

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BETONARME BİNALARIN OPENSEES PROGRAMI İLE DOĞRUSAL  
OLMAYAN HESABI İÇİN ÖN VE ARD İŞLEME PROGRAMLARININ  
GELİŞTİRİLMESİ VE TBDY2018 UYGULAMALARI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Abdullah TOKMAK**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Yapı Mühendisliği Programı**

**ARALIK 2018**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BETONARME BİNALARIN OPENSEES PROGRAMI İLE DOĞRUSAL  
OLMAYAN HESABI İÇİN ÖN VE ARD İŞLEME PROGRAMLARININ  
GELİŞTİRİLMESİ VE TBDY2018 UYGULAMALARI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Abdullah TOKMAK  
(501131054)**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Yapı Mühendisliği Programı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Engin ORAKDÖĞEN**

**ARALIK 2018**





İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501131054 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Abdullah TOKMAK ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “BETONARME BİNALARIN OPENSEES PROGRAMI İLE DOĞRUSAL OLMAYAN HESABI İÇİN ÖN VE ARD İŞLEME PROGRAMLARININ GELİŞTİRİLMESİ VE TBDY2018 UYGULAMALARI” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :** **Prof. Dr. Engin ORAKDÖĞEN** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :** **Prof. Dr. Ercan Yüksel** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Doç. Dr. Hasan Özkaynak** .....  
Beykent Üniversitesi

**Teslim Tarihi** : **16 Kasım 2018**  
**Savunma Tarihi** : **11 Aralık 2018**





*Aileme,*



## ÖNSÖZ

Bu çalışmada betonarme yapıların zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizi ile lif (fiber) model kullanılarak şekildeğiştirmeye dayalı değerlendirmesini yapan OpenSees programı ile ön ve ard işleme programları geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yazılımlar ile TBDY2018' de belirtilen koşullara göre ölçeklenmesi yapılan deprem ivme kayıtları altında yapının zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizi yapılarak eleman liflerinde oluşan uzama ve kısalma değerleri elde edilmiştir. Elde edilen bu değerler TBDY2018' de verilen sınır değerler ile kıyaslanarak yapı performansı belirlenmiştir.

Tez çalışmam sırasında ihtiyacım olan her konuda bana yardımcı olan bilgi ve deneyimlerinden faydalandığım çok değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Engin ORAKDÖĞEN'e, tezimi inceleyen ve hataları eksikleri hakkında bana fikir veren Sayın hocam Prof. Dr. Ercan YÜKSEL ve Doç. Dr. Hasan ÖZKAYNAK' a teşekkür ederim.

Bu çalışmadaki programların geliştirilmesinde büyük emeği olan, hiçbir konuda desteğini esirgemeyen Sayın Dr. Onur Avcıoğlu'na ve Sta Bilgisayar ailesine tez' e olan katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Tez çalışmam sırasında yardımını esirgemeyen İnşaat Mühendisi Sayın Hüsnü IŞIK'a teşekkür ederim.

Son olarak bizden dua'larını esirgemeyen anneme, her zaman ve her konuda arkamda olan babama ve evlendiğimiz günden beri tez çalışmam sırasında bana gerekli sabrı gösteren eşime teşekkür ederim.

KASIM 2018

Abdullah TOKMAK  
İnşaat Mühendisi



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

|   |          |
|---|----------|
| ÖNSÖZ.....  | vii      |
| İÇİNDEKİLER.....  | ix       |
| KISALTMALAR.....  | xiii     |
| SEMBOLLER.....  | xv       |
| ÇİZELGE LİSTESİ.....  | xix      |
| ŞEKİL LİSTESİ.....  | xxiii    |
| ÖZET.....   | xxvii    |
| SUMMARY.....  | xxxi     |
| <b>1. GİRİŞ.....</b>  | <b>1</b> |
| 1.1 Konu.....   | 1        |
| 1.2 Çalışmanın Amacı Ve Kapsamı.....  | 2        |
| <b>2. BETONARME YAPILARIN DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞI VE FİBER (LİF) MODELİ.....</b> | <b>5</b> |
| 2.1 Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmayan Davranışı.....                              | 5        |
| 2.1.1 Çözümlerin sağlaması gereken koşullar.....                                    | 6        |
| 2.1.2 Yapı sistemlerinde doğrusallığı bozan sebepler.....                           | 6        |
| 2.2 Kabuller.....   | 9        |
| 2.3 Betonarme Malzeme Modelleri.....  | 10       |
| 2.3.1 Beton malzeme modeli.....   | 10       |
| 2.3.2 Donatı çeliği malzeme modeli.....   | 11       |
| 2.4 Yapı Malzemelerinin İç Kuvvet – Şekil Değiştirme Bağıntıları.....               | 13       |
| 2.4.1 Yapı malzemelerin şekildeğiştirme özellikleri.....                            | 13       |
| 2.4.2 Betonarme malzemelerin gerilme şekildeğiştirme ilişkileri.....                | 13       |
| 2.5 Doğrusal Olmayan Davranış İçin Fiber (Lif) Modeli.....                          | 14       |
| 2.5.1 Elastik olmayan davranışın yayılı olduğu modellerin gelişimi.....             | 15       |
| 2.5.1.1 Deplasmana dayalı rijitlik metodu.....                                      | 15       |
| 2.5.1.2 Kuvvete dayalı esneklik metodu.....   | 17       |
| 2.5.2 Sayısal entegrasyon.....  | 17       |
| 2.5.3 Doğrusal olmayan analizler için çözüm teknikleri.....                         | 19       |
| 2.5.3.1 Yük kontrol yöntemi.....  | 19       |
| 2.5.3.2 Deplasman kontrol yöntemi.....  | 19       |
| 2.5.3.3 Deplasman kontrol yöntemi için adımlar ve akış şeması.....                  | 19       |
| 2.5.4 Doğrusal olmayan analizler için iteratif teknikleri.....                      | 22       |
| 2.5.4.1 Newton – Rapson yöntemi.....  | 22       |
| 2.5.5 Sargılı beton modelleri.....  | 23       |
| 2.5.5.1 Mander modeli.....  | 23       |
| 2.5.5.2 Geliştirilmiş Kent ve Park modeli.....                                      | 24       |
| 2.5.6 Doğrusal olmayan çelik modeli.....  | 25       |
| 2.5.7 Monte Carlo simülasyonu.....  | 26       |
| 2.5.8 Eleman formülasyonları.....   | 26       |
| 2.5.8.1 Deplasmana dayalı rijitlik yöntemi.....                                     | 26       |

|   |           |
|---|-----------|
| 2.5.8.2 Esnekliğe dayalı kuvvet yöntemi .....   | 28        |
| 3.1 Tasarım Adımları .....  | 31        |
| 3.2 Bina Kullanım Sınıfı, Deprem Tasarım Sınıfı Ve Bina Yükseklik Sınıfı .....  | 32        |
| 3.2.1 Bina kullanım sınıfları ve bina önem katsayısı.....   | 32        |
| 3.2.2 Deprem tasarım sınıfları .....  | 33        |
| 3.2.3 Bina yükseklik sınıfları .....  | 34        |
| 3.3 Değerlendirmeye Esas Yük Bileşimlerinin Tanımlanması Ve Birleştirilmesi. ....   | 35        |
| 3.3.1 Düşey deprem etkisi .....   | 35        |
| 3.3.2 Yatay birbirine dik doğrultulardaki deprem etkilerinin birleştirilmesi .....  | 36        |
| 3.3.3 Deprem etkisinin diğer etkilerle birleştirilmesi .....  | 36        |
| 3.4 Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemlerinin Seçimi .....   | 37        |
| 3.4.1 Hesap yönteminin belirlenmesi .....   | 37        |
| 3.5 Artımsal İtme Yöntemi İle Performans Değerlendirmesi .....  | 38        |
| 3.5.1 Modal yatay yük dağılımları.....  | 38        |
| 3.5.2 Birim modal davranış büyüklüklerini birleştirilmesi .....   | 39        |
| 3.6 Doğrusal Elastik Olmayan Değerlendirme Yöntemi .....  | 40        |
| 3.6.1 Eleman hasar durumlarının belirlenmesi .....  | 40        |
| 3.7 Artımsal Spektrum Analizi Uygulama Adımları .....   | 41        |
| 3.8 Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz .....  | 42        |
| 3.9 Doğrusal İntegrasyon İle Çözüm .....  | 43        |
| 3.10 Merkezi Farklar Yöntemi .....  | 43        |
| 3.11 Doğrudan İntegrasyon Yönteminin Uygulanması .....  | 44        |
| 3.12 Bina Performansının Belirlenmesi .....   | 45        |
| 3.12.1 Kesit hasar durumları .....  | 45        |
| 3.12.2 Kesit ve eleman hasarlarının tanımlanması .....  | 45        |
| 3.13 Bina Performans Düzeyleri Ve Yeni Yapılacak Betonarme Binalar İçin<br>Performans Düzeyine Karşı Gelen İç kuvvet Ve Şekildeğiştirme Sınırları ..... | 45        |
| 3.13.1 Kesintisiz kullanım (KK) performans düzeyi.....  | 46        |
| 3.13.2 Kontrollü hasar (KH) performans düzeyi.....  | 46        |
| 3.13.3 Göçmenin önlenmesi (GÖ) performans düzeyi .....  | 47        |
| 3.14 Bina Performans Hedefleri Ve Şekildeğiştirmeye Göre Tasarım Ve<br>Değerlendirme Gerektiren Binalar .....   | 49        |
| 3.14.1 Bina performans hedefleri .....  | 49        |
| 3.15 Deprem Etkisi .....  | 50        |
| 3.15.1 Yatay elastik tasarım spektrumu .....  | 50        |
| 3.16 Doğrusal Olmayan Davranış Modelleri .....  | 50        |
| 3.16.1 Plastik mafsallı teoremi .....   | 50        |
| 3.16.1.1 Yığılı plastik davranış modeli .....   | 50        |
| 3.16.1.2 Yayılı plastik davranış modeli .....   | 51        |
| <b>4. DEPREM ETKİSİ ALTINDAKİ BETONARME BİNALARIN TASARIMI<br/>AÇISINDAN TBYBHY2007 İLE TBDY2018 'İN KIYASLANMASI.....</b>                              | <b>53</b> |
| 4.1 Tasarıma Esas Deprem Yer Hareketi Ve Elastik Deprem Kuvvetinin (Taban<br>Kesme Kuvveti) Belirlenmesi Hesabı .....                                   | 53        |
| 4.1.1 TDY2007 ile TBDY2018' e göre toplam eşdeğer deprem yükü (taban<br>kesme kuvveti)' nün karşılaştırılması .....                                     | 53        |
| 4.1.1.1 Elastik spektral ivme değeri ( $S_{ac}(T)$ )' nin hesabı .....  | 53        |
| 4.1.1.2 Deprem yükü azaltma katsayısı .....   | 58        |
| 4.1.1.3 Toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti)' nin hesabı .....  | 59        |



|  |           |
|--|-----------|
| <b>5. TBDY2018 KAPSAMINDA DEPREM KAYITLARININ SEÇİLMESİ İLE BU TEZ KAPSAMINDA GELİŞTİRİLEN ÖLÇEKLEME VE OPENSEES İLE ÖN VE ARD İŞLEME YAPAN PROGRAM.....</b> | <b>61</b> |
| 5.1 Giriş.....   | 61        |
| 5.2 Deprem İvme Kayıtlarının Seçilmesi .....   | 61        |
| 5.2.1 Benzeştirilmiş deprem kayıtları .....  | 62        |
| 5.2.2 Geçmiş depremlerden elde edilen kayıtlar .....   | 62        |
| 5.3 Zaman Tanım Alanında Yapılacak Deprem Hesaplarında Kullanılacak Gerçek Deprem Kayıtlarının Seçilmesi .....   | 63        |
| 5.4 Yer Hareketini Ölçekleme Yöntemleri.....   | 63        |
| 5.4.1 Yer hareketinin zaman tanım alanında ölçeklenmesi.....   | 64        |
| 5.4.2 Tek bir deprem kaydı için genel yöntem .....   | 64        |
| 5.4.3 Birden çok deprem kaydı için genel yöntem .....  | 64        |
| 5.4.4 Yer hareketinin frekans tanım alanında ölçeklenmesi.....   | 65        |
| 5.5 Gerçek Deprem Kayıtlarının TBDY2018 Tasarım Spektrumuna Uygun Olarak Seçilmesi Ve Ölçeklenmesi.....  | 65        |
| 5.5.1 TBDY2018 tasarım ivme spektrumu.....   | 65        |
| 5.5.1.1 Spektral ivme katsayıları.....   | 66        |
| 5.5.1.2 Spektral ivme katsayıları.....   | 66        |
| 5.5.1.3 Yerel zemin etki katsayıları.....  | 66        |
| 5.5.2 TBDY 2018'e göre deprem kayıtlarının seçilmesi.....  | 67        |
| 5.5.3 TBDY 2018'e göre deprem kayıtlarının ölçeklendirilmesi .....   | 67        |
| 5.5.3.1 Deprem kayıtlarının basit ölçeklendirme yöntemi ile ölçeklendirilmesi .....  | 67        |
| 5.5.3.2 Deprem kayıtlarının spektral uyum sağlayacak şekilde dönüştürülmesi .....  | 68        |
| 5.6 TBDY2018 Kapsamında Elastik Tasarım Spektrumlarının Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnternet Web Uygulaması İle Elde Edilmesi .....                    | 68        |
| 5.6.1 Örnek bir yapıya ait bilgilerin girilmesi .....  | 68        |
| 5.6.2 Yapıya ait yatay ve düşey spektrumların program çıktısı.....   | 69        |
| 5.7 Ölçekleme Programı .....   | 70        |
| 5.7.1 Programa veri girişi .....   | 70        |
| 5.7.2 Program database .....   | 71        |
| 5.7.3 Program menüleri ve çalışma prensibi .....   | 71        |
| 5.8 Bu Tez Kapsamında Geliştirilen Betonarme Yapıların OpenSees Programı İle Doğrusal Olmayan Hesabı İçin Ön Ve Ard İşleme Programları.....                  | 75        |
| 5.8.1 Performans analizi .....   | 75        |
| 5.8.2 Program arayüzünün kullanımı .....   | 76        |
| 5.8.3 Model oluşturma ve çözüm adımları.....   | 77        |
| <b>6. SAYISAL ÖRNEKLER.....</b>  | <b>87</b> |
| 6.1 Ölçeklendirme Programının Sap2000 İle Doğrulanması.....  | 87        |
| 6.2 Perform-3D İle Opensees Programlarının 8 Katlı Betonarme Çerçevelerden Oluşan Örnek Bir Bina İle Kıyaslanması.....                                       | 93        |
| 6.2.1 8 Katlı binaya ait bilgiler .....  | 93        |
| 6.2.2 8 Hedef Spektrum ve ölçekleme .....  | 94        |
| 6.2.3 Perform-3D programı veri girişi .....  | 97        |
| 6.2.3.1 Malzeme tanımı .....   | 97        |
| 6.2.3.2 Kolon kiriş en kesitlerinin tanımlanması .....   | 99        |
| 6.2.3.3 Kiriş – kolon elemanlarının oluşturulması.....   | 104       |
| 6.2.4 Opensees programı veri girişi .....  | 106       |
| 6.2.4.1 Malzeme tanımı .....   | 106       |

|  |            |
|--|------------|
| 6.2.5 Kolon kiriş en kesitlerinin tanımlanması.....  | 108        |
| 6.2.6 Perform-3D ile Opensees programları tepe deplasmanın zamana göre değişiminin karşılaştırması .....   | 110        |
| 6.3 7 katlı Betonarme Çerçevelerden Oluşan Bir Binanın TDY2007 İle TBDY2018' e Göre Tasarımı Ve TBDY2018' e Göre Şekildeğiştirmeye Dayalı Değerlendirilmesi.....       | 110        |
| 6.3.1 Bina genel bilgileri.....  | 110        |
| 6.3.2 7 katlı binanın TDY2007' ye göre tasarımı ve TBDY2018' e göre performansının belirlenmesi .....  | 111        |
| 6.3.2.1 7 Katlı binanın TDY2007' e göre hesabı.....  | 111        |
| 6.3.2.2 TDY2007' ye göre hesaplanan 7 katlı binanın TBDY2018' de şekildeğiştirmeye göre OpenSees programı ile performansının belirlenmesi .....                        | 113        |
| 6.3.2.3 TDY2007' ye göre tasarımı yapılan binanın sadece beton sınıfı C35 yapılarak TBDY2018' e göre değerlendirilmesi .....   | 121        |
| 6.3.3 7 Katlı binanın TBDY2018' e göre tasarım ve değerlendirilmesi.....   | 123        |
| 6.3.3.1 TBDY2018' e göre tasarımı.....   | 123        |
| 6.3.3.2 TBDY2018' e göre tasarımı yapılan 7 katlı betonarme çerçeve yapının TBDY2018 kapsamında şekildeğiştirmeye dayalı performans değerlendirmesi .....              | 123        |
| 6.4 TBDY2018' Ve TDY2007' ye Göre Tasarımı Yapılan Betonarme Çerçeve Ve Perdelerden Oluşan 36 katlı Binanın TBDY2018' e Göre Performanslarının Karşılaştırılması ..... | 126        |
| 6.4.1 Binaya ait genel bilgiler .....  | 126        |
| 6.4.1.1 Yapı genel özellikleri .....   | 126        |
| 6.4.1.2 Yüklerin tespiti.....  | 127        |
| 6.4.1.3 Yapı dizaynı .....   | 127        |
| 6.4.1.4 TBDY2018' e göre yeni yapılacak 36 katlı binanın değerlendirme kriterlerinin belirlenmesi .....  | 127        |
| 6.4.2 TDY2007' ye göre 36 katlı binanın tasarımı .....   | 129        |
| 6.4.3 TDY2007' ye göre tasarımı yapılan 36 katlı binanın TBDY2018' e göre performansının belirlenmesi .....  | 132        |
| 6.4.4 TBDY2018' e göre 36 katlı binanın tasarımı .....   | 144        |
| 6.4.5 TBDY2018' e göre tasarımı yapılan 36 katlı binanın TBDY2018' de şekildeğiştirmeye dayalı performans değerlendirilmesi.....                                       | 146        |
| <b>7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>   | <b>155</b> |
| <b>KAYNAKLAR.....</b>  | <b>161</b> |
| <b>EKLER .....</b>   | <b>165</b> |
| <b>EK A.....</b>   | <b>167</b> |
| <b>EK B.....</b>   | <b>173</b> |
| <b>EK C.....</b>   | <b>181</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>   | <b>203</b> |

## KISALTMALAR

|                  |  |
|------------------|--|
| <b>AMBYIA</b>    | : Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi İle İtme Analizi  |
| <b>BKS</b>       | : Bina Kullanım Sınıfı   |
| <b>BYS</b>       | : Bina Yükseklik Sınıfı  |
| <b>CQC</b>       | : Complete Quadratic Combination   |
| <b>DB</b>        | : Deplasmana Dayalı Rijitlik Yöntemi   |
| <b>DD-1</b>      | : 50 yılda aşılma olasılığı %2 (tekrarlanma periyodu 2475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi |
| <b>DD-2</b>      | : 50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi |
| <b>DD-3</b>      | : 50 yılda aşılma olasılığı %50 (tekrarlanma periyodu 72 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi  |
| <b>DD-4</b>      | : 50 yılda aşılma olasılığı %68 (tekrarlanma periyodu 43 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi  |
| <b>DGT</b>       | : Dayanıma Göre Tasarım  |
| <b>DTS</b>       | : Deprem Tasarım Sınıfı  |
| <b>E-W</b>       | : Doğu-Batı Doğrultusu   |
| <b>FB</b>        | : Kuvvete Dayalı Esneklik Yöntemi  |
| <b>GÖ</b>        | : Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi   |
| <b>KH</b>        | : Kontrollü Hasar Performans Düzeyi  |
| <b>KK</b>        | : Kesintisiz Kullanım Performans Düzeyi  |
| <b>NIP</b>       | : Numerical Integration Point  |
| <b>N-S</b>       | : Kuzey-Güney Doğrultusu   |
| <b>OPENSEES</b>  | : Open System for Earthquake Engineering Simulation  |
| <b>PERFORM3D</b> | : Nonlinear Analysis and Performance Assessment of 3D  |
| <b>SAP2000</b>   | : Numerical Integration Point  |
| <b>SH</b>        | : Sınırlı Hasar Performans Düzeyi  |
| <b>ŞDGT</b>      | : Şekil Değiştirmeye Göre Tasarım  |
| <b>TBDY2018</b>  | : Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018)   |
| <b>TDTH</b>      | : Türkiye Deprem Tehlike Haritası  |
| <b>TDY2007</b>   | : Türkiye Deprem Yönetmeliği (2007)  |
| <b>PEER</b>      | : Pasific Earthquake Engineering Research Center   |



## SEMBOLLER

|                |   |
|----------------|---|
| $A_c$          | : Beton enkesit alanı   |
| $A_o$          | : Etkin yer ivmesi katsayısı [g]  |
| $a_0, a_1$     | : Sönüm matrisi katsayıları   |
| $b_o$          | : Göbek betonunu sargılayan etriyelerin eksenleri arasında kalan kesit boyutu   |
| $D$            | : Dayanım fazlalığı katsayısı   |
| $d$            | : Deplasman vektörü   |
| $d_d$          | : Tasarım sonucu ortaya çıkan yerdeğiştirme   |
| $d_r$          | : Sistemin elastik ötesi yerdeğiştirme kapasitesi   |
| $d_{fi}^{(X)}$ | : (X) deprem doğrultusunda binanın hakim doğal titreşim periyodunun hesabında i'inci kata etki ettirilen fiktif yükten oluşan yerdeğiştirme [m] |
| $E_c$          | : Betonun elastisite modülü   |
| $E_s$          | : Donatı çeliğinin elastisite modülü  |
| $E_d^{(H)}$    | : Doğrultu birleştirmesi uygulanmış tasarıma esas yatay deprem etkisi   |
| $E_d^{(X)}$    | : (X) doğrultusundaki depremin etkisi altında tasarıma esas deprem etkisi   |
| $E_d^{(Z)}$    | : (Z) doğrultusundaki depremin etkisi altında tasarıma esas deprem etkisi   |
| $F_1$          | : 1.0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayısı  |
| $F_S$          | : Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı  |
| $F_{fi}^{(X)}$ | : (X) deprem doğrultusunda binanın hakim doğal titreşim periyodunun hesabında i'inci kata etki ettirilen fiktif yük [kN]                        |
| $f_c$          | : Sargılı betonda beton basınç gerilmesi  |
| $f_e$          | : Etkili sargılama basıncı  |
| $f_{ywe}$      | : Enine donatının ortalama (beklenen) akma dayanımı [MPa]   |
| $f_{ce}$       | : Betonun ortalama (beklenen) basınç dayanımı [MPa]   |
| $f_{ck}$       | : Betonun karakteristik silindirik basınç dayanımı  |
| $f_{ctm}$      | : Mevcut betonun çekme dayanımı   |
| $f_{cc}$       | : Sargılı beton dayanımı  |
| $f_{co}$       | : Sargısız betonun basınç dayanımı  |
| $f_s$          | : Donatı çeliğindeki gerilme  |
| $f_{sy}$       | : Donatı çeliğinin akma dayanımı  |
| $f_u$          | : Maksimum çelik dayanımı (kopma dayanımı)  |
| $f_{yw}$       | : Enine donatının akma dayanımı   |
| $G$            | : Sabit yük etkisi  |
| $g$            | : Yerçekimi ivmesi [ $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ ]   |
| $H$            | : Kesit yüksekliği [m]  |
| $H_N$          | : Bina Toplam Yüksekliği [m]  |
| $h_o$          | : Göbek betonunu sargılayan etriyelerin eksenleri arasında kalan kesit boyutu   |
| $I$            | : Bina önem katsayısı   |

|                 |   |
|-----------------|---|
| $k_e$           | : Sargılama etkinlik katsayısı  |
| $L_n$           | : Mod katılım oranı   |
| $l_p$           | : Plastik mafsal boyu [m]   |
| $M_n$           | : Mod kütlesi   |
| $[M]$           | : Sistem kütle matrisi  |
| $m_i$           | : i'inci katın toplam kütlesi [t]   |
| $N_{dm}$        | : Düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında (TS 498'de hareketli yükler için tanımlanmış olan hareketli yük azaltma katsayıları da dikkate alınarak) hesaplanan eksenel basınç kuvvetlerinin en büyüğü |
| $P$             | : Yük parametresi   |
| $PGA$           | : En büyük yer ivmesi [g]   |
| $R$             | : Taşıyıcı sistem davranış katsayısı  |
| $R_a(T)$        | : Öngörülen süneklik kapasitesi ve periyoda bağlı deprem yükü azaltma katsayısı   |
| $S_{ae}(T)$     | : Yatay elastik tasarım spektral ivmesi [g]   |
| $S_d$           | : Spektral deplasman  |
| $S_{aR}(T)$     | : Azaltılmış tasarım spektral ivmesi [g]  |
| $S_{aeD}(T)$    | : Düşey elastik tasarım spektral ivmesi [g]   |
| $S_{DS}$        | : Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]   |
| $S_{D1}$        | : 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]  |
| $S_S$           | : Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]  |
| $T$             | : Doğal titreşim periyodu [s]   |
| $t$             | : Zaman   |
| $T_A$           | : Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu [s]  |
| $T_{AD}$        | : Düşey elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu [s]  |
| $T_B$           | : Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu [s]  |
| $T_{BD}$        | : Düşey elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu [s]  |
| $T_P$           | : Binanın hakim doğal titreşim periyodu [s]   |
| $T_P^{(X)}$     | : (X) deprem doğrultusunda binanın hakim doğal titreşim periyodu [s]  |
| ${}^t u$        | : t zamanına ait yerdeğiştirme  |
| ${}^t \dot{u}$  | : t zamanına ait hız  |
| ${}^t \ddot{u}$ | : t zamanına ait ivme   |
| $V_e$           | : Kolon, kiriş ve perdede esas alınan tasarım kesme kuvveti   |
| $V_{kol}$       | : Kolon kesme kuvveti [KN]  |
| $\%V_{kol}$     | : Kolon kesme kuvvetinin göz önüne alınan kattaki kolon kesme kuvvetlerine oranı  |
| $[C]$           | : Sistemin sönüm matrisi  |
| $\$E0$          | : Başlangıç elastisite modülü   |
| $\$epsU$        | : Beton kopma birim şekildeğiştirme   |
| $\$eps0$        | : Beton maksimum gerilme altındaki birim şekildeğiştirme  |
| $\$fpcU$        | : Beton kopma dayanımı  |
| $\$fpc$         | : 28 günlük beton basınç dayanımı   |
| $\$Fy$          | : Donatı çeliği akma dayanımı   |
| $[K]$           | : Sistem rijitlik matrisi   |
| $q_e$           | : Dış kuvvet vektörü  |
| $q_i$           | : İç kuvvet vektörü   |
| $Q$             | : Hareketli yük etkisi  |
| $Q_e$           | : Etkin hareketli yük etkisi  |

|                     |   |
|---------------------|---|
| $\epsilon_c$        | : Beton basınç birim şekildeğiştirmesi  |
| $\epsilon_{cu}$     | : Sargılı betondaki maksimum basınç birim şekildeğiştirmesi   |
| $\epsilon_e$        | : Beton akma birim şekildeğiştirmesi  |
| $\epsilon_s$        | : Donatı çeliğinin pekleşme başlangıcındaki birim şekildeğiştirmesi                                   |
| $\epsilon_{sy}$     | : Donatı çeliğinin akma birim şekildeğiştirmesi   |
| $\epsilon_{su}$     | : Donatı çeliğinin kopma birim şekildeğiştirmesi  |
| $\epsilon_c^{(GÖ)}$ | : 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 şekildeğiştirmesi sınırı |
| $\epsilon_s^{(KH)}$ | : Kontrollü Hasar performans düzeyi için izin verilen donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi sınırı    |
| $\epsilon_s^{(SH)}$ | : Sınırlı Hasar performans düzeyi için izin verilen donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi sınırı      |
| $\rho_x, \rho_y$    | : İlgili doğrultulardaki enine donatı hacim oranı   |
| $\rho_{sh,min}$     | : İki yatay doğrultuda hacimsel enine donatı oranının küçük olanı                                     |
| $\alpha_{se}$       | : Sargı donatısı etkinlik katsayısı   |
| $\omega$            | : Açısal frekans  |
| $\omega_{we}$       | : Etkin sargı donatısının mekanik donatı oranı  |
| $w_i$               | : İ. integrasyon noktasının ağırlığı  |
| $\chi$              | : Kesit'e ait eğrilik   |
| $\phi_d$            | : Tasarım sonucu ortaya çıkan şekildeğiştirme   |
| $\phi_r$            | : Sistemin elastik ötesi şekildeğiştirme kapasitesi   |
| $\lambda$           | : Yük seviyesi parametresi  |
| $\zeta$             | : Sönüm oranı   |
| $\xi_i$             | : İ. integrasyon noktasının koordinat değeri  |





## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

|   |     |
|---|-----|
| Çizelge 2.1 : Yapı sistemlerinin doğrusal olmayan davranış sebepleri. ....  | 7   |
| Çizelge 2.2 : Donatı çeliklerine ait bilgiler. ....   | 12  |
| Çizelge 2.3 : Gauss – Lobatto entegrasyon kuralı için ilgili konum ve ağırlıklar. ....  | 18  |
| Çizelge 3.1 : Bina Kullanım Sınıfları ve Bina Önem Katsayıları. ....  | 33  |
| Çizelge 3.2 : Deprem Tasarım Sınıfları (DTS). ....  | 34  |
| Çizelge 3.3 : Bina Yükseklik Sınıfları (BYS). ....  | 35  |
| Çizelge 3.4 : Donatı çeliklerine ait bilgiler. ....   | 48  |
| Çizelge 3.5 : Deprem Tasarım Sınıfına göre yeni yapılacak betonarme binalar için performans hedefleri ve değerlendirme/tasarım yaklaşımları (yüksek binalar hariç) .... | 49  |
| Çizelge 3.6 : Yüksek binalar (BYS = 1 olan) için performans hedefleri ve değerlendirme/tasarım yaklaşımları ....  | 49  |
| Çizelge 4.1 : Etkin Yer İvmesi Katsayısı ( $A_0$ ). ....  | 54  |
| Çizelge 4.2 : Bina Kullanım Sınıfları ve Bina Önem Katsayıları. ....  | 55  |
| Çizelge 5.1 : Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayıları. ....  | 67  |
| Çizelge 5.2 : 1.0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayıları. ....  | 67  |
| Çizelge 6.1 : E-W doğrultusu ölçeklenmiş spektrum x ve y eksen değerleri. ....  | 92  |
| Çizelge 6.2 : Opensees Beton Modeli Parametreleri. ....   | 106 |
| Çizelge 6.3 : 11 Adet deprem ivme kaydı takımı için ölçekleme katsayıları. ....   | 115 |
| Çizelge 6.4 : Her bir deprem kaydı için yapıda oluşan maksimum etkiler. ....  | 119 |
| Çizelge 6.5 : X ve Y doğrultusu için yapı genel performansı ve eleman hasar durumları. ....   | 120 |
| Çizelge 6.6 : Beton sınıfı C35 yapıldığında yapı genel performansı ve eleman hasar durumları. ....  | 122 |
| Çizelge 6.7 : Her bir deprem kaydı için yapıda oluşan maksimum etkiler. ....  | 124 |
| Çizelge 6.8 : TBDY2018' e göre tasarım yapılan bina'ya ait yapı genel performansı ve eleman hasar durumları. ....   | 125 |
| Çizelge 6.9 : Yüksek binalar için (BYS=1) performans hedefleri ve uygulanacak değerlendirme/tasarım yaklaşımları. ....  | 128 |
| Çizelge 6.10 : TDY2007' ye göre analiz sonucu deprem yükleri. ....  | 130 |
| Çizelge 6.11 : TDY2007' ye göre tasarım sonucu taşıyıcı sistem eleman boyutları. ....   | 131 |
| Çizelge 6.12 : Deprem ölçekleme katsayıları. ....   | 135 |
| Çizelge 6.13 : TDY2007' ye göre tasarımı yapılan 36 katlı bina' ya ait E-W doğrultusu eleman hasar durumları. ....  | 140 |
| Çizelge 6.14 : TDY2007' ye göre tasarımı yapılan 36 katlı bina' ya ait N-S doğrultusu eleman hasar durumları. ....  | 142 |
| Çizelge 6.15 : TBDY2018' e göre tasarımı yapılan 36 katlı bina' ya ait E-W doğrultusu eleman hasar durumları. ....  | 150 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Çizelge 6.16</b> : TBDY2018' e göre tasarımı yapılan 36 katlı yapı' ya ait N-S doğrultusu eleman hasar durumları. ....  | 152 |
| <b>Çizelge C.1</b> : 1. Deprem' e ait performans durumu ve maksimum hasar adımındaki eleman hasar durumları. ....  | 181 |
| <b>Çizelge C.2</b> : 1.Deprem' e ait ivme kayıtlarının 90° döndürülerek etkililmesi sonucu yapı performansı ve maksimum hasar adımındaki eleman hasar durumları. ....  | 182 |
| <b>Çizelge C.3</b> : 2.Deprem' e ait performans durumu ve maksimum hasar adımındaki eleman hasar durumları. ....   | 183 |
| <b>Çizelge C.4</b> : 2.Deprem' e ait ivme kayıtlarının 90° döndürülerek etkililmesi sonucu yapı performansı ve maksimum hasar adımındaki eleman hasar durumları. ....  | 184 |
| <b>Çizelge C.5</b> : 3.Deprem' e ait performans durumu ve maksimum hasar adımındaki eleman hasar durumları. ....   | 185 |
| <b>Çizelge C.6</b> : 3.Deprem' e ait ivme kayıtlarının 90° döndürülerek etkililmesi sonucu yapı performansı ve maksimum hasar adımındaki eleman hasar durumları. ....  | 186 |
| <b>Çizelge C.7</b> : 4.Deprem' e ait performans durumu ve maksimum hasar adımındaki eleman hasar durumları. ....   | 187 |
| <b>Çizelge C.8</b> : 4.Deprem' e ait ivme kayıtlarının 90° döndürülerek etkililmesi sonucu yapı performansı ve maksimum hasar adımındaki eleman hasar durumları. ....  | 188 |
| <b>Çizelge C.9</b> : 5.Deprem' e ait performans durumu ve maksimum hasar adımındaki eleman hasar durumları. ....   | 189 |
| <b>Çizelge C.10</b> : 5.Deprem' e ait ivme kayıtlarının 90° döndürülerek etkililmesi sonucu yapı performansı ve maksimum hasar adımındaki eleman hasar durumları. .... | 190 |
| <b>Çizelge C.11</b> : 6.Deprem' e ait performans durumu ve maksimum hasar adımındaki eleman hasar durumları. ....  | 191 |
| <b>Çizelge C.12</b> : 6.Deprem' e ait ivme kayıtlarının 90° döndürülerek etkililmesi sonucu yapı performansı ve maksimum hasar adımındaki eleman hasar durumları. .... | 192 |
| <b>Çizelge C.13</b> : 7.Deprem' e ait performans durumu ve maksimum hasar adımındaki eleman hasar durumları. ....  | 193 |
| <b>Çizelge C.14</b> : 7.Deprem' e ait ivme kayıtlarının 90° döndürülerek etkililmesi sonucu yapı performansı ve maksimum hasar adımındaki eleman hasar durumları. .... | 194 |
| <b>Çizelge C.15</b> : 8.Deprem' e ait performans durumu ve maksimum hasar adımındaki eleman hasar durumları. ....  | 195 |
| <b>Çizelge C.16</b> : 8.Deprem' e ait ivme kayıtlarının 90° döndürülerek etkililmesi sonucu yapı performansı ve maksimum hasar adımındaki eleman hasar durumları. .... | 196 |
| <b>Çizelge C.17</b> : 9.Deprem' e ait performans durumu ve maksimum hasar adımındaki eleman hasar durumları. ....  | 197 |
| <b>Çizelge C.18</b> : 9.Deprem' e ait ivme kayıtlarının 90° döndürülerek etkililmesi sonucu yapı performansı ve maksimum hasar adımındaki eleman hasar durumları. .... | 198 |
| <b>Çizelge C.19</b> : 10.Deprem' e ait performans durumu ve maksimum hasar adımındaki eleman hasar durumları. ....   | 199 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Çizelge C.20</b> : 10.Deprem' e ait ivme kayıtlarının 90° döndürülerek etkitilmesi sonucu yapı performansı ve maksimum hasar adımındaki eleman hasar durumları..... | 200 |
| <b>Çizelge C.21</b> : 11.Deprem' e ait performans durumu ve maksimum hasar adımındaki eleman hasar durumları.....  | 201 |
| <b>Çizelge C.22</b> : 11.Deprem' e ait ivme kayıtlarının 90° döndürülerek etkitilmesi sonucu yapı performansı ve maksimum hasar adımındaki eleman hasar durumları..... | 202 |





## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

|  |    |
|--|----|
| Şekil 2.1 : Çeşitli teorilere göre elde edilen yük parametresi – yerdeğiştirme bağıntıları. ....                   | 8  |
| Şekil 2.2 : TBDY2018’ de tanımlanan sargılı ve sargısız beton modelleri. ....                                      | 11 |
| Şekil 2.3 : TBDY2018’ de tanımlanan donatı çeliğine ait malzeme modeli. ....                                       | 12 |
| Şekil 2.4 : İdeal malzemeler. ....   | 13 |
| Şekil 2.5 : Fiber kesitleri. ....  | 15 |
| Şekil 2.6 : Gauss Lobatto alan yöntemi için konum ve ağırlıklar. ....  | 18 |
| Şekil 2.7 : Yük kontrol ve deplasman kontrol yöntemi. ....   | 19 |
| Şekil 2.8 : Akış şeması. ....  | 21 |
| Şekil 2.9 : Newton Rapson tekrarlama şeması. ....  | 22 |
| Şekil 2.10 : Donatı çeliği gerilme – şekildeğiştirme grafiği. ....   | 25 |
| Şekil 2.11 : Eleman kuvvet ve deformasyonları. ....  | 27 |
| Şekil 4.1 : TBDY2007 Elastik Tasarım İvme Spektrumu. ....  | 56 |
| Şekil 4.2 : TBDY2018 Yatay Elastik Tasarım Spektrumu. ....   | 57 |
| Şekil 4.3 : Düşey Elastik Tasarım İvme Spektrumu. ....   | 58 |
| Şekil 5.1 : TDTH’ na binaya ait bilgilerin girilmesi. ....   | 68 |
| Şekil 5.2 : Yapıya ait zemin ve deprem parametreleri. ....   | 69 |
| Şekil 5.3 : Deprem kayıtlarının ölçeklenmesi amacı ile geliştirilen programın tanıtılması. ....                    | 69 |
| Şekil 5.4 : Programa veri giriş ekranı. ....   | 71 |
| Şekil 5.5 : Tasarım ivme spektrumuna uygun kayıtların sıralanması. ....  | 72 |
| Şekil 5.6 : Ölçekleme katsayısı program çıktısı. ....  | 73 |
| Şekil 5.7 : Kareleri toplamının karekökü spektrumu. ....   | 74 |
| Şekil 5.8 : E-W Doğrultusu ölçeklenmemiş ve ölçeklenmiş spektrum. ....   | 74 |
| Şekil 5.9 : N-S doğrultusu ölçeklenmemiş ve ölçeklenmiş spektrum. ....   | 74 |
| Şekil 5.10 : Betonarme yapı tasarım süreci. ....   | 75 |
| Şekil 5.11 : Performans analizi. ....  | 76 |
| Şekil 5.12 : Performans menüsü ana ekranı. ....  | 76 |
| Şekil 5.13 : Performans menüsü çalışma prensibi. ....  | 77 |
| Şekil 5.14 : Program menüleri. ....  | 77 |
| Şekil 5.15 : Taşıyıcı sistem programa yüklenmeden önce girilecek değerler. ....                                    | 77 |
| Şekil 5.16 : Analiz öncesi programa girilmesi gerekli bilgiler. ....   | 78 |
| Şekil 5.17 : Kütle ve rijitlik ile orantılı Rayleigh sönümü[35]. ....  | 79 |
| Şekil 5.18 : Sönüm parametrelerinin manuel olarak girilmesi. ....  | 79 |
| Şekil 5.19 : Programa deprem kaydı yükleme arayüzü. ....   | 80 |
| Şekil 5.20 : Analiz oluşturma. ....  | 81 |
| Şekil 5.21 : Analiz sonrası incelenecek yüklemenin seçimi. ....  | 82 |
| Şekil 5.22 : Seçilen adım’ a ait eleman hasar durumları ve yapı yerdeğiştirmesi. ....                              | 83 |
| Şekil 5.23 : Seçilen elemana ait istenilen adımdaki şekildeğiştirme değerleri ile eleman malzeme özellikleri. .... | 84 |
| Şekil 5.24 : Rapor başlıkları. ....  | 85 |
| Şekil 5.25 : Örnek bir yapıya ait yapı genel performansı. ....   | 85 |

|   |     |
|---|-----|
| Şekil 6.1 : Tasarım ivme spektrumu ve 1.3 kat arttırılmış spektrum. ....                                  | 87  |
| Şekil 6.2 : E-W doğrultusu ve n-s doğrultusu deprem ivme kayıtları.....                                   | 88  |
| Şekil 6.3 : Ölçeklenmemiş spektrumlar. ....   | 88  |
| Şekil 6.4 : E-W doğrultusu ölçeklenmiş spektrum ve kareleri toplamının karekökü<br>spektrum. ....         | 89  |
| Şekil 6.5 : E-W doğrultusu ölçeklenmiş spektrum ve kareleri toplamının karekökü<br>spektrum. ....         | 89  |
| Şekil 6.6 : Ölçekleme katsayısı.....  | 89  |
| Şekil 6.7 : Sap2000 programında t=0.24 saniye periyoda sahip tek serbestlik dereceli<br>sistem.....       | 90  |
| Şekil 6.8 : Tek serbestlik dereceli sistemin deprem yer hareketi altında maksimum<br>yerdeğiştirmesi..... | 91  |
| Şekil 6.9 : 8 Katlı yapıya ait kat planı. ....  | 93  |
| Şekil 6.10 : Hedef tasarım ivme spektrumu. ....   | 95  |
| Şekil 6.11 : Ölçeklenmemiş deprem ivme kaydı. ....  | 95  |
| Şekil 6.12 : Ölçeklenmemiş ve ölçeklenmiş spektrumlar. ....   | 96  |
| Şekil 6.13 : Ölçeklenmemiş ve ölçeklenmiş ivme kayıtları. ....  | 96  |
| Şekil 6.14 : Kolonlara ait beton modeli.....  | 97  |
| Şekil 6.15 : Kirişlere ait beton modeli. ....   | 98  |
| Şekil 6.16 : S420 donatı çeliği modeli. ....  | 98  |
| Şekil 6.17 : Kiriş kesitleri. ....  | 99  |
| Şekil 6.18 : Kiriş fiber kesitleri.....   | 99  |
| Şekil 6.19 : Kenar kirişler için fiber tanımı. ....   | 100 |
| Şekil 6.20 : Kenar kirişler için elastik kesite ait özellikler.....                                       | 100 |
| Şekil 6.21 : Orta kirişler için elastik kesite ait özellikler. ....                                       | 100 |
| Şekil 6.22 : Orta kirişler için fiber tanımı. ....  | 101 |
| Şekil 6.23 : Kolon kesiti. ....   | 101 |
| Şekil 6.24 : Kolon fiber kesitleri.....   | 102 |
| Şekil 6.25 : Kolon fiber tanımı. ....   | 103 |
| Şekil 6.26 : Kenar kiriş elemanları. ....   | 104 |
| Şekil 6.27 : Orta kiriş elemanları. ....  | 104 |
| Şekil 6.28 : Kolon elemanları. ....   | 105 |
| Şekil 6.29 : Perform-3D model.....  | 105 |
| Şekil 6.30 : OpenSees beton malzeme modeli.....   | 106 |
| Şekil 6.31 : OpenSees donatı çeliği (B420C) malzeme modeli.....   | 107 |
| Şekil 6.32 : Kolon malzeme ve fiber tanımı.....   | 108 |
| Şekil 6.33 : Kiriş malzeme ve fiber tanımı.....   | 108 |
| Şekil 6.34 : OpenSees modeli.....   | 109 |
| Şekil 6.35 : Maksimum deplasmanın olduğu adım (1251. adım)'a ait eleman<br>yerdeğiştirmeleri. ....        | 109 |
| Şekil 6.36 : Tepe deplasmanın zamanla değişimi.....   | 110 |
| Şekil 6.37 : Kat kalıp planı. ....  | 111 |
| Şekil 6.38 : A-A kesiti.....  | 112 |
| Şekil 6.39 : B-B kesiti. ....   | 112 |
| Şekil 6.40 : Zemin Kat, 1.Normal Kat Ve 2.Normal Kat Kolon Planları .....                                 | 113 |
| Şekil 6.41 : 3.Normal kat, 4.normal kat, 5.normal kat ve 6.normal kat kolon detayları.<br>.....           | 113 |
| Şekil 6.42 : Deprem kayıtlarının ölçeklenmesi.....  | 114 |
| Şekil 6.43 : OpenSees programı fiber eleman gösterimi.....  | 117 |
| Şekil 6.44 : Eleman hasar bölgeleri ve sınır değerler. ....   | 121 |

|   |     |
|---|-----|
| Şekil 6.45 : Kolon donatı detayı.....   | 123 |
| Şekil 6.46 : TBDY2007' ye göre boyutlandırılan 36 katlı binanın normal katlarına ait kalıp planı. ....                                | 129 |
| Şekil 6.47 : Tabas deprem kaydı E-W doğrultusu için ölçeklenmiş ve ölçeklenmemiş ivmeler. ....  | 133 |
| Şekil 6.48 : Tabas deprem kaydı N-S doğrultusu için ölçeklenmiş ve ölçeklenmemiş ivmeler. ....  | 133 |
| Şekil 6.49 : Smart deprem kaydı E-W doğrultusu için ölçeklenmiş ve ölçeklenmemiş ivmeler. ....  | 133 |
| Şekil 6.50 : Smart deprem kaydı N-S doğrultusu ölçeklenmiş ve ölçeklenmemiş ivmeler. ....   | 134 |
| Şekil 6.51 : Sitka deprem kaydı E-W doğrultusu ölçeklenmiş ve ölçeklenmemiş ivmeler. ....   | 134 |
| Şekil 6.52 : Sitka deprem kaydı N-S doğrultusu ölçeklenmiş ve ölçeklenmemiş ivmeler. ....   | 134 |
| Şekil 6.53 : 36 katlı yapı OpenSees modeli. ....  | 136 |
| Şekil 6.54 : Maksimum hasar adımında eleman hasar durumu (Tabas E-W doğrultusu 53. Adım).....   | 137 |
| Şekil 6.55 : Maksimum hasar adımında yapı yerdeğiştirmesi kesit(Tabas E-W doğrultusu 53.adım).....                                    | 138 |
| Şekil 6.56 : Maksimum hasar adımında yapı yerdeğiştirmesi plan( Tabas E-W doğrultusu 53. Adım).....                                   | 139 |
| Şekil 6.57 : Maksimum hasar adımında yapı yerdeğiştirmeleri.....  | 144 |
| Şekil 6.58 : TBDY2018'e göre boyutlandırılan 36 katlı binanın normal katlarına ait kat planı.Bina 5-5 eksenine göre simetriktir. .... | 145 |
| Şekil 6.59 : TBDY2018' e göre tasarımı yapılan 36 katlı binanın OpenSees modeli. ....   | 147 |
| Şekil 6.60 : Maksimum hasar adımında renklere göre yapı yerdeğiştirmesi. ....   | 148 |
| Şekil 6.61 : Maksimum hasar adımında eleman hasarları. ....   | 149 |
| Şekil A.1 : 1. Deprem kaydına ait E-W ve N-S doğrultusu ölçeklenmemiş ve ölçeklenmiş ivme kayıtları. ....                             | 167 |
| Şekil A.2 : 2. Deprem kaydına ait E-W ve N-S doğrultusu ölçeklenmemiş ve ölçeklenmiş ivme kayıtları. ....                             | 167 |
| Şekil A.3 : 3. Deprem kaydına ait E-W ve N-S doğrultusu ölçeklenmemiş ve ölçeklenmiş ivme kayıtları. ....                             | 168 |
| Şekil A.4 : 4. Deprem kaydına ait E-W ve N-S doğrultusu ölçeklenmemiş ve ölçeklenmiş ivme kayıtları. ....                             | 168 |
| Şekil A.5 : 5. Deprem kaydına ait E-W ve N-S doğrultusu ölçeklenmemiş ve ölçeklenmiş ivme kayıtları. ....                             | 169 |
| Şekil A.6 : 6. Deprem kaydına ait E-W ve N-S doğrultusu ölçeklenmemiş ve ölçeklenmiş ivme kayıtları. ....                             | 169 |
| Şekil A.7 : 7. Deprem kaydına ait E-W ve N-S doğrultusu ölçeklenmemiş ve ölçeklenmiş ivme kayıtları. ....                             | 170 |
| Şekil A.8 : 8. Deprem kaydına ait E-W ve N-S doğrultusu ölçeklenmemiş ve ölçeklenmiş ivme kayıtları. ....                             | 170 |
| Şekil A.9 : 9. Deprem kaydına ait E-W ve N-S doğrultusu ölçeklenmemiş ve ölçeklenmiş ivme kayıtları. ....                             | 171 |
| Şekil A.10 : 10. Deprem kaydına ait E-W ve N-S doğrultusu ölçeklenmemiş ve ölçeklenmiş ivme kayıtları. ....                           | 171 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Şekil A.11</b> : 11. Deprem kaydına ait E-W ve N-S doğrultusu ölçeklenmemiş ve ölçeklenmiş ivme kayıtları ..... | 172 |
| <b>Şekil B.1</b> : 1. Deprem kaydı tepe deplasmanın zamanla değişimi. ....   | 173 |
| <b>Şekil B.2</b> : 1. Deprem kaydı eksenler 90° döndürüldüğünde tepe deplasmanın zamanla değişimi. ....            | 173 |
| <b>Şekil B.3</b> : 2. Deprem kaydı tepe deplasmanın zamanla değişimi. ....   | 173 |
| <b>Şekil B.4</b> : 2. Deprem kaydı eksenler 90° döndürüldüğünde tepe deplasmanın zamanla değişimi. ....            | 174 |
| <b>Şekil B.5</b> : 3. Deprem kaydı tepe deplasmanın zamanla değişimi. ....   | 174 |
| <b>Şekil B.6</b> : 3. Deprem kaydı eksenler 90° döndürüldüğünde tepe deplasmanın zamanla değişimi. ....            | 174 |
| <b>Şekil B.7</b> : 4. Deprem kaydı tepe deplasmanın zamanla değişimi. ....   | 175 |
| <b>Şekil B.8</b> : 4. Deprem kaydı eksenler 90° döndürüldüğünde tepe deplasmanın zamanla değişimi. ....            | 175 |
| <b>Şekil B.9</b> : 5. Deprem kaydı tepe deplasmanın zamanla değişimi. ....   | 175 |
| <b>Şekil B.10</b> : 5. Deprem kaydı eksenler 90° döndürüldüğünde tepe deplasmanın zamanla değişimi. ....           | 176 |
| <b>Şekil B.11</b> : 6. Deprem kaydı tepe deplasmanın zamanla değişimi. ....  | 176 |
| <b>Şekil B.12</b> : 6. Deprem kaydı eksenler 90° döndürüldüğünde tepe deplasmanın zamanla değişimi. ....           | 176 |
| <b>Şekil B.13</b> : 7. Deprem kaydı tepe deplasmanın zamanla değişimi. ....  | 177 |
| <b>Şekil B.14</b> : 7. Deprem kaydı eksenler 90° döndürüldüğünde tepe deplasmanın zamanla değişimi. ....           | 177 |
| <b>Şekil B.15</b> : 8. Deprem kaydı tepe deplasmanın zamanla değişimi. ....  | 177 |
| <b>Şekil B.16</b> : 8. Deprem kaydı eksenler 90° döndürüldüğünde tepe deplasmanın zamanla değişimi. ....           | 178 |
| <b>Şekil B.17</b> : 9. Deprem kaydı tepe deplasmanın zamanla değişimi. ....  | 178 |
| <b>Şekil B.18</b> : 9. Deprem kaydı eksenler 90° döndürüldüğünde tepe deplasmanın zamanla değişimi. ....           | 178 |
| <b>Şekil B.19</b> : 10. Deprem kaydı tepe deplasmanın zamanla değişimi. ....                                       | 179 |
| <b>Şekil B.20</b> : 10. Deprem kaydı eksenler 90° döndürüldüğünde tepe deplasmanın zamanla değişimi. ....          | 179 |
| <b>Şekil B.21</b> : 11. Deprem kaydı tepe deplasmanın zamanla değişimi. ....                                       | 179 |
| <b>Şekil B.22</b> : 11. Deprem kaydı eksenler 90° döndürüldüğünde tepe deplasmanın zamanla değişimi. ....          | 180 |



# BETONARME BİNALARIN OPENSEES PROGRAMI İLE DOĞRUSAL OLMAYAN HESABI İÇİN ÖN VE ARD İŞLEME PROGRAMLARININ GELİŞTİRİLMESİ VE TBDY2018 UYGULAMALARI

## ÖZET

Ülkemiz şiddetli depremlere maruz kalan ve kalması muhtemel bir bölgede bulunduğundan dolayı depremin yıkıcı etkilerinin, oluşturacağı can ve mal kayıplarını en aza indirilmesi gerekmektedir. Bunun en önemli yolu ise depreme karşı yapı güvenliğini sağlamakla olur. Özellikle son yıllarda artan yüksek ve komplike binalar, yapıların deprem davranışını gerçeğe en yakın olacak şekilde belirlemenin önemini daha da ortaya çıkarmıştır. Yürürlüğe yeni girecek olan TBDY2018’ de yapıların deprem davranışını geleneksel yöntemlere göre geççe çok daha yakın olacak şekilde tespit edebilmek için şekil değiştirme esaslı tasarım ve değerlendirme konusu ön plana çıkarılmış ve hatta bazı yüksek ve önemli yapılarda zorunlu hale getirilmiştir. Böylece yapıların gerçek depremler altında doğrusal olmayan davranışı esas alınarak ayrıntılı bir şekilde analiz edilecek ve malzeme liflerinde oluşacak uzama ve kısalmalar hesap edilip yapının deprem davranışı önemli ölçüde ortaya koyulacaktır. Bu çalışma kapsamında yapılan çözümlerde ikinci merteye etkileri dikkate alınarak malzeme ve geometri bakımından doğrusal olmayan çözüm yapılmıştır.

Yüksek lisans tezi olarak yapılan bu çalışmada, OpenSees programı ile yapıların şekil değiştirmeye dayalı olarak değerlendirilmesini esas alan ön ve ard işleme programları geliştirilmiştir. Bu program ile yeni yapılacak yapıların gerçek deprem etkileri altındaki şekil değiştirmeler hesaplanarak TBDY2018’ de verilen sınır değerler ile kıyaslanmıştır. Bunun sonucunda yapıların deprem performansları tespit edilmiştir. OpenSees programında TBDY2018 de belirtildiği gibi daha önceki depremlerden elde edilen on bir adet deprem ivme kaydı takımı kullanılmıştır. Bu ivme kayıtları yönetmeliğin belirttiği ölçekleme koşulları ile yine bu tez kapsamında geliştirilen ölçekleme programı kullanılarak ölçeklendirilmiştir. TBDY2018 ile birlikte yürürlüğe giren Türkiye Deprem Haritaları Web Arayüzü yardımı ile binanın inşaa edileceği yerin zemin sınıfı, enlem ve boylam değerleri ile yine bu yönetmelikte tanımlanan deprem düzeyi katsayısı bilgileri girilerek binaya ait elastik tasarım spektrumu elde edilmiştir. Ölçekleme işlemi bu hedef tasarım spektrumuna göre yapılmıştır. Binanın tasarım spektrumuna uygun deprem kayıtlarının seçimi oldukça önemlidir. Uygun deprem ivmeleri seçilmediği takdirde ölçekleme işlemi doğru olmayacağı bilinmektedir. Bu hatayı ortadan kaldırmak, tasarım spektrumuna uygun deprem ivme kayıtlarının seçilebilmesi için ölçekleme programına yaklaşık altı yüz adet geçmiş depremlerden elde edilen ivme kaydı yüklenmiştir. Ölçekleme programı girilen tasarım spektrumuna uygun kayıtları yukarıdan aşağıya doğru sıralamaktadır. Bu çalışmada en uygun on bir adet deprem kaydı çifti seçilerek OpenSees programı ile doğrusal olmayan dinamik analiz yapılmıştır.

Çalışmanın birinci bölümü, konunun açıklanmasına ayrılmış, çalışmanın amacı ve kapsamı hakkında bilgi verilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde, betonarme yapıların doğrusal olmayan davranışı anlatılmıştır. Betonarme malzeme modellerine değinilmiş ve TBDY2018’ de tanımlanan beton ve donatı çeliği malzeme modelleri verilmiştir. Bu çalışma kapsamındaki örneklerin çözümünde kullanılan, elastik ötesi davranışın yayılı olarak ele alındığı fiber (lif) model için gelişim süreci anlatılarak çözüm yöntemleri verilmiştir. Bunlar deplasmana dayalı rijitlik ve kuvvete dayalı esneklik yöntemleridir. Rijitlik bazlı modellerin eleman formülasyonu esneklik temelli modellere nispeten daha kolay olduğundan mevcut sonlu eleman programları bu modelleri kullanmaktadır. Bu çalışmada doğrusal olmayan denklemlerin çözümünde Newton-Rapson yöntemi kullanılmıştır. Genel olarak kabul görmüş sargılı beton ve donatı çeliği modelleri için formülasyonlar verilmiştir.

Çalışmanın üçüncü bölümünde, TBDY2018 kapsamında yeni yapılacak binaların şekildeğiştirme esaslı tasarımı detaylı olarak anlatılmıştır. TBDY2018’ de yeni kullanılmaya başlanan, binaların tasarım ve değerlendirmesine esas olan hesap yöntemlerinin belirlenmesinde kullanılan, Bina Kullanım Sınıfı (BKS), Deprem Tasarım Sınıfı (DTS) ve Deprem Tasarım Sınıfı (DTS) terimleri açıklanarak tablolar halinde verilmiştir. Deprem Tasarım Sınıfına göre yeni yapılacak betonarme binalar için performans hedefleri ile değerlendirme ve tasarım yaklaşımları verilmiştir. Burada DD-2 deprem düzeyi için istenilen kontrollü hasar performans seviyesi TDY2007’ de can güvenliği performans seviyesine karşılık gelmektedir. Yeni yapılacak binaların tasarım ve değerlendirmesinde kullanılacak yöntemlerden bahsedilerek bu çalışmada kullanılan, zaman tanım alanında doğrusal olmayan çözüm yöntemi detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Son olarak doğrusal olmayan davranış modellerinden bahsedilmiş, donatı çeliği ve beton için performans seviyelerine karşı gelen şekildeğiştirme sınır değerleri verilmiştir.

Çalışmanın dördüncü bölümünde, TDY2007 ile TBDY2018 yönetmelikleri, deprem etkisi altındaki betonarme binaların taşıyıcı sistemlerinin tasarım koşulları bakımından kıyaslanmıştır. TDY2007’ de dört adet deprem bölgesi vardır. Bunlar o bölge içinde deprem etkisinin en fazla olacağı (fay’ a en yakın) yer’ e ait spektral ivme katsayısı esas alınarak verilmiştir. TBDY2018’ de ise inşaa edileceği yerin zemin özelliklerine (karakteristik zemin periyotlarına) ve deprem düzeyi katsayısına bağlı olarak her yapı için ayrı ayrı hesaplanmaktadır. Böylece farklı deprem etkisinde olacak yapılar için tasarımda farklı deprem etkileri ele alınmış ve tasarıma esas olan deprem kuvvetlerinde önemli azalmalar olmuştur. Ayrıca TBDY2007’ de elastik kesit rijitlikleri kullanılırken, TBDY2018’ de tasarımda etkin çatlamış kesit rijitlikleri kullanılmakta ve rijitlik azaldığı için deprem kuvvetlerinde azalma olmaktadır. Fakat çatlamış kesit rijitliklerinin kullanılmasında ötelemeleri artırdığı için sınır değerlerin sağlanması zorlaşmaktadır. Böylece daha rijit kesitler kullanılması yoluna gidilmektedir. Önemli bir değişiklikte kolon süneklik alanları ile ilgilidir. TBDY2018 de normal kuvvet etkisi fazla olan yüksek sünek kolonlar için verilen minimum alan koşulu artırılmıştır.

Çalışmanın beşinci bölümünde, deprem kayıtlarının seçim yöntemleri anlatılmış, bu çalışma kapsamında yazılan ve örneklerin çözümünde kullanılan ölçekleme programı tanıtılmıştır. TBDY2018 kapsamında ölçekleme işlemi için verilen koşullara değinilmiş ve geliştirilen program tarafından bu koşulların nasıl ele alındığı gösterilmiştir. Daha sonra bir örnek üzerinde, tasarım ivme spektrumunun nasıl elde edildiği ve mevcut deprem kayıtlarının bu tasarım ivme spektrumuna göre nasıl ölçeklendiği bir örnek üzerinde gösterilmiştir.

Çalışmanın altıncı bölümünde, sayısal örneklere yer verilmiştir. İlk olarak ölçekleme programını doğrulamak amacı ile, bu tez kapsamında yazılan ölçekleme programı, tek serbestlik dereceli bir sistem modeli oluşturularak Sap2000 programı ile doğrulanmıştır. Bu karşılaştırmada, herhangi bir deprem ivme kaydı ölçekleme programı kullanılarak ölçeklendirilmiş ve spektrumu oluşturulmuştur. Daha sonra bu spektrumda herhangi bir periyot değerine karşı gelen spektral ivme katsayısı bulunmuştur. Sap2000 programına yüklenen ölçeklendirilmiş ivme ile zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yapılarak maksimum yerdeğiştirme bulunmuş ve  $\omega^2$  ile çarpılarak spektral ivme değeri elde edilmiştir. Bu iki spektral ivme değeri karşılaştırılmış ve yaklaşık olarak aynı olduğu gösterilmiştir. İkinci örnekte, OpenSees programı ile Perform-3D programı karşılaştırılmıştır. Mod birleştirme yöntemine göre tasarımı yapılarak kesit ve donatıları belirlenen 8 katlı betonarme çerçeve binanın her iki program ile doğrusal olmayan dinamik analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda tepe deplasmanının zamana göre değişimi her iki program ile bulunmuş ve karşılaştırılmıştır. Her iki programda bulunan değerlerin birbirine yeterince yakın olduğu görülmüştür. Üçüncü örnekte ise, 7 katlı betonarme çerçeve bina, TDY2007 ve TBDY2018' e göre tasarımı yapılarak boyutlandırılmıştır. Daha sonra tasarım sonucu elde edilen kesit ve donatılar kullanılarak, her iki tasarım için OpenSees programı ile TBDY2018 kapsamında şekildeğiştirmeye göre analiz ve değerlendirmesi yapılmıştır.

Analizlerde ölçeklendirilmiş 11 adet deprem ivme kaydı kullanılmıştır. Bunun sonucunda her iki durum için on bir adet deprem kaydı takımının her biri için beton ve donatı çeliğinde oluşan uzama ve kısalma değerleri bulunarak TBDY2018' de bulunan sınır değerler ile kıyaslanmıştır. Böylece her iki durum için yapı performansı belirlenmiş ve kıyaslanmıştır.

Çalışmanın yedinci bölümünde, sonuçlar değerlendirilmiş ve önerilerde bulunulmuştur.



# **PRE AND POST PROCESSOR SOFTWARE FOR NONLINEER ANALYSIS OF R/C BUILDINGS USING OPENSEES AND APPLICATION TO TURKISH EARTQUAKE CODE FOR BUILDINGS 2018**

## **SUMMARY**

Since our country is in an area that is exposed to severe earthquakes, it is necessary to minimize the devastating effects of the earthquakes and the losses of life and properties. The most important way is to ensure the safety of the buildings against earthquakes. Especially the high and complicated buildings which have increased in the recent years; they have further revealed the importance of determining the earthquake behavior of the structures as close to reality as possible. In order to determine the earthquake's behavior of structures in TBDY2018 which is going to be new, much closer to the traditional methods, deformation-based design, and evaluation has been brought to the fore; it has become mandatory in some high and important structures. Thus, the structures will be analyzed in detail on the basis of nonlinear behavior under the real earthquakes, the elongation, and shortening of the material fibers will be calculated and the earthquake behavior of the structure will be determined. In this study, non - linear solutions were made in terms of material and geometry by taking into consideration the P - delta effects.

In this study which was conducted as a MSC. thesis, pre and post processing programs were developed based on the evaluation of the structures by using OpenSees program. With this program, the shape changes under the actual earthquake effects of the new structures were calculated and compared with the limit values given in TBDY2018. As a result, the earthquake performance of the structures has been determined. As stated in TBDY2018 and in the OpenSees program, eleven earthquake acceleration records obtained from previous earthquakes were used. These acceleration records are scaled using the scaling program developed within the scope of this thesis as well as the scaling conditions indicated by the regulation. With TBDY2018 entered into force in Turkey's Earthquake Map Web Interface help with the ground class location will be the construction of the building, latitude, and longitude values and still belonging to the building by entering earthquake level coefficient information as defined in these regulations was obtained elastic design spectrum. Scaling was performed according to this target design spectrum. The selection of earthquake recordings suitable for the design spectrum of the building is very important. Scaling is known to be inaccurate if appropriate earthquake accelerations are not selected. In order to eliminate this error and to select the earthquake acceleration records appropriate to the design spectrum, the acceleration program obtained from the past earthquakes was loaded to the scaling program. Scaling program sorting records from top to bottom in the specified spectrum of design. In this study, eleven earthquake record pairs were selected and nonlinear dynamic analysis was performed with OpenSees program.

The first part of the study is devoted to explaining the subject and the purpose and scope of the study are given. In the second part of the study, nonlinear behavior of reinforced concrete structures is explained. Models of reinforced concrete materials are mentioned and concrete and reinforcement steel material models described in

TBDY2018 are given. In this study, the development process for the fiber model which is used for the solution of the elasticity, is explained and analysis methods are used. These are displacement-based stiffness and force-based flexibility methods. Since the element formulation of the rigidity-based models is relatively easier than the flexibility-based models, the existing finite element programs use these models. In this study, Newton-Raphson method was used to solve non-linear equations. Formulations for generally accepted winding concrete and reinforcement steel models are given.

In the third part of the study, the deformation-based design of the new buildings under TBDY2018 is explained in detail. In the TBDY2018, the terms of Building Use Class (BKS), Earthquake Design Class (DTS) and Earthquake Design Class (DTS) which are used to determine the calculation methods based on the design and evaluation of buildings, are explained in tables. Performance targets, evaluation, and design approaches for new reinforced concrete buildings are given according to earthquake design class. The controlled level of damage performance required for the DD-2 earthquake level corresponds to the level of safety performance level in TDY2007. The methods that are used in the design and evaluation of the new buildings will be discussed. In this study, the nonlinear solution method in time domain is explained in detail. Finally, nonlinear behavior models are mentioned, limit values for reinforcement steel, and concrete that correspond to performance levels are given.

In the fourth part of the study, TDY2007 and TBDY2018 regulations were compared in terms of the design conditions of the structural systems of the reinforced concrete buildings under the effect of earthquake. There are four earthquake zones in TDY2007. These are given in the region based on the spectral acceleration coefficient of the earthquake (the closest to the fault). In TBDY2018, it is calculated separately for each structure depending on the soil characteristics (characteristic ground periods) and earthquake level coefficient. Thus, different earthquake effects were considered in the design for the structures that will be under the influence of different earthquakes. In addition, elastic cross-section stiffness's are used in TDY2007, while TBDY2018 features effective cracked section stiffness in design and decreases in stiffness due to the reduced stiffness. However, as the use of cracked section stiffness increases the increments, it is difficult to achieve the limit values. Thus, more rigid sections are used. A significant change is related to the areas of column ductility. At TBDY2018, the minimum field condition for high ductile columns with high normal force effect is increased.

In the fifth part of the study, selection methods of earthquake records are explained. In this study, scaling program which is used in the solution of the samples and the examples were introduced. The conditions given for scaling in the context of TBDY2018 are mentioned and it has been shown how these conditions are handled by the developed program. An example is then shown on an example on how the design acceleration spectrum is obtained and how the current earthquake records are scaled according to this design acceleration spectrum.

In the sixth part of the study, numerical examples are given. Initially, the scaling program written within the scope of this thesis was verified with the Sap2000 program by establishing a single degree of freedom system model to validate the scaling program. In this comparison, any earthquake acceleration record was scaled using the scaling program and the spectrum was generated. The spectral acceleration coefficient corresponding to any period value was then found in this spectrum. With the scaled acceleration loaded into the Sap2000 program, the time domain was analyzed and the

maximum displacement was found and multiplied by  $w^2$  to obtain the spectral acceleration value. These two spectral acceleration values were compared and shown to be approximately the same. In the second example, the OpenSees program was compared to the Perform-3D program. The nonlinear dynamic analysis of the 8-storey reinforced concrete frame building with two programs was done by designing according to the mode assembly method. At the end of the analysis, the change of peak displacement according to time was found and compared with both programs. The values in both programs were close enough to each other. In the third example, the 7-storey reinforced concrete frame building was designed and dimensioned according to TDY2007 and TBDY2018. Then, by using the cross-section and reinforcements obtained as a result of the design, analysis and evaluation were made according to the deformation by TBDY2018 with OpenSees program for both designs.

In the analyzes, 11 earthquake accelerations were used. As a result, the elongation and shortening values of the concrete and reinforcement steel for each of the eleven earthquake record sets for both cases were found and compared with the limit values found in TBDY2018. Thus, construction performance was determined and compared for both cases.

In the seventh part of the study, the results were evaluated and recommendations were made.





# 1. GİRİŞ

## 1.1 Konu

Son yıllarda inşaat üretim olanaklarının ve malzeme teknolojisinin ilerlemesine bağlı olarak daha karmaşık yapı sistemleri tasarlanmaya başlamıştır. Deprem kuşağında bulunan ülkemizde, geçmiş depremlerde çok sayıda mal ve can kaybı yaşanmıştır. Depremlerin etkisini en aza indirebilmek, depreme karşı iyi bir yapı tasarımı yapmak ile olur. Özellikle son yıllarda yüksek ve karmaşık yapı sistemlerinin artması ile birlikte yapının deprem davranışının belirlenmesi oldukça önemli hale gelmiştir. Deneysel tekniklerinin ve olanaklarının artmasıyla malzemenin elastik ötesi davranışı detaylı olarak incelenebilmektedir. Geleneksel hesap yöntemlerine göre çok daha ayrıntılı olan malzeme ve geometri bakımından doğrusal olmayan hesap yöntemleri geliştirilmekte, yönetmelikler de geliştirilen yeni yöntemlere bağlı olarak güncellenmektedir. Son olarak ülkemizde yürürlüğe girecek olan TBDY2018' de yapıların deprem sırasındaki davranışını gerçeğe en yakın bir şekilde belirleyebilmek için şekildeğiştirmeye göre analiz ön plana çıkartılmıştır [1]. Bazı yüksek ve önemli yapılarda zorunlu hale gelen şekildeğiştirmeye göre tasarım ve değerlendirme yönteminde, malzemenin elastik ötesi davranışı detaylı bir şekilde ele alınarak deprem etkisi altındaki yapı davranışı ve eleman hasarları doğrudan hesaplanabilmektedir. Böylece daha güvenilir ve daha ekonomik yapı tasarımı yapılabilmektedir.

Doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemleri kullanılarak yapıların elastik ötesi davranışı doğru bir şekilde tespit edilebilir. Yapıların deprem davranışlarını belirlemede, gerçeğe en yakın analiz yöntemi, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemidir. Bu analiz yönteminde önceden meydana gelen deprem ivme kayıtları, belirli koşullar altında ölçekleme işlemine tabi tutularak yapıya etkitilir. Böylece yapının gerçek deprem altındaki davranışı izlenir. Bunun sonucunda yapıda meydana gelen şekildeğiştirme ve iç kuvvetler elde edilir. Maksimum etkinin olduğu andaki beton liflerindeki birim kısalma ile donatı çeliğindeki birimi uzama ve kısalma değerleri okunur. Elde edilen şekildeğiştirme değerleri beklenenin üzerinde ise tasarım istenilen sonuç elde edilinceye kadar tekrarlanır. Bu tür analizlerin süresi oldukça uzun

olduğundan taşıyıcı sistemde sadeleştirmeler yapılabilir. Zaman tanım alanındaki analizlerde seçilen deprem kayıtlarının yapının tasarım spektrumu ile uyumu oldukça önemlidir. Aksi halde gerçekten uzaklaşılır.

## **1.2 Çalışmanın Amacı Ve Kapsamı**

Bu çalışmada, TBDY2018 kapsamında şekildeğiştirmeye dayalı tasarım ve değerlendirme yapabilmek üzere OpenSees programı ile ön ve ard işleme programı geliştirilmiştir [2]. Buna ek olarak, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerde kullanılmak üzere geçmiş depremlerden elde edilen deprem ivme kayıtlarının, tasarım ivme spektrumuna uygun ölçekleme işlemi yapan bir ölçekleme programı geliştirilmiştir. Bu program sayesinde tasarım spektrumuyla uyumlu kayıtlar bulunarak yakından uzağa doğru sıralanmaktadır. Böylece tasarım ivme spektrumu uygun olmayan kayıtlar kullanılarak oluşacak hatanın önüne geçilmiştir.

Tez kapsamında geliştirilen programlarda malzeme ve geometri bakımından doğrusal olmayan sistemlerin zaman tanım alanında şekildeğiştirme esaslı hesabı yapılarak eleman hasarlarının elde edilmesi amaçlanmıştır. Betonda oluşan birim kısalma ile donatı çeliğinde oluşan birim kısalma ve uzama değerleri TBDY2018’ de verilen sınır değerler ile kıyaslanarak yapının performans seviyesi elde edilir. Böylece TBDY2018’ de önerilen, hatta yüksek yapılar ve bazı önemli yapılar için zorunlu hale getirilen şekildeğiştirme esaslı tasarım ve değerlendirme yöntemi ile yeni yapılacak yapıların performansı belirlenmektedir.

TDY2007 kapsamında yapıların tasarımına esas olan deprem yükünün hesabında, tanımlanan 4 adet deprem bölgesi için hesap yapılmakta, aynı deprem bölgesi içinde yer alan aynı zemin özelliği ve kullanım amacına sahip tüm yapılara etki eden elastik deprem yükü hesaplarda aynı alınmaktaydı[3]. TBDY2018’de ise Türkiye deprem tehlikeleri haritası kullanılarak her yapı için, inşaa edileceği yerin zemin özellikleri, kullanım amacı ve deprem düzeyi katsayısına göre kendine has deprem elastik deprem kuvveti hesaplanmaktadır [4]. Böylece aynı bölgede fay hattına yakın olan bir bina ile uzak olan bir binanın tasarımına esas olan elastik deprem yükü farklı olacaktır. Bu önemli bir gelişmedir. Bu çalışmada her iki yönetmelik için çeşitli karşılaştırmalar yapılarak, gelişmelerden bahsedilmiştir. TDY2007’ ye göre tasarımı yapılan binaları TBDY2018’ e göre tasarımı yapılarak yine aynı yönetmeliğe göre zaman tanım alanında doğrusal olmayan çözüm yöntemi kullanılarak şekildeğiştirme esaslı

değerlendirme yapılmış ve eleman hasarları ile yapı performansı belirlenmiştir. Daha sonra bu iki sonuç karşılaştırılmıştır.

Tez kapsamında geliştirilen ölçekleme programı, sayısal bir örnek üzerinde Sap2000 programı doğrulanmıştır. Tek serbestlik dereceli bir yapının Sap2000 programında doğrusal olmayan dinamik hesabı yapılmış ve maksimum yerdeğiştirmesi bulunmuştur. Bu yerdeğiştirme değeri kullanarak maksimum spektral ivme değeri belirlenmiştir. Ölçekleme programında aynı deprem ivme kaydına ait spektrum oluşturulmuş ve seçilen tek serbestlik dereceli sistemin periyot değeri karşış gelen genlik okunmuştur. Bu iki değerin birbiri ile aynı olduğu görülmüştür.

Yine bu çalışma kapsamında geliştirilen, OpenSees programı ile ön ve ard işleme yapan program ile yapıların şekildeğiştirmeye dayalı değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu program 8 katlı bir çerçeve örneği kullanarak Perform-3D programı ile karşılaştırılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

Bu çalışmada kullanılan örnekler için malzeme ve geometri bakımından doğrusal olmayan modeller kullanılmıştır. Doğrusal olmayan davranışını temsilen yayılı plastik davranışını esas alan fiber (lif) model kullanılmıştır. Kolon ve kiriş çerçeve elemanları yeteri sayıda fiber kesitlere bölünerek her bir fiber kesitine ait birim uzama ve kısalma değeri elde edilmiştir. Fiber bölge uzunluğu, kiriş elemanlarda kesit yüksekliğinin yarısı, kolon elemanlarda ise kesit uzunluğunun tümü boyunca alınmıştır.



## 2. BETONARME YAPILARIN DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞI VE FİBER (LİF) MODELİ

Bu bölümde malzeme ve geometri bakımından doğrusal olmayan yapı sistemlerinin hesap yöntemleri gösterilecektir. İlk olarak artımsal itme analizinden kısaca bahsedilecek, daha sonra bu tezdeki örneklerin çözümünde kullanılan zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz detaylı bir şekilde anlatılacaktır.

### 2.1 Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmayan Davranışı

Yapı sistemleri işletme yükleri altında genellikle doğrusal davranış gösterirler. Doğrusal sistemlerin davranışı analiz edilirken, malzemenin gerilme-şekildeğiştirme bağıntıları doğrusal elastik olarak alınmakta ve yerdeğiştirmelerin çok küçük olduğu varsayılmaktadır. Dış etkiler, işletme yükünü aşarak yapının taşıma gücüne yaklaştıkça, gerilmeler doğrusal-elastik sınırı aşmakta ve yerdeğiştirmeler önemli ölçüde artmaktadır.

Yapı tasarımında kullanılan yönetmelikler doğrusal teoriye göre sistem analizine izin verse de, doğrusal olmayan davranışın etkisini dolaylı olarak yapı analizine dahil etmektedir. Örneğin 2007 [3] ve 2018 [1] yıllarında yayınlanan deprem yönetmeliklerine göre yapıya etkiyen deprem kuvvetleri elastik tasarım spektrumları ve yapı davranışı katsayısı kullanılarak elde edilmektedir. Burada, yapı davranış katsayısı “R” kullanılarak deprem sırasındaki doğrusal olmayan yapı davranışı, dolaylı yoldan göze alınmaktadır. Benzer şekilde, ikinci mertebe etkilerinin göz önüne alınabilmesi için TS500 yönetmeliği, moment büyütme yöntemini önermiştir. Ayrıca  $\lambda$  narinlik katsayısı aracılığı ile yapılan kabullerin geçerli olup olmadığı yönetmelik tarafından kontrol edilmektedir [5]. Zemin gerilmelerinin hesabında ise, çok büyük güvenlik katsayıları kullanılarak zeminin doğrusal elastik olarak davrandığı kabul edilmektedir.

Doğrusal elastik malzeme kabulü ile çözüm yapılırken büyük güvenlik katsayıları kullanılmaktadır ve birçok varsayım yapılmaktadır. Yapı sistemlerinin doğrusal elastik sınır ötesindeki davranışı göz önüne alınarak tasarlanması durumunda ise daha

gerçekçi ve ekonomik çözümler elde edilebilir. Doğrusal olmayan davranışın göz önüne alınması durumunda, sistemin davranışının gerçeğe daha yakın şekilde modellenmesi genellikle karmaşık hesaplar gerektirmektedir. Ayrıca doğrusal olmayan denklem takımlarının çözülmesi sırasında da çeşitli zorluklarla karşılaşmaktadır.

### **2.1.1 Çözümlerin sağlanması gereken koşullar**

Bir yapı sistemi, dış yükler ve iç kuvvetler altında dengededir. Yapı sistemlerinin hesabının şu üç koşulu sağlanması gerekmektedir.

1. Bünye Koşulları: Malzeme özelliklerine bağlıdır, gerilme-şekildeğiştirme bağıntılarını ifade eder.

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

3. Geometrik Uygunluk (Süreklilik) Koşulları: Elemanların ve düğüm noktalarının süreklilik denklemleri ile mesnetlerdeki geometrik koşullardır.

### **2.1.2 Yapı sistemlerinde doğrusallığı bozan sebepler**

Yapı sisteminin doğrusal olmayan davranışına sebep olan başlıca nedenler şunlardır:

1. Malzeme doğrusal elastik olmadığı için gerilme-şekildeğiştirme bağlantılarının doğrusal olmaması.

2. Büyük yerdeğiştirmeler nedeniyle denge denklemlerinin doğrusal olmaması.

Denge denklemlerinde yerdeğiştirmelerin küçük olmadığı kabul edilen sistemlerde denge denklemleri şekil değiştirmiş eksen üzerinde yazılmaktadır.

Geometrik uygunluk koşullarında yerdeğiştirmelerin küçük olmadığı sistemlerde ise, geometrik süreklilik denklemlerinin de şekil değiştirmiş eksen üzerinde yazılması gerekmektedir.

**Çizelge 2.1 : Yapı sistemlerinin doğrusal olmayan davranış sebepleri.**

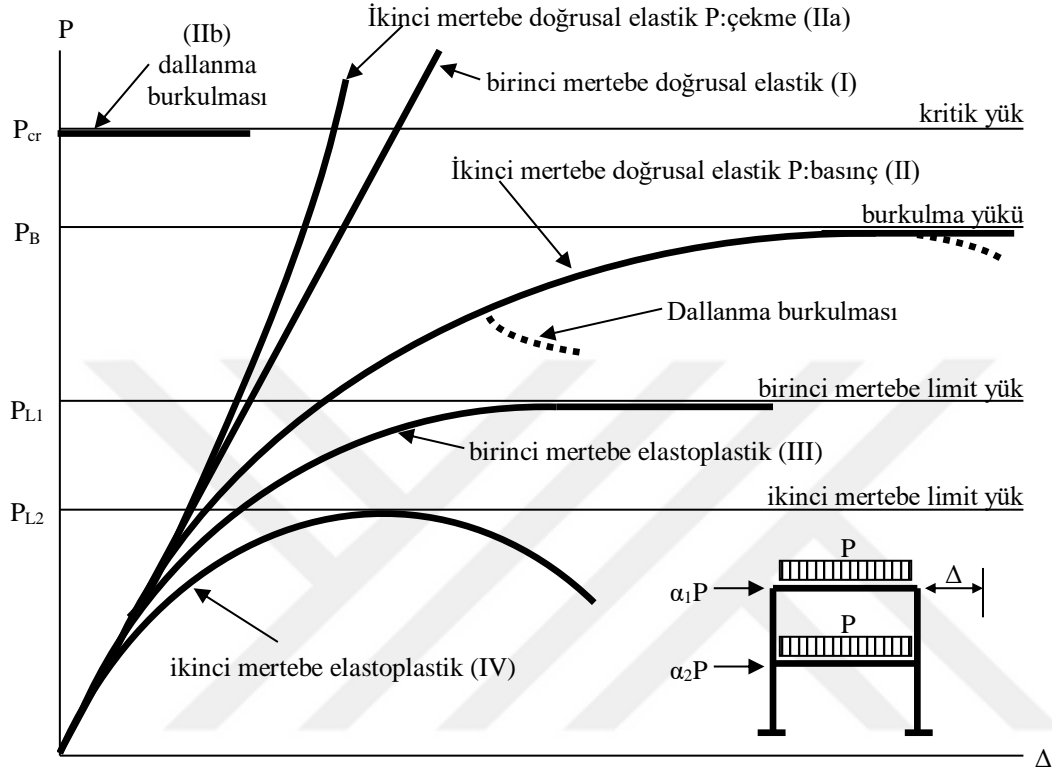
| Çözümün Sağlanması Gereken Koşullar                       | Doğrusal Sistemler | Doğrusal Olmayan Sistemler |                                 |                         |                         |                         |
|---|--------------------|----------------------------|---------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
|   |                    | Malzeme Bakımından         | Geometri Değişimleri Bakımından |                         | Her İki Bakımdan        |                         |
|   |                    |                            | İkinci Mertebe Teorisi          | Sonlu Deplasman Teorisi | İkinci Mertebe Teorisi  | Sonlu Deplasman Teorisi |
| Bünye Denklemleri (Gerilme-Şekil değiştirme Bağlılıkları) | Doğrusal- elastik  | Doğrusal- elastik değil    | Doğrusal- elastik               | Doğrusal- elastik       | Doğrusal- elastik değil | Doğrusal- elastik değil |
| Denge Denklemlerinde Yer değiştirmeler                    | Küçük              | Küçük                      | Küçük değil                     | Küçük değil             | Küçük değil             | Küçük değil             |
| Geometrik Uygunluk Koşullarında Yer değiştirmeler         | Küçük              | Küçük                      | Küçük                           | Küçük değil             | Küçük                   | Küçük değil             |

### 2.1.3 Yapı sistemlerinin dış yükler altındaki doğrusal olmayan davranışı

Düşey ve yatay yükler etkisindeki bir yapı sisteminin doğrusal ve doğrusal olmayan teorilere göre hesabı ile elde edilen yük parametresi-yerdeğiştirme ( $P-\Delta$ ) bağıntıları Şekil 1.1’de şematik olarak gösterilmişlerdir.

Malzemenin doğrusal-elastik varsayıldığı bir yapı sisteminin, artan dış yükler altında, birinci mertebe teorisine göre elde edilen davranışı şekildeki (I) doğrusu ile temsil edilmektedir. Geometri değişimlerinin denge denklemlerine etkisinin, diğer bir deyişle, aksenal kuvvetlerden oluşan ikinci mertebe etkilerinin hesaba katıldığı ikinci mertebe teorisinde ise, aksenal kuvvetin basınç veya çekme olmasına göre farklı sistem davranışları ile karşılaşılabilir. Örneğin aksenal kuvvetin basınç olması halinde, (II) eğrisinden görüldüğü gibi, artan dış yüklerle daha hızla artan yerdeğiştirmeler karşı gelmektedir. Dış yüklerin şiddetini ifade eden yük parametresi artarak doğrusal-elastik burkulma yükü adı verilen bir  $P_B$  değerine eşit olunca, artarak sonsuza gider ve sistem burkularak geçer. Bazı özel durumlarda, burkulmadan sonra, artan yerdeğiştirmeler azalan yük parametresi karşı gelebilir. Örneğin asma sistemler gibi aksenal kuvvetin çekme olduğu durumlarda ise, şekil 2.1. ile gösterilen  $P-\Delta$  diyagramı pekleşen özellik gösterir. Yanal yük etkisinde olmayan ve bu nedenle burkulmadan önce şekildeğiştirmeyen sistemlerde, yük parametresinin bir  $P_{cr}$  değerinde dallanma burkulması adı verilen burkulma oluşur ve şekildeki (IIb) diyagramından görüldüğü gibi, yerdeğiştirmeler birden artarak sonsuza erişir.

Dallanma burkulmasına neden olan yüke kritik yük denilmektedir. Kritik yük genellikle burkulma yükünden biraz büyük veya ona eşittir. Dallanma burkulması, bazı hallerde burkulmadan önce şekil değiştiren sistemlerde de oluşabilir, (II eğrisi).



Şekil 2.1 : Çeşitli teorilere göre elde edilen yük parametresi – yerdeğiştirme bağıntıları.

Doğrusal olmayan malzemeden yapılmış sistemlerde, artan dış yüklerle birlikte iç kuvvetler de artarak bazı kesitlerde doğrusal-elastik sınırı aşmakta ve bu kesitlerde doğrusal olmayan (plastik) şekildeğıştirmeler meydana gelmektedir. Doğrusal olmayan şekildeğıştirmeler genel olarak sistem üzerinde sürekli olarak yayılmaktadır. Buna karşılık, kopma sırasındaki toplam şekildeğıştirmelerin doğrusal şekildeğıştirmelere oranının büyük olduğu sünen malzemeden yapılmış sistemlerde, doğrusal olmayan şekildeğıştirmelerin plastik mafsal (veya genel anlamda plastik kesit) adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, bunun dışındaki bölgelerde ise sistemin doğrusal-elastik davrandığı varsayılabilir. Bu varsayım plastik mafsal hipotezi olarak bilinmektedir. Plastik mafsal hipotezinin esas alındığı bir yapı sisteminin birinci mertebe teorisine göre hesabında (III eğrisi), oluşan plastik mafsallar nedeniyle sistemin tümünün veya bir bölümünün mekanizma durumuna gelmesi taşıma gücünün sona erdiğini ifade eder. Bu yüke birinci mertebe limit yük adı verilir.



Doğrusal lığı bozan her iki etkinin birlikte göz önüne alınması halinde, yani yapı sisteminin ikinci mertebe elastoplastik teoriye göre hesabı ile elde edilen  $P-\Delta$  diyagramı şekilde (IV) eğrisi ile gösterilmiştir. Bu diyagram ilk kritik kesitte doğrusal- elastik sınırın aşılmasına kadar (II) eğrisini izlemekte, daha sonra oluşan plastik şekildeğıştirmeler nedeniyle yerdeğıştirmeler daha hızlı olarak artmaktadır. Plastik mafsalsal hipotezinin esas alındığı yapı sistemlerinde, dış yükler artarak bir  $P_{L2}$  sınır değerine eşit olunca, meydana gelen plastik mafsallar nedeniyle rijitliği azalan sistemin burkulma yükü dış yük parametresinin altına düşer, diğer bir deyişle,  $P-\Delta$  diyagramında artan yerdeğıştirmelere azalan yükler karşı gelir. Sistemin stabilite yetersizliği nedeniyle taşıma gücünü yitirmesine sebep olan bu yük parametresine ikinci mertebe limit yük denilmektedir.

Bazı hallerde, dış yükler limit yüke erişmeden önce, meydana gelen büyük yerdeğıştirmeler, büyük plastik şekildeğıştirmeler veya betonarme sistemlerdeki büyük çatlaklar yapının kullanılamaz hale gelmesine (göçmesine) neden olabilmektedir.

## 2.2 Kabuller

İki bakımdan doğrusal olmayan sistemlerin hesabında, eleman iç kuvvet – şekildeğıştirme bağıntılarının elde edilmesindeki varsayımlar aşağıda sıralanmıştır:

1. Beton ve donatı çeliği arasındaki aderans tamdır.
2. Düzlem kesitler şekil değıştirdikten sonra da düzlem kalırlar.
3. Akma koşulları sadece normal kuvvet ve eğilme momentine bağlıdır, kesme kuvvetinin akma koşullarına etkisi ihmal edilebilecek kadar azdır. Çok eksenli eğilme durumunda akma koşulları akma yüzeyi ile idealleştirilerek akma vektörü bu yüzeye dik kabul edilmektedir.
4. Doğrusal olmayan şekildeğıştirmeler elemanı plastik kesit adı verilen belirli kesitlerinde toplanmıştır. Eleman davranışı bu kesitler dışında doğrusal-elastik kalır.
5. Çatlamış betonun çekme dayanımı ihmal edilir.
6. Normal kuvvet çubuk boyunca sabittir. Sistem’de bulunan çubuklar doğru eksenli ve sabit kesitlidir.
7. Yüklerin yön ve büyüklükleri, sistemin şekildeğıştirmesinden bağımsızdır.

8. Kolonlar için ikinci merteye teorisi uygulanmaktadır. İkinci merteye teorisi kapsamında, geometri değişiminin denge denklemlerine olan etkisi hesapta göz önüne alınmakta, geometrik uygunluk koşullarına etkisi ise ihmal edilmektedir.

9. Yayılı yükler eşdeğer tekil yüklere dönüştürülerek göz önüne alınmaktadır.

## 2.3 Betonarme Malzeme Modelleri

### 2.3.1 Beton malzeme modeli

TBDY2018 bilgilendirme eki 5A'da önerilen beton modelleri, Mander beton modeli esas alınarak tanımlanmıştır. Sargılı ve sargısız beton için gerilme şekildeğiştirme bağıntıları aşağıda açıklanmıştır.

Sargılı betonda beton basınç gerilmesi  $f_c$ , beton birim şekildeğiştirmesi  $\varepsilon_c$  'ye bağlı olarak,

$$f_c = \frac{f_{cc} x r}{r - 1 + x^r} \quad (2.1)$$

Şeklinde tanımlanır.

Sargılı beton ile sargısız beton arasındaki ilişki aşağıdaki gibidir.

$$\lambda_c = 2.254 \sqrt{1 + 7.94 \frac{f_e}{f_{co}} - 2 \frac{f_e}{f_{co}}} - 1.254 \quad (2.2)$$

$$f_{cc} = \lambda_c f_{co} \quad (2.3)$$

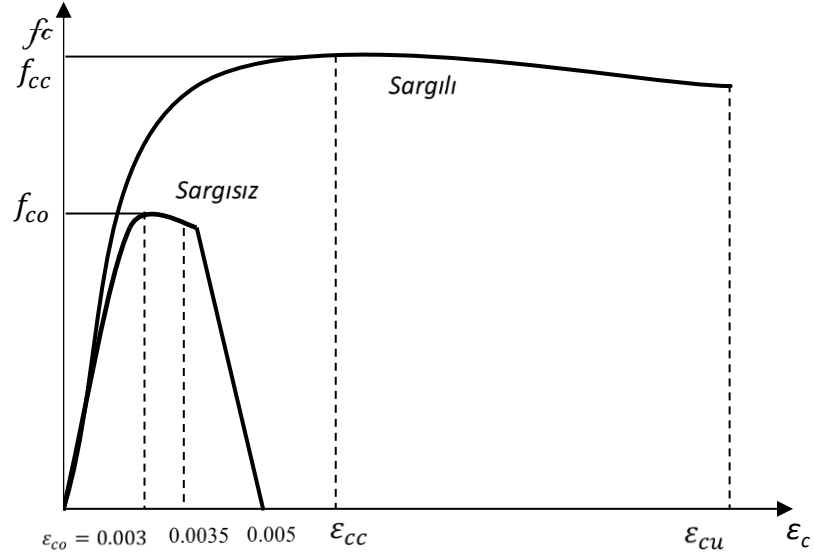
Etkili sargılama basıncı ( $f_e$ ), dikdörtgen kesitlerde birbirine dik iki doğrultu için aşağıdaki gibi hesaplanan değerlerin ortalaması olarak alınabilir. Sargılı betondaki etriyenin etkisi aşağıdaki denklemler ile ifade edilmektedir.

$$f_{ex} = k_e \rho_x f_{yw} ; f_{ey} = k_e \rho_y f_{yw} \quad (2.4)$$

$$k_e = \left(1 - \frac{\sum a_i^2}{6b_o h_o}\right) \left(1 - \frac{s}{2b_o}\right) \left(1 - \frac{s}{2h_o}\right) \left(1 - \frac{A_s}{b_o h_o}\right)^{-1} \quad (2.5)$$

$$x = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}} ; \varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co} [1 + 5(\lambda_c - 1)] ; \varepsilon_{co} \cong 0.002 \quad (2.6)$$

$$r = \frac{E_c}{E_s - E_{sec}} ; E_c \cong 5000\sqrt{f_{co}} [Mpa] ; E_{sec} = \frac{f_{cc}}{\epsilon_{cc}} \quad (2.7)$$



Şekil 2.2 : TBDY2018' de tanımlanan sargılı ve sargısız beton modelleri.

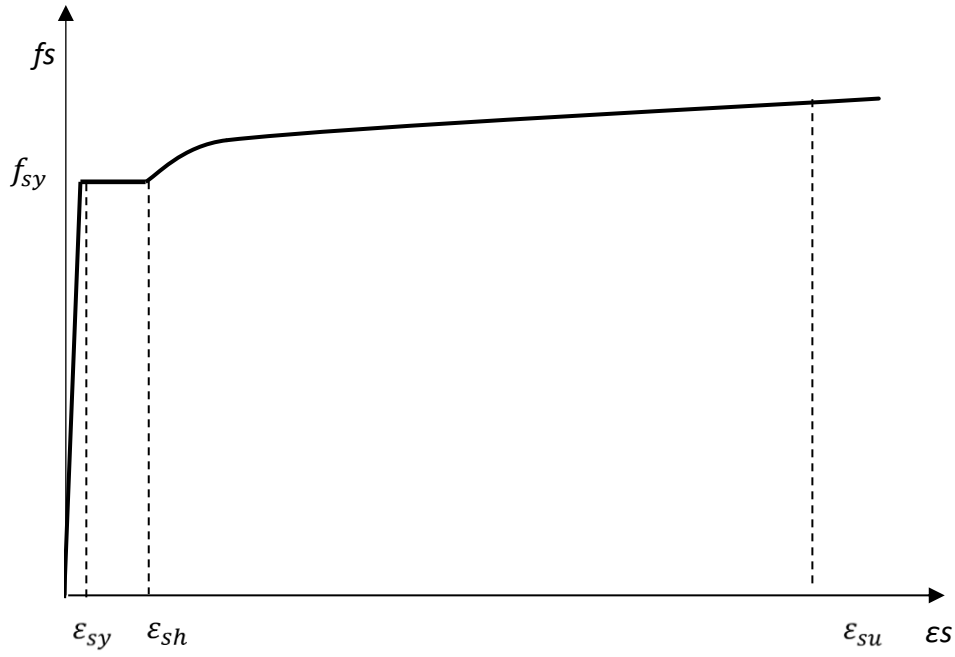
### 2.3.2 Donatı çeliği malzeme modeli

Şekil 2.1' de donatı çeliği için gerilme şekildeğiştirme grafiği verilmiştir. Bu grafiği oluşturan bağıntılar, elastik ötesi davranışı dikkate alan yöntemler ile şekildeğiştirmeye göre değerlendirmede kullanılmak üzere, aşağıdaki bağıntılar ile verilmiştir.

$$f_s = E_s \epsilon_s \quad (\epsilon_s \leq \epsilon_{sy}) \quad (2.8)$$

$$f_s = f_{sy} \quad \epsilon_{sy} < \epsilon_s \leq \epsilon_{sh} \quad (2.9)$$

$$f_s = f_{su} - (f_{su} - f_{sy}) \frac{(\epsilon_{su} - \epsilon_s)^2}{(\epsilon_{su} - \epsilon_{sh})^2} \quad (2.10)$$



**Şekil 2.3 :** TBKY2018’ de tanımlanan donatı çeliğine ait malzeme modeli.

Donatı çeliğinin elastisite modülü  $E_s = 2 \times 10^5$  MPa’dır. Donatı çeliklerine ait bilgiler, kalite sınıfına göre aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

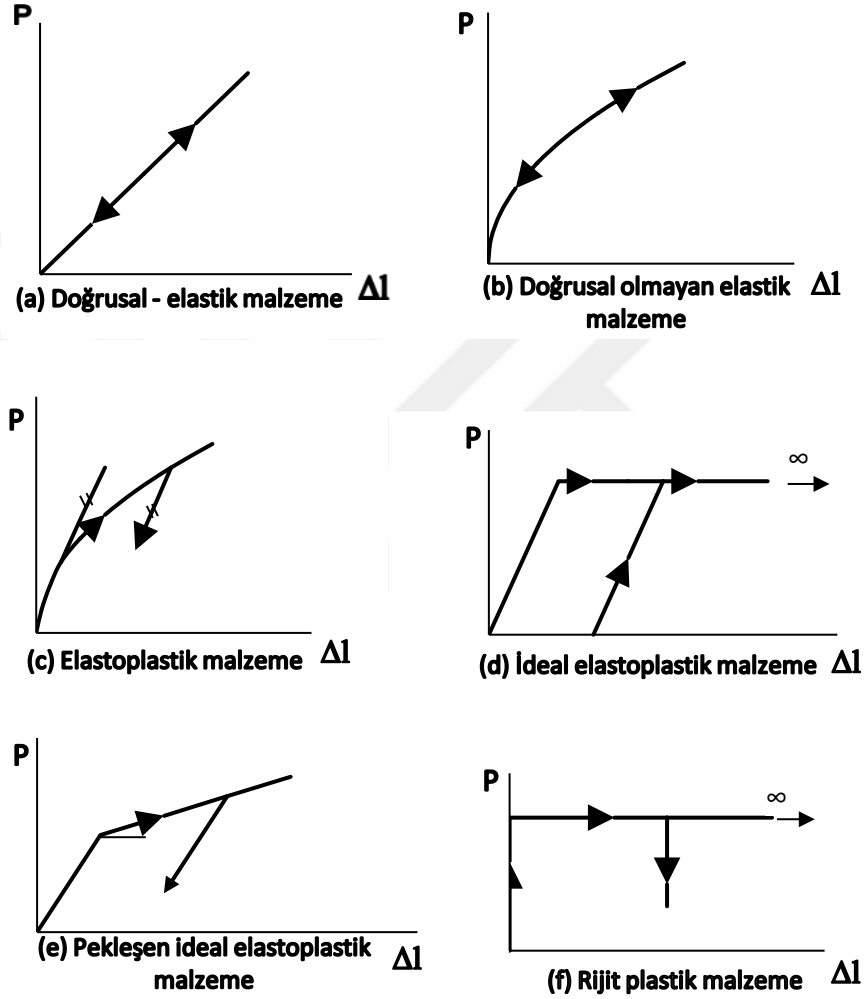
**Çizelge 2.2 :** Donatı çeliklerine ait bilgiler.

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

## 2.4 Yapı Malzemelerinin İç Kuvvet – Şekil Değişirme Bağlantısı

### 2.4.1 Yapı malzemelerin şekil değişirme özellikleri

Yapı sistemlerinde kullanılan gerçek yapı malzemelerinin şekil değişirme özellikleri üzerinde bazı idealleştirmeler yapılarak tanımlanan ideal malzemelerin başlıcaları Şekil 2.4’ de gösterilmiştir.



Şekil 2.4 : İdeal malzemeler.

### 2.4.2 Betonarme malzemelerin gerilme şekil değişirme ilişkileri

Betonarme elemanı oluşturan donatı çeliği ve beton malzeme ile ilgili gerilme – şekil değişirme bağlantıları ile diyagramlar aşağıda verilmiştir. P çekme kuvveti altında, gerilme ( $\sigma$ ) =  $P/A$ , birim uzama =  $\Delta l/l$  olarak hesaplanır.

Betonarme bir çubuk elemanın eğilmesine ait gerilme – şekil değişirme ( $\sigma - \epsilon$ ) diyagramı Şekil 2.2’ deki gibidir.

Yukarıdaki diyagramda

$f_{ck}$  : karakteristik beton basınç dayanımını

E : Beton elastisite modülünü

Göstermektedir. Beton elastisite modülü aşağıdaki denklem ile bulunabilir.

$$E_c = 14000 + 3250\sqrt{f_{ck}} \quad (2.11)$$

Donatı çeliğine ait gerilme – şekildeğiştirme ( $\sigma - \varepsilon$ ) diyagramı Şekil 2.3’ deki gibidir.

Yukarıdaki diyagramda,

$\sigma_e$  : akma gerilmesini

$\sigma_k$  : kopma gerilmesini

$\varepsilon_e$  : akma birim şekildeğiştirmesini

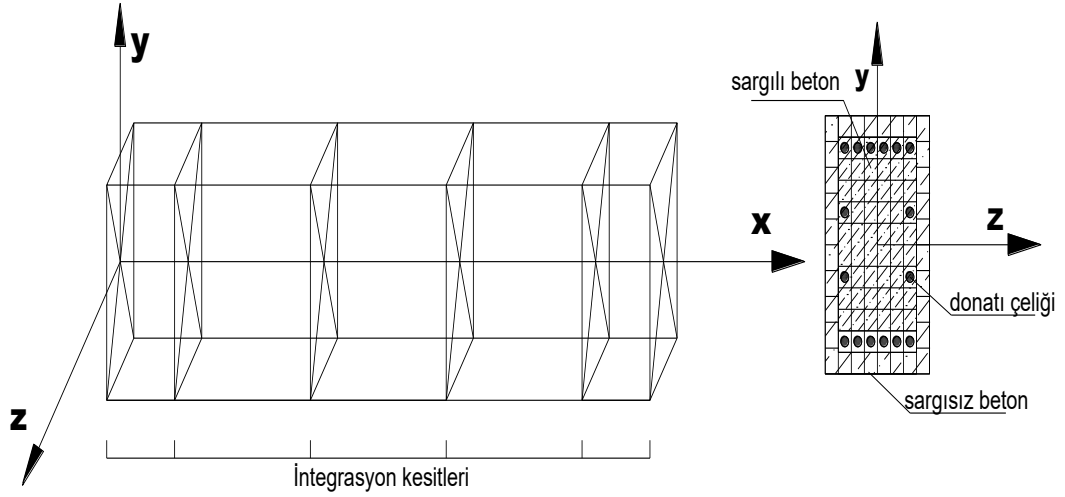
göstermektedir. S420 donatı çeliği için bu değerler aşağıda verilmiştir.

$$\sigma_e = 420 \text{ N/mm}^2 , \sigma_k = 500 \text{ N/mm}^2 , \varepsilon_e \cong 0.002$$

TBDY2018’ de yukarıda bulunan donatı çeliği modeli Şekil 2.3’ deki gibi idealleştirilerek kullanılmaktadır.

## 2.5 Doğrusal Olmayan Davranış İçin Fiber (Lif) Modeli

Doğrusal olmayan davranışın yayılı bir şekilde göz önüne alındığı fiber yaklaşımı ile modellenen elemanlar, Şekil 2.5 ‘de gösterildiği gibi çeşitli malzeme liflerinden ve entegrasyon kesitlerinden oluşur. Elemanın doğrusal olmayan kesitleri küçük lifler halinde bölünerek, doğrusal olmayan davranışın daha doğru bir şekilde tahmin edilmesi sağlanır [6].



**Şekil 2.5 : Fiber kesitleri.**

Bu bölüm kapsamında ilk olarak, doğrusal olmayan analiz için yayılı inelastik modeller, sayısal entegrasyon, çözüm stratejileri ve iteratif teknikler anlatılacaktır. Daha sonra çeşitli beton modelleri hakkında bilgi verilecektir. Son olarak Monte Carlo simülasyonunun kullanıldığı çalışmalar açıklanacaktır.

### **2.5.1 Elastik olmayan davranışın yayılı olduğu modellerin gelişimi**

Betonarme yapıların doğrusal olmayan analizi için en doğru modeller fiber modellerdir. Elastik olmayan davranışların toplandığı bölgenin uzunluğu hakkında önceden belirlenmiş bir değer yoktur. Bu nedenle inelastiklik yapıda herhangi bir yerde olabilir. Fiber yaklaşımı ile modellenen yayılı inelastik modellerin hesabı için iki yöntem vardır.

1. Deplasmana dayalı rijitlik metodu.
2. Kuvvete dayalı esneklik metodu.

Aşağıdaki çalışma esneklik ve rijitlik yöntemleri ile birlikte yayılı inelastik modellerin gelişimini göstermektedir.

#### **2.5.1.1 Deplasmana dayalı rijitlik metodu**

Otani [7] tarafından, ilk olarak iki adet elastik olmayan sonlu eleman boyu ile iki adet doğrusal olmayan dönme yayı kullanılarak bir model bileşiminde yer alan herhangi bir

elemanın inelastiklik yayılımı gösterilmiştir. Bu model sismik davranışı tahmin etmek için sabit uç dönmelerinin önemini belirleyen ilk modeldir.

Soleimani ve diğerleri [8], eleman boyunca inelastikliğin kademeli yayılımı olan bir model düşündü. Bu model elastik ve elastik olmayan bölgelerden oluşmuştur. Elastik olmayan bölgeler elemanın uç kısımlarında moment – eğrilik ilişkisi ile kontrol edilen kiriş – kolon ara yüzünden yayılır. Mafsallar da kiriş – kolon ara yüzlerinde sabit uç dönmeleri için düşünülmüştür.

Soleimani ve diğerleri [8] tarafından önerilen bu yöntem, Filippou ve Issa [9] tarafından tamamen arıtılmış bir şekilde daha da genişletilmiştir. Kolon – kiriş ara yüzünde eğilme ve uç dönmelerine bağlı elastik ve elastik olmayan her hesapta eleman alt öğelere ayrılır. Her alt elemanın esneklik matrisi ve uç dönmeleri birbirleriyle ilişkili olduğundan esneklik matrisi ve uç dönmeleri toplanır. Bu modelde kullanılan mafsallarda idealizasyon, çift yönlü moment – dönme ilişkisi ile akma sonrası sabit rijitliğe dayanmaktadır. Bu model Filippou ve arkadaşları [10] tarafından elastik olmayan bölgedeki kayma deformasyonlarını içerecek şekilde daha da geliştirilmiştir. Sabit aksenal kuvvet – eğilme momenti etkileşimi modelin temel eğrisine dahil edilmiştir.

Takanayagi ve Schnobrich [11], elemanları uzunlukları boyunca doğrusal olmayan moment – dönme ilişkisine sahip alt elemanlara (sonlu eleman yaylarına) bölen başka bir eleman modeli önermişlerdir. Eksenel kuvvet – eğilme momenti etkileşimi her bir yay için yüzeye sınırlandırılmış olarak dahil edilmiştir. Bu modelde birde iç elemanlarda sıklıkla sayısal kararsızlıkla sonuçlanan dengesiz kuvvet problemi ile karşılaşmıştır.

Hellesland ve Scordelis [12] ile Mari ve Scordelis [13] ile birlikte bu model, eleman boyunca yerdeğiştirmeleri tahmin etmek için kübik hermiyen polinomları kullanan klasik rijitlik yöntemine dayandırıldı. Bu eleman modelleri üç boyutlu elemanlar için 6 adet serbestlik derecesi içerir.

Lee ve Mosalam [14], klasik rijitlik yöntemlerinden yerdeğiştirme enterpolasyon fonksiyonlarını kullanan güncel bir çalışma sunmuştur. Eleman rijitlik matrisi ve eşdeğer noktasal kuvvetler, kesit rijitliği ve kuvvet dağılımlarının entegrasyonu ile elde edilir. Bu eleman formülleri oldukça basittir ve kolayca uygulanabilir.



### 2.5.1.2 Kuvvete dayalı esneklik metodu

Menegotto ve pinto, hem kesit deformasyonunu hem de esneklik için birleşik yaklaşım ile iç deformasyonların daha iyi temsil edilmesini önermişlerdir. Mahasuverachai [15], deplasman enterpolasyon fonksiyonlarının iyileştirilmesini önermiştir.

Kaba ve Mahin [16], bunu kesit katmanlarının ayrıklaştırılması ile birlikte betonarme yapılara uyarlamışlardır. Bu fonksiyonlar tipik olarak kuvvet enterpolasyon polinomlarından elde edilmiştir. Hem deformasyon hem de kuvvet enterpolasyon fonksiyonlarının kullanıldığı karma bir yaklaşım önermiştir. Modelde sayısal problemlere yol açan tutarsızlıklar vardır. Bu tutarsızlıklar uygulanan ve karşı koyan kesit kuvvetleri arasındaki dengenin sağlanamaması idi. Bu öneri Zeris ve arkadaşları [17] ile Mahin ve Kaba tarafından elemanın durumu daha detaylı tayin edilerek daha da geliştirildi.

Taucer ve diğerleri [18], Scopone ve arkadaşları [19] tarafından birleştirilmiş ve genel bir teoriye dönüştürülen doğrusal olmayan esneklik bazlı çerçeve elemanın formülleri Zienkiewicks ve Taylor [20] 'un sonlu eleman çalışmalarından türetilmiştir. Bu formülleri ile fiber seviyesinde moment – eğrilik ve gerilme - şekildeğiştirme ilişkilerine ulaşmak mümkündür. Eleman boyunca birkaç adet kontrol kesiti gerektirir. Kuvvet interpolasyon fonksiyonları elemanın hasar durumuna bakılmaksızın tam olarak kullanılmıştır. Eleman esneklik matrisi, kontrol kesitlerindeki esneklik dağılımlarının entegrasyonu ile elde edilmiş ve uygulanan deplasmanlardan dolayı elemanda oluşan kuvveti bulmak için dahili yineleme şeması önerilmiştir.

### 2.5.2 Sayısal entegrasyon

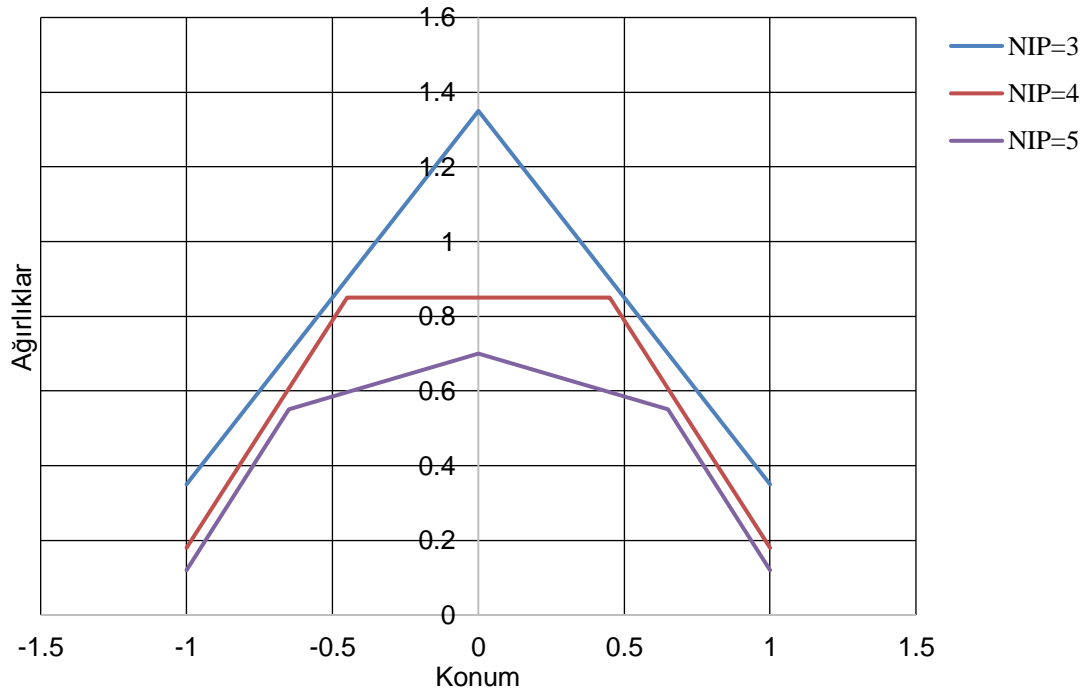
Rijitlik ve esnekliğe dayalı formüller, eleman uzunluğu boyunca entegrasyon gerektirir. Geleneksel olarak kullanılan doğrudan entegrasyonlar hesaplama açısından etkili değildir. Bu integraller sayısal alanlar olarak değerlendirilebilir. Bu çalışmada gauss lobatto entegrasyonu kullanılmaktadır. Uygulama noktaları  $\xi_i$  ve ağırlıkları  $w_i$  ( $i = 1, \dots, n$ ) olmak üzere, böyle bir kural için entegrasyon alanı geleneksel olarak  $[-1,1]$  alınır. Dolayısıyla kural denklem 2.12 ile ifade edilebilir.

$$\int_{-1}^1 f(\xi) d\xi \approx \sum_{i=1}^n w_i f(\xi_i) \quad (2.12)$$

Gauss – Lobatto kuralı ‘ n ‘ adet entegrasyon noktası için, dereceleri  $2n - 3$  ‘e kadar olan polinomların tam entegrasyonlarını sağlar. Bu entegrasyon kuralı için ilgili konum ve ağırlıklar Çizelge 2.3’ de verilmiştir.

**Çizelge 2.3 :** Gauss – Lobatto entegrasyon kuralı için ilgili konum ve ağırlıklar.

| Nokta Sayısı | Nokta konumu, $\xi$ | Yükler, w |
|--------------|---------------------|-----------|
| 3            | -1.000              | 0.333     |
|              | 0.000               | 1.333     |
|              | 1.000               | 0.333     |
| 4            | -1.000              | 0.167     |
|              | -0.447              | 0.833     |
|              | 0.447               | 0.833     |
|              | 1.000               | 0.167     |
| 5            | -1.000              | 0.100     |
|              | -0.655              | 0.544     |
|              | 0.000               | 0.711     |
|              | 0.655               | 0.544     |
|              | 1.000               | 0.100     |



**Şekil 2.6 :** Gauss Lobatto alan yöntemi için konum ve ağırlıklar.

### 2.5.3 Doğrusal olmayan analizler için çözüm teknikleri

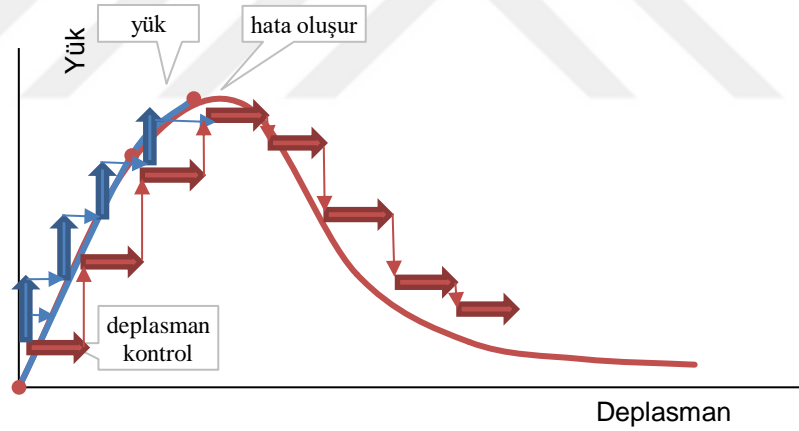
Bu tekniklerin amacı kuvvet – yerdeğiştirme ilişkisi çerçevesinde doğrusal olmayan bir problemin denge yolunu çizmektir. Mevcut birçok teknik vardır. Bu çalışmada bir yük kontrol ve deplasman kontrol yöntemi açıklanacaktır.

#### 2.5.3.1 Yük kontrol yöntemi

Bu yöntemde, toplam yük küçük yük artımlarına bölünür. Her yük seviyesi için deplasmanlar hesaplanır. Bu yöntem Şekil 2.7’ de gösterildiği gibi sadece hata noktasına kadar olan denge yolunu verir. Bu yöntem kritik akma bölgelerinde uygun değildir ve genellikle kararsızlık ile sonuçlanır.

#### 2.5.3.2 Deplasman kontrol yöntemi

Deplasman kontrol yöntemi, kritik noktalarda büyük bir stabilite sağladığı için doğrusal olmayan problemler için iyi bir çözüm yöntemidir.



Şekil 2.7 : Yük kontrol ve deplasman kontrol yöntemi.

#### 2.5.3.3 Deplasman kontrol yöntemi için adımlar ve akış şeması

Aşağıda deplasman kontrol yöntemi adım adım anlatılmıştır.

- $d^0$  başlangıç deplasman vektörü ve  $\lambda^0$  yük seviyesi olmak üzere,  $i = 0$  ' da (  $d_0, \lambda_0$  ) başlangıç dengesi olsun
- $d_0$  'ın  $q$ 'uncu elemanı  $\delta d(q)$  kadar arttırılır. Başlangıç yerdeğiştirme vektörü (  $d_0$  ) değiştirilerek  $d_0(q) = d_0 + \delta d(q)$  olarak değiştirilir.

- $r^i = q_i - \lambda q_e$  artık vektörü hesaplanır. Burada,

$q_i$  : iç yük vektörü

$\lambda$  : yük seviyesi parametresi

$q_e$  : dış yük vektörü olarak tanımlanır.

- $\delta \bar{d}^i$  ve  $\delta d_t^i$  deplasman vektörleri aşağıdaki gibi bulunur.

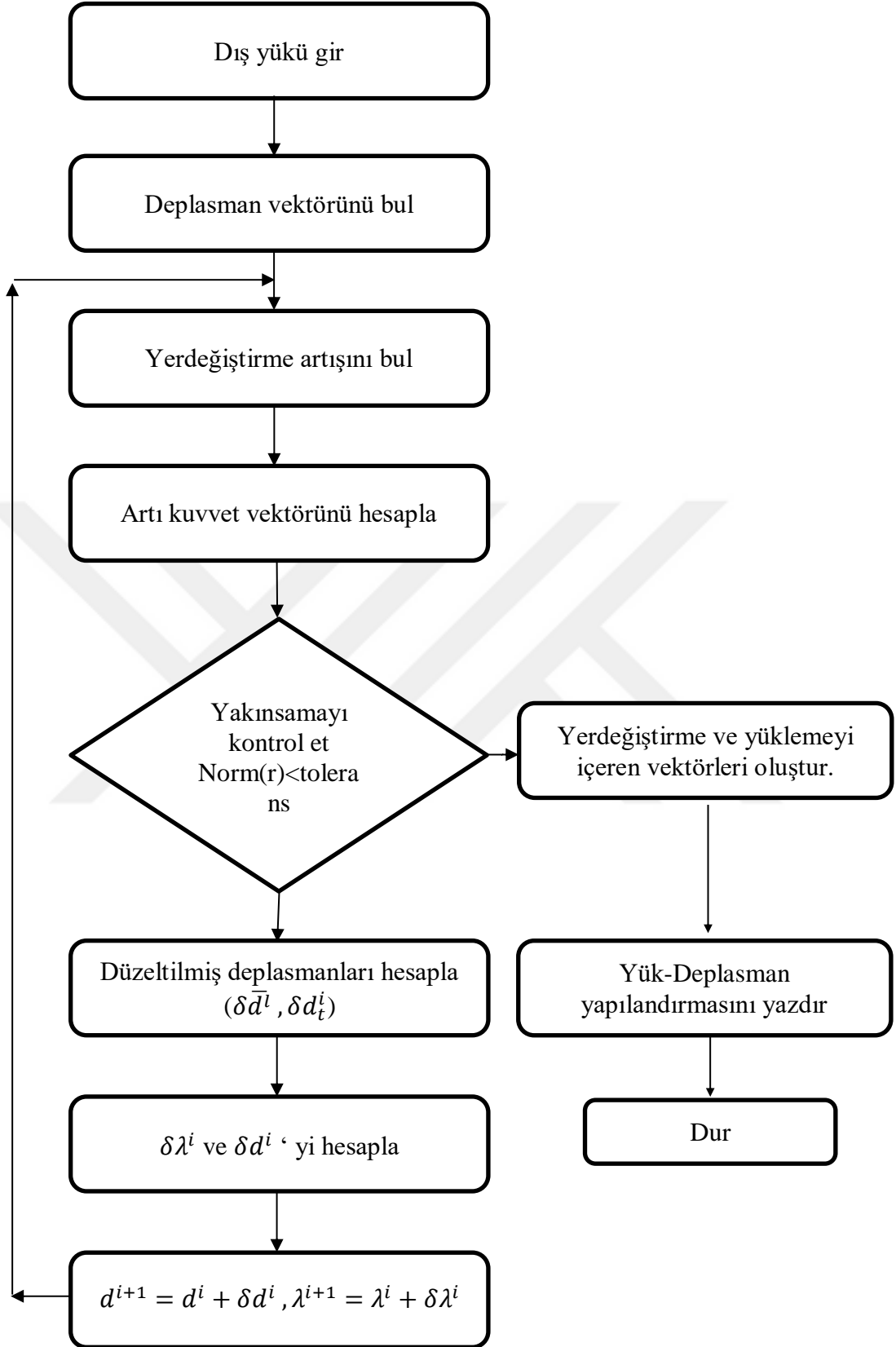
$$\delta \bar{d}^i = k_t^{-1} r^i \quad , \quad \delta d_t^i = k_t^{-1} q_e \quad (2.13)$$

- Yük parametresindeki artış ( $\delta \lambda^i$ ) ve deplasman artımı ( $\delta d^i$ ) şöyle hesaplanır,
- Deplasman vektörü ve yük parametresi,

$$d^{i+1} = d^i + \delta d^i \quad , \quad \lambda^{i+1} = \lambda^i + \delta \lambda^i \quad (2.14)$$

Olarak güncellenir.

- İstenilen doğruluk ya da iterasyon sayısına ulaşıncaya kadar adımlar tekrarlanır.



Şekil 2.8 : Akış şeması.

## 2.5.4 Doğrusal olmayan analizler için iteratif teknikleri

Doğrusal olmayan analizlerde kullanılmak üzere birçok iteratif teknik vardır. Bu çalışmada doğrusal olmayan denklemlerin çözümünde Newton – Rapson yöntemi kullanıldığından dolayı bu yöntem anlatılacaktır.

### 2.5.4.1 Newton – Rapson yöntemi

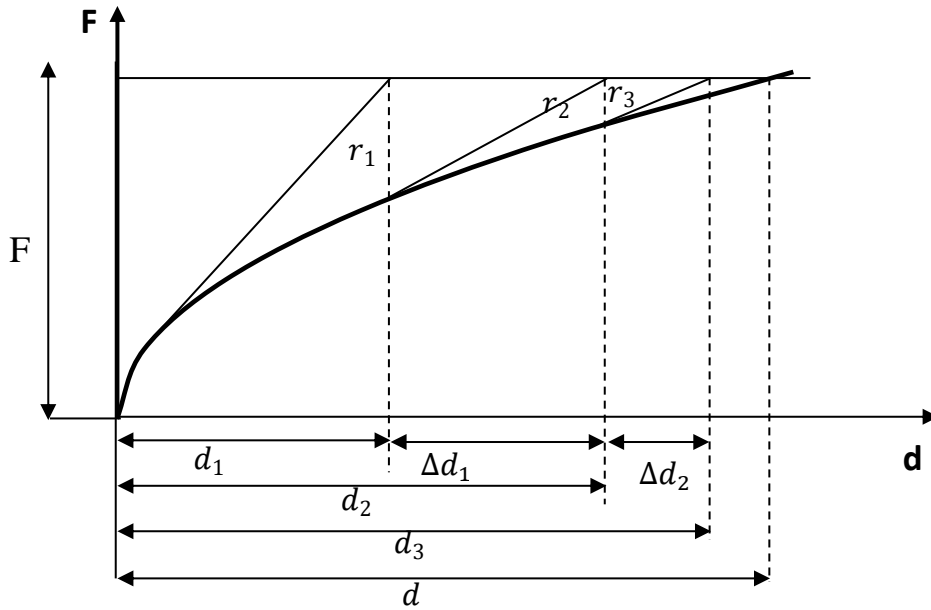
Newton Raphson iterasyonları, bir sonraki yükleme adımına geçmeden önce dengeyi sağlamak için uygulanır. Bir adımın başlangıcında artan kuvvet uygulanır. Yerdeğiştirmeye ulaşmak için düzeltme yapılır. Bu hatayı en aza indirmek için Newton – Rapson yöntemi uygulanır.

$$\delta d^i = \delta \bar{d}^i + \delta \lambda \delta d_t^i \quad \text{ve} \quad \delta \lambda^i = \frac{\delta \bar{d}^i(q)}{\delta d_t^i(q)} \quad (2.15)$$

olmak üzere yeni deplasmanlar,

$$d = d + \Delta d \quad (2.16)$$

şeklinde hesap edilir. Yakınsama  $10^{-2}$  tolerans için ‘ r ’ yerine konularak sağlanır. Her yük adımında teğet rijitlik matrisi hesaplanır. Bu yöntemde hasaplama adımları zaman alır.



Şekil 2.9 : Newton Rapson tekrarlama şeması.

## 2.5.5 Sargılı beton modelleri

Betonda sargılama yapılarak betonarme elemanların kapasitesi önemli ölçüde artırılabilir. Basın altında betonun genişlemesi kısıtlanarak dayanım ve şekil değiştirme kapasitesi artırılır. Yüksek deprem bölgelerinde dayanım ve süneklilikteki artış betonarme yapısal elemanların tasarımı için önemli bir özelliktir. Betonu sargı özelliği gerilme – şekil değiştirme eğrileri ile gösterilir. Aşağıda sargılama modellerine genel bir bakış verilmiştir.

### 2.5.5.1 Mander modeli

Mander ve diğerleri tarafından 1988 yılında geliştirilen bu modelde ilk olarak enine donatının etkisini incelemek için farklı kolon kesitlerinde araştırmalar yapılmıştır[21]. Maksimum gerilme ve şekil değiştirme koordinatları ( $\epsilon_{cc}, f_{cc}'$ ) bulunabildiğinde tüm gerilme – şekil değiştirme aralığı üzerindeki performansların aynı olduğu kanısına varılmıştır. Mander ve diğ. modeli oldukça yaygındır. Burada bu model için malzemenin doğrusal olmayan davranışı açıklanacaktır. Maksimum gerilme,

$$f_{cc}' = f_{co}' \left[ 1 + 3.7 \left( \frac{0.5k_e \rho_s f_{yh}}{f_{co}'} \right)^{0.85} \right] \quad (2.17)$$

Bağıntısı ile hesaplanır. Burada,

$f_{co}'$  : sargısız beton basınç dayanımını ( $f_{co}' = 0.75 f_{ck}$ )

$k_e$  : dairesel kesitlerde 0.95, dikdörtgen kesitlerde 0.75 olan sargılama etkinliği katsayısını

$\rho_s$  : sargı donatısı hacimsel oranını

$f_{yh}$  : sargı donatısı akma dayanımı

göstermektedir. Maksimum gerilmeye karşı gelen şekil değiştirme,

$$\epsilon_{cc} = \epsilon_{co} \left[ 1 + 5 \left( \frac{f_{cc}'}{f_{co}'} - 1 \right) \right] \quad (2.18)$$

şeklinde elde edilir. Basınç gerilmesi altındaki maksimum şekil değiştirme aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

$$\epsilon_{cu} = 0.004 + \frac{0.6 \rho_s f_{yh} \epsilon_{sm}}{f_{co}'} \quad (2.19)$$

Yukarıdaki denklemde  $\varepsilon_{sm}$  , çelik çekme dayanımına karşı gelen şekildeğiştirme olarak tanımlanır. Herhangi bir şekildeğiştirmeye karşı gelen gerilme,

$$f_{cc} = \frac{f'_{cc} x r}{r - 1 + x^r} \quad (2.20)$$

$$x = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}}, \quad r = \frac{E}{E_c - E_{sec}}, \quad E_c = 5000\sqrt{f'_{co}}, \quad E_{sec} = \frac{f'_{cc}}{\varepsilon_{cc}} \quad (2.21)$$

denklemleri kullanılarak bulunur.

### 2.5.5.2 Geliştirilmiş Kent ve Park modeli

Dayanım artırma faktörü olan K, sargı donatılarının hacimsel oranı açısından ifade edilerek mevcut kent ve park modelinde belirtilmişti. Bu çalışma modelde ele alınmıştır. Mevcut model, bu model için zemin oluşturmuştur. Geliştirilmiş Kent ve Park modeli grafiğini oluşturan bağıntılar aşağıda verilmiştir [22].

$$K = 1 + \frac{\rho_s f_{yh}}{f'_c} \quad ve \quad \rho_s = \frac{A_0 \times l_s}{s_h \times b_c \times h_c} \quad (2.22)$$

Olmak üzere,

$$\varepsilon_c \leq 0.002K \quad için \quad f_c = K f'_c \left[ \frac{2\varepsilon_c}{0.002K} - \left( \frac{\varepsilon_c}{0.002K} \right)^2 \right] \quad (2.22)$$

$$\varepsilon_c \leq 0.002K \quad için \quad f_c = K f'_c [1 - Z_m (\varepsilon_c - 0.002K)] \quad (2.23)$$

$$Z_m = \frac{0.5}{\left( \frac{3 + 0.29 f'_c}{145 f'_c - 1000} + \frac{3}{4} \rho_s \sqrt{\frac{h''}{s_h} - 0.002K} \right)} \quad (2.24)$$

Burada,

$\rho_s$  : sargı donatısı hacimsel oranı

$h''$  : çekirdek dışında kalan sargısız beton genişliği

$s_h$  : sargı donatısı aralığı

$f_{yh}$  : sargı donatısı akma dayanımı

$f_c$  : beton gerilmesi



$f'_c$  : betonun silindir basınç dayanımı, olarak tanımlanır.

### 2.5.6 Doğrusal olmayan çelik modeli

Lee ve Mosalam [14] tarafından tanımlanan modelde, iki doğrusal kısmı denklem 2.34 ile hesaplanan pekleşme bölgesi takip etmiştir.

$$f_s = f_u - (f_u - f_y) \left( \frac{\varepsilon_{su} - \varepsilon_s}{\varepsilon_{su} - \varepsilon_{sh}} \right), \quad \varepsilon_{sh} < \varepsilon_s < \varepsilon_{su} \quad (2.25)$$

Bu bağıntıda

$f_s$  :  $\varepsilon_s$  birim şekildeğiştirmelerine karşılık gelen çelik gerilmesini

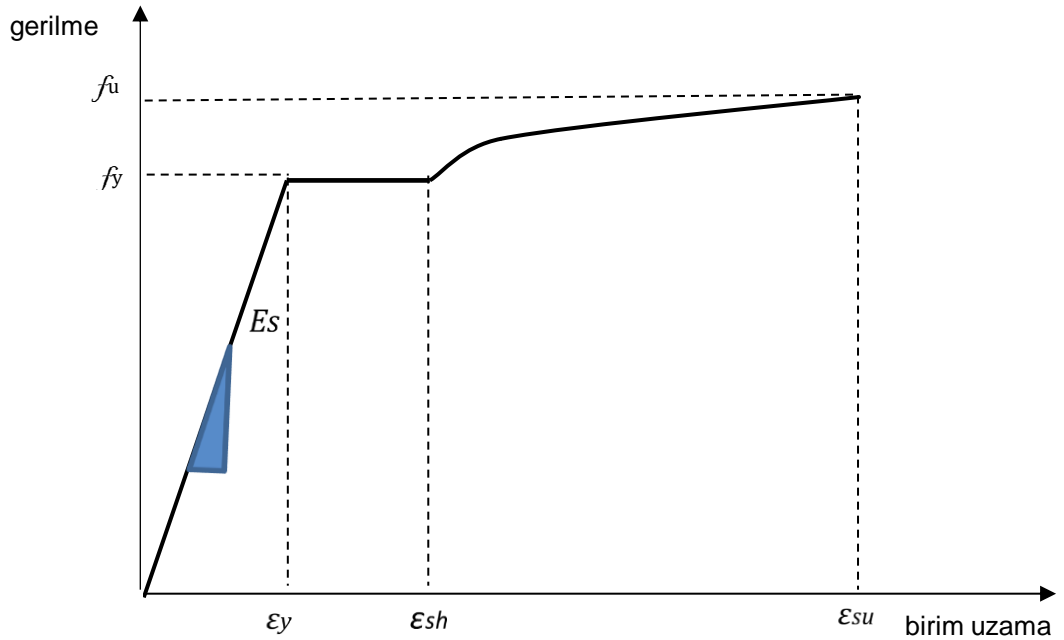
$f_y$  : çelik akma dayanımını

$f_u$  : maksimum çelik dayanımını (kopma dayanımını)

$\varepsilon_{sh}$  : pekleşmenin başladığı andaki birim şekildeğiştirmeyi

$\varepsilon_{su}$  : maksimum birim şekildeğiştirmeyi (kopma birim şekildeğiştirmesini)

İfade etmektedir. Şekil 2.10 da çelik malzeme için gerilme – şekildeğiştirme ilişkisi gösterilmektedir.



Şekil 2.10 : Donatı çeliği gerilme – şekildeğiştirme grafiği.

### 2.5.7 Monte Carlo simülasyonu

Shinozuka ve diğerleri [23], betonarme yapıların dayanımını tahmin etmek için malzeme özelliklerinin önemini bildirmişlerdir. Monte Carlo simülasyonu kiriş ve kolon gibi çeşitli betonarme kesitlerinde kullanılan en eski hesap yaklaşımıdır. Knappe ve diğerleri [24], betonarme kirişlerin dayanımı ile ilgili çalışma yapmışlardır. Grant ve diğ. [25], Mirza ve MacGregor [26] ile Frangopol ve arkadaşları tarafından, malzeme özellikleri ve boyutlarının değişkenliği göz önünde bulundurularak, betonarme kiriş ve kolon elemanların mukavemet analizleri üzerine çalışmalar yapılmıştır.

### 2.5.8 Eleman formülasyonları

Bu çalışmada doğrusal olmayan yapısal analizlerde fiber eleman yaklaşımına dayanan yayılı inelastik modeller kullanılmıştır. Fiber eleman iki ana formülasyonla kullanılır.

Bunlar

- Klasik sonlu eleman formülasyonu olan yerdeğiştirme bazlı (DB) rijitlik yöntemi
- Kuvvete dayalı (FB) esneklik yöntemi

olarak ifade edilir.

DB formülasyonunda deplasman şekil fonksiyonlarını kullanırken, FB formülasyonu, iç kuvvet şekil fonksiyonları kullanılır. Bu bölümde FB ve DB yöntemi için formülasyonlar verilecek. Ayrıca yöntem prosedürleri adım adım anlatılacaktır.

#### 2.5.8.1 Deplasmana dayalı rijitlik yöntemi

Bu yöntemde deplasman enterpolasyon fonksiyonu kullanılır. Elemanların aksenal ve enine yerdeğiştirmeleri hesaplanır. Doğrusal lagrangian şekil fonksiyonu ve kübik hermitian polinomu, kiriş ve kolon elemanlar için en çok kullanılan şekil fonksiyonlarıdır. Rijitlik bazlı modellerin eleman formülasyonu esneklik temelli modellere nispeten daha kolaydır. Eleman kuvvet ve deformasyon vektörleri şöyledir,

$$p = [p_1, p_2, p_3, \dots, p_3]^T \quad (2.26)$$

$$u = [u_1, u_2, u_3, \dots, u_6]^T \quad (2.27)$$

Herhangi bir kesite ait kuvvet ve deformasyon vektörü aşağıdaki gibidir.

$$q(x) = [N(x), M(x)]^T \quad (2.28)$$

$$V_s(x) = [\varepsilon_0(x), \phi]^T \quad (2.29)$$

Yukarıdaki bağıntılarda

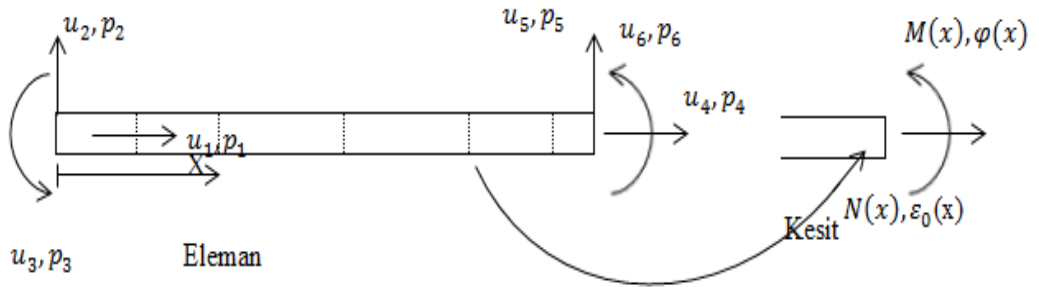
$N$  : aksel kuvveti

$M$  : eğilme momentini

$\varepsilon_0$  : aksel birim şekil değiştirmeyi

$\phi$  : '  $x$  ' kesit konumuna göre eğriliği olarak tanımlanır.

Şekil 2.11' de eleman kuvvet ve deformasyonları gösterilmektedir.



**Şekil 2.11** : Eleman kuvvet ve deformasyonları.

Kesitte  $i$ ' inci lif için şekil değiştirme artışı şöyledir,

$$d\varepsilon_i = \alpha_s(y) \times dV_s(x) \quad (2.30)$$

denklem 2.39' da  $\alpha_s(y) = 1 - y_i$  ve  $dV_s(x) = [d\varepsilon_0(x), d\phi(x)]^T$  olarak hesaplanır. Burada koordinat referans eksenini ile fiber kesit deformasyonu arasındaki mesafe gerilme – deformasyon ilişkisi ile bulunur.

$$V_s(x) = [B(x) + 0.5 \times G(x)] \times u_{n+1} \quad (2.31)$$

$u_{n+1} = u_n + \Delta u$  ,  $n+1$ ' inci yükleme adımındaki eleman deformasyon vektörüdür.  $B(x), G(x), C(x)$  , şekil değiştirme – deformasyon transformasyon matrisleridir.

$$G(x) = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \{C(x) * u_{n+1}\}^T \times C(x) \quad (2.32)$$

Kesit rijitlik matrisi  $k(x)$ ,

$$k_s(x) = \int_{A(x)} \alpha_s^T(y) E_t(x, y) \alpha_s(y) dA \quad (2.33)$$

Şeklinde hesaplanabilir. Burada  $E_{xy}$  teğet rijitlik matrisidir. Kesit dayanımı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$r_s(x) = \int_{A(x)} \alpha_s^T(y) E_t(x, y) dA \quad (2.34)$$

Eleman rijitlik matrisi

$$k_e = \int_L T^T(x) k_s(x) T(x) dx + \int_L C^T(x) C(x) N_s(x) dx \quad (2.35)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Eleman dayanım vektörü

$$r_e = \int_L T^T(x) r_s(x) dx \quad (2.36)$$

Transformasyon matrisi

$$T(x) = B(x) + G(x) \quad (2.37)$$

Denklemleri ile hesaplanır. Yukarıdaki bağıntılarda,

$N(x)$  : aksenal kuvvet bileşimini temsil eden  $r(x)$ ' in bir bileşeni

$L$  : eleman uzunluğudur.

Doğrusal olmayan analizde  $\Delta p = k_e \times \Delta u$  bağıntısı kullanılır.

### 2.5.8.2 Esnekliğe dayalı kuvvet yöntemi

Bu yöntemde kuvvet enterpolasyon fonksiyonu kullanılır. Bu formülasyonda eleman dengesi tam anlamıyla sağlanır. Mevcut sonlu eleman programlarında genellikle rijitlik formülasyonları kullanıldığı için uygulaması oldukça zorlayıcıdır. Esneklik temelli modellerin eleman formülasyonları rijitlik temelli modellere nispeten daha doğrudur.  $b(x)$  eleman durum tayini için kullanılan kuvvet enterpolasyon fonksiyonu olmak üzere, eleman durum tayini için adımlar aşağıdaki açıklanmıştır.

1. Yapısal deplasmanlar hesaplanır ve yinelenir.

$$P_{ext} = K_S \times \Delta p \quad (2.38)$$

$$P = P + \Delta p \quad (2.39)$$

2. Eleman deformasyonları hesaplanır ve güncellenir.

$$\Delta q = L_{ele.} \times \Delta p \quad (2.40)$$

$$q = q + \Delta q \quad (2.41)$$

Burada  $L_{ele.}$ , dönüşüm matrisi'dir.

3. Eleman kuvveti hesaplanır ve güncellenir.

$$\Delta Q = K \times q \quad (2.42)$$

$$Q = Q + \Delta Q \quad (2.43)$$

4. Eleman kuvveti hesaplanır ve güncellenir.

$$\Delta Dx = b(x) \times Q \quad (2.44)$$

$$Dx = Dx + \Delta Dx \quad (2.45)$$

5. Kesit kuvveti hesaplanır ve güncellenir.

$$\Delta dx = f \times \Delta Dx \times r(x) \quad (2.46)$$

$$dx = dx + \Delta dx \quad (2.47)$$

6. Temel gerilme – şekildeğiştirme eğrisinden fiber gerilmeleri ve teğet modülü hesaplanır.

7. Kesit için yeni esneklik matrisi hesaplanır.

$$k(x) = \begin{bmatrix} \sum_i E_i A_i & -\sum_i E_i A_i y_i \\ -\sum_i E_i A_i y_i & -\sum_i E_i A_i y_i^2 \end{bmatrix} \quad ve \quad f = [k(x)]^{-1} \quad (2.48)$$

8. Kesit dayanım kuvveti hesaplanır.

$$D_r(x) = \begin{bmatrix} \sum_i \sigma_i A_i \\ - \sum_i \sigma_i A_i y_i \end{bmatrix} \quad (2.49)$$

9. Dengelenmemiş kuvvet hesaplanır.

$$D_u = D_x - DR(x) \quad (2.50)$$

10. Artık kesit deformasyonları hesaplanır.

$$r(x) = f(x) \times D_u \quad (2.51)$$

11. Eleman esneklik matrisi hesaplanır.

$$K^i = \int_0^L B^T(x) k^i(x) B(x) \quad ve \quad F = [K]^{-1} \quad (2.52)$$

12. Yakınsama olup olmadığı kontrol edilir.

- Eğer  $Q_i = Q_j$  ve  $K_i = K_j$  ise eleman yakınsaktır.
- Eleman yakınsak değil ise,

$$s = \int_0^L b^T(x) r(x) dx \quad ve \quad \Delta q = -s \quad (2.53)$$

13. Yapı rijitliği ve dayanımı hesap edilir.

$$P_R = L_{ele}^T \times Q_{ele} \quad (2.54)$$

$$K_S = L_{ele}^T \times K_{ele} \times L_{ele}^T \quad (2.55)$$

### 3. TBDY2018 KAPSAMINDAYENİ YAPILACAK BİNALARIN ŞEKİL DEĞİŞTİRMEYE DAYALI TASARIM VE DEĞERLENDİRMESİ

Deprem etkisinin ortaya çıkma ihtimali, düşey yüklere göre çok düşük olduğu için, elastik ötesi şekil ve yerdeğiştirmelere belirli seviyede izin verilir. Bu durumda Şekil 3. 1.de görüldüğü gibi İç Kuvvet – Şekildeğiştirme eğrisinin yatay kolunda belirli bir şekildeğiştirme değerinden sonra düşey eksen üzerinde momentler veya yük değerleri kıyaslanarak bir tasarım yapılamaz. Bu durumda eğrinin yatay kolu üzerindeki iki yükleme durumunu sadece yatay eksen değerleri (şekildeğiştirmeler) ile mümkündür. Bu durum şekildeğiştirmeye dayalı tasarımı zorunlu hale getirir[27].

$$\phi_r \geq \phi_d \quad d_r \geq d_d \quad (3.1)$$

Ancak bu yöntemin uygulanabilmesi için iki şartın sağlanması gerekir. Bunlar:

1. Sistem yeteri kadar elastik ötesi şekildeğiştirme ve yerdeğiştirme kapasitesine ( $\phi_r$  ve  $d_r$ ) sahip olmalı. Beton kalitesinin düşük olduğu yeteri kadar sünek olmayan kesitlerde bu yöntem geçerli değildir.
2. Kontrollü hasarın (ortaya çıkması beklenen  $\phi_d$  ve  $d_d$  şekildeğiştirme veya yerdeğiştirmenin) kullanıcı tarafından kabul edilebilir olması.

#### 3.1 Tasarım Adımları

Şekildeğiştirmeye göre tasarımda aşağıdaki adımlar izlenir:

1. Taşıyıcı sistem elemanlarının doğrusal olmayan model yaklaşımları ile uyumlu iç kuvvet – şekildeğiştirme bağıntıları belirlenir.
2. Öngörülen performans hedefleri ile uyumlu olarak seçilen deprem yer hareketleri altında, taşıyıcı sistemin statik veya zaman tanım alanında dinamik artımsal yöntemlerle hesabı yapılır, doğrusal olmayan sünek davranışa ilişkin şekildeğiştirme talepleri ile gevrek davranışa ilişkin dayanım talepleri elde edilir.

3. Elde edilen iç kuvvet ve şekildeğiştirme talepleri, öngörülen performans hedefleri ile uyumlu olarak tanımlanan şekildeğiştirme ve dayanım kapasiteleri ile karşılaştırılır.
4. Mevcut binalar için, şekildeğiştirme ve dayanım taleplerinin bunlara karşı gelen şekildeğiştirme ve dayanım kapasitelerinin altında olduğu veya onları aştığı gösterilerek şekildeğiştirmeye göre değerlendirme tamamlanır.
5. Yeni yapılacak veya güçlendirilecek mevcut binalar için şekildeğiştirme ve dayanım talepleri, bunlara karşı gelen şekildeğiştirme ve dayanım kapasitelerinin altında ise şekildeğiştirmeye göre tasarım tamamlanır. Aksi durumda eleman kesitleri değiştirilir ve hesap tekrarlanarak yeniden değerlendirme yapılır ve bu şekilde şekildeğiştirmeye göre tasarım tamamlanır [1].

### **3.2 Bina Kullanım Sınıfı, Deprem Tasarım Sınıfı Ve Bina Yükseklik Sınıfı**

#### **3.2.1 Bina kullanım sınıfları ve bina önem katsayısı**

Bina önem katsayıları bina kullanım sınıflarına bağlı olarak Çizelge 3.1' de tanımlanmıştır [1].



**Çizelge 3.1 : Bina Kullanım Sınıfları ve Bina Önem Katsayıları.**

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

### 3.2.2 Deprem tasarım sınıfları

TBDY2018’ de deprem etkisi altındaki tasarımda esas alınacak Deprem Tasarım Sınıfları (DTS), bina kullanım sınıflarına ve DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için tanımlanan

$$S_{DS} = S_S F_S \quad (3.2)$$

Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısına bağlı olarak Çizelge 3.2’ de verilmiştir.

**Çizelge 3.2 : Deprem Tasarım Sınıfları (DTS).**

| DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyinde Kısa Periyot<br>Tasarım Spektral İvme Katsayısı ( $S_{DS}$ ) | Bina Kullanım Sınıfı |          |
|---|----------------------|----------|
|   | BKS=1                | BKS=2, 3 |
| $S_{DS} < 0.33$   | DTS= 4a              | DTS= 4   |
| $0.33 \leq S_{DS} < 0.5$  | DTS= 3a              | DTS= 3   |
| $0.50 \leq S_{DS} < 0.75$   | DTS= 2a              | DTS= 2   |
| $0.75 \leq S_{DS}$  | DTS= 1a              | DTS= 1   |

### 3.2.3 Bina yükseklik sınıfları

TBDY2018' de deprem etkisi altında binalar yükseklikleri bakımından sekiz Bina Yükseklik Sınıfına (BYS) ayrılmıştır.

**Çizelge 3.3 : Bina Yükseklik Sınıfları (BYS).**

| 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                 | $56 < H_N \leq 70$   | $70 < H_N \leq 91$     | $56 < H_N \leq 105$ |
| 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                 | $H_N \leq 7$   | $H_N \leq 10.5$        |                     |

Çizelge 3.3'te BYS=1 olarak belirtilen binalar yüksek binalar olarak sınıflandırılır. Bu binalar için tasarım ve değerlendirme kuralları yönetmeliğin ayrı bir bölümünde ele alınmıştır.

### **3.3 Değerlendirmeye Esas Yük Bileşimlerinin Tanımlanması Ve Birleştirilmesi**

#### **3.3.1 Düşey deprem etkisi**

DTS=1, DTS=1a, DTS=2, DTS=2a olarak sınıflandırılan ve aşağıdaki elemanları içeren binalarda düşey deprem hesabı, bu elemanların yerel düşey titreşim modları esas alınarak sadece bu elemanlar için deprem hesabı Şekil 4.3' de verilen düşey elastik ivme spektrumu kullanılarak mod birleştirme yöntemiyle yapılacaktır. Düşey deprem etkisi  $E_d^Z$  'nin bu şekilde hesabında tüm taşıyıcı sistemler için  $R/I=1$  ve  $D=1$  alınacaktır.

- a. Açıklarının yataydaki iz düşümü 20 m veya daha fazla olan kirişleri içeren binalar,
- b. Açıklarının yataydaki iz düşümü 5 m veya daha fazla olan konsolları içeren binalar,
- c. Kirişleri oturan kolonları içeren binalar
- d. Kolonları düşeye göre eğimli olan binalar.

Yukarıda belirtilen elemanları bünyesinde bulundurmeyen taşıyıcı sistemlerin düşey deprem etkisi  $E_d^Z$ ,

$$E_d^Z = (2/3)S_{DS} G \quad (3.3)$$

Bağıntısı ile hesaplanabilir. Bu çalışma kapsamında kullanılan örneklerde, taşıyıcı sistem bünyesinde bahsedilen elemanlar olmadığından dolayı bu yaklaşık formül kullanılarak düşey deprem etkisi hesap edilmiştir.

Burada

$G$ : sabit yük etkisini

$S_{DS}$  : denklem 3.2 ile hesaplanan kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısını

$E_d^Z$  : denklem 3.3 ile hesaplanan düşey deprem etkisini göstermektedir

### 3.3.2 Yatay birbirine dik doğrultulardaki deprem etkilerinin birleştirilmesi

$$E_d^{(H)} = E_d^{(X)} + E_d^{(Y)} \quad (3.4)$$

$$E_d^{(H)} = \pm 0.3E_d^{(X)} \pm E_d^{(Y)} \quad (3.5)$$

### 3.3.3 Deprem etkisinin diğer etkilerle birleştirilmesi

Taşıyıcı sistem elemanlarının değerlendirilmesinde kullanılacak yük birleşimi aşağıdaki gibidir[1].

$$G + Q_e + 0.2S + E_d^H + 0.3E_d^Z \quad (3.6)$$

Taşıyıcı sistem elemanlarının değerlendirilmesinde, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi kullanılması durumunda değerlendirmede kullanılacak yük birleşimi aşağıdaki gibidir.

$$G + Q_e + 0.2S + E_d^{(X)} + E_d^{(Y)} + 0.3E_d^Z \quad (3.7)$$

$$0.9G + H + E_d^{(H)} - 0.3E_d^Z \quad (3.8)$$

Yukarıdaki bağıntılarda  $Q_e = nQ$  olmak üzere,

$S$  : kar yükü etkisini

$n$  : hareketli yük kütle katılım katsayısını

$Q_e$  : etkin hareketli yük etkisini

$H$  : yatay zemin itkisini

$E_d^Z$  : düşey deprem etkisini göstermektedir.

### 3.4 Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemlerinin Seçimi

Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım kapsamında doğrusal olmayan hesap için, İtme yöntemleri ile zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap Yöntemi kullanılır.

#### 3.4.1 Hesap yönteminin belirlenmesi

Bina Yükseklik Sınıflarına göre seçilecek doğrusal olmayan hesap yöntemleri aşağıda verilmiştir.

1.  $BYS \geq 5$  olan ve aşağıdaki koşulları sağlayan binalarda Tek Modlu İtme Yöntemleri
  - i. Herhangi bir katta ek dış merkezlik göz önüne alınmaksızın doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan burulma düzensizliği katsayısının  $\eta_{bi} < 1.4$  koşulunu sağladığı binalar
  - ii. Göz önüne alınan deprem doğrultusunda, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan hakim titreşim moduna ait taban kesme kuvveti etkin kütlelerinin toplam bina külesine (rijit perdeler ile çevrelenen bodrum katların kütleleri hariç) oranının en az 0.70 olan binalar

2.  $BYS \geq 2$  olan tüm binalar için Çok Modlu İtme Yöntemleri
3. Yüksek binalar ( $BYS = 1$ ) için zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap Yöntemi seçilir. Bu çalışmada Çok Modlu İtme Yöntemi ile zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi detaylı olarak anlatılacaktır.

### 3.5 Artımsal İtme Yöntemi İle Performans Değerlendirmesi

Bu yöntemde binanın farklı titreşim modları için tanımlanan bağımsız sabit modal yük vektörlerinin yapıya artımsal olarak ayrı ayrı uygulanması dur

Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi İle İtme Analizi (AMBYIA) yönteminde, sabit düşey yükler ve artan yatay yükler altında sistemin ikinci merteye elastoplastik teoriye göre hesabı yapılmaktadır. Kullanılan yöntemde, ardışık iki plastik kesitin oluşumu arasında sistem doğrusal davranış gösterdiği için, plastik kesitler içeren sistemin dinamik özelliklerinden yararlanılarak davranış spektrumu analizi ile yüksek modların etkisi hesaba alınabilmektedir.

#### 3.5.1 Modal yatay yük dağılımları

Öz değer çözümünden elde edilen mod şekilleri, aşağıdaki bağıntıyı sağlayacak şekilde normalleştirilir[28]:

$$M_n = [\varphi]_n^T [M] [\varphi]_n = 1 \quad (3.9)$$

$[\varphi]_n$ : n numaralı periyoda ait normalleştirilmiş mod şekli

Modların katılım oranları şu şekilde hesaplanır:

$$L_n = [M] [\varphi]_n \quad (3.10)$$

Mod şekilleri 3.11'i sağlayacak şekilde birleştirildiği için modal katılım çarpanı,

$$\Gamma_n = \frac{L_n}{M_n} = L_n \quad (3.11)$$

ve ilgili moda ait kütle

$$\bar{M}_n = \Gamma_n L_n = \Gamma_n^2 \quad (3.12)$$

olarak hesaplanır. Mod kütleleri ilgili moda ait spektral ivme ile çarpılarak o mod tarafından oluşturulan deprem yükü hesaplanır.

$$F_{i,n} = \Gamma_n [\varphi]_{i,n} [M]_{ii} S_{a,n} \quad (3.13)$$

$F_{in}$  : n numaralı mod için i numaralı serbestliğe ait kuvvet.

$\Gamma_n$  : Modal katılım çarpanı

$[\varphi]_{i,n}$  : n numaralı mod için i numaralı serbestliğe ait yerdeğiştirme.

$[M]_{ii}$  : i numaralı serbestlikte tanımlı kütle

$S_{a,n}$  : n numaralı moda ait elastik spektral ivme

Spektral ivme değerleri, sönüm oranı ve titreşim periyoduna bağlı olarak, göz önüne alınan deprem yer hareketine ait elastik ivme spektrumundan alınmaktadır.

### 3.5.2 Birim modal davranış büyüklüklerini birleştirilmesi

Çalışma kapsamında kullanılan algoritmalar, sistem için yeterli sayıda modal yatay yük dağılımı için belirtilen birim modal davranış büyüklüklerini CQC (Complete Quadratic Combination) modal kombinasyon kuralı ile birleştirmektedir. CQC kuralına göre k+1 sayılı yük artımında davranış büyüklükleri:

$$\Delta R_C^{k+1} = \sqrt{\sum_{i=1}^{\bar{M}} \sum_{j=1}^{\bar{M}} \rho_{ij} \Delta R_i^{k+1} \Delta R_j^{k+1}} \quad (3.14)$$

Bağıntılarıyla bulunabilir. Bu bağıntıda

$\bar{M}$ : gözönüne alınan mod sayısı

$R_i^{k+1}$ : k+1 sayılı yük artımında i numaralı moda ait davranış büyüklükleri

$\rho_{ij}$ : Çapraz korelasyon katsayısıdır ve

$$\rho_{ij} = \frac{8\xi^2(1 + \beta_{ij})\beta_{ij}^{3/2}}{(1 - \beta_{ij}^2)^2 + 4\xi^2\beta_{ij}(1 + \beta_{ij})^2} \quad (3.15)$$

bağıntısı ile elde edilir[29]. Bu bağıntıda  $\beta_{ij} = \omega_i/\omega_j$  serbest titreşim frekansının oranını belirtmektedir.

Modal davranış büyüklüklerinin işaretleri, birleştirme işleminden sonra daima pozitif olarak bulunur. Buna karşın plastikleşen kesit ile ilgili işlemlerde değerlerin işaretinin doğru elde edilmesi gerekmektedir. Bu yüzden birleştirme işlemi, modal analizin ilk bulunan sonucu olan kütlelere ait yerdeğiştirmeler üzerinde yapılır, daha sonra elde edilen birleştirilmiş yerdeğiştirmeler üzerinden yapıya ait diğer yerdeğiştirmeler ve içsel kuvvetler elde edilir.

### **3.6 Doğrusal Elastik Olmayan Değerlendirme Yöntemi**

Yapı davranışı incelenirken, elde edilecek sonuç ne kadar çok kabule dayanıyorsa, güvenilirliği de o oranda az olacaktır. Gerçeğe en yakın çözüm doğrusal olmayan dinamik çözümdür. Çözümü oldukça çok zaman alan ve birçok bilinmeyen olduğu için yapılacak kabullerin oldukça önem kazandığı bu analizin yapılmadığı durumlarda, itme analizi doğrusal olmayan diğer yöntemlere göre gerçeğe daha yakın sonuç verir. Bu çalışmada yapı performansları değerlendirilirken doğrusal olmayan dinamik çözüm yöntemi kullanılmıştır.

Şekildeğiştirme esasına dayanan bu yöntemde, beton ve donatı çeliğine ait lif uzama ve kısaltmaları bulunarak performans seviyesi için TBDY2018’ de bulunan sınır değerler ile karşılaştırılarak yapının performansı belirlenir. Elastik spektrum eğrisi ve kapasite eğrisi kullanılarak elastoplastik yerdeğiştirmenin belirlenmesi.

Şekil 2.11’de görüldüğü gibi,  $a_y$  ivmesi, kapasite eğrisinin aynı alana sahip iki doğruya çevrilmesinden elde edilen yeni sistemden elde edilir. Başlangıçta kapasite eğrisinin performans noktası bilinmediği için bu işlem birkaç adım deneme ile gerçekleştirilir.

Kapasite eğrisi performans noktasına ulaşamıyorsa, yapı deprem talebini karşılamadan göçme durumuna geliyor demektir. Oluşan plastik mafsalların sistemi mekanizma durumuna getirmesiyle sistem performans noktasına gelmeden göçebilir.

#### **3.6.1 Eleman hasar durumlarının belirlenmesi**

Performans noktasının belirlenmesiyle, deprem talebine karşı yapının göstereceği elastoplastik yerdeğiştirme, plastik mafsal yerleri ve  $\theta_p$  dönmeleri ve buna bağlı  $\chi_p$  eğrilikleri bulunur. İlgili kesitin plastikleşinceye kadar yaptığı  $\chi_y$  akma eğriliği ile toplanarak kesitin toplam eğriliği belirlenir.



$$\chi_p = \frac{\theta_p}{L_p} \quad \chi_t = \chi_y + \chi_p \quad (3.16)$$

Bu tez kapsamında, doğrusal olmayan davranış için lif model ile beton ve donatı çeliğine ait uzama ve kısaltmalar doğrudan bulunduğundan ayrıca yukarıdaki bağıntı ile eğrilik hesaplamaya gerek kalmaz. TBDY-2018’de beton lifi birim kısaltması ve donatı birim uzaması-kısaltmasına göre kesitte oluşacak hasar durumu verilmiştir.

### 3.7 Artımsal Spektrum Analizi Uygulama Adımları

Mod birleştirme yöntemi ile yapılacak itme analizinin adımları şu şekilde özetlenebilir:

1. Düşey yükler altında sistemde oluşan kuvvet ve yerdeğiştirmeler belirlenir.
2. Elastik sistem ile modal analiz ve spektrum analizi yapılarak deprem kuvvet ve yerdeğiştirmeleri elde edilir.
3. Kritik kesitler için iç kuvvet değerleri hesaplanır, elde edilen iç kuvvetler kritik kesitlerin plastikleşme özelliği ile kontrol edilerek geçerli adımda her mod için aynı olan yük parametresi (**P**) belirlenir.
4. Her mod için elde edilen büyüklükler **P** ile çarpılarak saklanırlar. Bu büyüklükler; sistem nokta yerdeğiştirmeleri, toplam deprem kuvveti, kritik kesit iç kuvvetleri ve plastikleşen kesitlerin bilinmeyenleridir.
5. Her moda ait kapasite eğrisi, spektral yerdeğiştirme - spektral ivme koordinatlarına çevrilir. Aynı koordinat sisteminde ifade edilen spektrum eğrisi kullanılarak her mod’a ait yerdeğiştirme talebi bulunur.
6. Elde edilen yerdeğiştirme talepleri CQC mod birleştirme yöntemi ile birleştirilerek sisteme ait deprem yerdeğiştirme talebi bulunur.
7. Sisteme ait kapasite eğrisinin yerdeğiştirmesi talep yerdeğiştirmeye ulaşmamış ise en son elde edilen sistem üzerinde modal analiz ve spektrum analizi yapılarak deprem kuvvet ve yerdeğiştirmeleri elde edilir. III numaralı adıma geri dönülür.
8. Talep yerdeğiştirmesine ulaşıldığında plastikleşen kesitlerdeki toplam şekildeğiştirme hesaplanır. Toplam şekildeğiştirme, elastik şekildeğiştirme ve itme analizi sırasında oluşan plastik mafsal şekildeğiştirmelerinin toplamıdır.

9. Performans noktasında hesaplanan donatı birim uzamaları ve beton lifi kısılmaları sınır değerler ile karşılaştırılarak eleman hasarları ve yapı performansı belirlenir

### 3.8 Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz

Zamana bağlı yükler altında yapı sisteminin davranışı zaman tanım alanında analiz ile incelenir. Hareket denkleminin en genel hali şu şekildedir:

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{u}}(t) + \mathbf{C}\dot{\mathbf{u}}(t) + \mathbf{K}\mathbf{u}(t) = \mathbf{F}(t) \quad (3.17)$$

Burada taşıyıcı sisteme ait matrisler ve vektörler:

**M**: Sistemin kütle matrisi

**C**: Sistemin sönüm matrisi

**K**: Sistemin rijitlik matrisi

**F**: Dış yük vektörü

**u**, **ü** ve **ü**: Zamana bağlı yerdeğiştirme, hız ve ivme vektörleri

3.17 denklemi, ikinci dereceden bir denklem takımındır ve sabit katsayılı diferansiyel denklem çözümlerinden yararlanılarak hesapları yapılabilir. Yapı mühendisliğinde bu denklem takımı **M**, **C** ve **K** matrislerinin özelliklerinden faydalanarak genellikle iki yöntem kullanılarak çözülür:

1. Doğrudan İntegrasyon
2. Mod birleştirme

Mod birleştirme yöntemi, serbestlik sayısı fazla fakat kütle serbestliği az olan sistemlerde sadece indirgeme yöntemi yardımıyla da hızlı ve doğru sonuçlar alınmasını sağlar. Ayrıca her moda ait sönüm ayrı olarak ele alınabilir.

Doğrudan İntegrasyon yöntemlerini, yapısal matrislerin doğrusal olmadığı durumlarda kullanmak daha avantajlıdır. Bu yöntemi kullanırken sönüm matrisi hazırlanması gerekmektedir. Sönüm matrisi, ilk iki titreşim modunun etkisini hesaba alabilen Rayleigh veya bütün modların etkisini hesaba alabilen Cauchy metodları kullanılarak hazırlanabilir.

Bu çalışmada incelenen örneklerde, her adımda sistem rijitlik matrisi değiştirileceği için, doğrusal integrasyon yöntemi uygulanmıştır. Yapılan çözümlerinde malzeme ve geometri bakımından doğrusal olmayan davranış kabulü yapılmıştır.

### 3.9 Doğrusal İntegrasyon İle Çözüm

3.17’de verilen diferansiyel hareket denkleminde t zamanı, çok küçük zaman dilimi  $\Delta t$  için  $t + \Delta t$  olacak biçimde adım adım arttırılarak doğrudan sayısal İntegrasyon yapılarak çözümlerse bu yöntemde doğrusal İntegrasyon yöntemi denir.

Başlangıçta  $t = 0$  anında sistemin yerdeğiştirme, hız ve ivme vektörleri  ${}^0\mathbf{u}$ ,  ${}^0\dot{\mathbf{u}}$  ve  ${}^0\ddot{\mathbf{u}}$  biçiminde ifade edilir. Doğrusal İntegrasyon denkleminin  $t = 0$ ’dan  $t = T$  anına kadar geçen sürede çözümü aranmaktadır. Zaman aralığı n adet eşit zaman dilimine bölünerek zaman aralığı

$$\Delta t = \frac{T}{n} \quad (3.18)$$

olarak tanımlanır. Hareket denklemi kullanılacak olan bir İntegrasyon şeması ile çözülür.

### 3.10 Merkezi Farklar Yöntemi

Hareket denklemi sabit katsayılı bir diferansiyel denklem olmakla birlikte uygun bir sonlu farklar ifadesi kullanılarak yaklaşık hız ve ivme, yerdeğiştirmeler üzerinden hesaplanabilir.

Yaygın olarak kullanılan merkezi farklar şemasına göre bir sonraki adımda meydana gelecek ivme:

$${}^t\ddot{\mathbf{u}} = \frac{1}{\Delta t^2} ({}^{t-\Delta t}\mathbf{u} - 2{}^t\mathbf{u} + {}^{t+\Delta t}\mathbf{u}) \quad (3.19)$$

hız ise:

$${}^t\dot{\mathbf{u}} = \frac{1}{2\Delta t} (-{}^{t-\Delta t}\mathbf{u} + {}^{t+\Delta t}\mathbf{u}) \quad (3.20)$$

şeklinde hesaplanabilir. Elde edilen yerdeğiştirme ve hız vektörleri denklem 3.20’e uygulanırsa,

$$\left(\frac{1}{\Delta t^2}\mathbf{M} + \frac{1}{2\Delta t}\mathbf{C}\right)^{t+\Delta t}\mathbf{u} = {}^tF - \left(\mathbf{K} - \frac{2}{\Delta t^2}\mathbf{M}\right)^t\mathbf{u} - \left(\frac{1}{\Delta t^2}\mathbf{M} - \frac{1}{2\Delta t}\mathbf{C}\right)^{t-\Delta t}\mathbf{u} \quad (3.21)$$

elde edilir. Yazılan denklemde tek bilinmeyen  $t + \Delta t$  anındaki yerdeğiştirme dir.

Başlangıç anında 3.19 ve 3.20 denklemlerini uygulayabilmek için bir önceki adıma ait yerdeğiştirme vektörü:

$${}^{-\Delta t}\mathbf{u} = {}^0\mathbf{u} - \Delta t {}^0\dot{\mathbf{u}} + \left(\frac{1}{2}\Delta t^2\right) {}^0\ddot{\mathbf{u}} \quad (3.22)$$

olarak belirlenir.

Merkezi farklar yönteminin kararlı olabilmesi için sağlanması gereken önemli bir şart vardır. Seçilen zaman aralığı belli bir değeri geçmemelidir. Bu değer yapının en küçük periyoduna bağlı olarak:

$$\Delta t \leq \frac{T_{min}}{\pi} \quad (3.23)$$

şeklinde hesaplanır. Merkezi farklar yöntemi zaman aralığı seçimine kısıtlama getirdiği için şartlı kararlı bir yöntemdir.

### 3.11 Doğrudan İntegrasyon Yönteminin Uygulanması

Elastik malzeme ve birinci mertbe teorisi altında yapılan çözümlerde bazı kısaltmalar yapılarak işlemler hızlandırılabilir. Bu işlemler için şu adımlar uygulanır.

1. Sisteme ait rijitlik, kütle ve sönüm matrisi hazırlanır.
2. Başlangıç koşulları  ${}^0\mathbf{u}$ ,  ${}^0\dot{\mathbf{u}}$  ve  ${}^0\ddot{\mathbf{u}}$  belirlenir.
3. Zaman adım aralığı belirlenir ve aşağıdaki parametreler hesaplanır:

$$a_0 = \frac{1}{\Delta t^2}, \quad a_1 = \frac{1}{2\Delta t}, \quad a_2 = 2a_0, \quad a_3 = \frac{1}{a_2} \quad (3.24)$$

4. 3.22 denklemini ile verilen özel başlangıç koşulu hesaplanır.
5. Etkin kütle matrisi hesaplanır:  $\bar{\mathbf{M}} = a_0\mathbf{M} + a_1\mathbf{C}$
6. Etkin kütle matrisinin tersi hesaplanır.
7.  $t$  anı için etkin yük vektörü hesaplanır.

$${}^t\bar{\mathbf{F}} = {}^t\mathbf{F} - (\mathbf{K} - a_2\mathbf{M}) {}^t\mathbf{u} - (a_0\mathbf{M} - a_1\mathbf{C}) {}^{t-\Delta t}\mathbf{u} \quad (3.25)$$

8.  $t + \Delta t$  anı için yerdeğiştirme hesaplanır.

$${}^{t+\Delta t}\mathbf{u} = \bar{\mathbf{M}}^{-1} {}^t\bar{\mathbf{F}} \quad (3.26)$$

9.  $t$  anı için hız ve ivme 3.19 ve 3.20 denklemleri kullanılarak hesaplanır.

10. Çözümü istenilen analiz süresinin sonuna ulaşana kadar VII-IX işlemleri tekrarlanır.

### 3.12 Bina Performansının Belirlenmesi

#### 3.12.1 Kesit hasar durumları

Sünek elemanlar için kesit düzeyinde aşağıda belirtildiği gibi üç hasar durumu ve hasar sınırı tanımlanmıştır.

1. Sınırlı Hasar (SH) : ilgili kesitte sınırlı miktarda elastik ötesi davranışı
2. Kontrollü hasar (KH) : Kesit dayanımının güvenli olarak sağlanabileceği elastik ötesi davranışı
3. Göçme öncesi hasar (GÖ) : Kesitte ileri düzeyde elastik ötesi davranışı tanımlamaktadır.

#### 3.12.2 Kesit ve eleman hasarlarının tanımlanması

Doğrusal veya doğrusal olmayan analiz yöntemleriyle hesaplanan iç kuvvetlerin veya şekildeğiştirmelerin kesit hasar sınırına karşı gelmek üzere tanımlanan sayısal değerler ile karşılaştırılmasıyla kesitlerin hangi hasar bölgelerinde olduğuna karar verilir. Eleman hasarı, elemanın en fazla hasar gören kesitine göre belirlenir.

### 3.13 Bina Performans Düzeyleri Ve Yeni Yapılacak Betonarme Binalar İçin Performans Düzeyine Karşı Gelen İç kuvvet Ve Şekildeğiştirme Sınırları

TBDY2018' de deprem etkisi altında bina taşıyıcı sistemleri için 4 adet performans düzeyi tanımlanmıştır.

### 3.13.1 Kesintisiz kullanım (KK) performans düzeyi

Bu performans düzeyi, bina taşıyıcı sistem elemanlarında yapısal hasarın meydana gelmediği veya ihmal edilebilir ölçüde olması durumudur. Bu performans düzeyi için yapılacak performans değerlendirmesinde kullanılmak üzere, yeni betonarme bina elemanlarında yayılı plastik davranış modeline göre hesaplanan beton ve donatı çeliği toplam birim şekildeğiştirmeleri  $\varepsilon_c^{(GÖ)}$  ve  $\varepsilon_s^{(GÖ)}$  için izin verilen sınır değerleri aşağıda tanımlanmıştır. Sınırlı hasar (SH) performans düzeyi

Bu performans düzeyi, bina taşıyıcı sistem elemanlarında sınırlı düzeyde hasarın meydana geldiği, yani doğrusal olmayan davranışın sınırlı kaldığı hasar düzeyine karşı gelmektedir. Sınırlı hasar performans (SH) düzeyi için yapılacak performans değerlendirmesinde kullanılmak üzere, yeni betonarme bina elemanlarında beton ve donatı çeliği için izin verilen toplam birim şekildeğiştirmeler  $\varepsilon_c^{(SH)}$  ve  $\varepsilon_s^{(SH)}$

$$\varepsilon_c^{(SH)} = 0.0025 ; \varepsilon_s^{(SH)} = 0.0075 \quad (3.27)$$

etkin kesit rijitlik çarpanları kullanılarak Sınırlı Hasar (SH) Performans Düzeyi için yapılan hesapta, hiçbir kesitte plastik mafsallı oluşmamalıdır.

### 3.13.2 Kontrollü hasar (KH) performans düzeyi

Bu performans düzeyi, can güvenliğini sağlamak üzere bina taşıyıcı sistem elemanlarında çok ağır olmayan ve çoğunlukla onarılması mümkün olan hasar düzeyine karşı gelmektedir. Kontrollü hasar (KH) performans düzeyi için yapılacak performans değerlendirmesinde donatı çeliği ve beton için izin verilen toplam birim şekildeğiştirme ( $\varepsilon_s^{(KH)}$  ve  $\varepsilon_c^{(KH)}$ ) ile plastik dönme  $\theta_p^{(KH)}$  sınırları aşağıda verilmiştir.

$$\varepsilon_c^{(KH)} = 0.75\varepsilon_c^{(GÖ)} ; \varepsilon_s^{(KH)} = 0.75\varepsilon_s^{(GÖ)} ; \theta_p^{(KH)} = 0.75\theta_p^{(GÖ)} \quad (3.28)$$

### 3.13.3 Göçmenin önlenmesi (GÖ) performans düzeyi

Bu performans düzeyi, bina taşıyıcı sistem elemanlarında ileri düzeyde ağır hasarın meydana geldiği göçme öncesi duruma karşılık gelmektedir. Binanın kısmen veya tamamen göçmesi önlenmiştir.

a) Göçmenin önlenmesi performans düzeyi için beton birim kısalması:

Dikdörtgen kesitli kolon, kiriş ve perde elemanlarda:

$$\varepsilon_c^{(GÖ)} = 0.0035 + 0.04\sqrt{\omega_{we}} \leq 0.018 \quad (3.29)$$

Dairesel kesitlerde:

$$\varepsilon_c^{(GÖ)} = 0.0035 + 0.07\sqrt{\omega_{we}} \leq 0.018 \quad (3.30)$$

Burada  $\omega_{we}$  etkin sargı donatısının mekanik donatı oranı olmak üzere,

$$\omega_{we} = \alpha_{se} \rho_{sh,min} \frac{f_{ywe}}{f_{ce}} \quad (3.31)$$

Bağıntısı ile hesaplanır. Denklem 3.31' deki  $\alpha_{se}$ , sargı donatısı etkinlik katsayısı,

$$\alpha_{se} = \left(1 - \frac{\sum a_i^2}{6b_o h_o}\right) \left(1 - \frac{s}{2b_o}\right) \left(1 - \frac{s}{2h_o}\right) \quad ; \quad \rho_{sh} = \frac{A_{sh}}{b_k s} \quad (3.32)$$

Yukarıdaki bağıntılarda

$\rho_{sh,min}$  : dikdörtgen kesitte iki yatay doğrultuda hacimsel enine donatı oranının küçük olanını

$f_{ywe}$  : enine donatının ortalama ortalama (beklenen)akma dayanımını

$A_{sh}$  : göz önüne alınan doğrultuda enine donatı alanını

$\rho_{sh}$  : göz önüne alınan doğrultuda enine donatı hacimsel oranını

$b_k$  : dik doğrultuda çekirdek genişliğini (en dıştaki enine donatı eksenleri arasındaki mesafe

$s$  : enine donatı aralığını

$b_o$  ve  $h_o$  : sargı donatı eksenlerinden ölçülen sargılı beton boyutlarını

$a_i$  : enine donakı kolları arasındaki mesafeyi göstermektedir. Dairesel sargı donatısının etkinlik katsayısı şöyledir,

$$\alpha_{se} = \left(1 - \frac{s}{2D}\right)^n ; \quad \rho_{sh} = \frac{A_{os}}{Ds} \quad (3.33)$$

Burada

$A_{os}$  : sargı (sprial) donatısının alanı

$s$  : sargı (sprial) donatısı adım aralığı

$D$  : sargı (sprial) donatısı eksenleri arasındaki mesafedir. Dairesel etriye kullanıldığında  $n = 2$ , sprial donatı kullanıldığında ise  $n = 1$  alınır.

b) Göçmenin önlenmesi performans düzeyi için donatı çeliği birim şekildeğiştirilmesi:

$$\varepsilon_s^{(GÖ)} = 0.4\varepsilon_{su} \quad (3.34)$$

Burada  $\varepsilon_{su}$  çekme dayanımına karşı gelen birim uzama olmak üzere, çizelge 3.34' de verilmiştir.

**Çizelge 3.4 : Donatı çeliklerine ait bilgiler**

| Kalite | $f_{sy}$ (Mpa) | $\varepsilon_{sy}$ | $\varepsilon_{sh}$ | $\varepsilon_{su}$ | $f_{su}/f_{sy}$ |
|--------|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------------|
| S220   | 220            | 0.0011             | 0.0011             | 0.12               | 1.20            |
| S420   | 420            | 0.0021             | 0.008              | 0.08               | 1.15 – 1.15     |
| B420C  | 420            | 0.0021             | 0.008              | 0.08               | 1.15 – 1.35     |



### 3.14 Bina Performans Hedefleri Ve Şekildeğiştirmeye Göre Tasarım Ve Değerlendirme Gerektiren Binalar

#### 3.14.1 Bina performans hedefleri

DD-1, DD-2, DD-3 ve DD-4 deprem yer hareketi düzeyleri için TBDY2018 kapsamında binalara uygulanmak üzere, Deprem Tasarım Sınıfı DTS=1, 2, 3, 3a, 4, 4a için tanımlanan (öngörülen) Normal Performans Hedefleri ile Deprem Tasarım Sınıfı DTS = 1a, 2a için tanımlanan (öngörülen) İleri Performans Hedefleri çizelge 3.6 ve çizelge 3.7’ de verilmiştir.

**Çizelge 3.5 :** Deprem Tasarım Sınıfına göre yeni yapılacak betonarme binalar için performans hedefleri ve değerlendirme/tasarım yaklaşımları (yüksek binalar hariç)

| Deprem Yer H. Düzeyi | DTS = 1, 1a <sup>(1)</sup> , 2, 2a <sup>(1)</sup> , 3, 3a, 4, 4a |                             | DTS = 1a <sup>(2)</sup> , 2a <sup>(2)</sup> |                             |
|----------------------|--|-----------------------------|---|-----------------------------|
|                      | Normal Performans Hedefi   | Değerlen./Tasarım Yaklaşımı | Normal Performans Hedefi                    | Değerlen./Tasarım Yaklaşımı |
| DD-3                 | —  | —                           | SH  | ŞGDT                        |
| DD-2                 | KH   | DGT <sup>(5)</sup>          | KH  | DGT <sup>(3,4)</sup>        |
| DD-1                 | —  | —                           | KH  | ŞGDT                        |

**Çizelge 3.6 :** Yüksek binalar (BYS = 1 olan) için performans hedefleri ve değerlendirme/tasarım yaklaşımları

| Deprem Yer H. Düzeyi | DTS = 1, 1a <sup>(1)</sup> , 2, 2a <sup>(1)</sup> , 3, 3a, 4, 4a |                             | DTS = 1a <sup>(2)</sup> , 2a <sup>(2)</sup> |                             |
|----------------------|--|-----------------------------|---|-----------------------------|
|                      | Normal Performans Hedefi   | Değerlen./Tasarım Yaklaşımı | Normal Performans Hedefi                    | Değerlen./Tasarım Yaklaşımı |
| DD-4                 | KK   | DGT                         | —   | —                           |
| DD-3                 | —  | —                           | SH  | ŞGDT                        |
| DD-2                 | KH   | DGT <sup>(3)</sup>          | KH  | DGT <sup>(3,4)</sup>        |
| DD-1                 | GÖ   | ŞGTD                        | KH  | ŞGDT                        |

<sup>(1)</sup> BYS > 3 olan binalarda uygulanır. <sup>(2)</sup> BYS = 2 ve 3 olan binalarda uygulanır.

<sup>(3)</sup> Ön tasarım olarak yapılır. <sup>(4)</sup> I= 1.5 alınarak uygulanır.

### 3.15 Deprem Etkisi

#### 3.15.1 Yatay elastik tasarım spektrumu

Yatay tasarım ivme spektrumunun ordinatları olan yatay elastik tasarım spektral ivmeleri  $S_{ae}(T)$ , göz önüne alınan herhangi bir deprem yer hareketi düzeyi için doğal titreşim periyoduna bağlı olarak yerçekimi ivmesi [g] cinsinden aşağıdaki gibidir.

### 3.16 Doğrusal Olmayan Davranış Modelleri

Teknolojinin gelişmesi ile birlikte, günümüzde yapıların doğrusal olmayan davranışları çeşitli modelleme yöntemleri kullanılarak detaylı bir şekilde göz önüne alınabilmektedir. Yapısal elemanlar doğrusal olmayan davranışı temsil eden aşağıdaki modellerle idealize edilebilir:

1. Yığılı plastik davranış modeli
2. Yayılı plastik davranış modeli
3. Fiber (Lif) modeli

Tez çalışmasında bulunan örneklerin modellenmesinde Lif modeli kullanılmıştır. Bu nedenle bu model detaylı bir biçimde anlatılmıştır.

#### 3.16.1 Plastik mafsal teoremi

Yeteri kadar sünek olan eğilme elemanlarında ve aksenal yük düzeyi düşük elemanlarda çekme donatısı aktıktan sonra moment değeri hemen hemen sabit kalırken, eğrilikte büyük artışlar gözlenir. Kesit belli bir plastik moment kapasitesine ulaştıktan sonra moment değeri sabit kalarak kesit dönmeye başlar. Buna plastik mafsal teoremi adı verilir.

##### 3.16.1.1 Yığılı plastik davranış modeli

Bu modelde, elastik ötesi şekildeğıştirmelerin kesitte plastik mafsal adı verilen sonlu uzunluktaki bir bölgede toplandığı ve kesit yüksekliği boyunca düzgün yayılı olacağı, kesitin geri kalan kısımlarının elastik bölgede kalacağı varsayılmaktadır. Kolon ve kirişlerin en çok zorlanan (en büyük momentin oluşacağı) kesitleri başlangıç ve bitiş noktaları olduğundan plastik mafsalların bu iki uçta oluşacağı kabul edilir. Perdelerde, bodrum perdesinin bulunmadığı durumlarda temel seviyesindeki kesit bulunduğu

durumlarda ise zemin katın alt ucundaki kesit plastik mafsalın oluşması beklenen kesitlerdir. Ayrıca kesitin moment kapasitesinde ani azalmaların olduğu (kesit daralması ve donatı azalması) bölgelerde de plastik mafsal oluşabilir.

### 3.16.1.2 Yayılı plastik davranış modeli

Bu modelde elastik ötesi şekildeğiştirmeler, elemanın sonlu uzunluktaki uç bölgelerinde veya tüm eleman boyunca yayılı biçimde göz önüne alınır. Genellikle perde elemanlarda kullanılır. Kirişlerde sadece eğilme momenti, kolonlarda ise eğilme momenti ile normal kuvvet birlikte göz önüne alınır. Perde, kiriş ve kolon elemanlarda plastik mafsal bölgelerin genişletilerek, yayılı plastik davranışın beklendiği bölge olarak kabul edilmesi uygun düşer. Deprem etkisi arttıkça ve kesitlerin kapasiteleri azaldıkça bu bölgeler genişler. Elastik bir çözüm yapılarak plastik davranışın meydana geleceği bölgeler kolaylıkla tespit edilir[27].

Özer [30], elastik ötesi şekildeğiştirmelerin sistem üzerinde sürekli (yayılı) biçimde göz önüne almak üzere malzeme ve geometri değişimleri bakımından doğrusal olmayan sistemlerin ikinci mertebe hesabı ve göçme yüklerinin bulunabilmesi için bir ardışık yaklaşım hesap yöntemi önermiştir. Girgin C. [31], eleman mekanik özelliklerinin belirlenmesinde Mohr yöntemini kullanarak, malzeme ve sınır koşulları bakımından doğrusal olmayan düzlem sistemlerin artan dış yükler altında hesabı için bir algoritma geliştirmiştir. Şekildeğiştirmeye bağlı tasarım ve değerlendirmesinde plastik mafsal uzunluğu ( $l_p$ ) 'nin bilinmesi oldukça önemlidir. Plastik mafsal bölgesinin uzunluğu aşağıdaki özelliklere bağlıdır.

- Kesitteki normal kuvvete
- Elemanın uzunluğu boyunca eğilme momenti değişimine
- Moment-eğrilik değişimine
- Özellikle kesit yüksekliğine

Plastik mafsal uzunluğunun belirlenmesi için yapılan çalışmaların bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Paulay ve Priestley [32], plastik bölge uzunluğunun hesabı için,

$$l_p = 0.08l + 0.022d_b f_y \quad (\text{Mpa}) \quad (3.35)$$

$$l_p = 0.08l + 0.15d_b f_y \quad (\text{Ksi}) \quad (3.36)$$

bağıntısını önermiş. Ayrıca yukarıdaki denkleminin,

$$l_p \cong 0.5h \quad (3.37)$$

şeklinde kullanılmasının çoğunlukla doğru sonuçlar verdiğini belirtmiştir. Yukarıdaki bağıntılarda,

$z$  : plastikleşmenin olduğu bölgede momentin sıfır olduğu nokta ile plastik kesit arasındaki uzaklığı ( $mm$ )

$f_y$  : boyuna donatının akma gerilmesini ( $N/mm^2$ )

Plastik mafsallı boyunun uzunluğu, kolon ve perde elemanlarında normal kuvvete bağlı olarak değişir. Normal kuvvetin artması plastik bölge uzunluğunu artırır.



#### **4. DEPREM ETKİSİ ALTINDAKİ BETONARME BİNALARIN TASARIMI AÇISINDAN TBYBHY2007 İLE TBDY2018 'İN KİYASLANMASI**

Bu bölümde TBDY2018 kapsamında belirtilen betonarme yapıların deprem etkisi altındaki tasarım esasları kıyaslanacaktır.

##### **4.1 Tasarıma Esas Deprem Yer Hareketi Ve Elastik Deprem Kuvvetinin ( Taban Kesme Kuvveti ) Belirlenmesi Hesabı**

TDY2007' de binaların deprem etkisini için tanımlanan yatay elastik tasarım spektrumu, ZA, ZB, ZC, ZD zemin sınıflarına, deprem bölgelerine bağlı Etkin Yer İvmesi Katsayısı ( $A_o$ )' a ve Bina Önem Katsayısı ( $I$ ) ' na bağlı olarak dört farklı zemin sınıfı için verilmiştir. TBDY2018' de ise, yatay deprem etkisini temsilen tanımlanan yatay elastik tasarım spektrumu, her bir bina için yerel olarak hazırlanır. Buna ek olarak düşey deprem etkisi de göz önüne alınmaktadır.

##### **4.1.1 TDY2007 ile TBDY2018' e göre toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti)' nün karşılaştırılması**

Her iki yönetmeliğe göre eşdeğer deprem yükü yöntemiyle taban kesme kuvvetlerinin hesap aşamaları gösterilerek karşılaştırma yapılmıştır.

##### **4.1.1.1 Elastik spektral ivme değeri ( $S_{ae}(T)$ )' nin hesabı**

Deprem yüklerinin belirlenmesinde esas alınacak elastik spektral ivme değeri, TDY2007'de, tanımlanan 4 adet deprem bölgesinin herbirinde oluşabilecek etkinin en fazla olacağı yerler (fay'a en yakın bölgeler) için Şekil 4.1 de gösterilen spektrum katsayısı esas alınarak hesap ediliyordu. Yani tanımlanan deprem bölgelerinin herhangi birinin içerisinde bulunan fay'a en yakın olan (en fazla deprem etkinin beklendiği) yer ile en uzak olan (en az deprem etkisinin beklendiği yer) için aynı spektrum katsayısı kullanılıyor, dolayısı ile aynı deprem kuvvetine göre tasarım yapılıyor idi. TBDY2018' de ise deprem bölgesi tanımı ortadan kalkmıştır. Böylece yapının inşaa edileceği yer'e ait zemine bağlı olarak hesap edilen spektral ivme

değerleri  $S_{DS}$  ve  $S_{D1}$  kullanılarak oluşturulan spektrumlar esas alınarak elastik tasarım spektral ivmeleri  $S_{ae}(T)$  hesap edilir.

- a. TDY2007’ de, deprem yüklerinin belirlenmesinde esas alınacak, %5 sönüm oranı için tanımlanan elastik ivme spektrumunun ordinatı olan Elastik Spektral İvme  $S_{ae}(T)$ , doğal titreşim periyoduna bağlı olarak yerçekimi ivmesi [g] cinsinden aşağıdaki bağıntılar ile hesap edilir.

$$A(T) = A_o I S(T) \quad ; \quad S_{ae}(T) = A(T) g \quad (4.1)$$

Bağıntısı ile elde edilir. Burada,

$A_o$  : yer ivmesi katsayısı

$I$  : bina önem katsayısı

$S(T)$  : spektrum katsayısı ‘nı göstermektedir. Aşağıda verilen tablolar yardımı ile  $S_{ae}(T)$  değeri hesaplanır.

Yer ivmesi katsayısı ( $A_o$ ) deprem bölgesini temsilen, Tablo 4.1 de tanımlanmıştır.

**Çizelge 4.1** : Etkin Yer İvmesi Katsayısı ( $A_o$ ).

| <i>Deprem Bölgesi</i> | $A_o$ |
|-----------------------|-------|
| 1                     | 0.40  |
| 2                     | 0.30  |
| 3                     | 0.20  |
| 4                     | 0.10  |

Binaların kullanım amacına göre tanımlanan Bina Önem Katsayısı (I) Çizelge 4.2 ‘den seçilir.

**Çizelge 4.2 : Bina Kullanım Sınıfları ve Bina Önem Katsayıları.**

| <i>Binanın Kullanım Amacı<br/>veya Türü</i>  | Bina Önem<br>Katsayısı |
|--|------------------------|
| <p>1. <b><u>Deprem sonrası kullanımı gereken binalar ve tehlikeli madde içeren binalar</u></b></p> <p>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 )</p> <p>b) Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb. özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar</p> | 1.5                    |
| <p>2. <b><u>İnsanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu ve değerli eşyanın saklandığı binalar binalar</u></b></p> <p>a) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb.</p> <p>b) Müzeler</p>   | 1.4                    |
| <p>3. <b><u>İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar</u></b></p> <p>Spor tesisleri, sinema, tiyatro, ve konsersalonları, vb.</p>   | 1.2                    |
| <p>4. <b><u>Diğer binalar</u></b></p> <p>Yukarıdaki tanımlara girmeyen binalar (konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb)</p>   | 1.0                    |

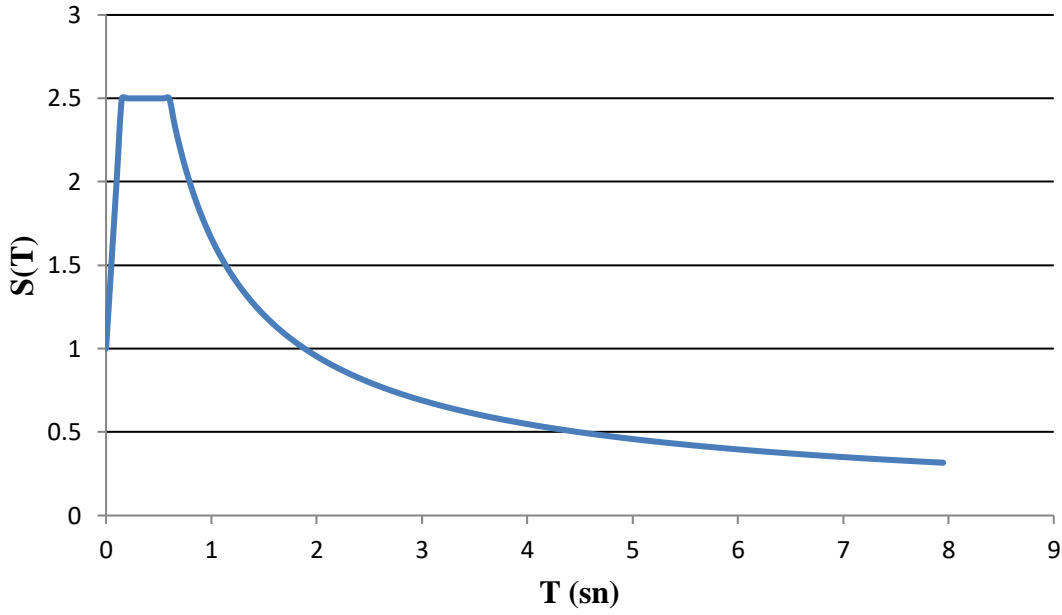
TBDY-2007' de Spektrum Katsayısı S(T),

$$S(T) = 1 + 1.5 \frac{T}{T_A} \quad 0 \leq T \leq T_A \quad (4.2)$$

$$S(T) = 2.5 \quad T_A < T \leq T_B \quad (4.3)$$

$$S(T) = 2.5 \left( \frac{T_B}{T} \right)^{0.8} \quad T_B < T \quad (4.4)$$

Bağıntıları kullanılarak, aşağıdaki grafikte elde edilir.



Şekil 4.1 : TBDY2007 Elastik Tasarım İvme Spektrumu.

b. Tbdy-2018' de ise yatay ve düşey olmak üzere iki adet elastik tasarım ivme spektrumu tanımlanmıştır.

i. Yatay tasarım ivme spektrumu : Tasarımda göz önüne alınacak yatay deprem etkinin hesabında kullanılmak üzere, yatay elastik tasarım spektral ivmesi  $S_{ae}(T)$ ,

$$S_{ae}(T) = \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_A}\right) S_{DS} \quad 0 \leq T \leq T_A \quad (4.5)$$

$$S_{ae}(T) = S_{DS} \quad T_A \leq T \leq T_B \quad (4.6)$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T} \quad T_B \leq T \leq T_L \quad (4.7)$$

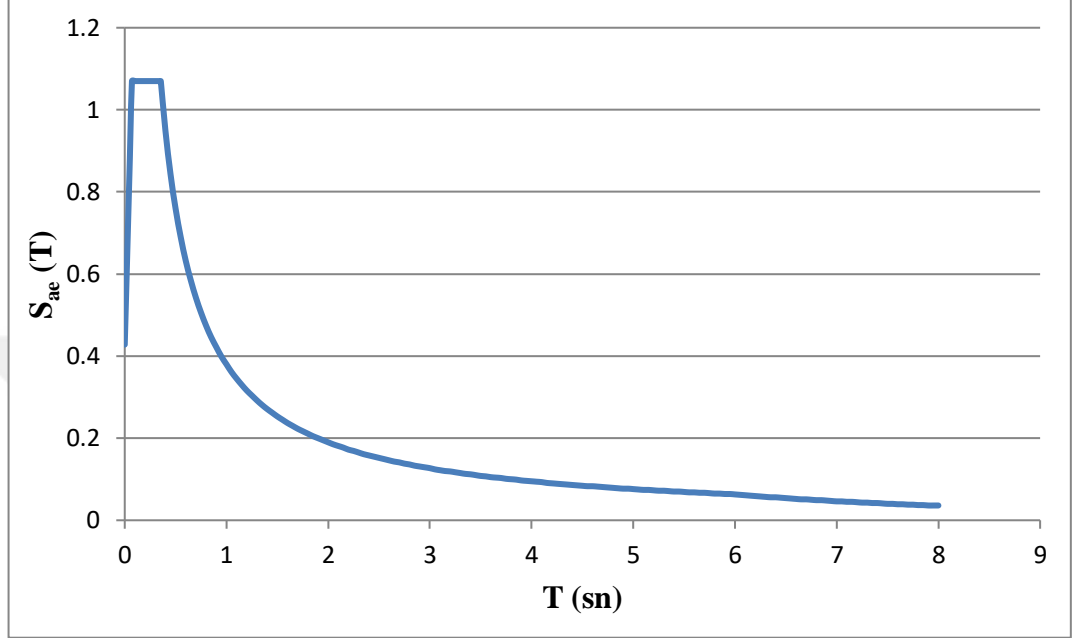
$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \quad T_L \leq T \quad (4.8)$$

Bağıntıları ile hesaplanır. Burada  $S_{DS}$  ve  $S_{D1}$  tasarım spektral ivme katsayılarını göstermektedir. Yatay tasarım spektrumu köşe periyotları  $T_A$  ve  $T_B$  denklem 4.9 ile elde belirlenir.



$$T_A = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad ; \quad T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (4.9)$$

Yatay Elastik Tasarım Spektrumu aşağıda verilmiştir.



**Şekil 4.2 :** TBDY2018 Yatay Elastik Tasarım Spektrumu.

- ii. Düşey tasarı ivme spektrumun yönetmeliğe yeni girmiştir. Düşey elastik tasarım spektral ivmeleri  $S_{aeD}(T)$ , yatay deprem yer hareketi için tanımlanan kısa periyot spektral ivme katsayısına ve doğal titreşim periyoduna bağlı olarak aşağıdaki denklemler ile hesaplanır.

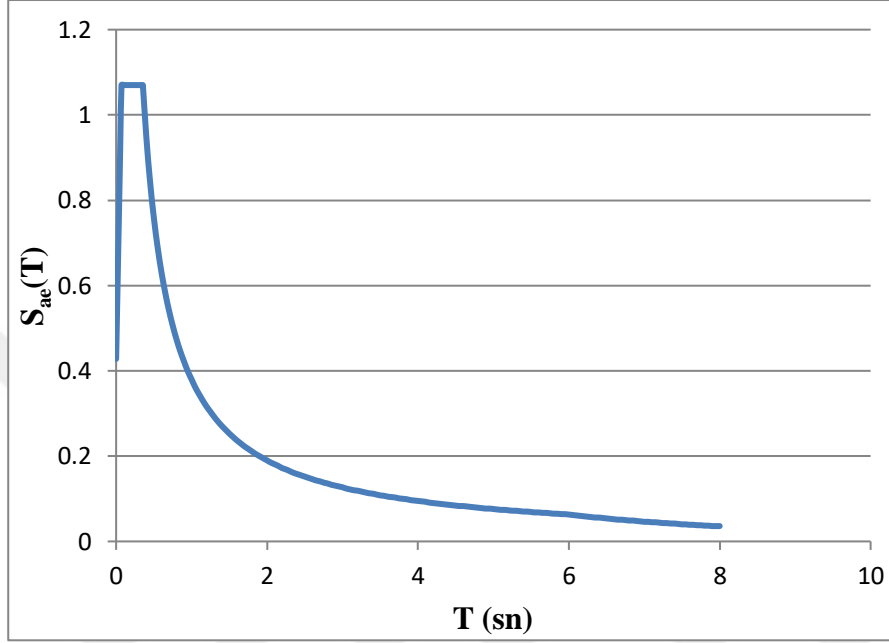
$$S_{aeD}(T) = \left(0.32 + 0.48 \frac{T}{T_{AD}}\right) S_{DS} \quad 0 \leq T \leq T_{AD} \quad (4.10)$$

$$S_{aeD}(T) = 0.8 S_{DS} \quad T_{AD} \leq T \leq T_{BD} \quad (4.11)$$

$$S_{aeD}(T) = 0.8 S_{DS} \frac{T_{BD}}{T} \quad T_{BD} \leq T \leq T_{LD} \quad (4.12)$$

Burada  $T_{AD}$  ve  $T_{BD}$  düşey spektrum köşe periyotları olmak üzere yatay tasarım ivme spektrumunun köşe periyotlarına bağlı olarak denklem 4.13 ile hesaplanır.

$$T_{AD} = \frac{T_A}{3} \quad ; \quad T_{BD} = \frac{T_B}{3} \quad ; \quad T_{LD} = \frac{T_L}{2} \quad (4.13)$$



Şekil 4.3 : Düşey Elastik Tasarım İvme Spektrumu.

#### 4.1.1.2 Deprem yükü azaltma katsayısı

TDY2007' de deprem yükü azaltma katsayısı aşağıdaki bağıntılar kullanılarak elde edilir.

$$R_a(T) = 1.5 + (R - 1.5) \frac{T}{T_A} \quad 0 \leq T \leq T_A \quad (4.13)$$

$$R_a(T) = R \quad T_A < T \quad (4.14)$$

Burada R taşıyıcı sistem davranış katsayısıdır. TBDY2018'de deprem yükü azaltma katsayısı, taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R) bina önem katsayısı (I)' ya bağlı olarak aşağıdaki bağıntılar ile hesap edilir.

$$R_a(T) = \frac{R}{I} \quad T > T_B \quad (4.15)$$

$$R_a(T) = D + \left( \frac{R}{I} - D \right) \frac{T}{T_B} \quad T \leq T_B \quad (4.16)$$

#### 4.1.1.3 Toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti)' nin hesabı

TDY2007' de toplam eşdeğer deprem yükü şu şekilde bulunur,

$$V_t = \frac{WA(T_1)}{R_a(T_1)} \geq 0.10A_oIW \quad (4.17)$$

Binanın Deprem hesabında kullanılacak ağırlığı W, kat ağırlığı  $w_i$

$$w_i = g_i + n q_i \quad (4.18)$$

Olmak üzere,

$$W = \sum_{i=1}^N w_i \quad (4.19)$$

Bağıntısı ile hesaplanır.

TBDY2018' de ise toplam eşdeğer deprem yükü denklem 4.20 ile aşağıdaki gibi hesap edilir.

$$V_{tE}^{(X)} = m_t S_{aR} (T_p^{(X)}) \geq 0.04 m_t I S_{DS} g \quad (4.20)$$

Burada  $S_{aR} (T_p^{(X)})$ , göz önüne alınan ( X ) deprem doğrultusunda,

$$T_p^{(X)} = 2\pi \left( \frac{\sum_{i=1}^N m_i d_{fi}^{(X)2}}{\sum_{i=1}^N F_{fi}^{(X)} d_{fi}^{(X)}} \right)^{1/2} \quad (4.21)$$

Denklem 4.21' de yer alan ve göz önüne alınan (X) deprem doğrultusunda binanın hakim doğal titreşim periyodunu ifade eden  $T_p^{(X)}$ , daha kesin bir hesap yapılmadıkça bu şekilde hesaplanacaktır.



## **5. TBDY2018 KAPSAMINDA DEPREM KAYITLARININ SEÇİLMESİ İLE BU TEZ KAPSAMINDA GELİŞTİRİLEN ÖLÇEKLEME VE OPENSEES İLE ÖN VE ARD İŞLEME YAPAN PROGRAM**

### **5.1 Giriş**

Günümüzde deney olanaklarının artmasıyla birlikte malzemenin elastik ötesi davranışı detaylı bir şekilde incelenebilmektedir. Bunun sonucunda daha karmaşık yapı sistemlerinin tasarlandığı ve yüksek yapı stokunun arttığı görülmektedir.

Yapılara etkiyen sismik yüklerin hesabında geleneksel olarak kullanılan eş değer deprem yükü yöntemi ve mod birleştirme yöntemi yerine malzemenin elastik ötesi davranışını doğru bir şekilde göz önüne alan ve deprem sırasındaki yapı davranışını daha gerçekçi olarak belirleyen zaman tanım alanında analiz yöntemlerinin kullanılması daha doğru ve ekonomik sonuçlar vermektedir.

Bu yöntemde, analizlerde kullanılacak uygun deprem ivme kayıtlarının seçilmesi, bu kayıtların yönetmeliğe uygun biçimlerde ölçeklendirilmesi, analiz süresinin bir hayli uzun olması ve hesap parametrelerinin doğru olarak seçilmesinin büyük önem arz etmesi gibi olumsuzluklardan dolayı yüksek ve özel binalar haricinde çok fazla tercih edilmese de TBDY2018 kapsamında şekil değiştirmeye yönelik tasarım kriterinin önemine yoğun bir şekilde vurgu yapılarak kullanım alanı genişletilmesinden dolayı zaman tanım alanında analizler büyük önem kazanmıştır.

zaman tanım alanında doğrusal veya doğrusal olmayan hesap yapabilmek için, deprem kayıtlarının yönetmeliğe uygun olarak seçilmesi ve ölçeklendirilmesi gerekmektedir.

### **5.2 Deprem İvme Kayıtlarının Seçilmesi**

TBDY2018 kapsamında ivme kayıtlarının elde edilebileceği 2 farklı kaynaktan bahsetmek mümkündür:

- 1) Zaman tanım alanında kaynak dalga yayılımı ve yerel zemin özellikleri benzeştirilmiş (simüle edilmiş) kayıtlar.
- 2) Geçmiş depremlerden elde edilen kayıtlar

Yeterli sayıda ve nitelikte deprem kaydı seçimi yapılabiliyorsa onlar kullanılacak, yapılamıyorsa zaman tanım alanında benzeştirilmiş yer hareketi kayıtlarından yararlanılmalıdır.

TBDY2018 yürürlüğe girmesi ile birlikte, bir veya iki boyutlu hesap için seçilecek deprem kayıtlarının ve üç boyutlu hesap için seçilecek deprem kaydı takımlarının sayısı en az on bir olması istenmektedir. Bu tez kapsamında geçmiş depremlerden elde edilen kayıtlardan yararlanılmış ve hesap kolaylığı bakımında tek bir depremin her iki yatay doğrultudaki kayıtları kullanılmıştır.

### **5.2.1 Benzeştirilmiş deprem kayıtları**

Bu tür kayıtlar, yayılım ortamı ve zemin özelliklerini dikkate alan sismolojik kaynak modellerden elde edilir. Buradaki en büyük zorluk uygun kaynak yayılım ortamı ve zemin özelliklerinin tanımlanmasıdır. Kaynak ve dalga yayılımı özellikleri fiziksel olarak benzeştirilmiş (simüle edilmiş) kayıtları elde etmekte kullanılan analizlerde inceleme yapılacak alan için senaryo depreminin büyüklük ve mesafeye bağlı olarak tanımlanmış olması gerekmektedir.

### **5.2.2 Geçmiş depremlerden elde edilen kayıtlar**

Gerçek deprem kayıtları, yer hareketinin genliği, süresi, faz özellikleri, frekans içeriği gibi başlıca özellikleri hakkında sağlıklı bilgiler içerir. Ayrıca kayıtları etkileyen kaynak, yayılım ortamı ve zemin gibi bütün faktörleri de yansıtarak arazinin sismolojik parametrelerini de göz önünde bulunduran gerçek deprem kayıtlarının kullanılması diğer yöntemlere göre gerçeğe çok daha yakın sonuçlar elde etmemizi sağlar.

Ayrıca, mevcut olan kuvvetli yer hareketi bankalarındaki birikimlerin gün geçtikçe zenginleşmesi ve ilerleyen teknoloji ile birlikte bu verilere ulaşmanın çok kolay hale gelmesi geçmiş depremlerden elde edilen ivmelerin kullanımını artırmaktadır. Bundan dolayı bu tez çalışmasında bu kaynaklardan yararlanılmıştır.

Ancak bu kayıtların kullanılmadan önce tasarım spektrumlarına göre ölçeklenmeleri gerekmektedir. Ayrıca geçmiş depremlerden elde edilen her ivme kaydı tasarım yapılacak her bölge için uygun olmayabilir. Bunun için bu tez kapsamında altı yüz'e yakın farklı kayıt havuzda toplanmış ve geliştirilen program sayesinde belirlenen tasarım spektrumuna en yakın kayıtları baştan sona doğru sıralanması sağlanmıştır.

### **5.3 Zaman Tanım Alanında Yapılacak Deprem Hesaplarında Kullanılacak Gerçek Deprem Kayıtlarının Seçilmesi**

Gerçek deprem kayıtları, yer hareketinin belli özelliklerini temsil etmesi için genellikle tasarım ivme spektrumuna veya büyüklük, mesafe ve zemin sınıfı gibi minimum parametreleri verilen deprem senaryosuna dayandırılarak seçilir. Sismik tasarım yönetmeliklerinde, uygun gerçek kayıtların nasıl seçileceği ile ilgili verilen yönlendirmeler çoğunlukla sismolojik parametreler yerine tepki spektrumuna uygunluğa odaklanır. Böylece kayıtlar en büyük yer ivmesi gibi kuvvetli yer hareketi parametrelerine göre bir tasarım tepki spektrumuna uyacak şekilde seçilir. Belirli bir bölge için seçilecek kayıtlar hem yapılan Sismik Tehlike Analizi sonucunda ortaya çıkan tepki spektrumuyla uyumalı hem de jeolojik ve sismolojik şartları sağlamalıdır.

Depremin büyüklüğü, yer hareketinin frekans içeriğini ve süresini güçlü bir şekilde etkilediği için uygun büyüklüğe sahip kayıtların seçilmesi oldukça önemlidir. Bu nedenle bu tez kapsamında yazılan program sayesinde en yakın kayıtlar seçilmekte ve sıralanmaktadır.

Diğer bir etken olan zemin koşullarının ise kuvvetli yer hareketinin özellikleri üzerinde çok önemli etkileri vardır. Yer hareketleri yumuşak zeminlerde büyütülmesine rağmen içeriğindeki yüksek frekanslı hareketler azalır. Büyütmenin yer hareketi üzerindeki etkileri, genellikle kaydın ivme spektrumunun orta ve yüksek periyotlu bölgelerinde fark edilebilir.

### **5.4 Yer Hareketini Ölçekleme Yöntemleri**

Daha önceki depremlerde kaydedilmiş, gerçek deprem kayıtlarının tasarım ivme spektrumuna uygun olacak biçimde ölçeklenmesinde birkaç yöntem kullanılabilir. Bu yöntemlerin başlıcalarını, zaman tanım alanındaki yöntemler ve frekans tanım alanındaki yöntemler olmak üzere iki grupta toplayabiliriz.

Bu tez kapsamında TBDY2018'e göre TBTH'ı internet sitesi kullanılarak, tasarım yapılacak binanın koordinatları ve deprem düzeyi gibi değerler girilerek tasarım spektrumu elde edilmiş ve zaman tanım alanında ölçekleme metodu kullanılarak geliştirilen program ile ölçekleme işlemleri yapılmıştır.

### 5.4.1 Yer hareketinin zaman tanım alanında ölçeklenmesi

Bu yöntemde, yer hareketi kaydı aynı miktarda yukarı veya aşağı yönde ölçeklenerek, istenilen periyot aralığında ( $0.2T_p$  ile  $1.5T_p$ ) hedef tasarım ivme spektrumuna en uygun eşleştirme yapılır. Bu işlem kaydın frekans içeriğini değiştirmedikinden dolayı diğer yöntemlere göre daha üstündür.

### 5.4.2 Tek bir deprem kaydı için genel yöntem

Bu yöntem, ölçeklenmiş hareketin davranış spektrumu ile tasarım ivme spektrumu arasındaki farkın küçültülmesi esasına dayanır. Ölçeklenmiş spektrum ve hedef spektrumun genlikleri arasındaki farkın karesinin istenilen periyot aralığında entegrali alınıp “Fark” olarak adlandırılır[33].

$$|Fark| = \int_{T_A}^{T_B} [\alpha S_{\alpha}^{gercek}(T) - S_{\alpha}^{hedef}(T)]^2 dT \quad (5.1)$$

Fark miktarının küçülmesi için “Fark” fonksiyonunun doğrusal ölçekleme katsayısına göre türevi sıfır olmalıdır:

$$\text{Min}|fark| \Rightarrow \frac{d|Fark|}{d\alpha} = 0 \quad (5.2)$$

Denklem 6,1’deki “Fark” fonksiyonunun  $d\alpha$ ’ya göre türevi alınıp sıfıra eşitlenerek denklem 6,2 elde edilir. Denklem 6,1’deki entegraller ayrık forma çevrilerek  $T_A$ ’dan  $\Delta T$  artımlarla  $T_B$ ’ye kadar devam eden toplam haline dönüştürülür.  $\Delta T$  periyot adımları arasındaki farktır. Sonuç olarak aşağıdaki denklem elde edilir.

$$\alpha = \frac{\sum_{T=T_A}^{T_B} (S_{\alpha}^{gercek}(T) S_{\alpha}^{hedef}(T))}{\sum_{T=T_A}^{T_B} (S_{\alpha}^{gercek}(T))^2} \quad (5.3)$$

### 5.4.3 Birden çok deprem kaydı için genel yöntem

Birden fazla deprem kaydı kullanarak ölçekleme yapılmak istenmesi durumunda uygulanabilecek yöntemler aşağıdaki gibi özetlenebilir:

a) Kullanılacak tüm kayıtlar için tek bir ölçekleme katsayısı kullanılarak (N) adet deprem kaydının ortalaması, tasarım spektrumuna eşleştirilmeye çalışılır.



b) Yukarıda özetlenen ölçekleme yöntemi, kullanılacak deprem kayıtlarının her biri için tek tek uygulanır ve ölçeklenmiş kayıtların ortalamaları alınır.

c) (N) adet kaydın spektrumunun ortalaması tasarım spektrumuna eşleştirilmeye çalışılır. (N) defa türev alınarak “Fark” fonksiyonu minimize edilir. Elde edilen (N) adet doğrusal cebirsel denklem çözülerek (N) adet optimum ölçekleme katsayısı bulunur. Bu yöntemde kayıtlar en optimum şekilde ölçeklenmiş olmasına rağmen çıkan ölçekleme katsayıları çok küçük veya çok büyük hatta negatif değerler olabilir.

#### **5.4.4 Yer hareketinin frekans tanım alanında ölçeklenmesi**

Bu yöntemde de, deprem esnasında kaydedilmiş ivme kayıtlarından tasarım ivme spektrumuna uyan kayıtlar türetilir. Frekans tanım alanında yapılan ölçekleme esnasında deprem hareketi fiziksel özelliklerini yitirmediği için klasik yapay deprem kaydı üretme metotları ile karşılaştırıldığında daha etkili bir yöntemdir. Frekans tanım alanında yapılan ölçekleme yöntemi kullanılarak tasarım spektrumu ile bire bir eşleşen kayıtlar elde etmek mümkündür. Fakat, bu kayıtlar yapıların doğrusal olmayan deprem hesaplamalarında kullanılırken yerdeğiştirmeye hassas bölgede eşit yerdeğiştirme kuralını sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmelidir .

### **5.5 Gerçek Deprem Kayıtlarının TBDY2018 Tasarım Spektrumuna Uygun Olarak Seçilmesi Ve Ölçeklenmesi**

#### **5.5.1 TBDY2018 tasarım ivme spektrumu**

Tasarım spektrumları, belirli bir deprem yer hareketi düzeyi için sönüm oranı %5 alınarak harita spektral ivme katsayılarına ( $S_1$  ve  $S_s$ ) ve yönetmelikte Çizelge halinde verilen yerel zemin etki katsayılarına ( $F_s$  ve  $F_1$ ) bağlı olarak Türkiye Deprem Tehlike Haritalarından elde edilecektir.

##### **5.5.1.1 Deprem yer hareketi düzeyleri**

DD-1(Deprem yer hareketi düzeyi-1): Spektral büyüklüklerin 50 yıllık süre içinde aşılma olasılığı %2 (tekrarlanma periyodu 2475 yıl) olan çok seyrek deprem yer hareketidir. En büyük deprem olarak nitelendirilir.

DD-2(Deprem yer hareketi düzeyi-2): Spektral büyüklüklerin 50 yıllık süre içinde aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan seyrek deprem yer hareketidir.

DD-3(Deprem yer hareketi düzeyi-3): Spektral büyüklüklerin 50 yıllık süre içinde aşılma olasılığı %50 (tekrarlanma periyodu 72 yıl) olan sık deprem yer hareketidir.

DD-4(Deprem yer hareketi düzeyi-3): Spektral büyüklüklerin 50 yıllık süre içinde aşılma olasılığı %68 (tekrarlanma periyodu 43 yıl) olan çok sık deprem yer hareketidir. Bu deprem yer hareketi servis deprem yer hareketi olarak da adlandırılır ve özellikle yüksek yapıların performansları değerlendirilirken kullanılır.

### **5.5.1.2 Spektral ivme katsayıları**

Boyutsuz harita spektral ivme katsayıları, dört farklı yer hareketi düzeyi için Türkiye Deprem Tehlike Haritaları kapsamında tanımlanmıştır:

A) Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı  $S_s$

b) 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı  $S_1$

Birbirine dik iki yatay doğrultudaki deprem etkilerinin geometrik ortalamasına karşı gelen harita spektral ivme katsayıları, belirli bir yer hareketi düzeyi için referans zemin koşulu  $[(V_s)_{30}$  (üst 30 metredeki kayma dalgası hızı)=760 m/s] esas alınarak %5 sönüm oranı için harita spektral ivmelerinin yerçekimi ivmesine bölünmesi ile elde edilen boyutsuz katsayılardır.

Harita spektral ivme katsayıları aşağıdaki katsayılarla çarpılarak tasarım spektral ivme katsayıları elde edilir.

$$S_{ds}=S_s F_s$$

$$S_{d1}=S_1 F_1$$

Burada  $F_s$  ve  $F_1$  yerel zemin etki katsayılarını göstermektedir. Yatay ve düşey elastik tasarım spektrumları bulunurken bu katsayılardan yararlanır.

### **5.5.1.3 Yerel zemin etki katsayıları**

Yerel zemin etki katsayıları, yerel zemin sınıflarına bağlı olarak Çizelgeler halinde verilmiştir.

**Çizelge 5.1 : Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayıları.**

| Yerel Zemin Sınıfı | Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı |             |              |             |              |                |
|--------------------|--|-------------|--------------|-------------|--------------|----------------|
|                    | $S_S \leq 0.25$                                      | $S_S = 0.5$ | $S_S = 0.75$ | $S_S = 1.0$ | $S_S = 1.25$ | $S_S \geq 1.5$ |
| ZA                 | 0.8  | 0.8         | 0.8          | 0.8         | 0.8          | 0.8            |
| ZB                 | 0.9  | 0.9         | 0.9          | 0.9         | 0.9          | 0.9            |
| ZC                 | 1.3  | 1.3         | 1.2          | 1.2         | 1.2          | 1.2            |
| ZD                 | 1.6  | 1.4         | 1.2          | 1.1         | 1            | 1              |
| ZE                 | 2.4  | 1.7         | 1.3          | 1.1         | 0.9          | 0.8            |
| ZF                 | Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır.     |             |              |             |              |                |

**Çizelge 5.2 : 1.0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayıları.**

| Yerel Zemin Sınıfı | 1.0 saniye periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı |     |     |     |     |     |
|--------------------|--|-----|-----|-----|-----|-----|
|                    |  |     |     |     |     |     |
| ZA                 | 0.8  | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 |
| ZB                 | 0.9  | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 |
| ZC                 | 1.3  | 1.3 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 |
| ZD                 | 1.6  | 1.4 | 1.2 | 1.1 | 1   | 1   |
| ZE                 | 2.4  | 1.7 | 1.3 | 1.1 | 0.9 | 0.8 |
| ZF                 | Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır.   |     |     |     |     |     |

### 5.5.2 TBDY 2018'e göre deprem kayıtlarının seçilmesi

Binanın bulunduğu bölgede tasarıma esas deprem yer hareketi düzeyi ile uyumlu geçmiş deprem kayıtlarının mevcut olması durumunda öncelikle bu kayıtlar kullanılacaktır. Yeterli sayı veya nitelikte deprem kaydı seçiminin yapılamadığı durumlarda, zaman tanım alanında benzeştirilmiş(simüle edilmiş) yer hareketi kayıtlarından yararlanılabilir.

Bir veya iki boyutlu hesap için seçilecek deprem kayıtlarının ve üç boyutlu hesap için seçilecek deprem kaydı takımlarının sayısı en az on bir olacaktır. Aynı depremden elde edilmiş kayıt veya kayıt takımlarının en fazla üç tanesi seçilebilir.

### 5.5.3 TBDY 2018'e göre deprem kayıtlarının ölçeklendirilmesi

#### 5.5.3.1 Deprem kayıtlarının basit ölçeklendirme yöntemi ile ölçeklendirilmesi

Zemin davranış analizleri gerektirmeyen durumlarda, zaman tanım alanında hesapta kullanılacak deprem yer hareketleri, seçilen deprem kayıtlarından basit ölçeklendirme yöntemi ile şu şekilde elde edilir:

- a) Bir veya iki boyutlu hesapta  $0.2T_p$  ile  $1.5T_p$  periyotları arasında seçilen tüm kayıtlara ait genlikler tasarım spektrumunun aynı periyot aralığındaki genliklerinde daha küçük olmayacak şekilde yer hareketinin genlikleri ölçeklendirilecektir.

### 5.5.3.2 Deprem kayıtlarının spektral uyum sağlayacak şekilde dönüştürülmesi

## 5.6 TBDY2018 Kapsamında Elastik Tasarım Spektrumlarının Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnternet Web Uygulaması İle Elde Edilmesi

Elastik tasarım ivme spektrumları, yapılaşacak araziye ait koordinatlar, deprem düzeyi ve yerel zemin sınıfı girilerek <https://tdth.afad.gov.tr/> adresinde bulunan Deprem Tehlike Haritalarından direkt olarak elde edilir[4].

### 5.6.1 Örnek bir yapıya ait bilgilerin girilmesi

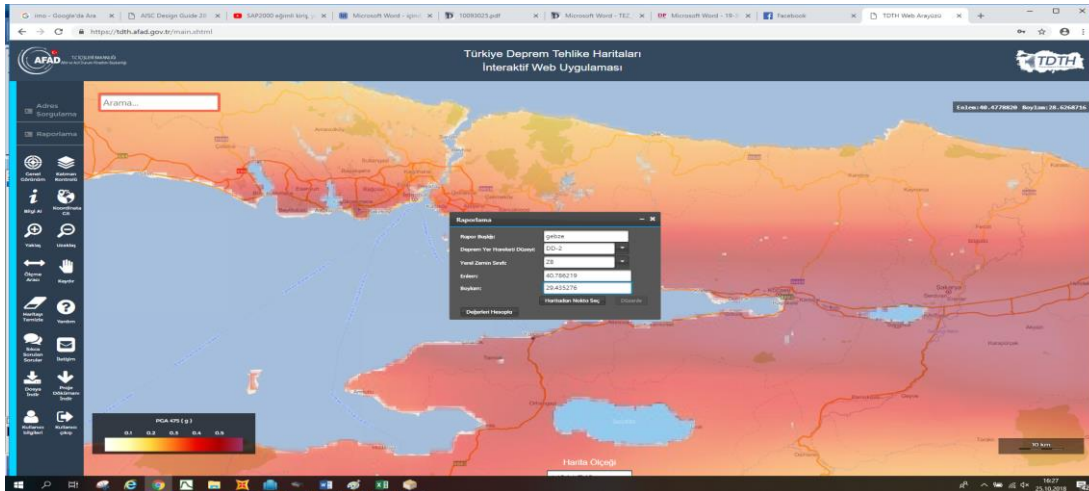
Yapının inşa edileceği yere ait bilgiler ve deprem yer hareketi düzeyi aşağıdaki gibidir:

Yapının inşa edileceği yer: Kocaeli ili Gebze ilçesi,

Deprem yer hareketi düzeyi: DD-2 (Tasarım depremi)

Enlem: 40.786219, Boylam: 29.435276

Zemin Sınıfı: ZB



Şekil 5.1 : TDTH' na binaya ait bilgilerin girilmesi.

## 5.6.2 Yapıya ait yatay ve düşey spektrumların program çıktısı



### Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması

#### Kullanıcı Girdileri

[Detaylı Raporu Göster](#) [Yazdır](#)

|                            |            |  |
|----------------------------|------------|--|
| Rapor Başlığı              | gebze      |  |
| Deprem Yer Hareketi Düzeyi | DD-2       | 50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi |
| Yerel Zemin Sınıfı         | ZB         | Az ayrılmış, orta sağlam kayalar   |
| Enlem                      | 40.786219° |  |
| Boylam                     | 29.435276° |  |



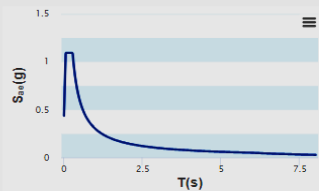
Şekil 5.2 : Yapıya ait zemin ve deprem parametreleri.

#### Çıktılar

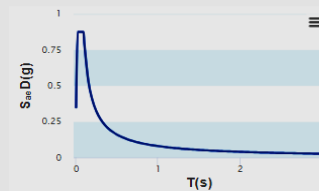
|               |                |                  |                  |
|---------------|----------------|------------------|------------------|
| $S_S = 1.364$ | $S_1 = 0.373$  | $S_{DS} = 1.091$ | $S_{D1} = 0.298$ |
| $PGA = 0.560$ | $PGV = 41.977$ |                  |                  |

- $S_S$  : Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
- $S_1$  : 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
- $S_{DS}$  : Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
- $S_{D1}$  : 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
- PGA : En büyük yer ivmesi (g)
- PGV : En büyük yer hızı (cm/sn)

Yatay Elastik Tasarım Spektrumu



Düşey Elastik Tasarım Spektrumu



Şekil 5.3 : Deprem kayıtlarının ölçeklenmesi amacı ile geliştirilen programın tanıtılması.

Bu program havuzunda çok sayıda deprem kaydı bulunur. İlk önce havuzda bulunan bütün ivme kayıtları Türkiye deprem tehlikeleri haritaları kullanılarak elde edilen tasarım ivme spektrumuna göre yönetmeliğe uygun şekilde ölçeklendirilir ve ölçekli ivme kayıtları en yakından en uzağa doğru sıralanır.

## 5.7 Ölçekleme Programı

Bu tez kapsamında TBDY2018' e göre zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerde kullanılacak deprem kayıtlarının ölçeklemesini yapan bir program geliştirilmiştir.

### 5.7.1 Programa veri girişi

İlk olarak  $S_{ds}$ ,  $S_1$  değerleri programa girilerek tasarım ivme spektrumu programa yüklenmiş olur. Daha sonra  $0.2T_p$  ve  $1.5T_p$  değerleri girilerek bu periyotlar arasında bulunan genliklerin tasarım ivme spektrumunun aynı periyotlardaki genliklerine oranının 1,3 katından az olmayacak şekilde ölçekleme yapılır.

Özellikleri ve konumu 6.6.2'de verilen örnek yapıya ait spektral ivme katsayıları Şekil 5.3'de görüldüğü gibi  $S_s=1.364$  ve  $S_1=0.373$  olarak elde edilmiştir. Bu değerler kullanılıp, zemin sınıfı ZB alınarak Çizelge 6.1 ve 6.2'den  $F_s = 0.9$  ve  $F_1=0.8$  olarak bulunur. Tasarım spektral ivme katsayıları ise:

$$S_{DS} = S_s F_s = 1.364 \times 0,9 = 1.228 \quad (5.4)$$

$$S_{D1} = S_1 F_1 = 0.373 \times 0,8 = 0.298 \quad (5.5)$$

olarak elde edilir. Binamızın birinci titreşim periyodu( $T_p$ )=3,7 saniye olarak alınır,  $0.2T_p = 0.57s$ . ve  $1.5 T_p = 4.27s$ . olarak bulunur. Bu örnekte spektrumun tepe noktasındaki etkilerin göz önünde bulundurulması için aralık genişletilmiş, 0,2-4.27 saniye aralığındaki periyotlar ele alınarak ölçeklendirme işlemi yapılmıştır.

Accelerations

**Selected Input function**

| Name | Dir | PGA(g) |
|------|-----|--------|
|------|-----|--------|

**Defined Spectrum**

Type: TDY2018

Multiplier: 1.0

Sds: 1.228

Sd1: 0.298

Generate Spectrum

**Match Process**

T0: 0.2

T1: 4.27

Enlarger: 1.3

Not: T0 ve T1 değerleri, 0.2Tp ve 1.5Tp olarak seçilebilir

Matched

Keep Original form

Sort after matching

**Files**

|        |           |   |
|--------|-----------|---|
| Load   | Load Path | <input checked="" type="checkbox"/> Filter Dir. |
| D.Base | Sort      | Save...   |
| Clear  | Select    | Select All.                                     |

Şekil 5.4 : Programa veri giriş ekranı.

### 5.7.2 Program database

Programın database kısmında Afad ve Peer veri merkezlerinden alınan çok sayıda kayıt mevcuttur. Ölçekleme yapılırken tasarım ivme spektrumuna en uygun kayıtlar baştan sona doğru sıralanır. Aksi takdirde, tasarım spektrumuna uygun olmayan kayıtların kullanımı sonucunda gerçek değerlerden çok uzaklaşılır.

### 5.7.3 Program menüleri ve çalışma prensibi

Program işleyişi aşağıda verildiği gibidir:

- İlk olarak, tek bir deprem kaydı ölçeklenecek ise “load” sekmesi tıklanarak ölçeklenmesi istenilen kayıt programa yüklenir. Eğer birden fazla deprem kaydının ölçeklenmesi isteniliyorsa “database” sekmesine tıklanarak hafızada yüklü olan bütün kayıtların ölçeklenmesi sağlanır.
- Veri girişi tamamlandıktan sonra “Matched” sekmesi tıklanarak ölçekleme işlemine başlanır.
- Programı çalıştırmadan önce “sort after matching” sekmesi aktif hale getirilerek, ölçekleme işlemi tamamlandıktan sonra tasarım ivme spektrumuna en uygun kayıttan başlanıp ölçeklendirilmiş ivme kayıtlarının, hata oranları ve ölçeklenme katsayıları ile birlikte yukarıdan aşağıya doğru sıralanması sağlanır.
- Program arka planda E-W ve N-S doğrultuları ivme spektrumlarının kareleri toplamının karekökünü değerinin 0.2 – 4.27 Saniye aralığındaki bütün periyotlarda 1.3 kat artırılmış tasarım spektrumu genliklerinin herhangi birinden küçük olmayacak şekilde doğrultuları ivme spektrumlarını, her iki doğrultudaki ölçekleme katsayısı aynı olmak koşulu ile ölçeklendirir.

|                                     |                        |  |
|-------------------------------------|------------------------|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> | <b>RSN1626_SITKA</b>   | $\alpha: 6.6 > 0.88, \text{err}: 1.49 > 0.23$<br>$\alpha: 6.56 > 0.88, \text{err}: 1.48 > 0.28$  |
| <input checked="" type="checkbox"/> | <b>RSN1162_KOCAELI</b> | $\alpha: 4.32 > 1.33, \text{err}: 1.23 > 0.34$<br>$\alpha: 2.66 > 0.67, \text{err}: 1.24 > 0.37$ |
| <input checked="" type="checkbox"/> | <b>RSN143_TABAS</b>    | $\alpha: 0.56 > 0.93, \text{err}: 1.49 > 0.39$<br>$\alpha: 0.45 > 0.85, \text{err}: 1.86 > 0.37$ |
| <input checked="" type="checkbox"/> | <b>RSN1633_MANJIL</b>  | $\alpha: 1.11 > 0.98, \text{err}: 0.3 > 0.3$<br>$\alpha: 1.24 > 1.49, \text{err}: 0.38 > 0.41$   |
| <input checked="" type="checkbox"/> | <b>001248_A</b>        | $\alpha: 4.83 > 1.29, \text{err}: 1.28 > 0.42$<br>$\alpha: 3.1 > 0.72, \text{err}: 1.29 > 0.4$   |
| <input checked="" type="checkbox"/> | <b>004676_A</b>        | $\alpha: 5.48 > 0.86, \text{err}: 1.44 > 0.42$<br>$\alpha: 3.95 > 0.98, \text{err}: 1.3 > 0.3$   |
| <input checked="" type="checkbox"/> | <b>008010_A</b>        | $\alpha: 9.41 > 0.84, \text{err}: 1.57 > 0.29$<br>$\alpha: 9.25 > 0.58, \text{err}: 1.6 > 0.44$  |
| <input checked="" type="checkbox"/> | <b>RSN1148_KOCAELI</b> | $\alpha: 4.7 > 1.26, \text{err}: 1.26 > 0.44$<br>$\alpha: 3.09 > 0.73, \text{err}: 1.28 > 0.4$   |
| <input checked="" type="checkbox"/> | <b>004675_A</b>        | $\alpha: 3.58 > 0.78, \text{err}: 1.27 > 0.45$<br>$\alpha: 3.44 > 0.88, \text{err}: 1.24 > 0.31$ |
| <input checked="" type="checkbox"/> | <b>RSN1170_KOCAELI</b> | $\alpha: 12.07 > 1.39, \text{err}: 1.55 > 0.46$  |

Şekil 5.5 : Tasarım ivme spektrumuna uygun kayıtların sıralanması.



Bu tez kapsamında en uygun bir adet deprem kaydı(Kocaeli depremi)'nin Kuzey – Güney, Doğu – Batı yönleri için kaydedilmiş deprem ivmeleri ile işlemlere devam edilmiştir.

- Seçilen deprem kaydının iki yatay bileşenine ait spektrumlar ayrı ayrı elde edilir. Bu spektrumların kareleri toplamının karekökü alınarak bileşke spektrum elde edilerek belirlenen periyot aralığındaki genliklerinin tasarım ivme spektrumunun aynı periyotlar arasındaki genliklerinin en az 1.3 katının olup olmadığı kontrolü yapılır.

E-W ve N-S doğrultuları ölçeklenmemiş spektrumlarının kareleri toplamının karekökünün tasarım ivme spektrumuna en yakın olduğu periyot  $T=2.61$  saniyedir. Bu periyot genliğinde karelerin toplamının karekökü spektrumu 1.3 kat arttırılmış tasarım spektrumuna eşit olduğundaki ölçekleme katsayısı;

$T=2.61$  Saniye'de, E-W ölçeklenmemiş spektrumu genliği 0.0271, ölçeklenmiş spektrum genliği 0.117 ve ölçekleme katsayısı( $\alpha$ )  $= \frac{0.117}{0.0271} = 4.32$  olarak bulunur.

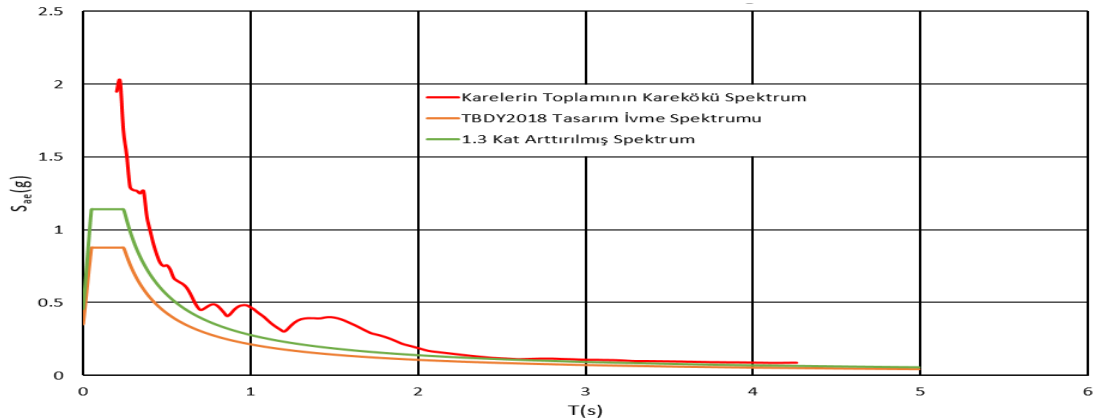
Benzer şekilde aynı periyotta N-S ölçeklenmemiş spektrum genliği 0.0189,

Ölçeklenmemiş spektrum genliği 0.0816 ve ölçekleme katsayısı( $\alpha$ )  $= \frac{0.0816}{0.0189} = 4.32$

olarak bulunur. Tbdy2018'de istenildiği gibi ölçekleme katsayısının her iki yatay doğrultuda aynı alındığı ( $\alpha = 4.32$ ) görülmüştür.

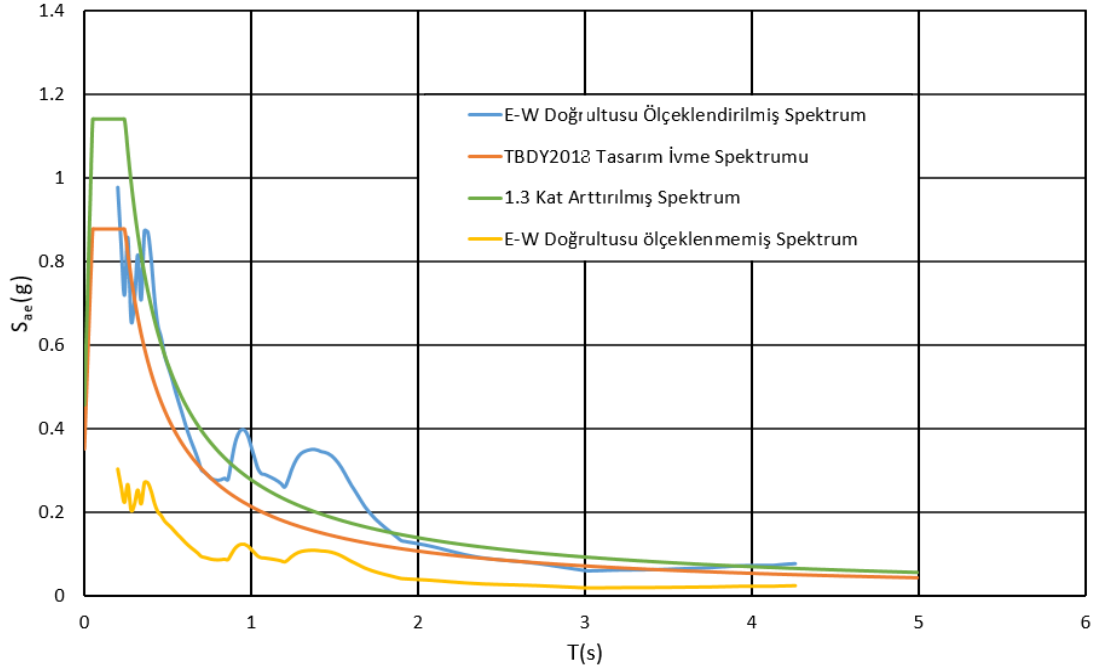
✓ RSN1162\_KOCAELI  
 $\alpha: 4.32 > 1.33$ , err: 1.23 > 0.34  
 $\alpha: 2.66 > 0.67$ , err: 1.24 > 0.37

Şekil 5.6 : Ölçekleme katsayısı program çıktısı.

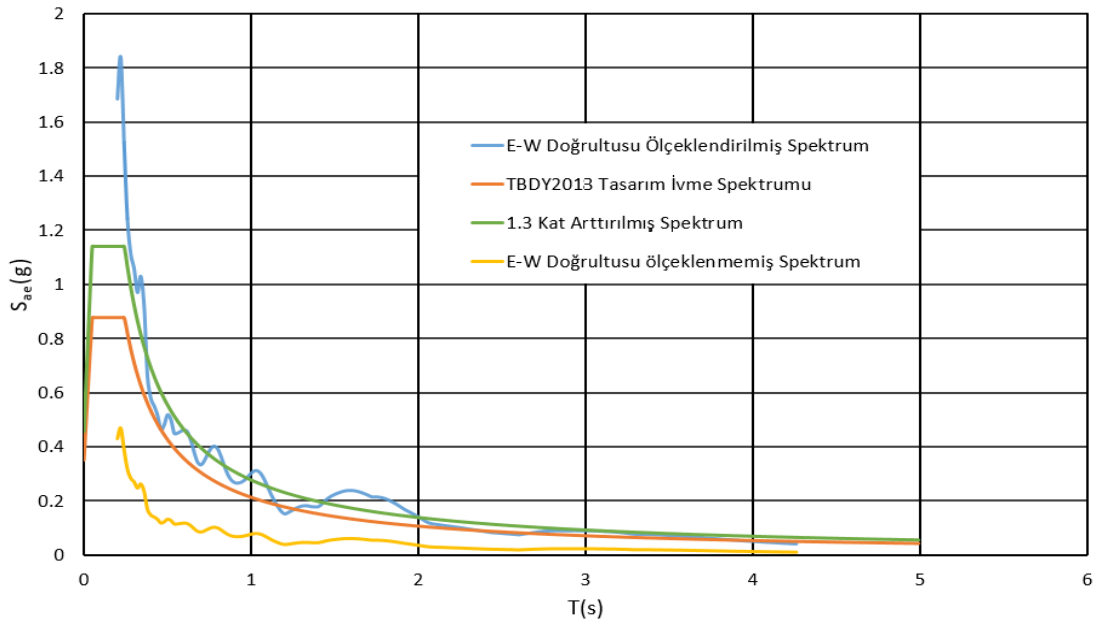


**Şekil 5.7 :** Kareleri toplamının karekökü spektrumu.

Kareleri toplamının karekökü spektrumunu seçtiğimiz periyot aralığındaki hiçbir noktadaki genliklerinde 1.3 kat arttırılmış tasarım spektrumundan daha küçük olmamasını sağlayan ' $\alpha$ ' katsayı bulunduktan sonra, E-W ve N-S doğrultusundaki ölçeklenmemiş spektrumlar bu katsayı ile çarpılıp ölçeklendirilmiş hale getirilir.



**Şekil 5.8 :** E-W Doğrultusu ölçeklenmemiş ve ölçeklenmiş spektrum.



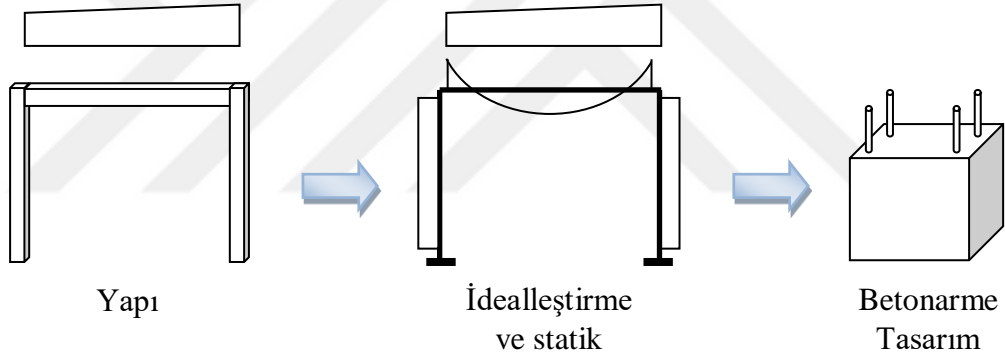
**Şekil 5.9 :** N-S doğrultusu ölçeklenmemiş ve ölçeklenmiş spektrum.

## 5.8 Bu Tez Kapsamında Geliştirilen Betonarme Yapıların OpenSees Programı İle Doğrusal Olmayan Hesabı İçin Ön Ve Ard İşleme Programları

Bu çalışmada TBDY2018 kapsamında betonarme binaların OpenSees programı ile doğrusal olmayan hesabı için ön ve ard işleme programları geliştirilmiştir. Bu programlar ile önceden tasarımı yapılmış olan betonarme binaların TBDY2018’ de verilen koşullar çerçevesinde şekildeğiştirmeye dayalı analiz ile performans değerlendirmesi yapılmaktadır.

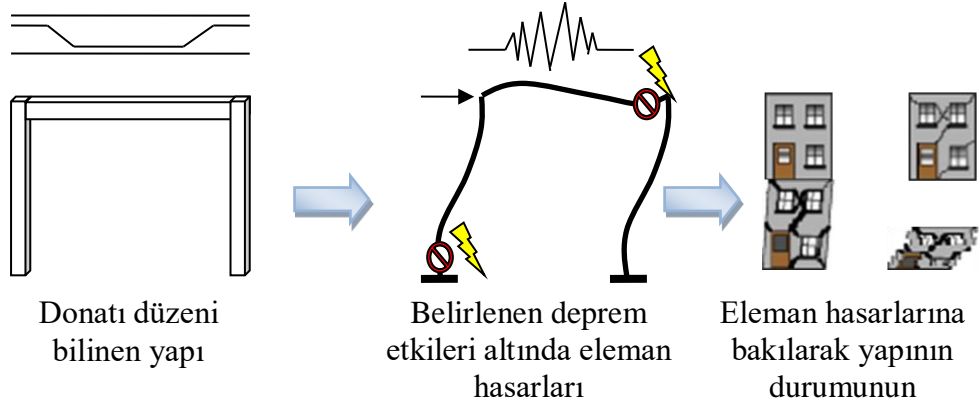
### 5.8.1 Performans analizi

Performans analizi ile taşıyıcı sistem eleman kesitleri ve donatıları belirlenmiş bir yapının değişik deprem düzeyleri altında vereceği tepkiler belirlenir. Betonarme yapılarda performans analizi yapabilmek için, yapı geometrisinin yanı sıra donatı düzeninin de biliniyor olması gerekmektedir.



Şekil 5.10 : Betonarme yapı tasarım süreci.

Şekil 5.10’ da betonarme bir yapının ön tasarımı görülmektedir. Ön tasarım yapabilmek için mimarisi belli olan yapı idealleştirilerek statik hesabı yapılarak kesit tesirleri elde edilir. Daha sonra bulunan kesit tesirleri altında betonarme hesap yapılarak kesit için gerekli donatı alanı belirlenir.



**Şekil 5.11** : Performans analizi.

Geliştirilen program ile TBDY2018 bölüm 5’ de verilen şekildeğiştirmeye dayalı performans değerlendirmesi yapılabilmektedir.

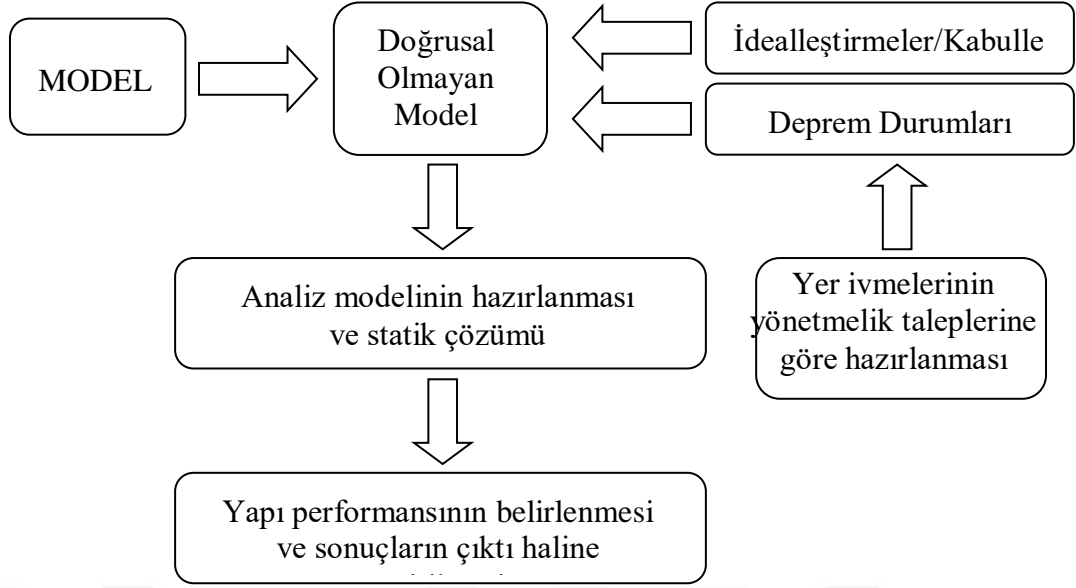
### 5.8.2 Program arayüzünün kullanımı

Betonarme hesabı yapılan, elemanlara ait kesit ve donatıları belirlenir. Daha sonra oluşturulan taşıyıcı sistem OpenSees isimli açık kaynak kodlu programa yüklenerek zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesabı yapılır. OpenSees programı Berkeley Üniversitesinde Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi – Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER) desteği ile geliştirilmektedir. Program ile ilgili daha fazla bilgiye <http://opensees.berkeley.edu/> sayfasından ulaşılabilir[34].



**Şekil 5.12** : Performans menüsü ana ekranı.

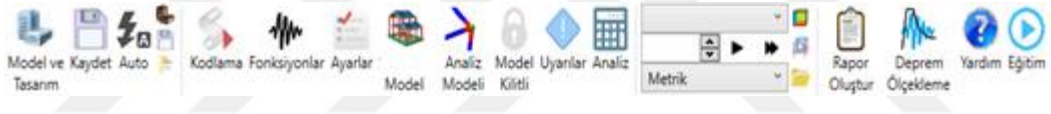
Programın işleyişi şu şekildedir:



Şekil 5.13 : Performans menüsü çalışma prensibi.

### 5.8.3 Model oluşturma ve çözüm adımları

- İlk önce program arayüzü açılır.





Şekil 5.14 : Program menüleri


- Taşıyıcı sistem programa yüklenmeden önce, ayarlar kısmından, kolon ve giriş elemanlara ait etkin kesit rijitlik çarpanları, beton ve donatı çeliğine ait malzeme çarpanları (TBDY2018' de verilen ortalama malzeme dayanımları için) ve elastik olmayan davranışı temsilen tanımlanan fiber bölge uzunluğu parametreleri programa girilir.

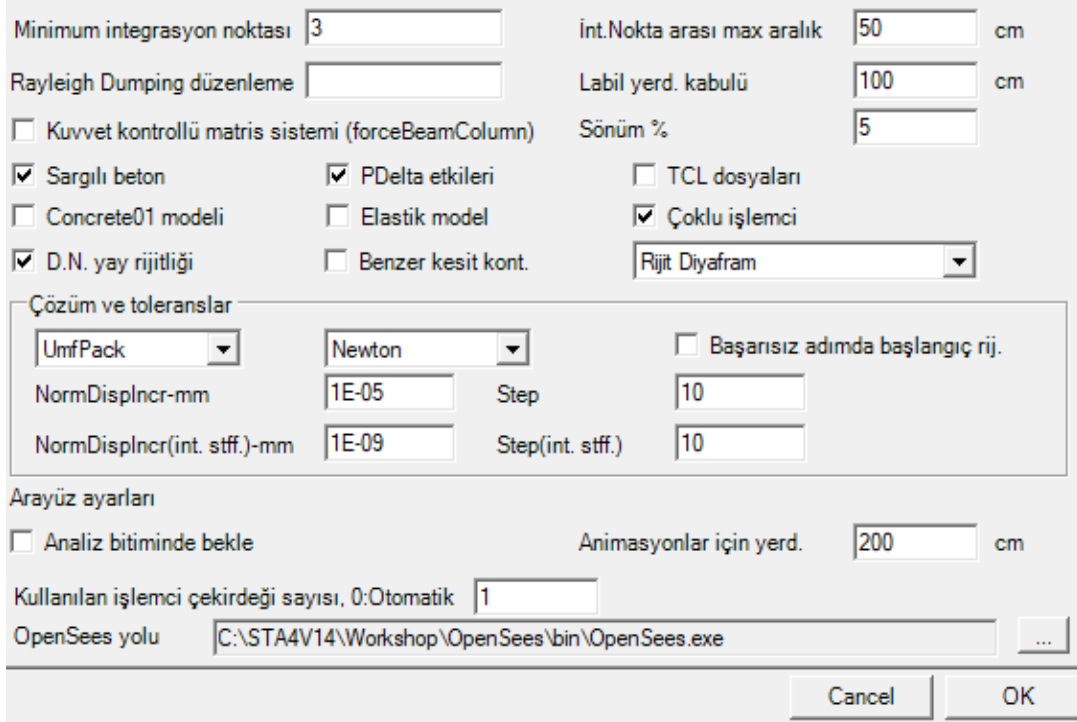
|                                      |      |                         |     |
|--------------------------------------|------|-------------------------|-----|
| Beam I3 multiplier                   | 0.35 | Column I2-I3 multiplier | 0.7 |
| Beton dayanım çarpanı                | 1.3  | Çelik dayanım çarpanı   | 1.2 |
| Beam nonlinear part Len/ Sect. Hg.-m | 0.5  |                         |     |

Şekil 5.15 : Taşıyıcı sistem programa yüklenmeden önce girilecek değerler.

- Tasarımı yapılan herhangi bir modeli açmak için,  (Model ve Tasarım) düğmesini tıklanır ve dosya seçilir. Bu düğme ile tasarım dosyası ve önceden kaydedilen deprem durumları/çözümleri/seçenekleri de yüklenecektir. Eğer önceden yapılan çözümlerin yüklenmesi istenmiyor, sadece çözümü yapılan

model alınıp yeni bir tasarıma başlanmak isteniyor ise,  (Sadece Model) düğmesi ile dizayn edilmiş yapı programa yüklenir.

- Açılan model ile ilgili bazı değişiklikler ve idealleştirmeler yapılacağı için proje  (Kaydet) düğmesi ile kaydedilir.
- Ayarlar seçmesinden analizle ilgili gerekli bilgiler girilir.



**Şekil 5.16 :** Analiz öncesi programa girilmesi gerekli bilgiler.

Burada benzer kesit kontrolü sekmesi işaretlenirse, benzer kesitler için ortak bir model kullanılacak ve dosya boyutu küçülecektir. Kullanılan işlemci çekirdeği sayısı daha hızlı hesap yapabilmek için çözüm yapılacak bilgisayarda bulunan çekirdek sayısının bir eksiği olarak girilmesi önerilir. Kalan bir çekirdek ile analiz sırasında bilgisayarın farklı amaçlar içinde kullanılabilmesi amaçlanmaktadır. Sönüm oranı yüksek binalar için (BYS=1) %2.5 olarak alınacak diğer betonarme binalarda %5 olacaktır.

Program arka yüzünde yapı sönümü için kütle için sönüm oranı olan katkısının göz önüne alan Rayleigh orantılı sönüm matrisi kullanılmaktadır.

$$c = a_0 m + a_1 k \quad (5.6)$$

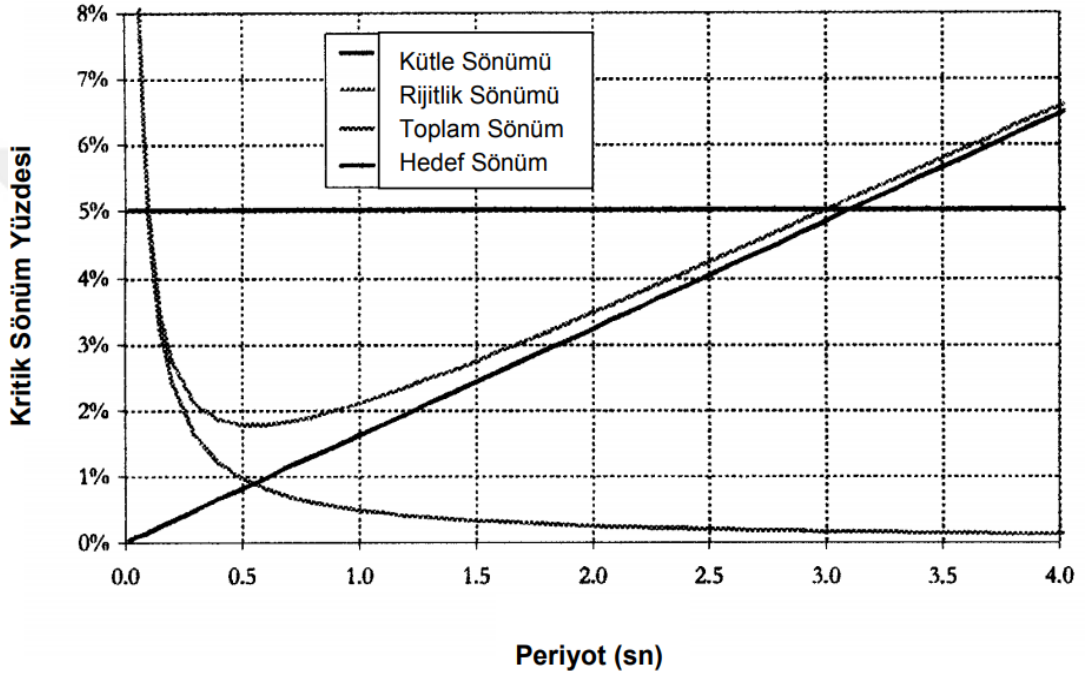
Ard arda verilen iki mod için sönüm oranları birbirine eşit kabul edilerek, sönüm matrisinin katsayıları  $a_0$  ve  $a_1$ ,

$$a_0 = \zeta \frac{2\omega_1\omega_2}{\omega_1 + \omega_2} \quad (5.7)$$

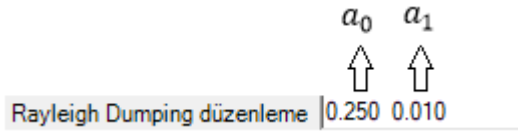
$$a_1 = \zeta \frac{2}{\omega_1 + \omega_2} \quad (5.8)$$

Bağıntıları ile hesap edilerek sönüm matrisi elde edilir.


Eğer  $a_0$  ve  $a_1$  değerlerinin yukarıdaki bağıntı ile program tarafından hesaplanması istenmiyor ise sırasıyla aralarında boşluk bırakılarak bu bölüme girilir.

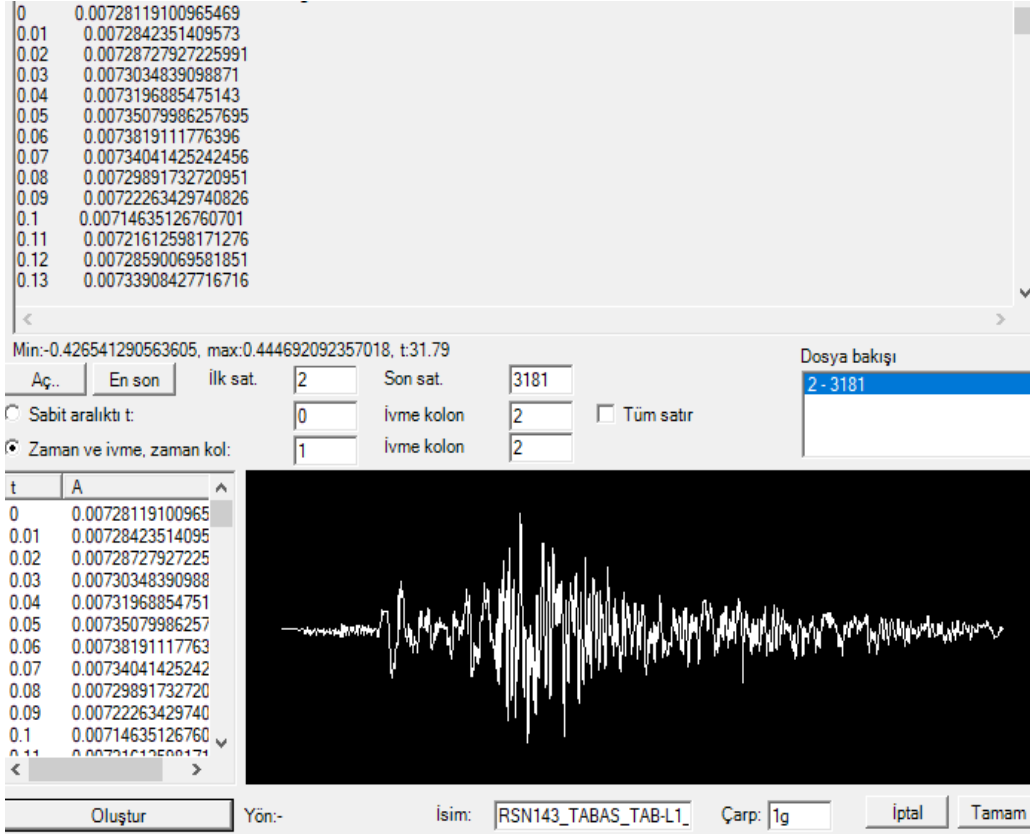


Şekil 5.17 : Kütle ve rijitlik ile orantılı Rayleigh sönümü[35].





Şekil 5.18 : Sönüm parametrelerinin manuel olarak girilmesi

- Bir adet deprem kaydı ile işlem yapılmak istendiğinde,  (Fonksiyonlar) düğmesi ile TBDY2018 yönetmeliği deprem kayıtlarının ölçeklendirilmesi kısmına uygun olarak ölçekleme programı ile ölçeklendirilmiş deprem fonksiyonunu okutulur.



Şekil 5.19 : Programa deprem kaydı yükleme arayüzü.

-  (Analiz Modeli) düğmesi ile yapının doğrusal olmayan modeli incelenebilir.
-  (Hesaplama) düğmesi ile yapılacak olan analizler seçilir ve hesaplara başlanır.



Tanımlı yüklemeler

Düsey  
Hareketli  
DepremX  
DepremY  
RüzgarX  
RüzgarY

Tanımlı analiz durumları

| İsim             | Tip  | Öncü          | Bilgi  |
|------------------|------|---------------|--|
| pshDead          | İtme | -             | Art:Düsey λ:1.3/5>+Z                                   |
| pshDead_Live     | İtme | pshDead       | Art:Hareketli λ:0.3/2>+Z                               |
| RSN143_TABAS...  | ZTA  | pshDead_Li... | dt:0.01, adim:3179 X>x1g Y>RSN143_TABAS_TAB-T1_NSM...  |
| RSN143_TABAS...  | ZTA  | pshDead_Li... | dt:0.01, adim:3179 X>x1g Y>RSN143_TABAS_TAB-L1_WE...   |
| RSN584_SMART...  | ZTA  | pshDead_Li... | dt:0.01, adim:3968 X>x1g Y>RSN584_SMART1.45_45012N...  |
| RSN584_SMART...  | ZTA  | pshDead_Li... | dt:0.01, adim:3968 X>x1g Y>RSN584_SMART1.45_45012E...  |
| RSN1626_SITKA... | ZTA  | pshDead_Li... | dt:0.01, adim:3627 X>x1g Y>RSN1626_SITKA_212V5180_N... |
| RSN1626_SITKA... | ZTA  | pshDead_Li... | dt:0.01, adim:3627 X>x1g Y>RSN1626_SITKA_212V5090_...  |

İtme analizi

İsim:  Global X Öncü: -- Art: DepremX

Yerdeğiştirme kontrollü(Sadece +X) Adım: 10 λ or δ[cm]: 1.0

Zaman tanım alanında analiz

İsim:  RSN1626\_SITKA\_212V Global X Öncü: --

Max:0.68034 Min:-0.76678.t:55s

Kaydır: 0 Total: 0 dt: 0.01 s λ: 1g

Şekil 5.20 : Analiz oluşturma.

Programa yüklenen ivme kayıtlarının ‘kaydır’ kısmı ile başlangıçtan itibaren kaç saniye’nin atlanacağı girilir. ‘Total’ kısmına ivme kaydının kaç saniyelik kısmının kullanılacağı girilir. ‘dt’ ise hesap yapılacak zaman aralığıdır. TBDY2018’de zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerde 11 adet deprem kaydı kullanılması istenmektedir. Eğer ‘Otomatik oluştur’ seçeneği tıklanırsa her bir deprem ivme kaydının baştan ve sondan maksimum genliğin 1/5’ inden düşük olan kısımları silinerek süre azaltılmış olur. ‘dt’ zaman aralığı için  $T_p/2\pi$  bağıntısı kullanılabilir.

İlk olarak ‘otomatik oluştur’ seçeneği tıklanarak yüklenecek 11 adet ivme kaydı takımının E-W doğrultuları seçilir ve ‘tamam’ tuşuna basılır. Daha sonra aynı sıra ile N-S doğrultusu deprem kayıtları seçilir ve tektar ‘tamam’ tuşuna basılır. Böylece analizlerde kullanılacak ivme kayıtları Şekil 5.20’ de görüldüğü gibi programa yüklenmiş olur.

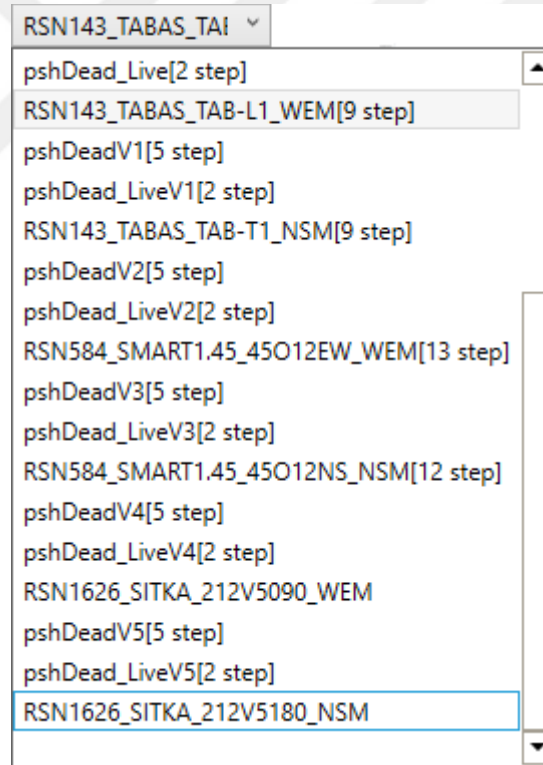
‘Tanımlı yüklemeler’ kısmında Sta4CAD programından gelen yükler gözükmemektedir. Şekil 5.20’ de görüldüğü gibi ‘Otomatik oluştur’ seçeneği ile ilk olarak düşey yük için 1.3 katsayısı ile 5 adım ‘Z’ doğrultusunda itme analizi yapılacaktır. Daha sonra ‘0.3’

katsayısı ile 'Z' doğrultusunda 2 adım itme analizi yapılacaktır. Son olarak bu analizler başlangıç koşulu olarak kabul edilerek her bir deprem kaydı takımı E-W ve N-S doğrultuları yapıya aynı anda etkitilir ve daha sonra ivme yönleri 90° çevrilerek aynı işlem tekrar edilir. Bu işlem her bir deprem kaydı takımı için ayrı ayrı yapılır.

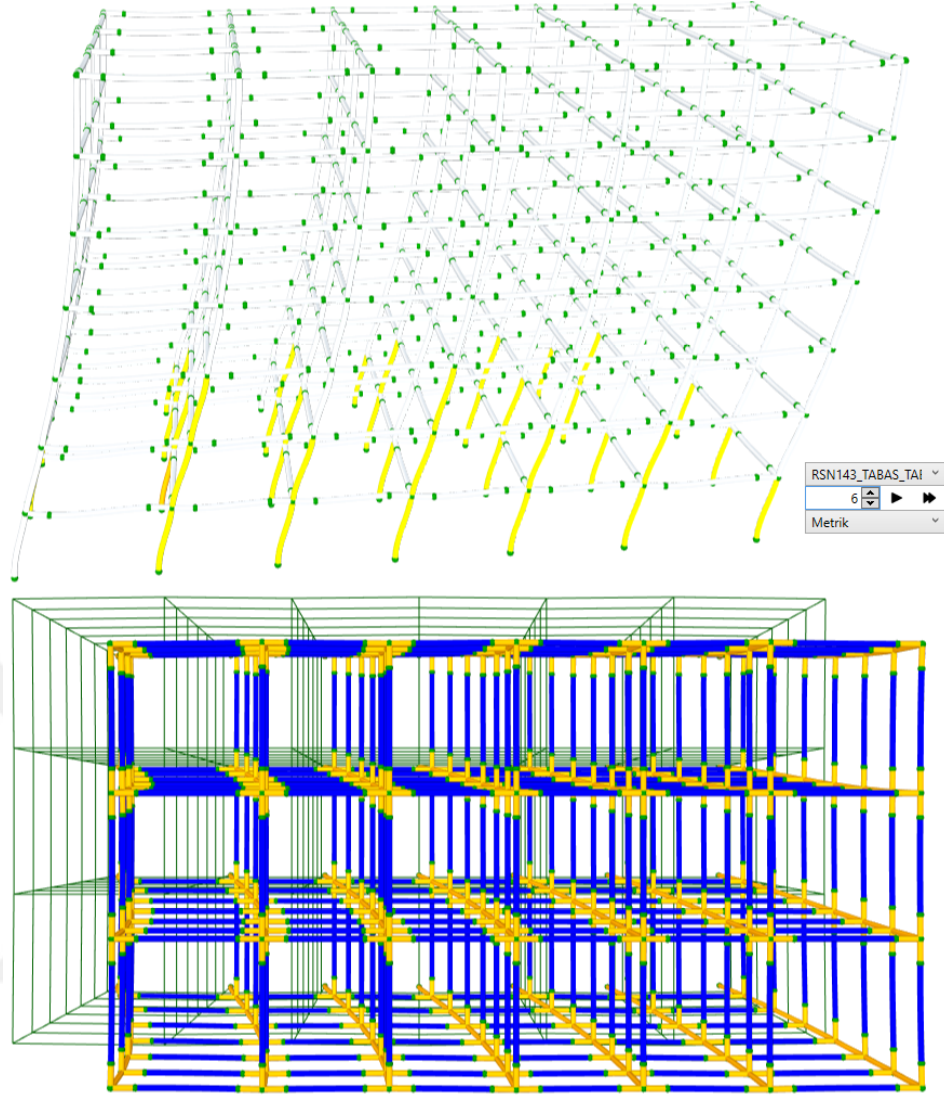
Programa yüklenen ivme kayıtları 'g' cinsinden olduğunda arayüze çarpan olarak '1g' değeri girilir.

'Analiz' düğmesine basıldıktan sonra tanımlanan analizler altında yapının çözümlenmesi yapılır. Analizlerin hepsinde çözüm sonuna kadar başarılı bir şekilde yapılamayabilir. Örneğin yapıda stabil olmayan bir kısım varsa, veya analiz adımları içerisinde yapı stabilitesini kaybederse analiz yarıda kesilebilir. Bu adıma kadar olan sonuçlar saklanır.

- Analizden sonra Şekil 5.21' de gösterilen yükleme menüsünden herhangi bir yükleme seçilerek her adıma ait yerdeğiştirmiş yapı çizdirilebilir.



Şekil 5.21 : Analiz sonrası incelenecek yüklemenin seçimi.



**Şekil 5.22** : Seçilen adım' a ait eleman hasar durumları ve yapı yerdeğiştirmesi.

- Daha sonra herhangi bir eleman seçilerek o elemana ait seçilen adımdaki beton birim kısalması ve donatı çeliği birim kısalma-uzama değerleri her bir lif (fiber) için okunur. Bu değerler TBDY2018' de verilen sınır değerleri ile karşılaştırılarak eleman hasar seviyeleri bulunur.

### C105\_5 elemanı RSN143\_TABAS\_TAB-L1\_WEM çözüm sonuçları, adım: 6

Dikdörtgen kesit, b: 30cm, h: 50cm , etriye b0: 22cm, h0: 42cm, s: 8cm

**Tablo:** Eleman uç kuvvetleri

| Adım | N[kN]   | V2      | V3      | T[kN.m] | M2      | M3      |
|------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|      | 1518.9  | -62.021 | 94.274  | 2.9673  | -155.39 | -75.385 |
|      | -1518.9 | 62.021  | -94.274 | -2.9673 | -183.51 | -134.82 |

Gauss noktası: 3 kayıt yeri 1 , yaklaşık rel. yer: 0.93, yer: 2.9778m , Konum: 10.6/1.2/0.22218m

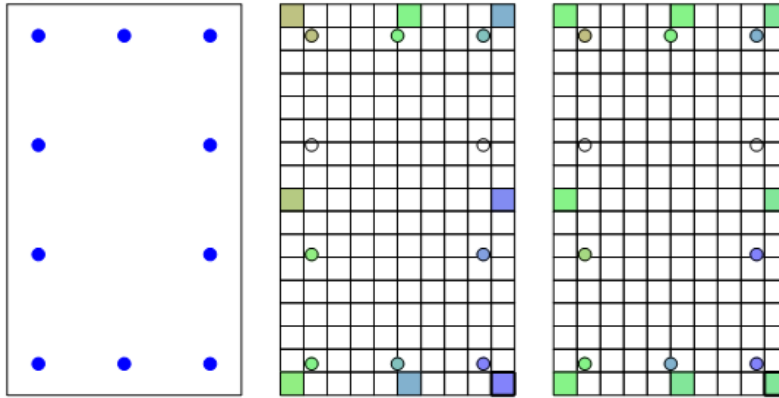
**Tablo:** 6.adım fiber sonuçları ( $\epsilon$ :0:kısalma  $\delta$ :0:uzama  $\alpha$ :0:basinç  $\phi$ :0:çekme)

| X[cm] | Y       | $\epsilon$ x1000 | $\sigma$ [kN/cm <sup>2</sup> ] | Malz  |
|-------|---------|------------------|--------------------------------|---|
| 13.5  | 0       | -2.045           | -2.6122                        | C101_ConfMat, E: 31185N/mm <sup>2</sup>   |
| -13.5 | 0       | 1.016            | 0                              | fcc:2.9665kN/cm <sup>2</sup> , fctk:0.18984, $\epsilon$ Cc(x1000):3.125, $\epsilon$ Cu:28.744 |
| 1.5   | 23.529  | 0.04             | 0                              |   |
| 1.5   | -23.529 | -1.409           | -2.072                         |   |
| 13.5  | 23.529  | -1.321           | -1.7676                        |   |
| -13.5 | -23.529 | 0.292            | 0                              |   |
| -13.5 | 23.529  | 1.74             | 0                              |   |
| 13.5  | -23.529 | -2.769           | -2.9281                        | C101_ConfMat, E: 31185N/mm <sup>2</sup> -----   |
| 11    | -7      | -1.977           | -38.778                        | StlI_0, E: 200000N/mm <sup>2</sup>  |
| -11   | -7      | 0.517            | 10.142                         | f <sub>yk</sub> :41.188kN/cm <sup>2</sup> , $\epsilon$ Su(x1000):80                           |
| 0     | 21      | 0.132            | 2.5903                         |   |
| 0     | -21     | -1.161           | -22.773                        |   |
| 11    | 21      | -1.115           | -21.87                         |   |
| -11   | -21     | 0.086            | 1.6873                         |   |
| -11   | 21      | 1.379            | 27.05                          |   |
| 11    | -21     | -2.408           | -41.188                        | StlI_0, E: 200000N/mm <sup>2</sup> -----  |

**Tablo:** Malzeme hasar bölgeleri(x1000)

| Malzeme          | Sınırlı H. | Kontrollü H. | Göçmenin Ö. | V-kN   | Çarpan |
|------------------|------------|--------------|-------------|--------|--------|
| StlI_0           | 7.5        | 24           | 32          | -      |        |
| C101_ConfMat Sağ | -2.5       | -3.246616    | -4.328821   | 94.274 | 1      |


Eleman hasarı: **Belirgin Hasar**



|         |                           |       |
|---------|---------------------------|-------|
| -2.769  | Strain x1000              | 1.74  |
| -41.188 | Stress kN/cm <sup>2</sup> | 27.05 |

Şekil: Kesit, gerilme ve  $\delta$ .

**Şekil 5.23 :** Seçilen elemana ait istenilen adımdaki şekildeğiştirme değerleri ile eleman malzeme özellikleri.

-  (Raporlama) düğmesine basıldığında Şekil 5.24' deki gibi bir menü açılır. Veri girişi ve bütün yapının çıktıları genellikle çok fazla sayfa tutar. Bu nedenle, analiz sonuçları, performans sonuçları (Bireysel) ve performans sonuçları (Toplam) kısımları işaretlenerek rapor hazırla sekmesine tıklanarak çıktılar hazırlanır.

Veri Girişi  
 Sta4CAD bilgisi  
 Yapı eleman bilgisi  
 Bütün yapı fiber gerilme/ş.d.  
 Bütün yapı fiber hasar  
 Analiz sonuçları  
 Performans sonuçları(Bireysel)  
 Performans sonuçları(Toplam)

Şekil 5.24 : Rapor başlıkları.

Burada ‘Analiz sonuçları’ kısmında her yükleme durumu için yapıya ait tepe deplasman-zaman grafikleri çizdirilir. Ek olarak her bir yükleme durumu için herhangi bir kontrol düğüm noktasında oluşan toplam reaksiyon kuvvetleri verilir.

‘Performans sonuçları (Bireysel)’ kısmında her bir ivme kaydı için bütün adımlarda eleman hasar durumları ile o ivme kaydına ait yapı performansı verilir.

‘Performans sonuçları (Toplam)’ kısmında ise her bir ivme kaydı için elde edilen maksimum şekildeğiştirmelerin TBDY2018’ de belirtildiği gibi ortalamaları alınarak yapı genel performansı belirlenir.

Tablo: X yönü sonuçları

| Kat | Sınırlı |       |          |       | Belirgin |       |          |       | İleri |       |          |       | Göçme |       |          |       |
|-----|---------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|----------|-------|
|     | Kiriş   | Kolon | Vkol[kN] | %Vkol | Kiriş    | Kolon | Vkol[kN] | %Vkol | Kiriş | Kolon | Vkol[kN] | %Vkol | Kiriş | Kolon | Vkol[kN] | %Vkol |
| 2   | 35/45   | -     | 0        | 0     | 10/45    | 11/28 | 1146.3   | 41.4  | -     | 12/28 | 1251.8   | 45.2  | -     | 5/28  | 372.58   | 13.4  |
| 3   | 45/45   | 10/28 | 630.9    | 25.4  | -        | 18/28 | 1855.2   | 74.6  | -     | -     | 0        | 0     | -     | -     | 0        | 0     |
| 4   | 45/45   | 28/28 | 2113.8   | 100   | -        | -     | 0        | 0     | -     | -     | 0        | 0     | -     | -     | 0        | 0     |
| 5   | 45/45   | 28/28 | 1756.6   | 100   | -        | -     | 0        | 0     | -     | -     | 0        | 0     | -     | -     | 0        | 0     |
| 6   | 45/45   | 28/28 | 1432.7   | 100   | -        | -     | 0        | 0     | -     | -     | 0        | 0     | -     | -     | 0        | 0     |
| 7   | 45/45   | 28/28 | 1086.5   | 100   | -        | -     | 0        | 0     | -     | -     | 0        | 0     | -     | -     | 0        | 0     |
| 8   | 45/45   | 28/28 | 735.43   | 100   | -        | -     | 0        | 0     | -     | -     | 0        | 0     | -     | -     | 0        | 0     |

X yönü yapı performansı: Göçme

Tablo: Y yönü sonuçları

| Kat | Sınırlı |       |          |       | Belirgin |       |          |       | İleri |       |          |       | Göçme |       |          |       |
|-----|---------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|----------|-------|
|     | Kiriş   | Kolon | Vkol[kN] | %Vkol | Kiriş    | Kolon | Vkol[kN] | %Vkol | Kiriş | Kolon | Vkol[kN] | %Vkol | Kiriş | Kolon | Vkol[kN] | %Vkol |
| 2   | 35/45   | -     | 0        | 0     | 10/45    | 11/28 | 1022.8   | 34.7  | -     | 12/28 | 1386.5   | 47.1  | -     | 5/28  | 537.21   | 18.2  |
| 3   | 45/45   | 10/28 | 937.47   | 34.2  | -        | 18/28 | 1801.6   | 65.8  | -     | -     | 0        | 0     | -     | -     | 0        | 0     |
| 4   | 45/45   | 28/28 | 2485.3   | 100   | -        | -     | 0        | 0     | -     | -     | 0        | 0     | -     | -     | 0        | 0     |
| 5   | 45/45   | 28/28 | 2112     | 100   | -        | -     | 0        | 0     | -     | -     | 0        | 0     | -     | -     | 0        | 0     |
| 6   | 45/45   | 28/28 | 1667     | 100   | -        | -     | 0        | 0     | -     | -     | 0        | 0     | -     | -     | 0        | 0     |
| 7   | 45/45   | 28/28 | 1185.2   | 100   | -        | -     | 0        | 0     | -     | -     | 0        | 0     | -     | -     | 0        | 0     |
| 8   | 45/45   | 28/28 | 868.06   | 100   | -        | -     | 0        | 0     | -     | -     | 0        | 0     | -     | -     | 0        | 0     |

Y yönü yapı performansı: Göçme

Şekil 5.25 : Örnek bir yapıya ait yapı genel performansı.



## 6. SAYISAL ÖRNEKLER

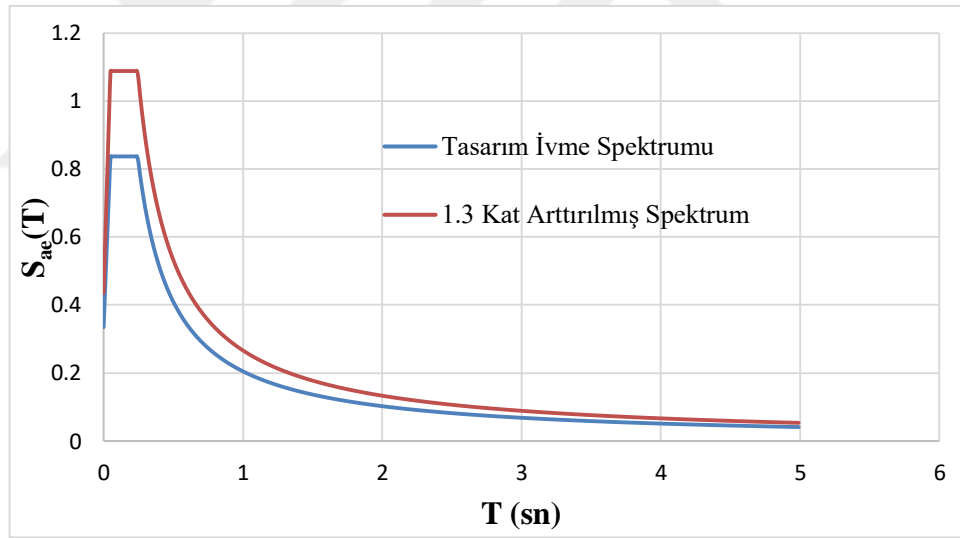
### 6.1 Ölçeklendirme Programının Sap2000 İle Doğrulanması

Bölüm 5' te bahsedilen ve bu çalışmadaki örneklerde kullanılan ölçekleme programının doğrulanması için aşağıdaki adımlar uygulanmıştır.

1. Tasarıma ait spektral ivme değerleri,

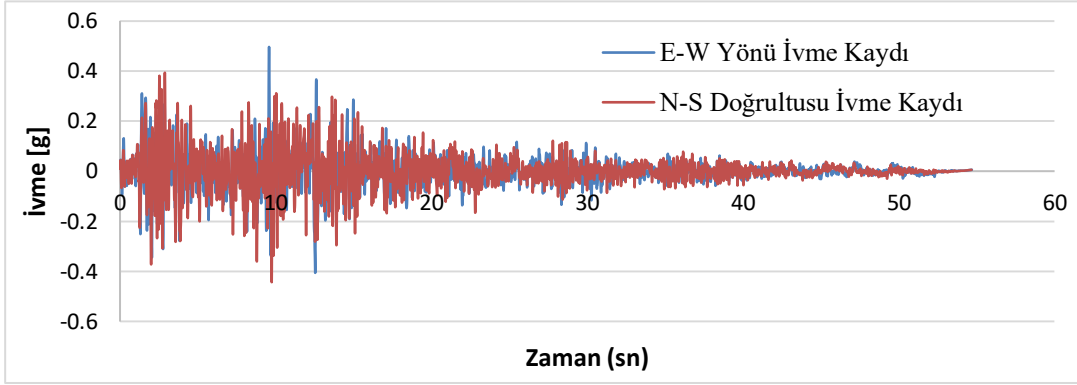
$$S_{DS} = 0.837 \quad , \quad S_{D1} = 0.837 \quad (6.1)$$

Seçilerek, tasarım ivme spektrumu oluşturulur.



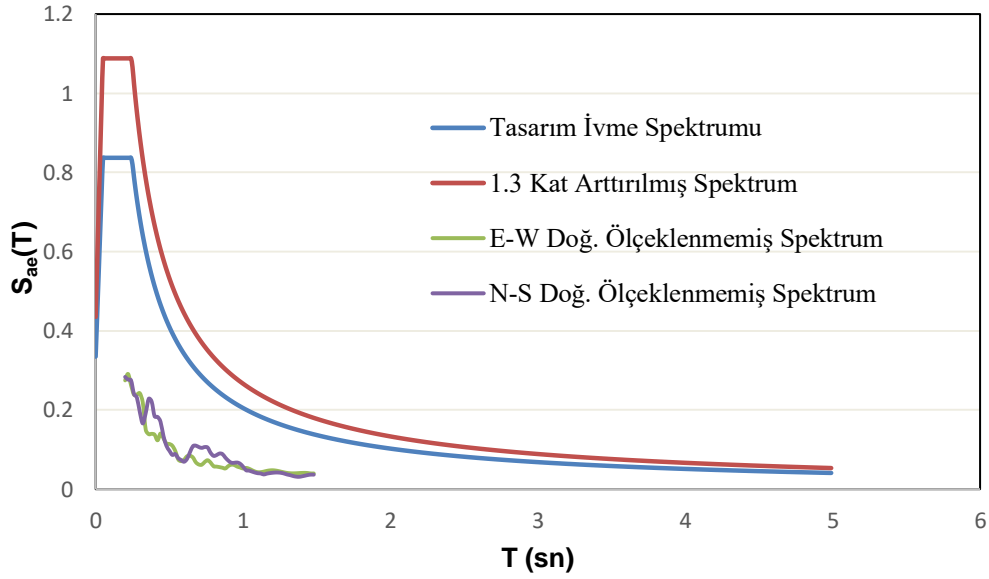
Şekil 6.1 : Tasarım ivme spektrumu ve 1.3 kat arttırılmış spektrum.

2. Her iki doğrultu için deprem ivme kayıtları ölçekleme programına yüklenir.



Şekil 6.2 : E-W doğrultusu ve n-s doğrultusu deprem ivme kayıtları.

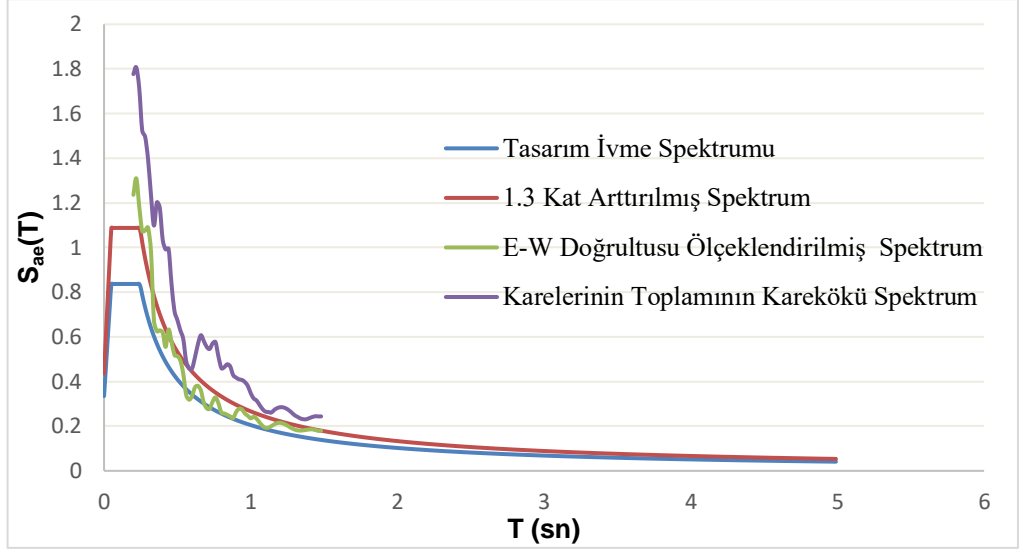
3. Girilen deprem ivme kayıtlarına ait 0.2 – 1.5 saniye aralığındaki periyotlarda her iki doğrultu için ivme spektrumları program tarafından oluşturulur.



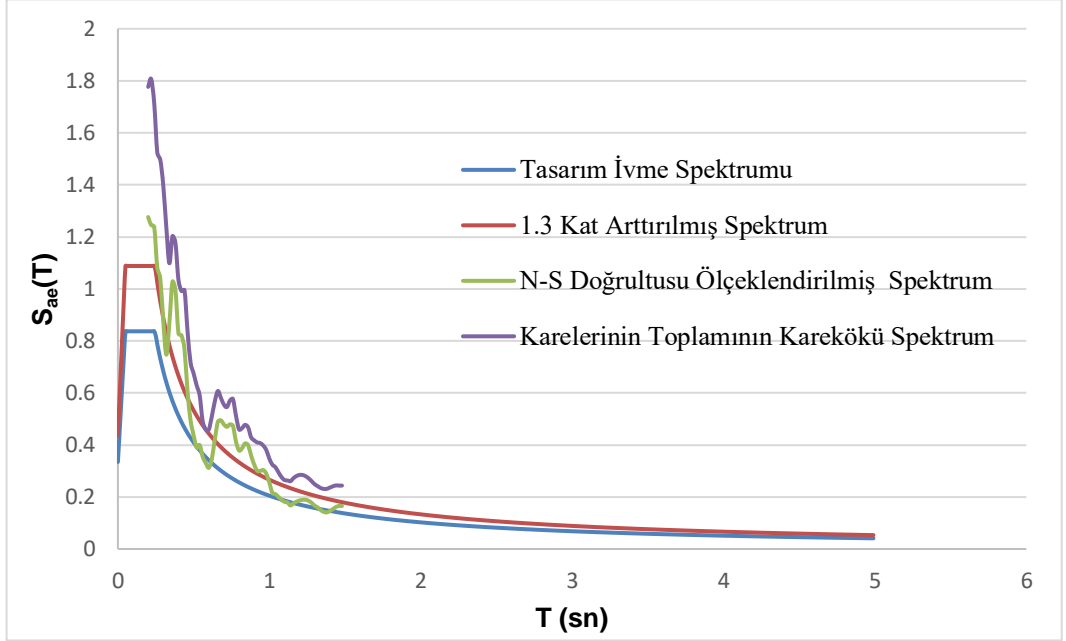
Şekil 6.3 : Ölçeklenmemiş spektrumlar.

4. E-W ve N-S doğrultusu spektrumlarının aynı periyottaki genliklerinin kareleri toplamının karekökü 0.2 – 1.5 saniye aralığındaki her periyot değerinde, 1.3 kat artırılmış spektrum genliğinin aynı aralıktaki değerlerinden az olmayacak şekilde ölçekleme yapılır.





Şekil 6.4 : E-W doğrultusu ölçeklenmiş spektrum ve kareleri toplamının karekökü spektrum.



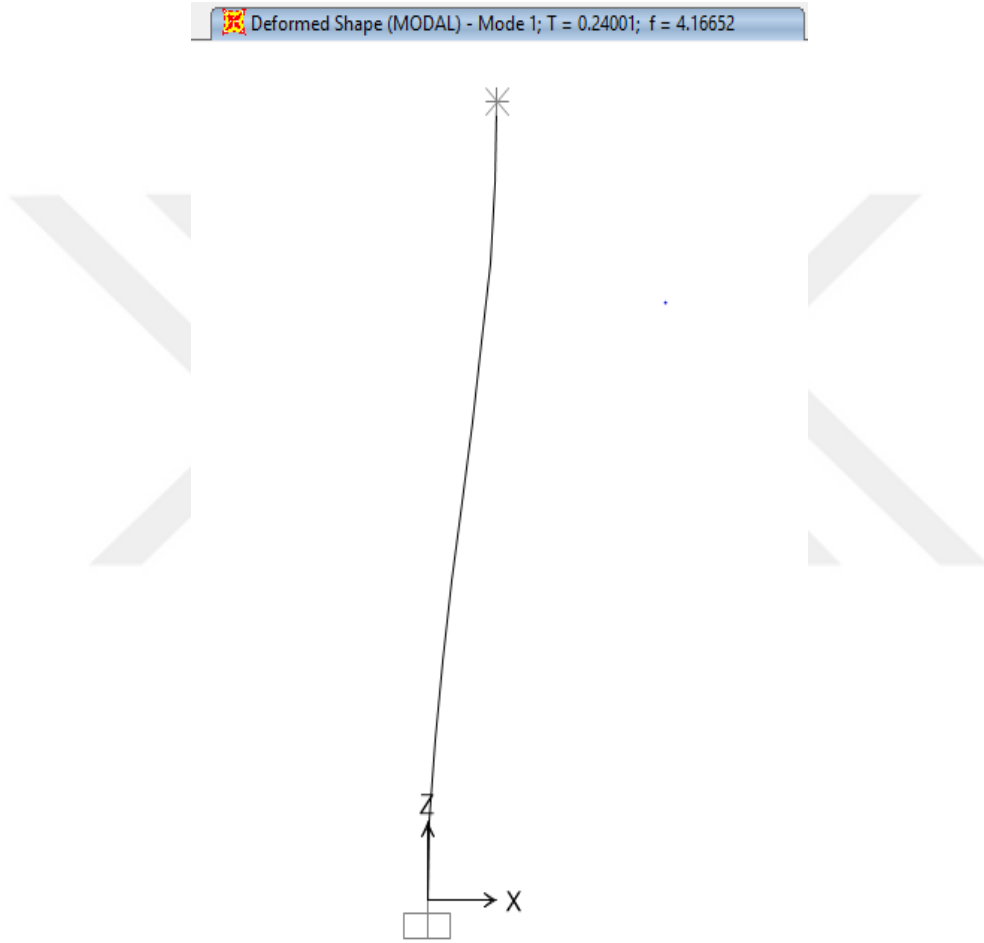
Şekil 6.5 : E-W doğrultusu ölçeklenmiş spektrum ve kareleri toplamının karekökü spektrum.

□ RSN1626\_SITKA  
 $\alpha: 4.5 > 0.87, \text{err}: 1.87 > 0.3$   
 $\alpha: 4.47 > 0.87, \text{err}: 1.83 > 0.4$

Şekil 6.6 : Ölçekleme katsayısı.

Şekilde görüldüğü gibi ölçekleme katsayısı TBDY2018' de belirttiği gibi her iki yön içinde aynı, 4.5 olarak bulunmuştur.

5. E-W veya N-S doğrultusu için elde edilen ölçeklenmiş spektrumda 0.2 – 1.5 saniye aralığındaki herhangi bir periyot değerine karşı gelen spektral ivme değeri ( $S_{ae}$ ), Sap2000 programında bu aralıkta seçilen periyot değerine sahip tek serbestlik dereceli bir sistem kullanılan spektrumu oluşturan deprem ivme kaydı (ölçeklendirilmiş ivme) altında dinamik çözümü yapılır[36]. Burada tek serbestlik dereceli sistemin periyodu 0.24 saniye olarak seçilmiştir.



**Şekil 6.7 :** Sap2000 programında  $t=0.24$  saniye periyoda sahip tek serbestlik dereceli sistem.

6. E – W doğrultusunda, dinamik çözüm sonucu elde edilen maksimum yerdeğiştirme bulunarak aşağıdaki bağıntı ile spektral ivme değerine geçilir.

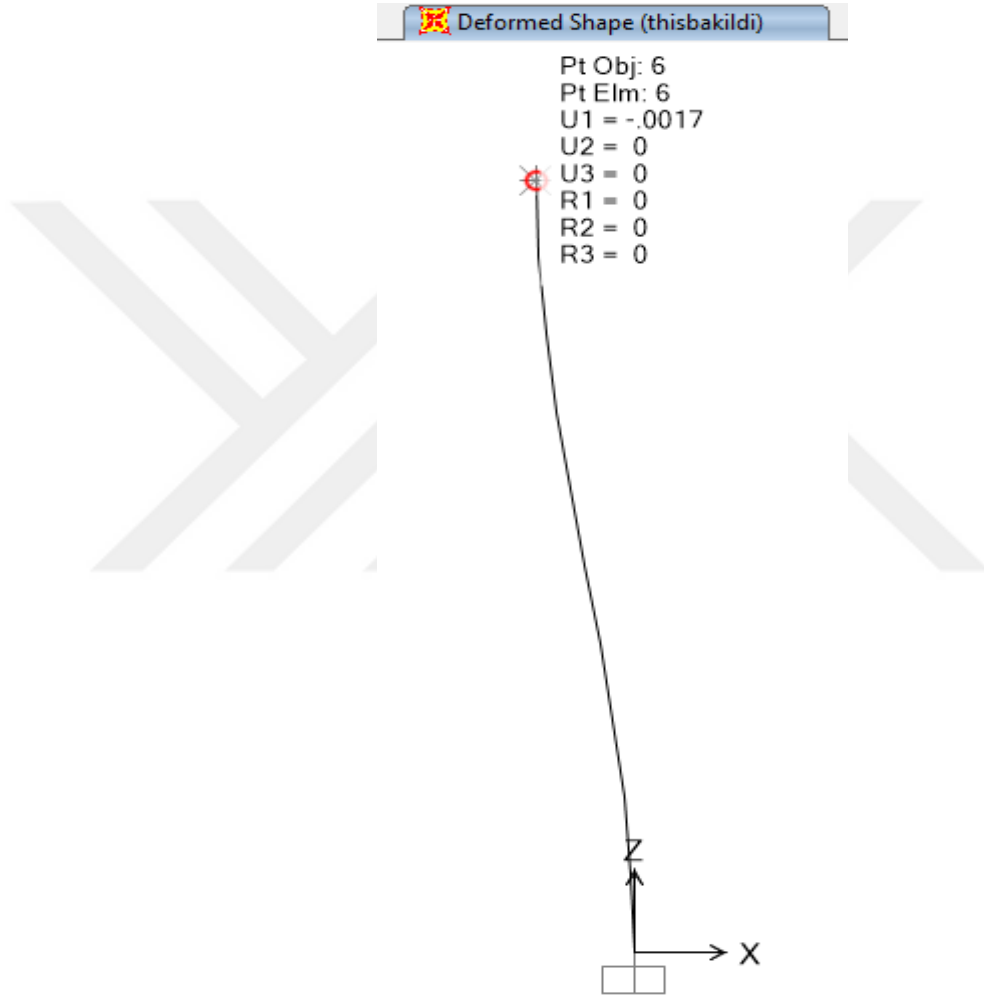
$$S_{ae} = w^2 \times S_d \quad (6.2)$$

Burada,

$S_{ae}$  : Spektral ivme

$S_d$  : Spektral deplasman ( maksimum yerdeğiştirme)

$w$  : açısal frekanstr.



**Şekil 6.8** : Tek serbestlik dereceli sistemin deprem yer hareketi altında maksimum yerdeğiştirmesi.

$$S_{ae} = w^2 \times S_d \quad (6.3)$$

$$S_{ae} = w^2 \times S_d = \left(\frac{2\pi}{0.24}\right)^2 \times 0.0017 = 1.165 \text{ m/s}^2 \quad (6.4)$$

Yukarıda görüldüğü gibi Sap2000' de  $S_{ae}$  ' 1.165  $\text{m/s}^2$  olarak bulunmuştur.

**Çizelge 6.1** : E-W doğrultusu ölçülen spektrum x ve y eksen değerleri.

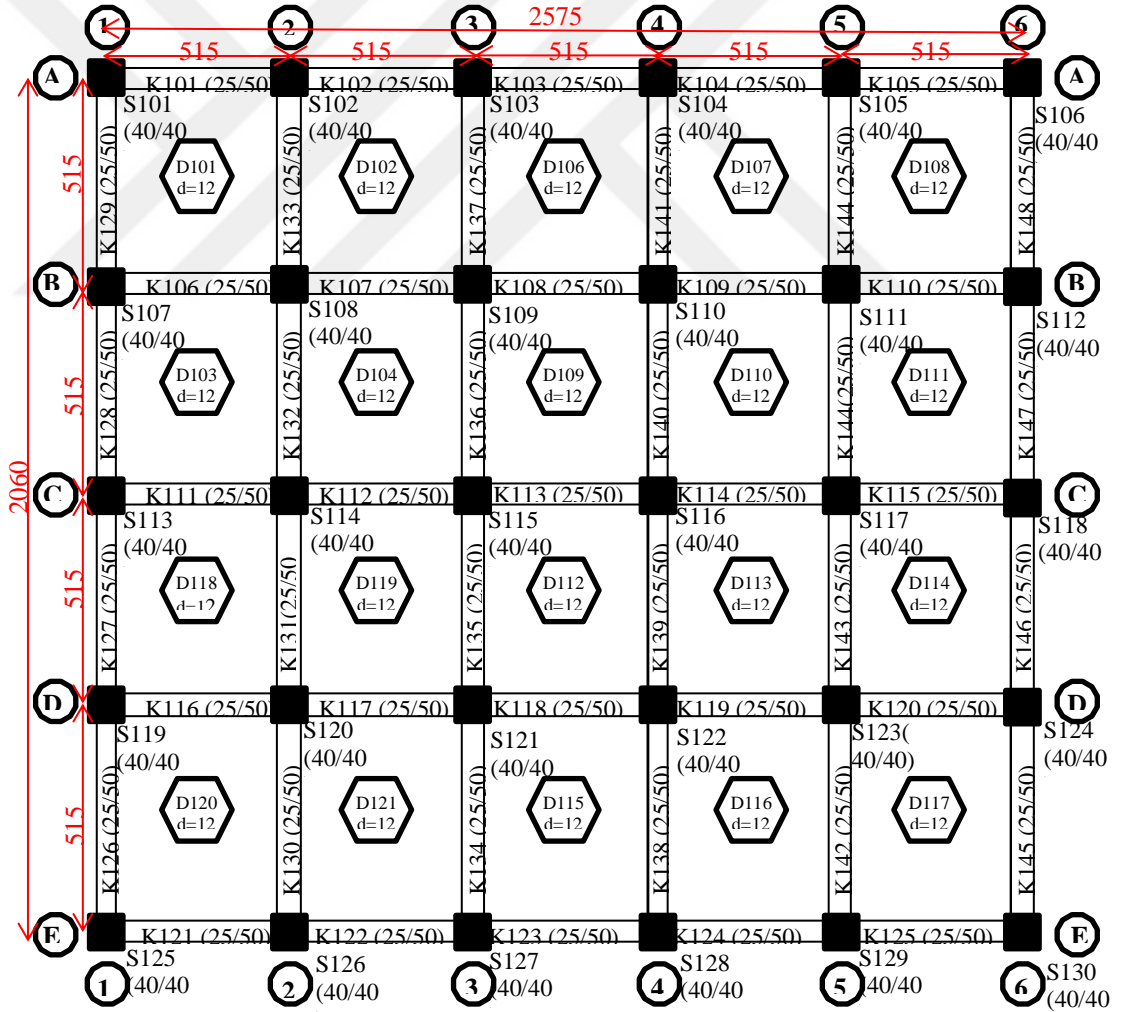
| T (s) | $S_{ae}$ | T (s) | $S_{ae}$ | T (s) | $S_{ae}$ | T (s) | $S_{ae}$ | T (s) | $S_{ae}$ | T (s) | $S_{ae}$ |
|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|
| 0.2   | 1.2362   | 0.42  | 0.5549   | 0.64  | 0.3806   | 0.86  | 0.2438   | 1.08  | 0.2018   | 1.3   | 0.1848   |
| 0.22  | 1.3097   | 0.44  | 0.6332   | 0.66  | 0.3604   | 0.88  | 0.2356   | 1.1   | 0.1935   | 1.32  | 0.1813   |
| 0.24  | 1.1834   | 0.46  | 0.579    | 0.68  | 0.3055   | 0.9   | 0.2629   | 1.12  | 0.1937   | 1.34  | 0.1805   |
| 0.26  | 1.0739   | 0.48  | 0.5188   | 0.7   | 0.2806   | 0.92  | 0.2781   | 1.14  | 0.2      | 1.36  | 0.1816   |
| 0.28  | 1.0764   | 0.5   | 0.5142   | 0.72  | 0.2781   | 0.94  | 0.2751   | 1.16  | 0.2079   | 1.38  | 0.1836   |
| 0.3   | 1.0894   | 0.52  | 0.4943   | 0.74  | 0.3097   | 0.96  | 0.2572   | 1.18  | 0.2136   | 1.4   | 0.1854   |
| 0.32  | 0.9839   | 0.54  | 0.4351   | 0.76  | 0.3293   | 0.98  | 0.2468   | 1.2   | 0.2152   | 1.42  | 0.1858   |
| 0.34  | 0.6738   | 0.56  | 0.3396   | 0.78  | 0.3022   | 1     | 0.2352   | 1.22  | 0.2124   | 1.44  | 0.1838   |
| 0.36  | 0.6255   | 0.58  | 0.3185   | 0.8   | 0.2608   | 1.02  | 0.2422   | 1.24  | 0.2063   | 1.46  | 0.1789   |
| 0.38  | 0.6293   | 0.6   | 0.3352   | 0.82  | 0.2568   | 1.04  | 0.2332   | 1.26  | 0.1985   | 1.48  | 0.1794   |
| 0.4   | 0.6193   | 0.62  | 0.3743   | 0.84  | 0.251    | 1.06  | 0.217    | 1.28  | 0.1908   | 1.50  | 0.1778   |

1.165  $\cong$  1.183 olduğundan ölçme programının doğruluğu tespit edilmiş olur.

## 6.2 Perform-3D İle Opensees Programlarının 8 Katlı Betonarme Çerçevesinden Oluşan Örnek Bir Bina İle Kıyaslanması

Bu örnek' te perform-3D ve Opensees programlarını karşılaştırmak amacı ile, özellikleri aşağıda verilen, sadece çerçevelerden oluşan 8 katlı bir binanın deprem etkisi altında zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz ile tepe deplasmanının zamanla değişimi kıyaslanacaktır.

### 6.2.1 8 Katlı binaya ait bilgiler



Yapıya ait genel bilgiler,

- Kat adedi : 8, X ve Y yönü :25.75 m
- Beton sınıfı : C30, donatı çeliği : B420C
- Döşemeler :12 cm
- Kolonlar : 40 x 40 cm
- Kirişler : 25 x 50 cm
- Öngörülen taşıyıcı sistem : Süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçeveler
- Taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R) : 8
- Dayanım fazlalığı katsayısı (D) : 2.5

Deprem etkisi altında binanın modal analiz ile dayanıma göre hesabı ön tasarım olarak yapılmıştır. Hesap sonucunda bulunan donatılar aşağıda verilmiştir.

#### **6.2.2 8 Hedef Spektrum ve ölçekleme**

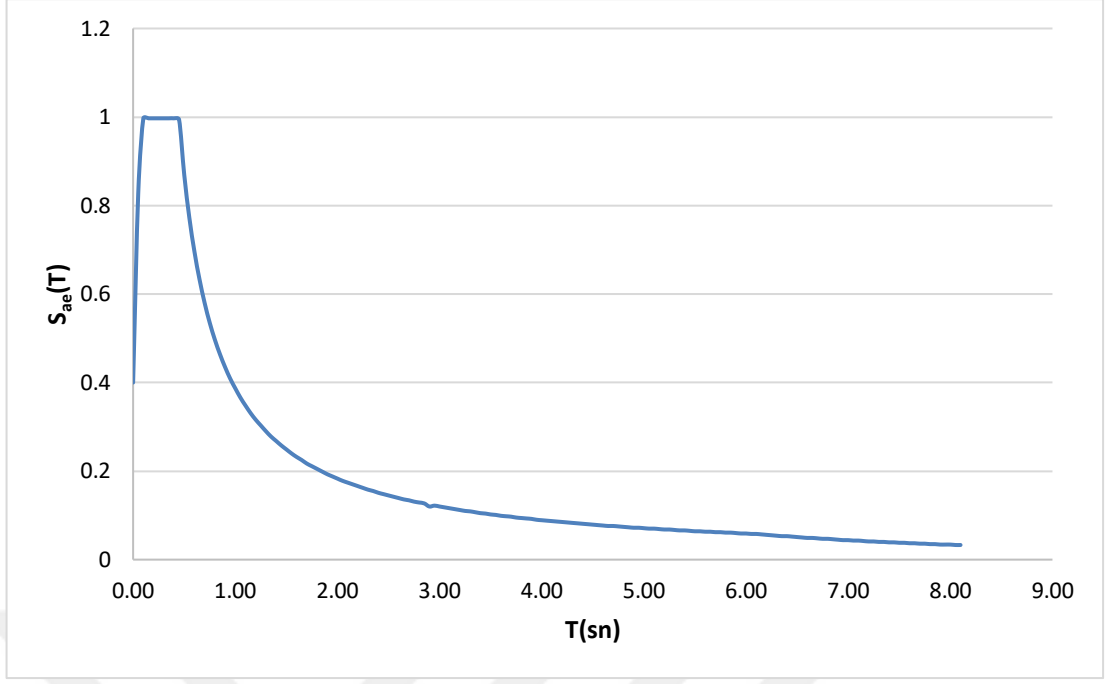
Hedef tasarım ivme spektrumu TDTH web ara yüzü kullanılarak elde edilen aşağıdaki veriler ile oluşturulmuştur.

Enlem : 41.02619

Boylam : 29.095224

Yerel zemin sınıfı : ZC

Deprem Yer Hareketi Düzeyi : DD-2



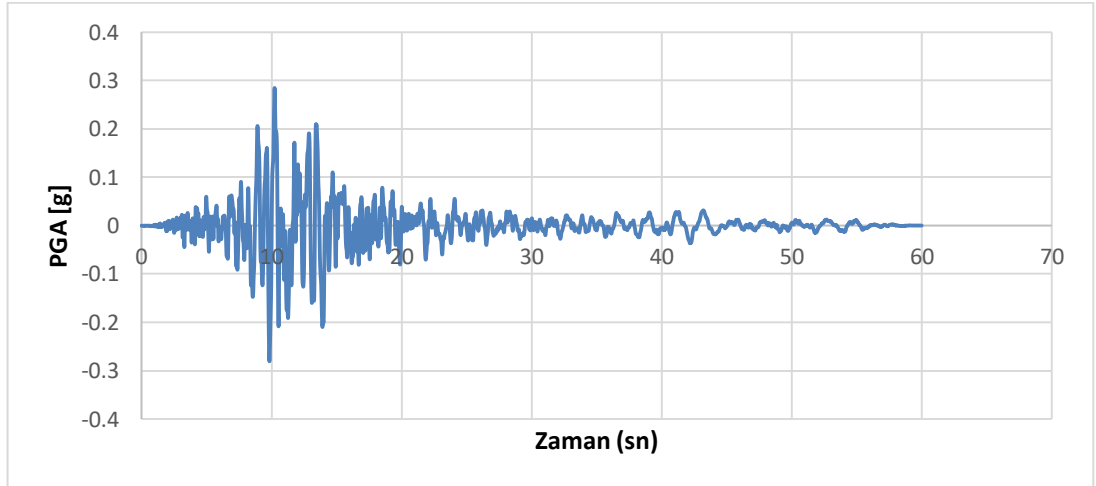
Şekil 6.10 : Hedef tasarım ivme spektrumu.

Veri girişinin ardından ara yüzden,

$S_s$  : 0.831,  $S_l$  : 0.232,  $S_s$  : 0.997,  $S_l$  : 0.348,  $PGA$  : 0.343,  $PGV$  : 21.269 değerleri elde edilir. Burada

$PGA$  : En büyük yer ivmesi [ g]

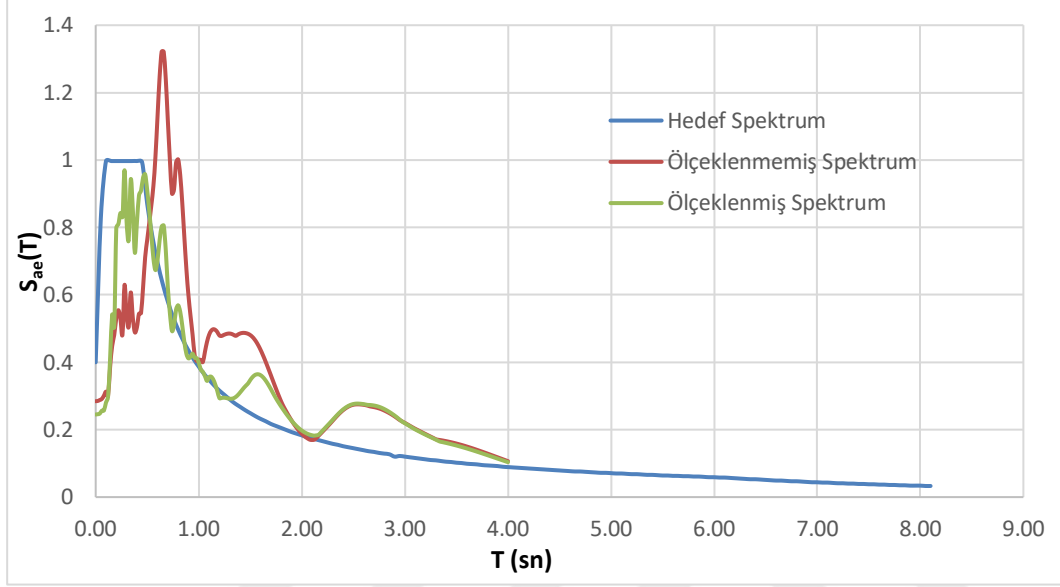
$PGV$  : En büyük yer hızı [ cm/sn ] 'dır.



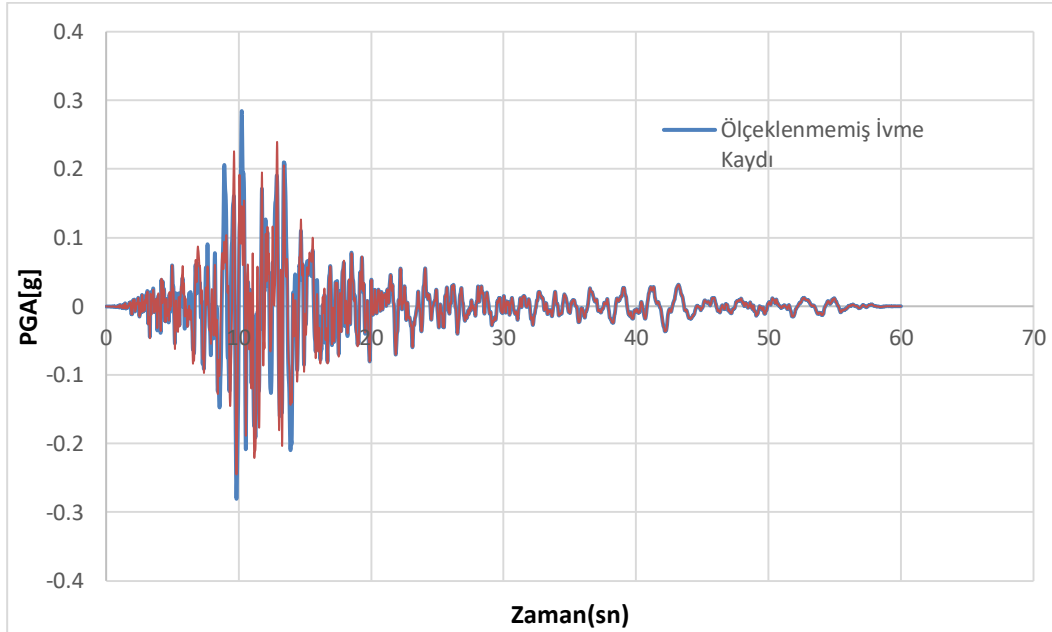
Şekil 6.11 : Ölçeklenmemiş deprem ivme kaydı.

Ölçeklenmemiş ivme kaydı, tasarım ivme spektrumuna göre ölçeklendirilir. Bu örnekte ölçeklendirme işlemi Seismo Match programı ile yapılmıştır [37]. Ölçekleme işlemi TBDY2018' e göre,

$0.2 \times T_p = 0.2 \times 0.94 = 0.19$  ,  $1.5 \times T_p = 1.5 \times 0.94 = 1.41$  saniye aralığındaki periyotlar dikkate alınarak yapılmıştır.



Şekil 6.12 : Ölçeklenmemiş ve ölçeklenmiş spektrumlar.



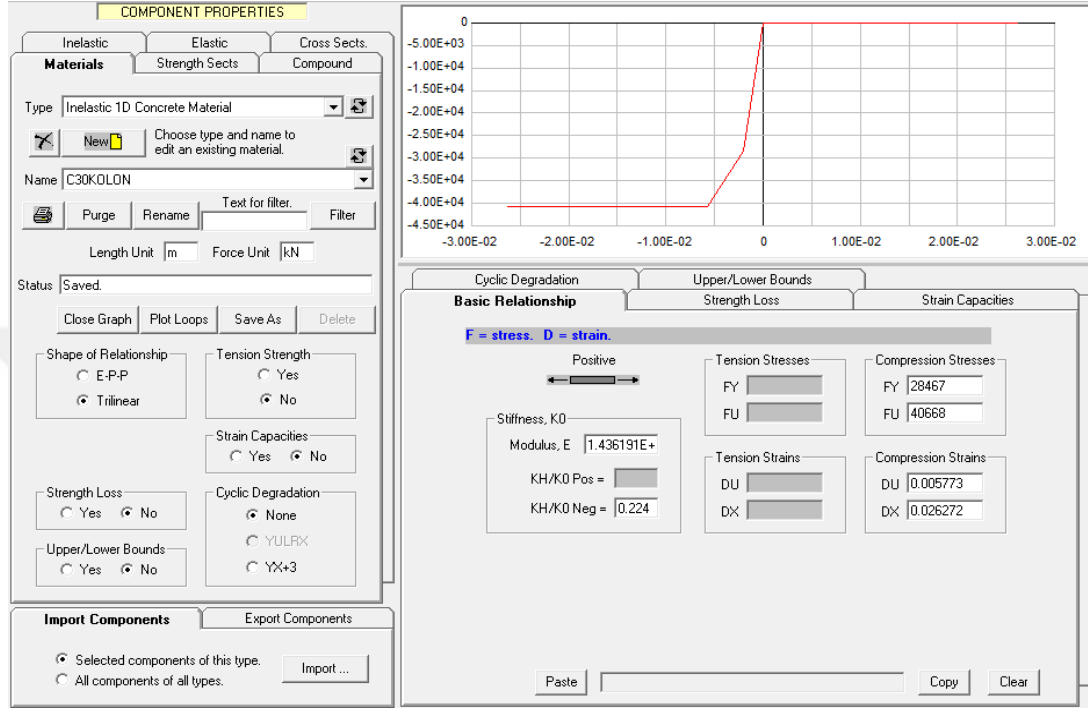
Şekil 6.13 : Ölçeklenmemiş ve ölçeklenmiş ivme kayıtları.



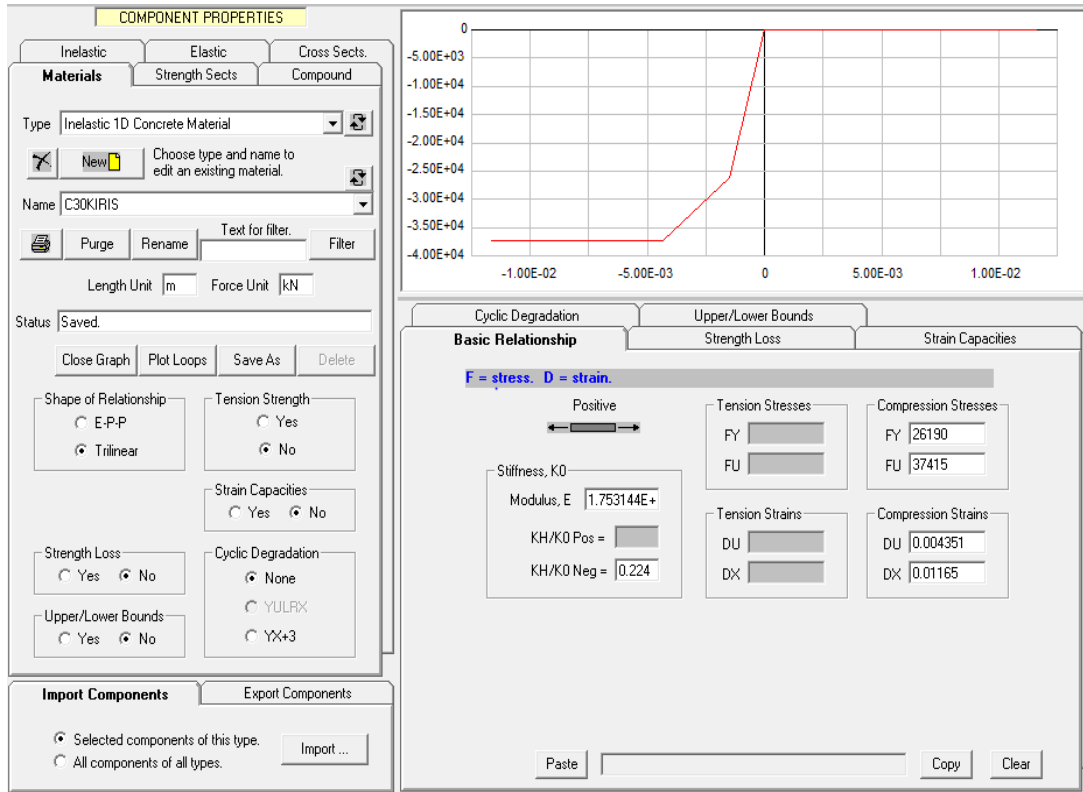
## 6.2.3 Perform-3D programı veri girişi

### 6.2.3.1 Malzeme tanımı

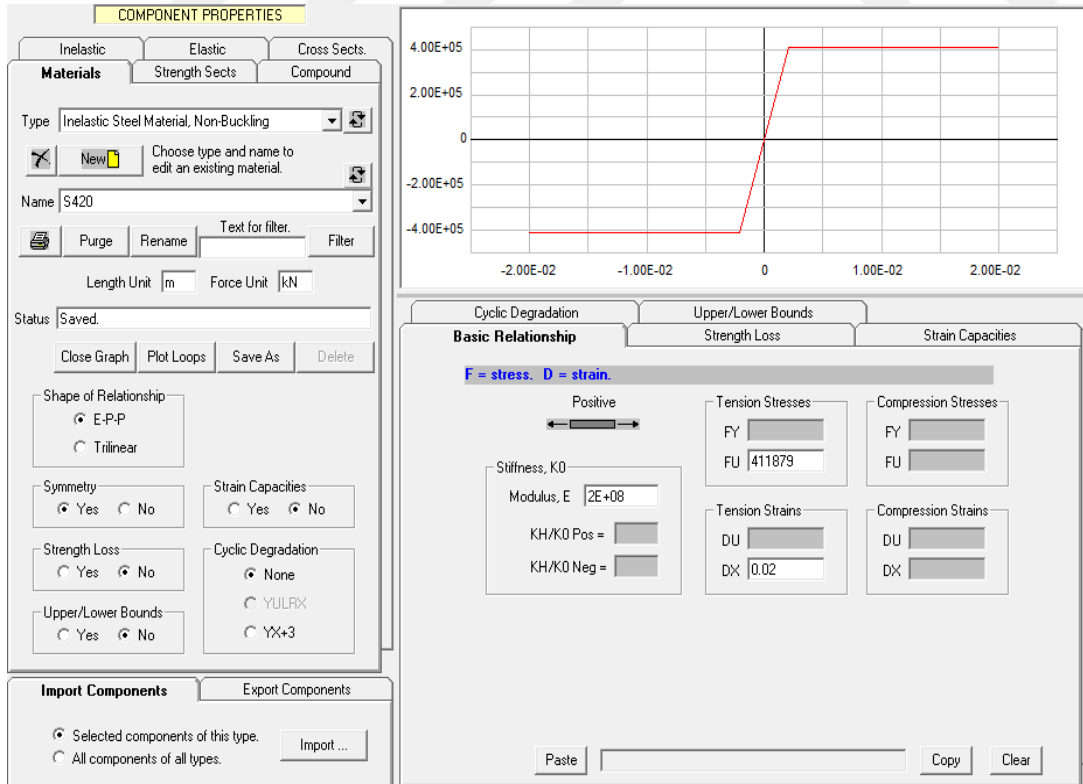
Perform-3D programına girilen beton ve donatı çeliğine ait modeller aşağıda verilmiştir[38].



Şekil 6.14 : Kolonlara ait beton modeli.

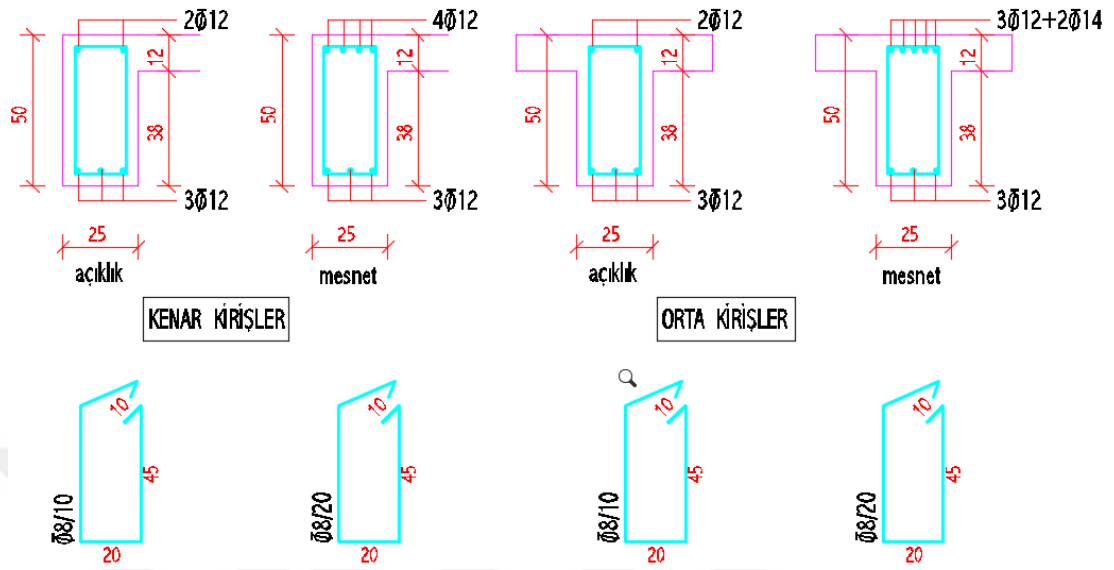


Şekil 6.15 : Kirişlere ait beton modeli.

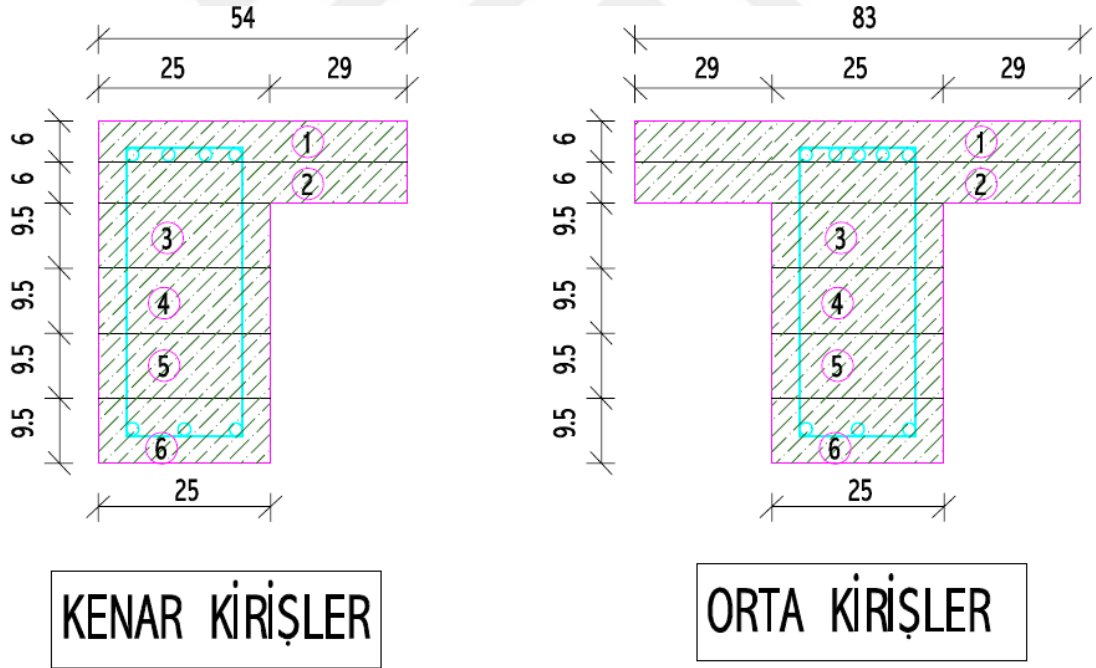


Şekil 6.16 : S420 donatı çeliği modeli.

### 6.2.3.2 Kolon kiriş en kesitlerinin tanımlanması



Şekil 6.17 : Kiriş kesitleri.



Şekil 6.18 : Kiriş fiber kesitleri.

Type: Beam, Inelastic Fiber Section

New Choose type and name to edit an existing section.

Name: Beamfiber\_1

Purge Rename Text for filter. Filter

Length Unit: m Force Unit: kN

Status: Saved.

Check Save Save As Delete

Fiber Areas and Coordinates: FIXED SIZE option

Section Properties:

|                     | Concrete | Steel    |
|---------------------|----------|----------|
| Area =              | .1598    | 7.917e-4 |
| Moment of Inertia = | .003538  | 3.419e-5 |
| Coord of Centroid = | .001377  | -.01135  |

**STRUCTURAL FIBER TO BE ADDED OR CHANGED**

Material Type: Inelastic Steel Material, Non-Buckling

Material Name: S420

Fiber Area: Axis 2 Coord:

Add Insert Replace Delete

**STRUCTURAL FIBER LIST (MAX 12)** Click to highlight row for Insert, Replace or Delete.

| No. | Type     | Material Name | Area       | Axis 2 Coord |
|-----|----------|---------------|------------|--------------|
| 1   | Concrete | C30KIRIS      | 0.0324     | 0.18         |
| 2   | Concrete | C30KIRIS      | 0.0324     | 0.12         |
| 3   | Concrete | C30KIRIS      | 0.02375    | 0.0425       |
| 4   | Concrete | C30KIRIS      | 0.02375    | -0.0525      |
| 5   | Concrete | C30KIRIS      | 0.02375    | -0.1475      |
| 6   | Concrete | C30KIRIS      | 0.02375    | -0.2425      |
| 7   | Steel    | S420          | 4.5239E-04 | 0.168623     |
| 8   | Steel    | S420          | 3.3929E-04 | -0.251326    |
|     |          |               |            |              |
|     |          |               |            |              |
|     |          |               |            |              |
|     |          |               |            |              |
|     |          |               |            |              |
|     |          |               |            |              |
|     |          |               |            |              |
|     |          |               |            |              |

Şekil 6.19 : Kenar kirişler için fiber tanımı.

Type: Beam, Reinforced Concrete Section

New Choose type and name to edit an existing section.

Name: BEAMCONCRETE

Purge Rename Text for filter. Filter

Length Unit: m Force Unit: kN

Status: Saved.

Check Save Save As Delete

Symmetry:  Yes  No

**Shape and Dimensions**

Section Shape: No specific shape

B: 0.25 D: 0.5

Axis 2 Axis 3

To calculate the section properties for the above dimensions, press this button. If you wish, you can edit the properties after they have been calculated. Calculate

**Section Stiffness**

|                         |        |                              |           |
|-------------------------|--------|------------------------------|-----------|
| Axial Area              | 0.1586 | Torsional Inertia            | 0.0020498 |
| Shear Area along Axis 2 | 0.125  | Bending Inertia about Axis 2 | 0.0019836 |
| Shear Area along Axis 3 | 0.0636 | Bending Inertia about Axis 3 | 0.0036005 |

Shear area = 0 means no shear deformation.

**Material Stiffness**

Young's Modulus: 3.3E+07 Poisson's Ratio: 0.25 Shear Modulus: 1.32E+07

Şekil 6.20 : Kenar kirişler için elastik kesite ait özellikler.

Type: Beam, Reinforced Concrete Section

New Choose type and name to edit an existing section.

Name: BEAMCONCRETE2

Purge Rename Text for filter. Filter

Length Unit: m Force Unit: kN

Status: Saved.

Check Save Save As Delete

Symmetry:  Yes  No

**Shape and Dimensions**

Section Shape: No specific shape

B: 0.25 D: 0.5

Axis 2 Axis 3

To calculate the section properties for the above dimensions, press this button. If you wish, you can edit the properties after they have been calculated. Calculate

**Section Stiffness**

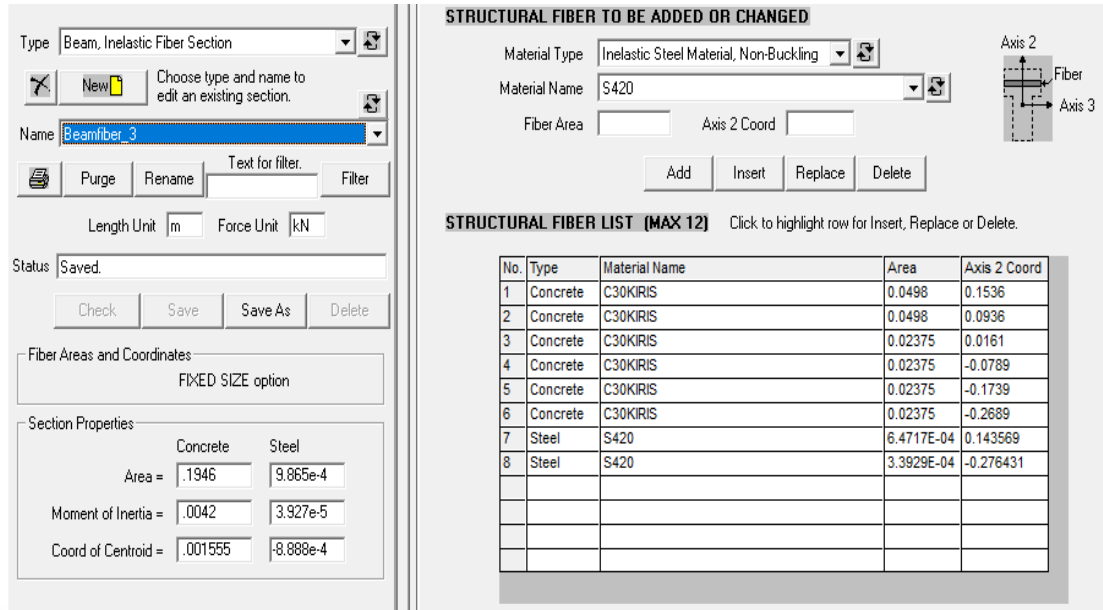
|                         |       |                              |           |
|-------------------------|-------|------------------------------|-----------|
| Axial Area              | 0.197 | Torsional Inertia            | 0.00221   |
| Shear Area along Axis 2 | 0.125 | Bending Inertia about Axis 2 | 0.005809  |
| Shear Area along Axis 3 | 0.081 | Bending Inertia about Axis 3 | 0.0042625 |

Shear area = 0 means no shear deformation.

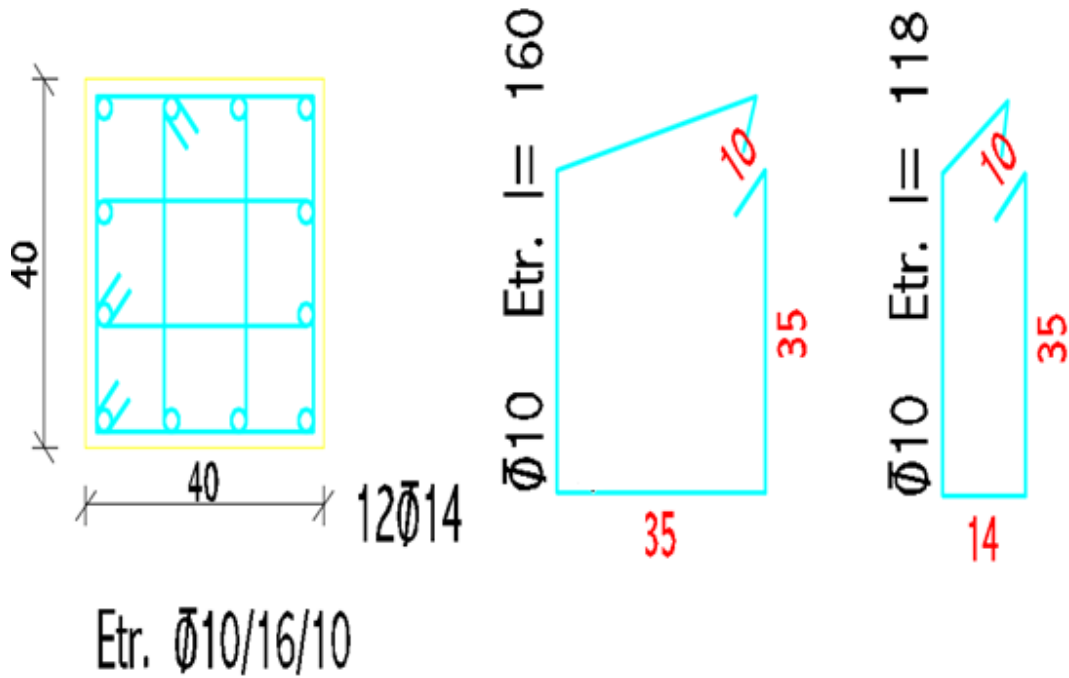
**Material Stiffness**

Young's Modulus: 3.3E+07 Poisson's Ratio: 0.25 Shear Modulus: 1.32E+07

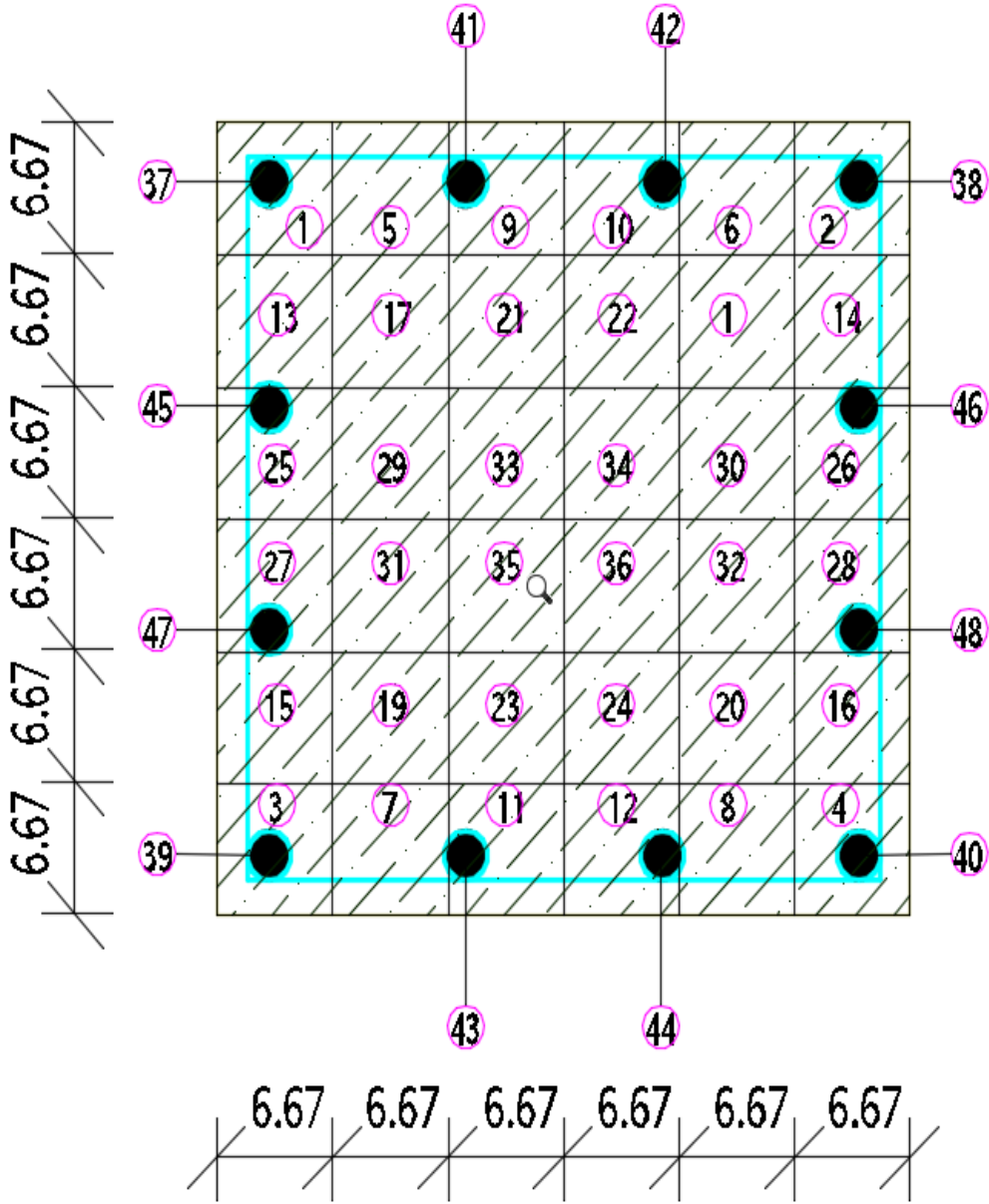
Şekil 6.21 : Orta kirişler için elastik kesite ait özellikler.



Şekil 6.22 : Orta kirişler için fiber tanımı.



Şekil 6.23 : Kolon kesiti.



Şekil 6.24 : Kolon fiber kesitleri.

Length Unit  Force Unit

Status

Fiber Areas and Coordinates  
FIXED SIZE option

Section Properties

|                        | Concrete                             | Steel                                 |
|------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| Area =                 | <input type="text" value=".1598"/>   | <input type="text" value=".001847"/>  |
| Inertia about Axis 3 = | <input type="text" value=".002072"/> | <input type="text" value="3.327e-5"/> |
| Axis 2 Centroid =      | <input type="text" value="0"/>       | <input type="text" value="0"/>        |
| Inertia about Axis 2 = | <input type="text" value=".002072"/> | <input type="text" value="3.327e-5"/> |
| Axis 3 Centroid =      | <input type="text" value="0"/>       | <input type="text" value="0"/>        |

Selected components of this type.

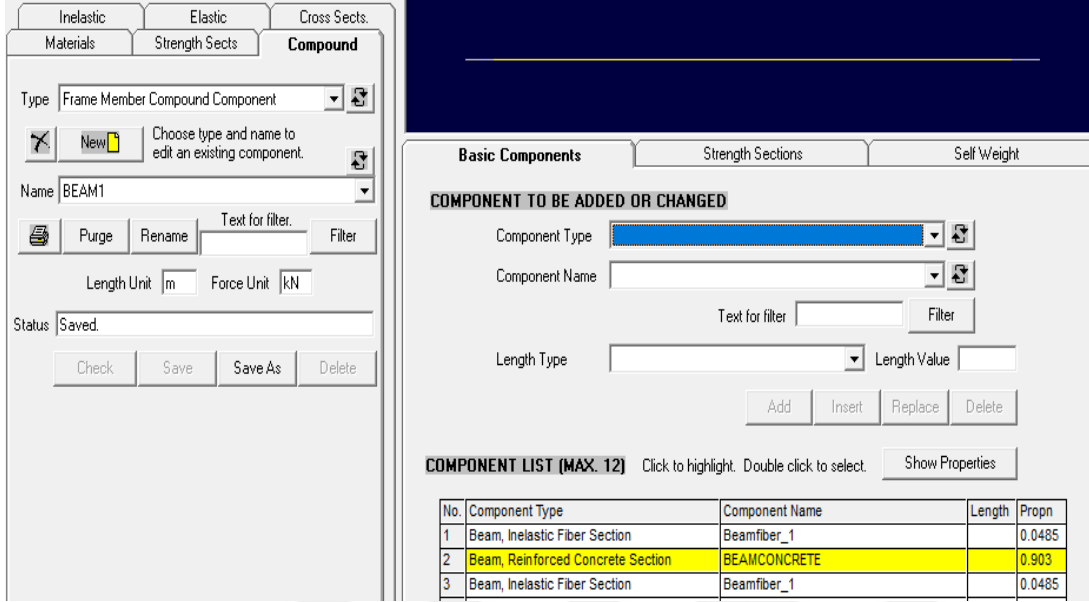
**STRUCTURAL FIBER LIST (MAX 60)** Click to highlight row for Insert, Replace or Delete.

| No. | Type     | Material Name | Area      | Axis 2 Coord | Axis 3 Coord |
|-----|----------|---------------|-----------|--------------|--------------|
| 1   | Concrete | C30KOLON      | 0.00444   | 0.1667       | 0.1667       |
| 2   | Concrete | C30KOLON      | 0.00444   | 0.1667       | -0.1667      |
| 3   | Concrete | C30KOLON      | 0.00444   | -0.1667      | -0.1667      |
| 4   | Concrete | C30KOLON      | 0.00444   | -0.1667      | 0.1667       |
| 5   | Concrete | C30KOLON      | 0.00444   | 0.1667       | 0.1          |
| 6   | Concrete | C30KOLON      | 0.00444   | 0.1667       | -0.1         |
| 7   | Concrete | C30KOLON      | 0.00444   | -0.1667      | -0.1         |
| 8   | Concrete | C30KOLON      | 0.00444   | -0.1667      | 0.1          |
| 9   | Concrete | C30KOLON      | 0.00444   | 0.1667       | 0.0333       |
| 10  | Concrete | C30KOLON      | 0.00444   | 0.1667       | -0.0333      |
| 11  | Concrete | C30KOLON      | 0.00444   | -0.1667      | -0.0333      |
| 12  | Concrete | C30KOLON      | 0.00444   | -0.1667      | 0.0333       |
| 13  | Concrete | C30KOLON      | 0.00444   | 0.1          | 0.1667       |
| 14  | Concrete | C30KOLON      | 0.00444   | 0.1          | -0.1667      |
| 15  | Concrete | C30KOLON      | 0.00444   | -0.1         | -0.1667      |
| 16  | Concrete | C30KOLON      | 0.00444   | -0.1         | 0.1667       |
| 17  | Concrete | C30KOLON      | 0.00444   | 0.1          | 0.1          |
| 18  | Concrete | C30KOLON      | 0.00444   | 0.1          | -0.1         |
| 19  | Concrete | C30KOLON      | 0.00444   | -0.1         | -0.1         |
| 20  | Concrete | C30KOLON      | 0.00444   | -0.1         | 0.1          |
| 21  | Concrete | C30KOLON      | 0.00444   | 0.1          | 0.0333       |
| 22  | Concrete | C30KOLON      | 0.00444   | 0.1          | -0.0333      |
| 23  | Concrete | C30KOLON      | 0.00444   | -0.1         | -0.0333      |
| 24  | Concrete | C30KOLON      | 0.00444   | -0.1         | 0.0333       |
| 25  | Concrete | C30KOLON      | 0.00444   | 0.0333       | 0.1667       |
| 26  | Concrete | C30KOLON      | 0.00444   | 0.0333       | -0.1667      |
| 27  | Concrete | C30KOLON      | 0.00444   | -0.0333      | -0.1667      |
| 28  | Concrete | C30KOLON      | 0.00444   | -0.0333      | 0.1667       |
| 29  | Concrete | C30KOLON      | 0.00444   | 0.0333       | 0.1          |
| 30  | Concrete | C30KOLON      | 0.00444   | 0.0333       | -0.1         |
| 31  | Concrete | C30KOLON      | 0.00444   | -0.0333      | -0.1         |
| 32  | Concrete | C30KOLON      | 0.00444   | -0.0333      | 0.1          |
| 33  | Concrete | C30KOLON      | 0.00444   | 0.0333       | 0.0333       |
| 34  | Concrete | C30KOLON      | 0.00444   | 0.0333       | -0.0333      |
| 35  | Concrete | C30KOLON      | 0.00444   | -0.0333      | -0.0333      |
| 36  | Concrete | C30KOLON      | 0.00444   | -0.0333      | 0.0333       |
| 37  | Steel    | S420          | 0.0001539 | 0.16         | 0.16         |
| 38  | Steel    | S420          | 0.0001539 | 0.16         | -0.16        |
| 39  | Steel    | S420          | 0.0001539 | -0.16        | -0.16        |
| 40  | Steel    | S420          | 0.0001539 | -0.16        | 0.16         |
| 41  | Steel    | S420          | 0.0001539 | 0.16         | 0.0533       |
| 42  | Steel    | S420          | 0.0001539 | 0.16         | -0.0533      |
| 43  | Steel    | S420          | 0.0001539 | -0.16        | -0.0533      |
| 44  | Steel    | S420          | 0.0001539 | -0.16        | 0.0533       |
| 45  | Steel    | S420          | 0.0001539 | 0.0533       | 0.16         |
| 46  | Steel    | S420          | 0.0001539 | 0.0533       | -0.16        |
| 47  | Steel    | S420          | 0.0001539 | -0.0533      | -0.16        |
| 48  | Steel    | S420          | 0.0001539 | -0.0533      | 0.16         |

Şekil 6.25 : Kolon fiber tanımı.

### 6.2.3.3 Kiriş – kolon elemanlarının oluşturulması

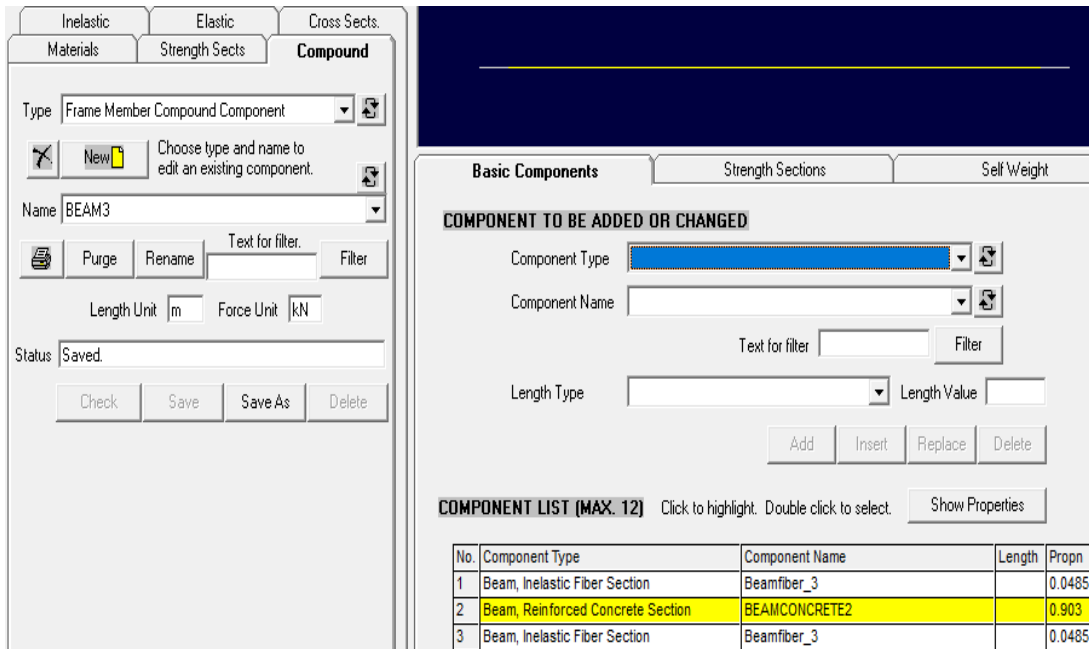
Bu tez kapsamında, kolonlar tüm uzunluğu boyunca fiber model olarak tanımlanmıştır. Kirişler ise iki ucundan  $0.5xh$  (kesit yüksekliği) kadar olan uzunluğu fiber model ile, kalan kısmı ise elastik kesit olarak tanımlanmıştır.



The screenshot displays the software interface for creating a beam element. The left panel shows the 'Compound' section with 'Type' set to 'Frame Member Compound Component' and 'Name' set to 'BEAM1'. The right panel shows the 'Basic Components' section with a table of components to be added or changed.

| No. | Component Type                    | Component Name | Length | Propn  |
|-----|-----------------------------------|----------------|--------|--------|
| 1   | Beam, Inelastic Fiber Section     | Beamfiber_1    |        | 0.0485 |
| 2   | Beam, Reinforced Concrete Section | BEAMCONCRETE   | 0.903  |        |
| 3   | Beam, Inelastic Fiber Section     | Beamfiber_1    |        | 0.0485 |

Şekil 6.26 : Kenar kiriş elemanları.

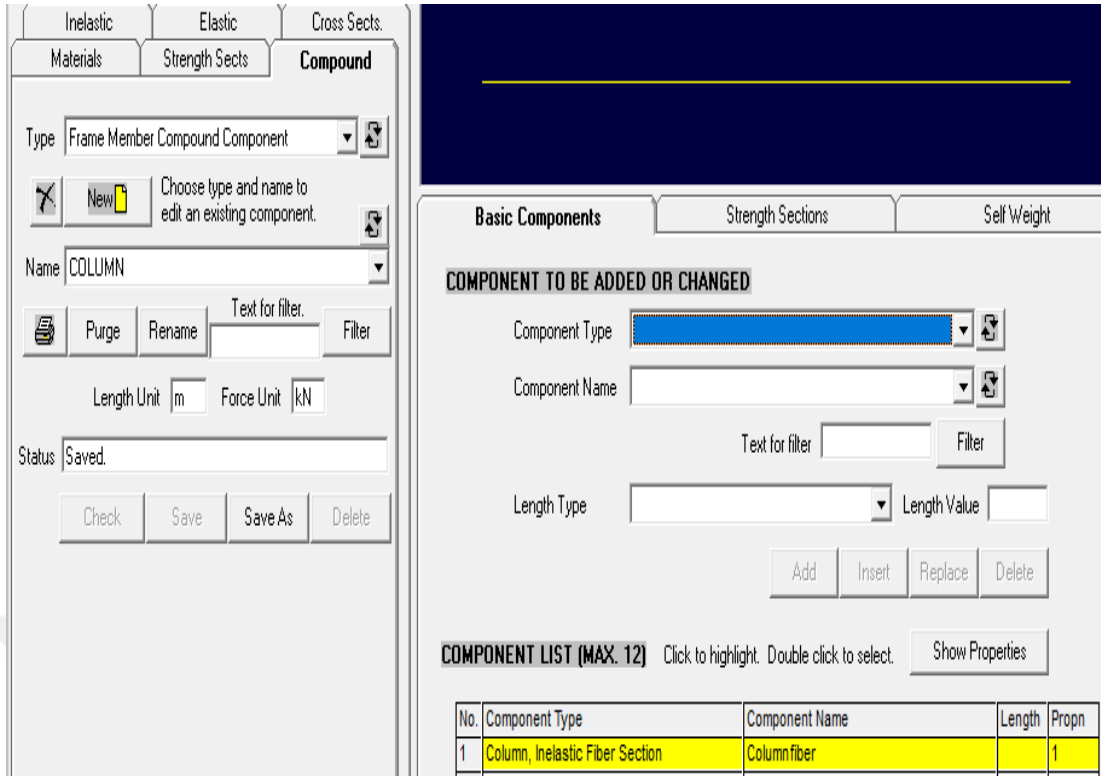


The screenshot displays the software interface for creating a beam element. The left panel shows the 'Compound' section with 'Type' set to 'Frame Member Compound Component' and 'Name' set to 'BEAM3'. The right panel shows the 'Basic Components' section with a table of components to be added or changed.

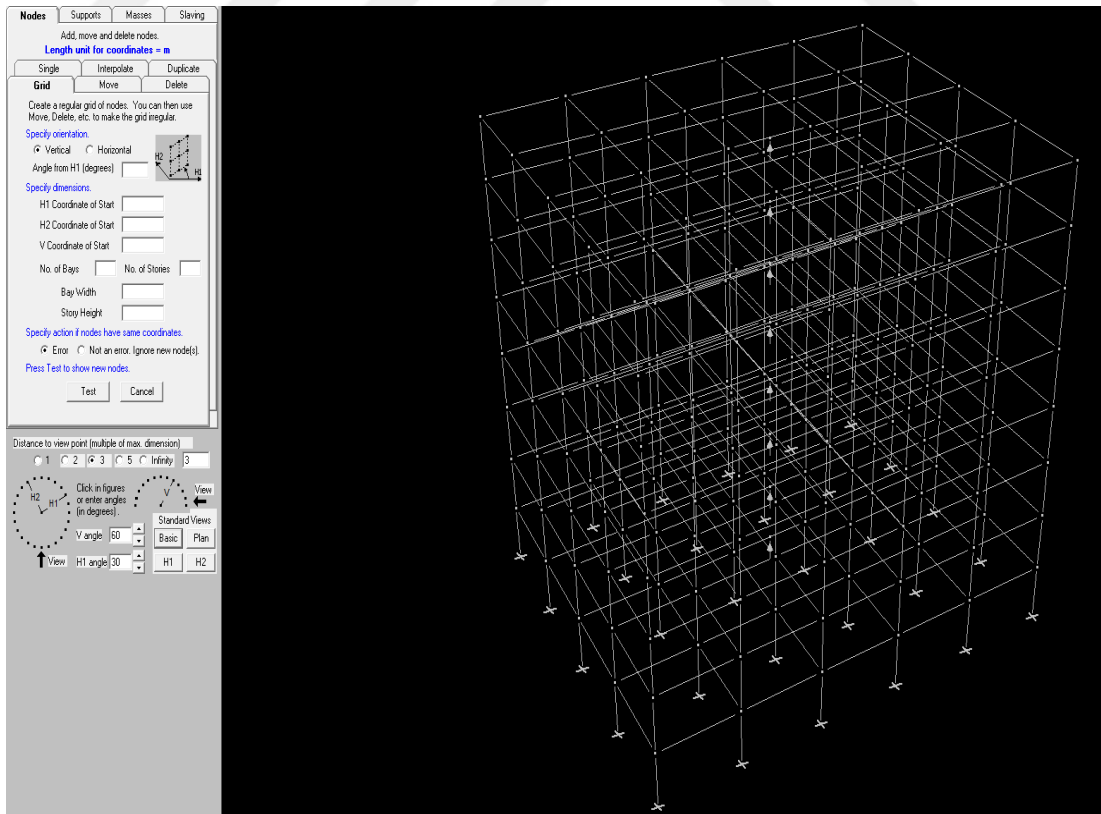
| No. | Component Type                    | Component Name | Length | Propn  |
|-----|-----------------------------------|----------------|--------|--------|
| 1   | Beam, Inelastic Fiber Section     | Beamfiber_3    |        | 0.0485 |
| 2   | Beam, Reinforced Concrete Section | BEAMCONCRETE2  | 0.903  |        |
| 3   | Beam, Inelastic Fiber Section     | Beamfiber_3    |        | 0.0485 |

Şekil 6.27 : Orta kiriş elemanları.





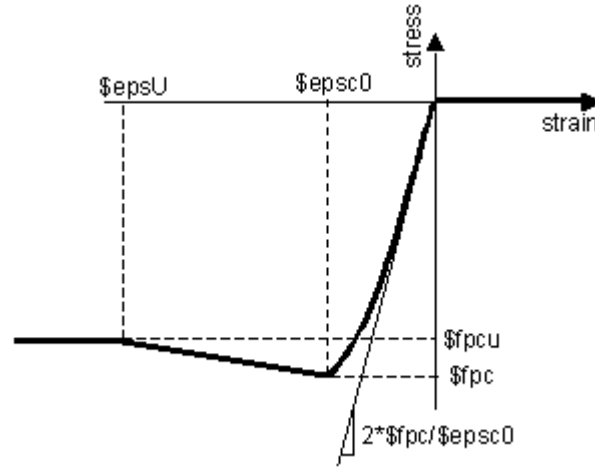
Şekil 6.28 : Kolon elemanları.



Şekil 6.29 : Perform-3D model.

## 6.2.4 Opensees programı veri girişi

### 6.2.4.1 Malzeme tanımı



Şekil 6.30 : OpenSees beton malzeme modeli.

yukarıdaki grafikte,

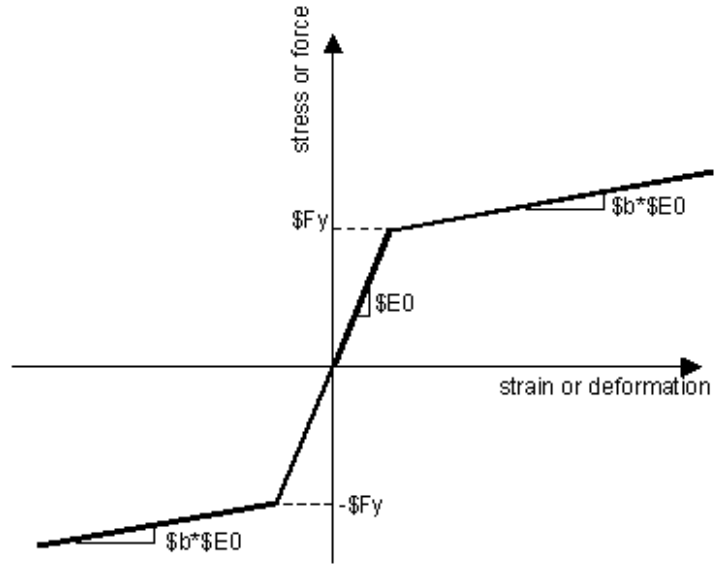
$\epsilon_{psU}$  : Beton kopma birim şekildeğiştirme

$\epsilon_{psc0}$  : Beton maksimum gerilme altındaki birim şekildeğiştirme

$f_{pc}$  : 28 günlük beton basınç dayanımını göstermektedir. Şekilde gösterildiği gibi, başlangıç elastisite modülü,  $2 * f_{pc} / \epsilon_{psc0}$  bağıntısı ile hesap edilir.

Çizelge 6.2 : Opensees Beton Modeli Parametreleri.

|                    | $f_{pc}$  | $\epsilon_{psc0}$ | $f_{pcU}$ | $\epsilon_{psU}$ |
|--------------------|-----------|-------------------|-----------|------------------|
| Sargısız Beton     | -30000000 | -0.0021           | -30000000 | -0.003           |
| Kenar Kiriş Sol Uç | -37414296 | -0.0043508373     | -37414296 | -0.011652633     |
| Kenar Kiriş Sağ Uç | -37423208 | -0.0043547        | -37423208 | -0.01165081      |
| Orta kiriş Sol Uç  | -37419408 | -0.00435307       | -37419408 | -0.0116515       |
| Orta kiriş Sağ Uç  | -37433504 | -0.00435923       | -37433504 | -0.0116487       |
| Kolon              | -40668080 | -0.005772810      | -40668080 | -0.02627226      |



Şekil 6.31 : OpenSees donatı çeliği (B420C) malzeme modeli.

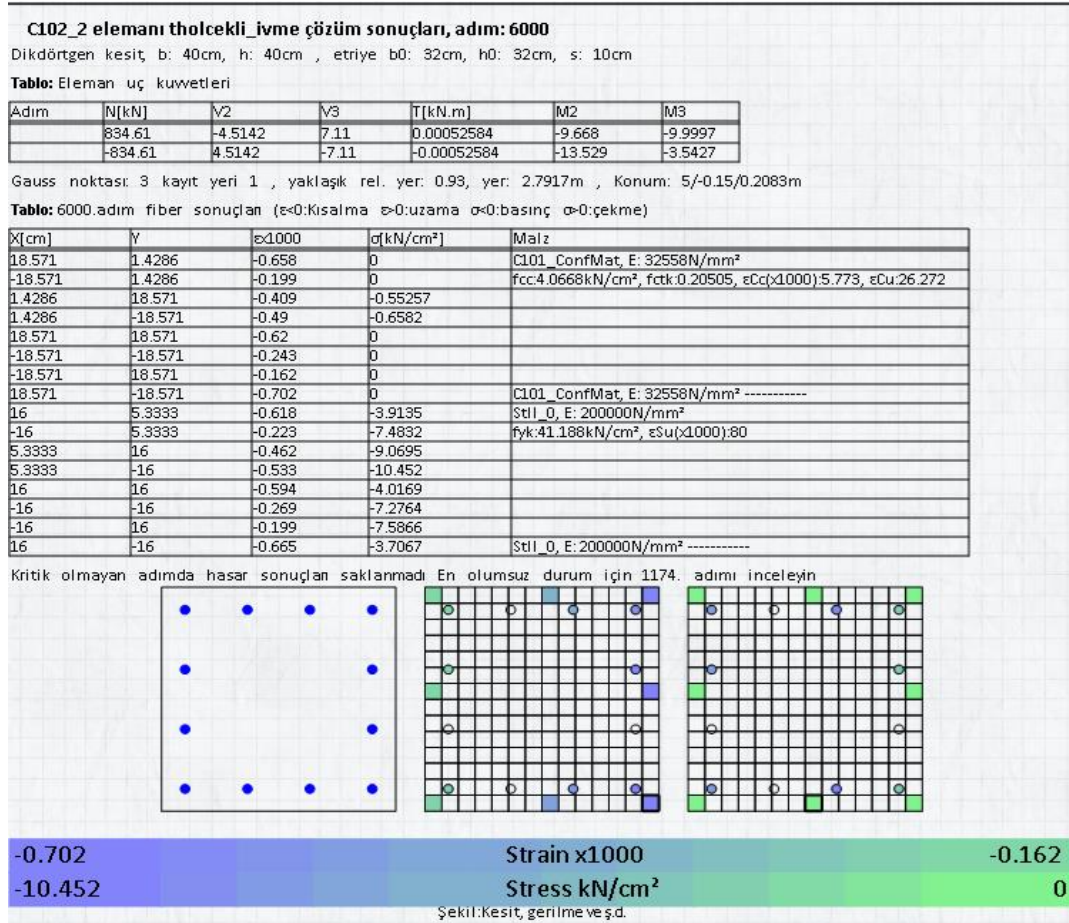
Burada,

$F_y$  : akma dayanımı

$E_0$  : başlangıç elastisite modülü

$b$  : başlangıç elastisite modülü ile tanjant modülü arasındaki oran

## 6.2.5 Kolon kiriş en kesitlerinin tanımlanması

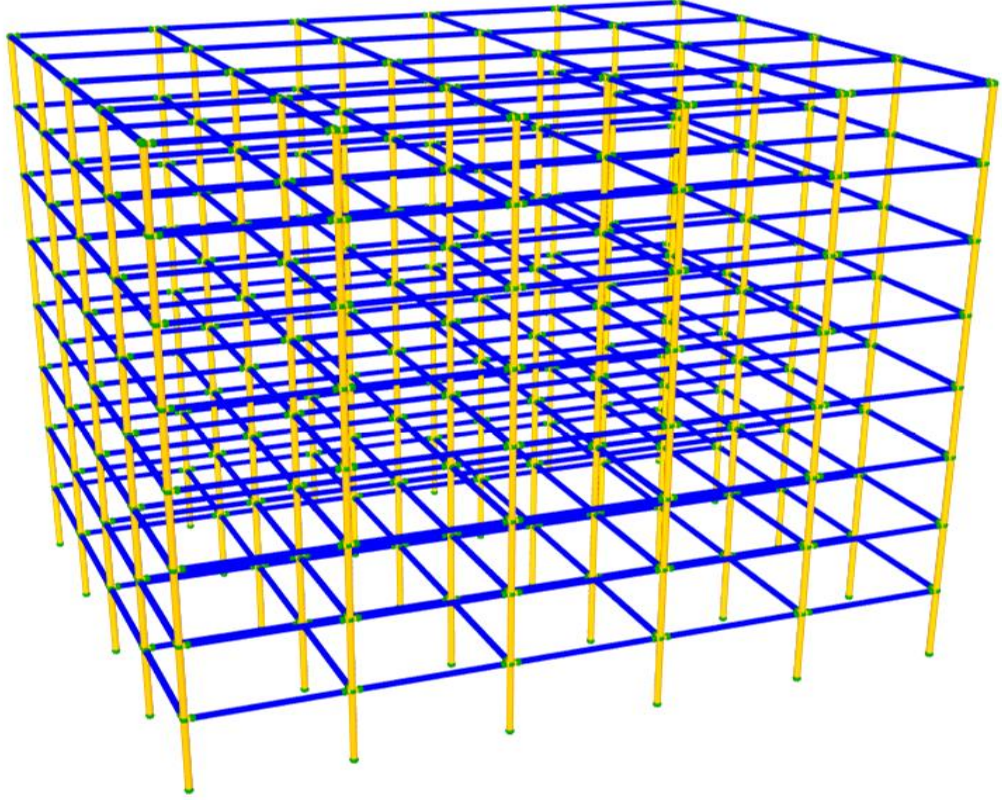


Şekil 6.32 : Kolon malzeme ve fiber tanımı.

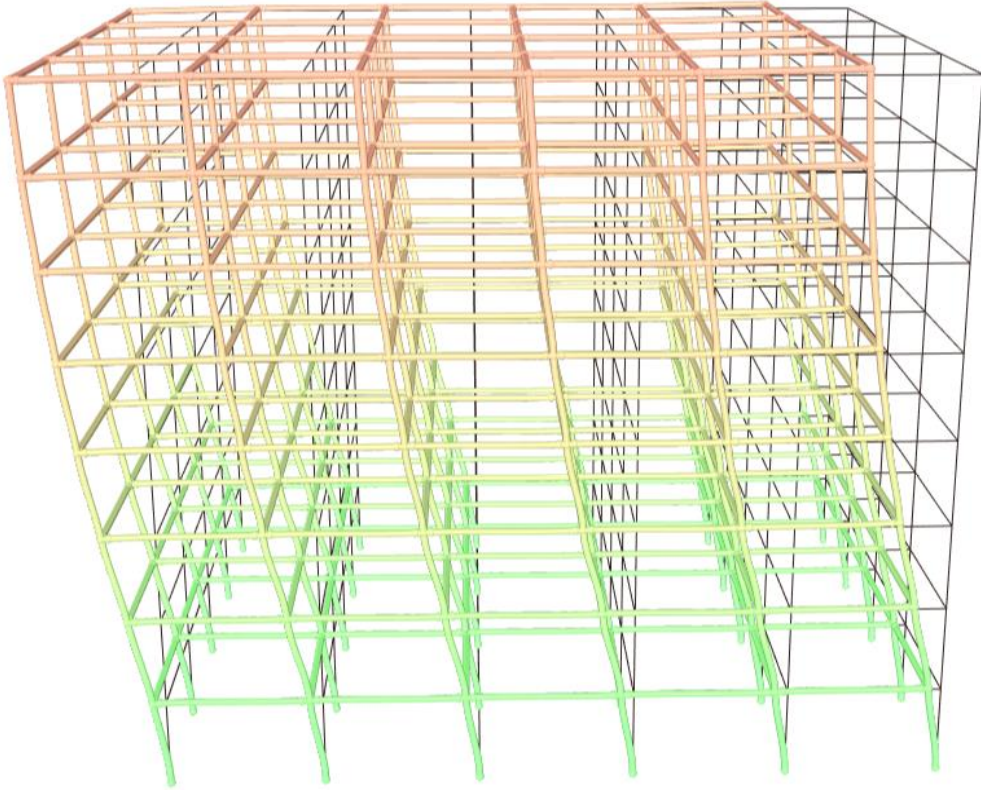


Şekil 6.33 : Kiriş malzeme ve fiber tanımı.



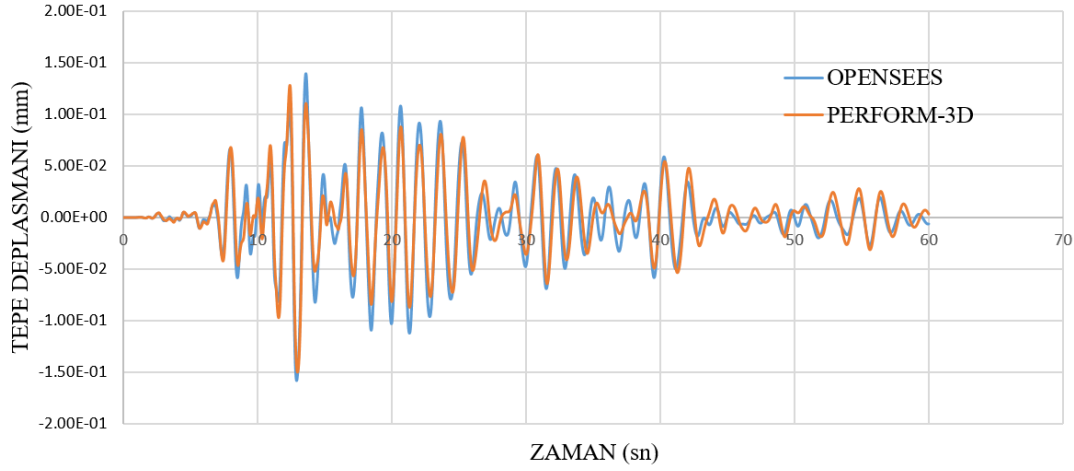


Şekil 6.34 : OpenSees modeli.



Şekil 6.35 : Maksimum deplasmanın olduğu adım (1251. adım)'a ait eleman yerdeğıştirmeleri.

## 6.2.6 Perform-3D ile Opensees programları tepe deplasmanın zamana göre değişiminin karşılaştırması



Şekil 6.36 : Tepe deplasmanın zamanla değişimi.

## 6.3 7 katlı Betonarme Çerçevelerden Oluşan Bir Binanın TDY2007 İle TBDY2018' e Göre Tasarımı Ve TBDY2018' e Göre Şekildeğiştirmeye Dayalı Değerlendirilmesi

Bu örnekte, 7 katlı betonarme çerçevelerden oluşan bir binanın TDY2007 ve TBDY2018' e göre hesap ve tasarımı yapılacaktır. Daha sonra her iki tasarım sonucu elde edilen yapının TBDY2018'e göre performansları kıyaslanacaktır.

### 6.3.1 Bina genel bilgileri

Dayanım esaslı tasarımı ve şekildeğiştirmeye dayalı performans değerlendirmesi yapılacak bina İstanbul İli, Çekmeköy İlçesinde inşa edilecektir. Konut olarak kullanılacak olan bina 7 normal kattan oluşmaktadır. Zemin kat yüksekliği 3.8m, diğer kat yükseklikleri ise 3.40m' dir. Bina da X-X doğrultusunda aks aralıkları 5.80m ve Y-Y doğrultusunda aks aralıkları 6.6m olan her iki doğrultuda 6' şar adet açıklık bulunmaktadır. Diğer parametreler aşağıdaki gibidir,

Zemin sınıfı: Z2

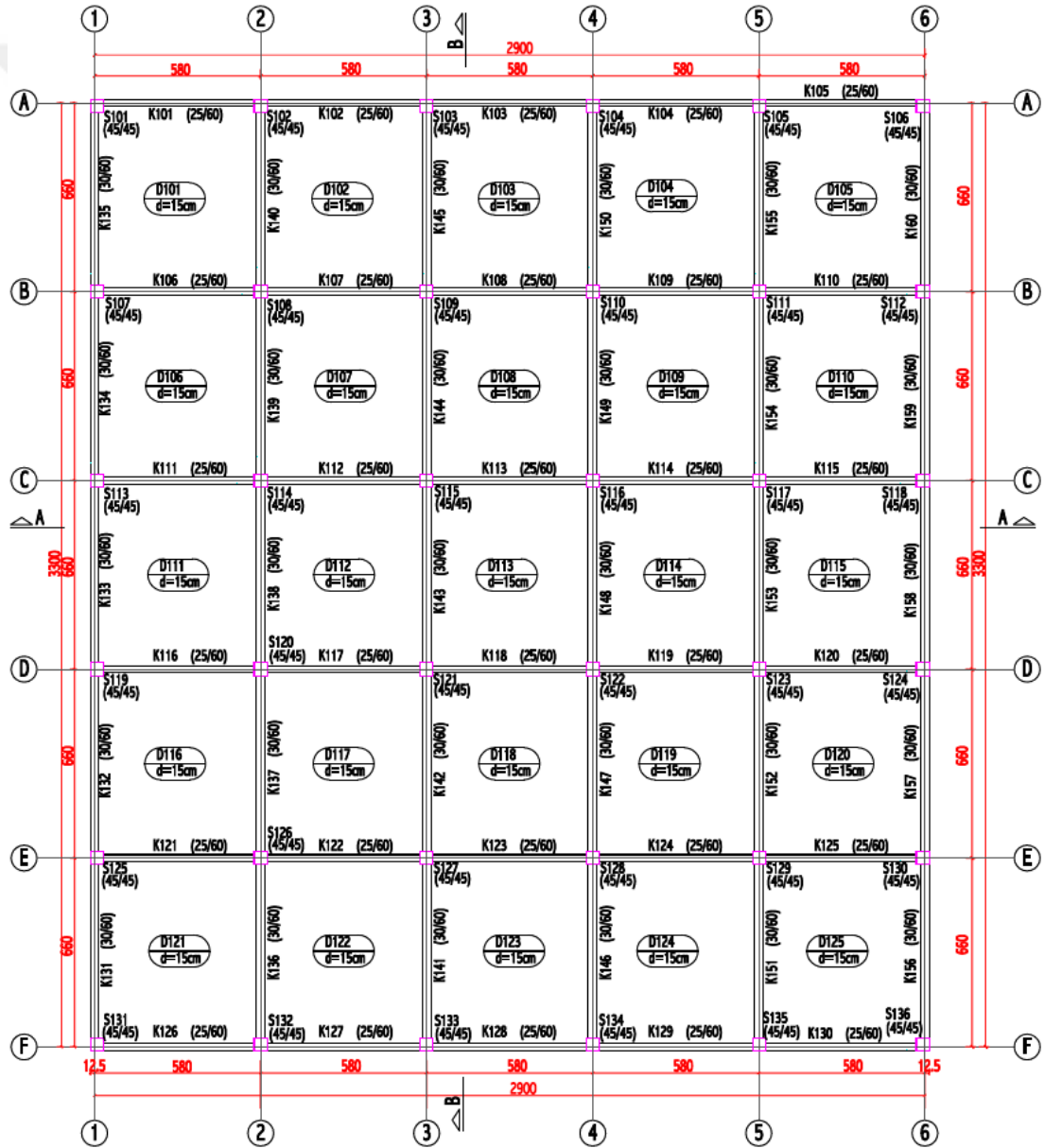
Beton sınıfı : C30

Donatı çeliği sınıfı : S420

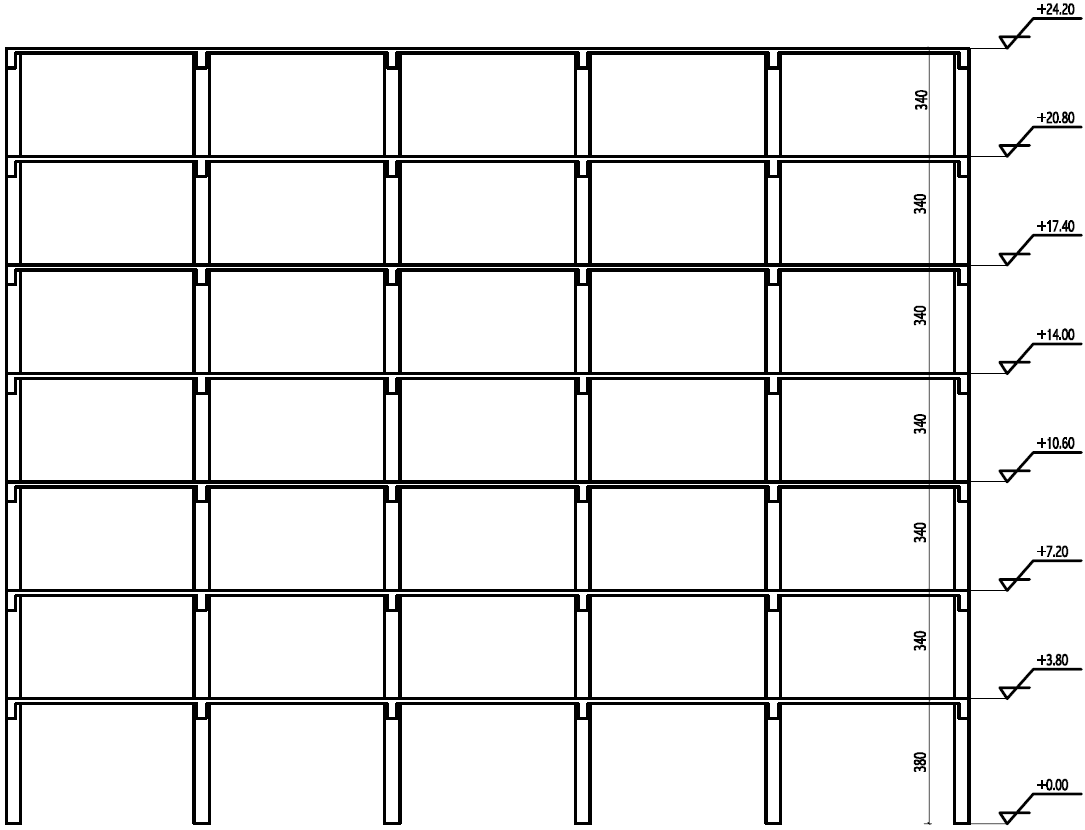
### 6.3.2 7 katlı binanın TDY2007' ye göre tasarımı ve TBDY2018' e göre performansının belirlenmesi

#### 6.3.2.1 7 Katlı binanın TDY2007' e göre hesabı

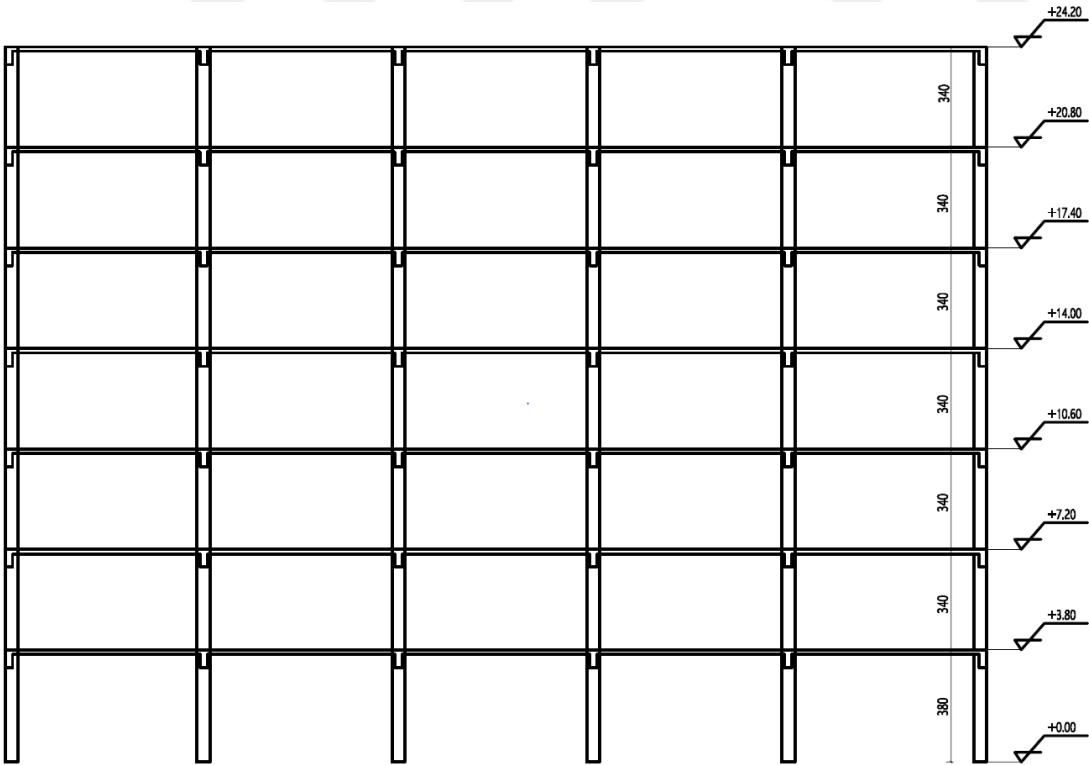
7 katlı betonarme çerçeve binanın TDY2007' de mod birleştirme yöntemine göre hesabı yapılmıştır. Hesap sonucunda bulunan kiriş ve kolon kesit boyutları ile kesitlerde hesap sonucu ortaya çıkan donatılar verilmiştir. Hesap sonucunda, Kolon kesitleri 45cm X 45cm, kiriş kesitleri ise X-X doğrultusunda 25cm x 60cm ve Y-Y doğrultusunda 30cm x 60cm olarak belirlenmiştir. Binaya ait kat plan ve kesitleri ile kolon ve kiriş donatıları aşağıda verilmiştir.



Şekil 6.37 : Kat kalıp planı.

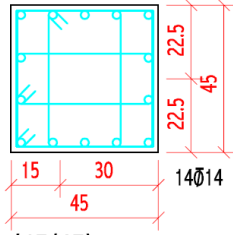


Şekil 6.38 : A-A kesiti.



Şekil 6.39 : B-B kesiti.

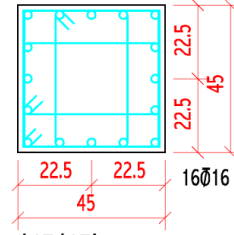




(45/45)

Etr. Ø8/15/10

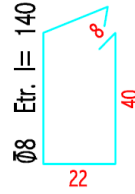
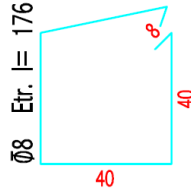
S101-S102-S103-S104-S105-S106-S107-S112-S113-S118  
S119-S124-S125-S130-S131-S132-S133-S134-S135-S136



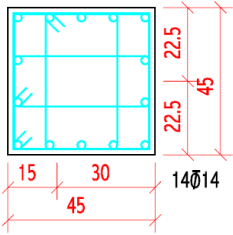
(45/45)

Etr. Ø8/15/10

S108-S109-S110-S111-S114-S115-S116-S117  
S120-S121-S122-S123-S126-S127-S128-S129



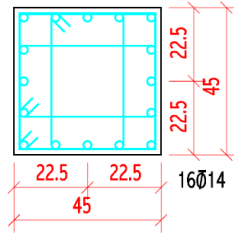
Şekil 6.40 : Zemin Kat, 1.Normal Kat Ve 2.Normal Kat Kolon Planları



(45/45)

Etr. Ø8/15/10

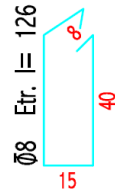
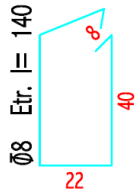
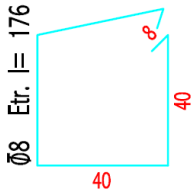
S101-S102-S103-S104-S105-S106-S107-S112-S113-S118  
S119-S124-S125-S130-S131-S132-S133-S134-S135-S136



(45/45)

Etr. Ø8/15/10

S108-S109-S110-S111-S114-S115-S116-S117  
S120-S121-S122-S123-S126-S127-S128-S129

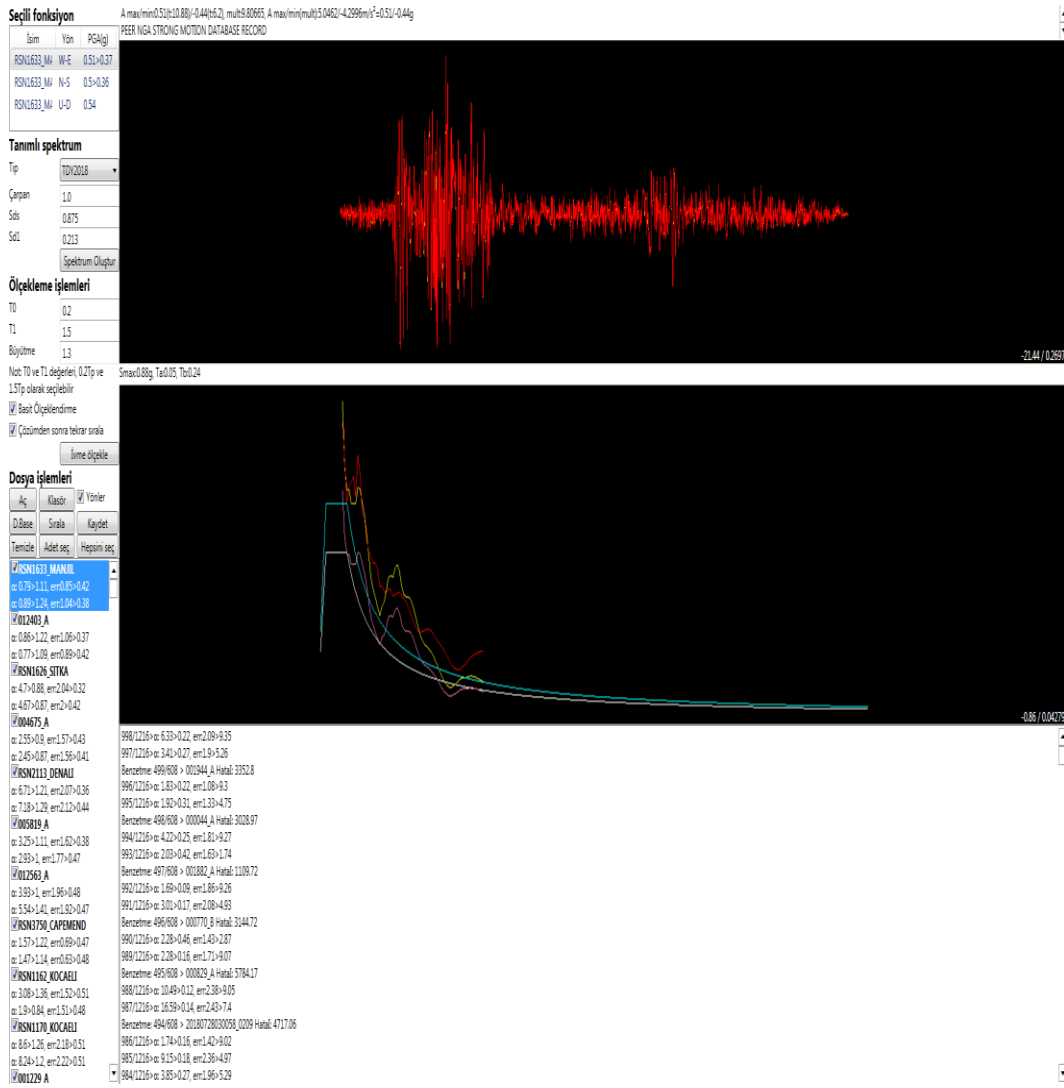


Şekil 6.41 : 3.Normal kat, 4.normal kat, 5.normal kat ve 6.normal kat kolon detayları.

### 6.3.2.2 TDY2007' ye göre hesaplanan 7 katlı binanın TBDY2018' de şekildeğiştirmeye göre OpenSees programı ile performansının belirlenmesi

Yukarıda verilen yanının OpenSees programı ile fiber (lif) modeli kullanılarak beton liflerine ait birim uzamalar ile donatı çeliklerine ait birim uzama ve kısalma değerleri elde edilmiştir. Hesap adımları aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

1. İlk olarak yapının bulunduğu yere ait tasarım ivme spektrumu, TDTH web arayüzü yardımı ile elde edilmiştir.
2. Bu tez kapsamında yazılan ölçekleme programının bünyesinde bulunan yaklaşık altıyüz deprem kaydına ait spektrumlar çizilmiştir. Daha sonar  $0.2T_p$  ile  $1.5T_p$  arasındaki periyotlarda tasarım ivme spektrumuna göre ölçekleme yapılmıştır. Tasarım ivme spektrumuna en yakın onbir adet deprem kaydı her iki doğrultusu ile birlikte (  $2 \times 11 = 22$  adet deprem ivme kaydı) OpenSees programına yüklenmiştir.



**Şekil 6.42 : Deprem kayıtlarının ölçeklenmesi.**

TBDY2018’ de belirtildiği gibi ölçekleme yapılmıştır. Ölçekleme katsayısı her iki doğrultu içinde eşittir. Bu örnekte kullanılan ivme kayıtları için ölçekleme programı tarafından hesaplanan ölçekleme katsayıları çizelge 6.3’ de verilmiştir.

**Çizelge 6.3** : 11 Adet deprem ivme kaydı takımı için ölçekleme katsayıları.

|                     | 1.Deprem | 2.Deprem | 3.Deprem | 4.Deprem  | 5.Deprem  | 6.Deprem |
|---------------------|----------|----------|----------|-----------|-----------|----------|
| Ölçekleme Katsayısı | 2.25     | 2.75     | 2.88     | 2.25      | 3.8       | 2.25     |
|                     | 7.Deprem | 8.Deprem | 9.Deprem | 10.Deprem | 11.Deprem |          |
| Ölçekleme Katsayısı | 6.9      | 5.2      | 0.73     | 5.85      | 1.26      |          |

Binanın TBDY2018 ile yapılan hesabında elastik doğal titreşim periyodu 1sn olduğundan, ölçeklemede kullanılacak periyot aralığı 0.2 – 1.5 sn alınmıştır.

3. Yük kombinasyonu aşağıdaki gibi yapıya etkilmiştir.

$$G + Q_e + 0.2S + E_d^{(H)} + 0.3E_d^{(Z)} \quad (6.5)$$

$$E_d^{(H)} = E_d^{(X)} + E_d^{(Y)} \quad (6.6)$$

Düşey deprem etkisi sabit yükün katsayısına,  $0.3 \times 2/3 \times S_{DS} = 0.3 \times 2/3 \times 0.875 = 0.175$  olarak ilave edilmiştir. Hareketli yük kütle katılım katsayısı  $n = 0.3$  olmak üzere, etkin hareketli yük etkisi  $Q_e = 0.3Q$  olarak hesaba katılmıştır. Burada

$Q$  : Hareketli yük etkisini

$G$  : Sabit yük etkisini

$E_d^{(H)}$  : Yatay deprem etkisini

$E_d^{(X)}$  : X doğrultusu deprem etkisini

$E_d^{(Y)}$  : Y doğrultusu deprem etkisini göstermektedir.

4. Visköz sönüm matrisi olarak Rayleigh orantılı sönüm matrisi kullanılmıştır [39].

$$c = a_0 m + a_1 k \quad (6.7)$$

Böylesi bir sistemin  $n$ ' inci modunun sönüm oranı aşağıdaki kadardır :

$$\zeta_n = \frac{a_0}{2} \frac{1}{\omega_n} + \frac{a_1}{2} \omega_n \quad (6.8)$$

Ard arda verilen iki mod için sönüm oranları birbirine eşit olduğundan, sönüm matrisinin katsayıları  $a_0$  ve  $a_1$ ,

$$a_0 = \zeta \frac{2\omega_1\omega_2}{\omega_1 + \omega_2} = \frac{2 \times 3.946 \times 3.969}{3.946 + 3.969} = 0.198 \quad (6.9)$$

$$a_1 = \zeta \frac{2}{\omega_1 + \omega_2} = \frac{2}{1.782 + 2.112} = 0.0126 \quad (6.10)$$

Bağıntıları ile elde edilir. Daha sonra denklem 6.7' de yerlerine konularak sönüm matrisi (c) bulunur.

Burada,

$\zeta$  : Sönüm oranı ( %5 alınmıştır )

Olarak hesap edilmiştir.

5. Malzeme dayanımı olarak TBDY2018' de verilen ortalama malzeme dayanımları kullanılmıştır.

Beton için 1.3, donatı çeliği için 1.2 katsayılarıyla malzeme dayanımları artırılarak

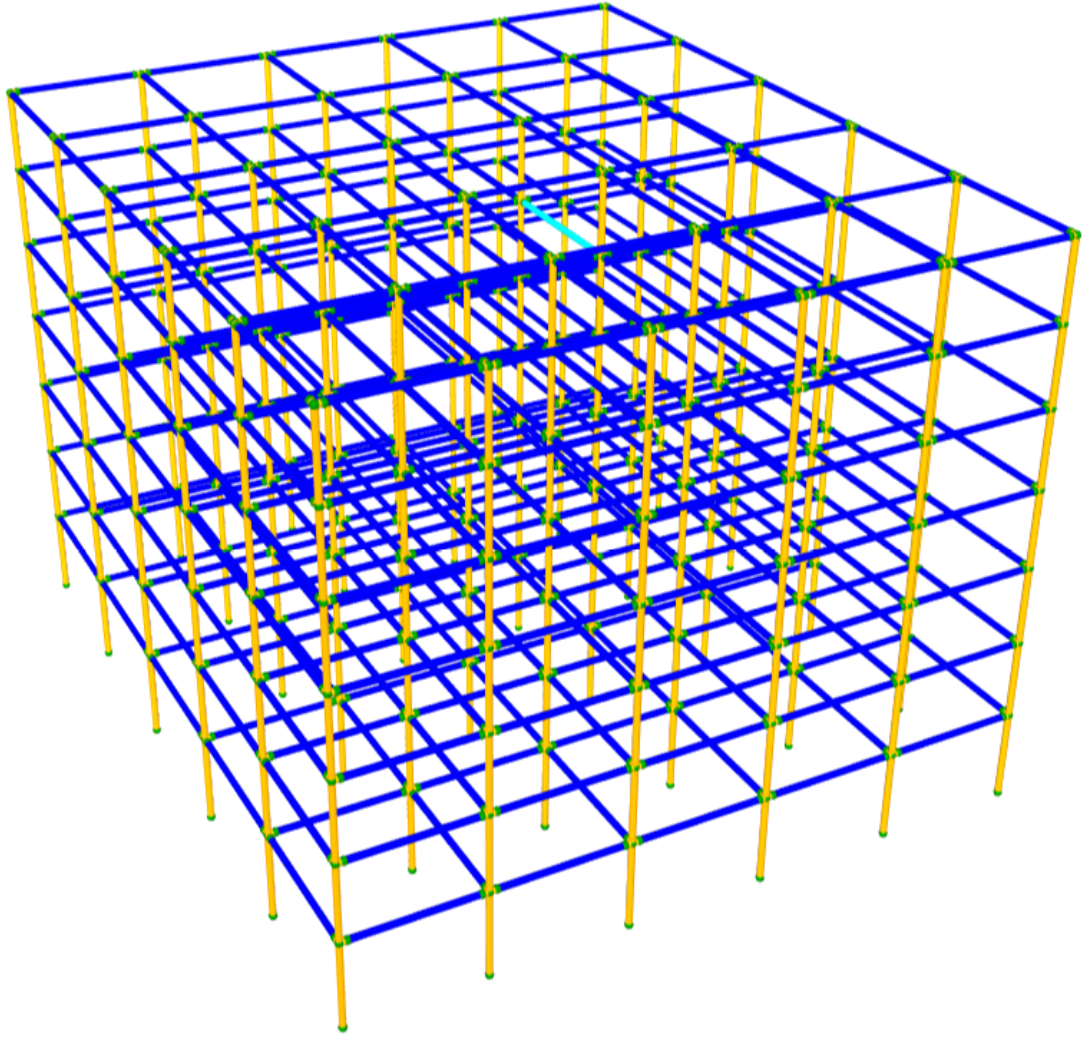
C30 beton için basınç dayanımı = 1.3 x 30 = 39Mpa

S420 donatı çeliği için akma dayanımı = 1.2 x 420 = 504 Mpa

Alınarak kullanılmıştır.

6. Doğrusal olmayan davranışı temsil eden fiber ( lif ) elemanın uzunluğu,

- Kolonlarda tüm uzunluk boyunca
- Kirişlerde kesit yüksekliğini 0.5 katı (0.5xh) olarak alınmıştır. Kiriş elemanın diğer kesitlerinin elastik davranış sergilediği kabul edilmiştir.



**Şekil 6.43** : OpenSees programı fiber eleman gösterimi.

7. Etkin kesit rijitlik çarpanları, kirişlerde 0.35, kolonlarda ise 0.70 seçilmektedir. Bu örnekte kolonlar tüm uzunluğu boyunca fiber model olarak tanımlandığı için rijitlik çarpanı kullanılmamıştır.
8. P- $\Delta$  etkileri dikkate alınarak, hem malzeme bakımından hem de geometri bakımından doğrusal olmayan hesap yapılmıştır. Elastik ötesi davranışın yayılı olarak ele alındığı fiber (lif) model kullanılmıştır.
9. Rijit diyafram özelliğinden yararlanılmıştır.
10. Hesaplarda minimum integrasyon noktası 3 , integrasyon noktaları arasındaki maksimum uzaklık ise 50cm alınmıştır.
11. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yapılmış ve hesaplarda EK A' da verilen onbir adet ölçeklenmiş yer hareketi takımı kullanılmıştır. Birbirine dik yatay iki doğrultudaki ivme kayıtları taşıyıcı sistemin (X) ve (Y) asal

eksenleri doğrultusunda aynı anda birlikte etki ettirilmiştir. Daha sonra ivme kayıtlarının eksenleri 90° döndürülerek hesap tekrarlanmıştır.

12. Hesap sonucunda ölçeklenmiş her deprem kaydı için tepe deplasmanın zamanla değişimleri EK B' de verilmiştir.

13. Onbir adet ölçeklenmiş deprem kaydı çiftinin yapıya her iki doğrultunun aynı anda etkililmiş ve daha sonra ivme kayıtları 90° çevrilerek aynı işlem tekrarlanmıştır. Bu işlemlerin sonucunda her ivme kaydına ait performans seviyesi ile maksimum etkinin oluştuğu adımdaki eleman hasar durumları EK C' de verilmiştir.

14. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler sonucunda oluşan maksimum etkilerin TBDY2018' de belirtildiği gibi ortalamaları alınarak her iki doğrultu için bina genel performansları Çizelge 6.5' de verilmiştir.

**Çizelge 6.4 : Her bir deprem kaydı için yapıda oluşan maksimum etkiler.**

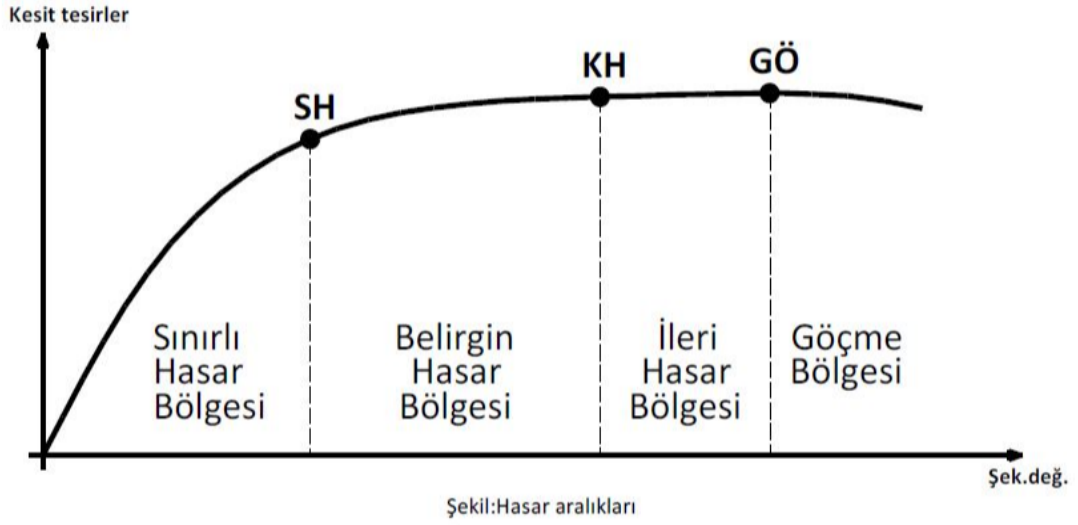
| DEPREM | X-Y<br>YÖNÜ | Yapı<br>Performansı | X Doğ. Tepe<br>Deplasman (cm) |        | Y Doğ. Tepe<br>Deplasman (cm) |        | Maks.<br>Hasar<br>Adımı |
|--------|-------------|---------------------|-------------------------------|--------|-------------------------------|--------|-------------------------|
|        |             |                     | Maks.                         | Min.   | Maks.                         | Min.   |                         |
| 1      | EW - NS     | Kontrollü<br>Hasar  | 17.28                         | -15.45 | 15.57                         | -14.34 | 217                     |
| 1      | NS - EW     | Kontrollü<br>Hasar  | 14.92                         | -14.38 | 16.4                          | -15.50 | 217                     |
| 2      | EW - NS     | Göçme               | 15.69                         | -17.97 | 18.20                         | -20.10 | 382                     |
| 2      | NS - EW     | Göçme               | 17.40                         | -20.98 | 15.70                         | -18    | 382                     |
| 3      | EW - NS     | Kontrollü<br>Hasar  | 7.01                          | -7.23  | 7.57                          | -9.39  | 228                     |
| 3      | NS - EW     | Kontrollü<br>Hasar  | 7.22                          | -9.54  | 6.2                           | -7.25  | 228                     |
| 4      | EW - NS     | Göçme               | 29.41                         | -27.26 | 15.71                         | -12.43 | 252                     |
| 4      | NS - EW     | Göçme               | 15.47                         | -12.59 | 30.04                         | -29.96 | 257                     |
| 5      | EW - NS     | Kontrollü<br>Hasar  | 7.58                          | -8.32  | 11.09                         | -11.12 | 751                     |
| 5      | NS - EW     | Kontrollü<br>Hasar  | 10.87                         | -11.06 | 7.62                          | -7.23  | 751                     |
| 6      | EW - NS     | Göçme               | 13.65                         | -15.00 | 16.60                         | -16.10 | 197                     |
| 6      | NS - EW     | Göçme               | 16.69                         | -16.21 | 13.70                         | -14.70 | 196                     |
| 7      | EW - NS     | Göçme               | 16.00                         | -16.29 | 10.59                         | -9.59  | 279                     |
| 7      | NS - EW     | Göçme               | 10.70                         | -9.63  | 16.00                         | -16.20 | 279                     |
| 8      | EW - NS     | Göçme               | 10.61                         | -11.83 | 12.15                         | -10.71 | 71                      |
| 8      | NS - EW     | Göçme               | 12.00                         | -10.84 | 11.28                         | -11.83 | 71                      |
| 9      | EW - NS     | Göçme               | 11.20                         | -13.86 | 30.06                         | -34.62 | 272                     |
| 9      | NS - EW     | Göçme               | 20                            | -27.52 | 11.72                         | -14.01 | 251                     |
| 10     | EW - NS     | Göçme               | 23.68                         | -24.01 | 22.70                         | -13.30 | 756                     |
| 10     | NS - EW     | Göçme               | 22.56                         | -13.40 | 24.70                         | -24.20 | 756                     |
| 11     | EW - NS     | Göçme               | 37.10                         | -34.82 | 20.00                         | -21.00 | 307                     |
| 11     | NS - EW     | Göçme               | 20.00                         | -21.00 | 38.55                         | -37.23 | 306                     |

**Çizelge 6.5 : X ve Y doğrultusu için yapı genel performansı ve eleman hasar durumları.**

|  | Sınırlı |       |          |        | Belirgin |       |          |        |
|--|---------|-------|----------|--------|----------|-------|----------|--------|
| Kat  | Kiriş   | Kolon | Vkol[KN] | % Vkol | Kiriş    | Kolon | Vkol[KN] | % Vkol |
| 1  | 36/60   | -     | 0        | 0      | 15/60    | 8/36  | 1378.1   | 20.9   |
| 2  | 50/60   | 4/36  | 457.69   | 7.2    | 10/60    | 32/36 | 5887.4   | 92.8   |
| 3  | 60/60   | 4/36  | 438.86   | 7.4    | -        | 32/36 | 5461.5   | 92.6   |
| 4  | 60/60   | 5/36  | 535.36   | 10.2   | -        | 31/36 | 4728.2   | 89.8   |
| 5  | 60/60   | 20/36 | 2201.7   | 49.8   | -        | 16/36 | 2219.6   | 50.2   |
| 6  | 60/60   | 36/36 | 3405.1   | 100    | -        | -     | 0        | 0      |
| 7  | 60/60   | 36/36 | 2239.1   | 100    | -        | -     | 0        | 0      |
|  | İleri   |       |          |        | Göçme    |       |          |        |
| Kat  | Kiriş   | Kolon | Vkol[KN] | % Vkol | Kiriş    | Kolon | Vkol[KN] | % Vkol |
| 1  | 8/60    | 28/36 | 5217.7   | 79.1   | 1/60     | 36/36 | 0        | 0      |
| 2  | -       | -     | 0        | 0      | -        | -     | 0        | 0      |
| 3  | -       | -     | 0        | 0      | -        | -     | 0        | 0      |
| 4  | -       | -     | 0        | 0      | -        | -     | 0        | 0      |
| 5  | -       | -     | 0        | 0      | -        | -     | 0        | 0      |
| 6  | -       | -     | 0        | 0      | -        | -     | 0        | 0      |
| 7  | -       | -     | 0        | 0      | -        | -     | 0        | 0      |
| <b>X Doğrultusu Bina Genel Yapı Performansı: Göçme</b> |         |       |          |        |          |       |          |        |
|  | Sınırlı |       |          |        | Belirgin |       |          |        |
| Kat  | Kiriş   | Kolon | Vkol[KN] | % Vkol | Kiriş    | Kolon | Vkol[KN] | % Vkol |
| 1  | 36/60   | -     | 0        | 0      | 15/60    | 8/36  | 1284.9   | 19.6   |
| 2  | 50/60   | 4/36  | 539.66   | 8.2    | 10/60    | 32/36 | 6076.6   | 91.8   |
| 3  | 60/60   | 4/36  | 513.44   | 8.4    | -        | 32/36 | 5575.5   | 91.6   |
| 4  | 60/60   | 5/36  | 630.76   | 11.5   | -        | 31/36 | 4845.3   | 88.5   |
| 5  | 60/60   | 20/36 | 2393.8   | 51.6   | -        | 16/36 | 2248     | 48.4   |
| 6  | 60/60   | 36/36 | 3553.6   | 100    | -        | -     | 0        | 0      |
| 7  | 60/60   | 36/36 | 2395     | 100    | -        | -     | 0        | 0      |
|  | İleri   |       |          |        | Göçme    |       |          |        |
| Kat  | Kiriş   | Kolon | Vkol[KN] | % Vkol | Kiriş    | Kolon | Vkol[KN] | % Vkol |
| 1  | 8/60    | 28/36 | 5286.3   | 80.4   | 1/60     | 36/36 | 0        | 0      |
| 2  | -       | -     | 0        | 0      | -        | -     | 0        | 0      |
| 3  | -       | -     | 0        | 0      | -        | -     | 0        | 0      |
| 4  | -       | -     | 0        | 0      | -        | -     | 0        | 0      |
| 5  | -       | -     | 0        | 0      | -        | -     | 0        | 0      |
| 6  | -       | -     | 0        | 0      | -        | -     | 0        | 0      |
| 7  | -       | -     | 0        | 0      | -        | -     | 0        | 0      |
| <b>Y Doğrultusu Bina Genel Yapı Performansı: Göçme</b> |         |       |          |        |          |       |          |        |



### 1. Birleşik ve ortalaması alınmış performans hesapları



Şekil:Yapı performansı

Tablo: Çelik hasar sınırları

| Malzeme | Limited(x1000) | Controlled | Collapse |
|---------|----------------|------------|----------|
| Stil 0  | 7.5            | 24         | 32       |

Bölüm 15.7.1.4 formül  $\frac{V_e}{b_w d f_{ctm}}$  fiber şekildeğiştirme limitlerine uygulanmıştır

Şekil 6.44 : Eleman hasar bölgeleri ve sınır değerler.

### 6.3.2.3 TDY2007' ye göre tasarımı yapılan binanın sadece beton sınıfı C35 yapılarak TBDY2018' e göre değerlendirilmesi

TDY2007' ye göre tasarımı yapılan ve TBDY2018' de şekildeğiştirme esaslı değerlendirmesi sonucu performansı 'göçme' çıkan binanın sadece beton sınıfı C30' dan C35' E çıkarılarak TBDY2018' e göre tekrar performansına bakılmıştır. Performans sonucu aşağıda verilmiştir.

**Çizelge 6.6 :** Beton sınıfı C35 yapıldığında yapı genel performansı ve eleman hasar durumları.

|  | Sınırlı |       |          |       | Belirgin |       |          |       |
|--|---------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|
| Kat  | Kiriş   | Kolon | Vkol[KN] | %Vkol | Kiriş    | Kolon | Vkol[KN] | %Vkol |
| 1  | 52/60   | -     | 0        | 0     | 8/60     | 36/36 | 6784.2   | 100   |
| 2  | 60/60   | 4/36  | 476.93   | 7.4   | -        | 32/36 | 5976.2   | 92.6  |
| 3  | 60/60   | 14/36 | 1881.1   | 31.9  | -        | 22/36 | 4022.7   | 68.1  |
| 4  | 60/60   | 20/36 | 2565.5   | 49.1  | -        | 16/36 | 2658.7   | 50.9  |
| 5  | 60/60   | 36/36 | 4437.8   | 100   | -        | -     | 0        | 0     |
| 6  | 60/60   | 36/36 | 3398.3   | 100   | -        | -     | 0        | 0     |
| 7  | 60/60   | 36/36 | 2199.7   | 100   | -        | -     | 0        | 0     |
|  | İleri   |       |          |       | Göçme    |       |          |       |
| Kat  | Kiriş   | Kolon | Vkol[KN] | %Vkol | Kiriş    | Kolon | Vkol[KN] | %Vkol |
| 1  | -       | -     | 0        | 0     | -        | -     | 0        | 0     |
| 2  | -       | -     | 0        | 0     | -        | -     | 0        | 0     |
| 3  | -       | -     | 0        | 0     | -        | -     | 0        | 0     |
| 4  | -       | -     | 0        | 0     | -        | -     | 0        | 0     |
| 5  | -       | -     | 0        | 0     | -        | -     | 0        | 0     |
| 6  | -       | -     | 0        | 0     | -        | -     | 0        | 0     |
| 7  | -       | -     | 0        | 0     | -        | -     | 0        | 0     |
| <b>X Doğrultusu Bina Genel Yapı Performansı: Kontrollü Hasar</b> |         |       |          |       |          |       |          |       |
|  | Sınırlı |       |          |       | Belirgin |       |          |       |
| Kat  | Kiriş   | Kolon | Vkol[KN] | %Vkol | Kiriş    | Kolon | Vkol[KN] | %Vkol |
| 1  | 52/60   | -     | 0        | 0     | 8/60     | 8/36  | 7034.5   | 100   |
| 2  | 60/60   | 4/36  | 540.39   | 8.1   | -        | 32/36 | 6138.3   | 91.9  |
| 3  | 60/60   | 14/36 | 2177.8   | 35.2  | -        | 22/36 | 4005.1   | 64.8  |
| 4  | 60/60   | 20/36 | 2802     | 50.3  | -        | 16/36 | 2769.2   | 49.7  |
| 5  | 60/60   | 36/36 | 4683     | 100   | -        | -     | 0        | 0     |
| 6  | 60/60   | 36/36 | 3566.9   | 100   | -        | -     | 0        | 0     |
| 7  | 60/60   | 36/36 | 2322.6   | 100   | -        | -     | 0        | 0     |
|  | İleri   |       |          |       | Göçme    |       |          |       |
| Kat  | Kiriş   | Kolon | Vkol[KN] | %Vkol | Kiriş    | Kolon | Vkol[KN] | %Vkol |
| 1  | -       | -     | 0        | 0     | -        | -     | 0        | 0     |
| 2  | -       | -     | 0        | 0     | -        | -     | 0        | 0     |
| 3  | -       | -     | 0        | 0     | -        | -     | 0        | 0     |
| 4  | -       | -     | 0        | 0     | -        | -     | 0        | 0     |
| 5  | -       | -     | 0        | 0     | -        | -     | 0        | 0     |
| 6  | -       | -     | 0        | 0     | -        | -     | 0        | 0     |
| 7  | -       | -     | 0        | 0     | -        | -     | 0        | 0     |
| <b>Y Doğrultusu Bina Genel Yapı Performansı: Kontrollü Hasar</b> |         |       |          |       |          |       |          |       |

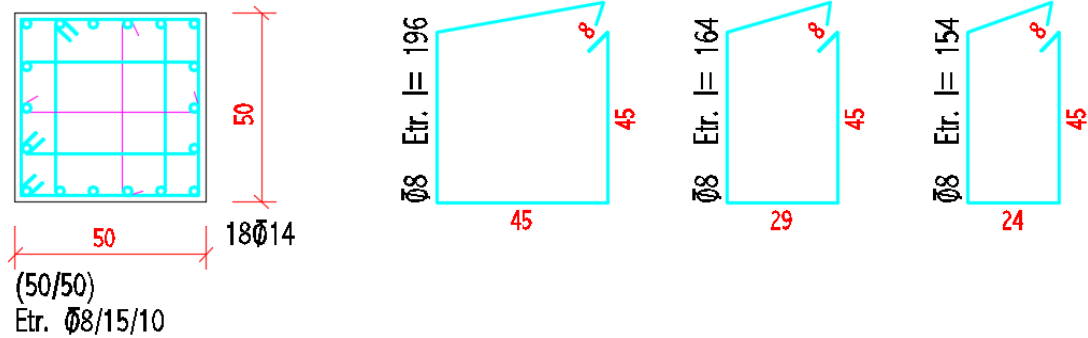
### 6.3.3 7 Katlı binanın TBDY2018' e göre tasarım ve değerlendirilmesi

#### 6.3.3.1 TBDY2018' e göre tasarımı

Planı Şekil 6.37' de verilen 7 katlı betonarme çerçeve binanın TDY2007' de mod birleştirme yöntemine göre hesabı yapılan bina, TBDY2018' e göre analiz edilmiştir. Analiz sonucunda bir çok kolonda, denklem (6.1)' de verilen kolon süneklik alanı ve kolon kiriş birleşim bölgelerinin kesme güvenliği koşullarının sağlanmadığı görülmüştür.

$$A_c \geq N_{dm}/0.40f_{ck} \quad (6.11)$$
$$V_e \leq 1.7 b_j h \sqrt{f_{ck}} \quad ; \quad V_e \leq 1.0 b_j h \sqrt{f_{ck}}$$

Kolon kesitleri 50x50 cm yapılarak analiz tekrarlanmıştır. Bunun sonucunda yapıda denklem 6.1' de verilen koşullarının sağlandığı görülmüştür. Hesap sonucunda bulunan kiriş ve kolon kesit boyutları ile kesitlerde hesap sonucu ortaya çıkan donatılar Şekil 45' de verilmiştir. Hesap sonucunda, Kolon kesitleri 50cm x 50cm, kiriş kesitleri ise X-X doğrultusunda 25cm x 60cm ve Y-Y doğrultusunda 30cm x 60cm olarak belirlenmiştir.



Şekil 6.45 : Kolon donatı detayı.

#### 6.3.3.2 TBDY2018' e göre tasarımı yapılan 7 katlı betonarme çerçeve yapının TBDY2018 kapsamında şekildeğiştirmeye dayalı performans değerlendirmesi

TBDY2018'e göre tasarımı yapılan 7 katlı betonarme çerçeve bina bölüm 6.3.2.2' de elde edilen deprem ivme kayıtları kullanılarak, OpenSees programı ile zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizi yapılmıştır. Doğrusal olmayan davranış için bu çalışmadaki bütün örneklerde olduğu gibi, elastik olmayan davranışın yayılı

olarak ele alındığı fiber (lif) model kullanılmıştır. Bölüm 6.3.2.2’ de maddeler halinde verilen esaslar aynen kullanılmıştır. Analiz sonucu elde edilen sonuçlar çizelge 6.7’ de verilmiştir.

**Çizelge 6.7 :** Her bir deprem kaydı için yapıda oluşan maksimum etkiler.

| DEPREM | X-Y YÖNÜ | Yapı Performansı <sup>1</sup> | X Doğ. Tepe Deplasman (cm) |        | Y Doğ. Tepe Deplasman (cm) |        | Maks. Hasar Adımı |
|--------|----------|-------------------------------|----------------------------|--------|----------------------------|--------|-------------------|
|        |          |                               | Maks.                      | Min.   | Maks.                      | Min.   |                   |
| 1      | EW - NS  | Kontrollü Hasar               | 20.42                      | -19.54 | 11.92                      | -14.1  | 217               |
| 1      | NS - EW  | Kontrollü Hasar               | 13.21                      | -14.23 | 20.98                      | -20.48 | 217               |
| 2      | EW - NS  | Kontrollü Hasar               | 15.88                      | -14.82 | 11.86                      | -12.74 | 382               |
| 2      | NS - EW  | Kontrollü Hasar               | 13.42                      | -14.5  | 15.61                      | -14.92 | 382               |
| 3      | EW - NS  | Kontrollü Hasar               | 7.09                       | -8.18  | 9.02                       | -10.69 | 228               |
| 3      | NS - EW  | Kontrollü Hasar               | 8.53                       | -10.3  | 7.07                       | -8.07  | 228               |
| 4      | EW - NS  | Göçme                         | 26.96                      | -24.33 | 11.3                       | -11.71 | 252               |
| 4      | NS - EW  | Göçme                         | 11.36                      | -12.07 | 26.05                      | -23.12 | 257               |
| 5      | EW - NS  | Kontrollü Hasar               | 6.66                       | -6.14  | 12.8                       | -13.84 | 751               |
| 5      | NS - EW  | Kontrollü Hasar               | 13.76                      | -13.03 | 7.08                       | -6.4   | 751               |
| 6      | EW - NS  | Kontrollü Hasar               | 17.91                      | -16.69 | 13.94                      | -14.9  | 197               |
| 6      | NS - EW  | Kontrollü Hasar               | 15.14                      | -15.8  | 18.05                      | -17.58 | 196               |
| 7      | EW - NS  | Kontrollü Hasar               | 23.45                      | -15.57 | 12.64                      | -8.15  | 279               |
| 7      | NS - EW  | Kontrollü Hasar               | 12.21                      | -8.04  | 24.96                      | -15.57 | 279               |
| 8      | EW - NS  | Kontrollü Hasar               | 13.39                      | -12.87 | 11.34                      | -10.82 | 71                |
| 8      | NS - EW  | Kontrollü Hasar               | 12.16                      | -11.51 | 12.78                      | -12.4  | 71                |
| 9      | EW - NS  | Göçme                         | 10.99                      | -13.78 | 26.21                      | -24.82 | 272               |
| 9      | NS - EW  | Göçme                         | 27.2                       | -25.5  | 10.95                      | -13.79 | 251               |
| 10     | EW - NS  | Göçme                         | 18.75                      | -17.37 | 25.83                      | -18.05 | 756               |
| 10     | NS - EW  | Göçme                         | 26.56                      | -16.92 | 18.99                      | -17.05 | 756               |
| 11     | EW - NS  | Göçme                         | 33.02                      | -27.05 | 19.16                      | -15.65 | 307               |
| 11     | NS - EW  | Göçme                         | 19.28                      | -15.4  | 31.59                      | -27.95 | 306               |

OpenSees programı ile elde edilen beton liflerindeki kısılma ile donatı çeliği liflerindeki uzama ve kısılma değerleri, TBDY2018’ de verilen sınır değerler ile karşılaştırılmıştır. Bunun sonucunda yapı genel performansı Çizelge 6.8’ de verilmiştir.

**Çizelge 6.8 :** TBDY2018’ e göre tasarım yapılan bina’ya ait yapı genel performansı ve eleman hasar durumları.

|  | Sınırlı |       |          |        | Belirgin |       |          |        |
|--|---------|-------|----------|--------|----------|-------|----------|--------|
| Kat  | Kiriş   | Kolon | Vkol[KN] | % Vkol | Kiriş    | Kolon | Vkol[KN] | % Vkol |
| 1  | 3/60    | -     | 0        | 0      | 45/60    | 36/36 | 7849.8   | 100    |
| 2  | 18/60   | 4/36  | 516.54   | 7      | 36/60    | 32/36 | 6883.4   | 93     |
| 3  | 42/60   | 20/36 | 3178.5   | 47.2   | 18/60    | 16/36 | 3554.7   | 52.8   |
| 4  | 60/60   | 20/36 | 2862.8   | 47.7   | -        | 16/36 | 3135.3   | 52.3   |
| 5  | 60/60   | 36/36 | 5012.1   | 100    | -        | -     | 0        | 0      |
| 6  | 60/60   | 36/36 | 3798.2   | 100    | -        | -     | 0        | 0      |
| 7  | 60/60   | 36/36 | 2506.5   | 100    | -        | -     | 0        | 0      |
|  | İleri   |       |          |        | Göçme    |       |          |        |
| Kat  | Kiriş   | Kolon | Vkol[KN] | % Vkol | Kiriş    | Kolon | Vkol[KN] | % Vkol |
| 1  | 6/60    | -     | 0        | 0      | 6/60     | -     | 0        | 0      |
| 2  | 6/60    | -     | 0        | 0      | -        | -     | 0        | 0      |
| 3  | -       | -     | 0        | 0      | -        | -     | 0        | 0      |
| 4  | -       | -     | 0        | 0      | -        | -     | 0        | 0      |
| 5  | -       | -     | 0        | 0      | -        | -     | 0        | 0      |
| 6  | -       | -     | 0        | 0      | -        | -     | 0        | 0      |
| 7  | -       | -     | 0        | 0      | -        | -     | 0        | 0      |
| <b>X Doğrultusu Bina Genel Yapı Performansı: Kontrollü Hasar</b> |         |       |          |        |          |       |          |        |
|  | Sınırlı |       |          |        | Belirgin |       |          |        |
| Kat  | Kiriş   | Kolon | Vkol[KN] | % Vkol | Kiriş    | Kolon | Vkol[KN] | % Vkol |
| 1  | 3/60    | -     | 0        | 0      | 45/60    | 36/36 | 7975.7   | 100    |
| 2  | 18/60   | 4/36  | 606.94   | 7.9    | 36/60    | 32/36 | 7122.5   | 92.1   |
| 3  | 42/60   | 20/36 | 3579.5   | 50.2   | 18/60    | 16/36 | 3552.4   | 49.8   |
| 4  | 60/60   | 20/36 | 3209.4   | 50.4   | -        | 16/36 | 3155     | 49.6   |
| 5  | 60/60   | 36/36 | 5351.1   | 100    | -        | -     | 0        | 0      |
| 6  | 60/60   | 36/36 | 4116.4   | 100    | -        | -     | 0        | 0      |
| 7  | 60/60   | 36/36 | 2757.3   | 100    | -        | -     | 0        | 0      |
|  | İleri   |       |          |        | Göçme    |       |          |        |
| Kat  | Kiriş   | Kolon | Vkol[KN] | % Vkol | Kiriş    | Kolon | Vkol[KN] | % Vkol |
| 1  | 6/60    | -     | 0        | 0      | 6/60     | -     | 0        | 0      |
| 2  | 6/60    | -     | 0        | 0      | -        | -     | 0        | 0      |
| 3  | -       | -     | 0        | 0      | -        | -     | 0        | 0      |
| 4  | -       | -     | 0        | 0      | -        | -     | 0        | 0      |
| 5  | -       | -     | 0        | 0      | -        | -     | 0        | 0      |
| 6  | -       | -     | 0        | 0      | -        | -     | 0        | 0      |
| 7  | -       | -     | 0        | 0      | -        | -     | 0        | 0      |
| <b>Y Doğrultusu Bina Genel Yapı Performansı: Kontrollü Hasar</b> |         |       |          |        |          |       |          |        |

## 6.4 TBDY2018' Ve TDY2007' ye Göre Tasarımı Yapılan Betonarme Çerçeve Ve Perdelerden Oluşan 36 katlı Binanın TBDY2018' e Göre Performanslarının Karşılaştırılması

Betonarme çerçevelerden ve perdelerden oluşan 36 katlı binanın TDY2007 ve TBDY2018' e göre mod birleştirme yöntemi kullanılarak tasarımı yapılmıştır. Eleman kesit ve donatıları belirlenen yeni yapılacak yapıların TBDY2018' de verilen şekildegıştirmeye dayalı değerlendirme yöntemi ile performansları bulunarak kıyaslanmıştır.

### 6.4.1 Binaya ait genel bilgiler

#### 6.4.1.1 Yapı genel özellikleri

- Kat sayısı 36 (4Bodrum+1Zemin+31Normal)
- Yapı toplam yüksekliği 134.20m
- Kat alanı 2220 m<sup>2</sup>
- Plan uzunlukları X:53.45m ; Y:41.50m
- Kat yükseklikleri Bodrum katlar : 4m  
Zemin kat : 3.70m  
Normal katlar : 3.70m
- Bina kullanım amacı Ofis
- Deprem bölgesi 1. Derece
- Yerel zemin sınıfı Z2

#### Malzeme Özellikleri :

- Beton C50 [  $f_{ck} = 50\text{MPa}$  ]
- Beton elastisite modülü [  $E_c$  ] 37000 MPa
- Donatı çeliği S420 [  $f_{yk} = 420\text{MPa}$  ]
- Donatı çeliği malzeme modülü [  $E_s$  ] 200000 MPa
- Beton malzeme güvenlik katsayısı 1.5
- Donatı çeliği malzeme güvenlik katsayısı 1.15

#### 6.4.1.2 Yüklere tespiti

- İç duvar yükleri, döşeme hareketli yüküne  $1.5 \text{ KN/m}^2$  olarak ilave edilmiştir.
- Dış cephe yükleri, giydirmeye cephe yükü için  $2.0 \text{ KN/m}^2$  olarak alınmıştır. Kiriş yüksekliği  $70 \text{ cm}$  olduğundan temiz duvar yüksekliği,  
$$h = 3.70 - 0.70 = 3.0 \text{ m} ; G_{\text{duvar}} = 3.0 \text{ m} \times 2 \text{ KN/m}^2 = 6.0 \text{ KN/m}$$
- Kaplama yükü,  $G_{\text{kaplama}} = 2.0 \text{ KN/m}^2$
- Hareketli yük,  $Q = 3.5 \text{ KN/m}^2 ( 2 \text{ KN/m}^2 + 1.5 \text{ KN/m}^2 )$

#### 6.4.1.3 Yapı dizaynı

Her iki yönetmeliğe göre tasarımda mod birleştirme yöntemine göre analizi yapılmıştır.

#### 6.4.1.4 TBDY2018' e göre yeni yapılacak 36 katlı binanın değerlendirme kriterlerinin belirlenmesi

- Bodrum katlar hariç bina yüksekliği  $118.20 \text{ m}$ ' dir. TBDY2018'e göre,  $S_{DS} = 0.852 > 0.75$  olduğundan, ve kullanım amacı ofis için bina kullanım sınıfı (BKS) : 3 için, Deprem Tasarım Sınıfı (DTS) : 1 olarak belirlenir.
- DTS : 1 ve  $H_N = 118.20 > 91$  olduğundan bu örnek için Bina Yükseklik Seviyesi (BYS) : 1 olarak bulunur.
- Tasarım ve değerlendirme kriterleri Çizelge 6.9' de verilmiştir.

**Çizelge 6.9 :** Yüksek binalar için (BYS=1) performans hedefleri ve uygulanacak değerlendirme/tasarım yaklaşımları.

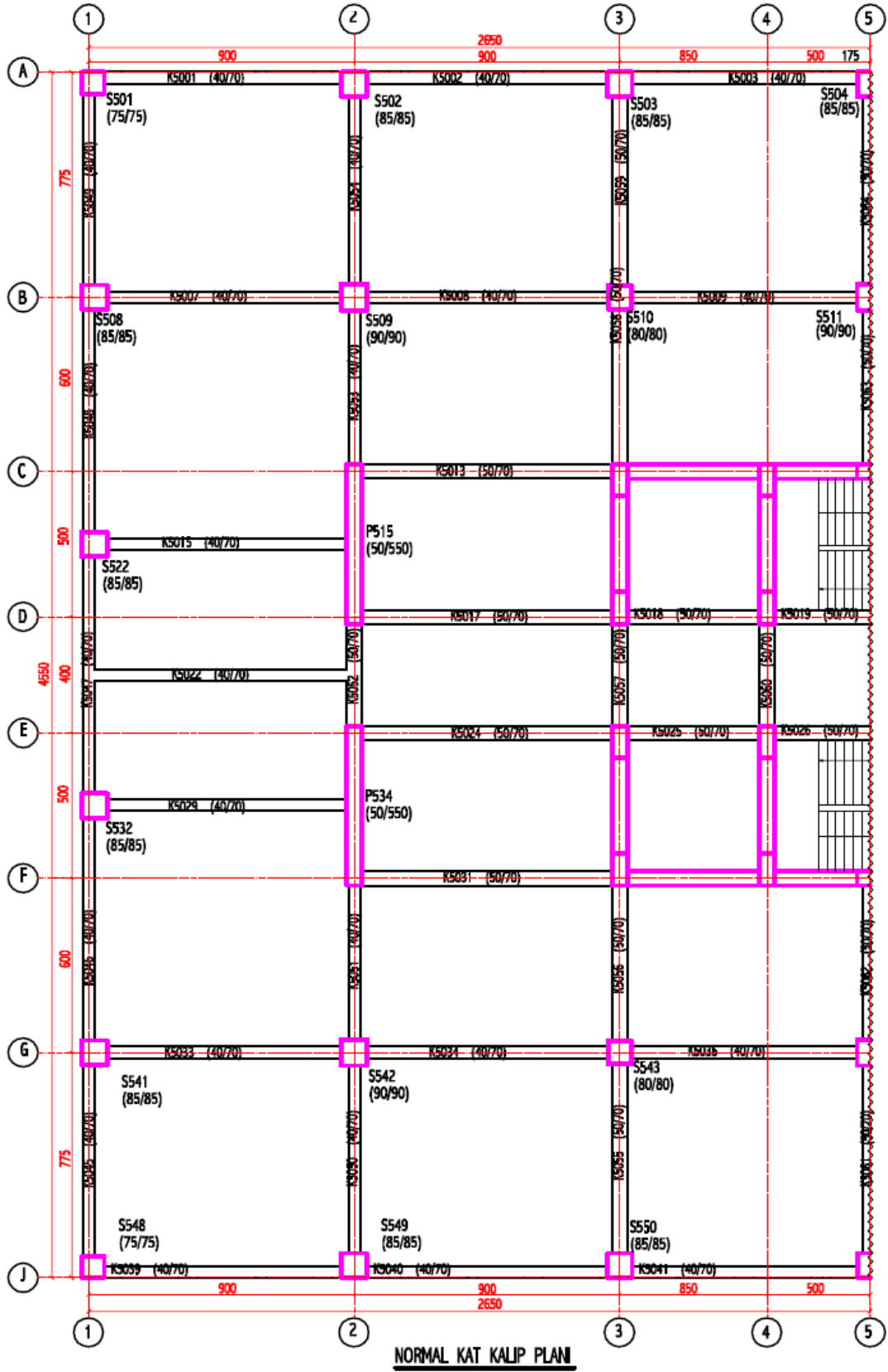
| Deprem Yer H. Düzeyi | DTS = 1, 2, 3, 3a, 4, 4a |                                  | DTS = 1a, 2a            |                                  |
|----------------------|--------------------------|----------------------------------|-------------------------|----------------------------------|
|                      | Normal Performans Hedefi | Değerlendirme/ Tasarım Yaklaşımı | İleri Performans Hedefi | Değerlendirme/ Tasarım Yaklaşımı |
| DD-4                 | KK                       | DGT                              | –                       | –                                |
| DD-3                 | –                        | –                                | SH                      | ŞGDT                             |
| DD-2                 | KH                       | DGT <sup>(3)</sup>               | KH                      | DGT <sup>(3,4)</sup>             |
| DD-1                 | GÖ                       | ŞGDT                             | KH                      | ŞGDT                             |

<sup>(3)</sup> Ön tasarım olarak yapılacak

Bu örnek için Çizelge 6.9’ de görüldüğü gibi 3 farklı tasarım aşaması uygulanacaktır. İlk olarak DGT yöntemi ile ön tasarım yapılacaktır. Daha sonra DD-4 deprem düzeyi için oluşturulan tasarım spektrumuna göre ölçeklemesi yapılan deprem ivme kayıtları kullanılarak ŞGDT yöntemi ile normal performans hedefi olan Kesintisiz Kullanım (KK) performansı sağlanacaktır. Son olarak ise DD-1 deprem düzeyi için oluşturulan tasarım spektrumuna göre ölçeklenmesi yapılan deprem ivme kayıtları kullanılarak ŞGDT yöntemi ile normal performans hedefi olan Göçmenin Önlenmesi (GÖ) performansı sağlanacaktır. Bu örnek için TDY2007’ ye göre tasarımı yapılan bina için kıyaslama amacı ile sadece DD-1 depremi altında performans hedefini sağlayıp sağlamadığına bakılmıştır. TBDY2018’ e göre tasarımı yapılan bina için ise hem DD-1 depremi hem de DD-4 depremi altında performans kriterlerini sağlayıp sağlamadığına bakılmıştır. Hesaplar çok uzun sürdüğü için 3 adet deprem kaydı takımı kullanılmıştır.



## 6.4.2 TDY2007' ye göre 36 katlı binanın tasarımı



Şekil 6.46 : TBDY2007' ye göre boyutlandırılan 36 katlı binanın normal katlarına ait kalıp planı.

Normal kat planı yukarıda verilen 36 katlı bina 5-5 eksenine göre simetriktir.

Binanın TDY2007' ye göre mod birleştirme yöntemi ile analizi yapılmış ve sonuçlar Çizelge 6.10' de verilmiştir.

**Çizelge 6.10 :** TDY2007' ye göre analiz sonucu deprem yükleri.

| <b>X Yönü</b>  |                        |               |                        |
|----------------|------------------------|---------------|------------------------|
| <b>Periyot</b> | <b>2.56</b>            |               |                        |
| <b>Kat No</b>  | <b>Deprem Yüğü[KN]</b> | <b>Kat No</b> | <b>Deprem Yüğü[KN]</b> |
| 36             | 294                    | 18            | 48                     |
| 35             | 238                    | 17            | 49                     |
| 34             | 188                    | 16            | 51                     |
| 33             | 150                    | 15            | 53                     |
| 32             | 129                    | 14            | 55                     |
| 31             | 106                    | 13            | 58                     |
| 30             | 88                     | 12            | 60                     |
| 29             | 70                     | 11            | 63                     |
| 28             | 57                     | 10            | 65                     |
| 27             | 51                     | 9             | 67                     |
| 26             | 47                     | 8             | 66                     |
| 25             | 45                     | 7             | 63                     |
| 24             | 44                     | 6             | 56                     |
| 23             | 43                     | 5             | 47                     |
| 22             | 43                     | 4             | 53                     |
| 21             | 45                     | 3             | 51                     |
| 20             | 46                     | 2             | 42                     |
| 19             | 46                     | 1             | 31                     |
| <b>Y Yönü</b>  |                        |               |                        |
| <b>Periyot</b> | <b>3.06</b>            |               |                        |
| <b>Kat No</b>  | <b>Deprem Yüğü[KN]</b> | <b>Kat No</b> | <b>Deprem Yüğü[KN]</b> |
| 36             | 335                    | 18            | 49                     |
| 35             | 245                    | 17            | 48                     |
| 34             | 179                    | 16            | 47                     |
| 33             | 135                    | 15            | 46                     |
| 32             | 114                    | 14            | 47                     |
| 31             | 98                     | 13            | 48                     |
| 30             | 85                     | 12            | 50                     |
| 29             | 71                     | 11            | 53                     |
| 28             | 63                     | 10            | 55                     |
| 27             | 59                     | 9             | 59                     |
| 26             | 57                     | 8             | 60                     |
| 25             | 56                     | 7             | 60                     |
| 24             | 55                     | 6             | 57                     |
| 23             | 53                     | 5             | 53                     |
| 22             | 52                     | 4             | 54                     |
| 21             | 53                     | 3             | 53                     |
| 20             | 51                     | 2             | 44                     |
| 19             | 50                     | 1             | 31                     |

Tasarım sonucu belirlenen taşıyıcı sistem eleman boyutları Çizelge 6.11’ de verilmiştir.

**Çizelge 6.11 : TDY2007’ ye göre tasarım sonucu taşıyıcı sistem eleman boyutları.**

| <b>(-16.00) - (+18.50) Kotları Arası</b> |  |                  |
|--|--|------------------|
|  | <b>İSİM</b>  | <b>BOYUT(cm)</b> |
| <b>KOLON</b>                             | S01-S07-S48-S54  | 75/75            |
|  | S10-S12-S43-S45  | 80/80            |
|  | S02-S03-S04-S05-S06-S08-S14-S22-S23-S32-S33-S41-S147-S49-S50-S51-S52-S53 | 85/85            |
|  | S09-S11-S13-S42-S44-S46  | 90/90            |
| <b>PERDE</b>                             | P15- P21-P34- P40  | 50/550           |
|  | Çekirdek Perdeleri   | b=50             |
| <b>KİRİŞLER</b>                          | Çekirdek İçi   | 50/70            |
|  | Çekirdek Dışı  | 40/70            |
| <b>(+18.50) - (+51.80) Kotları Arası</b> |  |                  |
|  | <b>İSİM</b>  | <b>BOYUT(cm)</b> |
| <b>KOLON</b>                             | S01-S07-S48-S54  | 65/65            |
|  | S10-S12-S43-S45  | 70/70            |
|  | S02-S03-S04-S05-S06-S08-S14-S22-S23-S32-S33-S41-S47-S49-S50-S51-S52-S53  | 75/75            |
|  | S09-S11-S13-S42-S44-S46  | 80/80            |
| <b>PERDE</b>                             | P15- P21-P34- P40  | 50/550           |
|  | Çekirdek Perdeleri   | b=50             |
| <b>KİRİŞLER</b>                          | Çekirdek İçi   | 50/70            |
|  | Çekirdek Dışı  | 40/70            |
| <b>(+51.80) - (+85.10) Kotları Arası</b> |  |                  |
|  | <b>İSİM</b>  | <b>BOYUT(cm)</b> |
| <b>KOLON</b>                             | S01-S07-S48-S54  | 60/60            |
|  | S10-S12-S43-S45  | 60/60            |
|  | S02-S03-S04-S05-S06-S08-S14-S22-S23-S32-S33-S41-S147-S49-S50-S51-S52-S53 | 70/70            |
|  | S09-S11-S13-S42-S44-S46  | 70/70            |
| <b>PERDE</b>                             | P15- P21-P34- P40  | 50/550           |
|  | Çekirdek Perdeleri   | b=50             |
| <b>KİRİŞLER</b>                          | Çekirdek İçi   | 50/70            |
|  | Çekirdek Dışı  | 40/70            |

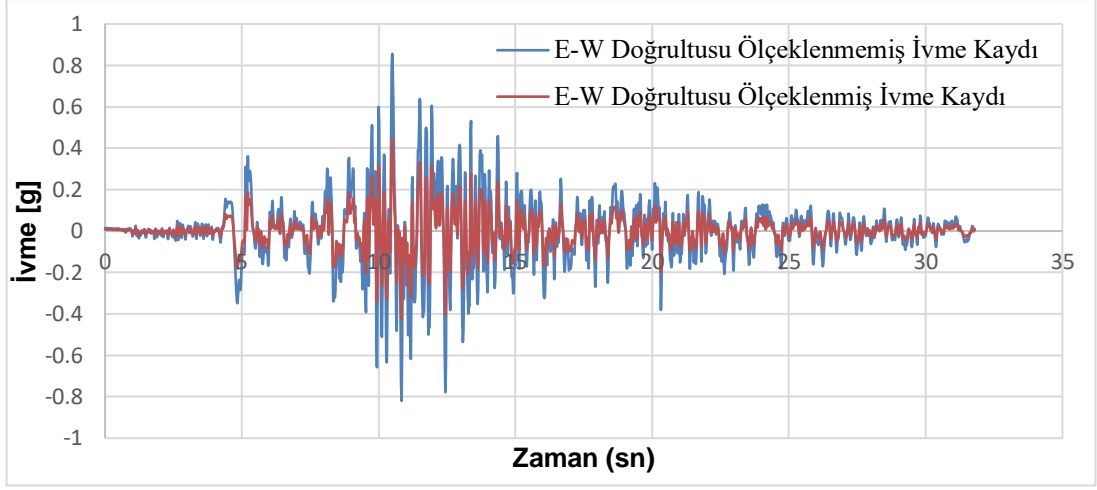
**Çizelge 6.11 (devam):** TDY2007' ye göre tasarım sonucu taşıyıcı sistem eleman boyutları.

| <b>(+85.10) - (+118.20) Kotları Arası</b> |   |                  |
|---|---|------------------|
|   | <b>İSİM</b>   | <b>BOYUT(cm)</b> |
| <b>KOLON</b>                              | S01-S07-S48-S54   | 50/50            |
|   | S10-S12-S43-S45   | 50/50            |
|   | S02-S03-S04-S05-S06-S08-S14-S22-S23-S32-S33-S41-S47-S49-S50-S51-S52-S53 | 60/60            |
|   | S09-S11-S13-S42-S44-S46   | 60/60            |
| <b>PERDE</b>                              | P15- P21-P34- P40   | 50/550           |
|   | Çekirdek Perdeleri  | b=50             |
| <b>KİRİŞLER</b>                           | Çekirdek İçi  | 50/70            |
|   | Çekirdek Dışı   | 40/70            |

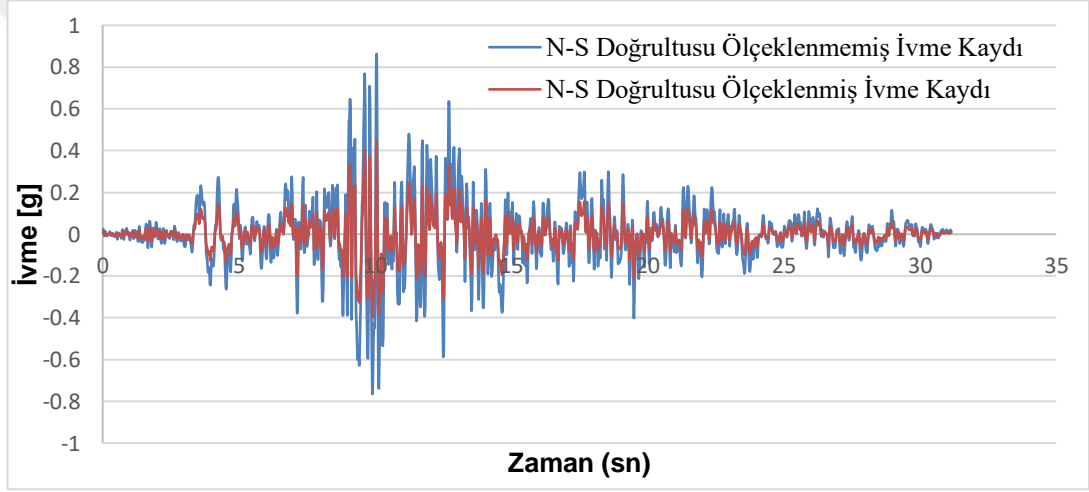
#### **6.4.3 TDY2007' ye göre tasarımı yapılan 36 katlı binanın TBDY2018' e göre performansının belirlenmesi**

TDY2007' ye göre dizayn edilen bina'nın OpensSees programı kullanılarak, TBDY2018' de şekildeğiştirmeye göre performans değerlendirmesi yapılmıştır. İzlenen yol aşağıda verilmiştir.

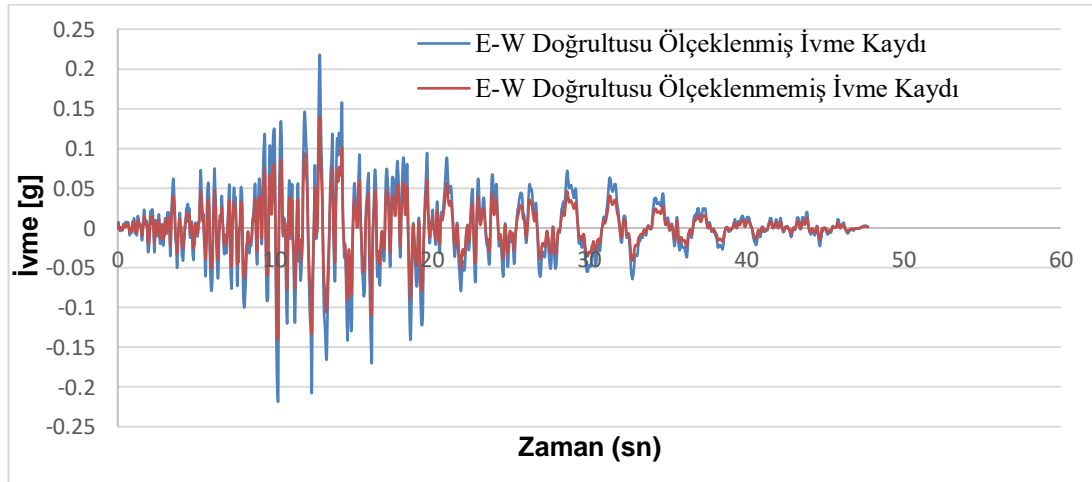
1. Kolon ve perdeler tüm uzunluğu boyunca fiber kesitli, kirişler ise her iki uç' tan 0.5L mesafesi fiber kesit kalan kısımlar ise elastik kesit olarak tanımlanmıştır. Kirişlerde elastik kısımların etkin kesit rijitlik çarpanı 0.35 alınmıştır.
2. Her bir kolon, perde ve kiriş eleman için OpenSees programında malzeme modelleri oluşturulmuştur.
3. TBDY2018' de yüksek binaların değerlendirilmesinde kullanılmak üzere, sönüm oranı %2.5 olarak kullanılmıştır.
4. Ortalama malzeme dayanımları kullanılmıştır. Malzeme dayanım çarpanı, beton için 1.3, donatı çeliği için 1.2 alınmıştır.
5. P-delta etkileri dikkate alınarak malzeme ve geometri bakımından doğrusal olmayan dinamik analiz yapılmıştır.
6. Zaman tanım alanında dinamik analizde kullanılmak üzere, tasarım ivme spektrumuna göre ölçeklendirilmiş 3 adet yer hareketi kaydı takımı kullanılmıştır. Bunlar aşağıda verilmiştir.



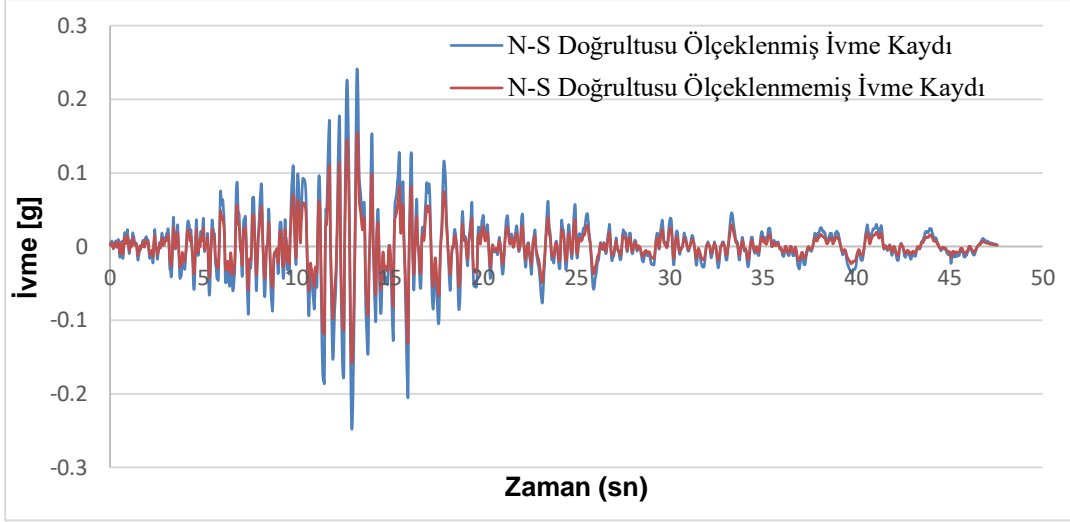
**Şekil 6.47 :** Tabas deprem kaydı E-W doğrultusu için ölçeklenmiş ve ölçeklenmemiş ivmeler.



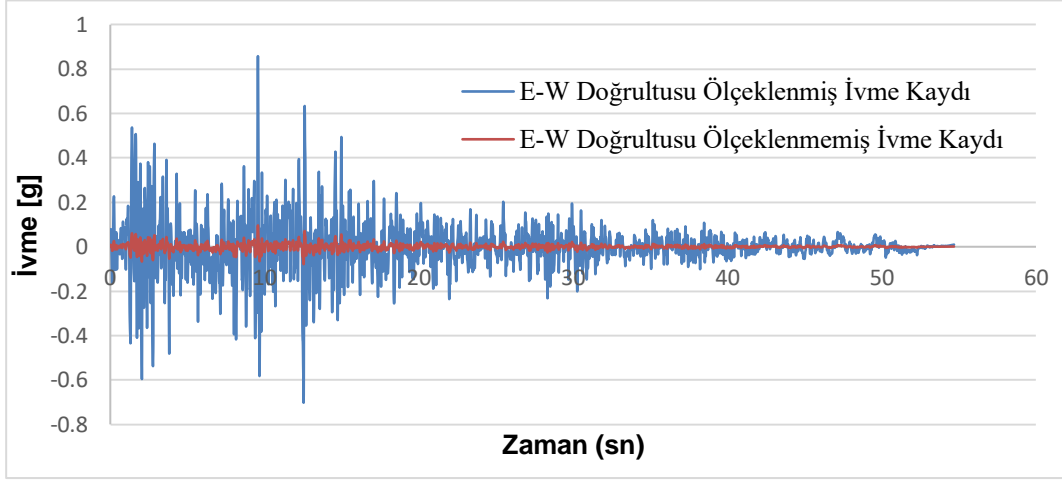
**Şekil 6.48 :** Tabas deprem kaydı N-S doğrultusu için ölçeklenmiş ve ölçeklenmemiş ivmeler.



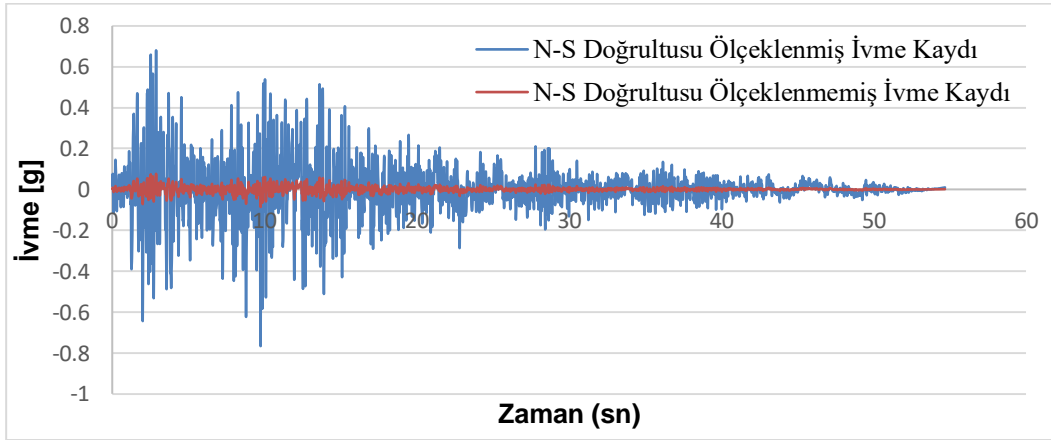
**Şekil 6.49 :** Smart deprem kaydı E-W doğrultusu için ölçeklenmiş ve ölçeklenmemiş ivmeler.



**Şekil 6.50 :** Smart deprem kaydı N-S doğrultusu ölçeklenmiş ve ölçeklenmemiş ivmeler.



**Şekil 6.51 :** Sitka deprem kaydı E-W doğrultusu ölçeklenmiş ve ölçeklenmemiş ivmeler.



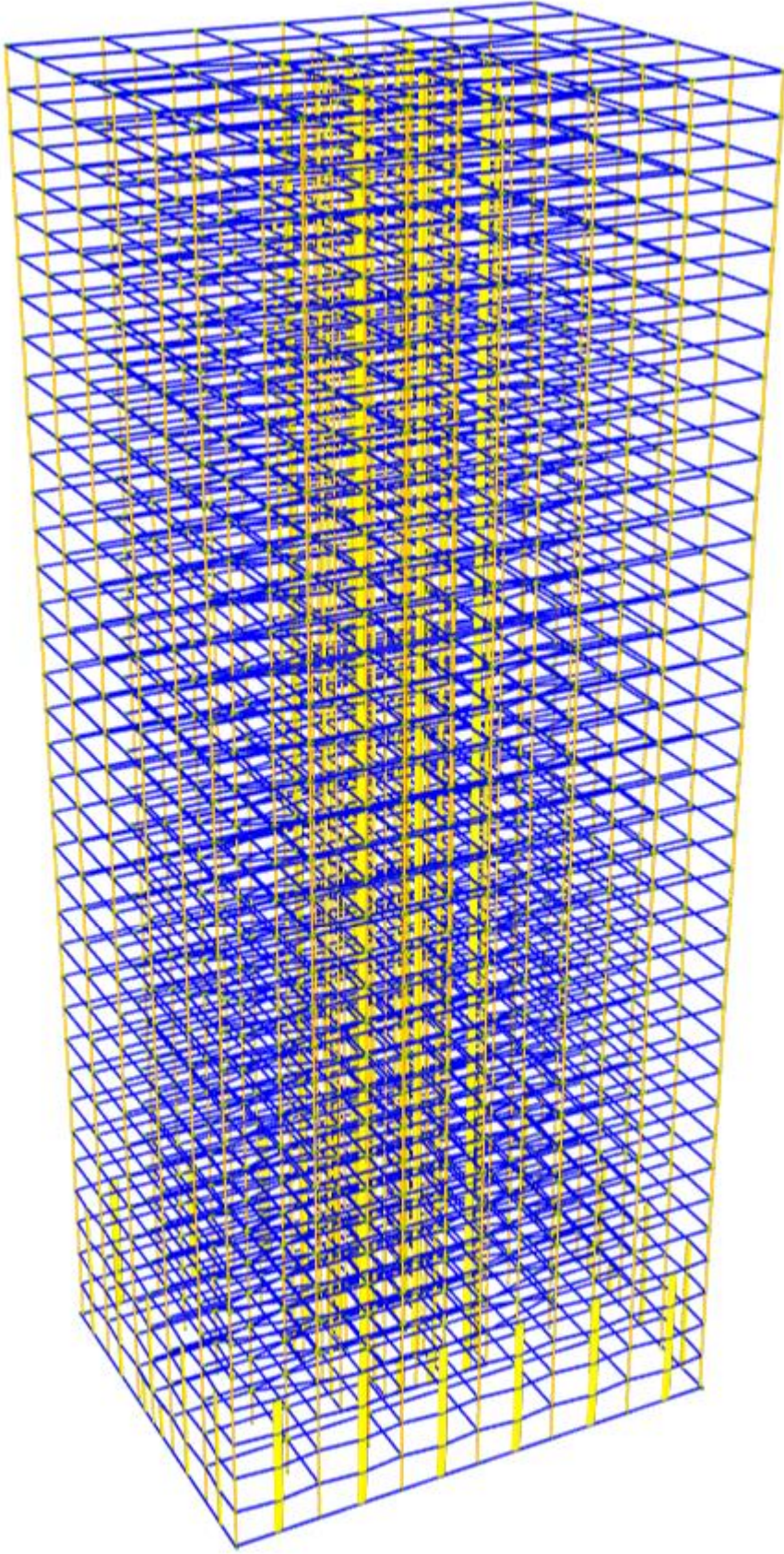
**Şekil 6.52 :** Sitka deprem kaydı N-S doğrultusu ölçeklenmiş ve ölçeklenmemiş ivmeler.

**Çizelge 6.12 :** Deprem ölçekleme katsayıları.

| Depremler           | Tabas | Smart | Sitka |
|---------------------|-------|-------|-------|
| Ölçekleme Katsayısı | 0.52  | 1.56  | 8.91  |

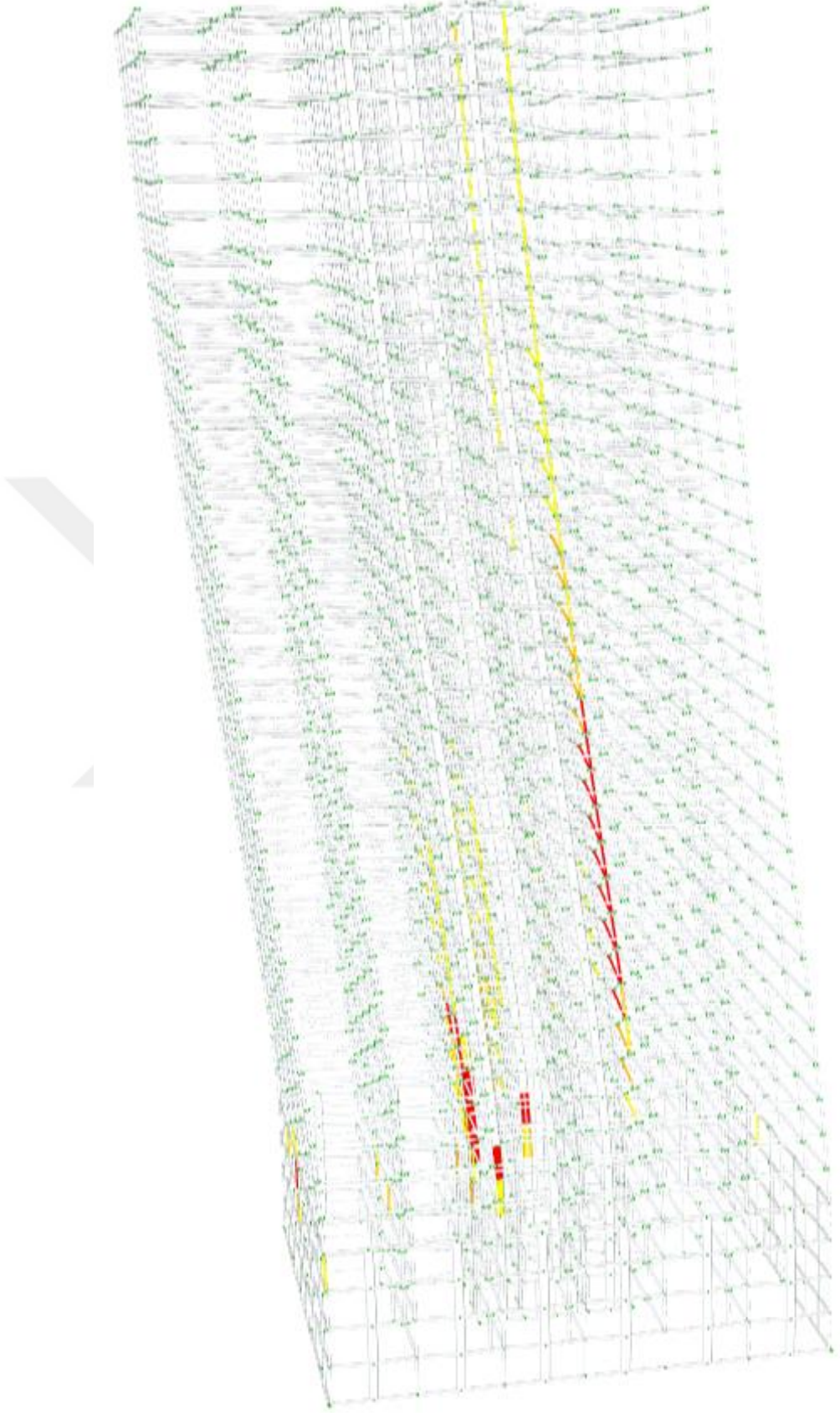
1. Yapının ilk iki periyodu, T1: 3.525, T2: 2.975 ve sönüm matrisinin katsayıları,  $a_0 = 0.0967$  ,  $a_1 = 0.0256$  olarak bulunmuştur.
2. 36 katlı binanın yukarıda verilen ölçeklenmiş deprem ivme kayıtları altında OpenSees programı ile elastik olmayan davranışı temsilen fiber model kullanılarak TBDY2018 kapsamında şekil değiştirmeye dayalı değerlendirmesi yapılmıştır. Her bir deprem kaydı için E-W ve N-S doğrultusundaki deprem ivmeleri aynı anda yapıya etkilmiştir. Daha sonra yönleri 90° çevrilerek aynı işlem tekrarlanmıştır. 3 deprem kaydı takımı ( 6 adet deprem kaydı) için sistem ayrı ayrı çözümlenerek, her birinden elde edilen maksimum şekil değiştirmelerin ortalaması alınmıştır. Bu değerler TBDY2018’ de verilen sınır değerler ile kıyaslanarak yapının performans durumu belirlenmiştir.



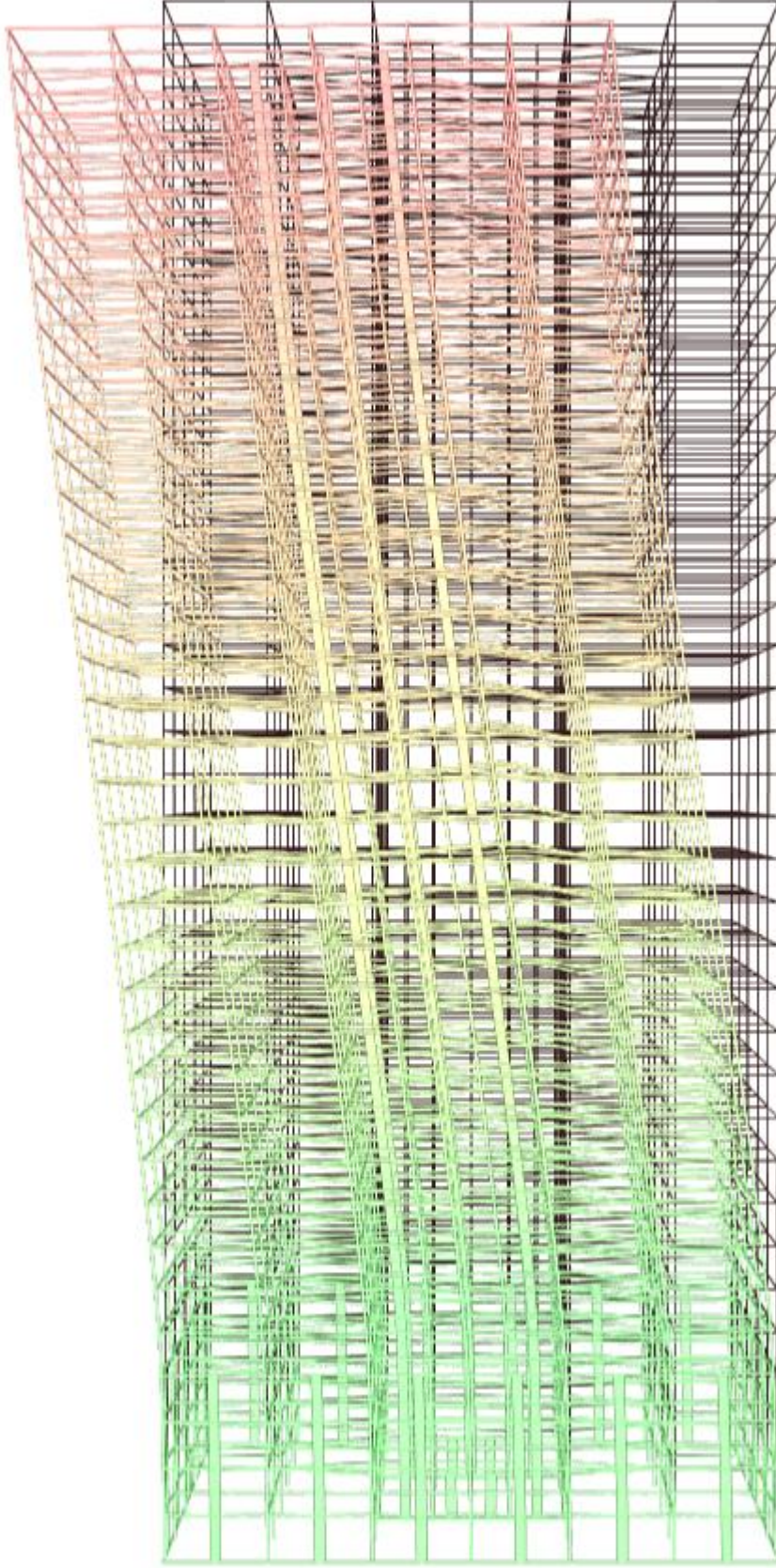


Şekil 6.53 : 36 katlı yapı OpenSees modeli.



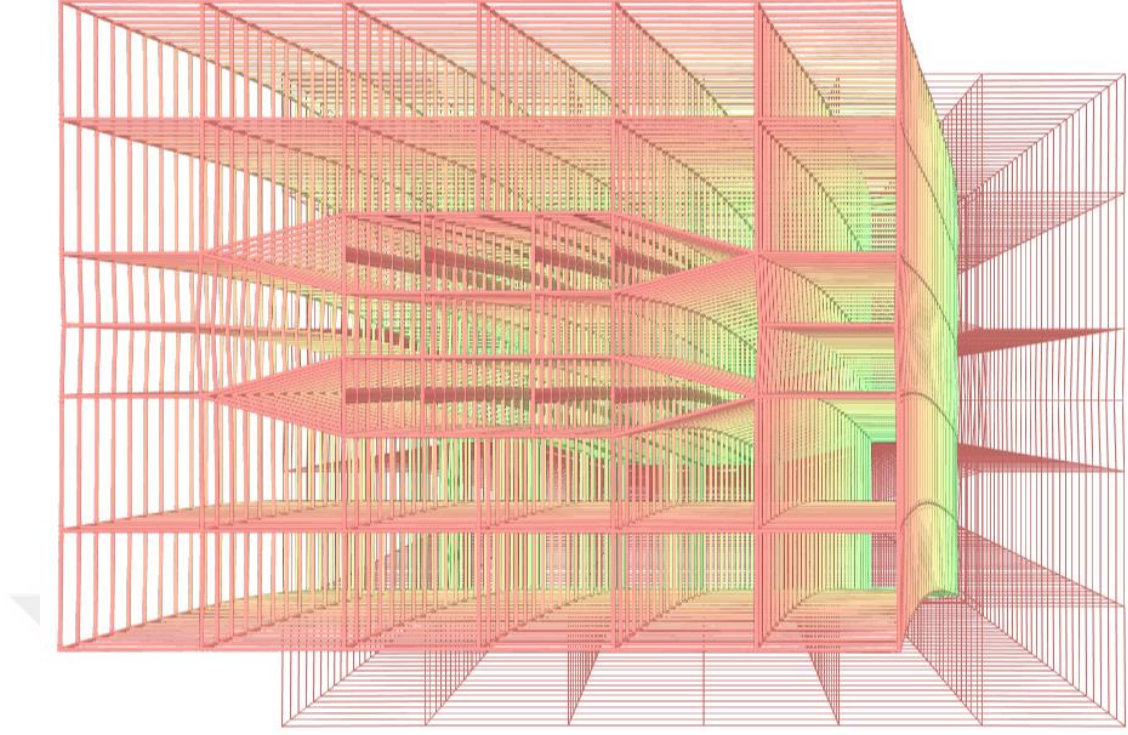


**Şekil 6.54** : Maksimum hasar adımında eleman hasar durumu (Tabas E-W doğrultusu 53. Adım).



**Şekil 6.55** : Maksimum hasar adımında yapı yerdeğiştirmesi kesit(Tabas E-W doğrultusu 53.adım).





**Şekil 6.56 :** Maksimum hasar adımında yapı yerdeğiştirmesi plan( Tabas E-W doğrultusu 53. Adım).

3. DD-1 deprem dűzeyi için oluřturulan tasarım ivme spektrumuna gűre ۆleklendirilmiř 3 adet deprem kaydı takımı altında yapı performansı ařađıda verilmiřtir.

**Çizelge 6.13** : TDY2007' ye göre tasarımı yapılan 36 katlı bina' ya ait E-W doğrultusu eleman hasar durumları.

| Kat | Sınırlı |       |          |        | Belirgin |       |          |        |
|-----|---------|-------|----------|--------|----------|-------|----------|--------|
|     | Kiriş   | Kolon | Vkol[KN] | % Vkol | Kiriş    | Kolon | Vkol[KN] | % Vkol |
| 1   | 60/60   | 96/96 | 76473    | 100    | -        | -     | 0        | 0      |
| 2   | 60/60   | 92/92 | 97596    | 100    | -        | -     | 0        | 0      |
| 3   | 60/60   | 86/92 | 74391    | 98.7   | -        | 2/92  | 479.5    | 0.6    |
| 4   | 60/60   | 76/92 | 189667   | 86.5   | -        | 2/92  | 12964    | 5.9    |
| 5   | 80/84   | 62/68 | 31695    | 46.4   | 4/84     | 5/68  | 29453    | 43.1   |
| 6   | 80/84   | 66/68 | 45647    | 71     | -        | 2/68  | 18655    | 29     |
| 7   | 79/84   | 66/68 | 49881    | 98.1   | 1/84     | 2/68  | 988.2    | 1.9    |
| 8   | 78/84   | 65/68 | 46913    | 97.8   | 2/84     | 2/68  | 560.5    | 1.2    |
| 9   | 76/84   | 60/68 | 43336    | 95.8   | 3/84     | 1/68  | 217.59   | 0.5    |
| 10  | 76/84   | 67/68 | 42611    | 99.5   | 3/84     | 1/68  | 231.92   | 0.5    |
| 11  | 76/84   | 67/68 | 42163    | 99.4   | 2/84     | 1/68  | 255.72   | 0.6    |
| 12  | 76/84   | 67/68 | 40100    | 88.3   | 2/84     | 1/68  | 263.05   | 0.7    |
| 13  | 76/84   | 66/68 | 38645    | 98.6   | 2/84     | 2/68  | 531.26   | 1.4    |
| 14  | 76/84   | 66/68 | 39635    | 98.7   | 2/84     | 1/68  | 240.22   | 0.6    |
| 15  | 76/84   | 66/68 | 38785    | 98.7   | 2/84     | 2/68  | 530.43   | 1.3    |
| 16  | 76/84   | 66/68 | 37213    | 98.5   | 2/84     | 2/68  | 553.41   | 1.5    |
| 17  | 76/84   | 64/68 | 36123    | 98.5   | 3/84     | 2/68  | 559.1    | 1.5    |
| 18  | 77/84   | 64/68 | 36931    | 98.1   | 3/84     | -     | 0        | 0      |
| 19  | 77/84   | 64/68 | 36502    | 97.1   | 4/84     | 4/68  | 1080.8   | 2.9    |
| 20  | 77/84   | 64/68 | 40730    | 97     | 4/84     | 4/68  | 1249.2   | 3      |
| 21  | 77/84   | 64/68 | 55983    | 98.4   | 6/84     | 4/68  | 934.97   | 1.6    |
| 22  | 77/84   | 64/68 | 52252    | 97.4   | 5/84     | 4/68  | 1419.5   | 2.6    |
| 23  | 77/84   | 64/68 | 37777    | 97.3   | 6/84     | 4/68  | 1052.6   | 2.7    |
| 24  | 77/84   | 64/68 | 33696    | 96.9   | 6/84     | 4/68  | 1084.4   | 3.1    |
| 25  | 77/84   | 64/68 | 34017    | 97     | 6/84     | 4/68  | 1065.8   | 3      |
| 26  | 77/84   | 64/68 | 33465    | 97     | 6/84     | 4/68  | 1034     | 3      |
| 27  | 77/84   | 64/68 | 33197    | 96.9   | 7/84     | 4/68  | 1054.4   | 3.1    |
| 28  | 80/84   | 64/68 | 31900    | 97.6   | 4/84     | 4/68  | 768.1    | 2.4    |
| 29  | 83/84   | 64/68 | 31211    | 97.5   | 1/84     | 4/68  | 811.79   | 2.5    |
| 30  | 83/84   | 64/68 | 29650    | 97.4   | 1/84     | 4/68  | 795.18   | 2.6    |
| 31  | 83/84   | 64/68 | 27268    | 97.3   | 1/84     | 4/68  | 749.87   | 2.7    |
| 32  | 83/84   | 64/68 | 24771    | 97.2   | 1/84     | 4/68  | 717.24   | 2.8    |
| 33  | 83/84   | 64/68 | 21481    | 96.9   | 1/84     | 4/68  | 680.03   | 3.1    |
| 34  | 83/84   | 64/68 | 19110    | 96.6   | 1/84     | 4/68  | 664.77   | 3.4    |
| 35  | 84/84   | 65/68 | 16158    | 97.1   | -        | 3/68  | 477.23   | 2.9    |
| 36  | 84/84   | 64/68 | 17823    | 96.4   | -        | 4/68  | 671.9    | 3.6    |

**Çizelge 6.13 (devam):** TDY2007' ye göre tasarımı yapılan 36 katlı bina'ya ait E-W doğrultusu eleman hasar durumları.

| Kat | İleri |       |          |       | Göçme |       |          |       |
|-----|-------|-------|----------|-------|-------|-------|----------|-------|
|     | Kiriş | Kolon | Vkol[KN] | %Vkol | Kiriş | Kolon | Vkol[KN] | %Vkol |
| 1   | -     | -     | 0        | 0     | -     | -     | 0        | 0     |
| 2   | -     | -     | 0        | 0     | -     | -     | 0        | 0     |
| 3   | -     | 4/92  | 9278.2   | 10.7  | -     | -     | 0        | 0     |
| 4   | -     | 11/92 | 67784    | 24.5  | -     | 3/92  | 7514.7   | 2.7   |
| 5   | -     | 1/68  | 109.7    | 0.1   | -     | -     | 0        | 0     |
| 6   | 2/84  | -     | 0        | 0     | 2/84  | -     | 0        | 0     |
| 7   | -     | -     | 0        | 0     | 4/84  | -     | 0        | 0     |
| 8   | -     | 1/68  | 1419.7   | 2.3   | 4/84  | -     | 0        | 0     |
| 9   | -     | 7/68  | 11315    | 19.2  | 5/84  | -     | 0        | 0     |
| 10  | 1/84  | -     | 0        | 0     | 4/84  | -     | 0        | 0     |
| 11  | 2/84  | -     | 0        | 0     | 4/84  | -     | 0        | 0     |
| 12  | 2/84  | -     | 0        | 0     | 4/84  | -     | 0        | 0     |
| 13  | 2/84  | -     | 0        | 0     | 4/84  | -     | 0        | 0     |
| 14  | 3/84  | 1/68  | 1206     | 2.8   | 3/84  | -     | 0        | 0     |
| 15  | 3/84  | -     | 0        | 0     | 3/84  | -     | 0        | 0     |
| 16  | 4/84  | -     | 0        | 0     | 2/84  | -     | 0        | 0     |
| 17  | 5/84  | -     | 0        | 0     | -     | -     | 0        | 0     |
| 18  | 4/84  | 2/68  | 2291.3   | 6.2   | -     | -     | 0        | 0     |
| 19  | 3/84  | -     | 0        | 0     | -     | -     | 0        | 0     |
| 20  | 3/84  | -     | 0        | 0     | -     | -     | 0        | 0     |
| 21  | 1/84  | -     | 0        | 0     | -     | -     | 0        | 0     |
| 22  | 2/84  | -     | 0        | 0     | -     | -     | 0        | 0     |
| 23  | 1/84  | -     | 0        | 0     | -     | -     | 0        | 0     |
| 24  | 1/84  | -     | 0        | 0     | -     | -     | 0        | 0     |
| 25  | 1/84  | -     | 0        | 0     | -     | -     | 0        | 0     |
| 26  | 1/84  | -     | 0        | 0     | -     | -     | 0        | 0     |
| 27  | -     | -     | 0        | 0     | -     | -     | 0        | 0     |
| 28  | -     | -     | 0        | 0     | -     | -     | 0        | 0     |
| 29  | -     | -     | 0        | 0     | -     | -     | 0        | 0     |
| 30  | -     | -     | 0        | 0     | -     | -     | 0        | 0     |
| 31  | -     | -     | 0        | 0     | -     | -     | 0        | 0     |
| 32  | -     | -     | 0        | 0     | -     | -     | 0        | 0     |
| 33  | -     | -     | 0        | 0     | -     | -     | 0        | 0     |
| 34  | -     | -     | 0        | 0     | -     | -     | 0        | 0     |
| 35  | -     | -     | 0        | 0     | -     | -     | 0        | 0     |
| 36  | -     | -     | 0        | 0     | -     | -     | 0        | 0     |

E-W doğrultusu yapı performansı 'GÖÇME' olarak bulunmuştur.

**Çizelge 6.14** : TDY2007' ye göre tasarımı yapılan 36 katlı bina' ya ait N-S doğrultusu eleman hasar durumları.

| Kat | Sınırlı |       |          |        | Belirgin |       |          |        |
|-----|---------|-------|----------|--------|----------|-------|----------|--------|
|     | Kiriş   | Kolon | Vkol[KN] | % Vkol | Kiriş    | Kolon | Vkol[KN] | % Vkol |
| 1   | 60/60   | 96/96 | 91665    | 100    | -        | -     | 0        | 0      |
| 2   | 60/60   | 92/92 | 109515   | 100    | -        | -     | 0        | 0      |
| 3   | 60/60   | 86/92 | 73194    | 84.6   | -        | 2/92  | 4072.1   | 4.7    |
| 4   | 60/60   | 76/92 | 192304   | 69.5   | -        | 2/92  | 8953.3   | 3.2    |
| 5   | 80/84   | 62/68 | 76183    | 95.5   | 4/84     | 5/68  | 3445.6   | 4.3    |
| 6   | 80/84   | 66/68 | 70122    | 99.7   | -        | 2/68  | 234.36   | 0.3    |
| 7   | 79/84   | 66/68 | 61446    | 96.2   | 1/84     | 2/68  | 2410.7   | 3.8    |
| 8   | 78/84   | 65/68 | 57583    | 93     | 2/84     | 2/68  | 2938.3   | 4.7    |
| 9   | 76/84   | 60/68 | 46243    | 78.4   | 3/84     | 1/68  | 1422.4   | 2.4    |
| 10  | 76/84   | 67/68 | 49165    | 97.8   | 3/84     | 1/68  | 1110.9   | 2.2    |
| 11  | 76/84   | 67/68 | 46197    | 97.5   | 2/84     | 1/68  | 1188.2   | 2.5    |
| 12  | 76/84   | 67/68 | 43640    | 97.3   | 2/84     | 1/68  | 1198.3   | 2.7    |
| 13  | 76/84   | 66/68 | 40861    | 94.7   | 2/84     | 2/68  | 2284.6   | 5.3    |
| 14  | 76/84   | 66/68 | 41024    | 94.7   | 2/84     | 1/68  | 1100     | 2.5    |
| 15  | 76/84   | 66/68 | 39206    | 94.4   | 2/84     | 2/68  | 2319.8   | 5.6    |
| 16  | 76/84   | 66/68 | 38572    | 94.4   | 2/84     | 2/68  | 2285.7   | 5.6    |
| 17  | 76/84   | 66/68 | 35683    | 94     | 3/84     | 2/68  | 2275.4   | 6      |
| 18  | 77/84   | 66/68 | 34798    | 93.8   | 3/84     | -     | 0        | 0      |
| 19  | 77/84   | 64/68 | 32254    | 90.2   | 4/84     | 4/68  | 3506.7   | 9.8    |
| 20  | 77/84   | 64/68 | 37045    | 90.9   | 4/84     | 4/68  | 3711.3   | 9.1    |
| 21  | 77/84   | 64/68 | 73121    | 95.2   | 6/84     | 4/68  | 3694.6   | 4.8    |
| 22  | 77/84   | 64/68 | 56427    | 93.5   | 5/84     | 4/68  | 3929.6   | 6.5    |
| 23  | 77/84   | 64/68 | 40897    | 91.8   | 6/84     | 4/68  | 3670.9   | 8.2    |
| 24  | 77/84   | 64/68 | 24060    | 86.8   | 6/84     | 4/68  | 3655.3   | 13.2   |
| 25  | 77/84   | 64/68 | 23165    | 86.4   | 6/84     | 4/68  | 3634.7   | 13.6   |
| 26  | 77/84   | 64/68 | 23135    | 86.6   | 6/84     | 4/68  | 3580     | 13.4   |
| 27  | 77/84   | 64/68 | 23121    | 86.2   | 7/84     | 4/68  | 3707.1   | 13.8   |
| 28  | 80/84   | 64/68 | 21975    | 88.5   | 4/84     | 4/68  | 2866.5   | 11.5   |
| 29  | 83/84   | 64/68 | 22886    | 88.5   | 1/84     | 4/68  | 2979.8   | 11.5   |
| 30  | 83/84   | 64/68 | 21456    | 88     | 1/84     | 4/68  | 2917.7   | 12     |
| 31  | 83/84   | 64/68 | 20254    | 87.4   | 1/84     | 4/68  | 2906.7   | 12.6   |
| 32  | 83/84   | 64/68 | 18961    | 86.9   | 1/84     | 4/68  | 2861.7   | 13.1   |
| 33  | 83/84   | 64/68 | 17448    | 86.1   | 1/84     | 4/68  | 2806     | 13.9   |
| 34  | 83/84   | 64/68 | 15124    | 84.8   | 1/84     | 4/68  | 2712.2   | 15.2   |
| 35  | 84/84   | 65/68 | 15148    | 88.2   | -        | 3/68  | 2030.8   | 11.8   |
| 36  | 84/84   | 64/68 | 14885    | 83.2   | -        | 4/68  | 3012.8   | 16.8   |

**Çizelge 6.14 (devam):** TDY2007' ye göre tasarımı yapılan 36 katlı bina' ya ait N-S doğrultusu eleman hasar durumları.

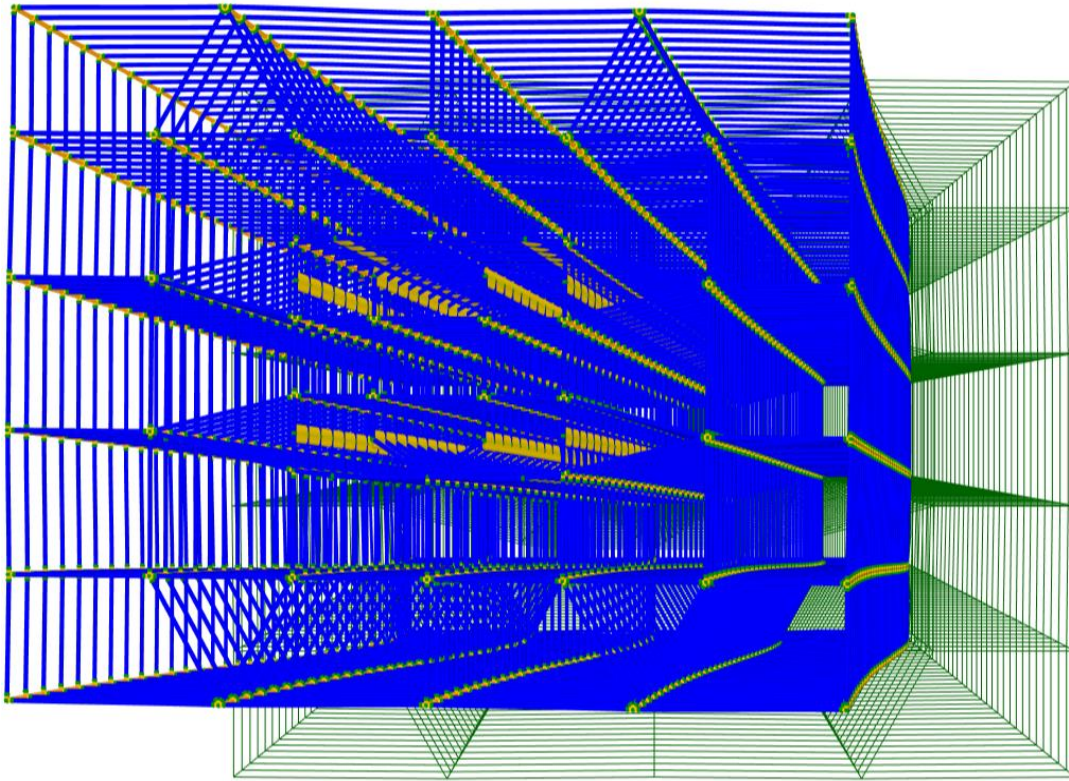
| Kat | İleri |       |          |       | Göçme |       |          |       |
|-----|-------|-------|----------|-------|-------|-------|----------|-------|
|     | Kiriş | Kolon | Vkol[KN] | %Vkol | Kiriş | Kolon | Vkol[KN] | %Vkol |
| 1   | -     | -     | 0        | 0     | -     | -     | 0        | 0     |
| 2   | -     | -     | 0        | 0     | -     | -     | 0        | 0     |
| 3   | -     | 4/92  | 485.5    | 0.6   | -     | -     | 0        | 0     |
| 4   | -     | 11/92 | 1595.2   | 7.3   | -     | 3/92  | 575.85   | 0.3   |
| 5   | -     | 1/68  | 7152.4   | 10.5  | -     | -     | 0        | 0     |
| 6   | 2/84  | -     | 0        | 0     | 2/84  | -     | 0        | 0     |
| 7   | -     | -     | 0        | 0     | 4/84  | -     | 0        | 0     |
| 8   | -     | 1/68  | 487.16   | 1     | 4/84  | -     | 0        | 0     |
| 9   | -     | 7/68  | 1664.3   | 3.7   | 5/84  | -     | 0        | 0     |
| 10  | 1/84  | -     | 0        | 0     | 4/84  | -     | 0        | 0     |
| 11  | 2/84  | -     | 0        | 0     | 4/84  | -     | 0        | 0     |
| 12  | 2/84  | -     | 0        | 0     | 4/84  | -     | 0        | 0     |
| 13  | 2/84  | -     | 0        | 0     | 4/84  | -     | 0        | 0     |
| 14  | 2/84  | 1/68  | 280.34   | 0.7   | 3/84  | -     | 0        | 0     |
| 15  | 3/84  | -     | 0        | 0     | 3/84  | -     | 0        | 0     |
| 16  | 3/84  | -     | 0        | 0     | 2/84  | -     | 0        | 0     |
| 17  | 4/84  | -     | 0        | 0     | -     | -     | 0        | 0     |
| 18  | 5/84  | 1/68  | 702.48   | 1.9   | -     | -     | 0        | 0     |
| 19  | 4/84  | -     | 0        | 0     | -     | -     | 0        | 0     |
| 20  | 3/84  | -     | 0        | 0     | -     | -     | 0        | 0     |
| 21  | 3/84  | -     | 0        | 0     | -     | -     | 0        | 0     |
| 22  | 1/84  | 2/68  | 0        | 0     | -     | -     | 0        | 0     |
| 23  | 2/84  | -     | 0        | 0     | -     | -     | 0        | 0     |
| 24  | 1/84  | -     | 0        | 0     | -     | -     | 0        | 0     |
| 25  | 1/84  | -     | 0        | 0     | -     | -     | 0        | 0     |
| 26  | 1/84  | -     | 0        | 0     | -     | -     | 0        | 0     |
| 27  | 1/84  | -     | 0        | 0     | -     | -     | 0        | 0     |
| 28  | -     | -     | 0        | 0     | -     | -     | 0        | 0     |
| 29  | -     | -     | 0        | 0     | -     | -     | 0        | 0     |
| 30  | -     | -     | 0        | 0     | -     | -     | 0        | 0     |
| 31  | -     | -     | 0        | 0     | -     | -     | 0        | 0     |
| 32  | -     | -     | 0        | 0     | -     | -     | 0        | 0     |
| 33  | -     | -     | 0        | 0     | -     | -     | 0        | 0     |
| 34  | -     | -     | 0        | 0     | -     | -     | 0        | 0     |
| 35  | -     | -     | 0        | 0     | -     | -     | 0        | 0     |
| 36  | -     | -     | 0        | 0     | -     | -     | 0        | 0     |

N-S doğrultusu yapı performansı 'GÖÇME' olarak bulunmuştur.

#### 6.4.4 TBDY2018' e göre 36 katlı binanın tasarımı

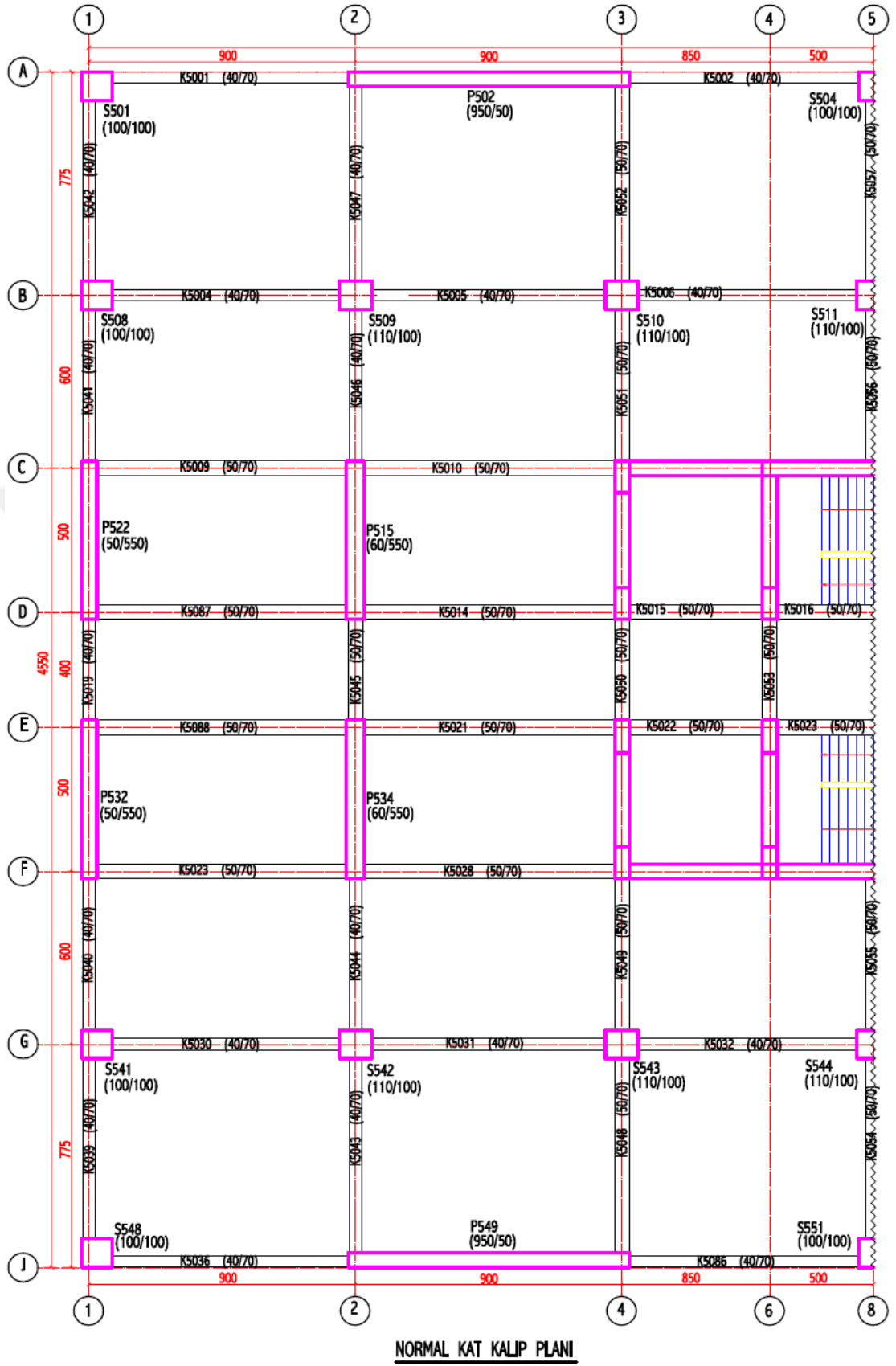
TDY2007' ye göre tasarımı yapılan 36 katlı binanın eleman kesitleri değiştirilmeden TBDY2018' e göre analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda yapıda birçok kolonda, kolon süneklik alanının yetersiz olduğu görülmüş ve kolon kiriş birleşimi kesme güvenliği kontrolü bir çok birleşim için sağlanamamıştır. Bunun yanında yapıda görelî kat öteleme değerleri sınır değerlerin çok üzerinde olduğu görülmüştür. TDY2007' de olmayan ancak TBDY2018' de bulunan perdeler için süneklik alanı kontrolünü sağlamayan perdeler tespit edilmiştir. Bunların sonucunda, öncelikle görelî kat ötelemesi değerlerinin sınır değerlerin altında kalabilmesi için binaya rijit perdeler ilave edilerek yapı rijitliği artırılmıştır. Daha sonra süneklik alanı koşulunu sağlamayan kolon ve perdelerin boyutları artırılmıştır.

TBDY2018' e göre tasarımı tamamlanan yapıya ait normal kat planı aşağıda verilmiştir.



Şekil 6.57 : Maksimum hasar adımında yapı yerdeğıştirmeleri.





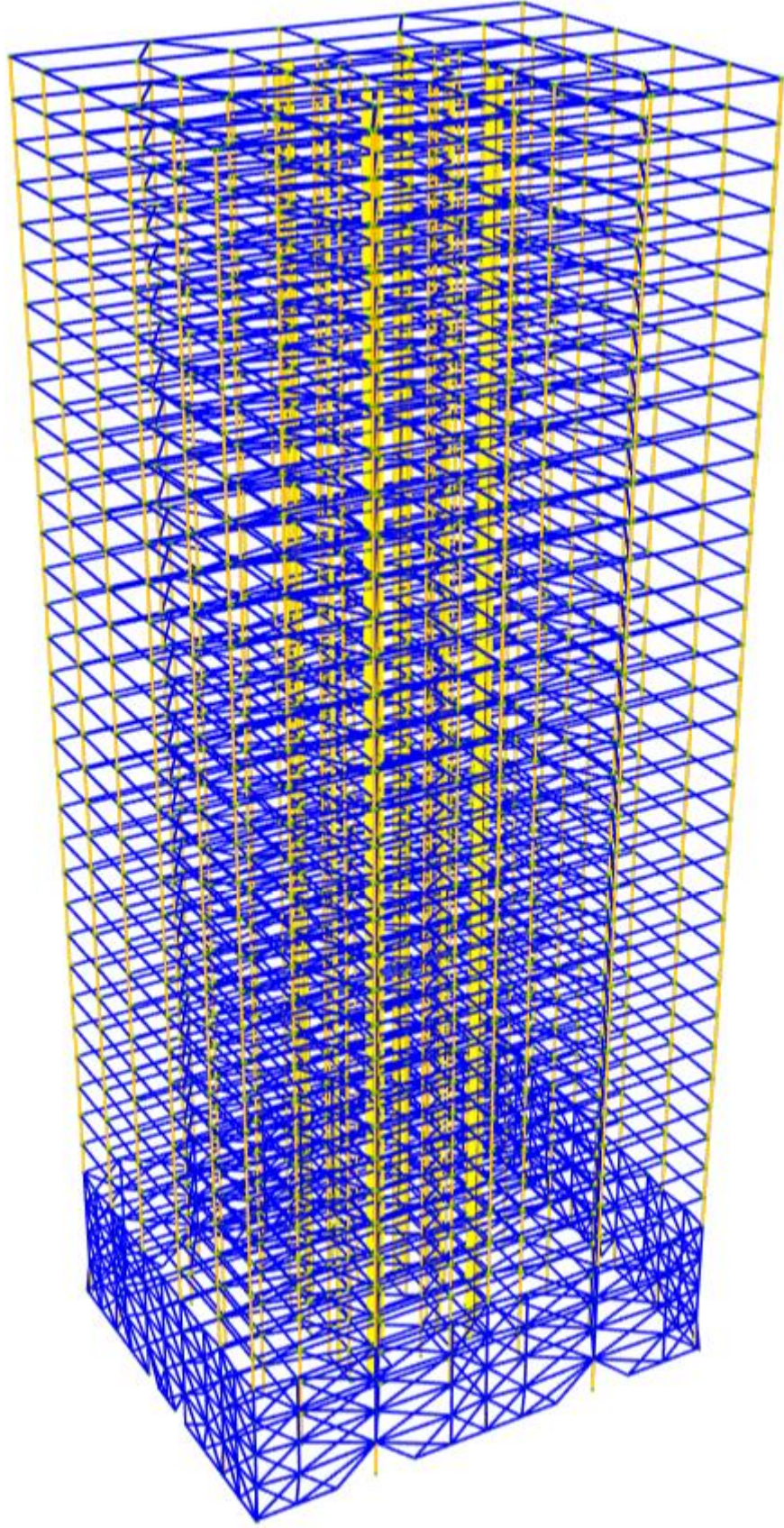
**Şekil 6.58 :** TBDY2018'e göre boyutlandırılan 36 katlı binanın normal katlarına ait kat planı. Bina 5-5 eksenine göre simetriktir.

#### **6.4.5 TBDY2018' e göre tasarımı yapılan 36 katlı binanın TBDY2018'de şekildeğiştirmeye dayalı performans değerlendirilmesi**

TBDY2018' e göre tasarımı yapılan betonarme çerçeve ve perdelerden oluşan 36 katlı binanın OpenSees programı ile zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizi yapılmıştır. Analizlerde 6.4.3'de verilen 3 adet deprem ivme kaydı takımı kullanılmıştır. Ayrıca analiz verileri 6.4.3' deki örnek ile aynıdır. Analiz sonucunda eleman lif'lerinde oluşan birim uzama ve kısalma değerleri elde edilmiştir. Bu değerler TBDY2018' deki değerler ile karşılaştırılarak yapı performansı belirlenmiştir.

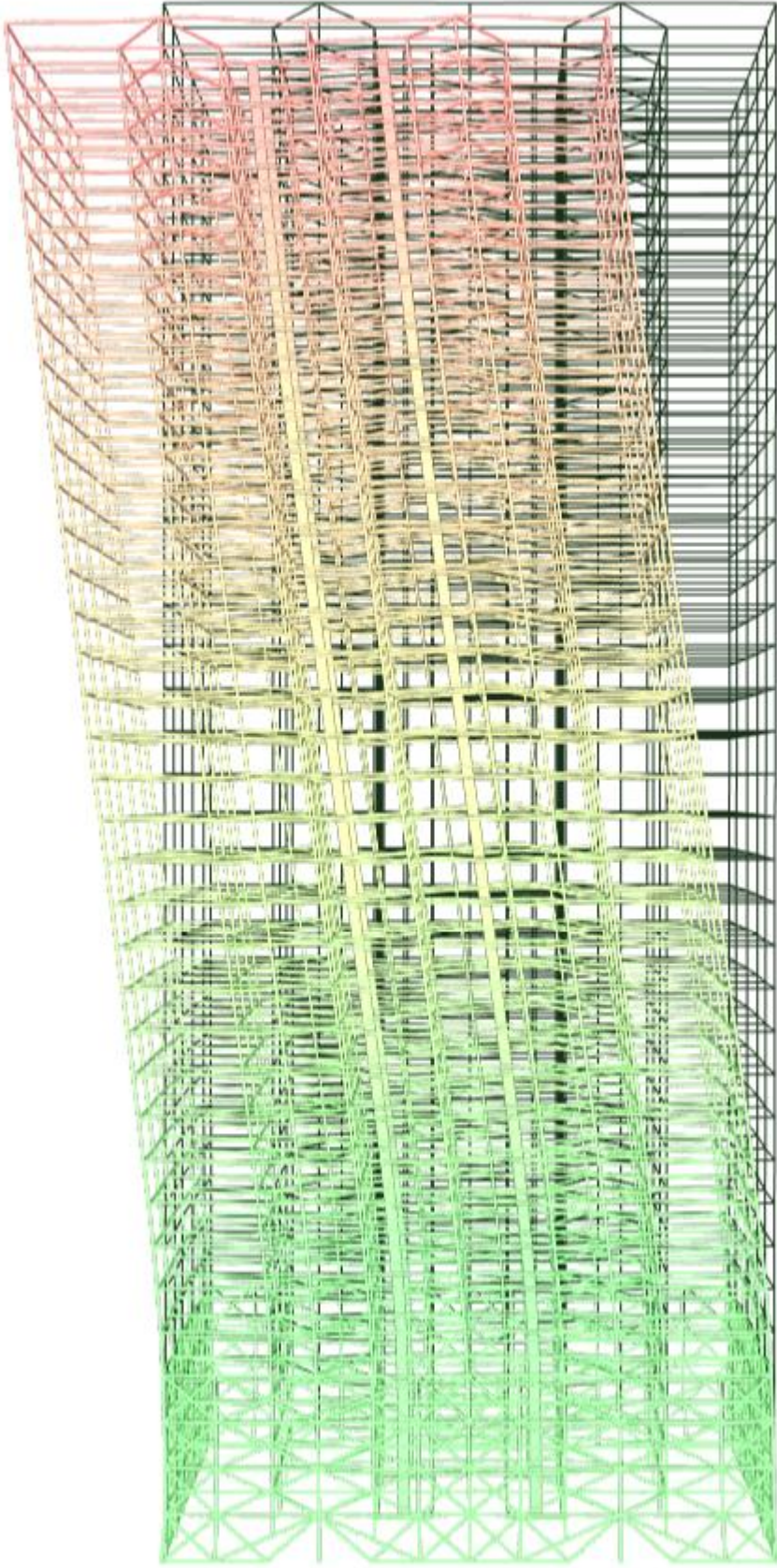
3 adet deprem ivme kaydı takımının herbiri yapıya E-W ve N-S doğrultuları aynı anda etkilmiştir. Tüm analizlerde bulunan maksimum şekildeğiştirme değerleri bulunarak TBDY2018' de verilen sınır değerler ile kıyaslanmıştır. Bunun sonucunda E-W doğrultusu yapı genel performansı aşağıda verilmiştir.

Yapının ilk iki periyodu,  $T_1: 3.259$ ,  $T_2: 3.049$  ve sönüm matrisinin katsayıları,  $a_0 = 0.0996$  ,  $a_1 = 0.0251$  olarak bulunmuştur.

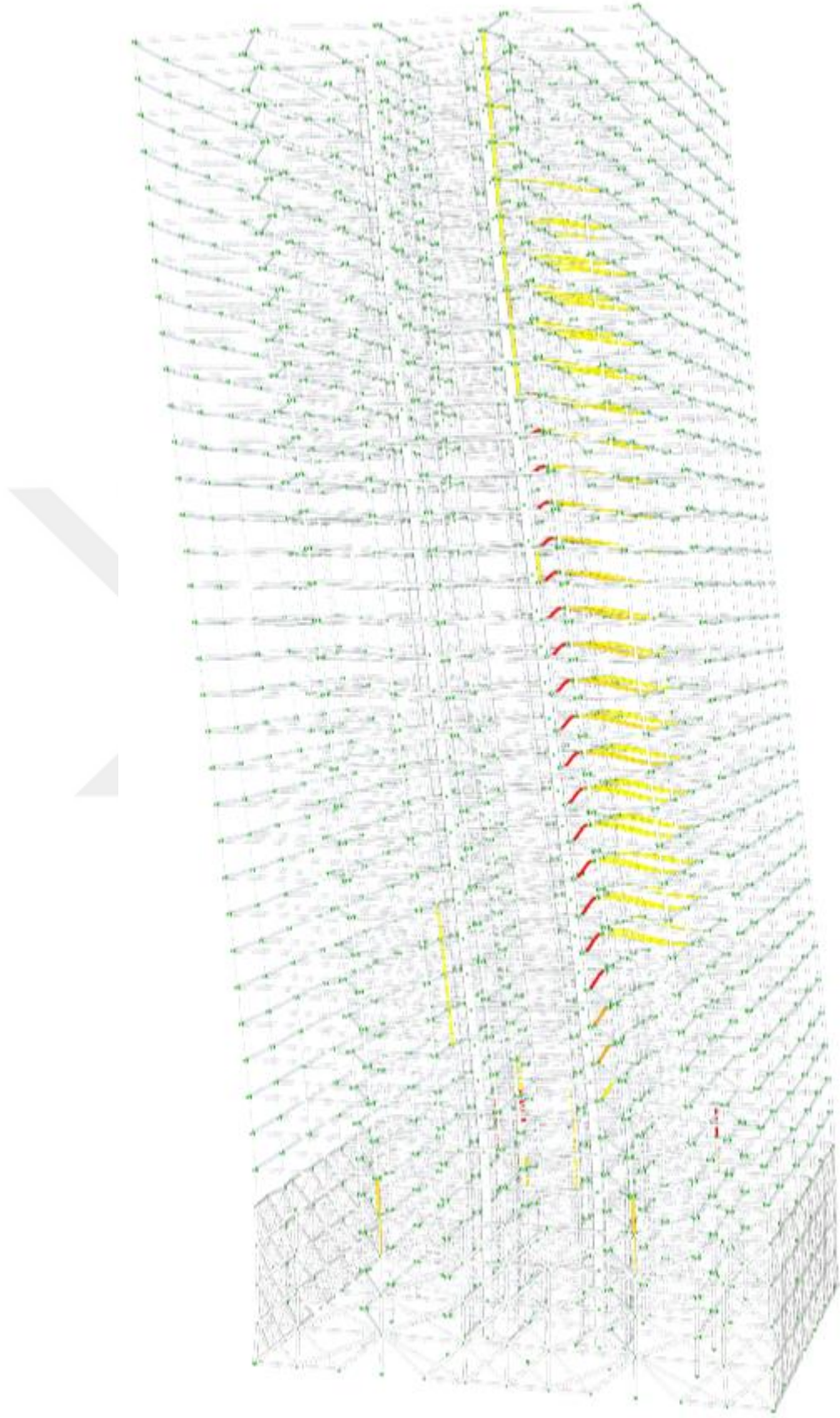


Şekil 6.59 : TBDY2018' e göre tasarımı yapılan 36 katlı binanın OpenSees modeli.





Şekil 6.60 : Maksimum hasar adımında renklere göre yapı yerdeğıştirmesi.



Şekil 6.61 : Maksimum hasar adımında eleman hasarları.

**Çizelge 6.15 :** TBDY2018' e göre tasarımı yapılan 36 katlı bina' ya ait E-W doğrultusu eleman hasar durumları.

| Kat | Sınırlı |       |          |        | Belirgin |       |          |        |
|-----|---------|-------|----------|--------|----------|-------|----------|--------|
|     | Kiriş   | Kolon | Vkol[KN] | % Vkol | Kiriş    | Kolon | Vkol[KN] | % Vkol |
| 1   | 60/60   | 58/58 | 45150    | 100    | -        | -     | 0        | 0      |
| 2   | 60/60   | 58/58 | 15910    | 100    | -        | -     | 0        | 0      |
| 3   | 60/60   | 58/58 | 33936    | 100    | -        | -     | 0        | 0      |
| 4   | 60/60   | 57/58 | 102198   | 99.9   | -        | 1/58  | 123.79   | 0.1    |
| 5   | 78/78   | 58/58 | 66451    | 100    | -        | -     | 0        | 0      |
| 6   | 78/78   | 58/58 | 63492    | 100    | -        | -     | 0        | 0      |
| 7   | 74/78   | 58/58 | 57778    | 100    | 3/78     | -     | 0        | 0      |
| 8   | 74/78   | 58/58 | 52790    | 100    | -        | -     | 0        | 0      |
| 9   | 74/78   | 58/58 | 49813    | 100    | -        | -     | 0        | 0      |
| 10  | 74/78   | 58/58 | 48965    | 100    | -        | -     | 0        | 0      |
| 11  | 72/78   | 58/58 | 48987    | 100    | 2/78     | -     | 0        | 0      |
| 12  | 72/78   | 58/58 | 47072    | 100    | 2/78     | -     | 0        | 0      |
| 13  | 72/78   | 58/58 | 46586    | 100    | 2/78     | -     | 0        | 0      |
| 14  | 72/78   | 58/58 | 47559    | 100    | 2/78     | -     | 0        | 0      |
| 15  | 72/78   | 58/58 | 47363    | 100    | 1/78     | -     | 0        | 0      |
| 16  | 72/78   | 58/58 | 47428    | 100    | 1/78     | -     | 0        | 0      |
| 17  | 71/78   | 58/58 | 45712    | 100    | 2/78     | -     | 0        | 0      |
| 18  | 72/78   | 58/58 | 45172    | 100    | 1/78     | -     | 0        | 0      |
| 19  | 72/78   | 58/58 | 42781    | 100    | 1/78     | -     | 0        | 0      |
| 20  | 72/78   | 58/58 | 40737    | 100    | 1/78     | -     | 0        | 0      |
| 21  | 72/78   | 58/58 | 39238    | 100    | 1/78     | -     | 0        | 0      |
| 22  | 72/78   | 58/58 | 40886    | 100    | -        | -     | 0        | 0      |
| 23  | 72/78   | 58/58 | 37884    | 100    | 1/78     | -     | 0        | 0      |
| 24  | 72/78   | 58/58 | 37629    | 100    | 1/78     | -     | 0        | 0      |
| 25  | 72/78   | 58/58 | 36818    | 100    | 1/78     | -     | 0        | 0      |
| 26  | 72/78   | 58/58 | 36545    | 100    | 2/78     | -     | 0        | 0      |
| 27  | 72/78   | 58/58 | 37317    | 100    | 2/78     | -     | 0        | 0      |
| 28  | 72/78   | 58/58 | 35341    | 100    | 2/78     | -     | 0        | 0      |
| 29  | 72/78   | 58/58 | 33672    | 100    | 2/78     | -     | 0        | 0      |
| 30  | 73/78   | 58/58 | 31760    | 100    | 1/78     | -     | 0        | 0      |
| 31  | 73/78   | 58/58 | 29227    | 100    | 3/78     | -     | 0        | 0      |
| 32  | 73/78   | 58/58 | 27381    | 100    | 5/78     | -     | 0        | 0      |
| 33  | 76/78   | 58/58 | 26589    | 100    | 2/78     | -     | 0        | 0      |
| 34  | 78/78   | 58/58 | 23420    | 100    | -        | -     | 0        | 0      |
| 35  | 78/78   | 58/58 | 26417    | 100    | -        | -     | 0        | 0      |
| 36  | 78/78   | 57/58 | 25069    | 98.3   | -        | 1/58  | 440.05   | 1.7    |

**Çizelge 6.15 (devam):** TBDY2018' e göre tasarımı yapılan 36 katlı bina' ya ait E-W doğrultusu eleman hasar durumları.

| Kat | İleri |       |          |        | Göçme |       |          |        |
|-----|-------|-------|----------|--------|-------|-------|----------|--------|
|     | Kiriş | Kolon | Vkol[KN] | % Vkol | Kiriş | Kolon | Vkol[KN] | % Vkol |
| 1   |       | -     | -        | 0      | -     | -     | 0        | 0      |
| 2   |       | -     | -        | 0      | -     | -     | 0        | 0      |
| 3   |       | -     | -        | 0      | -     | -     | 0        | 0      |
| 4   |       | -     | -        | 0      | -     | -     | 0        | 0      |
| 5   |       | -     | -        | 0      | -     | -     | 0        | 0      |
| 6   |       | -     | -        | 0      | -     | -     | 0        | 0      |
| 7   |       | 1/78  | -        | 0      | -     | -     | 0        | 0      |
| 8   | 2/78  | 2/78  | -        | 0      | 2/78  | -     | 0        | 0      |
| 9   | 4/78  | -     | -        | 0      | 4/78  | -     | 0        | 0      |
| 10  | 4/78  | -     | -        | 0      | 4/78  | -     | 0        | 0      |
| 11  | 4/78  | -     | -        | 0      | 4/78  | -     | 0        | 0      |
| 12  | 4/78  | -     | -        | 0      | 4/78  | -     | 0        | 0      |
| 13  | 4/78  | -     | -        | 0      | 4/78  | -     | 0        | 0      |
| 14  | 4/78  | -     | -        | 0      | 4/78  | -     | 0        | 0      |
| 15  | 4/78  | 1/78  | -        | 0      | 4/78  | -     | 0        | 0      |
| 16  | 4/78  | 1/78  | -        | 0      | 4/78  | -     | 0        | 0      |
| 17  | 4/78  | 1/78  | -        | 0      | 4/78  | -     | 0        | 0      |
| 18  | 4/78  | 1/78  | -        | 0      | 4/78  | -     | 0        | 0      |
| 19  | 4/78  | 1/78  | -        | 0      | 4/78  | -     | 0        | 0      |
| 20  | 4/78  | 1/78  | -        | 0      | 4/78  | -     | 0        | 0      |
| 21  | 4/78  | 1/78  | -        | 0      | 4/78  | -     | 0        | 0      |
| 22  | 4/78  | 2/78  | -        | 0      | 4/78  | -     | 0        | 0      |
| 23  | 4/78  | 1/78  | -        | 0      | 4/78  | -     | 0        | 0      |
| 24  | 4/78  | 1/78  | -        | 0      | 4/78  | -     | 0        | 0      |
| 25  | 4/78  | 1/78  | -        | 0      | 4/78  | -     | 0        | 0      |
| 26  | 4/78  | -     | -        | 0      | 4/78  | -     | 0        | 0      |
| 27  | 4/78  | -     | -        | 0      | 4/78  | -     | 0        | 0      |
| 28  | 2/78  | -     | -        | 0      | 4/78  | -     | 0        | 0      |
| 29  | 1/78  | 2/78  | -        | 0      | 4/78  | -     | 0        | 0      |
| 30  | -     | 3/78  | -        | 0      | 4/78  | -     | 0        | 0      |
| 31  | -     | 2/78  | -        | 0      | -     | -     | 0        | 0      |
| 32  | -     | -     | -        | 0      | -     | -     | 0        | 0      |
| 33  | -     | -     | -        | 0      | -     | -     | 0        | 0      |
| 34  | -     | -     | -        | 0      | -     | -     | 0        | 0      |
| 35  | -     | -     | -        | 0      | -     | -     | 0        | 0      |
| 36  | -     | -     | -        | 0      | -     | -     | 0        | 0      |

E-W doğrultusu yapı performansı 'KONTROLLÜ HASAR' olarak bulunmuştur.

N-S doğrultusu yapı genel performansı aşağıda verilmiştir.



**Çizelge 6.16 :** TBDY2018' e göre tasarımı yapılan 36 katlı yapı' ya ait N-S doğrultusu eleman hasar durumları.

| Kat | Sınırlı |       |          |        | Belirgin |       |          |        |
|-----|---------|-------|----------|--------|----------|-------|----------|--------|
|     | Kiriş   | Kolon | Vkol[KN] | % Vkol | Kiriş    | Kolon | Vkol[KN] | % Vkol |
| 1   | 60/60   | 58/58 | 48791    | 100    | -        | -     | 0        | 0      |
| 2   | 60/60   | 58/58 | 13245    | 100    | -        | -     | 0        | 0      |
| 3   | 60/60   | 58/58 | 43402    | 100    | -        | -     | 0        | 0      |
| 4   | 60/60   | 57/58 | 128241   | 93.7   | -        | 1/58  | 8557.6   | 6.3    |
| 5   | 78/78   | 58/58 | 63012    | 100    | -        | -     | 0        | 0      |
| 6   | 78/78   | 58/58 | 60417    | 100    | -        | -     | 0        | 0      |
| 7   | 74/78   | 58/58 | 54238    | 100    | 3/78     | -     | 0        | 0      |
| 8   | 74/78   | 58/58 | 49314    | 100    | -        | -     | 0        | 0      |
| 9   | 74/78   | 58/58 | 48600    | 100    | -        | -     | 0        | 0      |
| 10  | 74/78   | 58/58 | 47052    | 100    | -        | -     | 0        | 0      |
| 11  | 72/78   | 58/58 | 46586    | 100    | 2/78     | -     | 0        | 0      |
| 12  | 72/78   | 58/58 | 44702    | 100    | 2/78     | -     | 0        | 0      |
| 13  | 72/78   | 58/58 | 72384    | 100    | 2/78     | -     | 0        | 0      |
| 14  | 72/78   | 58/58 | 39871    | 100    | 2/78     | -     | 0        | 0      |
| 15  | 72/78   | 58/58 | 38309    | 100    | 1/78     | -     | 0        | 0      |
| 16  | 72/78   | 58/58 | 36840    | 100    | 1/78     | -     | 0        | 0      |
| 17  | 71/78   | 58/58 | 35362    | 100    | 2/78     | -     | 0        | 0      |
| 18  | 72/78   | 58/58 | 35264    | 100    | 1/78     | -     | 0        | 0      |
| 19  | 72/78   | 58/58 | 33483    | 100    | 1/78     | -     | 0        | 0      |
| 20  | 72/78   | 58/58 | 33259    | 100    | 1/78     | -     | 0        | 0      |
| 21  | 72/78   | 58/58 | 31983    | 100    | 1/78     | -     | 0        | 0      |
| 22  | 72/78   | 58/58 | 33510    | 100    | -        | -     | 0        | 0      |
| 23  | 72/78   | 58/58 | 31881    | 100    | 1/78     | -     | 0        | 0      |
| 24  | 72/78   | 58/58 | 31640    | 100    | 1/78     | -     | 0        | 0      |
| 25  | 72/78   | 58/58 | 31667    | 100    | 1/78     | -     | 0        | 0      |
| 26  | 72/78   | 58/58 | 31277    | 100    | 2/78     | -     | 0        | 0      |
| 27  | 72/78   | 58/58 | 30991    | 100    | 2/78     | -     | 0        | 0      |
| 28  | 72/78   | 58/58 | 29401    | 100    | 2/78     | -     | 0        | 0      |
| 29  | 72/78   | 58/58 | 28627    | 100    | 2/78     | -     | 0        | 0      |
| 30  | 73/78   | 58/58 | 28002    | 100    | 1/78     | -     | 0        | 0      |
| 31  | 73/78   | 58/58 | 25793    | 100    | 3/78     | -     | 0        | 0      |
| 32  | 73/78   | 58/58 | 24687    | 100    | 5/78     | -     | 0        | 0      |
| 33  | 76/78   | 58/58 | 22349    | 100    | 2/78     | -     | 0        | 0      |
| 34  | 78/78   | 58/58 | 20173    | 100    | -        | -     | 0        | 0      |
| 35  | 78/78   | 58/58 | 21147    | 100    | -        | -     | 0        | 0      |
| 36  | 78/78   | 57/58 | 23044    | 97     | -        | 1/58  | 717.3    | 3      |



**Çizelge 6.16 (devam):** TBDY2018' e göre tasarımı yapılan 36 katlı yapı' ya ait N-S doğrultusu eleman hasar durumları.

| Kat | İleri |       |          |        | Göçme |       |          |        |
|-----|-------|-------|----------|--------|-------|-------|----------|--------|
|     | Kiriş | Kolon | Vkol[KN] | % Vkol | Kiriş | Kolon | Vkol[KN] | % Vkol |
| 1   | -     | -     | 0        | 0      | -     | -     | 0        | 0      |
| 2   | -     | -     | 0        | 0      | -     | -     | 0        | 0      |
| 3   | -     | -     | 0        | 0      | -     | -     | 0        | 0      |
| 4   | -     | -     | 0        | 0      | -     | -     | 0        | 0      |
| 5   | -     | -     | 0        | 0      | -     | -     | 0        | 0      |
| 6   | -     | -     | 0        | 0      | -     | -     | 0        | 0      |
| 7   | 1/78  | -     | 0        | 0      | -     | -     | 0        | 0      |
| 8   | 2/78  | -     | 0        | 0      | 2/78  | -     | 0        | 0      |
| 9   | -     | -     | 0        | 0      | 4/78  | -     | 0        | 0      |
| 10  | -     | -     | 0        | 0      | 4/78  | -     | 0        | 0      |
| 11  | -     | -     | 0        | 0      | 4/78  | -     | 0        | 0      |
| 12  | -     | -     | 0        | 0      | 4/78  | -     | 0        | 0      |
| 13  | -     | -     | 0        | 0      | 4/78  | -     | 0        | 0      |
| 14  | -     | -     | 0        | 0      | 4/78  | -     | 0        | 0      |
| 15  | 1/78  | -     | 0        | 0      | 4/78  | -     | 0        | 0      |
| 16  | 1/78  | -     | 0        | 0      | 4/78  | -     | 0        | 0      |
| 17  | 1/78  | -     | 0        | 0      | 4/78  | -     | 0        | 0      |
| 18  | 1/78  | -     | 0        | 0      | 4/78  | -     | 0        | 0      |
| 19  | 1/78  | -     | 0        | 0      | 4/78  | -     | 0        | 0      |
| 20  | 1/78  | -     | 0        | 0      | 4/78  | -     | 0        | 0      |
| 21  | 1/78  | -     | 0        | 0      | 4/78  | -     | 0        | 0      |
| 22  | 2/78  | -     | 0        | 0      | 4/78  | -     | 0        | 0      |
| 23  | 1/78  | -     | 0        | 0      | 4/78  | -     | 0        | 0      |
| 24  | 1/78  | -     | 0        | 0      | 4/78  | -     | 0        | 0      |
| 25  | 1/78  | -     | 0        | 0      | 4/78  | -     | 0        | 0      |
| 26  | -     | -     | 0        | 0      | 4/78  | -     | 0        | 0      |
| 27  | -     | -     | 0        | 0      | 4/78  | -     | 0        | 0      |
| 28  | -     | -     | 0        | 0      | 4/78  | -     | 0        | 0      |
| 29  | 2/78  | -     | 0        | 0      | 4/78  | -     | 0        | 0      |
| 30  | 3/78  | -     | 0        | 0      | 4/78  | -     | 0        | 0      |
| 31  | 2/78  | -     | 0        | 0      | -     | -     | 0        | 0      |
| 32  | -     | -     | 0        | 0      | -     | -     | 0        | 0      |
| 33  | -     | -     | 0        | 0      | -     | -     | 0        | 0      |
| 34  | -     | -     | 0        | 0      | -     | -     | 0        | 0      |
| 35  | -     | -     | 0        | 0      | -     | -     | 0        | 0      |
| 36  | -     | -     | 0        | 0      | -     | -     | 0        | 0      |

N-S doğrultusu yapı performansı 'KONTROLLÜ HASAR' olarak bulunmuştur.



## 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Malzeme teknolojisi ve deney yöntemlerinin gelişmesi ile birlikte yapı sistemlerinin doğrusal olmayan çözüm yöntemleri ile analizi yaygınlaşmaya başlamıştır. Yapının deprem davranışını belirleyebilmek için kullanılan bir çok geleneksel yöntem bulunmaktadır. Malzeme ve geometri bakımından doğrusal olmayan hesap yöntemi ile yapının deprem davranışı geleneksel yöntemlere göre çok daha ayrıntılı ve gerçeğe yakın sonuç vermektedir. Doğrusal olmayan davranışın yayılı olarak ele alındığı fiber (lif) model yaklaşımı, yapının deprem davranışını belirleyebilmek için kullanılan önemli bir yöntemdir.

Bu çalışmada doğrusal olmayan davranış fiber (lif) model kullanılarak ele alınmış ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi kullanılmıştır. Böylece yapının deprem davranışı önceden bilinerek, oluşacak hasarın istenilen düzeyin üzerinde olduğu elemanlar için önlemler alınacaktır.

TBDY2018 ile birlikte önemi vurgulanan şekildeğiştirmeye dayalı tasarım ve değerlendirme yöntemi için bu tez kapsamında geliştirilen ölçekleme ve OpenSees programı ile ön ve ard işleme yapan programlar geçerliliği kabul görmüş programlar ile karşılaştırılmıştır. Bu yazılımların doğruluğu ispat edilerek çalışma kapsamındaki örneklerde kullanılmıştır.

TDY2007 ile TBDY2018 arasındaki önemli farklar ortaya konularak yapı performansına olan etkileri incelenmiştir.

İlk olarak birinci örnekte bu tez kapsamında geliştirilen ölçekleme programının doğruluğu gösterilmiştir. Bunun için herhangi bir bölgeye ait tasarım spektrumu Türkiye deprem tehlike haritaları vasıtasıyla oluşturulmuştur. Herhangi bir deprem ivme kaydı ele alınmış ve ölçekleme programı kullanılarak tasarım ivme spektrumunun 0.2sn – 1.5sn aralığındaki periyotları için ölçekleme işlemi yapılmıştır. Bu işlem sonucunda seçilen 0.24sn periyot değerine karşı gelen spectral ivme değeri okunmuştur. Daha sonar Sap2000 programında 0.24 sn periyot değerine sahip tek serbeslik dereceli sistem modellenerek aynı ivme kaydı altında zaman tanım alanında analizi yapılmış ve maksimum yerdeğiştirmesi elde edilmiştir. Bu değer  $w^2$  ile

çarpılarak maksimum yerdeğiştirme anındaki ivme (spektral ivme) değeri elde edilmiştir. Daha sonra her iki durum için bulunan spectral ivme değerlerinin aynı olduğu görülerek ölçekleme programının doğruluğu gösterilmiştir.

Bu tez kapsamında geliştirilen OpenSees programı ile ön ve ard işleme yapan program perform-3D programı ile karşılaştırılmıştır. Bunun için 8 katlı sadece betonarme çerçevelerden oluşan bir yapı ele alınmıştır. Yapı sönümü için Rayleigh sönüm matrisinden yararlanılmıştır. Her bir elemana ait sargılı beton modeli ve donatı çeliği modeli oluşturulmuştur. Kolon elemanlar tüm uzunluğu boyunca fiber kesit, kiriş elemanlar ise her iki uç' tan 0.5h kadar mesafe fiber kalan kısımlar elastik olacak şekilde tanımlanmıştır. Rijit diyafram özelliğinden faydalanılmıştır. Bu verilerden yararlanılarak her iki programda zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analiz yapılmıştır. Doğrusal olmayan davranışı temsilen lif (fiber) modelinden yararlanılmıştır. Her iki programda analiz sonucu tepe deplasmanının zamana göre değişim grafiği çizdirilerek karşılaştırılmıştır. Tepe deplasmanın artı ve eksi yönde maksimum değerlerinin birbirine yakın olduğu gösterilmiştir. Ayrıca tepe deplasmanın zamana göre değişimlerinin bir birine küçük farklarla benzer olduğu görülmüştür. Bu farkların nedeni, Perform-3D programında kolonlar için fiber boyutunun OpenSees' de kullanılan fiber boyutlarına göre yaklaşık 2 kat büyük olmasından ve beton modellerindeki küçük farklılıklardan kaynaklanmaktadır.

TDY2007 ile TBDY2018 yapı tasarım açısından karşılaştırılmıştır. İlk olarak binanın her iki yönetmeliğe göre tasarımı yapılarak boyutlandırılmıştır. Daha sonra TDY2007' ye göre tasarımı yapılan binanın OpenSees programı ile zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesabı yapılarak TBDY2018' de şekildeğiştirmeye dayalı performans değerlendirilmesi yapılmıştır. Analizlerde 11 adet deprem yer hareketi kaydı takımı kullanılmıştır. Yapı performansı 'göçme' olarak bulunmuştur. OpenSees programında, yapı sönümü olarak Rayleigh sönüm matrisi kullanılarak ele alınmıştır. Kolonlar tüm uzunluğu boyunca lif (fiber) kesit olarak, kirişler ise her iki uç' tan 0.5h kadar mesafesi lif (fiber) kesit kalan kısımları elastik kesit olarak göz önüne alınmıştır. P-delta etkileri hesaba katılarak malzeme ve geometri bakımından doğrusal olmayan analiz yapılmıştır. Daha sonra aynı yapının TBDY2018' e göre tasarımı yapılmış ve kolon kesitlerinin yetersiz olduğu görülmüştür. Bunun temel nedenleri, kolon kiriş birleşimi kesme güvenliği ve kolon süneklik alanı koşullarının TBDY2018' de sınır değerlerinin artırılmış olmasıdır. TDY2007' ye göre tasarımda 45x45cm olarak hesap

edilen kolon boyutları TBDY2018' e göre tasarımda yetersiz olduğu görülmüş ve 50x50cm olarak artırılmıştır. Ayrıca TBDY2018' de tasarıma esas deprem kuvvetinin TDY2007' ye göre hesaplanan deprem kuvvetine oranla oldukça azaldığı görülmüştür. Bunun nedeni Türkiye deprem tehlike haritaları vasıtasıyla daha ince bir hesabın yapılmasıdır. TDY2007' deprem yüklerinin daha fazla olmasına karşın TBDY2018' de çatlama kesit rijitlikleri kullanılarak analiz yapıldığından yatay öteleme değerleri fazla çıkmıştır. Bunun sonucu olarak yatay öteleme tutulu sistem koşulu karşılanamadığı için kolon iç kuvvet değerleri artırılmıştır. Deprem kuvvetleri çok daha az olmasına rağmen bu nedenden dolayı TBDY2018' e göre tasarımı yapılan yapının bazı kolonlarında daha çok donatı bulunmuştur.

TDY2007' ye göre tasarımı yapılan ve performansı 'göçme' olarak bulunan 7 katlı betonarme çerçevelerden oluşan yapıda sadece beton sınıfı C30' dan C35' e çıkarılarak TBDY2018' de şekil değiştirmeye dayalı tasarım yöntemi ile tekrar performansına bakılmıştır. Performans seviyeleri için sınır değerlerin,  $V_e/b_w d f_{ctm}$  bağıntısı ile azaltıldığı göz önüne alındığında, beton çekme dayanımı ( $f_{ctm}$ )' paydada bulunmasından dolayı bu değer azalmıştır. Böylece C35 beton sınıfı kullanıldığında performans seviyeleri için sınır değerlerin arttığı görülmüştür. Bu nedenle C30 beton sınıfı kullanıldığında performansı 'göçme' olarak belirlenen yapı için C35 beton sınıfı kullanıldığında yapı performansını 'kontrollü hasar' olarak elde edilmiştir.

TDY2007' ye göre tasarımı yapılan ve OpenSees programı ile TBDY2018' de şekil değiştirmeye dayalı performans değerlendirmesi sonucu performansı 'göçme' olarak belirlenen yapı için, kiriş kesitlerinde lif (fiber) bölge uzunluğu 0.5h' dan 2h' a çıkarılarak tekrar performans değerlendirmesi yapılmıştır. Bunun sonucunda yapı performansının 'kontrollü hasar' olduğu tespit edilmiştir.

TBDY2018' e göre yüksek bina sınıfına giren (BYS=1), betonarme çerçeve ve perdelerden oluşan 36 katlı binanın TDY2007 ve TBDY2018' e göre tasarımı yapılmıştır. Analizlerde mod birleştirme yöntemi kullanılmıştır. TDY2007' ye göre tasarımı yapılan binanın OpenSees programı ile TBDY2018' de şekil değiştirmeye dayalı performans değerlendirmesi yapılmıştır. Doğrusal olmayan dinamik analizlerde beton modeli ve sönüm parametrelerinin oldukça önemli olduğu göz önüne alınarak, sönüm için Rayleigh sönüm matrisi kullanılmıştır. Binanın zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizi için analiz süresi çok uzun sürdüğünden dolayı elimizdeki imkanlar kullanılarak analizler yapılmıştır. Daha önceki depremlerden elde

edilen 3 adet deprem ivme kaydı takımı (6 adet) tasarım ivme spektrumuna göre ölçeklendirilerek kullanılmıştır. Elastik ötesi davranışı temsilen, kolonlar tüm uzunluğu boyunca lif (fiber) model, kirişler ise her iki uçtan 0.5h kadar mesafesi lif (fiber) model olarak göz önüne alınmıştır. Kirişlerin geri kalan kısımları elastik kesit olarak ele alınmış ve etkin kesit rijitlik çarpanı 0.35 olarak kullanılmıştır. Malzeme dayanımı olarak TBDY2018’ de verilen ortalama malzeme dayanımları kullanılmıştır. 3 adet deprem kaydı takımının her biri her iki yönü yapıya aynı anda etkilerek maksimum lif uzama ve kısalmalarının ortalamaları alınmıştır. Bulunan değerler TBDY2018’ de verilen sınır değerler ile kıyaslanmış ve yapı performansı ‘göçme’ olarak bulunmuştur.

Aynı binanın TBDY2018’ e göre betonarme tasarımı yapılmıştır. TDY2007’ ye göre belirlenen kolon ve perde kesitlerinin yetersiz olduğu görülmüştür. Bunun birinci nedeni TBDY2018’ de çatlamış kesit rijitliklerinin kullanılmasıdır. Böylece yapıda yerdeğiştirmeler artmış ve görelî kat ötelemesi için verilen sınır değerlerin çok üzerine çıktığı görülmüştür. Diğer bir neden ise TBDY2018’ de yüksek sünek kolon için verilen minimum alan koşulu sınır değeri artırıldığından kolon kesitlerinin birçoğunun yetersiz olduğu görülmüştür. Ayrıca TDY2007’ de bulunmayan ancak TBDY2018’ de zorunlu hale getirilen sünek perdeler için minimum alan koşulunun  $A_c \geq N_{dm}/0.35f_{ck}$  sağlanmadığı görülmüştür. Kolon kiriş birleşim bölgesi kesme güvenliği için verilen sınır değerler TBDY2018’ de arttırıldığından bir çok bölgede bu koşulun sağlanmadığı görülmüştür. Tüm bunların neticesinde, kolon kiriş birleşimi kesme güvenliğinin sağlanmaması ve kolon süneklilik alanının yetersizliğinden dolayı kolon boyutları artırılmıştır. Görelî kat ötelemesi değerler TBDY2018’ de verilen sınır değerlerin çok üzerinde olduğundan dolayı yapıya her iki yönde yeni perdeler ilave edilmiştir. TBDY2018’ e göre tasarımı tamamlanan yapının DD-1 depremine göre oluşturulan tasarım ivme spektrumuna göre ölçeklemesi yapılmış 3 adet yer hareketi kaydı takımı altında OpenSees programı ile TBDY2018’de şekildeğiştirmeye dayalı performans değerlendirmesi yapılmıştır. Bunun neticesinde yapı performansı ‘kontrollü hasar’ olarak bulunmuştur. TBDY2018’ de yüksek binalar için DD-1 deprem düzeyinde DTS=1 olan binalarda normal performans hedefi için ‘göçmenin önlenmesi’ performans seviyesini sağlaması istenmektedir. TDY2007’ ye göre tasarımı yapılan yapının DD-1 deprem düzeyi altında performansı ‘göçme’ olarak bulunmuş ve beklenen performans seviyesini sağlamadığı görülmüştür. TBDY2018’e

göre tasarımı yapılan binanın DD-1 deprem düzeyi altında yapı performansı 'kontrollü hasar' olarak bulunmuş ve TBDY2018' de verilen 'göçmenin önlenmesi' performans hedefini sağladığı görülmüştür.

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerde kullanılacak deprem kaydı sayısının oldukça önemli olduğu görülmüştür. Bir adet deprem kaydı altında performansı 'göçme' olarak belirlenen bir yapının bir çok deprem kaydı kullanılarak performansına bakıldığında her bir deprem kaydı için bulunan maksimum değerlerin aynı andaki ortalamaları alınmaktadır. Her bir deprem kaydı altında maksimum değerler farklı anlarda olduğundan yapı performansı oldukça değişmekte ve doğruya en yakın sonuç elde edilmektedir.

Analiz süreleri çok uzun olduğundan dolayı bu tezde bulunan yüksek binanın çözümü için 3 adet deprem kaydı takımı kullanılmıştır. TBDY2018' de belirtildiği gibi 11 adet deprem kaydı takımı kullanılarak bu analizler yapılabilir.





## KAYNAKLAR

- [1] **Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik** (2018). *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü*, Ankara.
- [2] **OpenSees**. (t.y.). *Hilber-Hughes-Taylor Method*. Alındığı tarih: 26.04. 2015, adres: [http://opensees.berkeley.edu/wiki/index.php/Hilber-Hughes-Taylor\\_Method](http://opensees.berkeley.edu/wiki/index.php/Hilber-Hughes-Taylor_Method)
- [3] **Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik** (2007). *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü*, Ankara.
- [4] **Türkiye Deprem Tehlike Haritaları** Alındığı tarih: 10.10.2018, adres: <https://tdth.afad.gov.tr/main.xhtml>
- [5] **TS500**, (2000). Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, *TSE*,Ankara.
- [6] **Shemin T John**, (2015). Implementation of Fiber element model for Non-linear analysis, (Yüksek Lisans Tezi), NATIONAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY, ROURKELA.
- [7] **Otani, S** Inelastic Analysis of RC Frame Structures, Journal of the Structural Division, ASCE, 100 (ST7), 1433-1449,1974.
- [8] **Soleimani, D, Popov, E.P and Bertero, VV** Nonlinear Beam Model for R/C Frame Analysis, 7th ASCE Conference on Electronic Computation, St. Louis, 1979
- [9] **Filippou F., and Issa, A..** 1988. Nonlinear analysis of reinforced concrete frames under cyclic load reversals. Rep. No. UCB/EERC-88/12, Earthquake Engineering Research Center, Univ. of California, Berkeley, Calif.
- [10] **Filippou, F C., D'Ambrisi., A and Issa., A** .Nonlinear Static and Dynamic Analysis of Reinforced Concrete Subassemblages, Report No. UCB/EERC-92/08, Earthquake Engineering Research Center, College of Engineering, University of California, Berkeley, 1992.
- [11] **Takayanagi, T and Schnobrich, WC** (1979). Non-Linear Analysis of Coupled Wall Systems, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 7, pp. 1-22.
- [12] **Hellesland, J and Scordelis, A** (1981) Analysis of RC bridge columns under imposed deformations, in IABSE Colloquium (Delft, Netherlands), pp. 545-559.
- [13] **Mari, A and Scordelis, A** (1984) Nonlinear geometric material and time-dependent analysis of three-dimensional reinforced and prestressed concrete frames. Research report: SESM Report 82/12.
- [14] **Lee, TH and Mosalam, KM** "Probabilistic Fiber Element Modeling of Reinforced Concrete Structures," Computers and Structures, 2004, Vol. 82, No. 27, pp. 2285-2299.

- [15] **Mahasuverachai, M and Powell, G. H.** (1982) Inelastic analysis of piping and tubular structures, in *Inelastic Analysis of Piping and Tubular Structures*.
- [16] **Kaba, S and Mahin, S A** (1984) Refined modeling of reinforced concrete columns for seismic analysis, in *Refined Modeling of Reinforced Concrete Columns for Seismic Analysis*
- [17] **Zeris, CA and Mahin, SA** (1988). Analysis of Reinforced Concrete Beam-Columns under Uniaxial Excitations, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol. 114, No. 4.
- [18] **Taucer, F, Spacone, E, & Filippou, F** (1991). A fiber beam-column element for seismic response analysis of reinforce concrete structures: University of California, Berkeley.
- [19] **Spacone E, Ciampi V, Filippou F C** A beam element for seismic damage analysis. UCB/EERC-92/07. Earthquake Engineering Research Center. University of California, Berkeley. CA, 1992
- [20] **Zienkiewicz, O C and Taylor, R L**, *The Finite Element Method, Volume 1, Basic Formulation and Linear Problems*, 4th Edition, McGraw-Hill, London, 1989, pp 72-80, 128-130.
- [21] **Mander, J.B., Priestley, M.J.N. and Park, R.** (1988). Theoretical stress-strain model for confined concrete, *Journal of Structural Division*,
- [22] **Kent, D.C. and Park, R.** (1971). Flexural members with confined concrete, *Journal of Structural Division, ASCE*, 97, ST7, 1969-1990. *ASCE*, 114(8), 1804-1826.
- [23] **Shinozuka M** Probabilistic modeling of concrete structures. *J Eng Mech Div, ASCE* 1972;98(6):1433–51.
- [24] **Knappe OW, Schue"ller GI, Wittmann FH** On the probability of failure of a reinforced concrete beam. In: *Proceedings of the Second International Conference on Application Statistic Probabilistic in Soil Structure Engineering*, ICASP, Aachen, Germany, September, 1975, p. 153–70.
- [25] **Grant LH, Mirza SA, MacGregor JG** Monte Carlo study of strength of concrete columns. *ACI J* 1978;75(8):348–58.
- [26] **Mirza SA, MacGregor JG** Variations in dimensions of reinforced concrete members. *J Struct Div, ASCE* 1979; 105(ST4):751–66.
- [27] **Celep, Z.** (2018). *Deprem Mühendisliğine Giriş Ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı*, İstanbul: Beta Yayınevi.
- [28] **Wilson, E.** (2002). *CSI Analysis Reference Manual*, Berkeley, California: Computers and Structures, Inc.
- [29] **Wilson, E.** (2002). *Three-Dimensional Static and Dynamic Analysis of Structures*, Berkeley, California: Computers and Structures, Inc.
- [30] **Özer, E.**, 1969. Lineer Olmayan Sistemlerin Hesabı İçin Bir Metod, Doktora Tezi, İTÜ İnşaat Fakültesi

- [31] **Girgin, Z. C.**, 1996. Bazı Düzensizlikler İçeren Büyük Yapı Sistemlerinin Yatay Yüklere Göre Hesabı İçin Bir Yöntem, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü
- [32] **Paulay, T. and Priestley, M. J. N.** (1992). *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*, New York, John Wiley&Sons Inc.
- [33] **Özdemir Z., Fahjan, Y. M.**, 2007, Gerçek Deprem Kayıtlarının Tasarım Spektrumlarına Uygn Olarak Zaman ve Frekans Tanım Alanında Ölçleme Yöntemlerinin Karşılaştırılması, 6. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı,
- [34] **PEER Strong Motion Database**, (2007). Pacific Earthquake Engineering Research Center, California. (<http://peer.berkeley.edu>).
- [35] **Polat, B.** (2003). *Pasif enerji yutucu sistemler ve çok katlı bir çelik yapı üzerinde uygulaması*, (Yüksek Lisans Tezi), İTÜ.
- [36] **SAP 2000 And Dynamic Finite Element Analysis of Structures**, 1976-2009. Computers and Structures Inc. Berkeley
- [37] **Seismomatch** Software, (<http://www.seismosoft.com/en/HomePage.aspx>).
- [38] **PERFORM-3D**, 2006:Nonlinear Analysis and Performance Assessment of 3D Structures, Computer and Structures Inc. Berkeley, California
- [39] **Chopra, A.K. ve Goel, R.K.** (2002). A modal pushover analysis for estimating seismic demands for buildings. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 31(3) pp: 561-582.



## **EKLER**

**EK A:** Örnek2' nin çözümünde kullanılan on bir adet ölçeklenmiş ve ölçeklenmemiş deprem ivme kaydı takımı.

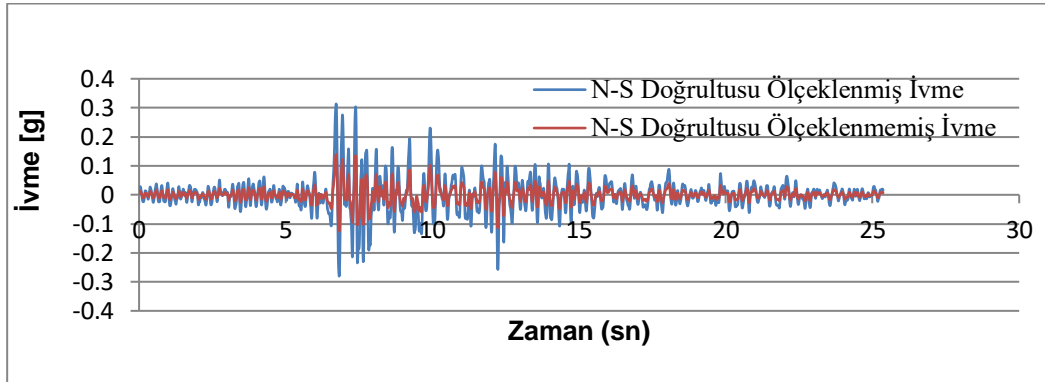
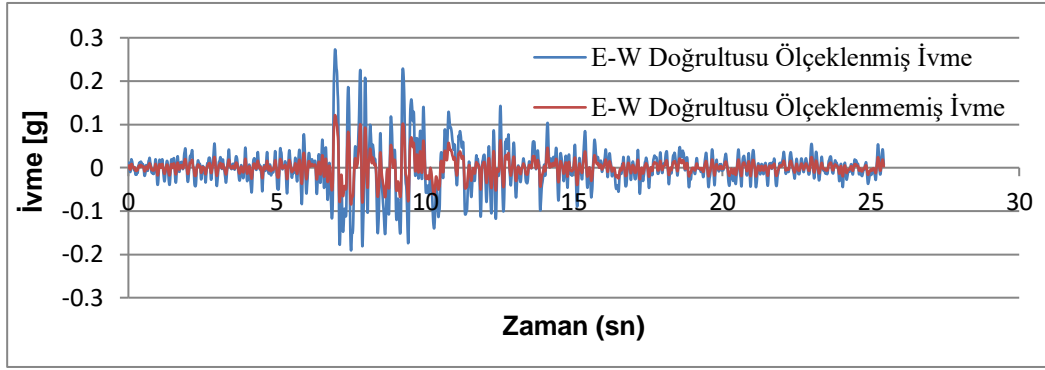
**EK B:** Örnek2' de çözüm sonucu elde edilen on bir adet deprem kaydı takımının her birine için tepe deplasmanın zamana göre değişimi

**EK C:** Örnek2' de çözüm sonucu elde edilen on bir adet deprem kaydı takımının her birine performans seviyesi ve maksimum hasar adımındaki eleman hasar durumları

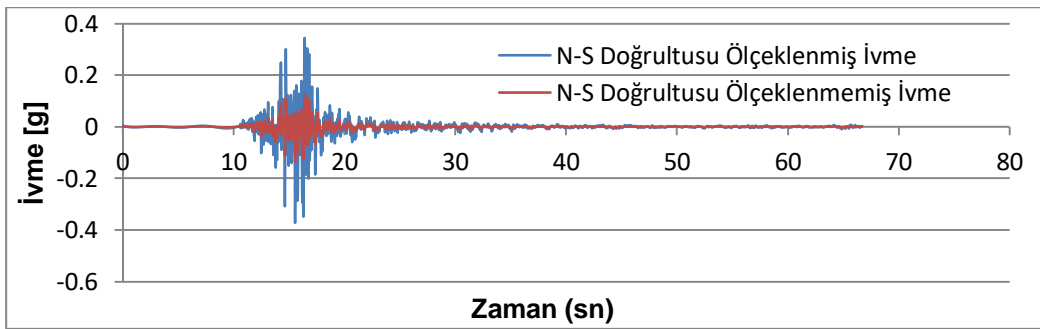
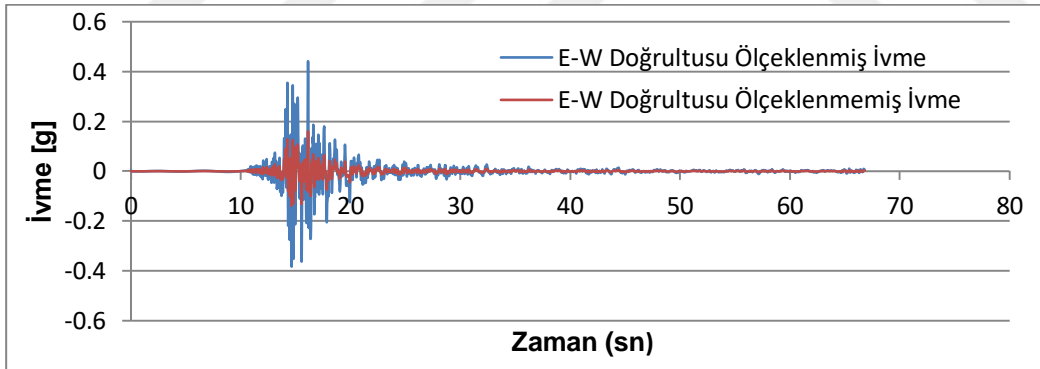




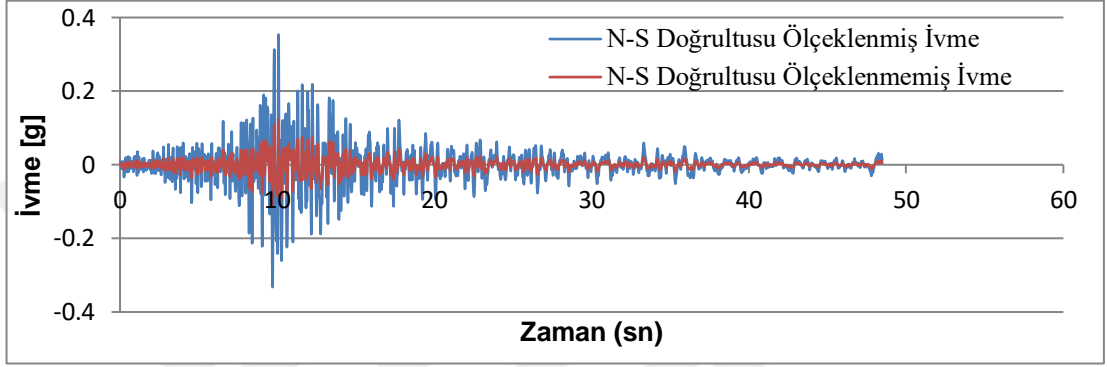
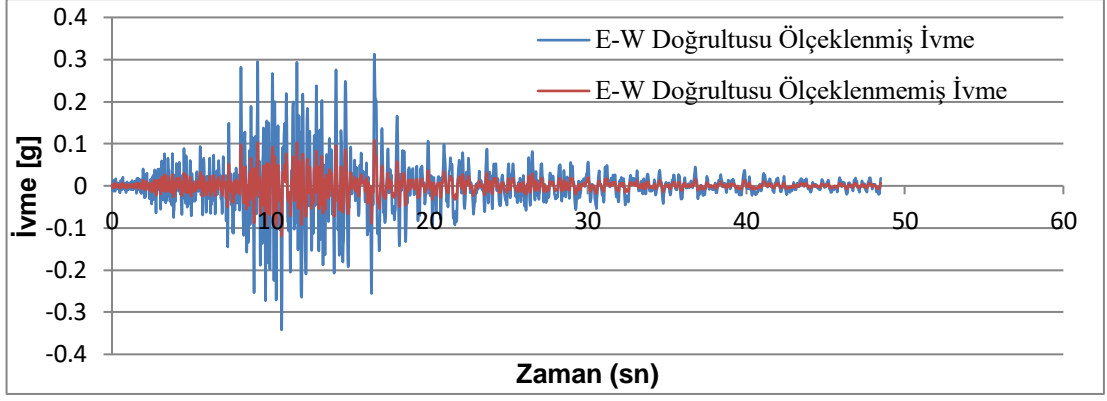
## EK A



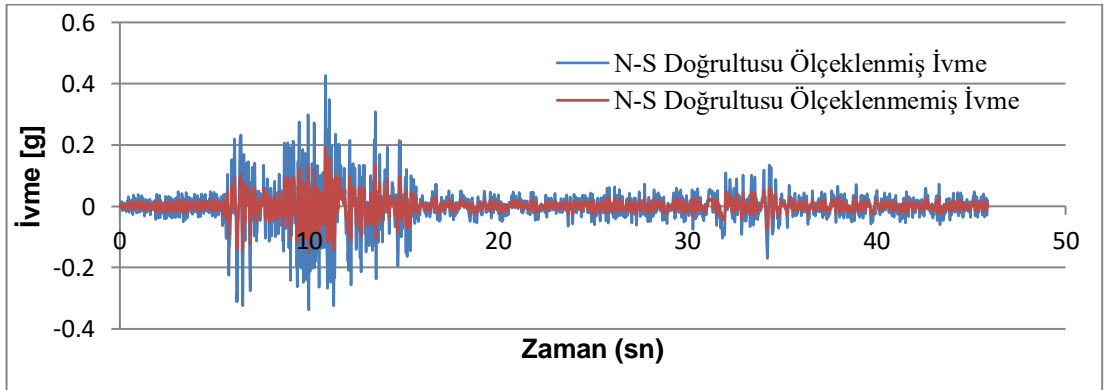
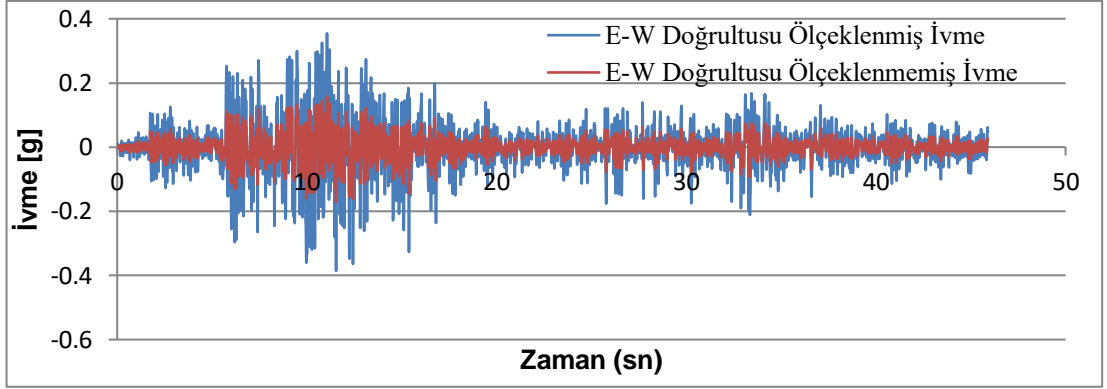
Şekil A.1 : 1. Deprem kaydına ait E-W ve N-S doğrultusu ölçeklenmemiş ve ölçeklenmiş ivme kayıtları.



Şekil A.2 : 2. Deprem kaydına ait E-W ve N-S doğrultusu ölçeklenmemiş ve ölçeklenmiş ivme kayıtları.

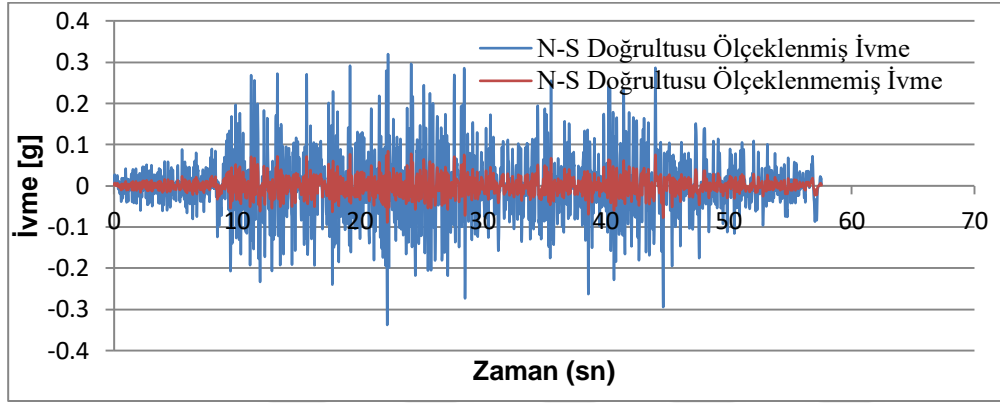
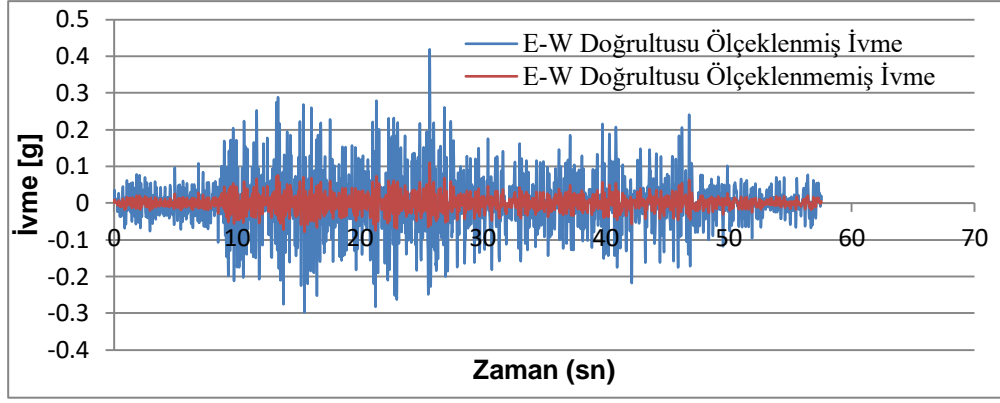


Şekil A.3 : 3. Deprem kaydına ait E-W ve N-S doğrultusu ölçeklenmemiş ve ölçeklenmiş ivme kayıtları.

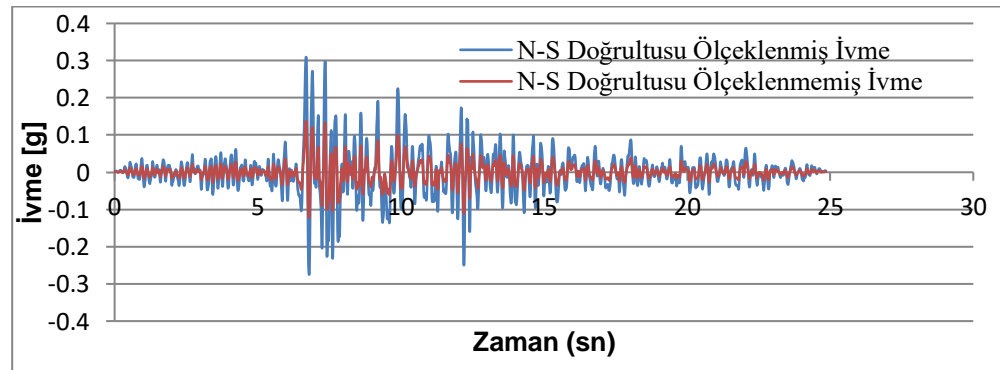
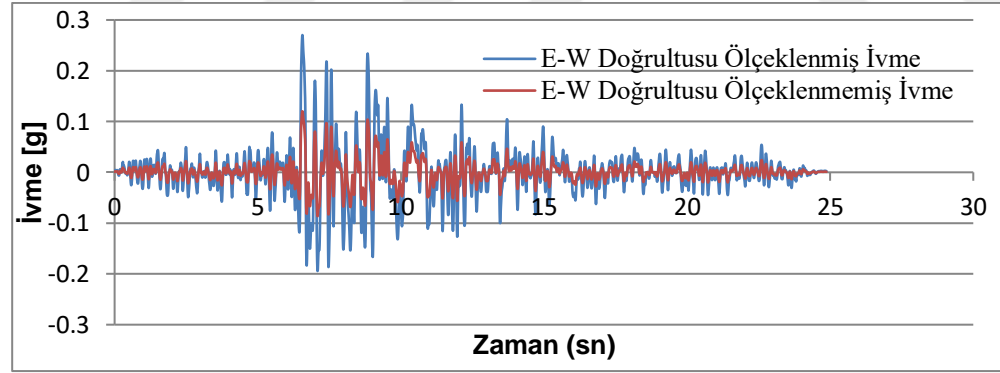


Şekil A.4 : 4. Deprem kaydına ait E-W ve N-S doğrultusu ölçeklenmemiş ve ölçeklenmiş ivme kayıtları.

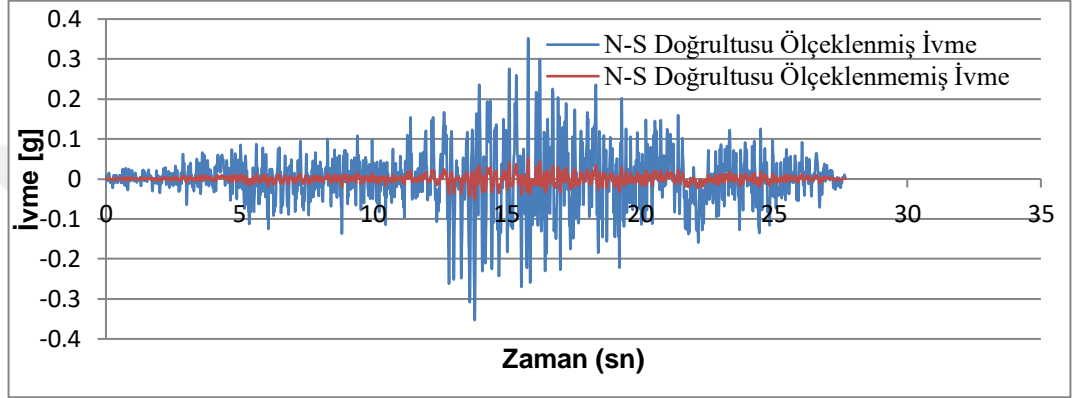
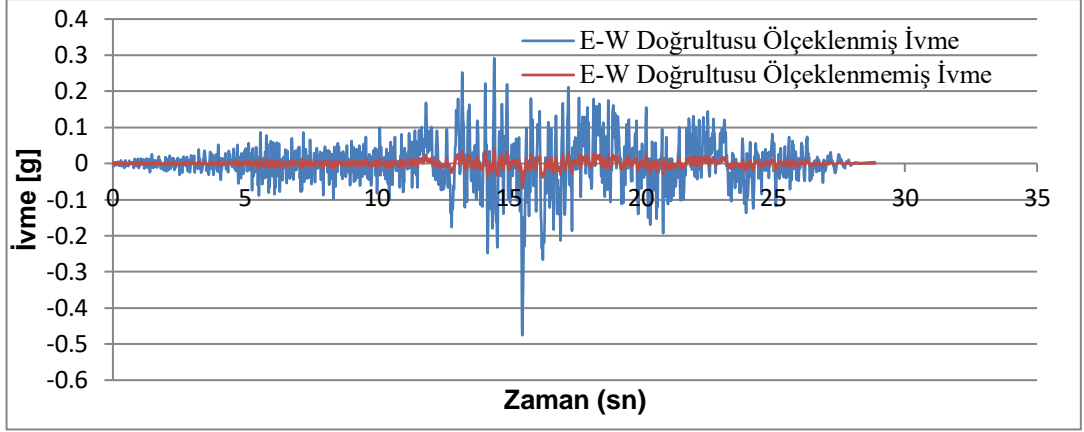




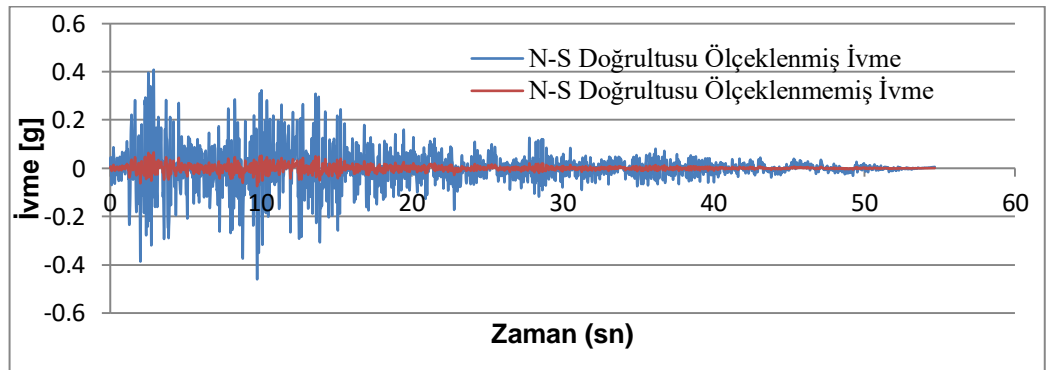
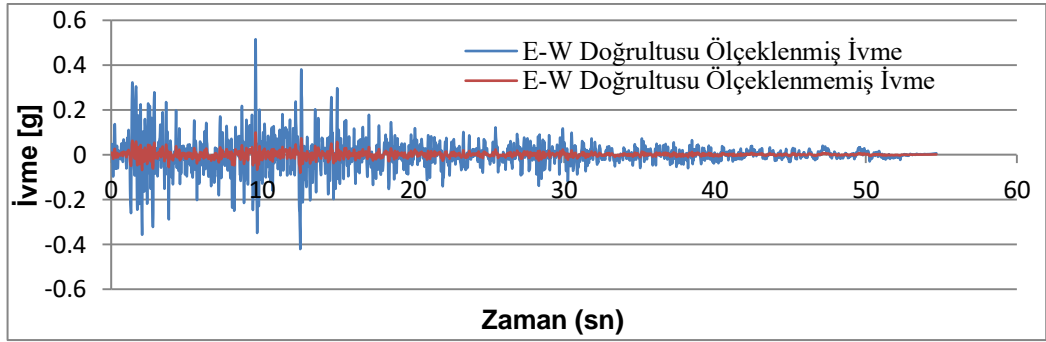
**Şekil A.5 :** 5. Deprem kaydına ait E-W ve N-S doğrultusu ölçeklenmemiş ve ölçeklenmiş ivme kayıtları.



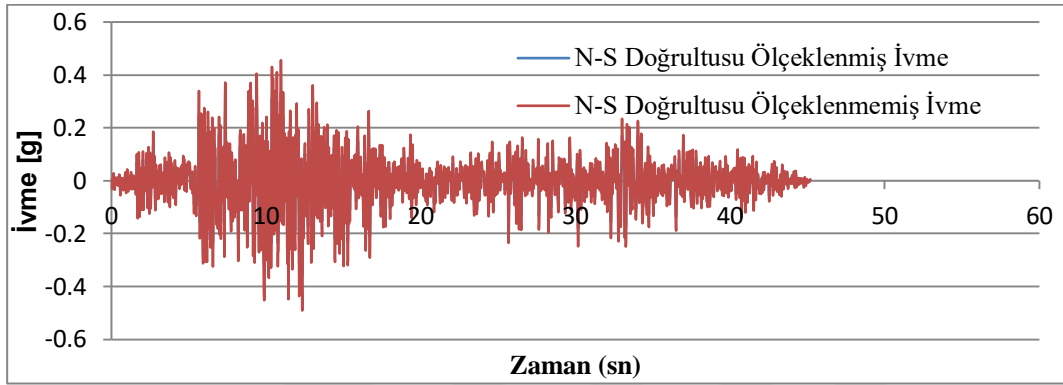
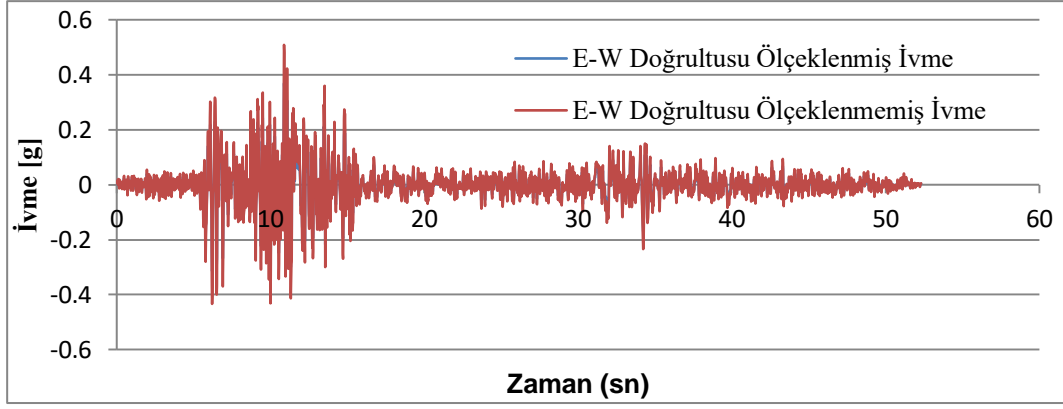
**Şekil A.6 :** 6. Deprem kaydına ait E-W ve N-S doğrultusu ölçeklenmemiş ve ölçeklenmiş ivme kayıtları.



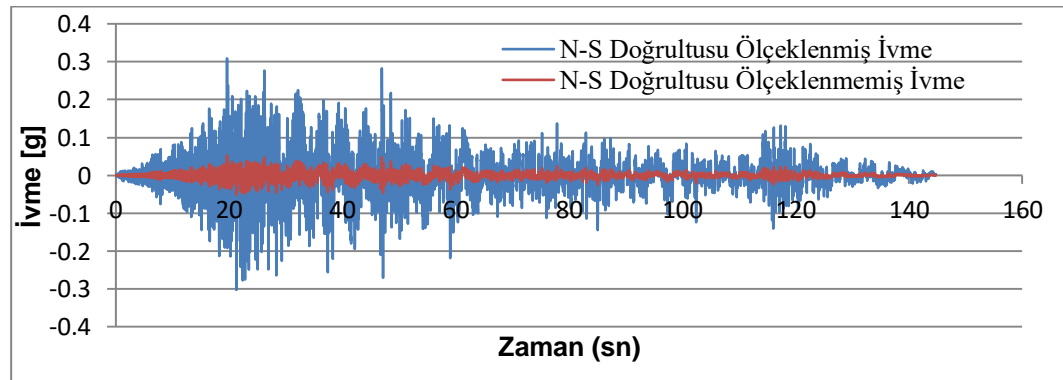
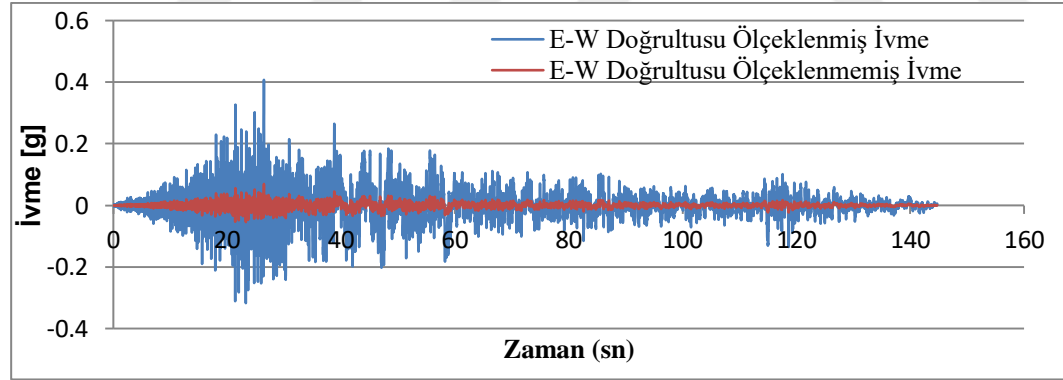
Şekil A.7 : 7. Deprem kaydına ait E-W ve N-S doğrultusu ölçeklenmemiş ve ölçeklenmiş ivme kayıtları.



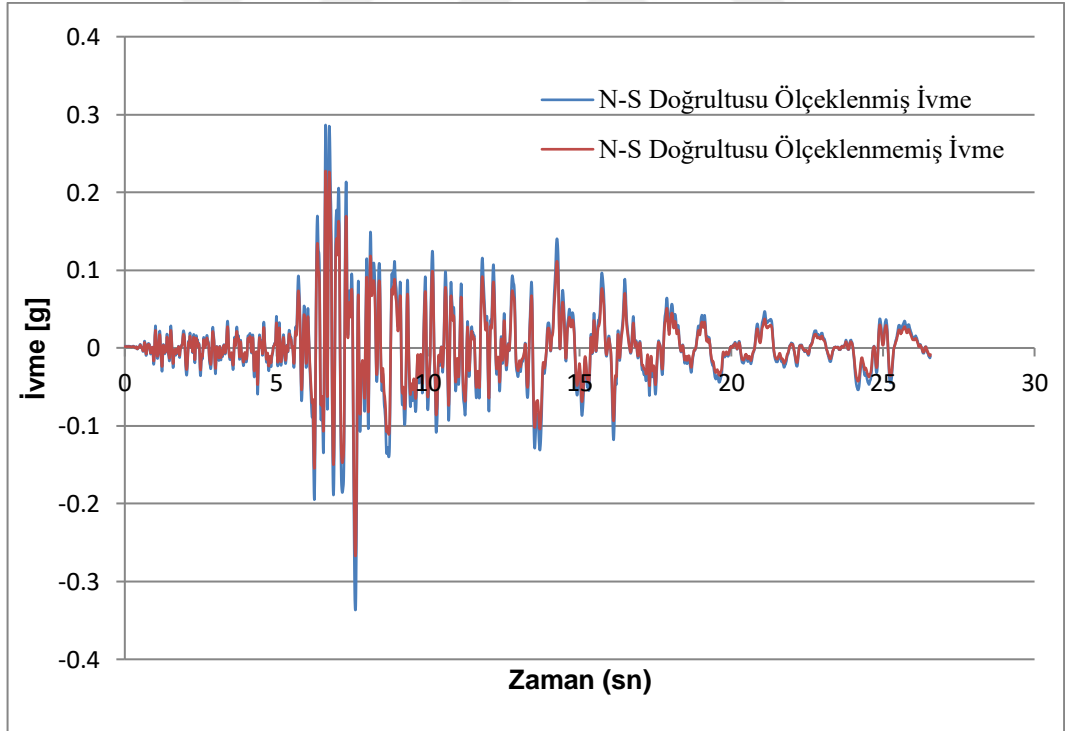
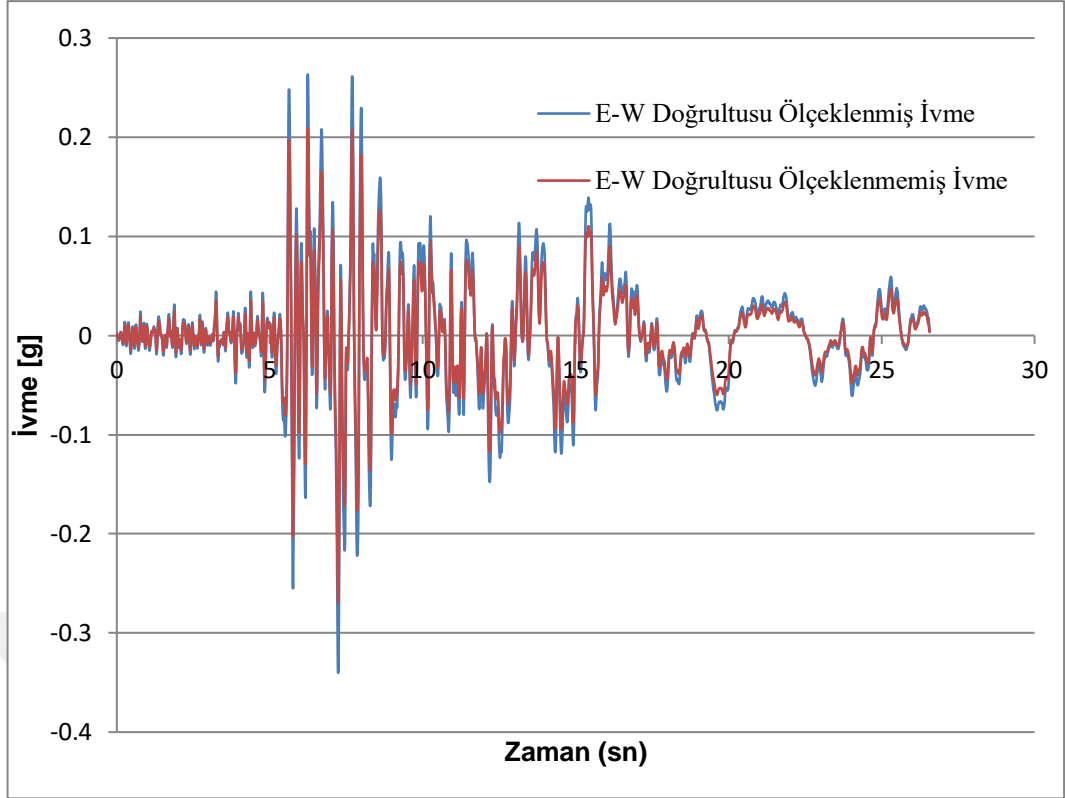
Şekil A.8 : 8. Deprem kaydına ait E-W ve N-S doğrultusu ölçeklenmemiş ve ölçeklenmiş ivme kayıtları.



Şekil A.9 : 9. Deprem kaydına ait E-W ve N-S doğrultusu ölçeklenmemiş ve ölçeklenmiş ivme kayıtları.

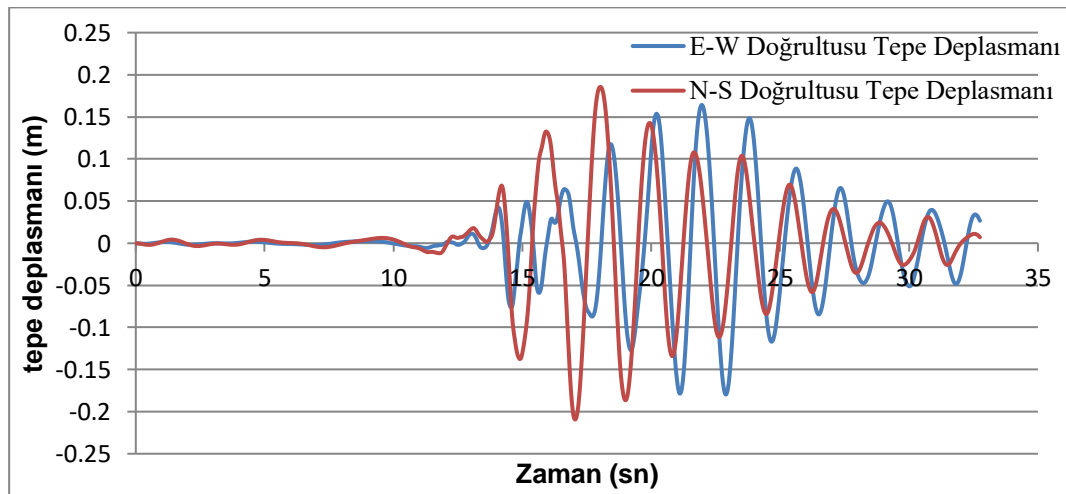
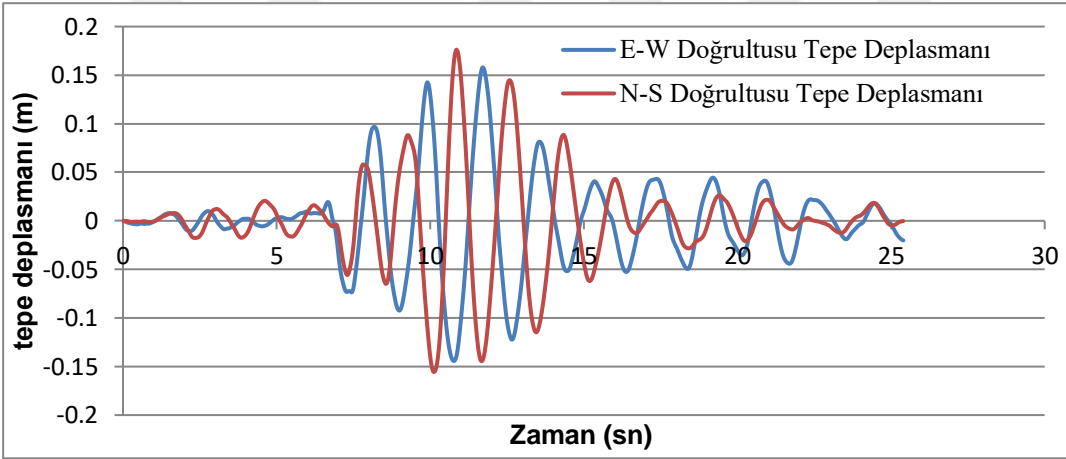
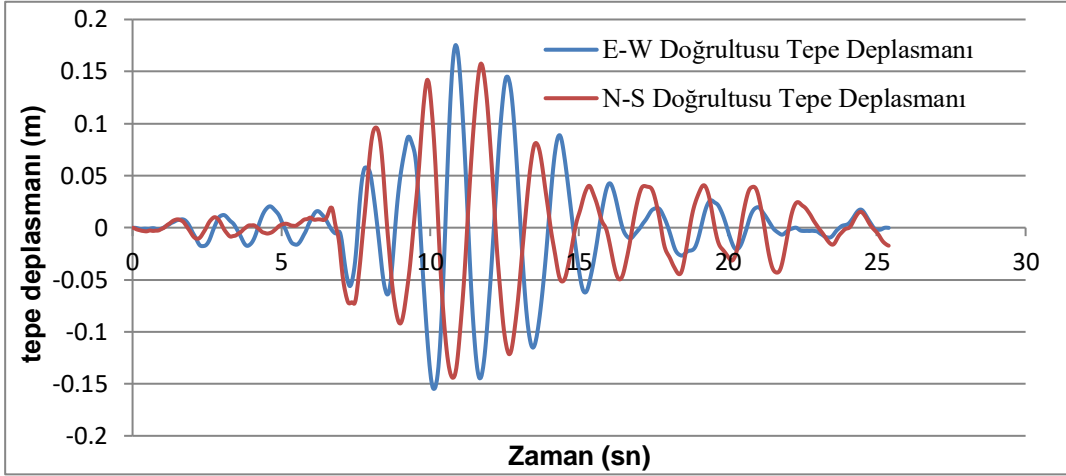


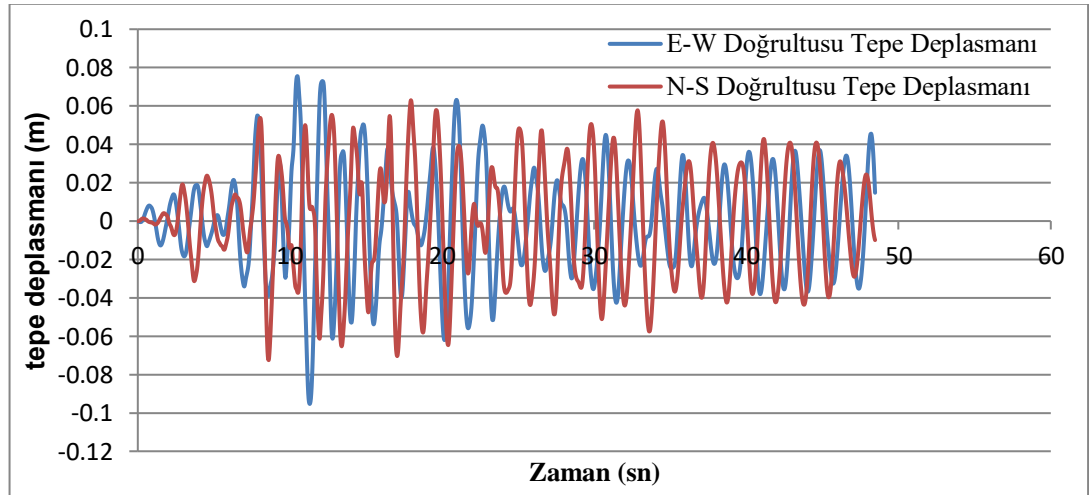
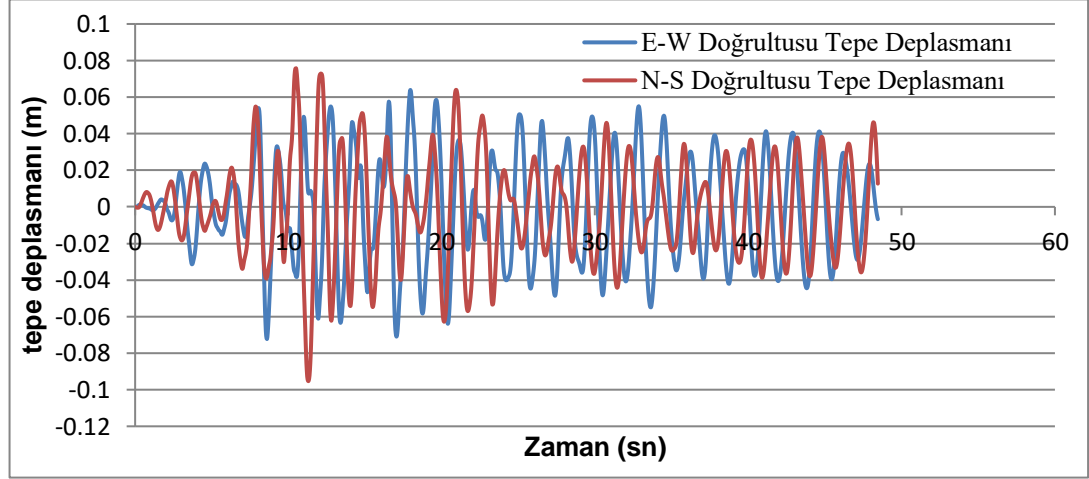
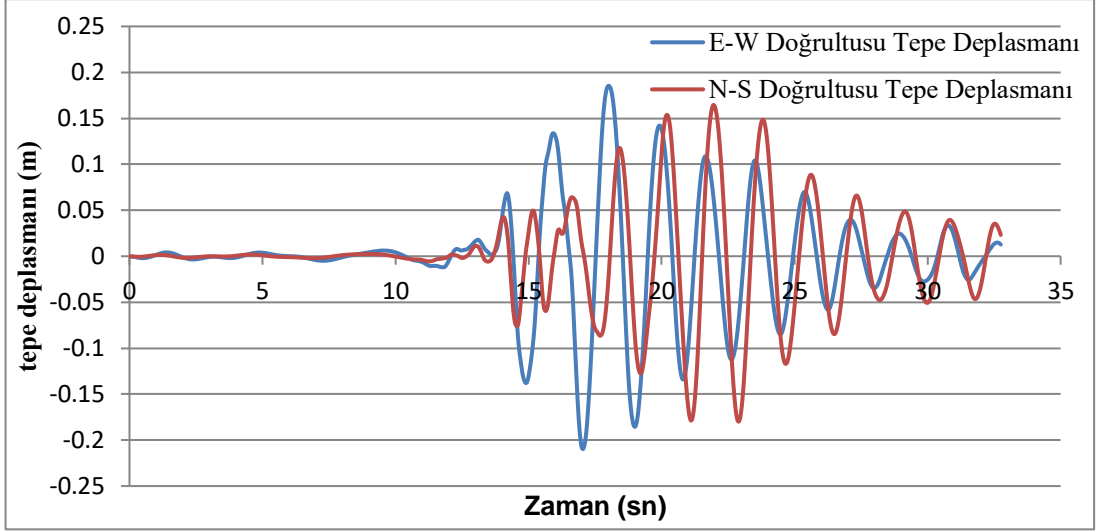
Şekil A.10 : 10. Deprem kaydına ait E-W ve N-S doğrultusu ölçeklenmemiş ve ölçeklenmiş ivme kayıtları.

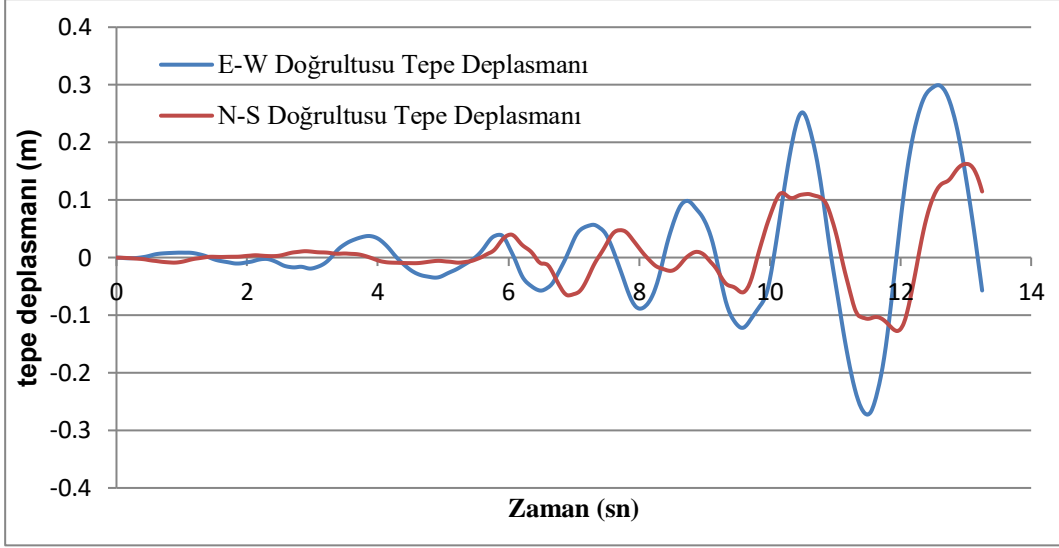


**Şekil A.11** : 11. Deprem kaydına ait E-W ve N-S doğrultusu ölçeklenmemiş ve ölçeklenmiş ivme kayıtları

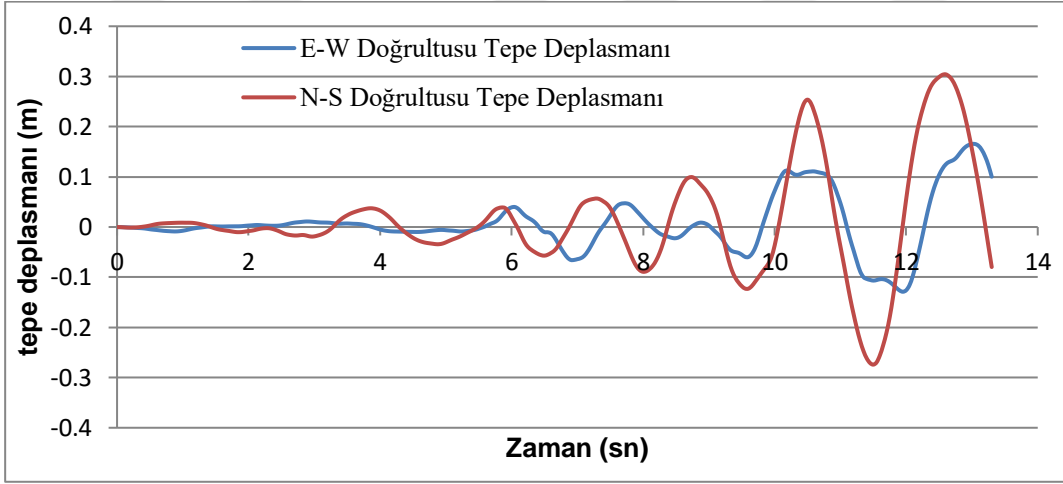
## EK B



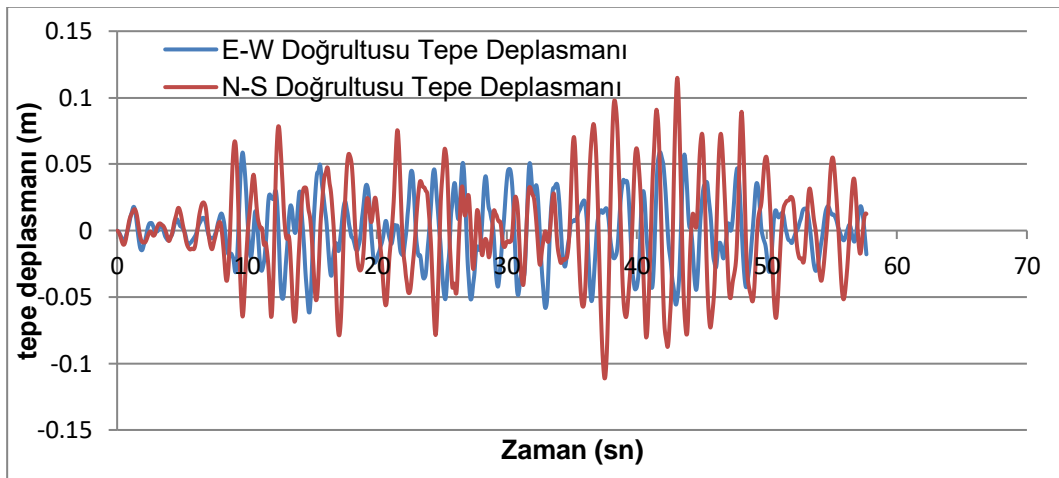




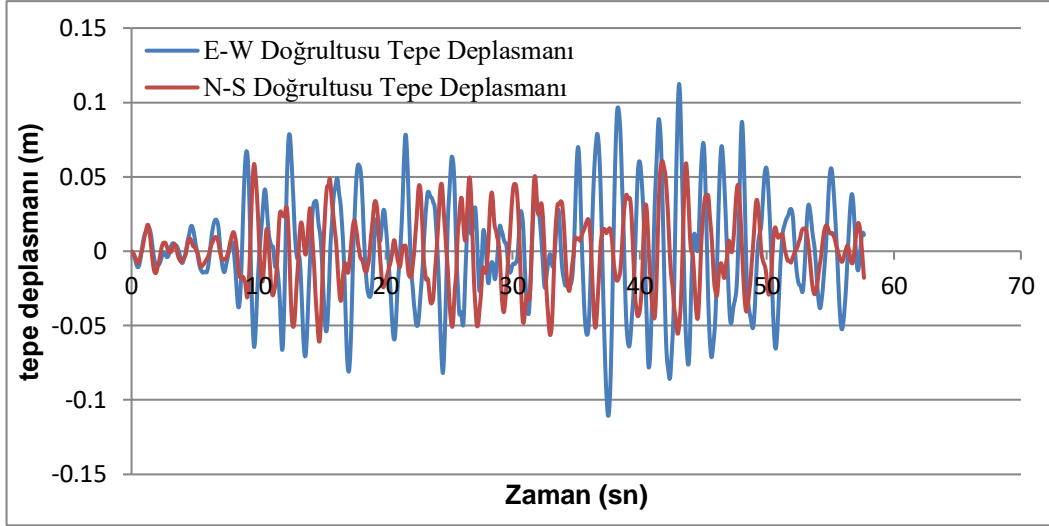
Şekil B.7 : 4. Deprem kaydı tepe deplasmanın zamanla değişimi.



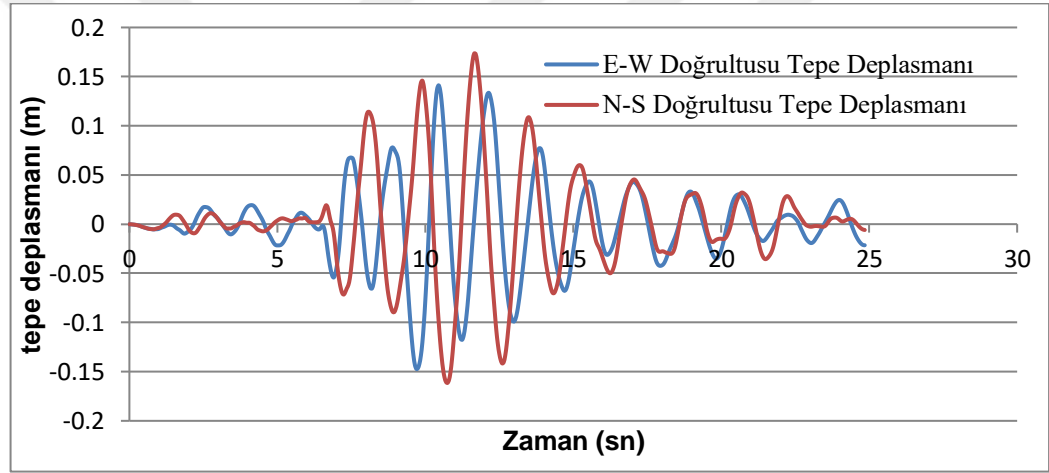
Şekil B.8 : 4. Deprem kaydı eksenler 90° döndürüldüğünde tepe deplasmanın zamanla değişimi.



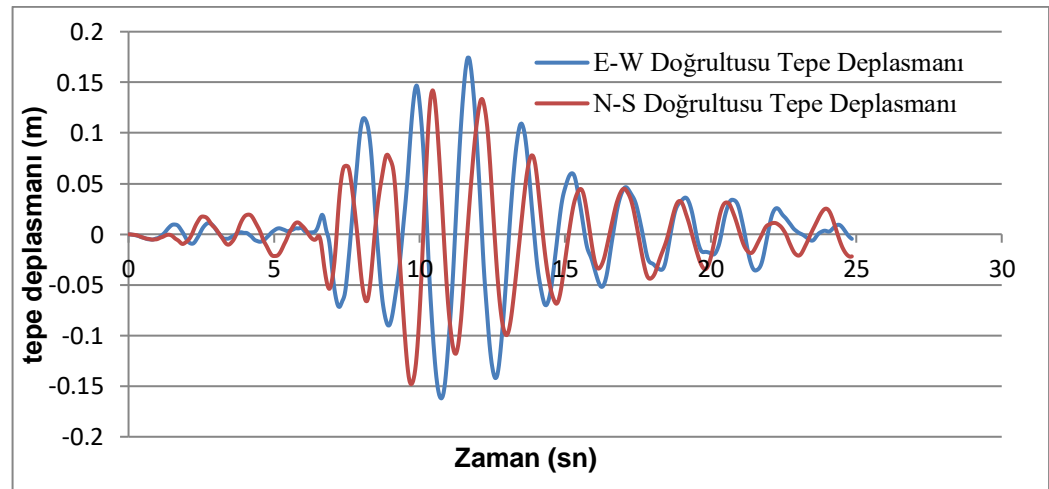
Şekil B.9 : 5. Deprem kaydı tepe deplasmanın zamanla değişimi.



Şekil B.10 : 5. Deprem kaydı eksenler 90° döndürüldüğünde tepe deplasmanın zamanla değişimi.

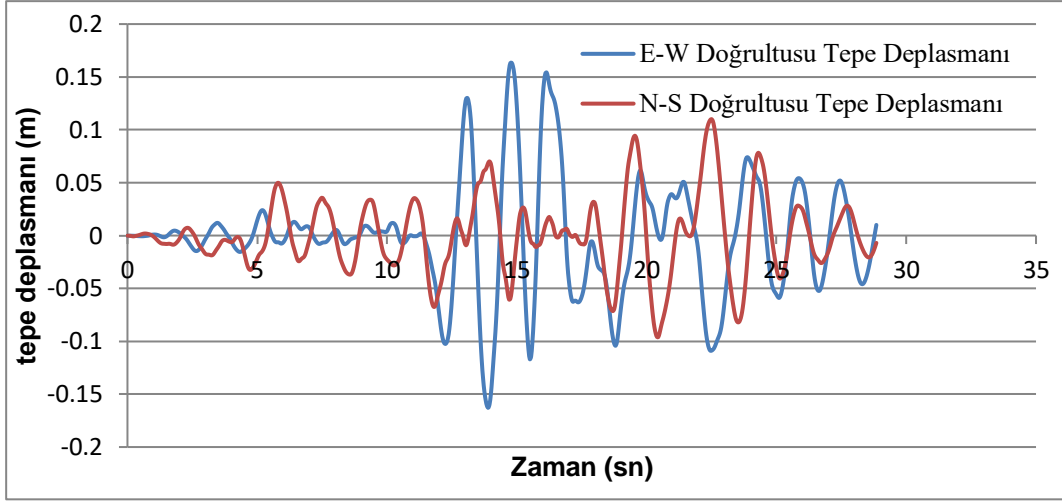


Şekil B.11 : 6. Deprem kaydı tepe deplasmanın zamanla değişimi.

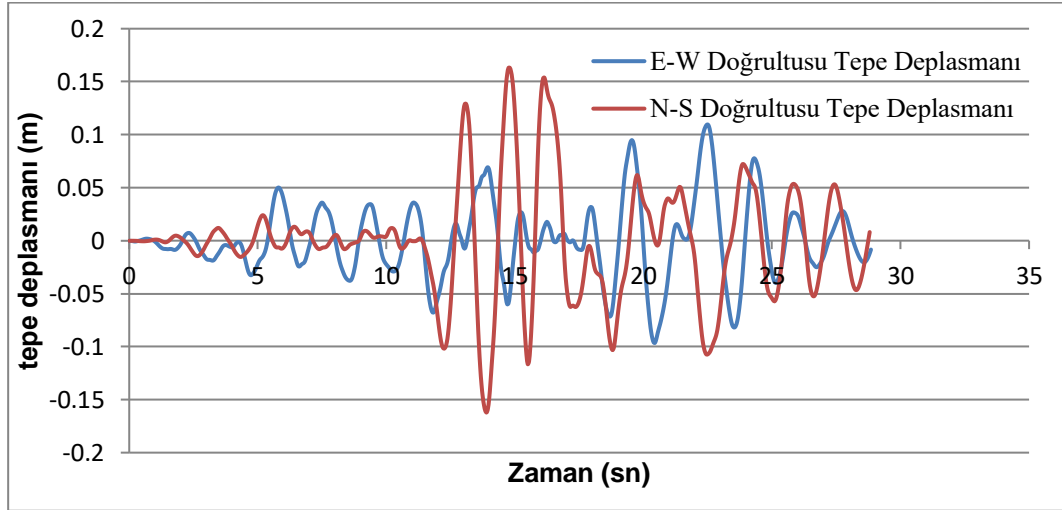


Şekil B.12 : 6. Deprem kaydı eksenler 90° döndürüldüğünde tepe deplasmanın zamanla değişimi.

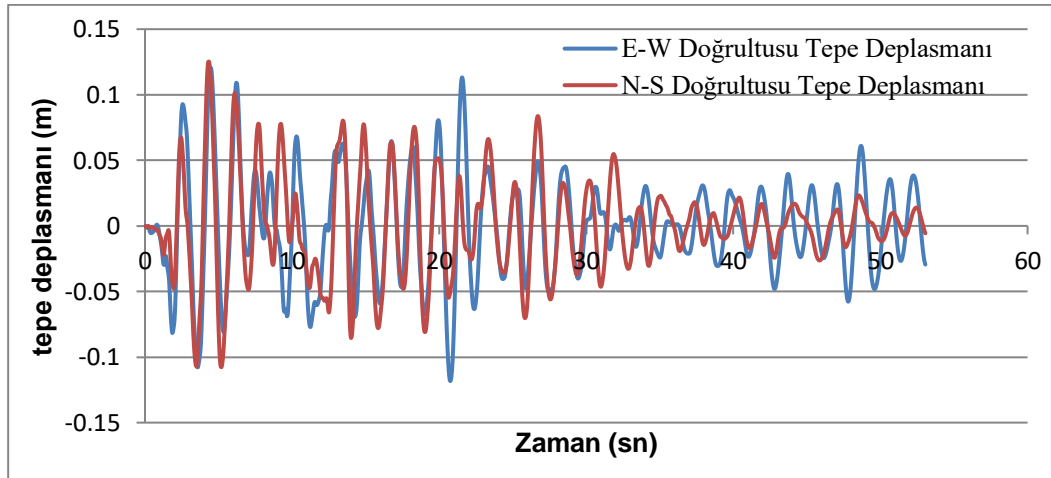




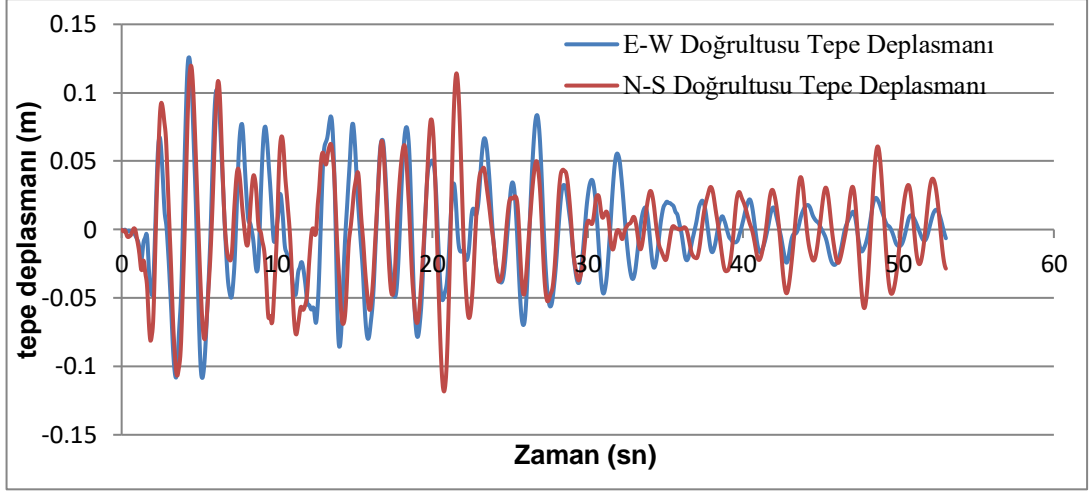
Şekil B.13 : 7. Deprem kaydı tepe deplasmanın zamanla değişimi.



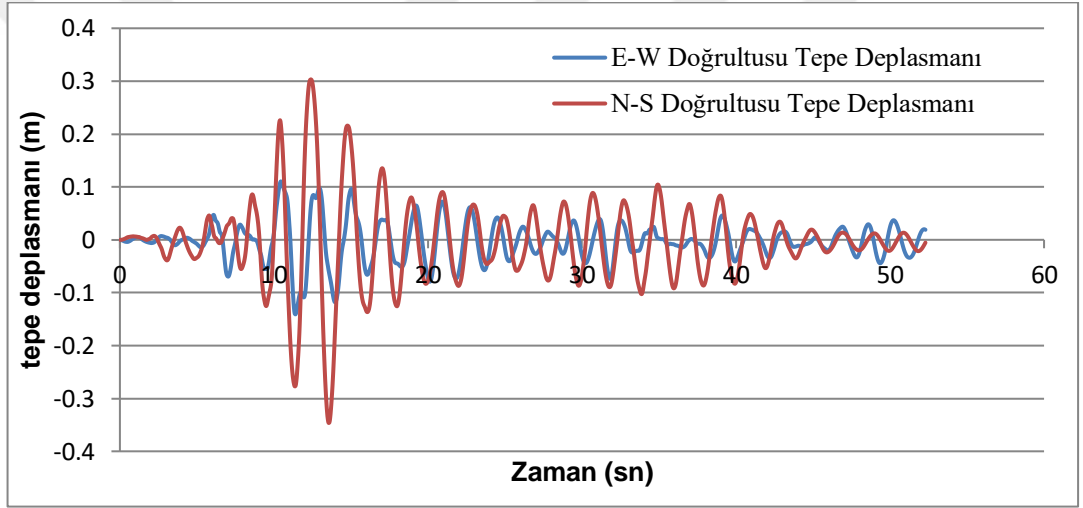
Şekil B.14 : 7. Deprem kaydı eksenler 90° döndürüldüğünde tepe deplasmanın zamanla değişimi.



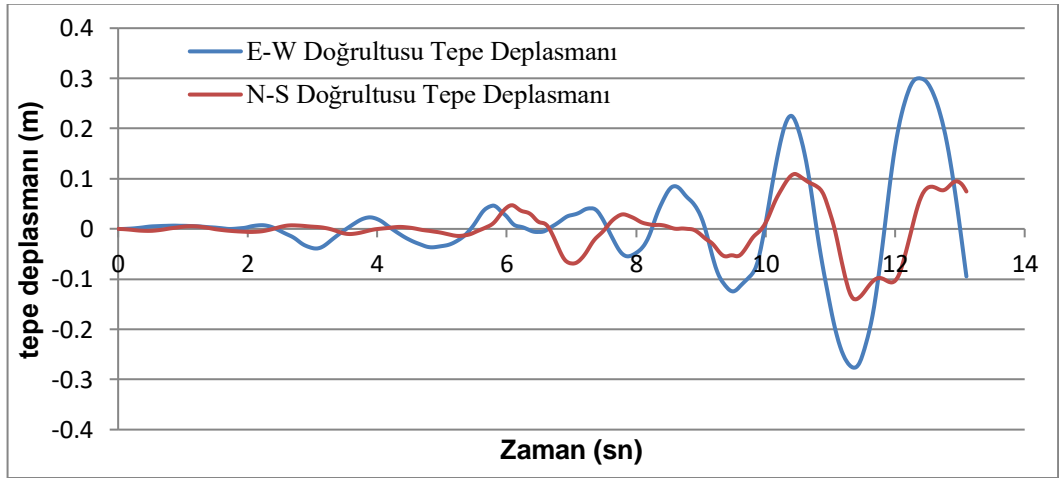
Şekil B.15 : 8. Deprem kaydı tepe deplasmanın zamanla değişimi.



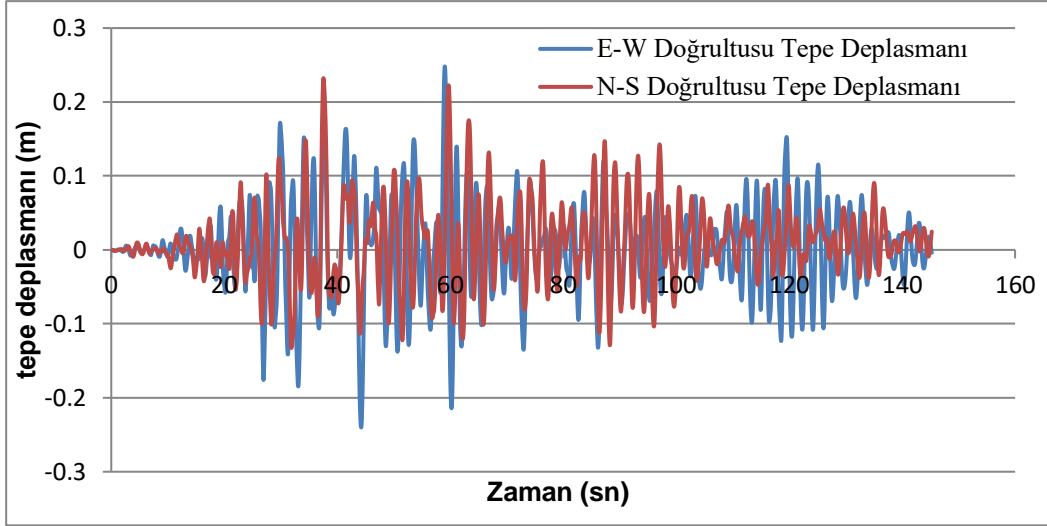
Şekil B.16 : 8. Deprem kaydı eksenler 90° döndürüldüğünde tepe deplasmanın zamanla değişimi.



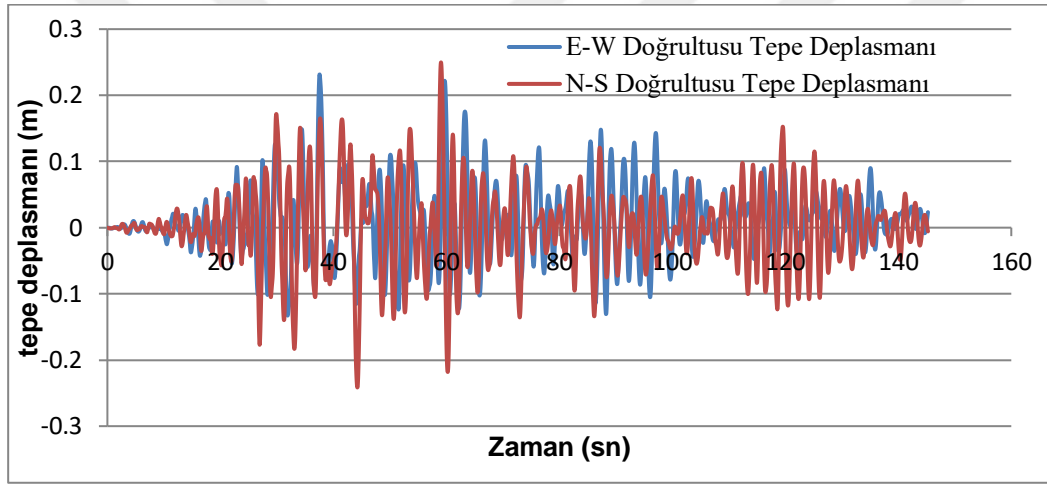
Şekil B.17 : 9. Deprem kaydı tepe deplasmanın zamanla değişimi.



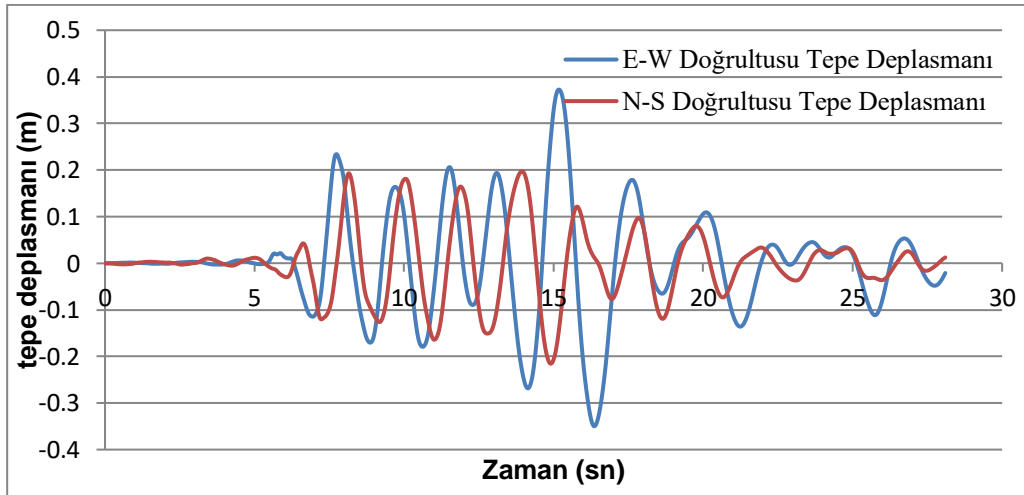
Şekil B.18 : 9. Deprem kaydı eksenler 90° döndürüldüğünde tepe deplasmanın zamanla değişimi.



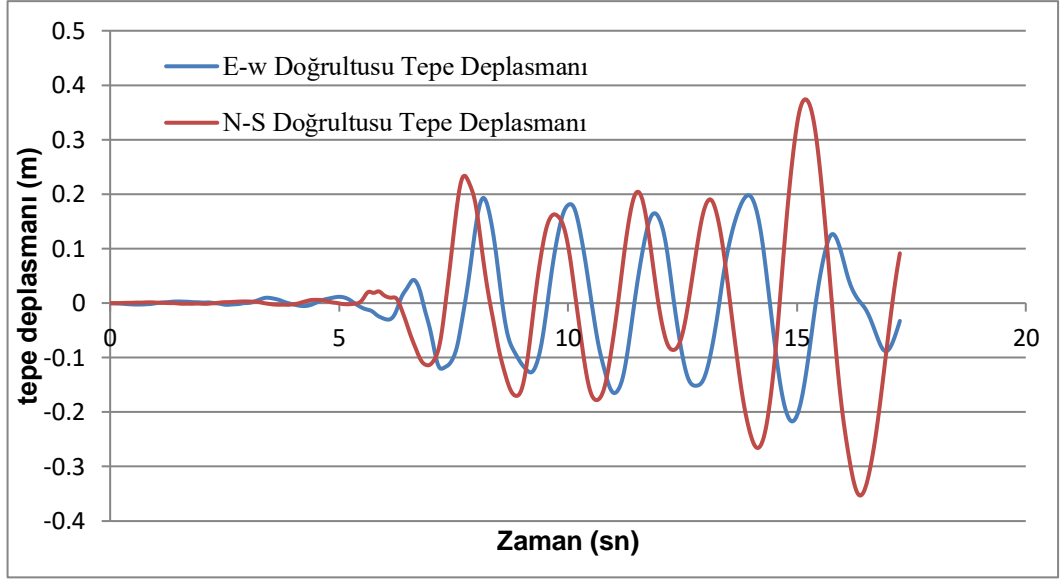
Şekil B.19 : 10. Deprem kaydı tepe deplasmanın zamanla değişimi.



Şekil B.20 : 10. Deprem kaydı eksenler 90° dödürüldüğünde tepe deplasmanın zamanla değişimi.



Şekil B.21 : 11. Deprem kaydı tepe deplasmanın zamanla değişimi.



**Şekil B.22** : 11. Deprem kaydı eksenler  $90^\circ$  döndürüldüğünde tepe deplasmanın zamanla değişimi.

## EK C

**Çizelge C.1 : 1. Deprem' e ait performans durumu ve maksimum hasar adımındaki eleman hasar durumları.**

| Kat   | Sınırlı |                  |          |        | Belirgin |                  |          |        |  |
|---|---------|------------------|----------|--------|----------|------------------|----------|--------|--|
|   | Kiriş   | Kolon            | Vkol[KN] | % Vkol | Kiriş    | Kolon            | Vkol[KN] | % Vkol |  |
| 1   | 60/60   | -                | 0        | 0      | -        | 36/36            | 7028.2   | 100    |  |
| 2   | 60/60   | 4/36             | 362.75   | 5.9    | -        | 32/36            | 5779.8   | 94.1   |  |
| 3   | 60/60   | 12/36            | 1249.3   | 23.8   | -        | 24/36            | 4006     | 76.2   |  |
| 4   | 60/60   | 12/36            | 1105.7   | 24.1   | -        | 24/36            | 3479.3   | 75.9   |  |
| 5   | 60/60   | 16/36            | 1381.7   | 35.7   | -        | 20/36            | 2484.7   | 64.3   |  |
| 6   | 60/60   | 36/36            | 2796.6   | 100    | -        | -                | 0        | 0      |  |
| 7   | 60/60   | 36/36            | 1794.1   | 100    | -        | -                | 0        | 0      |  |
| Kat   | İleri   |                  |          |        | Göçme    |                  |          |        |  |
|   | Kiriş   | Kolon            | Vkol[KN] | % Vkol | Kiriş    | Kolon            | Vkol[KN] | % Vkol |  |
| 1   | -       | -                | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |  |
| 2   | -       | -                | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |  |
| 3   | -       | -                | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |  |
| 4   | -       | -                | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |  |
| 5   | -       | -                | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |  |
| 6   | -       | -                | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |  |
| 7   | -       | -                | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |  |
| 217. Adım Topl. Kesme Kuv.  |         |                  |          |        | =        | 7028.2KN         |          |        |  |
| <b>Yapı Performansı: Kontrollü Hasar (Maks. Hasar adımı: 217)</b> |         |                  |          |        |          |                  |          |        |  |
| Adım  | V[KN]   | Yapı Performansı |          | Adım   | V[KN]    | Yapı Performansı |          |        |  |
| 143   | 2824    | Sınırlı Hasar    |          | 214    | 7032     | Kontrollü Hasar  |          |        |  |
| 149   | 4663    | Sınırlı Hasar    |          | 215    | 7222     | Kontrollü Hasar  |          |        |  |
| 191   | 1469    | Sınırlı Hasar    |          | 216    | 7248     | Kontrollü Hasar  |          |        |  |
| 200   | 5844    | Kontrollü Hasar  |          | 217    | 7028     | Kontrollü Hasar  |          |        |  |
| 202   | 4922    | Kontrollü Hasar  |          | 218    | 6445     | Kontrollü Hasar  |          |        |  |
| 203   | 3742    | Kontrollü Hasar  |          | 219    | 5726     | Kontrollü Hasar  |          |        |  |
| 204   | 3372    | Kontrollü Hasar  |          | 234    | 7304     | Kontrollü Hasar  |          |        |  |
| 205   | 2506    | Kontrollü Hasar  |          | 235    | 7225     | Kontrollü Hasar  |          |        |  |
| 208   | 2097    | Sınırlı Hasar    |          | 236    | 6742     | Kontrollü Hasar  |          |        |  |
| 213   | 6776    | Kontrollü Hasar  |          | 237    | 6230     | Kontrollü Hasar  |          |        |  |

**Çizelge C.2 :** 1.Deprem' e ait ivme kayıtlarının 90° döndürülerek etkiltilmesi sonucu yapı performansı ve maksimum hasar adımıdaki eleman hasar durumları.

|   |       | Sınırlı          |          |        |       | Belirgin |                  |        |  |
|---|-------|------------------|----------|--------|-------|----------|------------------|--------|--|
| Kat   | Kiriş | Kolon            | Vkol[KN] | % Vkol | Kiriş | Kolon    | Vkol[KN]         | % Vkol |  |
| 1   | 60/60 | -                | 0        | 0      | -     | 36/36    | 6973.7           | 100    |  |
| 2   | 60/60 | 7/36             | 1055.3   | 17.2   | -     | 29/36    | 5067             | 82.8   |  |
| 3   | 60/60 | 10/36            | 1160.8   | 22     | -     | 26/36    | 4116.1           | 78     |  |
| 4   | 60/60 | 12/36            | 1166     | 25.2   | -     | 24/36    | 3456.7           | 74.8   |  |
| 5   | 60/60 | 19/36            | 1750.8   | 44.9   | -     | 17/36    | 2150.3           | 55.1   |  |
| 6   | 60/60 | 36/36            | 2813.2   | 100    | -     | -        | 0                | 0      |  |
| 7   | 60/60 | 36/36            | 1647     | 100    | -     | -        | 0                | 0      |  |
|   |       | İleri            |          |        |       | Göçme    |                  |        |  |
| Kat   | Kiriş | Kolon            | Vkol[KN] | % Vkol | Kiriş | Kolon    | Vkol[KN]         | % Vkol |  |
| 1   | -     | -                | 0        | 0      | -     | -        | 0                | 0      |  |
| 2   | -     | -                | 0        | 0      | -     | -        | 0                | 0      |  |
| 3   | -     | -                | 0        | 0      | -     | -        | 0                | 0      |  |
| 4   | -     | -                | 0        | 0      | -     | -        | 0                | 0      |  |
| 5   | -     | -                | 0        | 0      | -     | -        | 0                | 0      |  |
| 6   | -     | -                | 0        | 0      | -     | -        | 0                | 0      |  |
| 7   | -     | -                | 0        | 0      | -     | -        | 0                | 0      |  |
| 217. Adım Topl. Kesme Kuv.  |       |                  |          |        | =     | 7028.2KN |                  |        |  |
| <b>Yapı Performansı: Kontrollü Hasar (Maks. Hasar adımı: 217)</b> |       |                  |          |        |       |          |                  |        |  |
| Adım  | V[KN] | Yapı Performansı |          |        | Adım  | V[KN]    | Yapı Performansı |        |  |
| 143   | 2803  | Sınırlı Hasar    |          |        | 214   | 7033.8   | Sınırlı Hasar    |        |  |
| 149   | 4699  | Sınırlı Hasar    |          |        | 215   | 7213.6   | Sınırlı Hasar    |        |  |
| 191   | 1299  | Sınırlı Hasar    |          |        | 216   | 7219.7   | Sınırlı Hasar    |        |  |
| 200   | 5848  | Kontrollü Hasar  |          |        | 217   | 6973.7   | Kontrollü Hasar  |        |  |
| 202   | 4946  | Kontrollü Hasar  |          |        | 218   | 6368.1   | Kontrollü Hasar  |        |  |
| 203   | 3752  | Kontrollü Hasar  |          |        | 219   | 5717.1   | Kontrollü Hasar  |        |  |
| 204   | 3453  | Kontrollü Hasar  |          |        | 234   | 7308.3   | Kontrollü Hasar  |        |  |
| 205   | 2599  | Kontrollü Hasar  |          |        | 235   | 7206.6   | Kontrollü Hasar  |        |  |
| 208   | 2069  | Sınırlı Hasar    |          |        | 236   | 6737.5   | Sınırlı Hasar    |        |  |
| 213   | 6767  | Kontrollü Hasar  |          |        | 237   | 6216.7   | Kontrollü Hasar  |        |  |

**Çizelge C.3 : 2.Deprem' e ait performans durumu ve maksimum hasar adımındaki eleman hasar durumları.**

|   |       | Sınırlı          |          |        |       | Belirgin         |          |        |  |
|---|-------|------------------|----------|--------|-------|------------------|----------|--------|--|
| Kat   | Kiriş | Kolon            | Vkol[KN] | % Vkol | Kiriş | Kolon            | Vkol[KN] | % Vkol |  |
| 1   | 55/60 | -                | 0        | 0      | 5/60  | 36/36            | 3907.7   | 100    |  |
| 2   | 56/60 | 7/36             | 745.18   | 17.7   | 4/60  | 29/36            | 3466.1   | 82.3   |  |
| 3   | 60/60 | 8/36             | 819.69   | 19.5   | -     | 28/36            | 3379.2   | 80.5   |  |
| 4   | 60/60 | 15/36            | 1297.3   | 33.8   | -     | 21/36            | 2544.4   | 66.2   |  |
| 5   | 60/60 | 36/36            | 3120.3   | 100    | -     | -                | 0        | 0      |  |
| 6   | 60/60 | 36/36            | 2202.6   | 100    | -     | -                | 0        | 0      |  |
| 7   | 60/60 | 36/36            | 1448.6   | 100    | -     | -                | 0        | 0      |  |
|   |       | İleri            |          |        |       | Göçme            |          |        |  |
| Kat   | Kiriş | Kolon            | Vkol[KN] | % Vkol | Kiriş | Kolon            | Vkol[KN] | % Vkol |  |
| 1   | -     | -                | 0        | 0      | -     | -                | 0        | 0      |  |
| 2   | -     | -                | 0        | 0      | -     | -                | 0        | 0      |  |
| 3   | -     | -                | 0        | 0      | -     | -                | 0        | 0      |  |
| 4   | -     | -                | 0        | 0      | -     | -                | 0        | 0      |  |
| 5   | -     | -                | 0        | 0      | -     | -                | 0        | 0      |  |
| 6   | -     | -                | 0        | 0      | -     | -                | 0        | 0      |  |
| 7   | -     | -                | 0        | 0      | -     | -                | 0        | 0      |  |
| <b>Yapı Performansı: Kontrollü Hasar (Maks. Hasar adımı: 382)</b> |       |                  |          |        |       |                  |          |        |  |
| Adım  | V[KN] | Yapı Performansı |          | Adım   | V[KN] | Yapı Performansı |          |        |  |
| 313   | 2836  | Sınırlı Hasar    |          | 368    | 4348  | Kontrollü Hasar  |          |        |  |
| 314   | 3365  | Sınırlı Hasar    |          | 382    | 4211  | Kontrollü Hasar  |          |        |  |
| 340   | 2062  | Kontrollü Hasar  |          | 383    | 4633  | Kontrollü Hasar  |          |        |  |
| 341   | 1503  | Kontrollü Hasar  |          | 384    | 4842  | Kontrollü Hasar  |          |        |  |
| 342   | 987.9 | Kontrollü Hasar  |          | 385    | 4950  | Kontrollü Hasar  |          |        |  |
| 343   | 578.2 | Kontrollü Hasar  |          | 401    | 5806  | Kontrollü Hasar  |          |        |  |
| 344   | 988   | Kontrollü Hasar  |          | 402    | 6269  | Kontrollü Hasar  |          |        |  |
| 345   | 1794  | Kontrollü Hasar  |          | 403    | 6418  | Kontrollü Hasar  |          |        |  |
| 346   | 2638  | Kontrollü Hasar  |          | 404    | 6583  | Kontrollü Hasar  |          |        |  |
| 347   | 3318  | Kontrollü Hasar  |          | 405    | 6596  | Kontrollü Hasar  |          |        |  |
| 357   | 4698  | Kontrollü Hasar  |          | 406    | 6712  | Kontrollü Hasar  |          |        |  |
| 358   | 4006  | Kontrollü Hasar  |          | 421    | 7889  | Kontrollü Hasar  |          |        |  |
| 359   | 3128  | Kontrollü Hasar  |          | 422    | 8071  | Kontrollü Hasar  |          |        |  |
| 360   | 2310  | Kontrollü Hasar  |          | 423    | 8021  | Kontrollü Hasar  |          |        |  |
| 361   | 1814  | Kontrollü Hasar  |          | 424    | 7699  | Kontrollü Hasar  |          |        |  |
| 362   | 1793  | Kontrollü Hasar  |          | 425    | 7263  | Kontrollü Hasar  |          |        |  |
| 363   | 2300  | Kontrollü Hasar  |          | 440    | 8059  | Kontrollü Hasar  |          |        |  |
| 364   | 2784  | Kontrollü Hasar  |          | 458    | 8026  | Kontrollü Hasar  |          |        |  |
| 367   | 3902  | Kontrollü Hasar  |          | 459    | 8014  | Kontrollü Hasar  |          |        |  |

**Çizelge C.4 : 2.Deprem' e ait ivme kayıtlarının 90° döndürülerek etkilmesi sonucu yapı performansı ve maksimum hasar adımıdaki eleman hasar durumları.**

|   | Sınırlı |                  |          |        | Belirgin |                  |          |        |
|---|---------|------------------|----------|--------|----------|------------------|----------|--------|
| Kat   | Kiriş   | Kolon            | Vkol[KN] | % Vkol | Kiriş    | Kolon            | Vkol[KN] | % Vkol |
| 1   | 48/60   | -                | 0        | 0      | 12/60    | 34/36            | 3768.7   | 93.8   |
| 2   | 54/60   | 7/36             | 726.59   | 16.9   | 6/60     | 29/36            | 3569     | 83.1   |
| 3   | 60/60   | 11/36            | 945      | 22.2   | 4/60     | 25/36            | 3321     | 77.8   |
| 4   | 60/60   | 16/36            | 1389.5   | 35.8   | -        | 20/36            | 2492.7   | 64.2   |
| 5   | 60/60   | 36/36            | 3152.2   | 100    | -        | -                | 0        | 0      |
| 6   | 60/60   | 36/36            | 2237.6   | 100    | -        | -                | 0        | 0      |
| 7   | 60/60   | 36/36            | 1619.3   | 100    | -        | -                | 0        | 0      |
|   | İleri   |                  |          |        | Göçme    |                  |          |        |
| Kat   | Kiriş   | Kolon            | Vkol[KN] | % Vkol | Kiriş    | Kolon            | Vkol[KN] | % Vkol |
| 1   | -       | 2/36             | 248.63   | 6.2    | -        | -                | 0        | 0      |
| 2   | -       | -                | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |
| 3   | -       | -                | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |
| 4   | -       | -                | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |
| 5   | -       | -                | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |
| 6   | -       | -                | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |
| 7   | -       | -                | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |
| <b>Yapı Performansı: Kontrollü Hasar (Maks. Hasar adımı: 382)</b> |         |                  |          |        |          |                  |          |        |
| Adım  | V[KN]   | Yapı Performansı |          | Adım   | V[KN]    | Yapı Performansı |          |        |
| 313   | 2980    | Sınırlı Hasar    |          | 368    | 4467.2   | Kontrollü Hasar  |          |        |
| 314   | 3384    | Sınırlı Hasar    |          | 382    | 4295.6   | Kontrollü Hasar  |          |        |
| 340   | 2033    | Kontrollü Hasar  |          | 383    | 4703.5   | Kontrollü Hasar  |          |        |
| 341   | 1569    | Kontrollü Hasar  |          | 384    | 4915.5   | Kontrollü Hasar  |          |        |
| 342   | 1175    | Kontrollü Hasar  |          | 385    | 5435     | Kontrollü Hasar  |          |        |
| 343   | 713.6   | Kontrollü Hasar  |          | 401    | 5902     | Kontrollü Hasar  |          |        |
| 344   | 1134    | Kontrollü Hasar  |          | 402    | 6372     | Kontrollü Hasar  |          |        |
| 345   | 1851    | Kontrollü Hasar  |          | 403    | 6516     | Kontrollü Hasar  |          |        |
| 346   | 2080    | Kontrollü Hasar  |          | 404    | 6657.2   | Kontrollü Hasar  |          |        |
| 347   | 2405    | Kontrollü Hasar  |          | 405    | 6643.7   | Kontrollü Hasar  |          |        |
| 357   | 4692    | Kontrollü Hasar  |          | 406    | 6728.1   | Kontrollü Hasar  |          |        |
| 358   | 3980    | Kontrollü Hasar  |          | 421    | 7954.6   | Kontrollü Hasar  |          |        |
| 359   | 3099    | Kontrollü Hasar  |          | 422    | 8128.5   | Kontrollü Hasar  |          |        |
| 360   | 2295    | Kontrollü Hasar  |          | 423    | 8064.8   | Kontrollü Hasar  |          |        |
| 361   | 1862    | Kontrollü Hasar  |          | 424    | 7727.2   | Kontrollü Hasar  |          |        |
| 362   | 1848    | Kontrollü Hasar  |          | 425    | 7281.1   | Kontrollü Hasar  |          |        |
| 363   | 2359    | Kontrollü Hasar  |          | 440    | 8080.2   | Kontrollü Hasar  |          |        |
| 364   | 2849    | Kontrollü Hasar  |          | 458    | 8024.6   | Kontrollü Hasar  |          |        |
| 367   | 4204    | Kontrollü Hasar  |          | 459    | 8030.5   | Kontrollü Hasar  |          |        |



**Çizelge C.5 : 3.Deprem' e ait performans durumu ve maksimum hasar adımındaki eleman hasar durumları.**

|   | Sınırlı |                  |          |        | Belirgin |                  |          |        |
|---|---------|------------------|----------|--------|----------|------------------|----------|--------|
| Kat   | Kiriş   | Kolon            | Vkol[KN] | % Vkol | Kiriş    | Kolon            | Vkol[KN] | % Vkol |
| 1   | 60/60   | 14/36            | 1720     | 33.5   | -        | 22/36            | 3420     | 66.5   |
| 2   | 60/60   | 36/36            | 4503     | 100    | -        | -                | 0        | 0      |
| 3   | 60/60   | 36/36            | 4254     | 100    | -        | -                | 0        | 0      |
| 4   | 60/60   | 36/36            | 3921     | 100    | -        | -                | 0        | 0      |
| 5   | 60/60   | 36/36            | 3175     | 100    | -        | -                | 0        | 2186   |
| 6   | 60/60   | 36/36            | 2271     | 100    | -        | -                | 0        | 0      |
| 7   | 60/60   | 36/36            | 1626     | 100    | -        | -                | 0        | 0      |
|   | İleri   |                  |          |        | Göçme    |                  |          |        |
| Kat   | Kiriş   | Kolon            | Vkol[KN] | % Vkol | Kiriş    | Kolon            | Vkol[KN] | % Vkol |
| 1   | -       | -                | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |
| 2   | -       | -                | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |
| 3   | -       | -                | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |
| 4   | -       | -                | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |
| 5   | -       | -                | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |
| 6   | -       | -                | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |
| 7   | -       | -                | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |
| <b>Yapı Performansı: Kontrollü Hasar (Maks. Hasar adımı: 228)</b> |         |                  |          |        |          |                  |          |        |
| Adım  | V[KN]   | Yapı Performansı |          | Adım   | V[KN]    | Yapı Performansı |          |        |
| 159   | 2892    | Sınırlı Hasar    |          | 230    | 4780     | Sınırlı Hasar    |          |        |
| 174   | 2271    | Sınırlı Hasar    |          | 241    | 4145     | Sınırlı Hasar    |          |        |
| 189   | 1839    | Sınırlı Hasar    |          | 242    | 4187     | Sınırlı Hasar    |          |        |
| 208   | 5098    | Kontrollü Hasar  |          | 245    | 4504     | Sınırlı Hasar    |          |        |
| 209   | 4832    | Sınırlı Hasar    |          | 257    | 3298     | Sınırlı Hasar    |          |        |
| 210   | 4322    | Sınırlı Hasar    |          | 258    | 3328     | Sınırlı Hasar    |          |        |
| 212   | 4070    | Sınırlı Hasar    |          | 259    | 3281     | Sınırlı Hasar    |          |        |
| 213   | 3667    | Sınırlı Hasar    |          | 270    | 2604     | Sınırlı Hasar    |          |        |
| 215   | 3613    | Sınırlı Hasar    |          | 333    | 1554     | Sınırlı Hasar    |          |        |
| 222   | 3653    | Sınırlı Hasar    |          | 334    | 1891     | Sınırlı Hasar    |          |        |
| 223   | 4085    | Sınırlı Hasar    |          | 341    | 1021     | Sınırlı Hasar    |          |        |
| 224   | 4558    | Sınırlı Hasar    |          | 345    | 1824     | Sınırlı Hasar    |          |        |
| 225   | 4944    | Sınırlı Hasar    |          | 346    | 1789     | Sınırlı Hasar    |          |        |
| 226   | 4935    | Sınırlı Hasar    |          | 360    | 878      | Sınırlı Hasar    |          |        |
| 227   | 4970    | Kontrollü Hasar  |          | 361    | 857      | Sınırlı Hasar    |          |        |
| 228   | 5139    | Kontrollü Hasar  |          | 421    | 3171     | Sınırlı Hasar    |          |        |
| 229   | 4965    | Kontrollü Hasar  |          | 422    | 3200     | Sınırlı Hasar    |          |        |

**Çizelge C.6 :** 3.Deprem' e ait ivme kayıtlarının 90° döndürülerek etkilmesi sonucu yapı performansı ve maksimum hasar adımıdaki eleman hasar durumları.

| Sınırlı   |       |                  |          |        | Belirgin |       |                  |        |
|---|-------|------------------|----------|--------|----------|-------|------------------|--------|
| Kat   | Kiriş | Kolon            | Vkol[KN] | % Vkol | Kiriş    | Kolon | Vkol[KN]         | % Vkol |
| 1   | 60/60 | 16/36            | 2007.4   | 39.4   | -        | 20/36 | 3085.7           | 60.6   |
| 2   | 60/60 | 36/36            | 4480.7   | 100    | -        | -     | 0                | 0      |
| 3   | 60/60 | 36/36            | 4260.2   | 100    | -        | -     | 0                | 0      |
| 4   | 60/60 | 36/36            | 3950.3   | 100    | -        | -     | 0                | 0      |
| 5   | 60/60 | 36/36            | 3181.4   | 100    | -        | -     | 0                | 0      |
| 6   | 60/60 | 36/36            | 2235     | 100    | -        | -     | 0                | 0      |
| 7   | 60/60 | 36/36            | 1436     | 100    | -        | -     | 0                | 0      |
| İleri   |       |                  |          |        | Göçme    |       |                  |        |
| Kat   | Kiriş | Kolon            | Vkol[KN] | % Vkol | Kiriş    | Kolon | Vkol[KN]         | % Vkol |
| 1   | -     | 2/36             | 248.63   | 6.2    | -        | -     | 0                | 0      |
| 2   | -     | -                | 0        | 0      | -        | -     | 0                | 0      |
| 3   | -     | -                | 0        | 0      | -        | -     | 0                | 0      |
| 4   | -     | -                | 0        | 0      | -        | -     | 0                | 0      |
| 5   | -     | -                | 0        | 0      | -        | -     | 0                | 0      |
| 6   | -     | -                | 0        | 0      | -        | -     | 0                | 0      |
| 7   | -     | -                | 0        | 0      | -        | -     | 0                | 0      |
| <b>Yapı Performansı: Kontrollü Hasar (Maks. Hasar adımı: 228)</b> |       |                  |          |        |          |       |                  |        |
| Adım  | V[KN] | Yapı Performansı |          |        | Adım     | V[KN] | Yapı Performansı |        |
| 159   | 1610  | Sınırlı Hasar    |          |        | 230      | 4785  | Sınırlı Hasar    |        |
| 174   | 2251  | Sınırlı Hasar    |          |        | 241      | 4113  | Sınırlı Hasar    |        |
| 189   | 1715  | Sınırlı Hasar    |          |        | 242      | 4158  | Sınırlı Hasar    |        |
| 208   | 5103  | Kontrollü Hasar  |          |        | 245      | 4506  | Sınırlı Hasar    |        |
| 209   | 4794  | Sınırlı Hasar    |          |        | 257      | 3258  | Sınırlı Hasar    |        |
| 210   | 4513  | Sınırlı Hasar    |          |        | 258      | 3290  | Sınırlı Hasar    |        |
| 212   | 4065  | Sınırlı Hasar    |          |        | 259      | 3312  | Sınırlı Hasar    |        |
| 213   | 3614  | Sınırlı Hasar    |          |        | 270      | 2497  | Sınırlı Hasar    |        |
| 215   | 3605  | Sınırlı Hasar    |          |        | 333      | 1548  | Sınırlı Hasar    |        |
| 222   | 3623  | Sınırlı Hasar    |          |        | 334      | 1914  | Sınırlı Hasar    |        |
| 223   | 4047  | Sınırlı Hasar    |          |        | 341      | 933   | Sınırlı Hasar    |        |
| 224   | 4572  | Sınırlı Hasar    |          |        | 345      | 1763  | Sınırlı Hasar    |        |
| 225   | 4944  | Sınırlı Hasar    |          |        | 346      | 1630  | Sınırlı Hasar    |        |
| 226   | 4904  | Sınırlı Hasar    |          |        | 360      | 698   | Sınırlı Hasar    |        |
| 227   | 4923  | Kontrollü Hasar  |          |        | 361      | 733   | Sınırlı Hasar    |        |
| 228   | 5093  | Kontrollü Hasar  |          |        | 421      | 3091  | Sınırlı Hasar    |        |
| 229   | 4919  | Kontrollü Hasar  |          |        | 422      | 3142  | Sınırlı Hasar    |        |

**Çizelge C.7 : 4.Deprem' e ait performans durumu ve maksimum hasar adımındaki eleman hasar durumları.**

|   | Sınırlı |                  |          |        | Belirgin |                  |          |        |
|---|---------|------------------|----------|--------|----------|------------------|----------|--------|
| Kat   | Kiriş   | Kolon            | Vkol[KN] | % Vkol | Kiriş    | Kolon            | Vkol[KN] | % Vkol |
| 1   | 30/60   | -                | 0        | 0      | 1/60     | -                | 0        | 0      |
| 2   | 30/60   | 1/36             | 20.23    | 0.7    | 20/60    | 11/36            | 1087.6   | 36.4   |
| 3   | 36/60   | 6/36             | 466.71   | 13.7   | 24/60    | 15/36            | 1244.4   | 36.5   |
| 4   | 60/60   | 8/36             | 739.71   | 19.9   | -        | 28/36            | 2969.5   | 80.1   |
| 5   | 60/60   | 16/36            | 1248.6   | 34.8   | -        | 20/36            | 2340     | 65.2   |
| 6   | 60/60   | 36/36            | 3030.8   | 100    | -        | -                | 0        | 0      |
| 7   | 60/60   | 36/36            | 2182.2   | 100    | -        | -                | 0        | 0      |
|   | İleri   |                  |          |        | Göçme    |                  |          |        |
| Kat   | Kiriş   | Kolon            | Vkol[KN] | % Vkol | Kiriş    | Kolon            | Vkol[KN] | % Vkol |
| 1   | -       | -                | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |
| 2   | -       | -                | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |
| 3   | -       | -                | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |
| 4   | -       | -                | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |
| 5   | -       | -                | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |
| 6   | -       | -                | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |
| 7   | -       | -                | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |
| <b>Yapı Performansı: Göçme (Maks. Hasar adımı: 257)</b> |         |                  |          |        |          |                  |          |        |
| Adım  | V[KN]   | Yapı Performansı |          | Adım   | V[KN]    | Yapı Performansı |          |        |
| 203   | 4740    | Kontrollü Hasar  |          | 247    | 1114     | Göçme            |          |        |
| 204   | 5466    | Kontrollü Hasar  |          | 248    | 2135     | Göçme            |          |        |
| 209   | 6019    | Göçme            |          | 249    | 2965     | Göçme            |          |        |
| 210   | 5919    | Göçme            |          | 250    | 3574     | Göçme            |          |        |
| 230   | 3583    | Göçme            |          | 251    | 3764     | Göçme            |          |        |
| 231   | 4068    | Göçme            |          | 252    | 3709     | Göçme            |          |        |
| 232   | 4837    | Göçme            |          | 253    | 3756     | Göçme            |          |        |
| 233   | 5580    | Göçme            |          | 254    | 4766     | Göçme            |          |        |
| 236   | 7388    | Göçme            |          | 255    | 5700     | Göçme            |          |        |
| 237   | 7361    | Göçme            |          | 257    | 7932     | Göçme            |          |        |
| 238   | 6971    | Kontrollü Hasar  |          | 258    | 8473     | Göçme            |          |        |
| 239   | 6384    | Kontrollü Hasar  |          | 259    | 8082     | Göçme            |          |        |
| 240   | 5658    | Kontrollü Hasar  |          | 260    | 7067     | Göçme            |          |        |
| 241   | 4950    | Kontrollü Hasar  |          | 262    | 5582     | Göçme            |          |        |
| 242   | 4637    | Kontrollü Hasar  |          | 263    | 5451     | Göçme            |          |        |
| 244   | 3414    | Kontrollü Hasar  |          | 264    | 5007     | Göçme            |          |        |
| 245   | 2322    | Kontrollü Hasar  |          | 265    | 4323     | Göçme            |          |        |

**Çizelge C.8 : 4.Deprem' e ait ivme kayıtlarının 90° döndürülerek etkilmesi sonucu yapı performansı ve maksimum hasar adımıdaki eleman hasar durumları.**

| Sınırlı   |       |                  |          |        | Belirgin |       |                  |        |
|---|-------|------------------|----------|--------|----------|-------|------------------|--------|
| Kat   | Kiriş | Kolon            | Vkol[KN] | % Vkol | Kiriş    | Kolon | Vkol[KN]         | % Vkol |
| 1   | 60/60 | 16/36            | 2007.4   | 39.4   | -        | 20/36 | 3085.7           | 60.6   |
| 2   | 60/60 | 36/36            | 4480.7   | 100    | -        | -     | 0                | 0      |
| 3   | 60/60 | 36/36            | 4260.2   | 100    | -        | -     | 0                | 0      |
| 4   | 60/60 | 36/36            | 3950.3   | 100    | -        | -     | 0                | 0      |
| 5   | 60/60 | 36/36            | 3181.4   | 100    | -        | -     | 0                | 0      |
| 6   | 60/60 | 36/36            | 2235     | 100    | -        | -     | 0                | 0      |
| 7   | 60/60 | 36/36            | 1436     | 100    | -        | -     | 0                | 0      |
| İleri   |       |                  |          |        | Göçme    |       |                  |        |
| Kat   | Kiriş | Kolon            | Vkol[KN] | % Vkol | Kiriş    | Kolon | Vkol[KN]         | % Vkol |
| 1   | -     | 2/36             | 248.63   | 6.2    | -        | -     | 0                | 0      |
| 2   | -     | -                | 0        | 0      | -        | -     | 0                | 0      |
| 3   | -     | -                | 0        | 0      | -        | -     | 0                | 0      |
| 4   | -     | -                | 0        | 0      | -        | -     | 0                | 0      |
| 5   | -     | -                | 0        | 0      | -        | -     | 0                | 0      |
| 6   | -     | -                | 0        | 0      | -        | -     | 0                | 0      |
| 7   | -     | -                | 0        | 0      | -        | -     | 0                | 0      |
| <b>Yapı Performansı: Göçme (Maks. Hasar adımı: 257)</b> |       |                  |          |        |          |       |                  |        |
| Adım  | V[KN] | Yapı Performansı |          |        | Adım     | V[KN] | Yapı Performansı |        |
| 203   | 4730  | Kontrollü Hasar  |          |        | 247      | 959   | Göçme            |        |
| 204   | 5435  | Kontrollü Hasar  |          |        | 248      | 2076  | Göçme            |        |
| 209   | 6095  | Göçme            |          |        | 249      | 2900  | Göçme            |        |
| 210   | 5987  | Göçme            |          |        | 250      | 3530  | Göçme            |        |
| 230   | 3567  | Göçme            |          |        | 251      | 3715  | Göçme            |        |
| 231   | 4041  | Göçme            |          |        | 252      | 3668  | Göçme            |        |
| 232   | 4800  | Göçme            |          |        | 253      | 3633  | Göçme            |        |
| 233   | 5537  | Göçme            |          |        | 254      | 4584  | Göçme            |        |
| 236   | 6734  | Göçme            |          |        | 255      | 5466  | Göçme            |        |
| 237   | 7350  | Göçme            |          |        | 257      | 7710  | Göçme            |        |
| 238   | 6983  | Kontrollü Hasar  |          |        | 258      | 7816  | Göçme            |        |
| 239   | 6404  | Kontrollü Hasar  |          |        | 259      | 8012  | Göçme            |        |
| 240   | 5687  | Kontrollü Hasar  |          |        | 260      | 6995  | Göçme            |        |
| 241   | 4974  | Kontrollü Hasar  |          |        | 262      | 5530  | Göçme            |        |
| 242   | 4683  | Kontrollü Hasar  |          |        | 263      | 5399  | Göçme            |        |
| 244   | 3460  | Kontrollü Hasar  |          |        | 264      | 4994  | Göçme            |        |
| 245   | 2360  | Kontrollü Hasar  |          |        | 265      | 4356  | Göçme            |        |

**Çizelge C.9 : 5.Deprem' e ait performans durumu ve maksimum hasar adımındaki eleman hasar durumları.**

|   | Sınırlı |                  |          |        | Belirgin |                  |          |        |
|---|---------|------------------|----------|--------|----------|------------------|----------|--------|
| Kat   | Kiriş   | Kolon            | Vkol[KN] | % Vkol | Kiriş    | Kolon            | Vkol[KN] | % Vkol |
| 1   | 60/60   | 14/36            | 386.22   | 31.6   | -        | 22/36            | 836.22   | 68.4   |
| 2   | 60/60   | 36/36            | 1366     | 100    | -        | -                | 0        | 0      |
| 3   | 60/60   | 36/36            | 1031     | 100    | -        | -                | 0        | 0      |
| 4   | 60/60   | 36/36            | 737.57   | 100    | -        | -                | 0        | 0      |
| 5   | 60/60   | 36/36            | 500.83   | 100    | -        | -                | 0        | 0      |
| 6   | 60/60   | 36/36            | 467.89   | 100    | -        | -                | 0        | 0      |
| 7   | 60/60   | 36/36            | 606.41   | 100    | -        | -                | 0        | 0      |
|   | İleri   |                  |          |        | Göçme    |                  |          |        |
| Kat   | Kiriş   | Kolon            | Vkol[KN] | % Vkol | Kiriş    | Kolon            | Vkol[KN] | % Vkol |
| 1   | -       | -                | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |
| 2   | -       | -                | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |
| 3   | -       | -                | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |
| 4   | -       | -                | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |
| 5   | -       | -                | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |
| 6   | -       | -                | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |
| 7   | -       | -                | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |
| <b>Yapı Performansı: Kontrollü Hasar (Maks. Hasar adımı: 751)</b> |         |                  |          |        |          |                  |          |        |
| Adım  | V[KN]   | Yapı Performansı |          | Adım   | V[KN]    | Yapı Performansı |          |        |
| 193   | 2441    | Sınırlı Hasar    |          | 750    | 1405     | Kontrollü Hasar  |          |        |
| 194   | 2815    | Sınırlı Hasar    |          | 751    | 1366     | Kontrollü Hasar  |          |        |
| 247   | 1676    | Sınırlı Hasar    |          | 752    | 1266     | Kontrollü Hasar  |          |        |
| 249   | 974     | Sınırlı Hasar    |          | 766    | 1318     | Sınırlı Hasar    |          |        |
| 250   | 1126    | Sınırlı Hasar    |          | 767    | 1416     | Sınırlı Hasar    |          |        |
| 251   | 1463    | Sınırlı Hasar    |          | 815    | 790      | Sınırlı Hasar    |          |        |
| 295   | 3605    | Sınırlı Hasar    |          | 816    | 1054     | Sınırlı Hasar    |          |        |
| 343   | 1048    | Sınırlı Hasar    |          | 831    | 1624     | Sınırlı Hasar    |          |        |
| 487   | 2642    | Sınırlı Hasar    |          | 833    | 2424     | Sınırlı Hasar    |          |        |
| 488   | 2452    | Sınırlı Hasar    |          | 834    | 2538     | Sınırlı Hasar    |          |        |
| 503   | 2632    | Sınırlı Hasar    |          | 838    | 4446     | Sınırlı Hasar    |          |        |
| 504   | 2354    | Sınırlı Hasar    |          | 839    | 4294     | Sınırlı Hasar    |          |        |
| 505   | 2543    | Sınırlı Hasar    |          | 850    | 935      | Sınırlı Hasar    |          |        |
| 636   | 2956    | Sınırlı Hasar    |          | 851    | 1114     | Sınırlı Hasar    |          |        |
| 659   | 3966    | Sınırlı Hasar    |          | 862    | 2704     | Kontrollü Hasar  |          |        |
| 660   | 3475    | Sınırlı Hasar    |          | 863    | 2566     | Sınırlı Hasar    |          |        |
| 662   | 2687    | Sınırlı Hasar    |          | 864    | 2469     | Sınırlı Hasar    |          |        |
| 732   | 2510    | Sınırlı Hasar    |          | 874    | 2847     | Sınırlı Hasar    |          |        |
| 733   | 2259    | Sınırlı Hasar    |          | 875    | 2741     | Sınırlı Hasar    |          |        |
| 734   | 1842    | Sınırlı Hasar    |          | 892    | 2499     | Sınırlı Hasar    |          |        |
| 749   | 1196    | Sınırlı Hasar    |          | 893    | 2412     | Sınırlı Hasar    |          |        |

**Çizelge C.10 :** 5.Deprem' e ait ivme kayıtlarının 90° döndürülerek etkiltilmesi sonucu yapı performansı ve maksimum hasar adımıdaki eleman hasar durumları.

|   | Sınırlı |                  |          |        | Belirgin |                  |          |        |
|---|---------|------------------|----------|--------|----------|------------------|----------|--------|
| Kat   | Kiriş   | Kolon            | Vkol[KN] | % Vkol | Kiriş    | Kolon            | Vkol[KN] | % Vkol |
| 1   | 60/60   | 20/36            | 580.21   | 50.2   | -        | 16/36            | 575.12   | 49.8   |
| 2   | 60/60   | 36/36            | 1429.2   | 100    | -        | -                | 0        | 0      |
| 3   | 60/60   | 36/36            | 1097.4   | 100    | -        | -                | 0        | 0      |
| 4   | 60/60   | 36/36            | 808.9    | 100    | -        | -                | 0        | 0      |
| 5   | 60/60   | 36/36            | 582.47   | 100    | -        | -                | 0        | 0      |
| 6   | 60/60   | 36/36            | 599.92   | 100    | -        | -                | 0        | 0      |
| 7   | 60/60   | 36/36            | 756.13   | 100    | -        | -                | 0        | 0      |
|   | İleri   |                  |          |        | Göçme    |                  |          |        |
| Kat   | Kiriş   | Kolon            | Vkol[KN] | % Vkol | Kiriş    | Kolon            | Vkol[KN] | % Vkol |
| 1   | -       | 2/36             | 248.63   | 6.2    | -        | -                | 0        | 0      |
| 2   | -       | -                | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |
| 3   | -       | -                | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |
| 4   | -       | -                | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |
| 5   | -       | -                | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |
| 6   | -       | -                | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |
| 7   | -       | -                | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |
| <b>Yapı Performansı: Kontrollü Hasar (Maks. Hasar adımı: 751)</b> |         |                  |          |        |          |                  |          |        |
| Adım  | V[KN]   | Yapı Performansı |          | Adım   | V[KN]    | Yapı Performansı |          |        |
| 193   | 2464    | Sınırlı Hasar    |          | 815    | 917      | Sınırlı Hasar    |          |        |
| 194   | 2846    | Sınırlı Hasar    |          | 816    | 1206     | Sınırlı Hasar    |          |        |
| 247   | 1768    | Sınırlı Hasar    |          | 830    | 1354     | Sınırlı Hasar    |          |        |
| 249   | 1086    | Sınırlı Hasar    |          | 831    | 1757     | Sınırlı Hasar    |          |        |
| 250   | 1115    | Sınırlı Hasar    |          | 833    | 2498     | Sınırlı Hasar    |          |        |
| 251   | 1461    | Sınırlı Hasar    |          | 834    | 2619     | Sınırlı Hasar    |          |        |
| 295   | 3590    | Sınırlı Hasar    |          | 838    | 4561     | Sınırlı Hasar    |          |        |
| 343   | 1159    | Sınırlı Hasar    |          | 839    | 4410     | Sınırlı Hasar    |          |        |
| 549   | 1988    | Sınırlı Hasar    |          | 850    | 1122     | Sınırlı Hasar    |          |        |
| 636   | 2960    | Sınırlı Hasar    |          | 851    | 1309     | Sınırlı Hasar    |          |        |
| 659   | 3896    | Sınırlı Hasar    |          | 859    | 3224     | Sınırlı Hasar    |          |        |
| 731   | 2434    | Sınırlı Hasar    |          | 860    | 3226     | Sınırlı Hasar    |          |        |
| 732   | 2464    | Sınırlı Hasar    |          | 861    | 2987     | Sınırlı Hasar    |          |        |
| 733   | 2216    | Sınırlı Hasar    |          | 862    | 2725     | Kontrollü Hasar  |          |        |
| 734   | 1873    | Sınırlı Hasar    |          | 863    | 2564     | Sınırlı Hasar    |          |        |
| 750   | 1345    | Kontrollü Hasar  |          | 864    | 2448     | Sınırlı Hasar    |          |        |
| 751   | 1429    | Kontrollü Hasar  |          | 874    | 2950     | Sınırlı Hasar    |          |        |
| 752   | 1326    | Kontrollü Hasar  |          | 875    | 2829     | Sınırlı Hasar    |          |        |
| 753   | 1120    | Sınırlı Hasar    |          | 892    | 2547     | Sınırlı Hasar    |          |        |
| 766   | 1408    | Sınırlı Hasar    |          | 893    | 2441     | Sınırlı Hasar    |          |        |
| 767   | 1463    | Sınırlı Hasar    |          | 894    | 2312     | Sınırlı Hasar    |          |        |

**Çizelge C.11 : 6.Deprem' e ait performans durumu ve maksimum hasar adımındaki eleman hasar durumları.**

|   | Sınırlı |                  |          |        | Belirgin |                  |          |        |
|---|---------|------------------|----------|--------|----------|------------------|----------|--------|
| Kat   | Kiriş   | Kolon            | Vkol[KN] | % Vkol | Kiriş    | Kolon            | Vkol[KN] | % Vkol |
| 1   | 60/60   | -                | 0        | 0      | -        | 36/36            | 6569.3   | 100    |
| 2   | 60/60   | 3/36             | 288.67   | 4.8    | -        | 33/36            | 5783.6   | 95.2   |
| 3   | 60/60   | 12/36            | 1267.1   | 23.9   | -        | 24/36            | 4040.4   | 76.1   |
| 4   | 60/60   | 19/36            | 1945.8   | 44.6   | -        | 17/36            | 2413.2   | 55.4   |
| 5   | 60/60   | 36/36            | 3469     | 100    | -        | -                | 0        | 0      |
| 6   | 60/60   | 36/36            | 2584.1   | 100    | -        | -                | 0        | 0      |
| 7   | 60/60   | 36/36            | 1845.6   | 100    | -        | -                | 0        | 0      |
|   | İleri   |                  |          |        | Göçme    |                  |          |        |
| Kat   | Kiriş   | Kolon            | Vkol[KN] | % Vkol | Kiriş    | Kolon            | Vkol[KN] | % Vkol |
| 1   | -       | -                | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |
| 2   | -       | -                | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |
| 3   | -       | -                | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |
| 4   | -       | -                | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |
| 5   | -       | -                | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |
| 6   | -       | -                | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |
| 7   | -       | -                | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |
| <b>Yapı Performansı: Kontrollü Hasar (Maks. Hasar adımı: 197)</b> |         |                  |          |        |          |                  |          |        |
| Adım  | V[KN]   | Yapı Performansı |          | Adım   | V[KN]    | Yapı Performansı |          |        |
| 141   | 2883    | Sınırlı Hasar    |          | 213    | 6963     | Kontrollü Hasar  |          |        |
| 142   | 2970    | Sınırlı Hasar    |          | 214    | 7530     | Kontrollü Hasar  |          |        |
| 193   | 4166    | Kontrollü Hasar  |          | 215    | 8060     | Kontrollü Hasar  |          |        |
| 194   | 5239    | Kontrollü Hasar  |          | 216    | 8479     | Kontrollü Hasar  |          |        |
| 195   | 5941    | Kontrollü Hasar  |          | 217    | 8496     | Kontrollü Hasar  |          |        |
| 196   | 6312    | Kontrollü Hasar  |          | 218    | 7909     | Kontrollü Hasar  |          |        |
| 197   | 6569    | Kontrollü Hasar  |          | 227    | 3009     | Kontrollü Hasar  |          |        |
| 198   | 6524    | Kontrollü Hasar  |          | 234    | 8406     | Kontrollü Hasar  |          |        |
| 199   | 6233    | Kontrollü Hasar  |          | 235    | 8164     | Kontrollü Hasar  |          |        |
| 200   | 6124    | Kontrollü Hasar  |          | 236    | 7607     | Kontrollü Hasar  |          |        |
| 201   | 5741    | Kontrollü Hasar  |          | 237    | 6884     | Kontrollü Hasar  |          |        |
| 209   | 3571    | Kontrollü Hasar  |          | 238    | 6392     | Kontrollü Hasar  |          |        |
| 210   | 4810    | Kontrollü Hasar  |          | 240    | 4891     | Kontrollü Hasar  |          |        |
| 211   | 5850    | Kontrollü Hasar  |          | 244    | 947      | Kontrollü Hasar  |          |        |
| 212   | 6471    | Kontrollü Hasar  |          | 256    | 5983     | Kontrollü Hasar  |          |        |

**Çizelge C.12 :** 6.Deprem' e ait ivme kayıtlarının 90° döndürülerek etkitilmesi sonucu yapı performansı ve maksimum hasar adımıdaki eleman hasar durumları.

| Kat   | Sınırlı |                  |          |       | Belirgin |                  |          |       |
|---|---------|------------------|----------|-------|----------|------------------|----------|-------|
|   | Kiriş   | Kolon            | Vkol[KN] | %Vkol | Kiriş    | Kolon            | Vkol[KN] | %Vkol |
| 1   | 60/60   | -                | 0        | 0     | -        | 36/36            | 6301     | 100   |
| 2   | 60/60   | 7/36             | 1029.8   | 17.5  | -        | 29/36            | 4838     | 82.5  |
| 3   | 60/60   | 12/36            | 1174.7   | 24.5  | -        | 24/36            | 3627.6   | 75.5  |
| 4   | 60/60   | 20/36            | 1719.3   | 47.1  | -        | 16/36            | 1931.5   | 52.9  |
| 5   | 60/60   | 36/36            | 2780.2   | 100   | -        | -                | 0        | 0     |
| 6   | 60/60   | 36/36            | 2052.6   | 100   | -        | -                | 0        | 0     |
| 7   | 60/60   | 36/36            | 1465.5   | 100   | -        | -                | 0        | 0     |
| Kat   | İleri   |                  |          |       | Göçme    |                  |          |       |
|   | Kiriş   | Kolon            | Vkol[KN] | %Vkol | Kiriş    | Kolon            | Vkol[KN] | %Vkol |
| 1   | -       | -                | 0        | 0     | -        | -                | 0        | 0     |
| 2   | -       | -                | 0        | 0     | -        | -                | 0        | 0     |
| 3   | -       | -                | 0        | 0     | -        | -                | 0        | 0     |
| 4   | -       | -                | 0        | 0     | -        | -                | 0        | 0     |
| 5   | -       | -                | 0        | 0     | -        | -                | 0        | 0     |
| 6   | -       | -                | 0        | 0     | -        | -                | 0        | 0     |
| 7   | -       | -                | 0        | 0     | -        | -                | 0        | 0     |
| <b>Yapı Performansı: Kontrollü Hasar (Maks. Hasar adımı: 197)</b> |         |                  |          |       |          |                  |          |       |
| Adım  | V[KN]   | Yapı Performansı |          | Adım  | V[KN]    | Yapı Performansı |          |       |
| 141   | 2885    | Sınırlı Hasar    |          | 213   | 6973     | Kontrollü Hasar  |          |       |
| 142   | 2945    | Sınırlı Hasar    |          | 214   | 7558     | Kontrollü Hasar  |          |       |
| 193   | 4101    | Kontrollü Hasar  |          | 215   | 8095     | Kontrollü Hasar  |          |       |
| 194   | 5220    | Kontrollü Hasar  |          | 216   | 8506     | Kontrollü Hasar  |          |       |
| 195   | 5934    | Kontrollü Hasar  |          | 217   | 8498     | Kontrollü Hasar  |          |       |
| 196   | 6301    | Kontrollü Hasar  |          | 218   | 7886     | Kontrollü Hasar  |          |       |
| 197   | 6561    | Kontrollü Hasar  |          | 227   | 2868     | Kontrollü Hasar  |          |       |
| 198   | 6510    | Kontrollü Hasar  |          | 234   | 8472     | Kontrollü Hasar  |          |       |
| 199   | 6233    | Kontrollü Hasar  |          | 235   | 8188     | Kontrollü Hasar  |          |       |
| 200   | 6161    | Kontrollü Hasar  |          | 236   | 7622     | Kontrollü Hasar  |          |       |
| 201   | 5772    | Kontrollü Hasar  |          | 237   | 6855     | Kontrollü Hasar  |          |       |
| 209   | 3449    | Kontrollü Hasar  |          | 238   | 6354     | Kontrollü Hasar  |          |       |
| 210   | 4720    | Kontrollü Hasar  |          | 240   | 4901     | Kontrollü Hasar  |          |       |
| 211   | 5815    | Kontrollü Hasar  |          | 244   | 826      | Kontrollü Hasar  |          |       |
| 212   | 6454    | Kontrollü Hasar  |          | 256   | 5952     | Kontrollü Hasar  |          |       |



**Çizelge C.13 : 7.Deprem' e ait performans durumu ve maksimum hasar adımındaki eleman hasar durumları.**

|   |       | Sınırlı          |          |        |       | Belirgin |                  |        |  |
|---|-------|------------------|----------|--------|-------|----------|------------------|--------|--|
| Kat   | Kiriş | Kolon            | Vkol[KN] | % Vkol | Kiriş | Kolon    | Vkol[KN]         | % Vkol |  |
| 1   | 51/60 | -                | 0        | 0      | 9/60  | 36/36    | 8498.4           | 100    |  |
| 2   | 56/60 | 8/36             | 1007.2   | 13     | 4/60  | 28/36    | 6723.9           | 87     |  |
| 3   | 60/60 | 16/36            | 2264.8   | 33.9   | -     | 20/36    | 4419.6           | 66.1   |  |
| 4   | 60/60 | 36/36            | 5439.5   | 100    | -     | -        | 0                | 0      |  |
| 5   | 60/60 | 36/36            | 4273.1   | 100    | -     | -        | 0                | 0      |  |
| 6   | 60/60 | 36/36            | 3047.3   | 100    | -     | -        | 0                | 0      |  |
| 7   | 60/60 | 36/36            | 1814     | 100    | -     | -        | 0                | 0      |  |
|   |       | İleri            |          |        |       | Göçme    |                  |        |  |
| Kat   | Kiriş | Kolon            | Vkol[KN] | % Vkol | Kiriş | Kolon    | Vkol[KN]         | % Vkol |  |
| 1   | -     | -                | 0        | 0      | -     | -        | 0                | 0      |  |
| 2   | -     | -                | 0        | 0      | -     | -        | 0                | 0      |  |
| 3   | -     | -                | 0        | 0      | -     | -        | 0                | 0      |  |
| 4   | -     | -                | 0        | 0      | -     | -        | 0                | 0      |  |
| 5   | -     | -                | 0        | 0      | -     | -        | 0                | 0      |  |
| 6   | -     | -                | 0        | 0      | -     | -        | 0                | 0      |  |
| 7   | -     | -                | 0        | 0      | -     | -        | 0                | 0      |  |
| <b>Yapı Performansı: Kontrollü Hasar (Maks. Hasar adımı: 279)</b> |       |                  |          |        |       |          |                  |        |  |
| Adım  | V[KN] | Yapı Performansı |          |        | Adım  | V[KN]    | Yapı Performansı |        |  |
| 237   | 2621  | Kontrollü Hasar  |          |        | 327   | 8823     | Kontrollü Hasar  |        |  |
| 276   | 7132  | Kontrollü Hasar  |          |        | 328   | 9554     | Kontrollü Hasar  |        |  |
| 277   | 7805  | Kontrollü Hasar  |          |        | 329   | 9693     | Kontrollü Hasar  |        |  |
| 278   | 8244  | Kontrollü Hasar  |          |        | 372   | 5307     | Kontrollü Hasar  |        |  |
| 279   | 8498  | Kontrollü Hasar  |          |        | 373   | 4963     | Kontrollü Hasar  |        |  |
| 280   | 8322  | Kontrollü Hasar  |          |        | 375   | 4314     | Kontrollü Hasar  |        |  |
| 295   | 7895  | Kontrollü Hasar  |          |        | 376   | 4209     | Kontrollü Hasar  |        |  |
| 296   | 8179  | Kontrollü Hasar  |          |        | 377   | 4298     | Kontrollü Hasar  |        |  |
| 297   | 8221  | Kontrollü Hasar  |          |        | 392   | 1989     | Kontrollü Hasar  |        |  |
| 298   | 8245  | Kontrollü Hasar  |          |        | 393   | 1983     | Kontrollü Hasar  |        |  |
| 299   | 7918  | Kontrollü Hasar  |          |        | 409   | 1117     | Sınırlı Hasar    |        |  |
| 312   | 5537  | Sınırlı Hasar    |          |        | 410   | 802      | Sınırlı Hasar    |        |  |
| 320   | 4687  | Sınırlı Hasar    |          |        | 411   | 1343     | Sınırlı Hasar    |        |  |
| 321   | 5520  | Sınırlı Hasar    |          |        | 446   | 3965     | Kontrollü Hasar  |        |  |
| 322   | 6070  | Kontrollü Hasar  |          |        | 447   | 4093     | Kontrollü Hasar  |        |  |
| 323   | 6676  | Kontrollü Hasar  |          |        | 448   | 4222     | Kontrollü Hasar  |        |  |
| 324   | 7208  | Kontrollü Hasar  |          |        | 449   | 4690     | Kontrollü Hasar  |        |  |
| 325   | 7327  | Kontrollü Hasar  |          |        | 450   | 5803     | Kontrollü Hasar  |        |  |
| 326   | 7801  | Kontrollü Hasar  |          |        | 452   | 6327     | Kontrollü Hasar  |        |  |

**Çizelge C.14 :** 7.Deprem' e ait ivme kayıtlarının 90° döndürülerek etkiltilmesi sonucu yapı performansı ve maksimum hasar adımıdaki eleman hasar durumları.

| Sınırlı   |       |                  |          |        | Belirgin |       |                  |        |
|---|-------|------------------|----------|--------|----------|-------|------------------|--------|
| Kat   | Kiriş | Kolon            | Vkol[KN] | % Vkol | Kiriş    | Kolon | Vkol[KN]         | % Vkol |
| 1   | 60/60 | -                | 0        | 0      | 4/60     | 36/36 | 8434.6           | 100    |
| 2   | 60/60 | 8/36             | 958.66   | 12.5   | -        | 28/36 | 6726.2           | 87.5   |
| 3   | 60/60 | 18/36            | 2653.2   | 39.9   | -        | 18/36 | 3998.7           | 60.1   |
| 4   | 60/60 | 36/36            | 5418.6   | 100    | -        | -     | 0                | 0      |
| 5   | 60/60 | 36/36            | 4258.2   | 100    | -        | -     | 0                | 0      |
| 6   | 60/60 | 36/36            | 3019.5   | 100    | -        | -     | 0                | 0      |
| 7   | 60/60 | 36/36            | 1948.7   | 100    | -        | -     | 0                | 0      |
| İleri   |       |                  |          |        | Göçme    |       |                  |        |
| Kat   | Kiriş | Kolon            | Vkol[KN] | % Vkol | Kiriş    | Kolon | Vkol[KN]         | % Vkol |
| 1   | -     | 2/36             | 248.63   | 6.2    | -        | -     | 0                | 0      |
| 2   | -     | -                | 0        | 0      | -        | -     | 0                | 0      |
| 3   | -     | -                | 0        | 0      | -        | -     | 0                | 0      |
| 4   | -     | -                | 0        | 0      | -        | -     | 0                | 0      |
| 5   | -     | -                | 0        | 0      | -        | -     | 0                | 0      |
| 6   | -     | -                | 0        | 0      | -        | -     | 0                | 0      |
| 7   | -     | -                | 0        | 0      | -        | -     | 0                | 0      |
| <b>Yapı Performansı: Kontrollü Hasar (Maks. Hasar adımı: 279)</b> |       |                  |          |        |          |       |                  |        |
| Adım  | V[KN] | Yapı Performansı |          |        | Adım     | V[KN] | Yapı Performansı |        |
| 237   | 2632  | Sınırlı Hasar    |          |        | 325      | 7295  | Kontrollü Hasar  |        |
| 238   | 3256  | Sınırlı Hasar    |          |        | 329      | 9647  | Kontrollü Hasar  |        |
| 239   | 4116  | Kontrollü Hasar  |          |        | 341      | 2429  | Sınırlı Hasar    |        |
| 240   | 4745  | Kontrollü Hasar  |          |        | 376      | 4235  | Kontrollü Hasar  |        |
| 241   | 5082  | Kontrollü Hasar  |          |        | 377      | 4311  | Kontrollü Hasar  |        |
| 242   | 5410  | Kontrollü Hasar  |          |        | 392      | 2099  | Kontrollü Hasar  |        |
| 277   | 7705  | Kontrollü Hasar  |          |        | 393      | 2045  | Kontrollü Hasar  |        |
| 278   | 8147  | Kontrollü Hasar  |          |        | 409      | 1242  | Kontrollü Hasar  |        |
| 279   | 8434  | Kontrollü Hasar  |          |        | 410      | 984   | Sınırlı Hasar    |        |
| 280   | 8325  | Kontrollü Hasar  |          |        | 411      | 1284  | Sınırlı Hasar    |        |
| 281   | 7527  | Kontrollü Hasar  |          |        | 444      | 3935  | Sınırlı Hasar    |        |
| 295   | 7807  | Kontrollü Hasar  |          |        | 445      | 3869  | Kontrollü Hasar  |        |
| 296   | 8093  | Kontrollü Hasar  |          |        | 446      | 4029  | Kontrollü Hasar  |        |
| 297   | 8159  | Kontrollü Hasar  |          |        | 447      | 4129  | Kontrollü Hasar  |        |
| 298   | 8212  | Kontrollü Hasar  |          |        | 448      | 4246  | Kontrollü Hasar  |        |
| 312   | 5526  | Sınırlı Hasar    |          |        | 449      | 4684  | Kontrollü Hasar  |        |
| 321   | 5511  | Sınırlı Hasar    |          |        | 450      | 5261  | Kontrollü Hasar  |        |
| 322   | 6063  | Kontrollü Hasar  |          |        | 451      | 5747  | Kontrollü Hasar  |        |
| 323   | 6640  | Kontrollü Hasar  |          |        | 452      | 6247  | Kontrollü Hasar  |        |

**Çizelge C.15 : 8.Deprem' e ait performans durumu ve maksimum hasar adımındaki eleman hasar durumları.**

|  |       | Sınırlı          |          |        |       | Belirgin |                  |        |  |
|--|-------|------------------|----------|--------|-------|----------|------------------|--------|--|
| Kat  | Kiriş | Kolon            | Vkol[KN] | % Vkol | Kiriş | Kolon    | Vkol[KN]         | % Vkol |  |
| 1  | 51/60 | -                | 0        | 0      | -     | 36/36    | 5569             | 100    |  |
| 2  | 56/60 | 12/36            | 1256.8   | 24.8   | -     | 24/36    | 3820             | 75.2   |  |
| 3  | 60/60 | 20/36            | 2117     | 46.3   | -     | 16/36    | 2459             | 53.7   |  |
| 4  | 60/60 | 36/36            | 3967.1   | 100    | -     | -        | 0                | 0      |  |
| 5  | 60/60 | 36/36            | 2923.8   | 100    | -     | -        | 0                | 0      |  |
| 6  | 60/60 | 36/36            | 1695.3   | 100    | -     | -        | 0                | 0      |  |
| 7  | 60/60 | 36/36            | 1074     | 100    | -     | -        | 0                | 0      |  |
|  |       | İleri            |          |        |       | Göçme    |                  |        |  |
| Kat  | Kiriş | Kolon            | Vkol[KN] | % Vkol | Kiriş | Kolon    | Vkol[KN]         | % Vkol |  |
| 1  | -     | -                | 0        | 0      | -     | -        | 0                | 0      |  |
| 2  | -     | -                | 0        | 0      | -     | -        | 0                | 0      |  |
| 3  | -     | -                | 0        | 0      | -     | -        | 0                | 0      |  |
| 4  | -     | -                | 0        | 0      | -     | -        | 0                | 0      |  |
| 5  | -     | -                | 0        | 0      | -     | -        | 0                | 0      |  |
| 6  | -     | -                | 0        | 0      | -     | -        | 0                | 0      |  |
| 7  | -     | -                | 0        | 0      | -     | -        | 0                | 0      |  |
| <b>Yapı Performansı: Kontrollü Hasar (Maks. Hasar adımı: 71)</b> |       |                  |          |        |       |          |                  |        |  |
| Adım   | V[KN] | Yapı Performansı |          |        | Adım  | V[KN]    | Yapı Performansı |        |  |
| 38   | 3889  | Sınırlı Hasar    |          |        | 104   | 2961     | Kontrollü Hasar  |        |  |
| 39   | 3664  | Sınırlı Hasar    |          |        | 105   | 3120     | Kontrollü Hasar  |        |  |
| 40   | 3665  | Sınırlı Hasar    |          |        | 106   | 3239     | Kontrollü Hasar  |        |  |
| 68   | 4252  | Kontrollü Hasar  |          |        | 107   | 3406     | Kontrollü Hasar  |        |  |
| 70   | 5162  | Kontrollü Hasar  |          |        | 108   | 3423     | Kontrollü Hasar  |        |  |
| 71   | 5569  | Kontrollü Hasar  |          |        | 125   | 4428     | Kontrollü Hasar  |        |  |
| 72   | 5587  | Kontrollü Hasar  |          |        | 259   | 2828     | Sınırlı Hasar    |        |  |
| 73   | 5626  | Kontrollü Hasar  |          |        | 266   | 4917     | Kontrollü Hasar  |        |  |
| 85   | 3764  | Kontrollü Hasar  |          |        | 267   | 4486     | Kontrollü Hasar  |        |  |
| 87   | 5012  | Kontrollü Hasar  |          |        | 289   | 3028     | Sınırlı Hasar    |        |  |
| 88   | 5220  | Kontrollü Hasar  |          |        | 306   | 2372     | Sınırlı Hasar    |        |  |
| 89   | 5152  | Kontrollü Hasar  |          |        | 415   | 5991     | Kontrollü Hasar  |        |  |
| 90   | 5028  | Kontrollü Hasar  |          |        | 416   | 5978     | Kontrollü Hasar  |        |  |
| 91   | 5091  | Kontrollü Hasar  |          |        | 417   | 5874     | Kontrollü Hasar  |        |  |
| 92   | 5067  | Kontrollü Hasar  |          |        | 434   | 5493     | Sınırlı Hasar    |        |  |

**Çizelge C.16 :** 8.Deprem' e ait ivme kayıtlarının 90° döndürülerek etkitilmesi sonucu yapı performansı ve maksimum hasar adımıdaki eleman hasar durumları.

|  | Sınırlı |                  |          |        | Belirgin |                  |          |        |
|--|---------|------------------|----------|--------|----------|------------------|----------|--------|
| Kat  | Kiriş   | Kolon            | Vkol[KN] | % Vkol | Kiriş    | Kolon            | Vkol[KN] | % Vkol |
| 1  | 60/60   | -                | 0        | 0      | -        | 36/36            | 5566.9   | 100    |
| 2  | 60/60   | 12/36            | 1189.1   | 23.5   | -        | 24/36            | 3873.5   | 76.5   |
| 3  | 60/60   | 20/36            | 2109.2   | 46.2   | -        | 16/36            | 2457.6   | 53.8   |
| 4  | 60/60   | 36/36            | 3961.3   | 100    | -        | -                | 0        | 0      |
| 5  | 60/60   | 36/36            | 2927.8   | 100    | -        | -                | 0        | 0      |
| 6  | 60/60   | 36/36            | 1833.6   | 100    | -        | -                | 0        | 0      |
| 7  | 60/60   | 36/36            | 1224.3   | 100    | -        | -                | 0        | 0      |
|  | İleri   |                  |          |        | Göçme    |                  |          |        |
| Kat  | Kiriş   | Kolon            | Vkol[KN] | % Vkol | Kiriş    | Kolon            | Vkol[KN] | % Vkol |
| 1  | -       | 2/36             | 248.63   | 6.2    | -        | -                | 0        | 0      |
| 2  | -       | -                | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |
| 3  | -       | -                | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |
| 4  | -       | -                | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |
| 5  | -       | -                | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |
| 6  | -       | -                | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |
| 7  | -       | -                | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |
| <b>Yapı Performansı: Kontrollü Hasar (Maks. Hasar adımı: 71)</b> |         |                  |          |        |          |                  |          |        |
| Adım   | V[KN]   | Yapı Performansı |          | Adım   | V[KN]    | Yapı Performansı |          |        |
| 38   | 3903    | Sınırlı Hasar    |          | 92     | 5023     | Kontrollü Hasar  |          |        |
| 39   | 3654    | Sınırlı Hasar    |          | 104    | 3021     | Kontrollü Hasar  |          |        |
| 40   | 3669    | Sınırlı Hasar    |          | 105    | 3159     | Kontrollü Hasar  |          |        |
| 68   | 4289    | Kontrollü Hasar  |          | 106    | 3257     | Kontrollü Hasar  |          |        |
| 69   | 4599    | Kontrollü Hasar  |          | 107    | 3409     | Kontrollü Hasar  |          |        |
| 70   | 5174    | Kontrollü Hasar  |          | 108    | 3409     | Kontrollü Hasar  |          |        |
| 71   | 5567    | Kontrollü Hasar  |          | 125    | 4419     | Kontrollü Hasar  |          |        |
| 72   | 5577    | Kontrollü Hasar  |          | 259    | 2811     | Sınırlı Hasar    |          |        |
| 73   | 5606    | Kontrollü Hasar  |          | 289    | 3045     | Sınırlı Hasar    |          |        |
| 85   | 3832    | Kontrollü Hasar  |          | 306    | 2346     | Sınırlı Hasar    |          |        |
| 87   | 5042    | Kontrollü Hasar  |          | 415    | 1284     | Kontrollü Hasar  |          |        |
| 88   | 5242    | Kontrollü Hasar  |          | 416    | 2346     | Kontrollü Hasar  |          |        |
| 89   | 5148    | Kontrollü Hasar  |          | 417    | 6076     | Kontrollü Hasar  |          |        |
| 90   | 5025    | Kontrollü Hasar  |          | 433    | 5582     | Sınırlı Hasar    |          |        |
| 91   | 5068    | Kontrollü Hasar  |          | 434    | 5516     | Kontrollü Hasar  |          |        |

**Çizelge C.17 : 9.Deprem' e ait performans durumu ve maksimum hasar adımındaki eleman hasar durumları.**

|   | Sınırlı |                    |          |        | Belirgin |                  |          |        |
|---|---------|--------------------|----------|--------|----------|------------------|----------|--------|
| Kat   | Kiriş   | Kolon              | Vkol[KN] | % Vkol | Kiriş    | Kolon            | Vkol[KN] | % Vkol |
| 1   | 30/60   | -                  | 0        | 0      | 19/60    | -                | 0        | 0      |
| 2   | 31/60   | 1/36               | 5.03     | 0.4    | 23/60    | 11/36            | 490.47   | 37.3   |
| 3   | 51/60   | 7/36               | 310.84   | 18     | 9/60     | 13/36            | 546.2    | 31.6   |
| 4   | 56/60   | 7/36               | 358.19   | 18.5   | 4/60     | 29/36            | 1575.5   | 81.5   |
| 5   | 60/60   | 16/36              | 586.58   | 33.9   | -        | 20/36            | 1144     | 66.1   |
| 6   | 60/60   | 36/36              | 1322.7   | 100    | -        | -                | 0        | 0      |
| 7   | 60/60   | 36/36              | 986.55   | 100    | -        | -                | 0        | 0      |
|   | İleri   |                    |          |        | Göçme    |                  |          |        |
| Kat   | Kiriş   | Kolon              | Vkol[KN] | % Vkol | Kiriş    | Kolon            | Vkol[KN] | % Vkol |
| 1   | 5/60    | 2/36               | 60.9     | 5.2    | 6/60     | 34/36            | 1116.3   | 94.8   |
| 2   | 2/60    | 4/36               | 20.13    | 1.5    | 4/60     | 20/36            | 798.79   | 60.8   |
| 3   | -       | 16/36              | 871.61   | 50.4   | -        | -                | 0        | 0      |
| 4   | -       | -                  | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |
| 5   | -       | -                  | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |
| 6   | -       | -                  | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |
| 7   | -       | -                  | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |
| <b>Yapı Performansı: Göçme (Maks. Hasar adımı: 251)</b> |         |                    |          |        |          |                  |          |        |
| Adım  | V[KN]   | Yapı Performansı   |          | Adım   | V[KN]    | Yapı Performansı |          |        |
| 190   | 3267    | Kontrollü Hasar    |          | 246    | 684      | Göçme            |          |        |
| 207   | 4071    | Kontrollü Hasar    |          | 248    | 2432     | Göçme            |          |        |
| 208   | 3821    | Kontrollü Hasar    |          | 249    | 3198     | Göçme            |          |        |
| 209   | 3804    | Göçmenin Önlenmesi |          | 250    | 3534     | Göçme            |          |        |
| 211   | 4141    | Kontrollü Hasar    |          | 251    | 3442     | Göçme            |          |        |
| 215   | 6383    | Kontrollü Hasar    |          | 253    | 3365     | Göçme            |          |        |
| 216   | 6317    | Kontrollü Hasar    |          | 254    | 4634     | Göçme            |          |        |
| 223   | 2482    | Göçme              |          | 258    | 7033     | Göçme            |          |        |
| 224   | 3175    | Göçme              |          | 261    | 4305     | Kontrollü Hasar  |          |        |
| 225   | 3220    | Göçme              |          | 262    | 4399     | Sınırlı Hasar    |          |        |
| 226   | 3551    | Göçme              |          | 263    | 4346     | Sınırlı Hasar    |          |        |
| 227   | 4160    | Göçme              |          | 264    | 3726     | Kontrollü Hasar  |          |        |
| 228   | 4708    | Göçme              |          | 269    | 2178     | Göçme            |          |        |
| 229   | 5036    | Göçme              |          | 270    | 2255     | Göçme            |          |        |
| 235   | 7874    | Göçme              |          | 271    | 2160     | Göçme            |          |        |
| 236   | 7839    | Kontrollü Hasar    |          | 272    | 1934     | Göçme            |          |        |
| 237   | 7248    | Kontrollü Hasar    |          | 273    | 2322     | Göçme            |          |        |
| 242   | 3761    | Kontrollü Hasar    |          | 274    | 3440     | Göçme            |          |        |
| 243   | 3353    | Kontrollü Hasar    |          | 275    | 4505     | Göçme            |          |        |
| 244   | 2671    | Kontrollü Hasar    |          | 276    | 5328     | Göçme            |          |        |
| 245   | 1643    | Göçme              |          | 277    | 5818     | Göçme            |          |        |

**Çizelge C.18 :** 9.Deprem' e ait ivme kayıtlarının 90° döndürülerek etkiltilmesi sonucu yapı performansı ve maksimum hasar adımıdaki eleman hasar durumları.

|   | Sınırlı |                  |          |        | Belirgin |                  |          |        |
|---|---------|------------------|----------|--------|----------|------------------|----------|--------|
| Kat   | Kiriş   | Kolon            | Vkol[KN] | % Vkol | Kiriş    | Kolon            | Vkol[KN] | % Vkol |
| 1   | 30/60   | -                | 0        | 0      | 1/60     | 1/36             | 8.34     | 1      |
| 2   | 30/60   | 2/36             | 6.53     | 0.3    | 20/60    | 13/36            | 712.38   | 37.4   |
| 3   | 39/60   | 7/36             | 467.84   | 16.3   | 21/60    | 29/36            | 2406     | 83.7   |
| 4   | 60/60   | 11/36            | 738.52   | 21.5   | -        | 25/36            | 2690.4   | 78.5   |
| 5   | 60/60   | 17/36            | 1309.1   | 37.5   | -        | 19/36            | 2181.4   | 62.5   |
| 6   | 60/60   | 36/36            | 3038.6   | 100    | -        | -                | 0        | 0      |
| 7   | 60/60   | 36/36            | 2191.2   | 100    | -        | -                | 0        | 0      |
|   | İleri   |                  |          |        | Göçme    |                  |          |        |
| Kat   | Kiriş   | Kolon            | Vkol[KN] | % Vkol | Kiriş    | Kolon            | Vkol[KN] | % Vkol |
| 1   | 6/60    | 1/36             | 25.62    | 3      | 23/60    | 34/36            | 830.84   | 96.1   |
| 2   | 5/60    | 5/36             | 272.15   | 14.3   | 5/60     | 16/36            | 914.6    | 48     |
| 3   | -       | -                | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |
| 4   | -       | -                | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |
| 5   | -       | -                | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |
| 6   | -       | -                | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |
| 7   | -       | -                | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |
| <b>Yapı Performansı: Göçme (Maks. Hasar adımı: 251)</b> |         |                  |          |        |          |                  |          |        |
| Adım  | V[KN]   | Yapı Performansı |          | Adım   | V[KN]    | Yapı Performansı |          |        |
| 189   | 3463    | Sınırlı Hasar    |          | 236    | 7782     | Kontrollü Hasar  |          |        |
| 190   | 3261    | Kontrollü Hasar  |          | 237    | 7225     | Kontrollü Hasar  |          |        |
| 191   | 2794    | Kontrollü Hasar  |          | 242    | 3705     | Kontrollü Hasar  |          |        |
| 192   | 2871    | Kontrollü Hasar  |          | 243    | 3333     | Kontrollü Hasar  |          |        |
| 193   | 2628    | Kontrollü Hasar  |          | 244    | 2666     | Kontrollü Hasar  |          |        |
| 207   | 4068    | Kontrollü Hasar  |          | 245    | 1774     | Göçme            |          |        |
| 208   | 3826    | Kontrollü Hasar  |          | 246    | 832.4    | Göçme            |          |        |
| 209   | 3777    | Kontrollü Hasar  |          | 247    | 1470     | Göçme            |          |        |
| 210   | 4049    | Kontrollü Hasar  |          | 248    | 2438     | Göçme            |          |        |
| 211   | 4138    | Kontrollü Hasar  |          | 249    | 3208     | Göçme            |          |        |
| 215   | 6373    | Kontrollü Hasar  |          | 250    | 3561     | Göçme            |          |        |
| 216   | 6285    | Kontrollü Hasar  |          | 251    | 3490     | Göçme            |          |        |
| 224   | 3183    | Göçme            |          | 252    | 3202     | Göçme            |          |        |
| 226   | 3566    | Göçme            |          | 253    | 3437     | Göçme            |          |        |
| 227   | 4160    | Göçme            |          | 254    | 4662     | Göçme            |          |        |
| 228   | 4689    | Göçme            |          | 258    | 7049     | Göçme            |          |        |
| 229   | 5014    | Göçme            |          | 261    | 4274     | Kontrollü Hasar  |          |        |
| 230   | 4922    | Göçme            |          | 262    | 4336     | Kontrollü Hasar  |          |        |
| 235   | 7808    | Göçme            |          | 263    | 4231     | Kontrollü Hasar  |          |        |

**Çizelge C.19 : 10.Deprem' e ait performans durumu ve maksimum hasar adımındaki eleman hasar durumları.**

|   |       | Sınırlı          |          |        |       | Belirgin |                  |        |  |
|---|-------|------------------|----------|--------|-------|----------|------------------|--------|--|
| Kat   | Kiriş | Kolon            | Vkol[KN] | % Vkol | Kiriş | Kolon    | Vkol[KN]         | % Vkol |  |
| 1   | 42/60 | -                | 0        | 0      | 18/60 | -        | 0                | 0      |  |
| 2   | 54/60 | 1/36             | 76.25    | 1.4    | 6/60  | 19/36    | 2597.2           | 46.6   |  |
| 3   | 51/60 | 6/36             | 734.19   | 14.2   | -     | 30/36    | 4442.9           | 85.8   |  |
| 4   | 56/60 | 12/36            | 1090.7   | 24.5   | -     | 24/36    | 3369.4           | 75.5   |  |
| 5   | 60/60 | 36/36            | 3507.1   | 100    | -     | -        | 0                | 0      |  |
| 6   | 60/60 | 36/36            | 2456.6   | 100    | -     | -        | 0                | 0      |  |
| 7   | 60/60 | 36/36            | 1664.8   | 100    | -     | -        | 0                | 0      |  |
|   |       | İleri            |          |        |       | Göçme    |                  |        |  |
| Kat   | Kiriş | Kolon            | Vkol[KN] | % Vkol | Kiriş | Kolon    | Vkol[KN]         | % Vkol |  |
| 1   | -     | 1/36             | 137.97   | 2.3    | -     | 35/36    | 1116.3           | 97.7   |  |
| 2   | -     | 16/36            | 2903.3   | 52.1   | -     | -        | 0                | 0      |  |
| 3   | -     | -                | 0        | 0      | -     | -        | 0                | 0      |  |
| 4   | -     | -                | 0        | 0      | -     | -        | 0                | 0      |  |
| 5   | -     | -                | 0        | 0      | -     | -        | 0                | 0      |  |
| 6   | -     | -                | 0        | 0      | -     | -        | 0                | 0      |  |
| 7   | -     | -                | 0        | 0      | -     | -        | 0                | 0      |  |
| <b>Yapı Performansı: Göçme (Maks. Hasar adımı: 756)</b> |       |                  |          |        |       |          |                  |        |  |
| Adım  | V[KN] | Yapı Performansı |          |        | Adım  | V[KN]    | Yapı Performansı |        |  |
| 599   | 7072  | Kontrollü Hasar  |          |        | 1177  | 8181     | Kontrollü Hasar  |        |  |
| 600   | 7766  | Kontrollü Hasar  |          |        | 1178  | 8920     | Kontrollü Hasar  |        |  |
| 601   | 8354  | Kontrollü Hasar  |          |        | 1180  | 10109    | Göçme            |        |  |
| 602   | 8952  | Göçme            |          |        | 1181  | 10371    | Göçme            |        |  |
| 603   | 9530  | Göçme            |          |        | 1182  | 10392    | Göçme            |        |  |
| 604   | 9689  | Göçme            |          |        | 1183  | 10336    | Göçme            |        |  |
| 629   | 5236  | Sınırlı Hasar    |          |        | 1184  | 10160    | Göçme            |        |  |
| 636   | 3014  | Kontrollü Hasar  |          |        | 1185  | 9741     | Göçme            |        |  |
| 639   | 3942  | Kontrollü Hasar  |          |        | 1186  | 9202     | Göçme            |        |  |
| 640   | 4974  | Kontrollü Hasar  |          |        | 1187  | 8636     | Göçme            |        |  |
| 748   | 3740  | Kontrollü Hasar  |          |        | 1188  | 7874     | Göçme            |        |  |
| 749   | 4991  | Kontrollü Hasar  |          |        | 1195  | 1921     | Göçme            |        |  |
| 750   | 6170  | Göçme            |          |        | 1196  | 3054     | Göçme            |        |  |
| 753   | 7532  | Göçme            |          |        | 1198  | 5111     | Göçme            |        |  |
| 754   | 7243  | Göçme            |          |        | 1199  | 6129     | Göçme            |        |  |
| 755   | 6638  | Göçme            |          |        | 1201  | 7933     | Göçme            |        |  |
| 756   | 6114  | Göçme            |          |        | 1202  | 8571     | Göçme            |        |  |
| 883   | 10505 | Göçme            |          |        | 1203  | 9027     | Göçme            |        |  |
| 885   | 11023 | Göçme            |          |        | 1767  | 2662     | Kontrollü Hasar  |        |  |
| 886   | 11220 | Göçme            |          |        | 1768  | 2911     | Kontrollü Hasar  |        |  |
| 949   | 4228  | Göçme            |          |        | 1769  | 2979     | Kontrollü Hasar  |        |  |

**Çizelge C.20 :** 10.Deprem' e ait ivme kayıtlarının 90° döndürülerek etkilmesi sonucu yapı performansı ve maksimum hasar adımıdaki eleman hasar durumları.

|   | Sınırlı |                  |          |        | Belirgin |                  |          |        |
|---|---------|------------------|----------|--------|----------|------------------|----------|--------|
| Kat   | Kiriş   | Kolon            | Vkol[KN] | % Vkol | Kiriş    | Kolon            | Vkol[KN] | % Vkol |
| 1   | 30/60   | -                | 0        | 0      | 23/60    | -                | 0        | 0      |
| 2   | 48/60   | 1/36             | 73.59    | 1.3    | 12/60    | 17/36            | 2390.3   | 42.4   |
| 3   | 60/60   | 3/36             | 247.21   | 4.8    | -        | 33/36            | 4904.6   | 95.2   |
| 4   | 60/60   | 13/36            | 1169.6   | 26.8   | -        | 23/36            | 3192.6   | 73.2   |
| 5   | 60/60   | 36/36            | 3372.5   | 100    | -        | -                | 0        | 0      |
| 6   | 60/60   | 36/36            | 2345.2   | 100    | -        | -                | 0        | 0      |
| 7   | 60/60   | 36/36            | 1720.6   | 100    | -        | -                | 0        | 0      |
|   | İleri   |                  |          |        | Göçme    |                  |          |        |
| Kat   | Kiriş   | Kolon            | Vkol[KN] | % Vkol | Kiriş    | Kolon            | Vkol[KN] | % Vkol |
| 1   | 1/60    | 1/36             | 134.73   | 2.2    | 6/60     | 35/36            | 6066.2   | 97.8   |
| 2   | -       | 18/36            | 3172.3   | 56.3   | -        | -                | 0        | 0      |
| 3   | -       | -                | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |
| 4   | -       | -                | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |
| 5   | -       | -                | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |
| 6   | -       | -                | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |
| 7   | -       | -                | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |
| <b>Yapı Performansı: Göçme (Maks. Hasar adımı: 756)</b> |         |                  |          |        |          |                  |          |        |
| Adım  | V[KN]   | Yapı Performansı |          | Adım   | V[KN]    | Yapı Performansı |          |        |
| 540   | 7781    | Sınırlı Hasar    |          | 755    | 6672     | Göçme            |          |        |
| 595   | 5377    | Kontrollü Hasar  |          | 756    | 6201     | Göçme            |          |        |
| 596   | 6028    | Kontrollü Hasar  |          | 882    | 9982     | Göçme            |          |        |
| 597   | 6328    | Kontrollü Hasar  |          | 883    | 10410    | Göçme            |          |        |
| 598   | 6794    | Kontrollü Hasar  |          | 884    | 10727    | Göçme            |          |        |
| 599   | 7025    | Kontrollü Hasar  |          | 885    | 10908    | Göçme            |          |        |
| 600   | 7672    | Kontrollü Hasar  |          | 886    | 11110    | Göçme            |          |        |
| 601   | 8230    | Kontrollü Hasar  |          | 887    | 11249    | Göçme            |          |        |
| 602   | 8799    | Göçme            |          | 949    | 4386     | Kontrollü Hasar  |          |        |
| 603   | 9358    | Göçme            |          | 1178   | 8889     | Kontrollü Hasar  |          |        |
| 604   | 9552    | Göçme            |          | 1180   | 10034    | Göçme            |          |        |
| 629   | 6124    | Göçme            |          | 1181   | 10312    | Göçme            |          |        |
| 636   | 3031    | Kontrollü Hasar  |          | 1182   | 10356    | Göçme            |          |        |
| 640   | 4820    | Kontrollü Hasar  |          | 1183   | 10313    | Göçme            |          |        |
| 748   | 3778    | Kontrollü Hasar  |          | 1195   | 1797     | Göçme            |          |        |
| 749   | 4872    | Kontrollü Hasar  |          | 1196   | 2996     | Göçme            |          |        |
| 750   | 6056    | Göçme            |          | 1198   | 5080     | Göçme            |          |        |
| 751   | 6792    | Göçme            |          | 1199   | 6081     | Göçme            |          |        |
| 752   | 7288    | Göçme            |          | 1201   | 7842     | Göçme            |          |        |
| 753   | 7480    | Göçme            |          | 1202   | 8520     | Göçme            |          |        |
| 754   | 7226    | Göçme            |          | 1203   | 9004     | Göçme            |          |        |



**Çizelge C.21 : 11.Deprem' e ait performans durumu ve maksimum hasar adımındaki eleman hasar durumları.**

|   | Sınırlı |                  |          |        | Belirgin |                  |          |        |
|---|---------|------------------|----------|--------|----------|------------------|----------|--------|
| Kat   | Kiriş   | Kolon            | Vkol[KN] | % Vkol | Kiriş    | Kolon            | Vkol[KN] | % Vkol |
| 1   | 30/60   | -                | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |
| 2   | 30/60   | 2/36             | 306.37   | 2.9    | 23/60    | 10/36            | 1659.3   | 15.8   |
| 3   | 51/60   | 7/36             | 1000.8   | 11.3   | 9/60     | 29/36            | 7833.5   | 88.7   |
| 4   | 56/60   | 12/36            | 1639.4   | 22.7   | -        | 24/36            | 5579     | 77.3   |
| 5   | 60/60   | 36/36            | 5520.2   | 100    | -        | -                | 0        | 0      |
| 6   | 60/60   | 36/36            | 3712.7   | 100    | -        | -                | 0        | 0      |
| 7   | 60/60   | 36/36            | 2215.6   | 100    | -        | -                | 0        | 0      |
|   | İleri   |                  |          |        | Göçme    |                  |          |        |
| Kat   | Kiriş   | Kolon            | Vkol[KN] | % Vkol | Kiriş    | Kolon            | Vkol[KN] | % Vkol |
| 1   | 13/60   | -                | 0        | 0      | 17/60    | 36/36            | 12016    | 100    |
| 2   | 1/36    | 4/36             | 1353.3   | 12.9   | 6/60     | 20/60            | 7209.9   | 68.5   |
| 3   | -       | -                | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |
| 4   | -       | -                | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |
| 5   | -       | -                | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |
| 6   | -       | -                | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |
| 7   | -       | -                | 0        | 0      | -        | -                | 0        | 0      |
| <b>Yapı Performansı: Göçme (Maks. Hasar adımı: 307)</b> |         |                  |          |        |          |                  |          |        |
| Adım  | V[KN]   | Yapı Performansı |          | Adım   | V[KN]    | Yapı Performansı |          |        |
| 144   | 4039    | Kontrollü Hasar  |          | 297    | 7430     | Göçme            |          |        |
| 154   | 9539    | Kontrollü Hasar  |          | 298    | 8294     | Göçme            |          |        |
| 155   | 9784    | Kontrollü Hasar  |          | 299    | 9099     | Göçme            |          |        |
| 162   | 6812    | Göçme            |          | 300    | 9869     | Göçme            |          |        |
| 163   | 5089    | Göçme            |          | 301    | 10499    | Göçme            |          |        |
| 164   | 3480    | Kontrollü Hasar  |          | 302    | 10918    | Göçme            |          |        |
| 165   | 1911    | Kontrollü Hasar  |          | 303    | 11239    | Göçme            |          |        |
| 201   | 3536    | Göçme            |          | 304    | 11573    | Göçme            |          |        |
| 202   | 2742    | Göçme            |          | 305    | 11887    | Göçme            |          |        |
| 234   | 7147    | Kontrollü Hasar  |          | 306    | 12126    | Göçme            |          |        |
| 278   | 7864    | Göçme            |          | 307    | 12016    | Göçme            |          |        |
| 280   | 9279    | Göçme            |          | 319    | 6650     | Kontrollü Hasar  |          |        |
| 281   | 9964    | Göçme            |          | 320    | 8219     | Göçme            |          |        |
| 282   | 10524   | Göçme            |          | 325    | 12387    | Göçme            |          |        |
| 283   | 10928   | Göçme            |          | 326    | 12610    | Göçme            |          |        |
| 295   | 4838    | Kontrollü Hasar  |          | 327    | 12727    | Göçme            |          |        |
| 296   | 6343    | Göçme            |          | 328    | 12779    | Göçme            |          |        |

**Çizelge C.22 :** 11.Deprem' e ait ivme kayıtlarının 90° döndürülerek etkilmesi sonucu yapı performansı ve maksimum hasar adımıdaki eleman hasar durumları.

| Sınırlı   |       |                  |          |        | Belirgin |       |                  |        |
|---|-------|------------------|----------|--------|----------|-------|------------------|--------|
| Kat   | Kiriş | Kolon            | Vkol[KN] | % Vkol | Kiriş    | Kolon | Vkol[KN]         | % Vkol |
| 1   | 30/60 | -                | 0        | 0      | 24/60    | -     | 0                | 0      |
| 2   | 45/60 | 1/36             | 161.62   | 1.6    | 13/60    | 11/36 | 1971.2           | 18.9   |
| 3   | 54/60 | 7/36             | 1010.2   | 11.2   | 6/60     | 25/36 | 6789.3           | 75.4   |
| 4   | 60/60 | 7/36             | 843.4    | 11     | -        | 29/36 | 6802.6           | 89     |
| 5   | 60/60 | 25/36            | 3785.7   | 62.8   | -        | 11/36 | 2240.2           | 37.2   |
| 6   | 60/60 | 36/36            | 4161.1   | 100    | -        | -     | 0                | 0      |
| 7   | 60/60 | 36/36            | 2507.1   | 100    | -        | -     | 0                | 0      |
| İleri   |       |                  |          |        | Göçme    |       |                  |        |
| Kat   | Kiriş | Kolon            | Vkol[KN] | % Vkol | Kiriş    | Kolon | Vkol[KN]         | % Vkol |
| 1   | -     | -                | 0        | 0      | 6/60     | 36/36 | 11838            | 100    |
| 2   | 2/60  | 6/36             | 1954.6   | 18.8   | -        | 18/36 | 6328.6           | 60.8   |
| 3   | -     | 4/36             | 1209.3   | 13.4   | -        | -     | 0                | 0      |
| 4   | -     | -                | 0        | 0      | -        | -     | 0                | 0      |
| 5   | -     | -                | 0        | 0      | -        | -     | 0                | 0      |
| 6   | -     | -                | 0        | 0      | -        | -     | 0                | 0      |
| 7   | -     | -                | 0        | 0      | -        | -     | 0                | 0      |
| <b>Yapı Performansı: Göçme (Maks. Hasar adımı: 307)</b> |       |                  |          |        |          |       |                  |        |
| Adım  | V[KN] | Yapı Performansı |          |        | Adım     | V[KN] | Yapı Performansı |        |
| 154   | 9435  | Kontrollü Hasar  |          |        | 297      | 7267  | Göçme            |        |
| 155   | 9695  | Kontrollü Hasar  |          |        | 298      | 8091  | Göçme            |        |
| 162   | 6829  | Göçme            |          |        | 299      | 8875  | Göçme            |        |
| 163   | 5193  | Göçme            |          |        | 300      | 9634  | Göçme            |        |
| 164   | 3620  | Kontrollü Hasar  |          |        | 301      | 10246 | Göçme            |        |
| 165   | 2061  | Kontrollü Hasar  |          |        | 302      | 10672 | Göçme            |        |
| 201   | 3622  | Göçme            |          |        | 303      | 11018 | Göçme            |        |
| 202   | 2783  | Göçme            |          |        | 304      | 11342 | Göçme            |        |
| 210   | 7138  | Kontrollü Hasar  |          |        | 305      | 11629 | Göçme            |        |
| 211   | 7784  | Kontrollü Hasar  |          |        | 306      | 11838 | Göçme            |        |
| 233   | 7911  | Kontrollü Hasar  |          |        | 307      | 11782 | Göçme            |        |
| 234   | 7123  | Kontrollü Hasar  |          |        | 319      | 6280  | Kontrollü Hasar  |        |
| 280   | 9119  | Göçme            |          |        | 325      | 12178 | Göçme            |        |
| 281   | 9791  | Göçme            |          |        | 326      | 12380 | Göçme            |        |
| 282   | 10355 | Göçme            |          |        | 327      | 12468 | Göçme            |        |
| 283   | 10767 | Göçme            |          |        | 328      | 12478 | Göçme            |        |
| 296   | 6249  | Göçme            |          |        | 329      | 12375 | Göçme            |        |

## ÖZGEÇMİŞ

**Ad - Soyad** : Abdullah Tokmak  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 25.08.1989 İSTANBUL  
**E-Posta** : tokmakabdullah@hotmail.com

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2012, Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği