

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BETONARME BİR BİNANIN DEPREM PERFORMANSININ  
FARKLI YÖNETMELİKLERE GÖRE DEĞERLENDİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Kerem PENÇERECİ**

**Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği**

**Programı : Deprem Mühendisliği**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Kadir Güler**

**HAZİRAN 2011**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BETONARME BİR BİNANIN DEPREM PERFORMANSININ  
FARKLI YÖNETMELİKLERE GÖRE DEĞERLENDİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Kerem PENÇERECİ  
(501091232)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 05 Mayıs 2011  
Tezin Savunulduğu Tarih : 09 Haziran 2011**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Kadir GÜLER (İTÜ)  
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Zekai CELEP (İTÜ)  
Prof. Dr. Oğuz Cem ÇELİK (İTÜ)**

**HAZİRAN 2011**



## ÖNSÖZ

Yüksek Lisans çalışmalarım boyunca engin bilgi birikimi ve deneyimlerini benimle paylaşan, yardımlarını ve tecrübelerini esirgemeyen tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Kadir Güler’e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım boyunca bana her türlü kolaylığı sağlayan ve tecrübelerini benimle paylaşan işverenim İnş. Yük. Müh. Rafael Alaluf başta olmak üzere, işyerimdeki tüm çalışma arkadaşlarıma destekleri için çok teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olan ve desteklerini esirgemeyen sevgili Esra İyidoğan’a minnettarım.

Son olarak, hayatım boyunca beni her zaman ve her koşulda destekleyen çok sevgili aileme; babam Refik Yılmaz Pencereci, annem Mine Pencereci ve kardeşim Semih Pencereci’ye en derin teşekkürlerimi ve minnettarlığımı sunuyorum.

Mayıs 2011

Kerem PENÇERECİ  
İnşaat Mühendisi



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

|                                                                                                           |      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ÖNSÖZ.....                                                                                                | iii  |
| İÇİNDEKİLER .....                                                                                         | v    |
| KISALTMALAR .....                                                                                         | ix   |
| ÇİZELGE LİSTESİ.....                                                                                      | xi   |
| ŞEKİL LİSTESİ.....                                                                                        | xiii |
| SEMBOL LİSTESİ.....                                                                                       | xv   |
| ÖZET.....                                                                                                 | xvii |
| ABSTRACT .....                                                                                            | xix  |
| 1. GİRİŞ .....                                                                                            | 1    |
| 1.1 Tezin Amacı .....                                                                                     | 1    |
| 1.2 Kapsam .....                                                                                          | 2    |
| 2. PERFORMANSA DAYALI TASARIM VE DEĞERLENDİRME –<br>GENEL KAVRAMLAR.....                                  | 5    |
| 2.1 Betonarmede Eğilme Etkisi .....                                                                       | 5    |
| 2.1.1 Süneklik .....                                                                                      | 5    |
| 2.1.2 Kapasite tasarımı .....                                                                             | 6    |
| 2.1.3 Plastik mafsal kabulü .....                                                                         | 7    |
| 2.2 Doğrusal Elastik Hesap Yöntemi .....                                                                  | 8    |
| 2.3 Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri.....                                                                | 9    |
| 2.3.1 Artımsal itme analizi .....                                                                         | 9    |
| 2.3.2 Zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan çözüm .....                                           | 9    |
| 3. DBYBHY-2007'YE GÖRE PERFORMANS DEĞERLENDİRİLMESİ... 11                                                 | 11   |
| 3.1 Bilgi Düzeyleri .....                                                                                 | 11   |
| 3.2 Betonarme Binalardan Bilgi Toplanması .....                                                           | 11   |
| 3.3 Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları Ve Hasar Bölgeleri.....                                            | 12   |
| 3.3.1 Kesit hasar sınırları .....                                                                         | 12   |
| 3.3.2 Kesit hasar bölgeleri.....                                                                          | 13   |
| 3.3.3 Deprem hesabına ilişkin kurallar .....                                                              | 13   |
| 3.3.4 Eşdeğer deprem yükü yöntemi.....                                                                    | 14   |
| 3.3.5 Yapı elemanlarında hasar düzeylerinin belirlenmesi .....                                            | 14   |
| 3.3.6 Görelî kat ötelemeleri kontrolü .....                                                               | 16   |
| 3.4 Bina Deprem Performansının Doğrusal Elastik Olmayan Yöntemlerle<br>Belirlenmesi .....                 | 17   |
| 3.4.1 Doğrusal elastik olmayan davranışın idealleştirilmesi üzerine<br>DBYBHY'de verilen yönergeler ..... | 17   |
| 3.4.2 Artımsal itme analizi ile bina deprem performans değerlendirmesinde<br>izlenecek yol .....          | 18   |
| 3.4.3 Artımsal mod birleştirme yöntemi ile itme analizi .....                                             | 22   |
| 3.4.4 Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi .....                                           | 22   |
| 3.5 Birim Şekil Değiştirme İstemlerinin Belirlenmesi .....                                                | 23   |
| 3.5.1 Betonarme elemanların kesit birim şekil değiştirme kapasiteleri .....                               | 23   |
| 3.6 Bina Deprem Performanslarının Belirlenmesi .....                                                      | 24   |

|           |                                                                          |           |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.6.1     | Hemen kullanım performans düzeyi .....                                   | 24        |
| 3.6.2     | Can güvenliği performans düzeyi .....                                    | 24        |
| 3.6.3     | Göçmenin önlenmesi performans düzeyi .....                               | 24        |
| 3.6.4     | Göçme durumu .....                                                       | 25        |
| <b>4.</b> | <b>ASCE41-06'E GÖRE ARTIMSAL İTME ANALİZİ YÖNTEMİNE GÖRE</b>             |           |
|           | <b>PERFORMANSA DAYALI DEĞERLENDİRME.....</b>                             | <b>27</b> |
| 4.1       | Giriş .....                                                              | 27        |
| 4.2       | FEMA ve ASCE Standartlarına Göre Doğrusal Olmayan Artımsal İtme          |           |
|           | Analizi Yönteminde Temel Kavramlar .....                                 | 28        |
| 4.2.1     | FEMA356 – Katsayı yöntemi .....                                          | 28        |
| 4.2.2     | ATC40 Kapasite Spektrum Yöntemi .....                                    | 30        |
| 4.2.3     | FEMA440 Eşdeğer Doğrusallaştırma Yöntemi .....                           | 31        |
| 4.2.4     | ASCE 41-06 katsayı yöntemi .....                                         | 32        |
| 4.3       | ASCE41-06'da Eleman Hasar Durumlarının Tahkiki .....                     | 33        |
| <b>5.</b> | <b>BETONARME BİR BİNANIN DEPREM PERFORMANSININ</b>                       |           |
|           | <b>BULUNMASI ÜZERİNE SAYISAL BİR ÖRNEK .....</b>                         | <b>35</b> |
| 5.1       | İncelenen Yapı Hakkında Genel Bilgiler .....                             | 36        |
| 5.2       | Hesaplamalarda Yapılan Kabuller .....                                    | 39        |
| 5.3       | Hesapta Kullanılan Yük Etkileri .....                                    | 39        |
| 5.3.1     | Görelî kat ötelemelerinin kontrolü .....                                 | 41        |
| 5.3.2     | Düzensizlik kontrolleri .....                                            | 41        |
| 5.3.3     | Kolon ve kirişlerin donatı düzenleri .....                               | 42        |
| 5.3.4     | Doğrusal elastik hesap yöntemi ile performans analizi .....              | 42        |
| 5.3.5     | Bina bilgi düzeyi .....                                                  | 43        |
| 5.4       | Analiz Modelinin Oluşturulması .....                                     | 43        |
| 5.4.1     | Eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabilirliği .....                   | 43        |
| 5.4.2     | Eğilme etkisinden elemanlarda çatlamış kesit etkisi .....                | 43        |
| 5.4.3     | Performans değerlendirilmesinde kullanılacak eşdeğer deprem etkisi ..... | 45        |
| 5.4.4     | Taşıyıcı elemanların hasar düzeylerinin belirlenmesi .....               | 46        |
| 5.4.5     | Kirişlerde kesit hasar durumlarının belirlenmesi .....                   | 46        |
| 5.4.6     | Kolonlarda kesit hasar durumlarının belirlenmesi .....                   | 50        |
| 5.4.7     | Yapının genel performans düzeyi .....                                    | 50        |
| 5.5       | Doğrusal Elastik Olmayan Hesap Yöntemine Göre Yapı Performansının        |           |
|           | Belirlenmesi .....                                                       | 51        |
| 5.5.1     | Sap2000 yazılımı ile statik artımsal itme analizi .....                  | 51        |
| 5.5.1.1   | Artımsal eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabilirliğinin             |           |
|           | kontrolü .....                                                           | 52        |
| 5.5.1.2   | Taşıyıcı sistem eleman kesitlerinin plastik mafsallık özelliklerinin     |           |
|           | atanması .....                                                           | 52        |
| 5.5.1.3   | Hesaplarda kullanılan malzeme modelleri .....                            | 52        |
| 5.5.1.4   | Kirişlerde plastik mafsallık özelliklerinin tanımlanması .....           | 53        |
| 5.5.1.5   | Kolonlarda plastik mafsallık özelliklerinin tanımlanması .....           | 54        |
| 5.5.1.6   | İtme analizinde kullanılacak yük vektörünün elde edilmesi .....          | 54        |
| 5.5.2     | ZEUS NL yazılımı ile artımsal itme analizi .....                         | 56        |
| 5.5.2.1   | Zeus nl hakkında genel bilgiler .....                                    | 56        |
| 5.5.3     | SEISMOSTRUCT yazılımı ile artımsal itme analizi .....                    | 60        |
| 5.6       | Farklı Yazılımlar İle Elde Edilen İtme Eğrilerinin Kıyaslanması .....    | 63        |
| 5.7       | Doğrusal Elastik Olmayan Spektral Yerdeğiştirmenin Bulunması .....       | 65        |
| 5.7.1.1   | Kirişlerde hasar durumunun belirlenmesi .....                            | 66        |
| 5.7.1.2   | Kolonlar için hasar durumunun belirlenmesi .....                         | 72        |



|           |                                                                                                                  |            |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 5.7.1.3   | Artımsal itme analizi neticesinde yapı performans seviyesi.....                                                  | 74         |
| <b>6.</b> | <b>FARKLI YÖNETMELİKLERCE PERFORMANS NOKTASININ ELDE EDİLMESİ.....</b>                                           | <b>75</b>  |
| 6.1       | ASCE 41-06 Katsayı Metodu.....                                                                                   | 75         |
| 6.2       | FEMA-440 Kapasite Spektrumu Metodu.....                                                                          | 76         |
| 6.3       | ASCE41-06'e Göre Elemanların Hasar Durumları ve Performans Seviyesi..                                            | 77         |
| <b>7.</b> | <b>DBYBHY'e GÖRE ZAMAN TANIM ALANINDA DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZ YÖNTEMİ İLE PERFORMANS DEĞERLENDİRİLMESİ .....</b> | <b>81</b>  |
| 7.1       | Giriş .....                                                                                                      | 81         |
| 7.2       | Gerçek Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklendirilmesi .....                                                  | 81         |
| 7.3       | Kullanılan Deprem Kayıtlarının Uygunluğun Kontrolü.....                                                          | 82         |
| 7.4       | Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz Hesap Yöntemi.....                                                  | 84         |
| 7.5       | ZTADOA Neticesinde Elde Edilen Sonuçlar .....                                                                    | 84         |
| 7.6       | ZTADOA Sonucu Eleman Hasar Durumları .....                                                                       | 88         |
| <b>8.</b> | <b>SONUÇLAR .....</b>                                                                                            | <b>91</b>  |
|           | <b>KAYNAKLAR .....</b>                                                                                           | <b>93</b>  |
|           | <b>EKLER.....</b>                                                                                                | <b>95</b>  |
|           | <b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>                                                                                             | <b>109</b> |



## KISALTMALAR

|                     |                                                                |
|---------------------|----------------------------------------------------------------|
| <b>DBYBHY</b>       | : Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik    |
| <b>ASCE</b>         | : American Society of Civil Engineers                          |
| <b>FEMA</b>         | : Federal Emergency Management Agency                          |
| <b>ATC</b>          | : Applied Technology Council                                   |
| <b>SAP2000</b>      | : Integrated Analysis for Structural Analysis and Design v14.2 |
| <b>TS500</b>        | : Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları               |
| <b>XTRACT</b>       | : Cross Sectional X Structural Analysis of Components          |
| <b>MHB</b>          | : Minimum Hasar Bölgesi                                        |
| <b>BHB</b>          | : Belirgin Hasar Bölgesi                                       |
| <b>İHB</b>          | : İleri Hasar Bölgesi                                          |
| <b>ZEUS-NL</b>      | : A System for Inelastic Analysis of Structures v1.9.0         |
| <b>SEISMOSTRUCT</b> | : Seismostruct v5.0.5                                          |
| <b>BA</b>           | : Betonarme                                                    |
| <b>TERDC 2007</b>   | : Turkish Earthquake Resistant Design Code 2007                |
| <b>NEHRP</b>        | : National Earthquake Hazard Reduction Program                 |
| <b>AİA</b>          | : Artımsal İtme Analizi                                        |
| <b>DEA</b>          | : Doğrusal Elastik Analiz                                      |
| <b>ZTADOA</b>       | : Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz                 |



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                          |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Çizelge 3.1: B.A kirişler için hasar sınırlarını tanımlayan etki kapasite oranları ..... | 15  |
| Çizelge 3.2: BA kolonlar için hasar sınırlarını tanımlayan etki kapasite oranları .....  | 16  |
| Çizelge 3.3: Göreli kat ötelemesi sınırları .....                                        | 16  |
| Çizelge 5.1: Modal analiz sonuçları.....                                                 | 40  |
| Çizelge 5.2: X doğrultusunda eşdeğer deprem yükü hesabı .....                            | 40  |
| Çizelge 5.3: Y doğrultusunda eşdeğer deprem yükü hesabı .....                            | 41  |
| Çizelge 5.4: X doğrultusunda göreli kat ötelemelerinin kontrolü.....                     | 41  |
| Çizelge 5.5: Y doğrultusunda göreli kat ötelemelerinin kontrolü.....                     | 41  |
| Çizelge 5.6: A1 düzensizliği kontrolü – X doğrultusu .....                               | 42  |
| Çizelge 5.7: A1 düzensizliği kontrolü – Y doğrultusu .....                               | 42  |
| Çizelge 5.8: B2 düzensizliği kontrolü.....                                               | 42  |
| Çizelge 5.9: Kolonlar için çatlamış kesit özelliği katsayısının belirlenmesi .....       | 44  |
| Çizelge 5.10: Yapıya ait modal analiz sonuçları .....                                    | 45  |
| Çizelge 5.11: X doğrultusu eşdeğer deprem yükü hesabı.....                               | 45  |
| Çizelge 5.12: Y doğrultusu eşdeğer deprem yükü hesabı.....                               | 46  |
| Çizelge 5.13: X doğrultusunda kiriş hasar durumu .....                                   | 49  |
| Çizelge 5.14: Y doğrultusunda kiriş hasar durumu .....                                   | 49  |
| Çizelge 5.15: X ve Y doğrultusunda hakim mod şekilleri.....                              | 55  |
| Çizelge 5.16: X doğrultusu modal kapasite diyagramı.....                                 | 64  |
| Çizelge 5.17: Y doğrultusu modal kapasite diyagramı.....                                 | 64  |
| Çizelge 5.18: K101 kirişi pozitif eğilme momenti için moment eğrilik ilişkisi .....      | 67  |
| Çizelge 5.19: X doğrultusunda kirişlerde hasar durumu .....                              | 68  |
| Çizelge 5.20: Y doğrultusunda kirişlerde hasar durumu .....                              | 70  |
| Çizelge 6.1: FEMA-440'a göre performans noktasının bulunması .....                       | 77  |
| Çizelge 6.2: K101 kirişinde plastik dönme sınırları .....                                | 78  |
| Çizelge 7.1: ZTADOA'de kullanılan gerçek deprem kayıtları.....                           | 81  |
| Çizelge 7.2: ZTADOA'de kiriş hasar durumları .....                                       | 89  |
| Çizelge A.1: X doğrultusu kolon 40/50 1. kat kesit hasar durumu.....                     | 96  |
| Çizelge A.2: X doğrultusu kolon 40/50 2. kat kesit hasar durumu.....                     | 97  |
| Çizelge A.3: X doğrultusu kolon 40/50 3. kat kesit hasar durumu.....                     | 98  |
| Çizelge A.4: X doğrultusu kolon 40/50 4. kat kesit hasar durumu.....                     | 99  |
| Çizelge A.5: Y doğrultusu kolon 40/50 1. kat kesit hasar durum.....                      | 100 |
| Çizelge A.6: Y doğrultusu kolon 40/50 2. kat kesit hasar durumu.....                     | 101 |
| Çizelge A.7: Y doğrultusu kolon 40/50 3. kat kesit hasar durumu.....                     | 102 |
| Çizelge A.8: Y doğrultusu kolon 40/50 4. kat kesit hasar durumu.....                     | 103 |
| Çizelge A.9: X doğrultusu kolon 70/40 tüm. katlar kesit hasar durumu.....                | 104 |
| Çizelge A.10: Y doğrultusu kolon 70/40 tüm. katlar kesit hasar durumu.....               | 105 |
| Çizelge A.11: X ve Y doğrultusu kolon 40/70 tüm. katlar kesit hasar durumu.....          | 106 |
| Çizelge B.1: Taşıyıcı sistem kolon tipleri ve donatı yerleşimi.....                      | 107 |
| Çizelge B.2: Taşıyıcı sistem kiriş tipleri ve donatı yerleşimi.....                      | 107 |



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1: Betonarme kesitte eğilme momenti – eğrilik ilişkisi .....           | 5  |
| Şekil 2.2: Sünek ve gevrek davranış .....                                      | 6  |
| Şekil 2.3: Sürekli kirişte plastik mafsallık kabulü .....                      | 8  |
| Şekil 3.1: Hasar bölgeleri.....                                                | 13 |
| Şekil 3.2: İki doğrulu moment –plastik dönme ilişkisi .....                    | 18 |
| Şekil 3.3: Spektral yerdeğiştirmenin bulunması .....                           | 20 |
| Şekil 3.4: Kapasite eğrisinin iki doğrulu diyagrama dönüştürülmesi .....       | 21 |
| Şekil 3.5: Talep yerdeğiştirmenin bulunması .....                              | 22 |
| Şekil 4.1: Etkili periyod ve rijitliğin bulunması .....                        | 29 |
| Şekil 4.2: Kapasite spektrumu yöntemi .....                                    | 30 |
| Şekil 4.3: ASCE41-06’da genelleştirilmiş yük-yerdeğiştirme ilişkisi .....      | 33 |
| Şekil 5.1: Sayısal inceleme adımları .....                                     | 36 |
| Şekil 5.2: Bina taşıyıcı sisteminin SAP2000 üç boyutlu analiz modeli.....      | 37 |
| Şekil 5.3: İncelenen binanın kat planı.....                                    | 38 |
| Şekil 5.4: C eksenli çerçevesinin görünüşü .....                               | 38 |
| Şekil 5.5: X doğrultusunda kiriş hasar durumu – 1. ve 2. katlar .....          | 47 |
| Şekil 5.6: X doğrultusunda kiriş hasar durumu – 3.ve 4. katlar .....           | 47 |
| Şekil 5.7: Y doğrultusunda kiriş hasar durumu – 1 ve 2. katlar .....           | 48 |
| Şekil 5.8: Y doğrultusunda kiriş hasar durumu – 3 ve 4. katlar .....           | 48 |
| Şekil 5.9: Sargılı ve sargısız beton gerilme şekil değiştirme modeli .....     | 52 |
| Şekil 5.10: Donatı çeliği gerilme şekil değiştirme .....                       | 53 |
| Şekil 5.11: K101 kirişi sol ve sağ ucunda moment plastik dönme bağıntısı ..... | 53 |
| Şekil 5.12: S101 kolonu akma düzlemleri ve moment plastik dönme eğrileri ..... | 54 |
| Şekil 5.13: X ve Y doğrultusu mod şekilleri.....                               | 54 |
| Şekil 5.14: X ve Y doğrultusunda yükleme vektörleri .....                      | 55 |
| Şekil 5.15: X doğrultusu itme eğrisi .....                                     | 56 |
| Şekil 5.16: Y doğrultusu itme eğrisi .....                                     | 56 |
| Şekil 5.17: Betonarme kesit için fiber eleman modeli .....                     | 57 |
| Şekil 5.18: ZEUS NL’de beton gerilme-şekil değiştirme ilişkisi .....           | 57 |
| Şekil 5.19: ZEUS NL’de donatı çeliği şekil değiştirme ilişkisi.....            | 58 |
| Şekil 5.20: ZEUS NL üç boyutlu analiz modeli .....                             | 59 |
| Şekil 5.21: ZEUS NL’de iki doğrultuda elde edilen itme eğrileri .....          | 60 |
| Şekil 5.22: SEISMOSTRUCT sargısız beton modeli .....                           | 61 |
| Şekil 5.23: SEISMOSTRUCT sargılı beton modeli .....                            | 61 |
| Şekil 5.24: SEISMOSTRUCT donatı çeliği modeli .....                            | 61 |
| Şekil 5.25: SEISMOSTRUCT üç boyutlu analiz modeli .....                        | 62 |
| Şekil 5.26: SEISMOSTRUCT’ta iki doğrultuda elde edilen itme eğrileri .....     | 62 |
| Şekil 5.27: X doğrultusunda itme eğrileri kıyaslaması.....                     | 63 |
| Şekil 5.28: Y doğrultusunda itme eğrileri kıyaslaması .....                    | 63 |
| Şekil 5.29: DBYBHY’e göre talep yerdeğiştirmenin bulunması.....                | 65 |
| Şekil 5.30: Son itme adımında taşıyıcı sistemde oluşan plastik mafsallar ..... | 66 |
| Şekil 5.31: K101 kirişi moment eğrilik ilişkisi (pozitif moment).....          | 67 |

|                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 5.32: 40x50 kolonlar hasar durumları (X ve Y doğrultusu) .....                    | 73 |
| Şekil 5.33: 40x70 kolon hasar durumları (X ve Y doğrultusu).....                        | 73 |
| Şekil 5.34: 70x40 kolon hasar durumları (X ve Y doğrultusu).....                        | 73 |
| Şekil 6.1: ASCE 41-06 katsayı metodu ile talep yerdeğiştirme.....                       | 75 |
| Şekil 6.2: FEMA440'a göre bulunan performans noktası değerleri .....                    | 77 |
| Şekil 6.3: X doğrultusu kiriş hasar durumlarının karşılaştırılması (1. ve 2. kat) ..... | 78 |
| Şekil 6.4: X doğrultusu kiriş hasar durumlarının karşılaştırılması (3. ve 4. kat) ..... | 78 |
| Şekil 6.5: Y doğrultusu kiriş hasar durumlarının karşılaştırılması (1. ve 2. kat) ..... | 78 |
| Şekil 6.6: Y doğrultusu kiriş hasar durumlarının karşılaştırılması (3. ve 4. kat) ..... | 79 |
| Şekil 7.1: 1999 Kocaeli, DZC180 deprem kaydı .....                                      | 82 |
| Şekil 7.2: 1987 Superstition, B-WSM090 deprem kaydı.....                                | 82 |
| Şekil 7.3: 1979 Imperial Valley, H-E05140 deprem kaydı.....                             | 82 |
| Şekil 7.4: %5 Sönüm için elde edilen davranış spektrumları .....                        | 83 |
| Şekil 7.5: Kullanılan deprem kayıt spektrumlarının ortalaması .....                     | 83 |
| Şekil 7.6: DZC090 kaydı – zamana bağlı tepe yerdeğiştirmesi .....                       | 85 |
| Şekil 7.7: H-E05140 kaydı – zamana bağlı tepe yerdeğiştirmesi .....                     | 85 |
| Şekil 7.8: BSWM090 kaydı – zamana bağlı tepe yerdeğiştirmesi.....                       | 85 |
| Şekil 7.9: DZC090 kaydı – zamana bağlı taban kesme kuvveti .....                        | 86 |
| Şekil 7.10: H-E05140 kaydı – zamana bağlı taban kesme kuvveti.....                      | 86 |
| Şekil 7.11: BSWM090 kaydı – zamana bağlı taban kesme kuvveti .....                      | 86 |
| Şekil 7.12: Göreli kat ötelemelerinin kıyaslanması .....                                | 87 |
| Şekil 7.13: Kat yerdeğiştirmelerinin kıyaslanması .....                                 | 87 |
| Şekil 7.14: ZTADOA'de ve AİA'de elde edilen taban kesme kuvvetleri .....                | 88 |



## SEMBOL LİSTESİ

|             |                                                                       |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------|
| $A_c$       | : Betonarme kesit brüt alanı                                          |
| $A(T)$      | : Spektral ivme katsayısı                                             |
| $A_0$       | : Etkin yer ivmesi katsayısı                                          |
| $a^{(i)}$   | : (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait modal ivme |
| $b_w$       | : Kesit genişliği                                                     |
| $C_{R1}$    | : Birinci moda ait spektral yerdeğiştirme oranı                       |
| $d$         | : Kesit faydalı yüksekliği                                            |
| $d^{(i)}$   | : (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait modal ivme |
| $E$         | : Elastisite Modülü                                                   |
| $EI$        | : Kesit eğilme rijitliği                                              |
| $f_{cm}$    | : Mevcut beton basınç dayanımı                                        |
| $f_{ctm}$   | : Mevcut beton çekme dayanımı                                         |
| $h_{ji}$    | : Kat yükseliği                                                       |
| $I$         | : Bina önem katsayısı                                                 |
| $L_p, l_p$  | : Plastik mafsallık boyu                                              |
| $M_y$       | : Kesitte akma momenti                                                |
| $M_u$       | : Kesit maksimum moment kapasitesi                                    |
| $M_p$       | : Betonarme kesitte pekleşme moment kapasitesi                        |
| $M_1$       | : Birinci moda ait etkin kütle                                        |
| $\Gamma_1$  | : Birinci moda ait katkı çarpanı                                      |
| $N_k$       | : Kolon eksenel kuvveti                                               |
| $P$         | : Eksenel kuvvet                                                      |
| $R_a$       | : Yapı davranış katsayısı                                             |
| $R$         | : FEMA440 ve ASCE'de elastik kapasite ile akma kapasitesi oranı       |
| $\phi_y$    | : Akma anında eğrilik                                                 |
| $\phi_u$    | : Maksimum eğrilik kapasitesi                                         |
| $\phi_p$    | : Plastik eğrilik                                                     |
| $\mu$       | : Süneklik oranı                                                      |
| $\eta_{bi}$ | : i'inci katta burulma düzensizliği katsayısı                         |

|                 |                                                                                                                                                                        |
|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\lambda$       | :Eşdeğer deprem yükü azaltma katsayısı                                                                                                                                 |
| $\rho$          | :Betonarme kesitte çekme donatısı oranı                                                                                                                                |
| $\rho'$         | :Betonarme kesitte basınç donatısı oranı                                                                                                                               |
| $\rho'$         | :Betonarme kesitte dengeli donatı oranı                                                                                                                                |
| $\delta_{ji}$   | :Görelî kat ötelemesi                                                                                                                                                  |
| $\delta_u$      | :Kesit veya elemanda maksimum şekildeğiştirme                                                                                                                          |
| $\delta_y$      | :Akma şekil değıştirme                                                                                                                                                 |
| $\mu$           | :Süneklik oranı                                                                                                                                                        |
| $\Delta$        | :Yerdeğiştirme                                                                                                                                                         |
| $u_{xN1}^{(i)}$ | :İtme analizinin (i)'inci adımında yapı tepe yerdeğiştirmesi                                                                                                           |
| $\Phi_{xN1}$    | :Binanın tepesinde birinci moda ait mod şekli genliğı                                                                                                                  |
| $V$             | :Taban kesme kuvveti                                                                                                                                                   |
| $V_{x1}$        | :Birinci moda ait taban kesme kuvveti                                                                                                                                  |
| $W$             | :Yapı sismik ağırlığı                                                                                                                                                  |
| $T_s$           | :Tepki spektrumunun sabit ivme bölgesinden sabit hız bölgesine geçişteki periyot                                                                                       |
| $T_e$           | :Etkin periyot                                                                                                                                                         |
| $T_i$           | :Bina hakim periyodu                                                                                                                                                   |
| $K_i$           | :Bina elastik rijitliğı                                                                                                                                                |
| $K_e$           | :Doğrusallaştırılan itme eğrisinin plastikleşme sonrası rijitliğı                                                                                                      |
| $\zeta_{eq}$    | :Eşdeğer sönüm                                                                                                                                                         |
| $\zeta_0$       | :Bina başlangıç sönüm değeri                                                                                                                                           |
| $\beta$         | :Sönüm oranı                                                                                                                                                           |
| $C_0$           | :Tek serbestlik dereceli sistemin elastik yerdeğiştirmesinin çok serbestlik dereceli sisteme çevrilmesi için kullanılan katsayı                                        |
| $C_1$           | :Maksimum doğrusal olmayan yerdeğiştirmesinin elastik yerdeğiştirmeye oranı                                                                                            |
| $C_2$           | :Artımsal itme analizi boyunca yapı rijitliğinin azalmasının, malzeme çevrimsel şeklinin ve taşıma gücü azalması gibi faktörlerin yansıtılması için kullanılan katsayı |
| $C_3$           | :Dinamik P-Δ etkisi düzeltme katsayısı                                                                                                                                 |

## **BETONARME BİR BİNANIN DEPREM PERFORMANSININ FARKLI YÖNETMELİKLERE GÖRE DEĞERLENDİRİLMESİ**

### **ÖZET**

Depremlerin yoğun olarak meydana geldiği aktif fay bölgelerinde yer alan Türkiye ve benzer ülkelerde hızla artan şehirleşme ve nüfus artışı sebebiyle sismik risk de hızla artmaktadır. Bu bağlamda yapıların kuvvetli deprem etkileri altında değerlendirilmesi deprem mühendisliği açısından önemli bir husus olarak ortaya çıkmaktadır. Özellikle son yirmi yılda “Performansa dayalı tasarım” kavramı tasarım ve değerlendirme yöntemlerinde ortaya konan gelişmelerle birlikte öne çıkmaktadır. Performansa dayalı tasarım ve değerlendirme kavramından genel olarak oluşma olasılıkları belirli deprem etkileri altında, yapının geometrik ve malzeme süneklik kapasitesinin, bina tasarım ömrü ve yapının kullanım amacı gibi etkenleri gözönüne alınarak belirlenen bir performans durumuna göre boyutlandırılması veya değerlendirilmesi anlaşılmaktadır. Performansa dayalı değerlendirme yöntemleri mevcut deprem yönetmeliklerinde doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemler olarak iki ana başlık altında değerlendirilmektedir.

Bu çalışmada DBYBHY 2007’e uygun olarak tasarlanmış dört katlı betonarme bir binanın doğrusal elastik, doğrusal olmayan artımsal itme analizi ve doğrusal olmayan zaman tanım analiz yöntemleri kullanılarak performans durumu değerlendirilmiş ve eleman ve sistem bazında karşılaştırmalar yapılmıştır.

Çalışmada ayrıca aynı binanın performansı ASCE41-06 artımsal itme analizi yöntemi vasıtasıyla da değerlendirilerek eleman ve tüm taşıyıcı sistem bazında performans seviyeleri DBYBHY 2007 ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Yapıların üç boyutlu analizinde yapılan kabuller ve kullanılan hesap yöntemleri analizde kullanılan yazılımlardaki uygulaması bakımından elde edilen sonuçlar açısından da farklılıklar gösterebilmektedir. Bu amaçla bu çalışmada ele alınan bina taşıyıcı sisteminin performans değerlendirilmesinde doğrusal olmayan malzeme özelliğini farklı kabullerle gözönüne alma kabiliyetine sahip üç farklı bilgisayar yazılımı kullanılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Çalışmanın son bölümünde elde edilen sonuçlar özetlenmiştir.



# **SEISMIC PERFORMANCE EVALUATION OF A REINFORCED CONCRETE BUILDING ACCORDING TO VARIOUS SEISMIC CODES**

## **ABSTRACT**

Seismic risk of Turkey and other countries that are located at the vicinity of the active fault zones rapidly increases due to fast growing urbanization and population increase. Therefore performance based seismic assessment of buildings emerges as an important subject of earthquake engineering. Accordingly performance based design concept became popular since twenty years as recent developments in design and assessment methods. Performance based design and assessment concept covers the methods utilizing the geometric nonlinearity and ductility capacity of buildings under certain seismic effects based on probability of occurrence considering the design life of the building. Performance based assessment is covered in recent seismic codes in two main subjects namely, linear elastic and nonlinear elastic methods.

In this study, performance based assessment of a regular four story reinforced concrete building which is compatible with the Turkish Earthquake Resistant Design Code TERDC 2007 code is studied according to the linear elastic, the static pushover and the nonlinear time history analysis methods. Evaluated damage levels for the members are compared.

In this study an assessment based on ASCE41-06 nonlinear static pushover method is also carried out and damage levels of structural elements are found and compared with the results from the TERDC 2007 code.

Calculation procedure and assumptions made in the 3D modeling may vary due to the structural analysis programs used. Therefore three different structural analysis softwares are used in the computation of the pushover curve and the results are compared.

Numerical results and discussion are presented in the last chapter of this study.



# 1. GİRİŞ

## 1.1 Tezin Amacı

Türkiye tektonik açıdan aktif fayların bulunduğu bir coğrafyada yer almaktadır. Özellikle nüfus yoğunluğunun fazla olduğu bölgelerde meydana gelen depremler ciddi oranda can ve mal kaybına sebep olmaktadır.

Depremlerin yoğun olarak meydana geldiği aktif fay bölgelerinde yer alan Türkiye ve benzer durumdaki ülkelerde hızla artan şehirleşme ve nüfus artışı sebebiyle sismik risk de hızla artmaktadır. Bu bağlamda yapıların sismik tasarımı ve değerlendirilmesi deprem mühendisliği açısından önemli bir husus olarak ortaya çıkmaktadır. Tasarım ve değerlendirme yöntemlerinde ortaya konan gelişmelerle birlikte özellikle son 20 yılda “Performansa dayalı tasarım” kavramı öne çıkmaktadır [1]. Bu kavramdan genel olarak, oluşma olasılıkları belirli deprem etkileri altında, yapının geometrik ve malzeme süneklik kapasitesinin, bina tasarım ömrü ve yapının kullanım amacı gibi etkenleri gözönüne alınarak belirlenen bir performans durumuna göre boyutlandırılması veya değerlendirilmesidir [2]. Bu yaklaşım metodu yapıdaki sünek elemanların doğrusal olmayan şekildeğiştirme kapasitelerini ele aldığından yapının gerçek davranışı hakkında da daha doğru fikir vermektedir. Performansa dayalı değerlendirme yaklaşımının deprem yönetmeliklerinde yer alması ilk olarak ABD’de ATC-40 [3] ve FEMA-356 [4] tavsiye raporlarının yayınlanması ile başlamıştır. Daha sonra bu yaklaşım Avrupa ve Japonya’da da bina yönetmeliklerinde kendine yer bulmuştur. Türkiye’de de 2007 yılında yayınlanan Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik’te [5], performansa dayalı değerlendirme kavramı deprem yönetmeliğimizde yer bulmuştur.

Güncel yönetmeliklerde yer alan performans değerlendirme yöntemine göre değerlendirme yöntemleri doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemler olarak iki ana başlığa ayrılmaktadır. Doğrusal değerlendirme yönteminde azaltılmamış deprem etkisinde yapının taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan etkilerin eleman kapasitelerine oranının yönetmeliklerde belirlenen sınır değerlerle karşılaştırılması yoluna gidilmektedir. Doğrusal olmayan yöntemler ise itme analizi (pushover) ve zaman

tanım alanında hesap yöntemleridir. Bu iki yöntemde kullanılan kabuller gereği elde edilen sonuçlar birbirinden farklılıklar gösterebilmektedir [24]. Statik ve uyumlu itme analizi yöntemleri özellikle son 10 yılda oldukça yaygın biçimde kullanılan yöntemler olmaya başlamıştır [6]. Bu çalışmalarda binanın performans noktasının belirlenmesinde geliştirilen yaklaşımların birbirinden oldukça farklı sonuç verebildiği de kaydedilmektedir. Bundan ayrı olarak deprem kayıtlarının elde edilmesinin yaygınlaşması ve değerlendirme için uygun kayıtların seçilmesi alanında yapılan çalışmalar ve aynı zamanda teknolojik imkanların iyileşmesi neticesinde zaman tanım alanında hesap yöntemleri de öne çıkmaya başlamıştır [7]. Bu anlamda kuvvetli yer hareketlerinin yönetmeliklerde yer alan tasarım spektrumlarına göre ölçeklendirilmesi için çalışmalar yapılmaktadır [8].

Analiz yöntemlerinin yanında kullanılan analiz yazılımlarının ve hesap kabullerinin de yapının performansının elde edilmesinden birbirinden belirli oranda farklı sonuçlara yol açtığı da kaydedilmiştir [6]. Bu anlamda güncel yazılımların ve metotların performansa dayalı değerlendirmede kıyaslanması ve sonuçların irdelenmesi amaçlanmıştır.

## **1.2 Kapsam**

Bu çalışmada mevcut yapı stoğunu temsilen 4 katlı düzenli bir betonarme bina Deprem Yönetmeliği-2007 kapsamında tasarlanmış ve DBYBHY'ndeki doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan yöntemler ile performansı belirlenmiştir. Performansın belirlenmesinde doğrusal elastik hesap yöntemi, doğrusal olmayan artımsal analizi yöntemi ve doğrusal olmayan zaman tanım analizi yöntemleri kullanılmıştır. Artımsal itme analizinde elde edilen kapasite eğrisi, ASCE41-06 [9] ve FEMA-440'ta [10] önerilen yöntemlerle de elde edilmiş ve sonuçlar kıyaslanmıştır. ASCE41-06'ya göre belirlenen eleman hasar durumları DBYBHY'te elde edilen hasar durumları ile karşılaştırılmıştır.

Zaman tanım alanında hesap yöntemine göre değerlendirmede binanın 3 boyutlu analiz modeli zayıf doğrultusundaki incelenmiş ve seçilen deprem kayıtları altında analizi yapılmıştır.

Binanın artımsal itme analizi yöntemi ile analizinde bilgisayar modellerinin oluşturulması için SAP2000 [11], ZEUS NL [12] ve SEISMOSTRUCT [13]



programları kullanılmıştır. Bu yazılımlarda kullanılan hesap yöntemleri ve yapılan kabuller ile elde edilen itme eğrileri kıyaslanmıştır.

Çalışmada izlenen adımlar maddeler halinde özetlenirse:

- Performansa dayalı tasarım ve değerlendirme yöntemlerinin genel kavramlarının incelenmesi
- DBYBHY’te yer alan doğrusal elastik eşdeğer deprem yükü yöntemi, doğrusal elastik olmayan artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemlerine göre performans değerlendirme yöntemlerinin incelenmesi ve değerlendirilmesi
- FEMA440 ve ASCE41-06 raporlarında yer alan artımsal itme analizi ile değerlendirmede talep yerdeğiştirmenin elde edilmesine yaklaşımları ve eleman hasarlarının değerlendirilme kıstaslarının incelenmesi
- Seçilen taşıyıcı sistem modelinin kurulması ve DBYBHY’e göre boyutlandırılması, sayısal çözümlerlerin yapılarak yapı deprem performansının belirlenmesi
- Çalışma neticesinde elde edilen sonuçların karşılaştırmalı olarak yorumlanması ve tartışılması

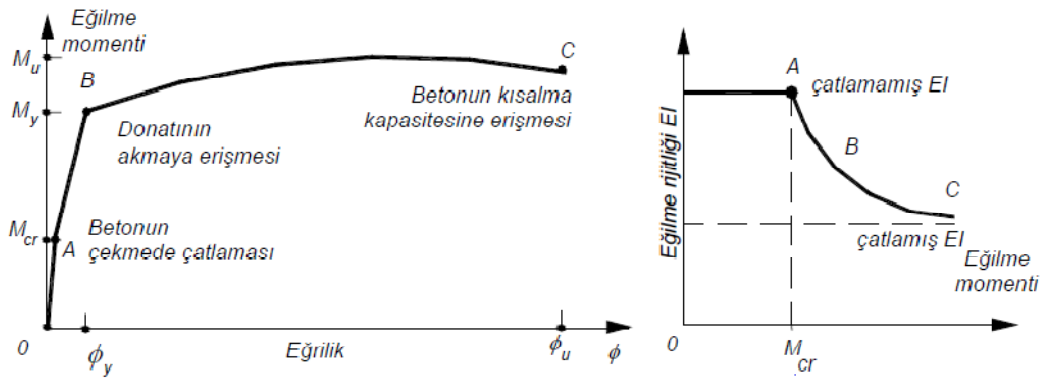
şeklinde sıralanabilir.



## 2. PERFORMANSA DAYALI TASARIM VE DEĞERLENDİRME – GENEL KAVRAMLAR

### 2.1 Betonarmede Eğilme Etkisi

Basit eğilme altındaki bir dikdörtgen kesitteki eğilme momenti-eğrilik değişimi Şekil 2.1’de gösterilmiştir. Eğilme momentinin küçük değerleri için betonda basınç ve çekme gerilmeleri meydana gelirken, donatı elastik davranır. Bütün beton kesiti davranışa etkili olduğu için donatının katkısı bu devrede sınırlı olur. Kesitin eğilme rijitliğine ise beton kesitinin elastisite modülü ve brüt atalet momenti etkisi olur. Momentin artmasıyla çekme bölgesindeki beton çatlaklar ve çatlak tarafsız eksene doğru ilerler. Betonun çatlaması moment-eğrilik değişiminde küçük de olsa ilk doğrusal davranıştan ayrılmayı doğurur (A). Eğilme momenti artarken, beton basınç gerilmeleri dağılışı doğrusal olmayan bir değişimle oluşur ve donatı akma gerilmesine ulaşır (B). Momentin bu değeri  $M_y$  akma momenti olarak adlandırılır. Genellikle donatının uzama kapasitesi büyük olduğu için, güç tükenmesi betonun en büyük kısalma kapasitesine erişmesiyle ortaya çıkar ve kesit taşıma gücüne erişir (C) [14].



Şekil 2.1: Betonarme kesitte eğilme momenti – eğrilik ilişkisi

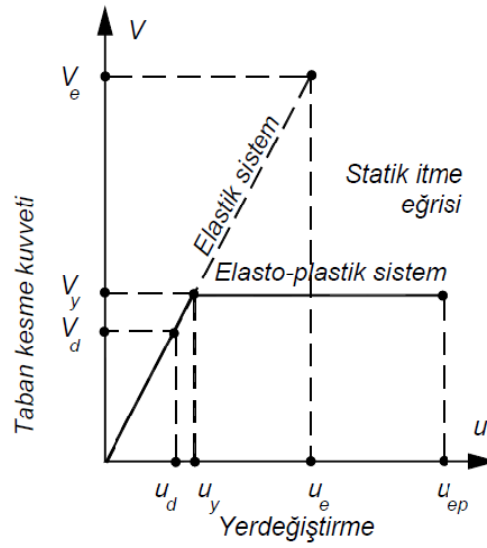
#### 2.1.1 Süneklik

Süneklik kavramı, bir kesitte, bir yapısal elemanda veya bir taşıyıcı sistemde, taşıma kapasitesinde belirgin bir değişim olmaksızın, elastik sınırın ötesinde şekil değiştirme yeteneği olarak tanımlanabilir [14]. Sünek davranışın etkili olduğu kesit ve elemanlarda, kesit elastik taşıma kapasitesine eriştiğinde ani bir şekilde göçme

durumuna gelmek yerine bir süre daha şekildeğiştirmeye devam edebilir. İşte bu şekildeğiştirme kapasitesinin ( $\delta_u$ ) elastik şekildeğiştirme kapasitesine ( $\delta_y$ ) oranı o kesitin süneklik yeteneğinin ( $\mu$ ) sayısal ifadesidir.

$$\mu = \delta_u / \delta_y \quad (2.1)$$

$\delta_u \approx \delta_y$  durumunda ise kesitin elastik ötesi şekildeğiştirme kapasitesinin yetersiz olduğu durumdur. Bu durum ise gevrek davranış olarak adlandırılır. Şekil 2.2’de elastik ve elasto-plastik sistemde gevrek ve sünek davranış açıklanmıştır [14].



**Şekil 2.2:** Sünek ve gevrek davranış

Yapıda kullanılan malzemelerin gerilme altındaki davranışlarının sünek ya da gevrek olması taşıyıcı sistemin de sünek davranış gösterebilmesi açısından önemlidir. Betonun gevrek davranışı donatı kullanılarak belirli oranda sünek hale getirilebilir. Doğru oranda etriye sıklaştırması tasarlanarak beton basınç dayanımı ve maksimum birim kısalma değeri arttırılarak süneklik arttırılabilir. Eğilme etkisi altında donatının akma gerilmesine erişen betonarme elemanların sünek olduğu söylenebilir. Buradan, kesme etkisi altında oluşan eğik çekme gerilmeleri veya eğik basınç gerilmelerinin betonda oluşturduğu güç tükenmesi gevrek olarak tanımlanır.

### 2.1.2 Kapasite tasarımı

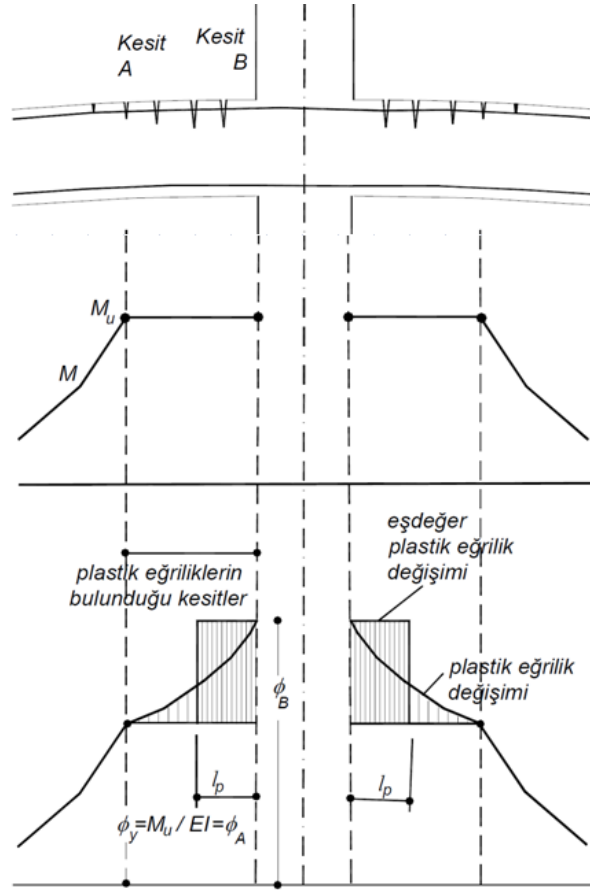
Taşıyıcı sisteme etkiyen düşey ve deprem yüklerinin belirlenmesindeki belirsizlikler yanında malzeme dayanımındaki değişimler gözönüne alınarak, güvenlik katsayıları öngörülmüştür.

Deprem etkisinin sayısal olarak kabul edilip, taşıyıcı sistemin çözümlenmesi pek çok kabulü içerir. Yönetmeliklerde deprem etkisinin meydana gelme ihtimali ve yapının önemi gözönünde tutularak muhtemel deprem etkisi öngörülür. Bu deprem etkisinin, taşıyıcı sistemde sınırlı hasarın kabulü ile elastik ötesi kapasite kullanılarak karşılanması hedeflenir. Buna karşılık daha büyük deprem etkisinin meydana gelebileceğinin de göz önüne alınarak, ileri oranda hasarla da olsa bu etkinin karşılanması, güç tükenmesinin sünek olarak meydana gelmesi ve taşıyıcı sistemin toptan göçmesinin önlenmesi hedeflenmektedir

Kapasite tasarımı ilkesinin boyutlamada uygulanması kesitte, elemanlarda ve taşıyıcı sistemde oluşacak güç tükenmesinin sünek olarak meydana gelmesinin sağlanması ile mümkün olur. Örnek olarak bir betonarme kirişte eğilme momentine karşı güç tükenmesi durumu kesme kuvveti güç tükenmesine göre yeğlenir. Bu yüzden kesme kuvveti kapasite daha yüksek tutularak kirişin önce eğilme güç tükenmesine ulaşması amaçlanır.

### **2.1.3 Plastik mafsallık kabulü**

Basit eğilme etkisinde elemanlarda plastik şekil değiştirmeler kiriş eksenine boyunca değişken olarak meydana gelir. Eğilme altında moment etkisinin akma momentini aştığı bölgeler ilk önce plastik dönmeler oluşturmaya başlarlar. Bu eğriliklerin değişimi Şekil 2.3’de örnek bir kiriş elemanı üzerinde görülebilir. Şekilden görülebileceği gibi A kesitinde moment  $M_u$  değerine erişmiş ve akma eğriliği  $\phi_u$  meydana gelmiştir. Momentin daha küçük olduğu kesitlerde elastik eğrilik momentle orantılı olarak  $\phi = M / EI$  şeklinde oluşur. Kolon yüzüne yakın kesitlerde moment aynı değerde kalırken, plastik eğrilikler meydana gelmektedir. A ile B kesiti arasındaki eğriliklerin toplamı iki kesitin birbirine göre göreceli dönmelerini oluşturur ve eğrilik değişimindeki taralı alana karşı gelir. Bu dönme elastik ve plastik bölümlerden meydana gelir. B kesitindeki plastik eğrilik esas alınarak taralı alana eşdeğer olarak oluşturulan dikdörtgen alanın boyu  $l_p$  plastik mafsallık boyu olarak kabul edilir. Bu boy eşdeğer plastik eğriliklerin meydana geldiği kiriş parçası olarak da görülebilir. Plastik şekil değiştirmelerin belirli kesitlerde yoğunlaştığı bu kabule plastik mafsallık hipotezi denir. Artan yükler altında sistemin bir kısmının veya tümünün mekanizma durumuna geldiği yüke de birinci mertebeli limit yükü denir [15].



**Şekil 2.3:** Sürekli kirişte plastik mafsall kabulü

Deprem etkisi tanımlanırken azaltılmamış ivme spektrumu kullanılacak fakat farklı aşılma olasılıkları için spektrumda gerekli değişiklikler yapılacaktır.

Kat kütleleri kat ağırlıkları ile uyumlu olarak tanımlanacaktır.

Hesaplarda mevcut malzeme dayanımları kullanılacak, fakat bu dayanımlar tanımlanan bina bilgi düzeyine göre gerekli şekilde belirlenecektir.

Eğilme etkisindeki betonarme elemanlarda çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitlikleri kullanılacaktır.

## 2.2 Doğrusal Elastik Hesap Yöntemi

Doğrusal- Elastik hesap yönteminde yapılan kabuller şöyledir:

- Malzeme doğrusal-elastiktir.
- Yer değiştirmelerin mertebesi çok küçüktür ve dolayısıyla I. Mertebe teorisi geçerlidir.
- Kesit zorları çift yönlüdür ve sistemin boyutları yükleme durumları ile değişmemektedir.

Bu kabuller sonuncu süperpozisyon kuralı geçerli olduğu için belirlenen bir güvenlik katsayısına göre mukayese yapılabilir.

Doğrusal değerlendirme yöntemi doğrusal olarak adlandırılrsa da, yapının doğrusal ötesi davranışı da öngörülen azaltma katsayıları gözönüne alınarak hesaba katılır. Bu metot kuvvet tabanlı bir metottur. Bu oran, kesitten beklenen süneklik kapasitesine doğrudan ilgilidir. Süneklığe doğrudan ilgili olan eksenel yük kapasitesi, eğilme donatısı oranı, kesme kuvveti oranı bu katsayıların belirlenmesinde birincil etkenlerdir. Ayrıca DBYBHY’de belirtilen kesme donatısı koşullarının sağlanıp sağlanmaması da bu noktada kontrol edilir ve azaltma katsayıları buna göre belirlenir.

### **2.3 Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri**

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

- 1- Malzemenin doğrusal-elastik olmaması nedeniyle gerilme-şekil değiştirme bağıntılarının doğrusal olmaması.
- 2- Geometri değişimlerinin yeter derecede küçük olmaması nedeniyle denge denklemlerinin doğrusal olmaması.

#### **2.3.1 Artımsal itme analizi**

Statik Artımsal İtme Analizi yöntemi, doğrusal elastik olmayan geometrik ve malzeme özelliklerinin yapının matematik modelinde çeşitli yaklaşımlarla yansıtılması, ve belirli bir yük vektörünün adım adım yapıya etkitilerek, oluşan şekildeğiştirme, yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme ve iç kuvvet bağıntılarına bağlı olarak yapının yük vektörü ve yerdeğiştirme ilişkisinin elde edilmesi prensibine dayanır. Artımsal itme analizinde kullanılan yük vektörü göze alınan hesap doğrultusundaki hakim mod olarak kabul edilebilir. Bu yöntem statik artımsal itme analizi olarak adlandırılır. Çözümde diğer modların da hesaba katıldığı metotlara ise genel olarak artımsal mod birleştirme yöntemi olarak adlandırılır.

#### **2.3.2 Zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan çözüm**

Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi, gözönüne alınan zamana bağlı bir titreşim fonksiyonuna bağlı olarak taşıyıcı sistemin hareket denkleminin sayısal olarak adım adım çözülerek sistemde oluşan şekildeğiştirmelerin ve yerdeğiştirmelerin zamana

bağlı olarak elde edilmesini kapsar. Gözönüne alınan titreşim fonksiyonu için genellikle kaydedilmiş kuvvetli yer hareketi ivme kayıtları tercih edilir [16].



### **3. DBYBHY-2007'YE GÖRE PERFORMANS DEĞERLENDİRİLMESİ**

Aktif faylar sebebiyle deprem riskini nüfusun yoğun olduğu bölgelerde yüksek olması, bu bölgelerdeki yapı stoğunun beklenen ve belirlenen risklere göre değerlendirilmesi ve gerektiğinde güçlendirilmesi ihtiyacını doğurmuştur. Bu ihtiyacın sonucu olarak yapılan çalışmaların sonucunda DBYBHY yayımlanarak performansa dayalı değerlendirme ve güçlendirme yönergelerini içeren 7. Bölüm ortaya çıkmıştır. DBYBHY'nin getirdiği yenilikler özellikle son yıllarda kamu ve özel yapıların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi çalışmalarında ciddi katkısı olduğu söylenebilir. Bu bölümde DBYBHY'nin performans değerlendirme yönergelerini içeren 7. Bölümünün kısa bir özeti verilmektedir.

#### **3.1 Bilgi Düzeyleri**

Binaların incelenmesi ile elde edilen mevcut bilgilerin kapsamına göre, her bina türü için bilgi düzeyi ve buna bağlı olarak bilgi düzeyi katsayıları tanımlanır. Bilgi düzeyleri sırasıyla sınırlı, orta ve kapsamlı olarak sınıflandırmıştır. Elde edilen bilgi düzeyleri taşıyıcı sistem eleman kapasitelerinin hesabında kullanılacaktır.

*Sınırlı Bilgi Düzeyi:* Binanın taşıyıcı sistem projeleri yoktur ve taşıyıcı sistem özellikleri binada yapılacak ölçümlerle belirlenir.

*Orta Bilgi Düzeyi:* Binanın taşıyıcı sistem projeleri yoksa sınırlı bilgi düzeyine göre daha fazla ölçüm yapılır. Taşıyıcı sistem projeleri mevcut ise sınırlı bilgi düzeyi kadar ölçüm yapılır.

*Kapsamlı Bilgi Düzeyi:* Bina taşıyıcı sistem projeleri mevcuttur ve yeterli düzeyde ölçüm yapılır.

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

*Bina Geometrisi:* Binanın taşıyıcı sistem plan rölevesi çıkarılmalıdır. Röleve tüm betonarme elemanların, bölme duvarlarının varsa kısa kolon gibi problemleri

elemanların yerini ve boyutlarını içermelidir. Binanın komşu binalara olan durumu gösterilmelidir. Temel sistemi yeterli sayıda çukur açılarak belirlenmelidir.

*Eleman Detayları:* Donatı durumunu belirlemek için yeterli sayıda taşıyıcı sistem elemanının pas payları sıyrılarak donatı ve bindirme boyu tespitleri yapılmalıdır. Paspayı sıyrılmayan elemanların donatı durumu gerekli cihazlar kullanılarak belirlenmelidir. Mevcut donatının minimum donatıya oranını ifade eden “donatı gerçekleşme katsayısı” kolonlar ve kirişler için ayrı ayrı belirlenmelidir.

*Malzeme Özellikleri:* Her katta düşey taşıyıcı elemanlardan (kolon veya perdelerden) TS-10465’de belirtilen koşullara uygun şekilde yeterli sayıda karot örneği alınarak deney yapılmalıdır. Deney sonuçlarına göre mevcut beton dayanımı belirlenmelidir. Donatısında korozyon gözlemlenen taşıyıcı sistem elemanları tespit edilmeli ve bu elemanlara ait kapasite hesaplarında göz önüne alınmalıdır.

### **3.3 Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları Ve Hasar Bölgeleri**

DBYBHY’de yapısal sistem sistemlerin deprem etkileri altında performanslarının belirlenmesi temelde iki farklı yöntemle göre yapılmaktadır. Bunlardan ilki doğrusal elastik yöntemdir. Bu yöntem kuvvete dayalı tasarım ve değerlendirmeye dayanmaktadır. Bu yaklaşıma göre doğrusal teoriye göre hesaplanan elman kapasiteleri süneklik etkisi de gözönüne alınarak elastik deprem yüklerinin azaltma katsayıları ile azaltılması suretiyle taşıyıcı sistem elemanlarının performanslarının belirlenir. Diğer yöntem ise doğrusal elastik olmayan değerlendirme yönteminin esasını teşkil eden yerdeğiştirme ve şekildeğiştirme esasına dayalı, aynı zamanda malzemenin doğrusal olmama özelliğini de hesaba katan yapısal sistemi teşkil eden her elemanın yer ve şekildeğişimlerini gözönüne alarak yapının performans değerlendirmesini yapıldığı yaklaşımdır. Her iki yaklaşımdaki kabuller gözönüne alarak kesit hasar sınırları belirlenmiş ve belirli kriterler altında sunulmuştur. Bu değerler gözönüne alarak yapının performansını belirlemek mümkündür.

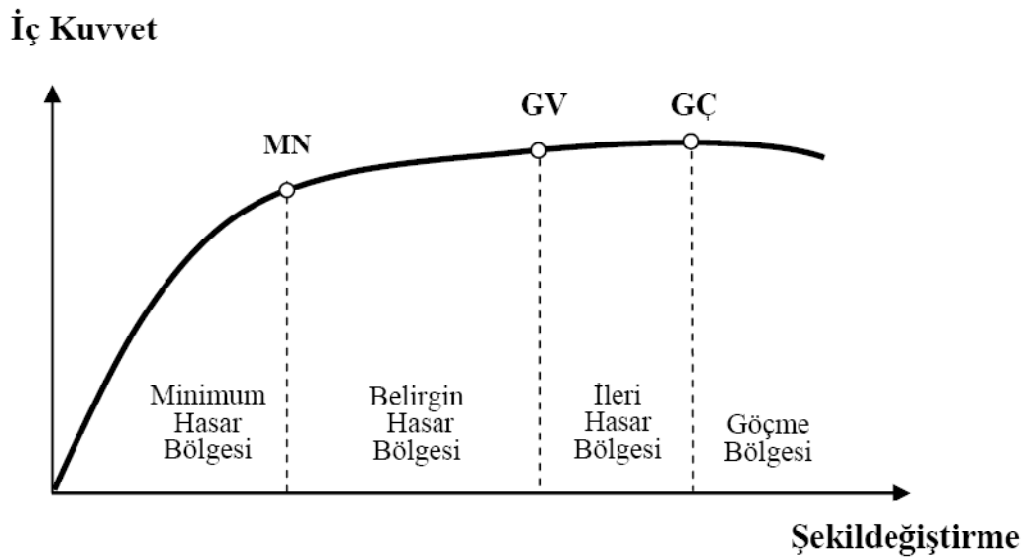
#### **3.3.1 Kesit hasar sınırları**

Kesitler aşağıda açıklanacak kriterler gözönüne alarak sünek ve gevrek olarak ayrımlandırılırlar. Sünek elemanlar için kesit düzeyinde Minimum Hasar Sınırı (MN), Güvenlik Sınırı (GV) ve Göçme Sınırı (GÇ) olmak üzere üç sınır durum tanımlanmıştır. Minimum hasar sınırı kritik kesitte elastik ötesi davranışın başlangıcını, güvenlik sınırı kesitin dayanımını güvenli olarak sağlayabileceği elastik

ötesi davranışın sınırını, göçme sınırı ise kesitin göçme öncesi davranışının sınırını tanımlamaktadır. Gevrek elemanlar için elastik ötesi davranışın oluşmasına izin verilmez.

### 3.3.2 Kesit hasar bölgeleri

Şekil 3.1’de sünek davranış gösteren bir kesitin iç kuvvet-şekildeğiştirme diyagramı verilmiş ve bu diyagram üzerinde kesit hasar bölgeleri tanımlanmıştır [5]. Kritik kesitleri MN sınırına ulaşmayan elemanlar Minimum Hasar Bölgesi’nde, MN ile GV arasında kalan elemanlar İleri Hasar Bölgesi’nde, GÇ’ yi aşan elemanlar ise Göçme Bölgesi’nde kabul edilir.



Şekil 3.1: Hasar bölgeleri

### 3.3.3 Deprem hesabına ilişkin kurallar

Bina Performansının Belirlenmesinde DBYBHY’de önerilen yöntemler Doğrusal Elastik Hesap Yöntemleri ve Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri olarak ikiye ayrılmaktadır. Bu iki hesap yöntemi için de geçerli olan kabuller ise şöyledir:

Deprem etkisinin tanımında tanımlanmış olan elastik ivme spektrumu farklı aşılma olasılıkları için spektrum üzerinde gerekli değişiklikler yapılmalıdır. Deprem hesabında bina önem katsayısı  $I=1.0$  olarak kabul edilir. Kısa kolon durumundaki kolonlar taşıyıcı sistem modelinde gerçek serbest boyları ile tanımlanmalıdır. Deprem kuvvetleri binaya her iki doğrultuda ve her iki yönde ayrı ayrı etki ettirilmelidir. Deprem hesabında gözönüne alınacak kat kütleleri binanın hizmet türüne hareketli yük katılım katsayısı ile çarpılmak suretiyle hesaplanmalıdır. Döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, her katta iki

yatay yerdeğiştirme ile dūřey eksen etrafında dōnme serbestlik dereceleri gözōnüne alınmalı, kat serbestlik dereceleri her katın kōtle merkezinde tanımlanarak ek dışmerkezlik uygulanmadan çōzōmlleme yapılmalıdır. Betonarme sistemlerin eleman boyutlarının tanımında birleşim bōlgeleri sonsuz rijit uę bōlgeleri olarak gözōnüne alınabilir. Betonarme elemanlarda kenetlenme ve bindirme boyunun yetersiz olması durumunda, kesit kapasite momentinin hesabında ilgili donatı akma gerilmesi kenetlenme ve bindirme boyundaki eksikliği oranında azaltılmalıdır. Eęilme etkisindeki betonarme elemanlarda çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitlikleri  $(EI)_e$  kullanılmalıdır. Daha kesin bir hesap yapılmadıķa, etkin eğilme rijitlikleri ięin aşağıda verilen değerler kullanılabilir.

$$a) \text{ Kirişlerde } (EI)_e = 0.40 (EI)_e \quad (3.1)$$

b) Kolon ve perdelerde;

$$N_D / (A_c f_{cm}) \leq 0.10 \text{ olması durumunda : } (EI)_e = 0.40 (EI)_e \quad (3.2)$$

$$N_D / (A_c f_{cm}) \geq 0.40 \text{ olması durumunda : } (EI)_e = 0.80 (EI)_e \quad (3.3)$$

**Bina Deprem Performansının Doğrusal Elastik Hesap Yōntemleri İle Belirlenmesi**

Doęrusal elastik hesap yōntemlerinde, yapı elemanlarının kapasiteleri elemanların taşıma gōcū kapasitelerine ve kesitlerin sūnekliğine baęlı olarak belirlenir. Yapısal sistemin deprem etkisindeki çōzōmlmesi ise doęrusal teoriye gōre yapılır. Doğrusal elastik hesap yōntemleri, Eřdeęer Deprem Yōkū Yōntemi ve Mod Birleřtirme Yōntemi'dir. Bu çalıřmada Eřdeęer deprem yōkū yōntemine gōre gerekli kıstaslar saęlandığı ięin mod birleřtirme yōntemi uygulanmamıřtır.

### 3.3.4 Eřdeęer deprem yōkū yōntemi

Eřdeęer Deprem Yōkū Yōntemi toplam yōksekliği 25 metreyi, toplam kat sayısı 8'i ařmayan ve burulma dūzensizliği katsayısı  $\eta_{bi} < 1.4$  olan binalarda uygulanabilir. Taban kesme kuvvetinin hesabında (3.4) kullanılır.

$$V_t = \frac{W A(T_1)}{R_a(T_1)} \geq 0.10 A_0 I W \quad (3.4)$$

Hesapta  $R_a = 1$  alınır ve denklemin sağ tarafı  $\lambda$  katsayısı ile çarpılır. Üç kata kadar olan binalarda  $\lambda = 1.0$ , daha yōksek katlı binalarda  $\lambda = 0.85$  alınır.

### 3.3.5 Yapı elemanlarında hasar dūzeylerinin belirlenmesi

Elastik değerlendirme yōntemi sonucunda elemanların kritik kesitlerinde hasar sınırının diğer bir deyişle etki/kapasite oranının belirlenmesi için, kırılma tipi eğilme

olan elemanlar sünek, kesme olan elemanlar gevrek olarak sınıflanır. DBYBHY uyarınca verilen enine donatı koşullarını sağlayan kolon, kiriş ve perdeler “sargılanmış”, sağlamayan elemanlar ise “sargılanmamış eleman” sayılır. Sünek elemanların kesitlerinin eğilme momenti kapasitesi hesaplanır. Yalnız düşey yükler altında yapılan hesapta bulunan etki bu kapasiteden çıkarıldığı zaman kesit artık moment kapasitesi elde edilir. Yalnız deprem etkisi altında elde edilen moment etkisinin kesit artık moment kapasitesine oranı o kesit için Etki/kapasite oranı olarak tanımlanır. Kırılma türü kesme olan gevrek kiriş, kolon ve perdelerin etki/kapasite oranları, kritik kesitlerde hesaptan elde edilen kesme kuvvetinin TS500 [17]’e göre hesaplanan kesme kuvveti dayanımına bölünmesi ile elde edilir. Hesaplanan betonarme eleman kesitlerinin etki/kapasite oranları Çizelge 3.1, Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3’de verilen sınır değerler ile karşılaştırılarak elemanların hangi hasar bölgesinde olduğuna karar verilir. Tablolardaki ara değerler için doğrusal interpolasyon uygulanabilir.

**Çizelge 3.1:** B.A kirişler için hasar sınırlarını tanımlayan etki kapasite oranları

| Sünek Kirişler                |           |                           | Hasar Sınırı |     |    |
|-------------------------------|-----------|---------------------------|--------------|-----|----|
| $\frac{\rho - \rho'}{\rho_b}$ | Sargılama | $\frac{V}{b_w d f_{ctm}}$ | MN           | GV  | GÇ |
| $\leq 0.0$                    | Var       | $\leq 0.65$               | 3            | 7   | 10 |
| $\leq 0.0$                    | Var       | $\geq 1.30$               | 2.5          | 5   | 8  |
| $\geq 0.5$                    | Var       | $\leq 0.65$               | 3            | 5   | 7  |
| $\geq 0.5$                    | Var       | $\geq 1.30$               | 2.5          | 4   | 5  |
| $\leq 0.0$                    | Yok       | $\leq 0.65$               | 2.5          | 4   | 6  |
| $\leq 0.0$                    | Yok       | $\geq 1.30$               | 2            | 3   | 5  |
| $\geq 0.5$                    | Yok       | $\leq 0.65$               | 2            | 3   | 5  |
| $\geq 0.5$                    | Yok       | $\geq 1.30$               | 1.5          | 2.5 | 4  |
| Gevrek Kirişler               |           |                           | 1            | 1   | 1  |

**Çizelge 3.2:** BA kolonlar için hasar sınırlarını tanımlayan etki kapasite oranları

| Sünek Kolonlar           |           |                           | Hasar Sınırı |     |     |
|--------------------------|-----------|---------------------------|--------------|-----|-----|
| $\frac{N_K}{A_c f_{cm}}$ | Sargılama | $\frac{V}{b_w d f_{ctm}}$ | MN           | GV  | GÇ  |
| $\leq 0.1$               | Var       | $\leq 0.65$               | 3            | 6   | 8   |
| $\leq 0.1$               | Var       | $\geq 1.30$               | 2.5          | 5   | 6   |
| $\geq 0.4$               | Var       | $\leq 0.65$               | 2            | 4   | 6   |
| $\geq 0.4$               | Var       | $\geq 1.30$               | 2            | 3   | 5   |
| $\leq 0.1$               | Yok       | $\leq 0.65$               | 2            | 3.5 | 5   |
| $\leq 0.1$               | Yok       | $\geq 1.30$               | 1.5          | 2.5 | 3.5 |
| $\geq 0.4$               | Yok       | $\leq 0.65$               | 1.5          | 2   | 3   |
| $\geq 0.4$               | Yok       | $\geq 1.30$               | 1            | 1.5 | 2   |
| Gevrek Kolonlar          |           |                           | 1            | 1   | 1   |

Yapıda bulunan kirişler kesitleri için Çizelge 3.2’de bulunan tabloda ilk kolon basınç donatı oranını vermektedir. Üçüncü kolon ise deprem etkisi altında hesaplanan kesme kuvveti düzeyini belirlemektedir. Bu üç kolon kesitin süneklik düzeyini kestirmek amacıyla belirlenmiştir.

Aynı şekilde Çizelge 3.2’de bulunan tabloda kolon kesitleri için birinci kolon kesitteki düşey yükler altında eksenel yük kapasitesini vermektedir.

### 3.3.6 Göreli kat ötelemeleri kontrolü

Doğrusal elastik yöntemler kullanılarak yapılan performans değerlendirmesinde her bir deprem doğrultusunda, binanın herhangi bir katındaki kolon veya perdelerin göreli kat ötelemeleri Çizelge 3.3’te verilen sınır değerleri aşmamalıdır. Şayet bu sınır değerler aşıyorsa bir önceki bölüme göre yapılan hasar değerlendirmeleri gözönüne alınmamalıdır. Çizelge 3.3’te  $\delta_{ji}$   $i$ ’inci katta  $j$ ’inci kolon veya perdenin alt ve üst uçları arasında yerdeğiştirme farkı olarak hesaplanan göreli kat ötelemesini,  $h_{ji}$  ise ilgili elemanın yüksekliğini göstermektedir.

**Çizelge 3.3:** Göreli kat ötelemesi sınırları

| Görelî Kat Ötelemesi Sınırı | Hasar Sınırı |      |      |
|-----------------------------|--------------|------|------|
|                             | MN           | GV   | GÇ   |
| $\delta_{ji}/h_{ji}$        | 0.01         | 0.03 | 0.04 |

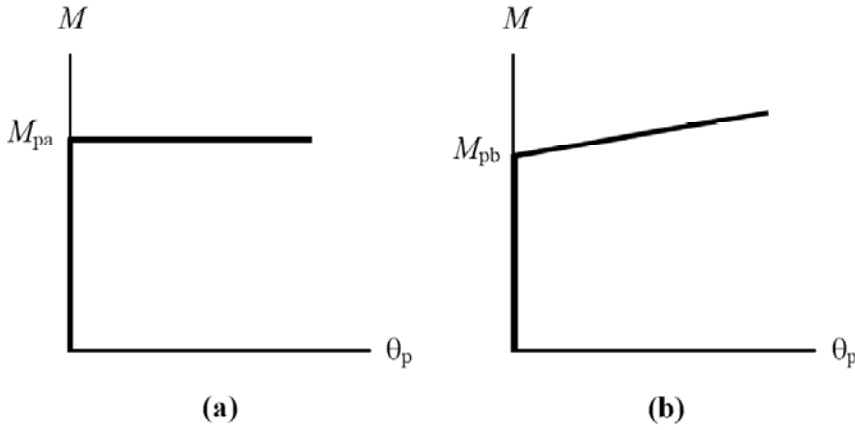
### **3.4 Bina Deprem Performansının Doğrusal Elastik Olmayan Yöntemlerle Belirlenmesi**

Doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinin amacı, belirli bir deprem için sünek davranışa ilişkin plastik şekildeğiştirme istemleri ile gevrek davranışa ilişkin iç kuvvetleri hesaplayarak bu değerleri şekildeğiştirme ve iç kuvvet kapasiteleri ile karşılaştırarak kesit ve bina düzeyinde performansı belirleyebilmektir. Yönetmeliğin içerdiği doğrusal elastik olmayan analiz yöntemleri; Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile İtme Analizi, Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi ve Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi'dir. Bu bölümde çalışma kapsamında kullanılan Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi hakkında ilgi verilecektir.

#### **3.4.1 Doğrusal elastik olmayan davranışın idealleştirilmesi üzerine DBYBHY'de verilen yönergeler**

Yönetmelikte doğrusal elastik olmayan analiz için plastik mafsal hipotezinin baz alındığı bir yaklaşım önerilmektedir. Bna göre, çubuk eleman olarak idealleştirilen kiriş ve kolon gibi taşıyıcı sistem elemanlarındaki iç kuvvetlerin plastik kapasitelerine eriştiği sonlu uzunluktaki bölgeler boyunca, plastik şekildeğiştirmelerin düzgün yayılı biçimde oluştuğu kabul edilmektedir. Basit eğilme durumunda plastik mafsal boyu olarak adlandırılan plastik şekildeğiştirme bölgesinin uzunluğu ( $L_p$ ), çalışan doğrultudaki kesit boyutu ( $h$ )'nin yarısına eşit alınabilir ( $L_p=0.5h$ ). Eğilme ve eksenel kuvvet altında plastikleşen betonarme kesitlerin akma yüzeylerinin tanımlanmasında beton ve donatının mevcut dayanımları esas alınmalıdır. Betonun maksimum basınç birim şekildeğiştirmesi 0.003, donatı çeliğinin maksimum birim şekildeğiştirmesi 0.01 alınabilir. Betonarme kesitlerin akma yüzeyleri uygun biçimde doğrusallaştırılarak, iki boyutlu davranış durumunda akma çizgileri, üç boyutlu davranış durumunda ise akam düzlemleri olarak modellenenebilir. Eğilme etkisindeki elemanların akma öncesi doğrusal davranışları için çatlamış kesite ait eğilme rijitlikleri kullanılmalıdır. Modellemede kullanılacak plastik kesitlerin iç kuvvet-plastik şekildeğiştirme bağıntılarında pekleşme etkisi yaklaşık olarak terk edilebilir.(Şekil 3.2a) Bu durumda plastikleşmeyi izleyen itme adımlarında, iç kuvvetlerin akma yüzeyinin üzerinde kalması koşulu ile plastik şekil değiştirme vektörünün akma yüzeyine yaklaşık olarak dik olması koşulu göz önüne alınmalıdır. Pekleşme etkisinin göz önüne alındığı durumda iç kuvvetlerin ve plastik

şekildeğiştirme vektörünün sağlaması gereken koşullar, ilgili literatürden alınan uygun bir pekleşme modeline göre tanımlanabilir.(Şekil 3.2b)



Şekil 3.2: İki doğrusal moment –plastik dönme ilişkisi

### 3.4.2 Artımsal itme analizi ile bina deprem performans değerlendirilmesinde izlenecek yol

Artımsal eşdeğer deprem yükü ile itme analizinde öncelikle yapının matematik modeli plastik mafsallık hipotezi baz alınarak oluşturulur. Bu modellemede taşıyıcı sistem elemanlarında doğrusal olmayan davranışın idealleştirilmesi gerekmektedir. Artımsal itme analizinden önce başlangıç koşulları olarak dikkate alınacak, düşey yüklerin dikkate alındığı bir doğrusal olmayan statik analiz yapılmalıdır. Daha sonra birinci titreşim mod şekli ile orantılı olacak şekilde, deprem istem sınırına kadar monotonik olarak adım adım arttırılan eşdeğer deprem yüklerinin etkisi altında doğrusal olmayan itme analizi yapılır. Dış yük analizini izleyen itme analizinin her bir adımında taşıyıcı sistemde meydana gelen yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme ve iç kuvvet artımları ile bunlara ait birikimli değerler ve son adımda deprem istemine karşı gelen maksimum değerler hesaplanır. Analiz sonucunda koordinatları modal yerdeğiştirme-modal ivme olarak tanımlanan birinci moda (etkili moda) ait modal kapasite diyagramı elde edilir. Bu diyagramla birlikte, elastik davranış spektrumu ve farklı aşılma olasılıkları için spektrum üzerinde gerekli değişiklikler yapılarak birinci moda ait “modal yerdeğiştirme istemi” belirlenir. Son adımda modal yerdeğiştirme istemine karşı gelen yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme ve iç kuvvet istemleri hesaplanmalıdır. Plastikleşen kesitlerde hesaplanmış bulunan plastik dönme istemlerinden plastik eğrilik istemleri ve toplam eğrilik istemleri elde edilir. Bunlara bağlı olarak beton ve donatıda meydana gelen birim şekildeğiştirme istemleri hesaplanmalıdır. Bu istem değerleri, kesit düzeyinde tanımlanan birim



şekildeğiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılarak sünek davranışa ilişkin performans değerlendirmesi yapılır. Elde edilen kesme kuvveti istemleri ise kapasitelerle karşılaştırılarak kesit düzeyinde gevrek davranışa ilişkin performans değerlendirmesi yapılır.

Bu yöntemin uygulanabilirlik şartları şu şekilde verilmiştir:

Kat sayısının bodrum hariç 8'den fazla olmaması

Elastik davranışa göre hesaplanan burulma düzensizliği katsayısının  $\eta_{bi} < 1.4$ 'ten küçük olması

Göz önüne alınan deprem doğrultusunda, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci titreşim moduna ait kütlelerin toplam bina kütlelerine oranının en az 0.70 olması

Artımsal itme analizi boyunca yük dağılımı sabit kabul edilebilir.

a) (i)'inci itme adımında birinci moda ait modal ivme  $a_1^{(i)}$  şöyle bulunabilir:

$$a^{(i)} = \frac{V_{x1}^{(i)}}{M_{x1}} \quad (3.5)$$

b) (i)'inci itme adımında birinci moda ait modal yerdeğiştirme  $d_1^{(i)}$ 'nin hesabı aşağıdaki bağıntı ile yapılabilir:

$$d^{(i)} = \frac{u_{xN1}^{(i)}}{\Phi_{xN1} \Gamma_{x1}} \quad (3.6)$$

İtme analizi sonucunda elde edilen modal kapasite diyagramı ile birlikte birinci moda ait maksimum modal yerdeğiştirme (modal yerdeğiştirme istemi) hesaplanır. Tanım olarak modal yerdeğiştirme istemi  $d_1^{(p)}$  doğrusal olmayan spektral yerdeğiştirme  $S_{di1}$ 'e eşittir.

$$d_1^{(p)} = S_{di1} \quad (3.7)$$

Doğrusal elastik olmayan spektral yerdeğiştirme  $S_{di1}$ , itme analizinin ilk adımında, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hakim) moda ait  $T_1^{(1)}$  başlangıç periyoduna karşı gelen doğrusal elastik spektral yerdeğiştirme  $S_{de1}$ 'e bağlı olarak elde edilir.

$$S_{i1} = C_{r1} S_{de1} \quad (3.8)$$

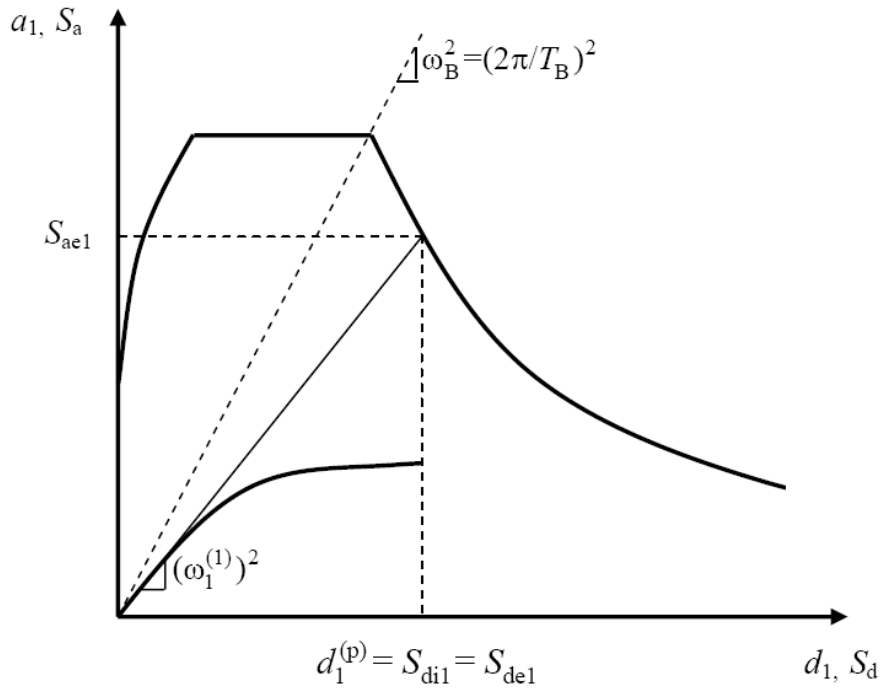
Doğrusal elastik spektral yerdeğiştirme  $S_{de1}$  itme analizinin ilk adımında birinci moda ait elastik spektral ivme  $S_{ae1}$ 'den hesaplanır.

$$S_{de1} = \frac{S_{ae1}}{(\omega_1^{(1)})^2} \quad (3.9)$$

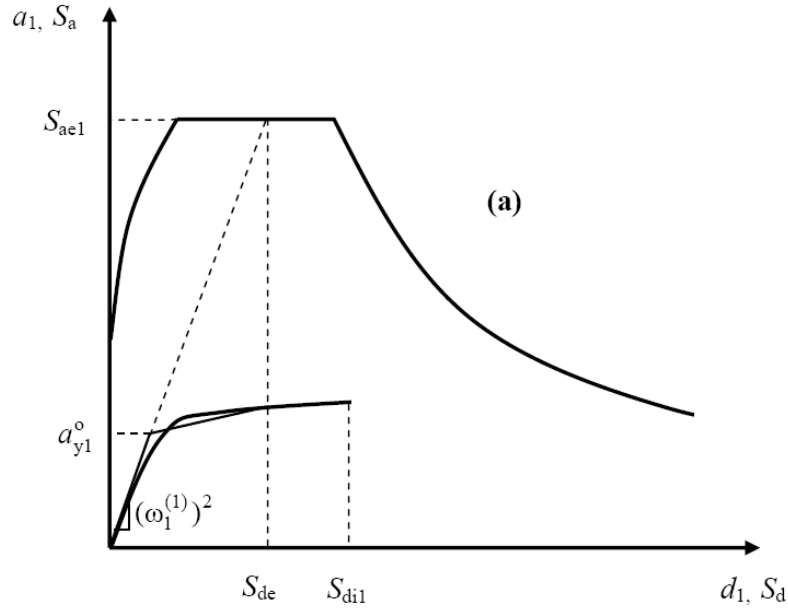
Spektral yerdeğiştirme oranı  $C_{R1}$ ,  $T_1^{(1)}$  başlangıç periyodunun ivme spektrumundaki karakteristik periyot  $T_B$ 'ye eşit veya daha uzun olması durumunda ( $T_1^{(1)} \geq T_B$ )  $C_{R1}=1$  varsayımı yapılır (Şekil 3.3).

Spektral yerdeğiştirme oranı  $C_{R1}$ ,  $T_1^{(1)}$  başlangıç periyodunun ivme spektrumundaki karakteristik periyot  $T_B$ 'den daha kısa olması durumunda ( $T_1^{(1)} < T_B$ ) ise ardışık yaklaşımla aşağıda belirtildiği şekilde hesaplanır.

i) İtme analizi sonucunda elde edilen modal kapasite diyagramı, yaklaşık olarak iki doğrulu bir diyagrama dönüştürülür. (Şekil 3.4) Bu diyagramın başlangıç doğrusunun eğimi, itme analizinin ilk adımındaki ( $i=1$ ) doğrunun eğimi olan birinci moda ait özdeğere eşit alınır.



**Şekil 3.3:** Spektral yerdeğiştirmenin bulunması



**Şekil 3.4:** Kapasite eğrisinin iki doğrusal diyagrama dönüştürülmesi

ii) Ardışık yaklaşımın ilk adımında  $C_{R1} = 1$  kabulü yapılarak, eşdeğer akma noktasının koordinatları eşit alanlar kuralı ile belirlenir.

Daha sonra (3.8) ile  $S_{di1}$  doğrusal elastik olmayan spektral yerdeğiştirme hesaplanır.

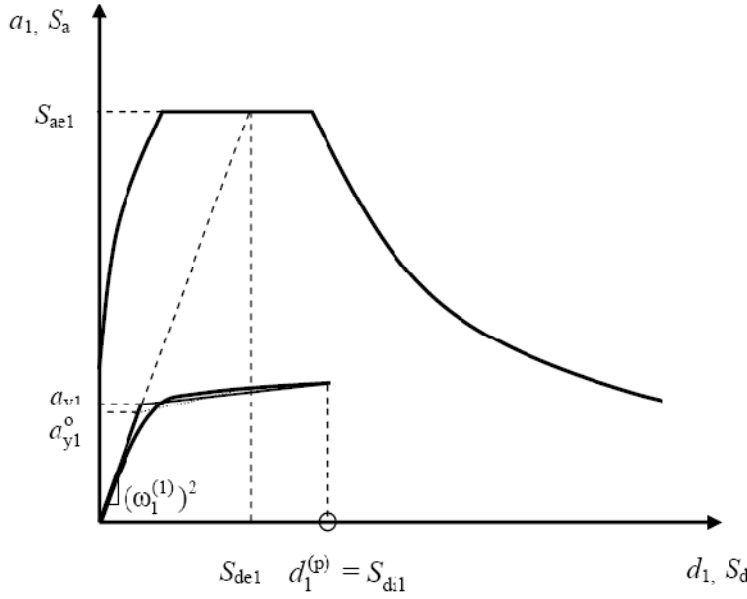
Bu hesapta  $C_{R1}$  değeri (3.10)'den bulunur.

$$C_{R1} = \frac{1 + (R_{y1} - 1) \frac{T_b}{T_1^{(1)}}}{R_{y1}} \geq 1 \quad (3.10)$$

Bu bağıntıda  $R_{y1}$  birinci moda ait dayanım azaltma katsayısını göstermektedir.

$$R_{y1} = \frac{S_{ae1}}{a_{y1}} \quad (3.11)$$

iii)  $S_{di1}$  esas alınarak eşdeğer akma noktasının koordinatları, eşit alanlar kuralı ile yeniden belirlenir ve bunlara göre  $a_{y1}$   $R_{y1}$   $C_{R1}$  tekrar hesaplanır. Ardışık iki adımda elde edilen sonuçların kabul edilebilir ölçüde birbirlerine yaklaştıkları adımda ardışık yaklaşıma son verilir. (Şekil 3.5)



**Şekil 3.5:** Talep yerdeğiştirmenin bulunması

Son itme adımı  $i = p$  için deprem doğrultusundaki tepe yerdeğiştirmesi istemi  $u_{xN1}^{(p)}$  (3.12)'dan elde edilir.

$$u_{xN1}^{(p)} = \Phi_{xN1} \Gamma_{x1} d^{(p)} \quad (3.12)$$

Buna karşılık gelen tüm istem büyüklükleri mevcut itme analizi sonuçlarından elde edilir veya tepe yerdeğiştirmesi istemine ulaşınca kadar yapılacak yeni bir itme analizi ile hesaplanır.

### 3.4.3 Artımsal mod birleştirme yöntemi ile itme analizi

Bu yöntemin amacı taşıyıcı sistem davranışını temsil eden yeteri sayıda doğal titreşim mod şekli ile orantılı olacak şekilde adım arttırılan ve birbirleri ile uygun biçimde ölçeklendirilen modal yerdeğiştirmeler veya onlarla uyumlu modal deprem yükleri esas alınarak mod birleştirme yönteminin artımsal olarak uygulanmasıdır. Bu analiz yönteminde ardışık iki plastik kesit oluşumu arasındaki her bir itme adımında taşıyıcı sistemde adım adım doğrusal elastik davranış esas alınır.

### 3.4.4 Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi

Yöntemin amacı taşıyıcı sistemdeki doğrusal olmayan davranış göz önüne alınarak sistemin hareket denkleminin adım adım entegre edilmesidir. Analiz sırasında her bir zaman artımında sistemde meydana gelen yerdeğiştirme, plastik şekil değiştirme ve iç kuvvetler ile bu büyüklüklerin deprem istemine karşı gelen maksimum değerleri hesaplanır.

### 3.5 Birim Şekil Değiştirme İstemlerinin Belirlenmesi

Yapılan analiz sonucunda herhangi bir kesitte elde edilen  $\theta_p$  plastik dönme istemine ve plastik mafsal boyu  $L_p$ 'ye bağlı olarak plastik eğrilik istemi  $\phi_p$  , (3.13) ile hesaplanır.

$$\phi_p = \frac{\theta_p}{L_p} \quad (3.13)$$

Seçilen bir beton modeli ile pekleşmeyi de göz önüne alan donatı çeliği kullanarak, kesitteki aksenal kuvvet istemi altında yapılan analizden elde edilen iki doğrulu moment-eğrilik ilişkisi ile tanımlanan  $\phi_y$  eşdeğer deprem eğriliği  $\phi_p$  plastik eğrilik istemine eklenerek kesitteki  $\phi_t$  toplam eğrilik istemi elde edilir.

$$\phi_t = \phi_y + \phi_p \quad (3.14)$$

#### 3.5.1 Betonarme elemanların kesit birim şekil değiştirme kapasiteleri

Beton ve donatı çeliğinin birim şekildeğiştirmeleri cinsinden elde edilen deprem istemleri, aşağıda tanımlanan birim şekildeğiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılarak kesit düzeyinde taşıyıcı sistem performansı belirlenir. Plastik şekildeğiştirmelerin meydana geldiği betonarme sünek taşıyıcı sistem elemanlarında, çeşitli kesit hasar sınırlarına göre izin verilen şekildeğiştirme kapasiteleri aşağıdaki gibidir.

1. Kesit Minimum Hasar Sınırı (GV) için sargılı bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi ile donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi üst sınırları:

$$(\varepsilon_{cg})_{MN} = 0.0035 \quad ; \quad (\varepsilon_s)_{MN} = 0.01 \quad (3.15)$$

2. Kesit Güvenlik Sınırı (GV) için sargılı bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi ile donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi üst sınırları:

$$(\varepsilon_{cg})_{GV} = 0.004 + 0.0095 \left[ \frac{\rho_s}{\rho_{sm}} \right] \leq 0.0135 \quad ; \quad (\varepsilon_s)_{GV} = 0.04 \quad (3.16)$$

3. Kesit Göçme Sınırı (GÇ) için sargılı bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi ile donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi üst sınırları:

$$(\varepsilon_{cg})_{GV} = 0.004 + 0.013 \left[ \frac{\rho_s}{\rho_{sm}} \right] \leq 0.018 \quad ; \quad (\varepsilon_s)_{GV} = 0.06 \quad (3.17)$$

### **3.6 Bina Deprem Performanslarının Belirlenmesi**

Binaların deprem güvenliği, uygulanan deprem etkisi altında yapıda oluşması beklenen hasarların durumu ile ilgilidir ve dört farklı hasar durumu için tanımlanmıştır. Hesap yöntemlerinin birinin uygulanması ve eleman hasar bölgelerine karar verilmesi ile bina deprem performans düzeyi belirlenir. Sonuçların değerlendirilmesi ile güçlendirme kararı alınır.

#### **3.6.1 Hemen kullanım performans düzeyi**

Bir katta her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla %10'u belirgin hasar bölgesine geçebilir ancak, diğer taşıyıcı elemanların tümü minimum hasar bölgesindedir. Yapıda gevrek olarak hasar gören elemanlar varsa bunların güçlendirilmeleri kaydı ile, bu durumdaki binaların Hemen Kullanım performans Düzeyi'nde olduğu kabul edilir.

#### **3.6.2 Can güvenliği performans düzeyi**

Bir katta uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin (tali kirişler hariç) en fazla %30'u ve kolonların bir kısmı ileri hasar bölgesine geçebilir. Ancak ileri hasar bölgesindeki kolonların, kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı %20'nin altında olduğu kontrol edilmelidir. En üst katta göçme bölgesindeki kolonların kesme kuvvetleri toplamının o kattaki tüm kolonların kesme kuvvetlerinin toplamına oranı en fazla %40 olabilir. Diğer taşıyıcı elemanların tümü Minimum Hasar Bölgesi veya Belirgin Hasar Bölgesi'ndedir. Bu durumda bina Can Güvenliği Durumu'nda kabul edilir. Can Güvenliği Durumu'nun kabul edilebilmesi için herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden maksimum hasar sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir. En üst katta ileri hasar bölgesindeki düşey elemanların kesme kuvvetleri toplamının, o kattaki tüm kolonların güçlendirilmesine, güvenlik sınırını aşan elemanların sayısına ve yapı içindeki dağılımına göre karar verilir.

#### **3.6.3 Göçmenin önlenmesi performans düzeyi**

Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin (tali kirişler hariç) en fazla %20'si ve kolonların bir kısmı

göçme bölgesine geçebilir. Ancak göçme bölgesindeki kolonların, kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı %20'nin altında olmalıdır ve bu elemanların durumu yapının kararlılığını bozmamalıdır. Diğer taşıyıcı elemanların tümü Minimum Hasar Bölgesi, Belirgin Hasar Bölgesi veya İleri Hasar Bölgesi'ndedir. Bu durumda bina Göçmenin Önlenmesi Durumu'nda kabul edilir. Göçmenin Önlenmesi Durumu'nun kabul edilebilmesi için herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden minimum hasar sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kat kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir.

#### **3.6.4 Göçme durumu**

Bina Göçmenin Önlenmesi Durumu'nu sağlayamıyorsa Göçme Durumu'ndadır. Binanın mevcut durumunda kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır.





## **4. ASCE41-06'E GÖRE ARTIMSAL İTME ANALİZİ YÖNTEMİNE GÖRE PERFORMANSA DAYALI DEĞERLENDİRME**

### **4.1 Giriş**

Bu bölümde doğrusal olmayan artımsal itme analizi yönteminin dünya çapında yaygın kullanıma sahip olan rapor ve önstandartlar olan FEMA-356, ASCE/SEI 41-06, ATC-40 ve FEMA440'ta önerilen yönergeler izlenerek ele alınması özetlenmiştir. Adı geçen bu standartlar, Amerika Birleşik Devletleri'nde deprem bölgelerindeki mevcut yapıların deprem güvenliklerinin belirlenmesi ve uygun görülen güçlendirme çalışmalarının yapılması amacıyla ulusal deprem afetleri risklerinin azaltılması programı (National earthquake hazards reduction program, NEHRP) kapsamında tavsiye raporları ve şartname belgeleri olarak ortaya çıkmışlardır. Bu çalışmaların birer ürünü olan FEMA356 ve ATC-40 raporları performansa dayalı tasarım kavramlarının yaygın olarak kullanılmasında öncü olan belgelerdendir. Bu raporlarda mevcut yapıların güçlendirilmesi ve sismik rehabilitasyonu amacıyla hasar ve/veya mevcut durumun belirlenmesi ile doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemlere göre hesap yöntemleri açıklanmıştır. Artımsal itme yöntemine göre doğrusal olmayan hesap yöntemi bu raporlarda önerilen yöntemlerden biridir. Artımsal itme eğrisinin elde edilmesinde, iki rapor da benzer prosedürü izlemesine karşın performans noktasının bulunması için iki farklı yaklaşım sunmaktadırlar. FEMA356 Katsayı Metodu (Coefficient Method), ATC40 ise Kapasite Spektrumu Metodunu (Capacity Spectrum Method) önermektedir. Bu yöntemlerin doğası gereği mevcut uygulamada binanın performans noktasının belirlenmesi için önerilen yaklaşımlar farklılıklar gösterdiği görülmüştür [6]. Bu belgelerin yaklaşımları birçok araştırmacı tarafından incelenmiş ve önerilen yöntemlerde bazı geliştirmeler önerilmiştir [10]. Bu geliştirme önerileri 2003 yılında yayınlanan FEMA-440'ta geçerlilik kazanmıştır. FEMA440 Katsayı Metodu ve Kapasite Spektrumu Metotlarına bazı yenilikler getirmektedir. Son olarak 2007 yılında yayınlanan ASCE41-06 yönetmeliği, adı geçen belgelerde önerilen yaklaşımları ve güncel gelişmeleri toplu olarak kullanıma sunmuştur.

## 4.2 FEMA ve ASCE Standartlarına Göre Doğrusal Olmayan Artımsal İtme Analizi Yönteminde Temel Kavramlar

FEMA356, ATC40, FEMA440 ve ASCE41-06'da önerilen doğrusal olmayan artımsal itme analizi yöntemi genel manada benzerlik gösterilmektedir. Matematik modelin oluşturulması, elastik ivme spektrumunun elde edilmesi, statik yük vektörünün belirlenmesi ve itme eğrisinin elde edilmesi benzer usullerle izlenir.

Bu amaçla öncelikle artımsal itme eğrisinin elde edilmesi noktasına kadar olan prosedür kısaca açıklanacaktır.

Bu çalışmada amaç DBYBHY'ye göre artımsal itme analizi sonucunda elde edilecek talep yerdeğiştirme ve buna bağlı olarak elde edilecek olan kesit hasar durumları ile karşılaştırılmasıdır.

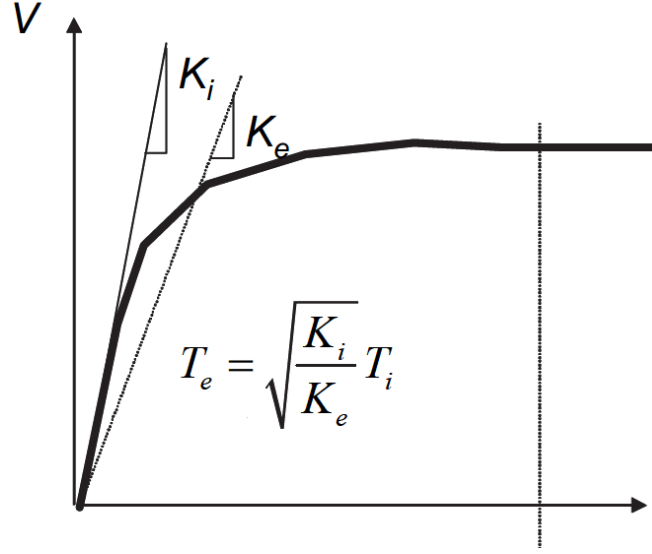
### 4.2.1 FEMA356 – Katsayı yöntemi

FEMA356 (Yapıların Sismik Rehabilitasyonu için Standard ve Öneriler (Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings) yönetmeliğinde yer alan Katsayı Yöntemi (Coefficient Method, CM), yerdeğiştirme istemi (4.1) bağıntısı ile tanımlanır:

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g \quad (4.1)$$

Burada  $S_a$  tepki spektrumunda bina etkin periyoduna tekabül eden spektral ivme değerini,  $g$  yerçekimi ivmesini,  $T_e$  incelen doğrultudaki bina etkin periyodunu göstermektedir.(Şekil 4.1) Bu etkin periyot;

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \quad (4.2)$$



**Şekil 4.1:** Etkili periyod ve rijitliğin bulunması

bağıntısı ile elde edilmektedir. Burada  $K_i$  bina elastik rijitliğini,  $K_e$  ise doğrusallaştırılan itme eğrisinin eğimini göstermektedir.

$C_0$  = Tek serbestlik dereceli sistemin elastik yerdeğiştirmesinin çok serbestlik dereceli sisteme çevrilmesi için kullanılan katsayı

$C_1$  = Maksimum doğrusal olmayan yerdeğiştirmesinin elastik yerdeğiştirmeye oranı

$$C_1 = \begin{cases} 1.0; & T_e \geq T_s \\ \frac{1.0 + (R-1)T_s/T_e}{R}; & T_e < T_s \\ 1.5; & T_e < 0.1s \end{cases} \quad (4.3)$$

Burada  $R$  elastik kapasite ile akma kapasitesi oranı ve  $T_s$  ise tepki spektrumunun sabit ivme bölgesinden sabit hız bölgesine geçişteki periyot değerini vermektedir.

$C_2$  = Artımsal itme analizi boyunca yapı rijitliğinin azalmasının, malzeme çevrimsel şeklinin ve taşıma gücü azalması gibi faktörlerin yansıtılması için kullanılan katsayı

$C_3$  = Dinamik P-Δ etkisi düzeltme katsayısı

$$C_3 = \begin{cases} 1.0; & \alpha \geq 0 \\ 1.0 + \frac{|\alpha|(R-1)^{3/2}}{T_e}; & \alpha < 0 \end{cases} \quad (4.4)$$

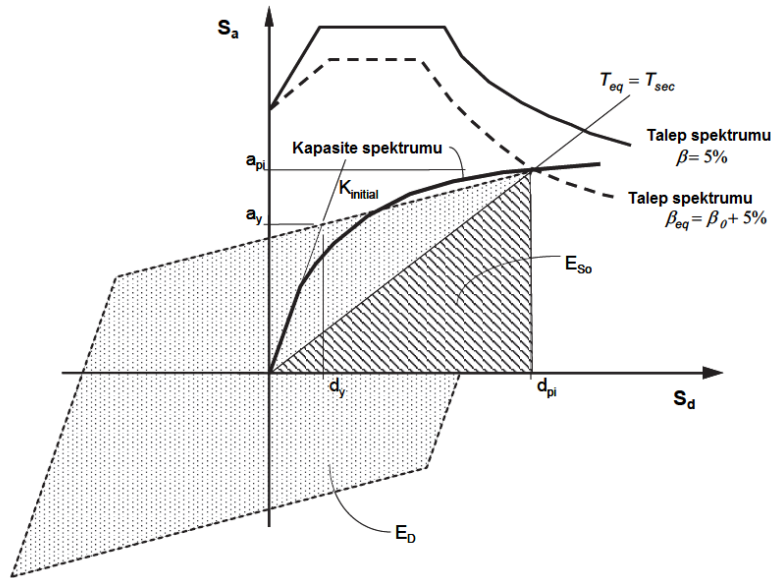
(4.4)'te  $\alpha$  etkin elastik rijitliğin akma sonrası rijitliğe oranıdır.

#### 4.2.2 ATC40 Kapasite Spektrum Yöntemi

ATC-40 Betonarme Yapıların Sismik Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesi (Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings) standardında yer alan Kapasite Spektrumu (Capacity Spectrum Method, CSM) yöntemi elde edilen artımsal itme eğrisinin doğrusallaştırılmasını baz alan bir metottur. (Şekil 4.2). Bu yöntemde yerdeğiştirme istemi;  $T_{eq}$  eşdeğer periyoda ve  $\zeta_{eq}$  eşdeğer sönüme sahip tek serbestlik dereceli elastik sistemin maksimum yerdeğiştirmeye denk olarak bulunur.

$$T_{eq} = T_o \sqrt{\frac{\mu}{1 + \alpha\mu - \alpha}}; \zeta_{eq} = \zeta_o + \kappa \frac{1 (\mu - 1)(1 - \alpha)}{\pi \mu (1 + \alpha\mu - \alpha)} \quad (4.5)$$

Burada  $T_o$  doğrusal olmayan sistemin birincil periyodunu,  $\alpha$  akma sonrası rijitlik oranını,  $\mu$  maksimum yerdeğiştirme süneklik oranını ve  $\kappa$  betonarme malzemenin çevrimsel davranışına bağlı düzeltme katsayısını göstermektedir.



Şekil 4.2: Kapasite spektrumu yöntemi

ATC 40 Kapasite spektrumu yönteminde sistemin eşdeğer sönümünün kapasite eğrisinin altında kalan alana orantılı olduğu varsayılır. Burada eşdeğer periyot  $T_{eq}$  talep spektrumu ile kapasite eğrisinin kesiştiği noktaya göre alınan sekant periyodu olarak kabul edilir. Eşdeğer periyot ve sönümün yerdeğiştirmenin birer fonksiyonu olduğu bilindiğine göre, maksimum doğrusal olmayan yerdeğiştirmenin (performans noktasının) çözümü iteratif bir çözüm gerektirmektedir. ATC-40 üç farklı iterasyon yöntemi önermektedir. Bunlardan A ve B yöntemleri yaygın olarak kullanılan yöntemlerdir [3].

#### 4.2.3 FEMA440 Eşdeğer Doğrusallaştırma Yöntemi

FEMA-440, doğrusal olmayan statik itme analiz usullerinin geliştirilmesi (Improvement of nonlinear static analysis procedures) belgesi, FEMA356 Katsayı Yöntemi ve ATC-40 Kapasite spektrumu yöntemlerinin detaylı olarak incelenmesi ve karşılaştırmaların yapılarak bu yöntemlerde bazı iyileştirmeler yapılmasını kapsamaktadır.

FEMA440'ın Katsayı Yöntemi için getirdiği iyileştirmeler, önerilen katsayıların değiştirilmesini kapsamaktadır. Buna göre  $C_1$  katsayısı için;

$$C_1 = 1 + \frac{R - 1}{aT^2} \quad (4.6)$$

denklemini önerilmiştir. Burada  $a$  saha zemin sınıfına göre değişkenlik gösteren bir katsayıdır.  $C_2$  katsayısı için, belirgin biçimde rijitlik ve taşıma gücü kaybı taşıyan özel yapılar için ek bir formül getirilmiştir.

$$C_2 = 1 + \frac{1}{800} \left( \frac{R-1}{T} \right)^2 \quad (4.7)$$

$C_3$  katsayısı ise rijitlikte azalma gösteren yapılar için minimum taşıma gücü limiti getirilmesi sebebiyle elimine edilmiştir.

FEMA440'ın Kapasite Spektrumu Yöntemi için getirdiği iyileştirmeler, eşdeğer etkin periyodun ve etkin sönümün kestirimleri için geliştirilmiş yaklaşımlar sunulmasını içermektedir. Buna göre  $T_{eff}$ 'in sekant metodu ile bulunan periyottan genel olarak daha düşük olduğu bulunmuştur. Aynı şekilde etkin sönümün de daha düşük olduğu belirtilmiştir. Geliştirilen formüller şöyledir:

$$T_{eff} = \begin{cases} \left[ 0.2(\mu-1)^2 - 0.038(\mu-1)^3 + 1 \right] T_o; & \mu < 4.0 \\ \left[ 0.28 + 0.13(\mu-1) + 1 \right] T_o; & 4.0 \leq \mu \leq 6.5 \\ \left[ 0.89 \left( \sqrt{\frac{(\mu-1)}{1+0.05(\mu-2)}} - 1 \right) + 1 \right] T_o; & \mu > 6.5 \end{cases} \quad (4.8)$$

(4.7) ve (4.8), 0.2 s ile 2 sn aralığındaki periyot aralığı için geçerlidir.

$$\zeta_{eff} = \begin{cases} 4.9(\mu-1)^2 - 1.1(\mu-1)^3 + \zeta_o; & \mu < 4.0 \\ 14.0 + 0.32(\mu-1) + \zeta_o; & 4.0 \leq \mu \leq 6.5 \\ 19 \left[ \frac{0.64(\mu-1)-1}{0.64(\mu-1)^2} \right] \left( \frac{T_{eq}}{T_o} \right)^2 + \zeta_o; & \mu > 6.5 \end{cases} \quad (4.9)$$

#### 4.2.4 ASCE 41-06 katsayı yöntemi

ASCE 41-06 Mevcut Yapıların Sismik İyileştirilmesi (Seismic Rehabilitation of Existing Buildings) yönetmeliği, yukarda bahsedilen Katsayı Yöntemi'nin FEMA-440 raporunda yer alan iyileştirme önerileri uyarınca güncellenmiş ve geliştirilmiş versiyonunu içermektedir. Buna göre talep yerdeğiştirme denklemi (4.10)'da verilmiştir.

$$\delta_i = C_0 C_1 C_2 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g \quad (4.10)$$

Diğer yandan ASCE-41-06, Kapasite Spektrumu yönteminin de kullanılabileceğini belirtmektedir. ASCE41-06'de verildiği şekilde Katsayı Yönteminde bulunan  $C_1$  katsayısı  $T_e$  nin ara değerleri için;

$$C_1 = \begin{cases} 1.0; & T_e > 1.0s \\ 1.0 + \frac{R-1}{aT_e^2}; & 0.2s < T_e \leq 1.0s \\ 1.0 + \frac{R-1}{0.04a}; & T_e \leq 0.2s \end{cases} \quad (4.10)$$

şeklinde verilmektedir. Burada  $\alpha$  farklı zemin tiplerine göre sabit bir değer almaktadır.  $C_2$  katsayısı ise

$$C_2 = \begin{cases} 1.0; & T_e > 0.7s \\ 1 + \frac{1}{800} \left( \frac{R-1}{T_e} \right)^2; & T_e \leq 0.7s \end{cases} \quad (4.11)$$

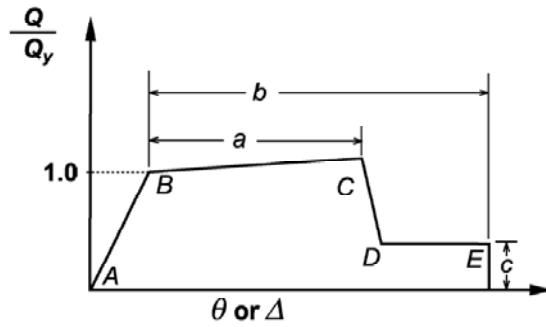
şeklinde verilmiştir.

FEMA-440'da kaldırılması önerilen  $C_3$  katsayısı kaldırılmış fakat (4.13) ile  $R$  katsayısı sınırlanarak taşıma gücü için bir sınır getirilmesi sağlanmıştır.

$$R_{max} = \frac{\Delta_d}{\Delta_y} + \frac{|\alpha_e|^{-h}}{4}; \quad h = 1.0 + 0.15 \ln(T_e) \quad (4.12)$$

### 4.3 ASCE41-06'da Eleman Hasar Durumlarının Tahkiki

İtme analizi sonucunda talep yerdeğiştirme noktasına denk gelen tepe yerdeğiştirme değerine tekabül eden itme adımıta taşıyıcı sistem elemanların meydana gelen plastik dönmler, ASCE41-06'da farklı performans seviyeleri için belirlenmiş olan sınır değerlerle karşılaştırılarak kesit hasar sınırları belirlenir. ASCE41-06'da genelleştirilmiş yük-yerdeğiştirme eğrisi Şekil 4.3'te verilmiştir. Kiriş ve kolonlar için plastik mafsallık özelliklerinin atanmasında bu şekilde gösterilen parametrelere dayalı olarak yapılır. Kirişlerin hasar sınırlarının belirlenmesinde üç farklı parametre gereklidir. Bunlar kesitte basınç donatı ve çekme donatısı farkının dengeli donatı oranına oranı, kesit kesme kuvveti etkisi oranı ve sargılama durumudur. Kolonlar içinse kirişlerdeki donatı oranından farklı olarak, düşey yük etkisinin oranı kesitte izin verilen plastik dönme miktarlarında belirleyici olmuştur.



Şekil 4.3: ASCE41-06'da genelleştirilmiş yük-yerdeğiştirme ilişkisi

Şekil 4.3'te A noktası başlangıç noktasıdır. B noktası, kesitte plastik şekildeğiştirmelerin başladığı noktayı ifade eder. C noktası kesitin en büyük yük taşıma kapasitesini verir. Bu noktadan sonra kesitin bir miktar daha yerdeğiştirme yaparak üstündeki yükü yeniden dağılım prensibi gereğince diğer elemanlara dağıtır. Bu noktaların alacağı değerler bir önceki paragrafta açıklanan parametrelere bağlıdır.

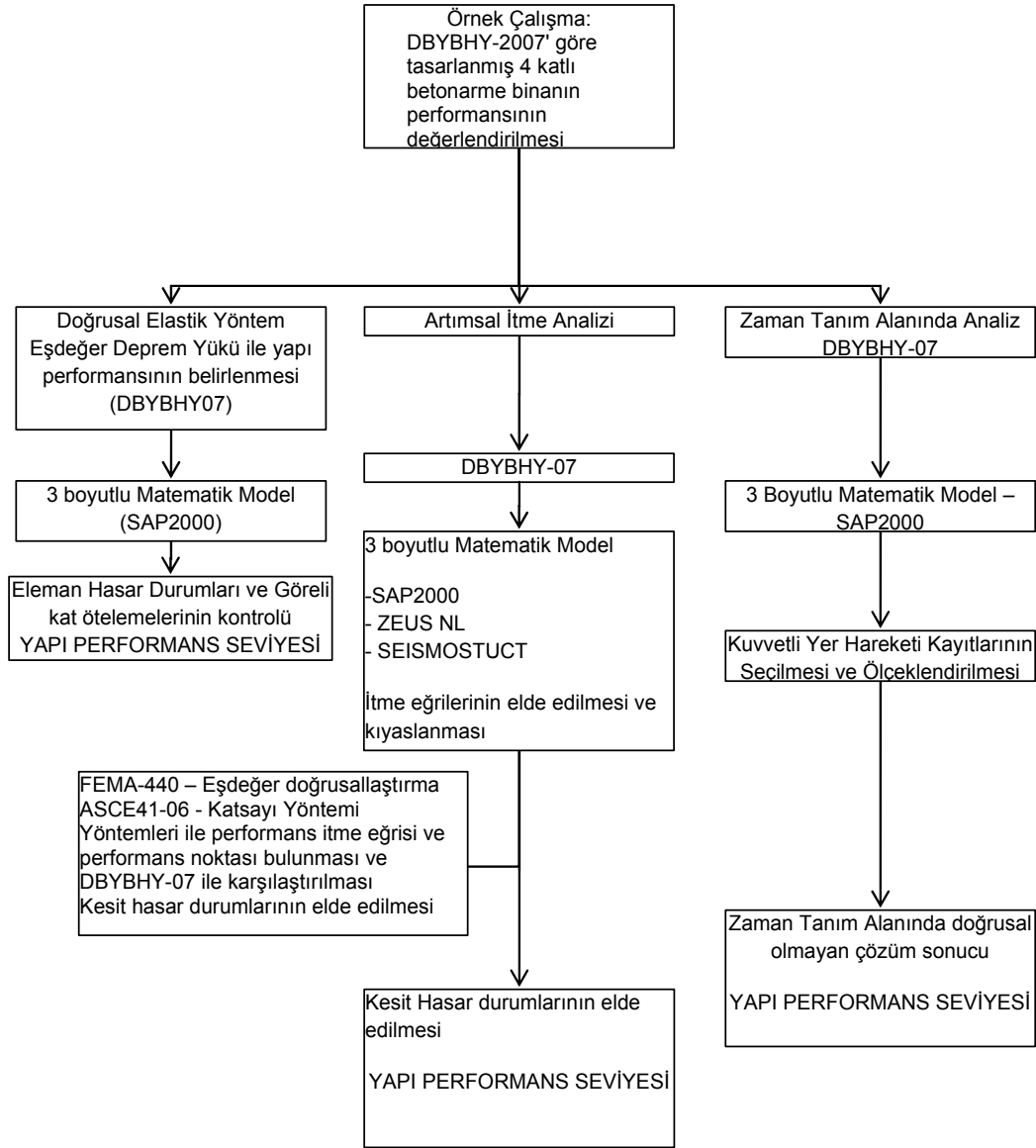




## **5. BETONARME BİR BİNANIN DEPREM PERFORMANSININ BULUNMASI ÜZERİNE SAYISAL BİR ÖRNEK**

Bu bölümde DBYBHY 2007'ye göre tasarımı yapılmış olan dört katlı bir betonarme binanın yönetmelikte bulunan doğrusal elastik (eşdeğer deprem yükü), doğrusal elastik olmayan (artımsal eşdeğer deprem yükü) ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemleriyle performans değerlendirilmesi yapılmıştır. Doğrusal elastik analiz yönteminde binanın performans seviyesi DBYBHY'de belirlenen kesit hasar durumları yapı taşıyıcı sisteminde bulunan bütün kiriş ve kolonlardaki her kesit için elde edilerek bulunmuştur. Artımsal İtme Analizi (AİA) Yönteminde uluslararası yaygınlığa sahip deprem yönetmelikleri ve öneri raporlarında bulunan yöntemler de incelenerek performans noktası belirlenmiş ve yöntemlerin sonuçları DBYBHY'de elde edilen performans noktası ile kıyaslanmıştır. Ayrıca bu analizde farklı analiz yazılımları kullanılarak bu yazılımların çözüm yöntemindeki etkisi de araştırılmıştır. Bu amaçla artımsal itme analizi için SAP2000, ZEUS NL ve SEISMOSTRUCT yazılımlarında oluşturulan üç boyutlu modelde artımsal itme analizi yapılmıştır. Artımsal itme analizi sonucunda elde edilen kesit hasar durumları DBYBHY ve ASCE41-06'ya göre ayrı ayrı belirlenmiş ve sonuçlar eleman bazında karşılaştırılmıştır. Son olarak aynı binanın üç boyutlu modeli için üç farklı gerçek deprem kaydı kullanılarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi kullanılarak çözümü yapılmıştır. Bu analiz sonucunda elde edilen göreceli kat ötelemeleri ve kat yerdeğiştirmeleri ile taban kesme kuvveti mertebeleri, artımsal itme analizinde bulunan sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Kesit hasar durumları bu yöntem için de belirlenerek, hasar sınırlarının farklı yöntemlerde nasıl sonuç verdiği karşılaştırılmıştır. Sayısal incelemede izlenen hesap adımları Şekil 5.1'de özetlenmiştir.

Bina planda iki doğrultu için de simetrik olduğundan, yapılan değerlendirmeler her bir doğrultuda sadece bir yön için yapılmıştır.



**Şekil 5.1:** Sayısal inceleme adımları

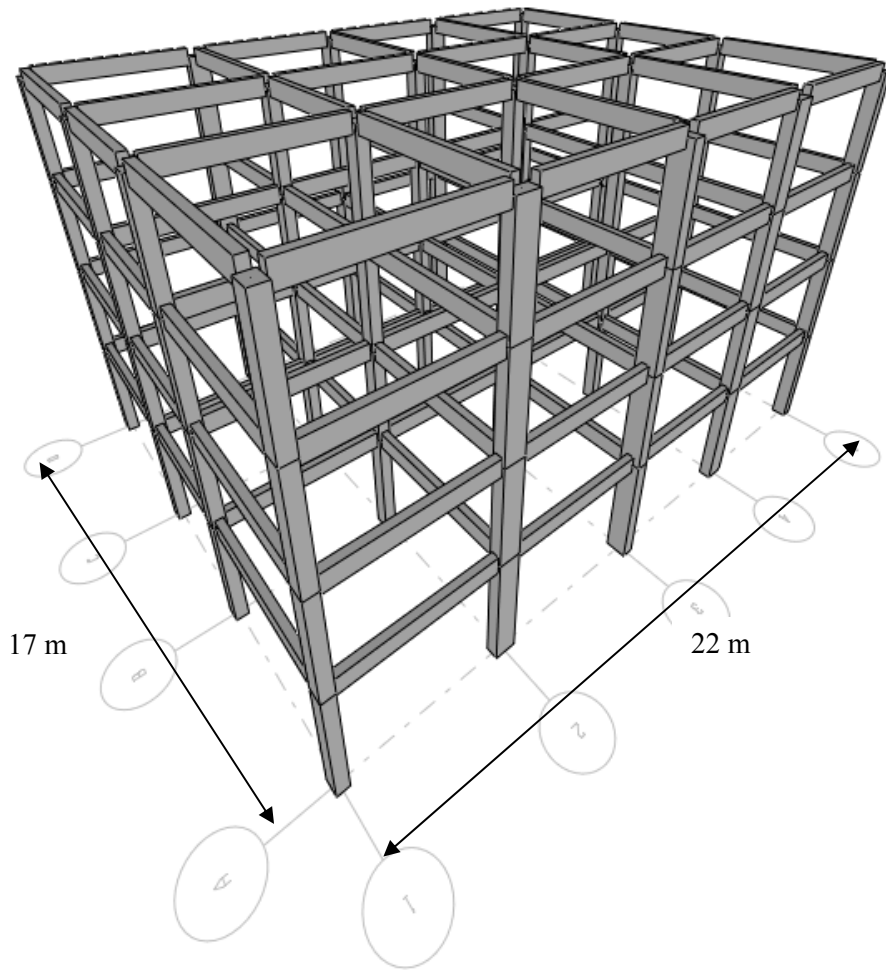
## 5.1 İncelenen Bina Hakkında Genel Bilgiler

Bu kısımda incelenen binanın geometrik özellikleri, zemin özellikleri, kullanım amacı gibi genel bilgiler verilmektedir.

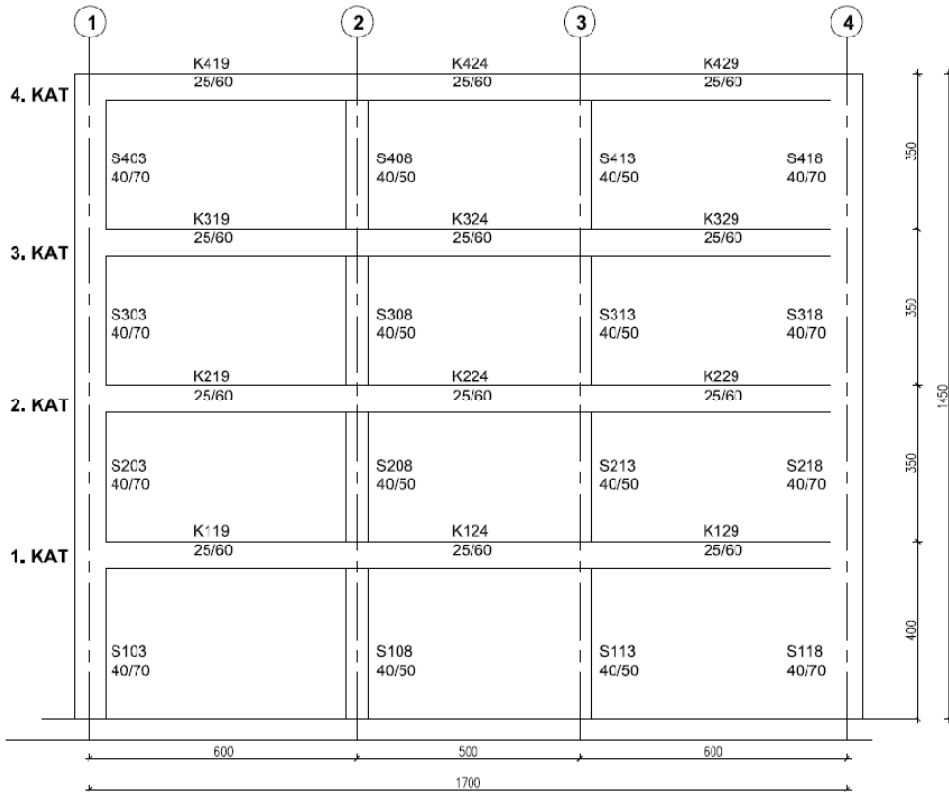
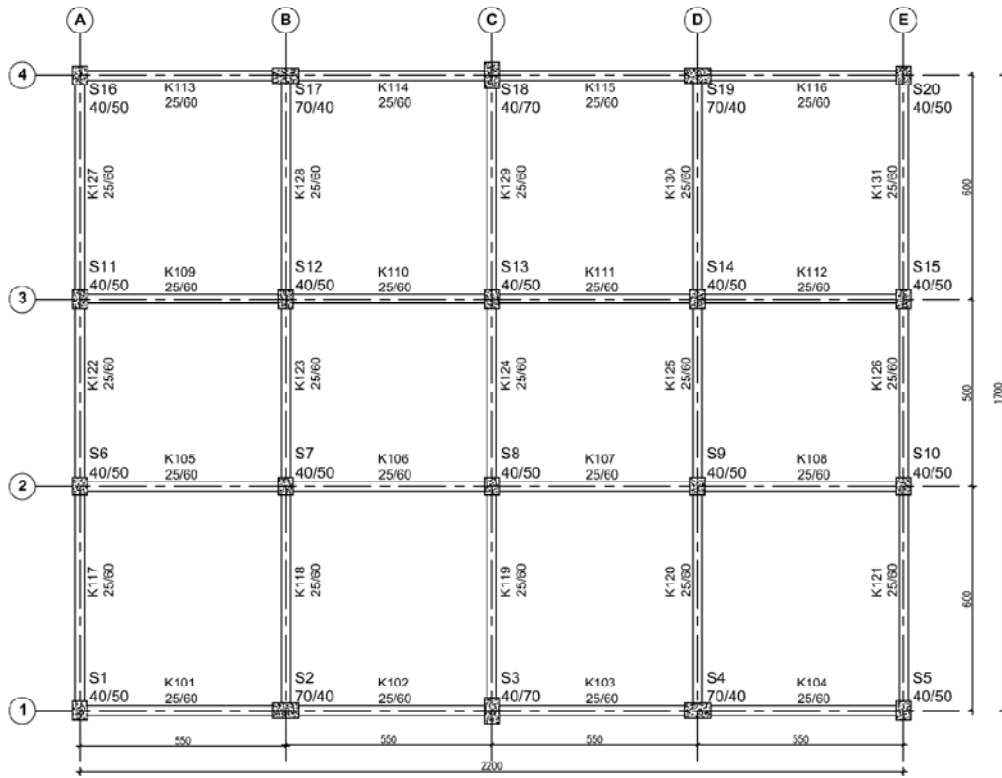
İncelenen bina dört katlı betonarme bir yapıdır. Genel boyutları 22 m x 17 m'dir. Bina X doğrultusunda (uzun doğrultu) 4 açıklıktan, Y doğrultusunda (kısa doğrultu) ise 3 açıklıktan oluşmaktadır. Kat yüksekliği birinci katta 4 m, diğer katlarda ise 3.5m'dir. Bina taşıyıcı sistemi her iki doğrultuda süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçevelerden oluşmaktadır. Kirişlerin tümü 25 cm x 60 cm olarak belirlenmiştir. Kolonlar genel olarak 40 cm x 50 cm boyutlarında olup, 40 cm x 70 cm kolonlar da bulunmaktadır. Döşeme tipi, kalınlığı 14 cm olan çift doğrultuda çalışan plak tipi

döşemelerdir. Kolonlar temel seviyesinde ankastre olarak modellenmiş olup yapı zemin etkileşimi hesaplarda gözönüne alınmamıştır.

Bina'nın DBYBHY'e göre birinci deprem bölgesinde ve Z2 sınıf zeminde inşa edildiği varsayılmıştır. Yapının kullanım amacı ofis/konut olarak kabul edildiğinden bina önem katsayısı  $I=1$  olarak belirlenmiştir. Binanın iki yönde de süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçevelerden oluşması sebebiyle taşıyıcı sistem davranış katsayısı  $R=8$  olarak belirlenmiştir. Yapının boyutlandırılmasında SAP2000 v14.2 [11] programı kullanılmıştır. Yapının üç boyutlu modeli, kat planı ve C eksenli görünüşü Şekil 5.2, Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'e verilmiştir.



**Şekil 5.2:** Bina taşıyıcı sisteminin SAP2000 üç boyutlu analiz modeli



Yukarıda bahsedilen bilgiler ve bunlara ek olarak diğer bina bilgileri aşağıda özetlenmiştir.

|                                    |                                    |
|------------------------------------|------------------------------------|
| Kat sayısı                         | :Zemin + 3 Kat                     |
| Kat yüksekliği                     | :Zemin Kat 4 m, Diğer katlar 3.5 m |
| Bina kat alanı                     | :374 m                             |
| Döşeme kalınlığı                   | :0.14 m                            |
| Döşeme tipi                        | :Kirişli plak döşeme               |
| Hareketli yük katılım katsayısı    | :0.3                               |
| Deprem bölgesi                     | :1.Deprem bölgesi                  |
| Etkin yer ivmesi katsayısı         | : $A_0=0.4$                        |
| Zemin sınıfı                       | :Z2                                |
| Spektrum karakteristik periyotları | : $T_A=0.15s$ $T_B=0.40s$          |
| Beton sınıfı                       | :C25 ( $f_{cd} = 20$ MPa)          |
| Çelik sınıfı                       | :S420 ( $f_{yd} = 365$ MPa)        |
| Bilgi düzeyi                       | :Kapsamlı                          |
| Bina kullanım amacı                | :Ofis / Konut                      |
| Taşıyıcı sistem davranış katsayısı | : $R=8$                            |

## 5.2 Hesaplamalarda Yapılan Kabuller

Hesaplarda yapılan kabuller şöyle özetlenebilir:

- Kolon kiriş birleşim bölgeleri sonsuz rijit olarak kabul edilmiştir.
- Temel seviyesinde kolonlar ankastre birleşimlerle bağlanmıştır.
- Kat seviyelerinde yatay düzlemde rijit diyafram kabulü geçerlidir.
- Elemanların boyutlandırılmasında betonarmede taşıma gücü yöntemi kullanılmıştır.
- Malzeme katsayıları beton için 1.5, donatı çeliği için 1.15 olarak alınmıştır.
- Kullanılan yük kombinasyonları TS500 ve DBYBHY'ye uygun olarak belirlenmiştir.

## 5.3 Hesapta Kullanılan Yük Etkileri

### Düşey yükler

Döşeme kalınlığı 14 cm olduğundan döşeme ağırlığı düzgün yayılı olarak  $3.5 \text{ kN/m}^2$  olarak etkilmiştir. Buna ek olarak  $2.0 \text{ kN/m}^2$ 'lik ek zati yük hesaplarda göz önüne

alınmıştır. Hareketli yük ise çatıda  $2.0 \text{ kN/m}^2$ , diğer katlarda ise  $3.5 \text{ kN/m}^2$  olarak alınmıştır. Düşey yükler kirişlere çift doğrultulu döşemede yük dağılımı gözetilerek çizgisel olarak etkitilmiştir. Bölme duvarlar ise kirişlere sürekli yük olacak şekilde, dış duvarlar  $4.0 \text{ kN/m}^2$ , iç bölme duvarlar ise  $2.5 \text{ kN/m}^2$  olarak kabul edilmiştir [18].

### Eşdeğer Deprem Yüğü

Yapının modal analizi neticesinde her iki yöndeki doğal titreşim periyodu ve kütle katılım oranı Çizelge 5.1’de verilmiştir.

**Çizelge 5.1:** Modal analiz sonuçları

| Mod | Periyot (s) | Etkin Kütle oranı X | Etkin Kütle oranı Y | Etkin Kütle /Toplam Kütle | Kütle Etkin /Toplam Kütle |
|-----|-------------|---------------------|---------------------|---------------------------|---------------------------|
| 1   | 0.726       | 0.00                | 0.87                | 0.00                      | 0.87                      |
| 2   | 0.724       | 0.87                | 0.00                | 0.87                      | 0.87                      |
| 3   | 0.629       | 0.00                | 0.00                | 0.87                      | 0.87                      |
| 4   | 0.228       | 0.09                | 0.00                | 0.97                      | 0.87                      |
| 5   | 0.228       | 0.00                | 0.10                | 0.97                      | 0.97                      |

DBYBHY’ye göre katlara etkililecek eşdeğer deprem yükünün hesabi yapının her iki doğrultusu için Çizelge 5.2 ve Çizelge 5.3’de özetlenmiştir.

**Çizelge 5.2:** X doğrultusunda eşdeğer deprem yükü hesabı

|                            |        |           |                           |              |             |       |
|----------------------------|--------|-----------|---------------------------|--------------|-------------|-------|
| <b>W =</b>                 | 16045  | <b>kN</b> |                           |              |             |       |
| <b>I =</b>                 | 1      |           |                           |              |             |       |
| <b>Zemin :</b>             | Z2     |           | <b>T<sub>1,y</sub> =</b>  | <b>0.726</b> | <b>s</b>    |       |
| <b>T<sub>A</sub> =</b>     | 0.15   | <b>s</b>  | <b>S(T) =</b>             | 1.55         |             |       |
| <b>T<sub>B</sub> =</b>     | 0.40   | <b>s</b>  | <b>A(T<sub>1</sub>) =</b> | 0.62         |             |       |
| <b>A<sub>0</sub> =</b>     | 0.4    |           | <b>V<sub>T</sub> =</b>    | 1244.9       | <b>&gt;</b> | 641.8 |
| <b>R =</b>                 | 8      |           | <b>V<sub>T</sub> =</b>    | 1244.9       | <b>kN</b>   |       |
|                            |        |           | <b>ΔFN =</b>              | 37.35        | <b>kN</b>   |       |
| <b>V<sub>t</sub> =</b>     | 1244.9 | <b>kN</b> |                           |              |             |       |
| <b>V<sub>t</sub> -ΔFn=</b> | 1207.6 | <b>kN</b> |                           |              |             |       |

| Kat                              | W <sub>i</sub> (kN) | h <sub>i</sub> (m) | W <sub>i</sub> ·h <sub>i</sub> | w <sub>i</sub> h <sub>i</sub> /Σw <sub>i</sub> h <sub>i</sub> | F <sub>i</sub> (kN) | V <sub>i</sub> (kN) |
|----------------------------------|---------------------|--------------------|--------------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------|
| 4                                | 3375                | 14.5               | 48938                          | 0.334                                                         | 441                 | 441                 |
| 3                                | 4224                | 11.1               | 46886                          | 0.320                                                         | 386                 | 827                 |
| 2                                | 4223                | 7.7                | 32517                          | 0.222                                                         | 268                 | 1095                |
| 1                                | 4223                | 4.3                | 18159                          | 0.124                                                         | 150                 | 1245                |
| ΣW <sub>i</sub> h <sub>i</sub> = |                     |                    | 146500                         | 1                                                             |                     |                     |

**Çizelge 5.3: Y doğrultusunda eşdeğer deprem yükü hesabı**

|                              |        |           |                           |              |    |       |
|------------------------------|--------|-----------|---------------------------|--------------|----|-------|
| <b>W =</b>                   | 16045  | <b>kN</b> |                           |              |    |       |
| <b>I =</b>                   | 1      |           |                           |              |    |       |
| <b>Zemin :</b>               | Z2     |           | <b>T<sub>1,y</sub> =</b>  | <b>0.726</b> | s  |       |
| <b>T<sub>A</sub> =</b>       | 0.15   | s         | <b>S(T) =</b>             | 1.55         |    |       |
| <b>T<sub>B</sub> =</b>       | 0.40   | s         | <b>A(T<sub>1</sub>) =</b> | 0.62         |    |       |
| <b>A<sub>0</sub> =</b>       | 0.4    |           | <b>V<sub>T</sub> =</b>    | 1244.9       | >  | 641.8 |
| <b>R =</b>                   | 8      |           | <b>V<sub>T</sub> =</b>    | 1244.9       | kN |       |
|                              |        |           | <b>ΔFN =</b>              | 37.35        | kN |       |
| <b>V<sub>t</sub> =</b>       | 1244.9 | kN        |                           |              |    |       |
| <b>V<sub>t</sub> - ΔFN =</b> | 1207.6 | kN        |                           |              |    |       |

| Kat                              | W <sub>i</sub> (kN) | h <sub>i</sub> (m) | W <sub>i</sub> ·h <sub>i</sub> | w <sub>i</sub> h <sub>i</sub> /Σw <sub>i</sub> h <sub>i</sub> | F <sub>i</sub> (kN) | V <sub>i</sub> (kN) |
|----------------------------------|---------------------|--------------------|--------------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------|
| 4                                | 3375                | 14.5               | 48938                          | 0.334                                                         | 441                 | 441                 |
| 3                                | 4224                | 11.1               | 46886                          | 0.320                                                         | 386                 | 827                 |
| 2                                | 4223                | 7.7                | 32517                          | 0.222                                                         | 268                 | 1095                |
| 1                                | 4223                | 4.3                | 18159                          | 0.124                                                         | 150                 | 1245                |
| ΣW <sub>i</sub> h <sub>i</sub> = |                     |                    | 146500                         | 1                                                             |                     |                     |

**5.3.1 Göreli kat ötelemelerinin kontrolü**

Görelî kat ötelemelerinin kontrolü binanın her iki doğrultusunda DBYBHY uyarınca kontrol edilmiştir. Sonuçlar Çizelge 5.4 ve Çizelge 5.5'te verilmiştir.

**Çizelge 5.4: X doğrultusunda göreli kat ötelemelerinin kontrolü**

| Kat | h <sub>i</sub> (m) | Δ <sub>x</sub> (MAKS)<br>(mm) | δ <sub>x</sub> (MAKS)<br>(mm) | δ <sub>y</sub> (maks) / h <sub>i</sub> |
|-----|--------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------|
| 4   | 3.5                | 2.20                          | 18                            | 0.005                                  |
| 3   | 3.5                | 3.80                          | 30                            | 0.009                                  |
| 2   | 3.5                | 4.90                          | 39                            | 0.011                                  |
| 1   | 4.0                | 4.80                          | 38                            | 0.010                                  |

**Çizelge 5.5: Y doğrultusunda göreli kat ötelemelerinin kontrolü**

| Kat | h <sub>i</sub> (m) | Δ <sub>y</sub> (MAKS)<br>(mm) | δ <sub>y</sub> (MAKS)<br>(mm) | δ <sub>y</sub> (maks) / h <sub>i</sub> |
|-----|--------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------|
| 4   | 3.5                | 2.40                          | 19                            | 0.005                                  |
| 3   | 3.5                | 4.10                          | 33                            | 0.009                                  |
| 2   | 3.5                | 5.20                          | 42                            | 0.012                                  |
| 1   | 4.0                | 4.90                          | 39                            | 0.010                                  |

**5.3.2 Düzensizlik kontrolleri**

Yapıdaki düzensizlik durumları için DBYBHY'te bahsedilen düzensizlik kontrolleri yapılmıştır.

### A1 Düzensizliği

A1 Burulma düzensizliği durumu her iki doğrultu için sırasıyla Çizelge 5.6 ve Çizelge 5.7’te sunulmuştur. Yapıda A1 düzensizliği bulunmamaktadır.

**Çizelge 5.6: A1 düzensizliği kontrolü – X doğrultusu**

| Kat | $h_i$<br>(m) | $\Delta_Y$ (MAX)<br>(mm) | $\Delta_Y$ (MIN)<br>(mm) | $\Delta_{Yort}$<br>(mm) | $\eta_{bi}$<br>( $\Delta_{MAX} / \Delta_{ORT}$ ) | A1 düzensizliği |
|-----|--------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------------------------------|-----------------|
| 4   | 3.5          | 2.40                     | 1.90                     | 2.15                    | 1.12                                             | Yok             |
| 3   | 3.5          | 4.10                     | 3.20                     | 3.65                    | 1.12                                             | Yok             |
| 2   | 3.5          | 5.20                     | 4.20                     | 4.70                    | 1.11                                             | Yok             |
| 1   | 4.0          | 4.90                     | 3.90                     | 4.40                    | 1.11                                             | Yok             |

**Çizelge 5.7: A1 düzensizliği kontrolü – Y doğrultusu**

| Kat | $h_i$<br>(m) | $\Delta_X$ (MAX)<br>(mm) | $\Delta_X$ (MIN)<br>(mm) | $\Delta_{Xort}$<br>(mm) | $\eta_{bi}$<br>( $\Delta_{MAX} / \Delta_{ORT}$ ) | A1 düzensizliği |
|-----|--------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------------------------------|-----------------|
| 4   | 3.5          | 2.20                     | 1.90                     | 2.05                    | 1.07                                             | Yok             |
| 3   | 3.5          | 3.80                     | 3.30                     | 3.55                    | 1.07                                             | Yok             |
| 2   | 3.5          | 4.90                     | 4.30                     | 4.60                    | 1.07                                             | Yok             |
| 1   | 4.0          | 4.80                     | 4.20                     | 4.50                    | 1.07                                             | Yok             |

### B1 (Zayıf Kat) ve B2 (Yumuşak kat) kontrolü:

Tüm katlarda kolon kesitleri eşit olduğundan B1 düzensizliği bulunmamaktadır.

B2 burulma düzensizliği kontrolü Çizelge 5.8’te özetlenmiştir.

**Çizelge 5.8: B2 düzensizliği kontrolü**

| Kat | $\Delta_{AVG} / h_i$ | $\eta_{ki1}$ | $\eta_{ki2}$ | B2<br>Düzensizliği |
|-----|----------------------|--------------|--------------|--------------------|
| 4   | 0.6143               | 0.589        |              |                    |
| 3   | 1.0429               | 0.777        | 1.698        | Yok                |
| 2   | 1.3429               | 1.221        | 1.288        | Yok                |
| 1   | 1.1000               |              | 0.8191       | Yok                |

### 5.3.3 Kolon ve kirişlerin donatı düzenleri

Yapıdaki kiriş ve kolonların donatı detaylandırılması DBYBHY ve TS-500 uyarınca taşıma gücü yöntemine göre hesaplanmıştır. Kolon ve kiriş donatıları EK.B’de sunulmuştur.

### 5.3.4 Doğrusal elastik hesap yöntemi ile performans analizi

Bu bölümde tasarlanan yapı, DBYBHY’in eşdeğer deprem yükü metodu kullanılarak doğrusal elastik hesap yöntemi ile yapının performans değerlendirilmesi yapılacaktır. Binanın kullanım amacı işyeri olması sebebiyle bina kullanım amacı ve türü olarak



Diğer binalar sınıfına girmektedir. Buna göre yapı 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem etkisi altında can güvenliği performans seviyesin sağlayıp sağlamadığı kontrol edilecektir.

#### **5.3.5 Bina bilgi düzeyi**

Yapının DBYBHY'ye tam uygunlukta yapılmış olduğu ve malzeme özelliklerinin ve betonarme detaylarının projeye tamamen uyduğu varsayılmıştır. Buna göre bina bilgi düzeyi “kapsamlı” olarak belirlenmiştir. Bilgi düzeyi katsayısı “1” alınarak eleman kapasitelerinde bir azaltmaya gidilmeyerek mevcut malzeme dayanımları kullanılacaktır. Buradan;

$$f_{cm} = 25 \text{ MPa} \quad (5.1)$$

$$f_{ym} = 420 \text{ MPa} \quad (5.2)$$

#### **5.4 Analiz Modelinin Oluşturulması**

Analiz modeli SAP2000 yazılımı kullanılarak tasarıma uygun biçimde oluşturulmuştur. Yatay yükler binaya ek dışmerkezlik göz önüne alınmaksızın etkitilmiştir. Eşdeğer deprem yükü uygulanırken taban kesme kuvveti hesabında deprem yükü azaltma katsayısı  $R_d=1$  ve bina önem katsayısı  $I=1$  alınmıştır. Ayrıca taban kesme kuvvetinin hesabında  $\lambda=0.85$  katsayısı kullanılmıştır.

##### **5.4.1 Eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabilirliği**

Sistem simetrik olduğundan ek dış merkezlik göz önüne alınmaksızın hesaplanan burulma katsayısını  $\eta_{bi} < 1.4$  koşulunun sağlamaktadır. Kat sayısı 8 kat sınır değerini ve bina toplam yüksekliği 14.50 m olup 25 m sınır değerini aşmamaktadır. Buradan hareketle sebeple eşdeğer deprem yükü yöntemi uygulanabilir.

##### **5.4.2 Eğilme etkisinden elemanlarda çatlama kesit etkisi**

DBYBHY'e göre eğilme etkisindeki elemanlar için verilen çatlama kesite ait etkin eğilme rijitlikleri hesaplanarak analiz modelinde bu elemanlar için gerekli düzenleme yapılmıştır.

$$\text{Kirişlerde } (EI)_e = 0.40(EI)_o$$

Kolonlarda ise deprem hesabında göze alınacak kütlelerle uyumlu yüklerin gözönüne alındığı bir düşey yük analizi yapılmış ve buna karşılık kolonlarda elde edilen  $N_D$  değerleri için yönetmelikte verilen bağıntılar kullanılarak etkin eğilme rijitliği için gerekli katsayı “k” bulunmuş ve tüm kolonlar için girilmiştir (Çizelge 5.9).

**Çizelge 5.9: Kolonlar için çatlamış kesit özelliği katsayısının belirlenmesi**

| Kolon | $N_D$ (kN) | $A_c$ (m <sup>2</sup> ) | $N_D / (A_c f_{cm})$ | k    | Kolon | $N_D$ (kN) | $A_c$ (m <sup>2</sup> ) | $N_D / (A_c f_{cm})$ | k    |
|-------|------------|-------------------------|----------------------|------|-------|------------|-------------------------|----------------------|------|
| S101  | 444        | 0.2                     | 0.09                 | 0.40 | S301  | 211        | 0.2                     | 0.04                 | 0.40 |
| S102  | 784        | 0.28                    | 0.11                 | 0.42 | S302  | 378        | 0.28                    | 0.05                 | 0.40 |
| S103  | 779        | 0.28                    | 0.11                 | 0.42 | S303  | 375        | 0.28                    | 0.05                 | 0.40 |
| S104  | 784        | 0.28                    | 0.11                 | 0.42 | S304  | 378        | 0.28                    | 0.05                 | 0.40 |
| S105  | 444        | 0.2                     | 0.09                 | 0.40 | S305  | 211        | 0.2                     | 0.04                 | 0.40 |
| S106  | 714        | 0.2                     | 0.14                 | 0.46 | S306  | 343        | 0.2                     | 0.07                 | 0.40 |
| S107  | 1203       | 0.2                     | 0.24                 | 0.59 | S307  | 584        | 0.2                     | 0.12                 | 0.42 |
| S108  | 1178       | 0.2                     | 0.24                 | 0.58 | S308  | 571        | 0.2                     | 0.11                 | 0.42 |
| S109  | 1203       | 0.2                     | 0.24                 | 0.59 | S309  | 584        | 0.2                     | 0.12                 | 0.42 |
| S110  | 714        | 0.2                     | 0.14                 | 0.46 | S310  | 343        | 0.2                     | 0.07                 | 0.40 |
| S111  | 714        | 0.2                     | 0.14                 | 0.46 | S311  | 343        | 0.2                     | 0.07                 | 0.40 |
| S112  | 1203       | 0.2                     | 0.24                 | 0.59 | S312  | 584        | 0.2                     | 0.12                 | 0.42 |
| S113  | 1178       | 0.2                     | 0.24                 | 0.58 | S313  | 571        | 0.2                     | 0.11                 | 0.42 |
| S114  | 1203       | 0.2                     | 0.24                 | 0.59 | S314  | 584        | 0.2                     | 0.12                 | 0.42 |
| S115  | 714        | 0.2                     | 0.14                 | 0.46 | S315  | 343        | 0.2                     | 0.07                 | 0.40 |
| S116  | 444        | 0.2                     | 0.09                 | 0.40 | S316  | 211        | 0.2                     | 0.04                 | 0.40 |
| S117  | 784        | 0.28                    | 0.11                 | 0.42 | S317  | 378        | 0.28                    | 0.05                 | 0.40 |
| S118  | 779        | 0.28                    | 0.11                 | 0.42 | S318  | 375        | 0.28                    | 0.05                 | 0.40 |
| S119  | 784        | 0.28                    | 0.11                 | 0.42 | S319  | 378        | 0.28                    | 0.05                 | 0.40 |
| S120  | 444        | 0.2                     | 0.09                 | 0.40 | S320  | 211        | 0.2                     | 0.04                 | 0.40 |
| S201  | 326        | 0.2                     | 0.07                 | 0.40 | S401  | 96         | 0.2                     | 0.02                 | 0.40 |
| S202  | 578        | 0.28                    | 0.08                 | 0.40 | S402  | 176        | 0.28                    | 0.03                 | 0.40 |
| S203  | 575        | 0.28                    | 0.08                 | 0.40 | S403  | 174        | 0.28                    | 0.02                 | 0.40 |
| S204  | 578        | 0.28                    | 0.08                 | 0.40 | S404  | 176        | 0.28                    | 0.03                 | 0.40 |
| S205  | 326        | 0.2                     | 0.07                 | 0.40 | S405  | 96         | 0.2                     | 0.02                 | 0.40 |
| S206  | 527        | 0.2                     | 0.11                 | 0.41 | S406  | 159        | 0.2                     | 0.03                 | 0.40 |
| S207  | 890        | 0.2                     | 0.18                 | 0.50 | S407  | 280        | 0.2                     | 0.06                 | 0.40 |
| S208  | 872        | 0.2                     | 0.17                 | 0.50 | S408  | 271        | 0.2                     | 0.05                 | 0.40 |
| S209  | 890        | 0.2                     | 0.18                 | 0.50 | S409  | 280        | 0.2                     | 0.06                 | 0.40 |
| S210  | 527        | 0.2                     | 0.11                 | 0.41 | S410  | 159        | 0.2                     | 0.03                 | 0.40 |
| S211  | 527        | 0.2                     | 0.11                 | 0.41 | S411  | 159        | 0.2                     | 0.03                 | 0.40 |
| S212  | 890        | 0.2                     | 0.18                 | 0.50 | S412  | 280        | 0.2                     | 0.06                 | 0.40 |
| S213  | 872        | 0.2                     | 0.17                 | 0.50 | S413  | 271        | 0.2                     | 0.05                 | 0.40 |
| S214  | 890        | 0.2                     | 0.18                 | 0.50 | S414  | 280        | 0.2                     | 0.06                 | 0.40 |
| S215  | 527        | 0.2                     | 0.11                 | 0.41 | S415  | 159        | 0.2                     | 0.03                 | 0.40 |
| S216  | 326        | 0.2                     | 0.07                 | 0.40 | S416  | 96         | 0.2                     | 0.02                 | 0.40 |
| S217  | 578        | 0.28                    | 0.08                 | 0.40 | S417  | 176        | 0.28                    | 0.03                 | 0.40 |
| S218  | 575        | 0.28                    | 0.08                 | 0.40 | S418  | 174        | 0.28                    | 0.02                 | 0.40 |
| S219  | 578        | 0.28                    | 0.08                 | 0.40 | S419  | 176        | 0.28                    | 0.03                 | 0.40 |
| S220  | 326        | 0.2                     | 0.07                 | 0.40 | S420  | 96         | 0.2                     | 0.02                 | 0.40 |

### 5.4.3 Performans değerlendirilmesinde kullanılacak eşdeğer deprem etkisi

Yapının eşdeğer deprem yükü hesabında kullanılacak spektrum değerleri için yeniden modal analizi yapılmıştır. Yapıya ait modal analiz sonuçlarını içeren bilgiler Çizelge 5.10'te bulunabilir. Görüldüğü gibi çatlamış kesit etkisinde yapının periyodu uzamıştır. Çizelge 5.11 ve Çizelge 5.12'de ise yapının X (uzun) ve Y (kısa) doğrultusu için analizde kullanılacak eşdeğer deprem yüklerinin hesabı özetlenmiştir.

**Çizelge 5.10:** Yapıya ait modal analiz sonuçları

| Mod | Periyot (s) | Etkin Kütle Oranı X | Etkin Kütle Oranı Y | Etkin Kütle /Toplam Kütle | Etkin Kütle /Toplam Kütle |
|-----|-------------|---------------------|---------------------|---------------------------|---------------------------|
| 1   | 1.10        | 0.00                | 0.86                | 0.00                      | 0.86                      |
| 2   | 1.10        | 0.87                | 0.00                | 0.87                      | 0.86                      |
| 3   | 0.95        | 0.00                | 0.00                | 0.87                      | 0.86                      |
| 4   | 0.35        | 0.10                | 0.00                | 0.96                      | 0.86                      |
| 5   | 0.35        | 0.00                | 0.10                | 0.96                      | 0.96                      |

**Çizelge 5.11:** X doğrultusu eşdeğer deprem yükü hesabı

|                            |                          |                         |                                    |                                                               |                           |                           |
|----------------------------|--------------------------|-------------------------|------------------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| <b>W =</b>                 | 16045                    | <b>kN</b>               |                                    |                                                               |                           |                           |
| <b>I =</b>                 | 1                        |                         |                                    |                                                               |                           |                           |
| <b>Zemin :</b>             | Z2                       |                         | <b>T<sub>1,y</sub> =</b>           | <b>1.096</b>                                                  | <b>s</b>                  |                           |
| <b>T<sub>A</sub> =</b>     | 0.15                     | <b>s</b>                | <b>S(T) =</b>                      | 1.12                                                          |                           |                           |
| <b>T<sub>B</sub> =</b>     | 0.40                     | <b>s</b>                | <b>A(T<sub>1</sub>) =</b>          | 0.45                                                          |                           |                           |
| <b>A<sub>0</sub> =</b>     | 0.4                      |                         | <b>VT =</b>                        | 6116.0                                                        | <b>&gt;</b>               | 641.8                     |
| <b>R =</b>                 | 1                        |                         | <b>VT =</b>                        | 6116.0                                                        |                           |                           |
| <b>λ =</b>                 | 0.85                     |                         | <b>ΔFN =</b>                       | 183.48                                                        | <b>kN</b>                 |                           |
| <b>V<sub>t</sub> =</b>     | 6116.0                   | <b>kN</b>               |                                    |                                                               |                           |                           |
| <b>V<sub>t</sub> -ΔFN=</b> | 5932.5                   | <b>kN</b>               |                                    |                                                               |                           |                           |
| <b>Kat</b>                 | <b>W<sub>i</sub>(kN)</b> | <b>h<sub>i</sub>(m)</b> | <b>W<sub>i</sub>·h<sub>i</sub></b> | <b>w<sub>i</sub>h<sub>i</sub>/Σw<sub>i</sub>h<sub>i</sub></b> | <b>F<sub>i</sub> (kN)</b> | <b>V<sub>i</sub> (kN)</b> |
| 4                          | 3375                     | 14.5                    | 48938                              | 0.334                                                         | 2165                      | 2165.2                    |
| 3                          | 4224                     | 11.1                    | 46886                              | 0.320                                                         | 1899                      | 4063.9                    |
| 2                          | 4223                     | 7.7                     | 32517                              | 0.222                                                         | 1317                      | 5380.6                    |
| 1                          | 4223                     | 4.3                     | 18159                              | 0.124                                                         | 735                       | 6116.0                    |

**Çizelge 5.12: Y doğrultusu eşdeğer deprem yükü hesabı**

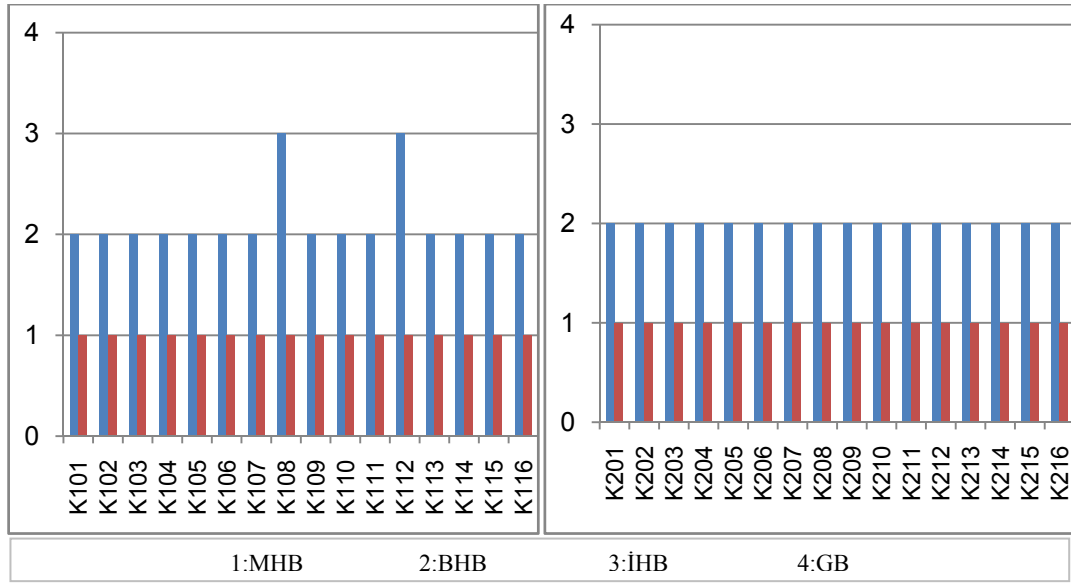
|                              |                          |                         |                                    |                                                               |                           |                           |
|------------------------------|--------------------------|-------------------------|------------------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| <b>W =</b>                   | 16045                    | <b>kN</b>               |                                    |                                                               |                           |                           |
| <b>I =</b>                   | 1                        |                         |                                    |                                                               |                           |                           |
| <b>Zemin :</b>               | Z2                       |                         | <b>T<sub>1,y</sub> =</b>           | <b>1.099</b>                                                  | <b>s</b>                  |                           |
| <b>T<sub>A</sub> =</b>       | 0.15                     | <b>s</b>                | <b>S(T) =</b>                      | 1.12                                                          |                           |                           |
| <b>T<sub>B</sub> =</b>       | 0.40                     | <b>s</b>                | <b>A(T<sub>1</sub>) =</b>          | 0.45                                                          |                           |                           |
| <b>A<sub>0</sub> =</b>       | 0.4                      |                         | <b>VT =</b>                        | 6116.0                                                        | <b>&gt;</b>               | 641.8                     |
| <b>R =</b>                   | 1                        |                         | <b>VT =</b>                        | 6116.0                                                        |                           |                           |
| <b>λ =</b>                   | 0.85                     |                         | <b>ΔFN =</b>                       | 183.48                                                        | <b>kN</b>                 |                           |
| <b>V<sub>t</sub> =</b>       | 6116.0                   | <b>kN</b>               |                                    |                                                               |                           |                           |
| <b>V<sub>t</sub> - ΔFN =</b> | 5932.5                   | <b>kN</b>               |                                    |                                                               |                           |                           |
| <b>Kat</b>                   | <b>W<sub>i</sub>(kN)</b> | <b>h<sub>i</sub>(m)</b> | <b>W<sub>i</sub>·h<sub>i</sub></b> | <b>w<sub>i</sub>h<sub>i</sub>/Σw<sub>i</sub>h<sub>i</sub></b> | <b>F<sub>i</sub> (kN)</b> | <b>V<sub>i</sub> (kN)</b> |
| 4                            | 3375                     | 14.5                    | 48938                              | 0.334                                                         | 2165                      | 2165.2                    |
| 3                            | 4224                     | 11.1                    | 46886                              | 0.320                                                         | 1899                      | 4063.9                    |
| 2                            | 4223                     | 7.7                     | 32517                              | 0.222                                                         | 1317                      | 5380.6                    |
| 1                            | 4223                     | 4.3                     | 18159                              | 0.124                                                         | 735                       | 6116.0                    |

**5.4.4 Taşıyıcı elemanların hasar düzeylerinin belirlenmesi**

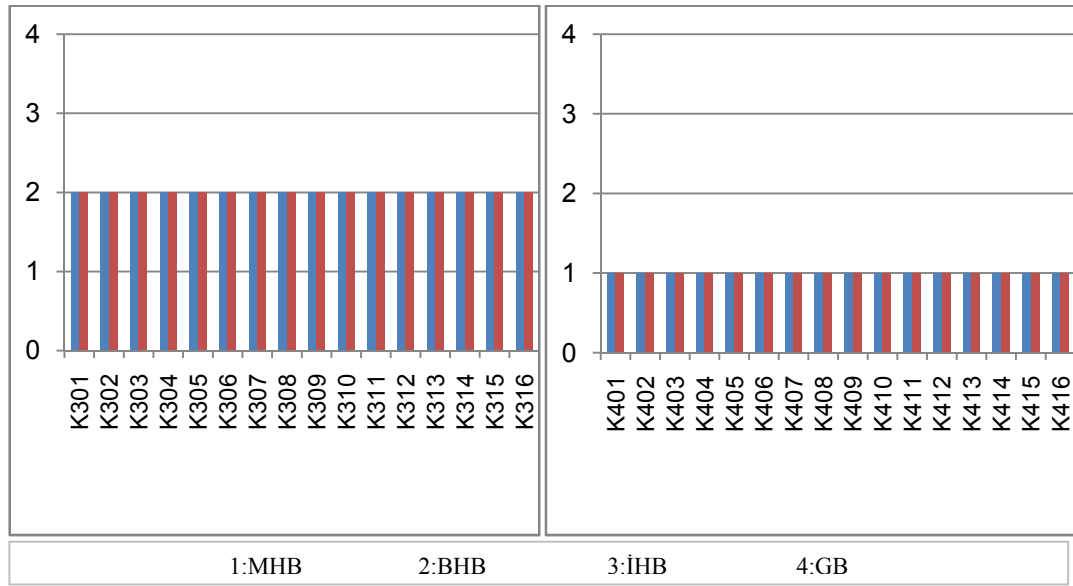
Yapının taşıyıcı sisteminde yer alan tüm kiriş ve kolonlar taşıyıcı çerçeve elemanlarıdır, diğer bir deyişle, yapıda ikincil kiriş ya da kolonlar bulunmamaktadır. Kiriş ve kolonların kritik kesitlerinde öncelikle yönetmelik uyarınca verilen süneklik/gevreklik şartının sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmiştir. Buna göre elemanların tümü sünek eleman olarak adlandırılmıştır. Buradan her iki deprem yönü göz önüne alınarak eleman kesitlerinin bulunduğu hasar durumları elde edilmiş ve elemanın hasar durumu daha kötü sonucunu veren kesite göre belirlenmiştir.

**5.4.5 Kirişlerde kesit hasar durumlarının belirlenmesi**

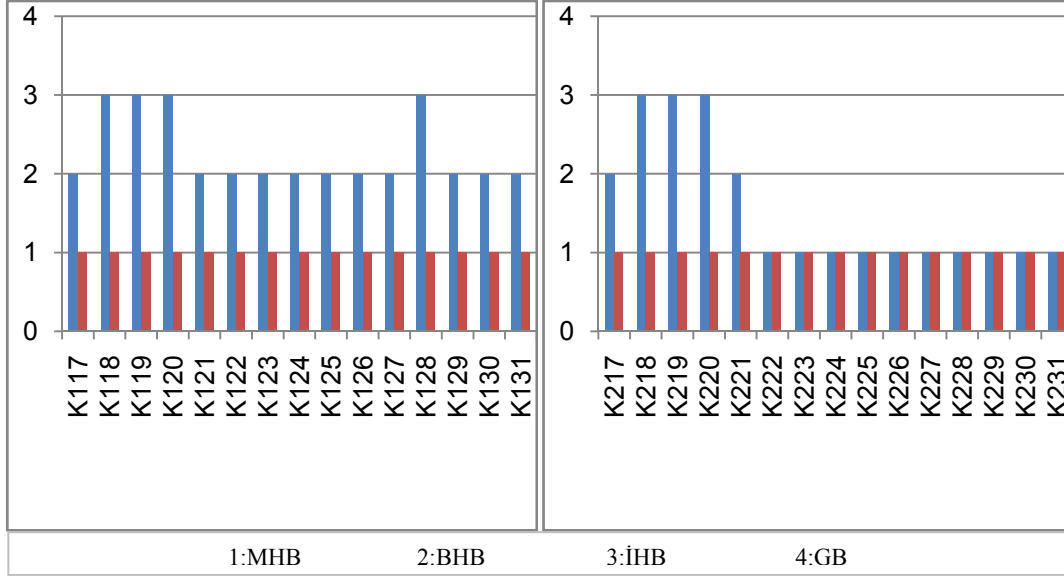
Kirişlerde hasar durumlarının belirlenmesi amacıyla DBYBHY’te önerilen sınır durumlarının elde edilmesi için, üç farklı parametre kontrol edilmelidir. Bunlardan birincisi kesitin donatı oranı seviyesidir. İkinci parametre kesitlerdeki sargılama durumudur. Kesitlerde bulunan etriye düzeni göz önüne alındığında kirişlerde sargılama etkisi var olduğu kabul edilmektedir. Son olarak kesitteki kesme etkisi düzeyi belirlenir. Kirişlerde kritik kesitler olarak kirişler sağ ve sol uçları göz önüne alınarak her kiriş için iki kesit göz önüne alınmıştır. Sonuçlar detaylı olarak ekte verilmektedir. Kirişlerin genel hasar durumları ise Şekil 5.5-Şekil 5.9’te görülebilir.



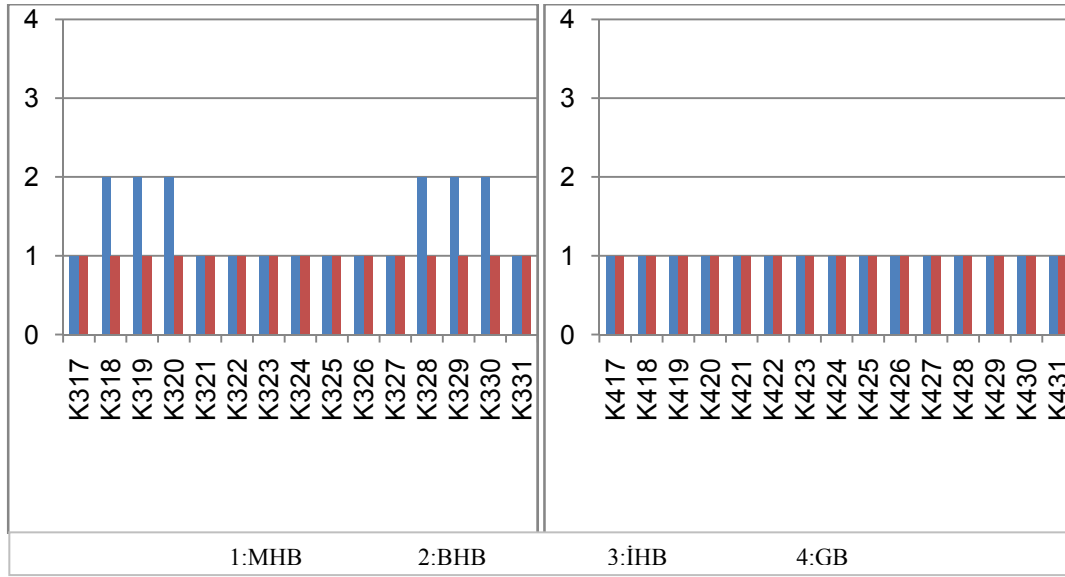
Şekil 5.5: X doğrultusunda kiriş hasar durumu – 1. ve 2. katlar



Şekil 5.6: X doğrultusunda kiriş hasar durumu – 3.ve 4. katlar



**Şekil 5.7:** Y doğrultusunda kiriş hasar durumu – 1 ve 2. katlar



**Şekil 5.8:** Y doğrultusunda kiriş hasar durumu – 3 ve 4. katlar

Kirişlerdeki hasar oranları Çizelge 5.13 ve Çizelge 5.14’te özetlenmiştir.

**Çizelge 5.13: X doğrultusunda giriş hasar durumu**

|       |                        | Kesit | %   |
|-------|------------------------|-------|-----|
| Kat 1 | Minimum Hasar Bölgesi  | 0     | 0   |
|       | Belirgin Hasar Bölgesi | 14    | 88  |
|       | İleri Hasar Bölgesi    | 2     | 13  |
|       | Göçme Bölgesi          | 0     | 0   |
| Kat 2 | Minimum Hasar Bölgesi  | 0     | 0   |
|       | Belirgin Hasar Bölgesi | 16    | 100 |
|       | İleri Hasar Bölgesi    | 0     | 0   |
|       | Göçme Bölgesi          | 0     | 0   |
| Kat 3 | Minimum Hasar Bölgesi  | 0     | 0   |
|       | Belirgin Hasar Bölgesi | 16    | 100 |
|       | İleri Hasar Bölgesi    | 0     | 0   |
|       | Göçme Bölgesi          | 0     | 0   |
| Kat 4 | Minimum Hasar Bölgesi  | 16    | 100 |
|       | Belirgin Hasar Bölgesi | 0     | 0   |
|       | İleri Hasar Bölgesi    | 0     | 0   |
|       | Göçme Bölgesi          | 0     | 0   |

**Çizelge 5.14: Y doğrultusunda giriş hasar durumu**

|       |                        | Kesit | %   |
|-------|------------------------|-------|-----|
| Kat 1 | Minimum Hasar Bölgesi  | 0     | 0   |
|       | Belirgin Hasar Bölgesi | 11    | 74  |
|       | İleri Hasar Bölgesi    | 4     | 26  |
|       | Göçme Bölgesi          | 0     | 0   |
| Kat 2 | Minimum Hasar Bölgesi  | 10    | 67  |
|       | Belirgin Hasar Bölgesi | 2     | 13  |
|       | İleri Hasar Bölgesi    | 3     | 20  |
|       | Göçme Bölgesi          | 0     | 0   |
| Kat 3 | Minimum Hasar Bölgesi  | 9     | 66  |
|       | Belirgin Hasar Bölgesi | 6     | 34  |
|       | İleri Hasar Bölgesi    | 0     | 0   |
|       | Göçme Bölgesi          | 0     | 0   |
| Kat 4 | Minimum Hasar Bölgesi  | 100   | 100 |
|       | Belirgin Hasar Bölgesi | 0     | 0   |
|       | İleri Hasar Bölgesi    | 0     | 0   |
|       | Göçme Bölgesi          | 0     | 0   |

#### 5.4.6 Kolonlarda kesit hasar durumlarının belirlenmesi

Taşıyıcı sistemdeki kolonların kritik kesitleri olarak, deprem etkisinde eğilme ve kesme etkisinin maksimum olduğu kolon alt ve üst kesitleri dikkate alınmıştır. Gözönüne alınan bu kesitlerde etki/kapasite ( $r$ ) oranlarının elde edilmesi için DBYBHY’te önerilen ardışık yaklaşım yöntemi uygulanmıştır. Buna göre;

- Dikkate alınan kolon kesitini XTRACT [19] yazılımı kullanılarak eksenel kuvvet-moment kapasite diyagramları çıkarılır
- Düşey yük ve deprem etkisi altında  $N_E$ ,  $N_D$ ,  $M_E$ , ve  $M_D$  bilinmektedir
- $r_i = 2$  kabulü yapılır
- $N_A = N_E / r_i$ .
- $N_{Ki} = N_{Ai} + N_D$
- $N_{Ki}$ ’ye tekabül eden  $M_{Ki}$  N-M etkileşim diyagramından elde edilir.
- $M_{Ai} = M_{Ki} + M_D$
- $r_{i+1} = M_E / M_{Ai}$  bulunur.
- $r_{i+1} \approx r_i$  olana kadar iterasyona devam edilir. Yeterli yaklaşıklık sağlandığında iterasyona son verilir. Böylece kesite ait etki kapasite oranı elde edilir.

40/50 kesitli kolonlarda X doğrultusundaki deprem etkisinde kolonların tüm kesitleri minimum hasar bölgesinde yer almaktadır. Y doğrultusundaki deprem etkisinde ise giriş kat kolonlarında belirgin hasar bölgesine geçen kesitler olmasına rağmen ileri hasar bölgesinde kesit bulunmamaktadır.

40/70 kesitli kolonlarda ileri hasar bölgesine geçen kesit 4 kesitte geçilmiştir. Bu kesitlerin giriş katta taşınan toplam kesme kuvvetine katkısı %20nin altında olmaktadır.

Buna ek olarak hiçbir kolon elemanının hem alt hem üst kesitinde minimum hasar bölgesi aşılmamaktadır. Bunlar dikkate alındığında kolonlar Can Güvenliği Performans seviyesini sağlamaktadır. Detaylı hesapları içeren çizelgeler Ek A’da sunulmuştur.

#### 5.4.7 Yapının genel performans düzeyi

Eşdeğer deprem yükü ile doğrusal elastik değerlendirme yöntemine göre elde edilen sonuçlar dikkate alındığında;

Kirişlerde her iki doğrultuda ileri hasar bölgesindeki kiriş sayısı toplam kirişlerin %30’unda az olmaktadır. İleri hasar bölgesinde kolon kesiti bulunmamaktadır

Bunlar gözönüne alındığında Can Güvenliği performans seviyesi sağlanmaktadır.



## **5.5 Doğrusal Elastik Olmayan Hesap Yöntemine Göre Yapı Performansının Belirlenmesi**

Bu bölümde tasarımı yapılan 4 katlı betonarme yapının DBYBHY’de bulunan Artımsal İtme Analizi Yöntemi kullanılarak doğrusal olmayan analizi neticesinde performans değerlendirilmesi yapılacaktır. Yapının itme analizi sonucunda statik itme eğrisinin elde edilmesi amacıyla üç farklı yazılımdan faydalanılmıştır. Bunlardan birincisi yapının doğrusal tasarımı ve değerlendirilmesi yönteminde de kullanılan SAP2000 programıdır. Bu yazılıma ek olarak, analizde kullanılan kabullerin karşılaştırılması amacıyla ZEUS NL ve SEISMOSTRUCT programları kullanılarak da 3 boyutlu statik itme analizleri yapılmış ve SAP2000 programı ile elde edilen itme eğrisi ile kıyaslanmıştır.

### **5.5.1 Sap2000 yazılımı ile statik artımsal itme analizi**

Hesapta izlenen yol maddeler halinde özetlenmiştir:

- Yapının 3 boyutlu modeli oluşturulmuştur. Kesit özellikleri malzeme dayanımları ve yükler, çatlamış kesit özellikleri hesap modelinde tanımlanmıştır.
- Yapının modal analizi sonucunda her iki yönde hakim mod şekli elde edilmiştir. Böylece artımsal itme analizinde kullanılacak yük vektörü hesaplanmıştır.
- Artımsal itme analizi yönteminin uygulanabilirliği kontrol edilmiştir.
- Kolon ve kirişlerin kritik kesitlerin plastik mafsallık özellikleri atanmıştır.
- Kütlelerle uyumlu düşey yük analizini takip eden belirlenen yük vektörü altında artımsal itme çözümü yapılarak oluşan plastik mafsallar ve tepe yerdeğiştirmesi-taban kesme kuvveti (itme eğrisi elde edilmiştir)
- Yapının kullanım amacı dikkate alınarak elde edilen talep spektrumu hesaplanmıştır.
- İtme analizi üzerinde gerekli dönüşümler yapılarak modal yerdeğiştirme – modal itme diyagramı elde edilmiştir.
- Yapının performans noktası hesaplanmıştır.
- Performans noktasına tekabül eden durumdaki plastik mafsallık durumları dikkate alınarak kolon ve kirişlerdeki kesit birim şekildeğiştirme istemleri hesaplanmış ve kapasiteleriyle kıyaslanarak yapısal performans elde edilmiştir.

Yapının üç boyutlu modelinin geometrik özellikleri, kütle ve yük durumları ile çatlamış kesit durumları doğrusal hesaptaki varsayımlarla tamamen uyumludur.

#### 5.5.1.1 Artımsal eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabilirliğinin kontrolü

Bina katsayısı 4'tür. 8 kattan az olunması şartı sağlanmaktadır.

Elastik davranışa göre hesaplanan burulma düzensizliği katsayısı  $\eta_{bi} = 1.12 < 1.4$  sağlanmaktadır.

Binanın her iki doğrultudaki hakim modlara ait kütle katılım oranları:

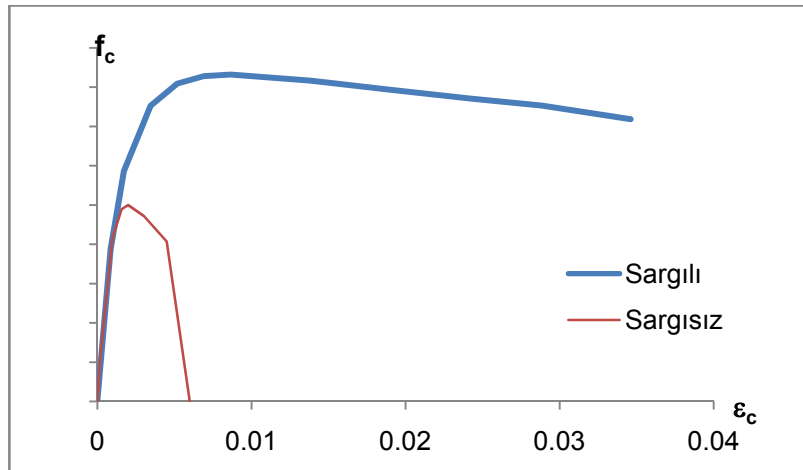
$\sum M_{xn} / \sum m_i = 0.87 > 0.7$  koşulunu sağlanmaktadır.

#### 5.5.1.2 Taşıyıcı sistem eleman kesitlerinin plastik mafsallık özelliklerinin atanması

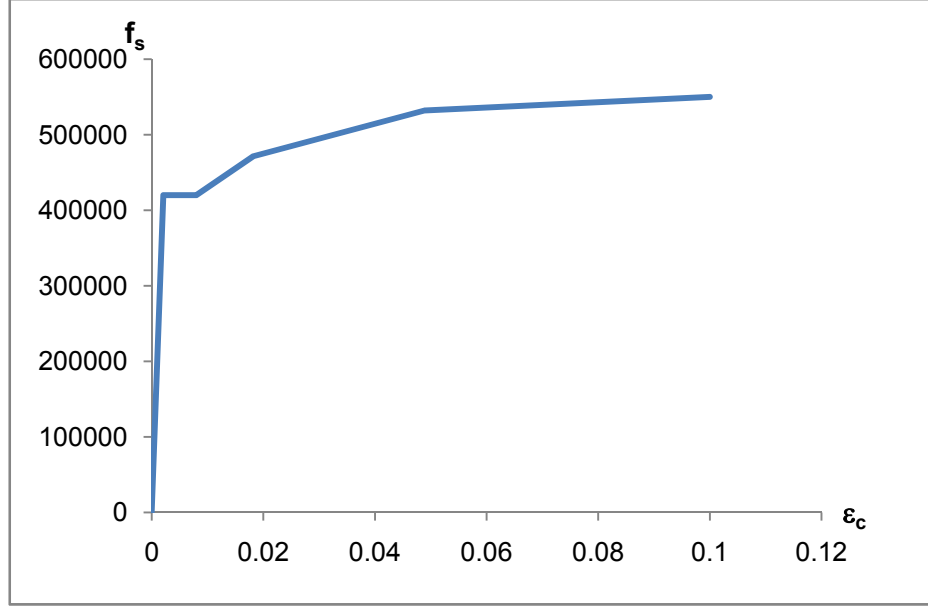
DBYBHY uyarınca analiz modelinin oluşturulmasında yığılı plastisite kabülü geçerli kabul edilerek kiriş ve kolonların net açıklarının uçlarında plastik mafsallar oluşturulmuştur. Plastik mafsallara ait moment-eğrilik ve moment-dönme bağıntılarının çıkarılmasında mevcut malzeme dayanımları kullanılmış ve bilgi düzeyi katsayısı "1" alınmıştır.

#### 5.5.1.3 Hesaplarda kullanılan malzeme modelleri

Plastik mafsallık özelliklerinin atanmasında malzemenin doğrusal olmayan davranışı DBYBHY'de de önerilen gerilme şekil değiştirme bağıntıları kullanılmıştır. Bu amaçla sargılı ve sargısız beton davranış modeli için Mander [20] modeli (Şekil 5.9), donatı çeliği içinse DBYBHY'de önerilen donatı çeliği modeli kullanılmıştır.(Şekil 5.10)



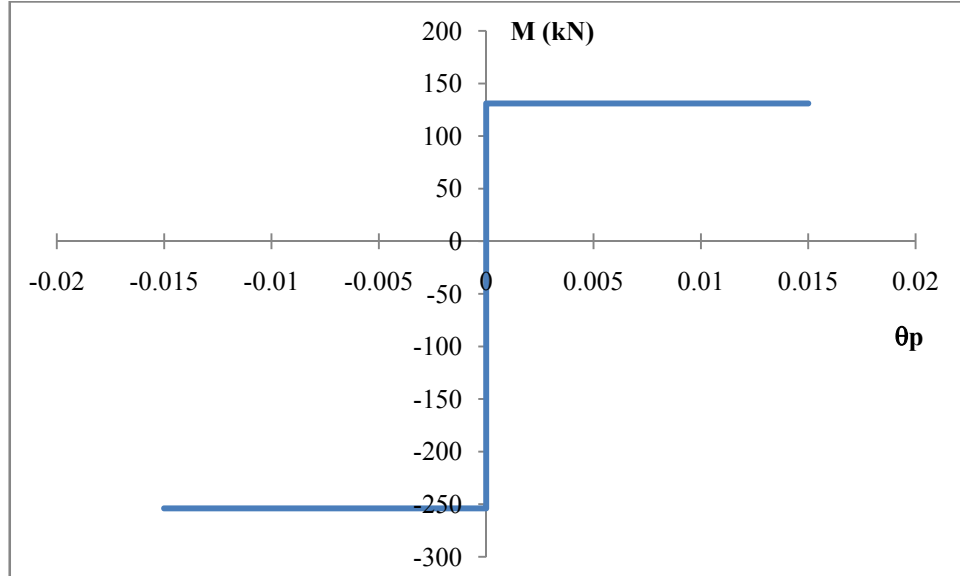
Şekil 5.9: Sargılı ve sargısız beton gerilme şekil değiştirme modeli



**Şekil 5.10:** Donatı çeliği gerilme şekil değiştirme

#### 5.5.1.4 Kirişlerde plastik mafsallık özelliklerinin tanımlanması

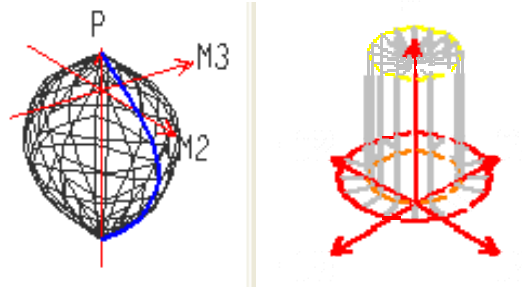
Kirişler için plastik mafsallık özelliklerinin tanımlanması amacıyla XTRACT programıyla yapıdaki kiriş tiplerine ait olan donatı düzenlemeleri dikkate alınarak moment eğrilik diyagramları çıkarılmıştır. Buradan elde edilen akma momenti değerleri kullanılarak SAP2000 yazılımında tek eksenli eğilme tipinde plastik mafsallık tipleri oluşturulmuştur. Daha sonra bu plastik mafsallar ilgili kirişlerin sağ ve sol uçları için yazılımda tanımlanmıştır. Şekil 5.11’te K101 kirişi için moment plastik dönme ilişkisi örnek olarak sunulmuştur.



**Şekil 5.11:** K101 kirişi sol ve sağ ucunda moment plastik dönme bağıntısı

### 5.5.1.5 Kolonlarda plastik mafsal özelliklerinin tanımlanması

Kolonlar için SAP2000 yazılımında kolon tip ve donatı özellikleri tanımlanmıştır. Buna göre üç eksenli eksenel yük- zayıf eksen moment – kuvvetli eksen momenti eksenlerinden oluşan üç boyutlu akma düzlemleri oluşturulmuştur. Elde edilen bu 16 adet eğri için, moment eğrilik bağıntıları yazılım tarafından doğrudan kolonların alt ve üst kesitlerine atanmıştır. (Şekil 5.12)

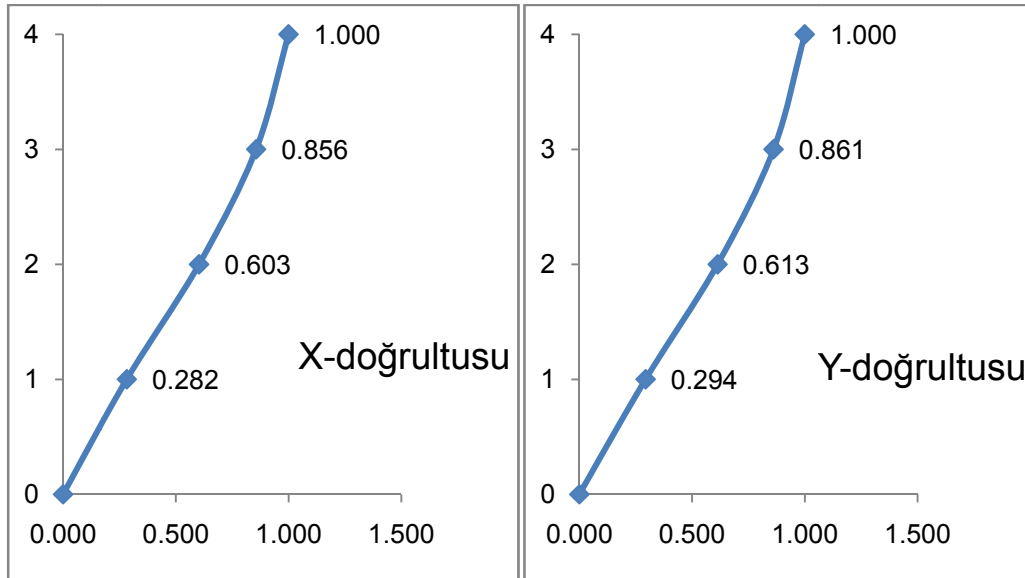


Şekil 5.12: S101 kolonu akma düzlemleri ve moment plastik dönme eğrileri

### 5.5.1.6 İtme analizinde kullanıcak yük vektörünün elde edilmesi

Statik artımsal itme analizi sırasında eşdeğer deprem yükü dağılımının sabit kaldığı varsayımı yapılmıştır.

Yapının X ve Y doğrultusunda mod şekilleri elde edilmiştir. Elde edilen mod şekilleri Şekil 5.13'te görülebilir



Şekil 5.13: X ve Y doğrultusu mod şekilleri

**Çizelge 5.15:** X ve Y doğrultusunda hakim mod şekilleri

| X- doğrultusu |         |          |             |               | Y- doğrultusu |         |          |             |               |
|---------------|---------|----------|-------------|---------------|---------------|---------|----------|-------------|---------------|
| Kat           | $m_i$   | $\Phi_i$ | $m_i\Phi_i$ | $m_i\Phi_i^2$ | Kat           | $m_i$   | $\Phi_i$ | $m_i\Phi_i$ | $m_i\Phi_i^2$ |
| 4             | 344     | 1.000    | 344         | 344           | 4             | 344     | 1.000    | 344         | 344           |
| 3             | 431     | 0.861    | 371         | 320           | 3             | 431     | 0.856    | 369         | 316           |
| 2             | 430     | 0.613    | 264         | 162           | 2             | 430     | 0.603    | 260         | 156           |
| 1             | 430     | 0.294    | 127         | 37            | 1             | 430     | 0.282    | 122         | 34            |
|               | 1635.58 |          | 1105        | 863           |               | 1635.58 |          | 1094        | 850           |

Çizelge 5.15'teki değerlerden hareketle:

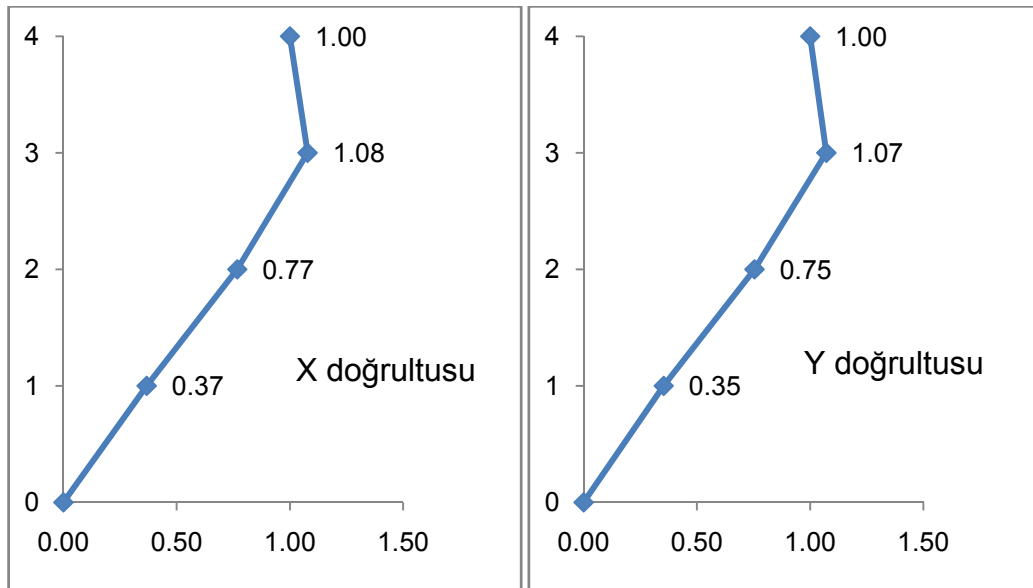
$$M_{X1} = 1105^2 / 863 = 1416.66 \text{ kNs}^2/\text{m} \quad (5.3)$$

$$\Gamma_{X1} = 1105 / 863 = 1.2814 \quad (5.4)$$

$$M_{Y1} = 1094^2 / 850 = 1406.63 \text{ kNs}^2/\text{m} \quad (5.5)$$

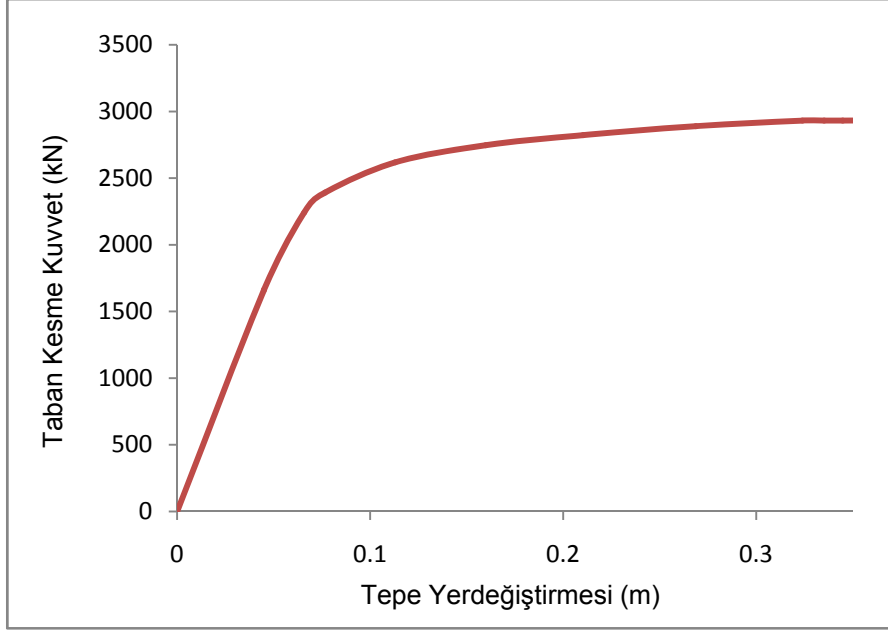
$$\Gamma_{Y1} = 1094 / 850 = 1.286 \quad (5.6)$$

X ve Y doğrultusundaki yükleme vektörleri  $m_i\Phi_i$  değerlerine orantılı olarak belirlenmiştir. (Şekil 5.14).

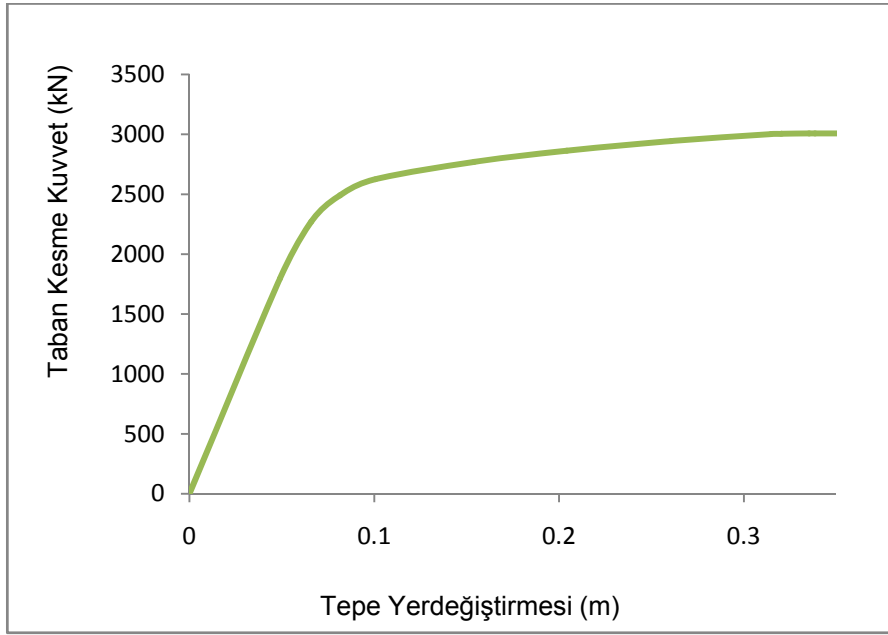


**Şekil 5.14:** X ve Y doğrultusunda yükleme vektörleri

Artımsal itme analizinden önce, kütlelerle uyumlu düşey yüklerin( Zati yükler + 0.3x Hareketli Yükler) göz önüne alındığı bir doğrusal olmayan statik analiz yapılmıştır. Bu analizin sonuçları, artımsal itme analizinin başlangıç koşulları olarak dikkate alınmıştır. Buna göre, her iki doğrultuda birinci doğal titreşim modu ile orantılı olarak katlara gelen yükler altında yapılan itme analizi sonucunda eksenleri tepe yerdeğiştirmesi-taban kesme kuvveti olan itme eğrileri elde edilmiştir. Elde edilen itme eğrileri Şekil 5.15 ve Şekil 5.16'te sunulmuştur.



**Şekil 5.15:** X doğrultusu itme eğrisi



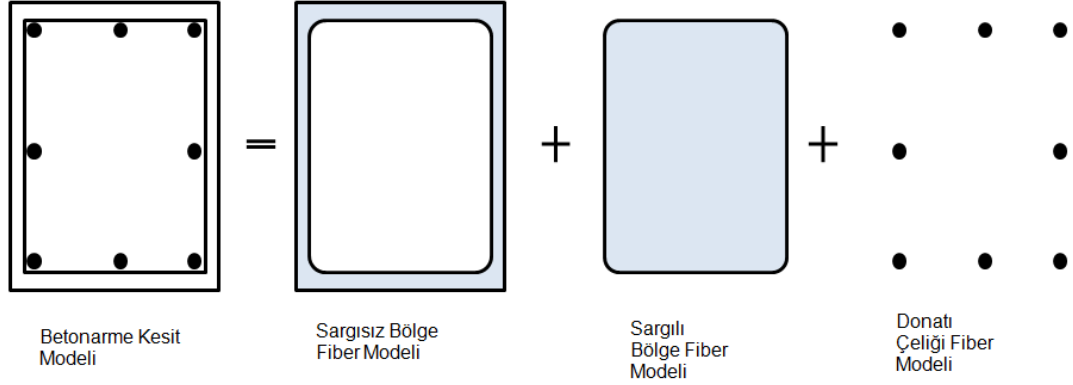
**Şekil 5.16:** Y doğrultusu itme eğrisi

## 5.5.2 ZEUS NL yazılımı ile artımsal itme analizi

### 5.5.2.1 Zeus nl hakkında genel bilgiler

ZEUS NL yazılımı sonlu elemanlar yöntemine dayanan Mid America Earthquake Center (University of Illinois)'te geliştirilen bir yapısal analiz programıdır. [12]. Bu yazılım daha önceden Imperial Collage of London'da geliştirilen ADAPTIC [21] ve INDYAS [22] yazılımlarını temel almaktadır. Program betonarme, çelik veya kompozit yapıların iki veya üç boyutlu modellenerek doğrusal veya doğrusal

olmayan analiz çözümlenmesine olanak sağlamaktadır [23]. Programda doğrusal olmayan davranış plastik mafsal (yığılı plastisite) kavramından farklı olarak yayılı plastisite ilkesine bağlı olarak lif elemanlar olarak modellenmesi prensibine dayanılarak yansıtılmaktadır. Fiber modeli, betonarme bir kesit için Şekil 5.17’te verilmiştir [12].

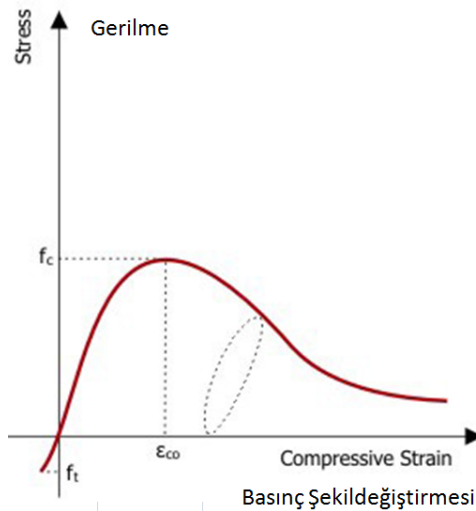


**Şekil 5.17:** Betonarme kesit için fiber eleman modeli

Yazılım doğrusal analiz, statik artımsal itme analizi, uyşumlu itme analizi, özdeğer problemi analizi ve doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında dinamik analiz çözüm yöntemlerini yapabilme kapasitesindedir.

ZEUS-NL çelik, betonarme, fiber elemanlar için farklı tipte malzeme tiplerine uygun malzeme modellerini içermektedir.

**Sargısız ve Sargılı beton modeli:** Bu modelde beton basınç dayanımı  $f_c$ , çekme dayanımı  $f_t$ , sargılama katsayısı  $K$ ’ya bağlı olarak Mander modeli [12]’ne dayanan bir beton modeli oluşturulur. (Şekil 5.18)



**Şekil 5.18:** ZEUS NL’de beton gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi

Burada;

$$f_c = 25 \text{ MPa} \quad (5.7)$$

$$f_t = 2.2 \text{ MPa} \quad (5.8)$$

$$\epsilon_{co} = 0.002 \quad (5.9)$$

K sargılama katsayısı

$$K = 1 + \frac{\rho_w f_{yw}}{f_c} \quad (5.10)$$

bağıntısıyla elde edilmektedir [25]. Sargısız bölge için sargı etkisi bulunmadığından;

$K = 1.00$  olmaktadır.

Sargılı bölge için tipik kolon kesiti için (5.10)'dan

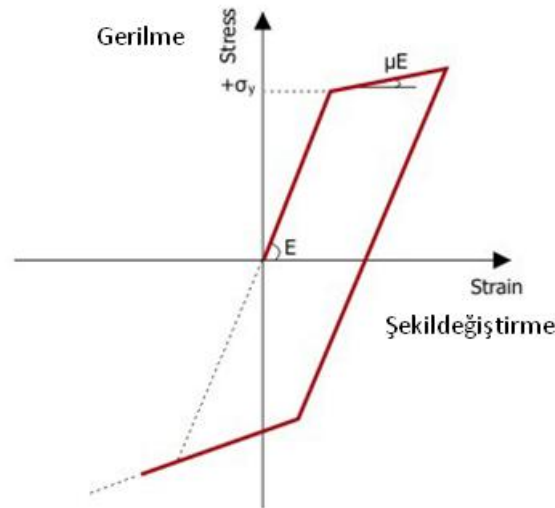
$$K = 1 + (0.0035 \times 420000 / 25000) = 1.06 \text{ olmaktadır.}$$

Donatı Çeliği modeli için, iki doğrulu kinematik pekleşmenin olduğu elastoplastik model tipi kullanılmıştır. (Şekil 5.19). Bu model için üç parametre gereklidir, bunlar, çelik elastisite modülüsü  $E_s$ , çelik akma gerilmesi  $f_y$  ve pekleşme katsayısı  $\mu_s$ 'tir. Bu değerler;

$$E_s = 200 \text{ GPa}$$

$$f_y = 420 \text{ MPa}$$

$$\mu_s = 0.005$$



**Şekil 5.19:** ZEUS NL’de donatı çeliği şekildeğiştirme ilişkisi

#### **Analiz Modelin Kesit Özelliklerinin Belirlenmesi**

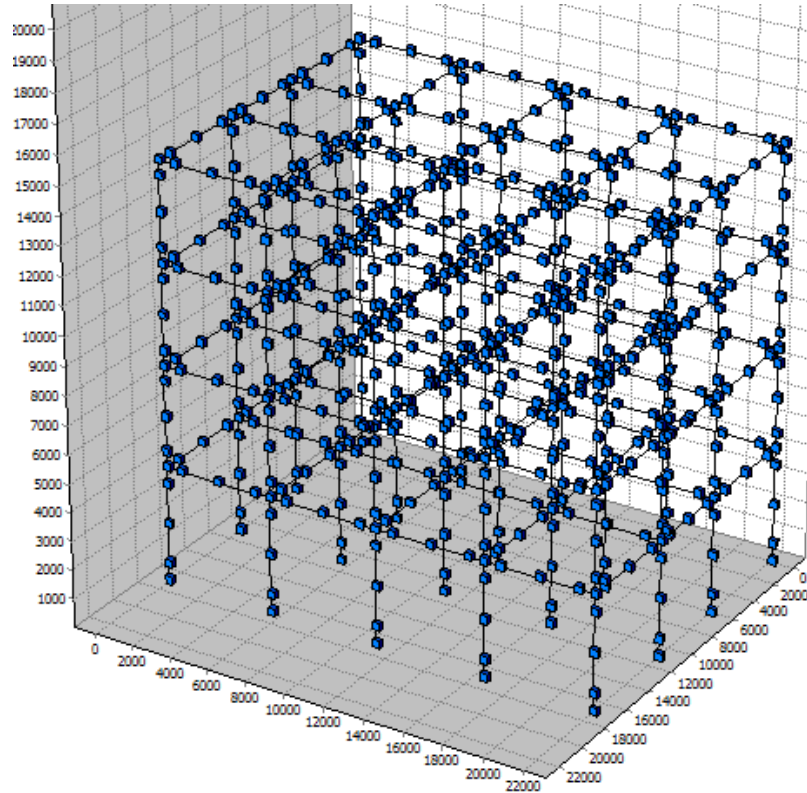
ZEUS NL’de yapı taşıyıcı sistemindeki kolon ve kiriş kesitleri, programda yer alan dikdörtgen betonarme kesit tiplerine bağlı olarak belirlenmiştir. Kesitlerdeki donatı



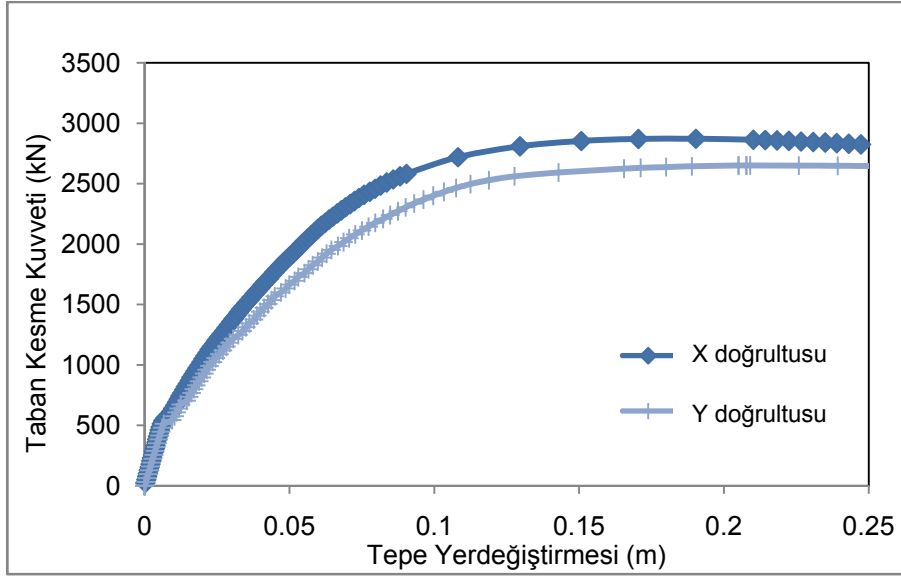
yerleşimi, programda donatı koordinatına bağlı olarak donatı miktarı giriş yapılarak belirlenmiştir.

Eleman kesitlerinin atanmasında ikinci adım tanımlanan eleman kesitlerine uygun oluşturulacak eleman sınıflarının (element class) tanımlanmasıdır. Bu bölümde yayılı plastisite özelliğinin tanımlanması amacıyla 3 boyutlu üçüncü dereceden elastoplastik kiriş-kolon eleman sınıfı seçilmiştir. Eleman iç kuvvet hesaplanmasında, tanımlanan elemandaki iki Gauss noktası arasında sayısal integrasyon yapılır. Bu amaçla eleman belirli sayıda kontrol noktasına (monitoring point) bölünür. Seçilen betonarme kesitler için 200 nokta seçilmesi tavsiye edilmiştir [12]. Bunun yanında tek bir kolon-kiriş elemanı için de, mümkün olduğu oranda birden fazla sayıda kübik eleman kullanılması tavsiye edilmiştir. Bu sebeple tanımlanan çubuk elemanlar dört parçaya bölünmüştür. Her bir parça da 200 kontrol noktasına sahiptir.

Yapının üç boyutlu modeli Şekil 5.20 görülebilir. Modelde düşey yükler düğüm noktalarına düşey noktasal yük olarak atanmıştır. Kolonların temele bağlantı noktasında ankastre mesnetler tanımlanmıştır. Yapıya her iki yönde etkilenen yük vektörü bölüm Şekil 5.14’te verilen şekilde tanımlanmıştır. Analiz sonucunda her iki doğrultuda elde edilen itme eğrileri Şekil 5.21’de verilmiştir.



Şekil 5.20: ZEUS NL üç boyutlu analiz modeli



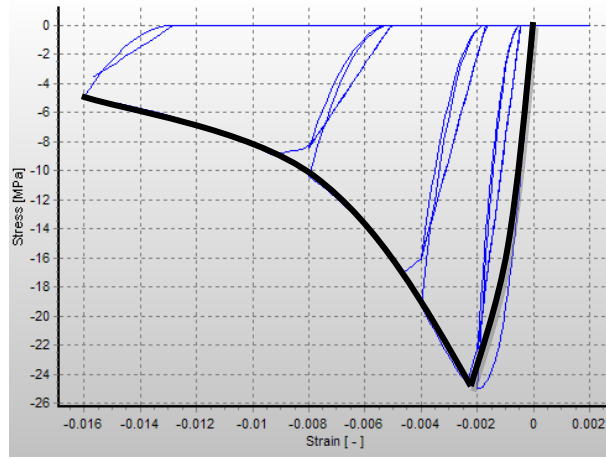
**şekil 5.21:** ZEUS NL’de iki doğrultuda elde edilen itme eğrileri

### 5.5.3 SEISMOSTRUCT yazılımı ile artırsal itme analizi

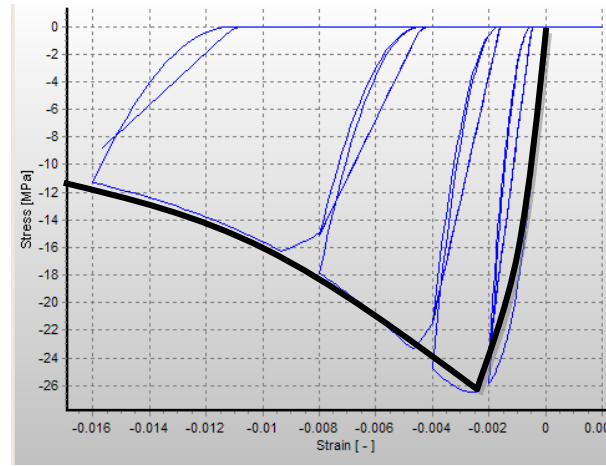
SEISMOSTRUCT v5.05 Seismosoft Ltd tarafından ADAPTIC tabanlı olarak 2002 yılında tasarlanmış ve günümüze değin çeşitli güncellemelerle geliştirilmiş bir yazılımdır [13]. Yazılımın çözüm algoritması, aynı şekilde ADAPTIC’e dayanan ZEUS NL’ye büyük oranda benzemektedir. Seismostruct programının arayüzü, çözüm sonrası verilerin işleme modülleri ise kullanım kolaylığı açısından daha kuvvetlidir. Malzeme, kesit, kesit sınıfı tanımlamaları da yine ZEUS NL’de tanımlananlar ile benzerlik gösterdiğinden burada özet şekilde açıklanacaktır.

#### Malzeme Özellikleri

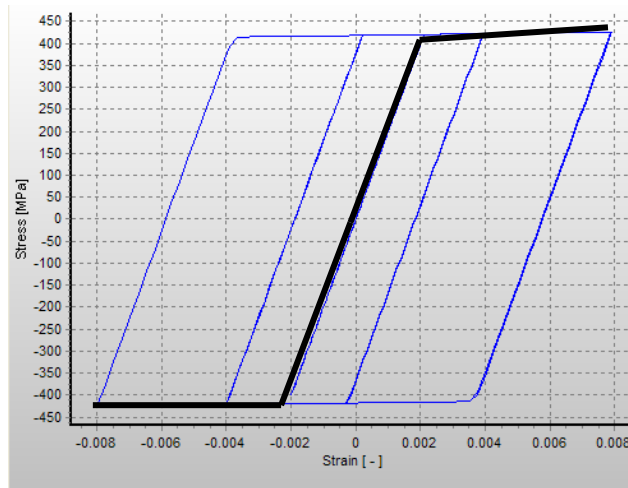
Beton modeli Mander beton modeli baz alınarak basınç gerilmesi, maksimum şekil değiştirme ve sargılama oranı parametrelerine bağlı olarak oluşturulmuştur. Girilen değerler ZEUS NL modelindeki değerlerle kıyaslama amacından aynı şekilde girilmiştir. Sargılı ve sargısız beton modelleri sırasıyla şekil 5.22 ve şekil 5.23’de görülebilir. Bu şekillerde tersinir yükleme altında çizilen eğrilerde basınç dayanımı negatif olarak alınmaktadır. Donatı çeliği için gerilme şekildeğiştirme ilişkisi ise şekil 5.24’te görülebilir.



**Şekil 5.22:** SEISMOSTRUCT sargısız beton modeli



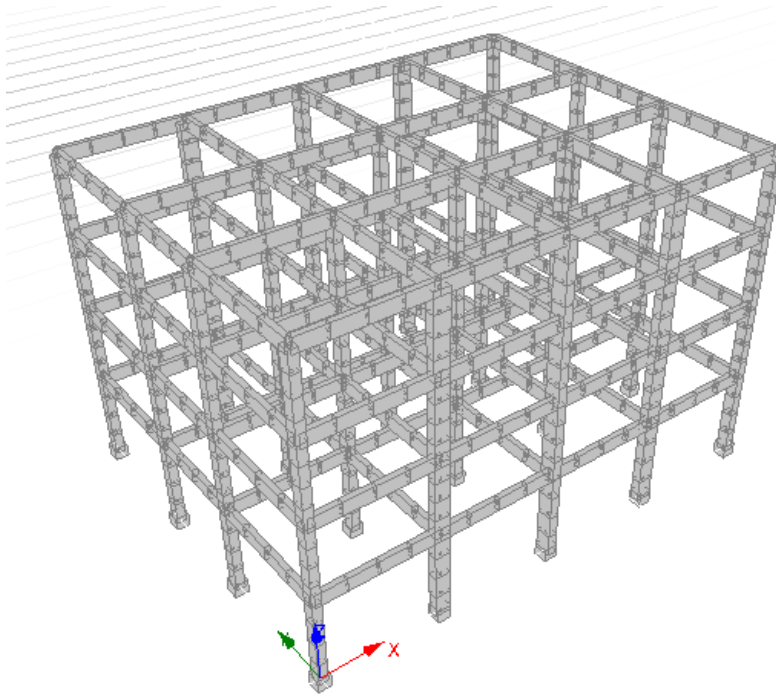
**Şekil 5.23:** SEISMOSTRUCT sargılı beton modeli



**Şekil 5.24:** SEISMOSTRUCT donatı çeliği modeli

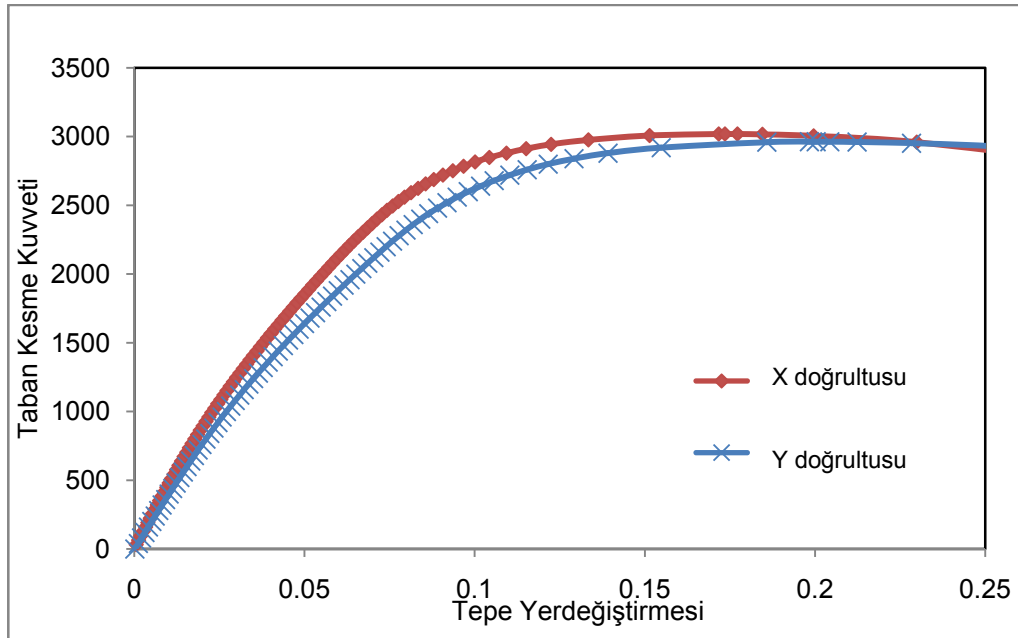
Kesit ve kesit sınıfları, elemanlar 4 ara parçaya bölünerek 200 kontrol noktası oluşturularak tanımlanmıştır. Kesitlerdeki donatılar yazılımın kesit tanımlama özelliğinden faydalanılarak girilmiştir. Etki ettirilen yük vektörü SAP2000 ve ZEUS

NL itme analizlerinde kullanılan yük vektörü ile aynı şekilde seçilmiştir. 3 boyutlu matematik modeli Şekil 5.25 görülebilir.



Şekil 5.25: SEISMOSTRUCT üç boyutlu analiz modeli

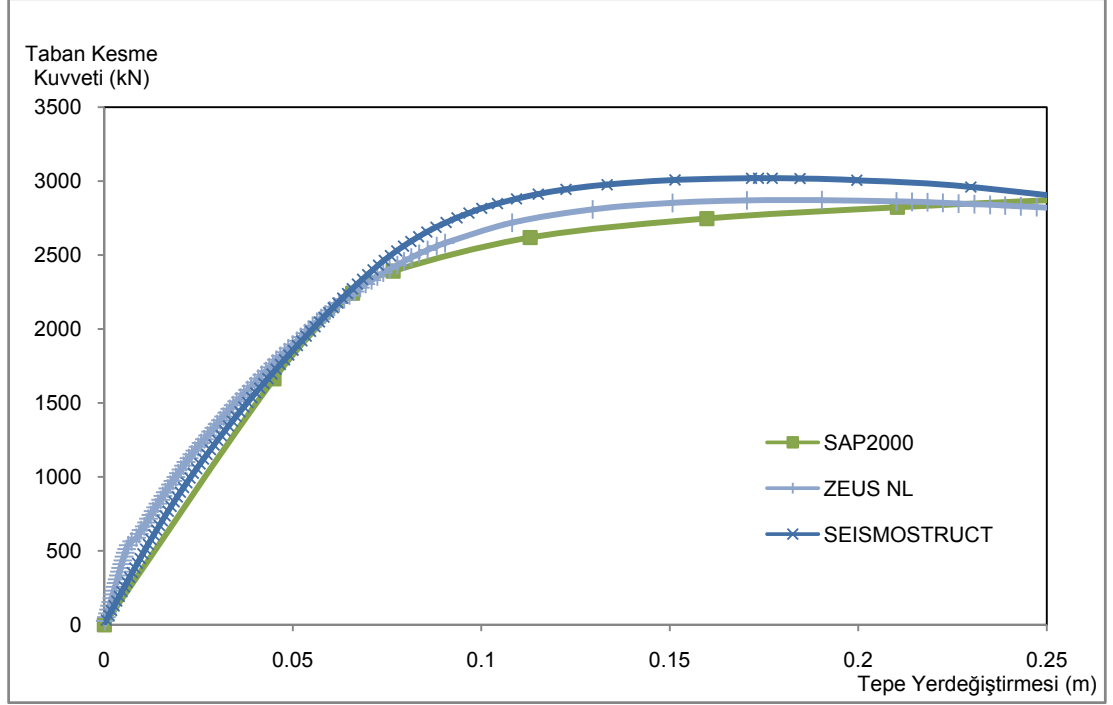
Artımsal itme analizi sonucu X ve Y doğrultusunda elde edilen itme eğrileri Şekil 5.26’te sunulmuştur.



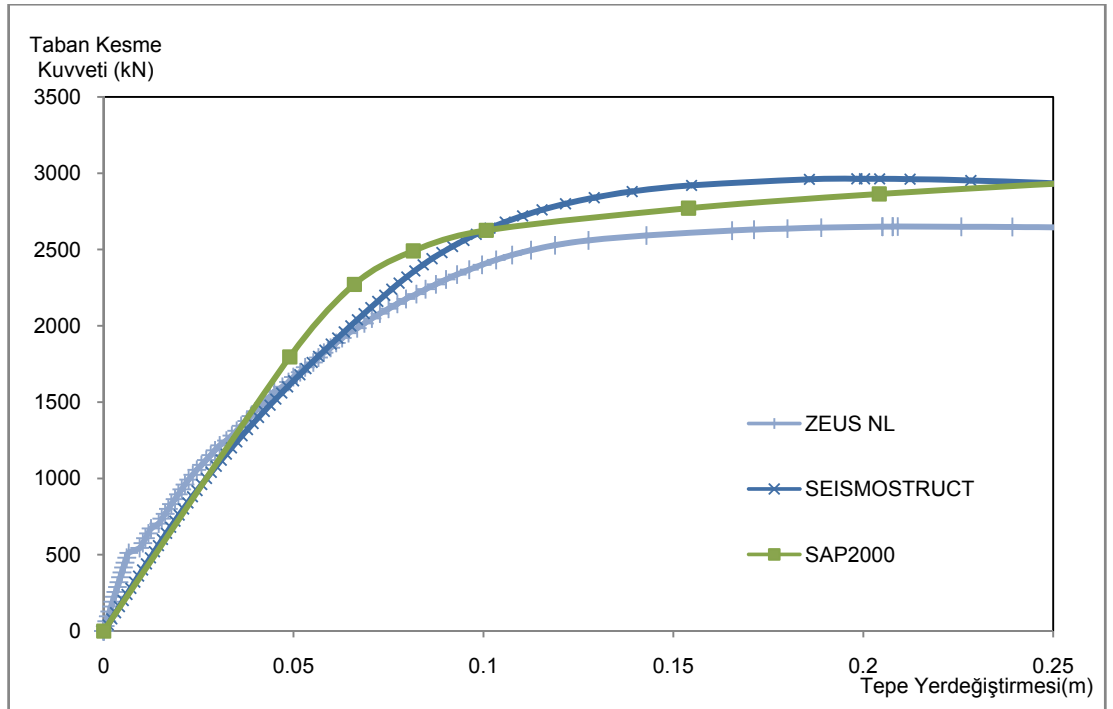
Şekil 5.26: SEISMOSTRUCT’ta iki doğrultuda elde edilen itme eğrileri

## 5.6 Farklı Yazılımlar İle Elde Edilen İtme Eğrilerinin Kıyaslanması

SAP2000, ZEUS NL ve SEISMOSTRUCT yazılımları ile elde edilen itme eğrileri x doğrultusu için Şekil 5.27, Y doğrultusu için Şekil 5.28'de kıyaslanmıştır.



Şekil 5.27: X doğrultusunda itme eğrileri kıyaslaması



Şekil 5.28: Y doğrultusunda itme eğrileri kıyaslaması

**Çizelge 5.16:** X doğrultusu modal kapasite diyagramı

| $u_x$ | $V_x$ | $d_i$ | $a_i$ (m/s) | $a_i/g$ |
|-------|-------|-------|-------------|---------|
| 0.00  | 0     | 0.000 | 0.000       | 0.000   |
| 0.05  | 1663  | 0.035 | 1.182       | 0.121   |
| 0.07  | 2242  | 0.051 | 1.594       | 0.163   |
| 0.08  | 2391  | 0.060 | 1.700       | 0.173   |
| 0.11  | 2619  | 0.088 | 1.862       | 0.190   |
| 0.16  | 2746  | 0.124 | 1.953       | 0.199   |
| 0.21  | 2823  | 0.164 | 2.007       | 0.205   |
| 0.27  | 2890  | 0.209 | 2.055       | 0.209   |
| 0.32  | 2931  | 0.252 | 2.084       | 0.212   |
| 0.34  | 2932  | 0.261 | 2.084       | 0.212   |
| 0.34  | 2932  | 0.268 | 2.084       | 0.212   |
| 0.36  | 2931  | 0.276 | 2.084       | 0.212   |
| 0.43  | 2903  | 0.331 | 2.064       | 0.210   |
| 0.49  | 2874  | 0.382 | 2.043       | 0.208   |
| 0.50  | 2871  | 0.389 | 2.041       | 0.208   |

**Çizelge 5.17:** Y doğrultusu modal kapasite diyagramı

| $u_x$ | $V_x$ | $d_i$ | $a_i$ (m/s) | $a_i/g$ |
|-------|-------|-------|-------------|---------|
| 0.00  | 0     | 0.000 | 0.000       | 0.000   |
| 0.05  | 1797  | 0.038 | 1.277       | 0.130   |
| 0.07  | 2272  | 0.051 | 1.615       | 0.165   |
| 0.08  | 2491  | 0.063 | 1.771       | 0.180   |
| 0.10  | 2626  | 0.078 | 1.867       | 0.190   |
| 0.15  | 2770  | 0.120 | 1.970       | 0.201   |
| 0.20  | 2864  | 0.159 | 2.036       | 0.208   |
| 0.26  | 2944  | 0.203 | 2.093       | 0.213   |
| 0.31  | 3003  | 0.245 | 2.135       | 0.218   |
| 0.32  | 3005  | 0.249 | 2.136       | 0.218   |
| 0.34  | 3008  | 0.261 | 2.139       | 0.218   |
| 0.34  | 3008  | 0.263 | 2.139       | 0.218   |
| 0.36  | 3008  | 0.277 | 2.138       | 0.218   |
| 0.36  | 3007  | 0.281 | 2.138       | 0.218   |
| 0.43  | 2987  | 0.332 | 2.123       | 0.216   |
| 0.48  | 2965  | 0.372 | 2.108       | 0.215   |
| 0.50  | 2954  | 0.389 | 2.100       | 0.214   |

## 5.7 Doğrusal Elastik Olmayan Spektral Yerdeğiştirmenin Bulunması

Elde edilen itme eğrileri, koordinatları modal ivme-modal yerdeğiştirme olan modal kapasite diyagramına dönüştürülmüştür. Bu dönüşümün özetlendiği değerler Çizelge 5.16 ve Çizelge 5.17’de verilmiştir. Doğrusal elastik olmayan spektral yerdeğiştirmenin bulunması için şu adımlar izlenmiştir.  $T_1^{(1)}$  başlangıç periyodunun  $T_B$ ’den büyük olduğu durumda:

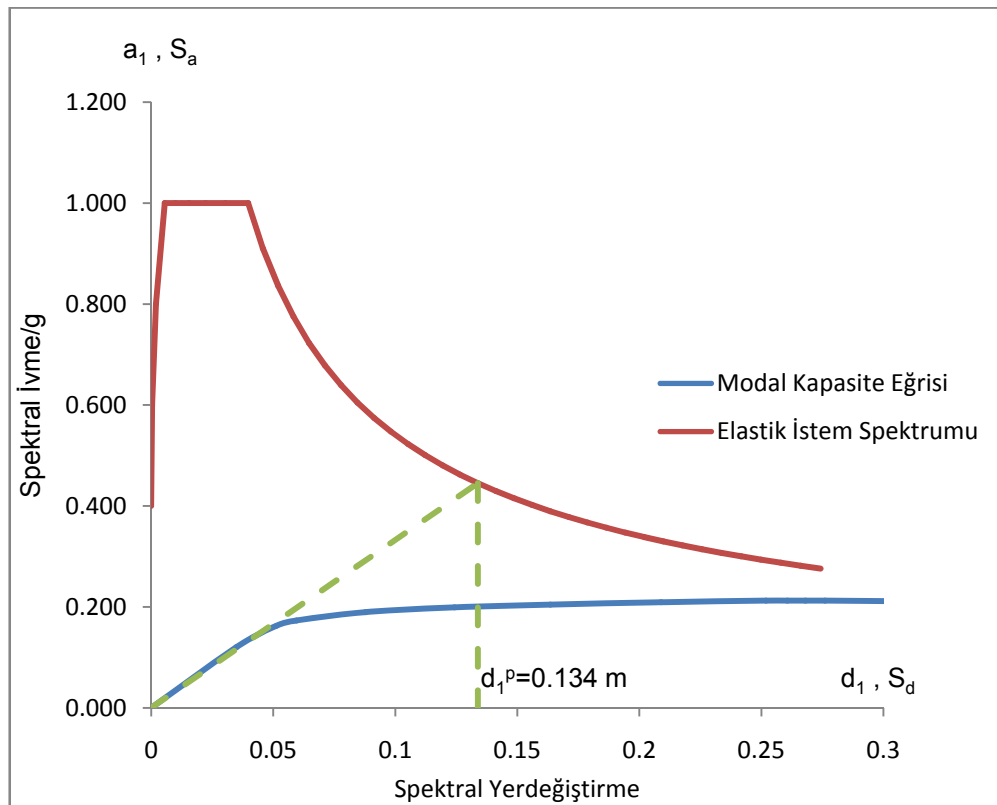
$$T_1^{(1)} = 1.10 \text{ s} > T_B = 0.40 \text{ s}$$

Eşit yerdeğiştirme kuralı uyarınca

$$S_{d1} = S_{de1} ; C_R = 1$$

$$S_{de1} = S_{ae1} / (w_1^{(1)})^2 = 0.134 \text{ cm}$$

Bu işlem şekil 5.29’te gösterilmiştir.



Şekil 5.29: DBYBHY’e göre talep yerdeğiştirmenin bulunması

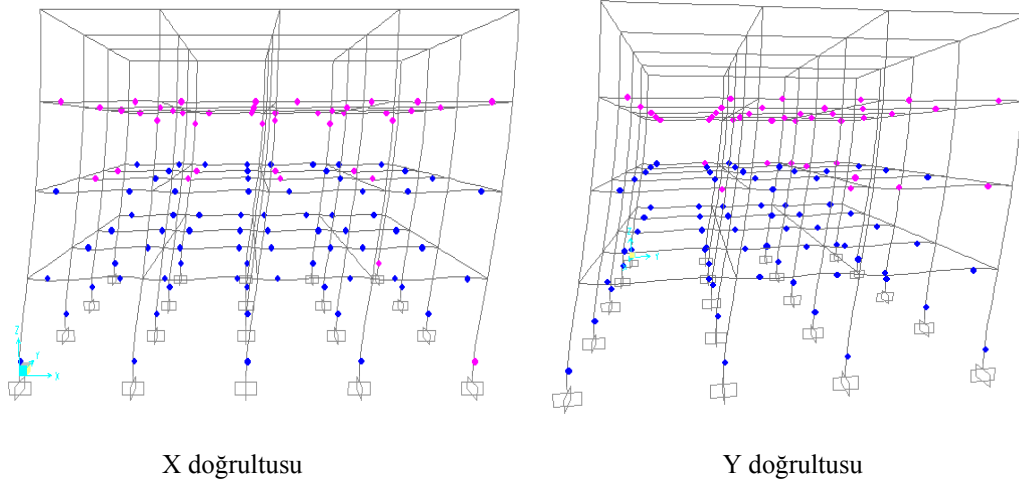
Son itme adımı için tepe yerdeğiştirmesi istemi:

$$u_{xN1}^{(p)} = \Phi_{xN1} \Gamma_{x1} d^{(p)} = 1 \times 1.286 \times 0.134 = 0.172 \text{ m}$$

olarak bulunur.

Matematik modelde, X ve Y doğrultusunda elde edilen tepe yerdeğiştirme değerine kadar yeni bir itme analizi yapılır. İtme analizinin son adımında elde edilen plastik kesitler ve plastik kesitlerdeki plastik dönme değerleri elde edilir. X ve Y

doğrultusunda oluşan plastik mafsallar Şekil 5.30’te görülebilir. Burada mavi renkli noktalar belirgin hasar bölgesine geçen kesitleri pembe renkli noktalar ise minimum hasar bölgesindeki mafsalları göstermektedir. Görüldüğü gibi en üst kat kirişlerinde mafsallaşma başlamamıştır. Ayrıca kolonlarda yalnızca 1. kat kolonlarının alt kesitlerinde mafsallaşma görülmektedir.



**Şekil 5.30:** Son itme adımında taşıyıcı sistemde oluşan plastik mafsallar

#### 5.7.1.1 Kirişlerde hasar durumunun belirlenmesi

Kirişlerde hasar durumunun elde edilmesi için itme analizinin son adımında elde edilen plastik dönme istemleri elde edilmiştir. Bu plastik dönme istemleri ile

$$\phi_p = \frac{\theta_p}{L_p}$$

$$\phi_t = \phi_y + \phi_p$$

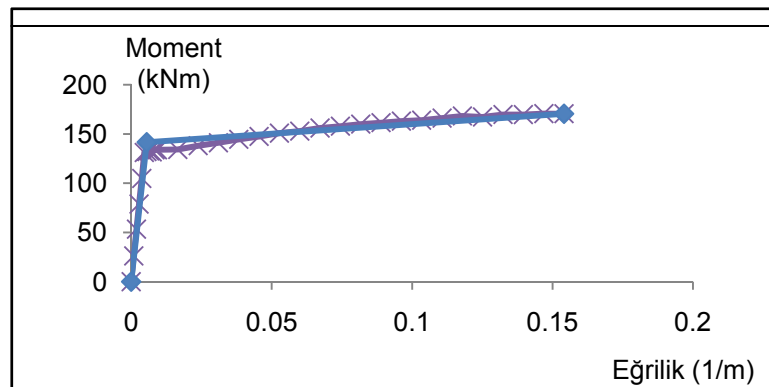
Bağıntıları kullanılarak toplam eğrilik istemi elde edilir.

Kiriş kesitlerinin XTRACT programı ile Moment eğrilik grafikleri ile buna bağlı olarak beton ve çelikteki şekildeğiştirme kapasiteleri elde edilmiştir. K101 kirişinin pozitif eğilme altındaki değerleri Çizelge 5.18’de sunulmuştur. Moment eğrilik ilişkisi Şekil 5.31’te görülebilir. Negatif ve pozitif eğilme altındaki kirişler için M-K bağıntıları da aynı şekilde elde edilmiştir.



**Çizelge 5.18:** K101 kirişi pozitif eğilme momenti için moment eğrilik ilişkisi

| Moment<br>(kNm) | Eğrilik<br>(1/m) | $\varepsilon_c$ (iç lifte) | $\varepsilon_c$ (dış lifte) | $\varepsilon_s$ |
|-----------------|------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------|
| 0               | 0                | 0.0000                     | 0.0000                      | 0               |
| 26.19           | 0.001            | 0.0005                     | 0.0001                      | 0.000           |
| 53.29           | 0.002            | 0.0009                     | 0.0002                      | 0.001           |
| 78.84           | 0.003            | 0.0014                     | 0.0003                      | 0.001           |
| 104.9           | 0.004            | 0.0018                     | 0.0004                      | 0.002           |
| 131.2           | 0.005            | 0.0023                     | 0.0005                      | 0.002           |
| 132.1           | 0.006            | 0.0028                     | 0.0005                      | 0.003           |
| 132.8           | 0.007            | 0.0033                     | 0.0006                      | 0.003           |
| 131.8           | 0.008            | 0.0038                     | 0.0006                      | 0.004           |
| 133.9           | 0.008            | 0.0043                     | 0.0006                      | 0.004           |
| 133.9           | 0.009            | 0.0048                     | 0.0007                      | 0.004           |
| 134.3           | 0.017            | 0.0088                     | 0.0009                      | 0.008           |
| 138.1           | 0.024            | 0.0128                     | 0.0011                      | 0.012           |
| 141.1           | 0.031            | 0.0168                     | 0.0013                      | 0.016           |
| 144.6           | 0.038            | 0.0208                     | 0.0016                      | 0.019           |
| 147.5           | 0.046            | 0.0248                     | 0.0018                      | 0.023           |
| 150.8           | 0.053            | 0.0287                     | 0.0021                      | 0.027           |
| 152.9           | 0.060            | 0.0327                     | 0.0023                      | 0.031           |
| 156             | 0.067            | 0.0367                     | 0.0026                      | 0.034           |
| 157.9           | 0.075            | 0.0406                     | 0.0028                      | 0.038           |
| 160             | 0.082            | 0.0446                     | 0.0031                      | 0.042           |
| 161.5           | 0.089            | 0.0485                     | 0.0034                      | 0.045           |
| 163             | 0.096            | 0.0525                     | 0.0036                      | 0.049           |
| 164             | 0.103            | 0.0565                     | 0.0039                      | 0.053           |
| 166.1           | 0.111            | 0.0604                     | 0.0042                      | 0.057           |
| 168.3           | 0.118            | 0.0643                     | 0.0045                      | 0.060           |
| 167.3           | 0.125            | 0.0683                     | 0.0047                      | 0.064           |
| 169.8           | 0.132            | 0.0722                     | 0.0051                      | 0.068           |
| 169.7           | 0.140            | 0.0761                     | 0.0054                      | 0.071           |
| 170.7           | 0.147            | 0.0800                     | 0.0057                      | 0.075           |
| 170.6           | 0.154            | 0.0839                     | 0.0060                      | 0.079           |



**Şekil 5.31:** K101 kirişi moment eğrilik ilişkisi (pozitif moment)

**Çizelge 5.19: X doğrultusunda kirişlerde hasar durumu**

| KİRİŞ | $\theta_p$ rad | $\phi_p$ rad/m | $\phi_e$<br>(1/m) | $\phi_t$<br>(1/m) | My  | Mp  | $\varepsilon_c$<br>(dış lifte) | $\varepsilon_c$<br>(iç lifte) | $\varepsilon_s$ | Betonda | Donatıda | Hasar Durumu |
|-------|----------------|----------------|-------------------|-------------------|-----|-----|--------------------------------|-------------------------------|-----------------|---------|----------|--------------|
| K101  | 0.017          | 0.056          | 0.006             | 0.061             | 142 | 152 | 0.0021                         | 0.029                         | 0.027           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K101  | -0.012         | 0.041          | 0.006             | 0.047             | 264 | 286 | 0.0029                         | 0.023                         | 0.021           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K102  | 0.015          | 0.050          | 0.006             | 0.056             | 142 | 151 | 0.0021                         | 0.029                         | 0.027           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K102  | -0.011         | 0.036          | 0.006             | 0.042             | 264 | 283 | 0.0027                         | 0.021                         | 0.019           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K103  | 0.014          | 0.047          | 0.006             | 0.053             | 142 | 151 | 0.0018                         | 0.025                         | 0.023           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K103  | -0.012         | 0.041          | 0.006             | 0.046             | 264 | 286 | 0.0027                         | 0.021                         | 0.019           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K104  | 0.015          | 0.050          | 0.006             | 0.056             | 142 | 151 | 0.0021                         | 0.029                         | 0.027           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K104  | -0.012         | 0.039          | 0.006             | 0.045             | 264 | 285 | 0.0027                         | 0.021                         | 0.019           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K105  | 0.015          | 0.051          | 0.006             | 0.056             | 142 | 151 | 0.0021                         | 0.029                         | 0.027           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K105  | -0.011         | 0.037          | 0.006             | 0.043             | 264 | 284 | 0.0027                         | 0.021                         | 0.019           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K106  | 0.012          | 0.041          | 0.006             | 0.046             | 142 | 150 | 0.0018                         | 0.025                         | 0.023           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K106  | -0.011         | 0.037          | 0.006             | 0.043             | 264 | 284 | 0.0027                         | 0.021                         | 0.019           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K107  | 0.012          | 0.041          | 0.006             | 0.046             | 142 | 150 | 0.0018                         | 0.025                         | 0.023           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K107  | -0.011         | 0.037          | 0.006             | 0.043             | 264 | 284 | 0.0027                         | 0.021                         | 0.019           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K108  | 0.012          | 0.041          | 0.006             | 0.047             | 142 | 150 | 0.0018                         | 0.025                         | 0.023           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K108  | -0.013         | 0.042          | 0.006             | 0.047             | 264 | 286 | 0.0029                         | 0.023                         | 0.021           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K109  | 0.015          | 0.051          | 0.006             | 0.056             | 142 | 151 | 0.0021                         | 0.029                         | 0.027           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K109  | -0.011         | 0.037          | 0.006             | 0.043             | 264 | 284 | 0.0027                         | 0.021                         | 0.019           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K110  | 0.012          | 0.041          | 0.006             | 0.046             | 142 | 150 | 0.0018                         | 0.025                         | 0.023           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K110  | -0.011         | 0.037          | 0.006             | 0.043             | 264 | 284 | 0.0027                         | 0.021                         | 0.019           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K111  | 0.012          | 0.041          | 0.006             | 0.046             | 142 | 150 | 0.0018                         | 0.025                         | 0.023           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K111  | -0.011         | 0.037          | 0.006             | 0.043             | 264 | 284 | 0.0027                         | 0.021                         | 0.019           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K112  | 0.012          | 0.041          | 0.006             | 0.047             | 142 | 150 | 0.0018                         | 0.025                         | 0.023           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K112  | -0.013         | 0.042          | 0.006             | 0.047             | 264 | 286 | 0.0029                         | 0.023                         | 0.021           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K113  | 0.017          | 0.056          | 0.006             | 0.061             | 142 | 152 | 0.0021                         | 0.029                         | 0.027           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K113  | -0.012         | 0.041          | 0.006             | 0.047             | 264 | 286 | 0.0029                         | 0.023                         | 0.021           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K114  | 0.015          | 0.050          | 0.006             | 0.056             | 142 | 151 | 0.0021                         | 0.029                         | 0.027           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K114  | -0.011         | 0.036          | 0.006             | 0.042             | 264 | 283 | 0.0027                         | 0.021                         | 0.019           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K115  | 0.014          | 0.047          | 0.006             | 0.053             | 142 | 151 | 0.0018                         | 0.025                         | 0.023           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K115  | -0.012         | 0.041          | 0.006             | 0.046             | 264 | 286 | 0.0027                         | 0.021                         | 0.019           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K116  | 0.015          | 0.050          | 0.006             | 0.056             | 142 | 151 | 0.0021                         | 0.029                         | 0.027           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K116  | -0.012         | 0.039          | 0.006             | 0.045             | 264 | 285 | 0.0027                         | 0.021                         | 0.019           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K201  | 0.012          | 0.039          | 0.005             | 0.044             | 222 | 240 | 0.0060                         | 0.082                         | 0.077           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K201  | -0.011         | 0.036          | 0.005             | 0.041             | 142 | 149 | 0.0004                         | 0.001                         | 0.001           | <MN     | MN<GV    | BHB          |
| K202  | 0.012          | 0.038          | 0.005             | 0.044             | 222 | 240 | 0.0060                         | 0.082                         | 0.077           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K202  | -0.010         | 0.032          | 0.005             | 0.037             | 142 | 148 | 0.0004                         | 0.001                         | 0.001           | <MN     | MN<GV    | BHB          |
| K203  | 0.011          | 0.036          | 0.005             | 0.041             | 222 | 239 | 0.0060                         | 0.082                         | 0.077           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K203  | -0.011         | 0.036          | 0.005             | 0.041             | 142 | 149 | 0.0004                         | 0.001                         | 0.001           | <MN     | MN<GV    | BHB          |
| K204  | 0.011          | 0.038          | 0.005             | 0.043             | 222 | 240 | 0.0060                         | 0.082                         | 0.077           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K204  | -0.010         | 0.032          | 0.005             | 0.037             | 142 | 148 | 0.0004                         | 0.001                         | 0.001           | <MN     | MN<GV    | BHB          |
| K205  | 0.010          | 0.033          | 0.005             | 0.038             | 222 | 237 | 0.0060                         | 0.082                         | 0.077           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K205  | -0.010         | 0.032          | 0.005             | 0.037             | 142 | 148 | 0.0004                         | 0.001                         | 0.001           | <MN     | MN<GV    | BHB          |

**Çizelge 5.19 : X doğrultusunda kirişlerde hasar durumu (devam)**

| KİRİŞ | $\theta_p$ rad | $\phi_p$<br>rad/m | $\phi_e$<br>(1/m) | $\phi_t$<br>(1/m) | My  | Mp  | $\varepsilon_c$<br>(dış<br>lifte) | $\varepsilon_c$ (iç<br>lifte) | $\varepsilon_s$ | Betonda | Donatıda | Hasar<br>Durumu |
|-------|----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----|-----|-----------------------------------|-------------------------------|-----------------|---------|----------|-----------------|
| K206  | 0.009          | 0.029             | 0.005             | 0.035             | 222 | 236 | 0.0060                            | 0.082                         | 0.077           | MN<GV   | MN<GV    | BHB             |
| K206  | -0.010         | 0.033             | 0.005             | 0.038             | 142 | 148 | 0.0004                            | 0.001                         | 0.001           | <MN     | MN<GV    | BHB             |
| K207  | 0.009          | 0.030             | 0.005             | 0.035             | 222 | 236 | 0.0060                            | 0.082                         | 0.077           | MN<GV   | MN<GV    | BHB             |
| K207  | -0.010         | 0.033             | 0.005             | 0.038             | 142 | 148 | 0.0004                            | 0.001                         | 0.001           | <MN     | MN<GV    | BHB             |
| K208  | 0.009          | 0.030             | 0.005             | 0.035             | 222 | 236 | 0.0060                            | 0.082                         | 0.077           | MN<GV   | MN<GV    | BHB             |
| K208  | -0.010         | 0.034             | 0.005             | 0.039             | 142 | 148 | 0.0004                            | 0.001                         | 0.001           | <MN     | MN<GV    | BHB             |
| K209  | 0.010          | 0.033             | 0.005             | 0.038             | 222 | 237 | 0.0060                            | 0.082                         | 0.077           | MN<GV   | MN<GV    | BHB             |
| K209  | -0.010         | 0.032             | 0.005             | 0.037             | 142 | 148 | 0.0004                            | 0.001                         | 0.001           | <MN     | MN<GV    | BHB             |
| K210  | 0.009          | 0.029             | 0.005             | 0.035             | 222 | 236 | 0.0060                            | 0.082                         | 0.077           | MN<GV   | MN<GV    | BHB             |
| K210  | -0.010         | 0.033             | 0.005             | 0.038             | 142 | 148 | 0.0004                            | 0.001                         | 0.001           | <MN     | MN<GV    | BHB             |
| K211  | 0.009          | 0.030             | 0.005             | 0.035             | 222 | 236 | 0.0060                            | 0.082                         | 0.077           | MN<GV   | MN<GV    | BHB             |
| K211  | -0.010         | 0.033             | 0.005             | 0.038             | 142 | 148 | 0.0004                            | 0.001                         | 0.001           | <MN     | MN<GV    | BHB             |
| K212  | 0.009          | 0.030             | 0.005             | 0.035             | 222 | 236 | 0.0060                            | 0.082                         | 0.077           | MN<GV   | MN<GV    | BHB             |
| K212  | -0.010         | 0.034             | 0.005             | 0.039             | 142 | 148 | 0.0004                            | 0.001                         | 0.001           | <MN     | MN<GV    | BHB             |
| K213  | 0.012          | 0.039             | 0.005             | 0.044             | 222 | 240 | 0.0060                            | 0.082                         | 0.077           | MN<GV   | MN<GV    | BHB             |
| K213  | -0.011         | 0.036             | 0.005             | 0.041             | 142 | 149 | 0.0004                            | 0.001                         | 0.001           | <MN     | MN<GV    | BHB             |
| K214  | 0.012          | 0.038             | 0.005             | 0.044             | 222 | 240 | 0.0060                            | 0.082                         | 0.077           | MN<GV   | MN<GV    | BHB             |
| K214  | -0.010         | 0.032             | 0.005             | 0.037             | 142 | 148 | 0.0004                            | 0.001                         | 0.001           | <MN     | MN<GV    | BHB             |
| K215  | 0.011          | 0.036             | 0.005             | 0.041             | 222 | 239 | 0.0060                            | 0.082                         | 0.077           | MN<GV   | MN<GV    | BHB             |
| K215  | -0.011         | 0.036             | 0.005             | 0.041             | 142 | 149 | 0.0004                            | 0.001                         | 0.001           | <MN     | MN<GV    | BHB             |
| K216  | 0.011          | 0.038             | 0.005             | 0.043             | 222 | 240 | 0.0060                            | 0.082                         | 0.077           | MN<GV   | MN<GV    | BHB             |
| K216  | -0.010         | 0.032             | 0.005             | 0.037             | 142 | 148 | 0.0004                            | 0.001                         | 0.001           | <MN     | MN<GV    | BHB             |
| K301  | 0.004          | 0.012             | 0.005             | 0.017             | 222 | 227 | 0.0060                            | 0.082                         | 0.077           | MN<GV   | MN<GV    | BHB             |
| K301  | -0.002         | 0.007             | 0.005             | 0.012             | 142 | 143 | 0.0004                            | 0.001                         | 0.001           | <MN     | MN<GV    | BHB             |
| K302  | 0.003          | 0.010             | 0.005             | 0.015             | 222 | 226 | 0.0060                            | 0.082                         | 0.077           | MN<GV   | MN<GV    | BHB             |
| K302  | -0.001         | 0.002             | 0.005             | 0.007             | 142 | 142 | 0.0004                            | 0.001                         | 0.001           | <MN     | MN<GV    | BHB             |
| K303  | 0.002          | 0.006             | 0.005             | 0.011             | 222 | 225 | 0.0060                            | 0.082                         | 0.077           | MN<GV   | <MN      | BHB             |
| K303  | -0.002         | 0.007             | 0.005             | 0.012             | 142 | 143 | 0.0004                            | 0.001                         | 0.001           | <MN     | MN<GV    | BHB             |
| K304  | 0.003          | 0.009             | 0.005             | 0.014             | 222 | 226 | 0.0060                            | 0.082                         | 0.077           | MN<GV   | MN<GV    | BHB             |
| K304  | -0.001         | 0.004             | 0.005             | 0.009             | 142 | 143 | 0.0004                            | 0.001                         | 0.001           | <MN     | MN<GV    | BHB             |
| K305  | 0.002          | 0.006             | 0.005             | 0.011             | 222 | 225 | 0.0060                            | 0.082                         | 0.077           | MN<GV   | <MN      | BHB             |
| K305  | -0.001         | 0.002             | 0.005             | 0.007             | 142 | 142 | 0.0004                            | 0.001                         | 0.001           | <MN     | MN<GV    | BHB             |
| K306  | -0.001         | 0.002             | 0.005             | 0.007             | 142 | 142 | 0.0004                            | 0.001                         | 0.001           | <MN     | MN<GV    | BHB             |
| K307  | -0.001         | 0.002             | 0.005             | 0.007             | 142 | 142 | 0.0004                            | 0.001                         | 0.001           | <MN     | MN<GV    | BHB             |
| K308  | -0.002         | 0.007             | 0.005             | 0.012             | 142 | 143 | 0.0004                            | 0.001                         | 0.001           | <MN     | MN<GV    | BHB             |
| K309  | 0.002          | 0.006             | 0.005             | 0.011             | 222 | 225 | 0.0060                            | 0.082                         | 0.077           | MN<GV   | <MN      | BHB             |
| K309  | -0.001         | 0.002             | 0.005             | 0.007             | 142 | 142 | 0.0004                            | 0.001                         | 0.001           | <MN     | MN<GV    | BHB             |
| K310  | -0.001         | 0.002             | 0.005             | 0.007             | 142 | 142 | 0.0004                            | 0.001                         | 0.001           | <MN     | MN<GV    | BHB             |
| K311  | -0.001         | 0.002             | 0.005             | 0.007             | 142 | 142 | 0.0004                            | 0.001                         | 0.001           | <MN     | MN<GV    | BHB             |
| K312  | -0.002         | 0.007             | 0.005             | 0.012             | 142 | 143 | 0.0004                            | 0.001                         | 0.001           | <MN     | MN<GV    | BHB             |
| K313  | 0.004          | 0.012             | 0.005             | 0.017             | 222 | 227 | 0.0060                            | 0.082                         | 0.077           | MN<GV   | MN<GV    | BHB             |
| K313  | -0.002         | 0.007             | 0.005             | 0.012             | 142 | 143 | 0.0004                            | 0.001                         | 0.001           | <MN     | MN<GV    | BHB             |
| K314  | 0.003          | 0.010             | 0.005             | 0.015             | 222 | 226 | 0.0060                            | 0.082                         | 0.077           | MN<GV   | MN<GV    | BHB             |
| K314  | -0.001         | 0.002             | 0.005             | 0.007             | 142 | 142 | 0.0004                            | 0.001                         | 0.001           | <MN     | MN<GV    | BHB             |
| K315  | 0.002          | 0.006             | 0.005             | 0.011             | 222 | 225 | 0.0060                            | 0.082                         | 0.077           | MN<GV   | <MN      | BHB             |
| K315  | -0.002         | 0.007             | 0.005             | 0.012             | 142 | 143 | 0.0004                            | 0.001                         | 0.001           | <MN     | MN<GV    | BHB             |
| K316  | 0.003          | 0.009             | 0.005             | 0.014             | 222 | 226 | 0.0060                            | 0.082                         | 0.077           | MN<GV   | MN<GV    | BHB             |
| K316  | -0.001         | 0.004             | 0.005             | 0.009             | 142 | 143 | 0.0004                            | 0.001                         | 0.001           | <MN     | MN<GV    | BHB             |

**Çizelge 5.20: Y doğrultusunda kirişlerde hasar durumu**

| Kiriş | $\theta_p$ rad | $\phi_p$ rad/m | $\phi_e$ (1/m) | $\phi_t$ (1/m) | My  | Mp  | $\varepsilon_c$ (dış lifte) | $\varepsilon_c$ (iç lifte) | $\varepsilon_s$ | Betonda | Donatıda | Hasar Durumu |
|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----|-----|-----------------------------|----------------------------|-----------------|---------|----------|--------------|
| K117  | 0.015          | 0.050          | 0.006          | 0.056          | 142 | 151 | 0.002                       | 0.029                      | 0.027           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K117  | -0.010         | 0.035          | 0.006          | 0.041          | 264 | 283 | 0.003                       | 0.021                      | 0.019           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K118  | 0.014          | 0.046          | 0.006          | 0.051          | 142 | 150 | 0.002                       | 0.025                      | 0.023           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K118  | -0.012         | 0.040          | 0.006          | 0.045          | 264 | 285 | 0.003                       | 0.021                      | 0.019           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K119  | 0.014          | 0.047          | 0.006          | 0.052          | 142 | 151 | 0.002                       | 0.025                      | 0.023           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K119  | -0.012         | 0.041          | 0.006          | 0.046          | 264 | 286 | 0.003                       | 0.021                      | 0.019           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K120  | 0.014          | 0.046          | 0.006          | 0.051          | 142 | 150 | 0.002                       | 0.025                      | 0.023           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K120  | -0.012         | 0.040          | 0.006          | 0.045          | 264 | 285 | 0.003                       | 0.021                      | 0.019           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K121  | 0.015          | 0.050          | 0.006          | 0.056          | 142 | 151 | 0.002                       | 0.029                      | 0.027           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K121  | -0.010         | 0.035          | 0.006          | 0.041          | 264 | 283 | 0.003                       | 0.021                      | 0.019           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K122  | 0.014          | 0.047          | 0.006          | 0.053          | 142 | 151 | 0.002                       | 0.025                      | 0.023           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K122  | -0.011         | 0.037          | 0.006          | 0.042          | 264 | 284 | 0.003                       | 0.021                      | 0.019           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K123  | 0.014          | 0.047          | 0.006          | 0.053          | 142 | 151 | 0.002                       | 0.025                      | 0.023           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K123  | -0.012         | 0.040          | 0.006          | 0.045          | 264 | 285 | 0.003                       | 0.021                      | 0.019           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K124  | 0.014          | 0.047          | 0.006          | 0.053          | 142 | 151 | 0.002                       | 0.029                      | 0.027           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K124  | -0.012         | 0.040          | 0.006          | 0.045          | 264 | 285 | 0.003                       | 0.021                      | 0.019           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K125  | 0.014          | 0.047          | 0.006          | 0.053          | 142 | 151 | 0.002                       | 0.025                      | 0.023           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K125  | -0.012         | 0.040          | 0.006          | 0.045          | 264 | 285 | 0.003                       | 0.021                      | 0.019           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K126  | 0.014          | 0.047          | 0.006          | 0.053          | 142 | 151 | 0.002                       | 0.025                      | 0.023           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K126  | -0.011         | 0.037          | 0.006          | 0.042          | 264 | 284 | 0.003                       | 0.021                      | 0.019           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K127  | 0.013          | 0.043          | 0.006          | 0.049          | 142 | 150 | 0.002                       | 0.025                      | 0.023           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K127  | -0.012         | 0.039          | 0.006          | 0.045          | 264 | 285 | 0.003                       | 0.021                      | 0.019           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K128  | 0.012          | 0.041          | 0.006          | 0.047          | 142 | 150 | 0.002                       | 0.025                      | 0.023           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K128  | -0.013         | 0.043          | 0.006          | 0.049          | 264 | 287 | 0.003                       | 0.023                      | 0.021           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K129  | 0.013          | 0.044          | 0.006          | 0.049          | 142 | 150 | 0.002                       | 0.025                      | 0.023           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K129  | -0.013         | 0.045          | 0.006          | 0.050          | 264 | 288 | 0.003                       | 0.023                      | 0.021           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K130  | 0.012          | 0.041          | 0.006          | 0.047          | 142 | 150 | 0.002                       | 0.025                      | 0.023           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K130  | -0.013         | 0.043          | 0.006          | 0.049          | 264 | 287 | 0.003                       | 0.023                      | 0.021           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K131  | 0.013          | 0.043          | 0.006          | 0.049          | 142 | 150 | 0.002                       | 0.025                      | 0.023           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K131  | -0.012         | 0.039          | 0.006          | 0.045          | 264 | 285 | 0.003                       | 0.021                      | 0.019           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K217  | 0.011          | 0.038          | 0.006          | 0.044          | 142 | 149 | 0.002                       | 0.025                      | 0.023           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K217  | -0.007         | 0.025          | 0.006          | 0.030          | 264 | 278 | 0.002                       | 0.015                      | 0.014           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K218  | 0.010          | 0.034          | 0.006          | 0.040          | 142 | 148 | 0.002                       | 0.025                      | 0.023           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K218  | -0.009         | 0.029          | 0.006          | 0.035          | 264 | 280 | 0.002                       | 0.017                      | 0.016           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K219  | 0.011          | 0.037          | 0.006          | 0.043          | 142 | 149 | 0.002                       | 0.025                      | 0.023           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K219  | -0.009         | 0.029          | 0.006          | 0.035          | 264 | 280 | 0.002                       | 0.017                      | 0.016           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K220  | 0.010          | 0.034          | 0.006          | 0.040          | 142 | 148 | 0.002                       | 0.025                      | 0.023           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K220  | -0.009         | 0.029          | 0.006          | 0.035          | 264 | 280 | 0.002                       | 0.017                      | 0.016           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K221  | 0.011          | 0.038          | 0.006          | 0.044          | 142 | 149 | 0.002                       | 0.025                      | 0.023           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K221  | -0.007         | 0.025          | 0.006          | 0.030          | 264 | 278 | 0.002                       | 0.015                      | 0.014           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K222  | 0.011          | 0.037          | 0.006          | 0.043          | 142 | 149 | 0.002                       | 0.025                      | 0.023           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K222  | -0.008         | 0.026          | 0.006          | 0.032          | 264 | 278 | 0.002                       | 0.017                      | 0.016           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K223  | 0.011          | 0.036          | 0.006          | 0.042          | 142 | 149 | 0.002                       | 0.025                      | 0.023           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |
| K223  | -0.009         | 0.030          | 0.006          | 0.035          | 264 | 280 | 0.002                       | 0.017                      | 0.016           | MN<GV   | MN<GV    | BHB          |

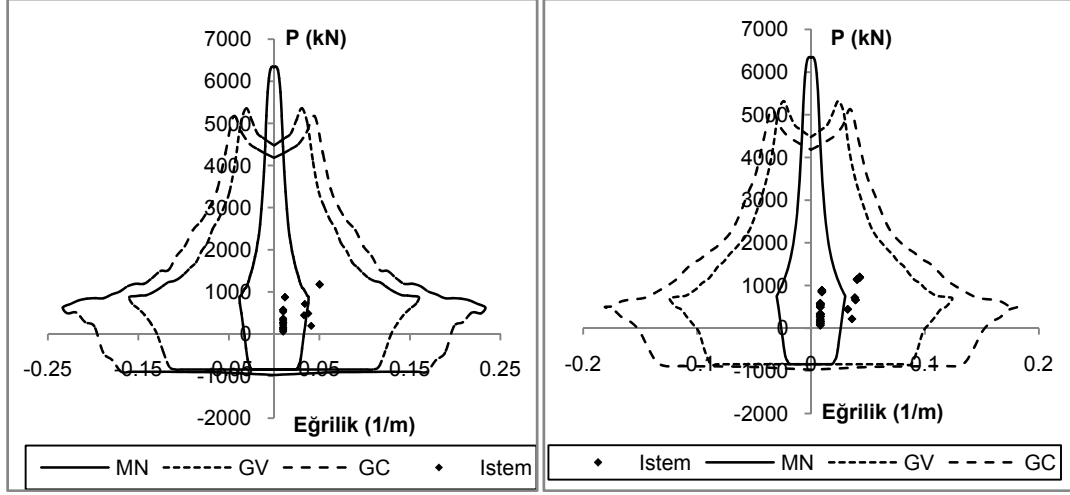
**Çizelge 5.20: Y doğrultusunda girişlerde hasar durumu (devam)**

| KİRİŞ | $\theta_p$ rad | $\phi_p$<br>rad/m | $\phi_e$<br>(1/m) | $\phi_t$<br>(1/m) | $M_y$ | $M_p$ | $\varepsilon_c$ (dış<br>lifte) | $\varepsilon_c$ (iç<br>lifte) | $\varepsilon_s$ | Betonda | Donatıda | Hasar<br>Durumu |
|-------|----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|-------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------|---------|----------|-----------------|
| K224  | 0.011          | 0.037             | 0.006             | 0.042             | 142   | 149   | 0.0018                         | 0.025                         | 0.023           | MN<GV   | MN<GV    | BHB             |
| K224  | -0.009         | 0.030             | 0.006             | 0.035             | 264   | 280   | 0.0024                         | 0.017                         | 0.016           | MN<GV   | MN<GV    | BHB             |
| K225  | 0.011          | 0.036             | 0.006             | 0.042             | 142   | 149   | 0.0018                         | 0.025                         | 0.023           | MN<GV   | MN<GV    | BHB             |
| K225  | -0.009         | 0.030             | 0.006             | 0.035             | 264   | 280   | 0.0024                         | 0.017                         | 0.016           | MN<GV   | MN<GV    | BHB             |
| K226  | 0.011          | 0.037             | 0.006             | 0.043             | 142   | 149   | 0.0018                         | 0.025                         | 0.023           | MN<GV   | MN<GV    | BHB             |
| K226  | -0.008         | 0.026             | 0.006             | 0.032             | 264   | 278   | 0.0024                         | 0.017                         | 0.016           | MN<GV   | MN<GV    | BHB             |
| K227  | 0.010          | 0.033             | 0.006             | 0.039             | 142   | 148   | 0.0018                         | 0.025                         | 0.023           | MN<GV   | MN<GV    | BHB             |
| K227  | -0.008         | 0.027             | 0.006             | 0.033             | 264   | 279   | 0.0024                         | 0.017                         | 0.016           | MN<GV   | MN<GV    | BHB             |
| K228  | 0.009          | 0.031             | 0.006             | 0.037             | 142   | 148   | 0.0018                         | 0.025                         | 0.023           | MN<GV   | MN<GV    | BHB             |
| K228  | -0.010         | 0.032             | 0.006             | 0.038             | 264   | 281   | 0.0026                         | 0.019                         | 0.018           | MN<GV   | MN<GV    | BHB             |
| K229  | 0.010          | 0.034             | 0.006             | 0.040             | 142   | 148   | 0.0018                         | 0.025                         | 0.023           | MN<GV   | MN<GV    | BHB             |
| K229  | -0.010         | 0.035             | 0.006             | 0.040             | 264   | 283   | 0.0027                         | 0.021                         | 0.019           | MN<GV   | MN<GV    | BHB             |
| K230  | 0.009          | 0.031             | 0.006             | 0.037             | 142   | 148   | 0.0018                         | 0.025                         | 0.023           | MN<GV   | MN<GV    | BHB             |
| K230  | -0.010         | 0.032             | 0.006             | 0.038             | 264   | 281   | 0.0026                         | 0.019                         | 0.018           | MN<GV   | MN<GV    | BHB             |
| K231  | 0.010          | 0.033             | 0.006             | 0.039             | 142   | 148   | 0.0018                         | 0.025                         | 0.023           | MN<GV   | MN<GV    | BHB             |
| K231  | -0.008         | 0.027             | 0.006             | 0.033             | 264   | 279   | 0.0024                         | 0.017                         | 0.016           | MN<GV   | MN<GV    | BHB             |
| K317  | 0.003          | 0.011             | 0.005             | 0.017             | 222   | 227   | 0.0060                         | 0.082                         | 0.077           | MN<GV   | MN<GV    | BHB             |
| K317  | -0.002         | 0.006             | 0.005             | 0.011             | 142   | 143   | 0.0004                         | 0.001                         | 0.001           | <MN     | MN<GV    | BHB             |
| K318  | 0.002          | 0.007             | 0.005             | 0.012             | 222   | 225   | 0.0060                         | 0.082                         | 0.077           | MN<GV   | <MN      | BHB             |
| K318  | -0.003         | 0.009             | 0.005             | 0.014             | 142   | 144   | 0.0004                         | 0.001                         | 0.001           | <MN     | MN<GV    | BHB             |
| K319  | 0.003          | 0.008             | 0.005             | 0.014             | 222   | 226   | 0.0060                         | 0.082                         | 0.077           | MN<GV   | <MN      | BHB             |
| K319  | -0.003         | 0.009             | 0.005             | 0.014             | 142   | 144   | 0.0004                         | 0.001                         | 0.001           | <MN     | MN<GV    | BHB             |
| K320  | 0.002          | 0.007             | 0.005             | 0.012             | 222   | 225   | 0.0060                         | 0.082                         | 0.077           | MN<GV   | <MN      | BHB             |
| K320  | -0.003         | 0.009             | 0.005             | 0.014             | 142   | 144   | 0.0004                         | 0.001                         | 0.001           | <MN     | MN<GV    | BHB             |
| K321  | 0.003          | 0.011             | 0.005             | 0.017             | 222   | 227   | 0.0060                         | 0.082                         | 0.077           | MN<GV   | MN<GV    | BHB             |
| K321  | -0.002         | 0.006             | 0.005             | 0.011             | 142   | 143   | 0.0004                         | 0.001                         | 0.001           | <MN     | MN<GV    | BHB             |
| K322  | 0.003          | 0.011             | 0.005             | 0.016             | 222   | 227   | 0.0060                         | 0.082                         | 0.077           | MN<GV   | MN<GV    | BHB             |
| K322  | -0.002         | 0.006             | 0.005             | 0.011             | 142   | 143   | 0.0004                         | 0.001                         | 0.001           | <MN     | MN<GV    | BHB             |
| K323  | 0.003          | 0.009             | 0.005             | 0.014             | 222   | 226   | 0.0060                         | 0.082                         | 0.077           | MN<GV   | MN<GV    | BHB             |
| K323  | -0.002         | 0.008             | 0.005             | 0.013             | 142   | 143   | 0.0004                         | 0.001                         | 0.001           | <MN     | MN<GV    | BHB             |
| K324  | 0.003          | 0.009             | 0.005             | 0.014             | 222   | 226   | 0.0060                         | 0.082                         | 0.077           | MN<GV   | MN<GV    | BHB             |
| K324  | -0.002         | 0.008             | 0.005             | 0.013             | 142   | 143   | 0.0004                         | 0.001                         | 0.001           | <MN     | MN<GV    | BHB             |
| K325  | 0.003          | 0.009             | 0.005             | 0.014             | 222   | 226   | 0.0060                         | 0.082                         | 0.077           | MN<GV   | MN<GV    | BHB             |
| K325  | -0.002         | 0.008             | 0.005             | 0.013             | 142   | 143   | 0.0004                         | 0.001                         | 0.001           | <MN     | MN<GV    | BHB             |
| K326  | 0.003          | 0.011             | 0.005             | 0.016             | 222   | 227   | 0.0060                         | 0.082                         | 0.077           | MN<GV   | MN<GV    | BHB             |
| K326  | -0.002         | 0.006             | 0.005             | 0.011             | 142   | 143   | 0.0004                         | 0.001                         | 0.001           | <MN     | MN<GV    | BHB             |
| K327  | 0.002          | 0.007             | 0.005             | 0.012             | 222   | 225   | 0.0060                         | 0.082                         | 0.077           | MN<GV   | <MN      | BHB             |
| K327  | -0.003         | 0.009             | 0.005             | 0.015             | 142   | 144   | 0.0004                         | 0.001                         | 0.001           | <MN     | MN<GV    | BHB             |
| K328  | 0.001          | 0.003             | 0.005             | 0.009             | 222   | 223   | 0.0060                         | 0.082                         | 0.077           | MN<GV   | <MN      | BHB             |
| K328  | -0.004         | 0.014             | 0.005             | 0.019             | 142   | 145   | 0.0004                         | 0.001                         | 0.001           | <MN     | MN<GV    | BHB             |
| K329  | 0.002          | 0.006             | 0.005             | 0.011             | 222   | 224   | 0.0060                         | 0.082                         | 0.077           | MN<GV   | <MN      | BHB             |
| K329  | -0.005         | 0.016             | 0.005             | 0.021             | 142   | 145   | 0.0004                         | 0.001                         | 0.001           | <MN     | MN<GV    | BHB             |
| K330  | 0.001          | 0.003             | 0.005             | 0.009             | 222   | 223   | 0.0060                         | 0.082                         | 0.077           | MN<GV   | <MN      | BHB             |
| K330  | -0.004         | 0.014             | 0.005             | 0.019             | 142   | 145   | 0.0004                         | 0.001                         | 0.001           | <MN     | MN<GV    | BHB             |
| K331  | 0.002          | 0.007             | 0.005             | 0.012             | 222   | 225   | 0.0060                         | 0.082                         | 0.077           | MN<GV   | <MN      | BHB             |
| K331  | -0.003         | 0.009             | 0.005             | 0.015             | 142   | 144   | 0.0004                         | 0.001                         | 0.001           | <MN     | MN<GV    | BHB             |

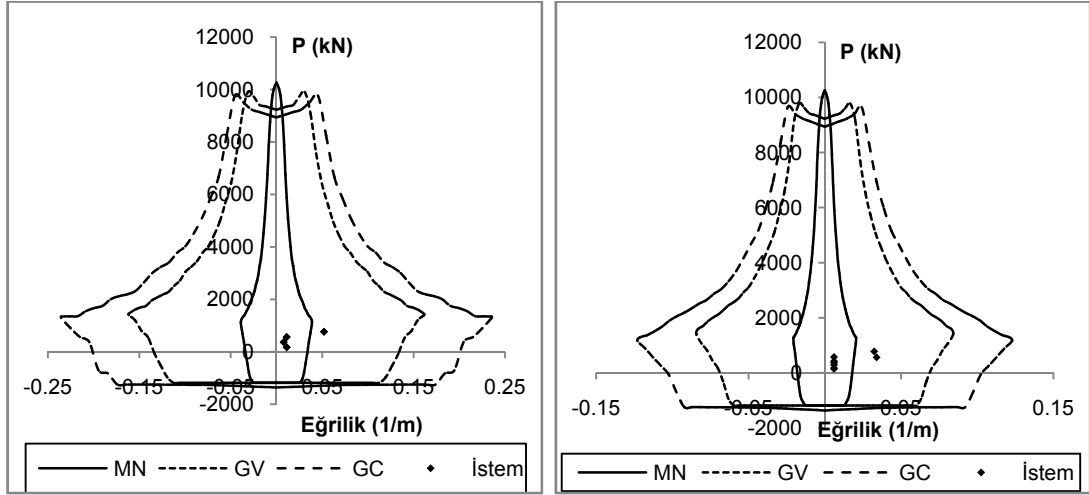
Sonuç olarak kirişlerde plastik mafsall oluşan kiriş kesitlerinin belirgin hasar bölgesinde kaldığı, ileri hasar bölgesinde kiriş olmadığı gözlemlenmiştir

#### **5.7.1.2 Kolonlar için hasar durumunun belirlenmesi**

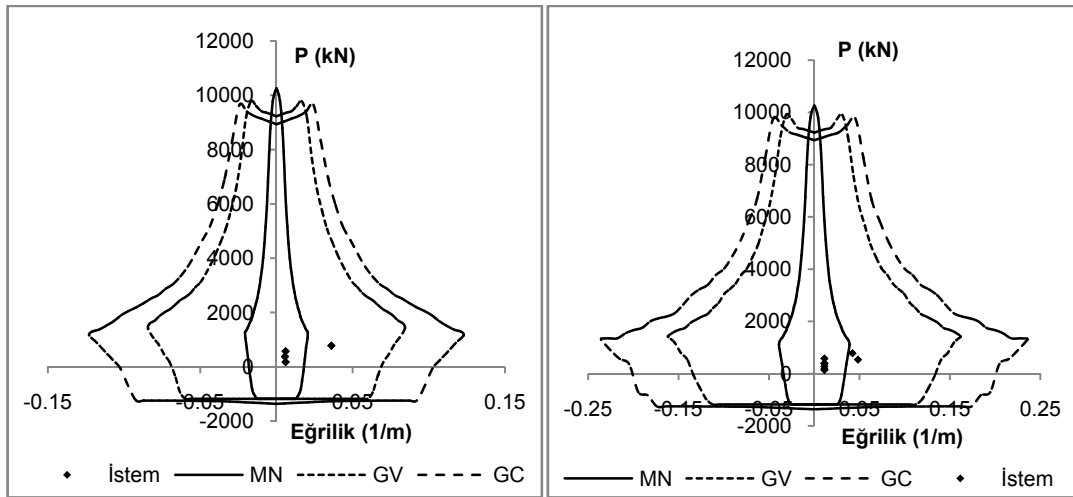
Kolonlar için hasar durumlarının belirlenmesi amacıyla eksenel kuvvet düzeyine bağı olarak yönetmelikte farklı performans düzeyleri için verilen donatı ve beton birim őkildeğıřtirmelerine denk gelen kapasite eğışlerini çıkarılarak, istemlerin bu grafikler üzerinde değışlendirilmesi yöntemi kullanılmıştır [14]. DBYBHY’te verilen sınır őkildeğıřtirme istemleri XTRACT programında girilerek minimum hasar sınırı(MN), güvenlik sınırı (GV) ve göçme sınırı (G)’na tekabül eden eksenel kuvvet-eğışlik diyagramlarını çıkarılır. Buna göre yapıda bulunan üç farklı tipte kolon için her iki doğıştuda elde edilen istemlerin, çizilen kapasite eğışleri őkil 5.32, őkil 5.33 ve őkil 5.34’te sunulmuştur. őkillerden görüldüğü gibi kolonların bir kısmı MN ve GV eğışleri arasında kalmaktadır. Bu bölge Belirgin Hasar Bölgesi’dir. Buna göre ileri hasar bölgesine geçen kolon kesiti bulunmamaktadır.



Şekil 5.32: 40x50 kolonlar hasar durumları (X ve Y doğrultusu)



Şekil 5.33: 40x70 kolon hasar durumları (X ve Y doğrultusu)



Şekil 5.34: 70x40 kolon hasar durumları (X ve Y doğrultusu)

#### **5.7.1.3 Artımsal itme analizi neticesinde yapı performans seviyesi**

Kiriş kesitlerinde ileri hasar bölgesinde kırış bulunmamaktadır.

Kolonlarda ileri hasar bölgesinde kesit bulunmamaktadır. Bu şekilde yapı Can Güvenliği performans seviyesini sağlamaktadır.



## 6. FARKLI YÖNETMELİKLERCE PERFORMANS NOKTASININ ELDE EDİLMESİ

### 6.1 ASCE 41-06 Katsayı Metodu

ASCE-41-06 Katsayı metodunun uygulanabilmesi için itme eğrisi üzerinde iki doğrulu bir doğrusallaştırma yapılır. Bu doğrusallaştırma SAP2000 yazılımı yardımıyla yapılmıştır. Buradan aşağıda verilen parametreler hesaplanmıştır. Elastik talep spektrumu ordinatı için, DBYBHY için yapı sismik parametrelerine bağlı olarak oluşturulmuş olan elastik talep spektrumu gözönüne alınmıştır.

$$T_e = 1.0986 \text{ s}$$

$$C_0 = \Gamma_{x1} = 1.28$$

$$C_1 = 1.0 ; (T_e = 1.10 \text{ s} > 0.4 \text{ s})$$

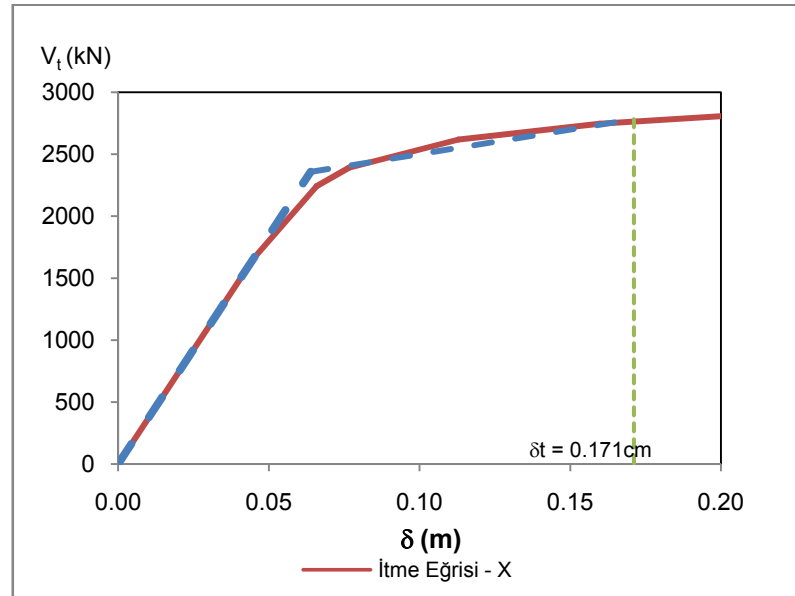
$$C_2 = 1.0 ; \text{Can güvenliği performans seviyesi için FEMA-356 Tablo 3.3}$$

$$C_3 = 1.0 ; \text{Akma sonrası eğri ivmesi pozitif}$$

$$S_{ae} = 0.446 ; T = 1.09 \text{ s için Elastik davranış spektrumu ordinatı}$$

denklem (4.10)'dan

$$\delta_t = 0.171 \text{ m}$$



Şekil 6.1: ASCE 41-06 katsayı metodu ile talep yerdeğiştirme

## 6.2 FEMA-440 Kapasite Spektrumu Metodu

FEMA-440 Kapasite Spektrumu yönteminde performans noktasının bulunması için izlenen adımlar kısa bir şekilde özetlenebilir. Bu bölümde amaç, elde edilen itme eğrisi üzerinde FEMA-440'ta ATC40 Kapasite Spektrumu yönteminde yapılan geliştirmeler gözönüne alınarak talep yerdeğiştirme noktasının elde edilmesidir. Bu yöntemin uygulanmasında yapılan kabuller uygun kıyaslama koşulları açısından şu şekilde yapılmıştır. Zemin-yapı etkileşimi etkileri göz ardı edilmiştir. Elastik kapasite spektrumu DBYBHY'e göre belirlenmiş olan elastik talep spektrumu olarak seçilmiştir. Yapının taşıyıcı sisteminde güç ve rijitlik azalması etkilerinin düşük olduğu varsayımı yapılmıştır buna göre yapı davranışı tersinir iki doğrulu (bilinear hysteretic) olduğu varsayılmıştır. Talep spektrumun bulunmasında C prosedürü kullanılmıştır. Elastik talep spektrumu – spektral ivme yerdeğiştirme (ADRS) spektrumu dönüşümü yapılmıştır.

$$\beta_{eff} = 0.05$$

için ADRS spektrumu modifiye edilmiştir. Daha sonra iki kapasite eğrisi üzerinde iki doğrulu bir idealleştirme yapılmıştır. Bu idealleştirme sonucu eşit yerdeğiştirme kuralı uyarınca bir  $a_{pi}$  ve  $d_{pi}$  kabulü yapılır.

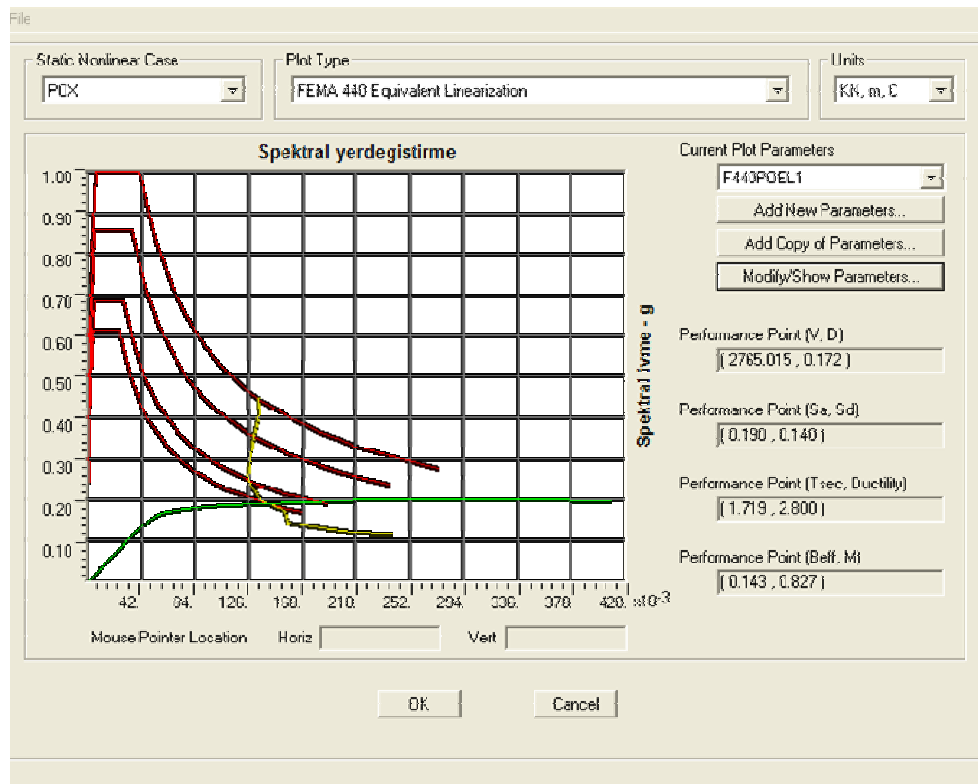
$$\alpha = \frac{\left( \frac{a_{pi} - a_y}{d_{pi} - d_y} \right)}{\left( \frac{a_y}{d_y} \right)} \quad (6.1)$$

$$\mu = \frac{d_{pi}}{d_y} \quad (6.2)$$

Bağıntıları kullanılarak  $\alpha$  ve  $\mu$  katsayıları hesaplanır. Bu değerlere bağlı olarak verilen bağıntılardan  $\beta_{eff}$  ve  $T_{eff}$  değerleri hesaplanır. Bu değerlere bağlı olarak  $d_i$  değeri bulunur. Bulunan maksimum yerdeğiştirme değeri  $d_i$  değeri için yeterli yakınsaklık sağlandığında performans noktası belirlenmiş olur. Hesap adımları Çizelge 6.1'de sunulmuştur.

**Çizelge 6.1:** FEMA-440'a göre performans noktasının bulunması

| Hesap adımı | S <sub>d</sub><br>(kap)<br>m | S <sub>a</sub><br>(kap) | S <sub>d</sub><br>(Talep)<br>m | S <sub>a</sub><br>(talep) | T <sub>eff</sub> | T <sub>sec</sub> | B <sub>eff</sub> | μ     | a     | M     |
|-------------|------------------------------|-------------------------|--------------------------------|---------------------------|------------------|------------------|------------------|-------|-------|-------|
| 0           | 0.000                        | 0.000                   | 0.134                          | 0.446                     | 1.099            | 1.099            | 0.050            | 1.000 | 0.000 | 1.000 |
| 1           | 0.035                        | 0.118                   | 0.134                          | 0.446                     | 1.099            | 1.099            | 0.050            | 1.000 | 0.000 | 1.000 |
| 2           | 0.052                        | 0.158                   | 0.133                          | 0.405                     | 1.143            | 1.151            | 0.060            | 1.471 | 0.722 | 0.986 |
| 3           | 0.061                        | 0.168                   | 0.129                          | 0.355                     | 1.147            | 1.207            | 0.061            | 1.495 | 0.480 | 0.903 |
| 4           | 0.091                        | 0.182                   | 0.125                          | 0.250                     | 1.265            | 1.419            | 0.086            | 1.964 | 0.184 | 0.796 |
| 5           | 0.130                        | 0.189                   | 0.135                          | 0.197                     | 1.499            | 1.665            | 0.132            | 2.623 | 0.087 | 0.810 |
| 6           | 0.171                        | 0.194                   | 0.154                          | 0.175                     | 1.771            | 1.887            | 0.178            | 3.353 | 0.058 | 0.881 |
| 7           | 0.219                        | 0.199                   | 0.156                          | 0.142                     | 1.863            | 2.105            | 0.200            | 4.198 | 0.045 | 0.783 |



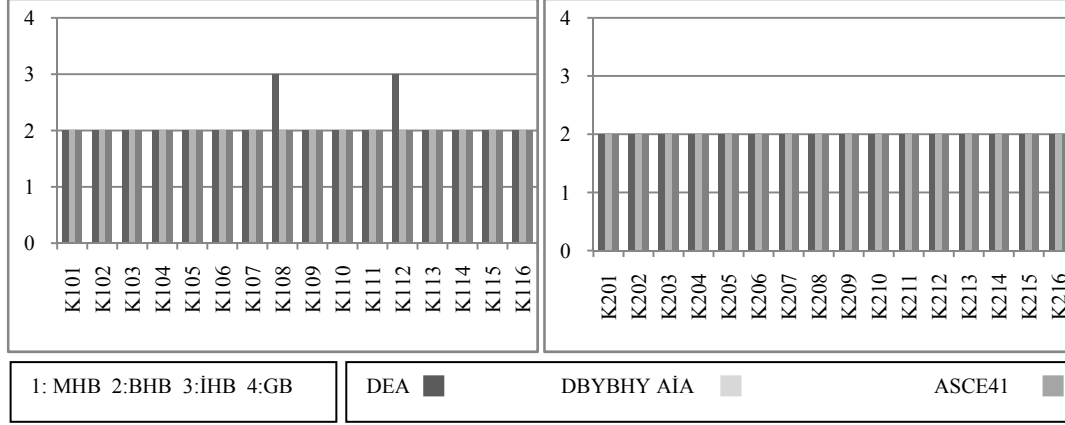
**Şekil 6.2:** FEMA440'a göre bulunan performans noktası değerleri

### 6.3 ASCE41-06'e Göre Elemanların Hasar Durumları ve Performans Seviyesi

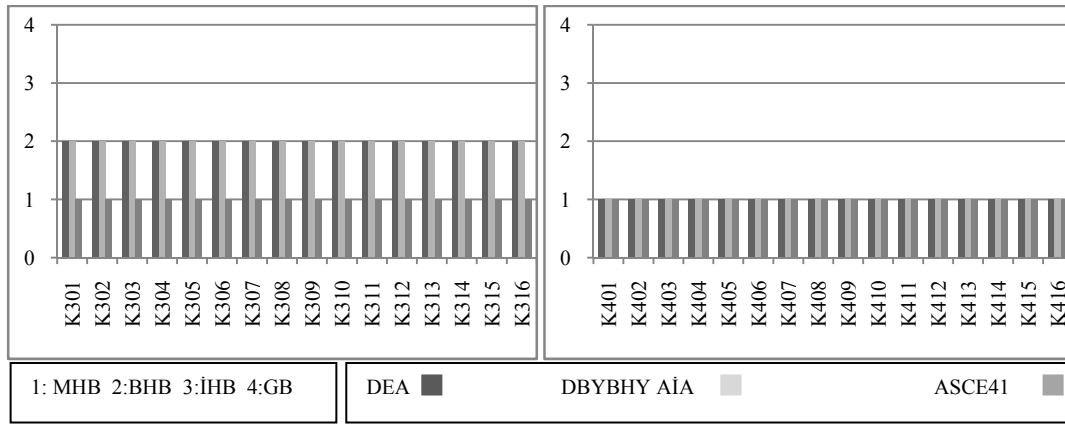
ASCE41-06 yönetmeliği kiriş ve kolonlarda plastikleşen kesitlerde plastik dönme değerlerine bağlı olarak hasar sınırları getirmiştir. Buna göre SAP2000 yazılımından doğrudan doğruya alınan değerler ASCE41-06'daki sınır değerler ile karşılaştırılarak kesitin hangi performans seviyesinde kaldığı bulunabilir. Kiriş kesitleri için bu sınır değerler kesitteki donatı oranı, kesme kuvveti etkisi ve sargılama durumu dikkate alınır. Örnek olarak K101 kirişi için belirlenen değerler Çizelge 6.2'te özetlenmiştir.

**Çizelge 6.2:** K101 kirişinde plastik dönme sınırları

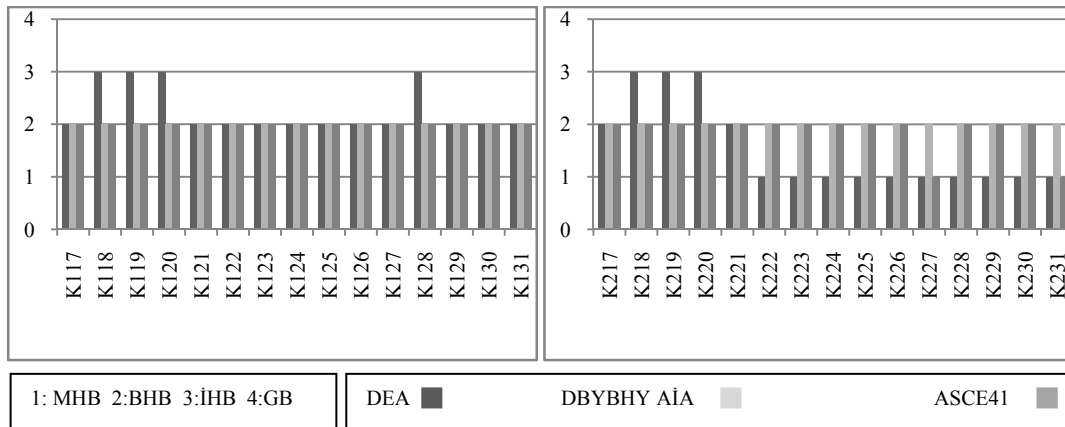
|                | Hemen Kullanım | Can Güvenliği | Göçme Öncesi |
|----------------|----------------|---------------|--------------|
| Pozitif eğilme | 0.01           | 0.02          | 0.025        |
| Negatif eğilme | 0.00834        | 0.0167        | 0.023        |



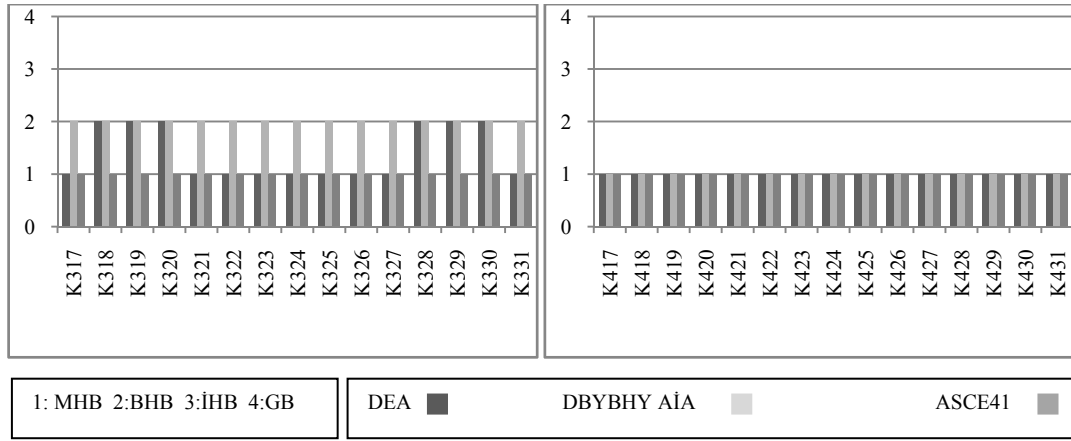
**Şekil 6.3:** X doğrultusu kiriş hasar durumlarının karşılaştırılması (1. ve 2. kat)



**Şekil 6.4:** X doğrultusu kiriş hasar durumlarının karşılaştırılması (3. ve 4. kat)



**Şekil 6.5:** Y doğrultusu kiriş hasar durumlarının karşılaştırılması (1. ve 2. kat)



**Şekil 6.6:** Y doğrultusu giriş hasar durumlarının karşılaştırılması (3. ve 4. kat)

Kolon kesitlerinin hasar durumları doğrudan doğruya plastik dönme oranlarına bağlı olarak SAP2000'den elde edilmiştir. Buna göre ASCE41-06'ya göre her iki doğrultuda da birinci kat kolonları alt kesitleri belirgin hasar bölgesine geçmektedir. Diğer kat kolonları minimum hasar bölgesindedir.



## 7. DBYBHY'e GÖRE ZAMAN TANIM ALANINDA DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZ YÖNTEMİ İLE PERFORMANS DEĞERLENDİRİLMESİ

### 7.1 Giriş

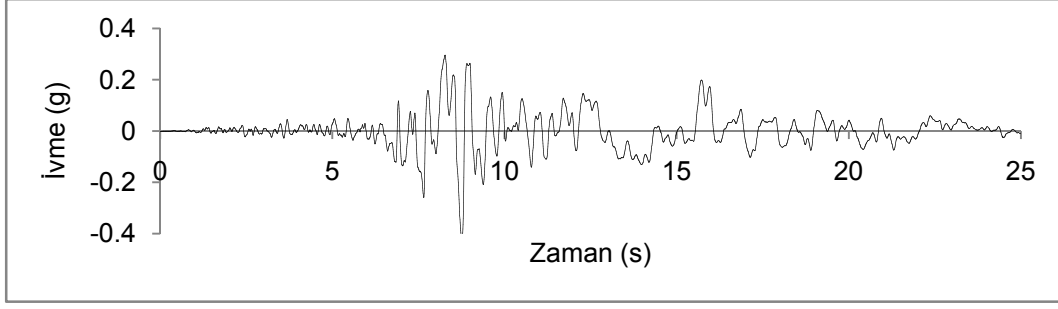
Bu bölümde, incelenen 4 katlı betonarme yapının DBYBHY’te yer alan zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi uyarınca performans değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu amaçla Bölüm 5’te tasarlanmış olan yapının SAP2000 yazılımında hazırlanmış olan matematik modeli kullanılmıştır. Bu sebeple eleman kesit, donatı özellikleri, plastik mafsalları tanımları, çatlamış kesit özellikleri, itme analizinde açıklanan şekilde tanımlıdır. Zaman tanım analizinde kullanılmak üzere 3 adet gerçek kayıt seçilerek, 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem için elde edilen elastik deprem spektrumuna göre ölçeklendirilmiştir.

### 7.2 Gerçek Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklendirilmesi

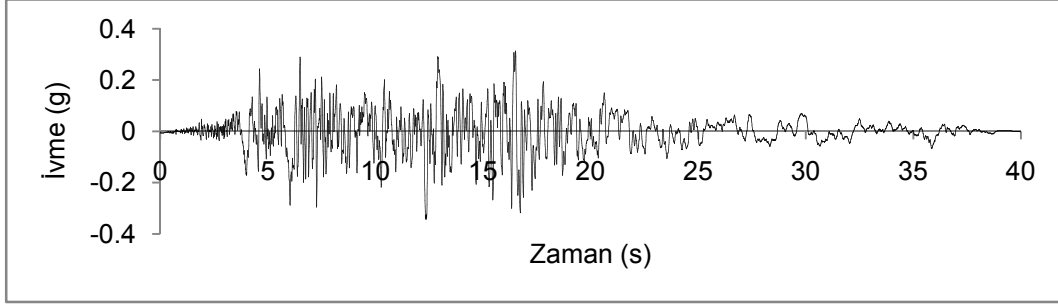
Analizde üç adet gerçek deprem kaydı kullanılmıştır. Deprem kayıtları seçilirken [8]’de yapılan çalışma neticesinde göze alınan elastik deprem spektrumuna mümkün olduğunca uyumun sağlanması amaçlanmıştır. Ülkemizde genel faylanma mekanizması yanal atımlı (strike-slip) kayıtlarda bu özellik göz önüne alınmıştır. Kayıt değerleri PEER kuvvetli yer hareketi veritabanından elde edilmiş. Elde edilen kayıtlar hali hazırda gerekli filtreleme ve düzeltme işlemlerinden geçirilmiştir [26]. Seçilen kayıtların özellikleri Çizelge 7.1’de görülebilir.

**Çizelge 7.1:** ZTADOA’de kullanılan gerçek deprem kayıtları

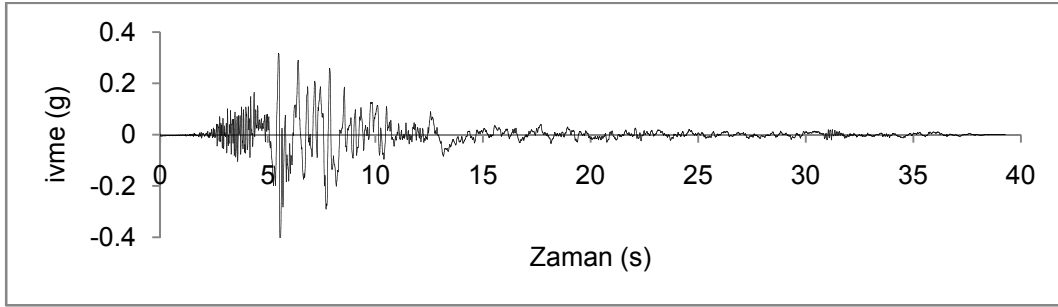
| Deprem             | Tarih      | İstasyon               | Kayıt adı | Ms  | Kayıt süresi | Ölçekleme Katsayısı |
|--------------------|------------|------------------------|-----------|-----|--------------|---------------------|
| Kocaeli, Türkiye   | 17.08.1999 | Düzce                  | DZC180    | 7.4 | 25           | 1.37                |
| Superstition Hills | 24.11.1987 | Westmorland Fire Sta   | B-WSM090  | 6.6 | 40           | 2                   |
| Imperial Valley    | 15.10.1979 | 952 El Centro Array #5 | H-E05140  | 6.5 | 39.3         | 0.96                |



**Şekil 7.1:** 1999 Kocaeli, DZC180 deprem kaydı



**Şekil 7.2:** 1987 Superstition, B-WSM090 deprem kaydı



**Şekil 7.3:** 1979 Imperial Valley, H-E05140 deprem kaydı

Kullanılan deprem kayıtlarının ölçeklendirilmiş halleri Şekil 7.1, Şekil 7.2 ve Şekil 7.3'te görülebilir.

### 7.3 Kullanılan Deprem Kayıtlarının Uygunluğun Kontrolü

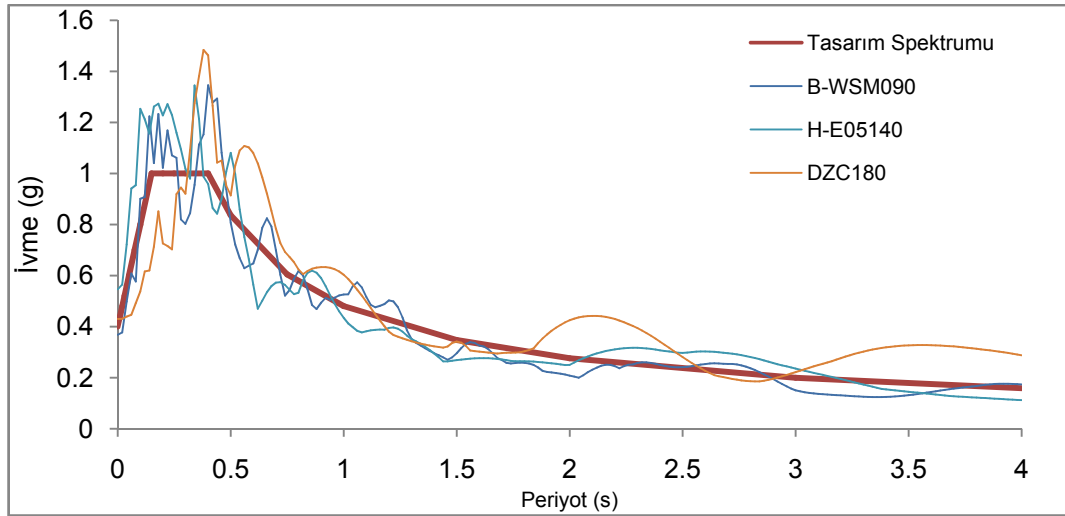
DBYBHY'e göre, göze alınan deprem kayıtlarının sağlaması gereken üç şart bulunmaktadır. Bu bölümde seçilen deprem kayıtlarının bu şartları sağlama durumu kontrol edilecektir.

1-Kuvvetli yer hareketi kısmının süresi, binanın birinci doğal titreşim periyodunun 5 katından (5.45s) ve 15 saniyeden daha kısa olmayacaktır. Kullanılan deprem kayıtlarının süresi yeterli uzunluktadır.

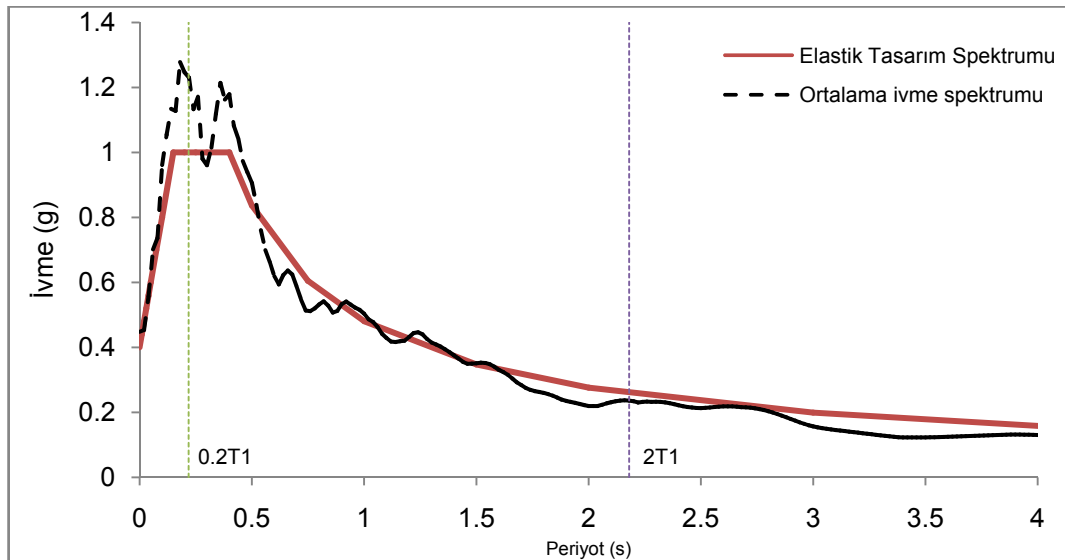


2-Kullanılan deprem hareketinin sıfır periyoda karşı gelen spektral ivme değerlerinin ortalaması yapı 1. Deprem bölgesinde olması sebebiyle  $0.4g$ 'den düşük olmamalıdır. Sıfır periyoda karşı gelen ivme değerleri ortalaması =  $0.41 g$  (Şekil 7.5)

3-Yapay olarak üretilen her bir ivme kaydına göre %5 sönüm oranı için yeniden bulunacak spektral ivme değerlerinin ortalaması, gözönüne alınan deprem doğrultusundaki birinci hakim periyod  $T_1$ 'e göre  $0.2T_1$  ile  $2T_1$  arasındaki periyodlar için elastik spektral ivmelerinin %90'ından daha az olmayacaktır. Üç kayıt için %5 sönüm için ivme-zaman davranış spektrumları SEISMOSIGNAL [27] yazılımı kullanılarak elde edilmiştir. Bu spektrumların ortalaması Şekil 7.5'te verilmiştir.



**Şekil 7.4:** %5 Sönüm için elde edilen davranış spektrumları



**Şekil 7.5:** Kullanılan deprem kayıt spektrumlarının ortalaması

#### 7.4 Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz Hesap Yöntemi

SAP2000’de doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz doğrudan integrasyon (direct integration) metodu ile yapılmaktadır. Yukarıda verilen kayıtlar birer ivme-zaman fonksiyonu olarak programa girilir. Binanın dikkate alınan doğrultusu yönünde her bir ivme kaydı için kullanılan ölçek katsayısı  $\times 9.81 \text{ m/sn}^2$  ölçek faktörü ile yük durumları atanır. Bu hesapta, düşey yükler altındaki ikinci mertebe etkileri ve geometrik doğrusal olmama durumları gözönüne alınmamıştır.

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz işlemine başlamadan önce düşey yükler ile azaltılmış hareketli yüklerin ( $G+0.3Q$ ) gözönüne alındığı bir doğrusal olmayan analiz yapılarak, ZTADOA başlangıç adımı olarak tanımlanır.

Çok serbestlik dereceli bir sistemin zamana bağlı kuvvet denklemi Denklem

(7. 1)’de olduğu gibi ifade edilebilir.

$$\mathbf{F}(t)_I + \mathbf{F}(t)_D + \mathbf{F}(t)_S = \mathbf{F}(t) \quad (7.1)$$

Burada

$\mathbf{F}(t)_I$ : Kat kütlelerine etkiyen atalet kuvveti vektörü

$\mathbf{F}(t)_D$ : Viskoz sönüm vektörü

$\mathbf{F}(t)_S$ : Yapı tarafından taşınan atalet vektörü

$\mathbf{r}(t)$ : Uygulanan dış yüklerin vektörüdür.

Denklem 7.1’in ivme, hız ve yer değiştirme birleşenleri ile ifade edilmiş hali Denklem 7.2’de görülmektedir.

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{u}}(t)_a + \mathbf{C}\dot{\mathbf{u}}(t)_a + \mathbf{K}\mathbf{u}(t)_a = \mathbf{r}(t) \quad (7.2)$$

Burada  $\mathbf{M}$ ,  $\mathbf{C}$  ve  $\mathbf{K}$  sırasıyla kütle, sönüm ve rijitlik matrisleridir. Yapı kütle matrisinde çatlamış kesit özellikleri göz önüne alınmaktadır.

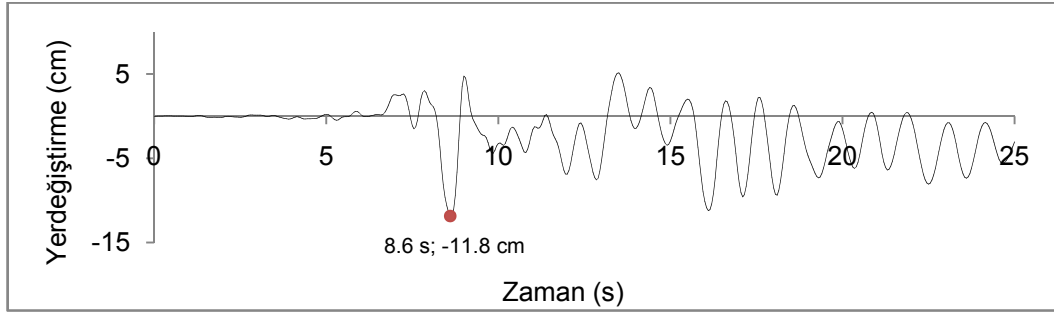
Sönüm matrisi’nin elde edilmesi için SAP2000’de üç farklı yöntem bulunmaktadır. Burada yapının birinci ve ikinci periyodunun girilerek ilk sönüm değeri olarak %5 girilerek  $\mathbf{C}$  matris değerleri doğrudan doğruya hesaplatılmıştır.

Yazılım tanımlanan fonksiyonun her giriş adımında yapıdaki etki, yerdeğiştirme ve şekildeğiştirmeleri ve bunlara bağlı olan plastik mafsalları hesaplar ve bir sonraki adıma geçer. İstenen düzeydeki çıktı alım adımında da sonuçları sunar.

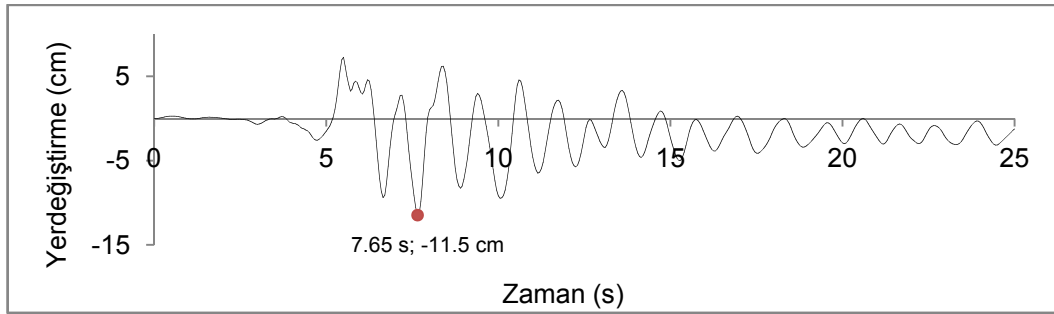
#### 7.5 ZTADOA Neticesinde Elde Edilen Sonuçlar

ZTADOA sonucunda her üç kayıt için yapının birincil doğrultusunda (Y doğrultusunda) elde edilen sonuçlar özetlenmiştir. Yapının zamana bağlı olarak en

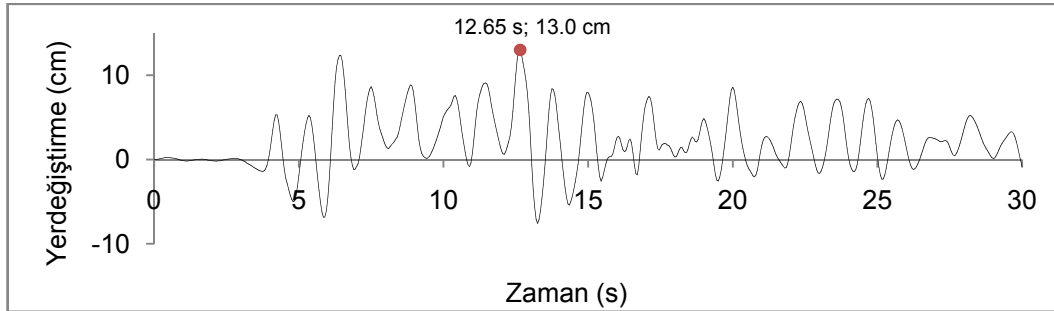
üst kattaki tepe yerdeğiştirmesi ve taban kesme kuvveti değişimi aşağıdaki şekillerde görülebilir.



**Şekil 7.6:** DZC090 kaydı – zamana bağlı tepe yerdeğiştirmesi

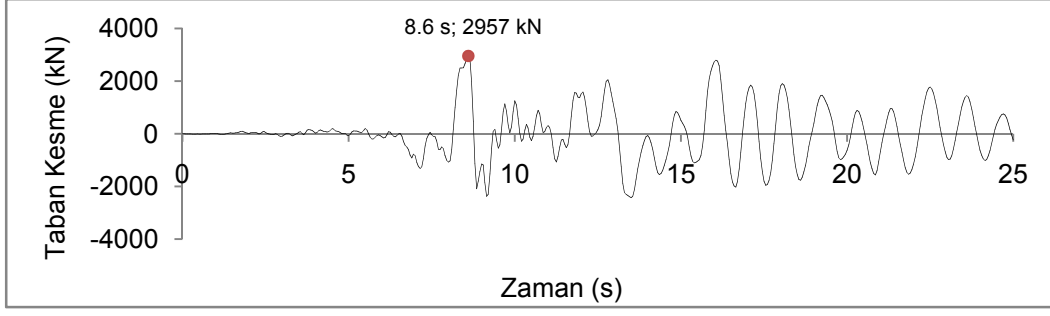


**Şekil 7.7:** H-E05140 kaydı – zamana bağlı tepe yerdeğiştirmesi

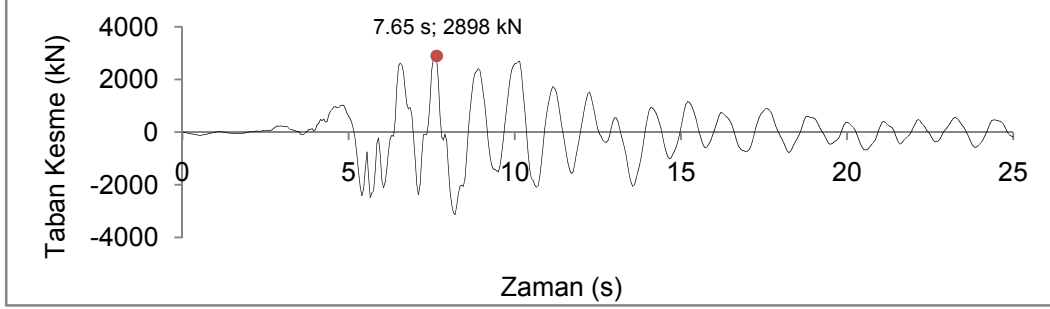


**Şekil 7.8:** BSWM090 kaydı – zamana bağlı tepe yerdeğiştirmesi

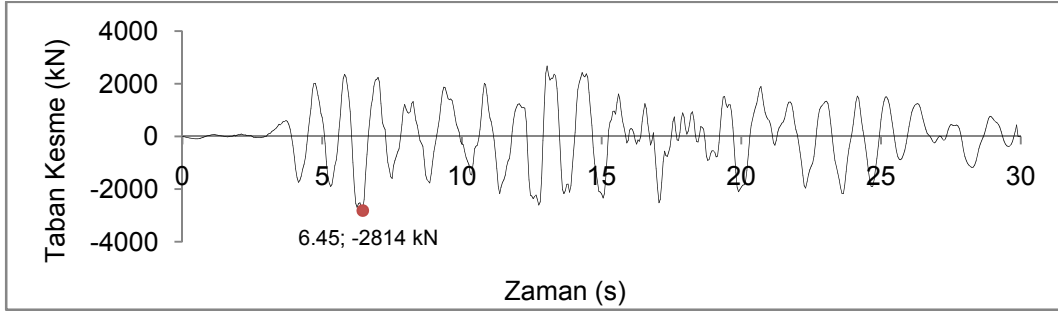
Şekil 7.6, Şekil 7.7 ve Şekil 7.8'te her üç deprem kaydı altında elde edilen maksimum tepe yerdeğiştirme değeri de eğriler üzerinde işaretlenmiştir.



**Şekil 7.9:** DZC090 kaydı – zamana bağlı taban kesme kuvveti



**Şekil 7.10:** H-E05140 kaydı – zamana bağlı taban kesme kuvveti

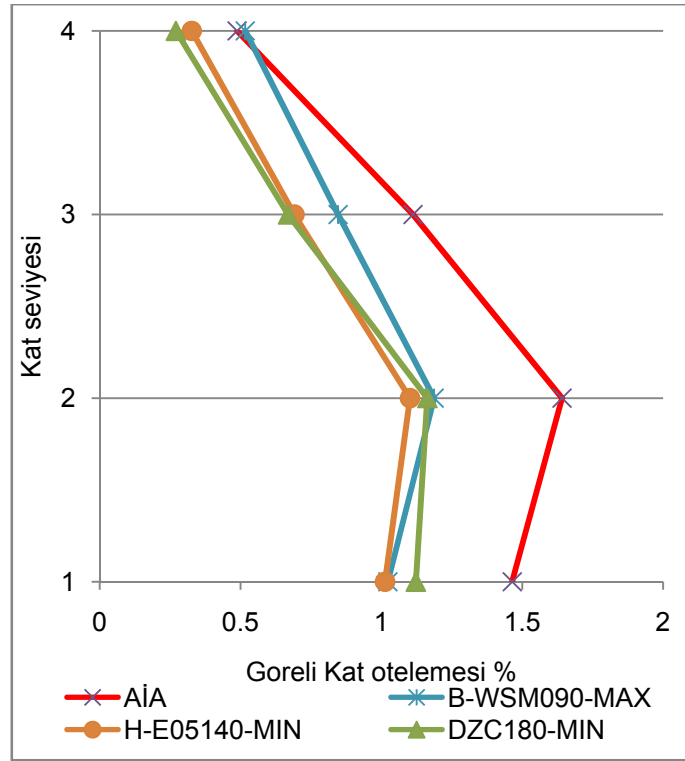


**Şekil 7.11:** BSWM090 kaydı – zamana bağlı taban kesme kuvveti

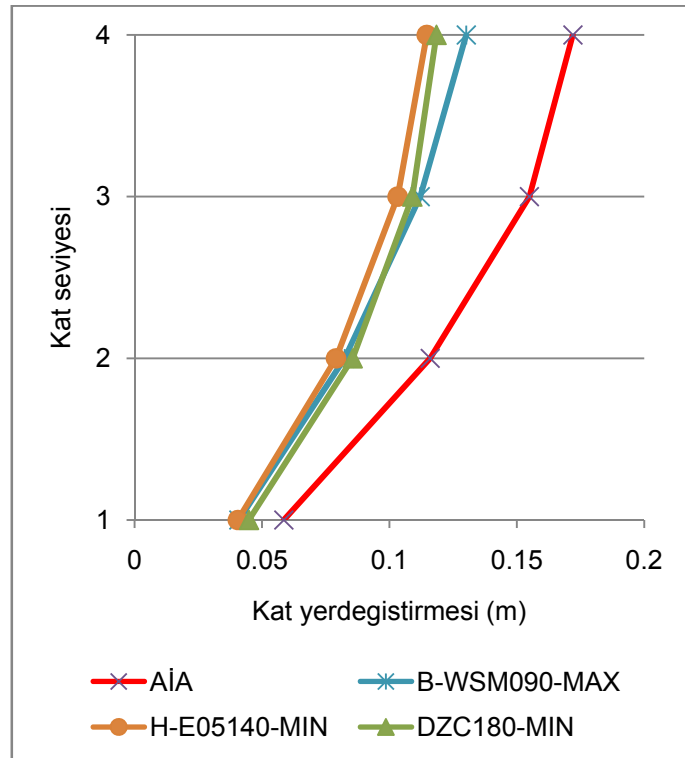
Şekil 7.9, Şekil 7.10 ve Şekil 7.11'te her üç deprem kaydı altında elde edilen maksimum taban kesme kuvveti değerleri de eğriler üzerinde işaretlenmiştir.

ZTADOA yöntemi ile her üç kayıt altında elde edilen maksimum kat yerdeğiştirme istemleri ve görelî kat ötelemeleri, Bölüm 6'da AİA'de performans noktasına denk gelen noktadaki kat yerdeğiştirme ve görelî kat ötelemesi istemleri ile karşılaştırılmıştır. (Şekil 7.12-Şekil 7.13)

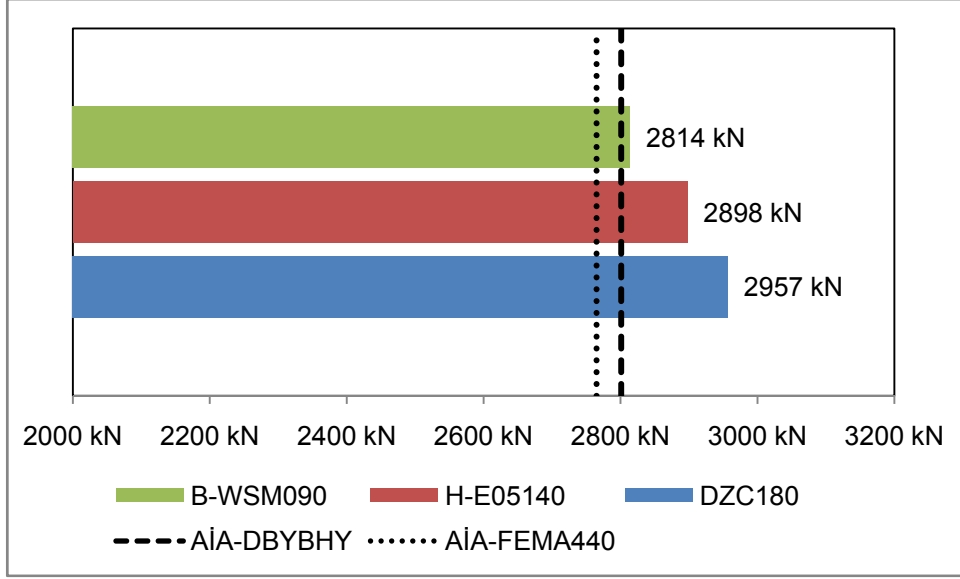
ZTADOA neticesinde elde edilen tepe yerdeğiştirmesi ve görelî kat ötelemeleri değerleri, AİA neticesinde bulunan değerlerden genel manada daha düşük bulunmuştur.



Şekil 7.12: Göreli kat ötelemelerinin kıyaslanması



Şekil 7.13: Kat yerdeğiştirmelerinin kıyaslanması



**Şekil 7.14:** ZTADOA’de ve AİA’de elde edilen taban kesme kuvvetleri

Şekil 7.14’te ZTADOA yönteminde dikkate alınan kayıtlarda elde edilen maksimum taban kesme kuvveti değerleri ve AİA yönteminde DBYBHY’ye ve FEMA440’ye göre elde edilen kesme kuvveti değerleri ile karşılaştırılmıştır. Buna göre göze alınan kayıtlarda taban kesme kuvveti değerleri AİA sonucu elde edilen taban kesme kuvvetlerinden daha yüksek olarak tahmin edilmektedir. Buna karşılık sapma oranının çok fazla olmadığı söylenebilir.

## 7.6 ZTADOA Sonucu Eleman Hasar Durumları

ZTADOA yöntemi ile yapılan analizler sonucunda en olumsuz durum B-WSM090 kaydı ile elde edilmiştir. Analizde 3 kayıt kullanıldığı için hasar durumları bu kayıt altında yapılan analizde elde edilen sonuçları içermektedir.

ZTADOA sonucu Y doğrultusunda BSW090 kaydı son adımında elde edilen giriş hasar durumları Çizelge 7.2’te özetlenmiştir. Buradan ileri hasar bölgesinde giriş bulunmadığı görülebilir.

Kolon kesitlerinde yalnızca birinci kat kolonlarının bir kısmı belirgin hasar bölgesinde yer almaktadır. İleri hasar bölgesinde kolon kesiti bulunmamaktadır.

Buna göre ZTADOA neticesinde yapı Can güvenliği performans seviyesini sağlamaktadır

**Çizelge 7.2: ZTADOA’de giriş hasar durumları**

|       |                        | Kesit | %   |
|-------|------------------------|-------|-----|
| Kat 1 | Minimum Hasar Bölgesi  | 0     | 0   |
|       | Belirgin Hasar Bölgesi | 16    | 100 |
|       | İleri Hasar Bölgesi    | 0     | 0   |
|       | Göçme Bölgesi          | 0     | 0   |
| Kat 2 | Minimum Hasar Bölgesi  | 0     | 0   |
|       | Belirgin Hasar Bölgesi | 16    | 100 |
|       | İleri Hasar Bölgesi    | 0     | 0   |
|       | Göçme Bölgesi          | 0     | 0   |
| Kat 3 | Minimum Hasar Bölgesi  | 0     | 0   |
|       | Belirgin Hasar Bölgesi | 16    | 100 |
|       | İleri Hasar Bölgesi    | 0     | 0   |
|       | Göçme Bölgesi          | 0     | 0   |
| Kat 4 | Minimum Hasar Bölgesi  | 100   | 100 |
|       | Belirgin Hasar Bölgesi | 0     | 0   |
|       | İleri Hasar Bölgesi    | 0     | 0   |
|       | Göçme Bölgesi          | 0     | 0   |





## 8. SONUÇLAR

Bu çalışmada kullanım amacı betonarme bir konut ya da ofis olan bir binanın taşıyıcı sisteminin deprem performansı farklı yönetmeliklerde önerilen doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemlerle araştırılmıştır. DBYBHY için elde edilen sonuçlar için kullanılan yöntemlerin sonuçları karşılaştırılmıştır. Artımsal itme analizi neticesinde DBYBHY ve ASCE41-06 ile elde edilen eleman hasar seviyeleri karşılaştırılmıştır. Bu analizlerde ayrıca üç farklı yapısal analiz yazılımı kullanılarak artımsal itme analizi için farklı kabullerin hesap sonuçlarında etkisi de araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Tasarımı DBYBHY'e göre yapılan ofis yapısı, doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemlerde Can Güvenliği performans seviyesini sağlamaktadır. Bununla beraber doğrusal elastik hesap sonucu elde edilen eleman hasar durumları incelendiğinde, ileri hasar bölgesine geçen kirişlerin o kattaki tüm kirişlere olan oranının diğer yöntemlerden edilen sonuçlara göre belirgin oranda yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Buna göre doğrusal elastik hesap için tanımlanan eleman hasar sınırlarının güvenli tarafta kaldığı söylenebilir.
2. Artımsal itme analizi ile hesap sonucu tepe yerdeğiştirmesi talep eğrisinin hesap edilmesi için farklı yönetmelikler farklı yaklaşımlar önermiştir. Yapının geometrik ve modal özellikleri ile talep spektrumu, talep yerdeğiştirmenin elde edilmesinde çok farklı sonuçlara yol açabilmesine rağmen, incelenen yapı için birinci modun  $T_B$ 'den uzun olması sebebiyle Katsayı Metodu ile Kapasite Spektrumu metodları birbirine yakın sonuçlar vermiştir. Sonuç olarak DBYBHY'te önerilen yöntem ile elde edilen talep yerdeğiştirme istemi, ASCE41-06 ve FEMA-440'ta önerilen yöntemlerle eşdeğer olarak elde edilmiştir.
3. Artımsal itme analizinde yığılı plastisite kabulünü esas alan SAP2000 yazılımı ile yayılı plastisite kabulünü esas alan ZEUS NL ve SEISMOSTRUCT yazılımları ile elde edilen itme eğrileri karşılaştırılmıştır. Buna göre elde edilen itme eğrilerinde başlangıç rijitliğinin SEISMOSTRUCT ile SAP2000 itme

eğrileri için çakışmasına rağmen ZEUS NL'nin daha yüksek bir değerle başlayıp akma sonrası daha düşük kesme kuvveti etkisi verdiği gözlemlenmiştir.

4. Artımsal itme analizi sonucunda eleman hasar durumları DBYBHY ve ASCE41-06'da verilen hasar sınır değerleri ile elde edilmiş ve bu değerler eşdeğer deprem yükü yöntemine göre elde edilen hasar durumları ile karşılaştırılmıştır. Buna göre artımsal itme analizi neticesinde bulunan kiriş hasar durumlarının eşdeğer deprem yükü yönteminde bulunanlardan daha düşük seviyede elde edildiği gözlemlenmiştir.
5. ZTADOA neticesinde elde edilen tepe yerdeğiştirmesi ve görelî kat ötelemeleri değerleri, AİA neticesinde bulunan değerlerden genel manada daha düşük bulunmuştur.
6. ZTADOA yönteminde dikkate alınan kayıtlarda elde edilen maksimum taban kesme kuvveti değerleri ve AİA yönteminde DBYBHY'ye ve FEMA440'ye göre elde edilen kesme kuvveti değerleri ile karşılaştırılmıştır. Buna göre gözönüne alınan kayıtlarda taban kesme kuvveti değerleri AİA sonucu elde edilen taban kesme kuvvetlerinden daha yüksek olarak elde edilmiştir. Buna karşılık sapma oranının çok fazla olmadığı söylenebilir. ZTADOA yönteminde elde edilen sonuçlar, seçilen kayıtların niteliğine doğrudan bağlı olmaktadır. Farklı bir deprem kaydı grubunun seçilmesi durumunda, farklı sonuçların elde edilebileceği açıktır.

Ayrıca bu çalışmada tasarlanan yapının kullanım amacı olarak konut/ofis olarak belirlendiğinden DBYBHY'te tanımlı olan hemen kullanım performans seviyesi ve şiddetli deprem etkisi bu yapı için incelenmemiştir. Farklı kullanım amacına sahip yapılar için farklı deprem düzeylerinin dikkate alınacağı bir çalışma ile incelenebilir. Zaman tanım alanında analiz için maksimum etki gözönünde bulundurularak en yüksek etkiyi veren değer değerlendirilmiştir. Yönetmelikte belirtilen şekilde yedi veya daha fazla sayıda kayıt ile çözümler tekrarlanarak bunların çözüme etkisi de ayrıca araştırılabilir.

## KAYNAKLAR

- [1] **Aydınoğlu N., Önem G.**, 2010: Evaluation of Analysis Procedures for Seismic Assessment and Retrofit Design, *Earthquake Engineering In Europe Geotechnical, Geological, and Earthquake Engineering*, 2010, Volume 17, Part 3, 171-198
- [2] **Priestley M. J. N., Calvi G. M., Kowalsky M. J.**, 2007: *Displacement Based Seismic Design of Structures*, IUSS Press
- [3] **ATC-40**, 1996: Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, *Applied Technology Council*, California, ABD
- [4] **FEMA-356**, 2000: Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, *Federal Emergency Management Agency*, Washington. ABD
- [5] **DBYBHY 2007**, *Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik*, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara
- [6] **Goel K., Chadwell C.**, 2007: Evaluation Of Current Nonlinear Static Procedures For Concrete Buildings Using Recorded Strong-Motion Data, *Data Utilization Report California Strong Motion Instrumentation Program*, California, ABD
- [7] **Kalkan E., Chopra K.**, 2011: Modal Pushover Based Ground Motion Scaling, *Journal of Earthquake Engineering Vol 137 Issue 3 pp 298*, ASCE, Washington DC
- [8] **Fahjan Y.**, 2008: Türkiye Deprem Yönetmeliği (DBYBHY, 2007) Tasarım İvme Spektrumuna Uygun Gerçek Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklenmesi, *İMO Teknik Dergi 4423-4444, Yazı 292*, İstanbul
- [9] **ASCE41-06**, 2007: Seismic rehabilitation of existing buildings, *American Society of Civil Engineers*, Washington DC
- [10] **FEMA-440**, 2005: *Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures*, Federal Emergency Management Agency, Washington.
- [11] **SAP 2000 v14.2**, 2010: Structural Analysis Program, Computers and Structures Inc., Berkeley, California.
- [12] **Elnashai A. S., Papanikolaou V., Lee D. H.**, *ZEUS NL user manual*, Civil and Environmental Engineering Department, University of Illinois at Urbana–Champaign; 2002., 2010
- [13] **Seismosoft**, Seismostruct v5.0.5, [www.seismosoft.com](http://www.seismosoft.com), 2010.
- [14] **Celep Z.**, 2007: *Betonarme taşıyıcı sistemlerde doğrusal olmayan davranış ve çözümleme*, Beta Dağıtım, İstanbul.

- [15] **Özer E.**, 2004: *Yapı Sistemlerinin Lineer Olmayan Analizi Ders Notları*, İstanbul
- [16] **Celep Z., Gençoğlu M.**, 2009: Betonarme yapılarda şekildeğiştirmeye göre tasarım, *Prof. Dr. Nahit Kumbasar Betonarme Yapılar Semineri Bildiriler Kitabı*, 21 Ekim, İstanbul
- [17] **TS500**, 2000: *Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [18] **TS498**, 1997: Betonarme elemanların boyutlandırılmasında alınacak yükler, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [19] **XTRACT v3.03**, 2002: Cross-section Analysis Program, Imbsen Software Systems.
- [20] **Mander, J. B., Priestley M. J. N., Park R.**, 1988: Theoretical Stress-Strain Confined Concrete, *Journal of Structural Division (ASCE)*, 114(8), 1804-1826.
- [21] **Izzuddin B. A., Elnashai A.**, 1989: ADAPTIC a program for adaptive large displacement elastoplastic dynamic analysis of steel, concrete and composite frames, *Research Report ESEE Report No. 89/7*, Imperial College, London.
- [22] **Elnashai A. S., Pinho R., Antoniou S.**, 2000: INDYAS – A Program for Inelastic Dynamic Analysis of Structures, *Research Report ESEE/00-2*, Engineering Seismology and Earthquake Engineering Section, Imperial College, London
- [23] **Güler K., Güler M. G., Taşkın B., Altan M.**, 2007: Taşıyıcı Sistemi Düşeyde Düzensiz Betonarme Bir Binanın Deprem Performansının Belirlenmesi, *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı Bildiriler Kitabı*, İstanbul Türkiye, 16-20 Ekim
- [24] **Güler K., Arslan Y., Güler M. G.**, 2010: The Seismic Performance Evaluation of A RC Building By Using Linear And Nonlinear Methods, *Proceedings of the Fourteenth European Conference on Earthquake Engineering* Ohrid Macedonia, 30 Ağustos 30- 3 Eylül
- [25] **Erberik M. A., Elnashai A. S.**, 2004: Fragility Analysis of Flat Slab Structures, *Engineering Structures* 26 (2004) 937–948
- [26] **Pacific Earthquake Engineering (PEER) Center**, 2010: PEER Strong Ground Motion Database, [http://peer.berkeley.edu/peer\\_ground\\_motion\\_database](http://peer.berkeley.edu/peer_ground_motion_database)
- [27] **Seismosoft**, 2010: Seismosignal v4.1.2, [www.seismosoft.com](http://www.seismosoft.com)

## **EKLER**

**EK A:** Kolonlarda doğrusal elastik hesap sonucu kesit hasar durumu

**EK B:** Taşıyıcı sistem kiriş ve kolon tipleri

**EK A**

**Çizelge A.1: X doğrultusu kolon 40/50 1. kat kesit hasar durumu**

| X doğrultusu Kolon 40/50 – 1. Kat – |     |       |                  |                    |                |                  |                    |                |                |                    |                    |                |                  |                |                |                  |                                                |                    |     |     |     |       |  |
|-------------------------------------|-----|-------|------------------|--------------------|----------------|------------------|--------------------|----------------|----------------|--------------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|------------------|------------------------------------------------|--------------------|-----|-----|-----|-------|--|
| M <sub>D</sub>                      |     |       |                  |                    |                |                  |                    |                |                |                    |                    | N <sub>E</sub> | N <sub>D</sub>   | M <sub>E</sub> | M <sub>D</sub> | r <sub>4</sub> = | N <sub>k</sub> /A <sub>c</sub> f <sub>cm</sub> | Ve<br>/<br>bwdfctm | MN  | GV  | GC  | Hasar |  |
| Kolon                               | L   | kesit | M <sub>G+Q</sub> | M <sub>G+Q+E</sub> | M <sub>E</sub> | V <sub>G+Q</sub> | V <sub>G+Q+E</sub> | V <sub>E</sub> | V <sub>e</sub> | N <sub>G+Q+E</sub> | N <sub>G+Q+E</sub> | N <sub>E</sub> | N <sub>G+Q</sub> | ME/MA          |                |                  |                                                |                    |     |     |     |       |  |
|                                     | (m) |       | (kNm)            | (kNm)              | (kNm)          | (kN)             | (kN)               | (kN)           | (kN)           | (kN)               | (kN)               | (kN)           | (kN)             | (kNm)          | (kNm)          |                  |                                                |                    |     |     |     |       |  |
| S101                                | 3.7 | alt   | -7               | 424                | 431            | -5               | 173                | 178            | 173            | 136                | -136               | -652           | 516              | 431            | -7             | 1.9              | 0.04                                           | 0.48               | 3.0 | 6.0 | 8.0 | MHB   |  |
| S101                                | 3.7 | üst   | 13               | -215               | -228           | -5               | 173                | 178            | 173            | 154                | -154               | -652           | 498              | -228           | 13             | 1.1              | 0.01                                           | 0.48               | 3.0 | 6.0 | 8.0 | MHB   |  |
| S105                                | 3.7 | alt   | 7                | 439                | 431            | 5                | 184                | 178            | 178            | 9                  | -9                 | -525           | 516              | 431            | 7              | 1.9              | 0.06                                           | 0.50               | 3.0 | 6.0 | 8.0 | MHB   |  |
| S105                                | 3.7 | üst   | -13              | -241               | -228           | 5                | 184                | 178            | 178            | 27                 | -27                | -525           | 498              | -228           | -13            | 1.2              | 0.03                                           | 0.50               | 3.0 | 6.0 | 8.0 | MHB   |  |
| S106                                | 3.7 | alt   | -12              | 463                | 476            | -9               | 180                | 190            | 180            | -936               | 936                | 81             | 856              | 476            | -12            | 1.4              | 0.23                                           | 0.50               | 2.6 | 5.1 | 7.1 | MHB   |  |
| S106                                | 3.7 | üst   | 22               | -204               | -226           | -9               | 180                | 190            | 180            | -910               | 910                | 73             | 837              | -226           | 22             | 0.6              | 0.24                                           | 0.50               | 2.5 | 5.1 | 7.1 | MHB   |  |
| S107                                | 3.7 | alt   | 1                | 653                | 652            | 1                | 280                | 279            | 279            | -980               | 980                | -516           | 1497             | 652            | 1              | 1.8              | 0.30                                           | 0.77               | 2.2 | 4.4 | 6.2 | MHB   |  |
| S107                                | 3.7 | üst   | -2               | -382               | -380           | 1                | 280                | 279            | 279            | -954               | 954                | -524           | 1478             | -380           | -2             | 1.1              | 0.25                                           | 0.77               | 2.4 | 4.7 | 6.5 | MHB   |  |
| S108                                | 3.7 | alt   | 0                | 650                | 650            | 0                | 277                | 277            | 277            | -399               | 399                | -1066          | 1465             | 650            | 0              | 2.0              | 0.23                                           | 0.77               | 2.5 | 4.9 | 6.7 | MHB   |  |
| S108                                | 3.7 | üst   | 0                | -377               | -377           | 0                | 277                | 277            | 277            | -373               | 373                | -1074          | 1447             | -377           | 0              | 1.3              | 0.16                                           | 0.77               | 2.7 | 5.4 | 7.2 | MHB   |  |
| S109                                | 3.7 | alt   | -1               | 650                | 652            | -1               | 278                | 279            | 278            | -931               | 931                | -565           | 1497             | 652            | -1             | 1.79             | 0.30                                           | 0.77               | 2.3 | 4.4 | 6.3 | MHB   |  |
| S109                                | 3.7 | üst   | 2                | -378               | -380           | -1               | 278                | 279            | 278            | -905               | 905                | -573           | 1478             | -380           | 2              | 1.1              | 0.24                                           | 0.77               | 2.4 | 4.8 | 6.6 | MHB   |  |
| S110                                | 3.7 | alt   | 12               | 488                | 476            | 9                | 199                | 190            | 190            | -931               | 931                | 76             | 856              | 476            | 12             | 1.5              | 0.23                                           | 0.53               | 2.6 | 5.2 | 7.2 | MHB   |  |
| S110                                | 3.7 | üst   | -22              | -249               | -226           | 9                | 199                | 190            | 190            | -905               | 905                | 68             | 837              | -226           | 1              | 0.7              | 0.23                                           | 0.53               | 2.6 | 5.1 | 7.1 | MHB   |  |
| S111                                | 3.7 | alt   | -12              | 463                | 476            | -9               | 180                | 190            | 180            | -337               | 337                | -518           | 856              | 476            | -12            | 1.6              | 0.13                                           | 0.50               | 2.9 | 5.8 | 7.8 | MHB   |  |
| S111                                | 3.7 | üst   | 22               | -204               | -226           | -9               | 180                | 190            | 180            | -311               | 311                | -526           | 837              | -226           | 22             | 0.9              | 0.08                                           | 0.50               | 3.0 | 6.0 | 8.0 | MHB   |  |
| S112                                | 3.7 | alt   | 1                | 653                | 652            | 1                | 280                | 279            | 279            | -936               | 936                | -560           | 1497             | 652            | 1              | 1.8              | 0.30                                           | 0.77               | 2.2 | 4.4 | 6.2 | MHB   |  |
| S112                                | 3.7 | üst   | -2               | -382               | -380           | 1                | 280                | 279            | 279            | -910               | 910                | -568           | 1478             | -380           | -2             | 1.1              | 0.25                                           | 0.77               | 2.4 | 4.8 | 6.6 | MHB   |  |
| S113                                | 3.7 | alt   | 0                | 650                | 650            | 0                | 277                | 277            | 277            | -892               | 892                | -573           | 1465             | 650            | 0              | 1.8              | 0.29                                           | 0.77               | 2.3 | 4.5 | 6.3 | MHB   |  |
| S113                                | 3.7 | üst   | 0                | -377               | -377           | 0                | 277                | 277            | 277            | -866               | 866                | -580           | 1447             | -377           | 0              | 1.1              | 0.23                                           | 0.77               | 2.5 | 4.9 | 6.7 | MHB   |  |
| S114                                | 3.7 | alt   | -1               | 650                | 652            | -1               | 278                | 279            | 278            | -399               | 399                | -1098          | 1497             | 652            | -1             | 1.9              | 0.23                                           | 0.77               | 2.5 | 4.9 | 6.7 | MHB   |  |
| S114                                | 3.7 | üst   | 2                | -378               | -380           | -1               | 278                | 279            | 278            | -373               | 373                | -1105          | 1478             | -380           | 2              | 1.3              | 0.17                                           | 0.77               | 2.7 | 5.3 | 7.2 | MHB   |  |
| S115                                | 3.7 | alt   | 12               | 488                | 476            | 9                | 199                | 190            | 190            | -516               | 516                | -340           | 856              | 476            | 12             | 1.7              | 0.16                                           | 0.53               | 2.8 | 5.6 | 7.6 | MHB   |  |
| S115                                | 3.7 | üst   | -22              | -249               | -226           | 9                | 199                | 190            | 190            | -498               | 498                | -340           | 837              | -226           | -22            | 0.9              | 0.12                                           | 0.53               | 2.9 | 5.9 | 7.9 | MHB   |  |
| S116                                | 3.7 | alt   | -7               | 424                | 431            | -5               | 173                | 178            | 173            | -1168              | 1168               | 652            | 516              | 431            | -7             | 1.2              | 0.26                                           | 0.48               | 2.5 | 4.9 | 6.9 | MHB   |  |
| S116                                | 3.7 | üst   | 13               | -215               | -228           | -5               | 173                | 178            | 173            | -1149              | 1149               | 652            | 498              | -228           | 13             | 0.6              | 0.41                                           | 0.48               | 2.0 | 4.0 | 6.0 | MHB   |  |

**Çizelge A.2: X doğrultusu kolon 40/50 2. kat kesit hasar durumu**

| X doğrultusu Kolon 40/50 – 2. Kat |          |       |                           |                             |                         |                          |                            |                        |                        |                            |                            |                        |                          |                         |                         |                  |                                                |                                |     |     |     |       |
|-----------------------------------|----------|-------|---------------------------|-----------------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------------|------------------------|------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------|------------------------------------------------|--------------------------------|-----|-----|-----|-------|
| Kolon                             | L<br>(m) | kesit | M <sub>D</sub>            |                             |                         | V <sub>G+Q</sub><br>(kN) | V <sub>G+Q+E</sub><br>(kN) | V <sub>E</sub><br>(kN) | V <sub>e</sub><br>(kN) | N <sub>G+Q+E</sub><br>(kN) | N <sub>G+Q+E</sub><br>(kN) | N <sub>E</sub><br>(kN) | N <sub>G+Q</sub><br>(kN) | M <sub>E</sub><br>(kNm) | M <sub>D</sub><br>(kNm) | r <sub>4</sub> = | N <sub>k</sub> /A <sub>c</sub> f <sub>cm</sub> | V <sub>e</sub><br>/<br>bwdfctm | MN  | GV  | GC  | Hasar |
|                                   |          |       | M <sub>G+Q</sub><br>(kNm) | M <sub>G+Q+E</sub><br>(kNm) | M <sub>E</sub><br>(kNm) |                          |                            |                        |                        |                            |                            |                        |                          |                         |                         |                  |                                                |                                |     |     |     |       |
| S201                              | 2.9      | üst   | 18                        | -257                        | -274                    | -13                      | 173                        | 186                    | 186                    | -837                       | 837                        | 473                    | 364                      | -274                    | 18                      | 0.8              | 0.24                                           | 0.52                           | 2.5 | 5.1 | 7.1 | MHB   |
| S205                              | 2.9      | alt   | 20                        | 285                         | 265                     | 13                       | 199                        | 186                    | 186                    | -325                       | 325                        | -54                    | 379                      | 265                     | 20                      | 1.2              | 0.08                                           | 0.52                           | 3.0 | 6.0 | 8.0 | MHB   |
| S205                              | 2.9      | üst   | -18                       | -292                        | -274                    | 13                       | 199                        | 186                    | 186                    | -307                       | 307                        | -58                    | 364                      | -274                    | -18                     | 1.2              | 0.08                                           | 0.52                           | 3.0 | 6.0 | 8.0 | MHB   |
| S206                              | 2.9      | alt   | -30                       | 199                         | 230                     | -20                      | 145                        | 166                    | 145                    | -743                       | 743                        | 114                    | 629                      | 230                     | -30                     | 0.7              | 0.20                                           | 0.40                           | 2.7 | 5.3 | 7.3 | MHB   |
| S206                              | 2.9      | üst   | 29                        | -222                        | -251                    | -20                      | 145                        | 166                    | 145                    | -724                       | 724                        | 110                    | 615                      | -251                    | 29                      | 0.7              | 0.19                                           | 0.40                           | 2.7 | 5.4 | 7.4 | MHB   |
| S207                              | 2.9      | alt   | 2                         | 411                         | 409                     | 1                        | 291                        | 290                    | 290                    | -1497                      | 1497                       | 396                    | 1101                     | 409                     | 2                       | 1.1              | 0.37                                           | 0.81                           | 2.0 | 3.9 | 5.6 | MHB   |
| S207                              | 2.9      | üst   | -2                        | -433                        | -432                    | 1                        | 291                        | 290                    | 290                    | -1478                      | 1478                       | 392                    | 1086                     | -432                    | -2                      | 1.1              | 0.36                                           | 0.81                           | 2.0 | 3.9 | 5.7 | MHB   |
| S208                              | 2.9      | alt   | 0                         | 404                         | 404                     | 0                        | 286                        | 286                    | 286                    | -1564                      | 1564                       | 485                    | 1079                     | 404                     | 0                       | 1.0              | 0.39                                           | 0.80                           | 1.9 | 3.8 | 5.5 | MHB   |
| S208                              | 2.9      | üst   | 0                         | -427                        | -427                    | 0                        | 286                        | 286                    | 286                    | -1545                      | 1545                       | 481                    | 1065                     | -427                    | 0                       | 1.1              | 0.38                                           | 0.80                           | 2.0 | 3.8 | 5.6 | MHB   |
| S209                              | 2.9      | alt   | -2                        | 407                         | 409                     | -1                       | 288                        | 290                    | 288                    | -1357                      | 1357                       | 256                    | 1101                     | 409                     | -2                      | 1.1              | 0.33                                           | 0.80                           | 2.1 | 4.1 | 5.9 | MHB   |
| S209                              | 2.9      | üst   | 2                         | -430                        | -432                    | -1                       | 288                        | 290                    | 288                    | -1339                      | 1339                       | 252                    | 1086                     | -432                    | 2                       | 1.1              | 0.33                                           | 0.80                           | 2.1 | 4.2 | 5.9 | MHB   |
| S210                              | 2.9      | alt   | 30                        | 260                         | 230                     | 20                       | 186                        | 166                    | 166                    | -1465                      | 1465                       | 836                    | 629                      | 230                     | 30                      | 0.6              | 0.50                                           | 0.46                           | 2.0 | 4.0 | 6.0 | MHB   |
| S210                              | 2.9      | üst   | -29                       | -279                        | -251                    | 20                       | 186                        | 166                    | 166                    | -1447                      | 1447                       | 832                    | 615                      | -251                    | -29                     | 0.7              | 0.46                                           | 0.46                           | 2.0 | 4.0 | 6.0 | MHB   |
| S211                              | 2.9      | alt   | -30                       | 199                         | 230                     | -20                      | 145                        | 166                    | 145                    | -1465                      | 1465                       | 836                    | 629                      | 230                     | -30                     | 0.5              | 0.56                                           | 0.40                           | 2.0 | 4.0 | 6.0 | MHB   |
| S211                              | 2.9      | üst   | 29                        | -222                        | -251                    | -20                      | 145                        | 166                    | 145                    | -1447                      | 1447                       | 832                    | 615                      | -251                    | 29                      | 0.6              | 0.52                                           | 0.40                           | 2.0 | 4.0 | 6.0 | MHB   |
| S212                              | 2.9      | alt   | 2                         | 411                         | 409                     | 1                        | 291                        | 290                    | 290                    | -1392                      | 1392                       | 291                    | 1101                     | 409                     | 2                       | 1.1              | 0.34                                           | 0.81                           | 2.1 | 4.0 | 5.8 | MHB   |
| S212                              | 2.9      | üst   | -2                        | -433                        | -432                    | 1                        | 291                        | 290                    | 290                    | -1374                      | 1374                       | 287                    | 1086                     | -432                    | -2                      | 1.1              | 0.33                                           | 0.81                           | 2.1 | 4.1 | 5.9 | MHB   |
| S213                              | 2.9      | alt   | 0                         | 404                         | 404                     | 0                        | 286                        | 286                    | 286                    | -1497                      | 1497                       | 418                    | 1079                     | 404                     | 0                       | 1.0              | 0.37                                           | 0.80                           | 2.0 | 3.9 | 5.7 | MHB   |
| S213                              | 2.9      | üst   | 0                         | -427                        | -427                    | 0                        | 286                        | 286                    | 286                    | -1478                      | 1478                       | 414                    | 1065                     | -427                    | 0                       | 1.1              | 0.36                                           | 0.80                           | 2.0 | 4.0 | 5.7 | MHB   |
| S214                              | 2.9      | alt   | -2                        | 407                         | 409                     | -1                       | 288                        | 290                    | 288                    | -1430                      | 1430                       | 329                    | 1101                     | 409                     | -2                      | 1.6              | 0.33                                           | 0.80                           | 2.1 | 4.2 | 5.9 | MHB   |
| S214                              | 2.9      | üst   | 2                         | -430                        | -432                    | -1                       | 288                        | 290                    | 288                    | -1411                      | 1411                       | 325                    | 1086                     | -432                    | 2                       | 2.1              | 0.31                                           | 0.80                           | 2.2 | 4.3 | 6.1 | MHB   |
| S215                              | 2.9      | alt   | 30                        | 260                         | 230                     | 20                       | 186                        | 166                    | 166                    | -1357                      | 1357                       | 728                    | 629                      | 230                     | 30                      | 1.1              | 0.33                                           | 0.46                           | 2.2 | 4.5 | 6.5 | MHB   |
| S215                              | 2.9      | üst   | -29                       | -279                        | -251                    | 20                       | 186                        | 166                    | 166                    | -1339                      | 1339                       | 724                    | 615                      | -251                    | -29                     | 1.4              | 0.27                                           | 0.46                           | 2.4 | 4.9 | 6.9 | MHB   |
| S216                              | 2.9      | alt   | -20                       | 245                         | 265                     | -13                      | 173                        | 186                    | 173                    | -856                       | 856                        | 477                    | 379                      | 265                     | -20                     | 0.8              | 0.25                                           | 0.48                           | 2.5 | 5.0 | 7.0 | MHB   |
| S216                              | 2.9      | üst   | 18                        | -257                        | -274                    | -13                      | 173                        | 186                    | 173                    | -837                       | 837                        | 473                    | 364                      | -274                    | 18                      | 0.8              | 0.23                                           | 0.48                           | 2.6 | 5.1 | 7.1 | MHB   |
| S220                              | 2.9      | alt   | 20                        | 285                         | 265                     | 13                       | 199                        | 186                    | 186                    | -1386                      | 1386                       | 1008                   | 379                      | 265                     | 20                      | 0.7              | 0.44                                           | 0.52                           | 2.0 | 4.0 | 6.0 | MHB   |
| S220                              | 2.9      | üst   | -18                       | -292                        | -274                    | 13                       | 199                        | 186                    | 186                    | -1368                      | 1368                       | 1004                   | 364                      | -274                    | -18                     | 0.8              | 0.42                                           | 0.52                           | 2.0 | 4.0 | 6.0 | MHB   |

**Çizelge A.3: X doğrultusu kolon 40/50 3. kat kesit hasar durumu**

| X doğrultusu Kolon 40/50 – 3. Kat |          |       |                  |                    |                |                  |                    |                |                |                    |                    |                |                |                |                |                  |                                                |                                |     |     |     |       |
|-----------------------------------|----------|-------|------------------|--------------------|----------------|------------------|--------------------|----------------|----------------|--------------------|--------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------------------|------------------------------------------------|--------------------------------|-----|-----|-----|-------|
| Kolon                             | L<br>(m) | kesit | M <sub>D</sub>   |                    | M <sub>E</sub> | V <sub>G+Q</sub> | V <sub>G+Q+E</sub> | V <sub>E</sub> | V <sub>e</sub> | N <sub>G+Q+E</sub> | N <sub>G+Q+E</sub> | N <sub>E</sub> | N <sub>D</sub> | M <sub>E</sub> | M <sub>D</sub> | r <sub>4</sub> = | N <sub>k</sub> /A <sub>c</sub> f <sub>cm</sub> | V <sub>e</sub><br>/<br>bwdfctm | MN  | GV  | GC  | Hasar |
|                                   |          |       | M <sub>G+Q</sub> | M <sub>G+Q+E</sub> |                |                  |                    |                |                |                    |                    |                |                |                |                |                  |                                                |                                |     |     |     |       |
|                                   |          |       | (kNm)            | (kNm)              | (kNm)          | (kN)             | (kN)               | (kN)           | (kN)           | (kN)               | (kN)               | (kN)           | (kN)           | (kNm)          | (kNm)          | ME/MA            |                                                |                                |     |     |     |       |
| S305                              | 2.9      | üst   | -16              | -243               | -227           | 11               | 151                | 139            | 139            | -837               | 837                | 608            | 229            | -227           | -16            | 0.6              | 0.30                                           | 0.39                           | 2.3 | 4.7 | 6.7 | MHB   |
| S306                              | 2.9      | alt   | -27              | 130                | 157            | -18              | 108                | 126            | 108            | -325               | 325                | -80            | 406            | 157            | -27            | 0.5              | 0.06                                           | 0.30                           | 3.0 | 6.0 | 8.0 | MHB   |
| S306                              | 2.9      | üst   | 26               | -182               | -209           | -18              | 108                | 126            | 108            | -307               | 307                | -84            | 391            | -209           | 26             | 0.6              | 0.06                                           | 0.30                           | 3.0 | 6.0 | 8.0 | MHB   |
| S307                              | 2.9      | alt   | 1                | 266                | 265            | 0                | 200                | 199            | 199            | -968               | 968                | 255            | 713            | 265            | 1              | 0.8              | 0.26                                           | 0.55                           | 2.5 | 4.9 | 6.9 | MHB   |
| S307                              | 2.9      | üst   | 0                | -313               | -313           | 0                | 200                | 199            | 199            | -950               | 950                | 251            | 698            | -313           | 0              | 0.9              | 0.24                                           | 0.55                           | 2.5 | 5.1 | 7.1 | MHB   |
| S308                              | 2.9      | alt   | 0                | 261                | 261            | 0                | 196                | 196            | 196            | -1497              | 1497               | 799            | 697            | 261            | 0              | 0.7              | 0.47                                           | 0.55                           | 2.0 | 4.0 | 6.0 | MHB   |
| S308                              | 2.9      | üst   | 0                | -309               | -309           | 0                | 196                | 196            | 196            | -1478              | 1478               | 795            | 683            | -309           | 0              | 0.8              | 0.42                                           | 0.55                           | 2.0 | 4.0 | 6.0 | MHB   |
| S309                              | 2.9      | alt   | -1               | 264                | 265            | 0                | 199                | 199            | 199            | -1564              | 1564               | 851            | 713            | 265            | -1             | 0.7              | 0.49                                           | 0.55                           | 2.0 | 4.0 | 6.0 | MHB   |
| S309                              | 2.9      | üst   | 0                | -313               | -313           | 0                | 199                | 199            | 199            | -1545              | 1545               | 847            | 698            | -313           | 0              | 0.8              | 0.44                                           | 0.55                           | 2.0 | 4.0 | 6.0 | MHB   |
| S310                              | 2.9      | alt   | 27               | 184                | 157            | 18               | 144                | 126            | 126            | -1636              | 1636               | 1230           | 406            | 157            | 27             | 0.4              | 0.82                                           | 0.35                           | 2.0 | 4.0 | 6.0 | MHB   |
| S310                              | 2.9      | üst   | -26              | -235               | -209           | 18               | 144                | 126            | 126            | -1618              | 1618               | 1226           | 391            | -209           | -26            | 0.6              | 0.64                                           | 0.35                           | 2.0 | 4.0 | 6.0 | MHB   |
| S311                              | 2.9      | alt   | -27              | 130                | 157            | -18              | 108                | 126            | 108            | -1465              | 1465               | 1060           | 406            | 157            | -27            | 0.4              | 0.70                                           | 0.30                           | 2.0 | 4.0 | 6.0 | MHB   |
| S311                              | 2.9      | üst   | 26               | -182               | -209           | -18              | 108                | 126            | 108            | -1447              | 1447               | 1056           | 391            | -209           | 26             | 0.6              | 0.55                                           | 0.30                           | 2.0 | 4.0 | 6.0 | MHB   |
| S312                              | 2.9      | alt   | 1                | 266                | 265            | 0                | 200                | 199            | 199            | -1465              | 1465               | 752            | 713            | 265            | 1              | 0.9              | 0.40                                           | 0.55                           | 2.0 | 4.0 | 6.0 | MHB   |
| S312                              | 2.9      | üst   | 0                | -313               | -313           | 0                | 200                | 199            | 199            | -1447              | 1447               | 748            | 698            | -313           | 0              | 0.9              | 0.38                                           | 0.55                           | 2.1 | 4.1 | 6.1 | MHB   |
| S313                              | 2.9      | alt   | 0                | 261                | 261            | 0                | 196                | 196            | 196            | -1538              | 1538               | 841            | 697            | 261            | 0              | 0.8              | 0.42                                           | 0.55                           | 2.0 | 4.0 | 6.0 | MHB   |
| S313                              | 2.9      | üst   | 0                | -309               | -309           | 0                | 196                | 196            | 196            | -1520              | 1520               | 837            | 683            | -309           | 0              | 0.9              | 0.41                                           | 0.55                           | 2.0 | 4.0 | 6.0 | MHB   |
| S314                              | 2.9      | alt   | -1               | 264                | 265            | 0                | 199                | 199            | 199            | -1497              | 1497               | 784            | 713            | 265            | -1             | 1.3              | 0.33                                           | 0.55                           | 2.2 | 4.5 | 6.5 | MHB   |
| S314                              | 2.9      | üst   | 0                | -313               | -313           | 0                | 199                | 199            | 199            | -1478              | 1478               | 780            | 698            | -313           | 0              | 1.5              | 0.30                                           | 0.55                           | 2.3 | 4.6 | 6.6 | MHB   |
| S315                              | 2.9      | alt   | 27               | 184                | 157            | 18               | 144                | 126            | 126            | -1430              | 1430               | 1024           | 406            | 157            | 27             | 0.9              | 0.39                                           | 0.35                           | 2.0 | 4.1 | 6.1 | MHB   |
| S315                              | 2.9      | üst   | -26              | -235               | -209           | 18               | 144                | 126            | 126            | -1411              | 1411               | 1020           | 391            | -209           | -26            | 1.1              | 0.32                                           | 0.35                           | 2.3 | 4.5 | 6.5 | MHB   |
| S316                              | 2.9      | alt   | -17              | 160                | 177            | -11              | 128                | 139            | 128            | -1636              | 1636               | 1393           | 243            | 177            | -17            | 0.6              | 0.67                                           | 0.35                           | 2.0 | 4.0 | 6.0 | MHB   |
| S316                              | 2.9      | üst   | 16               | -210               | -227           | -11              | 128                | 139            | 128            | -1618              | 1618               | 1389           | 229            | -227           | 16             | 0.7              | 0.52                                           | 0.35                           | 2.0 | 4.0 | 6.0 | MHB   |
| S320                              | 2.9      | alt   | 17               | 194                | 177            | 11               | 151                | 139            | 139            | -856               | 856                | 612            | 243            | 177            | 17             | 0.5              | 0.35                                           | 0.39                           | 2.2 | 4.3 | 6.3 | MHB   |
| S320                              | 2.9      | üst   | -16              | -243               | -227           | 11               | 151                | 139            | 139            | -837               | 837                | 608            | 229            | -227           | -16            | 0.7              | 0.28                                           | 0.39                           | 2.4 | 4.8 | 6.8 | MHB   |



**Çizelge A.4: X doğrultusu kolon 40/50 4. kat kesit hasar durumu**

| X doğrultusu Kolon 40/50 – 4. Kat |          |       |                           |                             |                         |                          |                            |                        |                        |                            |                            |                        |                          |                         |                         |                           |                                                |                                |     |     |     |       |
|-----------------------------------|----------|-------|---------------------------|-----------------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------------|------------------------|------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------|-----|-----|-----|-------|
| Kolon                             | L<br>(m) | kesit | M <sub>D</sub>            |                             |                         | V <sub>G+Q</sub><br>(kN) | V <sub>G+Q+E</sub><br>(kN) | V <sub>E</sub><br>(kN) | V <sub>e</sub><br>(kN) | N <sub>G+Q+E</sub><br>(kN) | N <sub>G+Q+E</sub><br>(kN) | N <sub>E</sub><br>(kN) | N <sub>G+Q</sub><br>(kN) | M <sub>E</sub><br>(kNm) | M <sub>D</sub><br>(kNm) | r <sub>4</sub> =<br>ME/MA | N <sub>k</sub> /A <sub>c</sub> f <sub>cm</sub> | V <sub>e</sub><br>/<br>bwdfctm | MN  | GV  | GC  | Hasar |
|                                   |          |       | M <sub>G+Q</sub><br>(kNm) | M <sub>G+Q+E</sub><br>(kNm) | M <sub>E</sub><br>(kNm) |                          |                            |                        |                        |                            |                            |                        |                          |                         |                         |                           |                                                |                                |     |     |     |       |
| S405                              | 2.9      | üst   | -22                       | -169                        | -147                    | 14                       | 94                         | 79                     | 79                     | -950                       | 950                        | 857                    | 93                       | -147                    | -22                     | 0.5                       | 0.50                                           | 0.22                           | 2.0 | 4.0 | 6.0 | MHB   |
| S406                              | 2.9      | alt   | -31                       | 37                          | 67                      | -23                      | 45                         | 68                     | 45                     | -516                       | 516                        | 334                    | 182                      | 67                      | -31                     | 0.2                       | 0.44                                           | 0.12                           | 2.0 | 4.0 | 6.0 | MHB   |
| S406                              | 2.9      | üst   | 37                        | -93                         | -130                    | -23                      | 45                         | 68                     | 45                     | -498                       | 498                        | 330                    | 167                      | -130                    | 37                      | 0.4                       | 0.25                                           | 0.12                           | 2.5 | 5.0 | 7.0 | MHB   |
| S407                              | 2.9      | alt   | 1                         | 144                         | 143                     | 1                        | 117                        | 115                    | 115                    | 136                        | -136                       | -462                   | 327                      | 143                     | 1                       | 0.5                       | -0.16                                          | 0.32                           | 3.0 | 6.0 | 8.0 | MHB   |
| S407                              | 2.9      | üst   | -2                        | -194                        | -192                    | 1                        | 117                        | 115                    | 115                    | 154                        | -154                       | -466                   | 312                      | -192                    | -2                      | 0.6                       | -0.10                                          | 0.32                           | 3.0 | 6.0 | 8.0 | MHB   |
| S408                              | 2.9      | alt   | 0                         | 140                         | 140                     | 0                        | 114                        | 114                    | 114                    | -1041                      | 1041                       | 725                    | 316                      | 140                     | 0                       | 0.4                       | 0.55                                           | 0.32                           | 2.0 | 4.0 | 6.0 | MHB   |
| S408                              | 2.9      | üst   | 0                         | -190                        | -190                    | 0                        | 114                        | 114                    | 114                    | -1023                      | 1023                       | 721                    | 302                      | -190                    | 0                       | 0.5                       | 0.41                                           | 0.32                           | 2.0 | 4.0 | 6.0 | MHB   |
| S409                              | 2.9      | alt   | -1                        | 142                         | 143                     | -1                       | 114                        | 115                    | 114                    | -936                       | 936                        | 609                    | 327                      | 143                     | -1                      | 0.4                       | 0.46                                           | 0.32                           | 2.0 | 4.0 | 6.0 | MHB   |
| S409                              | 2.9      | üst   | 2                         | -190                        | -192                    | -1                       | 114                        | 115                    | 114                    | -910                       | 910                        | 598                    | 312                      | -192                    | 2                       | 0.5                       | 0.35                                           | 0.32                           | 2.2 | 4.3 | 6.3 | MHB   |
| S410                              | 2.9      | alt   | 31                        | 98                          | 67                      | 23                       | 91                         | 68                     | 68                     | -980                       | 980                        | 798                    | 182                      | 67                      | 31                      | 0.2                       | 1.02                                           | 0.19                           | 2.0 | 4.0 | 6.0 | MHB   |
| S410                              | 2.9      | üst   | -37                       | -166                        | -130                    | 23                       | 91                         | 68                     | 68                     | -954                       | 954                        | 787                    | 167                      | -130                    | -37                     | 0.4                       | 0.53                                           | 0.19                           | 2.0 | 4.0 | 6.0 | MHB   |
| S411                              | 2.9      | alt   | -31                       | 37                          | 67                      | -23                      | 45                         | 68                     | 45                     | -1474                      | 1474                       | 1292                   | 182                      | 67                      | -31                     | 0.2                       | 1.63                                           | 0.12                           | 2.0 | 4.0 | 6.0 | MHB   |
| S411                              | 2.9      | üst   | 37                        | -93                         | -130                    | -23                      | 45                         | 68                     | 45                     | -1448                      | 1448                       | 1280                   | 167                      | -130                    | 37                      | 0.4                       | 0.87                                           | 0.12                           | 2.0 | 4.0 | 6.0 | MHB   |
| S412                              | 2.9      | alt   | 1                         | 144                         | 143                     | 1                        | 117                        | 115                    | 115                    | -931                       | 931                        | 605                    | 327                      | 143                     | 1                       | 0.5                       | 0.39                                           | 0.32                           | 2.0 | 4.0 | 6.0 | MHB   |
| S412                              | 2.9      | üst   | -2                        | -194                        | -192                    | 1                        | 117                        | 115                    | 115                    | -905                       | 905                        | 593                    | 312                      | -192                    | -2                      | 0.7                       | 0.30                                           | 0.32                           | 2.3 | 4.7 | 6.7 | MHB   |
| S413                              | 2.9      | alt   | 0                         | 140                         | 140                     | 0                        | 114                        | 114                    | 114                    | -931                       | 931                        | 615                    | 316                      | 140                     | 0                       | 0.5                       | 0.40                                           | 0.32                           | 2.0 | 4.0 | 6.0 | MHB   |
| S413                              | 2.9      | üst   | 0                         | -190                        | -190                    | 0                        | 114                        | 114                    | 114                    | -905                       | 905                        | 603                    | 302                      | -190                    | 0                       | 0.6                       | 0.30                                           | 0.32                           | 2.3 | 4.6 | 6.6 | MHB   |
| S414                              | 2.9      | alt   | -1                        | 142                         | 143                     | -1                       | 114                        | 115                    | 114                    | -1525                      | 1525                       | 1198                   | 327                      | 143                     | -1                      | 0.7                       | 0.48                                           | 0.32                           | 2.0 | 4.0 | 6.0 | MHB   |
| S414                              | 2.9      | üst   | 2                         | -190                        | -192                    | -1                       | 114                        | 115                    | 114                    | -1499                      | 1499                       | 1187                   | 312                      | -192                    | 2                       | 0.9                       | 0.39                                           | 0.32                           | 2.0 | 4.0 | 6.0 | MHB   |
| S415                              | 2.9      | alt   | 31                        | 98                          | 67                      | 23                       | 91                         | 68                     | 68                     | -936                       | 936                        | 754                    | 182                      | 67                      | 31                      | 0.4                       | 0.49                                           | 0.19                           | 2.0 | 4.0 | 6.0 | MHB   |
| S415                              | 2.9      | üst   | -37                       | -166                        | -130                    | 23                       | 91                         | 68                     | 68                     | -910                       | 910                        | 743                    | 167                      | -130                    | -37                     | 0.8                       | 0.28                                           | 0.19                           | 2.4 | 4.8 | 6.8 | MHB   |
| S416                              | 2.9      | alt   | -19                       | 65                          | 84                      | -14                      | 65                         | 79                     | 65                     | -892                       | 892                        | 785                    | 107                      | 84                      | -19                     | 0.3                       | 0.67                                           | 0.18                           | 2.0 | 4.0 | 6.0 | MHB   |
| S416                              | 2.9      | üst   | 22                        | -124                        | -147                    | -14                      | 65                         | 79                     | 65                     | -866                       | 866                        | 774                    | 93                       | -147                    | 22                      | 0.5                       | 0.39                                           | 0.18                           | 2.0 | 4.1 | 6.1 | MHB   |
| S420                              | 2.9      | alt   | 19                        | 102                         | 84                      | 14                       | 94                         | 79                     | 79                     | -1474                      | 1474                       | 1366                   | 107                      | 84                      | 19                      | 0.3                       | 1.19                                           | 0.22                           | 2.0 | 4.0 | 6.0 | MHB   |
| S420                              | 2.9      | üst   | -22                       | -169                        | -147                    | 14                       | 94                         | 79                     | 79                     | -1448                      | 1448                       | 1355                   | 93                       | -147                    | -22                     | 0.5                       | 0.67                                           | 0.22                           | 2.0 | 4.0 | 6.0 | MHB   |

**Çizelge A.5: Y doğrultusu kolon 40/50 1. kat kesit hasar durumu**

| Y doğrultusu - Kolon 40/50 - 1. Kat |     |       |                  |                    |                |                  |                    |                |                |                    |                  |                |                  |                |                  |                                                |      |       |     |     |       |     |
|-------------------------------------|-----|-------|------------------|--------------------|----------------|------------------|--------------------|----------------|----------------|--------------------|------------------|----------------|------------------|----------------|------------------|------------------------------------------------|------|-------|-----|-----|-------|-----|
|                                     |     |       | M <sub>D</sub>   |                    |                |                  |                    |                |                |                    | N <sub>E</sub>   | N <sub>D</sub> | M <sub>E</sub>   | M <sub>D</sub> | r <sub>4</sub> = | N <sub>k</sub> /A <sub>c</sub> f <sub>cm</sub> | Ve   | MN    | GV  | GC  | Hasar |     |
| Kolon                               | L   | kesit | M <sub>G+Q</sub> | M <sub>G+Q+E</sub> | M <sub>E</sub> | V <sub>G+Q</sub> | V <sub>G+Q+E</sub> | V <sub>E</sub> | V <sub>e</sub> | N <sub>G+Q+E</sub> | N <sub>G+Q</sub> | N <sub>E</sub> | N <sub>G+Q</sub> | ME/MA          |                  | /bwdftm                                        |      |       |     |     |       |     |
|                                     | (m) |       | (kNm)            | (kNm)              | (kNm)          | (kN)             | (kN)               | (kN)           | (kN)           | (kN)               | (kN)             | (kN)           | (kN)             | (kNm)          | (kNm)            |                                                |      |       |     |     |       |     |
| S101                                | 3.7 | alt   | -10              | 569                | 579            | -8               | 569                | 577            | 207            | 9                  | -9               | -525           | 516              | 579            | -10              | 2.8                                            | 0.08 | 0.57  | 3.0 | 6.0 | 8.0   | MHB |
| S101                                | 3.7 | üst   | 19               | -196               | -215           | -8               | -196               | -188           | -207           | 27                 | -27              | -525           | 498              | -215           | 19               | 1.2                                            | 0.02 | -0.57 | 3.0 | 6.0 | 8.0   | MHB |
| S105                                | 3.7 | alt   | -10              | 569                | 579            | -8               | 569                | 577            | 207            | 9                  | -9               | -525           | 516              | 579            | -10              | 2.8                                            | 0.08 | 0.57  | 3.0 | 6.0 | 8.0   | MHB |
| S105                                | 3.7 | üst   | 19               | -196               | -215           | -8               | -196               | -188           | -258           | 27                 | -27              | -525           | 498              | -215           | 19               | 1.2                                            | 0.02 | -0.72 | 3.0 | 6.0 | 8.0   | MHB |
| S106                                | 3.7 | alt   | 4                | 758                | 755            | 3                | 758                | 756            | 317            | -743               | 743              | -113           | 856              | 755            | 4                | 2.9                                            | 0.20 | 0.88  | 2.5 | 4.9 | 6.5   | BHB |
| S106                                | 3.7 | üst   | -7               | -414               | -408           | 3                | -414               | -417           | -417           | -724               | 724              | -113           | 837              | -408           | -7               | 1.6                                            | 0.19 | -1.16 | 2.7 | 5.4 | 7.4   | MHB |
| S107                                | 3.7 | alt   | 6                | 920                | 915            | 4                | 920                | 916            | 374            | -1357              | 1357             | -139           | 1497             | 915            | 6                | 2.9                                            | 0.36 | 1.04  | 1.8 | 3.4 | 4.8   | BHB |
| S107                                | 3.7 | üst   | -11              | -462               | -451           | 4                | -462               | -466           | -466           | -1339              | 1339             | -139           | 1478             | -451           | -11              | 1.5                                            | 0.35 | -1.29 | 2.2 | 4.4 | 6.4   | MHB |
| S108                                | 3.7 | alt   | 5                | 925                | 920            | 4                | 925                | 922            | 377            | -1392              | 1392             | -73            | 1465             | 920            | 5                | 3.0                                            | 0.36 | 1.05  | 1.8 | 3.4 | 4.8   | BHB |
| S108                                | 3.7 | üst   | -9               | -470               | -461           | 4                | -470               | -474           | -474           | -1374              | 1374             | -73            | 1447             | -461           | -9               | 1.5                                            | 0.35 | -1.32 | 2.2 | 4.3 | 6.3   | MHB |
| S109                                | 3.7 | alt   | 6                | 920                | 915            | 4                | 920                | 916            | 374            | -1357              | 1357             | -139           | 1497             | 915            | 6                | 2.9                                            | 0.36 | 1.04  | 1.8 | 3.4 | 4.8   | BHB |
| S109                                | 3.7 | üst   | -11              | -462               | -451           | 4                | -462               | -466           | -466           | -1339              | 1339             | -139           | 1478             | -451           | -11              | 1.5                                            | 0.35 | -1.29 | 2.2 | 4.4 | 6.4   | MHB |
| S110                                | 3.7 | alt   | 4                | 758                | 755            | 3                | 758                | 756            | 317            | -743               | 743              | -113           | 856              | 755            | 4                | 2.9                                            | 0.20 | 0.88  | 2.5 | 4.9 | 6.5   | BHB |
| S110                                | 3.7 | üst   | -7               | -414               | -408           | 3                | -414               | -417           | -417           | -724               | 724              | -113           | 837              | -408           | -7               | 1.6                                            | 0.19 | -1.16 | 2.7 | 5.4 | 7.4   | MHB |
| S111                                | 3.7 | alt   | -4               | 751                | 755            | -3               | 751                | 754            | 311            | -968               | 968              | 113            | 856              | 755            | -4               | 2.8                                            | 0.22 | 0.87  | 2.4 | 4.8 | 6.4   | BHB |
| S111                                | 3.7 | üst   | 7                | -401               | -408           | -3               | -401               | -398           | -398           | -950               | 950              | 113            | 837              | -408           | 7                | 1.5                                            | 0.23 | -1.11 | 2.6 | 5.1 | 7.1   | MHB |
| S112                                | 3.7 | alt   | -6               | 909                | 915            | -4               | 909                | 913            | 365            | -1636              | 1636             | 139            | 1497             | 915            | -6               | 2.8                                            | 0.39 | 1.01  | 1.8 | 3.3 | 4.7   | BHB |
| S112                                | 3.7 | üst   | 11               | -441               | -451           | -4               | -441               | -436           | -436           | -1618              | 1618             | 139            | 1478             | -451           | 11               | 1.3                                            | 0.40 | -1.21 | 2.0 | 4.0 | 6.0   | MHB |
| S113                                | 3.7 | alt   | -5               | 916                | 920            | -4               | 916                | 919            | 370            | -1538              | 1538             | 73             | 1465             | 920            | -5               | 2.8                                            | 0.37 | 1.03  | 1.8 | 3.3 | 4.8   | BHB |
| S113                                | 3.7 | üst   | 9                | -453               | -461           | -4               | -453               | -449           | -449           | -1520              | 1520             | 73             | 1447             | -461           | 9                | 1.4                                            | 0.37 | -1.25 | 2.1 | 4.2 | 6.2   | MHB |
| S114                                | 3.7 | alt   | -6               | 909                | 915            | -4               | 909                | 913            | 365            | -1636              | 1636             | 139            | 1497             | 915            | -6               | 2.8                                            | 0.39 | 1.01  | 1.8 | 3.3 | 4.7   | BHB |
| S114                                | 3.7 | üst   | 11               | -441               | -451           | -4               | -441               | -436           | -436           | -1618              | 1618             | 139            | 1478             | -451           | 11               | 1.3                                            | 0.40 | -1.21 | 2.0 | 4.0 | 6.0   | MHB |
| S115                                | 3.7 | alt   | -4               | 751                | 755            | -3               | 751                | 754            | 311            | -968               | 968              | 113            | 856              | 755            | -4               | 2.8                                            | 0.22 | 0.87  | 2.4 | 4.8 | 6.4   | BHB |
| S115                                | 3.7 | üst   | 7                | -401               | -408           | -3               | -401               | -398           | -398           | -950               | 950              | 113            | 837              | -408           | 7                | 1.5                                            | 0.23 | -1.11 | 2.6 | 5.1 | 7.1   | MHB |
| S116                                | 3.7 | alt   | 10               | 590                | 579            | 8                | 590                | 582            | 222            | -1041              | 1041             | 525            | 516              | 579            | 10               | 2.4                                            | 0.18 | 0.62  | 2.7 | 5.4 | 7.4   | MHB |
| S116                                | 3.7 | üst   | -19              | -233               | -215           | 8                | -233               | -241           | -241           | -1023              | 1023             | 525            | 498              | -215           | -19              | 0.8                                            | 0.29 | -0.67 | 2.4 | 4.7 | 6.7   | MHB |
| S120                                | 3.7 | alt   | 10               | 590                | 579            | 8                | 590                | 582            | 222            | -1041              | 1041             | 525            | 516              | 579            | 10               | 2.4                                            | 0.18 | 0.62  | 2.7 | 5.4 | 7.4   | MHB |
| S120                                | 3.7 | üst   | -19              | -233               | -215           | 8                | -233               | -241           | -241           | -1023              | 1023             | 525            | 498              | -215           | -19              | 0.8                                            | 0.29 | -0.67 | 2.4 | 4.7 | 6.7   | MHB |

**Çizelge A.6: Y doğrultusu kolon 40/50 2. kat kesit hasar durumu**

| Y doğrultusu - Kolon 40/50 - 2. Kat |     |       |                  |                    |                |                  |                    |                |                |                    |                    |                |                  |                |                  |                                                |      |       |     |     |       |     |
|-------------------------------------|-----|-------|------------------|--------------------|----------------|------------------|--------------------|----------------|----------------|--------------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|------------------|------------------------------------------------|------|-------|-----|-----|-------|-----|
|                                     |     |       | M <sub>D</sub>   |                    |                |                  | nihai              |                |                |                    | N <sub>E</sub>     | N <sub>D</sub> | M <sub>E</sub>   | M <sub>D</sub> | r <sub>4</sub> = | N <sub>k</sub> /A <sub>c</sub> f <sub>cm</sub> | Ve   | MN    | GV  | GC  | Hasar |     |
| Kolon                               | L   | kesit | M <sub>G+Q</sub> | M <sub>G+Q+E</sub> | M <sub>E</sub> | V <sub>G+Q</sub> | V <sub>G+Q+E</sub> | V <sub>E</sub> | V <sub>e</sub> | N <sub>G+Q+E</sub> | N <sub>G+Q+E</sub> | N <sub>E</sub> | N <sub>G+Q</sub> | ME/MA          |                  | / bwdfctm                                      |      |       |     |     |       |     |
|                                     | (m) |       | (kNm)            | (kNm)              | (kNm)          | (kN)             | (kN)               | (kN)           | (kN)           | (kN)               | (kN)               | (kN)           | (kN)             | (kNm)          | (kNm)            |                                                |      |       |     |     |       |     |
| S206                                | 2.9 | alt   | 9                | 484                | 475            | 6                | 484                | 478            | 339            | -555               | 555                | -74            | 629              | 475            | 9                | 2.1                                            | 0.15 | 0.94  | 2.6 | 5.2 | 6.7   | MHB |
| S206                                | 2.9 | üst   | -8               | -500               | -492           | 6                | -500               | -505           | -505           | -541               | 541                | -74            | 615              | -492           | -8               | 2.2                                            | 0.15 | -1.40 | 2.8 | 5.7 | 7.7   | MHB |
| S207                                | 2.9 | alt   | 13               | 520                | 507            | 9                | 520                | 512            | 371            | -1018              | 1018               | -83            | 1101             | 507            | 13               | 1.8                                            | 0.26 | 1.03  | 2.2 | 4.2 | 5.6   | MHB |
| S207                                | 2.9 | üst   | -12              | -556               | -544           | 9                | -556               | -564           | -564           | -1003              | 1003               | -83            | 1086             | -544           | -12              | 2.0                                            | 0.26 | -1.57 | 2.5 | 4.9 | 6.9   | MHB |
| S208                                | 2.9 | alt   | 11               | 531                | 520            | 7                | 531                | 524            | 378            | -1036              | 1036               | -43            | 1079             | 520            | 11               | 1.9                                            | 0.26 | 1.05  | 2.1 | 4.1 | 5.5   | MHB |
| S208                                | 2.9 | üst   | -10              | -564               | -555           | 7                | -564               | -572           | -572           | -1021              | 1021               | -43            | 1065             | -555           | -10              | 2.0                                            | 0.26 | -1.59 | 2.5 | 4.9 | 6.9   | MHB |
| S209                                | 2.9 | alt   | 13               | 520                | 507            | 9                | 520                | 512            | 371            | -1018              | 1018               | -83            | 1101             | 507            | 13               | 1.8                                            | 0.26 | 1.03  | 2.2 | 4.2 | 5.6   | MHB |
| S209                                | 2.9 | üst   | -12              | -556               | -544           | 9                | -556               | -564           | -564           | -1003              | 1003               | -83            | 1086             | -544           | -12              | 2.0                                            | 0.26 | -1.57 | 2.5 | 4.9 | 6.9   | MHB |
| S210                                | 2.9 | alt   | 9                | 484                | 475            | 6                | 484                | 478            | 339            | -555               | 555                | -74            | 629              | 475            | 9                | 2.1                                            | 0.15 | 0.94  | 2.6 | 5.2 | 6.7   | MHB |
| S210                                | 2.9 | üst   | -8               | -500               | -492           | 6                | -500               | -505           | -505           | -541               | 541                | -74            | 615              | -492           | -8               | 2.2                                            | 0.15 | -1.40 | 2.8 | 5.7 | 7.7   | MHB |
| S211                                | 2.9 | alt   | -9               | 467                | 475            | -6               | 467                | 472            | 328            | -703               | 703                | 74             | 629              | 475            | -9               | 1.9                                            | 0.17 | 0.91  | 2.6 | 5.1 | 6.7   | MHB |
| S211                                | 2.9 | üst   | 8                | -485               | -492           | -6               | -485               | -479           | -479           | -688               | 688                | 74             | 615              | -492           | 8                | 2.0                                            | 0.16 | -1.33 | 2.8 | 5.6 | 7.6   | MHB |
| S212                                | 2.9 | alt   | -13              | 494                | 507            | -9               | 494                | 502            | 354            | -1184              | 1184               | 83             | 1101             | 507            | -13              | 1.6                                            | 0.29 | 0.98  | 2.1 | 4.1 | 5.6   | MHB |
| S212                                | 2.9 | üst   | 12               | -532               | -544           | -9               | -532               | -523           | -523           | -1169              | 1169               | 83             | 1086             | -544           | 12               | 1.8                                            | 0.28 | -1.45 | 2.4 | 4.8 | 6.8   | MHB |
| S213                                | 2.9 | alt   | -11              | 509                | 520            | -7               | 509                | 516            | 363            | -1123              | 1123               | 43             | 1079             | 520            | -11              | 1.7                                            | 0.28 | 1.01  | 2.1 | 4.1 | 5.6   | MHB |
| S213                                | 2.9 | üst   | 10               | -545               | -555           | -7               | -545               | -537           | -537           | -1108              | 1108               | 43             | 1065             | -555           | 10               | 1.8                                            | 0.27 | -1.49 | 2.4 | 4.9 | 6.9   | MHB |
| S214                                | 2.9 | alt   | -13              | 494                | 507            | -9               | 494                | 502            | 354            | -1184              | 1184               | 83             | 1101             | 507            | -13              | 1.6                                            | 0.29 | 0.98  | 2.1 | 4.1 | 5.6   | MHB |
| S214                                | 2.9 | üst   | 12               | -532               | -544           | -9               | -532               | -523           | -523           | -1169              | 1169               | 83             | 1086             | -544           | 12               | 1.8                                            | 0.28 | -1.45 | 2.4 | 4.8 | 6.8   | MHB |
| S215                                | 2.9 | alt   | -9               | 467                | 475            | -6               | 467                | 472            | 328            | -703               | 703                | 74             | 629              | 475            | -9               | 1.9                                            | 0.17 | 0.91  | 2.6 | 5.1 | 6.7   | MHB |
| S215                                | 2.9 | üst   | 8                | -485               | -492           | -6               | -485               | -479           | -479           | -688               | 688                | 74             | 615              | -492           | 8                | 2.0                                            | 0.16 | -1.33 | 2.8 | 5.6 | 7.6   | MHB |
| S216                                | 2.9 | alt   | 28               | 277                | 250            | 18               | 277                | 259            | 200            | -720               | 720                | 341            | 379              | 250            | 28               | 1.2                                            | 0.17 | 0.56  | 2.8 | 5.6 | 7.6   | MHB |
| S216                                | 2.9 | üst   | -25              | -304               | -279           | 18               | -304               | -322           | -322           | -705               | 705                | 341            | 364              | -279           | -25              | 1.3                                            | 0.15 | -0.89 | 2.8 | 5.6 | 7.6   | MHB |
| S220                                | 2.9 | alt   | 28               | 277                | 250            | 18               | 277                | 259            | 200            | -720               | 720                | 341            | 379              | 250            | 28               | 1.2                                            | 0.17 | 0.56  | 2.8 | 5.6 | 7.6   | MHB |
| S220                                | 2.9 | üst   | -25              | -304               | -279           | 18               | -304               | -322           | -322           | -705               | 705                | 341            | 364              | -279           | -25              | 1.3                                            | 0.15 | -0.89 | 2.8 | 5.6 | 7.6   | MHB |

**Çizelge A.7: Y doğrultusu kolon 40/50 3. kat kesit hasar durumu**

| Y doğrultusu - Kolon 40/50 - 3. Kat |     |       |                  |                    |                |                  |                    |                |                |                    |                    |                |                  |                |                |                  |                                                |       |     |     |       |     |
|-------------------------------------|-----|-------|------------------|--------------------|----------------|------------------|--------------------|----------------|----------------|--------------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|------------------|------------------------------------------------|-------|-----|-----|-------|-----|
| Kolon                               | L   | kesit | M <sub>G+Q</sub> | M <sub>G+Q+E</sub> | M <sub>E</sub> | V <sub>G+Q</sub> | V <sub>G+Q+E</sub> | V <sub>E</sub> | V <sub>e</sub> | N <sub>G+Q+E</sub> | N <sub>G+Q+E</sub> | N <sub>E</sub> | N <sub>G+Q</sub> | M <sub>E</sub> | M <sub>D</sub> | ME/MA            | Ve /<br>bwdfctm                                | MN    | GV  | GC  | Hasar |     |
|                                     | (m) |       | (kNm)            | (kNm)              | (kNm)          | (kN)             | (kN)               | (kN)           | (kN)           | (kN)               | (kN)               | (kN)           | (kN)             | (kNm)          | (kNm)          | r <sub>4</sub> = | N <sub>k</sub> /A <sub>c</sub> f <sub>cm</sub> |       |     |     |       |     |
| S305                                | 2.9 | üst   | 22               | -233               | -255           | -15              | -233               | -218           | -218           | -57                | 57                 | -172           | 229              | -255           | 22             | 1.4              | 0.03                                           | -0.61 | 3.0 | 6.0 | 8.0   | MHB |
| S306                                | 2.9 | alt   | 6                | 340                | 334            | 4                | 340                | 336            | 259            | -371               | 371                | -35            | 406              | 334            | 6              | 1.7              | 0.10                                           | 0.72  | 2.9 | 5.9 | 7.8   | MHB |
| S306                                | 2.9 | üst   | -6               | -411               | -405           | 4                | -411               | -415           | -415           | -356               | 356                | -35            | 391              | -405           | -6             | 2.1              | 0.09                                           | -1.15 | 3.0 | 6.0 | 8.0   | MHB |
| S307                                | 2.9 | alt   | 9                | 333                | 324            | 6                | 333                | 327            | 260            | -678               | 678                | -35            | 713              | 324            | 9              | 1.4              | 0.17                                           | 0.72  | 2.7 | 5.4 | 7.3   | MHB |
| S307                                | 2.9 | üst   | -8               | -420               | -412           | 6                | -420               | -426           | -426           | -663               | 663                | -35            | 698              | -412           | -8             | 1.8              | 0.17                                           | -1.18 | 2.8 | 5.5 | 7.5   | MHB |
| S308                                | 2.9 | alt   | 7                | 339                | 331            | 5                | 339                | 334            | 263            | -684               | 684                | -13            | 697              | 331            | 7              | 1.4              | 0.17                                           | 0.73  | 2.7 | 5.4 | 7.3   | MHB |
| S308                                | 2.9 | üst   | -7               | -425               | -418           | 5                | -425               | -430           | -430           | -669               | 669                | -13            | 683              | -418           | -7             | 1.8              | 0.17                                           | -1.19 | 2.8 | 5.5 | 7.5   | MHB |
| S309                                | 2.9 | alt   | 9                | 333                | 324            | 6                | 333                | 327            | 260            | -678               | 678                | -35            | 713              | 324            | 9              | 1.4              | 0.17                                           | 0.72  | 2.7 | 5.4 | 7.3   | MHB |
| S309                                | 2.9 | üst   | -8               | -420               | -412           | 6                | -420               | -426           | -426           | -663               | 663                | -35            | 698              | -412           | -8             | 1.8              | 0.17                                           | -1.18 | 2.8 | 5.5 | 7.5   | MHB |
| S310                                | 2.9 | alt   | 6                | 340                | 334            | 4                | 340                | 336            | 259            | -371               | 371                | -35            | 406              | 334            | 6              | 1.7              | 0.10                                           | 0.72  | 2.9 | 5.9 | 7.8   | MHB |
| S310                                | 2.9 | üst   | -6               | -411               | -405           | 4                | -411               | -415           | -415           | -356               | 356                | -35            | 391              | -405           | -6             | 2.1              | 0.09                                           | -1.15 | 3.0 | 6.0 | 8.0   | MHB |
| S311                                | 2.9 | alt   | -6               | 328                | 334            | -4               | 328                | 332            | 250            | -440               | 440                | 35             | 406              | 334            | -6             | 1.6              | 0.11                                           | 0.70  | 2.9 | 5.9 | 7.8   | MHB |
| S311                                | 2.9 | üst   | 6                | -399               | -405           | -4               | -399               | -395           | -395           | -426               | 426                | 35             | 391              | -405           | 6              | 1.9              | 0.10                                           | -1.10 | 3.0 | 6.0 | 8.0   | MHB |
| S312                                | 2.9 | alt   | -9               | 315                | 324            | -6               | 315                | 321            | 248            | -748               | 748                | 35             | 713              | 324            | -9             | 1.2              | 0.19                                           | 0.69  | 2.7 | 5.4 | 7.3   | MHB |
| S312                                | 2.9 | üst   | 8                | -403               | -412           | -6               | -403               | -397           | -397           | -733               | 733                | 35             | 698              | -412           | 8              | 1.6              | 0.18                                           | -1.10 | 2.7 | 5.5 | 7.5   | MHB |
| S313                                | 2.9 | alt   | -7               | 324                | 331            | -5               | 324                | 329            | 253            | -711               | 711                | 13             | 697              | 331            | -7             | 1.3              | 0.18                                           | 0.70  | 2.7 | 5.4 | 7.3   | MHB |
| S313                                | 2.9 | üst   | 7                | -411               | -418           | -5               | -411               | -406           | -406           | -696               | 696                | 13             | 683              | -418           | 7              | 1.7              | 0.17                                           | -1.13 | 2.8 | 5.5 | 7.5   | MHB |
| S314                                | 2.9 | alt   | -9               | 315                | 324            | -6               | 315                | 321            | 248            | -748               | 748                | 35             | 713              | 324            | -9             | 1.2              | 0.19                                           | 0.69  | 2.7 | 5.4 | 7.3   | MHB |
| S314                                | 2.9 | üst   | 8                | -403               | -412           | -6               | -403               | -397           | -397           | -733               | 733                | 35             | 698              | -412           | 8              | 1.6              | 0.18                                           | -1.10 | 2.7 | 5.5 | 7.5   | MHB |
| S315                                | 2.9 | alt   | -6               | 328                | 334            | -4               | 328                | 332            | 250            | -440               | 440                | 35             | 406              | 334            | -6             | 1.6              | 0.11                                           | 0.70  | 2.9 | 5.9 | 7.8   | MHB |
| S315                                | 2.9 | üst   | 6                | -399               | -405           | -4               | -399               | -395           | -395           | -426               | 426                | 35             | 391              | -405           | 6              | 1.9              | 0.10                                           | -1.10 | 3.0 | 6.0 | 8.0   | MHB |
| S316                                | 2.9 | alt   | 23               | 182                | 159            | 15               | 182                | 167            | 158            | -415               | 415                | 172            | 243              | 159            | 23             | 0.8              | 0.11                                           | 0.44  | 3.0 | 5.9 | 7.9   | MHB |
| S316                                | 2.9 | üst   | -22              | -277               | -255           | 15               | -277               | -293           | -293           | -401               | 401                | 172            | 229              | -255           | -22            | 1.5              | 0.09                                           | -0.81 | 3.0 | 6.0 | 8.0   | MHB |
| S320                                | 2.9 | alt   | 23               | 182                | 159            | 15               | 182                | 167            | 158            | -415               | 415                | 172            | 243              | 159            | 23             | 0.8              | 0.11                                           | 0.44  | 3.0 | 5.9 | 7.9   | MHB |
| S320                                | 2.9 | üst   | -22              | -277               | -255           | 15               | -277               | -293           | -293           | -401               | 401                | 172            | 229              | -255           | -22            | 1.5              | 0.09                                           | -0.81 | 3.0 | 6.0 | 8.0   | MHB |

**Çizelge A.8: Y doğrultusu kolon 40/50 4. kat kesit hasar durumu**

| Y doğrultusu - Kolon 40/50 - 4. Kat |     |       |                  |                    |                |                  |                    |                |                |                    |                    |                |                  |       |       |           |      |       |     |     |       |     |
|-------------------------------------|-----|-------|------------------|--------------------|----------------|------------------|--------------------|----------------|----------------|--------------------|--------------------|----------------|------------------|-------|-------|-----------|------|-------|-----|-----|-------|-----|
| Kolon                               | L   | kesit | M <sub>G+Q</sub> | M <sub>G+Q+E</sub> | M <sub>E</sub> | V <sub>G+Q</sub> | V <sub>G+Q+E</sub> | V <sub>E</sub> | V <sub>e</sub> | N <sub>G+Q+E</sub> | N <sub>G+Q+E</sub> | N <sub>E</sub> | N <sub>G+Q</sub> | ME/MA |       | / bwdfctm |      | MN    | GV  | GC  | Hasar |     |
|                                     | (m) |       | (kNm)            | (kNm)              | (kNm)          | (kN)             | (kN)               | (kN)           | (kN)           | (kN)               | (kN)               | (kN)           | (kN)             | (kNm) | (kNm) |           |      |       |     |     |       |     |
| S405                                | 2.9 | üst   | 34               | -123               | -157           | -21              | -123               | -103           | -104           | -38                | 38                 | -55            | 93               | -157  | 34    | 0.9       | 0.01 | -0.29 | 3.0 | 6.0 | 8.0   | MHB |
| S406                                | 2.9 | alt   | 7                | 179                | 172            | 6                | 179                | 173            | 156            | -175               | 175                | -7             | 182              | 172   | 7     | 1.1       | 0.04 | 0.43  | 3.0 | 6.0 | 8.0   | MHB |
| S406                                | 2.9 | üst   | -10              | -274               | -264           | 6                | -274               | -280           | -280           | -160               | 160                | -7             | 167              | -264  | -10   | 1.7       | 0.04 | -0.78 | 3.0 | 6.0 | 8.0   | MHB |
| S407                                | 2.9 | alt   | 10               | 180                | 169            | 8                | 180                | 171            | 158            | -320               | 320                | -6             | 327              | 169   | 10    | 0.9       | 0.08 | 0.44  | 3.0 | 6.0 | 8.0   | MHB |
| S407                                | 2.9 | üst   | -14              | -278               | -264           | 8                | -278               | -286           | -286           | -306               | 306                | -6             | 312              | -264  | -14   | 1.5       | 0.08 | -0.79 | 3.0 | 6.0 | 8.0   | MHB |
| S408                                | 2.9 | alt   | 8                | 184                | 176            | 7                | 184                | 177            | 161            | -320               | 320                | 4              | 316              | 176   | 8     | 1.0       | 0.08 | 0.45  | 3.0 | 6.0 | 8.0   | MHB |
| S408                                | 2.9 | üst   | -11              | -282               | -271           | 7                | -282               | -289           | -289           | -306               | 306                | 4              | 302              | -271  | -11   | 1.5       | 0.08 | -0.80 | 3.0 | 6.0 | 8.0   | MHB |
| S409                                | 2.9 | alt   | 10               | 180                | 169            | 8                | 180                | 171            | 158            | -320               | 320                | -6             | 327              | 169   | 10    | 0.9       | 0.08 | 0.44  | 3.0 | 6.0 | 8.0   | MHB |
| S409                                | 2.9 | üst   | -14              | -278               | -264           | 8                | -278               | -286           | -286           | -306               | 306                | -6             | 312              | -264  | -14   | 1.5       | 0.08 | -0.79 | 3.0 | 6.0 | 8.0   | MHB |
| S410                                | 2.9 | alt   | 7                | 179                | 172            | 6                | 179                | 173            | 156            | -175               | 175                | -7             | 182              | 172   | 7     | 1.1       | 0.04 | 0.43  | 3.0 | 6.0 | 8.0   | MHB |
| S410                                | 2.9 | üst   | -10              | -274               | -264           | 6                | -274               | -280           | -280           | -160               | 160                | -7             | 167              | -264  | -10   | 1.7       | 0.04 | -0.78 | 3.0 | 6.0 | 8.0   | MHB |
| S411                                | 2.9 | alt   | -7               | 164                | 172            | -6               | 164                | 170            | 144            | -189               | 189                | 7              | 182              | 172   | -7    | 1.0       | 0.05 | 0.40  | 3.0 | 6.0 | 8.0   | MHB |
| S411                                | 2.9 | üst   | 10               | -254               | -264           | -6               | -254               | -248           | -248           | -175               | 175                | 7              | 167              | -264  | 10    | 1.5       | 0.04 | -0.69 | 3.0 | 6.0 | 8.0   | MHB |
| S412                                | 2.9 | alt   | -10              | 159                | 169            | -8               | 159                | 167            | 141            | -333               | 333                | 6              | 327              | 169   | -10   | 0.8       | 0.08 | 0.39  | 3.0 | 6.0 | 8.0   | MHB |
| S412                                | 2.9 | üst   | 14               | -250               | -264           | -8               | -250               | -241           | -241           | -319               | 319                | 6              | 312              | -264  | 14    | 1.3       | 0.08 | -0.67 | 3.0 | 6.0 | 8.0   | MHB |
| S413                                | 2.9 | alt   | -8               | 167                | 176            | -7               | 167                | 174            | 147            | -312               | 312                | -4             | 316              | 176   | -8    | 0.9       | 0.08 | 0.41  | 3.0 | 6.0 | 8.0   | MHB |
| S413                                | 2.9 | üst   | 11               | -260               | -271           | -7               | -260               | -254           | -254           | -298               | 298                | -4             | 302              | -271  | 11    | 1.4       | 0.07 | -0.70 | 3.0 | 6.0 | 8.0   | MHB |
| S414                                | 2.9 | alt   | -10              | 159                | 169            | -8               | 159                | 167            | 141            | -333               | 333                | 6              | 327              | 169   | -10   | 0.8       | 0.08 | 0.39  | 3.0 | 6.0 | 8.0   | MHB |
| S414                                | 2.9 | üst   | 14               | -250               | -264           | -8               | -250               | -241           | -241           | -319               | 319                | 6              | 312              | -264  | 14    | 1.3       | 0.08 | -0.67 | 3.0 | 6.0 | 8.0   | MHB |
| S415                                | 2.9 | alt   | -7               | 164                | 172            | -6               | 164                | 170            | 144            | -189               | 189                | 7              | 182              | 172   | -7    | 1.0       | 0.05 | 0.40  | 3.0 | 6.0 | 8.0   | MHB |
| S415                                | 2.9 | üst   | 10               | -254               | -264           | -6               | -254               | -248           | -248           | -175               | 175                | 7              | 167              | -264  | 10    | 1.5       | 0.04 | -0.69 | 3.0 | 6.0 | 8.0   | MHB |
| S416                                | 2.9 | alt   | 27               | 77                 | 51             | 21               | 77                 | 56             | 56             | -162               | 162                | 55             | 107              | 51    | 27    | 0.3       | 0.07 | 0.16  | 3.0 | 6.0 | 8.0   | MHB |
| S416                                | 2.9 | üst   | -34              | -191               | -157           | 21               | -191               | -212           | -212           | -148               | 148                | 55             | 93               | -157  | -34   | 1.2       | 0.03 | -0.59 | 3.0 | 6.0 | 8.0   | MHB |
| S420                                | 2.9 | alt   | 27               | 77                 | 51             | 21               | 77                 | 56             | 56             | -162               | 162                | 55             | 107              | 51    | 27    | 0.3       | 0.07 | 0.16  | 3.0 | 6.0 | 8.0   | MHB |
| S420                                | 2.9 | üst   | -34              | -191               | -157           | 21               | -191               | -212           | -212           | -148               | 148                | 55             | 93               | -157  | -34   | 1.2       | 0.03 | -0.59 | 3.0 | 6.0 | 8.0   | MHB |

**Çizelge A.9: X doğrultusu kolon 70/40 tüm katlar kesit hasar durumu**

| Kolon | L<br>(m) | kesit | M <sub>D</sub>            |                             |                         |                          | N <sub>E</sub>             |                        |                        |                            | N <sub>D</sub>           |                        |                          |                         | r <sub>d</sub> =        |                                | N <sub>k</sub> /A <sub>c</sub> f <sub>cm</sub> | V <sub>e</sub><br>/bwdfctm | MN  | GV  | GC  | Hasar |
|-------|----------|-------|---------------------------|-----------------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------------|------------------------|------------------------|----------------------------|--------------------------|------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------|-----|-----|-----|-------|
|       |          |       | M <sub>G+Q</sub><br>(kNm) | M <sub>G+Q+E</sub><br>(kNm) | M <sub>E</sub><br>(kNm) | V <sub>G+Q</sub><br>(kN) | V <sub>G+Q+E</sub><br>(kN) | V <sub>E</sub><br>(kN) | V <sub>e</sub><br>(kN) | N <sub>G+Q+E</sub><br>(kN) | N <sub>G+Q</sub><br>(kN) | N <sub>E</sub><br>(kN) | N <sub>G+Q</sub><br>(kN) | M <sub>E</sub><br>(kNm) | M <sub>D</sub><br>(kNm) | M <sub>E</sub> /M <sub>A</sub> |                                                |                            |     |     |     |       |
| S102  | 3.7      | alt   | 1                         | 1660                        | 1659                    | 1                        | 598                        | 597                    | 597                    | -980                       | 980                      | 44                     | 936                      | 1659                    | 1                       | 5.0                            | 0.18                                           | 1.18                       | 2.3 | 4.5 | 5.7 | İHB   |
| S102  | 3.7      | üst   | -2                        | -551                        | -549                    | 1                        | 598                        | 597                    | 597                    | -954                       | 954                      | 44                     | 910                      | -549                    | -2                      | 1.7                            | 0.18                                           | 1.18                       | 2.3 | 4.5 | 5.7 | MHB   |
| S104  | 3.7      | alt   | -1                        | 1657                        | 1659                    | -1                       | 596                        | 597                    | 596                    | -892                       | 892                      | -44                    | 936                      | 1659                    | -1                      | 5.0                            | 0.18                                           | 1.18                       | 2.3 | 4.6 | 5.7 | İHB   |
| S104  | 3.7      | üst   | 2                         | -546                        | -549                    | -1                       | 596                        | 597                    | 596                    | -866                       | 866                      | -44                    | 910                      | -549                    | 2                       | 1.7                            | 0.17                                           | 1.18                       | 2.4 | 4.6 | 5.8 | MHB   |
| S117  | 3.7      | alt   | 1                         | 1660                        | 1659                    | 1                        | 598                        | 597                    | 597                    | -980                       | 980                      | 44                     | 936                      | 1659                    | 1                       | 5.0                            | 0.18                                           | 1.18                       | 2.3 | 4.5 | 5.7 | İHB   |
| S117  | 3.7      | üst   | -2                        | -551                        | -549                    | 1                        | 598                        | 597                    | 597                    | -954                       | 954                      | 44                     | 910                      | -549                    | -2                      | 1.7                            | 0.18                                           | 1.18                       | 2.3 | 4.5 | 5.7 | MHB   |
| S119  | 3.7      | alt   | -1                        | 1657                        | 1659                    | -1                       | 596                        | 597                    | 596                    | -892                       | 892                      | -44                    | 936                      | 1659                    | -1                      | 5.0                            | 0.18                                           | 1.18                       | 2.3 | 4.6 | 5.7 | İHB   |
| S119  | 3.7      | üst   | 2                         | -546                        | -549                    | -1                       | 596                        | 597                    | 596                    | -866                       | 866                      | -44                    | 910                      | -549                    | 2                       | 1.7                            | 0.17                                           | 1.18                       | 2.4 | 4.6 | 5.8 | MHB   |
| S202  | 2.9      | alt   | 3                         | 506                         | 503                     | 2                        | 396                        | 394                    | 394                    | -714                       | 714                      | 26                     | 688                      | 503                     | 3                       | 1.7                            | 0.13                                           | 0.78                       | 2.8 | 5.6 | 7.4 | MHB   |
| S202  | 2.9      | üst   | -2                        | -641                        | -639                    | 2                        | 396                        | 394                    | 394                    | -694                       | 694                      | 26                     | 668                      | -639                    | -2                      | 2.1                            | 0.13                                           | 0.78                       | 2.8 | 5.6 | 7.4 | MHB   |
| S204  | 2.9      | alt   | -3                        | 500                         | 503                     | -2                       | 392                        | 394                    | 392                    | -662                       | 662                      | -26                    | 688                      | 503                     | -3                      | 1.67                           | 0.13                                           | 0.78                       | 2.8 | 5.6 | 7.4 | MHB   |
| S204  | 2.9      | üst   | 2                         | -636                        | -639                    | -2                       | 392                        | 394                    | 392                    | -641                       | 641                      | -26                    | 668                      | -639                    | 2                       | 2.1                            | 0.12                                           | 0.78                       | 2.8 | 5.6 | 7.4 | MHB   |
| S217  | 2.9      | alt   | 3                         | 506                         | 503                     | 2                        | 396                        | 394                    | 394                    | -714                       | 714                      | 26                     | 688                      | 503                     | 3                       | 1.7                            | 0.13                                           | 0.78                       | 2.8 | 5.6 | 7.4 | MHB   |
| S217  | 2.9      | üst   | -2                        | -641                        | -639                    | 2                        | 396                        | 394                    | 394                    | -694                       | 694                      | 26                     | 668                      | -639                    | 1                       | 2.1                            | 0.13                                           | 0.78                       | 2.8 | 5.6 | 7.4 | MHB   |
| S219  | 2.9      | alt   | -3                        | 500                         | 503                     | -2                       | 392                        | 394                    | 392                    | -662                       | 662                      | -26                    | 688                      | 503                     | -3                      | 1.7                            | 0.13                                           | 0.78                       | 2.8 | 5.6 | 7.4 | MHB   |
| S219  | 2.9      | üst   | 2                         | -636                        | -639                    | -2                       | 392                        | 394                    | 392                    | -641                       | 641                      | -26                    | 668                      | -639                    | 2                       | 2.1                            | 0.12                                           | 0.78                       | 2.8 | 5.6 | 7.4 | MHB   |
| S302  | 2.9      | alt   | 2                         | 339                         | 338                     | 1                        | 328                        | 327                    | 327                    | -457                       | 457                      | 13                     | 445                      | 338                     | 2                       | 1.3                            | 0.09                                           | 0.65                       | 3.0 | 6.0 | 8.0 | MHB   |
| S302  | 2.9      | üst   | -1                        | -613                        | -612                    | 1                        | 328                        | 327                    | 327                    | -437                       | 437                      | 13                     | 424                      | -612                    | -1                      | 2.3                            | 0.08                                           | 0.65                       | 3.0 | 6.0 | 8.0 | MHB   |
| S304  | 2.9      | alt   | -2                        | 336                         | 338                     | -1                       | 327                        | 327                    | 327                    | -432                       | 432                      | -13                    | 445                      | 338                     | -2                      | 1.3                            | 0.08                                           | 0.65                       | 3.0 | 6.0 | 8.0 | MHB   |
| S304  | 2.9      | üst   | 1                         | -611                        | -612                    | -1                       | 327                        | 327                    | 327                    | -412                       | 412                      | -13                    | 424                      | -612                    | 1                       | 2.3                            | 0.08                                           | 0.65                       | 3.0 | 6.0 | 8.0 | MHB   |
| S317  | 2.9      | alt   | 2                         | 339                         | 338                     | 1                        | 328                        | 327                    | 327                    | -457                       | 457                      | 13                     | 445                      | 338                     | 2                       | 1.3                            | 0.09                                           | 0.65                       | 3.0 | 6.0 | 8.0 | MHB   |
| S317  | 2.9      | üst   | -1                        | -613                        | -612                    | 1                        | 328                        | 327                    | 327                    | -437                       | 437                      | 13                     | 424                      | -612                    | -1                      | 2.3                            | 0.08                                           | 0.65                       | 3.0 | 6.0 | 8.0 | MHB   |
| S319  | 2.9      | alt   | -2                        | 336                         | 338                     | -1                       | 327                        | 327                    | 327                    | -432                       | 432                      | -13                    | 445                      | 338                     | -2                      | 1.3                            | 0.08                                           | 0.65                       | 3.0 | 6.0 | 8.0 | MHB   |
| S319  | 2.9      | üst   | 1                         | -611                        | -612                    | -1                       | 327                        | 327                    | 327                    | -412                       | 412                      | -13                    | 424                      | -612                    | 1                       | 2.3                            | 0.08                                           | 0.65                       | 3.0 | 6.0 | 8.0 | MHB   |
| S402  | 2.9      | alt   | 2                         | 69                          | 67                      | 3                        | 149                        | 146                    | 146                    | -205                       | 205                      | 5                      | 201                      | 67                      | 2                       | 0.3                            | 0.04                                           | 0.29                       | 3.0 | 6.0 | 8.0 | MHB   |
| S402  | 2.9      | üst   | -5                        | -362                        | -357                    | 3                        | 149                        | 146                    | 146                    | -185                       | 185                      | 5                      | 181                      | -357                    | -5                      | 1.6                            | 0.03                                           | 0.29                       | 3.0 | 6.0 | 8.0 | MHB   |
| S404  | 2.9      | alt   | -2                        | 64                          | 67                      | -3                       | 144                        | 146                    | 146                    | -196                       | 196                      | -5                     | 201                      | 67                      | -2                      | 0.3                            | 0.04                                           | 0.29                       | 3.0 | 6.0 | 8.0 | MHB   |
| S404  | 2.9      | üst   | 5                         | -352                        | -357                    | -3                       | 144                        | 146                    | 146                    | -176                       | 176                      | -5                     | 181                      | -357                    | 5                       | 1.6                            | 0.03                                           | 0.29                       | 3.0 | 6.0 | 8.0 | MHB   |
| S417  | 2.9      | alt   | 2                         | 69                          | 67                      | 3                        | 149                        | 146                    | 146                    | -205                       | 205                      | 5                      | 201                      | 67                      | 2                       | 0.3                            | 0.04                                           | 0.29                       | 3.0 | 6.0 | 8.0 | MHB   |
| S417  | 2.9      | üst   | -5                        | -362                        | -357                    | 3                        | 149                        | 146                    | 146                    | -185                       | 185                      | 5                      | 181                      | -357                    | -5                      | 1.6                            | 0.03                                           | 0.29                       | 3.0 | 6.0 | 8.0 | MHB   |
| S419  | 2.9      | alt   | -2                        | 64                          | 67                      | -3                       | 144                        | 146                    | 146                    | -196                       | 196                      | -5                     | 201                      | 67                      | -2                      | 0.3                            | 0.04                                           | 0.29                       | 3.0 | 6.0 | 8.0 | MHB   |
| S419  | 2.9      | üst   | 5                         | -352                        | -357                    | -3                       | 144                        | 146                    | 146                    | -176                       | 176                      | -5                     | 181                      | -357                    | 5                       | 1.6                            | 0.03                                           | 0.29                       | 3.0 | 6.0 | 8.0 | MHB   |

**Çizelge A.10: Y doğrultusu kolon 70/40 tüm katlar kesit hasar durumu**

| Kolon | L   | kesit | $M_{G+Q}$ | $M_{G+Q+E}$ | $M_E$ | $V_{G+Q}$ | $V_{G+Q+E}$ | $V_E$ | $V_e$ | $N_{G+Q+E}$ | $N_{G+Q+E}$ | $N_E$ | $N_{G+Q}$ | $M_E$ | $M_D$ | $r_4 =$   | $N_k/A_c f_{cm}$ | $V_e$<br>/bwdftm | MN  | GV  | GC  | Hasar |
|-------|-----|-------|-----------|-------------|-------|-----------|-------------|-------|-------|-------------|-------------|-------|-----------|-------|-------|-----------|------------------|------------------|-----|-----|-----|-------|
|       | (m) |       | (kNm)     | (kNm)       | (kNm) | (kN)      | (kN)        | (kN)  | (kN)  | (kN)        | (kN)        | (kN)  | (kN)      | (kNm) | (kNm) | $M_E/M_A$ |                  |                  |     |     |     |       |
| S102  | 3.7 | alt   | -16       | 538         | 554   | -12       | 196         | 208   | 196   | -399        | 399         | -537  | 936       | 554   | -16   | 1.1       | 0.09             | 0.39             | 3.0 | 6.0 | 8.0 | MHB   |
| S102  | 3.7 | üst   | 28        | -187        | -215  | -12       | 196         | 208   | -196  | -373        | 373         | -537  | 910       | -215  | 28    | 0.4       | 0.06             | -0.39            | 3.0 | 6.0 | 8.0 | MHB   |
| S104  | 3.7 | alt   | -16       | 538         | 554   | -12       | 196         | 208   | 196   | -399        | 399         | -537  | 936       | 554   | -16   | 1.1       | 0.09             | 0.39             | 3.0 | 6.0 | 8.0 | MHB   |
| S104  | 3.7 | üst   | 28        | -187        | -215  | -12       | 196         | 208   | -205  | -373        | 373         | -537  | 910       | -215  | 28    | 0.4       | 0.06             | -0.41            | 3.0 | 6.0 | 8.0 | MHB   |
| S117  | 3.7 | alt   | 16        | 569         | 554   | 12        | 220         | 208   | 208   | -1474       | 1474        | 537   | 936       | 554   | 16    | 0.8       | 0.31             | 0.41             | 2.3 | 4.6 | 6.6 | MHB   |
| S117  | 3.7 | üst   | -28       | -243        | -215  | 12        | 220         | 208   | -220  | -1448       | 1448        | 537   | 910       | -215  | -28   | 0.3       | 0.56             | -0.44            | 2.0 | 4.0 | 6.0 | MHB   |
| S119  | 3.7 | alt   | 16        | 569         | 554   | 12        | 220         | 208   | 208   | -1474       | 1474        | 537   | 936       | 554   | 16    | 0.8       | 0.31             | 0.41             | 2.3 | 4.6 | 6.6 | MHB   |
| S119  | 3.7 | üst   | -28       | -243        | -215  | 12        | 220         | 208   | -120  | -1448       | 1448        | 537   | 910       | -215  | -28   | 0.3       | 0.56             | -0.24            | 2.0 | 4.0 | 6.0 | MHB   |
| S202  | 2.9 | alt   | -40       | 202         | 243   | -27       | 150         | 176   | 150   | -342        | 342         | -346  | 688       | 243   | -40   | 0.5       | 0.03             | 0.30             | 3.0 | 6.0 | 8.0 | MHB   |
| S202  | 2.9 | üst   | 37        | -231        | -269  | -27       | 150         | 176   | -150  | -321        | 321         | -346  | 668       | -269  | 37    | 0.6       | 0.03             | -0.30            | 3.0 | 6.0 | 8.0 | MHB   |
| S204  | 2.9 | alt   | -40       | 202         | 243   | -27       | 150         | 176   | 150   | -342        | 342         | -346  | 688       | 243   | -40   | 0.5       | 0.03             | 0.30             | 3.0 | 6.0 | 8.0 | MHB   |
| S204  | 2.9 | üst   | 37        | -231        | -269  | -27       | 150         | 176   | -177  | -321        | 321         | -346  | 668       | -269  | 37    | 0.6       | 0.03             | -0.35            | 3.0 | 6.0 | 8.0 | MHB   |
| S217  | 2.9 | alt   | 40        | 283         | 243   | 27        | 203         | 176   | 176   | -1034       | 1034        | 346   | 688       | 243   | 40    | 0.3       | 0.31             | 0.35             | 2.3 | 4.6 | 6.6 | MHB   |
| S217  | 2.9 | üst   | -37       | -306        | -269  | 27        | 203         | 176   | -203  | -1014       | 1014        | 346   | 668       | -269  | -37   | 0.4       | 0.29             | -0.40            | 2.4 | 4.8 | 6.8 | MHB   |
| S219  | 2.9 | alt   | 40        | 283         | 243   | 27        | 203         | 176   | 176   | -1034       | 1034        | 346   | 688       | 243   | 40    | 0.3       | 0.31             | 0.35             | 2.3 | 4.6 | 6.6 | MHB   |
| S219  | 2.9 | üst   | -37       | -306        | -269  | 27        | 203         | 176   | -149  | -1014       | 1014        | 346   | 668       | -269  | -37   | 0.4       | 0.29             | -0.29            | 2.4 | 4.8 | 6.8 | MHB   |
| S302  | 2.9 | alt   | -35       | 125         | 159   | -23       | 115         | 138   | 115   | -271        | 271         | -174  | 445       | 159   | -35   | 0.4       | 0.01             | 0.23             | 3.0 | 6.0 | 8.0 | MHB   |
| S302  | 2.9 | üst   | 34        | -208        | -242  | -23       | 115         | 138   | -115  | -251        | 251         | -174  | 424       | -242  | 34    | 0.6       | 0.02             | -0.23            | 3.0 | 6.0 | 8.0 | MHB   |
| S304  | 2.9 | alt   | -35       | 125         | 159   | -23       | 115         | 138   | 115   | -271        | 271         | -174  | 445       | 159   | -35   | 0.4       | 0.01             | 0.23             | 3.0 | 6.0 | 8.0 | MHB   |
| S304  | 2.9 | üst   | 34        | -208        | -242  | -23       | 115         | 138   | -139  | -251        | 251         | -174  | 424       | -242  | 34    | 0.6       | 0.02             | -0.28            | 3.0 | 6.0 | 8.0 | MHB   |
| S317  | 2.9 | alt   | 35        | 194         | 159   | 23        | 162         | 138   | 138   | -618        | 618         | 174   | 445       | 159   | 35    | 0.3       | 0.20             | 0.27             | 2.7 | 5.3 | 7.3 | MHB   |
| S317  | 2.9 | üst   | -34       | -276        | -242  | 23        | 162         | 138   | -162  | -598        | 598         | 174   | 424       | -242  | -34   | 0.4       | 0.15             | -0.32            | 2.8 | 5.6 | 7.6 | MHB   |
| S319  | 2.9 | alt   | 35        | 194         | 159   | 23        | 162         | 138   | 138   | -618        | 618         | 174   | 445       | 159   | 35    | 0.3       | 0.20             | 0.27             | 2.7 | 5.3 | 7.3 | MHB   |
| S319  | 2.9 | üst   | -34       | -276        | -242  | 23        | 162         | 138   | -100  | -598        | 598         | 174   | 424       | -242  | -34   | 0.4       | 0.15             | -0.20            | 2.8 | 5.6 | 7.6 | MHB   |
| S402  | 2.9 | alt   | -40       | 14          | 54    | -31       | 39          | 70    | 39    | -145        | 145         | -56   | 201       | 54    | -40   | 0.1       | -0.03            | 0.08             | 3.0 | 6.0 | 8.0 | MHB   |
| S402  | 2.9 | üst   | 51        | -98         | -149  | -31       | 39          | 70    | -39   | -125        | 125         | -56   | 181       | -149  | 51    | 0.3       | 0.00             | -0.08            | 3.0 | 6.0 | 8.0 | MHB   |
| S404  | 2.9 | alt   | -40       | 14          | 54    | -31       | 39          | 70    | 39    | -145        | 145         | -56   | 201       | 54    | -40   | 0.1       | -0.03            | 0.08             | 3.0 | 6.0 | 8.0 | MHB   |
| S404  | 2.9 | üst   | 51        | -98         | -149  | -31       | 39          | 70    | -67   | -125        | 125         | -56   | 181       | -149  | 51    | 0.3       | 0.00             | -0.13            | 3.0 | 6.0 | 8.0 | MHB   |
| S417  | 2.9 | alt   | 40        | 95          | 54    | 31        | 102         | 70    | 70    | -256        | 256         | 56    | 201       | 54    | 40    | 0.1       | 0.13             | 0.14             | 2.9 | 5.8 | 7.8 | MHB   |
| S417  | 2.9 | üst   | -51       | -200        | -149  | 31        | 102         | 70    | -102  | -236        | 236         | 56    | 181       | -149  | -51   | 0.4       | 0.06             | -0.20            | 3.0 | 6.0 | 8.0 | MHB   |
| S419  | 2.9 | alt   | 40        | 95          | 54    | 31        | 102         | 70    | 70    | -256        | 256         | 56    | 201       | 54    | 40    | 0.1       | 0.13             | 0.14             | 2.9 | 5.8 | 7.8 | MHB   |

**Çizelge A.11: X ve Y doğrultusu kolon 40/70 tüm katlar kesit hasar durumu**

| Kolon                                 | L<br>(m) | kesit | M <sub>D</sub><br>M <sub>G+Q</sub><br>(kNm) | M <sub>G+Q+E</sub><br>(kNm) | M <sub>E</sub><br>(kNm) | V <sub>G+Q</sub><br>(kN) | V <sub>G+Q+E</sub><br>(kN) | nihai<br>V <sub>e</sub><br>(kN) | N <sub>G+Q+E</sub><br>(kN) | N <sub>G+Q+E</sub><br>(kN) | N <sub>G+Q</sub><br>(kN) | N <sub>E</sub><br>(kN) | N <sub>D</sub><br>N <sub>G+Q</sub><br>(kN) | M <sub>E</sub><br>(kNm) | M <sub>D</sub><br>(kNm) | $\frac{r_d}{M_E/M_A}$ | N <sub>k</sub> /A <sub>c</sub> f <sub>cm</sub> | V <sub>e</sub><br>/bwd <sub>fctm</sub> | MN  | GV  | GC  | Hasar |
|---------------------------------------|----------|-------|---------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------------|---------------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|------------------------|--------------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------|-----|-----|-----|-------|
| S103                                  | 3.7      | alt   | 0                                           | 676                         | 676                     | 0                        | 294                        | 294                             | -931                       | 931                        | -931                     | 0                      | 931                                        | 676                     | 0                       | 1.1                   | 0.16                                           | 0.58                                   | 2.8 | 5.6 | 7.6 | MHB   |
| S103                                  | 3.7      | üst   | 0                                           | -411                        | -411                    | 0                        | 294                        | 294                             | -905                       | 905                        | -905                     | 0                      | 905                                        | -411                    | 0                       | 0.7                   | 0.15                                           | 0.58                                   | 2.8 | 5.7 | 7.7 | MHB   |
| S118                                  | 3.7      | alt   | 0                                           | 676                         | 676                     | 0                        | 294                        | 294                             | -931                       | 931                        | -931                     | 0                      | 931                                        | 676                     | 0                       | 1.1                   | 0.16                                           | 0.58                                   | 2.8 | 5.6 | 7.6 | MHB   |
| S118                                  | 3.7      | üst   | 0                                           | -411                        | -411                    | 0                        | 294                        | 294                             | -905                       | 905                        | -905                     | 0                      | 905                                        | -411                    | 0                       | 0.7                   | 0.15                                           | 0.58                                   | 2.8 | 5.7 | 7.7 | MHB   |
| S203                                  | 2.9      | alt   | 0                                           | 481                         | 481                     | 0                        | 334                        | 334                             | -685                       | 685                        | -685                     | 0                      | 685                                        | 481                     | 0                       | 0.9                   | 0.11                                           | 0.66                                   | 2.9 | 5.9 | 7.9 | MHB   |
| S203                                  | 2.9      | üst   | 0                                           | -487                        | -487                    | 0                        | 334                        | 334                             | -664                       | 664                        | -664                     | 0                      | 664                                        | -487                    | 0                       | 0.9                   | 0.11                                           | 0.66                                   | 3.0 | 5.9 | 7.9 | MHB   |
| S218                                  | 2.9      | alt   | 0                                           | 481                         | 481                     | 0                        | 334                        | 334                             | -685                       | 685                        | -685                     | 0                      | 685                                        | 481                     | 0                       | 0.9                   | 0.11                                           | 0.66                                   | 2.9 | 5.9 | 7.9 | MHB   |
| S218                                  | 2.9      | üst   | 0                                           | -487                        | -487                    | 0                        | 334                        | 334                             | -664                       | 664                        | -664                     | 0                      | 664                                        | -487                    | 0                       | 0.9                   | 0.11                                           | 0.66                                   | 3.0 | 5.9 | 7.9 | MHB   |
| S303                                  | 2.9      | alt   | 0                                           | 336                         | 336                     | 0                        | 252                        | 252                             | -442                       | 442                        | -442                     | 0                      | 442                                        | 336                     | 0                       | 0.7                   | 0.07                                           | 0.50                                   | 3.0 | 6.0 | 8.0 | MHB   |
| S303                                  | 2.9      | üst   | 0                                           | -393                        | -393                    | 0                        | 252                        | 252                             | -422                       | 422                        | -422                     | 0                      | 422                                        | -393                    | 0                       | 0.8                   | 0.07                                           | 0.50                                   | 3.0 | 6.0 | 8.0 | MHB   |
| S318                                  | 2.9      | alt   | 0                                           | 336                         | 336                     | 0                        | 252                        | 252                             | -442                       | 442                        | -442                     | 0                      | 442                                        | 336                     | 0                       | 0.68                  | 0.07                                           | 0.50                                   | 3.0 | 6.0 | 8.0 | MHB   |
| S318                                  | 2.9      | üst   | 0                                           | -393                        | -393                    | 0                        | 252                        | 252                             | -422                       | 422                        | -422                     | 0                      | 422                                        | -393                    | 0                       | 0.8                   | 0.07                                           | 0.50                                   | 3.0 | 6.0 | 8.0 | MHB   |
| S403                                  | 2.9      | alt   | 0                                           | 179                         | 179                     | 0                        | 151                        | 151                             | -199                       | 199                        | -199                     | 0                      | 199                                        | 179                     | 0                       | 0.4                   | 0.03                                           | 0.30                                   | 3.0 | 6.0 | 8.0 | MHB   |
| S403                                  | 2.9      | üst   | 0                                           | -259                        | -259                    | 0                        | 151                        | 151                             | -178                       | 178                        | -178                     | 0                      | 178                                        | -259                    | 1                       | 0.6                   | 0.03                                           | 0.30                                   | 3.0 | 6.0 | 8.0 | MHB   |
| S418                                  | 2.9      | alt   | 0                                           | 179                         | 179                     | 0                        | 151                        | 151                             | -199                       | 199                        | -199                     | 0                      | 199                                        | 179                     | 0                       | 0.4                   | 0.03                                           | 0.30                                   | 3.0 | 6.0 | 8.0 | MHB   |
| S418                                  | 2.9      | üst   | 0                                           | -259                        | -259                    | 0                        | 151                        | 151                             | -178                       | 178                        | -178                     | 0                      | 178                                        | -259                    | 0                       | 0.6                   | 0.03                                           | 0.30                                   | 3.0 | 6.0 | 8.0 | MHB   |
| Y doğrultusu Kolon 40/70 - Tüm Katlar |          |       |                                             |                             |                         |                          |                            |                                 |                            |                            |                          |                        |                                            |                         |                         |                       |                                                |                                        |     |     |     |       |
| S103                                  | 3.7      | alt   | -20                                         | 1452                        | 1471                    | -15                      | 458                        | 458                             | -337                       | 337                        | -516                     | -179                   | 516                                        | 1471                    | -20                     | 5.1                   | 0.08                                           | 0.91                                   | 2.8 | 5.6 | 7.2 | BHB   |
| S103                                  | 3.7      | üst   | 36                                          | -243                        | -279                    | -15                      | 458                        | -469                            | -311                       | 311                        | -498                     | -186                   | 498                                        | -279                    | 36                      | 1.0                   | 0.05                                           | -0.93                                  | 3.0 | 6.0 | 8.0 | MHB   |
| S118                                  | 3.7      | alt   | 20                                          | 1491                        | 1471                    | 15                       | 488                        | 473                             | -1525                      | 1525                       | -516                     | 1009                   | 516                                        | 1471                    | 20                      | 5.2                   | 0.12                                           | 0.94                                   | 2.7 | 5.4 | 7.0 | BHB   |
| S118                                  | 3.7      | üst   | -36                                         | -315                        | -279                    | 15                       | 488                        | -135                            | -1499                      | 1499                       | -498                     | 1002                   | 498                                        | -279                    | -36                     | 0.7                   | 0.30                                           | -0.27                                  | 2.3 | 4.6 | 6.6 | MHB   |
| S203                                  | 2.9      | alt   | -50                                         | 183                         | 234                     | -33                      | 177                        | 177                             | -305                       | 305                        | -856                     | -551                   | 856                                        | 234                     | -50                     | 0.8                   | 0.04                                           | 0.35                                   | 3.0 | 6.0 | 8.0 | MHB   |
| S203                                  | 2.9      | üst   | 46                                          | -331                        | -377                    | -33                      | 177                        | -212                            | -284                       | 284                        | -837                     | -553                   | 837                                        | -377                    | 46                      | 1.2                   | 0.07                                           | -0.42                                  | 3.0 | 6.0 | 8.0 | MHB   |
| S218                                  | 2.9      | alt   | 50                                          | 284                         | 234                     | 33                       | 244                        | 211                             | -1065                      | 1065                       | -1497                    | -432                   | 1497                                       | 234                     | 50                      | 0.8                   | 0.16                                           | 0.42                                   | 2.8 | 5.6 | 7.6 | MHB   |
| S218                                  | 2.9      | üst   | -46                                         | -423                        | -377                    | 33                       | 244                        | -176                            | -1044                      | 1044                       | -1478                    | -434                   | 1478                                       | -377                    | -46                     | 1.2                   | 0.19                                           | -0.35                                  | 2.7 | 5.4 | 7.4 | MHB   |
| S303                                  | 2.9      | alt   | -41                                         | 87                          | 127                     | -27                      | 168                        | 168                             | -251                       | 251                        | -1465                    | -1214                  | 1465                                       | 127                     | -41                     | 0.6                   | 0.19                                           | 0.33                                   | 3.0 | 6.0 | 8.0 | MHB   |
| S303                                  | 2.9      | üst   | 37                                          | -400                        | -437                    | -27                      | 168                        | -196                            | -231                       | 231                        | -1447                    | -1216                  | 1447                                       | -437                    | 37                      | 1.3                   | 0.10                                           | -0.39                                  | 3.0 | 6.0 | 8.0 | MHB   |
| S318                                  | 2.9      | alt   | 41                                          | 168                         | 127                     | 27                       | 221                        | 195                             | -634                       | 634                        | -1497                    | -863                   | 1497                                       | 127                     | 41                      | 0.4                   | 0.17                                           | 0.39                                   | 2.8 | 5.5 | 7.5 | MHB   |
| S318                                  | 2.9      | üst   | -37                                         | -474                        | -437                    | 27                       | 221                        | -118                            | -613                       | 613                        | -1478                    | -865                   | 1478                                       | -437                    | -37                     | 1.5                   | 0.15                                           | -0.23                                  | 2.8 | 5.7 | 7.7 | MHB   |
| S403                                  | 2.9      | alt   | -50                                         | -133                        | -83                     | -42                      | 3                          | 3                               | -135                       | 135                        | -856                     | -721                   | 856                                        | -83                     | -50                     | 0.3                   | 0.18                                           | 0.01                                   | 2.7 | 5.4 | 7.4 | MHB   |
| S403                                  | 2.9      | üst   | 72                                          | -143                        | -215                    | -42                      | 3                          | -38                             | -115                       | 115                        | -837                     | -723                   | 837                                        | -215                    | 72                      | 0.8                   | 0.02                                           | -0.08                                  | 3.0 | 6.0 | 8.0 | MHB   |
| S418                                  | 2.9      | alt   | 50                                          | -33                         | -83                     | 42                       | 88                         | 46                              | -263                       | 263                        | -856                     | -593                   | 856                                        | -83                     | 50                      | 0.8                   | 0.20                                           | 0.09                                   | 2.7 | 5.3 | 7.3 | MHB   |
| S418                                  | 2.9      | üst   | -72                                         | -287                        | -215                    | 42                       | 88                         | -99                             | -242                       | 242                        | -837                     | -595                   | 837                                        | -215                    | -72                     | 1.2                   | 0.06                                           | -0.20                                  | 3.0 | 6.0 | 8.0 | MHB   |



**EK B****Çizelge B.1:** Taşıyıcı sistem kolon tipleri ve donatı yerleşimi

| Tip         | Boyut | Boyuna donatı | Enine donatı (sargılama) | Enine donatı |  |
|-------------|-------|---------------|--------------------------|--------------|--|
| Kolon Tip 1 | 40/50 | 10 $\Phi$ 16  | $\Phi$ 10/10             | $\Phi$ 10/20 |  |
| Kolon Tip 2 | 40/70 | 14 $\Phi$ 16  | $\Phi$ 10/10             | $\Phi$ 10/20 |  |
| Kolon Tip 3 | 70/40 | 14 $\Phi$ 16  | $\Phi$ 10/10             | $\Phi$ 10/20 |  |

**Çizelge B.2:** Taşıyıcı sistem kiriş tipleri ve donatı yerleşimi

| Tip         | Alt donatı  | Üst donatı  | Enine donatı (sargılama) | Enine donatı |  |
|-------------|-------------|-------------|--------------------------|--------------|--|
| Kiriş Tip 1 | 3 $\Phi$ 16 | 6 $\Phi$ 16 | $\Phi$ 10/10             | $\Phi$ 10/20 |  |
| Kiriş Tip 2 | 3 $\Phi$ 16 | 5 $\Phi$ 16 | $\Phi$ 10/10             | $\Phi$ 10/20 |  |



## **ÖZGEÇMİŞ**

**Ad Soyad** :Kerem PENÇERECİ

**Doğum Yeri ve Tarihi**:Ankara - 1986

**Adres** :Ertuğrul Kabataş Cad. Güney Sok. 27/5 Şişli - İSTANBUL

**Lisans Üniversite** :Orta Doğu Teknik Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği