

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**40 KATLI ASİMETRİK BETONARME BİR BİNANIN DEPREM  
PERFORMANSININ ZAMAN TANIM ALANINDA DOĞRUSAL OLMAYAN  
HESAP YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Taner AKSOYLU**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Yapı Mühendisliği Programı**

**Mayıs 2020**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**40 KATLI ASİMETRİK BETONARME BİR BİNANIN DEPREM  
PERFORMANSININ ZAMAN TANIM ALANINDA DOĞRUSAL OLMAYAN  
HESAP YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Taner AKSOYLU  
(501161046)**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Yapı Mühendisliği Programı**

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

**Mayıs 2020**



İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501161046 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Taner AKSOYLU, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "40 KATLI ASİMETRİK BETONARME BİR BİNANIN DEPREM PERFORMANSININ ZAMAN TANIM ALANINDA DOĞRUSAL OLMAYAN HESAP YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

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

İstanbul Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :** **Doç. Dr. Ali SARI** .....

İstanbul Teknik Üniversitesi

**Dr. Öğr. Üyesi Meltem ŞAHİN** .....

Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi

**Teslim Tarihi : 16 Mart 2020**  
**Savunma Tarihi : 7 Mayıs 2020**





*Sevgili Dedeme,*





## ÖNSÖZ

Tez çalışmam esnasında bilgi ve moral desteğini esirgemeyen, kıymetli zamanımı ayıran saygıdeğer tez danışmanım Doç. Dr. A. Necmettin GÜNDÜZ'e teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalarım sırasında bilgi ve birikimleri ile yardımlarını esirgemeyen Araş. Gör. Dr. Yıldır AKKAYA'ya teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olup, yardımlarını esirgemeyen başta ağabeyime, ablama ve aileme, Haldun BOZKURT'a ve Araş. Gör. Mehmet CAN'a teşekkür ederim.

Yaşamım boyunca her anlamda yanımda olan, yüksek inşaat mühendisi olma yolunda benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen anneme, babama ve rahmetli dedeme saygılarımı, sevgilerimi ve teşekkürlerimi sunarım

Mayıs 2020

Taner AKSOYLU  
İnşaat Mühendisi



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER .....	ix
KISALTMALAR .....	xi
SEMBOLLER .....	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xvii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xix
ÖZET.....	xxi
SUMMARY .....	xxiii
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1 Tezin Amacı .....	2
<b>2. DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞ VE ÇÖZÜMLEME .....</b>	<b>3</b>
2.1 Giriş.....	3
2.2 Çözümün Sağlaması Gereken Koşullar.....	4
2.3 Yapı Sisteminin Doğrusal Olmama Nedenleri.....	4
2.4 Betonarme Sistem Davranışı.....	4
2.4.1 Beton malzemenin davranışı.....	5
2.4.2 Donatı çeliği malzemesinin davranışı.....	6
2.5 Süneklik.....	8
2.6 Doğrusal Olmayan Davranış Modelleri .....	8
2.6.1 Yığılı plastik davranış modeli .....	9
2.6.2 Yayılı plastik davranış modeli .....	12
2.7 Deprem Etkisi Altında Doğrusal Olmayan Hesap .....	13
2.7.1 Deprem etkisi altında doğrusal olmayan hesap yöntemleri .....	13
2.7.1.1 Tek modlu itme yöntemi .....	13
2.7.1.2 Çok modlu itme yöntemi.....	14
2.7.1.3 Zaman tanım alanında hesap yöntemi.....	15
<b>3. PPERFORMANS KAVRAMI VE TBDY 2018 YAKLAŞIMI.....</b>	<b>17</b>
3.1 Giriş.....	17
3.2 Binalardan Bilgi Toplanması .....	17
3.3 Bina Bilgi Düzeyleri.....	18
3.4 Yapı Elemanlarının Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri.....	18
3.5 Betonarme Elemanların Kesit Birim Şekildeğiştirme ve Dönme Sınırları .....	19
3.6 Mevcut Bina Yapı Performanslarının Belirlenmesi .....	20
3.6.1 Mevcut binalarda sınırlı hasar performans düzeyi.....	21
3.6.2 Mevcut binalarda kontrollü hasar performans düzeyi.....	21
3.6.3 Mevcut binalarda göçmenin önlenmesi performans düzeyi .....	21
3.6.4 Göçme durumu.....	22
<b>4. DEPREM ETKİSİ ALTINDA HESAP ESASLARI.....</b>	<b>23</b>
4.1 Deprem Yer Hareketi Düzeyleri.....	23
4.2 Spektral İvme Katsayıları.....	23

4.3 Yatay Elastik Tasarım Spektrumu.....	25
4.4 Bina Kullanım Sınıfları ve Bina Önem Katsayıları.....	26
4.5 Deprem Tasarım Sınıfları.....	27
4.6 Bina Yükseklik Sınıfları.....	27
4.7 Bina Performans Hedefleri.....	28
4.8 Düzensiz Binalar.....	29
4.8.1 Burulma düzensizliği.....	30
4.8.2 Planda çıkıntılar bulunması.....	31
<b>5. ZAMAN TANIM ALANINDA DOĞRUSAL OLMAYAN HESAP YÖNTEMİ VE İVME KAYITLARININ SEÇİLMESİ.....</b>	<b>33</b>
5.1 Giriş.....	33
5.2 Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklenmesi.....	33
5.2.1 Deprem kayıtlarının seçilmesi.....	34
5.2.2 Deprem kayıtlarının ölçeklendirilmesi.....	35
5.2.2.1 Zaman tanım alanında ölçeklendirme yöntemi.....	35
5.2.2.2 Frekans tanım alanında ölçeklendirme yöntemi.....	35
5.2.3 Ölçeklendirilmiş deprem kayıtlarının kontrolü.....	36
<b>6. 40 KATLI ASİMETRİK BETONARME BİR BİNANIN DEPREM PERFORMANSININ ZAMAN TANIM ALANINDA DOĞRUSAL OLMAYAN HESAP YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ.....</b>	<b>37</b>
6.1 Giriş.....	37
6.2 Bina Genel Bilgileri.....	37
6.3 Bina Deprem Verileri.....	42
6.4 Deprem Kayıtlarının Seçilmesi.....	43
6.5 Yapısal Modelin Oluşturulması.....	48
6.5.1 Üç boyutlu analiz modelinin oluşturulması.....	48
6.5.2 Yapısal elemanlar için malzeme modellerinin oluşturulması.....	50
6.5.3 Yapısal elemanların moment-eğrilik bağıntılarının oluşturulması ve akma yüzeylerinin elde edilmesi.....	51
6.5.4 Yapısal elemanların plastik mafsallık özelliklerinin tanımlanması.....	53
6.5.5 Analizde kullanılacak yükleme durumlarının oluşturulması.....	54
6.6 Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	56
6.6.1 Kirişlerde analiz sonuçlarının değerlendirilmesi.....	57
6.6.2 Kolonlarda analiz sonuçlarının değerlendirilmesi.....	59
6.6.3 Perdelerde analiz sonuçlarının değerlendirilmesi.....	63
6.6.4 Göreli kat öteleme oranlarının belirlenmesi.....	67
6.6.5 Düşey deprem etkilerinin incelenmesi.....	69
6.6.6 Bina performans düzeylerinin belirlenmesi.....	71
<b>7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>73</b>
7.1 Sonuçların Değerlendirilmesi.....	73
7.2 Öneriler.....	76
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>79</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>81</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>89</b>

## KISALTMALAR

<b>AFAD</b>	: Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı
<b>ATC</b>	: Applied Technology Council
<b>BKS</b>	: Bina Kullanım Sınıfı
<b>BYS</b>	: Bina Yükseklik Sınıfı
<b>DBYBHY 2007</b>	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
<b>DD-1</b>	: Deprem Yer Hareketi Düzeyi-1
<b>DD-2</b>	: Deprem Yer Hareketi Düzeyi-2
<b>DD-3</b>	: Deprem Yer Hareketi Düzeyi-3
<b>DD-4</b>	: Deprem Yer Hareketi Düzeyi-4
<b>DGT</b>	: Dayanıma Göre Tasarım
<b>DTS</b>	: Deprem Tasarım Sınıfı
<b>FEMA</b>	: Federal Emergency Management Agency
<b>GÖ</b>	: Göçmenin Öncesi Hasar
<b>KH</b>	: Kontrollü Hasar
<b>PEER</b>	: Pacific Earthquake Engineering Research Center
<b>SH</b>	: Sınırlı Hasar
<b>SAP2000</b>	: Integrated Software for Structural Analysis and Design
<b>ŞGDT</b>	: Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım
<b>TBDY 2018</b>	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018



## SEMBOLLER

$\beta$	: Newmark katsayısı
$d_b$	: Boyuna donatı çapı (çekmede ortalama) [m]
$d$	: Etkin kesit yüksekliği
$E$	: Elastisite modülü
$\varepsilon_c$	: Beton basınç birim şekildeğiştirmesi
$\varepsilon_{cu}$	: Sargılı betonda maksimum basınç birim şekildeğiştirmesi
$\varepsilon_s$	: Donatı çeliğinin pekleşme başlangıcındaki birim şekildeğiştirmesi
$\varepsilon_{sy}$	: Donatı çeliğinin akma birim şekildeğiştirmesi
$\varepsilon_{su}$	: Donatı çeliğinin kopma birim şekildeğiştirmesi
$\varepsilon_c^{(GÖ)}$	: Göçmenin Önlenmesi performans düzeyi için izin verilen sargılı beton birim kısalması sınırı
$\varepsilon_c^{(KH)}$	: Kontrollü Hasar performans düzeyi için izin verilen sargılı beton birim kısalması sınırı
$\varepsilon_c^{(SH)}$	: Sınırlı Hasar performans düzeyi için izin verilen sargılı beton birim kısalması sınırı
$\varepsilon_s^{(KH)}$	: Kontrollü Hasar performans düzeyi için izin verilen donatı çeliği birim kısalması sınırı
$\varepsilon_s^{(SH)}$	: Sınırlı Hasar performans düzeyi için izin verilen donatı çeliği birim kısalması sınırı
$F_s$	: Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı
$F_1$	: 1.0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayısı
$f_{cc}$	: Sargılı beton dayanımı
$f_{co}$	: Sargısız betonun basınç dayanımı
$f_s$	: Donatı çeliğindeki gerilim
$f_{sy}$	: Donatı çeliğinin akma dayanımı
$f_{su}$	: Donatı çeliğinin kopma dayanımı

$f_c$	: Sargılı betonda basınç gerilmesi
$g$	: Yerçekimi ivmesi
$H_N$	: Bina toplam yüksekliği
$I$	: Atalet momenti
$I$	: Bina önem katsayısı
$L_s$	: Kesme açıklığı [m]
$l_p$	: Plastik mafsal boyu
$L_p$	: Plastik mafsal boyu
$M_p$	: Plastik moment
$\eta_{bi}$	: i'inci katta tanımlanan Burulma Düzensizliği Katsayısı
$S_{DS}$	: Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
$S_{D1}$	: 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
$S_s$	: Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
$S_1$	: 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
$S_{ae}(T)$	: Yatay elastik tasarım spektral ivmesi
$T_A$	: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu
$T_B$	: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu
$T_L$	: Yatay elastik tasarım ivme spektrumunda sabit yer değiştirme bölgesine geçiş periyodu
$T$	: Doğal titreşim periyodu
$T_p$	: Binanın hakim doğal titreşim periyodu
$(V_s)_{30}$	: Üst 30 metredeki ortalama kayma dalgası hızı
$\gamma$	: Newmark katsayısı
$(\Delta_i^{(X)})_{\max}$	: Binanın i'inci katındaki maksimum azaltılmış görel kat ötelemesi
$(\Delta_i^{(X)})_{\text{ort}}$	: Binanın i'inci katındaki ortalama azaltılmış görel kat ötelemesi
$(\Delta_i^{(X)})_{\min}$	: Binanın i'inci katındaki minimum azaltılmış görel kat ötelemesi
$\theta_p^{(G\ddot{O})}$	: Göçmenin Önlenmesi performans düzeyi için izin verilen plastik dönme sınırı
$\phi_u$	: Göçme öncesi eğrilik



$\phi_y$  : Akma eğriliđi  
 $X$  : Eğrilik  
 $\omega_{we}$  : Etkin sargı donatısının mekanik donatı oranı





## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

Çizelge 2.1 : Donatı çeliği için gerilme ve şekildeğiştirme değerleri [5].	7
Çizelge 3.1 : Bilgi düzeyi katsayıları.	18
Çizelge 4.1 : Deprem yer hareketi düzeyi tekrarlanma periyotları.	23
Çizelge 4.2 : Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayıları [5].	24
Çizelge 4.3 : 1.0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayıları [5].	24
Çizelge 4.4 : Bina önem katsayıları [5].	26
Çizelge 4.5 : Bina kullanım sınıfları [5].	27
Çizelge 4.6 : Bina yükseklik sınıfları [5].	28
Çizelge 4.7 : Bina performans hedefleri [5].	29
Çizelge 6.1 : Kiriş ve kolonlara ait boyutlar ve donatılar.	41
Çizelge 6.2 : Perdeler için boyutlar ve donatılar.	41
Çizelge 6.3 : Deprem kayıtları.	44
Çizelge 6.4 : Ölçeklendirilmiş depremlere ait parametreler.	47
Çizelge 6.5 : Modal kütle katılım oranları.	49
Çizelge 6.6 : Kiriş hasar bölgeleri.	59
Çizelge 6.7 : Kolon hasar bölgeleri.	62
Çizelge 6.8 : Zemin kat kolonları hasar bölgeleri.	63
Çizelge 6.9 : Perde hasar bölgeleri.	66
Çizelge 6.10 : Zemin kat perdeleri hasar bölgeleri.	67
Çizelge 6.11 : Ölçeklendirilmiş Tottori I depremine ait parametreler.	69
Çizelge 6.12 : Düşey deprem etkisi altında eleman hasar bölgelerinin karşılaştırılması.	70
Çizelge 7.1 : Yapı performans düzeyleri.	76



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1 : Sargılı ve sargısız beton malzemesi için gerilme-şekildeğiştirme bağıntısı [5].	6
Şekil 2.2 : Donatı çeliğinin gerilme-şekildeğiştirme bağıntısı [5].	7
Şekil 2.3 : Gerçek eğilme momenti-eğrilik bağıntısı [1].	9
Şekil 2.4 : Doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler [1].	10
Şekil 2.5 : İdealleştirilmiş eğilme momenti- eğrilik bağıntısı [1].	11
Şekil 2.6 : Plastik mafsal boyu [1].	12
Şekil 2.7 : Betonarme elemana ait lif modellemesi.	12
Şekil 2.8 : Kapasite eğrisi.	14
Şekil 3.1 : Betonarme binaların kesit hasar sınırları ve hasar bölgeleri [5].	19
Şekil 4.1 : Elastik tasarım spektrumu [5].	25
Şekil 4.2 : Kat ötelemeleri [5].	30
Şekil 6.1 : Zemin kat planı.	40
Şekil 6.2 : DD-1 tasarım spektrumu.	43
Şekil 6.3 : Deprem kayıtlarına ait spektrumlar.	45
Şekil 6.4 : Deprem kayıtlarına ait ölçeklendirilmiş spektrumlar.	45
Şekil 6.5 : Deprem kayıtlarına ait bileşke spektrum ortalaması-1.3 tasarım spektrumu eğrisi.	46
Şekil 6.6 : Düzce depremi ölçeklendirilmiş doğu-batı bileşeni.	47
Şekil 6.7 : Düzce depremi ölçeklendirilmiş kuzey-güney bileşeni.	48
Şekil 6.8 : Yapının üç boyutlu SAP2000 modeli.	49
Şekil 6.9 : C40 sınıfı beton için gerilme-şekildeğiştirme eğrisi.	50
Şekil 6.10 : B420C donatı için gerilme-şekildeğiştirme eğrisi.	51
Şekil 6.11 : 80X80 kolon kesiti.	51
Şekil 6.12 : 80X80 kolonuna ait Mander sargılı çekirdek betonu modeli.	52
Şekil 6.13 : 80X80 kolonuna ait akma yüzeyleri.	52
Şekil 6.14 : 80X80 kolonuna ait moment-eğrilik bağıntısı.	53
Şekil 6.15 : 40X60 kiriş kesiti için M3 plastik mafsal veri girişi.	54
Şekil 6.16 : Doğrusal olmayan statik yükleme.	55
Şekil 6.17 : Düzce depremi ölçeklendirilmiş doğu-batı bileşeninin programa tanıtılması.	55
Şekil 6.18 : Zaman-tanım alanında doğrusal olmayan analiz için veri girişi.	56
Şekil 6.19 : Düzce depremi kiriş hasar bölgeleri.	57
Şekil 6.20 : Chi-Chi depremi kiriş hasar bölgeleri.	58
Şekil 6.21 : Düzce depremi kolon hasar bölgeleri.	60
Şekil 6.22 : Düzce depremi 90° döndürülmüş durum için kolon hasar bölgeleri.	60
Şekil 6.23 : Chi-Chi depremi kolon hasar bölgeleri.	61
Şekil 6.24 : Düzce depremi perde hasar bölgeleri.	64
Şekil 6.25 : Düzce depremi 90° döndürülmüş durum için perde hasar bölgeleri.	64
Şekil 6.26 : Tottori I depremi perde hasar bölgeleri.	65
Şekil 6.27 : X doğrultusundaki görelî kat ötelemeleri.	68

<b>Şekil 6.28</b> : Y doğrultusundaki görelî kat ötelemeleri. ....	<b>68</b>
<b>Şekil 6.29</b> : Tottori I depremi ölçeklendirilmiş düşey bileşeni. ....	<b>69</b>
<b>Şekil 6.30</b> : Tottori I düşey deprem etkisi altında giriş hasar bölgelerinin karşılaştırılması. ....	<b>70</b>
<b>Şekil 7.1</b> :Düzce depremi yapı elemanları hasar bölgeleri dağılımı. ....	<b>75</b>
<b>Şekil 7.2</b> :Düzce depremi 90° döndürülmüş durum için yapı elemanları hasar bölgeleri dağılımı. ....	<b>75</b>
<b>Şekil A.1</b> : +26.8 kotu kat planı. ....	<b>82</b>
<b>Şekil A.2</b> : +53.6 kotu kat planı. ....	<b>83</b>
<b>Şekil B.1</b> : Tabas depremi ölçeklendirilmiş bileşenleri. ....	<b>84</b>
<b>Şekil B.2</b> : Landers depremi ölçeklendirilmiş bileşenleri. ....	<b>84</b>
<b>Şekil B.3</b> : Loma I depremi ölçeklendirilmiş bileşenleri. ....	<b>85</b>
<b>Şekil B.4</b> : Loma II depremi ölçeklendirilmiş bileşenleri. ....	<b>85</b>
<b>Şekil B.5</b> : Iwate depremi ölçeklendirilmiş bileşenleri. ....	<b>86</b>
<b>Şekil B.6</b> : Kocaeli I depremi ölçeklendirilmiş bileşenleri. ....	<b>86</b>
<b>Şekil B.7</b> : Kocaeli II depremi ölçeklendirilmiş bileşenleri. ....	<b>87</b>
<b>Şekil B.8</b> : Tottori I depremi ölçeklendirilmiş bileşenleri. ....	<b>87</b>
<b>Şekil B.9</b> : Tottori II depremi ölçeklendirilmiş bileşenleri. ....	<b>88</b>
<b>Şekil B.10</b> : Chi-Chi depremi ölçeklendirilmiş bileşenleri. ....	<b>88</b>

## **40 KATLI ASİMETRİK BETONARME BİR BİNANIN DEPREM PERFORMANSININ ZAMAN TANIM ALANINDA DOĞRUSAL OLMAYAN HESAP YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ**

### **ÖZET**

Deprem kuşağı üzerinde bulunan ülkemizde her gün irili ufaklı onlarca deprem meydana gelmektedir. Çoğunluğunu küçük şiddetli depremlerin oluşturduğu bu depremler, kimi zaman da büyük şiddetlerde meydana gelip can ve mal kaybına neden olmaktadır. 17 Ağustos 1999 Gölcük, 12 Kasım 1999 Düzce, 23 Ekim 2011 Van depremleri bunlara en büyük örneklerdir. 26 Eylül 2019'da meydana gelen 5.8 büyüklüğündeki Marmara Denizi depremi ve 21 Ocak 2020'de meydana gelen 6.8 büyüklüğündeki Elazığ depremi de mevcut yapıların deprem performanslarının değerlendirilmesini yeniden gündeme getirmiştir.

18 Mart 2018 tarihinde yayınlanan ve 1 Ocak 2019 itibari ile yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği Bölüm 15'te Deprem Etkisi Altında Mevcut Bina Sistemlerinin Değerlendirilmesi ile ilgili kurallar verilmiştir. Bu çalışma kapsamında, verilen kurallar ve hesap esasları çerçevesinde, zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi kullanılarak 40 katlı, asimetrik kat planına sahip betonarme bir yapının bina deprem performansı incelenmiştir.

Birinci bölümde, yürütülen tez çalışmasının amacı ve kapsamı hakkında bilgi verilmiştir. İkinci bölümde doğrusal olmayan davranış ve bu davranışın modellenmesi incelenmiştir. Doğrusal olmayan hesap yöntemleri ile ilgili bilgiler verilmiştir. Üçüncü Bölümde performans kavramından bahsedilmiş ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğindeki yaklaşıma değinilmiştir. Dördüncü bölümde, deprem etkisi altındaki binalar için hesap esasları irdelenmiştir. Beşinci bölümde, zaman tanım alanında hesap için kullanılacak ivme kayıtlarının seçilmesi veya oluşturulması ve ölçeklendirme ile ilgili bilgiler verilmiştir.

Altıncı bölümde, tez çalışmasına konu olan mevcut binanın performans analizi bilgisayar programı yardımıyla yapılmıştır. Beton ve çelik malzemenin doğrusal olmayan davranışları modellenmiştir. Kesitler bu malzemeler ile oluşturulmuştur. Eleman açıklık uçlarına, kiriş ve kolonlar için yığılı plastik davranış modelince plastik mafsalları atamaları yapılmıştır. Perdeler için ise yayılı plastik mafsalları modeli kullanılmıştır.

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz için, on bir adet gerçek deprem kaydı seçilerek ölçeklendirilmiştir. Analiz, deprem kayıtlarının birbirine dik iki doğrultuda yapıya etkilmesi ile yapılmıştır. Deprem kayıtlarının kendi içlerinde doksan derece döndürülerek analizler tekrarlanmıştır. Analiz sonucunda kolon, kiriş ve perde elemanlar için plastik şekildeğiştirme ve plastik dönme değerleri incelenerek, hasar bölgelerindeki eleman sayılarına ulaşılmıştır.

Tez çalışmasının yedinci bölümünde, bir önceki bölümde yapılan analiz sonuçları irdelenmiş ve bu sonuçlardan yapılan çıkarımlar özetlenmiştir. Kolon ve perde

elemanlarda plastik şekildeğişirmeler çok az meydana gelmiştir. Sadece kirişlerde göçme bölgesine geçen elemanlar olmuştur. Bu elemanların oranları da göçmenin önlenmesi performans seviyesi sınırlarını aşmamıştır. Seçilen on bir deprem kaydı için, yapı performansı normal performans hedefi olarak belirlenen, göçmenin önlenmesi performans düzeyi olarak bulunmuştur.





# **DETERMINATION OF THE PERFORMANCE ANALYSIS OF AN EXISTING REINFORCED CONCRETE BUILDING OF 40 STOREY WITH AN ASYMMETRIC FLOOR PLAN USING TIME HISTORY ANALYSIS**

## **SUMMARY**

As our country stands in an earthquake zone, there are tens of earthquakes with varying magnitudes happens every day. While most of these earthquakes are of small magnitudes, at times, high magnitude earthquakes happen, causing economic devastation as well as deaths. 17 August 1999 Gölcük, 12 November 1999 Düzce and 23 October 2001 Van earthquakes are examples of such. After the earthquakes at the near date of 26 September 2019 at the Marmara Sea and 21 January 2020 at Elazığ, the examination of the performances of the existing structures become a current issue.

In the Turkish Seismic Code for Building 2018 (TBDY 2018) Section 15, fundamentals of performance analysis of existing buildings have been given. In this study, the performance analysis of a 40 storey reinforced concrete building with an asymmetric floor plan has done according to regulations and basis that are given in the Turkish Seismic Code for Building 2018 (TBDY 2018).

On the first chapter, general information about the objective and the content of the thesis have been given.

On the second chapter, non-linear behaviour and modeling of non-linear behavior was discussed. Non-linear behavior of construction material and large displacements were examined. Modeling of the non-linear behavior of a structure using plastic hinges was given. Non-linear analysis methods were examined. Time-history analysis and integration methods for the analysis were discussed.

On the third chapter, performance notion and approach of the Turkish Seismic Code for Building 2018 (TBDY 2018) on performance analysis has been given. Boundary conditions of plastic strain and plastic rotations for performance levels was given.

On the fourth chapter, the fundamentals of analysis of buildings under earthquake load have been given. Steps for obtaining, target performance level for existing buildings were given. Irregular buildings and conditions of torsional irregularity as well as irregularity because of the offsets on floor plan were examined.

On the fifth chapter, ground motion data selection or creation and scaling of ground motion data were investigated. Different approaches on ground motion data selection and some important criteria were given. Scaling methods for seismic acceleration records were given.

On the sixth chapter, performance analysis of the existing building that is the subject of this thesis has been done using the SAP200 computer program. Necessary information on the building has been given. The building is 134 meters' height, with 40 floor levels. The building is under use for housing purposes. Reinforced concrete

material consists of C40 concrete and B420C steel rebars of various sizes. There are eleven grids on the long side and eight on the short side. Grid lengths differs and are given on the floor plan. At +26.80 and +53.60 elevations, sizes of some column's changes. Seismic parameters were obtained geographically from the website of the Disaster and Emergency Management Authority (AFAD). Design spectrum parameters and elastic design spectrum were obtained for intended ground motion levels and soil types at the location of the existing building from this website.

Seismic acceleration records were obtained from the Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER) database. Soil properties, distance from the nearest fault and seismic zone characteristics are considered on the selection. Scaling of the selected acceleration records were done using elastic design spectrum for the intended ground motion level, which was obtained from the website of Disaster and Emergency Management Authority (AFAD), as the target spectrum. Seismic acceleration record pairs were checked to ensure Turkish Seismic Code for Building 2018 (TBDY 2018) conditions. Non-linear material data for reinforced concrete materials were given to the program. Plastic hinge values were calculated for each cross section. Plastic hinges were assigned to both ends of the beams and columns to stimulate the non-linear behavior and measure plastic deformations at the given points. Fiber hinges were used at shear walls for obtaining more accurate results. Operational loads were defined for the beams, that encircle the corresponding slabs. For each elevation level, joints were constrained to stimulate continuous concrete slab behavior. Wind loads were affected to the building since the subject building is a high-rise building.

The analysis model was affected by scaled acceleration record pairs in two perpendicular directions. Scaled acceleration record pairs were rotated 90° and affected again for the same earthquake. In total, 22 analyses have been done according to the Turkish Seismic Code for Building 2018 (TBDY 2018). For comparison purposes, another acceleration record that has vertical acceleration in it has been afflicted to model as well. But the change in the ratios of the elements on each damage zones was insignificant and did not effect the performance level.

At the end of the chapter, the ratios of the elements on each damage zones were obtained and compared. The performance level of the building was evaluated by using these ratios. For columns and shear walls, damage zones at the ground floor were examined since high stress and strain levels can be accumulated. Shear forces were checked to determine whether brittle fractures occurred. Elements that were failed under shear forces were accepted to be in the collapse zone.

In the final chapter, the results of the performance analysis were discussed. As expected, most of the damage has occurred at the beams. Both columns and shear walls, plastic deformations mostly did not occur. At the ground floor and at the floors where column sizes changes, some damages could be observed. For each acceleration pair, performance levels were obtained for the targeted performance level of collapse prevention. However, the Turkish Seismic Code for Building 2018 (TBDY 2018) deems, structures at the collapse prevention performance level unfit for use.

In the suggestion part, shortcomings of the modeling were given. Since structures at the collapse prevention performance level are deemed unfit for use according to the Turkish Seismic Code for Building 2018 (TBDY 2018), strengthening of the building is suggested. As the Turkish Seismic Code for Building 2018 (TBDY 2018) is fairly new code, most of the existing buildings in Turkey are designed under previous seismic code. While the new code, introduces new criteria and conditions especially

for high-rise buildings design, existing high-rise buildings that were designed under the previous seismic code should be evaluated.





## 1. GİRİŞ

Yeryüzünde her yıl birçok doğal afet meydana gelmekte ve çeşitli büyüklüklerde can ve mal kayıplarına neden olmaktadır. Coğrafi konumu nedeni ile deprem bölgesinde yer alan ülkemizde ise, can ve mal kaybına en çok neden olan doğal afet depremdir. Deprem sonrası üstyapıların kullanılamaz hale gelmesi gibi altyapıların da hasar görmesi ülke ekonomisine büyük hasar vermektedir. Bundan daha önemli olarak da büyük can kayıpları yaşanabilmektedir. Depreme neden olan olaylar konusunda her geçen gün bilgimiz daha da artsa dahi bugün teknolojik olarak geldiğimiz noktada, depremlerin önceden bilinmesi konusunda tatmin edici sonuçlara ulaşılamamıştır. Buna rağmen büyük depremlerin tekrarlanma periyodları konusunda elimizde istatistiki bilgiler mevcuttur. İnşaat mühendisleri bu bilinmezler arasında hem güvenli hem de ekonomik çözümler sunmaya çalışmaktadır. İnşaat mühendislerine bu konuda en büyük yol gösterici standartlar ve yönetmeliklerdir.

1999 yılında meydana gelen Kocaeli ve Gölcük depremleri, yönetmeliklere uyulmaması sonucu oluşabilecek hasarları elim bir vaziyette gözler önüne sermiştir. Türkiye’de yapı mühendisliği ve deprem mühendisliği geliştikçe daha kapsamlı deprem yönetmelikleri ortaya çıkmaktadır.

22 Ocak 2018 tarihi itibarıyla internet üzerinden erişime açılan Türkiye Deprem Tehlike Haritaları üzerinden, inşaat mühendislerinin proje bölgelerine ait deprem yer hareketleri ve spektral ivmeler ile ilgili daha ayrıntılı bilgilere ulaşması sağlanmıştır. Bununla beraber 18 Mart 2018’de yayınlanan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği ile depreme dayanıklı bina tasarımı ve mevcut yapıların performans değerlendirmeleri konusunda daha önceki yönetmeliklere göre daha kapsamlı bilgilere yer verilmiştir.

TBDY 2018 Bölüm 15 ile mevcut yapıların performans değerlendirmeleri ile ilgili kapsamlı bilgilere yer verilmiştir. Bu bölümde mevcut yapıların performans değerlendirmesi için doğrusal hesap yöntemi ve doğrusal olmayan hesap yöntemi olarak üzere iki farklı hesap yöntemi ve bunlara ait kurallar tanımlanmıştır.

Kuvvet esaslı olan doğrusal hesap yöntemi, binaya etkimesi muhtemel deprem yüklerinin yapısal sistemler ile karşılanıp karşılanamayacağını hesaplanmaktadır. Binada oluşabilecek şekil değiştirmeler ve bunlara bağlı etkiler için ise bir bilgi verememektedir. Kapsamı konusunda yeterli olmayan doğrusal hesap yöntemlerinin uygulanması bazı durumlar için TBDY 2018’de sınırlandırılmıştır.

Şekil değiştirme ve yer değiştirme prensiplerine dayanan doğrusal olmayan hesap yöntemleri, binanın elastik ötesi davranışlarını da ortaya koyarak daha gerçeğe yakın hesap yapılabilmesine olanak sağlamaktadır. Bina yüksekliğinin artması ile şekil değiştirmelerin büyümesi nedeniyle, TBDY 2018 belli bina yüksekliklerinden sonra doğrusal olmayan hesap yöntemlerinin kullanılmasını zorunlu tutar.

### **1.1 Tezin Amacı**

Bu tez çalışmasının amacı, TBDY 2018’de belirlenmiş kurallara uyularak, mevcut betonarme bir yapının performansının, zaman-tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi belirlenmesidir.

Çalışma kapsamında, İstanbul ilinin Kadıköy ilçesinde yapılmak üzere, 2016 yılında tasarlanmış olan, asimetrik kat planına sahip, taşıyıcı sistemi çerçeve ve perdelerden oluşan 40 katlı betonarme bir yapı seçilmiştir. Yapı, konut olarak kullanılmak üzere Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007 kapsamında tasarlanmıştır.

Yapıya ait kat planları, kalıp planları ve donatı ayrıntıları incelenerek SAP2000 programı kullanılarak, yapısal analiz modeli oluşturulmuştur. Yapıya, Türkiye Deprem Tehlike Haritası üzerinden ulaşılan tasarım spektrumları kullanılarak ölçeklendirilmiş deprem kayıtları, birbirine dik iki yönden etkilmiştir. 11 deprem kaydı takımı ve bunların doksan derece döndürülmüş halleri için analiz sonuçları elde edilmiştir. Yapısal elemanların hasar durumları incelenerek yapıya ait performans düzeyi belirlenmiştir. 50 yılda aşılma olasılığı 2% olan, göz önüne alınan en büyük deprem yer hareketi, için belirlenen yapı performans düzeyi hedefinin elde edilen performans düzeyi ile karşılaştırılması yapılmıştır.

## 2. DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞ VE ÇÖZÜMLEME

### 2.1 Giriş

Genellikle yapılar, işletme yükleri altında doğrusal davranış göstermek üzere tasarlanırlar. Ancak bazı durumlarda doğrusal olmayan davranışın dikkate alınarak tasarım yapılması istenebilir ya da gerekli olabilir. Gelişen beton teknolojisine paralel olarak yüksek dayanımlı beton kullanımının giderek artması ve betonarmenin lineer-elastik sınırdan sonraki taşıma kapasitesini göz önüne alan elastoplastik hesap yöntemlerinin kullanılması sonucunda betonarme yapıların daha narin ve ekonomik olarak boyutlandırılmaları mümkün olmaktadır. Buna karşılık, narinleşen yapılarda artan yerdeğıştirmeler nedeniyle geometri değışimlerinin denge denklemlerine etkisi önem kazanmakta ve çok kere, lineer olmayan bu etkilerin göz önüne alınması gerekmektedir [1].

Yapı sistemlerinin doğrusal analizinde, malzeme davranışının doğrusal-elastik sınırları aşmadığı için gerilme-şekildeğıştirme bağıntılarının (bünye denklemlerinin) doğrusal olduğu ve geometri değışimlerinin yeter küçüklükte olması nedeniyle denge denklemleri ve geometrik süreklilik denklemlerinin doğrusal olduğu varsayılmaktadır.

Ancak yapı sistemi, etkiyen dış yükler altında işletme yükü sınırını aşarak taşıma gücüne yaklaştıkça; malzeme davranışları doğrusal-elastik sınırı aşmakta ve geometri değışimleri yeter küçüklükte meydana gelmemektedir. Bu durumda yapı sisteminin analizinde doğrusal olmayan analiz yöntemlerinin kullanılması gerekmektedir.

TBDY 2018 Bölüm 4'te Deprem Etkisi Altında Binaların Dayanıma Göre Tasarımı İçin Hesap Esasları verilmiştir. Dayanıma göre tasarım, doğrusal davranışı esas almaktadır. Ancak deprem etkilerinin büyük değerlere ulaşabileceğı göz önüne alınarak, sistem davranışının doğrusal sınırlar içinde kalması için belirli şartlar konulmaktadır. Bunun dışında doğrusal-elastik sınır ötesi davranışların da göz önüne alınabilmesi için belirli katsayılar verilmektedir.

Tez çalışması kapsamında incelenecek doğrusal olmayan davranışın esas alındığı hesap yöntemleri ise TBDY 2018 Bölüm 5'te Deprem Etkisi Altında Binaların

Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım İçin Hesap Esasları başlığı altında verilmiştir.

## **2.2 Çözümün Sağlanması Gereken Koşullar**

Bir yapı sisteminin dış etkiler altında hesabı (analizi) ile elde edilen iç kuvvetler, şekil değiştirme ve yer değiştirmelerin çözüm olabilmesi için aşağıdaki üç koşulu bir arada sağlanması gerekmektedir:

1-Bünye denklemleri: Malzemenin cinsine ve özelliklerine bağlı olan gerilme-şekildeğiştirme bağıntılarına bünye denklemleri denilmektedir.

2-Denge Koşulları: Sistemi oluşturan elemanların ve bu elemanların birleştiği düğüm noktalarının denge denklemlerinden oluşmaktadır.

3-Geometrik Uygunluk (Süreklilik) Koşulları: Elemanların ve düğüm noktalarının süreklilik denklemleri ile mesnetlerdeki geometrik koşullarıdır [1].

## **2.3 Yapı Sisteminin Doğrusal Olmama Nedenleri**

Bir yapı sisteminin dış etkiler altındaki davranışının doğrusal olmaması genel olarak iki nedenden kaynaklanmaktadır.

1-Malzemenin doğrusal elastik olmaması nedeniyle gerilme-şekildeğiştirme bağıntılarının (bünye denklemlerinin) doğrusal olmaması.

2-Geometri değişimleri nedeniyle denge denklemlerinin (ve bazı hallerde geometrik süreklilik denklemlerinin) doğrusal olmaması.

Denge denklemlerinde yer değiştirmelerin küçük olmadığı sistemlerde denge denklemleri şekil değiştirmiş eksen üzerinde yazılmaktadır. Geometrik uygunluk koşullarında yer değiştirmelerin küçük olmadığı sistemlerde ise, geometrik süreklilik denklemlerinin de şekil değiştirmiş eksen üzerinde yazılması gerekmektedir [1].

## **2.4 Betonarme Sistem Davranışı**

Betonarme; birbirlerinin eksiklerini tamamlayan beton ve çelik donatının bir araya gelmesi ile oluşturulan yapı malzemesidir. Beton, basınç dayanımı yüksek olmasına karşın çekme dayanımı zayıf bir malzemedir. Çekme dayanımları yüksek olan çelik donatıların, betonun içine yerleştirilmesiyle betonun bu zayıflığı giderilmiş olur. Aynı

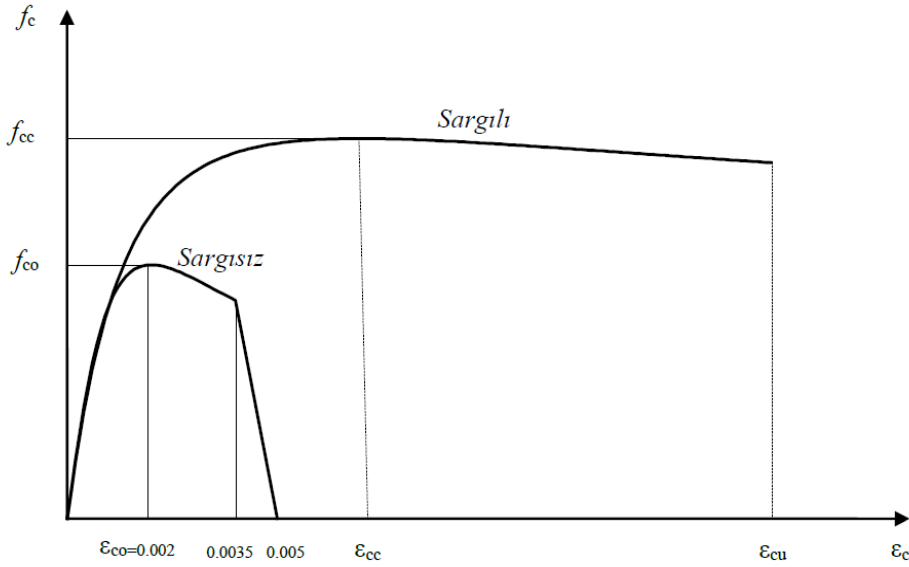


şekilde çelik donatının korozyona, yangına ve burkulmaya karşı korunması etrafını saran beton örtüsü ile sağlanmaktadır. Beton ve çeliğin sıcaklık genleşme katsayılarının birbirine yakın olması da bu sistemin beraber çalışmasını desteklemektedir.

#### **2.4.1 Beton malzemenin davranışı**

Agrega, çimento ve suyun belirli oranlarda bir araya gelmesi ile beton oluşur. Beton karışımına katılan, katkı malzemeleri ile betona çeşitli karakteristikler katılabilir. Herhangi bir yükleme altında olmasa bile, içinde bulunan mikro çatlaklar ve boşluklar nedeni ile heterojen ve yarı gevrek olan beton, düşük yüklemelere maruz kaldığında lineer elastik malzeme davranışı gösterir [2]. Betona etkileyen bu düşük yüklerin kalkmasından sonra, betonun göstermiş olduğu şekil değiştirmeler de sonlanır. Ancak betona etkileyen yükler arttırılırsa, beton lineer olmayan davranış göstermeye başlar ve beton üzerinde çatlaklar oluşur. Yüklerin belli bir seviyeye gelmesinden sonra ise giderek büyüyen çatlaklar sonucu beton kırılır ve betonun yük taşıma kapasitesi giderek azalır. Farklı beton sınıfları için, betonun gösterdiği bu özellikler; farklı yükleme büyüklükleri ve şekil değiştirmelere karşılık gelir. Betonun belli bir kırılma değeri olsa da tasarımda kullanılırken güvenli tarafta kalabilmek için yönetmeliklerce belli sınır değerler belirlenmiştir. Tasarım sırasında bu değere ulaşıldığında betonun kırılacağı varsayılır.

Şekil 2.1'de TBDY 2018'de doğrusal olmayan yöntemde kullanılmak üzere sargılı ve sargısız betona ait gerilme-şekildeğiştirme eğrisi verilmiştir. Buradan da görüleceği gibi sünek olan donatının, betonu sarması ile elde edilen sargılı betonun davranışı, sargısız betona göre daha sünektir. Bu da göçme gerilmesinin artmasının yanı sıra, sargılı betonun daha fazla şekil değiştirebilmesini sağlar. Sargılı betonun gerilme-şekildeğiştirme bağıntılarına ait değerlerin hesaplanma esasları TBDY 2018 Ek 5A'da verilmiştir.

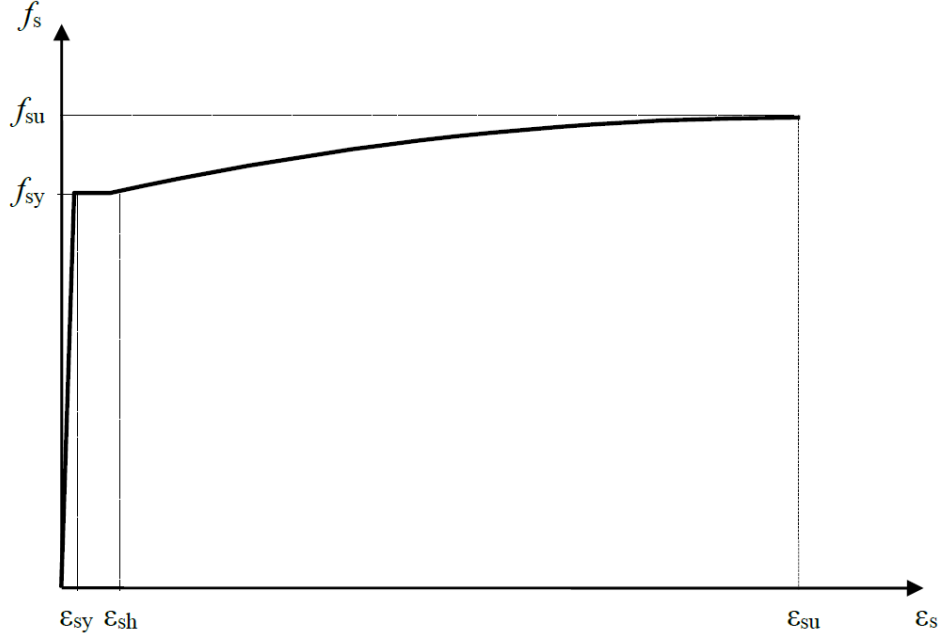


**Şekil 2.1** : Sargılı ve sargısız beton malzemesi için gerilme-şekildeğiştirme bağıntısı [5].

#### 2.4.2 Donatı çeliği malzemesinin davranışı

Genellikle betonarme yapılarda kullanılan çelik donatı, beton temas yüzey alanını arttırmak için daire enkesitlidir. Çelik donatılar nervürlü olarak imal edilerek, beton ile çelik arasındaki aderansın artmasını sağlar. Çelik donatıya ait nervür özellikleri ve kimyasal birleşim özellikleri TS708’de belirlenen özelliklere uygun olarak yapılır.

Betonun aksine, donatı çeliği sünek bir malzemedir. Bu sayede, yükleme altında büyük şekil değişimleri yapabilir. Yükleme altında; orantılılık sınırı içinde donatı çeliği, lineer elastik davranış gösterir. Orantılılık sınırının aşılmasından sonra akma dayanımına kadar elastik özelliğini koruyan donatı çeliği; bu noktadan sonra plastik şekil değiştirmeler göstermeye başlar. Akma gerilmesinden sonra pekleşmeye uğrayan donatı çeliği, çekme mukavemetine kadar yükleme almaya devam edebilir. Bu noktadan sonra ise, dayanımını kaybederek kopma değerine ulaşır. Şekil 2.2’de TBDY 2018’de doğrusal olmayan yöntemde kullanılmak üzere donatı çeliğine ait gerilme-şekil değiştirme eğrisi verilmiştir.



**Şekil 2.2** : Donatı çeliğinin gerilme-şekildeğiştirme bağıntısı [5].

Akma değerine kadar olan bölüm, donatı çeliğinin lineer elastik özellik gösterdiği elastik bölge; bundan sonra gerilmenin sabit kalarak şekil değiştirmenin arttığı bölüm, akma sahanlığının bulunduğu plastik plato bölgesidir. Bu bölgede gerilmenin sabit kalması, donatı en kesitindeki alanın değişime uğramasından kaynaklanmaktadır. Bundan sonraki bölüm ise pekleşmenin gerçekleştiği ve kopma dayanımında son bulan pekleşme bölgesidir.

Şekil 2.2’de gösterilen bölge sınırlarına ait değerlerin farklı çelik donatı kaliteleri için Çizelge 2.1’de verilmiştir.

**Çizelge 2.1:** Donatı çeliği için gerilme ve şekildeğiştirme değerleri.

Kalite	$f_{sy}$ (Mpa)	$\epsilon_{sy}$	$\epsilon_{sh}$	$\epsilon_{su}$	$f_{su}/f_{sy}$
S220	220	0.0011	0.011	0.12	1.20
S420	420	0.0021	0.008	0.08	1.15 - 1.35
B420C	420	0.0021	0.008	0.08	1.15 - 1.35
B500C	500	0.0025	0.008	0.08	1.15 - 1.35

## 2.5 Süneklik

Yapı sistemlerinde süneklik, genel olarak, yapının dayanımında azalma ve kararsız denge hali oluşmaksızın, deprem sırasında yapıya transfer olan enerjinin büyük bir kısmını, elastik olmayan davranışla ve tersinir, dönüşümlü büyük şekil değiştirmelerle yutma yeteneği olarak tanımlanmaktadır (Hasgür ve diğ., 1996). Sünekliğin ölçüsü “süneklik oranı”dır. Literatürde 5 tür süneklik türü yaygın olarak yer almaktadır [2].

Bunlar:

- Malzeme sünekliği (deformasyon sünekliği)
- Eğrilik sünekliği (en kesit sünekliği)
- Eleman sünekliği (dönme sünekliği)
- Yapı sünekliği (deplasman sünekliği, kinematik süneklik, global süneklik, sistem sünekliği)
- Enerji sünekliği (histeretik süneklik)

olarak verilebilir. Yapı tasarımı sırasında seçilen malzeme ve en kesitler, oluşturulan yapı sisteminin geometrisi ile süneklik değerleri en iyi sonucu verecek şekilde değerlendirilebilir.

Betonarme sistemi oluşturan elemanlar, sünek ya da gevrek davranış gösterebilir. Yapı tasarımında yeterli süneklik sağlanarak, gevrek güç tükenmesi durumlarından kaçınılmaktadır. Yapı elemanlarının kesme kuvveti veya eksenel kuvvet altında dayanıma ulaşmaları gevrek güç tükenmesi durumlarıdır. Eğilme etkisi altında dayanıma ulaşma ise betonun ezilmesinden önce çelik donatının akması ile gerçekleşirse sünek güç tükenmesi durumu oluşmaktadır. Yapı elemanlarının kesme dayanımlarının eğilme dayanımlarından yüksek olması sağlanarak istenilen sünek davranış elde edilebilmektedir.

## 2.6 Doğrusal Olmayan Davranış Modelleri

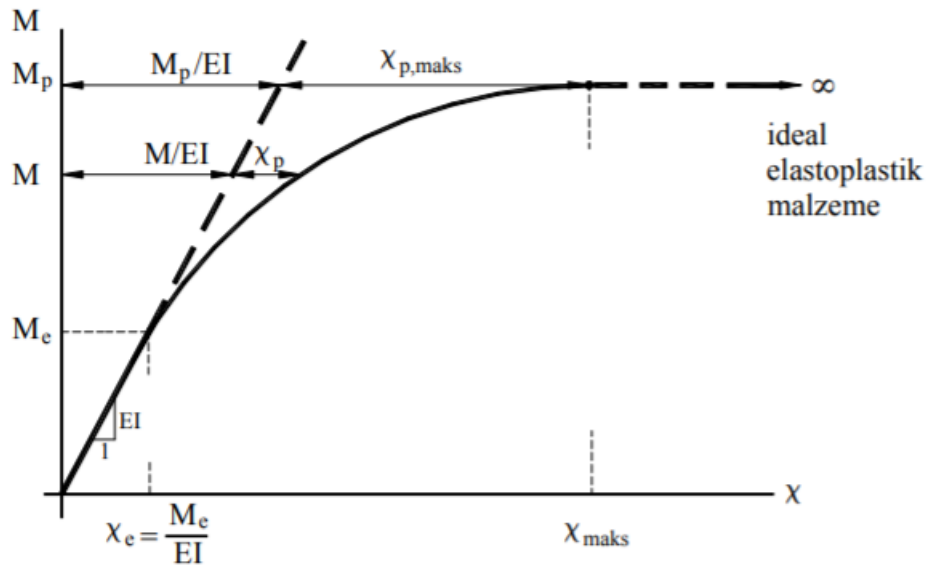
Doğrusal olmayan analizde elastik analizden farklı olarak elemanların belirli bir dayanım kapasitesi mevcuttur. Eleman üzerindeki yük etkileri arttıkça rijitliğinde azalma olur ve kritik bölgelerde dayanım değerine ulaşıldıktan sonra eleman sabit sayılabilecek yük değeri altında deformasyon yaparak enerji sönümlemeyi sürdürür.

Bu durum eleman deformasyon kapasitesini kaybedene kadar devam eder. Doğrusal olmayan analizdeki bu dayanım deformasyon ilişkisi “plastik mafsallar” yoluyla modellenir [4].

Doğrusal olmayan davranış modelleri ve bu modellere ait esaslar TBDY 2018 Bölüm 5.3’te verilmiştir. Plastik mafsallar için, yığılı plastik davranış modeli ve yayılı plastik davranış modeli olarak iki farklı model incelenmiştir.

### 2.6.1 Yığılı plastik davranış modeli

Plastik mafsalsal, malzemenin yapabildiği toplam şekil değiştirmelerin doğrusal şekil değiştirmelere oranı olarak tanımlanan süneklik değerinin büyük olduğu ve küçük bir bölgeye odaklanmış doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin bulunduğu sistemlerde; sistemin geri kalanının doğrusal-elastik davranış göstermesine rağmen, doğrusal olmayan eğilme şekil değiştirmelerinin yayıldığı küçük bölgeler olarak tanımlanır [1]. Bu model ise Yığılı Plastik Davranış (Plastik Mafsalsal) Modeli olarak adlandırılır. Süneklik düzeyi yüksek betonarme ve çelik yapılarda, Yığılı Plastik Davranış Modeli’nin kullanılması sayısal analizi, büyük ölçüde kısaltır. Gerçek eğilme momenti-eğrilik bağıntısı Şekil 2.3’te verilen düzlem çubuk elemanın belirli bir bölgesine ait eğilme momenti diyagramı, toplam eğilme şekil değiştirmeleri ve doğrusal olmayan şekil değiştirmeleri Şekil 2.4’te görülmektedir [5].

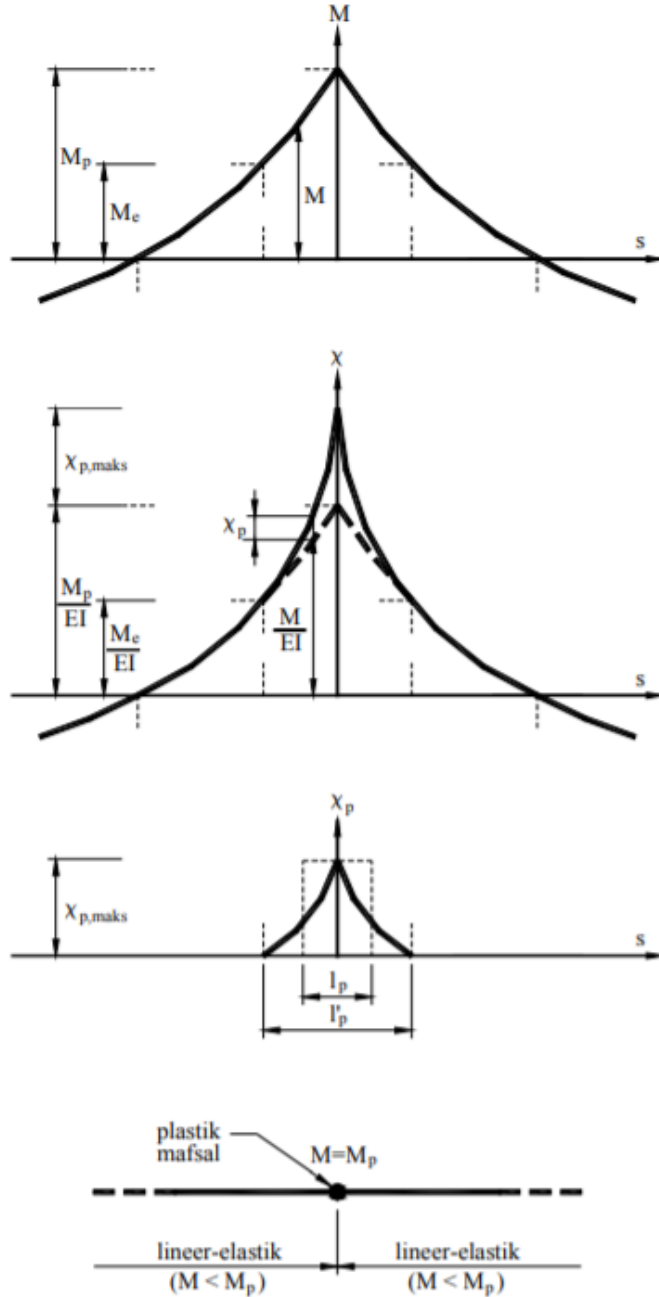


Şekil 2.3 : Gerçek eğilme momenti-eğrilik bağıntısı [1].

Yığılı plastik davranış modelinde, plastik şekil değiştirmelerin düzgün yayılı bir biçimde oluşturdukları  $l_p$  uzunluğundaki bölgenin,

$$\theta_p = \int_{l_p} X_p ds \quad (2.1)$$

bağıntısı ile, plastik mafsal olarak nitelendirilen tek bir noktaya indirildiği varsayılmaktadır. Bu bağıntıda bulunan  $\theta_p$ , plastik mafsalın dönmesidir.



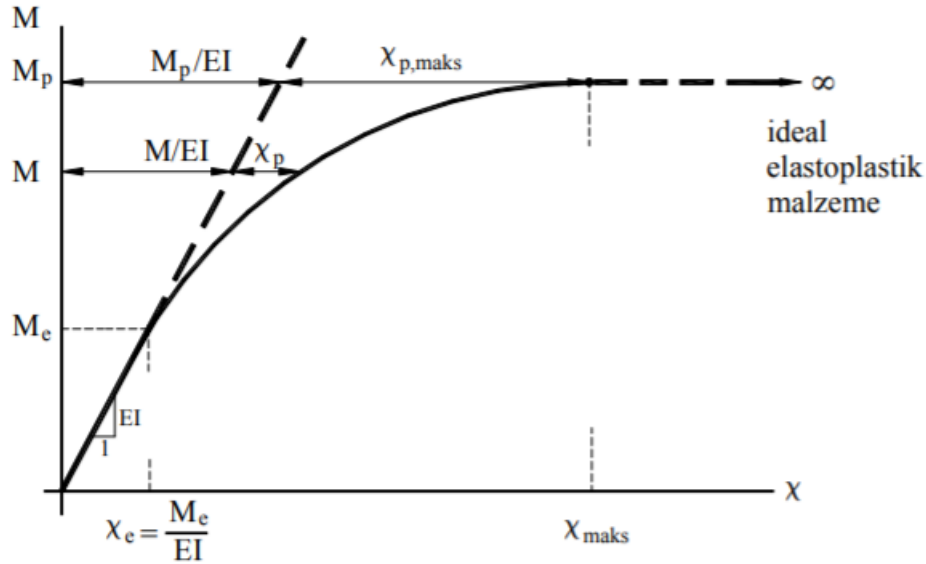
Şekil 2.4 : Gerçek eğilme momenti-eğrilik bağıntısı [1].

Yığılı plastik davranış modelinin kullanılması ile eğilme, verilen moment sınır değerleri için momenti-eğrilik grafiği;

$$M \leq M_p \quad \text{için} \quad X = \frac{M}{EI} \quad (2.2)$$

$$M = M_p \quad \text{için} \quad X \rightarrow X_{p,maks}$$

şeklinde iki doğru parçasından oluşan idealleştirilmiş bağıntıya karşı gelir. İdealleştirilmiş eğilme momenti-eğrilik bağıntısı ise Şekil 2.5'te verilmiştir



**Şekil 2.5 :** İdealleştirilmiş eğilme momenti-eğrilik bağıntısı [1].

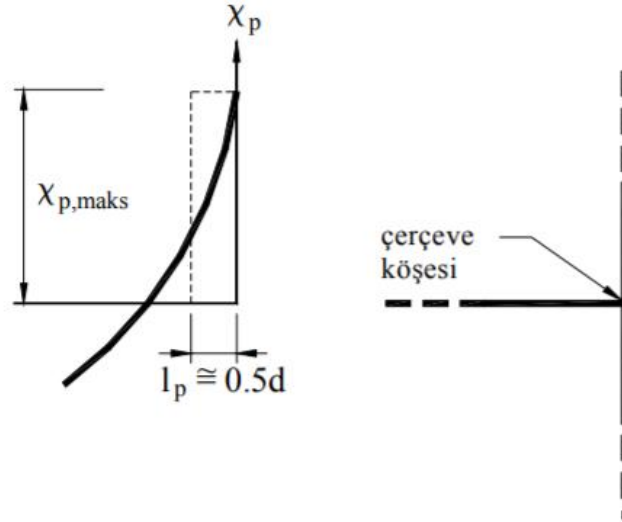
Elastik ötesi durumda ortaya çıkan şekil değiştirmeler, plastik mafsalin dönme değerinin, kesite etkiyen yükler sonucu, dönme kapasitesi olarak adlandırılan limit değere gelmesi ile kesit yük taşıyamaz hale gelir. Bu durum binanın birden fazla yerinde ortaya çıkarsa bina kullanılamaz duruma gelir ve bina göçer [3].

Dönme kapasitesi;

$$maks\theta = \int_{l_p} X_p ds \quad (X_p \rightarrow X_{p,maks}) \quad (2.3)$$

şeklinde, moment ve eğrilik bir fonksiyonu olarak ifade edilir.

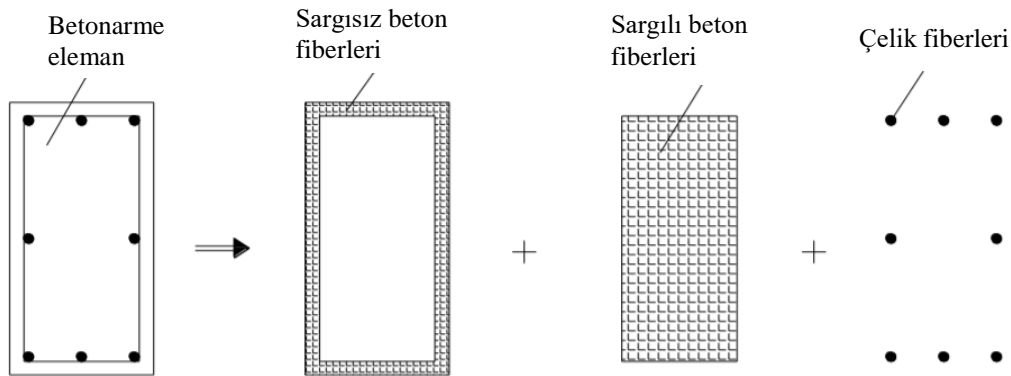
Yığılı Plastik Davranış modeli için, sınırlı bölgeler için, iç kuvvetlerin plastik kapasitelerine eriştikleri ve bu bölge içinde plastik şekil değiştirmelerin düzgün yayılı bir biçimde oluştuğu varsayılmaktadır. Bu bölgeler, plastik mafsallık boyu olarak adlandırılır ve uzunlukları ( $l_p$ ), çalışan doğrultudaki kesit boyu ( $h$ )'nin yarısına eşit olarak alınır. ( $l_p = 0.5h$ ) [5]. Plastik mafsallık boyu Şekil 2.6'da verilmiştir



Şekil 2.6 : Plastik mafsallık boyu [1].

### 2.6.2 Yayılı plastik davranış modeli

Yayıllık Plastik Davranış Modeli, plastik şekil değiştirmelerin küçük bir bölgede kalmadığı, sınırlı boydaki uç bölgeler veya yapı elemanının uzunluğunca yayılı şekilde hesaba katıldığı modeldir. Yapı elemanı kesitlerinde; çekirdek betonun, kabuk betonunun ve donatının lif elemanlara bölünerek izlendiği bu modelde hem eleman uzunluğu hem de eleman kesiti için doğrusal olmayan davranışın tahmin edilmesine imkan sağlanır ve yapısal eleman kesitlerindeki davranışın daha hassas bir biçimde belirlenmesi sağlanır [5]. Bu hesaplamalarda, bölünen lif sayısının, malzeme davranışını iyi şekilde irdelenecek kadar olmasına özen gösterilmelidir. Elemanın tüm uzunluğu boyunca ele alınması, sonuçların gerçeğe daha yakın çıkmasını sağlar ancak hesaplamalar için gerekli işlem hacmini de artırır. Günümüzde bilgisayarlar sayesinde bu hesaplamaların yapılması kolaylaşmaktadır. Betonarme elemana ait lif modellemesi için fiberlerin atanması Şekil 2.7’de verilmiştir.



Şekil 2.7 : Betonarme elemana ait lif modellemesi.



## **2.7 Deprem Etkisi Altında Doğrusal Olmayan Hesap**

Binalara ait taşıyıcı sistemler, işletme yükleri altında doğrusal davranış sergileyecek şekilde tasarlanırlar. Ancak deprem etkisi altında, doğrusal davranışa ait gerilme-şekildeğiştirme bağıntısı ve yer değiştirme kabulleri hesaplama için doğru sonuç vermeyebilir. Doğrusal olmayan hesap yöntemleri, yapı malzemesinin davranışını ve geometri değişimini gerçeğe daha yakın yansıttığı için, doğrusal hesap yöntemlerine göre daha gerçekçi sonuçlar verir.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde, doğrusal olmayan hesap yöntemleri; Deprem Etkisi Altında Binaların Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme Ve Tasarımı İçin Hesap Esasları başlığı altında incelenmiştir. Doğrusal olmayan analiz yöntemlerinde şekil değiştirme ve yer değiştirmeyi baz alan değerlendirme kullanılır. Kapasite hesabı gereği, hesaplanan taleplerin mevcut kapasite ile karşılanması sağlanır. Doğrusal olmayan hesap yönteminde, istenilen performans hedeflerine göre belirlenen yer hareketleri altında; sünek davranış için, plastik şekildeğiştirme ve plastik dönme talepleri, gevrek davranış için iç kuvvet talepleri hesaplanır. Mevcut binalarda, hesaplanan bu talepler ile, şekildeğiştirme ve iç kuvvet kapasiteleri kıyaslanarak hem kesitler hem de bina için performans değerlendirmesi yapılır. Binanın bu talepleri karşılaması durumunda, istenilen performans hedeflerini sağladığı anlaşılır. Ancak bu hedefler sağlanamıyorsa, bina performansının istenilen performans düzeyinde olup olmadığı ya da göçme durumuna gelip gelmediği kontrol edilir.

### **2.7.1 Deprem etkisi altında doğrusal olmayan hesap yöntemleri**

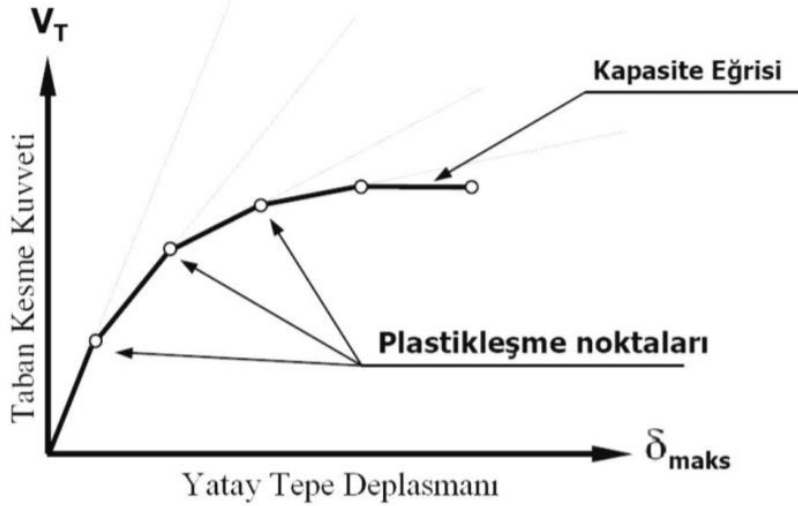
#### **2.7.1.1 Tek modlu itme yöntemi**

Binaya ait taşıyıcı sisteme etkileyen, statik düşey yüklerin, arttırımsal olarak etki ettirildiği doğrusal olmayan hesap ile elde edilen iç kuvvetler ve şekil değiştirmeler, deprem hesabında başlangıç değerleri oluşturacaktır. Tek Modlu ve Çok Modlu İtme Yöntemi olarak 2 farklı yöntemle hesap yapılabilir.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine göre; Tek Modlu İtme Yöntemleri'nde, göz önüne alınan deprem doğrultusunda hakim titreşim mod şekli ile orantılı olacak şekilde deprem yerdeğiştirme talebi sınırına kadar monotonik olarak adım adım uygulanan deprem yükü artımlarının etkisi altında, taşıyıcı sistemde meydana gelen yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme (plastik dönme, uzama, vb.) ve iç kuvvet

artımları ile bunların birikimli (kümülatif) değerleri hesaplanır. Son adımda, deprem talebine karşı gelen birikimli değerler, şekildeğiştirmeye değerlendirmeye esas büyüklükler olarak elde edilir [5]. Sabit Tek Modlu İtme Yöntemi Ve Değişken Tek Modlu İtme Yöntemi olarak iki farklı şekilde hesap yapılabilir.

Sabit tek modlu itme yönteminde, deprem yükü artırımları, binanın kendi ağırlığı ve hareketli yükler altında hesaplandığı aşamadan sonra hesaplanan değerlerin, sonraki her adımda aynı şekilde etki ettirilmesi ile hesaplanır. Değişken tek modlu itme yönteminde ise, her adımdan sonra, yapının durumuna göre yeniden hesaplanan mod şekilleri ile sonraki adımın hesabı yapılır. Bu hesaplardan sonra Taban kesme kuvveti-yatay tepe deplasmanı grafiği elde edilir. Bu grafik üzerinde kapasite eğrisi oluşturulur. Şekil 2.8’de bir kapasite eğrisi verilmiştir.



Şekil 2.8 : Kapasite eğrisi.

### 2.7.1.2 Çok modlu itme yöntemi

Çok modlu itme yöntemi Bina Yükseklik Sınıfı  $BYS \geq 2$  olan binalar için kullanılabilir. Doğrusal hesap yöntemi için kullanılan; farklı her titreşim modu için hesaplanan en büyük sonuçların bir araya getirilmesiyle yaklaşık değer elde edildiği mod birleştirme yönteminin, tüm iç kuvvetler ve yerdeğiştirmelerin birebir aynısının elde edilmesi gerekmektedir.

### 2.7.1.3 Zaman tanım alanında hesap yöntemi

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap, deprem yer hareketlerinin tasarım yapılacak olan yapı için uyumlu seçilmesi veya uyumlu hale getirilmek için ölçeklendirilmesi ile oluşturulan deprem etkilerinin, tasarım yapılacak yapının taşıyıcı sisteminin hareket denklemlerini ifade eden diferansiyel denklem takımına adım adım doğrudan integrasyonu ile yapılır. Deprem hareketleri karmaşık diferansiyel denklem takımlarından oluştuğu ve yapıya ait rijitlik matrisinin her adım için değişiklik gösterdiği için bilgisayarlı analiz gerekmektedir. Zaman tanım alanında hesap yöntemi, tüm Bina Yükseklik Sınıfları için kullanılabilir ancak BYS=1 olarak tanımlanan yüksek binalar için kullanımı TBDY 2018’de zorunlu kılınmıştır.

#### Newmark integrasyon yöntemi

1959 yılında, N.M. Newmark, aşağıda verilen denklem takımlarına dayalı zaman adımlı integrasyon yöntemi geliştirmiştir:

$$\begin{aligned}\dot{u}_{i+1} &= \dot{u}_i + [(1-\gamma)\Delta t]\ddot{u}_i + (\gamma\Delta t)\ddot{u}_{i+1} \\ u_{i+1} &= u_i + (\Delta t)\dot{u}_i + [(0.5-\beta)(\Delta t)^2]\ddot{u}_i + [\beta(\Delta t)^2]\ddot{u}_{i+1}\end{aligned}\tag{2.4}$$

$\beta$  ve  $\gamma$  parametreleri ivmenin zaman adımları arasında değişimini tanımlamakta ve metodun kararlılığını ve hassasiyetini belirlemektedir. Genelde  $\gamma$  değeri için 0.5 ve  $\beta$  değeri için;

$$\frac{1}{6} \leq \beta \leq \frac{1}{4}$$

kullanılması metodun kararlılığı için yeterlidir [6].



### **3. PERFORMANS KAVRAMI VE TBDY 2018 YAKLAŞIMI**

#### **3.1 Giriş**

Halihazırda, inşaatı tamamlanmış olarak bulunan yapıların, deprem etkisi altındaki güvenliklerinin değerlendirilmesi için performans kavramı kullanılmaktadır. Mevcut yapıların, yapısal sistemler ile bu sistemleri oluşturan elemanlar ve deprem etkisi sonucu, yapıda oluşan etkilerle ilgili yeteri kadar bilgi bulunması halinde, yapının davranışı da anlaşılabilir. Mevcut binaların deprem güvenliğinin belirlenmesi aşağıdaki adımlar uygulanır [7]:

- 1.Kapasitenin belirlenmesi: Deprem etkisi altındaki yapının, yapı sistemine ait elemanlar arasından, zorlanması beklenen eleman kesitlerinin, geometrik ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi ile kapasite hesaplanır.
- 2.Talebin belirlenmesi: Ortaya çıkan deprem etkisi altında, yapıda meydana gelecek kesit etkileri, şekil ve yer değiştirmelerin hesabı yapılır.
- 3.Karşılaştırma ve sonuç: Yapısal eleman ve kesitlerin, deprem etkisi altında oluşan taleplerinin, kapasite ile mukayese edilerek, ortaya çıkacak hasar durumu belirlenir.

#### **3.2 Binalardan Bilgi Toplanması**

Mevcut binaların taşıyıcı sistem elemanlarının kapasitelerinin belirlenmesinde ve deprem dayanımlarının değerlendirilmesinde kullanılacak eleman detayları ve boyutları ile taşıyıcı sistem geometrisine ve malzeme özelliklerine ilişkin bilgiler, binaların projelerinden ve raporlarından, binada yapılacak gözlem ve ölçümlerden, binadan alınacak malzeme örneklerine uygulanacak deneylerden elde edilecektir [5].

Binalardan bilgi toplanması kapsamında yapılacak işlemler, yapısal sistemin tanımlanması, bina geometrisinin, temel sisteminin ve zemin özelliklerinin saptanması, varsa mevcut hasarın ve evvelce yapılmış olan değişiklik ve/veya onarımların belirlenmesi, eleman boyutlarının ölçülmesi, malzeme özelliklerinin

saptanması, sahada derlenen tüm bu bilgilerin binanın varsa projesine uygunluğunun kontrolüdür [5].

### 3.3 Bina Bilgi Düzeyleri

Binaların incelenmesinden elde edilecek mevcut durum bilgilerinin kapsamına göre, her bina türü için bilgi düzeyi ve buna bağlı olarak Çizelge 3.1’de belirtilen bilgi düzeyi katsayıları tanımlanacaktır. Bilgi düzeyleri sırasıyla sınırlı ve kapsamlı olarak sınıflandırılacaktır. Elde edilen bilgi düzeyleri taşıyıcı eleman kapasitelerinin hesaplanmasında kullanılacaktır [5].

**Çizelge 3.1:** Donatı çeliği için gerilme ve şekildeğiştirme değerleri.

Bilgi Düzeyi	Bilgi Düzeyi Katsayısı
Sınırlı	0.75
Kapsamlı	1

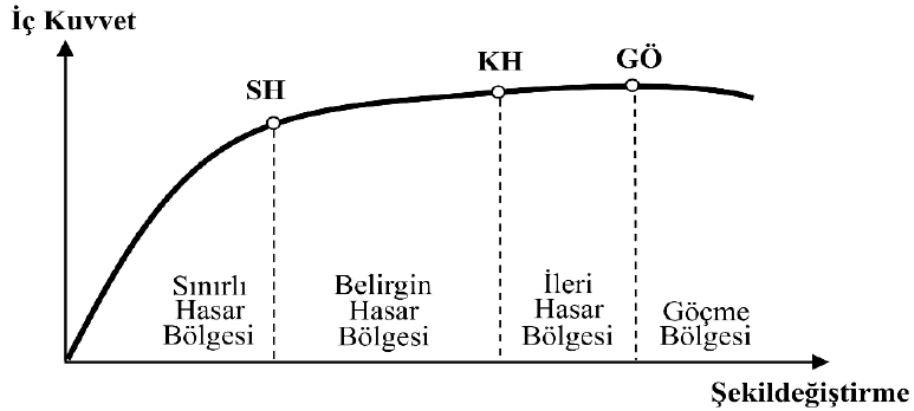
Bina bilgi düzeyleri; bina geometrisi, eleman detayları ve malzeme özelliklerine ait bilgilerin, binalardan bilgi toplanması sırasında ne denli elde edilebildiğine bağlıdır. Binanın, betonarme projeleri ve betonarme detay projeleri incelenerek, mevcut yapı ile projeler arasındaki farklılıklar dikkate alınacaktır.

### 3.4 Yapısal Elemanların Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri

Sünek elemanlar için kesit düzeyinde üç hasar durumu ve hasar sınırı tanımlanmıştır. Bunlar Sınırlı Hasar (SH), Kontrollü Hasar (KH) ve Göçme Öncesi Hasar (GÖ) durumları ve bunların sınır değerleridir. Sınırlı hasar ilgili kesitte sınırlı miktarda elastik ötesi davranışı, kontrollü hasar kesit dayanımının güvenli olarak sağlanabileceği elastik ötesi davranışı, göçme öncesi hasar durumu ise kesitte ileri düzeyde elastik ötesi davranışı tanımlamaktadır. Gevrek olarak hasar gören elemanlarda bu sınıflandırma geçerli değildir [5].

Kesit hasar bölgeleri, yapı elemanına ait kritik kesitlerde meydana gelen hasar durumlarına bağlı olarak belirlenir. Şekil 3.1’de görüldüğü gibi, kritik kesitlerinde meydana gelen hasar sınırlı hasar durumuna kadar eleman sınırlı hasar bölgesinde, sınırlı hasar durumunu aşan ancak kontrollü hasar durumuna gelmeyen eleman belirgin hasar bölgesinde, kontrollü hasar durumunu aşan ancak göçme öncesi hasar

durumuna gelmeyen eleman ileri hasar bölgesinde yer alır. Kritik kesit hasarının göçme öncesi hasar durumunu aşmış olan eleman göçme bölgesinde yer alır.



Şekil 3.1: Betonarme binaların kesit hasar sınırları ve hasar bölgeleri.

### 3.5 Betonarme Elemanların Kesit Birim Şekildeğiştirme ve Dönme Sınırları

TBDY 2018 Bölüm 5.8’de yığılı plastik davranış modeli ve yayılı plastik davranış modeline göre hesaplanan durumlar için performans değerlendirilmesinde kullanılmak üzere izin verilen sınırlar verilmiştir.

#### Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi

Yayıllı plastik davranış modeline göre hesaplanan dikdörtgen kesitli kolon, kiriş ve perde elemanlarda beton için:

$$\epsilon_c^{(GÖ)} = 0.0035 + 0.04\sqrt{\omega_{we}} \leq 0.018 \quad (3.1)$$

Yayıllı plastik davranış modeline göre hesaplanan daire kesitli kolon, kiriş ve perde elemanlarda beton için:

$$\epsilon_c^{(GÖ)} = 0.0035 + 0.07\sqrt{\omega_{we}} \leq 0.018 \quad (3.2)$$

Donatı çeliği için:

$$\epsilon_c^{(GÖ)} = 0.4\epsilon_{su} \quad (3.3)$$

Yığılı plastik davranış modeline göre hesaplanan plastik dönme değerleri için:

$$\theta_p^{(GÖ)} = \frac{2}{3} \left[ (\phi_u - \phi_y) L_p \left( 1 - 0.5 \frac{L_p}{L_s} \right) + 4.5 \phi_u d_b \right] \quad (3.4)$$

Bağıntıları kullanılacak ve izin verilen sınır değerleri elde edilecektir.

### **Kontrollü Hasar Performans Düzeyi**

Kolon, kiriş ve perde elemanlarda beton için:

$$\epsilon_c^{(KH)} = 0.75\epsilon_c^{(GÖ)} \quad (3.5)$$

Donatı çeliği için:

$$\epsilon_s^{(KH)} = 0.75\epsilon_s^{(GÖ)} \quad (3.6)$$

Plastik dönme değerleri için:

$$\theta_p^{(KH)} = 0.75\theta_p^{(GÖ)} \quad (3.7)$$

Bağıntıları kullanılacak ve izin verilen sınır değerleri elde edilecektir.

### **Sınırlı Hasar Performans Düzeyi**

Kolon, kiriş ve perde elemanlarda beton için:

$$\epsilon_c^{(SH)} = 0.0025$$

Donatı çeliği için:

$$\epsilon_s^{(SH)} = 0.0075$$

Sınırlı hasar performans düzeyi için taşıyıcı sistemde plastik mafsall oluşumuna izin verilmeyecektir.

### **3.6 Mevcut Bina Yapı Performanslarının Belirlenmesi**

Mevcut binaların deprem performansı, uygulanan deprem etkisi altında binada oluşması beklenen hasarların durumu ile ilişkili olup dört farklı hasar durumu esas alınarak tanımlanmıştır. TBDY 2018 Bölüm 15.5 ve 15.6'da tanımlanan hesap yöntemlerinin uygulanması ve TBDY 2018 Bölüm 15.7'ye göre eleman performanslarına karar verilmesi ile bina deprem performans düzeyi belirlenir [5]. Mevcut bina deprem performanslarının belirlenmesinde TBDY 2018 Bölüm 15.5'te esasları belirtilmiş olan doğrusal hesap yöntemleri ya da 2018 Bölüm 15.6'da esasları belirtilmiş olan doğrusal olmayan hesap yöntemleri kullanılır. Bu hesap yöntemlerinin kullanılması ile elde edilen değerlerin 2018 Bölüm 15.7'de verilen şekildeğiştirme sınırlarına göre değerlendirilmesi ile mevcut yapıların performansları belirlenir. Mevcut binalarda performans düzeyleri; Sınırlı Hasar Performans Düzeyi, Kontrollü



Hasar Performans Düzeyi, Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi ve Göçme Durumudur.

### **3.6.1 Mevcut binalarda sınırlı hasar performans düzeyi**

Betonarme binaların herhangi bir katında, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla %20'si Belirgin Hasar Bölgesi'ne geçebilir, ancak diğer taşıyıcı elemanlarının tümü Sınırlı Hasar Bölgesi'ndedir. Eğer varsa, gevrek olarak hasar gören elemanların güçlendirilmeleri kaydı ile, bu durumdaki binaların Sınırlı Hasar Performans Düzeyi'nde olduğu kabul edilir [5].

### **3.6.2 Mevcut binalarda kontrollü hasar performans düzeyi**

Betonarme binaların herhangi bir katında, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda, ikincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla %35'i ve düşey elemanların (kolonlar, perdeler ve güçlendirilmiş bölme duvarlar) aşağıdaki paragrafta tanımlanan kadarı İleri Hasar Bölgesi'ne geçebilir [5].

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 [5].

Diğer taşıyıcı elemanların tümü Sınırlı 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 [5].

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

Gevrek olarak hasar gören tüm elemanların Göçme Bölgesi'nde olduğunun göz önüne alınması kaydı ile, aşağıdaki koşulları sağlayan binaların Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi'nde olduğu kabul edilir:

Betonarme binaların herhangi bir katında, 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 [5].

Diğer taşıyıcı elemanların tümü Sınırlı 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 [5].

Performans düzeyi, Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi olarak bulunan mevcut bir yapıyı, kullanımı, TBDY 2018'de can güvenliği bakımından sakıncalı olarak kabul edilmektedir

#### **3.6.4 Göçme durumu**

Mevcut bina, Göçme Öncesi Performans Düzeyi için verilen sınırları aşmışsa, yapı can güvenliği bakımından sakıncalı bir hal alır ve Göçme Durumunda olduğu kabul edilir. Göçme Durumundaki bir binanın kullanımı, TBDY 2018'de can güvenliği bakımından sakıncalı olarak kabul edilmektedir

## 4. DEPREM ETKİSİ ALTINDA HESAP ESASLARI

### 4.1 Deprem Yer Hareketi Düzeyleri

TBDY 2018 2.2'nci bölümünde, deprem yer hareketi düzeyleri, belli büyüklükteki depremlerin tekrarlanma frekanslarına göre dört ayrı düzey için tanımlamıştır. Deprem yer hareketi düzeyleri ve bu yer hareketi düzeylerine ait değerler Çizelge 4.1'de verilmiştir

**Çizelge 4.1:** Deprem yer hareketi düzeyleri tekrarlanma periyotları.

Deprem Yer Hareketi Düzeyi	Aşılma Olasılığı	Tekrarlanma Periyodu
Deprem Yer Hareketi Düzeyi-1	50 yılda 2%	2475 yıl
Deprem Yer Hareketi Düzeyi-2	50 yılda 10%	475 yıl
Deprem Yer Hareketi Düzeyi-3	50 yılda 50%	72 yıl
Deprem Yer Hareketi Düzeyi-4	50 yılda 68%	43 yıl

### 4.2 Spektral İvme Katsayıları

Birbirine dik iki düşey doğrultudaki deprem etkilerinin geometrik ortalamasına karşı gelen harita spektral ivme katsayıları, belirli bir deprem yer hareketi düzeyi için referans zemin koşulu [ $(V_s)_{30}=760$  m/s] esas alınarak %5 sönüm oranı için harita spektral ivmeleri'nin yerçekimi ivmesine bölünmesi ile boyutsuz katsayılar olarak tanımlanmıştır [1]. Harita spektral ivme katsayıları kısa periyotlu ( $S_s$ ) ve 1.0 saniye periyotlu ( $S_1$ ) olmak üzere tanımlanmıştır. Tasarımda kullanılacak olan tasarım spektral ivme katsayılarına aşağıdaki şekilde geçiş yapılır.

$$S_{DS} = S_s F_s \quad (4.1)$$

$$S_{D1} = S_1 F_1$$

Burada verilen  $F$  değerleri yerel zemin etki katsayılarıdır ve değerleri yapının bulunduğu yerel zemin sınıfına göre belirlenir. Yerel Zemin Etki Katsayıları izelge 4.2 ve 4.3'te verilmiştir.

**Çizelge 4.2:** Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayıları  $F_s$  [5].

Yerel Zemin Sınıfı	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.50$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.00$	$S_s = 1.25$	$S_s \geq 1.5$
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 davranışı analizi yapılacaktır					

**Çizelge 4.3:** 1.0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayıları  $F_1$  [5].

Yerel Zemin Sınıfı	$S_1 \leq 0.25$	$S_1 = 0.50$	$S_1 = 0.75$	$S_1 = 1.00$	$S_1 = 1.25$	$S_1 \geq 1.5$
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 davranışı analizi yapılacaktır					

### 4.3 Yatay Elastik Tasarım Spektrumu

Yerel Zemin Sınıfı'na göre Harita Spektral İvme Katsayıları'ndan elde edilen tasarım spektral ivme katsayılarının ordinatları ve periyotların da apsisi oluşturduğu spektrumda, yatay elastik tasarım ivmeleri  $S_{ae}(T)$  değerleri aşağıda tanımlanmıştır.

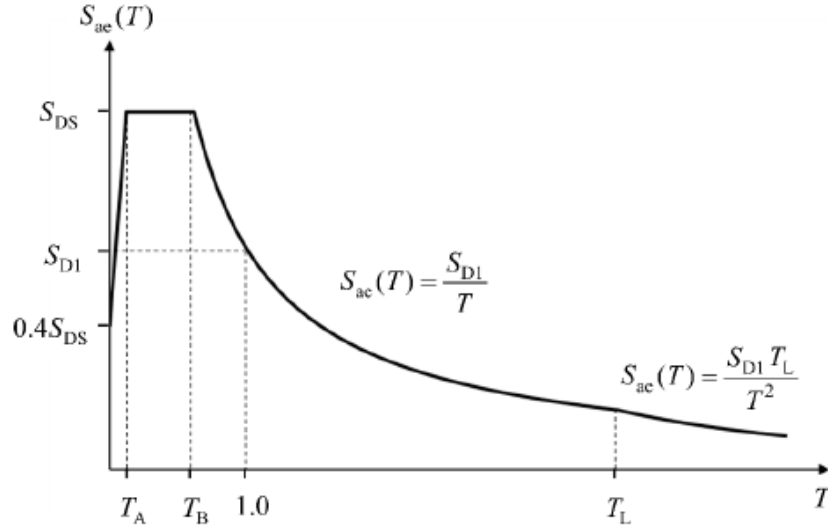
$$\begin{aligned} S_{ae}(T) &= \left( 0.4 + 0.6 \frac{T}{T_A} \right) S_{DS} & (0 \leq T \leq T_A) \\ S_{ae}(T) &= S_{DS} & (T_A \leq T \leq T_B) \\ S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1}}{T} & (T_B \leq T \leq T_L) \\ S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1} T_L}{T^2} & (T_L \leq T) \end{aligned} \quad (4.2)$$

Yatay elastik tasarım spektral ivmelerinin, köşe periyotları aşağıda tanımlanmıştır.

$$T_A = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad ; \quad T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (4.3)$$

TBDY 2018  $T_L$  periyodunu 6 saniye olarak tanımlamıştır.

Verilen sınır değerlerin yatay elastik spektrum üzerinde gösterimi Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1: Elastik tasarım spektrumu [5].

#### 4.4 Bina Kullanım Sınıfları ve Bina Önem Katsayıları

Binaların kullanım amaçları çeşitlilik göstermektedir. İnsanların uzun süreli olarak bulunduğu ve sirkülasyonun fazla olduğu binalar, tehlikeli maddelerin bulunduğu binalar ve depremin ardından kullanımına ara verilmeden devam etmesi sosyal ve kamusal nedenlerle zaruri olan yapılar ile diğer binaların önem dereceleri değişiklik göstermektedir. Bu değişen önem derecelerine göre de deprem hesabında kullanılmak üzere farklı bina önem katsayılarına tabi tutulurlar. Bina kullanım sınıfları ve bu sınıflara ait bina önem katsayıları Çizelge 4.4'te verilmiştir.

**Çizelge 4.4:** Bina önem katsayıları [5].

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

#### 4.5 Deprem Tasarım Sınıfları

Standart tasarım deprem yer hareketi düzeyi için, kısa periyot tasarım spektral ivme katsayı değerlerine göre, binaların deprem tasarımlarında kullanılacak Deprem Tasarım Sınıfları Çizelge 4.5'te verilmiştir. Deprem tasarım sınıfları, bina yükseklik sınıfları için sınır değerlerini ve yapılardan beklenen performans durumlarını da belirler.

**Çizelge 4.5:** Bina kullanım sınıfları [5].

DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyinde Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı	Bina Kullanım Sınıfı	
	BKS=1	BKS=2,3
$S_{DS} < 0.33$	DTS=4a	DTS=4
$0.33 \leq S_{DS} < 0.50$	DTS=3a	DTS=3
$0.50 \leq S_{DS} < 0.75$	DTS=2a	DTS=2
$0.75 \leq S_{DS}$	DTS=1a	DTS=1

#### 4.6 Bina Yükseklik Sınıfları

Bina yüksekliğinin belirlenmesi için, binanın tabanının belirlenmesi gerekmektedir. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine göre bina tabanı; rijit bodrum perdelerinin binayı en az üç tarafından çevrelediği ve bina bodrumu dahil edilerek birbirine dik eksenler için her bir doğrultudaki hakim titreşim periyodunun, zemin kat döşemesi dahil tüm bodrum kütesinin göz önüne alınmadan hesaplandığı doğal titreşim periyoduna oranının 1.1'den küçük olması koşulların her ikisini de sağlayan bodrumlu binalarda; bodrum perdelerinin üst kotundaki kat döşemesi seviyesinde tanımlanır [5].

Bodrumlu olmasına rağmen yukarıda verilen şartlara uygun olmayan ve bodrumsuz binalar için bina temelini üst kotu, bina tabanı olarak kabul edilir.

Bina yüksekliği, tanımı yapılmış bina tabanından itibaren hesaplanan, binanın ölçülen yüksekliğidir. Bina yükseklik sınıfları da bu yüksekliklere ve deprem tasarım sınıflarına göre belirlenir. Bina yükseklik sınıflarına ait değerler Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Bina Yükseklik Sınıfı 1 olan binalar, yüksek bina olarak tanımlanır. Yüksek binaların tasarım esasları, diğer yükseklik sınıfındaki binalardan farklılık göstermektedir. Mevcut binalar için yapılacak değerlendirme işlemi için, performans hedeflerinin belirlenmesi de diğer yükseklik sınıfındaki binalardan farklı olarak yapılır.

**Çizelge 4.6:** Bina yükseklik sınıfları [5].

Bina Yükseklik Sınıfı	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	$56 < H_N \leq 70$	$70 < H_N \leq 91$	$91 < H_N \leq 105$
BYS=3	$42 < H_N \leq 56$	$56 < H_N \leq 70$	$56 < H_N \leq 91$
BYS=4	$28 < H_N \leq 42$	$42 < H_N \leq 56$	
BYS=5	$17.5 < H_N \leq 28$	$28 < H_N \leq 42$	
BYS=6	$10.5 < H_N \leq 17.5$	$17.5 < H_N \leq 28$	
BYS=7	$7 < H_N \leq 10.5$	$10.5 < H_N \leq 17.5$	
BYS=8	$H_N \leq 7$	$H_N \leq 10.5$	

#### 4.7 Bina Performans Hedefi

Belirlenen deprem yer hareketi ve deprem tasarım sınıfları üzerinden, mevcut ya da tasarımı yapılacak binalar için sağlanması hedeflenen normal performans seviyeleri



ayrıca istenilmesi doğrultusunda seçilebilecek ileri performans hedefleri TBDY Tablo 3.4'te verilmiştir. Yalıtımlı binalar için performans hedefleri ve uygulanacak tasarım yaklaşımları ise TBDY 2018 Tablo 3.5'te verilmiştir. Yüksek yapıların tasarımı için ise, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, farklı adımlarda hem normal performans hem ileri performans hedefleri için üç farklı adımda tasarım yapılmasını istemektedir.

Binalara ait deprem tasarım sınıfları ve bina yükseklik sınıfları, binanın deprem karşısındaki beklenen performansını etkiler. Binalar normal performans hedeflerine göre tasarlanabileceği gibi, daha güvenli yapıların tasarımında ileri performans hedefleri de göz önüne alınmalıdır. Yeni yapılacak veya mevcut binalar için performans hedefleri ve uygulanacak tasarım yaklaşımları Çizelge 4.7'de verilmiştir

**Çizelge 4.7:** Yeni yapılacak veya mevcut yüksek binalar için performans hedefleri ve uygulanacak tasarım yaklaşımları [5].

Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DTS=1, 2, 3, 3a, 4, 4a		DTS=1a, 2a	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/ Tasarım Yaklaşımı	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/ Tasarım Yaklaşımı
DD-4	KK	DGT	--	--
DD-3	--	--	SH	ŞGDT
DD-2	KH	DGT	KH	DGT
DD-1	GÖ	ŞGDT	KH	ŞGDT

#### 4.8 Düzensiz Binalar

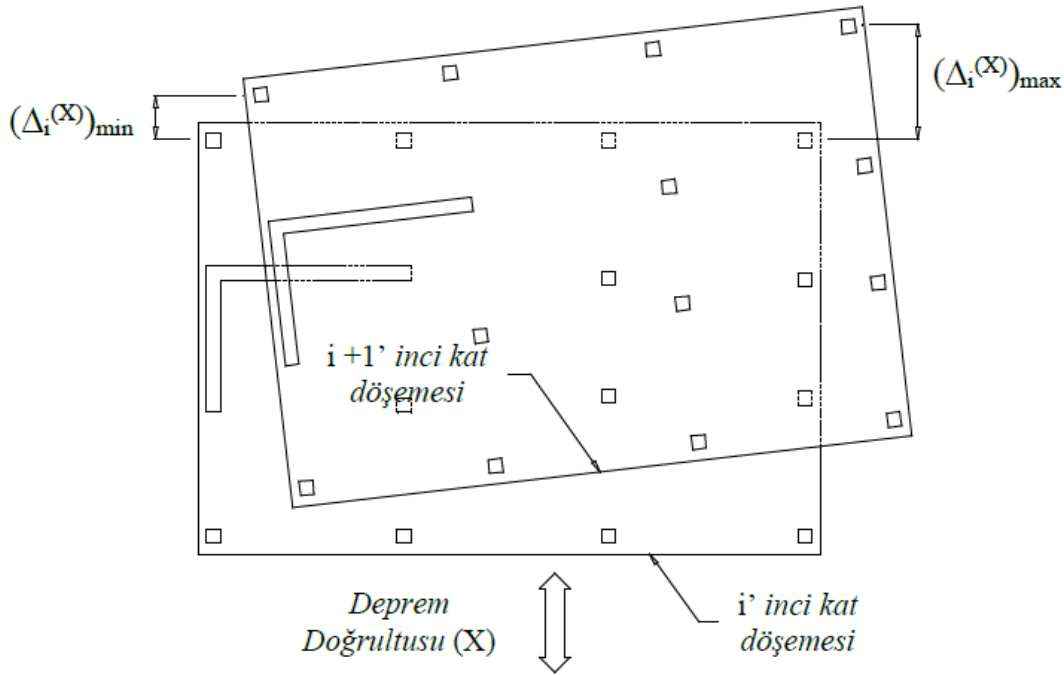
Deprem etkisi altında taşıyıcı sistem davranışında olumsuzluklar nedeniyle, taşıyıcı sistem tasarımı sırasında uzak durulması gereken düzensizlikler planda ya da düşey doğrultuda olabilir. Bu düzensizliklerin bulunduğu taşıyıcı sistemli yapılara düzensiz binalar denir.

TBDY 2018 Düzensiz Binaları; A-Planda Düzensizlik Durumları ve B-Düşeyde Düzensizlik Durumlarının meydana getirdiği binalar olarak ayırır. Planda Düzensizlik Durumlar; Burulma Düzensizliği, Döşeme Süreksizliği ve Planda Çıkıntılar Bulunması alt başlıklarında incelenir. Düşeyde Düzensizlik Durumları; Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf kat); Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği

(Yumuşak Kat) ve Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği alt başlıklarında incelenir.

#### 4.8.1 Burulma düzensizliği

TBDY 2018’de Burulma Düzensizliği; Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük göreceli kat ötelemesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama göreceli ötelemeye oranını ifade eden Burulma Düzensizliği Katsayısı  $\eta_{bi}$  ’nin 1.2’den büyük olması durumu olarak tanımlanmıştır [5].



**Şekil 4.2:** Kat ötelemeleri [5].

$$\eta_{bi} = (\Delta_i^{(X)})_{\max} / (\Delta_i^{(X)})_{ort} \quad (4.4)$$

$$(\Delta_i^{(X)})_{ort} = 1/2 [(\Delta_i^{(X)})_{\max} + (\Delta_i^{(X)})_{\min}]$$

Burulma düzensizliği, yapının rijitlik merkezi ile kütle merkezinin aynı noktada buluşmamasından dolayı ortaya çıkar. Deprem ve rüzgar gibi yatay yükler etkisi altında yapı sisteminin düşey eksenini etrafında bir burulma momenti oluşur.

Burulma düzensizliği katsayısının yüksek değerler almasında etkin olan faktörler; yapının plan geometrisi, perdelerle paralel aksların sayısı, kat sayısı ve perdelerin plandaki konumları olarak sıralanabilir [8].

TBDY 2018’de tanımlanan deprem hesap yöntemlerinin kullanılmasında Burulma Düzensizliği Katsayısı ( $\eta_{bi}$ )’nin aldığı değerlere göre bir kısıtlama getirilmiştir. Burulma Düzensizliği Katsayısının 2.0’den büyük olması durumunda, burulma etkilerinin hesaba katılabilmesi için mod birleştirme yöntemi ya da zaman tanım alanında hesap yapılması gerekmektedir.

#### **4.8.2 Planda çıkıntılar bulunması**

TBDY 2018’de Planda Çıkıntılar Bulunması; bina kat planlarında çıkıntı yapan kısımların birbirine dik iki doğrultudaki boyutlarının her ikisinde de binanın o katının aynı doğrultudaki toplam boyutlarının 20%’sinden daha büyük olma durumu olarak tanımlar [5]. Özellikle kat planları simetrik olmayan binaların bu düzensizlik için kontrolü önemlidir. Planda çıkıntılar bulunması durumunda, döşemelerin rijit diyafram olarak çalışması öngörülemeyebilir. Bu durumda döşemeler, düzlem içi yerdeğiştirmelerin serbestlik derecelerini verebilmek için, levha (membran) ya da kabuk sonlu elemanlar olarak modellenmeleri TBDY 2018’de zorunlu tutulmuştur.



## **5. ZAMAN TANIM ALANINDA DOĞRUSAL OLMAYAN HESAP YÖNTEMİ VE DEPREM İVME KAYITLARININ SEÇİLMESİ**

### **5.1 Giriş**

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap, deprem yer hareketinin etkisi altında taşıyıcı sistemin hareket denklemlerini ifade eden diferansiyel denklem takımının zaman artımları ile adım adım doğrudan integrasyonuna karşı gelir. Bu işlem sırasında, doğrusal olmayan davranış nedeni ile sistem rijitlik matrisinin zamanla değişimi göz önüne alınır [5]. Uygulanan her adımdan sonra meydana gelen yer değiştirme, plastik şekildeğiştirme, plastik dönme ve iç kuvvetlerin değerleri hesaplanır. Rijitlik matrisinde meydana gelen değişimler göz önüne alınarak sonraki adıma geçilir.

Zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan hesap yapılması durumunda, taşıyıcı sistem elemanlarının tekrarlı yükler altındaki dinamik davranışını temsil eden iç kuvvet-şekildeğiştirme bağıntıları, teorik ve deneysel geçerlilikleri kanıtlanmış olmak kaydı ile, ilgili literatürden yararlanılarak tanımlanacaktır [9].

Zaman tanım alanında yapılacak hesaplamalar için daha önceden meydana gelmiş bir depreme ait deprem kayıtları veya kaynak ve dalga yayılım özellikleri fiziksel olarak benzeştirilmiş yer hareketleri kullanılır.

### **5.2 Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklendirilmesi**

Literatürde, deprem ivme kayıtlarının elde edilmesi için üç kaynak vardır. Bunlardan ilki, gerçekleşmiş bir depreme ait gerçek ivme kaydının kullanılmasıdır. İkincisi, düzeltilmiş tepki spektrumundan spektral yoğunluk fonksiyonun elde edilmesi ile, istenilen tepki spektrumun elde edildiği yapay ivme kaydı kullanılmasıdır. Üçüncüsü, sismolojik kaynak modellerinden üretilen deprem simülasyonlarının, yayılma yolunun ve saha etkilerinin hesaba katılması ile elde edildiği sanal ivme kayıtlarının kullanılmasıdır [9].

Deprem ivme veri tabanlarının ve bu veri tabanlarında bulunan ivme kayıtlarının sayısı ve çeşitliliği göz önüne alındığında, zaman-tanım alanında doğrusal olmayan

hesaplamalar için uygun gerçek deprem kayıtları bulunabilir. Bulunan gerçek deprem kayıtlarının, hesap yapılacak bölge için gerekleri sağlamadığı durumlarda ise bu kayıtlara ölçeklendirme işlemi uygulanabilir.

### 5.2.1 Deprem kayıtlarının seçilmesi

TBDY 2018’de deprem kayıtlarının seçilmesi ile ilgili, bina taşıyıcı sistemlerinin zaman tanım alanında deprem hesabında kullanılacak deprem kayıtlarının seçimi, tasarıma esas deprem yer hareketi düzeyi ile uyumlu deprem büyüklükleri, fay uzaklıkları, kaynak mekanizmaları ve yerel zemin koşulları dikkate alınarak yapılacaktır denilmektedir [5].

Deprem kayıtlarının seçimi konusunda farklı fikirler mevcuttur. Deprem seçiminde etkili olabilecek bazı kriterler aşağıda verilmiştir.

Deprem şiddeti, frekans içeriği ve deprem yer hareketi süresini doğrudan etkilediği için ön seçim için önemli bir kriterdir [10]. Yapılara ait taşıyıcı sistemler farklı frekans değerleri için farklı tepkiler verdiğinden, taşıyıcı sistemin analizi için en elverişsiz frekans değerine sahip deprem ivme kaydının seçilmesi analiz sonuçlarının daha gerçekçi olmasını sağlayacaktır. Maksimum yer ivmesi değeri, deprem etkisinin büyüklüğünü gösterdiği için deprem şiddeti kadar önemlidir.

Deprem merkez üssü uzaklığı da mühendislik analizi ve tasarım için yaygın olarak tanımlanan bir kriterdir [10]. Deprem merkez üssünden uzaklaştıkça, depremin enerjisinin yayıldığı yerküresi hacminin büyümesi ve yayılma sırasında meydana sönümler, maksimum ivmenin hızla düşmesine sebep olmaktadır [11].

Hesap yapılacak bölgeye ait zemin koşulları, uygun ivme kayıtlarının seçilmesinde etkili bir kriterdir. Zemin türü, tepki spektrumun şekli ve genliğini etkilediğinden, genellikle en üst otuz metreye ait kayma dalgası hızı  $(V_s)_{30}$  değeri ile belirlenir [10]

Fay mekaniği de deprem kaydı seçiminde kullanılabilen bir kriterdir.

Depreme ait Arias şiddeti de deprem seçimi konusunda önemli bir kriterdir. Arias şiddeti, deprem sarsıntı süresi ve frekans içeriğinin zamana bağlı değişimini içeren enerji boşalımının ifadesi olup, ivme kaydının yatay ve düşey bileşenlerin toplamıdır. Tüm veriyi içerdiğinden, maksimum yatay yer ivmesi yanında yeryüzü veya herhangi bir derinlikte deprem şiddetinin ifadesinde tercih edilen bir parametre olmuştur [13]. Özellikle zemin sıvılaşması ile ilgili çalışmalarda kullanılan bir büyüklüktür.

Ancak, son yıllarda yapılan çalışmalar tepki spektral şekli, yapının tepkisini sismolojik parametrelere göre daha iyi tahmin etmemizi sağladığı için, yer hareketinin spektral şekline göre belirlenmesi üzerine yapılmaktadır [10].

Deprem ivme veri tabanlarında yukarıda verilen bütün değerler için arama yapılamamaktadır. Bu durumda belirli kriterler seçilerek ön seçim yapılmalı ve bu seçimler içinden analiz için en uygun deprem ivme kaydının seçilmesi gerekmektedir.

### **5.2.2 Deprem kayıtlarının ölçeklendirilmesi**

Gerçek deprem kayıtları, zaman tanım alanında veya frekans tanım alanında ölçekleme yöntemleri kullanılarak ölçeklenebilir. Zaman tanım alanındaki ölçekleme yöntemlerinde kaydın frekans içeriği değiştirilmeksizin sadece kaydın genliği ile oynanır. Frekans tanım alanındaki ölçekleme yöntemlerinde ise tasarım ivme spektrumuna bir eşlik bulmak için yer hareketi kaydının frekans içeriği değiştirilir [12].

Seçilen deprem kayıtlarının, hesap yapılacak bölge ve deprem yer hareketi düzeyine uygun seçilmesi ölçeklendirme işleminin daha iyi sonuç vermesini sağlamaktadır. Seçilen depremlere ait tepki spektrumlarının, hedef spektruma yakın olması yapılan ölçeklendirme işleminin istenilen sonuca yakın olmasını sağlamaktadır.

#### **5.2.2.1 Zaman tanım alanında ölçeklendirme yöntemi**

Bu yöntemde, yer hareketi kaydı aynı miktarda yukarı veya aşağı yönde ölçeklenerek (1'den büyük veya 1'den küçük ve sabit bir katsayı ile çarpılarak), istenilen periyot aralığında, hedef tasarım ivme spektrumuna en uygun eşleştirme yapılır. Bu işlem kaydın frekans içeriğini değiştirmez; sadece kaydın genliği ile oynanmış olur [12].

#### **5.2.2.2 Frekans tanım alanında ölçeklendirme yöntemi**

Bu yöntem, deprem esnasında kaydedilmiş ivme kayıtları kullanılarak tasarım ivme spektrumuyla neredeyse mükemmel şekilde uyuşan başlangıçtaki kayda benzer bir hareketin türetilmesi esasına dayanır. 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 [12].

### **5.2.3 Ölçeklendirilmiş deprem kayıtlarının kontrolü**

Ölçeklendirilmiş deprem kayıtlarının uyması gereken bazı kurallar TBDY 2018’de verilmiştir.

Bir veya iki boyutlu hesap için seçilen tüm kayıtlara ait spektrumların ortalamasının  $0.2 T_p$  ve  $1.5 T_p$  periyotları arasındaki genliklerinin, Yatay Elastik Tasarım Spektrumu veya Sahaya Özel İvme Spektrumuna göre tanımlanan tasarım spektrumunun aynı periyot aralığındaki genliklerinden daha küçük olmaması kuralına göre, deprem yer hareketlerinin genlikleri ölçeklendirilecektir [5].

Üç boyutlu hesap için seçilen her bir deprem kaydı takımının iki yatay bileşenine ait spektrumların kareleri toplamının karekökü alınarak bileşke yatay spektrum elde edilecektir. Seçilen tüm kayıtlara ait bileşke spektrumların ortalamasının  $0.2 T_p$  ve  $1.5 T_p$  periyotları arasındaki genliklerinin, Yatay Elastik Tasarım Spektrumu veya Sahaya Özel İvme Spektrumuna göre tanımlanan tasarım spektrumunun aynı periyot aralığındaki genliklerine oranının 1.3’ten daha küçük olmaması kuralına göre deprem yer hareketi bileşenlerinin genlikleri ölçeklendirilecektir [5].



## **6. 40 KATLI ASİMETRİK BETONARME BİR BİNANIN DEPREM PERFORMANSININ ZAMAN TANIM ALANINDA DOĞRUSAL OLMAYAN HESAP YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ**

### **6.1 Giriş**

Bu bölümde, önceki bölümlerde anlatılanlar doğrultusunda, İstanbul Kadıköy’de 2016 yılında DBYBHY 2007’ye göre tasarlanmış, mevcut çok katlı betonarme konut binasının, doğrusal olmayan hesap yöntemlerinden “Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi” kullanılarak deprem performans düzeyi belirlenecektir. TBDY 2018’de belirtildiği üzere yüksek yapıların hesabında zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi kullanılması zorunludur. Bu doğrultuda performans analizleri de zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi ile yapılacak ve sonuçlar bu hesaplardan alınacaktır. Hesaplar, 50 yılda aşılma olasılığı 2% olan, göz önüne alınan en büyük deprem yer hareketine göre yapılacaktır. Bu durumda binanın normal performans hedefi, göçme önlenmesi performans düzeyi olacaktır. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği gereğince, üç boyutlu deprem hesabında kullanılması gereken 11 deprem takım kaydı kullanılacaktır. Bu deprem ivme kayıtları binaya, birbirine dik iki yatay doğrultuda etkitilecektir.

### **6.2 Bina Genel Bilgileri**

Tez çalışması kapsamında incelenecek olan bina, İstanbul ili, Kadıköy ilçesinde bulunmaktadır. Binanın modellenmesi ve incelenmesi konusunda kolaylık sağlamak amacıyla bazı değişiklikler yapılmıştır. Rijit çevre perdelerin bulunduğu bodrum katlar modellenmemiş olup, zemin kat perde ve kolanları zemine ankastre olarak bağlanmıştır. Kat yüksekliğinin tüm katlarda eşit olduğu kabul edilmiştir.

Binanın tüm statik projeleri mevcuttur. Yapısal elemanların boyutları ve bu elemanlara ait donatı detayları, mevcut statik projelerden alınarak birebir modellenmiştir. Bina bilgi düzeyi, kapsamlı bilgi düzeyi olarak değerlendirilmiş ve kapsamlı bilgi düzeyine katsayısı değeri olan 1 kullanılmıştır.

Bina taşıyıcı sistemi X yönünde 8.40, 7.00, 8.65, 6.00, 5.45, 8.75, 5.95, 3.00, 6.00, 6.20 metre açıklıklı ve Y yönünde 8.40, 4.70, 3.05, 6.35, 5.90, 3.20, 6.20 metre açıklıklı aks sistemi üzerine kurulmuştur. Aks sistemi üzerinden, düşey taşıyıcı elemanları birbirine bağlayan, yatay taşıyıcı elemanlar 40/90, 45/55 ve 50/55 boyutlarındadır. Binaya ait tüm döşemeler 18 cm kalınlığındadır.

Düşey taşıyıcılar belirtilen aks sistemine oturan, 50/100, 50/150, 50/180, 50/200, 50/250 boyutlarında dikdörtgen kesitli kolonlar ve 50/50, 60/60, 70/70, 80/80 boyutlarında kare kesitli kolonlardan oluşmaktadır. Perde elemanlar tüm bina boyunca 40 cm kalınlığındadır. Kiriş ve perdelerin boyutları değişmemekle beraber, +26.80 ve +53.60 kotlarında kolonların boyutları değişmektedir. Bina zemin katına ait kat planı Şekil 6.1’de verilmiştir.

Bina birinci derece deprem bölgesinde bulunmaktadır. Binanın yapıldığı bölgeye ait zemin, ZB yerel zemin sınıfına girmektedir. ZB yerel zemin sınıfı, az ayrılmış, orta sağlam kayalardan oluşmaktadır.

Binanın yapımında kullanılan beton sınıfı C40 ve donatı çeliği sınıfı B420C’dir

Bina Özellikleri:

- Kat Adedi: 40
- Bina Toplam Yüksekliği: 134 m
- Kat Yükseklikleri: 3.35 m
- Kullanım Amacı: Konut
- Taşıyıcı Sistem: Betonarme Perdeli Çerçeve Sistemi

Malzeme Özellikleri:

- Beton sınıfı: C40
- Donatı Çeliği Sınıfı: B420C

Bina Parametreleri:

- Deprem Bölgesi: 1
- Deprem Yer Hareketi Düzeyi: DD-1
- Zemin Sınıfı: ZB
- Bina Önem Katsayısı(I): 1.0

- Bina Bilgi Düzeyi: Kapsamlı Bilgi Düzeyi (Katsayı: 1)

Normal Kat Yükleri:

- Kaplama ve Duvar Yükü: 2 kN/m<sup>2</sup>
- Dış Duvar Yükü: 5 kN/m<sup>2</sup>
- Hareketli Yük: 2 kN/m<sup>2</sup>

Çatı Katı Yükleri:

- Kaplama ve İzolasyon Yükü: 3 kN/m<sup>2</sup>
- Hareketli Yük: 1 kN/m<sup>2</sup>





Bina planlarında verilen kiriş ve kolonlara ait kesitler ve bu kesitlere ait donatılar Çizelge 6.1’de, perdeler ve perde uç bölgeleri ile gövdeye ait donatılar Çizelge 6.2’de verilmiştir.

**Çizelge 6.1:** Kiriş ve kolonlara ait boyutlar ve donatılar.

	Kesit (cmxcm)	Kullanılan Donatı
Kolonlar	50X50	18Ø18
	60X60	28Ø16
	70X70	36Ø16
	80X80	36Ø20
	50X100	28Ø20
	50X150	34Ø20
	50X180	36Ø22
	50X200	32Ø22
	50X250	44Ø22
	40X90	10Ø16
Kirişler	45X55	8Ø14
	55X55	8Ø14

**Çizelge 6.2:** Perdeler ve perde uç bölgeleri ile gövdeye ait boyutlar ve donatılar.

	Kesit (cmxcm)	Perde Uç Bölgesi	Perde Uç Bölgesi Donatısı		Gövde Donatısı	
			Sol	Sağ		
Perde	P1	40X700	40X140	18Ø20	18Ø20	38Ø12
	P2	40X700	40X140	37Ø14	36Ø14	40Ø12
	P3	40X320				26Ø12
	P4	40X545	40X120	29Ø14	28Ø14	30Ø12
	P5	40X700	40X150	36Ø14	37Ø14	40Ø12
	P6	40X320				22Ø12
	P7	40X410	40X92	21Ø14	24Ø14	22Ø12
	P8	40X605	40X121	16Ø20	16Ø20	34Ø12
	P9	40X383	40X50	8Ø16	8Ø16	26Ø12
	P10	40X315	40X92	21Ø14		18Ø12
	P11	40X920	40X194	49Ø14	49Ø14	52Ø12
	P12	40X315	40X92		21Ø14	18Ø12
	P13	40X700	40X140	18Ø20	18Ø20	38Ø12
	P14	40X700	40X140	18Ø20	18Ø20	38Ø12
	P15	70X700	40X140	37Ø14	36Ø14	40Ø12
	P16	40X320				26Ø12
	P17	40X545	40X120	29Ø14	28Ø14	30Ø12
	P18	40X300	40X50	8Ø14	8Ø14	18Ø12

### 6.3 Bina Deprem Verileri

Binanın yapıldığı alanın deprem bilgilerine, AFAD internet sitesi üzerinde bulunan ‘Türkiye Deprem Tehlike Haritası İnteraktif Web Uygulaması’[18] üzerinden ulaşılır. Mevcut yapının bulunduğu yer harita üzerinden seçilir. Raporlama kısmına girerek, yerel zemin sınıfı ve deprem yer hareketi düzeyi seçilerek; kısa periyot harita spektral ivme katsayısı, 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı, kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı ve 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı değerlerine ulaşılır. Binamızın, standart tasarım deprem yer hareketine ait değerleri;

$$S_s : 1.629$$

$$S_1 : 0.452$$

$$S_{DS} : 1.466$$

$$S_{D1} : 0.362$$

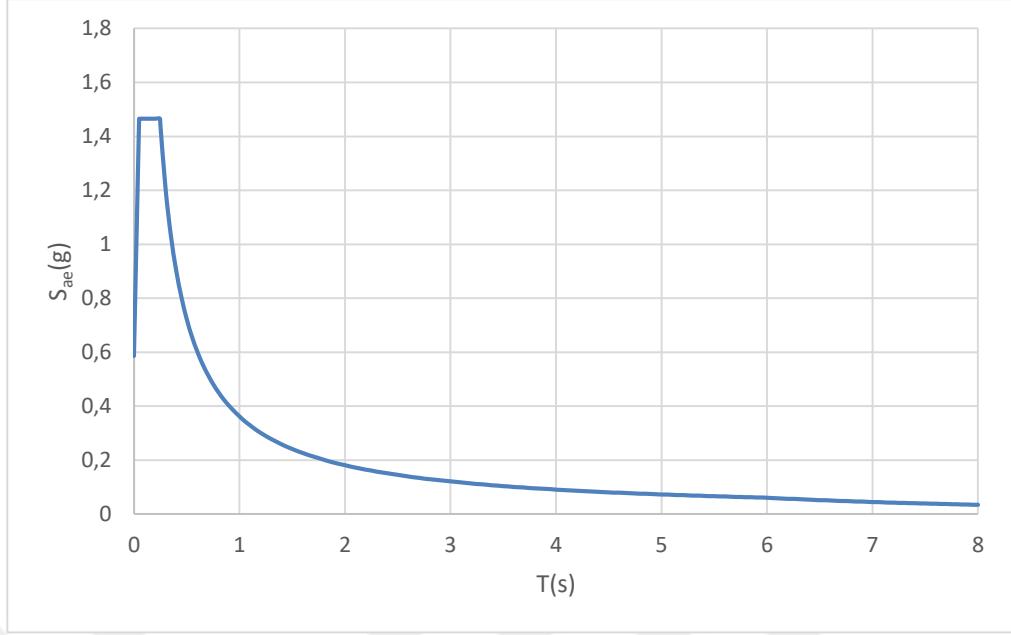
olarak bulunmuştur.

Yapıya ait, Deprem Tasarım Sınıfı TBDY 2018 Tablo 3.2’den belirlenir. Bina kullanım sınıfımız 1 ve kısa periyot tasarım spektral ivme katsayımız 0.75 değerinden büyük olduğu için, deprem tasarım sınıfı ‘1’ olarak bulunur.

Yapıya ait, Bina Yükseklik Sınıfı TBDY 2018 Tablo 3.3’ten belirlenir. Deprem tasarım sınıfımız 1 ve bina yüksekliğimiz 70 metreden büyük olduğu için, bina yükseklik sınıfı ‘1’ olarak bulunur.

Yapıya ait performans hedefleri TBDY 2018 Tablo 3.4’ten belirlenir. Bina Yükseklik Sınıfı 1 ve DD-1 yer hareketi düzeyi için, Normal Performans Hedefi “Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi” ve İleri Performans Hedefi “Kontrollü Hasar Performans Düzeyi” olarak belirlenir.

AFAD internet sitesi üzerinde bulunan Türkiye Deprem Tehlike Haritası İnteraktif Web Uygulaması üzerinden binanın yapılacağı alana ait DD-1 yer hareketine düzeyine ait tasarım spektrumu alınır. DD-1 tasarım spektrumu Şekil 6.2’da verilmiştir.



Şekil 6.2: DD-1 tasarım spektrumu.

#### 6.4 Deprem Kayıtlarının Seçilmesi

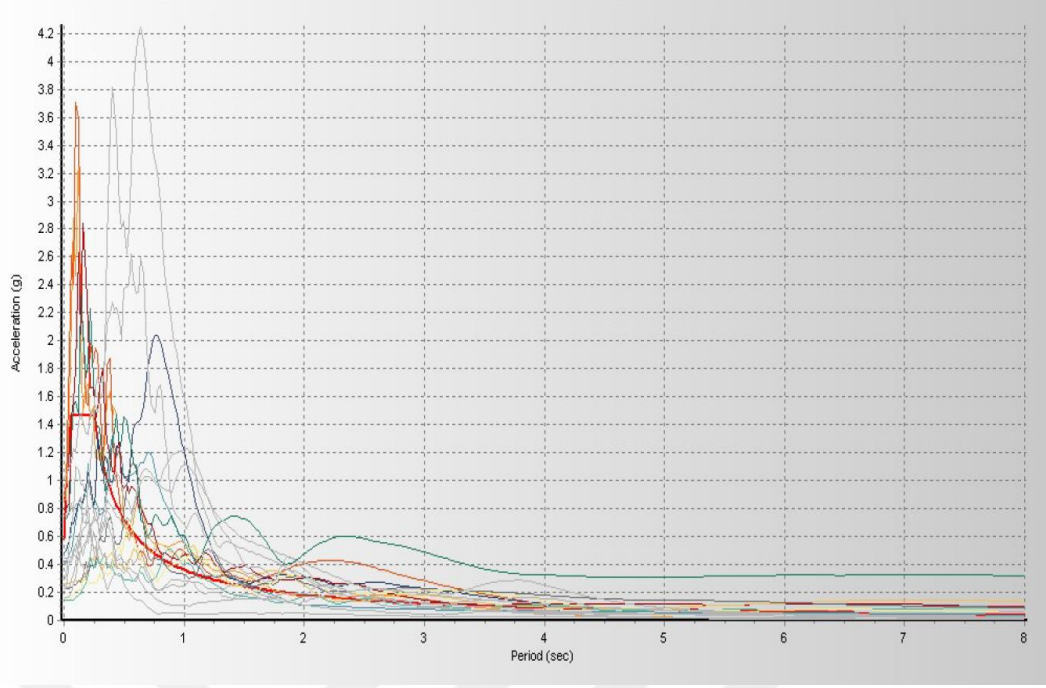
Deprem kayıtlarının seçilmesi TBDY 2018 Bölüm 2.5.1'e uygun olarak yapılır. Binanın bulunduğu bölgede tasarıma esas deprem yer hareketi düzeyi ile uyumlu geçmiş deprem kayıtları bulunamamıştır. Deprem kayıtları, Kaliforniya Üniversitesi'ne ait 'Pacific Earthquake Engineering Research Center Ground Motion Database' [17] üzerinden uygun parametreler çerçevesinde seçilmiş ve TBDY 2018 Bölüm 2.5.2'ye göre ölçeklendirilmiştir. Depremler seçilirken uygun zemin koşullarına, en yakın fay hattı uzaklığına ve deprem şiddetine göre arama yapılmıştır. Arama sonuçları arasında, PGA değerleri yeter büyüklükte olan deprem kayıtları seçilmiştir. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz için seçilen gerçek deprem kayıtları ve bu kayıtlara ait bazı veriler Çizelge 6.3'te verilmiştir. Deprem adlandırması, tez çalışması kapsamında ilgili depremlerin nasıl ifade edileceğini göstermektedir.

**Çizelge 6.3:** Deprem kayıtları.

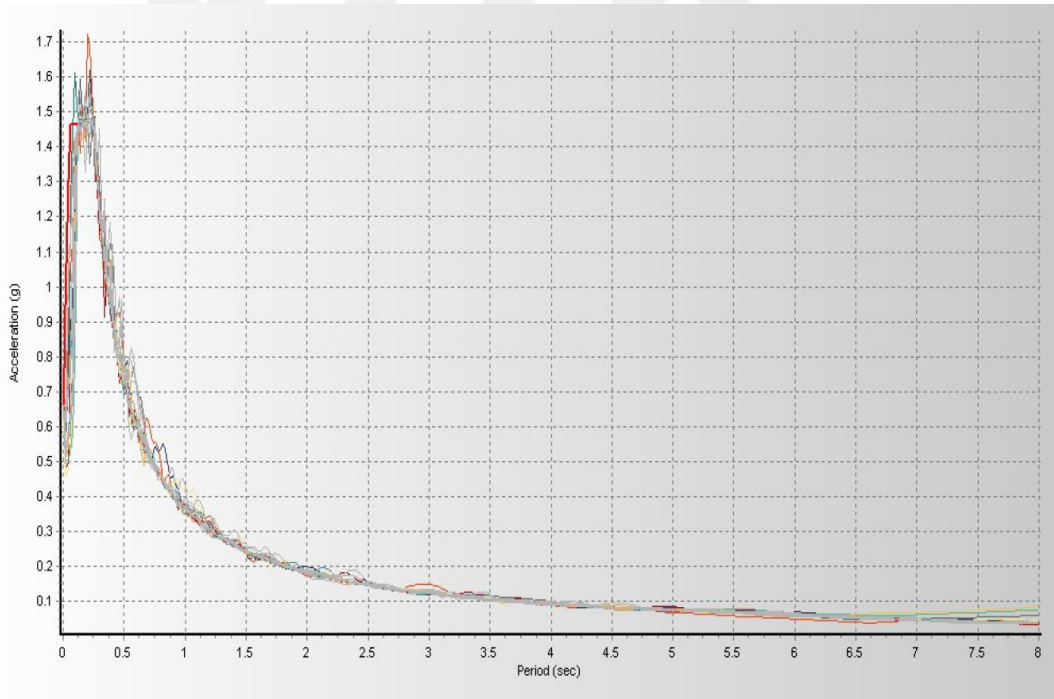
Deprem	Deprem Yılı	Deprem Büyüklüğü (Richter)	Merkez Üssü Mesafesi (km)	İstasyon	Deprem Kaydı Süresi (s)	$(V_s)_{30}$ (m/s)	Deprem Adlandırması
Tabas, İran	1978	7.35	2.05	Tabas	33	766.77	Tabas
Landers, Amerika	1992	7.28	2.19	Lucerne	48.2	1369	Landers
Düzce, Türkiye	1999	7.14	4.21	IRIGM 496	30	760	Düzce
Loma Prieta, Amerika	1989	6.93	3.22	Los Gatos - Lexington Dam	40	1070.34	Loma I
Loma Prieta, Amerika	1989	6.93	8.84	Gilroy Array #1	82	1428.14	Loma II
Iwate, Japonya	2008	6.9	16.26	IWT010	100	825.83	Iwate
Kocaeli, Türkiye	1999	7.51	3.62	İzmit	30	811	Kocaeli I
Kocaeli, Türkiye	1999	7.51	10.92	Gebze	28	792	Kocaeli II
Tottori, Japonya	2000	6.61	15.23	OKYH07	100	940.2	Tottori I
Tottori, Japonya	2000	6.61	15.59	SMNH10	100	967.27	Tottori II
Chi-Chi, Tayvan	1999	7.62	36.06	CHY12	90	804.36	Chi-Chi

Seçilen gerçek deprem kayıtlarının ölçeklendirilmesi SeismoMatch 2020 [16] programı kullanılarak yapılmıştır. Ölçeklendirme işlemi sırasında hedef spektrum, Türkiye Deprem Tehlike Haritası İnteraktif Web Uygulaması üzerinden, mevcut bina konumuna için yer hareketi düzeyi ve zemin sınıfı seçilerek aldığımız tasarım spektrumu olarak seçilmiştir. Deprem kayıtlarına ait spektrumlar ve hedef tasarım spektrumu Şekil 6.3'te verilmiştir. SeismoMatch programı ile spektral ölçeklendirme işlemi yapıldıktan sonra, ölçeklendirilmiş depremlere ait spektrumlar ve hedef tasarım spektrumu ise Şekil 6.4'te verilmiştir.



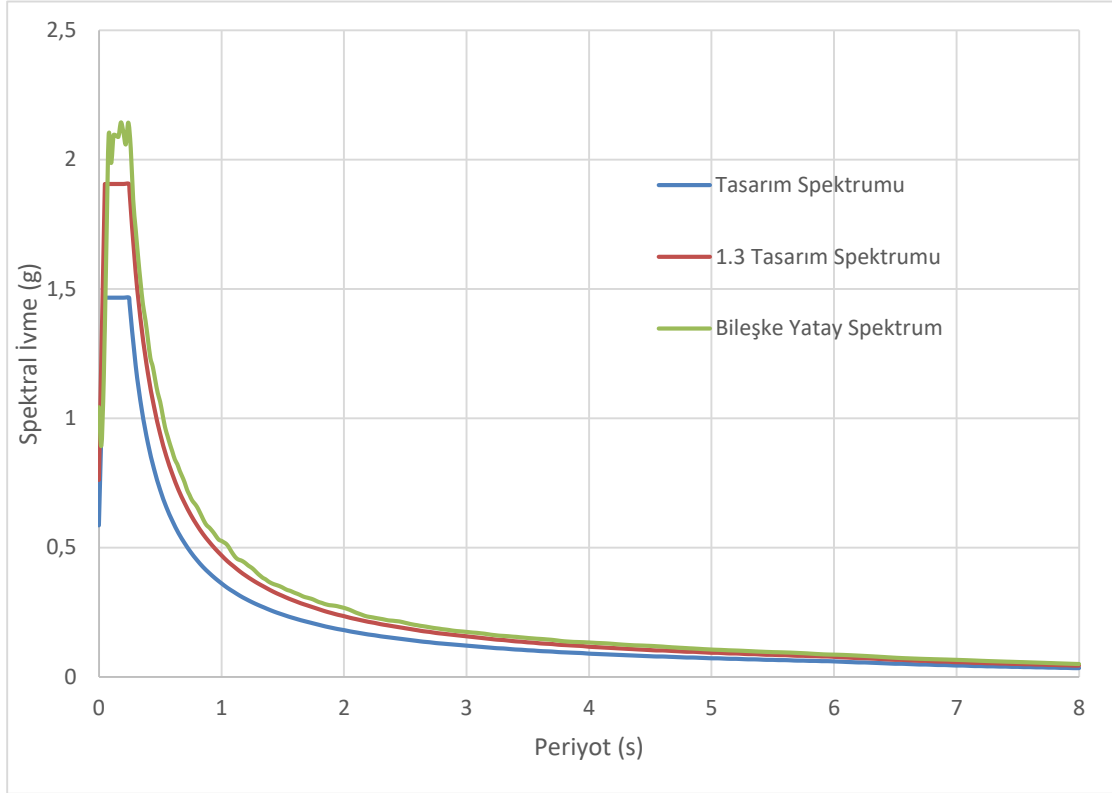


**Şekil 6.3:** Deprem kayıtlarına ait spektrumlar.



**Şekil 6.4:** Deprem kayıtlarına ait ölçeklendirilmiş spektrumlar.

Ölçeklendirme sonucu elde edilen deprem kayıt takımlarının, TBDY 2018 Bölüm 2.5.2’de verilen koşulları sağlaması gerekmektedir. Seçilen tüm deprem kayıt takımlarına ait bileşke spektrumların ortalaması ve tasarım spektrumun 1.3 katının karşılaştırmalı grafiği Şekil 6.5’te verilmiştir.



**Şekil 6.5:** Deprem kayıtlarına ait bileşke spektrum ortalaması–1.3 tasarım spektrum eğrisi.

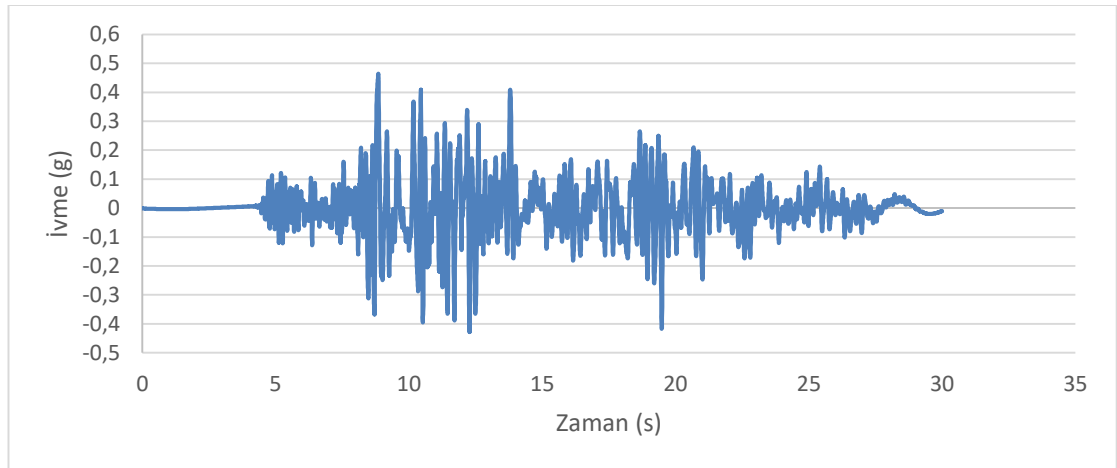
Model oluşturulduktan sonra yapılan modal analiz sonucunda binanın hakim doğal titreşim periyodu ( $T_p$ ) 5.52 saniye olarak bulunmuştur.  $0.2T_p$  ve  $1.5T_p$  değerleri, sırasıyla 1.104 saniye ve 8.28 saniyedir. Grafikten de görülebildiği gibi, bileşke yatay spektrum ortalamasına ait değerler, 0.2 saniyeden sonra tasarım spektrumunun 1.3 katının altına düşmemektedir.

Ölçeklendirme sonrası depremlere ait maksimum ivme, maksimum hız, maksimum yer değiştirme değerleri ve Arias şiddeti Çizelge 6.4'te verilmiştir. Ölçeklendirilmiş deprem kayıtları arasında en büyük maksimum ivme değerleri Tottori I deprem kaydında ortaya çıkmıştır. Ölçeklendirilmiş deprem kayıtları arasında en büyük Arias şiddeti değeri ise Chi-Chi depreminde ortaya çıkmıştır. Çizelge 6.4 incelendiğinde deprem kayıtlarına ait parametrelerin çeşitlilik gösterdiği görülmektedir

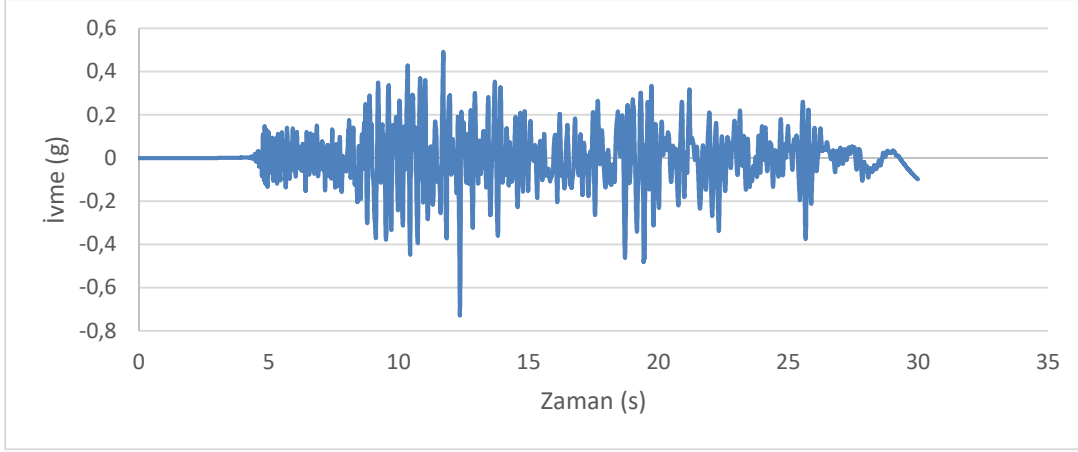
**Çizelge 6.4:** Ölçeklendirilmiş depremlere ait parametreler.

Deprem	Maksimum İvme (g)	Maksimum Hız (m/s)	Maksimum Yer Değişirme (m)	Arias Şiddeti
Tabas	0.58195	0.40058	0.44246	2.01812
	0.59249	0.49709	1.02164	2.2044
Loma I	0.61794	0.55982	0.62383	3.34817
	0.59544	0.40056	1.23434	3.25657
Loma II	0.6518	0.4631	10.37971	2.6375
	0.5496	0.48459	4.44649	2.89983
Landers	0.52843	1.08889	3.33694	10.88923
	0.47091	0.33553	0.52349	5.06642
Kocaeli I	0.5052	1.98467	18.2301	5.30423
	0.49492	1.4455	5.25657	6.1296
Kocaeli II	0.4719	1.1443	20.8735	7.18985
	0.4486	0.70307	1.90317	9.34115
Düzce	0.65733	0.5775	1.21906	7.23636
	0.50639	0.50079	1.10884	7.2238
Tottori I	0.84858	0.44691	0.66064	9.46601
	0.90268	0.48258	0.46461	7.18881
Tottori II	0.49012	0.35843	0.19163	2.51051
	0.53837	0.47557	0.60517	2.14303
Iwate	0.56786	0.3722	0.57231	4.47173
	0.54259	0.31566	0.23806	6.19251
Chi-Chi	0.54936	0.44611	0.63885	12.85849
	0.63950	0.40171	0.61959	9.58430

Düzce depreminin Doğu-Batı ve Kuzey-Güney bileşenleri ait ölçeklendirilmiş ivme kayıtları Şekil 6.6 ve Şekil 6.7’de verilmiştir. Geri kalan depremlere ait ivme kayıtları ekler bölümündedir.



**Şekil 6.6:** Düzce depremi ölçeklendirilmiş doğu-batı bileşeni.



**Şekil 6.7:** Düzce depremi ölçeklendirilmiş kuzey-güney bileşeni.

## 6.5 Yapısal Modelin Oluşturulması

Binanın modellenmesinde ve doğrusal olmayan analizinde SAP2000 v18.2 programı kullanılmıştır. Analiz modeli oluşturulurken TBDY 2018 Bölüm 5.4'te verilen Doğrusal Olmayan Hesap İçin Taşıyıcı Sistemin Modellenmesine İlişkin Kurallar takip edilmiştir.

### 6.5.1 Üç boyutlu analiz modelinin oluşturulması

Mevcut binanın statik projesine göre aks sistemi, yapısal eleman boyutları ve donatı durumları, malzeme özellikleri tanımlanarak üç boyutlu analiz modeli SAP2000 üzerinde oluşturulmuştur.

Mevcut binaya ait modelleme yapılırken, TBDY 2018 Bölüm 15.4 Deprem Hesabına İlişkin Genel İlke ve Kurallar dikkate alınmıştır.

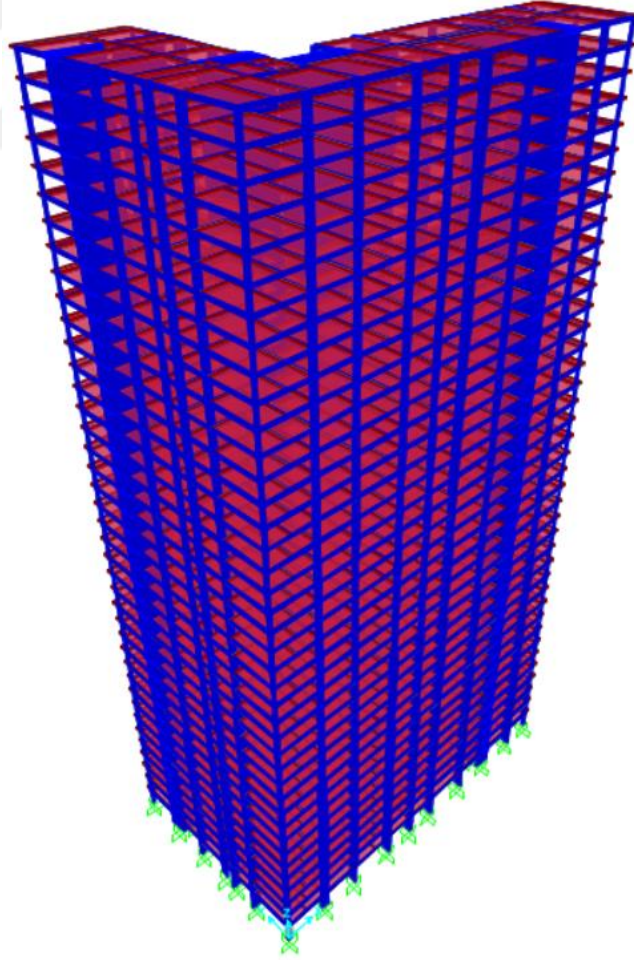
Sabit, hareketli, rüzgar ve malzemelere ait yükler ilgili standartlardan alınarak programa tanımlanmış ve sistem üzerine etkilmiştir. Malzeme ağırlıkları, malzeme tanımlanırken girilerek kiriş, kolon ve perde elemanları için daha sonradan kütle tanımlaması yapılmasına gerek kalmamıştır.

Kiriş, kolon ve perde elemanlar programa tanımlanmış olan malzemeler ile projeye uygun olarak boyutlandırılmış ve yerleştirilmiştir. Betonarme elemanlarda çatlama kesite ait etkin kesit rijitliği çarpanları kullanılmıştır.

Doğrusal olmayan malzeme ve çatlama kesit rijitlikleri kullanılarak üç boyutlu yapısal model üzerinde yapılan modal analiz sonuçlarına ait periyot ve kütle katılım oranları Çizelge 6.5'te verilmiştir.

**Çizelge 6.5:** Modal kütle katılım oranları.

Mod	Periyot (s)	Kütle Katılım Oranları		
		$\sum U_x$	$\sum U_y$	$\sum R_z$
1	5.52	0.41	0.64	0.32
2	4.84	0.68	0.68	0.68
3	2.14	0.71	0.74	0.73
4	1.84	0.78	0.82	0.74
5	1.45	0.84	0.84	0.84
6	1.08	0.85	0.86	0.86
7	0.85	0.87	0.88	0.86
8	0.68	0.89	0.89	0.88
9	0.67	0.91	0.90	0.90
10	0.52	0.91	0.91	0.90
11	0.48	0.91	0.92	0.91
12	0.42	0.91	0.92	0.91
13	0.41	0.92	0.92	0.92
14	0.38	0.93	0.93	0.92
15	0.36	0.93	0.93	0.93
16	0.34	0.93	0.94	0.93

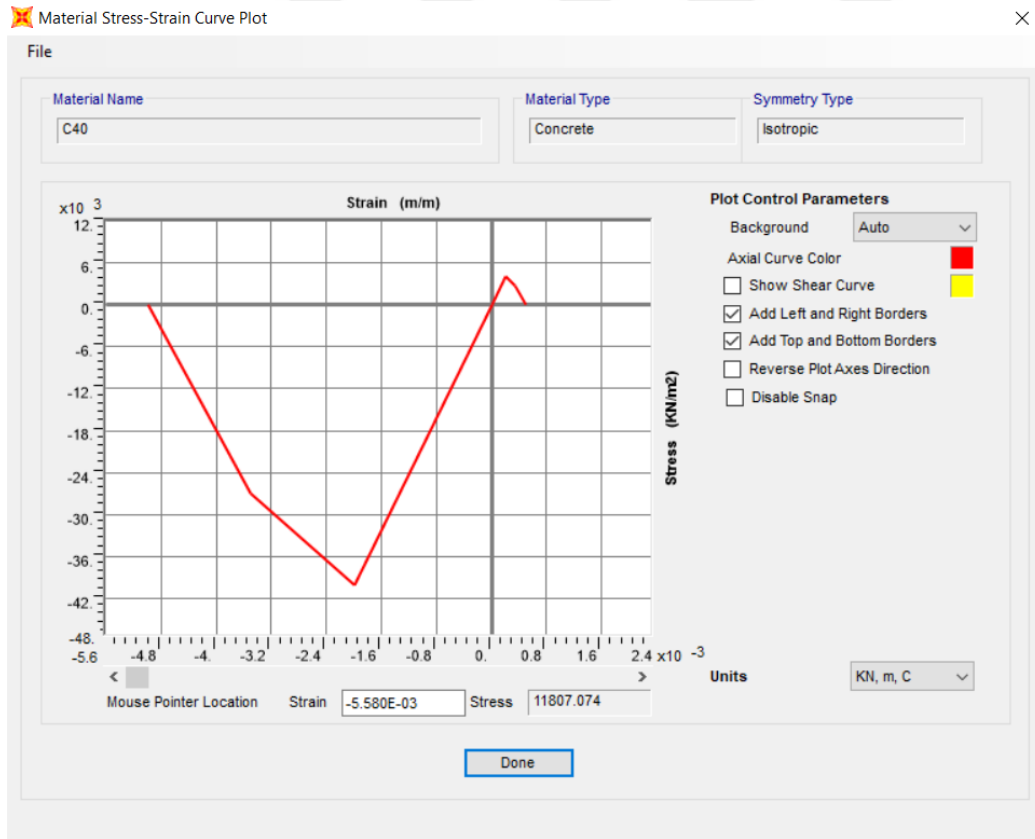


**Şekil 6.8:** Yapının üç boyutlu SAP2000 modeli.

## 6.5.2 Yapısal elemanlar için malzeme modellerinin oluşturulması

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği EK-5A’da tanımlanmış olan malzemelere ait gerilme-şekil değiştirme eğrileri, SAP2000 üzerinden tanımlanmıştır. Malzemenin doğrusal olmayan davranışı tanımlanırken, SAP2000 programında gömülü olarak bulunan Takeda malzeme modeli kullanılmıştır. Performans belirlemesi yapıldığı için, beklenen malzeme dayanımları buna uygun olarak seçilmiştir. Beton için programa tanımlanan malzeme modeline ait gerilme-şekildeğiştirme eğrisi Şekil 6.9’da donatı için programa tanımlanan malzeme modeline ait gerilme-şekil değiştirme eğrisi Şekil 6.10’da verilmiştir. Doğrusal olmayan davranış için oluşturulan malzeme modelinde, betona ait çekme gerilmesi de göz önüne alınmıştır.

C40 sınıfı beton için tanımlanan malzeme özellikleri TBDY 2018 EK5A’da belirtilen sargısız betona ait özellikleri içermektedir. Yapısal elemanlar “Section Designer” arayüzü üzerinden programa tanımlanırken, çekirdek betonu için Mander Sargılı Beton Modeli tanımlanarak sargılı beton davranışı göz önüne alınmıştır.



Şekil 6.9: C40 sınıfı beton için gerilme-şekildeğiştirme eğrisi.

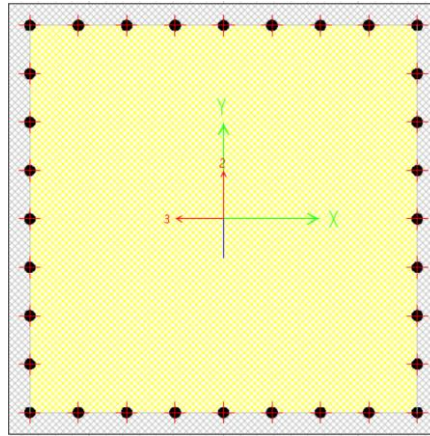




Şekil 6.10: B420C donatı çeliği için gerilme-şekildeğiştirme eğrisi.

### 6.5.3 Yapısal elemanların moment-eğrilik bağıntılarının oluşturulması ve akma yüzeylerinin elde edilmesi

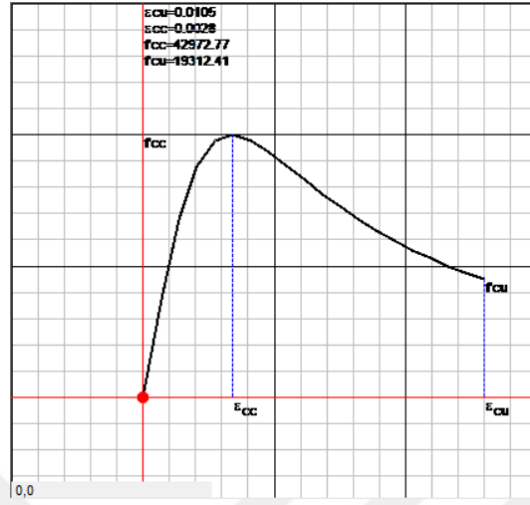
Yapıya ait taşıyıcı sistem elemanlarının program içinde modellenmesi, “Section Designer” ara yüzü ile yapılmıştır. Şekil 6.11’de “Section Designer” ile tanımlanan bir kolon kesiti verilmiştir.



Şekil 6.11: 80X80 kolon kesiti.

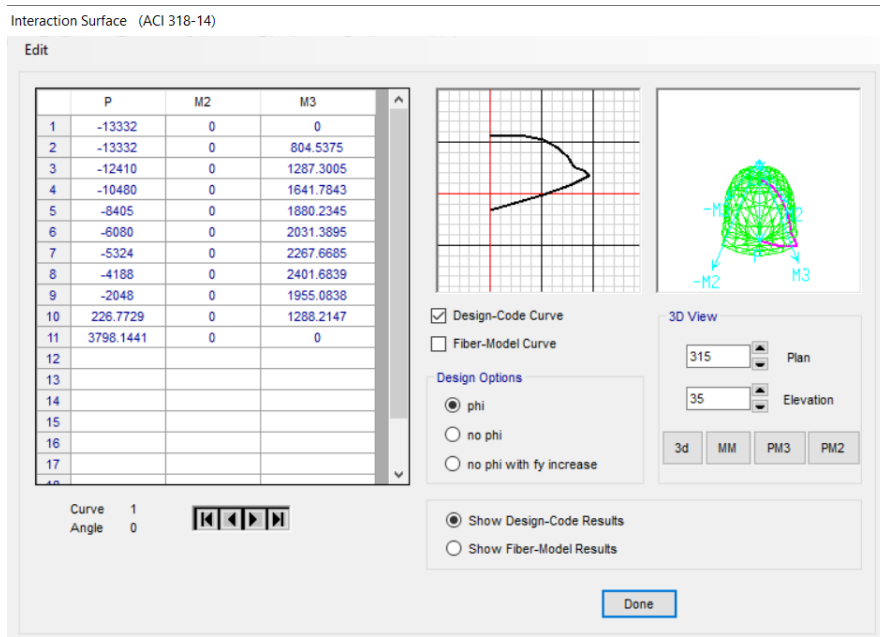
Kesitlerin modellenmesinde, daha önceden tanımlanmış olan C40 malzeme özellikleri kabuk beton için kullanılmıştır. Çekirdek betonu için ise, her kesit için Mander Sargılı Beton Modeline göre tanımlama yapılmıştır. Bu şekilde tanımlanan 80X80 kesitine ait

değerler Şekil 6.12'de gösterilmiştir. Kesitte bulunan donatı çeliği için ise yine daha önceden tanımlanmış olan B420C malzeme özellikleri kullanılmıştır.



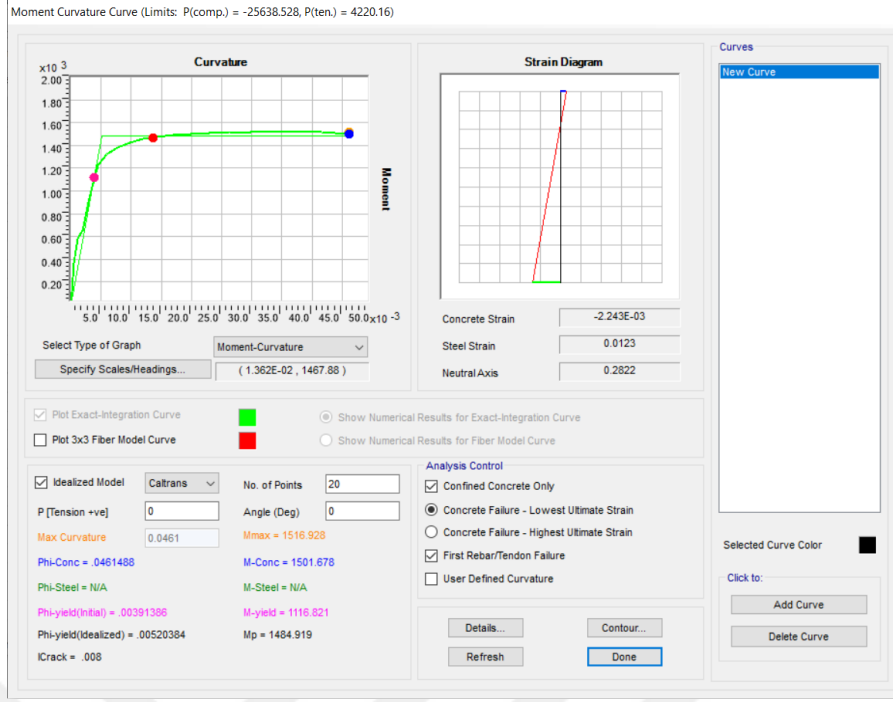
Şekil 6.12: 80X80 kolonuna ait Mander sargılı çekirdek betonu modeli.

Kesitlere ait moment-eğrilik bağıntıları ve akma yüzeyleri de bu arayüz üzerinden belirlenmiştir. Düşey taşıyıcı elemanlar olan, kolon ve perde kesitleri için akma yüzeyleri belirlenmiş ve analiz sonucunda elde edilen düşey yükler altında hesaplanmıştır. Kirişlere etkileyen eksenel kuvvetler mevcut olmadığından eğrilik bağıntısında normal kuvvetin olmadığı durum dikkate alınmıştır. Kesitlere ait elastik davranışlar ile doğrusal olmayan davranış arasındaki sınır değerleri bu sayede elde edilmiştir. Kesitlere ait malzeme modelleri, Şekil 6.13 ve Şekil 6.14'te gösterilmiştir



Şekil 6.13: 80X80 kolonuna ait akma yüzeyleri.



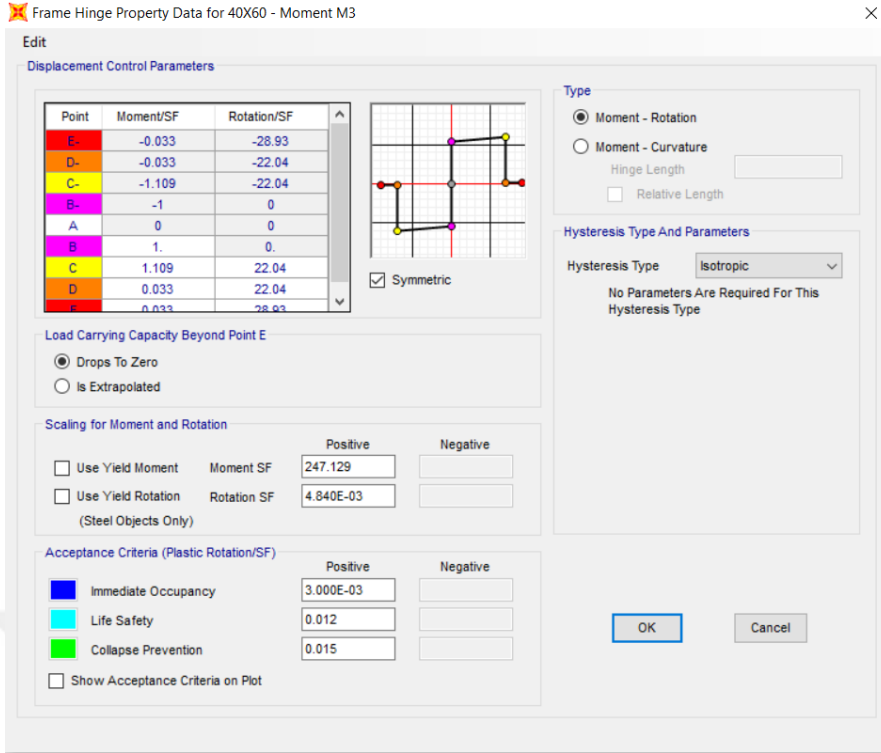


Şekil 6.14: 80X80 kolonuna ait moment-eğrilik bağıntısı.

#### 6.5.4 Yapısal elemanların plastik mafsallık özelliklerinin tanımlanması

SAP200 yapısal elemanlara ait plastik mafsallık tanımlamasını FEMA 356 ve ATC 40 kurallarına göre otomatik olarak yapabilmektedir. Ancak otomatik plastik mafsallık atamalarında yeterli gerçeklikte sonuçlar alınamayabilmektedir. Daha kesin sonuçlar alabilmek için, kesitlere ait plastik mafsallık özellikleri “Section Designer” arayüzü ile belirlenmiş değerlerden yararlanılarak, her kesit için ayrı ayrı tanımlanmıştır. Plastik mafsallar yapısal elemanların açıklıklarının iki ucuna atanmıştır. Kirişlerin aksel kuvvet almadığı ve sadece basit eğilmeye çalıştığı varsayılarak M3 plastik mafsallık özelliği seçilmiştir. Kolonlarda ise aksel kuvvet ve birleşik eğilme söz konusu olduğu için P-M2-M3 plastik mafsallık özelliği kullanılmıştır.

Plastik mafsalların oluşturulmasında, plastik mafsala ait özellikler orantısal olarak programa tanımlanmıştır. Tanımlanan moment ve dönme değeri ile orantılı olarak moment ve dönme değerleri programa girilmiştir. Bir kiriş kesitine ait M3 mafsallık veri girişi Şekil 6.15’te verilmiştir. Plastik mafsallık tanımlanırken A-B-C-D-E noktaları verilmiştir. A-B aralığı doğrusal elastik davranışın görüldüğü aralıktır. B noktası, doğrusal elastik davranışın sonlanıp, doğrusal olmayan davranışın başladığı noktadır. C noktasında kesit maksimum kapasiteye ulaşır ve D noktasında yük taşıma kapasitesinde ani bir düşüş olur ve yük o mafsalda boşaltılabilir. E noktası ise güç tükenmesi durumunu temsil eder.



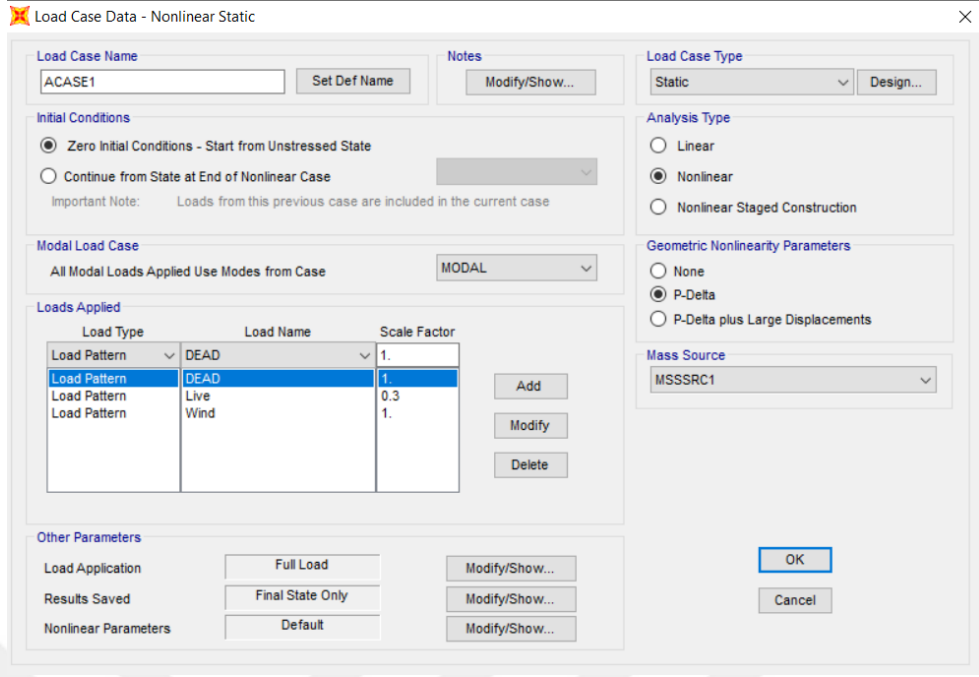
Şekil 6.15: 40X60 kiriş kesiti için M3 plastik mafsal veri girişi.

Kolonlar için plastik mafsal tanımlanmasında ise, kolonların iki dik yönde de eğilme kuvveti altında ve normal kuvvet etkisi altında mekanize olmalarını istediğimizden “P-M2-M3” plastik mafsalı tanımlanır. Kolonlara ait aksenal kuvvet değerleri her katta farklı olacağından veri girişini kolaylaştırmak için her 5 katta, en alt kata ait aksenal kuvvet tanımlanarak giriş yapılmıştır. Kesitlerin simetrik olmasından dolayı 0 ve 90 derece açıları kullanılmıştır.

Perdelerde, yayılı plastik davranışa göre mafsal ataması yapılmıştır. “Section Designer” arayüzü kullanılarak kesitlere fiber elemanlara bölünmüştür. Perdeler de kolonlar gibi aksenal kuvvet ve birleşik eğilme etkisinde olduklarından, fiber elemanların kullanıldığı, Fiber P-M2-M3 mafsal tanımı yapılmıştır.

### 6.5.5 Analizde kullanılacak yükleme durumlarının oluşturulması

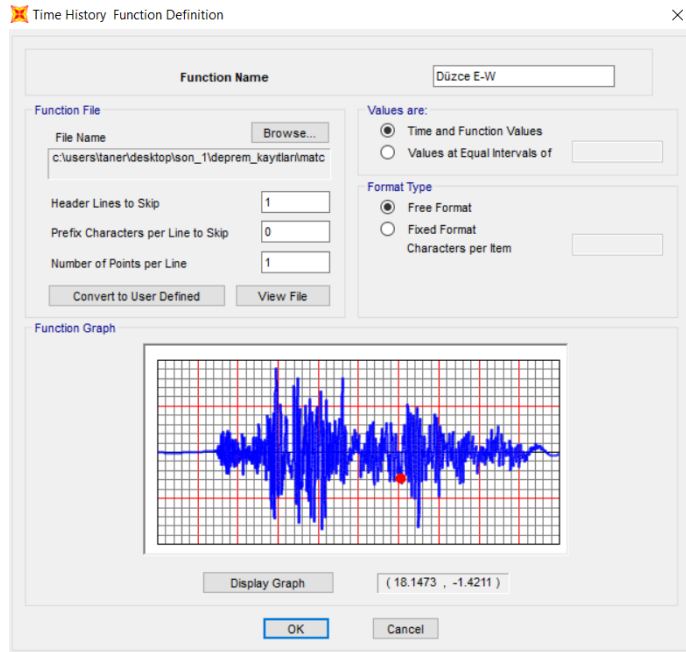
Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizin başlangıç koşullarının oluşturulması için yine doğrusal olmayan bir yükleme yapılması gerekmektedir. Şekil 6.16’da gösterildiği gibi bir doğrusal olmayan statik yükleme durumu tanımlanır. Bu yükleme, modele düşey yönde etki eden sabit yükler ve hareketli yükler ile rüzgar yükünün bir arada etkilmesi ile oluşturulur. Hareketli yükler için hareketli yük katılım katsayını kullanılmıştır.



Şekil 6.16: Doğrusal olmayan statik yükleme.

Doğrusal olmayan analiz yaptığımız için P-Delta değerlerinin de analizlerde hesaba katılması istenilmiştir.

Deprem kayıtlarının programa girilmesi “Time History Function Definition” sekmesinden yapılır. Ölçeklendirilmiş olan deprem kayıtlarının programa tanıtılması Şekil 6.17’de verilmiştir.



Şekil 6.17: Düzce depremi ölçeklendirilmiş doğu-batı bileşenini için veri girişi.

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizin programa tanıtılması “Load Case Data” sekmesi üzerinden yapılır. Yükleme türü “Time History” ve analiz tipi “Nonlinear” seçilerek doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz seçimi yapılır. Başlangıç koşulu, daha önceden tanımladığımız doğrusal olmayan statik yükleme olarak seçilir. Depreme ait bileşenler birbirine dik iki doğrultuda etkililir. Tez çalışmasında integrasyon yöntemi olarak “Newmark Yöntemi” kullanılmıştır.

Newmark integrasyon yöntemi için katsayılar,  $\gamma$  değeri için 0.5 ve  $\beta$  değeri için 0.25 olarak alınmıştır.

Load Case Data - Nonlinear Direct Integration History

Load Case Name: ACASE2

Load Case Type: Time History

Analysis Type: Nonlinear

Solution Type: Direct Integration

Geometric Nonlinearity Parameters: P-Delta

History Type: Transient

Mass Source: MSSSRC1

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	Düzce E-W	1.
Accel	U2	Düzce E-W	1.
Accel	U2	Düzce N-S	1.

Time Step Data: Number of Output Time Steps: 300, Output Time Step Size: 0.1

Other Parameters: Damping: Proportional Damping, Time Integration: Newmark, Nonlinear Parameters: User Defined

Şekil 6.18: Zaman-tanım alanında doğrusal olmayan analiz için veri girişi.

## 6.6 Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Tez çalışmasında, seçilen deprem kayıtlarına ait veriler, binaya birbirine dik iki düşey doğrultuda etkililmiş ve zaman tanım alanında hesaplama yapılmıştır. Yapısal sistemin, kiriş ve kolonlarının uç bölgelerinde plastik mafsalları tanımlanmış ve analiz sonucunda istenilen kat mekanizmasının oluşması sağlanmıştır. Yapılan analiz sırasında, doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin yoğunlaştığı, plastik mafsalları bölgelerinde, yapısal elemanların şekil değiştirme kapasiteleri dahilinde dönme ve

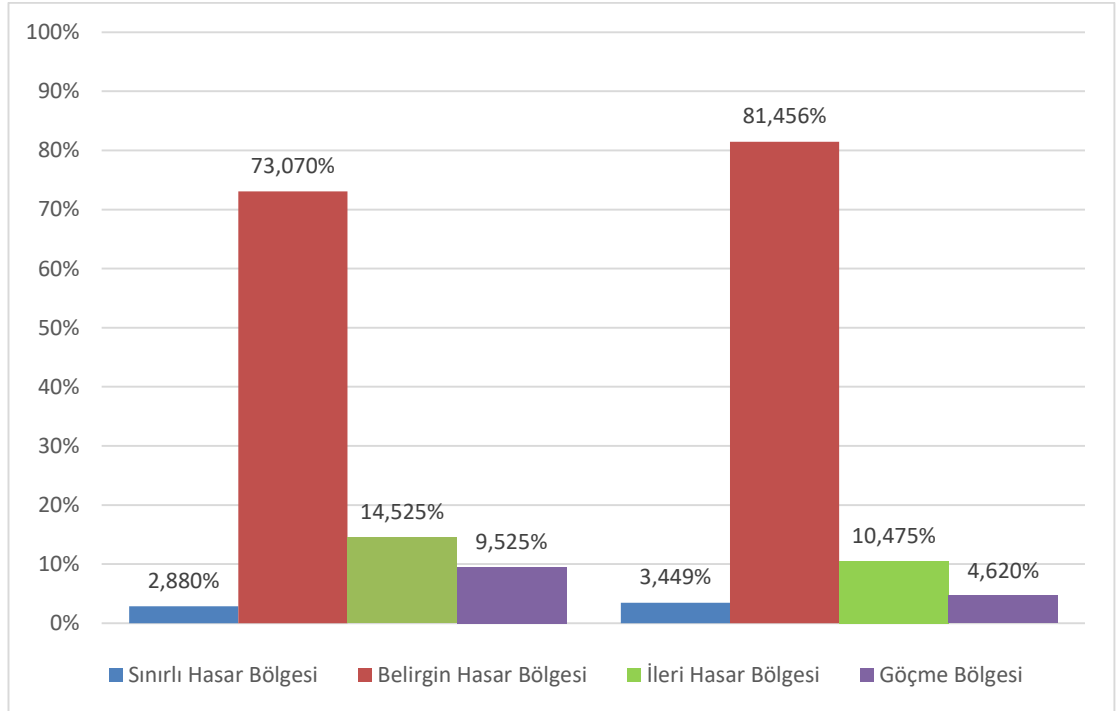
şekildeğiştirmeler meydana gelmiş. Bu dönmelerin sınır değerleri aştığı noktalarda ise mekanizmalar oluşmuştur. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği şartlarına uyularak, modellenen yapı sistemi üzerinde 11 deprem takımı için analiz yapılmış ve bunlara ait sonuçlar kapasite tasarımı ilkelerince değerlendirilmiştir.

Plastik mafsallarda meydana gelen dönme ve şekildeğiştirme değerleri, incelenerek ilgili elemanların hasar bölgeleri belirlenmiştir. Bu hasar bölgelerinin hangi elemanlarda ve yapı içinde hangi oranlarda oluştuğu incelenerek, performans durumları incelenmiştir. Bu performans durumlarının istenilen durum olup olmadığı ve göçme durumuna geçilip geçilmediği incelenmiştir.

Yapısal elemanların kesme kuvveti etkisi altında gevrek olarak hasar görüp görmediğinin kontrolü yapılmıştır.

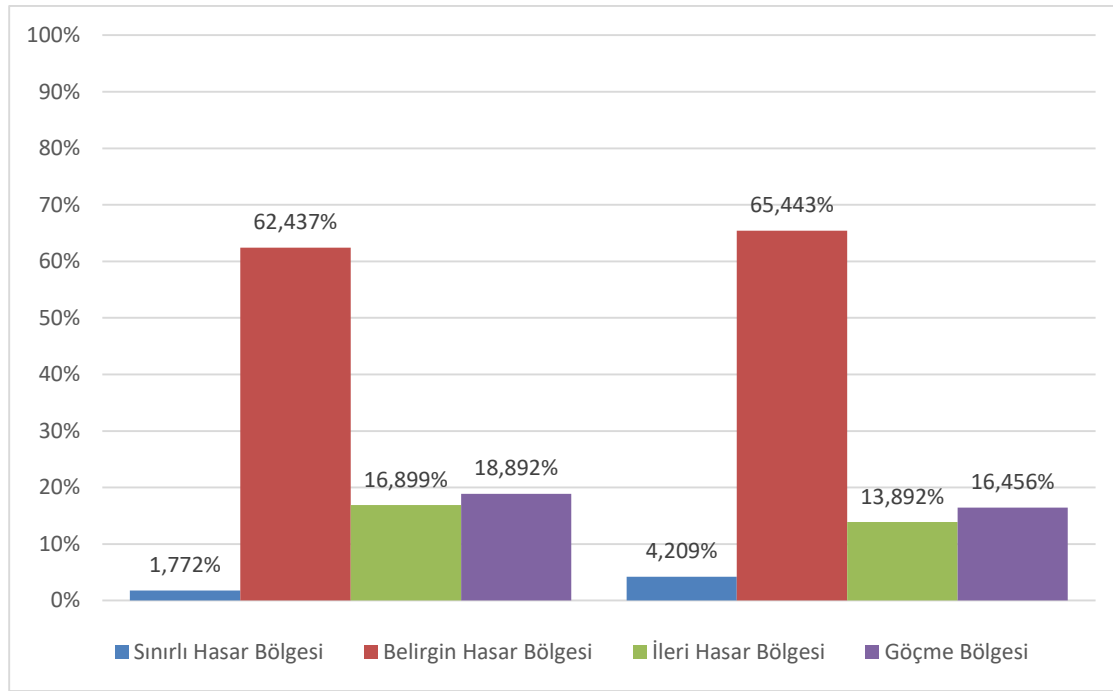
#### 6.6.1 Kirişlerde analiz sonuçlarının değerlendirilmesi

Yapının tüm katları boyunca kirişlerde meydana gelen plastik dönmeler, beton ve çelik donatı malzemelerinde meydana gelen şekil değiştirme değerleri TBDY 2018 Bölüm 5.8.1 kapsamında verilen sınır değerlere göre incelenmiştir. Her bir deprem kaydı için, ivme değerlerinin etkitildiği ve bu değerlerin doksan derece çevrilerek tekrar etkitildiği durumlar bir arada verilmiştir.



Şekil 6.19: Düzce depremi kiriş hasar bölgeleri.

Şekil 6.19’da gösterilen, Düzce depremi etkisinde tüm kirişlerde meydana gelen hasar bölgelerine göre, kirişlerin 2.88%’i Sınırlı Hasar Bölgesinde, 73.07%’si Belirgin Hasar Bölgesinde, 14.525%’i İleri Hasar Bölgesinde ve 9.525%’i Göçme Bölgesinde bulunmaktadır. Aynı deprem için, etkitilen ivme değerlerinin doksan derece çevrilerek tekrar etkitilmesi ile ortaya çıkan durumda ise; tüm kirişlerde meydana gelen hasar bölgelerine göre, kirişlerin 3.449%’u Sınırlı Hasar Bölgesinde, 81.456%’sı Belirgin Hasar Bölgesinde, 10.475%’i İleri Hasar Bölgesinde ve 4.620%’si Göçme Bölgesinde bulunmaktadır.



**Şekil 6.20:** Chi-Chi depremi kiriş hasar bölgeleri.

Kirişler üzerinde en büyük hasarların olduğu Chi-Chi depremine ait kiriş hasar bölgeleri Şekil 6.20’de verilmiştir. Chi-Chi depremi için Göçme Bölgesine geçen kiriş oranı 18.892%’dir. Aynı deprem için, etkitilen ivme değerlerinin doksan derece çevrilerek tekrar etkitilmesi ile ortaya çıkan durumda ise Göçme Bölgesine geçen kiriş oranı 16.456%’dir.

Değerler değişmek ile birlikte, sonuçlara bakıldığında, tüm depremler için Sınırlı Hasar Bölgesinde az sayıda eleman bulunduğu, kirişlerin büyük çoğunluğunun ise Belirgin Hasar Bölgesinde olduğu görülmektedir. Ancak tüm deprem durumunda da kirişlerin bir kısmı Göçme Bölgesine Geçmiştir. TDBY2018 Bölüm 15.8.5’e göre, Göçme Bölgesine geçen kirişlerin bulunduğu ve bu kirişlerin en fazla %20 olarak verilen değer altında kalması nedeniyle, yapının en az Göçmenin Önlenmesi

Performans Düzeyinde bulunduğu görülmektedir. Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi için belirlenmiş diğer şartların da kontrolü sonrasında, yapının, etkilenen depremler altında Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyinin sağlayıp sağlayamadığı, eğer sağlayamamış ise Göçme Durumu'nun ortaya çıktığı belirlenecektir.

Yapılan bütün analizler için kırıslara ait hasar bölgelerindeki eleman sayıları ve oranları Çizelge 6.6'da verilmiştir.

**Çizelge 6.6:** Kiriş hasar bölgeleri.

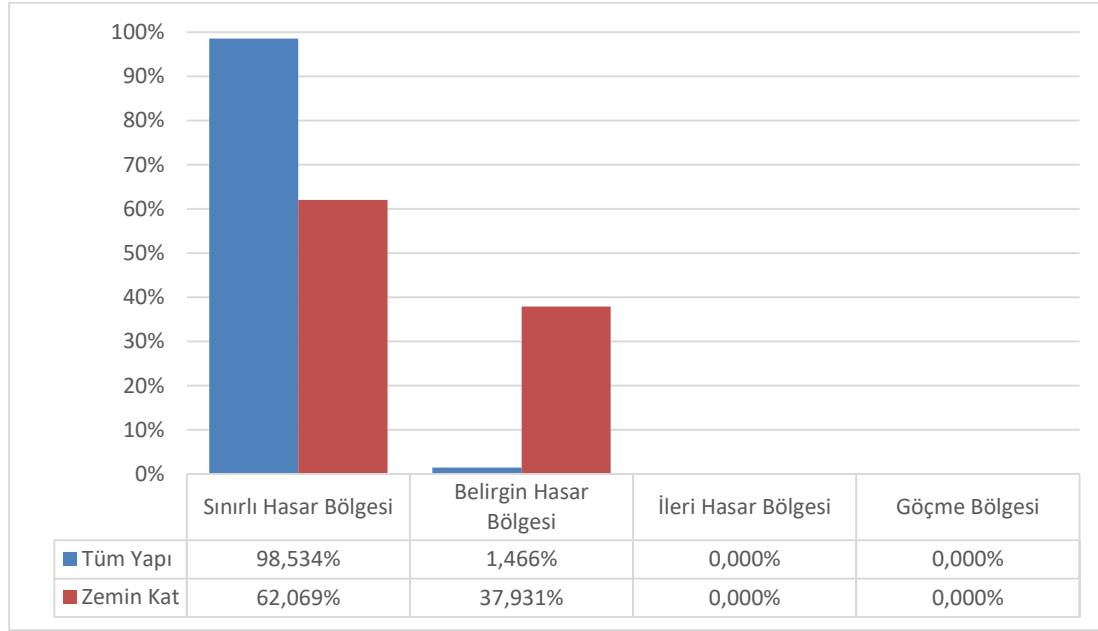
Deprem	Sınırlı Hasar Bölgesi		Belirgin Hasar Bölgesi		İler Hasar Bölgesi		Göçme Bölgesi	
	Kiriş Sayısı	Kiriş Oranı	Kiriş Sayısı	Kiriş Oranı	Kiriş Sayısı	Kiriş Oranı	Kiriş Sayısı	Kiriş Oranı
Düzce	91	2.880%	2309	73.070%	459	14.525%	301	9.525%
	109	3.449%	2574	81.456%	331	10.475%	146	4.620%
Iwate	134	4.241%	2458	77.785%	267	8.449%	301	9.525%
	139	4.399%	2400	75.949%	387	12.247%	234	7.405%
Kocaeli I	82	2.595%	2288	72.405%	492	15.570%	298	9.430%
	94	2.975%	2533	80.158%	356	11.266%	177	5.601%
Kocaeli II	86	2.722%	2367	74.905%	431	13.639%	276	8.734%
	95	3.006%	2458	77.785%	383	12.120%	224	7.089%
Landers	96	3.038%	2355	74.525%	419	13.259%	290	9.177%
	129	4.082%	2492	78.861%	405	12.816%	134	4.241%
Loma I	119	3.766%	2298	72.722%	471	14.905%	272	8.608%
	128	4.051%	2392	75.696%	358	11.329%	282	8.924%
Loma II	114	3.608%	2375	75.158%	409	12.943%	262	8.291%
	126	3.987%	2409	76.234%	371	11.741%	254	8.038%
Tabas	115	3.639%	2593	82.057%	314	9.937%	138	4.367%
	110	3.481%	2450	77.532%	381	12.057%	219	6.930%
Tottori I	115	3.639%	2420	76.582%	392	12.405%	233	7.373%
	92	2.911%	2390	75.633%	325	10.285%	353	11.171%
Tottori II	97	3.070%	2330	73.734%	380	12.025%	353	11.171%
	118	3.734%	2505	79.272%	404	12.785%	133	4.209%
Chi-Chi	56	1.772%	1973	62.437%	534	16.899%	597	18.892%
	133	4.209%	2068	65.443%	439	13.892%	520	16.456%

### 6.6.2 Kolonlarda analiz sonuçlarının değerlendirilmesi

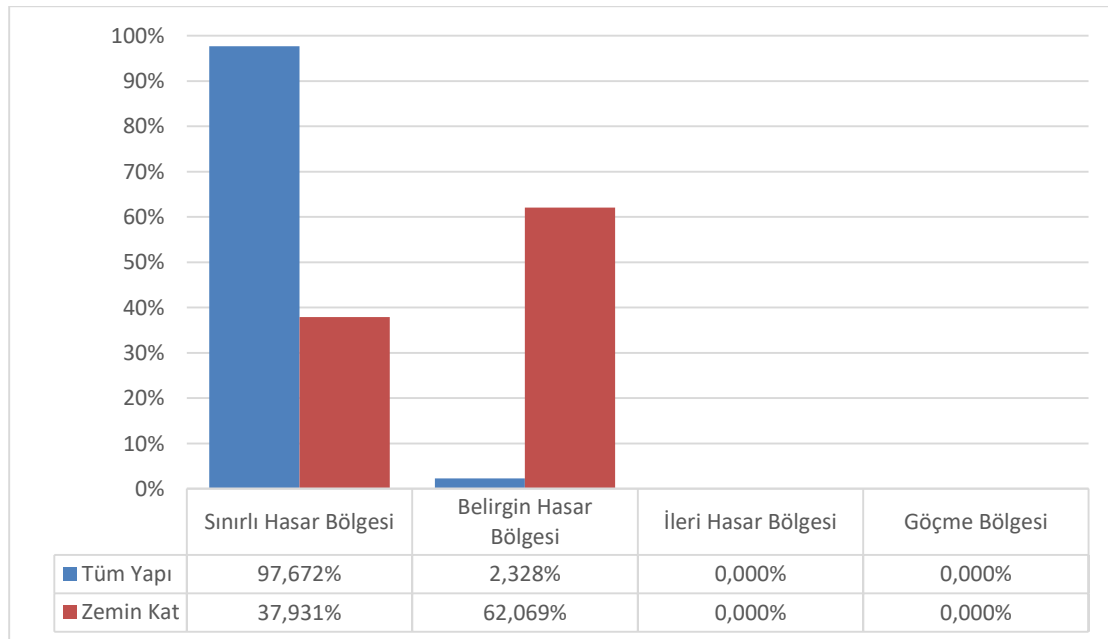
Kolonlarda, 'P-M2-M3' plastik mafsalları atanmış olduğu için, kolonlarda birbirine dik iki ayrı yöndeki plastik dönmeler ve düşey doğrultudaki plastik şekil değiştirme

değerleri, kolonun 2 ucunda da bulunan plastik mafsallar için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Hesabı yapılan kolona ait, bu altı değerlerden en elverişsizi hangi hasar bölgesinde bulunuyor ise, kolonun o hasar bölgesinde olduğu kabul edilmiştir.

Şekil 6.21’de Düzce depremi altında kolonların hasar bölgelerindeki oranları verilmiştir. Şekil 6.22’de Düzce depreminin 90° döndürülmüş durumu için kolonların hasar bölgelerindeki oranları verilmiştir



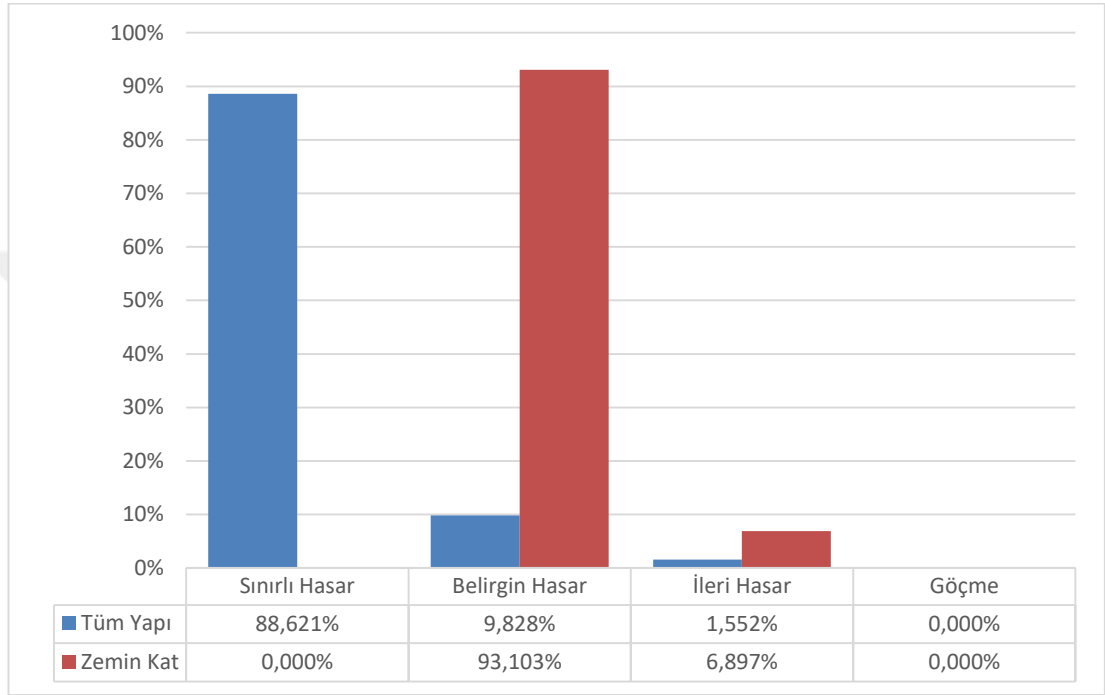
**Şekil 6.21:** Düzce depremi kolon hasar bölgeleri.



**Şekil 6.22:** Düzce depremi 90° döndürülmüş durum için kolon hasar bölgeleri.



Düzce depremi için kolonların hasar bölgelerindeki oranlarına bakıldığında, kolonların Sınırlı Hasar bölgesinde toplandığı görülmektedir. Belirgin Hasar Bölgesine geçen kolon oranı ise sırasıyla 1.466% ve 2.328%'dir. Zemin katlara ait değerlere bakıldığında ise, Belirgin Hasar Bölgesine geçen kolon oranının yüksek olduğu görülmektedir. Zemin katlarda bulunan kolonların daha büyük plastik şekildeğiştirme ve plastik dönme gösterdiği görülmektedir.



**Şekil 6.23:** Chi-Chi depremi için kolon hasar bölgeleri.

Şekil 6.23'te, kolonlarda en büyük hasarlarının meydana geldiği Chi-Chi depremi altında kolonların hasar bölgelerindeki oranları verilmiştir.

Chi-Chi depremi altında, kolonların 1.552%'sinin İleri Hasar Bölgesine geçtiği görülmektedir. Bu deprem analizi sonucu için bile, kolonların 88.621%'i hala Sınırlı Hasar Bölgesinde bulunmaktadır. İleri hasar bölgesine 18 kolonun geçtiği görülmektedir. Tüm kolonlar içinde oranı ise 1.552%'dir

Yapılan bütün analizler için kolonlara ait hasar bölgelerindeki eleman sayıları ve oranları Çizelge 6.7'de verilmiştir. Bu analizlere için yapının zemin katındaki kolonlara ait hasar bölgelerindeki eleman sayıları ve oranları ise Çizelge 6.8'de verilmiştir.

Hasar bölgelerindeki kolon oranları incelendiğinde, plastik şekildeğiştirme ve plastik dönme değerlerinin alt katlarda ve özellikle zemin katta büyük değerler aldığı

görülmektedir. Deprem kayıtları için, yapının zemin katındaki kolonların İleri Hasar Bölgesine geçme oranları çeşitlilik göstermekle beraber, büyük değerler aldığı da görülmektedir. Ancak İleri Hasar Bölgesindeki kolon oranları çok azdır.

**Çizelge 6.7:** Kolon hasar bölgeleri.

Deprem	Sınırlı Hasar Bölgesi		Belirgin Hasar Bölgesi		İler Hasar Bölgesi		Göçme Bölgesi	
	Kolon Sayısı	Kolon Oranı	Kolon Sayısı	Kolon Oranı	Kolon Sayısı	Kolon Oranı	Kolon Sayısı	Kolon Oranı
Düzce	1143	98.534%	17	1.466%	0	0.000%	0	0.000%
	1133	97.672%	27	2.328%	0	0.000%	0	0.000%
Iwate	1140	98.276%	20	1.724%	0	0.000%	0	0.000%
	1141	98.362%	19	1.638%	0	0.000%	0	0.000%
Kocaeli I	1092	94.138%	66	5.690%	2	0.172%	0	0.000%
	1136	97.931%	23	1.983%	1	0.086%	0	0.000%
Kocaeli II	1129	97.328%	31	2.672%	0	0.000%	0	0.000%
	1122	96.724%	37	3.190%	1	0.086%	0	0.000%
Landers	1116	96.207%	44	3.793%	0	0.000%	0	0.000%
	1105	95.259%	54	4.655%	1	0.086%	0	0.000%
Loma I	1130	97.414%	30	2.586%	0	0.000%	0	0.000%
	1131	97.500%	29	2.500%	0	0.000%	0	0.000%
Loma II	1109	95.603%	50	4.310%	1	0.086%	0	0.000%
	1105	95.259%	50	4.310%	5	0.431%	0	0.000%
Tabas	1147	98.879%	13	1.121%	0	0.000%	0	0.000%
	1146	98.793%	14	1.207%	0	0.000%	0	0.000%
Tottori I	1109	95.603%	51	4.397%	0	0.000%	0	0.000%
	1125	96.983%	35	3.017%	0	0.000%	0	0.000%
Tottori II	1134	97.759%	26	2.241%	0	0.000%	0	0.000%
	1137	98.017%	23	1.983%	0	0.000%	0	0.000%
Chi-Chi	1028	88.621%	114	9.828%	18	1.552%	0	0.000%
	1100	94.828%	57	4.914%	3	0.259%	0	0.000%

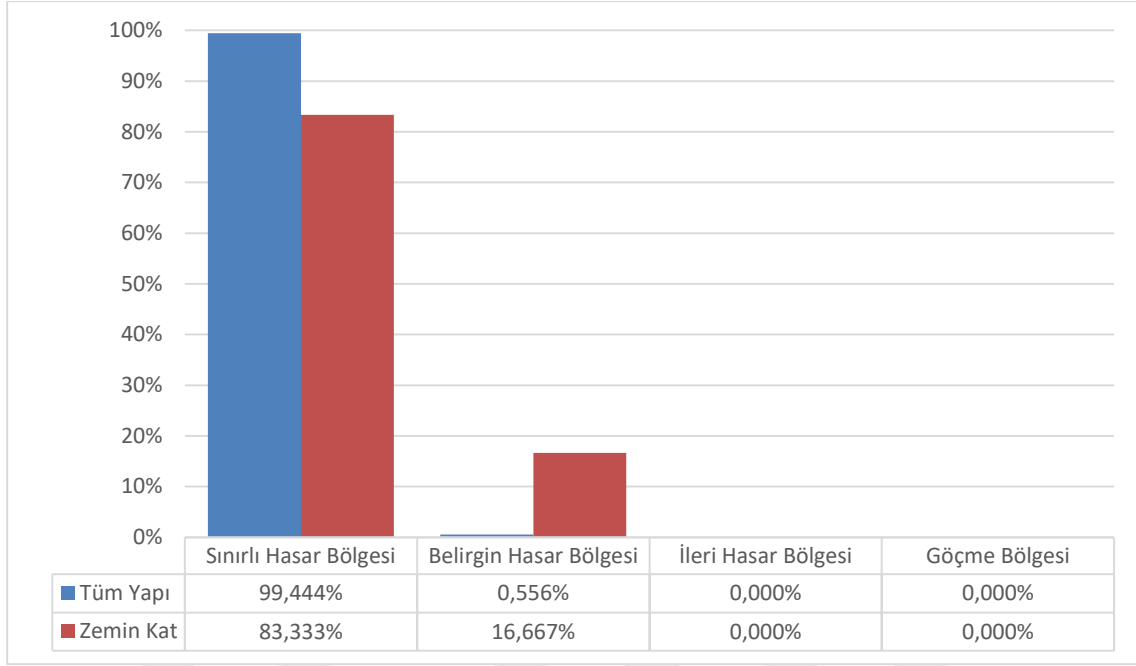
**Çizelge 6.8:** Zemin kat kolonları hasar bölgeleri.

Deprem	Sınırlı Hasar Bölgesi		Belirgin Hasar Bölgesi		İler Hasar Bölgesi		Göçme Bölgesi	
	Kolon Sayısı	Kolon Oranı	Kolon Sayısı	Kolon Oranı	Kolon Sayısı	Kolon Oranı	Kolon Sayısı	Kolon Oranı
Düzce	18	62.069%	11	37.931%	0	0.000%	0	0.000%
	11	37.931%	18	62.069%	0	0.000%	0	0.000%
Iwate	15	51.724%	14	48.276%	0	0.000%	0	0.000%
	15	51.724%	14	48.276%	0	0.000%	0	0.000%
Kocaeli I	2	6.897%	27	93.103%	0	0.000%	0	0.000%
	11	37.931%	17	58.621%	1	3.448%	0	0.000%
Kocaeli II	9	31.034%	20	68.966%	0	0.000%	0	0.000%
	10	34.483%	18	62.069%	1	3.448%	0	0.000%
Landers	7	24.138%	22	75.862%	0	0.000%	0	0.000%
	1	3.448%	27	93.103%	1	3.448%	0	0.000%
Loma I	14	48.276%	15	51.724%	0	0.000%	0	0.000%
	13	44.828%	16	55.172%	0	0.000%	0	0.000%
Loma II	6	20.690%	22	75.862%	1	3.448%	0	0.000%
	6	20.690%	21	72.414%	2	6.897%	0	0.000%
Tabas	18	62.069%	11	37.931%	0	0.000%	0	0.000%
	17	58.621%	12	41.379%	0	0.000%	0	0.000%
Tottori I	7	24.138%	22	75.862%	0	0.000%	0	0.000%
	11	37.931%	18	62.069%	0	0.000%	0	0.000%
Tottori II	12	41.379%	17	58.621%	0	0.000%	0	0.000%
	12	41.379%	17	58.621%	0	0.000%	0	0.000%
Chi-Chi	0	0.000%	27	93.103%	2	6.897%	0	0.000%
	4	13.793%	22	75.862%	3	10.345%	0	0.000%

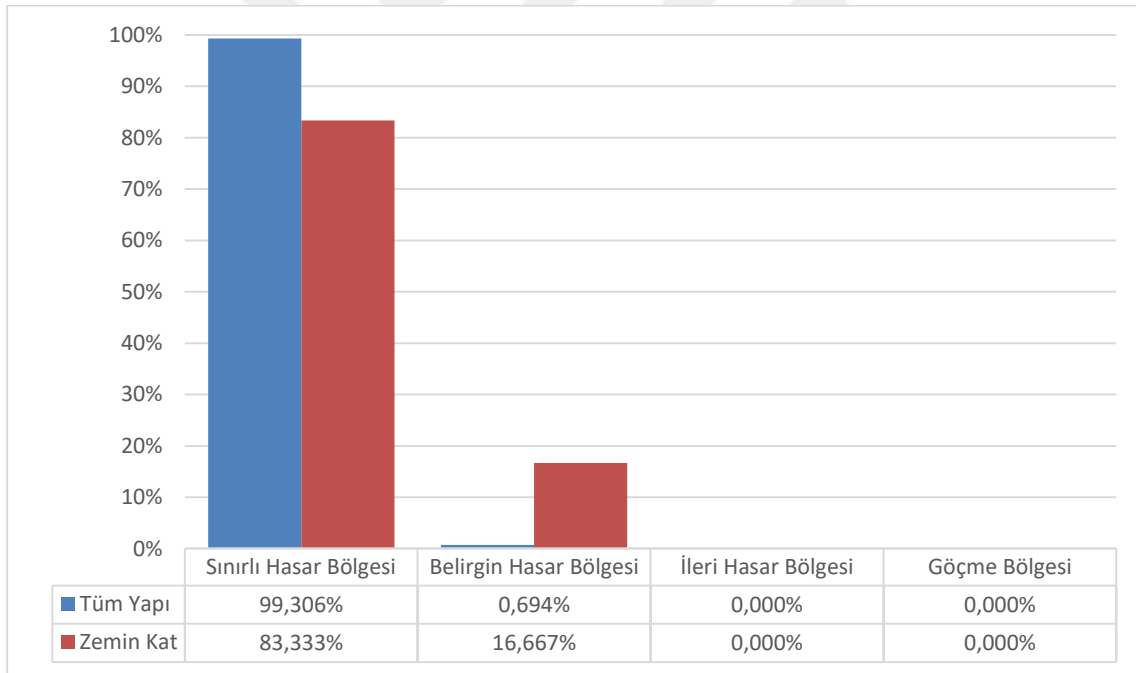
### 6.6.3 Perdelerde analiz sonuçlarının değerlendirilmesi

Perdelerde, 'P-M2-M3' plastik mafsalları atanmış olduğu için, perdelerde birbirine dik iki ayrı yöndeki plastik dönmeler ve düşey doğrultudaki plastik şekil değiştirme değerleri, perdenin 2 ucunda da bulunan plastik mafsallar için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Hesabı yapılan perdeler için, bu altı değerlerden en elverişsizi hangi hasar bölgesinde bulunuyor ise, perdenin o hasar bölgesinde olduğu kabul edilmiştir.

Şekil 6.24'te Düzce depremi altında perdelerin hasar bölgelerindeki oranları verilmiştir. Şekil 6.25'te Düzce depreminin 90° döndürülmüş durumu için perdelerin hasar bölgelerindeki oranları verilmiştir.

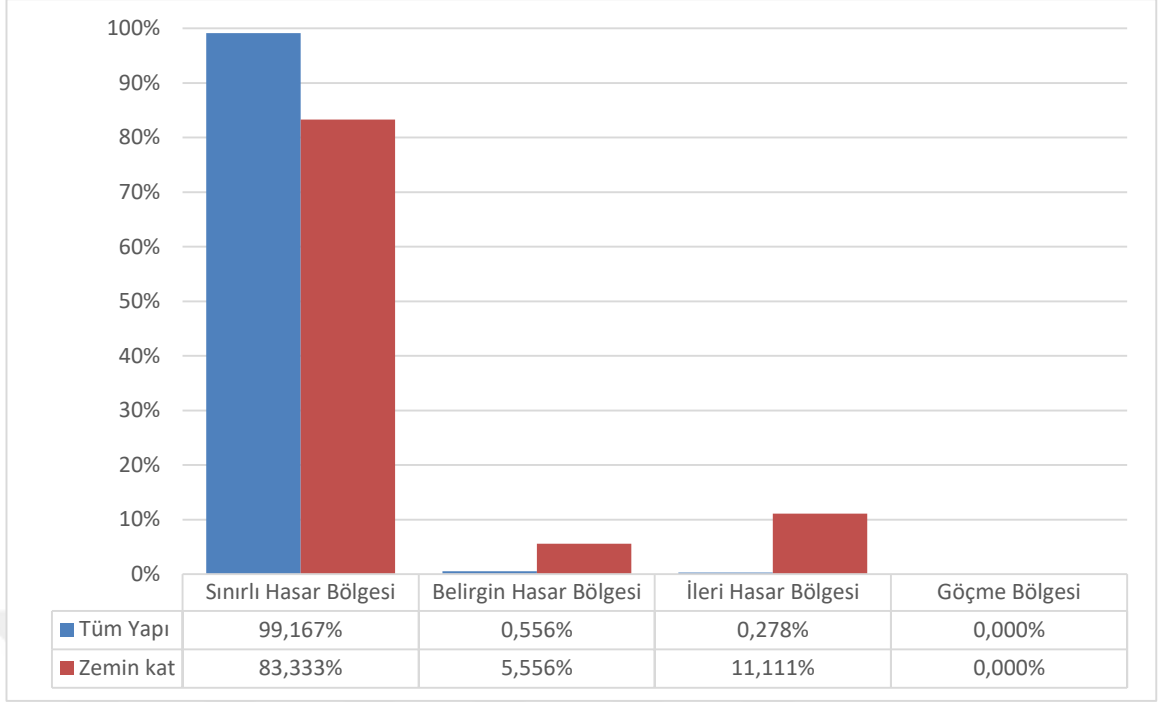


**Şekil 6.24:** Düzce depremi için perde hasar bölgeleri.



**Şekil 6.25:** Düzce depremi 90° döndürülmüş durum için perde hasar bölgeleri.

Düzce depremi için perdelerin hasar bölgelerindeki oranlarına bakıldığında, perdelerin Sınırlı Hasar bölgesinde toplandığı görülmektedir. Belirgin Hasar Bölgesine geçen kolon oranı ise sırasıyla 0.556% ve 0.649%'dur. Zemin katlara ait değerlere bakıldığında ise, Belirgin Hasar Bölgesine geçen perdele oranlarının arttığı görülmektedir. Zemin katlarda bulunan perdelerin, diğer katlara göre daha fazla plastik şekil değiştirme ve plastik dönme gösterdiği görülmektedir.



**Şekil 6.26:** Tottori I depremi için perde hasar bölgeleri.

Şekil 6.26’da perdelerin en büyük hasarlarının meydana geldiği Chi-Chi depremi altında kolonların hasar bölgelerindeki oranları verilmiştir.

Perdeler üzerinde en büyük hasarların olduğu Tottori I Depremi için, perdelerin 0.278%’sinin İleri Hasar Bölgesine geçtiği görülmektedir. Bu deprem analizi sonucu için bile, perdelerin 99.167%’si hala Sınırlı Hasar Bölgesinde bulunmaktadır. Tüm yapıda iler hasar bölgesine geçen perde sayısı 2’dir. Tüm perdeler içinde oranı ise 0.278%’dir.

Yapılan bütün analizler için perdelerine ait hasar bölgeleri Çizelge 6.9’da verilmiştir. Bu analizlere için yapının zemin katındaki perdelerine ait hasar bölgeleri ise Çizelge 6.10’da verilmiştir.

Kolonlarda olduğu gibi, perdelerde de plastik şekil değiştirme ve plastik dönme oluşumu çok azdır. Şekil 6.24’te verilen düzce depremi için; 720 perde eleman arasından sadece 4’ünde plastik dönme oluşmuştur. Plastik şekil değiştirme ve plastik dönme oluşan perdelerin 3 tanesi ise zemin katta bulunmaktadır. Perdelerin hasar bölgesindeki eleman oranları, kolonlarla benzerlik göstermekle beraber, plastik şekil değiştirme ve plastik dönme etkilerinin daha az ortaya çıktığı görülmektedir. Sınırlı Hasar Bölgesindeki perde oranı en düşük 97.500% değeri olmuştur. Ancak kolonlarda da olduğu gibi, az sayıda da olsa İleri Hasar Bölgesine geçen perdeler bulunmaktadır.

**Çizelge 6.9:** Perde hasar bölgeleri.

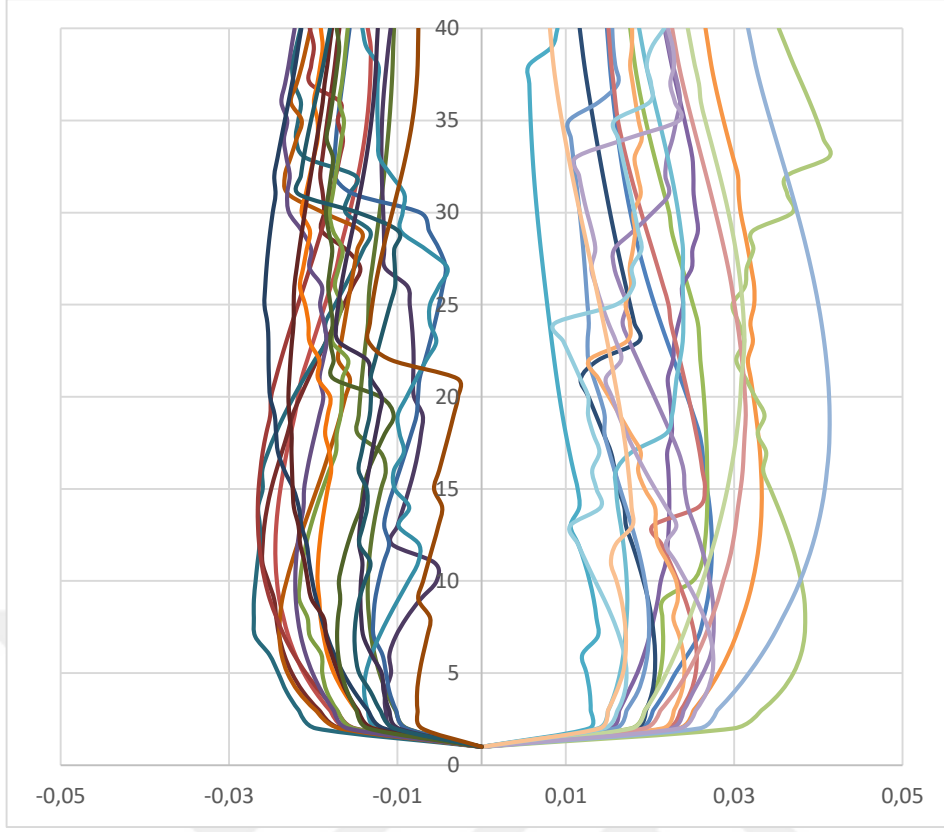
Deprem	Sınırlı Hasar Bölgesi		Belirgin Hasar Bölgesi		İler Hasar Bölgesi		Göçme Bölgesi	
	Perde Sayısı	Perde Oranı	Perde Sayısı	Perde Oranı	Perde Sayısı	Perde Oranı	Perde Sayısı	Perde Oranı
Düzce	716	99.444%	4	0.556%	0	0.000%	0	0.000%
	715	99.306%	5	0.694%	0	0.000%	0	0.000%
Iwate	718	99.722%	2	0.278%	0	0.000%	0	0.000%
	719	99.861%	1	0.139%	0	0.000%	0	0.000%
Kocaeli I	714	99.167%	5	0.694%	1	0.139%	0	0.000%
	717	99.583%	2	0.278%	1	0.139%	0	0.000%
Kocaeli II	717	99.583%	3	0.417%	0	0.000%	0	0.000%
	714	99.167%	5	0.694%	1	0.139%	0	0.000%
Landers	713	99.028%	6	0.833%	1	0.139%	0	0.000%
	716	99.444%	4	0.556%	0	0.000%	0	0.000%
Loma I	718	99.722%	2	0.278%	0	0.000%	0	0.000%
	718	99.722%	2	0.278%	0	0.000%	0	0.000%
Loma II	717	99.583%	2	0.278%	1	0.139%	0	0.000%
	717	99.583%	1	0.139%	2	0.278%	0	0.000%
Tabas	719	99.861%	1	0.139%	0	0.000%	0	0.000%
	718	99.722%	2	0.278%	0	0.000%	0	0.000%
Tottori I	714	99.167%	4	0.556%	2	0.278%	0	0.000%
	715	99.306%	5	0.694%	0	0.000%	0	0.000%
Tottori II	716	99.444%	3	0.417%	1	0.139%	0	0.000%
	717	99.583%	2	0.278%	1	0.139%	0	0.000%
Chi-Chi	702	97.500%	17	2.361%	1	0.139%	0	0.000%
	711	98.750%	9	1.250%	0	0.000%	0	0.000%

**Çizelge 6.10: Zemin kat perdeleri hasar bölgeleri.**

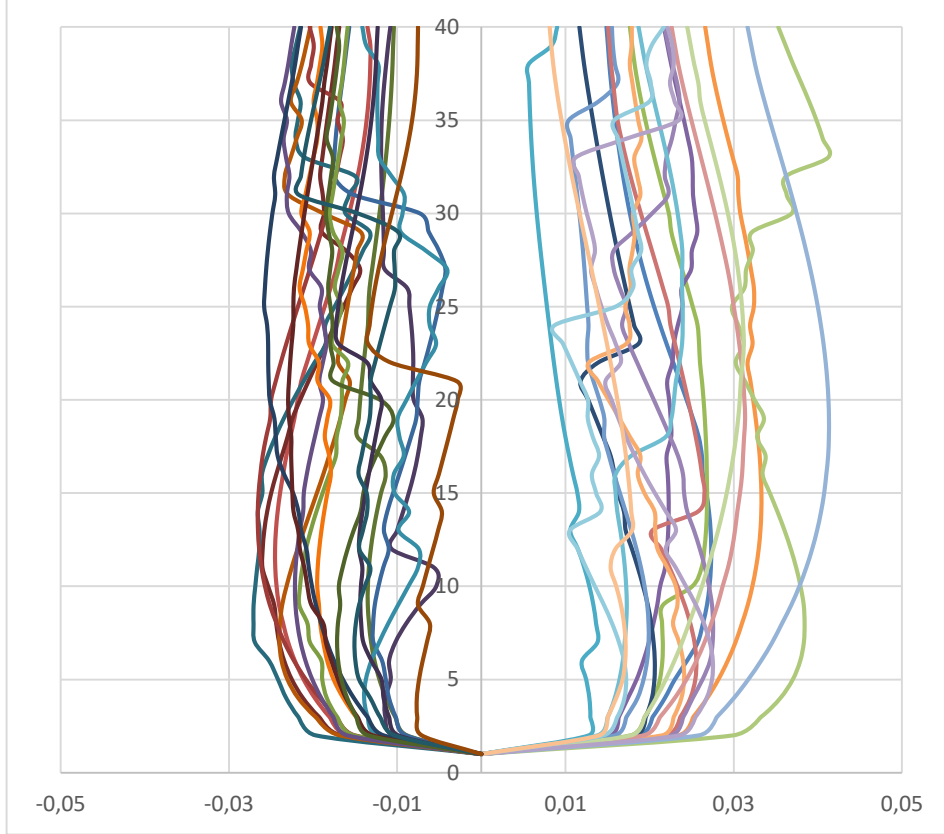
Deprem	Sınırlı Hasar Bölgesi		Belirgin Hasar Bölgesi		İler Hasar Bölgesi		Göçme Bölgesi	
	Perde Sayısı	Perde Oranı	Perde Sayısı	Perde Oranı	Perde Sayısı	Perde Oranı	Perde Sayısı	Perde Oranı
Düzce	15	83.333%	3	16.667%	0	0.000%	0	0.000%
	15	83.333%	3	16.667%	0	0.000%	0	0.000%
Iwate	16	88.889%	2	11.111%	0	0.000%	0	0.000%
	17	94.444%	1	5.556%	0	0.000%	0	0.000%
Kocaeli I	14	77.778%	3	16.667%	1	5.556%	0	0.000%
	16	88.889%	1	5.556%	1	5.556%	0	0.000%
Kocaeli II	15	83.333%	3	16.667%	0	0.000%	0	0.000%
	15	83.333%	2	11.111%	1	5.556%	0	0.000%
Landers	15	83.333%	2	11.111%	1	5.556%	0	0.000%
	14	77.778%	4	22.222%	0	0.000%	0	0.000%
Loma I	16	88.889%	2	11.111%	0	0.000%	0	0.000%
	16	88.889%	2	11.111%	0	0.000%	0	0.000%
Loma II	15	83.333%	2	11.111%	1	5.556%	0	0.000%
	16	88.889%	0	0.000%	2	11.111%	0	0.000%
Tabas	17	94.444%	1	5.556%	0	0.000%	0	0.000%
	16	88.889%	2	11.111%	0	0.000%	0	0.000%
Tottori I	15	83.333%	1	5.556%	2	11.111%	0	0.000%
	16	88.889%	2	11.111%	0	0.000%	0	0.000%
Tottori II	16	88.889%	1	5.556%	1	5.556%	0	0.000%
	15	83.333%	2	11.111%	1	5.556%	0	0.000%
Chi-Chi	13	72.222 %	4	22.222%	1	0.139%	0	0.000%
	14	77.778%	4	22.222%	0	0.000%	0	0.000%

#### 6.6.4 Görelî kat ötelemelerinin belirlenmesi

Zaman-tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonucunda, kat kütle merkezlerine göre görelî kat öteleme oranları elde edilmiştir. Görelî kat öteleme oranları birbirine dik iki doğrultu için ayrı ayrı elde edilmiştir. Kat kütle merkezinin x düzleminde elde edilen görelî kat öteleme değerleri Şekil 6.27’de ve y düzleminde elde edilen kat öteleme değerleri Şekil 6.28’de verilmiştir



**Şekil 6.27:** X doğrultusunda görel kat ötelemeleri.



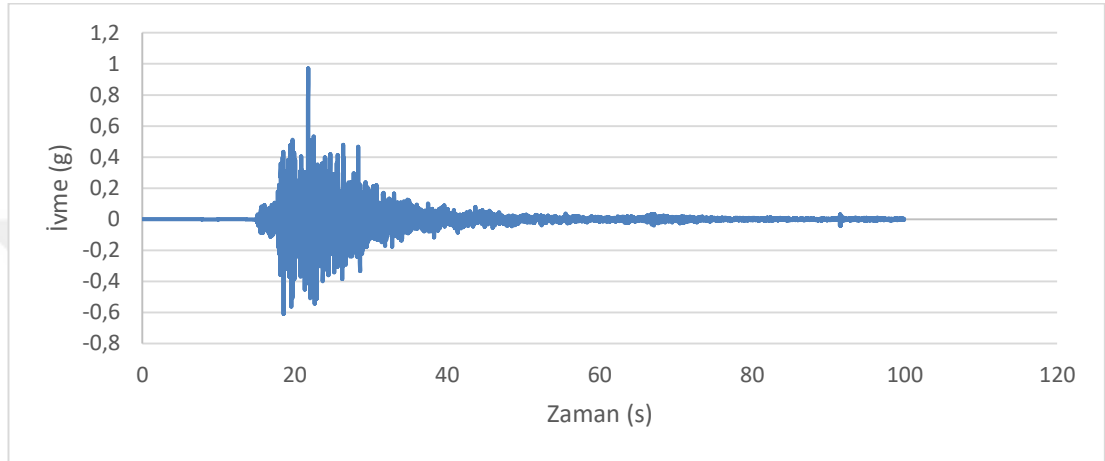
**Şekil 6.28:** Y doğrultusunda görel kat ötelemeleri.



### 6.6.5 Düşey deprem etkilerinin incelenmesi

Tez çalışması kapsamında deprem kayıtları mevcut binaya birbirine dik iki doğrultuda etkilmiştir. Tottori I depremi için, düşey ivme kaydının da olduğu bir durum incelenerek karşılaştırma yapılacaktır.

Tottori I depremine ait düşey doğrultudaki ölçeklendirilmiş ivme kaydı Şekil 6.29'da verilmiştir.



**Şekil 6.29:** Ölçeklendirilmiş Tottori I depremi düşey bileşeni.

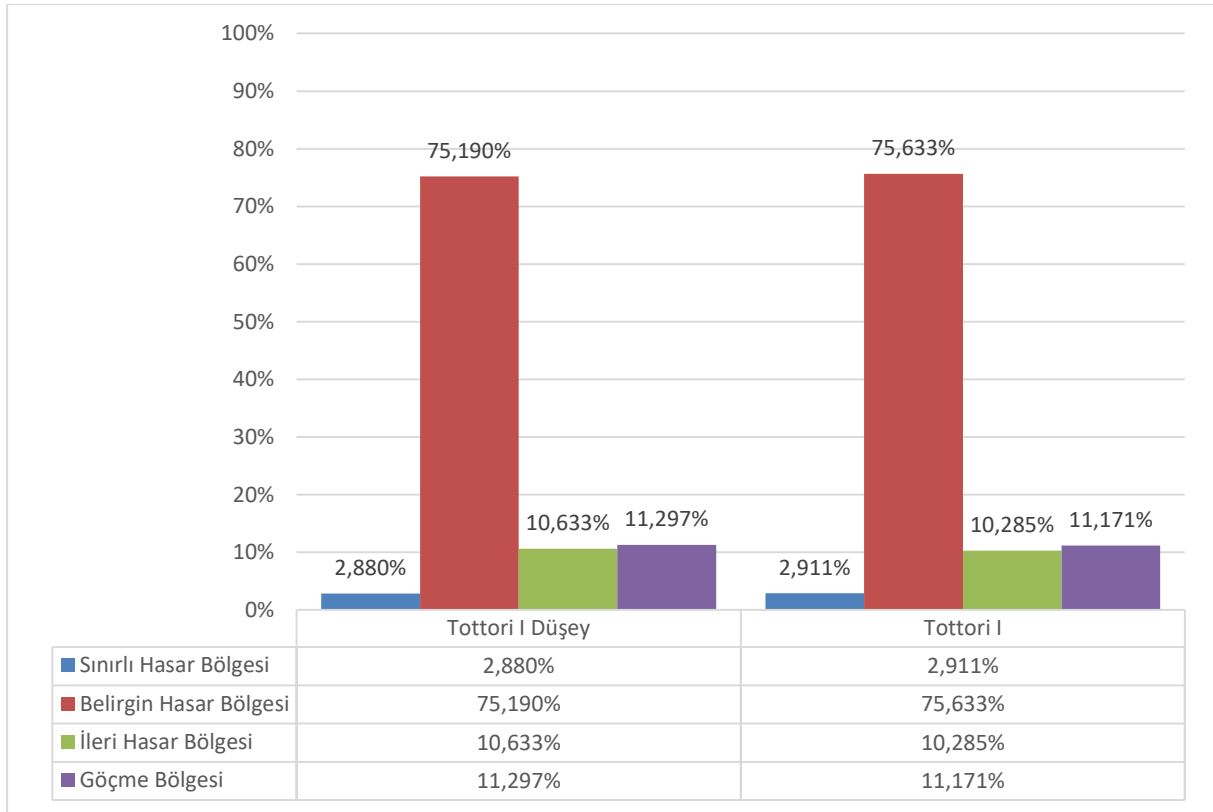
Tottori I depremine ait diğer ivme kayıtları daha önceden kullanılan ivme kayıtlarıdır. Çizelge 6.11'de yapılacak analizde kullanılacak ölçeklendirilmiş ivme kayıtlarına ait bazı değerler verilmiştir

**Çizelge 6.11:** Ölçeklendirilmiş Tottori I depremine ait parametreler.

Deprem	Maksimum İvme (g)	Maksimum Hız (m/s)	Maksimum Yer Değiştirme (m)	Arias Şiddeti
Tottori I	0.84858	0.44691	0.66064	9.46601
	0.90268	0.48258	0.46461	7.18881
	0.97041	0.40779	0.20531	6.31518

Tottori I depreminin düşey doğrultudaki bileşeni için maksimum ivme değerinin, diğer bileşenlere göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Ancak Arias Şiddeti diğer bileşenlere göre daha küçük bir değer almıştır.

Tottori I depreminin daha çok hasara neden olan 90 derece döndürülmüş durumu için karşılaştırma yapılacaktır. Şekil 6.30'da kirişler için düşey deprem etkisinin göz önüne alındığı durum ve daha önceden yaptığımız analiz sonuçları için analiz sonuçları yan yana verilmiştir.



**Şekil 6.29:** Tottori I depremi için düşey deprem etkisi altında kiriş hasar bölgelerinin karşılaştırılması.

Şekil 6.30 incelendiğinde, düşey deprem etkilerinin hesaba katıldığı durum için İleri Hasar ve Göçme Bölgelerindeki eleman sayılarında artış olduğu görülmektedir. Göçme Bölgesinde bulunan kiriş oranı %11.171 iken, düşey deprem yükünün de sisteme etkilendiği durumda bu oran 11.297%'ye yükselmiştir.

**Çizelge 6.12:** Düşey deprem etkisi altında eleman hasar bölgelerinin karşılaştırılması.

Yapı Elemanı	Deprem	Sınırlı Hasar Bölgesi		Belirgin Hasar Bölgesi		İler Hasar Bölgesi		Göçme Bölgesi	
		Eleman Sayısı	Eleman Oranı	Eleman Sayısı	Eleman Oranı	Eleman Sayısı	Eleman Oranı	Eleman Sayısı	Eleman Oranı
Kiriş	Tottori I	92	2.911%	2390	75.633%	325	10.285%	353	11.171%
	Tottori I Düşey	91	2.880%	2376	75.190%	336	10.633%	357	11.297%
Kolon	Tottori I	1125	96.983%	35	3.017%	0	0.000%	0	0.000%
	Tottori I Düşey	1125	96.983%	35	3.017%	0	0.000%	0	0.000%
Perde	Tottori I	715	99.306%	5	0.694%	0	0.000%	0	0.000%
	Tottori I Düşey	715	99.306%	5	0.694%	0	0.000%	0	0.000%

Çizelge 6.12’de bütün elemanlar için analiz sonuçları verilmiştir. Kolon ve perdelerde, düşey deprem etkisi altında, analiz sonuçlarında bir değişikli gözlenmemiştir.

TBDY 2018 Bölüm 4.4.3’te düşey deprem etkisi ile ilgili bilgi verilmektedir. Düşey deprem hesabı yapılmasını gerektirecek elemanlar, incelediğimiz mevcut yapı sistemde bulunmamaktadır. Analiz sonuçları incelendiğinde, düşey deprem etkisinin, mevcut yapı sistemimizde ve seçili deprem için performans analizi sonuçlarında bir değişikliğe neden olmadığı görülmektedir.

#### **6.6.6 Bina performans düzeylerinin belirlenmesi**

Mevcut binaya ait yapılmış olan zaman tanım alanında doğrusal olmayan performans değerlendirmesi sonucunda yapı için performans seviyesi olarak,

- Tüm analiz sonuçlarına bakıldığında Göçme Bölgesine geçen kirişlerin bulunduğu ve kirişlerin en fazla 20%’sinin göçme bölgesine geçtiği,
- Tüm analiz sonuçlarına bakıldığında kolon ve perde elemanlarının tümünün Sınırlı Hasar Bölgesi, Belirgin Hasar Bölgesi ve İleri Hasar Bölgesinde olduğu,
- Herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinden birden Belirgin Hasar Sınırı aşılmış olan düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, mevcut kattaki tüm düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının 30% değerini aşmadığı,
- Kesme kuvveti etkisi altında gevrek olarak hasar gören eleman olmadığı,

görülmektedir. Bu hususlar göz önüne alındığında, mevcut bina taşıyıcı sisteminin 50 yılda aşılma olasılığı 2% olan, göz önüne alınan en büyük deprem yer hareketi altında, tüm depremler ve 90° döndürülmüş durumları için Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi’nde olduğu görülmektedir.



## 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 7.1 Sonuçların Değerlendirilmesi

Bu tez çalışmasında, DBYBHY 2007 kapsamında tasarlanmış, 40 katlı betonarme bir yapının, TBDY 2018 Bölüm 15'te belirlenen hususlara uyularak deprem performansı, zaman tanım alanında yapılan doğrusal olmayan analiz ile belirlenmiştir. Mevcut bina için normal performans hedefi, 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan depremde Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyidir. Yapılan tez çalışmasında normal performans hedefinin tüm deprem kayıtları için yakalandığı görülmektedir. İleri performans hedefi olarak belirlenen Kontrollü Hasar Performans Düzeyi ise sağlanamamıştır. Depremlere ait performans düzeyleri Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Tez kapsamında, yapı sistemlerinin doğrusal olmayan davranışı ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri hakkında bilgi verilmiştir. Tez kapsamında kullanılacak olan Zaman-Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi etraflıca irdelenmiştir. Doğrusal olmayan davranışın modellenmesi için kullanılacak olan, yayılı plastik davranış ve yığılı plastik davranış incelenmiştir. Tez kapsamında yapılan modellemede yığılı plastik davranışa daha geniş yer verilmiştir. Tez kapsamında performans kavramı incelenmiştir. TBDY 2018 Bölüm 15'te verilen, Bilgi Düzeyleri, Kesit Hasar Bölgeleri ve Performans Düzeyleri incelenmiştir.

İlk olarak, mevcut 40 katlı binaya ait kalıp planları incelenmiş ve kalıp planlarına yeterince uyularak yapı modellemesi SAP2000 programı üzerinden yapılmıştır. Modelleme sırasında doğrusal olmayan malzeme davranışları programa tanımlanmış ve çatlamış kesit rijitlikleri kullanılmıştır. Yapılan statik analiz sonucunda, atanacak plastik mafsallara ait değerler elde edilmiştir.

Doğrusal olmayan çözümleme sırasında kullanılacak olan, M3 plastik mafsalları kirişlerin her iki ucuna ve P-M2-M3 mafsalları kolon ve perdelerin her iki ucuna atanmıştır. Perdelerine atanan P-M2-M3 mafsalları yayılı plastik davranış kapsamında "Section Designer" üzerinden atanan lif elemanlar baz alınarak tanımlanmıştır.

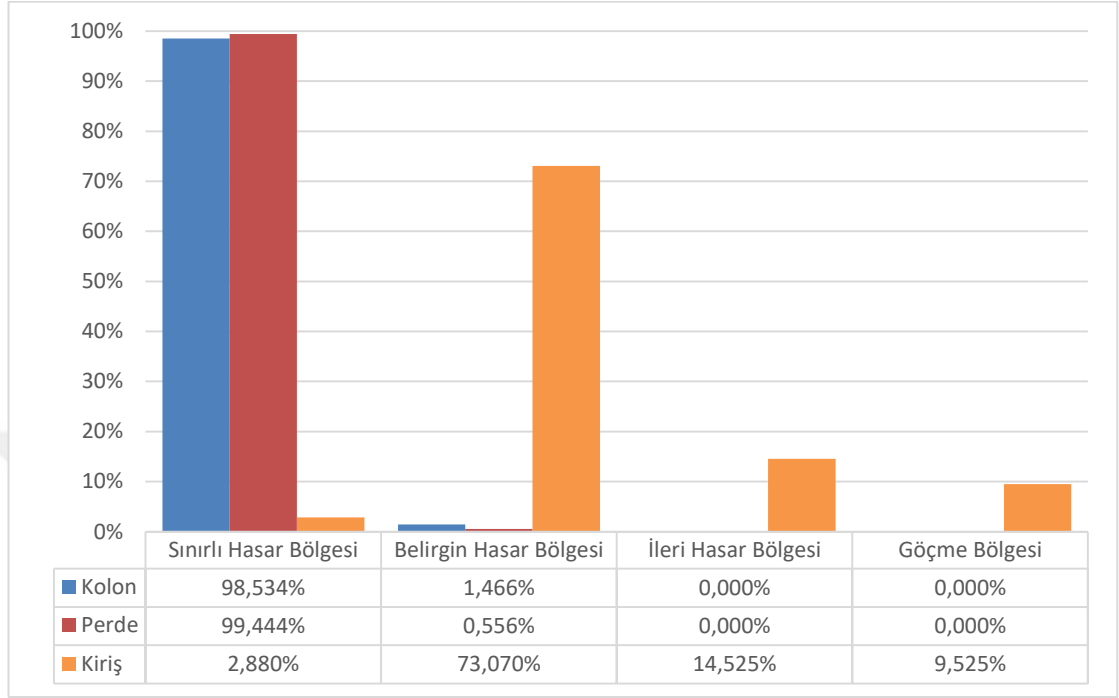
Tez kapsamında kullanılacak olan deprem kayıtları, Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER) veri tabanı üzerinden alınarak, AFAD sitesi üzerinden mevcut yapının konumuna ait değerler baz alınarak ölçeklendirilmiştir. Yönetmelik gereği 11 deprem kaydı takımı için, her deprem kayıt takımı 90 derece çevrilerek tekrar etkilerek toplamda 22 durum oluşturulmuştur. Bu durumların incelenerek aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Yapı sistemine ait kolonların büyük çoğunluğunda plastik şekildeğiştirmeler ve plastik dönmeler meydana gelmemiştir. Plastik şekildeğiştirmelerin ve plastik dönmelerin olduğu kolonlar, binanın alt katlarında ve özellikle de zemin katında bulunmaktadır. Kolonlara ait Hasar Bölgeleri incelendiğinde, en büyük hasarların zemin kat kolonlarında meydana geldiği görülmektedir. Kolon boyutlarının değiştiği katlarda da kolonlarda plastik şekildeğiştirmeler ve plastik dönmeler gözlenmiştir. Perde elemanlara yakın bulunan kolonlarda plastik şekildeğiştirmeler ve plastik dönmeler görülmektedir. Plastik şekildeğiştirmelerin ve plastik dönmelerin oluşmadığı kolonların da Sınırlı Hasar Bölgesinde olduğu kabulü yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda kolonlara ait elde edilen en büyük hasar durumu, Chi-Chi depreminde meydana gelmiştir. Chi-Chi depremine ait veriler incelendiğinde, İleri Hasar Bölgesine Geçen kolon oranının %1.552 olduğu görülmektedir.

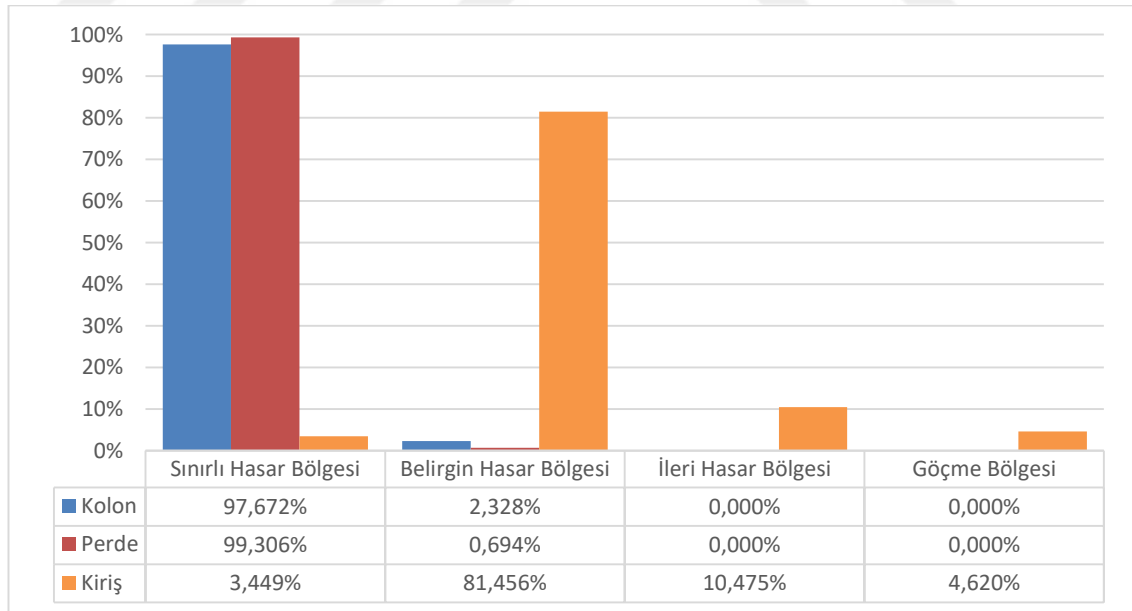
Yapı sistemine ait perde elemanlarda neredeyse hiç plastik davranış gözlenmemiştir. Bu durumda kolonlar ve perdeler için hasar durumlarının Sınırlı Hasar Bölgesinde toplandığı görülmektedir. Perdeler için, en büyük hasar durumunun 90 derece döndürülmüş Loma II ve Tottori I depremleri için %0.278 İleri Hasar Bölgesine geçen perde oranı ile ortaya çıktığı görülmektedir.

En fazla hasar yapı sistemine ait kirişlerde meydana gelmiştir. Zayıf kiriş-kuvvetli kolon prensibi doğrultusunda beklediğimiz ve istenilen bir durumdur. Kirişlerde meydana gelen hasarların Belirgin Hasar Bölgesinde toplandığı görülmektedir. Tüm depremler için Göçme Bölgesinde kirişler bulunmaktadır. TBDY 2018 Bölüm 15.8.5'te belirlenmiş olan Mevcut Binalarda Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi şartlarına bakıldığında, kirişlerin en fazla %20'sinin Göçme Bölgesine geçebileceği şartı verilmektedir. Yapıdaki kirişlerin %18.892'sinin Göçme Bölgesine geçtiği Chi-Chi depremi, tüm depremler arasında en elverişsiz olanıdır. En iyi durum ise %4.241 ile Landers depremine aittir.

Aynı deprem kaydı için, ivme değerlerinin yön değiştirilerek verildiği durumlarda, hasar bölgelerindeki eleman sayılarında değişimler yaşansa da performans düzeyleri açısından bir değişiklik ortaya çıkmamıştır.



**Şekil 7.1:** Düzce depremi yapı elemanları hasar bölgeleri dağılımı.



**Şekil 7.2:** Düzce depremi 90° derece döndürülmüş durum için yapı elemanları hasar bölgeleri dağılımı.

Şekil 7.1 ve Şekil 7.2’de verilmiş olan Düzce depremine ait veriler incelendiğinde, Kolon ve perdelerin, Belirgin Hasar Bölgesine geçme oranlarının çok düşük olduğu

gözlenmektedir. İleri Hasar Bölgesi ve Göçme Bölgesinde kolon ve perde elemanlar bulunmamaktadır. Kirişlerin ise çoğunlukla Belirgin Hasar Bölgesinde olduğu görülmektedir. İleri Hasar Bölgesi ve Göçme Bölgesine geçen kirişler bulunmaktadır.

**Çizelge 7.1:** Yapı performans düzeyleri.

Deprem	Normal Performans Hedefi	Belirlenen Performans Düzeyi
Tabas		Göçmenin Önlenmesi
Landers		Göçmenin Önlenmesi
Düzce		Göçmenin Önlenmesi
Loma I		Göçmenin Önlenmesi
Loma II		Göçmenin Önlenmesi
Iwate	Göçmenin Önlenmesi	Göçmenin Önlenmesi
Kocaeli I		Göçmenin Önlenmesi
Kocaeli II		Göçmenin Önlenmesi
Tottori I		Göçmenin Önlenmesi
Tottori II		Göçmenin Önlenmesi
Chi-Chi		Göçmenin Önlenmesi

Çizelge 7.1 incelendiğinde, DD-1 deprem yer hareketi düzeyi ile ölçeklendirilmiş deprem durumlarının hepsi için, mevcut yapının Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyinde olduğu görülmektedir. TBDY 2018 Bölüm 15.8.5 (c)'de, Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi için;

Binanın mevcut durumda kullanılması can güvenliği bakımından sakıncalıdır.

denilmektedir. Bu durumda İstanbul, Kadıköy mevkiinde, DBYBHY 2007 kapsamında tasarlanmış mevcut yapı için, TBDY 2018'de verilen normal performans hedeflerine ulaşıldığı ancak, 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan bir depreme maruz kalması sonucunda binanın kullanılmasının sakıncalı olduğu anlaşılmaktadır. İleri Performans Hedefi olarak belirlenen, Kontrollü Hasar Performans Düzeyine ulaşılamamıştır.

## 7.2 Öneriler

Bu tez çalışmasında, doğrusal olmayan davranışın modellenmesinde plastik mafsallardan yararlanılmıştır. Kolonlara ait plastik mafsal özellikleri tanımlanırken her 5 kat için eksenel kuvvetler tanımlanmış ve iki adet açı değeri kullanılmıştır. Daha gerçekçi plastik mafsal davranışlarının elde edilmesi için, eksenel kuvvet ve açı



değerleri arttırılabilir. Perde elemanlar ise yayılı plastik davranış ile modellenmiştir. “Section Designer” ile, perde kesitlerine ait lif sayıları belirlenmiştir. Bu lif sayıları da arttırılarak daha gerçekçi plastik mafsal davranışı modellenebilir. Ayrıca yayılı plastik davranışın diğer elemanlarda kullanılması da daha gerçekçi sonuçlara ulaşmamızı sağlayabilir. Plastik mafsal atamaları yapısal elemanların iki ucu için yapılmıştır, açıklık ortasına da atama yapılarak daha gerçekçi modelleme yapılabilir.

Yukarıda belirtilen bütün öneriler, model analiz süresini büyük ölçüde uzatmakta ve analiz sonuçlarının saklanması için gerekli belleği arttırmaktadır. Hesaplama ve depolama kapasitesi daha yüksek bilgisayarlar ile verilen önerilerin uygulanması daha kolay yapılabilir. Ancak kişisel kullanım amacıyla üretilen bilgisayarlar için bu önerilerin gerçekleştirilmesi kolay değildir.

Bu tez çalışmasında değerlendirilen yapı için Normal Performans Düzeyi, Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi olmakla beraber, TBDY 2018 bu performans düzeyindeki binanın can güvenliği bakımından sakıncalı olduğunu söylemektedir. Mevcut yapı üzerinde gerekli güçlendirme çalışmaları yapılarak, binanın performans seviyesinin İleri Performans Hedefine ulaşması sağlanabilir.

DBYBHY 2007 kapsamında tasarlanmış bu bina, TBDY 2018’de deprem etkisi altındaki mevcut bina sistemlerinin değerlendirilmesi için verilen kurallar doğrultusunda incelendiğinde, normal performans hedefini sağladığı görülmektedir. Ancak DBYBHY 2007 kapsamında tasarlanmış binaların hepsi için bu durumun söz konusu olduğu söylenemez. TBDY 2018 ile yüksek bina taşıyıcı sistemlerinin tasarımı konusunda birçok değişiklik gelmiştir. Zaman-tanım alanında doğrusal olmayan analiz için istenilen en az deprem kaydı takım sayısı, DBYBHY 2007 kapsamında 3 iken, TBDY 2018’de bu sayı 11’e çıkarılmıştır. Özellikle son yıllarda, İstanbul, İzmir ve Ankara’nın başını çektiği illerde yüksek bina sayılarında hızlı bir artış yaşanmaktadır. DBYBHY 2007’ye göre tasarlanmış birçok yüksek bina bulunmaktadır. Bu binaların TBDY 2018 kapsamında değerlendirilerek, yeni deprem yönetmeliği standartlarında incelenmesi önerilmektedir.



## KAYNAKLAR

- [1] **Özer, E.** (2009). Yapı Sistemlerinin Lineer Olmayan Hesabı Ders Notları, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [2] **Yüksel, İ.** (2005). *Kocaeli Deprem Sempozyumu*, İMO
- [3] **Akkaya, Y., Bayramov, F., Taşdemir, M.A.** (2003). Betonun Kırılma Mekanikliği: Tasarımda Kullanılan Mekanik Özellikler İle Kırılma Parametreleri Arasındaki Bağlılıklar, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, Sayı 426 - 2003/4, 70-75, 2003
- [4] **Özmen, H. B., İnel, M., Bilgin, H.** (2007). Betonarme Elemanların Doğrusal Ötesi Davranışlarının Modellenmesi, *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*. 16-20 Ekim 2007, İstanbul
- [5] **TBDY**, (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, *Çevre ve Şehircilik Bakanlığı*, Ankara
- [6] **Chopra, A. K.** (2007). *Dynamics of Structures, Theory and Applications to Earthquake Engineering*, University of California at Berkeley, Prentice Hall.
- [7] **Celep, Z.** (2007). Betonarme Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış: Plastik Mafsallı Kabulü ve Çözümleme, *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*. 16-20 Ekim 2007, İstanbul
- [8] **Özmen, G.** (2004). “Çok Katlı Yapılarda Aşırı Burulma Düzensizliği”, İMO Teknik Dergi, 2004, 3131-3144, Yazı 210
- [9] **Fahjan, Y., Kara, F. İ., Mert, A.** (2017). Selection and Scaling Time History Records for Performance-Based Design. In Fahjan, Y., Kremmyda, G., Plevris, V., *Performance-based Seismic Design Of Concrete Structures And Infrastructures* (pp. 1- 35), USA
- [10] **Zengin, E.** (2016). *A Proposed Ground Motion Selection And Scaling Procedure For nonlinear Response History Analysis*. (Doktora Tezi), Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi Ve Deprem Araştırma Enstitüsü, İstanbul
- [11] **Celep, Z.** (2014). *Yapı Dinamiği*, İstanbul
- [12] **Özdemir, Z., Fahjan, Y. M.** (2007). 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] **Ulamış, K.** (2019). Ankara Çevresi İçin Arias Şiddetinin İncelenmesi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 25(6), 768-774. Doi:10.5505.2018.07992
- [14] **SAP2000, v18.2.** [Computer Software] Structural Analysis Program, Computers and Structures Inc., Berkeley, California
- [15] **DBYBHY.** (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık İmar ve İskan Bakanlığı, Ankara

- [16] **SeismoMatch.** [Computer Software] Seismosoft, Earthquake Engineering Software Solutions, Messina, Italy.
- [17] **PEER.** Peer Ground Motion Database, Pacific Earthquake Engineering Research Center.
- [18] **Url-1** <<https://tdth.afad.gov.tr>>, 22.10.2019
- [19] **Url-2** <<https://ngawest2.berkeley.edu/>>, 22.10.2019



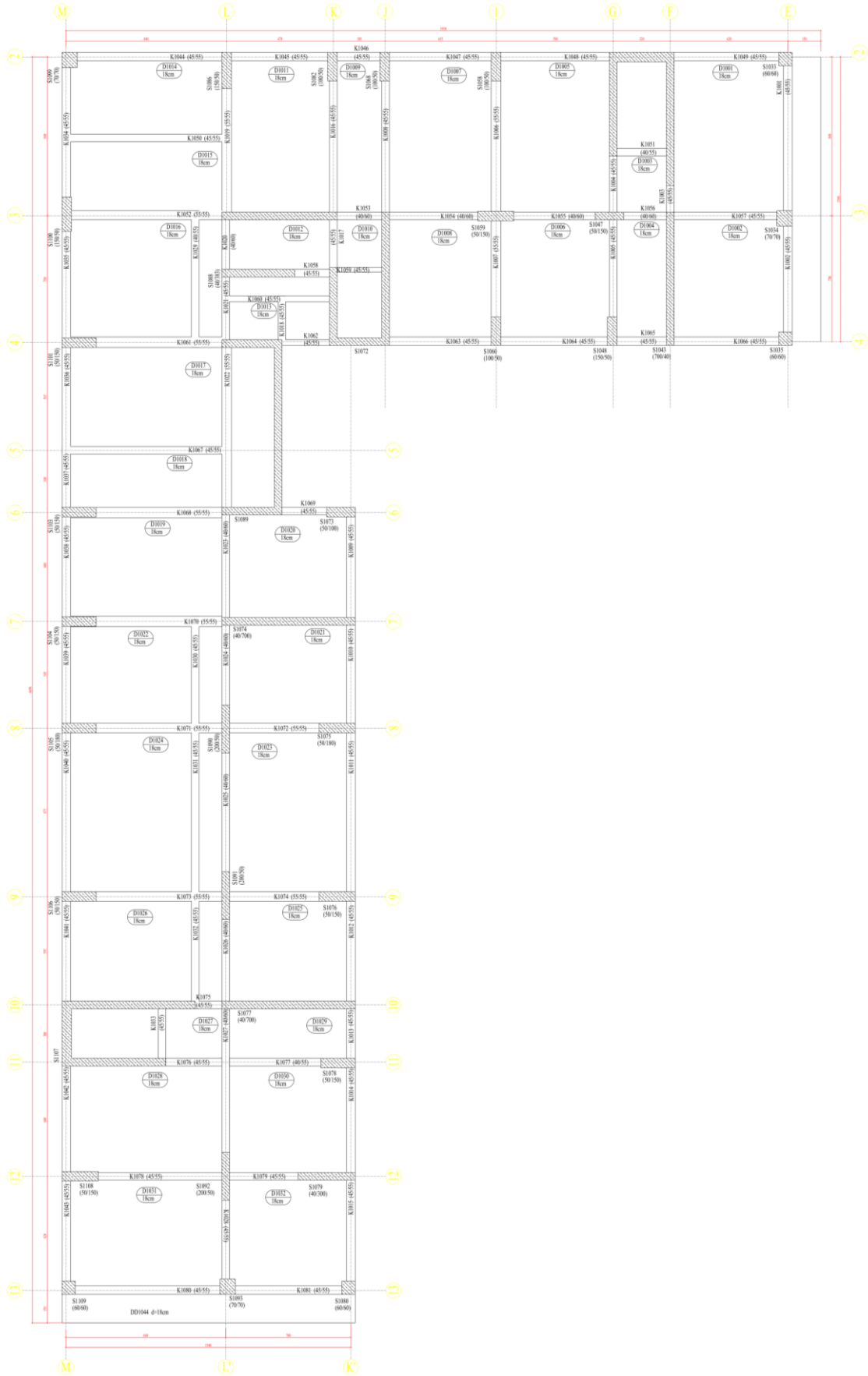
## **EKLER**

**EK A:** Kat Kalıp Planları

**EK B:** Ölçeklendirilmiş Deprem Kayıtları



# EKA

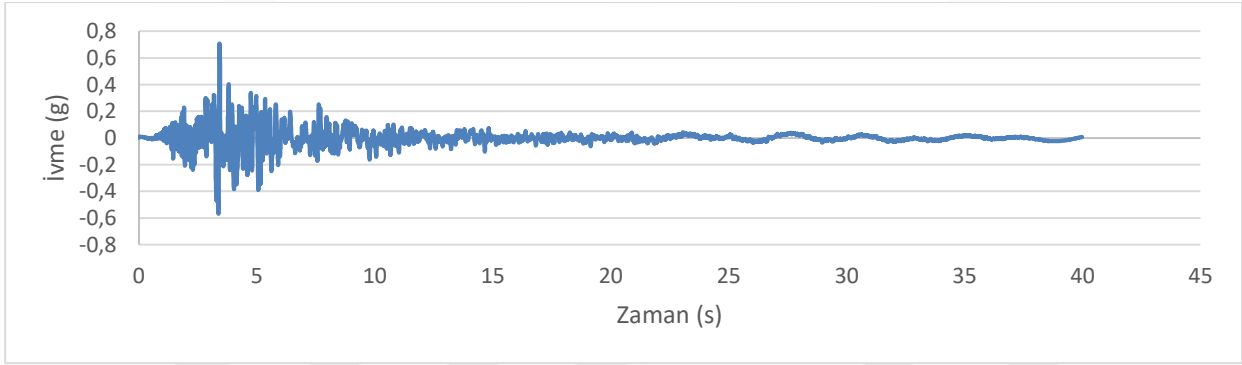
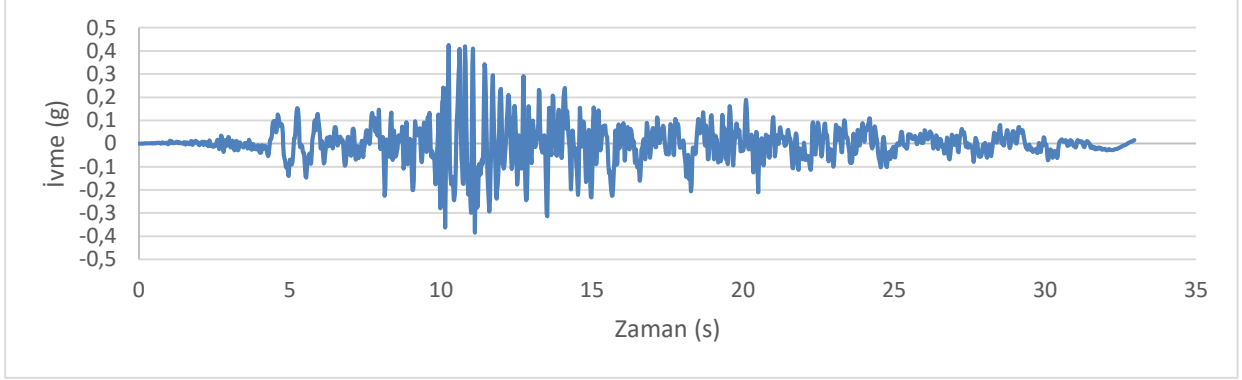


Şekil A.1: +26.8 kotu kat planı.

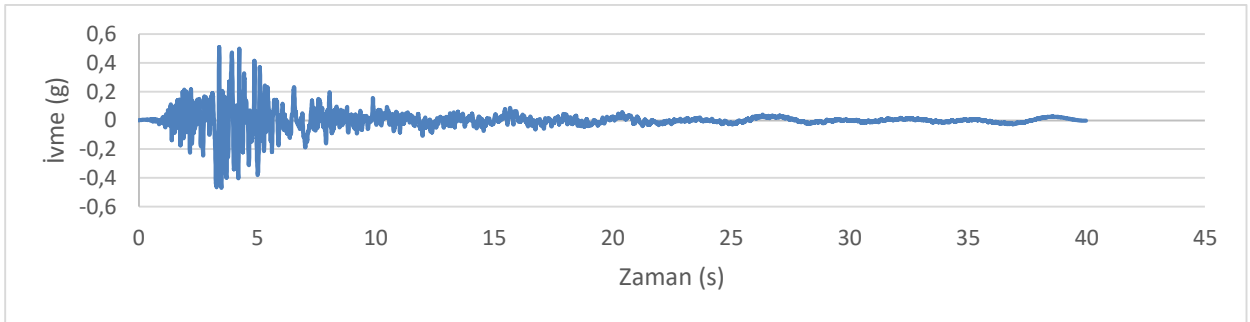
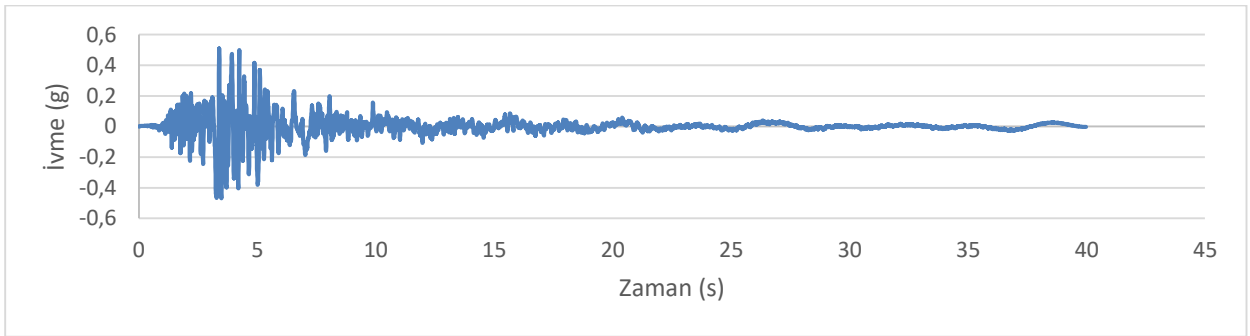


Şekil A.2: +53.6 kotu kat planı.

## EK B

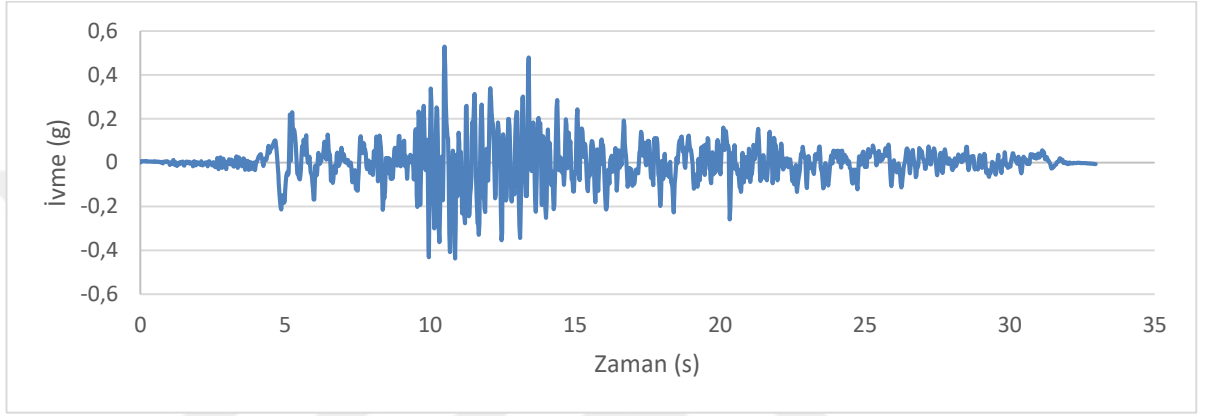
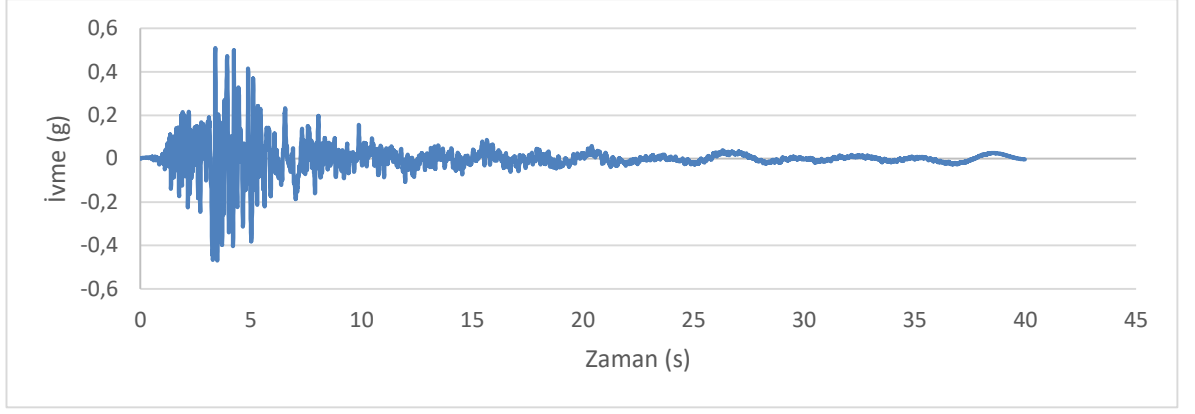


**Şekil B.1:** Tabas depremi ölçeklendirilmiş bileşenleri.

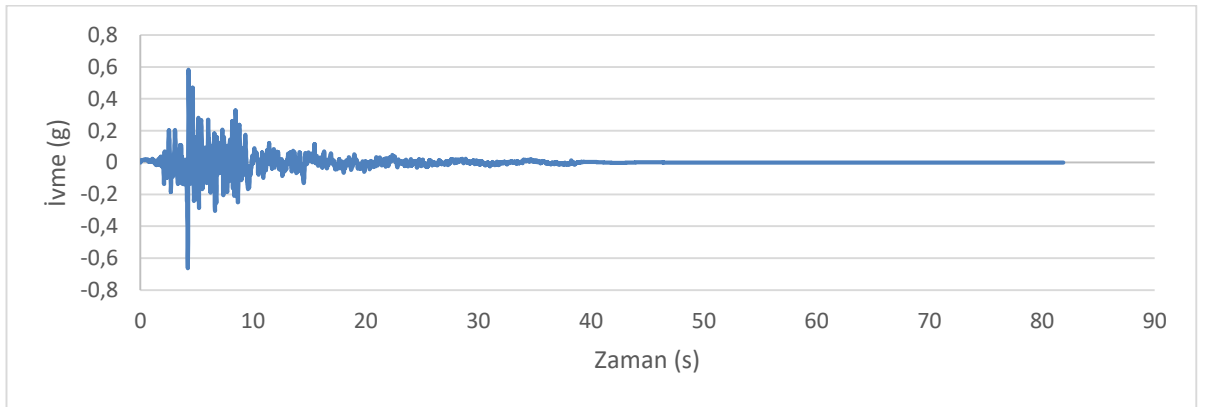
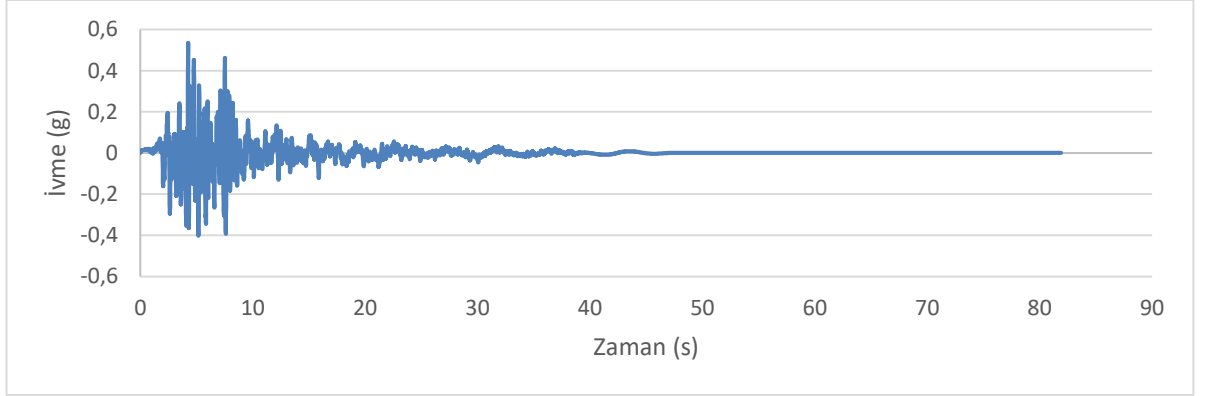


**Şekil B.2:** Landers depremi ölçeklendirilmiş bileşenleri

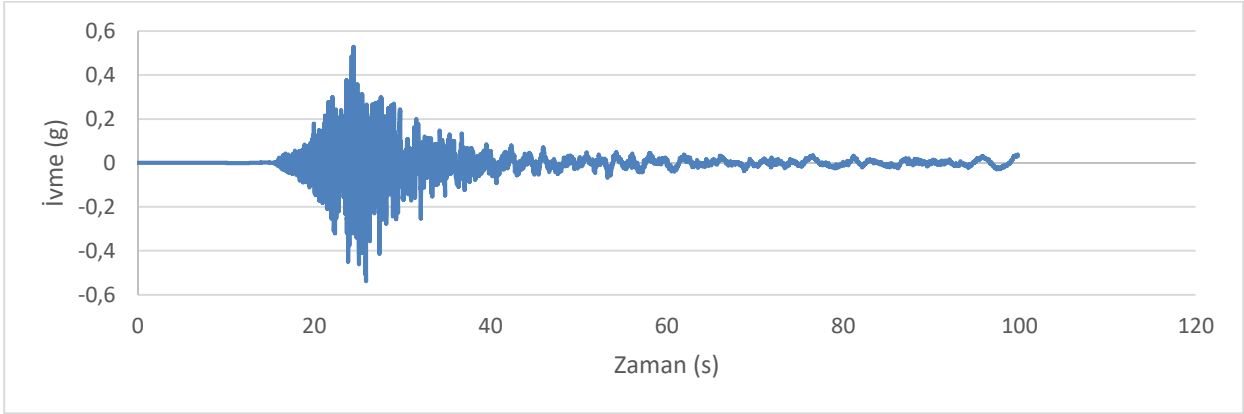
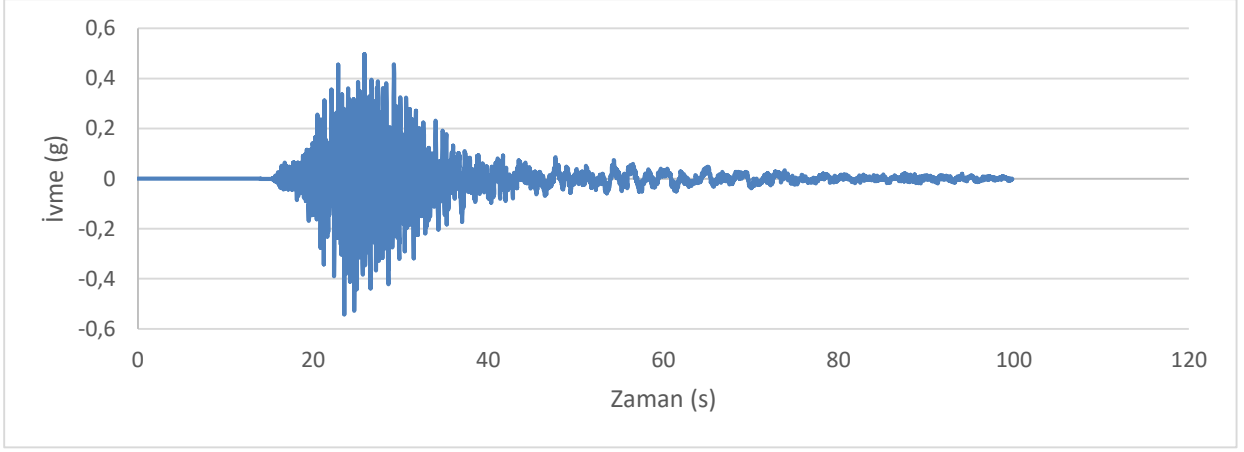




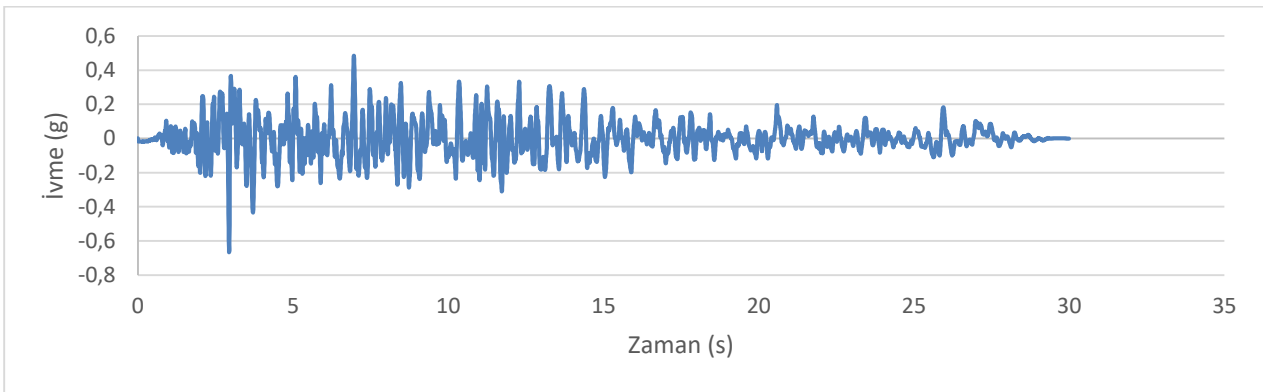
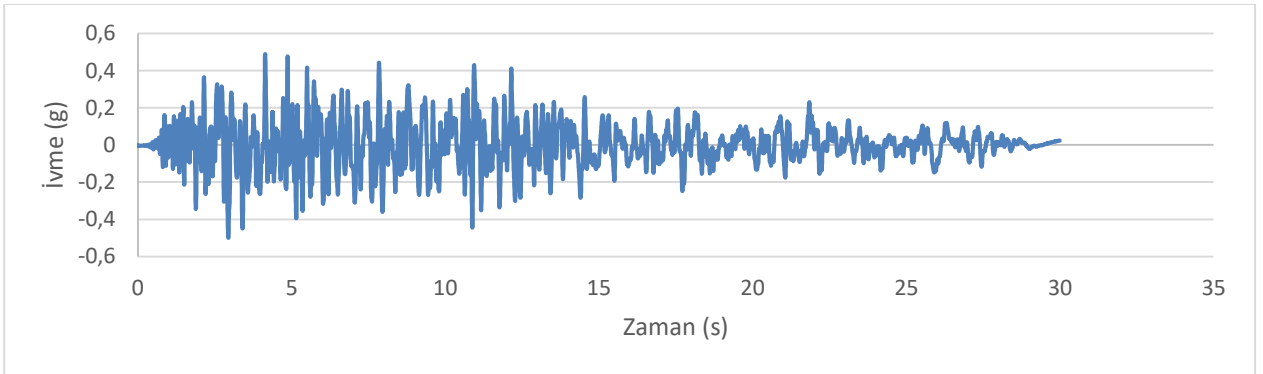
**Şekil B.3:** Loma I depremi ölçeklendirilmiş bileşenleri.



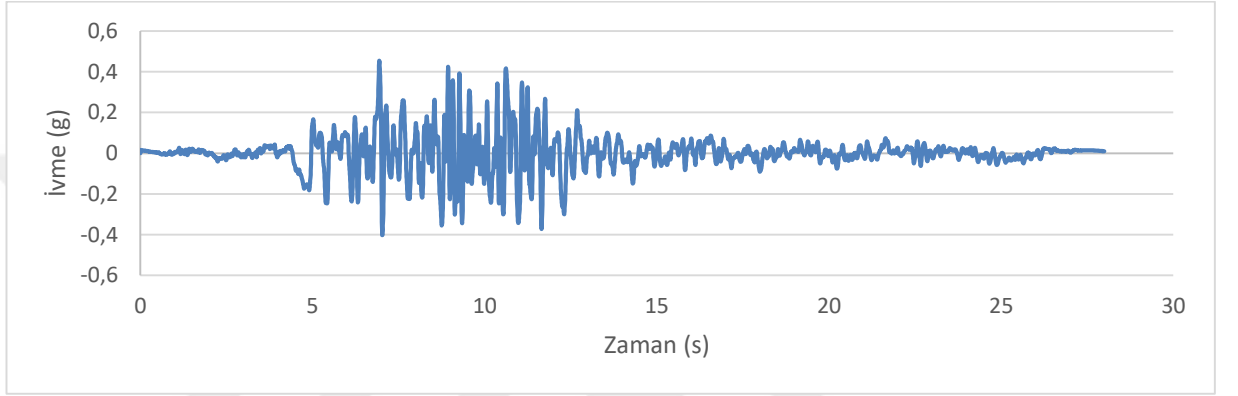
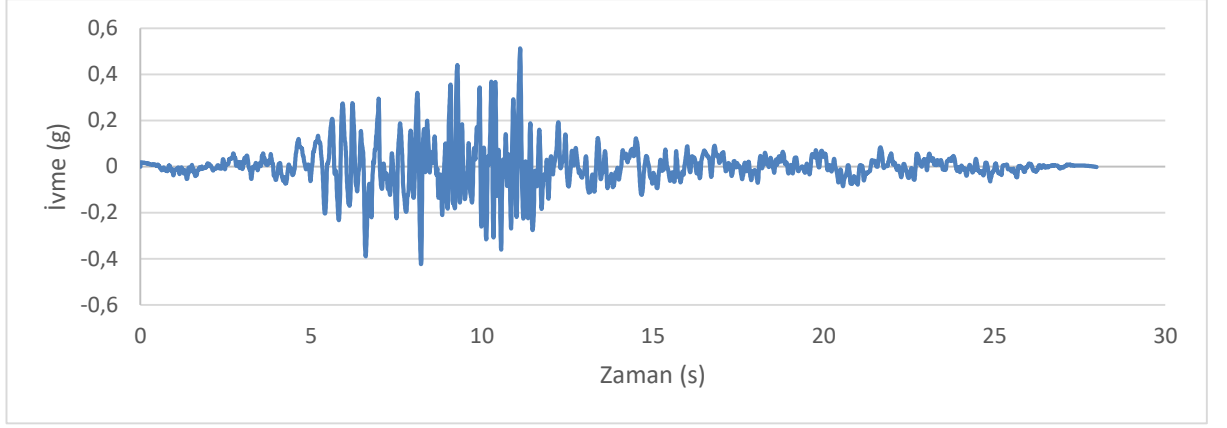
**Şekil B.4:** Loma II depremi ölçeklendirilmiş bileşenleri.



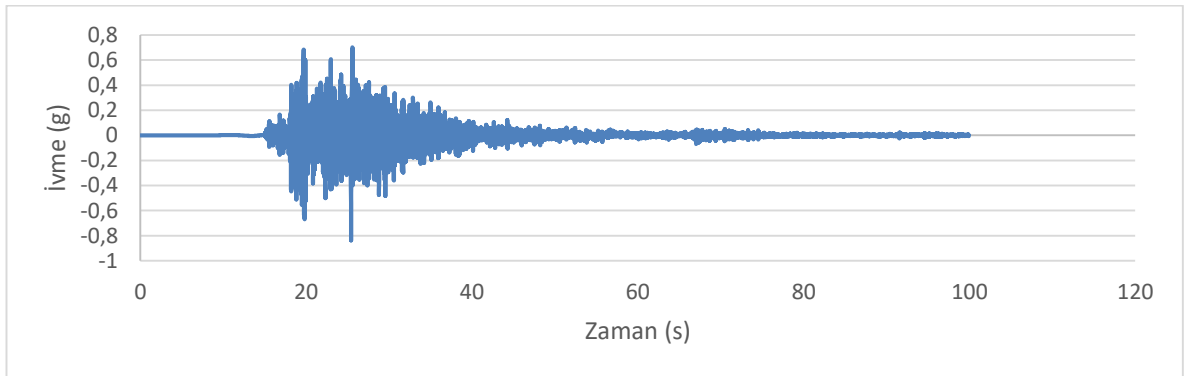
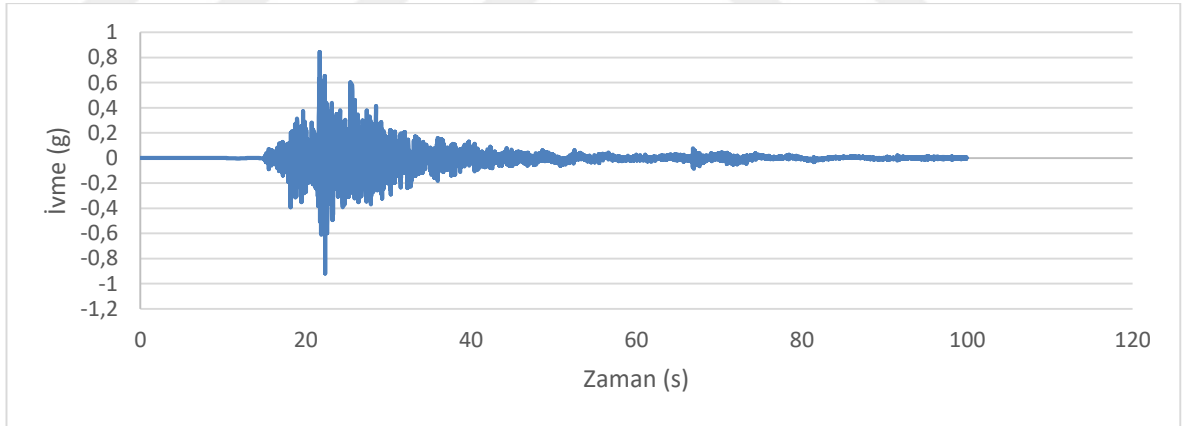
**Şekil B.5:** Iwate depremi ölçeklendirilmiş bileşenleri.



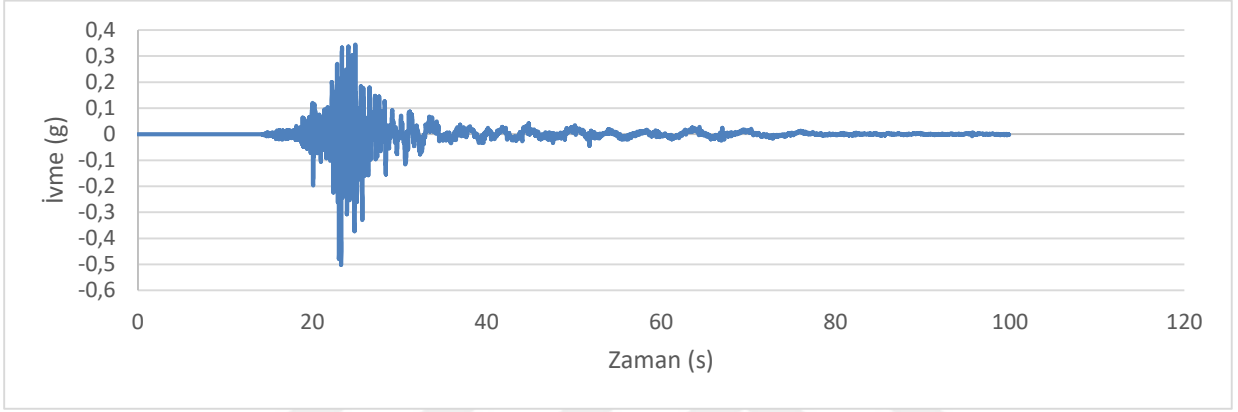
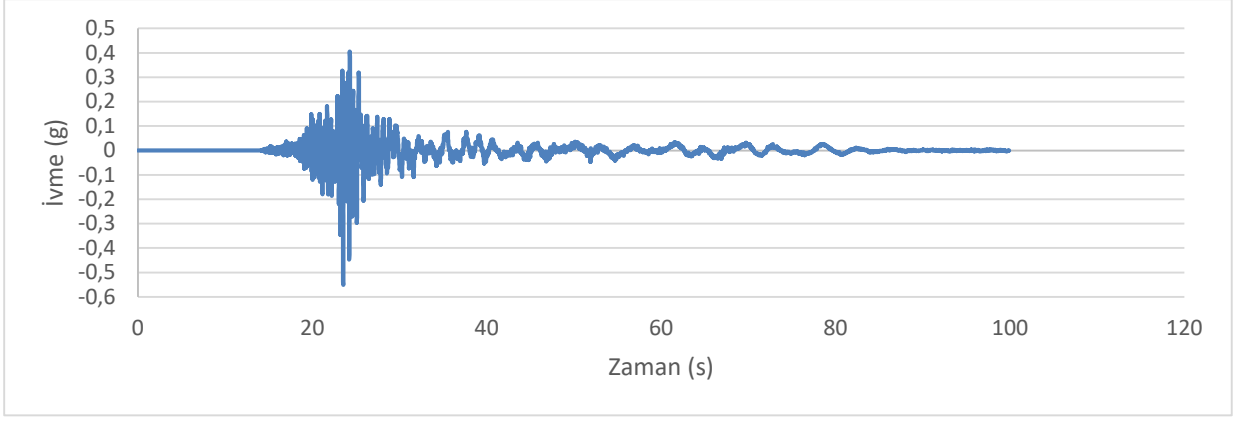
**Şekil B.6:** Kocaeli I depremi ölçeklendirilmiş bileşenleri.



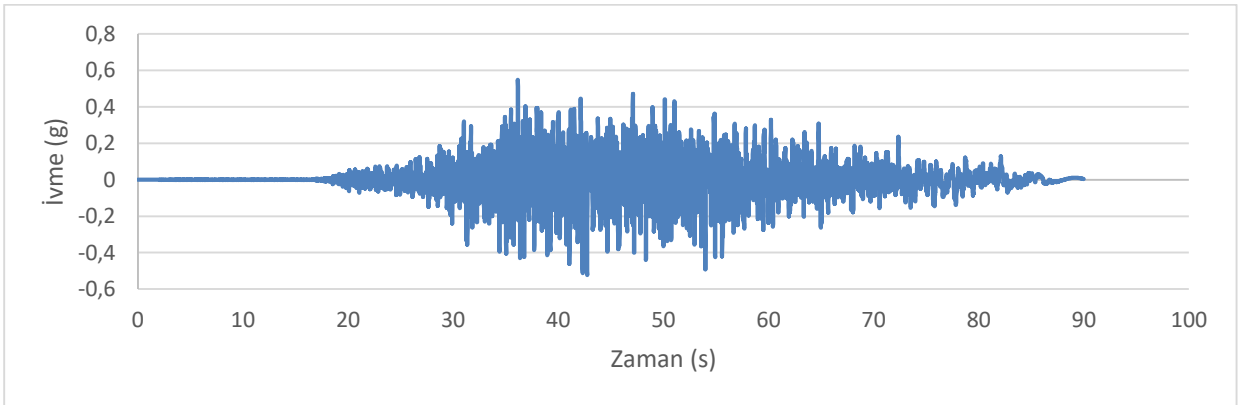
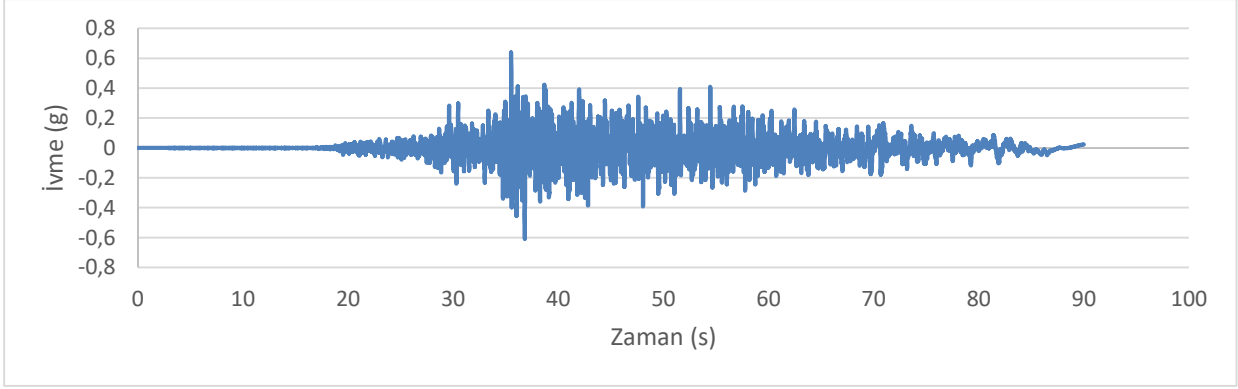
**Şekil B.7:** Kocaeli II depremi ölçeklendirilmiş bileşenleri.



**Şekil B.8:** Tottori I depremi ölçeklendirilmiş bileşenleri



**Şekil B.9:** Tottori II depremi ölçeklendirilmiş bileşenleri.



**Şekil B.9:** Chi-Chi depremi ölçeklendirilmiş bileşenleri.

## ÖZGEÇMİŞ

**Ad-Soyad** : Taner Aksoylu  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 22.08.1992 - Eskişehir  
**E-posta** : taner.aksoylu@gmail.com

### Eğitim:

- **Lisans** : 2016, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği