	308

Çizelge A.10 : Yalın yapı modelinin x eksenı etrafında kolon alt ucunda meydana gelen eğilme momentinin en büyük değeri (Yalın-YD1).

Yer Hareketi	İstasyon	S11 (kNm)	S41 (kNm)	S61 (kNm)
Erzincan	Erzikan	301	284	284
Imperial Valley	El Centro Array #4	279	274	274
Imperial Valley	El Centro Array #6	229	193	193
Northridge	CA Sylmar Jensen Flt Plt	273	244	244
Northridge	Canyon Country	177	185	185
Northridge	Castaic Old Ridge Route	198	205	205
Northridge	Rinaldi Receiving Sta	311	317	317
Northridge	Newhall Fire Station	278	284	284
Northridge	Sylmar Converter Sta	248	208	208
Superstition Hills	Parachute Test Site	304	302	302
Ortalama		260	250	250
Standart Sapma		46	49	49
Ortalama+S.S.		306	299	298

Çizelge A.11 : Yalın yapı modelinin y eksenı etrafında kolon alt ucunda meydana gelen eğilme momentinin en büyük değeri (Yalın-YD2).

Yer Hareketi	İstasyon	S11 (kNm)	S41 (kNm)	S61 (kNm)
Erzincan	Erzikan	278	299	299
Imperial Valley	El Centro Array #4	238	275	275
Imperial Valley	El Centro Array #6	219	259	259
Northridge	CA Sylmar Jensen Flt Plt	289	307	307
Northridge	Canyon Country	172	241	241
Northridge	Castaic Old Ridge Route	256	264	264
Northridge	Rinaldi Receiving Sta	341	337	337
Northridge	Newhall Fire Station	323	305	305
Northridge	Sylmar Converter Sta	278	291	291
Superstition Hills	Parachute Test Site	325	339	339
Ortalama		272	292	292
Standart Sapma		52	32	32
Ortalama+S.S.		324	324	324

Çizelge A.12 : Yalın yapı modelinin x eksenı etrafında kolon alt ucunda meydana gelen eğilme momentinin en büyük değeri (Yalın-YD2).

Yer Hareketi	İstasyon	S11 (kNm)	S41 (kNm)	S61 (kNm)
Erzincan	Erzikan	247	234	234
Imperial Valley	El Centro Array #4	189	183	183
Imperial Valley	El Centro Array #6	272	273	273
Northridge	CA Sylmar Jensen Flt Plt	262	262	262
Northridge	Canyon Country	123	122	122
Northridge	Castaic Old Ridge Route	225	205	205
Northridge	Rinaldi Receiving Sta	234	229	228
Northridge	Newhall Fire Station	193	205	205
Northridge	Sylmar Converter Sta	283	289	289
Superstition Hills	Parachute Test Site	137	128	128
Ortalama		216	213	213
Standart Sapma		55	57	57
Ortalama+S.S.		271	270	270

Çizelge A.13 : Yalın yapı modelinin y eksenini etrafında kolon alt ucunda oluşan en büyük eğrilik değerleri (Yalın-YD1).

Yer Hareketi	İstasyon	S11 (1/m)	S41 (1/m)	S61 (1/m)
Erzincan	Erzikan	0.0102	0.0123	0.0124
Imperial Valley	El Centro Array #4	0.0085	0.0094	0.0094
Imperial Valley	El Centro Array #6	0.0101	0.0274	0.0274
Northridge	CA Sylmar Jensen Flt Plt	0.0096	0.0148	0.0148
Northridge	Canyon Country	0.0058	0.0063	0.0063
Northridge	Castaic Old Ridge Route	0.0059	0.0088	0.0088
Northridge	Rinaldi Receiving Sta	0.0191	0.0320	0.0320
Northridge	Newhall Fire Station	0.0129	0.0166	0.0166
Northridge	Sylmar Converter Sta	0.0174	0.0194	0.0194
Superstition Hills	Parachute Test Site	0.0137	0.0154	0.0154
Ortalama		0.0113	0.0163	0.0163
Standart Sapma		0.0045	0.0082	0.0082
Ortalama+S.S.		0.0158	0.0244	0.0244

Çizelge A.14 : Yalın yapı modelinin x eksenini etrafında kolon alt ucunda oluşan en büyük eğrilik değerleri (Yalın-YD1).

Yer Hareketi	İstasyon	S11 (1/m)	S41 (1/m)	S61 (1/m)
Erzincan	Erzikan	0.0338	0.0248	0.0247
Imperial Valley	El Centro Array #4	0.0193	0.0150	0.0150
Imperial Valley	El Centro Array #6	0.0094	0.0126	0.0126
Northridge	CA Sylmar Jensen Flt Plt	0.0129	0.0164	0.0164
Northridge	Canyon Country	0.0049	0.0049	0.0049
Northridge	Castaic Old Ridge Route	0.0054	0.0057	0.0057
Northridge	Rinaldi Receiving Sta	0.0200	0.0200	0.0200
Northridge	Newhall Fire Station	0.0109	0.0113	0.0113
Northridge	Sylmar Converter Sta	0.0155	0.0130	0.0131
Superstition Hills	Parachute Test Site	0.0540	0.0503	0.0502
Ortalama		0.0186	0.0174	0.0174
Standart Sapma		0.0150	0.0130	0.0130
Ortalama+S.S.		0.0336	0.0304	0.0303

Çizelge A.15 : Yalın yapı modelinin y eksenini etrafında kolon alt ucunda oluşan en büyük eğrilik değerleri (Yalın-YD2).

Yer Hareketi	İstasyon	S11 (1/m)	S41 (1/m)	S61 (1/m)
Erzincan	Erzikan	0.0403	0.0586	0.0585
Imperial Valley	El Centro Array #4	0.0083	0.0158	0.0158
Imperial Valley	El Centro Array #6	0.0131	0.0194	0.0195
Northridge	CA Sylmar Jensen Flt Plt	0.0306	0.0394	0.0394
Northridge	Canyon Country	0.0044	0.0066	0.0066
Northridge	Castaic Old Ridge Route	0.0094	0.0096	0.0096
Northridge	Rinaldi Receiving Sta	0.0443	0.0420	0.0420
Northridge	Newhall Fire Station	0.0211	0.0228	0.0228
Northridge	Sylmar Converter Sta	0.0308	0.0365	0.0365
Superstition Hills	Parachute Test Site	0.0641	0.0840	0.0839
Ortalama		0.0267	0.0335	0.0335
Standart Sapma		0.0191	0.0241	0.0241
Ortalama+S.S.		0.0458	0.0575	0.0575

Çizelge A.16 : Yalın yapı modelinin x eksenini etrafında kolon alt ucunda oluşan en büyük eğrilik değerleri (Yalın-YD2).

Yer Hareketi	İstasyon	S11 (1/m)	S41 (1/m)	S61 (1/m)
Erzincan	Erzikan	0.0425	0.0527	0.0526
Imperial Valley	El Centro Array #4	0.0067	0.0084	0.0084
Imperial Valley	El Centro Array #6	0.0174	0.0217	0.0218
Northridge	CA Sylmar Jensen Flt Plt	0.0224	0.0268	0.0268
Northridge	Canyon Country	0.0029	0.0030	0.0030
Northridge	Castaic Old Ridge Route	0.0062	0.0079	0.0079
Northridge	Rinaldi Receiving Sta	0.0318	0.0317	0.0319
Northridge	Newhall Fire Station	0.0114	0.0141	0.0141
Northridge	Sylmar Converter Sta	0.0168	0.0215	0.0215
Superstition Hills	Parachute Test Site	0.0278	0.0309	0.0309
Ortalama		0.0186	0.0219	0.0219
Standart Sapma		0.0127	0.0147	0.0147
Ortalama+S.S.		0.0312	0.0366	0.0366

Çizelge A.17 : Yalın yapı modeli S11 ve S61 kolonları alt uç kesitinde, boyuna donatıda oluşan en büyük birim şekil değiştirme değerleri (Yalın-YD1).

Yer Hareketi	İstasyon	S11	S61
Erzincan	Erzikan	0.0022	0.0038
Imperial Valley	El Centro Array #4	0.0059	0.0048
Imperial Valley	El Centro Array #6	0.0035	0.0072
Northridge	CA Sylmar Jensen Flt Plt	0.0028	0.0057
Northridge	Canyon Country	0.0019	0.0018
Northridge	Castaic Old Ridge Route	0.0018	0.0020
Northridge	Rinaldi Receiving Sta	0.0121	0.0116
Northridge	Newhall Fire Station	0.0032	0.0035
Northridge	Sylmar Converter Sta	0.0079	0.0073
Superstition Hills	Parachute Test Site	0.0063	0.0048
Ortalama		0.0048	0.0052
Standart Sapma		0.0033	0.0029
Ortalama+S.S.		0.0081	0.0082

Çizelge A.18 : Yalın yapı modeli S11 ve S61 kolonları alt uç kesitinde, kabuk betonda oluşan en büyük birim şekil değiştirme değerleri (Yalın-YD1).

Yer Hareketi	İstasyon	S11	S61
Erzincan	Erzikan	0.0032	0.0036
Imperial Valley	El Centro Array #4	0.0066	0.0052
Imperial Valley	El Centro Array #6	0.0038	0.0075
Northridge	CA Sylmar Jensen Flt Plt	0.0030	0.0059
Northridge	Canyon Country	0.0019	0.0018
Northridge	Castaic Old Ridge Route	0.0018	0.0021
Northridge	Rinaldi Receiving Sta	0.0126	0.0121
Northridge	Newhall Fire Station	0.0035	0.0034
Northridge	Sylmar Converter Sta	0.0081	0.0074
Superstition Hills	Parachute Test Site	0.0060	0.0054
Ortalama		0.0051	0.0054
Standart Sapma		0.0034	0.0031
Ortalama+S.S.		0.0084	0.0085

Çizelge A.19 : Yalın yapı modeli S11 ve S61 kolonları alt uç kesitinde, çekirdek betonda oluşan en büyük birim şekildeğiştirme değerleri (Yalın-YD1).

Yer Hareketi	İstasyon	S11	S61
Erzincan	Erzikan	0.0024	0.0039
Imperial Valley	El Centro Array #4	0.0055	0.0046
Imperial Valley	El Centro Array #6	0.0033	0.0069
Northridge	CA Sylmar Jensen Flt Plt	0.0027	0.0055
Northridge	Canyon Country	0.0019	0.0018
Northridge	Castaic Old Ridge Route	0.0018	0.0019
Northridge	Rinaldi Receiving Sta	0.0118	0.0113
Northridge	Newhall Fire Station	0.0033	0.0037
Northridge	Sylmar Converter Sta	0.0077	0.0072
Superstition Hills	Parachute Test Site	0.0064	0.0045
Ortalama		0.0047	0.0051
Standart Sapma		0.0032	0.0028
Ortalama+S.S.		0.0079	0.0080

Çizelge A.20 : Yalın yapı modeli S11 ve S61 kolonları alt uç kesitinde, boyuna donatıda oluşan en büyük birim şekildeğiştirme değerleri (Yalın-YD2).

Yer Hareketi	İstasyon	S11	S61
Erzincan	Erzikan	0.0079	0.0156
Imperial Valley	El Centro Array #4	0.0016	0.0023
Imperial Valley	El Centro Array #6	0.0061	0.0061
Northridge	CA Sylmar Jensen Flt Plt	0.0120	0.0160
Northridge	Canyon Country	0.0017	0.0024
Northridge	Castaic Old Ridge Route	0.0035	0.0038
Northridge	Rinaldi Receiving Sta	0.0097	0.0095
Northridge	Newhall Fire Station	0.0042	0.0081
Northridge	Sylmar Converter Sta	0.0040	0.0063
Superstition Hills	Parachute Test Site	0.0233	0.0310
Ortalama		0.0074	0.0101
Standart Sapma		0.0065	0.0088
Ortalama+S.S.		0.0139	0.0189

Çizelge A.21 : Yalın yapı modeli S11 ve S61 kolonları alt uç kesitinde, kabuk betonda oluşan en büyük birim şekildeğiştirme değerleri (Yalın-YD2).

Yer Hareketi	İstasyon	S11	S61
Erzincan	Erzikan	0.0083	0.0153
Imperial Valley	El Centro Array #4	0.0018	0.0025
Imperial Valley	El Centro Array #6	0.0066	0.0066
Northridge	CA Sylmar Jensen Flt Plt	0.0118	0.0158
Northridge	Canyon Country	0.0018	0.0024
Northridge	Castaic Old Ridge Route	0.0035	0.0038
Northridge	Rinaldi Receiving Sta	0.0101	0.0095
Northridge	Newhall Fire Station	0.0045	0.0078
Northridge	Sylmar Converter Sta	0.0044	0.0062
Superstition Hills	Parachute Test Site	0.0225	0.0299
Ortalama		0.0075	0.0100
Standart Sapma		0.0062	0.0085
Ortalama+S.S.		0.0138	0.0184

Çizelge A.22 : Yalın yapı modeli S11 ve S61 kolonları alt uç kesitinde, çekirdek betonda oluşan en büyük birim şekildeğiştirme değerleri (Yalın-YD2).

Yer Hareketi	İstasyon	S11	S61
Erzincan	Erzikan	0.0079	0.0156
Imperial Valley	El Centro Array #4	0.0016	0.0022
Imperial Valley	El Centro Array #6	0.0059	0.0059
Northridge	CA Sylmar Jensen Flt Plt	0.0120	0.0160
Northridge	Canyon Country	0.0017	0.0024
Northridge	Castaic Old Ridge Route	0.0035	0.0038
Northridge	Rinaldi Receiving Sta	0.0095	0.0095
Northridge	Newhall Fire Station	0.0040	0.0081
Northridge	Sylmar Converter Sta	0.0038	0.0063
Superstition Hills	Parachute Test Site	0.0235	0.0311
Ortalama		0.0073	0.0101
Standart Sapma		0.0066	0.0089
Ortalama+S.S.		0.0139	0.0189

Çizelge A.23 : Yalın yapı modeli kolon alt ucunda meydana gelen normal kuvvetin en büyük değerleri (Yalın-YD1).

Yer Hareketi	İstasyon	S11 (kN)	S41 (kN)	S61 (kN)
Erzincan	Erzikan	306	290	290
Imperial Valley	El Centro Array #4	256	275	275
Imperial Valley	El Centro Array #6	263	401	401
Northridge	CA Sylmar Jensen Flt Plt	327	388	388
Northridge	Canyon Country	259	299	299
Northridge	Castaic Old Ridge Route	279	342	342
Northridge	Rinaldi Receiving Sta	426	459	459
Northridge	Newhall Fire Station	378	484	484
Northridge	Sylmar Converter Sta	355	449	449
Superstition Hills	Parachute Test Site	371	430	430
Ortalama		322	382	382
Standart Sapma		59	76	76
Ortalama+S.S.		381	458	458

Çizelge A.24 : Yalın yapı modeli kolon alt ucunda meydana gelen normal kuvvetin en büyük değerleri (Yalın-YD2).

Yer Hareketi	İstasyon	S11 (kN)	S41 (kN)	S61 (kN)
Erzincan	Erzikan	440	494	494
Imperial Valley	El Centro Array #4	289	341	341
Imperial Valley	El Centro Array #6	303	378	378
Northridge	CA Sylmar Jensen Flt Plt	320	395	395
Northridge	Canyon Country	236	348	348
Northridge	Castaic Old Ridge Route	331	388	388
Northridge	Rinaldi Receiving Sta	558	592	592
Northridge	Newhall Fire Station	458	523	523
Northridge	Sylmar Converter Sta	458	544	544
Superstition Hills	Parachute Test Site	413	523	523
Ortalama		381	453	453
Standart Sapma		100	92	92
Ortalama+S.S.		480	544	544

Çizelge A.25 : Yalın yapı modelinin x eksenı doğrultusunda kolon üst ucunda meydana gelen kesme kuvvetinin en büyük değeri (Yalın-YD1).

Yer Hareketi	İstasyon	S11 (kN)	S41 (kN)	S61 (kN)
Erzincan	Erzikan	27.7	30.8	30.8
Imperial Valley	El Centro Array #4	24.2	25.3	25.3
Imperial Valley	El Centro Array #6	30.7	36.9	36.9
Northridge	CA Sylmar Jensen Flt Plt	31.7	35.9	35.8
Northridge	Canyon Country	23.9	23.8	23.8
Northridge	Castaic Old Ridge Route	23.7	29.2	29.2
Northridge	Rinaldi Receiving Sta	27.5	32.8	32.8
Northridge	Newhall Fire Station	30.8	29.8	29.8
Northridge	Sylmar Converter Sta	38.1	38.9	38.9
Superstition Hills	Parachute Test Site	24.6	23.4	23.4
Ortalama		28.3	30.7	30.7
Standart Sapma		4.6	5.5	5.5
Ortalama+S.S.		32.9	36.2	36.2

Çizelge A.26 : Yalın yapı modelinin y eksenı doğrultusunda kolon üst ucunda meydana gelen kesme kuvvetinin en büyük değeri (Yalın-YD1).

Yer Hareketi	İstasyon	S11 (kN)	S41 (kN)	S61 (kN)
Erzincan	Erzikan	33.6	39.6	40.1
Imperial Valley	El Centro Array #4	34.5	27.1	27.1
Imperial Valley	El Centro Array #6	21.2	16.5	16.4
Northridge	CA Sylmar Jensen Flt Plt	36.1	31.4	31.4
Northridge	Canyon Country	19.8	19.6	19.6
Northridge	Castaic Old Ridge Route	25.1	24.0	24.0
Northridge	Rinaldi Receiving Sta	41.0	40.4	40.4
Northridge	Newhall Fire Station	34.3	33.0	33.0
Northridge	Sylmar Converter Sta	26.1	23.7	23.7
Superstition Hills	Parachute Test Site	35.2	33.4	33.4
Ortalama		30.7	28.9	28.9
Standart Sapma		7.1	8.1	8.1
Ortalama+S.S.		37.8	36.9	37.1

Çizelge A.27 : Yalın yapı modelinin x eksenı doğrultusunda kolon üst ucunda meydana gelen kesme kuvvetinin en büyük değeri (Yalın-YD2).

Yer Hareketi	İstasyon	S11 (kN)	S41 (kN)	S61 (kN)
Erzincan	Erzikan	40.1	44.0	44.0
Imperial Valley	El Centro Array #4	26.4	31.2	31.2
Imperial Valley	El Centro Array #6	26.0	29.8	29.8
Northridge	CA Sylmar Jensen Flt Plt	42.1	45.1	45.1
Northridge	Canyon Country	20.3	28.4	28.4
Northridge	Castaic Old Ridge Route	33.5	32.9	32.9
Northridge	Rinaldi Receiving Sta	43.3	41.8	41.8
Northridge	Newhall Fire Station	41.3	38.5	38.5
Northridge	Sylmar Converter Sta	35.3	36.8	36.8
Superstition Hills	Parachute Test Site	44.7	46.8	46.8
Ortalama		35.3	37.5	37.5
Standart Sapma		8.5	6.7	6.7
Ortalama+S.S.		43.8	44.3	44.3

Çizelge A.28 : Yalın yapı modelinin y eksenı doğrultusunda kolon üst ucunda meydana gelen kesme kuvvetinin en büyük değeri (Yalın-YD2).

Yer Hareketi	İstasyon	S11 (kN)	S41 (kN)	S61 (kN)
Erzincan	Erzikan	36.5	32.0	32.3
Imperial Valley	El Centro Array #4	21.0	21.0	21.0
Imperial Valley	El Centro Array #6	32.0	26.1	26.0
Northridge	CA Sylmar Jensen Flt Plt	31.7	31.3	31.3
Northridge	Canyon Country	13.1	12.2	12.2
Northridge	Castaic Old Ridge Route	27.9	23.8	23.8
Northridge	Rinaldi Receiving Sta	29.7	24.3	24.3
Northridge	Newhall Fire Station	21.8	22.5	22.5
Northridge	Sylmar Converter Sta	35.9	32.2	32.1
Superstition Hills	Parachute Test Site	14.7	18.1	18.2
Ortalama		26.4	24.3	24.4
Standart Sapma		8.4	6.4	6.4
Ortalama+S.S.		34.8	30.8	30.8

Çizelge A.29 : Yalın yapı modelinin x eksenı doğrultusunda kolon üst ucunda meydana gelen ivmenin en büyük değeri (Yalın-YD1).

Yer Hareketi	İstasyon	S11 (m/sn ²)	S41 (m/sn ²)	S61 (m/sn ²)
Erzincan	Erzikan	3.6	2.6	2.6
Imperial Valley	El Centro Array #4	2.8	2.2	2.2
Imperial Valley	El Centro Array #6	3.4	3.2	3.2
Northridge	CA Sylmar Jensen Flt Plt	3.7	3.2	3.2
Northridge	Canyon Country	2.9	2.0	2.0
Northridge	Castaic Old Ridge Route	3.1	2.6	2.6
Northridge	Rinaldi Receiving Sta	3.8	2.9	2.9
Northridge	Newhall Fire Station	3.6	3.0	3.0
Northridge	Sylmar Converter Sta	4.2	3.5	3.5
Superstition Hills	Parachute Test Site	3.0	2.2	2.2
Ortalama		3.4	2.7	2.7
Standart Sapma		0.5	0.5	0.5
Ortalama+S.S.		3.9	3.2	3.2

Çizelge A.30 : Yalın yapı modelinin y eksenı doğrultusunda kolon üst ucunda meydana gelen ivmenin en büyük değeri (Yalın-YD1).

Yer Hareketi	İstasyon	S11 (m/sn ²)	S41 (m/sn ²)	S61 (m/sn ²)
Erzincan	Erzikan	3.6	3.6	3.6
Imperial Valley	El Centro Array #4	2.4	2.4	2.4
Imperial Valley	El Centro Array #6	2.4	2.5	2.5
Northridge	CA Sylmar Jensen Flt Plt	3.9	3.9	3.9
Northridge	Canyon Country	2.3	2.3	2.3
Northridge	Castaic Old Ridge Route	2.6	2.6	2.6
Northridge	Rinaldi Receiving Sta	6.0	6.1	6.1
Northridge	Newhall Fire Station	3.6	3.4	3.4
Northridge	Sylmar Converter Sta	3.0	3.0	3.0
Superstition Hills	Parachute Test Site	5.2	5.3	5.3
Ortalama		3.5	3.5	3.5
Standart Sapma		1.3	1.3	1.3
Ortalama+S.S.		4.8	4.8	4.8

Çizelge A.31 : Yalın yapı modelinin x eksenı doğrultusunda kolon üst ucunda meydana gelen ivmenin en büyük değeri (Yalın-YD2).

Yer Hareketi	İstasyon	S11 (m/sn ²)	S41 (m/sn ²)	S61 (m/sn ²)
Erzincan	Erzikan	4.6	3.9	3.9
Imperial Valley	El Centro Array #4	3.1	2.6	2.6
Imperial Valley	El Centro Array #6	2.9	2.4	2.4
Northridge	CA Sylmar Jensen Flt Plt	4.8	4.0	4.0
Northridge	Canyon Country	2.5	2.5	2.5
Northridge	Castaic Old Ridge Route	4.0	2.9	2.9
Northridge	Rinaldi Receiving Sta	7.3	5.1	5.1
Northridge	Newhall Fire Station	6.0	3.6	3.6
Northridge	Sylmar Converter Sta	4.5	3.7	3.7
Superstition Hills	Parachute Test Site	5.7	4.9	4.9
Ortalama		4.5	3.6	3.6
Standart Sapma		1.5	1.0	1.0
Ortalama+S.S.		6.1	4.5	4.5

Çizelge A.32 : Yalın yapı modelinin y eksenı doğrultusunda kolon üst ucunda meydana gelen ivmenin en büyük değeri (Yalın-YD2).

Yer Hareketi	İstasyon	S11 (m/sn ²)	S41 (m/sn ²)	S61 (m/sn ²)
Erzincan	Erzikan	3.5	3.6	3.6
Imperial Valley	El Centro Array #4	2.1	2.2	2.2
Imperial Valley	El Centro Array #6	3.6	3.5	3.5
Northridge	CA Sylmar Jensen Flt Plt	4.0	3.9	3.9
Northridge	Canyon Country	2.9	2.9	2.9
Northridge	Castaic Old Ridge Route	2.6	2.7	2.7
Northridge	Rinaldi Receiving Sta	2.7	2.7	2.7
Northridge	Newhall Fire Station	3.1	3.1	3.1
Northridge	Sylmar Converter Sta	2.9	2.9	2.9
Superstition Hills	Parachute Test Site	2.0	2.0	2.0
Ortalama		2.9	2.9	2.9
Standart Sapma		0.6	0.6	0.6
Ortalama+S.S.		3.6	3.6	3.5

Çizelge A.33 : Yalın yapı modelinin x eksenı doğrultusunda kolon üst ucunda meydana gelen yerdeğıştirmenin en büyük değeri (Sönümleyicili-YD1).

Yer Hareketi	İstasyon	S11 (m)	S41 (m)	S61 (m)
Erzincan	Erzikan	0.097	0.123	0.121
Imperial Valley	El Centro Array #4	0.079	0.094	0.092
Imperial Valley	El Centro Array #6	0.087	0.118	0.114
Northridge	CA Sylmar Jensen Flt Plt	0.094	0.126	0.122
Northridge	Canyon Country	0.072	0.080	0.078
Northridge	Castaic Old Ridge Route	0.075	0.099	0.097
Northridge	Rinaldi Receiving Sta	0.113	0.136	0.132
Northridge	Newhall Fire Station	0.086	0.099	0.097
Northridge	Sylmar Converter Sta	0.119	0.157	0.153
Superstition Hills	Parachute Test Site	0.060	0.077	0.073
Ortalama		0.088	0.111	0.108
Standart Sapma (S.S.)		0.018	0.026	0.025
Ortalama+S.S.		0.106	0.137	0.133

Çizelge A.34 : Yalın yapı modelinin x eksenı doğrultusunda meydana gelen kat göreli ötelemesinin en büyük değeri (Sönümleyicili-YD1).

Yer Hareketi	İstasyon	S11 (%)	S41 (%)	S61 (%)
Erzincan	Erzikan	1.180	1.493	1.472
Imperial Valley	El Centro Array #4	0.962	1.146	1.123
Imperial Valley	El Centro Array #6	1.052	1.431	1.384
Northridge	CA Sylmar Jensen Flt Plt	1.137	1.528	1.476
Northridge	Canyon Country	0.873	0.967	0.950
Northridge	Castaic Old Ridge Route	0.912	1.207	1.178
Northridge	Rinaldi Receiving Sta	1.373	1.656	1.606
Northridge	Newhall Fire Station	1.046	1.207	1.177
Northridge	Sylmar Converter Sta	1.443	1.912	1.862
Superstition Hills	Parachute Test Site	0.733	0.941	0.892
Ortalama		1.071	1.349	1.312
Standart Sapma		0.221	0.310	0.303
Ortalama+S.S.		1.292	1.659	1.615

Çizelge A.35 : Yalın yapı modelinin y eksenı doğrultusunda kolon üst ucunda meydana gelen yerdeğıştirmenin en büyük değeri (Sönümleyicili-YD1).

Yer Hareketi	İstasyon	S11 (m)	S41 (m)	S61 (m)
Erzincan	Erzikan	0.028	0.028	0.028
Imperial Valley	El Centro Array #4	0.016	0.016	0.016
Imperial Valley	El Centro Array #6	0.007	0.007	0.007
Northridge	CA Sylmar Jensen Flt Plt	0.016	0.016	0.016
Northridge	Canyon Country	0.007	0.007	0.007
Northridge	Castaic Old Ridge Route	0.012	0.012	0.012
Northridge	Rinaldi Receiving Sta	0.033	0.033	0.033
Northridge	Newhall Fire Station	0.022	0.022	0.022
Northridge	Sylmar Converter Sta	0.012	0.012	0.012
Superstition Hills	Parachute Test Site	0.031	0.031	0.031
Ortalama		0.018	0.018	0.018
Standart Sapma		0.010	0.010	0.010
Ortalama+S.S.		0.028	0.028	0.028

Çizelge A.36 : Yalın yapı modelinin y eksenı doğrultusunda meydana gelen kat görelı ötelemesının en büyük değeri (Sönümleyicili-YD1).

Yer Hareketi	İstasyon	S11 (%)	S41 (%)	S61 (%)
Erzincan	Erzikan	0.335	0.336	0.336
Imperial Valley	El Centro Array #4	0.192	0.192	0.193
Imperial Valley	El Centro Array #6	0.083	0.084	0.084
Northridge	CA Sylmar Jensen Flt Plt	0.188	0.189	0.190
Northridge	Canyon Country	0.088	0.088	0.089
Northridge	Castaic Old Ridge Route	0.143	0.144	0.144
Northridge	Rinaldi Receiving Sta	0.401	0.402	0.404
Northridge	Newhall Fire Station	0.266	0.267	0.269
Northridge	Sylmar Converter Sta	0.149	0.149	0.150
Superstition Hills	Parachute Test Site	0.378	0.380	0.381
Ortalama		0.204	0.205	0.206
Standart Sapma		0.121	0.121	0.122
Ortalama+S.S.		0.325	0.327	0.328

Çizelge A.37 : Yalın yapı modelinin x eksenı doğrultusunda kolon üst ucunda meydana gelen yerdeğıştirmenin en büyük değeri (Sönümleyicili-YD2).

Yer Hareketi	İstasyon	S11 (m)	S41 (m)	S61 (m)
Erzincan	Erzikan	0.137	0.189	0.183
Imperial Valley	El Centro Array #4	0.068	0.103	0.098
Imperial Valley	El Centro Array #6	0.068	0.079	0.077
Northridge	CA Sylmar Jensen Flt Plt	0.116	0.171	0.165
Northridge	Canyon Country	0.066	0.078	0.077
Northridge	Castaic Old Ridge Route	0.105	0.120	0.118
Northridge	Rinaldi Receiving Sta	0.263	0.290	0.287
Northridge	Newhall Fire Station	0.153	0.187	0.184
Northridge	Sylmar Converter Sta	0.124	0.168	0.163
Superstition Hills	Parachute Test Site	0.173	0.274	0.264
Ortalama		0.127	0.166	0.162
Standart Sapma		0.060	0.074	0.073
Ortalama+S.S.		0.188	0.240	0.234

Çizelge A.38 : Yalın yapı modelinin x eksenı doğrultusunda meydana gelen kat görelı ötelemesının en büyük değeri (Sönümleyicili-YD2).

Yer Hareketi	İstasyon	S11 (%)	S41 (%)	S61 (%)
Erzincan	Erzikan	1.668	2.290	2.222
Imperial Valley	El Centro Array #4	0.827	1.248	1.195
Imperial Valley	El Centro Array #6	0.820	0.965	0.933
Northridge	CA Sylmar Jensen Flt Plt	1.410	2.077	1.998
Northridge	Canyon Country	0.803	0.943	0.932
Northridge	Castaic Old Ridge Route	1.271	1.463	1.435
Northridge	Rinaldi Receiving Sta	3.198	3.524	3.486
Northridge	Newhall Fire Station	1.861	2.274	2.228
Northridge	Sylmar Converter Sta	1.503	2.038	1.984
Superstition Hills	Parachute Test Site	2.106	3.333	3.212
Ortalama		1.547	2.016	1.963
Standart Sapma		0.734	0.901	0.883
Ortalama+S.S.		2.281	2.917	2.845

Çizelge A.39 : Yalın yapı modelinin y eksenı doğrultusunda kolon üst ucunda meydana gelen yerdeğıştirmenin en büyük değeri (Sönümleyicili-YD2).

Yer Hareketi	İstasyon	S11 (m)	S41 (m)	S61 (m)
Erzincan	Erzikan	0.018	0.018	0.018
Imperial Valley	El Centro Array #4	0.007	0.007	0.007
Imperial Valley	El Centro Array #6	0.014	0.014	0.014
Northridge	CA Sylmar Jensen Flt Plt	0.016	0.016	0.016
Northridge	Canyon Country	0.006	0.006	0.007
Northridge	Castaic Old Ridge Route	0.007	0.007	0.007
Northridge	Rinaldi Receiving Sta	0.013	0.013	0.013
Northridge	Newhall Fire Station	0.010	0.010	0.010
Northridge	Sylmar Converter Sta	0.022	0.022	0.022
Superstition Hills	Parachute Test Site	0.009	0.009	0.009
Ortalama		0.012	0.012	0.012
Standart Sapma		0.005	0.005	0.005
Ortalama+S.S.		0.017	0.017	0.018

Çizelge A.40 : Yalın yapı modelinin y eksenı doğrultusunda meydana gelen kat görelı ötelemesinin en büyük değeri (Sönümleyicili-YD2).

Yer Hareketi	İstasyon	S11 (%)	S41 (%)	S61 (%)
Erzincan	Erzikan	0.218	0.222	0.223
Imperial Valley	El Centro Array #4	0.086	0.087	0.088
Imperial Valley	El Centro Array #6	0.171	0.171	0.172
Northridge	CA Sylmar Jensen Flt Plt	0.189	0.190	0.191
Northridge	Canyon Country	0.077	0.079	0.079
Northridge	Castaic Old Ridge Route	0.084	0.085	0.086
Northridge	Rinaldi Receiving Sta	0.156	0.158	0.159
Northridge	Newhall Fire Station	0.119	0.121	0.122
Northridge	Sylmar Converter Sta	0.263	0.264	0.265
Superstition Hills	Parachute Test Site	0.105	0.108	0.109
Ortalama		0.140	0.142	0.142
Standart Sapma		0.057	0.058	0.058
Ortalama+S.S.		0.197	0.199	0.200

Çizelge A.41 : Yalın yapı modelinin y eksenı etrafında kolon alt ucunda meydana gelen eğilme momentinin en büyük değeri (Sönümleyicili-YD1).

Yer Hareketi	İstasyon	S11 (kNm)	S41 (kNm)	S61 (kNm)
Erzincan	Erzikan	205	252	248
Imperial Valley	El Centro Array #4	177	202	198
Imperial Valley	El Centro Array #6	199	255	250
Northridge	CA Sylmar Jensen Flt Plt	212	270	263
Northridge	Canyon Country	175	191	188
Northridge	Castaic Old Ridge Route	178	229	223
Northridge	Rinaldi Receiving Sta	230	269	262
Northridge	Newhall Fire Station	221	235	230
Northridge	Sylmar Converter Sta	254	296	292
Superstition Hills	Parachute Test Site	152	185	179
Ortalama		200	238	233
Standart Sapma		30	37	37
Ortalama+S.S.		231	275	270

Çizelge A.42 : Yalın yapı modelinin x eksenı etrafında kolon alt ucunda meydana gelen eğilme momentinin en büyük değeri (Sönümleyicili-YD1).

Yer Hareketi	İstasyon	S11 (kNm)	S41 (kNm)	S61 (kNm)
Erzincan	Erzikan	60	59	60
Imperial Valley	El Centro Array #4	45	48	47
Imperial Valley	El Centro Array #6	26	27	28
Northridge	CA Sylmar Jensen Flt Plt	41	40	61
Northridge	Canyon Country	26	29	32
Northridge	Castaic Old Ridge Route	42	45	57
Northridge	Rinaldi Receiving Sta	58	58	84
Northridge	Newhall Fire Station	41	50	57
Northridge	Sylmar Converter Sta	41	41	39
Superstition Hills	Parachute Test Site	70	77	66
Ortalama		45	47	53
Standart Sapma		14	15	17
Ortalama+S.S.		59	62	70

Çizelge A.43 : Yalın yapı modelinin y eksenı etrafında kolon alt ucunda meydana gelen eğilme momentinin en büyük değeri (Sönümleyicili-YD2).

Yer Hareketi	İstasyon	S11 (kNm)	S41 (kNm)	S61 (kNm)
Erzincan	Erzikan	247	282	279
Imperial Valley	El Centro Array #4	157	225	218
Imperial Valley	El Centro Array #6	165	189	184
Northridge	CA Sylmar Jensen Flt Plt	235	285	280
Northridge	Canyon Country	162	184	181
Northridge	Castaic Old Ridge Route	227	256	253
Northridge	Rinaldi Receiving Sta	340	351	350
Northridge	Newhall Fire Station	287	308	304
Northridge	Sylmar Converter Sta	259	300	298
Superstition Hills	Parachute Test Site	276	322	319
Ortalama		236	270	266
Standart Sapma		60	56	57
Ortalama+S.S.		296	326	323

Çizelge A.44 : Yalın yapı modelinin x eksenı etrafında kolon alt ucunda meydana gelen eğilme momentinin en büyük değeri (Sönümleyicili-YD2).

Yer Hareketi	İstasyon	S11 (kNm)	S41 (kNm)	S61 (kNm)
Erzincan	Erzikan	40	33	33
Imperial Valley	El Centro Array #4	30	31	33
Imperial Valley	El Centro Array #6	41	46	43
Northridge	CA Sylmar Jensen Flt Plt	40	43	48
Northridge	Canyon Country	25	31	34
Northridge	Castaic Old Ridge Route	24	19	36
Northridge	Rinaldi Receiving Sta	29	26	30
Northridge	Newhall Fire Station	21	21	35
Northridge	Sylmar Converter Sta	50	55	68
Superstition Hills	Parachute Test Site	22	22	22
Ortalama		32	33	38
Standart Sapma		10	12	12
Ortalama+S.S.		42	45	51

Çizelge A.45 : Yalın yapı modelinin y ekseninde kolon alt ucunda oluşan en büyük eğrilik değerleri (Sönümleyicili-YD1).

Yer Hareketi	İstasyon	S11 (1/m)	S41 (1/m)	S61 (1/m)
Erzincan	Erzikan	0.0055	0.0078	0.0075
Imperial Valley	El Centro Array #4	0.0046	0.0052	0.0051
Imperial Valley	El Centro Array #6	0.0051	0.0072	0.0067
Northridge	CA Sylmar Jensen Flt Plt	0.0054	0.0084	0.0076
Northridge	Canyon Country	0.0043	0.0047	0.0046
Northridge	Castaic Old Ridge Route	0.0045	0.0057	0.0056
Northridge	Rinaldi Receiving Sta	0.0062	0.0098	0.0089
Northridge	Newhall Fire Station	0.0056	0.0055	0.0054
Northridge	Sylmar Converter Sta	0.0076	0.0125	0.0120
Superstition Hills	Parachute Test Site	0.0037	0.0045	0.0044
Ortalama		0.0052	0.0071	0.0068
Standart Sapma		0.0011	0.0026	0.0024
Ortalama+S.S.		0.0063	0.0097	0.0091

Çizelge A.46 : Yalın yapı modelinin x ekseninde kolon alt ucunda oluşan en büyük eğrilik değerleri (Sönümleyicili-YD1).

Yer Hareketi	İstasyon	S11 (1/m)	S41 (1/m)	S61 (1/m)
Erzincan	Erzikan	0.0013	0.0017	0.0011
Imperial Valley	El Centro Array #4	0.0008	0.0007	0.0007
Imperial Valley	El Centro Array #6	0.0004	0.0005	0.0004
Northridge	CA Sylmar Jensen Flt Plt	0.0008	0.0009	0.0013
Northridge	Canyon Country	0.0005	0.0005	0.0006
Northridge	Castaic Old Ridge Route	0.0007	0.0007	0.0010
Northridge	Rinaldi Receiving Sta	0.0013	0.0019	0.0017
Northridge	Newhall Fire Station	0.0008	0.0008	0.0011
Northridge	Sylmar Converter Sta	0.0009	0.0015	0.0011
Superstition Hills	Parachute Test Site	0.0015	0.0015	0.0012
Ortalama		0.0009	0.0011	0.0010
Standart Sapma		0.0004	0.0005	0.0004
Ortalama+S.S.		0.0013	0.0016	0.0014

Çizelge A.47 : Yalın yapı modelinin y ekseninde kolon alt ucunda oluşan en büyük eğrilik değerleri (Sönümleyicili-YD2).

Yer Hareketi	İstasyon	S11 (1/m)	S41 (1/m)	S61 (1/m)
Erzincan	Erzikan	0.0097	0.0210	0.0184
Imperial Valley	El Centro Array #4	0.0039	0.0057	0.0055
Imperial Valley	El Centro Array #6	0.0042	0.0047	0.0045
Northridge	CA Sylmar Jensen Flt Plt	0.0070	0.0147	0.0134
Northridge	Canyon Country	0.0040	0.0045	0.0044
Northridge	Castaic Old Ridge Route	0.0060	0.0073	0.0069
Northridge	Rinaldi Receiving Sta	0.0679	0.0734	0.0710
Northridge	Newhall Fire Station	0.0120	0.0142	0.0140
Northridge	Sylmar Converter Sta	0.0084	0.0138	0.0136
Superstition Hills	Parachute Test Site	0.0136	0.0666	0.0607
Ortalama		0.0137	0.0226	0.0212
Standart Sapma		0.0193	0.0256	0.0241
Ortalama+S.S.		0.0330	0.0482	0.0453

Çizelge A.48 : Yalın yapı modelinin x eksenini etrafında kolon alt ucunda oluşan en büyük eğrilik değerleri (Sönümleyicili-YD2).

Yer Hareketi	İstasyon	S11 (1/m)	S41 (1/m)	S61 (1/m)
Erzincan	Erzikan	0.0014	0.0020	0.0020
Imperial Valley	El Centro Array #4	0.0004	0.0004	0.0005
Imperial Valley	El Centro Array #6	0.0007	0.0008	0.0007
Northridge	CA Sylmar Jensen Flt Plt	0.0010	0.0011	0.0010
Northridge	Canyon Country	0.0004	0.0003	0.0005
Northridge	Castaic Old Ridge Route	0.0003	0.0004	0.0008
Northridge	Rinaldi Receiving Sta	0.0030	0.0034	0.0026
Northridge	Newhall Fire Station	0.0006	0.0005	0.0010
Northridge	Sylmar Converter Sta	0.0013	0.0014	0.0013
Superstition Hills	Parachute Test Site	0.0007	0.0039	0.0069
Ortalama		0.0010	0.0014	0.0017
Standart Sapma		0.0008	0.0013	0.0019
Ortalama+S.S.		0.0018	0.0027	0.0037

Çizelge A.49 : Yalın yapı modeli S11 ve S61 kolonları alt uç kesitinde, boyuna donatıda oluşan en büyük birim şekil değiştirme değerleri (Sönümleyicili-YD1).

Yer Hareketi	İstasyon	S11	S61
Erzincan	Erzikan	0.0018	0.0024
Imperial Valley	El Centro Array #4	0.0015	0.0018
Imperial Valley	El Centro Array #6	0.0008	0.0010
Northridge	CA Sylmar Jensen Flt Plt	0.0013	0.0012
Northridge	Canyon Country	0.0013	0.0014
Northridge	Castaic Old Ridge Route	0.0010	0.0010
Northridge	Rinaldi Receiving Sta	0.0019	0.0031
Northridge	Newhall Fire Station	0.0019	0.0017
Northridge	Sylmar Converter Sta	0.0019	0.0018
Superstition Hills	Parachute Test Site	0.0011	0.0012
Ortalama		0.0015	0.0017
Standart Sapma		0.0004	0.0007
Ortalama+S.S.		0.0019	0.0023

Çizelge A.50 : Yalın yapı modeli S11 ve S61 kolonları alt uç kesitinde, kabuk betonda oluşan en büyük birim şekil değiştirme değerleri (Sönümleyicili-YD1).

Yer Hareketi	İstasyon	S11	S61
Erzincan	Erzikan	0.0018	0.0024
Imperial Valley	El Centro Array #4	0.0015	0.0018
Imperial Valley	El Centro Array #6	0.0008	0.0010
Northridge	CA Sylmar Jensen Flt Plt	0.0013	0.0011
Northridge	Canyon Country	0.0013	0.0014
Northridge	Castaic Old Ridge Route	0.0010	0.0010
Northridge	Rinaldi Receiving Sta	0.0018	0.0030
Northridge	Newhall Fire Station	0.0019	0.0017
Northridge	Sylmar Converter Sta	0.0019	0.0018
Superstition Hills	Parachute Test Site	0.0010	0.0012
Ortalama		0.0014	0.0016
Standart Sapma		0.0004	0.0007
Ortalama+S.S.		0.0018	0.0023

Çizelge A.51 : Yalın yapı modeli S11 ve S61 kolonları alt uç kesitinde, çekirdek betonda oluşan en büyük birim şekildeğiştirme değerleri (Sönümleyicili-YD1).

Yer Hareketi	İstasyon	S11	S61
Erzincan	Erzikan	0.0018	0.0024
Imperial Valley	El Centro Array #4	0.0015	0.0018
Imperial Valley	El Centro Array #6	0.0008	0.0010
Northridge	CA Sylmar Jensen Flt Plt	0.0013	0.0012
Northridge	Canyon Country	0.0014	0.0014
Northridge	Castaic Old Ridge Route	0.0010	0.0010
Northridge	Rinaldi Receiving Sta	0.0019	0.0031
Northridge	Newhall Fire Station	0.0019	0.0017
Northridge	Sylmar Converter Sta	0.0019	0.0018
Superstition Hills	Parachute Test Site	0.0011	0.0012
Ortalama		0.0015	0.0017
Standart Sapma		0.0004	0.0007
Ortalama+S.S.		0.0019	0.0023

Çizelge A.52 : Yalın yapı modeli S11 ve S61 kolonları alt uç kesitinde, boyuna donatıda oluşan en büyük birim şekildeğiştirme değerleri (Sönümleyicili-YD2).

Yer Hareketi	İstasyon	S11	S61
Erzincan	Erzikan	0.0035	0.0068
Imperial Valley	El Centro Array #4	0.0008	0.0010
Imperial Valley	El Centro Array #6	0.0015	0.0016
Northridge	CA Sylmar Jensen Flt Plt	0.0024	0.0048
Northridge	Canyon Country	0.0013	0.0015
Northridge	Castaic Old Ridge Route	0.0020	0.0023
Northridge	Rinaldi Receiving Sta	0.0045	0.0078
Northridge	Newhall Fire Station	0.0035	0.0021
Northridge	Sylmar Converter Sta	0.0013	0.0016
Superstition Hills	Parachute Test Site	0.0049	0.0241
Ortalama		0.0026	0.0054
Standart Sapma		0.0014	0.0070
Ortalama+S.S.		0.0040	0.0124

Çizelge A.53 : Yalın yapı modeli S11 ve S61 kolonları alt uç kesitinde, kabuk betonda oluşan en büyük birim şekildeğiştirme değerleri (Sönümleyicili-YD2).

Yer Hareketi	İstasyon	S11	S61
Erzincan	Erzikan	0.0035	0.0067
Imperial Valley	El Centro Array #4	0.0007	0.0009
Imperial Valley	El Centro Array #6	0.0015	0.0016
Northridge	CA Sylmar Jensen Flt Plt	0.0023	0.0047
Northridge	Canyon Country	0.0013	0.0015
Northridge	Castaic Old Ridge Route	0.0019	0.0023
Northridge	Rinaldi Receiving Sta	0.0044	0.0076
Northridge	Newhall Fire Station	0.0034	0.0021
Northridge	Sylmar Converter Sta	0.0013	0.0016
Superstition Hills	Parachute Test Site	0.0048	0.0236
Ortalama		0.0025	0.0053
Standart Sapma		0.0014	0.0069
Ortalama+S.S.		0.0039	0.0121

Çizelge A.54 : Yalın yapı modeli S11 ve S61 kolonları alt uç kesitinde, çekirdek betonda oluşan en büyük birim şekildeğiştirme değerleri (Sönümleyicili-YD2).

Yer Hareketi	İstasyon	S11	S61
Erzincan	Erzikan	0.0035	0.0068
Imperial Valley	El Centro Array #4	0.0008	0.0010
Imperial Valley	El Centro Array #6	0.0015	0.0015
Northridge	CA Sylmar Jensen Flt Plt	0.0024	0.0048
Northridge	Canyon Country	0.0013	0.0015
Northridge	Castaic Old Ridge Route	0.0020	0.0023
Northridge	Rinaldi Receiving Sta	0.0045	0.0078
Northridge	Newhall Fire Station	0.0035	0.0021
Northridge	Sylmar Converter Sta	0.0013	0.0016
Superstition Hills	Parachute Test Site	0.0049	0.0240
Ortalama		0.0026	0.0053
Standart Sapma		0.0014	0.0070
Ortalama+S.S.		0.0040	0.0123

Çizelge A.55 : Yalın yapı modeli kolon alt ucunda meydana gelen normal kuvvetin en büyük değerleri (Sönümleyicili-YD1).

Yer Hareketi	İstasyon	S11 (kN)	S41 (kN)	S61 (kN)
Erzincan	Erzikan	240	283	276
Imperial Valley	El Centro Array #4	253	308	299
Imperial Valley	El Centro Array #6	230	289	286
Northridge	CA Sylmar Jensen Flt Plt	242	265	263
Northridge	Canyon Country	236	289	286
Northridge	Castaic Old Ridge Route	255	300	296
Northridge	Rinaldi Receiving Sta	259	341	336
Northridge	Newhall Fire Station	271	340	331
Northridge	Sylmar Converter Sta	286	310	301
Superstition Hills	Parachute Test Site	227	283	279
Ortalama		250	301	295
Standart Sapma		19	25	23
Ortalama+S.S.		269	325	318

Çizelge A.56 : Yalın yapı modeli kolon alt ucunda meydana gelen normal kuvvetin en büyük değerleri (Sönümleyicili-YD2).

Yer Hareketi	İstasyon	S11 (kN)	S41 (kN)	S61 (kN)
Erzincan	Erzikan	244	313	307
Imperial Valley	El Centro Array #4	195	248	245
Imperial Valley	El Centro Array #6	229	278	272
Northridge	CA Sylmar Jensen Flt Plt	272	326	318
Northridge	Canyon Country	253	303	299
Northridge	Castaic Old Ridge Route	281	353	348
Northridge	Rinaldi Receiving Sta	440	477	474
Northridge	Newhall Fire Station	344	411	408
Northridge	Sylmar Converter Sta	246	344	336
Superstition Hills	Parachute Test Site	277	358	349
Ortalama		278	341	335
Standart Sapma		69	66	66
Ortalama+S.S.		347	407	402

Çizelge A.57 : Yalın yapı modelinin x eksenı doğrultusunda kolon üst ucunda meydana gelen kesme kuvvetinin en büyük değeri (Sönümleyicili-YD1).

Yer Hareketi	İstasyon	S11 (kN)	S41 (kN)	S61 (kN)
Erzincan	Erzikan	84.6	87.7	86.7
Imperial Valley	El Centro Array #4	72.3	84.5	82.7
Imperial Valley	El Centro Array #6	78.5	84.7	82.4
Northridge	CA Sylmar Jensen Flt Plt	82.3	78.9	80.6
Northridge	Canyon Country	75.9	80.9	80.6
Northridge	Castaic Old Ridge Route	98.3	91.1	89.5
Northridge	Rinaldi Receiving Sta	101.0	118.4	111.5
Northridge	Newhall Fire Station	93.9	126.6	123.8
Northridge	Sylmar Converter Sta	118.6	113.7	120.1
Superstition Hills	Parachute Test Site	63.1	70.8	67.7
Ortalama		86.8	93.7	92.5
Standart Sapma		16.2	18.9	19.0
Ortalama+S.S.		103.1	112.6	111.5

Çizelge A.58 : Yalın yapı modelinin y eksenı doğrultusunda kolon üst ucunda meydana gelen kesme kuvvetinin en büyük değeri (Sönümleyicili-YD1).

Yer Hareketi	İstasyon	S11 (kN)	S41 (kN)	S61 (kN)
Erzincan	Erzikan	66.5	66.4	12.1
Imperial Valley	El Centro Array #4	36.9	34.6	9.8
Imperial Valley	El Centro Array #6	33.6	31.8	8.3
Northridge	CA Sylmar Jensen Flt Plt	58.2	58.0	17.3
Northridge	Canyon Country	29.3	31.7	10.0
Northridge	Castaic Old Ridge Route	44.9	47.7	8.9
Northridge	Rinaldi Receiving Sta	129.2	129.1	25.6
Northridge	Newhall Fire Station	68.8	69.9	18.9
Northridge	Sylmar Converter Sta	59.5	59.5	15.2
Superstition Hills	Parachute Test Site	63.7	62.9	12.4
Ortalama		59.1	59.1	13.9
Standart Sapma		28.5	28.5	5.5
Ortalama+S.S.		87.6	87.6	19.3

Çizelge A.59 : Yalın yapı modelinin x eksenı doğrultusunda kolon üst ucunda meydana gelen kesme kuvvetinin en büyük değeri (Sönümleyicili-YD2).

Yer Hareketi	İstasyon	S11 (kN)	S41 (kN)	S61 (kN)
Erzincan	Erzikan	85.1	107.4	98.4
Imperial Valley	El Centro Array #4	56.2	63.6	61.6
Imperial Valley	El Centro Array #6	67.0	76.4	74.0
Northridge	CA Sylmar Jensen Flt Plt	87.8	102.3	99.7
Northridge	Canyon Country	76.0	79.1	78.0
Northridge	Castaic Old Ridge Route	87.6	95.9	93.2
Northridge	Rinaldi Receiving Sta	183.8	203.0	197.0
Northridge	Newhall Fire Station	140.5	168.7	167.6
Northridge	Sylmar Converter Sta	87.1	100.9	95.4
Superstition Hills	Parachute Test Site	96.7	119.8	122.3
Ortalama		96.8	111.7	108.7
Standart Sapma		37.8	43.1	42.7
Ortalama+S.S.		134.5	154.8	151.4

Çizelge A.60 : Yalın yapı modelinin y eksenini doğrultusunda kolon üst ucunda meydana gelen kesme kuvvetinin en büyük değerleri (Sönümleyicili-YD2).

Yer Hareketi	İstasyon	S11 (kN)	S41 (kN)	S61 (kN)
Erzincan	Erzikan	70.6	69.6	20.7
Imperial Valley	El Centro Array #4	32.0	31.6	9.3
Imperial Valley	El Centro Array #6	38.7	40.3	9.1
Northridge	CA Sylmar Jensen Flt Plt	50.2	52.3	13.6
Northridge	Canyon Country	38.6	40.3	7.5
Northridge	Castaic Old Ridge Route	38.5	39.6	13.6
Northridge	Rinaldi Receiving Sta	51.9	50.6	21.3
Northridge	Newhall Fire Station	46.0	44.6	22.8
Northridge	Sylmar Converter Sta	53.1	53.4	20.2
Superstition Hills	Parachute Test Site	33.1	32.9	9.1
Ortalama		45.3	45.5	14.7
Standart Sapma		11.7	11.3	6.0
Ortalama+S.S.		57.0	56.8	20.7

Çizelge A.61 : Yalın yapı modelinin x eksenini doğrultusunda kolon üst ucunda meydana gelen ivmenin en büyük değerleri (Sönümleyicili-YD1).

Yer Hareketi	İstasyon	S11 (m/sn ²)	S41 (m/sn ²)	S61 (m/sn ²)
Erzincan	Erzikan	3.6	3.1	3.2
Imperial Valley	El Centro Array #4	3.5	3.0	3.0
Imperial Valley	El Centro Array #6	3.5	3.0	3.0
Northridge	CA Sylmar Jensen Flt Plt	3.6	3.4	3.4
Northridge	Canyon Country	3.5	2.9	2.9
Northridge	Castaic Old Ridge Route	3.5	2.8	2.8
Northridge	Rinaldi Receiving Sta	4.3	3.9	3.9
Northridge	Newhall Fire Station	4.1	3.3	3.3
Northridge	Sylmar Converter Sta	4.6	3.6	3.6
Superstition Hills	Parachute Test Site	3.0	2.4	2.5
Ortalama		3.7	3.1	3.2
Standart Sapma		0.5	0.4	0.4
Ortalama+S.S.		4.2	3.6	3.6

Çizelge A.62 : Yalın yapı modelinin y eksenini doğrultusunda kolon üst ucunda meydana gelen ivmenin en büyük değerleri (Sönümleyicili-YD1).

Yer Hareketi	İstasyon	S11 (m/sn ²)	S41 (m/sn ²)	S61 (m/sn ²)
Erzincan	Erzikan	4.7	4.7	4.7
Imperial Valley	El Centro Array #4	3.5	3.5	3.6
Imperial Valley	El Centro Array #6	2.8	2.9	3.0
Northridge	CA Sylmar Jensen Flt Plt	10.0	10.2	10.4
Northridge	Canyon Country	3.6	3.7	3.7
Northridge	Castaic Old Ridge Route	5.9	5.9	6.0
Northridge	Rinaldi Receiving Sta	8.1	8.2	8.4
Northridge	Newhall Fire Station	6.4	6.4	6.5
Northridge	Sylmar Converter Sta	4.6	4.7	4.8
Superstition Hills	Parachute Test Site	4.6	4.6	4.7
Ortalama		5.4	5.5	5.6
Standart Sapma		2.2	2.3	2.3
Ortalama+S.S.		7.7	7.8	7.9

Çizelge A.63 : Yalın yapı modelinin x eksenı doğrultusunda kolon üst ucunda meydana gelen ivmenin en büyük değeri (Sönümleyicili-YD2).

Yer Hareketi	İstasyon	S11 (m/sn ²)	S41 (m/sn ²)	S61 (m/sn ²)
Erzincan	Erzikan	4.2	3.9	3.9
Imperial Valley	El Centro Array #4	2.5	2.4	2.4
Imperial Valley	El Centro Array #6	3.4	2.5	2.6
Northridge	CA Sylmar Jensen Flt Plt	4.2	4.2	4.2
Northridge	Canyon Country	2.9	2.4	2.5
Northridge	Castaic Old Ridge Route	4.1	3.5	3.5
Northridge	Rinaldi Receiving Sta	8.4	6.8	6.9
Northridge	Newhall Fire Station	6.3	4.9	4.9
Northridge	Sylmar Converter Sta	4.5	4.2	4.2
Superstition Hills	Parachute Test Site	4.3	4.3	4.3
Ortalama		4.5	3.9	3.9
Standart Sapma		1.7	1.3	1.4
Ortalama+S.S.		6.2	5.3	5.3

Çizelge A.64 : Yalın yapı modelinin y eksenı doğrultusunda kolon üst ucunda meydana gelen ivmenin en büyük değeri (Sönümleyicili-YD2).

Yer Hareketi	İstasyon	S11 (m/sn ²)	S41 (m/sn ²)	S61 (m/sn ²)
Erzincan	Erzikan	5.0	5.0	5.0
Imperial Valley	El Centro Array #4	5.1	5.2	5.2
Imperial Valley	El Centro Array #6	3.8	3.8	3.9
Northridge	CA Sylmar Jensen Flt Plt	5.2	5.3	5.3
Northridge	Canyon Country	6.2	6.3	6.4
Northridge	Castaic Old Ridge Route	7.2	7.3	7.5
Northridge	Rinaldi Receiving Sta	5.6	5.5	5.6
Northridge	Newhall Fire Station	6.4	6.5	6.7
Northridge	Sylmar Converter Sta	8.5	8.7	8.8
Superstition Hills	Parachute Test Site	3.6	3.6	3.6
Ortalama		5.7	5.7	5.8
Standart Sapma		1.5	1.5	1.6
Ortalama+S.S.		7.1	7.3	7.4

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad : Cihan Soydan
Doğum Tarihi ve Yeri : 01/12/1976, İznik/Bursa
E-Posta : csoydan@nku.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans:** 1998, Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği
- **Yüksek Lisans :** 2001, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, Deprem Mühendisliği

DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- Soydan C., Yüksel E., İrtem E., 2015. Determination of the Characteristics of a Specially Designed Lead Extrusion Damper, *14th World Conference on Seismic Isolation, Energy Dissipation and Active Vibration Control of Structures*, San Diego, CA/USA, 9-11 September.
- Soydan C., Yüksel E., İrtem E., 2015. Kurşun Ekstrüzyon Sönümleyici Davranışının Belirlenmesi, *Ulusal Yapı Mekaniği Laboratuvarları 5. Toplantısı*, Kayseri/Türkiye, 29-30 Mayıs.
- Soydan C., Yüksel E., İrtem E., 2014. The Behavior of a Steel Connection Equipped with the Lead Extrusion Damper, *Advances in Structural Engineering - An International Journal*, 17(1), pp. 25-40.
- Soydan C., Yüksel E., İrtem E., 2013. Numerical Modeling of Single-Storey Precast Frame's Pinned Connections with a Special Damper, *4th International Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering*, Kos Island/Greece, 12-14 June.
- Soydan C., Güllü A., Hepbostancı O.E., Yüksel E., İrtem E., 2012. Design of a Special Lead Extrusion Damper, *15th World Conference On Earthquake Engineering*, Lisbon/Portugal, 24-28 September.

- Soydan C., Koçak M., Özkaynak H., Yüksel E., İrtem E., 2011. Kurşun Ekstrüzyon Sönümleyicinin Bir Birleşimin Davranışına Olan Etkisi, *7.Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, Maslak/İstanbul, 31 Mayıs - 3 Haziran.

ARAŞTIRMA PROJELERİ

- Yüksel E. (Yürütücü), Soydan C. (Araştırmacı), 2011. Özel Bir Sönümleyici Aygıtın Geliştirilmesi ve Uygulanması. Proje No: 34285. İ.T.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi.
- Yüksel E. (Yürütücü), Soydan C. (Araştırmacı), 2010. Özel Bir Sönümleyici Aygıtın Geliştirilmesi. Proje No: 34014. İ.T.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi.