

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MEVCUT 25 KATLI BETONARME BİR YAPININ DEPREM  
PERFORMANSININ İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Ahmet Can ÖZGELDİ**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Deprem Mühendisliği Programı**

**OCAK 2013**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MEVCUT 25 KATLI BETONARME BİR YAPININ DEPREM  
PERFORMANSININ İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Ahmet Can ÖZGELDİ  
501091212**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Deprem Mühendisliği Programı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. M. Hasan BODUROĞLU**

**OCAK 2013**



İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501091212 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Ahmet Can Özgeldi** ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **“MEVCUT 25 KATLI BETONARME BİR YAPININ DEPREM PERFORMANSININ İNCELENMESİ”** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :**      **Prof. Dr. Hasan Boduroğlu** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :**      **Prof. Dr. Hasan Boduroğlu** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Prof. Dr. Mustafa Erdik** .....  
Boğaziçi Üniversitesi

**Prof. Dr. Engin Orakdoğan** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Teslim Tarihi :**      **13 Aralık 2012**  
**Savunma Tarihi :**      **31 Ocak 2013**



## ÖNSÖZ

Tez süresince yardımcı olan aileme, arkadaşlarıma tez danışmanım Prof. Dr. Hasan BODUROĞLU'na, çalışmamla ilgili konularda yardımını esirgemeyen Balkar Mühendislik'e ve Dr. İrfan BALIOĞLU'na teşekkür ederim.

Aralık 2012

Ahmet Can Özgeldi  
İnşaat Mühendisi



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

|                                                                                    |      |
|------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ÖNSÖZ.....                                                                         | v    |
| İÇİNDEKİLER .....                                                                  | vii  |
| KISALTMALAR .....                                                                  | ix   |
| ÇİZELGE LİSTESİ.....                                                               | xi   |
| ŞEKİL LİSTESİ.....                                                                 | xiii |
| ÖZET.....                                                                          | xv   |
| SUMMARY .....                                                                      | xvii |
| 1. GİRİŞ .....                                                                     | 1    |
| 2. DEPREME DAYANIKLI TASARIM FELSEFESİ.....                                        | 3    |
| 2.1 Tasarım Yöntemleri.....                                                        | 3    |
| 2.1.1 Tasarım yöntemleri .....                                                     | 3    |
| 2.1.2 Performansa dayalı tasarım .....                                             | 4    |
| 2.2 Hesap Yöntemleri.....                                                          | 4    |
| 2.2.1 Doğrusal hesap yöntemleri.....                                               | 5    |
| 2.2.1.1 Eşdeğer deprem yükü yöntemi.....                                           | 5    |
| 2.2.1.2 Mod birleştirme yöntemi.....                                               | 6    |
| 2.2.1.3 Zaman tanım alanında hesap yöntemi.....                                    | 6    |
| 2.2.2 Doğrusal olmayan yöntemler .....                                             | 6    |
| 2.2.2.1 Doğrusal olmayan statik itme analizi.....                                  | 6    |
| 2.2.2.2 Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi .....                  | 8    |
| 3. YÜKSEK YAPILARIN TASARIMI.....                                                  | 9    |
| 3.1 Yüksek Yapıların Tanımı .....                                                  | 9    |
| 3.2 Deprem Etkisinin Tanımlanması.....                                             | 10   |
| 3.2.1 (D1) deprem düzeyi .....                                                     | 10   |
| 3.2.2 (D2) deprem düzeyi .....                                                     | 10   |
| 3.2.3 (D3) deprem düzeyi .....                                                     | 10   |
| 3.2.4 Servis deprem düzeyi .....                                                   | 10   |
| 3.2.5 Maksimum deprem düzeyi.....                                                  | 10   |
| 3.3 Analiz Yönteminin Seçilmesi.....                                               | 10   |
| 3.3.1.1 Servis düzeyi deprem için mod birleştirme yöntemi.....                     | 11   |
| 3.3.1.2 Servis düzeyi deprem için zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap..... | 12   |
| 3.3.2 Maksimum deprem düzeyi için analiz yöntemleri.....                           | 12   |
| 3.3.2.1 MCE için zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap .....                 | 13   |
| 3.4 Deprem Kaydı Seçimi ve Ölçeklendirilmesi.....                                  | 13   |
| 3.4.1 Deprem kaydının seçilmesi .....                                              | 13   |
| 3.4.2 Deprem kaydının ölçeklendirilmesi .....                                      | 15   |
| 3.5 Zemin Yapı Etkileşimi .....                                                    | 15   |
| 3.6 Doğrusal Olmayan Analiz için Yapılan Kabuller .....                            | 16   |
| 3.6.1 Davranış eğrisi .....                                                        | 16   |
| 3.6.2 Çevrimsel modeller .....                                                     | 17   |

|                                                                         |           |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.6.3 Analitik model seçenekleri .....                                  | 18        |
| 3.6.4 Eğilme etkisindeki betonarme elemanların modellenmesi.....        | 21        |
| 3.6.4.1 Betonarme elemanlarda plastik mafsallık .....                   | 21        |
| 3.6.4.2 Betonarme elemanlarda çatlamış kesit rijitliği.....             | 21        |
| 3.6.4.3 Betonarme elemanlarda davranış eğrisi ve moment değerleri ..... | 22        |
| 3.6.4.4 Pekleşme sonrası dönme .....                                    | 24        |
| 3.6.5 Perdelerin modellenmesi .....                                     | 24        |
| 3.6.5.1 Eşdeğer kolon-kiriş modeli .....                                | 24        |
| 3.6.5.2 Fiber model .....                                               | 25        |
| 3.7 Eleman Bazında Kabul Kriterleri .....                               | 26        |
| 3.7.1 Servis deprem düzeyi için kabul kriterleri .....                  | 26        |
| 3.7.2 MCE için kuvvet esaslı kabul kriterleri.....                      | 27        |
| 3.7.2.1 Kritik kesitler.....                                            | 27        |
| 3.7.2.2 Kritik olmayan kesitler .....                                   | 27        |
| 3.7.2.3 Kat ötelemeleri .....                                           | 27        |
| 3.7.3 MCE için şekil değiştirme esaslı kabul kriterleri .....           | 28        |
| <b>4. ÖRNEK BETONARME BİR YAPININ İNCELENMESİ .....</b>                 | <b>29</b> |
| 4.1 Bina Genel Bilgileri.....                                           | 29        |
| 4.2 SAP2000 Modelinde ve Analizlerde Yapılan Kabuller .....             | 34        |
| 4.3 Hedef Spektrum ve Kullanılacak İvme Kayıtları .....                 | 36        |
| 4.4 SAP2000 Analiz Modelinin Oluşturulması.....                         | 39        |
| 4.4.1 Yüklerin tanımlanması .....                                       | 47        |
| 4.5 Perform-3D Modelinin Oluşturulması .....                            | 50        |
| 4.6 Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi .....                         | 54        |
| 4.6.1 Doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonuçları .....      | 55        |
| 4.6.1.1 Deprem etkileri.....                                            | 55        |
| 4.6.1.2 Kiriş hasar durumlarının incelenmesi .....                      | 61        |
| 4.6.1.3 Kolon hasar durumlarının incelenmesi .....                      | 63        |
| 4.6.1.4 Perde hasar durumlarının incelenmesi .....                      | 66        |
| 4.6.1.5 Göreli kat ötelemeleri.....                                     | 69        |
| 4.6.1.6 Perde kesme güvenliği kontrolü .....                            | 71        |
| <b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>                                        | <b>75</b> |
| <b>KAYNAKLAR.....</b>                                                   | <b>81</b> |
| <b>EKLER.....</b>                                                       | <b>83</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>                                                    | <b>88</b> |

## **KISALTMALAR**

|                |                                                                          |
|----------------|--------------------------------------------------------------------------|
| <b>ABYBHY</b>  | : Afet Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 1975           |
| <b>ASCE</b>    | : American Society of Civil Engineers                                    |
| <b>ATC</b>     | : Applied Technology Council                                             |
| <b>CP</b>      | : Collapse Prevention                                                    |
| <b>DBYBHY</b>  | : Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelikler<br>2007   |
| <b>GPBSDTB</b> | : Guidelines for Performance Based Seismic Design of Tall Buildings      |
| <b>IO</b>      | : Instant Occupy                                                         |
| <b>LS</b>      | : Life Safety                                                            |
| <b>MCE</b>     | : Maximum Considered Earthquake                                          |
| <b>İYBDY</b>   | : İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği (Son Taslak Versiyon<br>IV) |
| <b>PEER</b>    | : Pacific Earthquake Research Center                                     |



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Çizelge 2.1 :</b> Eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabileceği yapılar (DBYHBHY, 2007)..          | 5  |
| <b>Çizelge 2.2 :</b> Eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabileceği yapılar (ABYBHY, 1997)...          | 5  |
| <b>Çizelge 3.1:</b> Yüksek yapıların tanımı                                                             | 9  |
| <b>Çizelge 3.2:</b> Çatlamış kesit rijitlikleri                                                         | 11 |
| <b>Çizelge 3.3:</b> Eğilme etkisindeki elemanlar için çatlamış kesit rijitlikleri                       | 22 |
| <b>Çizelge 3.4:</b> Kiriş hasar durumu için deformasyon değerleri (ASCE41-06 Supp. No.1, 2006, s. 6-33) | 28 |
| <b>Çizelge 4.1:</b> Kolon boyut ve donatı listesi                                                       | 31 |
| <b>Çizelge 4.2:</b> Kiriş boyut ve donatı listesi                                                       | 32 |
| <b>Çizelge 4.3:</b> Perde donatı oranları                                                               | 32 |
| <b>Çizelge 4.4:</b> Kaset döşeme ve eşdeğer döşeme deplasman karşılaştırması                            | 35 |
| <b>Çizelge 4.5:</b> İYBDY D3 Deprem düzeyi değerleri                                                    | 37 |
| <b>Çizelge 4.6:</b> PEER Veritabanı seçilen depremler                                                   | 38 |
| <b>Çizelge 4.7:</b> AK702 kiriş için akma, kapasite moment ve dönme değerleri                           | 41 |
| <b>Çizelge 4.8:</b> Yapının ilk 12 periyodu                                                             | 55 |
| <b>Çizelge 4.9:</b> SAP2000 taban kesme kuvvetleri                                                      | 55 |
| <b>Çizelge 4.10:</b> SAP2000 ve Perform-3D zemin kat kesme kuvvetleri                                   | 56 |
| <b>Çizelge 4.11:</b> Perform-3D X yönü analizi D/C sonuçları                                            | 67 |
| <b>Çizelge 4.12:</b> Perform-3D Y yönü analizi D/C sonuçları                                            | 68 |
| <b>Çizelge 4.13:</b> X yönü görelî kat öteleme değerleri                                                | 70 |
| <b>Çizelge 4.14:</b> X yönü görelî kat öteleme değerleri                                                | 71 |
| <b>Çizelge 4.15:</b> Kesme kuvveti karşılaştırması                                                      | 74 |
| <b>Çizelge 5.1 :</b> Kesme kuvveti oranları                                                             | 75 |



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1 : Kesit Hasar Sınırları ve Bölgeleri (DBYBHY, 2007).....                                            | 4  |
| Şekil 2.2 : Statik itme analizi (Celep ve Gençoğlu, 2008).....                                                | 7  |
| Şekil 3.1 : Tasarım spektrumu (ASCE/SEI 7-10, 2010, s. 66). ....                                              | 13 |
| Şekil 3.2 : Zemin yapı etkileşimi modelleri (PEER, 2010). ....                                                | 16 |
| Şekil 3.3 : Davranış eğrisi (ATC72, 2010, s. 2-18). ....                                                      | 16 |
| Şekil 3.4 : Çevrim modelleri.....                                                                             | 17 |
| Şekil 3.5 : Analitik model 1 (ATC72, 2010, s. 2-27). ....                                                     | 18 |
| Şekil 3.6 : Analitik model 2 (ATC72, 2010, s. 2-27). ....                                                     | 19 |
| Şekil 3.7 : Analitik model 3 (ATC72, 2010, s. 2-27). ....                                                     | 20 |
| Şekil 3.8 : Analitik model 4 (ATC72, 2010, s. 2-27). ....                                                     | 20 |
| Şekil 3.9 : Plastik mafsal modeli. ....                                                                       | 21 |
| Şekil 3.10 : Davranış eğrisi.....                                                                             | 23 |
| Şekil 3.11 : Perdeler için eşdeğer çubuk eleman (ATC72, 2010, s. 4-2). ....                                   | 25 |
| Şekil 3.12 : Perde fiber modeli (ATC72, 2010, s. 4-2).....                                                    | 26 |
| Şekil 4.1 : Tipik kaset döşeme detayı. ....                                                                   | 30 |
| Şekil 4.2 : 1. Kat Planı. ....                                                                                | 33 |
| Şekil 4.3 : SAP2000’de kaset döşeme ve eşdeğer döşemenin karşılaştırılması. ....                              | 34 |
| Şekil 4.4 : S420 çeliği için gerilme şekil değiştirme diyagramı ..... 35                                      |    |
| Şekil 4.5 : Tip2 Kat1 Kolonları beton gerilme-şekildeğiştirme diyagramı. ....                                 | 36 |
| Şekil 4.6 : İYBDY D3 Deprem düzeyi spektrumu. ....                                                            | 37 |
| Şekil 4.7 : İYBDY spektral ivme haritası. ....                                                                | 38 |
| Şekil 4.8 : EZ-FRISK yazılımı ile ölçeklendirilmiş kayıt örneği. ....                                         | 39 |
| Şekil 4.9 : Ölçeklendirilmiş deprem kayıtlarının İYBDY D3 deprem düzeyi<br>spektrumu üzerinde gösterimi. .... | 40 |
| Şekil 4.10 : SAP2000 kiriş için plastik mafsal tanımlanması.....                                              | 42 |
| Şekil 4.11 : AK702 kirişi moment-eğrilik diyagramı.....                                                       | 42 |
| Şekil 4.12 : SAP2000 kiriş plastik mafsal davranış eğrisi.....                                                | 42 |
| Şekil 4.13 : SAP2000 kolon için plastik mafsal tanımlanması.....                                              | 43 |
| Şekil 4.14 : SAP2000 kolon plastik mafsal özellikleri ana menüsü. ....                                        | 43 |
| Şekil 4.15 : Plastik mafsal için Tip2 kolonlarının birinci kat eksenel yükleri.....                           | 44 |
| Şekil 4.16 : SAP2000 Section Designer’da oluşturulan kolon kesiti. ....                                       | 44 |
| Şekil 4.17 : Tip2 Kat1 kolonları için moment-eğrilik ilişkisi.....                                            | 45 |
| Şekil 4.18 : Kolonlar için P-M2-M3 etkileşim diyagramının tanıtılması.....                                    | 45 |
| Şekil 4.19 : P-M2-M3 etkileşim diyagramı menüsü.....                                                          | 46 |
| Şekil 4.20 : Kolon için plastik dönme değerleri girilmesi. ....                                               | 46 |
| Şekil 4.21 : Oluşturulan SAP2000 modeli.....                                                                  | 47 |
| Şekil 4.22 : SAP2000 deprem ivme-zaman kaydı tanıtılması. ....                                                | 48 |
| Şekil 4.23 : SAP2000 doğrusal olmayan analiz tanımlama menüsü. ....                                           | 49 |
| Şekil 4.24 : SAP2000 doğrusal olmayan analiz için sönümleme tanımlanması.....                                 | 49 |
| Şekil 4.25 : Perform-3D kolon kesiti.....                                                                     | 50 |

|                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 4.26 : Perform-3D, P40x245 fiber kesiti. ....                                | 51 |
| Şekil 4.27 : Perform-3D, fiber kesitte kullanılacak beton malzeme. ....            | 52 |
| Şekil 4.28 : Fiber kesitin düzlem dışı davranışı. ....                             | 52 |
| Şekil 4.29 : Perform-3D, perde beton fiber modeli. ....                            | 52 |
| Şekil 4.30 : Perde beton davranışını temsil eden fiber model. ....                 | 53 |
| Şekil 4.31 : Perform-3D strain gage tanımlanması. ....                             | 54 |
| Şekil 4.32 : NGA1614 DZC X deprem taban kesme kuvveti-zaman grafiği. ....          | 56 |
| Şekil 4.33 : NGA1614 DZC X tepe yer değiştirme-zaman grafiği. ....                 | 56 |
| Şekil 4.34 : NGA1614 DZC Y deprem taban kesme kuvveti-zaman grafiği. ....          | 57 |
| Şekil 4.35 : NGA1614 DZC Y tepe yer değiştirme-zaman grafiği. ....                 | 57 |
| Şekil 4.36 : NGA850 Landers X deprem taban kesme kuvveti-zaman grafiği. ....       | 57 |
| Şekil 4.37 : NGA850 Landers X tepe yer değiştirme-zaman grafiği. ....              | 58 |
| Şekil 4.38 : NGA850 Landers Y deprem taban kesme kuvveti-zaman grafiği. ....       | 58 |
| Şekil 4.39 : NGA850 Landers Y tepe yer değiştirme-zaman grafiği. ....              | 58 |
| Şekil 4.40 : NGA864 Landers X taban kesme kuvveti-zaman grafiği. ....              | 59 |
| Şekil 4.41 : NGA864 X tepe yer değiştirme-zaman grafiği. ....                      | 59 |
| Şekil 4.42 : NGA864 Y taban kesme kuvveti-zaman grafiği. ....                      | 59 |
| Şekil 4.43 : NGA864 Y tepe yer değiştirme-zaman grafiği. ....                      | 60 |
| Şekil 4.44 : NGA1162 X taban kesme kuvveti-zaman grafiği. ....                     | 60 |
| Şekil 4.45 : NGA1162 X tepe yer değiştirme-zaman grafiği. ....                     | 60 |
| Şekil 4.46 : NGA1162 Y taban kesme kuvveti-zaman grafiği. ....                     | 61 |
| Şekil 4.47 : NGA1162 Y tepe yer değiştirme-zaman grafiği. ....                     | 61 |
| Şekil 4.48 : Deprem kayıtlarına göre hasar gören kirişlerin yüzdesi. ....          | 62 |
| Şekil 4.49 : NGA850 ve NGA864 depremleri kiriş hasar durumlarının dağılımı. ....   | 63 |
| Şekil 4.50 : NGA1162 ve NGA1614 depremleri kiriş hasar durumlarının dağılımı. .... | 63 |
| Şekil 4.51 : Deprem kayıtlarına göre hasar gören kolonların yüzdesi. ....          | 64 |
| Şekil 4.52 : NGA850 ve NGA864 depremleri kolon hasar durumlarının dağılımı. ....   | 65 |
| Şekil 4.53 : NGA1162 ve NGA1614 depremleri kolon hasar durumlarının dağılımı. .... | 65 |
| Şekil 4.54 : NGA864 Y analizi sonucunda kolonlarda oluşan plastik mafsallar. ....  | 66 |
| Şekil 4.55 : X yönü perde etki-kapasite oranları. ....                             | 68 |
| Şekil 4.56 : Y yönü perde etki-kapasite oranları. ....                             | 69 |
| Şekil 4.57 : X yönünde perde kesme güvenliği. ....                                 | 72 |
| Şekil 4.58 : Y yönünde perde kesme güvenliği. ....                                 | 72 |
| Şekil 4.59 : Perde taşıyıcı sistemin plan görünüşü. ....                           | 73 |
| Şekil 5.1 : Kolon eksenel kuvvet değişimi ....                                     | 76 |
| Şekil 5.2 : P40x475 850X depremi kesme kuvveti-zaman grafiği. ....                 | 77 |
| Şekil 5.3 : P40x475 850Y deprem kesme kuvveti-zaman grafiği ....                   | 77 |
| Şekil 5.4 : DZCY depremi etkisinde yapı deplasmanı. ....                           | 78 |
| Şekil 5.5 : Tepe yer değiştirme karşılaştırması. ....                              | 79 |
| Şekil A.1 : NGA850 Landers X ölçeklendirilmiş deprem ivme-zaman grafiği. ....      | 84 |
| Şekil A.2 : NGA850 Landers Y ölçeklendirilmiş deprem ivme-zaman grafiği. ....      | 84 |
| Şekil A.3 : NGA864 Landers X ölçeklendirilmiş ivme-zaman grafiği. ....             | 85 |
| Şekil A.4 : NGA864 Landers Y ölçeklendirilmiş ivme-zaman grafiği. ....             | 85 |
| Şekil A.5 : NGA1162 Kocaeli X ölçeklendirilmiş ivme-zaman grafiği. ....            | 86 |
| Şekil A.6 : NGA1162 Kocaeli Y ölçeklendirilmiş ivme-zaman grafiği. ....            | 86 |
| Şekil A.7 : NGA1614 Duzce X ölçeklendirilmiş ivme-zaman grafiği. ....              | 87 |
| Şekil A.8 : NGA1614 Duzce Y ölçeklendirilmiş ivme-zaman grafiği. ....              | 87 |

# MEVCUT 25 KATLI BETONARME BİR YAPININ DEPREM PERFORMANSININ İNCELENMESİ

## ÖZET

İstanbul’da yüksek yapı inşaatında gözle görülür bir artış vardır. Dizayn ofisleri, yüksek yapı tasarımında, yaygın olarak kuvvet esaslı tasarım yöntemini Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik’e (DBYBHY) (2007) göre uygulamaktadır. Yüksek yapılar için geleneksel tasarım yöntemleri ekonomik olmayan sonuçlar vermektedir. Yüksek yapıların tasarımı, nonlinear analizin pratikte uygulanmasının kolaylaşması ile değişmiştir. Yüksek yapıların performans bazlı tasarımına yardımcı olması için İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği (İYBDY) (2008) DBYBHY’e alternatif olarak ek yol gösterici bir rehber olarak yayınlanmıştır. Fakat az sayıda yapı İYBDY’deki performans esaslarına göre tasarlanmaktadır.

DBYBHY ve İYBDY’de yapı ve deprem mühendisliğinin modern gereklerine sahip olmalarına rağmen, bazı eksikleri vardır. Bu yönetmeliklerdeki tasarım prosedürlerinin uygulanması ekonomik olmayan çözümlere neden olabilir. Performans esaslı tasarım, mühendislere binanın depremde nasıl davranış göstereceğini tahmin etmesi için olanak sağlar.

Yüksek yapıların performansının incelenmesinin genel amaçlı tasarım yönetmelikleri tarafından yapılması doğru değildir. Yüksek yapıların, davranış farklılıkları sebebiyle özel olarak incelenmesi gerekmektedir.

Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi (PEER), Guidelines for Performance-Based Seismic Design of Tall Buildings (2010) rehberini yüksek yapıların performans esaslı tasarımı konusunda eksiklik için yayınlamıştır. Bu rehberin amacı yüksek yapıların tasarımında daha ekonomik sonuçlar, daha güvenilir sismik performans analizi, yenilikçi taşıyıcı sistem ve malzeme kullanımı sağlamaktır.

Sunulan bu tezde, İstanbul’da bulunan 25 katlı betonarme bir binanın performansı, PEER tarafından yayınlanan Guidelines for Performance-Based Seismic Design of Tall Buildings (2010) rehberinde tanımlanan “Maximum Considered Earthquake” (MCE) deprem etkisi altında performansı göre incelenmiştir.

Konuya yönelik olarak depreme dayanıklı tasarım felsefesi ikinci bölümde anlatılmıştır.

Üçüncü bölümde yüksek yapıların tasarımı anlatılmıştır. Yüksek yapıların tanımı, yüksek yapıların tasarımında kullanılabilecek analiz yöntemleri, deprem düzeyleri bilgileri verilmiştir. Özellikle doğrusal olmayan analizlerde yapılacak malzeme davranışı ile ilgili kabuller ve eleman davranışlarıyla ilgili kabuller de bu bölümde açıklanmıştır.

Dördüncü bölümde ise bu tez çalışması için seçilen örnek betonarme yapının zaman tanım alanında doğrusal olmayana analizi için yapılan SAP2000 ve Perform-3D modelleri, bu modellerde yapılan kabuller verilmiştir. Aynı bölümde MCE deprem düzeyi için seçilen hedef spektrum, binanın konumuna ve etkisi altında olduğu fay etkisine göre seçilen deprem kayıtları ve bu kayıtların ölçeklendirilmesi de

bulunmaktadır. Son olarak mevcut bina için yapılan zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerin sonucu, yapı elemanlarının hasar durumları verilmiştir.

Çalışmanın beşinci bölümünde ise elde edilen bulgular tartışılmış, sonuç ve öneriler verilmiştir.

# **SEISMIC PERFORMANCE ASSESMENT OF AN EXISTING REINFORCED CONCRETE TALL BUILDING**

## **SUMMARY**

There's a significant raise in construction of high-rise buildings in Istanbul. Levent area is the new skyline of Istanbul where tall office buildings of major companies are located.

Design offices are generally applying force-based design approach for high-rise buildings with Turkish Earthquake Resistant Design Code (TERDC). Traditional design approaches may not give economic results in design. They need to be designed and investigated carefully for lateral loads with the modern approaches since they occupy many people inside and a possible collapse from the expected earthquake in Istanbul can be a disaster.

Design of tall buildings have changed since it has become easier to use nonlinear analysis in practical engineering. For the need of performance-based design of tall buildings, the draft named Istanbul High Rise Buildings Earthquake Code (IHRBEC) was published as an alternative guide. Yet still there are few buildings designed with performance-based design.

Even though both TERDC and IHRBEC have the modern needs of structural and earthquake engineering, they are still lacking in some points. They don't have specific information about the nonlinear behaviour of components of the tall buildings or damping in tall buildings. Design application with these building codes may result in uneconomic construction cost, inadequate section dimensions and reinforcements.

Inspection of high-rise building performance with general building codes is not the proper attitude. Tall buildings must be inspected specifically because of their unusual behavior than common buildings.

PEER have published Guidelines for Performance-Based Seismic Design of Tall Buildings (2010) for the need of a specific code for tall buildings. Scopes of this guideline are reduced construction cost and probably most importantly more reliable performance analysis and use of innovative structural systems and materials.

In this work, a 25 story reinforced concrete building in Istanbul is analyzed under Maximum Considered Earthquake (MCE) force as suggested in Guidelines for Performance-Based Seismic Design of Tall Buildings (2010).

As related to the subject of this work, fundamentals of earthquake resistant design are explained in chapter two.

In chapter three, design of tall buildings is explained in details. Definition of tall buildings from different building and design codes can be seen in this chapter. Analysis methods to be used in the design of tall buildings are described in details for both linear and nonlinear analysis types. Guidelines that have been used in this are

Guidelines for Performance Based Design of Tall Buildings (PEER, 2010) and Modeling and acceptance criteria for seismic design and analysis of tall buildings (PEER, 2010).

Nonlinear behaviour of reinforced concrete, assumptions and analytical models which are going to be used for nonlinear analysis are parts of the third chapter. Modelling of structural elements for nonlinear analysis are also described. Besides modelling informations, there are also information about selection of target spectrum for the earthquake records to be used in nonlinear time history analysis.

Chapter four consists modelling information about the reinforced concrete chosen for this work. 25 story, 90m high building and its place on istanbul is shown in figure. Size of sections of this building, like beams, columns, shear walls, are given detailly in tables. Building materials are concrete which has 35Mpa characteristic strength and reinforcement which has 420Mpa yield strength.

Structure is modeled in both SAP2000 and Perform-3D softwares. Building has waffle slabs in each floor. Waffle slab is modeled with shell sections which have equivalent stiffness as waffle slabs used in this structure.

For nonlinear analysis plastic hinges of frame elements (beam and column) are assumed at the start and end point of frames. Plastic hinges are where plastic deformation due to lateral loads occur. For defining plastic hinge, one has to predict the behaviour of section. Confinement are considered for straining and stress of concrete in beams and columns. Moment-rotation or moment-curvature relations of sections are obtained by using Xtract software. After obtaining this relationship, plastic deformation capacity are defined in hinges. Plastic hinges are not assigned to shear walls, since it is to be investigated by Perform-3D.

In Perform-3D model, shear walls are defined by using fiber sections. Reinforcement fiber sections are defined by using longitudinal reinforcement ratios. Shear walls are modeled by using reinforcement fiber sections and concrete fiber sections parallel. So they work together. Strain gages are defined for obtaining compression and tension strain at the edge of the shear walls. Rotation gage is also defined for observing rotation of shear walls.

Deformations for the acceptance criteria in ASCE41 (2006) have been used for the structural components.

Four strong motion records are for nonlinear time history analysis from PEER strong motion database in relation with the distance of building to fault, faulting type and magnitude. Records are then scaled with the software EZ-FRISK to match target spectrum which is chosen from IHRBEC since studied case is located in Istanbul.

In the last chapter, results of the analysis are discussed. After the analysis it is observed that some columns at corner and the edge of the structure are beyond the collapse prevention performance level. Especially in Y direction due to poor structural system, tension forces such like 2500 kN have occurred in columns and this had caused the column failure. Damaged beam components are all in Instant Occupancy damage level. More information about damaged percentage of beams and columns are given with graphs in the fifth chapter.

Tension strains observed at the edge of first floor shear walls show that yielding point has been passed and plastic hinging has occurred. Rotations of shear walls are in the limits which have been decided by ASCE41 (2006).

Shear walls at the first story have been checked for shear failure. Shear nominal strength of walls have been calculated according to given formula in ACI318-11 (ACI318, 2011, S. 21.11.9). It is observed both in SAP2000 and Perform3D analysis results that some shear walls are affected by higher shear forces than allowed in ACI318-11. This leads to failure of walls under MCE excitation.

Story drifts of each analysis have been found and mean of these drifts have been calculated. Story drifts in X direction does not exceed the required limits, but in Y direction some stories exceed the limits suggested by GPBSDLTB.

As a result it is decided that the structure has performed as expected performance level under MCE effect.

During the analysis some problems have been encountered. Equivalent frame model of shear walls which have hinges in SAP2000 has created convergence problem for nonlinear time history analysis. From some point on analysis has started not to converge and as a result it caused unfinished analysis. Due to this problem it is wiser to use Perform-3D for such cases. Another problem is tension forces in columns. Use of waffle slab has created a poor structural system and poor beam-column joints. 90% of the earthquake force of this structure is affecting shear walls which is unusually high. There may be a regulation or suggestion in IHRBEC for the structural system.

Yet even though building has poor structural system, building is still in expected performance level because of high percentage reinforcements and large sections. It is highly recommended that design of tall buildings should be carried out with a special code with modern approaches for this type of buildings in order to have economics and reliable results.



## 1. GİRİŞ

Yüksek yapılara talebin çok olduğu ülkelerde bu yapıların tasarımı için genel tasarım yönetmelikleri dışında, özel rehberler ve yönetmelikler yayınlanmaktadır. Bunun sebebi genel sismik tasarım yönetmeliklerinin yüksek yapılar için yetersiz olmasıdır.

Ülkemizde sadece yüksek yapıların tasarımı için yayınlanan İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği (İYBDY) (2008) dışında başka bir kaynak yoktur. İYBDY, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik'te (DBYBHY) (2007) tanımlanan performans düzeyi kavramlarını daha geniş bir şekilde ele almıştır.

DBYBHY genelde bina türü yapıların tasarımı için uygundur. Tasarım depremi olarak 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem öngörülmektedir. İYBDY'de ise tasarım depremi olarak D1, D2 ve D3 deprem düzeyleri belirlenmiştir. Bunlar sırası ile 50 yılda aşılma olasılığı %50, %10 ve %2 olan depremlerdir. Bu iki yönetmelikteki örnekten de gözüktüğü gibi yüksek yapıların tasarımı için özel yönetmelik ihtiyacı vardır.

Amerika Birleşik Devletleri'nde PEER 2010 yılında Guidelines for Performance-Based Seismic Design of Tall Buildings (GPBDSDTB)'i yüksek yapılar hakkındaki eksik yönetmelik ihtiyacına bir cevap olarak yayınlamıştır.

Yapılan bu çalışmada İstanbul'da bulunan yüksekliği 90.8m olan betonarme yüksek bir binanın performansı Guidelines for Performance-Based Seismic Design of Tall Buildings'e göre incelenmiştir.

Konuyla ilgili olarak depreme dayanıklı yapı tasarımı felsefesi ana hatları ile ikinci bölümde özetlenmektedir.

Üçüncü bölümde yüksek yapıların tasarımı hakkında detaylı bilgiler, analizlerde yapılacak kabuller ve GPBDSDTB'de yer alan tavsiyeler açıklanmıştır.

Dördüncü bölümde incelenen bina ile ilgili bilgiler, seçilen hedef spektrum, deprem ivme kayıtları ve ölçeklendirilmesi, yapının oluşturulan SAP2000 ve Perform-3D

modellerinde yapılan kabuller, analiz yöntemlerinin tanımlanması ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında hesap yöntemi sonuçları yer almaktadır.

Son bölümde ise analiz sonuçlarının değerlendirilmesi ve bulguların tartışılması bulunmaktadır.

## **2. DEPREME DAYANIKLI TASARIM FELSEFESİ**

### **2.1 Tasarım Yöntemleri**

Bir yapının sağlıklı bir şekilde ayakta kalabilmesi için tasarımında mühendislik hizmeti alması gerekmektedir. Tasarımı yapının yer çekimi doğrultusundaki kendi ağırlığı ve ilave olarak gelecek yatay yükler göz önüne alınarak yapılır.

Ülkemizde ve dünyada genel olarak yapı tasarımında geleneksel yöntem olarak adlandırılan kuvvete dayalı yöntem yani Kuvvet Esaslı Tasarım kullanılmaktadır. Fakat inşaat mühendisliği biliminin ilerlemesi ve bilgisayar teknolojisinin gelişmesi ile günümüzdeki bilgisayar yazılımları ile yerdeğiştirmeye dayalı tasarım yani Performansa dayalı tasarım yöntemi de yavaş yavaş pratik mühendislikte kullanılmaya başlanmıştır.

Tasarım yöntemleri ikiye ayrılabilir. Doğrusal olan hesap yöntemi ve doğrusal olmayan analiz olarak. Doğrusal analiz yöntemleri olarak; eşdeğer deprem yükü yöntemi, mod birleştirme yöntemi, zaman tanım alanında doğrusal hesap yöntemidir. Doğrusal olmayan hesap yöntemleri ise; statik itme analizi ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemidir.

Bu bölümde kuvvet esaslı tasarımı ve performansa dayalı tasarım ana ilkeleriyle özetlenecektir.

#### **2.1.1 Tasarım yöntemleri**

Kuvvet esaslı tasarım şu anda pratik mühendis uygulamaların sıkça kullanılan bir tasarım yöntemidir. Bu tasarımın temel ilkesi kesit kapasitesinin, dış yüklerden oluşacak kuvvetten daha büyük olmasıdır.

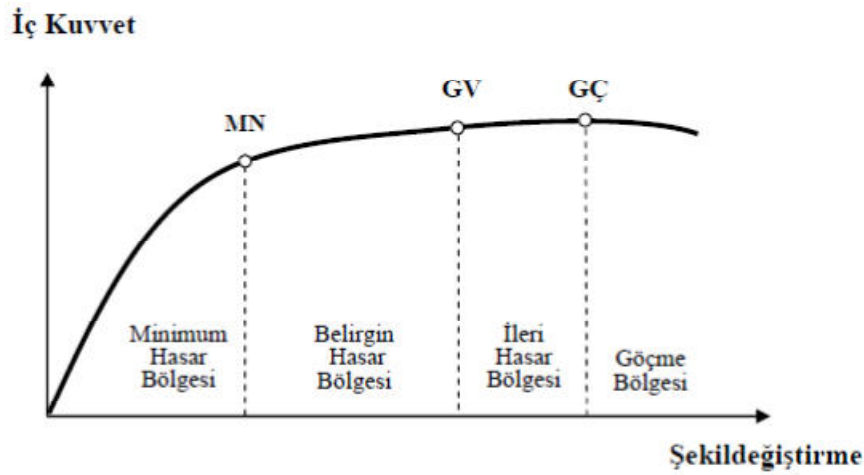
Yapıya etkiyecek deprem yükü için DBYBHY, 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremi öngörmektedir. Deprem kuvveti hesabında yapının elastik ötesi davranışa geçerek enerji sönmüleyeceği düşünülerek deprem yükleri, deprem yükü azaltma katsayısı'na ( $R_a$ ) bölünerek azaltılır.  $R_a$  katsayısı, taşıyıcı sistem davranış katsayısı

(R) ve bina doğal titreşim periyoduna (T) bağlı olarak değişir. Celep (2007) bunu şöyle açıklamıştır; “Diğer bir ifade ile çözüm işlemi doğrusal olmakla beraber bu yöntemde de taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan davranışı göz önüne alınmaktadır.”.

### 2.1.2 Performansa dayalı tasarım

Performansa dayalı tasarım, gelişen inşaat mühendisliği bilimi ve yazılımlara bağlı olarak yakın geçmişte gelişmiş ve kullanılmaya başlanmış bir hesap yöntemidir. Bu tasarım şeklinde amaç, deprem performansı tahmin edilebilen yapılar yapmaktır.

Performansa dayalı tasarım ile deprem etkisi altında doğrusal olmayan davranış gösteren yapı elemanlarındaki hasar durumlarını, yerdeğiştirmelere bağlı olarak görmek mümkündür. Bu sayede daha ekonomik tasarım yapılabilir.



Şekil 2.1 : Kesit Hasar Sınırları ve Bölgeleri (DBYBHY, 2007).

Elemanlardaki hasar durumu belirlendikten sonra, burdan kat hasar durumu ve nihayet taşıyıcı sistem performans düzeyi belirlenir. Fakat unutulmamalıdır ki aslında performansını bulduğumuz yapının kendisi değil, bizim belli yaklaşımlarla yaptığımız modelidir.

Performansa dayalı tasarım DBYBHY’de mevcut yapıların performans seviyelerinin belirlenmesinde kullanılırken, İYBDY ve Guidelines for Performance-Based Seismic Design of Tall Buildings’de tasarım için kullanılmaktadır.

## 2.2 Hesap Yöntemleri

Daha önce 2.2.1 ve 2.2.2’de genel hatlarıyla anlatılan hesap yöntemleri bu bölümde detayları ile açıklanacaktır.

### 2.2.1 Doğrusal hesap yöntemleri

Doğrusal hesap yöntemlerinde malzemenin lineer elastik bölgede deformasyon yaptığı kabul edilir. Malzemede küçük yer değiştirmelerin olduğu kabul edilir. Bu hesap yöntemlerinde doğrusal olmayan davranış, yapı davranış katsayısı göz önüne alınır.

#### 2.2.1.1 Eşdeğer deprem yükü yöntemi

Bu hesap yöntemi daha çok konut tipi, az katlı yapılar için yaklaşık deprem yükü hesabında kullanılır. Yapının birinci doğal titreşim periyoduna göre hesap edilen deprem yükü, kat rijitliklerine ve kat kütlelerine bağlı olarak katlara dağıtılır.

Eşdeğer deprem yükü hesap yöntemi yapının birinci periyodunu göz önüne alır. Çok katlı yapılar gibi yüksek mod etkisinin göz önüne alınması gereken yapılarda kullanılması uygun değildir.

**Çizelge 2.1 :** Eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabileceği yapılar (DBYBHY, 2007).

| Deprem Bölgesi | Bina Türü                                                                                                                    | Toplam Yükseklik Sınırı |
|----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| 1, 2           | Her bir katta burulma düzensizliği $\eta_{bi} \leq 2.0$ koşulunu sağladığı binalar                                           | $H_N \leq 25$ m         |
| 1, 2           | Her bir katta burulma düzensizliği $\eta_{bi} \leq 2.0$ koşulunu sağladığı binalar ve B2 türü düzensizliğin olmadığı binalar | $H_N \leq 40$ m         |
| 3, 4           | Tüm binalar                                                                                                                  | $H_N \leq 40$ m         |

**Çizelge 2.2 :** Eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabileceği yapılar (ABYBHY, 1997).

| Deprem Bölgesi | Bina Türü                                                                                                                    | Toplam Yükseklik Sınırı |
|----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| 1, 2           | Her bir katta burulma düzensizliği $\eta_{bi} \leq 2.0$ koşulunu sağladığı binalar                                           | $H_N \leq 25$ m         |
| 1, 2           | Her bir katta burulma düzensizliği $\eta_{bi} \leq 2.0$ koşulunu sağladığı binalar ve B2 türü düzensizliğin olmadığı binalar | $H_N \leq 60$ m         |
| 3, 4           | Tüm binalar                                                                                                                  | $H_N \leq 75$ m         |

Çizelgelerde;

$H_N$  : Binanın temel üstünden ölçülen toplam yüksekliği

$\eta_{bi}$  : i'nci katta tanımlanan burulma düzensizliği katsayısıdır.

### **2.2.1.2 Mod birleştirme yöntemi**

Bu dinamik yöntem, yapının her bir doğal titreşim modu için deprem kuvvetinin ayrı ayrı hesaplanması ve farklı istatistiksel metodlarla birleştirilmesidir. Mod birleştirme yönteminde yapının tüm modları göz önüne alındığı için yüksek yapılar için de uygun bir hesap yöntemidir.

### **2.2.1.3 Zaman tanım alanında hesap yöntemi**

Modeli oluşturulan yapıya kaydedilmiş kuvvetli yer hareketi kaydının veya üretilmiş kuvvetli yer hareketinin etkisinde, sistem belirli zaman aralığında adım adım dinamik olarak çözülerek deprem kuvveti hesaplanır.

Deprem kaydı süresince yapıda oluşan iç kuvvetler ve deplasmanlar görüntülenebilir.

### **2.2.2 Doğrusal olmayan yöntemler**

Bu yöntemde yapı sisteminin doğrusal elastik olmayan davranışı daha gerçeğe yakın analiz edilir. Doğrusal olmayan hesap yöntemlerinin pratik uygulamasında bir çok parametreye ihtiyaç vardır. Mevcut yapıların performans değerlendirmesinde bu sorun yaratmaktadır.

Doğrusal elastik yöntemle çözüm yapılan yazılımlar kullanılamaz. Ayrıca yapı modelleri, yapıdaki düzensizliklerden daha çok etkilenir. Modelin oluşturulmasında ne kadar çok kabul yapılırsa, gerçeklikten o kadar uzaklaşılır. O yüzden model oluşturulmasında oldukça dikkatli davranmak gerekmektedir.

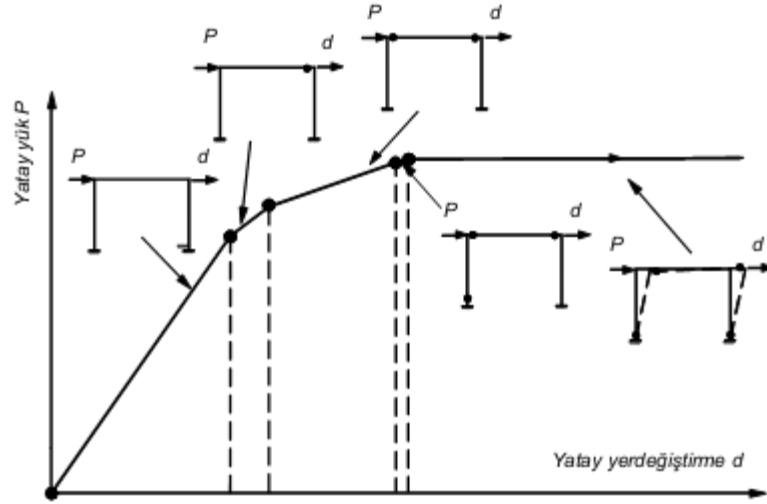
Doğrusal olmayan hesap yöntemleri, doğrusal olmayan statik itme analizi ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemleridir.

#### **2.2.2.1 Doğrusal olmayan statik itme analizi**

Doğrusal olmayan artımsal itme analizleri, yapı modelinin deprem yükü altında performansını veren kuvvet-yerdeğiştirme kapasite eğrisinin elde edilmesi amacıyla uygulanmaktadır. Kapasite eğrileri, katlara etki ettirilen artımsal yükler ile elde

edilir. Yük arttırımına yapının stabilitesi bozulana kadar veya istenen yer değıştirme değeri ne ulaşılıncaya kadar devam edilir.

Celep ve Gençoğlu (2008) statik itme analizini şöyle tanımlamışlardır; “Plastik mafs al kabulünü kullanarak, bir taşıyıcı sistemin güç tükenme gücünün elde edilmesinde en basit yöntem sistemin yükü adım adım arttırılarak ve plastik mafs al oluş umu göz önünde tutularak sistemin davranış ını incelenmesidir.”



Şekil 2.2 : Statik itme analizi (Celep ve Gençoğlu, 2008).

Şekilde;

$P$  : Yatay yük

$d$  : Yatay yerdeğıştirme

Bu analizde yapı malzemelerinin doğrusal elastik ötesi davranış ı göz önüne alınır. Yapının düşey yükler altındaki davranış ı incelenir. Daha sonra yapı katlarına belirlenen yatay kuvvetler uygulanır. Etkitilen kuvvetler adım adım arttırılarak plastik mafsalların oluş ma sırası belirlenir. Katlara etki eden kuvvetler, analiz boyunca değışmeksizin itilir. Plastik mafs al oluş umu, yanal yük dağılımına bağı lı olarak değıştiğı için, itme analizleri ile farklı sonuçlar bulunabilir.

Doğrusal olmayan statik itme analizinin farklı türleri vardır. Aydınoğlu (2003), Artımsal Spektrum Analizi (ARSA), Chopra ve Goel (2001) Modal Pushover (MPA) artımsal itme analizlerini geliştirmişlerdir. Aydınoğlu’nun geliştirdiğı ARSA, “Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi” olarak 2007 Deprem Yönetmeliğı’nde de yer almıştır.

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

Bu yöntemde yapının doğrusal olmayan davranışı göz önüne alınır. Kaydedilmiş veya hedef deprem spektrumuna göre ölçeklendirilmiş bir deprem kaydı etkisi altında, taşıyıcı sistem hareket denkleminin doğrudan integrasyon yöntemi ile adım adım çözülerek, kesitlerde oluşacak elastik, plastik şekil değiştirmeler ve kesit tesirleri zamana bağlı olarak bulunur. Doğrudan entegrasyon zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler için en doğru sonuçları vere yöntemidir. Daha sonra elemanlardaki plastik dönmeler belirlenir ve kesit hasar durumları bunlara bağlı olarak tespit edilir.

### 3. YÜKSEK YAPILARIN TASARIMI

#### 3.1 Yüksek Yapıların Tanımı

Yüksek yapıların tanımı ile ilgili olarak yönetmeliklerde farklılıklar vardır. Bu farklılıklar yapının analiz şekline etki edebilir. Aşağıdaki çizelgede farklı yönetmeliklerde yapılan yüksek yapı tanımları özetlenmiştir.

**Çizelge 3.1 : Yüksek yapıların tanımı.**

| Yönetmelik                                                                                                                  | Yüksek Yapı Tanımı                                                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| İzmir Yüksek Yapılar Yönetmeliği                                                                                            | $H_N \geq 30.8\text{m}$                                               |
| Guidelines for Performance-Based Seismic Design of Tall Buildings (PEER, 2010)                                              | $T_1 \geq 1\text{s}$<br>Yüksek modlarda belirgin kütle katılım oranı. |
| An Alternative Procedure For Seismic Analysis and Design of Tall Buildings Located in The Los Angeles Region (LATSCB, 2011) | $H_N \geq 49\text{m}$                                                 |
| Recommendations for the Seismic Design of High-rise Buildings (CTBUH, 2008)                                                 | $T_1 \sim 4\text{s}$ veya $H \geq 50\text{m}$                         |
| UBC 97                                                                                                                      | $H_N \geq 73\text{m}$                                                 |

Çizelgede;

$H_N$ : Binanın temel üstünden ölçülen toplam yüksekliği

$T_1$ : Yapının birinci titreşim periyodu

Çizelgede gözüktüğü gibi yüksek yapılar için farklı tanımlar analiz yöntemlerine de etki etmektedir. Bu konu daha sonraki bölümlerde detaylı olarak işlenecektir.

## **3.2 Deprem Etkisinin Tanımlanması**

### **3.2.1 (D1) deprem düzeyi**

İYBDY kapsamında yüksek bir yapının servis ömrü boyunca karşılaşma olasılığı fazla olan, göreli olarak sık ancak şiddeti yüksek olmayan deprem yer hareketini ifade etmektedir. (D1) düzeyindeki depremin 50 yılda aşılma olasılığı %50, buna karşı gelen dönüş periyodu ise 72 yıldır.

### **3.2.2 (D2) deprem düzeyi**

Yüksek binaların servis ömrü boyunca meydana gelebilmesi olasılığı fazla olmayan, seyrek ancak şiddetli deprem yer hareketlerini ifade etmektedir. (D2) düzeyindeki depremin 50 yılda aşılma olasılığı %10, buna karşı gelen dönüş periyodu ise 475 yıldır.

### **3.2.3 (D3) deprem düzeyi**

Yüksek binaların maruz kalabileceği en şiddetli deprem düzeyidir. (D3) düzeyindeki depremin 50 yılda aşılma olasılığı %2, buna karşı gelen dönüş periyodu ise 2475 yıldır.

### **3.2.4 Servis deprem düzeyi**

GPBSDTB tarafından 30 yılda aşılma olasılığı %50, dönüş periyodu ise 43 yıl olan deprem yer hareketi olarak tanımlanmıştır (PEER Report 2010/05, 2010, Bölüm 2.1).

### **3.2.5 Maksimum deprem düzeyi**

GPBSDTB’de maksimum deprem düzeyi (MCE) için ASCE 7-10 (2010) yönetmeliğine referans verilmiştir (PEER Report 2010/05, 2010, Bölüm 3.4). ASCE 7-10’da ise MCE için dönüş periyodu veya aşılma olasılığı verilmemiş onun MCE tasarım spektrumu tanımlanmıştır (ASCE7-10, 2010, Bölüm 11).

## **3.3 Analiz Yönteminin Seçilmesi**

Yüksek yapıların tasarımında seçilecek analiz yöntemi, yapıya uygulanan deprem düzeyine göre değişmektedir.

### 3.3.1 Servis düzeyi deprem için analiz yöntemleri

Yüksek yapıların tasarımında, GPBSDTB’de servis düzeyi deprem için mod birleştirme yöntemi ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında hesap önerilmiştir (PEER Report 2010/05, 2010, Bölüm 7.4).

#### 3.3.1.1 Servis düzeyi deprem için mod birleştirme yöntemi

Mod birleştirme yönteminde, yapının üç boyutlu modeli kullanılacaktır. Yapı modeli oluşturulurken yapı elemanlarının çatlamış kesit atalet momenti göz önüne alınacaktır.

**Çizelge 3.2 :** Çatlamış kesit rijitlikleri (PEER Report 2010/05, 2010, s. 47).

| Component                                  | Flexural Rigidity | Shear Rigidity | Axial Rigidity |
|--------------------------------------------|-------------------|----------------|----------------|
| Structural steel Beams, Columns and Braces | $E_s I$           | $G_s A$        | $E_s A$        |
| Composite Concrete Metal Deck Floors       | $0.5E_c I_g$      | $G_c A_g$      | $E_c A_g$      |
| R/C Beams – nonprestressed                 | $0.5E_c I_g$      | $G_c A_g$      | $E_c A_g$      |
| R/C Beams – prestressed                    | $E_c I_g$         | $G_c A_g$      | $E_c A_g$      |
| R/C Columns                                | $0.5E_c I_g$      | $G_c A_g$      | $E_c A_g$      |
| R/C Walls                                  | $0.75E_c I_g$     | $G_c A_g$      | $E_c A_g$      |
| R/C Slabs and Flat Plates                  | $0.5E_c I_g$      | $G_c A_g$      | $E_c A_g$      |

Çizgelde;

$E_c$  : Beton elastisite modülü

$E_s$  : Çelik elastisite modülü

$A$  : Çelik kesitin alanı

$A_c$  : Betonarme kesitin alanı

$I$  : Çelik kesitin atalet momenti

$I_c$  : Betonarme kesitin atalet momenti

$G_c$  : Beton kayma modülü

$G_s$  : Çelik kayma modülü

Ayrıca GPBSDLTB’de bu yöntemde analiz yapılırken, yeterli mod katkısını göz önüne alabilmek için, yapının iki yönde de en az %90 modal kütle katılım oranını sağlaması gerekmektedir ve mod etkilerini birleştirmek için CQC yöntemi önerilmektedir (PEER Report 2010/05, 2010, Bölüm 7.4.2).

Servis deprem düzeyi için yapılan mod birleştirme analizinin sonuçları, taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R)’ye göre modifiye edilmeyecektir. Bunun yerine elde edilen deplasman ve kuvvet talepleri GPBSDLTB’de tanımlanan kabul kriterleri ile karşılaştırılacaktır (PEER Report 2010/05, 2010, Bölüm 7.4.2). Bu kriterler betonarme elemanlar için, analiz sonucunda hesaplanan iç kuvvetlerin 1.5 katsayısına bölünmesiyle bulunan değerler, kesitler için ACI318’e (2005) göre elde edilecek kapasite değerlerini aşmamalıdır.

### **3.3.1.2 Servis düzeyi deprem için zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap**

Servis düzeyi depremi için yapılan mod birleştirme analizi sonuçlarında, yapı elemanı kapasiteleri ACI318’de (2005) tanımlanan kesit kapasitelerini aşıyorsa, bu durumda yapı performansını daha iyi analiz etmek için zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap uygulanabilir.

Bu hesap türü için yapılacak modelleme de, maksimum deprem düzeyi için yapılacak modelleme kabulleri ile aynı olacaktır.

Analiz için en az üç çift deprem kaydı uygulanacaktır. Deprem kayıtları, servis deprem düzeyi tasarım spektrumuna uygun olarak seçilecek ve ölçeklendirilecektir.

### **3.3.2 Maksimum deprem düzeyi için analiz yöntemleri**

Yüksek yapıların tasarımında, GPBSDLTB’de MCE için doğrusal olmayan zaman tanım alanında hesap önerilmiştir (PEER Report 2010/05, 2010, Bölüm 8.1). Statik itme analizi kullanışlı olsa da, yüksek yapıların yüksek mod etkisinde davranışı kavraması açısından güvenilir değildir.

### 3.3.2.1 MCE için zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap

MCE etkisi altında zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap için yapının bodrum katları da kapsayan üç boyutlu bir modeli yapılacaktır. Kuvvetli yer hareketi etkisi yapıya temelinden uygulanacaktır.

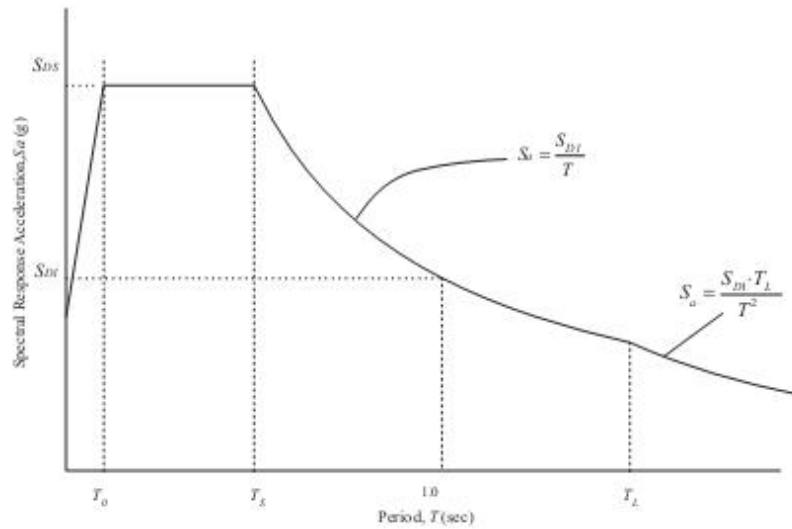
MCE için en az yedi çift deprem kaydı seçilecektir ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz için kullanılacaktır. Bu kayıtların seçimi ile ilgili detaylı bilgi bu çalışmanın 3.4 nolu bölümünde anlatılıyor.

## 3.4 Deprem Kaydı Seçimi ve Ölçeklendirilmesi

### 3.4.1 Deprem kaydının seçilmesi

GPBSDTB’de MCE tanımı ASCE7’deki (2010) tasarım spektrumu olarak yapıldığı daha önce bu çalışmanın 3.2.5 nolu bölümünde anlatılmıştı. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizde kullanılacak deprem kayıtları MCE için oluşturulacak hedef spektruma göre seçilecektir.

ASCE7’de tanımlanan MCE tasarım spektrumu aşağıdadır (ASCE7, 2010, Bölüm 11.4).



**Şekil 3.1 :** Tasarım spektrumu (ASCE/SEI 7-10, 2010, s. 66).

Şekil 3.1’de;

S<sub>DS</sub> : Kısa periyot için spektral ivme

S<sub>D1</sub> : Bir saniye periyodundaki spektral ivme

$T$  : Doğal titreşim periyodu

$T_L$  : Uzun periyod bölgesine geçiş periyodudur.

ASCE7-10'da MCE için  $S_{DS}$  ve  $S_{D1}$  değerlerinin yerini  $S_{MS}$  ve  $S_{M1}$  değerleri almaktadır (ASCE7, 2010, Bölüm 11.4). Bu değerlerin tanımı aşağıdadır.

$S_{MS}$  : Belirli zemin sınıfında kısa periyod için spektral ivme

$S_{M1}$  : Belirli zemin sınıfında bir saniye periyodundaki için spektral ivmedir.

Bu değerlerin bulunuşu zemin katsayısına bağlı olarak Denklem (2.1)' deki gibidir.

$$\begin{aligned} S_{MS} &= F_a \times S_s \\ S_{M1} &= F_v \times S_1 \end{aligned} \quad (2.1)$$

Denklemde;

$F_a$  : Kısa periyotlu spektral ivme için zemin etkisi katsayısı

$F_v$  : Bir saniye periyotlu spektral ivme için zemin etkisi katsayısı

$S_s$  : Belirli zemin sınıfında kısa periyod için spektral ivme

$S_1$  : Belirli zemin sınıfında bir saniye periyodundaki için spektral ivmedir.

$F_a$  ve  $F_v$  zemin etki katsayıları ASCE7-10'da tanımlanmıştır (ASCE7, 2010, Bölüm 11.4).

$T_0$  ve  $T_s$  spektral ivme değerlerine bağlı olarak tanımlanmıştır.

$$\begin{aligned} T_s &= \frac{S_{M1}}{S_{MS}} \\ T_0 &= 0.2 \times T_s \end{aligned} \quad (2.2)$$

ASCE7-10 ve İYBDY tasarım spektrumları ve denklemleri aynıdır. Aradaki tek fark  $T_L$  değeridir. İstanbul için  $T_L=12$  saniye olarak İYBDY'de tanımlanmıştır.

Zemin sınıfları ASCE7-10'da A, B, C, D, E, F olarak tanımlanmıştır (ASCE7, 2010, Bölüm 11.4).

Deprem kaydı seçimi için aşağıdaki veritabanları kullanılabilir.

Cosmos Virtual Data Center [http://db.cosmos\[eq.org/](http://db.cosmos[eq.org/)

Peer Strong Motion Database <http://peer.berkeley.edu/smcat/>

European Strong- Motion Database <http://www.isesd.cv.ic.ac.uk/ESD/frameset.htm>

Japan K-NET NIED <http://www.k-net.bosai.go.jp/>

Deprem kaydı seçimi oluşabilecek depremin magnitüd büyüklüğü ve yapının fay hattından uzaklığına göre seçilmelidir. Eğer yakındaki fay hattı orta ölçekten büyük ölçeğe kadar deprem üretiyor ve yapının olduğu sahaya yakınsa, seçilen deprem kayıtlarının makul bir bölümü yakın fay etkisini de bulundurmaktadır. Kayıt seçimindeki en önemli husus ise seçilecek kayıtların sayısıdır. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz için en az yedi çift deprem kaydı seçilecektir.

### 3.4.2 Deprem kaydının ölçeklendirilmesi

Seçilen deprem kayıtları, MCE için oluşturulan hedef tasarım spektrumuna göre ölçeklendirilebilir. Ölçeklendirme için iki yöntem kullanılabilir, direkt ölçeklendirme ve spektral ölçeklendirme.

Direkt ölçeklendirme yönteminde prosedür, ivme zaman kaydının genliğini belli bir ölçeklendirme sabiti belirleyerek azaltmak ve arttırmaktır.

Spektral ölçeklendirme yönteminde, ivme zaman kaydının frekans bileşenlerini istenen hedef spektrum'da belirlenen periyod aralığında hedef spektruma uygun hale gelene getirene kadar değiştirir. Bu uygulama için EZ-FRISK (Risk Engineering, 2001-2009) yazılımı kullanılabilir.

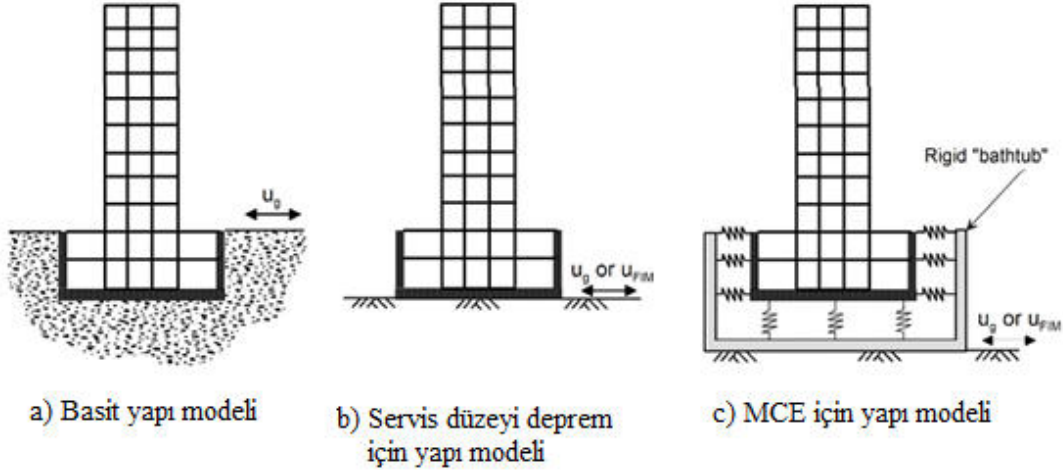
### 3.5 Zemin Yapı Etkileşimi

GPBSDTB'de analiz modellerinde zemin yapı etkileşiminin de göz önünde bulundurulması tavsiye ediliyor (PEER Report 2010/05, 2010, Bölüm 5.3). Bu modellerin deprem düzeylerine göre nasıl olacağı aşağıdaki şekilde görülmektedir.

Şekilde;

$u_g$  : Serbest yüzdeki deprem hareketi

$u_{FIM}$  : Yapı temeline gelen deprem hareketi



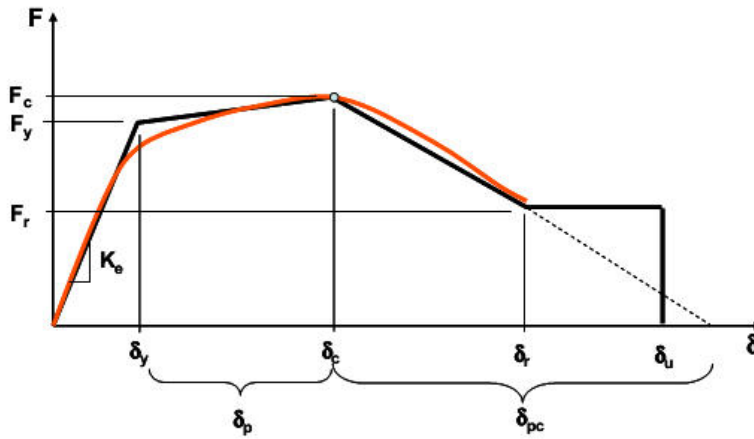
Şekil 3.2 : Zemin yapı etkileşimi modelleri (PEER, 2010).

### 3.6 Doğrusal Olmayan Analiz için Yapılan Kabuller

#### 3.6.1 Davranış eğrisi

Davranış eğrisi, kuvvet deformasyon ilişkisine referans olan, çevrimsel davranışın tanımlandığı sınırları gösteren eğridir.

GPBSDTB, davranış eğrisi için ATC72 yönetmeliğindeki davranış eğrisini önermektedir. Bu davranış eğrisi aşağıdaki gibidir.



Şekil 3.3 : Davranış eğrisi (ATC72, 2010, s. 2-18).

Şekilde;

$F_c$  : Pekleşme kuvvet değeri

$F_y$  : Efektif akma kuvveti

$F_r$  : Artık kuvvet

$K_e$  : Efektif elastik rijitlik

$\delta_p$  : Plastik deformasyon

$\delta_{pc}$  : Pekleşme sonrası deformasyon

$\delta_c$  : Pekleşme deformasyon değeri

$\delta_r$  : Artık kuvvet için deformasyon değeri

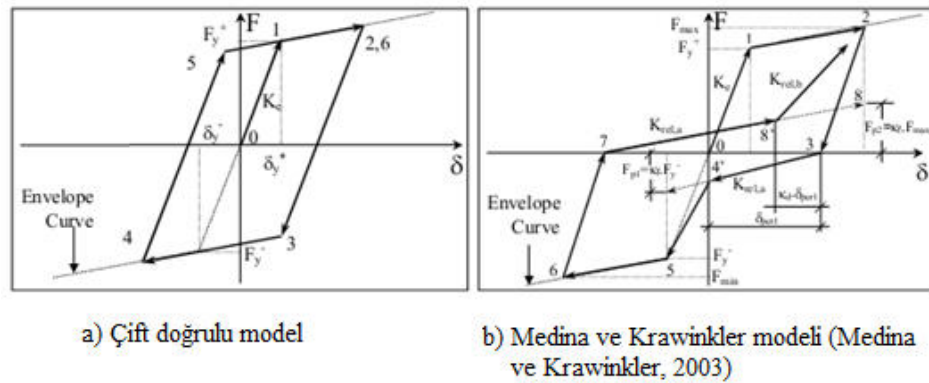
$\delta_u$  : Maksimum deformasyon değeri

Bu şekildeki değerler, eğilme etkisindeki bir plastif mafsals için  $F=M$  (moment),  $\delta=\theta$  (dönme)'dir.

Davranış eğrisindeki değerler, pozitif ve negatif değerler için farklı olabilir. Bunun sebebi yapı elemanı kesitinin simetrik olmaması, döşemenin tabla etkisi ya da basınç ve çekme donatı miktarının farklı olmasından olabilir.

### 3.6.2 Çevrimsel modeller

Çevrim modelleri için bir çok akademik araştırmacının teorik veya deneysel modelleri mevcuttur. En sık kullanılan modellerden biri çift doğrulu (bilinear) modeldir. Bu modellerin kuvvet-yerdeğiştirme değişimleri (iskelet eğrileri) şekil 3.4 de gösterilmiştir.



Şekil 3.4 : Çevrim modelleri.

Çoğu sismik dizayn çalışmasında histeretik model kullanılır. Bu modellerin çoğunda kural olarak ya pekleşme sonrası rijitlik azalması ihmal edilir (çift doğrulu çevrim

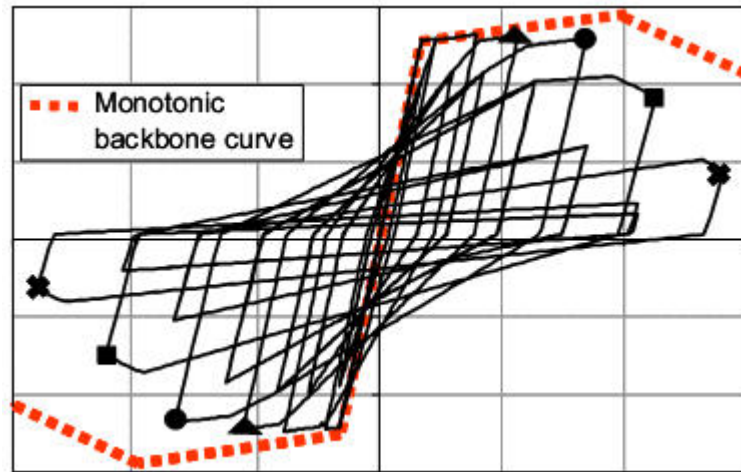
modeli) ya da pekleşme sonrası rijitlik değişikliğini göz önüne alarak yük boşaltımında değişiklik yaparlar.

1970 yılında Takeda üç doğrultulu davranış eğrisine sahip bir model geliştirdi (Takeda ve diğ., 1970). Bu modelde kesitteki çatlama da dikkate alınmıştı. Takeda modeli özellikle betonarme yapı elemanları için geliştirildi ve hala yaygın olarak kullanılmaktadır.

### 3.6.3 Analitik model seçenekleri

Yapı elemanlarda doğrusal olmayan analizde kullanılacak çevrimsel davranışın ifadesi için GPBSDTB ve ATC72 dört analitik model tavsiye etmektedir (PEER Report 2010/05, 2010, Bölüm 8.5.3).

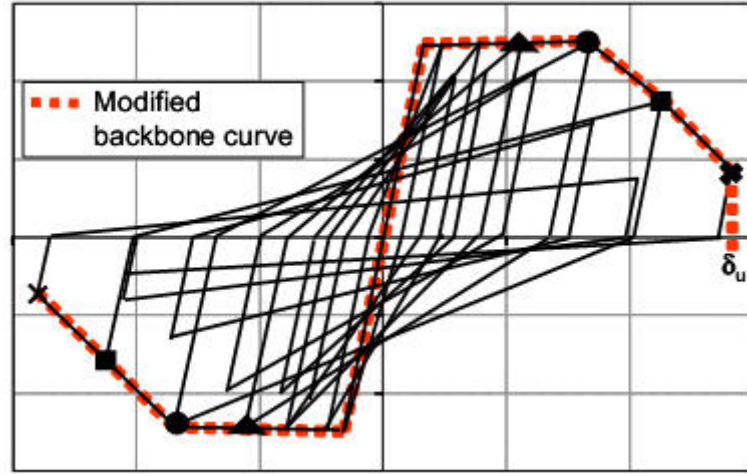
Birinci modelde, davranış eğrisi referans alınarak, rijitlikteki azalma çevrimsel modelde dikkate alınmıştır. Çevrimler, davranış eğrisinden rijitlikteki azalma ile birlikte orijine doğru kaymaktadır.



Şekil 3.5 : Analitik model 1 (ATC72, 2010, s. 2-27).

İkinci modelde, eğer iskelet eğrisi biliniyorsa (genel kabul edilebilir çevrimsel yükleme sonrası), bu eğriyi düzeltilmiş davranış eğrisi olarak kullanmak kabul edilebilir ve çevrimsel rijitlik azalması göz ardı edilebilir.

Analizde iskelet eğrisinin dışına çıkılmamalıdır (maksimum deformasyon  $\delta_u$ , çevrimsel test sonuçlarından elde edilecektir).



**Şekil 3.6 :** Analitik model 2 (ATC72, 2010, s. 2-27).

Üçüncü modelde, eğer sadece monotonik davranış eğrisi biliniyorsa ve çevrimsel rijitlik azalması dikkate alınmıyorsa, davranış eğrisi yaklaşık olarak çevrimsel yüklemeye rijitlik azalmasını sağlayacak şekilde bazı katsayılarla düzeltilmelidir. Bu katsayılar malzeme ve yapısal elemanın özelliğine göre değişebilir.

Daha yaklaşık değerler bulunana kadar aşağıdaki katsayılar ATC72 tarafından tavsiye edilmektedir (ATC72, 2010, Bölüm 2.2.5).

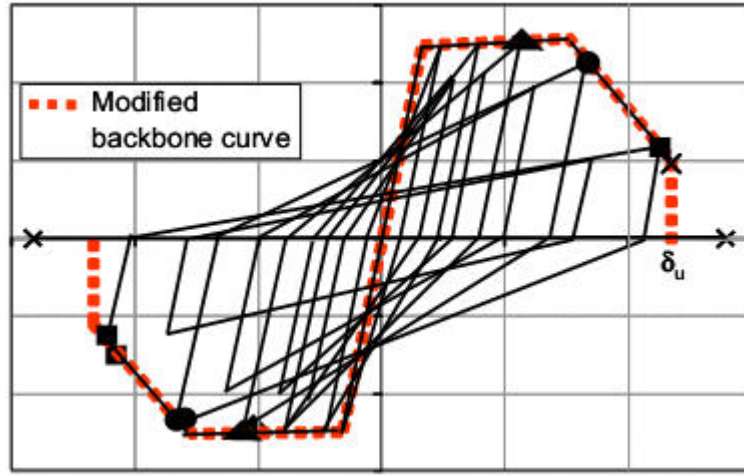
$F_c'$  : Pekleşme kuvveti, ilk davranış eğrisindeki  $F_c$  değerinin 0.9 katı alınabilir, ama  $F_y$  değerinden az alınamaz.

$\delta_p'$  : Pekleşme öncesi plastik deformasyon, ilk davranış eğrisindeki  $\delta_p$  değerinin 0.7 katı olarak alınabilir.

$\delta_{pc}'$  : Pekleşme sonrası plastik deformasyon, ilk davranış eğrisindeki  $\delta_{pc}$  değerinin 0.5 katı olarak alınabilir.

$\delta_u'$  : Maksimum deformasyon, ilk davranış eğrisindeki  $\delta_c$  değerinin 1.5 katı olarak alınabilir.

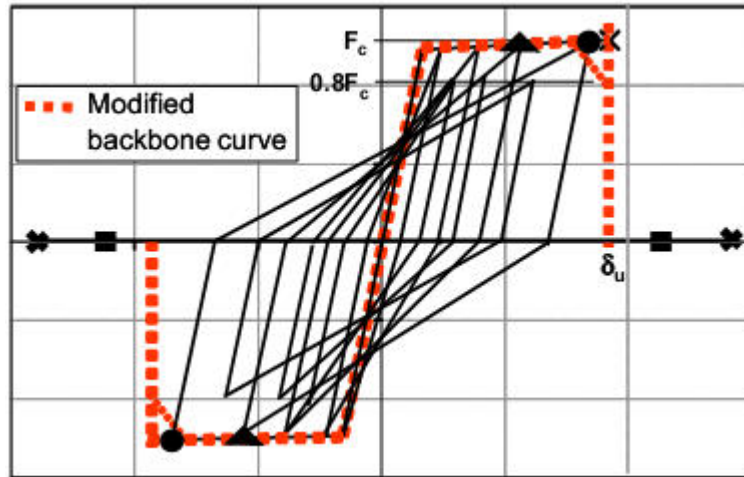
$F_r$  : Artık kuvvet, ilk davranış eğrisindeki  $F_r$  değerinin 0.7 katı alınabilir.



**Şekil 3.7 :** Analitik model 3 (ATC72, 2010, s. 2-27).

İkinci ve üçüncü analitik model seçenekleri aynı gibi gözükse de, ikinci model de iskelet eğrisi test sonuçlarına, üçüncü model de ise ilk davranış eğrisindeki değerlerin belli katsayılarla çarpılmasına dayanmaktadır.

Dördüncü model de, pekleşme sonrası rijitlik azalması, düzeltilmiş davranış eğrisinde göz ardı edilir. Maksimum deformasyon, pekleşme kuvvetinin 0.8 katına denk gelen azalan çevrimsel hareketteki deformasyona göre sınırlandırılmıştır.



**Şekil 3.8 :** Analitik model 4 (ATC72, 2010, s. 2-27).

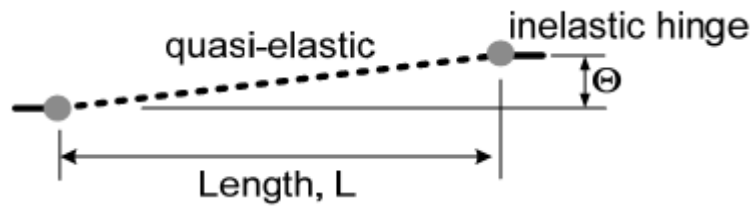
Sunulan seçeneklerden birincisi gerçeğe en yakın olan davranışı ifade etmektedir. İkinci ve üçüncü seçenekte ilk davranış eğrisi, çevrimsel rijitlik azalışını temsil edecek şekilde düzeltilmektedir. Dördüncü seçenekte ise çevrimsel davranıştaki rijitlik azalışı dikkate alınmamıştır. Bunlardan hangisinin seçileceği mühendislik kararına kalmıştır.

### 3.6.4 Eğilme etkisindeki betonarme elemanların modellenmesi

Sismik yük etkisindeki betonarme elemanlar, kiriş, kolon ve kiriş-kolon birleşimlerinin doğrusal olmayan davranışları göz önüne alınarak modellenmelidir.

#### 3.6.4.1 Betonarme elemanlarda plastik mafsalsal

Şekil 3.9’da, eğilme etkisindeki betonarme elemanlar, uç noktalarındaki plastik mafsalsal ile gösterilmiştir. Bu eleman kolon veya kiriş olabilir. Şekildeki modelde doğrusal olmayan davranış eleman uç noktalarındaki plastik mafsallarda tanımlanmıştır. Plastik mafsallarda kesitin davranış eğrisi göz önüne alınmalıdır.



Şekil 3.9 : Plastik mafsalsal modeli.

#### 3.6.4.2 Betonarme elemanlarda çatlamış kesit rijitliği

Betonarme elemanların eğilme etkisinde, doğrusal olmayan davranış gösterirken çatladıkları düşünülür. Bu çatlaklar elemanın rijitliğini azaltmaktadır. GPBSDTB, eğilme etkisindeki betonarme elemanların MCE etkisi altında çatlamış kesit rijitlik değerleri için ASCE 41-06 Ek 1’deki değerleri veya ATC 72 (2010) tarafından ön görülen rijitlik değerlerinin kullanılmasını tavsiye ediyor.

Çizelge 3.3’de Eğilme etkisinde betonarme elemanlar için çatlamış kesit rijitlikleri verilmiştir (ASCE 41-06 Supplement No. 1, 2007b, s. 16-6).

Çizelgedeki kolon eksenel kuvvetlerinin ara değeri için rijitlik değerlerinde enterpolasyon yapılabilir.

ATC 72 (2010) çatlamış kesit rijitlikleri için Haselton ve diğ. (2008) tarafından sunulan denklemi vermektedir.

$$K_y: \frac{EI_y}{EI_g} = -0.07 + 0.59 \left[ \frac{P}{A_g f'_c} \right] + 0.07 \left[ \frac{L_s}{H} \right] \text{ ve } 0.2 \leq \frac{EI_y}{EI_g} \leq 0.6 \quad (3.1)$$

Denklemde;

$EI_g$  : Eğilme rijitliği

$P$  : Eksenel kuvvet (basınç)

$A_g$  : Kesit alanı

$A_g$  : Kesit alanı

$f'_c$  : Beton karakteristik basınç dayanımı

$L_s$  : Maksimum moment noktasından, eleman ucuna olana mesafe (Genellikle eleman boyunun yarısı)

$H$  : Kesit yüksekliğidir.

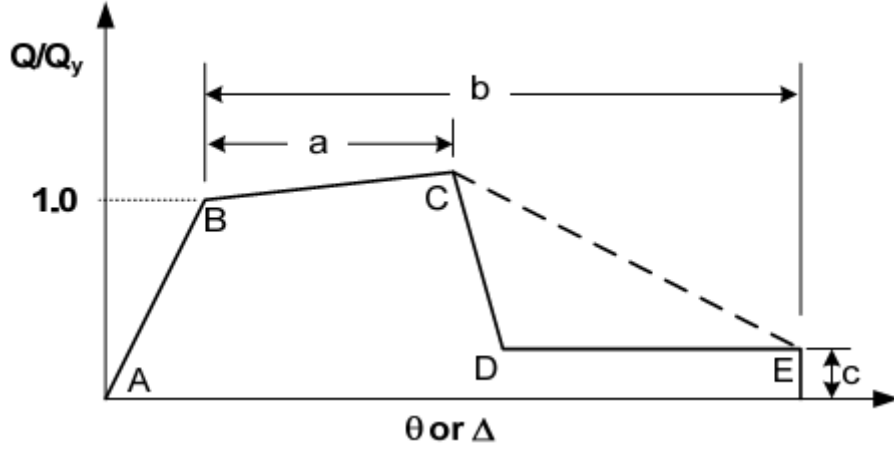
**Çizelge 3.3 :** Eğilme etkisindeki elemanlar için çatlamış kesit rijitlikleri.

| Component                                                               | Flexural Rigidity | Shear Rigidity | Axial Rigidity |
|-------------------------------------------------------------------------|-------------------|----------------|----------------|
| Beams-nonprestressed                                                    | $0.3E_cI_g$       | $0.4E_cA_w$    | -              |
| Beams-prestressed                                                       | $E_cI_g$          | $0.4E_cA_w$    | -              |
| Columns wih compression due to design gravity loads $\geq 0.5 A_g f'_c$ | $0.7E_cI_g$       | $0.4E_cA_w$    | $E_cA_g$       |
| Columns wih compression due to design gravity loads $\leq 0.1 A_g f'_c$ | $0.3E_cI_g$       | $0.4E_cA_w$    | $E_cA_g$       |
| Beam column joints                                                      |                   |                | $E_cA_g$       |
| Walls-cracked                                                           | $0.5E_cI_g$       | $0.4E_cA_w$    | $E_cA_g$       |
| Flat Slabs-nonprestressed                                               |                   | $0.4E_cA_g$    | -              |
| Flat Slabs-prestressed                                                  |                   | $0.4E_cA_g$    | -              |

#### 3.6.4.3 Betonarme elemanlarda davranış eğrisi ve moment değerleri

Eleman uçlarında oluşacak plastik mafsalların modellenmesine kullanılacak davranış eğrisi için ASCE 41-06 veya ATC 72'den faydalanılabilir. Fakat bu iki yönetmeliğin önerdiği davranış eğrileri arasında farklar vardır.

ATC 72, deneysel verilerin ASCE 41-06'nın davranış eğrisinde C noktasından D noktasına ani düşüşün gerçekçi olmadığını belirtmektedir (ATC72, 2010, Bölüm 3.4.2.7). Ayrıca bu ani düşüş doğrusal olmayan analizlerde çözüm için sorun yaratmaktadır. Bu sebeple Şekil 3.10'da kesik çizgili ile gösterilen eğri yüksek yapılar için daha uygundur.



Şekil 3.10 : Davranış eğrisi.

Şekilde;

$Q$  : Kesitte oluşan kuvvet

$Q_y$  : Akma kuvveti

$\theta$  : Kesitte oluşan dönme

Plastik mafsalların modelleri için gerekli olan efektif akma momenti  $M_y$ , pekleşme momenti  $M_c$ , artık moment  $M_r$ 'nin hesaplanması ATC 72'de kısaca özetlenmiştir. Efektif akma momenti  $M_y$ , betonarme elemanların klasik eğilme hesabı ile hesaplanmalıdır. Hesaplar beklenen malzeme dayanımlarına göre yapılmalıdır (ATC72, 2010, Bölüm 3.4.2.6).

Efektif akma momenti  $M_c$  kesit analizi ile bulunabiliyor olsa da çeliği akması ve beton uzama gerilme değişimi göz önüne alındığında oldukça karmaşık bir hıabı vardır. Davranış eğrisi için  $M_c$  hesaplanırken çeliğin akması mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır. Haselton ve diğ. (2008),  $M_c$  için  $M_y$  değerine bağlı olarak bir bağıntı önermişlerdir. Denklem 3.2'de olan bu bağıntı  $M_y$ 'nin hesaplanmasında kullanılabilir.

$$M_c = 1.13 M_y \quad (3.2)$$

Efektif akma momenti  $M_r$ , kesitteki pekleşme sonrası plastik dönmeler büyük olduğu için ve büyük dönmeler altındaki kuvvet değerleri hakkında fazla bilgi olmadığı için  $M_r$  ihmal edilerek sıfır veya sıfıra yakın bir değer alınabilir.

#### 3.6.4.4 Pekleşme sonrası dönme

Pekleşme sonrası dönme miktarı, betonarme elemanların göçme davranışı incelemek konusunda önemli olsa da bu konu hakkında yeterli araştırma yoktur. Pekleşme sonrası dönmeyi  $\theta_{pc}$  etkileyen faktörler, eksenel yük oranı ve enine donatı oranı  $\rho_{sh}$  'dır.

Haselton ve diğ. (2008),  $\theta_{pc}$  değeri için aşağıdaki denklemi önermişlerdir.

$$\theta_{pc} = (0.76)(0.031)^v(0.02 + 40\rho_{sh})^{1.02} \leq 0.1 \quad (3.3)$$

Denklemde;

$v$  : Eksenel kuvvet oranı ( $P/A_g f'_c$ )

Denklem 3.3, simetrik donatıya sahip kare ve dikdörtgen kolonlar üzerinde yapılan deneylere dayanmaktadır. Simetrik olmayan donatıya sahip kesitler için aşağıdaki denkleme göre hesap yapılabilir.

$$\theta_{pc} = \left( \frac{\max\left(0.01, \frac{\rho' f_y}{f'_c}\right)}{\max\left(0.01, \frac{\rho f_y}{f'_c}\right)} \right) \theta_{pc} \quad (3.4)$$

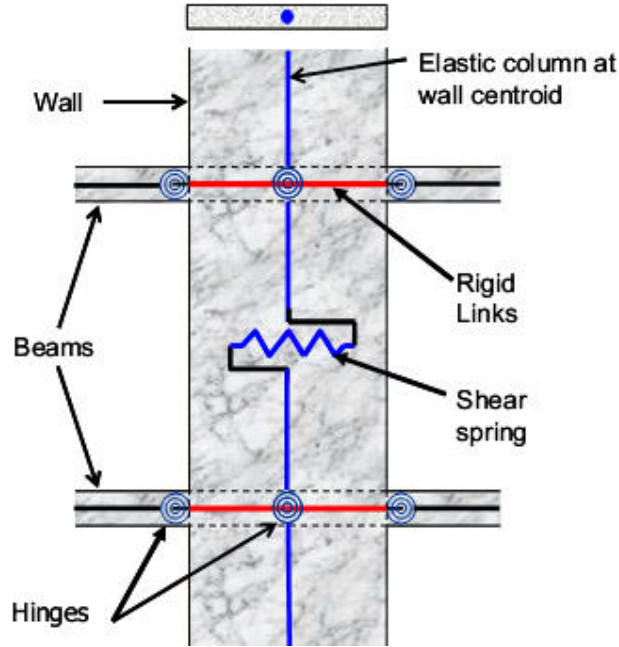
#### 3.6.5 Perdelerin modellenmesi

Yaplardaki perdelerin modellenmesinde klasik yöntem sonlu elemanlar kabuk yöntemidir. Fakat yüksek yapılarda bu yöntem doğrusal olmayan analiz süresini çok uzattığı için pratikliğini kaybetmektedir. Bunun için literatürde perdelerin doğrusal olmayan analizi için farklı modeller tanımlanmıştır. Bu bölümde doğrusal olmayan analiz için kullanılan perde modellerinden ikisi anlatılacaktır.

##### 3.6.5.1 Eşdeğer kolon-kiriş modeli

Doğrusal olmayan analiz için perdeleri Şekil 3.11'deki gibi eşdeğer kolon-kiriş şeklinde modellemek mümkündür. Perde kesitinde bir kolon tanımlanır ve katlarda perde genişliğinde rijit kirişler tanımlanarak eşdeğer bir model oluşturulur. Bu modelin eksik yönleri PEER/ATC 72-1'de (2010) şöyle anlatılmıştır; perde tarafsız eksenindeki değişimin yükleme durumlarında gözlenenemesi, eksenel yükteki değişikliğin perde rijitliğini ve gücünü etkilemesi. Ayrıca düzlemsel olmayan

perdelerin, T ve L şeklindeki perdelerin de eşdeğer kolon-kiriş modeli ile modellenmesi zordur. Öte yandan kolon ve kiriş uçlarında oluşturulan plastik mafsalların kullanım kolaylığı yaratır ve doğrusal olmayan analizi kolaylaştırır. Efektif rijitlikler ve plastik mafsallardaki dönme kapasiteleri kolayca modellenebilir.



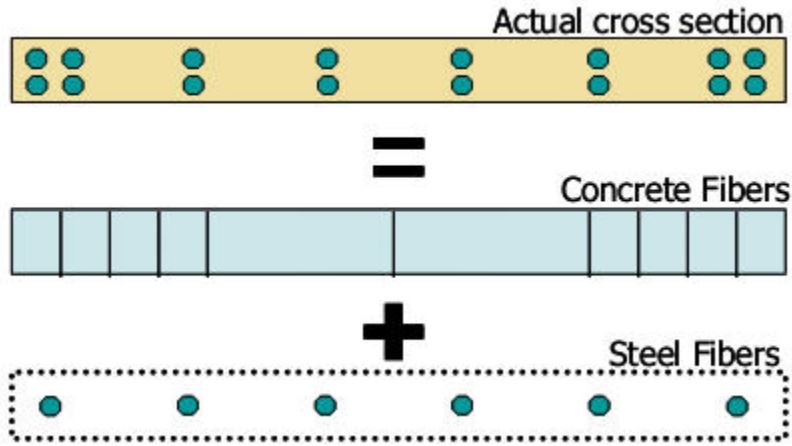
**Şekil 3.11** : Perdeler için eşdeğer çubuk eleman (ATC72, 2010, s. 4-2).

Fahjan ve diğ. (2011) , eşdeğer kolon-kiriş modelinde kiriş rijitliği ile ilgili “Rijit kirişlere çok büyük rijitlik değerleri (sonsuz rijit kabulü) atanması durumunda özellikle perdeye bağlanan diğer yapısal elemanlarda gerçekçi olmayan kesit etkilerinin oluşmasına neden olur” demişlerdir.

### 3.6.5.2 Fiber model

Fiber model, Şekil 3.12’de gözüktüğü gibi perdeyi beton ve çelik fiberlere ayırarak elde edilir.

Fiber model kullanımı, analiz yazılımlarının gelişmesi ile pratik uygulamada yaygınlaşmaya başlamıştır. Eşdeğer kolon-kiriş yöntemindeki eksiklikler fiber modelde yoktur. Eşdeğer kolon-kiriş modelinde çatlamış kesit için rijitliğin değiştirilmesi gerekirken, fiber modelde eğilme rijitliği malzeme ilişkilerine göre ve eksenel yüke göre değişir.



**Şekil 3.12 :** Perde fiber modeli (ATC72, 2010, s. 4-2).

### 3.7 Eleman Bazında Kabul Kriterleri

Doğrusal (mod birleştirme yöntemi) veya doğrusal olmayan analiz (zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz) sonrasında, analiz verilerinin (kesit etkilerinin) kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu kontroller kuvvet esaslı ve deformasyon esaslı kontroller olarak ikiye ayrılabilir.

#### 3.7.1 Servis deprem düzeyi için kabul kriterleri

GPBSDTB’de servis deprem düzeyinde mod birleştirme yöntemine göre analiz yapıldığında oluşacak kesit tesirlerinin, kesit kapasitesine oranı 1.5’u geçmemesi gerektiği belirtilmiştir (PEER Report 2010/05, 2010, Bölüm 7.7.1). Kesit kapasiteleri ACI 318’e göre hesaplanacaktır ve hesaplarda dayanım azaltma katsayısı  $\phi$ , göz önünde bulundurulacaktır (PEER Report 2010/05, 2010, Bölüm 7.7.1).

Doğrusal olmayan analizde kesit tesirleri, kesit kapasitesini aşmayacaktır. Kesit tesirleri ACI 318, AISC 341 veya AISC 360’a göre hesaplanacak ve dayanım azaltma katsayısı  $\phi$ , bir alınacaktır (PEER Report 2010/05, 2010, Bölüm 7.7.2).

Plastik mafsallardaki deformasyonlar için ASCE 41’de tanımlanan hemen kullanım performans düzeyi kabul kriterleri kullanılabilir (PEER Report 2010/05, 2010, Bölüm 7.7.2).

Görelî kat ötelenmeleri her kat için kat yüksekliğinin %0.5’ini geçmeyecektir (PEER Report 2010/05, 2010, Bölüm 7.7.3).

### 3.7.2 MCE için kuvvet esash kabul kriterleri

#### 3.7.2.1 Kritik kesitler

Kritik kesitler, yer çekimi etkisinde veya yatay kuvvetler etkisi altında kesitteki güç tükenmesinin yapı stabilitesinde ağır hasara yol açan kesitlerdir.

PEER/ATC 72-1’de kritik kesitlerin kabul kriteri için aşağıdaki koşul sağlanmalıdır (PEER Report 2010/05, 2010, Bölüm 8.6.1).

$$F_u \leq \phi F_{n,e} \quad (3.5)$$

Denklemden;

$F_u$  : Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonuçlarının istatistiksel olarak değerlendirilmesi sonucunda elde edilen kuvvet

$F_{n,e}$ : Malzeme özelliklerine göre, tasarım yönetmeliği kullanılarak hesaplanan kuvvet

$\phi$  : Dayanım azaltma katsayısıdır.

#### 3.7.2.2 Kritik olmayan kesitler

Kritik olmayan kesitler, yer çekimi etkisinde veya yatay kuvvetler etkisi altında kesitteki güç tükenmesinin yapı stabilitesinde ağır hasara veya can güvenliği tehlikesi yaratmayacağı kesitlerdir.

PEER/ATC 72-1’de kritik kesitlerin kabul kriteri için aşağıdaki koşul sağlanmalıdır (PEER Report 2010/05, 2010, Bölüm 8.6.1).

$$F_u \leq F_{n,e} \quad (3.5)$$

Denklemden;

$F_u$  : Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonuçlarının istatistiksel olarak değerlendirilmesi sonucunda elde edilen kuvvet

$F_{n,e}$ : Malzeme özelliklerine göre, tasarım yönetmeliği kullanılarak hesaplanan kuvvettir.

#### 3.7.2.3 Kat ötelemeleri

GPBSDTB tarafından kat ötelemeleri ile ilgili sınırlar şöyledir;

- 1) Her kattaki peak transient drift ratio mutlak değerlerinin ortalaması 0.03'ü geçmemelidir. Her katta, maksimum kat ötelenmesi değerlerinin mutlak değeri 0.045'i geçmemelidir (PEER Report 2010/05, 2010, Bölüm 8.7.1).
- 2) Her kattaki, görelî kat öteleme değeri ortalaması 0.01'i geçmemelidir. Her katta maksimum görelî kat öteleme değeri 0.015'i geçmemelidir (PEER Report 2010/05, 2010, Bölüm 8.7.1).

### 3.7.3 MCE için şekil değıştirme esaslı kabul kriterleri

MCE deprem düzeyi için GPBSTD B'de şekil değıştirme esaslı kabul kriteri olarak elemanın yapabileceğı maksimum deformasyonu geçmemesi şartı koyulmuştur (PEER Report 2010/05, 2010, Bölüm 8.6.2). Bu kriteri uygulayabilmek için yapı elemanlarının deformasyon kapasiteleri belirlenmelidir. Bölüm 3.6.3'de anlatılan modellerle yapılabileceğı gibi malzeme şekil değıştirmelerine sınır getirilerek de yapılabilir. Bu çalışmada eleman hasar durumları için ASCE41'de (2006) bulunan yapı elemanları için dönme değeri kullanılacaktır. Çizelge 3.4'de nonlinear analiz için kabul kriterleri yer almaktadır.

**Çizelge 3.4 :** Kiriş hasar durumu için deformasyon değeri (ASCE41-06 Supp. No.1, 2006, s. 6-33).

| Conditions                                                                              |                            |                                | Modeling Parameters <sup>3</sup> |       |                         | Acceptance Criteria <sup>3,4</sup> |                |        |           |       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|--------------------------------|----------------------------------|-------|-------------------------|------------------------------------|----------------|--------|-----------|-------|
|                                                                                         |                            |                                | Plastic Rotations Angle, radians |       | Residual Strength Ratio | Plastic Rotations Angle, radians   |                |        |           |       |
|                                                                                         |                            |                                |                                  |       |                         | Performance Level                  |                |        |           |       |
|                                                                                         |                            |                                |                                  |       |                         | IO                                 | Component Type |        |           |       |
|                                                                                         |                            |                                |                                  |       |                         |                                    | Primary        |        | Secondary |       |
|                                                                                         |                            |                                | a                                | b     | c                       | IO                                 | LS             | CP     | LS        | CP    |
| i. Beams controlled by flexure <sup>1</sup>                                             |                            |                                |                                  |       |                         |                                    |                |        |           |       |
| $\frac{\rho - \rho'}{\rho_{bal}}$                                                       | Trans. Reinf. <sup>2</sup> | $\frac{I'}{b_e d \sqrt{f'_c}}$ |                                  |       |                         |                                    |                |        |           |       |
| ≤ 0.0                                                                                   | C                          | ≤ 3                            | 0.025                            | 0.05  | 0.2                     | 0.010                              | 0.02           | 0.025  | 0.02      | 0.05  |
| ≤ 0.0                                                                                   | C                          | ≥ 6                            | 0.02                             | 0.04  | 0.2                     | 0.005                              | 0.01           | 0.02   | 0.02      | 0.04  |
| ≥ 0.5                                                                                   | C                          | ≤ 3                            | 0.02                             | 0.03  | 0.2                     | 0.005                              | 0.01           | 0.02   | 0.02      | 0.03  |
| ≥ 0.5                                                                                   | C                          | ≥ 6                            | 0.015                            | 0.02  | 0.2                     | 0.005                              | 0.005          | 0.015  | 0.015     | 0.02  |
| ≤ 0.0                                                                                   | NC                         | ≤ 3                            | 0.02                             | 0.03  | 0.2                     | 0.005                              | 0.01           | 0.02   | 0.02      | 0.03  |
| ≤ 0.0                                                                                   | NC                         | ≥ 6                            | 0.01                             | 0.015 | 0.2                     | 0.0015                             | 0.005          | 0.01   | 0.01      | 0.015 |
| ≥ 0.5                                                                                   | NC                         | ≤ 3                            | 0.01                             | 0.015 | 0.2                     | 0.005                              | 0.01           | 0.01   | 0.01      | 0.015 |
| ≥ 0.5                                                                                   | NC                         | ≥ 6                            | 0.005                            | 0.01  | 0.2                     | 0.0015                             | 0.005          | 0.005  | 0.005     | 0.01  |
| ii. Beams controlled by shear <sup>1</sup>                                              |                            |                                |                                  |       |                         |                                    |                |        |           |       |
| Stirrup spacing ≤ d / 2                                                                 |                            |                                | 0.0030                           | 0.02  | 0.2                     | 0.0015                             | 0.0020         | 0.0030 | 0.01      | 0.02  |
| Stirrup spacing > d / 2                                                                 |                            |                                | 0.0030                           | 0.01  | 0.2                     | 0.0015                             | 0.0020         | 0.0030 | 0.005     | 0.01  |
| iii. Beams controlled by inadequate development or splicing along the span <sup>1</sup> |                            |                                |                                  |       |                         |                                    |                |        |           |       |
| Stirrup spacing ≤ d / 2                                                                 |                            |                                | 0.0030                           | 0.02  | 0.0                     | 0.0015                             | 0.0020         | 0.0030 | 0.01      | 0.02  |
| Stirrup spacing > d / 2                                                                 |                            |                                | 0.0030                           | 0.01  | 0.0                     | 0.0015                             | 0.0020         | 0.0030 | 0.005     | 0.01  |
| iv. Beams controlled by inadequate embedment into beam-column joint <sup>1</sup>        |                            |                                |                                  |       |                         |                                    |                |        |           |       |
|                                                                                         |                            |                                | 0.015                            | 0.03  | 0.2                     | 0.01                               | 0.01           | 0.015  | 0.02      | 0.03  |

#### 4. ÖRNEK BETONARME BİR YAPININ İNCELENMESİ

Bu çalışmanın amacı GPBSDTB'nin esaslarını değerlendirmek ve mevcut bir yapı üzerinde değerlendirmektir. Bunun için İstanbul, Levent bölgesinde bulunan ve yapımı 2009 yılında tamamlanan bir yapı seçilmiştir. Sonlu elemanlar analizi için SAP2000 programı V.15.0.0 (2011) ile yapılmıştır. İncelenen yapının GPBSDTB'e göre performansı değerlendirilmiştir. Sonuçlar aşağıdaki bölümde verilmiştir.

##### 4.1 Bina Genel Bilgileri

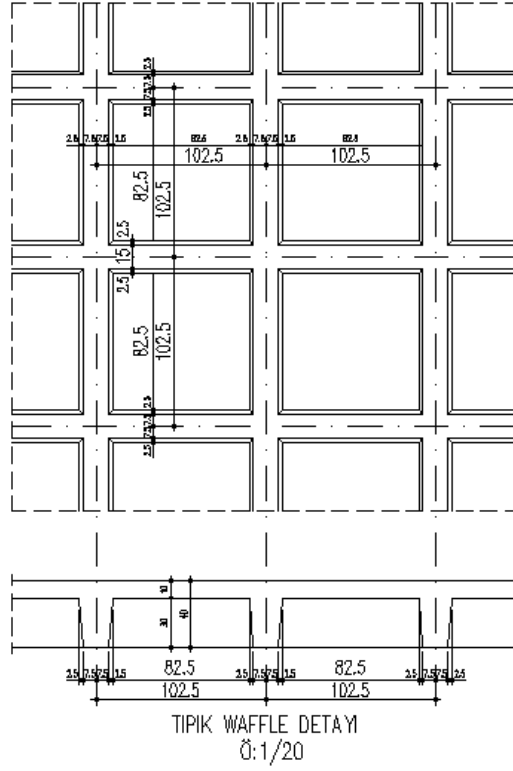
Mevcut yapı planda 20x40m boyutlu olarak Levent bölgesinde yer almaktadır. Bina zemin üstünde 25 katlı olup, yüksekliği 90.8m'dir. Kat yükseklikleri, otopark 1, 2, 3, 4. katlarda 2.7, alt çarşı 1. ve 2. katlarda 3.7, zemin katta 6.8, diğer katlarda ise 3.4m'dir.

Bina bodrum katları kalınlığı 40cm olan perde ile çevrilidir. Arka cephesinde ofisler devam ettiği için bu cephede perde yoktur. Ön cephede ise alt çarşı ofis katlarına giriş olduğu için bu iki katta bodrum perdesi yoktur. Zemin kotunun altında kalan otopark ve alt çarşı ofis katları rijit bodrum kat olarak kabul edilmiştir.

Bina taşıyıcı sistemi düşey doğrultuda düzenlidir. Taşıyıcı sistem perde ve çerçeveden oluşmaktadır. 1. kattan itibaren cephe kaplama için konsol kirişler teşkil edilmiştir. Döşeme sistemi için tüm katlarda kaset döşeme sistemi uygulanmıştır. Kaset döşeme sistemi çift doğrultuda uygulanmıştır. Döşeme detayları Şekil 4.1'de verilmiştir.

Bina taşıyıcı sisteminde bazı kusurlar vardır. Şekil 4.2'de verilen kat planından gözükebileceği gibi 'G' aksında çerçeve sistem oluşturulmamıştır. Perdeler alışılmış çekirdek perde sistemden farklı olarak yapının merkezinde değildir. Perdelerin çerçeve sistem ile bir bağı bulunmamaktadır.

Kaset döşeme uygulamasından dolayı 'G' aksında bulunan kolon-kiriş yaygın olarak yapılan moment aktarmaya elverişli şekilde yapılmamıştır.



**Şekil 4.1 :** Tipik kaset döşeme detayı.

Kaset döşeme sisteminde kirişlerin her iki doğrultuda eksenlerinden uzaklıkları 102.5cm, kaset kirişlerin genişlikleri 15cm yükseklikleri 40cm'dir. Kaset döşemenin kalınlığı 10cm'dir.

Taşıyıcı sistemi oluşturan kolonlar Tip1, Tip2, Tip3, Tip4 ve Tip5 olarak ayrılmıştır. Tip 1, 2, 3 ve 4'e ait kolonlar kare kesitli 60x60cm, 70x70cm, 80x80cm ve 90x90cm'lik kesitlerden oluşmaktadır. Tip5 kolonu ise 110x40cm şeklinde dikdörtgen kesitlidir. Kolon kesitlerinin katlara göre dağılımı Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Yapıda kullanılan tüm donatıların kalitesi S420 çeliği, beton kalitesi ise C35'dir. Kolonlarda kullanılan boyuna donatılar  $\phi 26$ ,  $\phi 22$ ,  $\phi 20$  olarak değişmektedir. Kolonlarda bulunan donatı miktarları Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Binada kullanılan perdeler, merdiven ve asansör boşluklarını içine alacak şekilde teşkil edilmiştir. Perde kalınlıkları 30cm ve 40cm olarak belirlenmiştir. Perde uzunluk ve kalınlıklarına göre perde başlık bölgeleri düzenlenmiştir.

Kiriş donatı planları incelendiğinde, kirişlerde 16-32mm arası donatılar kullanıldığı görülmüştür. Kirişlerde ilk dikkati çeken kaset döşeme uygulaması yüzünden kirişlerin büyük kesitleridir. Kirişlerin donatı listesi Çizelge 4.2'de verilmiştir.

**Çizelge 4.1 : Kolon boyut ve donatı listesi.**

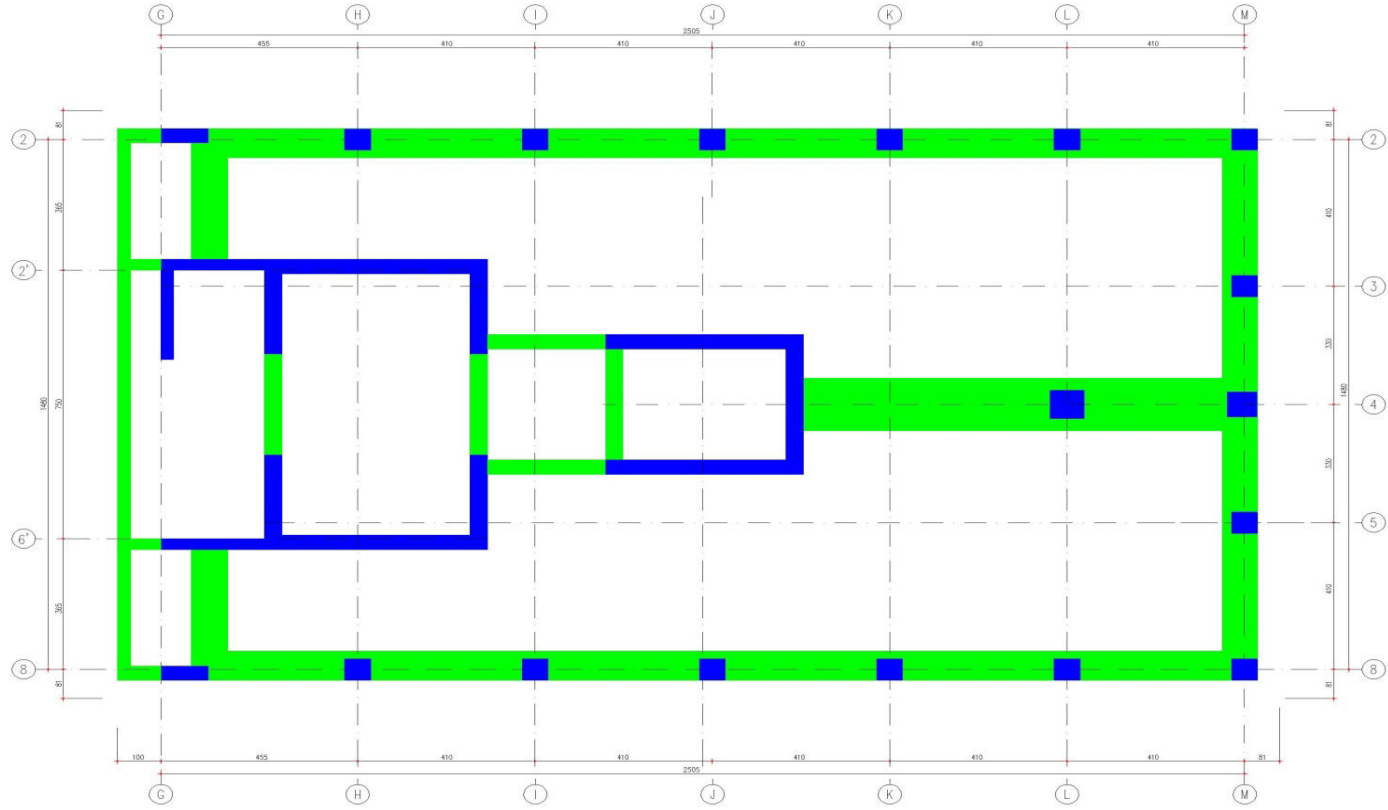
| Tip   | Kat   | Boyut (cm) | Donatı (mm)  |
|-------|-------|------------|--------------|
| Tip1  | 1-5   | 70x70      | 16 $\phi$ 26 |
|       | 6     | 70x70      | 16 $\phi$ 22 |
|       | 7-9   | 60x60      | 16 $\phi$ 22 |
|       | 10-13 | 60x60      | 16 $\phi$ 20 |
|       | 14-25 | 60x60      | 14 $\phi$ 20 |
| Tip 2 | 1     | 70x70      | 24 $\phi$ 26 |
|       | 2-5   | 70x70      | 20 $\phi$ 26 |
|       | 6     | 70x70      | 16 $\phi$ 26 |
|       | 7-9   | 60x60      | 16 $\phi$ 26 |
|       | 10-13 | 60x60      | 16 $\phi$ 22 |
|       | 14-17 | 60x60      | 16 $\phi$ 20 |
|       | 18-25 | 60x60      | 14 $\phi$ 20 |
| Tip 3 | 1     | 80x80      | 28 $\phi$ 26 |
|       | 2-3   | 80x80      | 24 $\phi$ 26 |
|       | 4-5   | 80x80      | 20 $\phi$ 26 |
|       | 6     | 80x80      | 16 $\phi$ 26 |
|       | 7     | 70x70      | 16 $\phi$ 26 |
|       | 8-11  | 70x70      | 16 $\phi$ 22 |
|       | 12    | 70x70      | 16 $\phi$ 20 |
|       | 13-15 | 60x60      | 16 $\phi$ 20 |
|       | 16-25 | 60x60      | 14 $\phi$ 20 |
| Tip 4 | 1     | 90x90      | 32 $\phi$ 26 |
|       | 2-3   | 90x90      | 28 $\phi$ 26 |
|       | 4-5   | 90x90      | 24 $\phi$ 26 |
|       | 6     | 90x90      | 20 $\phi$ 26 |
|       | 7     | 80x80      | 20 $\phi$ 26 |
|       | 8-11  | 80x80      | 16 $\phi$ 26 |
|       | 12    | 80x80      | 16 $\phi$ 22 |
|       | 13-24 | 70x70      | 16 $\phi$ 22 |
|       | 25    | 60x60      | 16 $\phi$ 22 |
| Tip 5 | 1     | 110x40     | 20 $\phi$ 26 |
|       | 2-5   | 110x40     | 16 $\phi$ 26 |
|       | 6-9   | 110x40     | 16 $\phi$ 22 |
|       | 10-25 | 110x40     | 16 $\phi$ 20 |

**Çizelge 4.2 : Kiriş boyut ve donatı listesi.**

| Kiriş              | b (mm) | h (mm) | Çekme Donatısı | Gövde Donatısı | Basınç Donatısı |
|--------------------|--------|--------|----------------|----------------|-----------------|
| AK702              | 812.5  | 400    | 8 $\phi$ 26    |                | 8 $\phi$ 26     |
| AK711              | 1475   | 400    | 6 $\phi$ 22    |                | 10 $\phi$ 32    |
| AK712              | 1475   | 400    | 6 $\phi$ 22    |                | 10 $\phi$ 32    |
| AK725              | 525    | 400    | 8 $\phi$ 26    |                | 8 $\phi$ 26     |
| AK727              | 400    | 700    | 6 $\phi$ 32    |                | 6 $\phi$ 32     |
| AK733              | 400    | 400    | 6 $\phi$ 32    |                | 6 $\phi$ 32     |
| AK925              | 850    | 400    | 8 $\phi$ 26    |                | 8 $\phi$ 26     |
| AK1002             | 812.5  | 400    | 8 $\phi$ 22    |                | 8 $\phi$ 22     |
| AK1102             | 812.5  | 400    | 8 $\phi$ 20    |                | 8 $\phi$ 20     |
| AK1109 (69.5-83.1) | 400    | 700    | 7 $\phi$ 26    | 2 $\phi$ 20    | 7 $\phi$ 26     |
| AK1125             | 400    | 400    | 4 $\phi$ 20    |                | 4 $\phi$ 20     |
| AK1125 (69.5-83.1) | 850    | 400    | 8 $\phi$ 20    |                | 8 $\phi$ 20     |
| AK1125A            | 812.5  | 400    | 8 $\phi$ 22    |                | 8 $\phi$ 22     |
| AK1126             | 850    | 400    | 8 $\phi$ 22    |                | 8 $\phi$ 22     |
| AK1127             | 400    | 700    | 6 $\phi$ 26    |                | 6 $\phi$ 26     |
| AK1127 (55.9-66.1) | 400    | 700    | 5 $\phi$ 26    | 2 $\phi$ 20    | 5 $\phi$ 26     |
| AK1127 (69.5-83.1) | 400    | 700    | 5 $\phi$ 26    | 2 $\phi$ 20    | 5 $\phi$ 26     |
| AK1209             | 400    | 700    | 7 $\phi$ 26    | 2 $\phi$ 20    | 7 $\phi$ 26     |
| AK1211             | 1475   | 400    | 6 $\phi$ 22    |                | 14 $\phi$ 32    |
| AK1227             | 400    | 700    | 5 $\phi$ 26    | 2 $\phi$ 20    | 5 $\phi$ 26     |
| AK1235             | 587.5  | 400    | 5 $\phi$ 16    |                | 6 $\phi$ 26     |
| AK1302             | 812.5  | 400    | 8 $\phi$ 20    |                | 8 $\phi$ 22     |
| AK1304             | 812.5  | 400    | 6 $\phi$ 20    |                | 8 $\phi$ 22     |
| AK1311             | 400    | 700    | 5 $\phi$ 26    | 2 $\phi$ 20    | 5 $\phi$ 26     |
| AK1313             | 600    | 400    | 5 $\phi$ 20    |                | 8 $\phi$ 26     |
| AK1314             | 600    | 400    | 5 $\phi$ 20    |                | 5 $\phi$ 20     |
| AK1336             | 400    | 400    | 4 $\phi$ 26    |                | 4 $\phi$ 26     |

**Çizelge 4.3 : Perde donatı oranları.**

| Kat   | P40x245 | P40x475 | P30x245 | P30x265 | P40x350 | P40x437 |
|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1     | 1.661   | 1.456   | 1.419   | 1.446   | 1.387   | 1.511   |
| 2-5   | 1.551   | 1.350   | 1.273   | 1.311   | 1.267   | 1.409   |
| 6-9   | 1.243   | 1.096   | 1.019   | 1.102   | 1.050   | 1.133   |
| 10-13 | 1.010   | 0.889   | 0.822   | 0.890   | 0.851   | 0.920   |
| 14-17 | 0.802   | 0.704   | 0.647   | 0.700   | 0.670   | 0.730   |
| 18-25 | 0.618   | 0.541   | 0.492   | 0.534   | 0.513   | 0.562   |



Şekil 4.2 : 1. Kat Planı.

## 4.2 SAP2000 Modelinde ve Analizlerde Yapılan Kabuller

Yapının, doğrusal olmayan zaman tanım alanında hesabı için SAP2000 programında modellemesi yapılırken bazı kabuller yapılmıştır. Bu kabuller şunlardır;

- Kaset döşeme kirişlerinin modellenmesi analiz süresini arttıracak için, kaset döşemeye yaklaşık rijitlikte plak döşeme modellenmiştir. Şekil 4.3’de 3.75x3.75m kare olacak şekilde modellenen kaset döşeme ve eşdeğer plak döşemenin karşılaştırılması vardır. Eşdeğer döşemenin kalınlığı 18.4cm olarak seçilmiştir. Şekil 4.3’de SAP2000 programında aynı noktanın eşit yükler altında deplasman ve dönme değerleri verilmiştir. Değerlerin oldukça yakın olduğu görülmektedir. Çizelge 4.4’de karşılıklı aynı noktalardaki dönme ve düşey deplasmanlar karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

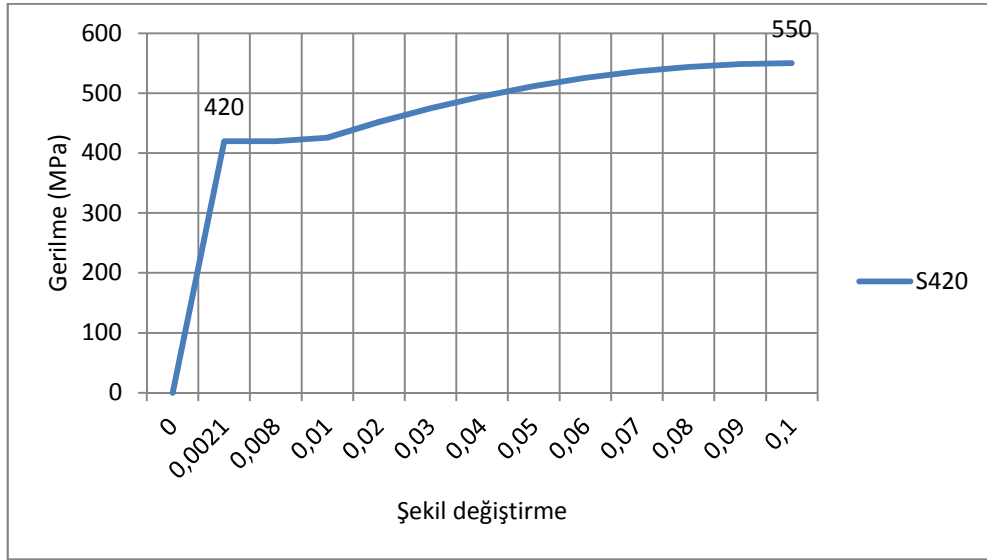


Şekil 4.3 : SAP2000’de kaset döşeme ve eşdeğer döşemenin karşılaştırılması.

- Donatı çeliği gerilme, şekildeğiştirme sınır değerleri DBYBHY Bilgilendirme Eki 7B’den alınmıştır. Sargı etkisi göz önüne alınarak betonarme gerilme, şekildeğiştirme sınır değerleri Mander yöntemine (Mander ve diğ., 1988) göre belirlenmiştir. Kirişlerdeki sargılı kesitlere ait özellikler (akma momenti, eğrilikler, vb.) X-tract (2007) V. 3.0.8 sürümlü bilgisayar yazılımı ile hesaplanarak, SAP2000 programındaki plastik mafsallarda kullanılmıştır. Kolonlarda sargı etkisi SAP2000 içindeki Section Designer ile hesaplanmıştır. Perdelerde sargı etkisi göz önüne alınmamıştır.

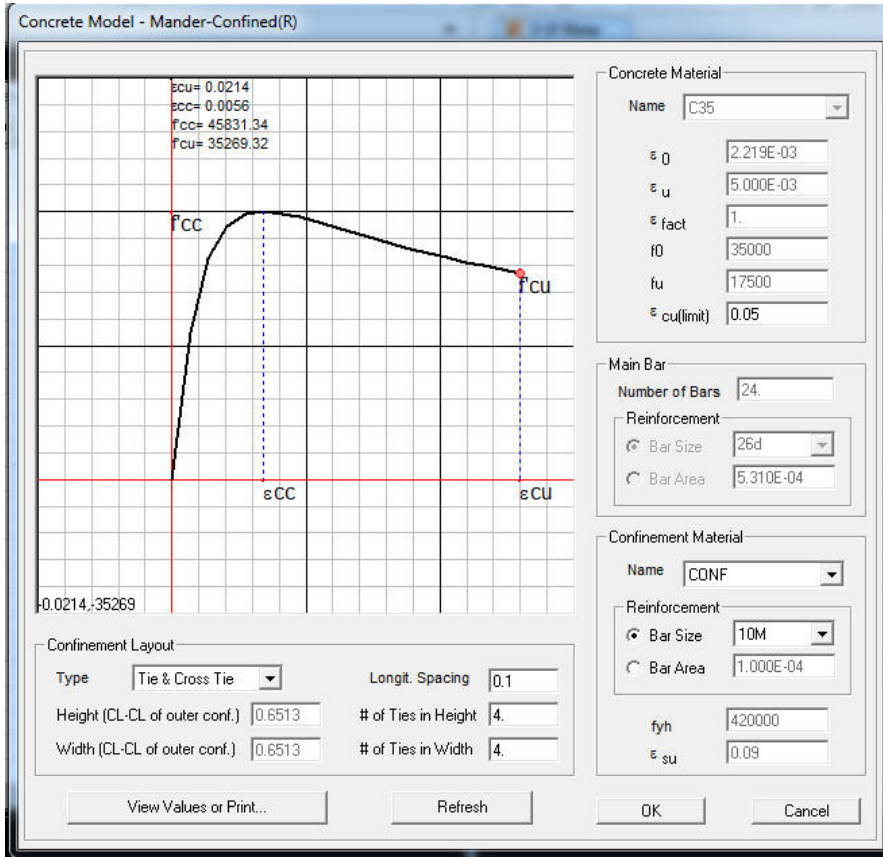
**Çizelge 4.4 : Kaset döşeme ve eşdeğer döşeme deplasman karşılaştırması.**

| Eşdeğer Döşeme |           |            |            | Kaset döşeme |           |            |           |
|----------------|-----------|------------|------------|--------------|-----------|------------|-----------|
| Joint          | U3 (m)    | R1 (Rad)   | R2 (Rad)   | Joint        | U3 (m)    | R1 (Rad)   | R2 (Rad)  |
| 92             | -0.00003  | -0.000052  | -0.000052  | 17           | -0.00003  | -0.000049  | -0.000049 |
| 93             | -0.000058 | 1.852E-20  | -0.0001    | 18           | -0.000058 | -1.796E-20 | -0.000095 |
| 94             | -0.00003  | 0.000052   | -0.000052  | 19           | -0.00003  | 0.000049   | -0.000049 |
| 95             | -0.000058 | -0.0001    | -6.959E-20 | 20           | -0.000058 | -0.000095  | 0         |
| 96             | -0.000113 | -5.194E-20 | -1.624E-19 | 21           | -0.000112 | 3.896E-20  | 2.711E-20 |
| 97             | -0.000058 | 0.0001     | -1.151E-19 | 22           | -0.000058 | 0.000095   | 2.816E-20 |
| 98             | -0.00003  | -0.000052  | 0.000052   | 23           | -0.00003  | -0.000049  | 0.000049  |
| 99             | -0.000058 | -4.358E-20 | 0.0001     | 24           | -0.000058 | 1.525E-20  | 0.000095  |
| 100            | -0.00003  | 0.000052   | 0.000052   | 25           | -0.00003  | 0.000049   | 0.000049  |



**Şekil 4.4 : S420 çeliği için gerilme şekil değiştirme diyagramı.**

- GPBSDTB’de malzeme karakteristik dayanımlarının artırılarak (beton için 1.3, çelik için 1.17) ortalama dayanım olarak alınması belirtilmiştir (PEER Report 2010/05, 2010, Bölüm 7.5.2). Fakat mevcut bina Türk yönetmeliklerine göre yapılmış olduğu için performansını incelerken hesap yükünü azaltmak ve malzeme koşullarını göz önünde bulundurarak karakteristik dayanımlar kullanılmıştır.
- Kolon, kiriş ve perdelerde çatlamış kesit rijitlikleri esas alınmıştır. Yapının düşey yükler altında analizi yapıldıktan sonra kolonlara gelen eksenel yüklere göre kolon çatlamış kesit rijitlikleri belirlenmiştir.



**Şekil 4.5 :** Tip2 Kat1 Kolonları beton gerilme-şekildeğiştirme diyagramı.

- Doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizin yapılacağı modelde plastik mafsallar kolon ve kirişlerin uç bölgelerinde, zemin kotunun üstündeki tüm katlarda tanımlanmıştır. Perdeler için sadece plastik mafsalları tanımlaması yapılmamıştır. Perde davranışı Perform3D’de incelenmiştir.
- Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz için plastik mafsallara ihtiyaç duyulmaktadır. Perdelerin gerçekçi olarak shell eleman şeklinde modellenmesinde plastik mafsalları oluşturmak zordur ve analiz süresini çok uzatmaktadır. Bu sebepten dolayı perdeler çubuk eleman olarak modellenmiş ve katlarda perde genişliği kadar rijit kiriş modellenmiştir.

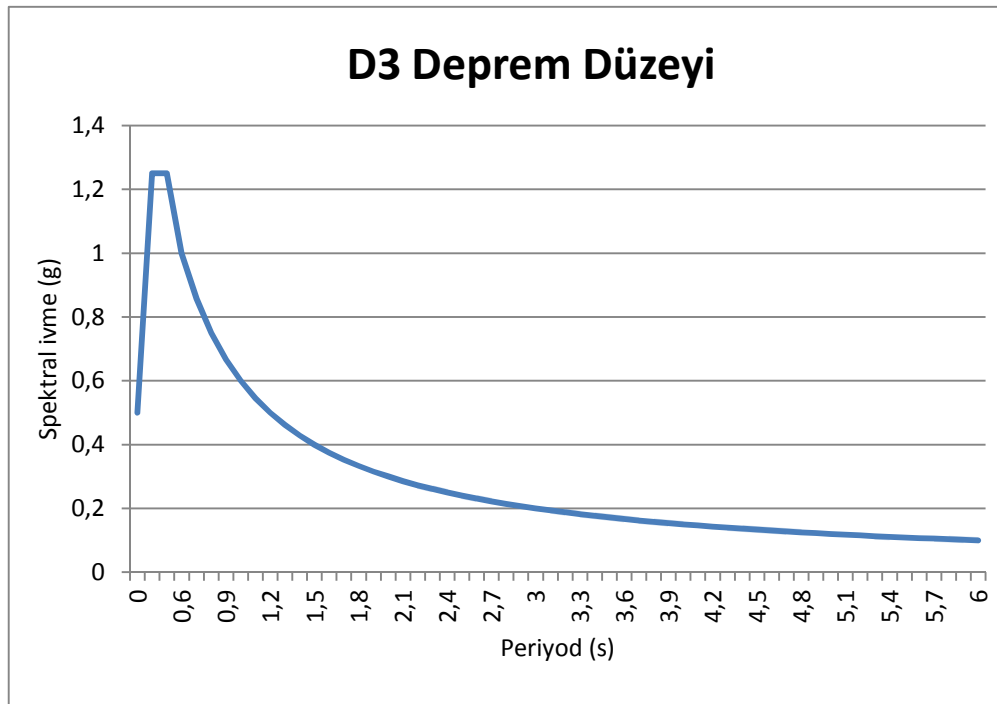
#### 4.3 Hedef Spektrum ve Kullanılacak İvme Kayıtları

Binanın İstanbul’da bulunmasından yola çıkılarak hedef spektrum İYBDY’ye göre tanımlanmıştır. İYBDY’de tanımlanan B sınıfı zemin seçilmiştir. Bu zemin sınıfına göre 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan D3 deprem düzeyine göre hedef spektrum

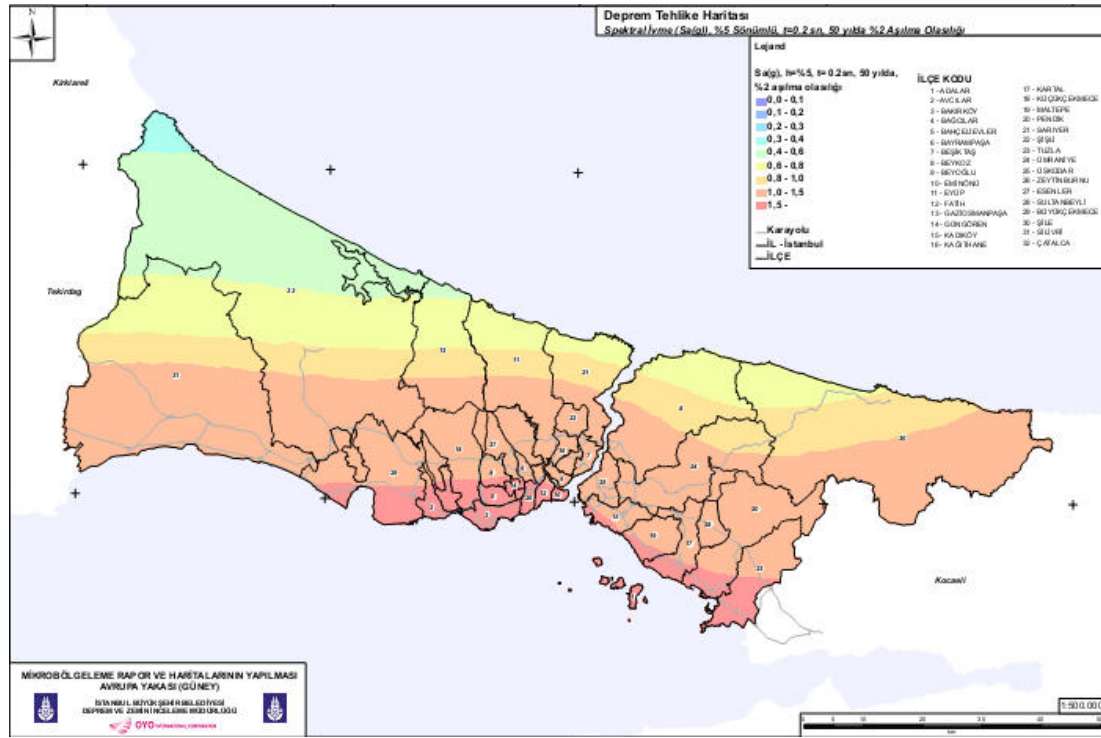
oluşturulmuştur. Spektrum hesabında gerekli değerler Çizelge 4.5’de verilmiştir. Spektrum ise şekil 4.7’de verilmiştir.

**Çizelge 4.5 : İYBDY D3 Deprem düzeyi değerleri.**

|          | D3 Deprem Düzeyi |
|----------|------------------|
| $S_s$    | 1.25             |
| $S_1$    | 0.6              |
| $F_a$    | 1                |
| $F_v$    | 1                |
| $S_{MS}$ | 1.25             |
| $S_{M1}$ | 0.6              |
| $T_s$    | 0.48             |
| $T_o$    | 0.096            |



**Şekil 4.6 : İYBDY D3 Deprem düzeyi spektrumu.**



**Şekil 4.7 : İYBDY spektral ivme haritası.**

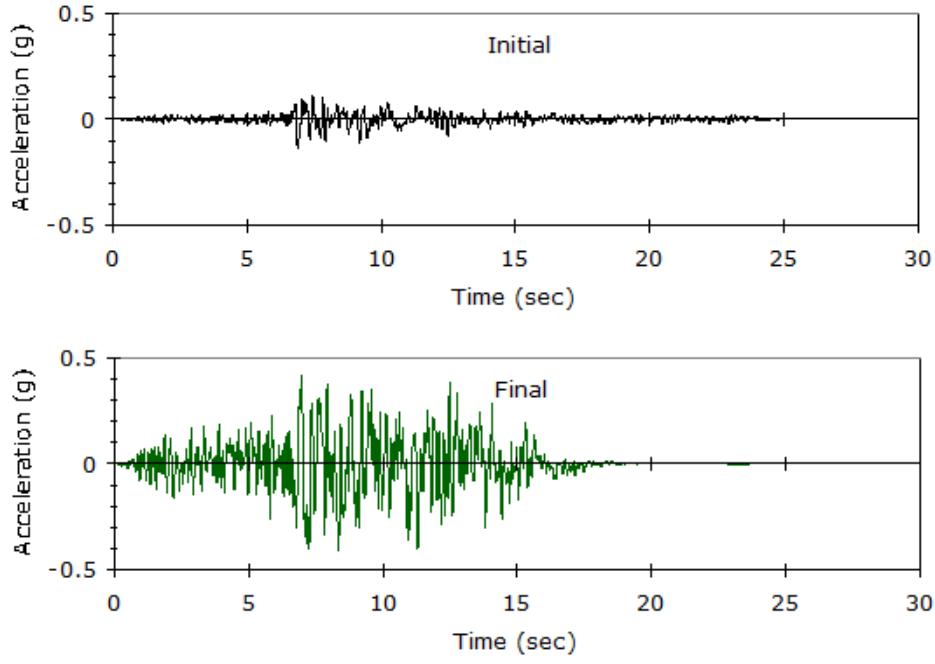
Hedef spektruma uygun gerçek deprem kaydı bulunamamıştır. GPBSDTB bölüm 5.4’de belirtildiği gibi mevcut binanın yerine, etkisi altında olduğu faya (yanal atımlı fay), fay hattından uzaklığına göre seçilen PEER Kuvvetli Yer Hareketi veri deposundan altı adet deprem kayıtları seçilmiştir.

Seçilen depremler hakkında temel bilgileri içeren liste Çizelge 4.6’da verilmiştir.

**Çizelge 4.6 : PEER veritabından seçilen depremler.**

| NGA# | Deprem  | Yıl  | İstasyon           | Magnitüd | Fay Mekanizması |
|------|---------|------|--------------------|----------|-----------------|
| 850  | Landers | 1992 | Desert Hot Springs | 7.28     | Yanal atımlı    |
| 864  | Landers | 1992 | Joshua Tree        | 7.28     | Yanal atımlı    |
| 1162 | Kocaeli | 1999 | Goynuk             | 7.51     | Yanal atımlı    |
| 1614 | Duzce   | 1999 | Lamont 1061        | 7.14     | Yanal atımlı    |

Seçilen deprem kayıtları EZ-FRISK V7.43 yazılımı ile hedef spektruma göre ölçeklendirilmiştir. Şekil 4.8’de NGA1162 Kocaeli kaydının EZ-FRISK programı ile ölçeklendirmeden önceki ve sonraki ivme zaman grafiği verilmiştir.



**Şekil 4.8 :** EZ-FRISK yazılımı ile ölçeklendirilmiş kayıt örneği.

Aşağıdaki Şekil 4.9’da yer hareketlerinin ölçeklendirme işleminden sonra hedef spektrum ile gösterildiği grafik yer almaktadır.

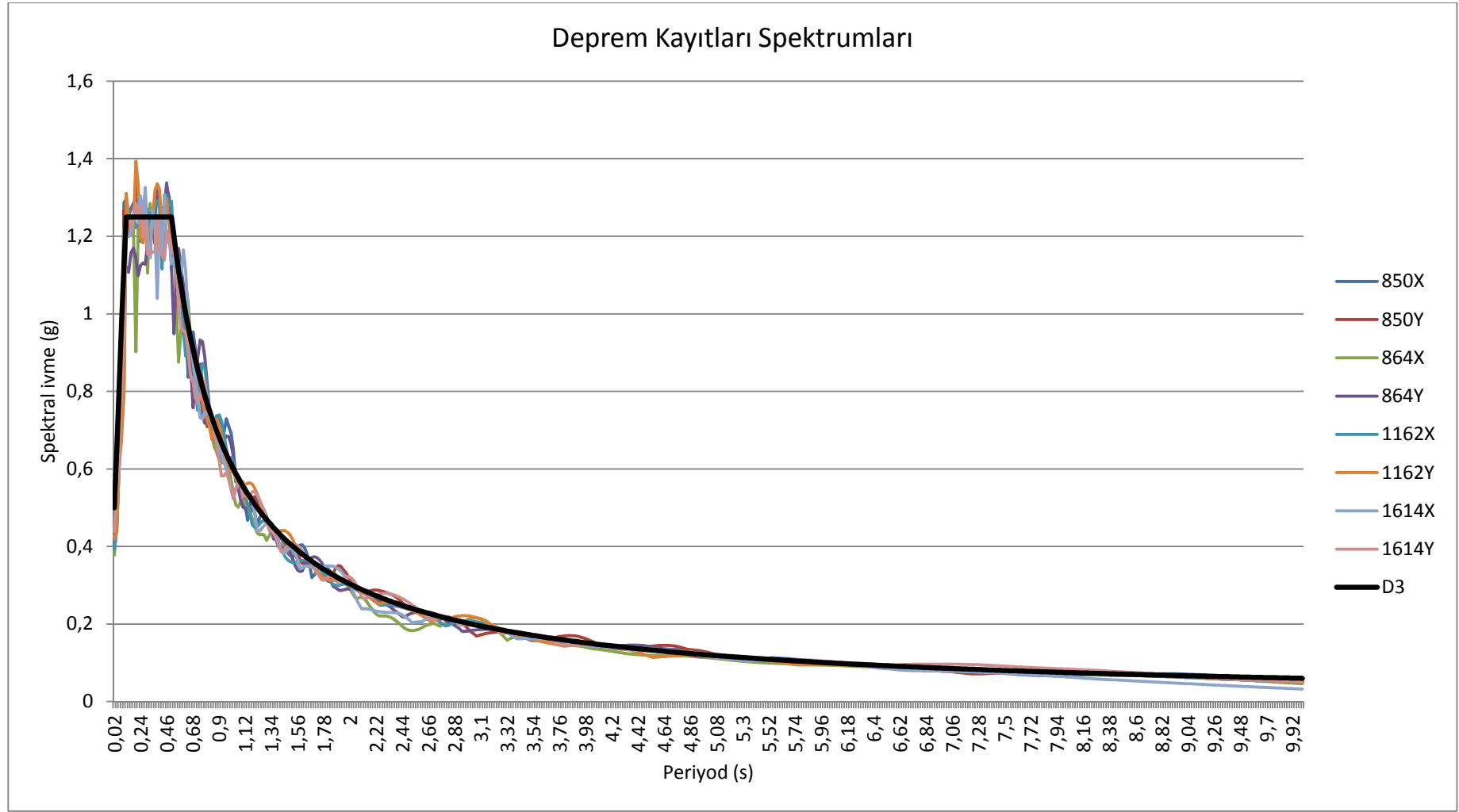
#### **4.4 SAP2000 Analiz Modelinin Oluşturulması**

Yapı mevcut kalıp planlarına uygun olarak SAP2000 programı kullanılarak modellenmiştir.

Normal kat döşemelerinde sabit yükler  $1 \text{ kN/m}^2$ , hareketli yükler  $3.5 \text{ kN/m}^2$  olarak, otopark katlarında ise sabit yükler  $1 \text{ kN/m}^2$ , hareketli yükler  $5 \text{ kN/m}^2$  olarak alınmıştır. Yapı cephesindeki, alüminyum giydirme cephe’nin ağırlığı ise  $200 \text{ kg/m}^2$  olarak alınmıştır.

Döşemeler shell eleman, kolon ve kirişler çubuk eleman olarak modellenmiştir. Perdelerde shell eleman olarak modellenmesinde plastik mafsallı oluşturma zorluğundan ötürü, perdeler de eşdeğer çubuk eleman olarak modellenmiştir.

Eleman şekil değiştirmelerinin çubuk uç noktalarında yoğunlaştığı düşünülerek plastik mafsallar bu bölgelerde modellenmiştir. Kolon ve perdeler için SAP2000’de P-M2-M3, kirişler için Moment-M3 tipi plastik mafsallı seçilmiştir. Kirişlerde tek eksenli eğilme olduğu kabul edildiği için M3, kolonlarda iki eksenli eğilme olduğu kabul edildiği için P-M2-M3 tipi mafsallı seçilmiştir.



**Şekil 4.9 :** Ölçeklendirilmiş deprem kayıtlarının İYBDY D3 deprem düzeyi spektrumu üzerinde gösterimi.

Şekil 4.10’da AK702 kirişi için SAP2000 programında plastik mafsalları tanımlama menüsü görülmektedir. Bu menüden “Modify/Show Hinge Property...” tuşuna tıklandığında Şekil 4.12’deki pencere açılmaktadır. Bu pencerede SAP2000 programı tarafından verilen davranış eğrisi görülmektedir. SAP2000’de davranış eğrisini moment-eğrilik veya moment-dönme olmak üzere iki şekilde de girmek mümkündür. Davranış eğrisindeki C-D-E noktaları kullanıcı tarafından kesitin özelliklerine göre doldurulacaktır. B noktası kesitte akmanın başladığı moment değeridir, C noktası kesitin maksimum kapasitesine ulaştığı nokta, D ve E noktaları ise kesitin maksimum kapasiteden sonra pekleşme etkisi ile ulaştığı dönme değerini göstermektedir. Kesit eğilme eksenine göre simetrik olduğu için pencerede gözüken “Symmetric” kutusu tiklenir.

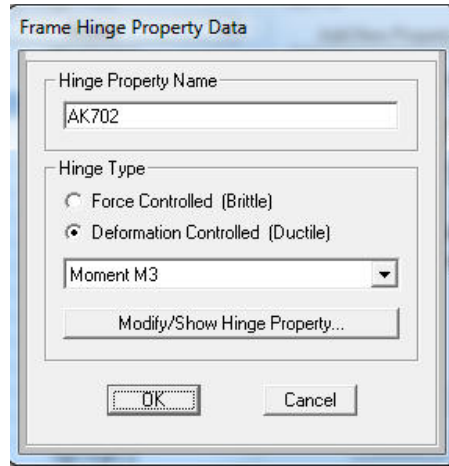
C noktasındaki moment değeri kesitin maksimum momentidir. C noktasındaki dönme değeri, kesitin yapabileceği maksimum dönmeyi temsil etmektedir. Bu değer, maksimum eğrilikten, akma eğriliğinin çıkarılması ve bulunan değer mafsalları boyu ile çarpılması sonucu elde edilir.

Davranış eğrisine girilecek Moment ve dönme değerleri kesitin XTRACT yazılımı ile yapılan kesit modelinden alınmıştır. Şekil 4.11’de XTRACT programından elde edilen AK702 kirişinin moment eğrilik ilişkisini gösteren grafik vardır. Mavi çizgi idealize edilmiş davranış göstermektedir. AK702 kesitine ait idealize edilmiş davranışa ait akma ve maksimum moment, eğrilik değerleri aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

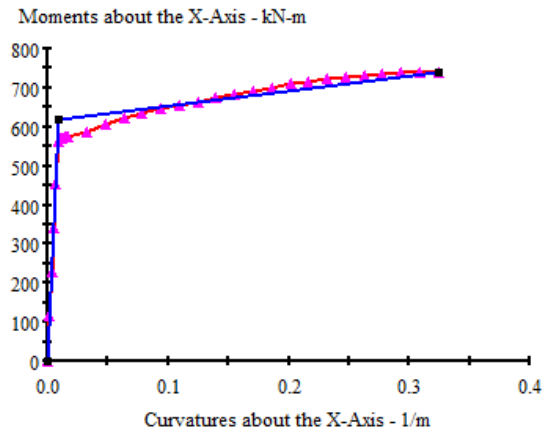
Dönme değerlerine ulaşmak için mafsalları boyu, kesit yüksekliğinin yarısı olarak alınmıştır.

**Çizelge 4.7 :** AK702 kirişi akma, kapasite moment ve dönme değerleri.

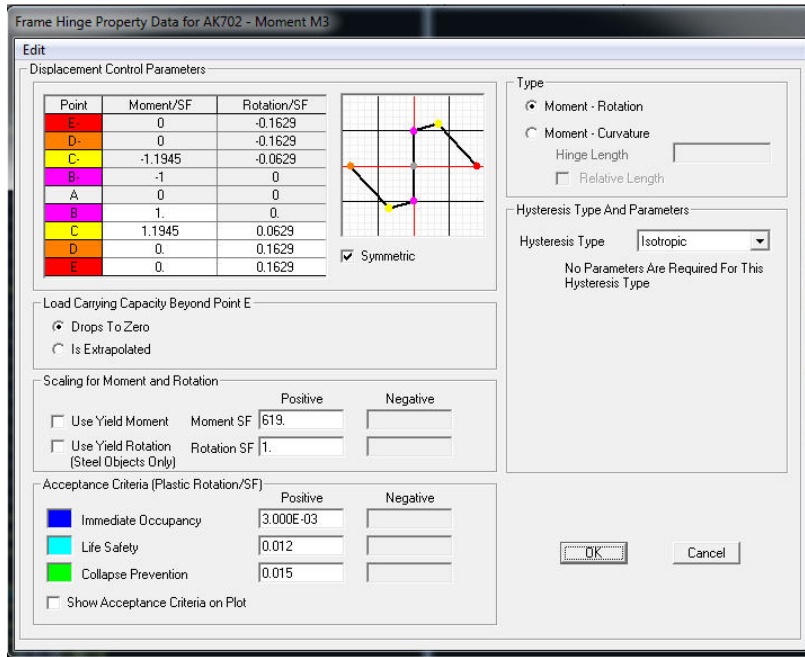
|            |         |     |
|------------|---------|-----|
| $M_y$      | 619     | kNm |
| $M_u$      | 739.4   | kNm |
| $\theta_y$ | 0.00949 | 1/m |
| $\theta_u$ | 0.3239  | 1/m |



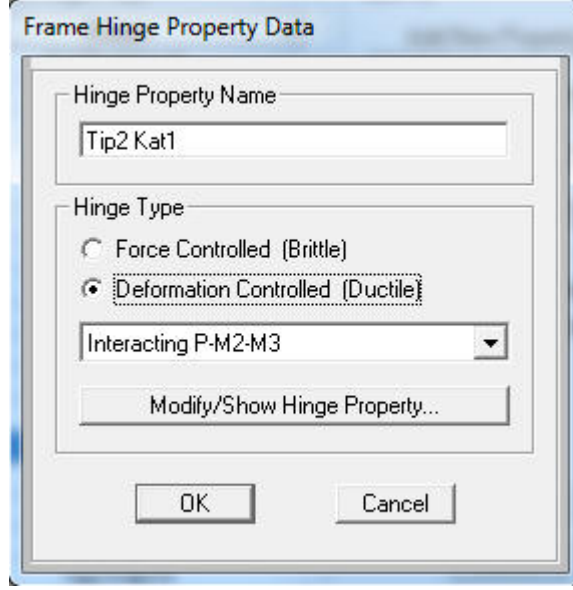
Şekil 4.10 : SAP2000 kiriş için plastik mafsals tanımlanması.



Şekil 4.11 : AK702 kirişi moment-eğrilik diyagramı.



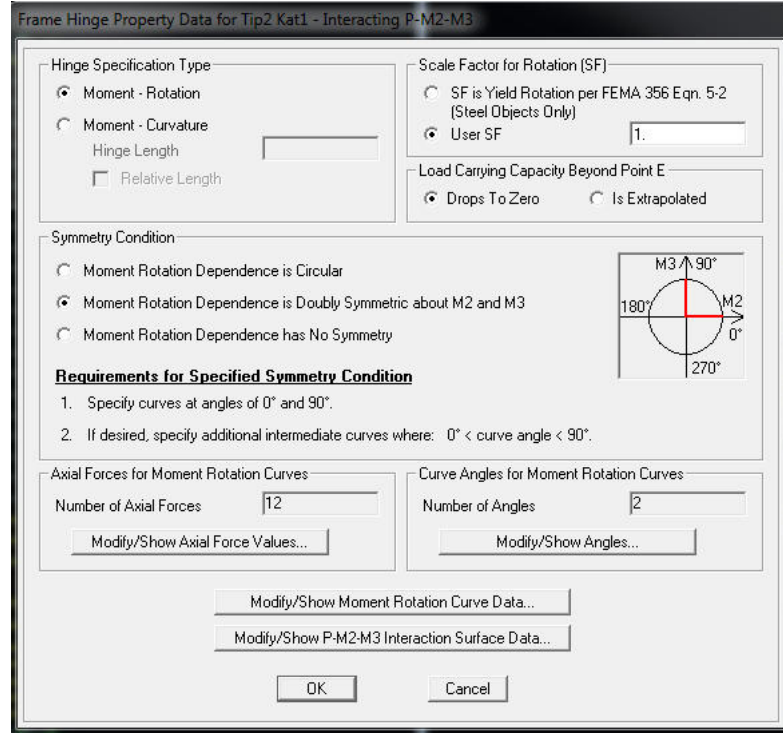
Şekil 4.12 : SAP2000 kiriş plastik mafsals davranış eğrisi.



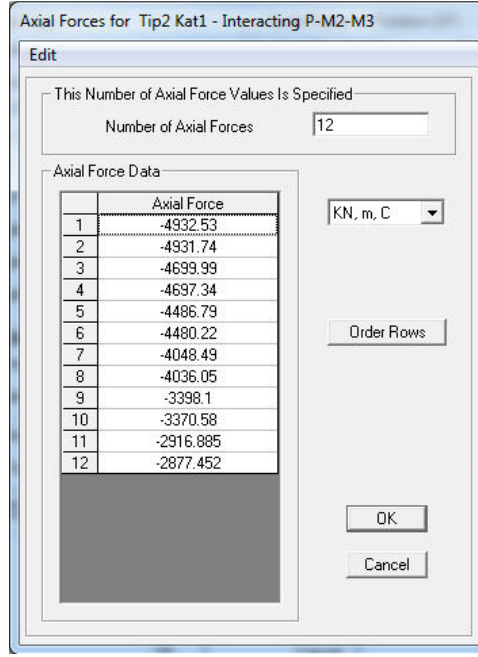
**Şekil 4.13 :** SAP2000 kolon için plastik mafsals tanımlanması.

Kolonlar ve perdeler için SAP2000’de Şekil 4.13’de gözüken mafsals türü seçilir.

Açılan pencere Şekil 4.13’deki gibidir. Bu menüden “Modify/Show Hinge Property...” tuşuna tıklandığında Şekil 4.14’deki pencere açılmaktadır. Bu menüdeki “Modify/Show Axial Force Values” tuşuna tıklandığında Şekil 4.15’deki pencere açılır. Bu pencerede kolon veya perde için eksenel yükler girilir. Daha sonra eksenel yüke göre moment-dönme değerleri girilecektir.

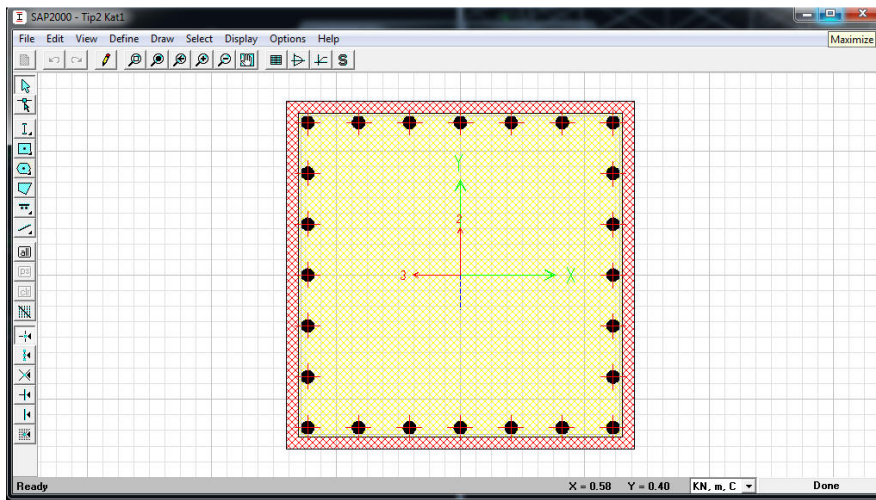


**Şekil 4.14 :** SAP2000 kolon plastik mafsals özellikleri ana menüsü.



**Şekil 4.15 :** Plastik mafsals için Tip2 kolonlarının birinci kat eksenel yükleri.

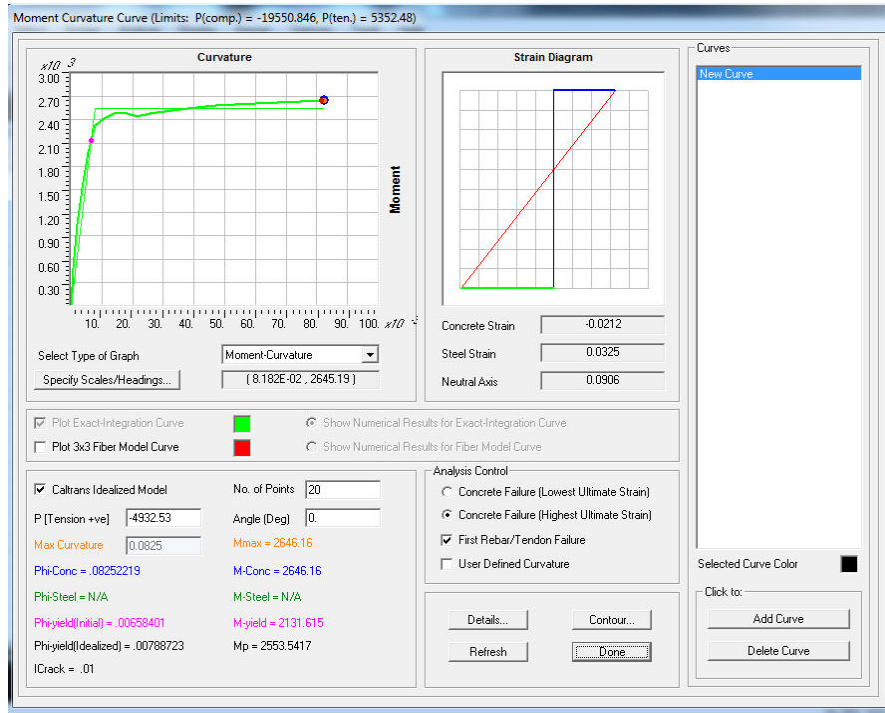
Şekil 4.14'deki menüden “Modify/Show P-M2-M3 Interaction Surface Data...”ya tıklandığında Şekil 4.18'de verilen pencere açılmaktadır. Burada normal kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi “Elastic-Perfectly Plastic” olarak kabul edilmiştir. Kolon veya perde elemanının eksenel yük-moment etkileşim diyagramı burada SAP2000 tarafından (eğer kesit detaylı olarak SAP2000 içinde tanımlanmışsa) hesaplanabileceği gibi “User Definition” seçeneği ile kullanıcı tarafından da girilebilir. Bu çalışmada kolon kesitlerinin modelleri SAP2000 section designer'da yapıldıktan sonra kolonlar için kullanıcı tarafından tanımlanmış, perdeler içinse plastik mafsals tanımlanmamıştır.



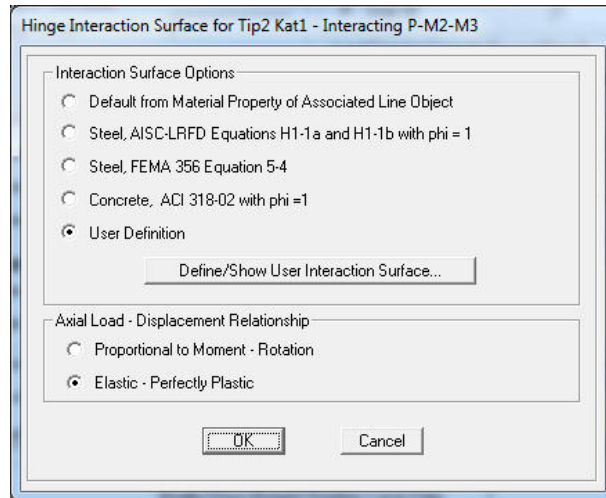
**Şekil 4.16 :** SAP2000 Section Designer'da oluşturulan kolon kesiti.

Şekil 4.18'deki pencereden “Define/Show User Interaction Surface...” tuşuna basarak, Şekil 4.19'deki menüye geçilir. Bu menüde kesitin iki ekseninde simetrik olması sebebiyle “Doubly Symmetric” seçeneği seçilir. “Number of Curves” kesite ait etkileşim diyagramının kaç farklı açığa göre girileceğini belirtmektedir. Üç olarak seçildiğinde sırasıyla 0, 45, 90 derecelik açılar için P, M2, M3 değerleri girilecektir.

Kolon ve perde plastik mafsalları ana menüsü Şekil 4.14'de “Modify/Show Moment Rotation Curve Data...” tuşuna basılarak, plastik mafsalda önceden tanımladığımız eksenel yüklere göre davranış eğrisinde dönme değerleri girilir.



Şekil 4.17 : Tip2 Kat1 kolonları için moment-eğrilik ilişkisi.



Şekil 4.18 : Kolonlar için P-M2-M3 etkileşim diyagramının tanıtılması.

**P-M2-M3 Interaction Surface Definition for Tip2 Kat1**

**Edit**

**User Interaction Surface Options**

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

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

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

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

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

| Point | P       | M2 | M3 |
|-------|---------|----|----|
| 1     | -15642. | 0  | 0  |
| 11    | 5352.48 | 0  | 0  |

**Interaction Curve Data**

Current Curve: 1

| Point | P         | M2        | M3 |
|-------|-----------|-----------|----|
| 1     | -15642.   | 0.        | 0. |
| 2     | -15641.   | 915.3602  | 0. |
| 3     | -14211.   | 1387.5777 | 0. |
| 4     | -11961.   | 1771.5138 | 0. |
| 5     | -9493.    | 2077.8736 | 0. |
| 6     | -6534.    | 2344.3992 | 0. |
| 7     | -4623.    | 2284.8613 | 0. |
| 8     | -2680.    | 2089.9486 | 0. |
| 9     | -768.5824 | 1769.3606 | 0. |
| 10    | 1631.3681 | 1158.0574 | 0. |
| 11    | 5352.48   | 0.        | 0. |

**Interaction Surface Requirements - Doubly Symmetric**

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

**3D Plot**

Plan: 315  
Elevation: 25  
Aperture: 0

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

3D MM PM3 PM2

OK Cancel

Şekil 4.19 : P-M2-M3 etkileşim diyagramı menüsü.

**Moment Rotation Data for Tip2 Kat1 - Interacting P-M2-M3**

**Edit**

Select Curve: Axial Force: -4932.53 Angle: 0. Curve #1

Units: KN, m, C

**Moment Rotation Data for Selected Curve**

| Point | Moment/Yield Mom | Rotation/SF |
|-------|------------------|-------------|
| A     | 0.               | 0.          |
| B     | 1.               | 0.          |
| C     | 1.0363           | 0.0261      |
| D     | 0.2              | 0.0261      |
| E     | 0.2              | 0.0261      |

Note: Yield moment is defined by interaction surface

Copy Curve Data Paste Curve Data

**Acceptance Criteria (Plastic Deformation / SF)**

☒ Immediate Occupancy 3.000E-03  
☐ Life Safety 0.012  
☐ Collapse Prevention 0.015  
☐ Show Acceptance Points on Current Curve

**Moment Rotation Information**

Symmetry Condition: Double  
Number of Axial Force Values: 12  
Number of Angles: 2  
Total Number of Curves: 24

**Angle Is Moment About**

0 degrees = About Positive M2 Axis  
90 degrees = About Positive M3 Axis  
180 degrees = About Negative M2 Axis  
270 degrees = About Negative M3 Axis

Current Curve - Curve #1  
Force #1; Angle #1

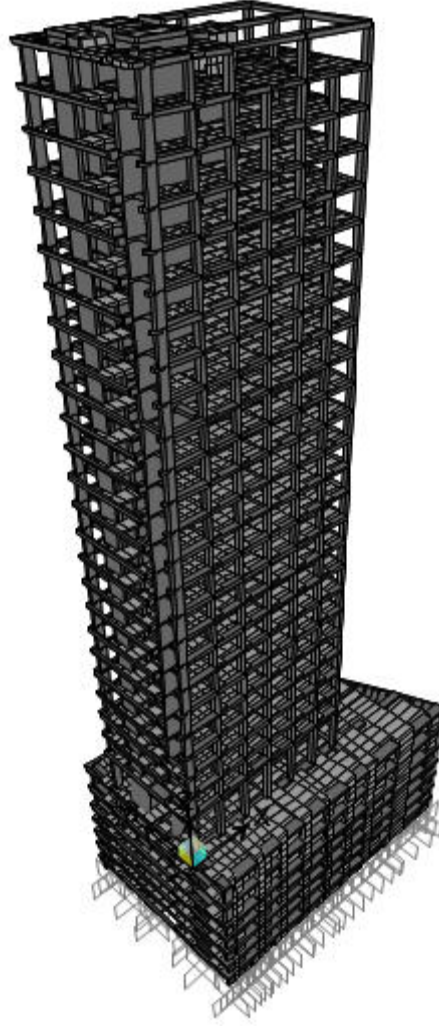
3D View: Plan: 315 Elevation: 35 Aperture: 0  
☐ Hide Backbone Lines  
☐ Show Acceptance Criteria  
☐ Show Thickened Lines  
☒ Highlight Current Curve

3D RR MR3 MR2

3-D Surface  
Axial Force = -4932.53

OK Cancel

Şekil 4.20 : Kolon için plastik dönme değerleri girilmesi.



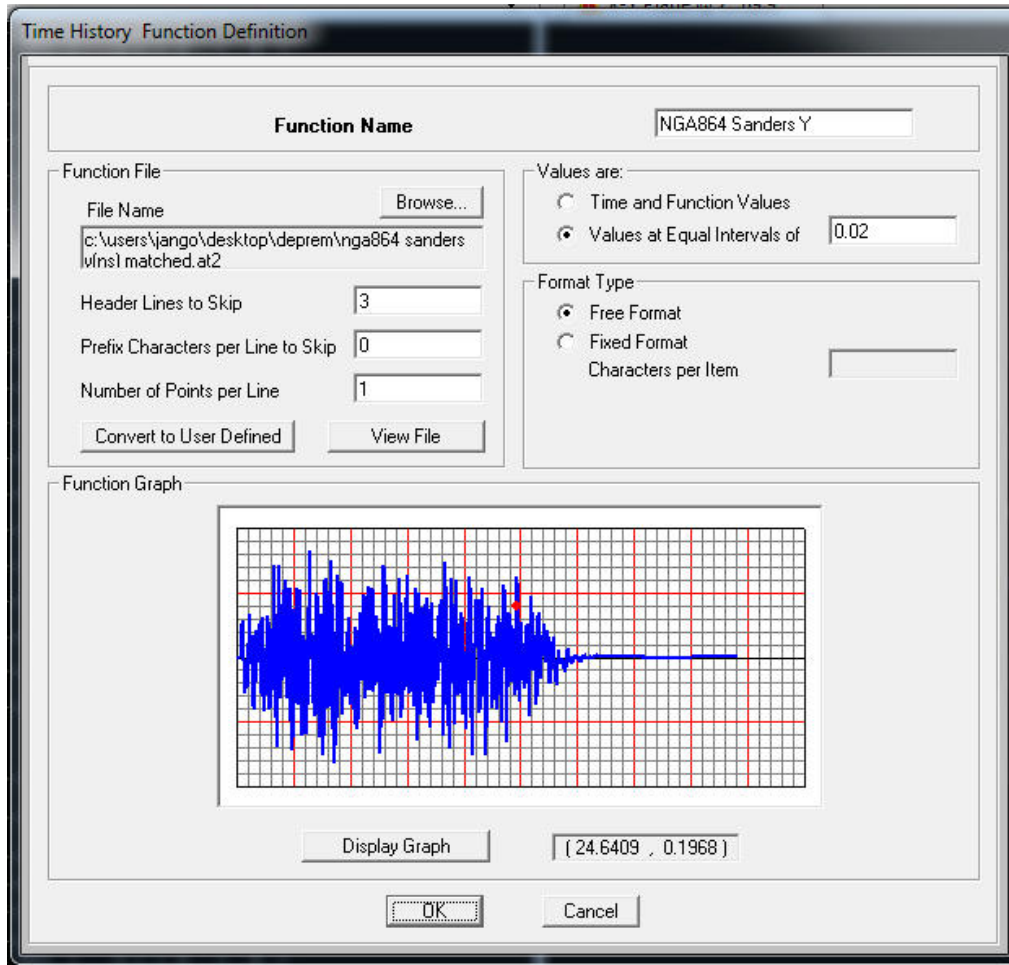
**Şekil 4.21 :** Oluşturulan SAP2000 modeli.

#### **4.4.1 Yüklerin tanımlanması**

Düşey yükler için  $G+0.25Q$  yük kombinasyonu tanımlanmıştır. GPBSDTB bölüm 7.6.1’de belirtildiği üzere canlı yükler için yük azaltma katsayısı olarak 0.25 kullanılmıştır.

Zaman tanım alanında yükleme için öncelikle deprem ivme-zaman kaydının SAP2000’e tanıtılması gerekmektedir. Bunun için SAP2000’de “Define” menüsünden “Functions/Time History” sekmesi seçilir. Seçildikten sonra Şekil 4.22’deki menü açılacaktır.

Burada örnek olarak NGA864 Landers ivme kaydı girilmiştir. “Values at Equal Intervals of” karşısına yazılan 0.02s ibaresi, ivme kaydındaki zaman adımının aralığını göstermektedir.



**Şekil 4.22 :** SAP2000 deprem ivme-zaman kaydı tanıtılması.

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz için yüklemenin tanımlanması Şekil 4.23’de örnek olarak gösterilmiştir. Load case name NGA864 Sanders Y isimlendirmesinde NGA864 depremin PEER veritabanındaki numarasını Sanders adını, Y ise yönünü tarif etmektedir.

Analiz tipi “Nonlinear”dir. Zaman tanım alanında P-Delta etkilerini göz önünde almak çözüm için direkt integrasyon metodu seçilmiştir.

Analize yapıya etki eden düşey yüklerin etkisinden sonra başlaması başlangıç koşulu olarak verilmiştir.

Şekil 4.22’deki “Number of Output Time Steps” deprem kaydındaki adım sayısını belirtmektedir. Sanders kaydında 2200 adım olduğu için buna karşılık gelen haneye 2200 değeri girilmiştir. “Output Time Step Size” deprem kaydındaki zaman aralığını belirtmektedir. Burada “Scale Factor” olarak 9.81 kullanılmasının sebebi SAP2000’de tanıtılan deprem kaydı ivme değerlerinin ‘g’ cinsinden olması, SAP2000’deki çalışma birimlerinin ise kN-m cinsinden olmasıdır.

Zaman tanım alanında analizin güvenilir olması için sönümlleme etkisinin de göz önüne alınması gerekmektedir. Bu analizlere, yapının ilk iki serbest titreşim açısı frekansına bağlı olarak Rayleigh sönümlleme sabitleri hesaplanarak girilmiştir. Şekil 4.24’de verilmiştir.

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

Load Case Name:  Set Def Name

Notes:

Load Case Type:  Design...

Initial Conditions:

- ☐ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State
- ☒ Continue from State at End of Nonlinear Case 

Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Analysis Type: ☐ Linear ☒ Nonlinear

Time History Type: ☐ Modal ☒ Direct Integration

Geometric Nonlinearity Parameters:

- ☐ None
- ☒ P-Delta
- ☐ P-Delta plus Large Displacements

Modal Load Case:

Use Modes from Case:

Loads Applied:

| Load Type | Load Name | Function      | Scale Factor |
|-----------|-----------|---------------|--------------|
| Accel     | U2        | NGA864 Sar    | 9.81         |
| Accel     | U2        | NGA864 Sandel | 9.81         |

☐ Show Advanced Load Parameters

Time Step Data:

Number of Output Time Steps:

Output Time Step Size:

Time History Motion Type:

- ☒ Transient
- ☐ Periodic

Other Parameters:

Damping:

Time Integration:

Nonlinear Parameters:

Şekil 4.23 : SAP2000 doğrusal olmayan analiz tanımlama menüsü.

**Mass and Stiffness Proportional Damping**

Damping Coefficients:

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

Mass Proportional Coefficient:

Stiffness Proportional Coefficient:

|        | Period                             | Frequency                          | Damping                           |
|--------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| First  | <input type="text" value="0.282"/> | <input type="text" value="0.282"/> | <input type="text" value="0.05"/> |
| Second | <input type="text" value="0.408"/> | <input type="text" value="0.408"/> | <input type="text" value="0.05"/> |

Şekil 4.24 : SAP2000 doğrusal olmayan analiz için sönümlleme tanımlanması.

#### 4.5 Perform-3D Modelinin Oluşturulması

Perform-3D sadece ağırlıklı olarak nonlinear analiz düşünülerek geliştirilen bir program olduğu ve analiz süresini kısalttığı için yapıdaki perdelerin davranışını görmek için yapı Perform-3D programında da modellenmiştir.

Yapı SAP2000 modeline göre daha basitleştirilerek Perform-3D programında modellenmiştir. Bu yazılımda döşeme oluşturmanın zorluğu ve oluşturulacak sonlu eleman döşemesinin yükü düzgün aktaramayabileceği için döşeme modellenmemiştir. Yükler kirişlere düzgün yayılı yük, perdeler ise noktasal yük olarak girilmiştir. Kolonlarda ilk 12 kat çatlamış kesit rijitliği  $0.4EI$ , diğer katlarda ise  $0.35EI$  olarak alınmıştır.

Kolon ve kirişler betonarme dikdörtgen kesit olarak girilmiştir. Şekil 4.27’de kolon için örnek verilmiştir. Kolon çatlamış kesit rijitliği  $0.4EI$  olarak alıncağı için Şekil 4.25’de gözüktüğü gibi elastisite modülü  $1.32 \times 10^7$  olarak girilmiştir.

The screenshot displays the 'COMPONENT PROPERTIES' dialog box in the Perform-3D software. The 'Cross Sects.' tab is selected, showing a 'Rectangle' section shape with dimensions B=0.7 and D=0.7. The 'Section Properties' table lists calculated values: Axial Area (0.49), Torsional Inertia (0.036471), Shear Area along Axis 2 (0.40833), Bending Inertia about Axis 2 (0.020008), and Shear Area along Axis 3 (0.40833), Bending Inertia about Axis 3 (0.020008). The 'Material Stiffness' section shows Young's Modulus set to 1.32E+07, Poisson's Ratio (0.2), and Shear Modulus (5500000). The 'Import Components' section at the bottom has 'Selected components of this type.' selected.

| Section Properties           |          |
|------------------------------|----------|
| Axial Area                   | 0.49     |
| Torsional Inertia            | 0.036471 |
| Shear Area along Axis 2      | 0.40833  |
| Bending Inertia about Axis 2 | 0.020008 |
| Shear Area along Axis 3      | 0.40833  |
| Bending Inertia about Axis 3 | 0.020008 |

| Material Stiffness |          |                 |
|--------------------|----------|-----------------|
| Young's Modulus    | 1.32E+07 | Poisson's Ratio |
|                    |          | 0.2             |
| Shear Modulus      | 5500000  |                 |

Şekil 4.25 : Perform-3D kolon kesiti.

Perdeler ise donatı oranlarına göre çelik ve beton malzemeleri farklı olarak iki fiber kesit halinde tanımlanmıştır. Bu kesitler daha sonra üst üste getirilerek birlikte çalışması sağlanmıştır.

Şekil 4.26’da P40x245 perdesinin ilk kattaki %1.661 donatı oranlı fiber kesitinin görüntüsü vardır. Bu kesit (Steel only, %1.661, P40x245) perdedeki donatıların davranışını temsil edecektir. Powell, bu kesitteki betonarme malzemenin perdeye rijitlik vermemesi için elastisite modülü çok düşük seçilmesi gerektiğini belirtmiştir (Detailed Example of a Tall Shear Building, 2007, s. 2-8). Ayrıca kesitin düzlem dışındaki rijitliğini engellemek için de Şekil 4.26’da gözüken menüden “Out-Of-Plane” sekmesi seçilerek kesitin düzlem dışındaki eğilme rijitliği azaltılır. Şekil 4.28’de görülmektedir.

Örnek olarak P40x245 perdesindeki beton malzemenin davranışını temsil edecek kesit Şekil 4.30’da görülmektedir.

**Şekil 4.26 : Perform-3D, P40x245 fiber kesiti.**

Uzunluğu 245cm olan perdenin kesitinde 6 fiber parçaya bölünmüştür. Bu parçaların alanı ve merkez koordinatları Şekil 4.29’da görülmektedir. Şekil 4.30’da ise P40x245 perdesi için oluşturulan beton fiber kesit görülmektedir.

COMPONENT PROPERTIES

Inelastic

Elastic

Cross Sects.

Materials

Strength Sects

Compound

Type

Inelastic 1D Concrete Material

✕

New

Choose type and name to edit an existing material.

📁

Name

Dummy conc for steel areas

📄

Purge

Rename

Text for filter.

Filter

Length Unit

m

Force Unit

kN

Status

Saved.

Graph

Save

Save As

Delete

Shape of Relationship

☒ E-P-P  
☐ Trilinear

Tension Strength

☒ Yes  
☐ No

Strength Loss

☐ Yes  
☒ No

Upper/Lower Bounds

☐ Yes  
☒ No

Strain Capacities

☐ Yes  
☒ No

Cyclic Degradation

☒ None  
☐ YULRX  
☐ YX+3

Import Components

Export Components

☒ Selected components of this type.  
☐ All components of all types.

Import ...

Cyclic Degradation

Upper/Lower Bounds

Basic Relationship

Strength Loss

Strain Capacities

F = stress, D = strain.

Positive

←

→

Stiffness, K0

Modulus, E

0.001

KH/K0 Pos =

KH/K0 Neg =

Tension Stresses

FY

FU

1

Tension Strains

DU

DX

2000

Compression Stresses

FY

FU

1

Compression Strains

DU

DX

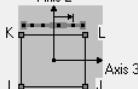
2000

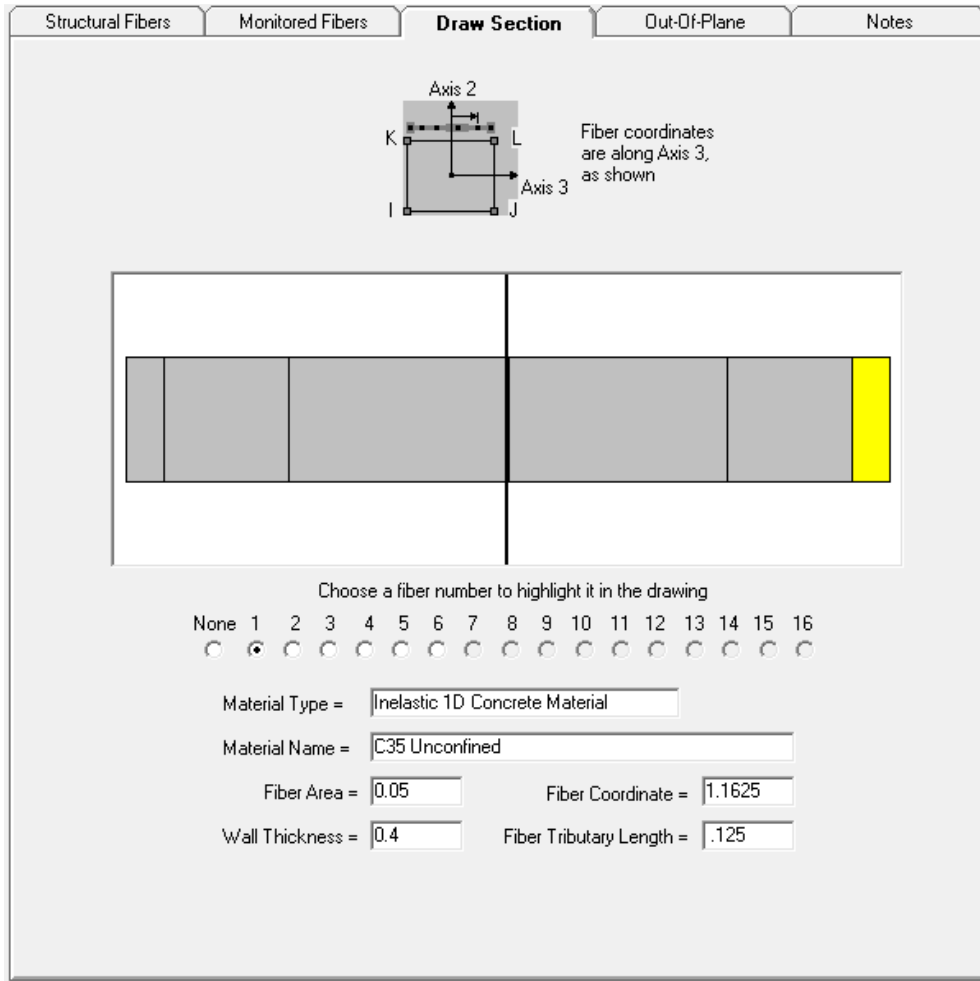
Paste

Copy

Clear

| Structural Fibers                                   | Monitored Fibers | Draw Section                   | Out-Of-Plane    | Notes                          |
|-----------------------------------------------------|------------------|--------------------------------|-----------------|--------------------------------|
| <b>OUT-OF-PLANE BENDING (ASSUMED TO BE ELASTIC)</b> |                  |                                |                 |                                |
| Bending Thickness                                   |                  | <input type="text" value="1"/> | Young's Modulus | <input type="text" value="1"/> |
| Torsion Thickness                                   |                  | <input type="text" value="1"/> | Poisson Ratio   | <input type="text" value="0"/> |

| <b>Structural Fibers</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Monitored Fibers               | Draw Section   | Out-Of-Plane | Notes |        |      |      |            |      |        |   |                                |                |        |      |     |   |                                |                |     |      |     |   |                                |                |      |      |     |   |                                |                |       |      |     |   |                                |                |      |      |     |   |                                |                |         |      |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|----------------|--------------|-------|--------|------|------|------------|------|--------|---|--------------------------------|----------------|--------|------|-----|---|--------------------------------|----------------|-----|------|-----|---|--------------------------------|----------------|------|------|-----|---|--------------------------------|----------------|-------|------|-----|---|--------------------------------|----------------|------|------|-----|---|--------------------------------|----------------|---------|------|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| <p><b>STRUCTURAL FIBER TO BE ADDED OR CHANGED</b></p> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: flex-start;"> <div style="width: 60%;"> <p>Material Type <span style="border: 1px solid black; padding: 2px 10px;">Inelastic Steel Material, Non-Buckling</span> <span>▼ ↺</span></p> <p>Material Name <span style="border: 1px solid black; padding: 2px 100px;">All Steel Reinforcement</span> <span>▼ ↺</span></p> <p>Coordinate <span style="border: 1px solid black; width: 80px;"></span> Area <span style="border: 1px solid black; width: 80px;"></span></p> <p>W'll thickness for Draw Section (blank = draw as a circle) <span style="border: 1px solid black; width: 60px;"></span></p> <p>To draw section go to Draw Section page</p> <div style="margin-top: 10px; display: flex; gap: 10px;"> <span>Add</span> <span>Insert</span> <span>Replace</span> <span>Delete</span> </div> </div> <div style="width: 35%; text-align: center;">  <p>Coordinates are along Axis 3</p> </div> </div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                |                |              |       |        |      |      |            |      |        |   |                                |                |        |      |     |   |                                |                |     |      |     |   |                                |                |      |      |     |   |                                |                |       |      |     |   |                                |                |      |      |     |   |                                |                |         |      |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <p><b>STRUCTURAL FIBER LIST (MAX 16)</b>      Click a fiber to highlight it for Insert, Replace or Delete.<br/>Double-click a fiber to set up its properties for editing.</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>No.</th> <th>Type</th> <th>Name</th> <th>Coordinate</th> <th>Area</th> <th>T-Draw</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>Inelastic 1D Concrete Material</td><td>C35 Unconfined</td><td>1.1625</td><td>0.05</td><td>0.4</td></tr> <tr><td>2</td><td>Inelastic 1D Concrete Material</td><td>C35 Unconfined</td><td>0.9</td><td>0.16</td><td>0.4</td></tr> <tr><td>3</td><td>Inelastic 1D Concrete Material</td><td>C35 Unconfined</td><td>0.35</td><td>0.28</td><td>0.4</td></tr> <tr><td>4</td><td>Inelastic 1D Concrete Material</td><td>C35 Unconfined</td><td>-0.35</td><td>0.28</td><td>0.4</td></tr> <tr><td>5</td><td>Inelastic 1D Concrete Material</td><td>C35 Unconfined</td><td>-0.9</td><td>0.16</td><td>0.4</td></tr> <tr><td>6</td><td>Inelastic 1D Concrete Material</td><td>C35 Unconfined</td><td>-1.1625</td><td>0.05</td><td>0.4</td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table> |                                |                |              |       | No.    | Type | Name | Coordinate | Area | T-Draw | 1 | Inelastic 1D Concrete Material | C35 Unconfined | 1.1625 | 0.05 | 0.4 | 2 | Inelastic 1D Concrete Material | C35 Unconfined | 0.9 | 0.16 | 0.4 | 3 | Inelastic 1D Concrete Material | C35 Unconfined | 0.35 | 0.28 | 0.4 | 4 | Inelastic 1D Concrete Material | C35 Unconfined | -0.35 | 0.28 | 0.4 | 5 | Inelastic 1D Concrete Material | C35 Unconfined | -0.9 | 0.16 | 0.4 | 6 | Inelastic 1D Concrete Material | C35 Unconfined | -1.1625 | 0.05 | 0.4 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| No.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Type                           | Name           | Coordinate   | Area  | T-Draw |      |      |            |      |        |   |                                |                |        |      |     |   |                                |                |     |      |     |   |                                |                |      |      |     |   |                                |                |       |      |     |   |                                |                |      |      |     |   |                                |                |         |      |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Inelastic 1D Concrete Material | C35 Unconfined | 1.1625       | 0.05  | 0.4    |      |      |            |      |        |   |                                |                |        |      |     |   |                                |                |     |      |     |   |                                |                |      |      |     |   |                                |                |       |      |     |   |                                |                |      |      |     |   |                                |                |         |      |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Inelastic 1D Concrete Material | C35 Unconfined | 0.9          | 0.16  | 0.4    |      |      |            |      |        |   |                                |                |        |      |     |   |                                |                |     |      |     |   |                                |                |      |      |     |   |                                |                |       |      |     |   |                                |                |      |      |     |   |                                |                |         |      |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Inelastic 1D Concrete Material | C35 Unconfined | 0.35         | 0.28  | 0.4    |      |      |            |      |        |   |                                |                |        |      |     |   |                                |                |     |      |     |   |                                |                |      |      |     |   |                                |                |       |      |     |   |                                |                |      |      |     |   |                                |                |         |      |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Inelastic 1D Concrete Material | C35 Unconfined | -0.35        | 0.28  | 0.4    |      |      |            |      |        |   |                                |                |        |      |     |   |                                |                |     |      |     |   |                                |                |      |      |     |   |                                |                |       |      |     |   |                                |                |      |      |     |   |                                |                |         |      |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Inelastic 1D Concrete Material | C35 Unconfined | -0.9         | 0.16  | 0.4    |      |      |            |      |        |   |                                |                |        |      |     |   |                                |                |     |      |     |   |                                |                |      |      |     |   |                                |                |       |      |     |   |                                |                |      |      |     |   |                                |                |         |      |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 6                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Inelastic 1D Concrete Material | C35 Unconfined | -1.1625      | 0.05  | 0.4    |      |      |            |      |        |   |                                |                |        |      |     |   |                                |                |     |      |     |   |                                |                |      |      |     |   |                                |                |       |      |     |   |                                |                |      |      |     |   |                                |                |         |      |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                |                |              |       |        |      |      |            |      |        |   |                                |                |        |      |     |   |                                |                |     |      |     |   |                                |                |      |      |     |   |                                |                |       |      |     |   |                                |                |      |      |     |   |                                |                |         |      |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                |                |              |       |        |      |      |            |      |        |   |                                |                |        |      |     |   |                                |                |     |      |     |   |                                |                |      |      |     |   |                                |                |       |      |     |   |                                |                |      |      |     |   |                                |                |         |      |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                |                |              |       |        |      |      |            |      |        |   |                                |                |        |      |     |   |                                |                |     |      |     |   |                                |                |      |      |     |   |                                |                |       |      |     |   |                                |                |      |      |     |   |                                |                |         |      |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                |                |              |       |        |      |      |            |      |        |   |                                |                |        |      |     |   |                                |                |     |      |     |   |                                |                |      |      |     |   |                                |                |       |      |     |   |                                |                |      |      |     |   |                                |                |         |      |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                |                |              |       |        |      |      |            |      |        |   |                                |                |        |      |     |   |                                |                |     |      |     |   |                                |                |      |      |     |   |                                |                |       |      |     |   |                                |                |      |      |     |   |                                |                |         |      |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                |                |              |       |        |      |      |            |      |        |   |                                |                |        |      |     |   |                                |                |     |      |     |   |                                |                |      |      |     |   |                                |                |       |      |     |   |                                |                |      |      |     |   |                                |                |         |      |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                |                |              |       |        |      |      |            |      |        |   |                                |                |        |      |     |   |                                |                |     |      |     |   |                                |                |      |      |     |   |                                |                |       |      |     |   |                                |                |      |      |     |   |                                |                |         |      |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                |                |              |       |        |      |      |            |      |        |   |                                |                |        |      |     |   |                                |                |     |      |     |   |                                |                |      |      |     |   |                                |                |       |      |     |   |                                |                |      |      |     |   |                                |                |         |      |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                |                |              |       |        |      |      |            |      |        |   |                                |                |        |      |     |   |                                |                |     |      |     |   |                                |                |      |      |     |   |                                |                |       |      |     |   |                                |                |      |      |     |   |                                |                |         |      |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                |                |              |       |        |      |      |            |      |        |   |                                |                |        |      |     |   |                                |                |     |      |     |   |                                |                |      |      |     |   |                                |                |       |      |     |   |                                |                |      |      |     |   |                                |                |         |      |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                |                |              |       |        |      |      |            |      |        |   |                                |                |        |      |     |   |                                |                |     |      |     |   |                                |                |      |      |     |   |                                |                |       |      |     |   |                                |                |      |      |     |   |                                |                |         |      |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                |                |              |       |        |      |      |            |      |        |   |                                |                |        |      |     |   |                                |                |     |      |     |   |                                |                |      |      |     |   |                                |                |       |      |     |   |                                |                |      |      |     |   |                                |                |         |      |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Properties depend on whether section has FIXED or AUTO fibers.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                |                |              |       |        |      |      |            |      |        |   |                                |                |        |      |     |   |                                |                |     |      |     |   |                                |                |      |      |     |   |                                |                |       |      |     |   |                                |                |      |      |     |   |                                |                |         |      |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |



**Şekil 4.30 :** Perde beton davranışını temsil eden fiber model.

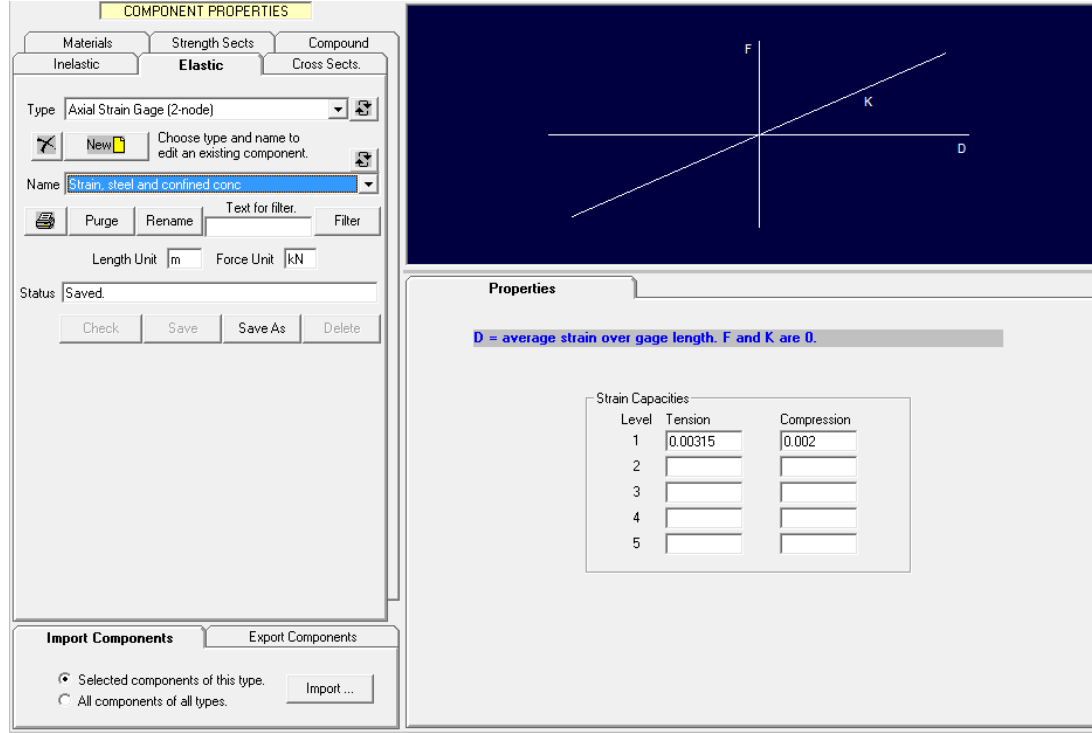
İlk kat perdelerinde mafsal bölgesini tanımlamak için kesit boyunun yarısı seçilmiştir. Örnek olarak P40x245 perdesinin mafsal boyu 122.5cm'dir. Dolayısı ile ilk katta yüksekliği 1.225m olan perde kesit tanımlanmıştır. P40x245 perdesinin bağlandığı P40x475 perdesinin mafsal boyu da 1.225m'yi sağladığı için mafsal boyu uygundur.

Mafsal bölgesinde dönme değerlerini alabilmek için "Rotation Gage", yine mafsal bölgesinde beton ezilmesini ve donatı akmasını görmek için "Strain Gage" tanımlanmıştır.

Perform-3D'deki "Strain Gage" iki nokta arasındaki gerilme ve basınç şekil değiştirme miktarlarını vermektedir. Perdeler için beton ezilme şekil değiştirmesi 0.002, çelik gerilme şekil değiştirmesi ise çeliğin akma şekil değiştirmesi olan 0.0021'in 1.5 katı olarak 0.00315 alınmıştır. Sebebi ise bu şekil değiştirme

miktarında yeterli plastik mafsallaşmasının olacağı düşüncesidir. “Strain Gage” menüsü Şekil 4.31’de verilmiştir.

Perdelerde düzlem içinde pozitif ve negatif yöndeki eğilmeler için 0.015 rad kapasite tanımlanmıştır. Bu değer ASCE41-06’dan alınmıştır (ASCE41-06 Supplement No.1, 2007, s. 6-80).



Şekil 4.31 : Perform-3D strain gage tanımlanması.

#### 4.6 Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Yapılan düşey yük analizi sonucunda G+0.25Q yüklemesine göre yapının ağırlığı 258402.64 kN olarak bulunmuştur.

Yapının perdelerin çubuk olarak modellendiği SAP2000 modelindeki doğal titreşim periyod ve frekansları aşağıdaki tabloda verilmiştir. Hesaplanan periyodlar çatlamış kesit rijitliklerine göre bulunmuştur. Yapı periyodu hesaplanırken kütle hesabında G+0.25Q yüklemesi esas alınmıştır.

**Çizelge 4.8 :** Yapının ilk 12 periyodu.

| Mod | SAP2000 Periyod (s) | Perform-3D Periyod (s) |
|-----|---------------------|------------------------|
| 1   | 3.54                | 3.80                   |
| 2   | 2.45                | 2.77                   |
| 3   | 2.42                | 1.00                   |
| 4   | 1.02                | 0.65                   |
| 5   | 0.76                | 0.46                   |
| 6   | 0.64                | 0.28                   |
| 7   | 0.53                | 0.28                   |
| 8   | 0.41                | 0.19                   |
| 9   | 0.35                | 0.17                   |
| 10  | 0.31                | 0.14                   |
| 11  | 0.29                | 0.11                   |
| 12  | 0.25                | 0.11                   |

#### 4.6.1 Doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonuçları

##### 4.6.1.1 Deprem etkileri

Farklı deprem kayıtlarına bağlı olarak SAP2000’de bodrum katlarının da dahil olduğu modelde yapılan analizlerin sonucunda oluşan taban kesme kuvvetleri Çizelge 4.9’da verilmiştir. Yapının ilk katında yani +1.5 kotunda oluşan taban kesme kuvvetlerinin SAP2000 ve Perform-3D sonuçları Çizelge 4.10’da verilmiştir.

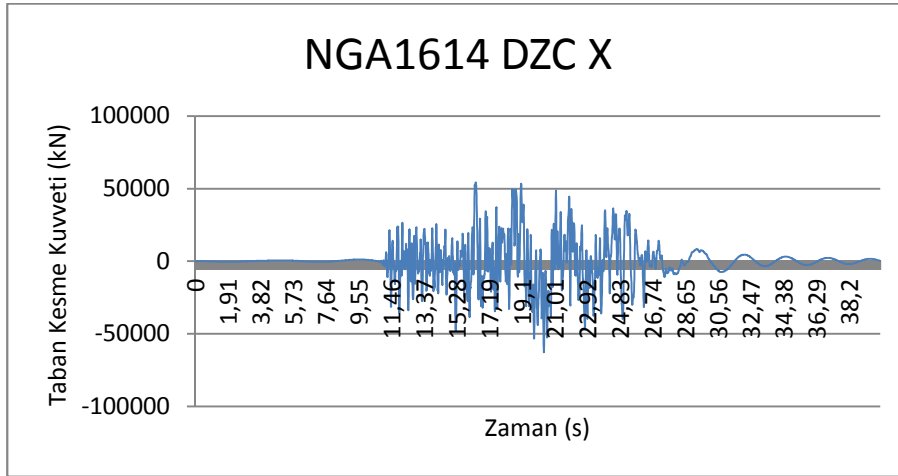
**Çizelge 4.9 :** SAP2000 taban kesme kuvvetleri.

| Analiz          |     | V <sub>tx</sub> (kN) | V <sub>ty</sub> (kN) |
|-----------------|-----|----------------------|----------------------|
| NGA850 Landers  | max | 62755                | 39748                |
|                 | min | -55826               | -40918               |
| NGA864 Landers  | max | 48545                | 30503                |
|                 | min | -45277               | -36502               |
| NGA1162 Kocaeli | max | 63292                | 38159                |
|                 | min | -57575               | -49775               |
| NGA1614 DZC     | max | 54243                | 47763                |
|                 | min | -62653               | -49483               |

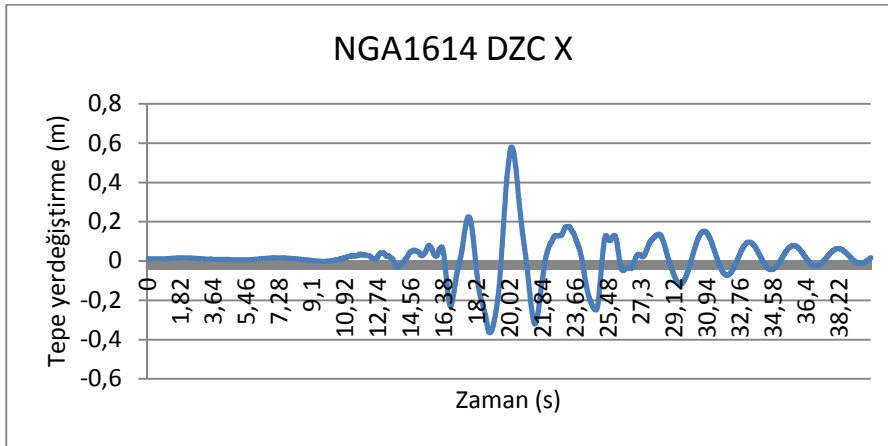
**Çizelge 4.10** : SAP2000 ve Perform-3D zemin kat kesme kuvveti.

| Analiz Adı       | SAP2000                               | Perform-3D                            |
|------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
|                  | İlk Kat Max. Taban Kesme Kuvveti (kN) | İlk Kat Max. Taban Kesme Kuvveti (kN) |
| NGA850 Landers X | 28801                                 | 22374                                 |
| NGA850 Landers Y | 20809                                 | 15404                                 |
| NGA864 Landers X | 21268                                 | 20843                                 |
| NGA864 Landers Y | 21325                                 | 20810                                 |
| NGA1162 KCL X    | 30301                                 | 25178                                 |
| NGA1162 KCL Y    | 18687                                 | 18193                                 |
| NGA1614 DZC X    | 28316                                 | 21696                                 |
| NGA1614 DZC Y    | 17740                                 | 15632                                 |

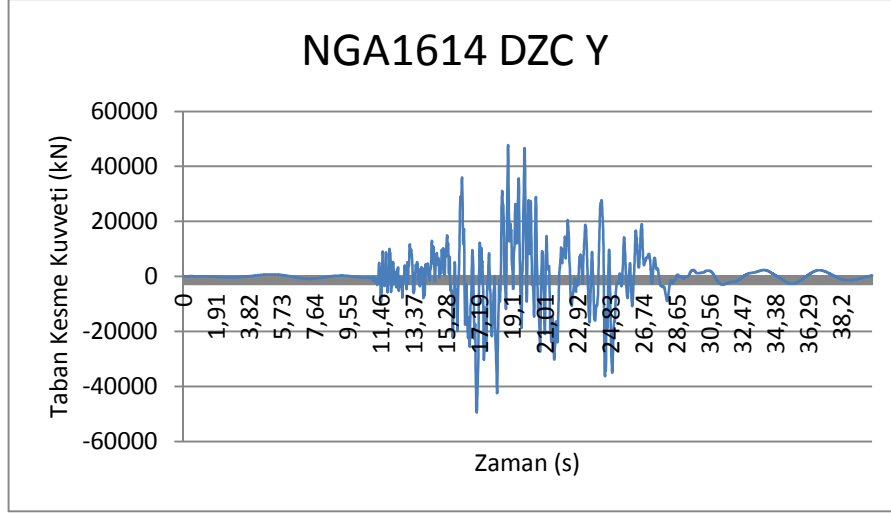
Analizler sonucunda deprem kayıtları için x ve y yönünde oluşan taban kesme kuvveti ve tepe yer değiştirmesi Şekil 4.32’den, Şekil 4.47’ye kadar verilmiştir.



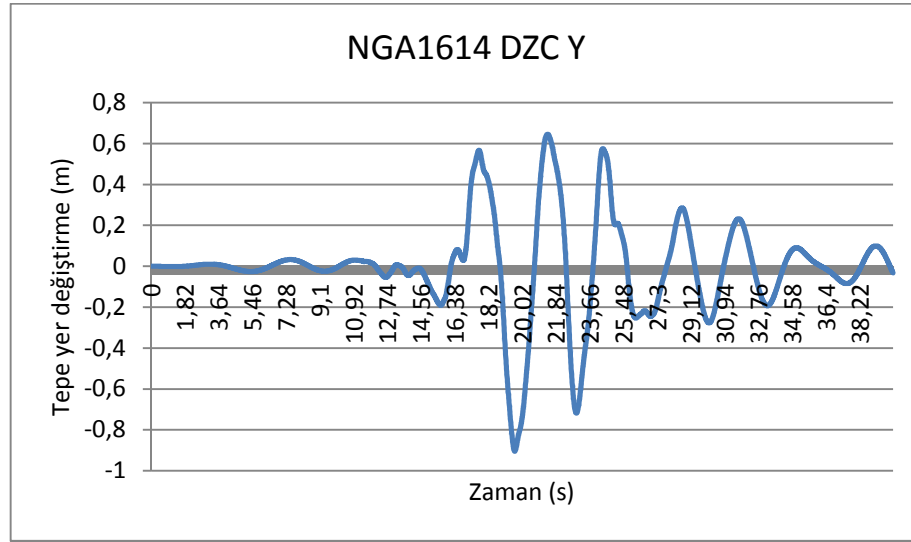
**Şekil 4.32** : NGA1614 DZC X deprem taban kesme kuvveti-zaman grafiği.



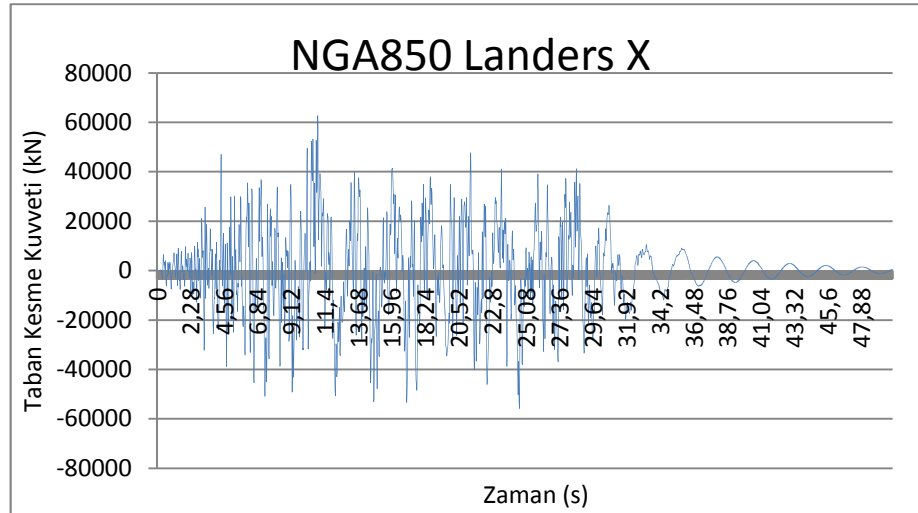
**Şekil 4.33** : NGA1614 DZC X tepe yer değiştirmesi-zaman grafiği.



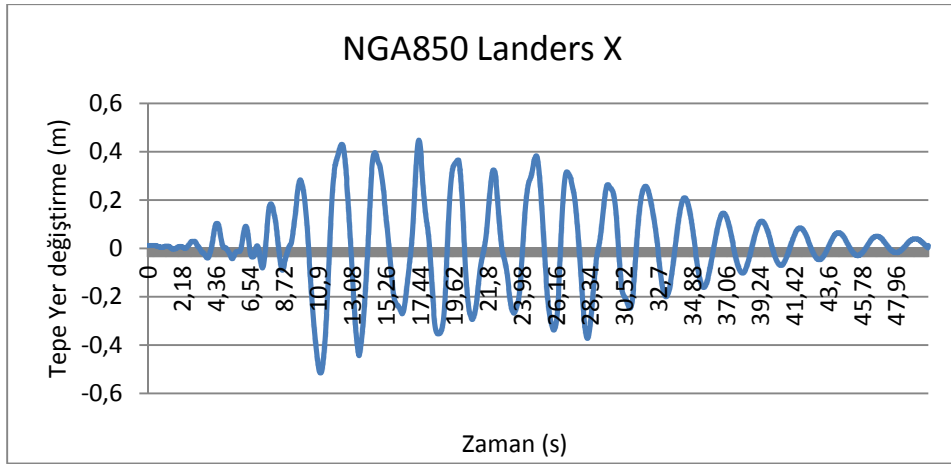
Şekil 4.34 : NGA1614 DZC Y deprem taban kesme kuvveti-zaman grafiği.



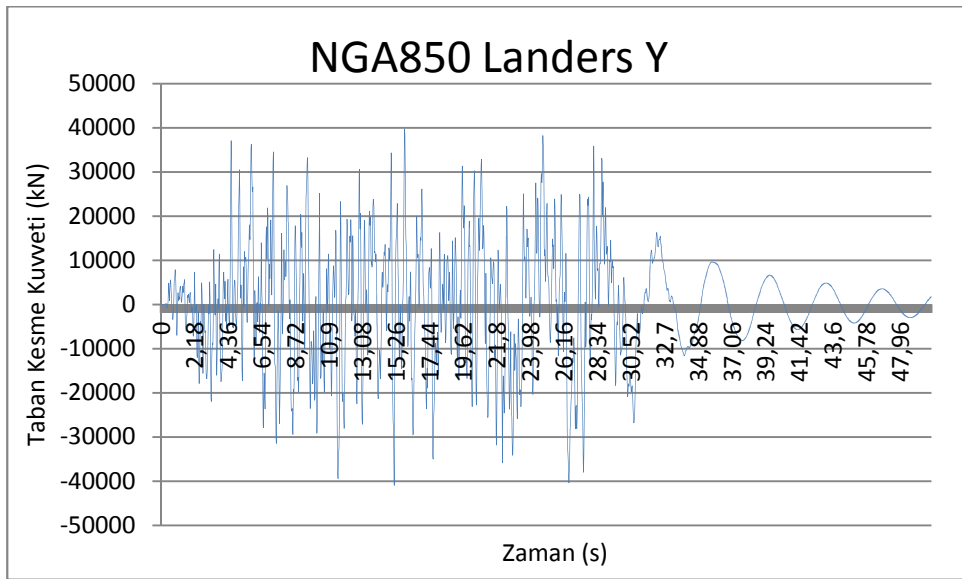
Şekil 4.35 : NGA1614 DZC Y tepe yer değiştirme-zaman grafiği.



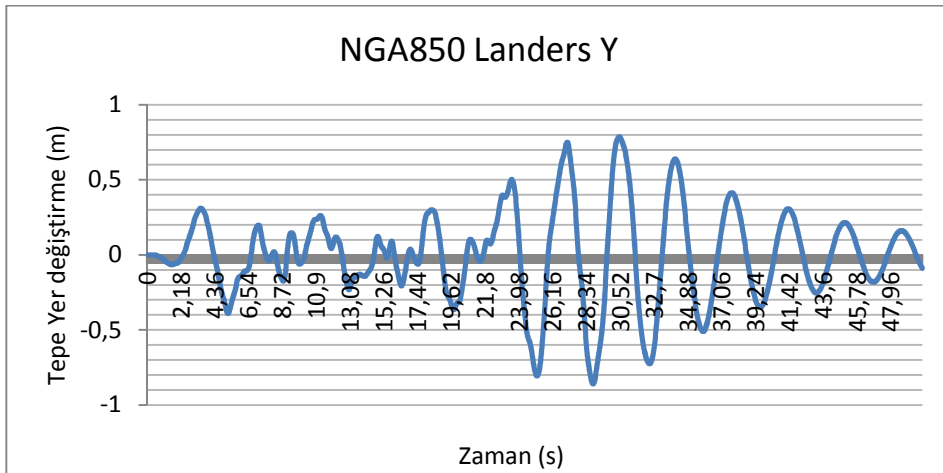
Şekil 4.36 : NGA850 Landers X deprem taban kesme kuvveti-zaman grafiği.



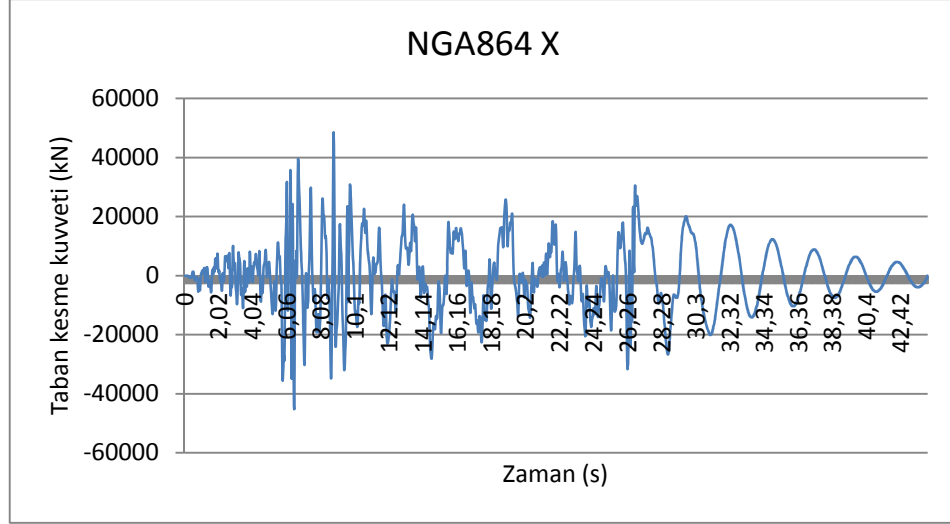
**şekil 4.37 :** NGA850 Landers X tepe yer değişirme-zaman grafiği.



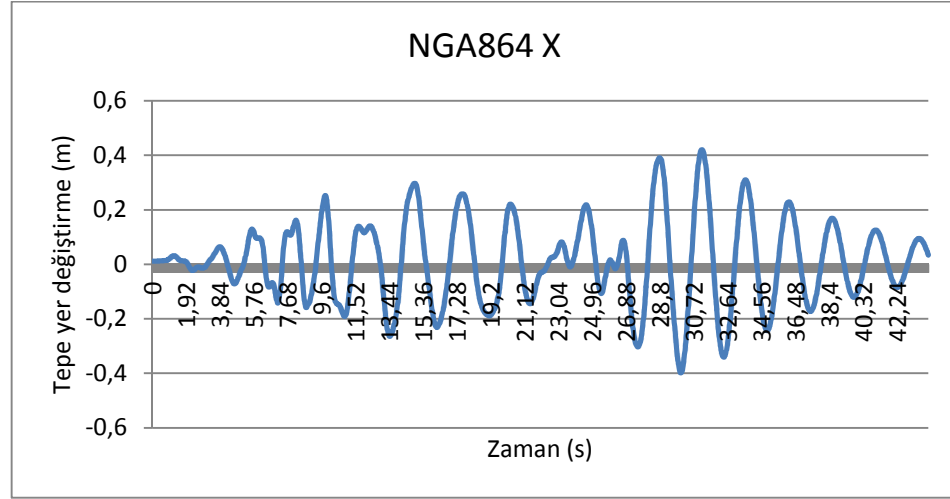
**şekil 4.38 :** NGA850 Landers Y deprem taban kesme kuvveti-zaman grafiği.



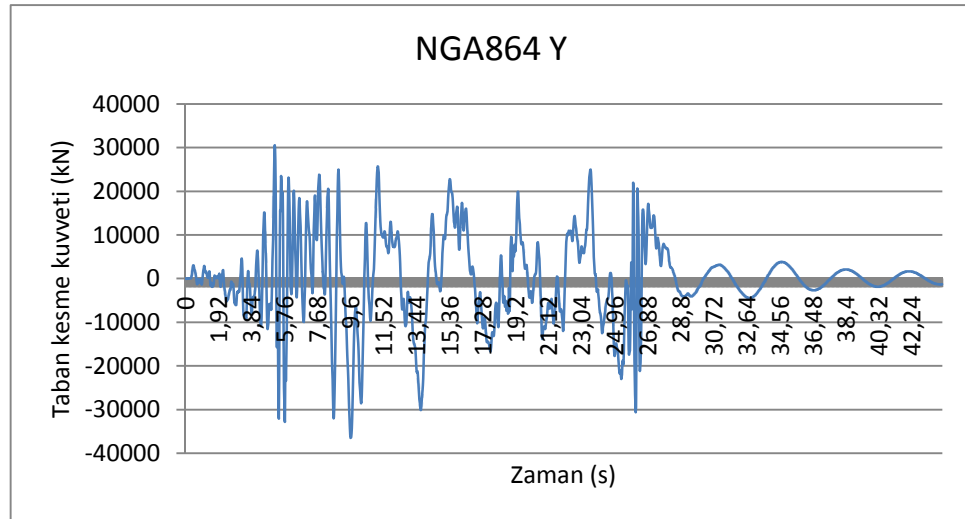
**şekil 4.39 :** NGA850 Landers Y tepe yer değişirme-zaman grafiği.



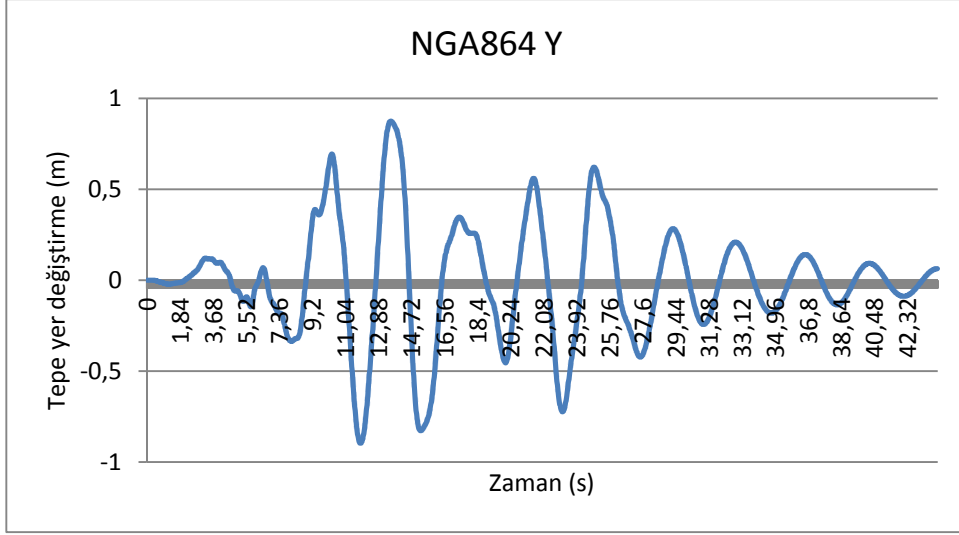
**Şekil 4.40 :** NGA864 Landers X taban kesme kuvveti-zaman grafiği.



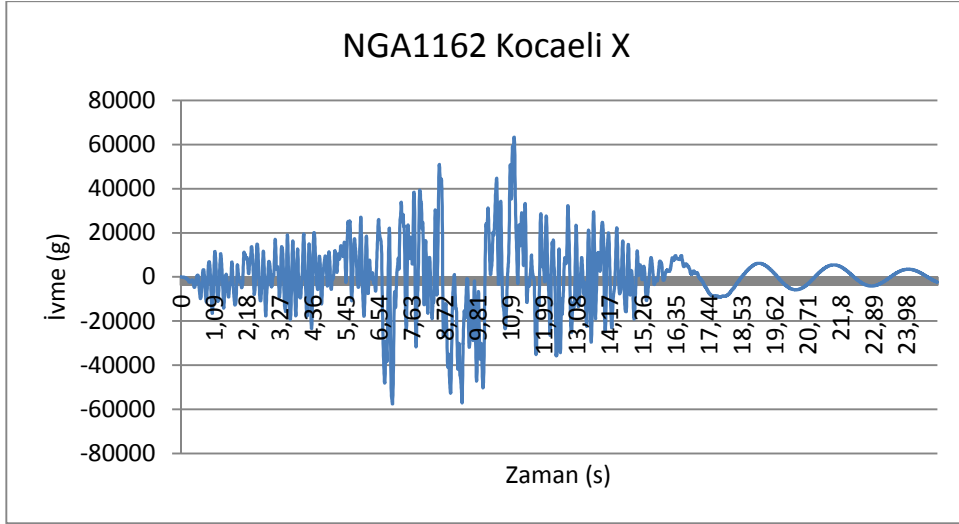
**Şekil 4.41 :** NGA864 X tepe yer değıştirme-zaman grafiği.



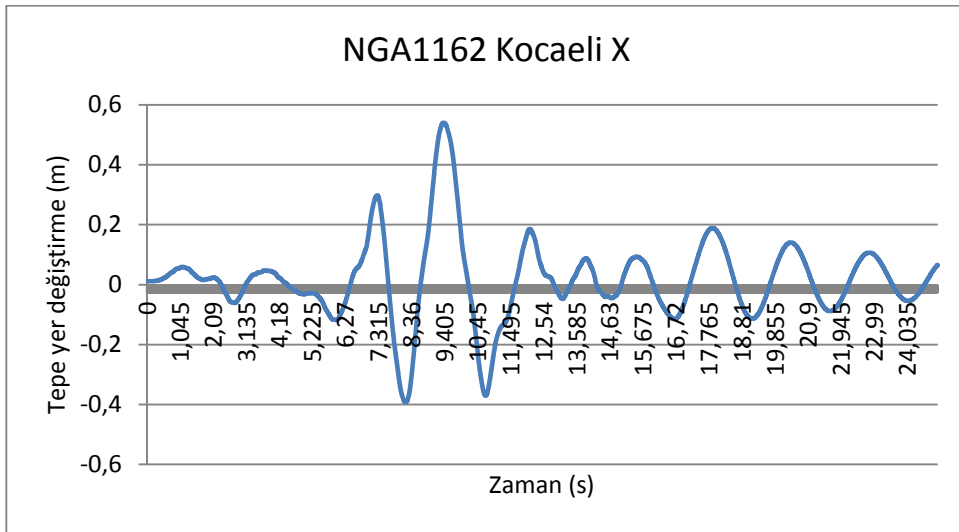
**Şekil 4.42 :** NGA864 Y taban kesme kuvveti-zaman grafiği.



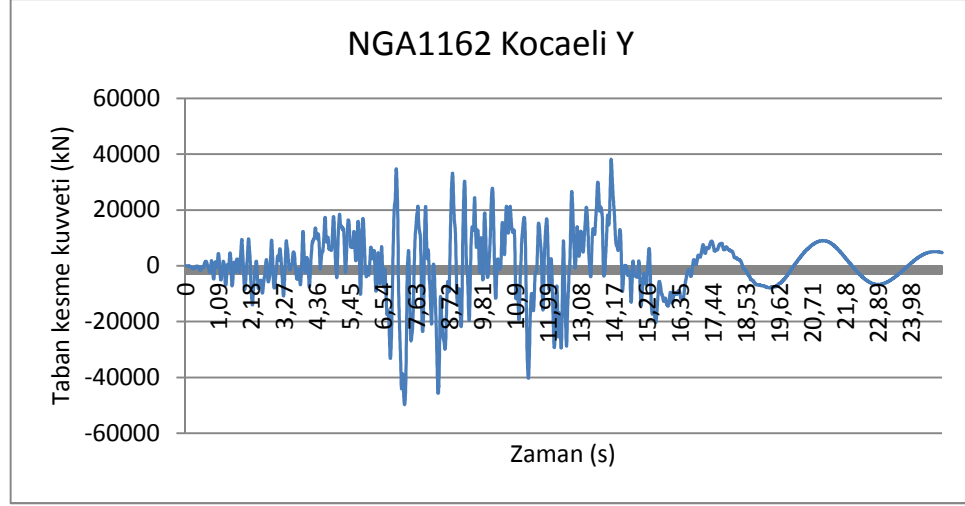
şekil 4.43 : NGA864 Y tepe yer değiştirme-zaman grafiği.



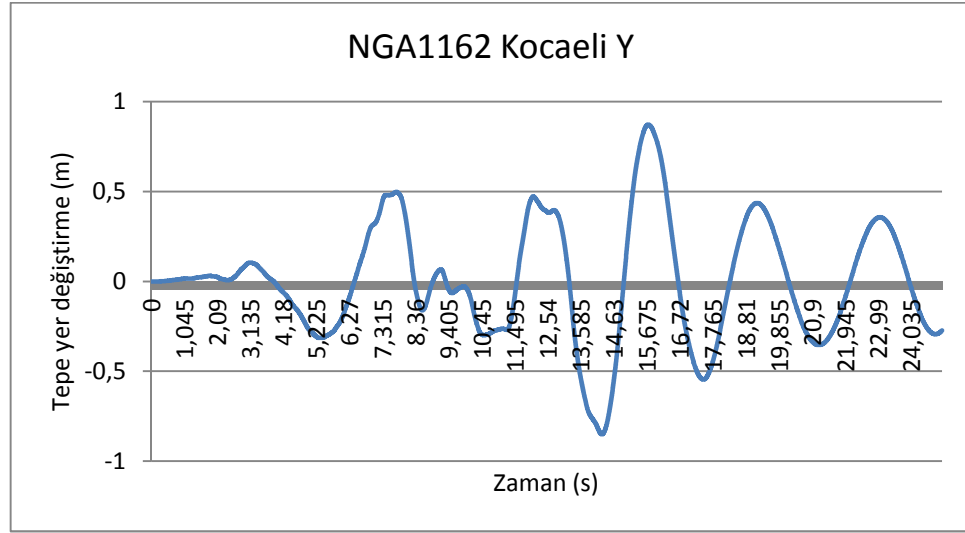
şekil 4.44 : NGA1162 X taban kesme kuvveti-zaman grafiği.



şekil 4.45 : NGA1162 X tepe yer değiştirme-zaman grafiği.



**Şekil 4.46 :** NGA1162 Y taban kesme kuvveti-zaman grafiği.



**Şekil 4.47 :** NGA1162 Y tepe yer değıştirme-zaman grafiği.

#### 4.6.1.2 Kiriş hasar durumlarının incelenmesi

Kiriş hasar durumlarını inceleyebilmek için SAP2000 programında kiriş uçlarına atanan plastik mafsallardan analiz sonrası plastik dönem değerlerini okumak gerekmektedir. Daha sonra okunan bu değere göre ASCE41’de verilen hasar durumu değerlerine göre kiriş hangi hasar bölgesinde olduğu tespit edilecektir (ASCE41-06 Supplement No.1, 2007, s. 6-33).

Aşağıda +45.3 kotunda bulunan AK712 kirişinin değerlendirilmesi vardır. Kiriş üzerinde sol uçtaki 450H2 ve sağ uçtaki 450H1 plastik mafsalları vardır. Kiriş uçlarındaki plastik mafsallardan okunan değerler aşağıdaki gibidir.

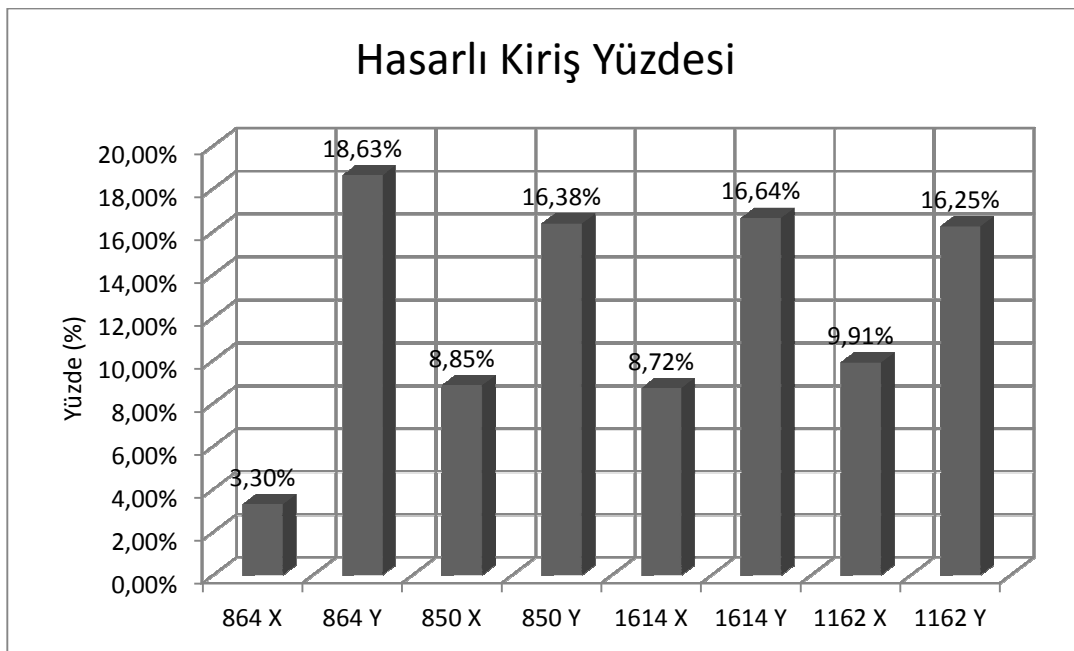
$$\theta_{p,sol} = 0.00145 \text{ rad}$$

$$\theta_{p,sağ} = 0.000266 \text{ rad}$$

AK712 kirişi ASCE41 Supplement 1 bölüm 6'da verilen  $\rho - \rho'/\rho_{bal} \leq 0$  ve  $V/b_w d \sqrt{f'_c} \leq 3$  koşulunu sağlamaktadır. Bu durumda bu kiriş için Instant Occupy hasar durumu için dönme değeri 0.01, Life Safety hasar durumu için 0.02 ve Collapse Prevention hasar durumu için 0.025 olarak bulunur.

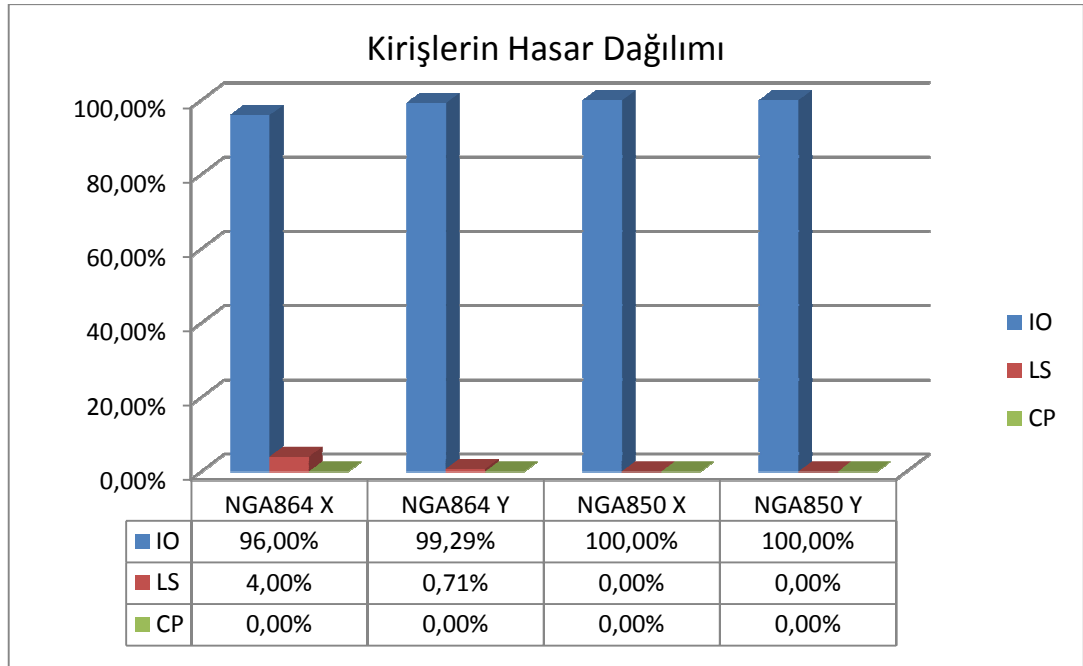
AK712 kirişi plastik mafsal dönme değerleri 0.01 değerinin altında kaldığı için kiriş IO hasar bölgesinde yer almaktadır.

Yapılan tüm doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler sonucunda kirişlerdeki dönme miktarlarına bağlı olarak aynı yoldan hasar durumu incelenmiştir. Analiz sonuçlarına göre Şekil 4.49ve Şekil 4.50'de kiriş hasar durumları grafik halinde ayrıntılı olarak verilmiştir. Plastik dönme görülmeyen kirişler hasarsız kabul edilmiştir.

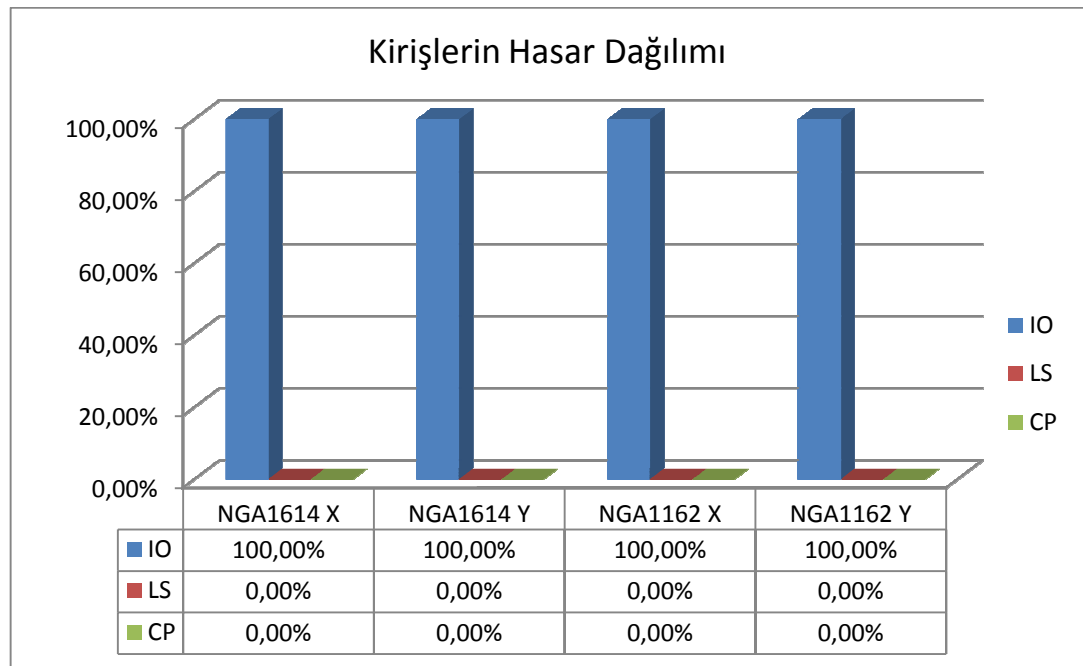


**Şekil 4.48 :** Deprem kayıtlarına göre hasar gören kirişlerin yüzdesi.

NGA864 Landers kaydının X doğrultusundaki analizi sonucunda toplam 757 kirişten 25'i hasar görmüştür. Bunların 24 tanesi IO hasar bölgesinde, 1 tanesi LS hasar bölgesinde yer almıştır.



**Şekil 4.49 :** NGA850 ve NGA864 depremleri kiriş hasar durumlarının dağılımı.



**Şekil 4.50 :** NGA1162 ve NGA1614 depremleri kiriş hasar durumlarının dağılımı.

#### 4.6.1.3 Kolon hasar durumlarını incelenmesi

Aşağıda örnek olarak bir kolonun hasar durum tespiti hesaplaması gösterilmiştir. Tip5 Zemin kat kolonlarından biri üzerinde bulunan plastik mafsallardan okunan dönme değerleri şöyledir;

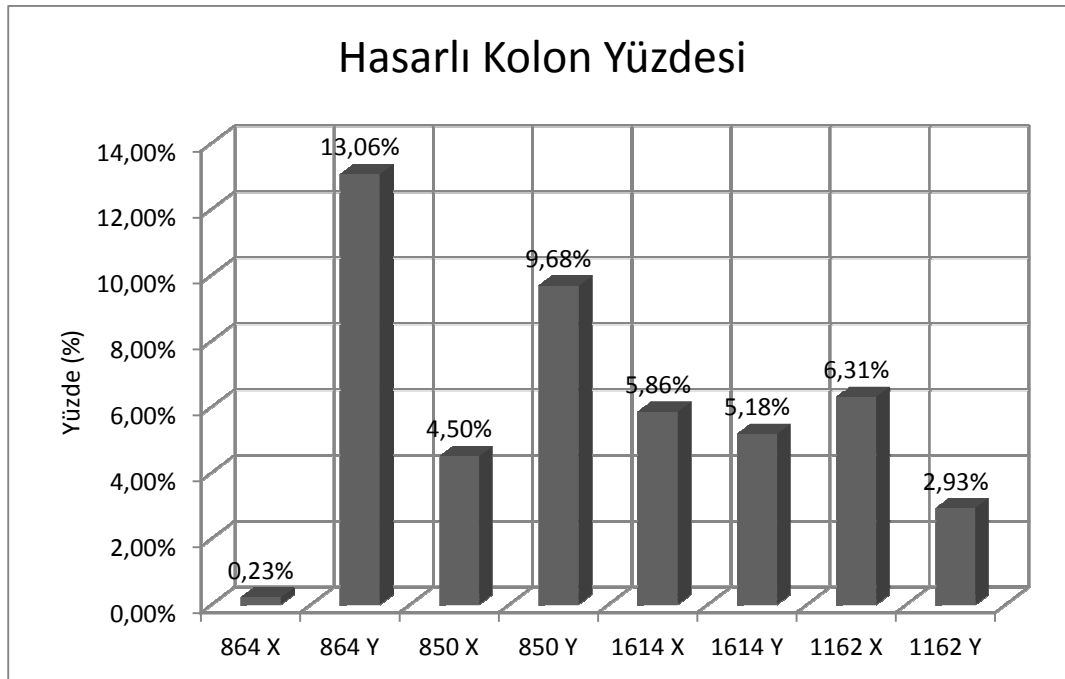
$$\theta_{p,\text{üst}} = 0.00 \text{ rad}$$

$$\theta_{p,alt} = 0.0012 \text{ rad.}$$

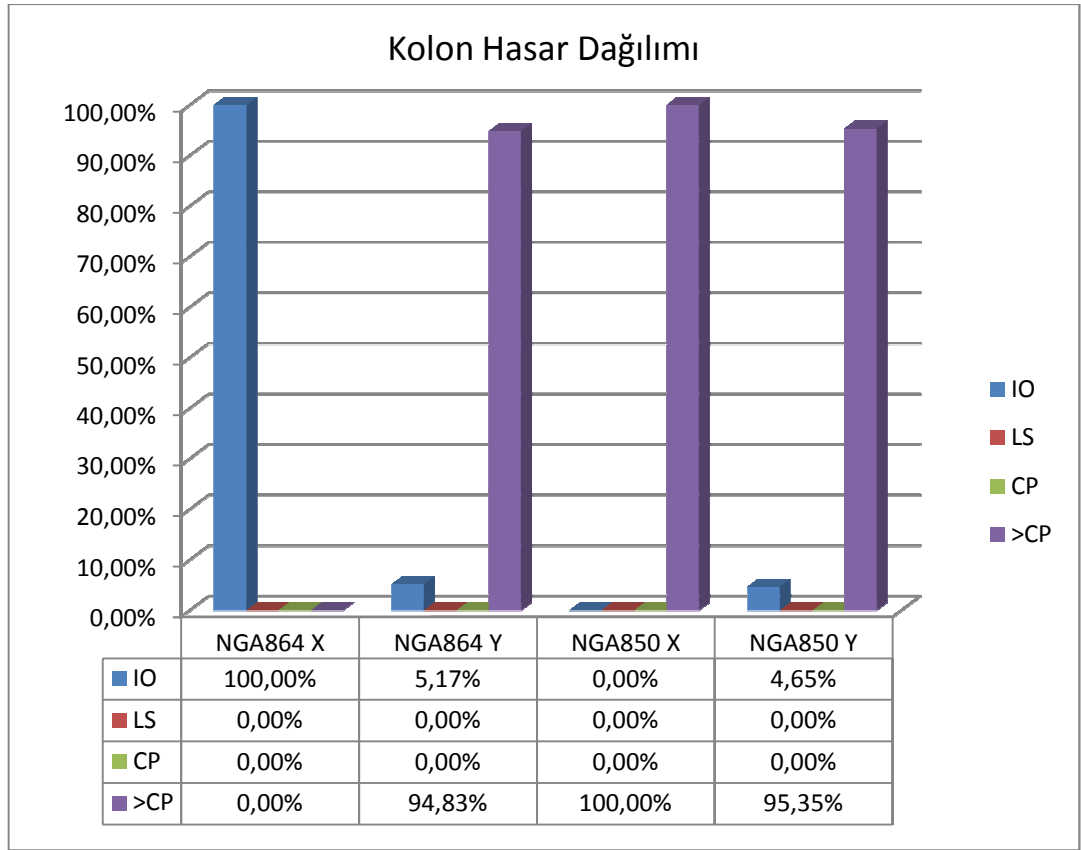
Kolon hasar durumunu belirlemek için ASCE41'de verilen kabul kriterleri değerlerine bakılır (ASCE41-06 Supplement No.1, 2007, s. 6-34). Hasar bölgelerini belirleyecek şekil değiştirme değerlerini belirlemek için kolonların bazı koşulları sağlanması gerekmektedir.

Seçilen kolon bu koşullardan  $V/b_w d \sqrt{f_c'} \leq 3$ ,  $\rho = A_v/b_w s \geq 0.006$  koşullarını sağlamaktadır. Fakat eksenel yük oranı  $P/A_g f_c' = 0.35$  olan bu kolon için hasar durumu değerlerinden  $P/A_g f_c' \leq 0.1$  ve  $P/A_g f_c' \geq 0.6$  değerlerine karşılık gelen değerler arasında 0.35 için interpolasyon yapılır. Bu durumda bu kiriş için Instant Occupy hasar durumu için dönme değeri 0.004, Life Safety hasar durumu için 0.016 ve Collapse Prevention hasar durumu için 0.0205 olarak bulunur.

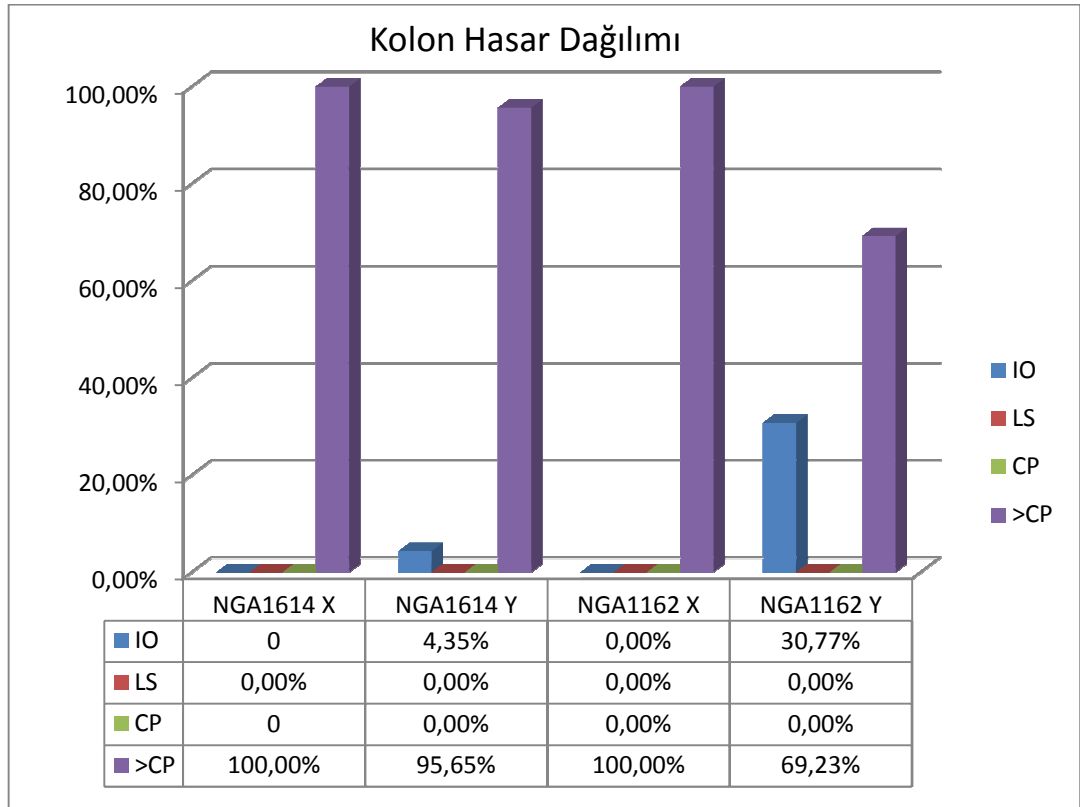
Kolon üst mafsalsındaki değer IO değerinden düşük olduğu için ve alt mafsalda plastik deformasyon meydana gelmediği için kolon IO hasar bölgesindedir. Analizler sonucunda diğer kolonlar için de aynı yol izlenerek hasar durumları belirlenir. Özet olarak analizler sonucunda kolonların hasar yüzdeleri ve hasar bölgeleri yüzdeleri Şekil 4.52 ve Şekil 4.53'de verilmiştir.



**Şekil 4.51 :** Deprem kayıtlarına göre hasar gören kolonların yüzdesi.



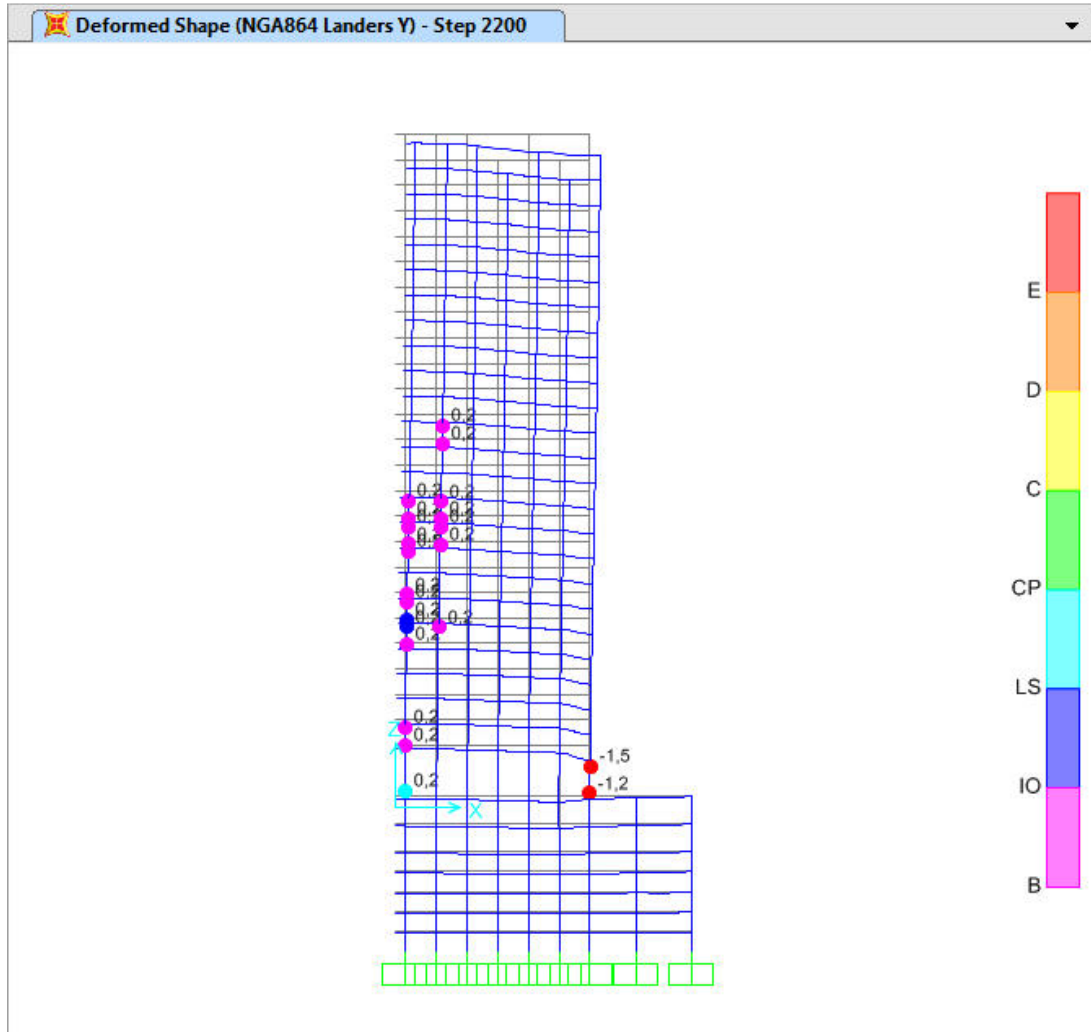
**Şekil 4.52 :** NGA850 ve NGA864 depremleri kolon hasar durumlarının dağılımı.



**Şekil 4.53 :** NGA1162 ve NGA1614 depremleri kolon hasar durumlarının dağılımı.

NGA864 Landers Y deprem kaydı etkisi altında 444 kolondan 58'i hasar görmüştür. Bunlardan 3'ü IO hasar bölgesinde, 55'i CP hasar bölgesinin ötesine geçmiştir. Şekil 4.54'de NGA864 Landers Y analizi sonucunda kolonlarda dönmeden dolayı oluşan plastik mafsallar gözükmemektedir.

Kolonlarda oluşan göçme bölgesi ötesindeki hasarların sebebi, kolonlara etki eden gerilme eksenel kuvvetinden dolayı olmuştur.



Şekil 4.54 : NGA864 Y analizi sonucunda kolonlarda oluşan plastik mafsallar.

#### 4.6.1.4 Perde hasar durumlarının incelenmesi

Perde hasar durumunu incelemek için Perform-3D yazılımı ile yapılan nonlineer analiz sonuçlarına bakılacaktır. Çizelge 4.11 ve Çizelge 4.12'de Perform-3D analiz sonuçları neticesinde X ve Y yönündeki depremler için “Strain Gage” ve “Rotation Gage” elemanlarında oluşan maksimum şekil değiştirmelerin kapasite oranları verilmiştir.

**Çizelge 4.11 : Perform-3D X yönü deprem analizi D/C sonuçları.**

|                                      | NGA1614<br>DZC X | NGA850<br>Landers X | NGA864<br>Landers X | NGA1162<br>KCL X |
|--------------------------------------|------------------|---------------------|---------------------|------------------|
| Bending rotation from rotation gages | 0.3514           | 0.3838              | 0.4466              | 0.5176           |
| Tension Strain, upper floors         | 0.6236           | 0.724               | 0.7519              | 0.6643           |
| Comp Strain Crushing, upper floors   | 0.6377           | 0.7094              | 0.588               | 0.5553           |
| P40x350, Hinge region, tension       | 1.363            | 1.623               | 2.341               | 2.667            |
| P40x350, Hinge region, comp          | 0.4136           | 0.4153              | 0.4906              | 0.5782           |
| P40x437, Hinge region, tension       | 1.363            | 1.628               | 2.341               | 2.667            |
| P40x437, Hinge region, comp          | 0.9153           | 0.8822              | 1.37                | 1.308            |
| P40x245, Hinge region, tension       | 2.059            | 2.199               | 3.664               | 3.674            |
| P40x245, Hinge region, comp          | 0.7669           | 0.923               | 1.009               | 1.368            |
| P40x475, Hinge region, tension       | 2.059            | 2.199               | 3.654               | 3.674            |
| P40x475, Hinge region, comp          | 0.7669           | 0.923               | 1.009               | 1.368            |
| P30x265, Hinge region, tension       | 1.081            | 1.645               | 2.313               | 2.634            |
| P30x265, Hinge region, comp          | 7.143            | 7.925               | 8.555               | 10.07            |
| P30x245, Hinge region, tension       | 1.623            | 1.912               | 2.882               | 3.181            |
| P30x245, Hinge region, comp          | 6.045            | 6.8                 | 7.798               | 9.171            |

Çizelgede verilen sonuçlardan X yönündeki depremler etkisi altında, sadece P40x437 perdesinin uç bölgesinde gerilme şekil değiştirmesinin 1'in üzerine geçtiği görülmüştür. NGA1614 DZC X deprem kaydı etkisinde 1.363 şekil değiştirme oranı, 0.00429'luk şekil değiştirmeye tekabül etmektedir. Buradan perde uç bölgesindeki donatının akmaya başladığı görülmektedir.

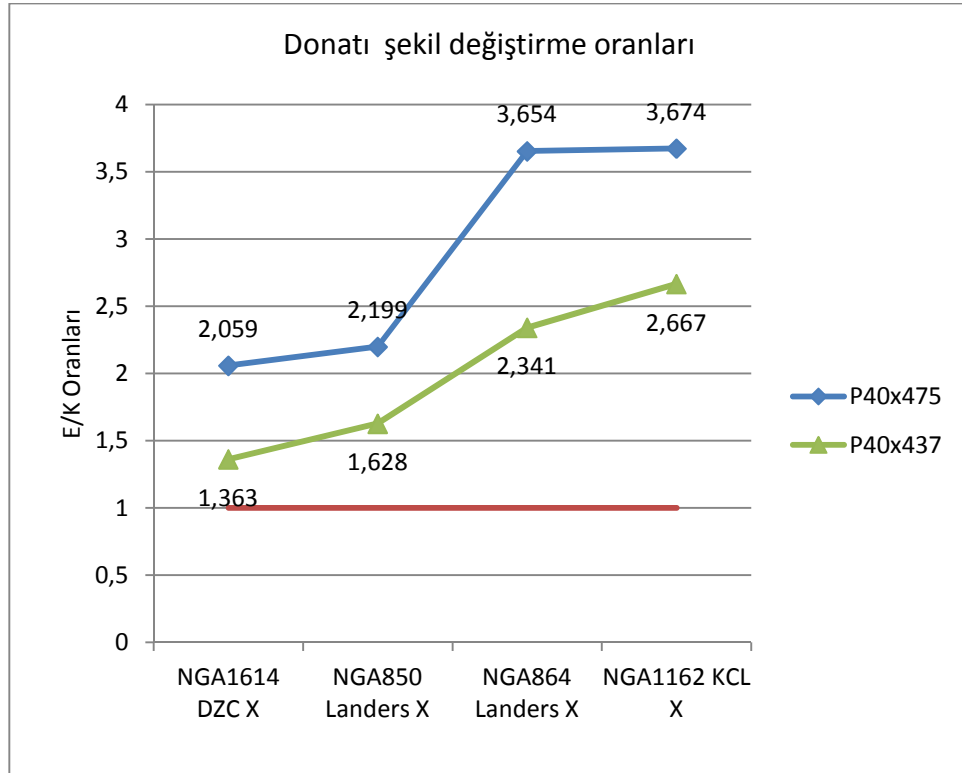
P30x265 perdesi uç bölgesinde NGA1162 KCL X depremi etkisi altında betonda 10.07 etki/kapasite oranında ezilme görülmüştür. Bu oran, 0.02 beton ezilme şekil değiştirmesi anlamına gelmektedir. Bu oran sargı etkisindeki beton için bile oldukça yüksek bir basınç şekil değiştirmesidir. Perdenin uç bölgesinde betonun ezilmeden dolayı taşıyıcılığını kaybedeceği düşünülmektedir.

Çizelgeden de okunabileceği gibi P40x350 perdesi için NGA1614 DZC Y deprem kaydı ile yapılan zaman tanım alanında analiz sonucunda perde uç bölgesinde maksimum gerilme şekil değiştirme oranı 3.361 olarak bulunmuştur. Bu plastik mafsallık bölgesinde tanımlanan elemanda 0.0106 olarak tanımlanan gerilme şekil değiştirme kapasitesinin 3.361 katı olan 0.01'lik şekil değiştirme meydana geldiğini göstermektedir ve donatı akmaya başlamıştır.

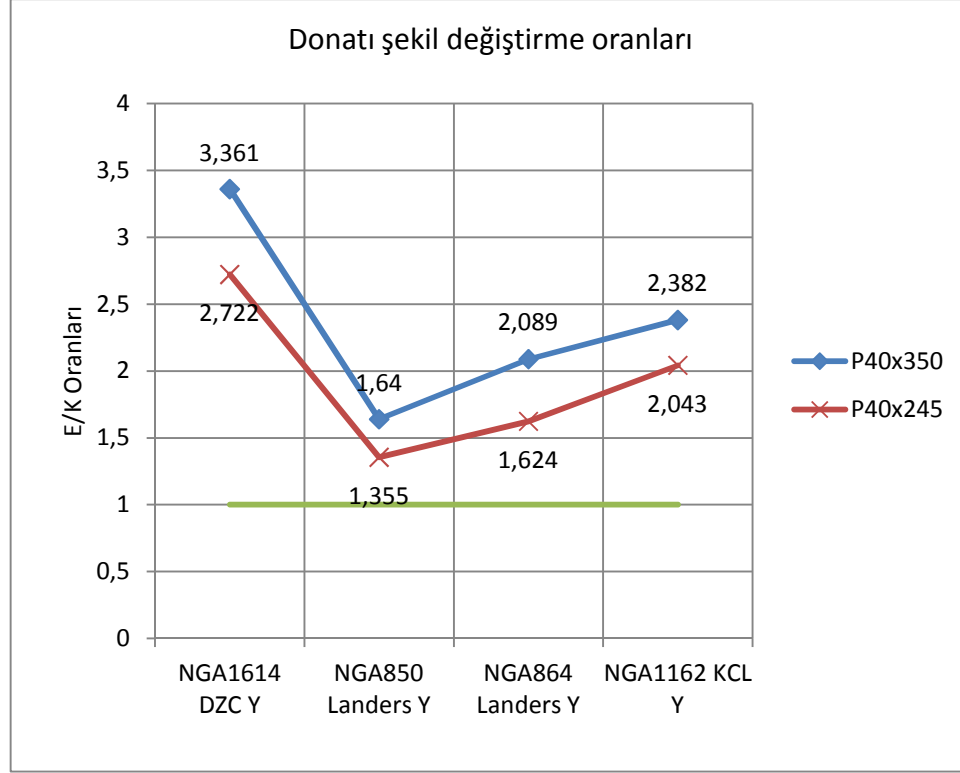
Şekil 4.55 ve Şekil 4.56'da Etki/Kapasite oranı 1'i geçen perdelerden bazılarının ait şekil değiştirmelerin deprem analizlerine göre grafiği verilmiştir.

**Çizelge 4.12 :** Perform-3D Y yönü deprem analizi D/C sonuçları.

|                                      | NGA1614<br>DZC Y | NGA850<br>Landers Y | NGA864<br>Landers Y | NGA1162<br>KCL Y |
|--------------------------------------|------------------|---------------------|---------------------|------------------|
| Bending Rotation from rotation gages | 0.3835           | 0.2018              | 0.2422              | 0.2762           |
| Tension Strain, upper floors         | 0.539            | 0.5176              | 0.5073              | 0.4295           |
| Comp Strain Crushing, upper floors   | 0.273            | 0.3229              | 0.3129              | 0.2681           |
| P40x350, Hinge region, tension       | 3.361            | 1.64                | 2.089               | 2.382            |
| P40x350, Hinge region, comp          | 0.521            | 0.4616              | 0.5082              | 0.5936           |
| P40x437, Hinge region, tension       | 3.854            | 1.883               | 2.215               | 2.501            |
| P40x437, Hinge region, comp          | 0.521            | 0.4616              | 0.5082              | 0.5936           |
| P40x245, Hinge region, tension       | 2.722            | 1.355               | 1.624               | 2.043            |
| P40x245, Hinge region, comp          | 1.185            | 0.698               | 0.8594              | 1.207            |
| P40x475, Hinge region, tension       | 2.579            | 0.9837              | 1.213               | 1.43             |
| P40x475, Hinge region, comp          | 0.3839           | 0.3906              | 0.3761              | 0.3582           |
| P30x265, Hinge region, tension       | 1.657            | 0.9489              | 1.264               | 1.475            |
| P30x265, Hinge region, comp          | 0.5769           | 0.5296              | 0.4679              | 0.5798           |
| P30x245, Hinge region, tension       | 3.254            | 1.4                 | 1.57                | 1.475            |
| P30x245, Hinge region, comp          | 0.5769           | 0.4445              | 0.4679              | 0.3952           |



**Şekil 4.55 :** X yönü perde etki-kapasite oranları.



**Şekil 4.56 : Y yönü perde etki-kapasite oranları.**

#### 4.6.1.5 Göreli kat ötelemeleri

Analizler sonucunda katlarda oluşan deplasmanların mutlak değerlerine göre hesaplanan göreli kat ötelemelerinin listesi Çizelge 4.13 ve Çizelge 4.14’de verilmiştir.

**Çizelge 4.13 : X yönü göreli kat öteleme değerleri.**

| <b>Kat</b> | <b>850 X</b> | <b>864 X</b> | <b>1162 X</b> | <b>1614 X</b> | <b>Ortalama X</b> |
|------------|--------------|--------------|---------------|---------------|-------------------|
| 1          | -            | -            | -             | -             | -                 |
| 2          | 0.0024       | 0.0019       | 0.0026        | 0.0026        | 0.0023            |
| 3          | 0.0051       | 0.0041       | 0.0057        | 0.0056        | 0.0051            |
| 4          | 0.0055       | 0.0043       | 0.0062        | 0.0061        | 0.0055            |
| 5          | 0.0057       | 0.0046       | 0.0065        | 0.0065        | 0.0058            |
| 6          | 0.0059       | 0.0047       | 0.0068        | 0.0068        | 0.0061            |
| 7          | 0.0061       | 0.0049       | 0.0071        | 0.0070        | 0.0063            |
| 8          | 0.0063       | 0.0051       | 0.0072        | 0.0072        | 0.0064            |
| 9          | 0.0064       | 0.0053       | 0.0072        | 0.0073        | 0.0065            |
| 10         | 0.0065       | 0.0053       | 0.0072        | 0.0074        | 0.0066            |
| 11         | 0.0066       | 0.0054       | 0.0071        | 0.0074        | 0.0066            |
| 12         | 0.0066       | 0.0054       | 0.0070        | 0.0074        | 0.0066            |
| 13         | 0.0066       | 0.0054       | 0.0068        | 0.0074        | 0.0066            |
| 14         | 0.0066       | 0.0053       | 0.0066        | 0.0073        | 0.0065            |
| 15         | 0.0064       | 0.0053       | 0.0064        | 0.0073        | 0.0064            |
| 16         | 0.0063       | 0.0052       | 0.0062        | 0.0071        | 0.0062            |
| 17         | 0.0062       | 0.0051       | 0.0060        | 0.0070        | 0.0061            |
| 18         | 0.0060       | 0.0050       | 0.0058        | 0.0069        | 0.0059            |
| 19         | 0.0058       | 0.0049       | 0.0056        | 0.0067        | 0.0058            |
| 20         | 0.0056       | 0.0048       | 0.0055        | 0.0065        | 0.0056            |
| 21         | 0.0055       | 0.0047       | 0.0054        | 0.0064        | 0.0055            |
| 22         | 0.0054       | 0.0045       | 0.0053        | 0.0062        | 0.0054            |
| 23         | 0.0052       | 0.0044       | 0.0053        | 0.0060        | 0.0052            |
| 24         | 0.0051       | 0.0043       | 0.0053        | 0.0059        | 0.0052            |
| 25         | 0.0050       | 0.0043       | 0.0054        | 0.0058        | 0.0051            |

**Çizelge 4.14 : Y yönü göreli kat ötelemeleri.**

| Kat | 850 Y  | 864 Y  | 1162 Y | 1614 Y | Ortalama Y |
|-----|--------|--------|--------|--------|------------|
| 1   | -      | -      | -      | -      | -          |
| 2   | 0.0060 | 0.0064 | 0.0056 | 0.0051 | 0.0058     |
| 3   | 0.0115 | 0.0125 | 0.0109 | 0.0100 | 0.0112     |
| 4   | 0.0113 | 0.0124 | 0.0111 | 0.0099 | 0.0112     |
| 5   | 0.0109 | 0.0123 | 0.0121 | 0.0098 | 0.0113     |
| 6   | 0.0105 | 0.0121 | 0.0119 | 0.0098 | 0.0111     |
| 7   | 0.0102 | 0.0120 | 0.0120 | 0.0111 | 0.0113     |
| 8   | 0.0096 | 0.0115 | 0.0115 | 0.0112 | 0.0110     |
| 9   | 0.0091 | 0.0110 | 0.0111 | 0.0113 | 0.0106     |
| 10  | 0.0085 | 0.0105 | 0.0106 | 0.0113 | 0.0102     |
| 11  | 0.0081 | 0.0102 | 0.0101 | 0.0112 | 0.0099     |
| 12  | 0.0076 | 0.0097 | 0.0095 | 0.0109 | 0.0094     |
| 13  | 0.0072 | 0.0091 | 0.0090 | 0.0106 | 0.0090     |
| 14  | 0.0069 | 0.0087 | 0.0089 | 0.0102 | 0.0087     |
| 15  | 0.0077 | 0.0082 | 0.0094 | 0.0099 | 0.0088     |
| 16  | 0.0083 | 0.0078 | 0.0090 | 0.0096 | 0.0087     |
| 17  | 0.0085 | 0.0074 | 0.0086 | 0.0094 | 0.0085     |
| 18  | 0.0095 | 0.0070 | 0.0083 | 0.0094 | 0.0086     |
| 19  | 0.0097 | 0.0068 | 0.0079 | 0.0092 | 0.0084     |
| 20  | 0.0093 | 0.0066 | 0.0075 | 0.0090 | 0.0081     |
| 21  | 0.0088 | 0.0064 | 0.0071 | 0.0086 | 0.0077     |
| 22  | 0.0082 | 0.0081 | 0.0067 | 0.0082 | 0.0078     |
| 23  | 0.0077 | 0.0078 | 0.0062 | 0.0077 | 0.0074     |
| 24  | 0.0071 | 0.0073 | 0.0058 | 0.0072 | 0.0068     |
| 25  | 0.0070 | 0.0073 | 0.0057 | 0.0071 | 0.0068     |

#### 4.6.1.6 Perde kesme güvenliği kontrolü

Perdelerde zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz boyunca oluşan maksimum kesme kuvveti değerleri, ACI318-11’de verilen perdenin kesme dayanım kuvveti kapasitesi (ACI318-11, B. 21.11.9) denkleminden hesaplanan değerlerle karşılaştırılmıştır.

$$V_n = A_{cv}(0.17\lambda\sqrt{f'_c} + \rho_t f_y) \quad (4.1)$$

Denklemden;

$A_{cv}$  : Kesitin tüm beton alanı,

$\lambda$  : Kesme kuvveti için hesap katsayısı,

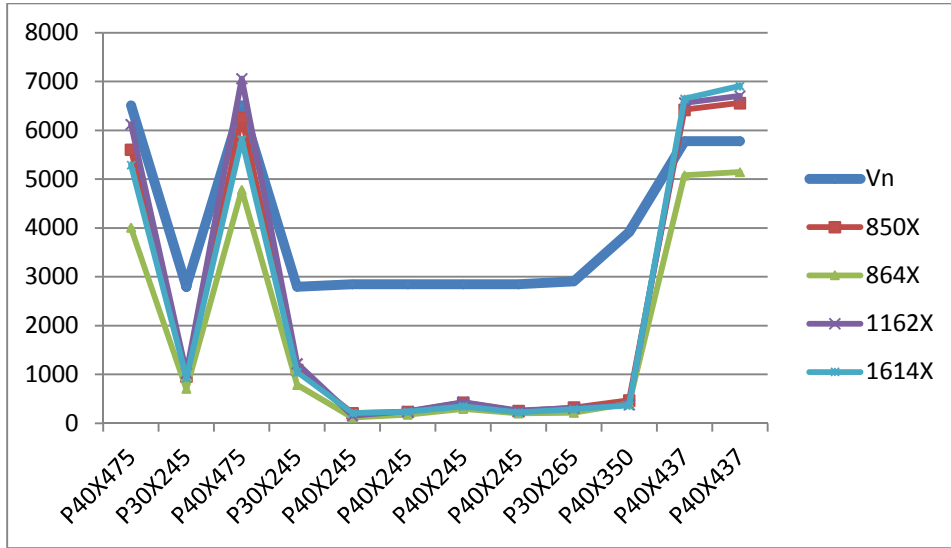
$f_c'$  : Beton karakteristik basınç dayanımı,

$\rho_t$  : Kesme kuvveti yönündeki donatı oranı,

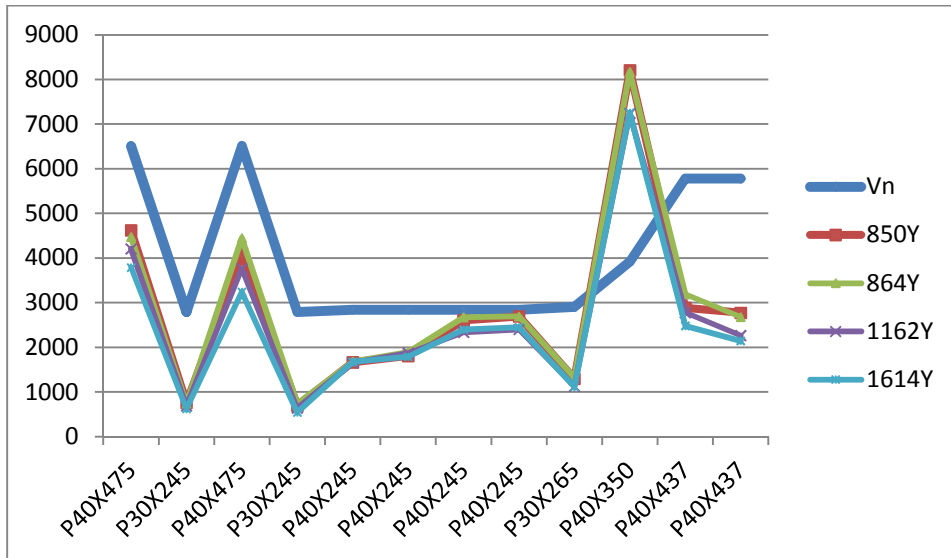
$f_y$  : Donatı çeliği akma dayanımı.

Denklem 4.1'e göre hesaplanan perde kesme dayanımları ve SAP2000 analiz sonucu verilerinden elde edilen 1. kattaki perdelerde oluşan maksimum kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması Çizelge 4.15'de verilmiştir. Bu değerler SAP2000'de perdenin eşdeğer kolon-kiriş şeklinde modellenmesiyle elde edilmiştir. Perde taşıyıcı sisteminin planda görünüşü ve perdelerin konumlarını Şekil 4.59'da görülebilir.

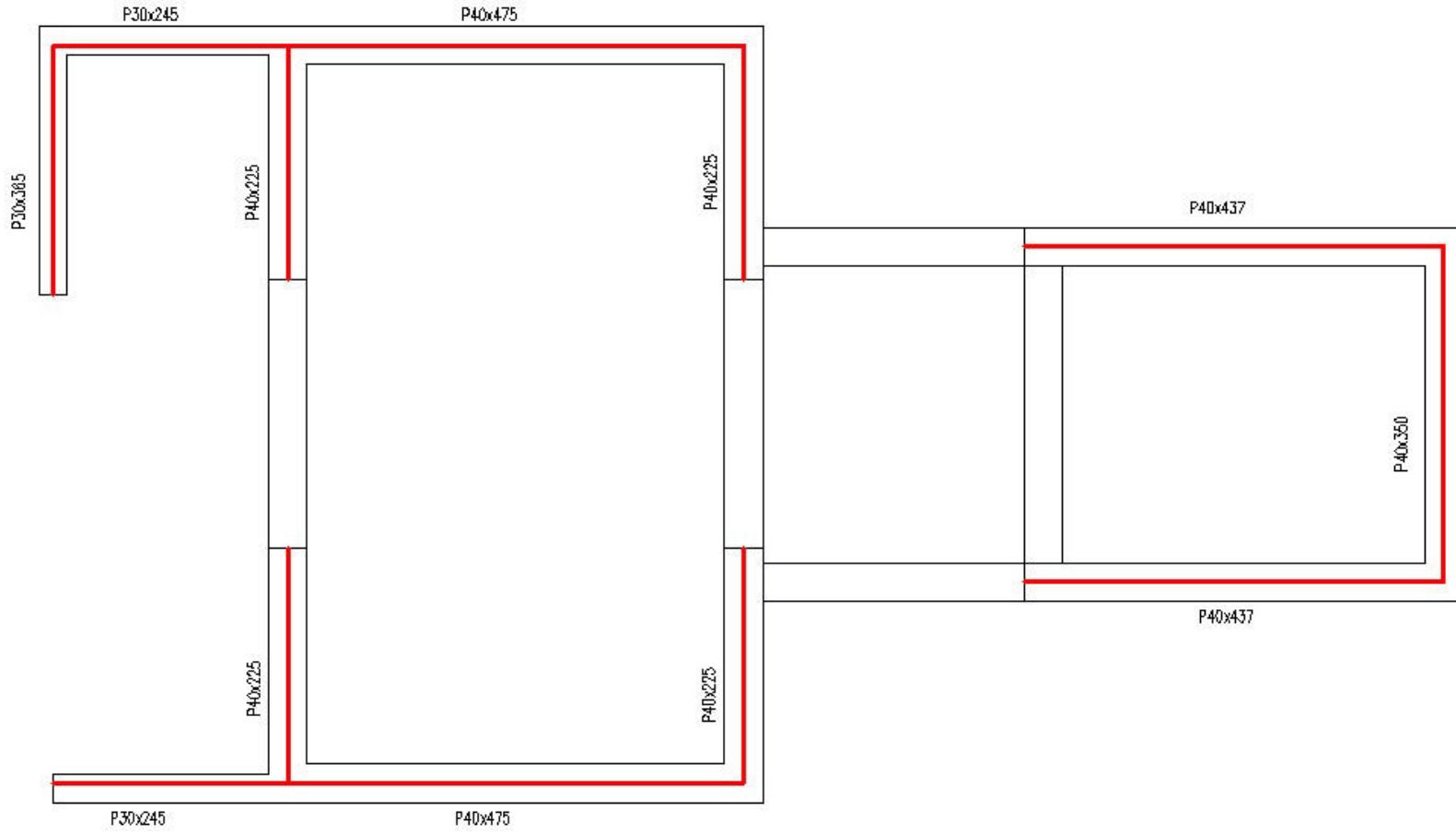
Sonuçlar grafik olarak Şekil 4.57'de ve Şekil 4.58'de verilmiştir.



Şekil 4.57 : X yönünde perde kesme güvenliği.



Şekil 4.58 : Y yönünde perde kesme güvenliği.



Şekil 4.59 : Perde taşıyıcı sistemin plan görünüşü.

**Çizelge 4.15 : Kesme kuvveti karşılaştırması.**

| Perde   | 850X | 864X | 1162X | 1614X | V <sub>n</sub> | 850Y | 864Y | 1162Y | 1614Y | V <sub>n</sub> |
|---------|------|------|-------|-------|----------------|------|------|-------|-------|----------------|
| P40X475 | 5605 | 4008 | 6123  | 5289  | 6511           | 4621 | 4474 | 4207  | 3788  | 6511           |
| P30X245 | 959  | 710  | 1027  | 928   | 2793           | 761  | 736  | 692   | 625   | 2793           |
| P40X475 | 6258 | 4780 | 7060  | 5811  | 6511           | 4104 | 4447 | 3761  | 3243  | 6511           |
| P30X245 | 1097 | 788  | 1222  | 1046  | 2793           | 697  | 741  | 640   | 543   | 2793           |
| P40X245 | 209  | 119  | 160   | 209   | 2845           | 1664 | 1684 | 1658  | 1674  | 2845           |
| P40X245 | 236  | 180  | 246   | 236   | 2845           | 1809 | 1893 | 1872  | 1790  | 2845           |
| P40X245 | 425  | 295  | 435   | 349   | 2845           | 2606 | 2675 | 2339  | 2398  | 2845           |
| P40X245 | 252  | 204  | 259   | 220   | 2845           | 2693 | 2694 | 2400  | 2449  | 2845           |
| P30X265 | 324  | 217  | 312   | 285   | 2909           | 1296 | 1329 | 1129  | 1116  | 2909           |
| P40X350 | 469  | 406  | 383   | 364   | 3919           | 8206 | 8172 | 7238  | 7253  | 3919           |
| P40X437 | 6421 | 5077 | 6563  | 6644  | 5778           | 2883 | 3192 | 2778  | 2481  | 5778           |

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

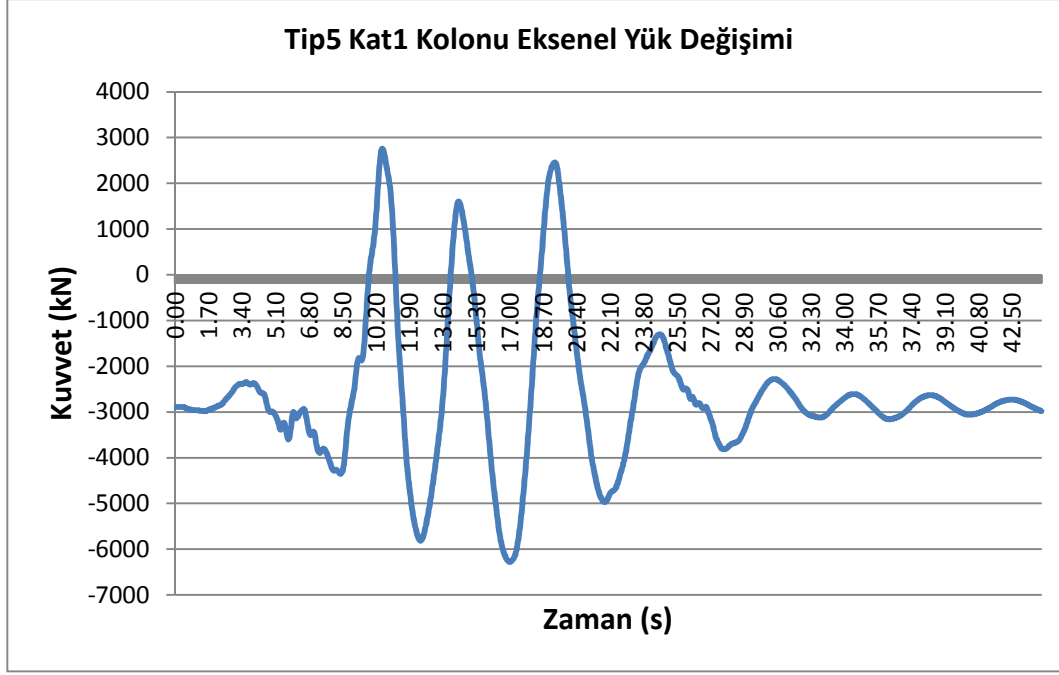
Bu çalışmada İstanbul’da yapımı 2009 yılında tamamlanan bir yüksek yapının PEER TBI tarafından yayınlanan GPBSDTB rehberi esaslarında değerlendirmesi yapılmıştır. Binanın yüksekliği 90.8m olup zemin kotu üstünde 25 ofis katı, zemin altında ise iki ofis katı ve beş otopark katı bulunmaktadır. Değerlendirme sonrası elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Yapının kat döşemelerinde imalatın kolaylığı için uygulanan kaset döşeme sistemi boyutları büyük kirişlere ve moment aktarımına uygun olmayan kolon-kiriş birleşimlerine yol açmıştır.
- Yapıda çerçeve sistem oluşturulmamasından dolayı, deprem kuvvetinin büyük kısmı perdeler tarafından karşılanmaktadır.

**Çizelge 5.1 : Kesme kuvveti oranları.**

| Analiz Adı       | İlk Kat Perde Toplam Kesme Kuvveti (kN) | İlk Kat Toplam Kesme Kuvveti (kN) | Perde | Çerçeve |
|------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------|-------|---------|
| NGA850 Landers X | 26739                                   | 28801                             | 93%   | 7%      |
| NGA850 Landers Y | 17036                                   | 20809                             | 82%   | 18%     |
| NGA864 Landers X | 20202                                   | 21268                             | 95%   | 5%      |
| NGA864 Landers Y | 17633                                   | 21325                             | 83%   | 17%     |
| NGA1162 KCL X    | 28444                                   | 30301                             | 94%   | 6%      |
| NGA1162 KCL Y    | 15276                                   | 18687                             | 82%   | 18%     |
| NGA1614 DZC X    | 26574                                   | 28316                             | 94%   | 6%      |
| NGA1614 DZC Y    | 16604                                   | 17740                             | 94%   | 6%      |

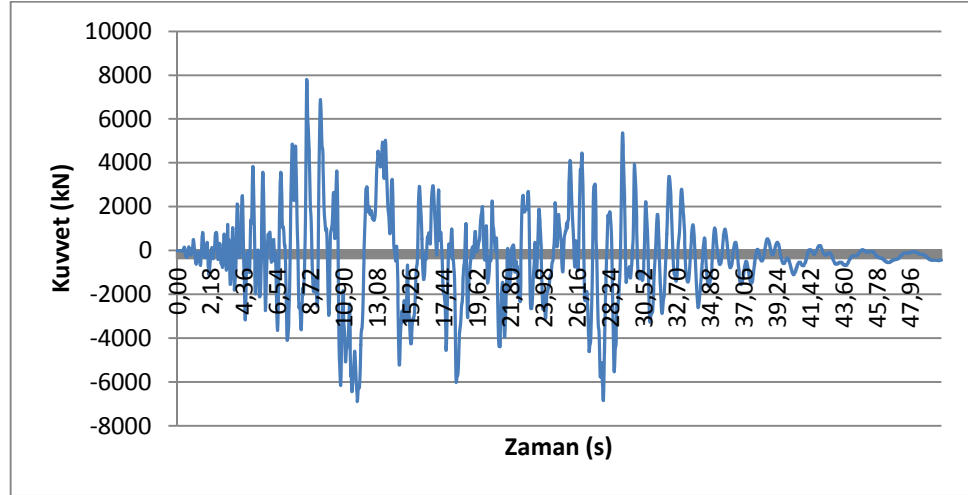
- Yapıda düzgün bir çerçeve sistem kullanılmadığı için bina cephe akslarında kalan kolonlarda özellikle Y yönünde çekme kuvveti ile karşılaşmaktadır. SAP2000’de kolonlarda gözüken çekme kuvvetinin doğruluğunu kontrol etmek için Perform-3D de kolon eksenel kuvvetine bakılmıştır. Şekil 5.1’de 110x40cm’lik köşe kolonlardan birine ait, NGA850 Landers Y depremi etkisi altında Perform3D analiz verilerinden elde edilen eksenel kuvvet-zaman grafiği verilmiştir. Pozitif değer kolonda oluşan çekme kuvvetini ifade etmektedir.



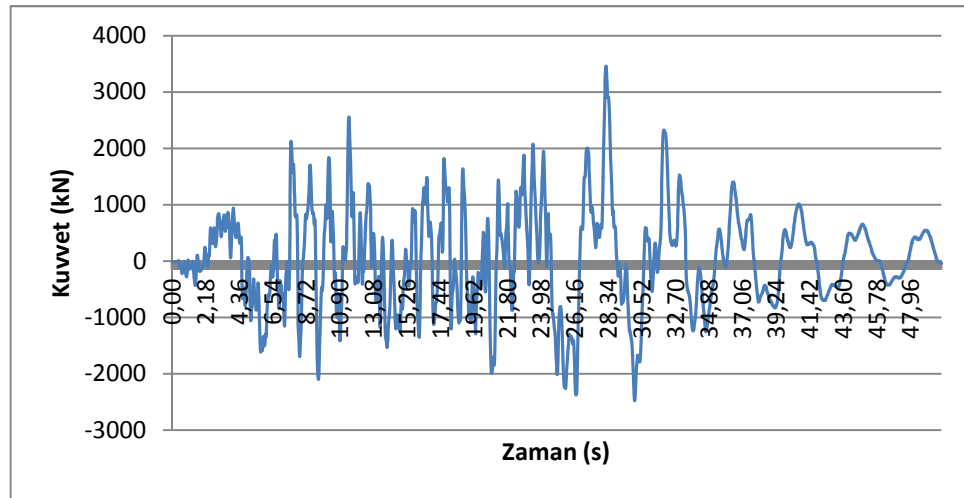
**Şekil 5.1 :** Kolon eksenel kuvvet değişim grafiği.

- Köşede bulunan 40x110cm'lik kolonlarda X ve Y yönündeki her analizde çekme kuvveti oluşmaktadır.
- Köşelerde bulunan 40x110cm'lik kolonlar özellikle zayıf yönlerinin Y eksen yönünde olmasından dolayı bu yöndeki depremlerde CP bölgesinin ötesine geçmektedirler.
- Kolonlar plastik dönme dışında deprem etkisi altında çekme kuvvetinden oluşan eksenel şekil değiştirme yüzünden de CP hasar bölgesinin ötesine geçmiştir.
- Nonlineer analiz sonucunda yapı elemanları büyük oranda maksimum deformasyon (dönme) değerlerinin altında kalmıştır.
- Yapı MCE etkisi altında X yönünde kat öteleme koşulu olan 0.01'i sağlarken, Y yönünde 3-10. katlar arasında 0.01'i aşmıştır.
- Perform-3D ile X ve Y yönünde yapılan analizler sonucunda, mafsal bölgesinde perde uç bölgelerinde oluşan maksimum beton ezilme şekil değiştirmesi 0.0128 olmuştur. P30x265 perdesi uç bölgesinde meydana gelmiştir. Bu şekil değiştirme sargı etkisindeki beton için bile oldukça fazladır. Beton basınç etkisiyle taşıma gücünü kaybedecektir.
- Perdelerin eşdeğer kolon-kiriş şeklinde modellenmesi, perdeye etkiyen kesme kuvveti değerlerinde hata yüzdesini artırıyor olabilir.

- Perde uç bölgelerindeki donatıların hepsi akma bölgesini geçmiştir. Böylece perdelerde ilk katta kalıcı deformasyon oluşmuştur.
- Perdelerde oluşan dönmeler ASCE41'den alınan 0.015 rad limitini aşmamıştır.
- Zemin kat perdeleri, X ve Y yönünde kesme güvenliğini sağlamamaktadır. X yönünde perde SAP2000'de elde edilen verilerin doğruluğunu kontrol etmek için Perform3D'de P40x475 perdesinin kuvvetli eksenini doğrultusunda kesme kuvveti değerleri kontrol edilmiştir. Şekil 5.2'de NGA850 Landers depremi X yönünde P40x475 perdelerinden birine ait kesme kuvvetinin zamanla değişimi verilmiştir.
- Analiz verilerindeki maksimum kesme kuvveti 7806 kN olarak gözlemlenmiştir. Bu kesme kuvveti ACI318-11'den elde edilen kesme kuvveti dayanımdan fazladır.

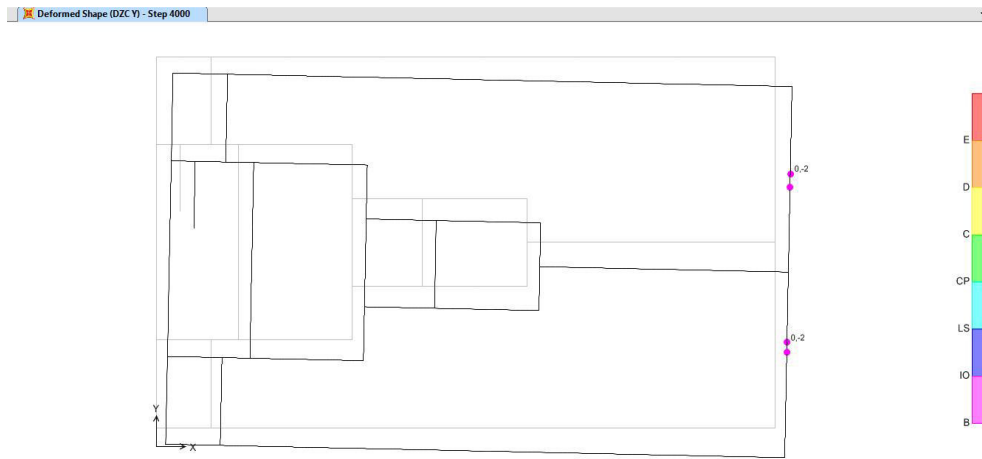


Şekil 5.2 : P40x475 850X depremi kesme kuvveti-zaman grafiği.



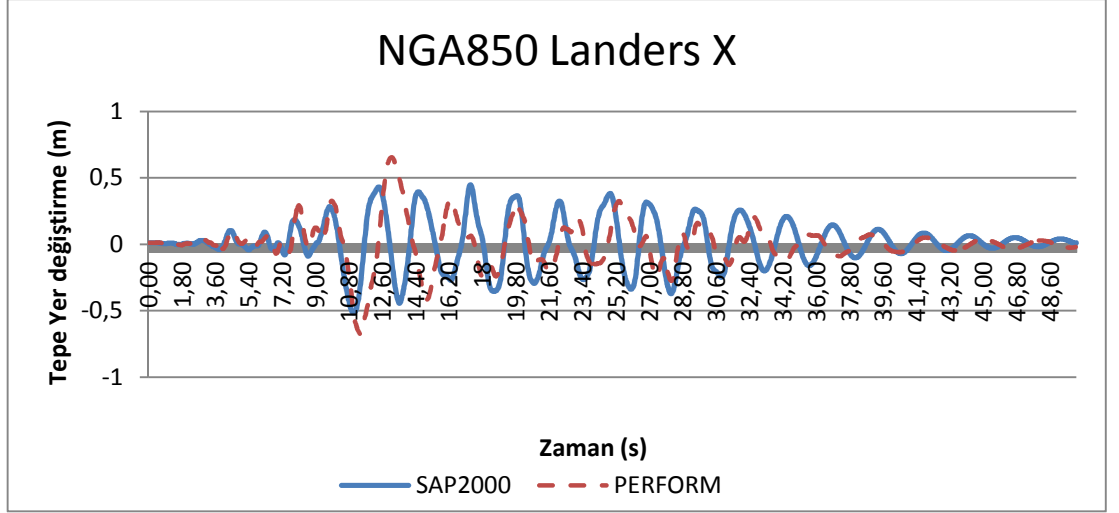
Şekil 5.3 : P40x475 850Y depremi kesme kuvveti-zaman grafiği

- Perdeler kesme kuvvetini kuvvetli eksenleri yönünde karşılaştırmıştır. Çizelge 4.15’de gözüktüğü gibi P40x475 perdesinde X ve Y yönünde aynı ekseninde kesme kuvveti gözlenmiştir. Bu yapının burulma etkisinde olduğunu göstermektedir. Şekil 5.3’de DZC Y depremi etkisinde 40 saniye sonunda yapı en üst katına ait yer değiştirme gözükmemektedir. Burulma etkisi bu şekilde görülebilir.
- P40x475 perdelerinden birine ait Şekil 5.3’de verilen NGA850 Y deprem kaydı altında yapılan analizden alınan Perform3D kesme kuvveti zaman grafiği de yapının burulma etkisinde olduğunu göstermektedir. Perdeye Y yönünde zayıf ekseninde olmasına rağmen, kuvvetli eksen doğrultusunda 3000kN’den fazla kesme kuvveti etki etmektedir.



**Şekil 5.4 : DZC Y depremi etkisinde yapı deplasmanı.**

- Perform3D ve SAP2000 modellerinde yapılan farklı kabuller nedeniyle tepe deplasmanları farklı sonuçlar vermiştir. Şekil 5.4’de 850X depremi etkisinde tepe yer değiştirmeye ait SAP2000 ve Perform3D sonuçları verilmiştir.
- Yapı kolon ve kiriş elemanları hedeflenen %10 toptan ve bölgesel göçme limitini aşmamıştır.
- Ülkemizde yüksek yapı tasarımında performansa dayalı tasarım kullanılması gerektiği bu çalışmanın sonuçlarına göre söylenebilir.
- Yüksek yapılar özel yapılardır. Alanında uzman ve deneyimli mühendis tarafından tasarlanmalıdır.



**şekil 5.5 :** Tepe yer değiştirme karşılaştırması.

Değerlendirme sırasında uygulamaya y6nelik problemlerle karşılaşılmıştır. Bunlar ř6yle 6zetlenebilir:

- Perdelerin doğrusal olmayan davranışını SAP2000 ile ger6ek6i bir şekilde modellemek olduk6a zordur. Perdelerin bu şekilde modellenmesiyle yapılan zaman tanım alanında analizde, analiz iterasyona girerek sonu6 vermemektedir.
- Perdeler i6in yapılan eşdeğer 6ubuk kabul6 sonrasında oluşan momentler ger6ek6i olmayabilir.
- 25 katlı bir yapıda 2500 adımlı zaman tanım alanında doğrusal olmayan bir analizin SAP2000 programı ile analiz s6resi yaklaşık olarak 6 saat s6rmektedir. Analiz s6resinin uzunluğu, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizi pratikte kullanılması zor hale getirmektedir.
- İşstanbul gibi sismik risk b6lgesinde olan bir b6lgede, y6ksek yapıların tasarımı i6in y6r6rl6kte bir y6netmelik olmalıdır.
- Y6ksek yapılar y6netmeliğinde, bu 6alışmada g6z6kt6ę6 gibi kolonlarda olağan dışı eksenel 6ekme kuvvetinin 6n6ne ge6mek i6in taşıyıcı sistem ile ilgili d6zenlemeler bulunduralabilir.
- Y6ksek yapılar ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz ile ilgili T6rk6e kaynak eksikliği vardır.
- Kaset d6şeme uygulamasının yapılacağı yapılarda kolon-kiriş birleşimleri daha uygun se6ilmelidir.



## KAYNAKLAR

- ACI318 Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI318-05) and Commentary (ACI318R-05).** (2005). American Concrete Institute, Farmington Hills, MI)
- ACI318 Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI318-05) and Commentary (ACI318R-11).** (2011). American Concrete Institute, Farmington Hills, MI)
- Afet Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik.** (1997). Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- An Alternative Procedure for Seismic Analysis and Design of Tall Buildings Located in the Los Angeles Region 2008 Edition.** (2008). Los Angeles Tall Buildings Structural Design Council, Los Angeles.
- ASCE41 Seismic Rehabilitation of Existing Buildings (ASCE41/SEI 41-06 plus Supplement 1).** (2007). American Society of Civil Engineers, Reston, VA.
- ASCE7 Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures (ASCE/SEI7-10).** (2010). American Society of Civil Engineers, Reston, VA.
- ATC-72-1: Modeling and Acceptance Criteria for Seismic Design and Analysis of Tall Buildings.** (2010). Applied Technology Council, Redwood City, California.
- Celep, Z., Gençoğlu, M..** (2007). Betonarme Sistemlerde Doğrusal olmayan davranış: Plastik Mafsallı Kabulü ve Çözümleme, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 16-20 Ekim 2007, İstanbul.
- Celep, Z., Gençoğlu, M..** (2008). Deprem Yönetmeliği (2007) de Doğrusal Olmayan Çözümleme Yöntemlerine Basit Örnekler, Prof. Yusuf Berdan, Prof. İsmet Aka, Prof. Mehmet Rahmi Bilge ve Prof. Halit Demir Betonarme Yapılar Semineri, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Chopra, A. K. ve Goel, R.K..** (2001). A modal pushover analysis procedure for estimating seismic demands for buildings”, Earthquake Engineering Structural Dynamics, Sayı 31, No. 1, s. 561-582.
- Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik.** (2007). Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- EZ-FRISK, Software for Earthquake Ground Motion Estimation.** (2001-2009). Risk Engineering Inc., Louisville.
- Haselton, C.B., Liel, A.B., Taylor Lange, S., and Deierlein, G.G.,** (2008), Beam-Column Element Model Calibrated for Predicting Flexural Response Leading to Global Collapse of RC Frame Buildings , PEER Report

2007/03, Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, California.

**İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği Taslak Versiyon-IV.** (2008). *İstanbul Büyükşehir Belediyesi İmar Müdürlüğü*, İstanbul.

**Mander, J.B., Priestley, M.J.N. and Park, R.,** (1988). "Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete", ASCE Journal of Structural Engineering, 114(8), 1804-1826.

**Medina, R. ve Krawinkler, H.** (2003), Seismic Demands for Nondeteriorating Frame Structures and Their Dependence , Report No. TR 144, John A. Blume Earthquake Engineering Center, Department of Civil Engineering, Stanford University, Stanford, California.

**PEER Guidelines for Performance-Based Seismic Design of Tall Buildings PEER Report 2010/05.** (2010). Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, California.

**PERFORM 3-D, Nonlinear Analysis and Performance Assesment of 3D Structures.** (2005-2011). Computers and Structures Inc., Berkeley.

**Powell, G.H.** (2007). Detailed Example of a Tall Shear Building. Computers and Structures Inc., Berkeley.

**Recommendation for Seismic Design of High-Rise Buildings.** (2010). Council on Tall Buildings and Urban Habitat, California.

**SAP2000, Integrated Software for Structural Analysis and Design Program.** (1976-2009). Computers and Structures Inc. Berkeley.

**Takeda T., Sozen M.A., ve Nielsen, N.N.** (1970). Reinforced concrete response to simulated earthquakes, Journal of the Stuctural Division, American Society of Civil Engineers, Vol.96, No. 12, s.2557-2573.

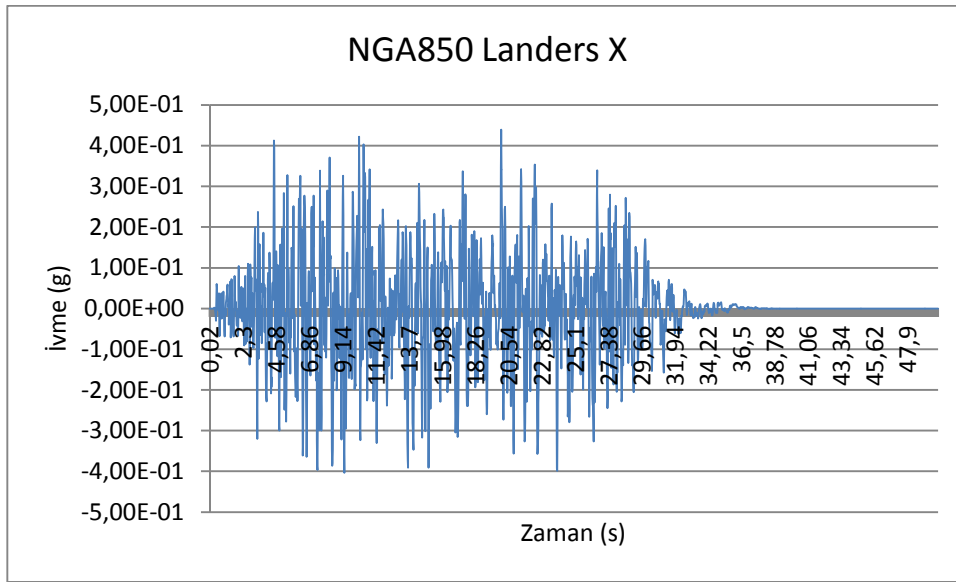
**Uniform Building Code.** (1997). International Conference od Building Officials., California, USA.

**X-TRACT Cross-Section Analysis Program.** (2007). TRC&Charles Chadwell, Ph. D., P. E., USA.

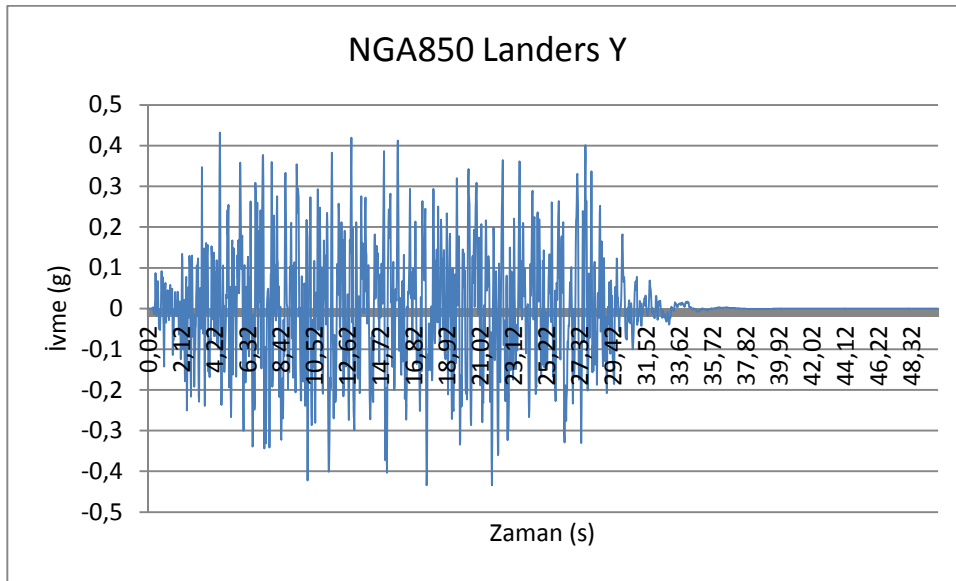
## **EKLER**

**EK A:** Ölçeklendirilmiş deprem kayıtları

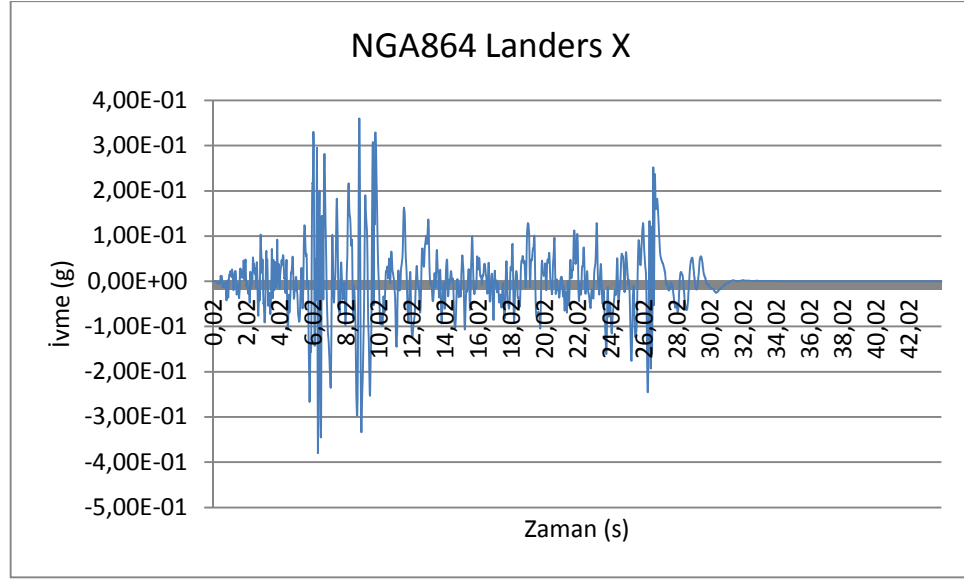
## EK A



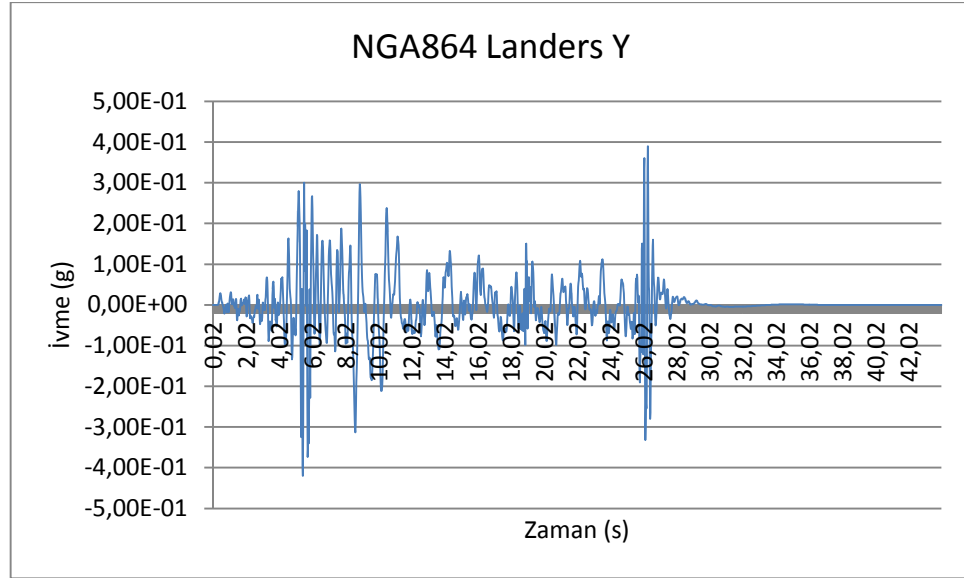
Şekil A.1 : NGA850 Landers X ölçeklendirilmiş deprem ivme-zaman grafiği.



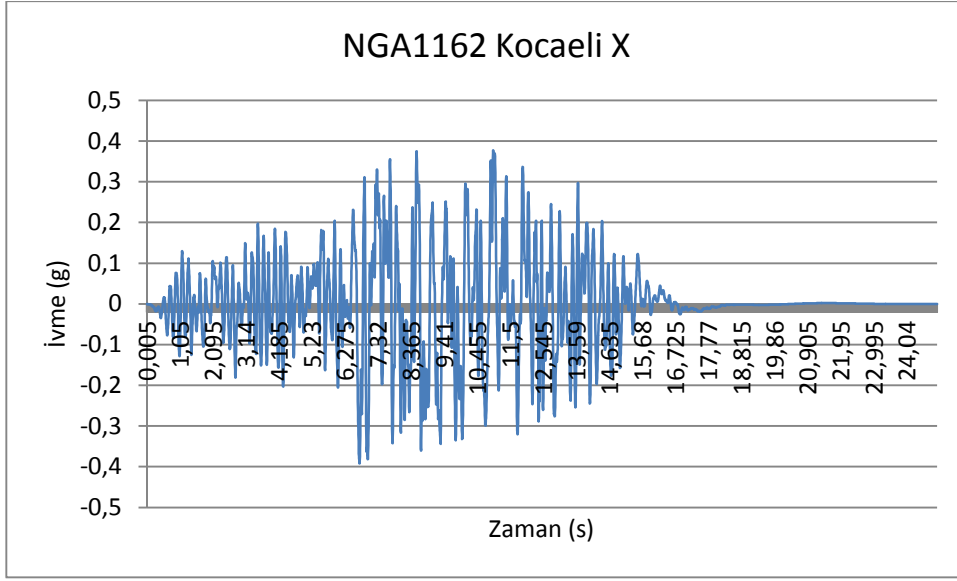
Şekil A.2 : NGA850 Landers Y ölçeklendirilmiş deprem ivme-zaman grafiği.



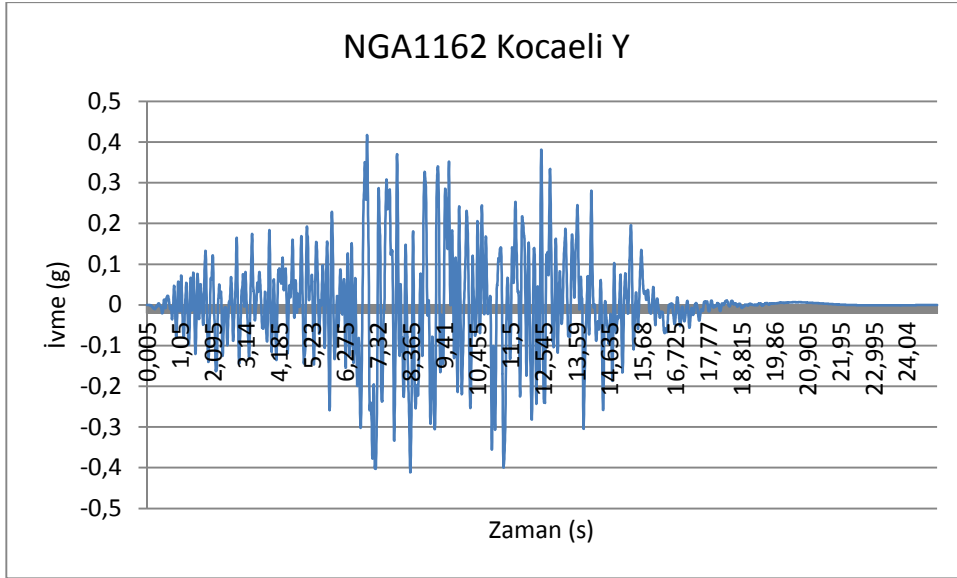
**Şekil A.3 :** NGA864 Landers X ölçeklendirilmiş ivme-zaman grafiği.



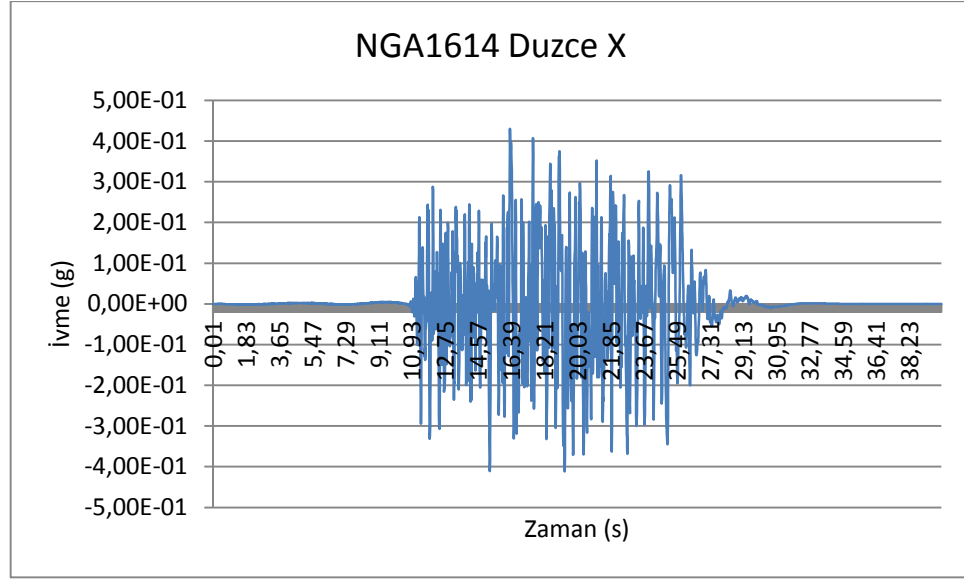
**Şekil A.4 :** NGA864 Landers Y ölçeklendirilmiş ivme-zaman grafiği.



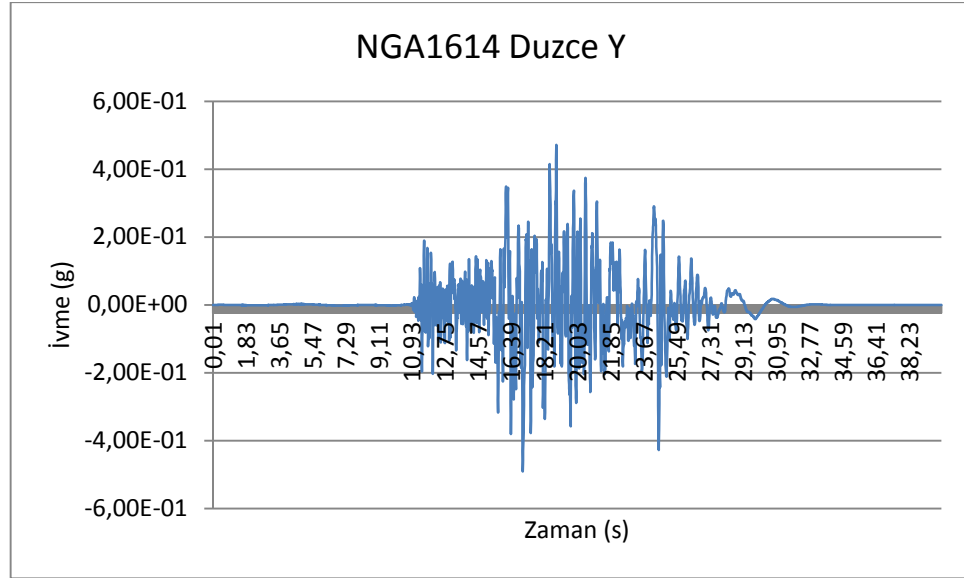
**Şekil A.5 :** NGA1162 Kocaeli X ölçeklendirilmiş ivme-zaman grafiği.



**Şekil A.6 :** NGA1162 Kocaeli Y ölçeklendirilmiş ivme-zaman grafiği.



**Şekil A.7 :** NGA1614 Duzce X ölçeklendirilmiş ivme-zaman grafiği.



**Şekil A.8 :** NGA1614 Duzce Y ölçeklendirilmiş ivme-zaman grafiği.

## ÖZGEÇMİŞ

**Ad Soyad:** Ahmet Can Özgeldi

**Doğum Yeri ve Tarihi:** Eskişehir / 21.09.1985

**Adres:**

**E-Posta:** c\_ozgeldi@hotmail.com

**Lisans:** İTÜ İnşaat Mühendisliği

**Mesleki Deneyim ve Ödüller:**

Polimeks İnşaat (03.2009-06.2012)

Proje sorumlusu

STAS Mühendislik (12.2012)

Yapısal Tasarım Mühendisi

- Betonarme ve çelik endüstriyel yapıların tasarımı.