

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**PREFABRİK BETONARME ENDÜSTRİ YAPISININ ZAMAN TANIM  
ALANINDA DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZ YÖNTEMİ İLE  
DEPREM PERFORMANSININ BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Ömer Canbey CÜCEMEN**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Yapı Mühendisliği Programı**

**ARALIK 2022**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**PREFABRİK BETONARME ENDÜSTRİ YAPISININ ZAMAN TANIM  
ALANINDA DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZ YÖNTEMİ İLE  
DEPREM PERFORMANSININ BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Ömer Canbey CÜCEMEN  
(501191048)**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Yapı Mühendisliği Programı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Konuralp GİRGİN**

**ARALIK 2022**



İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 501191048 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Ömer Canbey CÜCEMEN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “PREFABRİK BETONARME ENDÜSTRİ YAPISININ ZAMAN TANIM ALANINDA DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZ YÖNTEMİ İLE DEPREM PERFORMANSININ BELİRLENMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :**      **Prof. Dr. Konuralp GİRGİN** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :**      **Prof. Dr. Kutlu DARILMAZ** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Prof. Dr. Bilge DORAN** .....  
Yıldız Teknik Üniversitesi

**Teslim Tarihi**      : 30 Kasım 2022  
**Savunma Tarihi**    : 13 Aralık 2022





*Sevgili Aileme,*



## ÖNSÖZ

Yüksek lisans çalışması kapsamında yazılmış olan bu tezde, mevcut bir yapının doğrusal olmayan analizler yardımıyla deprem performansı belirlenmiştir.

Eğitim ve meslek hayatım boyunca yardımlarını esirgemeyip, her zaman yol gösterip, tüm bilgi birikimini ve deneyimlerini aktarabilmek için elinden geleni yapan hocam Sayın Prof. Dr. Konuralp GİRGIN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca bugüne kadar eğitimimde emeği geçen tüm hocalarıma da teşekkür ederim.

Hayatım boyunca karşılaştığım tüm zorluklarda her zaman arkamda olup, verdiğim her kararda bana ellerinden geldikçe destek veren başta babam Celal CÜCEMEN ve annem Döndü CÜCEMEN'e, ayrıca beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan kardeşim Ayyüce CÜCEMEN'e saygı ve sevgilerimi sunarım.

Ayrıca bu tezi hazırlamam sırasında ellerinden geldikçe bana yardım eden ve desteklerini hep arkamda hissettiğim başta Büşra BOYACI, İbrahim KÖRÜKCÜ, Damla ERDİL, Merve Gül ARSLAN ve Tolga ÇINAR olmak üzere tüm arkadaşlarıma da teşekkür ederim.

Aralık 2022

Ömer Canbey Cücemen  
İnşaat Mühendisi



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

|                                                                                            |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| ÖNSÖZ.....                                                                                 | vii       |
| İÇİNDEKİLER .....                                                                          | ix        |
| KISALTMALAR .....                                                                          | xi        |
| SEMBOLLER .....                                                                            | xiii      |
| ÇİZELGE LİSTESİ.....                                                                       | xv        |
| ŞEKİL LİSTESİ.....                                                                         | xvii      |
| ÖZET.....                                                                                  | xix       |
| SUMMARY .....                                                                              | xxi       |
| <b>1. GİRİŞ.....</b>                                                                       | <b>1</b>  |
| 1.1 Çalışmanın Konusu .....                                                                | 1         |
| 1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı .....                                                      | 2         |
| <b>2. YAPI SİSTEMLERİNİN DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞI .....</b>                              | <b>3</b>  |
| 2.1 Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemlerine Giriş.....                                         | 3         |
| 2.2 Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmama Nedenleri.....                                      | 3         |
| 2.3 Doğrusal Olmayan Davranış Modelleri .....                                              | 4         |
| 2.3.1 Plastik mafsallı hipotezi .....                                                      | 4         |
| 2.4 Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri .....                                                | 5         |
| 2.4.1 Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi .....                            | 6         |
| <b>3. MEVCUT YAPININ ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ .....</b>                                 | <b>7</b>  |
| 3.1 Mevcut Yapının Detaylı Özellikleri .....                                               | 7         |
| 3.1.1 Taşıyıcı sistemi .....                                                               | 7         |
| 3.1.2 Kesit boyutları ve donatı özellikleri.....                                           | 7         |
| 3.1.3 Malzeme özellikleri.....                                                             | 10        |
| 3.1.3.1 Beton mekanik özellikleri .....                                                    | 10        |
| 3.1.3.2 Donatı çeliği mekanik özellikleri .....                                            | 11        |
| 3.1.4 Yapının düşey yükleme durumu .....                                                   | 11        |
| 3.1.5 Zemin sınıfı .....                                                                   | 12        |
| 3.2 Mevcut Yapının TBDY 2018'e Göre Sınıflandırılması ve Özelliklerinin Belirlenmesi ..... | 12        |
| 3.2.1 Yapının genel özellikleri .....                                                      | 13        |
| 3.2.2 Yapının bina kullanım sınıfı ve bina önem katsayısının tayin edilmesi ...            | 13        |
| 3.2.3 Yapının deprem tasarım sınıfının tayin edilmesi .....                                | 14        |
| 3.2.4 Yapının bina yükseklik sınıfının tayin edilmesi .....                                | 15        |
| 3.2.5 TBDY 2018'e göre bina performans düzeyleri.....                                      | 16        |
| 3.2.5.1 Yapının bina performans hedefinin tayin edilmesi .....                             | 17        |
| <b>4. MEVCUT YAPININ DEPREM PERFORMANSININ BELİRLENMESİ....</b>                            | <b>19</b> |
| 4.1 Yapının Üç boyutlu Modelinin Oluşturulması.....                                        | 19        |
| 4.1.1 Modellemede uyulan esaslar .....                                                     | 20        |
| 4.1.2 Malzeme özelliklerinin tanımlanması .....                                            | 21        |
| 4.1.2.1 Sargılı ve sargısız beton .....                                                    | 21        |

|                                                                                      |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.1.2.2 Donatı çeliği .....                                                          | 24        |
| 4.1.3 Düşey yükleme durumunun tanımlanması .....                                     | 26        |
| 4.1.4 Etkin kesit rijitliğinin hesaplanması .....                                    | 27        |
| 4.1.5 Plastik mafsallık özelliklerinin tanımlanması .....                            | 31        |
| 4.2 Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklendirilmesi .....                         | 38        |
| 4.2.1 Frekans tanım alanında ölçekleme yöntemi .....                                 | 38        |
| 4.2.2 Zaman tanım alanında ölçekleme yöntemi .....                                   | 38        |
| 4.3 Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Yükleme Durumları .....                    | 44        |
| 4.3.1 Deprem yüklerinin tanımlanması .....                                           | 45        |
| 4.4 Kesit Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri .....                                   | 48        |
| 4.4.1 Göçmenin önlenmesi performans düzeyi için kesit hasar sınır değeri .....       | 49        |
| 4.4.2 Kontrollü hasar performans düzeyi için kesit hasar sınır değeri .....          | 50        |
| 4.4.3 Sınırlı hasar performans düzeyi için kesit hasar sınırı değeri .....           | 50        |
| 4.4.4 Kolonların kesit hasar sınır değerlerinin hesaplanması .....                   | 50        |
| 4.5 Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçları .....                     | 52        |
| 4.5.1 Taban kesme kuvvetleri .....                                                   | 52        |
| 4.5.2 Kat deplasmanları ve göreceli kat ötelemeleri oranı .....                      | 52        |
| 4.5.3 Kesme etkisi açısından eleman hasar sınıfları .....                            | 52        |
| 4.5.4 Eğilme etkisi açısından kesit hasar bölgeleri .....                            | 53        |
| 4.6 Analiz Sonuçlarına Göre Mevcut Binanın Deprem Performans Değerlendirilmesi ..... | 54        |
| <b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>                                                    | <b>57</b> |
| <b>KAYNAKLAR .....</b>                                                               | <b>59</b> |
| <b>EKLER .....</b>                                                                   | <b>63</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>                                                                | <b>75</b> |

## KISALTMALAR

|                |                                                           |
|----------------|-----------------------------------------------------------|
| <b>TBDY</b>    | : Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği                         |
| <b>AFAD</b>    | : Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı                   |
| <b>TS</b>      | : Türk Standartı                                          |
| <b>BKS</b>     | : Bina Kullanım Sınıfı                                    |
| <b>BYS</b>     | : Bina Yükseklik Sınıfı                                   |
| <b>DTS</b>     | : Deprem Tasarım Sınıfı                                   |
| <b>DD</b>      | : Deprem Yer Hareketi Düzeyi                              |
| <b>SH</b>      | : Sınırlı Hasar Performans Düzeyi                         |
| <b>KH</b>      | : Kontrollü Hasar Performans Düzeyi                       |
| <b>GÖ</b>      | : Göçme Önlenmesi Performansı Düzeyi                      |
| <b>SHB</b>     | : Sınırlı Hasar Bölgesi                                   |
| <b>BHB</b>     | : Belirgin Hasar Bölgesi                                  |
| <b>İHB</b>     | : İleri Hasar Bölgesi                                     |
| <b>GB</b>      | : Göçme Bölgesi                                           |
| <b>PEER</b>    | : Pacific Earthquake Engineering Center                   |
| <b>PGA</b>     | : En Büyük Yer İvmesi                                     |
| <b>PGV</b>     | : En Büyük Yer Hızı                                       |
| <b>SAP2000</b> | : Integrated Software for Structural Analysis and Design. |
| <b>ŞGDT</b>    | : Şekil Değiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım        |



## SEMBOLLER

|             |                                                                                                          |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $a_i$       | : Bir etriye kolu veya çiroz tarafından mesnetlenen boyuna donatıların eksenleri arasındaki uzaklık [mm] |
| $A_{sh}$    | : Enine donatının alanı [mm <sup>2</sup> ]                                                               |
| $b_k$       | : En dıştaki enine donatı eksenleri arasındaki uzaklık [mm]                                              |
| $b_o, h_o$  | : Sargılı beton boyutları (Sargı donatısı eksenlerinden ölçülen) [mm]                                    |
| $B_w$       | : Kirişin gövde genişliği                                                                                |
| $E$         | : Yer değiştirme vektörü bileşenleri                                                                     |
| $E_c$       | : Betonun elastisite modülü                                                                              |
| $E_s$       | : Donatı çeliğinin elastisite modülü                                                                     |
| $f_{ce}$    | : Betonun ortalama basınç dayanımı [MPa]                                                                 |
| $f_{ck}$    | : Betonun karakteristik basınç dayanımı [MPa]                                                            |
| $F_s$       | : Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı                                                   |
| $f_{su}$    | : Donatı çeliğinin kopma dayanımı                                                                        |
| $f_{sy}$    | : Donatı çeliğinin akma dayanımı                                                                         |
| $f_{yk}$    | : Çeliğin karakteristik akma dayanımı [MPa]                                                              |
| $f_{ywe}$   | : Enine donatının ortalama akma dayanımı [MPa]                                                           |
| $H_N$       | : Bina toplam yüksekliği [m]                                                                             |
| $I$         | : Bina önem katsayısı                                                                                    |
| $L_p$       | : Plastik mafsal boyu [m]                                                                                |
| $M_p$       | : Plastik moment                                                                                         |
| $\emptyset$ | : Donatı çapı                                                                                            |
| $\phi_t$    | : Toplam eğrilik                                                                                         |
| $\phi_u$    | : Göçme öncesi eğrilik [m-1]                                                                             |
| $\phi_y$    | : Akma eğriliği [m-1]                                                                                    |
| $s$         | : Enine donatı aralığı [mm]                                                                              |
| $S_1$       | : 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]                                      |
| $S_{D1}$    | : 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]                                     |
| $S_{DS}$    | : Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]                                                |
| $S_s$       | : Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]                                                 |
| $T_A$       | : Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu [s]                                                 |

|                     |                                                                                                                 |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $T_B$               | : Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu [s]                                                        |
| $V_c$               | : Betonun kesme kuvveti dayanımına katkısı                                                                      |
| $V_d$               | : Yük katsayıları ile çarpılmış düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan kesme kuvveti |
| $V_e$               | : Kolon, kiriş, birleşim bölgesi ve perdede enine donatı hesabında esas alınan kesme kuvveti                    |
| $V_r$               | : Kolon, kiriş veya perde kesitinin kesme kuvveti dayanımı                                                      |
| $\epsilon_c^{(GÖ)}$ | : Göçmenin Önlenmesi performans düzeyi için izin verilen sargılı beton birim kısalması sınırı                   |
| $\epsilon_c^{(KH)}$ | : Kontrollü Hasar performans düzeyi için izin verilen sargılı beton birim kısalması sınırı                      |
| $\epsilon_c^{(SH)}$ | : Sınırlı Hasar performans düzeyi için izin verilen sargılı beton birim kısalması sınırı                        |
| $\epsilon_s^{(GÖ)}$ | : Göçmenin Önlenmesi performans düzeyi için izin verilen donatı çeliği birim şekil değiştirme sınırı            |
| $\epsilon_s^{(KH)}$ | : Kontrollü Hasar performans düzeyi için izin verilen donatı çeliği birim kısalması sınırı                      |
| $\epsilon_s^{(SH)}$ | : Sınırlı Hasar performans düzeyi için izin verilen donatı çeliği birim kısalması sınırı                        |
| $\epsilon_{su}$     | : Donatı çeliğinin kopma birim şekil değiştirmesi                                                               |
| $\epsilon_{sy}$     | : Donatı çeliğinin akma birim şekil değiştirmesi                                                                |
| $\theta_p^{(GÖ)}$   | : Göçmenin Önlenmesi performans düzeyi için izin verilen plastik dönme sınırı [rad]                             |
| $\theta_p^{(KH)}$   | : Kontrollü Hasar performans düzeyi için izin verilen plastik dönme sınırı [rad]                                |
| $\theta_p^{(SH)}$   | : Sınırlı Hasar performans düzeyi için izin verilen plastik dönme sınırı [rad]                                  |
| $\rho_{sh,min}$     | : Hacimsel enine donatı olanı küçük olanı                                                                       |
| $\omega_{we}$       | : Etkin sargı donatısının mekanik donatı oranı                                                                  |

## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 2.1 : Yapı sistemlerinin doğrusal olmama nedenleri (Özer, 2009). ....             | 4  |
| Çizelge 3.1 : Mevcut basınç dayanımı hesabı. ....                                         | 11 |
| Çizelge 3.2 : Donatı mekanik özellikleri. ....                                            | 11 |
| Çizelge 3.3 : Düşey yükler. ....                                                          | 12 |
| Çizelge 3.4 : Yerel zemin sınıfları (TBDY 2018-Tablo 16.1).....                           | 12 |
| Çizelge 3.5 : Bina kullanım sınıfları ve bina önem katsayıları (TBDY 2018). ....          | 14 |
| Çizelge 3.6 : Deprem tasarım sınıfı (TBDY 2018). ....                                     | 15 |
| Çizelge 3.7 : Bina yükseklik sınıfı aralıkları (TBDY 2018). ....                          | 15 |
| Çizelge 3.8 : Bina performans hedefi (TBDY 2018). ....                                    | 18 |
| Çizelge 4.1 : Donatı çeliği detayları (TBDY 2018 Tablo 5A.1). ....                        | 25 |
| Çizelge 4.2 : Kolon etkin kesit rijitlikleri. ....                                        | 30 |
| Çizelge 4.3 : 60cmx60cm kesit için moment ve eğrilik değerleri. ....                      | 33 |
| Çizelge 4.4 : 50cmx50cm kesit için moment ve eğrilik değerleri. ....                      | 33 |
| Çizelge 4.5 : Deprem kayıtları ve ölçeklendirme katsayıları. ....                         | 40 |
| Çizelge 4.6 : Kolonların plastik dönme sınır değerleri. ....                              | 51 |
| Çizelge 4.7 : Deprem kayıtlarının ortalamasından elde edilen taban kesme kuvvetleri. .... | 52 |
| Çizelge 4.8 : Göreli kat ötelemeleri oranı. ....                                          | 52 |
| Çizelge 4.9 : Kolonlarda kesme kuvveti kontrolü. ....                                     | 53 |
| Çizelge 4.10 : Kolon hasar bölgeleri. ....                                                | 54 |



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                                          |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 3.1 : Yapının plan rölevesi. ....                                                                  | 7  |
| Şekil 3.2 : Çatı makası açıklık kesiti. ....                                                             | 8  |
| Şekil 3.3 : Çatı makası mesnet kesiti. ....                                                              | 8  |
| Şekil 3.4 : Yağmur oluğu kesiti. ....                                                                    | 9  |
| Şekil 3.5 : Vinç kirişi yandan görünüşü. ....                                                            | 9  |
| Şekil 3.6 : Vinç kirişi mesnet ve açıklık kesitleri. ....                                                | 9  |
| Şekil 3.7 : Çatı aşık kirişi kesiti. ....                                                                | 10 |
| Şekil 3.8 : Kolon kesit ve donatı detayları. ....                                                        | 10 |
| Şekil 4.1 : Yapının üç boyutlu modellemesi (SAP2000). ....                                               | 19 |
| Şekil 4.2 : Yapının üç boyutlu modellemesi (SAP2000, kesitlerle). ....                                   | 20 |
| Şekil 4.3 : Beton gerilme – şekil değiştirme grafiği (TBDY 2018 Şekil 5A.1). ....                        | 22 |
| Şekil 4.4 : Sargısız beton modeli. ....                                                                  | 23 |
| Şekil 4.5 : Sargılı beton modeli. ....                                                                   | 24 |
| Şekil 4.6 : Donatı çeliği gerilme – şekil değiştirme grafiği (TBDY 2018 Şekil 5A.2).<br>.....            | 25 |
| Şekil 4.7 : Donatı çeliği modeli. ....                                                                   | 26 |
| Şekil 4.8 : Kolon etkin kesit rijitliği. ....                                                            | 28 |
| Şekil 4.9 : A3 aksı kolon kesiti. ....                                                                   | 31 |
| Şekil 4.10 : Sargılı beton özellikleri (SAP2000-Section Designer). ....                                  | 32 |
| Şekil 4.11 : Moment-eğrilik grafiği. ....                                                                | 32 |
| Şekil 4.12 : Kolon plastik mafsallık türü. ....                                                          | 34 |
| Şekil 4.13 : Plastik mafsallık detayları. ....                                                           | 34 |
| Şekil 4.14 : Eksenel basınç kuvveti değerleri. ....                                                      | 35 |
| Şekil 4.15 : Etkileşim yüzeylerinin açıları. ....                                                        | 35 |
| Şekil 4.16 : Moment-eğrilik verileri tanımlanması. ....                                                  | 36 |
| Şekil 4.17 : Karşılıklı etki diyagramı. ....                                                             | 36 |
| Şekil 4.18 : Karşılıklı etki diyagramı verileri tanımlanması. ....                                       | 37 |
| Şekil 4.19 : Kolon alt ve üst ucuna plastik mafsallık atanması. ....                                     | 37 |
| Şekil 4.20 : “Loma Prieta” depremine ait 000 doğrultusunda ivme-zaman grafiği... ..                      | 41 |
| Şekil 4.21 : “Loma Prieta” depremine ait 000 doğrultusunda ölçeklendirilmiş ivme-<br>zaman grafiği. .... | 41 |
| Şekil 4.22 : RSN762-000 ölçekli ve ölçeksiz davranış spektrumları. ....                                  | 42 |
| Şekil 4.23 : Tüm kayıtlara ait ölçeklendirilmemiş davranış spektrumları. ....                            | 42 |
| Şekil 4.24 : Ölçeklendirilmemiş bileşke davranış spektrumları. ....                                      | 43 |
| Şekil 4.25 : Ölçeklendirilmiş bileşke davranış spektrumları. ....                                        | 43 |
| Şekil 4.26 : Bileşke davranış spektrumu ve yatay elastik tasarım spektrumunun<br>karşılaştırılması. .... | 44 |
| Şekil 4.27 : RSN792-000 ivme kaydının tanımlanması. ....                                                 | 45 |
| Şekil 4.28 : Doğrusal olmayan statik yükleme tanımlanması. ....                                          | 46 |
| Şekil 4.29 : RSN792-1 deprem yer hareketi yükleme durumu tanımlanması. ....                              | 47 |

|                                                                                           |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Şekil 4.30</b> : SAP2000 sönüm oranının tanımlanması. ....                             | <b>48</b> |
| <b>Şekil 4.31</b> : Kesit hasar bölgeleri. ....                                           | <b>49</b> |
| <b>Şekil A.1</b> : RSN762 depremi davranış spektrumları.....                              | <b>64</b> |
| <b>Şekil A.2</b> : RSN762 depremi ölçekli ve ölçeksiz bileşke davranış spektrumları. .... | <b>64</b> |
| <b>Şekil A.3</b> : RSN850 depremi davranış spektrumları.....                              | <b>65</b> |
| <b>Şekil A.4</b> : RSN850 depremi ölçekli ve ölçeksiz bileşke davranış spektrumları. .... | <b>65</b> |
| <b>Şekil A.5</b> : RSN100 depremi davranış spektrumları.....                              | <b>66</b> |
| <b>Şekil A.6</b> : RSN1008 depremi ölçekli ve ölçeksiz bileşke davranış spektrumları. ... | <b>66</b> |
| <b>Şekil A.7</b> : RSN1161 depremi davranış spektrumları.....                             | <b>67</b> |
| <b>Şekil A.8</b> : RSN116 depremi ölçekli ve ölçeksiz bileşke davranış spektrumları. .... | <b>67</b> |
| <b>Şekil A.9</b> : RSN1626 depremi davranış spektrumları.....                             | <b>68</b> |
| <b>Şekil A.10</b> : RSN1626 depremi ölçekli ve ölçeksiz bileşke davranış spektrumları ..  | <b>68</b> |
| <b>Şekil A.11</b> : RSN1633 depremi davranış spektrumları.....                            | <b>69</b> |
| <b>Şekil A.12</b> : RSN1633 depremi ölçekli ve ölçeksiz bileşke davranış spektrumları. .  | <b>69</b> |
| <b>Şekil A.13</b> : RSN3750 depremi davranış spektrumları.....                            | <b>70</b> |
| <b>Şekil A.14</b> : RSN3750 depremi ölçekli ve ölçeksiz bileşke davranış spektrumları. .  | <b>70</b> |
| <b>Şekil A.15</b> : RSN4454 depremi davranış spektrumları.....                            | <b>71</b> |
| <b>Şekil A.16</b> : RSN4454 depremi ölçekli ve ölçeksiz bileşke davranış spektrumları. .  | <b>71</b> |
| <b>Şekil A.17</b> : RSN4852 depremi davranış spektrumları.....                            | <b>72</b> |
| <b>Şekil A.18</b> : RSN4852 depremi ölçekli ve ölçeksiz bileşke davranış spektrumları. .  | <b>72</b> |
| <b>Şekil A.19</b> : RSN5773 depremi davranış spektrumları.....                            | <b>73</b> |
| <b>Şekil A.20</b> : RSN5773 depremi ölçekli ve ölçeksiz bileşke davranış spektrumları. .  | <b>73</b> |
| <b>Şekil A.21</b> : RSN6948 depremi davranış spektrumları.....                            | <b>74</b> |
| <b>Şekil A.22</b> : RSN6948 depremi ölçekli ve ölçeksiz bileşke davranış spektrumu.....   | <b>74</b> |

# **PREFABRİK BETONARME ENDÜSTRİ YAPISININ ZAMAN TANIM ALANINDA DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZ YÖNTEMİ İLE DEPREM PERFORMANSININ BELİRLENMESİ**

## **ÖZET**

Ülkemizde geçmişte ve yakın dönemde büyük depremler gerçekleşmiştir. Bunun başlıca sebebi ülkemizin birçok fay hattının üzerinde bulunmasıdır. Türkiye'de Kuzey Anadolu Fay Hattı, Doğu Anadolu Fay Hattı ve Batı Anadolu Fay Hattı olmak üzere 3 büyük fay hattı bulunmaktadır.

Bu fay hatlarının fazlalığı sebebiyle, ülkemizde yapılan yapılarda deprem güvenliği çok önem arz etmektedir. Meydana gelebilecek depremlerde en az can ve mal kaybıyla kurtulmak için doğru hesaplamalar ve bu hesaplamalar uygun bir şekilde uygulamanın yapılması gerekmektedir.

Hesaplamaların belli standartlarda olması gerektiği için, ülkeler tarafından yönetmelikler oluşturulmaktadır. Bu yönetmelikler ilgili ülkenin zemin koşulları ve depremselliklerine göre farklılıklar gösterebilir. Ülkemizde de geçmişten günümüze birçok farklı yönetmelik yürürlüğe girmiştir. Yönetmelikler gelişen teknoloji, yeni hesaplama yöntemleri ve yeni malzeme türlerindeki gelişmeler sonucunda dönem dönem gelişerek veya değişerek günümüze kadar gelmiştir. Türkiye'de güncel olarak 2018 yılına kadar hazırlanan ve 2019 yılında yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği kullanılmaktadır.

Yeni yapılacak binaların yanında, eskiden yapılmış mevcut binaların da gün geçtikçe değişen ve gelişen, teknoloji ve bilimsel çalışmalar ışığında ortaya çıkan deprem yönetmeliklerine uygun olması gerekmektedir. Bu sebeple mevcut yapıların güncel deprem yönetmeliğine uygunluğu kontrol edilmek amacıyla bu yapıların deprem performans analizi yapılabilmektedir. Mevcut yapıdan alınan malzeme ve taşıyıcı sistem bilgileri ışığında yapılan analizler sonucunda yapının kullanıma uygun olduğu veya güçlendirme gerektirdiği belirlenebilmektedir. Deprem performansının belirlenmesinde TBDY 2018 yönetmeliğinde belirtilen yöntemler bulunmaktadır. Doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemlerle bina performansı belirlenebilmektedir. Fakat günümüzde doğrusal hesap yerine gerçeğe daha yakın, şekil değiştirmeye dayalı doğrusal olmayan hesap tercih edilmektedir.

Bu tez kapsamında mevcut prefabrik betonarme bir yapının zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizi ile deprem performansı belirlenmiştir. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizin uygulanmasında TBDY 2018'de bulunan esaslara uyulmuştur. Elde edilen sonuçlar ile yine TBDY 2018'de bulunan performans hedefleri doğrultusunda güçlendirme gerekliliği hakkında yorum yapılmıştır.

Çalışma toplam beş ana bölümden oluşmaktadır. Bu bölümler; yapı sistemlerinin doğrusal olmayan davranışı hakkında bilgilendirme, mevcut yapının özelliklerinin belirlenmesi, mevcut yapının performansının belirlenmesi ve sonuç bölümleridir.

Tezin giriş bölümünde genel bir bilgilendirme ile tezin konusu ve amacı hakkında bilgiler verilmiştir.

İkinci bölümde, yapılardaki doğrusal olmayan davranış incelenmiştir. Bu bölüm dört başlıkta incelenmiştir. İlk olarak doğrusal olmayan hesap yöntemlerine giriş olarak genel bilgilendirilme yapılmıştır. Daha sonra ikinci başlıkta, yapı sistemlerinin doğrusal olmama nedenleri açıklanmıştır. Üçüncü başlıkta doğrusal olmayan davranış modelleri tanıtılıp plastik mafsalsal teoremi açıklanmıştır. Son başlıkta ise doğrusal olmayan davranış göz önünde bulunduran doğrusal olmayan hesap yöntemleri hakkında bilgilendirilme yapılmış ve bu tez çalışmasında kullanılan yöntem belirtilmiştir.

Üçüncü bölümde, tez kapsamında analizi gerçekleştirilen yapı hakkında bilgilendirme yapılmıştır. Bu bilgilendirme iki başlıkta yapılmıştır. İlk başlıkta, yapının taşıyıcı sistemi, yapısal elemanların boyutları ve donatı bilgileri verilmiştir. Kullanılan beton ve çelik malzemelerin mekanik özellikleri mevcut binadan alınan numune sonuçlarına göre hesaplanarak detaylıca açıklanmıştır. Ayrıca yapının maruz kaldığı düşey yükleme durumu ve yapının bulunduğu zemine ait zemin sınıfı Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'e göre belirlenerek açıklanmıştır. İkinci başlıkta ise mevcut yapının bulunduğu enlem, boylam ve kat yüksekliği gibi genel özellikleri aktararak bu özellikler yardımıyla Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'e göre sınıflandırılması anlatılmıştır. Bu sınıflandırılmaya göre mevcut binanın performans hedefleri belirlenmiştir.

Dördüncü bölüm, mevcut yapının performansının belirlenmesine ayrılmıştır. Altı başlıkta incelenmiştir. İlk başlıkta yapının SAP2000 yapısal analiz programında üç boyutlu modellenmesi anlatılmıştır. Bu modelleme sırasında yapıda tespit edilen malzemelerin mekanik özelliklerinin, yapının maruz kaldığı düşey yükleme durumunun, deprem anında öngörülen etkin kesit rijitliklerinin ve elemanlara atanacak olan plastik mafsalsal özelliklerinin programda nasıl tanımlandığı detaylıca açıklanmıştır. İkinci alt başlıkta zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz için kullanılan depremlerin seçilmesi ve bu seçilen depremlerin ölçeklendirilmesinin TBDY 2018'e uygun olacak şekilde nasıl hesaplandığı ve hesaplamalara ait sonuçlar açıklanmıştır. Üçüncü alt başlıkta, elde edilen ölçeklendirilmiş deprem ivme verilerinin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizde kullanılması için deprem yükleri olarak analiz programına tanımlanması anlatılmıştır. Dördüncü başlıkta yönetmelikte bulunan hasar durumları ve bu hasar durumlarına ait kesit hasar sınırları hakkında bilgi verilip, mevcut yapıda bulunan taşıyıcı elemanlar için bu hasar durumlarına ait hasar sınırlarının hesaplanması anlatılmıştır. Beşinci başlıkta analiz sonuçları verilmiştir. Elde edilen veriler ışığında kesitlerde meydana gelebileceği öngörülen yer değiştirmeler ve iç kuvvetler, hasar sınırları ve iç kuvvet kapasiteleri ile kıyaslamalar yapılarak elemanların kesit hasar bölgeleri belirlenmiştir. Son başlıkta ise elemanların hasar bölgeleri bilgilerinden yararlanılarak yapının deprem performans değerlendirilmesi TBDY 2018'e göre belirlenmiştir.

Beşinci ve son bölümde ise elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmede bina performans hedefi ile analizler sonucunda elde edilen mevcut binanın performans düzeyi kıyaslanmıştır. Bu kıyaslama sonucuna göre yapının güçlendirme gerekliliği hakkında yorum yapılmıştır.

Doğrusal olmayan analiz için seçilip ölçeklendirilen deprem ivme kayıtlarına ait elde edilen davranış spektrumları ekler bölümünde paylaşılmıştır.

# **DETERMINATION OF EARTHQUAKE PERFORMANCE BY ANALYSIS OF THE PREFABRICATED REINFORCED CONCRETE INDUSTRIAL STRUCTURE WITH NON-LINEAR TIME HISTORY ANALYSIS METHOD**

## **SUMMARY**

High-magnitude earthquakes have occurred in our country in the past and recently. The main reason for this is that our country is located on many fault lines. There are 3 major fault lines in Turkey, namely the North Anatolian Fault Line, the East Anatolian Fault Line and the West Anatolian Fault Line.

Due to the excess of these fault lines, earthquake safety is very important in the buildings constructed in our country. In order to survive with the least loss of life and property in possible earthquakes, correct calculations and these calculations should be applied in an appropriate way.

Since the calculations must be in certain standards, codes are created by the countries. These codes may differ according to the ground conditions and seismicity of the relevant country. Many different codes have been put into effect in our country from past to present. These codes have survived to the present day by developing or changing from time to time as a result of developing technology, new calculation methods and developments in new material types. Turkish Building Earthquake Code, which was prepared until 2018 and entered into force in 2019, is currently used in Turkey.

In addition to the new buildings to be built, the existing buildings that have been built in the past should be in accordance with the earthquake codes that are changing and developing day by day, emerging in the light of technology and scientific studies. For this reason, earthquake performance analysis of these structures can be made in order to check the compliance of existing structures with the current earthquake codes. As a result of the analyzes made in the light of the material and carrier system information taken from the existing structure, it can be determined that the structure is suitable for use or requires reinforcement. There are methods specified in the TBEC 2018 for determining earthquake performance. Building performance can be determined by linear and non-linear methods. However, nowadays, instead of linear calculation, non-linear calculation based on deformation, which is closer to reality, is preferred.

In this thesis, the earthquake performance of an existing prefabricated reinforced concrete structure was determined by non-linear time history analysis. In the application of nonlinear time history analysis, the principles found in TBEC 2018 were followed. With the results obtained, comments were made on the necessity of strengthening in line with the performance targets in TBEC 2018.

The study consists of a total of five main parts. These sections are; information about the nonlinear behavior of building systems, determination of the characteristics of the existing structure, determination of the performance of the existing structure and conclusion sections.

In the introduction part of the thesis, general information and information about the subject and purpose of the thesis are given.

In the second part, the nonlinear behavior of the structures is examined. This section has been analyzed under four headings. First, general information was given as an introduction to non-linear calculation methods. Then, in the second title, the reasons for the nonlinearity of the building systems are explained. In the third chapter, nonlinear behavior models are introduced and the plastic hinge theorem is explained. In the last chapter, information was given about nonlinear calculation methods that take nonlinear behavior into account, and the method used in this thesis study was stated.

In the third chapter, information was given about the structure analyzed within the scope of the thesis. This information was made under two headings. In the first title, the structural system of the building, the dimensions of the structural elements and reinforcement information are given. The mechanical properties of the concrete and steel materials used are calculated according to the sample results taken from the existing building and explained in detail. In addition, the vertical loading condition to which the structure is exposed and the ground class of the ground on which the structure is located are determined and explained according to the Turkish Building Earthquake Code 2018. In the second title, the general features of the existing building such as latitude, longitude and floor height are conveyed and its classification according to Turkey Building Earthquake Code 2018 is explained with the help of these features. According to this classification, the performance targets of the existing building have been determined.

The fourth chapter is devoted to determining the performance of the existing structure. It has been examined under six headings. In the first title, three-dimensional modeling of the structure in the SAP2000 structural analysis program is explained. During this modeling, it is explained in detail how the mechanical properties of the materials determined in the building, the vertical loading condition that the structure is exposed to, the effective section stiffnesses predicted during the earthquake and the plastic hinge properties to be assigned to the elements are defined in the program. In the second sub-title, the selection of earthquakes used for nonlinear time history analysis and how the scaling of these selected earthquakes is calculated in accordance with TBEC 2018 and the results of the calculations are explained. In the third sub-title, it is explained that the scale earthquake acceleration data obtained are defined as earthquake loads to the analysis program for use in nonlinear time history analysis. In the fourth chapter, information is given about the damage cases in the code and the sectional damage limits of these damage cases, and the calculation of the damage limits for these damage cases for the load-bearing elements in the existing structure is explained. In the fifth chapter, the results of the analysis are given. In the light of the data obtained, the displacements and internal forces predicted to occur in the sections were compared with the damage limits and internal force capacities and the section damage areas of the elements were determined. In the last title, the earthquake performance evaluation of the structure by using the damage zones of the elements is determined according to TBEC 2018.

In the fifth and last section, the obtained results are evaluated. In this evaluation, the building performance target and the performance level of the existing building obtained as a result of the analyzes were compared. According to this comparison result, a comment was made on the necessity of strengthening the structure.

The response spectra of the earthquake acceleration records selected and scaled for nonlinear analysis are shared in the appendices.





## 1. GİRİŞ

Ülkemizin topraklarının büyük çoğunluğu deprem fay hatları üzerinde bulunmaktadır. İstanbul, Bursa, İzmir gibi nüfusun yoğun olduğu ve sanayi üretiminin yoğunlaştığı bölgelerde meydana gelecek yıkıcı bir depremde çok üzücü sonuçların doğabileceği öngörülmektedir.

Depremi yıkıcı etkilerinden korunabilmek için inşa edilen bu yapıların her ülkenin kendi coğrafi konumuna göre belli standartları sağlaması gerekmektedir. Bu doğrultuda birçok farklı yönetmelikler yazılmıştır. Bu yönetmelikler sayesinde meydana gelen yapıların deprem güvenliği belli bir ölçüde sağlanabilmektedir. İnşaat ve yapı mühendisleri olarak bu yönetmeliklerin verdiği şartlar doğrultusunda dayanıklı ve güvenli tasarımlar yapmak görevimizdir.

Ülkemizde de bu doğrultuda geçmişten günümüze birçok deprem yönetmeliği yürürlüğe girip uygulanmıştır. 1940'dan günümüze uzanan bu süreçte son olarak 2018 yılında yazılan ve 1 Ocak 2019 tarihi itibarıyla yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği yürürlükte. Bu yönetmelikle birlikte bazı yeni kavramlarda yapısal tasarımda ve deprem performansının belirlenmesinde kullanılmaya başlanmıştır. Bunlardan birisi şekil değiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım yaklaşımıdır. Bu yaklaşımda çeşitli doğrusal olmayan analiz yöntemleri ile elemanların şekil değiştirme talepleri elde edilmekte ve bu talepler deprem yönetmeliğinde belirlenmiş olan hasar sınırları ile kıyaslanarak yapıların deprem performans hedefleri öngörülmektedir.

### 1.1 Çalışmanın Konusu

Yüksek lisans tezi kapsamında yapılan bu çalışmanın konusu, geçmişte yapıldığı dönemin yönetmeliklerine göre inşa edilmiş mevcut prefabrik betonarme endüstri binasının zaman tanım alanından doğrusal olmayan analiz sonucundan performans analizinin yapılmasıdır ve analiz sonucunda yapının performans hedefini sağlama durumuna bağlı olarak güçlendirme seçeneğinin değerlendirilmesidir.

Mevcut yapı Balıkesir’de bulunan tek katlı bir prefabrik betonarme endüstri yapısıdır. Yapının yerinde yapılan çalışmalar ile elde edilen bilgiler ışığında üç boyutlu modellemesi oluşturulmuştur.

Mevcut yapının üç boyutlu modellemesi ve doğrusal olmayan analizi SAP2000 (Structural Analysis Program) yapısal analiz programı yardımıyla yapılmıştır. Analiz sonucunda elde edilen veriler ile bina deprem performansı belirlenmiştir.

## **1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı**

İlk bölümde belirtildiği gibi ülkemiz geçmişte ve yakın tarihte birçok depreme maruz kalmıştır. Depremın olması engellenmezken, meydana gelmesi sonucu oluşacak hasar gerekli yapılarda gerekli müdahaleler yapılarak önlenebilmektedir. Bu çalışmada güncel deprem yönetmeliği olan TBDY 2018’de bulunan şekil değiştirmeye göre değerlendirme yaklaşımı ile zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yardımıyla mevcut bir yapının bina performans hedefinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu bilginin elde edilmesiyle bir deprem meydana gelmesi ihtimaline karşı önceden önlem ve güçlendirme çalışmaları kolaylaşmaktadır.

## **2. YAPI SİSTEMLERİNİN DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞI**

### **2.1 Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemlerine Giriş**

Yapılarda düşey yükler altında genellikle bazı özel haller dışında taşıyıcı elemanlar doğrusal davranış gösterirler. Bu davranış sistemi ile yapılan analizlerde kullanılan malzemelerin gerilme-şekil değiştirme bağıntıları doğrusal-elastik olarak varsayılmakta ve bu bağlamda oluşabilecek yer değiştirmelerin çok küçük mertebelerde olduğu kabul edilmektedir. Bu yüzden yapılar tasarım sürecinde genellikle doğrusal davranış etkisinde olduğu düşünülerek tasarlanmaktadır. Bununla beraber, deprem yüklerinin de yapıya etkimesiyle birlikte yapısal elemanlarda meydana gelen gerilmeler doğrusal-elastik sınırını geçerek yüksek yer değiştirme değerleri meydana gelmektedir. Bu sebeple doğrusal olmayan hesap yöntemleri bu gibi durumlarda gerçeğe daha yakın bir hesaplama yapmak için daha uygun seçenek hâline gelmektedir (Özer, 2009).

### **2.2 Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmama Nedenleri**

Yapı sistemlerinin doğrusal olmamasının temel iki sebebi; malzemelerin doğrusal-elastik olmaması nedeniyle gerilme-şekil değiştirme bağıntılarının doğrusal olmaması ve denge denklemlerinin doğrusal olmamasıdır. (Özer, 2009). Yapı sistemlerinin doğrusal olmamasına neden olan sebepler ve bu sebepler doğrultusunda meydana gelen teoriler Erkan Özer'in "Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmayan Analizi" ders notlarından alınan tablo ile Çizelge 2.1'de gösterilmiştir.

Özer (2009)'e göre, "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. "(s. 6).

**Çizelge 2.1 : Yapı sistemlerinin doğrusal olmama nedenleri (Özer, 2009).**

| Çözümün<br>Sağlaması<br>Gerekten Koşullar                            | Doğrusal<br>Sistemler | Doğrusal Olmayan Sistemler    |                                    |                               |                               |                               |
|----------------------------------------------------------------------|-----------------------|-------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
|                                                                      |                       | Malzeme<br>Bakımından         | Geometri Değişimleri<br>Bakımından |                               | Her İki Bakımdan              |                               |
|                                                                      |                       |                               | İkinci<br>Mertebe<br>Teorisi       | Sonlu<br>Deplasman<br>Teorisi | İkinci<br>Mertebe<br>Teorisi  | Sonlu<br>Deplasman<br>Teorisi |
| Bünye<br>Denklemleri<br>(Gerilme-Şekil<br>Değiştirme<br>Bağıntıları) | Doğrusal-<br>Elastik  | Doğrusal-<br>Elastik<br>Değil | Doğrusal-<br>Elastik               | Doğrusal-<br>Elastik          | Doğrusal-<br>Elastik<br>Değil | Doğrusal-<br>Elastik<br>Değil |
| Denge<br>Denklemlerinde<br>Yer Değiştirmeler                         | Küçük                 | Küçük                         | Küçük<br>Değil                     | Küçük<br>Değil                | Küçük<br>Değil                | Küçük<br>Değil                |
| Geometrik<br>Uygunluk<br>Koşullarında Yer<br>Değiştirmeler           | Küçük                 | Küçük                         | Küçük                              | Küçük<br>Değil                | Küçük                         | Küçük<br>Değil                |

## 2.3 Doğrusal Olmayan Davranış Modelleri

Doğrusal olmayan şekil değiştirmeler, malzeme bakımından doğrusal olmayan sistemlerde iki farklı davranış modeli ile incelenmektedir. Bunlar modeller; doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin eleman üzerinden sürekli olarak yayıldığı yayılı plastik davranış modeli ve doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin eleman üzerinde belli bir bölgede toplandığı yığılı plastik davranış (plastik mafsallı) modelidir.

### 2.3.1 Plastik mafsallı hipotezi

Süneklik düzeyi yeterli seviyede olan yapılarda plastik mafsallı teoremi yardımıyla hesaplamalar kolaylaştırılabilir. Doğrusal olmayan şekil değiştirmelerinin elemanda küçük bir bölgede yoğunlaştığı sistemlerde, bu şekil değiştirmelerin belli kesitlerde toplandığı varsayılabilir. Bu kesitlere plastik mafsallı adı verilmektedir. Elemanın geri kalan bölgelerinde doğrusal-elastik davranış gösterdiği varsayılmaktadır (Özer, 2009).

Yapıya etkiyen dış yükler sonucunda elemanlarda oluşan iç kuvvet değerleri plastikleşme sınırına ulaştıktan sonra plastik deformasyonların yoğun olarak olduğu bölgede plastik mafsalların olduğu varsayılmaktadır. Çok yüksek dış yük etkisinde bu mafsallarda oluşacak dönme değerleri eğer mafsallı dönme kapasitesine ulaşırsa bu kesitler göçme durumuna geçebilmektedir. Bu dönme kapasitesine ulaşan plastik mafsalların sayısı artarsa yapı da göçme durumuna geçebilmektedir.

Betonarme elemanlarda dönme kapasitesi birçok etkene bağlıdır. Enkesit boyutları, elemanda kullanılmış olan sargı donatısı miktarı ve gerilme-şekil değiştirme bağıntıları gibi etkenler bunlardan bazılarıdır.

TBDY 2018'e göre doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin olduğu bölge plastik mafsallık bölgesi olarak adlandırılmaktadır. Bu bölgenin uzunluğu plastik mafsallık boyu olarak tanımlanarak çalışan doğrultudaki kesit boyutunun yarısı olarak alınmaktadır. Bu uzunluğun hesaplanması için çeşitli kabuller vardır.

## **2.4 Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri**

Doğrusal hesap yöntemleri ile kıyaslandığında doğrusal olmayan hesap yöntemleri, malzemelerin davranışının hesaba katkısını gerçeğe en yakın şekilde göz önüne aldığından dolayı daha doğru ve gerçeğe yakın sonuçlar elde etmemizi sağlar (Girgin, 1996).

TBDY 2018'e göre Şekil değiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım kapsamında mevcut binaların deprem performansının değerlendirilmesinde belli koşulların sağlanmadığı durumlarda doğrusal olmayan hesap yöntemleri kullanılmaktadır. Mevcut veya güçlendirilmiş yapıların performans değerlendirilmesinde TBDY 2018'de belirtildiği üzere iki farklı yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemler, zaman tanım alanından doğrusal olmayan hesap ve itme yöntemleridir. İtme yöntemleri kendi içinde tek modlu itme yöntemi ve çok modlu itme yöntemi olarak ikiye ayrılmaktadır.

Bu yöntemler yardımıyla deprem etkisi altında mevcut yapıdaki elemanlarda sünük davranışa ilişkin olarak plastik dönme değerleri, gevrek davranışa ilişkin olarak iç kuvvet talepleri elde edilir. Elde edilen bu veriler elemanların şekil değiştirme ve iç kuvvet kapasiteleri ile kıyaslama yapılarak yapısal performans değerlendirmesi yapılabilmektedir (Akyıldız & Girgin, 2017).

Tek modlu itme yöntemleri TBDY 2018 Bölüm 5.6.2.'de belirtilen belli koşullar doğrultusunda uygulanabilir. Bu koşullar burulma düzensizlik katsayısının 1.4'ten küçük olması ve göz önüne alınan deprem doğrultusunda hâkim titreşim moduna ait tabanda oluşan kesme kuvvetlerinin etkin kütlelerinin binanın toplam kütlelerine oranının %70 den az olmamasıdır.

Bu yöntemde deprem yer değıştirme talebi değeri ne kadar deprem yükü adım adım arttırılarak yapıya etki edilir. Elemanlarda meydana gelen plastik dönme, yer değıştirme, i  kuvvet değeri leri toplanarak kümülatif olarak hesaplanır.

Çok modlu itme yöntemi de yine TBDY 2018 Bölüm 5.6.6.'da belirtilen koşullar doğrultusunda uygulanabilir.

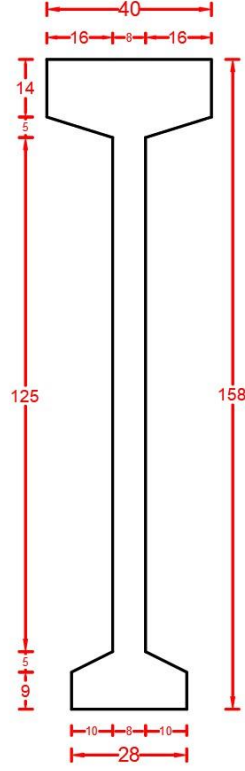
Bu tez çalışması kapsamında incelenecek olan mevcut yapının, zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi ile analizi yapılarak bina performans hedefi belirlenmiştir.

#### **2.4.1 Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi**

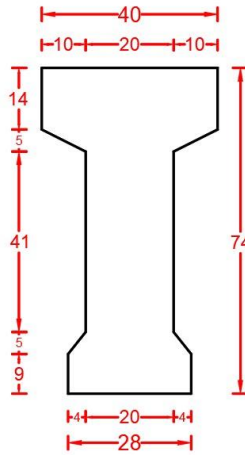
Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap, analizi yapılacak olan yapıya uygun olarak seçilen ve tasarım spektrumuna göre gerekli    eklendirilmesi yapılan deprem hareketlerinin, taşıyıcı sistemin hareket denklemlerine adım adım zaman artımları ile doğrudan integrasyonu sonuca ulaşır. Hesaplamalar doğrusal olmayan yöntemle olduğu için yapının rijilik matrisi her adımda değişmektedir. Bu yöntem yapısal analiz programları yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Bu tez kapsamında SAP2000 yapısal analiz programından faydalanılmıştır.



50cmx50cm'dir. Yapının tek açıklık geçen 18 m uzunluğundaki kısa doğrultusunda A ve C akslarının arasında bulunan çatı makasında değişken I en kesitli prefabrik kiriş kullanılmıştır. Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'te detaylı çizimler gösterilmiştir.

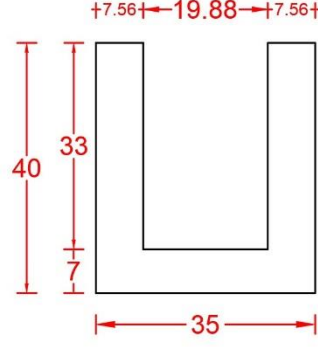


**Şekil 3.2 :** Çatı makası açıklık kesiti.



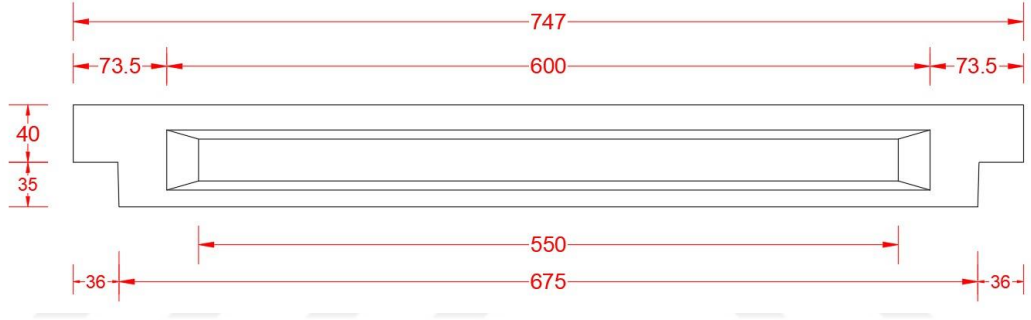
**Şekil 3.3 :** Çatı makası mesnet kesiti.

Binanın uzun doğrultusundaki açıklıklarda ise hem yağmur sularını uzaklaştırmak hem de bu doğrultuda kolonlar arası bağlantıyı sağlamak için U en kesitli yağmur olukları kullanılmıştır. Boyut detayları Şekil 3.4'te verilmiştir.



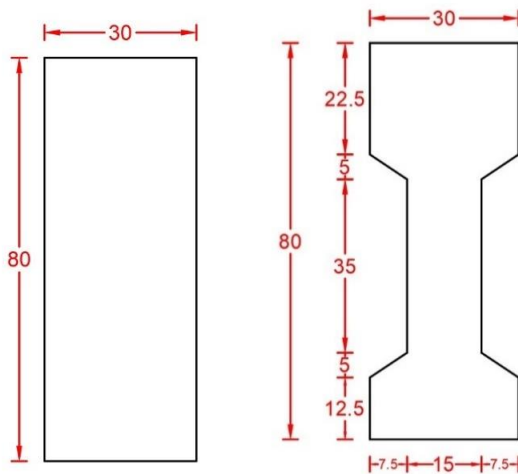
**Şekil 3.4 :** Yağmur oluğu kesiti.

Yapıda kullanılan 32 ton kapasiteli 16.6 ton ağırlığındaki kren vincini taşıyan kiriş de prefabrike betonarme olup, kolonlardan çıkan kısa konsollara oturtulmuştur. 80 cm yüksekliğinde olan vinç kirişinin yandan görünüşü Şekil 3.5’de görülmektedir.



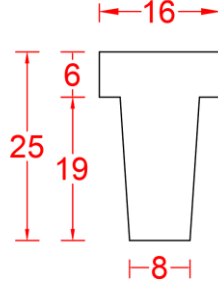
**Şekil 3.5 :** Vinç kirişi yandan görünüşü.

Şekil 3.6’da vinç kirişine ait açıklıkta ve mesnetteki kesit detayları görülmektedir.



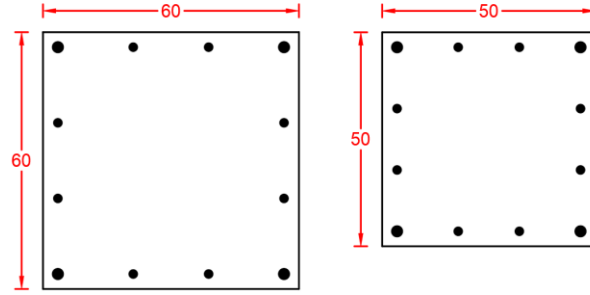
**Şekil 3.6 :** Vinç kirişi mesnet ve açıklık kesitleri.

Çatı kaplamalarının mesnetlendiği T kesitli aşıkların kesit detayları Şekil 3.7’de görülmektedir.



**Şekil 3.7 :** Çatı aşık kirişi kesiti.

Yapıda yerinde yapılan tespitler sonucu düşey taşıyıcı elemanlarda  $8\Phi 18 + 4\Phi 24$  boyuna donatı,  $3 \times \Phi 8/10-15-20\text{cm}$  (sıklaştırma bölgesinde 10-15cm, diğer bölgelerde 20cm) etriye bulunmaktadır. Enkesit detayları Şekil 3.8’de görülmektedir.



**Şekil 3.8 :** Kolon kesit ve donatı detayları.

Kolon kesitleri dışında diğer taşıyıcı elemanların donatı detayları verilmemiştir. Bunun nedeni, bina deprem performansının belirlenmesinde kolonlar dışında kalan taşıyıcı elemanların iki ucu mafsallı birleşim olan çubuk şeklinde modellenecek olmasıdır.

### 3.1.3 Malzeme özellikleri

Bu bölümde mevcut yapıda kullanılmış olan yapı malzemeleri hakkında bilgiler verilmiştir. Bu malzemeler beton ve donatı çeliği olarak iki başlıkta incelenmiş ve gerekli bilgiler aşağıdaki gibi verilmiştir.

#### 3.1.3.1 Beton mekanik özellikleri

Mevcut yapının betonarme malzemesinin mekanik özelliklerinin belirlenmesi için kolonlardan beton karot numuneleri alınmıştır. Binaların mevcut beton basınç dayanımı, prefabrik betonarme binalar için TBDY 2018 Bölüm 15.2.9.’a göre uygun olarak 5’er adet beton basınç dayanımı değeri kullanılarak belirlenmiştir. Deneylerin

sonucunda elde edilen basınç dayanımlarının ortalamasının standart sapma ile farkı ve 0.85 katı değerleri arasından büyük olanı mevcut beton basınç dayanımı olarak kabul edilmiştir. Bu hesaplar doğrultusunda binanın mevcut basınç dayanımı 46 MPa olarak bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar Çizelge 3.1’de verilmiştir.

**Çizelge 3.1 : Mevcut basınç dayanımı hesabı.**

| Numune Numarası              | Numune Boyu<br>(mm) | Numune Çapı<br>(mm) | Basınç Dayanımı<br>(MPa) |
|------------------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|
| K9                           | 81                  | 84                  | 49.25                    |
| K10                          | 81                  | 86                  | 51.62                    |
| K11                          | 81                  | 85                  | 45.17                    |
| K12                          | 81                  | 85                  | 51.30                    |
| K13                          | 81                  | 86                  | 48.08                    |
| Ortalama                     |                     |                     | 49.00                    |
| Standart Sapma               |                     |                     | 3.00                     |
| Ortalama-Standart Sapma      |                     |                     | 46.00                    |
| 0.85xOrtalama                |                     |                     | 41.70                    |
| Mevcut Beton Basınç Dayanımı |                     |                     | 46.00                    |

#### 3.1.3.2 Donatı çeliği mekanik özellikleri

Yapıda yapılan donatı tespitlerinde donatıların nervürlü (S420, BÇIII) olduğu belirlenmiştir. Hesaplarda dikkate alınan donatı mekanik özellikleri Çizelge 3.2’de verilmiştir. Elastisite modülü 200 GPa olarak dikkate alınmıştır.

**Çizelge 3.2 : Donatı mekanik özellikleri.**

| Kalite | $f_{sy}$ (MPa) | $\epsilon_{sy}$ | $\epsilon_{sh}$ | $\epsilon_{su}$ | $f_{su}/f_{sy}$ |
|--------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| S420   | 420            | 0.0021          | 0.008           | 0.08            | 1.15-1.35       |

#### 3.1.4 Yapının düşey yükleme durumu

Deprem performansını belirleyeceğimiz yapının kullanım amacı ve mevcut durumundan yola çıkarak yapıdaki düşey yükleme durumu TS498 standartları baz alınarak belirlenmiştir.

Yapının taşıyıcı elemanlarının (kolon, çatı makası, vinç kirişi, çatı aşıkları) birim hacim ağırlıkları, analiz sırasında programın içerisine malzeme bilgilerine girilerek hesaplara doğrudan etki edilmiştir. Bu aşamada betonarme elemanların birim hacim ağırlığı  $25 \text{ kN/m}^3$ , çelik elemanların birim hacim ağırlığı  $78.5 \text{ kN/m}^3$  olarak dikkate alınmıştır. Bu ağırlıklara ek olarak etkitilen diğer sabit ve hareketli yükler Çizelge

3.3'te detaylıca gösterilmiştir. Hareketli yük katılım katsayısı TBDY 2018 Tablo 4.3.'e dikkate alınarak  $n=3$  olarak hesaba katılmıştır.

**Çizelge 3.3 : Düşey yükler.**

| Yükler         | Sabit/Hareketli | Yük Şiddeti              |
|----------------|-----------------|--------------------------|
| Çatı Kaplaması | Sabit           | 0.12 kN / m <sup>2</sup> |
| Kar Yüğü       | Hareketli       | 0.75 kN / m <sup>2</sup> |
| Kren Vinci     | Sabit           | 166 kN                   |

### 3.1.5 Zemin sınıfı

Yapının bulunduğu bölge için yapılan ölçümler ve laboratuvar testleri sonucunda, zemin sınıfı TBDY 2018 Tablo 16.1 'e göre ZC olarak belirlenmiştir. Bu tablonun detaylarına Çizelge 3.4'te gösterilmiştir.

**Çizelge 3.4 : Yerel zemin sınıfları (TBDY 2018-Tablo 16.1).**

| Yerel Zemin Sınıfı | Zemin Cinsi                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Üst 30 metrede ortalama                  |                                                       |                                          |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------------------|------------------------------------------|
|                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | (V <sub>s</sub> ) <sub>30</sub><br>[m/s] | (N <sub>60</sub> ) <sub>30</sub><br>[darbe/<br>30 cm] | (c <sub>u</sub> ) <sub>30</sub><br>[kPa] |
| ZA                 | Sağlam, sert kayalar                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | > 1500                                   | -                                                     | -                                        |
| ZB                 | Az ayrıışmış, orta sağlam kayalar                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 760 – 1500                               | -                                                     | -                                        |
| ZC                 | Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrıışmış, çok çatlaklı zayıf kayalar                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 360 – 760                                | > 50                                                  | > 250                                    |
| ZD                 | Orta sıkı-sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 180 – 360                                | 15 – 50                                               | 70 – 250                                 |
| ZE                 | Gevşek kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları veya<br>PI > 20 ve w > %40 koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası (c <sub>u</sub> < 25 kPa ) içeren profiller                                                                                                                                                                                                                                                                                 | < 180                                    | < 15                                                  | < 70                                     |
| ZF                 | Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler:<br>1) Deprem etkisi altında çökme ve potansiyel göçme riskine sahip zeminler (sıvılaşıabilir zeminler, yüksek derecede hassas killler, göçebilir zayıf çimentolu zeminler vb.),<br>2) Toplam kalınlığı 3 metreden fazla turba ve/veya organik içeriğı yüksek killler,<br>3) Toplam kalınlığı 8 metreden fazla olan yüksek plastisiteli (PI > 50) killler,<br>4) Çok kalın (> 35 m) yumuşak veya orta katı killler. |                                          |                                                       |                                          |

### 3.2 Mevcut Yapının TBDY 2018'e Göre Sınıflandırılması ve Özelliklerinin Belirlenmesi

Mevcut veya yeni yapılacak yapıların değerlendirilmesi için TBDY 2018'de belirlenmiş kriterler bulunmaktadır. Bu kriterler doğrultusunda deprem performansını inceleyeceğimiz yapının bina kullanım sınıfı, bina önem katsayısı, bina yükseklik sınıfı ve performans hedefleri belirlenmiştir.

### 3.2.1 Yapının genel özellikleri

Bu çalışmada deprem performansını belirleyeceğimiz yapı, 39.590142° enleminde ve 27.835127° boylamında bulunmaktadır. Kullanım amacı endüstriyel yapı kapsamında olan bu bina 13.58 m yüksekliğe sahiptir. Yapının taşıyıcı sistemi prefabrik betonarme çerçeve sistemdir. Modelleme detayları ve teknik çizimler Bölüm 4'te ayrıntılı olarak gösterilmiştir.

### 3.2.2 Yapının bina kullanım sınıfı ve bina önem katsayısının tayin edilmesi

TBDY 2018 Bölüm 3.1.2'de yapıların kullanım amacına bağlı olarak Tablo 3.1'de bina kullanım sınıfları ve bina önem katsayıları ayrı ayrı tanımlanmıştır. Bu tablo Çizelge 3.5'te verilmiştir. Çizelge 3.3'ü incelediğimizde deprem sonrası kullanımı gerekli olan hastaneler, sağlık ocakları, itfaiye tesisleri, PTT, ulaşım istasyonları binaları ile birlikte okul, yurt, askeri kışlalar, müzeler, patlayıcı özellikleri olan maddelerin bulunduğu depolandığı binalar için  $BKS = 3, I = 1$ , insanların kısa süreli ve yoğun kullandığı alışveriş merkezileri, spor tesisleri, konser salonları gibi binalar için  $BKS = 2, I = 1.2$ , bu sınıflandırmalara girmeyen diğer konut, işyeri ve endüstri yapısı gibi binalar için  $BKS = 3, I = 1.0$  olarak verilmiştir.

**Çizelge 3.5 : Bina kullanım sınıfları ve bina önem katsayıları (TBDY 2018).**

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

Bu tez kapsamından değerlendirilen yapının kullanım ve inşa edilme amacı Bölüm 3.1.2’de belirtildiği üzere endüstri yapısıdır. Bu bilgi dahilinde Çizelge 3.5 incelendiğinde bina kullanım sınıfının BKS =3, bina önem katsayısının  $I = 3$  olduğu tespit edilmiştir.

### 3.2.3 Yapının deprem tasarım sınıfının tayin edilmesi

Yapının deprem tasarım sınıfı, bina kullanım sınıfı ve DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için belirlenen  $S_{DS}$ ’e (Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı) bağlı olarak TBDY 2018 Tablo 3.2’ye göre belirlenmiştir. İlgili tablo Çizelge 3.6’de gösterilmiştir.

**Çizelge 3.6 : Deprem tasarım sınıfı (TBDY 2018).**

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

Çizelge 3.5'e göre bina kullanım sınıfı BKS = 3 olarak belirlenmişti. DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için  $S_{DS}$  değeri enlem, boylam ve zemin sınıfı bilgileri ile AFAD veri tabanından elde edilmiştir.

39.590142° enleminde ve 27.835127° boylamında bulunan binanın  $S_{DS}$  değeri 1.042 olarak belirlenmiştir. Bu değer Çizelge 3.4'teki sınır şartları ile kıyaslandığında  $S_{DS} = 1.042 > 0.75$  ve BKS = 3 olduğu için yapının deprem tasarım sınıfı DTS=1 olarak belirlenmiştir.

### 3.2.4 Yapının bina yükseklik sınıfının tayin edilmesi

Yapının zeminden itibaren yüksekliği çatı makası yüksekliği dahil edilerek 13.58 m'dir. Bu yükseklik ve deprem tasarım sınıfı bilgileri eşliğinde bina yükseklik sınıfı TBDY 2018 Tablo 3.3'e göre belirlenmiştir. Yönetmelikte tanımlanan kriterler Çizelge 3.7'te gösterilmiştir.

**Çizelge 3.7 : Bina yükseklik sınıfı aralıkları (TBDY 2018).**

| 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               | $H_N \leq 7$                                                                                         | $H_N \leq 10.5$        |                     |

Yapının deprem tasarım sınıfı DTS = 1 olduğu için ve ayrıca yüksekliği  $H_N = 13.58$  m  $> 10.5$  m olduğu için Çizelge 3.7'e göre bina yükseklik sınıfı BYS = 6 olarak belirlenmiştir.

### 3.2.5 TBDY 2018'e göre bina performans düzeyleri

TBDY 2018 Bölüm 15.8.'e göre deprem performans düzeyleri, hesaplamalar sırasında yapıya etkitilen deprem ile binada oluşması beklenen hasarların durumu ile ilişkili olup dört farklı hasar durumu esas alınarak tanımlanmıştır. Yönetmeliğin bu bölümünde mevcut veya güçlendirilecek yapıların deprem performansının belirlenebilmesi için uygulanacak kurallar verilmiştir. Bu kurallar aşağıdaki gibidir.

- “TBDY 2018 Bölüm 15.8.3. 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. Çelik ve prefabrike betonarme binalarda bu istisnalar geçerli değildir.

- TBDY 2018 Bölüm 15.8.4. mevcut binalarda kontrollü hasar performans düzeyi

Eğer varsa, gevrek olarak hasar gören elemanların güçlendirilmeleri kaydı ile, aşağıdaki koşulları sağlayan binaların Kontrollü Hasar Performans Düzeyi'nde olduğu kabul edilir:

(a) 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 (b) paragrafında tanımlanan kadarı İleri Hasar Bölgesi'ne geçebilir. Çelik ve prefabrike betonarme binalarda bu istisnalar geçerli değildir.

(b) 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.

(c) 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 (Doğrusal yöntemle hesapta, alt ve üst düğüm noktalarının ikisinde birden Denk.(7.3)'ün sağlandığı kolonlar bu hesaba dahil edilmezler).

- TBDY 2018 Bölüm 15.8.5. 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:

(a) 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. Çelik ve prefabrike betonarme binalarda bu istisnalar geçerli değildir.

(b) 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 (Doğrusal yöntemle hesapta, alt ve üst düğüm noktalarının ikisinde birden Denk.(7.3)'ün sağlandığı kolonlar bu hesaba dahil edilmezler).

(c) Binanın mevcut durumunda kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır.

- TBDY 2018 Bölüm 15.8.6 göçme durumu

Bina Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi'ni sağlayamıyorsa Göçme Durumu'ndadır. Binanın kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır.”

### **3.2.5.1 Yapının bina performans hedefinin tayin edilmesi**

Tez kapsamında incelediğimiz endüstri yapısının performans hedefi, bina yükseklik sınıfı  $BYS = 6 > 2$  olduğu için TBDY 2018 Tablo 3.4c'ye göre belirlenmiştir. Bu tablonun detayları Çizelge 3.8'da gösterilmiştir.

**Çizelge 3.8 : Bina performans hedefi (TBDY 2018).**

| Deprem<br>Yer<br>Hareketi<br>Düzeyi | DTS = 1,2,3,3a,4,4a            |                                    | DTS = 1a, 2a                   |                                    |
|-------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|
|                                     | Normal<br>Performans<br>Hedefi | Değerlendirme/Tasarım<br>Yaklaşımı | Normal<br>Performans<br>Hedefi | Değerlendirme/Tasarım<br>Yaklaşımı |
| DD-3                                | -                              | -                                  | SH                             | ŞGDT                               |
| DD-2                                | KH                             | ŞGDT                               | -                              | -                                  |
| DD-1                                | -                              | -                                  | KH                             | ŞGDT                               |

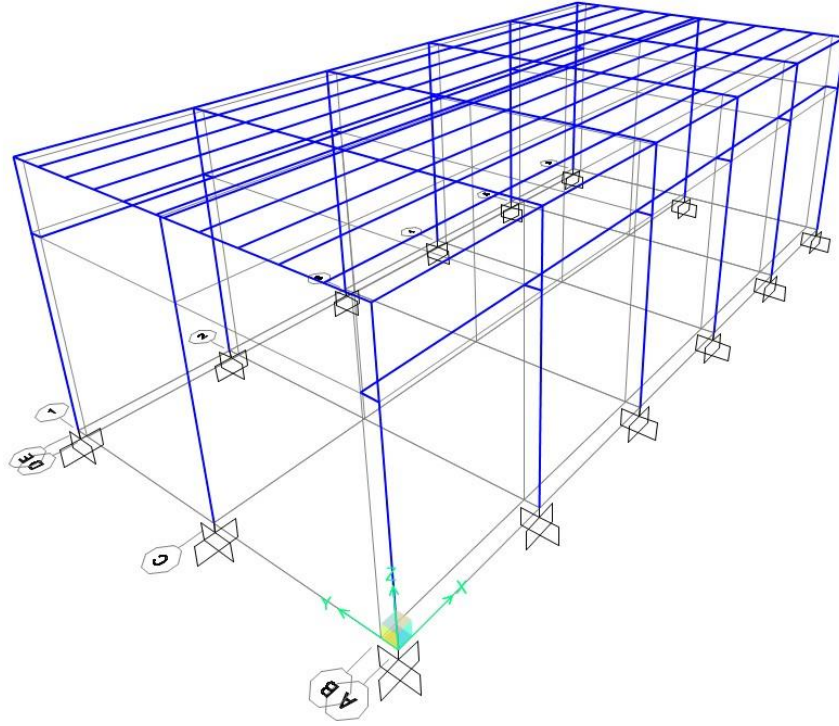
Yapının deprem tasarım sınıfı  $DTS = 1$  olduğu bilgisi eşliğinde DD-2 hareket yüzeyi etkisinde normal performans hedefi Kontrollü Hasar olarak belirlenmiştir. Kontrollü Hasar performans hedefi, Bölüm 3.2.5'te TBDY 2018'deki tanımlarıyla detaylı olarak anlatılmıştır.

#### 4. MEVCUT YAPININ DEPREM PERFORMANSININ BELİRLENMESİ

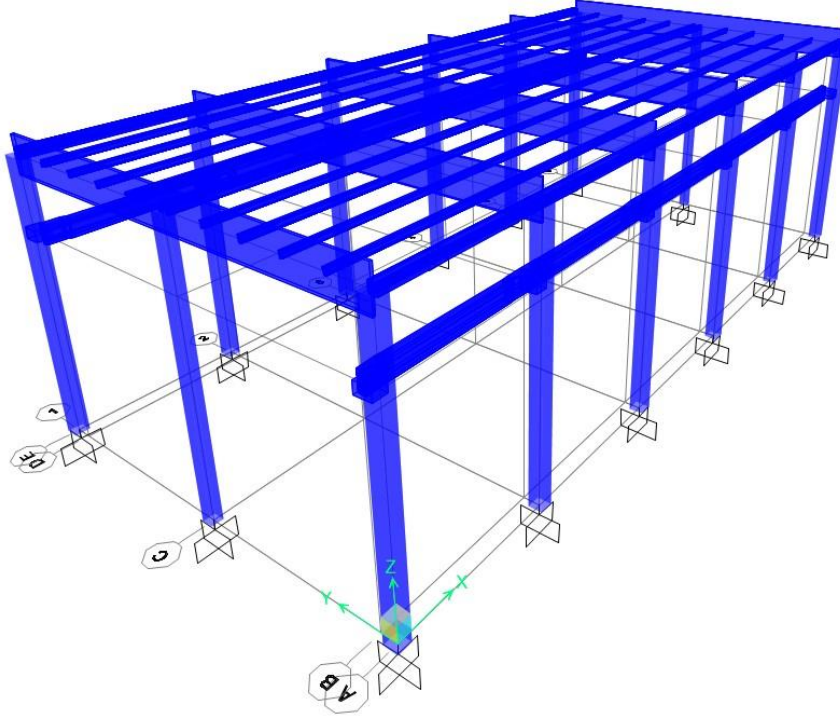
Yapıların deprem performansının belirlenmesinde doğrusal olmayan hesap için taşıyıcı sistemin modellenmesine ilişkin kurallar TBDY 2018 Bölüm 5.4.'de gösterilmiştir. Bu kurallar doğrultusunda SAP2000 (Structural Analysis Program) yapısal analiz programı yardımıyla yapının üç boyutlu modellenmesi yapılmıştır.

##### 4.1 Yapının Üç boyutlu Modelinin Oluşturulması

Tez kapsamında mevcut deprem performansının incelediğimiz yapının Bölüm 3.1.3'te belirtilen malzeme özellikleri, Bölüm 3.1.4'te belirtilen yüklemeler ve Bölüm 3.1.5'te belirtilen zemin özellikleri yardımıyla binanın üç boyutlu modeli oluşturulmuştur. Binaya ait üç boyutlu detaylı modelleme görselleri Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 : Yapının üç boyutlu modellenmesi (SAP2000).



**Şekil 4.2 :** Yapının üç boyutlu modellemesi (SAP2000, kesitlerle).

#### **4.1.1 Modellemede uyulan esaslar**

Mevcut durum için yapının deprem performansı belirlenirken zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi kullanılmıştır. Modelleme sırasında yapılan kabuller ve uyulan esaslar aşağıda belirtilmiştir.

- Analiz modelinde tüm taşıyıcı elemanlar çubuk sonlu eleman olarak modellenmiştir.
- Sönüm oranı %5 olarak kabul edilmiştir.
- İkinci mertebe etkileri dikkate alınmıştır.
- Yapının şekil değiştirmeye göre değerlendirilmesinde beton ve donatı çeliğinin TBDY 2018 Bölüm 15’te tanımlanan mevcut dayanımları esas alınmıştır.
- Kolonlarda doğrusal olmayan davranış modeli olarak yığılı plastik davranış modeli kullanılmıştır. Plastik mafsallar kolonların iki ucunda tanımlanmıştır. Plastik mafsallı boyu eğilme doğrultusundaki kesit derinliğinin yarısı olarak dikkate alınmıştır. Diğer taşıyıcı elemanlar iki ucu mafsallı çubuk olarak modellendiği için plastik mafsallı tanımlanmamıştır.

- Yığılı plastik davranışına göre modellenen kolonlarda etkin kesit rijitliği TBDY 2018 Denklem 5.2’de verilen bağıntı ile hesaplanarak elde edilmiştir. Hesaplama detayları Bölüm 4.1.4’te detaylıca anlatılmıştır.
- Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi, TBDY 2018’de tanımlanan tasarım spektrumuna göre ölçeklendirilmiş 11 adet deprem yer hareketi takımı kullanılmıştır. Taşıyıcı sistemin X ve Y asal eksenleri doğrultusunda, birbirine dik yatay iki doğrultudaki ivme kayıtları yapıya aynı anda etki ettirilmiştir. Bu etkiden sonra seçilen deprem ivmesi kayıtlarının eksenleri 90° derece döndürülerek yapılan hesap tekrarlanmıştır.

Yukarıda belirtilen esaslar doğrultusunda yapılan toplamda 22 analiz sonucunda elde edilen şekil değiştirme talepleri, TBDY 2018 Bölüm 5.7.4’te belirtildiği üzere en büyük mutlak değerlerinin ortalaması olarak hesaplanmıştır.

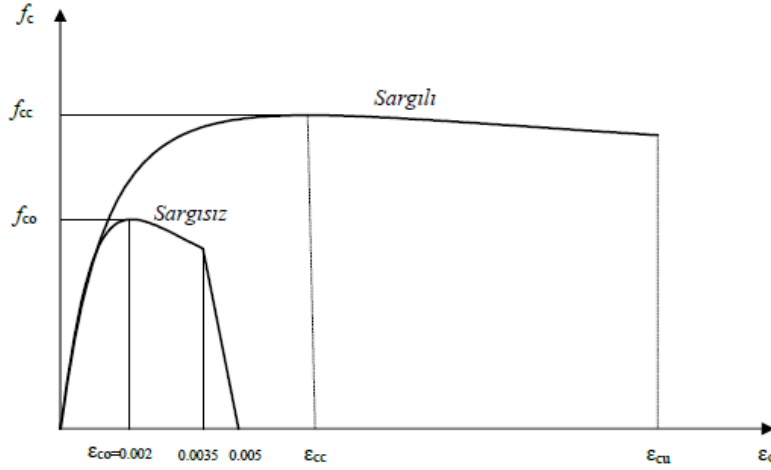
Analizlerin sonucunda plastik mafsallarda oluşan plastik dönme değerleri, TBDY 2018 deprem yönetmeliğin yardımıyla belirlenen sınır değerleri ile karşılaştırılarak kesitlerde ve elemanlardaki hasar durumları tanımlanmıştır. Böylece yapının performans düzeyi belirlenmiştir.

#### **4.1.2 Malzeme özelliklerinin tanımlanması**

Bir önceki bölümde bahsedildiği üzere mevcut yapının şekil değiştirmeye göre değerlendirilmesinde donatı çeliği ve beton malzemesi için mevcut dayanımlar esas alınmıştır.

##### **4.1.2.1 Sargılı ve sargısız beton**

Bu tez kapsamında doğrusal olmayan analiz ile yapılacak değerlendirme için TBDY 2018 EK 5A.1’da verilmiş olan malzeme modeli kullanılmıştır. Sargılı ve sargısız beton malzemesine ait gerilme – şekil değiştirme grafikleri ve bağıntıları aşağıda verilmiştir.



**Şekil 4.3 :** Beton gerilme – şekil değiştirme grafiği (TBDY 2018 Şekil 5A.1).

Şekil 4.3'te verilen grafikteki değerlerin hesaplama bağıntılarının açıklamaları TBDY 2018'de verildiği şekilde aşağıdaki gibidir.

Sargılı betonda beton basınç gerilmesi  $f_c$ , basınç birim şekil değiştirmesi  $\epsilon_c$ 'nin bir fonksiyonu olarak denklem 4.1'de gösterildiği şekilde verilmektedir.

$$f_c = \frac{f_{cc} \times r}{r - 1 + x^r} \quad (4.1)$$

Bu denklemdeki normalize edilmiş beton birim şekil değiştirmesi  $x$  ve  $r$  değişkenine ait bağıntılar denklem 4.5 ve 4.6'da verilmiştir. Ayrıca sargılı beton dayanımı  $f_{cc}$  ile sargısız beton dayanımı  $f_{co}$  arasındaki bağıntı denklem 4.2'de verilmiştir.

$$f_{cc} = \lambda_c f_{co}$$

$$\lambda_c = 2.254 \sqrt{1 + 7.94 \frac{f_e}{f_{co}}} - 2 \frac{f_e}{f_{co} - 1.254} \quad (4.2)$$

Denklem 4.2'deki  $f_e$  etkili sargılama basıncını temsil etmektedir. Dikdörtgen kesitler için Denklem 4.3'te verilen bağıntılar yardımıyla hesaplanan değerlerin ortalaması olarak alınabilir.

$$f_{ex} = k_e \rho_x f_{yw}$$

$$f_{ey} = k_e \rho_y f_{yw} \quad (4.3)$$

Buradaki denklemde enine donatının akma dayanımını  $f_{yw}$ , ilgili doğrultudaki donatıların hacimsel oranlarını  $\rho_x$  ve  $\rho_y$ , denklem 4.4'te tanımlanan sargılama etkinlik katsayısı oranını  $k_e$  temsil etmektedir.

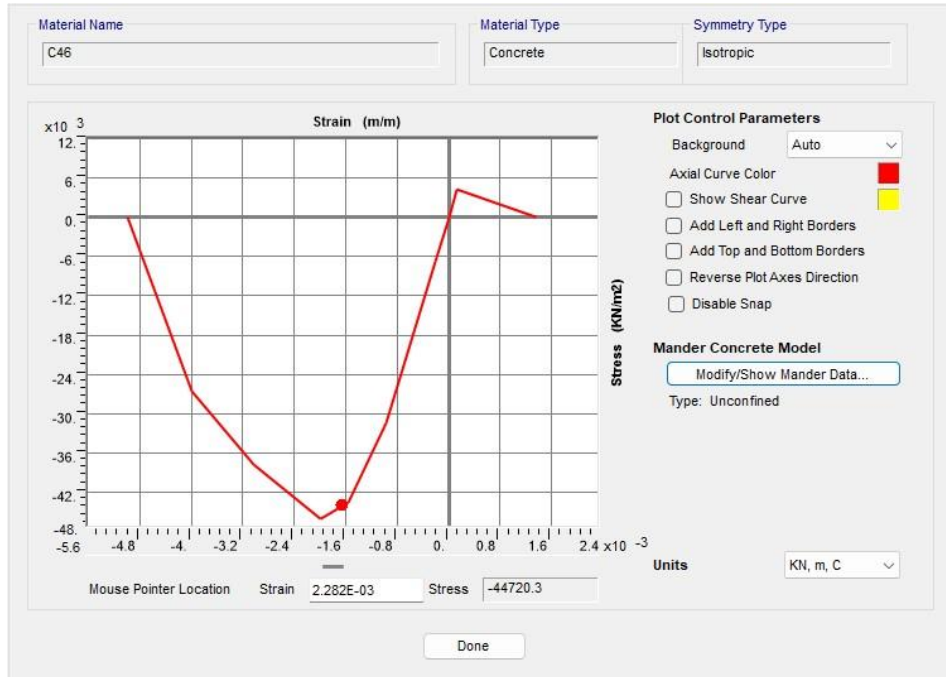
$$k_e = \left(1 - \frac{\sum a_i^2}{6b_o h_o}\right) \left(1 - \frac{s}{2b_o}\right) \left(1 - \frac{s}{2h_o}\right) \left(1 - \frac{A_s}{b_o h_o}\right)^{-1} \quad (4.4)$$

Burada  $a_i$  kesit çevresindeki boyuna donatıların eksenleri arasındaki uzaklığı  $b_o$  ve  $h_o$  göbek betonunu sargılayan etriyelerin eksenleri arasında kalan kesit boyarını,  $s$  boyuna doğrultuda eksenleri arasındaki aralığı,  $A_s$  ise boyuna donatı alanını temsil etmektedir.

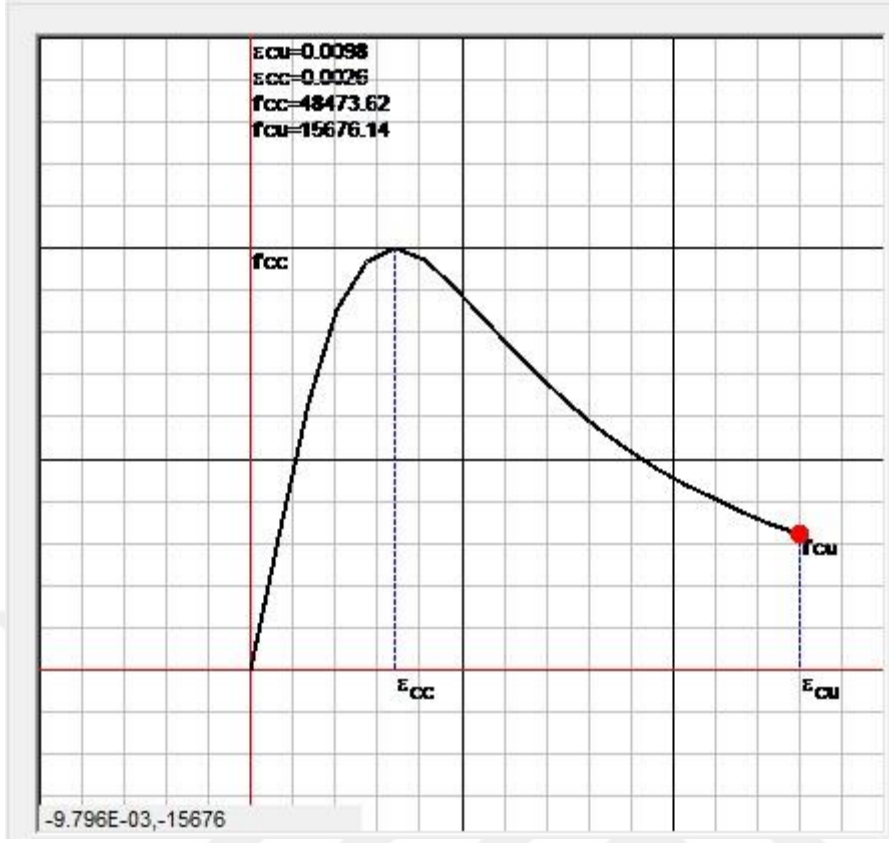
$$\chi = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}} ; \quad \varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co} [1 + 5(\lambda_c - 1)] ; \quad \varepsilon_{co} \cong 0.002 \quad (4.5)$$

$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}} ; \quad E_c \cong 5000\sqrt{f_{co}} ; \quad E_{sec} \cong \frac{f_{cc}}{\varepsilon_{cc}} \quad (4.6)$$

Yukarıdaki bağıntılar yardımı ile elde edilen sargılı ve sargısız beton modellerinin SAP2000 programında tanımlaması yapılmıştır. Şekil 4.4 ve 4.5'te bu tanımlamanın detaylarına yer verilmiştir.



Şekil 4.4 : Sargısız beton modeli.



Şekil 4.5 : Sargılı beton modeli.

#### 4.1.2.2 Donatı çeliği

Bu tez kapmasında doğrusal olmayan analiz ile yapılacak değerlendirme için TBDY 2018 EK 5A.2’de verilmiş olan malzeme modeli kullanılmıştır. Donatı çeliğine ait gerilme – şekil değiştirme grafikleri ve bağıntıları aşağıda verilmiştir.

$$f_s = E_s \varepsilon_s \quad (\varepsilon_s \leq \varepsilon_{sy})$$

$$f_s = f_{sy} \quad (\varepsilon_{sy} < \varepsilon_s < \varepsilon_{sh}) \quad (4.7)$$

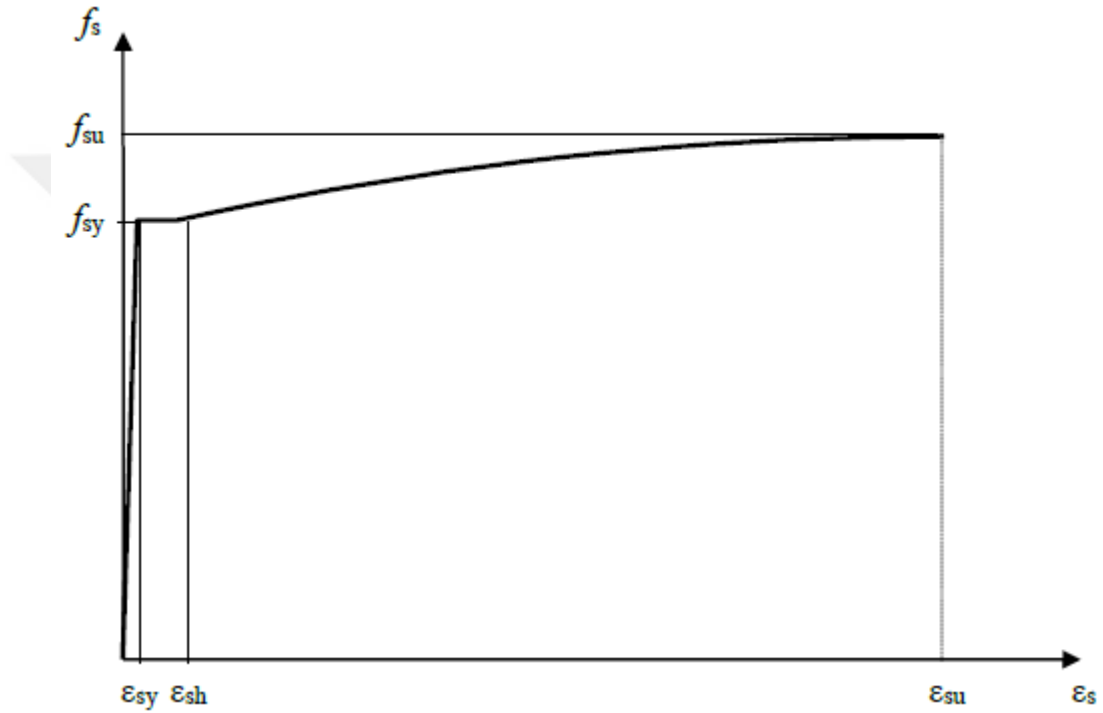
$$f_s = f_{su} - (f_{su} - f_{sy}) \frac{(\varepsilon_{su} - \varepsilon_s)^2}{(\varepsilon_{su} - \varepsilon_{sh})^2} \quad (\varepsilon_{sh} < \varepsilon_s \leq \varepsilon_{su})$$

Bölüm 3.1.3.2’de belirtildiği üzere donatı çeliğinin elastisite modülü  $E_s = 200 \text{ GPa}$  olarak dikkate alınmıştır. Malzemeye ait diğer bilgiler TBDY 2018 Tablo 5A.1’de verilmiştir.

**Çizelge 4.1 : Donatı çeliği detayları (TBDY 2018 Tablo 5A.1).**

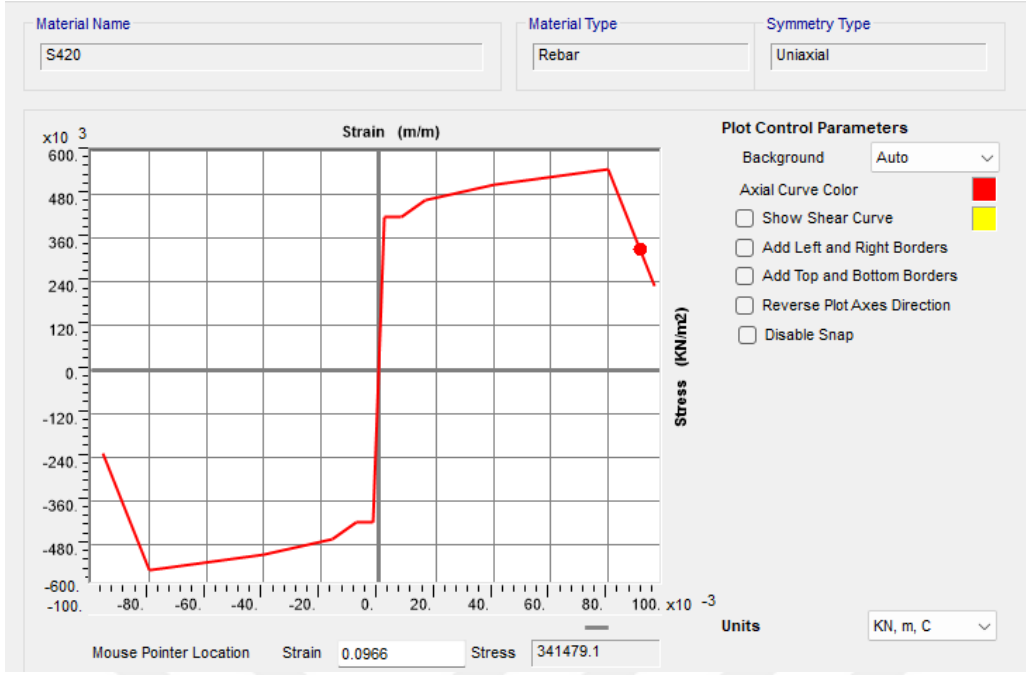
| Kalite | $f_{sy}$ (MPa) | $\varepsilon_{sy}$ | $\varepsilon_{sh}$ | $\varepsilon_{su}$ | $f_{su} / f_{sy}$ |
|--------|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|
| S220   | 220            | 0.0011             | 0.011              | 0.12               | 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         |

Denklem 4.7 ile hesaplanan gerilme ve şekil değiştirmelerin grafiği Şekil 4.6’da gösterilmiştir.



**Şekil 4.6 : Donatı çeliği gerilme – şekil değiştirme grafiği (TBDY 2018 Şekil 5A.2).**

Yukarıdaki bağıntılar yardımı ile elde edilen donatı çeliği modelinin SAP2000 programında tanımlaması yapılmıştır. Şekil 4.7’de bu tanımlamanın detaylarına yer verilmiştir.



Şekil 4.7 : Donatı çeliği modeli.

#### 4.1.3 Düşey yükleme durumunun tanımlanması

Yapıya ait düşey yükleme durumlarının detaylarına Bölüm 3.1.4'ten ulaşılabilir. Betonarme ve çelik elemanların birim hacim ağırlıkları malzeme tanımlaması yapılırken programına tanımlanmıştır. Bu elemanların kendi ağırlıklarından dolayı oluşacak olan düşey yükler SAP2000 programı tarafından hesaba otomatik olarak etki ettirilmiştir. Bu ağırlıklara ek olarak Çizelge 3.3'te tanımlanan diğer düşey yükler ise SAP2000 programına el yoluyla tanımlanmıştır. Çatı kaplaması ve çatı kar yüklerinin birim alana düşen değerleri Çizelge 3.3'te verilmiştir. Bu yükler çatı aşıklarına çizgisel yük olarak tanımlanacak şekilde yeniden hesaplanmış ve her bir çatı aşığına etkitilmiştir.

Yapının içinde bulunan 166 kN ağırlığındaki kren vinci, yapının y eksenine doğrultusunda hareket ettiği için o ekseninde bulunan beş açıklık arasından en elverişsiz yükleme durumunda olduğu düşünülerek yükleme yapılmıştır. En elverişsiz yükleme durumunun yapının orta noktasına yakın olan kolon bölgelerinde olduğu belirlenmiştir. Vincin ağırlığı dört tekere eşit olarak paylaştırılarak sabit yük olarak düşünülüp  $n=1$  olarak kabul edilip en elverişsiz aksta vinç kirişine tekil yük olarak etkitilmiştir (Yüksel & Özkan,2020).

#### 4.1.4 Etkin kesit rijitliğinin hesaplanması

Etkin kesit rijitlikleri, TBDY 2018'e göre yığılı plastik davranışa göre modellenen yapısal elemanlarda aşağıda gösterilen denklem 4.8 yardımıyla hesaplanacaktır.

$$(EI)_e = \frac{M_y}{\theta_y} \frac{L_s}{3} \quad (4.8)$$

Denklemde bulunan  $M_y$  ve  $\theta_y$  ifadeleri elemanların uçlarındaki plastik mafsalların etkin akma momentler ile akma dönmelerinin ortalamalarını simgelemektedir.  $L_s$  ifadesi ise, elemandaki kesme açıklığını ifade etmektedir. Bu değer kesitteki momentin kesme kuvvetine oranlanması ile elde edilir. Kolon ve kirişlerde yaklaşık olarak açıklık mesafesinin yarısı olarak kabul edilebilir. TBDY 2018'e göre denklem 4.8'de bulunan  $\theta_y$  yani plastik mafsal akma dönmesinin hesaplanması aşağıdaki bağıntı yardımıyla gerçekleştirilir.

$$\theta_y = \frac{\phi_y L_s}{3} + 00015\eta \left( 1 + 1.5 \frac{h}{L_s} \right) + \frac{\phi_y d_b f_{ye}}{8\sqrt{f_{ce}}} \quad (4.9)$$

Bu denklemde bulunan  $\Phi_y$ , plastik mafsalin kesitindeki etkin akma eğriliğini göstermektedir.  $\eta$  ifadesi ise kolon ve kirişler için 1, perdeler için 0.5 alınabilir.  $h$  elemanın kesit yüksekliğini ifade etmektedir.

Bu tez kapsamından yapılan analizde yığılı plastik davranışa göre modellenen kolonların etkin kesit rijitliklerinin hesaplanabilmesi için ilgili kesitlerin eksenel yüklerinin de etkisi dikkate alınmalıdır. Bu amaçla bina düşey yüklemesi altında  $G+0.3Q$  yüklemesi etkiltilmiş ve tüm kolonlar oluşan eksenel yükler elde edilmiştir. Bu eksenel yüklerin etkisindeki kesitlerin, SAP2000 programı Section Designer bölümü ve XTRACT programı yardımıyla moment-eğrilik grafikleri elde edilmiştir. Kolonların kesitleri kare şeklinde olduğu için 0 ve 90 derece etkileşim yüzeyleri için elde edilecek moment- eğrilik grafikleri aynıdır. Bu grafiklerdeki akma momenti ve akma eğriliği değerlerinden faydalanılarak elemanların etkin kesit rijitlikleri elde edilmiştir. Bir örnek olması amacıyla A3 aksında bulunan kolonun etkin kesit rijitliğinin detaylı hesabı aşağıda açıklanmıştır. Kolonun kesit boyutları 60cmx60cm'dir. 8 adet  $\Phi 18$  ve 4 adet  $\Phi 24$  boyuna donatısı bulunmaktadır. Bu boyuna donatılarının ortalama çapı 20 mm'dir.

Kolonun moment- eğrilik grafiklerinden elde edilen;

Akma momenti değeri  $M_y = 419.9 kNm$ , akma eğriliği değeri  $\phi_y = 0.005201$  'dir.

Akma dönme değeri denklem 4.9 ile verilen bağıntı yardımıyla aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\theta_y = \frac{0.005201 \times 6}{3} + 0.0015 \times 1 \times \left( 1 + 1.5 \frac{0.6}{6} \right) + \frac{0.005201 \times 0.02 \times 420}{8\sqrt{46}} = 0.0129322 \text{ rad}$$

Elde edilen bu verileri denklem 4.8 'de kullanarak kesitin etkin kesit rijitliği aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$(EI)_e = \frac{419.9}{0.0129322} \frac{6}{3} = 64938 \text{ kNm}^2$$

Kolon kesitinin rijitliği normal rijitliği kare kesitten dolayı aynıdır ve aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$EI = 33912000 \times \frac{0.6 \times 0.6^3}{12} = 366249.6 \text{ kNm}^2$$

Etkin kesit rijitliğini kesitin normal rijitliğine oranladığımızda rijitlik çarpanını 0.1773 olarak buluyoruz. Bu değer SAP2000 programında ilgili eleman için tanımlanmıştır. Bu tanımlamanın detayları Şekil 4.8'de gösterilmiştir.

| Property Modifiers for Analysis |        |
|---------------------------------|--------|
| Cross-section (Axial) Area      | 1      |
| Shear Area in 2 Direction       | 1      |
| Shear Area in 3 Direction       | 1      |
| Torsional Constant              | 1      |
| Moment of Inertia about 2-Axis  | 0.1773 |
| Moment of Inertia about 3-Axis  | 0.1773 |
| Mass                            | 1      |
| Weight                          | 1      |

Reset Form to Default Values

OK Close Apply

Şekil 4.8 : Kolon etkin kesit rijitliği.

Yukarıda gösterilen adımlar tüm kolon kesitleri için gerçekleştirilmiş ve gerekli tanımlamalar SAP2000 programı ile elemanlara atanmıştır. Tüm kesitlerin için hesaplanan değerler Çizelge 4.2’de detaylıca gösterilmiştir.



**Çizelge 4.2 : Kolon etkin kesit rijitlikleri.**

| ELEMAN | KOLON                  | S60/60(3-8-9-14) | S60/60(4-7-10-13) | S60/60(5-6-11-12) | S50/50(15-16) |
|--------|------------------------|------------------|-------------------|-------------------|---------------|
| KESİT  | b [m]                  | 0.6              | 0.6               | 0.6               | 0.5           |
|        | h [m]                  | 0.6              | 0.6               | 0.6               | 0.5           |
|        | L (m)                  | 12               | 12                | 12                | 12            |
| DONATI | Yerleşim               | 4x24, 8x18       | 4x24, 8x18        | 4x24, 8x18        | 4x24, 8x18    |
| (mm)   | Çap                    | 24, 18           | 24, 18            | 24, 18            | 24, 18        |
|        | E (kN/m <sup>2</sup> ) | 33912000         | 33912000          | 33912000          | 33912000      |
|        | N (G+nQ) (kN)          | 159.887          | 249.165           | 291.191           | 153.261       |
|        | M <sub>y</sub> (kNm)   | 388.6            | 409.4             | 419.9             | 307.8         |
|        | L <sub>s</sub> (m)     | 6                | 6                 | 6                 | 6             |
|        | φ <sub>y</sub> (1/m)   | 0.005106         | 0.005169          | 0.005201          | 0.006526      |
|        | η                      | 1                | 1                 | 1                 | 1             |
|        | d <sub>b</sub> (m)     | 0.02             | 0.02              | 0.02              | 0.02          |
|        | f <sub>ye</sub> (Mpa)  | 420              | 420               | 420               | 420           |
|        | f <sub>ce</sub> (Mpa)  | 46               | 46                | 46                | 46            |
|        | θ <sub>y</sub>         | 0.012727481      | 0.012863234       | 0.012932188       | 0.015749817   |
|        | EI                     | 366249.6         | 366249.6          | 366249.6          | 176625        |
|        | (EI) <sub>e</sub>      | 61064.71712      | 63654.28864       | 64938.74098       | 39086.16963   |
|        | Rijitlik Çarpanı       | 0.1667           | 0.1738            | 0.1773            | 0.2213        |

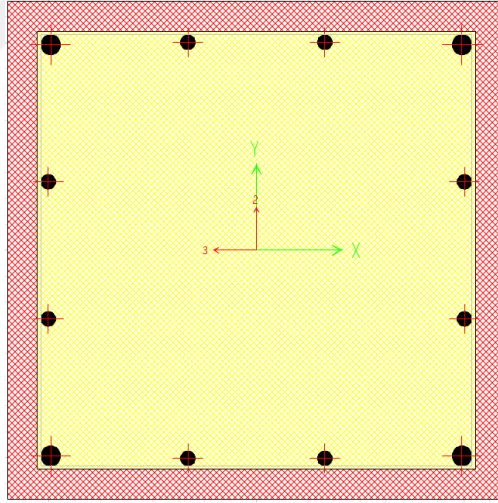
#### 4.1.5 Plastik mafsallı özelliklerinin tanımlanması

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yapılırken daha önce de bahsedildiği gibi yapıdaki kolonlar yığılı plastik davranışa göre modellenmiştir. Bu modellemede kolonların alt ve üst uçlarına plastik mafsallar tanımlanmıştır. Mafsalların tanımlanması için bu kesitlerin moment-eğrilik ve karşılıklı etki diyagramları elde edilmiş ve gerekli veriler SAP2000 programında mafsallık özellikleri kısmına tanımlanmıştır.

Kolonların moment-eğrilik grafiği ve karşılıklı etki diyagramı SAP2000 programında section designer bölümü yardımıyla çizdirilmiştir.

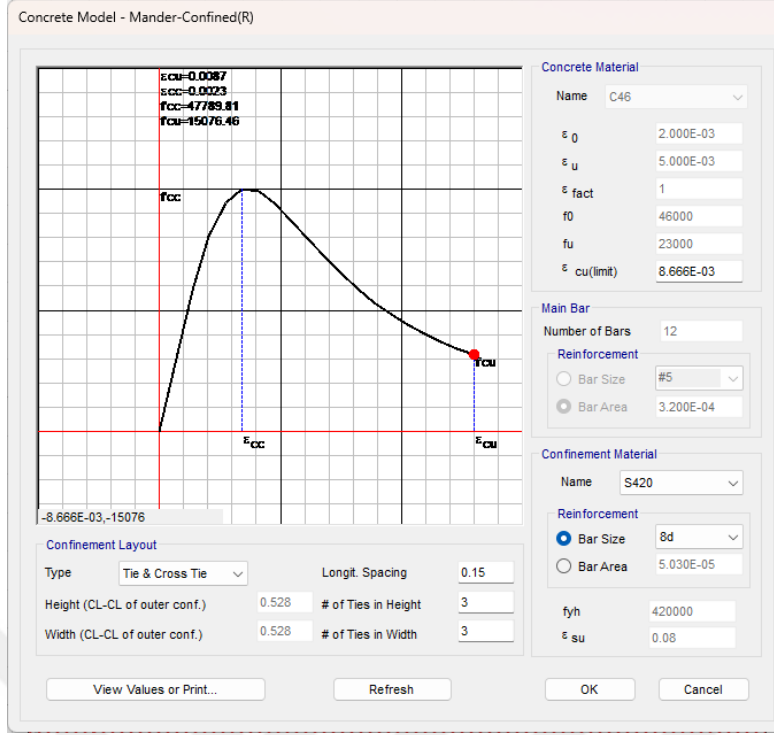
Örnek bir kolon üzerinden anlatmak amacıyla A3 aksında bulunan kolon için yapılan hesaplar ve elde edilen grafikler aşağıda detaylıca açıklanmıştır.

A3 aksında bulunan kolonun kesit boyutları 60cmx60cm'dir. İlk olarak kolonun SAP2000 programında section designer bölümünde kesiti oluşturulmuştur. Şekil 4.9'da bu kesiti görülmektedir.



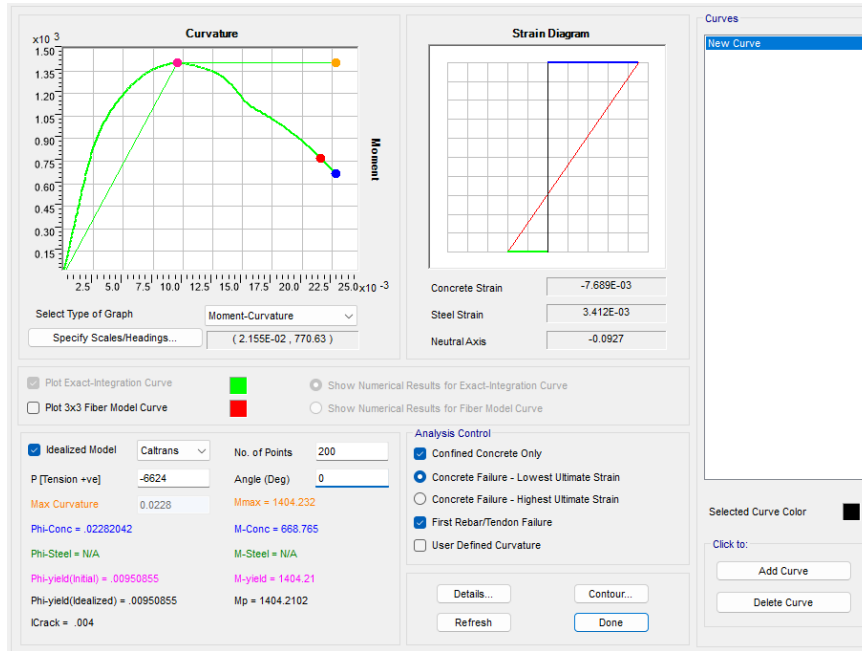
Şekil 4.9 : A3 aksı kolon kesiti.

Şekil 4.9'da da görüldüğü üzere kolonda 8 adet  $\Phi 18$  ve 4 adet  $\Phi 24$  boyuna donatış bulunmaktadır. Enine donatı olarak her iki doğrultuda 3 kollu  $\Phi 8$  etriye bulunmaktadır. Bu bilgiler ışığında SAP2000 programı section designer bölümünde sargılı beton özellikleri tanımlanmıştır. Bu bölümün detayları Şekil 4.10'da görülmektedir.



Şekil 4.10 : Sargılı beton özellikleri (SAP2000-Section Designer).

Plastik mafsal özellikleri kısmında programa tanımlanacak olan moment-eğrilik grafikleri her iki kolon türü için de üç farklı etkileşim yüzeyi, iki farklı eksenel basınç yükü altında elde edilmiştir. Bu basınç yükleri kesitin basınç kapasitesinin %40'ı ve %10'u olarak seçilmiştir. Etkileşim SAP2000 programında A3 aksı kolonu için elde edilen moment-eğrilik grafikleri için bir örnek şekil 4.11'de gösterilmiştir.



Şekil 4.11 : Moment-eğrilik grafiği.

Tüm kolon kesitleri için moment-eğrilik grafiklerinden elde edilen sonuçların detayları Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4'te belirtilmiştir.

**Çizelge 4.3 : 60cmx60cm kesit için moment ve eğrilik değerleri.**

| Normal Kuvvet Yüzdesi | 10%      |          | 40%       |          |
|-----------------------|----------|----------|-----------|----------|
| N(kN)                 | -1656    |          | -6624     |          |
| Açı                   | 0        | 45       | 0         | 45       |
| $\phi_y$ (1/m)        | 0.005944 | 0.004858 | 0.009509  | 0.006917 |
| $\phi_u$ (1/m)        | 0.0664   | 0.0355   | 0.0228    | 0.0206   |
| My (kNm)              | 709.939  | 665.692  | 1404.581  | 1234.483 |
| Mu (kNm)              | 837.409  | 847.122  | 1404.6    | 1252.36  |
| $\phi_p$ (1/m)        | 0.060456 | 0.030642 | 0.013291  | 0.013683 |
| Lp                    | 0.3      | 0.3      | 0.3       | 0.3      |
| $\theta_p$            | 0.018137 | 0.009192 | 0.0039873 | 0.004105 |
| Mp/My                 | 1.18     | 1.27     | 1.00      | 1.01     |

**Çizelge 4.4 : 50cmx50cm kesit için moment ve eğrilik değerleri.**

| Normal Kuvvet Yüzdesi | 10%      |         | 40%     |         |
|-----------------------|----------|---------|---------|---------|
| N(kN)                 | -1150    |         | -4600   |         |
| Açı                   | 0        | 45      | 0       | 45      |
| $\phi_y$ (1/m)        | 0.00746  | 0.00609 | 0.01191 | 0.00859 |
| $\phi_u$ (1/m)        | 0.0811   | 0.0465  | 0.0316  | 0.0285  |
| My (kNm)              | 482.783  | 440.778 | 869.383 | 757.88  |
| Mu (kNm)              | 568.193  | 564.817 | 869.639 | 770.735 |
| $\phi_p$ (1/m)        | 0.060456 | 0.04041 | 0.01969 | 0.01991 |
| Lp                    | 0.25     | 0.25    | 0.25    | 0.25    |
| $\theta_p$            | 0.01841  | 0.0101  | 0.00492 | 0.00498 |
| Mp/My                 | 1.18     | 1.28    | 1.00    | 1.02    |

Tüm kesitler için yapılan işlemlerden sonra yukarıda gösterilen veriler elde edildikten sonra SAP2000 programında plastik mafsalları ataması yapılmıştır. İlk olarak mafsalları türü olarak P-M2-M3 mafsalları türü seçilmiştir. Bunun sebebi kolonların her iki ekseninde moment ve eksenel kuvvet etkisinde olmasıdır. Bu adımın detayları Şekil 4.12'de gösterilmiştir.

**Frame Hinge Property Data**

Hinge Property Name  
3H1

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

Modify/Show Hinge Property...

OK Cancel

**Şekil 4.12 : Kolon plastik mafsall türü.**

Bu adımdan sonra plastik mafsall detayları Şekil 4.13'te gösterilen menüden tanımlanmıştır.

**Frame Hinge Property Data for 3H1 - Interacting P-M2-M3**

Hinge Specification Type  
☐ Moment - Rotation  
☒ Moment - Curvature  
 Hinge Length: 0.3  
☐ Relative Length

Scale Factor for Curvature (SF)  
☐ SF is Equal to Yield Curvature (Steel Objects Only)  
☒ User SF: 1

Load Carrying Capacity Beyond Point E  
☒ Drops To Zero  
☐ Is Extrapolated

Symmetry Condition  
☐ Moment Curvature Dependence is Circular  
☒ Moment Curvature Dependence is Doubly Symmetric about M2 and M3  
☐ Moment Curvature Dependence has No Symmetry

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

Axial Forces for Moment Curvature Curves  
 Number of Axial Forces: 2  
 Modify/Show Axial Force Values...

Curve Angles for Moment Curvature Curves  
 Number of Angles: 3  
 Modify/Show Angles...

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

OK Cancel

**Şekil 4.13 : Plastik mafsall detayları.**

Çizelge 4.3'te görüldüğü üzere moment-eğrilik grafiklerini iki farklı eksenel yük altında elde edilmiştir. Bu aşamada bu değerler ilgili kısımdan tanımlanmıştır. Tanımlamanın detayları Şekil 4.14'te görülmektedir. Eksenel yükler, basınç kuvveti olduğu için negatif olarak programa girilmiştir.

**S** Axial Forces for 3H1 - Interacting P-M2-M3

Edit

This Number of Axial Force Values Is Specified

Number of Axial Forces

Axial Force Data

|   | Axial Force |
|---|-------------|
| 1 | -6624.      |
| 2 | -1656.      |

KN, m, C

Order Rows

OK

Cancel

**Şekil 4.14 :** Eksenel basınç kuvveti değerleri.

Basınç kuvvetleri ile birlikte moment-eğrilik grafikleri üç farklı açıda etkileşim yüzeyi için elde edilmiştir. Bu açılar 0,45 ve 90 derecedir. Kolon kesitleri kare kesit olduğundan dolayı 0 ve 90 derece için elde edilen değerler aynıdır. Bu verilerin programa tanımlanması detayları Şekil 4.15'tedir.

**S** Angles for 3H1 - Interacting P-M2-M3

Edit

This Number of Angles Is Specified

Number of Angles

Angle Data

|   | Angle in Degrees |
|---|------------------|
| 1 | 0.               |
| 2 | 45.              |
| 3 | 90.              |

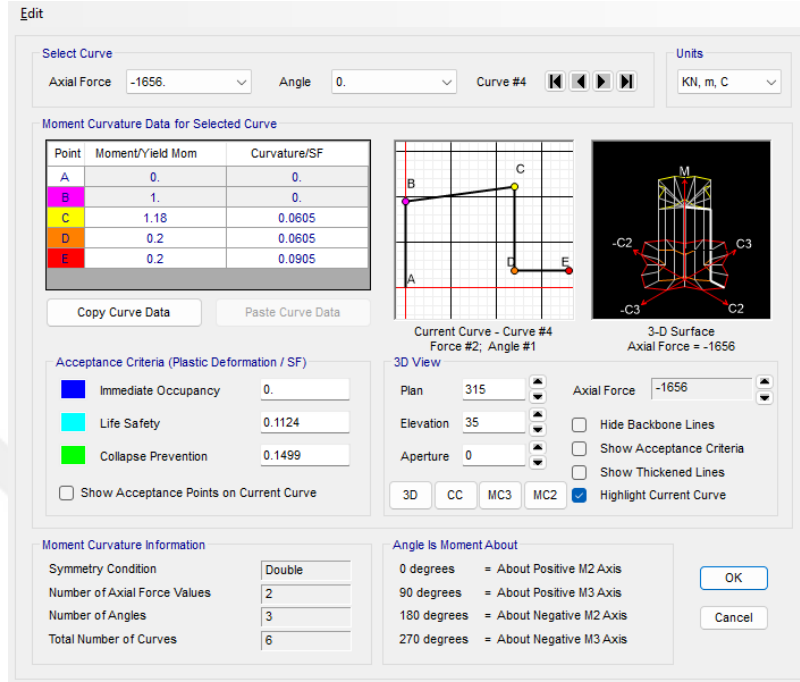
Order Rows

OK

Cancel

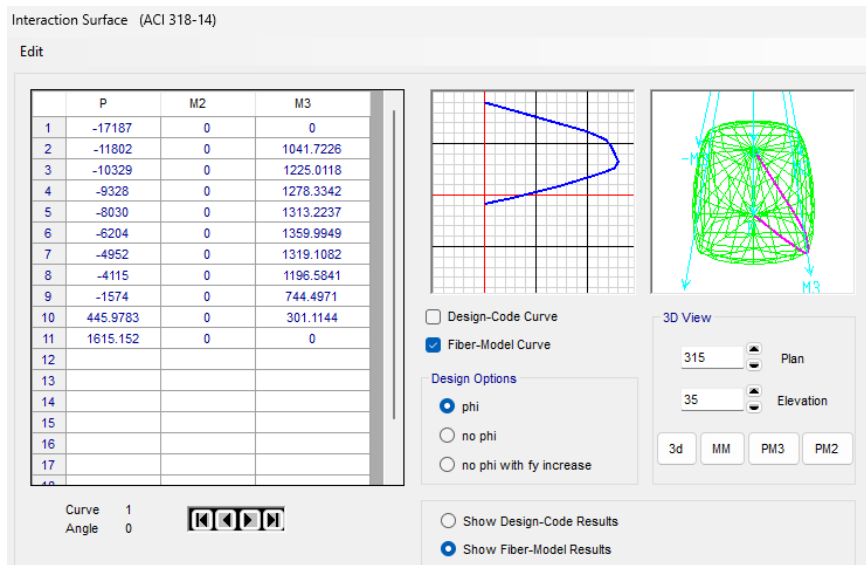
**Şekil 4.15 :** Etkileşim yüzeylerinin açıları.

Tüm eksenel yükler ve etkileşim yüzeyleri için elde edilen veriler SAP2000 programında plastik mafsallık özellikleri bölümünün moment-eğrilik verileri kısmından tanımlanmıştır. İlgili bölümün ekran görüntüsü Şekil 4.16’da gösterilmiştir.



Şekil 4.16 : Moment-eğrilik verileri tanımlanması.

Moment-eğrilik verilerinin tanımlanmasının ardından, farklı etkileşim yüzeyleri için section designer bölümünden elde edilen karşılıklı etki diyagramı verilerinin plastik mafsallık özelliklerine tanımlanma işlemi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler ve tanımlama işleminin detayları aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.



Şekil 4.17 : Karşılıklı etki diyagramı.

**S** P-M2-M3 Interaction Surface Definition for 3H1

Edit

**User Interaction Surface Options**

☐ Circular Symmetry  
☒ Doubly Symmetric about M2 and M3  
☐ No Symmetry

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

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

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

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

| Point | P        | M2 | M3 |
|-------|----------|----|----|
| 1     | -17187.  | 0  | 0  |
| 11    | 1615.152 | 0  | 0  |

**Interaction Surface Requirements - Doubly Symmetric**

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

**Interaction Curve Data**

Current Curve: 3

| Point | P        | M2 | M3        |
|-------|----------|----|-----------|
| 1     | -17187.  | 0. | 0.        |
| 2     | -11802.  | 0. | 1041.7226 |
| 3     | -10329.  | 0. | 1225.0118 |
| 4     | -9328.   | 0. | 1278.3342 |
| 5     | -8030.   | 0. | 1313.2237 |
| 6     | -6204.   | 0. | 1359.9949 |
| 7     | -4952.   | 0. | 1319.1082 |
| 8     | -4115.   | 0. | 1196.5841 |
| 9     | -1574.   | 0. | 744.4971  |
| 10    | 445.9783 | 0. | 301.1144  |
| 11    | 1615.152 | 0. | 0.        |

Insert Curve Delete Curve Check Surface

**3D Plot**

Plan: 315 Elevation: 25 Aperture: 0

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

3D MM PM3 PM2

OK Cancel

**Şekil 4.18 :** Karşılıklı etki diyagramı verileri tanımlanması.

Plastik mafsallın gerekli bütün özellikleri SAP2000 programında tanımlandıktan sonra her bir kolonun alt ve üst uç kısmına kesitine göre uygun olan plastik mafsallar atanmıştır. Şekil 4.19’da bu atamanın detayları gösterilmiştir.

**S** Assign Frame Hinges

Frame Hinge Assignment Data

| Hinge Property | Relative Distance |
|----------------|-------------------|
| Auto           | 0                 |
| 3H1            | 0                 |
| 3H2            | 1                 |

Add Hinge...  
Modify/Show Auto Hinge...  
Delete Hinge

**Current Hinge Information**  
No hinge is currently selected

**Options**

☐ Add Specified Hinge Assigns to Existing Hinge Assigns  
☒ Replace Existing Hinge Assigns with Specified Hinge Assigns

**Existing Hinge Assignments on Currently Selected Frame Objects**  
Number of Selected Frame Objects: 1  
Total Number of Hinges on All Selected Frame Objects: 2  
All 2 existing hinge assignments will be removed when the above hinge assignment is applied

Fill Form with Hinges on Selected Frame Object

OK Close Apply

**Şekil 4.19 :** Kolon alt ve üst ucuna plastik mafsall atanması.

## 4.2 Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklendirilmesi

TBDY 2018 Bölüm 5.7.2.'de belirtildiği üzere zaman tanım alanında yapılacak doğrusal olmayan hesaplarda en az on bir deprem yer hareket kullanılacaktır. Bu deprem takımları kullanılırken birbirine dik yatay iki doğrultudaki ivme kayıtları taşıyıcı sistemin X ve Y eksenleri doğrultusunda aynı anda etki ettirilecektir. Bu hesaplamalar eksenler  $90^\circ$  döndürülerek tekrarlanacaktır. Bu tez kapsamında 11 adet deprem yer hareket kullanılarak toplam 22 adet analiz yapılmıştır.

Bu deprem yer hareketleri seçilirken fay türleri, büyüklükleri, kayıt istasyonunun zemin sınıfları ve kayıt mesafeleri dikkate alınmıştır. İvme kayıtları Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER) veri tabanından elde edilmiştir.

TBDY 2018 Bölüm 2.5.2'de deprem kayıtlarının üç boyutlu hesapta kullanılmak amacıyla nasıl ölçeklendirileceğine dair esaslar bulunmaktadır. Bu esaslara göre analiz için seçilen her bir deprem yer hareketinin iki yatay bileşenine ait spektrumlarının kareleri toplamının karekökü alınarak bileşke yatay spektrum elde edilecektir. Tüm kayıtların bileşke spektrumlarının ortalamasının  $0.2T_p$  ve  $1.5T_p$  periyotları arasındaki genlikleri TBDY 2018'de tanımlanan tasarım spektrumunun aynı periyot aralığındaki genliklerine oranı 1.3'ten daha küçük olmaması kuralına göre deprem yer hareketi kayıtları ölçeklendirilecektir. Her iki yatay bileşenin ölçeklendirilmesi aynı ölçek katsayısı ile yapılacaktır. Frekans tanım alanında ölçekleme yöntemi ve zaman tanım alanında ölçekleme yöntemi, deprem kayıtlarının ölçeklendirilmesinde kullanılan yöntemlerdir.

### 4.2.1 Frekans tanım alanında ölçekleme yöntemi

Bu yöntem yardımıyla ölçeklenen kayıtların tasarım spektrumu ile uyumu çok yüksektir. Fakat bu ölçeklendirme sırasında deprem yer hareketi kayıtlarının frekansları değişmektedir. SAP2000, ETABS, SEISMOMATCH gibi programlar yardımıyla bu yöntem ile ölçeklendirme yapılabilir.

### 4.2.2 Zaman tanım alanında ölçekleme yöntemi

Bu yöntem ile, deprem yer hareketi kayıtlarının frekanslarını değiştirmeden ivme kayıtlarını belli bir katsayı ile çarparak ölçeklendirme yapılmaktadır.

Bu yöntemin temelinde, tasarım ivme spektrumu ile ölçeklenmiş deprem yer hareketinin spektrumu arasındaki farkı en küçük kareler tekniği kullanarak küçültmek vardır. Denklem 4.10’da fark, belirlenen periyot aralıklarının ölçeklenmiş ve hedef tasarım spektrumu genlikleri arasındaki farkın karesinin integrali alınarak tanımlanmıştır (Fahjan, 2008).

$$|Fark| = \int_{T_A}^{T_B} \left[ \alpha S_a^{gerçek}(T) - S_a^{hedef}(T) \right]^2 dT \quad (4.10)$$

Denklemde bulunan  $S_a^{hedef}$  hedef ivme spektrumunu,  $S_a^{gerçek}$  gerçek deprem kaydının ivme spektrumunu,  $\alpha$  ise doğrusal ölçekleme katsayısını temsil etmektedir.  $T_A$  ve  $T_B$  ise ölçeklenme yapılacak olan periyot aralığını belirlemektedir. Bu denklemdeki fark olarak adlandırılan fonksiyonun küçülmesi için  $\alpha$  katsayısına göre türevinin sıfır olması gerekmektedir. Bu bağıntı denklem 4.11’de gösterilmiştir.

$$\min |Fark| = \frac{d |Fark|}{d\alpha} = 0 \quad (4.11)$$

Denklem 4.10’da bulunan integral fonksiyonu ayrık forma dönüştürülerek  $T_A$  ve  $T_B$  aralığı  $\Delta T$  artırımlı toplam haline getirilebilir. Bu işlem sonucunda denklem 4.12’de gösterilen bağıntı elde edilir.

$$\alpha = \frac{\sum_{T=T_A}^{T_B} (S_a^{gerçek}(T) S_a^{hedef}(T))}{\sum_{T=T_A}^{T_B} (S_a^{gerçek}(T))^2} \quad (4.12)$$

Bu çalışma içerisinde seçilen deprem yer hareketi kayıtlarının ölçeklendirilmesinde zaman tanım alanında ölçeklendirme yöntemi kullanılmıştır. Tez kapsamında incelenen yapıya ait hâkim doğal titreşim periyotları  $T_{px}=2.45$  s,  $T_{py}=2.15$  s olarak belirlenmiştir. Yapının hâkim doğal periyotunun 0.2 ve 1.5 katları arasındaki periyot değerlerinde TBDY 2018’de verilen şartlar sağlanacak şekilde ölçeklendirme yapılmıştır. PEER veri tabanı yardımı ile elde edilen kayıtlar yukarıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanan ölçekleme katsayısı ile çarpılarak zaman tanım alanında

doğrusal olmayan analizde kullanılmıştır. Kullanılan deprem kayıtları ve bu kayıtlara ait ölçeklendirme katsayıları Çizelge 4.5’de detaylıca gösterilmiştir.

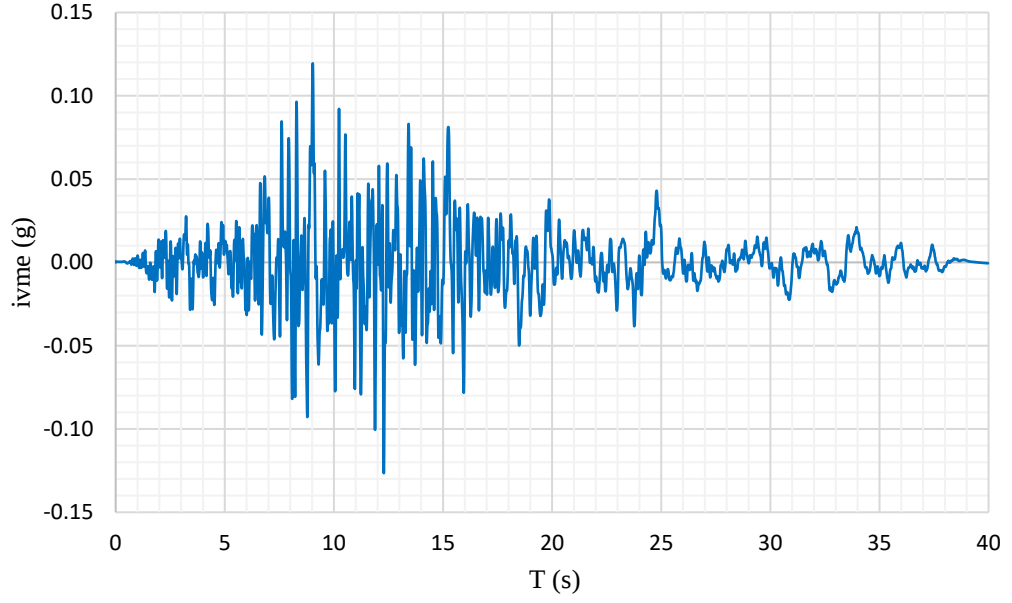
**Çizelge 4.5 : Deprem kayıtları ve ölçeklendirme katsayıları.**

| RSN No | Deprem Kaydı           | İstasyon                    | Yıl  | Büyüklik | Ölçeklendirme Katsayısı |
|--------|------------------------|-----------------------------|------|----------|-------------------------|
| 762    | “Loma Prieta”          | “Fremont- Mission San Jose” | 1989 | 6.93     | 2.75                    |
| 850    | “Landers”              | “Desert Hot Springs”        | 1992 | 7.28     | 1.83                    |
| 1008   | “Northridge-01”        | “LA- W 15th St”             | 1994 | 6.69     | 2.47                    |
| 1161   | “Kocaeli Turkey”       | “Gebze”                     | 1999 | 7.51     | 1.68                    |
| 1626   | “Sitka Alaska”         | “Sitka Observatory”         | 1972 | 7.68     | 4.66                    |
| 1633   | “Manjil Iran”          | “Abbar”                     | 1990 | 7.97     | 0.66                    |
| 3750   | “Cape Mendocino”       | “Loleta Fire Station”       | 1992 | 7.01     | 1.24                    |
| 4454   | “Montenegro Yugo.”     | “Gacko- Zemlj. Zadruga”     | 1979 | 7.1      | 6.33                    |
| 4852   | “Chuetsu-oki, Japan”   | “Joetsu, Aramaki District”  | 2007 | 6.8      | 1.89                    |
| 5773   | “Iwate, Japan”         | “Miyagi Great Village”      | 2009 | 6.9      | 2.22                    |
| 6948   | “Darfield New Zealand” | “OXZ”                       | 2010 | 7.0      | 2.50                    |

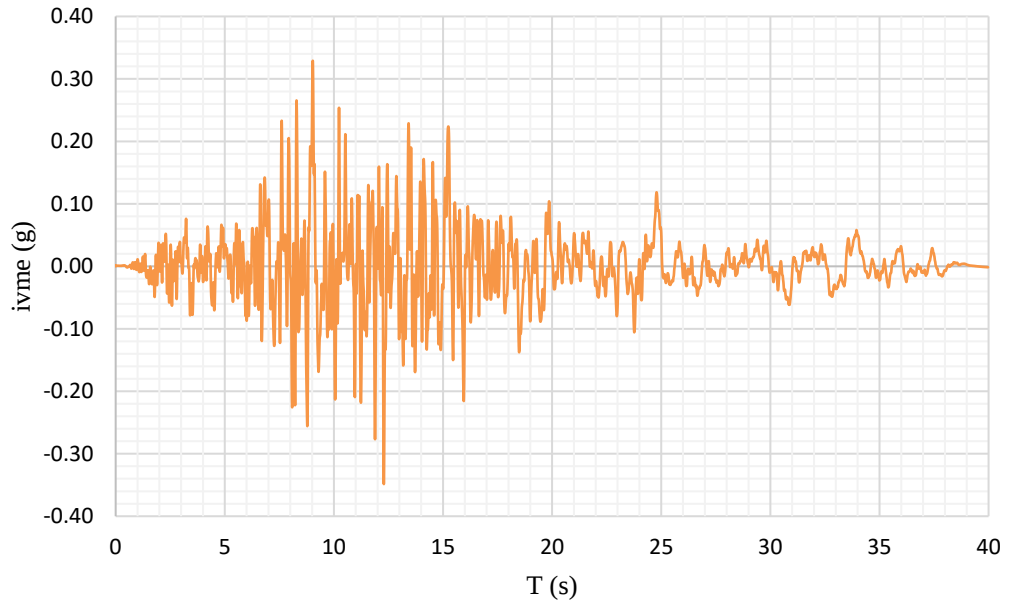
Ölçeklendirme katsayılarının hesaplanması tamamlandıktan sonra TBDY 2018 Bölüm 2.5.2.(b) tanımlanan şartların kontrolleri tüm deprem yer hareketi kayıtları için yapılmıştır.

Tüm deprem yer hareketi ivme kayıtlarının her iki yatay bileşenine ait davranış spektrumları SEISMOSIGNAL programından faydalanılarak elde edilmiştir. Bu spektrumların karelerinin karekökü alınarak bileşke spektrum elde edilmiştir. Kullanılan tüm deprem kayıtlarına ait bileşke spektrumların ortalamasının  $0.2T_p$  ve  $1.5T_p$  periyotları arasındaki genlikleri, tasarım spektrumunun aynı periyot aralığındaki genliklerinin 1.3 katından daha büyük olacak şekilde kontrol sağlanmıştır.

RSN762 “Loma Prieta” deprem yer hareketine ait 000 doğrultusunda ölçeklenmiş ve ölçeklenmemiş ivme-zaman grafikleri örnek olarak Şekil 4.20 ve 4.21’de gösterilmiştir.

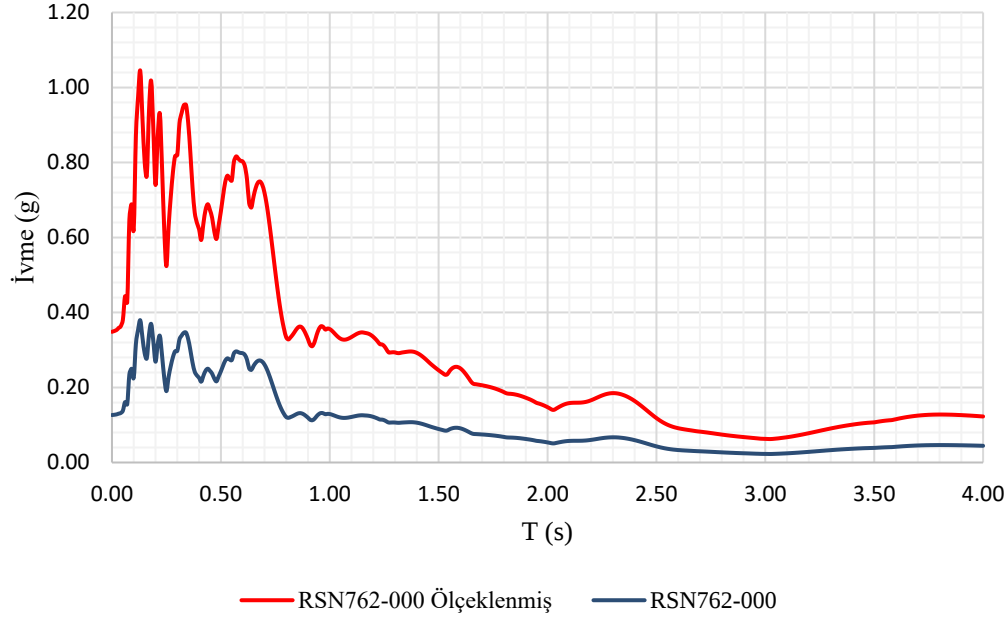


**Şekil 4.20 :** “Loma Prieta” depremine ait 000 doğrultusunda ivme-zaman grafiği.



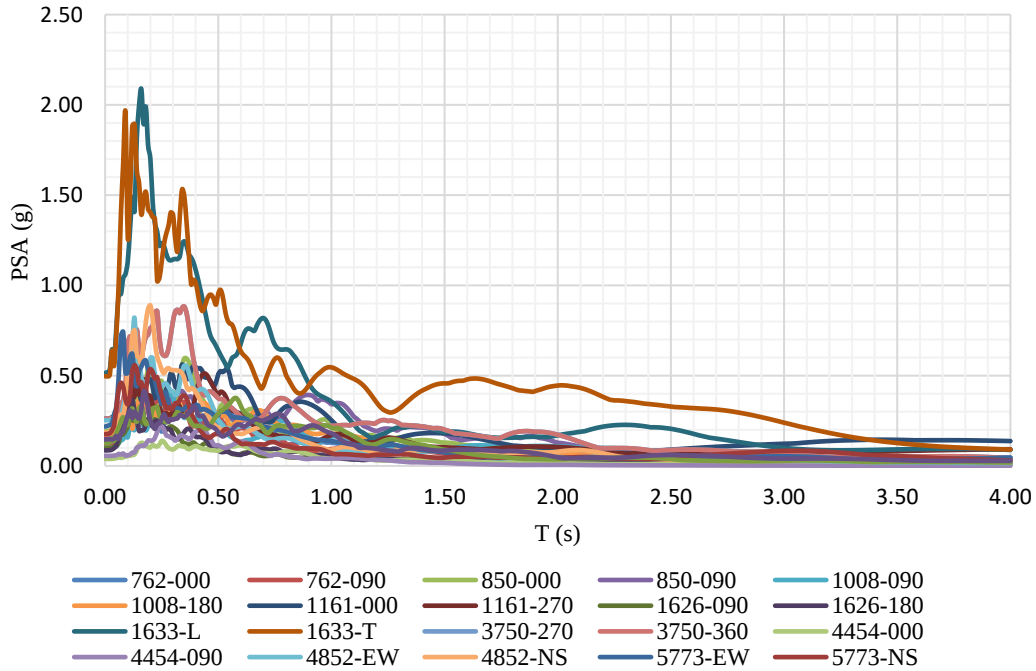
**Şekil 4.21 :** “Loma Prieta” depremine ait 000 doğrultusunda ölçeklendirilmiş ivme-zaman grafiği.

SEISMOSIGNAL programı yardımıyla elde edilen, RSN762 “Loma Prieta” deprem yer hareketine ait 000 doğrultusunda ölçeklenmiş ve ölçeklenmemiş davranış spektrumları Şekil 4.22’de verilmiştir.



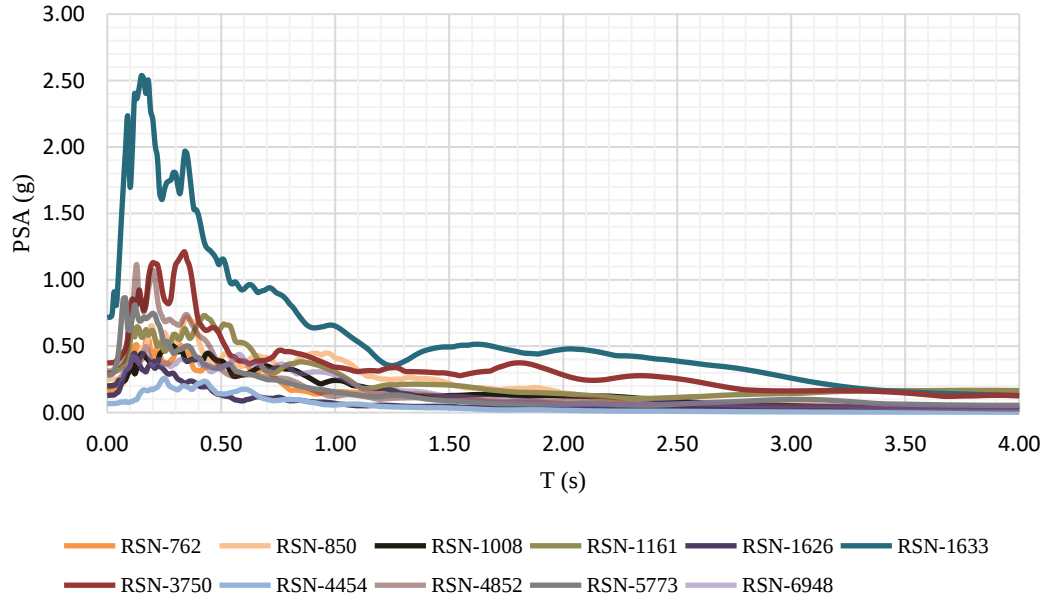
**Şekil 4.22 :** RSN762-000 ölçekli ve ölçeksiz davranış spektrumları.

Şekil 4.23'te seçilen tüm deprem kayıtlarına ait her iki yatay bileşendeki ivme kayıtlarından SEISMOSIGNAL programı yardımıyla elde edilen ölçeklendirilmemiş davranış spektrumları görülmektedir.



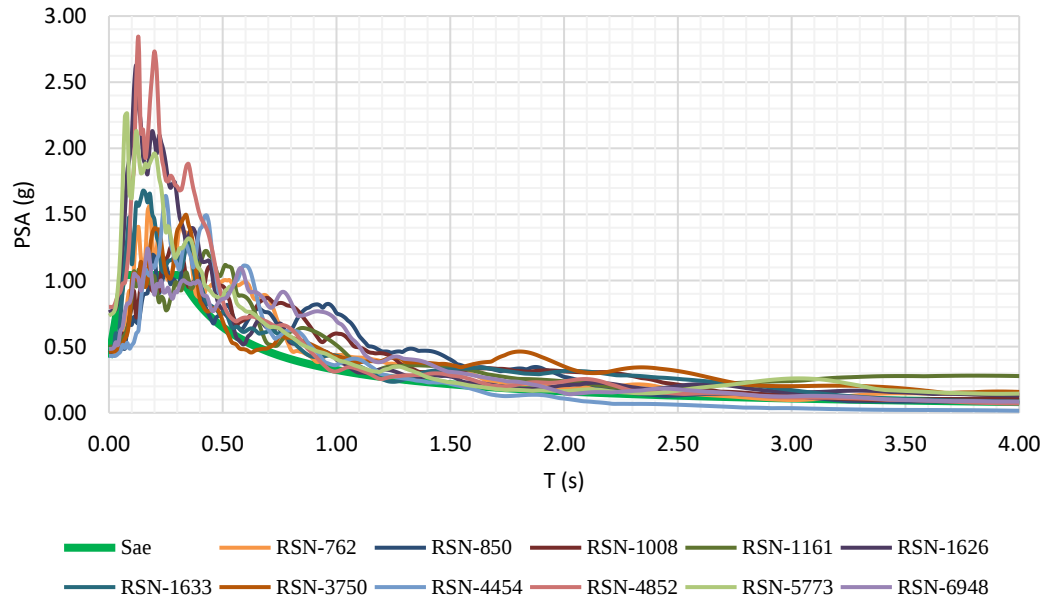
**Şekil 4.23 :** Tüm kayıtlara ait ölçeklendirilmemiş davranış spektrumları.

Şekil 4.23'te gösterilen her iki yatay bileşen için ayrı ayrı elde edilen davranış spektrumlarının karelerinin toplamın karekökü alınarak elde edilen tüm deprem kayıtlarına ait bileşke davranış spektrumları Şekil 4.24'te gösterilmiştir.



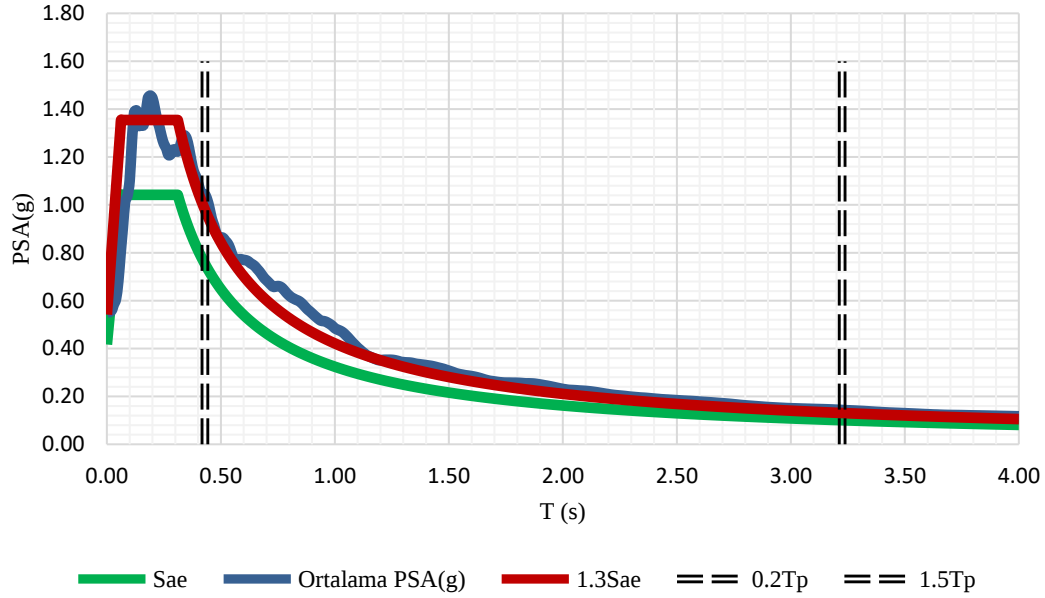
**Şekil 4.24 : Ölçeklendirilmemiş bileşke davranış spektrumları.**

Şekil 4.24'te gösterilen ölçeklendirilmemiş bileşke davranış spektrumlarının ölçeklendirilmiş versiyonları Şekil 4.25'te gösterilmiştir.



**Şekil 4.25 : Ölçeklendirilmiş bileşke davranış spektrumları.**

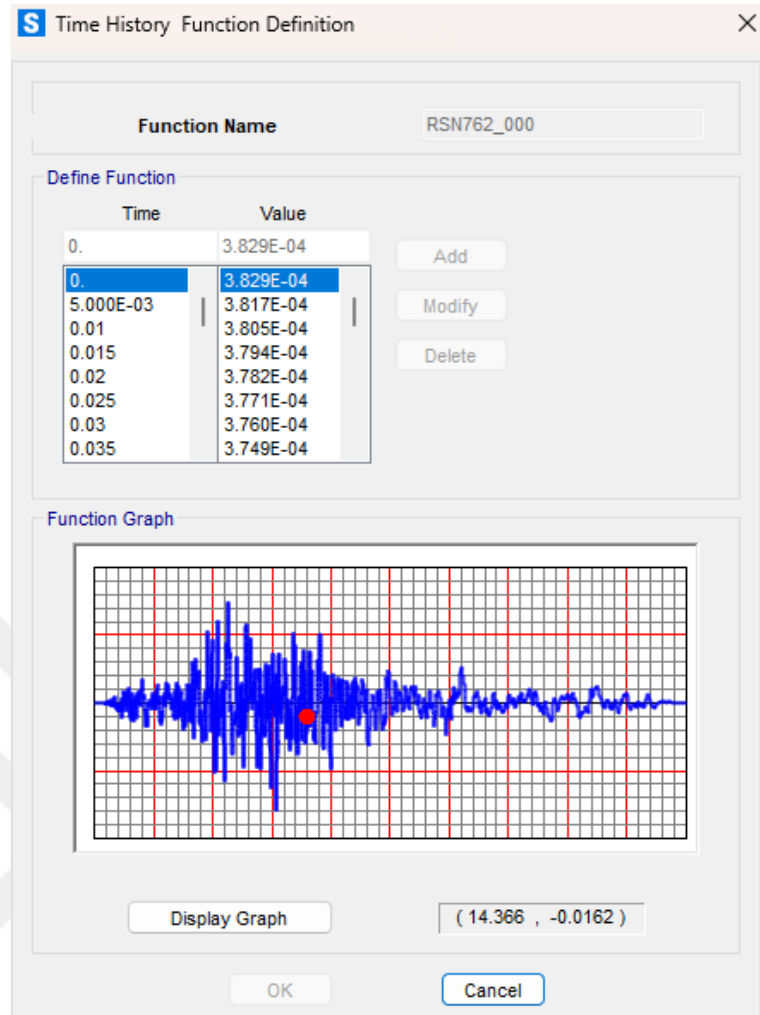
Şekil 4.25'te gösterilen tüm deprem kayıtları için elde edilen ölçeklendirilmiş bileşke davranış spektrumlarının ortalaması ile yatay elastik tasarım spektrumunun TBDY 2018'de belirtilen  $0.2T_p$  ve  $1.5T_p$  periyotları aralığındaki karşılaştırılması Şekil 4.26'da gösterilmiştir.



**Şekil 4.26 :** Bileşke davranış spektrumu ve yatay elastik tasarım spektrumunun karşılaştırılması.

### 4.3 Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Yükleme Durumları

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz için seçilen deprem yer hareketi kayıtlarının her iki yatay bileşeni SAP2000 programına aktarılmıştır. Örnek bir kayıt olarak RSN762-000 deprem ivme kaydının tanımlanması detayı Şekil 4.27'de görülmektedir.



Şekil 4.27 : RSN792-000 ivme kaydının tanımlaması.

#### 4.3.1 Deprem yüklerinin tanımlanması

Seçilen on bir adet deprem yer hareketi kayıtlarına ait her iki yatay bileşene ait toplam yirmi iki adet ivme verilerinin tanımlanmasının ardından bu veriler yardımıyla deprem yükleri tanımlanmıştır. Deprem yüklerinin düşey etkiler ile birleştirilerek uygulanmasında TBDY 2018 Bölüm 5.2.2.1.'de verilen esaslar kullanılmıştır. Öncelikle SAP2000 programında doğrusal olmayan statik yükleme oluşturulmuş ve zaman tanım alanında yapılacak olan yüklemeler bu yüklemenin başlangıç değeri olarak kabul edilmiştir. Bu yüklemenin tanımlanması detayları Şekil 4.28'de gösterilmiştir.

**S Load Case Data - Nonlinear Static**

**Load Case Name**  
G+nQ(non) Set Def Name Modify/Show...

**Initial Conditions**  
☒ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State  
☐ Continue from State at End of Nonlinear Case  
 Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

**Modal Load Case**  
All Modal Loads Applied Use Modes from Case MODAL

**Loads Applied**

| Load Type    | Load Name | Scale Factor |
|--------------|-----------|--------------|
| Load Pattern | G1        | 1.2084       |
| Load Pattern | G2        | 1.2084       |
| Load Pattern | KAR(Q1)   | 0.3          |

Add Modify Delete

**Other Parameters**  
 Load Application: Full Load Modify/Show...  
 Results Saved: Final State Only Modify/Show...  
 Nonlinear Parameters: Default Modify/Show...

**Load Case Type**  
Static Design...

**Analysis Type**  
☐ Linear  
☒ Nonlinear

**Geometric Nonlinearity Parameters**  
☐ None  
☒ P-Delta  
☐ P-Delta plus Large Displacements

**Mass Source**  
G+nQ

OK Cancel

**Şekil 4.28 :** Doğrusal olmayan statik yükleme tanımlanması.

Daha sonra on bir adet deprem kaydının her biri için iki ayrı doğrusal olmayan zaman tanım alanında yükleme durumu tanımlanmıştır. Bir tanesinde, birbirine dik yatay iki doğrultuda bulunan ivme kayıtları X ve Y eksenleri doğrultusunda aynı anda birlikte etki edecek şekilde tanımlanmıştır. Aynı deprem için tanımlanan diğer yükleme durumunda ise ivme kayıtlarının eksenler 90° derece döndürülerek tanımlanmıştır. Bu yüklemenin tanımlanmasına ait detaylar örnek bir yükleme durumu için Şekil 4.29’da görülmektedir.

**Load Case Data - Nonlinear Direct Integration History**

**Load Case Name**: RSN762-1 **Set Def Name** **Notes** **Modify/Show...**

**Initial Conditions**  
☐ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State  
☒ Continue from State at End of Nonlinear Case **G+nQ(non)**  
 Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

**Modal Load Case**  
 Use Modes from Case: MODAL

**Loads Applied**

| Load Type | Load Name | Function   | Scale Factor |
|-----------|-----------|------------|--------------|
| Accel     | U1        | RSN762_001 | 27.02        |
| Accel     | U1        | RSN762_000 | 27.02        |
| Accel     | U2        | RSN762_090 | 27.02        |

**Add** **Modify** **Delete**

☐ Show Advanced Load Parameters

**Time Step Data**  
 Number of Output Time Steps: 7998  
 Output Time Step Size: 5.000E-03

**Other Parameters**  
 Damping: Proportional **Modify/Show...**  
 Time Integration: Newmark **Modify/Show...**  
 Nonlinear Parameters: Default **Modify/Show...**

**Load Case Type**  
 Time History **Design...**

**Analysis Type**  
☐ Linear ☒ Nonlinear

**Solution Type**  
☐ Modal ☒ Direct Integration

**Geometric Nonlinearity Parameters**  
☐ None ☒ P-Delta ☐ P-Delta plus Large Displacements

**History Type**  
☒ Transient ☐ Consider Collapse  
☐ Periodic

**Mass Source**  
 Previous

**OK** **Cancel**

**Şekil 4.29** : RSN792-1 deprem yer hareketi yükleme durumu tanımlanması.

Yükleme durumu için sönüm oranının tanımlanmasında Rayleigh sönüm modeli kullanılmıştır. Bu sönüm modelinde, sönüm matrisi kütle ve rijitlik matrisleri ile orantılı olacak şekilde hesaplanmaktadır (Chopra, 1995). Bu modeldeki sönüm matrisinin hesaplanması için kullanılan bağıntı denklem 4.13’te verilmiştir.

$$[C] = \alpha[M] + \beta[K] \quad (4.13)$$

Denklemden M ile ifade edilen matris kütle matrisini, K ile ifade edilen matris ise rijitlik matrisini göstermektedir.

Yapının modal analizi sonucunda elde edilen birinci ve ikinci modlara ait periyot değerleri SAP2000 programında ilgili bölüme tanımlanarak sönüm matrisi için gerekli katsayılar programa hesaplatılmış ve sönüm oranı tanımlanmıştır. Bu tanımlamanın detaylarına Şekil 4.30’dan ulaşılabilir.

**Direct Integration Damping**

**Viscous Proportional Damping**

☐ Direct Specification
 ☒ Specify Damping by Period
 ☐ Specify Damping by Frequency

Mass Proportional Coefficient: 0.1366 1/sec  
 Stiffness Proportional Coefficient: 0.0182 sec

|        | Period   | Frequency | Damping |
|--------|----------|-----------|---------|
| First  | 2.45 sec | cyc/sec   | 0.05    |
| Second | 2.15 sec | cyc/sec   | 0.05    |

Recalculate Coefficients

**Additional Modal Damping**

☐ Include Additional Modal Damping  
 Modal Load Case:   
☐ Maximum Considered Modal Frequency:   
 Modify/Show Modal Damping Parameters...

OK Cancel

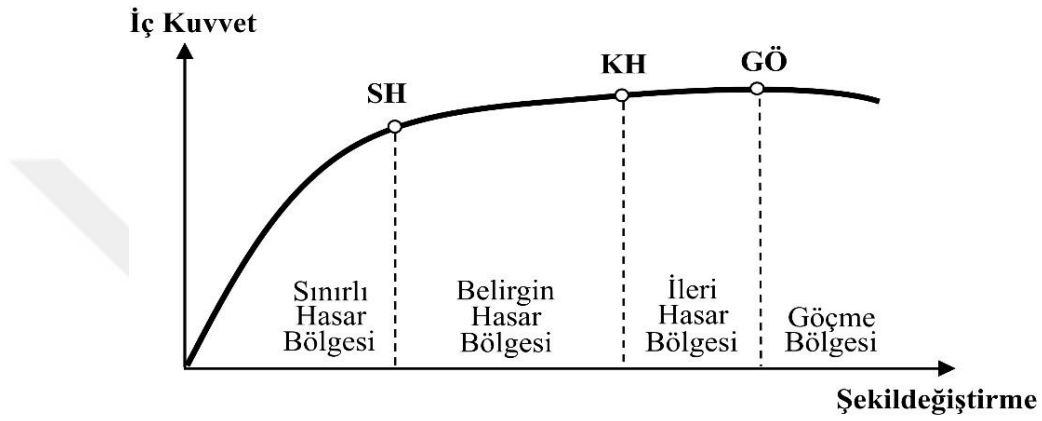
**Şekil 4.30 : SAP2000 sönüm oranının tanımlanması.**

#### 4.4 Kesit Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri

Daha önce Bölüm 3.2.5'te TBDY 2018 tanımlanan hasar performans düzeylerinden ve bu düzeylerin hangi hasar durumları esas alınarak tanımlandığından bahsedilmişti. Bu bölümde mevcut binaların deprem performansının belirlenmesi için TBDY 2018 Bölüm 15.3.1.'de tanımlanan kesit hasar durumları tanıtılmış ve yapıdaki elemanların kesit hasar sınır değerleri hesaplanmıştır.

TBDY 2018'e göre sünec elemanlarda kesit düzeyinde üç hasar durumu ve hasar sınırı tanımlanmıştır. TBDY Bölüm 15.3.1.'e göre bunlar Sınırlı Hasar (SH), Kontrollü Hasar (KH), Göçme Öncesi Hasar (GÖ) durumları ve bu durumlara ait sınır değerleridir. Sınırlı hasar, hasarın meydana geldiği kesitteki sınırlı miktarda elastik ötesi davranışı tanımlamaktadır. Kontrollü hasar ise ilgili kesit dayanımının güvenli olarak sağlanabileceği elastik ötesi davranışı temsil etmektedir. Göçme önce hasar durumu da kesitte ileri düzeyde oluşan elastik ötesi davranışı tanımlamaktadır. Bu sınıflandırma gevrek hasar gören elemanlar için geçerli değildir.

Yukarıda belirtilen hasar durumları için TBDY 2018’de kesit hasar bölgeleri tanımlanmıştır. Kritik kesitlerde meydana gelen hasar, Sınırlı Hasar (SH)’a ulaşmayan taşıyıcı elemanlar Sınırlı Hasar Bölgesi’nde, Sınırlı Hasar (SH) ve Kontrollü Hasar (KH) arasında kalan taşıyıcı elemanlar Belirgin Hasar Bölgesi’nde, Kontrollü Hasar (KH) ile Göçmenin Öncesi (GÖ) arasında kalan taşıyıcı elemanlar İleri Hasar Bölgesi’nde, Göçme Öncesi (GÖ)’yü aşan taşıyıcı elemanlar ise Göçme Bölgesi’nde yer alırlar. Bu bölgelerin gösterildiği, TBDY 2018 Şekil 15.1’den alınan iç kuvvet-şekil değiştirme grafiği Şekil 4.31’de gösterilmiştir.



**Şekil 4.31 : Kesit hasar bölgeleri.**

TBDY 2018 Bölüm 5.8.1.’de betonarme binalar için izin verilen şekil değiştirme sınırları tanımlanmıştır.

#### 4.4.1 Göçmenin önlenmesi performans düzeyi için kesit hasar sınır değeri

Kolonlarda doğrusal olmayan davranış modeli olarak yığılı plastik davranış modeli kullanıldığından dolayı, TBDY 2018’de verilen yığılı plastik davranış modeline göre hesaplanan plastik dönmeler için verilen sınır değerler, kesite etkiyen eksenel kuvvet ve malzeme modelleri dikkate alınarak yapılan moment-eğrilik analizleri sonucu aşağıdaki denkleme göre hesaplanmıştır.

$$\theta_p^{(GÖ)} = \frac{2}{3} \left[ (\phi_u - \phi_y) L_p \left( 1 - 0.5 \frac{L_p}{L_s} \right) + 4.5 \phi_u d_b \right] \quad (4.10)$$

Denklem 4.10’da bulunan  $\phi_u$  kesit göçmeden önceki toplam eğriliği göstermektedir.  $\phi_y$  kesitin akma noktasındaki eğriliğini,  $L_p$  plastik mafsalsal boyunu,  $L_s$  elemanın kesme açıklığını temsil etmektedir.

#### 4.4.2 Kontrollü hasar performans düzeyi için kesit hasar sınır değeri

Kontrollü hasar performans düzeyi için izin verilen plastik dönme sınır değerleri denklem 4.10'da hesaplanan göçmenin önlenmesi performans düzeyi için hesaplanan plastik dönme sınır değerlerine bağlı olarak TBDY 2018 denklem 5.7b'de verilmiş olan bağıntı yardımıyla hesaplanmıştır. Denklemin detayları aşağıda verilmiştir.

$$\theta_p^{(KH)} = 0.75\theta_p^{(GÖ)} \quad (4.11)$$

#### 4.4.3 Sınırlı hasar performans düzeyi için kesit hasar sınırı değeri

TBDY 2018'e göre sınırlı hasar performans düzeyi için taşıyıcı sistemde plastik mafsall oluşumuna izin verilmeyecektir.

$$\theta_p^{(SH)} = 0 \quad (4.11)$$

#### 4.4.4 Kolonların kesit hasar sınır değerlerinin hesaplanması

TBDY 2018'de tanımlanan bağıntılar yardımıyla kesit hasar sınırları her bir kolon türü için hesaplanmıştır. Sınır değerlerinin detayları Çizelge 4.6'te gösterilmiştir.

**Çizelge 4.6 : Kolonların plastik dönme sınır değerleri.**

| ELEMAN               | KOLON    | S60/60(3-8-9-14) | S60/60(4-7-10-13) | S60/60(5-6-11-12) | S50/50(15-16) |
|----------------------|----------|------------------|-------------------|-------------------|---------------|
| KESİT                | b [m]    | 0.6              | 0.6               | 0.6               | 0.5           |
|                      | h [m]    | 0.6              | 0.6               | 0.6               | 0.5           |
|                      | L (m)    | 12               | 12                | 12                | 12            |
| DONATI (mm)          | Yerleşim | 4x24, 8x18       | 4x24, 8x18        | 4x24, 8x18        | 4x24, 8x18    |
|                      | Çap      | 24, 18           | 24, 18            | 24, 18            | 24, 18        |
| N (G+nQ) (kN)        |          | 159.887          | 249.165           | 291.191           | 153.261       |
| L <sub>s</sub> (m)   |          | 6                | 6                 | 6                 | 6             |
| φ <sub>y</sub> (1/m) |          | 0.005106         | 0.005169          | 0.005201          | 0.006526      |
| d <sub>b</sub> (m)   |          | 0.02             | 0.02              | 0.02              | 0.02          |
| L <sub>p</sub>       |          | 0.3              | 0.3               | 0.3               | 0.25          |
| φ <sub>u</sub> (1/m) |          | 0.1793           | 0.1803            | 0.1813            | 0.1927        |
| Eğrilik (GÖ)         |          | 0.1491           | 0.1499            | 0.1507            | 0.1678        |
| θ <sub>p</sub> (GÖ)  |          | 0.04473          | 0.04497           | 0.04522           | 0.04194       |
| Eğrilik (KH)         |          | 0.1118           | 0.1124            | 0.1130            | 0.1258        |
| θ <sub>p</sub> (KH)  |          | 0.03354          | 0.03373           | 0.03391           | 0.03146       |
| θ <sub>p</sub> (SH)  |          | 0                | 0                 | 0                 | 0             |

#### 4.5 Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçları

##### 4.5.1 Taban kesme kuvvetleri

Yapının zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizi sonucunda G+nQ yükleri altındaki toplam ağırlığı ve her iki doğrultu için 22 adet deprem analizinin mutlak ortalamalarından elde edilen taban kesme kuvvetleri Çizelge 4.7’de gösterilmiştir.

**Çizelge 4.7 :** Deprem kayıtlarının ortalamasından elde edilen taban kesme kuvvetleri.

| Yükleme Durumu |       | Taban Kesme Kuvveti (X) (kN) | Taban Kesme Kuvveti (Y) (kN) | Toplam Düşey Yük (kN) |
|----------------|-------|------------------------------|------------------------------|-----------------------|
| G+nQ           |       | 0                            | 0                            | 3723.47               |
| EQ (Ort)       | Maks. | 274.17                       | 297.17                       | 3723.68               |
|                | Min.  | 268.07                       | 286.63                       | 3723.20               |

##### 4.5.2 Kat deplasmanları ve görel kat ötelemeleri oranı

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonucunda +12.00 m kotunda meydana gelen deplasman değerleri ve bu değerler kullanılarak hesaplanan görel kat ötelemeleri oranı Çizelge 4.8’de gösterilmiştir.

**Çizelge 4.8 :** Görel kat ötelemeleri oranı.

| Eksen | Kat Deplasmanları (m) |                | Görel Kat Öteleme Oranı |                  |
|-------|-----------------------|----------------|-------------------------|------------------|
|       | $\Delta_{maks}$       | $\Delta_{min}$ | $\Delta_{maks}/h$       | $\Delta_{min}/h$ |
| X     | 0.1353                | -0.1348        | 0.01127                 | -0.01123         |
| Y     | 0.1147                | -0.1195        | 0.00956                 | -0.00995         |

##### 4.5.3 Kesme etkisi açısından eleman hasar sınıfları

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonucunda kolonlara etki eden kesme kuvvetleri ve ilgili kolonların kesme kuvveti kapasiteleri karşılaştırıldığında tüm kolonların kesme etkileri açısından güvenli olduğu görülmüştür. Elde edilen ve hesaplanan bu verilerin detaylarına Çizelge 4.9’da ulaşılabilir.

**Çizelge 4.9 : Kolonlarda kesme kuvveti kontrolü.**

| Kolonlar<br>(aks/etiket) | b (m) | h (m) | V <sub>2</sub><br>(kN) | V <sub>3</sub><br>(kN) | V <sub>kapasite</sub><br>(kN) | V <sub>2</sub> /<br>V <sub>kapasite</sub> | V <sub>3</sub> /<br>V <sub>kapasite</sub> |
|--------------------------|-------|-------|------------------------|------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|
| A1/ 3                    | 0.6   | 0.6   | 16.30                  | 14.87                  | 688.24                        | 0.024                                     | 0.022                                     |
| A2/ 4                    | 0.6   | 0.6   | 15.82                  | 20.93                  | 688.24                        | 0.023                                     | 0.030                                     |
| A3/ 5                    | 0.6   | 0.6   | 15.65                  | 23.70                  | 688.24                        | 0.023                                     | 0.034                                     |
| A4/ 6                    | 0.6   | 0.6   | 15.65                  | 23.67                  | 688.24                        | 0.023                                     | 0.034                                     |
| A5/ 7                    | 0.6   | 0.6   | 15.82                  | 20.91                  | 688.24                        | 0.023                                     | 0.030                                     |
| A6/ 8                    | 0.6   | 0.6   | 16.30                  | 14.88                  | 688.24                        | 0.024                                     | 0.022                                     |
| E1/ 9                    | 0.6   | 0.6   | 14.92                  | 14.88                  | 688.24                        | 0.022                                     | 0.022                                     |
| E2/ 10                   | 0.6   | 0.6   | 14.55                  | 20.90                  | 688.24                        | 0.021                                     | 0.030                                     |
| E3/ 11                   | 0.6   | 0.6   | 14.40                  | 23.70                  | 688.24                        | 0.021                                     | 0.034                                     |
| E4/ 12                   | 0.6   | 0.6   | 14.40                  | 23.70                  | 688.24                        | 0.021                                     | 0.034                                     |
| E5/ 13                   | 0.6   | 0.6   | 14.55                  | 20.90                  | 688.24                        | 0.021                                     | 0.030                                     |
| E6/ 14                   | 0.6   | 0.6   | 14.92                  | 14.88                  | 688.24                        | 0.022                                     | 0.022                                     |
| C1/ 15                   | 0.5   | 0.5   | 18.80                  | 29.76                  | 513.37                        | 0.037                                     | 0.058                                     |
| C6/ 16                   | 0.5   | 0.5   | 18.80                  | 29.78                  | 513.37                        | 0.037                                     | 0.058                                     |

#### 4.5.4 Eğilme etkisi açısından kesit hasar bölgeleri

Sünek davranışa sahip elemanlarda değerlendirmeye esas şekil değiştirme talepleri TBDY 2018 Bölüm 5.7.4.'te belirtildiği gibi yapılan 22 adet analizin her birinden elde edilen sonuçları en büyük mutlak değerlerinin ortalaması alınarak hesaplanmıştır.

Bu yöntem doğrultusunda  $\theta_p^{(i)}$  değeri, 22 adet analiz sonucunda mevcut yapının kolonlarında bulunan plastik mafsallardan elde edilen plastik dönmelerin en büyük mutlak değerlerinin ortalaması alınarak her bir eleman için hesaplanmıştır.

Bölüm 4.4'te her bir hasar durumu için kesit hasar sınırları tanımlanmıştır. Bu hasar durumları; göçme önlenmesi (GÖ), kontrollü hasar (KH) ve sınırlı hasar (SH)'dir. Hasar durumlarına ait kesit hasar sınırları  $\theta_p^{(GÖ)}$ ,  $\theta_p^{(KH)}$  ve  $\theta_p^{(SH)}$  olarak tanımlanmaktadır. Bu sınırlardan sınırlı hasar değeri sıfıra eşit olduğundan ve kontrollü hasar sınır değeri de göçmenin önlenmesi sınır değerine bağlı bir değer olduğu için elemanların plastik dönmeleri göçmenin önlenmesi sınır değerine oranlanarak kesitlerin hasar sınır bölgeleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde kolonların üst ucunda bulunan plastik mafsalların hiçbirinde plastik dönme oluşmamıştır. Alt uçlarında oluşan plastik dönmeler sınır değerler ile kıyaslanmıştır. Her bir kolonda elde edilen sonuçlar Çizelge 4.10'da gösterilmiştir.

**Çizelge 4.10 : Kolon hasar bölgeleri.**

| Kolon (aks/<br>etiket) | Plastik<br>Dönme<br>$\theta_p^{(i)}$ (rad) | Göçmenin<br>Önlenmesi Sınır<br>Değeri<br>$\theta_p^{(GÖ)}$ (rad) | Oran<br>$\theta_p^{(i)}/\theta_p^{(GÖ)}$ | Kesit Hasar<br>Bölgesi<br>( $<0.75$ ) |
|------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------|
| A1/ 3                  | 0.0000550                                  | 0.04473                                                          | 0.00123                                  | BHB                                   |
| A2/ 4                  | 0.0002794                                  | 0.04497                                                          | 0.006212                                 | BHB                                   |
| A3/ 5                  | 0.0007189                                  | 0.04522                                                          | 0.015898                                 | BHB                                   |
| A4/ 6                  | 0.0007178                                  | 0.04522                                                          | 0.015874                                 | BHB                                   |
| A5/ 7                  | 0.0002768                                  | 0.04497                                                          | 0.006156                                 | BHB                                   |
| A6/ 8                  | 0.0000561                                  | 0.04473                                                          | 0.001254                                 | BHB                                   |
| E1/ 9                  | 0.0000082                                  | 0.04473                                                          | 0.000183                                 | BHB                                   |
| E2/ 10                 | 0.0003734                                  | 0.04497                                                          | 0.008303                                 | BHB                                   |
| E3/ 11                 | 0.0004088                                  | 0.04522                                                          | 0.009041                                 | BHB                                   |
| E4/ 12                 | 0.0004080                                  | 0.04522                                                          | 0.009022                                 | BHB                                   |
| E5/ 13                 | 0.0003725                                  | 0.04497                                                          | 0.008283                                 | BHB                                   |
| E6/ 14                 | 0.0000091                                  | 0.04473                                                          | 0.000203                                 | BHB                                   |
| C1/ 15                 | 0.0010088                                  | 0.04194                                                          | 0.024053                                 | BHB                                   |
| C6/ 16                 | 0.0009955                                  | 0.04194                                                          | 0.023736                                 | BHB                                   |

Çizelge 4.10'dan görüldüğü üzere tüm kolonlarda zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonucunda plastik mafsall oluşmuş ve plastik dönmeler meydana gelmiştir.

#### **4.6 Analiz Sonuçlarına Göre Mevcut Binanın Deprem Performans**

##### **Değerlendirilmesi**

Tez kapsamından incelenen mevcut binanın zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonucunda elde edilen veriler ile deprem performansının belirlenmesine ait sonuçlar aşağıda detaylıca anlatılmıştır.

Analiz kapsamında yapıya birbirine dik iki yatay bileşen için on bir adet deprem yer hareketi ivme-zaman verileri DD-2 yer hareketi düzeyinde tasarım spektrumuna göre gerekli ölçeklendirme yapılarak uygulanmıştır. Daha sonra TBDY 2018'de belirtildiği üzere bu kayıtlar 90° derece döndürülerek tekrar yüklemeler tanımlanmıştır. Tüm bu yüklemelerin sonucunda elde edilen plastik deformasyonlardan mutlak değerce en büyük değerlerin ortalaması gerekli sınır koşullarla karşılaştırılarak performans değerlendirilmesi yapılmıştır.

İlk olarak kesme etkileri açısından elemanlarda oluşan hasarlara bakıldığında Çizelge 4.9'da görüldüğü üzere betonarme kolonlarda analiz sonucunda elde edilen kesme kuvveti değerleri, betonun ve elemandaki etriye donatısına bağlı olarak elde edilen

kesme kuvveti kapasitesine oranı bütün kolonlarda 1.00'den küçük değer vermiştir. Bu sonuçtan elde ettiğimiz çıkarım, kolonlarda kesme kuvveti etkisi sonucu gevrek bir kırılmanın oluşması beklenmemektedir. Elde edilen kesme kuvveti değerlerinin kesme kuvveti kapasitesinin çok altında gelmesinin sebebi yapının tasarlandığı dönemde geçerli yönetmelik olan DBYBHY 2007'de deprem yükü hesabında elemanların brüt kesit rijitlikleri kullanılmasıdır. Brüt kesit kullanılması halinde yapının rijitliği ve buna bağlı olarak deprem yükü artmaktadır.

İkinci olarak eğilme etkileri açısından elemanlarda oluşan plastik mafsallar ve bu mafsallarda meydana gelen plastik dönmeler incelenmiştir. Çizelge 4.10 incelendiğinde yapıda bulunan kolonların hepsinde plastik mafsallar oluşmuş ama bu mafsallarda meydana gelen plastik dönmelerin göçmenin önlenmesi sınır değerine oranı 0.75'den küçük gelmiştir. Bu da bu plastik dönmelerin kontrollü hasar sınır değerinden küçük olduğunu göstermektedir. Böylece tüm kolonların kesit hasar bölgesi belirgin hasar bölgesi olarak belirlenmiş oldu.

Bu hasar bölgeleri TBDY 2018 Bölüm 15.8'e göre değerlendirilince zaman tanım alanında analizi yapılan binanın deprem performans düzeyi kontrollü hasar performans düzeyinin şartlarını sağlamaktadır.

Mevcut yapının DD-2 hareket yüzeyi etkisinde normal performans hedefi izelge 3.7 yardımıyla kontrollü hasar olarak belirlenmişti. Böylece analizler sonucunda, mevcut yapının deprem performans hedefini sağladığına ulaşılmıştır.



## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez kapsamında incelenen mevcut yapı, 39.590142° enleminde ve 27.835127° boylamında bulunan prefabrik betonarme yapısıdır. Bu yapının, TBDY 2018’de belirtilen esaslar doğrultusunda deprem performansı belirlenmiştir.

Mevcut yapının deprem performansı belirlenirken zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz ile taşıyıcı elemanlarda meydana gelebilecek plastik dönmeler elde edilmiştir. Bu veriler ile kesit hasar sınırları karşılaştırılarak taşıyıcı elemanların kesit hasar bölgeleri belirlenmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre yapıda bulunan tüm kolonlarda plastik mafsall oluşumu meydana gelmiştir. Ama elde edilen plastik dönmelerin kontrollü hasar sınır durumundan küçük olduğu görülmüştür. Böylece tüm kolonların kesit hasar bölgesi belirgin hasar bölgesi olarak belirlenmiştir.

Zaman tanım alanında yapılan doğrusal olmayan 22 adet analizler ve elde edilen sonuçlar doğrultusunda gerekli hesaplamalar yapıldığında mevcut yapının, 475 yıl dönüş periyodu olan DD-2 deprem yer hareketi altında TBDY 2018’de tanımlanmış olan ve mevcut yapının performans hedefi olan “Kontrollü Hasar (Can Güvenliği)” performans düzeyini sağladığı belirlenmiştir. Ayrıca yapıda meydana gelebileceği öngörülen yanal yer değiştirmelerin de kontrolü sağlanmıştır. Böylelikle binanın deprem performans düzeyinde herhangi bir sorun görülmemiştir. Bu sebeple yapıda herhangi bir güçlendirme çalışması yapılmasına şu anlık gerek görülmemektedir.



## KAYNAKLAR

- Akyıldız T.A., Girgin K., (2017). İstanbul'un Kentsel Dönüşümü İçin Üretilen Binaların Deprem Güvenliklerinin Araştırılması, *DEÜ Fen ve Mühendislik Dergisi*, Cilt 19, Sayı 55, 100-121.
- Balkaya, C. ve Kalkan, E. (2003). Performance Based Seismic Evaluation of ShearWall Dominant Building Structures. İstanbul: *ARI The Bulletin of the İstanbul Technical University*, Vol:53, Number 2.
- Buzuki, J. (2019). *Seismic performance evaluation of 24 story rc building by nonlinear time history analysis utilizing TBDY 2018 and EC8. (M.Sc. Thesis)*. İstanbul Technical University, İstanbul.
- Celep Z., Kumbasar N., (2004). Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, 3, Beta Dağıtım, İstanbul.
- Celep, Z., (2011). Betonarme Yapılar, Beta Yayıncılık, İstanbul.
- Chopra, A. K. (1995). Dynamics of Structures: *Theory and Applications to Earthquake Engineering*. New Jersey: Prentice Hall.
- Clough, R. W. ve Penzien, J. (1993). Dynamics of Structures (2nd ed.). Singapore: McGraw-Hill Inc.
- Darılmaz, K. (2019). Depreme Dayanıklı Betonarme Binaların Tasarımına Giriş, DMK Yayınları, İstanbul.
- Erkan, E. (2017). *Özel bir yapı sisteminin deprem güvenliğinin belirlenmesi ve çelik elemanlarla güçlendirilmesi*. (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Fahjan, Y.M. (2008). Türkiye Deprem Yönetmeliği Tasarım İvme Spektrumuna Uygun Gerçek Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklenmesi, *İMO Teknik Dergi*.
- Federal Emergency Management Agency, (2000). FEMA 356 Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings. Washington DC.
- Federal Emergency Management Agency, (2004). FEMA 440 Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures. Washington DC.
- Foroughi, S. & Yüksel, S.B. (2019). Investigation of Deformation Based Damage Limits of Reinforced Concrete Colum. *International Journal of Engineering Research and Development*, 584-601. doi: 10.29137/umagd.519208.
- Girgin, K., (1996) *Betonarme yapı sistemlerinde ikinci mertebe limit yükün ve göçme güvenliğinin belirlenmesi için bir yük artımı yöntemi*. (Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Gürlek, H.** (2009). *Tek katlı betonarme prefabrike endüstri yapılarının performans analizi*. (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Hochbau, S.I.** (1981). *El Acero En La Construcción: Manual para el proyecto, calculo y ejecucion de construcciones en acero*. Spain.
- Karabacak, S.** (2020). *Betonarme bir binada geleneksel yöntem ve taban yalıtım ile güçlendirme yönteminin karşılaştırılması*. (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kılıç, E.** (2016). *Betonarme kolonların doğrusal olmayan hesap yöntemi kullanılarak eğilme rijitliklerinin belirlenmesi* (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Körükçü, İ.** (2021). *Mevcut ve güçlendirilmiş betonarme bir binanın doğrusal olmayan yöntemler ile deprem performans analizi ve maliyet hesabı*. (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.
- Kürkçü, F.** (2019). *20 katlı betonarme bir yapının Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne göre tasarımı ve deprem performansının belirlenmesi*. (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1-237.
- Mutlu A. H.** (2015). Mevcut yapıların güçlendirilmesi ya da yıkılmasına karar verilmesi aşamasında göz önüne alınması gereken kriterler, 3. *Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, İzmir
- Mutlu, A. H.** (2020). Binaların güçlendirme/yıkım kararı sürecindeki ekonomik değerlendirme için yeni bir yöntem önerisi: *Eğitim yapıları örneği*, 5-7 Mart 2020 Konferansı, Ankara
- Özer, E.** (2009). Yapı Sitemlerinin Lineer Olmayan Analizi Ders Notları. <http://www.ins.itu.edu.tr/eozer> adresinden alındı.
- SAP 2000.** (2018). Structural Analysis Program, Computers and Structures, Inc., Berkeley, California, USA.
- Seismosignal** (Version 2018) [Computer Software], *Earthquake Engineering Software Solutions*, Seismosoft Ltd. Pavia, Italy
- Sert, H.** (2011). *Beton karot dayanımları ile standart silindir dayanımları arasındaki ilişkinin karot çapına bağlı olarak belirlenmesi*. (Yüksek lisans tezi). Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Soycan, C.** (2019). *Depremde betonarme bina performansının Türk deprem yönetmelikleri 2007 ve 2018'e göre değerlendirilmesi*. (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Şeren, Ç.** (2006). *Depreme dayanıklı prefabrike betonarme yapı tasarımı ve güçlendirilmesi*. (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- TBDY** (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı İçin Kurallar, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.
- TS-498**, (1997). Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

**TS-500**, (2000). Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

**Turan, M.E.** (2022) *Mevcut betonarme bir binanın deprem performansının zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi ile belirlenmesi, güçlendirme önerileri ve maliyet analizi*. (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.

**Uçar, T.** (2005). *Yapı sistemlerinin doğrusal olmayan analizinde çözüm yöntemleri*. (Yüksek lisans tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

**Yüksel, E. & Özkan, Ü.** (2020). Önüretimli betonarme örnek bir sanayi binasının TBDY 2018'e göre analiz ve tasarımı, *Yapı Merkezi Çamlıca Kampüsü Konferansı*. İstanbul: Eylül 19.

**Url-1** <https://tdth.afad.gov.tr/TDTH/main.xhtml>, erişim tarihi: 05.07.2021

**Url-2** <https://ngawest2.berkeley.edu/>, Peer Ground Motion Database, Pacific Earthquake Engineering Research Center, erişim tarihi: 04.03.2022

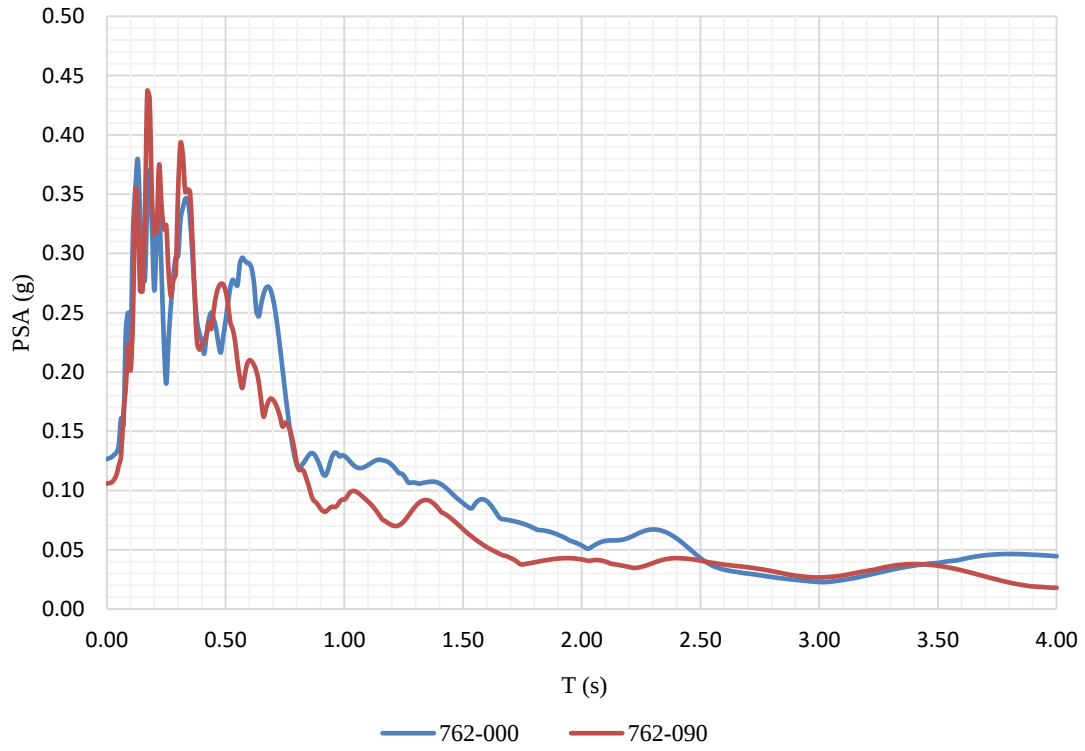


## **EKLER**

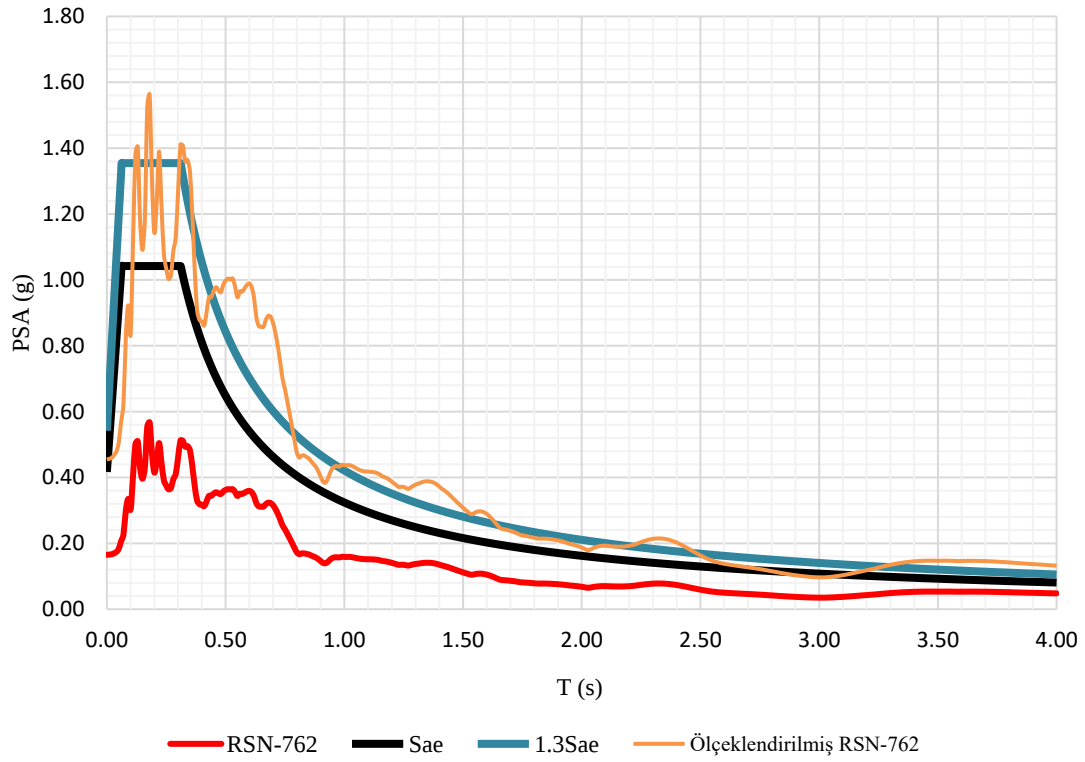
### **EK A: Deprem Kayıtlarından Elde Edilmiş Davranış Spektrumları**



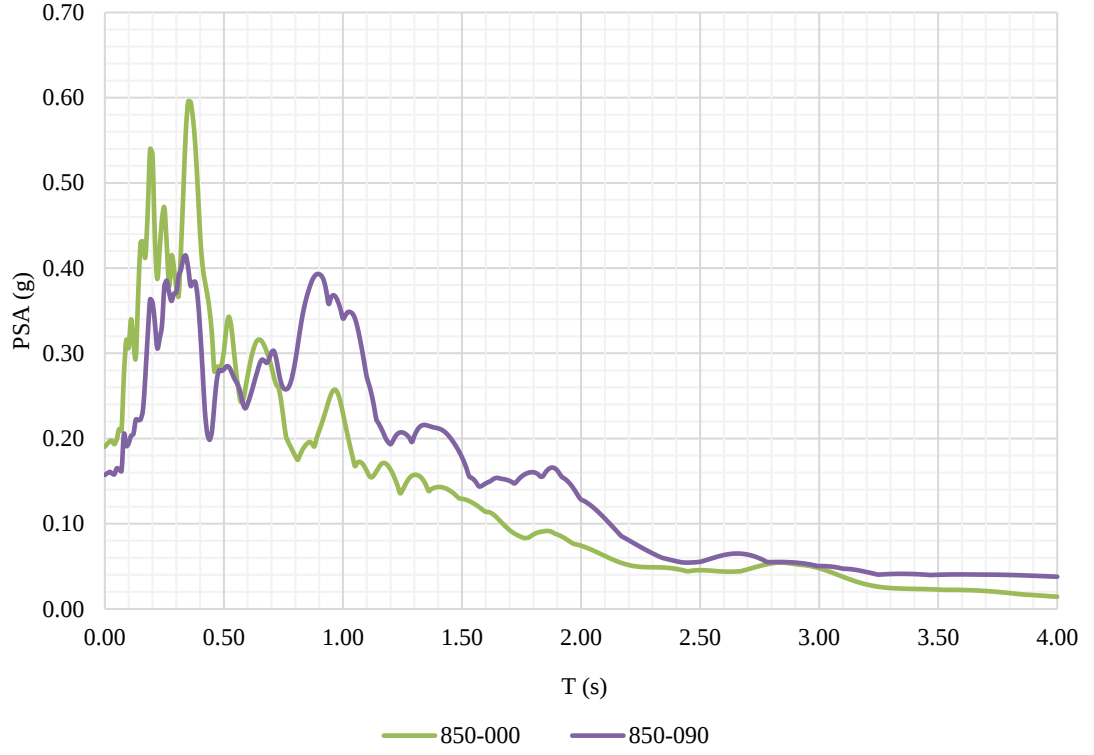
## EK A



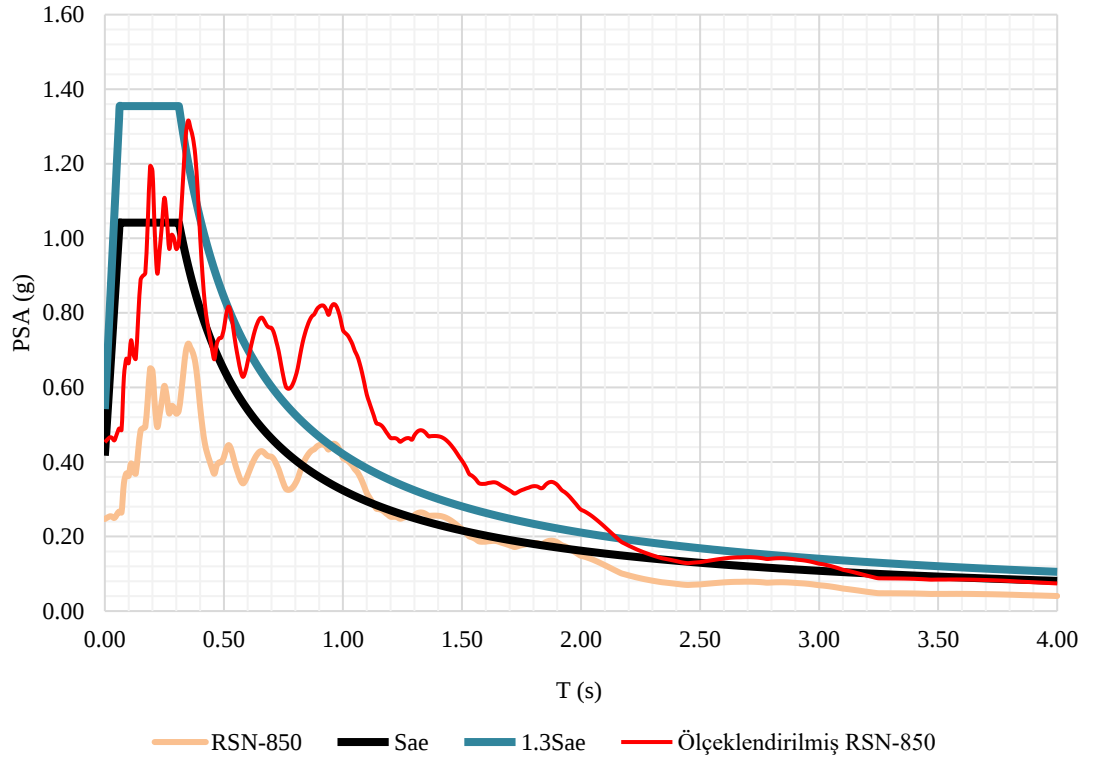
Şekil A.1 : RSN762 depremi davranış spektrumları.



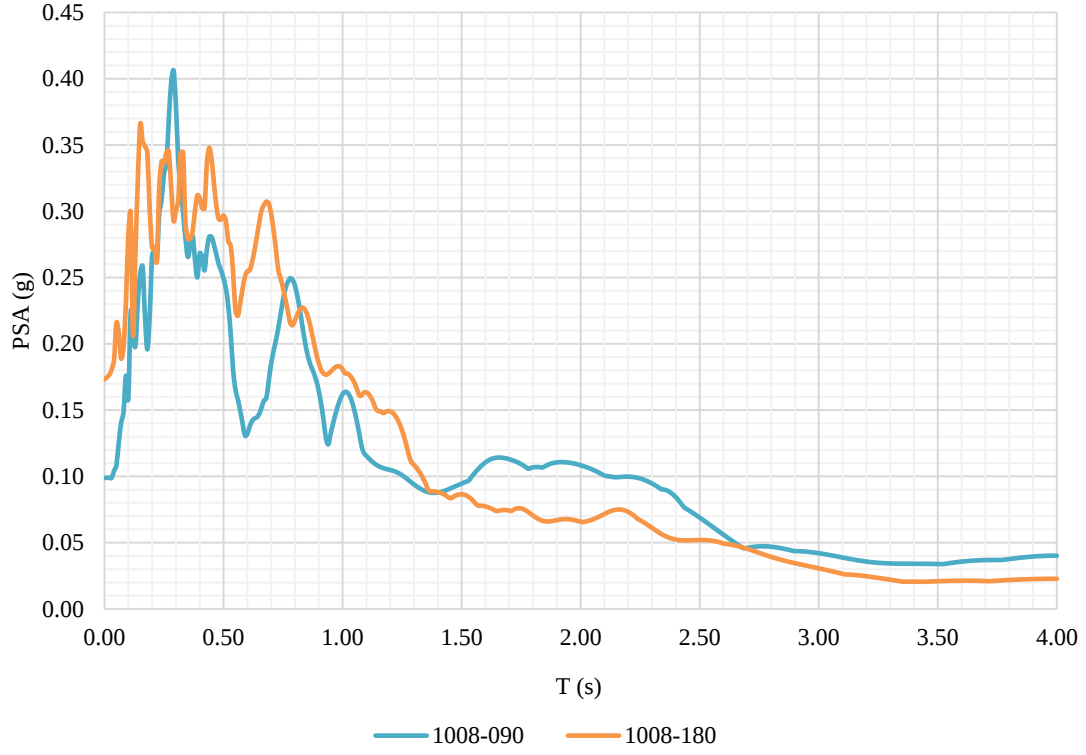
Şekil A.2 : RSN762 depremi ölçekli ve ölçeksiz bileşke davranış spektrumları.



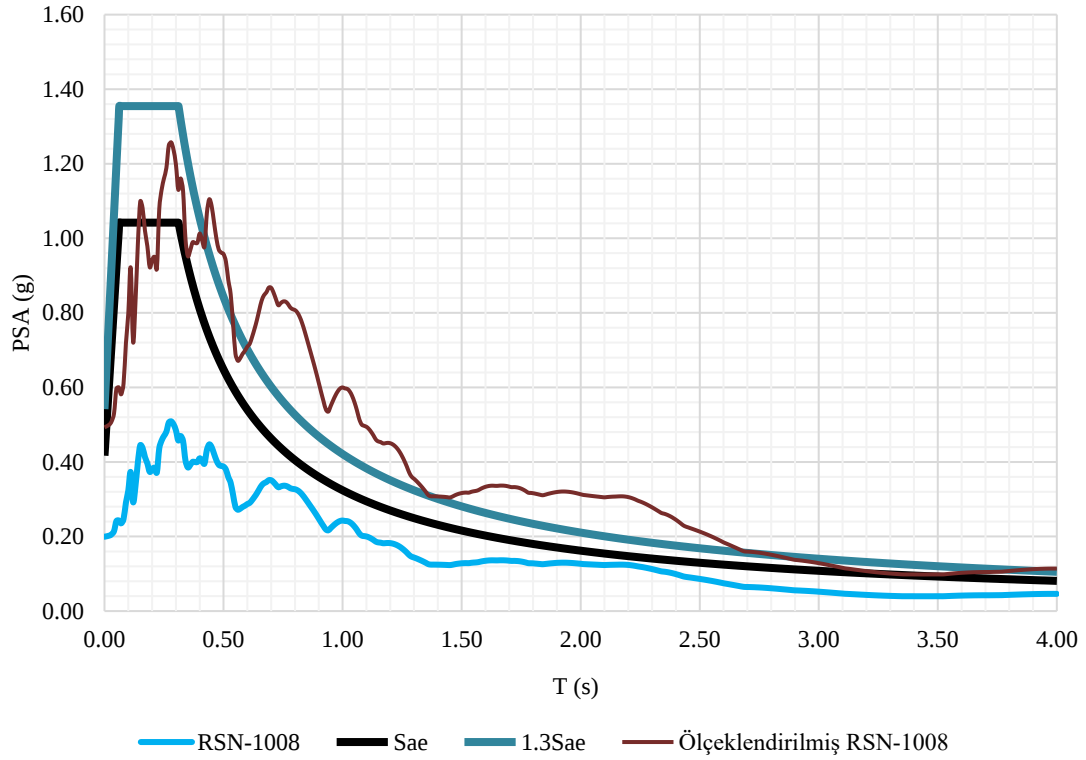
Şekil A.3 : RSN850 depremi davranış spektrumları.



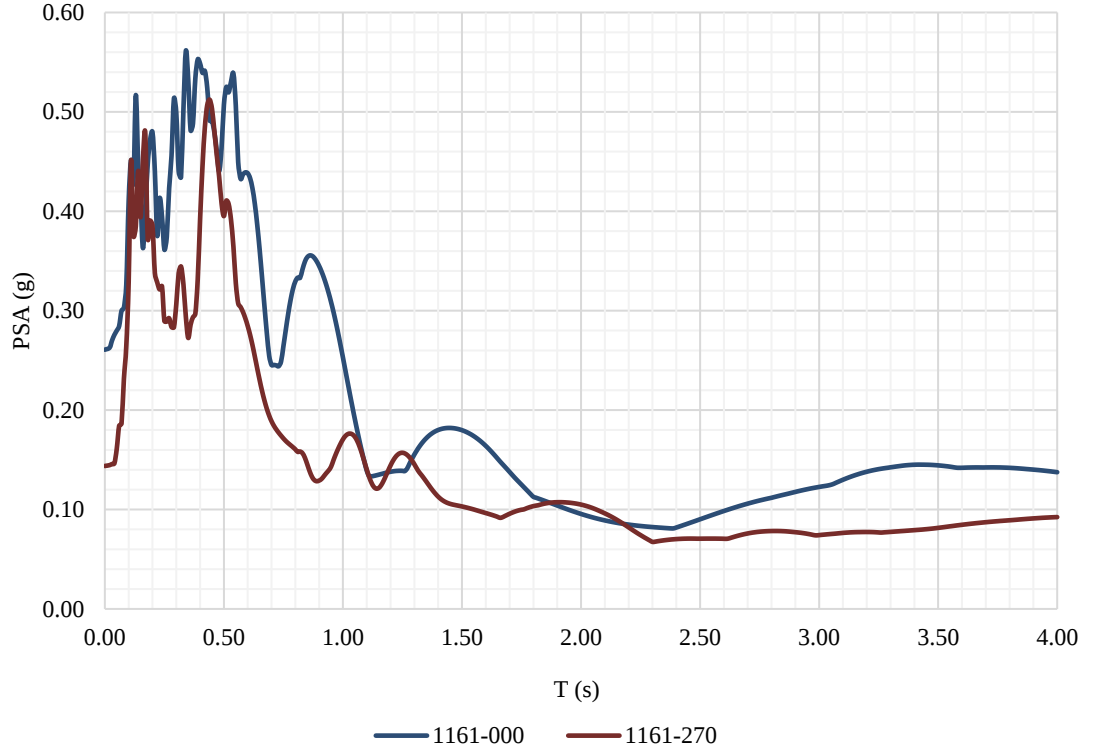
Şekil A.4 : RSN850 depremi ölçekli ve ölçeksiz bileşke davranış spektrumları.



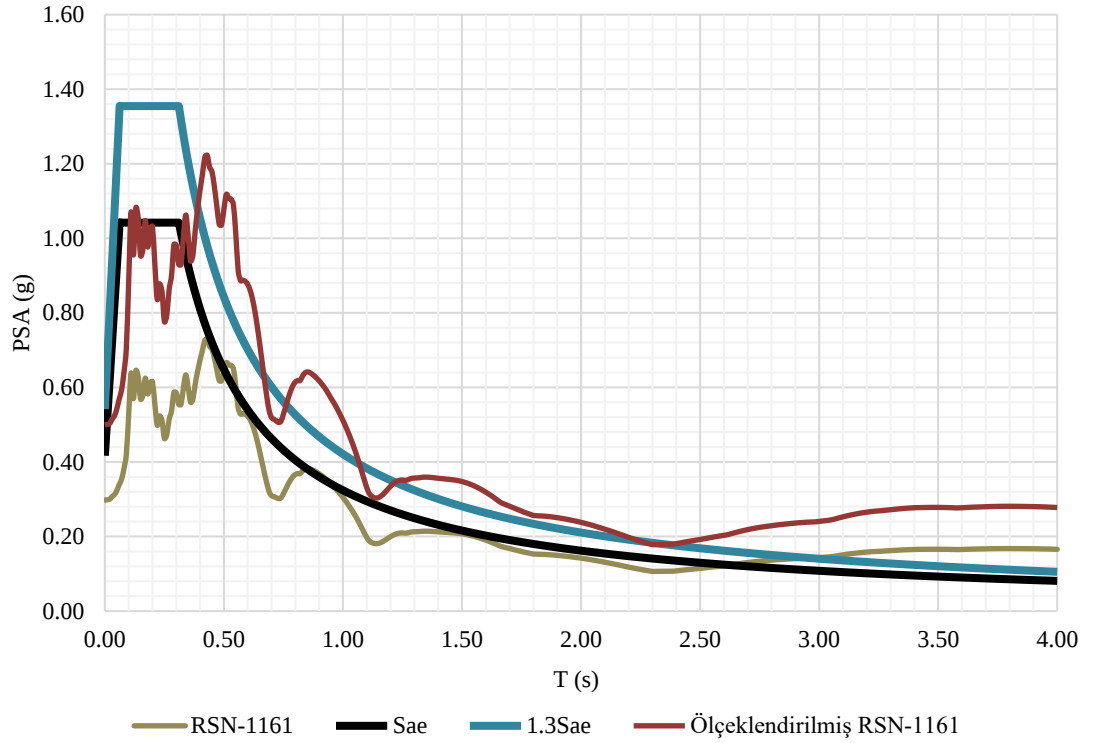
Şekil A.5 : RSN100 depremi davranış spektrumları.



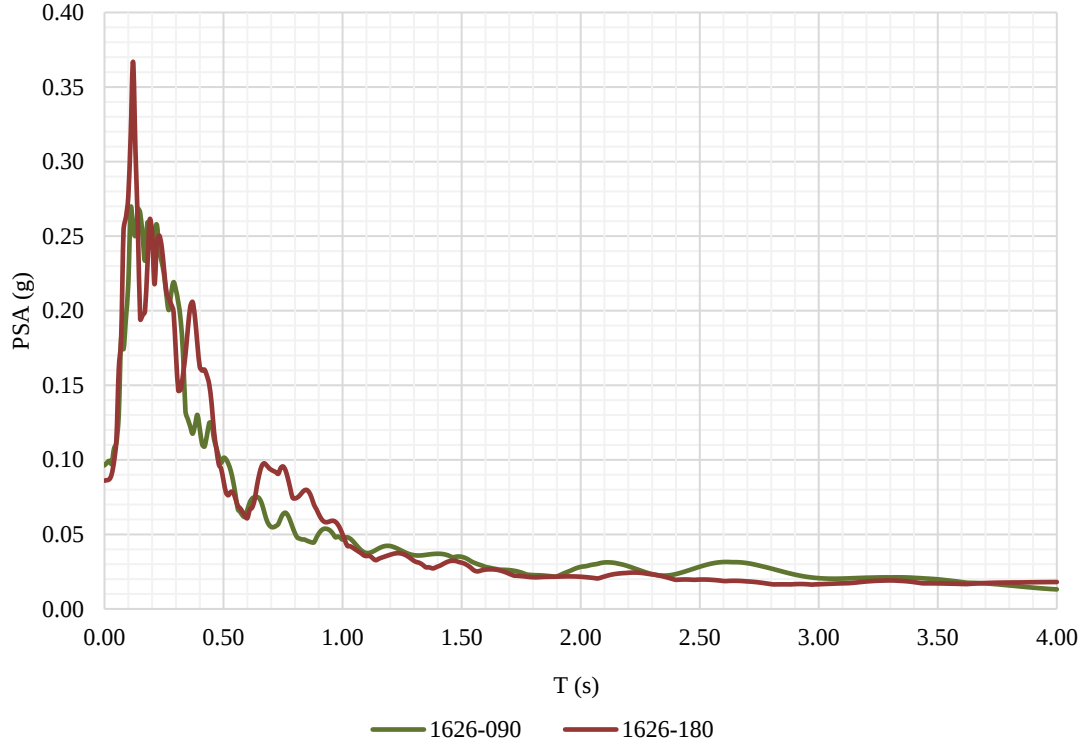
Şekil A.6 : RSN1008 depremi ölçekli ve ölçeksiz bileşke davranış spektrumları.



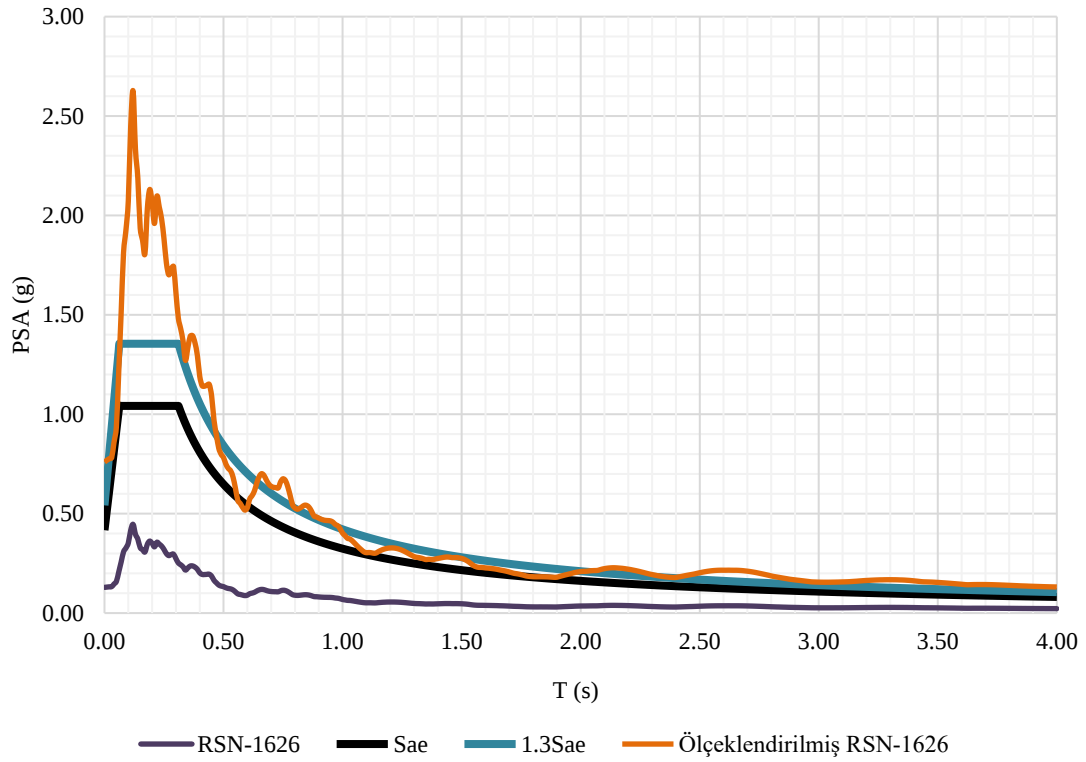
Şekil A.7 : RSN1161 depremi davranış spektrumları.



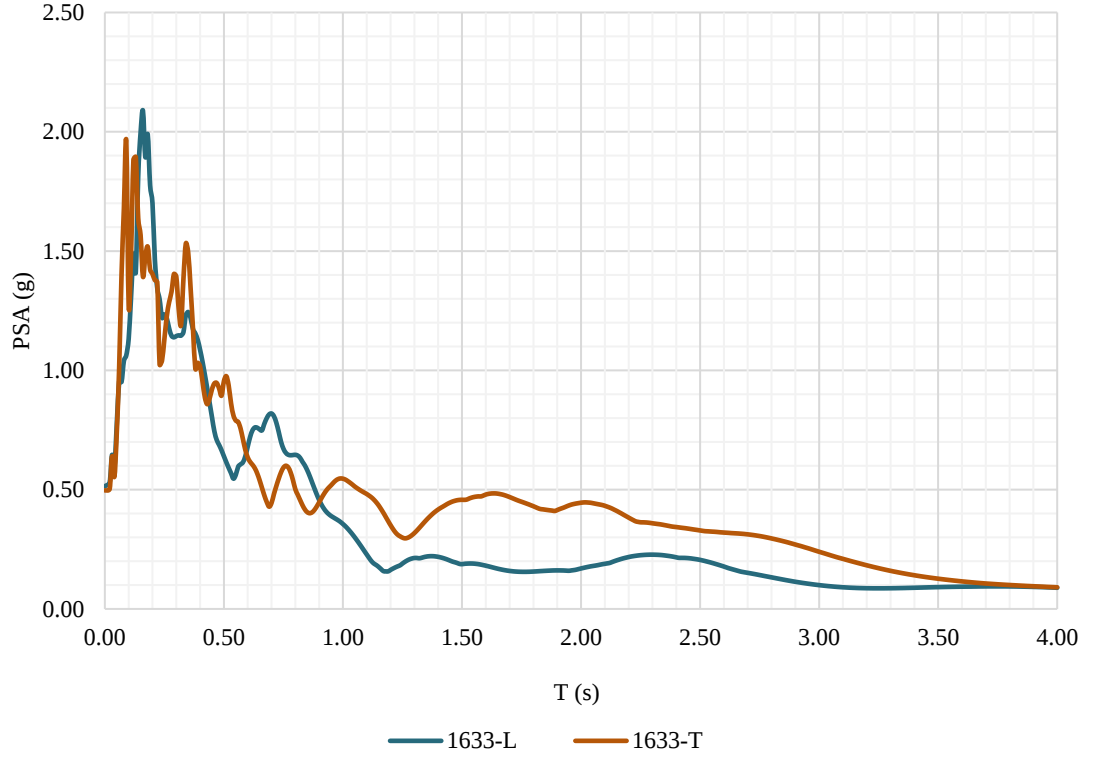
Şekil A.8 : RSN116 depremi ölçekli ve ölçeksiz bileşke davranış spektrumları.



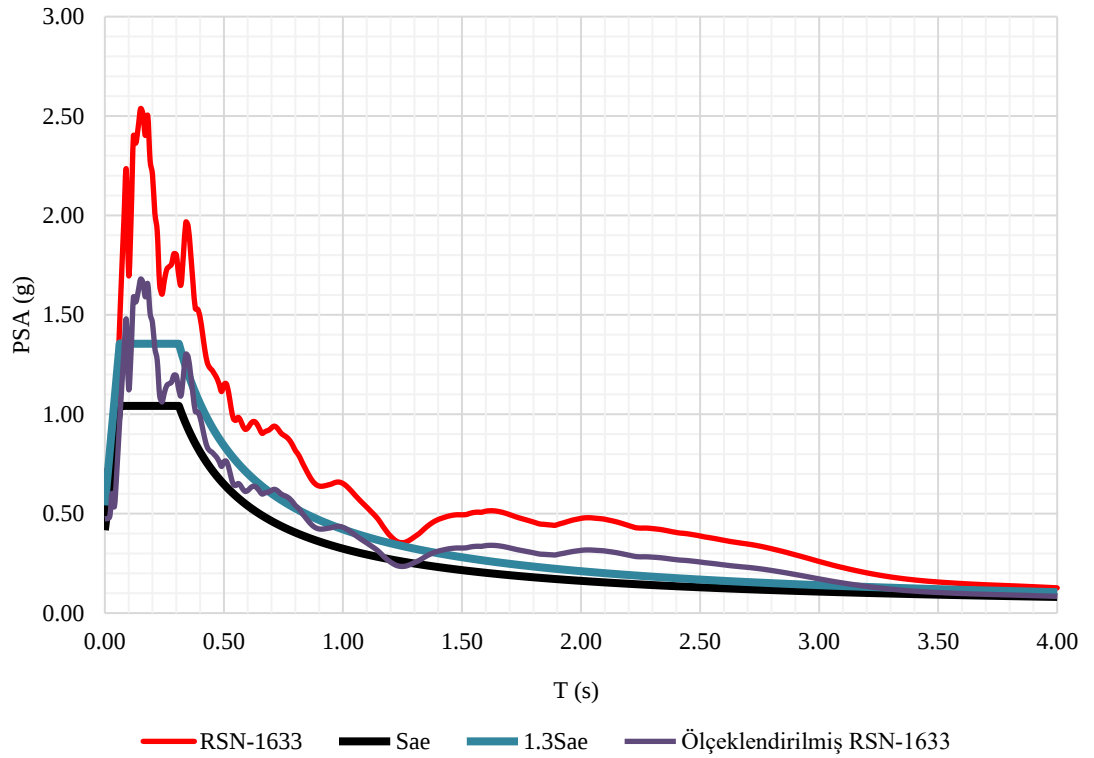
Şekil A.9 : RSN1626 depremi davranış spektrumları.



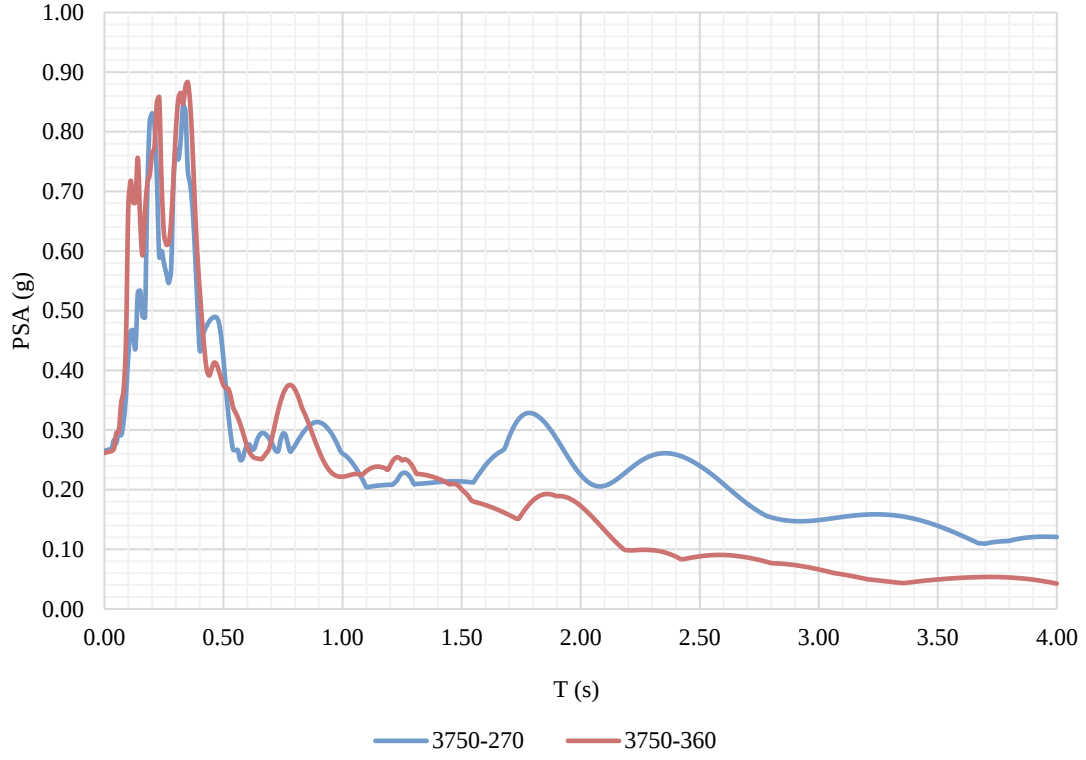
Şekil A.10 : RSN1626 depremi ölçekli ve ölçeksiz bileşke davranış spektrumları



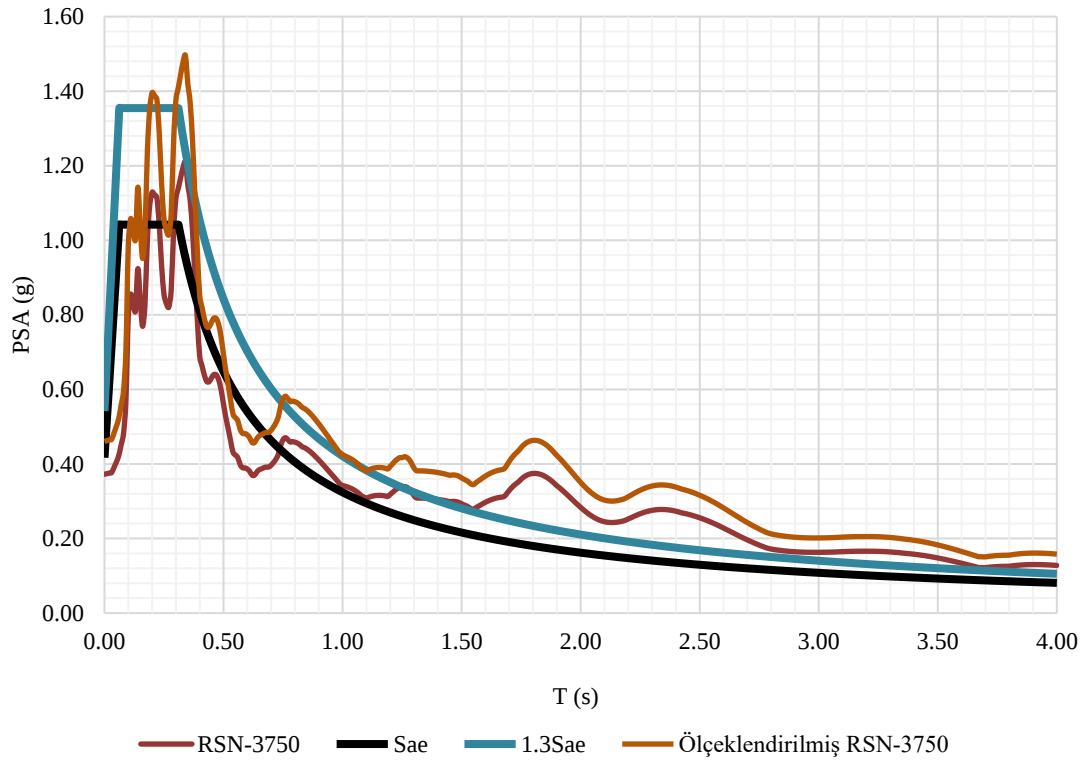
Şekil A.11 : RSN1633 depremi davranış spektrumları.



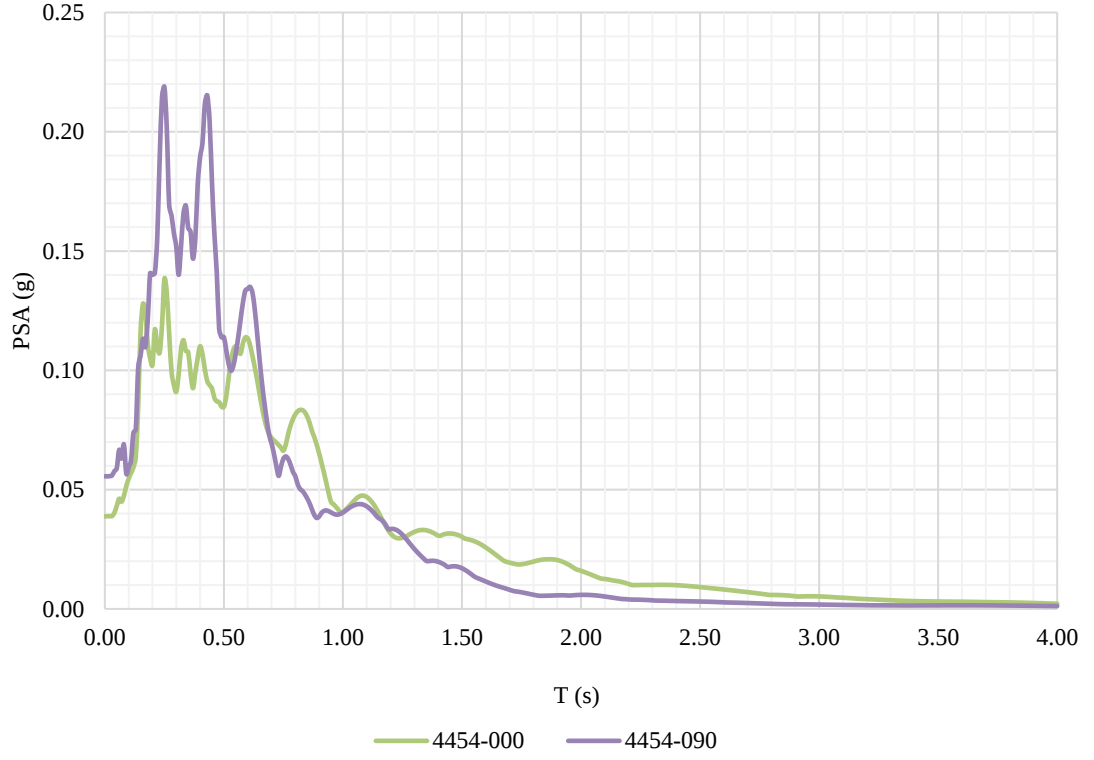
Şekil A.12 : RSN1633 depremi ölçekli ve ölçeksiz bileşke davranış spektrumları.



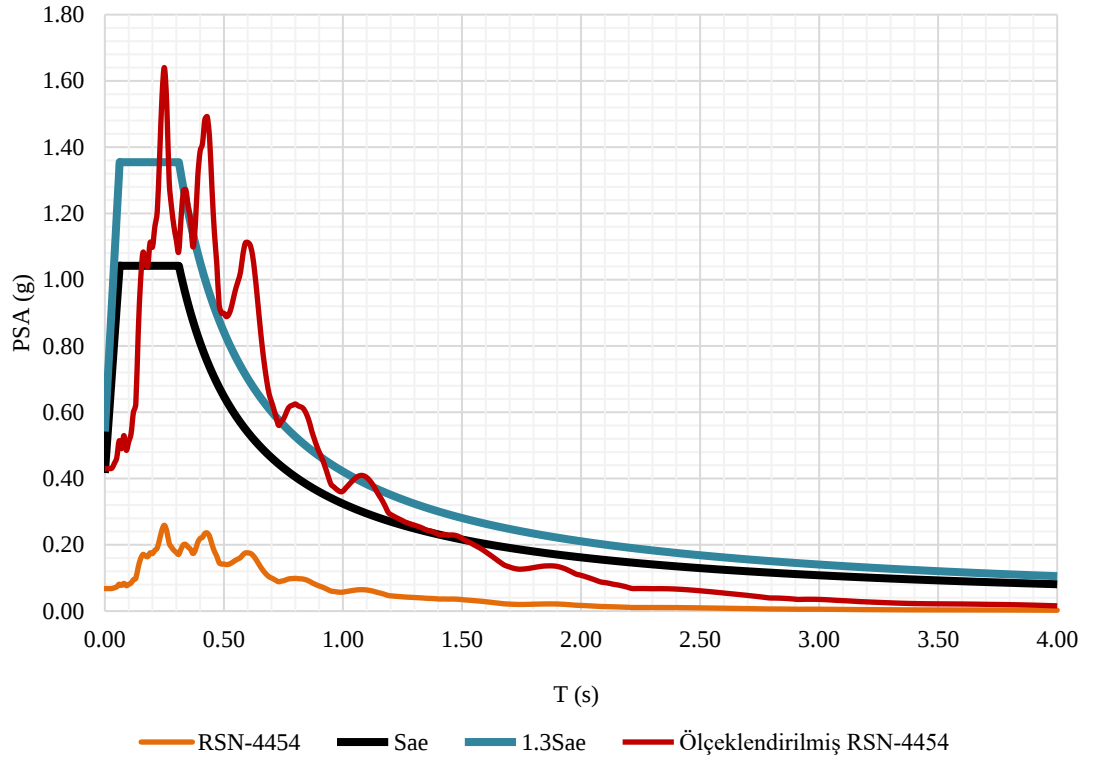
Şekil A.13 : RSN3750 depremi davranış spektrumları.



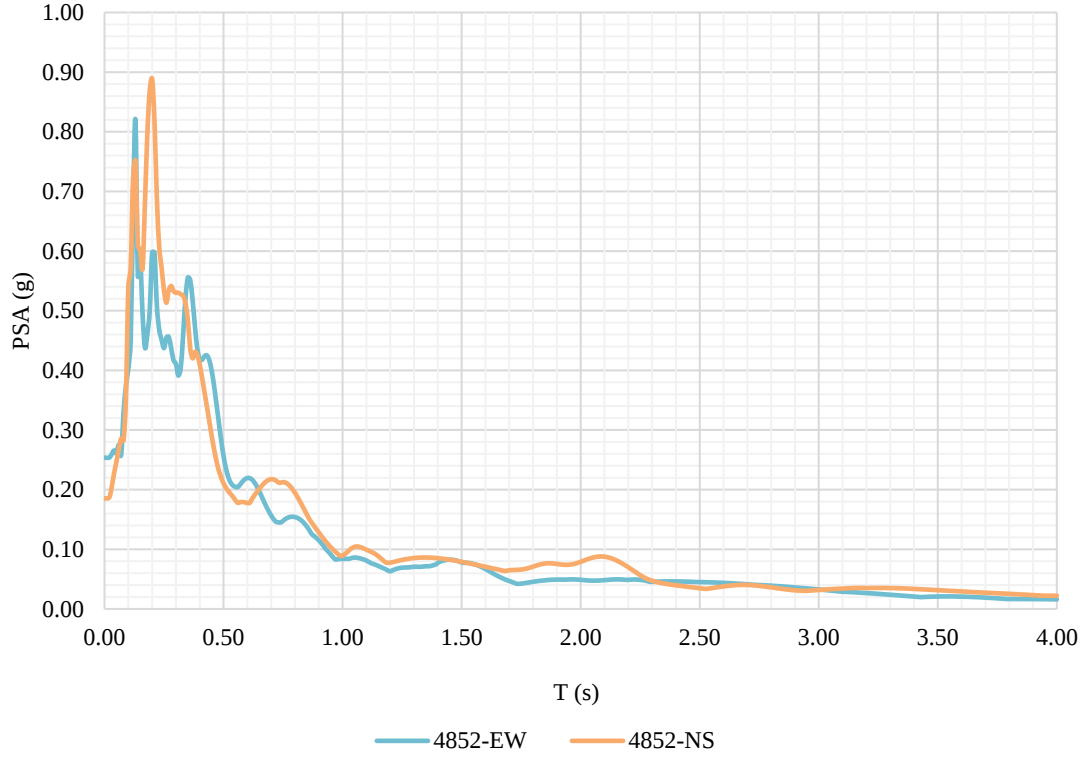
Şekil A.14 : RSN3750 depremi ölçekli ve ölçeksiz bileşke davranış spektrumları.



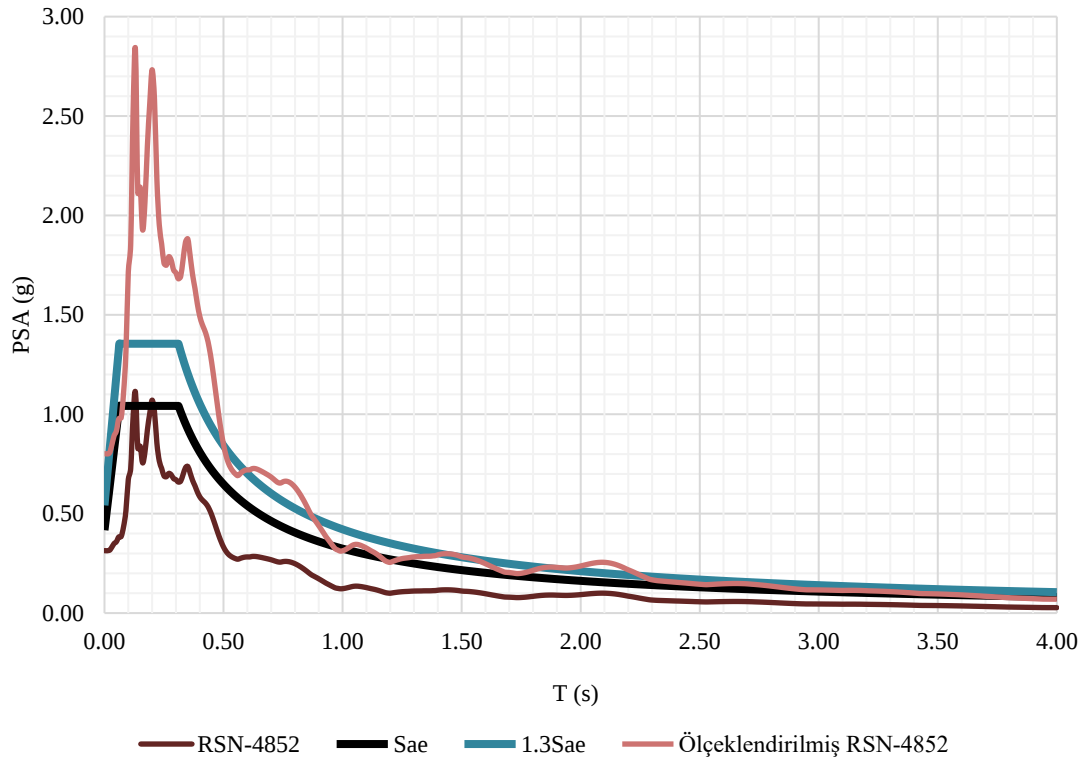
Şekil A.15 : RSN4454 depremi davranış spektrumları.



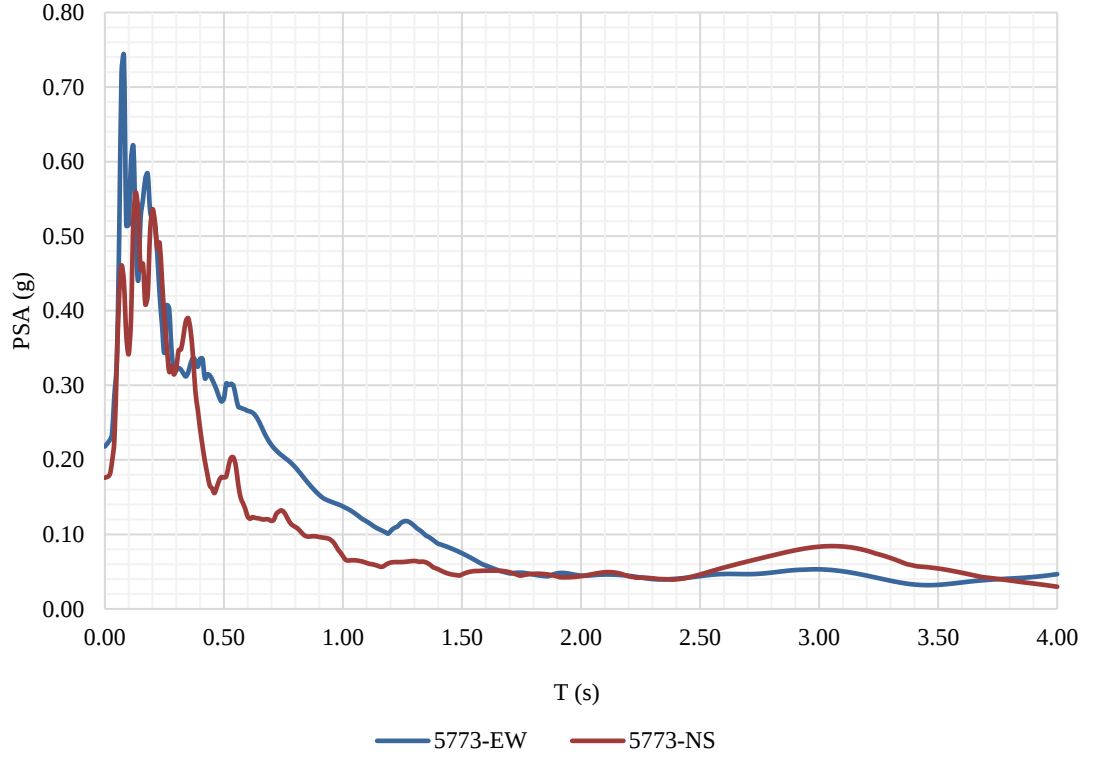
Şekil A.16 : RSN4454 depremi ölçekli ve ölçeksiz bileşke davranış spektrumları.



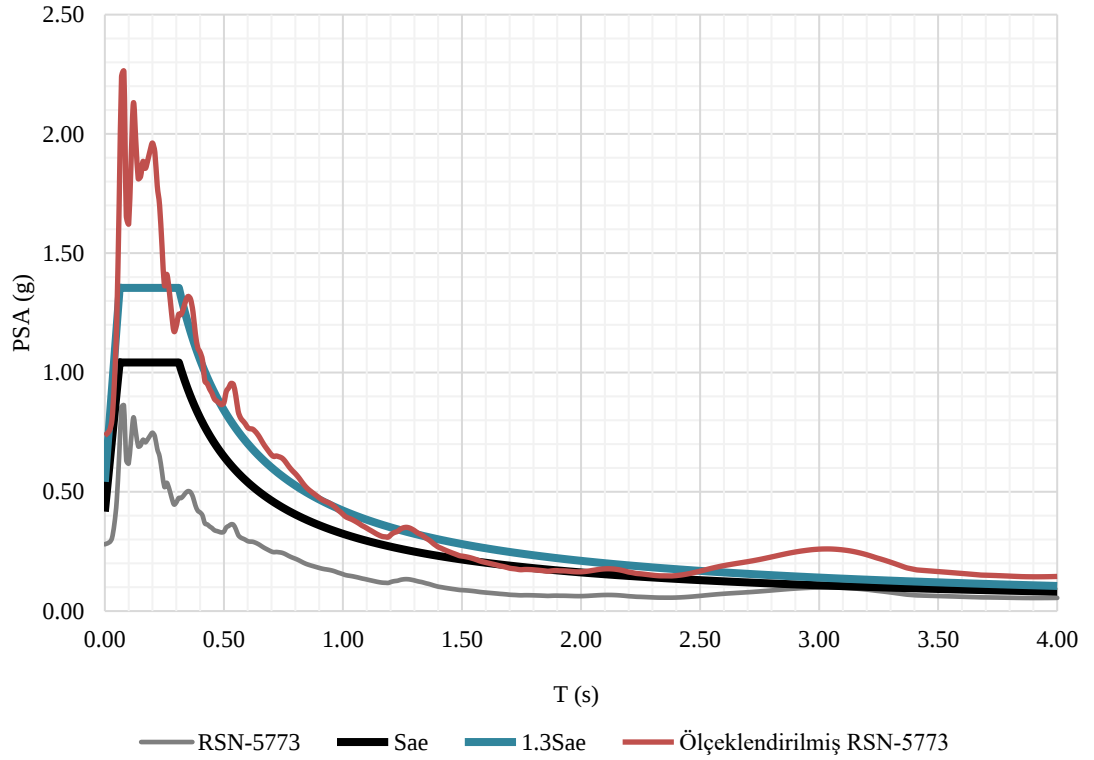
Şekil A.17 : RSN4852 depremi davranış spektrumları.



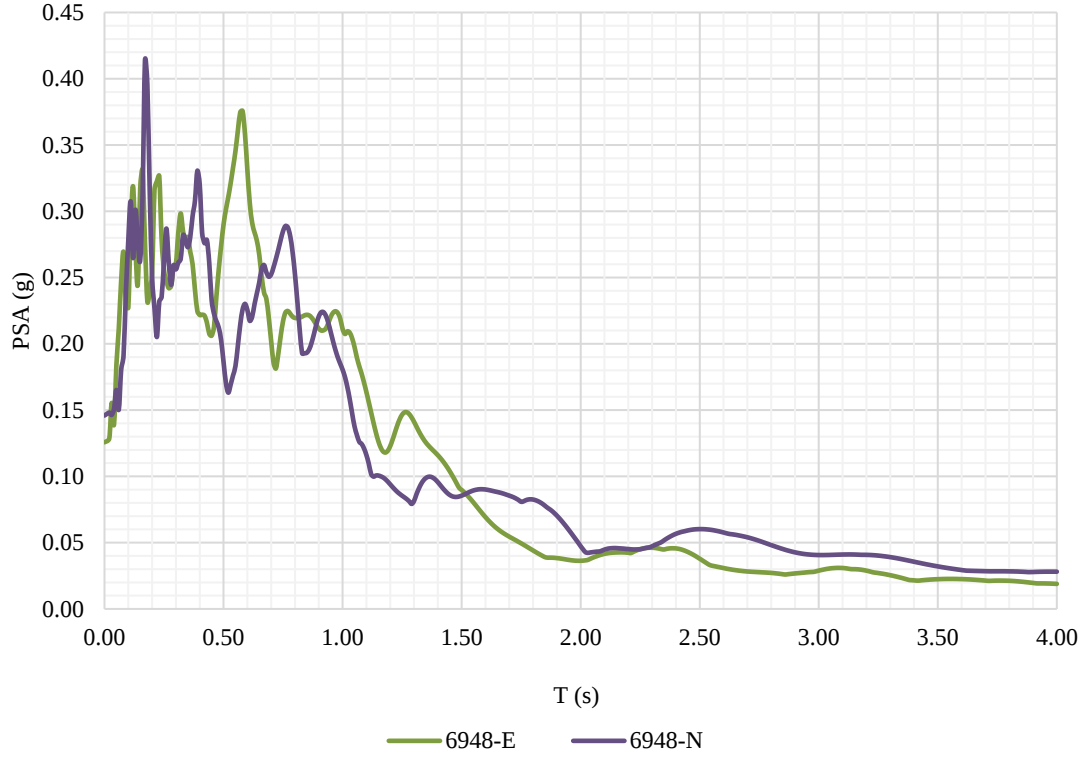
Şekil A.18 : RSN4852 depremi ölçekli ve ölçeksiz bileşke davranış spektrumları.



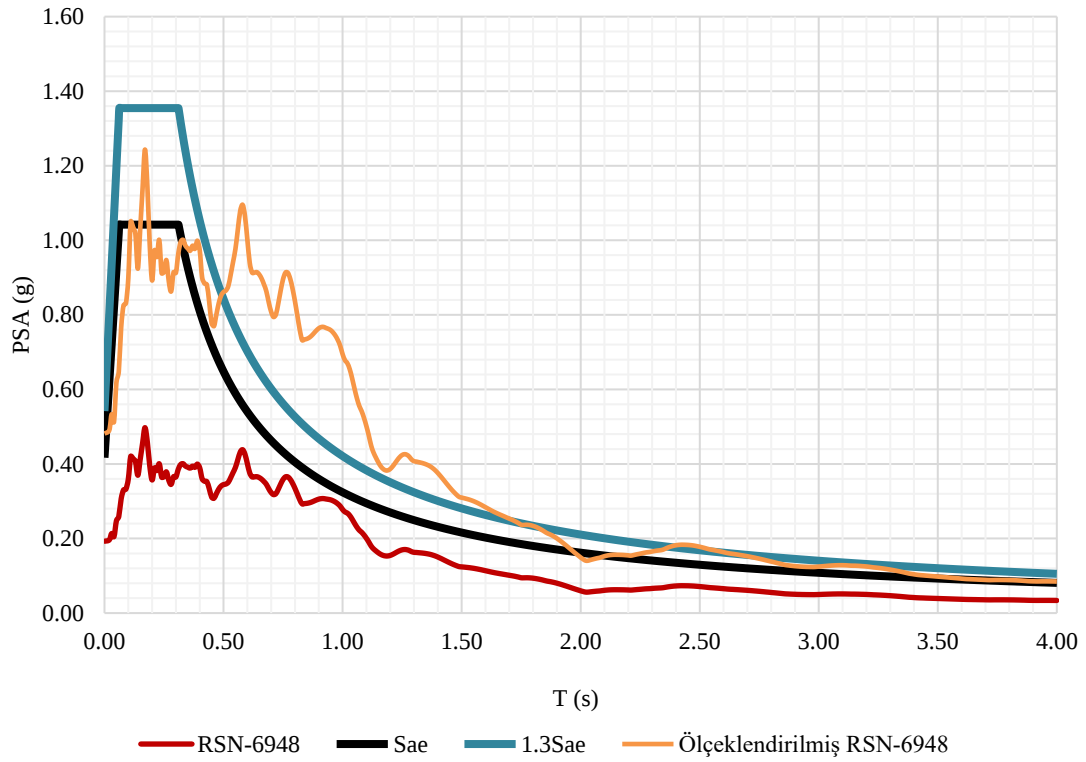
Şekil A.19 : RSN5773 depremi davranış spektrumları.



Şekil A.20 : RSN5773 depremi ölçekli ve ölçeksiz bileşke davranış spektrumları.



Şekil A.21 : RSN6948 depremi davranış spektrumları.



Şekil A.22 : RSN6948 depremi ölçekli ve ölçeksiz bileşke davranış spektrumu.

## ÖZGEÇMİŞ

**Ad-Soyad** : Ömer Canbey Cücemen

|  |
|--|
|  |
|--|

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2019, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği

### MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- Yeditepe Üniversitesi, Araştırma Görevlisi (09/2020 - 12/2020)
- Yıldız Teknik Üniversitesi, Araştırma Görevlisi (12/2020 – 10/2022)
- İstanbul Teknik Üniversitesi, Araştırma Görevlisi (10/2022 – Devam Ediyor)