

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BETONARME ÇOK KATLI YAPILARIN DEPREM  
PERFORMANSININ STATİK İTME VE ZAMAN TANIM ALANINDA  
DOĞRUSAL OLMAYAN YÖNTEMLERLE İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Abdullah Doğuş TINAS**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Yapı Mühendisliği Programı**

**ARALIK 2017**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BETONARME ÇOK KATLI YAPILARIN DEPREM  
PERFORMANSININ STATİK İTME VE ZAMAN TANIM ALANINDA  
DOĞRUSAL OLMAYAN YÖNTEMLERLE İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Abdullah Doğuş Tınas  
(501151002)**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Yapı Mühendisliği Programı**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. A. Necmettin GÜNDÜZ**

**ARALIK 2017**



İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501151002 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Abdullah Doğuş TINAS, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “BETONARME ÇOK KATLI YAPILARIN DEPREM PERFORMANSININ STATİK İTME VE ZAMAN TANIM ALANINDA DOĞRUSAL OLMAYAN YÖNTEMLERLE İNCELENMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :** **Doç. Dr. A. Necmettin GÜNDÜZ** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :** **Prof. Dr. Zekai CELEP** .....  
Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi

**Doç. Dr. Ali SARI** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Teslim Tarihi** : 10 Kasım 2017  
**Savunma Tarihi** : 14 Aralık 2017





*Aileme,*





## ÖNSÖZ

Lisans ve yüksek lisans öğrenimim boyunca bilgi ve tecrübesi sayesinde inşaat mühendisliği mesleğini öğrenmemi ve farklı bakış açıları kazanmamı sağlayan değerli tez danışmanım Doç. Dr. A. Necmettin GÜNDÜZ'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tez çalışmam esnasında sağladığı imkanlar ve hoşgöründen dolayı işverenim Yük. İnş. Müh. Enver ALTINOK'a ve tez aşamasında bilgi alışverişinde bulunduğum Yük. İnş. Müh. A. Murathan PAKSOY'a teşekkürü borç bilirim.

Son olarak hayatım boyunca her zaman bütün desteğiyle yanımda olan aileme teşekkürlerimi sunarım.

Aralık 2017

A. Doğuş TINAS  
(İnşaat Mühendisi)



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER .....	ix
KISALTMALAR .....	xi
SEMBOLLER .....	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xvii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xix
ÖZET.....	xxiii
SUMMARY .....	xxv
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. DOĞRUSAL ELASTİK OLMAYAN DAVRANIŞ VE ÇÖZÜMLEME .....</b>	<b>3</b>
2.1 Yapıların Depreme Dayanıklı Tasarımı .....	3
2.1.1 Kapasite tasarımı ve TBDY yaklaşımı.....	4
2.1.2 Süneklik kavramı .....	7
2.2 Doğrusal Olmayan Davranış .....	9
2.2.1 Çözümün sağlanması gereken koşullar .....	10
2.2.2 Yapı sistemlerinin doğrusal olmama nedenleri.....	10
2.2.3 Yapı sistemlerinin dış yükler altında doğrusal olmayan davranışı .....	11
2.3 Malzemelerin Şekildeğiştirme Özellikleri .....	13
2.3.1 İdeal malzemeler .....	14
2.3.2 Çeşitli yapı malzemelerinde gerilme-şekildeğiştirme bağıntıları .....	15
2.4 Düzlem Çubuk Elemanlarda İç Kuvvet-Şekildeğiştirme Bağıntıları ve Akma (Kırılma) Koşulları .....	16
2.4.1 Betonarme çubuklarla ilgili varsayımlar ve esaslar .....	17
2.4.2 Eğilme momenti – birim dönme ( $M - \chi$ ) bağıntısı .....	17
2.4.3 Akma eğrisi (karşılıklı etki diyagramı).....	19
2.5 Betonarme kesitlerin davranışının idealleştirilmesi .....	19
2.5.1 Eğilme momenti - eğrilik ( $M - \chi$ ) bağıntısı .....	19
2.5.2 Normal kuvvet - birim boy değişmesi ( $N - \epsilon$ ) bağıntısı .....	20
2.5.3 Karşılıklı etki diyagramı .....	21
2.6 Malzeme Bakımından Doğrusal Olmayan Betonarme Sistemlerin Hesabı .....	22
2.6.1 Plastik mafsal hipotezi .....	22
<b>3. PERFORMANS KAVRAMINA TBDY 2016 YAKLAŞIMI VE ŞEKİLDEĞİŞTİRMEYE GÖRE DEĞERLENDİRME .....</b>	<b>27</b>
3.1 Bilgi Düzeyleri .....	27
3.1.1 Betonarme binalarda sınırlı bilgi düzeyi .....	27
3.1.2 Betonarme binalarda kapsamlı bilgi düzeyi.....	28
3.1.3 Bilgi Düzeyi Katsayıları.....	29
3.2 Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri .....	30
3.2.1 Kesit hasar sınırları .....	30
3.2.2 Kesit hasar bölgeleri.....	30

3.3 Betonarme Elemanların Şekildeğiştirme Sınırları.....	30
3.4 Mevcut Binaların Deprem Performansının Belirlenmesi .....	31
3.4.1 Mevcut binalarda kesintisiz kullanım performans düzeyi .....	32
3.4.2 Mevcut binalarda hemen kullanım performans düzeyi .....	32
3.4.3 Mevcut binalarda can güvenliği performans düzeyi .....	32
3.4.4 Mevcut binalarda göçmenin önlenmesi performans düzeyi.....	33
3.4.5 Göçme durumu .....	33
3.5 Deprem Hesabına İlişkin Genel İlke ve Kurallar .....	33
3.6 Doğrusal Elastik Olmayan Davranışın İdealleştirilmesi.....	35
3.6.1 Betonarme malzeme modelleri.....	36
3.6.1.1 Sargılı ve sargısız beton modelleri .....	36
3.6.1.2 Donatı çeliği modeli .....	37
3.7 Doğrusal Elastik Olmayan Yöntemler.....	38
3.7.1 Sabit modlu itme yöntemi .....	39
3.7.2 Değişken modlu itme yöntemi .....	39
3.7.3 Zaman tanım alanında hesap yöntemi.....	40
<b>4. BETONARME ÇOK KATLI BİR BİNANIN DOĞRUSAL ELASTİK OLMAYAN YÖNTEMLERLE ÇÖZÜMÜ .....</b>	<b>41</b>
4.1 Giriş .....	41
4.2 Bina Genel Bilgileri.....	41
4.3 Binanın Yapısal Modelinin Oluşturulması.....	46
4.3.1 Malzeme modelleri.....	54
4.3.2 Kesitlerin akma yüzeyleri ve moment-eğrilik bağıntıları belirlenmesi.....	56
4.3.3 Kesitlere plastik mafsallık özelliğinin atanması.....	59
4.4 Statik İtme Çözümü.....	66
4.4.1 İtme yöntemlerinin uygulanmasına ilişkin koşullar .....	67
4.4.2 Sabit modlu itme yönteminin uygulanması.....	71
4.5 Zaman Tanım Alanında Betonarme Çok Katlı Bir Binanın Çözümlemesi.....	80
4.5.1 Deprem ivme kayıtlarının belirlenmesi ve düzenlenmesi .....	82
4.5.2 SAP2000 programında zaman tanım alanında çözümleme için veri girişi.....	87
4.5.3 Zaman tanım alanında çözümleme sonuçlarının incelenmesi.....	89
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>99</b>
5.1 Sonuçlar .....	99
5.2 Öneriler.....	101
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>103</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>105</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>149</b>

## KISALTMALAR

<b>DBYBHY</b>	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
<b>TBDY</b>	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
<b>DGT</b>	: Dayanıma Göre Tasarım
<b>ŞGDT</b>	: Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım
<b>PEER</b>	: Pasific Earthquake Engineering Research Center
<b>SAP2000</b>	: Integrated Software for Structural Analysis Program
<b>VBA</b>	: Visual Basic Application
<b>BKS</b>	: Bina Kullanım Sınıfı
<b>BYS</b>	: Bina Yükseklik Sınıfı
<b>DTS</b>	: Deprem Tasarım Sınıfı
<b>MN</b>	: Minimum Hasar Sınırı
<b>GV</b>	: Güvenlik Sınırı
<b>GÇ</b>	: Göçme Sınırı
<b>MHB</b>	: Minimum Hasar Bölgesi
<b>BHB</b>	: Belirgin Hasar Bölgesi
<b>İHB</b>	: İleri Hasar Bölgesi
<b>GB</b>	: Göçme Bölgesi
<b>KK</b>	: Kesintisiz Kullanım Performans Düzeyi
<b>HK</b>	: Hemen Kullanım Performans Düzeyi
<b>CG</b>	: Can Güvenliği Performans Düzeyi
<b>GÖ</b>	: Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi



## SEMBOLLER

$S_{DS}$	: Kısa periyod tasarım spektral ivme katsayısı
$S_{D1}$	: 1 saniye periyod tasarım ivme katsayısı
$H_N$	: Bina toplam yüksekliği
$\chi$	: Eğrilik
$\theta$	: Dönme
$\rho$	: Eğrilik yarıçapı
$c$	: En dış basınç lifine olan uzaklık
$M_{cr}$	: Çatlama momenti
$M_y$	: Akma momenti
$M_u$	: Kopma momenti
$\sigma$	: Gerilme
$E_c$	: Beton elastisite modülü
$f_{ck}$	: Beton karakteristik basınç dayanımı
$f_{ctk}$	: Beton karakteristik çekme dayanımı
$P_{cr}$	: Kritik yük
$P_b$	: Burkulma yükü
$l_p$	: Plastik mafsal boyu
$\sigma$	: Gerilme
$A_s$	: Boyuna donatı alanı
$a_i$	: Kesit çevresindeki düşey donatıların eksenleri arasındaki uzaklık
$b_o$	: Göbek betonunu sargılayan etriyelerin arasında kalan kesit boyutu
$E_c$	: Betonun elastisite modülü
$E_s$	: Donatı çeliğinin elastisite modülü
$f_c$	: Sargılı betonda beton basınç gerilmesi
$f_{cc}$	: Sargılı beton dayanımı
$f_{co}$	: Sargısız betonun basınç dayanımı
$f_e$	: Etkili sargılama basıncı
$f_s$	: Donatı çeliğindeki gerilme
$f_{sy}$	: Donatı çeliğinin akma dayanımı
$f_{su}$	: Donatı çeliğinin kopma dayanımı

$f_{yw}$	: Enine donatının akma dayanımı
$h_o$	: Göbek betonunu sargılayan etriyelerin arasında kalan kesit boyutu
$k_e$	: Sargılama etkinlik katsayısı
$s$	: Etriye aralığı
$\rho_s$	: Toplam enine donatının hacımsal oranı
$\rho_x, \rho_y$	: İlgili doğrultulardaki enine donatı hacim oranı
$\epsilon_c$	: Beton basınç birim şekildeğiştirme
$\epsilon_{cu}$	: Sargılı betondaki maksimum basınç birim şekildeğiştirme
$\epsilon_{sy}$	: Donatı çeliğinin akma birim şekildeğiştirme
$\epsilon_s$	: Donatı çeliğinin pekleşme başlangıcındaki birim şekildeğiştirme
$\epsilon_{su}$	: Donatı çeliğinin kopma birim şekildeğiştirme
$G$	: Ölü yükler
$Q$	: Hareketli yükler
$S$	: Kar yükü
$E_d^{(H)}$	: Doğrultu birleştirmesi uygulanmış tasarıma esas yatay deprem etkisi
$E_d^{(X)}$	: (X) doğrultusundaki depremin etkisi altında tasarıma esas deprem etkisi
$E_d^{(Y)}$	: (Y) doğrultusundaki depremin etkisi altında tasarıma esas deprem etkisi
$E_d^{(Z)}$	: (Z) doğrultusundaki depremin etkisi altında tasarıma esas deprem etkisi
$S_{ae}(T)$	: Yatay elastik tasarım spektral ivmesi
$S_{aR}(T)$	: Azaltılmış tasarım spektral ivmesi
$T$	: Doğal titreşim periyodu
$T_A$	: Yatay elastik spektrum köşe periyodu
$T_L$	: Yatay elastik tasarım spektrumunda sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu
$V_{tE}^{(X)}$	: (X) deprem doğrultusunda binanın tümüne etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti)
$m_t$	: Binanın bodrum katlarının üstündeki üst bölüm'ünün toplam kütlesi
$I$	: Bina Önem Katsayısı
$g$	: Yerçekimi ivmesi
$a_1^{(X,k)}$	: (X) deprem doğrultusu için k'nci itme adımında birinci moda ait modal tek serbestlik dereceli sistem'in modal sözde-ivmesi
$V_{tx1}^{(X,k)}$	: (X) deprem doğrultusu için k'nci itme adımında x ekseninde hesaplanan taban kesme kuvveti



$M_{tx1}^{(X,1)}$	: (X) deprem doğrultusu için x eksenli doğrultusunda birinci itme adımında belirlenen ve itme hesabı boyunca hiç değiştirilmeyen sabit mod şekli'ne göre hesaplanan taban kesme kuvveti modal etkin kütle
$d_1^{(X,k)}$	: (X) deprem doğrultusu için k'inci itme adımında birinci moda ait modal tek serbestlik dereceli sistem'in modal yerdeğiştirmesi
$u_{Nx1}^{(X,k)}$	: (X) deprem doğrultusu için k'inci itme adımında N'inci katta (binanın tepesinde) x eksenli doğrultusunda hesaplanan yerdeğiştirme
$\phi_{ix1}^{(1)}$	: i'inci katta birinci itme adımında belirlenen ve itme hesabı boyunca hiç değiştirilmeyen sabit mod şekli'nin x doğrultusundaki genliği
$\Gamma_1^{(X,k)}$	: (X) deprem doğrultusu için her bir k'inci itme adımında serbest titreşim hesabı ile yenilenen değişken mod şekli'ne göre hesaplanan modal katkı çarpanı.
$A_{ch}$	: Brüt enkesit alanı
$f_{ywd}$	: Enine donatının tasarım akma dayanımı
$V_e$	: Kolon, kiriş ve perdede enine donatı hesabında esas alınan kesme kuvveti
$V_r$	: Kolon, kiriş veya perde kesitinin kesme dayanımı
$\rho_{sh}$	: Perdede yatay gövde donatılarının hacimsel oranı



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

Çizelge 2.1 : Deprem tasarım sınıfları.....	5
Çizelge 2.2 : Bina kullanım sınıfları ve bina önem katsayıları.....	6
Çizelge 2.3 : Bina yükseklik sınıfları. ....	6
Çizelge 2.4 : Mevcut yerinde dökme betonarme, önüretimli betonarme ve çelik binalar için performans hedefleri ve uygulanacak tasarım yaklaşımları.....	6
Çizelge 2.5 : Yapı sistemlerinin doğrusal olmama nedenleri.....	11
Çizelge 3.1 : Bilgi düzeyi katsayıları.....	29
Çizelge 3.2 : Performans Hedefleri. ....	32
Çizelge 3.3 : Donatı çeliklerine ait bilgiler.....	38
Çizelge 4.1 : 0 m- 5,82 m kotları kritik perde boyuna donatı bilgileri. ....	45
Çizelge 4.2 : 5.82 m - 34.92 m kotları arası boyuna donatı bilgileri. ....	45
Çizelge 4.3 : Kirişlere ait kesit ve donatı bilgileri. ....	46
Çizelge 4.4 : Düşey taşıyıcı elemanların eksenel kuvvet değerleri. ....	48
Çizelge 4.5 : Etkin kesit rijitlikleri ve kesit rijitliğine oranları.....	49
Çizelge 4.6 : Modal kütle katılım oranları.....	54
Çizelge 4.7 : Spektral ivme katsayıları. ....	68
Çizelge 4.8 : Kısa periyod bölgesi için yerel zemin etki katsayıları. ....	68
Çizelge 4.9 : 1.0 saniye periyod için yerel zemin etki katsayıları. ....	68
Çizelge 4.10 : Eşdeğer deprem yükünün katlara dağılımı. ....	70
Çizelge 4.11 : X Doğrultusu burulma düzensizliğinin kontrolü.....	70
Çizelge 4.12 : Y Doğrultusu burulma düzensizliğinin kontrolü.....	71
Çizelge 4.13 : Kullanılan deprem ivme kayıt bilgileri. ....	84
Çizelge 4.14 : Benzeştirilmiş deprem ivme kayıt bilgileri. ....	86
Çizelge 4.15 : Çözümlemede kullanılan adım sayısı, aralığı ve süresi. ....	87
Çizelge 4.16 : Taban kesme kuvvetleri.....	94
Çizelge 4.17 : Perde hasar durumları.....	97
Çizelge 4.18 : Kiriş hasar durumları.....	98



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1 : Çerçeve sistemlerde olası mekanizma durumları. ....	5
Şekil 2.2 : Gevrek ve sünek davranış. ....	7
Şekil 2.3 : Sargı donatısı süneklik ilişkisi. ....	8
Şekil 2.4 : Eğrilik. ....	9
Şekil 2.5 : Süneklik oranı. ....	9
Şekil 2.6 : Yük parametresi–yerdeğiştirme bağıntıları. ....	12
Şekil 2.7 : Dış kuvvetler etkisindeki katı cisim. ....	13
Şekil 2.8 : Şematik yük parametresi - şekildeğiştirme diyagramı. ....	14
Şekil 2.9 : İdeal malzemeler. ....	14
Şekil 2.10 : Yapı ve beton çeliklerinde $\sigma - \varepsilon$ diyagramı. ....	15
Şekil 2.11 : Yapı ve beton çeliklerinin $\sigma - \varepsilon$ diyagramlarının idealleştirilmesi. ....	16
Şekil 2.12 : Betonarme çubuğun dış basınç lifindeki $\sigma - \varepsilon$ diyagramı. ....	16
Şekil 2.13 : Düzlem çubuk elemanda iç kuvvet ve şekildeğiştirmeler. ....	17
Şekil 2.14 : Betonarme kesitlerde $M - \chi$ diyagramı. ....	18
Şekil 2.15 : Betonarme kesitlerde karşılıklı etki diyagramı (akma eğrisi). ....	19
Şekil 2.16 : Betonarme kesitlerde idealleştirilmiş $M - \chi$ diyagramı (Tip: 1). ....	20
Şekil 2.17 : Betonarme kesitlerde idealleştirilmiş $M - \chi$ diyagramı (Tip: 2). ....	20
Şekil 2.18 : Betonarme kesitlerde idealleştirilmiş $N - \varepsilon$ diyagramı. ....	21
Şekil 2.19 : Betonarme kesitlerde karşılıklı etki diyagramının idealleştirilmesi. ....	21
Şekil 2.20 : Doğrusal olmayan eleman modellerinin karşılaştırılması. ....	22
Şekil 2.21 : Eğilme momenti – eğrilik diyagramı. ....	23
Şekil 2.22 : İdealleştirilmiş bünye bağıntısı. ....	23
Şekil 2.23 : Doğrusal olmayan şekil değiştirmeler. ....	24
Şekil 2.24 : Plastik mafsalsal boyu. ....	25
Şekil 3.1 : Kesit hasar bölgeleri ve sınırları. ....	30
Şekil 3.2 : Akma Yüzeyleri. ....	36
Şekil 3.3 : Sargılı ve sargısız beton modelleri. ....	37
Şekil 3.4 : Donatı çeliği modeli. ....	38
Şekil 3.5 : İtme eğrisi. ....	39
Şekil 4.1 : Kalıp planı. ....	42
Şekil 4.2 : 0 m- 5,82 m kotları arası kolon aplikasyon planı. ....	43
Şekil 4.3 : 5.82 m - 34.92 m kotları arası kolon aplikasyon planı. ....	44
Şekil 4.4 : Bina üç boyutlu modeli. ....	47
Şekil 4.5 : Betonarme perde duvarın çubuk eleman olarak modellenmesi. ....	48
Şekil 4.6 : Yapının 1. mod şekli. ....	51
Şekil 4.7 : Yapının 2. mod şekli. ....	51
Şekil 4.8 : Yapının 3. mod şekli. ....	52
Şekil 4.9 : Yapının 4. mod şekli. ....	52
Şekil 4.10 : Yapının 5. mod şekli. ....	53
Şekil 4.11 : Yapının 6. mod şekli. ....	53

Şekil 4.12 : SAP2000 programında tanımlanan sargısız beton modeli. ....	55
Şekil 4.13 : SAP2000 programında tanımlanan sargılı beton modeli örneği. ....	55
Şekil 4.14 : SAP2000 programında tanımlanan S420 donatı çeliği modeli. ....	56
Şekil 4.15 : Section Designer S01 betonarme perde duvar enkesiti. ....	57
Şekil 4.16 : Section Designer S01 perdesi akma yüzeylerinin elde edilmesi. ....	58
Şekil 4.17 : Section Designer S01 perdesi M-φ bağıntısının elde edilmesi. ....	58
Şekil 4.18 : Section Designer K01 giriş enkesiti. ....	59
Şekil 4.19 : Section Designer K01 girişi moment-eğrilik bağıntısının elde edilmesi. ....	59
Şekil 4.20 : SAP2000 kesit hasar sınırları. ....	61
Şekil 4.21 : S01 perdesi plastik mafsal tanımı. ....	62
Şekil 4.22 : S01 perdesi plastik mafsal veri girişi. ....	62
Şekil 4.23 : S01 perdesi plastik mafsal düşey yük veri girişi. ....	63
Şekil 4.24 : S01 perdesi plastik mafsal moment-dönme eğrilerinin açıları. ....	63
Şekil 4.25 : S01 perdesi plastik mafsal moment-dönme veri girişi. ....	64
Şekil 4.26 : S01 perdesi plastik mafsal akma yüzeyleri seçim ekranı. ....	64
Şekil 4.27 : S01 perdesi plastik mafsal akma yüzeyleri veri girişi. ....	65
Şekil 4.28 : Fiber P-M2-M3 mafsalı. ....	65
Şekil 4.29 : Spektral ivme – periyod grafiklerinin karşılaştırılması. ....	69
Şekil 4.30 : Statik itme analizi veri girişi. ....	72
Şekil 4.31 : Statik itme analizi veri girişi. ....	73
Şekil 4.32 : X doğrultusu 1. moda ait statik itme eğrisi. ....	74
Şekil 4.33 : X doğrultusu 1. moda ait hedef yerdeğiştirmenin belirlenmesi. ....	75
Şekil 4.34 : X doğrultusu 2. moda ait statik itme eğrisi. ....	75
Şekil 4.35 : X doğrultusu 2. moda ait hedef yerdeğiştirmenin belirlenmesi. ....	76
Şekil 4.36 : Y doğrultusu 3. moda ait statik itme eğrisi. ....	77
Şekil 4.37 : Y doğrultusu 3. moda ait hedef yerdeğiştirmenin belirlenmesi. ....	77
Şekil 4.38 : X doğrultusu eşdeğer deprem yüküne ait statik itme eğrisi. ....	78
Şekil 4.39 : X doğrultusu eşdeğer deprem yüküne ait hedef yerdeğiştirmenin belirlenmesi. ....	78
Şekil 4.40 : Y doğrultusu eşdeğer deprem yüküne ait statik itme eğrisi. ....	79
Şekil 4.41 : Y doğrultusu eşdeğer deprem yüküne ait hedef yerdeğiştirmenin belirlenmesi. ....	79
Şekil 4.42 : Y doğrultusu eşdeğer deprem yükü ve modal itme eğrileri karşılaştırılması. ....	80
Şekil 4.43 : Kullanılan kayıtların 0° doğrultu ivme spektrumlarının, tasarım ivme spektrumu ile karşılaştırılması. ....	85
Şekil 4.44 : Kullanılan kayıtların 90° doğrultu ivme spektrumlarının, tasarım ivme spektrumu ile karşılaştırılması. ....	85
Şekil 4.45 : Kullanılan kayıtlara ait spektrum bileşke ortalamasının tasarım ivme spektrumu 1.3 katı ile kontrolü. ....	85
Şekil 4.46 : Başlangıç adımı olarak kullanılan doğrusal olmayan statik çözümleme. ....	87
Şekil 4.47 : Deprem ivme kayıtlarının SAP2000 programına tanıtılması. ....	88
Şekil 4.48 : SAP2000 programında zaman tanım alanında çözümlemenin tanımlanması. ....	89
Şekil 4.49 : VBA’de hazırlanan yazılım. ....	90
Şekil 4.51: U1 yönü 0° kaydı taban kesme - zaman grafiği. ....	95
Şekil 4.52: U2 yönü 90° kaydı taban kesme - zaman grafiği. ....	96
Şekil 4.53: U2 yönü 0° kaydı taban kesme - zaman grafiği. ....	96
Şekil 4.54: U1 yönü 90° kaydı taban kesme - zaman grafiği. ....	97

<b>Şekil A.1</b> : İmperial Valley-06, El Centro Array #12 benzeştirilmiş kayıt sonuçları. .....	<b>106</b>
<b>Şekil A.2</b> : Kobe, Kobe University benzeştirilmiş kayıt sonuçları.....	<b>108</b>
<b>Şekil A.3</b> : Kobe, Fukushima benzeştirilmiş kayıt sonuçları. ....	<b>110</b>
<b>Şekil A.4</b> : Kobe, Kakogawa benzeştirilmiş kayıt sonuçları. ....	<b>112</b>
<b>Şekil A.5</b> : Kocaeli, Gebze benzeştirilmiş kayıt sonuçları. ....	<b>114</b>
<b>Şekil A.6</b> : Kocaeli, Göynük benzeştirilmiş kayıt sonuçları.....	<b>116</b>
<b>Şekil A.7</b> : Northridge-01, El Monte Fairview Avenue benzeştirilmiş kayıt sonuçları. .....	<b>118</b>
<b>Şekil A.8</b> : Northridge-01, Glendale Las Palmas benzeştirilmiş kayıt sonuçları. ...	<b>120</b>
<b>Şekil A.9</b> : Northridge-01, La Crescenta New York benzeştirilmiş kayıt sonuçları.	<b>122</b>
<b>Şekil A.9</b> : Northridge-01, La Crescenta New York benzeştirilmiş kayıt sonuçları.	<b>123</b>
<b>Şekil A.10</b> : Landers, Amboy benzeştirilmiş kayıt sonuçları. ....	<b>124</b>
<b>Şekil B.1</b> : Kobe, Kobe University benzeştirilmiş deprem kayıt grafikleri. ....	<b>126</b>
<b>Şekil B.2</b> : Kobe, Kakogawa benzeştirilmiş deprem kayıt grafikleri. ....	<b>128</b>
<b>Şekil B.3</b> : Kobe, Fukushima benzeştirilmiş deprem kayıt grafikleri.....	<b>130</b>
rafikleri. ....	<b>131</b>
<b>Şekil B.4</b> : Kocaeli, Gebze benzeştirilmiş deprem kayıt grafikleri. ....	<b>132</b>
<b>Şekil B.5</b> : Kocaeli, Göynük benzeştirilmiş deprem kayıt grafikleri. ....	<b>134</b>
<b>Şekil B.6</b> : İmperial Valley El Centro Array #12 benzeştirilmiş deprem kayıt grafikleri. ....	<b>136</b>
<b>Şekil B.7</b> : Imperial Valley Calipatria Fire Station benzeştirilmiş deprem kayıt grafikleri. ....	<b>138</b>
<b>Şekil B.8</b> : Northridge, El Monte benzeştirilmiş deprem kayıt grafikleri. ....	<b>140</b>
<b>Şekil B.9</b> : Northridge, Glendale Las Palmas benzeştirilmiş deprem kayıt grafikleri. .....	<b>142</b>
<b>Şekil B.10</b> : Northridge, La Crescenta benzeştirilmiş deprem kayıt grafikleri. ....	<b>144</b>
<b>Şekil B.11</b> : Landers, Amboy benzeştirilmiş deprem kayıt grafikleri. ....	<b>146</b>





# **BETONARME ÇOK KATLI YAPILARIN DEPREM PERFORMANSININ STATİK İTME VE ZAMAN TANIM ALANINDA DOĞRUSAL OLMAYAN YÖNTEMLERLE İNCELENMESİ**

## **ÖZET**

Depremsellik açısından aktif bir bölgede bulunan ülkemizde deprem etkilerinin oluşturduğu hasar ve can kayıplarını en düşük seviyede tutabilmek için, depremin yapılar üzerinde oluşturduğu etkileri göz önünde bulundurmamak gerekmektedir. Bu gerekliliğe yapısal anlamda artan ihtiyaçların eklenmesi ile daha kapsamlı ve hassas sonuçlar veren yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır.

Depreme dayanıklı yapı tasarımının gerekliliği sebebi ile ülkemizde etkin olarak Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY) 2007 kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalar ile edinilen bilgiler doğrultusunda mevcut yönetmeliği geliştirmek adına Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) 2016 taslak olarak yayınlanmıştır. Mevcut yönetmeliğe göre daha detaylı ve sistematik olan TBDY 2016 taslağında, değişen ve yeni eklenen pek çok bölüm bulunmaktadır. Bu taslak yönetmelik deprem yüklerine ve diğer dış yüklere dayanıklı yapı tasarımında; doğrusal davranış kabulü ile dayanıma göre tasarım (DGT) ve doğrusal olmayan davranışları göz önünde bulunduran şekilde değiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım (ŞDGT) olarak iki ana yaklaşımdan oluşmaktadır. DGT yönteminde malzemelerin elastik ötesi kapasitelerinden yararlanılmadığı ve 2. mertebe etkileri göz önünde bulundurulmadığı için yapıların deprem performansı hakkında detaylı bilgi edinilemez. Bu açıdan daha detaylı sonuçlar istendiğinde ŞDGT ön plana çıkmaktadır. Ayrıca gelişen teknolojik ilerlemelerle birlikte, bilgisayarlarda işlem hacmi bakımından çok daha yoğun olan ŞDGT yöntemleri gitgide daha kolay uygulanabilmektedir.

Bu tez kapsamında TBDY 2016 taslağına uygun olarak betonarme çok katlı bir yapının sabit modlu statik itme ve zaman tanım alanında, doğrusal elastik olmayan yöntemlerle çözümlemesi yapılmıştır.

Çalışmanın birinci bölümünde amaç ve kapsamdan bahsedilmiştir. İkinci bölümde depreme dayanıklı yapı tasarımında kapasite tasarımına ve doğrusal elastik olmayan davranışa değinilmiştir. Bu hususta malzeme modelleri, kesit davranışı, plastik mafsallı hipotezi, süneklik, yapıların doğrusal olmama nedenleri gibi kavramlar anlatılmıştır. Üçüncü bölümde TBDY 2016 taslağının performans kavramına yaklaşımı konusunda; bilgi düzeyleri, hasar sınırları, performans düzeyleri verilmiştir. Ardından doğrusal olmayan davranışın idealleştirilmesi, sargılı ve sargısız beton modelleri, donatı çeliği modeli ve son olarak kullanılanabilecek doğrusal elastik olmayan yöntemlerden bahsedilmiştir. Dördüncü bölümde incelenen yapıya ait genel bilgiler, matematiksel modelinin hazırlanması, statik itme ve zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan çözümlemelerin oluşturulması ve uygulanması konuları anlatılmıştır. Ayrıca deprem kayıtlarının ölçeklenme ve

benzeştirilme yöntemlerine değinilmiştir. Son bölüm olan beşinci bölümde sonuçlar ve öneriler verilmiştir.

Betonarme yapı tünel kalıp imalat yöntemi kullanılarak yapılması sebebi ile düşey taşıyıcı sistemi betonarme perde duvarlardan oluşmaktadır. Bu sebeple eğilme rijitliği çok yüksektir. Ayrıca yine imalat yönteminden kaynaklanan kirişlerin bir doğrultuda sürekli ve sayısı çoktur fakat diğer doğrultuda bu sağlanamamıştır. Bu sebepler ile burulma davranışı ön plana çıkmış ve zayıf olan bu doğrultuda modal kütle katılım %70'in altında kalmıştır. Sabit modlu itme yöntemleri binanın mod şekline göre ve eşdeğer deprem yükü girilerek iki ayrı şekilde uygulanmıştır. Bu sonuçlar kütle katılımın %70 sağlandığı doğrultuda benzerlik göstermektedir. Ayrıca zaman tanım alanında yapılan analiz sonuçları hem birbiri ile hemde statik itme sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Yapının çok rijit olması dolayısıyla taşıyıcı elemanlar minimum hasar bölgesinde kalarak kesintisiz kullanım performans düzeyini sağlanmıştır.



# SEISMIC PERFORMANCE EVALUATION OF A MULTI-STOREY RC BUILDING BY NONLINEAR STATIC PUSHOVER AND TIME HISTORY ANALYSIS

## SUMMARY

In the seismic zones of the world, damages caused by earthquakes at a level that can not be overlooked. Turkey is also one of in that zones and earthquakes which are occurred recently have confirmed this situation. August 17th, 1999 Kocaeli, November 12th, 1999 Duzce and October 23rd, 2011 Van earthquakes can be given as an example. In order to keep the damage caused by the earthquakes at the lowest level, the effects of the earthquakes on the structures should be considered. Also there is an increasing need for methods to provide structurally more precise and comprehensive results with the development of cities, to meet the increasing needs of people.

To prevent the casualties and economical loss due to earthquakes, seismic codes were developed and in Turkey, currently (Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik - DBYBHY 2007) has been used. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği - TBDY 2016 was prepared and published as a draft to improve existing regulations in line with the information obtained through the studies have been made. It is more detailed and systematic than current code besides there were many changed and newly added sections. Such as optaining of horizontal and vertical spectrums were altered. They were obtained according to the coordinates on the structures. The number of ground types were increased from 4 to 6. Also buildings were classed as their usage, earthquake design class and height. The selection of these parameters has proceed relative to each other, and finally, performance level of the building and evaluation/design type is obtained. Furthermore, there are new regulations about deformation and displacement based design. These are some of the significant changes and additions of TBDY 2016 draft code that may be mentioned.

There are two main approaches of designing earthquake resistant buildings in this draft code. These are strength based design with linear behaviour assumption and deformation and displacement based design which also considers nonlinear behaviour. In strength based design nonlinear response of materials and second order effect are not considered which causes limited information about structural performance during an earthquake. In this perspective deformation and displacement based design becomes prominent because of it provides more detailed information about structural performance. In addition to that, it is gradually getting easier to execute performance analyses due to developing technology.

In this study, nonlinear behaviour of a multi-storey reinforced concrete building is examined with pushover and time history analysis according to TBDY 2016 draft code. This Master of Science thesis consist of five chapters.

In the first chapter, the purpose and scope of this study were explained.

The second chapter includes earthquake-resistant structural design which are elastic design and capacity design. The capacity design is based on the assumption of nonlinear behaviour of the structure. In this context the assumptions and regulations about capacity design which material model assumptions, cross-section behaviour, plastic hinge hypothesis, ductility regarding material, section, element and structure,

reasons of nonlinearity and the design approach of TBDY 2016 draft code were mentioned.

The third chapter gives information on the concept of performance from the point of view of TBDY 2016 draft code. In this chapter information levels of the buildings, damage limits, performance levels and zones were referred. Also, idealization of nonlinear behaviour, confined and unconfined concrete models, reinforcing steel model were given. Lastly nonlinear analysis methods; static pushover analysis, adaptive pushover analysis also time history analysis was described.

The fourth chapter is about the studied building. General information was given such as the height, structural plan, purpose of use, ground type and seismicity class. These data were used to determine performance criteria, horizontal spectral acceleration and subjects related these informations according to TBDY 2016 draft code. As well as the preparation of the mathematical model in SAP2000 (Structural Analysis Program 2000 ) was given with extensive explanations according to these informations. Besides, nonlinear static pushover analysis was described in compliance with TBDY 2016 draft code, and its application in SAP2000 program was emphasized. Besides nonlinear time history analysis was given in the same way. The records were obtained from PEER (Pacific Earthquake Engineering Research Center). These records were spectrally matched with design spectrum according to TBDY 2016 draft code statement. Therefore ground motion selection, scaling and simulation subjects have been addressed.

The fifth chapter is about the results of the nonlinear static pushover and nonlinear time history analyses and comparison of them.

The building has been made with tunnel mold manufacturing system which consist of reinforced concrete shear walls. Due to this reason bending rigidity of the structure is to high. Also, the beams of the structure were not evenly distributed in two directions and in the weak direction of the building they were not continuous. All these reasons gives rise to a more dominant torsion behaviour and the building's weak direction modal participating mass ratio has not been achieved seventy percent in the first mode. Static pushover analysis were performed according to buildings mode shapes and the distributions of the equivalent earthquake force. In the direction of the modal mass participating ratios %70 provided the capacity curves are overlapped and results compatible. Also the nonlinear time history analyses results were compared with each other and static pushover analyses. SAP2000 program results were not suitable to use for evaluation of the building performance according to TBDY 2016 draft regulations. For this reason, a program is coded, in Visual Basic Application (VBA) which is a subprogram of EXCEL, to get the results of the analyses were done in time history. Due to the enormous rigidity of the building all structural elements were in the minimum damage zone and the building is at the uninterrupted usage performance level according to TBDY 2016 draft code.

In the suggestion part, it is recommended to model the building from small to large. It is useful to understand the behaviour of the elements than the structure. Also it is beneficial way of modeling due to noticing the errors and prevent them to cumulate. Another suggestion is using other scaling and simulation types for the ground motions. Because of the spectral matching method's high accuracy it is disrupting the characteristic of the ground motion data. Besides, other modeling methods could be used. Modeling shear walls with line elements cause fiction element assumption to give the structure its geometry. However this assumption is affecting the period of

the structure depending the rigidity of these fiction elements. To avoid this error it should be checked with trial and error method or another model which uses shell elements. In this study floors are not modeled but, mathematically described. However, cracks may be occurred in the floor even their direction can affect of the structure behaviour. For these reasons floors could be modeled and effective section stiffness effect could be investigate. At last but not least structures desired to examined with tunnel mold could be selected higher than selected in this study since there was not an obvious nonlinear behaviour observed in this study.





## 1. GİRİŞ

Doğal afetler arasında deprem, ülkemizde tekrar sıklığı ve yüksek yıkıcı etkisi sebebiyle ekonomik açıdan ve can kayıpları açısından en çok zarar veren afettir. Deprem, şiddet ve büyüklük olarak iki farklı kavram olarak incelenmektedir. Büyüklük açığa çıkan enerjinin bir ölçüsü iken, şiddeti olduğu bölgenin verdiği tepki olduğundan göreceli bir kavramdır. Bu sebeple 17 Ağustos 1999 Kocaeli , 12 Kasım 1999 Düzce ve 23 Ekim 2011 Van depremleri ülkemize verdiği hasarlar açısından yakın tarihli örnek verilebilecek depremlerdir. Ayrıca mevcut bilimsel ilerlemeler ile depremler oluşmadan önce etki zamanı, süresi ve konumu yeterli hassasiyetle belirlenememektedir. Tüm bu sebeplere dayanarak yapıların tasarım aşamasında bu etki göz önünde bulundurulmalıdır. Dünyada deprem bölgesinde olan her ülkede olduğu gibi ülkemizde de bu hasarı en düşük seviyede tutabilmek için çalışmalar yapılmakta ve yönetmelikler oluşturulmaktadır. Güncel olarak Deprem Bölgesinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007 (DBYBHY 2007) kullanılmakla birlikte taslak olarak Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) 2016 yayınlanmıştır. Taslak olarak yayınlanan bu yönetmelikte mevcut bölümler için güncellemeler ve yeni bölümler bulunmaktadır. Başlıca; deprem yer hareketi spektrumları, bina yüksekliği ve bina yükseklik sınıfları, deprem etkisi altında yüksek bina taşıyıcı sistemler için özel kurallar ve doğrusal olmayan hesap için taşıyıcı sistemin modellenmesine ilişkin kurallar [1] , örnek olarak sayılabilir.

TBDY 2016'da depreme dayanıklı yapı tasarımı, dayanıma göre tasarım (DGT) ve şekil değiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım (ŞGDT) olmak üzere iki bölüme ayrılmıştır. DGT doğrusal elastik hesap yöntemleri ile kuvvet esaslı bir yaklaşımdır ve kesitlerin oluşan iç kuvvetleri güvenle karşılaması amaçlanmaktadır. Yapıda oluşan hasar ve yapının davranışı konusunda verdiği bilgi kısıtlıdır. ŞGDT ise doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri ile yerdeğiştirme ve şekildeğiştirme esaslı bir yaklaşımdır. Yapının malzeme ve geometri değişimleri açısından oluşan elastik ötesi davranışının plastik şekildeğiştirme kapasitesiyle kıyaslar. Böylece yapının davranışı, oluşan hasarlar ve mekanizma durumları hakkında detaylı bilgiler verir.

Bu tez çalışması kapsamında betonarme çok katlı bir yapının doğrusal elastik olmayan çözümleme yöntemi ile davranışı ve performans seviyesi TBDY 2016 taslak yönetmeliğine göre incelenecektir.





## 2. DOĞRUSAL ELASTİK OLMAYAN DAVRANIŞ VE ÇÖZÜMLEME

### 2.1 Yapıların Depreme Dayanıklı Tasarımı

Depreme karşı dayanıklı olması istenen yapılarda, taşıyıcı sistemin bütününde, elemanlarında ve birleşim bölgelerinde deprem esnasında oluşan yüklerin temel zeminine güvenli bir şekilde aktarılmasını sağlayacak seviyede dayanım, rijitlik ve süneklik bulunmalıdır. Dayanım tasarım yüklerini taşıyabilecek kesit boyutlandırması ve detaylandırması ile sağlanır. Rijitlik yerdeğiştirmelerin sınırlandırılması ile sağlanmaktadır. Bu sınırlandırma görelî kat ötelemelerinin kat yüksekliğine oranı ile belirlenir. Bu şekilde oluşabilecek ikinci mertebeye etkiler kontrol altına alınmış olur. Süneklik, dayanım kaybetmeden büyük yerdeğiştirme, şekildeğiştirme yapabilme yeteneğidir. Malzeme, kesit, eleman ve sistem sünekliği olarak çeşitli türleri bulunmaktadır. Malzeme sünekliği haricinde kalanlar tasarımcı tarafından belirlenebilmektedir.

Depreme dayanıklı yapı tasarımında temel iki farklı yaklaşım yönteminden bahsedilebilir.

Tasarım depremi altında yapı taşıyıcı sistemi oluşacak iç kuvvetleri doğrusal elastik bölgede kalacak şekilde tasarlanabilir. Yapıya etkiyen yüklerin oluşturacağı iç kuvvetler taşıma kapasitesini aşmayacak şekilde boyutlandırma yapılır ve plastik mafsallara izin verilmez. Yapıda hasar oluşumuna izin verilmez; yani şekildeğiştirmeler doğrusal elastik bölgeyi aşmaz. Bu tasarım metodunda göz önüne alınan deprem etkileri altında yapının davranışını tahmin etmek kolaydır. Fakat bu tasarım yaklaşımı ekonomik değildir, bu sebeple önem derecesi yüksek yapılarda uygulanmaktadır.

İkinci yaklaşımda taşıyıcı sistemin elastik ötesi bölgeye geçmesi kabulüne göre tasarım yapılır. Fakat bu yaklaşımda sistemin mekanizma durumu önem arzettiği için istenilen mekanizma durumunu sağlamak amacıyla belirli elemanlarda plastik davranışa izin verilir. İstenilen davranışın elde edilebilmesi için uygun boyutlandırma ve detaylandırma şartlarının sağlanması gerekmektedir. Bu tasarım

yöntemi ile yeterli güvenlikte ve ekonomik yapılar imal edilebilir. Ancak, yöntemin etkin olabilmesi için kapasite tasarımı ilkelerine mutlak surette uyulmalıdır.

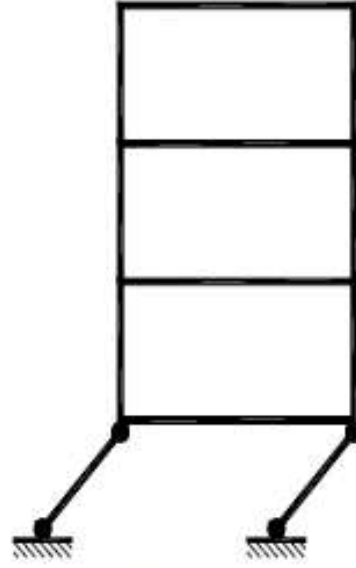
### 2.1.1 Kapasite tasarımı ve TBDY yaklaşımı

Kapasite tasarımında yapılarda şiddetli depremlerde hasar oluşumuna izin verilmesi, bu hasar dağılımının tasarımcı tarafından belirlenmesi ve önlemlerin alınması amaçlanmaktadır. Bu önlemler taşıyıcı sistem ve elemanlarında sünek güç tükenmesinin gevrek güç tükenmesinden önce oluşması, hasarların oluşacağı yerlerin belirlenmesi ve belirlenen yerlerde sünekliğin arttırılması ile sağlanır. Sünek davranış ile birlikte tasarımda plastik şekildeğiştirme yani hasar oluşumu kabul edilmiştir. Bu hasarların türü ve konumu kapasite tasarımının en önemli unsurlarıdır. Kapasite tasarımı kapsamında boyutlandırılan bir yapının sağlaması gereken koşullar aşağıda verilmiştir.

- Taşıyıcı sistem elastik ötesi şekildeğiştirme yapabilecek şekilde amaçlanan süneklik düzeyini sağlamalıdır.
- Oluşacak hasarların, amaçlanan mekanizma durumunda ve süneklik düzeyi yüksek elemanlarda oluşması sağlanmalıdır.
- Oluşacak hasarlar sebebiyle bölgesel mekanizma oluşumuna izin verilmemelidir. Örnek olarak, güçlü kolon zayıf kiriş tasarım prensibi ile kolonlarda kirişlerden önce plastik mafsall oluşumuna izin verilmemesinden bahsedilebilir, Şekil 2.1.
- Taşıyıcı elemanlarda ve birleşim bölgelerinde gevrek göçme hasarlarının sünek hasarlardan önce oluşumuna izin verilmez. Bu sebeple kesme dayanımının yetersizliği ve aderans yetersizliğinden oluşacak hasarlara karşı gerekli önlemler alınmalıdır.
- Malzeme dayanımının beklenenden yüksek çıkması, yapısal olmayan elemanların katkıları sebebiyle dayanım artışları göz önünde bulundurulmalıdır. Bu dayanım artışlarının istenen mekanizma durumunu engellemesi önlenmelidir. Böylece bu etkenin öngörülen hasar dağılımı ve türlerinin oluşumunu engellememesi garanti altına alınabilir. Dayanım fazlalığı katsayıları taşıyıcı sistem türüne göre TBDY 2016 taslağında tablo halinde verilmiştir.



(a) Tümsel mekanizma



(b) Bölgesel kat mekanizması

**Şekil 2.1 :** Çerçeve sistemlerde olası mekanizma durumları.

DBYBHY 2007’de “Bölüm 2 – Depreme Dayanıklı Binalar İçin Hesap Kuralları” bölümü TBDY’de 2 kısma ayrılmış ve “Bölüm 3 – Deprem Etkisi Altında Binaların Değerlendirilmesi ve Tasarımı İçin Genel Kurallar” altında gerekli şartlar ve kurallar belirtilmiştir. TBDY’de birbirine bağlı olarak ilerleyen “Bina Kullanım Sınıfları” (BKS), “Deprem Tasarım Sınıfı” (DTS), “Bina Yükseklik Sınıfı” (BYS) belirlenerek, amaçlanan performans düzeyine göre performans hedefi ve uygulanacak tasarım yaklaşımı verilen Çizelge 2.1, 2.2, 2.3, 2.4’ten belirlenebilir .

**Çizelge 2.1 :** Deprem tasarım sınıfları.

(DD-2)Deprem Yer Hareketi Düzeyinde Kısa Periyod Tasarım Spektral İvme Katsayısı ( $S_{DS}$ )	Bina Kullanım Sınıfı	
	BKS=1	BKS=2,3
$S_{DS} < 0.333$	DTS = 4a	DTS = 4
$0.333 \leq S_{DS} < 0.667$	DTS = 3a	DTS = 3
$0.667 \leq S_{DS} < 1.00$	DTS = 2a	DTS = 2
$1.00 \leq S_{DS}$	DTS = 1a	DTS = 1

TBDY 2016 taslağı BKS, BYS ve DTS gibi daha detaylı sınıflandırmalar yaparak ve deprem haritasından elde edilen kısa periyod tasarım spektral ivme katsayısı ( $S_{DS}$ ) ve bir saniye periyod için harita spektral ivme katsayısı ( $S_{D1}$ ) sayesinde spektral elastik ivme – zaman grafiğinin elde edilmesi ile DBYBHY 2007’ye kıyasla daha hassas bir tasarım sağlamıştır. Bu yenilikler kapasite tasarımının daha etkili ve verimli bir şekilde uygulanabilmesine imkan tanımaktadır.

**Çizelge 2.2 : Bina kullanım sınıfları ve bina önem katsayıları.**

Bina Kullanım Sınıfı	Bina Kullanım Amacı	Bina Önem Katsayısı (I)
BKS =1	Deprem sonrası kullanımı gereken binalar, insanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar, değerli eşyanın saklandığı binalar ve tehlikeli madde içeren binalar a) Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri; vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları) b) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb. c) Müzeler d) Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar	1.5
BKS = 2	İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar Alışveriş merkezleri, spor tesisleri, sinema, tiyatro, konser salonları, ibadethaneler, vb.	1.2
BKS = 3	Diğer binalar yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, vb)	1.0

**Çizelge 2.3 : Bina yükseklik sınıfları.**

Bina Yükseklik Sınıfları	Bina Yükseklik Sınıfları ve Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları [m]		
	DTS = 1, 1a, 2, 2a	DTS = 3, 3a	DTS = 4, 4a
BYS = 1	$H_N > 70$	$H_N > 91$	$H_N > 105$
BYS = 2	$56 < H_N < 70$	$70 < H_N < 91$	$91 < H_N < 105$
BYS = 3	$42 < H_N < 56$	$56 < H_N < 70$	$91 < H_N < 105$
BYS = 4	$28 < H_N < 42$	$42 < H_N < 56$	
BYS = 5	$17.5 < H_N < 28$	$28 < H_N < 42$	
BYS = 6	$10.5 < H_N < 17.5$	$17.5 < H_N < 28$	
BYS = 7	$7 < H_N < 17.5$	$10.5 < H_N < 17.5$	
BYS = 8	$H_N \leq 7$	$H_N < 10.5$	

**Çizelge 2.4 : Mevcut yerinde dökme betonarme, önüretimli betonarme ve çelik binalar için performans hedefleri ve uygulanacak tasarım yaklaşımları.**

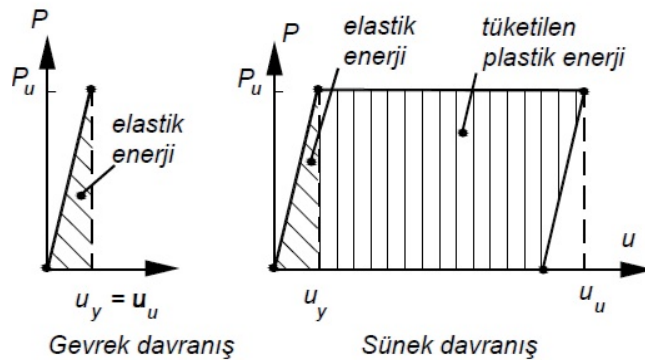
Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DTS = 1, 2, 3, 3a, 4, 4a		DTS =1a, 2a	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme /Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme /Tasarım Yaklaşımı
DD-3	-	-	HK	ŞGDT
DD-2	CG	ŞGDT	-	-
DD-1	-	-	CG	ŞGDT

Yapıların deprem etkilerine karşı dayanıklı tasarımını sağlayabilmek için TBDY’de bazı kurallar belirtilmiştir.

- Yapıda taşıyıcı sistemin yeterli sadelik ve basitliği sağlaması gerekmektedir.
- Taşıyıcı sistem yatayda dışmerkezliliklerin önüne geçebilmek, düşeyde ise yumuşak kat ve zayıf kat gibi durumlardan kaçınabilmek için yeterli düzen ve simetri özelliklerini sağlamalıdır.
- Taşıyıcı sistemde elemanların deprem etkisi altında hasar görek dayanımının bir bölümünü veya tamamını kaybetmesine karşı yeterli hiperstatiklik sağlanmalıdır.
- Taşıyıcı sistem elemanlarında yeterli dayanım ve rijitliğin sağlanması için birbirine yakın dayanım ve rijitlikte, tercihen birbirine asal doğrultuda düzenlenmesi esastır.
- “Tasarım depremi altında binada meydana gelen deprem etkilerinin taşıyıcı sistemin sünek davranışı ile azaltılması için bu Yönetmelik’te tanımlanan sünek tasarım ve kapasite tasarımı ilkelerine titizlikle uyulmalıdır” [1].
- Deprem etkilerinin güvenle dağıtılabilmesi için döşeme elemanlarının yüksek düzlem içi rijitliğe sahip olması gerekmektedir.

### 2.1.2 Süneklik kavramı

Dayanım kaybetmeden şekildeğiştirebilme yeteneğine süneklik denir. Deprem enerjisi elastik ve plastik şekildeğiştirme bölgelerinde bu davranış sayesinde tüketilir. Gevrek ve sünek davranışa ait kuvvet – yerdeğiştirme grafiği Şekil 2.2’de gösterilmiştir.

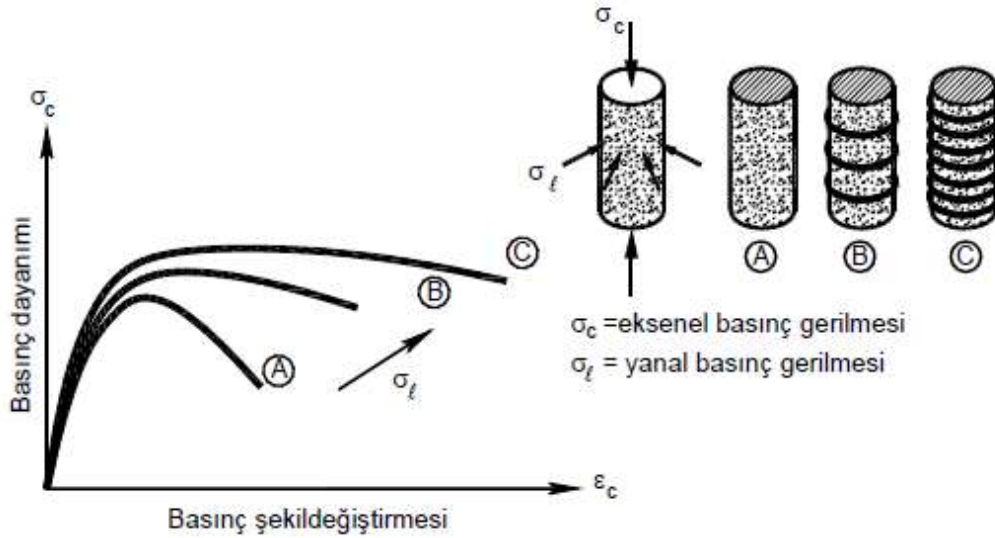


Şekil 2.2 : Gevrek ve sünek davranış.

Bir yapının şiddetli deprem etkisinde dayanımını kaybetmeden deprem enerjisinin önemli bir bölümünü tüketebilmesi için yapıda yeterli sünekliğin bulunması gerektiğinden, süneklik deprem etkilerine karşı gösterilen önemli bir davranış özelliğidir [3]. Süneklik;

- malzeme sünekliği
- kesit sünekliği
- eleman sünekliği
- sistem sünekliği olarak sınıflandırılabilir.

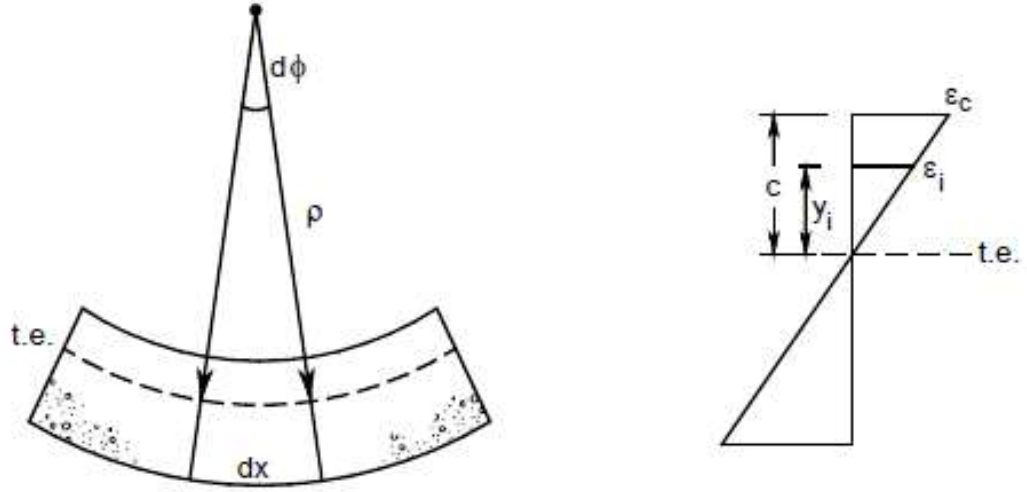
Beton ve çelik malzemeleri karşılaştırıldığında beton gevrek çelik ise sünek bir davranış sergiler. Beton çelik malzemesi ile sargılanarak daha sünek bir davranış sergilemesi sağlanır. Ayrıca sargılama etkisi sayesinde basınç dayanımı da arttırılmış olur, Şekil 2.3.



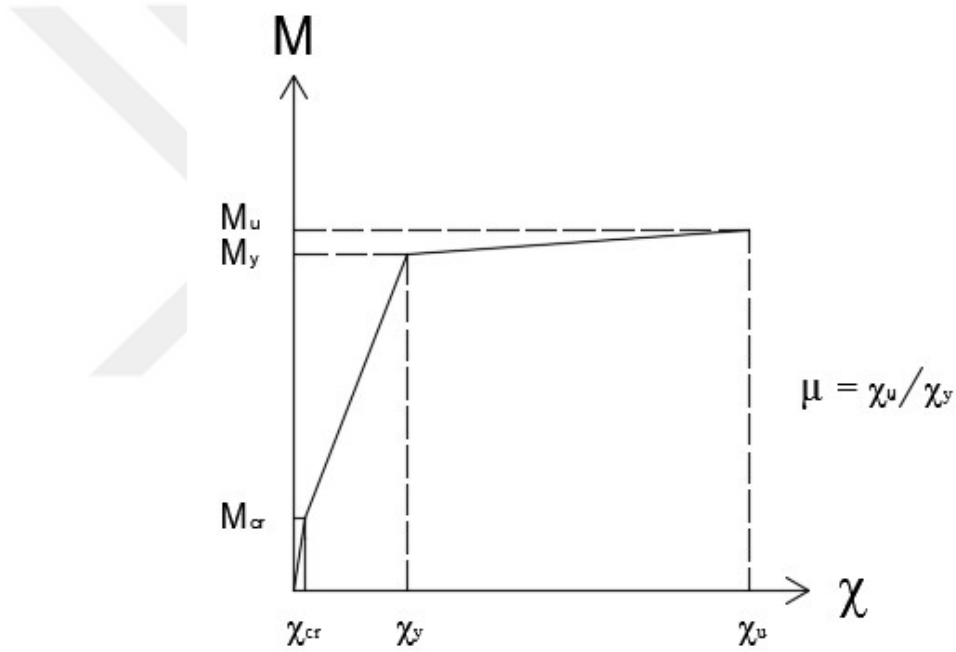
**Şekil 2.3 :** Sargı donatısı süneklik ilişkisi.

Süneklik özellikle kesitin davranışı ile alakalı olmaktadır. Kesitteki eğrilik, süneklik kapasitesini belirler, bu davranış en iyi moment-eğrilik grafiğinden incelenebilmektedir. Eğrilik sayısal olarak iki nokta arasındaki açı değişiminin, uzaklık değişimine oranı olarak tanımlanabilir. Kısaca birim dönme açısı denilebilmektedir. Sünekliğin yapı mühendisliğindeki sayısal tanımı ise kopma eğriliğinin, akma eğriliğine oranı olarak verilebilir, Şekil 2.4, 2.5.

$$\chi = \frac{d\theta}{dx} = \frac{d^2y}{dx^2} = \frac{1}{\rho} = \frac{\epsilon_c}{c} \quad (2.1)$$



Şekil 2.4 : Eğrilik.



Şekil 2.5 : Süneklik oranı.

## 2.2 Doğrusal Olmayan Davranış

Sistemlerin doğrusal davrandığı tasarım yöntemlerinde, malzemelerin gerilme-şekildeğiştirme bağıntılarının doğrusal elastik bölgesinin ele alınması ve yerdeğiştirmelerin ihmal edilebilecek düzeyde küçük olduğu varsayımlarına dayanır.

Fakat dış etkilerin işletme yüklerini aşarak taşıma gücü sınırına yaklaşmasıyla gerilmeler elastik olmayan bölgeye geçmektedir ve yerdeğiştirmeler ihmal edilemeyecek seviyelere gelmektedir.

Doğrusal elastik şekildeğiştirmeye dayanan tasarım yöntemleri olarak güvenlik gerilmeleri esaslı tasarım ve taşıma gücüne göre tasarımdan bahsedilebilir. Her iki yöntemde elastik ötesi davranışı çeşitli yöntemlerle göz önünde bulundurmaktadır. Örnek olarak moment büyütme yöntemi ve burkulma katsayıları ile burkulmaya ve ikinci mertbe etkilere karşı güvenlik sağlanmaya çalışılmaktadır. Ayrıca taşıyıcı sistem davranış katsayısı vasıtasıyla yapının elastik ötesi davranışı göz önüne alınarak ve deprem yükleri azaltılmaktadır.

Yapı sistemlerini daha hassas ve ekonomik hesaplayabilme ihtiyacı sebebiyle doğrusal elastik olmayan davranışı göz önüne almak ve yerdeğiştirmeleri denge denklemlerine ve geometrik uygunluk koşullarına etkilerini değerlendirmeye almak gerekmektedir. Bu şekilde yapının dış etkiler altında davranışı daha gerçekçi bir biçimde belirlenebilir.

Doğrusal olmayan sistem davranışına dayanan hesaplamalarda iki temel yaklaşım bulunmaktadır. İlk olarak doğrusal olmayan davranışın sebeplerinin belirlenmesi ve hesaplamalara dahil edilmesi, ikinci olarak ise doğrusal olmayan denklemlerinin efektif çözümlerinin elde edilmesidir.

### **2.2.1 Çözümün sağlanması gereken koşullar**

Taşıyıcı sistemlerin harici etkilerin mevcudiyetinde çözümünden elde edilen iç kuvvet, şekildeğiştirme ve yerdeğiştirmelerin çözüm olarak kabul edilebilmeleri için sağlanması gereken üç koşul bulunmaktadır.

- *Bünye denklemleri:* Malzeme karakteristik gerilme-şekildeğiştirme bağıntıları bünye denklemlerini oluşturmaktadır.
- *Denge koşulları:* Yapı taşıyıcı sistemini meydana getiren elemanlar ve düğüm noktalarının denge denklemleri tarafından oluşmaktadır.
- *Geometrik uygunluk koşulları:* Süreklilik denklemleri ve mesnet geometrik koşullarıdır.

### **2.2.2 Yapı sistemlerinin doğrusal olmama nedenleri**

Bir yapı sisteminin dış etkiler altındaki davranışının doğrusal olmaması genel olarak iki nedenden kaynaklanmaktadır [6]. Malzeme ve geometri açısından kaynaklanan bu sebepler aşağıda açıklanmıştır.



- Malzemenin doğrusal-elastik olmaması nedeniyle gerilme-şekildeğiştirme bağıntılarının (bünye denklemlerinin) doğrusal olmaması.
- Geometri değişimleri nedeniyle denge denklemlerinin (ve bazı hallerde geometrik süreklilik denklemlerinin) doğrusal olmaması.

Yapı sistemlerinin doğrusal olmamasına neden olan etkenler ve bu etkenleri gözönüne alan teoriler Çizelge 2.5'teki tablo üzerinde topluca özetlenmiştir.

Denge denklemlerinde yerdeğiştirmelerin küçük olmadığı sistemlerde denge denklemleri şekildeğiştirmiş eksen üzerinde yazılmaktadır. Geometrik uygunluk koşullarında yerdeğiştirmelerin küçük olmadığı sistemlerde ise, geometrik süreklilik denklemlerinin de şekildeğiştirmiş eksen üzerinde yazılması gerekmektedir.

**Çizelge 2.5 : Yapı sistemlerinin doğrusal olmama nedenleri.**

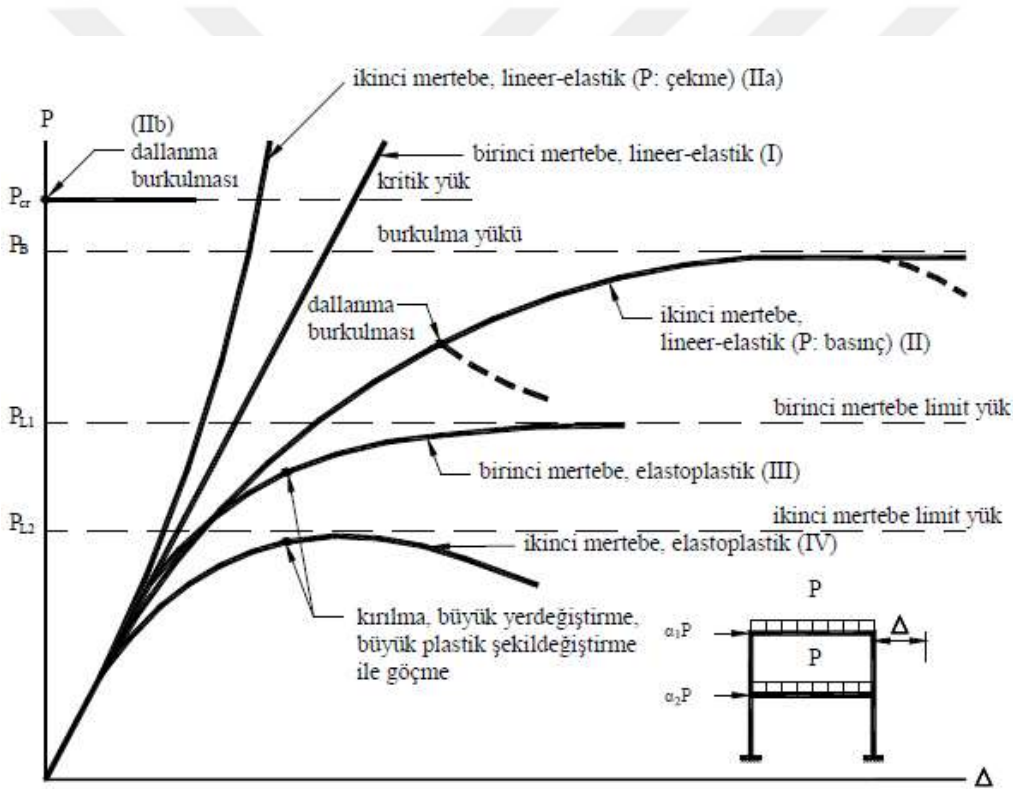
Çözümün Sağlaması Gereken Koşullar	Doğrusal Sistemler	Malzeme Bakımından	Doğrusal Olmayan Sistemler			
			Geometri Değişimleri Bakımından		Her İki Bakımdan	
			İkinci Mertebe Teorisi	Sonlu Deplasman Teorisi	İkinci Mertebe Teorisi	Sonlu Deplasman Teorisi
Bünye Denklemleri	Doğrusal-elastik	Doğrusal-elastik değil	Doğrusal-elastik	Doğrusal-elastik	Doğrusal-elastik değil	Doğrusal-elastik değil
Denge Denklemlerinde Yerdeğiştirmeler	küçük	küçük	küçük değil	küçük değil	küçük değil	küçük değil
Geometrik Uygunluk Koşullarında Yerdeğiştirmeler	küçük	küçük	küçük	küçük değil	küçük	küçük değil

### 2.2.3 Yapı sistemlerinin dış yükler altında doğrusal olmayan davranışı

Doğrusal elastik sınırlar içinde davranan ve bu sınırları aşan sistemlerin düşey ve yatay yükler altındaki kuvvet-yerdeğiştirme grafiği Şekil 2.6'da gösterilmiştir.

Malzemenin her durumda elastik sınırlar içinde kaldığı varsayımıyla, artan dış yükler altında ikinci mertebe etkilerin ihmal edildiği davranış şekilde (I) eğrisi ile gösterilmiştir. Eksenel yükler sebebiyle oluşan ikinci mertebe etkileri göz önüne alan

yani geometri değişimlerini denge denklemlerinde hesaba katan yöntemde aksel kuvvetin basınç ve çekme olması farklı davranışlara sebebiyet verir. Şekilde (II) eğrisi aksel kuvvetin basınç gerilmeleri oluşturduğu durumda yerdeğiştirmelerin hızla arttığı gözlemlenebilmektedir. Dış etkilerin artışı ile gerilmeler doğrusal elastik burkulma yükü adı verilen asimtota yaklaşırken yerdeğiştirmeler artarak sonsuza gider. Bu durumda sistem burkularak geçer. Aksel kuvvetin çekme olduğu durumda pekleşme özelliği şekilde (IIa) eğrisi ile gözlemlenmektedir. Taşıyıcı sistem yanal yük altında değilse yerdeğiştirme yapmadan kritik yük ( $P_{cr}$ ) değerinde dallanma burkulması yapmaktadır. Burkulma yükü, kritik yükten küçük veya eşittir. Dallanma burkulması, kimi durumlarda burkulmadan önce şekildeğiştiren sistemlerde de görülebilir, (II) eğrisi.



Şekil 2.6 : Yük parametresi–yerdeğiştirme bağıntıları.

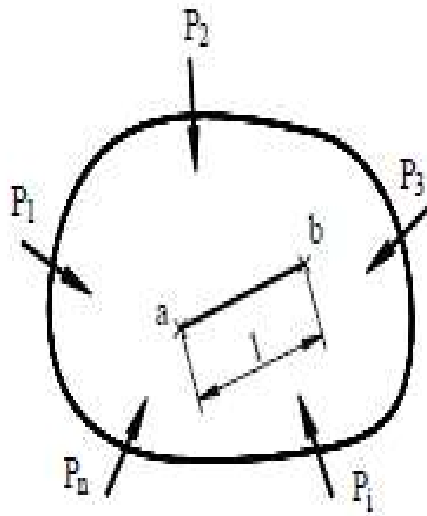
Doğrusal elastik olmayan malzemelerden yapılmış sistemler, dış yüklerle artan iç kuvvetler sebebiyle elastik sınırın ötesine geçmektedir. Elastik sınırın aşılması ile birlikte plastik şekildeğiştirmeler oluşmaktadır. Sistem üzerinde doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler yayılı durumdadır, fakat kopma esnasında şekildeğiştirmelerin plastik mafsalları adı verilen kesitlerde toplandığı ve bu bölgeler dışında sistemin doğrusal elastik davrandığı kabulü yapılabilir. Bu kabul plastik mafsalları hipotezi olarak adlandırılır. Plastik mafsalları kabulünün birinci mertebe teorisi ile beraber

uygulanmasında oluşan plastik mafsallar ile sistem dayanım kaybederek mekanizma durumuna ulaşır, (III) eğrisi. Böylece taşıma gücü yitirilir. Ulaşılan bu yüke birinci merteye limit yük denir.

Doğrusal elastik olmayan malzeme ile birlikte ikinci merteye etkilerinde göz önüne alındığı sistemlerde kuvvet-yerdeğiştirme şekilde (IV eğrisi) ile gösterilmiştir. İlk plastik mafsal oluşumuna kadar (II) eğrisini takip etmektedir ve sonrasında plastik şekildeğiştirmeler sebebiyle yerdeğiştirmeler hızla artış gösterir. Dış yüklerin artışı bu sistemde  $P_{L2}$  sınır değerine erişir. Rijitliği düşen sistemde yerdeğiştirmeler artarken, yükler azalır. Stabilite yetersizliği sebebiyle yük parametresi ikinci merteye limit yük adı verilen taşıma gücünün kaybedildiği bir seviyeye düşer [6].

### 2.3 Malzemelerin Şekildeğiştirme Özellikleri

Şekil 2.7’de  $P_i$  yük parametrelerinin etkisinde bir cisim bulunmaktadır. Cisme uygulanan yüklerin, a ve b noktalarının arasındaki l uzunluğunun değişimi  $\Delta l$  olacak şekilde P- $\Delta l$  diyagramı Şekil 2.8’de gösterilmiştir.



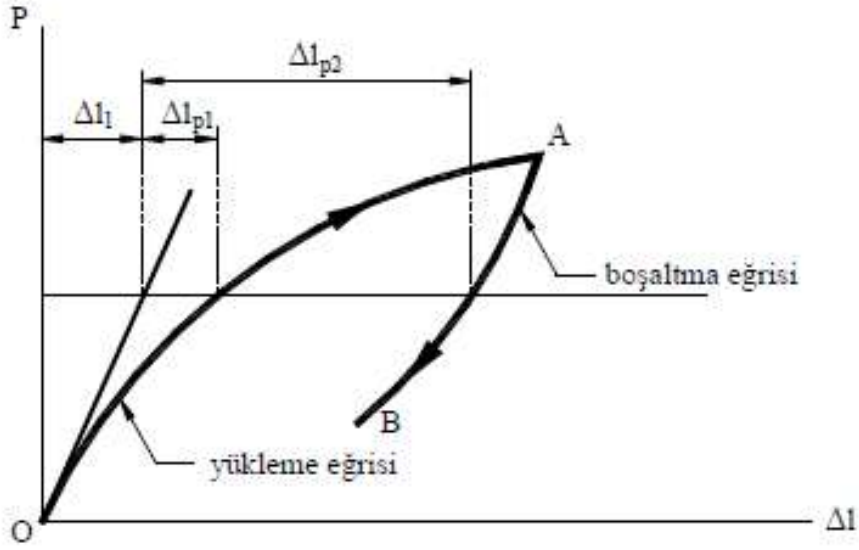
$$P_i = p_i P$$

$P$  : yük parametresi

Şekil 2.7 : Dış kuvvetler etkisindeki katı cisim.

Şekilde görülen diyagramda OA kısmına yükleme eğrisi ve AB kısmına boşaltma eğrisi denmektedir. Eğriden çizilen başlangıç teğeti ile ordinat arasında kalan  $\Delta l_1$  kısımda doğrusal şekildeğiştirmeler,  $\Delta l_{p1}$  ve  $\Delta l_{p2}$  kısmında yani yükleme ve boşaltma

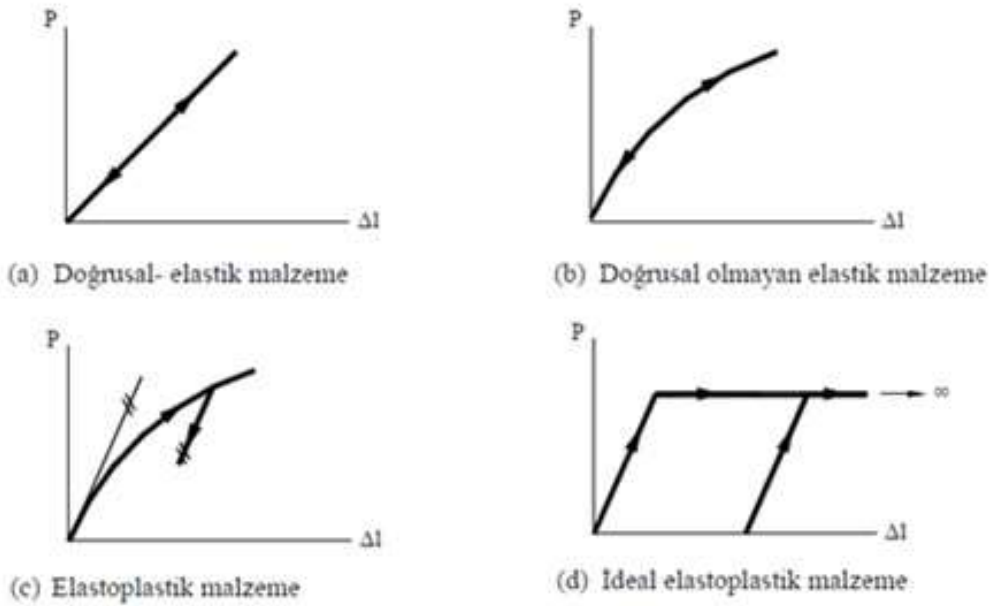
eğrileri arasında ise doğrusal elastik olmayan (plastik) şekildeğiştirmeler gösterilmektedir.



Şekil 2.8 : Şematik yük parametresi - şekildeğiştirme diyagramı.

### 2.3.1 İdeal malzemeler

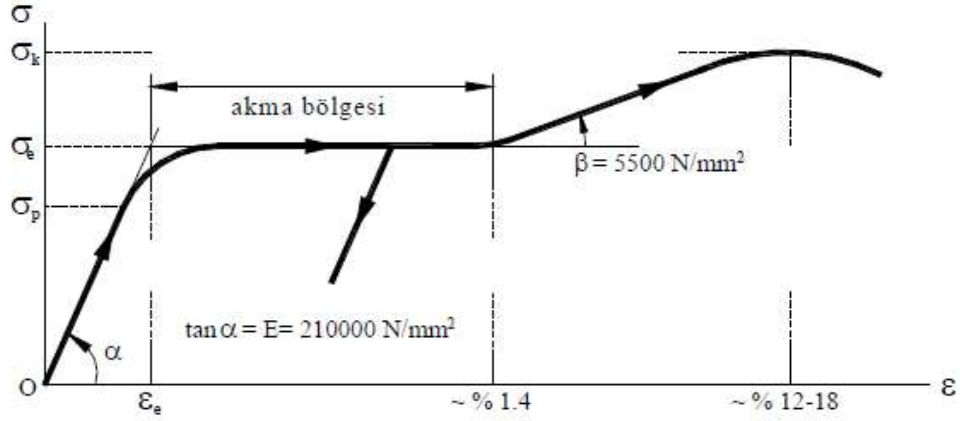
Yapı sistemlerinde kullanılan gerçek malzemelerin şekildeğiştirme özellikleri üzerinde bazı idealleştirmeler yaparak tanımlanan ideal malzemelerin başlıcaları Şekil 2.9'da gösterilmiştir [6].



Şekil 2.9 : İdeal malzemeler.

### 2.3.2 Çeşitli yapı malzemelerinde gerilme-şekildeğiştirme bağıntıları

Yapı çeliği, beton çeliği ve eğilme etkisindeki betonun dış basınç lifinin gerilme şekildeğiştirme ( $\sigma - \varepsilon$ ) diyagramları ve bu diyagramlara ait bazı sayısal değerler aşağıda verilmiştir, Şekil 2.10 [6].



Şekil 2.10 : Yapı ve beton çeliklerinde  $\sigma - \varepsilon$  diyagramı.

Bu diyagramı tanımlayan  $\sigma_k$  kopma gerilmesi,  $\sigma_e$  akma gerilmesi,  $\varepsilon_e$  akma şekildeğiştirmesi ve  $\sigma_p$  oranı sınırının çelik sınıfına bağlı olarak aldığı değerler;

Fe 37 yapı çeliği :  $\sigma_k = 360 - 490 \text{ N/mm}^2$   $\sigma_e = 235 \text{ N/mm}^2$  ( $\varepsilon_e \cong 0.0011$ )

$\sigma_p = 0.8\sigma_e = 188 \text{ N/mm}^2$

Fe 52 yapı çeliği :  $\sigma_k = 510 - 610 \text{ N/mm}^2$   $\sigma_e = 353 \text{ N/mm}^2$  ( $\varepsilon_e \cong 0.0017$ )

$\sigma_p = 0.8\sigma_e \cong 280 \text{ N/mm}^2$

S420 beton çeliği :  $\sigma_k = 500 \text{ N/mm}^2$   $\sigma_e = 420 \text{ N/mm}^2$  ( $\varepsilon_e \cong 0.002$ )

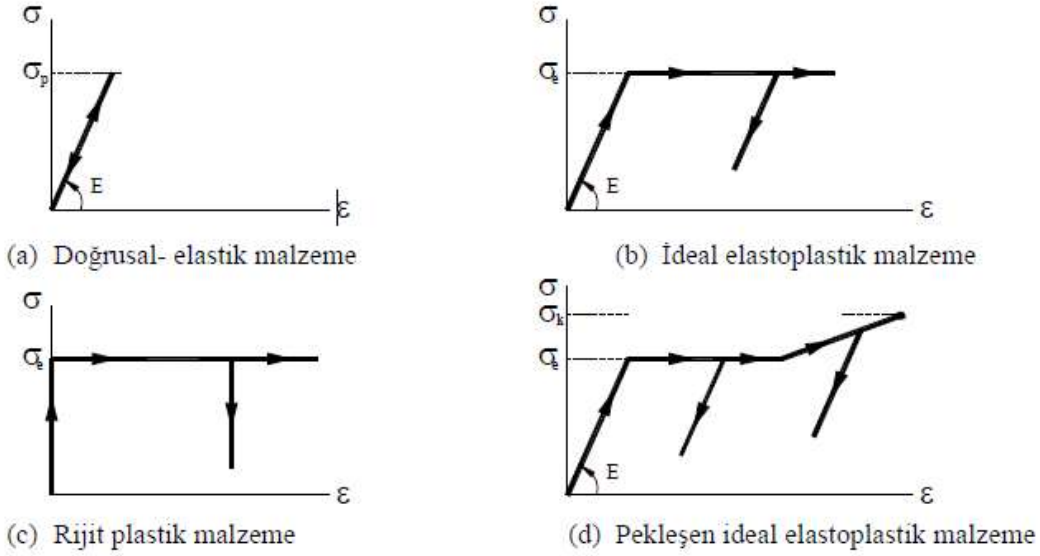
Yapı ve beton çeliklerinin  $\sigma - \varepsilon$  diyagramlarının bir bölümü veya tümü aşağıdaki şekilde idealleştirilebilirler, Şekil 2.11.

Şekil 2.12'de betonarme elemanın gerilme şekildeğiştirme grafiği verilmiştir.

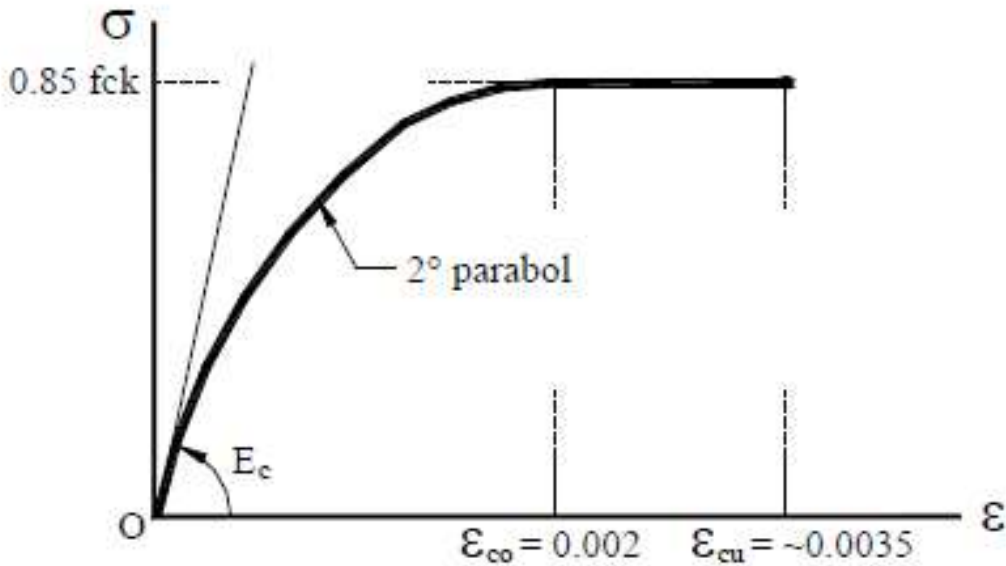
Bu diyagramda  $f_{ck}$  karakteristik basınç dayanımını,  $E_c$  ise;

$$E_c = 14000 + 3250\sqrt{f_{ck}} \quad (\text{N/mm}^2) \quad (2.2)$$

formülü ile hesaplanan beton elastisite modülünü göstermektedir. Kısa süreli yükler altında, betonun ezilerek kırılmasına neden olan  $\varepsilon_{cu}$  birim kısalması sargısız betonda  $\sim 0.0035$  iken, sargı donatısı (etriye) miktarına bağlı olarak artmaktadır.



Şekil 2.11 : Yapı ve beton çeliklerinin  $\sigma - \epsilon$  diyagramlarının idealleştirilmesi.



Şekil 2.12 : Betonarme çubuğun dış basınç lifindeki  $\sigma - \epsilon$  diyagramı.

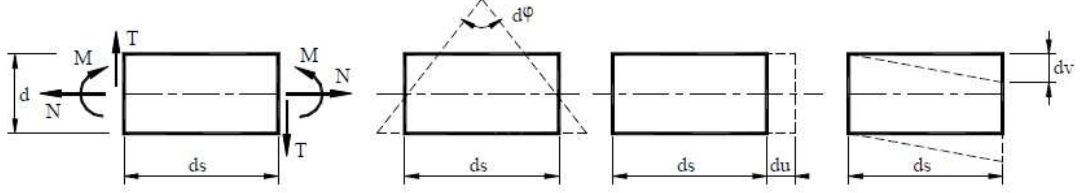
## 2.4 Düzlem Çubuk Elemanlarda İç Kuvvet-Şekildeğiştirme Bağlılıları ve Akma (Kırılma) Koşulları

Düzlemi içindeki kuvvetlerin etkisi altında bulunan düzlem çubuk elemanlarda oluşan iç kuvvetler (kesit zorları),  $M$  eğilme momenti,  $N$  normal kuvveti ve  $T$  kesme kuvvetidir [6].  $ds$  boyundaki bir çubuk elemanın bir yüzünün diğer yüzüne göre bağıl (rölatif) yerdeğiştirmelerinin kesit zorları doğrultularındaki bileşenleri  $ds$  elemanın şekildeğiştirmeleri olarak tanımlanır. Bunlar,  $\phi$  kesitin dönmesini,  $u$  ve  $v$  kesitin çubuk eksenine ve ona dik doğrultudaki yerdeğiştirmelerini göstermek üzere

$\chi = d\phi / ds$  : birim dönme (eğrilik)

$\varepsilon = du / ds$  : birim boy değişmesi

$\gamma = dv / ds$  : birim kayma adını alırlar, Şekil 2.13.



Şekil 2.13 : Düzlem çubuk elemanda iç kuvvet ve şekil değişimleri.

#### 2.4.1 Betonarme çubuklarla ilgili varsayımlar ve esaslar

Aşağıda verilen kabul ve esaslara göre betonarme çubukların gerilme-şekil değişime bağıntıları incelenmektedir.

- Enkesitler şekil değişiminden sonra da düzlem kalmaktadır.
- Beton ve donatı aderans ile birbirine bağlanarak kuvvet aktarımında bulunur.
- Çatlamış bulunan betonun çekme dayanımı göz ardı edilir.
- Betonun gerilme-şekil değişime diyagramında parabol + dikdörtgen kabulü yapılmaktadır.
- Betonarme çeliğinin gerilme-şekil değişime diyagramı için ideal elastoplastik malzeme kabulü yapılır.

#### 2.4.2 Eğilme momenti – birim dönme ( M - $\chi$ ) bağıntısı

Sabit aksenal kuvvet ve artan eğilme momenti etkisindeki bir kesitte, eğilme momenti ve birim dönme (eğrilik) grafiği üç bölgeye ayrılabilir. Bu bölgeleri sınırlayan noktalar  $L_0$ ,  $L_1$  ve  $L_2$  için açıklamalar aşağıda verilmiştir.

$L_0$  : Betonda çatlakların oluşmaya başladığı durumdur. Kesitin en dışındaki çekme gerilmeleri, betonun çekme dayanımını aştığında çatlakların oluştuğu varsayımı yapılmaktadır.

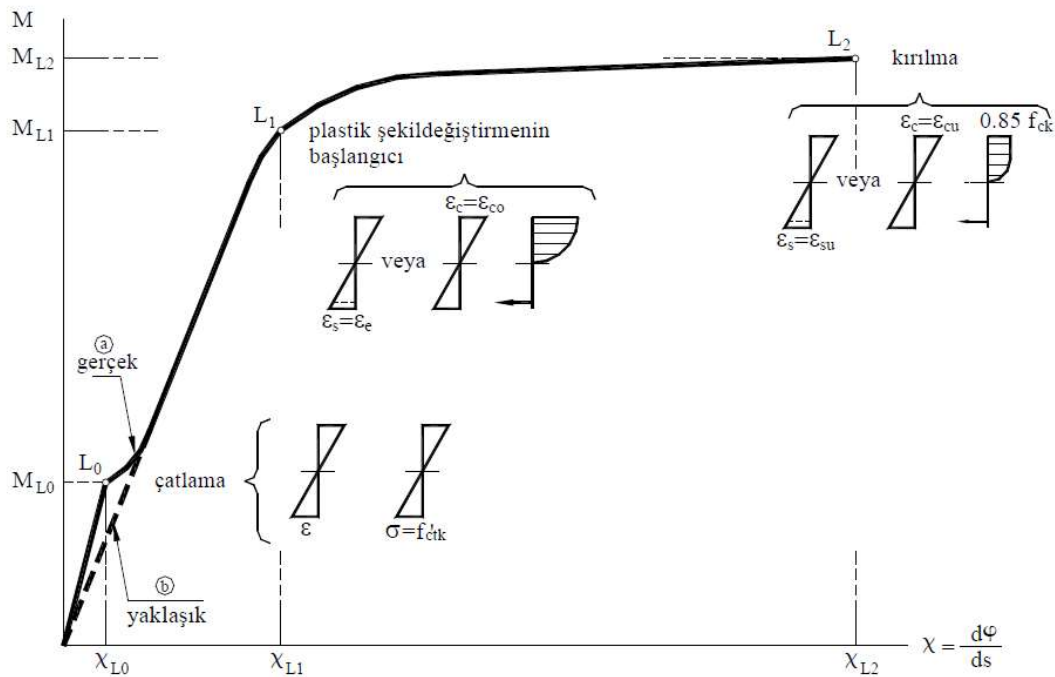
Eğilme etkisindeki betonun çekme dayanımı;

$$f_{ctk} = 0.35\sqrt{f_{ck}} \quad (\text{MPa}) \quad (2.3)$$

bağıntısı ile hesaplanabilir.  $L_0$  noktasındaki  $M_{L0}$  momentinin hesabında gerilme-şekildeğiştirme bağıntısının doğrusal elastik olduğu kabulü yapılır.

$L_1$  : En dış lifte betonda veya betonarme çeliğinde doğrusal elastik olmayan (plastik) şekildeğiştirmelerin başladığı durumdur. Bu durumda betonda  $\epsilon_{co} = 0.002$  veya betonarme çeliğinde akma durumunda şekildeğiştirmelerin baş gösterdiği kabul edilmektedir.

$L_2$  : Eğilme momentinin artışıyla beraber betonun ezildiği veya çekme donatısının koptuğu durumdur. Birim kısalmanın  $\epsilon_{cu}$  değerine ulaşmasıyla beton ezilir. Sargısız betonda bu birim kısalma değeri  $\epsilon_{cu} = 0.0035$  olarak alınırken sargılı betonda sargı etkisine bağlı olarak değişir. Betonarme donatılarında çelikteki şekildeğiştirme değeri  $\epsilon_{su} = 0.1$  ile sınırlandırılmaktadır. Betonun çekme dayanımının ihmal edildiği durumlarda, moment-eğrilik grafiğinin çatlama öncesi bölümü (b) eğrisi ile verilmektedir Şekil 2.14.



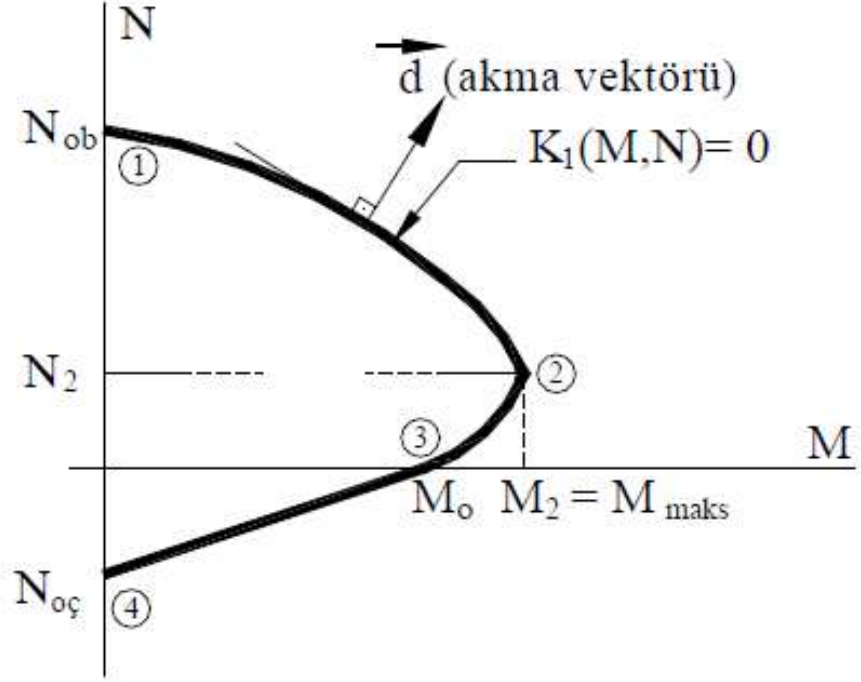
Şekil 2.14 : Betonarme kesitlerde  $M - \chi$  diyagramı.

Betonarme yapıların boyutlandırılmasında kullanılan taşıma gücü yönteminde beton ve betonarme çeliğinin karakteristik dayanımları malzeme güvenlik katsayıları ile azaltılır. Fakat şekildeğiştirmeye göre değerlendirmede bu malzeme katsayılarıyla dayanımın azaltılmasına veya çelik şekildeğiştirme sınırının  $\epsilon_{su} = 0.1$  olarak alınmasına gerek yoktur.



### 2.4.3 Akma eğrisi (karşılıklı etki diyagramı)

Şekil 2.15'te eğilme momentinin aksel kuvvete göre olan değişimi verilmiştir. Normal kuvvet moment ikilisinin grafik üzerindeki değerleri kesitte plastik mafsall oluşumu yani kesitin aktığı anlamına gelmektedir. Bu sebeple karşılıklı etki diyagramının bir diğer adı da akma eğrisidir.



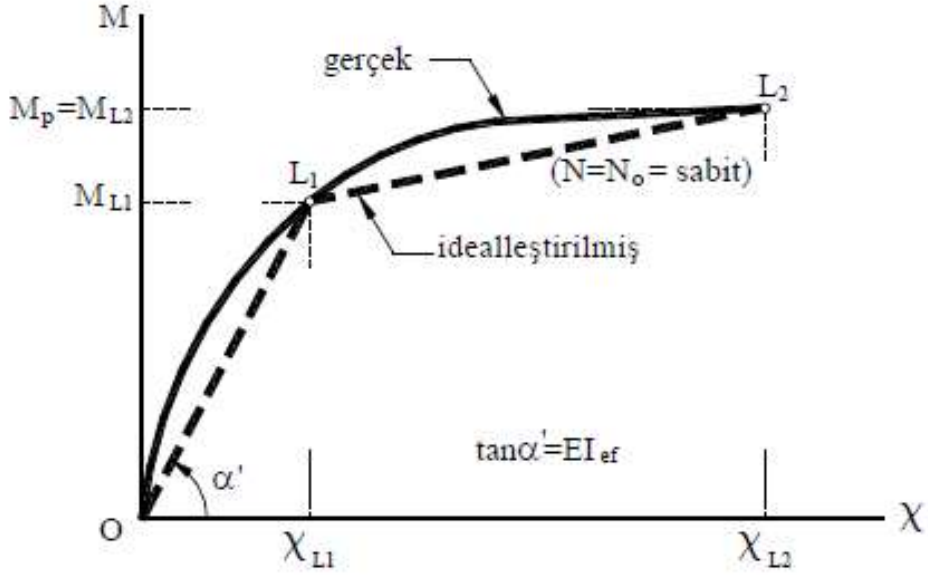
Şekil 2.15 : Betonarme kesitlerde karşılıklı etki diyagramı (akma eğrisi).

Karşılıklı etki diyagramı 4 kritik nokta ile karakterize edilebilir. Bu noktalardan (1) aksel basınç, (2) kesitin en büyük moment taşıma kapasitesini, (3) basit eğilme durumunu, (4) ise aksel çekme durumunu göstermektedir.

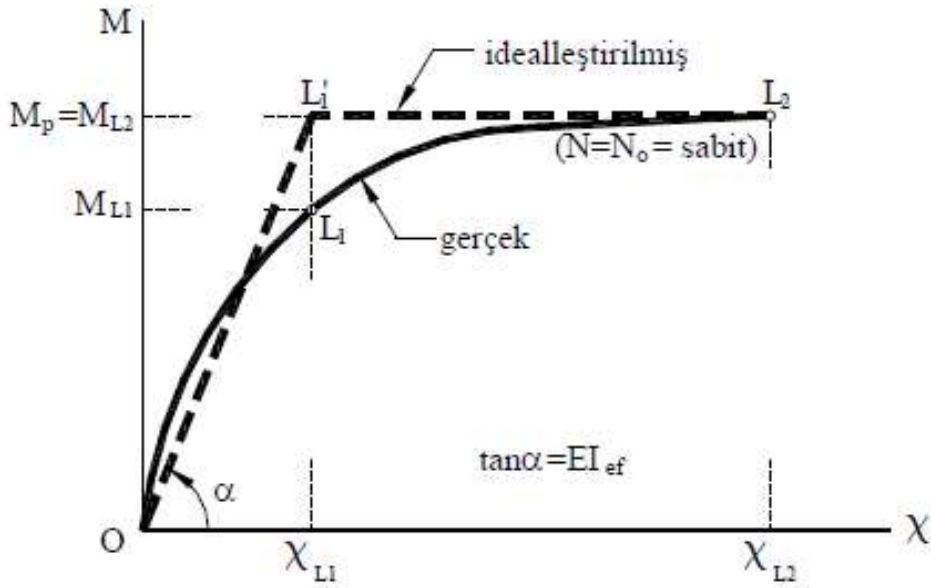
## 2.5 Betonarme kesitlerin davranışının idealleştirilmesi

### 2.5.1 Eğilme momenti - eğrilik ( M - $\chi$ ) bağıntısı

Betonarme kesitlerde eğilme momenti – eğrilik grafiğinin idealleştirilmesi için iki yöntem bulunmaktadır. Birinci yöntem yayılı plastik davranış durumunda kullanılan O – L<sub>1</sub> – L<sub>2</sub> noktalarından oluşan iki doğru parçalı modeldir, Şekil 2.16. İkinci yöntem ise yığılı plastik davranış durumunun kabul edildiği durumlarda kullanılır. Bu yöntemde Şekil 2.17'de gösterilen O – L<sub>1</sub> – L<sub>2</sub> noktalarının birleştirilmesi moment – eğrilik bağıntısı oluşturulur.



Şekil 2.16 : Betonarme kesitlerde idealleştirilmiş M - χ diyagramı (Tip: 1).

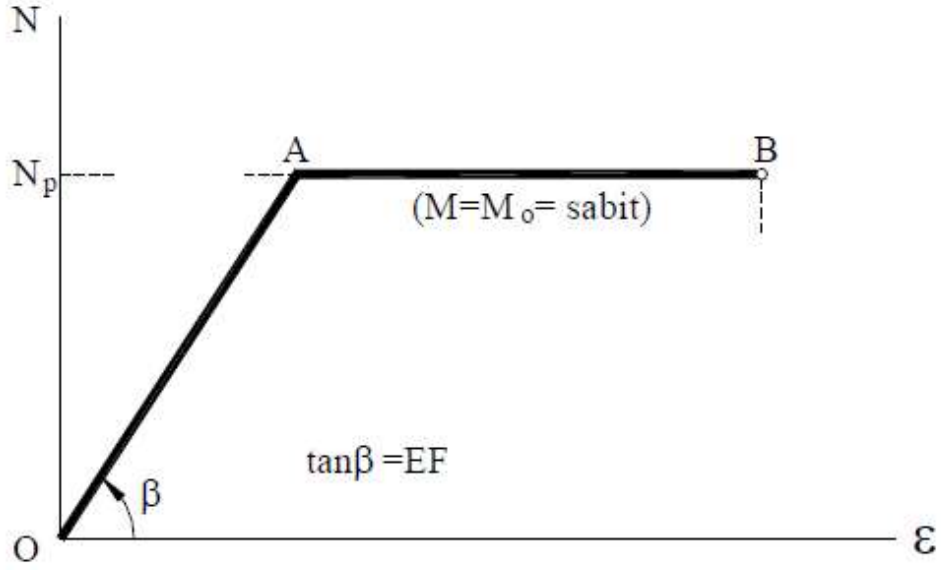


Şekil 2.17 : Betonarme kesitlerde idealleştirilmiş M - χ diyagramı (Tip: 2).

## 2.5.2 Normal kuvvet - birim boy değişmesi ( N - ε ) bağıntısı

Şekil 2.18'de gösterilmek üzere normal kuvvet – şekildeğiştirme diyagramı iki doğru parçasından oluşacak şekilde idealleştirilmiştir.

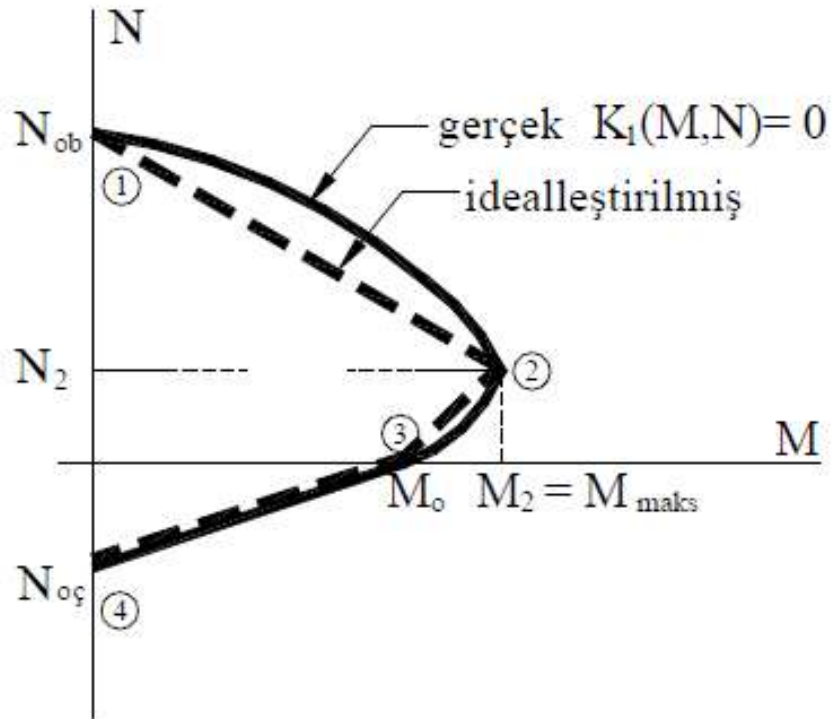
N<sub>p</sub> sabit bir eğilme momenti etkisinde kesitin normal kuvvet taşıma kapasitesini göstermektedir. Uzama rijitliği ise EF ile tanımlanmaktadır. Dış merkezliğin fazla olduğu durumlarda ya da eksenel kuvvetin çekme olması durumunda çatlamış kesit rijitliği kullanılmalıdır.



Şekil 2.18 : Betonarme kesitlerde idealleştirilmiş N - ε diyagramı.

### 2.5.3 Karşılıklı etki diyagramı

Betonarme bir kesitin eğilme momenti ve eksenel kuvvet diyagramı daha öncede belirtildiği üzere 4 noktadan ve bunları birleştiren 3 doğru parçasından oluşturulabilir, Şekil 2.19. Simetrik olarak donatılandırılmış kesitlerde karşılıklı etki diyagramı normal kuvvet değerlerinin olduğu ordinat eksenine göre simetriktir.



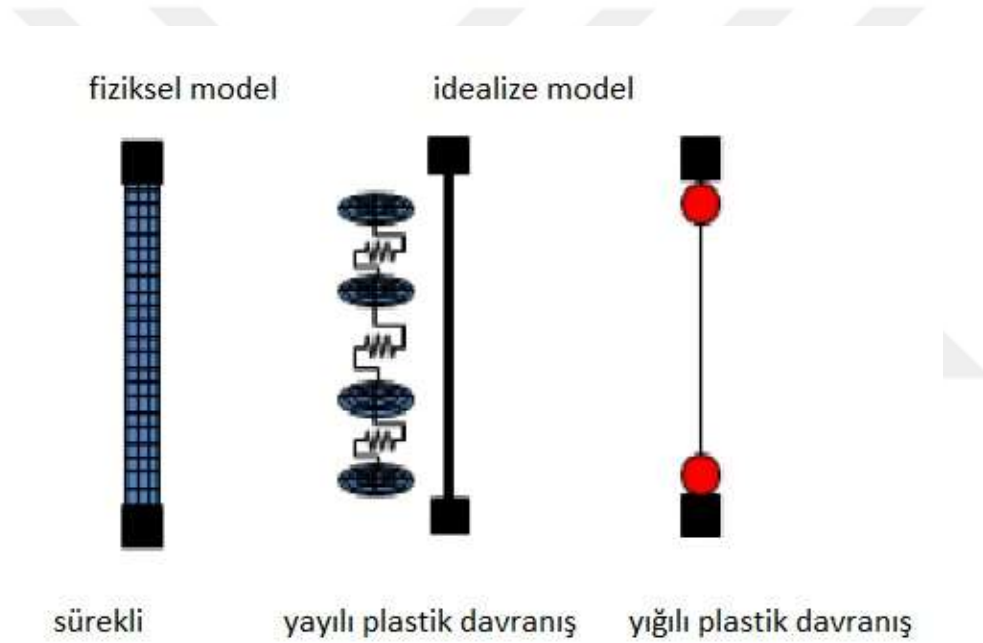
Şekil 2.19 : Betonarme kesitlerde karşılıklı etki diyagramının idealleştirilmesi.

## 2.6 Malzeme Bakımından Doğrusal Olmayan Betonarme Sistemlerin Hesabı

Doğrusal olmayan davranışa ait yapısal modeller idealize edilme şekillerine bağlı olarak birbirinden ayrılabilir. Elastik ötesi şekil değiştirmenin yığılı ya da yayılı olması kabullerine göre modelleme yapılabilmektedir. Şekil 2.20’de gösterilmiştir.

Yayılı plastik davranış modelleri, sonlu uzunluktaki uç bölgeleri (plastik şekil değiştirme bölgeleri) veya elemanın tüm uzunluğu boyunca doğrusal olmayan şekil değiştirmeleri sürekli (yayılı) biçimde gözönüne almak üzere kullanılabilir [1].

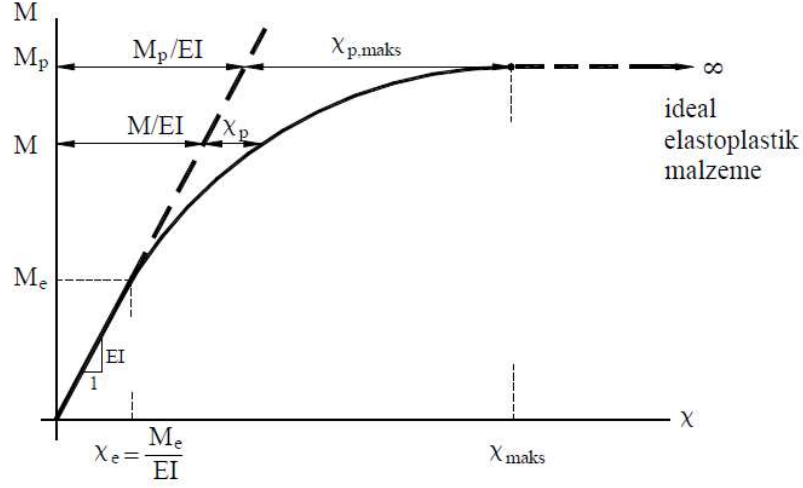
Yığılı plastik davranış modelinde plastik şekil değiştirmelerin plastik mafsal adı verilen kesitlerde toplandığı varsayılmaktadır.



Şekil 2.20 : Doğrusal olmayan eleman modellerinin karşılaştırılması.

### 2.6.1 Plastik mafsal hipotezi

Yapıların taşıyıcı sistemlerinin doğrusal elastik olmayan hesabında yığılı plastik davranış (plastik mafsal) kabulü ile hesap hacmi önemli ölçüde azaltılabilir. Süneklik oranının yani toplam şekil değiştirmelerin doğrusal şekil değiştirmelere oranının büyük olduğu ve doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin sınırlı bir bölgede toplandığı sistemlerde bu sınırlı bölgelere plastik mafsal adı verilir. Bu bölgenin dışında sistemin doğrusal elastik davrandığı kabulü yapılır. Eğilme momenti – eğrilik bağıntısı Şekil 2.21’de verilen düzlem çubuk elemanın, doğrusal olmayan şekil değiştirmeleri Şekil 2.22’de verilmiştir.



Şekil 2.21 : Eğilme momenti – eğrilik diyagramı.

Plastik mafsal hipotezinde, plastik mafsal uzunluğu  $l_p$  adı verilen bir bölgede yayılan doğrusal olmayan (plastik) şekildeğiştirmelerin plastik mafsal adında bir bölgeye yığıldığı varsayılmaktadır.

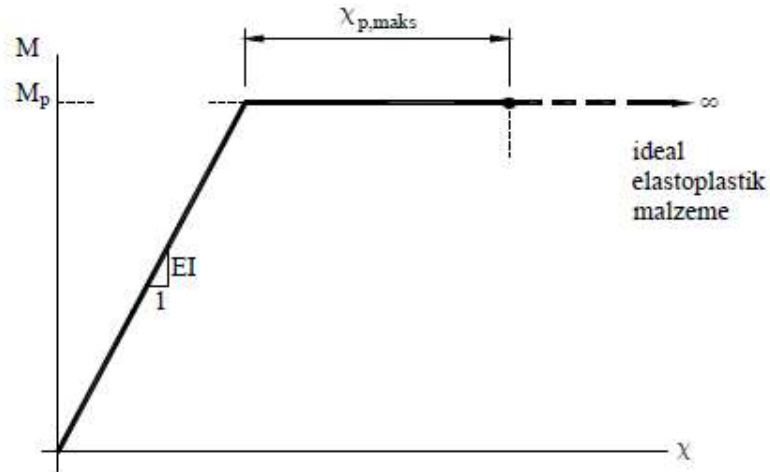
$$\varphi_p = \int \chi_p ds \quad (2.4)$$

Bu denklemde, plastik mafsal dönmesi  $\varphi_p$  olarak tanımlanır.

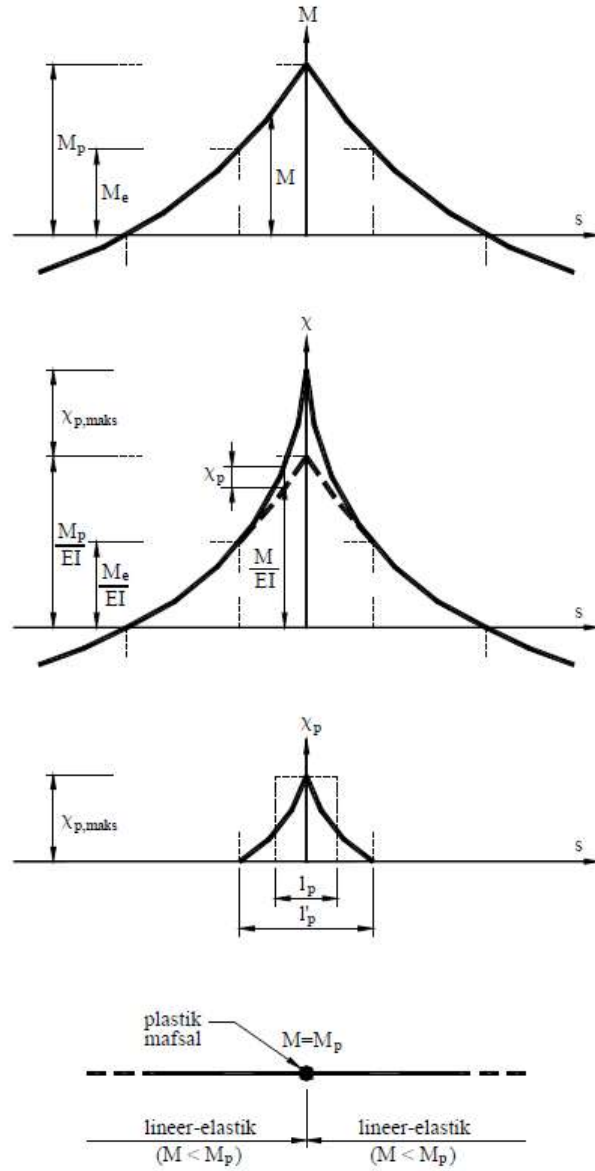
Eğilme momenti – eğrilik bağıntısının iki doğru parçasından oluşacak şekilde idealleştirilmesi ile plastik mafsal hipotezi uygulanabilmektedir, Şekil 2.23.

$$M \leq M_p \quad \text{için} \quad \chi = \frac{M}{EI} \quad (2.5)$$

$$M \leq M_p \quad \text{için} \quad \chi = \chi_{p,maks} \quad (2.6)$$



Şekil 2.22 : İdealleştirilmiş bünye bağıntısı.



**Şekil 2.23 :** Doğrusal olmayan şekil değiştirmeler.

Artan dış yüklerle plastik mafsalda dönmelerde artar. Bu dönmelerin dönme kapasitesi adı verilen bir sınıra ulaşmasıyla kesit taşıma kapasitesine ulaşır ve kullanılmaz hale gelir. Yapıda çok sayıda oluşan plastik mafsalların dönme kapasitelerine ulaşmaları ile yapı kullanılmaz hale gelerek göçme durumuna gelir.

Dönme kapasitesi

$$\text{maks } \varphi_p = \int_{l_p} \chi_p ds \quad (2.7)$$

şeklinde, moment – eğrilik diyagramından belirlenir.

Dönme kapasitesinin hesabı yaklaşık olarak;

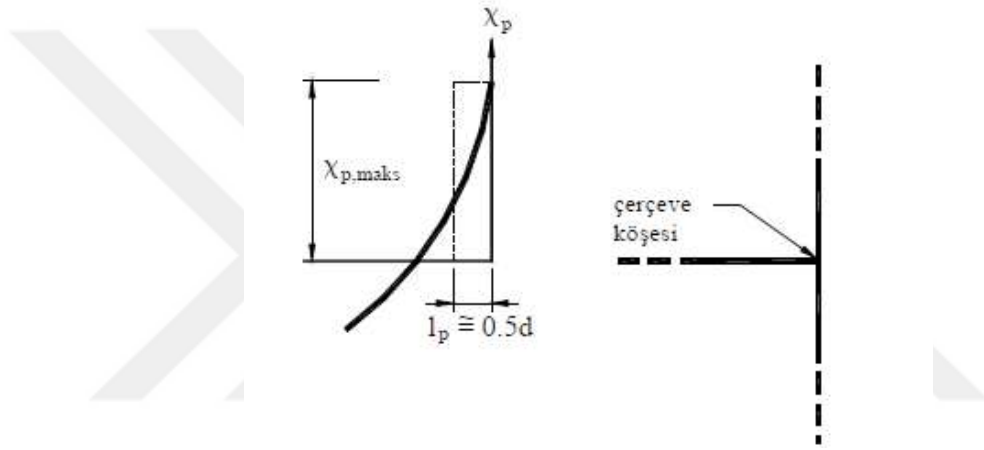
Dönme kapasitesi

$$\text{maks } \varphi_p = l_p \chi_{p,\text{maks}} \quad (2.8)$$

bağıntısı vasıtasıyla hesaplanabilir. Burada  $l_p$ , plastik mafsalsal boyunu belirtmektedir ve yaklaşık olarak;

$$l_p = 0.5d \quad (d: \text{en kesit yüksekliği}) \quad (2.9)$$

denklemleri ile hesaplanır, Şekil 2.24.



Şekil 2.24 : Plastik mafsalsal boyu.

Betonarme kesitlerin dönme kapasitelerinin bağlı olduğu etkiler bulunmaktadır.

Aşağıda bu etkenlerin başlıcaları verilmiştir.

- Beton ve betonarme çeliğinin gerilme - şekildeğiştirme diyagramlarına ait  $\epsilon_{cu}$  ve  $\epsilon_{su}$  kırılma şekildeğiştirmeleri,
- Betonarme betonunun dayanımını ve  $\epsilon_{cu}$  kırılma şekildeğiştirmesini etkileyen, sargılama etkisi,
- Plastik mafsalsal uzunluğunu belirleyen enkesit boyutları,
- Eğilme momenti diyagramı.

Dönme kapasitesi çelik yapılarda betonarme sistemlere kıyasla malzeme özelliklerine bağlı olarak genellikle daha büyüktür. Ayrıca performansa dayalı tasarım ve değerlendirme yöntemlerinde yapıdan beklenen performansında dönme kapasitesinin belirlenmesi üzerinde etkisi bulunmaktadır.

Plastik mafsal hipotezinin esasları;

- Bir kesitte  $M_p$  momentine ulaşıldığında kesitte plastik mafsal oluşur. Bu moment değerinden sonra kesit serbest bir şekilde dönmeye başlar ve üzerine daha fazla moment alamaz.  $\phi_p$  plastik dönmesine ulaşıldığında kesit kullanılamaz hale gelir.
- Plastik mafsallar dışında elemanlar ve sistem doğrusal elastiktir.





### **3. PERFORMANS KAVRAMINA TBDY 2016 YAKLAŞIMI VE ŞEKİLDEĞİŞTİRMEYE GÖRE DEĞERLENDİRME**

Dayanıma göre tasarıma alternatif olarak, yapıların yeterli bir dayanımda şekildegıştırme ve yerdegıştırme kapasitelerinin performansı ile daha kapsamlı hesap yapılabilmektedir. Deprem etkisinde bulunan binaların doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleriyle plastik şekildegıştırme istemleri ve gevrek iç kuvvet istemleri elde edildikten sonra bu istemler şekildegıştırme ve iç kuvvet kapasiteleriyle karşılaştırılarak performans değerlendirmeleri yapılır. DBYBHY 2007’de açıklandığı gibi yine TBDY 2016 taslağında da detaylı bir şekilde verilmiştir.

#### **3.1 Bilgi Düzeyleri**

Taşıyıcı elemanların kapasitelerinin hesaplanabilmesi için binalar incelenerek mevcut durumlarına ait bilgi düzeyleri belirlenir ve belirlenen düzeye ait bilgi düzeyi katsayıları seçilir. Sınırlı ve kapsamlı olmak üzere iki tür bilgi düzeyi bulunmaktadır.

##### **3.1.1 Betonarme binalarda sınırlı bilgi düzeyi**

*Bina Geometrisi:* Taşıyıcı sisteme ait plan rölevesi için gerekli saha çalışmaları yapılmalıdır. Eğer varsa yardımcı olarak mimari projeler kullanılır. Binanın hesap modelini oluşturmaya yetecek düzeyde betonarme elemanlara ait malzeme ve geometrik özellikler belirlenmelidir. Yeterli sayıda inceleme çukurları açılarak binanın temel sistemi belirlenmelidir. Bu çukurlar bina içinde ya da dışında bulunabilir. Kat planlarına ve kesitlere binadaki olumsuzluklar, örneğin kısa kolonlar, işlenecektir. Binanın komşu binalarla olan ilişkisi belirlenecektir.

*Eleman Detayları:* Binanın yapıldığı dönemdeki asgari donatı koşullarını ve detay şartlarını sağladığı varsayılır. Yapılacak donatı tespitlerindeki sıyırma işlemi açıklık ortasındaki üçte birlik kısma uygulanacaktır. Bu varsayımın denetlenmesi için her katta en az birer adet olmak koşulu ile kolon ve perdelerin % 5’inin pas payları sıyırılarak donatılar tespit edilecektir. Ayrıca her katta bir adet kirişte pas payı sıyırılacaktır. Yüksek dayanımlı tamir harcı ile sıyırılan yüzeyler onarılacaktır. Enine

ve boyuna donatıların sayısı ve yerleşimi donatı tespit cihazları kullanılarak pas payı sıyrılmayan kolonların %20'sinde belirlenecektir. Donatı tespiti yapılan kolonlarda donatı gerçekleşme katsayısı belirlenecektir. Bu katsayı bir'den büyük olamaz. Ayrıca bu katsayı kolon kapasitelerinin belirlenmesinde kullanılır. Donatı tespiti yapılmayan kolonlarda da bu katsayı kullanılır. Kirişler için ise düşey tasarım yükleri altında gerekli donatı kullanılacaktır.

*Malzeme Özellikleri:* TS EN 12504-1'de belirtilen koşullara uygun olmak üzere her katta kolonlardan veya perdelerden en az iki adet beton örneği alınmak suretiyle deney yapılacaktır. Mevcut beton dayanımının belirlenmesinde örnek sayısı 3'ten az ise istatistiki olarak değerlendirme yapılmak yerine örneklerden elde edilen en düşük değer kullanılacaktır. Örnek sayısının 3'ten fazla olduğu durumlarda ortalama standart sapmanın çıkarılması ile elde edilen değer ve ortalamanın %85'i arasından en küçük olanı kullanılacaktır. Ayrıca grup betonları arasında da en küçük değer ile grup ortalaması karşılaştırılarak kontrol yapılacaktır. Bu yüzden, bir grupta en düşük değer geriye kalanların ortalamasının %80'inden küçük ise değerlendirmeye alınmaz. Pas payları kaldırılan yüzeylerden donatı sınıfı görsel olarak belirlenecektir. Eğer donatılarda korozyon bulunmakta ise bu durum işaretlenerek kapasite hesaplarında göz önünde bulundurulacaktır.

### **3.1.2 Betonarme binalarda kapsamlı bilgi düzeyi**

*Bina Geometrisi:* Betonarme projeleri mevcut binaların geometrilerinin uygunluğu ölçümlerle kontrol edilir. Eğer önemli farklılıklar varsa proje yok sayılır ve binanın taşıyıcı sistemine ait rölevesi alınır. Yapılan incelemeler sonucunda binanın geometri ve malzeme özellikleri belirlenir. Binadaki kısa kolonlar ve benzeri olumsuzluklar kat planına ve kesitlere işlenecektir. Binanın komşu binalarla olan ilişkisi belirlenecektir. Binanın kütesinin hassasiyette tanımlanabilmesi için yeterli düzeyde geometrik bilgisi elde edilmelidir. Yeterli sayıda inceleme çukurları açılarak binanın temel sistemi belirlenmelidir. Bu çukurlar bina içinde ya da dışında bulunabilir.

*Eleman Detayları:* Projeleri mevcut betonarme binalarda donatı koşullarının projeye uygunluğunun kontrolü için önceki bölümde belirtilen işlemler aynen uygulanır. Enine ve boyuna donatılara ait sayı ve yerleşimi belirlemek adına pas payı sıyrılmayan perde ve kolonların %20'sinde ve önceki bölüme ek olarak kirişlerin %10'unda donatı tespit cihazları ile inceleme yapılır. Proje ile uygulamanın tutarsız

olması durumunda kolonlar, perdeler ve kirişler için donatı gerçekleştirme katsayısı ayrı ayrı belirlenecektir. Bu katsayı bir'den büyük olamaz. Donatı tespiti yapılmayan elemanlarda bu katsayı uygulanarak olası donatı miktarı belirlenecektir. Betonarme projeleri mevcut olmayan binalarda donatı tespiti için her kata en az ikişer tane kolon ve perdenin %10'unda pas payları kaldırılır. Yüksek dayanımlı tamir harcı ile sıyrılan yüzeyler onarılacaktır. Ek olarak pas payı sıyrılmayan kolonların ve perdelerin %30'unda ve kirişlerin %15'inde donatı tespit cihazları ile enine ve boyuna donatı sayısı ve yerleşim düzeni belirlenecektir.

*Malzeme Özellikleri:* Yapılacak deneylerde kullanılmak için zemin katta en az 3, diğer katlarda en az 2 ve binadan en az 9 adet olmak üzere her 400 m<sup>2</sup>'de 1 adet beton örneği kolonlardan veya perdelerden alınacaktır. Mevcut beton dayanımının belirlenmesinde ortalamadan standart sapma değerinin çıkarılması ile elde edilen değer ve ortalamanın %85'i arasından büyük olanı kabul edilecektir. Ayrıca grup betonları arasında da en küçük değer ile grup ortalaması karşılaştırılarak kontrol yapılacaktır. Bu yüzden, bir grupta en düşük değer geriye kalanların ortalamasının %80'inden küçük ise değerlendirmeye alınmaz. Beton çekici okumaları gibi hasarsız incelemeler ile binadaki beton dayanımının dağılımı belirlenebilir. Sıyrılan yüzeylerde yapılan gözlemlerle donatı sınıfları tespit edilecektir ve her donatı sınıfından örnek alınarak donatı çeliğinin akma, kopma dayanımı ve şekil değiştirme özelliklerinin uygunluğu için deney yapılacaktır. kullanılan Deney sonuçları proje ile uygun ise kullanılan çeliğin akma gerilmesi mevcut akma gerilmesi değeri olarak kabul edilir. Uygunsuzluğun olduğu durumlarda ise 3 adet örnek daha alınarak tekrar deney yapılacaktır ve yapılan yeni deneyler sonucunda elde edilen en düşük değer akma gerilmesi değeri olarak alınacaktır.

### 3.1.3 Bilgi Düzeyi Katsayıları

Binaların incelenmesiyle elde edilen bilgi düzeyleri vasıtasıyla elemanların kapasitelerine Bilgi Düzeyi Katsayıları uygulanacaktır ve Çizelge 3.1'de verilmektedir.

**Çizelge 3.1 : Bilgi düzeyi katsayıları.**

Bilgi Düzeyi	Bilgi Düzeyi Katsayısı
Sınırlı	0.75
Kapsamlı	1.00

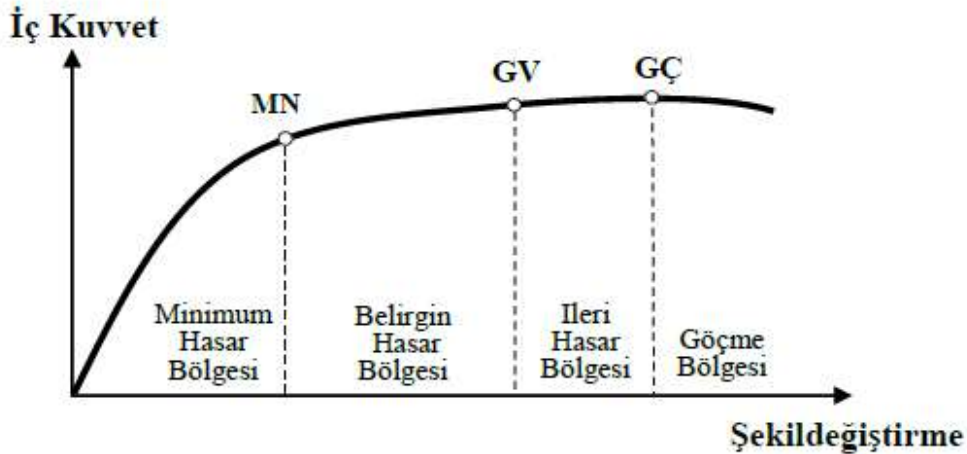
### 3.2 Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri

#### 3.2.1 Kesit hasar sınırları

Sünek davranan sistemlerde elemanlar için üç hasar sınır durumu tanımlanmıştır. Bu hasar sınırları Minimum Hasar Sınırı (MN), Güvenlik Sınırı (GV) ve Göçme Sınırı (GÇ)'dir. Kesitte elastik ötesi davranışın başlangıcı MN ile belirlenmiştir. Kesitin üzerindeki yükleri güvenle taşıyabildiği elastik ötesi sınır ise GV ile belirlenmiştir. Göçme öncesi sınır ise GÇ ile belirlenmiştir. Gevrek davranan elemanlar için bu sınır durumları geçerli değildir.

#### 3.2.2 Kesit hasar bölgeleri

Kritik kesitlerinin hasarı MN'ye ulaşmayan elemanlar Minimum Hasar Bölgesi'nde, MN ile GV arasında kalan elemanlar Belirgin Hasar Bölgesi'nde, GV ve GÇ arasında kalan elemanlar İleri Hasar Bölgesi'nde, GÇ'yi aşan elemanlar ise Göçme Bölgesi'nde yer alırlar, Şekil 3.1 [1].



Şekil 3.1 : Kesit hasar bölgeleri ve sınırları.

### 3.3 Betonarme Elemanların Şekildeğiştirme Sınırları

Beton ve donatı çeliğinin elde edilen birim şekildeğiştirme talepleri, aşağıda tanımlanan birim şekildeğiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılarak, kesit düzeyinde taşıyıcı sistem performansı belirlenecektir. Plastik şekildeğiştirmelerin meydana geldiği betonarme sünek kiriş ve kolon elemanlarında, çeşitli kesit hasar sınırlarına göre izin verilen şekildeğiştirme üst sınırları (kapasiteleri) aşağıda tanımlanmıştır [1].

- Kesit Minimum Hasar Sınırı (MN) için kesitin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi ile donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi üst sınırları:

$$(\epsilon_{cu})_{MN} = 0.0035 \quad ; \quad (\epsilon_{su})_{MN} = 0.010 \quad (3.1)$$

- Kesit Güvenlik Sınırı (GV) için etriye içindeki bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi ile donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi üst sınırları:

$$(\epsilon_{cu})_{MN} = 0.0035 + 0.01(\rho_s/\rho_{sm}) \leq 0.0135 \quad ; \quad (\epsilon_{su})_{MN} = 0.040 \quad (3.1)$$

- Kesit Göçme Sınırı (GÇ) için etriye içindeki bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi ile donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi üst sınırları:

$$(\epsilon_{cu})_{MN} = 0.004 + 0.014(\rho_s/\rho_{sm}) \leq 0.018 \quad ; \quad (\epsilon_{su})_{MN} = 0.060 \quad (3.2)$$

Şekildeğiştirme hesabı yapılan betonarme kesitin kesme kuvveti oranı,

$$(\epsilon_{cu})_{MN} = 0.004 + 0.014(\rho_s/\rho_{sm}) \leq 0.018 \quad ; \quad (\epsilon_{su})_{MN} = 0.060 \quad (3.3)$$

Şekildeğiştirme hesabı yapılan betonarme kesitin kesme kuvveti oranı ,

$$\frac{V_e}{b_w d f_{ctm}} < 0.65 \quad (3.4)$$

ise hesaplanan şekildeğiştirme üst sınırları geçerlidir. Kesme kuvveti oranı 1.30'dan büyük ise hesaplanan şekildeğiştirme üst sınırları 0.50 ile çarpılarak azaltılacaktır. Ara değerler için doğrusal enterpolasyon uygulanacaktır.

### 3.4 Mevcut Binaların Deprem Performansının Belirlenmesi

Mevcut veya güçlendirilecek binaların deprem performanslarının belirlenmesinde esas alınacak deprem düzeyleri ve bu deprem düzeylerinde binalar için öngörülen minimum performans hedefleri Çizelge 3.2'de verilmiştir [1]. Bu tablo sayesinde amaçlanan deprem yer hareketi düzeyi için değerlendirme ve tasarım yaklaşımı seçilebilir. Diğer yapı tiplerine ait tablolar TBDY 2016 taslağında bulunabilir, fakat bu tez kapsamında incelenmediği için verilmemiştir.

**Çizelge 3.2 : Performans Hedefleri.**

Deprem Yer H. Düzeyi	DTS = 1, 2, 3,3a, 4, 4a		DTS = 1a, 2a	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı
DD-4	KK	DGT-ŞGDT	-	-
DD-3	-	-	HK	ŞGDT
DD-2	CG	DGT	CG	DGT
DD-1	GÖ	ŞGDT	CG	ŞGDT

### 3.4.1 Mevcut binalarda kesintisiz kullanım performans düzeyi

Taşıyıcı elemanların tümü Minimum Hasar Bölgesi'ndedir. Eğer varsa, gevrek olarak hasar gören elemanların güçlendirilmeleri kaydı ile, bu durumdaki binaların Kesintisiz Kullanım Performans Düzeyi'nde olduğu kabul edilir [1].

### 3.4.2 Mevcut binalarda hemen kullanım performans düzeyi

Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla %10'u Belirgin Hasar Bölgesi'ne geçebilir, ancak diğer taşıyıcı elemanlarının tümü Minimum Hasar Bölgesi'ndedir. Eğer varsa, gevrek olarak hasar gören elemanların güçlendirilmeleri kaydı ile, bu durumdaki binaların Hemen Kullanım Performans Düzeyi'nde olduğu kabul edilir [1].

### 3.4.3 Mevcut binalarda can güvenliği performans düzeyi

Eğer varsa, gevrek olarak hasar gören elemanların güçlendirilmeleri kaydı ile, aşağıdaki koşulları sağlayan binaların Can Güvenliği Performans Düzeyi'nde olduğu kabul edilir [1]:

- Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda, ikincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla %30'u ve düşey elemanların (kolonlar, perdeler ve güçlendirilmiş bölme duvarlar) aşağıdaki paragrafta tanımlanan kadarı İleri Hasar Bölgesi'ne geçebilir.
- İleri Hasar Bölgesi'ndeki düşey elemanların, her bir katta düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı %20'nin altında olmalıdır. En üst katta İleri Hasar Bölgesi'ndeki düşey elemanların kesme kuvvetleri toplamının, o kattaki tüm düşey elemanların kesme kuvvetlerinin toplamına oranı en fazla %40 olabilir.

- Diğer taşıyıcı elemanların tümü Minimum Hasar Bölgesi veya Belirgin Hasar Bölgesi'ndedir. Ancak, herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden Belirgin Hasar Sınırı aşılmış olan düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir (Doğrusal elastik yöntemle hesapta, alt ve üst düğüm noktalarının ikisinde birden Denk.(7.3)'ün sağlandığı kolonlar bu hesaba dahil edilmezler).

#### **3.4.4 Mevcut binalarda göçmenin önlenmesi performans düzeyi**

Gevrek olarak hasar gören tüm elemanların Göçme Bölgesi'nde olduğunun gözönüne alınması kaydı ile, aşağıdaki koşulları sağlayan binaların Göçme Öncesi Performans Düzeyi'nde olduğu kabul edilir [1]:

- Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda, ikincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla %20'si Göçme Bölgesi'ne geçebilir.
- Diğer taşıyıcı elemanların tümü Minimum Hasar Bölgesi, Belirgin Hasar Bölgesi veya İleri Hasar Bölgesi'ndedir. Ancak, herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden Belirgin Hasar Sınırı aşılmış olan düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir.
- Binanın mevcut durumunda kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır.

#### **3.4.5 Göçme durumu**

Bina Göçme Öncesi Performans Düzeyi'ni sağlayamıyorsa Göçme Durumu'ndadır. Binanın kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır [1].

### **3.5 Deprem Hesabına İlişkin Genel İlke ve Kurallar**

Mevcut veya güçlendirilmiş binaların deprem performansının belirlenmesi aşağıdaki genel ilke ve kurallara bağlı olarak doğrusal ve doğrusal olmayan sistemler için geçerlidir.

- Deprem hesabında bina önem katsayısı uygulanmayacaktır ( $I=1$ ). Belirlenen deprem yer hareketi için yatay elastik tasarım spektrumu kullanılacaktır.

- Binaların performans değerlendirmesi binaya etkiyen düşey ve yatay (deprem) etkilerin birleştirilmesi ile yapılacaktır.
- Binaya etkiyen deprem kuvvetleri her iki doğrultu ve yön için ayrı ayrı uygulanacaktır.
- Binanın taşıyıcı sistemine ait model deprem ve düşey yüklerin birleşimleri altında yeterli doğrulukta hesaplamalara imkan tanıyacak şekilde hazırlanacaktır.
- Döşemelerin yatayda rijit diyafram davranışı göstereceği kabulü yapılan binalarda göz önüne alınacak serbestlikler yataydaki ötelenmeler ve düşey eksen etrafındaki dönmelerdir. Bu serbestlikler matematiksel olarak bağlanarak birlikte hareket ettiği kabulü yapılır.
- Halihazırda bulunan binaların taşıyıcı sistemlerindeki belirsizlikler, elde edilen verilere göre TBDY 2016 taslağı 15.2’de tanımlanan bilgi düzeyi katsayıları ile hesap yöntemlerinde göz önüne alınacaktır.
- TBDY 2016 taslağı 7.3.8’e göre kısa kolon olarak tanımlanan kolonlar, gerçek serbest boyları ile taşıyıcı sistem modelinde tanımlanacaktır.
- Bir veya iki eksenli eğilme ve eksenel kuvvet etkisindeki betonarme kesitlerin etkileşim diyagramlarının tanımlanmasına ilişkin koşullar aşağıda verilmiştir [1]:
  - Deprem hesabında beton ve donatı çeliğinin TBDY 2016 taslağı 15.2’de tanımlanan bilgi düzeyine göre belirlenen mevcut dayanımları esas alınacaktır.
  - Betonun maksimum basınç birim şekildeğiştirmesi 0.003, donatı çeliğinin maksimum birim şekildeğiştirmesi ise 0.01 alınabilir.
  - Etkileşim diyagramları uygun biçimde doğrusallaştırılarak çok doğrulu veya çok düzlemlili diyagramlar olarak modellenebilir.
- Betonarme sistemlerde birleşim bölgeleri sonsuz rijit bölgeler olarak tanımlanabilir.
- Eğilme davranışında bulunan betonarme kesitlerde çatlama kesit kabulü ile etkin kesit rijitlikleri kullanılacaktır.

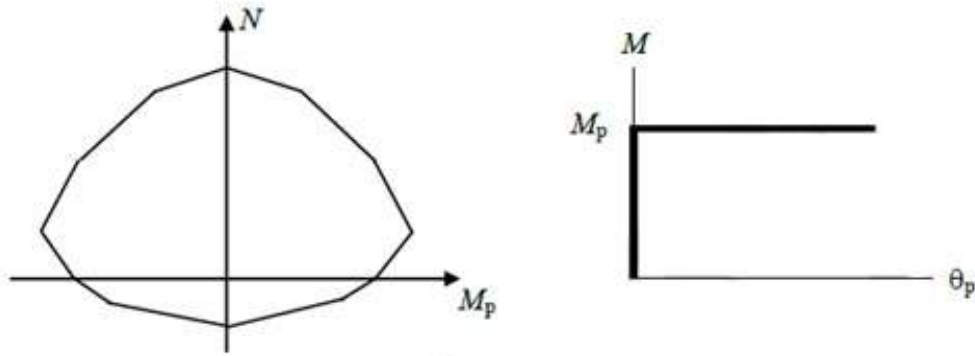


- Betonarme kirişlerde tabla bölgesi pozitif ve negatif plastik momentlerinin hesabında göz önüne alınacaktır.
- Betonarme elemanların donatılarında kenetlenme veya bindirme boyunda yetersizlik görülmesi durumunda moment kapasitesi hesabında akma gerilmesi bu eksiklik oranında azaltılacaktır.
- Zeminde oluşan şekildeğiştirmelerin yapının davranışını etkilemesi durumunda zemine ait özelliklerde analiz modelinde göz önünde bulundurulmalıdır.

### 3.6 Doğrusal Elastik Olmayan Davranışın İdealleştirilmesi

- Yığılı Plastik Davranış Modelinde iç kuvvetlerin plastik kapasitelerine eriştiği sonlu uzunluktaki bölgeler boyunca, plastik şekildeğiştirmelerin düzgün yayılı biçimde olduğu varsayılmaktadır. Plastik mafsal boyu olarak adlandırılan plastik şekildeğiştirme bölgesi'nin uzunluğu ( $L_p$ ), çalışan doğrultudaki kesit boyutu ( $h$ )'nin yarısına eşit alınacaktır ( $L_p = 0.5 h$ ) [1].
- Sadece eksenel kuvvet altında plastik şekildeğiştirme yapan elemanların plastik şekildeğiştirme bölgelerinin uzunluğu, ilgili elemanın serbest boyuna eşit alınacaktır.
- Yığılı plastik şekildeğiştirmeyi temsil eden plastik mafsal'ın, teorik olarak plastik şekildeğiştirme bölgesi'nin ortasına yerleştirilmesi gerekir. Ancak kolon ve kirişlerde plastik mafsallar, kolon-kiriş birleşim bölgesinin hemen dışına, diğer deyişle kolon veya kirişlerin net açıklıklarının uçlarına konulabilir. Ancak, düşey yüklerin etkisinden ötürü kiriş açıklıklarında da plastik mafsalların oluşabileceği gözönüne alınmalıdır. Perdelerde plastik mafsallar, her katta perde kesiminin alt ucuna konulabilir. Binaların bodrum katlarında rijit çevre perdelerinin bulunması durumunda, bu perdelerden üst katlara doğru devam eden perdelerin plastik kesitleri en az 1. bodrum kat tabanından başlamak üzere tanımlanmalıdır.
- Plastik mafsallar'ın arasında kalan uzunluk boyunca betonarme kolon ve kirişler doğrusal elemanlar olarak modellenecektir. Bu elemanların etkin kesit rijitlikleri TBDY 2016 taslağı Tablo 4.2 veya EK 5A'ya göre belirlenecektir.

- Eşdeğer akma şekildeğiştirmeleri olarak, betonun basınç birim şekildeğiştirmesi 0.0035, donatı çeliğinin birim şekildeğiştirmesi ise 0.01 alınabilir.
- Akma yüzeyleri uygun biçimde doğrusallaştırılarak iki boyutlu davranış durumunda *akma çizgileri*, üç boyutlu davranış durumunda ise *akma düzlemleri* olarak modellenenabilir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 : Akma Yüzeyleri.

### 3.6.1 Betonarme malzeme modelleri

#### 3.6.1.1 Sargılı ve sargısız beton modelleri

DBYBHY 2007’de de olduğu gibi TBDY 2016 taslağında da Mander beton modeli [8] geçerli sargılı ve sargısız beton modeli olarak kabul edilmiştir, Şekil 3.3.

$$f_c = \frac{f_{cc}\chi^r}{r - 1 + \chi^r} \quad (3.5)$$

$$f_{cc} = \lambda_c f_{co}; \lambda_c = 2.254 \sqrt{1 + 7.94 \frac{f_e}{f_{co}}} - 2 \frac{f_e}{f_{co}} - 1.254 \quad (3.6)$$

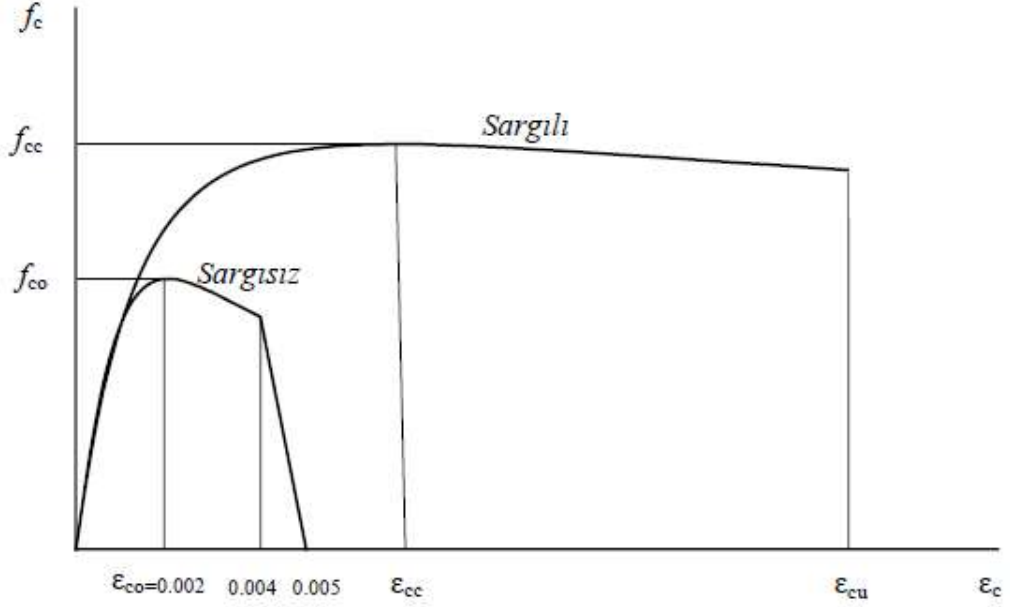
$$f_{ex} = k_e \rho_x f_{yw}; f_{ey} = k_e \rho_y f_{yw} \quad (3.7)$$

$$k_e = \left(1 - \frac{\sum a_i^2}{6b_o h_o}\right) \left(1 - \frac{s}{2b_o}\right) \left(1 - \frac{s}{2h_o}\right) \left(1 - \frac{A_s}{b_o h_o}\right)^{-1} \quad (3.8)$$

$$\chi = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}}; \varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co} [1 + 5(\lambda_c - 1)]; \varepsilon_{co} = 0.002 \quad (3.9)$$

$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}} ; E_c = 5000\sqrt{E_{co}} [MPa] ; E_{sec} = \frac{f_{cc}}{\epsilon_{cc}} \quad (3.10)$$

$$\epsilon_{cu} = 0.004 + \frac{1.4\rho_s f_{yw} \epsilon_{su}}{f_{cc}} \quad (3.11)$$



**Şekil 3.3** : Sargılı ve sargısız beton modelleri.

Sargılı beton için denklemler 3.5 sargısız beton için  $\epsilon_c = 0.004$ 'e kadar geçerlidir. Sargısız betonda sargı basıncı  $f_c = 0$ 'dır.  $\epsilon_c = 0.005$ 'de  $f_c = 0$  olarak alınır, grafikteki bölgede ise doğrusaldır.

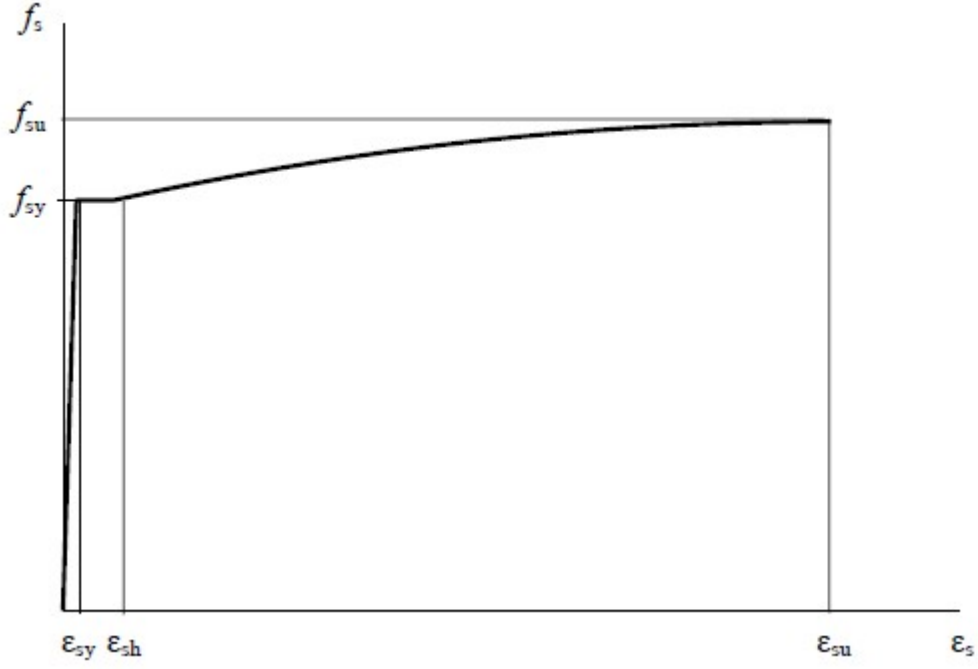
### 3.6.1.2 Donatı çeliği modeli

Doğrusal Olmayan Yöntemler ile şekildeğiştirmeye göre değerlendirmede kullanılmak üzere, donatı çeliği için aşağıdaki gerilme-şekildeğiştirme bağıntıları tanımlanmıştır, Şekil 3.4 [1].

$$f_s = E_s \epsilon_s \quad ; \quad (\epsilon_s \leq \epsilon_{sy}) \quad (3.12)$$

$$f_s = f_{sy} \quad ; \quad (\epsilon_{sy} < \epsilon_s < \epsilon_{sh}) \quad (3.13)$$

$$f_s = f_{su} - (f_{su} - f_{sy}) \frac{(\epsilon_{su} - \epsilon_s)^2}{(\epsilon_{su} - \epsilon_{sh})^2} \quad ; \quad (\epsilon_{sh} < \epsilon_s < \epsilon_{su}) \quad (3.14)$$



**Şekil 3.4 :** Donatı çeliği modeli.

Farklı donatı kalitelerine ait bilgiler Çizelge 3.3'te verilmiştir. Ayrıca elastisite modülü  $E_s = 200000$  Mpa olarak belirlenmiştir.

**Çizelge 3.3 :** Donatı çeliklerine ait bilgiler.

Kalite	$f_{sy}$ (Mpa)	$\epsilon_{sy}$	$\epsilon_{sh}$	$\epsilon_{su}$	$f_{su}$ (Mpa)
S220	220	0.0011	0.011	0.16	275
S420	420	0.0021	0.008	0.10	550
S420C	420	0.0021	0.008	0.08	550
S500C	500	0.0025	0.008	0.08	675

### 3.7 Doğrusal Elastik Olmayan Yöntemler

Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım kapsamında kullanılacak doğrusal olmayan hesap yöntemleri, İtme Yöntemleri ile Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi'dir. İtme Yöntemleri'nin uygulanabilmesi için aşağıdaki koşulların her ikisinin de sağlanması zorunludur [1]:

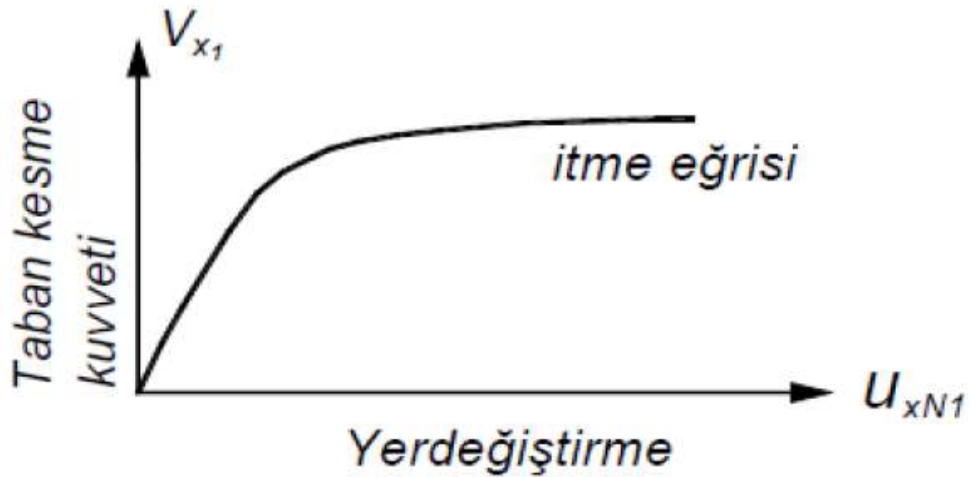
- Bina Yükseklik Sınıfı  $BYS \geq 5$  olan
- Herhangi bir katta ek dışmerkezlik gözönüne alınmaksızın doğrusal elastik davranış esas alınarak TBDY 2016 taslağı Bölüm 3, Tablo 3.5'e göre hesaplanan burulma düzensizliği katsayısı'nın  $\eta_{bi} < 1.4$  koşulunu sağlaması gereklidir.

- Gözönüne alınan deprem doğrultusunda, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hakim) titreşim moduna ait taban kesme kuvveti etkin kütleli'nin toplam bina kütlelerine (rijit perdelerle çevrelenen bodrum katlarının kütleleri hariç) oranının en az 0.70 olması zorunludur.

Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi, tüm binaların deprem hesabında kullanılabilir. Bu yöntemin TBDY 2016 taslağı Bölüm 13'e göre yüksek binalar (Tablo 3.3'te  $BYS=1$  olan binalar) için kullanımını zorunludur.

### 3.7.1 Sabit modlu itme yöntemi

Analizde ilk adım olarak düşey yükler altında (deprem yükleri hariç) doğrusal elastik olmayan çözümü yapılır ve bu yüklemelerden sonra ilk adımda belirlenen sabit mod şekli ile uyumlu olacak şekilde deprem yükü katlara artımsal olarak etkililir. Her adım kaydedilerek itme eğrisi adı verilen tepe yerdeğiştirmesinin, taban kesme kuvvetine bağlı grafiği elde edilir. Daha sonra ise koordinat dönüşümü yapılarak modal yerdeğiştirme-modal ivme grafiği bulunur. Son olarak bu diyagram tasarım spektrumu ile üst üste çizdirilerek hedef yerdeğiştirme talebi elde edilir ve buna bağlı performans durumu hesaplanır, Şekil 3.5.



Şekil 3.5 : İtme eğrisi.

### 3.7.2 Değişken modlu itme yöntemi

Değişken Modlu İtme Yöntemi'nde, gözönüne alınan deprem doğrultusunda katlara etkiyen deprem yükü artımları ile bunlarla uyumlu kat yerdeğiştirme artımları,

deprem-dışı yüklemelerden sonraki her bir itme adımında, daha önce oluşan plastik mafsallar gözönüne alınarak yenilenen serbest titreşim hesabı'ndan elde edilen değişken mod şekli ile orantılı olarak tanımlanırlar. Bu yöntemde itme eğrisi'nin çizimine gerek kalmaksızın modal kapasite diyagramı doğrudan elde edilir [1].

### **3.7.3 Zaman tanım alanında hesap yöntemi**

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap, deprem yer hareketinin etkisi altında taşıyıcı sistemin hareket denklemlerini ifade eden differansiyel denklem takımının zaman artımları ile adım adım doğrudan integrasyonu'na karşı gelir. Bu işlem sırasında, doğrusal olmayan davranış nedeni ile sistem rijitlik matrisinin sürekli olarak değişimi gözönüne alınır [1].



## 4. BETONARME ÇOK KATLI BİR BİNANIN DOĞRUSAL ELASTİK OLMAYAN YÖNTEMLERLE ÇÖZÜMÜ

### 4.1 Giriş

Bu bölümde tünel kalıp imalat yöntemi ile yapılmış düşey taşıyıcı elemanları betonarme perdelerden oluşan bir yapının TBDY 2016 taslağına göre artımsal statik itme yöntemi ve zaman tanım alanında çözüm yöntemi ile şekil değiştirmeye göre değerlendirmeleri yapılarak performans düzeyleri belirlenecektir. Bina DBYBHY 2007 yönetmeliğine göre kullanım amacı konut olarak tasarlandığı için 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan tasarım depreminde can güvenliği performans hedefi beklenmektedir ve TBDY 2016 taslağına göre deprem tasarım sınıfı 2 (DTS=2) olduğu için, yine can güvenliği performans düzeyi beklenmektedir.

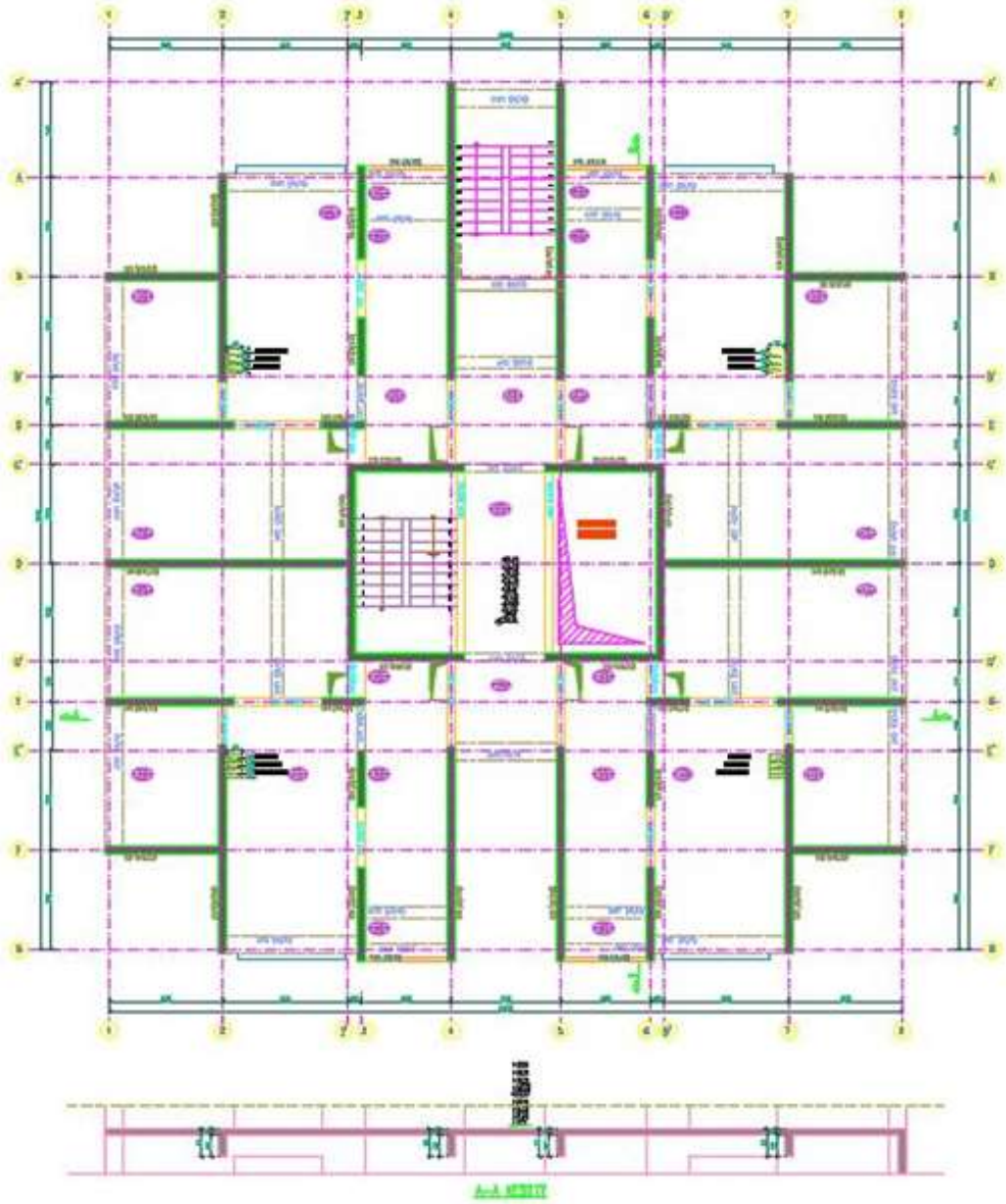
### 4.2 Bina Genel Bilgileri

Mevcut binaya ait betonarme uygulama projesi bulunmaktadır. Bu projenin içinde temel ve normal katlara ait kalıp planı, donatı planı ve kolon aplikasyon planı bulunmaktadır. Bu planlar Şekil 4.1, 4.2 ve 4.3'te verilmiştir. Bina 20,2 metreye 22,12 metre kenar mesafelerine sahip olup uzun kenarı etrafında simetriktir. Binada modellemenin daha kolay yapılabilmesi için teras çatı katı, normal kat olarak düşünülmüştür. Mevcut bina 1 bodrum, 1 zemin ve 11 normal kattan oluşmaktadır. Kat yüksekliği 2,91 metre ve toplam yapı yüksekliği 34,92 metredir. Modelleme yapılırken temel kotu bodrum perdelerinin üst kotu olarak alınmıştır. Binanın doğrusal elastik ve elastik olmayan hesabında SAP2000 V.19.0 programı kullanılmıştır. Kolon, kiriş ve perde gibi taşıyıcı sistem elemanlarının modellenmesinde projede belirtilen donatı koşulları göz önüne alınmıştır. Ölü ve hareketli yükler hesap kolaylığı sağlamak açısından eşdeğer yükler olarak kiriş ve perde taşıyıcı elemanlarına yüklenmiştir.

Bina Özellikleri:

- Kat yüksekliği: 2,91 m

- Kat adedi: 12
- Bina toplam yüksekliği: 34,92 m
- Taşıyıcı sistem: Perde
- Kullanım amacı: Konut



Şekil 4.1 : Kalıp planı.

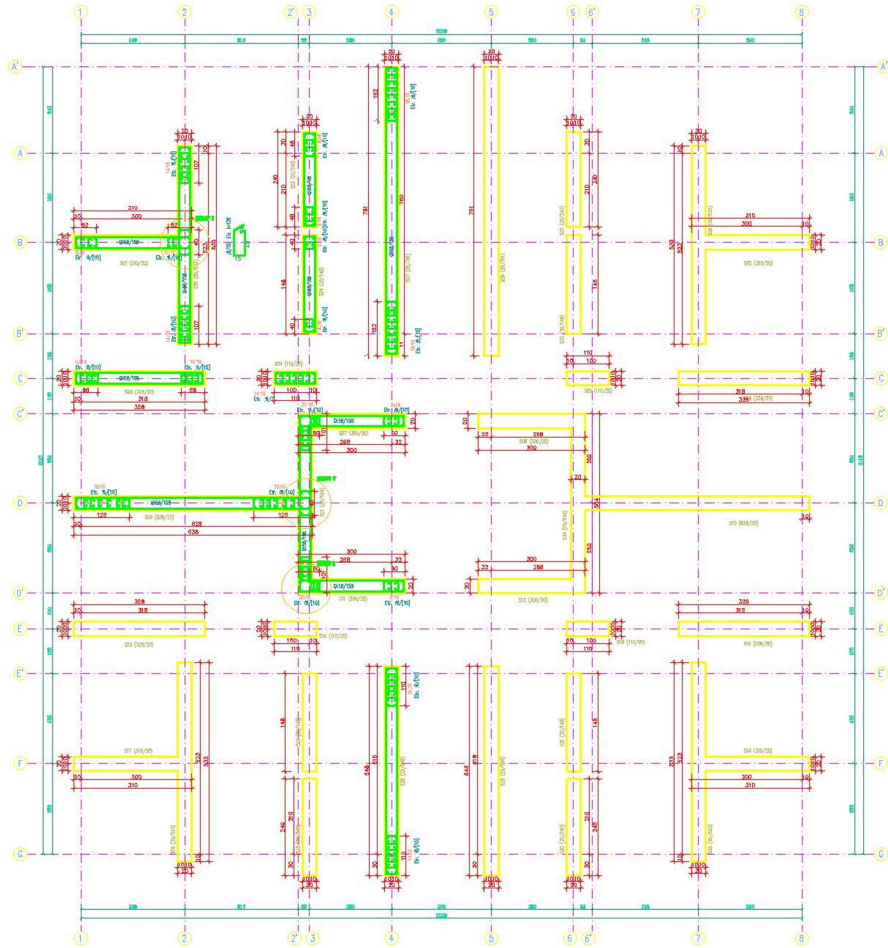
Malzeme Özellikleri:

- Beton sınıfı: C25
- Betonarme çeliği: S420



### Bina Tasarım Parametreleri:

- DTS: 2
- BKS: 3
- Zemin sınıfı: ZC
- BYS: 4
- Bina koordinatları: (30,04;39,9)
- Hareketli yük katılım katsayısı (n): 0,3
- Bina bilgi düzeyi: Kapsamlı bilgi düzeyi



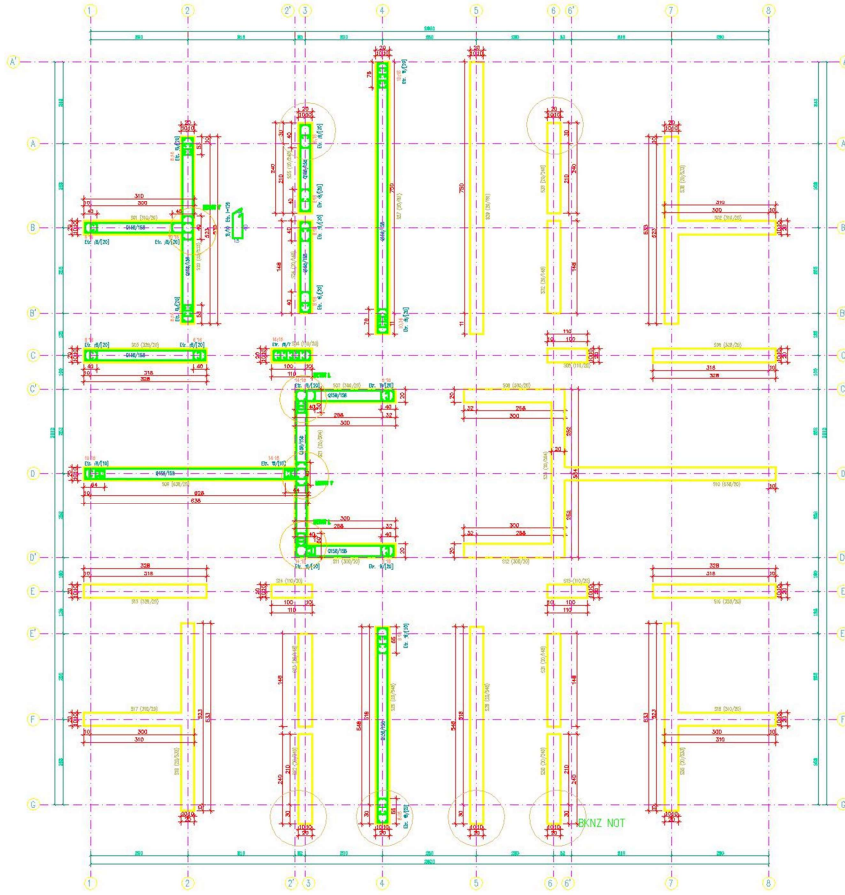
Şekil 4.2 : 0 m- 5,82 m kotları arası kolon aplikasyon planı

Ölü yükler:

- Döşeme yükü:  $5 \text{ kN/m}^2$
- Yapı düşey taşıyıcı sistemi betonarme perde duvarlardan oluştuğu için ve bina etrafındaki duvarların büyük miktarda boşluk içermesi sebebiyle modelleme açısından kolaylık sağlanması amacıyla tuğla duvar yükü ihmal edilmiştir.

Hareketli yükler:

- Konut:  $2 \text{ kN/m}^2$
- Merdiven:  $3,5 \text{ kN/m}^2$
- Kar yükü:  $1,25 \text{ kN/m}^2$



Şekil 4.3 : 5.82 m - 34.92 m kotları arası kolon aplikasyon planı.

Ayrıca Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'te verilen kolon aplikasyon planlarına ait kesit boyutları, donatı çap ve sayısı Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2'de verilmiştir. Bu çizelgelerde verilen bilgiler kesişim bölgelerindeki detaylara ait donatı miktarını belirtmez.

**Çizelge 4.1 : 0 m- 5,82 m kotları kritik perde boyuna donatı bilgileri.**

Perde Adı	Kesit Boyutları (cm)	Başlık Bölgesi Boyutları (cm)	Başlık Bölgesi Donatı	Gövde Bölgesi Donatı
S01-S02-S17-S18	20x310	20x62	8φ16	Q158/158
S19-S20-S35-S36	20x533	20x107	14φ16	Q158/158
S03-S06-S13-S16	20x328	20x66	10φ16	Q158/158
S04-S05-S14-S15	20x110	-	14φ16	-
S23-S24-S31-S32	20x148	20x40	6 φ16	Q158/158
S22-S25-S30-S33	20x240	20x48	8 φ16	Q158/158
S27-S29	20x761	20x152	18 φ16	Q158/158
S09-S10	20x638	20x128	16 φ16	Q158/158
S07-S08-S11-S12	20x300	20x60	8 φ16	Q158/158
S21-S34	20x504	20x101	14 φ16	Q158/158
S26-S28	20x548	20x110	14 φ16	Q158/158

**Çizelge 4.2 : 5.82 m - 34.92 m kotları arası boyuna donatı bilgileri.**

Perde Adı	Kesit Boyutları (cm)	Başlık Bölgesi Boyutları (cm)	Başlık Bölgesi Donatı	Gövde Bölgesi Donatı
S01-S02-S17-S18	20x310	20x40	6 φ16	Q158/158
S19-S20-S35-S36	20x533	20x53	8 φ16	Q158/158
S03-S06-S13-S16	20x328	20x40	6 φ16	Q158/158
S04-S05-S14-S15	20x110	-	14φ16	-
S23-S24-S31-S32	20x148	20x40	6 φ16	Q158/158
S22-S25-S30-S33	20x240	20x40	6 φ16	Q158/158
S27-S29	20x761	20x76	10φ16	Q158/158
S09-S10	20x638	20x64	10φ16	Q158/158
S07-S08-S11-S12	20x300	20x40	6 φ16	Q158/158
S21-S34	20x504	20x50	10φ16	Q158/158
S26-S28	20x548	20x55	8 φ16	Q158/158

Kritik perde yüksekliği boyunca betonarme perde duvarların başlık bölgeleri φ8/10, bu bölgenin dışında ise φ8/20 etriye ile sargılanmıştır. İstisna olarak S04-S05-S14-S15 kolonlarında bina yüksekliği boyunca φ8/7 etriye ile sargılama yapılmıştır.

Ayrıca kirişlere ait kesit boyutları, donatı çap ve sayısı gibi bilgiler Çizelge 4.3'te verilmiştir. Kirişlerde kolonlar gibi tipleştirilmiştir. Bu tipleştirmede boyuna donatıların benzerliği esas alınmıştır. Kirişlerdeki çapraz donatılar modellemede ihmal edilmiştir.

**Çizelge 4.3 : Kirişlere ait kesit ve donatı bilgileri.**

Kiriş Adı	Kesit Boyutları (cm)	Donatı Bilgileri
K01-K02-K04-K05-K06	20x71	8 $\phi$ 16
K03	42x50	10 $\phi$ 16
K08-K12-K13-K14-K15	20x50	4 $\phi$ 16

### 4.3 Binanın Yapısal Modelinin Oluşturulması

Binanın 3 boyutlu modeli SAP2000 V19.0 programında oluşturulurken mevcut kalıp planlarına uyulmuştur, Şekil 4.4. Çözüm açısından kolaylık sağlaması için döşemelerin yükleri girilmiş fakat kendisi yapısal bir eleman olarak modellenmemiştir. Döşemeler rijit diyafram olarak kabul edilmiştir. Bu davranışa uygun olacak şekilde yatay eksenlerde ötelenme ve düşey eksen etrafında dönme serbestlikleri matematiksel olarak bağlanmıştır. Betonarme perdeler orta dikmeli çubuk elemanlar olarak modellenmiştir. Çubuk elemanlarda çatlamış kesite ait eğilme rijitlikleri kullanılmıştır. Yapı temel sistemi modellenmemiş olup, zemin kattan ankastre mesnetlenecek şekilde modellenmesi yapılmıştır. Yapının elastik hesabı sonucunda taşıyıcı sistem elemanlarının tasarımında kullanılmak amacıyla deprem etkilerinin diğer etkilerle birleşiminde kullanılmak üzere TBDY 2016 taslağında aşağıda verilen yük birleşimleri tanımlanmıştır.

$$G + Q + 0.2S + Ed^{(H)} + 0.3Ed^{(Z)} \quad (4.1)$$

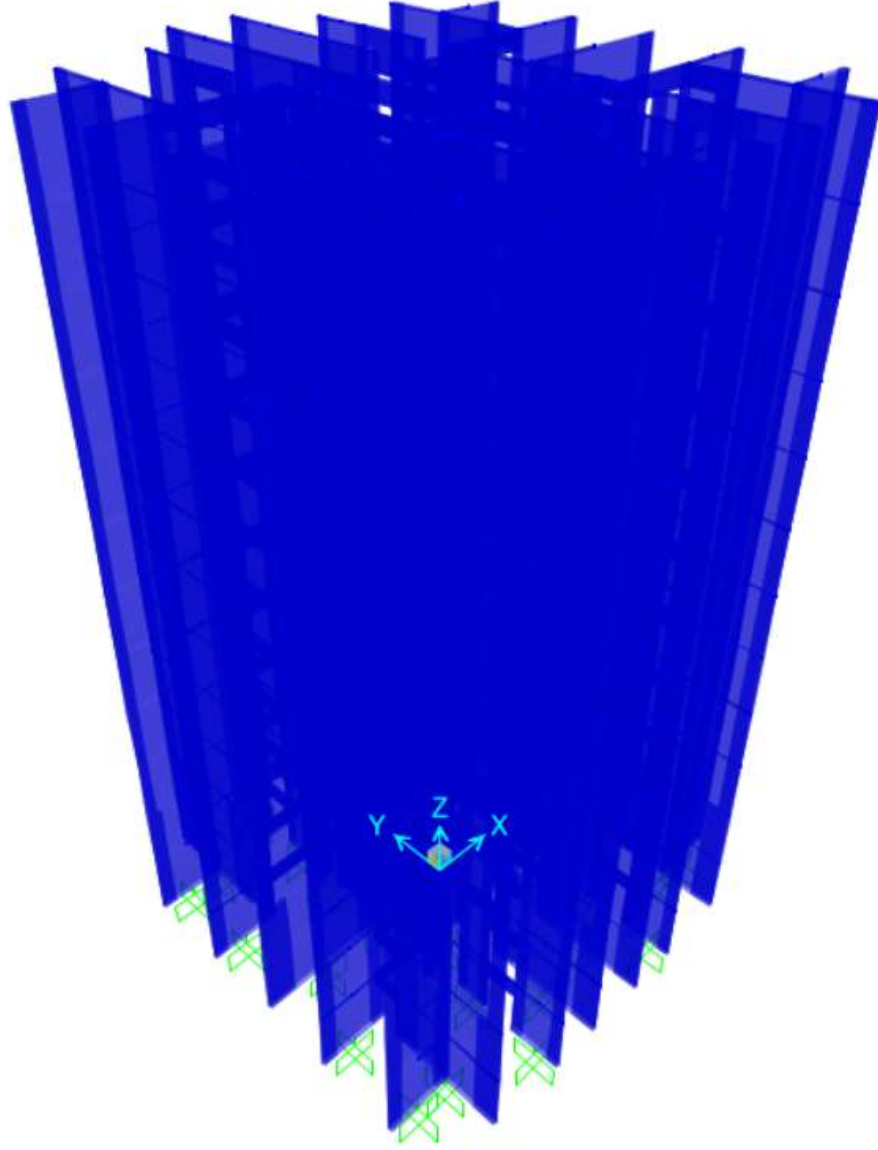
$$0.9G + H + 0.2S + Ed^{(H)} - 0.3Ed^{(Z)} \quad (4.2)$$

Bu denklemlerde G ölü yük, Q hareketli yük, S kar yükü, H yatay zemin itkisini belirtmektedir.  $Ed^{(H)}$  yatay deprem etkisi Denklem 4.3 ve 4.4'te verilmiştir.  $Ed^{(Z)}$  düşey deprem etkisi ise TBDY 2016 taslağı 4.4.3'te verilen bilgilere uygun olarak tasarım spektral ivmesi ile ölü yüklerin çarpılması ile elde edilen sayının 2/3 katı alınarak bulunmuştur. Denklem 4.5'te verilmiştir. Yapının servis durumları incelenmediği için bu durumların kontrolünde kullanılan yük kombinasyonları girilmemiştir.

$$E_d^{(H)} = \pm E_d^{(X)} \pm 0.3E_d^{(Y)} \quad (4.3)$$

$$E_d^{(H)} = \pm 0.3E_d^{(Y)} \pm E_d^{(X)} \quad (4.4)$$

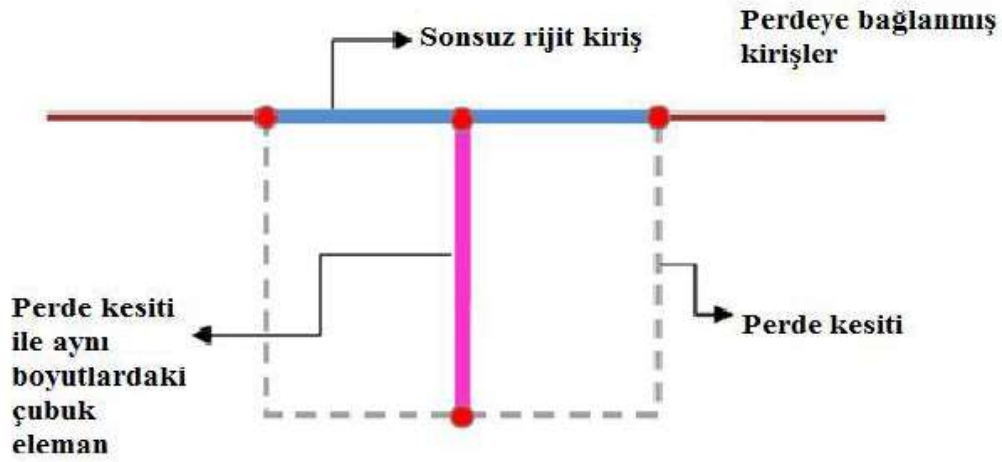
$$E_d^{(Z)} = 2/3S_{DS}G \quad (4.5)$$



**Şekil 4.4 :** Bina üç boyutlu modeli.

Yapının üç boyutlu modellenmesinde betonarme perde duvarlar orta dikmeli çubuk elemanlar olarak modellendiği için bu perdeleri birleştiren bağ kirişlerinin perdelerle olan bağlantısını sağlayabilmek için fiktif elemanlar kullanılmıştır, Şekil 4.5. Bu elemanların rijitliği modifiye edilerek arttırılmıştır ve ağırlığı yoktur. Betonarme perdelerin üzerine gelen yükler rijit çubuklar üzerine fazladan kesit tesirleri oluşturmamaları için yüklenmemiştir. Bunun yerine tekil yük olarak orta dikmeli çubuk elemanına yüklenmiştir. Genellikle karma taşıyıcı sistemlerde perde duvarlar

çekirdek bölgesi adı verilen ve yapıda ağırlık ve rijitlik merkezlerinin yakın olması amacıyla yapının ortasına yerleştirilen bir bölgede yer alır. Bu gibi sistemlerde fiktif rijit elemanlarla modelleme yapı rijitliğini ve buna bağlı olarak periyodunu fazla etkilememektedir. Fakat mevcut yapının büyük bölümü betonarme perde duvarlardan oluştuğu için modellemede kullanılan fiktif rijit çubukların sayısı yapı elemanlarına oranla yüksektir. Bu durum yapının rijitliğini de etkilemektedir. Bunun için farklı rijitlik değerleri ile denemeler yapılarak en uygun değer seçilmiştir. Ayrıca yapının STA4CAD modelindeki periyodu ile kontrol edilmiştir.



Şekil 4.5 : Betonarme perdenin çubuk eleman olarak modellenmesi.

Yapılan modelde ikişer katta bir kesitlere üzerlerindeki düşey yüklere ait moment-eğrilik bağıntılarından etkin kesit rijitlikleri girilmiştir. Çizelge 4.4'te düşey taşıyıcı elemanların iki katta bir  $G+0.3Q$  kombinasyonuna ait düşey yük değişimi verilmiştir.

Çizelge 4.4 : Düşey taşıyıcı elemanların aksenal kuvvet değerleri.

Betonarme Perde Adı	Zemin ve 1. Kat	2. ve 3. Kat	4. ve 5. Kat	6. ve 7. Kat	8. ve 9. Kat	10.ve 11. Kat
S01-S02-S17-S18	-972	-823	-666	-503	-337	-169
S19-S20-S35-S36	-1702	-1436	-1160	-875	-586	-296
S03-S06-S13-S16	-1128	-923	-730	-545	-364	-186
S04-S05-S14-S15	-1053	-881	-707	-531	-356	-179
S23-S24-S31-S32	-658	-545	-435	-326	-218	-110
S22-S25-S30-S33	-3002	-2510	-2014	-1514	-1013	-511
S27-S29	-458	-366	-288	-214	-143	-73
S09-S10	-1736	-1467	-1187	-897	-602	-302
S07-S08-S11-S12	-2386	-1999	-1600	-1199	-800	-402
S21-S34	-1199	-991	-789	-590	-394	-200
S26-S28	-1948	-1618	-1290	-965	-644	-325

Çizelge 4.5'te bu düşey yük değerlerine ait moment-eğrilik bağıntılarından elde edilen etkin kesit rijitlikleri verilmiştir.

**Çizelge 4.5 :** Etkin kesit rijitlikleri ve kesit rijitliğine oranları.

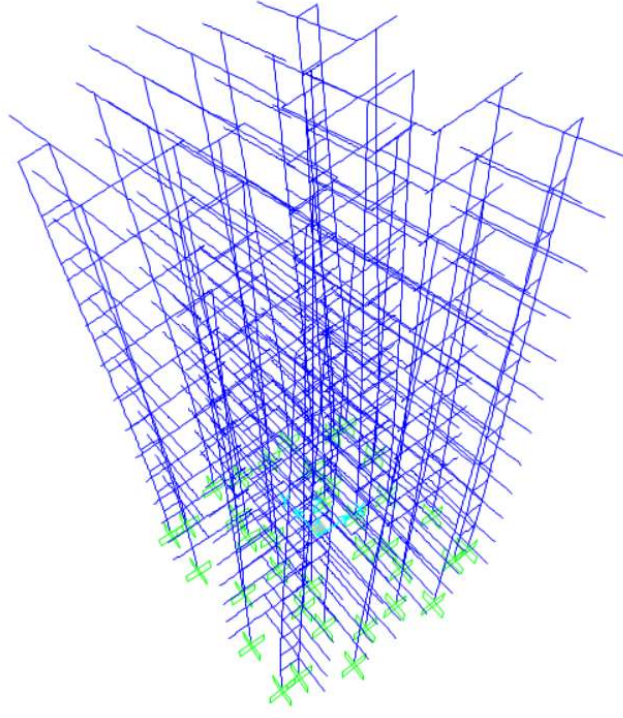
Tip Kolon Adı	Eksenel Yükler (kN)	$I_{33}$ (m <sup>4</sup> )	$I_{22}$ (m <sup>4</sup> )	$I_{e33}$ (m <sup>4</sup> )	$I_{e22}$ (m <sup>4</sup> )	$I_{e33}/I_{33}$	$I_{e22}/I_{22}$
S01	-972	0.4965	0.0021	0.0947	0.004	0.19	0.19
	-823	0.4965	0.0021	0.0843	0.003	0.17	0.17
	-666	0.4965	0.0021	0.0799	0.003	0.16	0.15
	-503	0.4965	0.0021	0.0747	0.003	0.15	0.14
	-337	0.4965	0.0021	0.0697	0.003	0.14	0.13
	-169	0.4965	0.0021	0.0644	0.003	0.13	0.12
S03	-1128	0.5881	0.0022	0.1234	0.0005	0.21	0.21
	-923	0.5881	0.0022	0.0976	0.0003	0.17	0.15
	-730	0.5881	0.0022	0.0889	0.0003	0.15	0.15
	-545	0.5881	0.0022	0.0849	0.0003	0.14	0.14
	-364	0.5881	0.0022	0.0810	0.0003	0.14	0.13
	-186	0.5881	0.0022	0.0745	0.0003	0.13	0.12
S04	-458	0.0222	0.0007	0.0056	0.0002	0.25	0.29
	-366	0.0222	0.0007	0.0054	0.0002	0.24	0.28
	-288	0.0222	0.0007	0.0053	0.0002	0.24	0.27
	-214	0.0222	0.0007	0.0051	0.0002	0.23	0.26
	-143	0.0222	0.0007	0.0049	0.0002	0.22	0.26
	-73	0.0222	0.0007	0.0048	0.0002	0.21	0.25
S07	-1199	0.4500	0.002	0.0922	0.0004	0.20	0.20
	-991	0.4500	0.002	0.0825	0.0003	0.18	0.17
	-789	0.4500	0.002	0.0777	0.0003	0.17	0.17
	-590	0.4500	0.002	0.0721	0.0003	0.16	0.15
	-394	0.4500	0.002	0.0662	0.0003	0.15	0.14
	-200	0.4500	0.002	0.0607	0.0003	0.13	0.13
S09	-2386	4.3282	0.0043	0.8585	0.0008	0.20	0.19
	-1999	4.3282	0.0043	0.7437	0.0007	0.17	0.15
	-1600	4.3282	0.0043	0.6944	0.0006	0.16	0.15
	-1199	4.3282	0.0043	0.6399	0.0006	0.15	0.13
	-800	4.3282	0.0043	0.5859	0.0005	0.14	0.13
	-402	4.3282	0.0043	0.5280	0.0005	0.12	0.11
S20	-1702	2.5237	0.0036	0.5190	0.0007	0.21	0.21
	-1406	2.5237	0.0036	0.4061	0.0005	0.16	0.15
	-1160	2.5237	0.0036	0.3815	0.0005	0.15	0.14
	-875	2.5237	0.0036	0.3538	0.0005	0.14	0.13
	-586	2.5237	0.0036	0.3266	0.0004	0.13	0.12
	-296	2.5237	0.0036	0.2969	0.0004	0.12	0.11
S21	-1948	2.1337	0.0034	0.0445	0.0007	0.23	0.23
	-1618	2.1337	0.0034	0.4129	0.0005	0.22	0.23
	-1290	2.1337	0.0034	0.3774	0.0005	0.21	0.22
	-965	2.1337	0.0034	0.3514	0.0005	0.20	0.21

**Çizelge 4.5 (devam) : Etkin kesit rijitlikleri ve kesit rijitliğine oranları.**

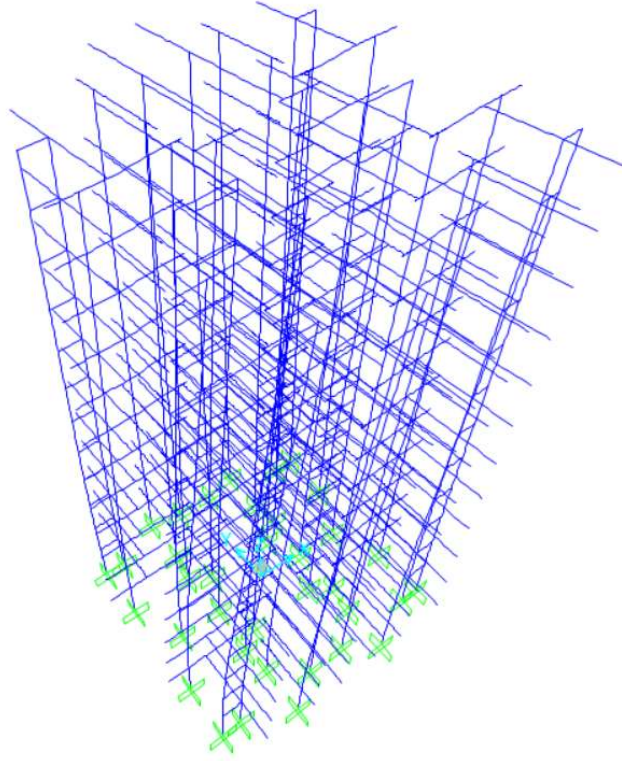
Kolon Adı	Eksenel Yükler (kN)	$I_{33}$ (m <sup>4</sup> )	$I_{22}$ (m <sup>4</sup> )	$I_{e33}$ (m <sup>4</sup> )	$I_{e22}$ (m <sup>4</sup> )	$I_{e33}/I_{33}$	$I_{e22}/I_{22}$
S21	-644	2.1337	0.0034	0.3258	0.0004	0.19	0.20
	-325	2.1337	0.0034	0.2985	0.0004	0.18	0.19
S24	-658	0.0563	0.0010	0.0129	0.0002	0.23	0.23
	-545	0.0563	0.0010	0.0124	0.0002	0.22	0.23
	-435	0.0563	0.0010	0.0120	0.0002	0.21	0.22
	-326	0.0563	0.0010	0.0114	0.0002	0.20	0.21
	-218	0.0563	0.0010	0.0108	0.0002	0.19	0.20
	-110	0.0563	0.0010	0.0102	0.0002	0.18	0.19
S25	-1053	0.2304	0.0016	0.0528	0.0003	0.23	0.21
	-881	0.2304	0.0016	0.0461	0.0003	0.20	0.19
	-707	0.2304	0.0016	0.0434	0.0003	0.19	0.18
	-531	0.2304	0.0016	0.0406	0.0003	0.18	0.17
	-356	0.2304	0.0016	0.0374	0.0003	0.16	0.16
	-179	0.2304	0.0016	0.0345	0.0002	0.15	0.15
S26	-1736	2.7729	0.0037	0.5265	0.0007	0.19	0.19
	-1467	2.7729	0.0037	0.4320	0.0005	0.16	0.14
	-1187	2.7729	0.0037	0.3930	0.0005	0.14	0.14
	-897	2.7729	0.0037	0.3451	0.0005	0.12	0.13
	-602	2.7729	0.0037	0.3517	0.0004	0.12	0.11
	-302	2.7729	0.0037	0.3179	0.0004	0.11	0.11
S27	-3002	7.3452	0.0051	1.4728	0.0009	0.20	0.18
	-2510	7.3452	0.0051	1.2342	0.0008	0.17	0.16
	-2014	7.3452	0.0051	1.1045	0.0007	0.15	0.14
	-1514	7.3452	0.0051	1.0039	0.0007	0.14	0.13
	-1013	7.3452	0.0051	0.9355	0.0006	0.13	0.11
	-511	7.3452	0.0051	0.8265	0.0005	0.11	0.11

Mevcut binanın yapılan üç boyutlu sonlu eleman modelinde yapının ilk modlarında kütle katılım oranları dağınık olarak gelmiştir. Yapı uzun eksenine etrafında simetrik ve buna dik yönde de yangın kaçış merdivenlerinin olduğu bölge hariç yine simetrik. Neredeyse her iki yönde simetri olmasına rağmen kütle katılımın dağınık bir şekilde gelmesi yapılan zati ve hareketli yüklemelerde merdiven yüklerinin asimetric olmasıyla açıklanabilir. Ayrıca yapının eğilme rijitliği çok yüksek olduğu için bu davranışı sergileyememekte ve burulma modları aktifleşmektedir. Ayrıca, bu görüş yapılan incelemelerde 5 katlı tünel kalıp bir yapıda birinci modun burulma davranışına %70 katılım verdiği bir örnekle desteklenmiştir. Çizelge 4.6’da ilk 20 moda ait kütle katılım oranları verilmiştir ve ilk olarak x doğrultusunda 8. modda, ardından y doğrultusunda ise 13. modda %90 modal kütle katılımının sağlandığı görülmektedir. Yapının ilk 6 mod şekline ait görseller Şekil 4.6-11’de verilmiştir.

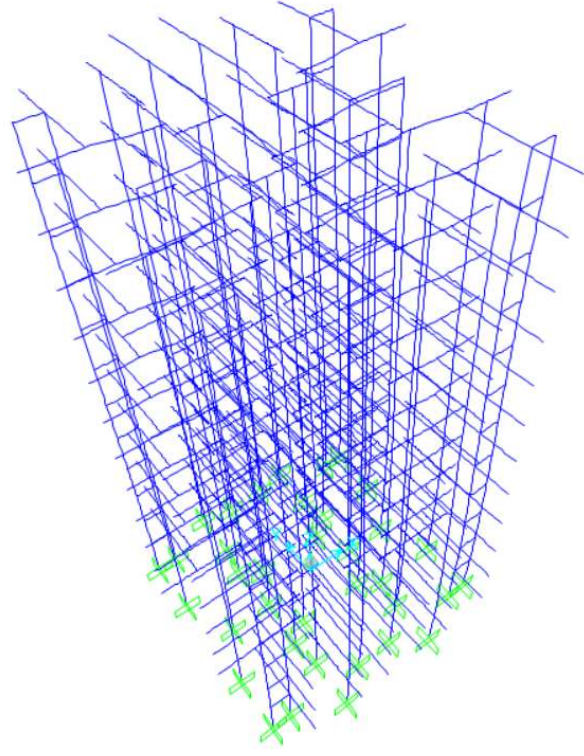




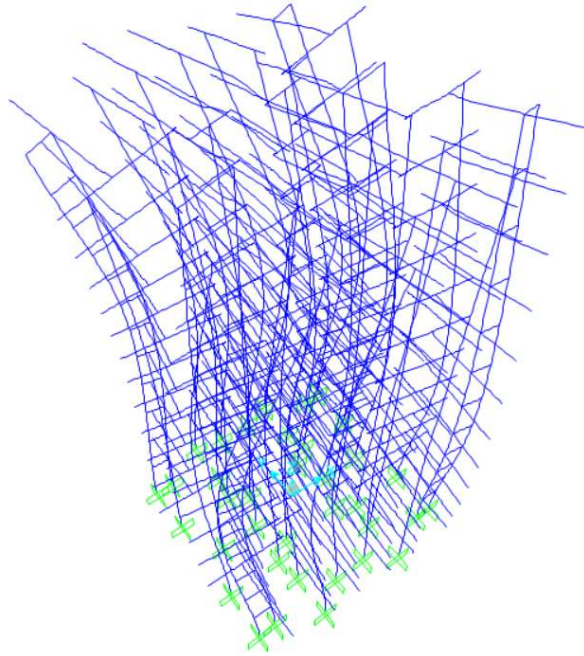
**Şekil 4.6 :** Yapının 1. mod şekli.



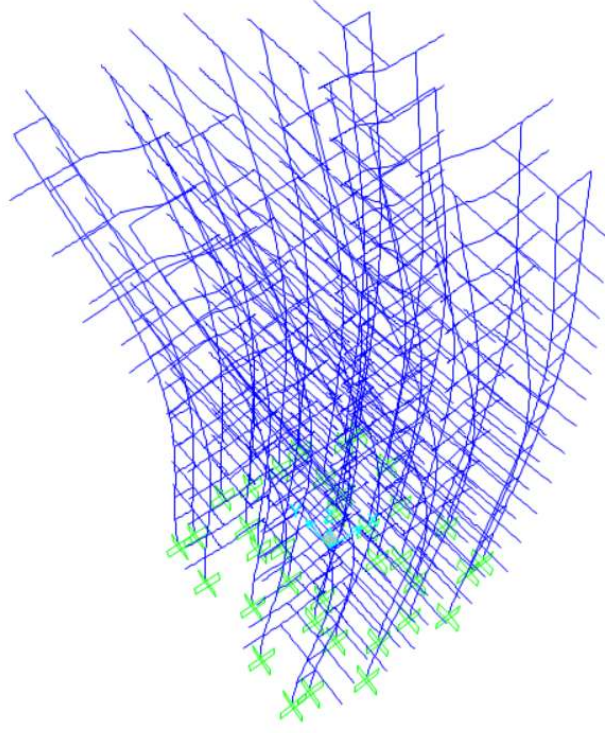
**Şekil 4.7 :** Yapının 2. mod şekli.



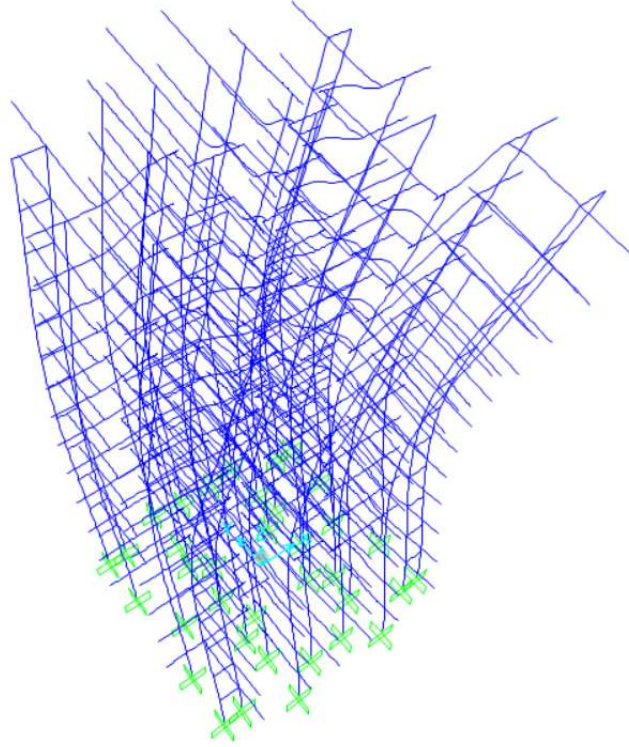
**Şekil 4.8 : Yapının 3. mod şekli.**



**Şekil 4.9 : Yapının 4. mod şekli.**



**Şekil 4.10** : Yapının 5. mod şekli.



**Şekil 4.11** : Yapının 6. mod şekli.

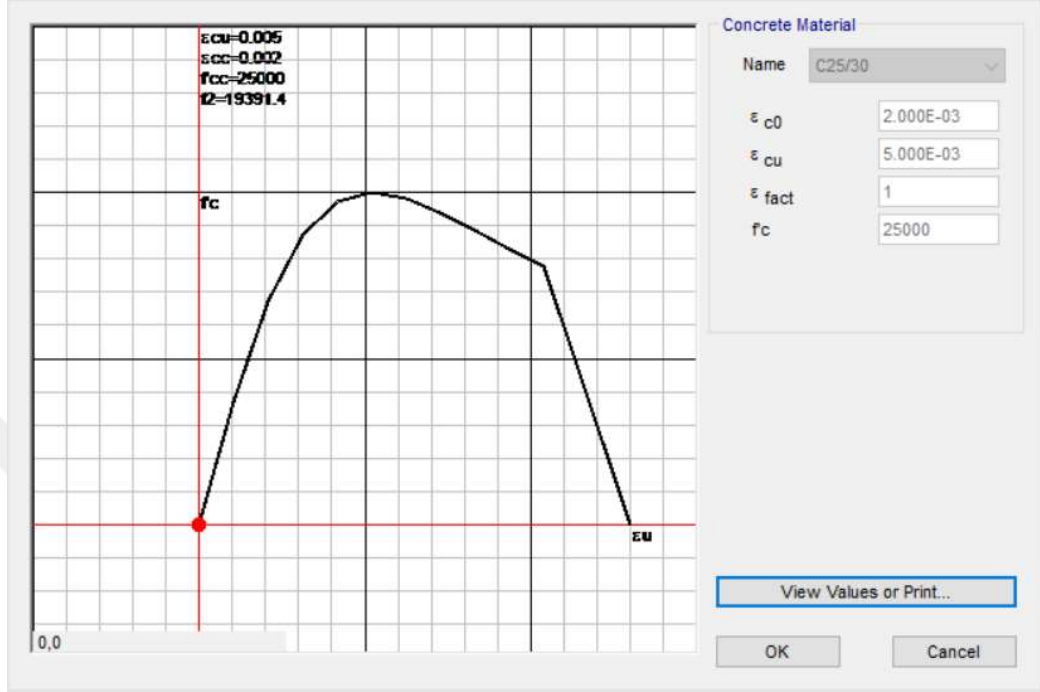
**Çizelge 4.6 :Modal kütle katılım oranları.**

Mod Sayısı	Periyod	UX	UY	RZ	$\Sigma UX$	$\Sigma UY$	$\Sigma RZ$
1	0.85	0.19	0.00	0.50	0.19	0.00	0.50
2	0.78	0.49	0.00	0.19	0.67	0.00	0.69
3	0.52	0.00	0.71	0.00	0.67	0.71	0.69
4	0.22	0.02	0.00	0.16	0.69	0.71	0.85
5	0.19	0.17	0.00	0.02	0.86	0.71	0.87
6	0.14	0.00	0.16	0.00	0.86	0.86	0.87
7	0.10	0.00	0.00	0.05	0.87	0.86	0.92
8	0.09	0.06	0.00	0.00	0.92	0.86	0.92
9	0.07	0.00	0.00	0.00	0.92	0.87	0.92
10	0.07	0.00	0.00	0.00	0.92	0.87	0.92
11	0.07	0.00	0.00	0.00	0.92	0.87	0.92
12	0.07	0.00	0.00	0.00	0.92	0.87	0.92
13	0.07	0.00	0.05	0.00	0.92	0.92	0.92
14	0.07	0.00	0.00	0.00	0.92	0.92	0.92
15	0.06	0.00	0.00	0.00	0.92	0.92	0.92
16	0.06	0.00	0.00	0.03	0.93	0.92	0.95
17	0.06	0.00	0.00	0.00	0.93	0.92	0.95
18	0.06	0.00	0.00	0.50	0.93	0.92	0.95
19	0.06	0.00	0.00	0.19	0.93	0.92	0.95
20	0.06	0.00	0.00	0.00	0.93	0.92	0.95

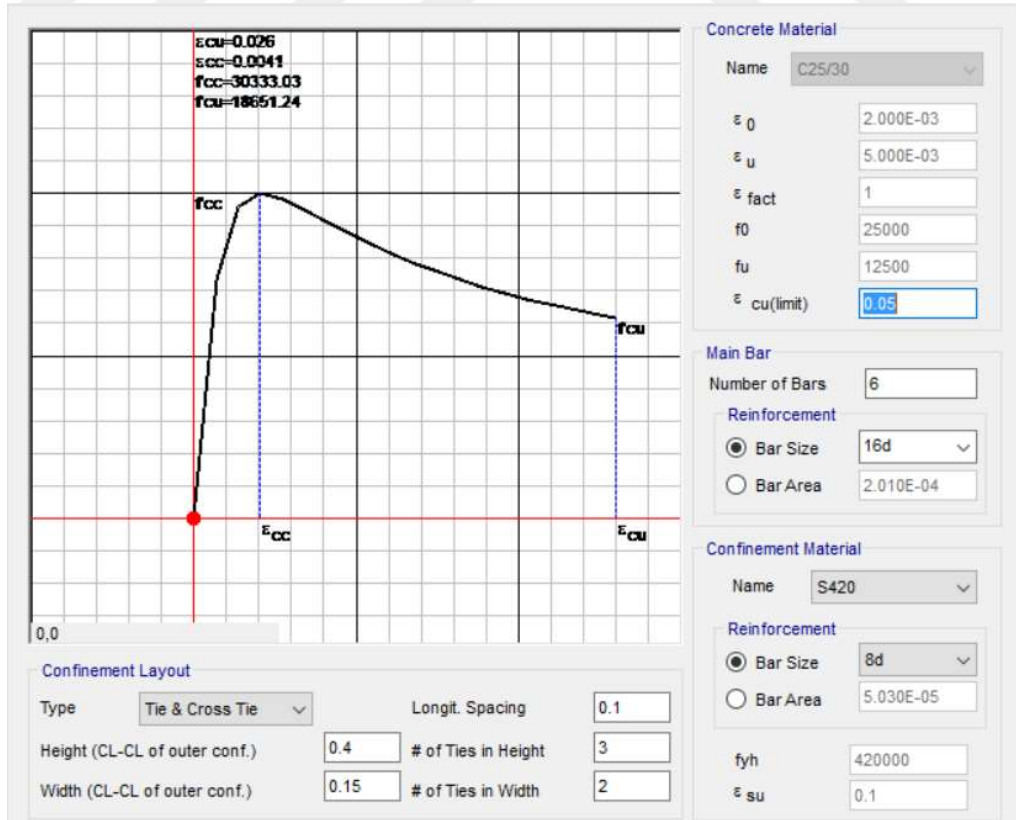
#### 4.3.1 Malzeme modelleri

Bina projesinde beton sınıfı olarak C25 ve donatı sınıfı olarak S420 kullanılmıştır. Beton modeli betonarme perde duvarın başlık bölgelerinde sargı etkisi göz önüne alınacak şekilde, gövde bölgesinde ise sargısız kabul edilerek modelleme yapılmıştır. Sargılı ve sargısız beton modeli olarak TBDY 2016 taslağında da kabul edilmiş olan Mander beton modeli kullanılmıştır. Donatı çeliği olarak yine TBDY 2016 taslağında belirtilen model kullanılmıştır. Bu malzeme modellerinin girişinde “Define > Materials > Nonlinear Material Data” sekmesinden ana malzemeler tanımlanır. Fakat kesite ait sargı etkisinin tanımlanması “Section Designer > C model > Mander Confined” seçildikten sonra kesite ait enine ve boyuna donatı özelliklerinin girilmesi ile tanımlanmış olur. Kesitlerin içine tekrar kesit atayarak başlık bölgelerinin tanımlandığı modelleme şeklinin doğruluğu, atalet momenti gibi mekanik özellikler kontrol edilerek onaylanmıştır. Ayrıca ana kesit içine başlık bölgelerinin ayrı kesitlerle tanımlandığı kesit modeli ile başlık bölgelerinin tanımlanmadığı kesit modeli karşılaştırılmıştır. Bu modellerin karşılıklı etki diyagramı aynı gelmesine rağmen moment-eğrilik grafikleri farklı gelmektedir. Bu incelemeler sonucunda

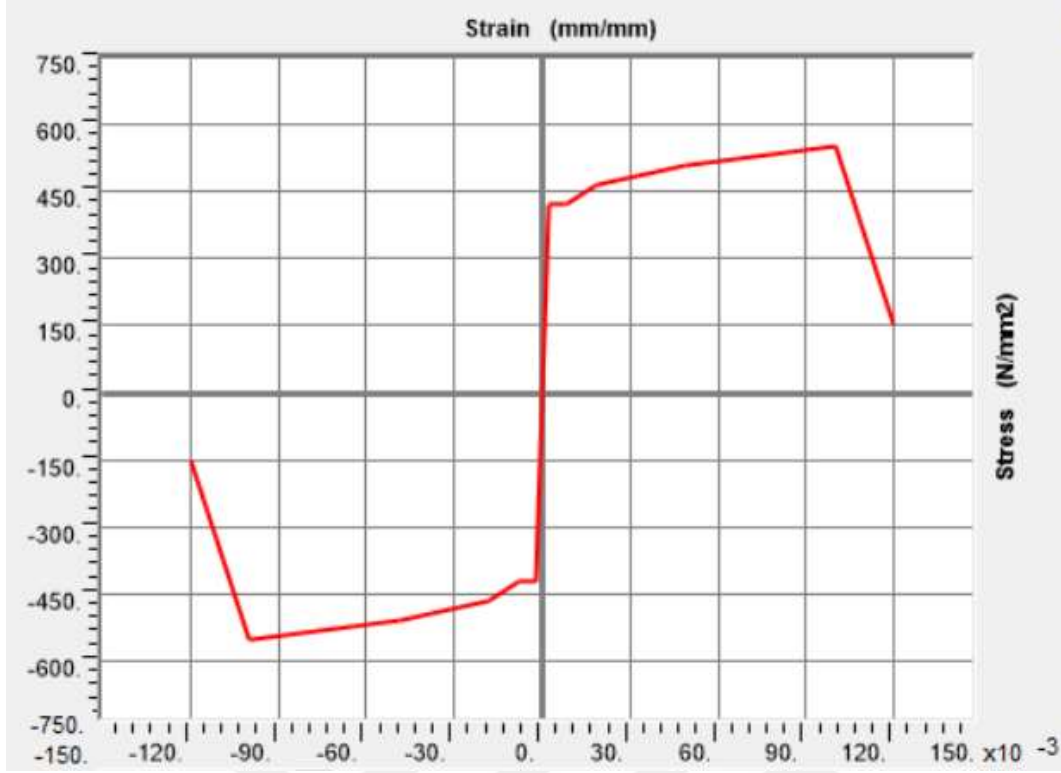
SAP2000 programında “Section Designer” bölümünde kesitlerin istenilen hassasiyette tanımlanabileceği kontrol edilmiştir. Tanımlanan malzeme modelleri Şekil 4.12, 4.13 ve 4.14’te gösterilmiştir.



Şekil 4.12 : SAP2000 programında tanımlanan sargısız beton modeli.



Şekil 4.13 : SAP2000 programında tanımlanan sargılı beton modeli örneği.



**Şekil 4.14 :** SAP2000 programında tanımlanan S420 donatı çeliği modeli.

#### 4.3.2 Kesitlerin akma yüzeyleri ve moment-eğrilik bağıntıları belirlenmesi

Yapının taşıyıcı sistemi orta dikmeli çubuk eleman olarak seçilmiştir. Her kesite ait geometrik özellikler, donatı düzeni, beton özellikleri SAP2000 programında “Section Designer” arayüzünden tanımlanmıştır. Yine bu arayüz vasıtasıyla akma yüzeylerinin ve moment-eğrilik bağıntıları belirlenmiştir. Düşey taşıyıcı betonarme perde duvar elemanlarının moment-eğrilik bağıntıları her iki kattaki düşey yük değişimi göz önüne alınarak elde edilmiştir. Kirişler için ise normal kuvvetin sıfır “0” olduğu değer için elde edilmiştir. Çünkü kirişlerde herhangi bir aksenal kuvvet bulunmamaktadır. Elde edilen bilgiler vasıtasıyla etkin kesit rijitliği değerleri hesaplanıp ardından kesit rijitliğine oranı bulunarak kesitlere “set modifiers” sekmesinden katsayı olarak girilmiştir.

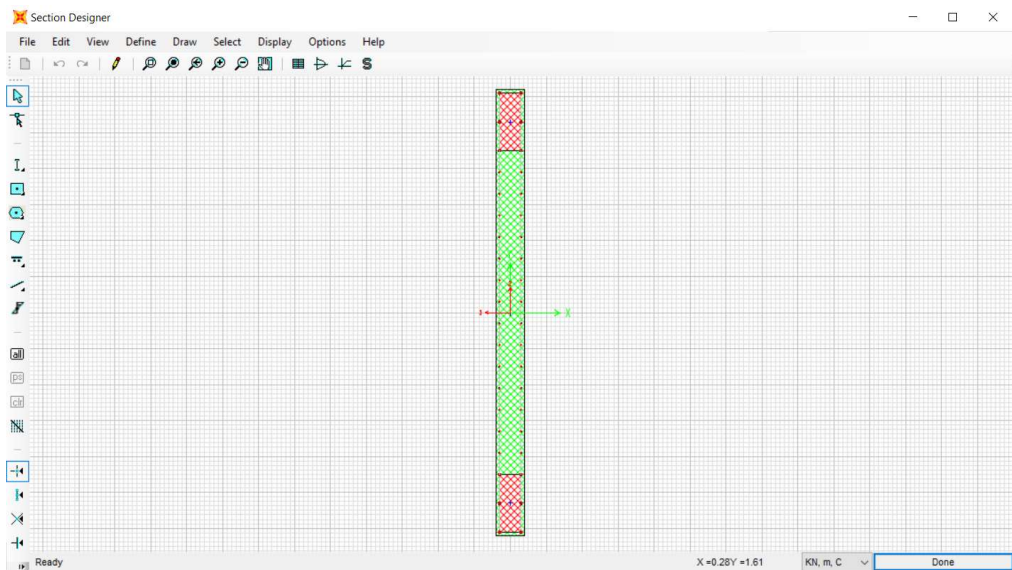
SAP2000 programında akma yüzeyleri “Section Designer > Display > Show Moment-Interaction Surface” sekmesinden, moment-eğrilik bağıntılarının elde edilmesi ise “Section Designer > Display > Show Moment-Curvature Curve” sekmesinden elde edilmiştir.

Akma yüzeyleri elde edilirken alınan verilerde program seçilen betonarme yönetmeliğe bağlı olarak farklı seçenekler sunmaktadır. Bu seçenekler “Design >

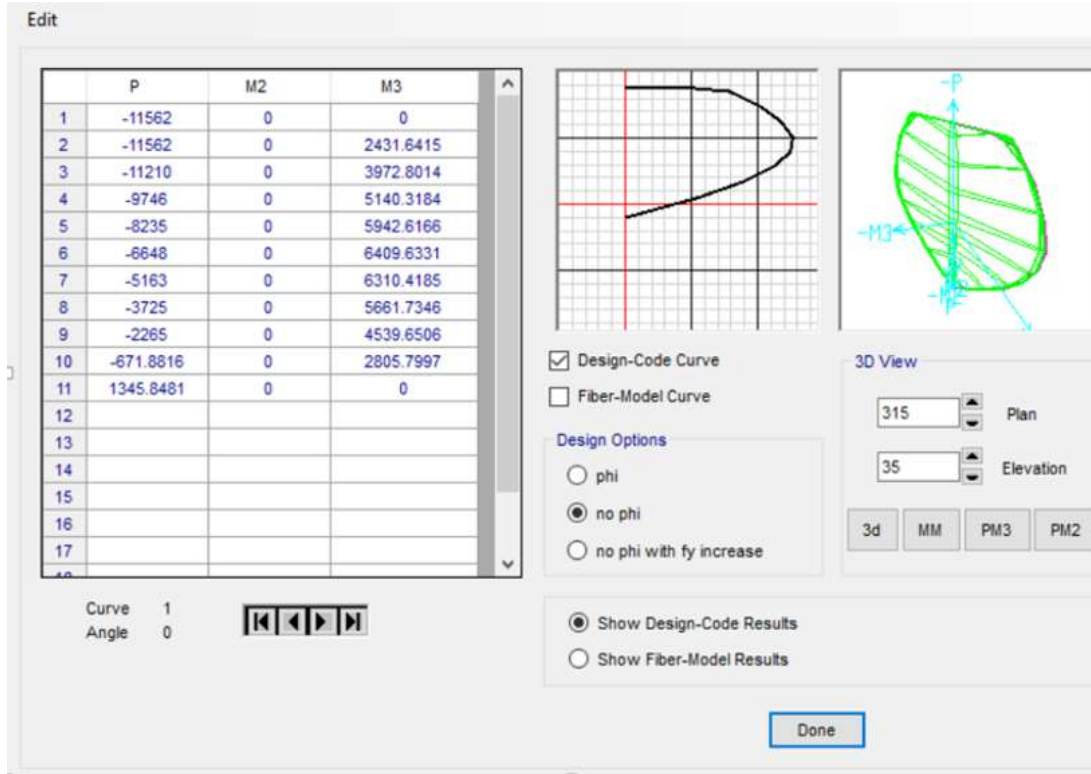
Concrete Frame Design > View/Revise Preferences” sekmesinden değiştirilebilmektedir. ACI-318-14, 3 seçenek sunmaktadır ve bu seçenekler “phi, no phi, fy increase” olarak sıralanmaktadır. Burada “phi” katsayısı fretli sargılama durumunda 0.75, etriyeler ile sargılama durumunda 0.65 olarak belirtilen bir tasarım katsayısıdır. Programda halihazır durumda 0.65 olarak kullanılan katsayı yine “Design > Concrete Frame Design > View/Revise Preferences” sekmesinden değiştirilebilir. Fakat performans analizi yaparken tasarım katsayısı kullanılmaması gerektiği için “no phi” seçeneği seçilmiştir. Ayrıca TS-500 yönetmeliği de incelenmiştir fakat bu yönetmelik seçiliyken elde edilen akma yüzeylerine tasarım katsayıları uygulanmaktadır. Bu yüzden ACI-318-14 yönetmeliği seçilerek çalışılmıştır.

Moment-eğrilik bağıntıları elde edilirken programdaki yön kabulü sebebi ile kesitlerdeki istenilen düşey yük değerleri negatif olarak girilmelidir. Ayrıca “Section Designer > Display > Show Moment-Curvature Curve > Details” sekmesinden kesitlerdeki uzama değerlerine ait eğrilik ve moment değerleri elde edilerek daha sonra P-M2-M3 plastik mafsalları tanımlanırken performans sınırları tanımlanabilir. Bu şekilde SAP2000 programından alınan sonuçlar kullanılan yönetmeliğin belirttiği sınır durumlarına göre sonuç verecek şekilde ayarlanmış olur ve başka bir işleme gerek kalmadan kullanılabilir.

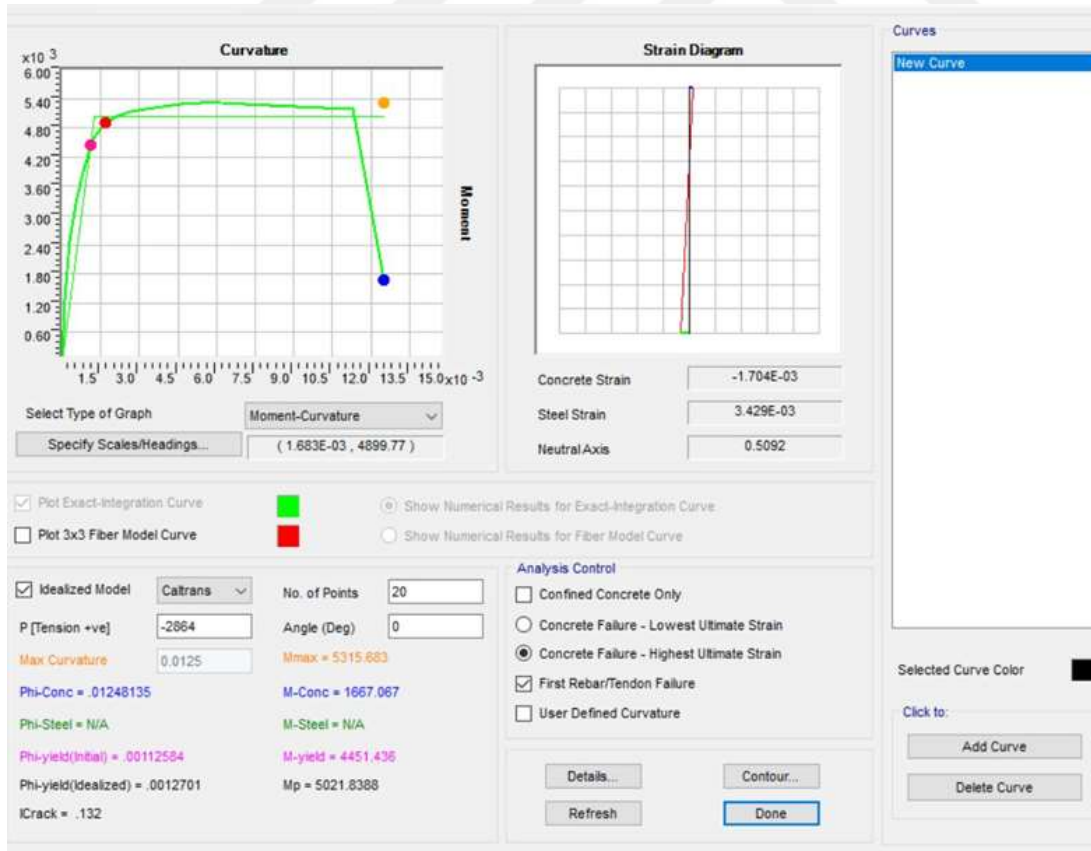
Şekil 4.15, 4.16, 4.17, 4.18, 4.19’da yukarda bahsedilen konularla ilgili görseller verilmiştir.



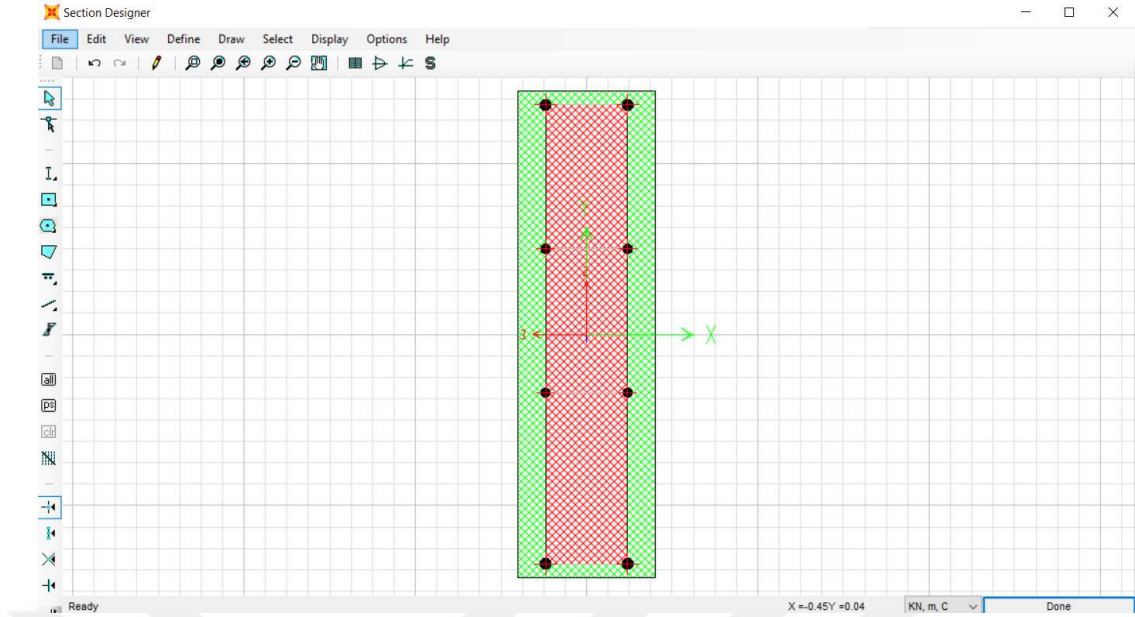
Şekil 4.15 : Section Designer S01 betonarme perde duvar enkesiti.



Şekil 4.16 : Section Designer S01 perdesi akma yüzeylerinin elde edilmesi.

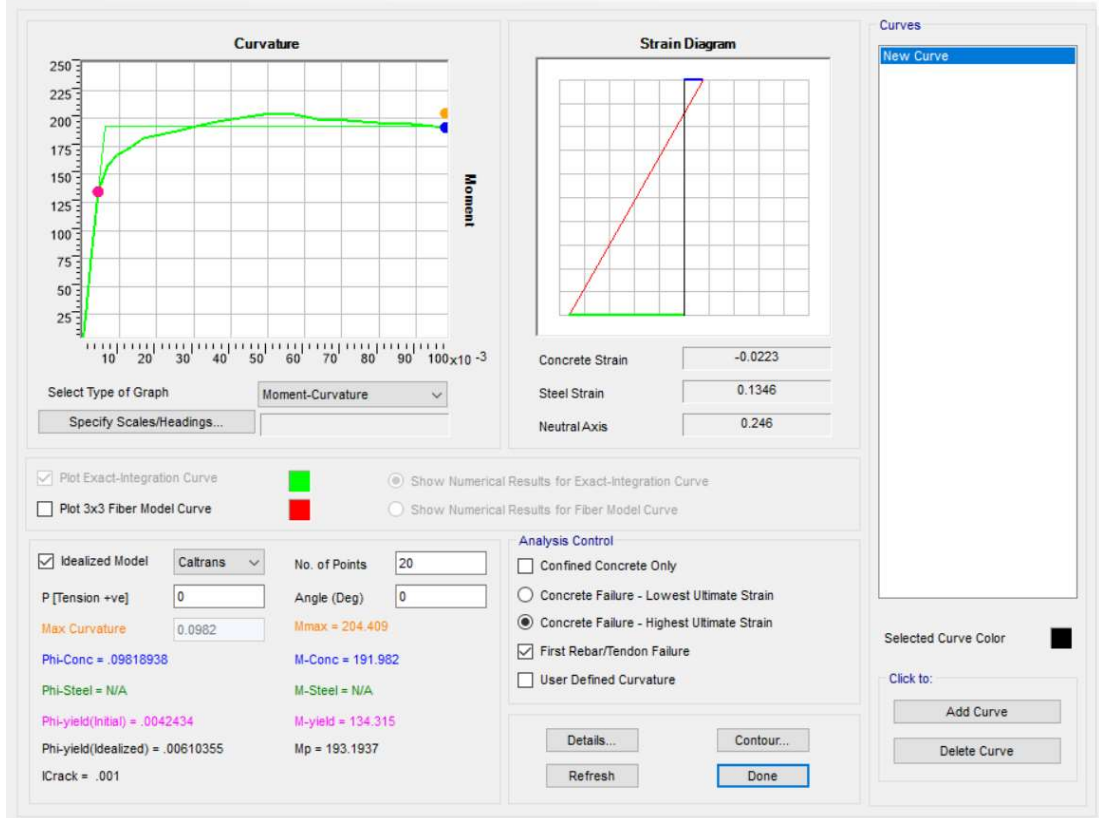
Şekil 4.17 : Section Designer S01 perdesi M- $\phi$  bağıntısının elde edilmesi.





Şekil 4.18 : Section Designer K01 kiriş enkesiti.

Moment Curvature Curve (Limits: P(comp.) = -3583.725, P(ten.) = 596.4)



Şekil 4.19 : Section Designer K01 kirişi moment-eğrilik bağıntısının elde edilmesi.

### 4.3.3 Kesitlere plastik mafsal özelliğinin atanması

SAP2000 programında doğrusal elastik olmayan “nonlinear” analiz için, kullanılan sonlu eleman modeline göre farklı veri giriş seçenekleri bulunmaktadır. Çubuk elemanlara plastik mafsallar ve katmanlı kabuk elemanlara fiber lifler

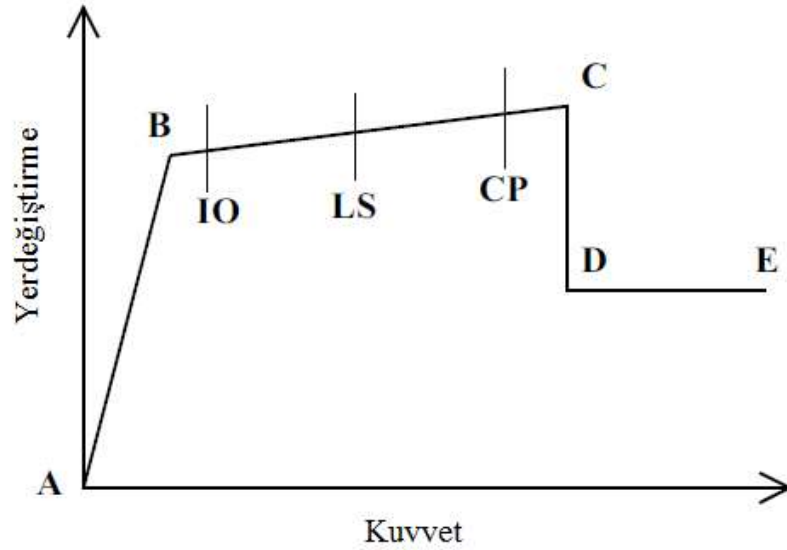
tanımlanabilmektedir. Kabuk eleman kullanılarak model yapılmak istendiğinde katmanlı kabuk elamanlar seçilerek, katmanlara donatı oranı, kullanılacak malzeme ve fiber liflere doğrusal elastik olmayan davranışın istendiği yön tanımı ile modelleme yapılabilmektedir. Burada katmanlı kabuk elemanlara lokal aksları belirtilerek  $\sigma_{11}-\varepsilon_{11}$ ,  $\sigma_{22}-\varepsilon_{22}$  ve  $\sigma_{33}-\varepsilon_{33}$  yönlerinde doğrusal elastik olmayan davranış tanımlanabilmektedir. Fiber P-M2-M3 mafsallarında her materyalin kendine ait alanında gerilme-şekildeğiştirme davranışı incelenmektedir. Çubuk elemanlarda fiber lifler ile  $\sigma_{11}-\varepsilon_{11}$  çubuk eleman lokal aks takımında 1 yönünde doğrusal elastik olmayan davranış tanımlanarak aksel gerilmelerin her lif alanında hesaplanarak tümleştirilmesi ile P, M2 ve M3 değerleri elde edilir. Ayrıca bu malzeme noktalarını bağlayan düzlem kesitlerin düzlem kaldığı kabul edilmektedir. Fiber plastik mafsallar programın sunduğu en gerçekçi plastik mafsal olmakla birlikte analiz süresi ve bilgisayar hafızasında kapladığı alan açısından en üst düzeyde olmaktadır. Fiber P-M2-M3 mafsalları kullanıcı tanımlı ya da program tarafından otomatik olarak atanabilmektedir. Çubuk elemanlarda fiber plastik mafsal atandığında kesme davranışı sadece doğrusal elastik olarak incelenebilmektedir. Ayrıca çubuk elemanlara doğrusal elastik olmayan davranışın incelenmek istendiği yöne göre kuvvet ve moment tipi akma yüzeyleri üzerinden moment-eğrilik bağıntılarının hesaplandığı farklı plastik mafsallar atanabilmektedir. Plastik mafsallar program tarafından otomatik olarak atabileceği gibi kullanıcı tarafından da oluşturulabilir.

SAP2000 çubuk sonlu eleman modelinde FEMA-356 ve ASCE 41-13 yönetmelik şartlarına uygun olacak şekilde, kesit geometri ve malzeme özelliklerine bağlı olarak otomatik plastik mafsal atanabilmektedir. Kullanıcı tanımlı olarak P-M2-M3 mafsalı girilirken “Section Designer” ile hesaplanan bağıntılar programın talep ettiği şekilde tanımlanmalıdır. Burada moment-dönme ya da moment-eğrilik sekmesi seçilerek mafsal tanımlanmaktadır. Moment-eğrilik seçeneği seçilirse plastik mafsal boyuda belirtilmelidir. Her iki yöntemde de “Scale Factor, (SF)” akma durumundaki dönme ya da eğrilik katsayılarına oranlı olarak veri girişi yapılmaktadır. Plastik deformasyon eğrisi A,B,C,D,E performans noktaları ile tanımlanmaktadır. Simetrik ya da pozitif ve negatif yönlerde farklı olarak “Symmetry Condition” sekmesinden tanımlanabilir. Bu noktaların temsil ettiği durumlar aşağıda detaylı bir şekilde açıklanmıştır [10].

- A noktası her zaman orjini temsil eder.

- B akma durumunu temsil etmektedir. Bu noktaya kadar plastik şekildeğiştirme oluşmamaktadır.
- C noktası nihai (kopma) kapasitesini ifade etmektedir.
- D noktası artakalan kapasiteyi temsil etmektedir.
- E noktası ise güç tükenmesi durumunu ifade etmektedir.

Şekildeğiştirmeye göre değerlendirme yaparken TBDY 2016 taslağında kesit hasar sınırları, programda şekildeğiştirme sınırları “IO (immediate occupancy), LS (life safety), CP (collapse prevention)” olarak girilerek inceleme yapılmaktadır, Şekil 4.20.



Aynı tipteki eğri moment-dönme içinde kullanılmaktadır.

**Şekil 4.20** : SAP2000 kesit hasar sınırları.

Kirişler aksenal kuvvet altında olmadığı için M3 mafsali kullanılırken, düşey taşıyıcı elemanlarda P-M2-M3 mafsali kullanılmalıdır ve bu sebeple akma yüzeyleride girilmelidir. Düşey yüklerin katlarda gruplanması ile akma yüzeylerine ait moment-dönme bağıntıları girilerek plastik mafsali oluşturulmuş olur.”SF” katsayı değeri 1 olarak girilerek elde edilen değerler doğrudan kullanılmıştır. P-M2-M3 mafsalları lokal eksen takımı üzerinden oluşturulduğundan aksenal kuvvetler negatif olarak girilmiştir. M2 ve M3 momentleri ise kesit geometrik özellikleri çift simetrik olduğu için programda “Symmetry Condition > Doubly Symmetric” seçildiğinden pozitif ve negatif olmasının önemi yoktur. Şekil 4.21-28’de plastik mafsali veri girişi ile ilgili detaylı görseller verilmiştir.

Frame Hinge Property Data

Hinge Property Name  
S01\_2-11

Hinge Type  
 Force Controlled (Brittle)  
 Deformation Controlled (Ductile)  
Interacting P-M2-M3

Modify/Show Hinge Property...

OK Cancel

Şekil 4.21 : S01 perdesi plastik mafsal tanımı.

Frame Hinge Property Data for S01\_2-11 - Interacting P-M2-M3

Hinge Specification Type  
 Moment - Rotation  
 Moment - Curvature  
Hinge Length  
 Relative Length

Scale Factor for Rotation (SF)  
 SF is Yield Rotation per ASCE 41-13 Eqn. 9-2 (Steel Objects Only)  
 User SF 1.

Load Carrying Capacity Beyond Point E  
 Drops To Zero  Is Extrapolated

Symmetry Condition  
 Moment Rotation Dependence is Circular  
 Moment Rotation Dependence is Doubly Symmetric about M2 and M3  
 Moment Rotation Dependence has No Symmetry

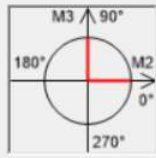
Requirements for Specified Symmetry Condition  
1 Specify curves at angles of 0° and 90°.  
2 If desired, specify additional intermediate curves where: 0° < curve angle < 90°.

Axial Forces for Moment Rotation Curves  
Number of Axial Forces 5  
Modify/Show Axial Force Values...

Curve Angles for Moment Rotation Curves  
Number of Angles 2  
Modify/Show Angles...

Modify/Show Moment Rotation Curve Data...  
Modify/Show P-M2-M3 Interaction Surface Data...

OK Cancel



Şekil 4.22 : S01 perdesi plastik mafsal veri girişi.

✖ Axial Forces for S01\_2-11 - Interacting P-M2-M3 ✖

Edit

This Number of Axial Force Values Is Specified

Number of Axial Forces

Axial Force Data

	Axial Force
1	-823.
2	-666.
3	-503.
4	-337.
5	-169.

KN, m, C

Order Rows

OK

Cancel

Şekil 4.23 : S01 perdesi plastik mafsal düşey yük veri girişi.

✖ Angles for S01\_2-11 - Interacting P-M2-M3 ✖

Edit

This Number of Angles Is Specified

Number of Angles

Angle Data

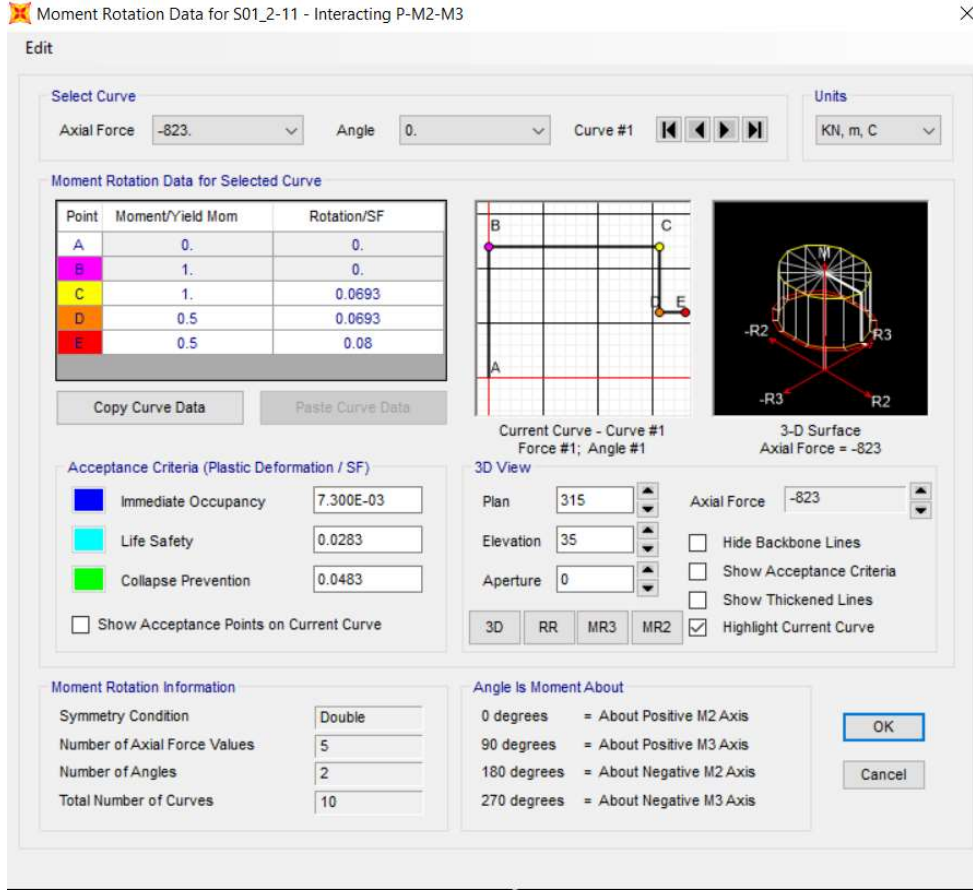
	Angle in Degrees
1	0.
2	90.

Order Rows

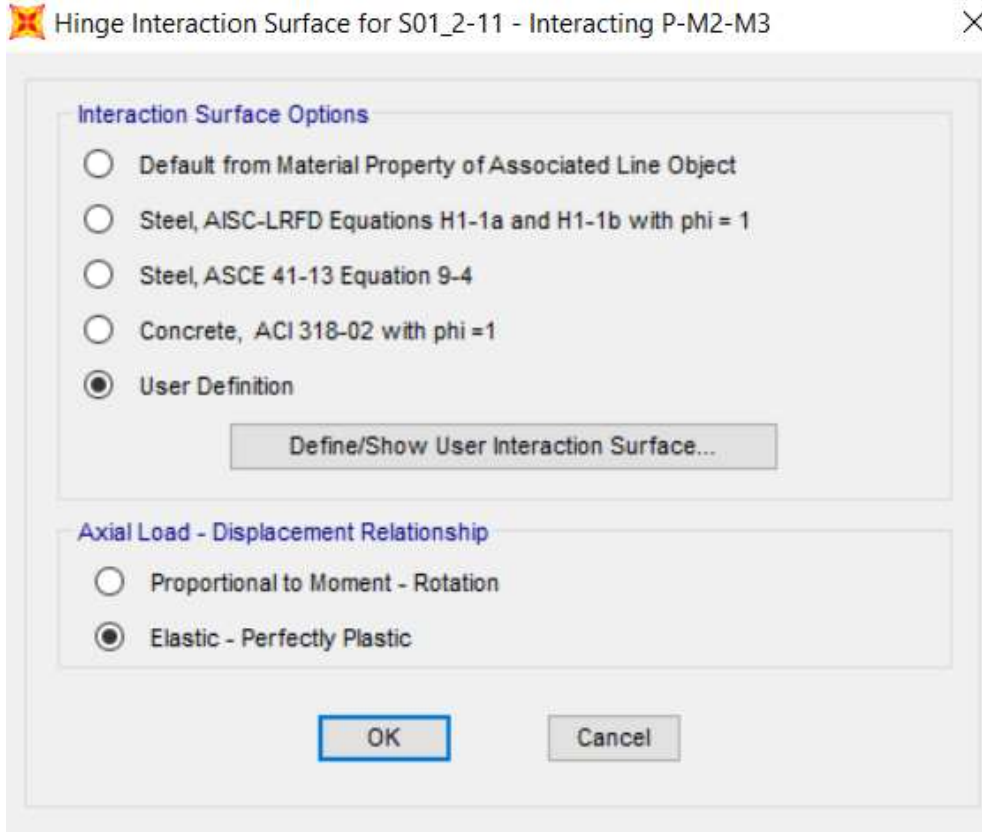
OK

Cancel

Şekil 4.24 : S01 perdesi plastik mafsal moment-dönme eğrilerinin açıları.



Şekil 4.25 : S01 perdesi plastik mafsal moment-dönme veri girişi.



Şekil 4.26 : S01 perdesi plastik mafsal akma yüzeyleri seçim ekranı.

#### P-M2-M3 Interaction Surface Definition for S01\_2-11

Edit

**User Interaction Surface Options**

Circular Symmetry  
 Doubly Symmetric about M2 and M3  
 No Symmetry

Number of Curves: 3  
Number of Points on Each Curve: 11

**Scale Factors (Same for All Curves)**

P: 1. M2: 1. M3: 1.  
 Include Scale Factors in Plots: KN, m, C

**First and Last Points (Same for All Curves)**

Point	P	M2	M3
1	-11562.	0	0
11	1346.	0	0

**Interaction Surface Requirements - Doubly Symmetric**

1. A minimum of 3 P-M2-M3 curves are specified.
2. P (tension positive) increases monotonically.
3.  $M2 = M3 = 0$  at the first and last points.
4. First curve has all  $M3 = 0$  and all  $M2 \geq 0$ .
5. Then one or more curves has all  $M2 > 0$  and all  $M3 > 0$ .
6. Last curve has all  $M2 = 0$  and all  $M3 > 0$ .
7. As the curve number increases, a specific point number should have an increasing  $M3$  and a decreasing  $M2$ .
8. Each curve must be convex and the interaction surface as a whole must be convex (no dimples in surface).

**Interaction Curve Data**

Current Curve: 1

Point	P	M2	M3
1	-11562.	0.	0.
2	-11500.	170.3487	0.
3	-10888.	274.7637	0.
4	-9249.	351.3561	0.
5	-7546.	399.4005	0.
6	-5729.	422.6059	0.
7	-4573.	397.8286	0.
8	-3323.	345.8598	0.
9	-1976.	266.4264	0.
10	-273.6964	140.1981	0.
11	1346.	0.	0.

**3D Plot**

Plan: 315  
Elevation: 25  
Aperture: 0

Show All Lines  
 Hide P Direction Lines  
 Hide M2-M3 Lines  
 Highlight Current Curve

3D MM PM3 PM2

OK Cancel

Şekil 4.27 : S01 perdesi plastik mafsall akma yüzeyleri veri girişi.

Bu tez kapsamında ilk önce P-M2-M3 ve M3 plastik mafsalları atanarak incelemeler yapılmıştır. Fakat betonarme perde duvar kesitlerinin çok uzun olması dolayısı ile oluşturulan plastik mafsallar bu kesitlerin davranışını doğru bir biçimde yakalayamamıştır. Bu sebeple kesitlere fiber P-M2-M3 mafsalları atanmıştır. Mafsallar program tarafından otomatik olarak atanmıştır.

#### Frame Hinge Property Data for fiberPM2M3 - Fiber P-M2-M3

**Fiber Definition Options**

Default From Section  
 User Defined

**Hinge Length**

Hinge Length: 0.5  
 Relative Length

Define/Show Fibers...

OK Cancel

Şekil 4.28 : Fiber P-M2-M3 mafsallı.

#### 4.4 Statik İtme Çözümü

İtme yöntemleri zaman tanım alanında yapılan çözümlmeye göre daha kısa sürmesi ve yapının kapasitesi hakkında bilgi vermesi açısından performansa dayalı değerlendirme yapılırken sıkça kullanılan yöntemlerden biridir.

Statik itme analizinin amacı; statik elastik ötesi analiz ile tasarım depremlerinde beklenen yapısal performansa ait dayanım ve deplasman taleplerini hesaplamak ve bu talepleri mevcut performans düzeyleri ile karşılaştırmaktır. Statik itme analizi çok özenli bir teorik temele sahip olmamakla birlikte, yapının tepkisinin eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemle alakalı olacağı varsayımına dayanır. Bu yapının tepkisinin tek mod şekli tarafından kontrol edildiği ve tepki boyunca sabit olduğunu ima etmektedir. Açıkça, iki varsayımda doğru olmamakla birlikte çeşitli araştırmacıların yaptığı pilot çalışmalar yapılan kabullerin tepki spektrumunda tek modun hakim olduğu durumlarda çok serbestlik dereceli sistemlerin en büyük tepki spektrumları için iyi tahminler olduğunu belirtmektedir. Statik itme analizinde çok serbestlik dereceli sistemler için hedef yerdeğiştirme tahmini eşdeğer tek serbest dereceli sistemin alanına şekil vektörü ile dönüştürülebilir. Bu çözüm yönteminin doğası gereği çok serbestlik dereceli sistemlerin yerdeğiştirmesi yüksek modların katkısı olmadan tek şekil vektörü ile kontrol edilir. Parametrik çalışmalar çerçeve ve perde sistemlerin ilk modunun 2 saniyeden kısa olduğu durumlarda bu kabullerin oldukça hassas ve tedbirli (çok serbestlik dereceli sistemler için olduğundan fazla) tarafta kaldığını göstermektedir [11].

Statik itme çözümlemesini talep tahmini açısından elastik ve dinamik analizlere göre daha alakalı sonuç verdiğiinden kullanımını savunmak için iyi sebepler vardır. Fakat her durum için genel bir çözüm olduğu söylenemez. Statik itme çözümlemesi elastik ötesi dayanım ve deplasman taleplerinin değerlendirmesi ve tasarım yetersizliklerinin ortaya çıkarılması açısından kullanışlı fakat yanılmaz bir çözümlleme değildir. Statik itme çözümlemesi doğası gereği, tahmini olduğu ve statik yüklemeye dayandığının altı çizilmelidir. Bu yüzden dinamik davranışı iyi hassaslıkla temsil edemez. Şiddetli deprem yüklerindeki önemli deformasyon modlarını belirleyemeyebilir ve diğerlerini abartabilir [11].

Ayrıca seçilen yükleme şeklinin belirli modları tetiklerken zemin hareketinden ve yapının doğrusal ötesi dinamik davranışından kaynaklanan ya da yayılan diğerlerini



kaçırabilmeside kısıtlayıcı bir sebeptir. En basit örnek zayıf üst katlı yapılardır. Herhangi bir değişmez yükleme şekli burada elastik ötesi davranışların yoğunlaşmasına ve diğer katlarda oluşmamasına sebebiyet verebilir [11].

Statik itme analizindeki potansiyel problemleri gösteren bir diğer örnekte tek bir duvarla modellenmiş çok katlı duvar taşıyıcı sistemlerdir. Bu yapılarda eğilme dayanımının duvar yüksekliği boyunca sabit olduğu ve kesme dayanımı ve rijitliğinin çok yüksek olduğu için yapının davranışının eğilme tarafından kontrol edildiği kabul edilir. Ayrıca plastik mafsallardan sonra pekleşmeye bağlı dayanım artışlarının olmadığı kabul edilir. Statik itme analizi her makul yükleme şeklinde olacağı üzere, plastik mafsalların yapının taban kısmında oluşacağını tahmin eder. Bu şekilde bir plastik mafsallardan sonra taşıyıcı duvar tabanı etrafında döner ve yanal yükler artamaz hale gelir. Böylece statik itme analizi diğer katlarda plastik mafsalların yayılmasına izin veremez ve tahmin ettiği taban kesme kuvveti bu yanal yükler üzerinden olur. Ayrıca zaman tanım alanında doğrusal elastik ötesi analizlerde eğilmeye bağlı plastikleşme sadece zemin katlarla sınırlı kalmaz [11].

Sabit modlu itme yönteminin yüksek modların etkisini yakalayamaması sebebi ile değişken modlu itme analizi uygulanmaktadır. Bu analizde plastik mafsalların oluşumundan sonra hiperstatik durumu değişen sistemin yeni mod şekline göre itme yüklemesi değişmektedir.

#### **4.4.1 İtme yöntemlerinin uygulanmasına ilişkin koşullar**

İtme yöntemlerinin kullanılabilmesi için aşağıda verilen her iki koşulun sağlanması gerekmektedir.

- Doğrusal elastik olarak ve ek dışmerkezlilik uygulanmamış olarak eşdeğer deprem yöntemine göre yapılan hesaplarda hiçbir katta burulma düzensizliği katsayısı 1.4 değerinden büyük olmayacaktır.
- Hakim (birinci) moda ait kütle katılım oranının en az %70 olması gerekmektedir.

İncelenen yapının Çizelge 4.6'da periyot, doğrultulara göre modal kütle katılım ve benzeri özellikleri verilmiştir. Binanın zayıf doğrultusunda (x doğrultusu) kirişlerin olmaması sebebi ile ilk iki modda kütle katılım oranları %19 ve %49 olarak dağılmıştır. Diğer yönde ise 3. modda %71 katılım sağlanmıştır. Zayıf olduğu

doğrultuda itme yöntemlerinin ilk şartını sağlamamasına rağmen incelemeler bu yönünde yapılmıştır. Statik itme çözümlemesinin burulma düzensizliğinin kontrolü ve ileri kısımlarında kullanılacak olan, yatay elastik tasarım ivme spektrumu statik paftada yazan bilgiler eşliğinde TBDY 2016 taslağına uygun olarak belirlenmiştir.

Yapının Bilecik ili, Bozüyük ilçesinin koordinatları (30.04;39.9) olarak alınmıştır ve bu koordinatlara ait harita spektral ivme katsayıları belirlenmiştir, Çizelge 4.7.

**Çizelge 4.7 : Spektral ivme katsayıları.**

S <sub>s</sub> , 50 yılda aşılma olasılığı			S <sub>1</sub> , 50 yılda aşılma olasılığı		
50%	10%	2%	50%	10%	2%
0.26	0.55	1	0.1	0.21	0.37

Yerel zemin etki katsayılarının seçiminde DBYBHY 2007’de zemin sınıfların sayısı 4 iken, TBDY 2016 taslağında 6 adettir ve bu değişim en fazla Z2’nin olduğu bölgeyi etkilemiştir. Statik paftada Z2 olan zemin sınıfına yeni yönetmelikte hangi bölgenin daha iyi karşılık olacağını bulmak için Z1, ZB ve ZC ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucu ZC zemin sınıfı seçilmiştir. Zemin sınıfı katsayılarının belirlenmesine ilişkin Çizelge 4.8 ve 4.9 ve yatay elastik tasarım spektrumlarının karşılaştırılmasına ilişkin Şekil 4.29’da verilmiştir.

**Çizelge 4.8 : Kısa periyod bölgesi için yerel zemin etki katsayıları.**

Yerel Zemin Sınıfı	Kısa periyod bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı F <sub>s</sub>					
	S <sub>s</sub> ≤ 0.25	S <sub>s</sub> ≤ 0.50	S <sub>s</sub> ≤ 0.75	S <sub>s</sub> ≤ 1.00	S <sub>s</sub> ≤ 1.25	S <sub>s</sub> ≤ 1.50
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ZC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
ZD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
ZE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır.					

**Çizelge 4.9 : 1.0 saniye periyod için yerel zemin etki katsayıları.**

Yerel Zemin Sınıfı	1.0 saniye periyod bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı F <sub>s</sub>					
	S <sub>1</sub> ≤ 0.10	S <sub>1</sub> ≤ 0.20	S <sub>1</sub> ≤ 0.30	S <sub>1</sub> ≤ 0.40	S <sub>1</sub> ≤ 0.50	S <sub>1</sub> ≤ 0.60
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
ZD	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7
ZE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2.0
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır.					

TBDY 2016 taslağına göre yatay elastik tasarım spektrumları yerçekimi ivmesi [g] cinsinden aşağıda verilen denklem 4.6 – 4.12 ile hesaplanmaktadır.

$$S_{ae}(T) = (0.4 + 0.6 \frac{T}{T_A}) S_{DS} \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad (4.6)$$

$$S_{ae}(T) = S_{DS} \quad (T_A \leq T \leq T_B) \quad (4.7)$$

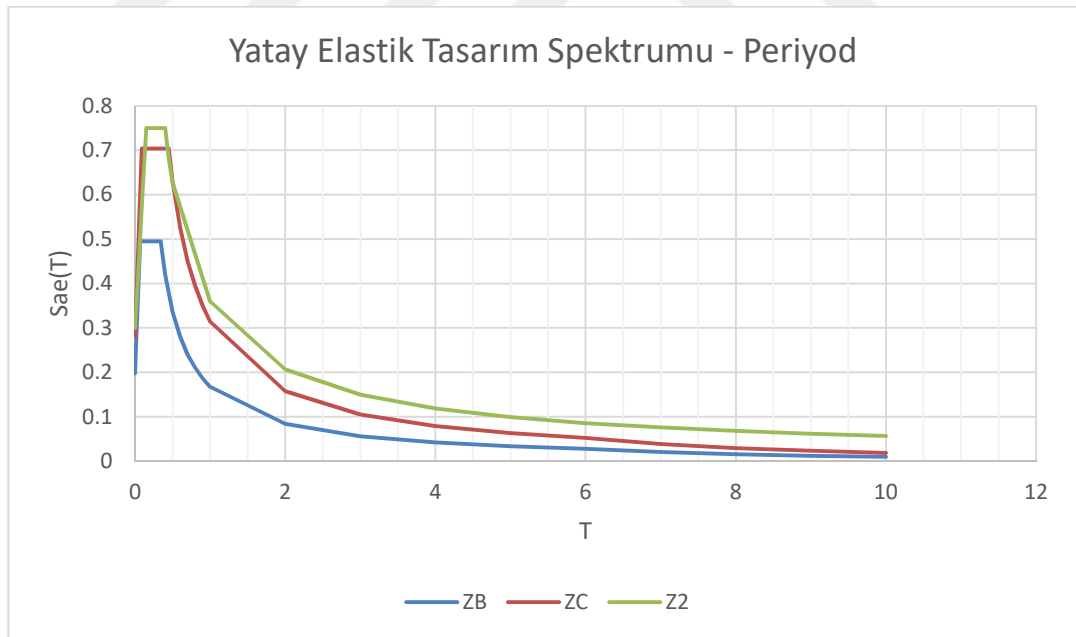
$$S_{ae}(T) = \frac{S_{DS}}{T} \quad (T_B \leq T \leq T_L) \quad (4.8)$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \quad (T_L \leq T) \quad (4.9)$$

$$T_A = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (4.10)$$

$$T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (4.11)$$

$$T_L = 6 \text{ s} \quad (4.12)$$



**Şekil 4.29** : Spektral ivme – periyod grafiklerinin karşılaştırılması.

İtme koşullarının uygulanmasında kullanılan eşdeğer deprem yükünün katlara göre dağılımı için Çizelge 4.10 verilmiştir ve ikinci şartının kontrolü için Çizelge 4.11, Çizelge 4.12 verilmiştir. Bu yükler ağırlık merkezine bir düğüm noktası atanarak bu noktanın matematiksel olarak diğer düğüm noktaları ile birlikte rijit diyafram olarak

davranacak şekilde bağlanmıştır. Eşdeğer deprem yükünün TBDY 2016 taslağına göre hesaplanmasında kullanılan denklemler aşağıda verilmiştir.  $S_{aR}(T_p^{(X)})$  binanın hakim titreşim periyodu için hesaplanan azaltılmış tasarım spektral ivmesidir.

$$V_{tE}^{(X)} = m_t S_{aR}(T_p^{(X)}) \geq 0.04 m_t I S_{DS} g \quad (4.13)$$

$$S_{aR}(T) = \frac{S_{ae}(T)}{R_a(T)} \quad (4.14)$$

**Çizelge 4.10 :** Eşdeğer deprem yükünün katlara dağılımı.

Kat	Wi (kN)	Hi (m)	WiHi (kNm)	WiHi/∑WiHi	Fi (kN)	ΔFn	S <sub>aR</sub>	Vi (kN)
11	3805	34.92	132871	0.15	3835	2466	1050	6301
10	3805	32.01	121798	0.14	3516		586	9817
9	3805	29.10	110726	0.13	3196		533	13013
8	3805	26.19	99653	0.12	2877		479	15890
7	3805	23.28	88580	0.10	2557		426	18447
6	3805	20.37	77508	0.09	2237		373	20684
5	3805	17.46	66435	0.08	1918		320	22602
4	3805	14.55	55363	0.06	1598		266	24200
3	3805	11.64	44290	0.05	1278		213	25478
2	3805	8.73	33218	0.04	959		160	26437
1	3805	5.82	22145	0.03	639		107	27076
Zemin	3805	2.91	11073	0.01	320		53	27396

**Çizelge 4.11 :** X Doğrultusu burulma düzensizliğinin kontrolü.

KAT	X yönü ortalama yerdeğiştirme (mm)	X yönü en büyük yerdeğiştirme (mm)	Burulma Düzensizliği Katsayısı
Zemin kat	0.67	0.67	1.00
1	0.35	0.35	1.00
2	1.13	1.14	1.00
3	7.05	7.05	1.00
4	3.43	3.43	1.00
5	4.78	4.78	1.00
6	6.19	6.19	1.00
7	7.61	7.61	1.00
8	9.00	9.00	1.00
9	10.35	10.35	1.00
10	11.62	11.62	1.00
11	12.80	12.80	1.00

**Çizelge 4.12 : Y Doğrultusu burulma düzensizliğinin kontrolü.**

KAT	Y yönü ortalama yerdeğiştirme (mm)	Y yönü en büyük yerdeğiştirme (mm)	Burulma Düzensizliği Katsayısı
Zemin kat	0.35	0.35	1.00
1	1.13	1.14	1.00
2	2.19	2.19	1.00
3	3.43	3.43	1.00
4	4.78	4.78	1.00
5	6.19	6.19	1.00
6	7.61	7.61	1.00
7	9.00	9.00	1.00
8	10.35	10.35	1.00
9	11.62	11.62	1.00
10	12.80	12.80	1.00
11	13.89	13.89	1.00

#### 4.4.2 Sabit modlu itme yönteminin uygulanması

Önceki kısımlarda teorik olarak anlatılan yöntemin uygulaması aşağıda verilmiştir.

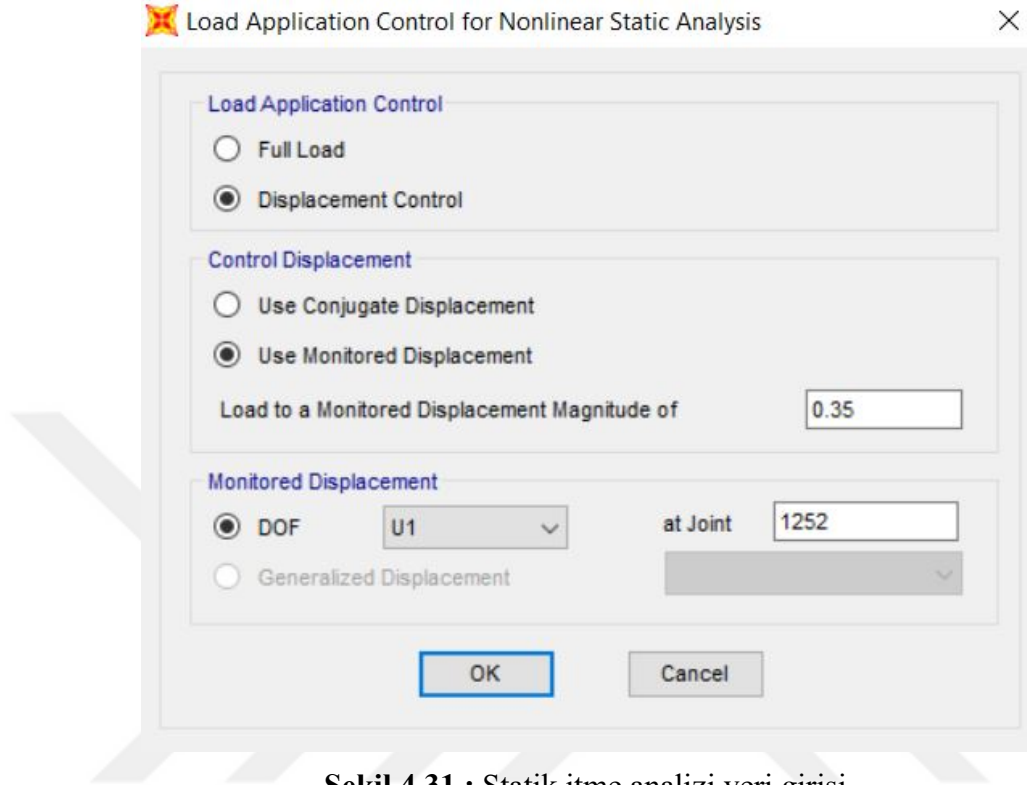
- Yapının üç boyutlu modeli oluşturulur.
- Plastik davranışın beklendiği bölgelere plastik mafsallar tanımlanır.
- Binaya düşey yüklemeleri yapılır.
- Binanın doğal titreşim modları belirlenir ve buna uygun yatay yükleme belirlenir.
- Düşey yüklerin elastik ötesi çözümü yapılarak başlangıç adımı olarak girilir.
- Yapının düşey ve artan yatay yükler altında her adımı kaydedilerek tepe yer değiştirme, taban kesme değerleri elde edilir.
- Oluşan plastik mafsallardan sonra rijitlik matrisi yenilenerek çözüme devam edilir.
- Düşey ve artan yatay yükler altında yapının belirlenen yerdeğiştirmeye ya da mekanizma durumuna ulaşılan kadar çözümü yapılır.
- Elde edilen taban kesme kuvvetleri ile tepe yerdeğiştirmeleri ile itme eğrisi elde edilir.

Sabit modlu statik itme çözümlemesinin SAP2000 programında uygulanışında yük tiplerinin seçiminde “Mode, Accel, Load Pattern” olarak üç seçenek bulunmaktadır. Bu seçeneklerden 1.’sinde mod şekillerinin açılmal frekanslarının karesinin düğüm noktasında bulunan kütleyle çarpımı ile oranlı bir yatay yük atanmaktadır. 2. seçenekte her düğüm noktasının kütlesiyle uyumlu bir ivmelenme verilmektedir. Son seçenekte ise keyfi bir yük şekli girilebilir. İlk seçenekteki ivme yükünün hangi değişkenlere göre verildiği ile ilgili SAP2000 programında yeterli bilgi verilmediğinden diğer iki yöntem kullanılarak incelemeler yapılmıştır. Ayrıca çözümler yerdeğiştirme kontrollü olarak gerçekleştirilmiştir. Konu ile ilgili Şekil 4.30, 4.31’de verilmiştir.

Şekil 4.30 : Statik itme analizi veri girişi.

SAP2000 programında yük şekli kullanıcı tarafından atanacaksa önceden buna uygun bir yük durumuna istenen yük atamaları yapılmalıdır. İstenen yük tipi seçildikten sonra “Load Application > Load Application Control > Displacement Control” seçilir. Bunun bir alt sekmesi olan “Control Displacement > Use Monitored Displacement” incelenmek istenen hedef deplasman,yön ve düğüm noktası girilerek sonlandırılır. “ Use Conjugate Displacement” sekmesinin seçilmesi durumunda hesaplanan eşlenik yerdeğiştirme yapıdaki bütün noktaların ağırlıklı ortalamasıdır. Diğer bir deyişle uygulanan yüklerin yaptığı işin bir ölçüsüdür. Bu seçenek

kullanılırken seçilen yerdeğiştirmenin yükleme boyunca monotonik olarak artmasına dikkat edilmelidir. Bu seçenek yakınsama hatalarının oluştuğu durumlarda kullanılabilir.



şekil 4.31 : Statik itme analizi veri girişi.

Yapının hakim periyoduna göre sabit bir yük dağılımı ile taban kesmelerinin tepe yerdeğiştirmesine bağlı değişimini gösteren itme eğrisi elde edilir. Bu itme eğrisine koordinat dönüşümü uygulanarak koordinatları modal yerdeğiştirme ve modal ivme olan modal kapasite diyagramı elde edilir.

$$a_1^{(X,k)} = \frac{V_{tx1}^{(X,k)}}{m_{tx1}^{(X,k)}} \quad (4.15)$$

$$d_1^{(X,k)} = \frac{u_{Nx1}^{(X,k)}}{\Phi_{Nx1}^{(1)} \Gamma_1^{(X,1)}} \quad (4.16)$$

Spektral ivme-periyod grafiği spektral ivme-spektral yerdeğiştirme grafiğine dönüştürülür. Sistemin modal yerdeğiştirme talebi, doğrusal olmayan spektral yerdeğiştirmeye eşit alınmaktadır. Sistemin periyoduna göre spektral yerdeğiştirme oranı belirlenerek doğrusal olmayan spektral yerdeğiştirme bulunur. Son olarak modal yerdeğiştirme talebi tepe yerdeğiştirme istemine dönüştürülür.

$$S_{de}(T_1) = \frac{S_{ae}(T_1)}{w_1^2} \quad (4.17)$$

$$w = \frac{2\pi}{T} \quad (4.18)$$

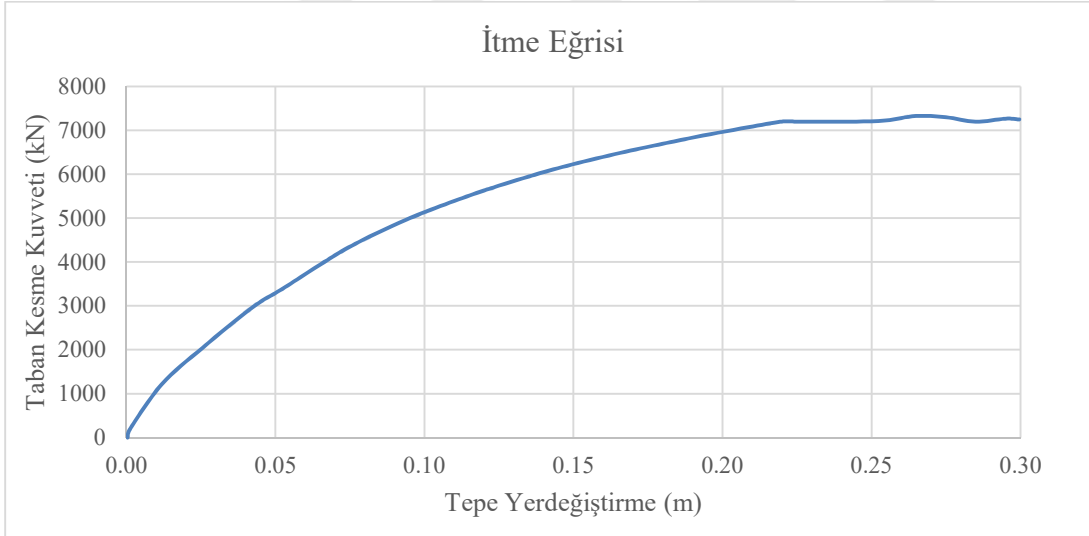
$$d_{1,max}^{(X)} = S_{di}(T_1) \quad (4.19)$$

$$S_{di}(T_1) = C_R S_{de}(T_1) \quad (4.20)$$

$$C_R = 1 \quad T_1 > T_B \quad (4.21a)$$

$$C_R = \frac{1 + (R_y - 1) \frac{T_B}{T_1}}{R_y} \quad T_1 \leq T_B \quad (4.21b)$$

Binanın X doğrultusunda 1. moduna ait itme eğrisi, ve hedef yerdeğiştirme talebinin belirlenmesi sırası ile Şekil 4.32 ve Şekil 4.33’de verilmiştir.



Şekil 4.32 : X doğrultusu 1. moda ait statik itme eğrisi.

Statik itme eğrisin modal kapasite eğrisine dönüştürülme hesabında kullanılan değişkenler aşağıda verilmiştir.

$$\Gamma_1(X,1) = 29.2$$

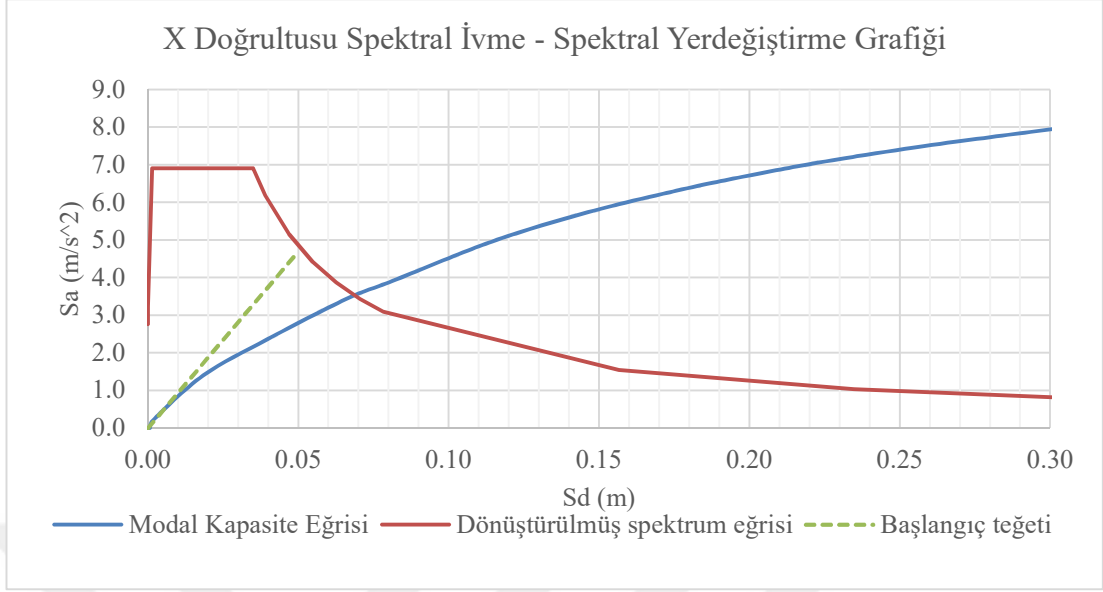
$$\Phi_{N \times 1}(1) = 0.022$$

$$M = 4654$$

$$\text{Modal kütle katlılık oranı} = 0.186$$



$$M_{ix1}^{(X,1)} = 866$$

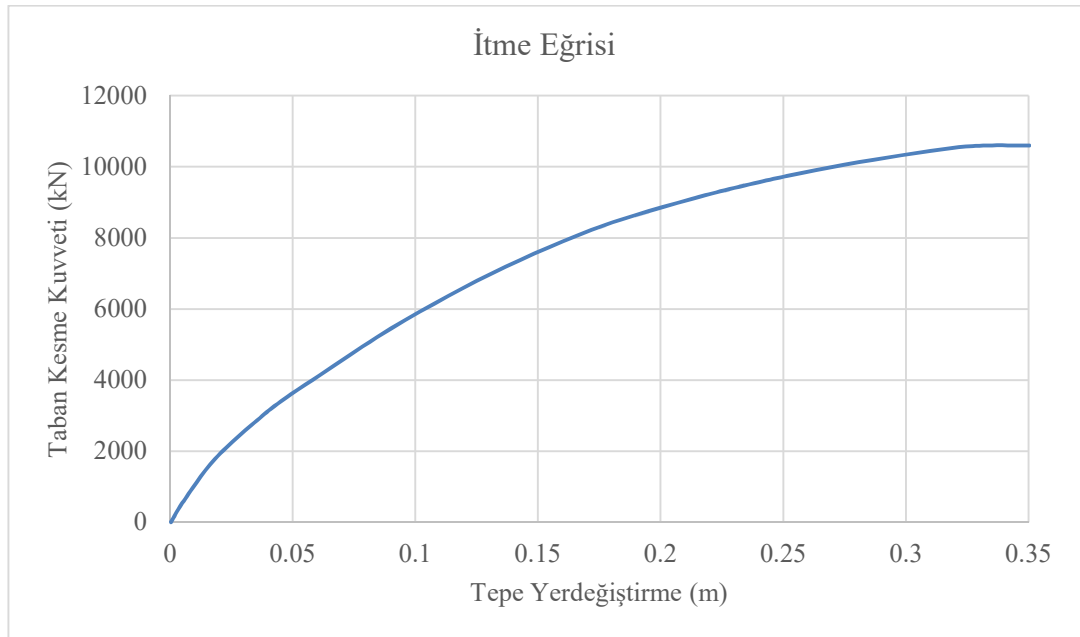


**Şekil 4.33** : X doğrultusu 1. moda ait hedef yerdeğiştirmenin belirlenmesi.

Yapının periyodu  $T_B$ 'den büyük olduğu için spektral yerdeğiştirme oranı bir ( $C_R = 1$ ) olarak seçilir ve buna bağlı olarak denklem 4.16'da yerine konularak;

$$S_{d1} = 0.05 \text{ m} \rightarrow u_{Nx1} = 0.05 * 29.2 * 0.022 = 0.032 \text{ m} \text{ olarak belirlenir.}$$

Binanın X doğrultusunda 2. moduna ait itme eğrisi, ve hedef yerdeğiştirme talebinin belirlenmesi sırası ile Şekil 4.34 ve Şekil 4.35'da verilmiştir.



**Şekil 4.34** : X doğrultusu 2. moda ait statik itme eğrisi.

Statik itme eğrisin modal kapasite eğrisine dönüştürülme hesabında kullanılan değişkenler aşağıda verilmiştir.

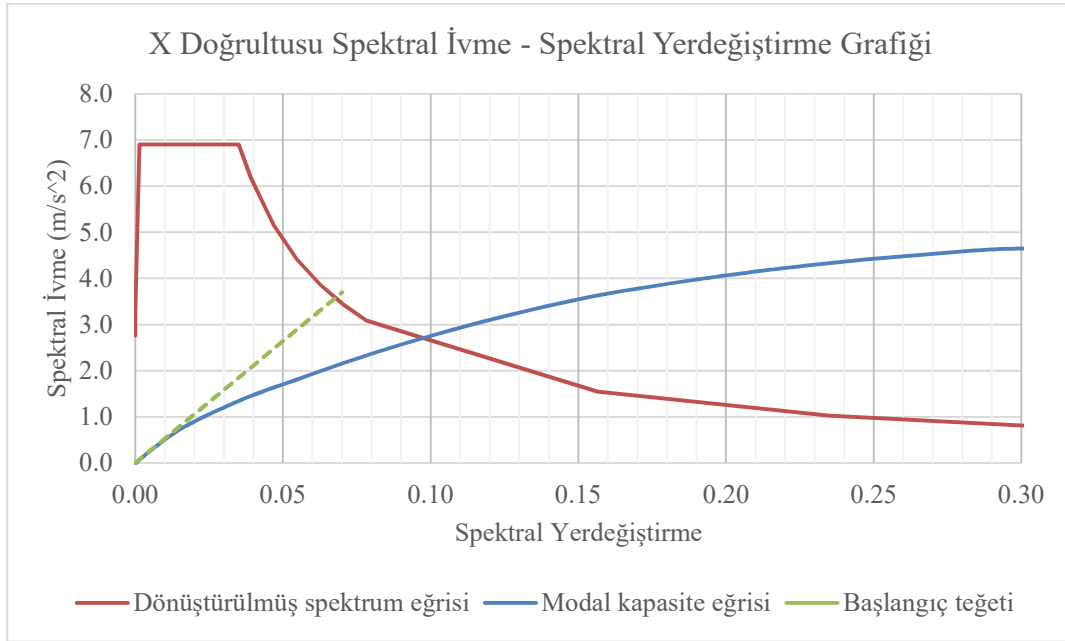
$$\Gamma_1^{(X,1)} = 47.3$$

$$\Phi_{N_{x1}}^{(1)} = 0.024$$

$$M = 4654$$

$$\text{Modal kütle katlım oranı} = 0.49$$

$$M_{tx1}^{(X,1)} = 2281$$



**Şekil 4.35 :** X doğrultusu 2. moda ait hedef yerdeğiştirmenin belirlenmesi.

Yapının periyodu  $T_B$ 'den büyük olduğu için spektral yerdeğiştirme oranı bir ( $C_R = 1$ ) olarak seçilir ve buna bağlı olarak denklem 4.16'da yerine konularak;

$$S_{d1} = 0.07 \text{ m} \rightarrow u_{N_{x1}} = 0.07 * 47.3 * 0.024 = 0.08 \text{ m} \text{ olarak belirlenir.}$$

Binanın Y doğrultusunda 3. moduna ait itme eğrisi, ve hedef yerdeğiştirme talebinin belirlenmesi sırası ile Şekil 4.36 ve Şekil 4.37'de verilmiştir.

Statik itme eğrisin modal kapasite eğrisine dönüştürülme hesabı aşağıda verilmiştir.

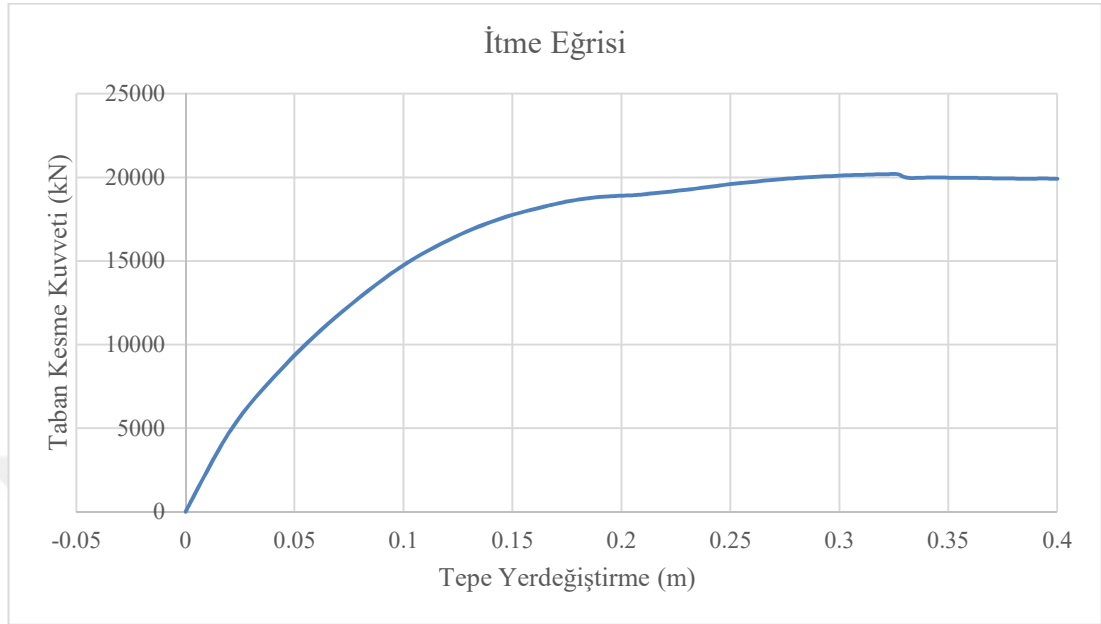
$$\Gamma_1^{(X,1)} = 56.93$$

$$\Phi_{N_{x1}}^{(1)} = 0.025$$

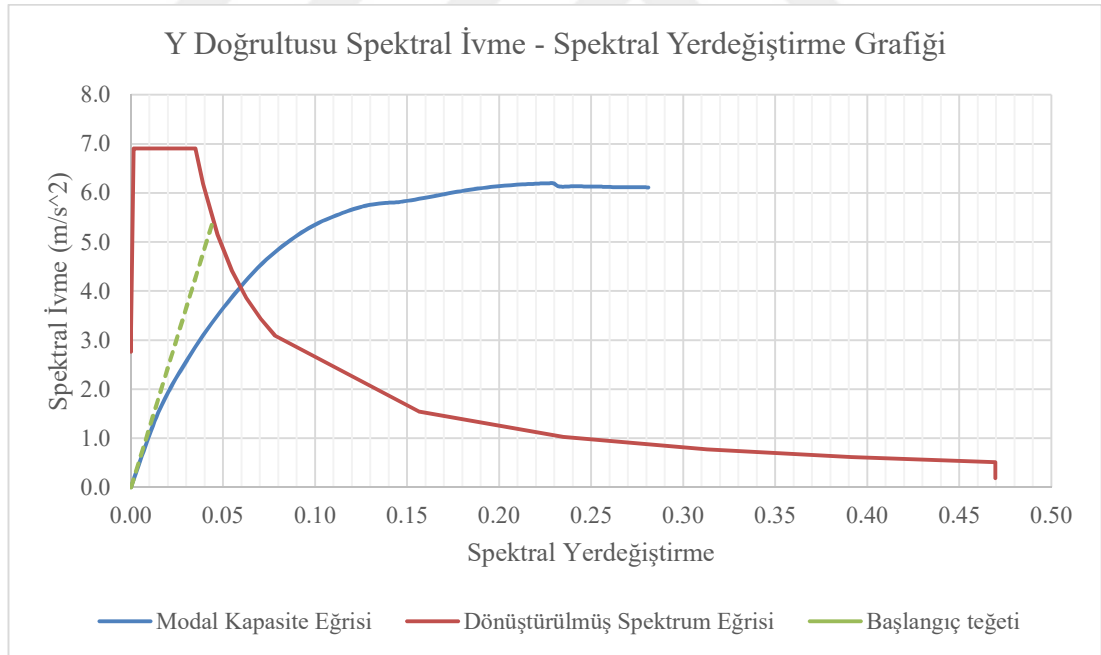
$$M = 4654$$

Modal kütle katlılık oranı = 0.70

$$M_{tx1}^{(X,1)} = 3258$$



Şekil 4.36 : Y doğrultusu 3. moda ait statik itme eğrisi.

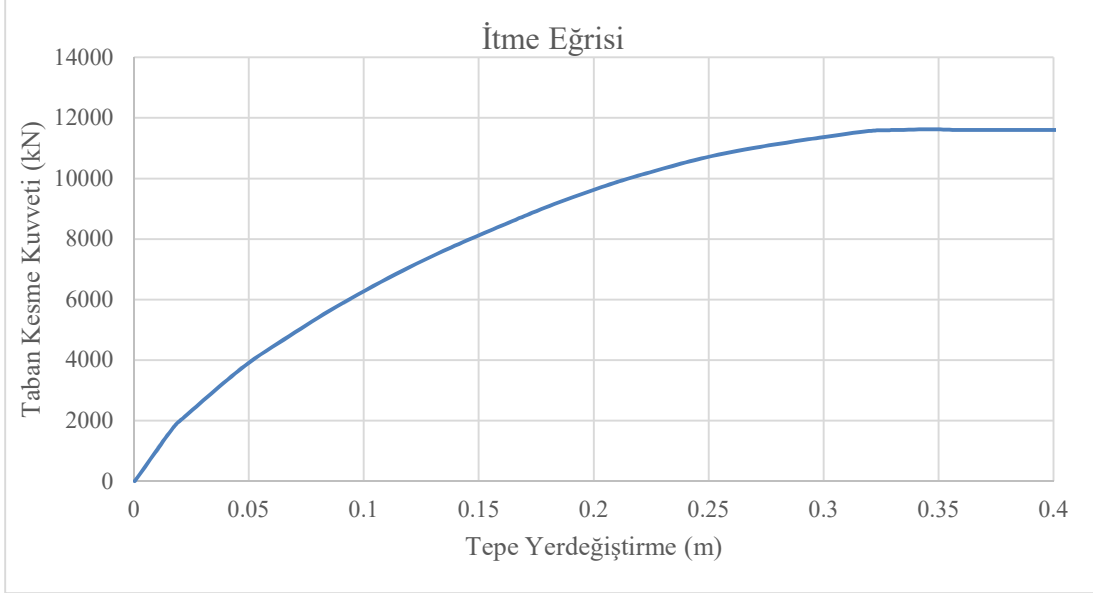


Şekil 4.37 : Y doğrultusu 3. moda ait hedef yerdeğiştirmenin belirlenmesi.

Yapının periyodu  $T_B$ 'den büyük olduğu için spektral yerdeğiştirme oranı bir ( $C_R = 1$ ) olarak seçilir ve buna bağlı olarak denklem 4.16'da yerine konularak;

$$S_{d1} = 0.04 \text{ m} \rightarrow u_{Nx1} = 0.04 * 56.93 * 0.025 = 0.06 \text{ m} \text{ olarak belirlenir.}$$

Ayrıca X ve Y doğrultusunda eşdeğer deprem yükü ile itme eğrileri elde edilmiştir. Binanın X doğrultusunda eşdeğer deprem yüküne ait itme eğrisi, ve hedef yerdeğiştirme talebinin belirlenmesi sırası ile Şekil 4.38 ve Şekil 4.39’te verilmiştir.



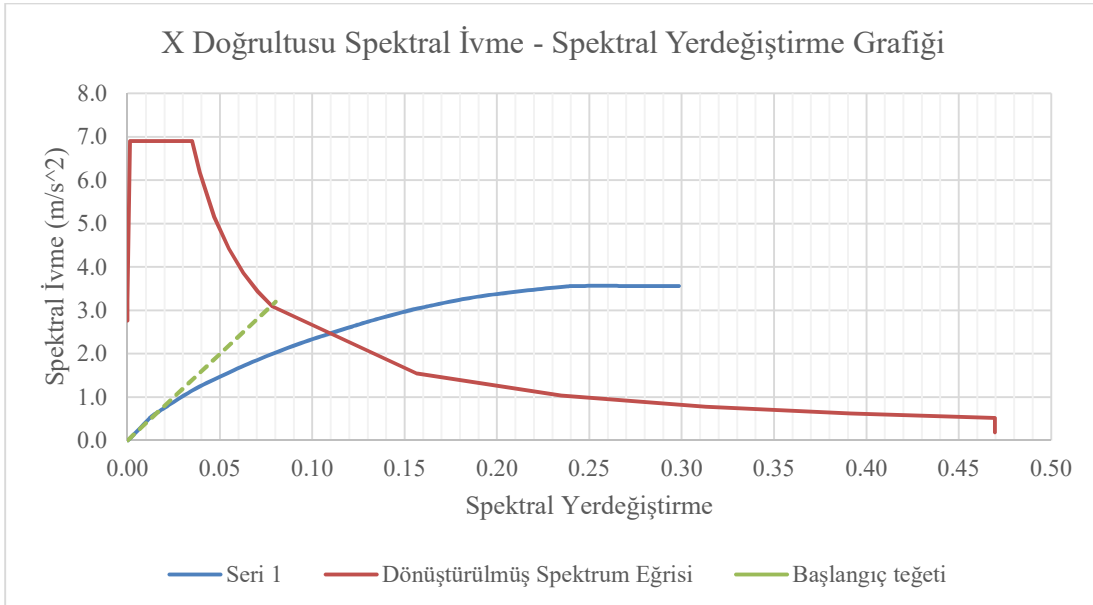
**Şekil 4.38 :** X doğrultusu eşdeğer deprem yüküne ait statik itme eğrisi.

$$\Gamma_1^{(X,1)} = 56$$

Modal kütle katılımlar oranı = 0.70, (kabul edilmiş değer)

$$\Phi_{Nxl}^{(1)} = 0.024$$

$$M_{txl}^{(X,1)} = 3258$$

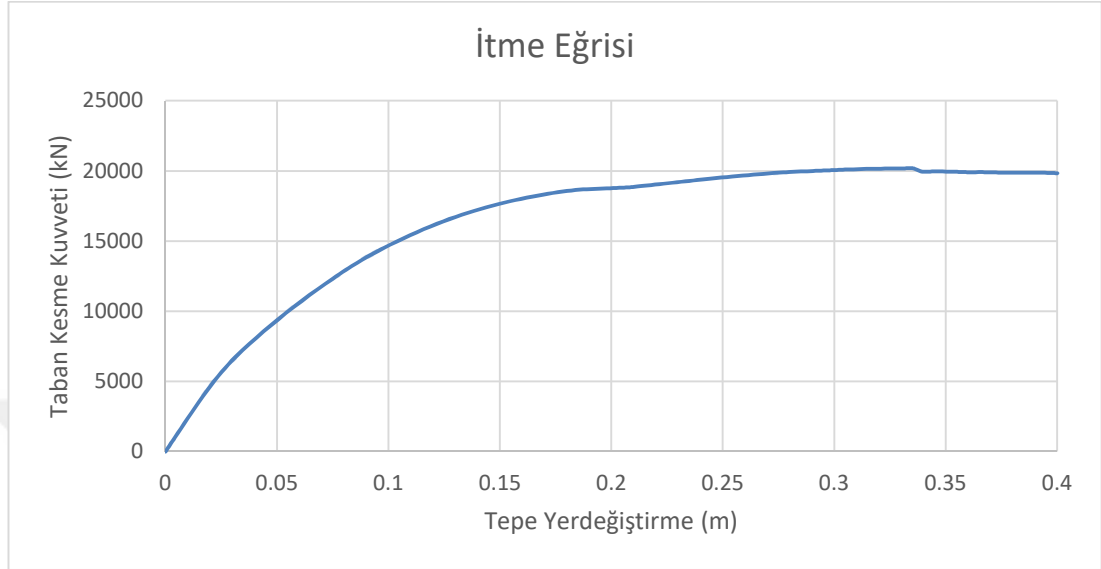


**Şekil 4.39 :** X doğrultusu eşdeğer deprem yüküne ait hedef yerdeğiştirmenin belirlenmesi.

Yapının periyodu  $T_B$ ’den büyük olduğu için spektral yerdeğiştirme oranı bir ( $C_R = 1$ ) olarak seçilir ve buna bağlı olarak denklem 4.16’da yerine konularak;

$S_{d1} = 0.08 \text{ m} \rightarrow u_{N_{x1}} = 0.08 * 56 * 0.024 = 0.11 \text{ m}$  olarak belirlenir.

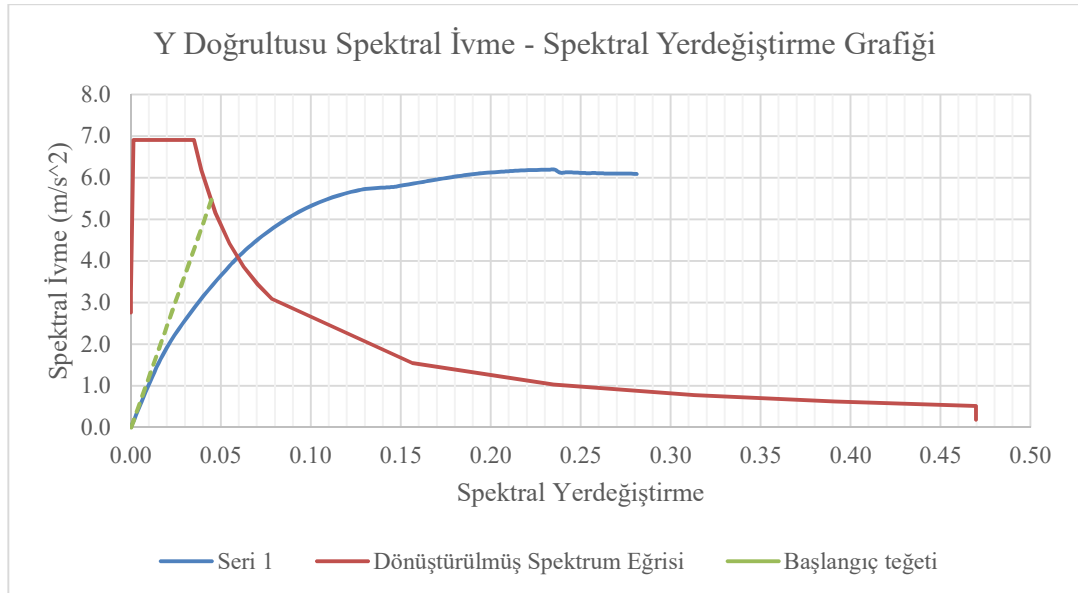
Binanın Y doğrultusunda eşdeğer deprem yüküne ait itme eğrisi, ve hedef yerdeğiştirme talebinin belirlenmesi sırası ile Şekil 4.40 ve Şekil 4.41'ta verilmiştir.



**Şekil 4.40 :** Y doğrultusu eşdeğer deprem yüküne ait statik itme eğrisi.

$$\Gamma_1^{(X,1)} = 56.93 \quad \text{Modal kütle katlılık oranı} = 0.70$$

$$\Phi_{N_{x1}}^{(1)} = 0.025 \quad M_{N_{x1}}^{(X,1)} = 3258$$

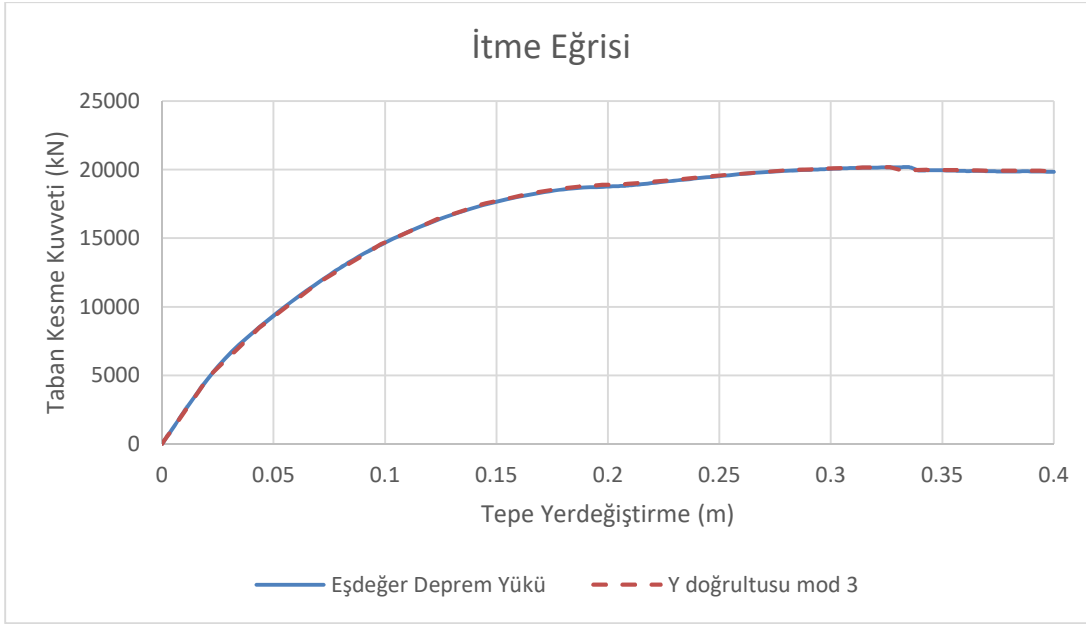


**Şekil 4.41 :** Y doğrultusu eşdeğer deprem yüküne ait hedef yerdeğiştirmenin belirlenmesi.

Yapının periyodu  $T_B$ 'den büyük olduğu için spektral yerdeğiştirme oranı bir ( $C_R = 1$ ) olarak seçilir ve buna bağlı olarak denklem 4.16'da yerine konularak;

$S_{d1} = 0.04 \text{ m} \rightarrow u_{N \times 1} = 0.15 * 56.93 * 0.025 = 0.06 \text{ m}$  olarak belirlenir.

Mod şekillerine göre yapılan itme çözümlemesinde %70 oranında modal kütle katılım olduğu için Y doğrultusundaki eşdeğer deprem yükleri ile karşılaştırılmıştır. Bu eğrilerin üst üste oturarak aynı sonucu verdiği Şekil 4.42’de gösterilmiştir. Bu karşılaştırmayla %70 kütle katılım şartının sağlanması yapılmış olmaktadır.



**Şekil 4.42 :** Y doğrultusu eşdeğer deprem yükü ve modal itme eğrileri karşılaştırılması.

#### 4.5 Zaman Tanım Alanında Betonarme Çok Katlı Bir Binanın Çözümlemesi

Zaman tanım alanında hesap yönteminin açıklaması bölüm 3.7.3’te yapılmıştır. Zaman tanım alanında yapılacak doğrusal olmayan hesaplarda en az 11 deprem yer hareketi takımı kullanılacaktır. Birbirine dik yatay iki doğrultudaki ivme kayıtları taşıyıcı sistemin (X) ve (Y) asal eksenleri doğrultusunda aynı anda birlikte etki ettirilecektir. Daha sonra ivme kayıtlarının eksenleri 90° döndürülerek hesap tekrarlanacaktır [1].

Hesapta gözönüne alınması gereken özellikler;

- Viskoz sönüm matrisi, rayleigh sönüm matrisi olarak yapılacaktır.
- Düşey yüklerden dolayı oluşan ikinci mertbe etkiler gözönüne alınacaktır.
- Deprem dışı yüklemelere ait doğrusal olmayan artımsal statik hesap başlangıç adımı olarak kullanılacaktır.

Bu tez kapsamında sönüm matrisi program tarafından sunulan arayüzde rijitlik ve kütle orantılı sönüm olarak, matrislerin doğrusal kombinasyonu ile hesaplanan rayleigh sönüm matrisi olarak belirtilmiştir. Doğrusal elastik olmayan çözümlemede rayleigh sönüm matrisi yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir ve değerini kanıtlamıştır.

$$C = \alpha M + \beta K \quad (4.22)$$

Burada  $\alpha$  ve  $\beta$  kütle ve rijitlik orantılı katsayılarıdır. Ayrıca modal denklemler ve ortogonalite koşulları bu denklemin aşağıda denklem 4.23 ile belirtilen şekilde yazılmasına izin verir .

$$\xi_n = \frac{1}{2w_n} \alpha + \frac{w_n}{2} \beta \quad (4.23)$$

Bu denklemde  $\xi_n$  sönüm oranı (değer 1 olduğunda kritik sönüm),  $w_n$  ise doğal frekanstır,rad/s ( $w_n = 2\pi/T$ ). Bu denkleme göre rayleigh sönümü farklı tepki frekansları için, farklı sönüm oranları ile sonuçlanır.

Düşey yükler tarafından oluşacak ikinci mertebe etkiler ise yapının taşıyıcı sisteminin simetrik olması, eğilme rijitliklerinin çok yüksek olması ve gözününe alınması durumunda çözüm süresinin ve sabit diskte kaplayacağı alanın çok fazla olması sebebiyle ihmal edilmiştir.

Doğrusal elastik olmayan zaman tanım alanındaki çözümlerinde, düşey yüklerin doğrusal elastik olmayan çözümü başlangıç adımı olarak kullanılmıştır.

Deprem etkilerinin düşey yük etkileri ile birlikte değerlendirilmesi denklem 4.22'te verilmiştir.

$$G + Q_e + 0.2S + E_d^{(H)} + 0.3E_d^{(Z)} \quad (4.24)$$

Burada G düşey yük, S kar yükü,  $E_d^{(Z)}$  düşey deprem etkisini belirtmektedir.

$E_d^{(Z)}$ 'nin belirlenmesi ise TBDY bölüm 4.4.3 uyarınca, DTS=1, 1a, 2, 2a olarak sınıflandırılmış ve aşağıda belirtilen geometrik şartları bulunduran binalarda düşey elastik ivme spektrumu ile mod birleştirme yöntemine göre R/I=1 ve D=1 olarak yapılacaktır.

- Açıklıkların izdüşümü 20 m ve 20 m'den büyük olan kirişleri bulunduran binalar,
- Açıklıkların izdüşümü 5 m veya 5m'den büyük olan konsol barındıran binalar,
- Kirişlerin üzerine oturan kolonları içeren binalar.

Belirtilen DTS'nda olmayan veya belirtilen elemanları bulundurmayan binalarda  $E_d^{(Z)}$  için özel bir hesap yapılmayarak, yaklaşık bir hesap yapılacaktır. Bu hesap için denklem 4.5 kullanılacaktır.

$Q_e$  ise hareketli yük katılım katsayısı ile hesaplanacaktır. Bina konut olarak kullanılacağı için daha öncede belirtildiği üzere bu katsayı 0.3 alınmıştır.

$$Q_e = nQ \quad (4.25)$$

$E_d^{(H)}$  ise zaman tanım alanında yapılan hesaplarda birbirine dik doğrultulardaki deprem etkilerinin aynı anda etkimesi durumudur.

Betonarme perdelerin modellenmesinde TBDY 2016 taslağı bölüm 4.5.3.8 uyarınca enkesit şekli dikdörtgen, I, T, L, U veya C olan perdeler, plandaki en büyük perde kolu uzunluğunun toplam perde yüksekliğine oranının  $1/4$ 'ü aşmadığı durumlarda, enkesit ağırlık merkezinden geçen eşdeğer çubuk sonlu eleman olarak modellenebilirler [1].

Modal yerdeğiştirme, yapılan 11 analizin her birinden elde edilen sonuçların en büyük mutlak değerlerinin ortalaması olarak hesaplanacaktır [1].

#### 4.5.1 Deprem ivme kayıtlarının belirlenmesi ve düzenlenmesi

Zaman tanım alanında yapılacak çözümlenelerde kullanılacak deprem ivme kayıtları olarak; gerçek, yapay ve benzeştirilmiş deprem kayıtlarından faydalanmak mümkündür. Gerçek ivme kayıtları deprem hareketine ait özellikleri (genlik,süre ...) en iyi şekilde içermektedir, fakat bu kayıtlar her bölge için mevcut olmayabilir. Ayrıca faya olan mesafe, zemin koşulları gibi özelliklerin hepsi birden sağlanamayabilir. Yapay kayıtların tasarım spektrumu üzerinden yaratılması, zaten istatistiksel bir şekilde elde edilen bir kaynağa benzetilmeye çalışıldığı için farkı kayıtların özelliklerini yansıtabilir. Ayrıca çevrim sayısının artması ile gerçek üstü düzeyde enerjiler açığa çıkmaktadır. Benzeştirilmiş (simüle edilmiş) kayıtlarda ise



zemin özelliklerinin tanımlanması zorluğu ortaya çıkmaktadır [12,13]. Benzeştirme işlemi zaman tanım alanında ve frekans tanım alanında olmak üzere iki gruba ayrılabilir. Deprem ivme kayıtları zaman tanım alanında ölçeklenme, frekans tanım alanında ölçekleme ve zaman tanım alanında dalgacık fonksiyonları ile spektral eşleştirme yöntemleri kullanılarak yapılabilmektedir.

Zaman tanım alanında ölçekleme ile kaydın genliği belirlenen bir katsayı ile çarpılarak büyütülüp ya da küçültülerek hedef spektrumla eşleştirilir. Bu yöntemde kaydın frekans içeriği sabit kalır. En küçük kareler tekniği ile gerçek ve hedeflenen spektrumlar arasındaki farkın küçültülmesi ile ölçekleme yapılabilir.

Yer hareketlerinin frekans tanım alanında ölçeklenmesi deprem esnasında kaydedilmiş ivme kayıtları kullanılarak tasarım ivme spektrumuyla çok yakın şekilde uyuşan başlangıçtaki kayda benzer bir hareketin türetilmesi esasına dayanır. Frekans tanım alanında ölçekleme yönteminde, seçilen gerçek deprem kaydı, tasarım ivme spektrumunun bu kayda ait davranış spektrumuna oranı ile frekans tanım alanında filtrelenir. Bütün yöntem boyunca hareketin Fourier fazları değişmeden aynen kalır. Elde edilen frekans tanım alanındaki hareket, zaman tanım alanına çevrilerek davranış spektrumu alınır. İstenilen periyot aralığında, bu davranış spektrumunun tasarım ivme spektrumu ile yeterli düzeyde eşleşip eşleşmediği kontrol edilir. Eğer eşleşme yeterli bulunmazsa istenilen eşleşme sağlanıncaya kadar adımlar tekrar edilir. Frekans tanım alanında ölçekleme yönteminde tasarım ivme spektrumu ile oldukça iyi eşleşen kayıtlar elde edilir. Fakat, yer hareketi kaydının frekans içeriği değiştirildiği için yer hareketinin doğal özellikleri kaybolur [12].

Spektrum eşleştirmesi yönteminde dalgacık fonksiyonları ile başlangıçta seçilen deprem ivme kaydı tasarım spektrumu ile uyumlu olacak şekilde değiştirilir. Bu yöntemdeki temel kabul en üst tepki spektrumunun dalgacık düzenlemeleri sonucu değişmeyeceğidir. Başlangıçtaki ivme-zaman grafiğinin tepki spektrumu tasarım tepki spektrumu ile uyuşacak şekilde ivme-zaman grafiği değiştirilirken, gerçekçi hız-zaman ve yerdeğiştirme-zaman grafikleri korunmaya çalışılır .

TBDY 2016 taslağı bölüm 2.5'te zaman tanım alanında yapılacak hesaplar için kullanılacak deprem ivme kayıtlarının seçimi ve ölçeklendirilmesine ait kurallar aşağıda verilmiştir.

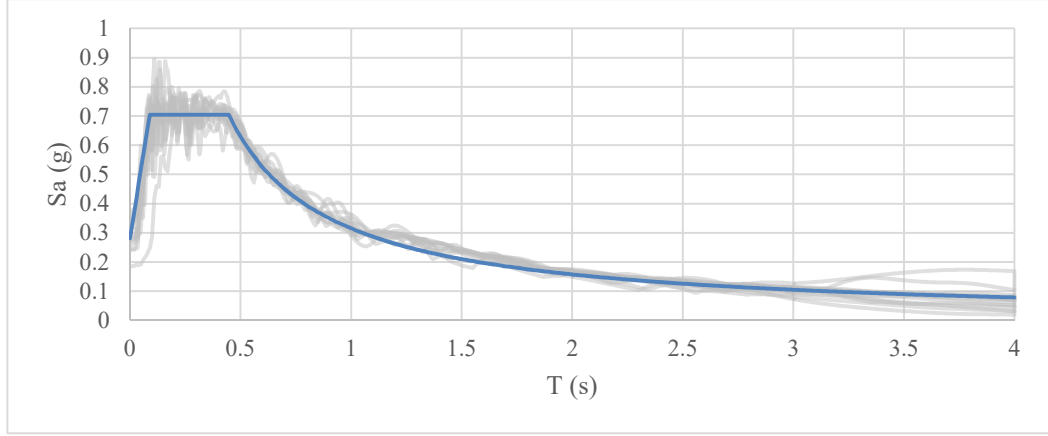
- Kullanılacak deprem kayıtlarının seçiminde tasarımda kabul edilen yer hareketi düzeyi ile uyumlu olacak deprem büyüklükleri, fay uzaklıkları ve zemin koşulları göz önüne alınacaktır.
- Yeterli nitelik ve nicelikte deprem kaydı bulunmadığı durumlarda zaman tanım alanında benzeştirilmiş kayıtlar kullanılabilir.
- Bir ve iki boyutlu hesaplardaki deprem kayıtları ve üç boyutlu hesaplarda deprem kayıt takımlarının sayısı en az onbir olacaktır. Buna ek olarak; aynı depremden seçilecek kayıt ve kayıt takımları üç taneden fazla olmayacaktır.
- Üç boyutlu hesap için seçilen deprem kaydı takımının yatay doğrultularındaki spektrumlarının kareleri toplamının karekökü alınarak bileşkeleri elde edilecektir. Bütün kayıtlara ait bileşkelerin ortalamasının  $0.2T_p$  ve  $1.5 T_p$  periyotları arasındaki genliklerinin tasarım spektrumuna oranı, 1.3'ten küçük olmayacak şekilde ölçeklendirilecektir.

Bu tez kapsamında SEISMOMATCH programında, Pasific Earthquake Engineering Research Center (PEER)'dan elde edilen kayıtlar ile benzeştirme işlemi; zaman tanım alanında spektral eşleştirme yöntemiyle yapılmıştır, Çizelge 4.13.

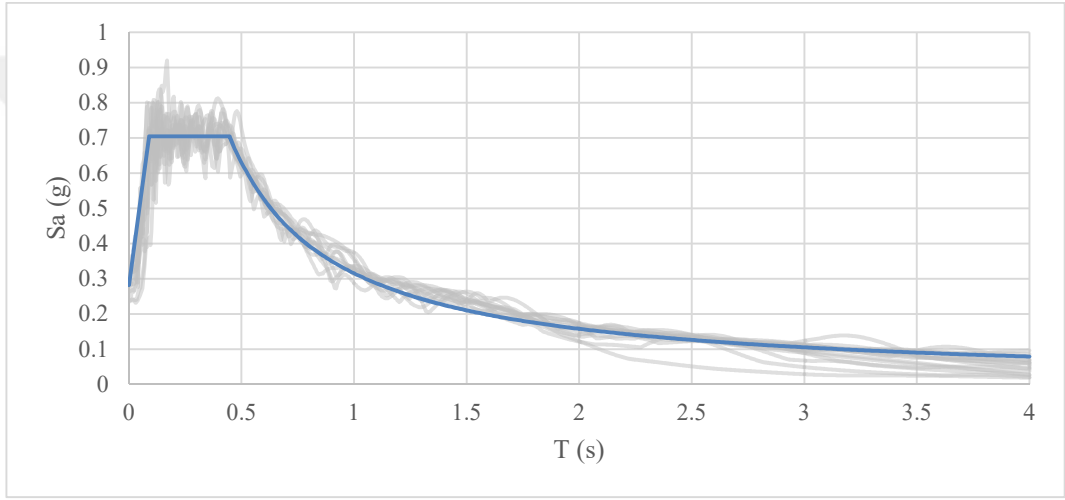
**Çizelge 4.13 :** Kullanılan deprem ivme kayıt bilgileri.

Olay	Yıl	İstasyon	Büyük- lük	Vs30	Süre (s)	Adım aralığı
Kobe,Japan	1995	Kobe University	6.90	1043	31.990	0.010
Kobe,Japan	1995	Kakogawa	6.90	312	40.950	0.010
Kobe,Japan	1995	Fukushima	6.90	256	79.990	0.010
Kocaeli,Türkiye	1999	Göynük	7.51	347	25.475	0.005
Kocaeli,Türkiye	1999	Gebze	7.51	792	27.995	0.005
İmperial Valley- 06	1979	El Centro Array #12	6.53	197	39.065	0.005
İmperial Valley- 07	1979	Calipatria Fire Station	6.53	205	39.630	0.005
Northridge-01	1994	El Monte Fairview Avenue	6.69	290	34.980	0.010
Northridge-01	1995	Glendale Las Palmas	6.69	371	29.980	0.010
Northridge-01	1996	La Crescenta New York	6.69	411	29.980	0.010
Landers	1992	Amboy	7.28	383	49.95	0.005

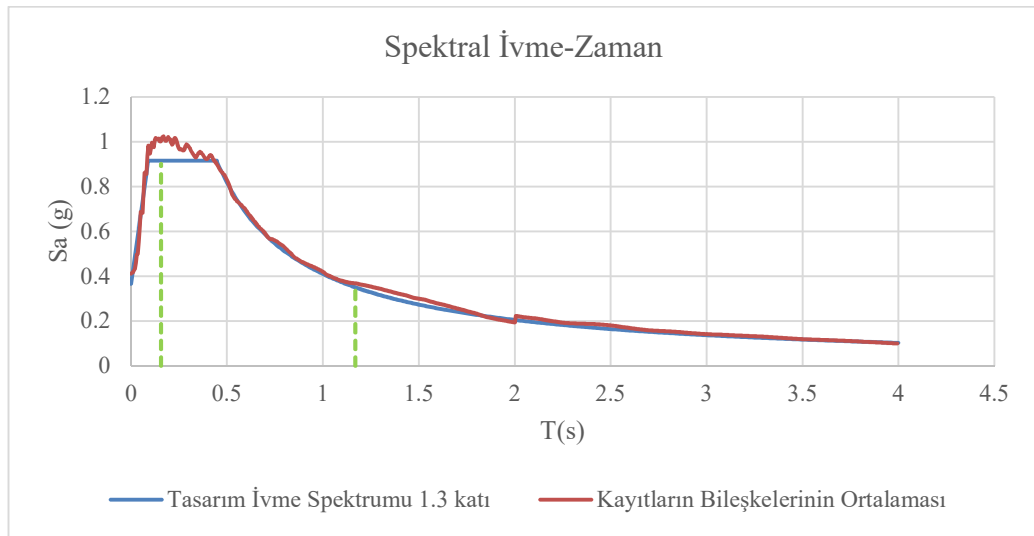
Kullanılan deprem kayıtları Şekil 4.43, 4.44'te ve TBDY 2016 taslağında belirtilen şartlara uygunluğunun kontrolü Şekil 4.45'te verilmiştir.



**Şekil 4.43 :** Kullanılan kayıtların 0° doğrultu ivme spektrumlarının, tasarım ivme spektrumu ile karşılaştırılması.



**Şekil 4.44 :** Kullanılan kayıtların 90° doğrultu ivme spektrumlarının, tasarım ivme spektrumu ile karşılaştırılması.



**Şekil 4.45 :** Kullanılan kayıtlara ait spektrum bileşke ortalamasının tasarım ivme spektrumu 1.3 katı ile kontrolü.

Kullanılan deprem ivme kayıtları en büyük ivme, hız, yerdeğiştirme ve deprem yıkıcılığını belirten katsayılar olan arias ve housner katsayıları Çizelge 4.14’de verilmiştir. Bu kayıtların programda kullanılan süreleri belirlenirken kayıtların en büyük ivme değerlerinin bulunduğu bölgeler ve karakteristik özelliklerini yansıtacak uzunlukta sürelerin seçilmesine özen gösterilmiştir. Fakat yapılan çözümlene sayısının fazla olması ve fiber plastik mafsallar ile çözüldüğu için bilinmeyen sayısının artması sebebi ile kayıtların bilgisayar sabit disk alanında kapladığı alan artmaktadır. Bu kısıtta göz önünde bulundurarak TBDY 2016 taslağında kullanılacak en az kayıt süresi için bir kıstas belirtilmemesi sebebiyle, kullanılacak en az süre DBYBHY 2007’de belirtilmiş olan 15 s olarak alınmıştır. Kullanılan süreler ve adım aralıkları aşağıda verilmiştir, Çizelge 4.15.

**Çizelge 4.14 : Benzeştirilmiş deprem ivme kayıt bilgileri.**

Kayıt İsmi	Kayıt Açısı	En Büyük İvme (g)	En Büyük Hız (cm/s)	En Büyük Yerdeğiştirme (cm)	Arias Yoğunluğu (m/s)	Housner Yoğunluğu (cm)
Kobe,	0°	0.26	30.42	12.53	0.81	115.17
KobeUni	90°	0.26	24.62	15.46	0.84	116.17
Kobe,	0°	0.24	35.62	11.53	1.51	115.66
Kakogawa	90°	0.32	43.53	14.79	1.41	117.58
Kobe,	0°	0.34	30.08	15.08	1.05	117.02
Fukushima	90°	0.32	29.28	28.67	1.03	115.71
Kocaeli,	0°	0.27	32.20	10.44	0.72	118.23
Goynuk	90°	0.35	30.73	10.20	0.71	117.02
Kocaeli,	0°	0.37	48.87	39.94	0.90	117.91
Gebze	90°	0.29	34.23	33.43	0.86	116.16
İmperail, El	0°	0.24	27.85	17.77	1.02	116.86
Centro	90°	0.25	36.01	14.42	1.16	113.31
İmperail,	0°	0.34	34.38	15.01	0.61	117.32
Calipatria	90°	0.24	28.69	10.89	0.56	107.88
Northridge, El	0°	0.31	20.61	8.88	0.98	114.08
Monte						
Fairview	90°	0.31	21.43	4.71	0.68	102.53
Avenue						
Northridge, Gle	0°	0.27	31.14	6.97	1.23	112.62
ndale Las						
Palmas	90°	0.28	24.64	6.17	1.21	117.58
Northridge, La	0°	0.36	24.43	5.12	0.88	115.25
Crescenta New						
York	90°	0.33	27.62	7.57	0.82	119.04
Landers,	0°	0.18	23.78	10.87	1.26	114.80
Amboy	90°	0.23	25.56	7.83	1.29	116.18

**Çizelge 4.15 : Çözümlemede kullanılan adım sayısı, aralığı ve süresi.**

Benzeştirilmiş Deprem İvme Kayıtları	Çözümleme Adım Sayısı	Çözümleme Adım Aralığı (s)	Çözümleme Süresi (s)
Kobe, Kobe University	3000	0.005	15
Kobe, Kakogawa	2000	0.01	20
Kobe, Fukushima	1500	0.01	15
Kocaeli, Göynük	3000	0.005	15
Kocaeli, Gebze	3000	0.005	15
Imperial Valley-06, El Centro Array #12	4000	0.005	20
Imperial Valley-07, Calipatria Fire Station	3000	0.005	15
Northridge-01, El Monte Fairview Avenue	2000	0.01	20
Northridge-01, Glendale Las Palmas	1500	0.01	15
Northridge-01, La Crescenta New York	1500	0.01	15
Landers, Amboy	2000	0.02	40

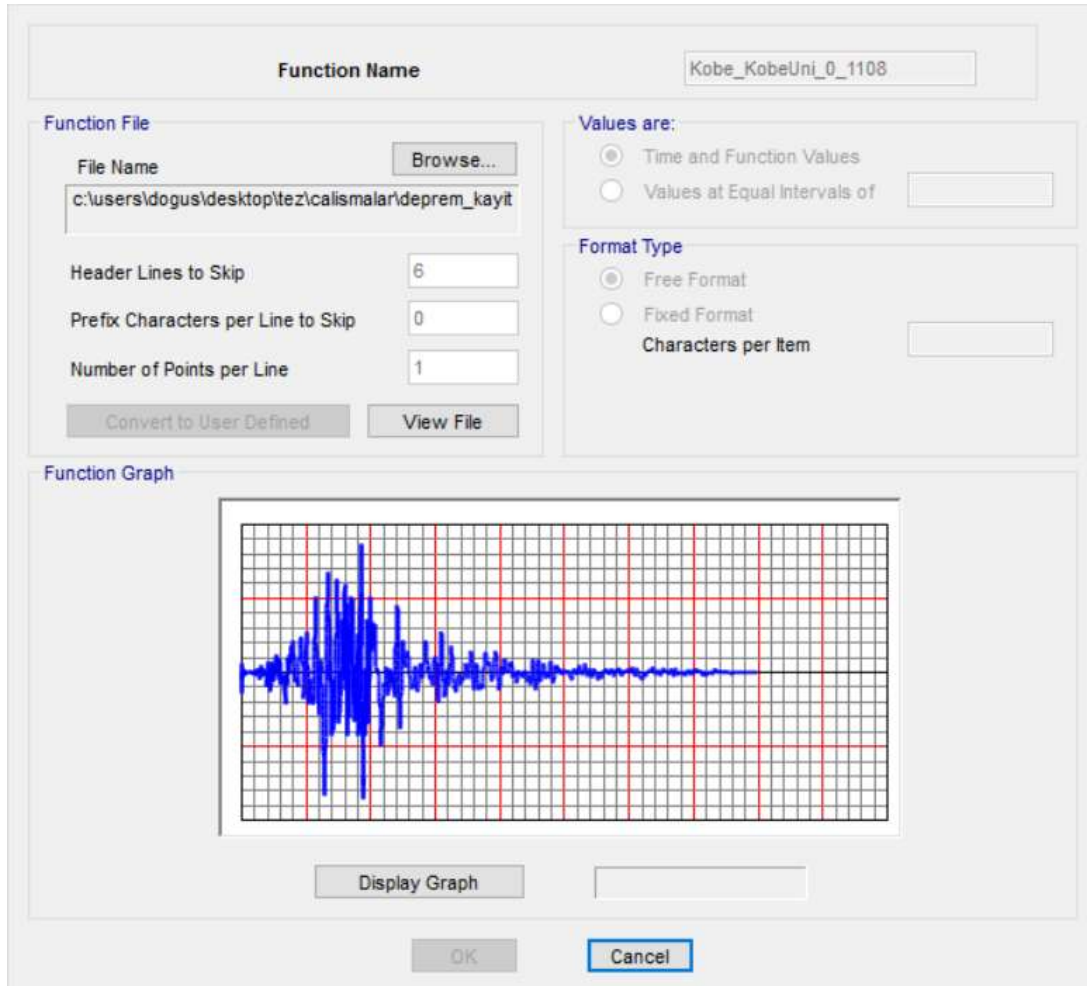
#### 4.5.2 SAP2000 programında zaman tanım alanında çözümleme için veri girişi

Zaman tanım alanında yapılacak doğrusal elastik olmayan çözümlemede yönetmelikte belirtildiği üzere başlangıç adımı olarak kullanılmak amacıyla düşey yükler altında doğrusal olmayan statik çözümlemesi yapılmıştır, Şekil 4.46.

The screenshot displays the 'Load Case Name' dialog box in SAP2000. The 'Load Case Name' field contains 'NONLINEAR\_DEAD'. The 'Load Case Type' is set to 'Static'. The 'Analysis Type' is 'Nonlinear'. The 'Geometric Nonlinearity Parameters' are set to 'None'. The 'Mass Source' is 'Previous'. The 'Loads Applied' table shows four load patterns: G1 (Scale Factor 1.0), G2 (Scale Factor 1.0), Q (Scale Factor 0.3), and S (Scale Factor 0.3). The 'Other Parameters' section shows 'Load Application' set to 'Full Load', 'Results Saved' set to 'Final State Only', and 'Nonlinear Parameters' set to 'Default'.

**Şekil 4.46 : Başlangıç adımı olarak kullanılan doğrusal olmayan statik çözümleme.**

Bu yüklemenin oluşturulmasının ardından “Define > Functions > Time History” sekmesinden programa kullanılacak deprem kaydı tanımlanır, Şekil 4.47.



**Şekil 4.47** : Deprem ivme kayıtlarının SAP2000 programına tanıtılması.

Bu sekmede kaydın kullanılmak istenen aralığının başlangıcı “Header Lines to Skip” sekmesi ile başlangıçtan istenen kısım atlanarak belirlenebilir.

Bu adımdan sonra zaman tanım alanında yükleme durumu “Time History” sekmesinden tanımlanır, Şekil 4.48. Bu kısımda adım aralığı deprem ivme kaydının adım aralığıyla aynı ya da yakınsama sıkıntısı çıkmaması amacıyla tam bölecek şekilde seçilmiştir. Düşey yükler altında doğrusal olmayan çözümleme başlangıç adımı olarak tanımlanmıştır. Çözümlemenin malzeme bakımından doğrusal olmayan çözümleme olduğu belirtilmiştir. Bu tez kapsamında ikinci mertbe etkilerin oluşumunun davranış üzerinde etkin olmayacağı düşünüldüğü için, çözümleme süresini kısaltmak adına geometrik açıdan doğrusal olmama durumu incelenmemiştir. Çözüm tipi, bu sekme açıldığında var olarak gelen, doğrusal entegrasyon seçilmiştir. Yükleme için kullanılmak istenen deprem kaydı ve yönü belirtilmiştir. Ayrıca kayıtlar yerçekimi ivmesi (g)’nin katı olduğundan kayıtlar 9.81 katsayısı ile ölçeklenmiştir. Sönüm oranı TBDY 2016 taslağında da belirtildiği üzere,

programda ilk iki periyotla %5 sönüm oranına göre belirlenmiş katsayılarla orantılı sönüm matrisi olarak girilmiştir. Ardından “Time İntegration” sekmesinden entegrasyon yöntemi “Hilber-Hughes-Taylor” olarak seçilmiştir.

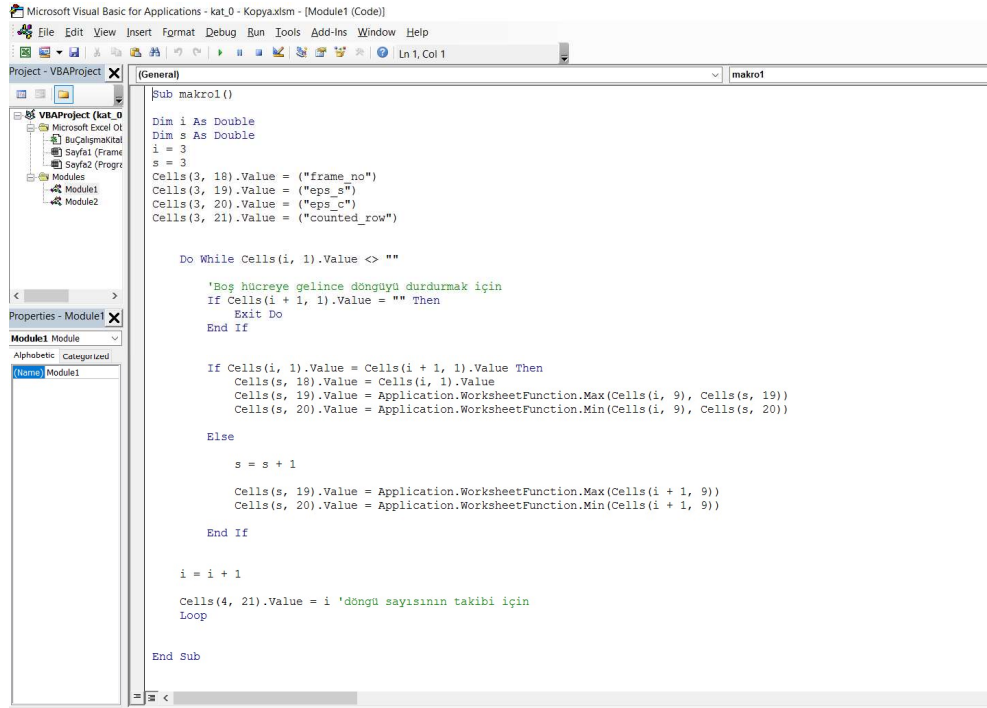
Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	Kobe_Kobel	9.81
Accel	U1	Kobe_KobeU1	9.81

Şekil 4.48 : SAP2000 programında zaman tanım alanında çözümlemenin tanımlanması

#### 4.5.3 Zaman tanım alanında çözümleme sonuçlarının incelenmesi

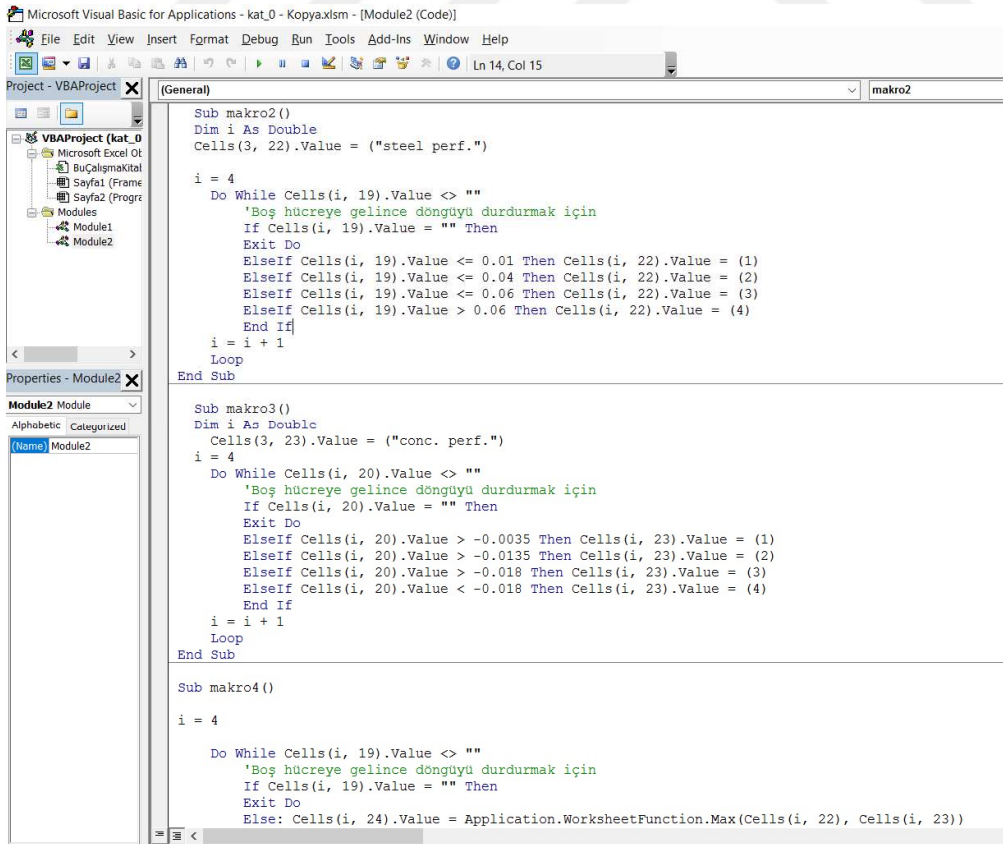
SAP2000 programında fiber plastik mafsallar “Overall Hinge” kesitin tümünde ya da “İndividual Fibers” her fibere ait bireysel sonuçlar olarak tablolardan elde edilebilmektedir. Fakat kesitin tümünde verdiği sonuçların hangi bölgeleri içerdiği programın el kitabında ve sağladığı dosyalarda yeterli bir şekilde açıklanmamıştır. Her fibere ait sonuçların verildiği tablolarda fiber elemana ait bilgiler, gerilme, şekildeğiştirme ve fiber durumu “Fiber State” bilgileri verilmektedir. Fiber elemanın performans seviyeleri önceden belirlenmediği ve buna ait bir arayüz fiber mafsallarda bulunmadığı için bu fiber mafsal durumları kullanılamamaktadır. Elde edilen tablolar her bir katta düşey elemanlar için 4595 satır ve kirişler için 2219 satır veri içermektedir. Bu miktarda bir veri elle işlenemeyeceği için EXCEL programında yazılım oluşturmaya imkan tanıyan Microsoft Visual Basic Application arayüzünde

verilerin işlenebilmesi için döngü ve mantıksal bağlaçlar içeren bir yazılım hazırlanmıştır, Şekil 4.49.



```
Sub makro1()  
Dim i As Double  
Dim s As Double  
i = 3  
s = 3  
Cells(3, 18).Value = ("frame_no")  
Cells(3, 19).Value = ("eps_s")  
Cells(3, 20).Value = ("eps_c")  
Cells(3, 21).Value = ("counted_row")  
  
Do While Cells(i, 1).Value <> ""  
    'Boş hücreye gelince döngüyü durdurmak için  
    If Cells(i + 1, 1).Value = "" Then  
        Exit Do  
    End If  
  
    If Cells(i, 1).Value = Cells(i + 1, 1).Value Then  
        Cells(s, 18).Value = Cells(i, 1).Value  
        Cells(s, 19).Value = Application.WorksheetFunction.Max(Cells(i, 9), Cells(s, 19))  
        Cells(s, 20).Value = Application.WorksheetFunction.Min(Cells(i, 9), Cells(s, 20))  
    Else  
        s = s + 1  
        Cells(s, 19).Value = Application.WorksheetFunction.Max(Cells(i + 1, 9))  
        Cells(s, 20).Value = Application.WorksheetFunction.Min(Cells(i + 1, 9))  
    End If  
  
    i = i + 1  
    Cells(4, 21).Value = i 'döngü sayısının takibi için  
Loop  
End Sub
```

Şekil 4.49 : VBA'de hazırlanan yazılım.



```
Sub makro2()  
Dim i As Double  
Cells(3, 22).Value = ("steel perf.")  
  
i = 4  
Do While Cells(i, 19).Value <> ""  
    'Boş hücreye gelince döngüyü durdurmak için  
    If Cells(i, 19).Value = "" Then  
        Exit Do  
    ElseIf Cells(i, 19).Value <= 0.01 Then Cells(i, 22).Value = (1)  
    ElseIf Cells(i, 19).Value <= 0.04 Then Cells(i, 22).Value = (2)  
    ElseIf Cells(i, 19).Value <= 0.06 Then Cells(i, 22).Value = (3)  
    ElseIf Cells(i, 19).Value > 0.06 Then Cells(i, 22).Value = (4)  
    End If  
    i = i + 1  
Loop  
End Sub  
  
Sub makro3()  
Dim i As Double  
Cells(3, 23).Value = ("conc. perf.")  
i = 4  
Do While Cells(i, 20).Value <> ""  
    'Boş hücreye gelince döngüyü durdurmak için  
    If Cells(i, 20).Value = "" Then  
        Exit Do  
    ElseIf Cells(i, 20).Value > -0.0035 Then Cells(i, 23).Value = (1)  
    ElseIf Cells(i, 20).Value > -0.0135 Then Cells(i, 23).Value = (2)  
    ElseIf Cells(i, 20).Value > -0.018 Then Cells(i, 23).Value = (3)  
    ElseIf Cells(i, 20).Value < -0.018 Then Cells(i, 23).Value = (4)  
    End If  
    i = i + 1  
Loop  
End Sub  
  
Sub makro4()  
i = 4  
  
Do While Cells(i, 19).Value <> ""  
    'Boş hücreye gelince döngüyü durdurmak için  
    If Cells(i, 19).Value = "" Then  
        Exit Do  
    Else: Cells(i, 24).Value = Application.WorksheetFunction.Max(Cells(i, 22), Cells(i, 23))  
End While
```

Şekil 4.49 (devam) : VBA'de hazırlanan yazılım.



```
Microsoft Visual Basic for Applications - kat_0 - Kopya.xlsm - [Module2 (Code)]
File Edit View Insert Format Debug Run Tools Add-Ins Window Help
Project - VBAProject (General) makro2

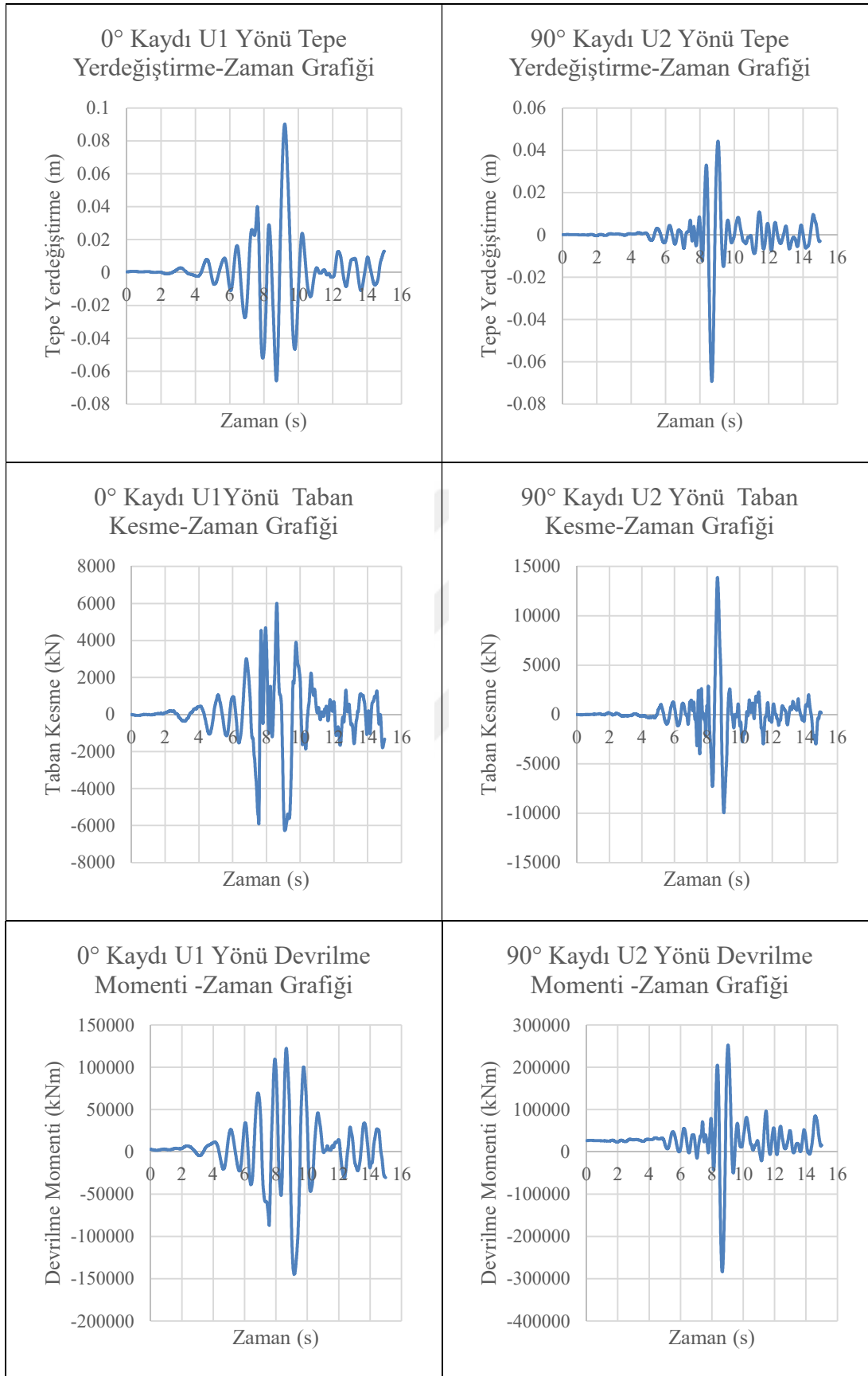
Sub makro4 ()
    i = 4
    Do While Cells(i, 19).Value <> ""
        'Boş hücreye gelince döngüyü durdurmak için
        If Cells(i, 19).Value = "" Then
            Exit Do
        Else: Cells(i, 24).Value = Application.WorksheetFunction.Max(Cells(i, 22), Cells(i, 23))
            Cells(4, 26).Value = i - 3
        End If
        i = i + 1
    Loop
End Sub

Sub makro5 ()
    Dim MHB As Double
    Dim DHD As Double
    Dim İHB As Double
    Dim GB As Double
    Dim i As Double
    MHB = 1
    BHB = 2
    İHB = 3
    GB = 4
    i = 4
    Do While Cells(i, 24).Value <> ""
        'Boş hücreye gelince döngüyü durdurmak için
        If Cells(i, 24).Value = "" Then
            Exit Do
        ElseIf Cells(i, 24).Value = 1 Then Cells(i, 25).Value = ("MHB")
        ElseIf Cells(i, 24).Value = 2 Then Cells(i, 25).Value = ("BHB")
        ElseIf Cells(i, 24).Value = 3 Then Cells(i, 25).Value = ("İHB")
        ElseIf Cells(i, 24).Value = 4 Then Cells(i, 25).Value = ("GB")
        Cells(4, 26).Value = i
        End If
        i = i + 1
    Loop
End Sub
```

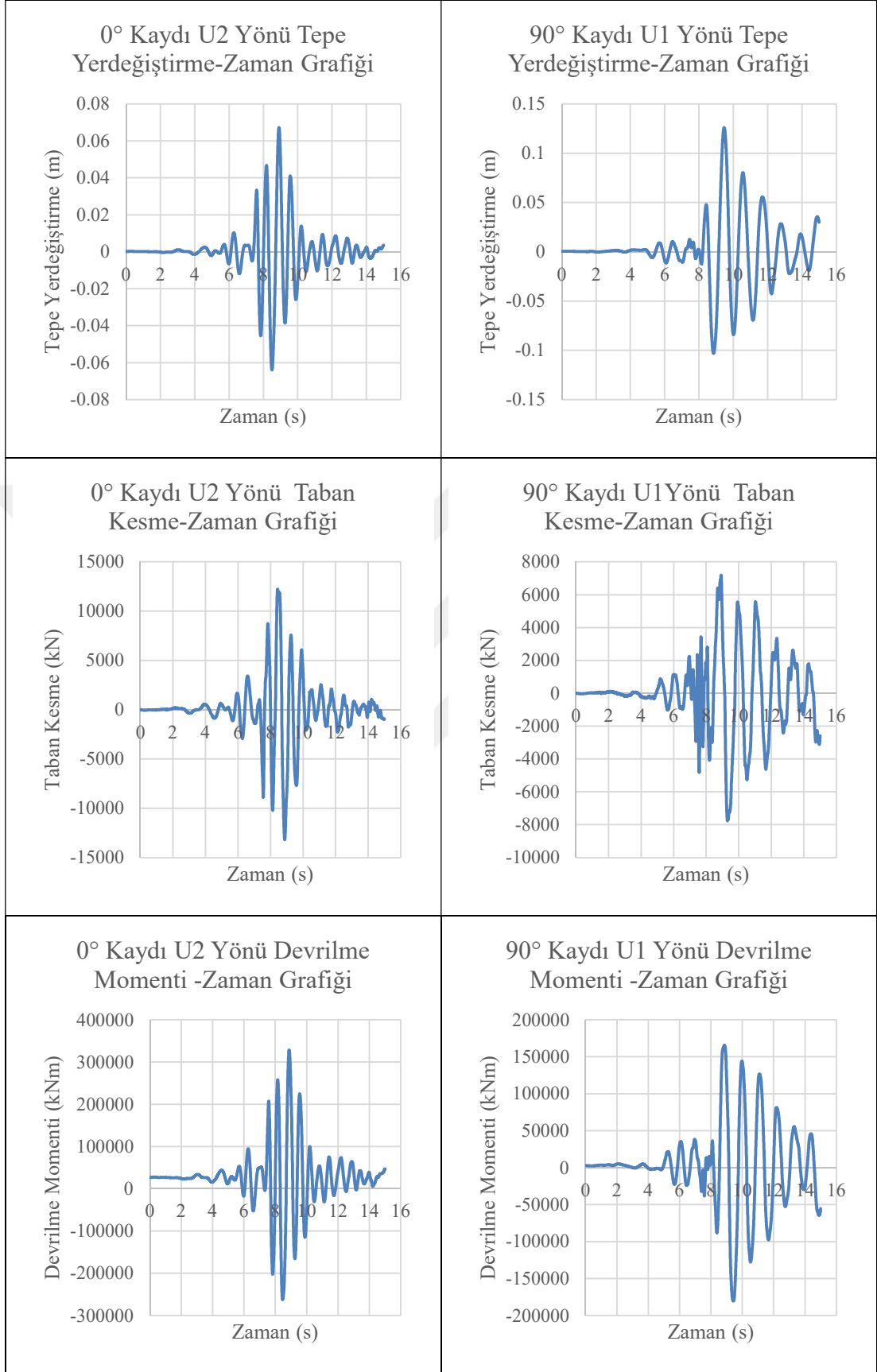
**Şekil 4.49 (devam) : VBA’de hazırlanan yazılım.**

Bu yazılım sayesinde TBDY 2016 taslağında beton ve donatı için belirtilen şekildeğiştirmeye bağlı performans sınırları girilerek her katta perde ve kiriş elemanları için sonuçlar alınmıştır. Yapıdaki yatay ve düşey taşıyıcı elemanlar minimum hasar bölgesinde kalmıştır. Böylece TBDY 2016 taslağında, can güvenliği performans seviyesini sağlaması istenen yapıda kesintisiz kullanım performans seviyesi sağlanmıştır.

Ayrıca binanın 11 adet benzeştirilmiş deprem ivme kaydı ile yapılan çözümlmelerinden, tepe yerdeğiştirmesi, taban kesme kuvveti ve devrilme momentinin zamana bağlı değişimini içeren grafikleri elde edilmiştir. Örnek olarak “İmperial Valley-07 Calipatria Fire Station” benzeştirilmiş deprem kaydına ait sonuçlar verilmiştir, Şekil 4.50. Elde edilen sonuçlardan yapının bağ kirişlerinin olduğu Y doğrultusunda çok daha rijit bir davranış sergilediği görülmektedir. Diğer sonuçlar eklerde verilmiştir. Ayrıca binanın taban kesme kapasitesi yapılan çözümlmelerden elde edilen taban kesme kuvvetleri ile karşılaştırılarak yeterliliği gösterilmiştir, Çizelge 4.16.



**Şekil 4.50** : İmperial Valley Calipatria Fire Station benzeştirilmiş kayıt sonuçları.



**Şekil 4.50 (devam):** İmperial Valley Calipatria Fire Station benzeştirilmiş kayıt sonuçları.

**Çizelge 4.16 : Taban kesme kuvvetleri.**

Benzeştirilmiş Deprem İvme Kayıtları	Taban Kesme Kuvveti (kN)			
	Başlangıç çözümlenmesi		90° çevrilmiş çözümlenme	
	0° kaydı	90° kaydı	0° kaydı	90° kaydı
	U1 yönünde	U2 yönünde	U2 yönünde	U1 yönünde
Kobe, Kobe University	6769	12525	10912	10449
Kobe, Kakogawa	6905	13754	12200	9760
Kobe, Fukushima	6745	11256	10600	6482
Kocaeli, Göynük	8257	12460	12816	8189
Kocaeli, Gebze	8843	11721	13813	7363
İmperial Valley-06, El Centro Array #12	8228	11123	12082	7155
İmperial Valley-07, Calipatria Fire Station	6275	13874	13200	7765
Northridge-01, El Monte Fairview Avenue	6690	12502	9890	7180
Northridge-01, Glendale Las Palmas	7833	11020	12000	5773
Northridge-01, La Crescenta New York	9321	12073	13000	7915
Landers, Amboy	7157	9589	9640	6495

Yapıda düşey taşıyıcı sistemi betonarme kesme perdeleri oluşturmaktadır. Bu sebeple kesme hesabı TBDY 2016 taslağında belirtilen şekilde hesaplanmıştır, fakat tasarım dayanımları yerine karakteristik dayanım değerleri kullanılmıştır. Ayrıca kesme hesabında donatının katkısı gövde donatılarının alanı esas alınarak güvenli tarafta kalınacak şekilde hesaplanmıştır.

$$V_r = A_{ch}(0.65f_{ctd} + \rho_{sh}f_{ywd}) \quad (4.26)$$

$$V_e \leq 0.65A_{ch}\sqrt{f_{ck}} \text{ (bağ kirişli perdeler)} \quad (4.27)$$

$$f_{ctk} = 0.35\sqrt{f_{ck}} \quad (4.28)$$

U1 (X doğrultusu) yönü için hesaplar,

U1 yönü perde toplam uzunluğu = 54,48 m

$$f_{ctk} = 0.35 \cdot 25^2 = 1.75$$

$$V_r = 0.65 \cdot 1.75 \cdot 54480 \cdot 200 + 54448 \cdot (5.5^2 \cdot \pi / 4) \cdot 2 / 150 \cdot 500$$

$$V_r = 12387 + 8623 = 21011 \text{ kN}$$

U2 (Y doğrultusu) yönü için hesaplar,

U2 yönü perde toplam uzunluğu = 73.1 m

$$V_r = 0.65 * 1.75 * 73100 * 200 + 73100 * (5.5^2 * \pi / 4) * 2 / 150 * 500$$

$$V_r = 16630 + 11574 = 28204 \text{ kN}$$

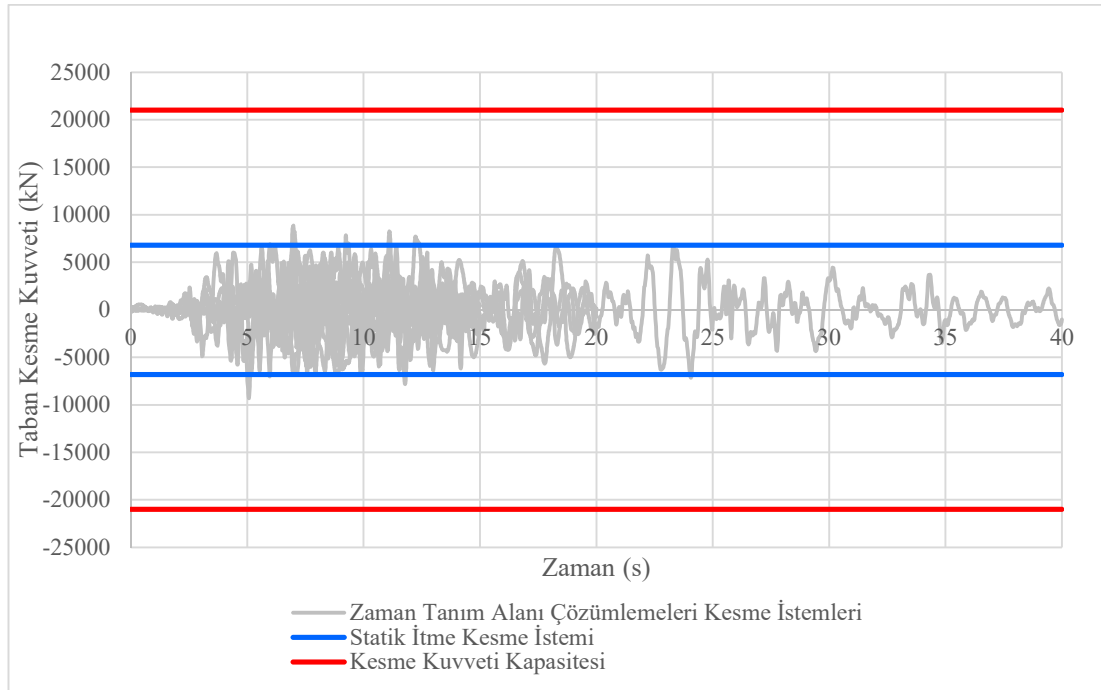
Kesme kapasitelerinin en büyük taban kesme kuvvetleri ile karşılaştırılması,

$$U1 \text{ yönü için; } V_r = 21011 \text{ kN} \geq V_e = 10449 \text{ kN} \quad \checkmark$$

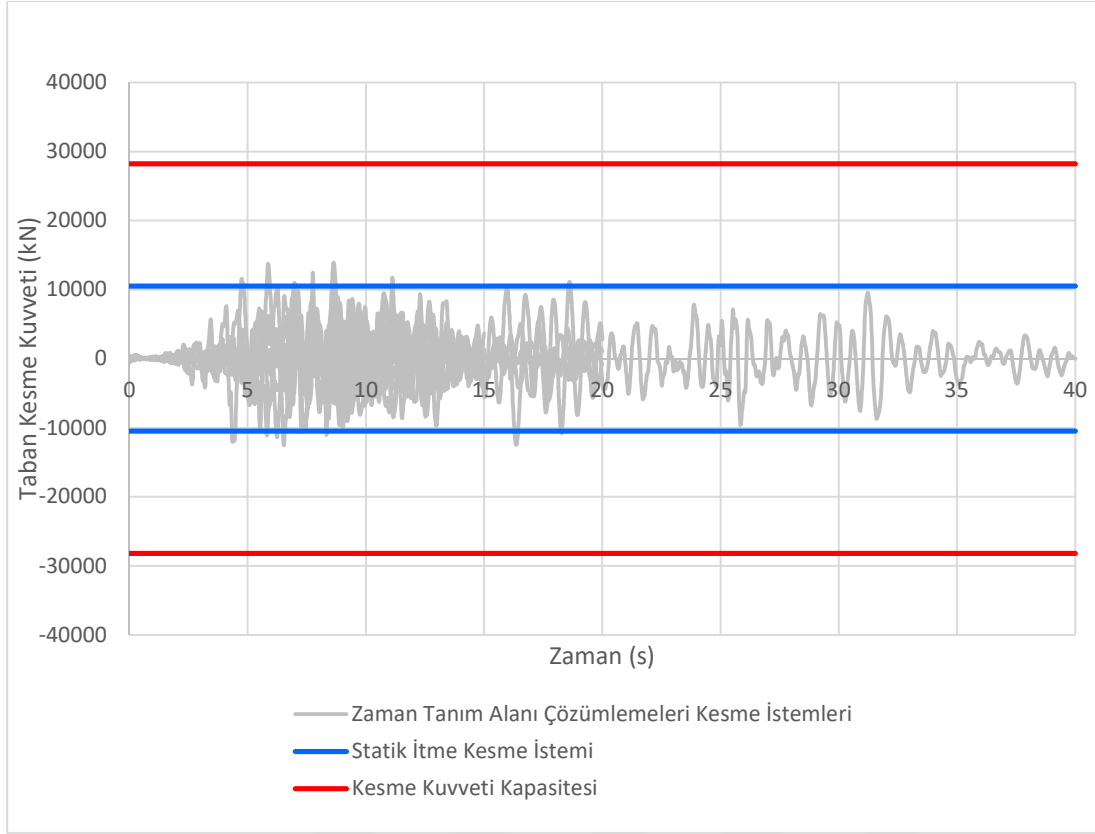
$$U2 \text{ yönü için; } V_r = 28204 \text{ kN} \geq V_e = 13874 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Zaman tanım alanındaki hesap sonuçlarındaki en kritik değerlere göre U1 yönünde (X doğrultusu) %50 ve U2 yönü (Y doğrultusunda) %49 kesme kapasitesine erişilmiştir.

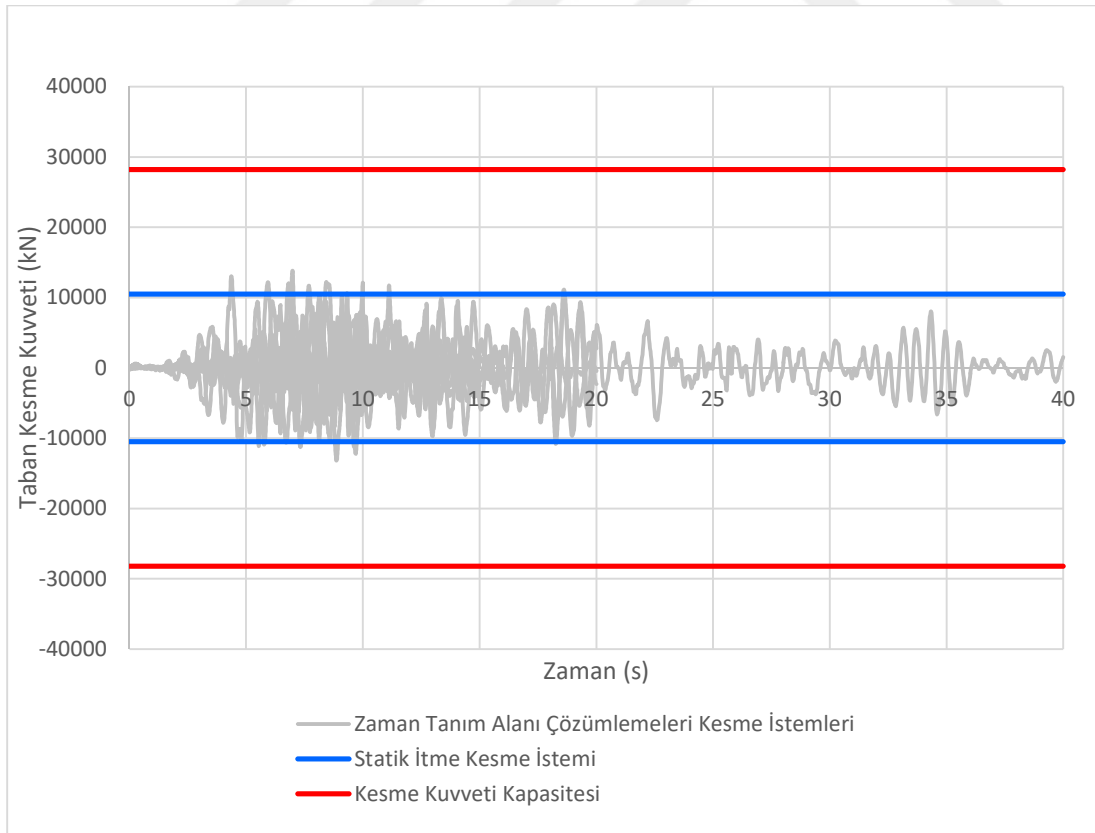
Ayrıca aşağıda yapılan statik itme çözümlerinden elde edilen yerdeğiştirme istemleri ile zaman tanım alanında yapılan çözümler sonucunda elde edilen yerdeğiştirme istemleri karşılaştırılmıştır, Şekil 4.51-4.54. Bu karşılaştırmalarda yapılan çözümlerinin birbirleriyle tutarlı olduğu açık bir şekilde görülmektedir. Böylece doğrusal olmayan çözümlemelerde kullanılan yöntemden bağımsız olarak benzer sonuçlar alınacağıda ortaya çıkmaktadır.



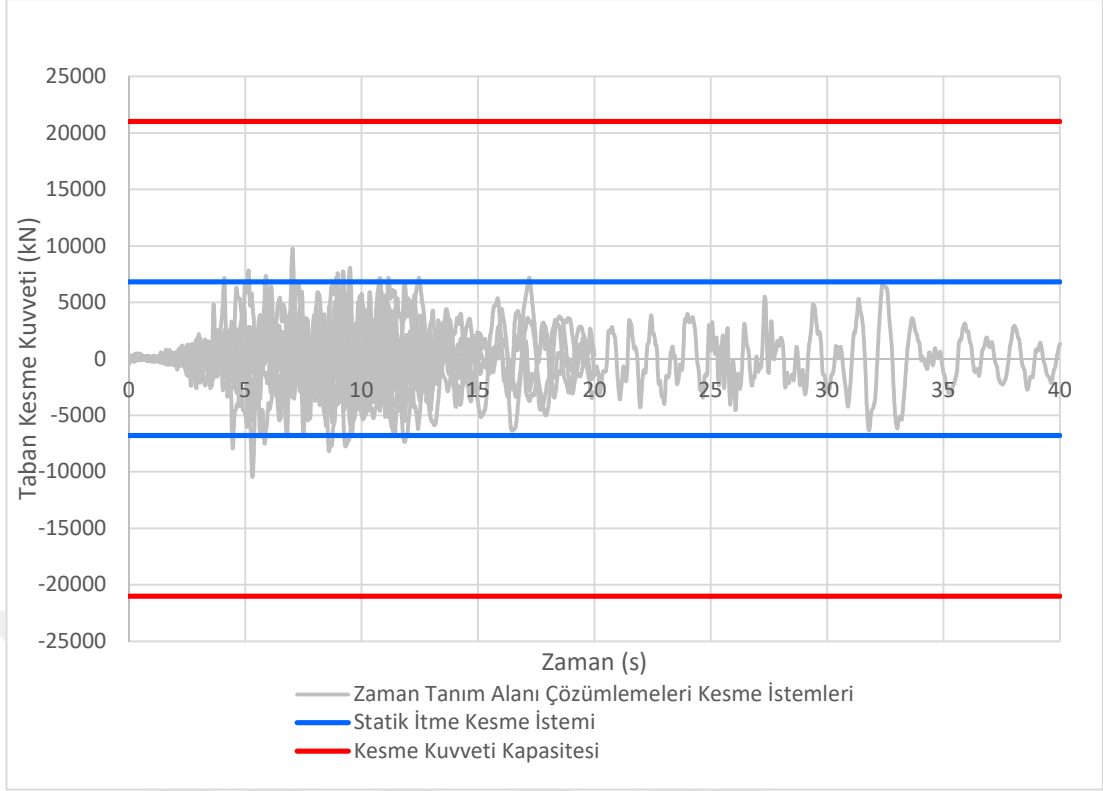
Şekil 4.51: U1 yönü 0° kaydı taban kesme - zaman grafiği.



Şekil 4.52: U2 yönü 90° kaydı taban kesme - zaman grafiği.



Şekil 4.53: U2 yönü 0° kaydı taban kesme - zaman grafiği.



**Şekil 4.54:** U1 yönü 90° kaydı taban kesme - zaman grafiği.

Zaman tanım alanında 11 farklı deprem kaydı kullanılarak yapılan 22 çözümleme sonucunda yapının taşıyıcı elemanlarında elastik ötesi davranış TBDY 2016 taslağında verilen minimum hasar bölgesi (MHB) sınırları içinde kalmıştır. Böylece yapıda kesintisiz kullanım performans durumunu sağlamıştır. Bu durumlar için örnek olarak Çizelge 4.17 ve 4.18 diğer çözümleride temsil etmek üzere aşağıda verilmiştir.

**Çizelge 4.17 :** Perde hasar durumları.

Kat	Eleman Sayısı	MHB	BHB	İHB	GB
Z	36	100%	0%	0%	0%
1	36	100%	0%	0%	0%
2	36	100%	0%	0%	0%
3	36	100%	0%	0%	0%
4	36	100%	0%	0%	0%
5	36	100%	0%	0%	0%
6	36	100%	0%	0%	0%
7	36	100%	0%	0%	0%
8	36	100%	0%	0%	0%
9	36	100%	0%	0%	0%
10	36	100%	0%	0%	0%
11	36	100%	0%	0%	0%

**Çizelge 4.18 : Kiriş hasar durumları.**

Kat	Eleman Sayısı	MHB	BHB	İHB	GB
Z	22	100%	0%	0%	0%
1	22	100%	0%	0%	0%
2	22	100%	0%	0%	0%
3	22	100%	0%	0%	0%
4	22	100%	0%	0%	0%
5	22	100%	0%	0%	0%
6	22	100%	0%	0%	0%
7	22	100%	0%	0%	0%
8	22	100%	0%	0%	0%
9	22	100%	0%	0%	0%
10	22	100%	0%	0%	0%
11	22	100%	0%	0%	0%

Yine sabit modlu itme yönteminde belirlenen hedef deplasmanlara göre yapılan çözümleme sonucunda elemanlar MHB’de kalarak kesintisiz kullanım performans seviyesini sağlamıştır ve yukardaki Çizelge 4.14 ve 4.15 bu çözümler içinde geçerlidir.



## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 5.1 Sonuçlar

Bu tez çalışmasında 1 zemin ve 11 normal katlı tünel kalıp bir yapının TBDY 2016 taslağına göre sabit modlu itme yöntemi ve zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan çözümlenmeleri yapılmıştır. Mevcut yerinde dökme yapılar için 475 yıl dönüş periyotlu 50 yılda %10 olma olasılıklı (DD-2) yer hareketi için normal performans hedefi olarak Can Güvenliği (CG) performans düzeyi amaçlanırken, Kesintisiz Kullanım (KK) performans düzeyi dahi sağlanmıştır.

Tez kapsamında doğrusal elastik olmayan çözümlenme yönteminin temelini oluşturan kapasite tasarımı, süneklik, kesit davranışı, malzeme ve eleman modelleri, yapı sistemlerinin doğrusal olmama sebepleri ve plastik mafsallı hipotezi gibi konulara değinilmiştir. Ardından TBDY 2016 taslağının performans kavramına yaklaşımından bahsedilmiştir. Performans kavramı ile ilgili genel ilke ve kurallar, modelleme kabulleri, şekildeğiştirme sınırları verildikten sonra tez kapsamında incelenecek yapı tanımlanmıştır. Bu yapının TBDY 2016 taslağına göre özellikleri verilmiştir. Daha sonra SAP2000 programına yapılan veri girişleri ile ilgili açıklamalara değinilmiştir. Sabit modlu statik itme yönteminden bahsedilerek çözümlenmeler yapılmıştır. Zaman tanım alanında çözümlenmede, kullanılan programa veri girişi ve deprem kayıtlarının ölçeklenme ve benzeştirme işlemlerinden bahsedilerek çözümler yapılmıştır.

Yapının taşıyıcı sisteminin betonarme perde duvarlardan oluşması sebebi ile eğilme rijitliği çok artmaktadır. Binanın simetrik ve her iki kenar mesafesinin birbirine yakın olmasına rağmen, yapıdaki bağ kirişlerinin X doğrultusunda sayısının çok az olması ve sürekli olmaması gibi sebepler vasıtasıyla rijitliği daha az olan bu doğrultudaki modal kütle katılımlar dağılmıştır. Bütün bu sebepler ile yapıda burulma davranışı etkin bir hal almıştır.

Yapıda X doğrultusunda modal kütle katılımının %70'in altında kalmasına rağmen, Y dorultusunda %70 modal kütle katılım sağlanmıştır. Bu sebeple kullanılan programda hem mod şekillerine bağlı olarak hemde eşdeğer deprem yükü bir yük

şekli olarak tanıtılıp katlara etkilerek sabit modlu itme çözümlemesi yapılmıştır. X doğrultusunda %19 modal kütle katılımının olduğu 1. mod şekli ile yapılan çözümlemede tepe yerdeğiştirmesi 0.032 m, %49 modal kütle katılımının olduğu 2. modda 0.08 m ve %70 modal kütle katılım kabulü ile eşdeğer deprem yükünün etkilendiği çözümlemede ise 0.011 m hedef tepe yerdeğiştirmesi elde edilmiştir. Y doğrultusunda ise her iki çözümlemede 0.06 m hedef tepe yerdeğiştirmesi elde edilmiştir. Ayrıca bu doğrultudaki taban kesme – tepe yerdeğiştirme grafikleri birebir örtüşmektedir. Bu şekilde yapılan kabullerin ve kullanılan programın sağlaması da yapılmıştır. Bina Y doğrultusunda toplam perde uzunluğunun daha fazla olmasıyla daha rijittir ve daha fazla taban kesme almasına rağmen daha az deplasman yapmaktadır.

Zaman tanım alanında yapılacak çözümleme için 11 adet deprem kaydının benzeştirilmesi SEISMO-MATCH programında yapılmıştır. Kayıtların tasarım spektrumu ile benzeştirilmesi işleminde hem plato bölgesinin hemde 1 saniye üzeri bölgenin iyi bir şekilde temsil edilebilmesi için işlemler her bölge için ayrı ayrı yapılmıştır. Program tek seferde bütün bölgelerin benzeştirilmesi işleminde bu iki bölgeyi birden iyi bir şekilde benzeştirmemekte ya da çok uzun sürelerde çözmektedir.

Zaman tanım alanında yapılan çözümlemelerde 11 adet deprem kaydı 90° çevrilerek her iki yönde olmak üzere 22 çözüm elde edilmiştir. Bu çözümlemelerde her yön için tek bir deprem ivme kaydı tanıtıldığından programda toplam 44 durum için çözüm yaptırılmıştır. Yapılan çözümlemelerde taban kesme kuvvetleri her yön için bulunan kapasitenin yaklaşık %50'si ile karşılanmaktadır. Zaman tanım alanındaki çözümlemelerden elde edilen ve sabit modlu statik itme çözümlemesinden elde edilen taban kesme kuvvetleri birbirine oldukça yakındır. Aynı husus tepe yerdeğiştirmeleri için de geçerlidir.

Yapıdan elde edilen şekildeğiştirme sınırları yatay ve düşey elemanların her biri için zaman tanım alanında ve sabit modlu statik itme çözümlemelerinde MHB kalarak KK performans düzeyini sağlamaktadır. Yapının imalatını hızlandırmak için seçilen tünel kalıp yönteminin taşıyıcı sistemin sismik davranışında, 12 katlı ve yaklaşık 20'şer metre kenar açıklıklı bir yapı için oldukça güvenli tarafta kaldığı söylenebilir.

## 5.2 Öneriler

Taşıyıcı sistemin betonarme perde duvarlardan oluşması sebebi ile modellemede rijit çubuklar kullanılmıştır. Bu idealleştirme yönteminde çubuklara atanan rijitlik katsayısı periyodu ve yapının davranışını büyük ölçüde etkilemektedir. Bunun kontrolü farklı değerler girerek model üzerindeki etkileri incelenerek, kabuk eleman modeli yaparak ya da başka bir programda yapılmış model üzerinden kontrol edilmelidir.

Betonarme perde duvarların çok uzun olması iki doğrultudaki akma yüzeyleri arasında büyük bir kapasite farkı oluşturduğundan, akma yüzeyleri ve moment eğrilik bağıntıları üzerinden tanımlanan plastik mafsallarda sabit modlu statik itme çözümlemesinde, taban kesme – tepe yerdeğiştirme grafikleri bir asimtota yaklaşarak azalan artış grafiği yerine yerel rijitlik artış ve azalışlarının olduğu hatalı sonuçlar vermiştir. Bu sebeple fiber plastik mafsallar kullanılmış ve çok kollu perdelerin her biri dikdörtgen şeklinde modellenerek rijit çubuklarla birbirine bağlanmıştır. Kabuk elemanlar kullanılarak yapılan bir model kullanılabilir. Fakat kullanılan programda bu yöntemde donatılar, donatı oranı ile tanımlandığından kesit detaylandırması azalmaktadır. Ayrıca daha uzun çözümleme süreleri ve bilgisayar belleğinde daha çok yer kaplayan sonuçlar oluşabilir.

Binanın taşıyıcı sistemi yaklaşık 35 m olan bina için aşırı rijit kalmıştır. Bu sebeple tünel kalıp imalat yönteminin seçildiği daha yüksek yapılar ya da düzensizlikler içeren yapılar incelenebilir. Ayrıca yapıda büyük yerdeğiştirmeler beklenmediği için ikinci mertebeye etkiler incelenmemiştir. Önerilen yapılar için bu etki de göz önünde bulundurularak incelemeler yapılabilir.

İncelenen yapıda döşeme kalınlığı 14 cm perde kalınlığı ise 20 cm'dir. Fakat döşemeler modellenmemiş rijit diyafram atılarak katlardaki düğüm noktaları matematiksel olarak bağlanmıştır. Perdeler ile döşemelerin birleştiği yerlerde gerilme yığılması olacağı için bu bölgelerde döşemelerde de çatlak oluşumu beklenecektir. Bu sebeple bu elemanlar da modellenerek ve etkin kesit rijitliği girilerek inceleme yapılabilir. Hatta oluşacak çatlakların yönüne bağlı olarak yapıda davranış değişecektir. Deprem etkisiyle bir yöne doğru oluşan çatlak tersinir harekette kapanacağı için çatlak yönü önem teşkil etmektedir.

Deprem kayıtları ivme değerlerinin en büyük değerleri ve karakteristik davranışları yansıtılacak şekilde seçilmeye çalışılmıştır. Fakat bir diğer kısıtta 11 adet deprem kaydı 90° çevrilerek 22 çözümlene yapıldığı için ve kayıt sürelerine bağlı olarak, sonuçların bilgisayar sabit belleğinde kaplayacağı alanlar olmuştur. Bu tez kapsamında 1 TB hafızası olan bilgisayarda yapılan zmleneler 650 GB alan kaplamış ve kullanılan programlar ile 770 GB toplam alan kullanılmıştır. Ek olarak Intel i7 7700HQ işlemci, 16 GB RAM, 256 GB SSD bulunan bir dizüstü bilgisayar ile 15 saniyelik bir çözümlene 45~60 dakika arasında sürmektedir.

Deprem kayıtlarının tasarım spektrumuna benzeştirme işlemi dalgacık fonksiyonlarının eklenmesi ile spektral benzeştirme yöntemiyle yapılmıştır. Bu yöntem oldukça benzer sonuçlar verebilmektedir. Diğer spektrum benzeştirme yöntemleri kullanılarak incelemeler yapılabilir.

Doğrusal olmayan çözümlene yöntemleri ilk defa kullanılarak bir inceleme yapılıyorsa; yapı küçükten büyüğe doğru modellenerek eleman davranışları incelenip, ardından yapı davranışına geçilmesinde büyük fayda bulunmaktadır. Bu şekilde malzeme, eleman, yapı geometrisi, yükleme durumları sırasıyla incelenerek beklenen davranış kontrol edilebilir ve oluşan hatalar daha rahat farkedilebilir.

## KAYNAKLAR

- [1] **TBDY**, (2016). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği,
- [2] **Özer, E.**, 2007. Kapasite Tasarımı İlkesi ve Türk Deprem Yönetmeliği, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul
- [3] **Darılmaz, K.**, 2012. Depreme Dayanıklı Betonarme Binaların Tasarımına Giriş, Sage Yayıncılık, Ankara
- [4] **DBYBHY**, (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık İmar ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- [5] **Celep, Z.**, 2008. Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Kapasite Tasarımı, İMO
- [6] **Özer, E.** (2009). Yapı Sistemlerinin Lineer Olmayan Analizi Ders Notları. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [7] **PEER/ATC 72-1**, “Modelling and Acceptance Criteria for Seismic Design and Analysis of Tall Buildings,” prepared by ATC and PEER, U.S.A., 2010.
- [8] **Mander, J.B., Priestley, M.J.N., Park, R.** (1988). Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete, Journal of Structural Division (ASCE), 114(8), 1804-1826.
- [9] **J. Kubin, Y. M. Fahjan, T. Tan**, Comparison of Practical Approaches for Modelling Shearwalls in Structural Analyses of Buildings, 14th European Conference on Earthquake Engineering, 2010.
- [10] **SAP2000**, Integrated Software for Structural Analysis and Design Program, Computers and Structures Inc., Berkeley, California.
- [11] **Krawinkler, H. ve Seneviratna G.D.P.K.** (1998). Pros and Cons of a Pushover Analysis of Seismic Performance Evaluation, Engineering Structures, Cilt. 20, Sf. 452-464. Elsevier Science Ltd.
- [12] **Özdemir Z., Fahjan Y.M.**, Gerçek Deprem Kayıtlarının Tasarım Spektrumlarına Uygun Olarak Zaman ve Frekans Tanım Alanlarında Ölçekleme Yöntemlerinin Karşılaştırılması. *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, 16-20 Ekim 2007, İstanbul.
- [13] **Bommer J.J., Acevedo A.B., Douglas J.** (2003) “The Selection and Scaling of Real Earthquake Accelerograms for use in seismic Design and Assessment”, *Proceedings of ACI International Conference on Seismic Bridge Design and Retrofit*, American Concrete Institute.
- [14] **Abrahamson N.A.** (1993), Non-Stationary Spectral Matching Program RSPMATCH, User Manual, 16 July.
- [15] **Antoniou S., Rovithakis A., Pinho R.**, Development and verification of a fully adaptive pushover procedure *12th European Conference on Earthquake Engineering*, Published by Elsevier Science Ltd

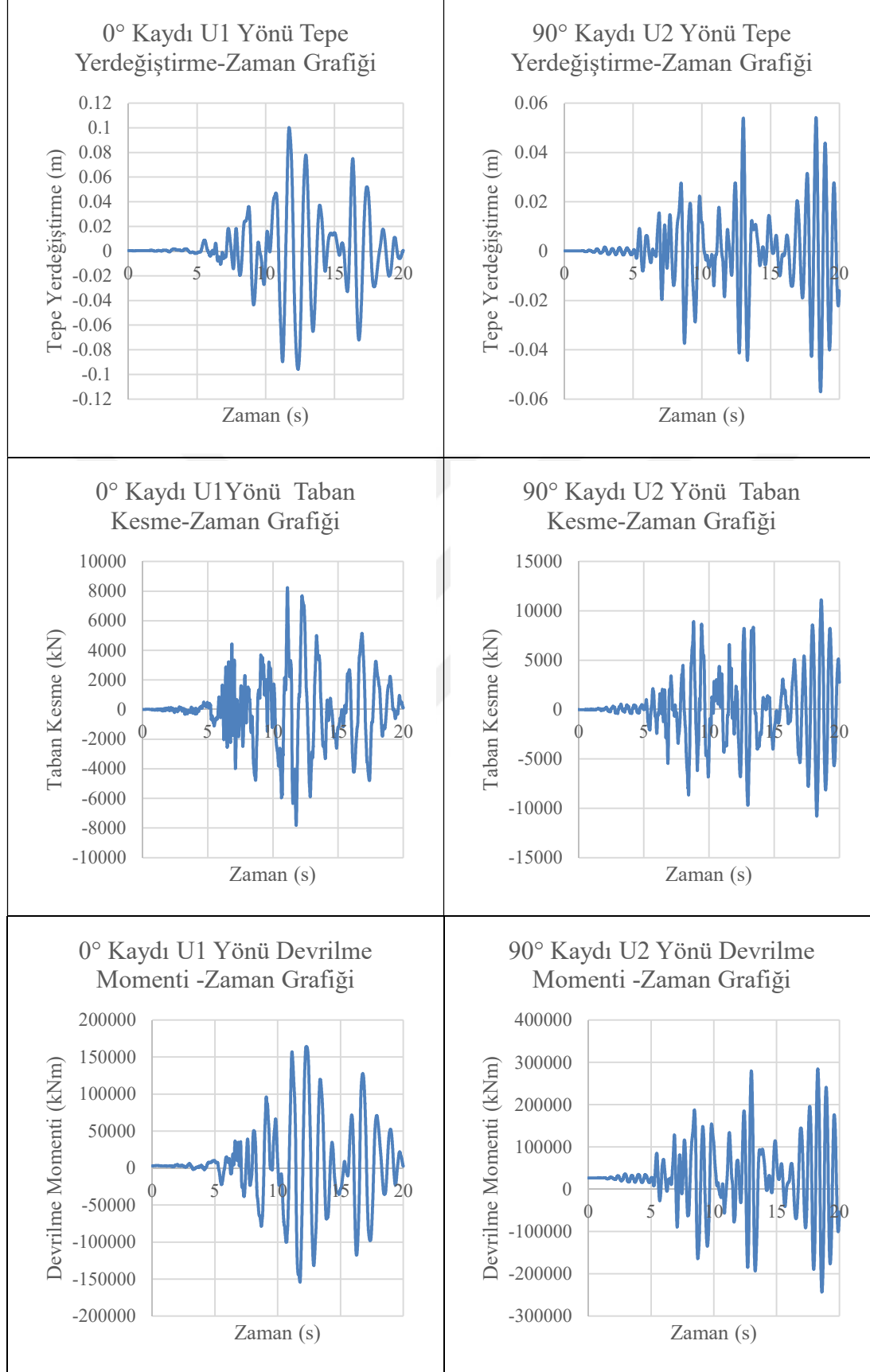
- [16] **Abrahart, R. J. & See, L.** (1998). Neural Network vs. ARMA Modelling: Constructing Benchmark Case Studies of River Flow Prediction. In J. Blenc, (Ed.), *GeoComputation '98. Proceedings of the Third International Conference on GeoComputation*, (pp.145-154). United Kingdom : University of Bristol, September 17-19.
- [17] **SEISMOMATCH**, Seismosoft, Earthquake Engineering Software Solutions, Messina, Italy
- [18] **SEISMOSIGNAL**, Seismosoft, Earthquake Engineering Software Solutions, Messina, Italy.
- [19] **TS-498**, 1997. Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [20] **TS-500**, 2000. Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [21] **Karaca, A., 2014.** 33 Katlı Betonarme Bir Binanın Deprem Performansının Zaman Tanım Alanında Doğrusal Elastik Olmayan Hesap Yöntemi İle Belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [22] **Akyıldız, A.T., 2015.** Mevcut Bir Betonarme Binanın TDY'07'de Belirtilen Doğrusal Elastik Olmayan Analiz Tönemlerine Göre Performans Değerlendirmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [23] **Url-1** < <https://wiki.csiamerica.com>>, erişim tarihi 29.10.2017.

## **EKLER**

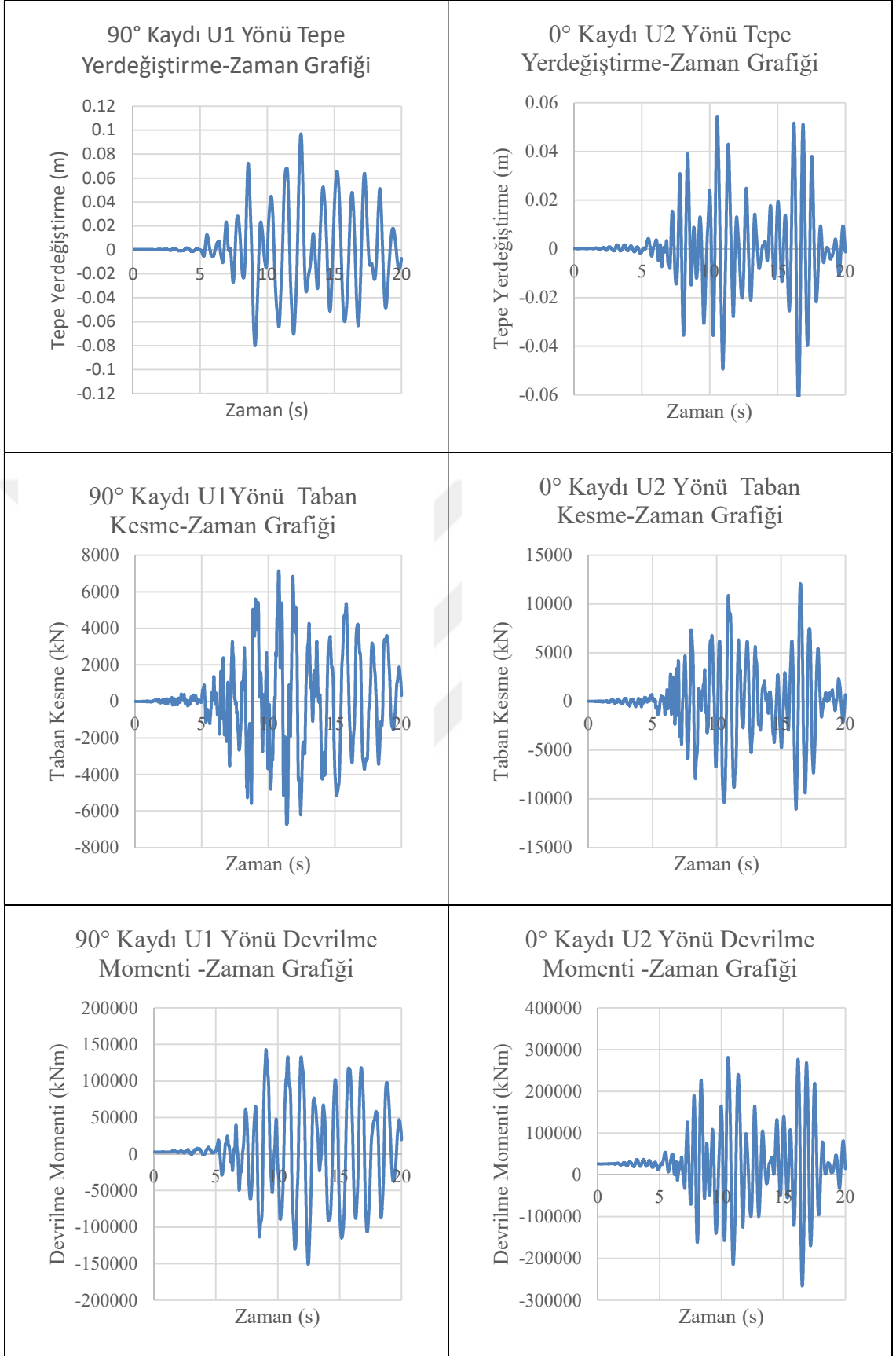
**EK A :** Benzeştirilmiş deprem kayıtlarına ait sonuçlar.

**EK B :** Benzeştirilmiş deprem kayıtlarına ait grafikler.

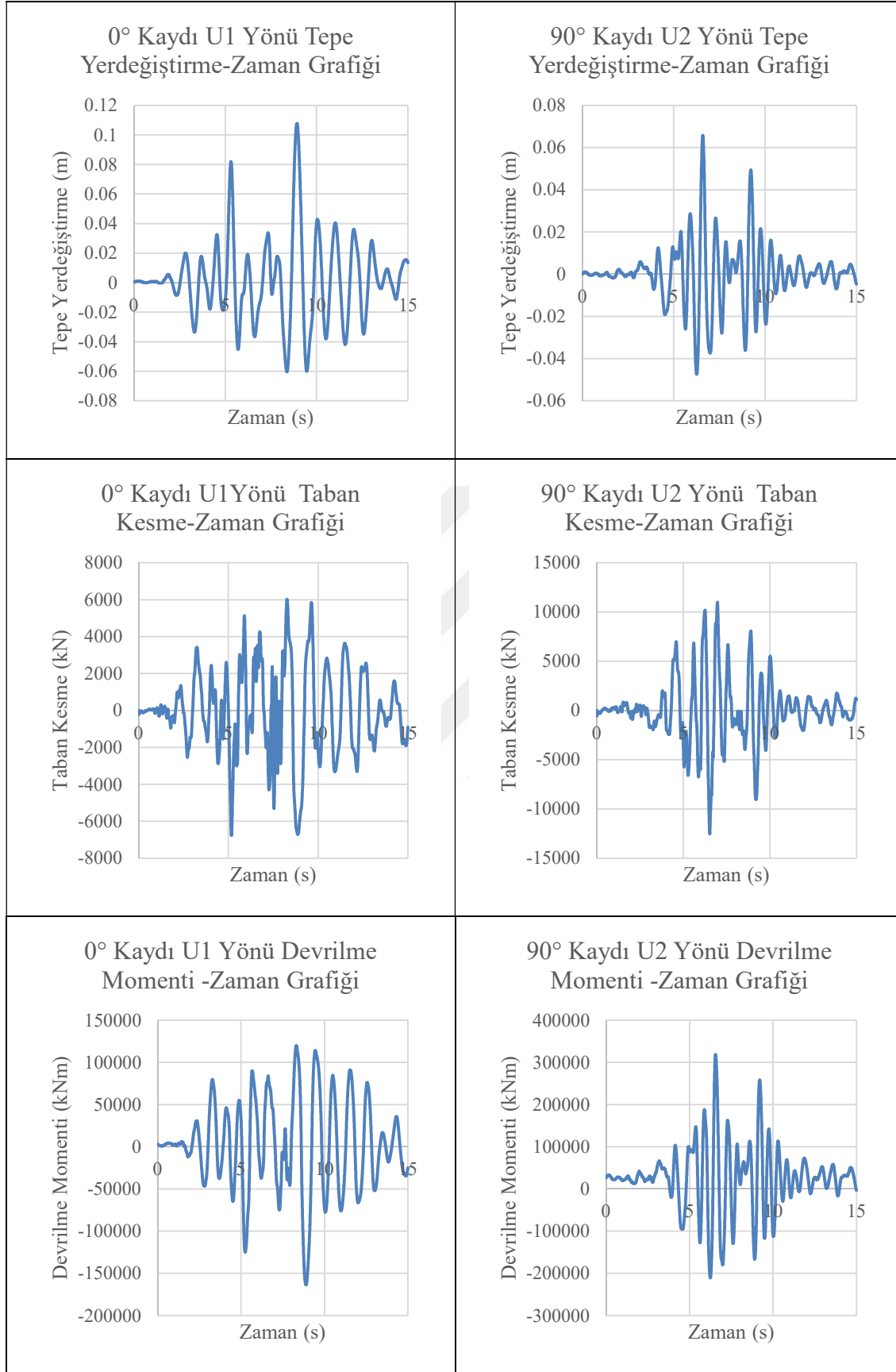


**EK A****Şekil A.1** : İmperial Valley-06, El Centro Array #12 benzeştirilmiş kayıt sonuçları.

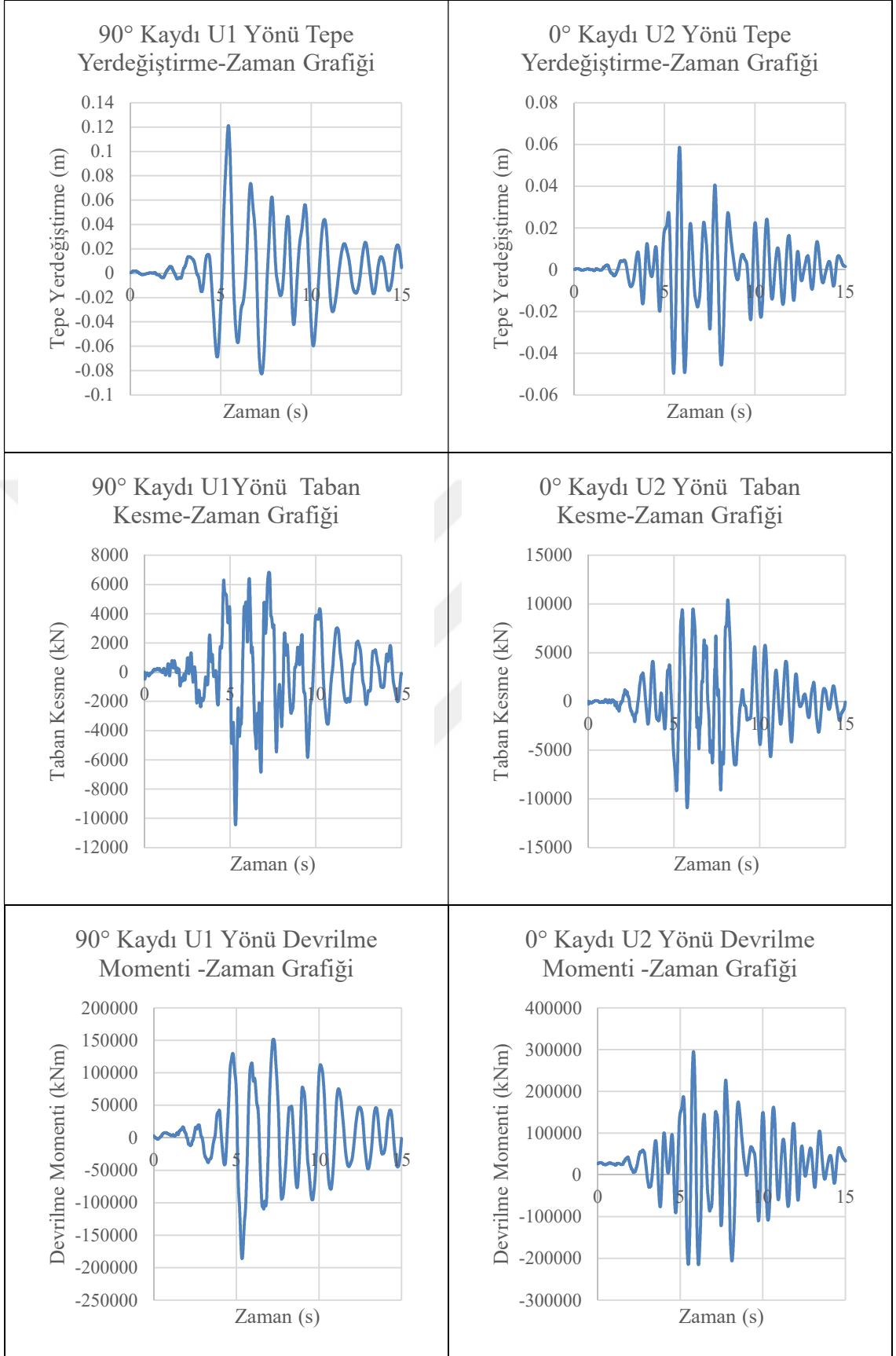




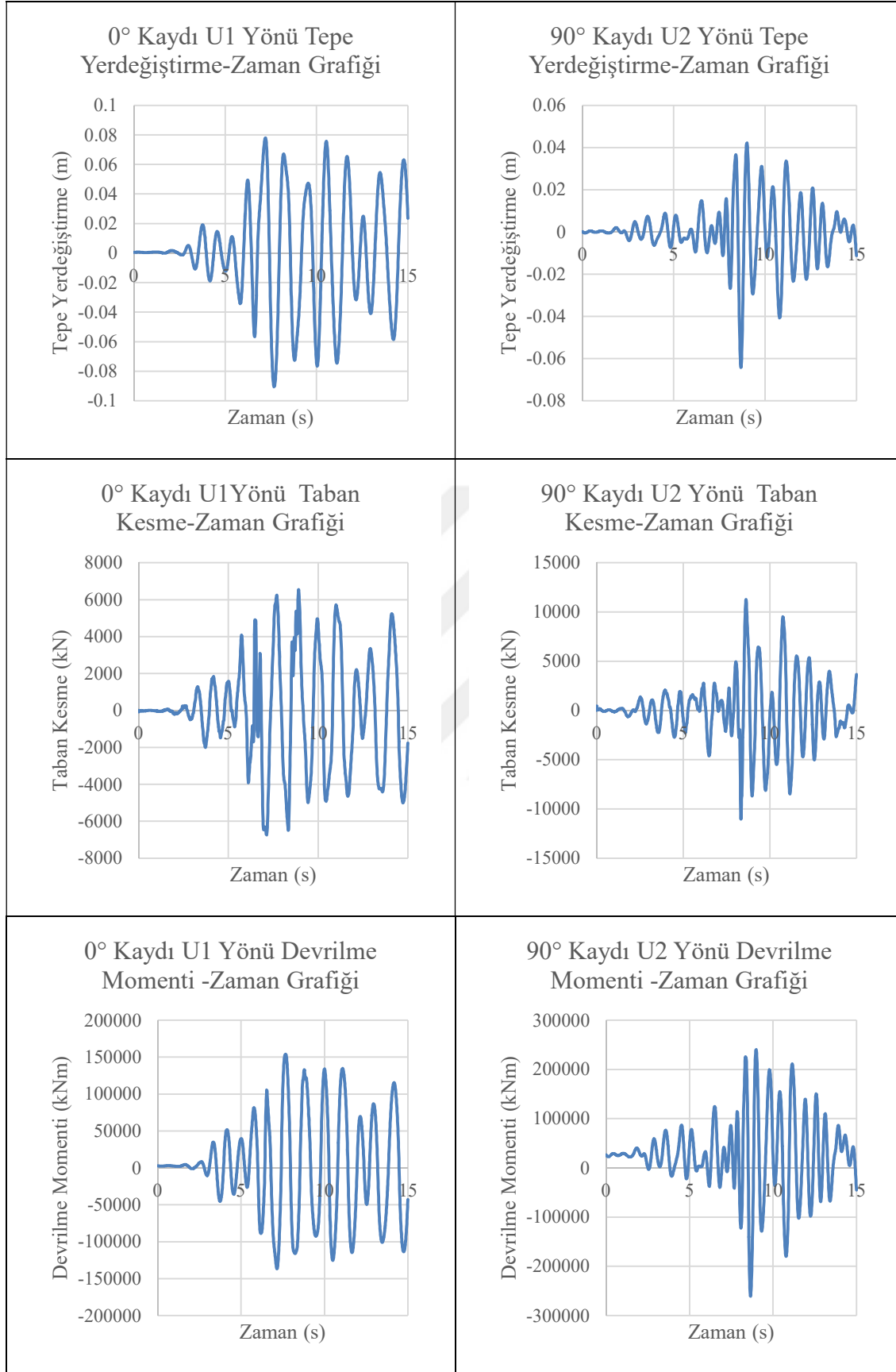
**şekil A.1 (devam) : İmperial Valley-06, El Centro Array #12 benzeştirilmiş kayıt sonuları.**



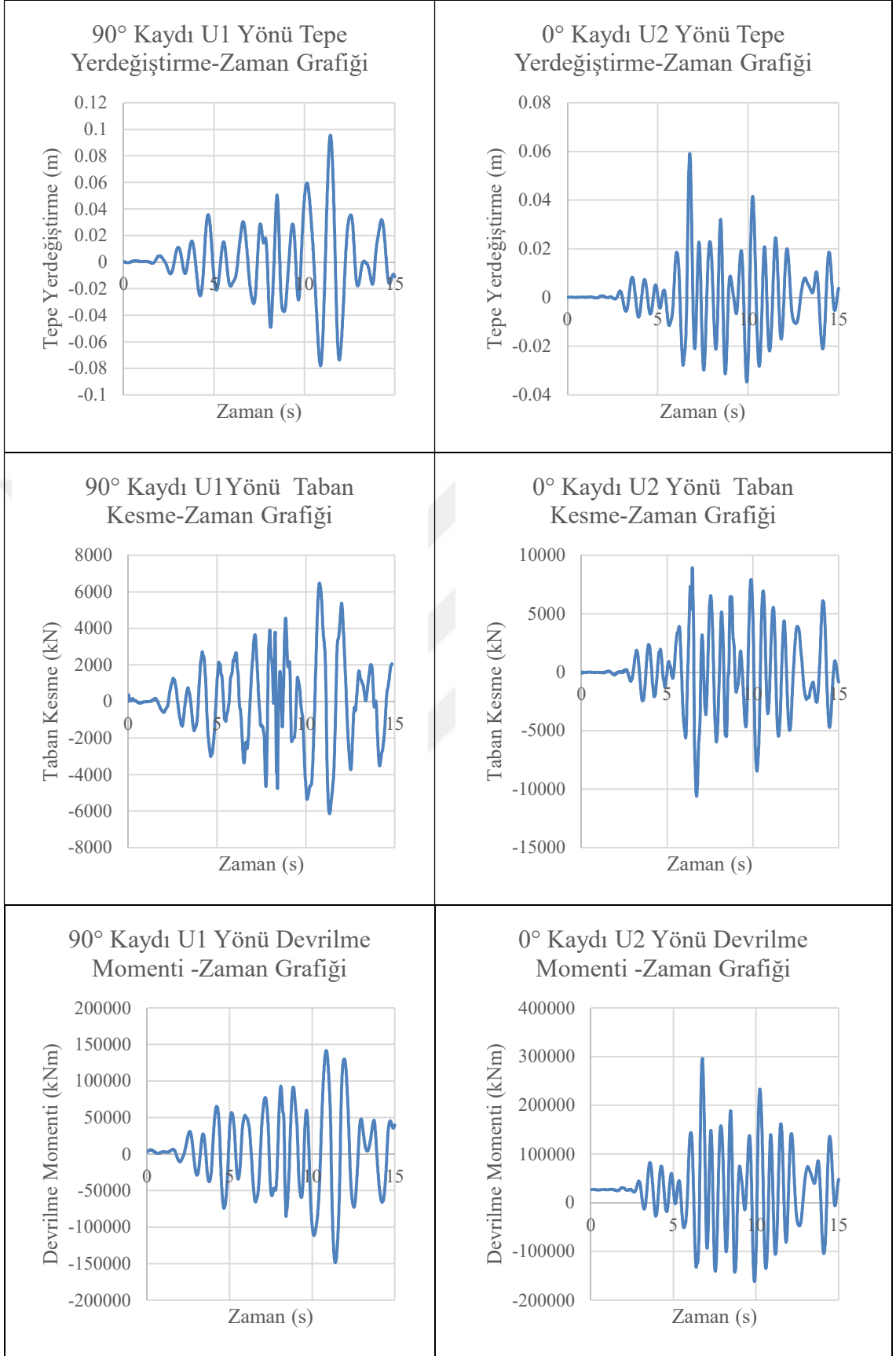
Şekil A.2 : Kobe, Kobe University benzeştirilmiş kayıt sonuçları.



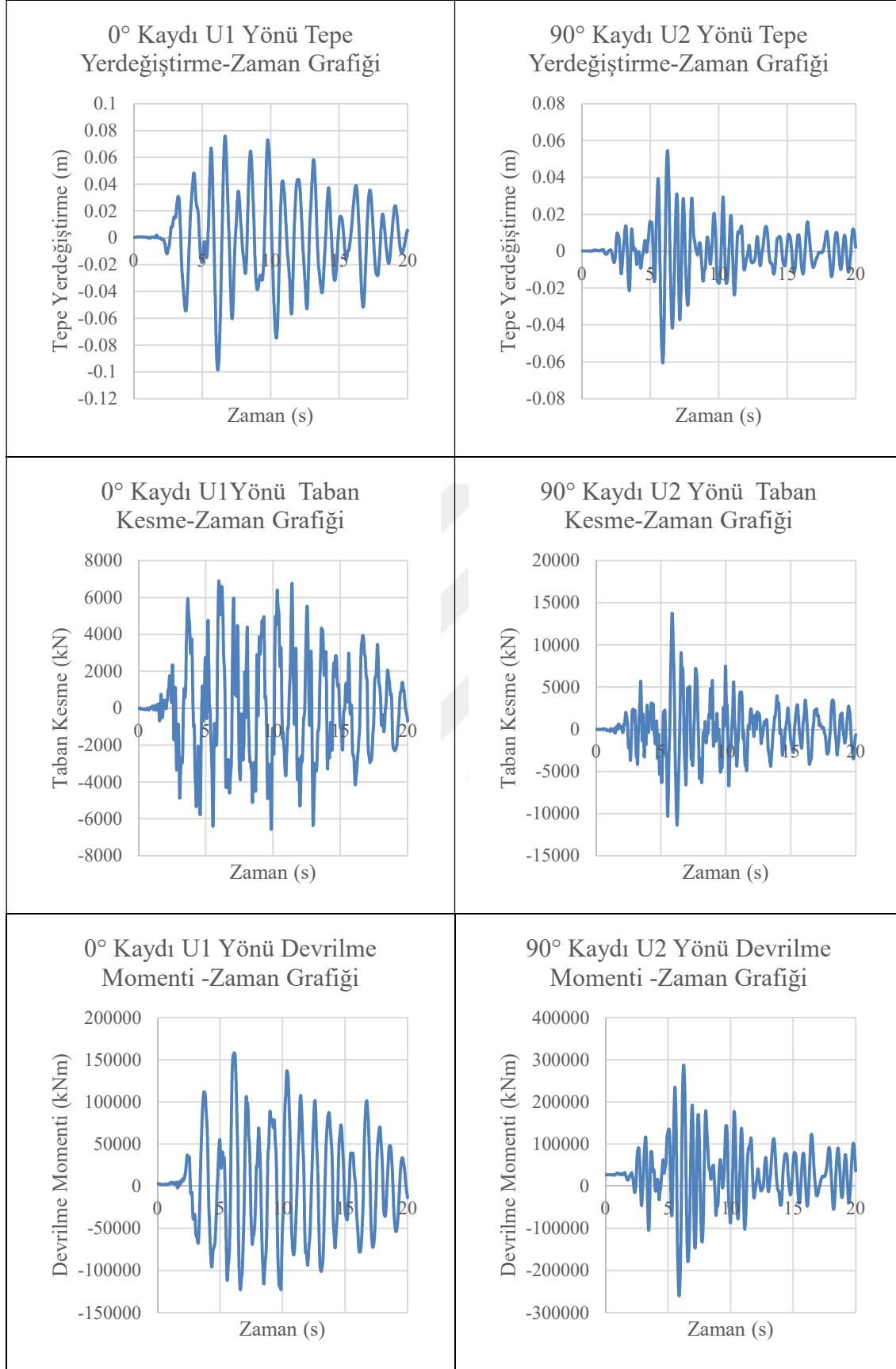
**şekil A.2 (devam) :** Kobe, Kobe University benzeştirilmiş kayıt sonuçları.



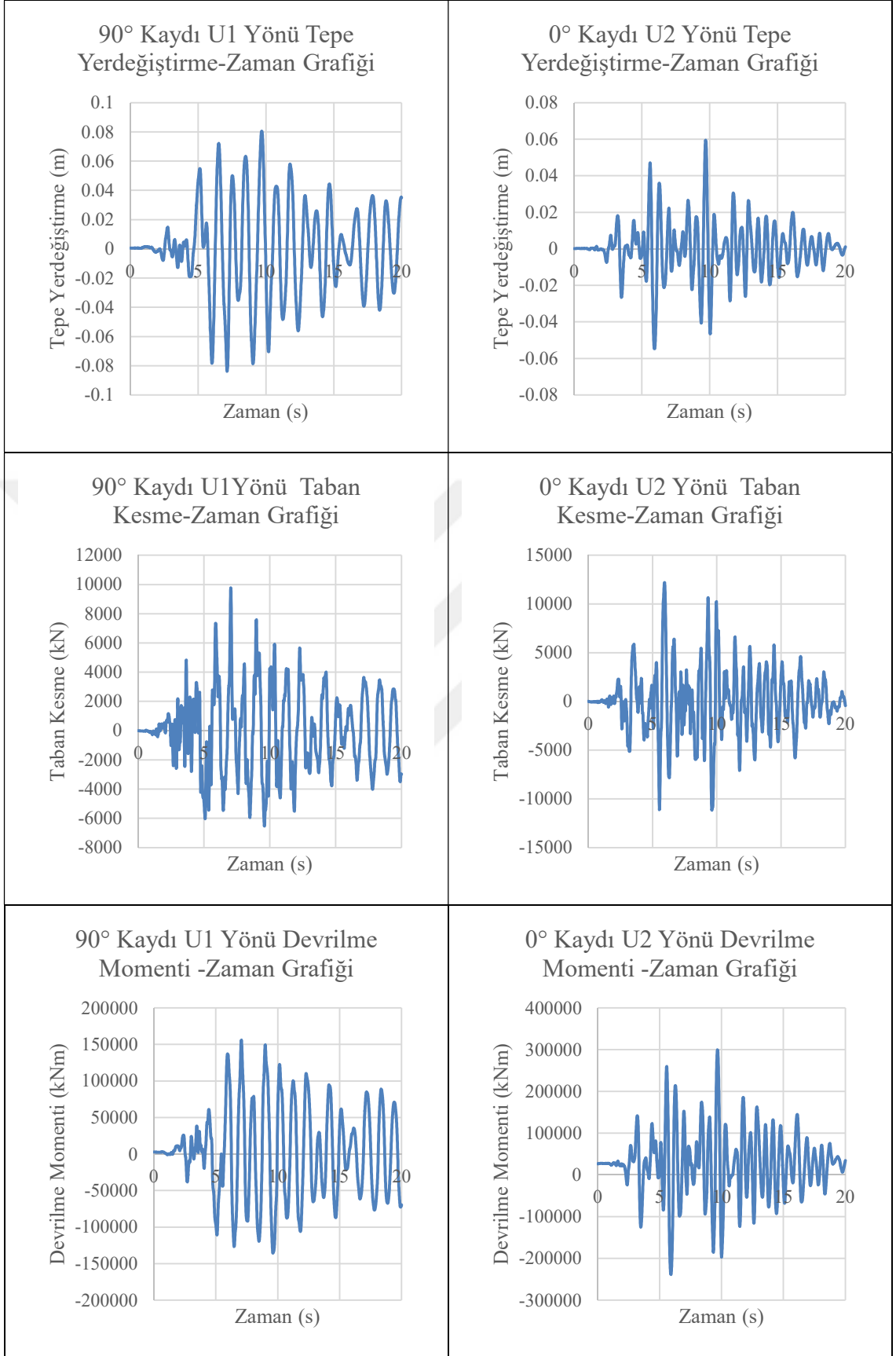
Şekil A.3 : Kobe, Fukushima benzeştirilmiş kayıt sonuçları.



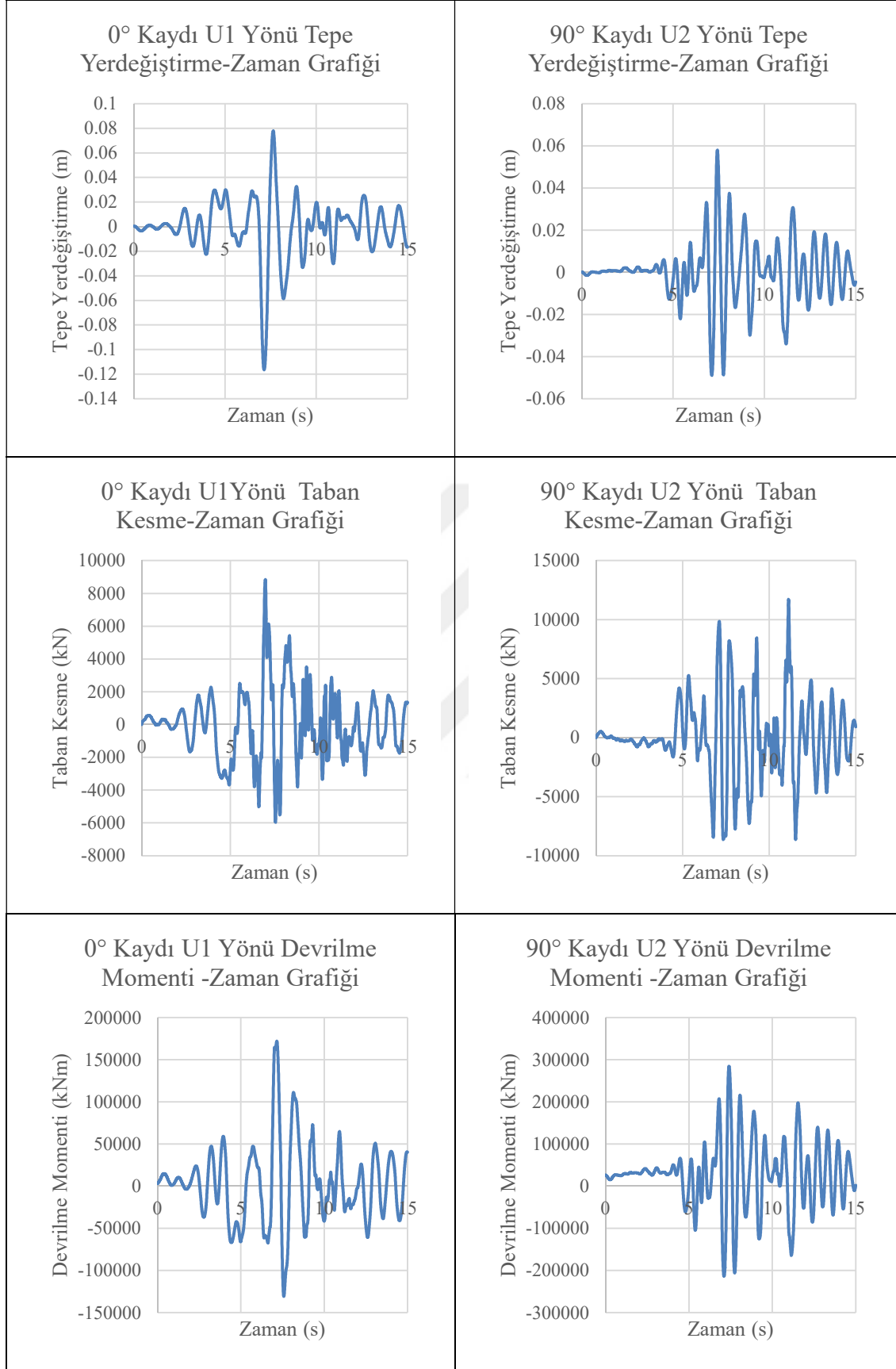
**Şekil A.3 (devam) :** Kobe, Fukushima benzeştirilmiş kayıt sonuçları.



**şekil A.4 :** Kobe, Kakogawa benzeştirilmiş kayıt sonuçları.

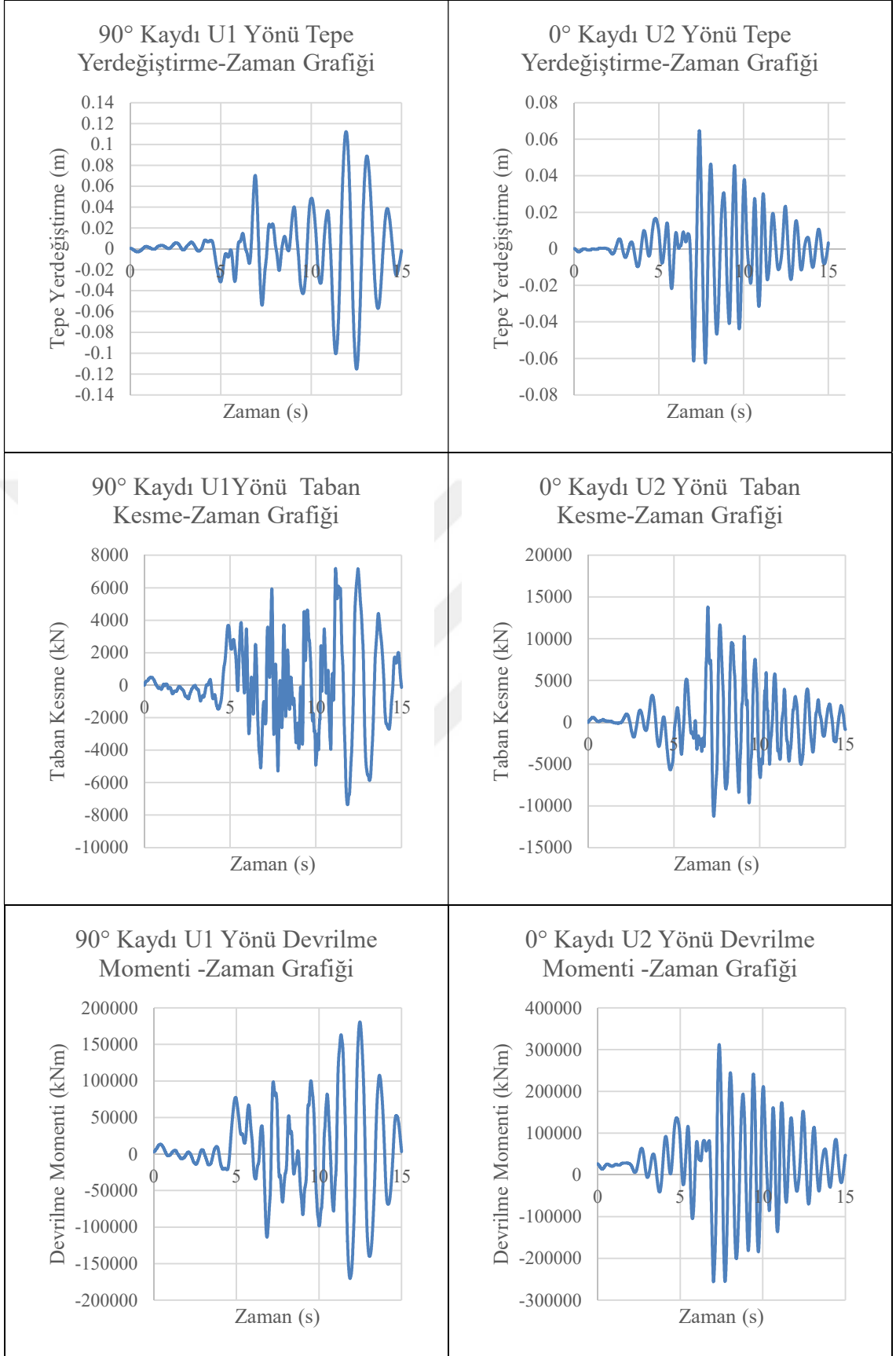


**şekil A.4 (devam) :** Kobe, Kakogawa benzeştirilmiş kayıt sonuçları.

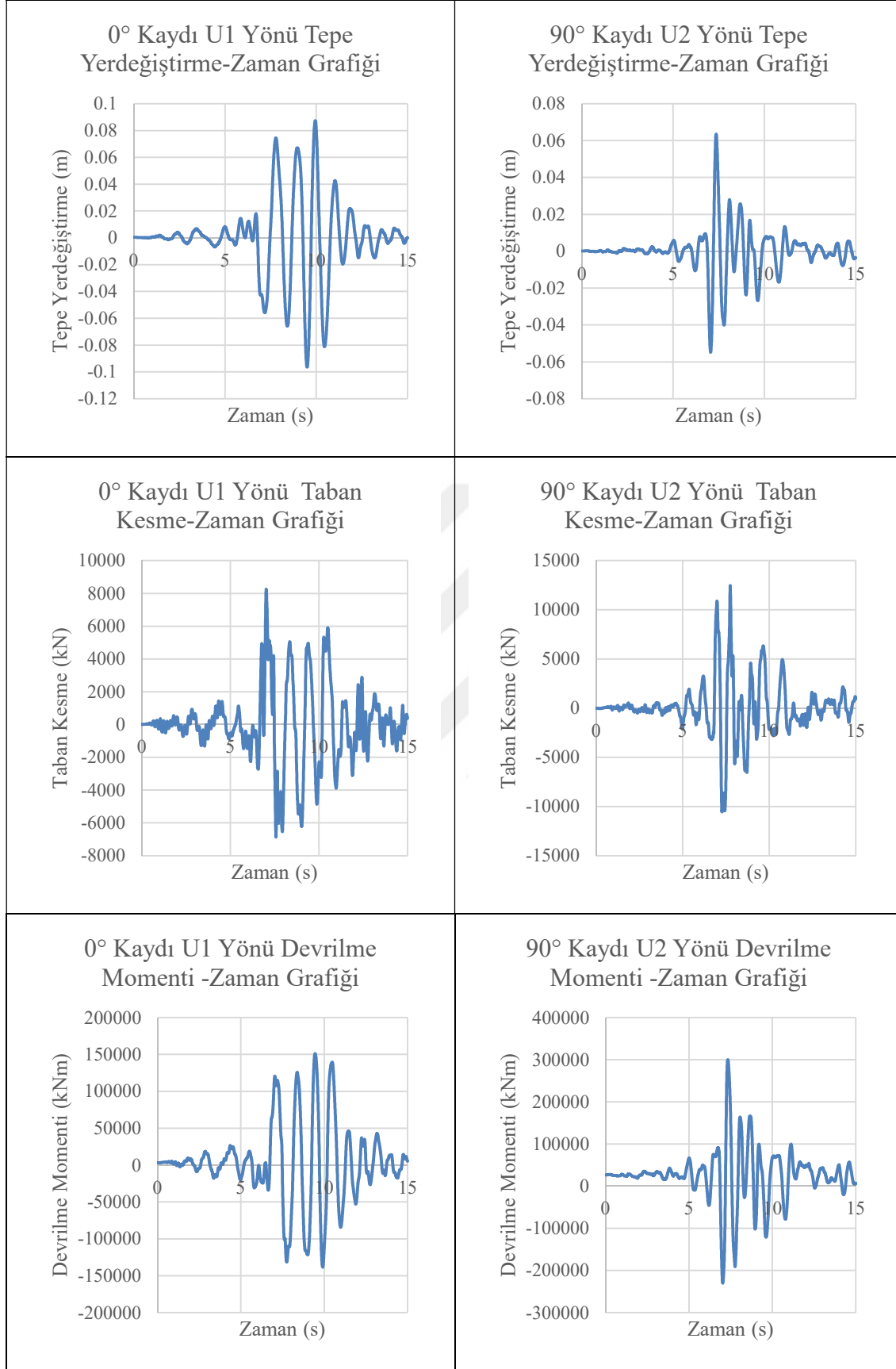


**şekil A.5 : Kocaeli, Gebze benzeştirilmiş kayıt sonuçları.**

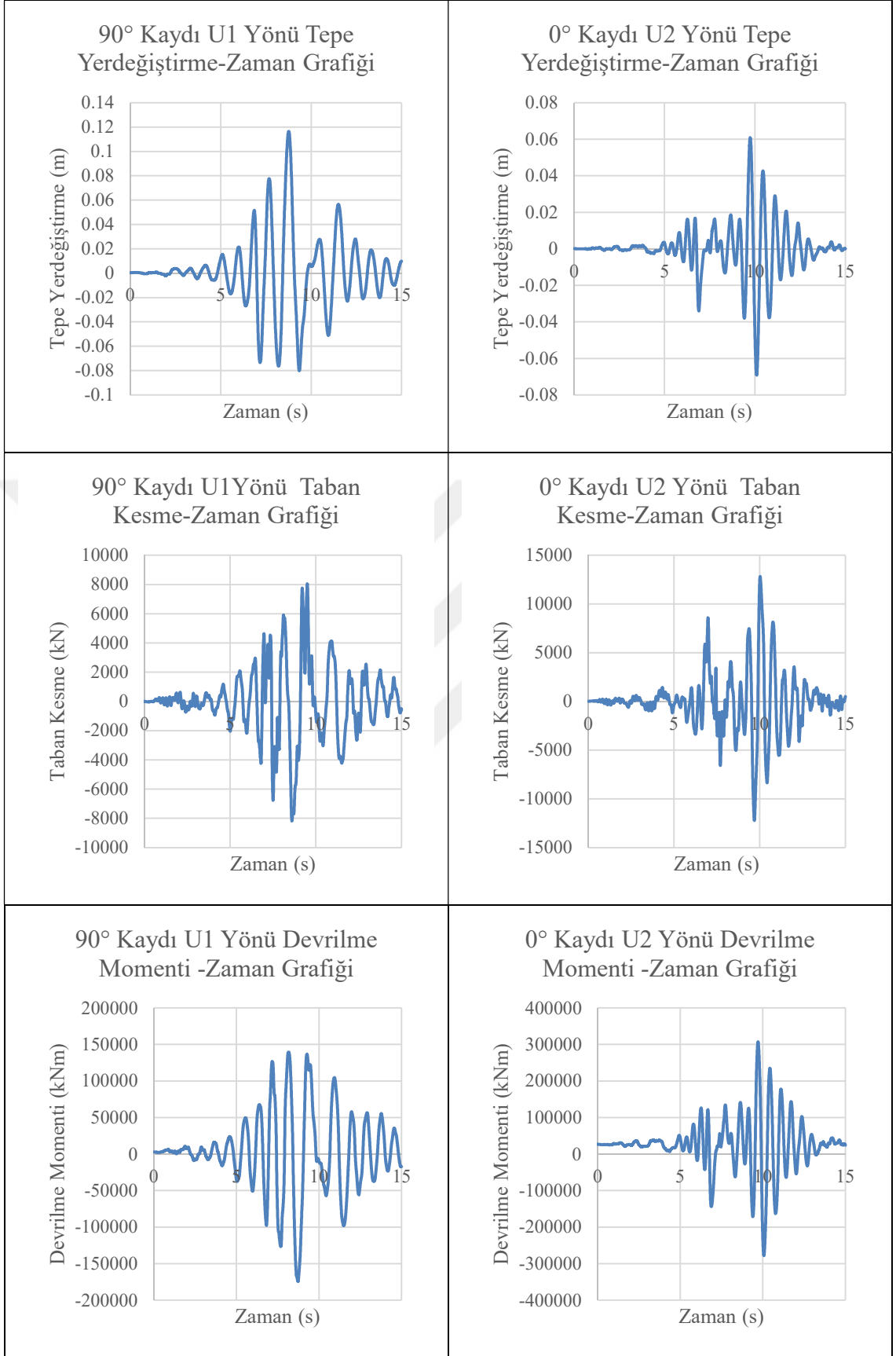




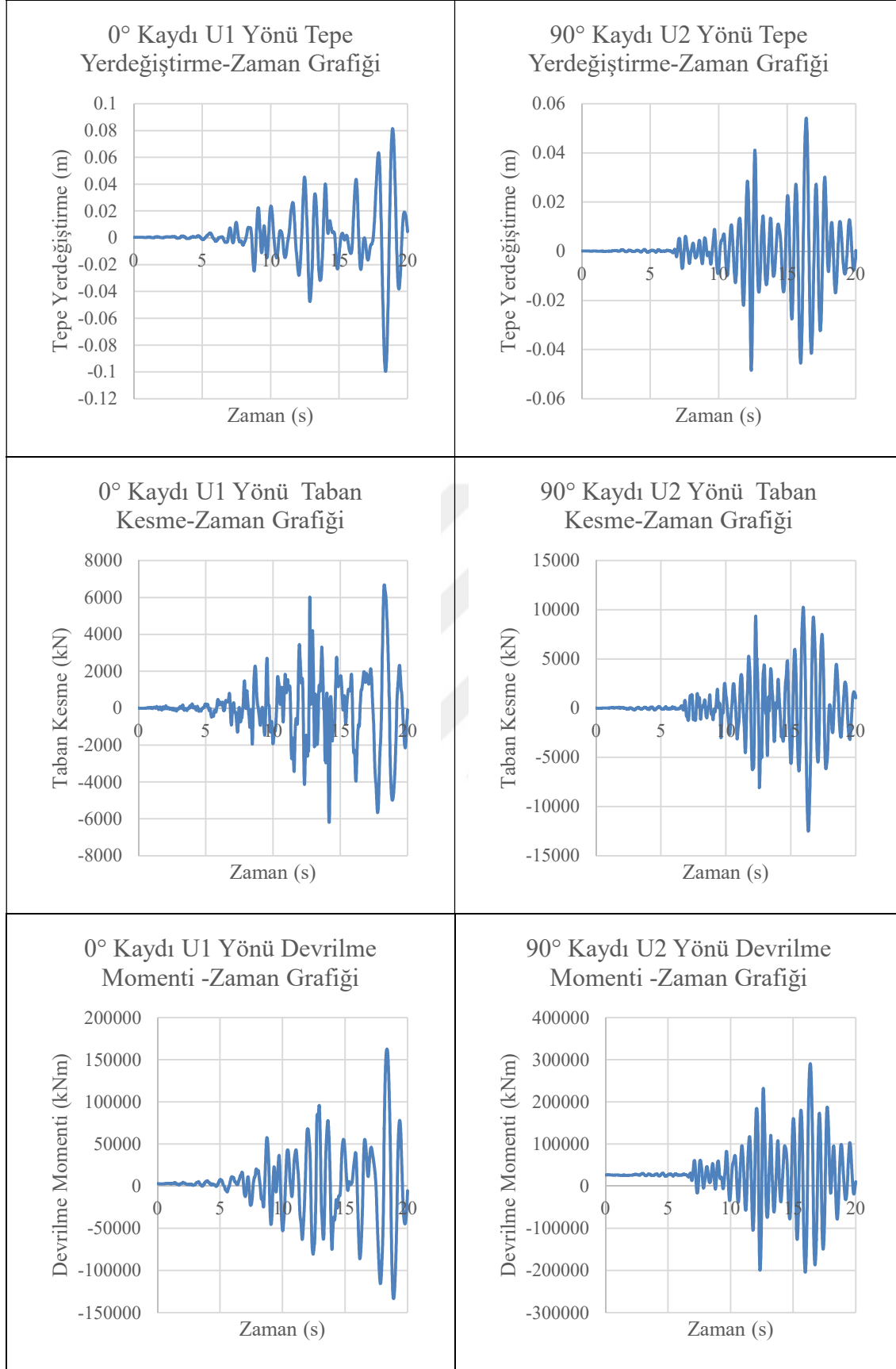
**şekil A.5 (devam) : Kocaeli, Gebze benzeştirilmiş kayıt sonuçları.**



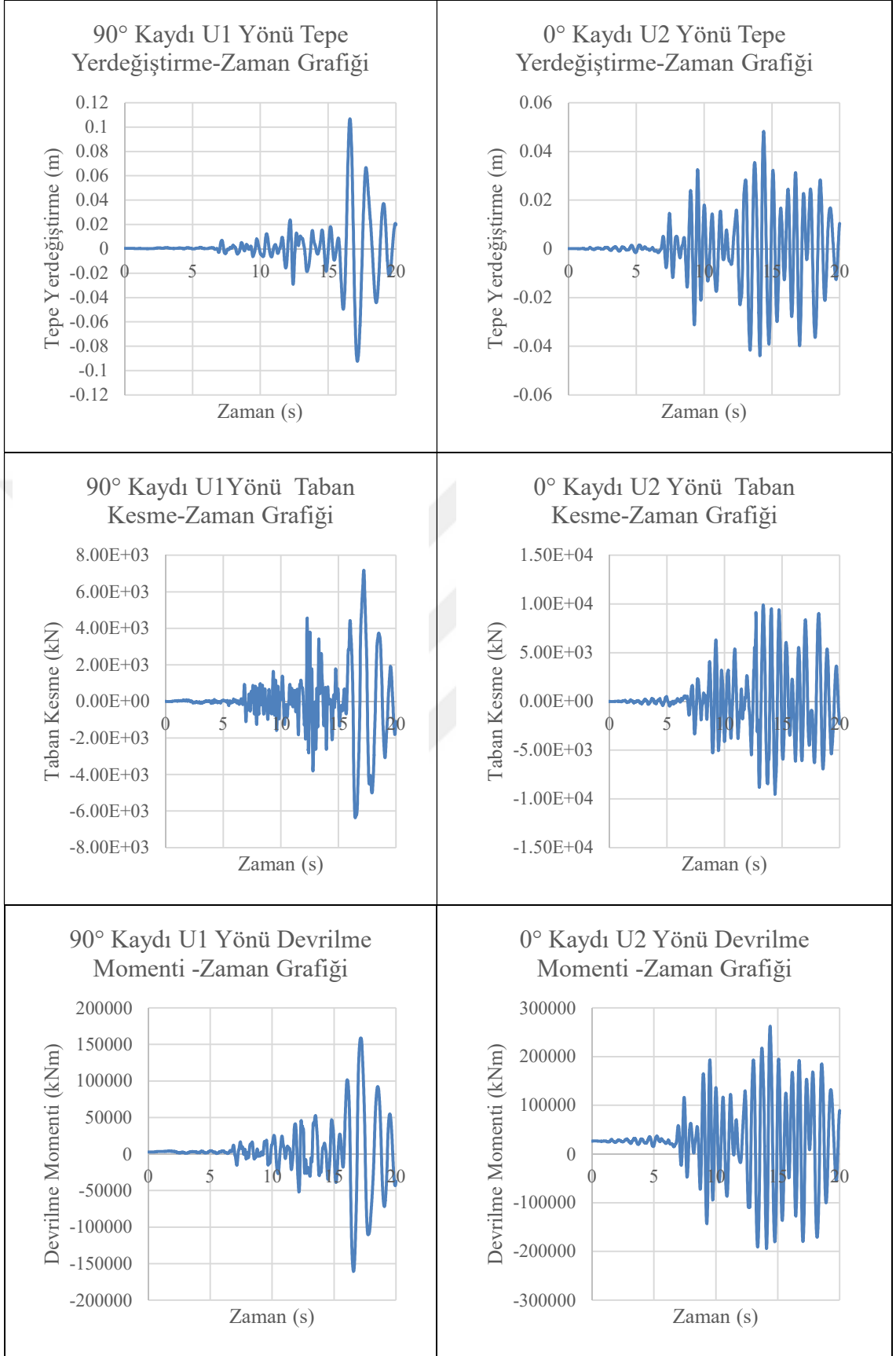
**Şekil A.6 :** Kocaeli, Göynük benzeştirilmiş kayıt sonuçları.



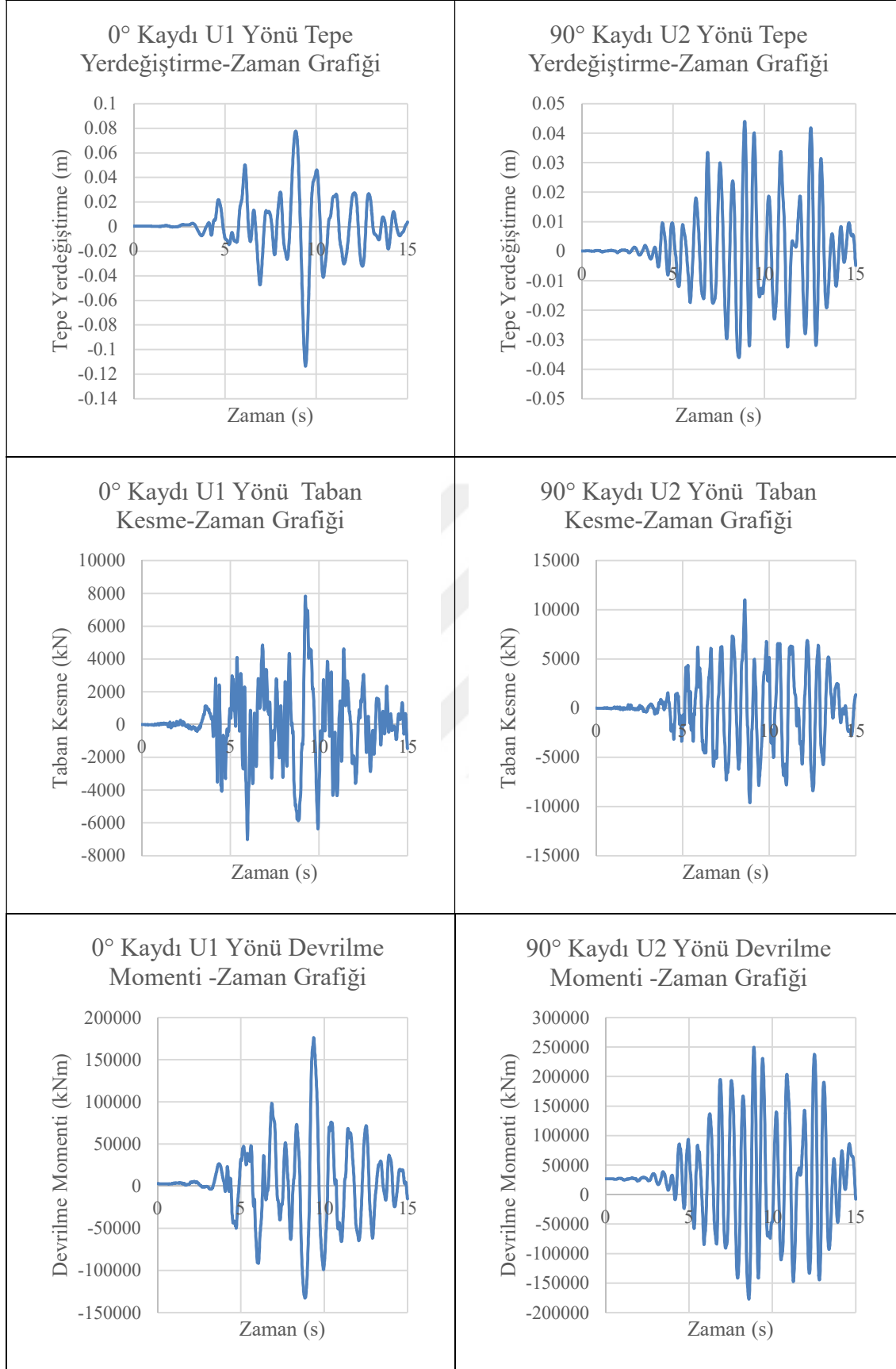
Şekil A.6 (devam) : Kocaeli, Göynük benzeştirilmiş kayıt sonuçları.



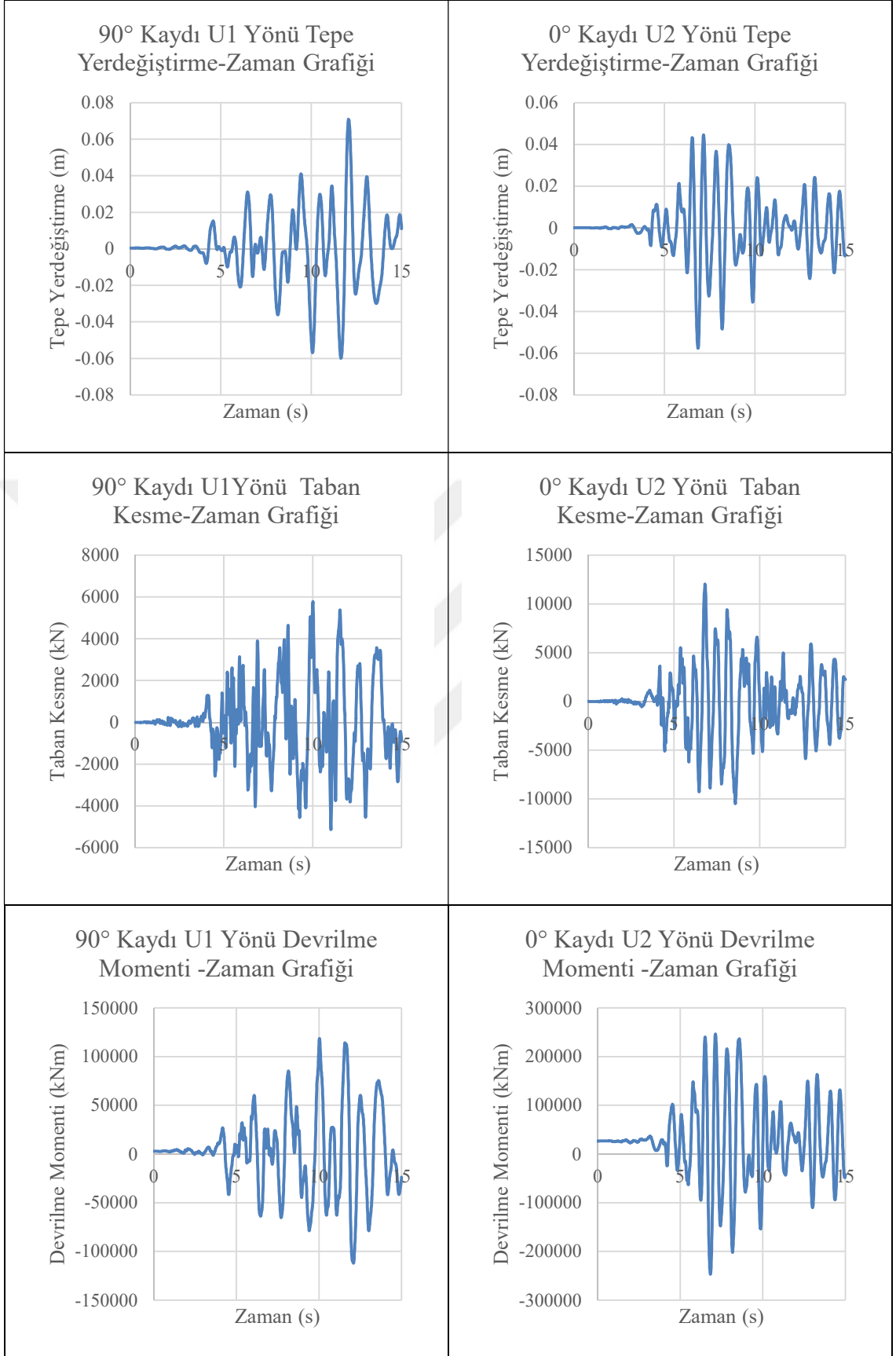
Şekil A.7 : Northridge-01, El Monte Fairview Avenue benzeştirilmiş kayıt sonuçları.



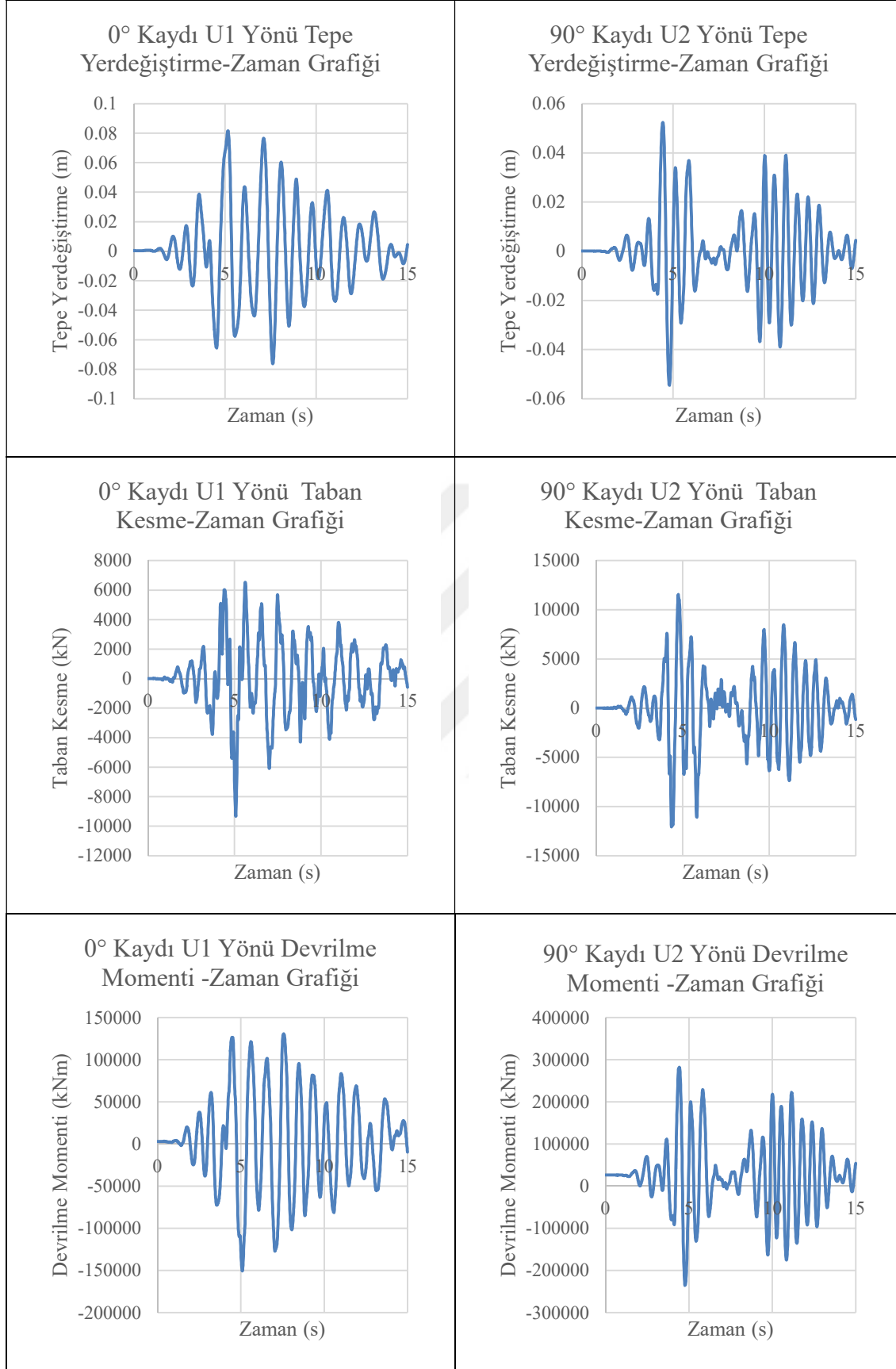
**Şekil A.7 (devam) :** Northridge-01, El Monte Fairview Avenue benzeştirilmiş kayıt sonuçları.



**Şekil A.8 :** Northridge-01, Glendale Las Palmas benzeştirilmiş kayıt sonuçları.

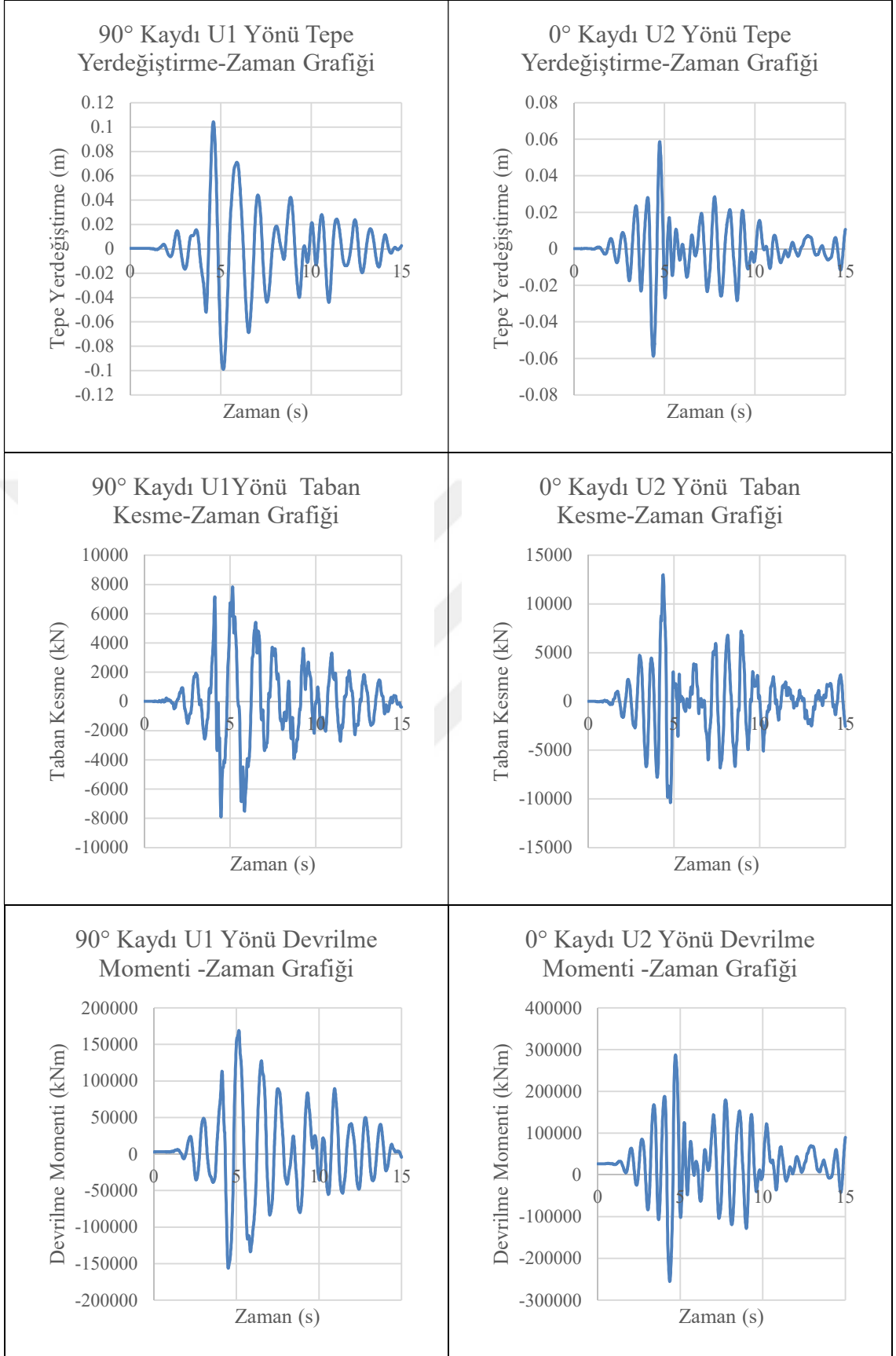


**şekil A.8 (devam) : Northridge-01, Glendale Las Palmas benzeştirilmiş kayıt sonuları.**

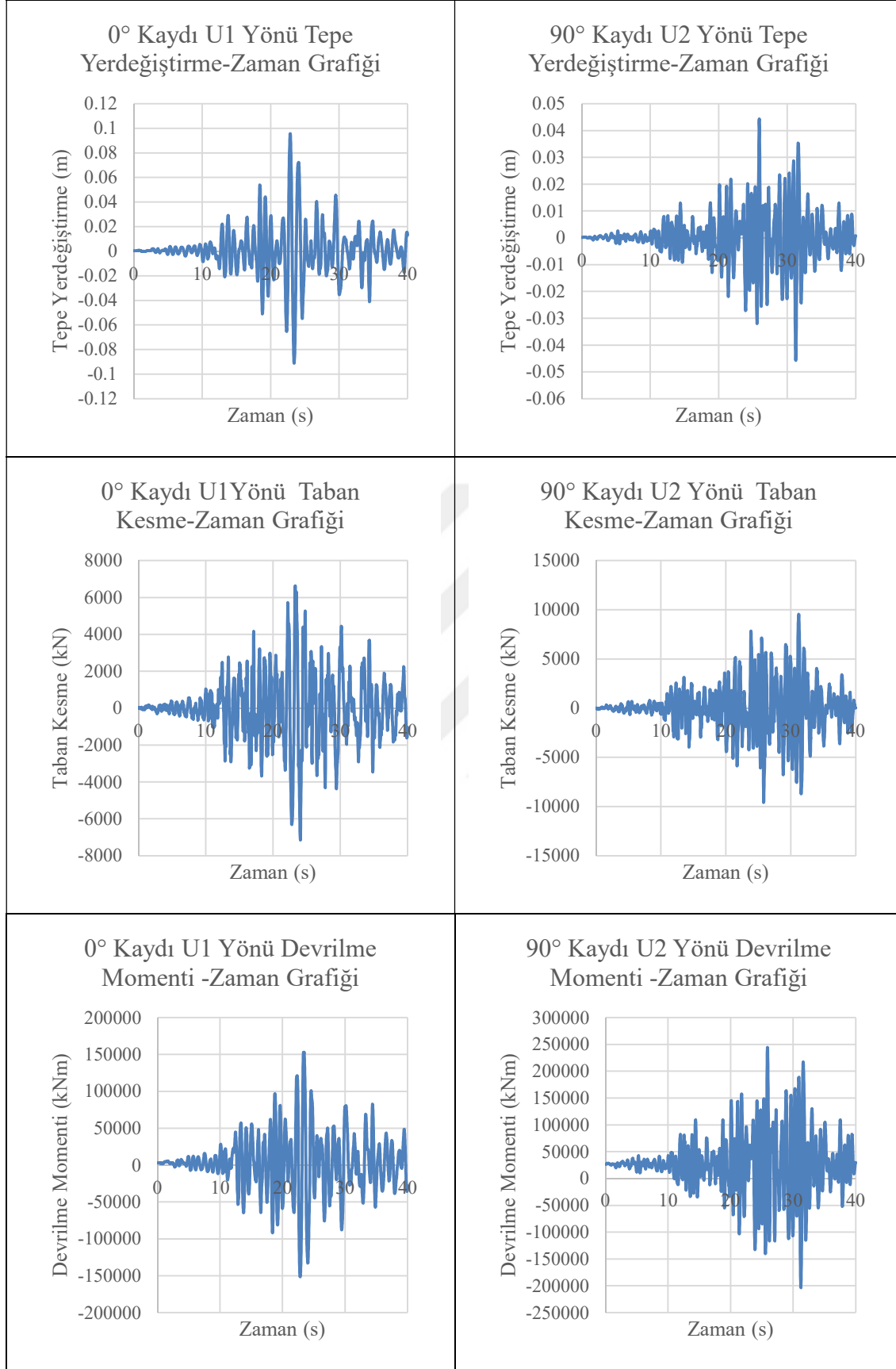


Şekil A.9 : Northridge-01, La Crescenta New York benzeştirilmiş kayıt sonuçları.

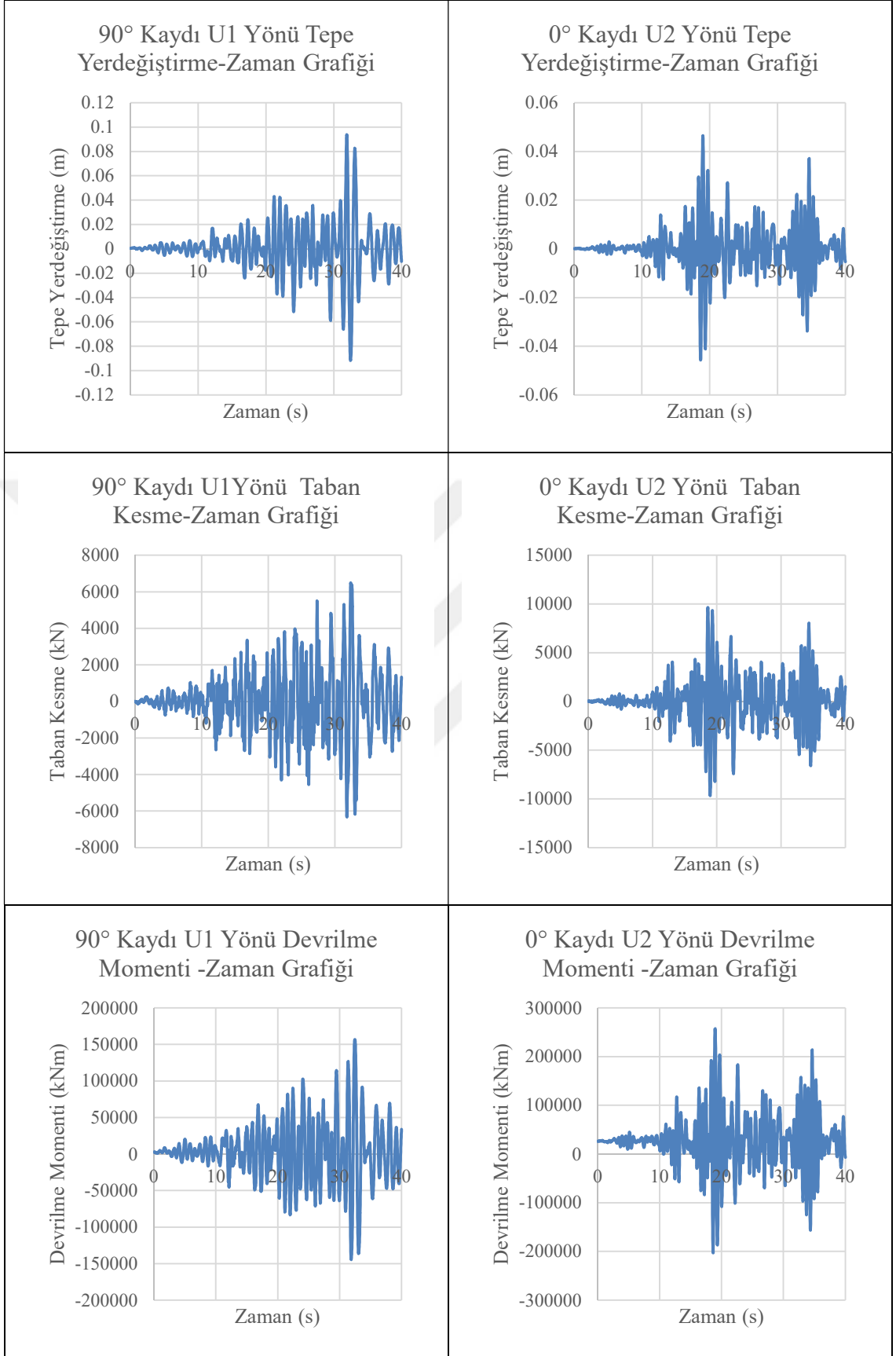




**Şekil A.9 :** Northridge-01, La Crescenta New York benzeştirilmiş kayıt sonuçları.

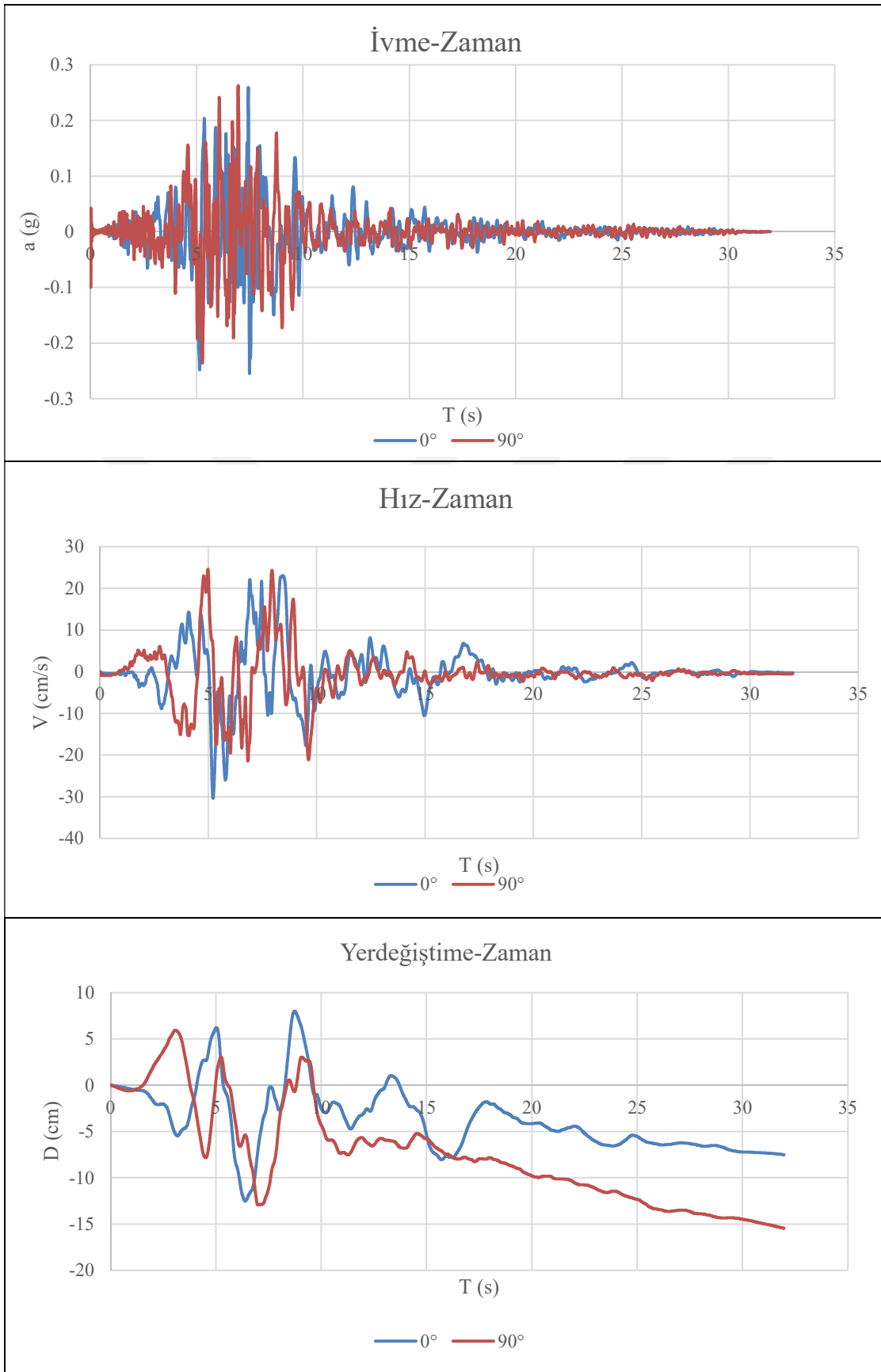


Şekil A.10 : Landers, Amboy benzeştirilmiş kayıt sonuçları.

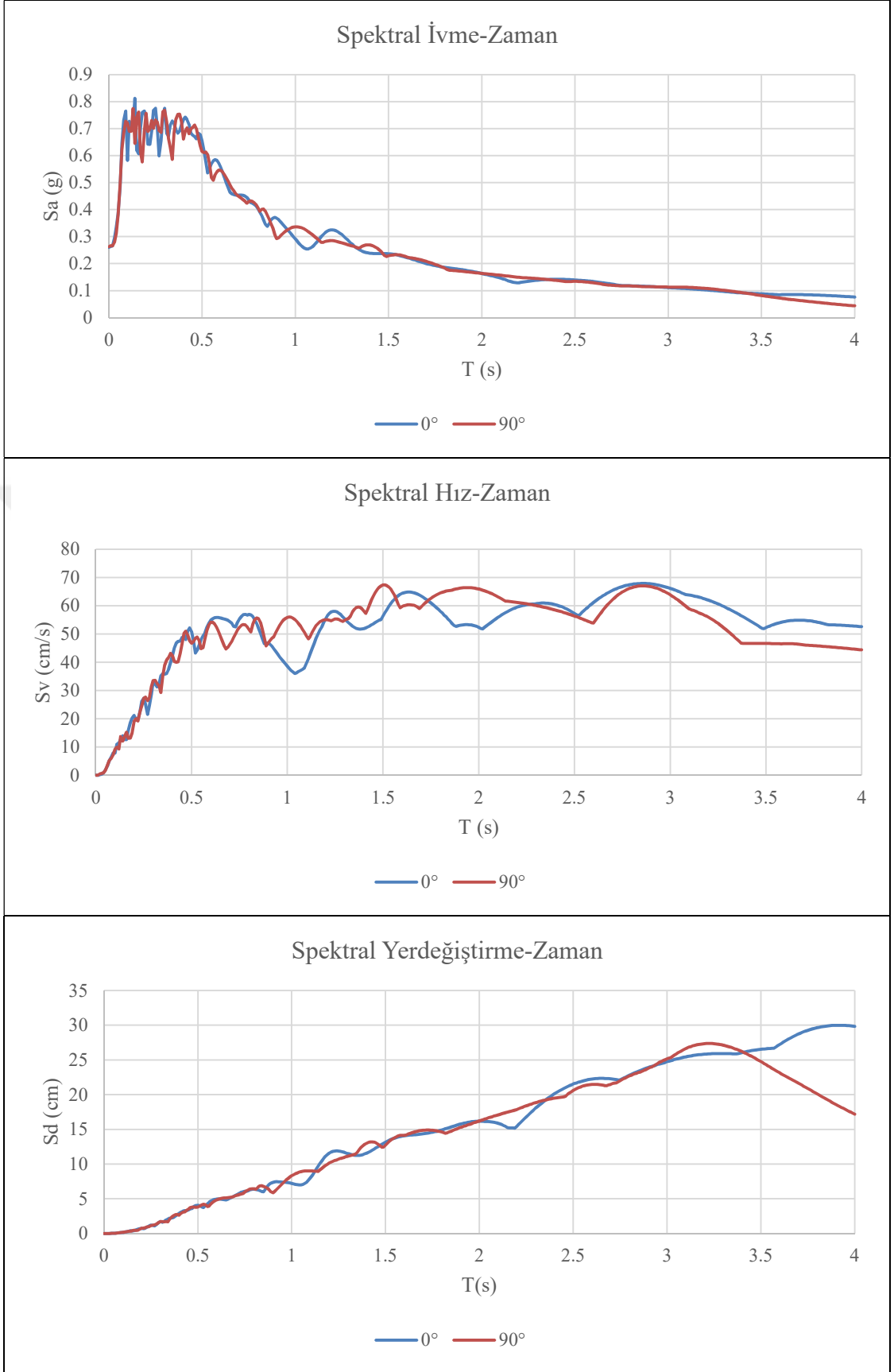


**Şekil A.10 (devam) : Landers, Amboy benzeştirilmiş kayıt sonuçları.**

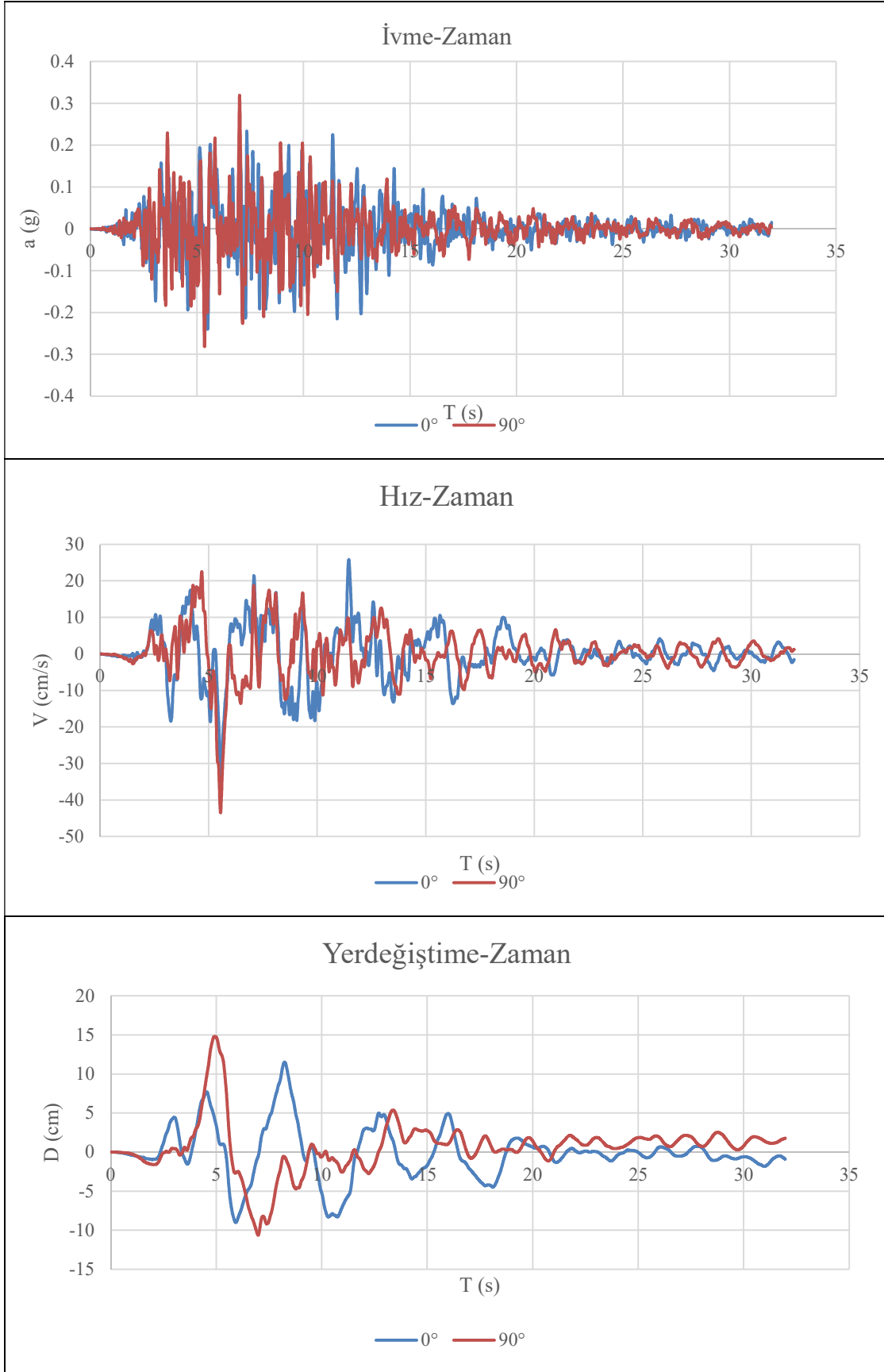
## EK B



Şekil B.1 : Kobe, Kobe University benzeştirilmiş deprem kayıt grafikleri.



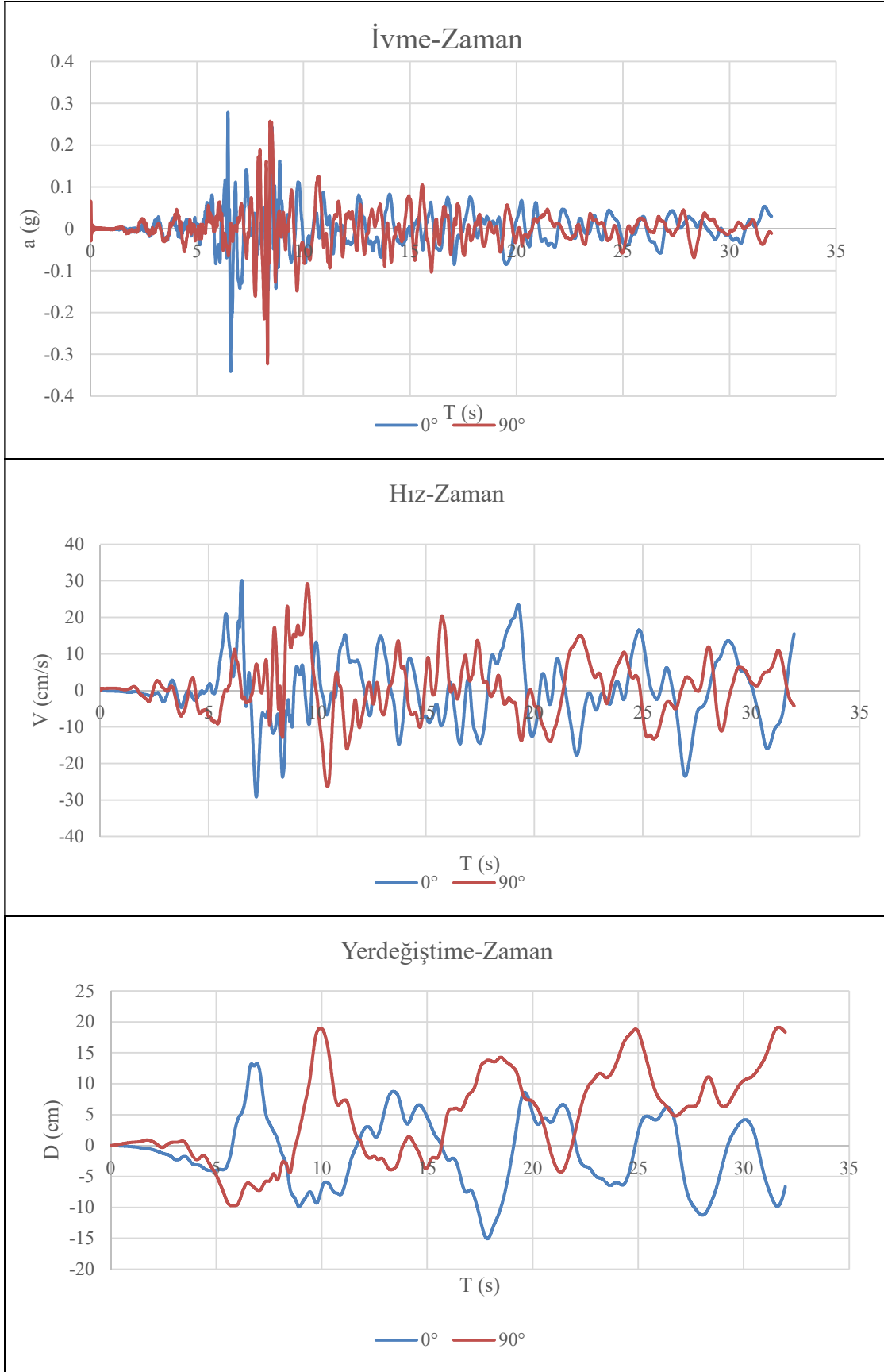
**Şekil B.1 (devam)** : Kobe, Kobe University benzeştirilmiş deprem kayıt grafikleri.



Şekil B.2 : Kobe, Kakogawa benzeştirilmiş deprem kayıt grafikleri.



**Şekil B.2 (devam) :** Kobe, Kakogawa benzeştirilmiş deprem kayıt grafikleri.

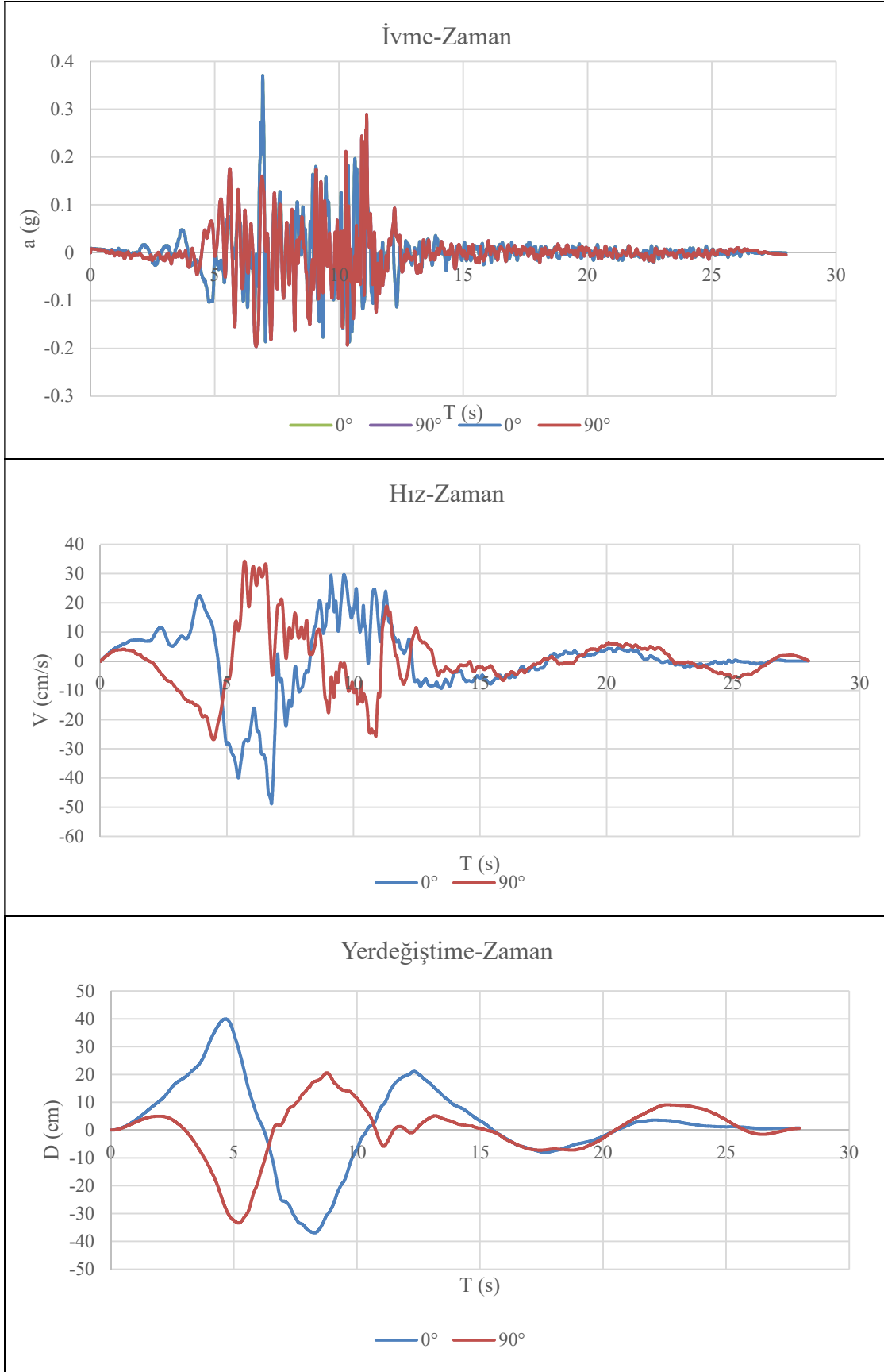


**Şekil B.3 :** Kobe, Fukushima benzeştirilmiş deprem kayıt grafikleri.

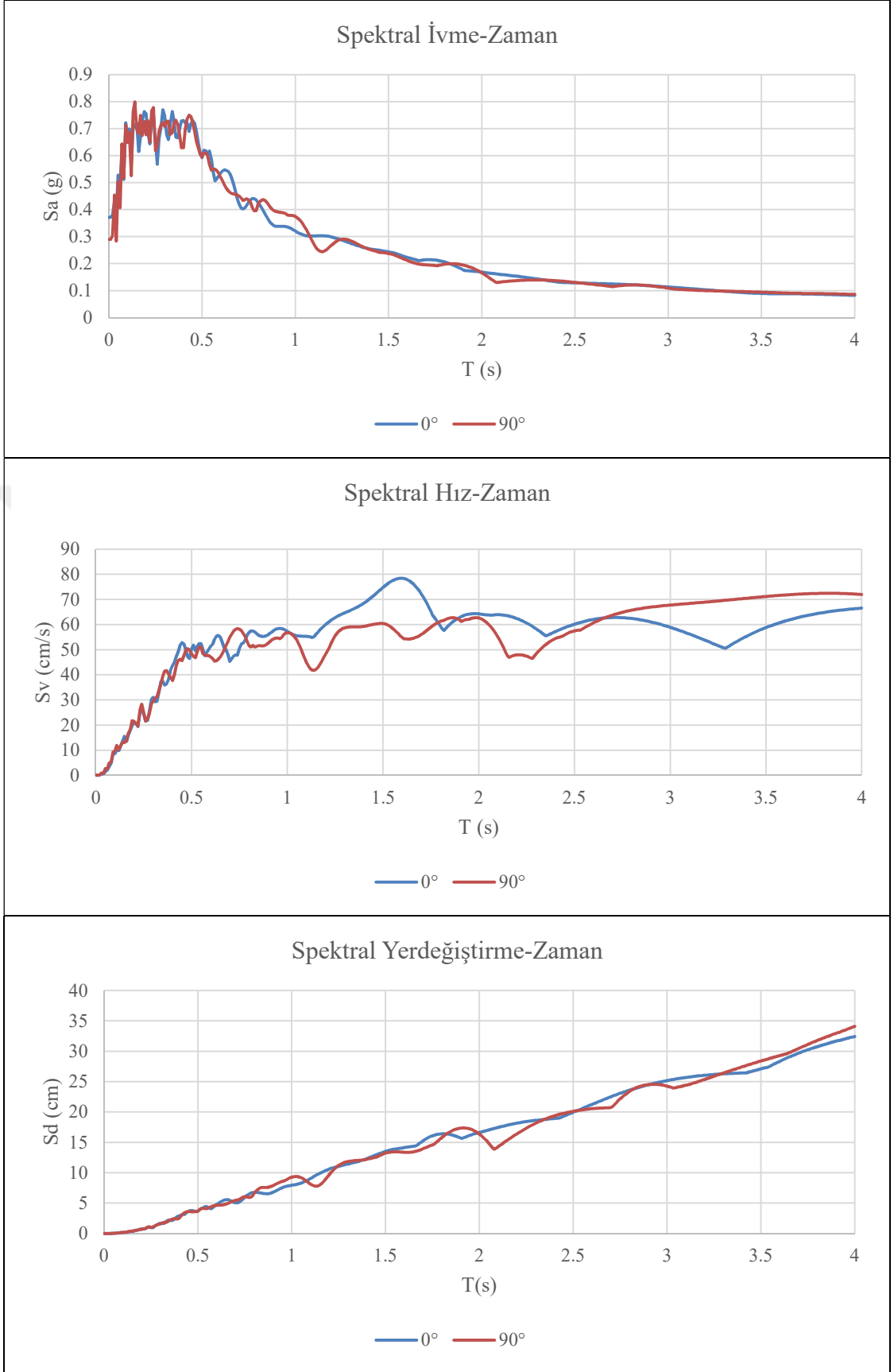




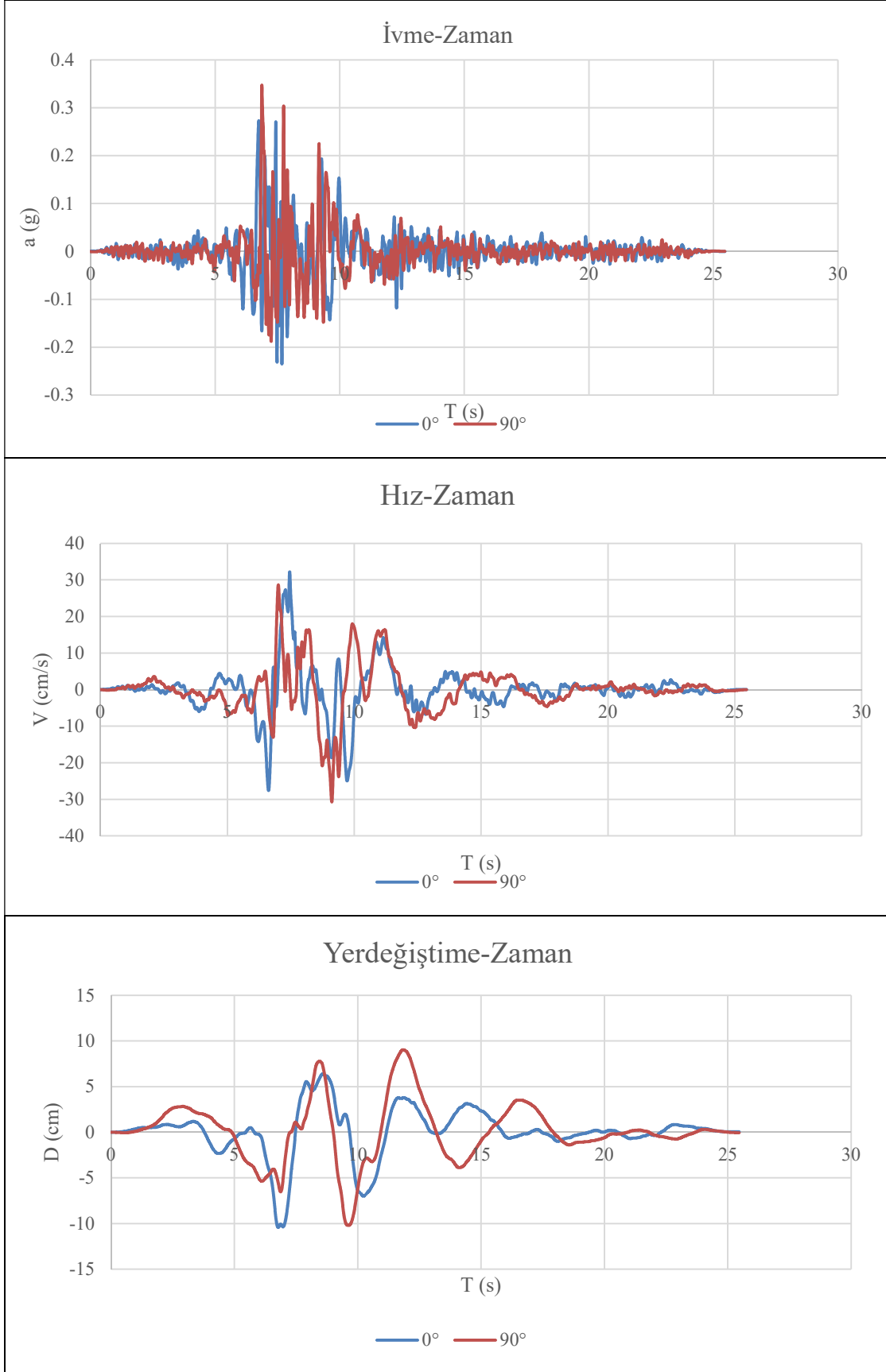
**Şekil B.3 (devam) :** Kobe, Fukushima benzeştirilmiş deprem kayıt grafikleri.



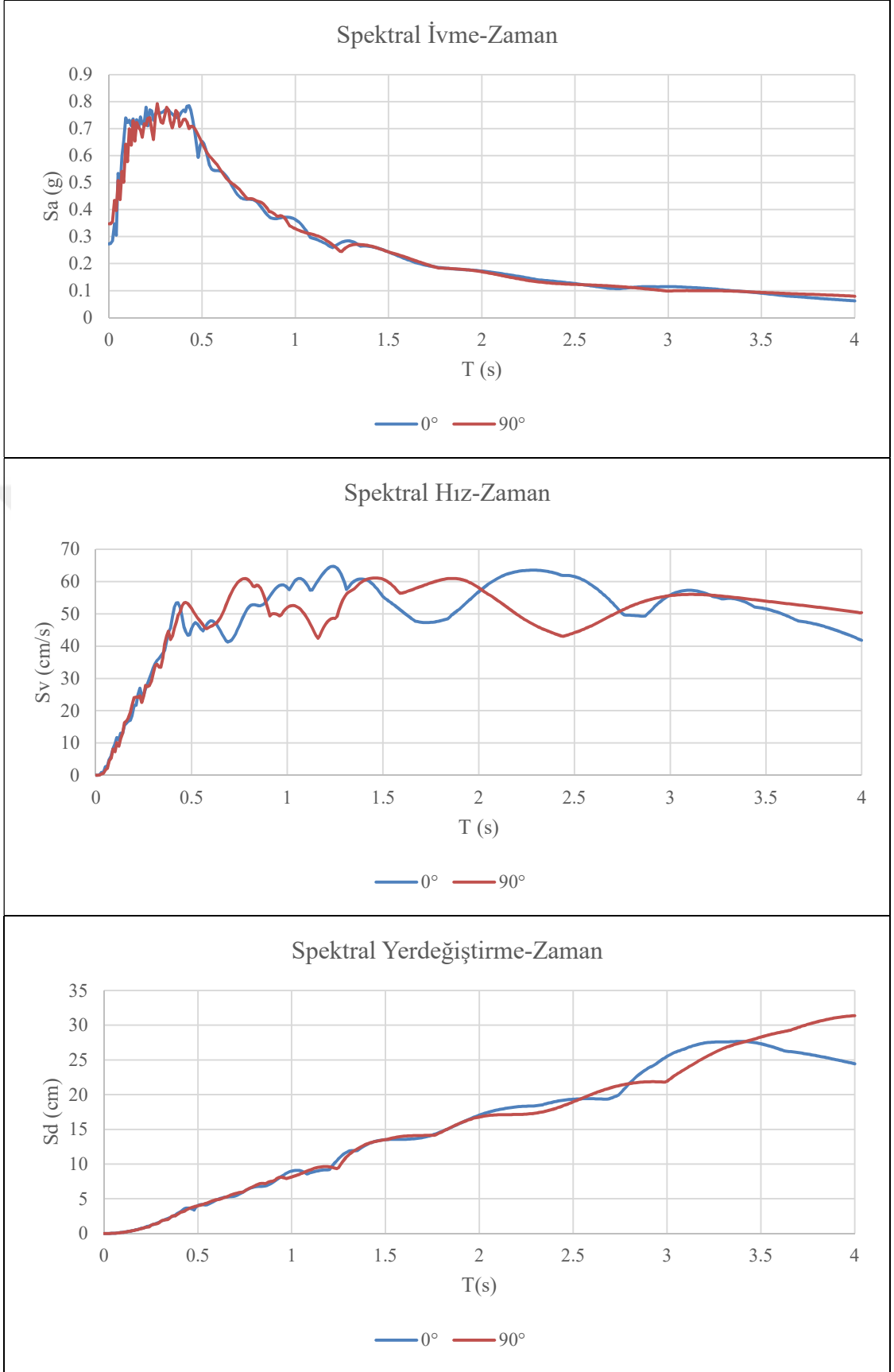
Şekil B.4 : Kocaeli, Gebze benzeştirilmiş deprem kayıt grafikleri.



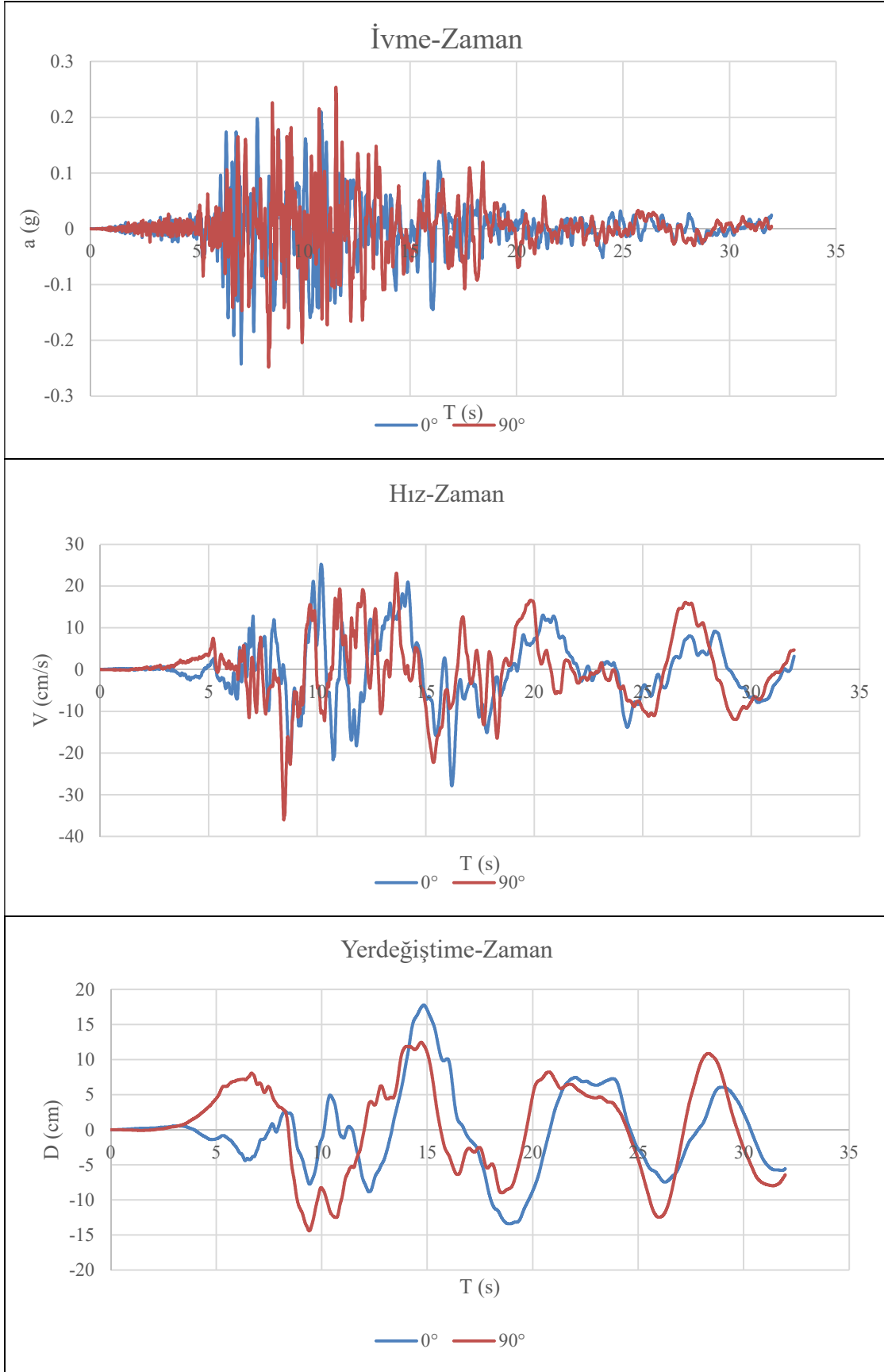
**Şekil B.4 (devam) :** Kocaeli, Gebze benzeştirilmiş deprem kayıt grafikleri.



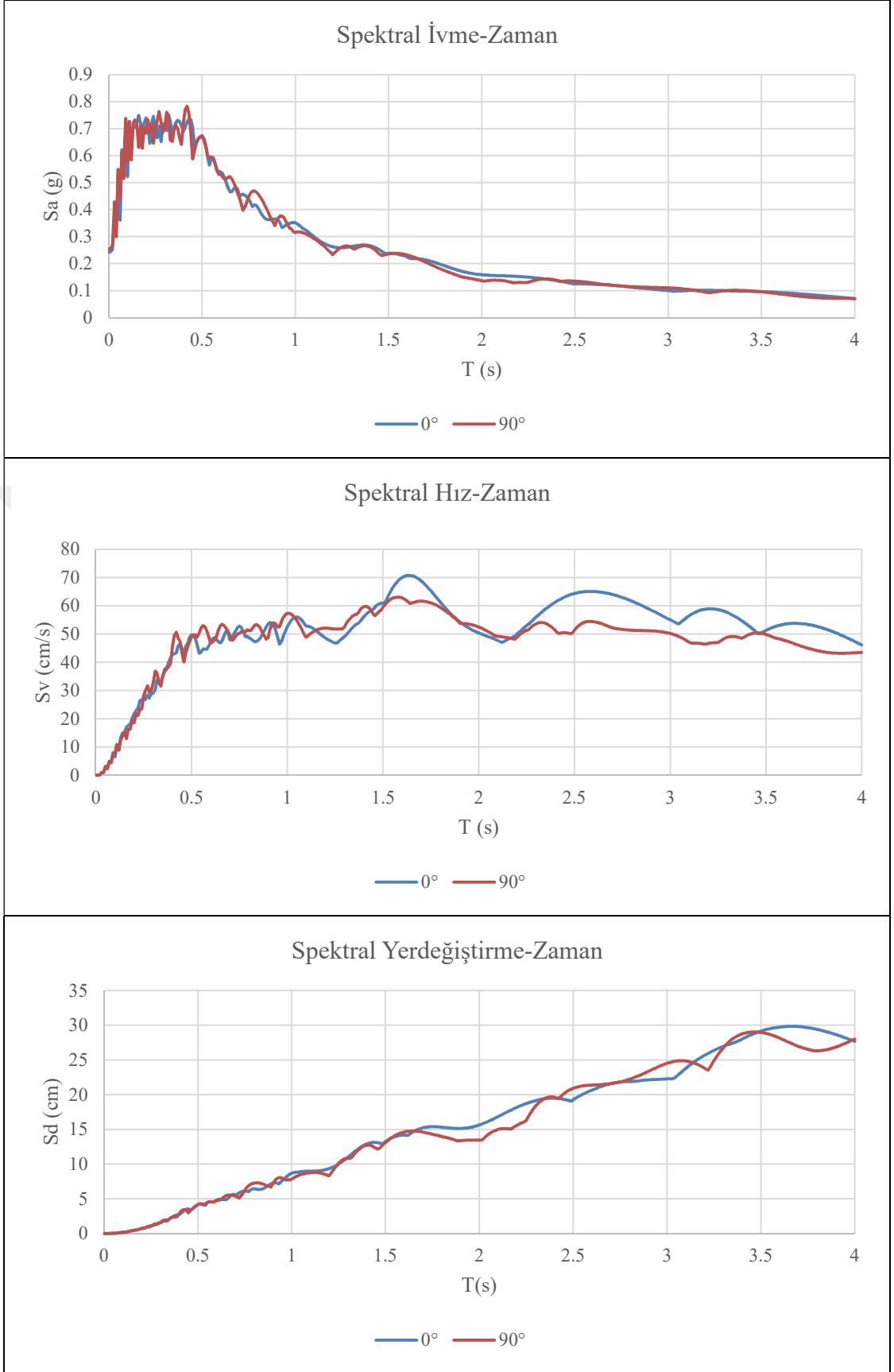
Şekil B.5 : Kocaeli, Göynük benzeştirilmiş deprem kayıt grafikleri.



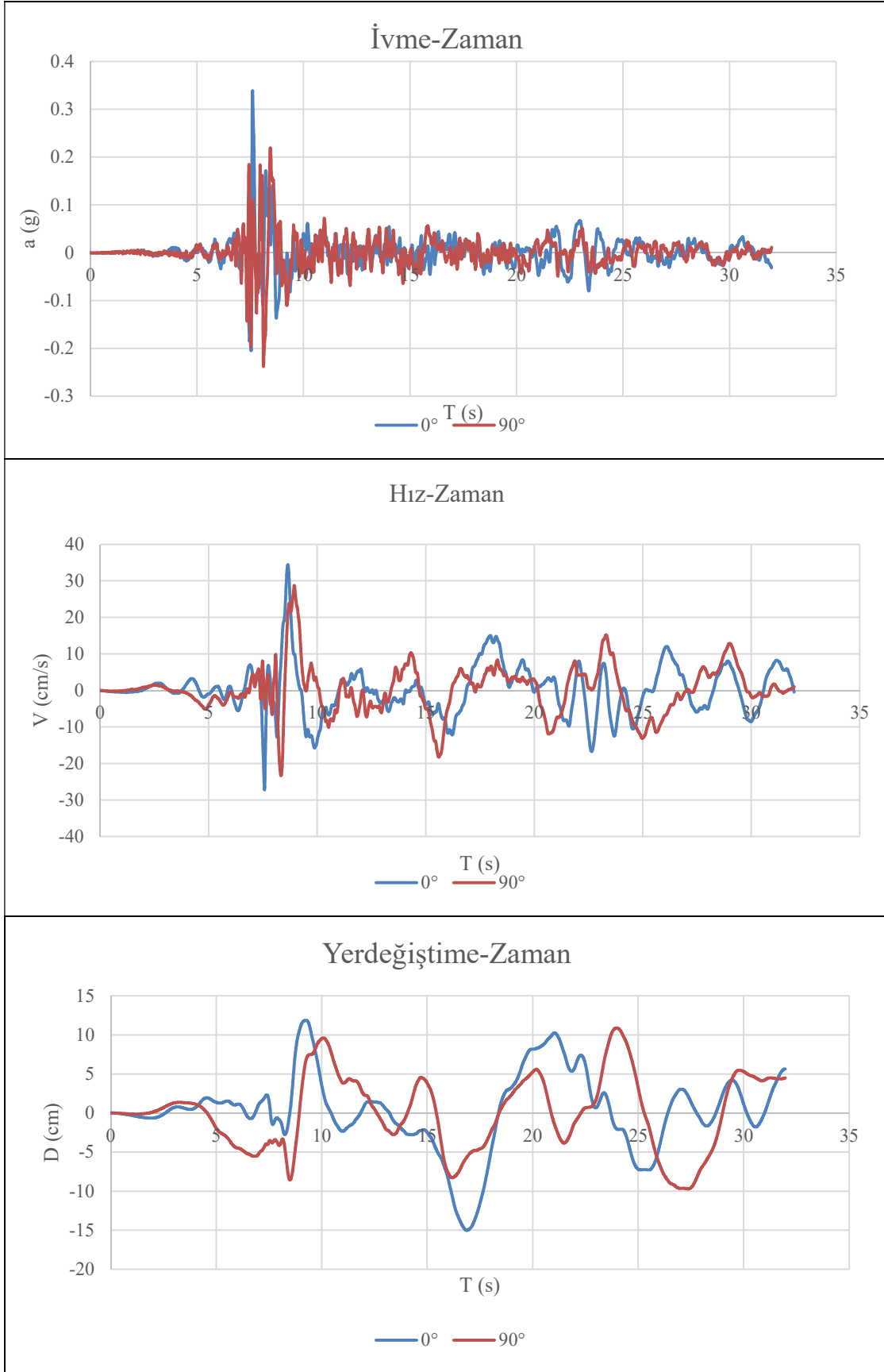
**Şekil B.5 (devam) :** Kocaeli, Göynük benzeştirilmiş deprem kayıt grafikleri.



**Şekil B.6 :** İmperial Valley El Centro Array #12 benzeştirilmiş deprem kayıt grafikleri.

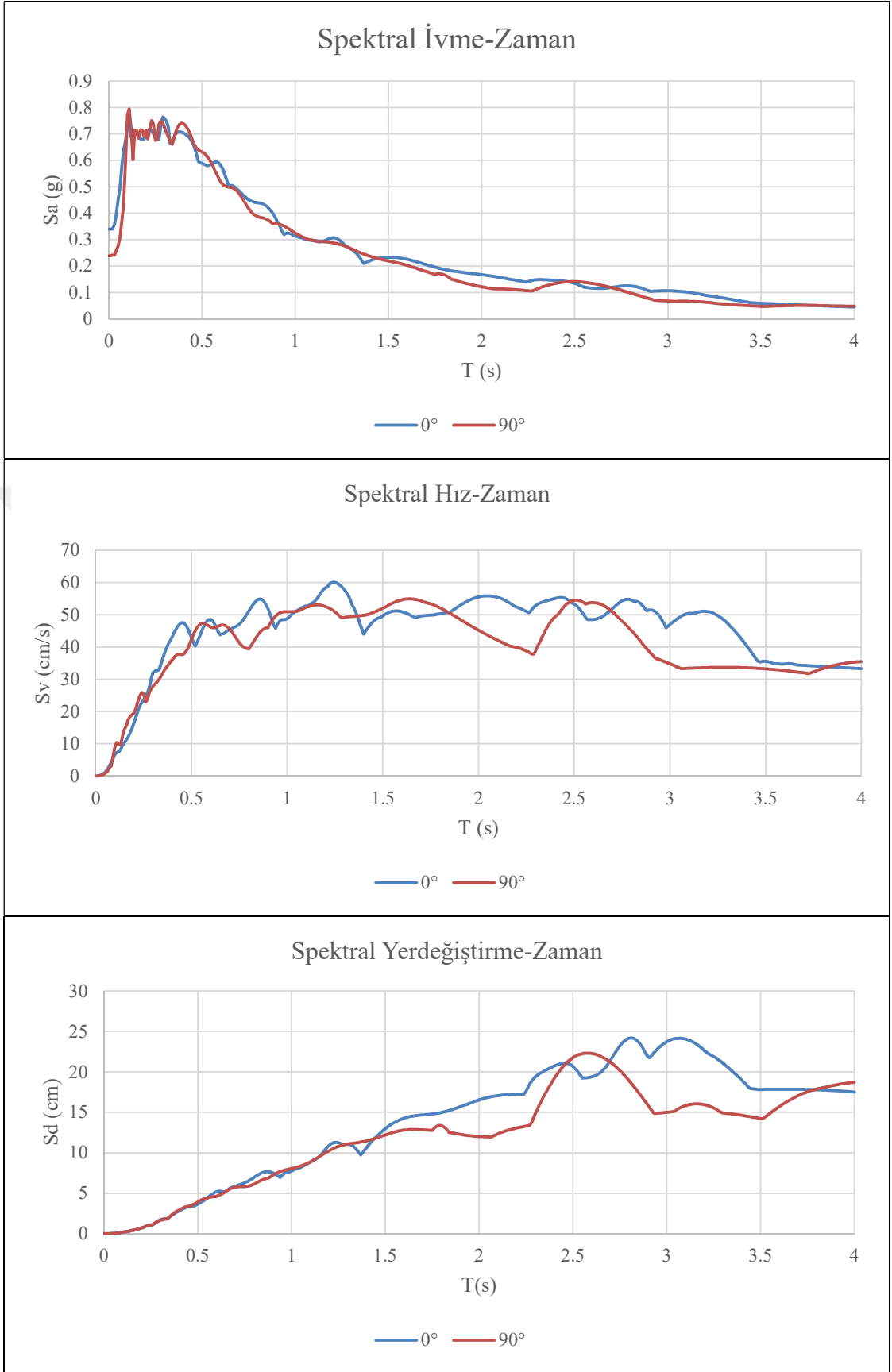


**Şekil B.6 (devam) :** İmperial ValleyEl Centro #12 benzeştirilmiş deprem kayıt grafikleri.

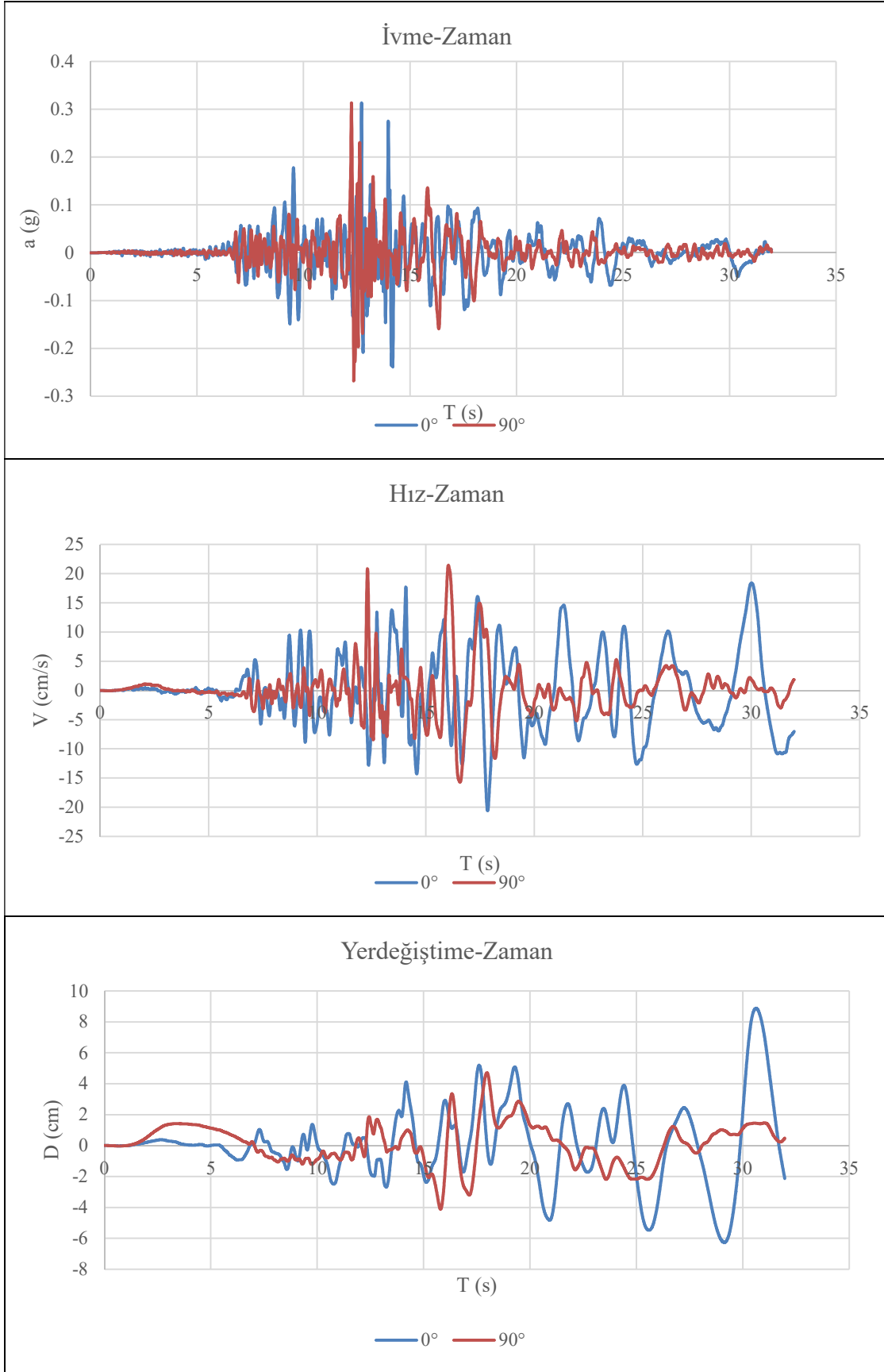


**Şekil B.7 :** Imperial Valley Calipatria Fire Station benzeştirilmiş deprem kayıt grafikleri.

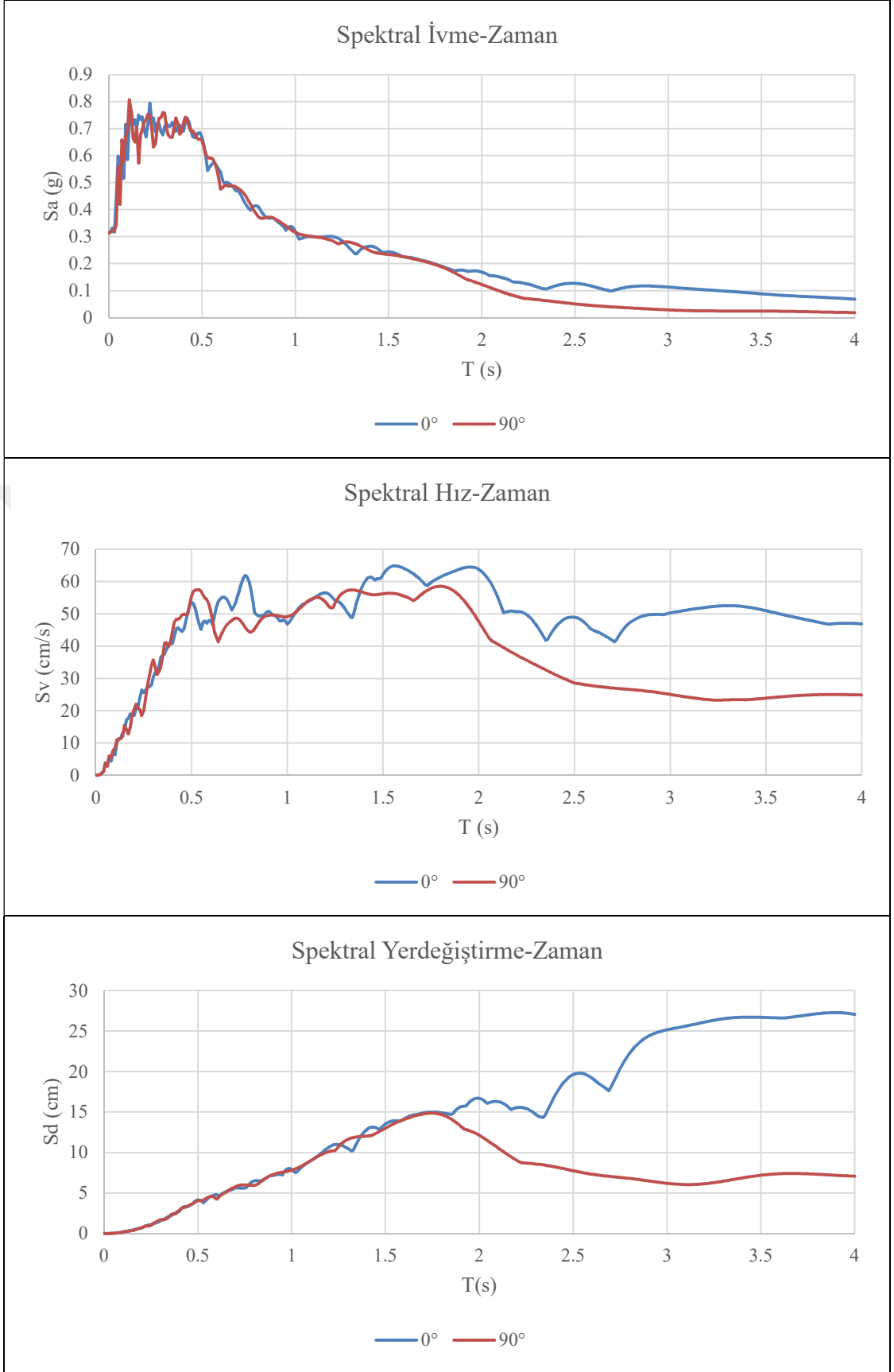




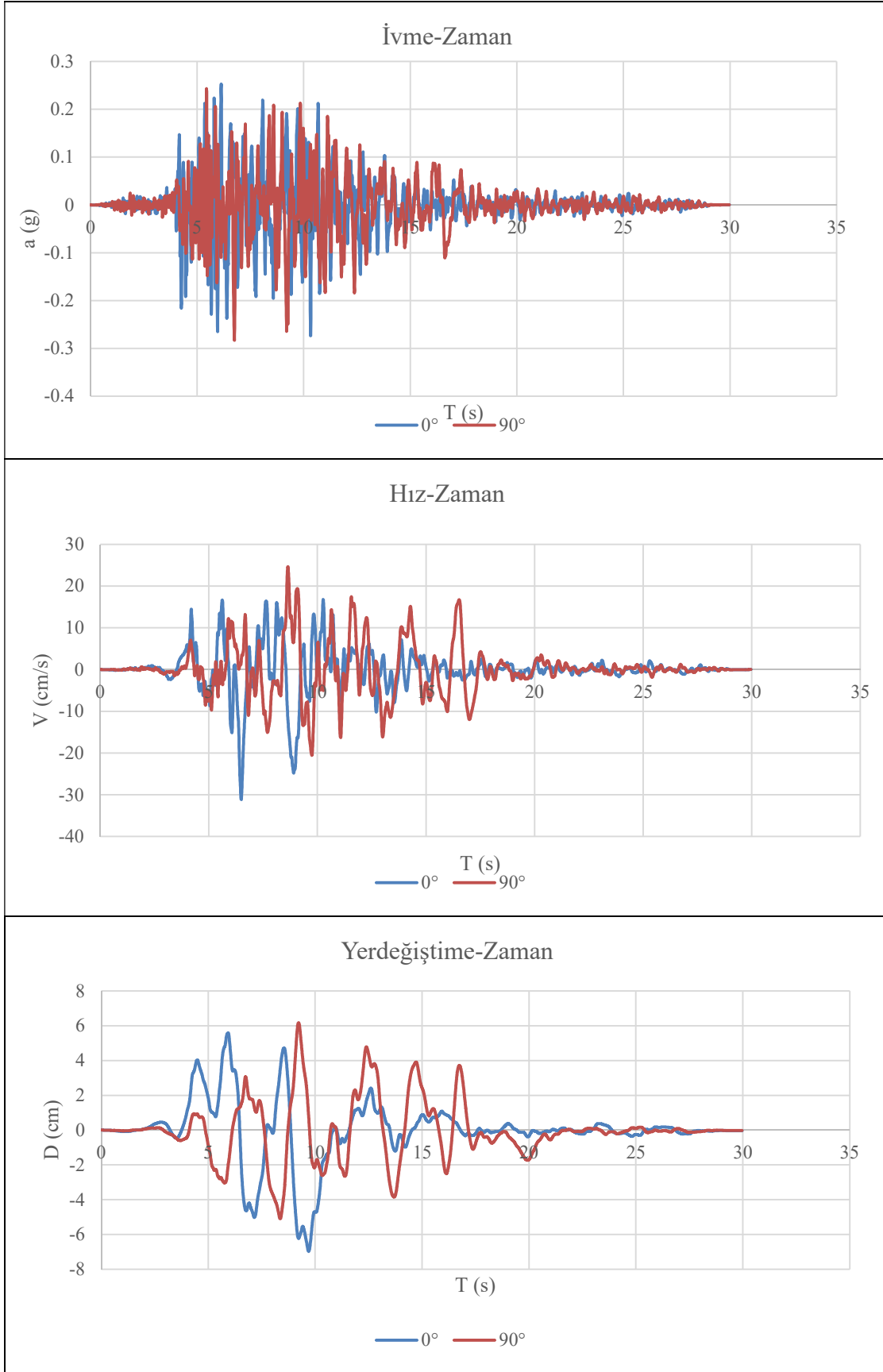
**Şekil B.7 (devam) : Imperial Valley Calipatria Fire Station benzeştirilmiş deprem kayıt grafikleri.**



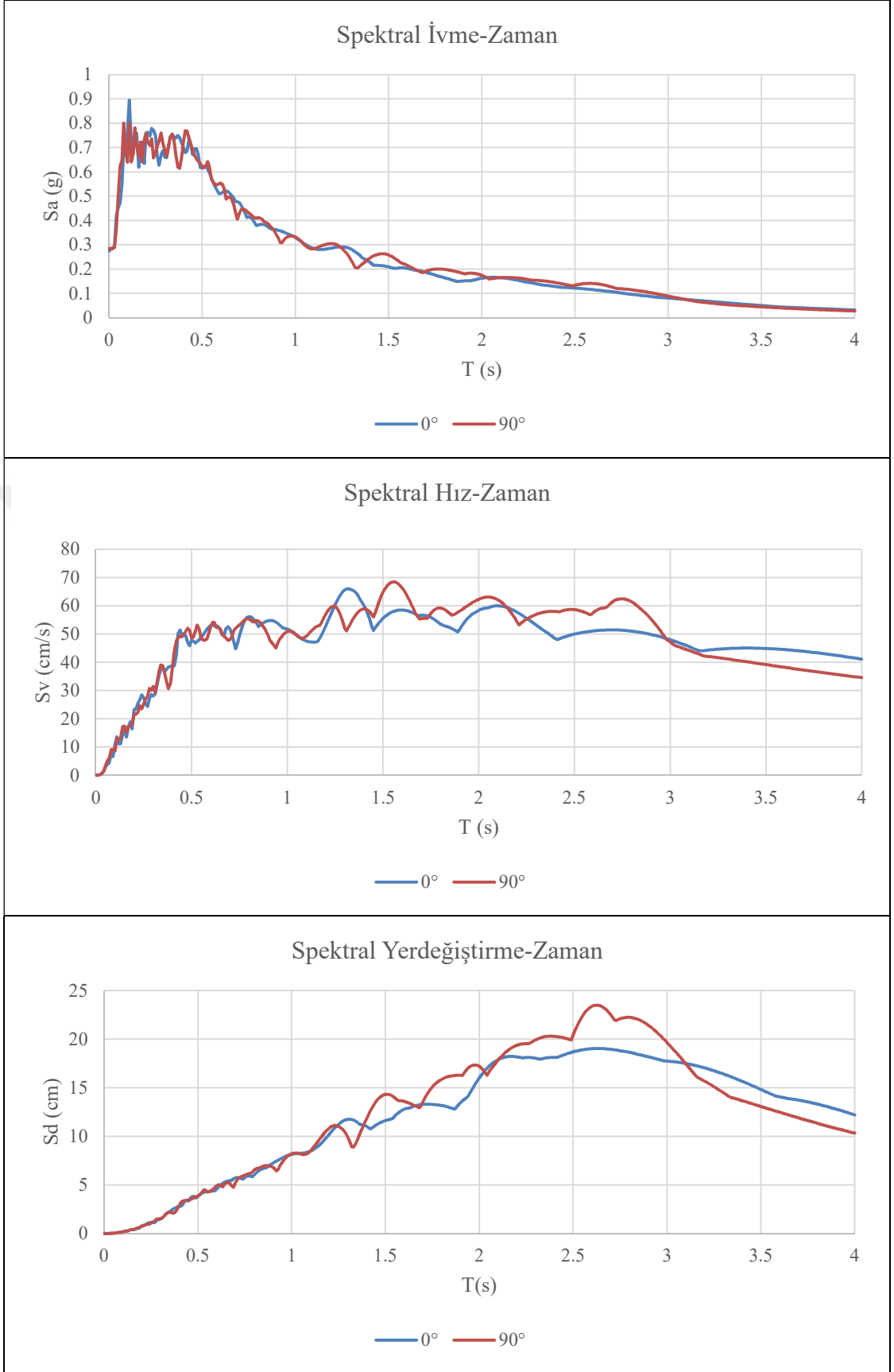
Şekil B.8 : Northridge, El Monte benzeştirilmiş deprem kayıt grafikleri.



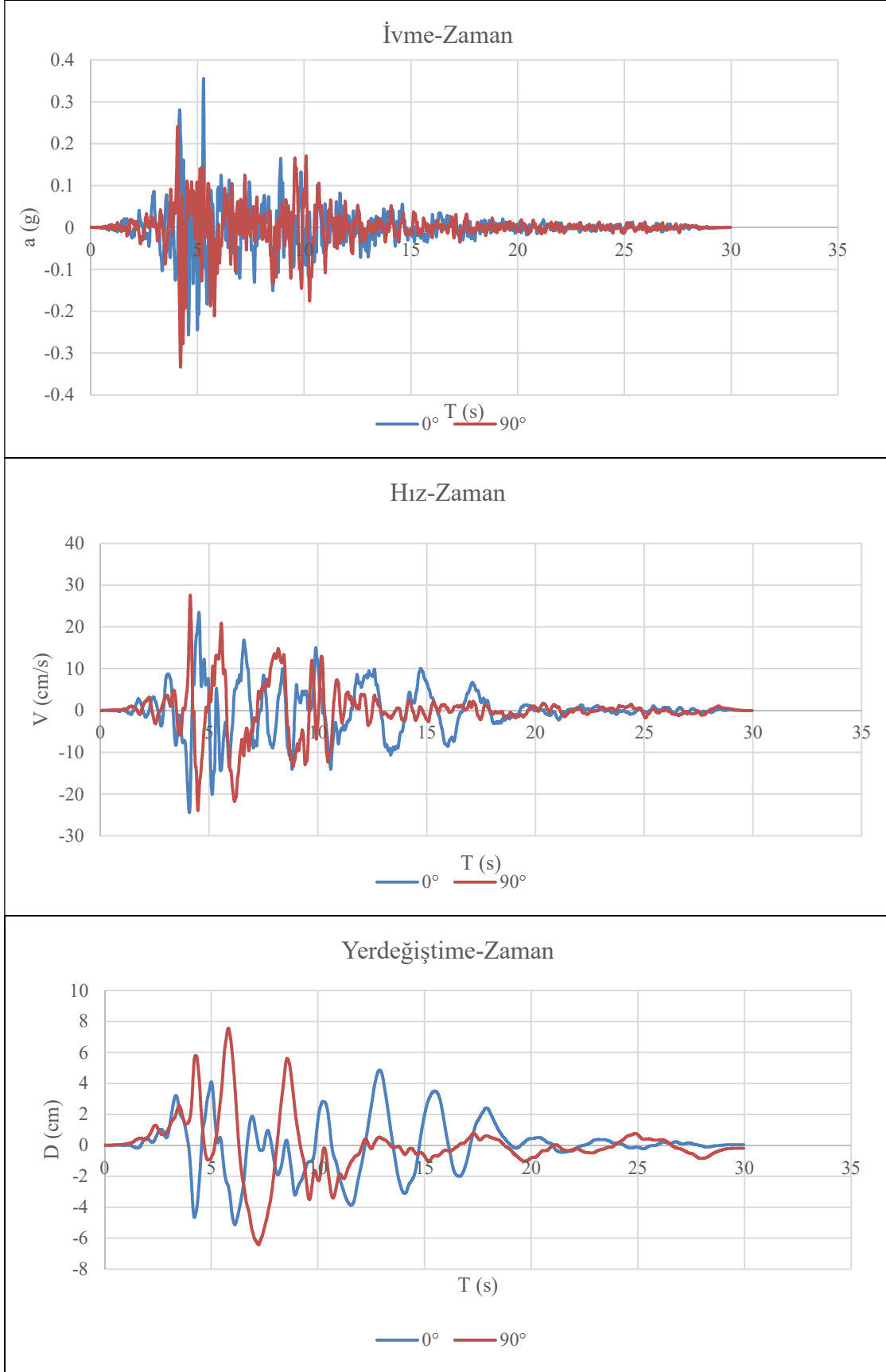
Şekil B.8 (devam) : Northridge, El Monte benzeştirilmiş deprem kayıt grafikleri.



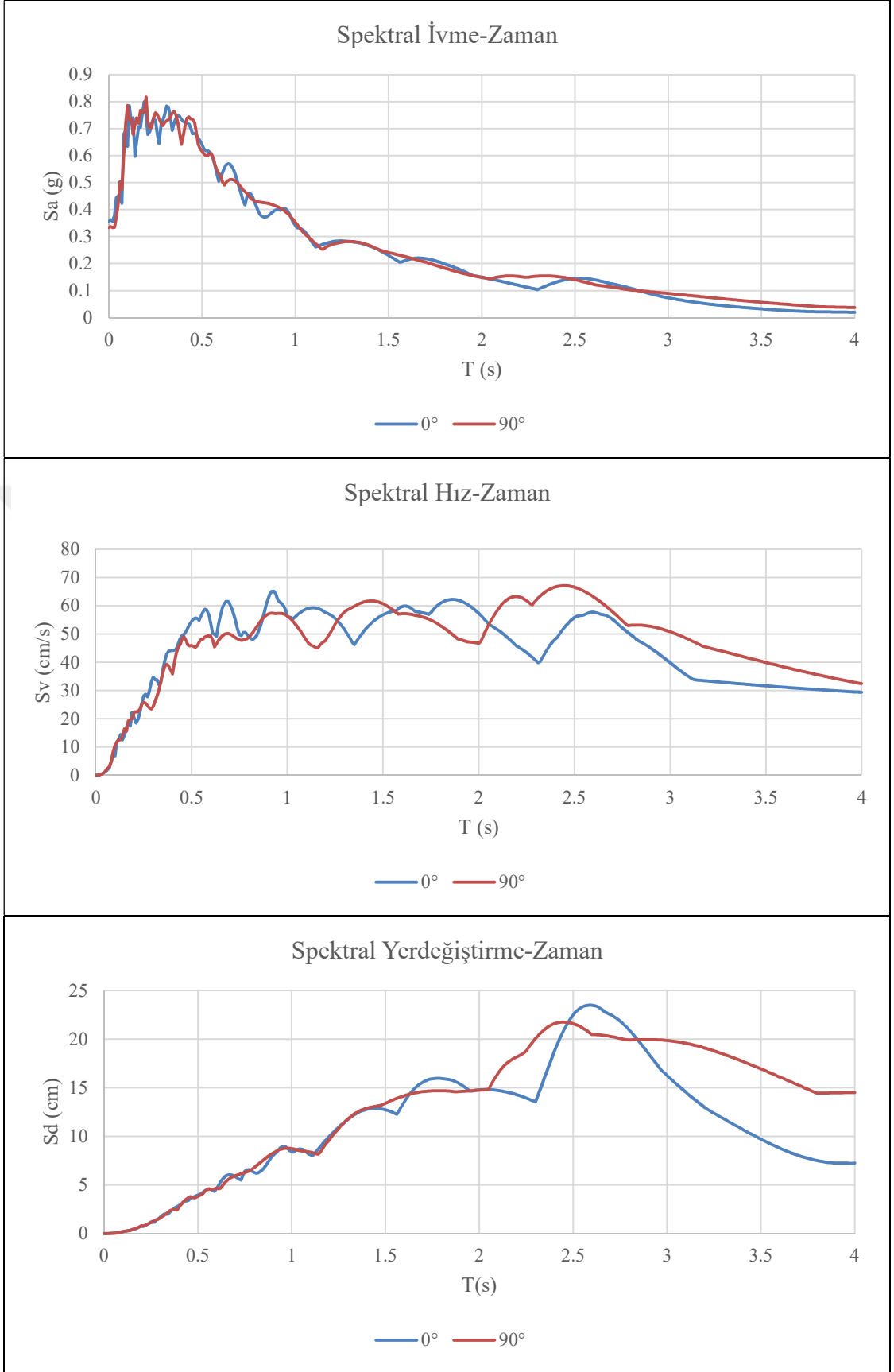
Şekil B.9 : Northridge, Glendale Las Palmas benzeştirilmiş deprem kayıt grafikleri.



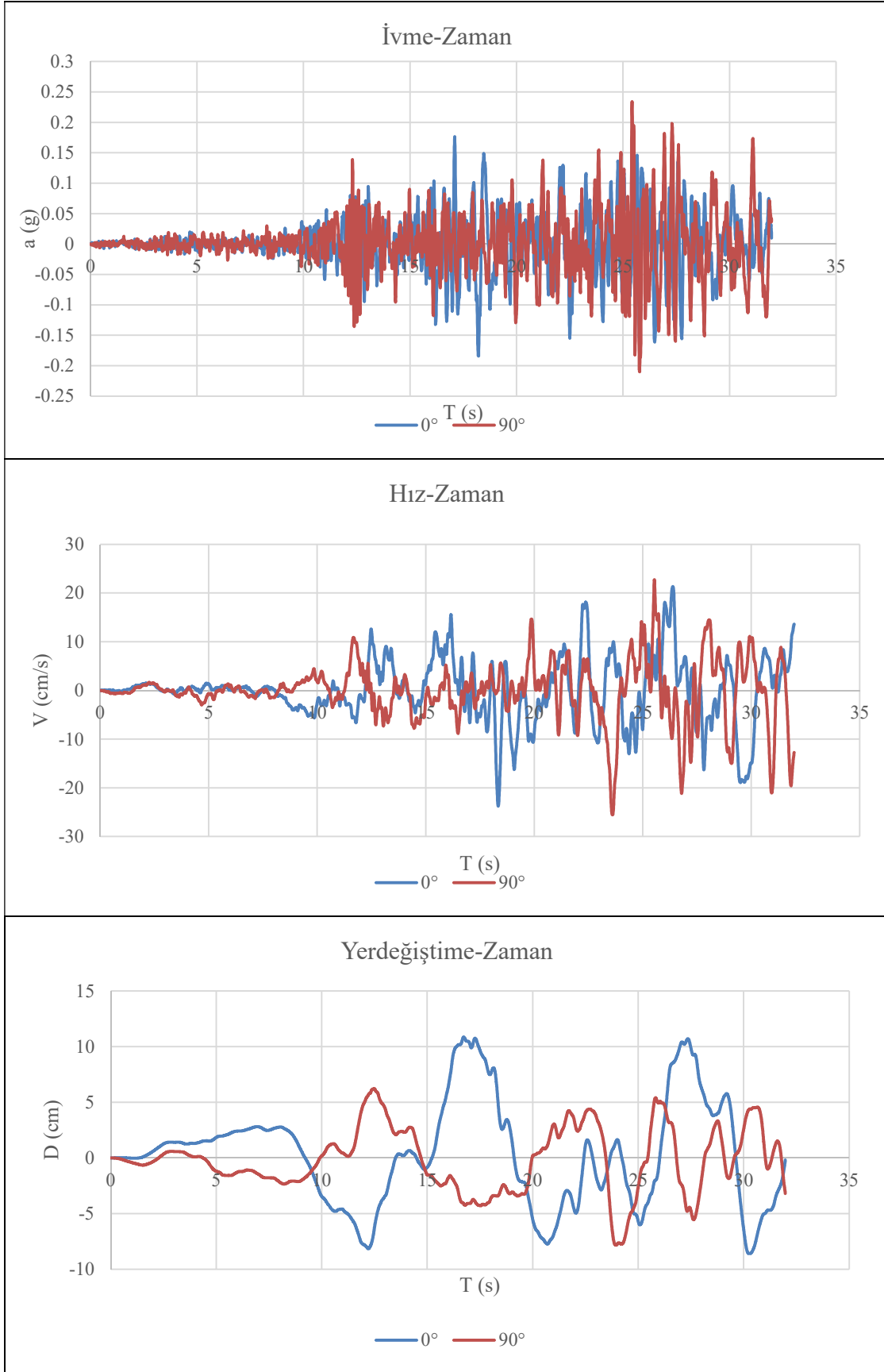
**Şekil B.9 (devam) :** Northridge, Glendale Las Palmas benzeştirilmiş deprem kayıt grafikleri.



Şekil B.10 : Northridge, La Crescenta benzeştirilmiş deprem kayıt grafikleri.

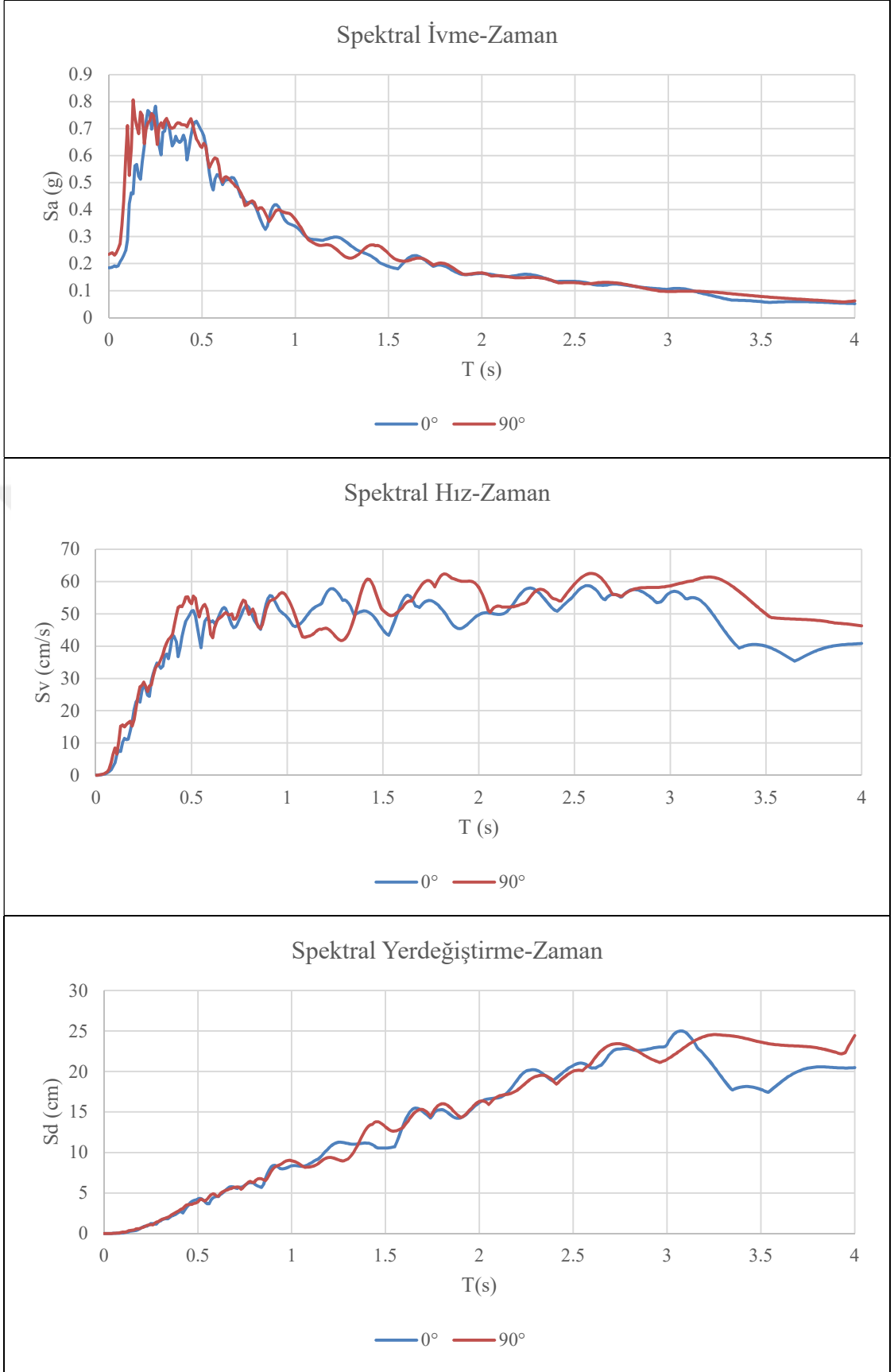


**Şekil B.10 (devam) :** Northridge, La Crescenta benzeştirilmiş deprem kayıt grafikleri.



**Şekil B.11** : Landers, Amboy benzeştirilmiş deprem kayıt grafikleri.





**Şekil B.11 (devam) :** Landers, Amboy benzeştirilmiş deprem kayıt grafikleri.



## ÖZGEÇMİŞ

**Ad-Soyad** : Abdullah Doğuş TINAS  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : Antalya, 09/06/1991  
**E-posta** : dogustinas@gmail.com

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2015, İTÜ, İnşaat Fakóltesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

### MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 18/07/2016 tarihinden itibaren Altınok Müşavir Mühendislik'te karayolu ve demiryolu projelerinde tasarım mühendisi olarak çalışmaktadır.

