

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PREFABRİK SANAYİ YAPILARINDA KULLANILAN BETONARME DÜŞEY
CEPHE PANELLERİNİN MESNETLENMESİ İÇİN BİR ÖNERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tuğba AKSAKAL

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2013

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PREFABRİK SANAYİ YAPILARINDA KULLANILAN BETONARME CEPHE
PANELLERİNİN MESNETLENMESİ İÇİN BİR ÖNERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Tuğba AKSAKAL
(501111056)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ercan YÜKSEL

HAZİRAN 2013

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501111056 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Tuğba AKSAKAL**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**PREFABRİK SANAYİ YAPILARINDA KULLANILAN BETONARME CEPHE PANELLERİNİN MESNETLENMESİ İÇİN BİR ÖNERİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

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

Jüri Üyeleri : **Doç.Dr. Canan Girgin**
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd.Doç.Dr. Barış Erkuş
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **03 Mayıs 2013**
Savunma Tarihi : **06 Haziran 2013**

Aileme,

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez konusunun seçilmesinde ve bu tez çalışması süresinde bana her zaman sabırla yardımcı olan, zamanını ve bilgilerini paylaşan ve her konuda destek veren tez danışmanım Sayın Doç.Dr. Ercan YÜKSEL'e, yine bizimle bütün bilgi, birikim ve tecrübelerini paylaşan Sayın Prof.Dr. H.Faruk KARADOĞAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmasına beraber başladığım,lisans ve yüksek lisans boyunca bana her konuda destek gösteren arkadaşım İnş. Müh. Fatma Betül HASEL'e, bu çalışma boyunca bana sabır ve anlayış gösteren BÜROSTATİK MÜHENDİSLİK firmasına ve tüm yaşamım boyunca beni maddi manevi her konuda destekleyen aileme sonsuz teşekkür ederim.

Haziran 2013

Tuğba Aksakal
İnşaat Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xxiii
SUMMARY	xxv
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	2
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
2.1 Boşluklu Paneller ile İlgili Çalışmalar	3
2.2 Öndöküm Cephe Panel Bağlantıları İle İlgili Önceki Çalışmalar	5
2.2.1 Eğilme karakterinde enerji sönümleyiciler	7
2.2.2 Elastomer mesnet çeşitleri	8
2.2.3 Burulma karakterindeki mesnetler	8
2.2.4 Sürtünmeli mesnet özellikleri	9
2.3 Türkiye’de Kullanılan Panel Tipleri.....	10
3. DEPREM KAYITLARI	13
4. DENEY NUMUNESİ.....	21
5. ANALİTİK ÇALIŞMA.....	25
5.1 Malzeme Özelliklerinin Verilmesi	25
5.2 Perdeler Üzerinde Delik Geometrisinin Çalışılması	27
5.2.1 İncelenen prefabrik panellerin özellikleri	27
5.2.2 Perdelerin çubuk model olarak idealleştirilmesi	29
5.2.3 Yığılı plastik şekildeğiştirme durumu	31
5.2.4 Yayılı plastik şekildeğiştirme durumu	32
5.2.5 Perdenin doğrusal olmayan levha olarak tanımlanması durumu	33
5.2.6 Doğrusal olmayan levha elemanın analiz sonuçları ile doğrulanması	34
5.2.7 Farklı tipteki perdelerin analiz sonuçları	38
5.3 Enerji Sönümleyici Mesnetlere Sahip Panellerin Analizi	41
5.3.1 Öndöküm düşey cephe panellerinin modellenmesi	42
5.3.2 Doğrusal olmayan bağlantı elemanlarının modellenmesi	46
5.3.3 Serbest titreşim analizi sonuçları	58
5.3.4 Artımsal itme analizi sonuçları	61
5.3.5 Zaman tanım alanında analizin sonuçları.....	63
5.3.5.1 <i>Tip0</i> modeli	63
5.3.5.2 <i>Tip1</i> modeli	76
5.3.5.3 <i>Tip2</i> modeli	94
5.3.5.4 <i>Tip3</i> modeli	113
5.3.5.5 <i>Tip4</i> modeli	134
5.3.6 Panellerin enerjilerinin hesaplanması	153

6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	157
KAYNAKLAR.....	161
EKLER.....	163
ÖZGEÇMİŞ	175

KISALTMALAR

TS	: Türk Standartları
SAP2000	: Structural Analysis Programme
SAFECLADDING	: Deprem Güvenli Öndöküm Cephe Panellerini Araştıran Avrupa Birliği Projesi.

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 5.1 : Beton sınıfı karakteristik özellikleri.	25
Çizelge 5.2 : Donatı çeliği sınıfı karakteristik özellikleri.	26
Çizelge 5.3 : Serbest titreşim analizi sonuçları.	58
Çizelge 5.4 : Tip0 modeli zaman tanım alanı sonuçları.	76
Çizelge 5.5 : Tip1 modeli zaman tanım alanı sonuçları.	89
Çizelge 5.6 : kh1 yayı zaman tanım alanı sonuçları.	94
Çizelge 5.7 : kh2 yayı zaman tanım alanı sonuçları.	94
Çizelge 5.8 : Tip2 modeli zaman tanım alanı sonuçları.	107
Çizelge 5.9 : kh1 yayı zaman tanım alanı hesap sonuçları.	111
Çizelge 5.10 : kh2 yayı zaman tanım alanı hesap sonuçları.	111
Çizelge 5.11 : kh3 yayı zaman tanım alanı hesap sonuçları.	113
Çizelge 5.12 : Tip3 modeli zaman tanım alanı hesap sonuçları.	125
Çizelge 5.13 : Panel1 kh1-kh2 yayı zaman tanım alanı hesap sonuçları.	128
Çizelge 5.14 : Panel2 kh1-kh2 yayı zaman tanım alanı hesap sonuçları.	133
Çizelge 5.15 : kh3-kh4 yayı zaman tanım alanı hesap sonuçları.	134
Çizelge 5.16 : Tip4 modeli zaman tanım alanı hesabı sonuçları.	147
Çizelge 5.17 : kh1-kh2 yayı zaman tanım alanı hesap sonuçları.	148
Çizelge 5.18 : kh3-kh4 yayı zaman tanım alanı hesap sonuçları.	150
Çizelge 5.19 : kh5 yayı zaman tanım alanı hesap sonuçları.	152
Çizelge 5.20 : Modellerin enerji hesaplamaları.	154
Çizelge 5.21 : Bağlantı elemanlarının enerjileri.	154
Çizelge 5.22 : Bağlantı elemanlarının enerjileri.	154
Çizelge A.1 : Doğrusal olmayan malzeme özelliklerinin tanımlanması.	166

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : L'Aquila-İtalya Depremi, (Beton Prefabrikasyon Dergisi, 2012).....	2
Şekil 2.1 : Boşluklu Perde Tipleri, (Băetu ve Ciongradı, 2012).	4
Şekil 2.2 : L'Aquila Depremi sonrası bağlantı elemanlarındaki hasarlar, (SafeCladding çalışma takımı, 2012).	5
Şekil 2.3 : Emilia-Romagna Depreminden sonra bağlantılarda oluşan hasarlar, (SafeCladding çalışma takımı, 2012).	6
Şekil 2.4 : Farklı tipteki enerji sönümleyiciler, (Goodno ve Craig, 1998).	7
Şekil 2.5 : Eğilme karakterindeki enerji sönümleyici ve yük-kuvvet çevrimi, (Pinelli ve diğ. 1996).	7
Şekil 2.6 : Elastomer mesnet çeşitleri, (Blanchet ve diğ., 1998).	8
Şekil 2.7 : Burulma karakterindeki mesnet çeşitleri, (Goodno and Craig, 1998).	9
Şekil 2.8 : Sürtünme karakterindeki mesnet çeşitleri, (Ferrara ve diğ., 2011).	9
Şekil 2.9 : 1. Tip panel kesiti, (Barka, G. 2013).	10
Şekil 2.10 : Öndöküm cephe panel görünümü, (Barka, G. 2013).	10
Şekil 2.11 : 2. Tip panel kesiti, (Barka, G. 2013).	11
Şekil 2.12 : Öndöküm cephe panel görünümü, (Barka, G. 2013).	11
Şekil 3.1 : SF_0.7134_SUPERST_B-PTS315 Depreminin özellikleri.	14
Şekil 3.2 : SF_9323_NORTHR_SYL360 Depreminin özellikleri.	15
Şekil 3.3 : SF_61125_NORTHR_RAN000 Depreminin özellikleri.	16
Şekil 3.4 : SF_64718_CHICHI_TCU074-N Depreminin özellikleri.	17
Şekil 3.5 : SF_64764_CHICHI_CHY029-E Depreminin özellikleri.	17
Şekil 3.6 : SF_67922_KOBE_TDO000 Depreminin özellikleri.	18
Şekil 3.7 : SF_68106_NORHTR_PAR--T Depreminin özellikleri.	19
Şekil 4.1 : Deney düzeneği.	21
Şekil 4.2 : Deney düzeneği yükleme durumu.	22
Şekil 4.3 : Deney düzeneği yükleme durumu.	22
Şekil 4.4 : Deney düzeneği yükleme durumu.	23
Şekil 5.1 : Beton malzeme modeli.	25
Şekil 5.2 : S420a donatı malzeme modeli.	26
Şekil 5.3 : S500bs donatı malzeme modeli.	26
Şekil 5.4 : (a) Perde1, (b) Perde2, (c) Perde3 görünüşleri.	28
Şekil 5.5 : (a) Perde1, (b) Perde2, (c) Perde3 çubuk model görünüşleri.	28
Şekil 5.6 : Sargısız beton malzeme modeli.	29
Şekil 5.7 : Sargılı beton malzeme modeli.	29
Şekil 5.8 : Donatı çeliği gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi.	30
Şekil 5.9 : Tip1 çubuk model kesiti.	30
Şekil 5.10 : Perde1 modeli moment-eğrilik ilişkisi.	31
Şekil 5.11 : Perde1 modeli plastik mafsalları tanımlama.	32
Şekil 5.12 : Perde1 modeli panel kesit tanımlama.	32
Şekil 5.13 : Yayılı plastik şekildeğiştirme durumunun tanımlama.	33
Şekil 5.14 : Perde başlık bölgesi doğrusal olmayan levha tanımlanması.	33

Şekil 5.15 : Perde gövde bölgesi doğrusal olmayan levha tanımlanması.	34
Şekil 5.16 : Perde1 modelinin itme analizi sonuçları.	34
Şekil 5.17 : Northridge depremi özellikleri.	35
Şekil 5.18 : Perde1 modeli deprem etkisinde tepe yerdeğiştirme-zaman ilişkisi.	36
Şekil 5.19 : Perde1 modeli deprem etkisinde taban kesme kuvveti-zaman ilişkisi..	36
Şekil 5.20 : Perde1 modeli deprem etkisinde taban kesme kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi.	36
Şekil 5.21 : Perde1 modeli deprem etkisinde tepe yerdeğiştirme-zaman ilişkisi.	37
Şekil 5.22 : Perde1 modeli deprem etkisinde taban kesme kuvveti-zaman ilişkisi..	37
Şekil 5.23 : Perde1 modeli deprem etkisinde taban kesme kuvvet-tepe yerdeğiştirmesi ilişkisi.	38
Şekil 5.24 : Farklı tipteki modellerin itme analizi eğrileri.	38
Şekil 5.25 : Farklı modellerin deprem etkisindeki yerdeğiştirme-zaman ilişkisi.	39
Şekil 5.26 : Farklı modellerin deprem etkisindeki taban kesme kuvveti-zaman ilişkisi.	39
Şekil 5.27 : Farklı modellerin deprem etkisindeki taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirme ilişkisi.	39
Şekil 5.28 : Farklı modellerin deprem etkisindeki tepe yerdeğiştirmesi-zaman ilişkisi.	40
Şekil 5.29 : Farklı modellerin deprem etkisindeki taban kesme kuvveti-zaman ilişkisi.	40
Şekil 5.30 : Farklı modellerin deprem etkisindeki taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirmesi ilişkisi.	40
Şekil 5.31 : (a)Tip0, (b)Tip1, (c)Tip2, (d)Tip3, (e)Tip4 panel görünüşleri.	42
Şekil 5.32 : Düşey cephe paneli tip kesiti.	42
Şekil 5.33 : Malzeme birim hacim ağırlığının girilmesi.	43
Şekil 5.34 : Düşey cephe panelinin ağırlığı.	43
Şekil 5.35 : Düşey cephe paneli donatı düzeni.	44
Şekil 5.36 : Hasır donatılı panel modelinin tanımlanması.	44
Şekil 5.37 : Hasır donatılı panel modeli.	45
Şekil 5.38 : Panel uç bölgesi modelinin tanımlanması.	45
Şekil 5.39 : Panel uç bölgesi modeli.	46
Şekil 5.40 : Pivot modeli, (Dowell ve diğ, 1998).	47
Şekil 5.41 : Tip1paneli şematik gösterimi ve analitik modeli.	47
Şekil 5.42 : Mesnetteki doğrusal olmayan bağlantıların tanımlanması.	48
Şekil 5.43 : Tip1 modeli yatay doğrultudaki doğrusal olmayan yayın tanımlanması	48
Şekil 5.44 : Tip1 modeli düşey doğrultudaki doğrusal olmayan yayın tanımlanması.	49
Şekil 5.45 : Düğüm noktaları yerdeğiştirmelerinin ilişkisi.	49
Şekil 5.46 : 1.Grup düğüm noktalarının eşitlikleri.	50
Şekil 5.47 : 2.Grup düğüm noktalarının eşitlikleri.	50
Şekil 5.48 : 3.Grup düğüm noktalarının eşitlikleri.	51
Şekil 5.49 : Tip2 şematik gösterimi ve analitik modeli.	51
Şekil 5.50 : Tip2 modeline ait doğrusal olmayan kayma yayının tanımlanması.	52
Şekil 5.51 : Tip2 modeline ait doğrusal olmayan kayma yayının özellikleri.	52
Şekil 5.52 : Panel-taşıyıcı sistem bağlantısı düğüm noktaları grupları.	53
Şekil 5.53 : Panel-taşıyıcı sistem bağlantısı düğüm noktaları eşitlikleri.	53
Şekil 5.54 : 5.ve 6. Grupların düğüm noktaları eşitlikleri.	54
Şekil 5.55 : Tip3 şematik gösterimi ve analitik modeli.	54
Şekil 5.56 : Panel-panel bağlantısı düğüm noktaları grup tanımlanması.	55

Şekil 5.57 : Panel-panel bağlantısı düğüm noktaları eşitlikleri.	55
Şekil 5.58 : <i>Tip4</i> şematik gösterimi ve analitik modeli.	56
Şekil 5.59 : <i>Tip4</i> modeline ait doğrusal olmayan kayma yayının özellikleri.	57
Şekil 5.60 : <i>Tip4</i> modeline ait doğrusal olmayan bağlantı düşey yayının özellikleri.	57
Şekil 5.61 : <i>Tip4</i> modeline ait doğrusal olmayan bağlantı yatay yayının özellikleri.	57
Şekil 5.62 : <i>Tip0</i> modeli sırasıyla 1.2. ve 3. mod şekilleri.	59
Şekil 5.63 : <i>Tip1</i> modeli sırasıyla 1. 2. ve 3. mod şekilleri.	59
Şekil 5.64 : <i>Tip2</i> modeli sırasıyla 1. 2. ve 3. mod şekilleri.	60
Şekil 5.65 : <i>Tip3</i> modeli sırasıyla 1. 2. ve 3. mod şekilleri.	60
Şekil 5.66 : <i>Tip4</i> modeli sırasıyla 1. 2. ve 3. mod şekilleri.	60
Şekil 5.67 : Düşey yükler altında doğrusal olmayan statik analiz.	61
Şekil 5.68 : Yatay yükler altında doğrusal olmayan statik analiz.	61
Şekil 5.69 : Yatay yükler altında doğrusal olmayan statik analiz.	61
Şekil 5.70 : <i>Tip0</i> modeli artımsal itme analizi eğrileri.	62
Şekil 5.71 : Artımsal itme eğrilerinin karşılaştırılması.	63
Şekil 5.72 : <i>Tip0</i> modeli.	63
Şekil 5.73 : 0.7134_SUPERST-B-PTS315 Depremi.	64
Şekil 5.74 : 0.7134_SUPERST-B-PTS315 Depremi.	64
Şekil 5.75 : 0.7134_SUPERST-B-PTS315 Depremi.	65
Şekil 5.76 : 0.7134_SUPERST-B-PTS315 Depremi.	65
Şekil 5.77 : 0.9323_NORTH_R_SYL360 Depremi.	66
Şekil 5.78 : 0.9323_NORTH_R_SYL360 Depremi.	66
Şekil 5.79 : 0.9323_NORTH_R_SYL360 Depremi.	66
Şekil 5.80 : 0.9323_NORTH_R_SYL360 Depremi.	67
Şekil 5.81 : 0.61125_NORTH_R_RAN000 Depremi.	67
Şekil 5.82 : 0.61125_NORTH_R_RAN000 Depremi.	68
Şekil 5.83 : 0.61125_NORTH_R_RAN000 Depremi.	68
Şekil 5.84 : 0.61125_NORTH_R_RAN000 Depremi.	68
Şekil 5.85 : 0.64718_CHICHI_TCU074-N Depremi.	69
Şekil 5.86 : 0.64718_CHICHI_TCU074-N Depremi.	69
Şekil 5.87 : 0.64718_CHICHI_TCU074-N Depremi.	70
Şekil 5.88 : 0.64718_CHICHI_TCU074-N Depremi.	70
Şekil 5.89 : 0.64764_CHICHI_CHY029-E Depremi.	71
Şekil 5.90 : 0.64764_CHICHI_CHY029-E Depremi.	71
Şekil 5.91 : 0.64764_CHICHI_CHY029-E Depremi.	71
Şekil 5.92 : 0.64764_CHICHI_CHY029-E Depremi.	72
Şekil 5.93 : 0.67922_KOBE_TDO00 Depremi.	72
Şekil 5.94 : 0.67922_KOBE_TDO00 Depremi.	73
Şekil 5.95 : 0.67922_KOBE_TDO00 Depremi.	73
Şekil 5.96 : 0.67922_KOBE_TDO00 Depremi.	73
Şekil 5.97 : 0.68106_NORTH_R_PAR—T Depremi.	74
Şekil 5.98 : 0.68106_NORTH_R_PAR—T Depremi.	74
Şekil 5.99 : 0.68106_NORTH_R_PAR—T Depremi.	75
Şekil 5.100 : 0.68106_NORTH_R_PAR—T Depremi.	75
Şekil 5.101 : <i>Tip1</i> modeli.	77
Şekil 5.102 : 0.7134_SUPERST-B-PTS315 Depremi.	77
Şekil 5.103 : 0.7134_SUPERST-B-PTS315 Depremi.	77
Şekil 5.104 : 0.7134_SUPERST-B-PTS315 Depremi.	78
Şekil 5.105 : 0.7134_SUPERST-B-PTS315 Depremi.	78
Şekil 5.106 : 0.9323_NORTH_R_SYL360 Depremi.	79

Şekil 5.107 : 0.9323_NORTHR_SYL360 Depremi.	79
Şekil 5.108 : 0.9323_NORTHR_SYL360 Depremi.	79
Şekil 5.109 : 0.9323_NORTHR_SYL360 Depremi.	80
Şekil 5.110 : 0.61125_NORTHR_RAN000 Depremi.	80
Şekil 5.111 : 0.61125_NORTHR_RAN000 Depremi.	81
Şekil 5.112 : 0.61125_NORTHR_RAN000 Depremi.	81
Şekil 5.113 : 0.61125_NORTHR_RAN000 Depremi.	81
Şekil 5.114 : 0.64718_CHICHI_TCU074-N Depremi.	82
Şekil 5.115 : 0.64718_CHICHI_TCU074-N Depremi.	82
Şekil 5.116 : 0.64718_CHICHI_TCU074-N Depremi.	83
Şekil 5.117 : 0.64718_CHICHI_TCU074-N Depremi.	83
Şekil 5.118 : 0.64764_CHICHI_CHY029-E Depremi.	84
Şekil 5.119 : 0.64764_CHICHI_CHY029-E Depremi.	84
Şekil 5.120 : 0.64764_CHICHI_CHY029-E Depremi.	84
Şekil 5.121 : 0.64764_CHICHI_CHY029-E Depremi.	85
Şekil 5.122 : 0.67922_KOBE_TDO000 Depremi.	85
Şekil 5.123 : 0.67922_KOBE_TDO000 Depremi.	86
Şekil 5.124 : 0.67922_KOBE_TDO000 Depremi.	86
Şekil 5.125 : 0.67922_KOBE_TDO000 Depremi.	86
Şekil 5.126 : 0.68106_NORTHR_PAR—T Depremi.	87
Şekil 5.127 : 0.68106_NORTHR_PAR—T Depremi.	87
Şekil 5.128 : 0.68106_NORTHR_PAR—T Depremi.	88
Şekil 5.129 : 0.68106_NORTHR_PAR—T Depremi.	88
Şekil 5.130 : <i>Tip1</i> modeli yay isimlendirilmesi.	89
Şekil 5.131 : <i>kh1</i> yayı deprem etkisindeki kesme kuvveti-şekildeğiştirmesi.	90
Şekil 5.132 : <i>kv1</i> yayı deprem etkisindeki normal kuvvet-şekildeğiştirmesi.	91
Şekil 5.133 : <i>kh2</i> yayı deprem etkisindeki kesme kuvveti-şekildeğiştirmesi.	92
Şekil 5.134 : <i>kv2</i> yayı deprem etkisindeki normal kuvvet-şekildeğiştirmesi.	93
Şekil 5.135 : <i>Tip2</i> Modeli.	95
Şekil 5.136 : 0.7134_SUPERST_B-PTS315 Depremi.	95
Şekil 5.137 : 0.7134_SUPERST_B-PTS315 Depremi.	96
Şekil 5.138 : 0.7134_SUPERST_B-PTS315 Depremi.	96
Şekil 5.139 : 0.7134_SUPERST_B-PTS315 Depremi.	96
Şekil 5.140 : 0.9323_NORTHR_SYL360 Depremi.	97
Şekil 5.141 : 0.9323_NORTHR_SYL360 Depremi.	97
Şekil 5.142 : 0.9323_NORTHR_SYL360 Depremi.	98
Şekil 5.143 : 0.9323_NORTHR_SYL360 Depremi.	98
Şekil 5.144 : 0.61125_NORTHR_RAN000 Depremi.	99
Şekil 5.145 : 0.61125_NORTHR_RAN000 Depremi.	99
Şekil 5.146 : 0.61125_NORTHR_RAN000 Depremi.	99
Şekil 5.147 : 0.61125_NORTHR_RAN000 Depremi.	100
Şekil 5.148 : 0.64718_CHICHI_TCU074-N Depremi.	100
Şekil 5.149 : 0.64718_CHICHI_TCU074-N Depremi.	101
Şekil 5.150 : 0.64718_CHICHI_TCU074-N Depremi.	101
Şekil 5.151 : 0.64718_CHICHI_TCU074-N Depremi.	101
Şekil 5.152 : 0.64764_CHICHI_CHY029-E Depremi.	102
Şekil 5.153 : 0.64764_CHICHI_CHY029-E Depremi.	102
Şekil 5.154 : 0.64764_CHICHI_CHY029-E Depremi.	103
Şekil 5.155 : 0.64764_CHICHI_CHY029-E Depremi.	103
Şekil 5.156 : 0.67922_KOBE_TDO000 Depremi.	104

Şekil 5.157 : 0.67922_KOBE_TDO000 Depremi.....	104
Şekil 5.158 : 0.67922_KOBE_TDO000 Depremi.....	104
Şekil 5.159 : 0.67922_KOBE_TDO000 Depremi.....	105
Şekil 5.160 : 0.68106_NORTHHR_PAR—T Depremi.	105
Şekil 5.161 : 0.68106_NORTHHR_PAR—T Depremi.	106
Şekil 5.162 : 0.68106_NORTHHR_PAR—T Depremi.	106
Şekil 5.163 : 0.68106_NORTHHR_PAR—T Depremi.	106
Şekil 5.164 : <i>Tip2</i> modeli yay isimlendirmesi.	108
Şekil 5.165 : <i>kh1</i> yayı deprem etkisindeki kesme kuvveti-şekildeğiştirme.	108
Şekil 5.166 : <i>kv1</i> ve <i>kv2</i> yaylarının deprem etkisindeki normal kuvvet- şekildeğiştirme ilişkileri.	109
Şekil 5.167 : <i>kh2</i> yayının deprem etkisindeki kesme kuvveti-şekildeğiştirme ilişkileri.	110
Şekil 5.168 : <i>kh3</i> yayı deprem etkisinde kesme kuvveti-şekildeğiştirme ilişkisi. ...	112
Şekil 5.169 : <i>Tip3</i> modeli.	113
Şekil 5.170 : 0.7134_SUPERST_B-PTS315 Depremi.....	114
Şekil 5.171 : 0.7134_SUPERST_B-PTS315 Depremi.....	114
Şekil 5.172 : 0.7134_SUPERST_B-PTS315 Depremi.....	114
Şekil 5.173 : 0.7134_SUPERST_B-PTS315 Depremi.....	115
Şekil 5.174 : 0.9323_NORTHHR_SYL360 Depremi.....	115
Şekil 5.175 : 0.9323_NORTHHR_SYL360 Depremi.....	116
Şekil 5.176 : 0.9323_NORTHHR_SYL360 Depremi.....	116
Şekil 5.177 : 0.9323_NORTHHR_SYL360 Depremi.....	116
Şekil 5.178 : 0.61125_NORTHHR_RAN000 Depremi.....	117
Şekil 5.179 : 0.61125_NORTHHR_RAN000 Depremi.....	117
Şekil 5.180 : 0.61125_NORTHHR_RAN000 Depremi.....	118
Şekil 5.181 : 0.61125_NORTHHR_RAN000 Depremi.....	118
Şekil 5.182 : 0.64718_CHICHI_TCU074-N Depremi.....	119
Şekil 5.183 : 0.64718_CHICHI_TCU074-N Depremi.....	119
Şekil 5.184 : 0.64718_CHICHI_TCU074-N Depremi.....	119
Şekil 5.185 : 0.64718_CHICHI_TCU074-N Depremi.....	120
Şekil 5.186 : 0.64764_CHICHI_CHY029-E Depremi.....	120
Şekil 5.187 : 0.64764_CHICHI_CHY029-E Depremi.....	121
Şekil 5.188 : 0.64764_CHICHI_CHY029-E Depremi.....	121
Şekil 5.189 : 0.64764_CHICHI_CHY029-E Depremi.....	121
Şekil 5.190 : 0.67922_KOBE_TDO000 Depremi.....	122
Şekil 5.191 : 0.67922_KOBE_TDO000 Depremi.....	122
Şekil 5.192 : 0.67922_KOBE_TDO000 Depremi.....	123
Şekil 5.193 : 0.67922_KOBE_TDO000 Depremi.....	123
Şekil 5.194 : 0.68106_NORTHHR_PAR—T Depremi.	124
Şekil 5.195 : 0.68106_NORTHHR_PAR—T Depremi.	124
Şekil 5.196 : 0.68106_NORTHHR_PAR—T Depremi.	124
Şekil 5.197 : 0.68106_NORTHHR_PAR—T Depremi.	125
Şekil 5.198 : <i>Tip3</i> yay isimlendirmesi.	126
Şekil 5.199 : Panelde bulunan <i>kh1-kh2</i> yaylarının deprem etkisindeki kesme kuvveti- şekildeğiştirme ilişkileri.....	127
Şekil 5.200 : Panel1 de bulunan <i>kv1-kv2</i> yaylarının deprem etkisindeki normal kuvvet-şekildeğiştirme ilişkileri.	128
Şekil 5.201 : Panel2de bulunan <i>kh1-kh2</i> yaylarının deprem etkisindeki kesme kuvveti-şekildeğiştirme ilişkileri.	129

Şekil 5.202 : Panel2de bulunan <i>kv1-kv2</i> yaylarının deprem etkisindeki normal kuvvet-şekildeğiştirme ilişkileri.....	130
Şekil 5.203 : <i>kh3-kh4</i> yayları deprem etkisindeki kesme kuvveti-şekildeğiştirme ilişkisi.	131
Şekil 5.204 : <i>kh5</i> yayı deprem etkisindeki kesme kuvveti-şekildeğiştirme ilişkileri.	132
Şekil 5.205 : <i>kv3</i> yayı deprem etkisindeki normal kuvvet-şekildeğiştirme ilişkisi.	133
Şekil 5.206 : <i>Tip4</i> modeli.....	135
Şekil 5.207 : 0.7134_SUPERST_B-PTS315 Depremi.	135
Şekil 5.208 : 0.7134_SUPERST_B-PTS315 Depremi.	135
Şekil 5.209 : 0.7134_SUPERST_B-PTS315 Depremi.	136
Şekil 5.210 : 0.7134_SUPERST_B-PTS315 Depremi.	136
Şekil 5.211 : 0.9323_NORTHR_SYL360 Depremi.	137
Şekil 5.212 : 0.9323_NORTHR_SYL360 Depremi.	137
Şekil 5.213 : 0.9323_NORTHR_SYL360 Depremi.	137
Şekil 5.214 : 0.9323_NORTHR_SYL360 Depremi.	138
Şekil 5.215 : 0.61125_NORTHR_RAN000 Depremi.	138
Şekil 5.216 : 0.61125_NORTHR_RAN000 Depremi.	139
Şekil 5.217 : 0.61125_NORTHR_RAN000 Depremi.	139
Şekil 5.218 : 0.61125_NORTHR_RAN000 Depremi.	139
Şekil 5.219 : 0.64718_CHICHI_TCU074-N Depremi.	140
Şekil 5.220 : 0.64718_CHICHI_TCU074-N Depremi.	140
Şekil 5.221 : 0.64718_CHICHI_TCU074-N Depremi.	141
Şekil 5.222 : 0.64718_CHICHI_TCU074-N Depremi.	141
Şekil 5.223 : 0.64764_CHICHI_CHY029-E Depremi.	142
Şekil 5.224 : 0.64764_CHICHI_CHY029-E Depremi.	142
Şekil 5.225 : 0.64764_CHICHI_CHY029-E Depremi.	142
Şekil 5.226 : 0.64764_CHICHI_CHY029-E Depremi.	143
Şekil 5.227 : 0.67922_KOBE_TDO000 Depremi.	143
Şekil 5.228 : 0.67922_KOBE_TDO000 Depremi.	144
Şekil 5.229 : 0.67922_KOBE_TDO000 Depremi.	144
Şekil 5.230 : 0.67922_KOBE_TDO000 Depremi.	144
Şekil 5.231 : 0.68106_NORTHR_PAR—T Depremi.	145
Şekil 5.232 : 0.68106_NORTHR_PAR—T Depremi.	145
Şekil 5.233 : 0.68106_NORTHR_PAR—T Depremi.	146
Şekil 5.234 : 0.68106_NORTHR_PAR—T Depremi.	146
Şekil 5.235 : <i>Tip4</i> modeli yay isimlendirilmesi.	147
Şekil 5.236 : <i>kh1-kh2</i> yay sonuçları.	148
Şekil 5.237 : <i>kv1-kv2</i> yay sonuçları.	149
Şekil 5.238 : <i>kh3-kh4</i> yay sonuçları.	150
Şekil 5.239 : <i>kh5</i> yay sonuçları.	151
Şekil 5.240 : <i>kv3</i> yay sonuçları.	152
Şekil 5.241 : Enerji Hesabı, (Chopra, A.K., 1995).	153
Şekil A.1 : Beton malzeme genel özelliklerinin tanımlanması.....	165
Şekil A.2 : Beton malzeme genel özelliklerinin tanımlanması.....	165
Şekil A.3 : Panel başlık bölgesi malzeme doğrusal olmayan levha eleman olarak tanımlanması.	167
Şekil A.4 : Doğrusal olmayan panel levha elemana malzeme modellerinin tanımlanması.	167

Şekil A.5 : Doğrusal olmayan panel levha elemana malzeme modellerinin tanımlanması.	168
Şekil A.6 : Doğrusal olmayan panel levha elemanın tanımlanması.	168
Şekil A.7 : Doğrusal olmayan panel levha elemanın tanımlanması.	169
Şekil A.8 : Paneldeki şekildeğiştirme ölçerlerin gösterimi.	169
Şekil A.9 : Dönmenin tanımlanması.....	170
Şekil A.10 : Yayların şekildeğiştirme ve kuvvet doğrultuları.	171
Şekil A.11 : Bağlantı eleman yönlerinin belirlenmesi.	172
Şekil A.12 : Link elemanın doğrusal olmayan özelliklerinin tanımlanması.	172

PREFABRİK SANAYİ YAPILARINDA KULLANILAN BETONARME CEPHE PANELLERİNİN MESNETLENMESİ İÇİN BİR ÖNERİ

ÖZET

Deprem bölgelerindeki prefabrik yapıların, deprem sonrasında yaşanan sonuçlara bağlı olarak, depreme karşı güvenliğinin tam sağlanamadığı bilinen bir gerçektir. Günümüzde prefabrik yapıların elemanları, bağlantıları ve davranışları konusunda birçok çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmalarda amaçlanan hedef, yapıların deprem etkisi altındaki performanslarını daha iyi seviyeye getirilmesine katkı sağlamaktır.

Bu çalışmada, prefabrik yapıların taşıyıcı sistemlerinden ziyade, yapının cephesini kaplayan düşey öndöküm paneller ve panellerin yaptıkları bağlantılar incelenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda alternatif çözümler ortaya konmuştur.

Tez kapsamında öndöküm cephe panellerinin davranışlarının doğrusal olmayan yöntemlerle incelenmesi için 2 farklı yol izlenmiştir.

Birinci yaklaşımda, öndöküm cephe panellerinin gövdesinde 2 farklı biçimde boşluk oluşturulan sistemler ile dolu gövdeli olan sistemin, seçilen depremlerin etkisi altında harcadıkları çevrimsel enerjilerin karşılaştırılması yapılmıştır. Bu yaklaşıma göre, dolu gövdeli panel kullanmak yerine, gövdesinde çeşitli boşluklar oluşturularak, panelin daha sünek davranış yapması ve daha fazla enerji tüketme kapasitesine sahip olması öngörülmektedir.

İkinci yaklaşımda ise, öndöküm cephe panellerinin dış ortama enerji sönümleyici elemanlarla bağlandığı durumdaki davranışları incelenmiştir. Öndöküm düşey cephe panellerinin temele, taşıyıcı yapı sistemine ve komşu panellerle olan çeşitli bağlantı tipleri incelenmiştir. Sünek panel bağlantı elemanları, deprem esnasında tüm yapı sisteminin enerji tüketimine büyük katkı sağlayabilecekleri öngörülmektedir. Prefabrik yapıların taşıyıcı sistemlerinin yerine, öndöküm cephe panellerinin veya bağlantı elemanlarının incelenmesi, bir FP7 Avrupa Birliği Projesi olarak Safe Cladding (Deprem Güvenli Öndöküm Cephe Panelleri Araştırma Projesi) kapsamında yapılmaktadır. Bu noktaya varılmasının en büyük sebebi olarak 2009 da meydana gelen *L'Aquila-İtalya Depremi* gösterilebilir. Deprem esnasında taşıyıcı yapı sistemlerinin tasarımına bağlı sorunlar yerine, panellerin yapı sistemleri ile olan bağlantılarındaki hasarlar dikkat çekmiştir. Oluşan hasarlar nedeniyle bağlantıların göçmesi meydana gelmiş ve bu nedenle de öndöküm cephe panellerinde çok büyük hasarlar oluşmuştur. Bu nedenle doğrusal olmayan analizler yöntemleri kullanılarak alternatif bağlantı detayları araştırılmaktadır.

Öndöküm düşey cephe panelinin temel, taşıyıcı yapı sistemi ve komşu panel ile bağlantısının yapıldığı enerji sönümleyici eleman özellikleri tez kapsamında incelenmiştir. Enerji sönümleyici bağlantı elemanının özellikleri İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarında yapılan deneyler ile belirlenmiştir.

Deneyler sonucunda elemanın dayanım, şekildeğiştirme kapasitesi ve rijitlik özellikleri elde edilmiştir. Bu sonuçlara dayalı olarak analitik çalışmalar yürütülmüştür.

Çalışmanın ilk bölümünde problemin tanımı, ortaya çıkma sebepleri ve bu çalışmanın yapılma amacı anlatılmaktadır.

İkinci bölümde boşluklu perdelerin enerji tüketme kapasiteleri, öndöküm düşey cephe panel bağlantıları ile ilgili yapılan önceki çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca, Türkiye’de prefabrik alanında kullanılan öndöküm düşey cephe panel çeşitleri anlatılmıştır.

Üçüncü bölümde, Avrupa Birliği Projesi olan SafeCladding Projesi kapsamında seçilen deprem grupları hakkında bilgi verilmiştir. Tez çalışmasında seçilen bu deprem gruplarının içerisinde depremler alınarak analizler yapılmıştır.

Dördüncü bölümde, enerji sönümleyici bağlantı elemanlarının deneyi ve deney sonuçları gösterilmektedir.

Beşinci bölümde, tez kapsamında oluşturulan sistemler anlatılmıştır. Bu sistemler *Doğrusal Olmayan Artımsal İtme Analizi* ve *Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz* yöntemleri ile sayısal olarak irdelenmiş ve analiz sonuçları verilmiştir. Analizler sonucunda öndöküm panellerin ve enerji sönümleyici bağlantı elemanlarının depremler etkisinde tükettiği enerji miktarları hakkında bilgi verilmiştir.

Altıncı bölümde ise sonuçlar yorumlanmış, önerilen panel tipleri ve bağlantı detayları değerlendirilmiştir.

Analizler sonucunda elde edilen en önemli sonuçlar göreceli kat ötelemeleri ve taban kesme kuvveti istemleridir. Buna göre göreceli kat ötelemesinin ortalama değeri *Tip0* modelinde % 0.36, *Tip1* modelindeki değeri % 1.61, *Tip2* modelinde % 0.59, *Tip3* modelinde % 0.57 ve *Tip4* modelinde ise % 2.22 olarak elde edilmiştir. Göreceli kat ötelemesinin standart sapması *Tip0* modelinde % 0.15, *Tip1* modelinde % 0.33, *Tip2* modelinde % 0.29, *Tip3* modelin % 0.28 ve *Tip4* modelinde ise % 0.40 olarak hesaplanmıştır. Standart sapmanın ortalama göreceli kat ötelemesine oranı *Tip0* modelinde 0.417, *Tip1* modelinde 0.204, *Tip2* modelinde 0.492, *Tip3* modelinde 0.497 ve *Tip4* modelinde de 0.179’ dur.

Analiz sonuçlarına göre taban kesme kuvvetinin ortalama değeri *Tip0* modelinde % 66.9, *Tip1* modelindeki değeri % 42.1, *Tip2* modelinde % 58.5, *Tip3* modelinde % 58.8 ve *Tip4* modelinde ise % 31.4 olarak elde edilmiştir. Taban kesme kuvvetinin standart sapması *Tip0* modelinde % 15.3, *Tip1* modelinde % 1.75, *Tip2* modelinde % 1.29, *Tip3* modelin % 1.44 ve *Tip4* modelinde ise % 2.0 olarak hesaplanmıştır. Standart sapmanın ortalama taban kesme kuvvetine oranı *Tip0* modelinde 0.228, *Tip1* modelinde 0.041, *Tip2* modelinde 0.022, *Tip3* modelinde 0.024 ve *Tip4* modelinde de 0.064’ dur.

A NEW PROPOSAL FOR THE SUPPORTING OF VERTICAL REINFORCED CONCRETE CLADDING PANELS USED IN PREFABRICATED INDUSTRIAL BUILDINGS

SUMMARY

It is obviously seen from the last earthquakes that the safety of prefabricated buildings are not supplied well. Many research works have been going on related with the prefabricated structures and their components. These studies lead researchers to find out the new solutions for the performances of buildings which are subjected to severe earthquakes.

The research on the existing and new connection details of the cladding systems used in the industrial type of structures have been initiated in FP7 research project of Safecladding. The main idea behind the project is the heavily damaged industrial buildings observed in L'Aquila Earthquake in 2009. The damages are concentrated on the panel to structure fixing details.

This M.Sc. thesis aimed to evaluate the effectiveness of the new supporting system for vertical reinforced concrete precast cladding panels which are covering the industrial structures. The steel cushion for supporting of the panel has been studied and some obtained promising results are presented.

Two groups of analytical works have been performed in the content of this thesis.

In the first group, the hysteretic behavior of three shear walls is compared with each other. Two different slit configurations have been tried for two specimens. The holes on web of the panels mentioned in two different ways supplies more hysteretic energy dissipation capacity. The third specimen is the solid webbed system. The result of nonlinear time history analyses are used to determine the dissipated hysteretic energy capacity. Depending on the results, it is easy to see that the creating holes on the web of the panels supplies more ductile behavior of the panels and then to gain much more capacity of energy dissipation.

In the second group, the behavior of the cladding panels connected with the steel cushion is studied through the nonlinear time history analyses. The connections between cladding and foundation, the connections between load bearing system and claddings and cladding connections are the interested connection points. The steel cushion placed properly can supply great amount of energy dissipation of the whole structure.

The steel cushions are used in the different connections of claddings. They are cladding to foundation connection, cladding to cladding connection and cladding to load bearing frame connections. The features of the steel cushions are determined from the experimental studies which are being performed in Structural and Earthquake Engineering Laboratory of Istanbul Technical University. The strength, initial stiffness, deformation capacity and the shape of the force displacement curve are amongst the information taken from the experimental studies.

The nonlinear analyses of the structures are performed by SAP2000. Material and geometric type nonlinearities are taken into account in the analyses. The nonlinear shell element existing in SAP2000 is used in the definition of reinforced concrete cladding panels. For the definition of steel cushions, nonlinear link elements which are zero length nonlinear springs are used. The properties of the nonlinear link elements are taken from the laboratory tests.

In the first part of the study, the reason why this problem came out and the aim of the investigation are discussed. The previous research on the energy dissipation of staggered cladding systems and the connection details of vertical precast claddings are presented in Chapter two. Additionally, the properties of the cladding systems commonly used in Turkey are also mentioned in this chapter.

Although the staggered cladding systems dissipates the seismic energy by cracking which are extended on all the surface of the wall and by crushing of the shear connections, the solid wall system dissipates the seismic energy by only the cracks at the base of the wall. Moreover, the existing studies indicated that the energy dissipation can be achieved in lieu of the wall height to inhibit damage concentration at the wall base. In these publications, maximum lateral displacement, plastic curvature, crack width and steel weight are the considered parameters in the evaluation of the performance of shear walls.

According to previous studies the concepts of different dissipative connectors in precast buildings was somewhat borrowed from the different solutions that are typically used for passive isolation of structures. These devices are numerous and different concepts are rapidly developing.

In Chapter three, the earthquake acceleration records which are selected in the content of Safecladding Project are presented. One of the groups is used in this thesis to perform the nonlinear time history analyses.

In Chapter four, brief information about the steel cushion tests which are ongoing in Earthquake Engineering and Structural Dynamic Laboratory of Istanbul Technical University are given.

Chapter five consists of the performed analytical works. The results of the pushover analysis and nonlinear time history analysis performed for two groups of panel systems are discussed. In the first group, there exist three reinforced concrete shear walls. In the modeling of the shear wall, not only the nonlinear shell element but also the equivalent frame system is used. The behavior of solid shear wall is compared with the walls having two different slit configurations.

In the second group, five precast cladding systems are described with different connection details. The systems are named as Type0, Type1, Type2, Type3 and Type4. The free vibration analyses have been performed for the different cladding systems. From the obtained mode shapes, one can see certainly the effect of the steel cushion in general behavior of the cladding system.

The variation of several demands such as lateral top displacements, chord rotations, drifts and base shears are represented in the graphics. The extremes of the demands are tabulated.

In conclusion, Chapter sixth consists of the comments about the results, the panel types and connection details are assessed. The average, standard deviation and covariance of demands of top lateral displacement, base shear, chord rotation and story drift are presented.

The average drift demands obtained from the analyses are as follows: 0.36% for Type0 model, 1.61% for Type1 model, 0.59% for Type2 model, 0.57% for Type3 model and 2.22% for Type4 model. The standard deviations for the cases are 0.15% for Type0 model, 0.33% for Type1 model, 0.29% for Type2 model, 0.28% for Type3 model and 0.40% for Type4 model.

1. GİRİŞ

Öndöküm cephe panellerinin davranışını daha iyi anlamak üzere, 2 grup analitik çalışma gerçekleştirilmiştir.

Birinci grupta, gövdesinde 2 farklı biçimde boşluklar oluşturulan panel davranışı ile dolu gövdeli panel davranışı incelenmiş, harcanan çevrimsel enerjilerin karşılaştırılması yapılmıştır.

İkinci grupta ise dış ortama enerji tüketici bağlantı elemanları ile bağlanmış değişik cephe panel sistemlerinin, farklı depremler etkisinde sergiledikleri düzlem içi davranış biçimleri araştırılmıştır. Bu kapsamda, tek panel ile iki komşu panelin birlikte kullanılması durumu irdelenmiştir.

Prefabrik yapılarda, çok yaygın olarak yapının cephesini kaplayan betonarme öndöküm paneller kullanılmaktadır. Öndöküm paneller, genelde mimari amaçlı kullanılmaktadır. Paneller, yapısal olmayan eleman olarak tasarlanır ve prefabrik yapıya yapısal olarak katkı sağlamamaktadır. Sünek öndöküm cephe panel bağlantıları, yapı ile panellerin ilişkisi ile deprem esnasında enerji tüketmeyi amaçlamaktadır. Deprem esnasında bu bağlantı elemanları hasar görerek, büyük miktarda enerji tüketimi sağlanmakta ve aynı zamanda panellerde oluşan deformasyonun en aza indirgenmesi mümkün olabilmektedir.

Beton Fabrikasyon Dergisi (2012), Avrupa Birliği projesi olan SafeCladding (Deprem Güvenli Öndöküm Cephe Panelleri Araştırma Projesi) kapsamında, öndöküm cephe panellerinin yapı sistemi ile olan bağlantı şekillerinin deprem güvenliği araştırılmaktadır. Ayrıca, yeni bağlantı detaylarının geliştirilmesi hedeflenmektedir. Projede, izostatik yani taşıyıcı sisteme bağlı olmayan, yarı bağlı enerji tüketebilen bağlantı elemanları ile rijit bağlantı elemanlarının dayanım ve kapasiteleri incelenmektedir. Bu inceleme kapsamında, doğrusal olmayan analiz yöntemleri kullanılarak olası yerdeğiştirme taleplerinin belirlenmesi ve bu talepleri karşılayacak şekilde yeni birleşim elemanlarının geliştirilmesi hedeflenmektedir. Bu projenin başlamasının en önemli sebebi 2009 yılında meydana gelen *L'Aquila-İtalya*

Depremi gösterilebilir. L'Aquila Depreminde taşıyıcı çerçeve sistemlerin hasarları yerine cephe panellerinin yapı sistemine bağlantı noktalarındaki hasarlar sonucu oluşan cephe panellerinin göçmesi gözlemlenmiştir. Deprem esnasında yapı sisteminin kendisinde ciddi hasarlar meydana gelmemiştir. Şekil 1.1 de de görüldüğü üzere öndöküm cephe panelleri yapı sistemi ile bağlandığı yerden ayrılarak parçalanmıştır.



Fotoğraf Referansı: Prof. Dr. G. Toniolo, Politecnico Milano

Şekil 1.1 : L'Aquila-İtalya Depremi, (Beton Prefabrikasyon Dergisi, 2012).

Belirtilen nedenlerden dolayı, bu tez kapsamında öndöküm cephe panellerinin yapı sistemi, temel ve birbirleri ile olan bağlantıları irdelenmektedir. Yarı rijit olarak tanımlanan bağlantı elemanlarının davranışları incelenmektedir. Bağlantı elemanları uygulanmış cephe panellerinin deprem etkisi altında *Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analizleri* yapılarak, tükettikleri enerji miktarları elde edilmiştir. Hasar görerek enerji tüketen bağlantı elemanları sayesinde öndöküm cephe panellerinin deprem esnasında hasar görmediği ortaya çıkmıştır.

1.1 Tezin Amacı

Bu çalışmada, gövdesindeki boşlukları sebebiyle enerji tüketebilen alttan ankastre olarak bağlanmış paneller ile enerji sönümleyici elemanlar üzerine oturtulmuş tekil veya çift panel gruplarının deprem davranışlarının analitik olarak incelenmesi amaçlanmıştır.

Ölçeklendirilmiş iki grup deprem etkisi altında farklı karakterlerdeki enerji sönümleyici elemanlarla bağlı panellerin deprem istemleri belirlenmiş ve tasarım için kullanılabilecek ortalama değerler üretilmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

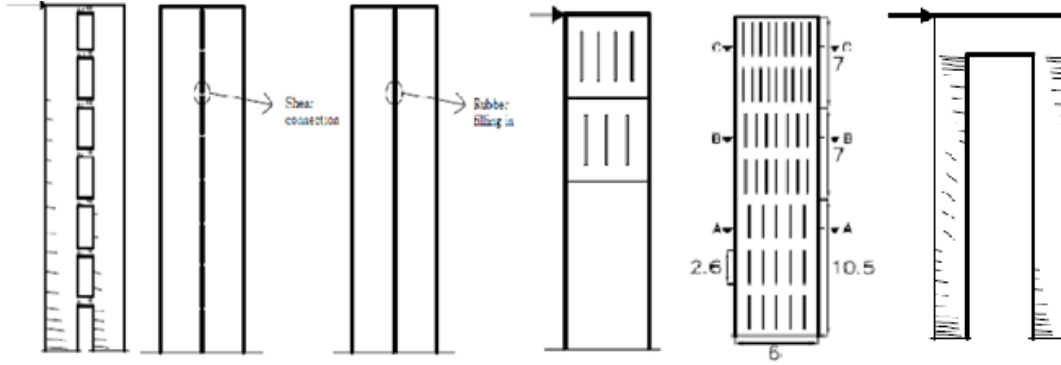
2.1 Boşluklu Paneller ile İlgili Çalışmalar

Băetu ve Ciongradı (2012), tarafından yapılan bir çalışmada boşluk oluşturulan perdelerin tükettiği enerjinin dolu gövdeli perdeye göre daha fazla olduğu öne sürülmüştür. 60 m yüksekliğinde 10 m genişliğinde olan perdenin orta bölgesinde boşluklar açılmıştır. Perdenin kalınlığı 40 cm, boşluklar ise 5 cm genişliğindedir. Perde tabanından ankastre mesnet ile sabitlenmiştir. Perde yüksekliği boyunca düzgün yayılı yatay yük ile yüklenmiştir. Her 12 m de bir 5 bağlantı aracılığıyla yükleme yapılmıştır. Öncelikle artımsal itme analizi yapılarak, karşılaştırma yapılmıştır. Dolu gövdeli perde 2582 kN kuvveti ile taban kesitinde meydana gelen hasar sonucu göçmeye ulaşmıştır. Boşluklu perde ise 2170 kN kuvvetinde tüm kayma bağlantılarında meydana gelen kırılma ile göçmüştür. Boşluklu perdenin kesme bağlantıları göçmeye ulaştığı için çözüm ilerleyemediği ve boşluklu perdenin tüm sistem olarak göçmeye nasıl ulaşılacağı görülememektedir. Bu nedenle, boşluklu perdede artımsal itme analizi yapmanın uygun olmadığı görülmüştür. Perdenin kesme bağlantılarında göçme meydana geldiğinde dayanımda azalma ve perdenin büyük yerdeğiştirme yapması beklenmektedir. Bu nedenle çevrimsel yük altında çözüm yapılmasına karar verilmiştir.

Çevrimli yük analizleri sonucunda perdelerde oluşan taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirmesi histeretik çevrimleri elde edilmiştir. Histeretik eğrilerin alanları hesaplanarak, perdelerin tükettikleri toplam histeretik enerjiler elde edilmiştir. Boşluklu perdenin davranışı kesme bağlantılarının hasar görmesiyle önemli derecede sünekleşmiştir. Perdenin sismik davranışı farklı depremler altında kesme bağlantıları ile kontrol edilebilmektedir. Dolu perde ise çok rijit ve plastikleşme taban kesitinde oluşmaktadır. İki perdenin davranışları arasında gözle görülür derece fark görülmektedir.

Histeretik eğrilerinin alanlarından hareketle boşluklu perde dolu perdeye göre yaklaşık 2 kat daha fazla enerji tüketmiştir.

Sabouri and Ziyaeifar (2009), perdelerin deprem etkisi altında iyi performans gösterdiklerini bildirmiştir. Perdeler, yüksek dayanım ve rijitliğe sahip oldukları için sünek davranış gösterememektedir. Sünek davranış, perdenin taban kesitindeki donatının akmasından sonra meydana gelmektedir. Tabandaki plastikleşme nedeniyle, perde tepe noktası büyük yerdeğiştirme yaparak, perdenin enerji tüketimine katkı sağlamaktadır. Deney ve analitik çalışmalara göre, yatay deprem kuvvetleri etkisindeki üniform ve düzenli boşluk oluşturulan perdelerin ve bağ kirişleri ile bağlanan iki perdenin performansının, normal perdelerle göre çok daha iyi olduğu gözlenmektedir. Hem sünek davranış istendiği hem de mimari gereklilikler için perdelerde boşluk oluşturulması öngörülmektedir. Bu çalışmada amaçlanan, sadece taban kesitinde oluşan hasar dağılımının, tüm perde yüksekliği boyunca yayılmasını sağlayarak, perdenin tükettiği enerjiyi arttırmaktır.



Şekil 2.1 : Boşluklu Perde Tipleri, (Băetu ve Ciongradı, 2012).

Şekil 2.1 de görüldüğü gibi farklı boşluk geometrileri ile çalışılmıştır. Araştırma sonucunda, en büyük yerdeğiştirme, plastik eğrilik ve çatlak genişliğinin perdenin performansında etkili olduğu görülmektedir. Bağ kirişleri ile çeşitli kademelerde bağlanan ve sadece en üstten bağ kirişi ile bağlanan perdelerin dayanımlarının, diğer perdelerin dayanımlarından daha fazla olduğu ortaya çıkmıştır. Boşluklu perdenin yaptığı yatay yerdeğiştirme, diğer perdelerin yaptığı yatay değiştirmelerden fazladır.

Huanjun ve Xilin (2002) tarafından yapılan çalışmada, boşluklu perde ile dolu perde arasında analitik ve deneysel karşılaştırmalar yapılmıştır. Perdede düşey yönde boşluklar açılarak, boşluklara kauçuk yerleştirilmiştir. Boşluklu perdenin yatay yükler etkisi altındaki sismik davranışı incelenerek, dolu gövdeli perde ile karşılaştırılmaktadır. Yatay doğrultuda çevrimli yükler altındaki boşluklu ve dolu gövdeli perdenin göçme biçimlerinin farklı olduğu yapılan çalışmalar sonucunda elde edilmiştir.

Dolu gövdeli perdenin taban kesitinde betonun ezilmesi ve donatının kopması ile büyük hasar meydana gelmektedir. Boşluklu perde de ise ilk hasar boşluklarının etrafında ve kauçuk elamanda meydana gelmekte, yapının tümü göçmeden yavaş yavaş bir hasar dağılımı meydana gelmektedir. Sonuçta boşluklu perdenin taban kesitinde meydana gelen hasar ile göçmeye ulaşmaktadır.

Boşluklu perdenin 5 farklı deprem altında tükettiği enerji miktarları hesaplanmıştır. Yerleştirilen kauçuklar toplam enerjinin neredeyse yarısını tüketerek, tüm yapının daha fazla enerji tüketmesinin sağlanmaktadır.

Yırtık genişliği, kullanılan donatı ve kauçuk malzemelerin enerji tüketimini etkilediği gözlenmektedir. Sonuç olarak, boşluklu perdenin diğer dolu perdeye oranla daha fazla enerji tükettiği görülmektedir.

2.2 Öndöküm Cephe Panel Bağlantıları İle İlgili Önceki Çalışmalar

Panel bağlantı elemanları; panel ile yapı sisteminin bağlanmasında, panellerin güvenliği, performansı ve ekonomisi bakımlarından önemli rol oynamaktadır. Panellerin şekli, boyutları, mesnet koşulları ve kuvvet-yerdeğiştirme ilişkilerine bağlı olarak farklı tipte bağlantı elemanları mevcuttur, (Hunt ve Stojadinoviæ 2010).

Emilia-Romagna ve L'Aquila Depremlerinde prefabrik yapılarda, taşıyıcı sistem ile panelleri bağlayan elemanlarda hasarlar oluşmuştur. Buna bağlı olarak, öndöküm cephe panelleri göçmüştür. Bu da bağlantı elemanlarının tasarımının yetersiz olduğunu ve sismik yüklere göre tasarım yapılmadığını göstermektedir.



Şekil 2.2 : L'Aquila Depremi sonrası bağlantı elemanlarındaki hasarlar, (SafeCladding çalışma takımı, 2012).

Şekil 2.2' de L'Aquile Depremi sonrasında bağlantı elemanlarındaki hasarlar, Şekil 2.3' de de Emilia-Romagna Depreminden sonra bağlantılarda oluşan hasarlar gösterilmektedir.



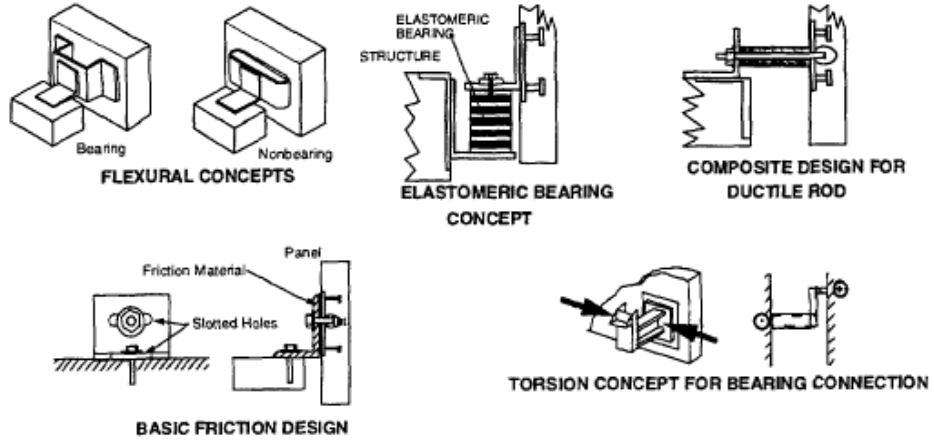
Şekil 2.3 : Emilia-Romagna Depreminden sonra bağlantılarda oluşan hasarlar, (SafeCladding çalışma takımı, 2012).

Goodno ve Craig(1998), deprem esnasında yapı sisteminden kopan bu tür bağlantı elemanları için çeşitli çözümler önermiştir. Cephe panelleri bağlantı elemanları aracılığıyla deprem esnasında yapının enerji tüketimine katkı sağlamaktadır. Farklı tasarıma sahip bağlantı elemanları mevcuttur.

Enerji sönümleyiciler şöyle sınıflandırılabilir:

1. Eğilme mesnedi
2. Taşıyıcı elastomer mesnet
3. Kompozit tasarım için sünek çubukların kullanılması
4. Temel ile sürtünmeli mesnet
5. Burulma mesnedi

Yukarıda listelenen bağlantı çeşitleri Şekil 2.4 de sırası ile gösterilmiştir. Her bağlantı modelinin üstünlüğü ve zayıflığı bulunmaktadır.



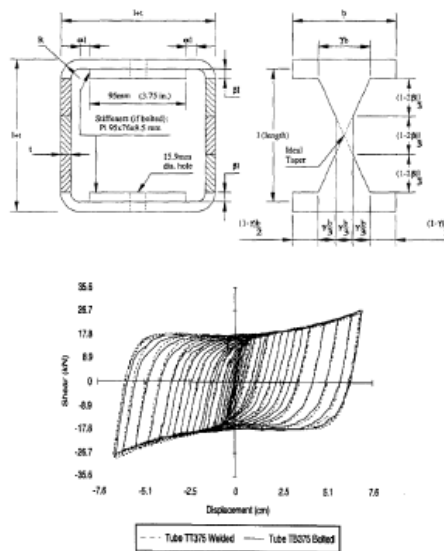
Şekil 2.4 : Farklı tipteki enerji sönümleyiciler, (Goodno ve Craig, 1998).

Bağlantı elemanlarının tasarımında enerji tüketimi esas alınmıştır. Deprem hareketi esnasında panellerdeki bağlantıların tükettiği toplam histeretik enerjinin en yüksek olduğu bağlantıların tasarımda avantaj sağladığı görülmektedir.

2.2.1 Eğilme karakterinde enerji sönümleyiciler

Eğilme karakterindeki enerji sönümleyiciler, elastik olmayan eğilme hareketi yaparak, enerji tüketimine katkı sağlamaktadırlar, (Pinelli ve diğ.1993).

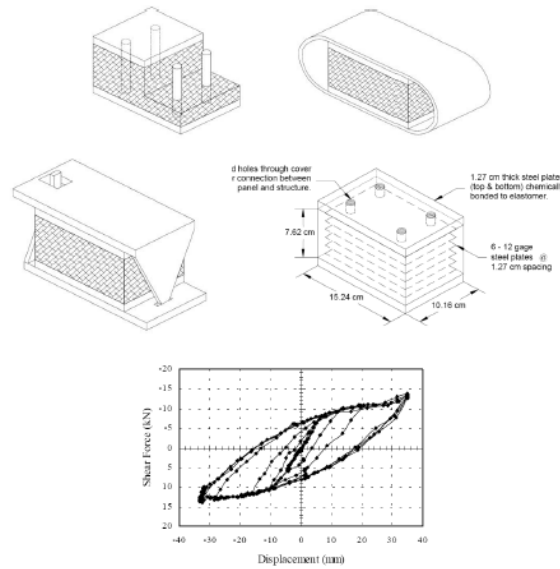
Şekil 2.5 de görüldüğü gibi, enerji sönümleyici elemanlar tasarlanırken süneklik, dayanım, enerji tüketimi ve sönümleyicinin histeretik davranışının tekrarlanabilirliği ön plana çıkmaktadır. (Pinelli ve diğ. 1996).



Şekil 2.5 : Eğilme karakterindeki enerji sönümleyici ve yük-kuvvet çevrimi, (Pinelli ve diğ. 1996).

2.2.2 Elastomer mesnet çeşitleri

Blanchet ve diğ. (1998), neopren ve çelikten oluşan katmanlı yastık mesnetler kullanmıştır. Yatay doğrultudaki yükleri taşıma esnasında, eğik eğilme davranışı göstererek, sünek davranış elde edilmiştir. Çelik ve kauçuğun birleştirilmesiyle elde edilen elastomer mesnetlerin yatay ve düşey yükler etkisindeki davranışları incelenmiştir. Yükleme altındaki davranışları belirlenerek mesnetin rijitliği, sönüm kapasitesi gibi mekanik özellikleri belirlenmiştir.

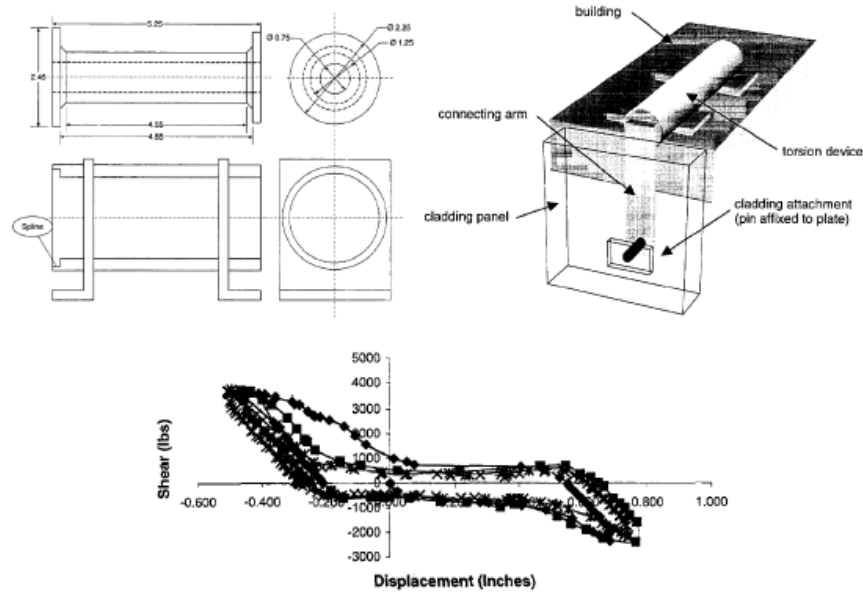


Şekil 2.6 : Elastomer mesnet çeşitleri, (Blanchet ve diğ., 1998).

Mesnete ait çevrimsel yükler etkisindeki histeretik davranış Şekil 2.6 da görülmektedir. Yazarlara göre, bu mesnetler büyük yerdeğiştirme çevrimlerine maruz kaldığında mükemmel süneklik ve dayanıklılık göstermiştir. Ayrıca, basit yapısı, kurulumu, kapasitesi ve değişilebilirliği açısından neopren-çelik mesnetlerin çok pratik olduğu savunulmuştur.

2.2.3 Burulma karakterindeki mesnetler

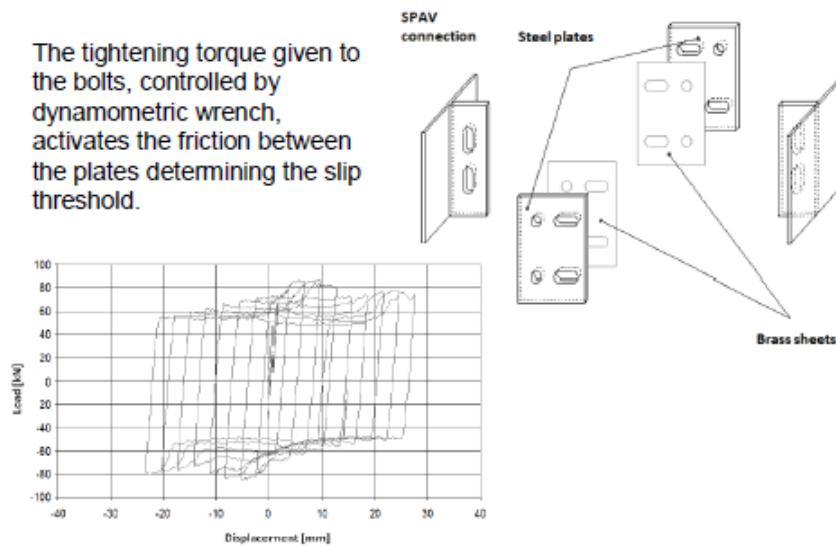
Enerji tüketebilen, burulma karakterine sahip mesnetler ilk olarak Craig, 1974 tarafından yapılmıştır. Daha sonra benzer özellikteki Goodno and Craig, 1998 tarafından yapılmıştır. Fakat, bu mesnetler beklendiği kadar iyi sonuç vermemiştir. Yine de elemanların sahip olduğu birkaç üstünlükten bahsedilmiştir. En önemli özelliği, moment kolu uzunluğunun çok basit olarak değiştirilebildiğidir. Şekil 2.7’ de burulma karakterindeki mesnet ve mesnete ait leme kuvveti-yerdeğiştirme ilişkisi gösterilmektedir.



Şekil 2.7 : Burulma karakterindeki mesnet çeşitleri, (Goodno and Craig, 1998).

2.2.4 Sürtünmeli mesnet özellikleri

Ferrara ve diğ. (2011), sürtünme esaslı enerji sönmüleyici mesnetler üzerinde çalışmıştır. ‘SPAV’ adı verilen IPE çelik profillerinin kesilmesi ile elde edilen, iki adet T çeliğinden birleşimler oluşturulmaktadır. Paneller birbirlerine yatayda somunlar ile birleştirilmiştir. Bu birleşimlerin, ölçülebilir civatalar aracılığıyla sürtünmelerinin ayarlanabileceği bilinmektedir. Şekil 2.8’ de sürtünme karakterine sahip menet çeşiti ve o mesnedin davranışını gösteren kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi verilmiştir.



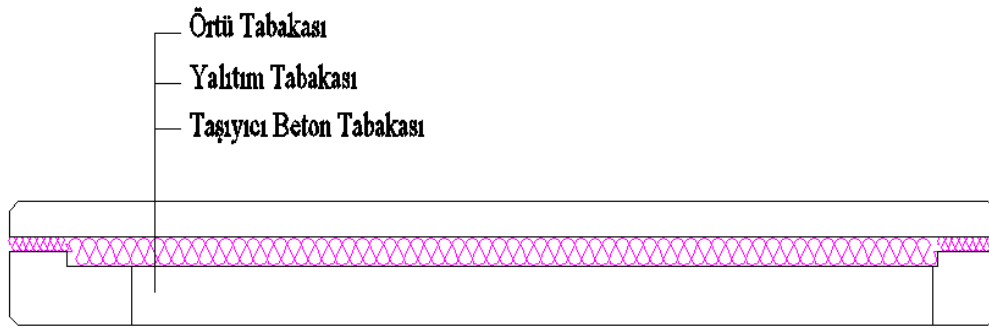
Şekil 2.8 : Sürtünme karakterindeki mesnet çeşitleri, (Ferrara ve diğ., 2011).

2.3 Türkiye’de Kullanılan Panel Tipleri

Endüstri tipi yapı sistemlerinin dış cephelerinin oluşturulmasında kullanılan malzemelerden biri de öndöküm betonarme cephe panelleridir. Düşey ya da yatay konumda kullanılabilen cephe panelleri taşıyıcı sisteme farklı biçimlerde bağlanabilmektedir.

Türkiye’de prefabrik yapıların imalatında kullanılan farklı tipte düşey cephe panelleri mevcuttur. Bu bölümde farklı özelliklerdeki panel tipleri incelenecektir.

panelleri düşey ve yatay uygulama biçimlerine göre iki ana gruba ayırmaktadır. Bu tez kapsamında düşey paneller incelenmektedir. Türkiye’de prefabrik yapılarda genel olarak 2 tip düşey cephe paneli kullanılmaktadır, (Barka, G. kişisel görüşme, 2013).

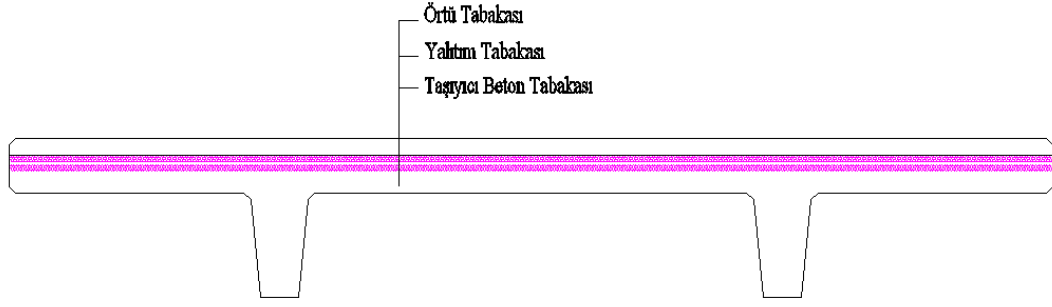


Şekil 2.9 : 1. Tip panel kesiti, (Barka, G. 2013).

Birinci tip panelin tipik kesiti Şekil 2.9 da görülmektedir. Düz kesitten oluşan düşey panelde 3 farklı tabakanın varlığı görülmektedir. Bunlar taşıyıcı beton tabakası, yalıtım tabakası ve beton örtü tabakasıdır. Şekil 2.10 da ise 1.Tip panel kesitinin yapı üzerinde uygulama hali görülmektedir.



Şekil 2.10 : Öndöküm cephe panel görünümü, (Barka, G. 2013).



Şekil 2.11 : 2.Tip panel kesiti, (Barka, G. 2013).



Şekil 2.12 : Öndöküm cephe panel görünümü, (Barka, G. 2013).

İkinci tip öndöküm düşey panel kesiti ise Şekil 2.11 de görülmektedir. Kesitte iki adet nervür bulunmaktadır. Benzer şekilde kesitte taşıyıcı beton tabakası, yalıtım tabakası ve beton örtü tabakası olmak üzere 3 katman bulunmaktadır. Şekil 2.12 de 2.tip düşey cephe panelinin yapı sistemindeki uygulama şekli görülmektedir.

3. DEPREM KAYITLARI

Bu çalışma, bir Avrupa Birliği projesi olan SafeCladding Projesi kapsamında yürütülmektedir. Proje kapsamında deprem seçimi konusunda önemli araştırmalar yapılmıştır. Tanımlanmış bazı ölçütlere göre deprem kaydı seçimi yapılmıştır. Seçilen deprem kayıtları kullanılarak incelenen sistemler zaman tanım alanında çözümlenmiştir. İndirilmiş 12 bin kayıt arasından tanımlanan ölçütlere uygun kayıtlar seçilmiştir, (Url-1).

Deprem seçimleri için 3 farklı parametreden oluşan gruplar meydana getirilmiştir. Bu gruplar zemin sınıfına, deprem senaryosuna ve deprem mesafesine bağlı olmaktadır.

1. Deprem mesafesine göre;

- Uzak Deprem : Faya 15 km den fazla mesafesi olan depremlerdir.
- Yakın Deprem: Faya 15 km den daha az mesafesi olan depremlerdir.

2. Zemin sınıfına göre;

- Yumuşak Zemin: Zemin kayma hızı V_{s30} , 700 m/s den daha az olan zeminlerdir.
- Sert Zemin: Zemin kayma hızı V_{s30} , 700 m/s den fazla olan zemin grubudur.

3. Deprem senaryosuna göre;

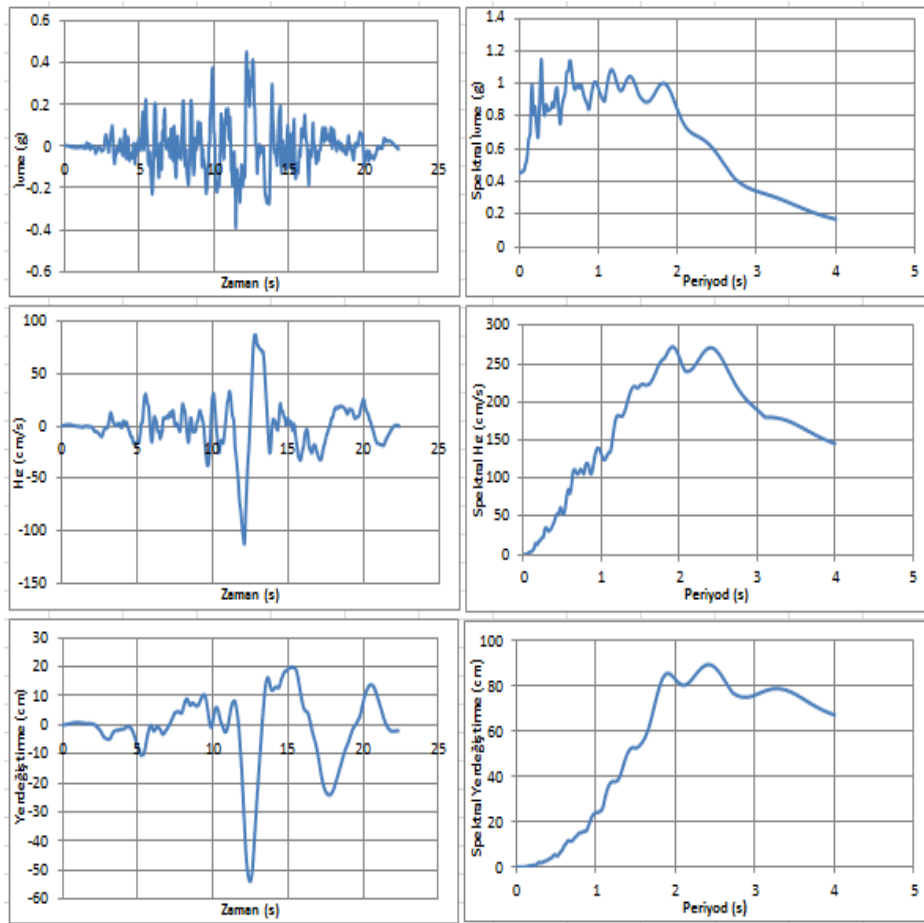
- 5050: 50/50 Depremi; 50 yılda aşılma olasılığı %50 olan depremlerdir.
- 1050: 10/50 Depremi; 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremlerdir.
- 0250: 02/50 Depremi; 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan depremlerdir.

Orjinal kayıtların hedef ivme spektrumuyla uyumlu olabilmesi için büyütme çarpanları kullanılmıştır. Deprem grupları yukarıda belirlenen özelliklere göre oluşturulmuştur.

Oluşturulan deprem grupları;

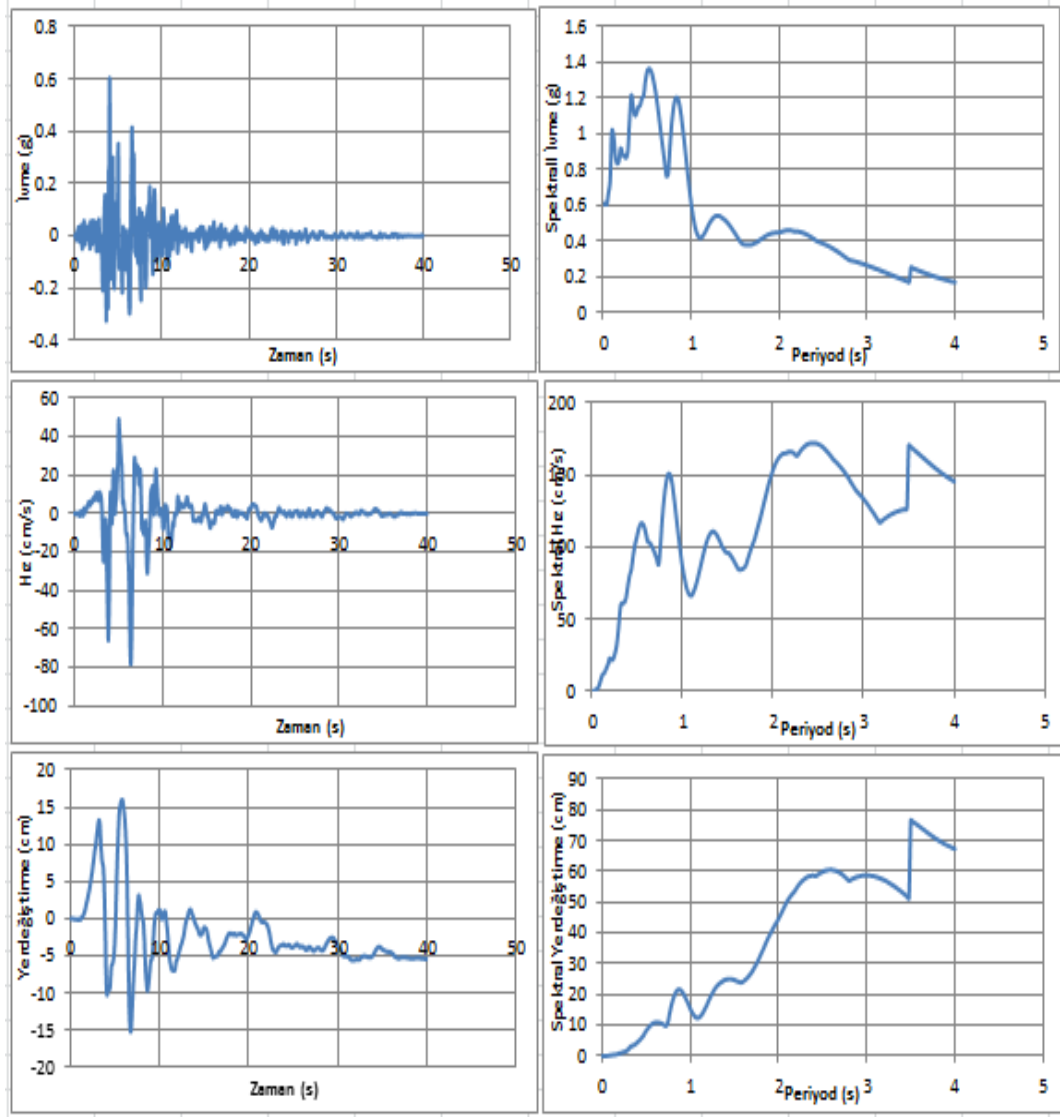
- Uzak Deprem – Sert Zemin – 1050 Deprem Senaryosu
- Uzak Deprem – Yumuşak Zemin – 1050 Deprem Senaryosu
- Yakın Deprem – Sert Zemin – 1050 Deprem Senaryosu
- Yakın Deprem – Yumuşak Zemin – 1050 Deprem Senaryosu

Bu tez kapsamında, Uzak Deprem - Sert Zemin - 1050 Deprem Senaryosu grubundan 7 adet deprem kaydı kullanılmıştır. Seçilen depremlerin özellikleri bu bölümde gösterilmiştir.



Şekil 3.1 : SF_0.7134_SUPERST_B-PTS315 Depreminin özellikleri.

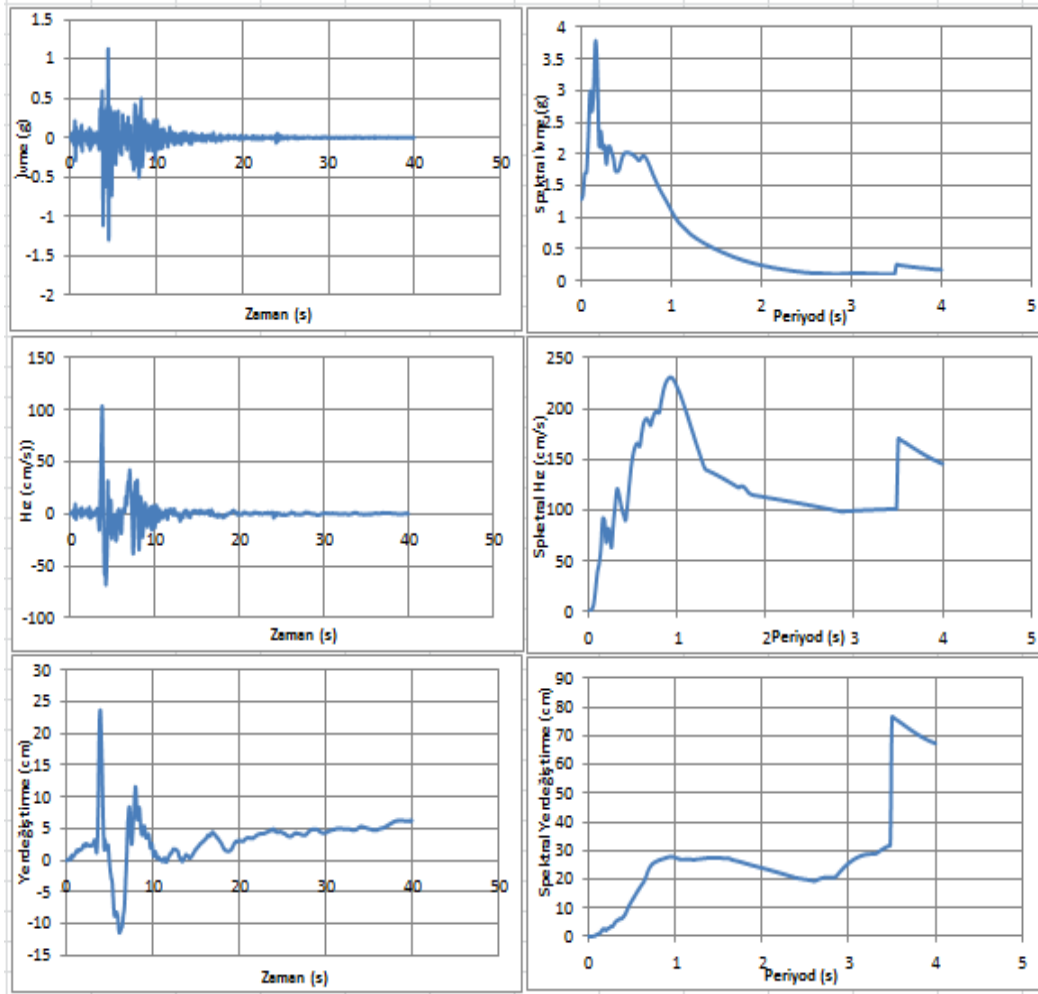
Spektrumla uyumunun sağlanabilmesi için 0.7134 katsayısı ile çarpılan *Supersition depremine* ait ivme-zaman, hız-zaman, yerdeğiştirme-zaman ile spektral ivme-periyod, spektral hız-periyod, spektral yerdeğiştirme-zaman grafikleri Şekil 3.1 de gösterilmiştir. En büyük ivme değeri 0.41g, en büyük hız değeri 104 cm/s, en büyük yerdeğiştirme değeri ise 50 cm olarak görülmektedir.



Şekil 3.2 : SF_9323_NORTHR_SYL360 Depreminin özellikleri.

Şekil 3.2 de spektruma yaklaştırmak için 0.9323 ile çarpılan *Northridge depremine* ait özellikler verilmiştir. Depremin ivme-zaman, hız zaman, yerdeğiştirme-zaman, spektral ivme-periyod, spektral hız-periyod, spektral yerdeğiştirme-periyod gibi özellikleri mevcuttur. En büyük ivme değeri 0.60g, en büyük hız değeri 76 cm/s, en büyük yerdeğiştirme değeri ise 15 cm olarak görülmektedir.

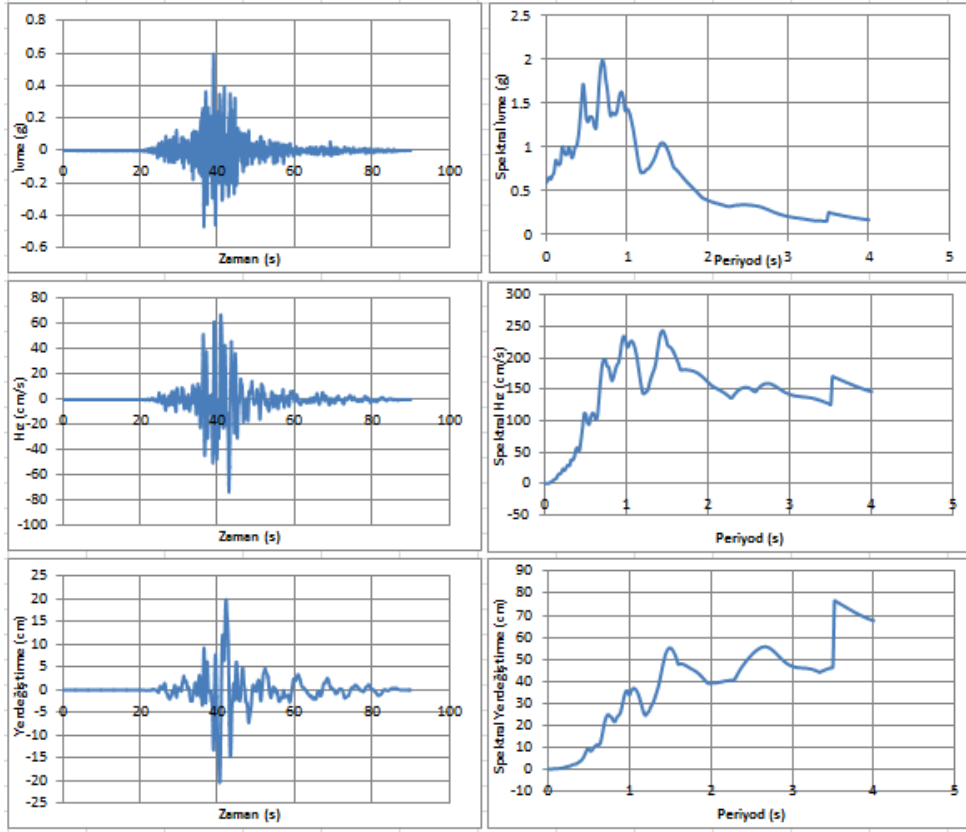
Farklı bir istasyondan seçilen *Northridge depremi* 0.61125 katsayısı ile çarpılarak spektrumla uyumlu hale getirilmiştir. Şekil 3.3 de spektrumla uyumlu hale getirilen bu depremin ivme-zaman, hız-zaman, yerdeğiştirme-zaman, spektral ivme-periyod, spektral hız-periyod, spektral yerdeğiştirme -periyod grafikleri verilmiştir. Depreme ait en büyük ivme değeri 1.29g, en büyük hız değeri 103 cm/s, en büyük yerdeğiştirme değeri ise yaklaşık olarak 24 cm olarak görülmektedir.



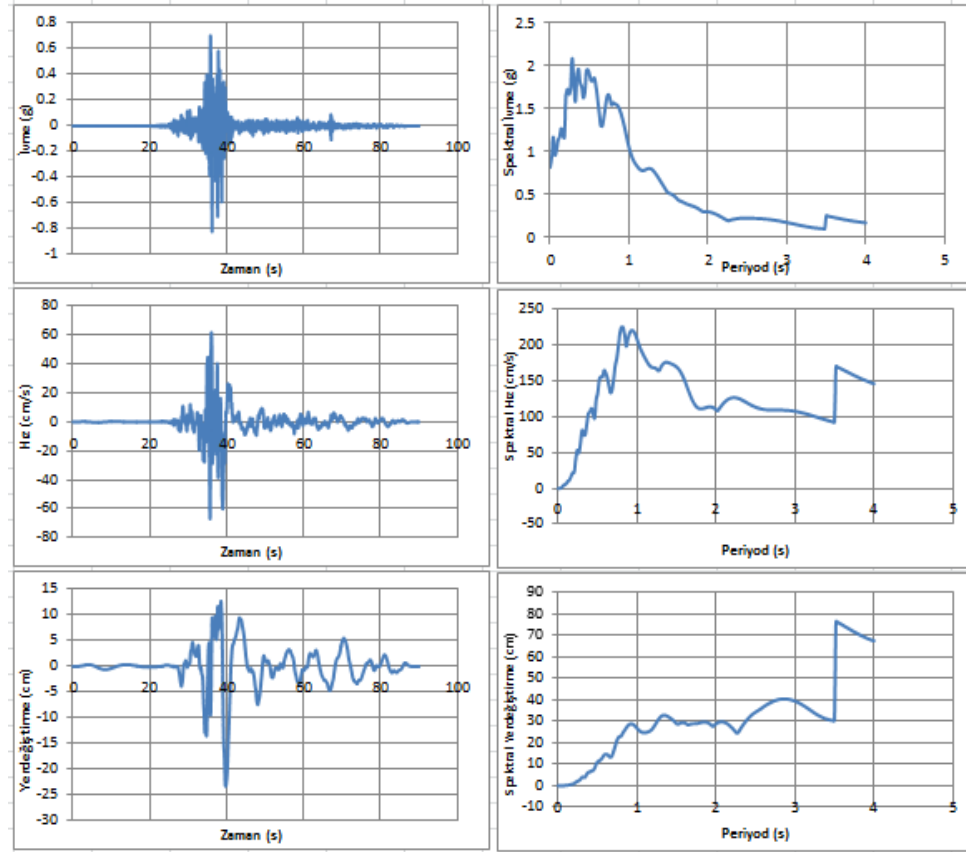
Şekil 3.3 : SF_61125_NORTH_RAN000 Depreminin özellikleri.

Yine aynı şekilde spektrumla uyumunun sağlanabilmesi için 0.64178 katsayısı ile çarpılan *Chi Chi* depremine ait ivme-zaman, hız-zaman, yerdeğiştirme-zaman ile spektral ivme-periyod, spektral hız-periyod, spektral yerdeğiştirme-zaman grafikleri Şekil 3.4 de gösterilmiştir. Depremin en büyük ivme değeri 0.60g, en büyük hız değeri 73 cm/s, en büyük yerdeğiştirme değeri ise yaklaşık olarak 20 cm olarak görülmektedir.

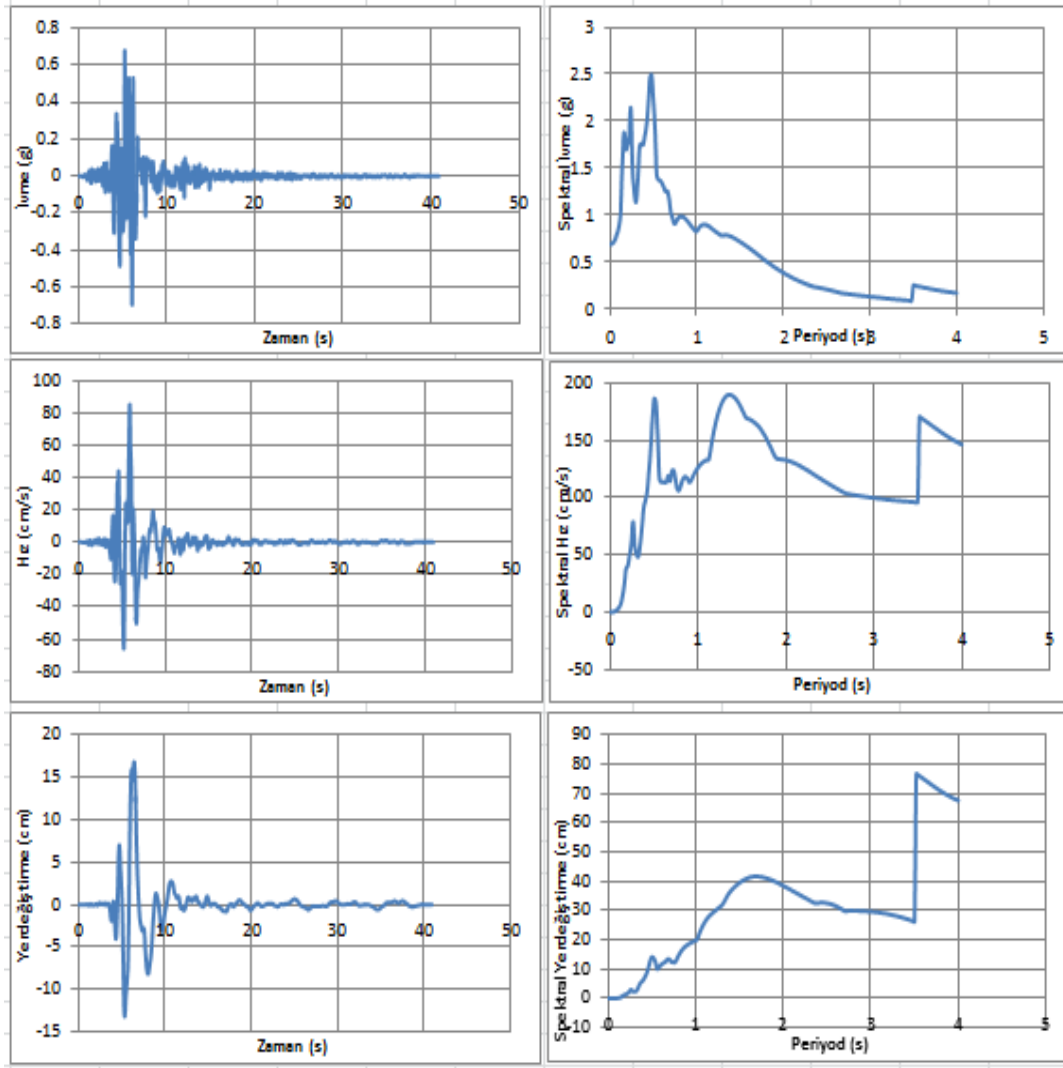
Chi Chi depreminin bir istasyondan kaydı alınarak 0.64764 katsayısı ile çarpılıp spektrumla uyumlu hale getirilmiştir. Ölçeklendirilen bu depreme ait ivme-zaman, hız-zaman, yerdeğiştirme-zaman ile spektral ivme-periyod, spektral hız-periyod, spektral yerdeğiştirme-zaman grafikleri Şekil 3.5 de verilmiştir. İstasyondan kaydı alınan *Chi Chi* depreminin en büyük ivme değeri 0.82g' dir. Yine aynı şekilde bu depreme ait en büyük hız değeri 67 cm/s, en büyük yerdeğiştirme değeri ise yaklaşık olarak 23 cm olarak görülmektedir.



Şekil 3.4 : SF_64718_CHICHI_TCU074-N Depreminin özellikleri.



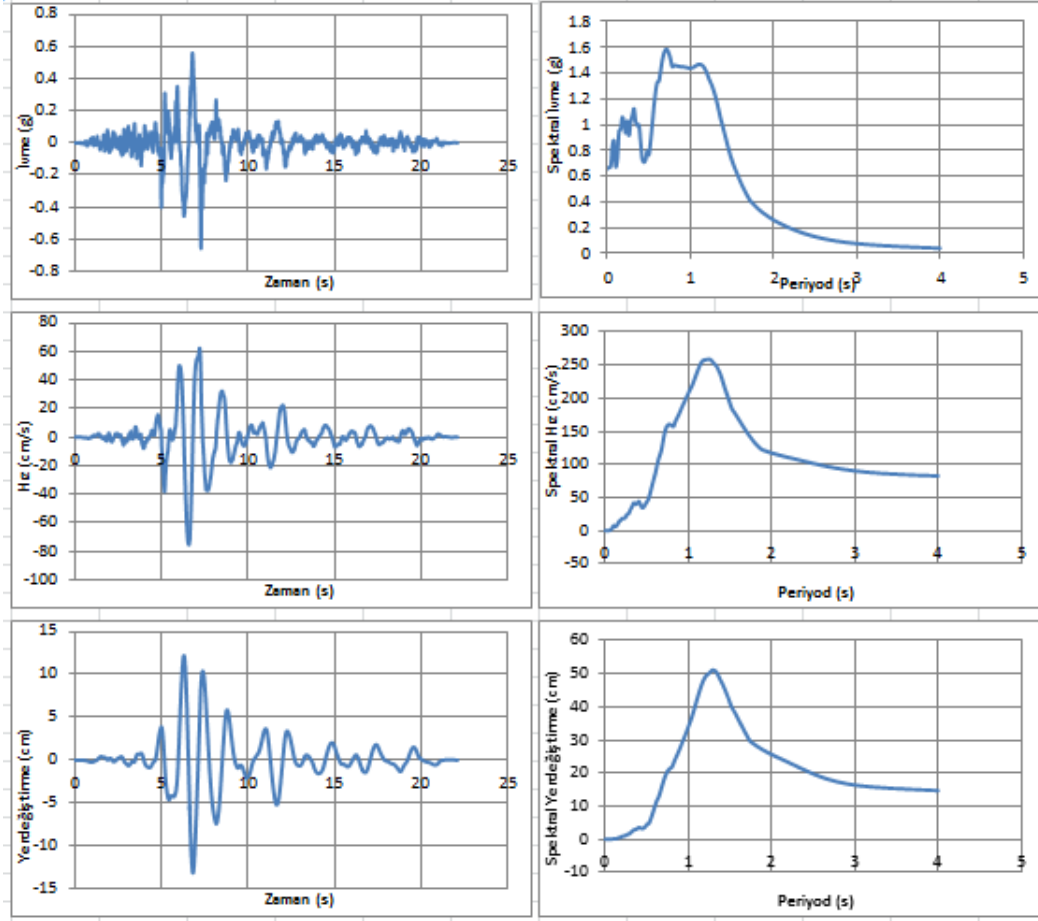
Şekil 3.5 : SF_64764_CHICHI_CHY029-E Depreminin özellikleri.



Şekil 3.6 : SF_67922_KOBE_TDO000 Depreminin özellikleri.

0.67922 katsayısı ile çarpılan *Kobe depremi* spektrumla uyumlu hale getirilmiştir. Ölçeklendirilen Kobe depremine ait ivme-zaman, hız-zaman, yerdeğiştirme-zaman ile spektral ivme-periyod, spektral hız-periyod, spektral yerdeğiştirme-periyod grafikleri Şekil 3.6 da gösterilmektedir. En büyük ivme değeri 0.69g, en büyük hız değeri 85 cm/s, en büyük yerdeğiştirme değeri ise yaklaşık olarak 17 cm olarak görülmektedir.

Spektrumla uyumunun sağlanabilmesi için 0.68106 katsayısı ile çarpılan ve farklı istasyondan elde edilen *Northridge depremine* ait ivme-zaman, hız-zaman, yerdeğiştirme-zaman ile spektral ivme-periyod, spektral hız-periyod, spektral yerdeğiştirme-zaman grafikleri Şekil 3.7 de gösterilmiştir. Bir istasyondan seçilen *Northridge depreminin* en büyük ivme değeri 0.66g, en büyük hız değeri 75 cm/s, en büyük yerdeğiştirme değeri de yaklaşık 13 cm olarak tespit edilmiştir.



Şekil 3.7 : SF_68106_NORHTR_PAR--T Depreminin özellikleri.

Bütün özellikleri belirtilen 7 deprem ile modeller üzerinde *Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analizler* yapılmıştır. Bu analizler sonucu panellere ve bağlantı elemanlarına ait yerdeğiştirme istemleri belirlenmiştir.

4. DENEY NUMUNESİ

Avrupa Birliği Projesi SafeCladding kapsamında, İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarında düşey panel elemanın bağlantılarının yapılacağı yarı rijit özelliğe sahip mesnetin pilot deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçlarına bağlı olarak analitik çalışmada kullanılacak elemanların dayanımı, şekildeğiştirme kapasitesi ve rijitliği belirlenmiştir.



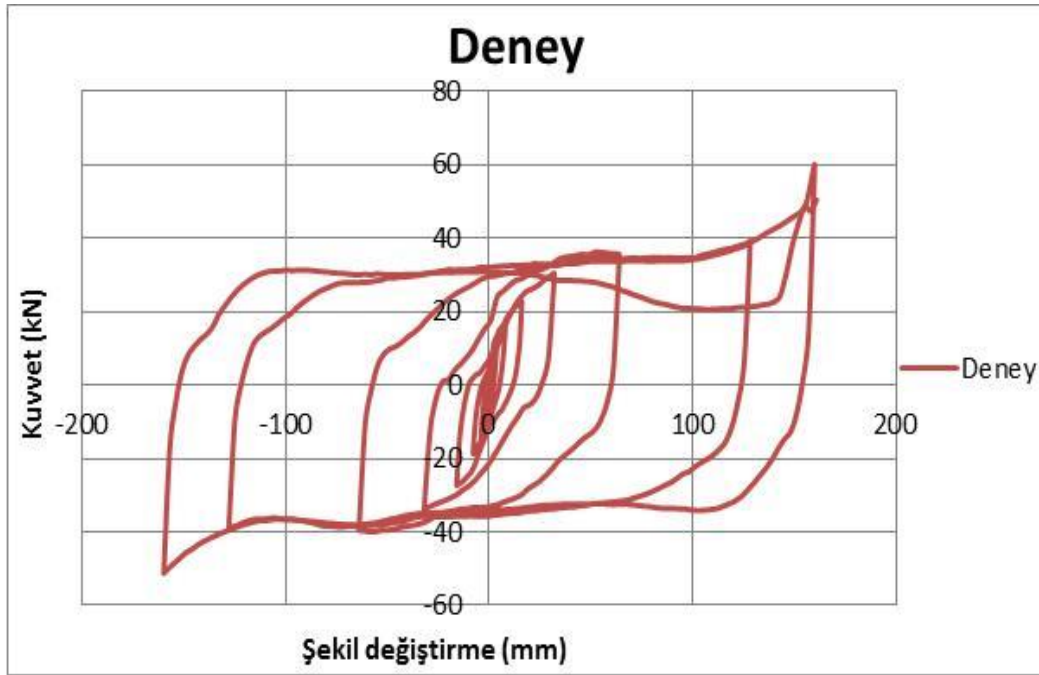
Şekil 4.1 : Deney düzeneği.

Şekil 4.1 de enerji sönümleyici mesnetin laboratuvar ortamındaki deney düzeneği görölmektedir. Çelik malzemeden yapılmış enerji sönümleyici elemana düşey doğrultuda yükleme yapılmıştır. Dolayısıyla çelik yastıkta kayma hareketi ortaya çıkmıştır. Şekil 4.1 e göre 10 kN luk yükleme neticesinde 2.0 mm lik yerdeğiştirme oluşmuştur.

Çelik yastığa düşey doğrultuda adım adım yükleme yapılmıştır. Şekil 4.2 ye göre elemana 13.21 kN yük uygulandığında 4.0 mm lik kayma hareketi meydana gelmiştir. Yükleme eleman göçmeye ulaşana kadar tekrarlanmıştır.

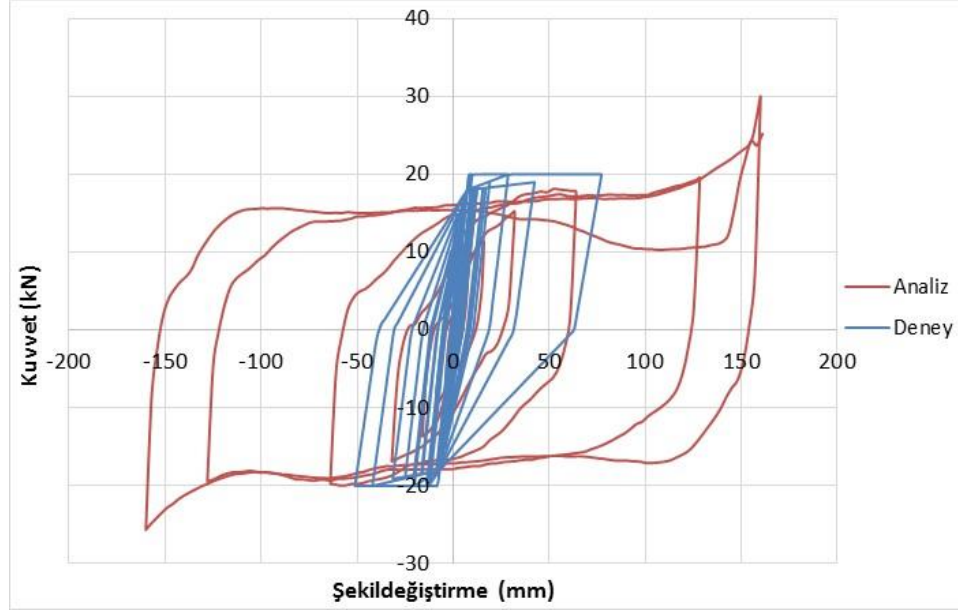


Şekil 4.2 : Deney düzeneği yükleme durumu.



Şekil 4.3 : Deney düzeneği yükleme durumu.

Deney sonucu elde edilen davranış eğrisi Şekil 4.3 de gösterilmektedir. Davranış eğrisinden de anlaşılabileceği gibi eleman yaklaşık 40 kN dayanım ve 160 mm şekildeğiştirme kapasitesine sahiptir. Yapılan çalışmalara göre, elemanın et kalınlığı değiştirilerek dayanımın azaltılabileceği öngörülmektedir.



Şekil 4.4 : Deney düzeneği yükleme durumu.

Analitik modelde, deneyden elde edilen sonuçlar çeşitli yaklaşımlar ile kullanılmıştır. *Tip1*, *Tip2* ve *Tip3* modellerindeki bütün bağlantı elemanlarında kullanılan dayanım değeri deneyden elde edilen dayanımın yarısı olarak alınmıştır. *Tip4* modelinde ise temel bağlantısının yapıldığı elemanlarda deneydeki dayanım değerinin yarısı, taşıyıcı sistem ile bağlantıların yapıldığı yaylarda ise deneydeki dayanım değerinin 1/4 ü olarak alınmıştır. Çelik mesnetinin ezilmemesi için mesnetin içine kauçuk malzeme doldurulması düşünülmektedir. Bu yaklaşım için deney yapılmadığından, kauçuk malzemenin rijitliğini temsil etmek amacıyla, temsil edilen yayın rijitliği yatay doğrultudaki yay rijitliğinin 10 katı olarak almıştır.

Modellerde bağlantı elemanlarının dayanımlarının deney değerlerinde farklı alındığı daha önce belirtilmiştir. Ayrıca çelik mesnetin et kalınlığı değiştirilerek mesnetin dayanımının değiştirilebildiği bilinmektedir.

Şekil 4.4 de bağlantı elemanının dayanımı yarıya düşürülerek yapılan analiz sonucu ile deneydeki çevrimlerin üst üste oturtulduğu grafikler gösterilmektedir. Buna göre analizden elde edilen sonuç ile deney elde edilen sonuçlarda grafiklerin dayanımları ve rijitlikleri uyumluluk göstermiştir. Buna karşılık çevrimlerin geri dönüş kolları deneydeki sonuçlarla uyumluluk gösterememiştir.

5. ANALİTİK ÇALIŞMA

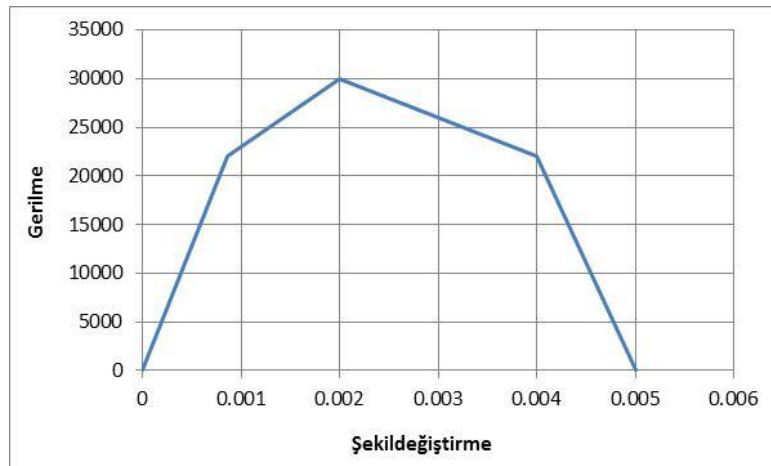
Bu çalışma iki kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısımda, gövdesinde çeşitli boşluklar açılan paneller ile gövdesi dolu olan panellerin çevrimsel enerjilerinin karşılaştırılması yapılmıştır. İkinci kısımda ise, panellerin dış ortama enerji sönümleyici elemanlarla bağlandığı sistemler incelenmiştir.

5.1 Malzeme Özelliklerinin Verilmesi

Öndöküm düşey cephe panelleri için tüm modellerde aynı malzeme özellikleri kullanılmıştır. Buna göre beton malzemesi için C30, donatı çeliği için S420, hasır donatısı için ise S500bs malzeme özellikleri tercih edilmiştir. TS500'e göre bu malzemelerin karakteristik özellikleri aşağıda verilmiştir.

Çizelge 5.1 : Beton sınıfı karakteristik özellikleri.

BETON SINIFI KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERİ				
Beton Sınıfı	Silindirik Basınç Dayanımı f_{ck} (MPa)	Eşdeğer Küp Dayanımı (MPa)	Eksenel Çekme Dayanımı f_{ctk} (MPa)	Elastisite Modülü E_{c28} (MPa)
C30	30	37	1.9	32000

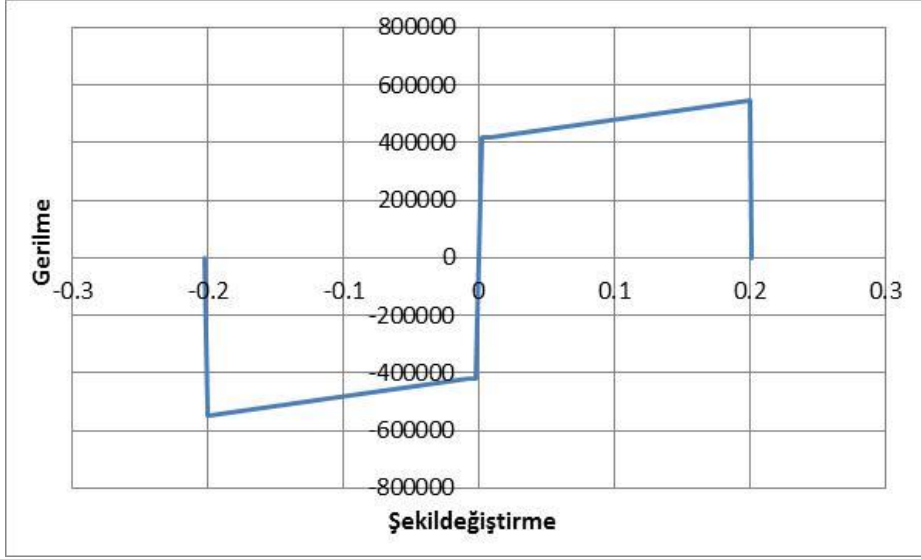


Şekil 5.1 : Beton malzeme modeli.

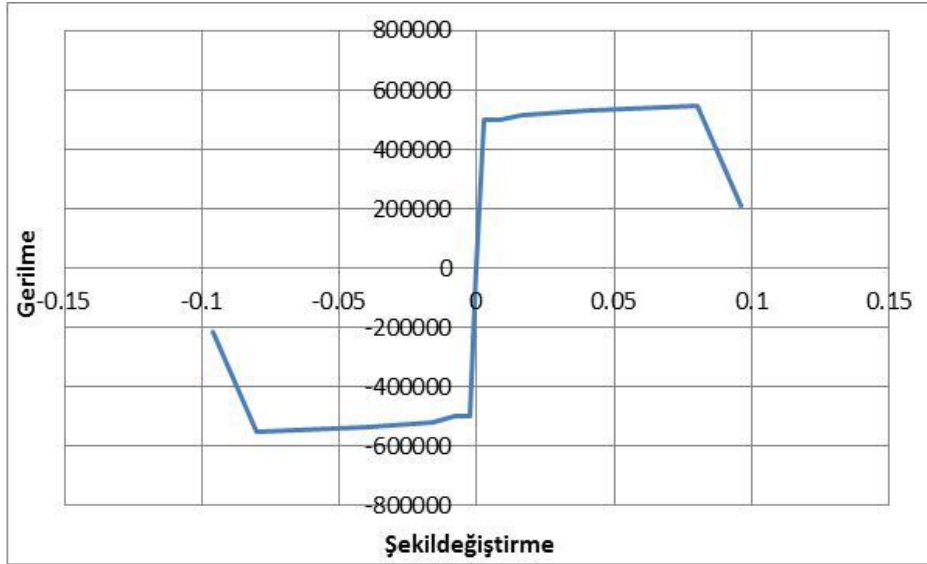
Şekil 5.1'de öndöküm cephe panellerinde kullanılan sargısız beton modelinin gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi görülmektedir.

Çizelge 5.2 : Donatı çeliği sınıfı karakteristik özellikleri.

DONATI ÇELİĞİ SINIFI KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERİ				
Çelik Sınıfı	Minimum Akma Dayanımı f_{yk} (MPa)	Minimum Kopma Dayanımı f_{su} (MPa)	$\emptyset \leq 32$	$32 < \emptyset \leq 50$
			Minimum Kopma Uzaması ϵ_{su} (%)	Minimum Kopma Uzaması ϵ_{su} (%)
S420a	420	500	20	20
S500bs	500	550	8	8



Şekil 5.2 : S420a donatı malzeme modeli.



Şekil 5.3 : S500bs donatı malzeme modeli.

Çizelge 5.2 de belirtildiği üzere 2 model çelik sınıfı kullanılmıştır. Şekil 5.2 ve Şekil 5.3 de donatı çelik modellerine ait gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri verilmektedir.

5.2 Perdeler Üzerinde Delik Geometrisinin Çalışılması

Çalışmanın bu bölümünde, farklı geometrik özelliklere sahip perdeler için *Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi* ve *Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri* ile hesaplar yapılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

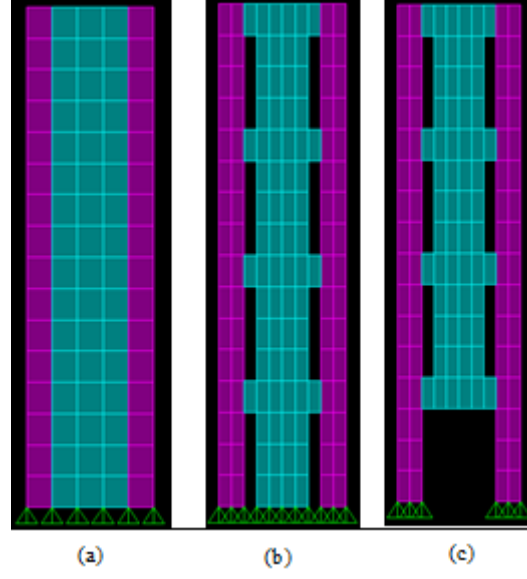
Bölümün içeriğinde öncelikli olarak perdelerin geometrik ve yapısal özellikleri hakkında bilgi verilmektedir. Doğrusal olmayan levha olarak tanımlanan perdelerin matematik modellerinin doğrulanması için eşdeğer çubuk modeller de oluşturulmuştur. Çubuk modellerde de *yayılı plastik şekil değiştirme* ve *yığılı plastik şekil değiştirme* durumları olarak iki farklı yaklaşım ele alınmıştır. 2007 Deprem Yönetmeliği kapsamında yer alan doğrusal olmayan analiz yöntemlerinden *Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi* ile ilgili hesap adımları açıklanmıştır. İkinci hesap yöntemi olarak ise *Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntem* ile ilgili hesap adımları açıklanmıştır. Yapılan analizler çerçevesinde perde levha elemanı ve iki farklı çubuk modelin analiz sonuçlarının karşılaştırılması yapılarak levha elemanın doğrulanması yapılmıştır.

Farklı geometrik özelliklere sahip üç tip perdenin çeşitli analizler sonucu davranış farklılıkları ele alınmıştır. *Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi* ile yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen tepe yerdeğiştirmeleri, taban kesme kuvvetleri ve analiz sonucu elde edilen itme eğrileri karşılaştırılmıştır. Son olarak, *Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi* ile perdelerin seçilen bir deprem etkisi altındaki taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirmesi çevrimleri elde edilerek, çevrimlerin altına kalan alanlarından hesaplanan enerjilerin karşılaştırılması yapılmıştır.

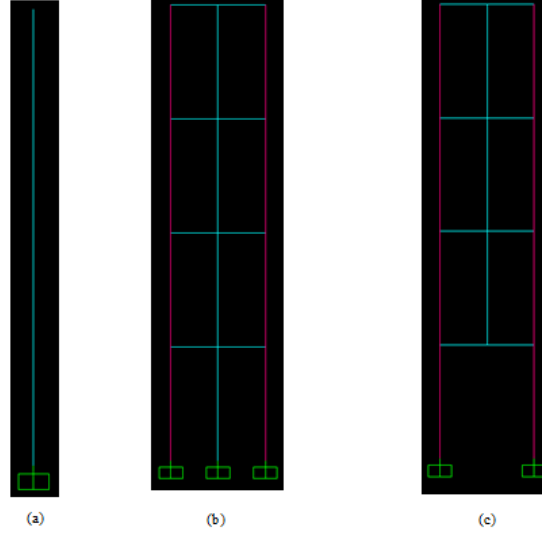
5.2.1 İncelenen prefabrik panellerin özellikleri

Bu çalışma kapsamında farklı geometriye sahip üç farklı perde eleman ele alınmıştır. Her model kendi içerisinde çeşitli kabuller yapılarak bir sonlu eleman analiz programı olan Sap2000 ile modellenmiştir. Şekil 5.4’de görüldüğü üzere perde çeşitleri *Perde1*, *Perde2* ve *Perde3* olarak isimlendirilmiştir.

Perde1, dolu gövdeli perde, *Perde2* ve *Perde3* ise farklı delik geometrileri oluşturulan perde modelleridir.



Şekil 5.4 : (a) Perde1, (b) Perde2, (c) Perde3 görüşleri.



Şekil 5.5 : (a) Perde1, (b) Perde2, (c) Perde3 çubuk model görüşleri.

Perdelerin bilgisayar ortamında hazırlanmış modelleri Şekil 5.5’ de verilmiştir.

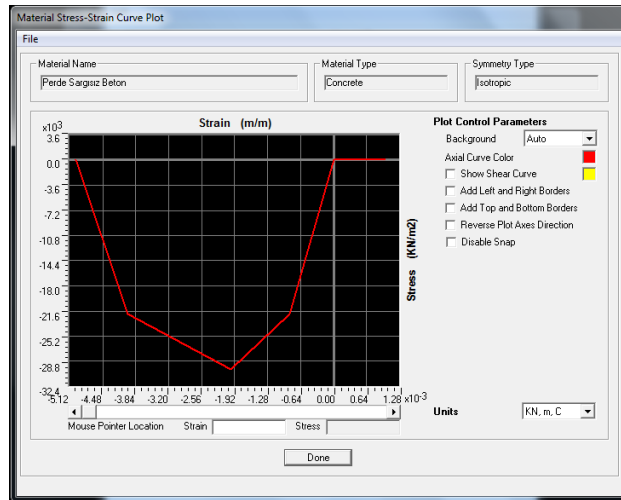
- *Perde1* modeli 2.5 m×10 m boyutlarında, boşluk içermeyecek ve temel ankastre mesnetlenmiş şekilde modellenmiştir.
- *Perde2* modeli 2.5 m×10 m boyutlarında, boyuna doğrultuda 2 adet olmak üzere 25 cm lik boşluklar oluşturulmuş ve temele ankastre olarak mesnetlenmiştir.
- *Perde3* modeli 2.5 m×10 m boyutlarında, boyuna doğrultuda 2, yatay doğrultuda 1 olmak üzere 25 cm lik boşluklar oluşturulmuş ve perde temele ankastre olarak mesnetlenmiştir.

Perdeler üç farklı şekilde modellenmiştir.

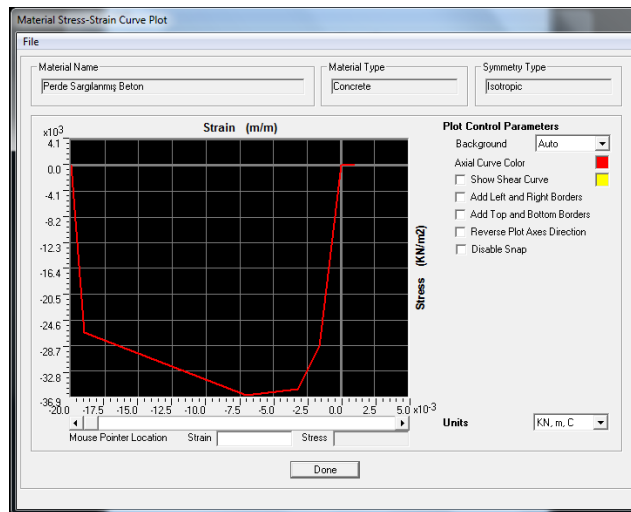
1. Perde, çubuk model olarak idealleştirilmiştir. Perdede yığılı plastik şekildeğiştirmenin olduğu kabul edilmiştir.
2. Perde, çubuk model olarak idealleştirilmiştir. Perdede oluşan plastik şekildeğiştirmenin tüm perde yüksekliği boyunca yayılı olduğu kabul edilmiştir.
3. Perde, doğrusal olmayan levha eleman ile modellenmiştir.

5.2.2 Perdelerin çubuk model olarak idealleştirilmesi

Perde, çubuk eleman kullanılarak modellenmiş ve analizler gerçekleştirilmiştir. Bu analizlerin sonuçları, doğrusal olmayan levha eleman ile modellenen sistemin sonuçları ile karşılaştırılmıştır.



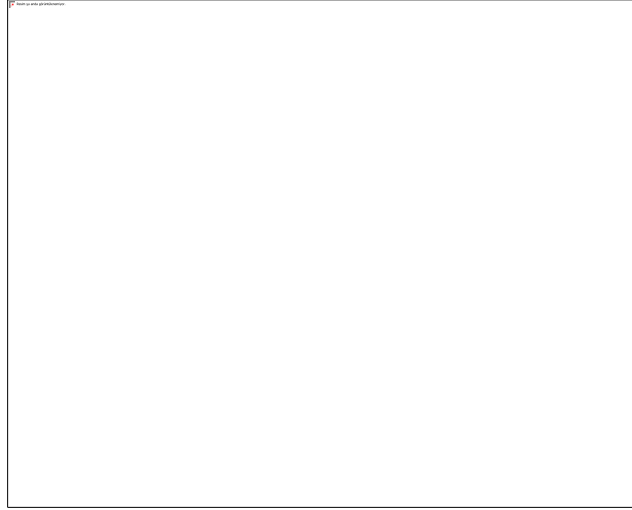
Şekil 5.6 : Sargısız beton malzeme modeli.



Şekil 5.7 : Sargılı beton malzeme modeli.

Çubuk eleman ile modellemede, doğrusal olmayan levha elemanda kullanılan malzeme modelleri kullanılmıştır.

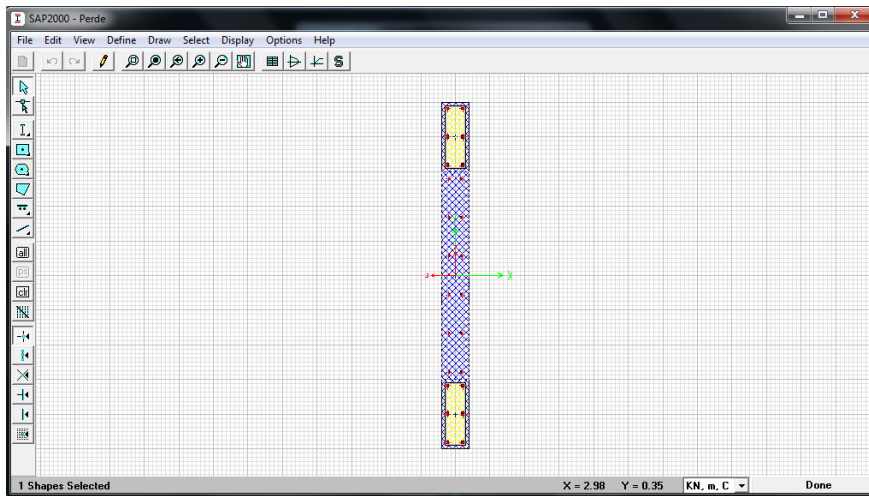
Perdenin başlık bölgesi için Mander sargılı beton modeli, gövde bölgesi için de sargısız beton modeli kullanılmıştır. Beton malzeme modelinde, çekme dayanımı dikkate alınmamıştır. Sargısız beton modeline ait gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi Şekil 5.6’da, sargılı beton modeline ait gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi ise Şekil 5.7’de verilmiştir.



Şekil 5.8 : Donatı çeliği gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi.

Donatı çeliği için de oluşturulan gerilme-şekildeğiştirme biçimi Şekil 5.8 deki gibi verilmiştir.

Bu malzeme modelleriyle uyumlu çubuk eleman, Sap2000’nin *Section Designer* özelliği ile oluşturulup, Şekil 5.9’da gösterilmektedir.



Şekil 5.9 : Tip1 çubuk model kesiti.

Perdenin içeriğindeki donatı miktarları şöyledir;

- Her iki başlık bölgesinde 6 Φ 16 boyuna donatı,
- Gövde bölgesinde ise 12 Φ 10 boyuna donatı yerleştirilmiştir.

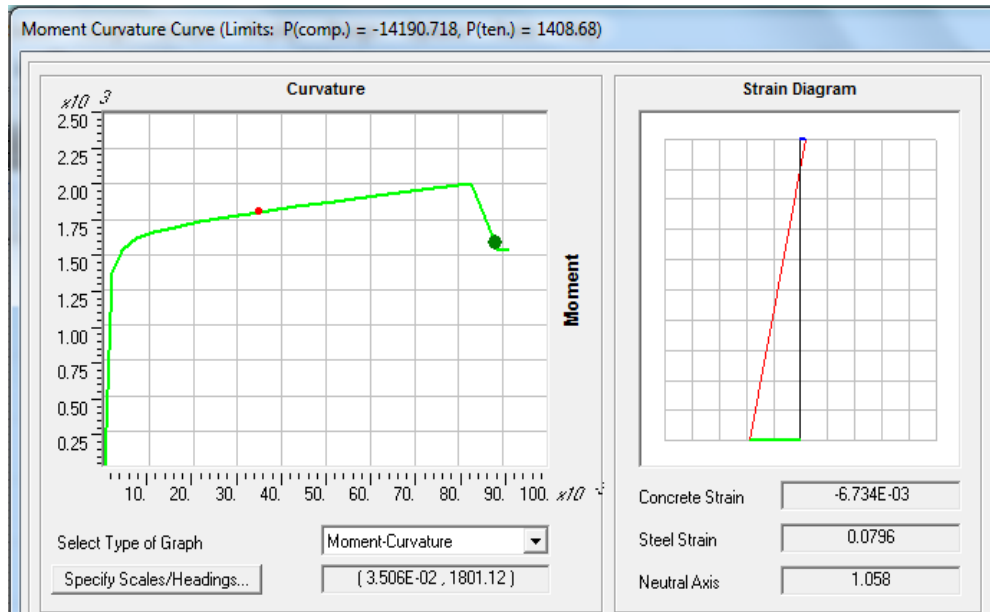
Perde çubuk modelin geometrisi bu şekilde oluşturulmuştur. Çubuk modelde, doğrusal olmayan davranış için iki farklı yaklaşım yapılmıştır. Bunlar; perdedeki plastik şekildeğiştirmenin perdenin herhangi bir kesitinde yığılı olarak oluşması ve plastik şekildeğiştirmelerin tüm perde yüksekliği boyunca yayılı olarak tanımlanması yaklaşımlarıdır.

5.2.3 Yığılı plastik şekildeğiştirme durumu

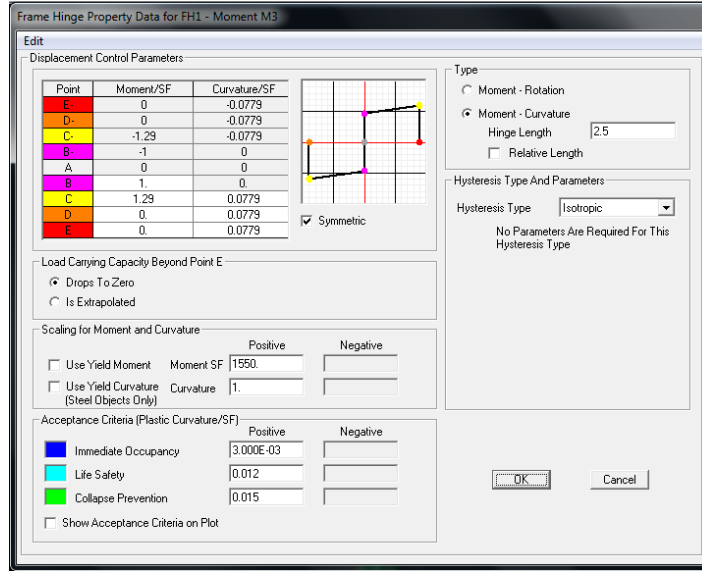
Perde1 için perde taban kesitinde plastik şekildeğiştirmenin yığılacağı varsayılmaktadır. Bu nedenle çubuk eleman modelinde taban kesitinde plastik kesit tanımlanmıştır. Plastik kesitin akma yüzeylerinin belirlenmesinde beton malzemesinin ve çeliğin mevcut dayanımları kullanılır.

Perde1 türü perde için belirtilen malzeme modelleri ve donatı yerleşimi sonucunda oluşturulan çubuk modelin Moment-Eğrilik ilişkisi Şekil 5.10'daki gibi meydana gelmiştir.

Bu moment-eğrilik ilişkisine bağlı olarak plastik mafsallık özellikleri Şekil 5.11'de verildiği gibi tanımlanmıştır.



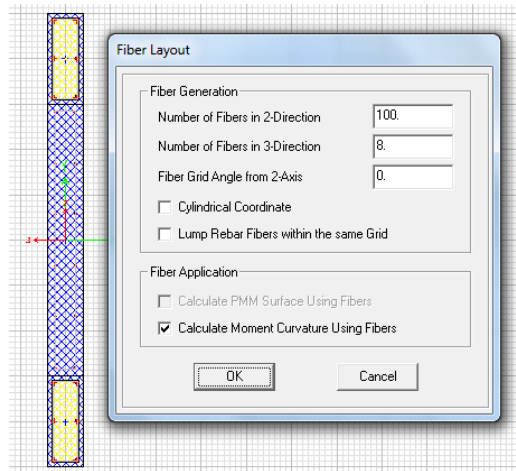
Şekil 5.10 : *Perde1* modeli moment-eğrilik ilişkisi.



Şekil 5.11 : Perde1 modeli plastik mafsalları tanımlama.

5.2.4 Yayılı plastik şekil değiştirme durumu

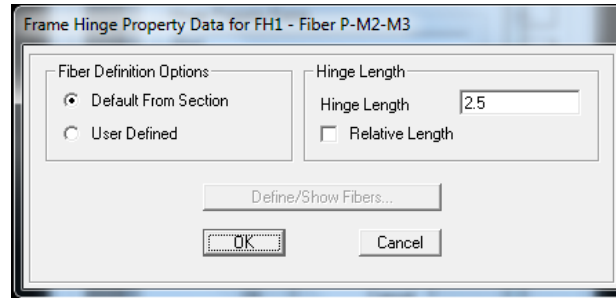
Perde1 dolu gövdeli perdede, oluşacak plastik şekil değiştirmelerin bir kesitte yığılması yerine tüm perde yüksekliği boyunca yayılabileceği düşünülmüştür. Bu amaçla perde çubuk modelinin plastik şekil değiştirme özelliği tanımlanmıştır.



Şekil 5.12 : Perde1 modeli panel kesit tanımlama.

Şekil 5.12’de görüldüğü gibi, perde eleman kısa (X) doğrultuda 8’e, uzun (Y) doğrultuda ise 100 parçaya bölünmüştür. Moment-eğrilik ilişkileri integre edilerek, kesitin moment-eğrilik ilişkisi elde edilmektedir.

Sap2000 de **Define > Section Properties > Hinge Properties** yardımı ile ekrana gelen diyalog kutusundan **Fiber P-M2-M3** seçeneği ile yayılı plastik özellikler tanımlanabilir.



Şekil 5.13 : Yayılı plastik şekil değiştirme durumunun tanımı.

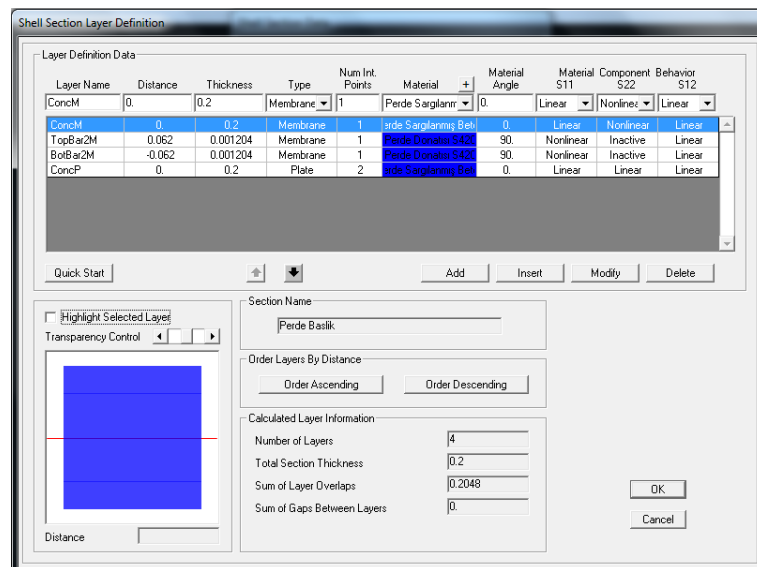
Şekil 5.13’de görüldüğü üzere, yayılı plastik şekil değiştirme durumunun tanımının yapılmasında programın **default** değerlerinin kullanılabileceği gibi, **User Defined** aracılığıyla, her life girilmek istenilen özellikler tanımlanabilir.

Bu çalışma kapsamında, daha önce **Section Designer** ile tanımlanan kesitteki değerleri programın kendisinin alarak, yani **default** özelliği kullanılarak tanımlama yapılmıştır.

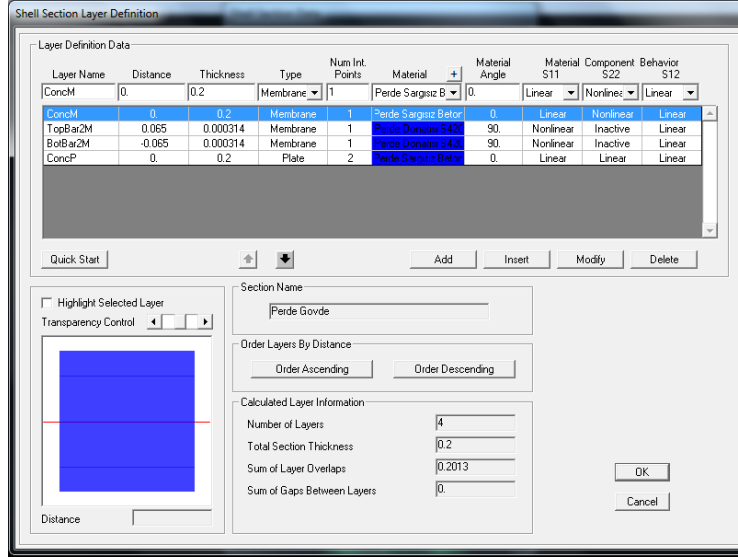
5.2.5 Perdenin doğrusal olmayan levha olarak tanımlanması durumu

Perde1 dolu gövdeli perdesi, Sap2000 programı kullanılarak doğrusal olmayan levha eleman ile de modellenmiştir. Perdenin başlık ve gövde bölgeleri farklı donatı oranı ile farklı beton özelliklerine sahip oldukları için ayrı ayrı modellenmiştir.

Şekil 5.14’de görüldüğü üzere perdenin başlık bölgesi için Mander sargılı beton modeli ve S420 donatı çeliği modeli kullanılmıştır. 6Φ16 boyuna donatı miktarı için birim genişliğe karşı gelen donatı alanı tek sıra için 12.04 m² olarak tanımlanmıştır.



Şekil 5.14 : Perde başlık bölgesi doğrusal olmayan levha tanımlanması.

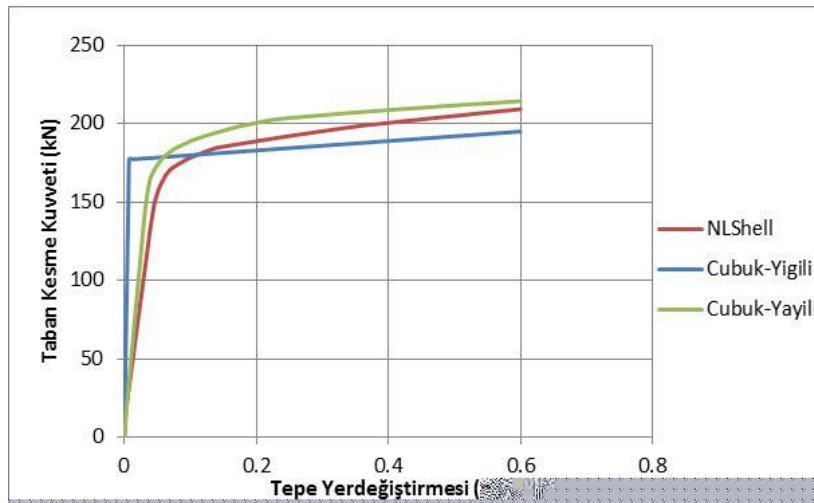


Şekil 5.15 : Perde gövde bölgesi doğrusal olmayan levha tanımlanması.

Şekil 5.15’de, perdenin gövde bölgesinin tanımlanması gösterilmektedir. Malzeme olarak sargısız beton modeli ile S420 donatı çeliği modeli kullanılmıştır. 12Φ10 boyuna donatı miktarı için birim genişliğe karşı gelen donatı alanı tek sıra için 3.14 cm² olarak tanımlanmıştır.

5.2.6 Doğrusal olmayan levha elemanın analiz sonuçları ile doğrulanması

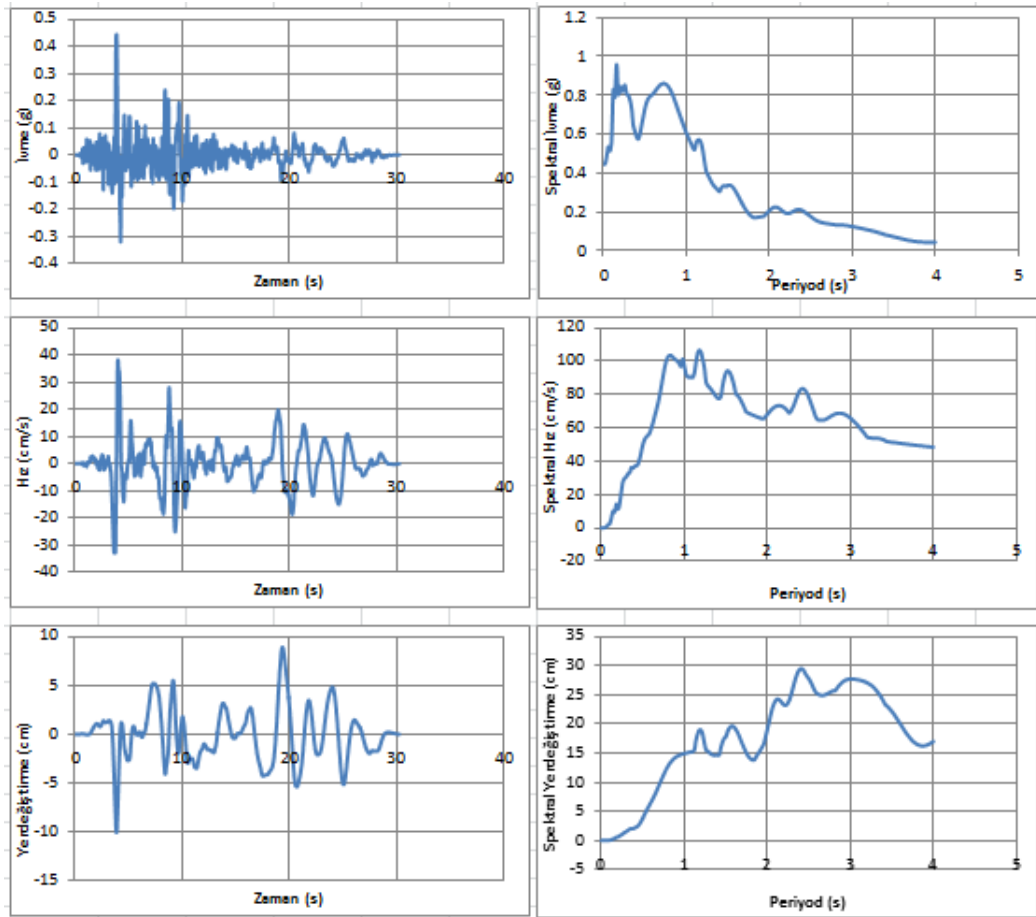
Perde1 modelinin üç farklı yaklaşımla tanımlandığı sistemlerin karşılaştırılmasına bu bölümde yer verilmiştir. Doğrusal olmayan levha eleman, yayılı plastik şekil değiştirme durumu ve yığılı plastik şekil değiştirme yapan çubuk modellerin *Artımsal İtme Analizi* ve *Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz* sonuçları karşılaştırılmıştır. Deprem etkisi altında iki farklı durum incelenmiştir.



Şekil 5.16 : Perde1 modelinin itme analizi sonuçları.

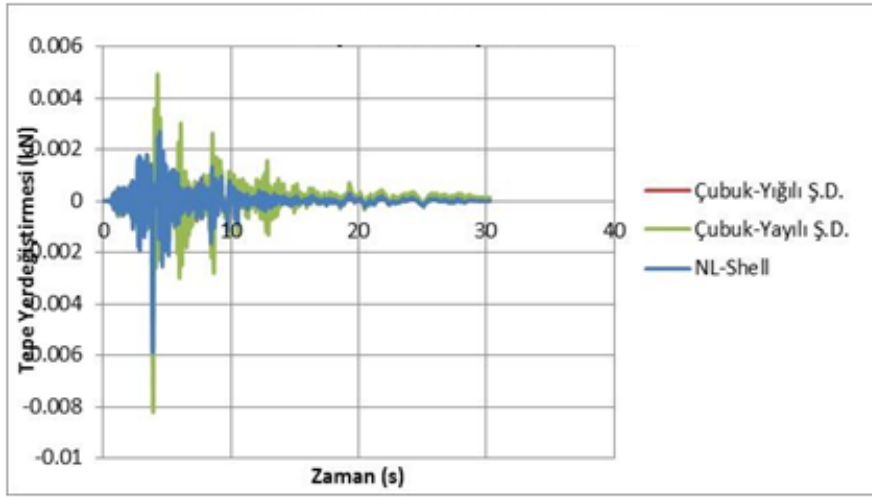
Artımsal itme analizi sonucunda Şekil 5.16’da gösterildiği gibi farklı yaklaşımlar yapılarak çözülen sistemlerin arasındaki farklar göz önüne serilmektedir. Yayılı plastik şekil değiştirme durumu ile levha eleman kullanılarak yapılan çözüm sonuçlarının birbirine yakın olduğu gözlenmektedir. Yığılı plastik şekil değiştirme durumunda ise yapılan kabüllerden dolayı daha uzak bir sonuç elde edilmiştir.

Şekil 5.17’de seçilen Northridge depremine ait ivme-zaman, hız-zaman, yerdeğiştirme-zaman ile spektral ivme-periyod, spektral hız-periyod ve spektral yerdeğiştirme-periyod grafikleri verilmiştir. Özellikleri gösterilen deprem kaydı için, perdenin sadece kendi ağırlığı etkisinde zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler yapılmıştır. Deprem ivmesinin kendi değeri ve ivme değerinin 20 katı alınarak iki farklı çözüm yapılmıştır.

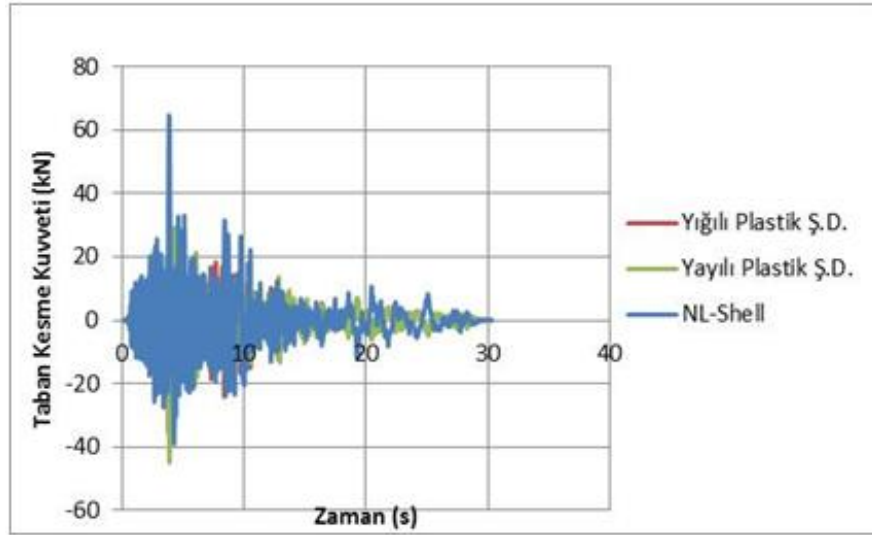


Şekil 5.17 : Northridge depremi özellikleri.

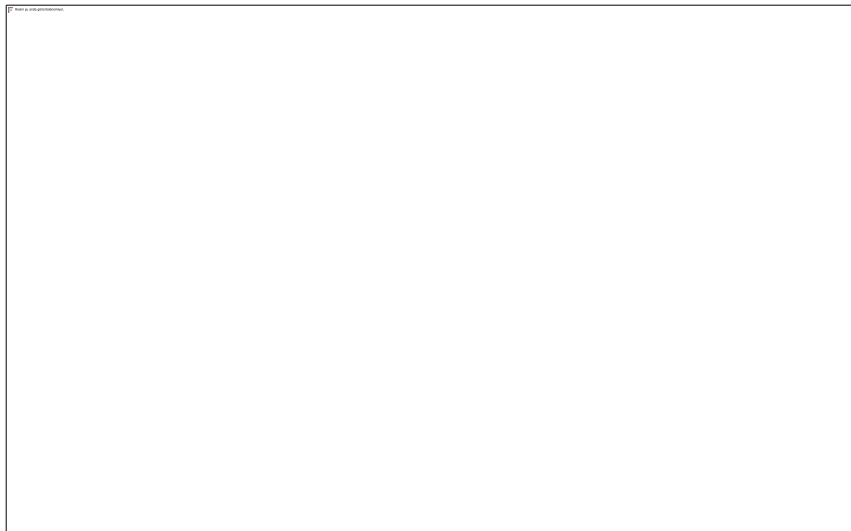
Analiz sonucunda *Perde1* dolu gövdeli perde modelinin tepe yerdeğiştirmesi-zaman ilişkisi Şekil 5.18’de, taban kesme kuvveti zaman ilişkisi Şekil 5.19’da ve tepe yerdeğiştirmesi-taban kesme kuvveti grafikleri de Şekil 5.20’de gösterilmiştir.



Şekil 5.18 : Perde1 modeli deprem etkisinde tepe yerdeğiştirme-zaman ilişkisi.



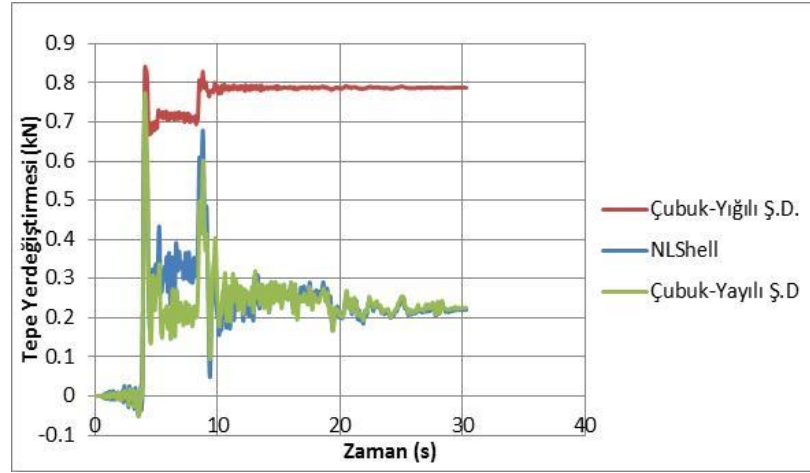
Şekil 5.19 : Perde1 modeli deprem etkisinde taban kesme kuvveti-zaman ilişkisi.



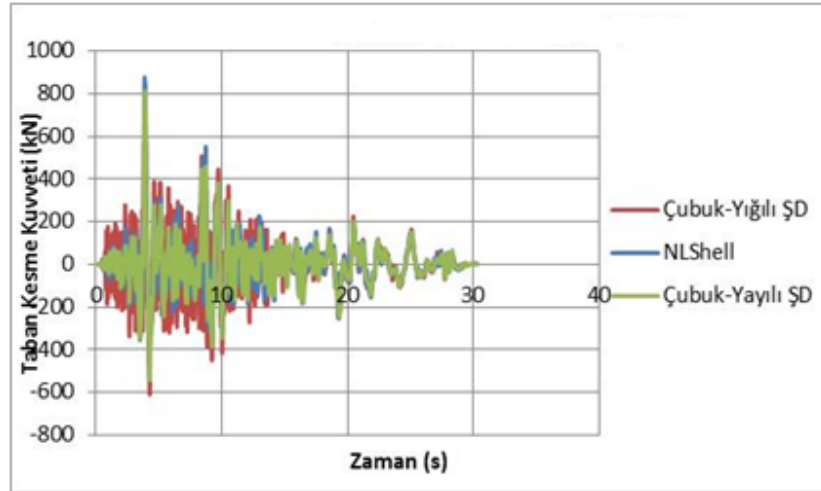
Şekil 5.20 : Perde1 modeli deprem etkisinde taban kesme kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi.

Deprem ivmesi arttırılmadan çözüm yapıldığında modellerde plastik şekildeğiştirme elde edilememiştir. Çözüm sonuçlarına bakıldığında levha elemanın çubuk modeller ile çok yakın sonuç verdiği görülmektedir.

Deprem ivmesi 20 kat arttırılarak çözüm yapıldığında elde edilen *Perde1* modeline ait tepe yerdeğiştirmesi-zaman ilişkisi Şekil 5.21’de, taban kesme kuvveti-zaman ilişkisi Şekil 5.22’de, taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirmesi ilişkisi ise Şekil 5.23’de verilmiştir.

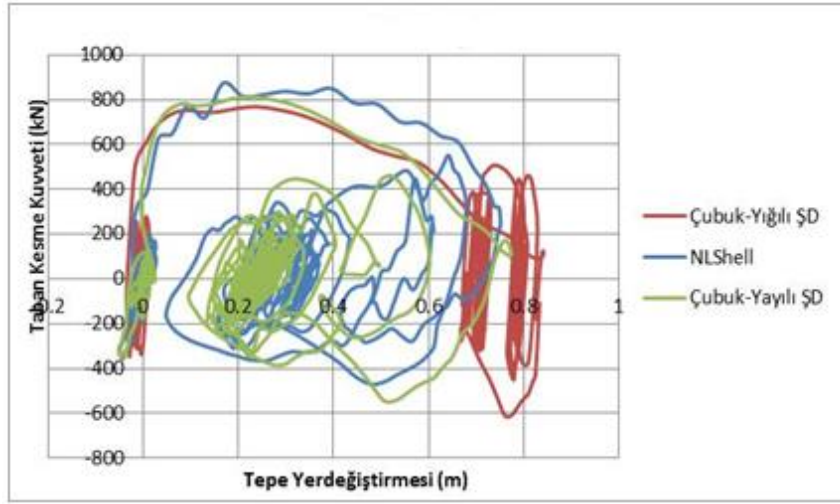


Şekil 5.21 : *Perde1* modeli deprem etkisinde tepe yerdeğiştirme-zaman ilişkisi.



Şekil 5.22 : *Perde1* modeli deprem etkisinde taban kesme kuvveti-zaman ilişkisi.

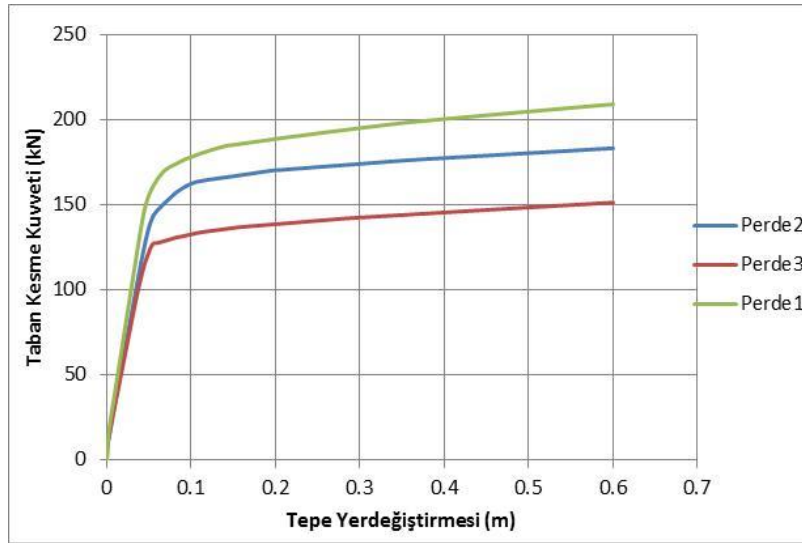
Deprem ivmesi 20 kat arttırıldığında, perdede plastik şekildeğiştirmeler meydana gelmiştir. Özellikle yayılı plastikleşmenin olduğu model ile doğrusal olmayan levha modelinin sonuçları birbirine çok yakın çıkmaktadır. Dolayısıyla, doğrusal olmayan levha elemanının doğrulama analizi pozitif olarak sonuçlanmıştır.



Şekil 5.23 : *Perde1* modeli deprem etkisinde taban kesme kuvvet-tepe yerdeğiştirmesi ilişkisi.

5.2.7 Farklı tipteki perdelerin analiz sonuçları

İlk olarak farklı perde tiplerinin doğrusal olmayan itme analizlerinin sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar doğrusal olmayan levha eleman olarak modellenen sistemler ile yapılmıştır.

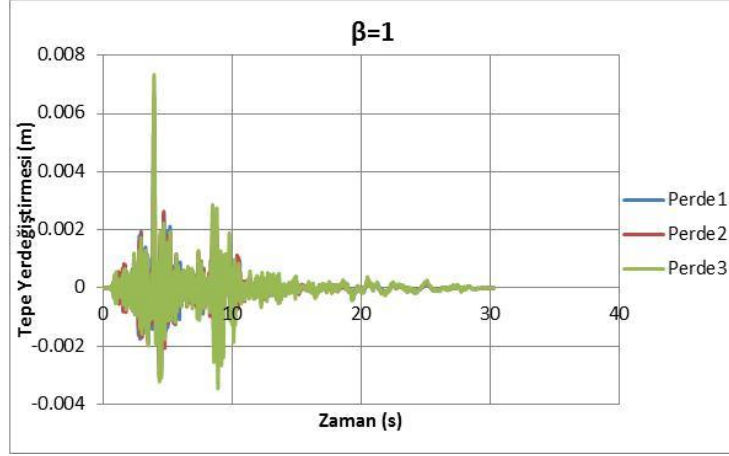


Şekil 5.24 : Farklı tipteki modellerin itme analizi eğrileri.

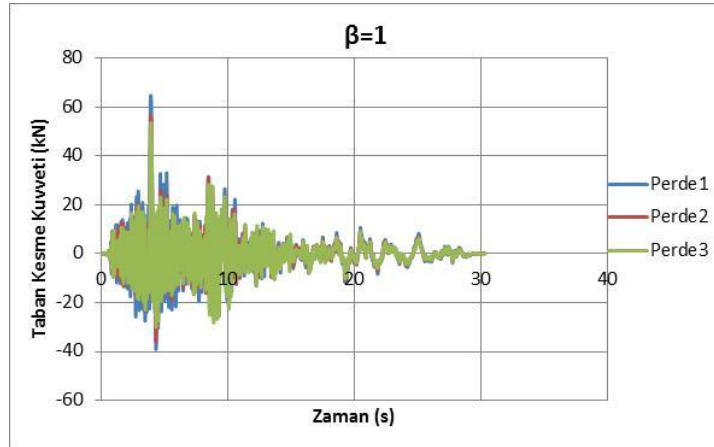
Şekil 5.24’de görüldüğü üzere perdede boşluk oluşturulduğunda ve boşluk oranı arttırıldığında, perdenin dayanımı azalmıştır.

Perdeler deprem ivmesi etkisinde zaman tanım alanında çözümlenmiştir. Deprem ivmesi ‘g’ cinsinden verildiği için, kayıt 9.81 m/s^2 ile çarpılmıştır. Bu ivme etkisi altında sistem davranışı doğrusal kalmaktadır.

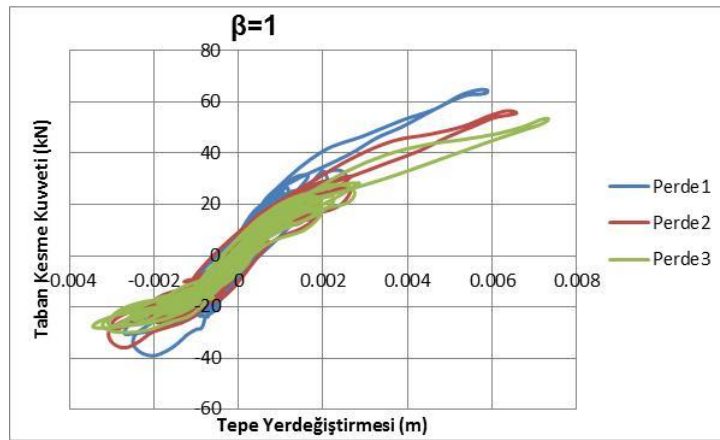
Sistemin doğrusal olmayan davranış yapabilmesi için ivme değeri $\beta=20$ gibi bir sayı ile çarpılarak, ivmenin sisteme olan etkisi artırılmıştır. Sistemin doğrusal kaldığı ve doğrusal olmayan bölgeye geçtiği iki durum için de sonuçlar karşılaştırılmıştır.



Şekil 5.25 : Farklı modellerin deprem etkisindeki yerdeğiştirme-zaman ilişkisi.

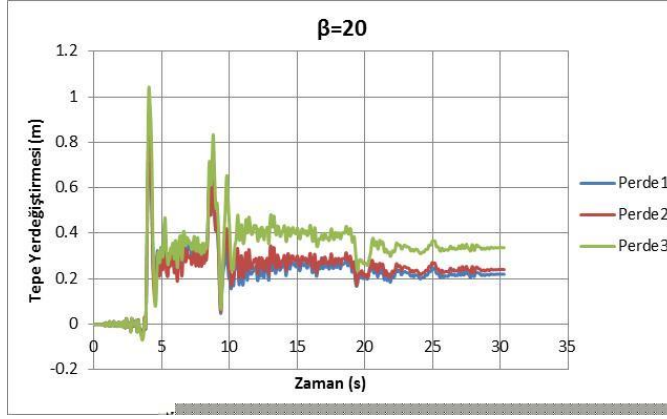


Şekil 5.26 : Farklı modellerin deprem etkisindeki taban kesme kuvveti-zaman ilişkisi.

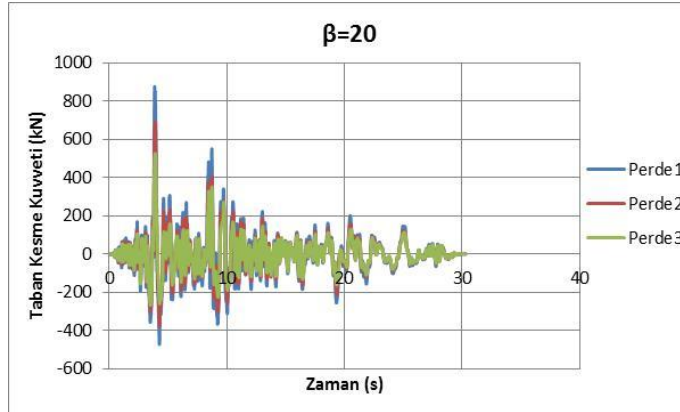


Şekil 5.27 : Farklı modellerin deprem etkisindeki taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirme ilişkisi.

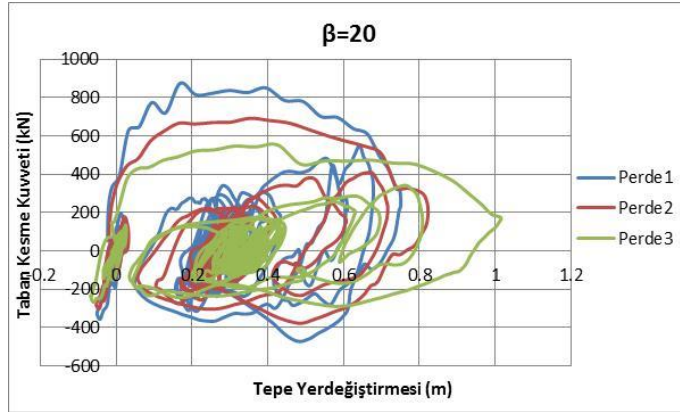
Deprem katsayısı $\beta=20$ alınarak, zaman tanım alanında analizler yapılmıştır. Üç modele ait tepe yerdeğiştirmesi-zaman ilişkisi şekil 5.28’de, taban kesme kuvveti-zaman ilişkisi şekil 5.29’da, taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirme ilişkisi ise şekil 5.30’da verilmektedir.



şekil 5.28 : Farklı modellerin deprem etkisindeki tepe yerdeğiştirmesi-zaman ilişkisi.



şekil 5.29 : Farklı modellerin deprem etkisindeki taban kesme kuvveti-zaman ilişkisi.



şekil 5.30 : Farklı modellerin deprem etkisindeki taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirmesi ilişkisi.

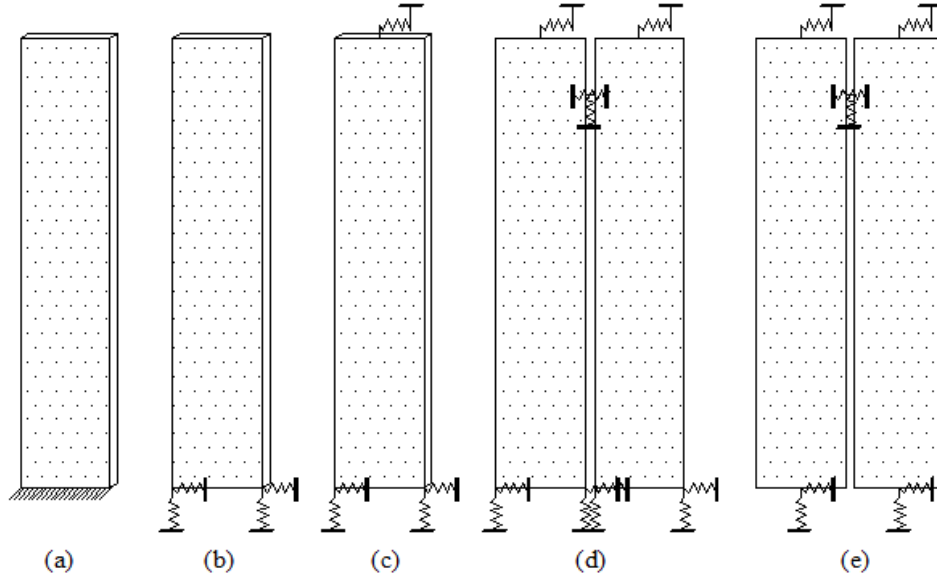
Çözümler sonucunda perdede boşluk oranı arttırıldığında dayanımının azaldığı buna karşın sünekleşme sonucu yerdeğiştirme kapasitesinin arttığı gözlenmektedir. Deprem ivmesi 20 kat alınarak elde edilen çözümdeki modellerin taban kesme kuvvet-tepe yerdeğiştirmesi grafiklerinin altlarındaki alanlar hesaplanarak, modellerin çevrimsel enerjileri hesaplanmıştır. Buna göre; *Perde1* modeli için 1416 br², *Perde2* modeli için 1264 br², *Perde3* modeli için de 1296 br² alan hesaplanmıştır.

5.3 Enerji Sönümleyici Mesnetlere Sahip Panellerin Analizi

Prefabrik cephe panellerinin enerji tüketimi için farklı yöntemler mevcuttur. Bunlardan birisi de prefabrik cephe panellerinin dış ortama ve taşıyıcı sistemin kendisine elastomer mesnet (veya özel mesnetler) ile bağlanmasıdır. Plastik deformasyon yaparak büyük enerji harcayabilen çelik mesnetler oluşturmak mümkündür. Plastik deformasyonlar öncelikle mesnetlerde toplandığından cephe panellerindeki hasar çok önemli ölçüde azalmaktadır. Bu kapsamda, farklı bağlantı tiplerinden oluşan yapı modelleri oluşturulmuştur. Bağlantılar, analitik modelde *doğrusal olmayan yay eleman* ile temsil edilmiştir. Bağlantıların değiştiği 5 farklı model oluşturulmuştur. Modeller üzerinde *Serbest Titreşim Analizi*, *Doğrusal Olmayan Artımsal İtme Analizi* ve *Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analizler* yapılmıştır. Bütün analizlerde panellerin düzlem içi davranışları ile kendi ağırlıkları etkisinde oluşan atalet kuvvetleri dikkate alınmıştır. Analiz sonuçları yardımı ile modeller arasında karşılaştırma yapılmıştır.

Şekil 5.31’de görüldüğü üzere 5 tip düşey cephe paneli vardır. Bunlar *Tip0*, *Tip1*, *Tip2*, *Tip3* ve *Tip4* olarak adlandırılmıştır. *Tip0*, temele ankastre olarak bağlanan cephe panelini temsil etmektedir. *Tip1* modeli, temele yarı rijit şekilde bağlanmış ve bağlantı şekli düşey ve yatay yaylar ile temsil edilmiştir. *Tip2* modeli, cephe panelinin temele ve taşıyıcı sisteme yarı rijit olarak bağlandığını göstermektedir. Temel bağlantısı iki kenardan düşey ve yatay yaylar ile temsil edilirken, taşıyıcı sistem ile olan bağlantısı ise bir kayıcı mesnet olan yatay yay ile gösterilmiştir. *Tip3* modelinde ise 3 farklı bağlantı oluşturulmuştur. Temele ikişer tane yatay ve düşey doğrultuda çalışan yaylar ile, taşıyıcı sisteme yatayda kayıcı çalışan yaylar ile, iki panelin birbirleri ile olan bağlantısı ise düşey doğrultuda kayıcı olarak çalışan yay ile bağlantılar oluşturulmuştur.

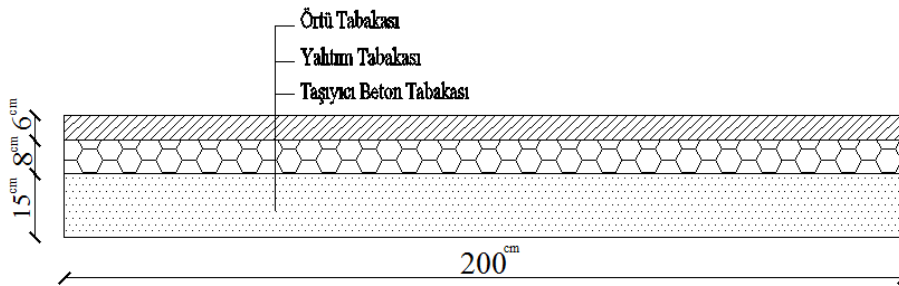
Son olarak *Tip4* modelinde ise paneller temele orta noktadan birer tane düşey ve yatay yaylar ile bağlantı yapılmıştır. Taşıyıcı sistemle üstten kayıcı mesnet ile, paneller arasında ise birer tane düşey ve yatay yaylar ile bağlantılar yapılmıştır.



Şekil 5.31 : (a)*Tip0*, (b)*Tip1*, (c)*Tip2*, (d)*Tip3*, (e)*Tip4* panel görüşleri.

5.3.1 Öndöküm düşey cephe panellerinin modellenmesi

Bu bölümde, öndöküm düşey cephe panellerinin analitik olarak tanımlanmasına yer verilmiştir. Cephe panelleri doğrusal olmayan levha eleman ile modellenmiştir.



Şekil 5.32 : Düşey cephe paneli tip kesiti.

Prefabrik sanayi yapılarında kullanılan öndöküm düşey cephe paneli olarak Şekil 5.32’de gösterilen tipik kesit esas alınmıştır. Kesit 15 cm lik taşıyıcı beton tabakası üzerinde 8 cm lik ısı yalıtım malzemesi ve 6 cm lik beton örtü tabakasından oluşmaktadır. Öndöküm düşey cephe paneli modellenirken sadece taşıyıcı beton tabakası esas alınmıştır. Diğer iki katman ağırlıkları ile temsil edilmiştir. Modelde sistemin kütlesi yayılı şekilde girilmiştir.

Beton malzemesinin birim hacim ağırlığı 25 kN/m^3 , ısı yalıtım malzemesinin birim hacim ağırlığı ise 2.5 kN/m^3 alınarak, 2 m genişliğe ve 10 m yüksekliğe sahip olan düşey cephe panelinin ağırlığının hesabı aşağıda ayrıntılı olarak verilmiştir.

$$\text{Taşıyıcı beton tabakası} : 25^{\text{kN/m}^3} * 2^{\text{m}} * 10^{\text{m}} * 0.15^{\text{m}} = 75 \text{ kN}$$

$$\text{Yalıtım tabakası} : 2.5^{\text{kN/m}^3} * 2^{\text{m}} * 10^{\text{m}} * 0.08^{\text{m}} = 4 \text{ kN}$$

$$\text{Beton örtü tabakası} : 25^{\text{kN/m}^3} * 2^{\text{m}} * 10^{\text{m}} * 0.06^{\text{m}} = 30 \text{ kN}$$

$$\text{Düşey cephe panelinin toplam ağırlığı} = 109 \text{ kN}$$

Düşey cephe panelinin toplam ağırlığından yola çıkılarak, modeldeki malzemenin birim hacim ağırlığı yardımı ile diğer katmanların ağırlıkları sisteme verilmiştir.

Şekil 5.33 : Malzeme birim hacim ağırlığının girilmesi.

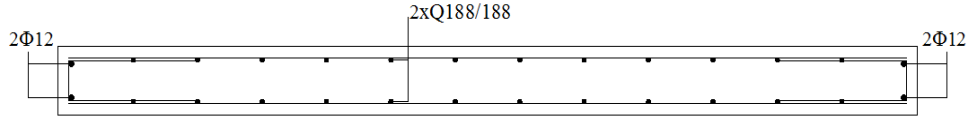
Modelde alınacak malzeme birim hacim ağırlığının hesabı;

$109^{\text{kN}} / (0.15^{\text{m}} * 2^{\text{m}} * 10^{\text{m}}) = 36.33 \text{ kN}$ olarak yapılmıştır. Bu değer Şekil 5.33’de görüldüğü gibi analitik modele girilmiştir.

Base Reactions									
File View Format-Filter-Sort Select Options									
Units: As Noted									
	OutputCase	CaseType	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ	GlobalMX	GlobalMY	GlobalMZ	GlobalK
	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	m
►	DEAD	LinStatic	1.436E-13	0	108.99	0	-108.99	0	0

Şekil 5.34 : Düşey cephe panelinin ağırlığı.

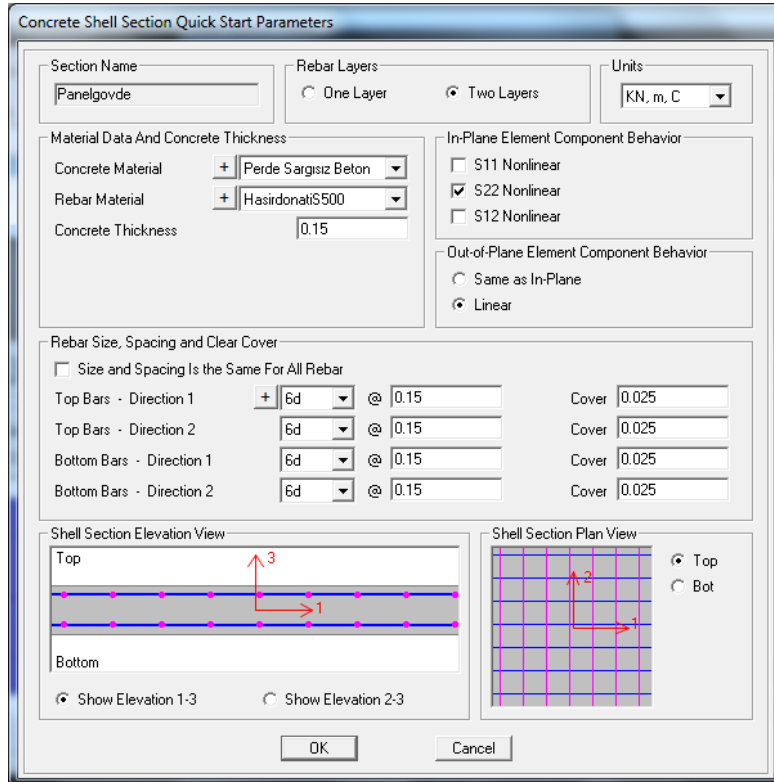
Analiz sonucunda elde edilen düşey cephe paneli ağırlığının 109 kN çıktığı Şekil 5.34’da görülmektedir. Sistemde bu ağırlık esas alınarak tüm analizler yapılmıştır.



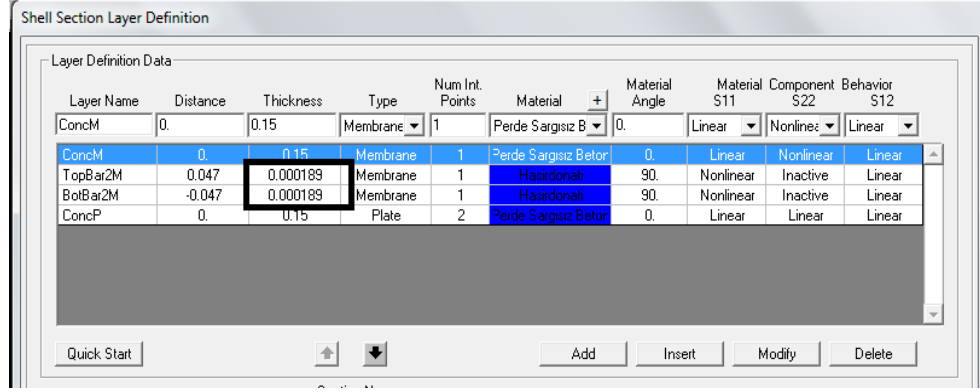
Şekil 5.35 : Düşey cephe paneli donatı düzeni.

Şekil 5.35’de verilen donatı düzenine uyularak, analitik model doğrusal olmayan levha elemanlar ile oluşturulmuştur. Düşey cephe panelinde Şekil 5.35’de görüldüğü gibi 2 farklı donatı tipi mevcuttur. Bu nedenle iki farklı doğrusal olmayan levha elemanının tanımlanması gerekmektedir. Seçilen hasır donatısı, yatayda ve düşeyde $\phi 6$ çapındaki donatıların 15 cm lik aralıklarla yerleştirilmesi ile meydana gelmektedir. Bu nedenle Şekil 5.36’da doğrusal olmayan levha özellikleri girilirken bu düzene uyulmuştur. Paspayı 2.5 cm olarak alınmıştır. Sadece düşeyde S22 doğrultusunda doğrusal olmayan davranış tanımlanmıştır. Panellerin düzlem içi davranışları dikkate alınmış, düzlem dışı davranışları dikkate alınmamıştır.

Elemanın Sap2000 programında tanımlanmasına dair bilgi EkA da verilmiştir.

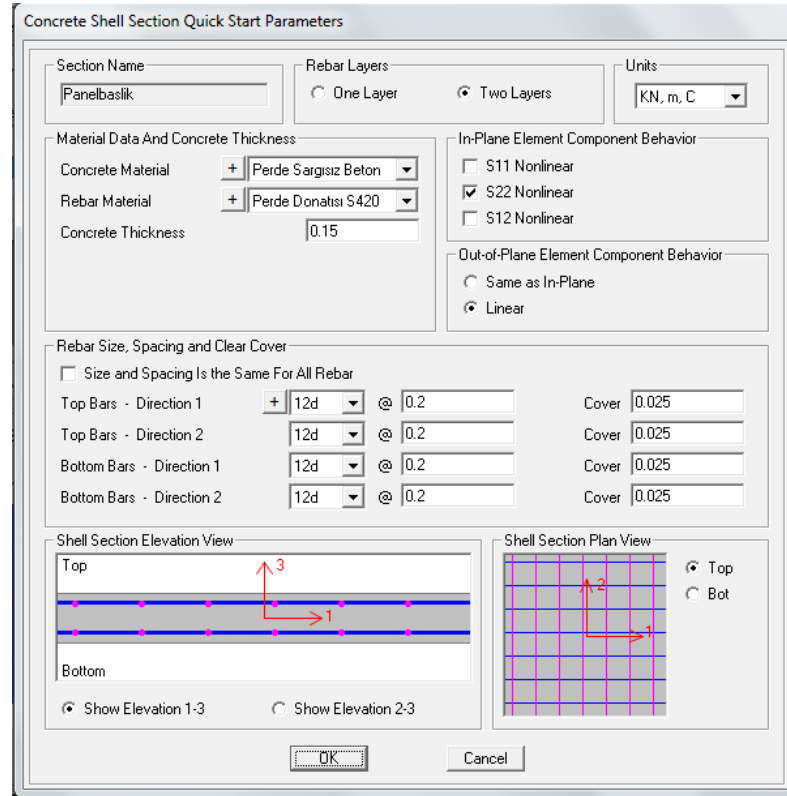


Şekil 5.36 : Hasır donatılı panel modelinin tanımlanması.



Şekil 5.37 : Hasır donatılı panel modeli.

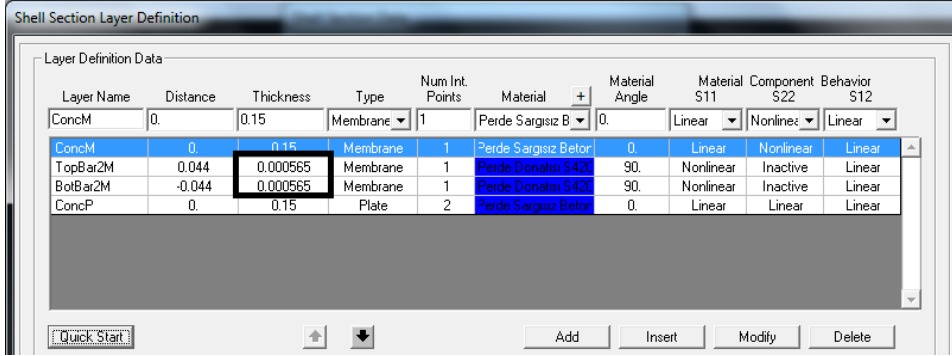
Şekil 5.37’de doğrusal olmayan levha eleman tanımlanırken verilen donatı oranlarının Sap2000 programında ifade edilme şekli gösterilmektedir. Donatı miktarı, birim uzunluğa karşı gelen donatı lifinin kalınlığını ifade etmektedir.



Şekil 5.38 : Panel uç bölgesi modelinin tanımlanması.

Panelin uç bölgelerinde farklı donatılar mevcuttur. Analitik modelde uç bölgesinin uzunluğu 20 cm olarak alınmıştır. Şekil 5.38’de panelin uç bölgesine ait farklı bir levha kesiti tanımlanmıştır. $\Phi 12$ çapındaki boyuna donatılar 20 cm aralıklar ile yerleştirilerek bir panel kesiti oluşturulmuştur. Donatının malzeme özellikleri daha önce tanımlanan S420a olarak, beton modeli ise sargısız beton olarak tanımlanmıştır.

Sadece S22 düşey doğrultusunda doğrusal olmayan davranışa izin verilerek, düzlem dışı doğrusal olmayan davranışı terk edilmiştir. Paspayı ise 2.5 cm olarak verilmiştir.



Şekil 5.39 : Panel uç bölgesi modeli.

Şekil 5.39’da doğrusal olmayan levha eleman tanımlanırken verilen donatı oranlarının Sap2000 programında ifade edilme şekli gösterilmektedir. Donatı miktarı, birim uzunluğa karşı gelen donatı lifinin kalınlığını ifade etmektedir.

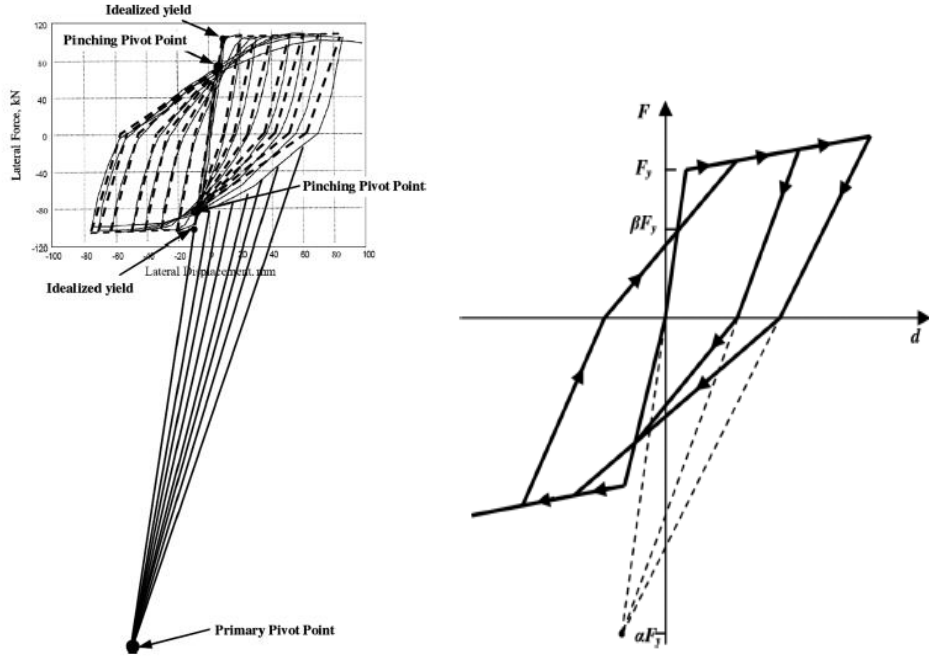
5.3.2 Doğrusal olmayan bağlantı elemanlarının modellenmesi.

Bu bölümde, düşey cephe panellerinin dış ortamla bağlantılarının sağlandığı elemanların analitik tanımlamalarına yer verilmiştir. Bağlantı elemanları *doğrusal olmayan yay* olarak modellenmiştir.

Bağlantı elemanlarının modellenmesi Sap2000 programında *link eleman* özelliği ile yapılmıştır. Elemanın kullanımına dair bilgilendirme Ek.A’ da verilmiştir.

Bağlantı elemanlarında deprem etkisi altında oluşan yük çevrimlerinin tanımlanması için *pivot model* kullanılmıştır.

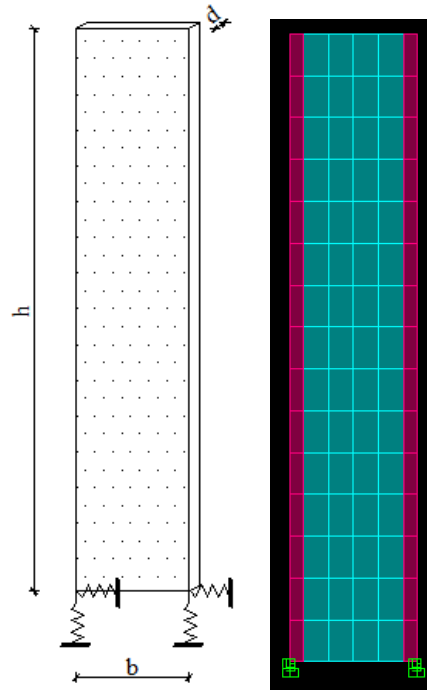
Dowell ve diğ. (1998), betonarme dairesel köprü ayaklarının doğrusal olmayan analizi için *Pivot Çevrimsel Modelini* önermişlerdir. Bu model dairesel kolon üzerinde yapılan çeşitli deney verilerine dayanmaktadır. Deneysel çalışmalar, boşaltma ve yükleme kolları sıfır kuvvete yönelirken ideal rijitlik doğrusu üzerinde baskın bir sanal ortak noktayı işaret ettiklerini göstermektedir. Bu nokta ‘*birincil pivot noktası*’ olarak tanımlanır. Bütün kuvvet-yerdeğiştirme eğrilerinin izlediği yol yaklaşık olarak aynı noktada elastik yükleme çizgisinin eğimini göstermektedir. Çevrimler sırasında bir doğrultudaki boşaltma veya yükleme kolları ideal akma noktasına ulaşmadan ideal başlangıç rijitliği doğrusu üzerindeki ikincil bir ortak noktadan geçmektedir. Bu nokta ise ‘*oyulma pivot noktası*’ olarak isimlendirilmiştir.



Şekil 5.40 : Pivot modeli, (Dowell ve diğ, 1998).

Şekil 5.40’da birincil pivot noktasının ve oyulma pivot noktasının çevrim üzerindeki gösterimi ve pivot modelin Sap2000 programındaki gösterim şekli verilmiştir. Ayrıca, birincil pivot noktasının Sap2000 programındaki α katsayısına, oyulma pivot noktasının ise β katsayısına karşılık geldiği görülmektedir.

Tip1 modeli:



Şekil 5.41 : Tip1paneli şematik gösterimi ve analitik modeli.

Şekil 5.41’de *Tip1* modelindeki prefabrik cephe paneli, temele iki kenardan düşey ve yatay doğrusal olmayan yaylar ile bağlanmıştır. Bu modelde, prefabrik cephe panelinin sadece temel ile olan bağlantısı irdelenmiştir. Düşey yayların rijitliği, yatay yayların rijitliğinin 10 katı olarak alınmıştır. Doğrusal olmayan bağlantı elemanı, sonsuz iki noktayı birleştiren yay olarak girilmiştir. Bu yayın dış ortama bağlandığı yerde ise ankastre mesnet tanımlanmıştır.

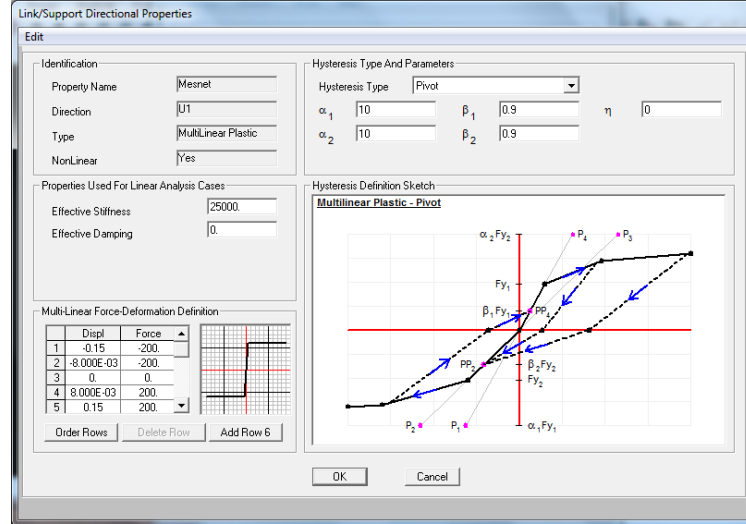
Şekil 5.42 : Mesnetteki doğrusal olmayan bağlantıların tanımlanması.

Mesnette tanımlanan doğrusal olmayan yay tipi Sap2000 programındaki *Multilinear Plastic* özelliği ile tanımlanmıştır. Şekil 5.42’de görüldüğü gibi ‘U1’ düşey doğrultuda tanımlanan doğrusal olmayan yay için seçilmiştir. ‘U2’ ise yatay doğrultudaki doğrusal olmayan yay için tanımlanmıştır.

	Displ	Force
1	-0.15	-20
2	-8.000E-03	-20
3	0	0
4	8.000E-03	20
5	0.15	20

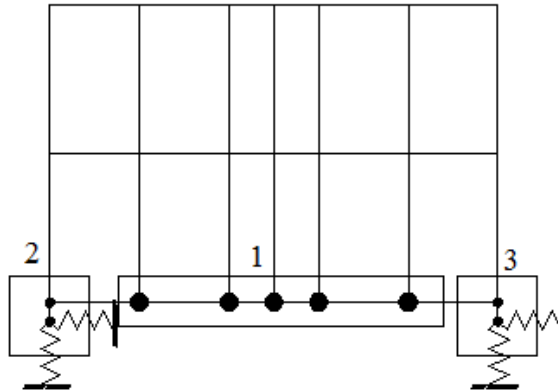
Şekil 5.43 : Tip1 modeli yatay doğrultudaki doğrusal olmayan yayın tanımlanması

Yatay doğrultudaki yayın özellikleri Şekil 5.43’de verilmiştir. Çelik yastığın kuvvet-şekildeğiştirme ilişkisi tanımlanmıştır. Buna göre, yastık 20 kN luk yük altında akarak, 0.8 cm plastik şekildeğiştirme yapacaktır. Bu eğrinin eğimi, çelik yastığın başlangıç rijitliğinin 2500 kN/m olarak verilmesi anlamına gelmektedir. Mesnete ait kuvvet-şekildeğiştirme histeretik çevrim tipi Pivot olarak seçilmiştir.



Şekil 5.44 : Tip1 modeli düşey doğrultudaki doğrusal olmayan yayın tanımlanması.

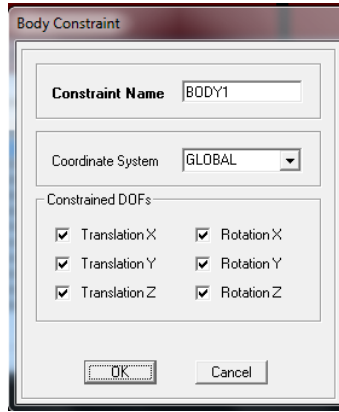
Çelik yastık için ayrıca düşey doğrultuda da doğrusal olmayan yay modeli tanımlanmıştır. Yayın özellikleri Şekil 5.44’de verilmiştir. Düşey yay girilirken yastık içinde bulunacak kauçuk dolgu malzemesini temsil etmek üzere yatay yayın 10 katı mertebesinde bir rijitlik tanımlanmıştır. Yani yay 200 kN değerine ulaştığında akacak ve 0.8 cm plastik şekildeğiştirme yapacaktır. Bu ilişkiye bağlı olarak, yayın başlangıç rijitliği değeri 25000 kN/m olarak verilmiştir. Yine yatay doğrultuda olduğu gibi histerik çevrim tipi Pivot olarak tanımlanmıştır.



Şekil 5.45 : Düğüm noktaları yerdeğiştirmelerinin ilişkisi.

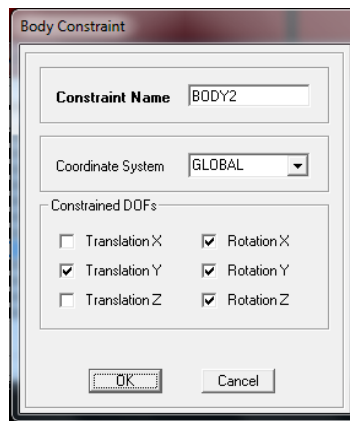
Panel analitik olarak modellenirken, sonlu eleman ağlarına bölünmüştür. Bu nedenle, panelin temele bağlandığı kısımlardaki yay tanımlamalarında, sonlu eleman düğüm noktalarının yaptığı yerdeğiştirmelerin birbirleri ile olan ilişkileri tanımlanmalıdır. Bu bağlamda, Şekil 5.45’de belirtilen noktaların yaptığı yerdeğiştirmeler için çeşitli eşitlikler kurulmuştur.

Şekil 5.46’da temel kesitinde, 1. Gruptaki düğüm noktalarının kendi aralarında tüm doğrultulardaki yerdeğiştirmeleri ve dönmeleri eşitlenmiştir. Sap2000’nin ‘body constraint’ özelliğı yardımı ile düğüm noktalarının yaptığı X, Y, Z eksenlerindeki yerdeğiştirmeler ve dönmeler işaretlenmiştir. Bunun anlamı, işaretlenen doğrultudaki hareketler eşit olacaktır.



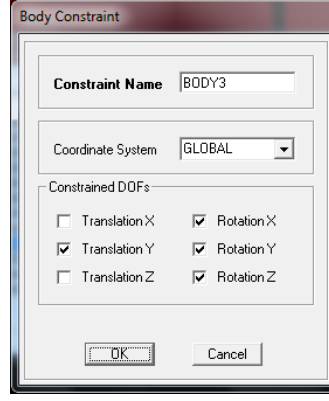
Şekil 5.46 : 1.Grup düğüm noktalarının eşitlikleri.

Noktalara, BODY1 yerdeğiştirme şartı atanmış ve aynı hareketi yapmaları sağlanmıştır.



Şekil 5.47 : 2.Grup düğüm noktalarının eşitlikleri.

2. Grup düğüm noktalarının eşitlikleri Şekil 5.47’deki gibi yapılmıştır. Bu noktada X ve Z doğrultularında yerdeğiştirme yayları tanımlandığı için, o doğrultulardaki hareketler serbest bırakılmıştır.

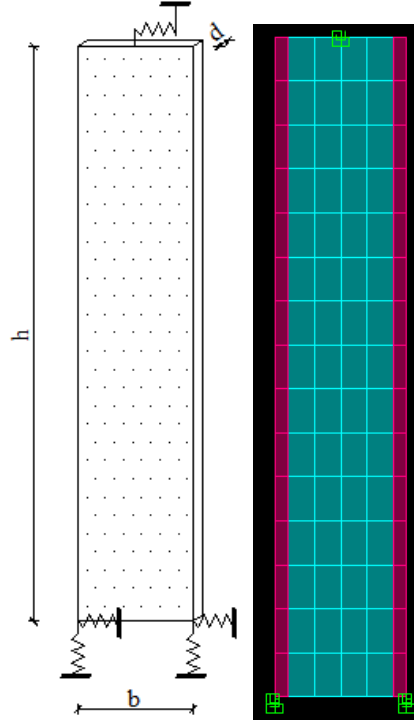


Şekil 5.48 : 3.Grup düğüm noktalarının eşitlikleri.

Şekil 5.48’de 2.Grubun tanımlandığı yerdeki gibi, 3.grubun olduğu yerde X, Z doğrultularında ötelenme yayları tanımlanmıştır. Bu nedenle ilgili doğrultularda hareketler serbest bırakılmıştır.

Tip2 modeli:

Tip2 olarak adlandırılan modelde, Şekil 5.49’da gösterildiği gibi öndöküm cephe panelinin yapı ile birleşimini ifade eden, üst noktadan kayıcı özelliğe sahip bir yay eklenmiştir. Deprem esnasında yapı ile panelin arasında yatay hareket sağlanarak yatay yük ve rijitlik aktarımı en aza indirgenmeye çalışılmıştır. Bu modelin temele bağlandığı noktalardaki yay özellikleri *Tip1* modelindeki ile aynıdır.



Şekil 5.49 : *Tip2* şematik gösterimi ve analitik modeli.

Link/Support Property Data

Link/Support Type: MultiLinear Plastic

Property Name: Kayma

Property Notes:

Total Mass and Weight

Mass: 0.0

Weight: 0.0

Rotational Inertia 1: 0.0

Rotational Inertia 2: 0.0

Rotational Inertia 3: 0.0

Factors For Line, Area and Solid Springs

Property is Defined for This Length In a Line Spring: 1.0

Property is Defined for This Area In Area and Solid Springs: 1.0

Directional Properties

Direction	Fixed	NonLinear	Properties
☐ U1	☐	☐	Modify/Show for U1...
☒ U2	☐	☒	Modify/Show for U2...
☐ U3	☐	☐	Modify/Show for U3...
☐ R1	☐	☐	Modify/Show for R1...
☐ R2	☐	☐	Modify/Show for R2...
☐ R3	☐	☐	Modify/Show for R3...

P-Delta Parameters

Advanced...

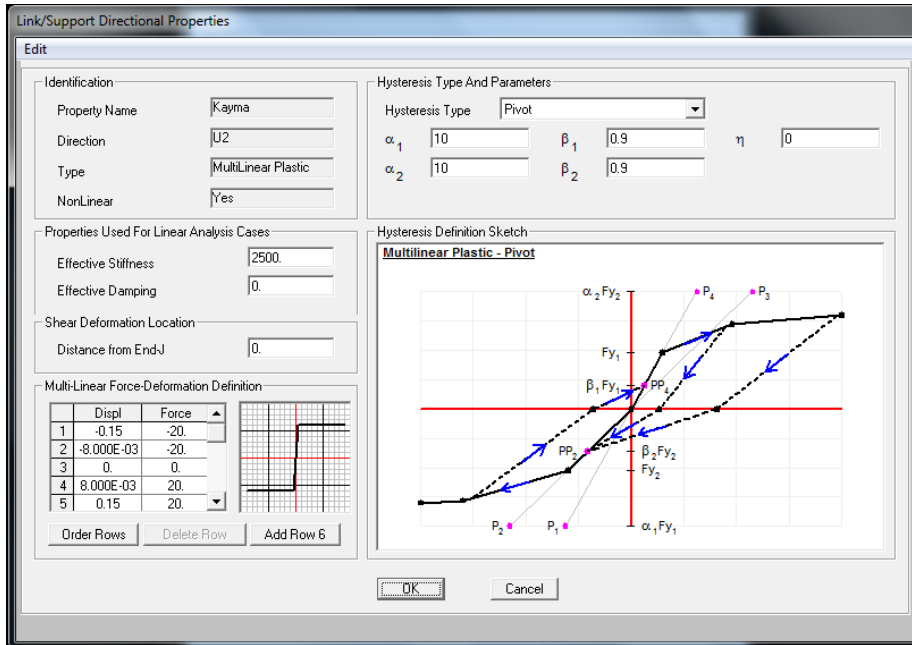
OK

Cancel

Şekil 5.50 : Tip2 modeline ait doğrusal olmayan kayma yayının tanımlanması.

Öndöküm cephe panelinin diğer yapı ile bağlantısını temsil eden doğrusal olmayan yay eleman, analitik modelde düşey doğrultuda girilmiştir. Yapabildiği hareket doğrultusu ise yatay olarak, yani bağlantı elemanına dik olarak verilmiştir.

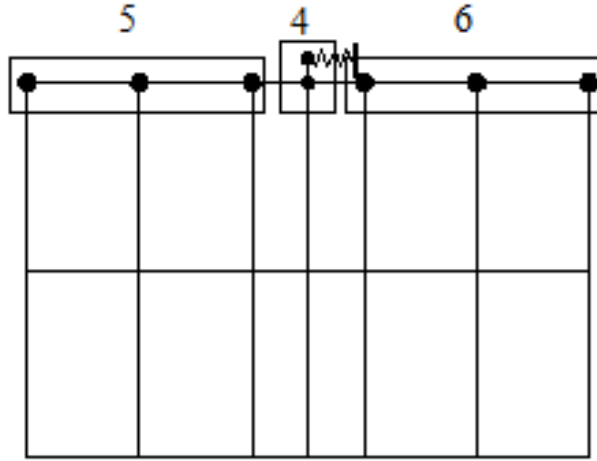
Şekil 5.50’de görüldüğü gibi ‘U2’ doğrultusunda doğrusal olmayan hareket tanımlanmıştır.



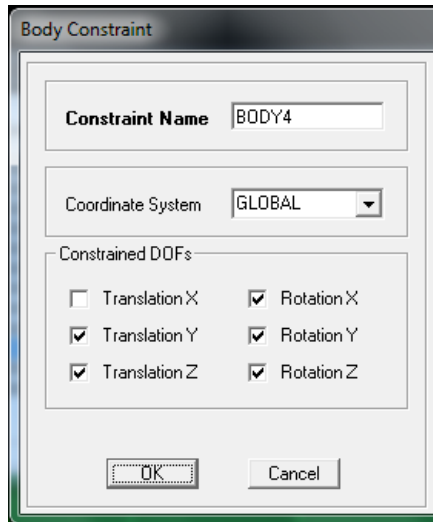
Şekil 5.51 : Tip2 modeline ait doğrusal olmayan kayma yayının özellikleri.

Panelin üst bölgesinde kayma yayı olarak tanımlanan bağlantı elemanının özellikleri Şekil 5.51’de verilmiştir. Kayma yayının kuvvet-şekildeğiştirme ilişkisi tanımlanmıştır. Buna göre, mesnet 20 kN luk yük altında akarak, 0.8 cm plastik şekildeğiştirme yapacaktır. Bu eğrinin eğimi, mesneden başlangıç rijitliğini 2500 kN/m tanımlamaktadır. Mesnete ait kuvvet-şekildeğiştirme histeretik çevrim tipi Pivot olarak seçilmiştir. Burada tanımlanan yay özellikleri, temelde yatay olarak yapılan bağlantıların özellikleri ile aynıdır.

Tip2 modelinde, *Tip1* modeline ilave olarak panelin üst bölgesine kayıcı yay eklenmiştir. Bu yayın eklendiği yerdeki düğüm noktalarının yerdeğiştirmelerinin eşitlenmesi gerekmektedir. Şekil 5.52’de belirtilen yerdeğiştirme eşitlikleri gösterilmektedir.



Şekil 5.52 : Panel-taşıyıcı sistem bağlantısı düğüm noktaları grupları.

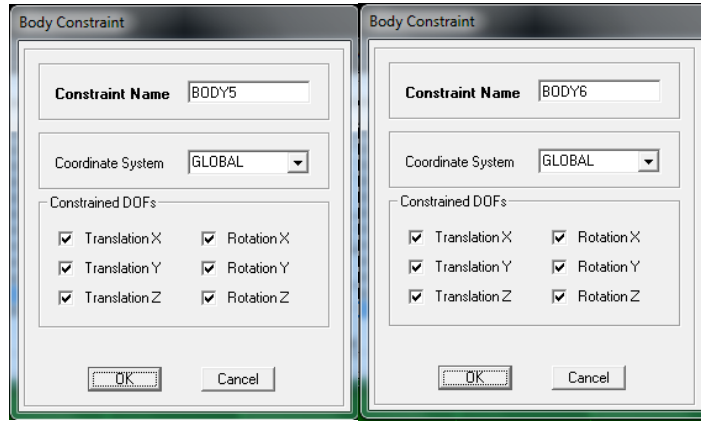


Şekil 5.53 : Panel-taşıyıcı sistem bağlantısı düğüm noktaları eşitlikleri.

4 no' lu düğüm noktasında öndöküm panel ile yapının bağlantısını sağlayan doğrusal olmayan bağlantı elemanı tanımlıdır. Yapı ile panel arasında kayma hareketinin olması sağlanmaktadır.

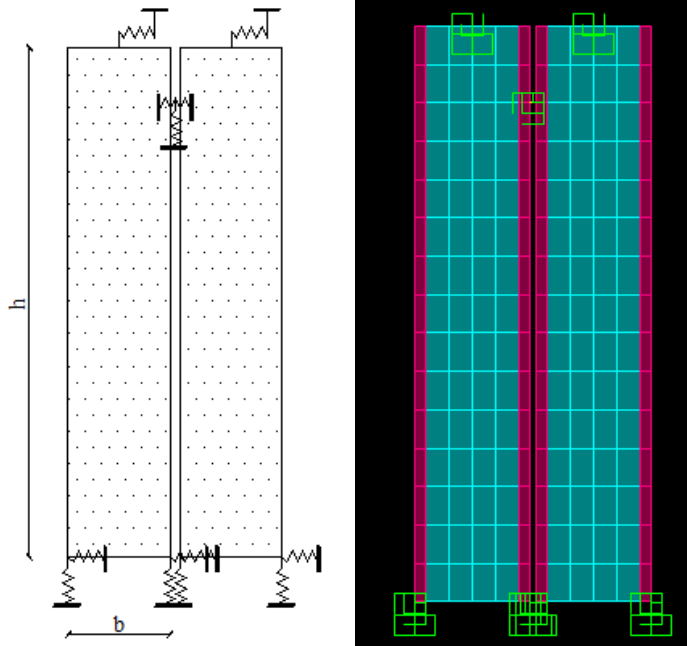
Şekil 5.53'de yayın doğrusal olmayan hareket özelliği global olarak X ekseninde tanımlanmıştır. Bu nedenle, paneli ve yayı bağlayan düğüm noktalarının X doğrultusundaki ötelenmesi serbest bırakılmıştır. Noktaların diğer 5 serbestliklerindeki hareketleri ise eşitlenmiştir.

Şekil 5.54'de 5. ve 6. Grup olarak tanımlanan düğüm noktalarının kendi aralarında 6 serbestlikleri de eşitlenmiştir.



Şekil 5.54 : 5.ve 6. Grupların düğüm noktaları eşitlikleri.

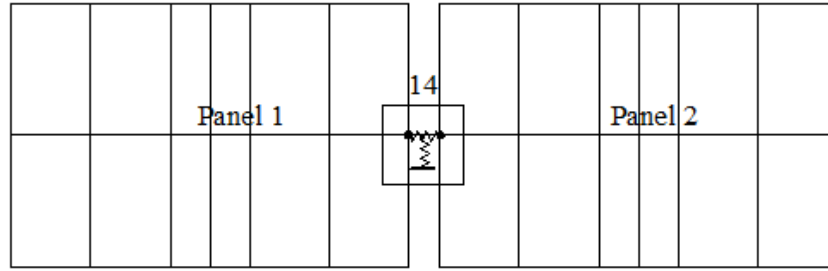
Tip3 modeli:



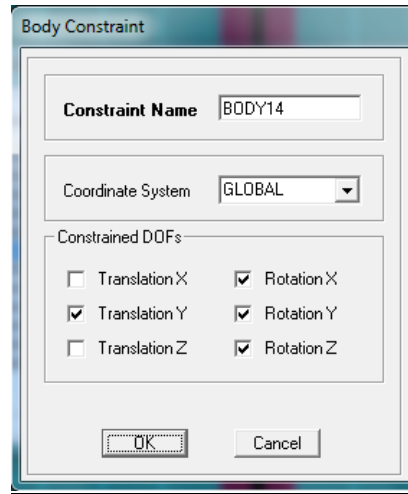
Şekil 5.55 : Tip3 şematik gösterimi ve analitik modeli.

Pratikte öndöküm cephe panellerinin temel, taşıyıcı sistem ve yanındaki diğer panellerle bağlantıları yapılmaktadır. Buna göre Şekil 5.55’de gösterilen *Tip3* modeli oluşturulmuştur. Bu tip için de öndöküm cephe elemanının temelle olan bağlantısı, taşıyıcı sistem ile olan bağlantısı ve yan panellerle olan bağlantısı için gerçekçi büyüklükler atanmıştır.

Temel ve taşıyıcı sistem bağlantıları *Tip1* ve *Tip2* modelleri ile aynıdır. Şekil 5.56’da iki komşu cephe paneli, yatay ve düşey doğrultuda bulunan iki yay ile birbirlerine bağlanmıştır. Bu bağlantı ile iki panel arasında düşey doğrultuda kayma hareketi oluşabilmesi ve panellerin birbirlerine doğru olan hareketleri için de yatay doğrultuda rijitlik tanımlaması yapılmıştır. Özel bağlantı elemanını temsil etmek amacıyla oluşturulan yatay ve düşey yayların karakteristik özellikleri temel bağlantısının yapıldığı yaylar ile aynıdır. Kayma özelliğinin tanımlandığı düşey doğrultuda, deney sonuçları ile paralel özellikler alınmıştır. Elemanın eksenine paralel olan yatay doğrultuda ise deney sonuçlarının 10 katı mertebesinde dayanım esas alınmıştır.



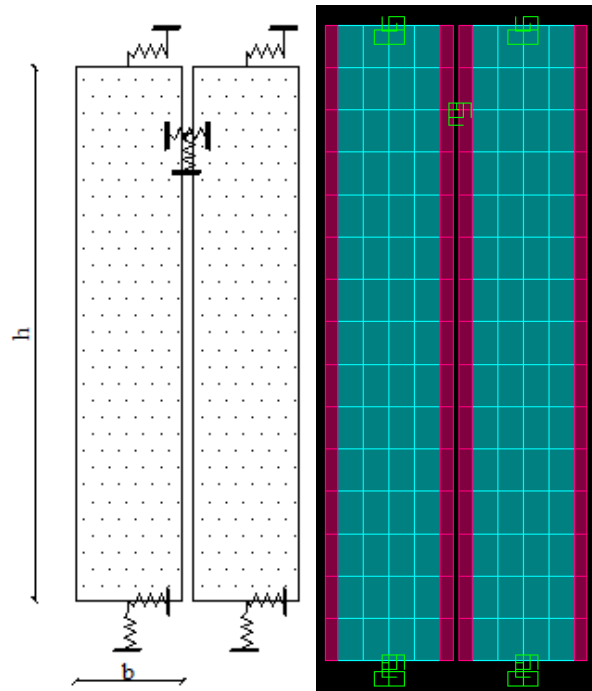
Şekil 5.56 : Panel-panel bağlantısı düğüm noktaları grup tanımlanması.



Şekil 5.57 : Panel-panel bağlantısı düğüm noktaları eşitlikleri.

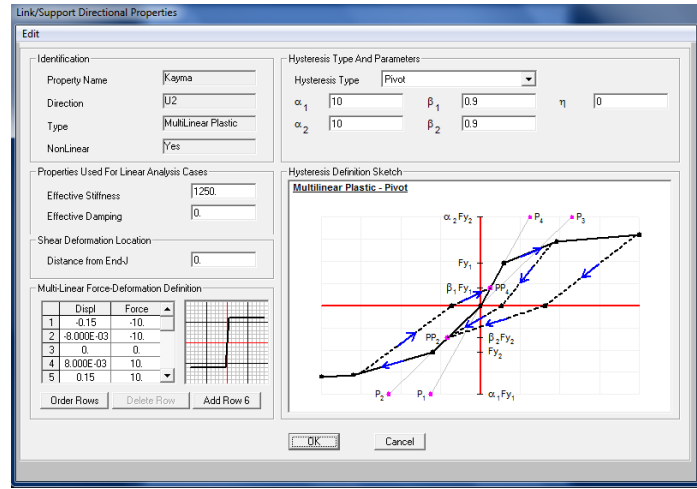
Panelleri birbirlerine düşey ve yatay doğrultuda bağlayan doğrusal olmayan yay elemanlar tanımlanmıştır. Düşey yay bağlantısı sayesinde, paneller arasında kayma hareketi sağlanmakta, yatay doğrultudaki yay ile de bağlantı elemanının eksenel doğrultudaki davranışı temsil edilmektedir. Bu nedenle, düşey doğrultuda kayma hareketi meydana geleceği için, düğüm noktalarının Z doğrultusundaki ötelenme hareketi serbest bırakılmıştır. İlave olarak, yatay doğrultuda hareket olabilmesi için de X doğrultusundaki yerdeğiştirme serbest bırakılmıştır. Diğer 4 serbestlik ise Şekil 5.57’de görüldüğü gibi tutulmuştur.

Tip4 modeli:

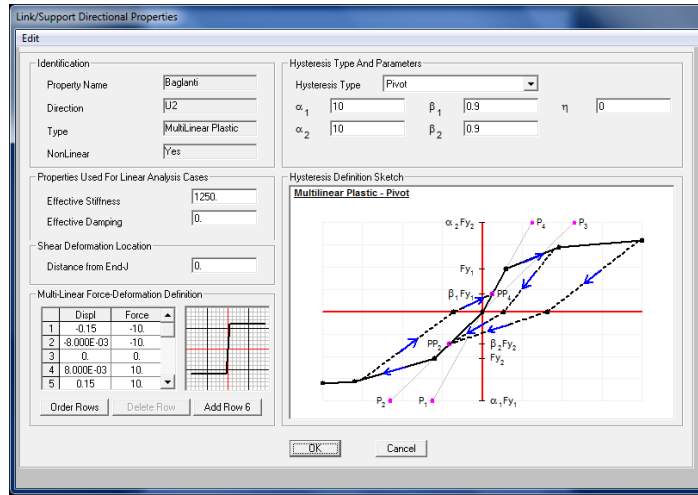


Şekil 5.58 : Tip4 şematik gösterimi ve analitik modeli.

Tip4 modeli, Tip3 modeline alternatif olarak oluşturulmuştur. Panelin altında orta kısımda birer düşey ve yatay yay mevcuttur. Tip2 modelinde olduğu gibi, panel üstten taşıyıcı yapı sistemine kayıcı yay ile, komşu paneller ile düşey ve yatay yaylar ile bağlıdır. Temel mesnetindeki yayların değerleri Tip3 modelinde olduğu gibi deney dayanımının yarısı olarak alınmıştır. Şekil 5.58’de taşıyıcı sistem ile olan kayıcı mesnet bağlantısında deneydeki dayanımın 1/4 ü kullanılmıştır. Şekil 5.59’da panelleri bağlayan yayın düşey doğrultuda kayma hareketini sağlayan düşey yayın değeri de deney dayanımının 1/4 ü olarak verilmiştir. Şekil 5.60’da ise bağlantı elemanının dik doğrultusunda (panelin yatay doğrultusu) tanımlanan yay ise elemanın kayma özelliklerinin 10 katı olarak alınmıştır.

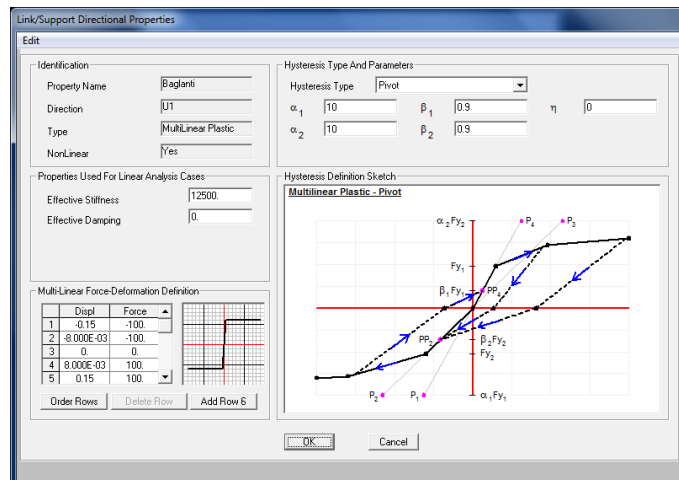


Şekil 5.59 : Tip4 modeline ait doğrusal olmayan kayma yayının özellikleri.



Şekil 5.60 : Tip4 modeline ait doğrusal olmayan bağlantı düşey yayının özellikleri.

Şekil 5.61’de Tip4 modelinde panellerin bağlantılarının yapıldığı yayın tanımlanması gösterilmektedir.



Şekil 5.61 : Tip4 modeline ait doğrusal olmayan bağlantı yatay yayının özellikleri.

5.3.3 Serbest titreşim analizi sonuçları

Açıklanan 5 model üzerinde *Serbest Titreşim Analizi* yapılmıştır. Bu analizler doğrultusunda, modellere ait sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Çizelge 5.3 : Serbest titreşim analizi sonuçları.

Modeller	Periyodlar (s)			Kütle Katılım Oranları (%)		
	Mod1	Mod2	Mod3	Mod1	Mod2	Mod3
Tip0	0.118	0.021	0.015	0.630	0.206	0
Tip1	0.603	0.139	0.095	0.828	0.172	0
Tip2	0.259	0.127	0.020	0.964	0.036	0
Tip3	0.258	0.157	0.125	0.965	0	0.034
Tip4	0.352	0.166	0.145	0.852	0	0.148

Tüm sistemlerde analiz sonucunda, ilk üç modun karşılaştırılması yapılmıştır. Sistem dış ortama ankastre olarak mesnetlendiğinde, en rijit davranışı sergilediği gözlenmiştir. Temel bağlantısı yarı rijit hale getirildiğinde sistemin periyodu uzamış, sistem esnekleşmiştir. Panel taşıyıcı sisteme yarı rijit olarak bağlandığında ise *Tip1* e göre daha rijit davranış sergilemiştir. Yine de ankastre sisteme göre daha esnektir.

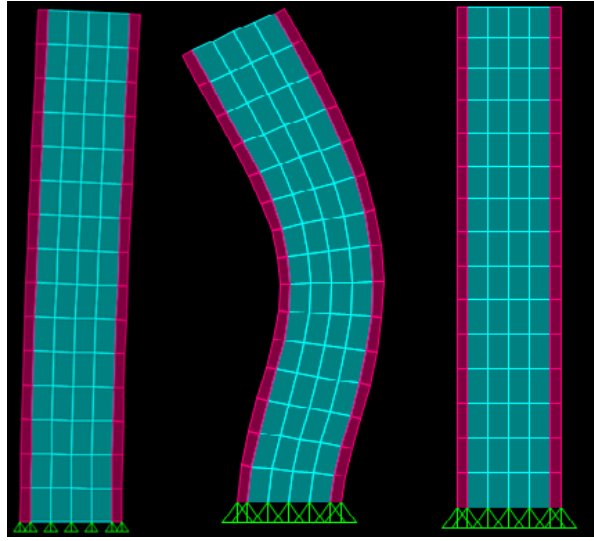
İki panel birbirine bağlandığında ise *Tip2* ye göre sistemin ilk modları aynıdır. 2. ve 3. Modlarda ise *Tip3* modelinin daha esnek davranış sergilediği ortaya çıkmıştır. *Tip4* modelinde ise üstteki yaylar ile panellerin bağlantılarını sağlayan yayların rijitliği azaltıldığı için sistemin periyodu uzamıştır.

Beş sisteme ait x doğrultusundaki kütle katılım oranları da Çizelge 5.3' de verilmiştir. Buna göre modellerdeki kütle katılım oranlarının 1. Modda en fazla olduğu gözlemlenmektedir.

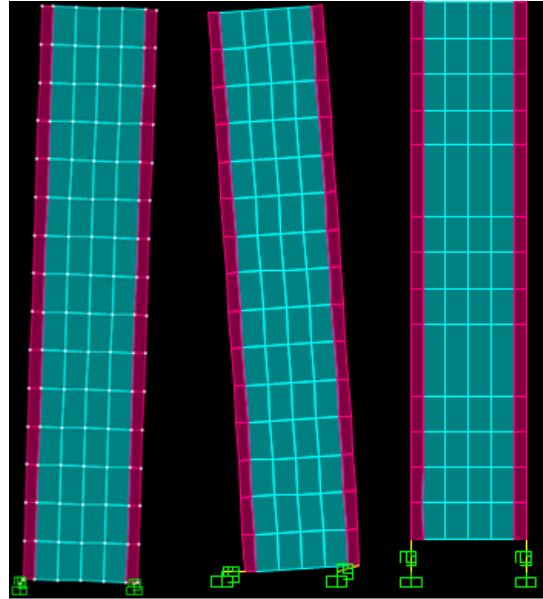
Tip3 modelinde, iki komşu paneli birbirine bağlayan doğrusal olmayan yayların analitik modelini doğrulamak amacıyla analizler yapılmıştır. Sadece komşu panelleri bağlayan yayların tüm sisteme olan etkisini tartışabilmek amacıyla, her iki panel dış ortama ankastre olarak bağlanmış ve taşıyıcı sistemle bağlantılarını sağlayan panellerin üst bölgesindeki yaylar kaldırılmıştır. Yaylara deneylerden elde edilen sonuçlarla ilişkili olarak rijitlik ve dayanım özellikleri tanımlanarak çözüm yapılmıştır. Diğer bir seçenek olarak da yayın rijitlik ve dayanım özellikleri ilk durumun 100 katı olarak çözüm yapılmıştır. İlk durumda sistemin ilk üç periyodu 0.118 s, 0.053 s, 0.021 s iken yayların rijitleştirildiği sistemin ilk üç periyodu 0.098 s, 0.023 s ve 0.020 s olarak elde edilmiştir.

Analiz sonuçlarına göre yayların rijitlikleri arttırıldığında sistemin özellikle ilk 2 periyodu iki panelin birbirine daha rijit bağlanmasından dolayı azalarak, sistem daha rijit hale gelmiştir. Bu sonuçlara göre, yayların karakteristik özelliklerinin tüm sistemin davranışını etkilediği gözlenmektedir. Dolayısıyla, yayların analitik modellerinin doğruluğu konusunda soru işareti kalmamaktadır.

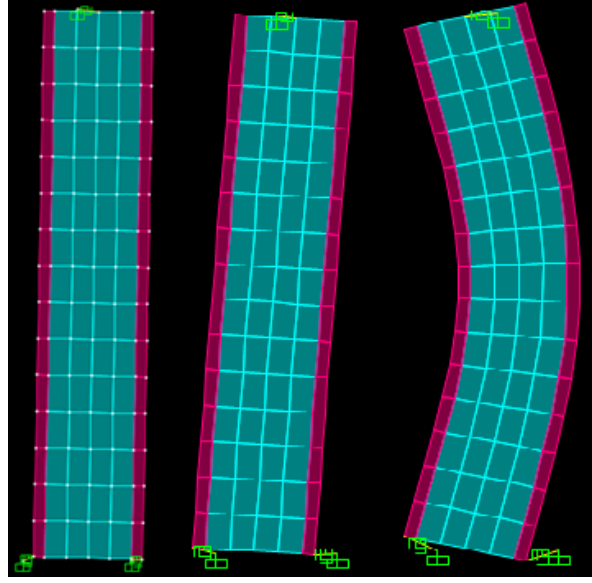
Tip0 modeline ait ilk üç modun şekli Şekil 5.62’de, *Tip1* modelinin 1., 2. ve 3.mod şekilleri Şekil 5.63’de, *Tip2* modeline ait ilk üç mod şekli Şekil 5.64’de , yine aynı şekilde *Tip3* modelinin ilk 3 mod şekli Şekil 5.64’de ve *Tip4*’ün mod şekilleri de Şekil 6.65’ de gösterilmiştir.



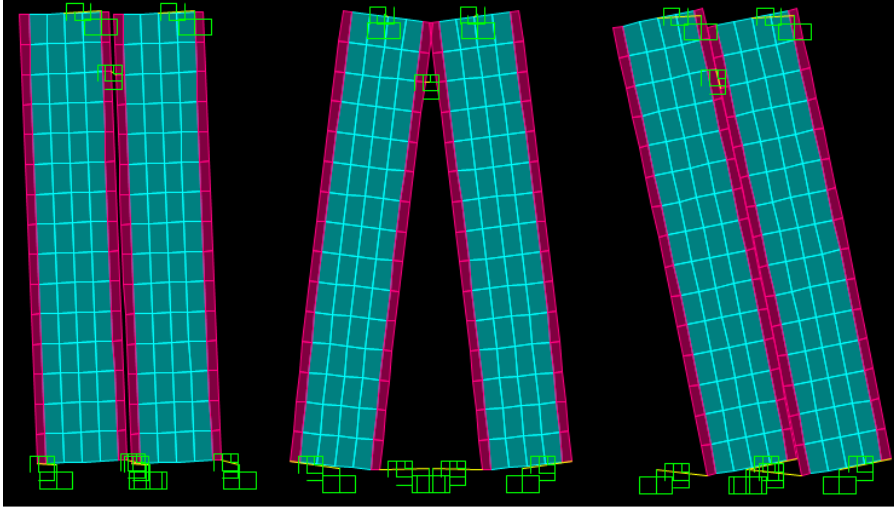
Şekil 5.62 : *Tip0* modeli sırasıyla 1.2. ve 3. mod şekilleri.



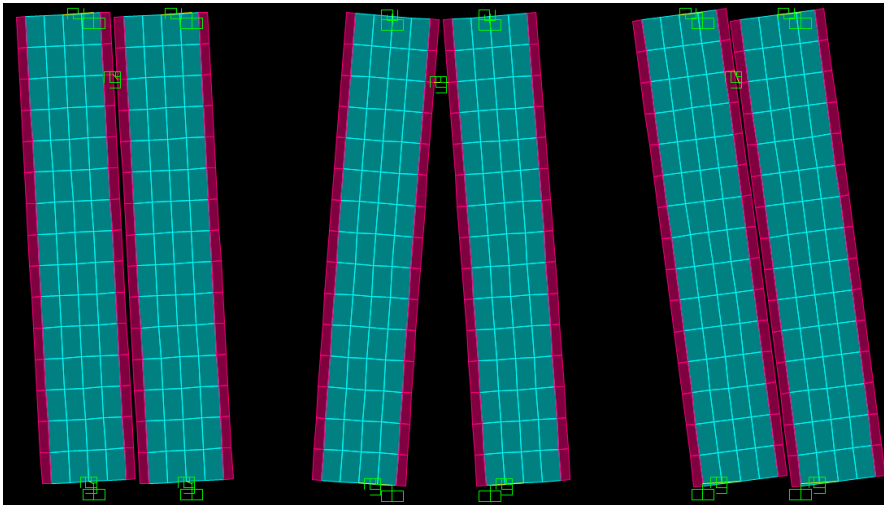
Şekil 5.63 : *Tip1* modeli sırasıyla 1. 2. ve 3. mod şekilleri.



Şekil 5.64 : *Tip2* modeli sırasıyla 1. 2. ve 3. mod şekilleri.



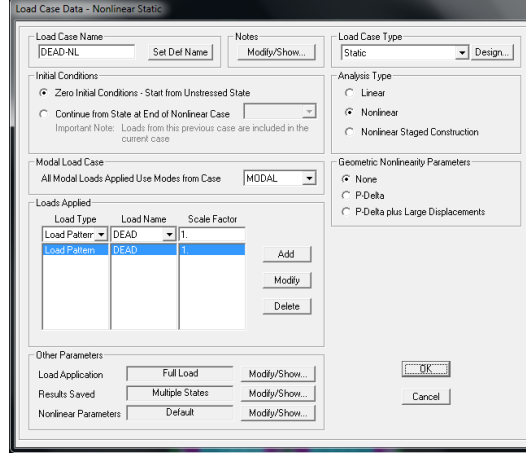
Şekil 5.65 : *Tip3* modeli sırasıyla 1. 2. ve 3. mod şekilleri.



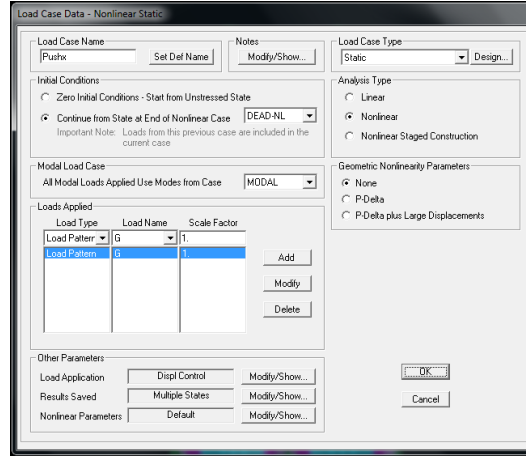
Şekil 5.66 : *Tip4* modeli sırasıyla 1. 2. ve 3. mod şekilleri.

5.3.4 Artımsal itme analizi sonuçları

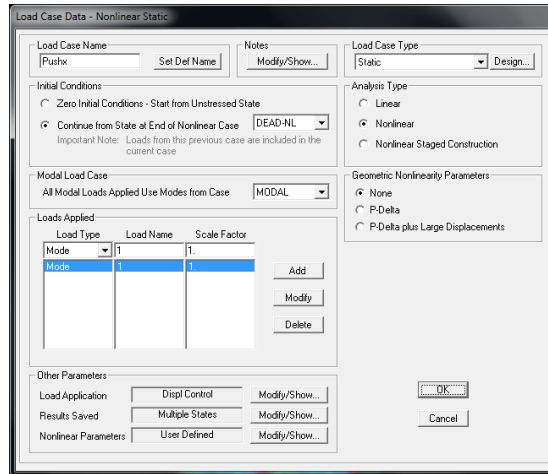
Artımsal itme analizin başlangıç adımı olarak, düşey yükler altında doğrusal olmayan analiz yapmaktır.



Şekil 5.67 : Düşey yükler altında doğrusal olmayan statik analiz.



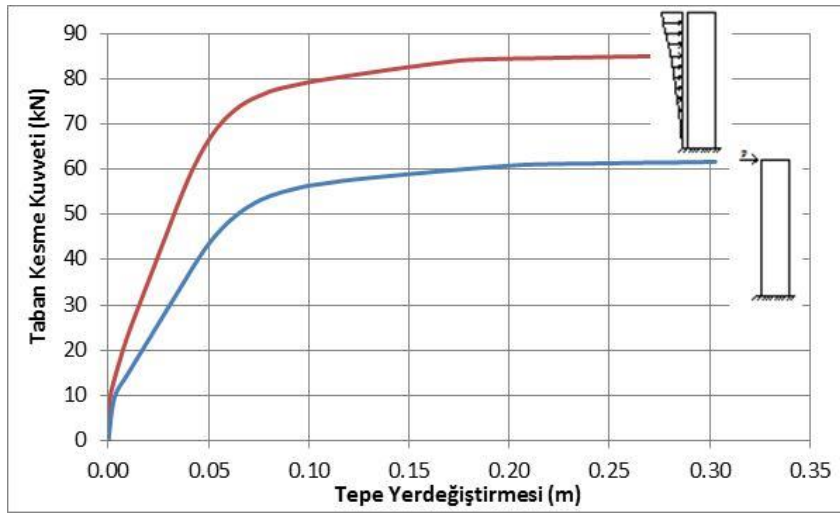
Şekil 5.68 : Yatay yükler altında doğrusal olmayan statik analiz.



Şekil 5.69 : Yatay yükler altında doğrusal olmayan statik analiz.

Şekil 5.67’de düşey yüklerin doğrusal olmayan statik analiz olarak tanımlanması verilmiştir.

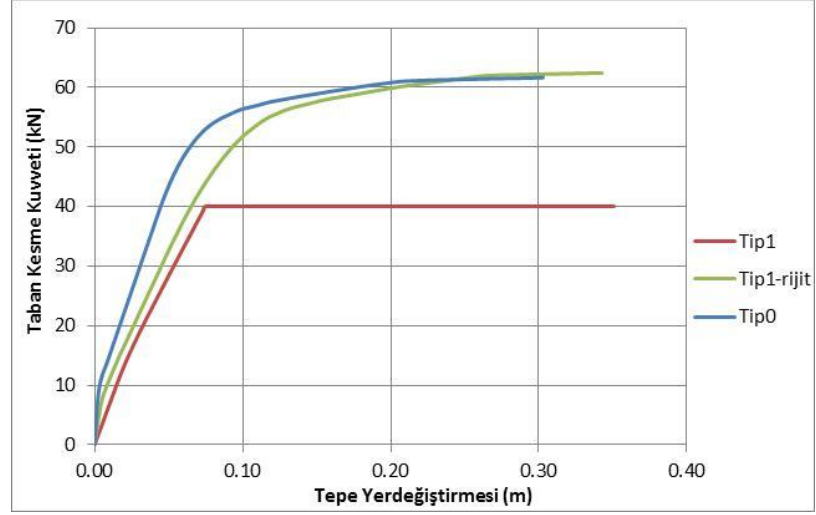
Başlangıç koşulları düşey yüklerin doğrusal olmayan analizi olarak kabul edilen itme analizi iki farklı yükleme şekli ile yapılmıştır. İlk olarak, panele üst noktadan uygulanan tekil yükün adım adım artırılması ile bir yatay yükleme yapılmıştır. Bu yöntemeye ait tanımlama Şekil 5.68’ de gözlenmektedir. İkinci yükleme ise panele etkiyen yatay yük formunun sistemin birinci titreşim modu ile uyumlu olduğu yüklemedir. Yatay yük formunun programda tanımlanma şekli de Şekil 5.69’ da belirtilmektedir.



Şekil 5.70 : Tip0 modeli artımsal itme analizi eğrileri.

İki farklı yöntemle uygulanan artımsal itme analizi sonucunda elde edilen taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirmesi ilişkileri Şekil 5.70’ de verilmiştir. Elde edilen grafiklere göre yük formu moda uyumlu olarak verildiğinde sistemde oluşan taban kesme kuvveti artmaktadır. Modla uyumlu yükleme formu uygulandığında, taban kesitinde oluşan moment şiddeti diğer yükleme biçimine göre görece olarak küçüktür. Bu momentin akmaya ulaşabilmesi için daha fazla kuvvete ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle bu yöntemde taban kesme kuvveti değeri ilk yönteme göre daha fazla çıkmıştır.

Doğrusal olmayan yayların analitik modellerinin doğruluğu göstermek amacıyla analiz yapılmıştır. İlk olarak, dış ortama ankastre olarak bağlanan cephe paneline artımsal itme analizi yapılmıştır. Daha sonra ise, Tip1 modelinde yarı rijit olarak tanımlanan yayların rijitliği 5 kat artırılarak, sistem ankastre modele daha yakın hale getirilmiştir.

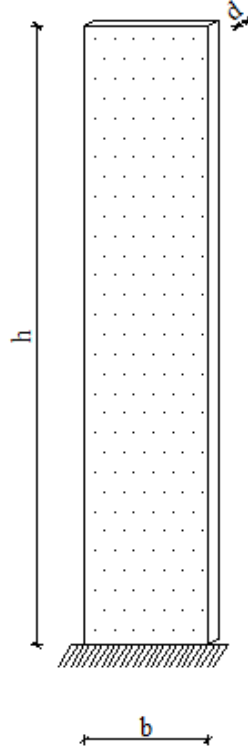


Şekil 5.71 : Artımsal itme eğrilerinin karşılaştırılması.

Şekil 5.71' e göre, doğrusal olmayan yay elemanların rijitliği 5 kat arttırıldığında sistemin dayanımı ve rijitliği artmakta ve ankastre modele çok yakın sonuçlar elde edilebilmektedir. Yay rijitlikleri daha fazla arttırılarak sistemin dış ortamla olan bağlantısı tamamen rijit olarak oluşturulabilmektedir.

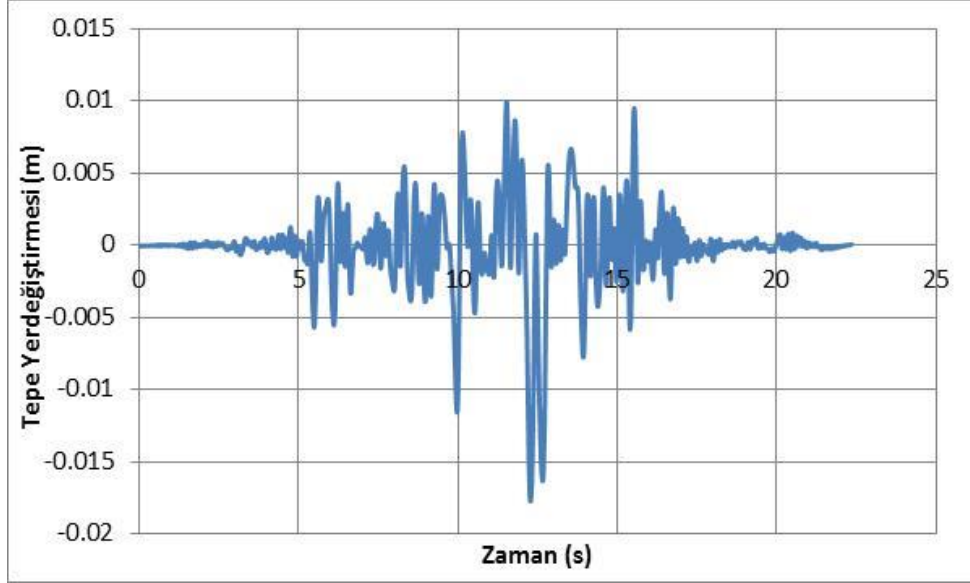
5.3.5 Zaman tanım alanında analizin sonuçları

5.3.5.1 Tip0 modeli

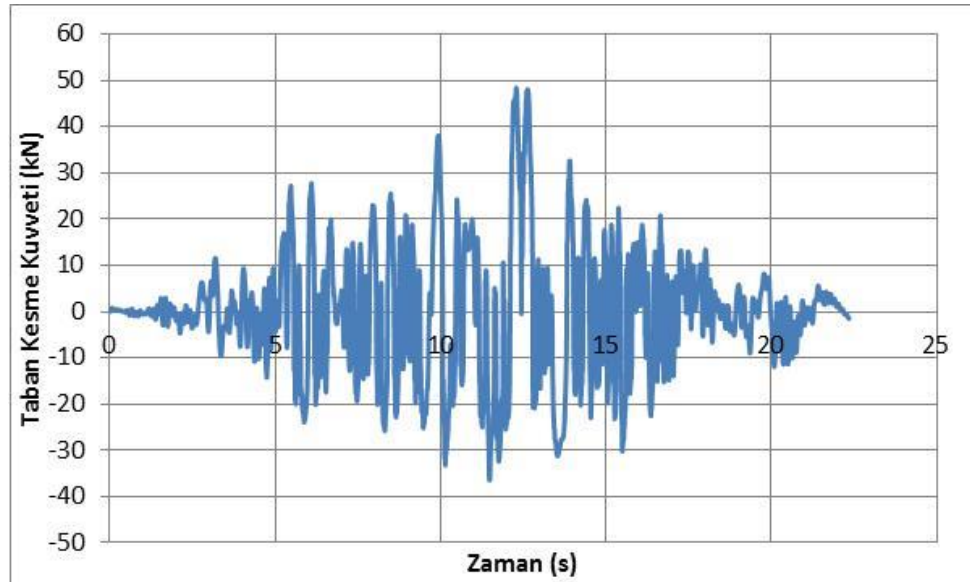


Şekil 5.72 : Tip0 modeli.

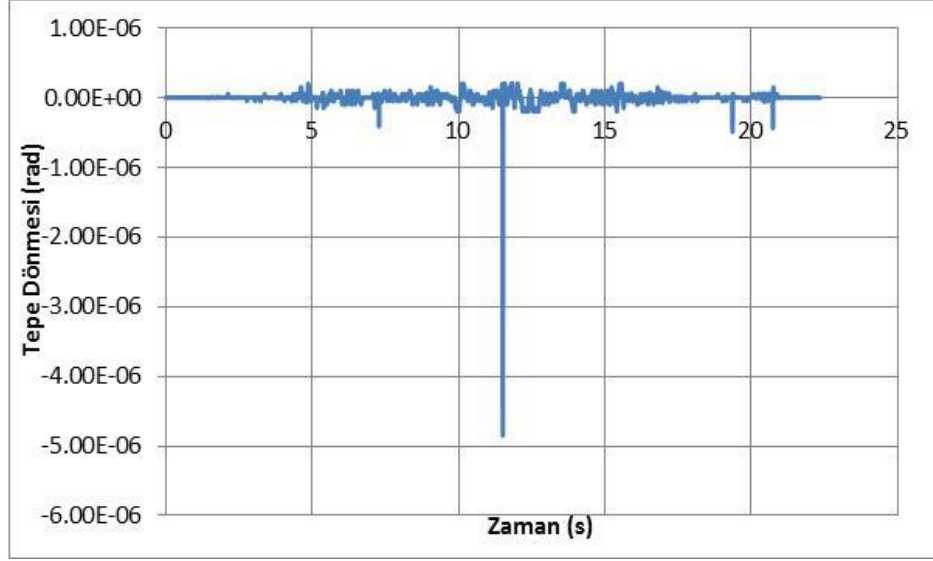
Temele ankastre olarak bağlanan ve *Tip0* olarak adlandırılan öndöküm düşey cephe paneli Şekil 5.72’de görülmektedir. *Tip0* modelinin, seçilen ölçeklendirilmiş 7 deprem kaydı etkisinde *Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analizi* yapılmıştır. Analizler sonucunda, her deprem etkisinde öndöküm düşey cephe panelinde meydana gelen tepe yerdeğiştirmesi, taban kesme kuvveti, tepe dönmesi ve görelî kat ötelemesi değerlerinin zamana bağı olarak ilişkileri elde edilmiştir. Tez kapsamında elde edilen bu ilişkilerin grafiklerine yer verilmiştir.



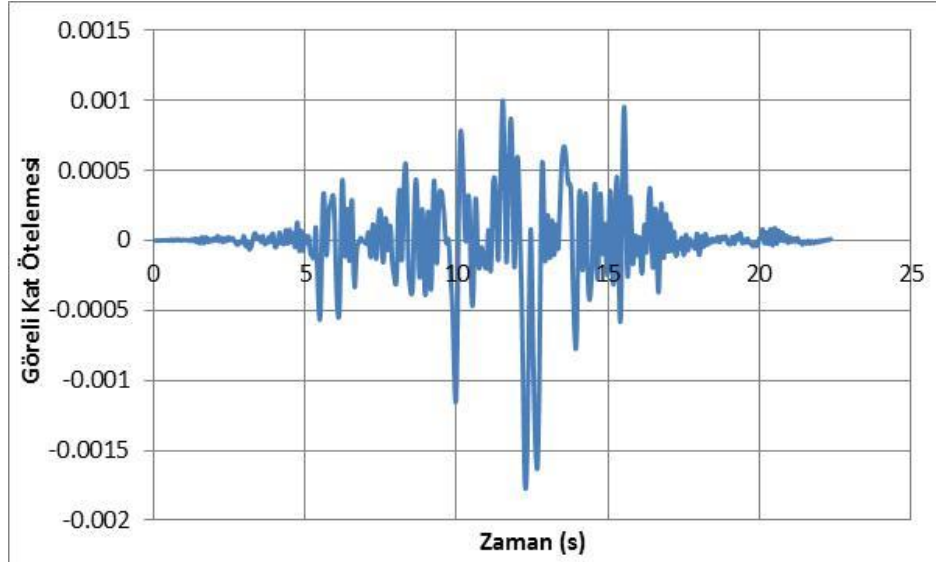
Şekil 5.73 : 0.7134_SUPERST-B-PTS315 Depremi.



Şekil 5.74 : 0.7134_SUPERST-B-PTS315 Depremi.

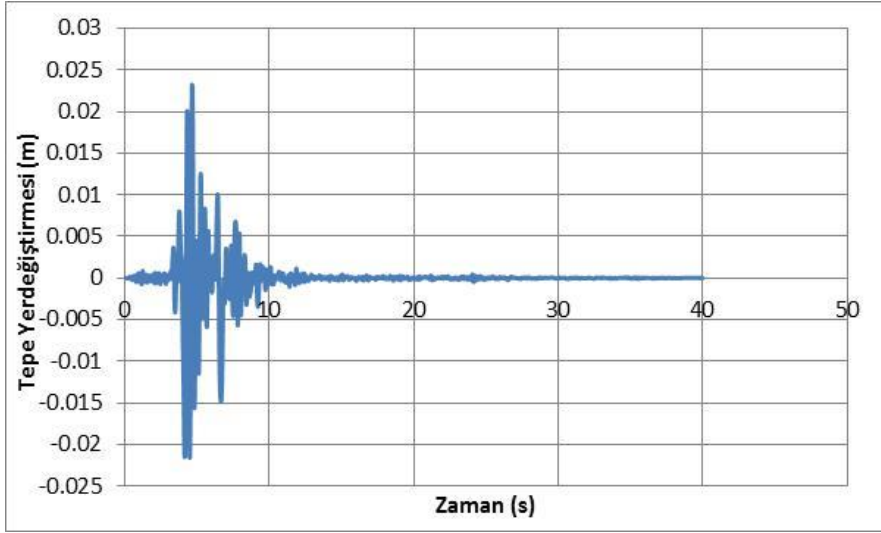


Şekil 5.75 : 0.7134_SUPERST-B-PTS315 Depremi.

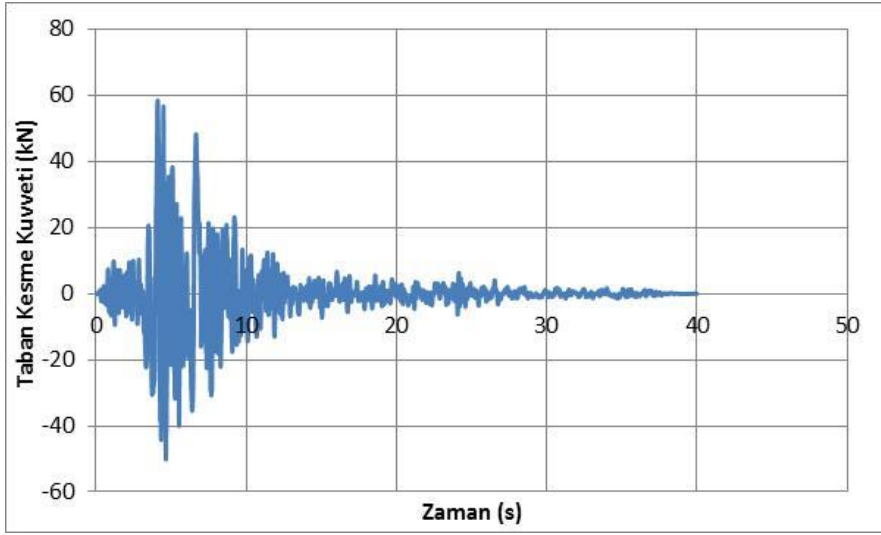


Şekil 5.76 : 0.7134_SUPERST-B-PTS315 Depremi.

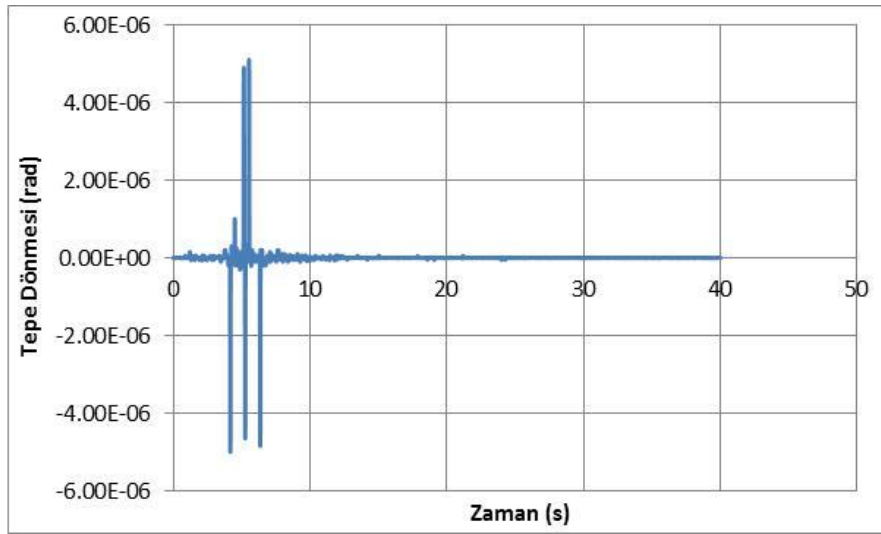
Tasarım ivme spektruma benzetmek amacıyla 0.7134 kaysayısı ile büyütülen 22.35 s süreye sahip *Superstition Hills* depremi etkisinde *Tip0* modelinin analiz sonuçları elde edilmiştir . Buna göre Şekil 5.73’de tepe yerdeğiştirmesi-zaman, Şekil 5.74’de taban kesme kuvveti-zaman, Şekil 5.75’de tepe dönmesi-zaman ve Şekil 5.76’da görel kat ötelemesi-zaman grafikleri gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre öndöküm düşey cephe panelinin deprem etkisinde yaptığı en büyük yatay yerdeğiştirme değeri 0.018 m dir. Panelde oluşan en büyük taban kesme kuvveti değeri ise 48.38 kN dur. Panelin tepesinde meydana gelen en büyük dönme değeri 0.00000485 rad iken en büyük görel kat ötelemesi değeri de 0.0018 olarak hesaplanmıştır.



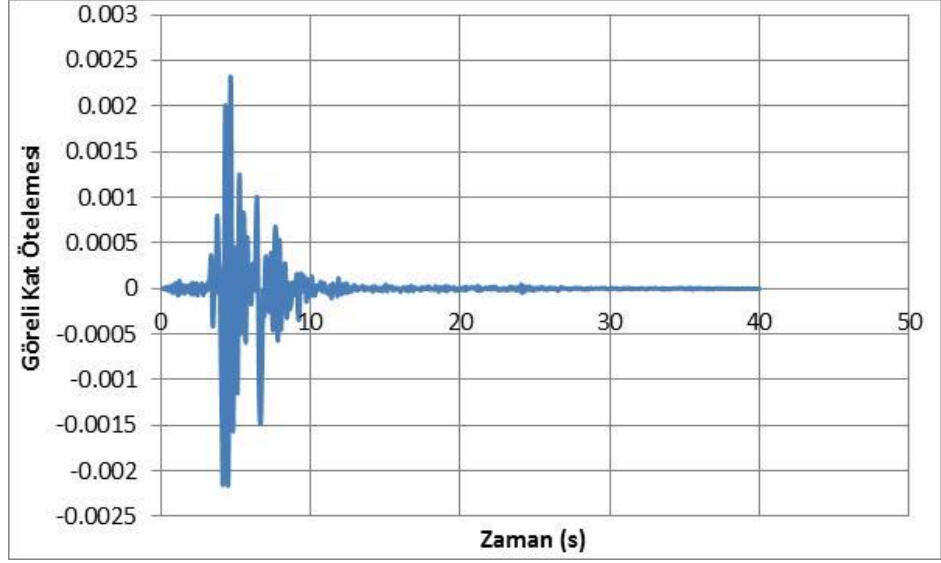
şekil 5.77 : 0.9323_NORTHR_SYL360 Depremi.



şekil 5.78 : 0.9323_NORTHR_SYL360 Depremi.

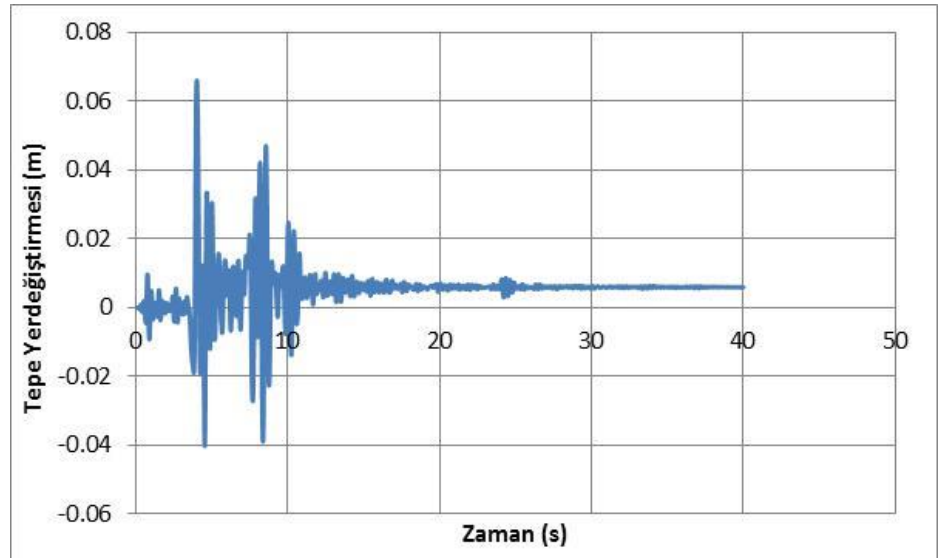


şekil 5.79 : 0.9323_NORTHR_SYL360 Depremi.

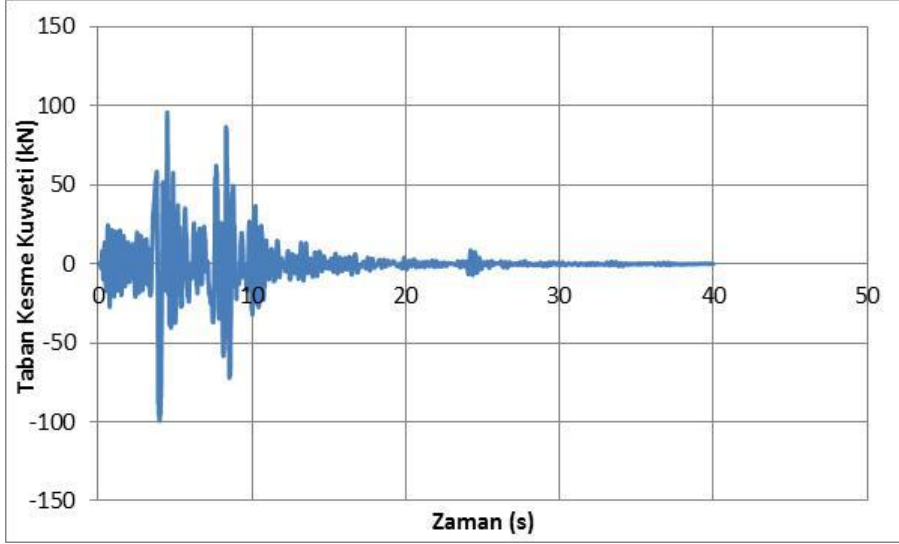


Şekil 5.80 : 0.9323_NORTH_R_SYL360 Depremi.

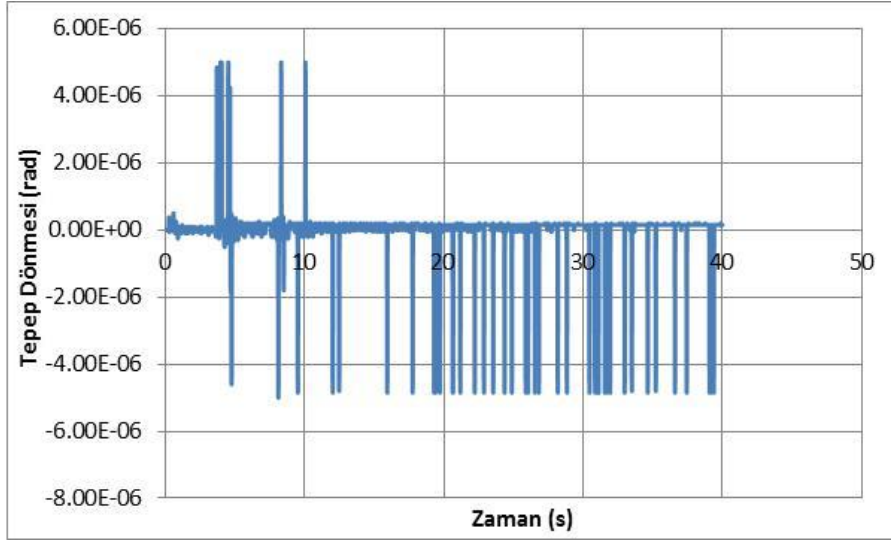
0.9323 katsayısı ile çarpılarak spektruma benzetilen ve 40.00 s süreye sahip *Northridge depremi* etkisinde *Tip0* modelinin analiz sonuçları elde edilmiştir. Analizlerden modele ait Şekil 5.77’de gösterildiği gibi tepe yerdeğiştirmesi-zaman, Şekil 5.78’de taban kesme kuvveti-zaman, Şekil 5.79’de tepe dönmesi-zaman ve Şekil 5.78’de görel kat ötelemesi-zaman grafikleri gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre öndöküm düşey cephe panelinin deprem etkisinde yaptığı en büyük yatay yerdeğiştirme değeri 0.023 m dir. Panelde oluşan en büyük taban kesme kuvveti değeri ise 58.48 kN dur. Ayrıca panelin tepesinde oluşan en büyük dönme değeri 0.0000051 rad ve panelin yaptığı en büyük görel kat ötelemesi ise 0.0023 olarak elde edilmiştir.



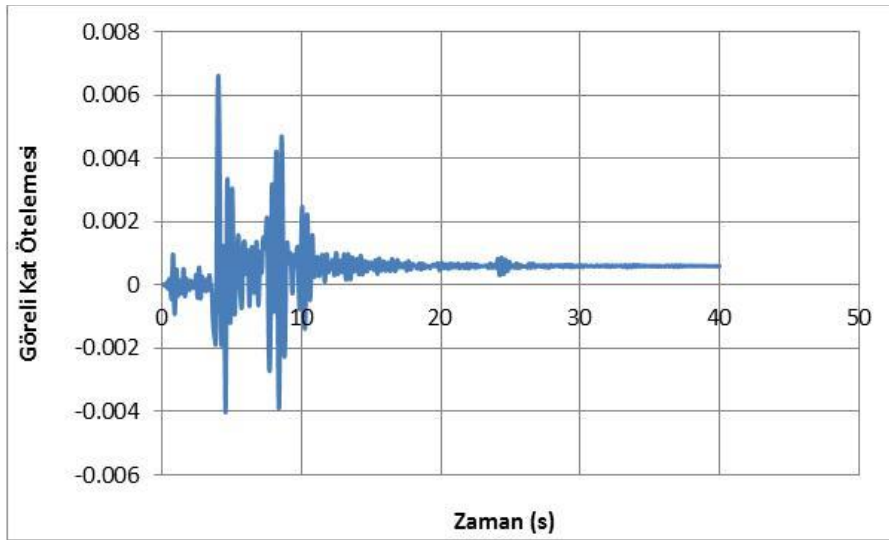
Şekil 5.81 : 0.61125_NORTH_R_RAN000 Depremi.



Şekil 5.82 : 0.61125_NORTHR_RAN000 Depremi.

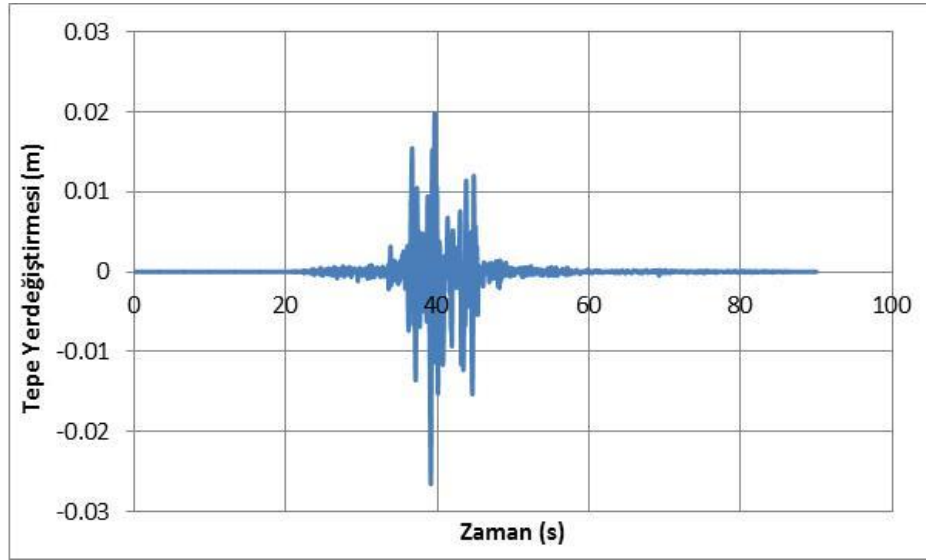


Şekil 5.83 : 0.61125_NORTHR_RAN000 Depremi.

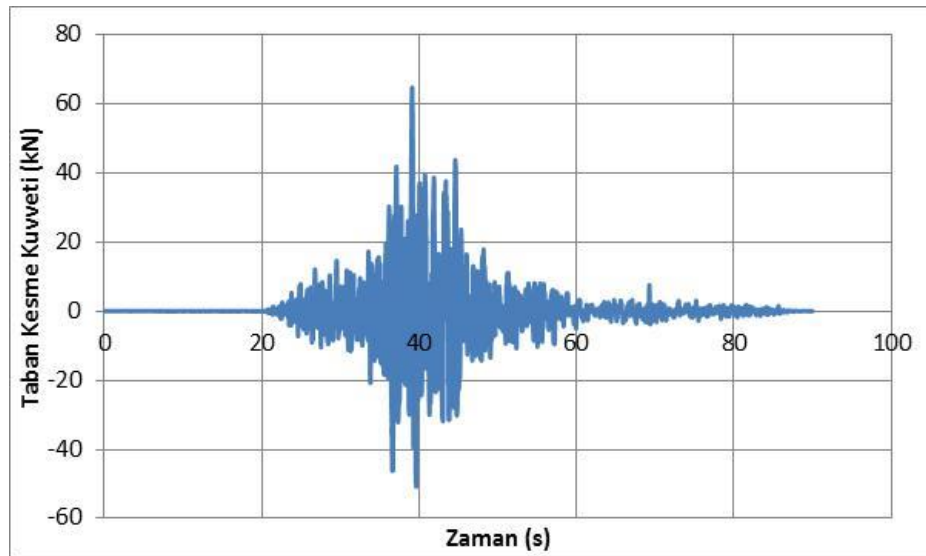


Şekil 5.84 : 0.61125_NORTHR_RAN000 Depremi.

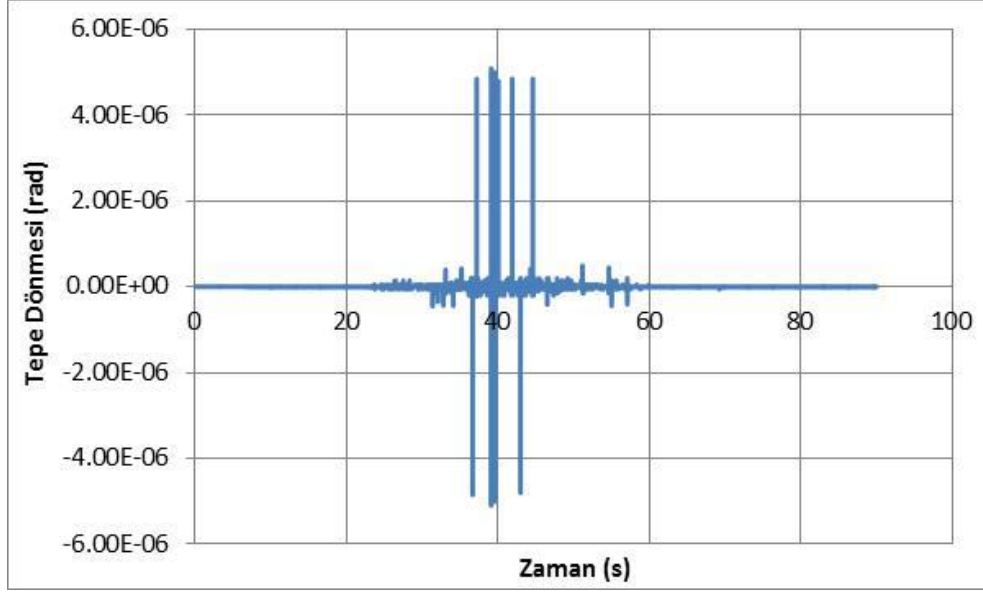
Bir istasyondan alınan *Northridge deprem* kaydı spektrum eğrisine benzetilmek amacıyla 0.61125 katsayısı ile küçültülmüştür. Bu deprem etkisinde *Tip0* modelinin analiz sonuçları elde edilmiştir. Buna göre Şekil 5.81’de tepe yerdeğiştirmesi-zaman, Şekil 5.82’de taban kesme kuvveti-zaman, Şekil 5.83’de tepe dönmesi-zaman ve Şekil 5.84’de görelî kat ötelemesi-zaman grafikleri gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre öndöküm düşey cephe panelinin deprem etkisinde yaptığı en büyük yatay yerdeğiştirme değeri 0.066 m dir. Panelde oluşan en büyük taban kesme kuvveti değeri ise 99.28 kN dur. Yine panelin tepesinde oluşan en büyük dönme değeri 0.000005 rad iken panelin yaptığı en büyük görelî kat öteleme ise 0.0066 olarak elde edilmiştir.



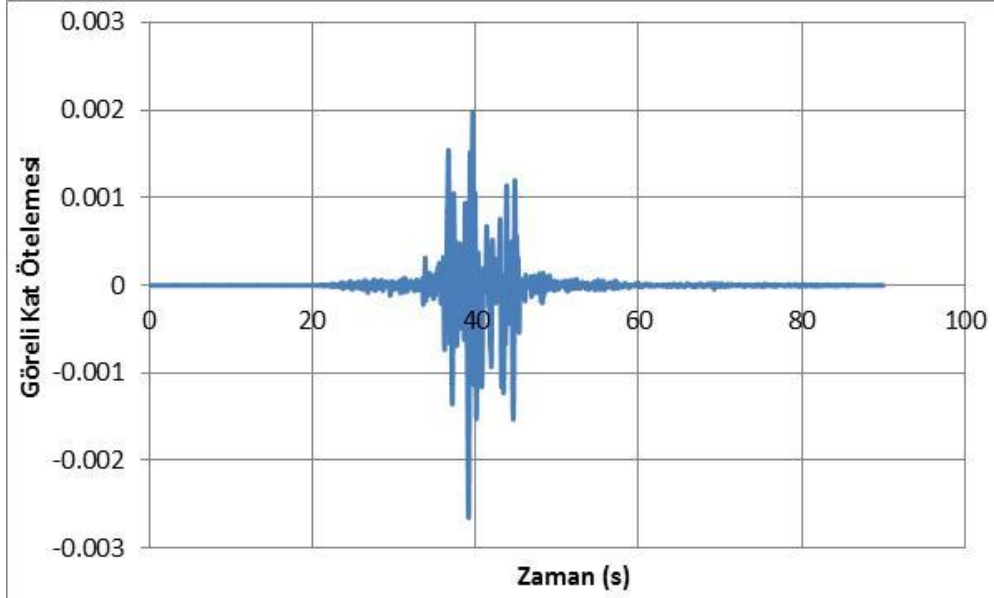
Şekil 5.85 : 0.64718_CHICHI_TCU074-N Depremi.



Şekil 5.86 : 0.64718_CHICHI_TCU074-N Depremi.

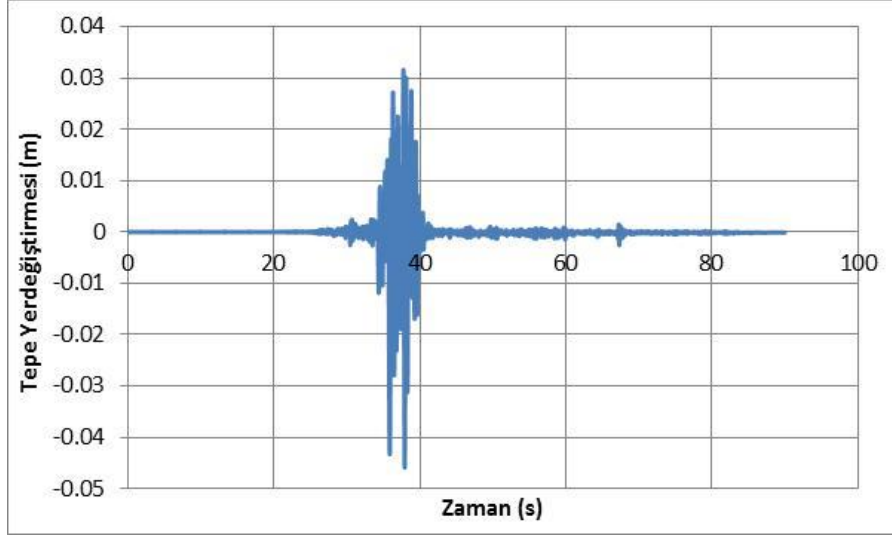


Şekil 5.87 : 0.64718_CHICHI_TCU074-N Depremi.

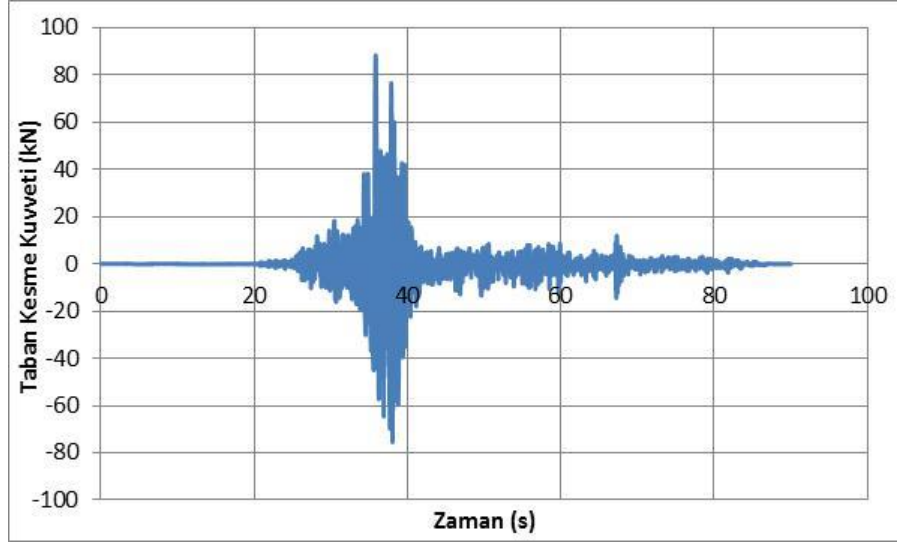


Şekil 5.88 : 0.64718_CHICHI_TCU074-N Depremi.

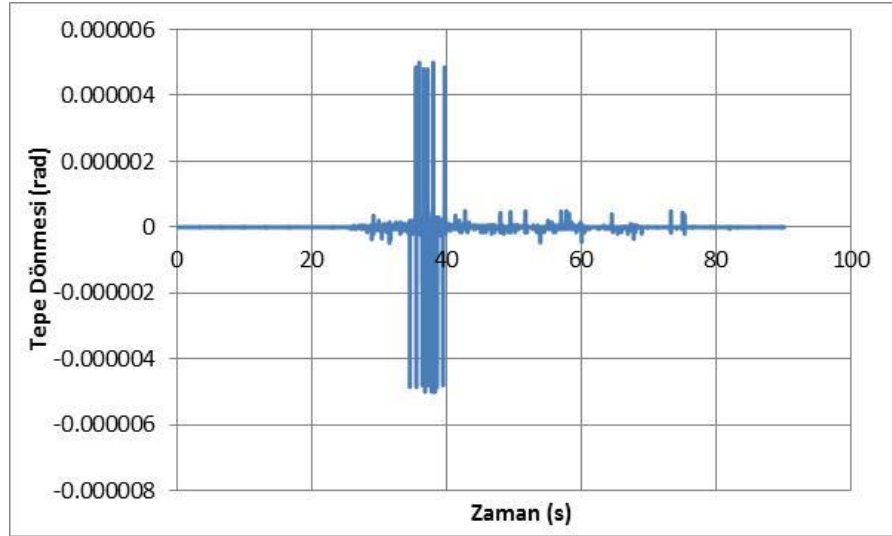
0.64718 katsayısı ile küçültülerek tasarım ivme spektrumuna benzetilen ve 90.00 s süreye sahip olan *Chi Chi depremi* etkisinde *Tip0* modelinin analiz sonuçları elde edilmiştir. Buna göre Şekil 5.85’de tepe yerdeğiştirmesi-zaman, Şekil 5.86’da taban kesme kuvveti-zaman, Şekil 5.87’de tepe dönmesi-zaman ve Şekil 5.88’de görel kat ötelemesi-zaman grafikleri gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre öndöküm düşey cephe panelinin deprem etkisinde yaptığı en büyük yatay yerdeğiştirme değeri 0.027 m dir. Panelde oluşan en büyük taban kesme kuvveti değeri ise 64.72 kN dur. Ayrıca panelde oluşan en büyük tepe dönmesi 0.000005 rad, en büyük görel kat ötelemesi ise 0.0027 olarak hesaplanmıştır.



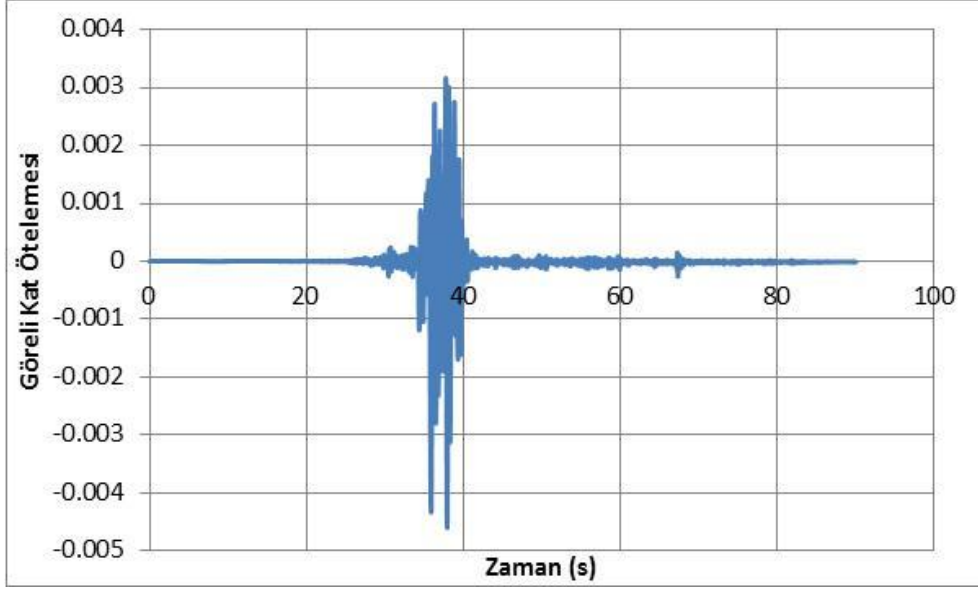
şekil 5.89 : 0.64764_CHICHI_CHY029-E Depremi.



şekil 5.90 : 0.64764_CHICHI_CHY029-E Depremi.

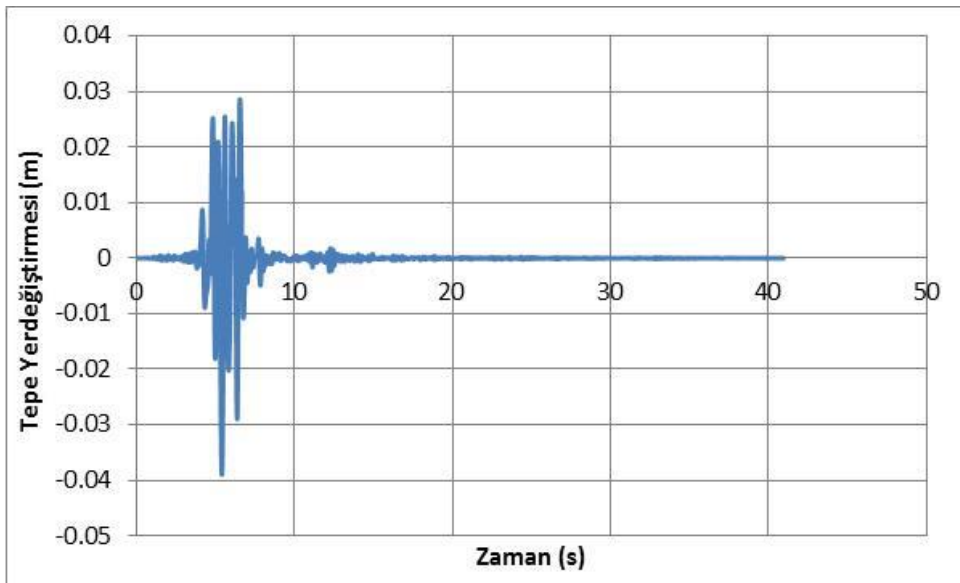


şekil 5.91 : 0.64764_CHICHI_CHY029-E Depremi.

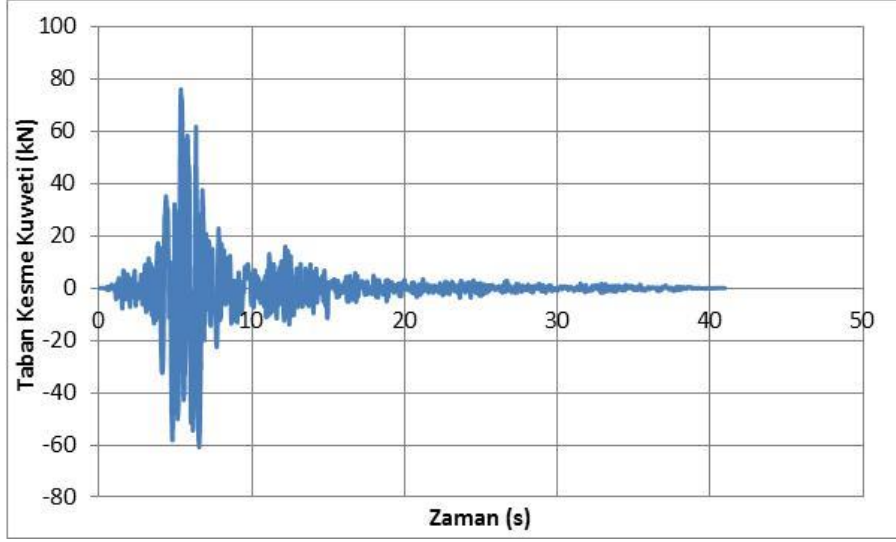


Şekil 5.92 : 0.64764_CHICHI_CHY029-E Depremi.

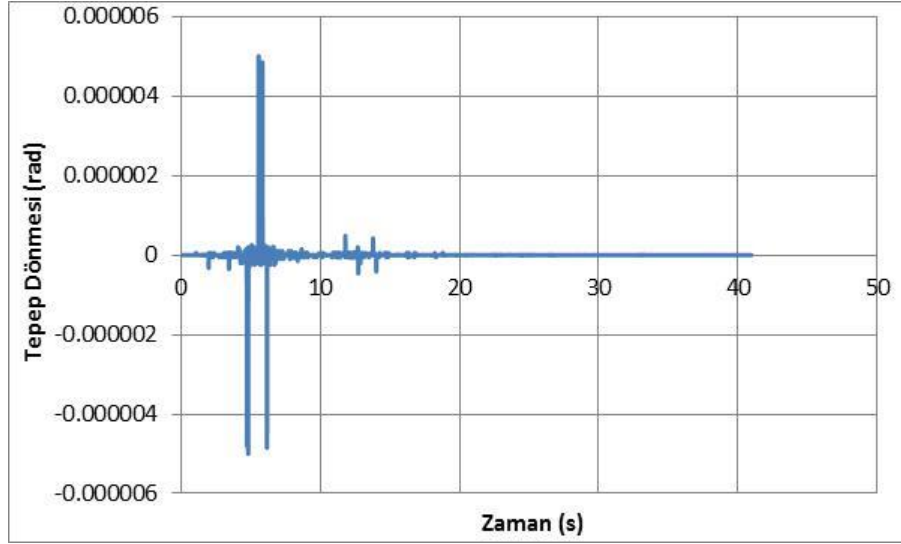
Chi Chi depremini spektruma benzetmek amacıyla 0.64764 katsayısı ile küçültülmüş olup, toplam uzunluğu 90.00 s dir. *Tip0* modelinin bu ölçeklendirilmiş depremin etkisinde analiz sonuçları elde edilmiştir. Buna göre Şekil 5.89’da tepe yerdeğiştirmesi-zaman, Şekil 5.90’da taban kesme kuvveti-zaman, Şekil 5.91’de tepe dönmesi-zaman ve Şekil 5.92’de görel kat ötelemesi-zaman grafikleri gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre öndöküm düzey cephe panelinin deprem etkisinde yaptığı en büyük yatay yerdeğiştirme değeri 0.046 m dir. Panelde oluşan en büyük taban kesme kuvveti değeri ise 88.41 kN dur. Ayrıca, paneldeki en büyük tepe dönmesi değeri 0.000005 rad, en büyük görel kat ötelemesi de 0.0046 olarak hesaplanmıştır.



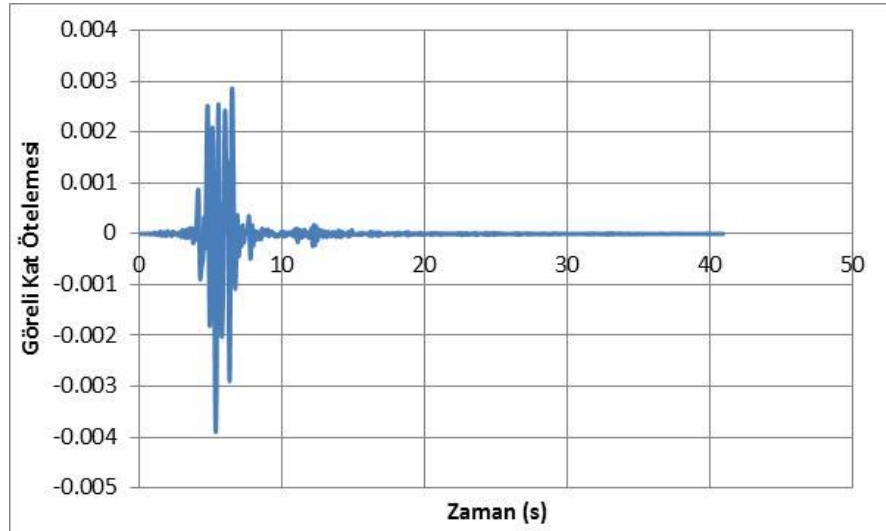
Şekil 5.93 : 0.67922_KOBE_TDO00 Depremi.



Şekil 5.94 : 0.67922_KOBE_TDO00 Depremi.

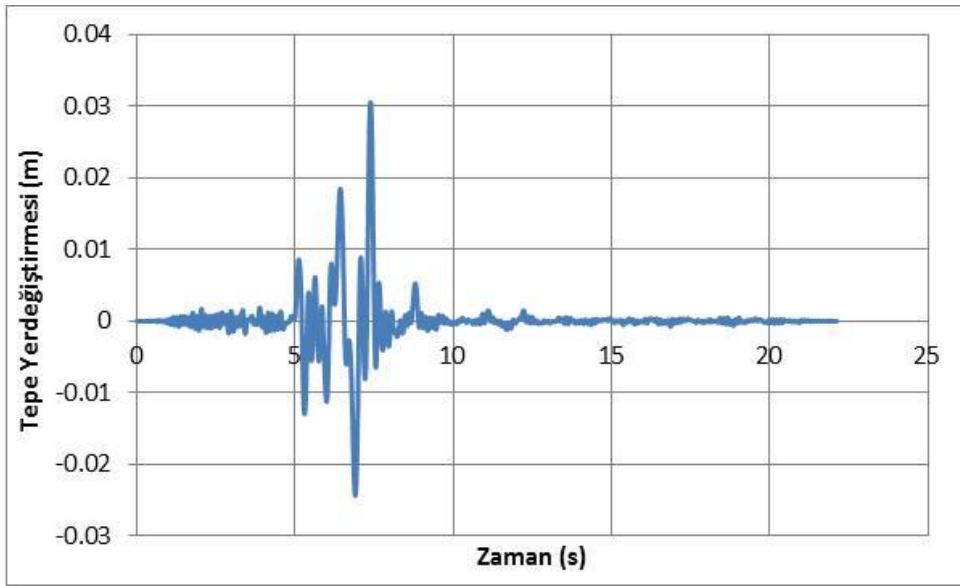


Şekil 5.95 : 0.67922_KOBE_TDO00 Depremi.

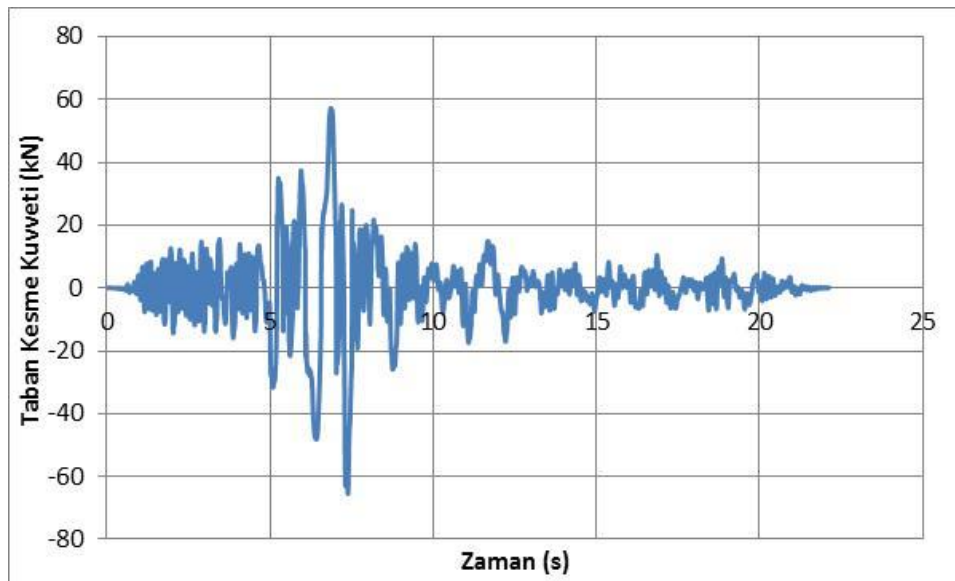


Şekil 5.96 : 0.67922_KOBE_TDO00 Depremi.

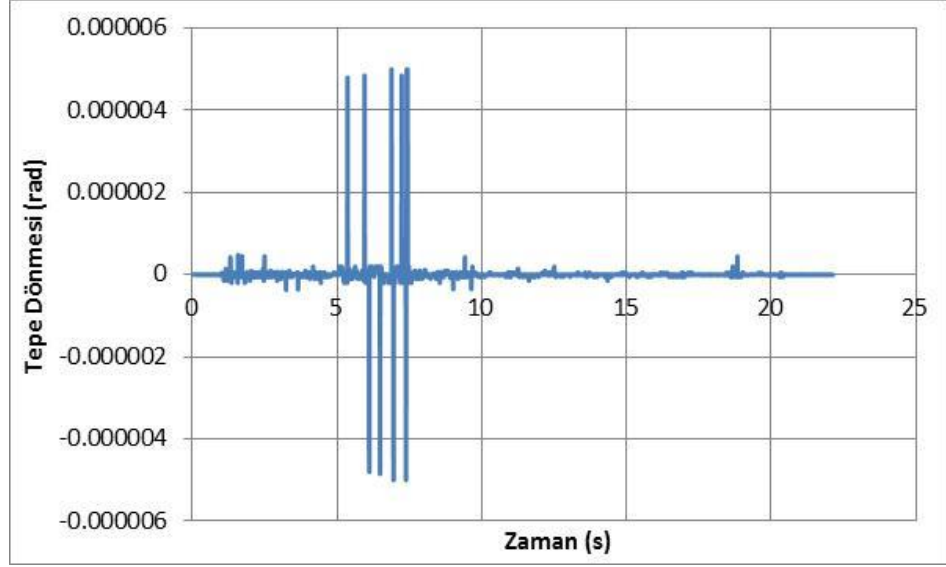
Spektruma benzetmek amacıyla 0.67922 katsayısı ile küçültülen ve 40.96 s lik uzunluğa sahip *Kobe depremi* etkisinde *Tip0* modelinin analiz sonuçları elde edilmiştir Buna göre Şekil 5.93’de tepe yerdeğiştirmesi-zaman, Şekil 5.94’de taban kesme kuvveti-zaman, Şekil 5.95’de tepe dönmesi-zaman ve Şekil 5.96’da görelî kat ötelemesi-zaman grafikleri gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre öndöküm düşey cephe panelinin deprem etkisinde yaptığı en büyük yatay yerdeğiştirme değeri 0.039 m dir. Panelde oluşan en büyük taban kesme kuvveti değeri ise 76.01 kN dur. Yine panel tepesinde oluşan en büyük tepe dönmesi 0.000005 rad, panelin yaptığı en büyük görelî kat ötelemesi ise 0.0039’dur.



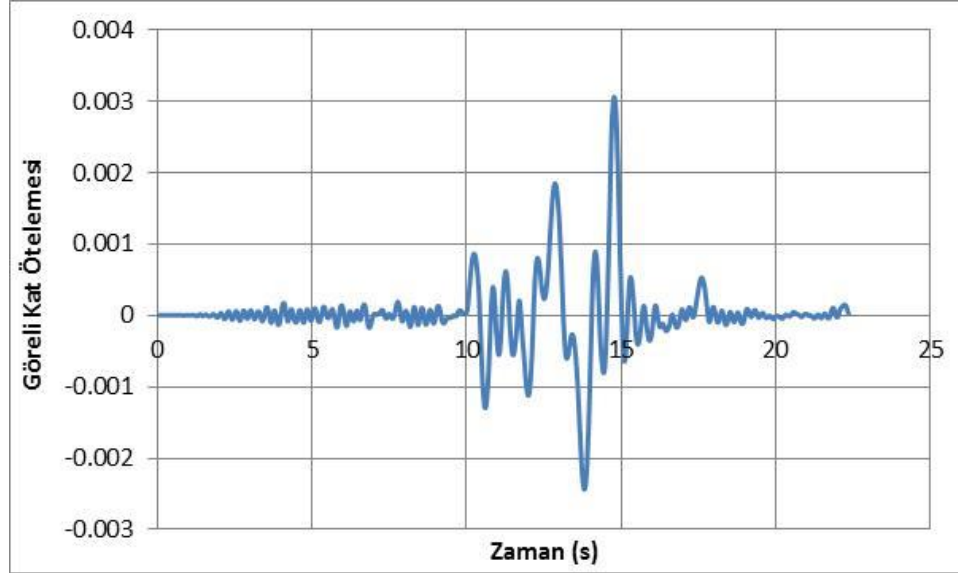
Şekil 5.97 : 0.68106_NORTHR_PAR—T Depremi.



Şekil 5.98 : 0.68106_NORTHR_PAR—T Depremi.



Şekil 5.99 : 0.68106_NORTHTR_PAR—T Depremi.



Şekil 5.100 : 0.68106_NORTHTR_PAR—T Depremi.

Farklı bir istasyondan seçilen *Northridge depremi* tasarım ivme spektrumuna benzetilmek için 0.68106 katsayısı ile küçültülmüş olup, uzunluğu 22.125 s dir. Seçilen bu depremin etkisinde *Tip0* modelinin analiz sonuçları elde edilmiştir. Buna göre Şekil 5.97’de tepe yerdeğiştirmesi-zaman, Şekil 5.98’de taban kesme kuvveti-zaman, Şekil 5.99’da tepe dönmesi-zaman ve Şekil 5.100’de görel kat ötelemesi-zaman grafikleri gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre öndöküm düşey cephe panelinin deprem etkisinde yaptığı en büyük yatay yerdeğiştirme değeri 0.031 m dir. Panelde oluşan en büyük taban kesme kuvveti değeri ise 65.49 kN dur. Panelin tepesinde oluşan en büyük dönme değeri 0.000005 rad, panelin yaptığı en büyük görel kat ötelemesi değeri ise 0.0031 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.4 : Tip0 modeli zaman tanım alanı sonuçları.

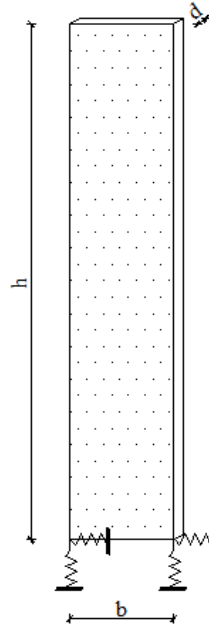
Deprem	Tepe Yerdeğiştirmesi (m)	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Tepe Dönmesi (rad)	Görelî Kat Ötelemesi
0.7134_SUPERST_BPTS315	0.018	48.38	0.00000485	0.0018
0.9323_NORTHR_SYL360	0.023	58.48	0.00000510	0.0023
0.61125_NORTHR_RAN000	0.066	99.28	0.00000500	0.0066
0.64718_CHICHI_TCU074N	0.027	64.72	0.00000500	0.0027
0.64764_CHICHI_CHY029E	0.046	88.41	0.00000500	0.0046
0.67922_KOBE_TDO000	0.039	76.01	0.00000500	0.0039
0.68106_NORTHR_PAR--T	0.031	65.49	0.00000500	0.0031
Ortalama	0.036	71.54	0.00000499	0.0036
Standart Sapma	0.015	16.32	0.000000068	0.0015
Standard Sapma/Ortalama	0.429	0.228	0.014	0.429

Tip0 modelinin farklı istasyonlardan seçilen ve farklı katsayılar ile çarpılan 7 deprem etkisinde tepe yerdeğiştirme ve taban kesme kuvvetleri elde edilmiştir. Çizelge 5.4’de *Tip0* modeline ait sonuçlar gösterilmektedir. Sistemde oluşan tepe yerdeğiştirme değêrlerinin ortalaması 0.036 m, standart sapması 0.015 m olarak elde edilmiştir. Taban kesme kuvvetlerinin ortalaması 71.54 kN, standart sapması ise 16.32 kN olarak elde edilmiştir. Tepe yerdeğiştirmesi için standart sapmanın ortalamaya değêrine oranı 0.429, taban kesme kuvveti değêrleri için ise 0.228 olarak elde edilmiştir. Ayrıca betonarme panelinde oluşan tepe dönmesi değêrlerinin ortalaması 0.00000499 rad, standart sapma değêri ise 0.000000068 dir. Panelin yaptığı görelî kat ötelemelerinin ortalaması 0.0036 iken standart sapma değêri de 0.0015 olarak elde edilmiştir. Tepe dönmesi değêrleri için standart sapmanın ortalamaya oranı 0.014, görelî kat ötelemeleri değêrleri için ise bu oran 0.429 olarak elde edilmiştir.

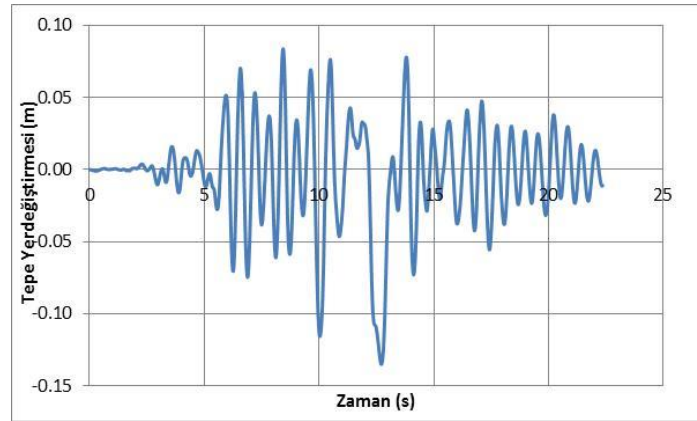
5.3.5.2 *Tip1* modeli

Temele düşey ve yatay yaylar ile bağlanan, *Tip1* olarak adlandırılan öndöküm düşey cephe paneli Şekil 5.101’ de görölmektedir.

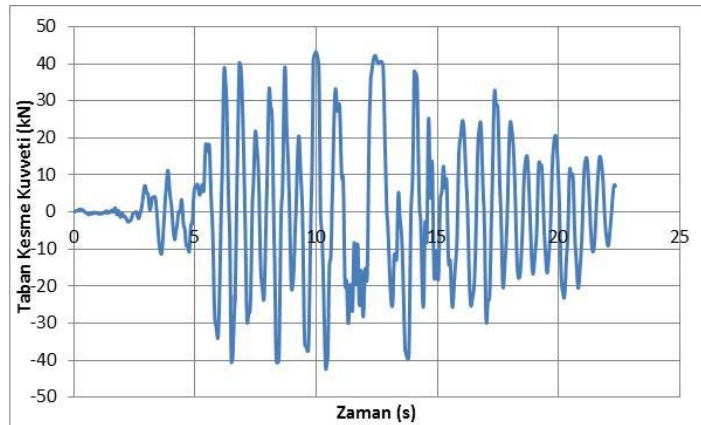
Tip1 modelinin, seçilen ölçeklendirilmiş 7 deprem kaydının etkisinde *Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analizi* yapılmıştır. Analizler sonucunda, her deprem etkisinde öndöküm panelde meydana gelen tepe yerdeğiştirmesinin, taban kesme kuvvetinin, tepe dönmesinin ve görelî kat ötelemelerinin zamana bağli olarak ilişkileri elde edilmiştir.



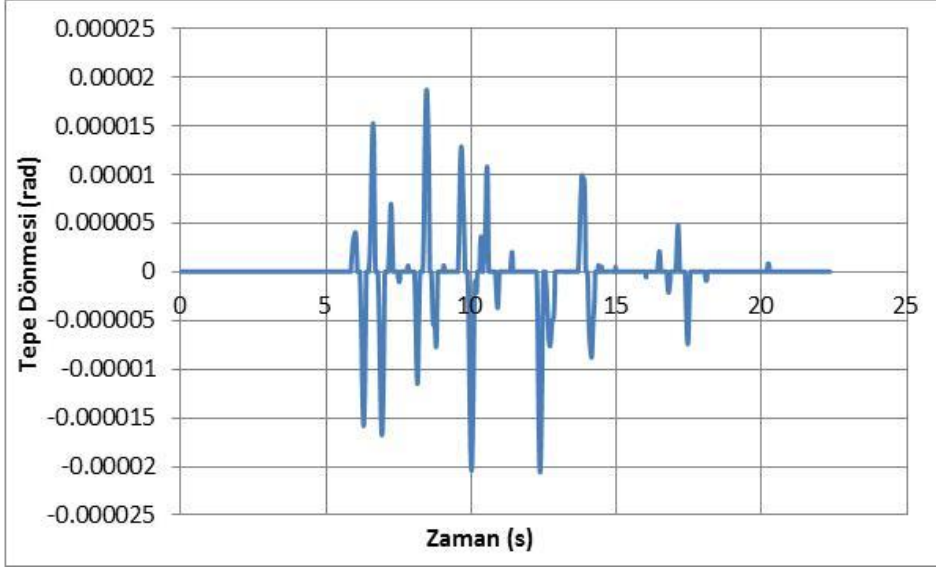
Şekil 5.101 : *Tip1* modeli.



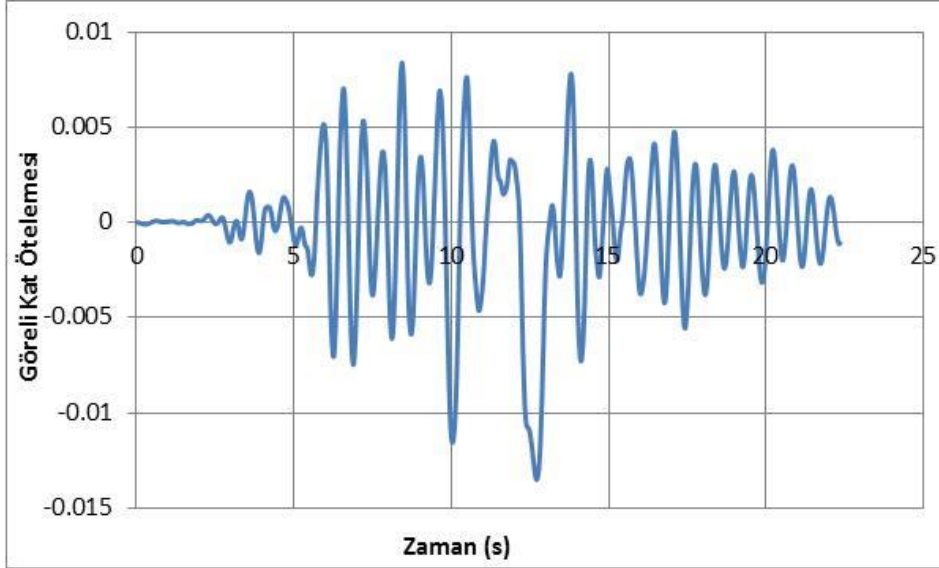
Şekil 5.102 : 0.7134_SUPERST-B-PTS315 Depremi.



Şekil 5.103 : 0.7134_SUPERST-B-PTS315 Depremi.

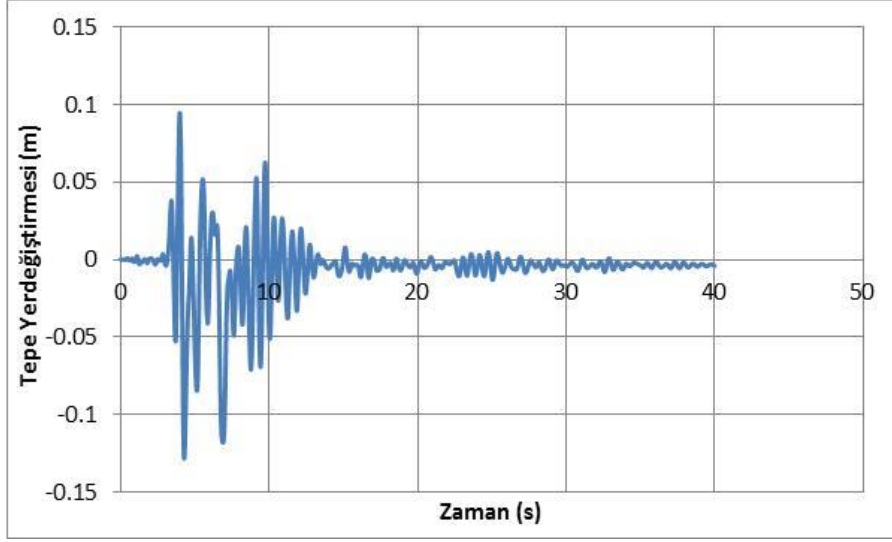


Şekil 5.104 : 0.7134_SUPERST-B-PTS315 Depremi.

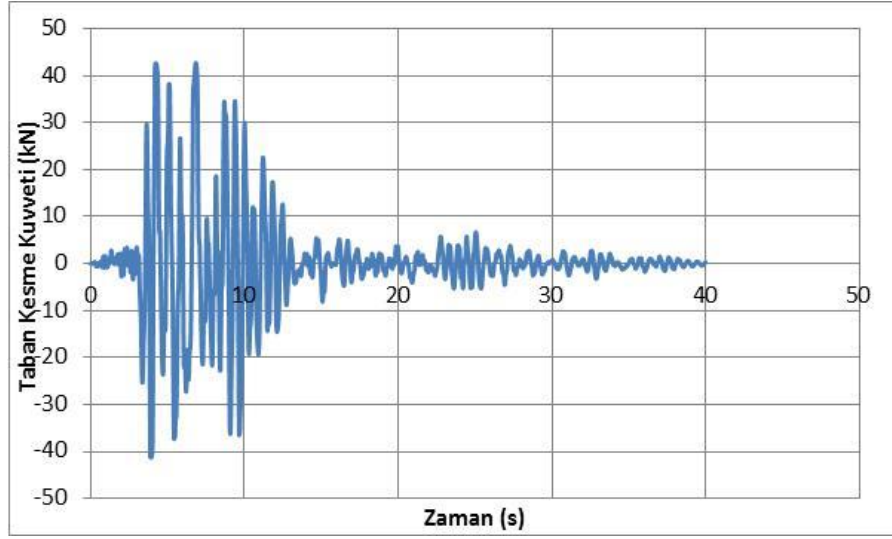


Şekil 5.105 : 0.7134_SUPERST-B-PTS315 Depremi.

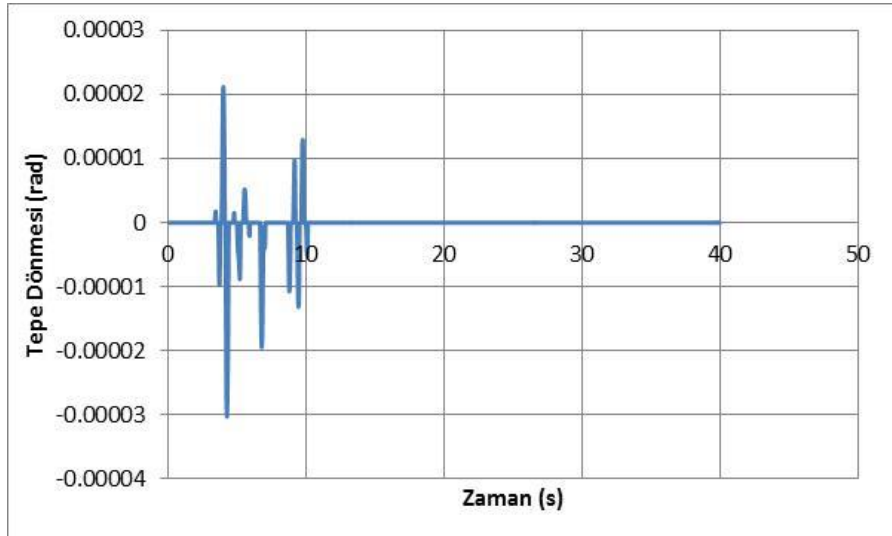
Spektruma benzetmek amacıyla 0.7134 kaysayısı ile küçültülen ve 22.35 s uzunluktaki *Superstition Hills* depremi etkisinde *Tip1* modelinin analiz sonuçları elde edilmiştir. Buna göre Şekil 5.102’de tepe yerdeğiştirmesi-zaman, Şekil 5.103’de taban kesme kuvveti-zaman, Şekil 5.104’de tepe dönmesi-zaman ve Şekil 5.105’de görel kat ötelemesi-zaman grafikleri gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre öndöküm düşey cephe panelinin deprem etkisinde yaptığı en büyük yatay yerdeğiştirme değeri 0.135 m dir. Panelde oluşan en büyük taban kesme kuvveti değeri ise 43.19 kN dur. Panelin tepesinde meydana gelen en büyük dönme 0.00002 rad iken panelin yaptığı en büyük görel kat ötelemesi oranı ise 0.0135 olarak elde edilmiştir.



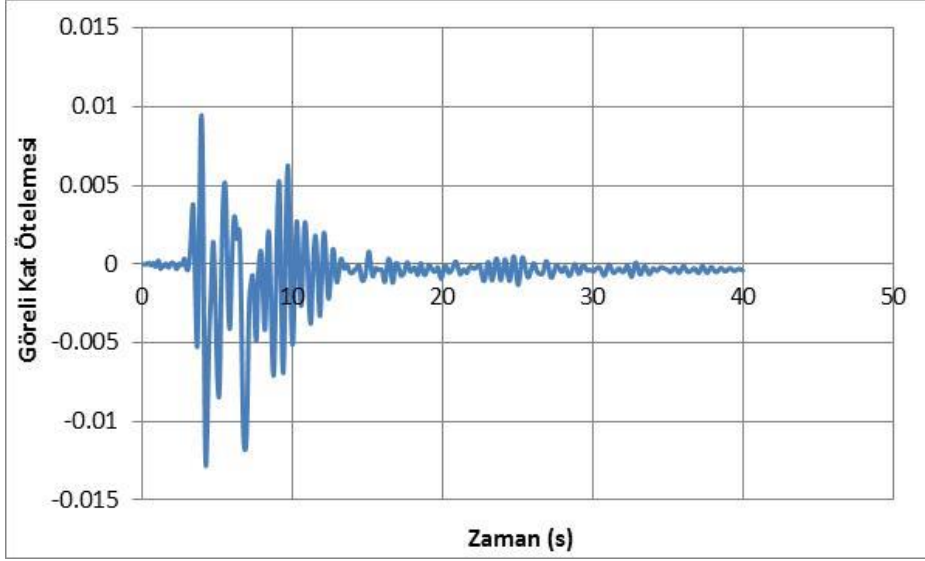
Şekil 5.106 : 0.9323_NORTH_R_SYL360 Depremi.



Şekil 5.107 : 0.9323_NORTH_R_SYL360 Depremi.

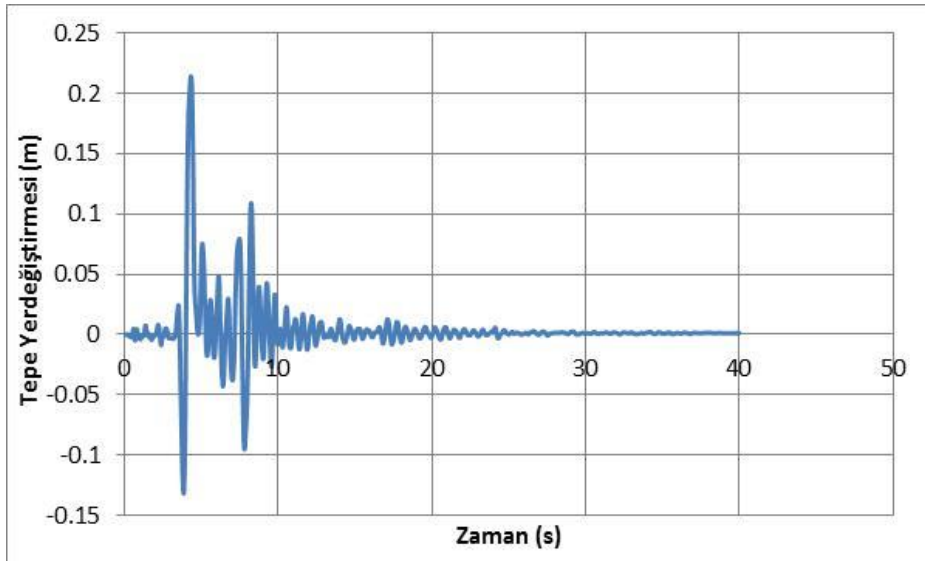


Şekil 5.108 : 0.9323_NORTH_R_SYL360 Depremi.

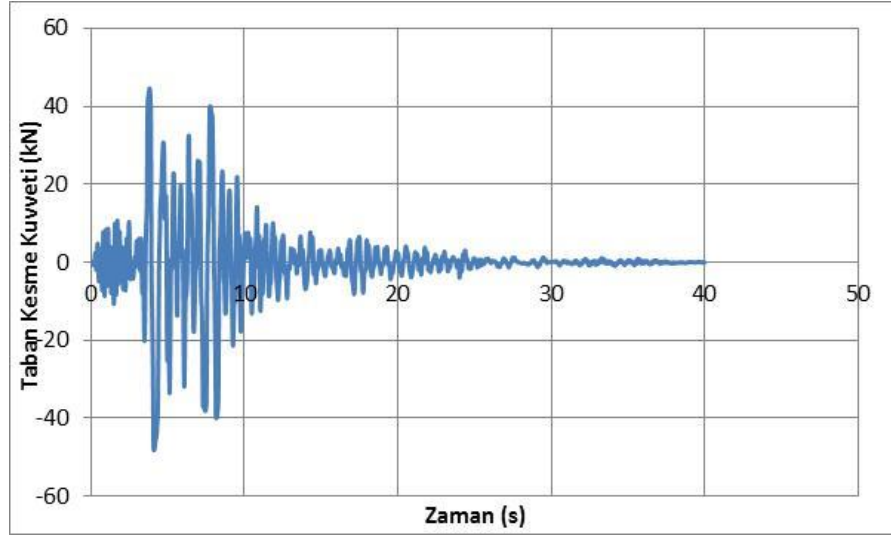


Şekil 5.109 : 0.9323_NORTHR_SYL360 Depremi.

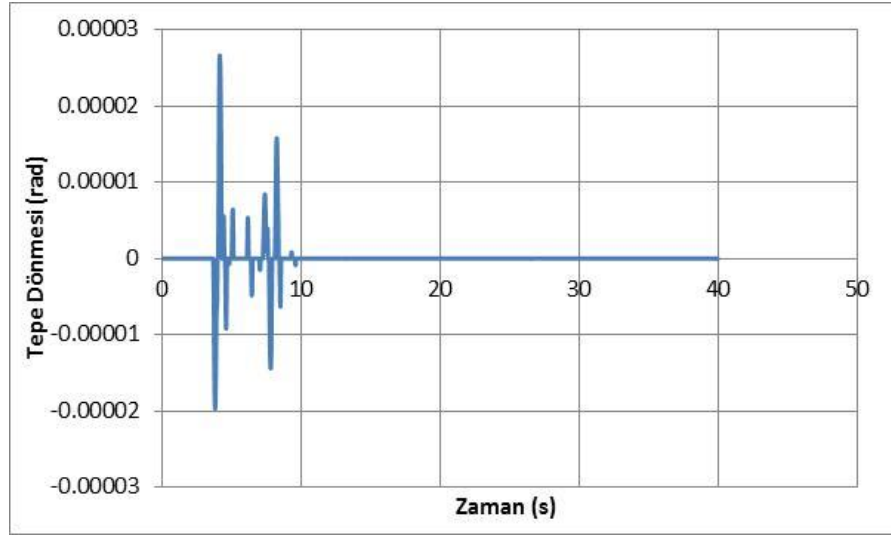
0.9323 katsayısı ile değiştirilerek tasarım ivme spektrumu ile uyumlu hale getirilen ve 40.00 s uzunluğa sahip *Northridge depremi* etkisinde *Tip1* modelinin analiz sonuçları elde edilmiştir. Buna göre Şekil 5.106'da tepe yerdeğiştirmesi-zaman, Şekil 5.107'de taban kesme kuvveti-zaman, Şekil 5.108'da tepe dönmesi-zaman ve Şekil 5.109'da görel kat ötelemesi-zaman grafikleri gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre öndöküm düşey cephe panelinin deprem etkisinde yaptığı en büyük yatay yerdeğiştirme değeri 0.128 m dir. Panelde oluşan en büyük taban kesme kuvveti değeri ise 42.69 kN dur. Ayrıca, panelin tepesinde meydana gelen en büyük dönme 0.00003 rad iken panelin yaptığı en büyük görel kat ötelemesi oranı ise 0.0128 olarak elde edilmiştir.



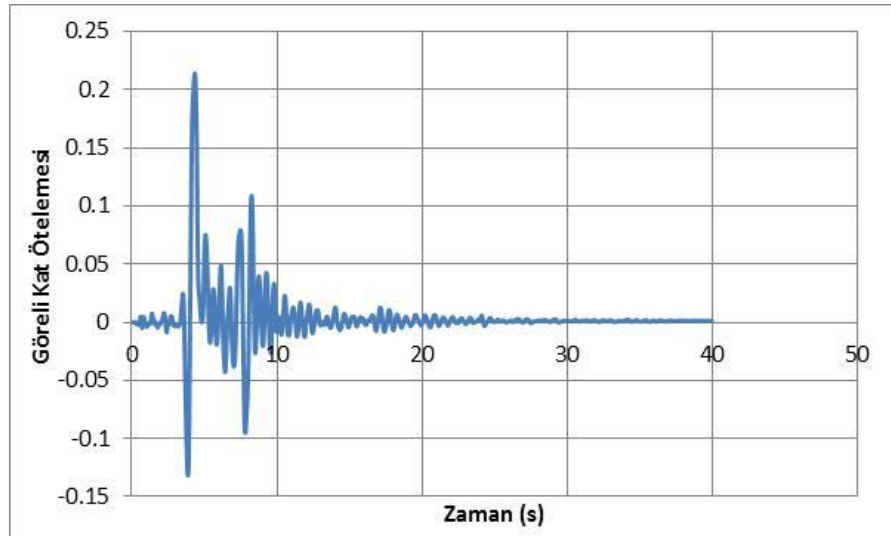
Şekil 5.110 : 0.61125_NORTHR_RAN000 Depremi.



Şekil 5.111 : 0.61125_NORTHR_RAN000 Depremi.

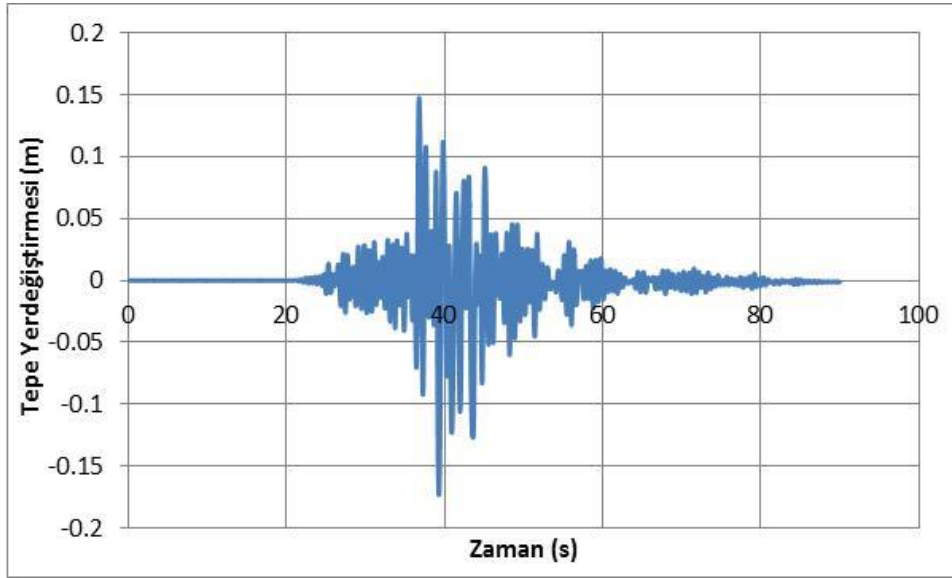


Şekil 5.112 : 0.61125_NORTHR_RAN000 Depremi.

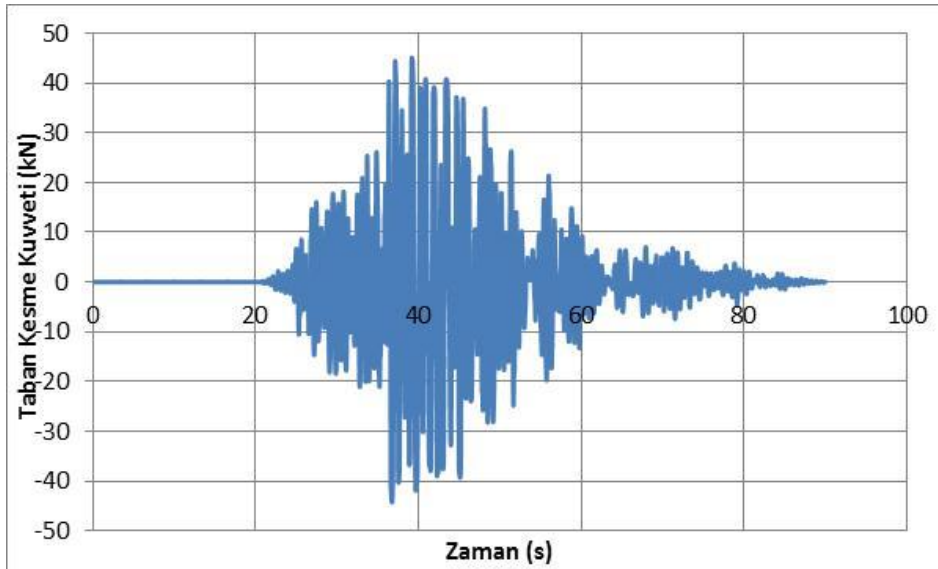


Şekil 5.113 : 0.61125_NORTHR_RAN000 Depremi.

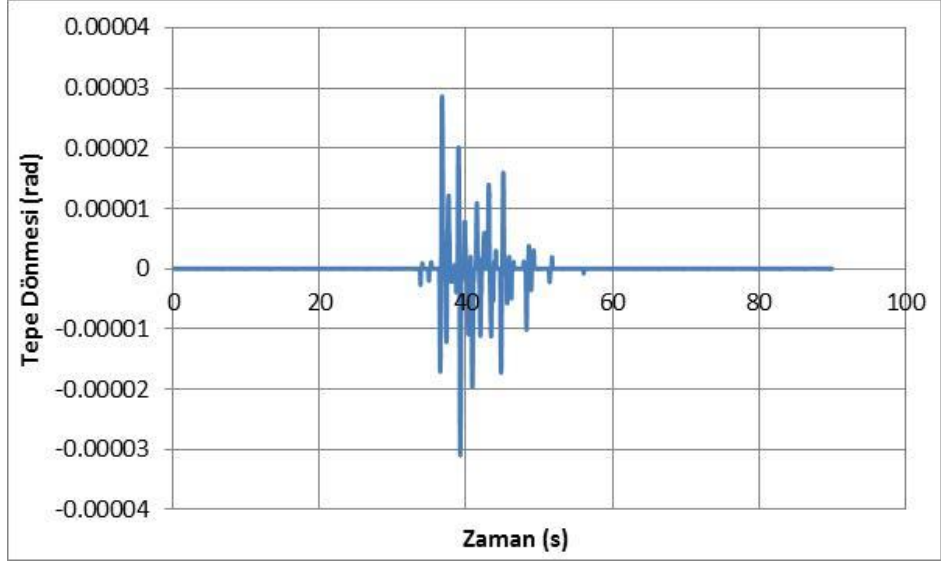
Farklı bir istasyondan alınan *Northridge depremi*, spektrum eğrisine benzetmek amacıyla 0.61125 katsayısı ile küçültülmüş olup, 40.00 s uzunluğundadır. *Tip1* modeli bu deprem altında analiz edilerek sonuçları elde edilmiştir. Buna göre Şekil 5.110'da tepe yerdeğiştirmesi-zaman, Şekil 5.111'de taban kesme kuvveti-zaman, Şekil 5.112'de tepe dönmesi-zaman ve Şekil 5.113'de görelî kat ötelemesi-zaman grafikleri gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre öndöküm düşey cephe panelinin deprem etkisinde yaptığı en büyük yatay yerdeğiştirme değeri 0.214 m dir. Panelde oluşan en büyük taban kesme kuvveti değeri ise 48.20 kN dur. Ayrıca, panelin tepesinde meydana gelen en büyük dönme 0.000026 rad iken panelin yaptığı en büyük görelî kat ötelemesi oranı ise 0.0214 olarak elde edilmiştir.



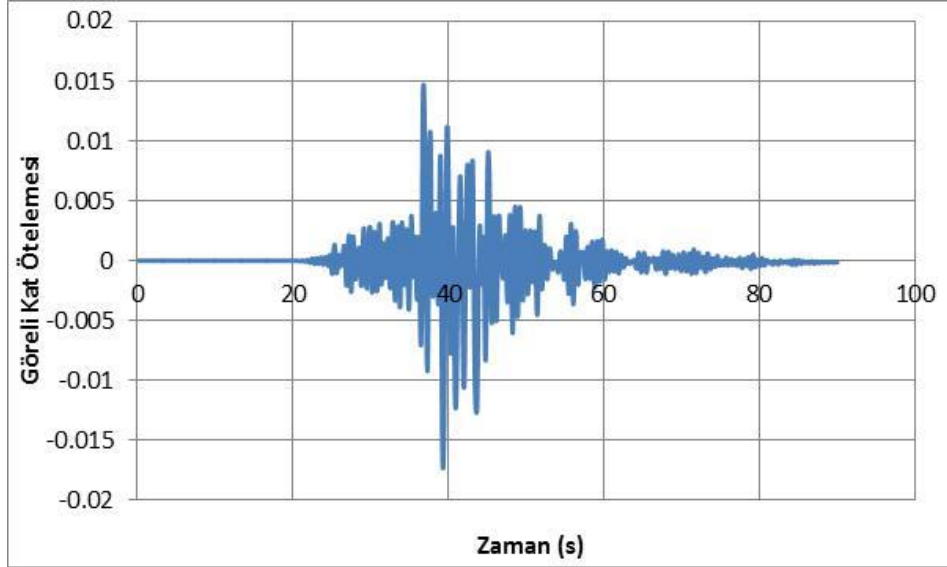
Şekil 5.114 : 0.64718_CHICHI_TCU074-N Depremi.



Şekil 5.115 : 0.64718_CHICHI_TCU074-N Depremi.

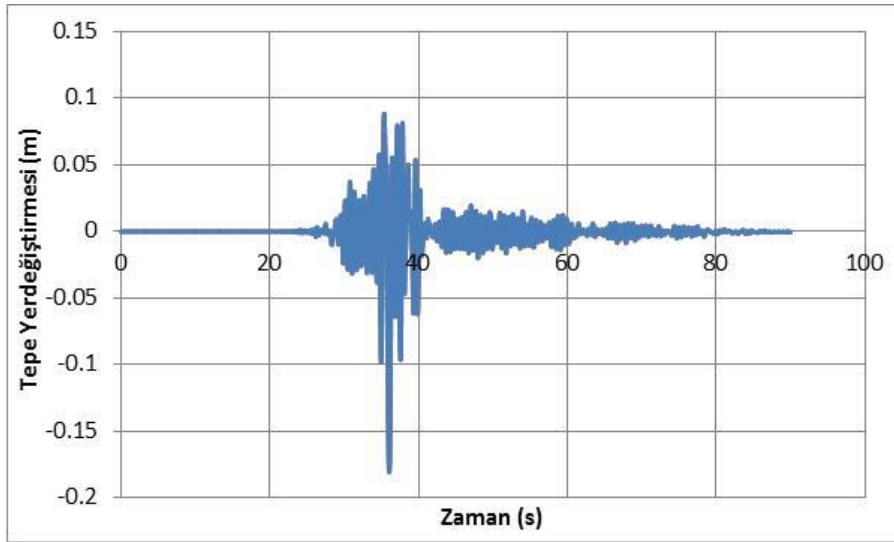


Şekil 5.116 : 0.64718_CHICHI_TCU074-N Depremi.

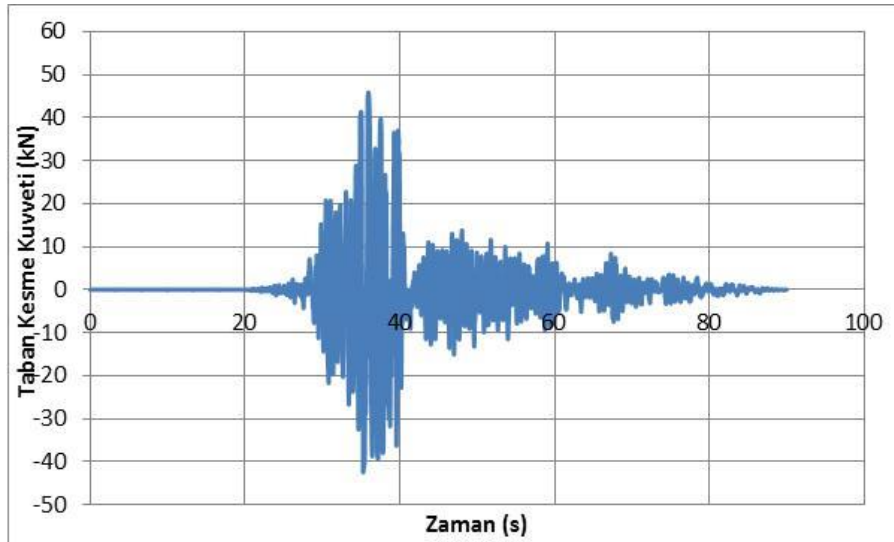


Şekil 5.117 : 0.64718_CHICHI_TCU074-N Depremi.

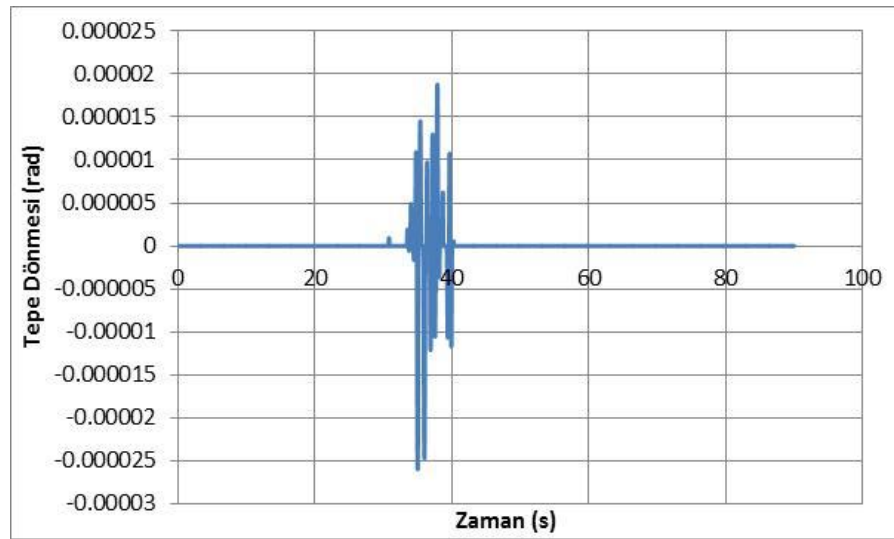
Spektrum eğrisine benzetmek amacıyla 0.64718 katsayısı ile küçültülen, 90.00 s uzunluğa sahip *Chi Chi depremi* etkisinde *Tip1* modelinin analiz sonuçları elde edilmiştir. Buna göre Şekil 5.114’de tepe yerdeğiştirmesi-zaman, Şekil 5.115’de taban kesme kuvveti-zaman, Şekil 5.116’da tepe dönmesi-zaman ve Şekil 5.117’de görel kat ötelemesi-zaman grafikleri gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre öndöküm düşey cephe panelinin deprem etkisinde yaptığı en büyük yatay yerdeğiştirme değeri 0.173 m dir. Panelde oluşan en büyük taban kesme kuvveti değeri ise 45.08 kN dur. Ayrıca, panelin tepesinde meydana gelen en büyük dönme 0.00003 rad iken panelin yaptığı en büyük görel kat ötelemesi oranı ise 0.0173 olarak elde edilmiştir.



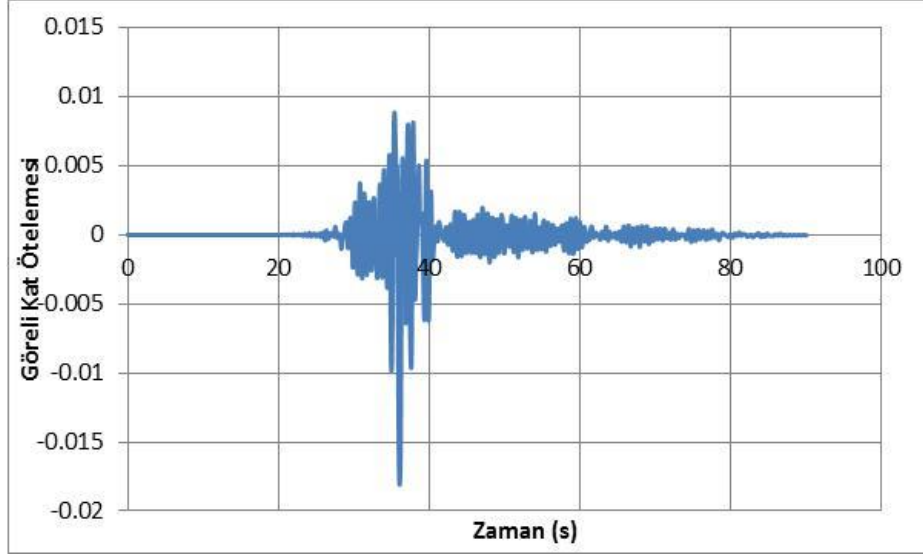
Şekil 5.118 : 0.64764_CHICHI_CHY029-E Depremi.



Şekil 5.119 : 0.64764_CHICHI_CHY029-E Depremi.

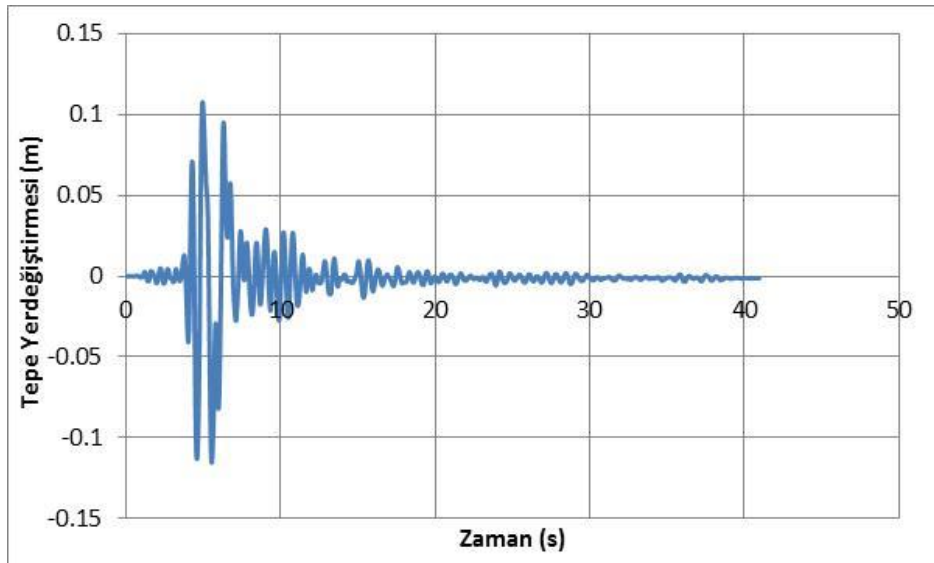


Şekil 5.120 : 0.64764_CHICHI_CHY029-E Depremi.

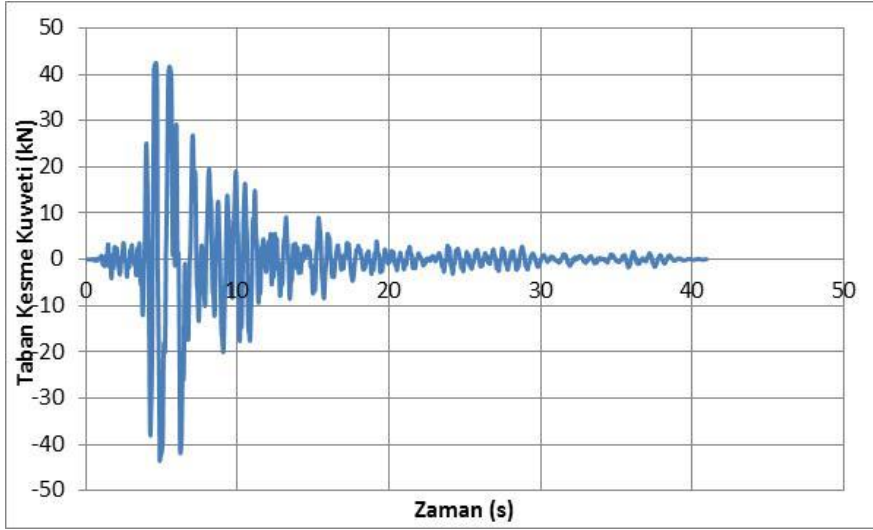


Şekil 5.121 : 0.64764_CHICHI_CHY029-E Depremi.

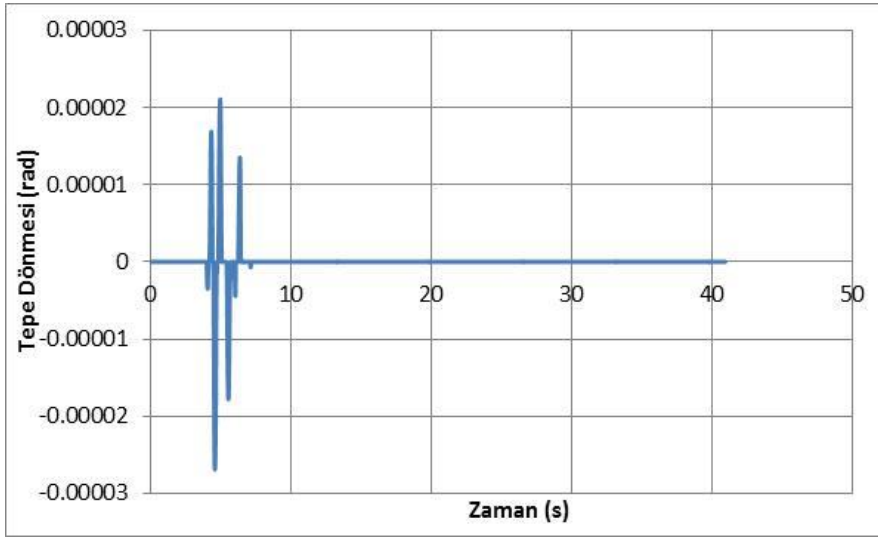
0.64764 katsayısı ile küçültülerek spektrumla benzeştirilen ve 90.00 s süreye sahip, farklı istasyondan alınan *Chi Chi* depremi etkisinde *Tip1* modelinin analiz sonuçları elde edilmiştir. Buna göre Şekil 5.118’de tepe yerdeğiştirmesi-zaman, Şekil 5.119’da taban kesme kuvveti-zaman, Şekil 5.120’de tepe dönmesi-zaman ve Şekil 5.121’de görel kat ötelemesi-zaman grafikleri gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre öndöküm düşey cephe panelinin deprem etkisinde yaptığı en büyük yatay yerdeğiştirme değeri 0.181 m dir. Panelde oluşan en büyük taban kesme kuvveti değeri ise 45.90 kN dur. Ayrıca, panelin tepesinde meydana gelen en büyük dönme 0.000026 rad iken panelin yaptığı en büyük görel kat ötelemesi oranı ise 0.0181 olarak elde edilmiştir.



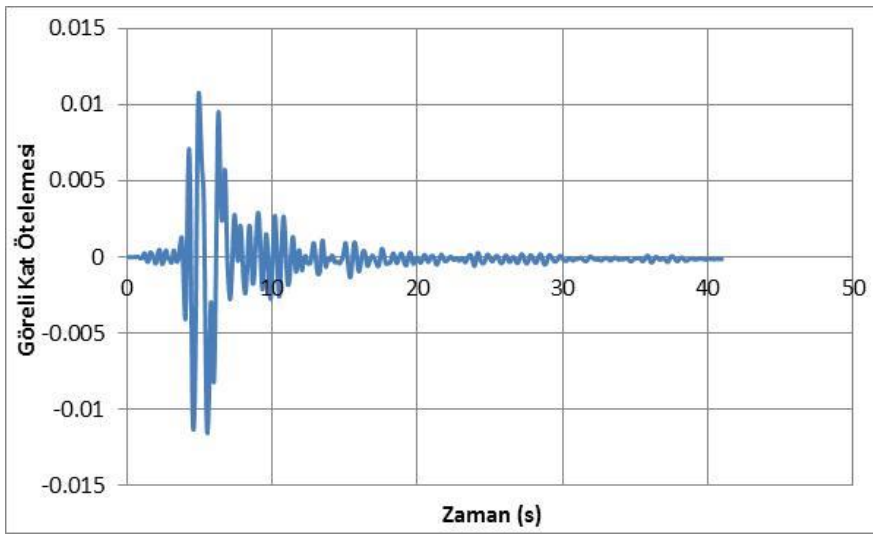
Şekil 5.122 : 0.67922_KOBE_TDO000 Depremi.



Şekil 5.123 : 0.67922_KOBE_TDO000 Depremi.

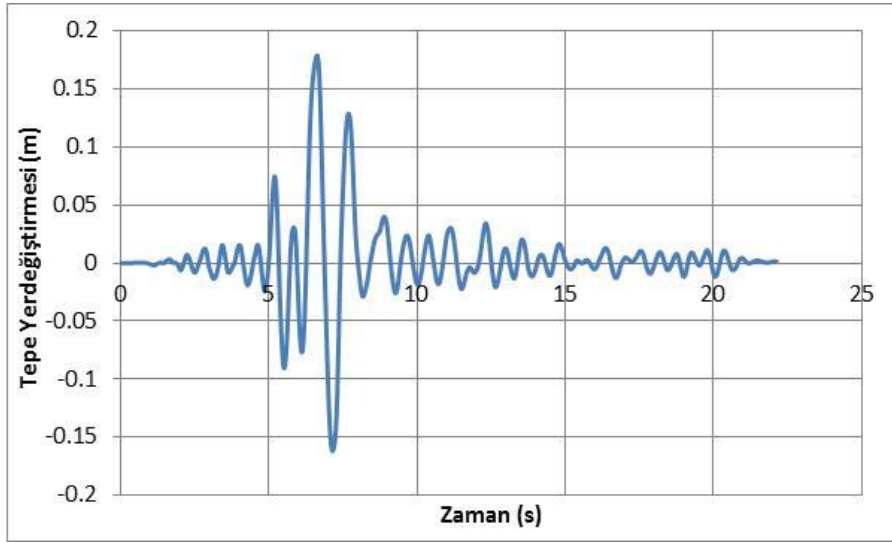


Şekil 5.124 : 0.67922_KOBE_TDO000 Depremi.

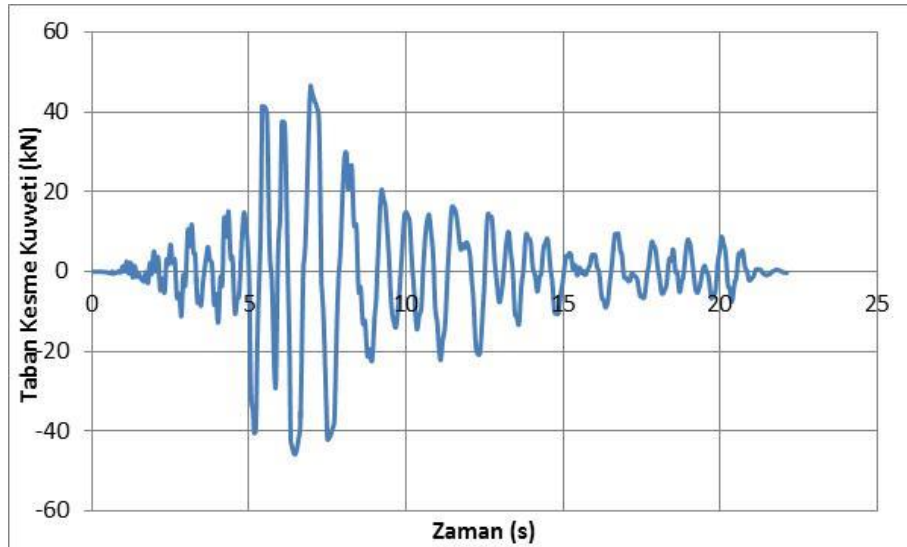


Şekil 5.125 : 0.67922_KOBE_TDO000 Depremi.

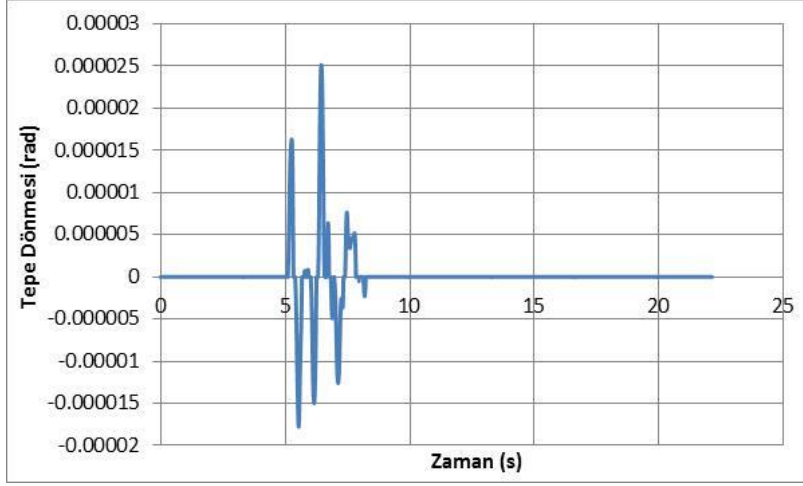
Spektrum eğrisine benzetmek amacıyla 0.67922 katsayısı ile değiştirilmiş 40.96 s süreye sahip *Kobe depremi* etkisinde *Tip1* modelinin analiz sonuçları elde edilmiştir. Buna göre Şekil 5.122’de tepe yerdeğiştirmesi-zaman, Şekil 5.123’de taban kesme kuvveti-zaman, Şekil 5.124’de tepe dönmesi-zaman ve Şekil 5.125’de görelî kat ötelemesi-zaman grafikleri gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre öndöküm düşey cephe panelinin deprem etkisinde yaptığı en büyük yatay yerdeğiştirme değeri 0.115 m dir. Panelde oluşan en büyük taban kesme kuvveti değeri ise 43.56 kN dur. Ayrıca, panelin tepesinde meydana gelen en büyük dönme 0.000027 rad iken panelin yaptığı en büyük görelî kat ötelemesi oranı ise 0.0115 olarak elde edilmiştir.



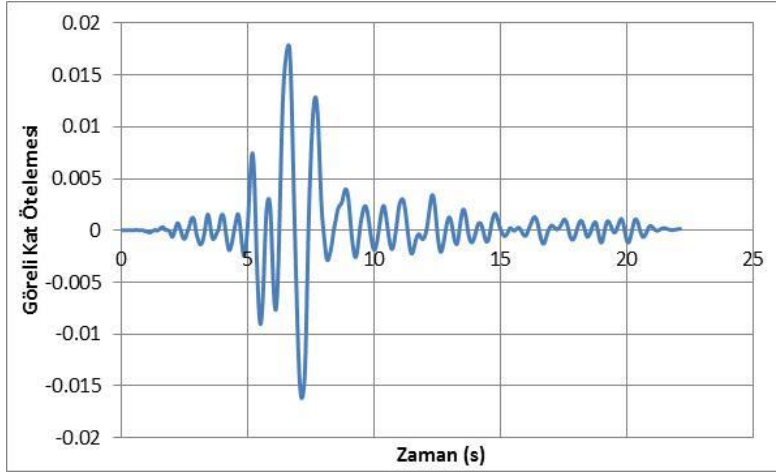
Şekil 5.126 : 0.68106_NORTHR_PAR—T Depremi.



Şekil 5.127 : 0.68106_NORTHR_PAR—T Depremi.



Şekil 5.128 : 0.68106_NORTHHR_PAR—T Depremi.



Şekil 5.129 : 0.68106_NORTHHR_PAR—T Depremi.

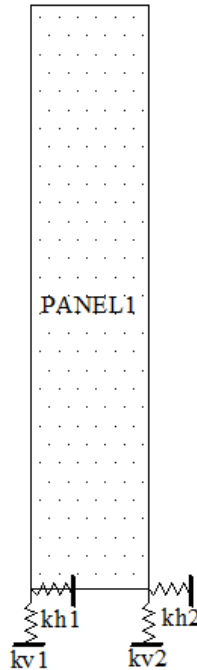
Spektrum eğrisine benzetmek amacıyla 0.68106 katsayısı ile değiştirilen 22.125 s süreye sahip, farklı istasyondan alınan *Northridge depremi* etkisinde *Tip1* modelinin analiz sonuçları elde edilmiştir. Buna göre Şekil 5.126’da tepe yerdeğiştirmesi-zaman, Şekil 5.127’de taban kesme kuvveti-zaman, Şekil 5.128’de tepe dönmesi-zaman ve Şekil 5.129’da görel kat ötelemesi-zaman grafikleri gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre öndöküm düşey cephe panelinin deprem etkisinde yaptığı en büyük yatay yerdeğiştirme değeri 0.179 m dir. Panelde oluşan en büyük taban kesme kuvveti değeri ise 46.66 kN dur. Ayrıca, panelin tepesinde meydana gelen en büyük dönme 0.000025 rad iken panelin yaptığı en büyük görel kat ötelemesi oranı ise 0.0179 olarak elde edilmiştir.

Tip1 modelinin farklı istasyonlardan seçilen ve farklı katsayılar ile çarpılan 7 deprem etkisinde tepe yerdeğiştirme, taban kesme kuvveti, tepe dönmesi ve görel kat ötelemesi değeri elde edilmiştir.

Çizelge 5.5 : Tip1 modeli zaman tanım alanı sonuçları.

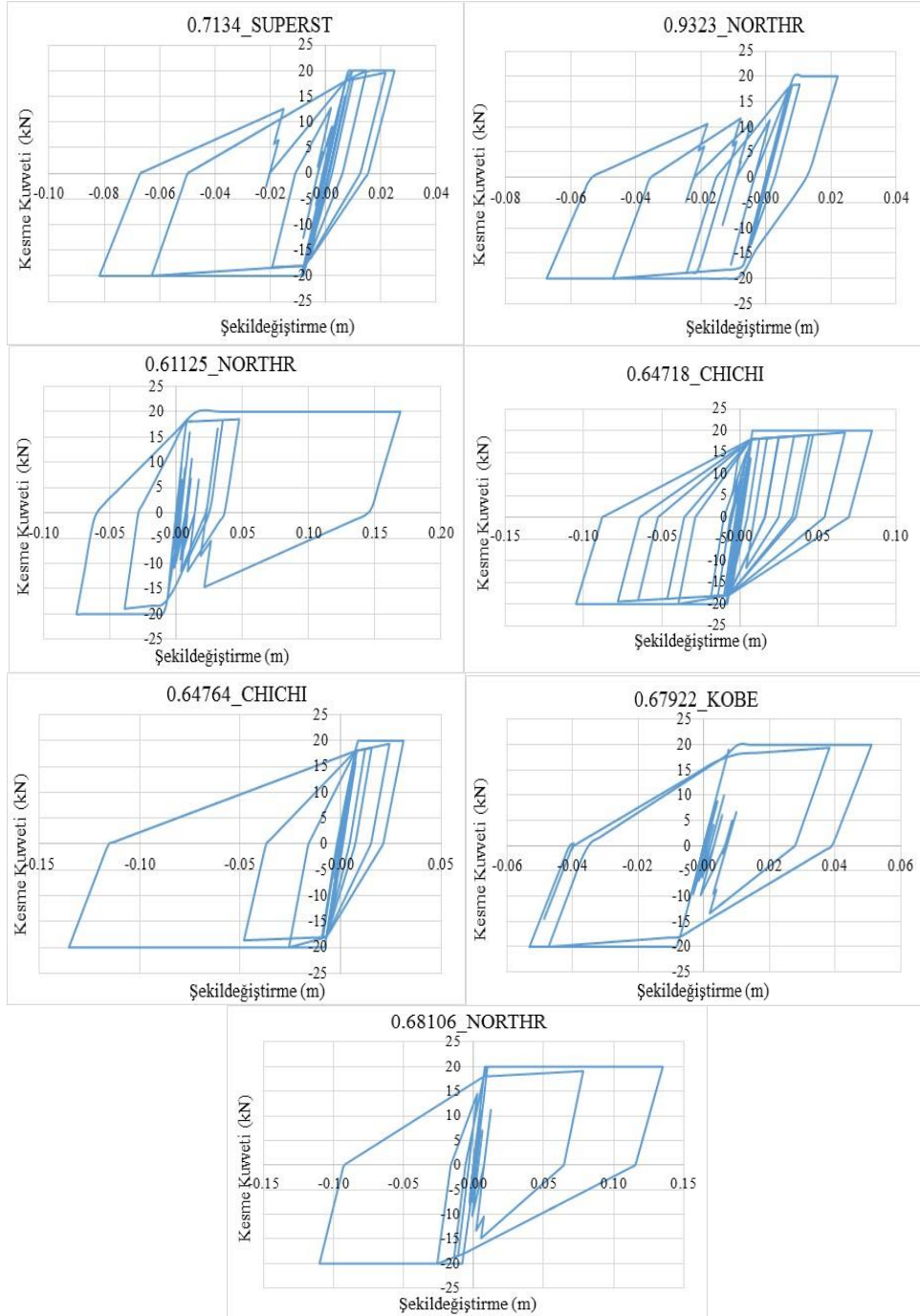
Deprem	Tepe Yerdeğiştirmesi (m)	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Tepe Dönmesi (rad)	Görelî Kat Ötelemesi
0.7134_SUPERST_BPTS315	0.135	43.193	0.000020595	0.0135
0.9323_NORTH_R_SYL360	0.128	42.688	0.000030284	0.0128
0.61125_NORTH_R_RAN000	0.214	48.196	0.000026620	0.0214
0.64718_CHICHI_TCU074N	0.173	45.079	0.000030943	0.0173
0.64764_CHICHI_CHY029E	0.181	45.903	0.000025988	0.0181
0.67922_KOBE_TDO000	0.115	43.555	0.000026907	0.0115
0.68106_NORTH_R_PAR--T	0.179	46.659	0.000025147	0.0179
Ortalama	0.161	45.039	0.000026640	0.0161
Standart Sapma	0.033	1.870	0.000003186	0.0033
Standard Sapma/Ortalama	0.203	0.042	0.120	0.203

Tip modeline ait sonuçlar Çizelge 5.5’de gösterilmiştir. Sistemde oluşan tepe yerdeğiştirme değerlerinin ortalaması 0.161 m, standart sapması 0.033 m olarak elde edilmiştir. Taban kesme kuvvetlerinin ortalaması 45.039 kN, standart sapması ise 1.870 olarak elde edilmiştir. Tepe yerdeğiştirmesi için standart sapmanın ortalama değerlerine oranı 0.203, taban kesme kuvveti değerleri için ise 0.042 olarak elde edilmiştir. Ayrıca betonarme panelinde oluşan tepe dönmesi değerlerinin ortalaması 0.0000266 rad, standart sapma değeri ise 0.0000032 dir. Panelin yaptığı görelî kat ötelemelerinin ortalaması 0.0161 iken standart sapma değeri de 0.0033 olarak elde edilmiştir. Tepe dönmesi değerleri için standart sapmanın ortalamaya oranı 0.120, görelî kat ötelemeleri değerleri için ise bu oran 0.203 olarak elde edilmiştir.



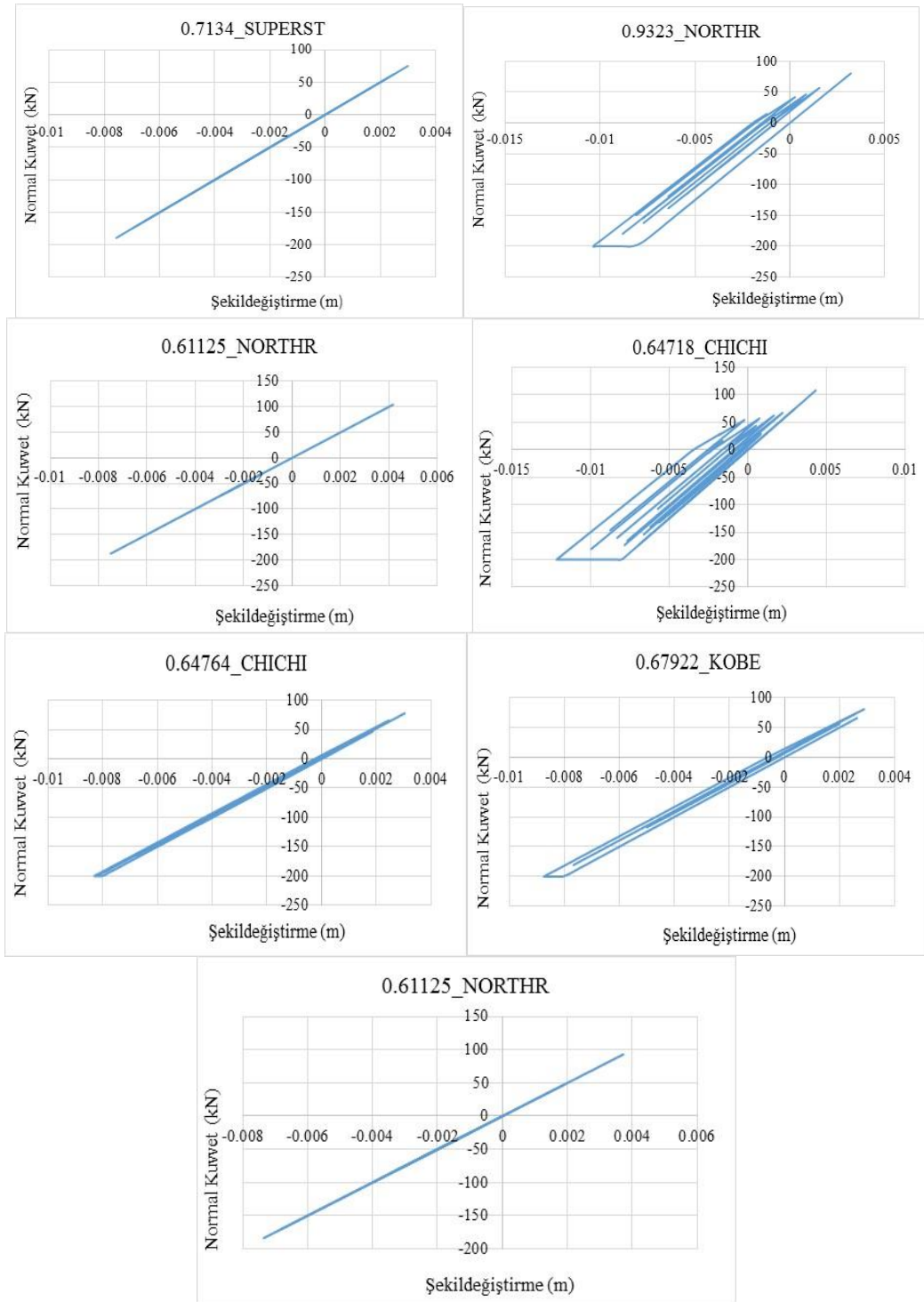
Şekil 5.130 : Tip1 modeli yay isimlendirilmesi.

Şekil 5.130’da *Tip1* modeline ait yayların isimleri verilmiştir. Yaylarda seçilen depremler etkisinde ortaya çıkan kuvvet-şekildeğiştirme ilişkilerine bu kısımda yer verilecektir.



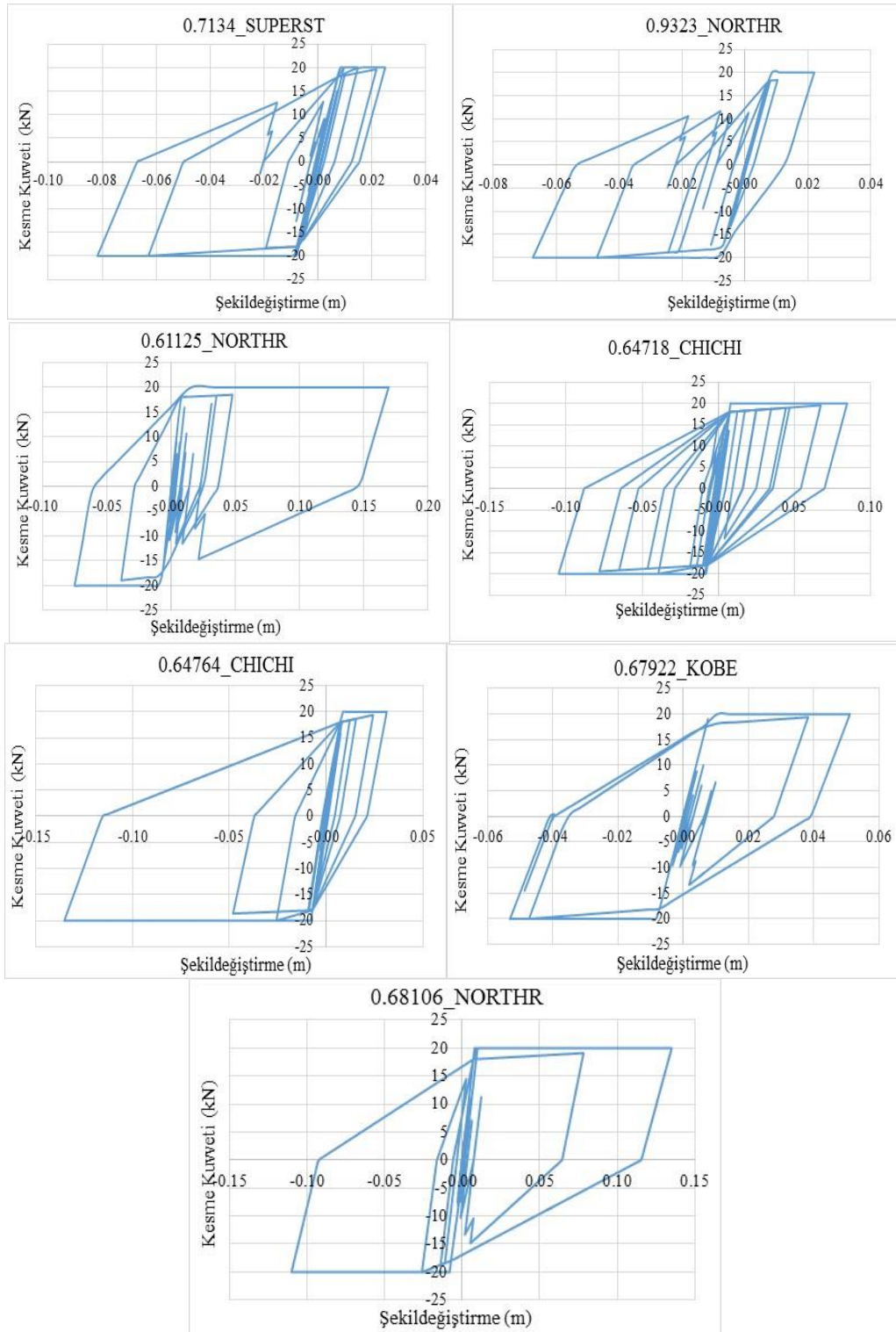
Şekil 5.131 : *kh1* yayı deprem etkisindeki kesme kuvveti-şekildeğiştirmesi.

Şekil 5.131’de *Tip1* modeline ait yatay doğrultudaki *kh1* yayının seçilen özel bir grup deprem etkisinde ortaya çıkan kesme kuvveti-şekildeğiştirme çevrimsel ilişkisi gözlemlenmektedir. Elde edilen sonuçlara göre doğrusal olmayan yayda tüm depremler sonucunda plastik şekildeğiştirme meydana gelmektedir.



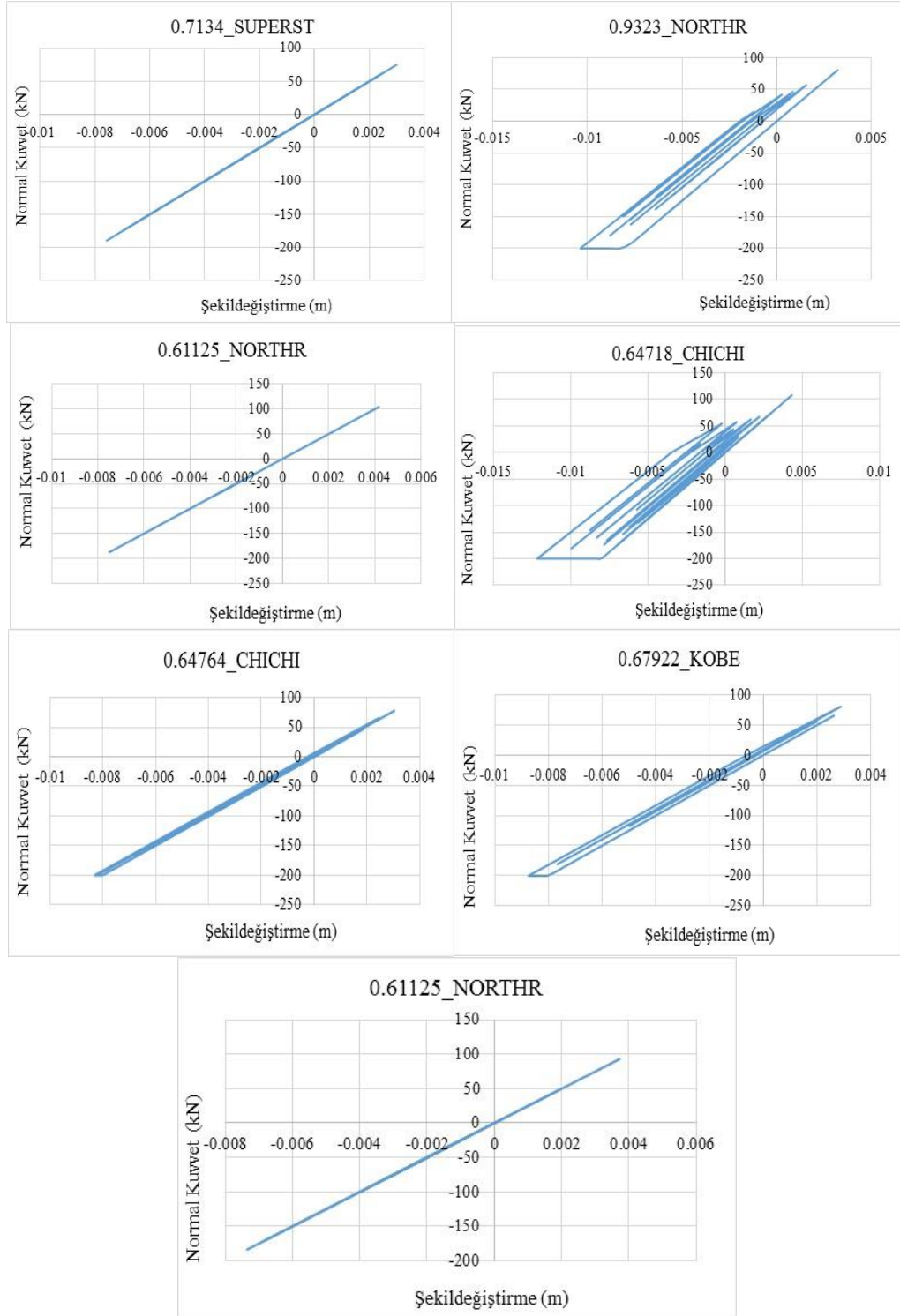
Şekil 5.132 : kv1 yayı deprem etkisindeki normal kuvvet-şekildeğiştirmesi.

Düşey doğrultudaki kv1 doğrusal olmayan düşey yayına ait normal kuvvet-şekildeğiştirme çevrimleri Şekil 5.132’de görülmektedir. Seçilen 7 deprem etkisinde doğrusal olmayan düşey yayın davranışı incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre düşey doğrultudaki yay sadece 2 deprem altında plastik şekildeğiştirme yapmıştır. Diğer depremlerin etkisinde doğrusal davranış sergilenmiştir.



Şekil 5.133 : *kh2* yayı deprem etkisindeki kesme kuvveti-şekildeğiştirme.

Şekil 5.133' de seçilen ölçeklendirilmiş 7 deprem etkisi altında yatay doğrultuda bulunan *kh2* isimli doğrusal olmayan yay elemanına ait kesme kuvveti-şekildeğiştirme çevimleri gösterilmektedir. Elde edilen sonuçlara göre doğrusal olmayan yay elemanının plastik şekildeğiştirme yaptığı gözlenmektedir.



Şekil 5.134 : kv2 yayı deprem etkisindeki normal kuvvet-şekildeğiştirmesi.

Tip1 modeline ait kv2 düşey yayına ait normal kuvvet-şekildeğiştirme ilişkisi Şekil 5.134’de verilmiştir. kv2 yayı sistemin simetrik olmasından dolayı kv1 yayı ile seçilen depremler altında aynı davranışı göstermektedir. Düşey doğrultudaki yayın rijtliği, yatay doğrultudaki yayın rijitliğinin 10 katı alındığı için depremler etkisinde plastik bölgeye geçememiş, hareketi elastik bölgede kalmıştır.

Çizelge 5.6 : *kh1* yayı zaman tanım alanı sonuçları.

Deprem	Şekildeğiştirme (m)	Dayanım Kuvveti (kN)
0.7134_SUPERST_B-PTS315	0.082	20
0.9323_NORTHR_SYL360	0.068	20
0.61125_NORTHR_RAN000	0.170	20
0.64718_CHICHI_TCU074-N	0.107	20
0.64764_CHICHI_CHY029-E	0.136	20
0.67922_KOBE_TDO000	0.054	20
0.68106_NORTHR_PAR--T	0.135	20
Ortalama	0.107	20
Standart Sapma	0.039	0.000
Standard Sapma/Ortalama	0.361	0.000

Çizelge 5.7 : *kh2* yayı zaman tanım alanı sonuçları.

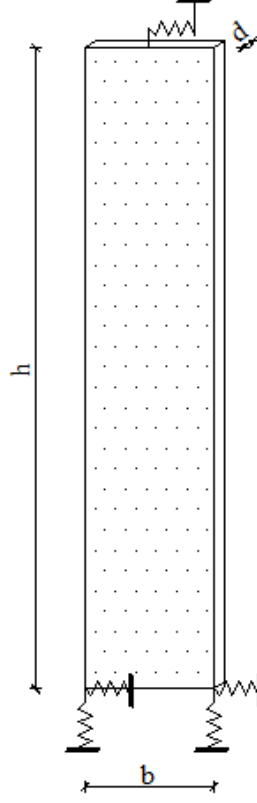
Deprem	Şekildeğiştirme (m)	Dayanım Kuvveti (kN)
0.7134_SUPERST_B-PTS315	0.082	20
0.9323_NORTHR_SYL360	0.068	20
0.61125_NORTHR_RAN000	0.170	20
0.64718_CHICHI_TCU074-N	0.107	20
0.64764_CHICHI_CHY029-E	0.136	20
0.67922_KOBE_TDO000	0.054	20
0.68106_NORTHR_PAR--T	0.135	20
Ortalama	0.107	20
Standart Sapma	0.039	0.000
Standard Sapma/Ortalama	0.361	0.000

Yatay doğrultuda tanımlanan *kh1* ve *kh2* yayları için deprem etkileri sonucunda ortaya çıkan şekildeğiştirme ve kuvvet istemleri sırasıyla Çizelge 5.6 ve Çizelge 5.7 tablolarında verilmiştir. Buna göre *kh1* yayı için şekildeğiştirme isteminin en büyük değeri 0.170 m, ortalama değeri 0.107 m standard sapma değeri ise 0.039 olarak elde edilmiştir. *kh2* yatay yayı sistemin simetrik olmasından dolayı bütün değerleri *kh1* yayı ile aynı çıkmıştır. *kv1* ve *kv2* düşey yayları ise seçilen depremler altında doğrusal davranış yapmıştır.

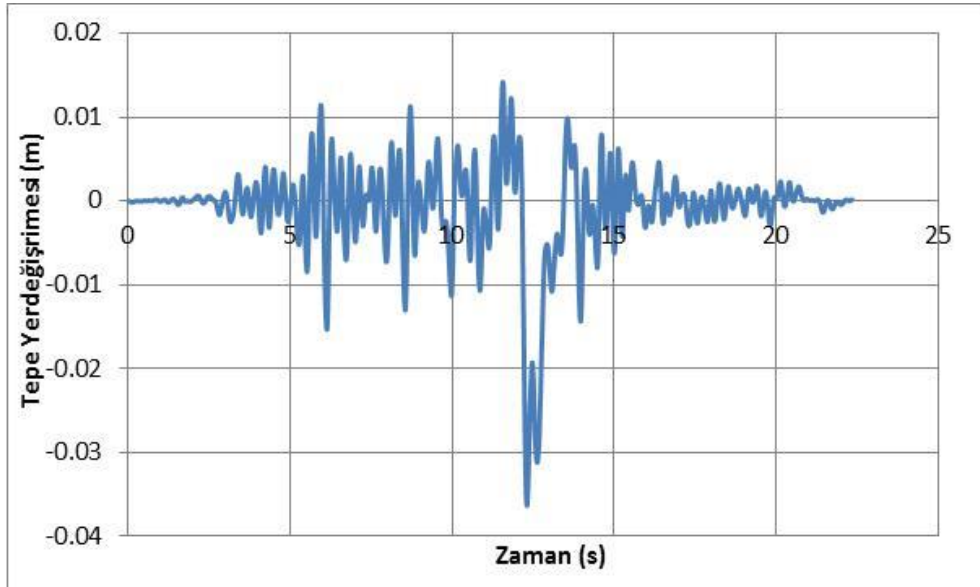
5.3.5.3 *Tip2* modeli

Temele düşey ve yatay yaylar ile, taşıyıcı yapı sistemine ise panelin üstünden yatay yay ile bağlanan, *Tip2* olarak adlandırılan öndöküm düşey cephe paneli Şekil 5.135 de görülmektedir. *Tip2* modeli, seçilen ölçeklendirilmiş 7 deprem kaydının etkisinde *Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz* ile incelenmiştir.

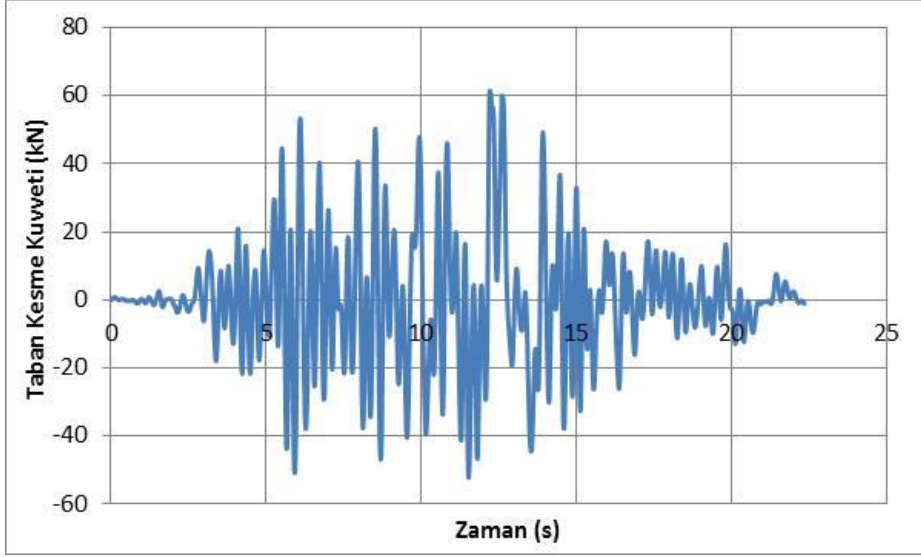
Analizler sonucunda, her deprem etkisinde öndöküm panelde meydana gelen tepe yerdeğiştirme-sinin ve taban kesme kuvvetinin zamana bağlı olarak ilişkileri elde edilmiştir.



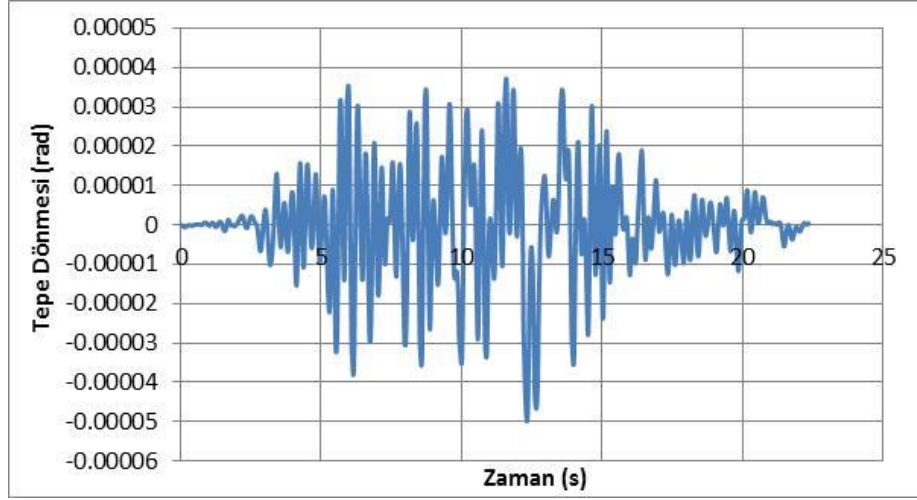
Şekil 5.135 : Tip2 Modeli.



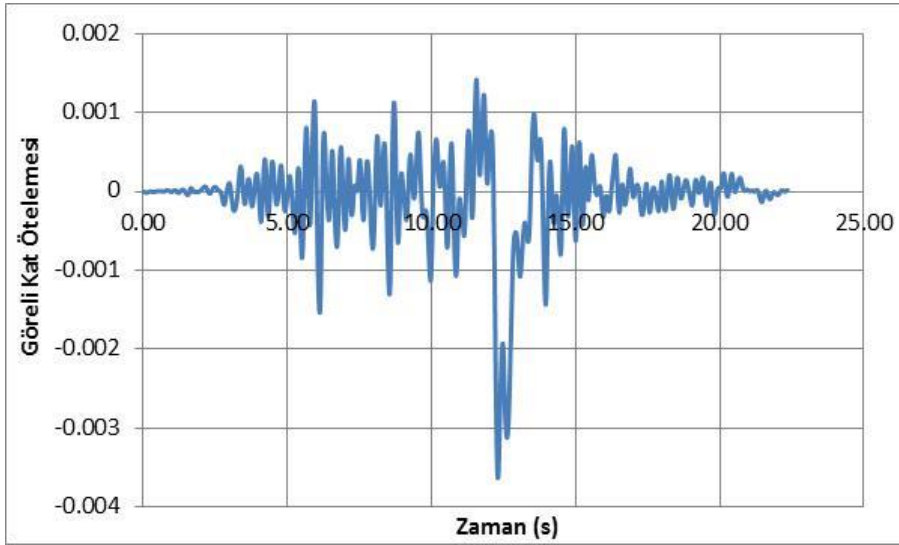
Şekil 5.136 : 0.7134_SUPERST_B-PTS315 Depremi.



Şekil 5.137 : 0.7134_SUPERST_B-PTS315 Depremi.

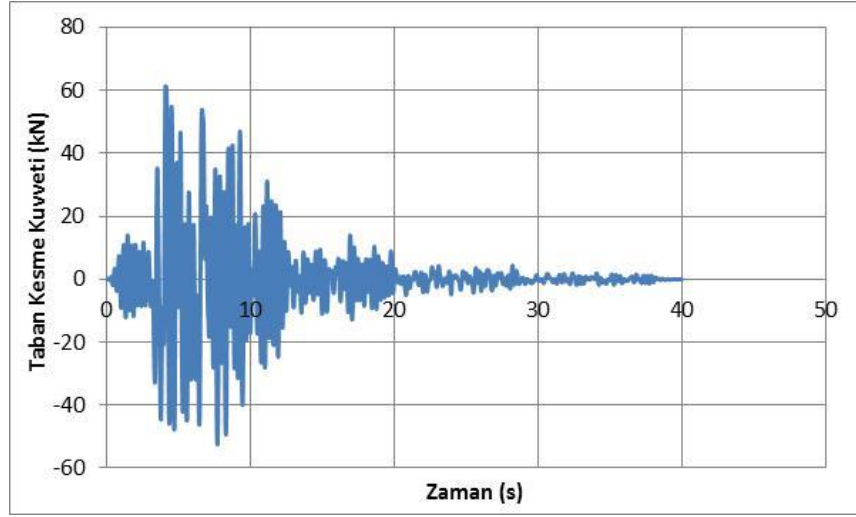


Şekil 5.138 : 0.7134_SUPERST_B-PTS315 Depremi.

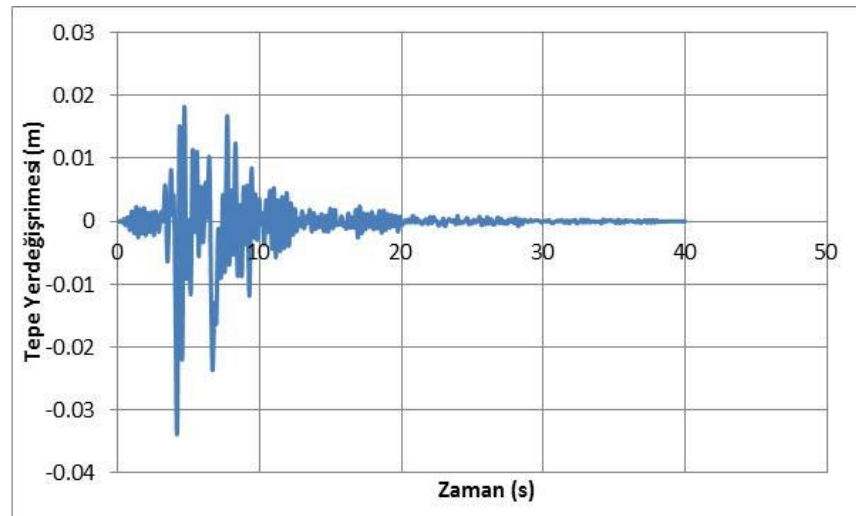


Şekil 5.139 : 0.7134_SUPERST_B-PTS315 Depremi.

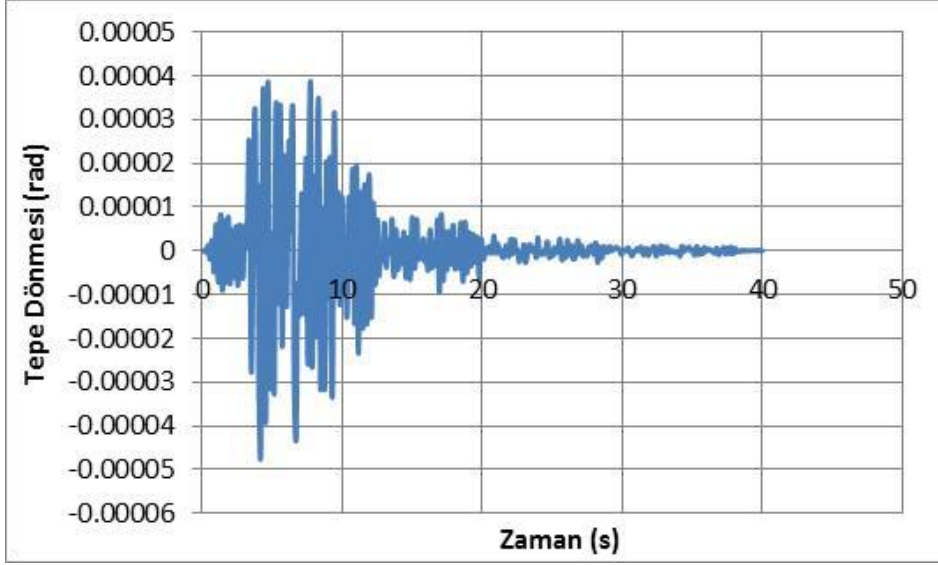
Spektruma benzetmek amacıyla 0.7134 kaysayısı ile değiştirilen 22.35 s uzunluğa sahip *Superstition Hills* depremi etkisinde *Tip2* modelinin analiz sonuçları elde edilmiştir. Buna göre Şekil 5.136'da tepe yerdeğiştirmesi-zaman, Şekil 5.137'de taban kesme kuvveti-zaman, Şekil 5.138'de tepe dönmesi-zaman ve Şekil 5.139'da görel kat ötelemesi-zaman grafikleri gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre öndöküm düşey cephe panelinin deprem etkisinde yaptığı en büyük yatay yerdeğiştirme değeri 0.036 m dir. Panelde oluşan en büyük taban kesme kuvveti değeri ise 61.49 kN dur. Ayrıca, panel tepesinde meydana gelen en büyük dönme değeri 0.0000499 rad, panelin yaptığı en büyük görel kat ötelemesi ise 0.036 elde edilmiştir.



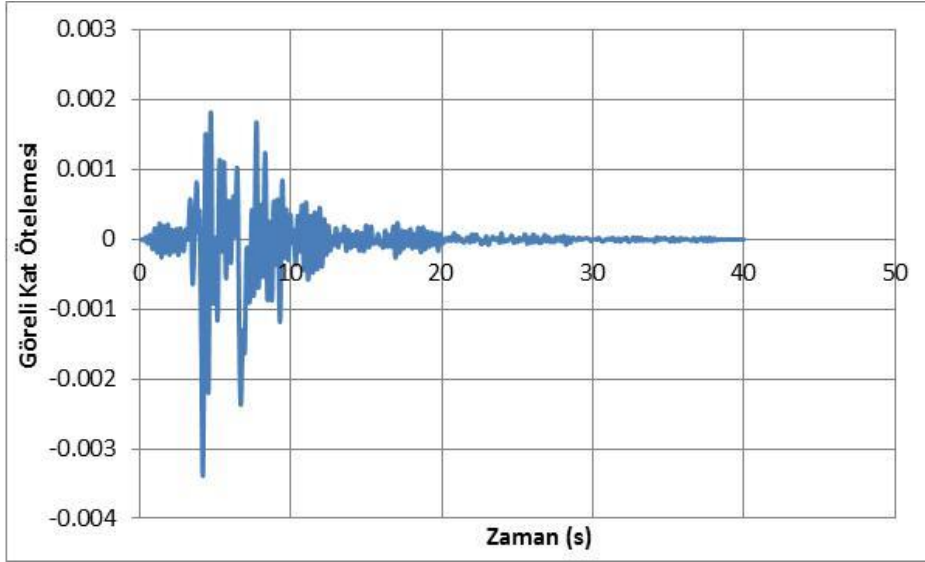
Şekil 5.140 : 0.9323_NORTHR_SYL360 Depremi.



Şekil 5.141 : 0.9323_NORTHR_SYL360 Depremi.

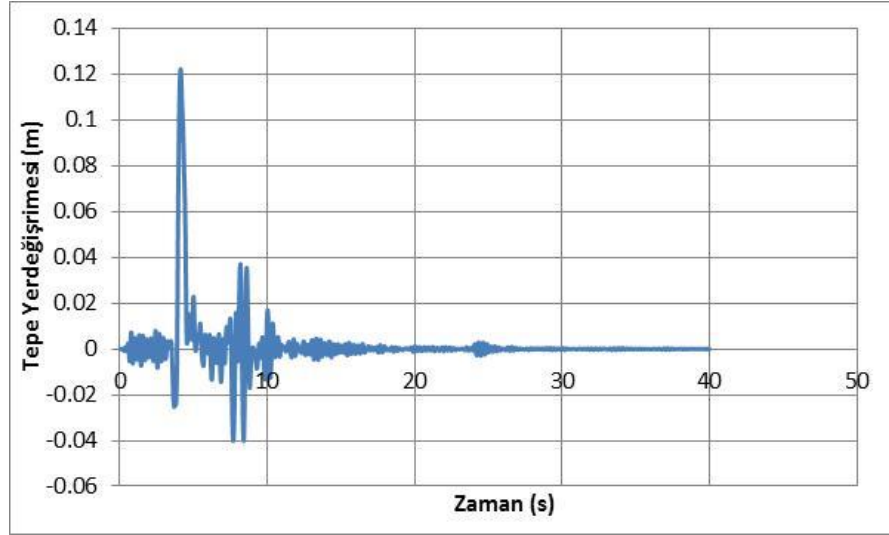


Şekil 5.142 : 0.9323_NORTHR_SYL360 Depremi.

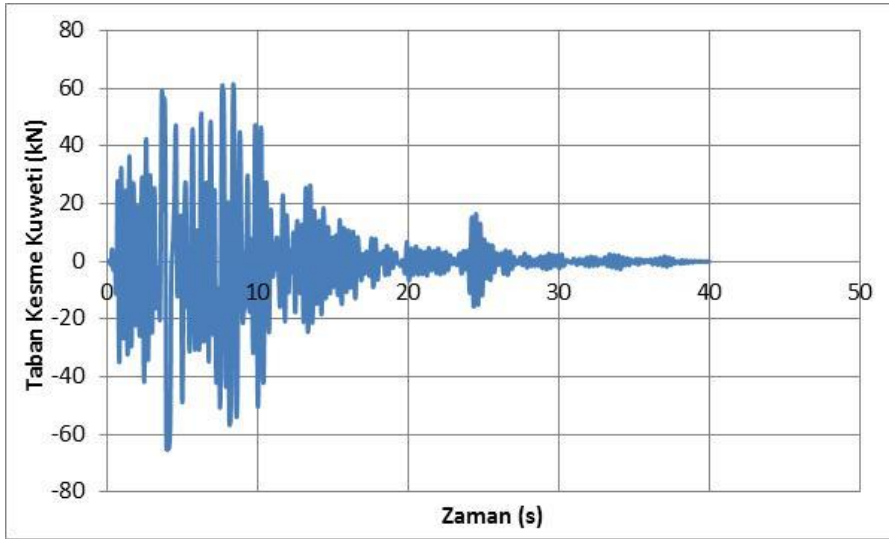


Şekil 5.143 : 0.9323_NORTHR_SYL360 Depremi.

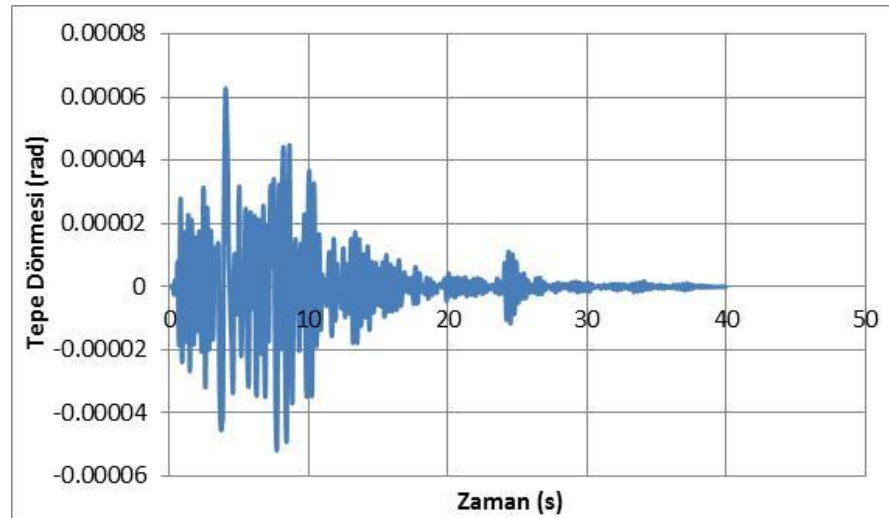
Tip2 modelinin, 0.9323 katsayısı ile çarpılarak spektrumla uyumlu hale getirilen ve 40.00 s süreye sahip olan *Northridge depremi* etkisinde ortaya çıkan sonuçlarından bahsedilmiştir. B una göre Şekil 5.140'da tepe yerdeğiştirmesi-zaman, Şekil 5.143'de taban kesme kuvveti-zaman, Şekil 5.144'de tepe dönmesi-zaman ve Şekil 5.145'de görel kat ötelemesi-zaman grafikleri gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre öndöküm düşey cephe panelinin deprem etkisinde yaptığı en büyük yatay yerdeğiştirme değeri 0.034 m dir. Panelde oluşan en büyük taban kesme kuvveti değeri ise 61.32 kN dur. Ayrıca, panel tepesinde meydana gelen en büyük dönme değeri 0.0000476 rad, panelin yaptığı en büyük görel kat ötelemesi ise 0.034 elde edilmiştir.



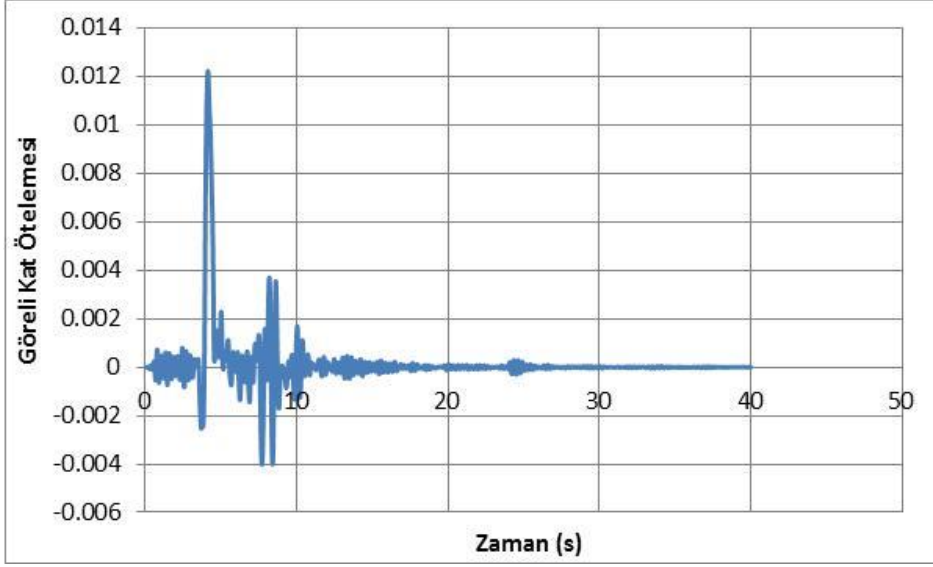
Şekil 5.144 : 0.61125_NORTHR_RAN000 Depremi.



Şekil 5.145 : 0.61125_NORTHR_RAN000 Depremi.

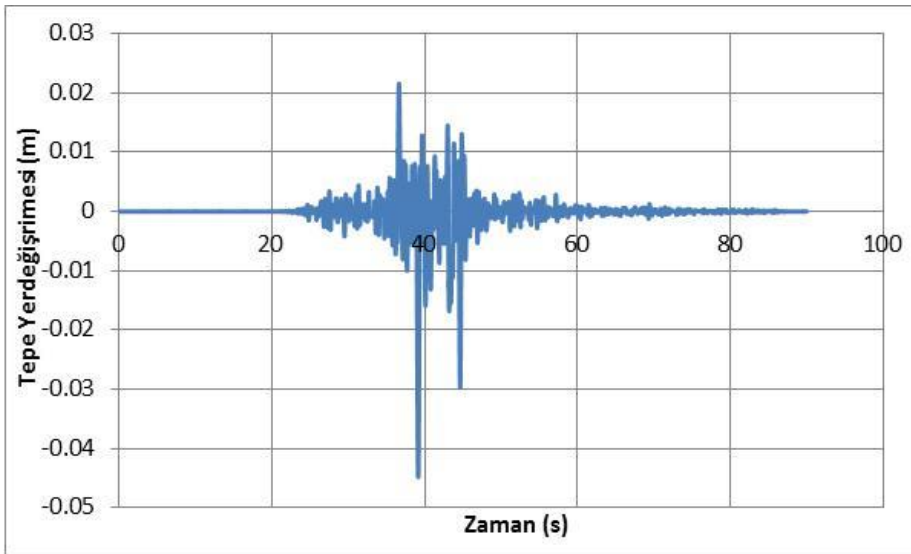


Şekil 5.146 : 0.61125_NORTHR_RAN000 Depremi.

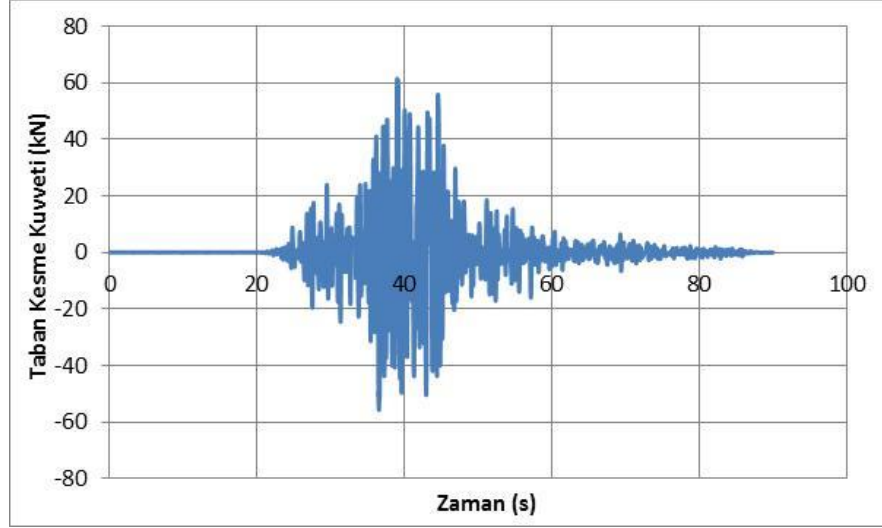


Şekil 5.147 : 0.61125_NORTHR_RAN000 Depremi.

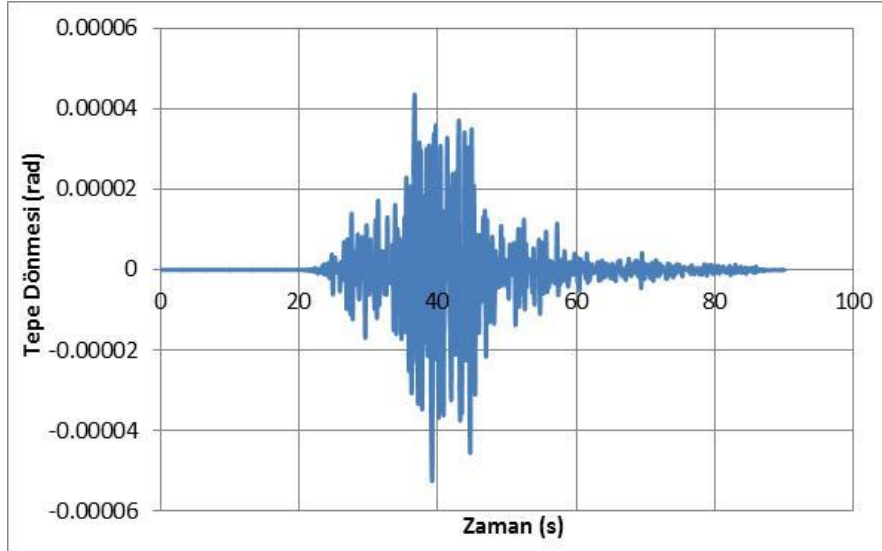
Farklı istasyondan alınan *Northridge depremi* spektruma benzetmek amacıyla 0.61125 katsayısı ile değiştirilmiş ve 40.00 s uzunluğa sahiptir. *Tip2* modelinin Northridge depremi ile yapılan analiz sonuçları elde edilmiştir. Buna göre Şekil 5.144’de tepe yerdeğiştirmesi-zaman, Şekil 5.145’de taban kesme kuvveti-zaman, Şekil 5.146’da tepe dönmesi-zaman ve Şekil 5.147’de görel kat ötelemesi-zaman grafikleri gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre öndöküm düşey cephe panelinin deprem etkisinde yaptığı en büyük yatay yerdeğiştirme değeri 0.214 m dir. Panelde oluşan en büyük taban kesme kuvveti değeri ise 48.20 kN dur. Ayrıca, panel tepesinde meydana gelen en büyük dönme değeri 0.0000628 rad, panelin yaptığı en büyük görel kat ötelemesi ise 0.122 elde edilmiştir.



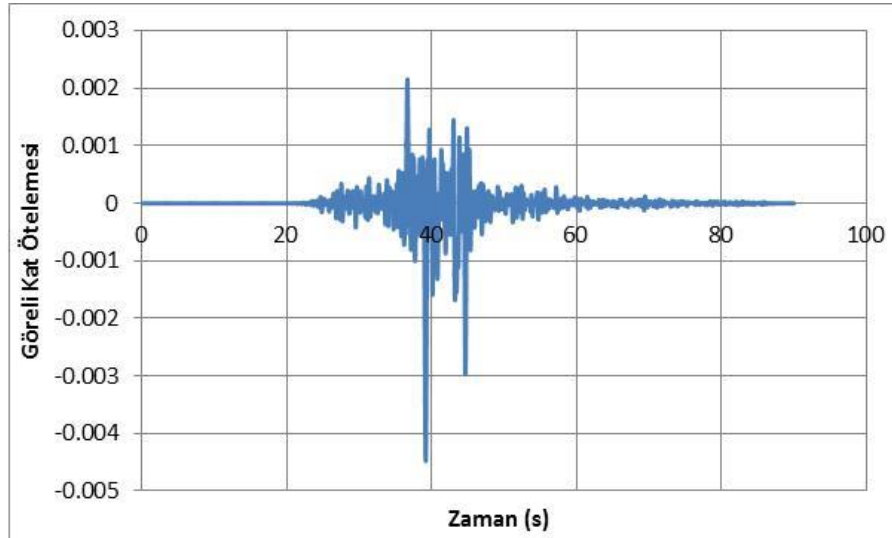
Şekil 5.148 : 0.64718_CHICHI_TCU074-N Depremi.



Şekil 5.149 : 0.64718_CHICHI_TCU074-N Depremi.

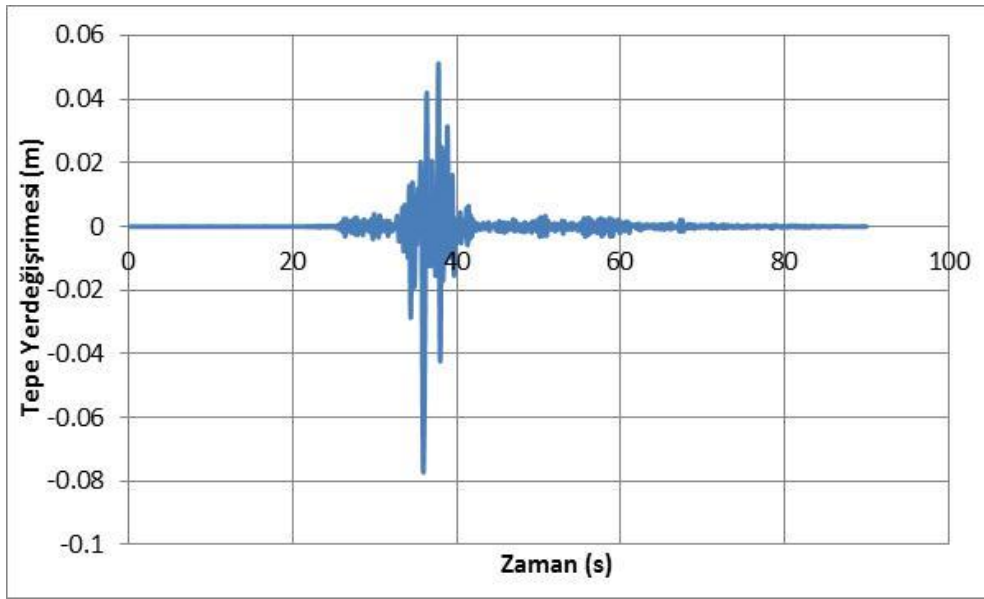


Şekil 5.150 : 0.64718_CHICHI_TCU074-N Depremi.

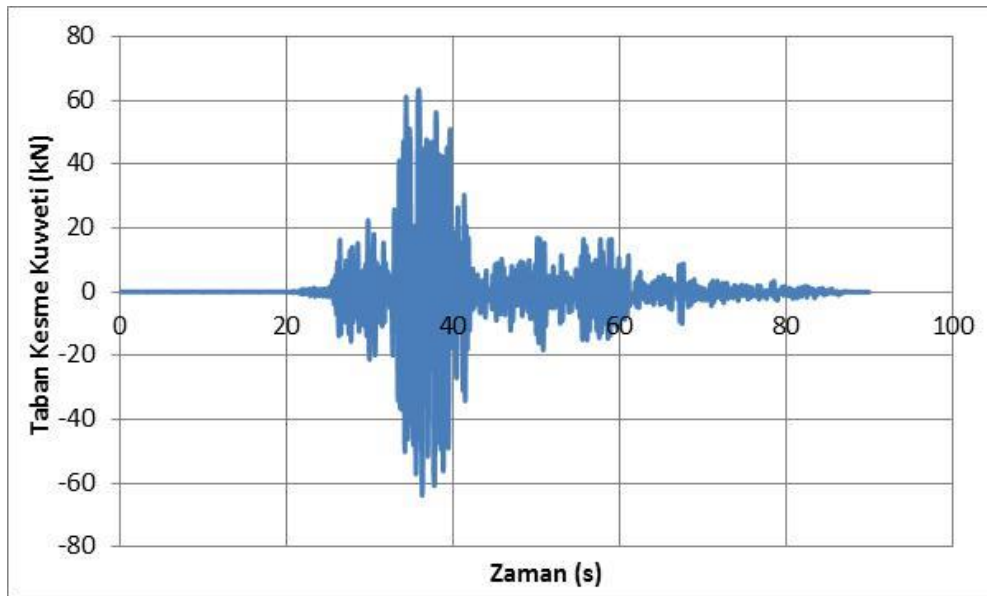


Şekil 5.151 : 0.64718_CHICHI_TCU074-N Depremi.

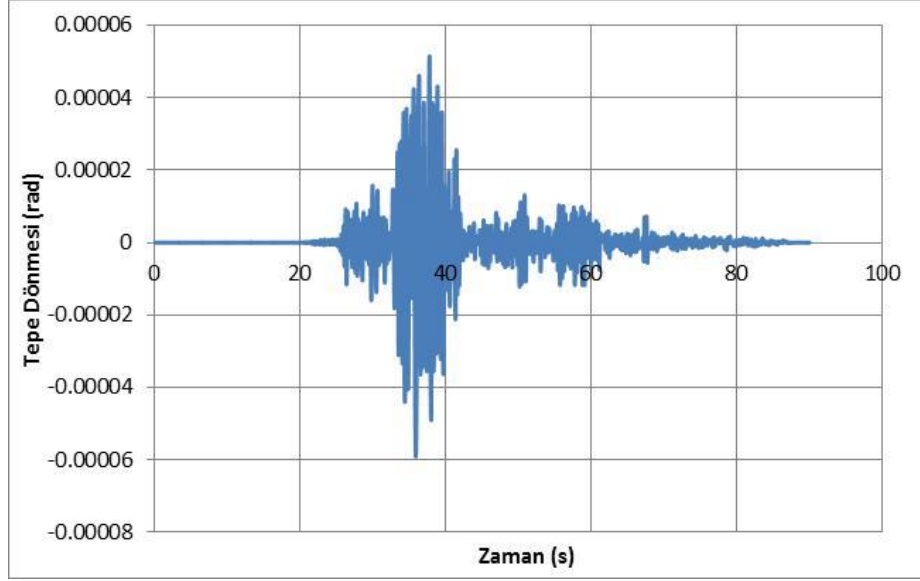
Spektruma benzetmek amacıyla 0.64718 katsayısı ile değiştirilen, 90.00 s uzunluğa sahip *Chi Chi depremi* etkisinde *Tip2* modelinin analiz sonuçları elde edilmiştir. Buna göre Şekil 5.148’de tepe yerdeğiştirmesi-zaman, Şekil 5.149’da taban kesme kuvveti-zaman, Şekil 5.50’de tepe dönmesi-zaman ve Şekil 5.151’de görelî kat ötelemesi-zaman grafikleri gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre öndöküm düşey cephe panelinin deprem etkisinde yaptığı en büyük yatay yerdeğiştirme değeri 0.045 m dir. Panelde oluşan en büyük taban kesme kuvveti değeri ise 61.35 kN dur. Ayrıca, panel tepesinde meydana gelen en büyük dönme değeri 0.0000524 rad, panelin yaptığı en büyük görelî kat ötelemesi ise 0.045 elde edilmiştir.



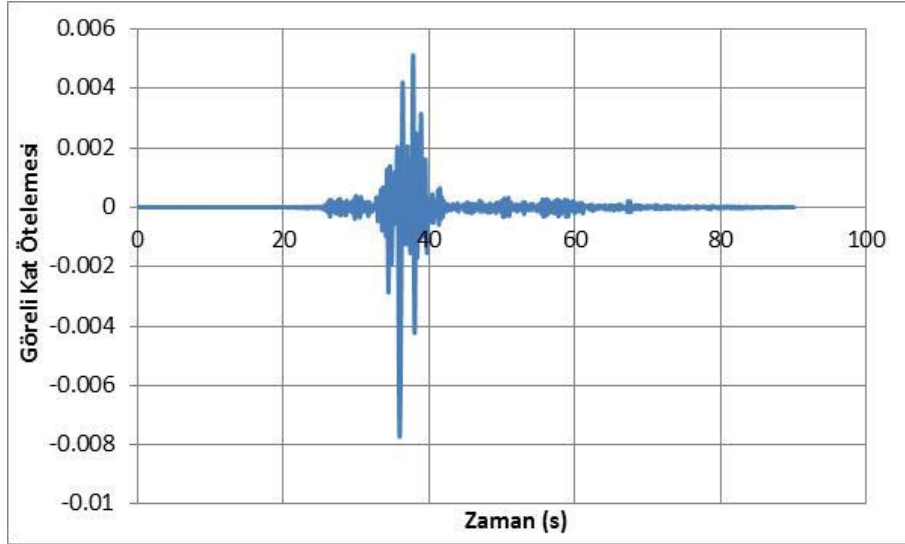
Şekil 5.152 : 0.64764_CHICHI_CHY029-E Depremi.



Şekil 5.153 : 0.64764_CHICHI_CHY029-E Depremi.

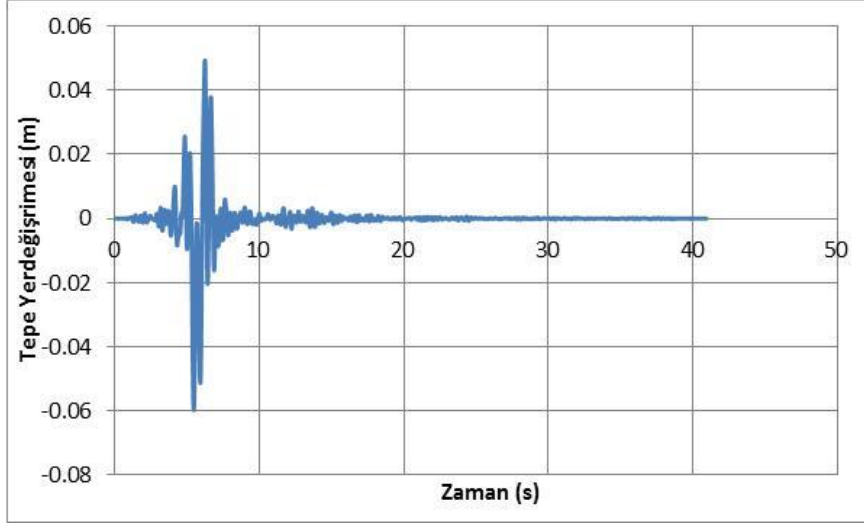


Şekil 5.154 : 0.64764_CHICHI_CHY029-E Depremi.

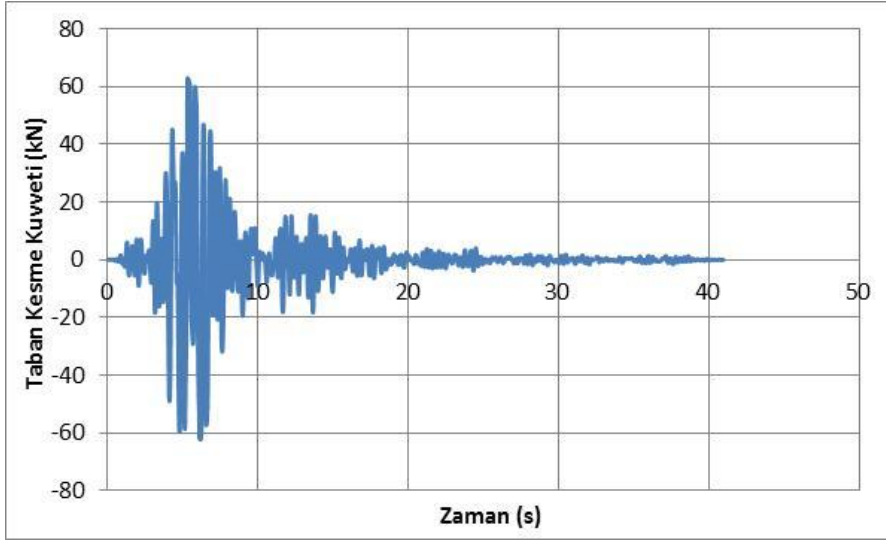


Şekil 5.155 : 0.64764_CHICHI_CHY029-E Depremi.

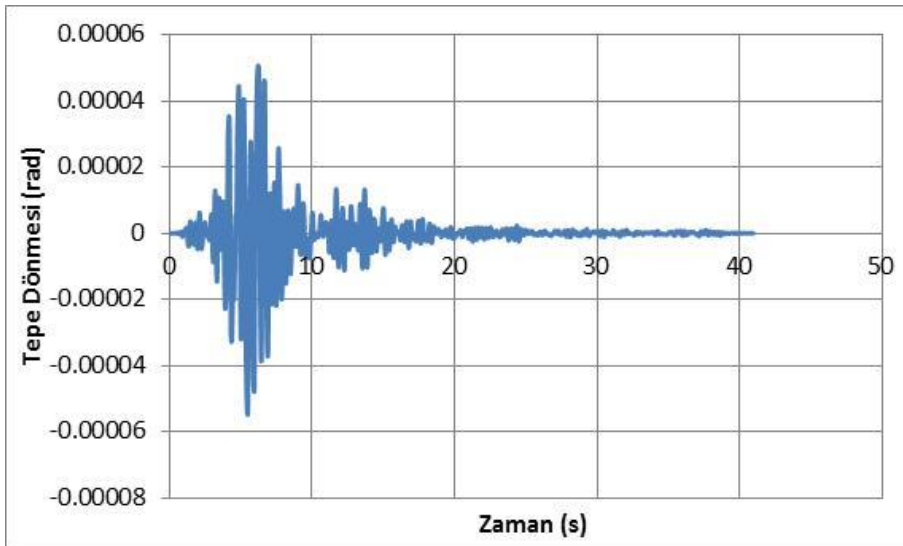
0.64764 katsayısı ile küçültülerek spektrumla uyumlu hale getirilen ve 90.00 s lik uzunluğa sahip olan ve farklı istasyondan alınan *Chi Chi depremi* etkisinde *Tip2* modelinin analizi yapılmıştır. Buna göre Şekil 5.152’de tepe yerdeğiştirmesi-zaman, Şekil 5.153’de taban kesme kuvveti-zaman, Şekil 5.154’de tepe dönmesi-zaman ve Şekil 5.155’de görel kat ötelemesi-zaman grafikleri gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre öndöküm düşey cephe panelinin deprem etkisinde yaptığı en büyük yatay yerdeğiştirme değeri 0.077 m dir. Panelde oluşan en büyük taban kesme kuvveti değeri ise 63.73 kN dur. Ayrıca, panel tepesinde meydana gelen en büyük dönme değeri 0.0000591 rad, panelin yaptığı en büyük görel kat ötelemesi ise 0.077 elde edilmiştir.



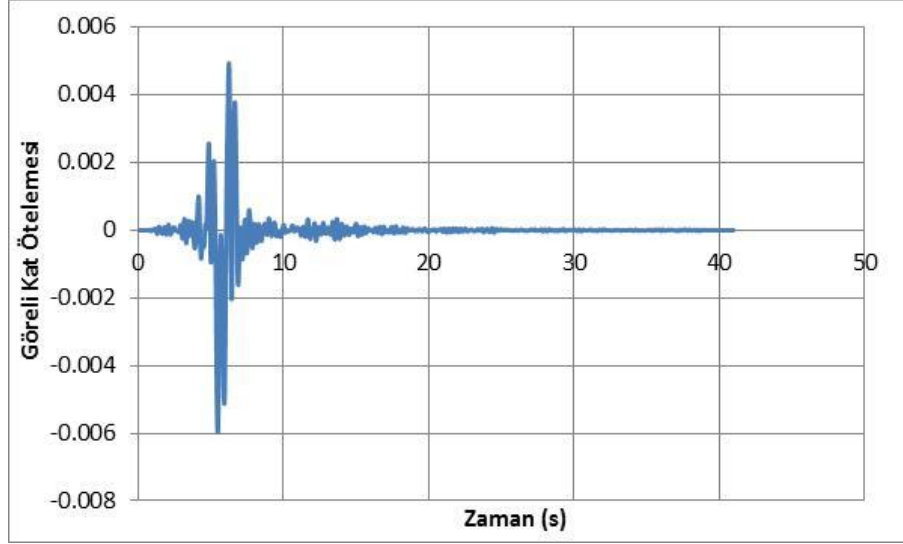
Şekil 5.156 : 0.67922_KOBE_TDO000 Depremi.



Şekil 5.157 : 0.67922_KOBE_TDO000 Depremi.

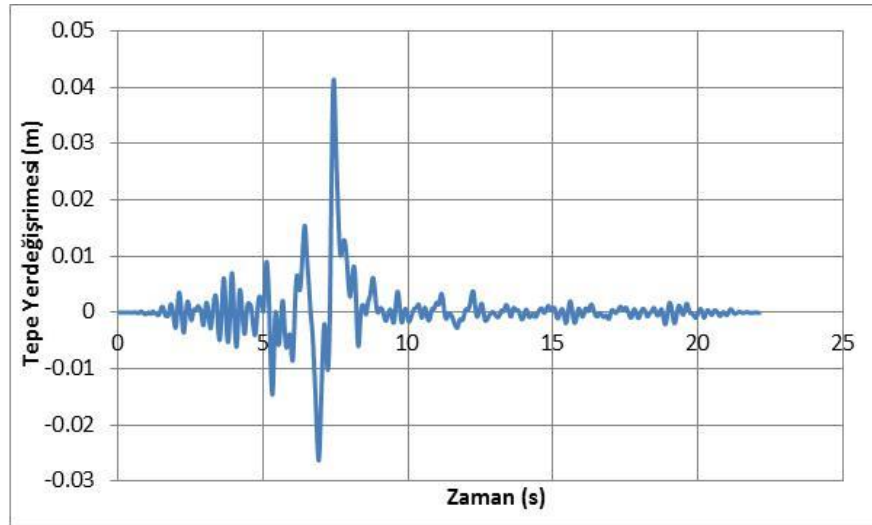


Şekil 5.158 : 0.67922_KOBE_TDO000 Depremi.

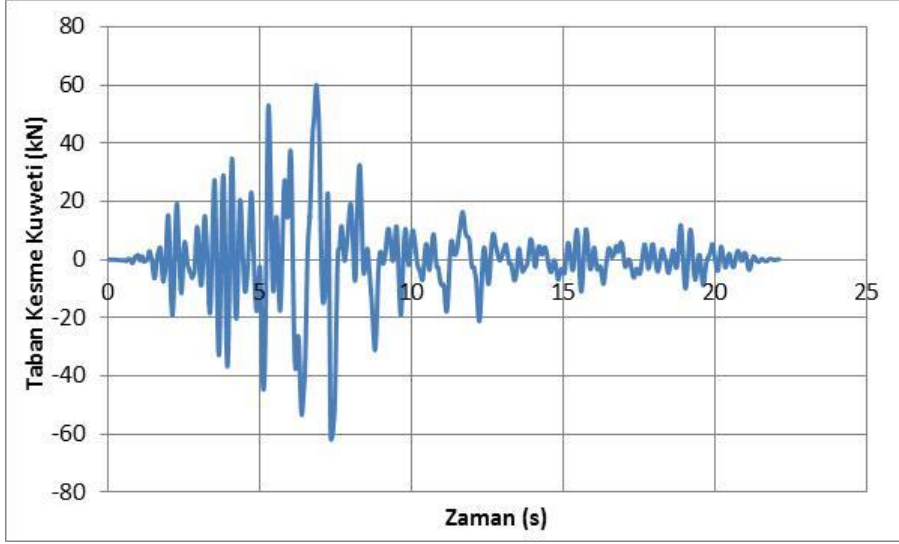


Şekil 5.159 : 0.67922_KOBE_TDO000 Depremi.

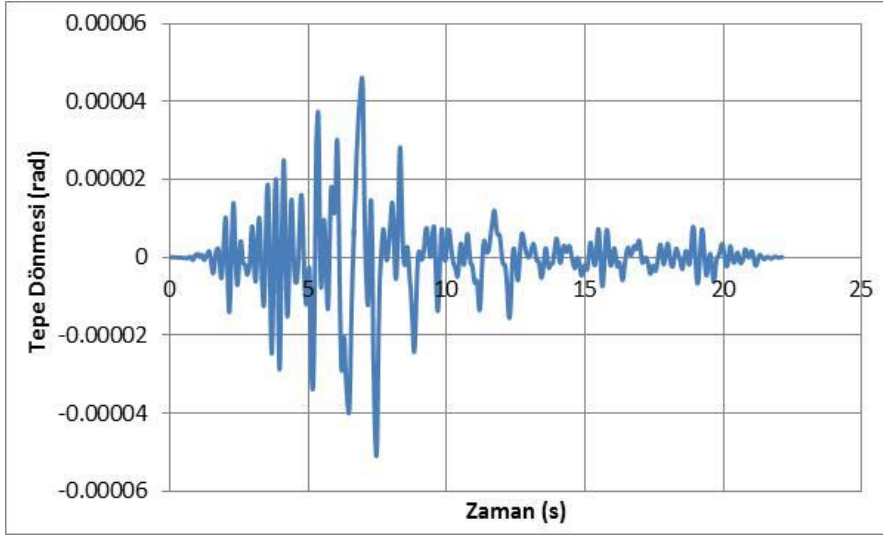
Kobe depremini spektruma benzetmek amacıyla 0.67922 katsayısı kullanılmış olup, kayıt uzunluğu 40.96 s dir. *Tip2* modelinin Kobe depremi etkisinde analiz sonuçları elde edilmiştir. Buna göre Şekil 5.156’da tepe yerdeğiştirmesi-zaman, Şekil 5.157’de taban kesme kuvveti-zaman, Şekil 5.158’de tepe dönmesi-zaman ve Şekil 5.159’da görel kat ötelemesi-zaman grafikleri gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre öndöküm düşey cephe panelinin deprem etkisinde yaptığı en büyük yatay yerdeğiştirme değeri 0.060 m dir. Panelde oluşan en büyük taban kesme kuvveti değeri ise 62.89 kN dur. Ayrıca, panel tepesinde meydana gelen en büyük dönme değeri 0.0000548 rad, panelin yaptığı en büyük görel kat ötelemesi ise 0.060 elde edilmiştir.



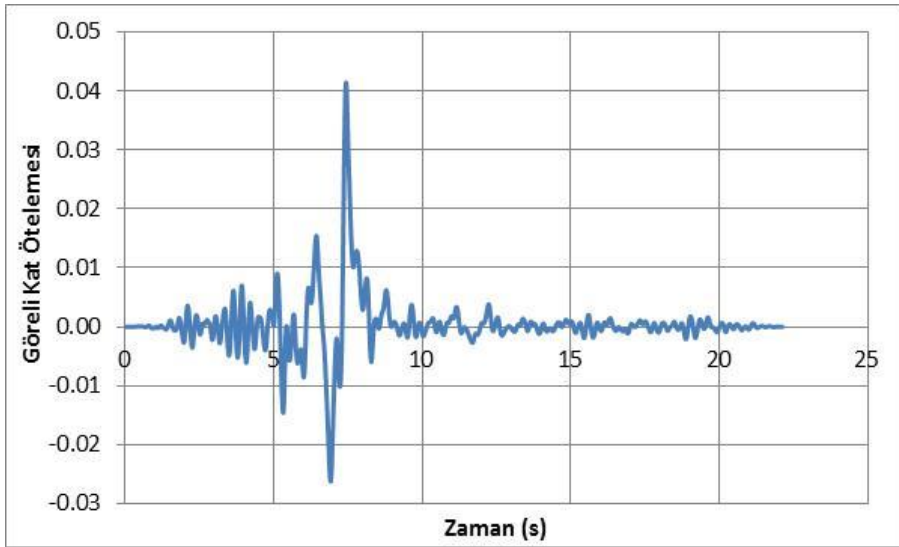
Şekil 5.160 : 0.68106_NORTHR_PAR—T Depremi.



Şekil 5.161 : 0.68106_NORTHHR_PAR—T Depremi.



Şekil 5.162 : 0.68106_NORTHHR_PAR—T Depremi.



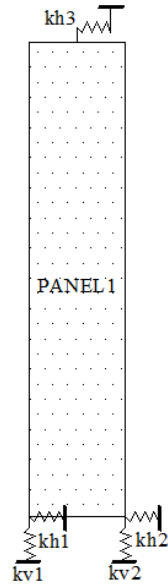
Şekil 5.163 : 0.68106_NORTHHR_PAR—T Depremi.

Spektruma benzetmek amacıyla 0.68106 katsayısı ile değiştirilen ve 22.125 s lik uzunluğa sahip olan *Northridge depremi* etkisinde *Tip2* modelinin analiz sonuçları elde edilmiştir. Buna göre Şekil 5.160’da tepe yerdeğiştirmesi-zaman, Şekil 5.161’de taban kesme kuvveti-zaman, Şekil 5.162’de tepe dönmesi-zaman ve Şekil 5.163’de görelî kat ötelemesi-zaman grafikleri gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre öndöküm düşey cephe panelinin deprem etkisinde yaptığı en büyük yatay yerdeğiştirme değeri 0.041 m dir. Panelde oluşan en büyük taban kesme kuvveti değeri ise 61.89 kN dur. Ayrıca, panel tepesinde meydana gelen en büyük dönme değeri 0.0000510 rad, panelin yaptığı en büyük görelî kat ötelemesi ise 0.041 elde edilmiştir.

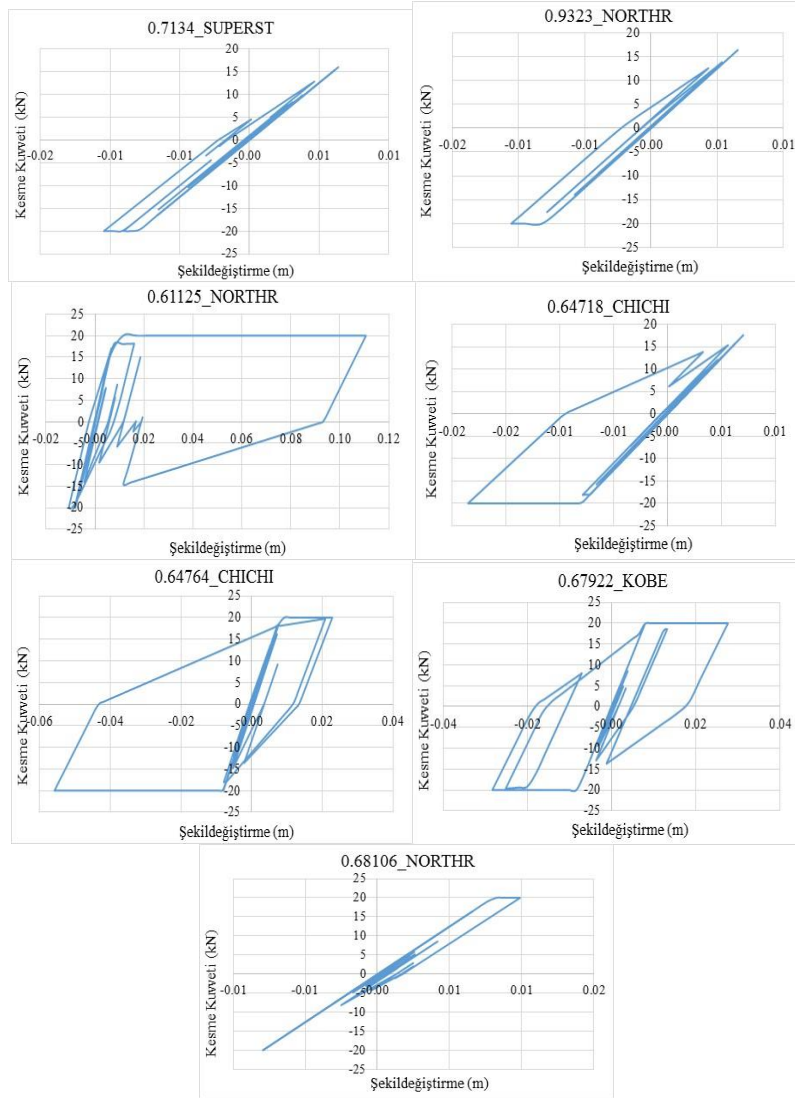
Çizelge 5.8 : *Tip2* modeli zaman tanım alanı sonuçları.

Deprem	Tepe Yerdeğiştirmesi (m)	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Tepe Dönmesi (rad)	Görelî Kat Ötelemesi
0.7134_SUPERST_BPTS315	0.036	61.494	0.0000499	0.0036
0.9323_NORTH_R_SYL360	0.034	61.321	0.0000476	0.0034
0.61125_NORTH_R_RAN000	0.122	65.247	0.0000628	0.0122
0.64718_CHICHI_TCU074N	0.045	61.345	0.0000524	0.0045
0.64764_CHICHI_CHY029E	0.077	63.730	0.0000591	0.0077
0.67922_KOBE_TDO000	0.060	62.885	0.0000548	0.0060
0.68106_NORTH_R_PAR--T	0.041	61.876	0.0000510	0.0041
Ortalama	0.059	62.557	0.0000539	0.0059
Standart Sapma	0.029	1.379	0.0000050	0.0029
Standard Sapma/Ortalama	0.493	0.022	0.092	0.493

Tip2 modelinin farklı istasyonlardan seçilen ve farklı katsayılar ile çarpılan 7 deprem etkisinde tepe yerdeğiştirme, taban kesme kuvveti, tepe dönmesi ve görelî kat ötelemesi değeri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara ait bilgiler Çizelge 5.8’de verilmiştir. Sistemde oluşan tepe yerdeğiştirmesi değeri ortalaması 0.059 m, standart sapması 0.029 m olarak elde edilmiştir. Taban kesme kuvvetlerinin ortalaması 62.557 kN, standart sapması ise 1.379 olarak elde edilmiştir. Tepe yerdeğiştirmesi için standart sapmanın ortalama değeri oranı 0.493, taban kesme kuvveti değeri için ise 0.022 olarak elde edilmiştir. Ayrıca betonarme panelinde oluşan tepe dönmesi değeri ortalaması 0.0000539 rad, standart sapma değeri ise 0.0000050’ dir. Panelin yaptığı görelî kat ötelemelerinin ortalaması 0.059 iken standart sapma değeri de 0.0029 olarak elde edilmiştir. Tepe dönmesi değeri için standart sapmanın ortalama oranı 0.092, görelî kat ötelemeleri değeri için ise bu oran 0.493 olarak elde edilmiştir.

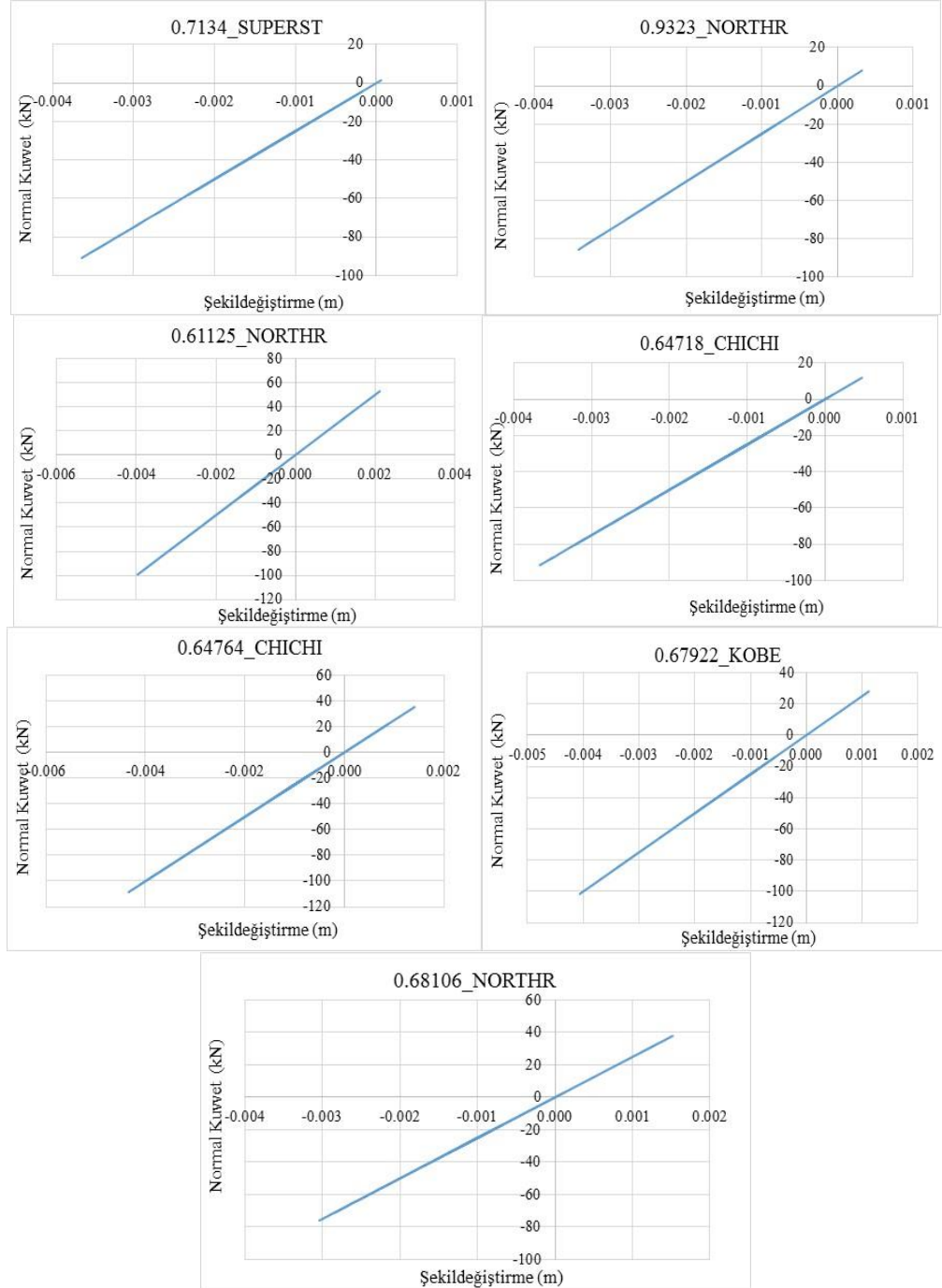


Şekil 5.164 : Tip2 modeli yay isimlendirmesi.



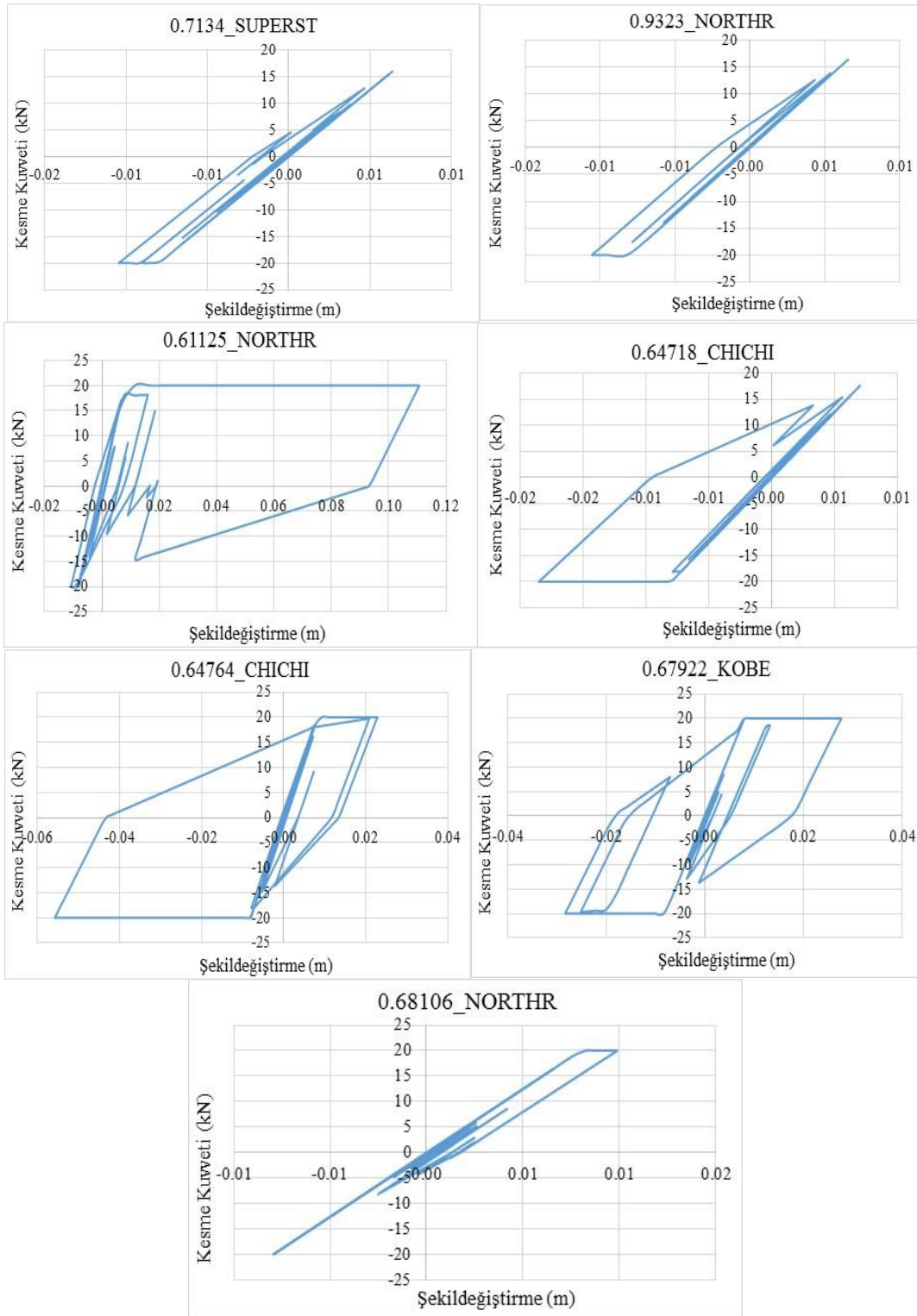
Şekil 5.165 : kh1 yayı deprem etkisindeki kesme kuvveti-şekildeğiştirme.

Tip2 modelinde; *kh1* yatay doğrultulu yayının 7 deprem etkisindeki analizlerinin sonucunda elde edilen kesme kuvveti-şekildeğiştirme ilişkileri Şekil 5.165’ de verilmiştir. Sonuçlarda görüldüğü üzere *kh1* yayı 7 depremde etkisinde de plastik şekildeğiştirme yapmıştır.



Şekil 5.166 : *kv1* ve *kv2* yaylarının deprem etkisindeki normal kuvvet-şekildeğiştirmesi.

Şekil 5.166’ da *Tip2* modeline ait *kv1* düşey yayının analiz sonuçları gösterilmiştir. Analiz sonuçlarına göre 7 deprem etkisinde de bu yay doğrusal davranış yapmıştır.



Şekil 5.167 : *kh2* yayının deprem etkisindeki kesme kuvveti-şekildeğiştirme ilişkileri.

Tip2 modelindeki *kh2* yatay doğrultudaki yayında depremler etkisinde elde edilen sonuçlar Şekil 5.167’de gösterilmiştir. *kh2* yatay yayının bütün analizlerde plastik şekildeğiştirme yaptığı gözlemlenmiştir.

Çizelge 5.9 : $kh1$ yayı zaman tanım alanı hesap sonuçları.

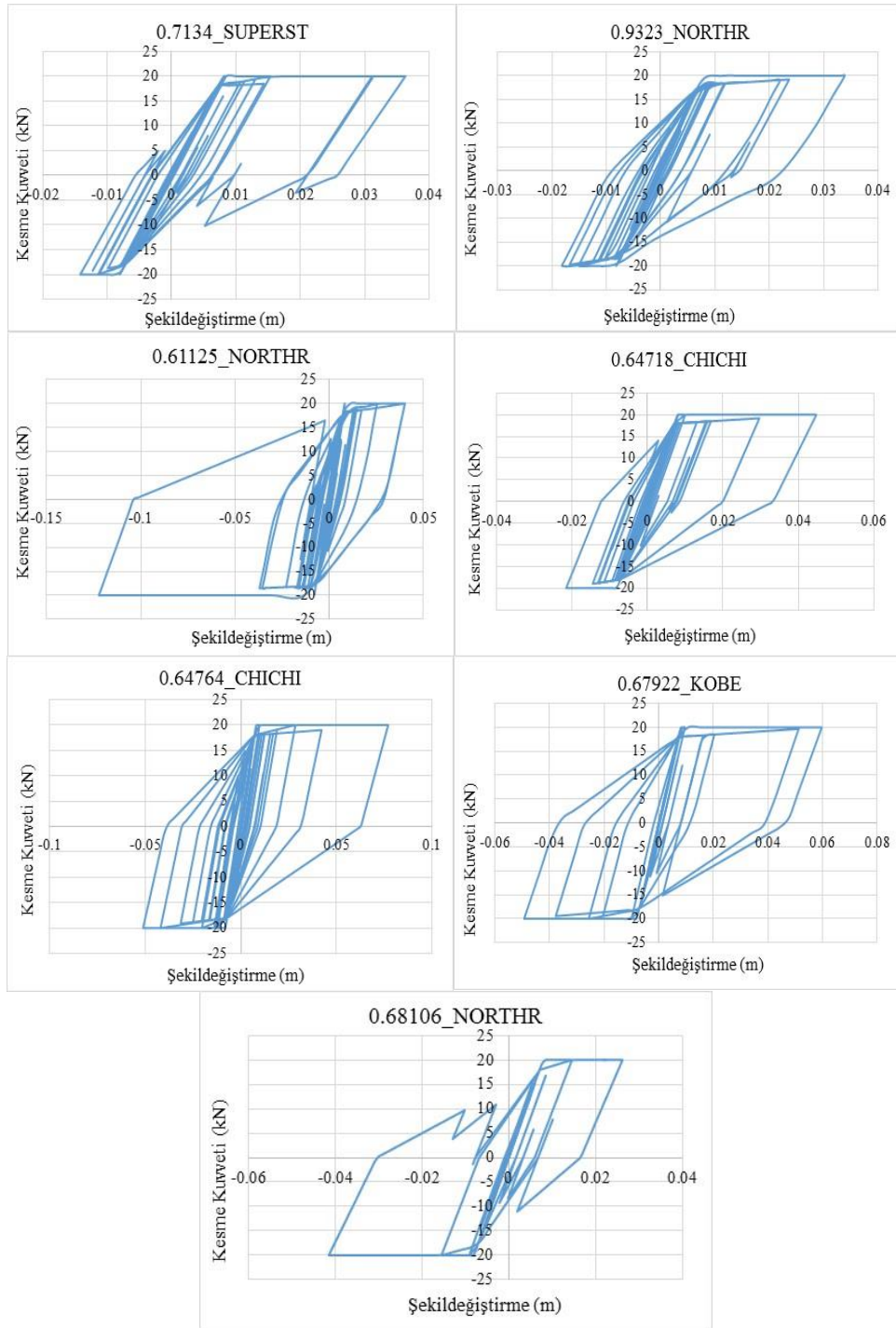
Deprem	Şekildeğiştirme (m)	Dayanım Kuvveti (kN)
0.7134_SUPERST_B-PTS315	0.010	19
0.9323_NORTHR_SYL360	0.010	19
0.61125_NORTHR_RAN000	0.113	20
0.64718_CHICHI_TCU074-N	0.019	20
0.64764_CHICHI_CHY029-E	0.052	20
0.67922_KOBE_TDO000	0.028	20
0.68106_NORTHR_PAR--T	0.010	20
Ortalama	0.035	19.714
Standart Sapma	0.035	0.452
Standard Sapma/Ortalama	1.011	0.023

Çizelge 5.10 : $kh2$ yayı zaman tanım alanı hesap sonuçları.

Deprem	Şekildeğiştirme (m)	Dayanım Kuvveti (kN)
0.7134_SUPERST_B-PTS315	0.010	19
0.9323_NORTHR_SYL360	0.010	19
0.61125_NORTHR_RAN000	0.113	20
0.64718_CHICHI_TCU074-N	0.019	20
0.64764_CHICHI_CHY029-E	0.052	20
0.67922_KOBE_TDO000	0.028	20
0.68106_NORTHR_PAR--T	0.010	20
Ortalama	0.035	19.714
Standart Sapma	0.035	0.452
Standard Sapma/Ortalama	1.011	0.023

Yatay doğrultuda tanımlanan $kh1$ ve $kh2$ yayları için deprem etkileri sonucunda ortaya çıkan şekildeğiştirme ve kuvvet istemleri sırasıyla Çizelge 5.9 ve Çizelge 5.10 tablolarında verilmiştir. Buna göre $kh1$ yayı için şekildeğiştirme isteminin en büyük değeri 0.113 m, ortalama değeri 0.035 m, standard sapma değeri de 0.035 olarak elde edilmiştir. Standart sapmanın ortalama değere oranı ise 1.0 olarak elde edilmiştir. $kh2$ yatay yayı, sistemin simetrik olmasından dolayı $kh1$ yayı ile benzer sonuçlar vermiştir. $kv1$ ve $kv2$ düşey yayları seçilen depremler etkisinde doğrusal davranış yapmıştır.

Tip2 modelinde taşıyıcı yapı sistemi ile bağlantıyı sağlayan $kh3$ yayının seçilen 7 deprem etkisinde oluşan kesme kuvveti-şekildeğiştirme ilişkileri Şekil 5.168’ de gösterilmektedir. Kesme kuvveti-şekildeğiştirme çevrimlerinden görüldüğü gibi seçilen tüm depremlerde $kh3$ doğrusal olmayan yayı plastik şekildeğiştirmeye uğramıştır.



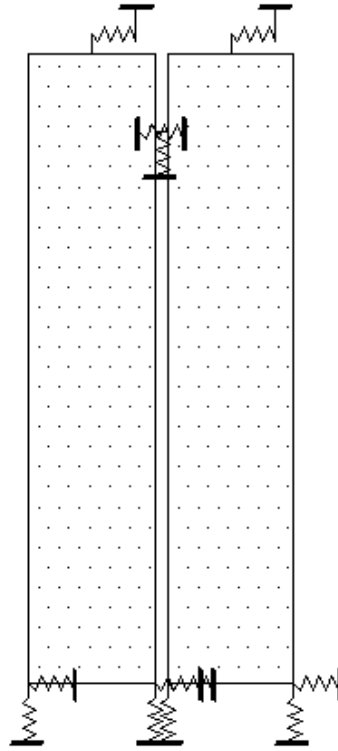
Şekil 5.168 : *kh3* yayı deprem etkisinde kesme kuvveti-şekildeğiştirme ilişkisi.

Düşey cephe panelini taşıyıcı sisteme bağlayan *kh3* yayı için deprem etkileri sonucunda ortaya çıkan şekildeğiştirme ve kuvvet istemleri Çizelge 5.11 tablosunda verilmiştir. Buna göre *kh3* yayı için şekildeğiştirme isteminin en büyük değeri 0.116 m, ortalama değeri 0.059 m standard sapma değeri ise 0.027 olarak elde edilmiştir. Standart sapmanın ortalamaya oranı ise 0.466 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.11 : *kh3* yayı zaman tanım alanı hesap sonuçları.

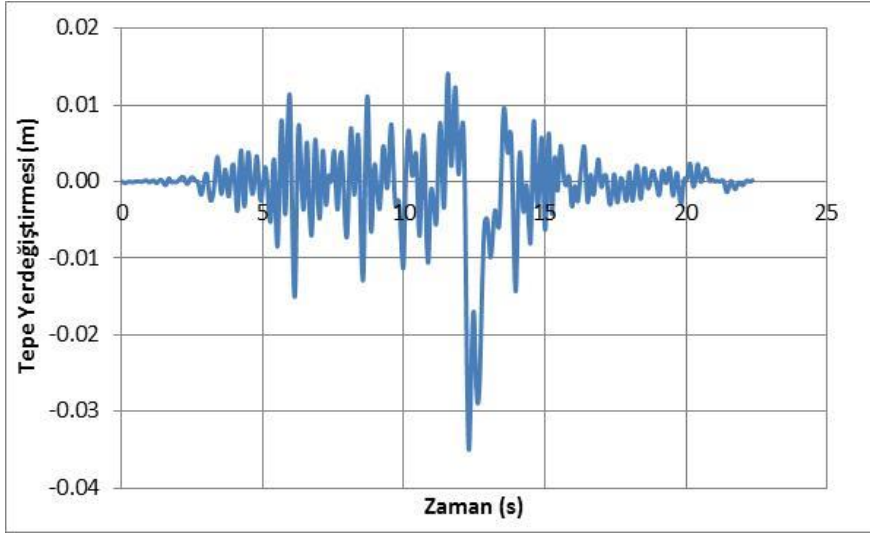
Deprem	Şekildeğiştirme(m)	Dayanım Kuvveti (kN)
0.7134_SUPERST_B-PTS315	0.036	20
0.9323_NORTHR_SYL360	0.034	20
0.61125_NORTHR_RAN000	0.116	20
0.64718_CHICHI_TCU074-N	0.045	20
0.64764_CHICHI_CHY029-E	0.078	20
0.67922_KOBE_TDO000	0.060	20
0.68106_NORTHR_PAR--T	0.042	20
Ortalama	0.059	20.000
Standart Sapma	0.027	0.000
Standard Sapma/Ortalama	0.466	0.000

5.3.5.4 *Tip3* modeli

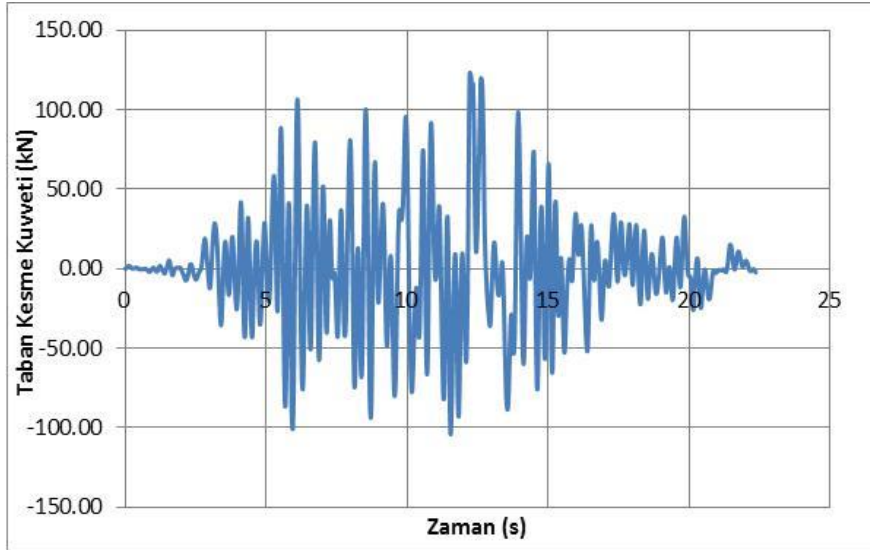


Şekil 5.169 : *Tip3* modeli.

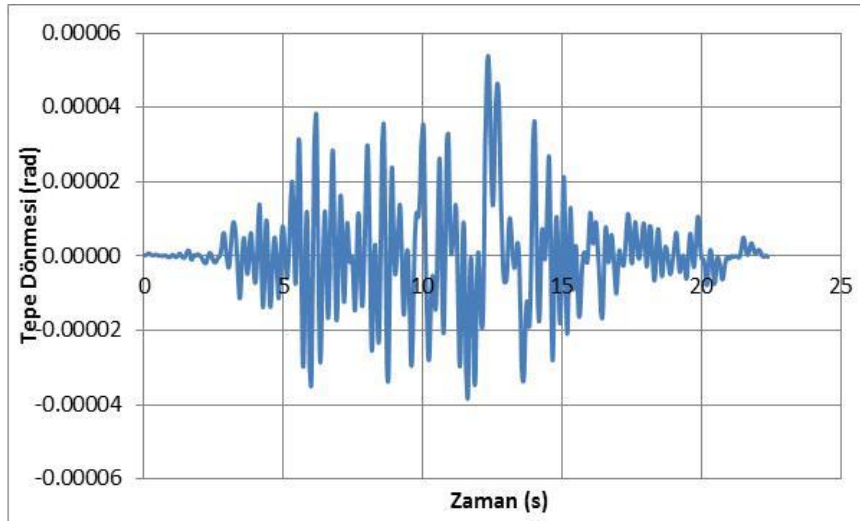
Temele düşey ve yatay yaylar ile, taşıyıcı yapı sistemine ise panelin üstünden yatay yay ile ve komşu panele düşey yay ile bağlanan, *Tip3* olarak adlandırılan öndöküm düşey cephe paneli Şekil 5.169’ da görülmektedir. *Tip3* modeli, seçilen ölçeklendirilmiş 7 deprem kaydının etkisinde *Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz* yöntemiyle incelenmiştir. Analizler sonucunda, her deprem etkisinde öndöküm panelde meydana gelen tepe yerdeğiştirmesinin, taban kesme kuvvetinin, tepe dönmesinin ve görelî kat ötelemesinin zamana bağılı olarak ilişkileri elde edilmiştir.



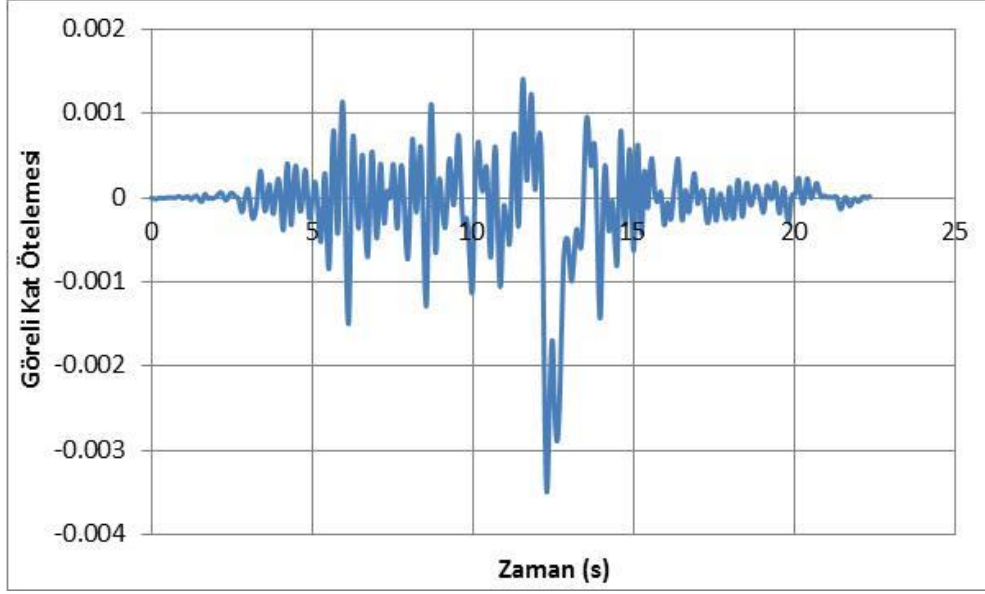
Şekil 5.170 : 0.7134_SUPERST_B-PTS315 Depremi.



Şekil 5.171 : 0.7134_SUPERST_B-PTS315 Depremi.

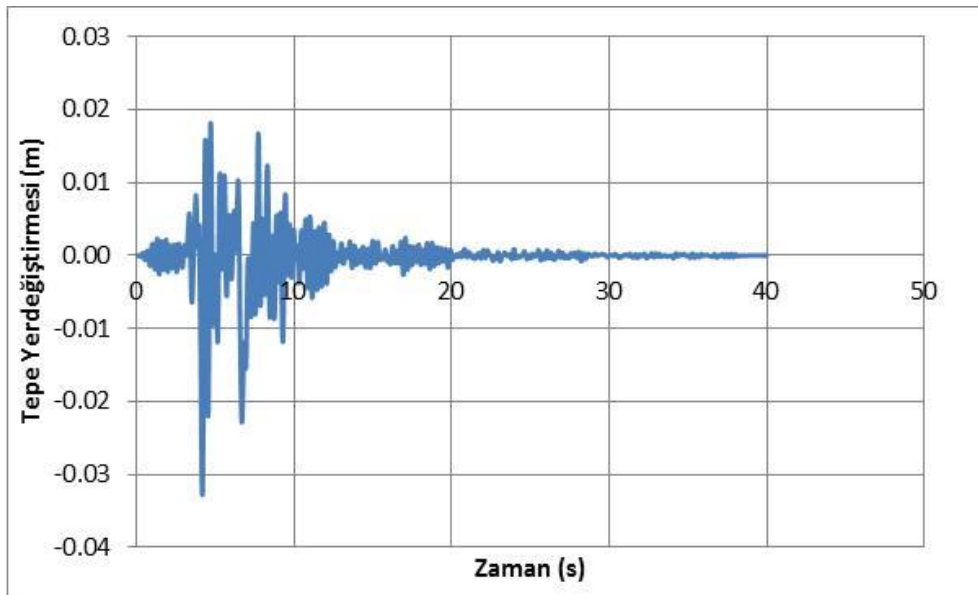


Şekil 5.172 : 0.7134_SUPERST_B-PTS315 Depremi.

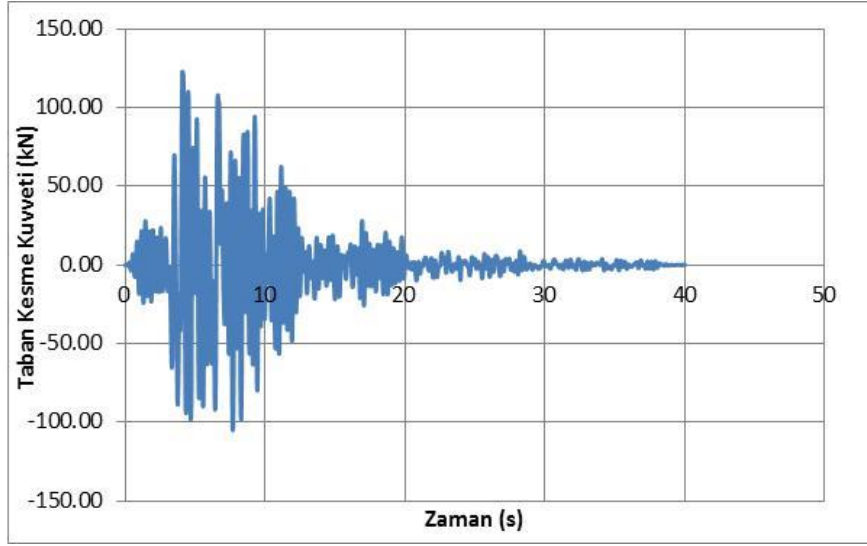


Şekil 5.173 : 0.7134_SUPERST_B-PTS315 Depremi.

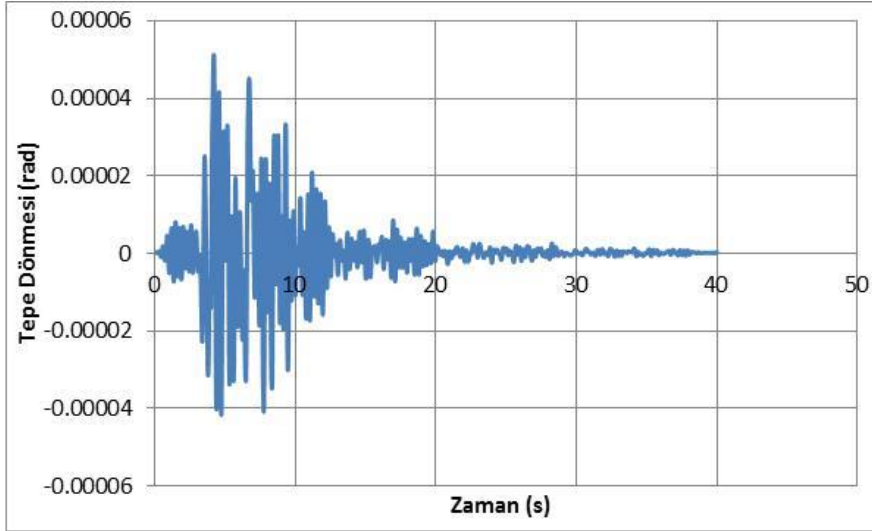
Spektruma benzetmek amacıyla 0.7134 kaysayısı ile değiştirilen 22.35 s süreye sahip *Superstition Hills depremi* etkisinde *Tip3* modelinin analiz sonuçları elde edilmiştir. Buna göre Şekil 5.170’de tepe yerdeğiştirmesi-zaman, Şekil 5.171’de taban kesme kuvveti-zaman, Şekil 5.172’de tepe dönmesi-zaman ve Şekil 5.173’de görel kat ötelemesi-zaman grafikleri gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre öndöküm düşey cephe panelinin deprem etkisinde yaptığı en büyük yatay yerdeğiştirme değeri 0.035 m dir. Panelde oluşan en büyük taban kesme kuvveti değeri ise 123.35 kN dur. Ayrıca panel tepesinde oluşan en büyük dönme değeri 0.0000539 rad, panelin yaptığı en büyük görel kat ötelemesi değeri ise 0.0035 olarak elde edilmiştir.



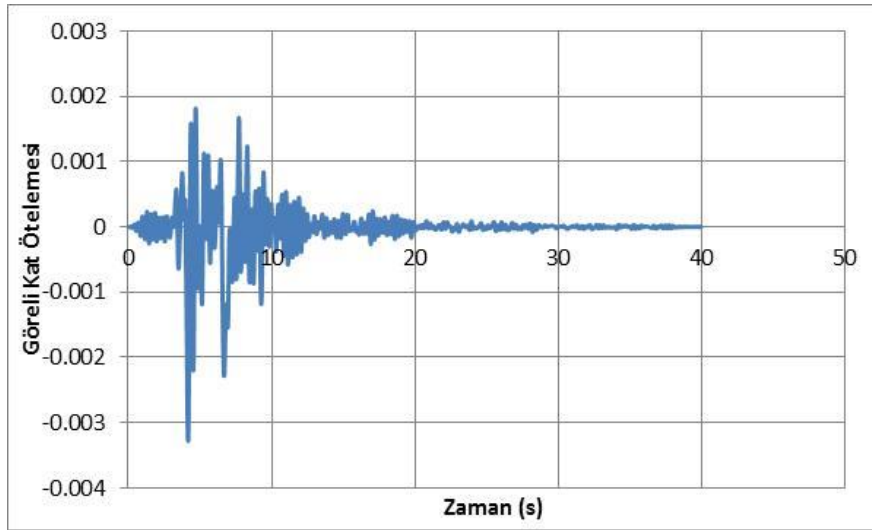
Şekil 5.174 : 0.9323_NORTH_R_SYL360 Depremi.



Şekil 5.175 : 0.9323_NORTHR_SYL360 Depremi.

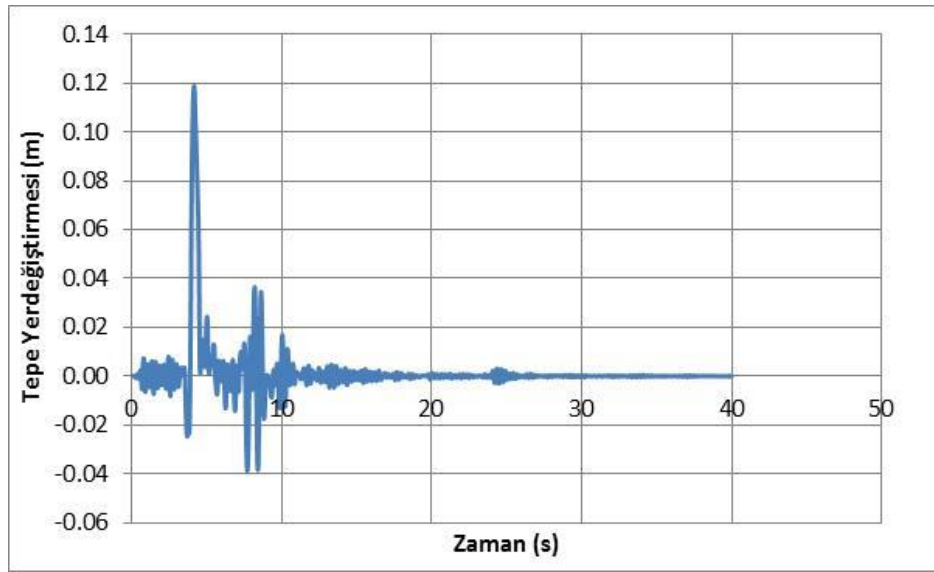


Şekil 5.176 : 0.9323_NORTHR_SYL360 Depremi.

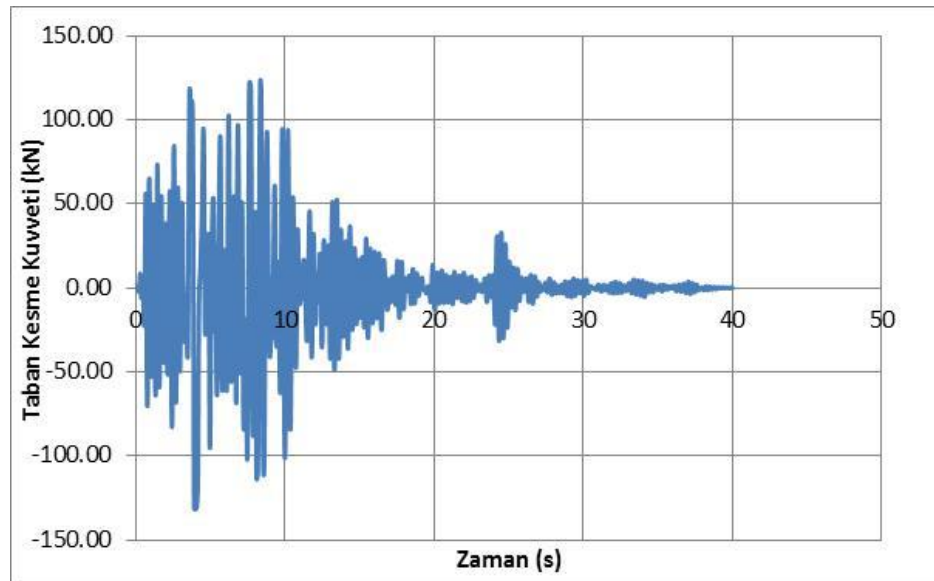


Şekil 5.177 : 0.9323_NORTHR_SYL360 Depremi.

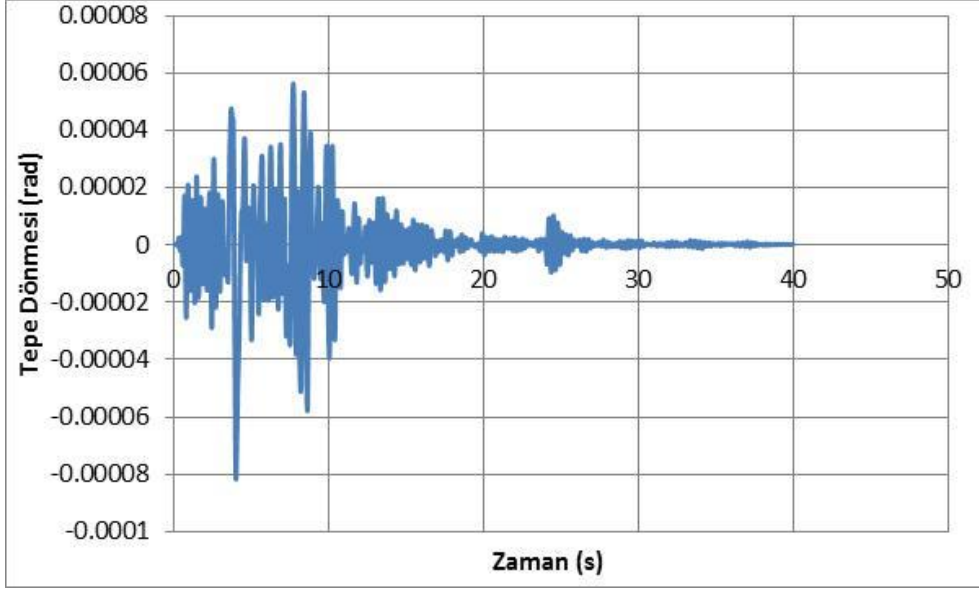
0.9323 katsayısı ile büyütülerek spektruma benzetilen ve 40.00 s süreye sahip *Northridge depremi* etkisinde *Tip3* modelinin analiz sonuçları elde edilmiştir. Buna göre Şekil 5.174’de tepe yerdeğiştirmesi-zaman, Şekil 5.175’de taban kesme kuvveti-zaman, Şekil 5.176’de tepe dönmesi-zaman ve Şekil 5.177’de görelî kat ötelemesi-zaman grafikleri gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre öndöküm düşey cephe panelinin deprem etkisinde yaptığı en büyük yatay yerdeğiştirme değeri 0.033 m dir. Panelde oluşan en büyük taban kesme kuvveti değeri ise 122.94 kN dur. Paneldeki en büyük tepe dönmesi 0.0000513 rad iken en büyük görelî kat ötelemesi değeri ise 0.0033 olarak elde edilmektedir.



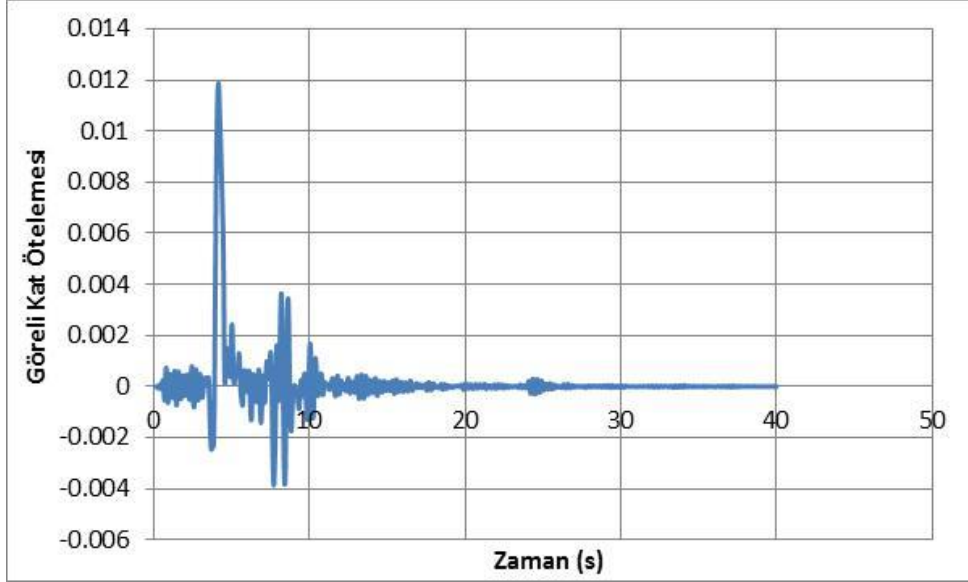
Şekil 5.178 : 0.61125_NORTHR_RAN000 Depremi.



Şekil 5.179 : 0.61125_NORTHR_RAN000 Depremi.

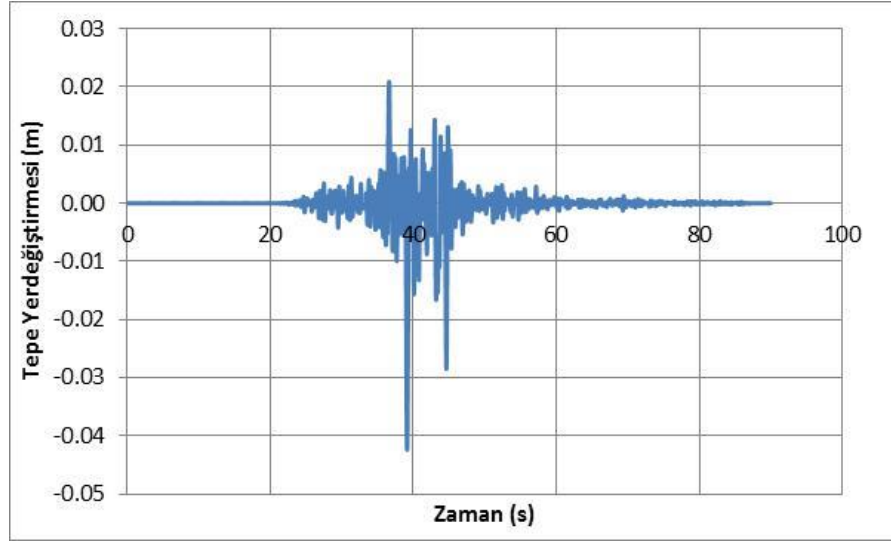


Şekil 5.180 : 0.61125_NORTHR_RAN000 Depremi.

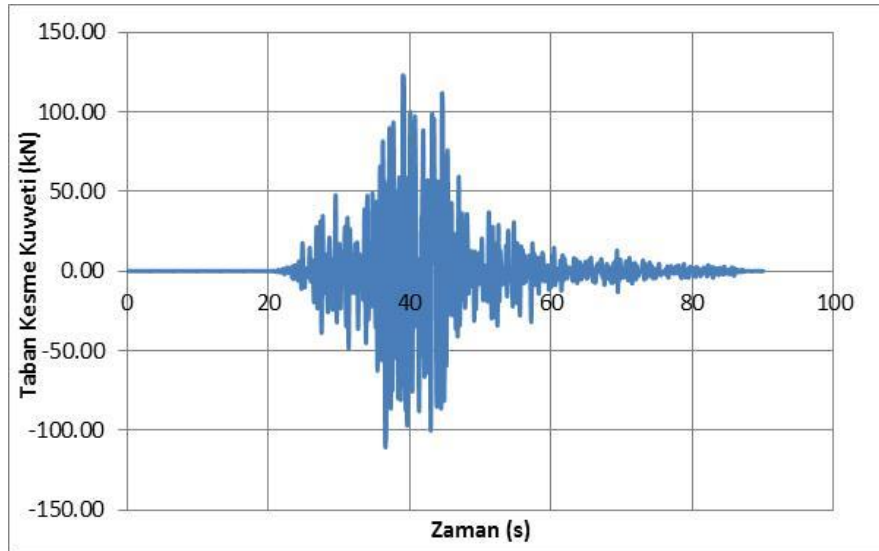


Şekil 5.181 : 0.61125_NORTHR_RAN000 Depremi.

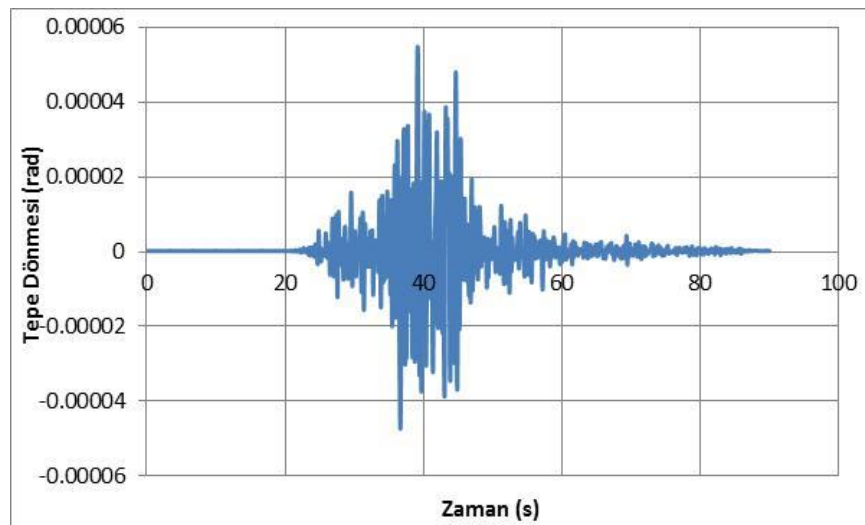
Tip3 modeli, spektruma benzetmek amacıyla 0.61125 katsayısı ile değiştirilen 40.00 s uzunluğa sahip ve farklı istasyondan alınan *Northridge depremi* etkisinde analiz yapılarak sonuçlar elde edilmiştir. Buna göre Şekil 5.178’de tepe yerdeğiştirmesi-zaman, Şekil 5.179’da taban kesme kuvveti-zaman, Şekil 5.180’de tepe dönmesi-zaman ve Şekil 5.181’de görel kat ötelemesi-zaman grafikleri gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre öndöküm düşey cephe panelinin deprem etkisinde yaptığı en büyük yatay yerdeğiştirme değeri 0.119 m dir. Panelde oluşan en büyük taban kesme kuvveti değeri ise 131.87 kN dur. Ayrıca paneldeki en büyük tepe dönmesi değeri 0.0000816 rad, en büyük görel kat ötelemesi değeri de 0.0119’dur.



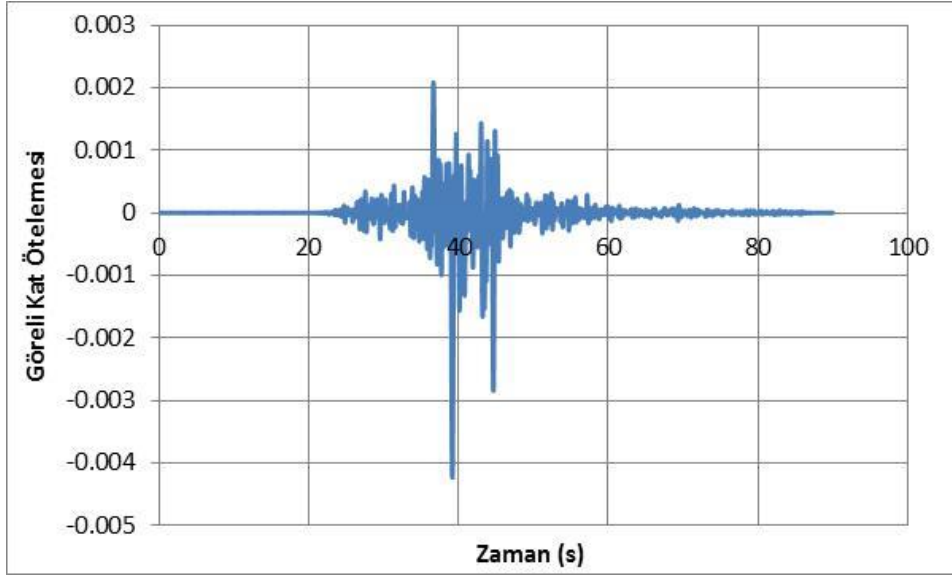
Şekil 5.182 : 0.64718_CHICHI_TCU074-N Depremi.



Şekil 5.183 : 0.64718_CHICHI_TCU074-N Depremi.

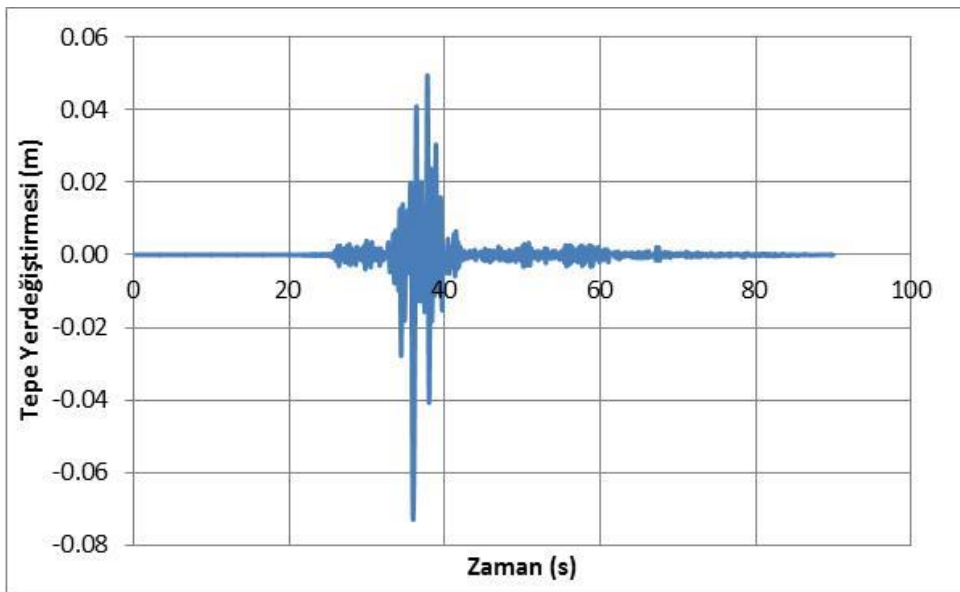


Şekil 5.184 : 0.64718_CHICHI_TCU074-N Depremi.

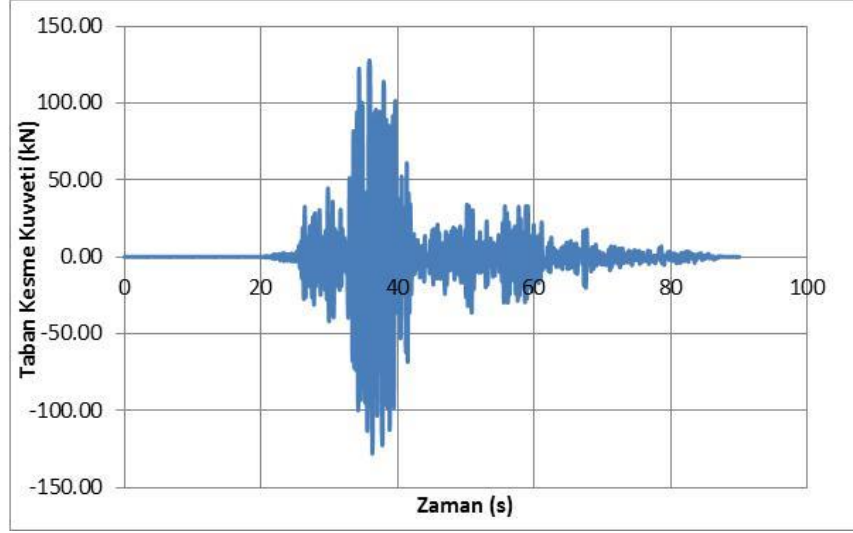


Şekil 5.185 : 0.64718_CHICHI_TCU074-N Depremi.

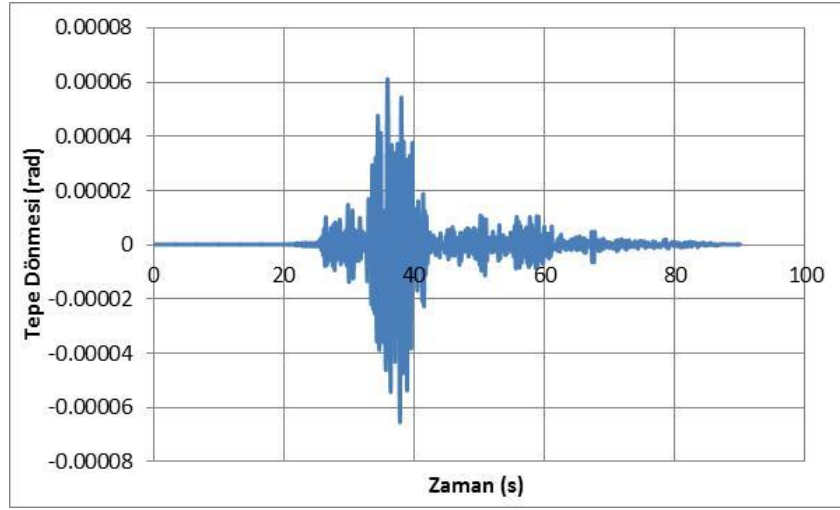
Chi chi depremi 0.64718 katsayısı ile çarpılarak spektruma benzetilmiştir. Kayıt uzunluğu 90.00 s dir. Bu kaydın etkisinde *Tip3* modelinin analiz sonuçları elde edilmiştir. Buna göre Şekil 5.182’de tepe yerdeğiştirmesi-zaman, Şekil 5.183’de taban kesme kuvveti-zaman, Şekil 5.184’de tepe dönmesi-zaman ve Şekil 5.185’de görel kat ötelemesi-zaman grafikleri gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre öndöküm düşey cephe panelinin deprem etkisinde yaptığı en büyük yatay yerdeğiştirme değeri 0.042 m dir. Panelde oluşan en büyük taban kesme kuvveti değeri ise 122.99 kN dur. Paneldeki en büyük tepe dönmesi 0.0000549, görel kat ötelemesi değeri ise 0.0042 olarak hesaplanmıştır.



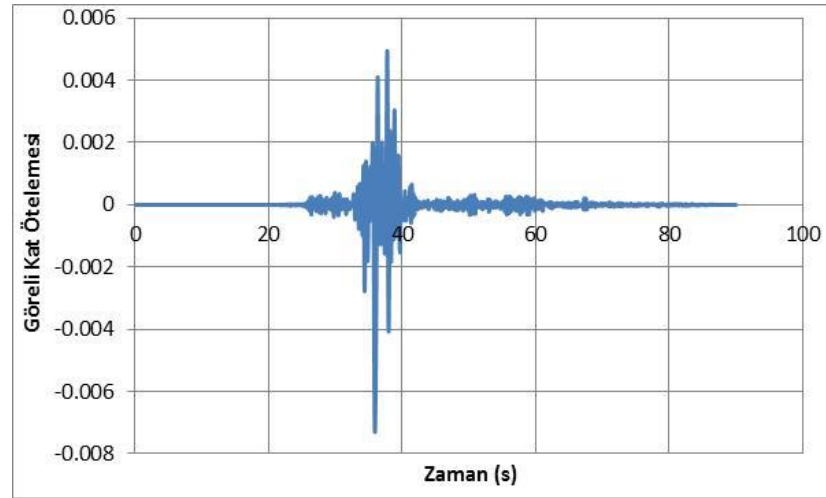
Şekil 5.186 : 0.64764_CHICHI_CHY029-E Depremi.



Şekil 5.187 : 0.64764_CHICHI_CHY029-E Depremi.

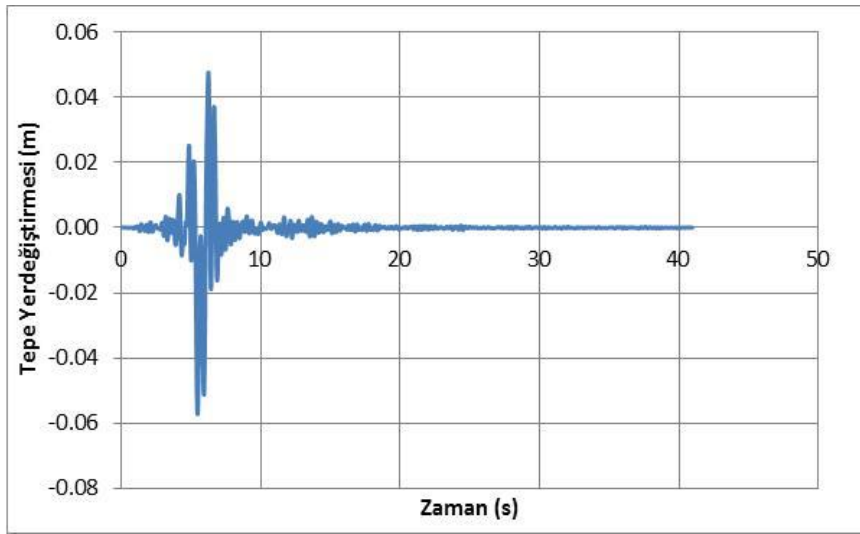


Şekil 5.188 : 0.64764_CHICHI_CHY029-E Depremi.

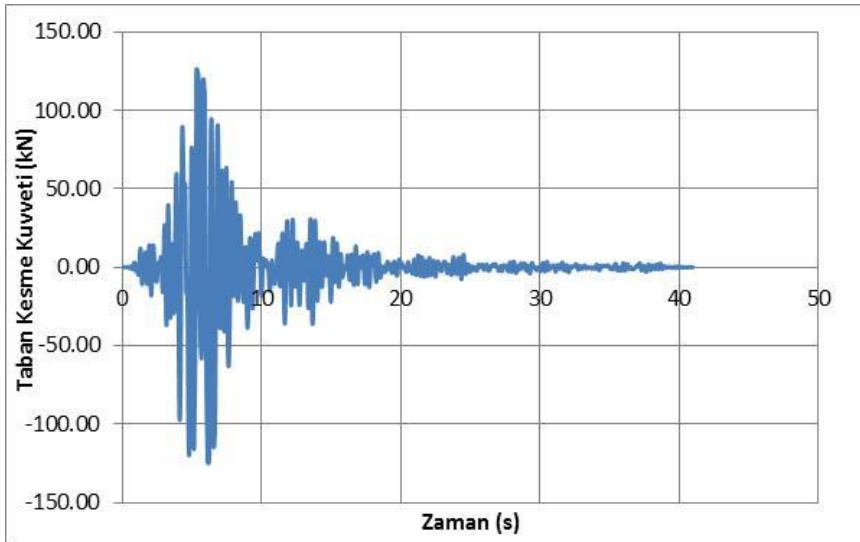


Şekil 5.189 : 0.64764_CHICHI_CHY029-E Depremi.

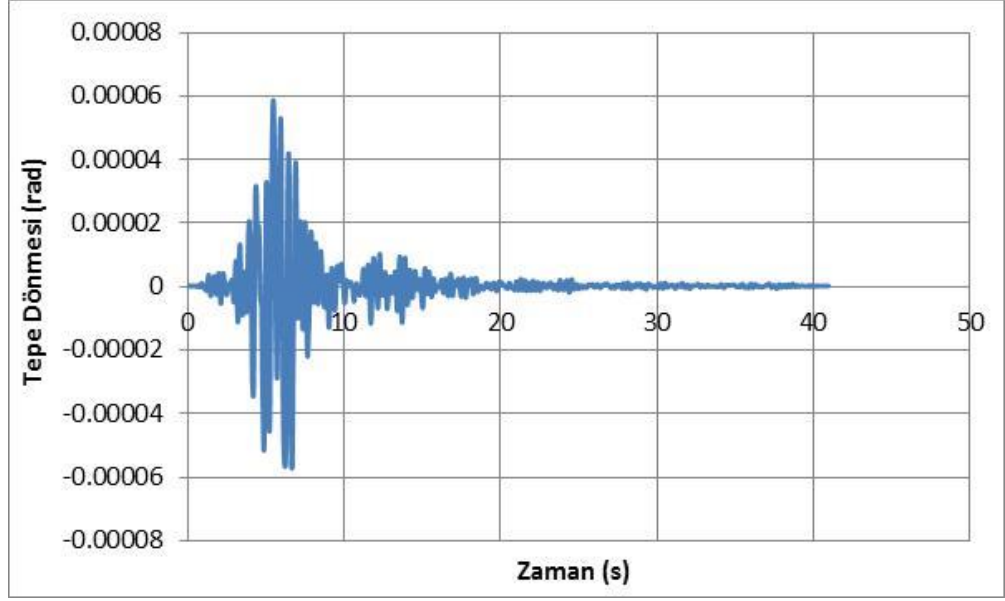
Farklı istasyondan alınan *Chi Chi depremi* spektruma benzetmek amacıyla 0.64764 katsayısı ile değiştirilmiştir. Şekil 5.186'da tepe yerdeğiştirmesi-zaman, Şekil 5.187'de taban kesme kuvveti-zaman, Şekil 5.188'de tepe dönmesi-zaman ve Şekil 5.189'da görel kat ötelemesi-zaman grafikleri gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre öndöküm düşey cephe panelinin deprem etkisinde yaptığı en büyük yatay yerdeğiştirme değeri 0.073 m dir. Panelde oluşan en büyük taban kesme kuvveti değeri ise 127.96 kN dur. Ayrıca, panelin tepesinde oluşan en büyük dönme miktarı 0.0000654 rad, panelin yaptığı en büyük görel kat ötelemesi değeri ise 0.0073 olarak hesaplanmıştır.



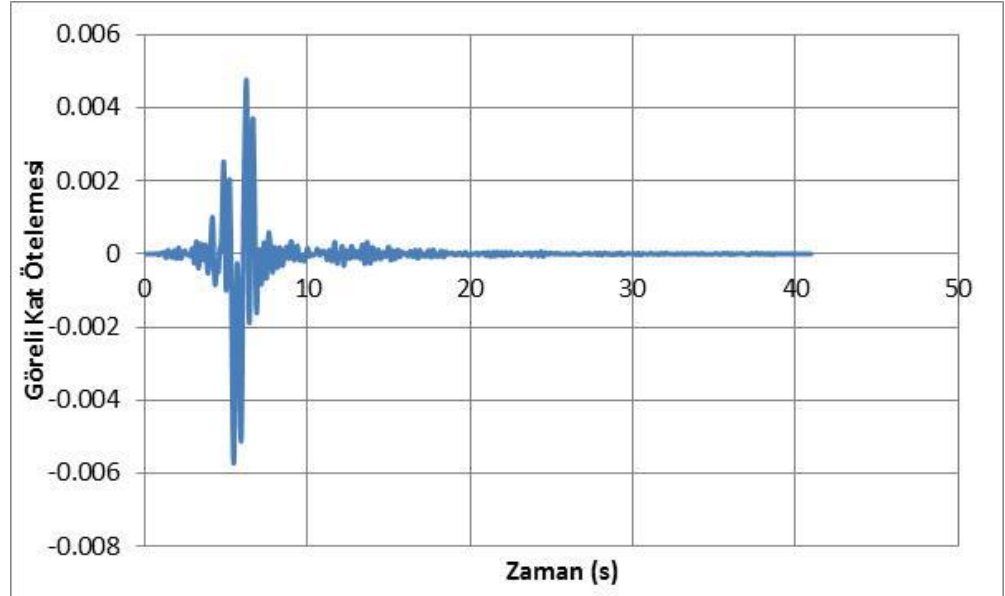
Şekil 5.190 : 0.67922_KOBE_TDO000 Depremi.



Şekil 5.191 : 0.67922_KOBE_TDO000 Depremi.

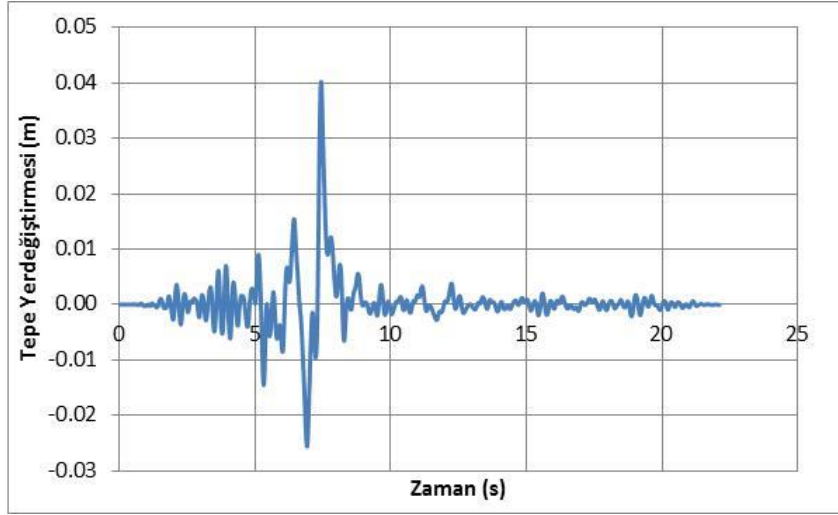


Şekil 5.192 : 0.67922_KOBE_TDO000 Depremi.

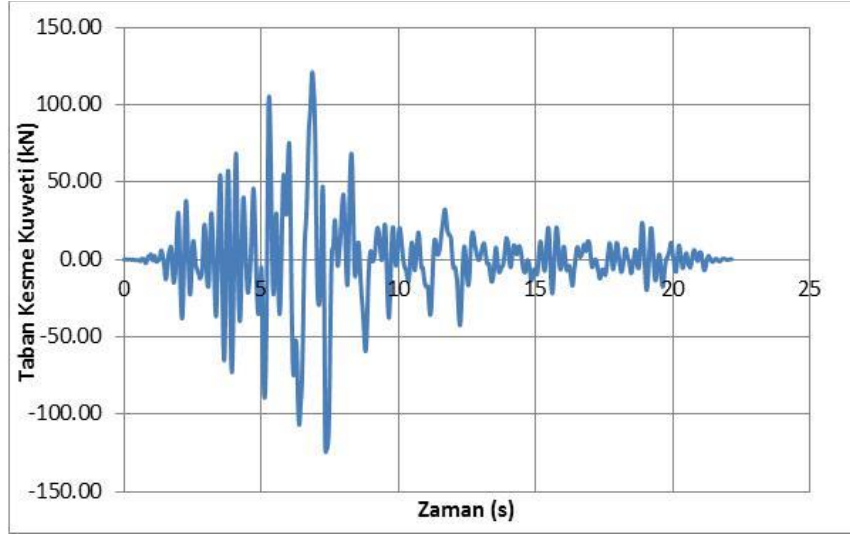


Şekil 5.193 : 0.67922_KOBE_TDO000 Depremi.

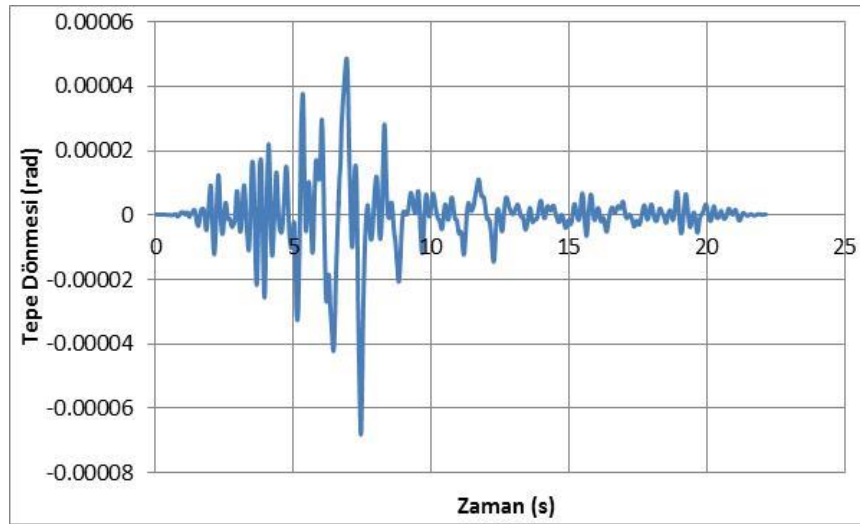
Spektruma benzetmek amacıyla 0.67922 katsayısı ile çarpılan 40.96 s uzunluğa sahip *Kobe depremi* etkisinde *Tip3* modelinin analiz sonuçları elde edilmiştir. Buna göre Şekil 5.190’da tepe yerdeğiştirmesi-zaman, Şekil 5.191’de taban kesme kuvveti-zaman, Şekil 5.192’de tepe dönmesi-zaman ve Şekil 5.193’de görelî kat ötelemesi-zaman grafikleri gösterilmiş-tir. Elde edilen sonuçlara göre öndöküm düşey cephe panelinin deprem etkisinde yaptığı en büyük yatay yerdeğiştirme değeri 0.057 m dir. Panelde oluşan en büyük taban kesme kuvveti değeri ise 126.42 kN dur. Paneldeki en büyük tepe dönme değeri 0.0000587 rad iken en büyük görelî kat ötelemesi değeri de 0.0057’dir.



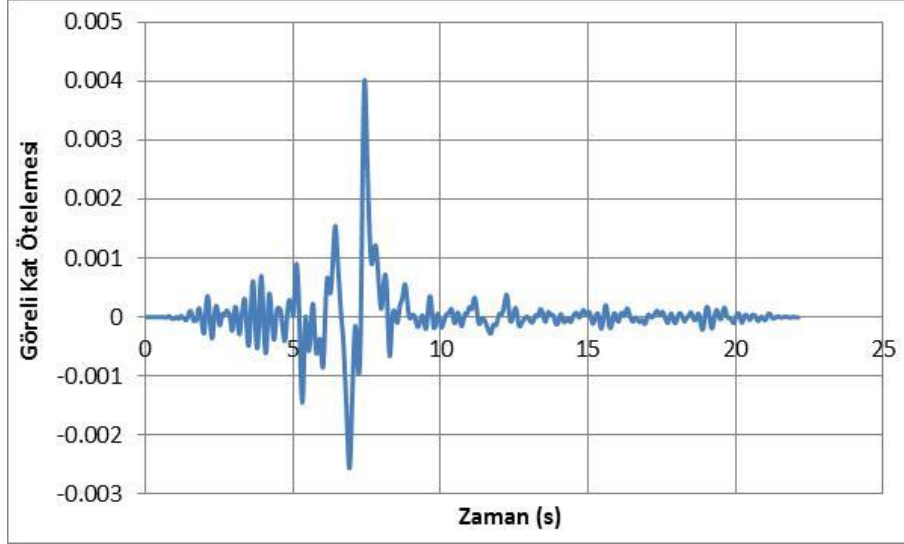
Şekil 5.194 : 0.68106_NORTHR_PAR—T Depremi.



Şekil 5.195 : 0.68106_NORTHR_PAR—T Depremi.



Şekil 5.196 : 0.68106_NORTHR_PAR—T Depremi.



Şekil 5.197 : 0.68106_NORTH_R_PAR—T Depremi.

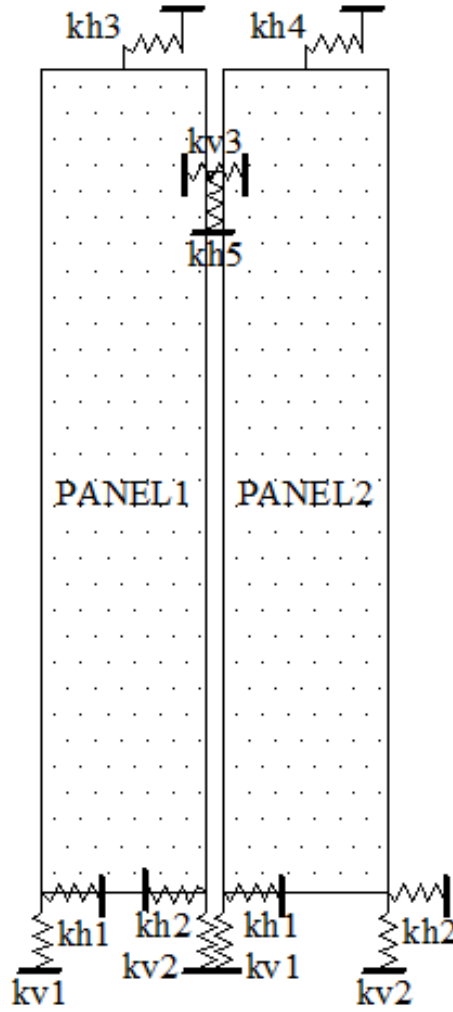
Tip3 modeli, spektruma benzetmek amacıyla 0.68106 katsayısı ile çarpılmış *Northridge* depremi etkisinde incelenmiştir. Buna göre Şekil 5.194’de tepe yerdeğiştirmesi-zaman, Şekil 5.195’de taban kesme kuvveti-zaman, Şekil 5.196’da tepe dönmesi-zaman ve Şekil 5.197’de görel kat ötelemesi-zaman grafikleri gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre öndöküm düşey cephe panelinin deprem etkisinde yaptığı en büyük yatay yerdeğiştirme değeri 0.041 m dir. Panelde oluşan en büyük taban kesme kuvveti değeri ise 61.89 kN dur. Ayrıca, paneldeki en büyük tepe dönmesi değeri 0.0000681 rad, en büyük görel kat ötelemesi için 0.0041 olarak elde edilmiştir.

Çizelge 5.12 : *Tip3* modeli zaman tanım alanı hesap sonuçları.

Deprem	Tepe Yerdeğiştirmesi (m)	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Tepe Dönmesi (rad)	Görel Kat Ötelemesi
0.7134_SUPERST_BPTS315	0.035	123.347	0.0000539	0.0035
0.9323_NORTH_R_SYL360	0.033	122.936	0.0000513	0.0033
0.61125_NORTH_R_RAN000	0.119	131.871	0.0000816	0.0119
0.64718_CHICHI_TCU074N	0.042	122.992	0.0000549	0.0042
0.64764_CHICHI_CHY029E	0.073	127.963	0.0000654	0.0073
0.67922_KOBE_TDO000	0.057	126.423	0.0000587	0.0057
0.68106_NORTH_R_PAR--T	0.040	124.373	0.0000681	0.0040
Ortalama	0.057	125.700	0.0000620	0.0057
Standart Sapma	0.028	3.070	0.0000098	0.0028
Standard Sapma/Ortalama	0.497	0.228	0.158	0.497

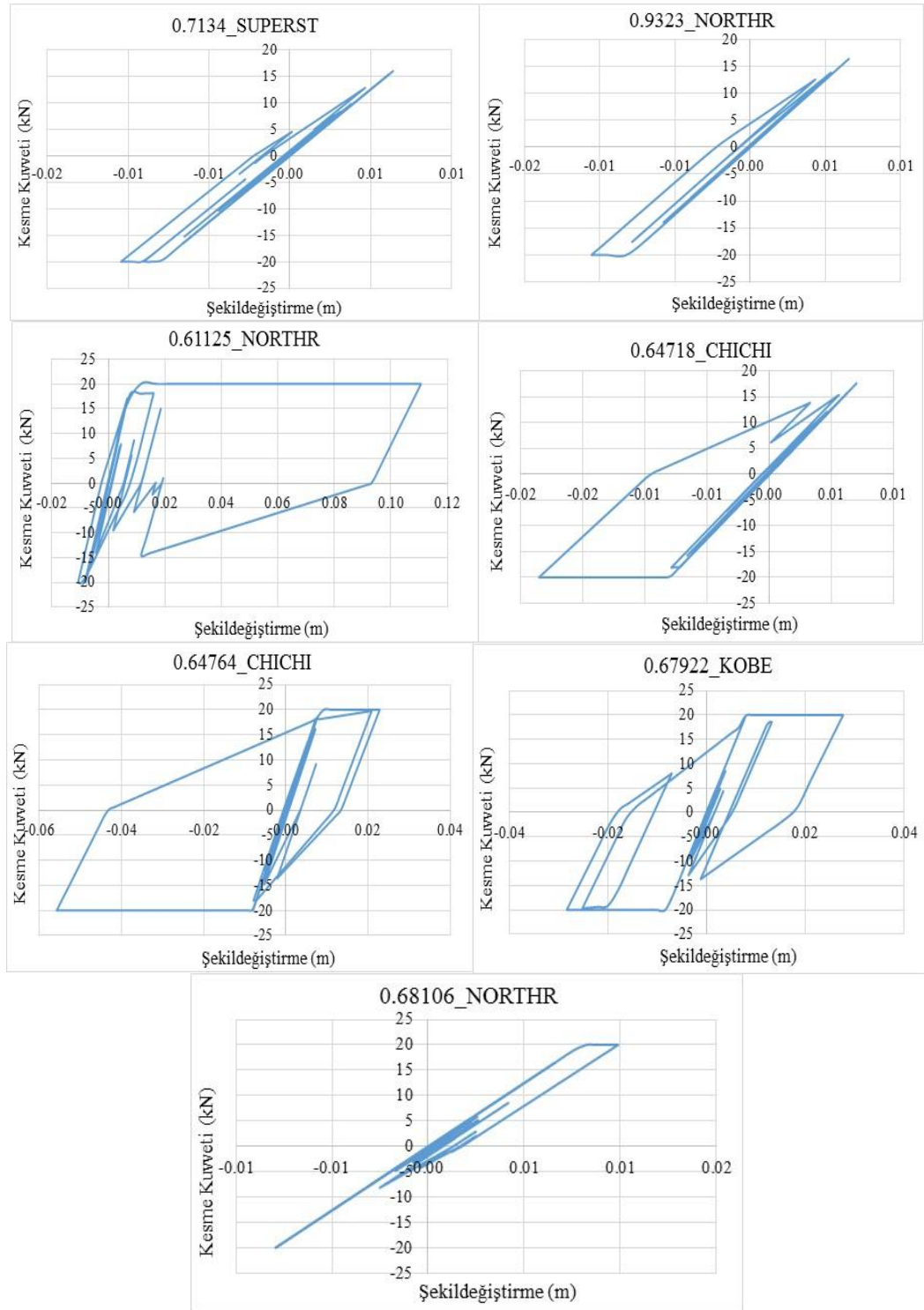
Tip3 modelinin farklı istasyonlardan seçilen ve farklı katsayılar ile çarpılan 7 deprem etkisinde tepe yerdeğiştirme, taban kesme kuvveti, tepe dönmesi ve görel kat ötelemeleri elde edilmiştir.

Analiz sonuçları Çizelge 5.12’ de gösterilmektedir. Sistemde oluşan tepe yerdeğiştirme değerlerinin ortalaması 0.057 m, standart sapması 0.028 olarak elde edilmiştir. Taban kesme kuvvetlerinin ortalaması 125.70 kN, standart sapması ise 3.070 olarak elde edilmiştir. Tepe yerdeğiştirmesi için standart sapmanın ortalama değerlerine oranı 0.429, taban kesme kuvveti değerleri için ise 0.228 olarak elde edilmiştir. Tepe dönmesi değerlerinin ortalama 0.0000620 rad, standart sapması ise 0.158 olarak elde edilmiştir. Ayrıca, görelî kat ötelemesi değerlerinin ortalaması 0.0057, standart sapması ise 0.0028 olarak hesaplanmıştır.



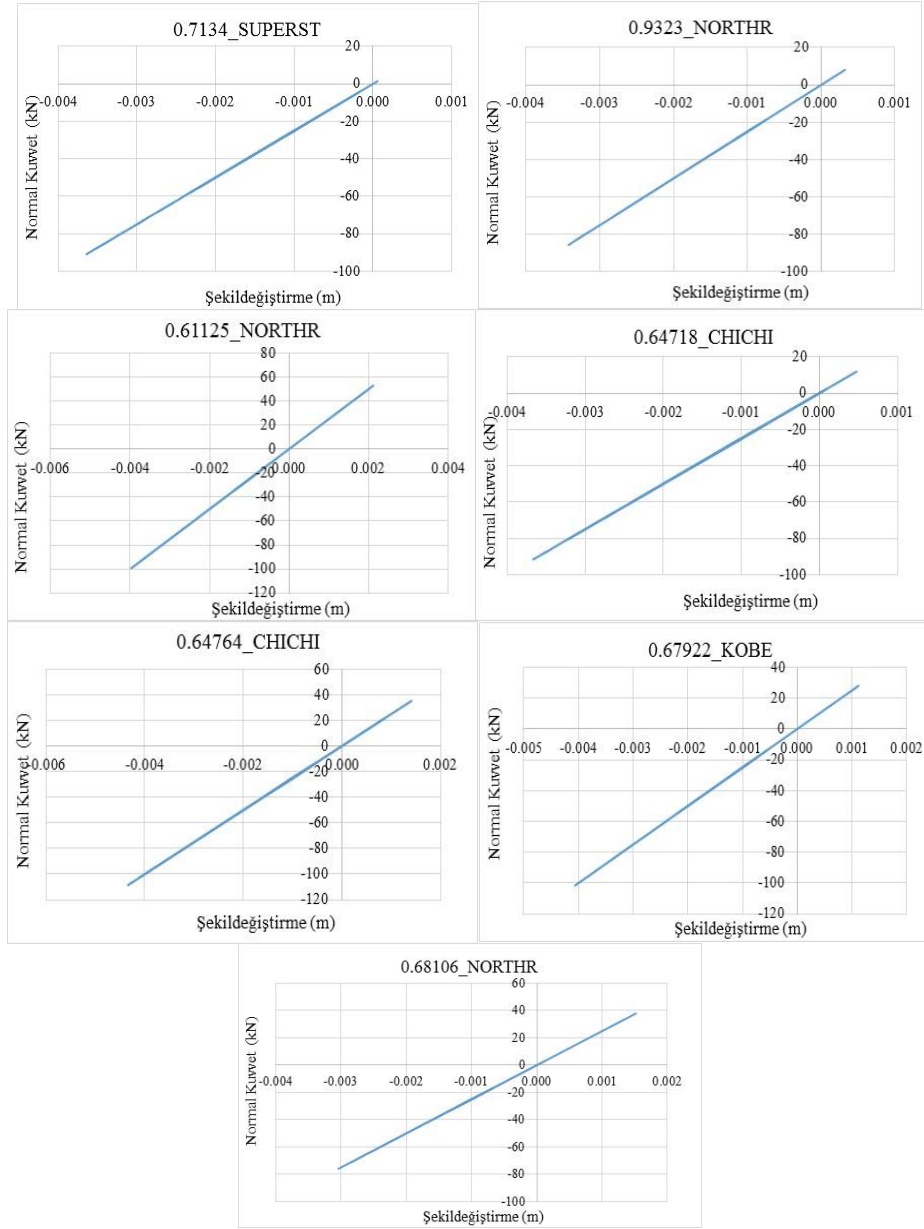
Şekil 5.198 : *Tip3* yay isimlendirmesi.

Panellerin altına yerleştirilen enerji sönümleyici bağlantı elemanlarından yatay olanlar *kh* indisi ile, düşey olanlar ise *kv* ismi ile gösterilmiştir. *Tip3* modeline ait yaylar Şekil 5.198’de gösterilmiştir. Analizler sonucunda, *Tip3* modeline ait kuvvet-şekildeğiştirme ilişkileri elde edilmiştir.



Şekil 5.199 : Panelde bulunan *kh1-kh2* yaylarının deprem etkisindeki kesme kuvveti-şekildeğiştirme ilişkileri.

Tip3 modelindeki Panel1' e ait *kh1* ve *kh2* yaylarının analizler sonucunda meydana çıkan kesme kuvveti-şekildeğiştirme ilişkileri Şekil 5.199' da gösterilmektedir. Analiz sonuçlarına göre *kh1* yayı 7 deprem etkisinde de plastik şekildeğiştirme yapmamıştır.



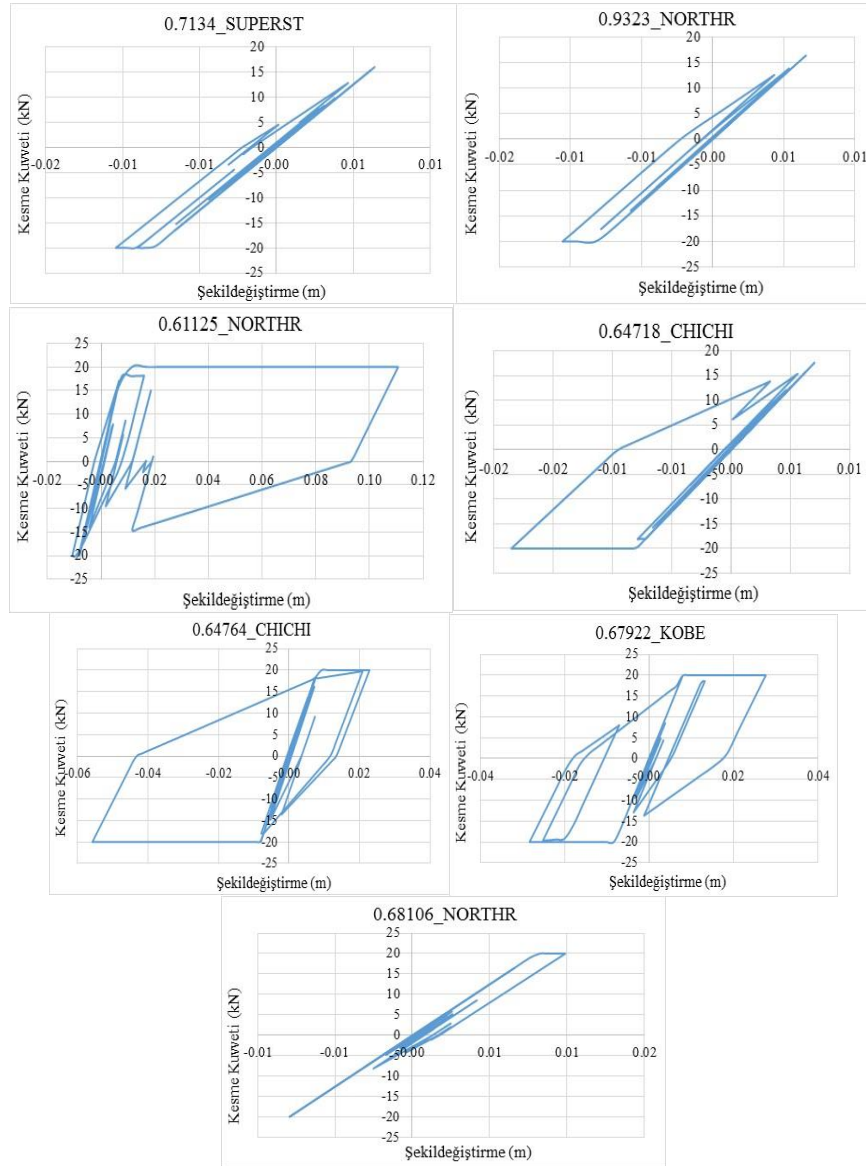
Şekil 5.200 : Panel1 de bulunan *kv1-kv2* yaylarının deprem etkisindeki normal kuvvet-şekildeğiştirme.

Çizelge 5.13 : Panel1 *kh1-kh2* yayı zaman tanım alanı hesap sonuçları.

Deprem	Şekildeğiştirme (m)	Dayanım Kuvveti (kN)
0.7134_SUPERST_B-PTS315	0.011	19
0.9323_NORTHR_SYL360	0.011	19
0.61125_NORTHR_RAN000	0.112	20
0.64718_CHICHI_TCU074-N	0.021	19
0.64764_CHICHI_CHY029-E	0.059	20
0.67922_KOBE_TDO000	0.031	20
0.68106_NORTHR_PAR--T	0.010	20
Ortalama	0.036	19.571
Standart Sapma	0.035	0.495
Standard Sapma/Ortalama	0.955	0.025

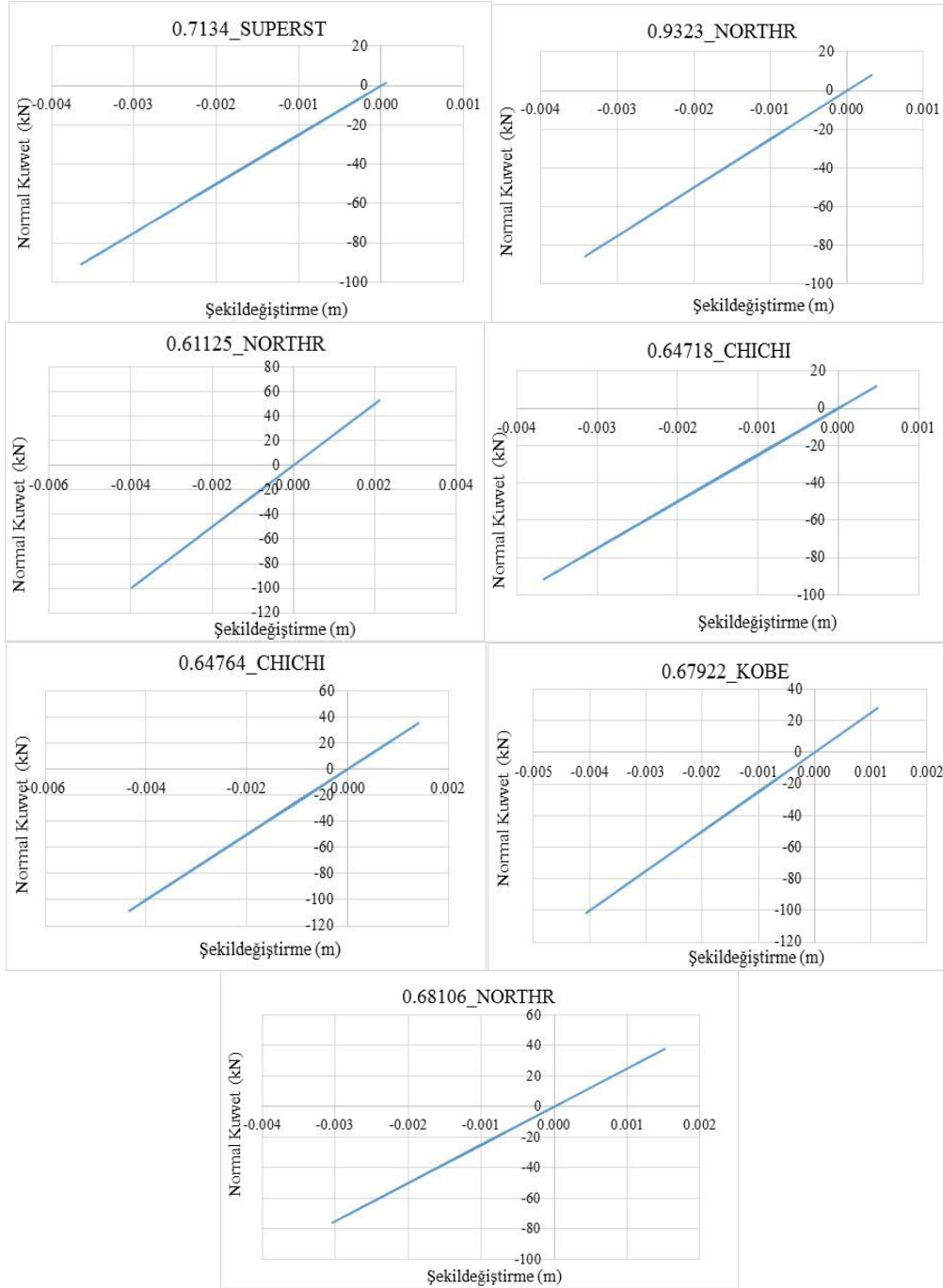
Tip3 modelinde Panel1 in $kv1$ ve $kv2$ düşey doğrultudaki yaylarının seçilen depremler sonucunda ortaya çıkan normal kuvvet-şekildeğiştirme ilişkisi Şekil 5.200’ de verilmiştir. Buna göre tüm durumlardaki normal kuvvet-şekildeğiştirme ilişkilerinin doğrusal bölgede kaldığı görülmektedir.

Çizelge 5.13’ de $kh1$ ve $kh2$ yatay yaylarının kesme kuvvet-şekildeğiştirme ilişkilerine ait sonuçlar gösterilmiştir. Panel1’ e ait $kh1$ ve $kh2$ yaylarının deprem etkisi altındaki davranışları benzer çıkmıştır. Buna göre, $kh1$ ve $kh2$ yaylarının yaptıkları en büyük yerdeğiştirme istemi 0.112 m, ortalama yerdeğiştirme değeri ise 0.036 m dir. Yerdeğiştirme istemlerinin standart sapması ise 0.035m olarak elde edilmiştir. Standart sapmanın ortalamaya oranı ise 0.955 olarak hesaplanmıştır.



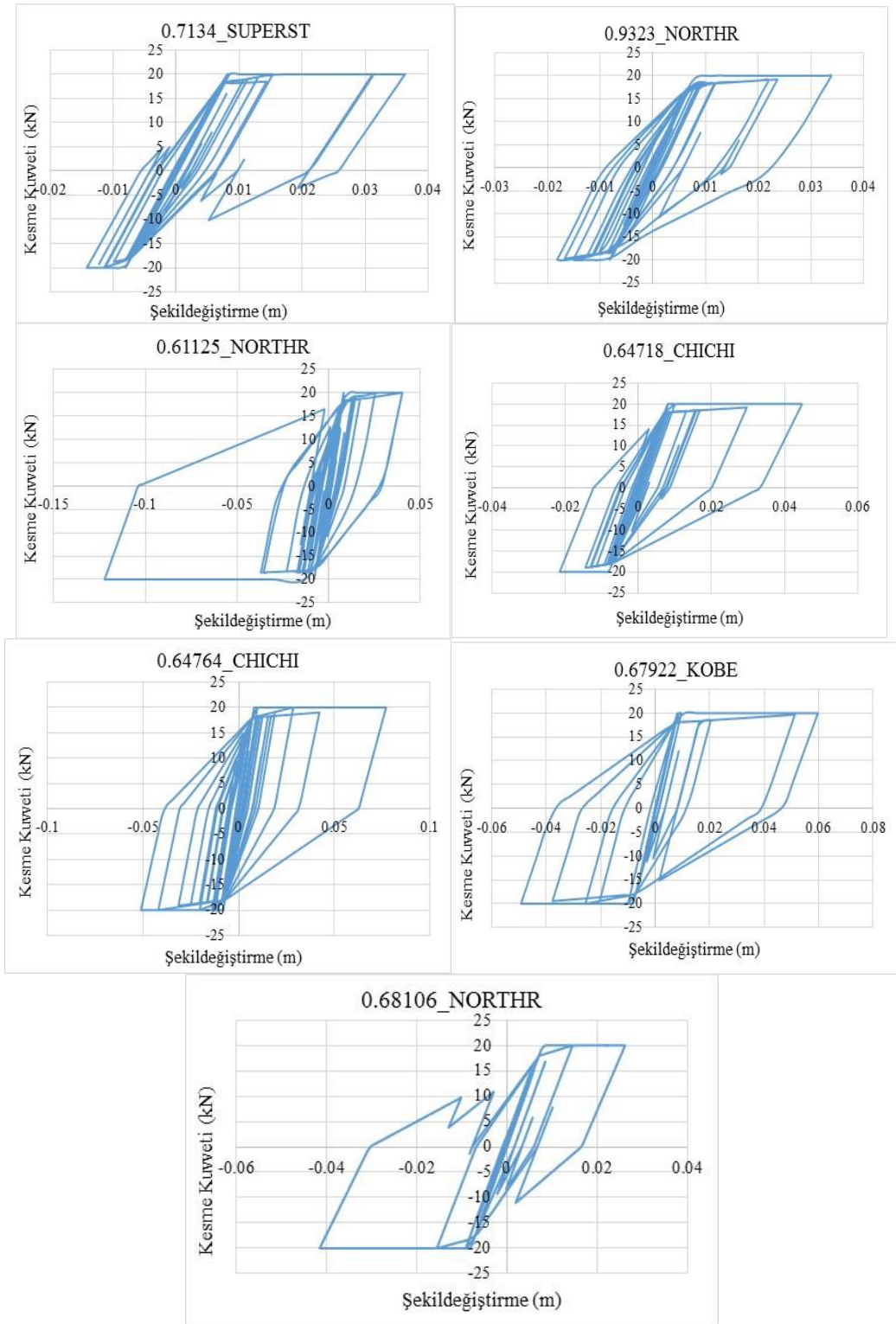
Şekil 5.201 : Panel2de bulunan $kh1$ - $kh2$ yaylarının deprem etkisindeki kesme kuvveti-şekildeğiştirme ilişkileri.

Şekil 5.201’de *Tip3* modelindeki Panel2 yayında bulunan *kh1* ve *kh2* yatay yaylarının kesme kuvveti-şekildeğiştirme ilişkileri gösterilmiştir. 7 deprem etkisinde de elde edilen grafikler doğrusal olmayan davranış göstermiştir.



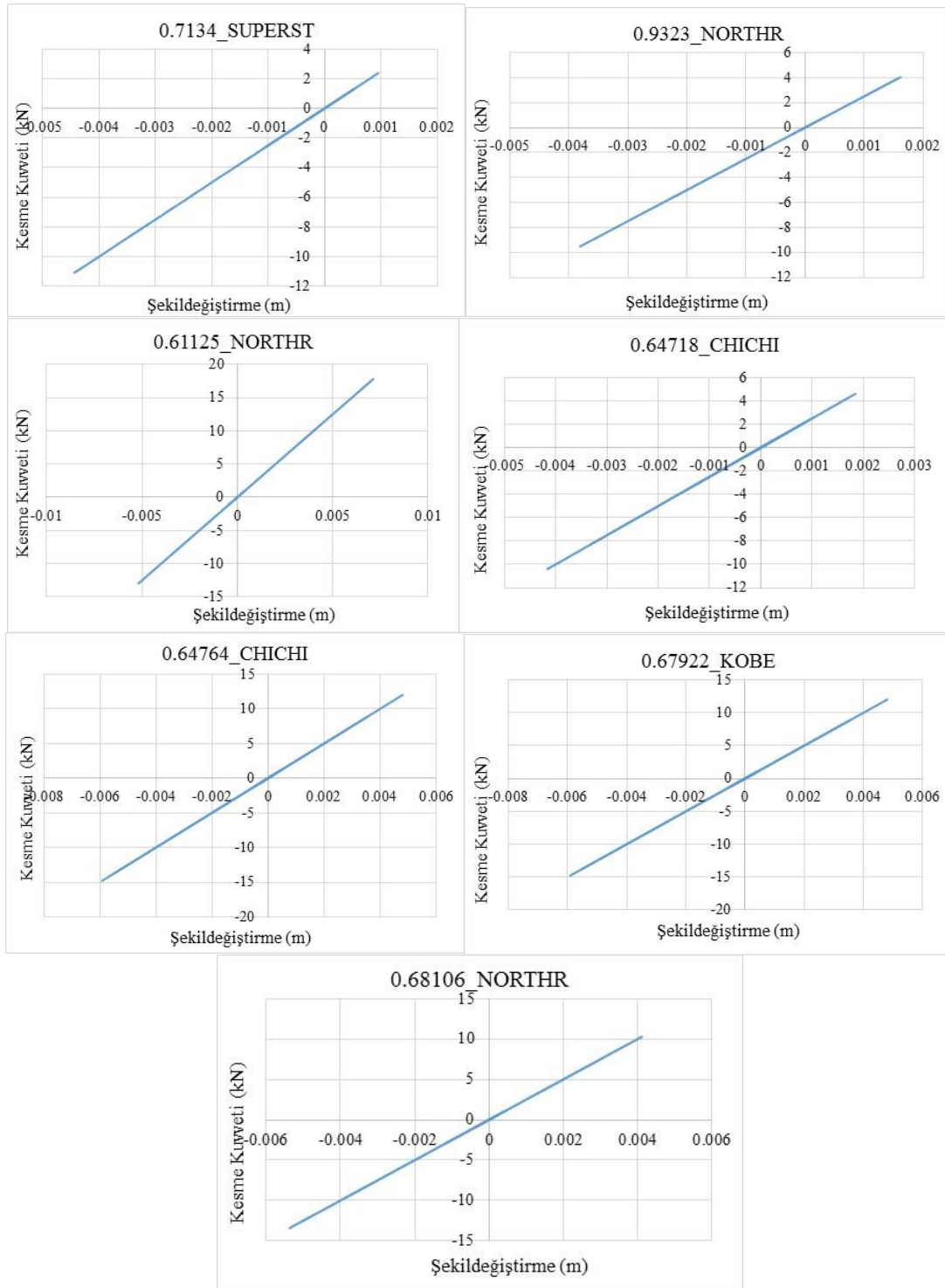
Şekil 5.202 : Panel2de bulunan *kv1-kv2* yaylarının deprem etkisindeki normal kuvvet-şekildeğiştirme ilişkileri.

Şekil 5.202’ de *Tip3* modelindeki Panel2 elemanında bulunan *kv1* ve *kv2* düşey yaylarının depremler etkisinde elde edilen normal kuvvet-şekil değıştirme çevrimleri gösterilmektedir. Çevrimlerin tamamen doğrusal bir çizgide ilerlediği söylenebilir.



Şekil 5.203 : *kh3-kh4* yayları deprem etkisindeki kesme kuvveti-şekildeğiştirme ilişkisi.

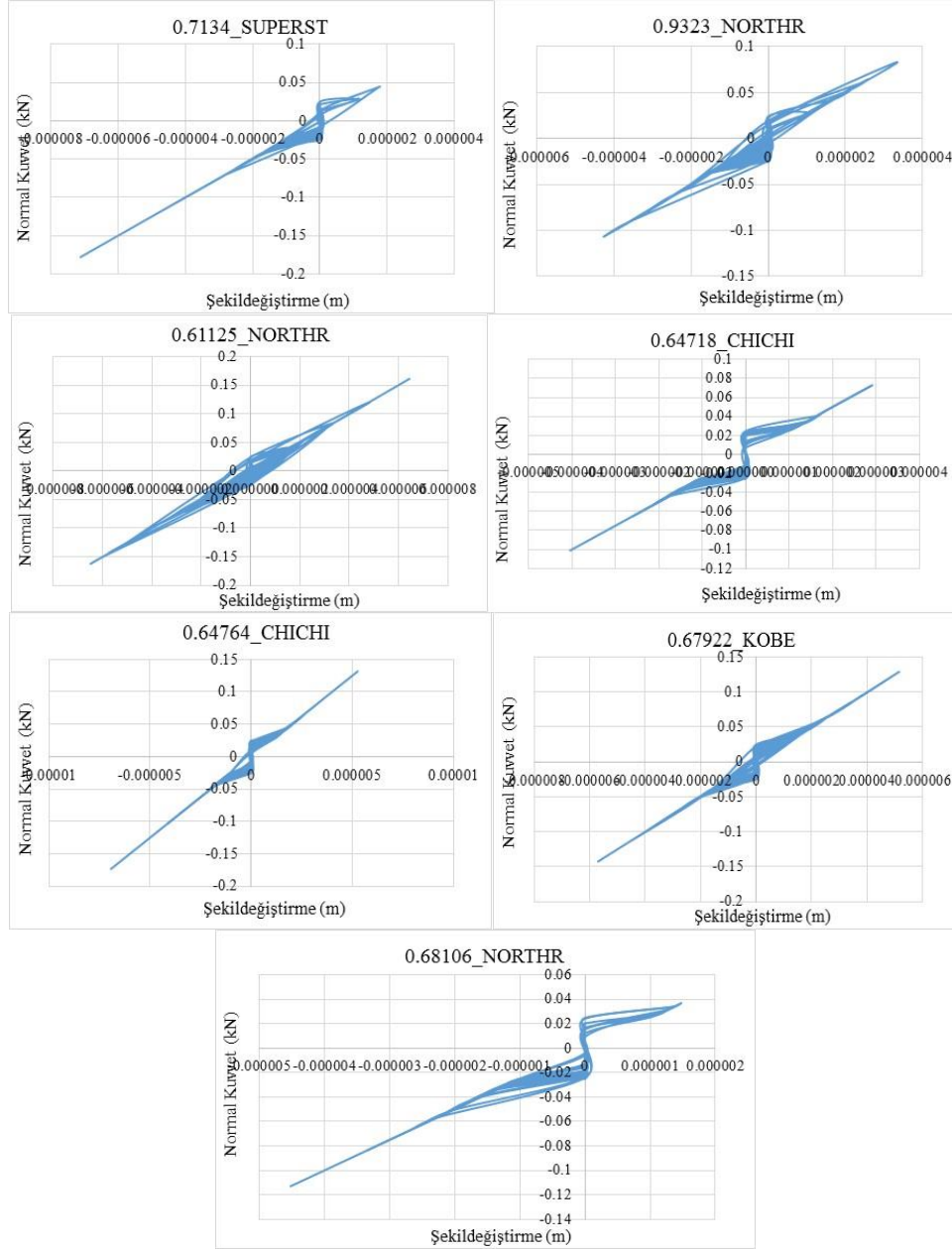
Şekil 5.203’de Panel1 ve Panel2’ nin taşıyıcı sistemle bağlantılarının yapıldığı *kh3* ve *kh4* kayıcı yayların depremler etkisindeki kesme kuvveti-şekildeğiştirme çevrimleri verilmiştir. Yaylarda plastik şekildeğiştirme meydana gelmiştir.



Şekil 5.204 : *kh5* yayı deprem etkisindeki kesme kuvveti-şekildeğiştirme ilişkileri.

Tip3 modelindeki iki panelin birbiri ile bağlantılarının sağlandığı *kh5* yayına ait analiz sonuçları Şekil 5.204’de verilmiştir. Buna göre *kh5 düşey doğrultudaki* yayda sadece elastik şekildeğiştirme meydana gelmiştir.

Tip3 modelinde *kv3* yayına ait sonuçlar Şekil 5.205’de gösterilmektedir. *Kv3* yayında herhangi bir plastik şekildeğiştirme meydana gelmemiştir.



Şekil 5.205 : kv3 yayı deprem etkisindeki normal kuvvet-şekildeğiştirme ilişkisi.

Çizelge 5.14 : Panel2 kh1-kh2 yayı zaman tanım alanı hesap sonuçları.

Deprem	Şekildeğiştirme (m)	Dayanım Kuvveti (kN)
0.7134_SUPERST_B-PTS315	0.011	19
0.9323_NORTHR_SYL360	0.011	19
0.61125_NORTHR_RAN000	0.112	20
0.64718_CHICHI_TCU074-N	0.021	19
0.64764_CHICHI_CHY029-E	0.059	20
0.67922_KOBE_TDO000	0.031	20
0.68106_NORTHR_PAR--T	0.010	20
Ortalama	0.036	19.571
Standart Sapma	0.035	0.495
Standard Sapma/Ortalama	0.955	0.025

Çizelge 5.15 : *kh3-kh4* yayı zaman tanım alanı hesap sonuçları.

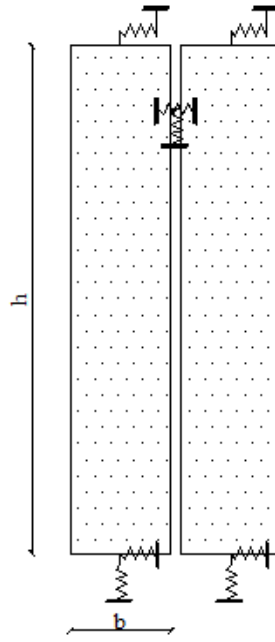
Deprem	Şekildeğiştirme (m)	Dayanım Kuvveti (kN)
0.7134_SUPERST_B-PTS315	0.035	20
0.9323_NORTHR_SYL360	0.033	20
0.61125_NORTHR_RAN000	0.119	20
0.64718_CHICHI_TCU074-N	0.042	20
0.64764_CHICHI_CHY029-E	0.073	20
0.67922_KOBE_TDO000	0.058	20
0.68106_NORTHR_PAR--T	0.040	20
Ortalama	0.057	20.000
Standart Sapma	0.028	0.000
Standard Sapma/Ortalama	0.498	0.000

Panel2' ye ait *kh1* ve *kh2* yaylarının deprem etkisi altındaki davranışları Çizelge 5.14'de gösterilmiştir ve davranışları benzer çıkmıştır. Buna göre, *kh1* ve *kh2* yaylarının yaptıkları en büyük yerdeğiştirme istemi 0.112 m, ortalama yerdeğiştirme değeri ise 0.036 m dir. Yerdeğiştirme istemlerinin standart sapması ise 0.035m olarak elde edilmiştir. Standart sapmanın ortalamaya oranı ise 0.955 olarak hesaplanmıştır.

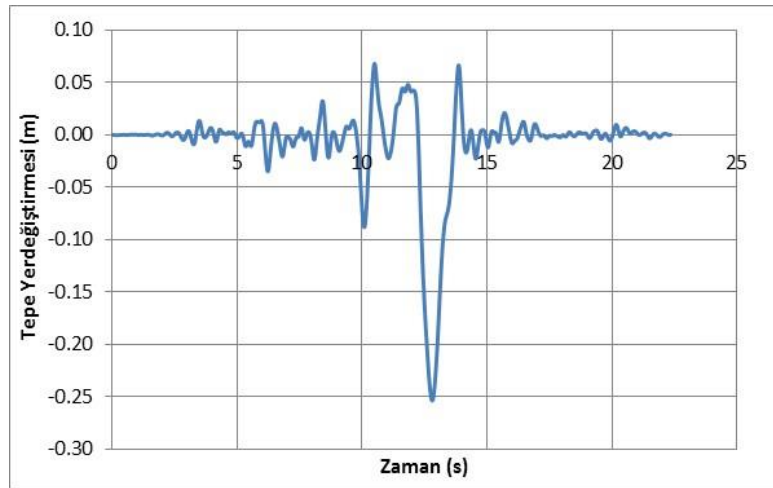
kh3 ve *kh4* yayları da Çizelge 5.15' e göre birbirleri ile örtüşen sonuçlar vermişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre, yayların en büyük yerdeğiştirme istemi 0.119 m iken ortalama yerdeğiştirme istemleri de 0.057m'dir. Bu değerlere ait standart sapma değeri ise 0.028 olarak elde edilmiştir. Standart sapmanın ortalama değerine oranı da 0.498 değerini vermektedir.

5.3.5.5 *Tip4* modeli

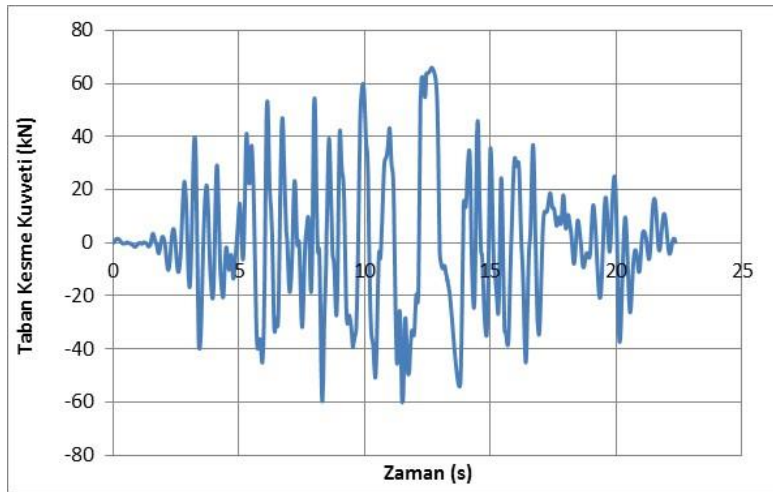
Şekil 5.206' da gösterilen *Tip4* modeli, *Tip3* modeline alternatif olarak üretilmiştir. Paneller temele tam orta noktalarından birer düşey ve yatay yay çiftiyle bağlanmıştır. Paneller birbirlerine çelik yastığı temsil eden düşey ve yatay yay ile bağlanmıştır. Ayrıca panellerin taşıyıcı sistem ile bağlantıları üstten birer kayıcı mesnet ile yapılmıştır. *Tip4* modeli için, seçilen 7 deprem kaydı etkisinde *Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analizler* yapılmıştır. Analizler sonucunda *Tip4* modeline ait tepe yerdeğiştirmesi-zaman, taban kesme kuvveti-zaman, tepe dönmesi-zaman, görel kat ötelemesi-zaman grafikleri elde edilmiştir.



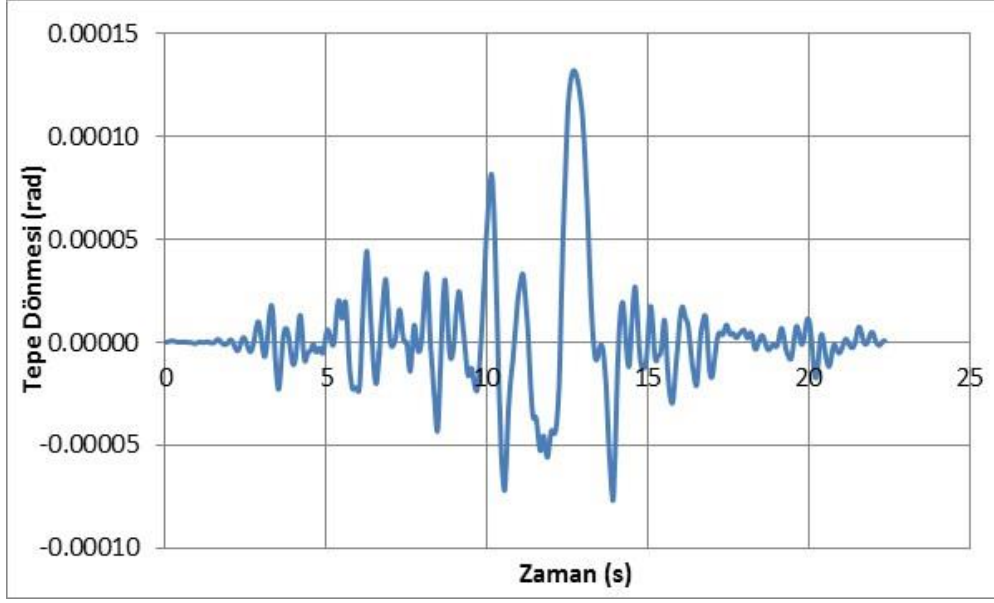
Şekil 5.206 : Tip4 modeli.



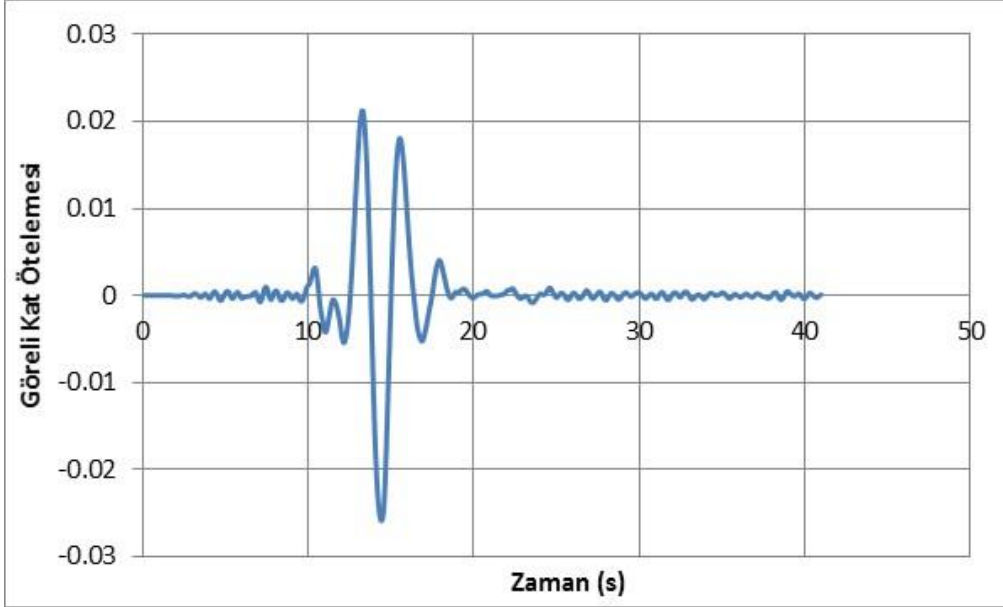
Şekil 5.207 : 0.7134_SUPERST_B-PTS315 Depremi.



Şekil 5.208 : 0.7134_SUPERST_B-PTS315 Depremi.

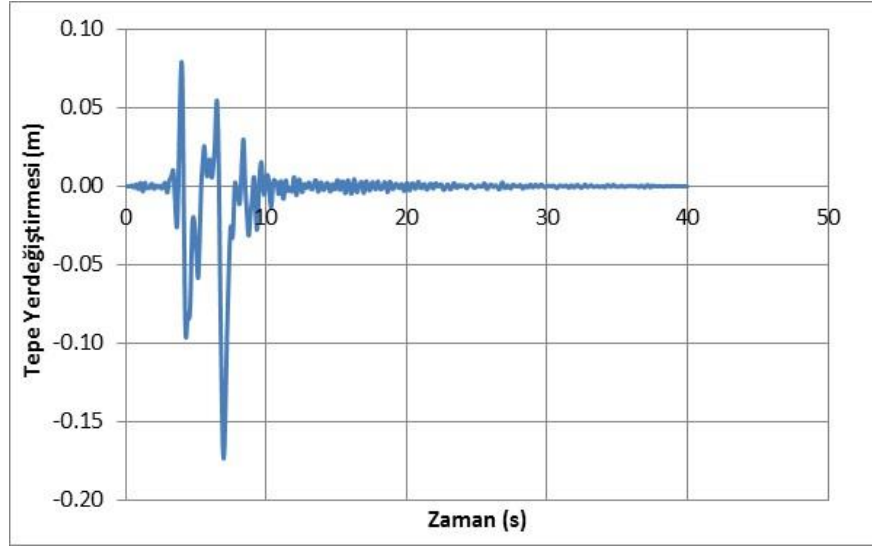


Şekil 5.209 : 0.7134_SUPERST_B-PTS315 Depremi.

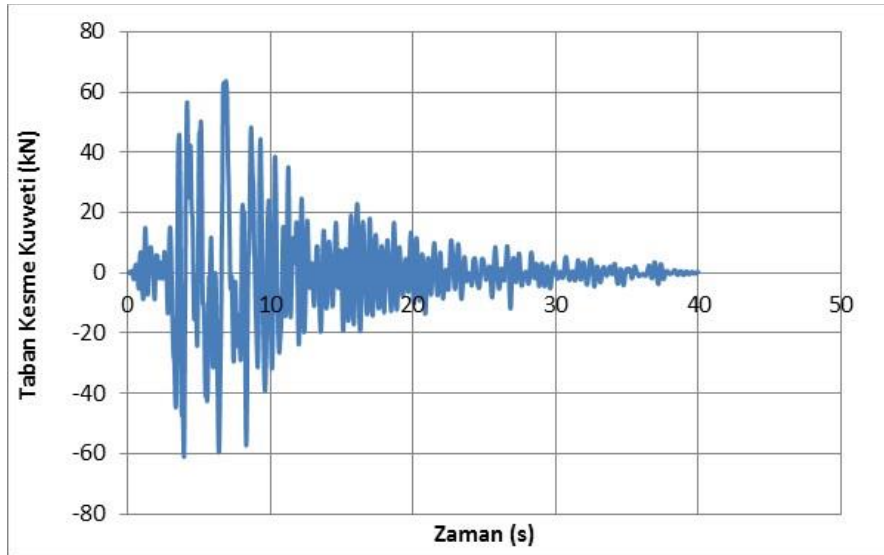


Şekil 5.210 : 0.7134_SUPERST_B-PTS315 Depremi.

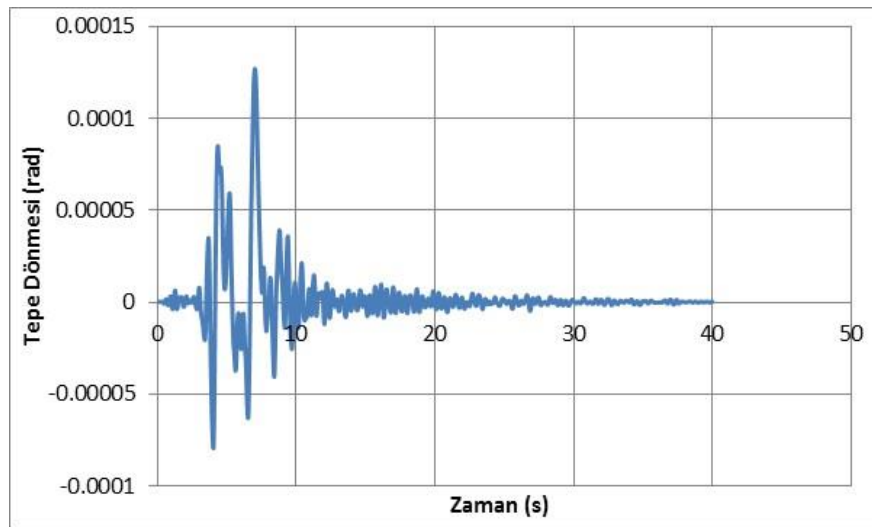
0.7134 kaysayısı ile çarpılarak tasarım ivme spektrumuna yaklaştırılan *Superstation depremi* ile *Tip4* modelinin zaman tanım alanında çözümü gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda ulaşılan sisteme ait tepe yerdeğiştirmesi zaman ilişkisi Şekil 5.207’de, taban kesme kuvveti-zaman ilişkisi Şekil 5.208’ de, tepe dönmesi-zaman ilişkisi Şekil 5.209’ da ve görel kat ötelemesi-zaman grafiği Şekil 5.210’ da gösterilmiştir. Buna göre en büyük tepe yerdeğiştirme değeri 0.253 m, taban kesme kuvveti 66kN, tepe dönmesi değeri 0.000132 rad iken en büyük görel kat ötelemesi oranı da 0.0253 olarak hesaplanmıştır.



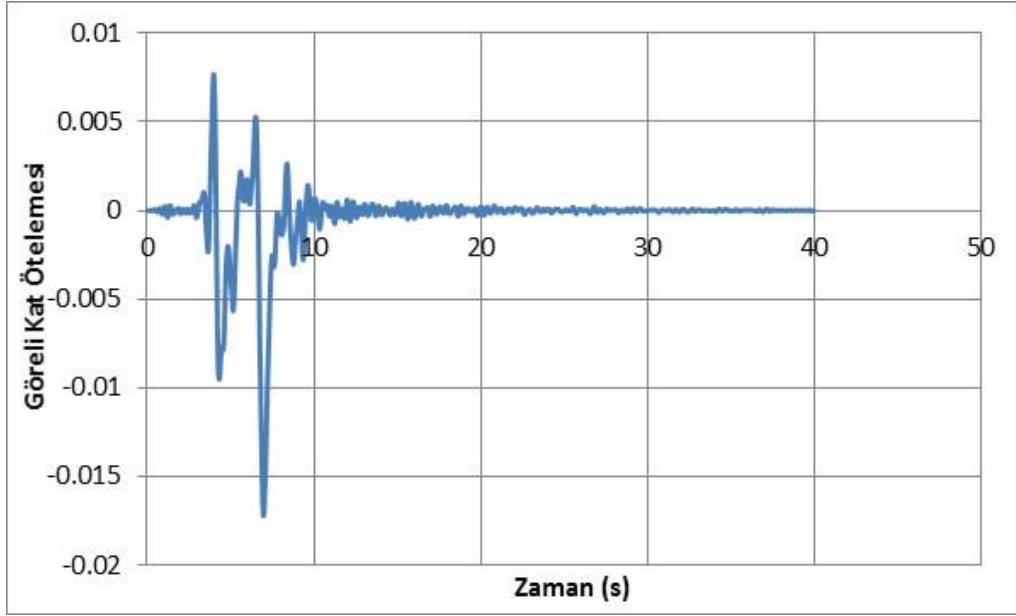
Şekil 5.211 : 0.9323_NORTH_R_SYL360 Depremi.



Şekil 5.212 : 0.9323_NORTH_R_SYL360 Depremi.

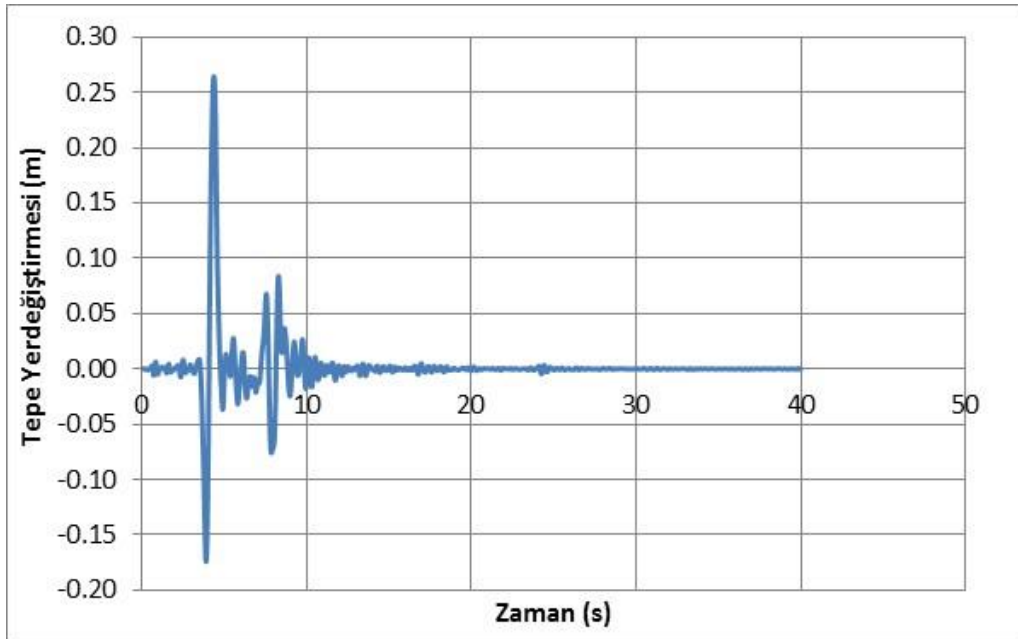


Şekil 5.213 : 0.9323_NORTH_R_SYL360 Depremi.

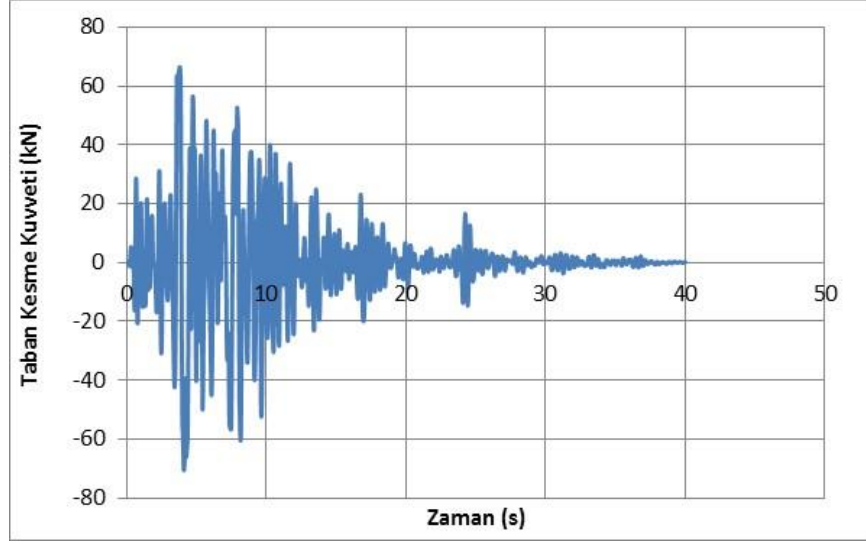


Şekil 5.214 : 0.9323_NORTHR_SYL360 Depremi.

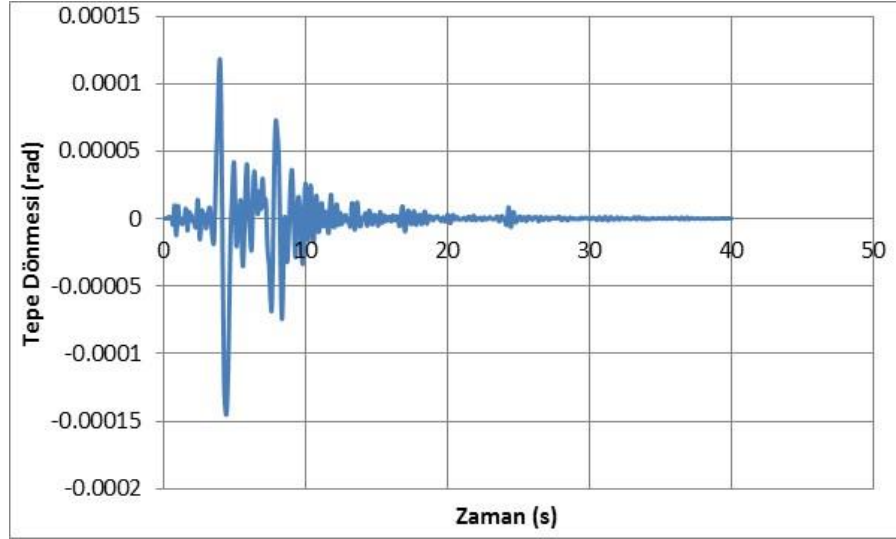
0.9323 ölçek katsayısı ile çarpılan *Northridge depremi* etkisinde *Tip4* modeli çözümlenmiştir. Analiz sonucunda sisteme ait tepe yerdeğiştirmesi-zaman ilişkisi Şekil 5.211’ de, taban kesme kuvveti-zaman ilişkisi Şekil 5.214’ de, tepe dönmesi-zaman ilişkisi Şekil 5.212’ de ve görel kat ötelemesi-zaman grafiği Şekil 5.210’ da gösterilmiştir. En büyük tepe yerdeğiştirmesi 0.173 m, taban kesme kuvveti 64 kN, tepe dönmesi 0.000127 rad ve en büyük görel kat ötelemesi değeri 0.0173 olarak elde edilmiştir.



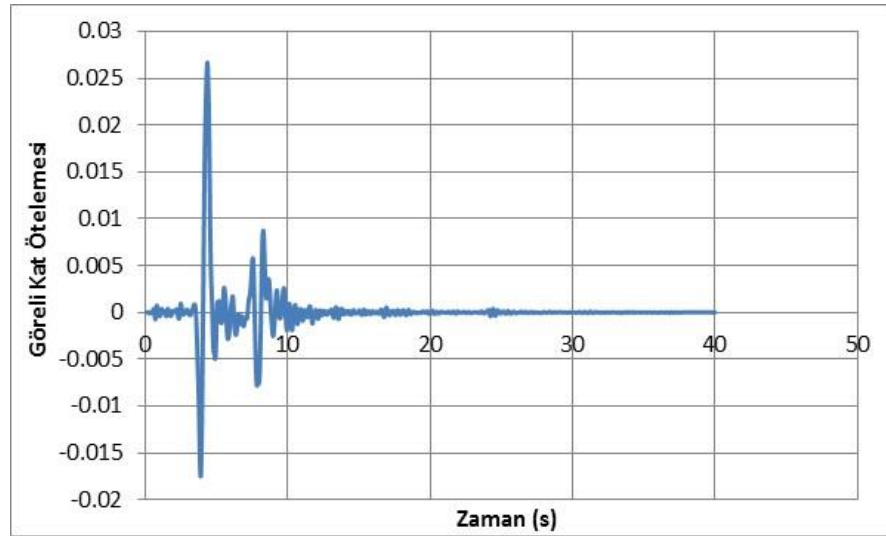
Şekil 5.215 : 0.61125_NORTHR_RAN000 Depremi.



Şekil 5.216 : 0.61125_NORTHR_RAN000 Depremi.

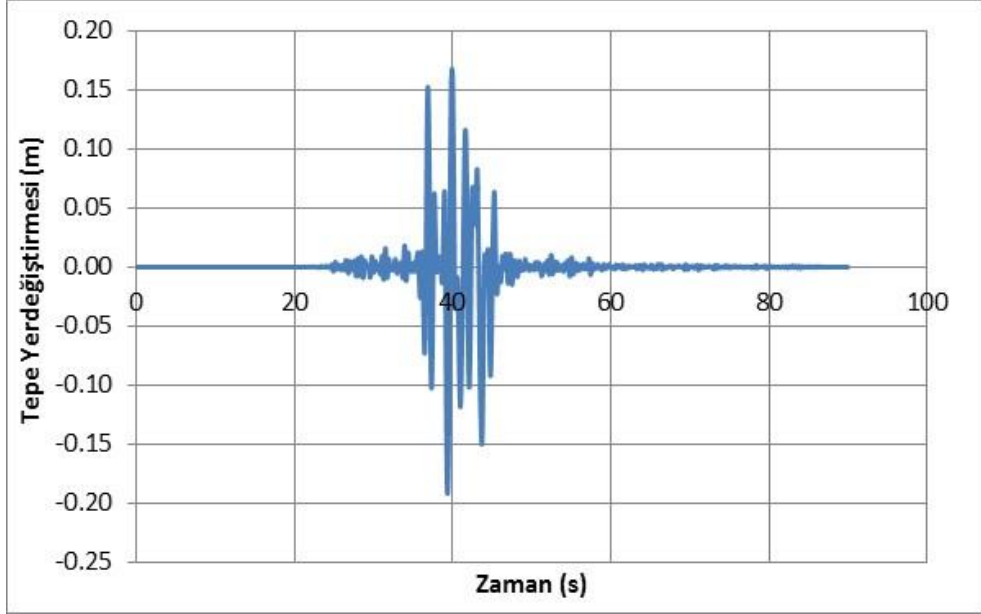


Şekil 5.217 : 0.61125_NORTHR_RAN000 Depremi.

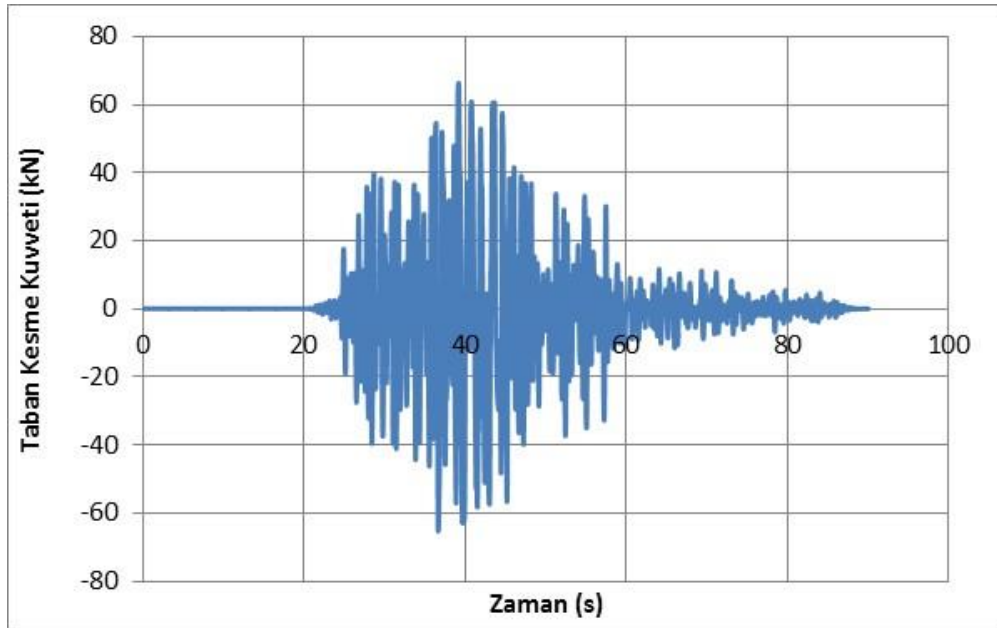


Şekil 5.218 : 0.61125_NORTHR_RAN000 Depremi.

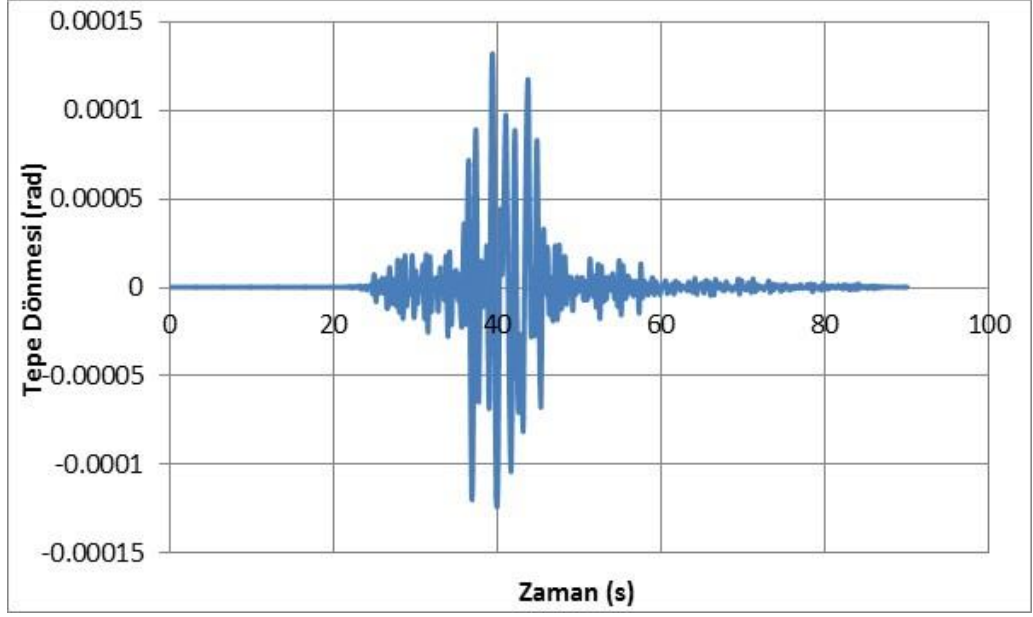
Farklı istasyondan alınan *Northridge* deprem kaydı 0.61125 katsayısı ile çarpılarak spektruma benzeştirilmiştir. *Tip4* modeli bu deprem etkisinde çözümlenmiştir. Analiz sonucunda sisteme ait tepe yerdeğiştirmesi-zaman ilişkisi Şekil 5.215’ de, taban kesme kuvveti-zaman ilişkisi Şekil 5.216’ de, tepe dönmesi-zaman ilişkisi Şekil 5.217’ de ve görelî kat ötelemesi-zaman grafiğı Şekil 5.218’ de gösterilmiştir. Sonuçta sistemde oluşan en büyük tepe yerdeğiştirmesi 0.264 m, taban kesme kuvveti 71 kN, tepe dönmesi 0.000145 rad ve görelî kat ötelemesi oranı 0.0264’dir.



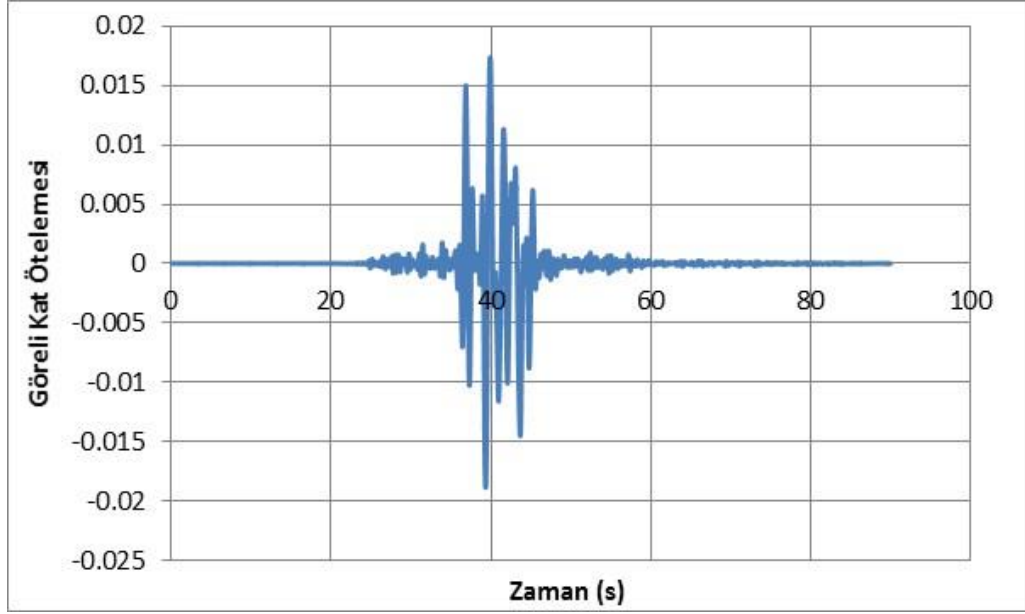
Şekil 5.219 : 0.64718_CHICHI_TCU074-N Depremi.



Şekil 5.220 : 0.64718_CHICHI_TCU074-N Depremi.

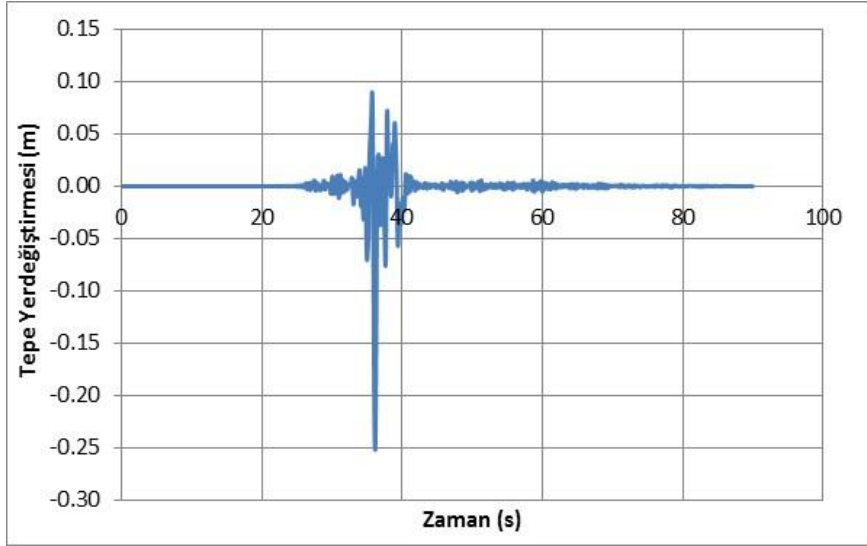


Şekil 5.221 : 0.64718_CHICHI_TCU074-N Depremi.

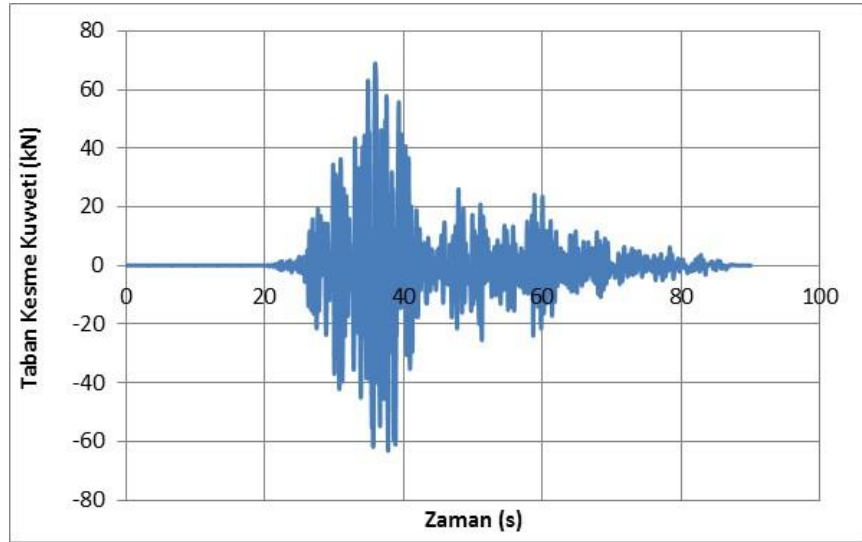


Şekil 5.222 : 0.64718_CHICHI_TCU074-N Depremi.

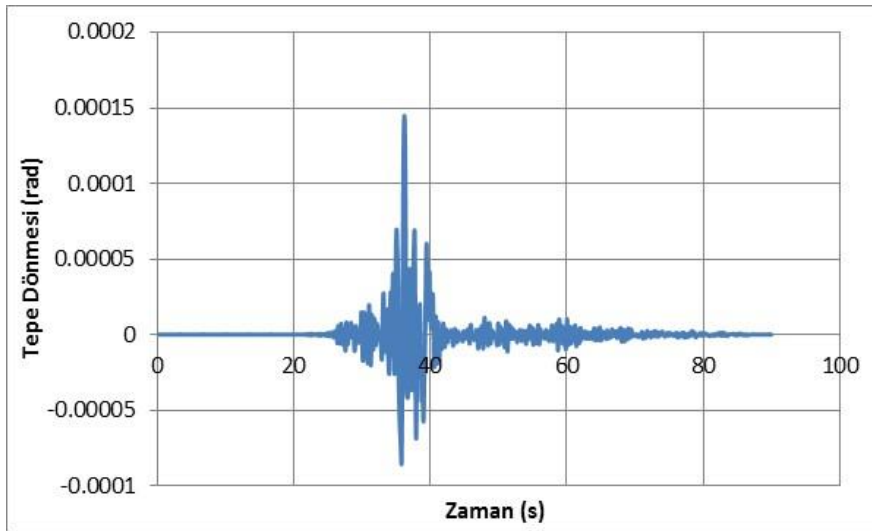
0.64718 katsayısı ile çarpılan *Northridge* depremi spektrumla uyumlu hale getirilmiştir. *Tip4* modeli belirtilen deprem etkisinde analiz edilmiştir. Analiz sonucunda sisteme ait tepe yerdeğiştirmesi-zaman ilişkisi Şekil 5.219’ da, taban kesme kuvveti-zaman ilişkisi Şekil 5.220’ de, tepe dönmesi-zaman ilişkisi Şekil 5.221’ da ve göreli kat ötelemesi-zaman grafiği Şekil 5.222’ de gösterilmiştir. Buna göre sistemin en büyük tepe yerdeğiştirmesi değeri 0.192 m, taban kesme kuvveti 67 kN, tepe dönmesi 0.000132 rad ve göreli kat ötelemesi oranı 0.0192 olarak hesaplanmıştır.



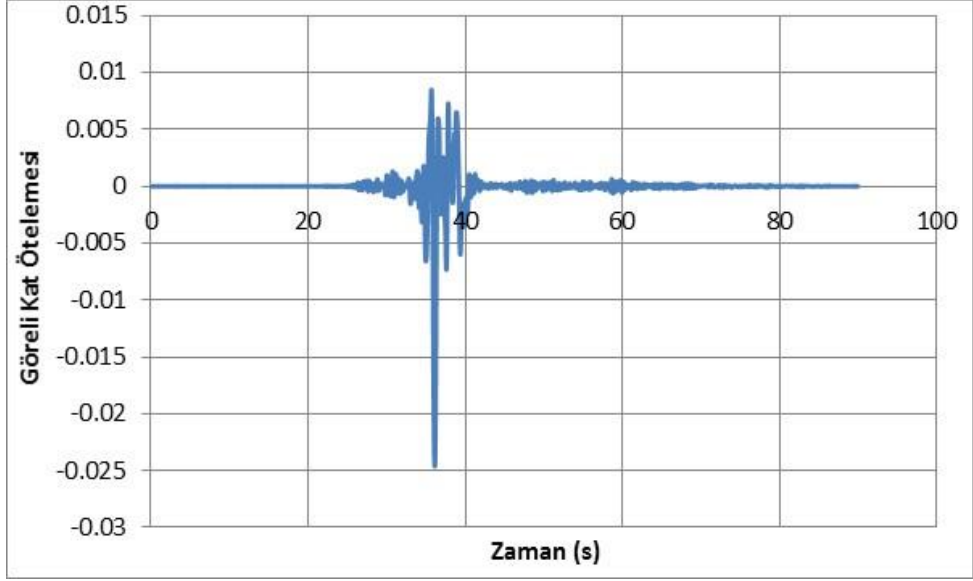
şekil 5.223 : 0.64764_CHICHI_CHY029-E Depremi.



şekil 5.224 : 0.64764_CHICHI_CHY029-E Depremi.

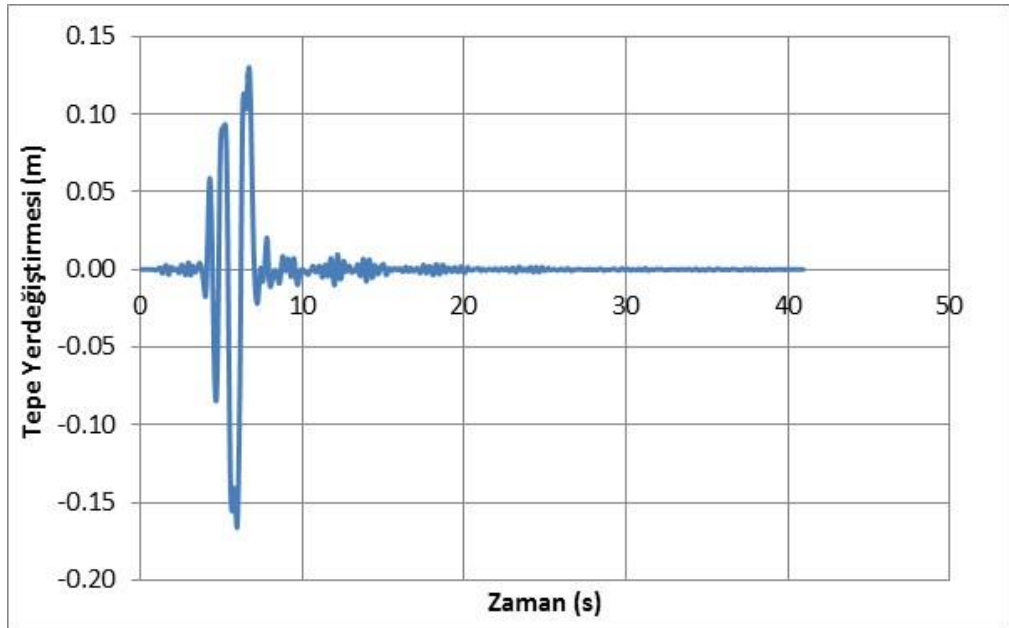


şekil 5.225 : 0.64764_CHICHI_CHY029-E Depremi.

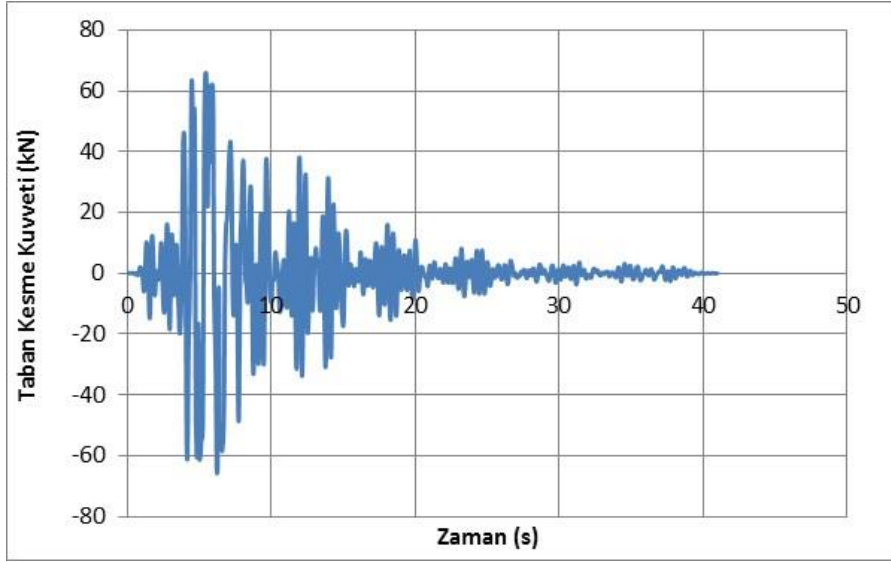


Şekil 5.226 : 0.64764_CHICHI_CHY029-E Depremi.

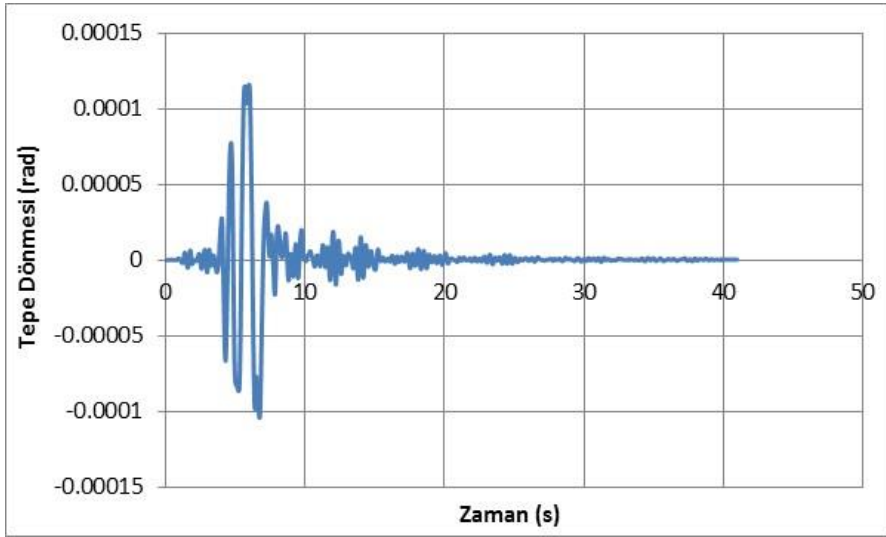
Bir istasyondan alınan *Chi Chi* depremi kaydı 0.64764 katsayısı ile çarpılarak spektrumla uyumlu hale getirilmiştir. Bu deprem ile yapılan zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerde sisteme ait bazı sonuçlar elde edilmiştir. Analiz sonucunda sisteme ait tepe yerdeğiştirmesi -zaman ilişkisi Şekil 5.223’ de, taban kesme kuvveti-zaman ilişkisi Şekil 5.224’ de, tepe dönmesi-zaman ilişkisi Şekil 5.225’ de ve görel kat ötelemesi-zaman grafiği Şekil 5.226’ da gösterilmiştir. Sistemin en büyük tepe yerdeğiştirmesi 0.252 m, taban kesme kuvveti 66 kN, tepe dönmesi 0.000145 rad, görel kat ötelemesi 0.0252 olarak hesaplanmıştır.



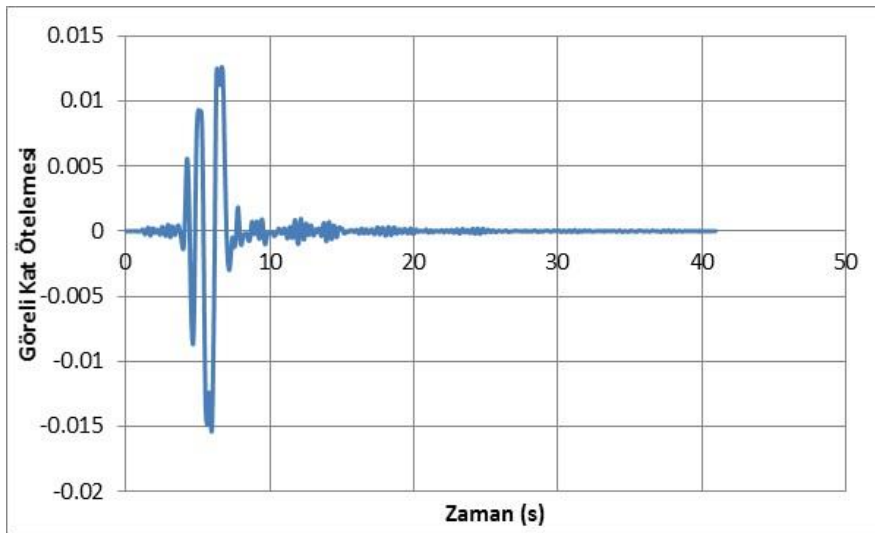
Şekil 5.227 : 0.67922_KOBE_TDO000 Depremi.



Şekil 5.228 : 0.67922_KOBE_TDO000 Depremi.

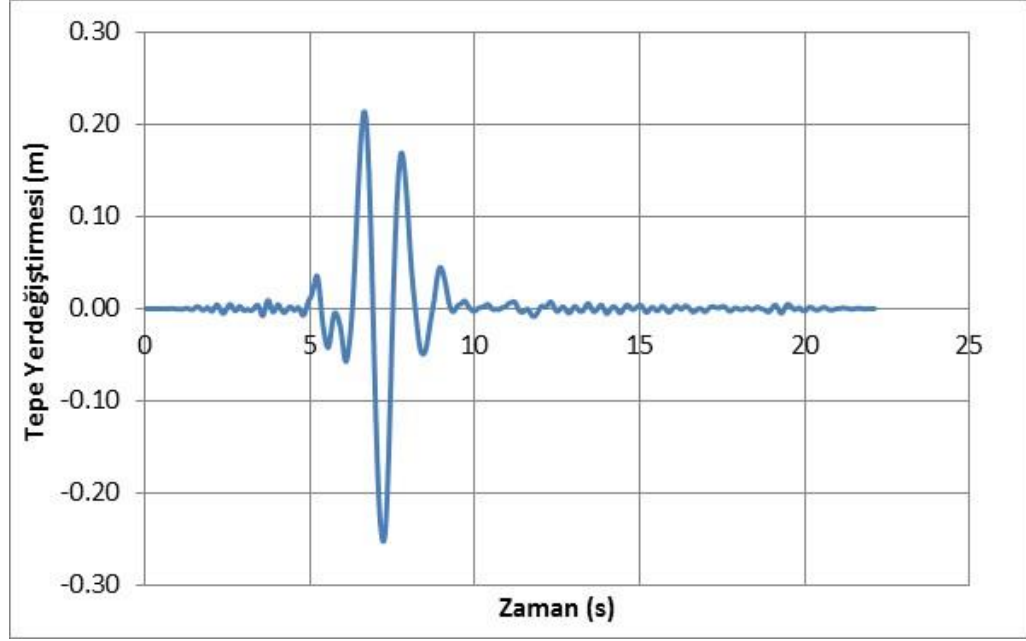


Şekil 5.229 : 0.67922_KOBE_TDO000 Depremi.

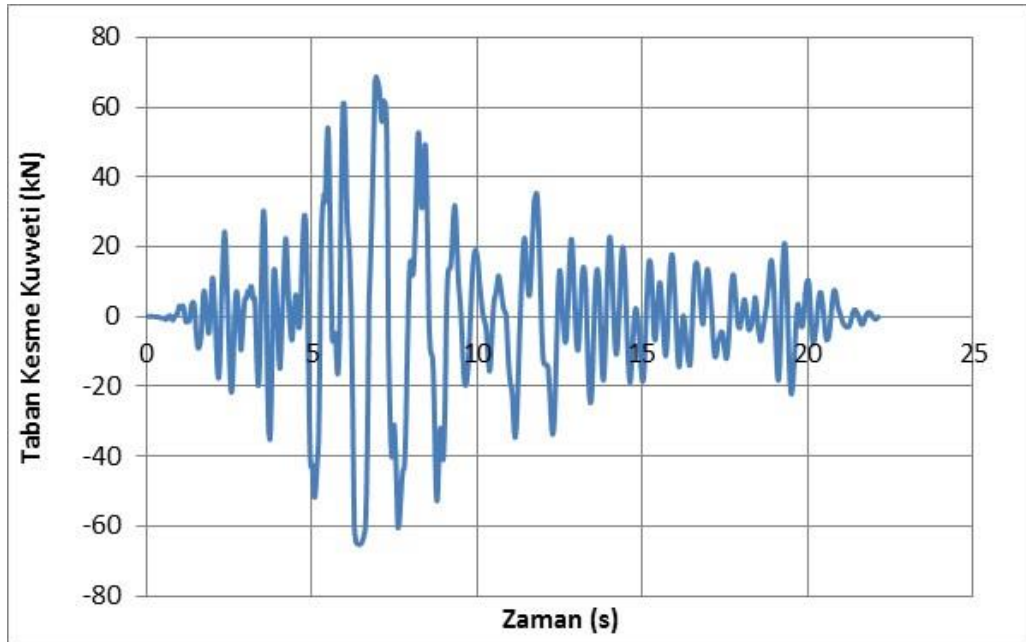


Şekil 5.230 : 0.67922_KOBE_TDO000 Depremi.

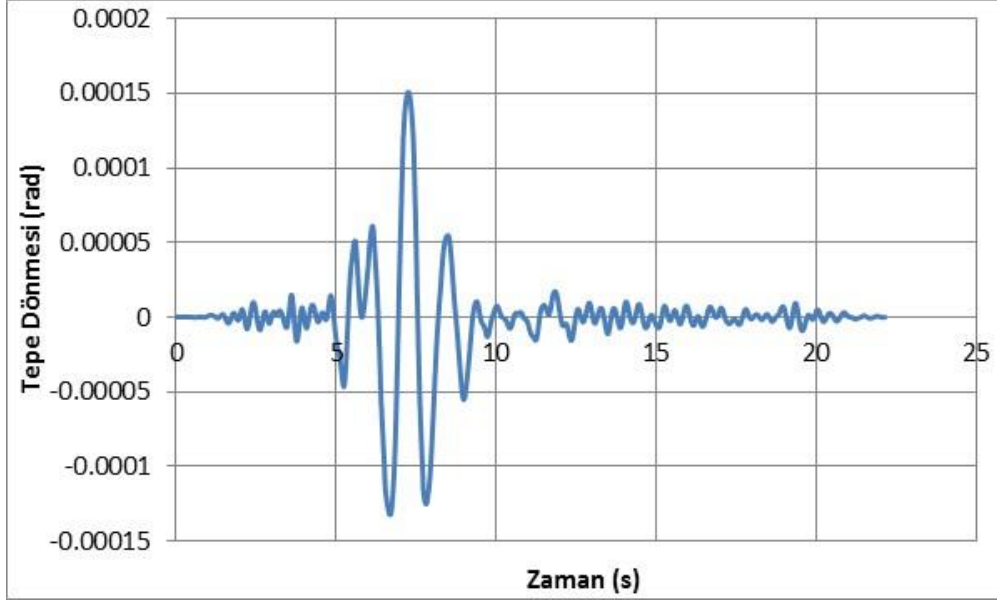
0.67922 ile çarpılan *Kobe depremi* ile *Tip4* modeli çözümlenmiştir. Çözümler sonucunda, sisteme ait çeşitli büyüklüklere ulaşılmıştır. Buna göre sisteme ait tepe yerdeğiştirmesi-zaman ilişkisi Şekil 5.227’ de, taban kesme kuvveti-zaman ilişkisi Şekil 5.228’ de, tepe dönmesi-zaman ilişkisi Şekil 5.229’ da ve görelî kat ötelemesi-zaman grafiğı Şekil 5.230’ da gösterilmiştir. Buna göre sistemin en büyük tepe yerdeğiştirmesi 0.166 m, taban kesme kuvveti 66 kN, tepe dönmesi 0.000112 rad, görelî kat ötelemesi ise 0.0166 olarak hesaplanmıştır.



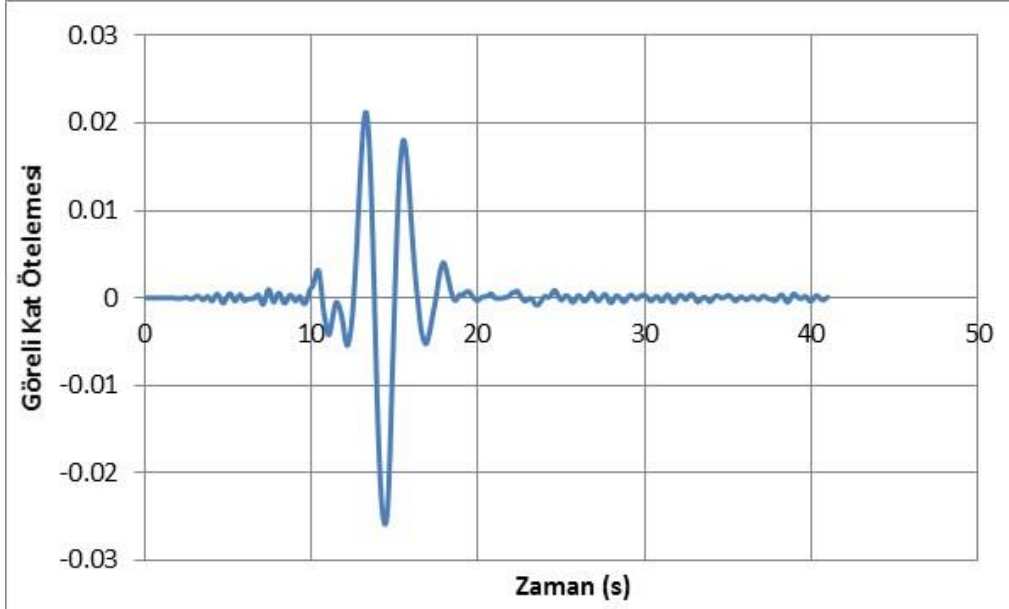
Şekil 5.231 : 0.68106_NORTHR_PAR—T Depremi.



Şekil 5.232 : 0.68106_NORTHR_PAR—T Depremi.



Şekil 5.233 : 0.68106_NORTHTR_PAR—T Depremi.



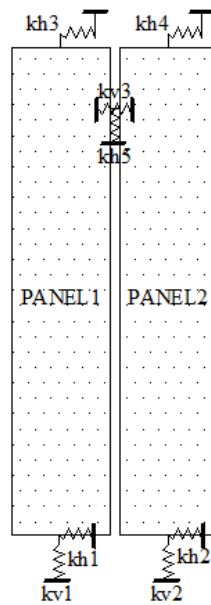
Şekil 5.234 : 0.68106_NORTHTR_PAR—T Depremi.

Spektrumla uyumlu hale getirmek için 0.68106 katsayısı ile çarpılan *Northridge* depremi etkisinde *Tip4* modeli çözümlenmiştir. Çözüm sonucunda sisteme ait tepe yerdeğiştirmesi-zaman ilişkisi Şekil 5.231’ de, taban kesme kuvveti-zaman ilişkisi Şekil 5.232’ de, tepe dönmesi-zaman ilişkisi Şekil 5.233’ de ve görel kat ötelemesi-zaman grafiği Şekil 5.234’ de gösterilmiştir.. Elde edilen sonuçlara göre sistemin en büyük tepe yerdeğiştirmesi değeri 0.253m, taban kesme kuvveti değeri 69 kN, tepe dönmesi değeri 0.000151 rad ve görel kat ötelemesi oranı ise 0.0253’ dür.

Çizelge 5.16 : Tip4 modeli zaman tanım alanı hesabı sonuçları.

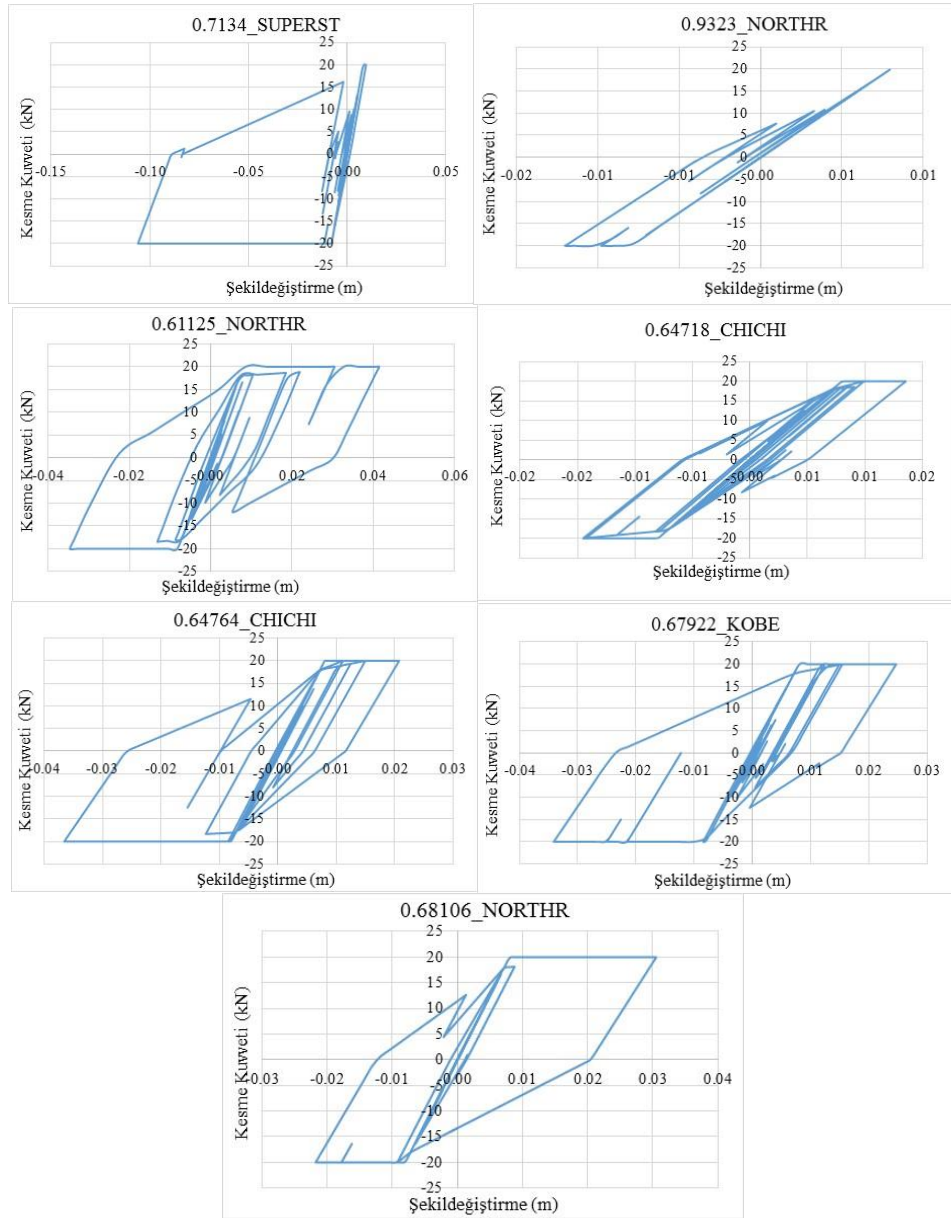
Deprem	Tepe Yerdeğiştirmesi (m)	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Tepe Dönmesi (rad)	Görelî Kat Ötelemesi
0.7134_SUPERST_BPTS315	0.253	65.927	0.000132	0.0253
0.9323_NORTHR_SYL360	0.173	63.604	0.000127	0.0173
0.61125_NORTHR_RAN000	0.264	70.532	0.000145	0.0264
0.64718_CHICHI_TCU074N	0.192	66.266	0.000132	0.0192
0.64764_CHICHI_CHY029E	0.252	68.936	0.000144	0.0252
0.67922_KOBE_TDO000	0.166	65.892	0.000115	0.0166
0.68106_NORTHR_PAR--T	0.253	68.672	0.000151	0.0253
Ortalama	0.222	67.118	0.000135	0.0222
Standart Sapma	0.040	2.183	0.000011	0.0040
Standard Sapma/Ortalama	0.178	0.033	0.083	0.1785

Tip4 modelinin farklı istasyonlardan seçilen ve farklı katsayılar ile çarpılan 7 deprem etkisinde tepe yerdeğiştirme ve taban kesme kuvvetleri elde edilmiştir. Sistemde oluşan tepe yerdeğiştirme değerlerinin ortalaması 0.222 m, standart sapması 0.040 olarak elde edilmiştir. Taban kesme kuvvetlerinin ortalaması 67.12 kN, standart sapması ise 2.183 olarak elde edilmiştir. Tepe yerdeğiştirmesi için standart sapmanın ortalama değelerine oranı 0.178, taban kesme kuvveti değerleri için bu oran ise 0.033 olarak elde edilmiştir. Tepe dönmesi değerlerinin ortalama 0.000135 rad, standart sapması ise 0.0000113 olarak elde edilmiştir. Ayrıca, görelî kat ötelemesi değerlerinin ortalaması 0.022, standart sapması ise 0.0040 olarak hesaplanmıştır. Tepe dönmesi ve görelî kat ötelemesi için standard sapma değerinin ortalamaya oranı sırası ile 0.083, 0.1785 olarak hesaplanmıştır.



şekil 5.235 : *Tip4* modeli yay isimlendirilmesi.

Şekil 5.235' de *Tip4* modeline ait yayların isimlendirilmesi gösterilmiştir.

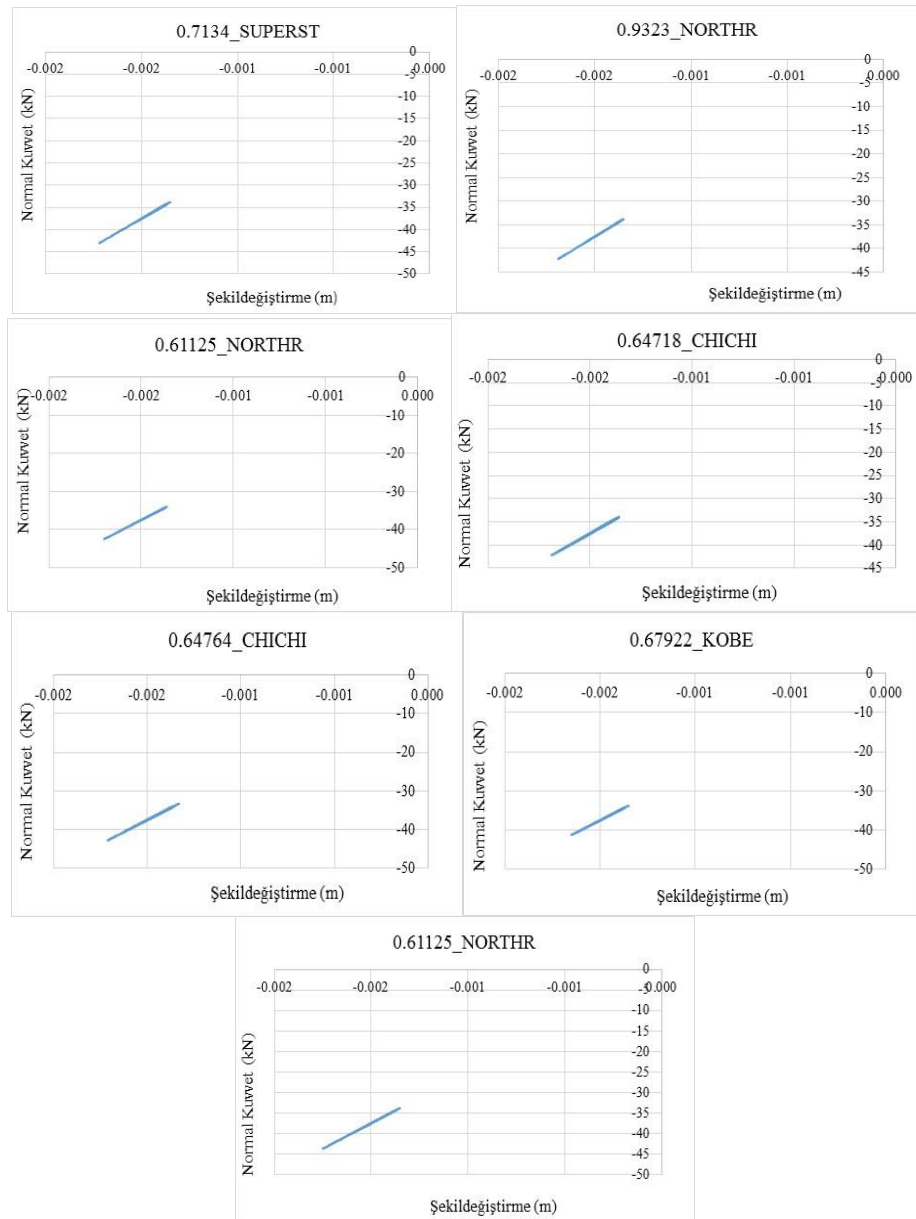


Şekil 5.236 : kh1-kh2 yay sonuçları.

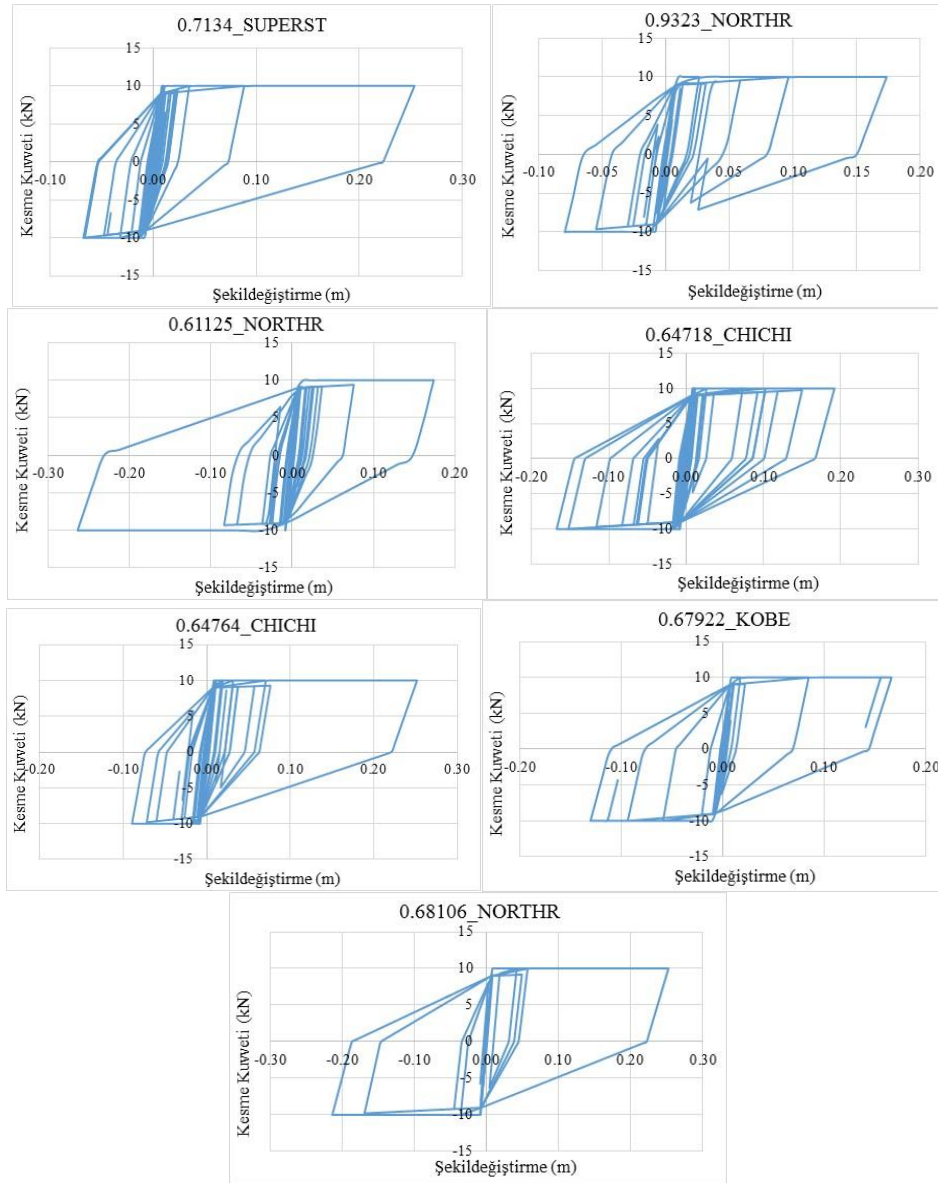
Çizelge 5.17 : kh1-kh2 yayı zaman tanım alanı hesap sonuçları.

Deprem	Şekildeğiştirme (m)	Dayanım Kuvveti (kN)
0.7134_SUPERST_B-PTS315	0.01	20.00
0.9323_NORTHR_SYL360	0.01	19.88
0.61125_NORTHR_RAN000	0.04	20.00
0.64718_CHICHI_TCU074-N	0.01	20.00
0.64764_CHICHI_CHY029-E	0.02	20.00
0.67922_KOBE_TDO000	0.02	20.00
0.68106_NORTHR_PAR--T	0.03	20.00
Ortalama	0.02	19.98
Standart Sapma	0.01	0.05
Standard Sapma/Ortalama	0.58	0.00

Şekil 5.236' ya göre Panel1 ve Panel2 ye ait *kh1* ve *kh2* yaylarının deprem etkisindeki davranışları benzer çıkmıştır. Çizelge 5.17' de yayların depremler sonucunda ortaya çıkan kuvvet ve şekildeğiştirme değerleri verilmiştir. Buna göre, *kh1* ve *kh2* yaylarının yaptıkları en büyük şekildeğiştirme istemi 0.04 m, ortalama şekildeğiştirme değeri ise 0.02 m dir. Şekildeğiştirme istemlerinin standart sapması ise 0.01 m olarak elde edilmiştir. Standart sapmanın ortalamaya oranı ise 0.58 olarak hesaplanmıştır. İki panele de ait *kv1* ve *kv2* yaylarına ait sonuçlar Şekil 5.237' de gösterilmektedir. Buna göre yaylar tüm depremler için doğrusal davranış göstermiştir.



Şekil 5.237 : *kv1-kv2* yay sonuçları.



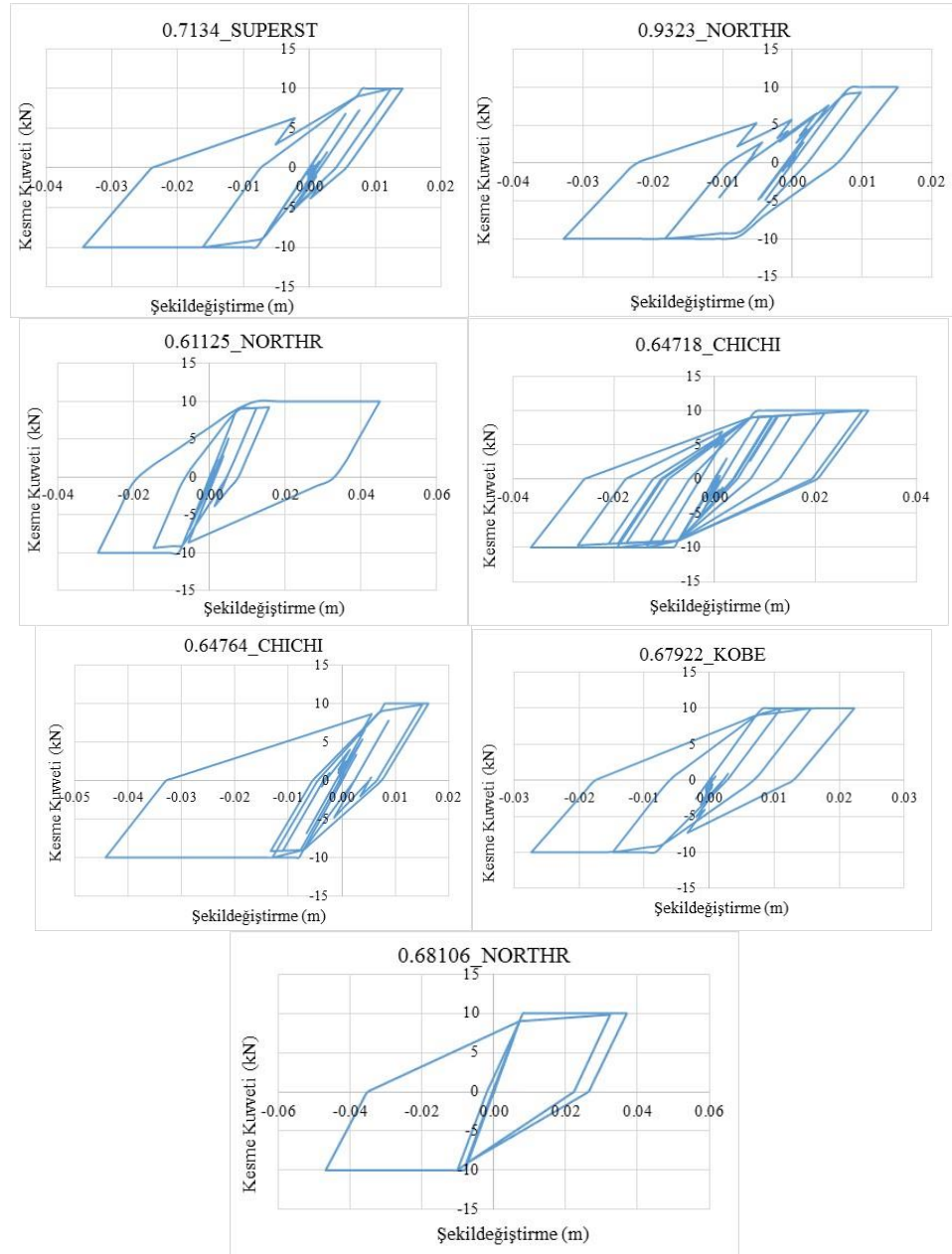
Şekil 5.238 : kh3-kh4 yay sonuçları.

Çizelge 5.18 : kh3-kh4 yayı zaman tanım alanı hesap sonuçları.

Deprem	Şekildeğiştirme (m)	Dayanım Kuvveti (kN)
0.7134_SUPERST_B-PTS315	0.25	10.00
0.9323_NORTHR_SYL360	0.17	10.00
0.61125_NORTHR_RAN000	0.17	10.00
0.64718_CHICHI_TCU074-N	0.19	10.00
0.64764_CHICHI_CHY029-E	0.25	10.00
0.67922_KOBE_TDO000	0.17	10.00
0.68106_NORTHR_PAR--T	0.25	10.00
Ortalama	0.21	10.00
Standart Sapma	0.04	0.00
Standard Sapma/Ortalama	0.20	0.00

Panellerdeki *kh3* ve *kh4* yaylarının analiz sonuçları Şekil 5.238’ de gösterilmektedir. İki yayın değerleri aynı çıkmıştır. Yaylara ait tüm sonuçların tablo hali ise Çizelge 5.18’de verilmiştir. Yaylarda oluşan en büyük şekildeğiştirme istemi 0.25 m, ortalama şekildeğiştirme istemi 0.21 m, şekildeğiştirme değerlerinin standart sapması 0.04 olarak hesaplanmıştır. Standart sapmanın ortalamaya oranı da 0.20 değerindedir.

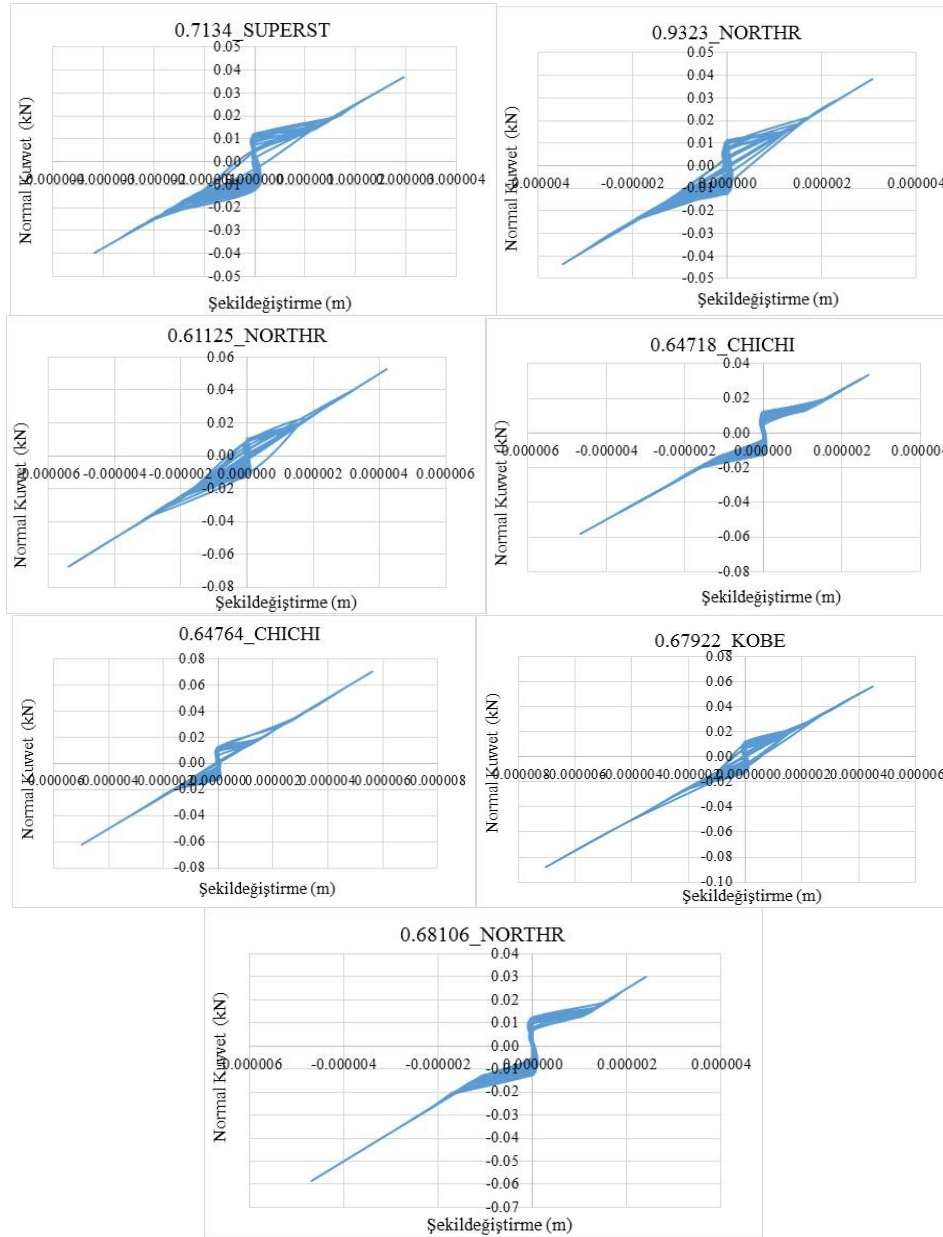
Şekil 5.239’ da paneller arasındaki *kh5* yayına ait kuvvet-şekildeğiştirme çevrimleri verilmiştir.



Şekil 5.239 : *kh5* yay sonuçları.

Çizelge 5.19 : kh5 yayı zaman tanım alanı hesap sonuçları.

Deprem	Şekildeğiştirme (m)	Dayanım Kuvveti (kN)
0.7134_SUPERST_B-PTS315	0.0141	10.00
0.9323_NORTHR_SYL360	0.0151	10.00
0.61125_NORTHR_RAN000	0.0449	10.00
0.64718_CHICHI_TCU074-N	0.0305	10.00
0.64764_CHICHI_CHY029-E	0.0162	10.00
0.67922_KOBE_TDO000	0.0223	10.00
0.68106_NORTHR_PAR--T	0.0371	10.00
Ortalama	0.03	10.00
Standart Sapma	0.01	0.00
Standard Sapma/Ortalama	0.47	0.00



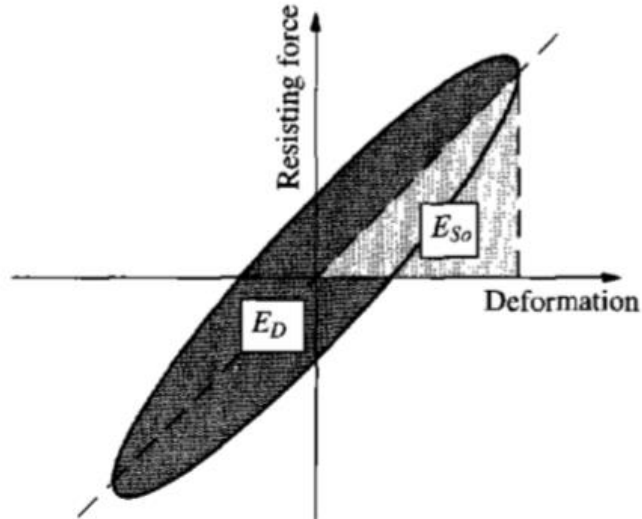
Şekil 5.240 : kv3 yay sonuçları.

Çizelge 5.19’ da *kh5* yayına ait tüm kuvvet, şekildeğiştirme değerleri verilmiştir. Elde edilen bu sonuçlara göre yayın yapabileceği en büyük şekildeğiştirme değeri 0.045 m, ortalama şekildeğiştirme istemi 0.03m ve şekildeğiştirme değerlerinin standart sapması ise 0.0’dir. Standart sapma değerinin ortalama oranı ise 0.47 olarak elde edilmiştir.

Panellerin arasındaki *kv3* yayının sonuçları da Şekil 5.240’ da verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre *kv3* yayı 7 deprem etkisinde de doğrusal bölgede kalmıştır.

5.3.6 Panellerin enerjilerinin hesaplanması

Tez kapsamında seçilen 5 tip modele ait verilen 7 deprem etkisi altında zaman tanım alanında analizler yapılmıştır. Panellerin seçilen depremler etkisinde tükettikleri enerji miktarları hesaplanmıştır. Depremler sonucunda panellere ait taban kesme kuvveti – tepe yerdeğiştirmesi ilişkiler elde edilmiştir. Şekil 5.241’ de görüldüğü gibi bu grafiklerin altında kalan alanların hesaplanması ile panellerin tükettikleri enerji miktarları elde edilmektedir. Yine aynı şekilde bağlantı elemanlarında analizler sonucu oluşan kuvvet-şekildeğiştirme ilişkilerinin altında kalan alanlar hesaplanarak, bağlantı elemanlarının tükettiği enerjiler hesaplanabilmektedir.



Şekil 5.241 : Enerji Hesabı, (Chopra, A.K., 1995).

Çizelge 5.20’de tez kapsamında incelenen 5 modelin depremler etkisinde oluşan tepe yerdeğiştirmesi-taban kesme kuvveti ilişkilerinden hesaplanan enerji miktarları verilmiştir. *Tip1* modelinin tükettiği enerji miktarının, *Tip0* modelinin tükettiği enerji miktarından çok fazla olduğu görülmektedir.

Tip0 modelinde sadece betonarme kesit enerji tüketimine yardımcı olurken, *Tip1* modelinde betonarme kesit ve bağlantı elemanları birlikte enerji tüketimine katkı sağlamaktadır. *Tip2* ve *Tip3* modelleri *Tip1* modelinden daha az enerji tüketmişlerdir. Buna karşın *Tip0* ankastre mesnetli modele oranla daha fazla enerji tüketmişlerdir. *Tip3* modeline alternatif olan *Tip4* modeli ise *Tip3* e oranla çok daha fazla enerji tüketmiştir. Sonuç olarak cephe panelleri dış ortama ankastre değil özel elemanlar ile bağlandığında, depremler altında enerji tüketiminin gözle görülebilir miktarda arttığı gözlemlenmiştir.

Çizelge 5.20 : Modellerin enerji hesaplamaları.

Deprem	<i>Tip0</i>	<i>Tip1</i>	<i>Tip2</i>	<i>Tip3</i>	<i>Tip4</i>
0.7134_SUPERST_B-PTS315	1.49	19.17	4.51	8.92	48.66
0.9323_NORTH_R_SYL360	2.96	13.47	6.97	13.83	31.40
0.61125_NORTH_R_RAN000	18.56	25.16	24.3	47.96	70.16
0.64718_CHICHI_TCU074-N	2.93	50.26	8.127	15.75	119.08
0.64764_CHICHI_CHY029-E	11.03	23.42	25	48.71	64.58
0.67922_KOBE_TDO000	5.1	13.66	14.5	28.08	45.08
0.68106_NORTH_R_PAR--T	1.85	24.36	4.01	7.79	64.72

Çizelge 5.21 : Bağlantı elemanlarının enerjileri.

Deprem	<i>Tip1</i>	<i>Tip2</i>	
	<i>kh1/kh2</i>	<i>kh1/kh2</i>	<i>kh3</i>
0.7134_SUPERST_B-PTS315	4.73	0.07	1.79
0.9323_NORTH_R_SYL360	2.97	0.1	2.81
0.61125_NORTH_R_RAN000	8.36	2.96	8.41
0.64718_CHICHI_TCU074-N	15.1	0.29	3.31
0.64764_CHICHI_CHY029-E	6.44	2.05	9.29
0.67922_KOBE_TDO000	4.14	1.17	5.59
0.68106_NORTH_R_PAR--T	8.54	0.04	1.66

Çizelge 5.22 : Bağlantı elemanlarının enerjileri.

Deprem	<i>Tip3</i>		<i>Tip4</i>		
	<i>kh1-1/kh2-1</i> <i>kh1-2/kh2-2</i>	<i>kh3- kh4</i>	<i>kh1- kh2</i>	<i>kh3</i>	<i>kh5</i>
0.7134_SUPERST_B-PTS315	0.07	1.79	2.62	8.91	0.58
0.9323_NORTH_R_SYL360	0.1	2.81	0.20	6.45	0.55
0.61125_NORTH_R_RAN000	2.96	8.41	2.17	10.83	1.04
0.64718_CHICHI_TCU074-N	0.29	3.31	0.73	20.78	2.27
0.64764_CHICHI_CHY029-E	2.05	9.29	1.46	10.32	0.89
0.67922_KOBE_TDO000	1.17	5.59	1.42	7.25	0.65
0.68106_NORTH_R_PAR--T	0.04	1.66	1.07	10.57	1.28

Çizelge 5.21’de *Tip1* ve *Tip2* modellerindeki bağlantı elemanlarının 7 deprem altında tükettiği enerji miktarları verilmiştir.

Tip1 modelindeki temel bağlantılarının yapıldığı yatay yaylarda enerji tüketilirken, düşey yaylar doğrusal davranış gösterdiği için enerji tüketimine katkı sağlamamıştır. *Tip2* modelinde temel bağlantılarının yapıldığı yatay yaylar *kh1* ve *kh2* ile taşıyıcı sistem bağlantısını sağlayan yatay yay *kh3* de enerji tüketimi meydana gelmiştir.

Çizelge 5.22’de *Tip3* ve *Tip4* modellerindeki yayların tükettikleri enerji miktarları gösterilmiştir. *Tip3* modelinde *kh3* ve *kh4* yaylarının enerji tüketimine çok katkı sağlamaktadır. Panellerdeki *kh1* ve *kh2* yaylarının da az da olsa enerji tüketimine katkı sağladığı gözlenmektedir. *Tip4* modelinde en fazla *kh3* yayı sayesinde enerji tüketimi yapılmıştır. *kh1*, *kh2* ve *kh5* yaylarında tükettiği enerji miktarları gösterilmiştir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Endüstri tipi yapı sistemlerinin dış cephelerinin oluşturulmasında kullanılan malzemelerden biri de öndöküm betonarme cephe panelleridir. Düşey ya da yatay konumda kullanılabilen cephe panelleri taşıyıcı sisteme farklı biçimlerde bağlanabilmektedir. Bu tez çalışması kapsamında, düşey cephe panellerinin özel bağlantı elemanları ile kendi düzlemlerindeki davranışları incelenmiştir.

Beş farklı bağlantı durumu içeren cephe panellerinin, ölçek katsayılarının 1'e yakın değerleri kullanılarak yürürlükteki spektrum eğrilerine uyarlanmış özel bir grup deprem etkisinde zaman tanım alanında doğrusal olmayan çözümlemeleri yapılmış, tepe yerdeğiştirme, tepe dönmesi, taban kesme kuvveti ve görelî kat ötelemeleri ile özel bağlantı elemanlarının yük-yerdeğiştirme ilişkileri gözden geçirilmiş ve yerdeğiştirme ve kuvvet istemleri irdelenmiştir.

Yapılan analizlerin sonuçlarına göre;

1. Beş modelin ölçeklendirilmiş 7 deprem etkisi sonucunda yaptığı tepe yerdeğiştirme istemleri karşılaştırılmıştır. *Tip0* modelinde analizler sonucunda ortaya çıkan ortalama yerdeğiştirme değeri 0.036 m, tepe yerdeğiştirme değerlerinin standart sapması ise 0.015 olarak elde edilmiştir. *Tip1* modelindeki ortalama yerdeğiştirme istemi 0.161 m iken, yerdeğiştirme değerlerinin standart sapması 0.033 olarak elde edilmiştir. *Tip2* modelinde ortalama tepe yerdeğiştirme değeri 0.059 m, standart sapma değeri de 0.029 olarak hesaplanmıştır. *Tip3* modelinde de ortalama yerdeğiştirme değeri 0.057 m, standart sapma değeri de 0.028 dir. *Tip4* modelinde oluşan ortalama yerdeğiştirme değeri 0.222 m, yerdeğiştirme değerlerinin standart sapması ise 0.040 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre, öndöküm düşey cephe panelinin dış ortama olan bağlantısı yarı rijit özellikte tanımlanan enerji sönümleyici elemanlar ile yapıldığında, dış ortama ankastre bağlanan modele göre yerdeğiştirme isteminin 4.47 kat arttığı gözlenmektedir. Panel üstten taşıyıcı sisteme bağlandığı zaman panelin yerdeğiştirme istemi *Tip1* modeline göre %37 oranında azalmıştır. Ayrıca, panel temel ve taşıyıcı yapı sistemi ile

özel elemanlarla bağlandığında (*Tip2* modeli) ise ankastre duruma göre 1.64 kat daha fazla yerdeğiştirme istemine sahip olmuştur. *Tip2* ve *Tip3* modelleri ise birbirlerine çok yakın sonuçlar vermiştir. *Tip4* modeli ise *Tip3* modeline oranla yapabileceği ortalama yerdeğiştirme miktarı 3.89 oranında artış göstermiştir.

2. Analizler sonucunda panellerin taban kesitlerinde oluşan kesme kuvveti değerleri elde edilmiştir. Taban kesme kuvveti değerleri, panellerin sismik ağırlıklarına bölünerek boyutsuz hale getirilmiştir. Buna göre *Tip0* modelinde tabanda meydana gelen kesme kuvveti değerlerinin ortalaması % 66.9, 7 depremle yapılan analizin standart sapması ise % 15.3 olarak elde edilmiştir. *Tip1* ortalama taban kesme kuvveti oranı % 42.1 iken taban kesme kuvvetlerinin standart sapması ise % 1.75 olarak hesaplanmıştır. *Tip2* panelinin sahip olduğu ortalama taban kesme kuvveti değerleri oranı % 58.5, standart sapma değeri ise % 1.29 kN'dur. *Tip3* modelindeki ortalama taban kesme kuvveti oranı % 58.8, kesme kuvveti oranlarının standart sapması ise % 1.44 olarak elde edilmiştir. *Tip4* modelinde ise oluşan ortalama kesme kuvveti oranı % 31.4, standart sapma oranı da % 2.0'dir. Bu sonuçlara göre panel dış ortama ankastre olarak bağlandığında en büyük taban kesme kuvvetine sahip olmaktadır. Temele olan bağlantısı yarı rijit hale getirildiğinde de oluşan ortalama taban kesme kuvveti %38 oranında azalmıştır. Panel ayrıca üstten de yarı rijit olarak taşıyıcı sisteme bağlandığında ise ankastre duruma göre ortalama taban kesme kuvveti değeri %13 civarında azalış göstermiştir. Ayrıca *Tip3* panelinin tabanında oluşan kesme kuvveti değerleri, *Tip2* modelinin 2 katı olarak hesaplanmıştır. *Tip4* modelinde oluşan taban kesme kuvveti değerleri ise *Tip3* modeline göre yaklaşık %50 oranında azalmıştır.
3. Analizler kapsamında beş modele ait tepe dönmeleri de elde edilmiştir. *Tip0* modelinde oluşan tepe dönmelerinin ortalama değeri 0.0000049 rad, tepe dönmelerinin standart sapması ise 0.000000068 olarak elde edilmiştir. *Tip1* panelinin tepesinde oluşan dönmenin ortalama değeri 0.000027 rad, standart sapma değeri ise 0.000003186' dir. *Tip2* modelindeki ortalama tepe dönmesi değeri 0.000054 rad, tepe dönmesinin standart sapması da 0.0000050 olarak bulunmuştur. Yine *Tip3* modelinin tepesinde oluşan ortalama tepe dönmesi

değeri 0.000062, tepe dönmesinin standart sapma değeri ise 0.0000098 olarak hesaplanmıştır. *Tip4* modelindeki ortalama tepe dönmesi değeri 0.000135 rad, tepe dönme değerlerinin standart sapması da 0.000011 olarak elde edilmiştir. Sonuçlara göre *Tip1* modelinde oluşan tepe dönmesi *Tip0* modelindeki değerin 5.5 katıdır. *Tip2* modelindeki tepe dönmesi değeri ise *Tip1* modelindeki değerin tam 2 katıdır. *Tip3* modelinin sonuçları *Tip2* modeli ile yaklaşıklık göstermiştir. *Tip4* modelinde elde edilen tepe dönmesi değerleri ise *Tip3* modelinin 2 katıdır. Buna göre modeller arasında en fazla *Tip4* modelinde tepe dönmesi meydana gelmiştir.

4. *Tip0*, *Tip1*, *Tip2*, *Tip3* ve *Tip4* modelleri için analizler sonucu oluşan görelî kat ötelemeleri istemleri karşılaştırılmıştır. Buna göre, *Tip0* modelinin yaptığı ortalama görelî kat ötelemesi oranı % 0.36, standart sapması ise % 0.15'dir. *Tip1* modelinde oluşan görelî kat ötelemesinin ortalama değeri % 1.61 iken standart sapması ise % 0.33 olarak hesaplanmıştır. *Tip2* modelinde oluşan ortalama görelî kat ötelemesi % 0.59, görelî kat ötelemesinin standart sapma değeri de % 0.29 olarak elde edilmiştir. Ayrıca *Tip3* modelinin yaptığı ortalama görelî kat öteleme değeri % 0.57 iken görelî kat öteleme değerlerinin standart sapması da % 0.28'dir. Standart sapmanın ortalama görelî kat ötelemesine oranı *Tip0* modelinde 0.417, *Tip1* modelinde 0.204, *Tip2* modelinde 0.492, *Tip3* modelinde 0.497 ve *Tip4* modelinde de 0.179'dur. Elde edilen sonuçlara göre panellere ait görelî kat ötelemesi değerleri, panellerin tepe yerdeğiştirme değerleri ile paralel olarak çıkmıştır.
5. Analizler sonucunda sistemlerdeki bağlantı yaylarının davranışları incelenmiştir. *Tip1* modelinde yatay doğrultuda çalışan yaylar deprem esnasında plastik şekildeğiştirme yapmıştır, aynı zamanda düşey doğrultuda çalışan yayların davranışı ise doğrusal bölgede kalmıştır. *Tip2* modelinde de temele bağlantı yapılan yatay yaylar plastik şekildeğiştirme yaparak hasar görmüştür. Düşey doğrultudaki yaylar ise elastik davranış sergilemiştir. Panelin taşıyıcı sisteme bağlandığı yay elemanı da plastik şekildeğiştirme-ye uğramıştır. *Tip3* modelindeki mevcut yaylar da incelenmiştir. Bu duruma göre, *Tip3* de bulunan her iki panelin temele bağlandığı yatay yaylar hasar görürken, düşey yaylar hasar görmemiştir. Panellerin taşıyıcı sisteme bağlandığı kısımdaki her iki yay da depremler etkisinde plastik davranış

sergilemişlerdir. Ayrıca iki panelin birbirleri ile bağlandığı noktadaki düşey ve yatay doğrultulardaki yaylar da herhangi bir hasar oluşmamıştır. *Tip4* modeli de incelemeler sonucunda, temel bağlantısının yapıldığı yatay yaylar plastik şekil değiştirme yaparken, temel bağlantısının-daki düşey yaylar elastik şekil değiştirme yapmıştır. Panellerin taşıyıcı sisteme bağlandığı kayıcı yayların ikisi de doğrusal olmayan bölgeye geçmişlerdir. Panellerin birbirleri ile bağlantılarını sağlayan düşey yay (kayıcı) plastik şekil değiştirme yaparken, yatay yay ise elastik şekil değiştirme yapmıştır.

Öndöküm düşey cephe panellerinin temele ankastre bağlanmasına karşılık bir alternatif olan özel bağlantı elemanlarının seçilen deprem etkisinde zaman tanım alanında çözümler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, özel bağlantı elemanları kullanıldığında panellerin yer değiştirme istemleri artarak sistemin daha sünek davranış sergilediği gözlenmektedir. Depremde özel mesnet elemanları hasar görerek, tüm sistemin enerji tüketimini önemli ölçüde arttırabilmektedir.

Enerji sönümleyici elemanların geliştirilmesi ile ilgili çalışmalar İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı'nda devam etmektedir.

KAYNAKLAR

- Băetu, S. ve Ciongradi, I.P.** (2012). Nonlinear Finite Element Analysis Of Reinforced Concrete Slit Walls With Ansys (II), *Bul. Inst. Politehnic, Iași, Iași, LVII (LXI), 1, s. Constr., Archit.*Romania.
- Barka, G.** (2013). Kişisel Görüşme.
- Beton Prefabrikasyon Dergisi.** (2013). Sayı 105, Sayfa 24.
- Blanchet C., Craig, JI. and Goodno, BJ.** (1998). Experimental Evaluation of Advanced Ductile Cladding Connector Designs for Passive Seismic Response Attenuation in Buildings, *Proceedings, Sixth U.S. National Conference on Earthquake Engineering Research*, 31 Mayıs-4 Haziran.
- Chopra, A. K.** (1995). Dynamics of Structures (Sf. 94-98). New Jersey.
- Dowell, R. K.; Seible, F. ve Wilson, E. L.** (1998). Pivot Hysteresis Model for Reinforced Concrete Members, *ACI Structural Journal*, Cilt. 95, Sayı. 5, Eylül-Ekim 1998, Sf. 607-617.
- Ferrara, L., Felicetti, R., Toniolo, G. ve Zenti, C.** (2011). Friction dissipative devices for cladding panels in precast buildings, *An experimental investigation. European Journal of Environmental and Civil Engineering*. Cilt 15/9-2011-(Sf. 1319-1338).
- Goodno, BJ. ve Craig, JI.** (1998). Ductile Cladding Connection Systems for Seismic Design. *A report to Building and Fire Research Laboratory, NIST, Gaithersburg, USA*, (Sf. 176).
- Huanjun, J. ve Xilin, L.** (2002). Nonlinear earthquake response analysis and energy calculation for seismic slit shear wall structures, *Earthquake engineering and engineering vibration* Cilt.1 Sayı.2 (Sf. 227-237).
- Hunt, JP. ve Stojadinović, B.** (2010). Seismic Performance Assessment and Probabilistic Repair Cost Analysis of Precast Concrete Cladding Systems for Multistory Buildings. *PEER Report 2010/110*. Pacific Earthquake Engineering Research Center, College of Engineering, University of California, Berkeley, USA, (Sf. 347).
- Pinelli, JP., Craig, JI., Goodno, BJ., Hsu, CC.** (1993). Passive Control of Building Response Using Energy Dissipating Cladding Connections, *Earthquake Spectra*, Cilt. 9, Sayı. 3.
- Pinelli, JP., Moor, C., Craig, JI. ve Goodno, BJ.** (1996). Testing of Energy Dissipating Cladding Connections, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Cilt. 25,(Sf. 129-147).

- Sabouri, J. ve Ziaiefar, M.** (2009). Shear wall with dispersed input energy dissipation potential, *Asian journal of civil engineering (building and housing)* Cilt.10, Sayı.5 (2009) (Sf. 593-609).
- SAP 2000.** (2005). Structural Analysis Program, Computers And Structures Inc., Berkeley, California.
- TS-500.** (2000). Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- XTRACT.** (2001). Kesit Analiz Programı, Imbsen Software Systems.
- Url-1** <www..itu.edu.tr/~iebal/Dr_Ihsan_Engin_BAL/SafeCladding_EU_Project.html>, Alındığı Tarih: Nisan, 2013.

EKLER

EK A: Analitik Çalışmalar İçin Teorik Tanımlamalar

EK A: Analitik Çalışmalar İçin Teorik Tanımlamalar

Çalışmanın bu bölümünde, yapı sistemlerinin modellenmesinde kullanılan bazı yöntemler anlatılmıştır. Öndöküm düşey cephe panellerinin doğrusal olmayan levha olarak modellenmesi ve enerji sönümleyici bağlantı elemanların doğrusal olmayan yay olarak modellenmesi işlemlerinin Sap2000 sonlu eleman programı ile nasıl yapılabildiğine yönelik teorik bilgilere yer verilmiştir.

Panellerin Doğrusal Olmayan Levha Olarak Modellenmesi

Doğrusal olmayan özelliklere sahip betonarme perde ve öndöküm paneller modellenirken, SAP2000 v15.0'de mevcut olan **Shell-Layered/Nonlinear** özelliğinden faydalanılmıştır. Bu özellik kullanılmadan önce doğrusal olmayan özelliklere sahip beton ve çelik malzeme modelleri tanımlanmaktadır. Beton malzeme modeli için tanımlanacak parametreler kesitin düşey donatı düzenine, etriyelerin sıklığına ve çapına bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle, panelin başlık ve gövde bölgesindeki beton modeli farklı olmalıdır. Donatı modeli de kullanılan donatıların özelliklerine bağlı olarak değişmekte ve S420a, S500b modelleri kullanılmaktadır.

Bu malzeme modelleri aşağıdaki adımlar izlenerek SAP2000 içinde tanımlanmıştır;

1. SAP2000 ana menüsündeki **Define > Materials** yolu izlenerek **Define Materials** diyalog kutusunun ekrana gelmesi sağlanır.
2. **Add New Material** butonuna basılarak **Material Property Data** diyalog kutusunun açılması sağlanır ve ekranın en altında bulunan **Switch to Advanced Property Display** yazısının yanındaki kutucuğa tıklanarak aktif olması sağlanır. Böylece malzeme tanımlamasının gelişmiş özellikler kullanılarak yapılabilmesine olanak sağlayan **Material Property Options** diyalog kutusu ekrana gelir.
3. **Material Property Options** diyalog kutusunun altında bulunan **Modify/Show Material Properties** butonuna basılarak gelişmiş malzeme özelliklerinin tanımlanabileceği ve daha detaylı bilgi girişine izin veren **Material Property Data** diyalog kutusunun ekrana gelmesi sağlanır.

Material Property Data

Material Name: Perde Sargımsız Beton | Material Type: Concrete | Symmetry Type: Isotropic

Modulus of Elasticity: E = 30000000 | Weight and Mass: Weight per Unit Volume: 25, Mass per Unit Volume: 25493 | Units: KN, m, C

Poisson's Ratio: U = 0.2 | Other Properties for Concrete Materials: Specified Concrete Compressive Strength, f_c : 30700

Coef. of Thermal Expansion: A = 0 | ☐ Lightweight Concrete | Shear Strength Reduction Factor:

Shear Modulus: G = 13333333 | Advanced Material Property Data: Nonlinear Material Data..., Material Damping Properties..., Time Dependent Properties..., Thermal Properties...

OK Cancel

Şekil A.1 : Beton malzeme genel özelliklerinin tanımlanması.

Böylece malzemenin genel özellikleri tanımlanır, bu genel özellikler;

- Elastisite Modülü
- Poisson Oranı
- Termal Genleşme Katsayısı
- Birim Hacim Ağırlığı
- Birim Hacim Kütlesi
- Beton Basınç Dayanımıdır

Bu özelliklerin tanımlanmasından sonra malzemenin Doğrusal Olmayan Özelliklerinin tanımlanması için **Advanced Material Property Data** kısmındaki **Nonlinear Material Data** butonuna basılarak **Nonlinear Material Data** diyalog kutusunun ekrana gelmesi sağlanır.

Nonlinear Material Data

Edit

Material Name: Perde Sargımsız Beton | Material Type: Concrete

Hysteresis Type: Takeda | Drucker-Prager Parameters: Friction Angle: 0, Dilatational Angle: 0 | Units: KN, m, C

Stress-Strain Curve Definition Options: ☐ Parametric, ☒ User Defined | Convert To User Defined

User Stress-Strain Curve Data: Number of Points in Stress-Strain Curve: 7

	Strain	Stress	Point ID
1	-0.02	0	
2	-0.019	-26670	A
3	-7.000E-03	-36560	
4	-3.220E-03	-35700	
5	-1.620E-03	-29900	
6	0	0	
7	1.000E-03	0	

Order Rows | Show Plot

OK Cancel

Şekil A.2 : Beton malzeme genel özelliklerinin tanımlanması.

Şekil A.2’de görülen **Nonlinear Material Data** diyalog kutusunda bulunan kısımlarının açıklaması Çizelge A.1 de yapılmıştır.

Çizelge A.1 : Doğrusal olmayan malzeme özelliklerinin tanımlanması.

Kısım	Açıklama
Hysteresis Type	Malzeme modelinin çevrimsel davranış tipinin seçildiği kısımdır. Elastic , Kinematic ve Takeda olmak üzere 3 seçenek mevcuttur. Beton malzeme modelleri tanımlanırken Takeda , çelik malzeme modelleri tanımlanırken ise Kinematik seçilmesi önerilmektedir.
Stress-Strain Curve Data	Gerilme-Şekildeğiştirme grafiğinin oluşturulmasında kullanılacak noktaların tanımlama tipinin seçildiği kısımdır. Parametric seçeneği işaretlendiğinde malzeme modelinin tanımlaması, SAP2000 içinde mevcut olan kabuller altında yapılabilmektedir. Eğer User Defined seçeneği işaretlenirse malzeme modelinin tanımlanmasında kullanılacak gerilme-şekildeğiştirme noktaları kullanıcı tarafından direkt olarak girilmektedir. Örnek durumda User Defined seçeneği seçilmiş ve XTRACT analizleri sırasında elde edilen malzeme modellerini oluşturan noktalar kullanıcı tarafından girilmiştir. Kaç adet Gerilme-Şekildeğiştirme noktası girilmek isteniyorsa Number of Point in Stress-Strain Curve kısmına o sayı girilir. Noktaların değerleri yazıldıktan sonra Order Rows butonuna basarak dataların artan sırada sıralanmaları sağlanır. Bu butona basılmadan tanımlamanın bitirilmemesi gerekmektedir. Kullanıcı malzeme modeli ile ilgili detayları izlemek isterse, Show Plot butonuna basarak gelen ekran üzerinde fare imlecini gezdirebilir.

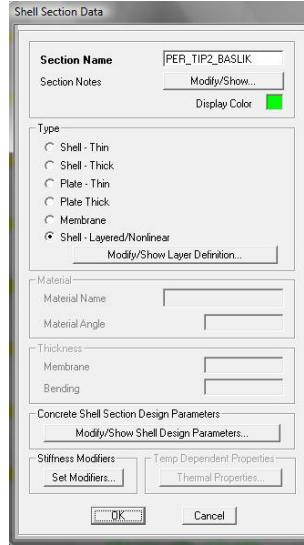
4. **Nonlinear Material Data** diyalog kutusundaki kısımlara yukarıda belirtildiği gibi bilgi girişi yapıldıktan sonra **OK** butonuna basılarak doğrusal olmayan özelliklere sahip malzeme tanımlaması sonlandırılır.

Doğrusal olmayan özelliklere sahip malzeme tanımlamasından sonra sıra, bu malzeme özellikleri kullanılarak oluşturulacak perde elemanlarının tanımlanmasına gelir. Böylece perde elemanlarının doğrusal olmayan özellik kazanması sağlanacaktır. Daha önce de belirtildiği gibi doğrusal olmayan perde elemanlarının tanımlanmasında SAP2000 v15.0'da mevcut olan **Shell-Layered/Nonlinear** özelliğinden faydalanılmıştır.

Tanımlamaların nasıl yapıldığı aşağıda adım adım anlatılmaktadır;

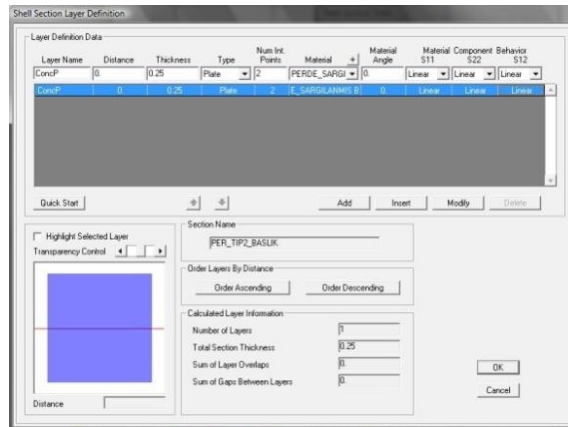
1. SAP2000 ana menüsündeki **Define > Section Properties > Area Sections** yolu izlenerek **Area Sections** diyalog kutusunun ekrana gelmesi sağlanır.

2. Bu diyalog kutununun yanında bulunan **Select Section Type to Add** listesinden **Shell** seçeneği seçilir ve **Add New Section** butonuna basılarak **Shell Section Data** diyalog kutusunun ekrana gelmesi sağlanır.



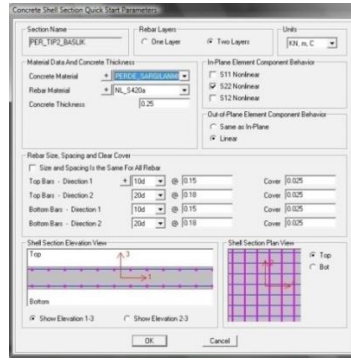
Şekil A.3 : Panel başlık bölgesi malzeme doğrusal olmayan levha eleman olarak tanımlanması.

3. **Shell Section Data** diyalog kutusunda yukarıdaki resimde gösterildiği gibi tanımlanan **Shell** elemana uygun bir isim verilerek, **Shell-Layered/Nonlinear** seçeneği seçili duruma getirilir. **Modify/Show Layer Definition** butonuna basılarak **Shell Section Layer Definition** diyalog kutusunun ekrana gelmesi sağlanır. Bu diyalog kutusu aracılığı ile perde kesiti katman katman tanımlanacak ve her katmana uygun malzeme modelleri atanacaktır. Bu işlem kullanıcı tarafından yapılabileceği gibi SAP2000'den de yardım alınabilmektedir.



Şekil A.4 : Doğrusal olmayan panel levha elemana malzeme modellerinin tanımlanması.

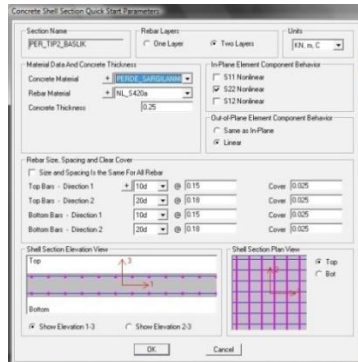
4. **Shell Section Layer Definition** diyalog kutusunun sol tarafında bulunan **Quick Start** butonuna basılarak **Concrete Shell Section Quick Start Parameters** diyalog kutusunun ekrana gelmesi sağlanır. Bu diyalog kutusu aracılığı ile kesit özellikleri tanımlandığında, SAP2000 otomatik olarak **Shell Section Layer Definition** diyalog kutusundaki listeyi dolduracak ve kesitin katman katman ve uygun malzeme modelleri ile tanımlanmasını sağlayacaktır. Böylece **Shell Section Layer Definition** diyalog kutusundaki dikkat isteyen katman tanımlama işlemi, SAP2000'in yardımı ile kolay hale gelmiş olur. Aşağıdaki resimde **Concrete Shell Section Quick Start Parameters** diyalog kutusu gösterilmektedir.



Şekil A.5 : Doğrusal olmayan panel levha elemana malzeme modellerinin tanımlanması.

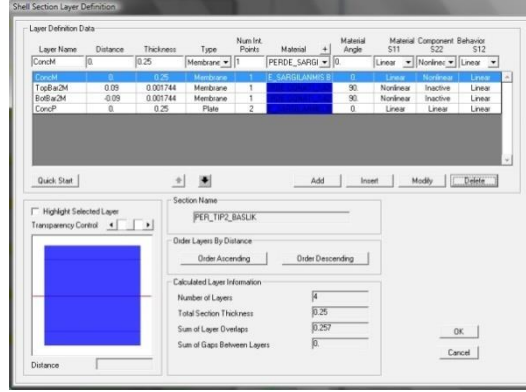
5. Uygun bilgi girişi, **Concrete Shell Section Quick Start Parameters** diyalog kutusunda yapılır.

Sonra ekranın altında bulunan **OK** butonuna basılarak tanımlama sonlandırılır. Girilen perde kesiti bilgisine göre, SAP2000 otomatik olarak **Shell Section Layer Definition** diyalog kutusundaki **Layer Definition Data** kısmında bulunan listeyi oluşturacaktır. Aşağıdaki resimde bu liste gösterilmektedir.



Şekil A.6 : Doğrusal olmayan panel levha elemanın tanımlanması.

Hesapların daha da sadeleştirilmesi ve doğrusal olmayan analizin sadece düşey doğrultuda yapılmak istenmesi nedeniyle etriyelerin temsil edildiği katmanlar silinmiş ve sadece perde kesitindeki betonun ve düşey donatıların doğrusal olmayan davranış göstermesi sağlanmıştır. Bu sadeleştirme sonucunda aşağıdaki resimde gösterilen durum elde edilmiştir.



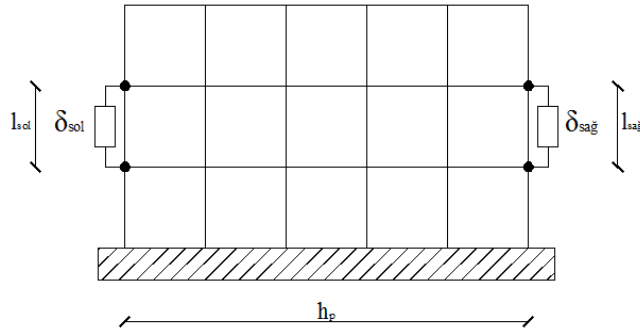
Şekil A.7 : Doğrusal olmayan panel levha elemanın tanımlanması.

6. Yukarıdaki ayarlamalar tamamlandıktan sonra **Shell Section Layer Definition** diyalog kutusunun sağ alt köşesinde bulunan **OK** butonuna basılarak Doğrusal Olmayan Levha Eleman Tanımlaması sonlandırılır.

Doğrusal olmayan levha elemanının dönmelerinin tanımlanması.

Öndöküm cephe panelinin temele ankastre olarak ve enerji sönmüleyici elemanlar ile bağlandığı modellerin deprem etkisi altında, üst yapıda oluşan plastik şekil değiştirme durumları incelenmiştir.

Analitik modelde plastik şekil değiştirme durumlarının incelenebilmesi çeşitli tanımlamalar yapılmalıdır. Bu tanımlamalar ile panel taban kesitindeki moment-dönme ilişkileri elde edilebilecektir.



Şekil A.8 : Paneldeki şekil değiştirme ölçerlerin gösterimi.

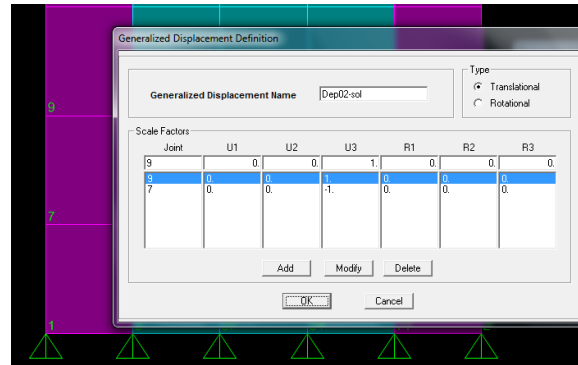
Paneldeki tüm sonlu elemanların sol ve sağ düğüm noktalarında şekildeğiştirmelerin ölçülebilmesi için, analitik şekildeğiştirme ölçer yerleştirilmiştir. ŞekilA .8 de gösterilen parametrelerden δ_{sol} , sol taraftaki sonlu elemanın alt ve üst noktalarında oluşan şekildeğiştirmelerin farkını ifade etmektedir. Aynı zamanda $\delta_{sağ}$ da sağ tarafta gösterilen sonlu elemanın düğüm noktaları arasındaki şekildeğiştirmelerin farkını ifade etmektedir.

$$\theta = \frac{\delta_{sol} - \delta_{sağ}}{b} \quad (A.1)$$

Denklem A.1 de, sol ve sağ uçlardaki şekildeğiştirme farklarının panel genişliği (b) ye bölünmesi ile o sonlu eleman katmanında meydana gelen dönme değerleri elde edilebilir.

Sap2000 programında dönme değerlerinin elde edilmesi adım adım şöyledir;

1. Sap2000 ana menüsündeki **Define > General Displacement** seçeneği tıklanarak ekrana dönmenin tariflendiği diyalog kutusu getirilir.



Şekil A.9 : Dönmenin tanımlanması.

Şekil A.9 da görüldüğü gibi, sonlu elemanın sol ucundaki düğüm noktalarının, düşey doğrultudaki 'U3' yapacağı şekildeğiştirmesi tanımlanmıştır. Üst düğüm noktası ve alt düğüm noktasının U3 doğrultusunda yaptıkları şekildeğiştirmelerin farkları alınmıştır. Sağ uç içinde aynı işlemler tekrarlanır. Daha sonra, sol ve sağ uçların analiz sonucu elde edilen değerlerin farkı elde edilerek, panel genişliği değerine bölünmüştür. Bu şekilde bir sonlu eleman kesitinin dönme değerleri elde edilmiştir.

Doğrusal Olmayan Bağlantı Elemanlarının Tanımlanması

Öndöküm cephe panellerinin, taşıyıcı sistem, temel ve komşu panel bağlantısını sağlayan, enerji sönmüleyici bağlantı elemanlarının, analitik modelde tanımlanması

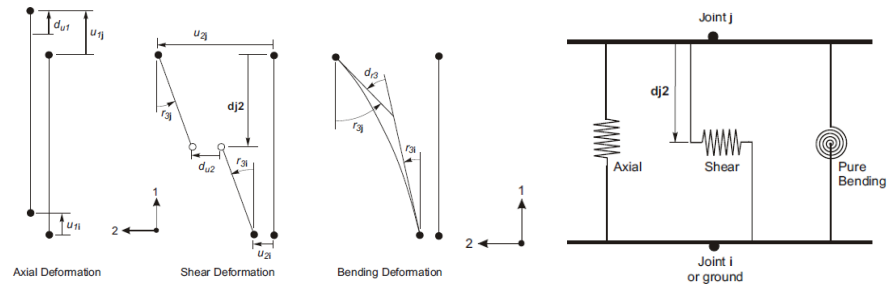
için Sap2000 programının özelliklerinden faydalanılmıştır. Sap2000 programındaki **Link** eleman özelliği yardımı ile bağlantı elemanlarının tanımı yapılmıştır.

Bağlantı elemanın tanımlanmasını adım adım şöyle izleyebiliriz;

1. Sap2000 ana menüsündeki **Define > Section Properties > Link/Support Properties** penceresinden elemanın tanımlanacağı diyalog kutusunun ekrana gelmesi sağlanır.
2. Link/Support tipi olarak pek çok farklı seçenek sunulmuştur. Link elemanların davranışları lineer, lineer olmayan ve frekansa dayalı olmak üzere çözüm yöntemlerine bağlı olarak seçilebilir.

Tanımlanabilecek eleman davranış tipleri;

- Linear
 - Multilinear elastic
 - Multilinear plastic
 - Damper
 - Gap
 - Hook
 - Plastic (Wen)
 - Rubber Isolator
 - Friction Isolator
 - T/C Friction Isolator, şeklinde Sap2000 menüsünde mevcuttur.
3. Tanımlanmak istenen eleman modeli seçildikten sonra, eleman özelliklerinin tanımlanması gerekmektedir. Tez kapsamında, elemanların doğrusal olmayan davranışlarını elde edebilmek için **multilinear plastic** özelliğine seçilmiştir. Eleman 6 serbestlik derecesine sahiptir. Doğrusal olmayan davranışın şekli, seçilen yönlerle belirlenebilir.



Şekil A.10 : Yayların şekildeğiştirme ve kuvvet doğrultuları.

R3 doğrultusu seçildiğinde ise, elemanın dönme şekildeğiştirmesi ifade edilmektedir.

Şekil A.11 : Bağlantı eleman yönlerinin belirlenmesi.

4. Hareket doğrultuları seçildikten sonra, bu doğrultuların doğrusal olmayan özelliklerinin tanımlanması gereklidir. Seçilen doğrultusunun **nonlinear** özelliği tıklanarak, doğrusal olmayan davranış yapabilmesi sağlanır. **Nonlinear** özellik tıklandıktan sonra **Modify/Show for** seçeneği ilgili doğrultu için aktif hale gelir. **Modify/Show** butonuna tıkladıktan sonra özelliklerin tanımlanabileceği diyalog kutusu ekrana gelir.

Şekil A.12 : Link elemanın doğrusal olmayan özelliklerinin tanımlanması.

Bağlantı elemanın çevrimsel davranışını tanımlamak için **Kinematik**, **Takeda** ve **Pivot** olmak üzere 3 farklı davranış seçeneği mevcuttur. Tez kapsamında **Pivot** çevrim modeli kullanılmıştır. Bu çevrime göre, çevrimler sırasında bir doğrultudaki boşaltma veya yükleme kolları ideal akma noktasında ulaşmadan, ideal başlangıç rijitliği doğrultusu üzerinde ikincil bir ortak noktadan geçmektedir. **Pivot** modelin parametrelerinden F_y akma dayanımlarına karşılık gelen kuvvet değerleridir. α değerleri, geri dönüş kollarının eğimini ifade ederken, β değerleri ise yük boşaltma eğrilerinin geçeceği noktayı tariflemektedir.

Elemanın kuvvet-şekildeğiştirme ilişkisi değerleri verilerek, modelin başlangıç rijitliği de bu değerlere bağlı olarak verilebilir.

Belirtilen 4 adımda doğrusal olmayan bağlantı elemanın tanımlanması anlatılmıştır. Daha sonraki adım ise, bağlantı elemanın geometrik bakımdan sisteme girilmesidir. Link eleman, iki noktanın birbirine bağlanması veya direkt sistem mesnet elemanı olarak kullanılabilir. Bu farklı kullanım şekilleri Sap2000 de şöyle tariflenmektedir;

- Single-joint; mesnet elemanı olarak tanımlanması
- Two joint; link elemanın girildiği iki nokta arasında sıfıra çok yakın, sonlu uzunlukta mesafe olmalıdır. İki nokta arasındaki mesafenin küçüklüğünü girebilmek, için Sap2000 de **Auto Merge Tolerance** özelliklerinden virgülden sonraki hanelerin hassasiyeti ayarlanmalıdır.

Bu seçeneklere de Sap2000 nin ana menüsündeki **Draw** seçeneğinde **Draw 1 Joint Link** ve **Draw 2 Joint Link** seçeneklerine ulaşarak, doğrusal olmayan bağlantı elemanının geometrik olarak sistemde oluşturulması sağlanabilir.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Tuğba Aksakal

Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul, 03.12.1989

Adres: Evren Mah. Altay Sok. Güneşli-Bağcılar/İSTANBUL

E-Posta: tugbaksakal@itu.edu.tr

Lisans: Yıldız Teknik Üniversitesi

Mesleki Deneyim ve Ödüller: Bürostatik Mühendislik-Proje Mühendisi

