

T.C. İSTANBUL KÜLTÜR ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**DÜZENSİZ YAPILARIN DEPREM DAVRANIŞI VE İYİLEŞTİRİLMESİ-
BURKULMA GÜVENLİĞİNDEKİ DEĞİŞİMİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Feyyaz ÜNVER

1600007105

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Program: Yapı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Melih SÜRMEİ

HAZİRAN 2019

T.C. İSTANBUL KÜLTÜR ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**DÜZENSİZ YAPILARIN DEPREM DAVRANIŞI VE İYİLEŞTİRİLMESİ-
BURKULMA GÜVENLİĞİNDEKİ DEĞİŞİMİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Feyyaz ÜNVER

1600007105

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 09 Temmuz 2019

Tezin Savunulduğu Tarih: 10 Haziran 2019

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Melih SÜRMEİ (Bursa Teknik Üniv.)

Eş Danışman: Prof. Dr. Faruk KARADOĞAN (Işık Üniversitesi)

Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Cenk ALHAN (İstanbul Üniversitesi)

Dr. Öğr. Üyesi Erdal COŞKUN (İst. Kültür Üniv.)

HAZİRAN 2019

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında yatayda ve yükseklik boyunca düzensiz olan 3 katlı betonarme bir binanın bir çerçevesinin deprem yükleri altında doğrusal olmayan davranışı ve oluşan plastik mafsallar sonucunda burkulma güvenliğindeki değişim incelenmek istenmiştir.

Tez çalışmamın planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda 2.5 yıl boyunca değerli bilgilerimi benimle paylaşan, ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım Sayın hocam Prof. Dr. Faruk KARADOĞAN ile Dr. Öğr. Üyesi Melih SÜRMEİİ hocama sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Yüksek lisansımın ilk günlerinden başlayıp tezin bitirilmesine kadar manevi katkı, sabır ve anlayış gösteren aileme de teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2019

İstanbul

Feyyaz ÜNVER

İÇİNDEKİLER

| | |
|---|------|
| KISALTMALAR..... | iv |
| TABLO LİSTESİ..... | v |
| ŞEKİL LİSTESİ..... | vi |
| SİMGE LİSTESİ..... | x |
| KISA ÖZET..... | xiii |
| ABSTRACT..... | xv |
| 1. GİRİŞ..... | 1 |
| 2. SİSTEMDEKİ MALZEMELER YÜKLER VE KESİTLERİN TANITILMASI..... | 4 |
| 2.1. Yapı Elemanları Üzerindeki Yüklerin Hesaplanması..... | 5 |
| 2.2. Ölü ve Hareketli Yüklerle B Aksındaki Düğüm Noktaları..... | 6 |
| 2.3. Sistemde Yer Alan Diğer Çerçeveseler..... | 8 |
| 2.4. B Çerçevesindeki Ölü ve Hareketli Yükler..... | 10 |
| 3. BİNANIN ZEMİNE FARKLI MESNETLENME DURUMLARI..... | 13 |
| 3.1. Binanın Katlarına Etkiyen Eşdeğer Deprem Yükleri..... | 13 |
| 3.2. Farklı Varsayımlarla Sistemin Zemine Mesnetlenme Durumları..... | 16 |
| 3.2.1. 1.Varsayım..... | 16 |
| 3.2.2. 2.Varsayım..... | 18 |
| 3.2.3. 3.Varsayım..... | 21 |
| 3.3. Farklı Mesnetlenme Durumlarına Göre Serbest Titreşim ve Taban Kesme Kuvveti..... | 25 |
| 4. KOLON VE KİRİŞ KESİTLERİNİN DONATILMASI..... | 26 |
| 4.1. Farklı Yükleme Biçimleriyle Kritik Kesitlerdeki İç Kuvvetler..... | 26 |

| | |
|--|-----------|
| 4.2. Kirişlerin Tasarımı..... | 30 |
| 4.2.1. 3 Numaralı Kesitteki Kirişin Açıklık Donatısının Belirlenmesi..... | 30 |
| 4.2.2. 2 Numaralı Kesitteki Kirişin Mesnet Donatısının Belirlenmesi..... | 32 |
| 4.3. Kolonların Tasarımı..... | 35 |
| 5. YATAY YÜK ARTIMI (STATİK İTME) ANALİZİ..... | 42 |
| 5.1. Limit Yük ve Plastik Mafsal Kavramı..... | 42 |
| 5.2. Limit Yükün Yük Artımı Yöntemiyle Hesabı ve Doğrusal Olmayan Statik Hesap..... | 42 |
| 5.3. Sistemin Modlarına Ait Serbest Titreşim Karakteristikleri..... | 51 |
| 6. BURKULMA..... | 55 |
| 6.1. Geometri Değişimi Bakımından Doğrusal Olmayış ve İkinci Mertebe Kuramı İle Hesap- Burkulma Yükü..... | 55 |
| 6.2. Mafsalları Artan Sistemde Burkulma Yük Faktörü..... | 58 |
| 7. KESİTLERE EĞİLME RİJİTLİĞİ AZALTILMIŞ KISA ÇUBUK EKLEMEK..... | 69 |
| 8. KESİTLERİN EĞİLME RİJİTLİKLERİNİN SERBEST TİTREŞİM VE BURKULMAYA ETKİSİ..... | 71 |
| 9. SİSTEM DAVRANIŞINI DEĞİŞTİREN BAZI ETKENLER- SİSTEME PERDE EKLENMESİ..... | 75 |
| 9.1. Perdenin 8 m Genişliğinde Sonlu Elemanlarla Temsil Edilmesi..... | 75 |
| 9.2. Perdenin 8 m Genişliğinde Eşdeğer Çubuk Elemanlarla Temsil Edilmesi..... | 78 |
| 9.3. Perdenin 4 m Genişliğinde Sonlu Elemanlarla Temsil Edilmesi..... | 78 |
| 9.4. Perdenin 4 m Genişliğinde Eşdeğer Çubuk Elemanlarla Temsil Edilmesi..... | 80 |
| 9.4.1. Eşdeğer Çubuk Elemanlarla 4 m Genişliğinde 3 Kat Yüksekliğinde Perde İlavesi..... | 80 |
| 9.4.2. Eşdeğer Çubuk Elemanlarla 4 m Genişliğinde 2 Kat Yüksekliğinde | |

| | |
|--|------------|
| Perde İlavesi..... | 81 |
| 9.4.3. Eşdeğer Çubuk Elemanlarla 4 m Genişliğinde 1 Kat Yüksekliğinde | |
| Perde İlavesi..... | 82 |
| 9.5. Perde Eklenmiş Sistemlerde Yatay Yük Artımı Analizi..... | 83 |
| 9.5.1. 8 m Genişliğinde Eşdeğer Çubuk Perdeli Elemanda Yatay Yük Artımı ve Burkulma Analizi..... | 83 |
| 9.5.2. 4 m Genişliğinde 3 Kat Yüksekliğinde Eşdeğer Çubuk Perdeli Elemanda Yatay Yük Artımı ve Burkulma Analizi..... | 87 |
| 9.5.3. 4 m Genişliğinde 2 Kat Yüksekliğinde Eşdeğer Çubuk Perdeli Elemanda Yatay Yük Artımı ve Burkulma Analizi..... | 92 |
| 9.5.4. 4 m Genişliğinde 1 Kat Yüksekliğinde Eşdeğer Çubuk Perdeli Elemanda Yatay Yük Artımı ve Burkulma Analizi..... | 97 |
| 10. SONUÇLAR..... | 104 |
| KAYNAKÇA..... | 106 |
| EKLER..... | 107 |

KISALTMALAR

| | |
|----------|--|
| DBYBHY | :Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik |
| XTRACT | :Cross- Sectional X Structural Analysis of Components |
| SAP 2000 | :Structural Analysis Program |
| TDY 2007 | :2007 Yılına Ait Türk Deprem Yönetmeliği |
| TBDY | :Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2019 Yılı) |



TABLO LİSTESİ

| | | |
|-------------|---|-----|
| Tablo 2.1. | Düğüm Noktalarındaki Yükler ve Yiğili Kütleler..... | 12 |
| Tablo 3.1. | Katlara Etkiyen Eşdeğer Deprem Kuvvetleri..... | 16 |
| Tablo 3.2. | Binanın Zemine Farklı Mesnetlenme Durumlarına Ait Özellikler..... | 24 |
| Tablo 4.1. | 1.4*G+1.6*Q Yüklemeyle Oluşan İç Kuvvetler..... | 27 |
| Tablo 4.2. | G+Q+E Yüklemeyle Oluşan İç Kuvvetler..... | 28 |
| Tablo 4.3. | G+Q-E Yüklemeyle Oluşan İç Kuvvetler..... | 29 |
| Tablo 4.4. | Kritik Kesitlere Yerleştirilen Donatılar..... | 38 |
| Tablo 5.1. | Tüm Kesitlerin Moment ve Eğrilik Değerleri..... | 46 |
| Tablo 6.1. | Mafsalsız Sisteme Ait P-δ Yükleme..... | 56 |
| Tablo 6.2. | 1 Mafsallı Sisteme Ait P-δ Yükleme..... | 58 |
| Tablo 6.3. | 2 Mafsallı Sisteme Ait P-δ Yükleme..... | 59 |
| Tablo 6.4. | 3 Mafsallı Sisteme Ait P-δ Yükleme..... | 60 |
| Tablo 6.5. | 4 Mafsallı Sisteme Ait P-δ Yükleme..... | 61 |
| Tablo 6.6. | 5 Mafsallı Sisteme Ait P-δ Yükleme..... | 62 |
| Tablo 6.7. | 6 Mafsallı Sisteme Ait P-δ Yükleme..... | 63 |
| Tablo 6.8. | 7 Mafsallı Sisteme Ait P-δ Yükleme..... | 64 |
| Tablo 6.9. | 8 Mafsallı Sisteme Ait P-δ Yükleme..... | 65 |
| Tablo 6.10. | Mafsal Sayısının ve Deprem Kuvveti Yönünün Değiştiği Durumlarda Burkulma Yük Faktörü..... | 66 |
| Tablo 9.1. | 8 Metre Genişlikli Perdede Sonlu Eleman Sayısının Periyot ve Binanın Deplasmanı Üzerindeki Etkisi | 77 |
| Tablo 9.2. | 4 Metre Genişlikli Perdede Sonlu Eleman Sayısının Periyot ve Binanın Deplasmanı Üzerindeki Etkisi..... | 79 |
| Tablo 9.3. | Perdenin Farklı Tasarım Edilmesinin Binanın Periyodu ve Deplasmanı Üzerine Etkisi..... | 83 |
| Tablo 9.4. | 8 Metre Genişlikli Perdeli Sistemde Mafsal Sayısının ve Deprem Kuvveti Yönünün Değiştiği Durumlarda Burkulma Yük Faktörü..... | 86 |
| Tablo 9.5. | 4 Metre Genişliğinde 3 Kat Yüksekliğindeki Perdeli Sistemde Mafsal Sayısının ve Deprem Kuvveti Yönünün Değiştiği Durumlarda Burkulma Yük Faktörü..... | 91 |
| Tablo 9.6. | 4 Metre Genişliğinde 2 Kat Yüksekliğindeki Perdeli Sistemde Mafsal Sayısının ve Deprem Kuvveti Yönünün Değiştiği Durumlarda Burkulma Yük Faktörü..... | 95 |
| Tablo 9.7. | 4 Metre Genişliğinde 1 Kat Yüksekliğindeki Perdeli Sistemde Mafsal Sayısının ve Deprem Kuvveti Yönünün Değiştiği Durumlarda Burkulma Yük Faktörü..... | 100 |

ŞEKİL LİSTESİ

| | | |
|-------------|--|----|
| Şekil 2.1. | Sistemdeki Kirişlerin Kesiti..... | 4 |
| Şekil 2.2. | Sistemdeki Kolonların Kesiti..... | 5 |
| Şekil 2.3. | Sistemin Z= 3 Metre Kotu..... | 6 |
| Şekil 2.4. | Sistemin Z= 6 Metre Kotu..... | 7 |
| Şekil 2.5. | Sistemin Z= 9 Metre Kotu..... | 7 |
| Şekil 2.6. | Sistemdeki A ve B Çerçevesi İçin Düğüm Noktaları..... | 8 |
| Şekil 2.7. | Sistemdeki C Çerçevesi..... | 8 |
| Şekil 2.8. | Sistemdeki 1 ve 2 Çerçevesi..... | 9 |
| Şekil 2.9. | Sistemdeki 3 Çerçevesi..... | 9 |
| Şekil 2.10. | Sistemdeki 4 Çerçevesi..... | 10 |
| Şekil 2.11. | B Çerçevesinin Ölü Yükleri..... | 11 |
| Şekil 2.12. | B Çerçevesinin Hareketli Yükleri..... | 11 |
| Şekil 3.1. | Elastik İvme Spektrumu..... | 14 |
| Şekil 3.2. | Belirli Eksenel Rijitliği Olan Zemini Tarif Eden Sistem..... | 16 |
| Şekil 3.3. | Eksenel Rijitliği Olan Yaylarla Tanımlanmış Zemini Tarif Eden Sistem..... | 19 |
| Şekil 3.4. | Tekil Temel Kesiti..... | 21 |
| Şekil 3.5. | Zemini, Belirli Dönme Rijitliği Olan Mesnetlerle Tanımlanmış Sistem..... | 21 |
| Şekil 3.6. | Zeminin Farklı Varsayımlarla Oluşturulduğu Sistemlerin 1. Mod Şekilleri..... | 25 |
| Şekil 4.1. | Sistemdeki Kritik Kesitler..... | 26 |
| Şekil 4.2. | Açıklıktaki Kiriş Kesiti..... | 30 |
| Şekil 4.3. | Mesnetteki Kiriş Kesiti..... | 33 |
| Şekil 4.4. | Kolon Kesiti..... | 36 |
| Şekil 4.5. | Sol Kenar Aksı 1. Kat Düğüm Noktası Momentleri | 39 |
| Şekil 4.6. | Orta Aks 1. Kat Düğüm Noktası Momentleri | 39 |
| Şekil 4.7. | Sağ Kenar Aksı 1. Kat Düğüm Noktası Momentleri | 40 |
| Şekil 4.8. | Kesitlere Yerleştirilen Donatılar..... | 41 |

| | |
|---|----|
| Şekil 5.1. Kesitlere Atanmış Plastik Mafsalsal Numaraları..... | 43 |
| Şekil 5.2. Statik İtme Analizinin –X Yönünde Uygulanmasıyla Oluşmuş Mafsalsal Yerleri ve Sırası..... | 44 |
| Şekil 5.3. Statik İtme Analizinin +X Yönünde Uygulanmasıyla Oluşmuş Mafsalsal Yerleri ve Sırası..... | 45 |
| Şekil 5.4. +X ve –X Yönü İçin Sistemin Kapasite Eğrisi..... | 48 |
| Şekil 5.5. Sistemdeki Mafsalsal Durumuyla İlgili Mod Şekli, Periyodu ve Katlara Gelen Kuvvetler..... | 49 |
| Şekil 5.6. Sistemdeki Mafsalsal Durumuyla İlgili Mod Şekli, Periyodu ve Katlara Gelen Kuvvetler..... | 50 |
| Şekil 5.7. Mafsalsal Durumuna Bağlı Olarak 1. Mod Şekilleri..... | 52 |
| Şekil 5.8. Farklı Modlara Ait Mafsalsal Sayısı Periyot İlişkisi..... | 53 |
| Şekil 5.9. Farklı Modlara Ait Mafsalsal Sayısı Modal Katılım Çarpanı İlişkisi..... | 53 |
| Şekil 5.10. Farklı Modlara Ait Mafsalsal Sayısı Modal Kütle Katılım Oranları İlişkisi..... | 54 |
| Şekil 6.1. Mafsalsız Sistem İçin P- δ Grafiği..... | 57 |
| Şekil 6.2. Mafsalsız Sistem İçin P/ δ – P Grafiği..... | 57 |
| Şekil 6.3. Sistemin Burkulmadan ve Statik İtme Analizinden Göçtüğü Durumlara Ait Kapasite Eğrileri..... | 66 |
| Şekil 6.4. +X ve –X Yönleri İçin Mafsalsal Sayısı Burkulma Yüğü İlişkisi..... | 67 |
| Şekil 6.5. Farklı Mafsalsalı Durumlar İçin P- δ Grafiği..... | 67 |
| Şekil 6.6. Farklı Mafsalsalı Durumlar İçin P/ δ – P Grafiği | 68 |
| Şekil 7.1. Kesitlere Moment Taşımayan Mafsalsal veya Eğilme Rijitliği Azaltılmış Çubuk Konulmasının 1. Titreşim Periyoduyla İlişkisi..... | 69 |
| Şekil 7.2. Kesitlere Moment Taşımayan Mafsalsal veya Eğilme Rijitliği Azaltılmış Çubuk Konulmasının Burkulma Yüğü İle İlişkisi..... | 70 |
| Şekil 8.1. Kesitlerin Farklı Eğilme Rijitliklerinin 1. Titreşim Mod Şekli İle İlişkisi.. | 72 |
| Şekil 8.2. Kesitlerin Farklı Eğilme Rijitliklerinin 1. Titreşim Periyodu İle İlişkisi..... | 73 |
| Şekil 8.3. Kesitlerin Farklı Eğilme Rijitliklerinin Burkulma Yüğü İle İlişkisi..... | 73 |
| Şekil 9.1. Perdenin 8 m Genişliğinde Sonlu Elemanlarla Temsil Edilmesi..... | 76 |
| Şekil 9.2. Perdenin 8 m Genişliğinde Eşdeğer Çubuk Elemanla Temsil Edilmesi..... | 78 |
| Şekil 9.3. Perdenin 4 m Genişliğinde Sonlu Elemanlarla Temsil Edilmesi..... | 79 |
| Şekil 9.4. Perdenin 4 m Genişliğinde Eşdeğer Çubuk Elemanla Temsil Edilmesi..... | 80 |

| | |
|--|----|
| Şekil 9.5. Perdenin 4 m Genişliğinde İki Kat Yüksekliğe Kadar Eşdeğer Çubuk Elemanla Temsil Edilmesi..... | 81 |
| Şekil 9.6. Perdenin 4 m Genişliğinde Bir Kat Yüksekliğe Kadar Eşdeğer Çubuk Elemanla Temsil Edilmesi..... | 82 |
| Şekil 9.7. Perdenin 8 m Genişliğinde Eşdeğer Çubuk Elemanla Temsil Edilmesiyle +X Yönünde Statik İtme Analizi Sonrası Oluşan Mafsalsırası ve Yerleri | 84 |
| Şekil 9.8. Perdenin 8 m Genişliğinde Eşdeğer Çubuk Elemanla Temsil Edilmesiyle -X Yönünde Statik İtme Analizi Sonrası Oluşan Mafsalsırası ve Yerleri..... | 85 |
| Şekil 9.9. 8 m Genişlikli Perdede Sistemin -X ve +X Yönündeki Kapasite Eğrisi..... | 86 |
| Şekil 9.10. 8 m Genişlikli Perdede Mafsalsırası Sayısı- Burkulma Yüğü İlişkisi..... | 87 |
| Şekil 9.11. Perdenin 4 m Genişliğinde Eşdeğer Çubuk Elemanla Temsil Edilmesiyle +X Yönünde Statik İtme Analizi Sonrası Oluşan Mafsalsırası ve Yerleri..... | 88 |
| Şekil 9.12. Perdenin 4 m Genişliğinde Eşdeğer Çubuk Elemanla Temsil Edilmesiyle -X Yönünde Statik İtme Analizi Sonrası Oluşan Mafsalsırası ve Yerleri..... | 89 |
| Şekil 9.13. 4 m Genişliğinde 3 Kat Yükseklikli Perdede Sistemin -X ve +X Yönündeki Kapasite Eğrisi..... | 90 |
| Şekil 9.14. 4 m Genişliğinde 3 Kat Yükseklikli Perdede Mafsalsırası Sayısı- Burkulma Yüğü İlişkisi..... | 92 |
| Şekil 9.15. Perdenin 4 m Genişliğinde 2 Kat Yükseklikli Eşdeğer Çubuk Elemanla Temsil Edilmesiyle +X Yönünde Statik İtme Analizi Sonrası Oluşan Mafsalsırası ve Yerleri..... | 93 |
| Şekil 9.16. Perdenin 4 m Genişliğinde 2 Kat Yükseklikli Eşdeğer Çubuk Elemanla Temsil Edilmesiyle -X Yönünde Statik İtme Analizi Sonrası Oluşan Mafsalsırası ve Yerleri..... | 94 |
| Şekil 9.17. 4 m Genişliğinde 2 Kat Yükseklikli Perdede Sistemin -X ve +X Yönündeki Kapasite Eğrisi..... | 94 |
| Şekil 9.18. 4 m Genişliğinde 2 Kat Yükseklikli Perdeli Sistemde Burkulma Analizinde Gidebildiğı Yere Kadar Sistemin -X ve +X Yönündeki Kapasite Eğrileri..... | 95 |
| Şekil 9.19. 4 m Genişliğinde 2 Kat Yükseklikli Perdede Mafsalsırası Sayısı- Burkulma Yüğü İlişkisi..... | 96 |
| Şekil 9.20. 4 m Genişlikli 2 Kat Yüksekliğindeki Perdeli Sistemde Statik İtme Analizindeki Göçme İle Burkulma Analizindeki Göçme Durumlarına Ait Kapasite Eğrileri | 97 |
| Şekil 9.21. Perdenin 4 m Genişliğinde 1 Kat Yükseklikli Eşdeğer Çubuk Elemanla Temsil Edilmesiyle +X Yönünde Statik İtme Analizi Sonrası Oluşan Mafsalsırası ve Yerleri..... | 98 |
| Şekil 9.22. Perdenin 4 m Genişliğinde 1 Kat Yükseklikli Eşdeğer Çubuk Elemanla Temsil Edilmesiyle -X Yönünde Statik İtme Analizi Sonrası Oluşan Mafsalsırası ve Yerleri..... | 99 |

| | |
|--|-----|
| Şekil 9.23. 4 m Genişliğinde 1 Kat Yükseklikli Perdede Sistemin $-X$ ve $+X$ Yönündeki Kapasite Eğrileri..... | 100 |
| Şekil 9.24. 4 m Genişliğinde 1 Kat Yükseklikli Perdeli Sistemde Burkulma Analizinde Gidebildiği Yere Kadar Sistemin $-X$ ve $+X$ Yönündeki Kapasite Eğrileri..... | 101 |
| Şekil 9.25. 4 m Genişliğinde 1 Kat Yükseklikli Perdede Mafsal Sayısı- Burkulma Yüğü İlişkisi..... | 102 |
| Şekil 9.26. 4 m Genişlikli 1 Kat Yüksekliğindeki Perdeli Sistemde Statik İtme Analizindeki Göçme İle Burkulma Analizindeki Göçme Durumlarına Ait Kapasite Eğrileri | 102 |



SİMGE LİSTESİ

- $(EI)_e$: Çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitliği
- $(EI)_o$: Çatlamamış kesite ait eğilme rijitliği
- $\bar{\rho}_b, \rho_b$: Dengeli donatı oranı
- $\bar{\rho}, \rho$: Çekme donatısı oranı
- $A(T)$: Spektral ivme katsayısı
- a : Ardışık yaylar arası mesafe, tekil temelin kısa kenar uzunluğu, eşdeğer basınç bloğu derinliği
- A : Kesit alanı
- A_0 : Etkin yer ivmesi katsayısı
- A_c : Kirişlerde gövde, kolonlarda ise tüm kesit alanı
- A_s : Çekme donatısı alanı
- A_{s1} : Eşdeğer basınç bloğu bileşkesine eşit çekme kuvveti oluşturmak için gerekli donatı alanı
- A_{st} : Kolonlarda toplam boyuna donatı alanı
- b : Kirişin etkili tabla genişliği, kolonun eğilme doğrultusuna dik boyutu, sürekli temel kirişinin genişliği, tekil temelin uzun kenarı
- b_w : Kirişin gövde genişliği
- c : Zeminin yatak katsayısı
- d : Faydalı yükseklik
- d'' : Çekme ve basınç donatısı ağırlık merkezleri arasındaki uzaklık
- E : Deprem yükü
- E : Elastisite modülü
- EI : Kesitin eğilme rijitliği
- f_{cd} : Beton tasarım basınç dayanımı
- f_{ck} : Betonun karakteristik basınç dayanımı
- f_{cm} : Ortalama basınç dayanımı
- f_{ctd} : Betonun tasarım çekme dayanımı
- f_{ctk} : Betonun karakteristik çekme dayanımı
- F_i : Yapının kat düzeylerine uygulanan yatay kuvvet

- f_{yd} : Çeliğin tasarım akma dayanımı
- f_{yk} : Boyuna donatının karakteristik akma dayanımı
- g : Döşemeden kirişe gelen ölü yük, yerçekimi ivmesi
- G : Toplam ölü yük
- γ_{mc} : Beton malzeme katsayısı
- γ_{ms} : Çeliğin malzeme katsayısı
- h : Dişli döşemelerde diş derinliği (yüksekliği), kolonun eğilme doğrultusundaki boyutu
- h_f : Döşeme kalınlığı
- H_i : Kat yüksekliği
- I : Bina önem katsayısı, kesitin atalet momenti
- k_1 : Betonun basınç bloğu katsayısı
- L : Yapı elemanının boyu
- L_p : Kesitin plastik mafsalsal boyu
- M : Yığılı kütle, Eğilme momenti
- M_1 : Kesitin tek donatılı olarak karşılayabildiği moment
- M_{akma} : Kesitin akma anındaki moment
- M_d : Tasarım momenti
- M_{maks} : Kesitin taşıyabileceği maksimum moment
- M_r : Kolon ve kirişlerin taşıma gücü momentleri
- N : Binadaki kat sayısı, Yapı elemanındaki aksenal kuvvet
- n : Donatı sayısı
- N_d : Tasarım aksenal kuvveti
- N_u : Kolon kesitinin taşıyabileceği maksimum aksenal kuvveti
- P : Uygulanan yük
- q : Döşemeden kirişe gelen hareketli yük
- Q : Toplam hareketli yük
- R : Yapının süneklik düzeyi (Taşıyıcı sistem davranış katsayısı)
- $R_a(T)$: Deprem yükü azaltma katsayısı
- R_v : Kolonun aksenal rijitliği
- R_θ : Mesnetin dönme rijitliği

- $S(T)$: Elastik ivme spektrumu
- $S_{ae}(T)$: Elastik spektral ivme
- t : Betonarme perdenin kalınlığı
- T : Doğal titreşim periyodu
- T_A : Spektrum karakteristik periyodu
- T_B : Spektrum karakteristik periyodu
- V : Kesme kuvveti
- V_t : Bina tabanındaki kesme kuvveti
- W : Toplam ağırlık
- Z_2 : Yerel zemin sınıfı
- δ : Yapının yatay yerdeğiştirme mesafesi
- ΔF_N : Ek eşdeğer deprem yükü
- ρ_1 : Eşdeğer basınç bloğu bileşkesine eşit çekme kuvveti oluşturmak için gerekli donatı oranı
- ρ_{min} : Minimum çekme donatısı oranı
- ρ_t : Kolonlarda boyuna donatı oranı
- χ_y : Kesitin akma anındaki eğriliği
- χ_{maks} : Kesitin ulaşabileceği maksimum eğrilik
- χ_p : Kesitin plastik eğriliği
- χ_{top} : Kesitin toplam eğriliği
- ψ : Mekanik donatı oranı
- Γ_1 : 1 titreşim modunun modal katılım çarpanı
- ϕ : Donatı çapı, serbest titreşim mod şekli
- Θ_p : Kesitteki plastik dönme

| | | |
|---------------------------|---|-------------------------------------|
| Üniversite | : | İstanbul Kültür Üniversitesi |
| Enstitüsü | : | Lisansüstü Eğitim |
| Dalı | : | İnşaat Mühendisliği |
| Programı | : | Yapı |
| Tez Danışmanı | : | Dr. Öğr. Üyesi Melih SÜRMEİ |
| Eş Tez Danışmanı | : | Prof. Dr. Faruk KARADOĞAN |
| Tez Türü ve Tarihi | : | Yüksek Lisans – Haziran 2019 |

KISA ÖZET

DÜZENSİZ YAPILARIN DEPREM DAVRANIŞI VE İYİLEŞTİRİLMESİ - BURKULMA GÜVENLİĞİNDEKİ DEĞİŞİMİN İNCELENMESİ

Feyyaz ÜNVER

Bu çalışmada düşeyde düzensizlikleri olan 3 katlı betonarme bir binanın orta aksındaki çerçevenin doğrusal olmayan davranışı ve bu davranış sergilenirken burkulmaya karşı güvenliğinin değişmesi üzerine yoğunlaşmıştır.

Çerçevenin çeşitli çözümlerinde SAP 2000 programı kullanılmıştır. Öncelikle mesnetlenme koşullarının dinamik davranış özellikleri üzerindeki etkilerinin irdelenmesi üzerinde durulmuştur. Bu amaçla önce çerçevenin zemine ankastre mesnetlendiği kabul edilmiş; daha sonra zemine bağlanma koşulları değiştirilerek farklı durumlar için çerçevenin serbest titreşim özellikleri bulunmuştur.

Çerçeve farklı yükleme durumları ele alınarak mevcut yapı yönetmelikleri uyarınca boyutlandırılmış ve donatılmıştır. Tüm kolon ve kiriş kesitlerinin Moment-Eğrilik grafiklerini oluşturabilmek için XTRACT programından yararlanılmış ve bilgiler gerektiğinde SAP 2000'e aktarılmıştır.

Çerçevenin deprem davranışının daha ayrıntılı incelenmesi için düşey yükler sabit tutulup yatay yük artımları ile çözümlenmeler yapılmış ve bu hesaba Statik İtme Analizi denilmiştir. Bu hesap analizinde yatay yük artımları sırasında yapıdaki her plastik mafsallı oluşma sıralamasına bağlı olarak, tek plastik mafsallı durumdan başlayıp, mafsallı sayısı artırılmaya devam edilerek sistemin göçme veya limit yüküne eriştiği çok mafsallı duruma kadarki serbest titreşim ve burkulma özellikleri gözden geçirilmiş, yatay yük artımları gerektiği kadar küçültülerek her defasında tek bir plastik mafsallı ortaya çıkması durumuna özen gösterilmiştir. Her aşamada sistemin burkulma yük parametreleri de hesaplanarak limit yüke ulaşmadan göçme olup olmadığı gözlenmiştir. Bu işlemler sırasında iki farklı yol izlenmiştir. İlkinde sistemdeki plastik mafsalların oluştuğu kesitlere hiç moment taşımayan mafsallar konmuş ve burkulma yük parametreleri hesaplanmıştır. İkincisinde ise yaklaşık olarak kabul edilen bir plastik mafsallı boyu kadarki kısımda elemanın eğilme rijitliği

moment - eğrilik bağıntısından yararlanılarak azaltılmış ve tüm çözümler yinelenerek karşılaştırmalar yapılmıştır.

Sistem davranışını değiştiren bazı faktörlere örnek olarak depreme karşı güçlendirme amacıyla yapıya eklenebilecek perde(lerin) yapısal modellenmesi ve yapının titreşim ve burkulma davranışına etkileri araştırılmıştır. Perdenin genişliği ve perdenin her katta olup olmaması durumları da gözden geçirilmiştir.

Plastikleşmeler sonucu simetrisi kaybolan sistemde yatay yük artımları iki yönde de yapılarak bu olgunun önemi, limit yük, serbest titreşim ve burkulma karakteristikleri üzerinden incelenmiştir.

Sonuç olarak perde eklenmiş veya perde eklenmemiş sistem için olsun; göçme veya limit yük aranırken, sistemde sadece malzeme yönünden doğrusal olmayan davranışın değil, onunla birlikte geometri değişimi yönünden de doğrusal olmayan davranışın izlenmesi gerekeceği vurgulanmıştır.

Anahtar Sözcükler: Plastik Mafsal, Doğrusal Olmayan Davranış, Statik İtme Analizi, Burkulma, Limit Yük, Göçme Yüğü, Sistem Davranışı, Perde Ekleme, Serbest Titreşim

Bilim Dalı Sayısal Kodu:

| | | |
|--------------------------------|---|--------------------------------------|
| University | : | Istanbul Kültür University |
| Institute | : | Institute of Graduate Studies |
| Department | : | Civil Engineering |
| Programme | : | Structure |
| Supervisor | : | Dr. Öğr. Üyesi Melih SÜRMEĻİ |
| Co-Supervisor | : | Prof. Dr. Faruk KARADOĞAN |
| Degree Awarded and Date | : | MS – June 2019 |

ABSTRACT

NONLINEAR BEHAVIOR OF IRREGULAR STRUCTURES CHANGING BUCKLING SAFETY AND UPGRADING

Feyyaz ÜNVER

One of the middle frame of an irregular 3-D structure subjected to earthquake forces has been analyzed in nonlinear range and the change in the stability of this frame has been investigated.

The very well known computer program SAP 2000 has been used for various analyses of the frame. The boundary conditions have been changed to see its effects on vibration characteristics of this structure after having properly designed according to the existing codes. For this purpose, it was first assumed that the frame was fixed supported to the ground. Then, the free vibration characteristics of the frame have been found for different bounding conditions by changing the boundary conditions.

The Moment-Curvature relationship of critical sections have been prepared by the computer program XTRACT and transfer to the SAP 2000 whenever it becomes necessary for materially nonlinear analysis

Pushover analysis by SAP 2000 has been carried out so that the load increments permit to have a new single plastic hinge at each stage of load increments. Free vibration and buckling analyzes have been completed before a load increment is applied. Two different approaches have been used for that purpose; It has been introduced a perfect hinge in the place where plastification observed in the first approach. On the other hand, in the second one instantaneous plastified zones have been replaced by a small fictitious member which has low flexural rigidity extracted from Moment-Curvature relationship.

Different type of shearwalls have been integrated into the structure in order to upgrade the structural behaviour. Ones again pushover analysis has been carried out to see the change in limit load, vibration and buckling characteristics. Pushover

analysis has been carried out in two opposite directions to see the effects of non-symmetrical behaviour of the structure.

At the end of all the analyses mentioned above, it has been found that the more plastification the less safety factors against buckling are observed in the structure with and without shearwalls.

Key Words: Plastic Hinge, Nonlinear Behaviour, Pushover Analysis, Buckling, Limit Load, Shearwall, Free Vibration

Science Code:



1. GİRİŞ

Depremselliği yüksek bölgelerde 3 boyutlu yapı sistemlerinin tasarımı aşamasında yapı mimarisiyle de ilgili olmak üzere deprem etkileri, ölü ve hareketli yük etkilerinin de üstüne çıkabilmektedir. Yapının dinamik karakteristikleri olan serbest titreşim mod ve periyotlarına bağlı olarak saptanacak deprem etkileri özellikle 3 boyutlu düzensiz yapı sistemlerinde önemini daha da artırmaktadır. Yeni deprem yönetmelikleri belirli deprem yükleri altında tasarımı öngörmekle birlikte, artan deprem yükleri etkisinde yapının doğrusal olmayan davranışını inceleyerek performansını yakından izlemekle; hem yeni boyutlandırılan yapılar için hem de depreme karşı güçlendirilecek yapılar için önemli olmaktadır.

Yapının deprem performansının saptanabilmesi malzeme ve/veya geometri değişimleri bakımından doğrusal olmayan hesabı gerektirmektedir.

Malzeme yönünden doğrusal olmayış, genellikle plastik mafsallı hipotezinin incelenen sistem için de geçerli olabileceği düşüncesiyle yaygın olarak kullanılmakta ve yapının sabit düşey yükler altında taşıyabileceği yatay yük düzeyi saptanmaya çalışılmaktadır. Herhangi bir mekanizma durumunun ortaya çıkması aşamasına kadar artırılabilen yatay yüklerin alabileceği en büyük değerler performans hesabı için önemli olmakla birlikte, bu aşamaya gelmeden önce plastik mafsalların açılmasıyla değişen yapı davranışının da yakından izlenerek erken bir göçme olgusunun ortaya çıkıp çıkmadığının kontrolü gerekmektedir.

Erken göçme kavramı büyük şekil değiştirmelerin ortaya çıkması yani kolon ve kiriş kesitlerindeki bölgesel sünekliklerinin aşıp aşılmaması sistem için yönetmeliklerce öngörülen yatay yer değiştirme kısıtlamalarının aşıp aşılmaması gözden geçirilmesi, plastik mafsalların olduğu sistemde değişen titreşim özelliklerinin kontrolü, bölgesel ve genel burkulma olayının ortaya çıkıp çıkmamasının gözden geçirilmesidir.

Bu çalışmada yükseklik boyunca düzensizlikler bulunduran 3 boyutlu betonarme çerçeve bir yapının; önce mevcut yönetmeliklere göre dikkatli bir boyutlandırılması yapılmış, tüm kesitlerinde iç kuvvet-şekil değiştirme bağlantıları ortaya konmuş daha sonra düşey yükler sabit tutularak yatay yükler artırılmış, her bir plastik mafsallın birer birer ortaya çıkması sağlandıktan sonra her bir yatay yük artımı aşamasında

serbest titreşim periyotları ve mod şekilleri saptanmış, bunlara bağlı yapıya aktarılan eşdeğer deprem yükleri gözden geçirilmiş ve o düzeydeki yatay ve düşey yüklerin birlikte orantılı bir şekilde artırılmasıyla burkulma yük parametreleri saptanmıştır.

Tüm bu amaçlar için 3 boyutlu çerçevenin uzun doğrultusundaki 2 boyutlu düzlem çerçevesi esas alınmıştır. Bir grup çalışması olarak tasarlanan bu araştırmanın kenar çerçeveleri ve diğer doğrultudaki çerçeveleri başka araştırmacılarla aynı amaca yönelik olarak araştırılmaktadır.

Bu 3 boyutlu yapının yapı davranışını değiştirebilecek olan, yapıya perde eklenmesi olayı da bu kapsamda ele alınarak bu çalışmanın konusu haline getirilmiştir.

Yapıya eklenecek perdenin yapısal modellerinin karşılaştırılması, perde eklemelerinin düzlem çerçevede ortaya çıkarması beklenen yapısal değişimlerinin neler olabileceği, serbest titreşim ve burkulma üzerine etkileri gözden geçirilmiştir.

Görülmektedir ki yapıya plastik mafsal eklenmesi, yapı davranışının yani serbest titreşim ve burkulma özelliklerinin değişmesi üzerinde etkilidir. Özellikle yönetmeliklerde üzerinde yeterince durulmadığı gözlenen burkulmaya karşı güvenlik düzeyinin azalıyor olması üzerinde durulması gereken bir faktör olarak ortaya çıkmaktadır. Çünkü performans analizi için öngörülen yatay yük düzeyine ulaşılmadan erken göçme olayı ortaya çıkabilmektedir.

Az sayıda katları bulunan düzlem bir betonarme çerçeve üzerinde yürütülen bu gözlemler, hızla çok katlı çok açıklıklı çerçeveler için yinelenmeli, karşılaşılabilecek güçlükler gözden geçirilmeli ve 3 boyutlu modeller üzerindeki çalışmalarla desteklenmelidir.

Ayrıca yapılan bu çalışmayla ilgili Dünya çapındaki süreli yayınlardan bilimsel makaleler ve konferanslar araştırılmıştır. Ancak statik itme analizi yapılırken burkulma yük parametresindeki değişime değinen yayına rastlanılmamıştır. İlgili yayınlardan bir tanesi, Kanada'da yapılmış olan Deprem Mühendisliği Üzerine 13. Dünya Konferansında; düzlem çok katlı çerçevelerin kritik burkulma yükünü, elastik ve geometrik özelliklerinden doğrudan belirlemek için formüller verilmiştir. Kritik burkulma yükünü etkileyen çeşitli parametreler incelenmiş; eğilme tipi çerçevelerdeki yapısal duvar miktarı, yapının statik eksantrikliği ve binadaki kat sayısı gibi faktörlerin burkulma yükünde etkili olduğu sonucuna varılmıştır.[10] Bir diğer araştırma makalesi olan yazıda ise, binada çapraz bağlantı desteklerinin kullanılması ile binanın daha güvenli hale geldiği belirtilmiştir. Bir çerçevede farklı çapraz bağlantı elemanlarının kullanılmasının (K tipi, V tipi, X tipi, Ters V tipi)

burkulma faktörüne etkileri araştırılmış ve sonuç olarak, Ters V tipi çapraz elemanın burkulma faktörü değerini daha çok artırdığı sonucuna varılmıştır.[11]



2. SİSTEMDEKİ MALZEMELER YÜKLER VE KESİTLERİN TANITILMASI

Araştırmaya konu olan binanın zemin, malzeme, yapı elemanları üzerindeki birim yükler ve kolon-kiriş kesitleri aşağıdaki gibi seçilmiştir.

Deprem bölgesi: 1. derece,

Zemin tipi: Z2,

Binanın süneklik düzeyi: Yüksek süneklikli,

Beton sınıfı: C30,

Betonun birim hacim ağırlığı: 25 kN/m^3 ,

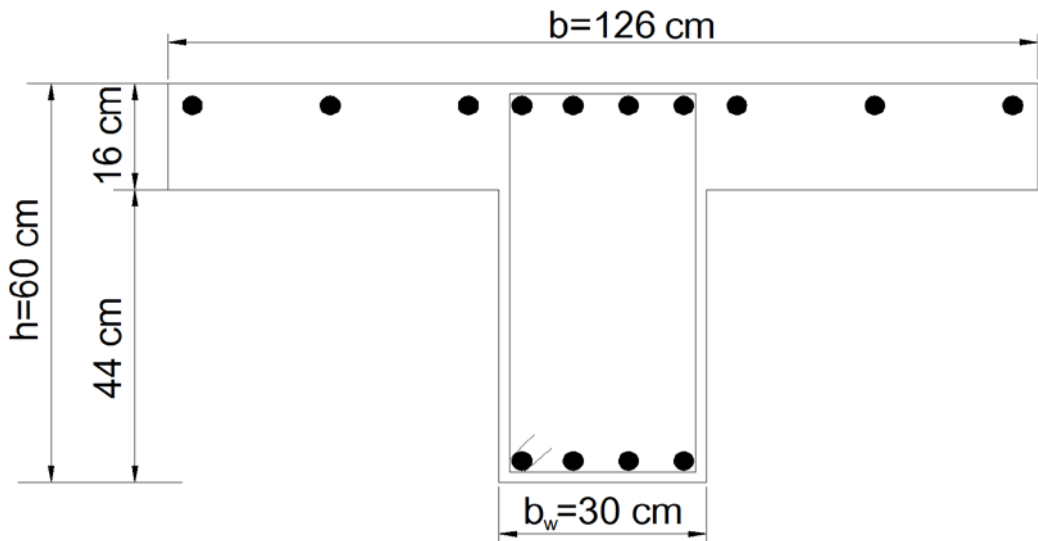
Donatı: S420,

Binanın katları: Kiriş üzerinde döşeme olup döşeme kalınlığı, $h_f=16 \text{ cm}$ olacak ayrıca sıva ve beton örtüsü= 2 kN/m^2 ,

Hareketli yük: $q=2 \text{ kN/m}^2$,

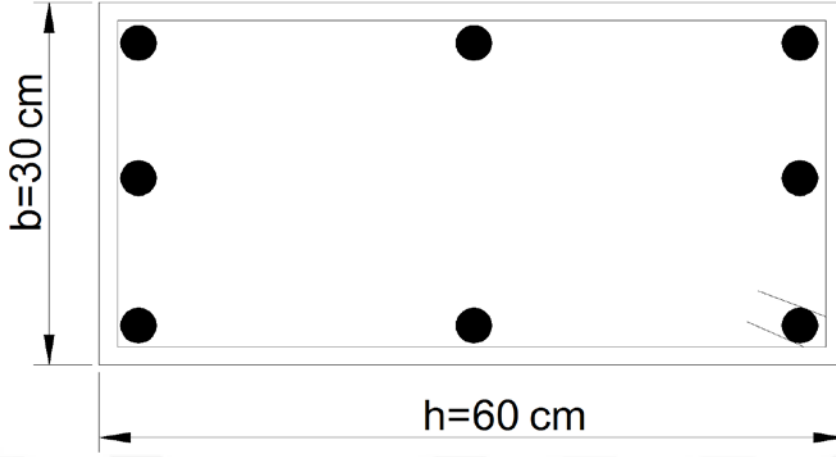
Akslardaki yayılı yük: 2 kN/m^2 ,

Kirişler: 30/60/16-126 cm boyutlarında Şekil 2.1 deki gibidir.



Şekil 2.1 Sistemdeki Kirişlerin Kesiti

Kolonlar ise simetrik donatıya sahip olup Şekil 2.2 de verilmiştir.



Şekil 2.2 Sistemdeki Kolonların Kesiti

2.1. Yapı Elemanları Üzerindeki Yüklerin Hesaplanması

Kirişlerin birim uzunluğunun ağırlığı: $0.30 \cdot 0.44 \cdot 25 = 3.3 \text{ kN/m}$

Kolonların ağırlığı: $(0.30 \cdot 0.6 \cdot 25) \cdot 3 = 13.5 \text{ kN}$

İç ve dış bölme duvarların ağırlığı: $2 \cdot (3 - 0.6) = 4.8 \text{ kN/m}$

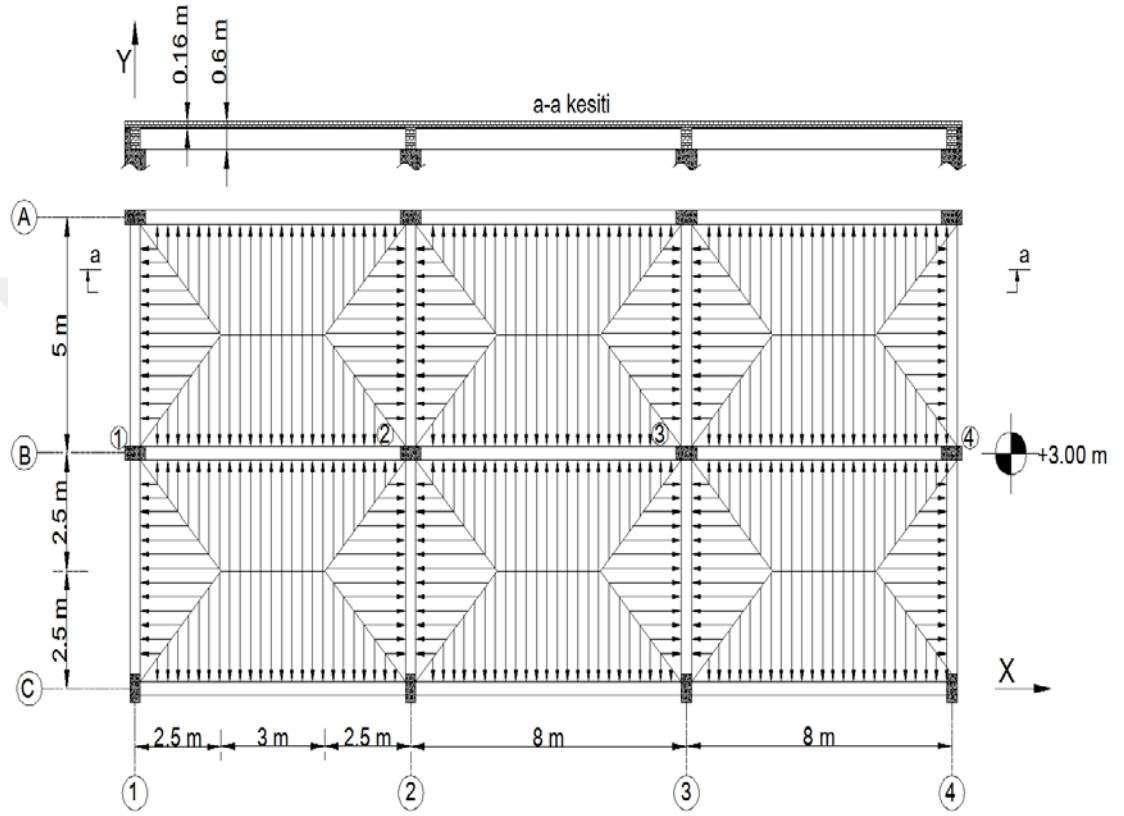
Döşemelerin ölü yükleri: $0.16 \cdot 25 + 2 = 6 \text{ kN/m}^2$

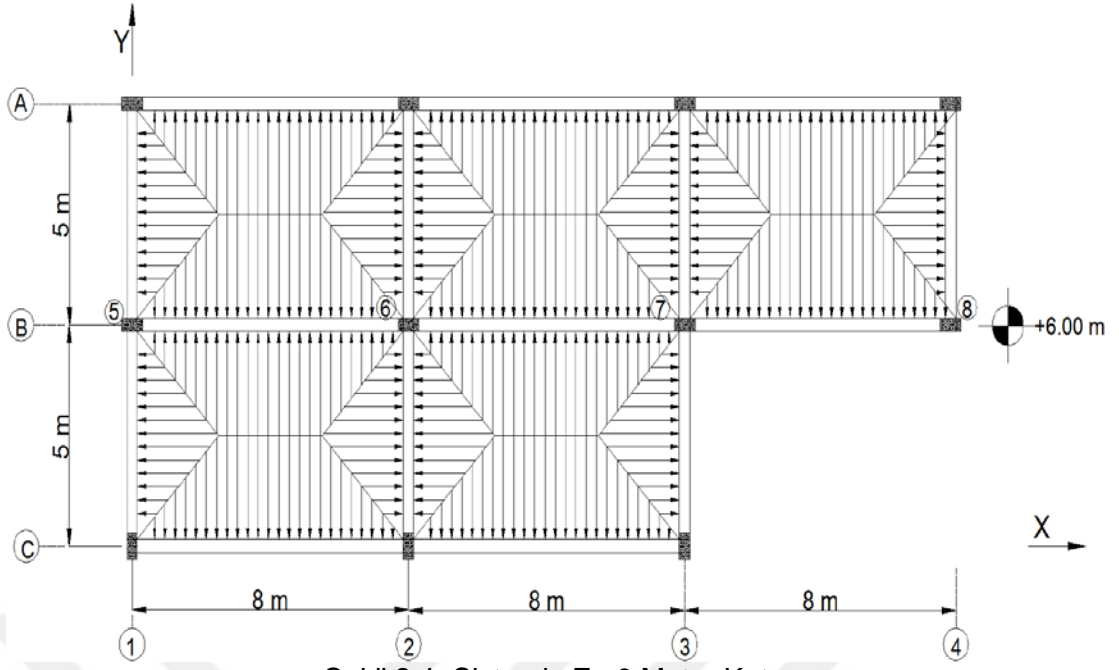
Döşemelerden kirişlere gelen ölü ve hareketli yükler: $g_1 = 6 \cdot 2.5 = 15 \text{ kN/m}$,

$q_1 = 2 \cdot 2.5 = 5 \text{ kN/m}$

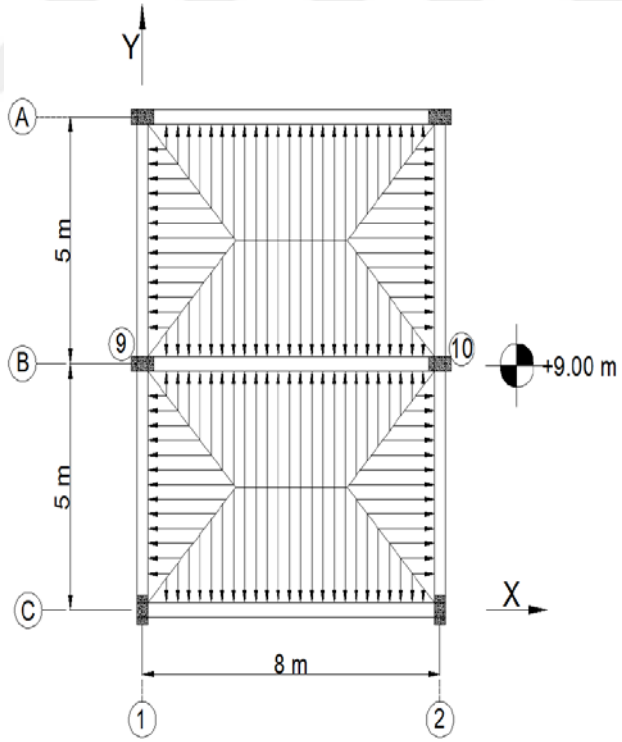
2.2. Ölü ve Hareketli Yüklerle B Aksındaki Düğüm Noktaları

3 boyutlu sistemdeki döşemelerden kirişlere gelen yük akış şeması ve sistemin farklı kotlardan plan görünümü Şekil 2.3, 2.4 ve 2.5 te verilmiş olup, Şekil 2.6 da ise 3 boyutlu sistemin A ve B çerçeveleri için düğüm noktası numaraları gösterilmiştir.

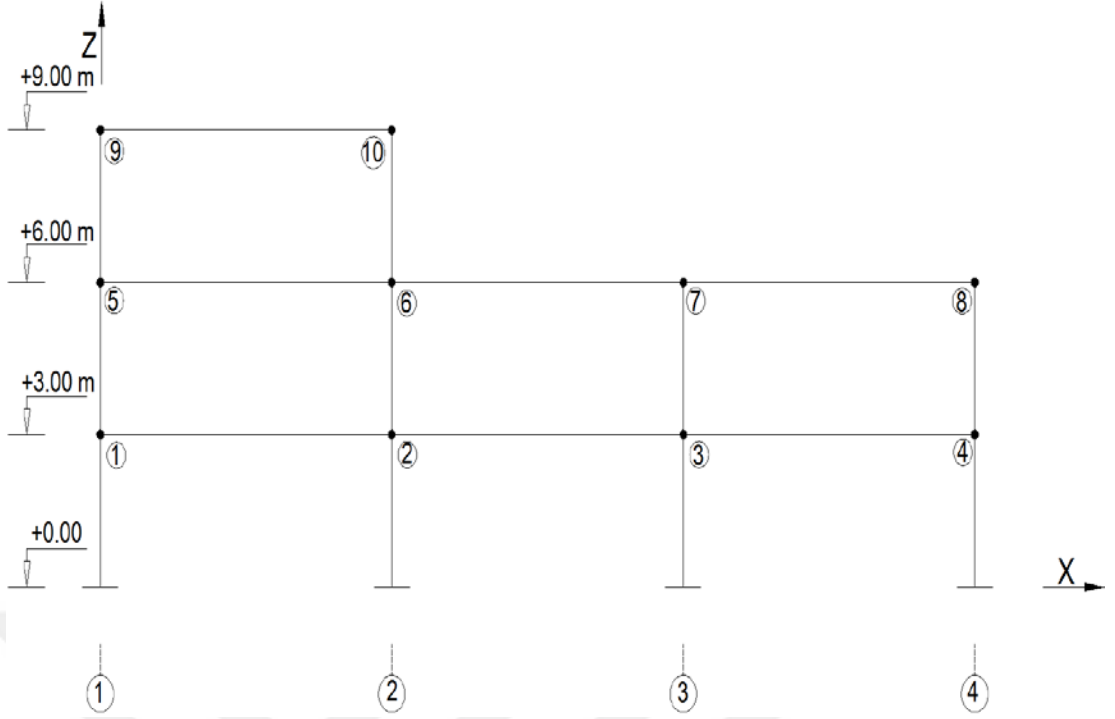




Şekil 2.4. Sistemin Z= 6 Metre Kotu

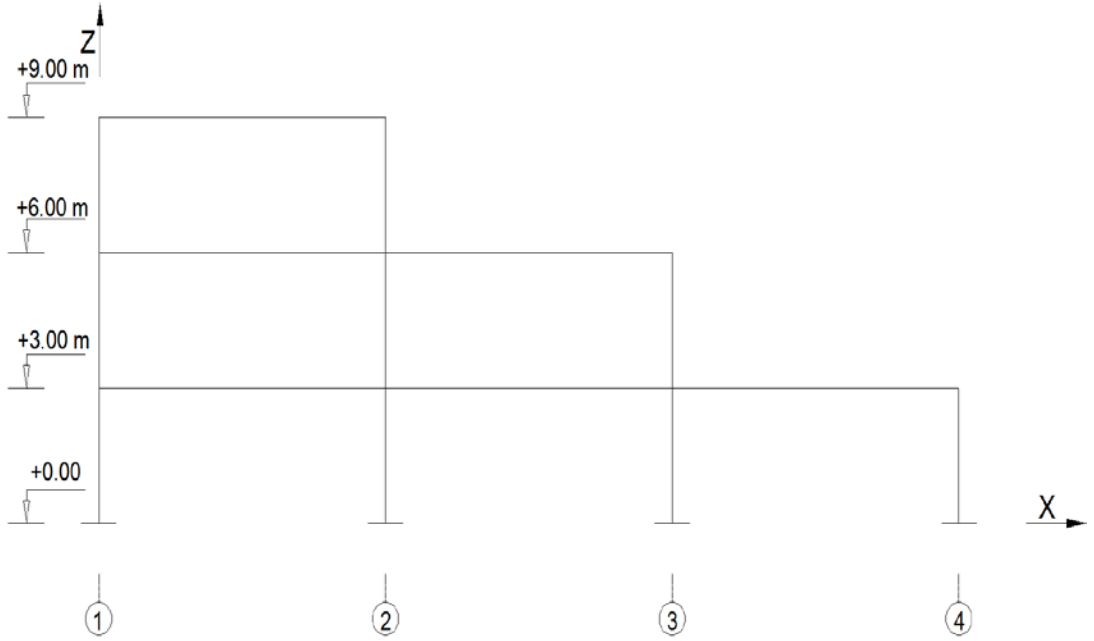


Şekil 2.5. Sistemin Z= 9 Metre Kotu

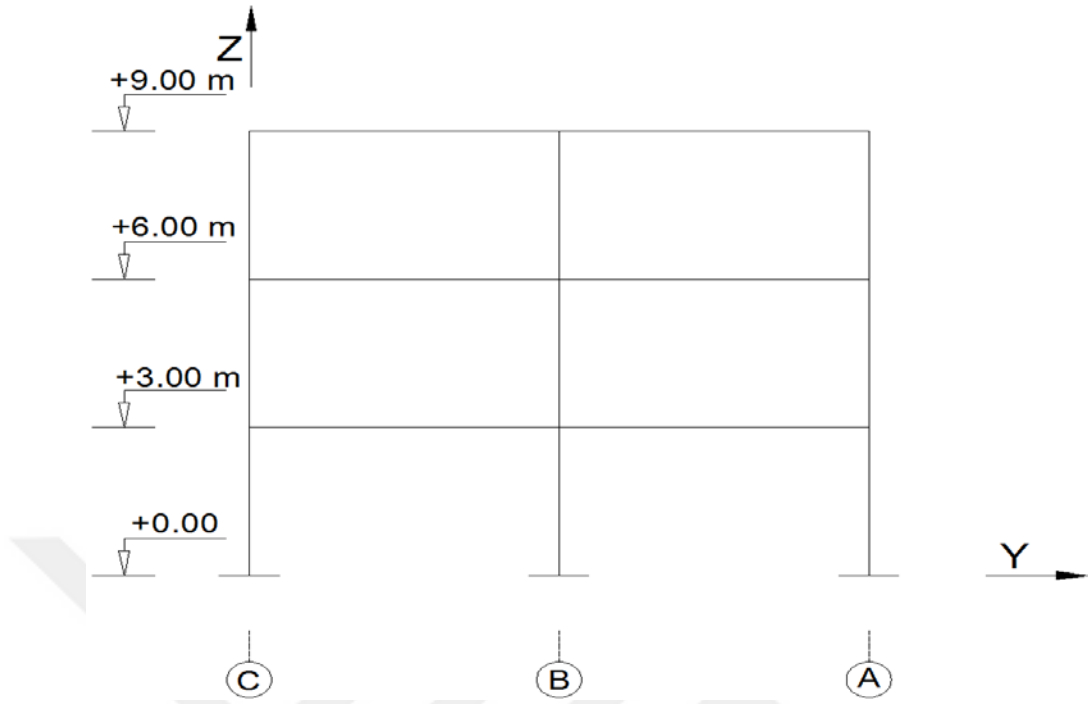


Şekil 2.6. Sistemdeki A ve B Çerçevesi İçin Düğüm Noktaları

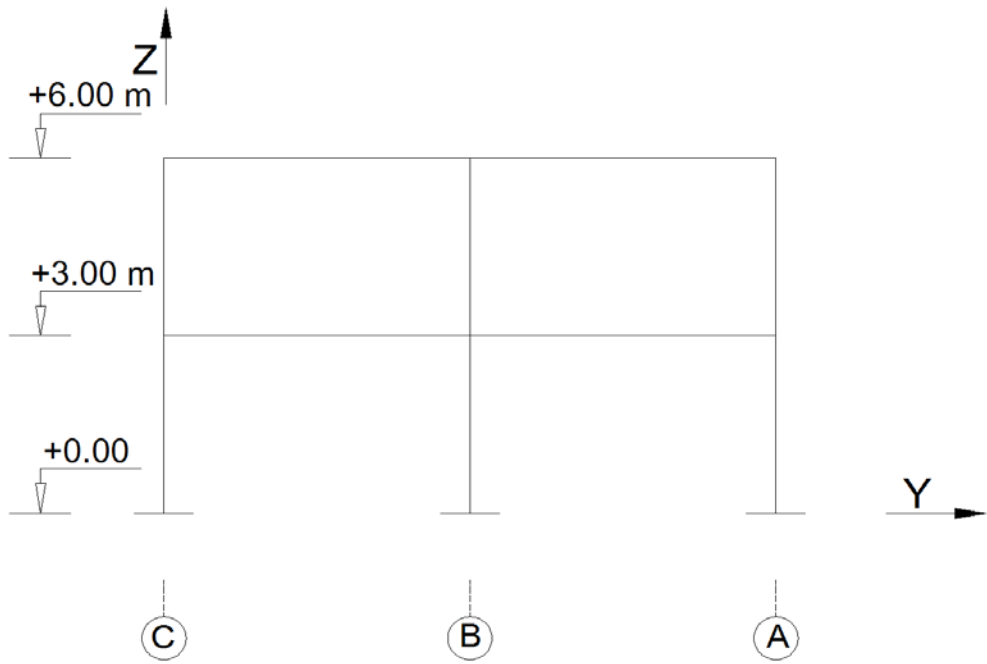
2.3. Sistemde Yer Alan Diğer Çerçevesi



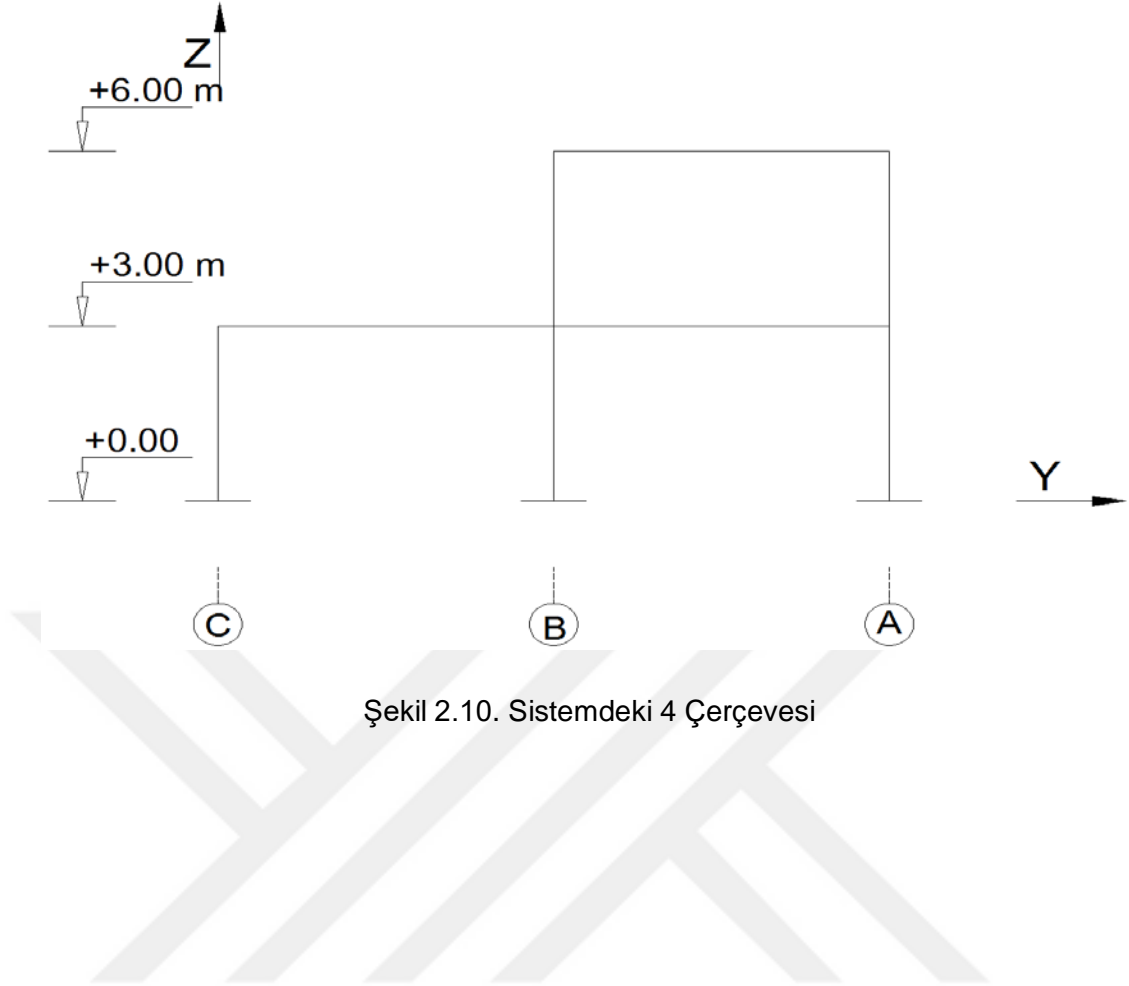
Şekil 2.7. Sistemdeki C Çerçevesi



Şekil 2.8. Sistemdeki 1 ve 2 Çerçevesi



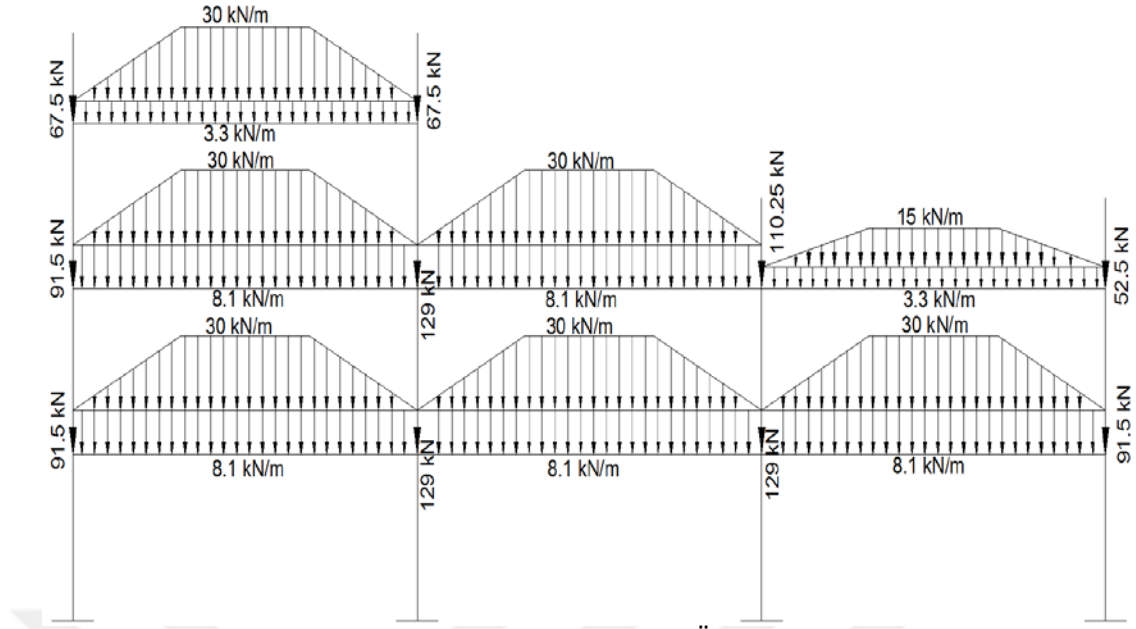
Şekil 2.9. Sistemdeki 3 Çerçevesi



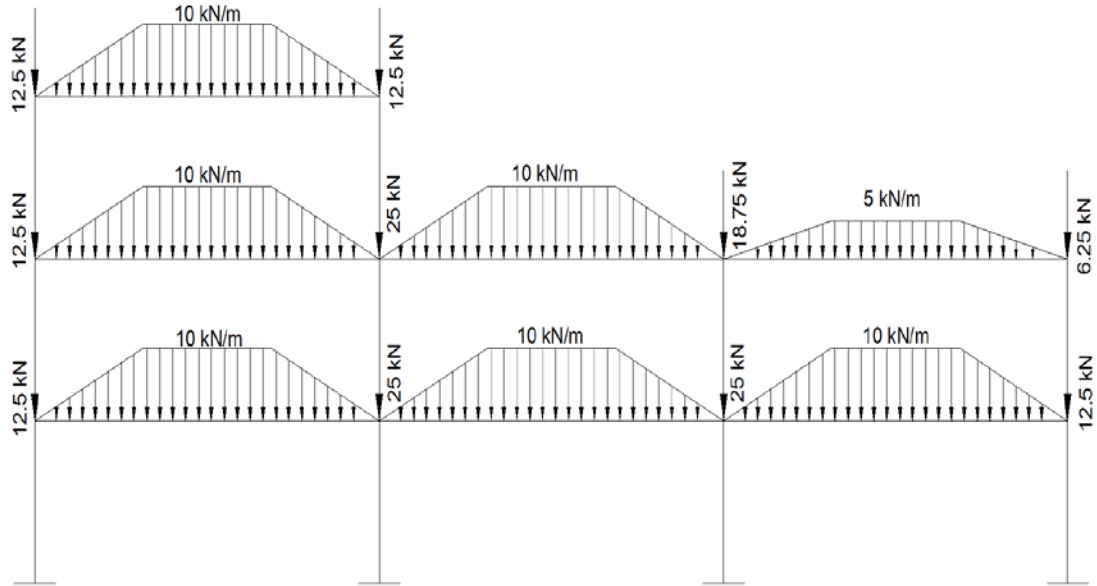
Şekil 2.10. Sistemdeki 4 Çerçevesi

2.4. B Çerçevesindeki Ölü ve Hareketli Yükler

Sistem içerisindeki orta aks (B aksı) alınıp incelenerek bu aks üzerinde hesaplamalar yapılacaktır. B aksındaki ölü ve hareketli yüklerin gösterimleri Şekil 2.11 ve 2.12 de verilmiştir.



Şekil 2.11. B Çerçevesinin Ölü Yükleri



Şekil 2.12. B Çerçevesinin Hareketli Yükleri

B çerçevesindeki bütün düğüm noktalarına gelen yükler ve yığılı kütleler hesaplanıp Tablo 2.1 de toplu olarak gösterilmiştir.

Tablo 2.1. Dügüm Noktalarındaki Yükler ve Yığılı Kütleler

| Dügüm noktaları | Y yönü | | | | X yönü | | | Toplam Ölü Yük=G (kN) | Toplam Hareketli Yük=Q (kN) | Toplam Ağırılık=W=G+0.3*Q (kN) | Yığılı Kütle=M=(G+0.3*Q)/9.81 (ton) | |
|-----------------|---------------------|-------|-------|-------|----------------------|-------------------------------------|------------------------------|--|-----------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|------------------|
| | Ölü Yükler : g (kN) | | | | Hareketli Yükler : q | Ölü Yükler : g | Yayıllı yük (kN) | | | | | Yayıllı yük (kN) |
| | Döşeme | Kiriş | Duvar | Kolon | | | | | | | | |
| 1 | 15*5/2 | 3.3*5 | 4.8*5 | 13.5 | 91.5 | 5*5/2=12.5 | 8.1*4+(8+3)/2*30/2=114.9 | 10*(4+1.5)/2=27.5 | 206.4 | 40 | 218.4 | 22.26 |
| 2 | 2*15*5/2 | 3.3*5 | 4.8*5 | 13.5 | 129 | 2*5*5/2=25 | 8.1*8+(8+3)/2*30=229.8 | 10*(8+3)/2=55 | 358.8 | 80 | 382.8 | 39.02 |
| 3 | 2*15*5/2 | 3.3*5 | 4.8*5 | 13.5 | 129 | 2*5*5/2=25 | 8.1*8+(8+3)/2*30=229.8 | 10*(8+3)/2=55 | 358.8 | 80 | 382.8 | 39.02 |
| 4 | 15*5/2 | 3.3*5 | 4.8*5 | 13.5 | 91.5 | 5*5/2=12.5 | 8.1*4+(8+3)/2*30/2=114.9 | 10*(4+1.5)/2=27.5 | 206.4 | 40 | 218.4 | 22.26 |
| 5 | 15*5/2 | 3.3*5 | 4.8*5 | 13.5 | 91.5 | 5*5/2=12.5 | 8.1*4+(8+3)/2*30/2=114.9 | 10*(4+1.5)/2=27.5 | 206.4 | 40 | 218.4 | 22.26 |
| 6 | 2*15*5/2 | 3.3*5 | 4.8*5 | 13.5 | 129 | 2*5*5/2=25 | 8.1*4+3.3*4+(8+3)/2*30=210.6 | 10*(8+3)/2=55 | 339.6 | 80 | 363.6 | 37.06 |
| 7 | 15*7.5/2 | 3.3*5 | 4.8*5 | 13.5 | 110.25 | $\frac{2*5*2.5/2}{5*2.5/2} = 18.75$ | 3.3*8+(4+1.5)/2*45=150.15 | $\frac{10*(4+1.5)/2}{5*(4+1.5)/2} = 41.25$ | 260.4 | 60 | 278.4 | 28.38 |
| 8 | 15*2.5/2 | 3.3*5 | 4.8*5 | 13.5 | 52.5 | 5*2.5/2=6.25 | 3.3*4+(4+1.5)/2*15=54.45 | 5*(4+1.5)/2=13.75 | 106.95 | 20 | 113.0 | 11.51 |
| 9 | 15*5/2 | 3.3*5 | 0 | 13.5 | 67.5 | 5*5/2=12.5 | 3.3*4+(4+1.5)/2*30=95.7 | 10*(4+1.5)/2=27.5 | 163.2 | 40 | 175.2 | 17.86 |
| 10 | 15*5/2 | 3.3*5 | 0 | 13.5 | 67.5 | 5*5/2=12.5 | 3.3*4+(4+1.5)/2*30=95.7 | 10*(4+1.5)/2=27.5 | 163.2 | 40 | 175.2 | 17.86 |

3. BİNANIN ZEMİNE FARKLI MESNETLENME DURUMLARI

3.1. Binanın Katlarına Etkiyen Eşdeğer Deprem Yükleri

Ülkemizde 1 Ocak 2019 tarihinde yeni deprem yönetmeliği olan TBDY yürürlüğe girmiştir. Ancak bu tez çalışmasına 2018 yılının Şubat ayında başlanıldığı için, Türk Deprem Yönetmeliği olarak 2007 Deprem Yönetmeliği dikkate alınmıştır.

2007 Deprem Yönetmeliğine göre Spektral İvme Katsayısı, $A(T)$;

$$A(T)=A_0 \cdot I \cdot S(T) \quad (3.1)$$

ve Elastik İvme Spektrumu'nun ordinatı olan Elastik Spektral ivme, $S_{ae}(T)$, Spektral İvme Katsayısı ile yerçekimi ivmesi g 'nin çarpımına karşı gelmektedir.

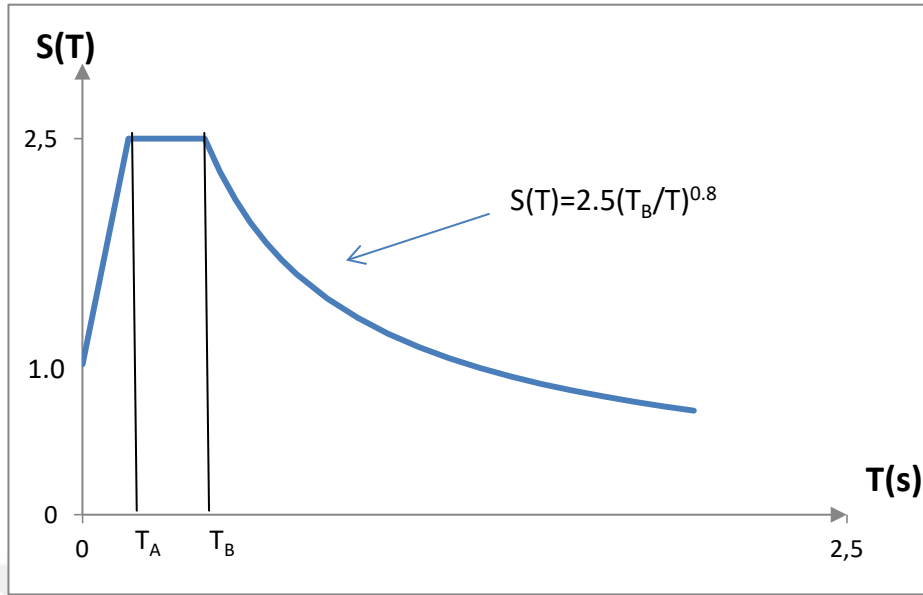
$$S_{ae}(T)=A(T) \cdot g \quad (3.2)$$

Etkin Yer İvmesi Katsayısı (A_0), 1. Deprem Bölgesinde 0.40 alınmaktadır.

Bina Önem Katsayısı (I); konutlar, işyerleri, oteller için 1.00 alınıp,

Spektrum Karakteristik Periyotları, T_A ve T_B , Yerel Zemin Sınıfları'na bağlı olarak, Z2 zemin sınıfı için $T_A=0.15$ saniye ve $T_B=0.40$ saniye alınmıştır.

Elastik İvme Spektrumu grafiği 2007 DBYBHY'e göre Şekil 3.1 deki gibi tanımlanmıştır.



Şekil 3.1. Elastik İvme Spektrumu

Depremde taşıyıcı sistemin kendine özgü doğrusal elastik olmayan davranışını göz önüne almak üzere, spektral ivme katsayısına göre bulunacak elastik deprem yükleri, aşağıda tanımlanan Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı'na bölünecektir. Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı, çeşitli taşıyıcı sistemler için Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı, (yapının süneklik düzeyi: R) ve doğal titreşim periyodu, T' ye bağlı olarak aşağıdaki gibi belirlenecektir.

$$R_a(T) = 1.5 + (R - 1.5) * \frac{T}{T_A} \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad (3.3)$$

$$R_a(T) = R \quad (T_A < T) \quad (3.4)$$

Başlangıçta Xtract adı verilen program ile kesitlerin gerçek çatlamış eğilme rijitliklerini bulana kadar Sap 2000 deki sistemde yer alan tüm kirişlerin çatlamış eğilme rijitliği $0.4 \cdot EI$ ve tüm kolonların çatlamış eğilme rijitlikleri de $0.5 \cdot EI$ alınmıştır. Buna göre periyot, mod şekli ve taban kesme kuvvetleri bulunmuştur.

Yukarıdaki sistemin SAP 2000 programı ile serbest titreşim analiz sonucunda 1. modun periyodu, $T=0.4755$ s. olup 1. modun şekli:

$$\phi_1 = \begin{pmatrix} 0.10149 \\ 0.07122 \\ 0.03242 \end{pmatrix} \quad \text{ve normalize edilmiş hali} \quad \begin{pmatrix} 1.00000 \\ 0.70174 \\ 0.31944 \end{pmatrix} \quad \begin{matrix} \text{3. kat} \\ \text{2. kat} \\ \text{1. kat} \end{matrix}$$

Buna göre $T_A < T$ ve $T_B < T$ olduğundan;

$$S(T) = 2.5 * \left(\frac{T_B}{T}\right)^{0.8} \quad (3.5)$$

$$S(T) = 2.5 * \left(\frac{0.4}{0.4755}\right)^{0.8} = 2.176936$$

Çerçeveye gelen toplam taban kesme kuvveti, V_t

$$V_t = \frac{A_0 * I * S(T) * W}{R} \quad (3.6)$$

$$V_t = \frac{0.4 * 1 * 2.176936 * 2526.15}{8} = 274.96 \text{ kN}$$

Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminde göz önüne alınmayan diğer modların etkisini yaklaşık olarak hesaba katmak amacıyla binanın en üst katına ΔF_N ek eşdeğer deprem yükü etkililir.

$$\Delta F_N = 0.0075 * N * V_t \quad (3.7)$$

Toplam eşdeğer deprem yükünün ΔF_N dışında geri kalan kısmı, bina katlarına aşağıdaki denklem ile dağıtılmalıdır.

Yapının kat düzeylerine uygulanacak F_i yatay kuvvetleri:

$$F_i = (V_t - \Delta F_N) * \frac{W_i H_i}{\sum_{j=1}^N W_j H_j} \quad (3.8)$$

$$\Delta F_N = 0.0075 * N * V_t = 0.0075 * 3 * 274.963 = 6.187 \text{ kN}$$

3. kata etkileyen eşdeğer deprem kuvveti: $(274.963 - 6.187) * (3153.6 / 12600.9) + 6.187 = 73.453 \text{ kN}$

2. kata etkileyen eşdeğer deprem kuvveti: $(274.963 - 6.187) * (5840.1 / 12600.9) = 124.569 \text{ kN}$

1. kata etkileyen eşdeğer deprem kuvveti: $(274.963 - 6.187) * (3607.2 / 12600.9) = 76.941 \text{ kN}$

Bütün katlara etkileyen eşdeğer deprem kuvvetleri Tablo 3.1 de gösterilmiştir.

1-a) $R_v=100\ 000$ kN/m seçilip ve bu kolonların elastisite modülü bulunduğunda;

$$\frac{EA}{L} = R_v=100\ 000 \quad (3.9)$$

$$\frac{E*0.4*0.4}{0.5} =100\ 000 \text{ ise } E= 312\ 500 \text{ kN/m}^2$$

Bu verileri SAP 2000 programına girerek 1. modun periyodu, $T= 0.49403$ s. olup 1. modun şekli:

$$\phi_1 = \begin{pmatrix} 0.10077 \\ 0.07096 \\ 0.03352 \end{pmatrix} \quad \text{ve normalize edilmiş hali} \quad \begin{pmatrix} 1.00000 \\ 0.70418 \\ 0.33264 \end{pmatrix} \quad \begin{matrix} 3. \text{ kat} \\ 2. \text{ kat} \\ 1. \text{ kat} \end{matrix}$$

Ankastre mesnet olduğu durumdaki gibi yukarıdaki işlemler tekrarlanarak Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemine göre binanın katlarına gelen kuvvetler;

3. kata etkiyen eşdeğer deprem kuvveti: 71.244 kN

2. kata etkiyen eşdeğer deprem kuvveti: 120.824 kN

1. kata etkiyen eşdeğer deprem kuvveti: 74.628 kN

1-b) $R_v=50\ 000$ kN/m seçildiğinde elastisite modülü $E=156\ 250$ kN/m² çıkmaktadır.

1. modun periyodu, $T= 0.50155$ s. olup 1. modun şekli:

$$\phi_1 = \begin{pmatrix} 0.10102 \\ 0.07081 \\ 0.03356 \end{pmatrix} \quad \text{ve normalize edilmiş hali} \quad \begin{pmatrix} 1.00000 \\ 0.70095 \\ 0.33221 \end{pmatrix} \quad \begin{matrix} 3. \text{ kat} \\ 2. \text{ kat} \\ 1. \text{ kat} \end{matrix}$$

Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemine göre binanın katlarına gelen kuvvetler;

3. kata etkiyen eşdeğer deprem kuvveti: 70.388 kN

2. kata etkiyen eşdeğer deprem kuvveti: 119.371 kN

1. kata etkiyen eşdeğer deprem kuvveti: 73.731 kN

1-c) $R_v = 2\ 500\ \text{kN/m}$ seçildiğinde elastisite modülü $E = 7\ 812.5\ \text{kN/m}^2$ çıkmaktadır.

1. modun periyodu, $T = 0.64706\ \text{s}$. olup 1. modun şekli:

$$\phi_1 = \begin{pmatrix} 0.10266 \\ 0.06977 \\ 0.03386 \end{pmatrix} \quad \text{ve normalize edilmiş hali} \quad \begin{pmatrix} 1.00000 \\ 0.67962 \\ 0.32983 \end{pmatrix} \quad \begin{matrix} 3. \text{ kat} \\ 2. \text{ kat} \\ 1. \text{ kat} \end{matrix}$$

Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemine göre binanın katlarına gelen kuvvetler;

3. kata etkiyen eşdeğer deprem kuvveti: 57.411 kN

2. kata etkiyen eşdeğer deprem kuvveti: 97.364 kN

1. kata etkiyen eşdeğer deprem kuvveti: 60.138 kN

3.2.2. 2.Varsayım

Sürekli temelin altına çökmeye karşı aksenal rijitliği R_v olan ve

$$R_v = a \cdot b \cdot c \quad (3.10)$$

formülü ile bulunabilen yay atandığı düşünülebilir. Burada,

a: Komşu yaya olan uzaklık veya yayın etkili olduğu genişlik demektir ki, $\frac{8\ \text{metre}}{4\ \text{yay}} = 2$ 'dir.

b: Sürekli temel kirişinin genişliği = 2.5 m

c: Zeminin yatak katsayısı

Bu düşünceye ait sistem Şekil 3. 3 te verilmiştir.



Şekil 3.3. Eksenel Rijitliği Olan Yaylarla Tanımlanmış Zemini Tarif Eden Sistem

2-a) Zeminin yatak katsayısı, $c=20\ 000\ \text{kN/m}^3$ seçildiğinde;

$$R_v = a \cdot b \cdot c = 2 \cdot 2.5 \cdot 20\ 000 = 100\ 000\ \text{kN/m} \text{ çıkmaktadır.}$$

1. modun periyodu, $T = 0.4927\ \text{s.}$ olup 1. modun şekli:

$$\phi_1 = \begin{pmatrix} 0.10098 \\ 0.07097 \\ 0.03331 \end{pmatrix} \quad \text{ve normalize edilmiş hali} \quad \begin{pmatrix} 1.00000 \\ 0.70281 \\ 0.32987 \end{pmatrix} \quad \begin{matrix} \text{3. kat} \\ \text{2. kat} \\ \text{1. kat} \end{matrix}$$

Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemine göre binanın katlarına gelen kuvvetler;

3. kata etkiyen eşdeğer deprem kuvveti: 71.398 kN

2. kata etkiyen eşdeğer deprem kuvveti: 121.084 kN

1. kata etkiyen eşdeğer deprem kuvveti: 74.789 kN

2-b) Zeminin yatak katsayısı, $c=10\ 000\ \text{kN/m}^3$ seçildiğinde;

$R_v = a \cdot b \cdot c = 2 \cdot 2.5 \cdot 10\ 000 = 50\ 000$ kN/m çıkmaktadır.

1. modun periyodu, $T = 0.50023$ s. olup 1. modun şekli:

$$\phi_1 = \begin{pmatrix} 0.10123 \\ 0.07082 \\ 0.03336 \end{pmatrix} \quad \text{ve normalize edilmiş hali} \quad \begin{pmatrix} 1.00000 \\ 0.69959 \\ 0.32955 \end{pmatrix} \quad \begin{matrix} 3. \text{ kat} \\ 2. \text{ kat} \\ 1. \text{ kat} \end{matrix}$$

Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemine göre binanın katlarına gelen kuvvetler;

3. kata etkiyen eşdeğer deprem kuvveti: 70.537 kN

2. kata etkiyen eşdeğer deprem kuvveti: 119.624 kN

1. kata etkiyen eşdeğer deprem kuvveti: 73.887 kN

2-c) Zeminin yatak katsayısı, $c = 500$ kN/m³ seçildiğinde;

$R_v = a \cdot b \cdot c = 2 \cdot 2.5 \cdot 500 = 2\ 500$ kN/m çıkmaktadır.

1. modun periyodu, $T = 0.64606$ s. olup 1. modun şekli:

$$\phi_1 = \begin{pmatrix} 0.10280 \\ 0.06977 \\ 0.03374 \end{pmatrix} \quad \text{ve normalize edilmiş hali} \quad \begin{pmatrix} 1.00000 \\ 0.67870 \\ 0.32821 \end{pmatrix} \quad \begin{matrix} 3. \text{ kat} \\ 2. \text{ kat} \\ 1. \text{ kat} \end{matrix}$$

Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemine göre binanın katlarına gelen kuvvetler;

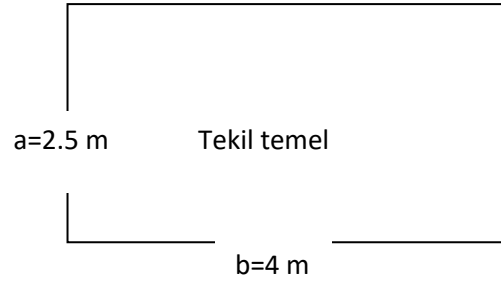
3. kata etkiyen eşdeğer deprem kuvveti: 57.482 kN

2. kata etkiyen eşdeğer deprem kuvveti: 97.484 kN

1. kata etkiyen eşdeğer deprem kuvveti: 60.212 kN

3.2.3. 3.Varsayım

Kolonlar zemine belirli ölçüleri olan tekil temeller vasıtasıyla bağlı olduğu varsayılır. Tekil temellerin boyutları Şekil 3.4 te gösterilmiştir.

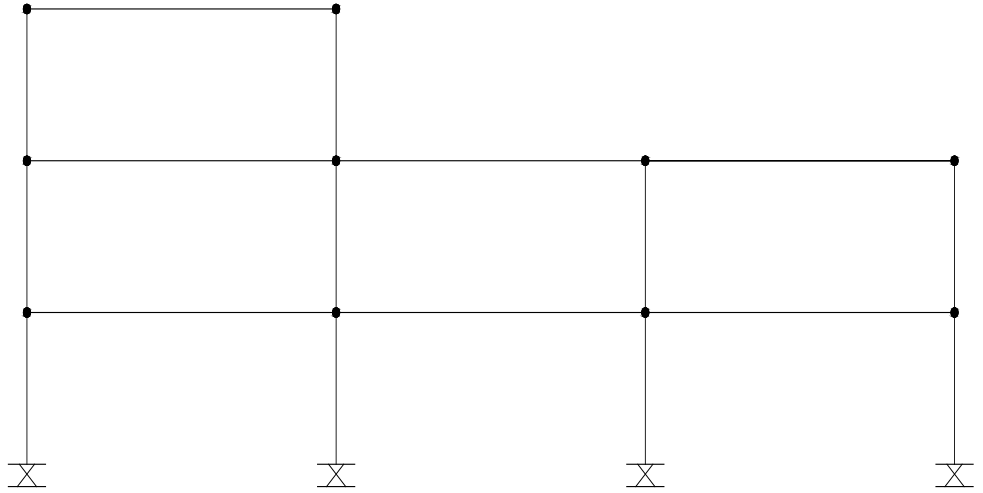


Şekil 3.4. Tekil Temel Kesiti

Yani zemine bağlanan kolonların altına elastik dönen mesnet atanabilir. Bu durumda mesnetin dönme rijitliği

$$R_{\theta} = \frac{a \cdot b^3}{12} \cdot c \quad (3.11)$$

formülü ile bulunabilir. (c: zeminin yatak katsayısı)



Şekil 3.5. Zemini, Belirli Dönme Rijitliği Olan Mesnetlerle Tanımlanmış Sistem

Elastik dönen mesnetlerin olduğu sistem Şekil 3.5 te gösterilmiştir.

3-a) Zeminin yatak katsayısı, $c=20\ 000\ \text{kN/m}^3$ seçildiğinde;

$$R_{\theta} = \frac{2.5 \cdot 4^3}{12} \cdot 20\ 000 = 266\ 666.67\ \text{kNm çıkılmaktadır.}$$

1. modun periyodu, $T = 0.5042\ \text{s.}$ olup 1. modun şekli:

$$\phi_1 = \begin{pmatrix} 0.09750 \\ 0.07118 \\ 0.03588 \end{pmatrix} \quad \text{ve normalize edilmiş hali} \quad \begin{pmatrix} 1.00000 \\ 0.73005 \\ 0.36800 \end{pmatrix} \quad \begin{matrix} 3. \text{ kat} \\ 2. \text{ kat} \\ 1. \text{ kat} \end{matrix}$$

Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemine göre binanın katlarına gelen kuvvetler;

3. kata etkileyen eşdeğer deprem kuvveti: 70.092 kN

2. kata etkileyen eşdeğer deprem kuvveti: 118.869 kN

1. kata etkileyen eşdeğer deprem kuvveti: 73.421 kN

3-b) Zeminin yatak katsayısı, $c=10\ 000\ \text{kN/m}^3$ seçildiğinde,

$$R_{\theta} = 133\ 333.33\ \text{kNm çıkılmaktadır.}$$

1. modun periyodu, $T = 0.52777\ \text{s.}$ olup 1. modun şekli:

$$\phi_1 = \begin{pmatrix} 0.09469 \\ 0.07105 \\ 0.03821 \end{pmatrix} \quad \text{ve normalize edilmiş hali} \quad \begin{pmatrix} 1.00000 \\ 0.75034 \\ 0.40353 \end{pmatrix} \quad \begin{matrix} 3. \text{ kat} \\ 2. \text{ kat} \\ 1. \text{ kat} \end{matrix}$$

Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemine göre binanın katlarına gelen kuvvetler;

3. kata etkileyen eşdeğer deprem kuvveti: 67.577 kN

2. kata etkileyen eşdeğer deprem kuvveti: 114.603 kN

1. kata etkileyen eşdeğer deprem kuvveti: 70.786 kN

3-c) Zeminin yatak katsayısı, $c=500 \text{ kN/m}^3$ seçildiğinde;

$R_0=6 666.67 \text{ kNm}$ çıkmaktadır.

1. modun periyodu, $T= 0.71107 \text{ s.}$ olup 1. modun şekli:

$$\phi_1 = \begin{pmatrix} 0.08188 \\ 0.06950 \\ 0.04790 \end{pmatrix} \quad \text{ve normalize edilmiş hali} \quad \begin{pmatrix} 1.00000 \\ 0.84880 \\ 0.58500 \end{pmatrix} \quad \begin{matrix} 3. \text{ kat} \\ 2. \text{ kat} \\ 1. \text{ kat} \end{matrix}$$

Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemine göre binanın katlarına gelen kuvvetler;

3. kata etkiyen eşdeğer deprem kuvveti: 53.238 kN

2. kata etkiyen eşdeğer deprem kuvveti: 90.287 kN

1. kata etkiyen eşdeğer deprem kuvveti: 55.766 kN

Buradan da görülecektir ki zemine bağlı mesnetlerin rijitliği arttıkça titreşim periyodu kısalmakta ve taban kesme kuvveti de artmaktadır.

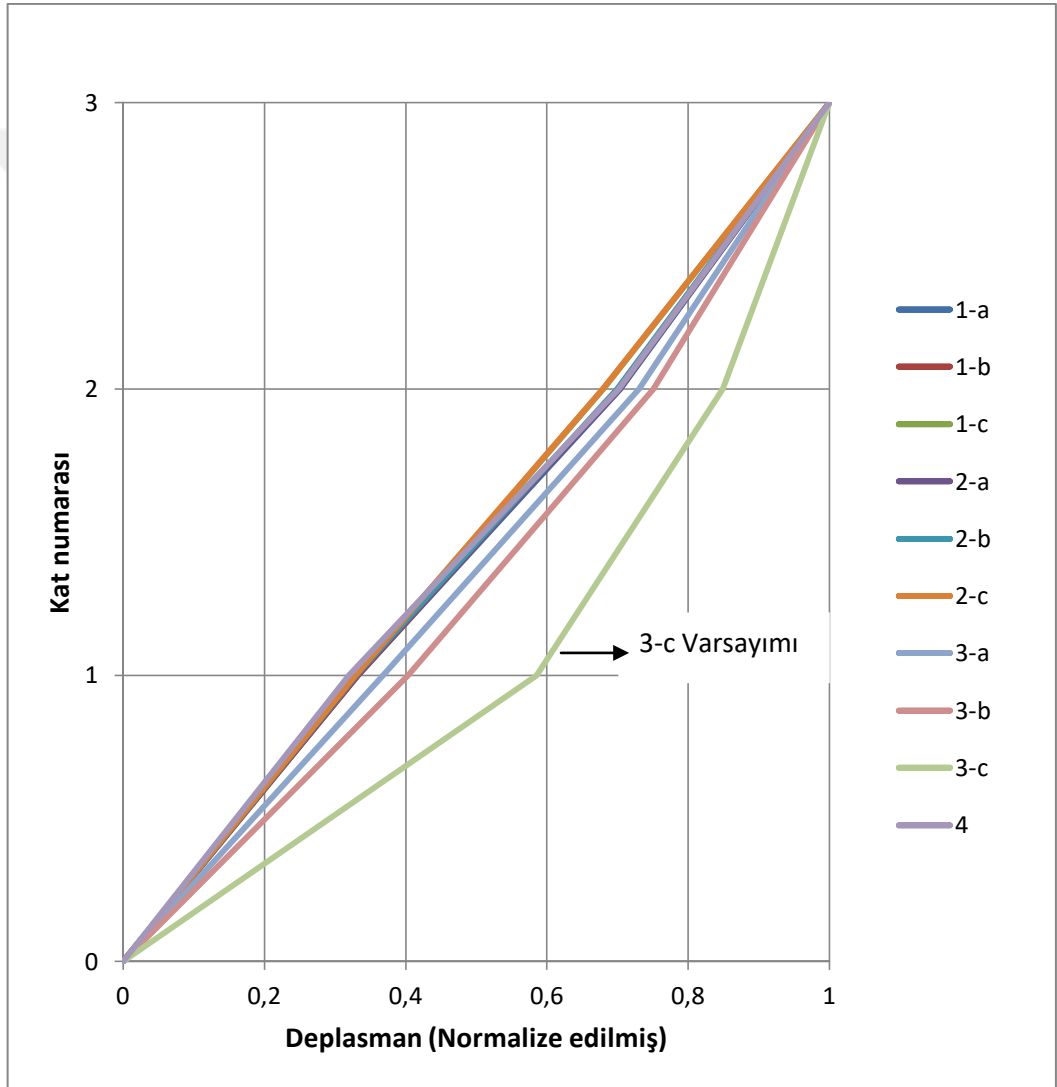
Binanın zemine farklı şekilde mesnetlenmesine ait özelliklerin tümü Tablo 3.2 de görülmektedir.

Tablo 3.2. Binanın Zemine Farklı Mesnetlenme Durumlarına Ait Özellikler

| Varsayım | Rijitlik | 1. modun periyodu (s) | 1. modun şekli | Eşdeğer Deprem Yüklemeyle Taban Kesme Kuvveti (kN) |
|----------|-------------------------------|-----------------------|---|--|
| 1-a | $R_v = 100\ 000\ \text{kN/m}$ | 0.49403 | $\begin{bmatrix} 1.00000 \\ 0.70418 \\ 0.33264 \end{bmatrix}$ | 266.695 |
| 1-b | $R_v = 50\ 000\ \text{kN/m}$ | 0.50155 | $\begin{bmatrix} 1.00000 \\ 0.70095 \\ 0.33221 \end{bmatrix}$ | 263.491 |
| 1-c | $R_v = 2\ 500\ \text{kN/m}$ | 0.64706 | $\begin{bmatrix} 1.00000 \\ 0.67962 \\ 0.32983 \end{bmatrix}$ | 214.912 |
| 2-a | $R_v = 100\ 000\ \text{kN/m}$ | 0.4927 | $\begin{bmatrix} 1.00000 \\ 0.70281 \\ 0.32987 \end{bmatrix}$ | 267.271 |
| 2-b | $R_v = 50\ 000\ \text{kN/m}$ | 0.50023 | $\begin{bmatrix} 1.00000 \\ 0.69959 \\ 0.32955 \end{bmatrix}$ | 264.047 |
| 2-c | $R_v = 2\ 500\ \text{kN/m}$ | 0.64606 | $\begin{bmatrix} 1.00000 \\ 0.67870 \\ 0.32821 \end{bmatrix}$ | 215.178 |
| 3-a | $R_b = 266\ 666\ \text{kNm}$ | 0.5042 | $\begin{bmatrix} 1.00000 \\ 0.73005 \\ 0.36800 \end{bmatrix}$ | 262.382 |
| 3-b | $R_b = 133\ 333\ \text{kNm}$ | 0.52777 | $\begin{bmatrix} 1.00000 \\ 0.75034 \\ 0.40353 \end{bmatrix}$ | 252.966 |
| 3-c | $R_b = 6\ 666\ \text{kNm}$ | 0.71107 | $\begin{bmatrix} 1.00000 \\ 0.84880 \\ 0.58500 \end{bmatrix}$ | 199.291 |
| 4 | Ankastre Mesnetli | 0.47553 | $\begin{bmatrix} 1.00000 \\ 0.70174 \\ 0.31944 \end{bmatrix}$ | 274.963 |

3.3. Farklı Mesnetlenme Durumlarına Göre Serbest Titreşim ve Taban Kesme Kuvveti

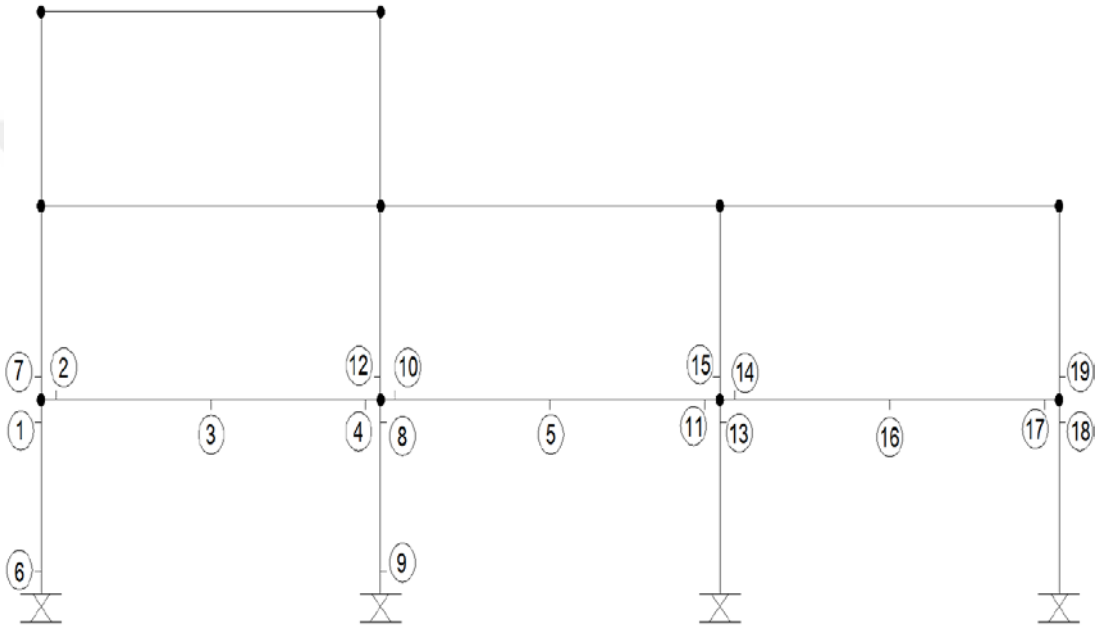
Zeminin farklı varsayımlarla oluşturulduğu sistemlere ait 1. mod şekilleri Şekil 3.6 da gösterilmiştir. Taban Kesme Kuvvetleri farkının en çok olduğu durumlar 3-c varsayımı ile 4. varsayım arasında olmuştur. Bundan dolayı 3-c varsayımı, seçilen sistem olarak kabul edilip, boyutlandırma için bu varsayımın kritik kesitlerinin iç kuvvetleri bulunmuştur.



Şekil 3.6. Zeminin Farklı Varsayımlarla Oluşturulduğu Sistemlerin 1. Mod Şekilleri

4. KOLON VE KİRİŞ KESİTLERİNİN DONATILMASI

Sistemdeki kritik kesitlerin numaraları Şekil 4.1 de verilmiş olup ikinci ve üçüncü katlardaki kolon ile kirişlerin donatılması birinci kattaki kolon ve kirişler gibi yapılmıştır.



Şekil 4.1. Sistemdeki Kritik Kesitler

4.1. Farklı Yükleme Biçimleriyle Kritik Kesitlerdeki İç Kuvvetler

Sistemde üç farklı yükleme yapılmış ve bu yüklemeler sonucu kesitlerdeki iç kuvvetler Tablo 4.1, 4.2 ve 4.3 te verilmiştir.

Tablo 4.1. 1.4*G+1.6*Q Yüklemesiyle Oluşan İç Kuvvetler

| Kesit no | N (kN) | V (kN) | M (kNm) |
|-----------|----------------|---------------|----------------|
| 1 | -975.28 | -33.66 | 97.49 |
| 2 | | -195.11 | -259.53 |
| 3 | | 10.76 | 200.4 |
| 4 | | 214.61 | -337.55 |
| 5 | | 1.458 | 168.4 |
| 6 | -975.28 | -33.66 | -3.48 |
| 7 | -632.07 | -97.85 | -156.36 |
| 8 | -1550.6 | 5.26 | -15.33 |
| 9 | -1550.6 | 5.26 | 0.44 |
| 10 | | -203.4 | -320.07 |
| 11 | | 206.32 | -331.74 |
| 12 | -911.35 | -10.05 | 0.47 |
| 13 | -1111.49 | -6.67 | 19.24 |
| 14 | | -215.3 | -339.0 |
| 15 | -469.9 | 21.97 | 8.58 |
| 16 | | -12.09 | 201.89 |
| 17 | | 194.4 | -255.1 |
| 18 | -512.8 | 35.1 | -101.8 |
| 19 | -169.31 | 84.21 | 146.14 |

Tablo 4.2. G+Q+E Yüklemeyle Oluşan İç Kuvvetler

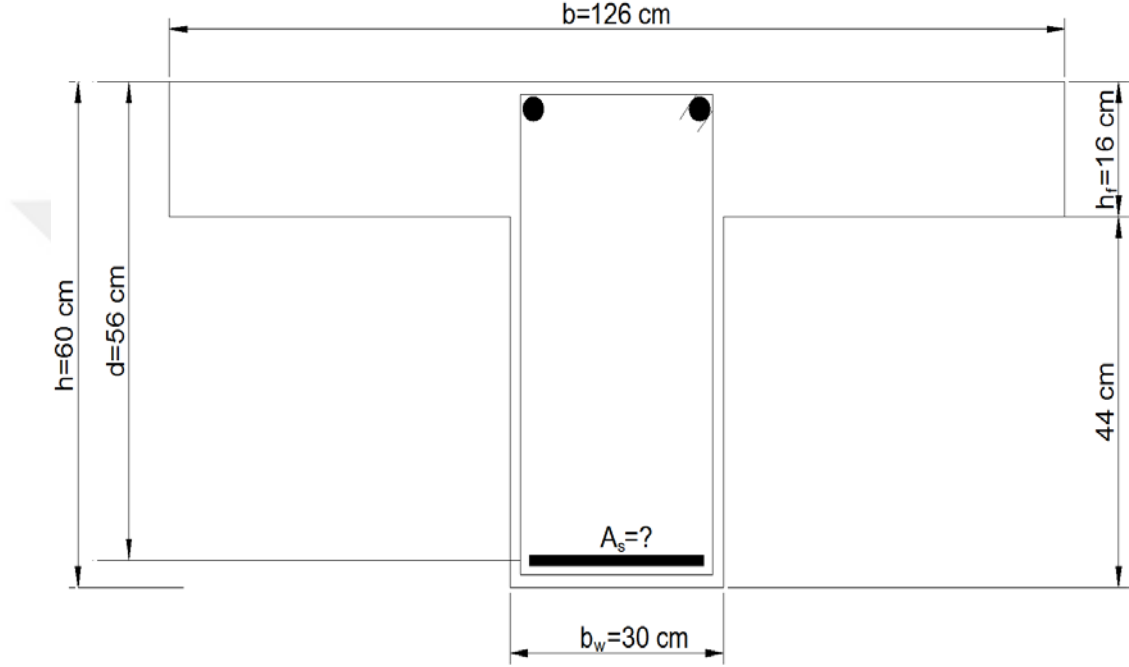
| Kesit no | N (kN) | V (kN) | M (kNm) |
|----------|-----------------|---------------|----------------|
| 1 | -622.63 | 20.97 | -45.02 |
| 2 | | -106.94 | -59.30 |
| 3 | | 35.46 | 141.98 |
| 4 | | 180.73 | -349.36 |
| 5 | | 25.21 | 116.97 |
| 6 | -622.63 | 21.93 | 9.55 |
| 7 | -411.69 | -52.13 | -104.32 |
| 8 | -1097.87 | 59.74 | -166.30 |
| 9 | -1097.87 | 59.74 | 21.79 |
| 10 | | -117.19 | -125.32 |
| 11 | | 166.55 | -312.58 |
| 12 | -648.82 | 42.61 | 63.17 |
| 13 | -768.6 | 50.6 | -130.9 |
| 14 | | -120.5 | -124.6 |
| 15 | -327.9 | 68.98 | 72.18 |
| 16 | | 21.9 | 130.9 |
| 17 | | 165.55 | -303.54 |
| 18 | -401.1 | 66.73 | -188.33 |
| 19 | -132.4 | 84.0 | 118.3 |

Tablo 4.3. G+Q-E Yüklemesiyle Oluşan İç Kuvvetler

| Kesit no | N (kN) | V (kN) | M (kNm) |
|----------|----------------|----------------|---------------|
| 1 | -737.32 | -66.46 | 187.42 |
| 2 | | -165.76 | -305.6 |
| 3 | | -21.91 | 129.69 |
| 4 | | 120.49 | -125.81 |
| 5 | | -24.06 | 117.95 |
| 6 | -737.32 | -66.46 | -11.95 |
| 7 | -469.01 | -86.96 | -120.72 |
| 8 | -1059.10 | -52.48 | 136.26 |
| 9 | -1059.10 | 52.48 | -21.18 |
| 10 | | -166.46 | -320.0 |
| 11 | | 118.34 | -128.93 |
| 12 | -618.15 | -53.98 | -59.36 |
| 13 | -781.9 | -59.35 | 166.45 |
| 14 | | -182.34 | -354.9 |
| 15 | -327.0 | -39.8 | -59.3 |
| 16 | | -36.5 | 142.8 |
| 17 | | 105.9 | -54.3 |
| 18 | -315.7 | -19.4 | 40.3 |
| 19 | -105.8 | 38.5 | 94.6 |

4.2. Kirişlerin Tasarımı

4.2.1. 3 No' lu Kesitteki Kirişin Açıklık Donatısının Belirlenmesi



Şekil 4.2. Açıklıktaki Kiriş Kesiti

Sistemde kirişlerin orta (açıklık) kısmındaki boyutları Şekil 4.2 deki gibi olup yapı malzemesi bilgileri ise şu şekildedir.

a-) Beton:

Sınıfı: C30 olup; karakteristik beton dayanımı, $f_{ck}=30$ MPa olarak kullanılacaktır. Diğer parametreler ise şu şekildedir.

γ_{mc} : Beton malzeme katsayısı= 1.50

f_{cd} : Beton tasarım basınç dayanımı= f_{ck}/γ_{mc} (4.1)

$$f_{cd} = \frac{30}{1.5} = 20 \text{ MPa}$$

k_1 : Betonun basınç bloğu katsayısı= 0.82

$$f_{ctk}: \text{Betonun karakteristik çekme dayanımı} = 0.35 \cdot \sqrt{f_{ck}} \quad (4.2)$$

$$f_{ctk} = 1.917 \text{ MPa}$$

$$f_{ctd}: \text{Betonun tasarım çekme dayanımı} = f_{ctk} / \gamma_{mc} \quad (4.3)$$

$$f_{ctd} = \frac{1.917}{1.5} = 1.278 \text{ MPa}$$

b-) Donatı:

Sınıfı: S420 olup; karakteristik akma dayanımı, $f_{yk} = 420$ MPa alınacaktır. Diğer parametreler ise şu şekildedir.

γ_{ms} : Çeliğin malzeme katsayısı = 1.15

$$f_{yd}: \text{Çeliğin tasarım akma dayanımı} = f_{yk} / \gamma_{ms} \quad (4.4)$$

$$f_{yd} = \frac{420}{1.15} = 365 \text{ MPa}$$

Tasarım momenti:

$$M_d = 200.4 \text{ kNm} = 200.4 \cdot 10^6 \text{ Nmm} \text{ (1.4*G+1.6*Q ile)}$$

Boyutları h_f , b olan dikdörtgen kısmın taşıma gücü momenti (M_r^*):

$$M_r^* = 0.85 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot h_f \cdot (d - h_f/2) \quad (4.5)$$

$$= 0.85 \cdot 20 \cdot 1260 \cdot 160 \cdot (560 - 160/2) = 1645 \cdot 10^6 \text{ Nmm} = 1645 \text{ kNm}$$

Basınç bloğu şeklinin belirlenmesi:

$M_r^* = 1645 \text{ kNm} > M_d = 200.4 \text{ kNm}$ olduğundan basınç bloğu dikdörtgendir.

Çekme Donatısı Oranı:

$$\bar{\rho} = 0.85 \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_d}{0.85 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d^2}} \right] \quad (4.6)$$

$$\bar{\rho} = 0.85 \cdot \frac{20}{365} \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 200.4 \cdot 10^6}{0.85 \cdot 20 \cdot 1260 \cdot 560^2}} \right] = 0.00141$$

Çekme Donatısı Alanı:

$$A_s = \bar{\rho} * b * d \quad (4.7)$$

$$= 0.00141 * 1260 * 560 = 995.5 \text{ mm}^2 \text{ (Gerekli olan)}$$

Donatı çapı 16 mm olanlardan 5 adet seçildiğinde $A_s = 1004.8 \text{ mm}^2$ olmaktadır.

Yerleştirilen çekme donatısı: 5 ϕ 16 ($A_s = 1004.8 \text{ mm}^2$) dır.

$$\rho = \frac{1004.8}{300 * 560} = 0.00598$$

$$\rho_{\min} = 0.8 * \frac{f_{ctd}}{f_{yd}} \quad (4.8)$$

$$= 0.8 * \frac{1.278}{365} = 0.0028 \rightarrow \rho \geq \rho_{\min} \text{ koşulu sağlanmıştır.}$$

Dengeli Donatı Oranı:

$$\bar{\rho}_b = 0.85 * \frac{f_{cd}}{f_{yd}} * \left[\frac{600 * k_1}{600 + f_{yd}} + \left(\frac{b}{b_w} - 1 \right) * \left(\frac{h_f}{d} \right) \right] \quad (4.9)$$

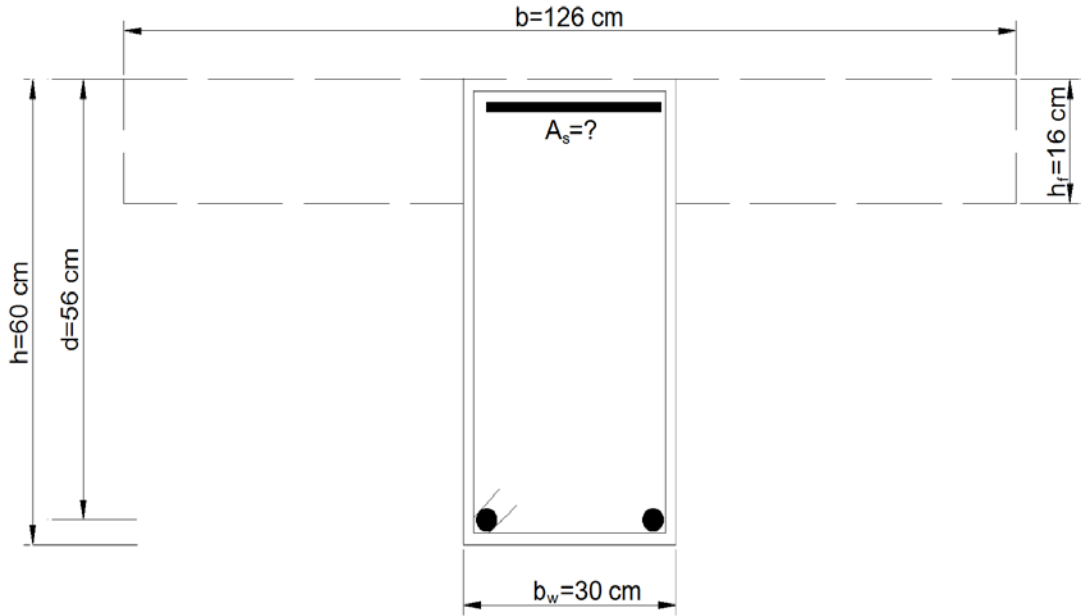
$$\bar{\rho}_b = 0.85 * \frac{20}{365} * \left[\frac{600 * 0.82}{600 + 365} + \left(\frac{1260}{300} - 1 \right) * \left(\frac{160}{560} \right) \right] = 0.0663$$

$$\rho = 0.00598 \leq \begin{cases} 0.85 * \bar{\rho}_b = 0.85 * 0.06633 = 0.056 \\ 0.02 \rightarrow \text{(Yönetmelik koşulu sağlanmıştır)} \\ 0.235 * \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \text{ (sehim için)} = 0.235 * \frac{20}{365} = 0.0129 \end{cases}$$

Yukarıdaki üç durumda da yönetmelik koşulu sağlanmıştır.

4.2.2. 2 No' lu Kesitteki Kirişin Mesnet Donatısının Belirlenmesi

Mesnet bölgesinde kalan kirişlerin boyutları Şekil 4.3 te verilmiştir.



Şekil 4.3. Mesnetteki Kiriş Kesiti

Tasarım momenti:

$$M_d = -305.6 \text{ kNm} = -305.6 \cdot 10^6 \text{ Nmm} \text{ (1*G+1*Q-1*E ile)}$$

a= Eşdeğer basınç bloğu derinliği

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2 \cdot M_d}{0.85 \cdot f_{cd} \cdot b_w}} \quad (4.10)$$

$$a = 560 - \sqrt{560^2 - \frac{2 \cdot 305.6 \cdot 10^6}{0.85 \cdot 20 \cdot 300}} = 119.82 \text{ mm}$$

$$A_s = \frac{M_d}{f_{yd} \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)} \quad (4.11)$$

$$A_s = \frac{305.6 \cdot 10^6}{365 \cdot \left(560 - \frac{119.82}{2}\right)} = 1674.2 \text{ mm}^2 \text{ (Gerekli olan)}$$

1 adet ϕ 12 ve 5 adet ϕ 20 donatısı seçilirse $A_s = 1683.04 \text{ mm}^2$ olacaktır.

Kesitteki donatı oranı:

$$\rho = \frac{A_s}{b_w \cdot d} \quad (4.12)$$

$$\rho = \frac{1683.04}{300 \cdot 560} = 0.0100$$

$$\rho_{\min} = 0.8 \cdot \frac{f_{ctd}}{f_{yd}} \quad (4.13)$$

$$= 0.8 \cdot \frac{1.278}{365} = 0.0028 \rightarrow \rho > \rho_{\min} \text{ sağlanmıştır.}$$

$$\rho_b = 0.85 \cdot k_1 \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot \left(\frac{600}{600 + f_{yd}} \right) \quad (4.14)$$

$$= 0.85 \cdot 0.82 \cdot \frac{20}{365} \cdot \left(\frac{600}{600 + 365} \right) = 0.0237$$

$$\rho = 0.0100 \leq \left\{ \begin{array}{l} 0.85 \cdot \rho_b = 0.85 \cdot 0.0237 = 0.0201 \\ 0.02 \end{array} \right.$$

Yukarıdaki her iki durumda da yönetmelik koşulu sağlanmıştır.

Diğer kesitlerdeki kirişlerin donatıları da aynı hesaplarla bulunmuştur.

2 Numaralı Kiriş Kesitinde Çift Donatılı Kesite İhtiyaç Olup Olmadığının Kontrolü:

$M_d = -305.6 \text{ kNm} = 305.6 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$ (1*G+1*Q-1*E) yüklemesiyle

Dengeli donatı oranı:

$$\rho_b = 0.85 * k_1 * \frac{f_{cd}}{f_{yd}} * \left(\frac{600}{600 + f_{yd}} \right) \quad (4.15)$$
$$= 0.85 * 0.82 * \frac{20}{365} * \left(\frac{600}{600 + 365} \right) = 0.0237$$

ρ_1 donatısının seçimi: Bu donatı oranı genellikle $0.5 * \rho_b \sim 0.85 * \rho_b$ arasında seçilmektedir.

O halde $0.01187 < \rho_1 < 0.0202$ olduğundan $\rho_1 = 0.016$ seçilmiştir.

$$\rho_{1min} = 0.0119 \text{ için } M_{1min} = 358.8 \text{ kNm çıkmaktadır.}$$

Eşdeğer basınç bloğu bileşkesine eşit çekme kuvveti oluşturmak için gerekli donatı alanı:

$$A_{s1} = \rho_1 * b_w * d \quad (4.16)$$
$$= 0.016 * 300 * 560 = 2688 \text{ mm}^2$$

Kesitin tek donatılı olarak karşılayabildiği moment (M_1):

$$k_{m1} = \rho_1 * f_{yd} * \left(1 - 0.59 * \rho_1 * \frac{f_{yd}}{f_{cd}} \right) \quad (4.17)$$
$$= 4.834$$

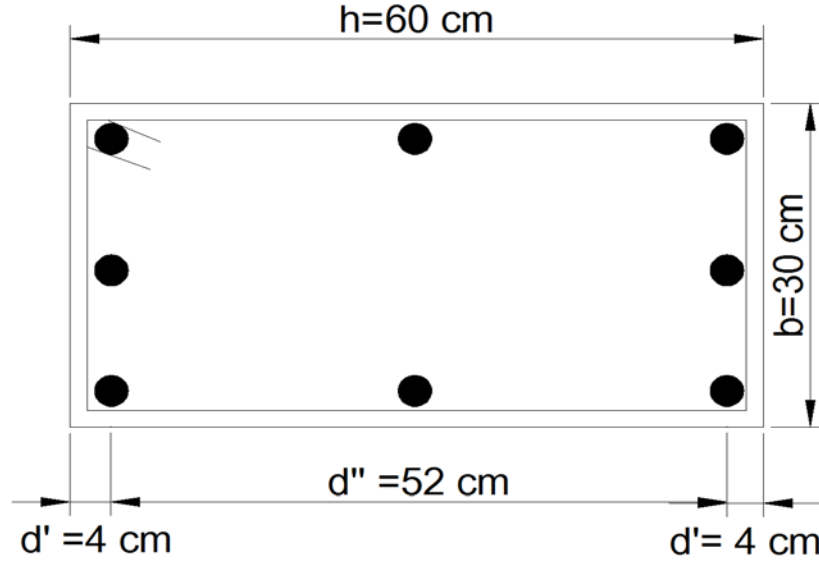
$$M_1 = k_{m1} * b_w * d^2 \quad (4.18)$$
$$= 4.834 * 300 * 560^2 = 454.77 \text{ kNm}$$

$M_1 = 454.77 \text{ kNm} > M_d = 305.6 \text{ kNm}$ olduğundan çift donatılı kesite gerek yoktur.

Diğer mesnet kirişlerinde de minimum donatı oranı seçilse bile ($\rho_{1min} = 0.0119$ için) $M_{1min} > M_d$ olduğu görülecek ve çift donatılı kesite gerek duyulmayacaktır.

4.3. Kolonların Tasarımı

Sistemdeki tüm kolonlar Şekil 4.4 te görüldüğü gibi seçilmiştir.



Şekil 4.4. Kolon Kesiti

1 nolu kesitteki kolon donatısının belirlenmesi için yapılacak hesaplamalar

$d''/h = 520/600 = 0.87$ abaktan $d''/h = 0.90$ alınabilir.

Eksenel Kuvvete Göre Boyutların Kontrol Edilmesi:

$N_d = -975.28 \text{ kN} (1.4*G+1.6*Q)$ idi

$$N_d < 0.5 * A_c * f_{ck} \quad (4.19)$$

$$975.28 * 10^3 < 0.5 * 300 * 600 * 30 \rightarrow 975.28 * 10^3 < 2700 * 10^3 \text{ (sağlanmıştır)}$$

Kullanılacak Diyagram İçin Boyutsuz Oranların Belirlenmesi:

En elverişsiz kesit etkileri $1*G+1*Q-1*E$ yüklemeinden;

$N_d = -737.32 * 10^3 \text{ N}$ ve $M_d = 187.42 * 10^6 \text{ Nmm}$ idi

$$\frac{N_d}{b * h * f_{cd}} \quad (4.20)$$

$$= \frac{737.32 * 10^3}{300 * 600 * 20} = 0.205 \text{ ve}$$

$$\frac{M_d}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} \quad (4.21)$$

$$= \frac{187.42 \cdot 10^6}{300 \cdot 600^2 \cdot 20} = 0.0835$$

Diyagramdan ψ Değerinin Alınması:

Yukarıdaki değerlerin abaktaki kesiştiği nokta bu kesit için uygun olan $\psi=0.10$ alınabilir.

$$\rho_t = \psi \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \quad (4.22)$$

$$= 0.10 \cdot 20 / 365 = 0.00548$$

Görüldüğü gibi hesaplanan $\rho_t = 0.00548$, minimum donatı oranı ($\rho_{tmin} = 0.01$) dan daha küçüktür. Bu durumda minimum donatı oranı dikkate alınmalıdır.

Boyuna Donatı Alanı ve Çapının Belirlenmesi:

$$A_{st} = \rho_t \cdot b \cdot h \quad (4.23)$$

$$= 0.01 \cdot 300 \cdot 600 = 1800 \text{ mm}^2$$

Sayısal uygulamada 8 adet boyuna donatılı kesit dikkate alındığında donatı çapı yaklaşık olarak, n donatı sayısını göstermek üzere ;

$$\frac{\pi \cdot \phi^2}{4} \cdot n = A_{st} \rightarrow \frac{3.14 \cdot \phi^2}{4} \cdot 8 = 1800 \rightarrow \phi = 16.91 \text{ mm}$$

Seçilen donatı çapı $\rightarrow \phi = 18$ dir. 8 $\phi 18$ için toplam donatı alanı: $A_{st} = 2034.7 \text{ mm}^2$ olmaktadır.

$$A_{st} = \rho_t \cdot b \cdot h \quad (4.24)$$

$$2034.7 = \rho_t \cdot 300 \cdot 600 \rightarrow \rho_t = 0.0113 \text{ bulunur.}$$

$\rho_t = 0.0113$ alındığında elde edilecek yeni ψ değeri;

$$\rho_t = \psi \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \rightarrow 0.0113 = \psi \cdot \frac{20}{365}$$

$$\psi = \frac{0.0113 \cdot 365}{20} = 0.206 \text{ için abaktan } \rightarrow \frac{M_d}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = 0.155 \text{ okunur.}$$

$$\text{Abaktan } \frac{N_d}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = 0.205 \text{ iken}$$

$$0.155 = \frac{M_d}{300 \cdot 600^2 \cdot 20} \rightarrow M_d = 334.8 \text{ kNm bulunmuş olur.}$$

Diğer kesitlerdeki kolonların donatıları da aynı hesaplarla bulunmuştur.

Kritik kesitlere yerleştirilen donatılar Tablo 4.4 te görüldüğü gibi çıkmaktadır.

Tablo 4.4. Kritik Kesitlere Yerleştirilen Donatılar

| kesit | M(kNm) | M _d (kNm) | Elverişsiz Yük birleşimi | Gerekli Donatı (mm ²) | Yerleştirilen Donatı |
|-------|--------|-------------------------|--------------------------------|---|-------------------------|
| 1 | 187.42 | 335 | 1G+1Q-1E | 1800 | 8φ18=2035 |
| 2 | -305.6 | | 1G+1Q-1E | 1674.2 | 1φ12+5φ20=1683 |
| 3 | 200.4 | | 1.4G+1.6Q | 995.5 | 5φ16=1005 |
| 4 | -349.4 | | 1G+1Q+1E | 1952.9 | 1φ22+5φ20=1950 |
| 5 | 168.4 | | 1.4G+1.6Q | 834.5 | 3φ16+1φ18=857 |
| 6 | -11.95 | 335 | 1G+1Q-1E | 1800 | 8φ18=2035 |
| 7 | -156.4 | 313 | 1.4G+1.6Q | 1800 | 8φ18=2035 |
| 8 | -166.4 | 421 | 1G+1Q+1E | 1800 | 8φ22=3039 |
| 9 | 21.79 | | 1G+1Q+1E | 1800 | 8φ18=2035 |
| 10 | -320.1 | | 1.4G+1.6Q | 1765 | 4φ22+1φ14+1φ12= 1786 |
| 11 | -331.7 | | 1.4G+1.6Q | 1839.1 | 4φ22+1φ18+1φ12= 1886 |
| 12 | 63.17 | 393 | 1G+1Q+1E | 1800 | 8φ22=3039 |
| 13 | 166.45 | 421 | 1G+1Q-1E | 1800 | 8φ22=3039 |
| 14 | -354.9 | | 1G+1Q-1E | 1989 | 5φ22+1φ12=2012 |
| 15 | 72.18 | 432 | 1G+1Q+1E | 1800 | 8φ24=3617 |
| 16 | 201.89 | | 1.4G+1.6Q | 1003 | 5φ16=1005 |
| 17 | -303.5 | | 1G+1Q+1E | 1661.4 | 4φ22+1φ14=1674 |
| 18 | -188.3 | 313 | 1G+1Q+1E | 1800 | 8φ18=2035 |
| 19 | 146.14 | 248 | 1.4G+1.6Q | 1800 | 8φ18=2035 |

8φ18 kolon kesitinin taşıyabileceği maksimum eksenel kuvveti:

$$N_u = 0.85 \cdot f_{ck} \cdot A_c + A_{st} \cdot f_{yk} \quad (4.25)$$

$$A_c = 300 \cdot 600 - 8 \cdot 3.14 \cdot 18^2 / 4 = 177\,965 \text{ mm}^2 \quad A_{st} = 8 \cdot 3.14 \cdot 18^2 / 4 = 2034 \text{ mm}^2$$

$$N_u = 0.85 \cdot 30 \cdot 177\,965 + 2034 \cdot 420 = \underline{5392.39 \text{ kN}} \text{ bulunur.}$$

Aynı şekilde 8φ24 için $N_u = 6016.91 \text{ kN}$

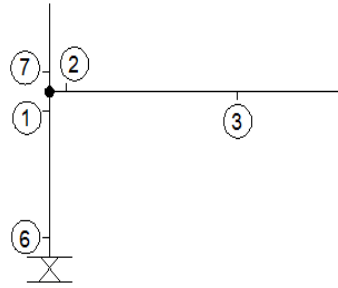
8φ22 için $N_u = 5789.28 \text{ kN}$

8φ12 için $N_u = 4946.6 \text{ kN}$

Sistemde kuvvetli kolon - zayıf kiriş olup olmadığının kontrolüyle ilgili hesaplar ve bunlara ait şekiller, Şekil 4.5, 4.6 ve 4.7 de gösterilmiştir.

TDY 2007 ye göre düğüm noktalarındaki kuvvetli kolon – zayıf kiriş etkisinde

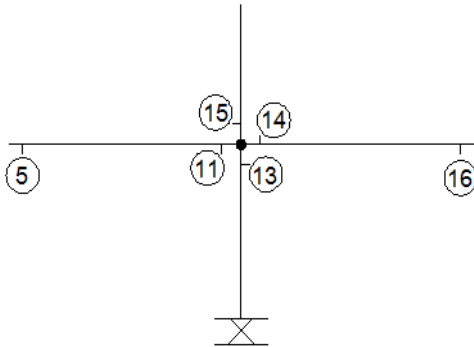
$M_{d1} + M_{d7} \geq 1.2 \cdot M_{d2}$ olmalıdır.



$$334.8 + 313.2 > 1.2 \cdot 305.6$$

$$648 > 366.7 \text{ sağlanmış oldu.}$$

Şekil 4.5. Sol Kenar Aksı 1. Kat Düğüm Noktası Momentleri

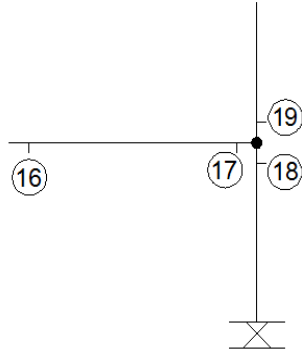


$$M_{d13} + M_{d15} > 1.2 \cdot (M_{d11} + M_{d14}) \text{ olmalıdır.}$$

$$421.2 + 432 > 1.2 \cdot (331.74 + 354.9)$$

$$853.2 > 823.9 \text{ sağlanmış oldu.}$$

Şekil 4.6. Orta Aks 1. Kat Düğüm Noktası Momentleri



$$M_{d_{18}} + M_{d_{19}} > 1.2 * M_{d_{17}} \text{ olmalıdır.}$$

$$313.2 + 248.4 > 1.2 * 303.54$$

561.6 > 364.2 yönetmelik maddesi sağlandı.

Şekil 4.7. Sağ Kenar Aksı 1. Kat Düğüm Noktası Momentleri

Yapılan hesaplamalar sonucunda sistemdeki kesitlerde yer alan tüm donatılandırmalar Şekil 4.8 de verilmiş olup, 2. ve 3. kattaki kesitlerin donatıları da 1. kattaki gibi seçilmiştir.

5. YATAY YÜK ARTIMI (STATİK İTME) ANALİZİ

5.1. Limit Yük ve Plastik Mafsal Kavramı

Yapıda oluşan hasar anlamına gelen kalıcı şekil değiştirmelerin elemanın küçük bir bölgesinde toplanması ve iyi bir yaklaşımla diğer bölgelerin elastik davranış içinde kalacağıının varsayılması plastik mafsal hipotezi olarak bilinmektedir. [5]

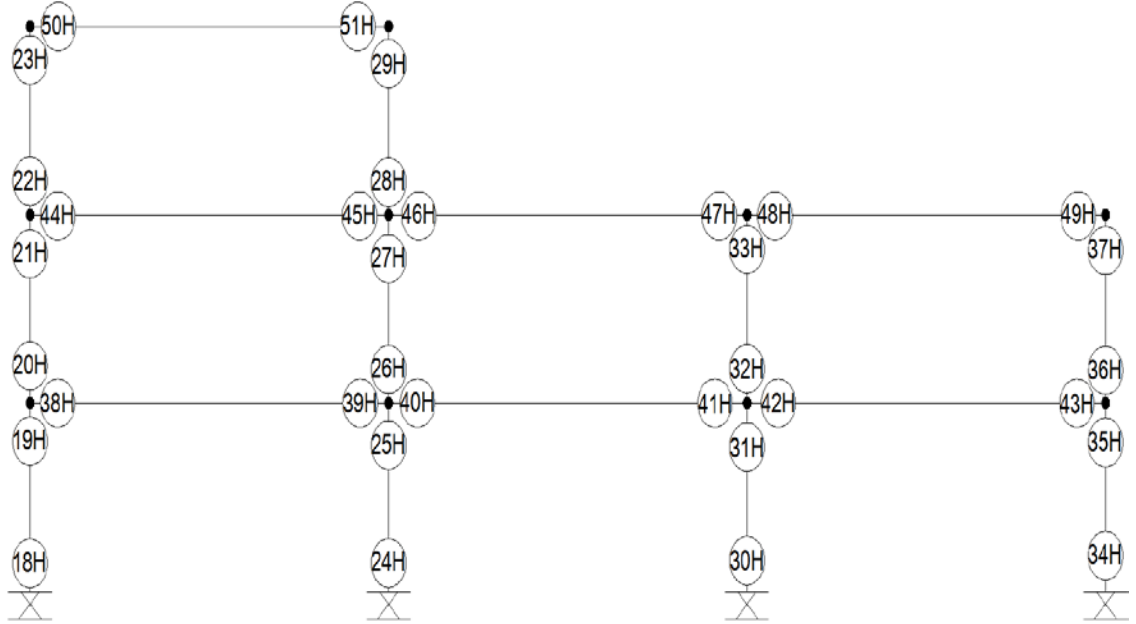
İzostatik sistemlerde en çok zorlanan kesitte plastik mafsalın oluşması ile sistem yük taşıyamaz duruma gelirken hiperstatik sistemlerde oluşan plastik mafsal, sistemin hiperstatiklik derecesini düşürür. Fakat güç tükenmesi durumu oluşmaz. Yüklemeye ve plastik mafsal kabulü kullanılmaya devam edilirse, plastik mafsalların sayılarının artmasıyla, taşıyıcı sistem, yerel olarak veya tüm sistem olarak mekanizma durumuna gelir ve bu durumda yük de sınır (limit) değerine ulaşır. Yükün en son değeri Limit Yük olarak adlandırılır. Limit yüke erişinceye kadar plastik mafsallarda dönmeler ve bunun sonucunda sistemde yerdeğıştirmeler ortaya çıkar. Limit yükün kabul edilebilmesi için bu dönme ve yerdeğıştirmelerin kabul edilebilir seviyede olması gerekir. Kabul edilebilir seviyeyi iki türlü yorumlamak gerekir. Birincisi ortaya çıkan yerdeğıştirme ve şekil değıştirmelerin sistemin ve ilgili kesitin kapasitesi içinde olması gerekir. İkincisi ise, elastik ötesi yerdeğıştirme ve şekil değıştirme kalıcı türden olduğu ve hasar olarak ortaya çıktığı için sistemin kullanıcısı tarafından kabul edilebilir olması gerekir. [2]

5.2. Limit Yükün Yük Artımı Yöntemiyle Hesabı ve Doğrusal Olmayan Statik Hesap

Plastik mafsal kabulünü kullanarak, bir taşıyıcı sistemin güç tükenme durumunun elde edilmesinde en basit yöntem sistemin yükü artırılarak adım adım sistemin davranışının plastik mafsal oluşumu da göz önünde tutularak incelenmesidir. Bu işlemde, eğilme momentinin sınır değere eriştiği kesitlere plastik mafsal yerleştirilerek, taşıyıcı sistemde mekanizma durumu oluşuncaya kadar devam edilerek limit yük bulunur. [2]

Binaların daha kapsamlı ve detaylı değerlendirilmesi için doğrusal olmayan statik itme analizi (Pushover) uygulanmaktadır. Bu metotta, sistemin taban kesme kuvveti-tepe noktası deplasmanı ilişkisini gösteren kapasite eğrisi elde edilir. Bu eğri söz konusu yapının artan taban kesme kuvveti altında sergileyeceği davranışı temsil etmektedir. Düşük deprem etkileri altında eğri doğrusal kalarak yapının elastik davranışını temsil eder. Artan deprem etkileri altında ise elemanlarda kapasite aşımaları meydana geleceğinden yük deformasyon ilişkisi değişerek elastik davranışı yansıtmaktadır. Bu eğrinin en son noktası yapının göçmeden hemen önceki durumuna karşılık gelmektedir. [1]

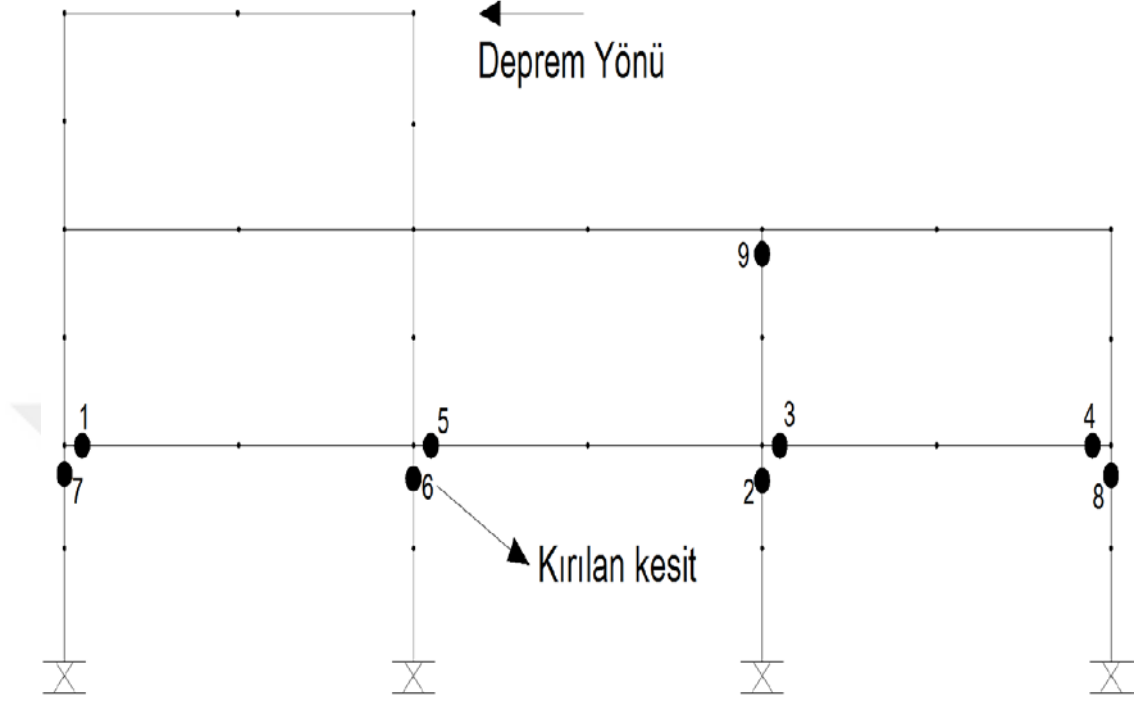
Sistemde yer alan kolon ve kiriş kesitlerini, malzeme özelliklerini donatılarıyla birlikte XTRACT programında tanımladıktan sonra her kesitin Moment - Eğrilik grafikleri oluşturulur. Moment – Eğrilik grafiği kırıklı 2 doğru haline getirildikten sonra moment ve eğrilik değerlerini içeren bu bilgileri Sap 2000 programında kesitlerin plastik mafsalsal özelliklerini temsil edecek şekilde tanımlama yapılmıştır. İlgili plastik mafsalsal numaraları Şekil 5.1 de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Kesitlere Atanmış Plastik Mafsalsal Numaraları

Sap 2000 programında sabit düşey yükler ve artan yatay deprem yüklerinin etkilendiği doğrusal olmayan analiz biçimi Yatay Yük Artımı Analizi ya da Statik İtme Analizi, İngilizcedeki karşılığıyla da Pushover Analiz olacaktır. Bu tez çalışması içerisinde kavram olarak "Yatay Yük Artımı Analizi" ismi kullanılacaktır. Sap 2000 programında kolon ve kirişlerin iki ucundaki plastik mafsalsal özelliklerini ayrı atayabilmek için bütün kolon ve kirişlerin orta noktalarına düğüm noktası atanmış, yani bütün kolon ve kirişler iki çubuktan oluşturulmuştur. Deprem kuvvetleri sağdan sola doğru (-X

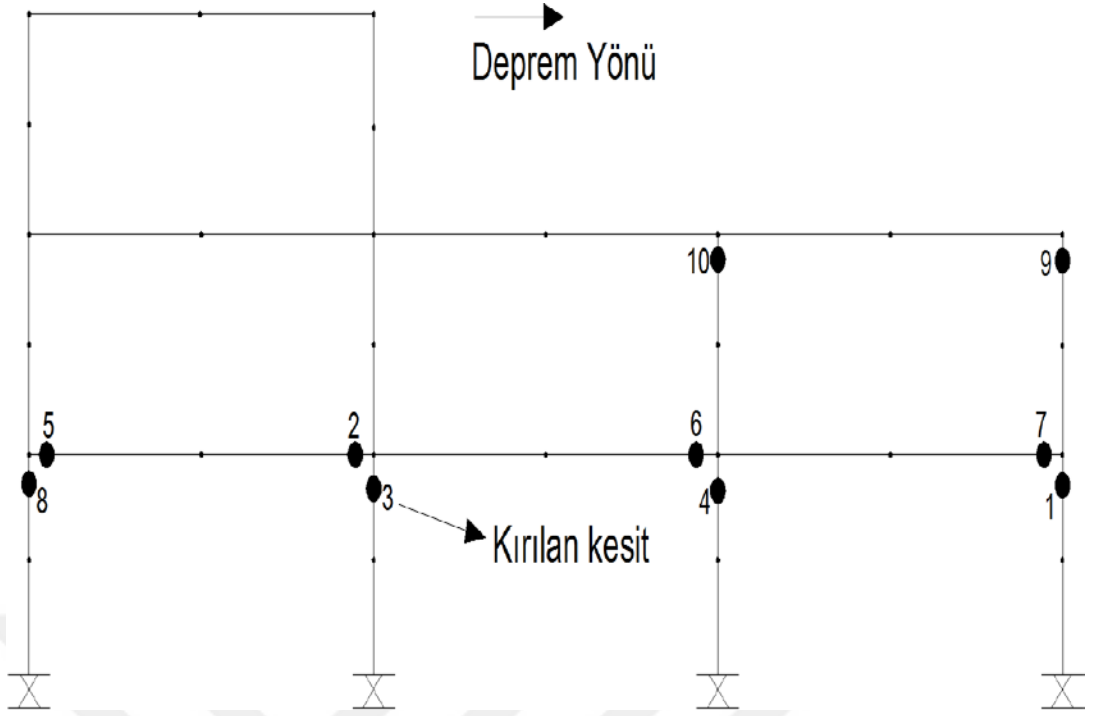
yönünde) uygulandığında Yatay Yük Artımı Analizi sonrasında sistemdeki plastik mafsalların oluşma yerleri ve oluşma sırası Şekil 5.2 de gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Statik İtme Analizinin -X Yönünde Uygulanmasıyla Oluşmuş Mafsal Yerleri ve Sırası

Sap 2000 programında Yatay Yük Artımı Analizinde toplam 167 adım ilerleme yapıldığında 25H mafsalındaki (yukarıda 6. sırada mafsallaşan) kesitin kırıldığı görülmüştür. Yani ilgili adımda sistemin göçtüğü varsayılmıştır.

Deprem kuvvetleri soldan sağa doğru (+X yönünde) uygulandığında Yatay Yük Artımı Analizi sonrasında sistemdeki plastik mafsalların oluşma yerleri ve oluşma sırası Şekil 5.3 te gösterilmiştir.



Şekil 5.3. Statik İtme Analizinin +X Yönünde Uygulanmasıyla Oluşmuş Mafsall Yerleri ve Sırası

Sap 2000 programında Yatay Yük Artımı Analizinde toplam 167 adım ilerleme yapıldığında 25H mafsalındaki (yukarıda 3. sırada mafsallaşan) kesitin kırıldığı görülmüştür. Yani ilgili adımda sistemin göçtüğü varsayılmıştır. Görüldüğü gibi deprem kuvvetleri yön değiştirdiğinde plastik mafsalların oluşma yerleri ve sırası değişmektedir.

Yatay Yük Artımı Analizinde bütün kesitlerin akma anındaki moment-eğrilik değerleriyle, sistemin göçene kadarki moment ve eğrilik değerleri tablo 5.1 de gösterilmiştir.

Tablo 5.1. Tüm Kesitlerin Moment ve Eğrilik Değerleri

| Plastik mafsalsal | M _{akma} (kNm) | χ _{akma} (rad/m) | M _{maks} (kNm) | χ _{maks} (rad/m) | χ _{maks} /χ _{ak} | M _{167.adım} | χ _{167.adım} |
|-------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|------------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 18 H | 398.3 | 0.00701 | 395.3 | 0.1396 | 19.91 | 257.6 | 0.00701 |
| 19 H | -398.3 | -0.00701 | -395.3 | -0.1396 | 19.91 | -396.7 | -0.0785 |
| 20 H | -377.4 | -0.00686 | -385.5 | -0.1556 | 22.68 | -148.8 | -0.00686 |
| 21 H | -377.4 | -0.00686 | -385.5 | -0.1556 | 22.68 | -119.2 | -0.0069 |
| 22 H | -377.4 | -0.00686 | -385.5 | -0.1556 | 22.68 | 47.6 | -0.0069 |
| 23 H | -377.4 | -0.00686 | -385.5 | -0.1556 | 22.68 | -86.6 | -0.0069 |
| 24 H | 458.9 | 0.007108 | 422.5 | 0.1062 | 14.94 | 262.3 | 0.00711 |
| 25 H | -550.6 | -0.00719 | -512.2 | -0.09582 | 13.33 | -512.2 | -0.0958 |
| 26 H | 479 | 0.00718 | 488.1 | 0.1316 | 18.33 | 322.8 | 0.00718 |
| 27 H | -479 | -0.00718 | -488.1 | -0.1316 | 18.33 | -438 | -0.00718 |
| 28 H | 479 | 0.00718 | 488.1 | 0.1316 | 18.33 | 237.3 | 0.00718 |
| 29 H | -479 | -0.00718 | -488.1 | -0.1316 | 18.33 | -373.7 | -0.00718 |
| 30 H | 500.6 | 0.00731 | 499.0 | 0.1213 | 16.59 | 263.2 | 0.00731 |
| 31 H | -500.6 | -0.00731 | -499.0 | -0.1213 | 16.59 | -499.4 | -0.0941 |
| 32 H | 475.3 | 0.00702 | 520.7 | 0.1603 | 22.83 | 328.8 | 0.00702 |
| 33 H | -475.3 | -0.00702 | -520.7 | -0.1603 | 22.83 | -477.8 | -0.0155 |
| 34 H | 333.2 | 0.00666 | 358.2 | 0.2018 | 30.3 | 253.8 | 0.00666 |
| 35 H | -333.2 | -0.00666 | -358.2 | -0.2018 | 30.3 | -344.6 | -0.0956 |
| 36 H | 283.5 | 0.00644 | 318.8 | 0.2142 | 33.26 | 186.4 | 0.00644 |
| 37 H | -283.5 | -0.00644 | -318.8 | -0.2142 | 33.26 | -284.6 | -0.01253 |
| 38 H | 244 | 0.00501 | 287.3 | 0.1915 | 38.22 | 247.9 | 0.02178 |
| 39 H | -576.6 | -0.00652 | -667.7 | -0.1607 | 24.65 | -582.7 | -0.0168 |
| 40 H | 260.7 | 0.00508 | 305.1 | 0.1944 | 38.27 | 252.2 | 0.00508 |
| 41 H | -562.8 | -0.0065 | -651.5 | -0.1632 | 25.11 | -569.3 | -0.0181 |
| 42 H | 268.8 | 0.00507 | 314.9 | 0.192 | 37.87 | 258.8 | 0.00507 |
| 43 H | -524.1 | -0.00646 | -610.3 | -0.1943 | 30.08 | -531 | -0.0215 |
| 44 H | 244 | 0.00501 | 287.3 | 0.1915 | 38.22 | 166.8 | 0.00501 |
| 45 H | -576.6 | -0.00652 | -667.7 | -0.1607 | 24.65 | -555.2 | -0.0065 |
| 46 H | 260.7 | 0.00508 | 305.1 | 0.1921 | 37.81 | 120 | 0.00508 |
| 47 H | -562.8 | -0.0065 | -651.5 | -0.1632 | 25.11 | -388.5 | -0.0065 |
| 48 H | 268.8 | 0.00507 | 314.9 | 0.192 | 37.87 | 89.6 | 0.00507 |
| 49 H | -524.1 | -0.0065 | -610.3 | -0.1943 | 30.08 | -284.6 | -0.0065 |
| 50 H | 244 | 0.00501 | 287.3 | 0.1915 | 38.22 | 86.6 | 0.00501 |
| 51 H | -576.6 | -0.0065 | -667.7 | -0.1607 | 24.72 | -373.7 | -0.0065 |

χ_p = plastik eğrilik olarak alınır

$$\chi_p = \Theta_p / L_p , \quad (5.1)$$

Θ_p = plastik dönme , L_p =plastik mafsal boyu= $h/2 = 0.30$ m.

h = çalışan doğrultudaki kesit boyutu =0.60 metre,

χ_y = akma eğriliği, Toplam eğrilik: $\chi_{top.} = \chi_y + \chi_p$ olarak hesap edilmiştir.

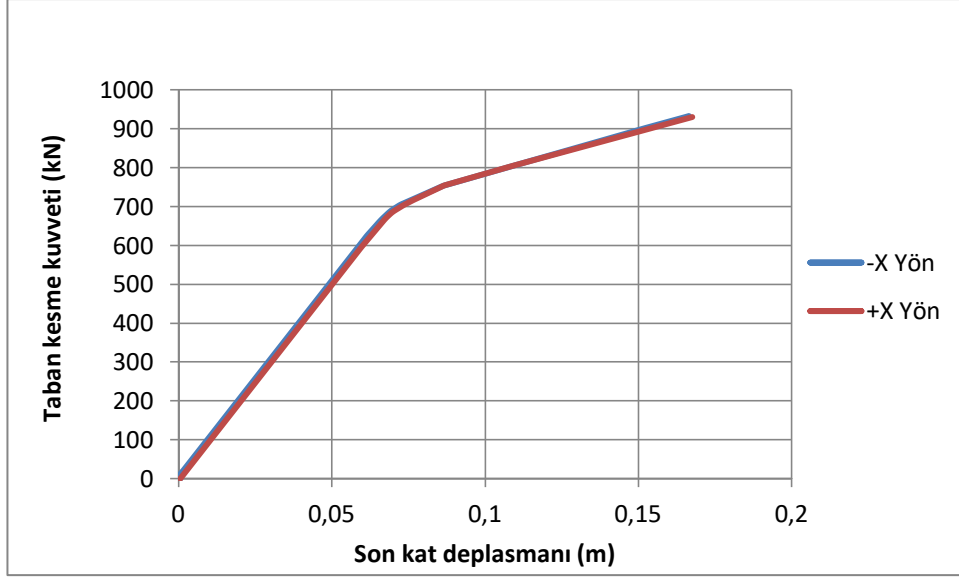
25H kesitinin kırılma sebebi, sargılanmış betonun göçme birim boy değişiminin aşılması ile olmuştur. Kesitin kırıldığı andaki yatay deplasmanı 16.8 cm ölçülmüştür.

Sistemin kapasite eğrisine ulaşabilmek, o aşamaya kadar sistemde ortaya çıkmış olan plastik mafsalarda öngörülen moment-eğrilik sınırlarının aşılmış olmaması ve bölgesel ya da genel burkulmaya karşı güvenlik katsayısının yine öngörülen değerlerden aşağı düşmemesi gerekmektedir. Aşağıdaki iki paragraf bu iki amaca yönelik olarak hazırlanmıştır.

1-) Limit yüke ulaşılması anında plastik mafsalarda oluşan eğriliklerin gözden geçirilmesi gerekmektedir.

2-) Plastik mafsalın oluşmasıyla azalan burkulmaya karşı güvenliğin izlenmesi gerekmektedir.

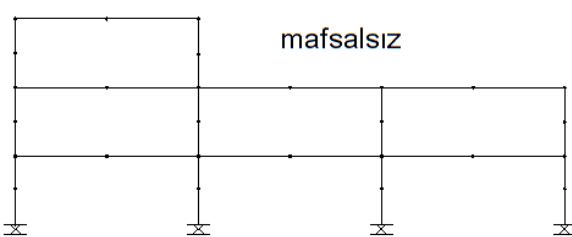
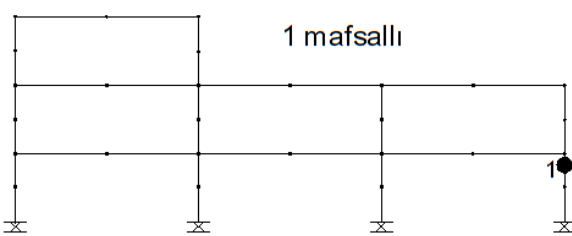
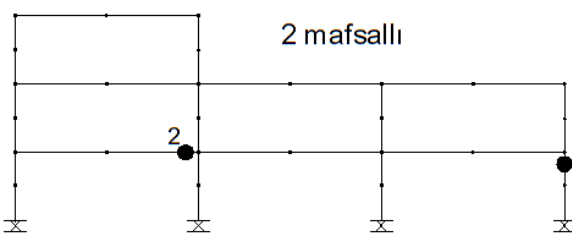
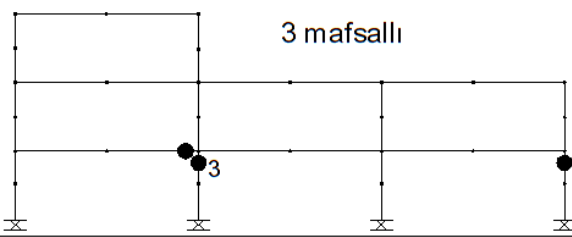
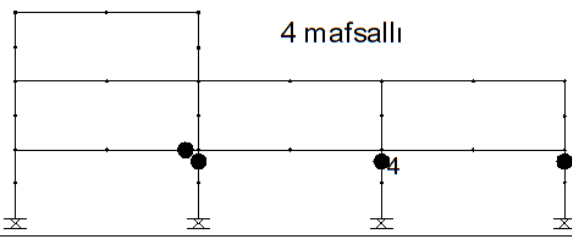
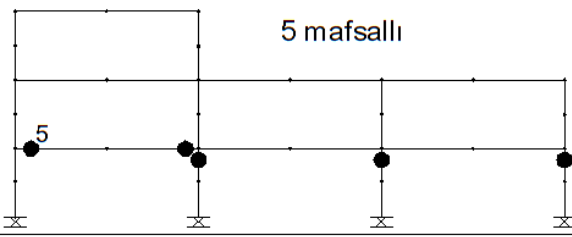
Sap 2000 programında Yatay Yük Artımı Analizinde Kapasite Eğrisi aşağıda verilmiş olup plastik mafsalın Moment – Eğrilik grafikleri ise tezin sonunda ekler kısmına konulmuştur.



Şekil 5.4. +X ve -X Yönü İçin Sistemin Kapasite Eğrisi

Şekil 5.4 teki grafikten de görüldüğü gibi hem +X hem de -X yönü için kapasite eğrisi birbirinin aynısı çıkmaktadır.

Yatay Yük Artımı Analizinde yatay kuvvetler +X yönünde olması durumunda plastik mafsallardaki eğrilikler gözden geçirilmiş ve limit yüke ulaşmadan, 25H kesiti 167. adımda kırılmıştır ve o kesit kırılıncaya kadar sistemde on farklı kesitte akma noktasına ulaşıldığı yani mafsallaşmanın gerçekleştiği gözlenmiştir. Bu aşamadan sonra yapılan bir grup gözlem içerisinde plastik mafsallar oluştuğunda titreşim periyodu, mod şekilleri ve 1. moddan dolayı katlara gelen kuvvetler Şekil 5.5 ve 5.6 daki gibi olmaktadır.

| Mafsal durumu | 1. moddan gelen yatay kuvvetler | 1. modun periyodu | 1. modun şekli |
|--|---|-------------------|--|
|  <p>mafsalsız</p> | <p>31.9 kN</p> <p>74.4 kN</p> <p>62 kN</p> | 0.825 s | <p>1.00000</p> <p>0.83897</p> <p>0.56613</p> |
|  <p>1 mafsalı</p> | <p>29.72 kN</p> <p>70.90 kN</p> <p>62.43 kN</p> | 0.872 s | <p>1.00000</p> <p>0.85878</p> <p>0.61217</p> |
|  <p>2 mafsalı</p> | <p>27.86 kN</p> <p>67.72 kN</p> <p>58.75 kN</p> | 0.933 s | <p>1.00000</p> <p>0.87495</p> <p>0.61443</p> |
|  <p>3 mafsalı</p> | <p>24.55 kN</p> <p>61.04 kN</p> <p>58.30 kN</p> | 1.040 s | <p>1.00000</p> <p>0.89503</p> <p>0.69207</p> |
|  <p>4 mafsalı</p> | <p>18.90 kN</p> <p>49.56 kN</p> <p>52.23 kN</p> | 1.318 s | <p>1.00000</p> <p>0.94392</p> <p>0.80537</p> |
|  <p>5 mafsalı</p> | <p>17.73 kN</p> <p>46.92 kN</p> <p>48.92 kN</p> | 1.421 s | <p>1.00000</p> <p>0.95261</p> <p>0.80412</p> |

Şekil 5.5. Sistemdeki Mafsal Durumuyla İlgili Mod Şekli, Periyodu ve Katlara Gelen Kuvvetler

| Mafsal durumu | 1. moddan gelen yatay kuvvetler | 1. modun periyodu | 1. modun şekli |
|--------------------|---|-------------------|--|
| <p>6 mafsallı</p> | <p>17.68 kN 46.65 kN 47.71 kN</p> | 1.442 s | <p>1.00000 0.94981 0.78647</p> |
| <p>7 mafsallı</p> | <p>17.55 kN 45.94 kN 45.21 kN</p> | 1.489 s | <p>1.00000 0.94209 0.75059</p> |
| <p>8 mafsallı</p> | <p>12.79 kN 34.46 kN 40.13 kN</p> | 1.990 s | <p>1.00000 0.97017 0.91447</p> |
| <p>9 mafsallı</p> | <p>12.84 kN 34.53 kN 39.81 kN</p> | 1.995 s | <p>1.00000 0.96838 0.90378</p> |
| <p>10 mafsallı</p> | <p>13.00 kN 34.66 kN 38.71 kN</p> | 2.014 s | <p>1.00000 0.95971 0.86772</p> |

Şekil 5.6. Sistemdeki Mafsallı Durumıyla İlgili Mod Şekli, Periyodu ve Katlara Gelen Kuvvetler

5.3. Sistemin Modlarına Ait Serbest Titreşim Karakteristikleri

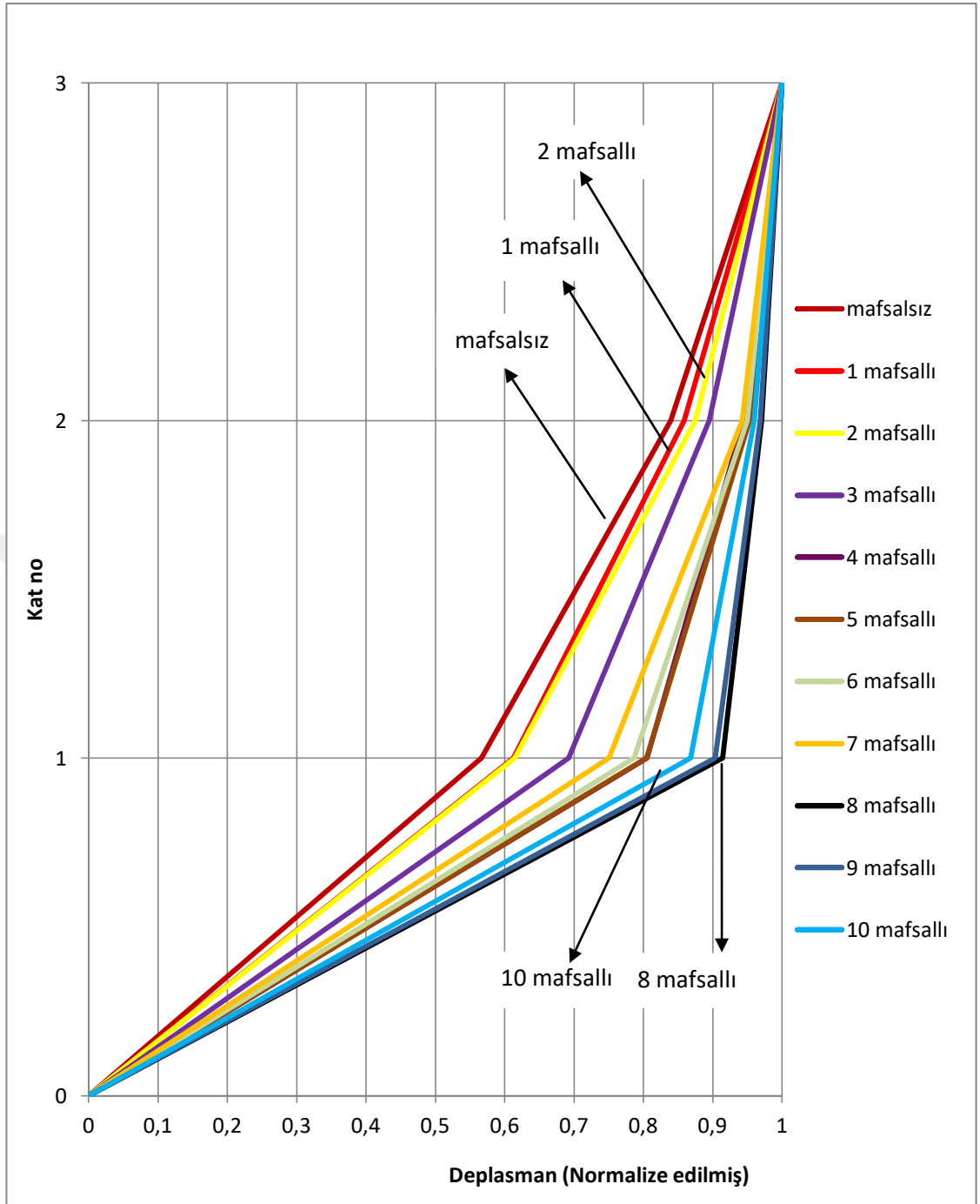
1. moddan dolayı katlara gelen deprem kuvvetleri,

$$F_i = \Gamma_1 * \phi_{i1} * M_i * S_a(T_1) \quad (i = \text{kat numarası}) \quad (5.2)$$

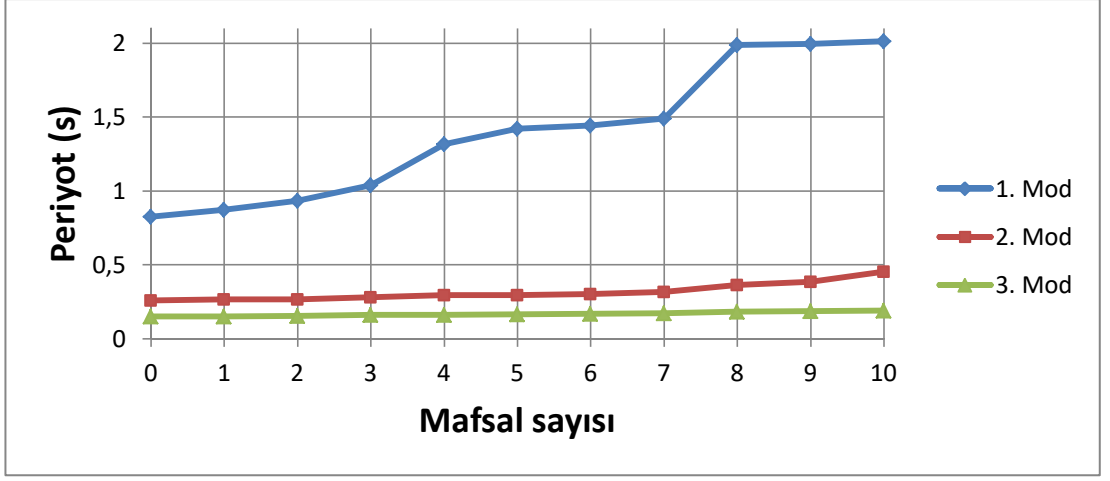
formülü ile bulunmuştur.

Görüldüğü gibi yapıdaki adi mafsalsız sayısının arttıkça yapının 2. ve 3. mod periyotlarındaki artış az olurken 1. modun periyodu önemli ölçüde artmıştır. Katlara gelen deprem yükleri ise azalmıştır.

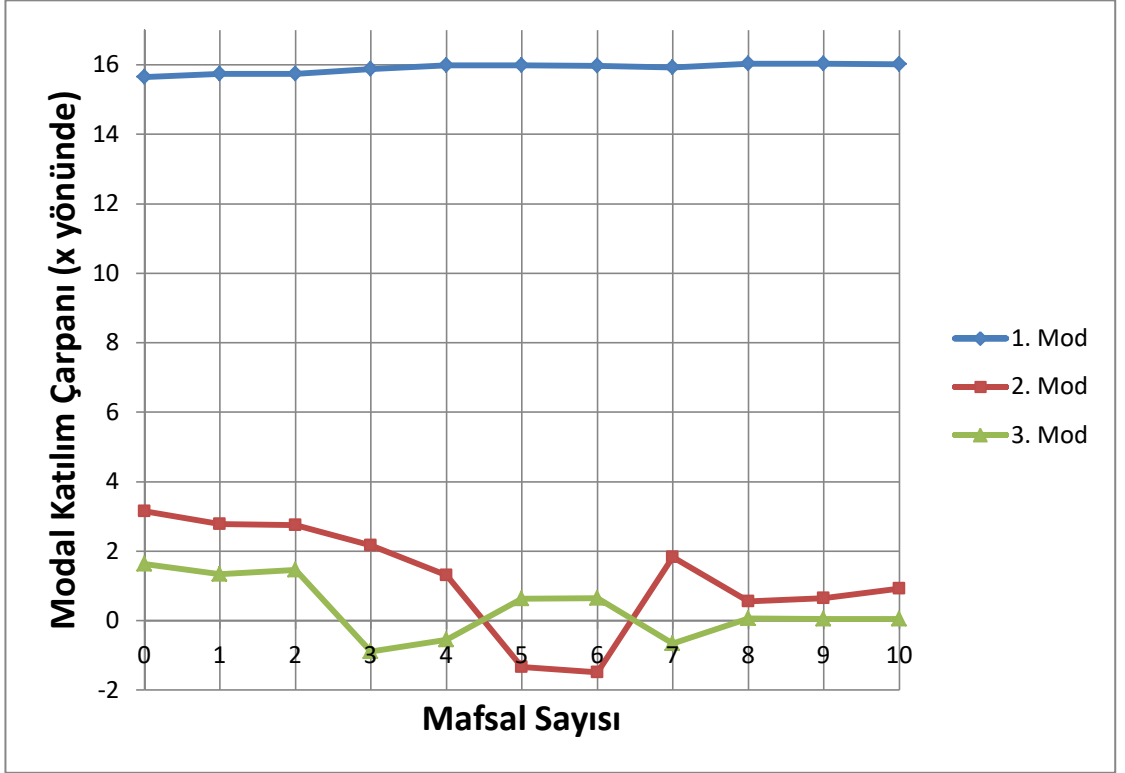
Yapının; mafsalsız durumdan 10 mafsallı duruma kadarki 1. modların şekli, periyot, modal katılım çarpanı, modal kütle katılım oranları ile mafsalsız sayısının ilişkisi Şekil 5.7, 5.8, 5.9 ve Şekil 5.10 daki grafiklerde gösterilmiştir.



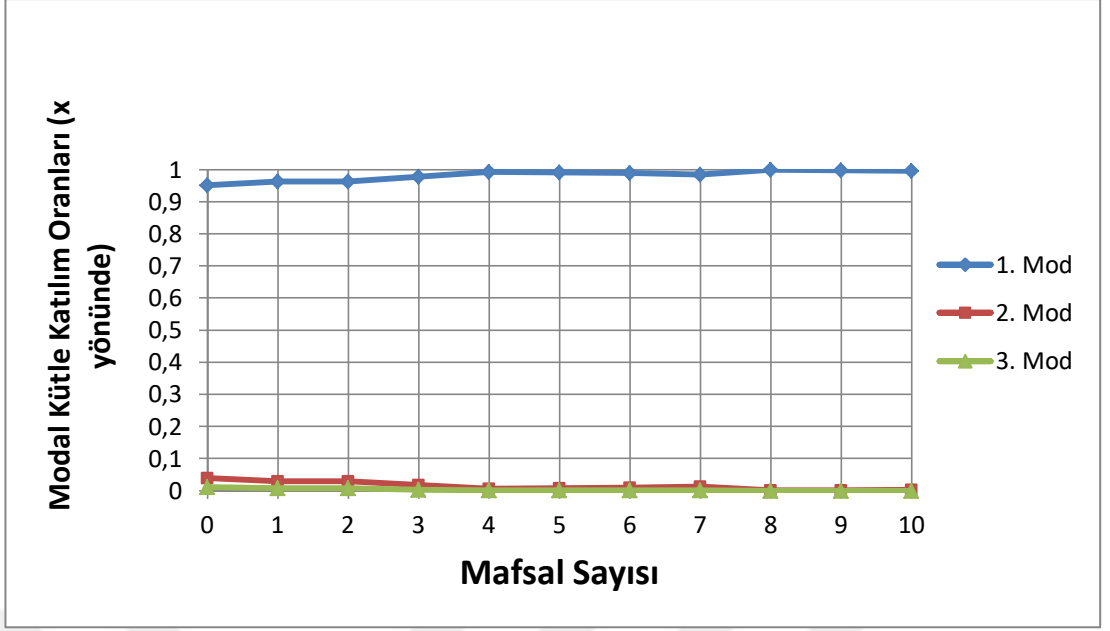
Şekil 5.7. Mafsal Durumuna Bağlı Olarak 1. Mod Şekilleri



Şekil 5.8. Farklı Modlara Ait Mafsal Sayısı Periyot İlişkisi



Şekil 5.9. Farklı Modlara Ait Mafsal Sayısı Modal Katılım Çarpanı İlişkisi



Şekil 5.10. Farklı Modlara Ait Mafsal Sayısı Modal Kütle Katılım Oranları İlişkisi

Yatay Yük Artımı Analizinden sonra mafsalları artan sistemde burkulma güvenliğinin azalması da dikkatle takip edilecektir.

6. BURKULMA

6.1. Geometri Değişimi Bakımından Doğrusal Olmayış ve İkinci Mertebe Kuramı İle Hesap - Burkulma Yüğü

Sistemdeki yatay yerdeğişirmeler hangi nedenle artarsa artsın, büyüdükçe ikinci mertebe etkilerinin yok sayılamayacağı durumlar ortaya çıkabilmektedir. [4]

Burkulma olgusu, elastik eğrinin şekil değiştirmiş konumunun denge denklemlerinde göz önünde tutulmasını, ya da ikinci mertebe teorisi ile hesap yapılmasını gerektirmektedir. [4]

Geometri değişimleri nedeniyle doğrusal davranış sergilemeyen yapı sistemlerinde ortaya çıkan yerdeğiştirmelerin denge denklemlerine etkileri büyük olurken, süreklilik denklemlerine etkileri uygulamada karşılaşılan pek çok yapı sistemi için yok sayılabilmektedir. Süreklilik denklemleri ya da geometrik uygunluk şartları; sistemdeki çubukların uçlarında her düğüm noktasında ortak bir tek dönme ortaya çıkacak, düğüm noktalarında birbirlerine rijit bağlı tüm çubukların uçları aynı dönmeyi yapacaklardır. Bu durumda şekil değiştirmelerden sonra da düğüm noktalarında süreklilik koşulları sağlanıyor olacaktır. [4]

Sonuç olarak malzemenin doğrusal elastik olduğu, şekil değiştirme ve yerdeğiştirmelerin denge denklemlerini etkileyecek kadar büyük fakat süreklilik denklemlerini (geometrik uygunluk şartlarını) etkilemeyecek kadar da küçük varsayıldığı bu hesap, ikinci mertebe kuramı ile hesap olarak tanımlanmaktadır. [6]

Bu çalışmadaki Yük-Deplasman yüklemesi ($P-\delta$ yüklemesi) statik ve lineer olmayan (2. mertebe etkilerini dikkate alan) bir yüklemedir. Malzeme elastiktir. Yani plastik mafsallar yoktur. Bunun için Sap 2000 programında kesitlerin plastik mafsal özelliklerinde mafsallaşmanın hemen gerçekleşmemesi için kesitin akma ve daha sonraki moment ve eğrilik değerleri gerçek değerinden çok büyük girilir.

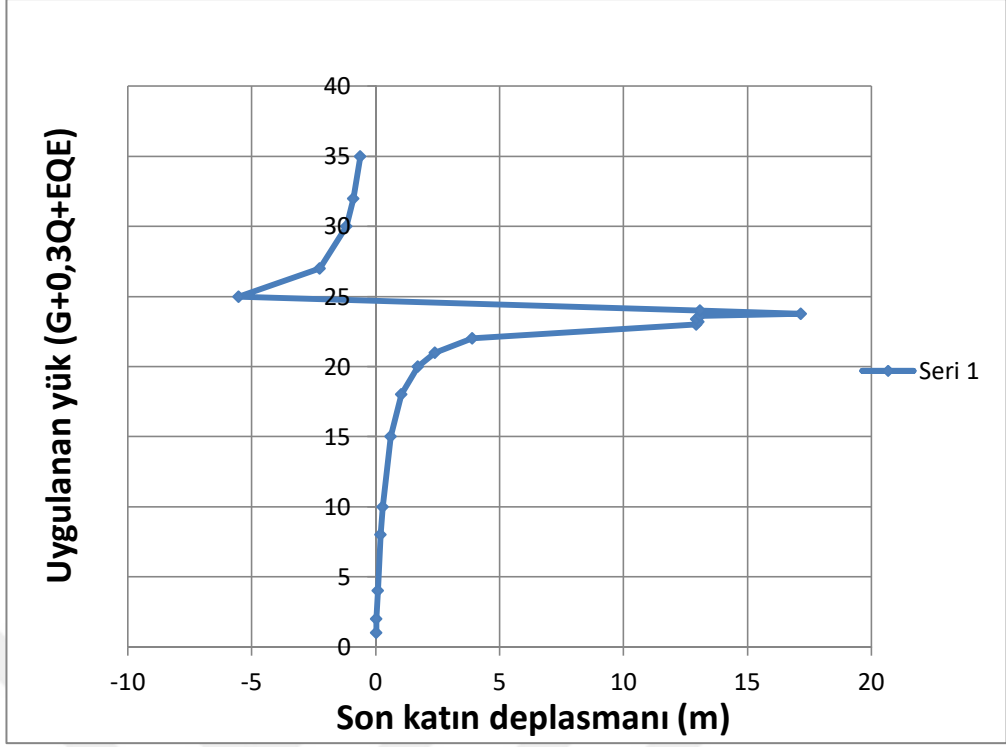
Burkulma analizinde sistemin $P-\delta$ ve $P/\delta - P$ arasındaki tablo bilgileri (Tablo 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6, 6.7, 6.8, 6.9 da) ve grafikleri Şekil 6.1, 6.2 de gösterilmiştir.

Sap 2000 programında burkulma analizi yaparken bütün yükler aynı oranda artırılıp sistemdeki son katın deplasmanı bulunmuştur.

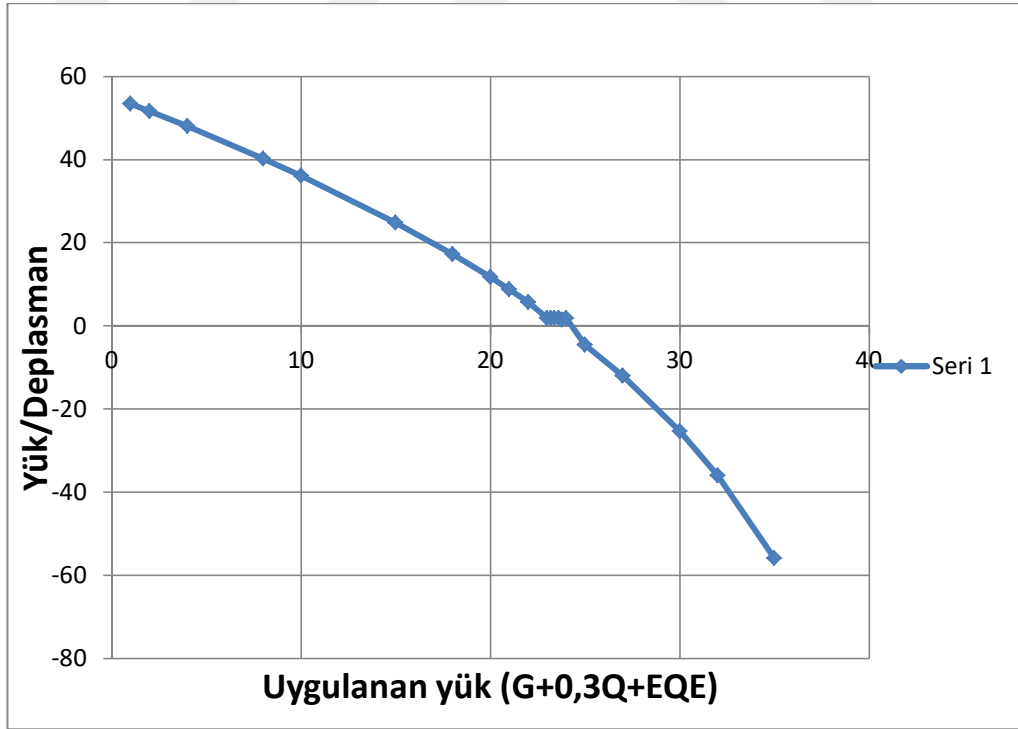
Tablo 6.1. Mafsalsız Sisteme Ait P-δ Yükleme

| MAFSALSIZ | | |
|------------------|--|---------------|
| deplasman (m) | Uygulanan yükün kaç katı (G+0.3Q+EQE) | YÜK/DEPLASMAN |
| 0.0187 | 1 | 53.48 |
| 0.0387 | 2 | 51.68 |
| 0.08332 | 4 | 48.01 |
| 0.19875 | 8 | 40.25 |
| 0.2769 | 10 | 36.11 |
| 0.60427 | 15 | 24.82 |
| 1.04565 | 18 | 17.21 |
| 1.71298 | 20 | 11.68 |
| 2.40459 | 21 | 8.73 |
| 3.90246 | 22 | 5.64 |
| 12.95235 | 23 | 1.78 |
| 13.02282 | 23.2 | 1.78 |
| 12.9372 | 23.4 | 1.81 |
| 13.09688 | 23.6 | 1.80 |
| 17.15816 | 23.77 | 1.39 |
| 13.09422 | 24 | 1.83 |
| -5.52285 | 25 | -4.53 |
| -2.24429 | 27 | -12.03 |
| -1.18226 | 30 | -25.38 |
| -0.88837 | 32 | -36.02 |
| -0.62621 | 35 | -55.89 |

Burkulma yük faktörü = 23.77



Şekil 6.1. Mafsalsız Sistem İçin P-δ Grafiği



Şekil 6.2. Mafsalsız Sistem İçin P/ δ – P Grafiği

6.2. Mafsalları Artan Sistemde Burkulma Yük Faktörü

Ayrıca lineer olmayan analizde yani eksenel kuvvetlerin 2. mertebe etkileri dikkate alındığında (geometri bakımından doğrusal olmayan hesap) malzeme elastik iken bütün yüklerin arttığı durumda, Yatay Yük Artımı yüklemesinde olduğu gibi sisteme moment taşımayan mafsal ekleyerek oluşan burkulma faktörleri aşağıda gösterilmiştir.

Tablo 6.2. 1 Mafsallı Sisteme Ait P-δ Yükleme

| 1 MAFSALLI | | |
|------------------|--|---------------|
| deplasman (m) | Uygulanan yükün kaç katı (G+0.3Q+EQE) | YÜK/DEPLASMAN |
| 0.02041 | 1 | 49.00 |
| 0.04255 | 2 | 47.00 |
| 0.09326 | 4 | 42.89 |
| 0.15545 | 6 | 38.60 |
| 0.23453 | 8 | 34.11 |
| 0.34013 | 10 | 29.40 |
| 0.49153 | 12 | 24.41 |
| 0.73172 | 14 | 19.13 |
| 1.18514 | 16 | 13.50 |
| 2.40567 | 18 | 7.48 |
| 10.21971 | 19.8 | 1.94 |
| 14.72813 | 20 | 1.36 |
| 24.47284 | 20.2 | 0.82 |
| 23.68389 | 20.4 | 0.86 |
| -6.05013 | 21 | -3.47 |
| -3.18831 | 22 | -6.90 |
| -1.61719 | 24 | -14.84 |
| -0.93409 | 27 | -28.91 |
| -0.64626 | 30 | -46.42 |

Burkulma yük faktörü = 20.22

Tablo 6.3. 2 Mafsallı Sisteme Ait P-δ Yüklemesi

| 2 MAFSALLI | | |
|------------------|--|---------------|
| deplasman (m) | Uygulanan yükün kaç katı (G+0.3Q+EQE) | YÜK/DEPLASMAN |
| 0.02706 | 1 | 36.95 |
| 0.05682 | 2 | 35.20 |
| 0.12667 | 4 | 31.58 |
| 0.21565 | 6 | 27.82 |
| 0.33485 | 8 | 23.89 |
| 0.50581 | 10 | 19.77 |
| 0.77729 | 12 | 15.44 |
| 1.28936 | 14 | 10.86 |
| 2.66179 | 16 | 6.01 |
| 4.8336 | 17 | 3.52 |
| 7.63592 | 17.5 | 2.29 |
| 11.21518 | 17.8 | 1.59 |
| 15.97204 | 18 | 1.13 |
| 24.69465 | 18.2 | 0.74 |
| 24.21268 | 18.4 | 0.76 |
| -10.55273 | 18.6 | -1.76 |
| -7.17603 | 19 | -2.65 |
| -3.74196 | 20 | -5.34 |
| -1.9122 | 22 | -11.51 |
| -1.30302 | 24 | -18.42 |
| -0.79727 | 28 | -35.12 |

Burkulma yük faktörü = 18.24

Tablo 6.4. 3 Mafsallı Sisteme Ait P-δ Yükleme

| 3 MAFSALLI | | |
|------------------|--|---------------|
| deplasman (m) | Uygulanan yükün kaç katı (G+0.3Q+EQE) | YÜK/DEPLASMAN |
| 0.02846 | 1 | 35.14 |
| 0.06086 | 2 | 32.86 |
| 0.14216 | 4 | 28.14 |
| 0.25967 | 6 | 23.11 |
| 0.45172 | 8 | 17.71 |
| 0.84103 | 10 | 11.89 |
| 2.15022 | 12 | 5.58 |
| 3.17287 | 12.5 | 3.94 |
| 5.59894 | 13 | 2.32 |
| 7.70152 | 13.2 | 1.71 |
| 11.45966 | 13.4 | 1.17 |
| 18.51161 | 13.6 | 0.73 |
| -10.13571 | 13.8 | -1.36 |
| -7.21264 | 14 | -1.94 |
| -3.97107 | 14.5 | -3.65 |
| -3.10801 | 14.8 | -4.76 |
| -2.71576 | 15 | -5.52 |
| -1.67984 | 16 | -9.52 |
| -0.97619 | 18 | -18.44 |
| -0.69462 | 20 | -28.79 |
| -0.53565 | 22 | -41.07 |

Burkulma yük faktörü = 13.59

Tablo 6.5 4 Mafsallı Sisteme Ait P-δ Yükleme

| 4 MAFSALLI | | |
|------------------|--|---------------|
| deplasman (m) | Uygulanan yükün kaç katı (G+0.3Q+EQE) | YÜK/DEPLASMAN |
| 0.03699 | 1 | 27.03 |
| 0.0847 | 2 | 23.61 |
| 0.2455 | 4 | 16.29 |
| 0.72803 | 6 | 8.24 |
| 1.7896 | 7 | 3.91 |
| 2.37568 | 7.2 | 3.03 |
| 3.42753 | 7.4 | 2.16 |
| 5.72159 | 7.6 | 1.33 |
| 12.00997 | 7.8 | 0.65 |
| -7.14617 | 8 | -1.12 |
| -2.54 | 8.5 | -3.35 |
| -1.54817 | 9 | -5.81 |
| -0.90346 | 10 | -11.07 |
| -0.52504 | 12 | -22.86 |
| -0.38064 | 14 | -36.78 |

Burkulma yük faktörü = 7.84

Tablo 6.6. 5 Mafsallı Sisteme Ait P-δ Yükleme

| 5 MAFSALLI | | |
|------------------|--|---------------|
| deplasman (m) | Uygulanan yükün kaç katı (G+0.3Q+EQE) | YÜK/DEPLASMAN |
| 0.03099 | 1 | 32.27 |
| 0.07289 | 2 | 27.44 |
| 0.23504 | 4 | 17.02 |
| 0.43895 | 5 | 11.39 |
| 0.65047 | 5.5 | 8.46 |
| 1.10468 | 6 | 5.43 |
| 1.76431 | 6.3 | 3.57 |
| 3.9598 | 6.6 | 1.67 |
| 25.70976 | 6.86 | 0.27 |
| -8.23264 | 7 | -0.85 |
| -1.78639 | 7.5 | -4.20 |
| -1.04819 | 8 | -7.63 |
| -0.60556 | 9 | -14.86 |
| -0.44167 | 10 | -22.64 |
| -0.29845 | 12 | -40.21 |

Burkulma yük faktörü = 6.86

Tablo 6.7. 6 Mafsallı Sisteme Ait P-δ Yükleme

| 6 MAFSALLI | | |
|------------------|--|---------------|
| deplasman (m) | Uygulanan yükün kaç katı (G+0.3Q+EQE) | YÜK/DEPLASMAN |
| 0.03766 | 1 | 26.55 |
| 0.08803 | 2 | 22.72 |
| 0.28082 | 4 | 14.24 |
| 0.52582 | 5 | 9.51 |
| 0.78663 | 5.5 | 6.99 |
| 1.37514 | 6 | 4.36 |
| 2.30936 | 6.3 | 2.73 |
| 6.31752 | 6.6 | 1.04 |
| 30.92155 | 6.78 | 0.22 |
| -10.09417 | 6.9 | -0.68 |
| -5.51466 | 7 | -1.27 |
| -1.74518 | 7.5 | -4.30 |
| -1.06861 | 8 | -7.49 |
| -0.62443 | 9 | -14.41 |
| -0.45019 | 10 | -22.21 |

Burkulma yük faktörü = 6.78

Tablo 6.8. 7 Mafsallı Sisteme Ait P-δ Yükleme

| 7 MAFSALLI | | |
|------------------|--|---------------|
| deplasman (m) | Uygulanan yükün kaç katı (G+0.3Q+EQE) | YÜK/DEPLASMAN |
| 0.04789 | 1 | 20.88 |
| 0.11174 | 2 | 17.90 |
| 0.35886 | 4 | 11.15 |
| 0.6888 | 5 | 7.26 |
| 1.06697 | 5.5 | 5.15 |
| 2.04709 | 6 | 2.93 |
| 4.07889 | 6.3 | 1.54 |
| 25.45135 | 6.61 | 0.26 |
| -8.5378 | 6.75 | -0.79 |
| -4.53844 | 6.9 | -1.52 |
| -3.44788 | 7 | -2.03 |
| -1.58685 | 7.5 | -4.73 |
| -1.04709 | 8 | -7.64 |
| -0.63297 | 9 | -14.22 |
| -0.42597 | 10 | -23.48 |

Burkulma yük faktörü = 6.61

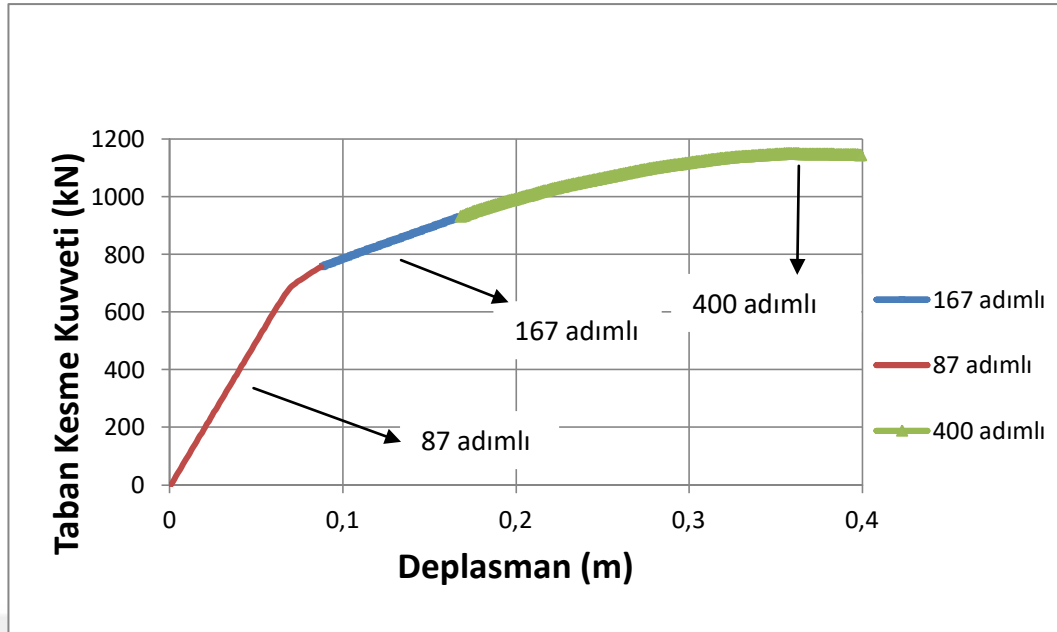
Tablo 6.9. 8 Mafsallı Sisteme Ait P-δ Yükleme

| 8 MAFSALLI | | |
|------------------|--|---------------|
| deplasman (m) | Uygulanan yükün kaç katı (G+0.3Q+EQE) | YÜK/DEPLASMAN |
| 0.062 | 1 | 16.129 |
| 0.20793 | 2 | 9.619 |
| 0.27024 | 2.2 | 8.141 |
| 0.36403 | 2.4 | 6.593 |
| 0.52334 | 2.6 | 4.968 |
| 0.85899 | 2.8 | 3.260 |
| 2.05504 | 3 | 1.460 |
| 70.31146 | 3.15 | 0.045 |
| -7.27131 | 3.2 | -0.440 |
| -2.30666 | 3.3 | -1.431 |
| -1.38773 | 3.4 | -2.450 |
| -0.7858 | 3.6 | -4.581 |
| -0.555 | 3.8 | -6.847 |
| -0.43191 | 4 | -9.261 |
| -0.20601 | 5 | -24.271 |
| -0.12687 | 6 | -47.293 |

Burkulma yük faktörü = 3.15

Bu da gösteriyor ki mafsalsız sistemden 8 mafsallı sisteme geçene kadar burkulma yük faktörü 23.77'den 3.15'e inmektedir. Yatay Yük Artımı Analizinde sistemde 8 mafsallın oluşması 87. adımda gerçekleşmiştir. O halde mevcut sistemin 167. adımda 25H kesitinin kırıldığı yani dönme kapasitesinin sonuna geldiği ancak daha önce 87. adımda burkulma güvenliğinin çok düştüğü gözlenmektedir. Buna göre sistem limit yüküne ulaşmadan önce bir kesitteki dönme kapasitesinin aşılması ile erken göçmeye başlamış ve ondan da önce burkulma yük faktörünün çok aşağılara inmesi ile burkulmadan kaynaklı göçme yüküne ulaştığı görülmektedir. Yatay yük artımı analizindeki göçme adımı ile burkulma yük faktörünün çok düştüğü göçme adımlarının aynı kapasite eğrisinde gösterildiği grafik Şekil 6.3 te gösterilmiştir.

Sistemdeki artan mafsallar karşısında burkulma güvenliğindeki azalma Şekil 6.4, 6.5 ve 6.6 daki grafiklerden de görülebilir.

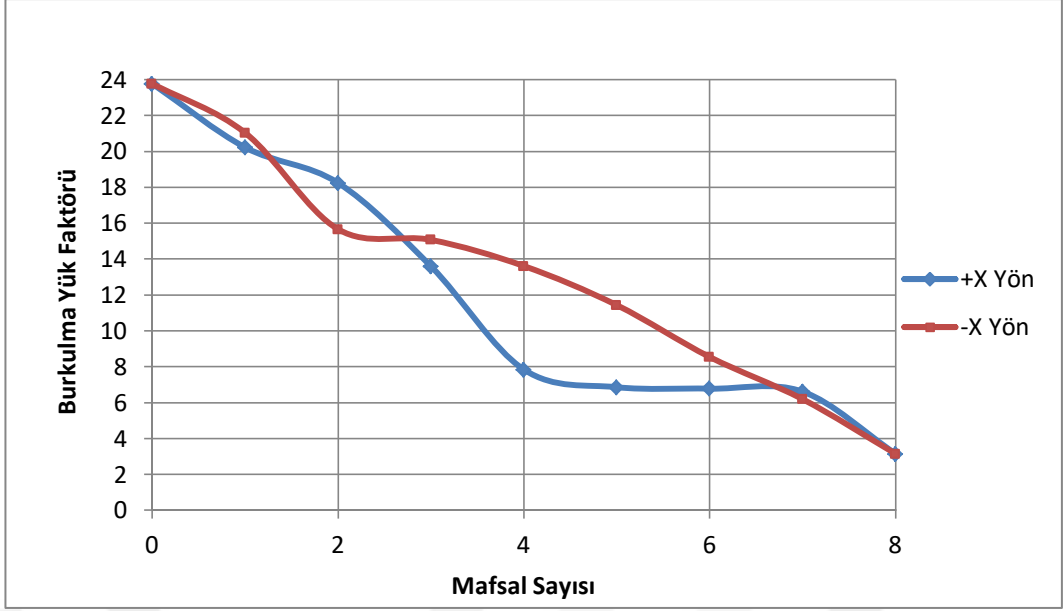


Şekil 6.3. Sistemin Burkulmadan ve Statik İtme Analizinden Geçtiği Durumlara Ait Kapasite Eğrileri

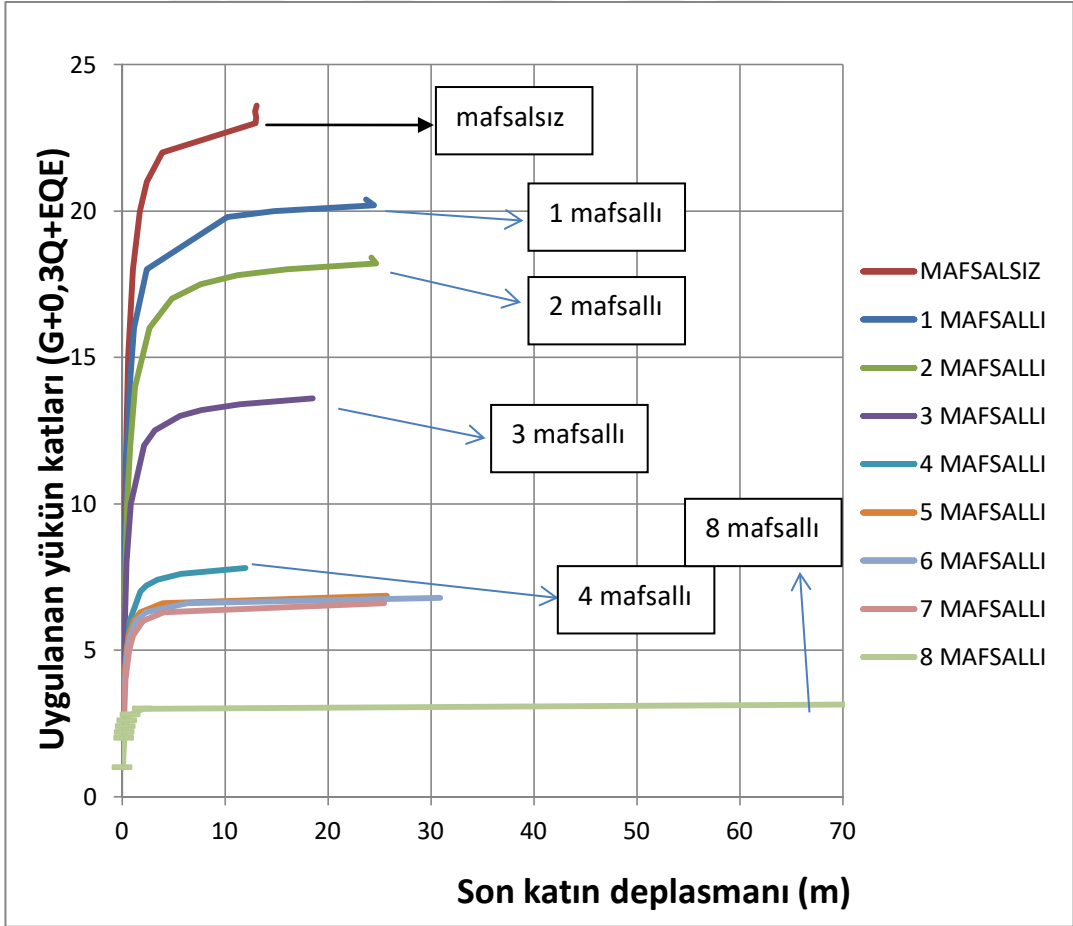
Tablo 6.10. Mafsallı Sayısının ve Deprem Kuvveti Yönünün Değiştiği Durumlarda Burkulma Yük Faktörü

| Mafsallı durumu | Deprem +X Yönlü | | | Deprem -X Yönlü | | |
|-----------------|------------------|-----|-------------|------------------|-----|-------------|
| | Burkulma Faktörü | Yük | Periyot (s) | Burkulma Faktörü | Yük | Periyot (s) |
| mafsalsız | 23.77 | | 0.825 | 23.77 | | 0.82524 |
| 1 mafsallı | 20.22 | | 0.872 | 21.03 | | 0.89117 |
| 2 mafsallı | 18.24 | | 0.933 | 15.66 | | 1.00034 |
| 3 mafsallı | 13.59 | | 1.040 | 15.07 | | 1.03338 |
| 4 mafsallı | 7.84 | | 1.318 | 13.61 | | 1.09636 |
| 5 mafsallı | 6.86 | | 1.421 | 11.43 | | 1.22397 |
| 6 mafsallı | 6.78 | | 1.442 | 8.54 | | 1.36561 |
| 7 mafsallı | 6.61 | | 1.489 | 6.19 | | 1.53211 |
| 8 mafsallı | 3.15 | | 1.990 | 3.15 | | 1.98972 |

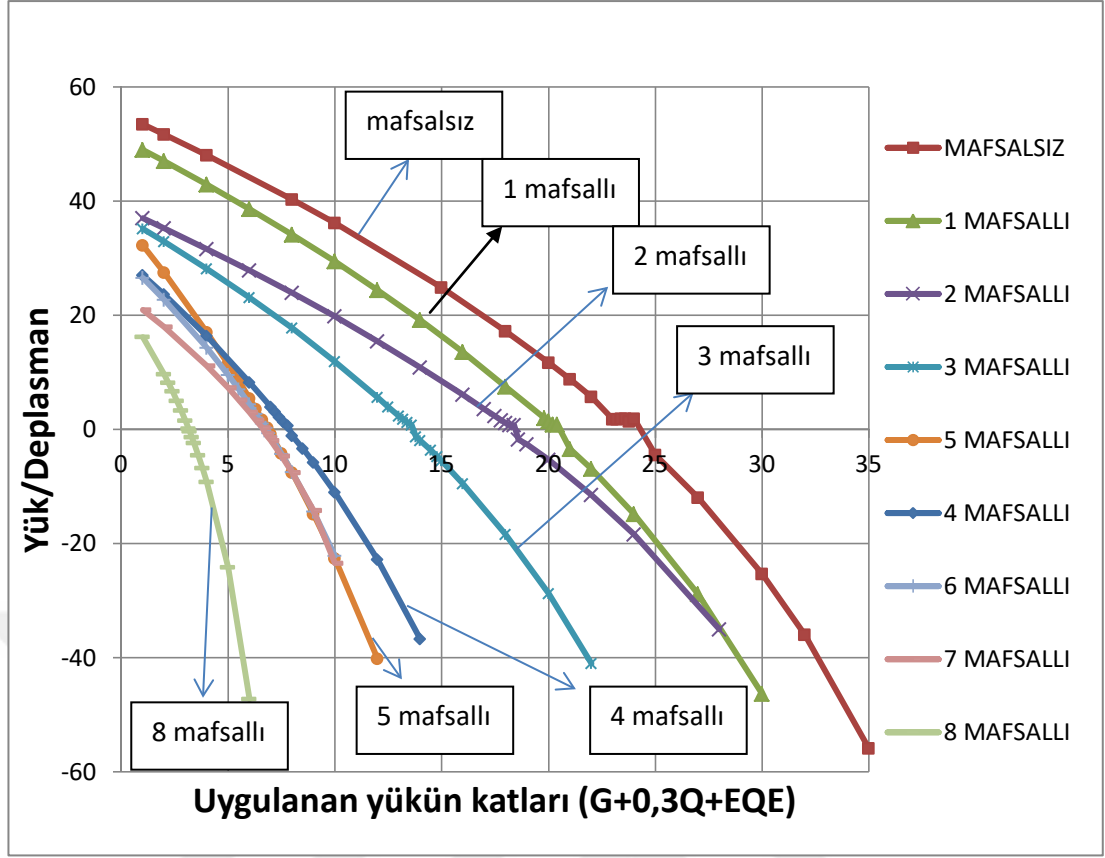
Burada belirtilmesi gereken bir nokta da; Burkulma Yük Faktörü üzerinde yatay yük şiddetinin fazla etkisinin olmadığı, artan mafsalların ise burkulma yük faktörünü önemli ölçüde düşürdüğü gözlenmiştir.



Şekil 6.4. +X ve -X Yönleri İçin Mafsal Sayısı Burkulma Yükü İlişkisi



Şekil 6.5. Farklı Mafsallı Durumlar İçin P-δ Grafiği



Şekil 6.6. Farklı Mafsallı Durumlar İçin P/ δ - P Grafiği

Plastik mafsalların oluştuğu kesitlere hiç moment taşımayan mafsal (adi mafsal) koyarak yapılan serbest titreşim ve burkulma hesaplarının, plastikleşen bölgelerin moment-eğrilik diyagramlarından alınacak en büyük deformasyonlara karşılık gelen rijitliklere sahip plastik mafsal boyu kadarki kısımda yeni yumuşak kısa bir sanal çubuk düşünülerek yinelenmektedir.

7. KESİTLERE EĞİLME RİJİTLİĞİ AZALTILMIŞ KISA ÇUBUK EKLEMEK

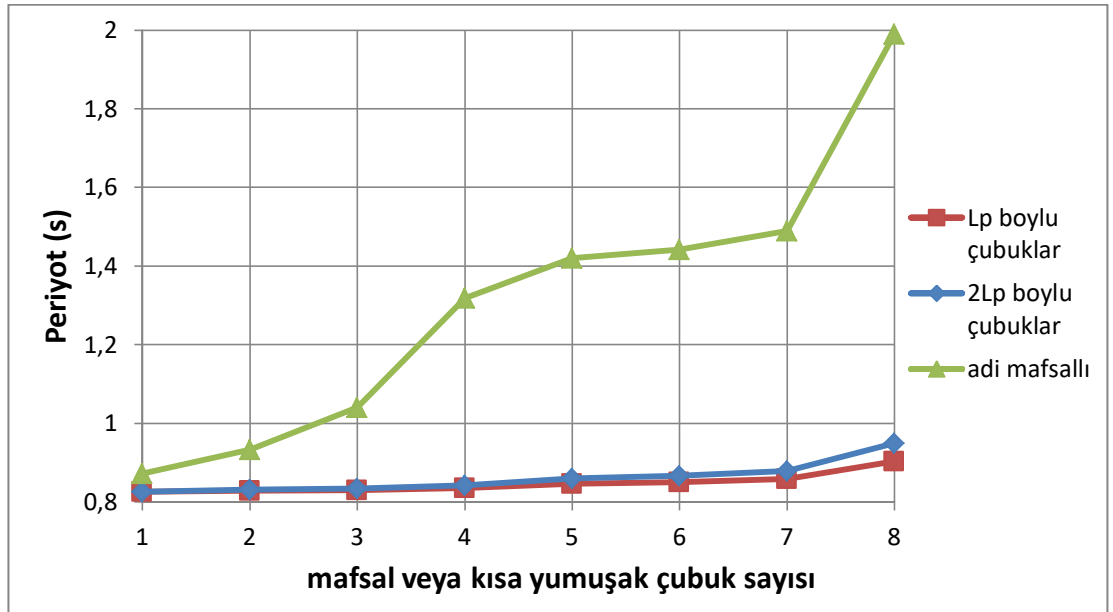
Plastik mafsallı kesitlere hiç moment taşımayan mafsallı koymak yerine, yaklaşık olarak plastik mafsallı boyu kadarki kısımda doğrusal davranmayan elemanın o aşamadaki eğilme rijitliği azaltılarak konulacaktır. Yani daha önceden plastikleşen kesitler, yeni plastik mafsalların oluşmasıyla o aşamadaki moment ve eğriliklerinden yararlanarak yeni eğilme rijitlikleri bulunmuş, azalan orandaki yeni eğilme rijitlikleri kısa çubuklar olarak sisteme verilerek analizler yinelenmiştir.

Kısa çubuk elemanların boyu ise;

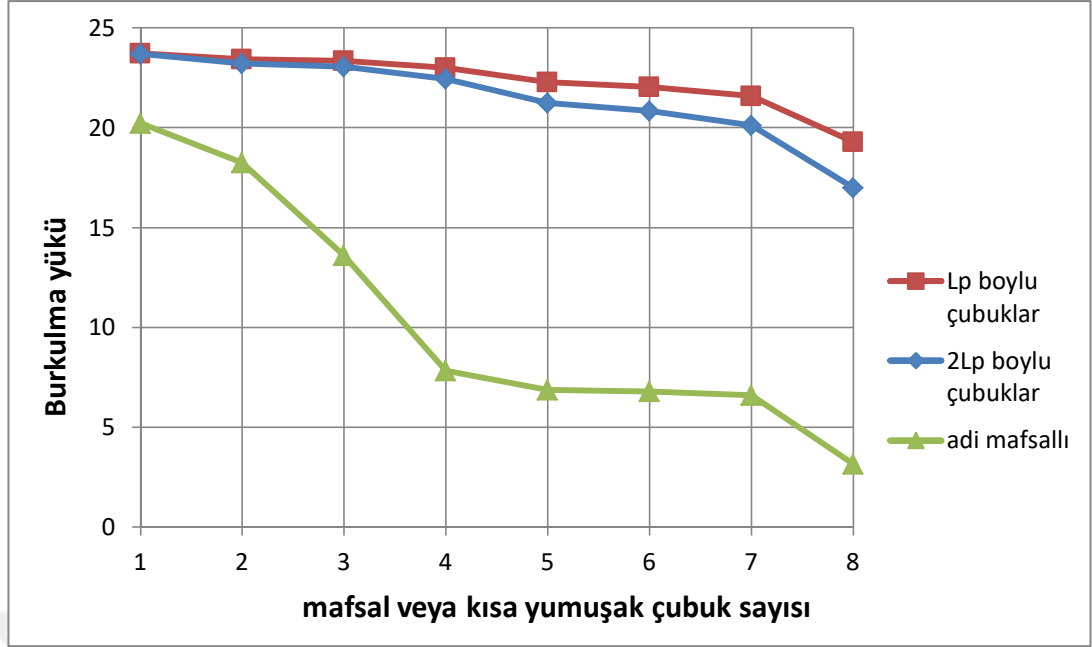
a-) plastik mafsallı boyunda

b-) plastik mafsallı boyunun iki katı uzunluğunda düşünülerek işlemler tekrarlanacaktır.

Sap 2000 programıyla gerekli analizler yapıldıktan sonra toplanan veriler grafiğe aktarılmış ve Şekil 7.1 ve 7.2 deki sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 7.1. Kesitlere Moment Taşımayan Mafsallı veya Eğilme Rijitliği Azaltılmış Çubuk Konulmasının 1. Titreşim Periyoduyla İlişkisi



Şekil 7.2. Kesitlere Moment Taşımayan Mafsal veya Eğilme Rijitliği Azaltılmış Çubuk Konulmasının Burkulma Yükü İle İlişkisi

Yukarıdaki grafiklerden de görüldüğü gibi kısa yumuşak sanal çubuklarının boyunun L_p veya $2L_p$ olmasının titreşim mod şeklinde, periyodunda ve burkulma yükünde pek önem arz etmemektedir. (L_p : plastik mafsal boyu)

Fakat plastik mafsal uzunluğunda kısa yumuşak sanal çubukların yerine adi mafsal konulduğunda sistemin hem periyodu, hem burkulma yükü dikkat gerektirecek kadar değişmiştir.

Buraya kadar hesaplamalarda tüm kesitlerin moment-eğrilik grafiklerinden elde edilmiş çatlamış kesit rijitliği alınarak işlemler yapılmıştı. Bunun yanında tüm çubukların eğilme rijitlikleri değiştirilerek de işlemler yinelenenektir.

8. KESİTLERİN EĞİLME RİJİTLİKLERİNİN SERBEST TİTREŞİM VE BURKULMAYA ETKİSİ

Tüm çubukların EI eğilme rijitlikleri, her kesitteki moment-eğrilik grafiklerinden elde edilmiş çatlama kesit rijitliği alınarak sistemin serbest titreşim parametreleri ve burkulma yükü bulunmuştur. Çubukların eğilme rijitlikleri aşağıdaki gibi değiştirilerek bu parametrelerin yeni değerleri bulunmuştur.

a-) tüm çubukların başlangıç rijitliği kullanılarak

b-) tüm çubukların eğilme rijitliği yerine 2007 Deprem Yönetmeliğinde öngörülen değerlerle çalışarak serbest titreşim ve burkulma yükü hesapları yinelenacaktır.

2007 Deprem Yönetmeliği 7.4.13 te eğilme etkisindeki betonarme elemanlarda çatlama kesite ait etkin eğilme rijitlikleri $(EI)_e$ kullanılacaktır. Daha kesin bir hesap yapılmadıkça, etkin eğilme rijitlikleri için aşağıda verilen değerler kullanılacaktır:

(a) Kirişlerde: $(EI)_e = 0.40 (EI)_o$

(b) Kolon ve perdelerde, $N_D / (A_c f_{cm}) \leq 0.10$ (8.1)

olması durumunda: $(EI)_e = 0.40 (EI)_o$

$N_D / (A_c f_{cm}) \geq 0.40$ (8.2)

olması durumunda: $(EI)_e = 0.80 (EI)_o$

Eksenel basınç kuvveti N_D 'nin ara değerleri için doğrusal enterpolasyon yapılabilir.

$A_c * f_{cm} = 0.3 * 0.6 * 30000 = 5400$ kN bulunur.

1 ve 6 nolu kolonlarda; $N_D / (A_c f_{cm}) = 737.3 / 5400 = 0.137$ Doğrusal enterpolasyon ile $(EI)_e = 0.449 (EI)_o$ alınabilir.

7 nolu kolonda; $N_D / (A_c f_{cm}) = 632.1 / 5400 = 0.117$ Doğrusal enterpolasyon ile $(EI)_e = 0.423 (EI)_o$ alınabilir.

8 ve 9 nolu kolonlarda; $N_D / (A_c f_{cm}) = 1098 / 5400 = 0.203$ Doğrusal enterpolasyon ile $(EI)_e = 0.538 (EI)_o$ alınabilir.

12 nolu kolonda; $N_D / (A_c f_{cm}) = 648.8/5400=0.120$ Doğrusal enterpolasyon ile $(EI)_e = 0.427 (EI)_o$ alınabilir.

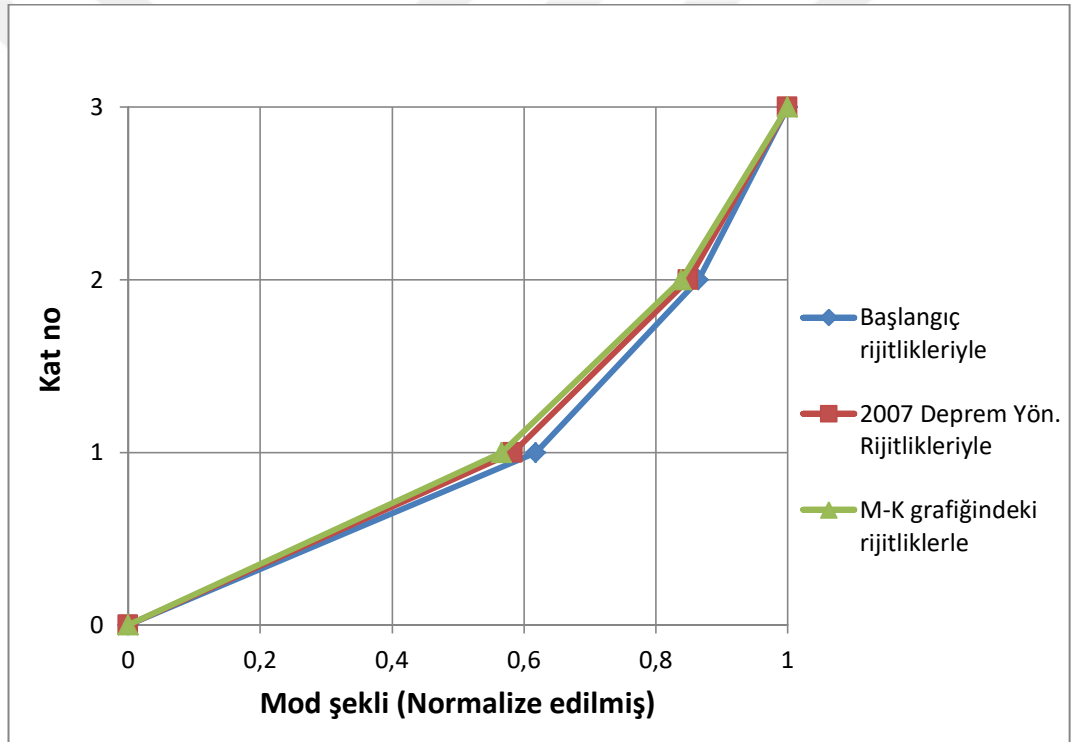
13 nolu kolonda; $N_D / (A_c f_{cm}) = 781.9/5400=0.145$ Doğrusal enterpolasyon ile $(EI)_e = 0.46 (EI)_o$ alınabilir.

15 nolu kolonda; $N_D / (A_c f_{cm}) = 327.9/5400=0.0607$ $(EI)_e = 0.40 (EI)_o$ alınabilir.

18 nolu kolonda; $N_D / (A_c f_{cm}) = 401.1/5400=0.0743$ $(EI)_e = 0.40 (EI)_o$ alınabilir.

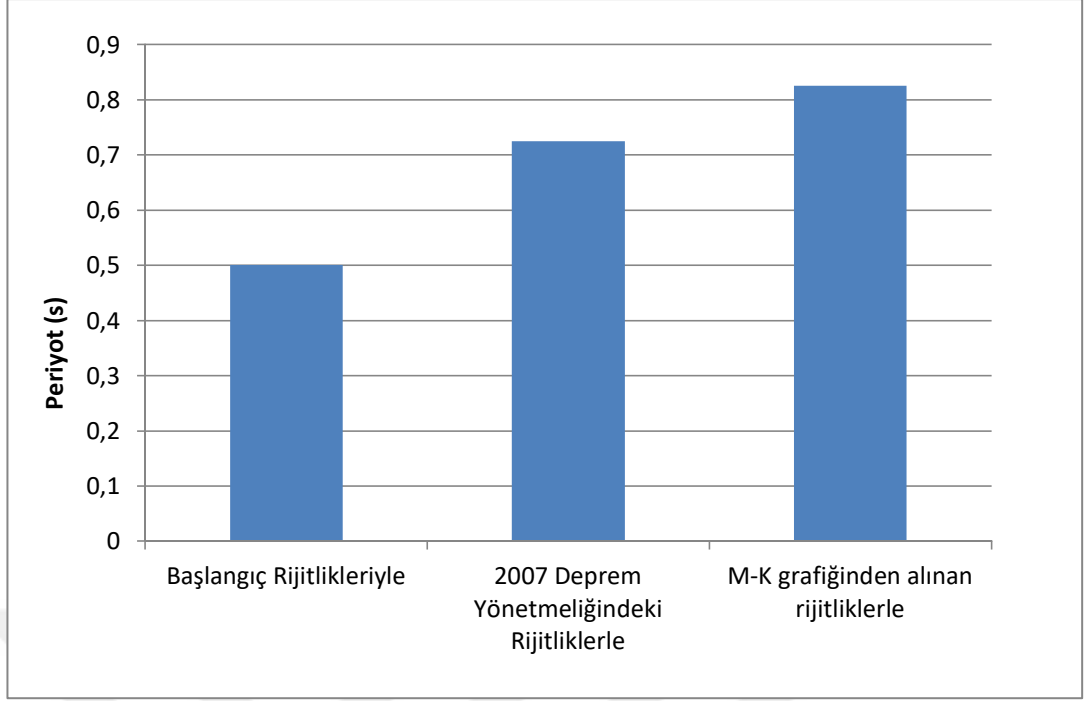
19 nolu kolonda; $N_D / (A_c f_{cm}) = 169.3/5400=0.0314$ $(EI)_e = 0.40 (EI)_o$ alınabilir.

Kesitlerdeki farklı eğilme rijitliklerinin sistemin 1. mod şekline etkisi Şekil 8.1 deki grafikte verilmiştir.



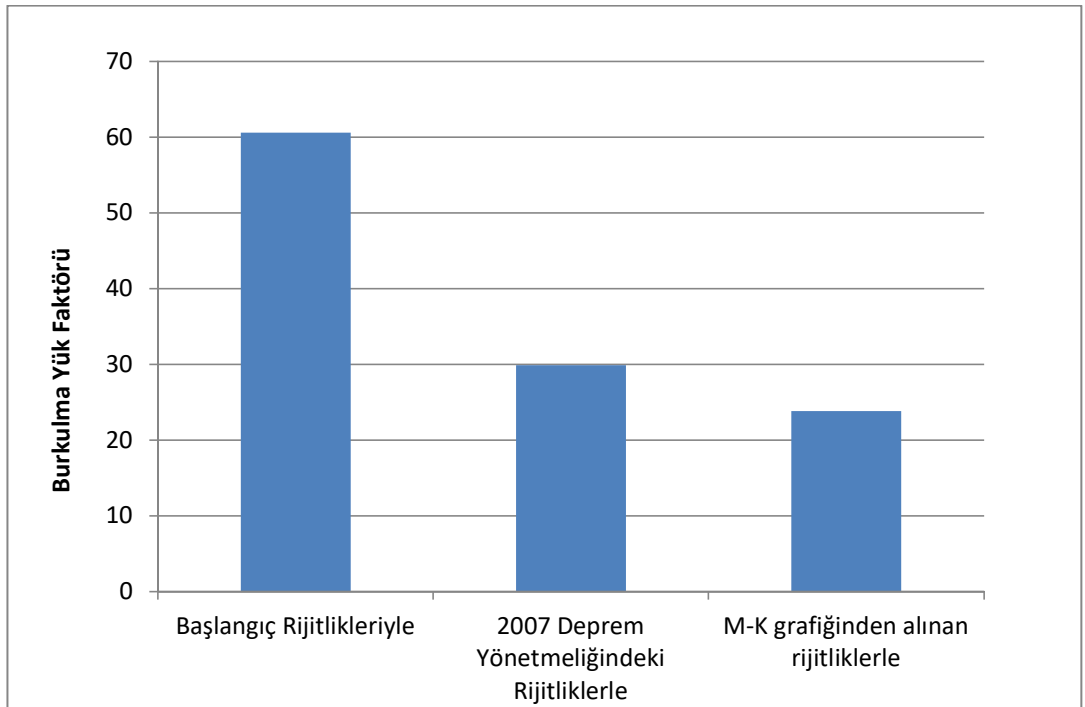
Şekil 8.1. Kesitlerin Farklı Eğilme Rijitliklerinin 1. Titreşim Mod Şekli İle İlişkisi

Eğilme rijitliklerinin farklı alınmasının sistemin mod şekli üzerinde fazla etkisi olmamaktadır.



Şekil 8.2. Kesitlerin Farklı Eğilme Rijitliklerin 1. Titreşim Periyodu İle İlişkisi

Sistemin periyodunun en kısa çıktığı durum beklendiği gibi başlangıç rijitlikleriyle yapılan çalışmada iken, moment – eğrilik grafiğinden alınmış rijitliklerle çalışıldığı durumda periyot en uzun çıkmaktadır.



Şekil 8.3. Kesitlerin Farklı Eğilme Rijitliklerinin Burkulma Yüğü İle İlişkisi

Burkulma Yük Parametresinin serbest titreşim periyoduyla ters orantılı olmasından dolayı, kesitlerin rijitliklerinin arttığı başlangıç rijitlikleriyle yapılan çalışmada en yüksek çıktığı görülmektedir. (şekil 8.2 ve 8.3)



9. SİSTEM DAVRANIŞINI DEĞİŞTİREN BAZI ETKENLER - SİSTEME PERDE EKLENMESİ

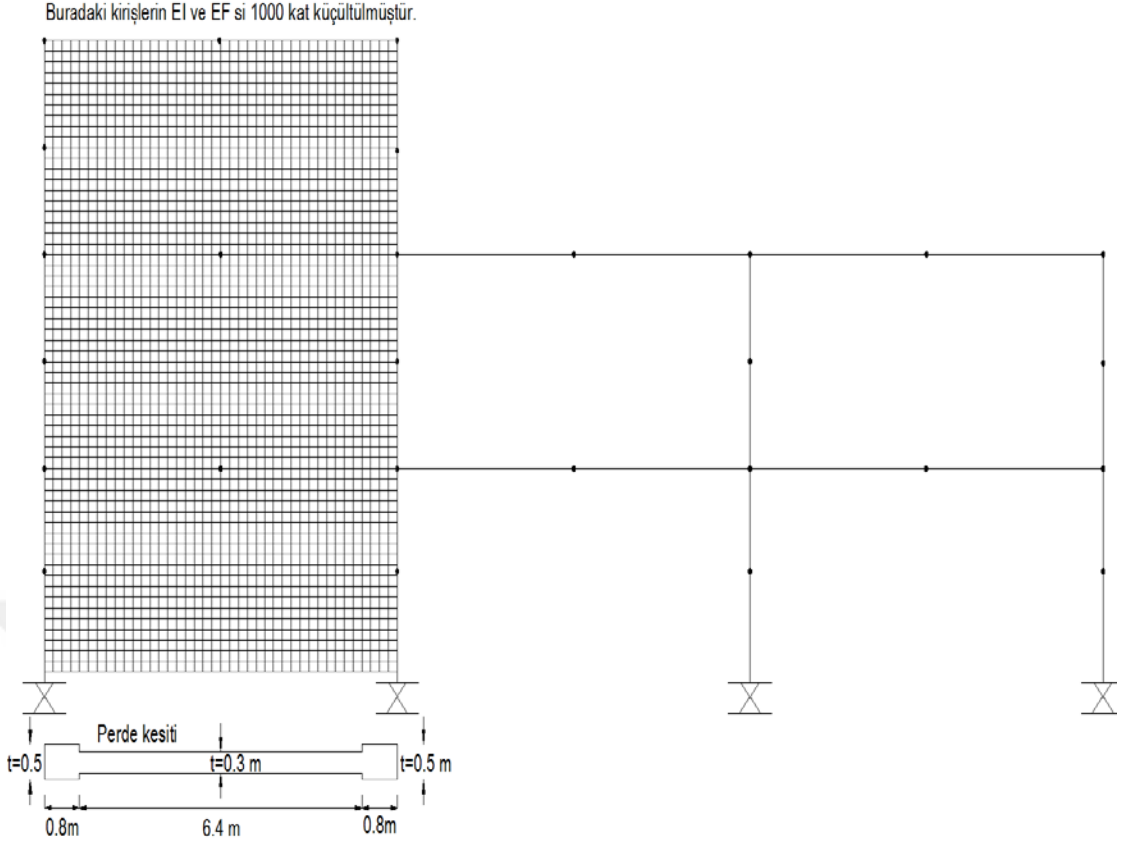
Yapı mühendisi olarak mevcut sistem davranışına müdahale edildiğinde dikkat edilmesi gereken bazı önemli hususlar bulunmaktadır. Perdenin oluşturulma yöntemleri; bölme duvarlarının yatay yük taşıyıcı elemanlar haline getirilmesi, bölme duvarlarının kaldırılıp yerine betonarme elemanlar kullanılması, çevre kolon ve kirişlerle bütünleştirilmiş betonarme perdeler oluşturulması; öneri ne olursa olsun yapı davranışını temsil edecek yapısal modelin oluşturulması bu noktalar arasında yer almaktadır. Ayrıca perde ekleyerek çerçeve sistemlerin yatay rijitliklerinin önemli ölçüde değiştiriliyor olmasının ortaya çıkartacağı sonuçlar irdelenmek durumundadır. Bilinmelidir ki çerçeve sistemlerin üst katlarına doğru yatay rijitliğin perdelerce artırılması o katta mevcut olan kolonlar üzerinde ters etki yaratabilmektedir. Perdelerin üst katlarda devam ettirilmemesi ya da kolondan kolona kadar uzatılmayıp kiriş ortalarında kesilmesi gibi durumlar yapı mühendisinin ayrıca üzerinde durması gereken noktalardır. Örneğin düşey yüklere göre tasarlanmış olan kirişlerin perdeye birleşen kesitlerinde yatay yük etkilerinin oluşturacakları değişim, perdenin dış ortama ankastre, mafsalı veya bu iki durumun ortasında olan elastik ankastre gibi ortaya çıkabilecek sorunlar yapı mühendisliğince irdelenmek durumundadır.

Sistemimizi güçlendirmek için perde eleman ilave edilecektir. Betonarme perdeyi sonlu elemanlar ve buna eşdeğer çubuk elemanlar yardımıyla her iki durumda ayrı ayrı ekleyip serbest titreşim incelemesi ve yatay yük artımı analizi detaylı olarak yapılacaktır.

Eklenecek perdeler aşağıda maddeler olarak sıralanmıştır.

9.1. Perdenin 8 m Genişliğinde Sonlu Elemanlarla Temsil Edilmesi

Perde içinde kalmış olan kirişlerin tek başına eğilmesi artık söz konusu olmadığı için yapısal modellerde davranışa etkisini sıfırlamak üzere tüm rijitliklerini sıfıra yakın almak uygun olacaktır. (Şekil 9.1)



Şekil 9.1. Perdenin 8 m Genişliğinde Sonlu Elemanlarla Temsil Edilmesi

Önceki çalışmalarda olduğu gibi bütün mesnetler, dönme rijitliği 6667 kNm olan elastik dönen mesnetlerden oluşmaktadır.

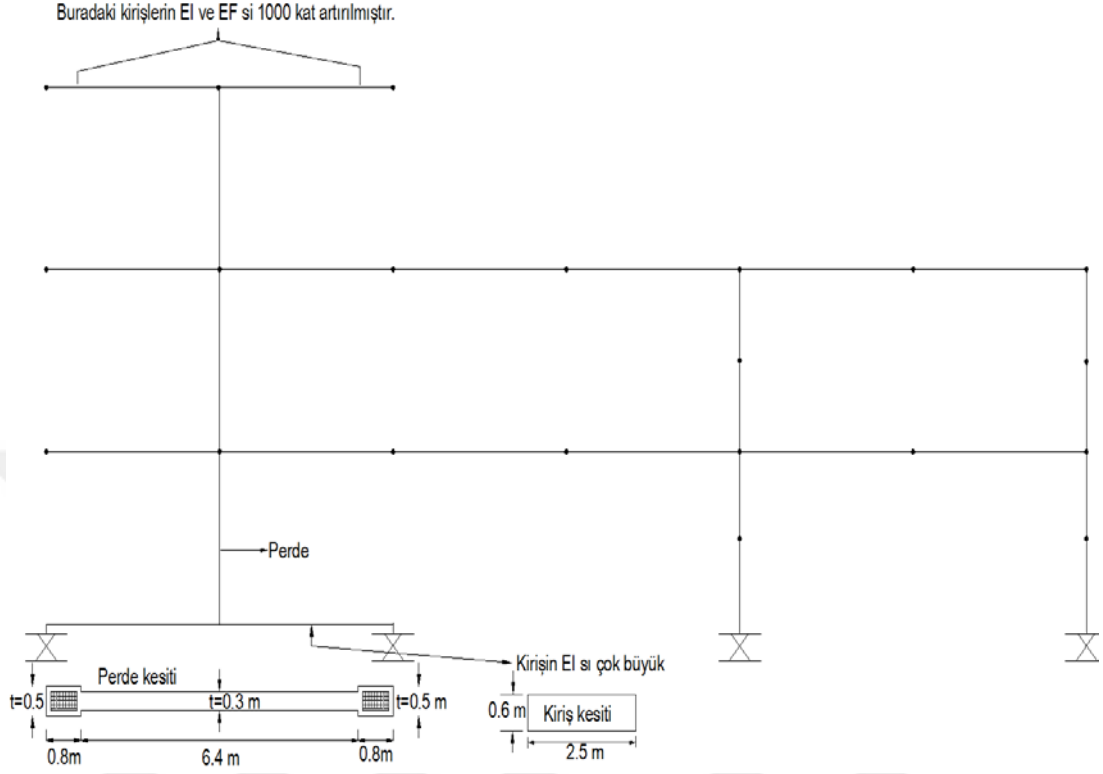
Yukarıda kesiti verilen perde gösterilen bölgeye, kütlesi hesaplanarak Sap 2000 programı ile atanmıştır. Sonlu eleman sayısı da değiştirilerek serbest titreşim parametreleri ayrı ayrı bulunmuştur. (Tablo 9.1)

Tablo 9.1. 8 Metre Genişlikli Perdede Sonlu Eleman Sayısının Periyot ve Binanın Deplasmanı Üzerindeki Etkisi

| Sonlu eleman sayısı | Periyot (s) | G+0.3Q+E yüklemesinde iken son katın deplasmanı |
|---|-------------|---|
| 0.5 m ve 0.3 m kesitli kısımlar tek parça iken | 0.06546 | $1.987 \cdot 10^{-4}$ |
| 0.5 m kesitliler 8 parçaya, 0.3 m kesitli olan 64 parçaya bölünürse | 0.07566 | $2.823 \cdot 10^{-4}$ |
| 0.5 m kesitliler 128 parçaya, 0.3 m kesitli olan 1024 parçaya bölünürse | 0.08524 | $3.843 \cdot 10^{-4}$ |

Sonlu eleman sayısının en fazla parçaya bölüdüğü durumdaki modal kütle katılım oranı: 0.852 dir.

9.2. Perdenin 8 m Genişliğinde Eşdeğer Çubuk Elemanlarla Temsil Edilmesi



Şekil 9.2. Perdenin 8 m Genişliğinde Eşdeğer Çubuk Elemanla Temsil Edilmesi

Şekil 9.2 de kesiti verilen perde gösterilen bölgeye, kütlesi hesaplanarak Sap 2000 programı ile atanmıştır. Serbest titreşim parametreleri ayrı ayrı bulunmuştur.

Periyot (T): 0.084 s.

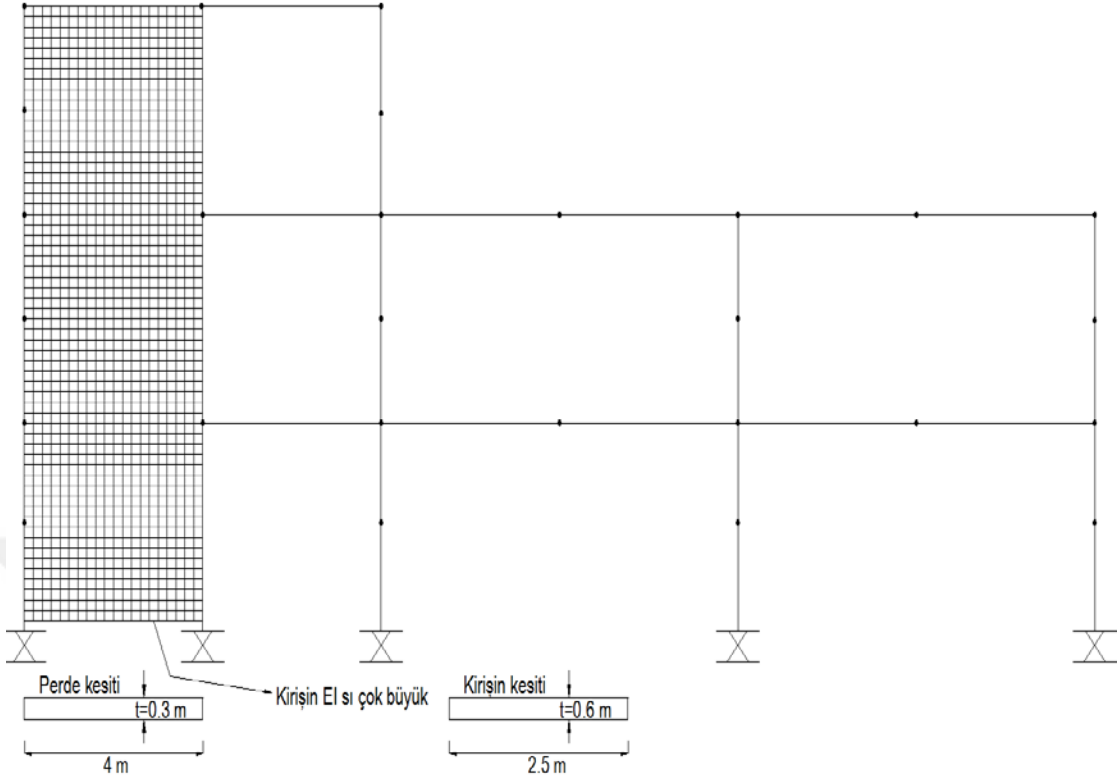
Modal kütle katılım oranı: 0.860

G+0.3Q+E yüklemesinde iken son katın deplasmanı= $4.376 \cdot 10^{-4}$

9.3. Perdenin 4 m Genişliğinde Sonlu Elemanlarla Temsil Edilmesi

Şekil 9.3 te kesiti verilen perde gösterilen bölgeye, kütlesi hesaplanarak Sap 2000 programı ile atanmıştır. Sonlu eleman sayısı da değiştirilerek serbest titreşim parametreleri ayrı ayrı bulunmuştur.

Buradaki kirişlerin EI ve EF si
1000 kat küçültülmüştür.



Şekil 9.3. Perdenin 4 m Genişliğinde Sonlu Elemanlarla Temsil Edilmesi

Şekil 9.3 teki sonlu eleman sayısı değiştirilerek serbest titreşim parametreleri ayrı ayrı bulunmuştur. (Tablo 9.2)

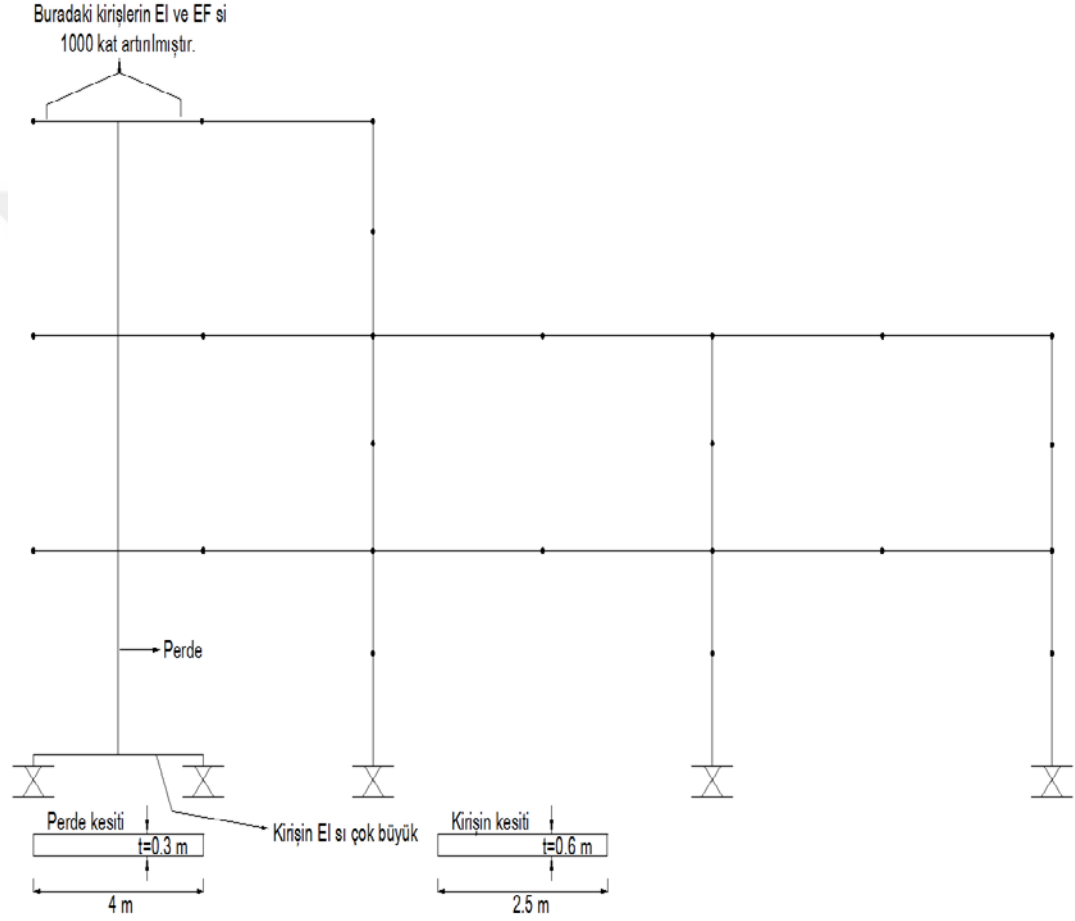
Tablo 9.2. 4 Metre Genişlikli Perdede Sonlu Eleman Sayısının Periyot ve Binanın Deplasmanı Üzerindeki Etkisi

| Sonlu eleman sayısı | Periyot (s) | G+0.3Q+E yüklemesinde iken son katın deplasmanı |
|--|-------------|---|
| Her katta bir sonlu eleman varken | 0.12313 | $10.6 \cdot 10^{-4}$ |
| Her kat yatayda ve düşeyde 4 parçaya bölündüğünde | 0.12976 | $9.698 \cdot 10^{-4}$ |
| Her kat yatayda ve düşeyde 32 parçaya bölündüğünde (Her katta 1024 sonlu eleman var) | 0.1330 | $10.1 \cdot 10^{-4}$ |

Sonlu eleman sayısının en fazla parçaya bölündüğü durumdaki modal kütle katılım oranı: 0.753 tür.

9.4. Perdenin 4 m Genişliğinde Eşdeğer Çubuk Elemanlarla Temsil Edilmesi

9.4.1. Eşdeğer Çubuk Elemanlarla 4 m Genişliğinde 3 Kat Yüksekliğinde Perde İlavesi



Şekil 9.4. Perdenin 4 m Genişliğinde Eşdeğer Çubuk Elemanla Temsil Edilmesi

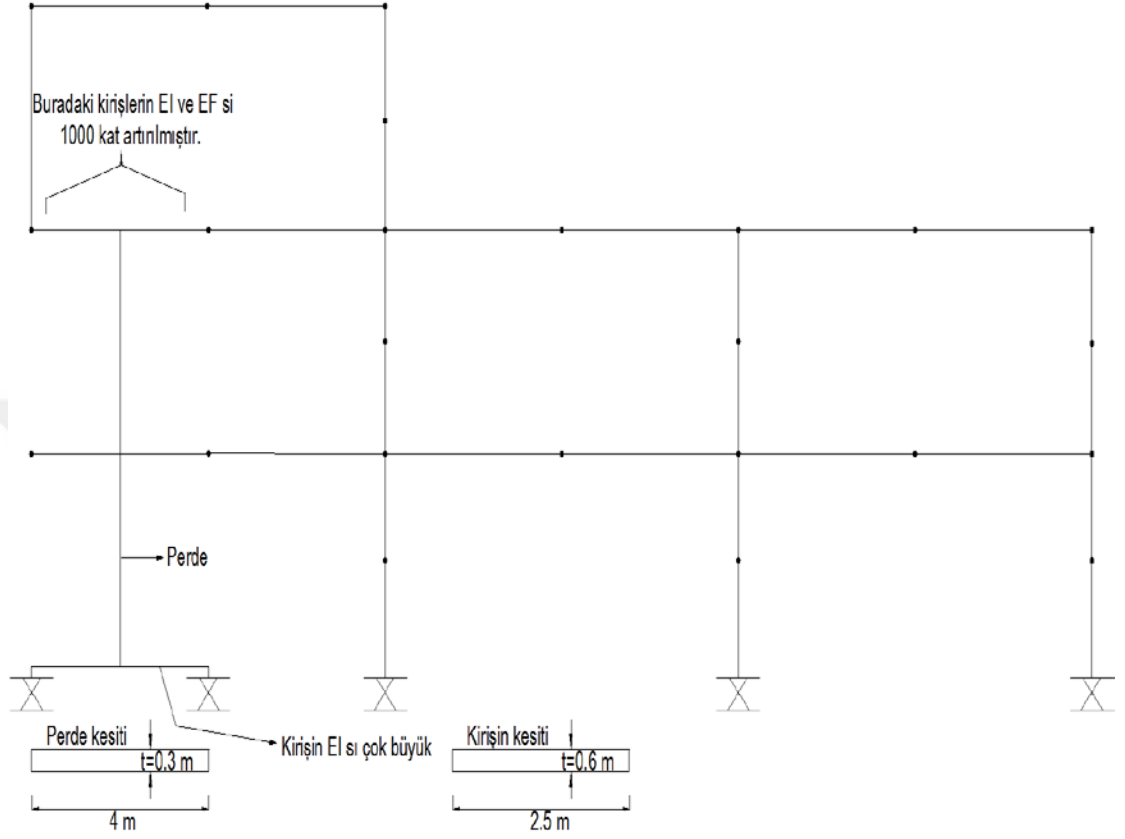
Şekil 9.4 te kesiti verilen perde gösterilen bölgeye, kütlesi hesaplanarak Sap 2000 programı ile atanmıştır. Serbest titreşim parametreleri aşağıdaki gibi bulunmuştur.

Periyot (T): 0.144 s

Modal kütle katılım oranı: 0.780

G+0.3Q+E yüklemesinde iken son katın deplasmanı= $12.9 \cdot 10^{-4}$

9.4.2. Eşdeğer Çubuk Elemanlarla 4 m Genişliğinde 2 Kat Yüksekliğinde Perde İlavesi



Şekil 9.5. Perdenin 4 m Genişliğinde İki Kat Yüksekliğe Kadar Eşdeğer Çubuk Elemanla Temsil Edilmesi

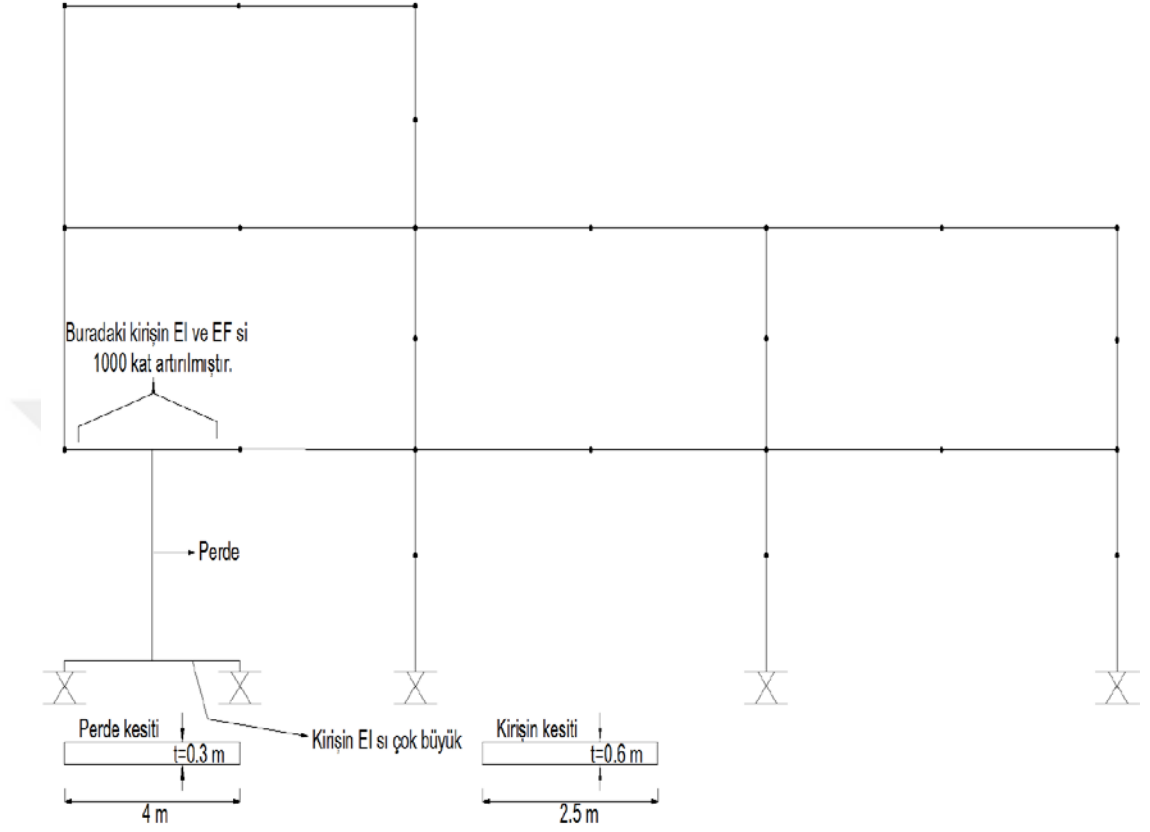
Şekil 9.5 te kesiti verilen perde gösterilen bölgeye, kütlesi hesaplanarak Sap 2000 programı ile atanmıştır. Serbest titreşim parametreleri aşağıdaki gibi bulunmuştur.

Periyot (T): 0.242 s.

Modal kütle katılım oranı: 0.237

G+0.3Q+E yüklemesinde iken son katın deplasmanı= $44 \cdot 10^{-4}$

9.4.3. Eşdeğer Çubuk Elemanlarla 4 m Genişliğinde 1 Kat Yüksekliğinde Perde İlavesi



Şekil 9.6. Perdenin 4 m Genişliğinde Bir Kat Yüksekliğe Kadar Eşdeğer Çubuk Elemanla Temsil Edilmesi

Şekil 9.6 da kesiti verilen perde gösterilen bölgeye, kütlesi hesaplanarak Sap 2000 programı ile atanmıştır. Serbest titreşim parametreleri aşağıdaki gibi bulunmuştur.

Periyot (T): 0.392 s

Modal kütle katılım oranı: 0.452

G+0.3Q+E yüklemesinde iken son katın deplasmanı= $107.1 \cdot 10^{-4}$

Tablo 9.3. Perdenin Farklı Tasarım Edilmesinin Binanın Periyodu ve Deplasmanı Üzerine Etkisi

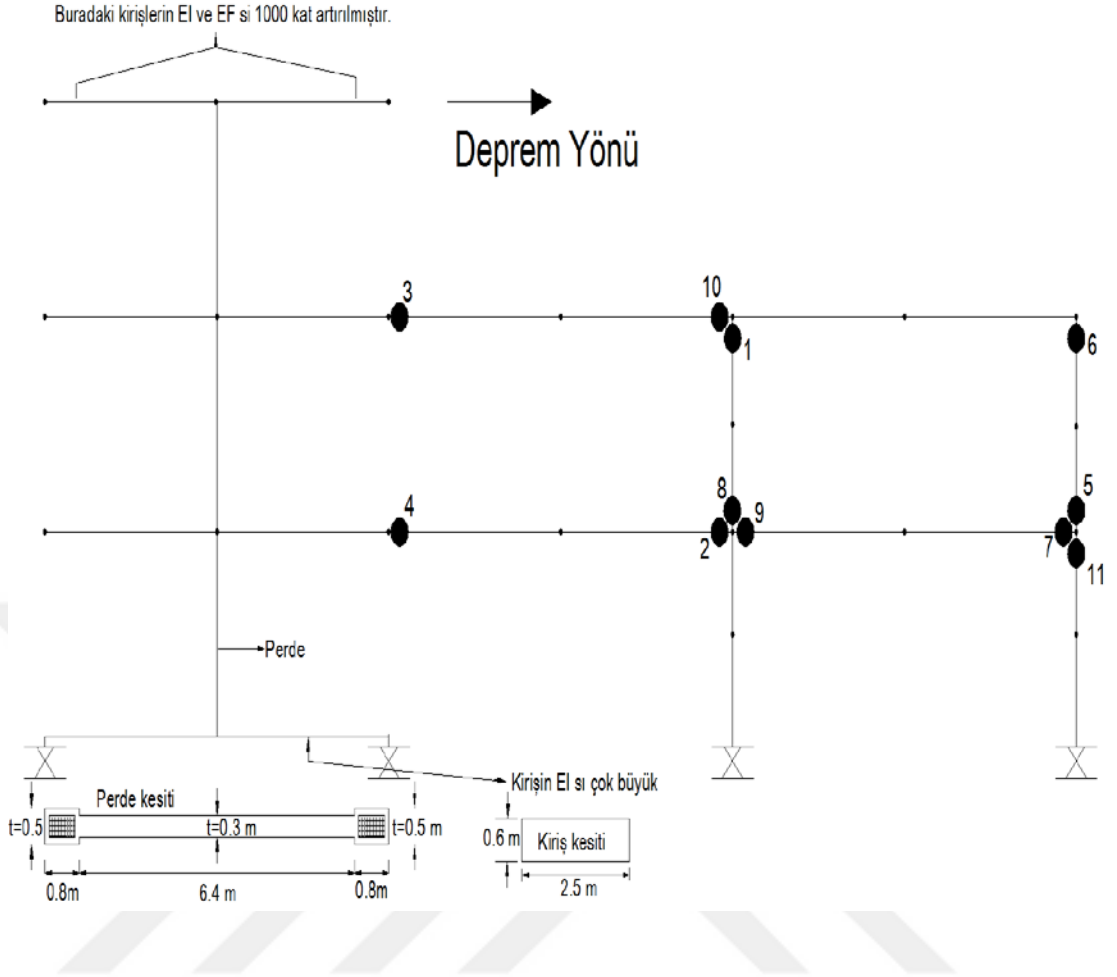
| Eklene perde | Periyot (s) | G+0.3Q+E yüklemesinde son katın deplasmanı (m) |
|--|-------------|--|
| 8 m genişliğinde en çok sayıda sonlu elemanlarla (1152 parça) | 0.085 | $3.843 \cdot 10^{-4}$ |
| 8 m genişliğinde eşdeğer çubuk elemanlarla | 0.084 | $4.376 \cdot 10^{-4}$ |
| 4 m genişliğinde en çok sayıda sonlu elemanlarla (1056 parça) | 0.133 | $10.1 \cdot 10^{-4}$ |
| 4 m genişliğinde eşdeğer çubuk elemanlarla (3 kat yüksekliğinde) | 0.144 | $12.9 \cdot 10^{-4}$ |
| 4 m genişliğinde eşdeğer çubuk elemanlarla (2 kat yüksekliğinde) | 0.242 | $44 \cdot 10^{-4}$ |
| 4 m genişliğinde eşdeğer çubuk elemanlarla (1 kat yüksekliğinde) | 0.392 | $107.1 \cdot 10^{-4}$ |

9.5. Perde Eklenmiş Sistemlerde Yatay Yük Artımı Analizi

Sonlu elemanlarla tanımlanan perde, Sap 2000 programında Statik İtme (Yatay Yük Artımı) Analizi yapıldığında program yakınsama yapamadığından analizi bitirememektedir. Bundan dolayı Yatay Yük Artımı Analizi eşdeğer çubuk elemanların olduğu perdeli sistemde yapılmıştır.

9.5.1. 8 m Genişliğinde Eşdeğer Çubuk Perdeli Elemanda Yatay Yük Artımı ve Burkulma Analizi

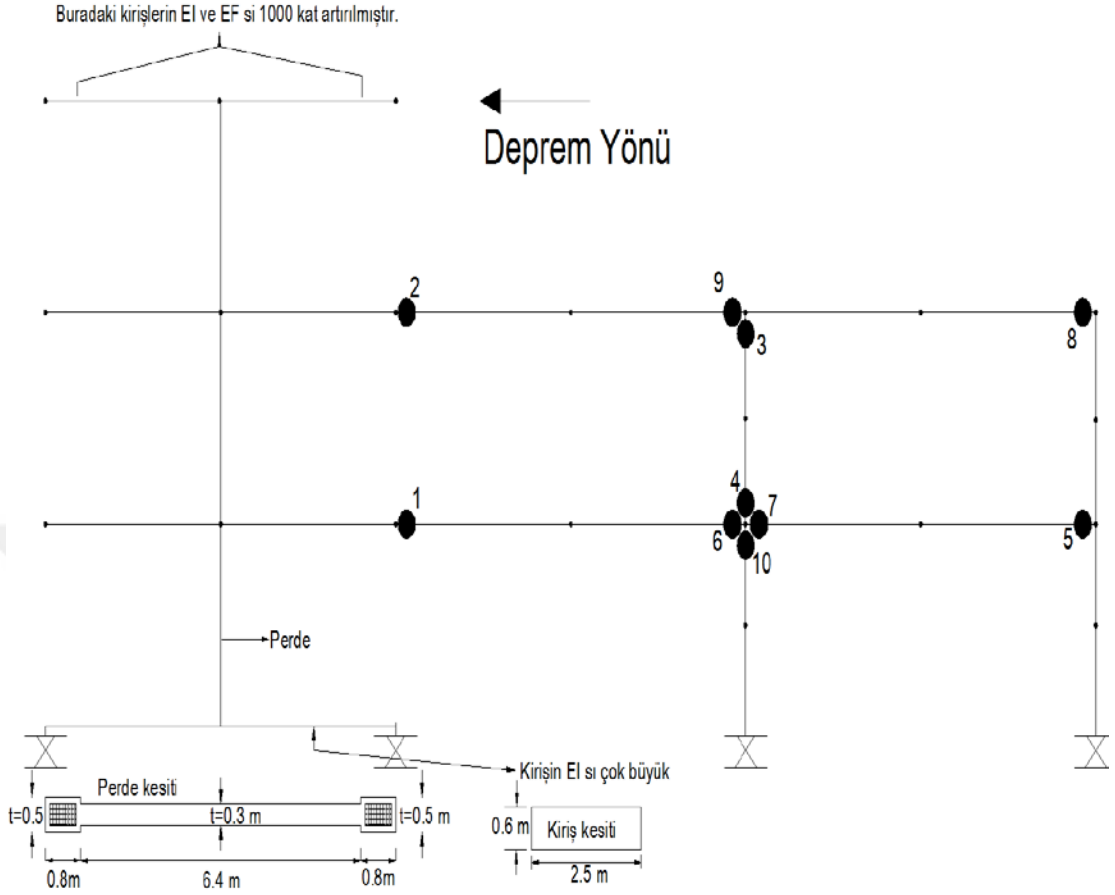
Deprem kuvvetleri +X yönünde olduğunda Yatay Yük Artımı Analizi sonrasında sistemdeki plastik mafsalların oluşma yerleri ve oluşma sırası Şekil 9.7 de gösterilmiştir.



Şekil 9.7. Perdenin 8 m Genişliğinde Eşdeğer Çubuk Elemanla Temsil Edilmesiyle +X Yönünde Statik İtme Analizi Sonrası Oluşan Mafsalsı Sırası ve Yerleri

Şekil 9.7 de görüldüğü gibi Yatay Yük Artımı Analizinde 345 adım ilerleme yapıldığında 11. sırada oluşan plastik mafsalsı oluşmuş ve düğüm noktası mekanizması gerçekleşmiştir.

Deprem kuvvetleri sağdan sola doğru (-X yönünde) olduğunda mafsallaşma sırası şu şekilde olmaktadır.



Şekil 9.8. Perdenin 8 m Genişliğinde Eşdeğer Çubuk Elemanla Temsil Edilmesiyle
-X Yönünde Statik İtme Analizi Sonrası Oluşan Mafsıl Sırası ve Yerleri

Şekil 9.8 de görüldüğü gibi Yatay Yük Artırımı Analizi 353 adım ilerleme yapıldığında 10. sırada oluşan plastik mafsıl oluşmuş ve düğüm noktası mekanizması gerçekleşmiştir. Yatay rijitliği perdelerle artırılmış yukarıdaki sistemde görüldüğü gibi bölgesel burkulmaların meydana gelmesi (düğüm noktası mekanizmaları) dikkati çeker duruma gelmektedir. Sistemin kapasitesi eğrisi ise Şekil 9.9 daki grafikteki gibi olmaktadır.



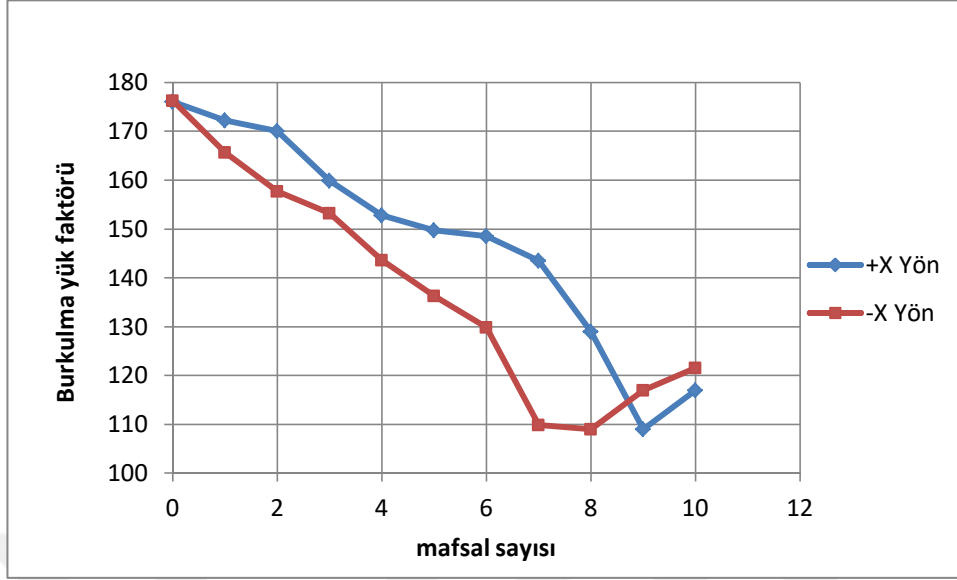
Şekil 9.9. 8 m Genişlikli Perdede Sistemin –X ve +X Yönündeki Kapasite Eğrisi

Burkulma analizi karşılaştırmaları:

Tablo 9.4. 8 Metre Genişlikli Perdeli Sistemde Mafsalsayısının ve Deprem Kuvveti Yönünün Değiştiği Durumlarda Burkulma Yük Faktörü

| Mafsals durumu | Deprem +X Yönlü | | Deprem -X Yönlü | |
|----------------|----------------------|-------------|----------------------|-------------|
| | Burkulma Yük Faktörü | Periyot (s) | Burkulma Yük Faktörü | Periyot (s) |
| 0 | 176.1 | 0.084 | 176.3 | 0.084 |
| 1 | 172.2 | 0.084 | 165.7 | 0.084 |
| 2 | 170 | 0.084 | 157.7 | 0.084 |
| 3 | 159.9 | 0.084 | 153.2 | 0.084 |
| 4 | 152.8 | 0.084 | 143.6 | 0.084 |
| 5 | 149.7 | 0.084 | 136.3 | 0.084 |
| 6 | 148.5 | 0.084 | 129.9 | 0.084 |
| 7 | 143.5 | 0.084 | 109.8 | 0.084 |
| 8 | 129 | 0.084 | 109 | 0.084 |
| 9 | 109 | 0.084 | 117 | 0.084 |
| 10 | 117 | 0.084 | 121.5 | 0.084 |

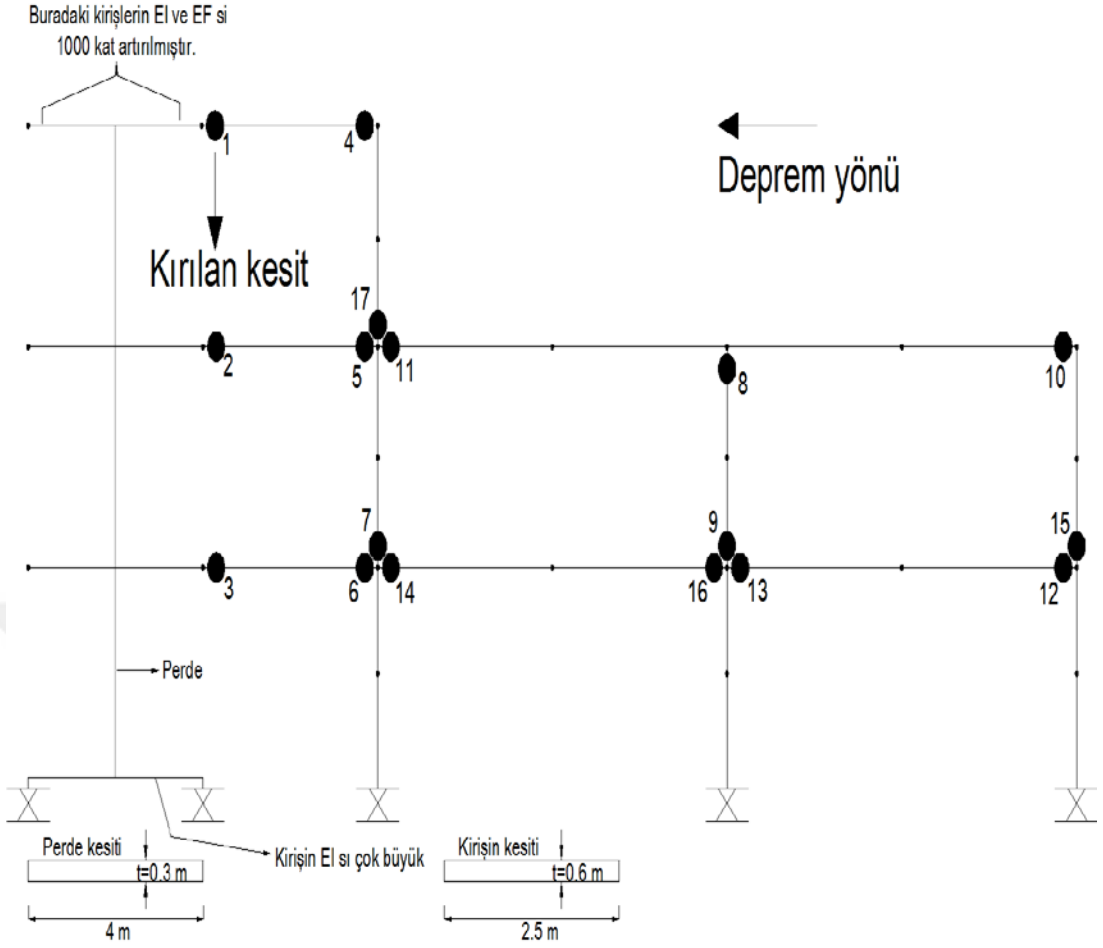
Tablo 9.4 teki bilgilere ait grafik Şekil 9.10 da verilmiştir.



Şekil 9.10. 8 m Genişlikli Perdede Mafsalsayısı- Burkulma Yüğü İlişkisi

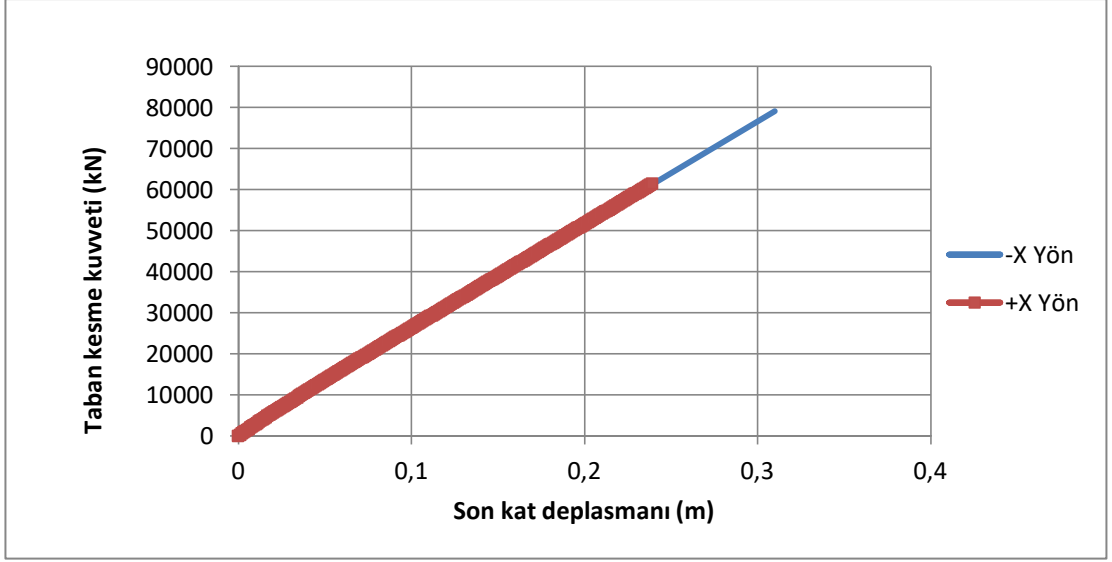
9.5.2. 4 m Genişliğinde 3 Kat Yüksekliğinde Eşdeğer Çubuk Perdeli Elemanda Yatay Yüğü Artımı ve Burkulma Analizi

Deprem kuvvetleri soldan sağa doğru olduğunda Yatay Yüğü Artımı Analizi sonrasında sistemdeki plastik mafsalların oluşma yerleri ve oluşma sırası Şekil 9.11 de gösterilmiştir.



Şekil 9.12. Perdenin 4 m Genişliğinde Eşdeğer Çubuk Elemanla Temsil Edilmesiyle -X Yönünde Statik İtme Analizi Sonrası Oluşan Mafsalsırası ve Yerleri

Şekil 9.12 de görüldüğü gibi Yatay Yük Artımı Analizinde 310 adım ilerleme yapıldığında 1. sırada oluşan plastik mafsalsıkesiti kırılmış ve o zamana kadar sistemde 17 plastik mafsalsıoluşmuştur. Bu sisteme ait kapasitesi eğrisi ise Şekil 9.13 teki grafikte gösterilmiştir.



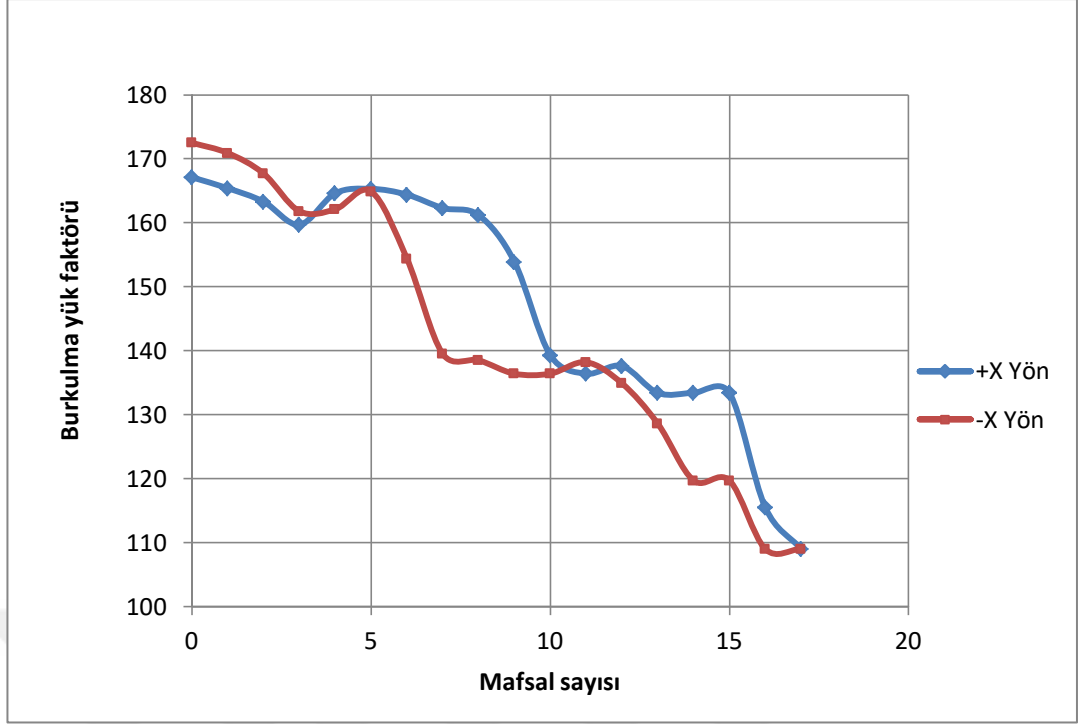
Şekil 9.13. 4 m Genişliğinde 3 Kat Yükseklikli Perdede Sistemin -X ve +X Yönündeki Kapasite Eğrisi

Burkulma analizi karşılaştırmaları:

Tablo 9.5. 4 Metre Genişliğinde 3 Kat Yüksekliğindeki Perdeli Sistemde Mafsallı Sayısının ve Deprem Kuvveti Yönünün Değiştiği Durumlarda Burkulma Yük Faktörü

| Mafsallı durumu | Deprem +X Yönlü | | Deprem -X Yönlü | |
|-----------------|----------------------|-------------|----------------------|-------------|
| | Burkulma Yük Faktörü | Periyot (s) | Burkulma Yük Faktörü | Periyot (s) |
| mafsalsız | 167.1 | 0.144 | 172.5 | 0.14373 |
| 1 mafsallı | 165.4 | 0.14566 | 170.9 | 0.14552 |
| 2 mafsallı | 163.3 | 0.14753 | 167.7 | 0.14753 |
| 3 mafsallı | 159.7 | 0.1487 | 161.8 | 0.1487 |
| 4 mafsallı | 164.6 | 0.14947 | 162.1 | 0.14951 |
| 5 mafsallı | 165.3 | 0.15015 | 164.9 | 0.15015 |
| 6 mafsallı | 164.4 | 0.15038 | 154.4 | 0.1505 |
| 7 mafsallı | 162.3 | 0.15114 | 139.5 | 0.1507 |
| 8 mafsallı | 161.2 | 0.15125 | 138.5 | 0.15149 |
| 9 mafsallı | 153.9 | 0.15161 | 136.4 | 0.15172 |
| 10 mafsallı | 139.3 | 0.15179 | 136.4 | 0.1519 |
| 11 mafsallı | 136.4 | 0.152 | 138.2 | 0.15212 |
| 12 mafsallı | 137.6 | 0.15222 | 134.9 | 0.15231 |
| 13 mafsallı | 133.4 | 0.15229 | 128.6 | 0.15233 |
| 14 mafsallı | 133.4 | 0.15242 | 119.7 | 0.15248 |
| 15 mafsallı | 133.4 | 0.15243 | 119.7 | 0.1525 |
| 16 mafsallı | 115.5 | 0.1525 | 109.0 | 0.15258 |
| 17 mafsallı | 109.0 | 0.15258 | 109.0 | 0.15258 |

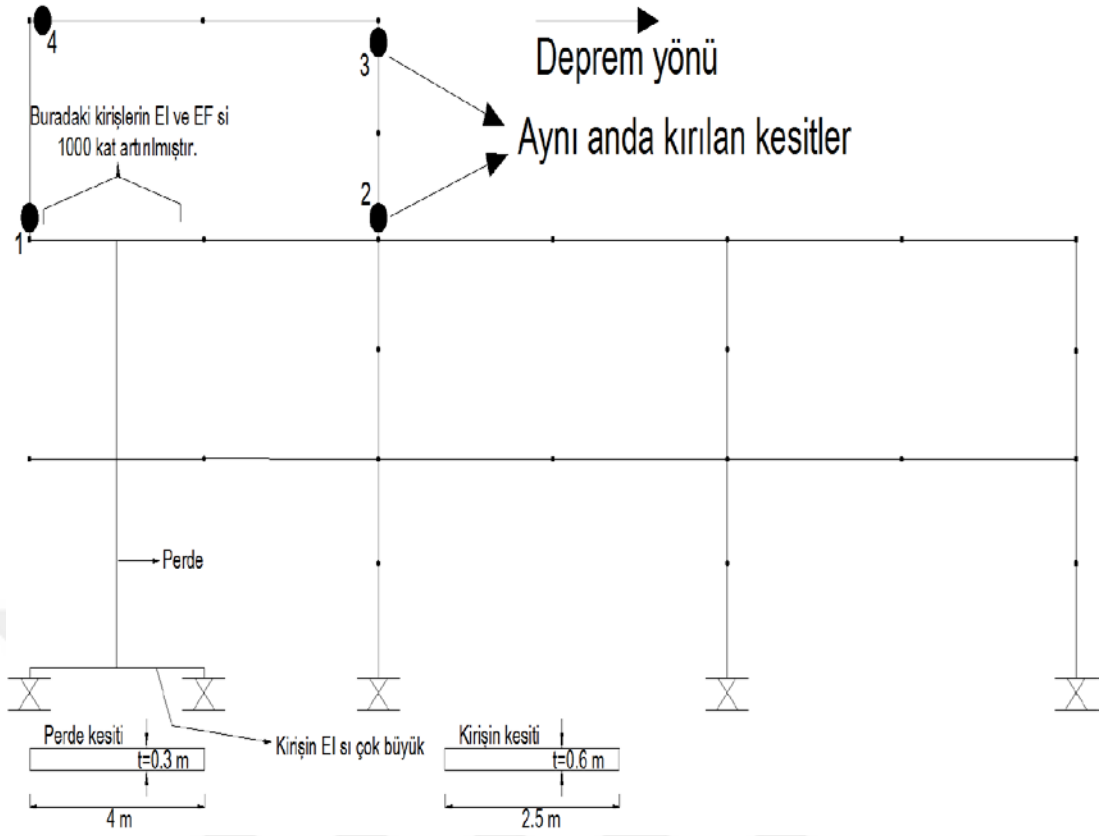
Tablo 9.5 teki bilgilere ait grafik Şekil 9.14 te verilmiştir.



Şekil 9.14. 4 m Genişliğinde 3 Kat Yükseklikli Perdede Mafsal Sayısı- Burkulma Yükü İlişkisi

9.5.3. 4 m Genişliğinde 2 Kat Yüksekliğinde Eşdeğer Çubuk Perdeli Elemanda Yatay Yük Artımı ve Burkulma Analizi

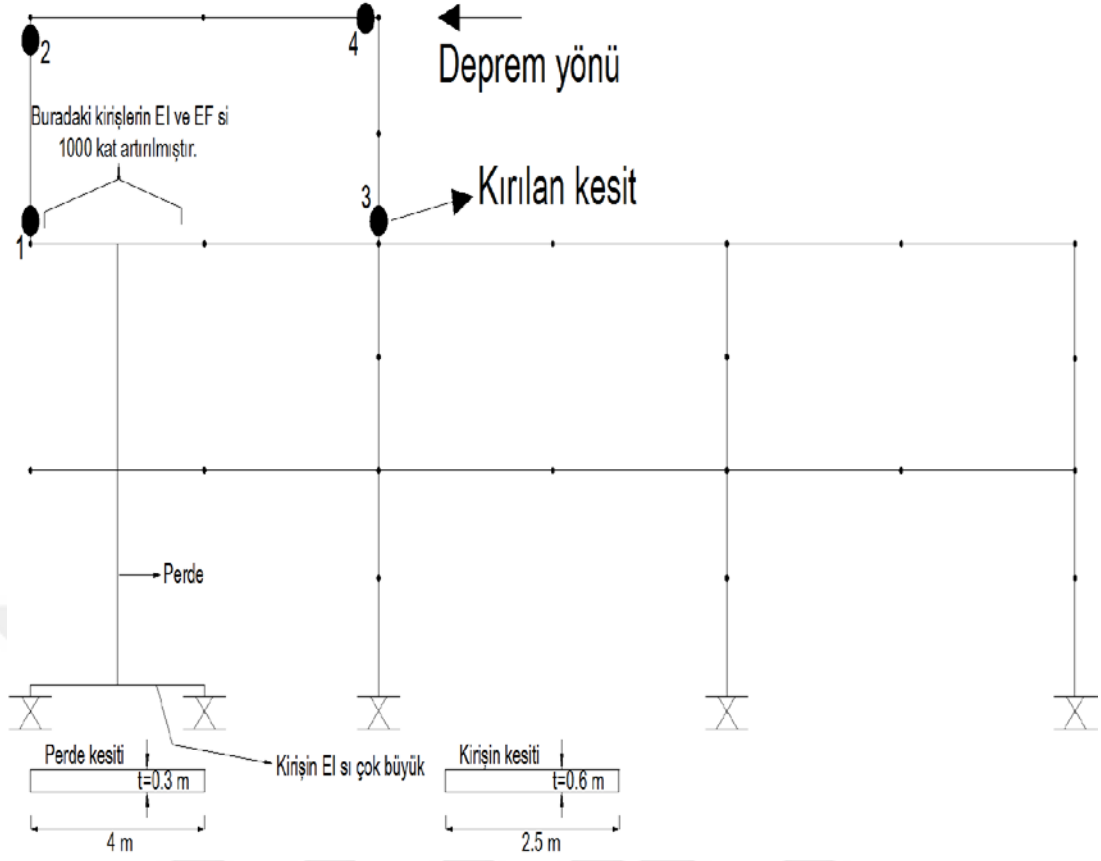
Deprem kuvvetleri +X yönünde olduğunda Yatay Yük Artımı Analizi sonrasında sistemdeki plastik mafsalların oluşma yerleri ve oluşma sırası Şekil 9.15 te gösterilmiştir.



Şekil 9.15. Perdenin 4 m Genişliğinde 2 Kat Yükseklikli Eşdeğer Çubuk Elemanla Temsil Edilmesiyle +X Yönünde Statik İtme Analizi Sonrası Oluşan Mafsal Sırası ve Yerleri

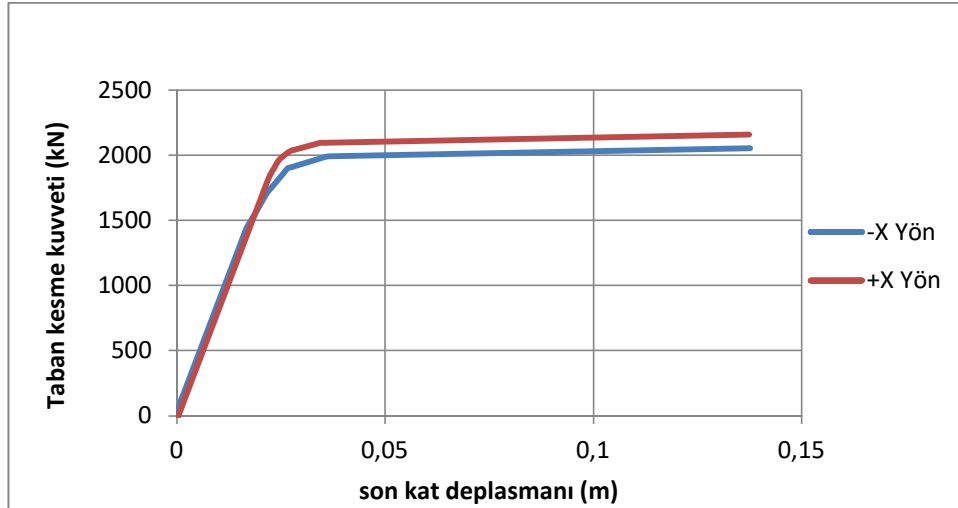
Şekil 9.15 te görüldüğü gibi Yatay Yük Artımı Analizinde 137 adım ilerleme yapıldığında 2. ve 3. sırada oluşan plastik mafsal kesitleri aynı anda kırılmıştır ve o kesitler kırılana kadar sistemde 4 plastik mafsal oluşmuştur.

Deprem kuvvetleri -X yönünde (sağdan sola doğru) olduğunda Yatay Yük Artımı Analizi sonrasında sistemdeki plastik mafsalların oluşma yerleri ve oluşma sırası Şekil 9.16 da gösterilmiştir.



Şekil 9.16. Perdenin 4 m Genişliğinde 2 Kat Yükseklikli Eşdeğer Çubuk Elemanla Temsil Edilmesiyle -X Yönünde Statik İtme Analizi Sonrası Oluşan Mafsıl Sırası ve Yerleri

Şekil 9.16 da görüldüğü gibi Yatay Yük Artımı Analizinde 138 adım ilerleme yapıldığında 3. sırada oluşan plastik mafsıl kesiti kırılmıştır ve o kesit kırılana kadar sistemde 4 plastik mafsıl oluşmuştur. Bu sisteme ait kapasite eğrisi ise Şekil 9.17 deki grafikte gösterilmiştir.



Şekil 9.17. 4 m Genişliğinde 2 Kat Yükseklikli Perdede Sistemin -X ve +X Yönündeki Kapasite Eğrisi

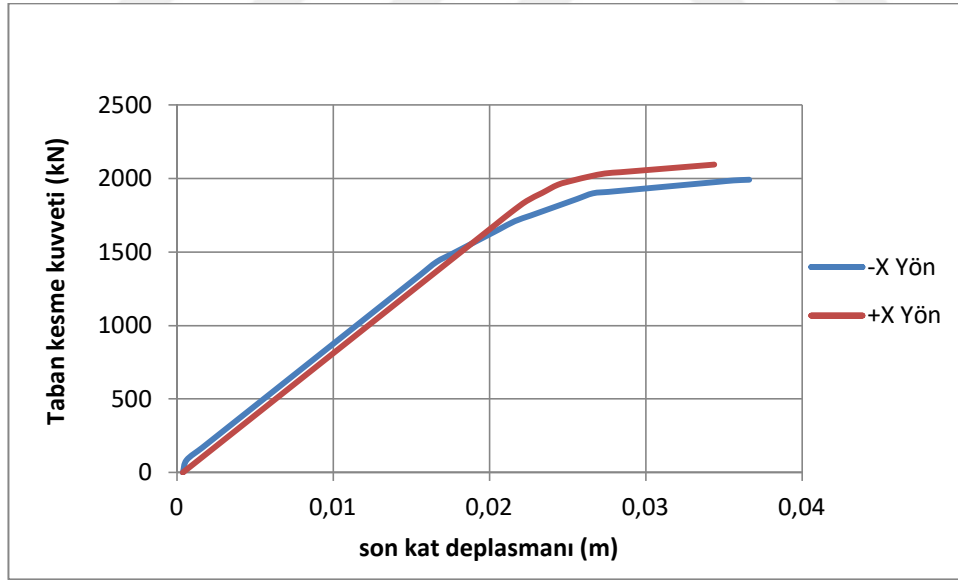
Burkulma Analizi Karşılaştırmaları

Tablo 9.6. 4 Metre Genişliğinde 2 Kat Yüksekliğindeki Perdeli Sistemde Mafsalsız Sayısının ve Deprem Kuvveti Yönünün Değiştiği Durumlarda Burkulma Yük Faktörü

| Mafsalsız durumu | Deprem +X Yönlü | | Deprem -X Yönlü | |
|------------------|----------------------|-------------|----------------------|-------------|
| | Burkulma Yük Faktörü | Periyot (s) | Burkulma Yük Faktörü | Periyot (s) |
| mafsalsız | 149.4 | 0.242 | 162.1 | 0.24204 |
| 1 mafsallı | 121.8 | 0.30634 | 122.1 | 0.30634 |
| 2 mafsallı | 54.8 | 0.46191 | 84.0 | 0.37492 |
| 3 mafsallı | 18 | 0.8173 | 20.5 | 0.76615 |

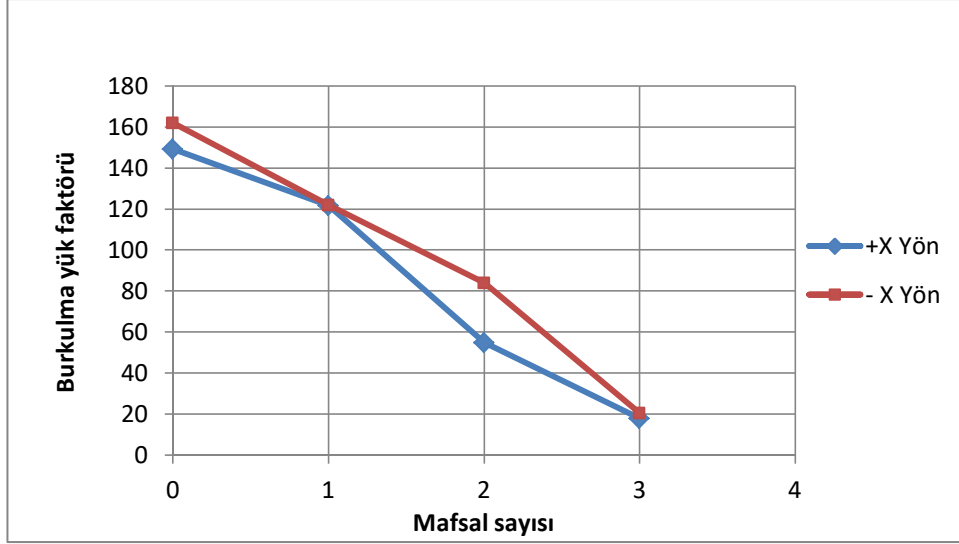
Deprem kuvvetleri hem +X yönü hem de -X yönü için bu sisteme 4 mafsalsız eklendiğinde burkulma güvenliği kaybolmakta yani mekanizma durumuna geçmektedir.

Burkulma analizinde gidebildiği yere kadar kapasite eğrisi çizdirilirse (Şekil 9.18)



Şekil 9.18. 4 m Genişliğinde 2 Kat Yükseklikli Perdeli Sistemde Burkulma Analizinde Gidebildiği Yere Kadar Sistemin -X ve +X Yönündeki Kapasite Eğrileri

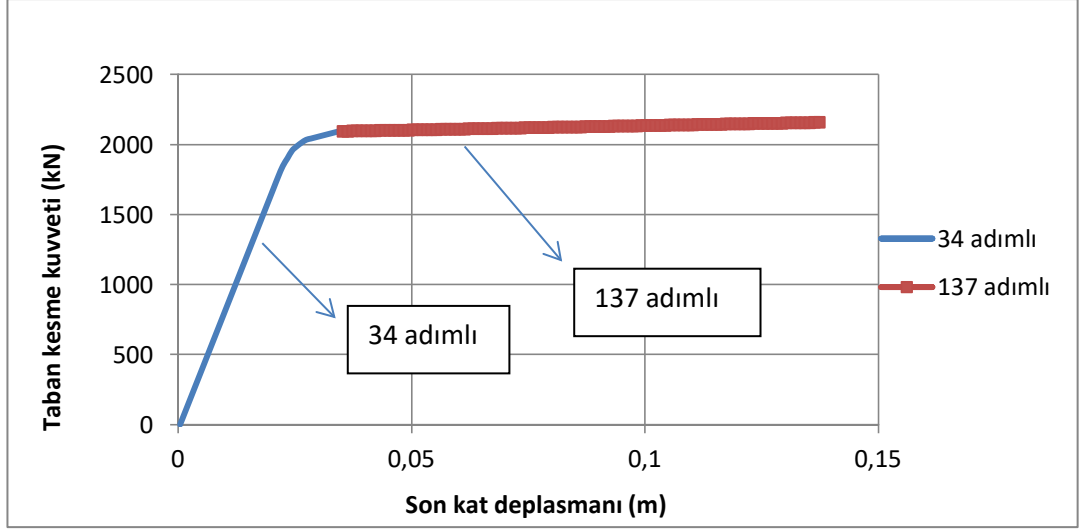
Mafsalsız sayısının artmasıyla burkulma yük faktörünün düştüğü Şekil 9.19'daki grafikten de görülebilir.



Şekil 9.19. 4 m Genişliğinde 2 Kat Yükseklikli Perdede Mafsal Sayısı- Burkulma Yükü İlişkisi

Deprem kuvvetleri +X yönünde olduğunda Yatay Yük Artımı Analizi ile Burkulma analizinin birleştirilmesi:

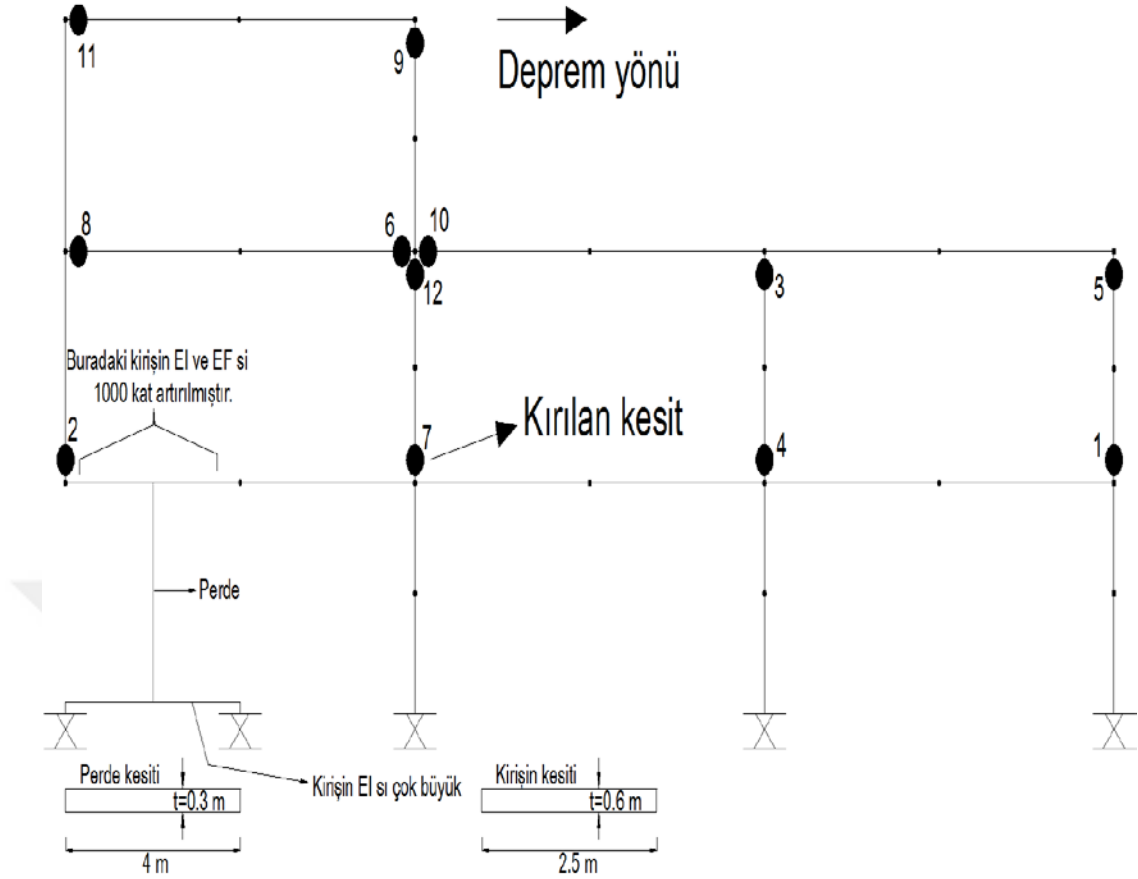
Yatay Yük Artımı Analizinde sistemde 4 mafsalsın oluşması 34. adımda gerçekleşmiştir. O halde mevcut sistemin 137. adımında 28H ve 29H kesitlerinin aynı anda kırıldığı yani dönme kapasitelerinin sonuna geldiği ancak daha önce 34. adımda burkulma güvenliğinin çok düştüğü gözlenmektedir. Buna göre sistemin limit yüküne ulaşmadan önce göçme yüküne ulaştığı görülmektedir. Yatay yük artımı analizindeki göçme adım numarası ile burkulmadan dolayı göçme adım numaralarına ait kapasite eğrileri karşılaştırmalı olarak Şekil 9.20 de verilmiştir.



Şekil 9.20. 4 m Genişlikli 2 Kat Yüksekliğindeki Perdeli Sistemde Statik İtme Analizindeki Göçme İle Burkulma Analizindeki Göçme Durumlarına Ait Kapasite Eğrileri

9.5.4. 4 m Genişliğinde 1 Kat Yüksekliğinde Eşdeğer Çubuk Perdeli Elemanda Yatay Yük Artımı ve Burkulma Analizi

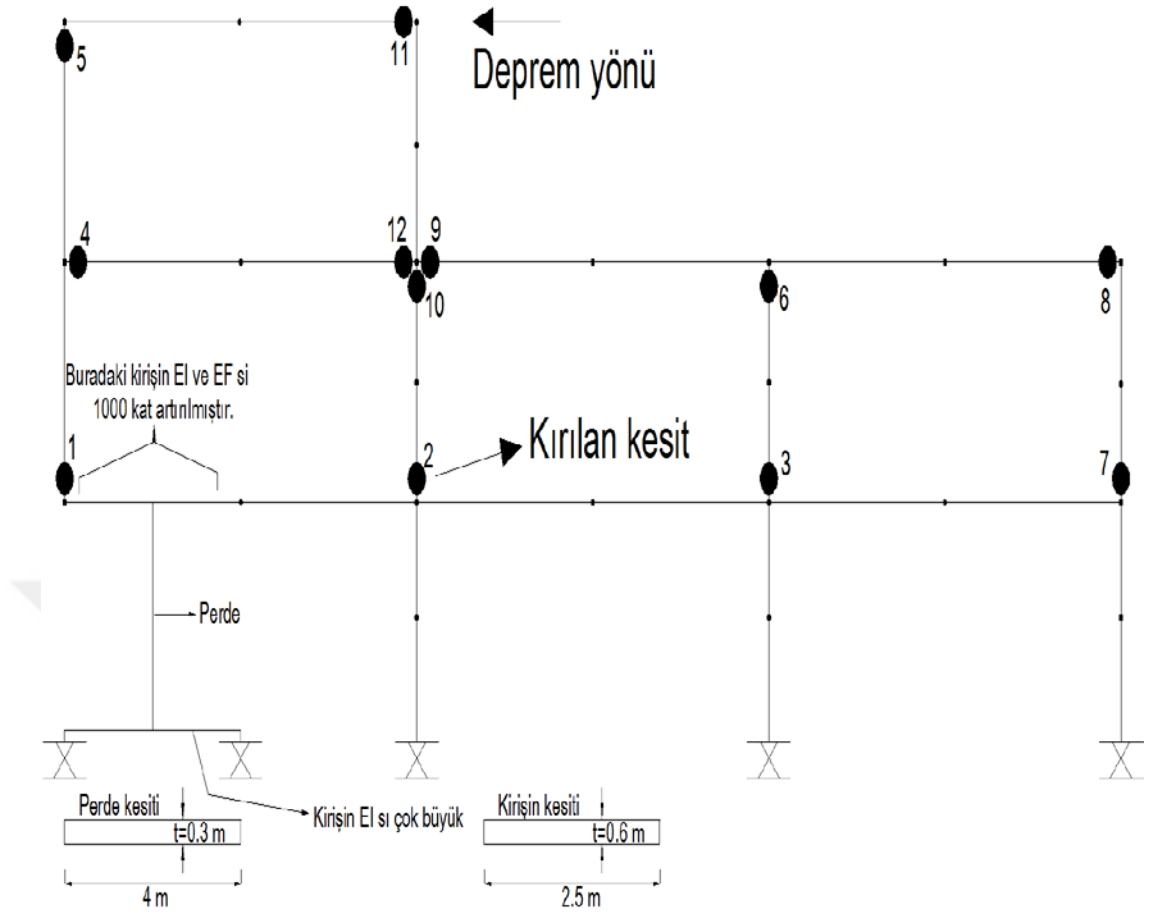
Deprem kuvvetleri +X yönünde olduğunda Yatay Yük Artımı Analizi sonrasında sistemdeki plastik mafsalların oluşma yerleri ve oluşma sırası Şekil 9.21 de gösterilmiştir



Şekil 9.21. Perdenin 4 m Genişliğinde 1 Kat Yükseklikli Eşdeğer Çubuk Elemanla Temsil Edilmesiyle +X Yönünde Statik İtme Analizi Sonrası Oluşan Mafsal Sırası ve Yerleri

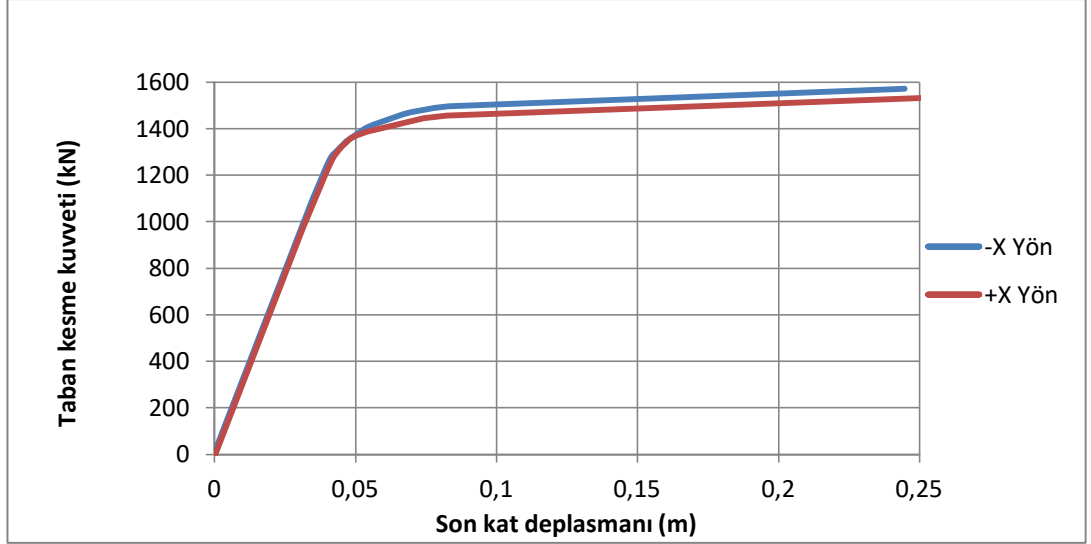
Şekil 9.21 de görüldüğü gibi Yatay Yük Artımı Analizinde 255 adım ilerleme yapıldığında 7. sırada oluşan plastik mafsal kesiti kırılmış ve o kesit kırılana kadar sistemde 12 plastik mafsal oluşmuştur.

Deprem kuvvetleri -X yönünde (sağdan sola doğru) olduğunda Yatay Yük Artımı Analizi sonrasında sistemdeki plastik mafsalların oluşma yerleri ve oluşma sırası Şekil 9.22 de gösterilmiştir.



Şekil 9.22. Perdenin 4 m Genişliğinde 1 Kat Yükseklikli Eşdeğer Çubuk Elemanla Temsil Edilmesiyle -X Yönünde Statik İtme Analizi Sonrası Oluşan Mafsal Sırası ve Yerleri

Şekil 9.22 de görüldüğü gibi Yatay Yük Artımı Analizinde 245 adım ilerleme yapıldığında 2. sırada oluşan plastik mafsal kesiti kırılmış ve o kesit kırılana kadar sistemde 12 plastik mafsal oluşmuştur. Bu sisteme ait kapasite eğrisi ise Şekil 9.23 teki grafikteki gibi olmaktadır.



Şekil 9.23. 4 m Genişliğinde 1 Kat Yükseklikli Perdede Sistemin –X ve +X Yönündeki Kapasite Eğrileri

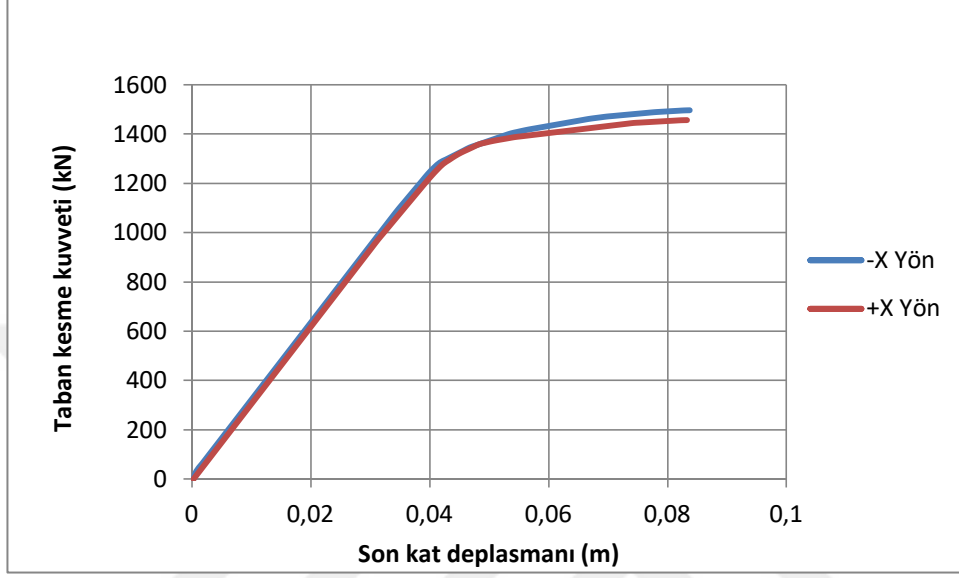
Burkulma Analizi Karşılaştırmaları:

Tablo 9.7. 4 Metre Genişliğinde 1 Kat Yüksekliğindeki Perdeli Sistemde Mafsalsız Sayısının ve Deprem Kuvveti Yönünün Değiştiği Durumlarda Burkulma Yük Faktörü

| Mafsalsız durumu | Deprem +X Yönlü | | Deprem -X Yönlü | |
|------------------|----------------------|-------------|----------------------|-------------|
| | Burkulma Yük Faktörü | Periyot (s) | Burkulma Yük Faktörü | Periyot (s) |
| mafsalsız | 103.9 | 0.392 | 104.0 | 0.39237 |
| 1 mafsallı | 92.6 | 0.41129 | 88.15 | 0.41619 |
| 2 mafsallı | 75.1 | 0.44389 | 65.9 | 0.46222 |
| 3 mafsallı | 52.4 | 0.52323 | 44.5 | 0.55252 |
| 4 mafsallı | 42.4 | 0.58206 | 39.85 | 0.60479 |
| 5 mafsallı | 38.7 | 0.60656 | 38.13 | 0.64775 |
| 6 mafsallı | 30.3 | 0.70275 | 24.59 | 0.8035 |
| 7 mafsallı | 12.7 | 1.06004 | 14.46 | 1.03123 |
| 8 mafsallı | 9.7 | 1.22732 | 10.65 | 1.1922 |
| 9 mafsallı | 7.4 | 1.46136 | 7.73 | 1.42296 |
| 10 mafsallı | 2.9 | 2.37091 | 4.3 | 1.82524 |
| 11 mafsallı | Kat Mekanizması | | 2.79 | 2.36202 |

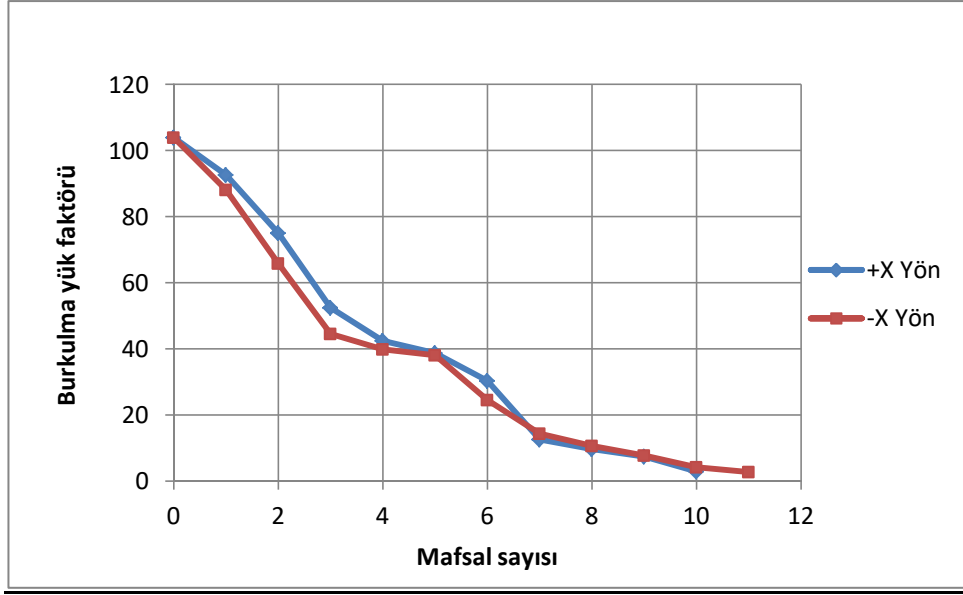
Deprem kuvveti +X yönünde 11 mafsall eklendiğinde, deprem kuvveti –X yönünde olduğunda ise 12 mafsall eklendiğinde kat mekanizması gerçekleşmiştir.

Burkulma analizinde gidebildiği yere kadar kapasite eğrisi çizdirilirse (Şekil 9.24)



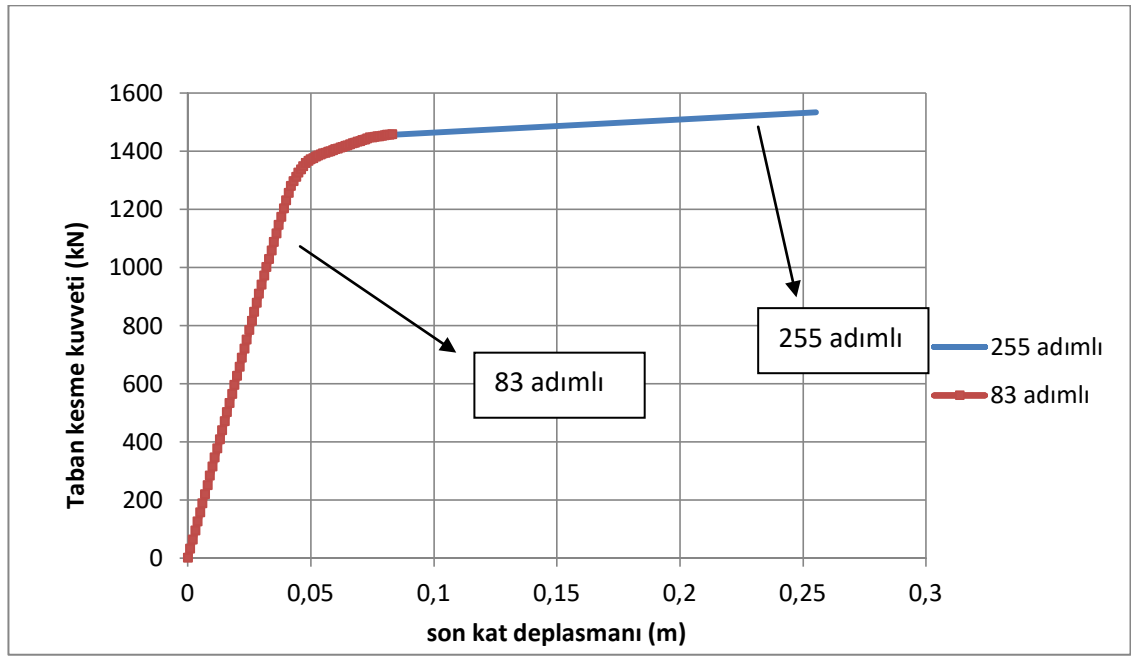
Şekil 9.24. 4 m Genişliğinde 1 Kat Yükseklikli Perdeli Sistemde Burkulma Analizinde Gidebildiği Yere Kadar Sistemin –X ve +X Yönündeki Kapasite Eğrileri

Mafsall sayısının artmasıyla burkulma yük faktörünün düştüğü Şekil 9.25 teki grafikten de görülebilir.



Şekil 9.25. 4 m Genişliğinde 1 Kat Yükseklikli Perdede Mafsal Sayısı- Burkulma Yükü İlişkisi

Deprem kuvvetleri +X yönünde olduğunda Yatay Yük Artımı Analizi ile Burkulma analizinin birleştirilmesi:



Şekil 9.26. 4 m Genişlikli 1 Kat Yüksekliğindeki Perdeli Sistemde Statik İtme Analizindeki Göçme İle Burkulma Analizindeki Göçme Durumlarına Ait Kapasite Eğrileri

Yatay Yük Artımı Analizinde sistemde 11 mafsalin oluşması 83. adımda gerçekleşmiştir. O halde mevcut sistemin 255. adımında 26H kesitinin kırıldığı yani dönme kapasitesinin sonuna geldiği ancak daha önce 83. adımda sistemin mekanizma durumuna geçtiği gözlenmektedir. Buna göre sistemin limit yüküne ulaşmadan önce göçme yüküne ulaştığı görülmektedir. Yatay yük artımı analizindeki göçme adım numarası ile burkulmadan dolayı göçme adım numaralarına ait kapasite eğrileri karşılaştırmalı olarak Şekil 9.26 da verilmiştir.

Binadaki perde yüksekliğine ve deprem kuvvetlerinin yön değiştirmesine bağlı olarak plastik mafsal oluşma yerleri ve oluşma sırası değişmektedir. Bunun burkulma yük parametresi üzerine etkileri bulunmaktadır.

Sadece üç açıklıklı ve üç katlı olan basit sistemde gözlenen bu farklılık çok katlı ve çok açıklıklı sistemler için de incelenmesi uygun olacaktır.

10. SONUÇLAR

Bu çalışmada yükseklik boyunca düzensizlikler bulunduran betonarme çerçeve bir yapının deprem yükleri altında doğrusal olmayan davranışı ve oluşan plastik mafsallar sonucunda burkulma güvenliğindeki değişim incelenmiş ve şu sonuçlara ulaşılmıştır.

1) Sabit düşey yükler etkisindeki düzlem çerçeve sisteminin artan yatay yükler altındaki doğrusal olmayan davranışı, simetri özellikleri kaybolunca, yatay yüklemenin yönüne bağlı olarak değişmektedir. Yani deprem kuvvetleri yön değiştirdiğinde plastikleşme düzeni ve burkulmaya karşı güvenliği değişmektedir.

2) Yapıdaki mafsallık sayısı arttıkça titreşim ve burkulma karakteristikleri yani titreşim modu, periyodu ve burkulma yük parametresi değişmektedir. Birinci titreşim modu ve periyodu diğerleri arasında en çok etkilenen olmaktadır.

3) Yatay yük artımı yöntemi uygulanırken erken göçme ortaya çıkabilmekte ve burkulmaya karşı güvenlik azalmaktadır.

4) Burkulma yük parametresinin hesaplanmasında, sisteme etkileyen yatay yüklerin sonuçlar üzerinde etkili olmadığı ancak artan mafsallık sayılarının ve yerlerinin burkulma yük parametresini önemli ölçüde değiştirerek düşürdüğü gözlenmiştir.

5) Plastik mafsallık oluşan kesitlere hiç moment taşımayan mafsallık koymak yerine, yaklaşık olarak plastik mafsallık boyu kadarki kısımda doğrusal davranmayan sanal elemanın o aşamadaki eğilme rijitliği azaltılarak işlemler yinelenildiğinde;

a) 1. mod titreşim periyodu üzerinde: Varsayılan plastik mafsallık boyunun etkisinin yok sayılabileceği görülmektedir.

b) Burkulma yük parametresi üzerinde: Moment taşımayan mafsallık bulunduğu durumda burkulma yük faktörü, özellikle mafsallık artışıyla çok hızlı bir şekilde azalırken; plastik mafsallık boyu kadarki kısımda eğilme rijitliği azaltılmış sanal çubuklar kullanılması durumunda ise burkulma yük faktöründeki azalma hızının yavaşladığı, plastik mafsallık boyunun kısalmasıyla burkulma yükündeki azalmanın daha da yavaşladığı gözlenmektedir.

6) Tüm çubukların eğilme rijitlikleri; başlangıç rijitlikleri alınarak, 2007 Deprem Yönetmeliğinde öngörülen çatlama kesit eğilme rijitlik değerleriyle çalışarak ve her

kesitin moment-eğrilik grafiklerinden elde edilmiş çatlama kesit rijitliği alınarak üç farklı durum için serbest titreşim parametreleri ve burkulma yükleri bulunmuş ve

a) 1. mod titreşim periyodunun en küçük çıktığı durum başlangıç rijitlikleriyle yapılan çalışmada olurken, en büyük çıktığı durum ise moment-eğrilik grafiklerinden alınan rijitliklerin alındığı durumda gerçekleşmiştir.

b) Burkulma yük parametresinin en büyük çıktığı durum başlangıç rijitlikleriyle yapılan çalışmada olurken, en küçük çıktığı durum ise moment- eğrilik grafiklerinden alınan yükleme durumunda gerçekleşmiştir. Buna göre yönetmelik öngörülerini yerine moment-eğrilik bağıntılarından yararlanılarak yola çıkılması daha gerçekçi görünmektedir.

7) Sistem davranışını değiştiren yapıya perde eklenmesi konusunda, sonlu eleman sayısının yeterince artırılması ile buna eşdeğer çubuk elemanlarla sistemler oluşturulduğunda titreşim periyotları birbirine çok yakın çıkmakta, perdelerin eğilme ve kayma şekil değiştirmeleri yapabilen çubuklar olarak tanımlanmaları, sisteme rijit sanal çubuklarla entegre edilmeleri ve bu yolla yapısal modelin basitleştirilebileceği gözlenmektedir.

8) Sisteme perde eklenmesiyle, beklendiği gibi burkulma yük parametreleri büyümekte, sistemin göçme biçimi değişmekte, düğüm noktası mekanizma durumları ya da bölgesel kırılmalar veya limit yüklere ulaşmadan burkulma nedeniyle göçmeler gözlenmektedir.

9) Sisteme perde eklenmesiyle yapısal simetri bozulmakta, yatay yüklerin sisteme etkime yönleri yapı davranışı üzerinde değişikliklere neden olmaktadır.

10) Ulaşılan sonuçların genellenebilmesi için çok katlı, çok açıklıklı betonarme ve özellikle çelik çerçevelerde benzer çalışmaların sürdürülmesini gerektirmektedir.

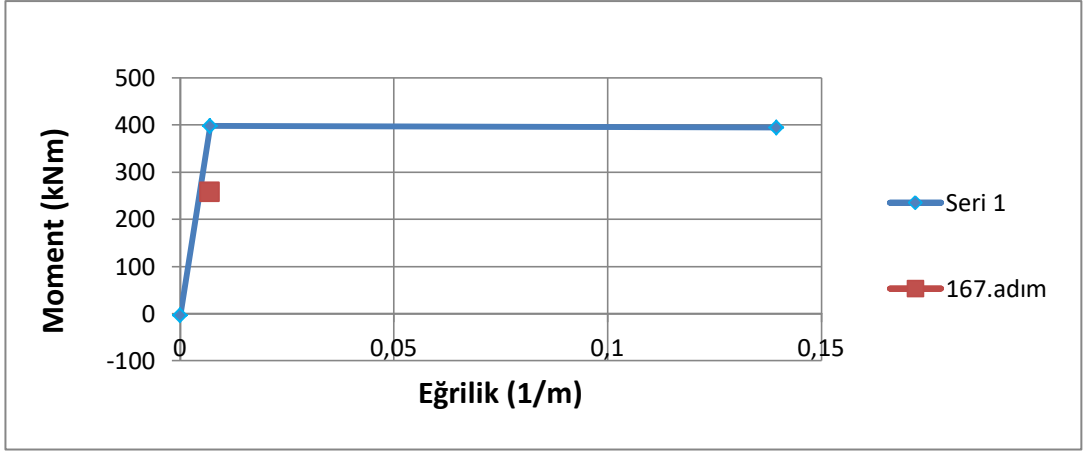
KAYNAKÇA

- [1] Canbay, Erdem, Uğur Ersoy, Güney Özcebe, Haluk Sucuoğlu ve S. Tanvir Wasti. Binalar İçin Deprem Mühendisliği Temel İlkeler. Ankara: Bizim Büro, 2008.
- [2] Celep, Zekai. Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış ve Çözümleme. İstanbul: Beta, 2017.
- [3] Doğangün, Adem. Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı. İstanbul: Birsen, 2009.
- [4] Karadoğan, Faruk vd., Yapı Mühendisliğine Giriş Yapısal Çözümleme Cilt 1, 1. baskı, 3 cilt. İstanbul: Birsen, 2011.
- [5] Karadoğan, Faruk vd., Yapı Mühendisliğine Giriş- Yapısal Çözümleme- Cilt 2- Hiperstatik Sistemler- Kuvvet Yöntemi Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Davranış, 1. baskı, 3 cilt. İstanbul: Birsen, 2015.
- [6] Karadoğan, Faruk vd., Yapı Mühendisliğine Giriş- Yapısal Çözümleme- Cilt 3- Hiperstatik Sistemler- Yerdeğiştirme Yöntemleri Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Davranış, 1. baskı, 3 cilt. İstanbul: Birsen, 2016.
- [7] Deprem Yönetmeliği, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. Ankara: Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 2007.
- [8] Computers and Structures, Inc., 2017. SAP 2000 Integrated Solution for Structural Analysis and Design. Berkeley, California.
- [9] Xtract, 2007, Cross- Sectional X Structural Analysis of Components..
- [10] Xenidis, Hariton, Triantafyllos Makarios. "Critical Buckling Load of Multi-Story R/C Buildings." *13th World Conference on Earthquake Engineering Canada 2004*. August 2004. 20 June 2019 <www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/13_807.pdf>.
- [11] Goudar, Sudha S, R.G.Talasadar. "Buckling Analysis of RC Framed Structures With and Without Bracings." *International Research Journal of Engineering and Technology* 04. 10. (2017): 5pp. 20 June 2019 <www.irjet.net>.

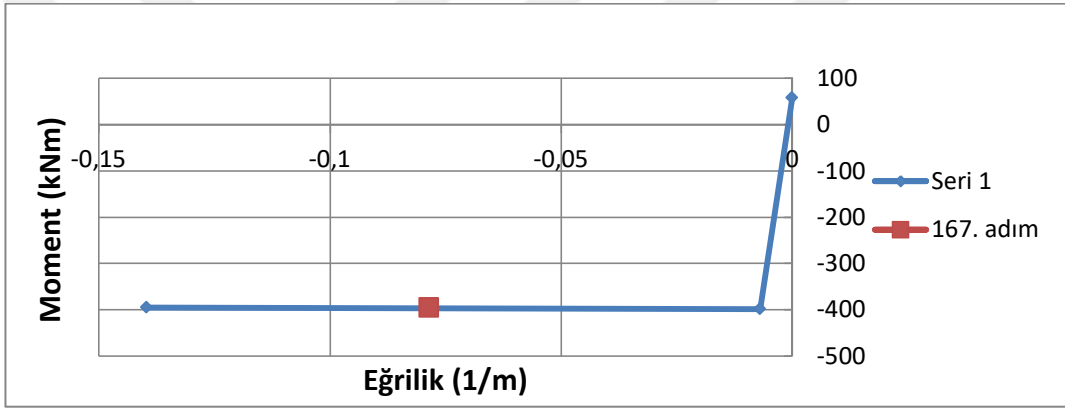
EKLER

TÜM KESİTLERDEKİ PLASTİK MAFSALLARIN MOMENT EĞRİLİK GRAFİKLERİ

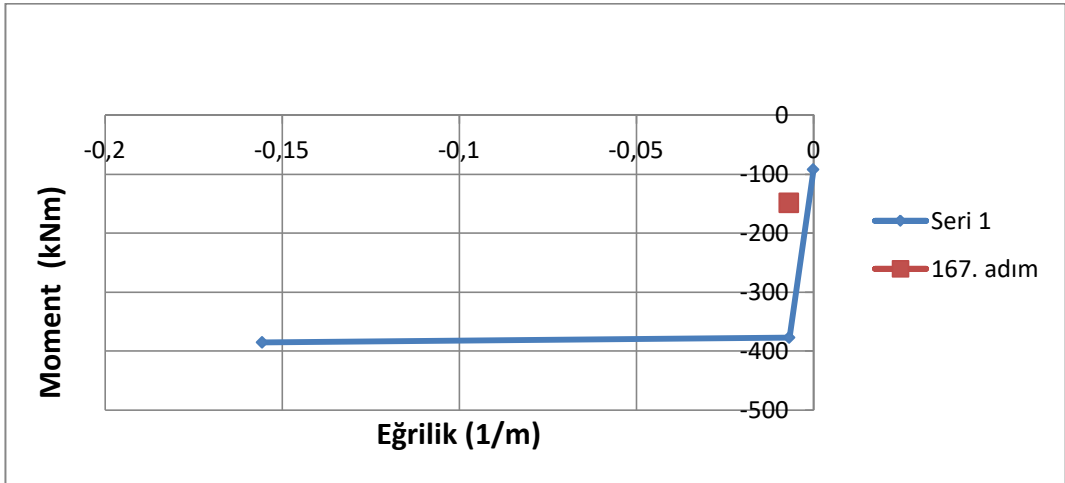




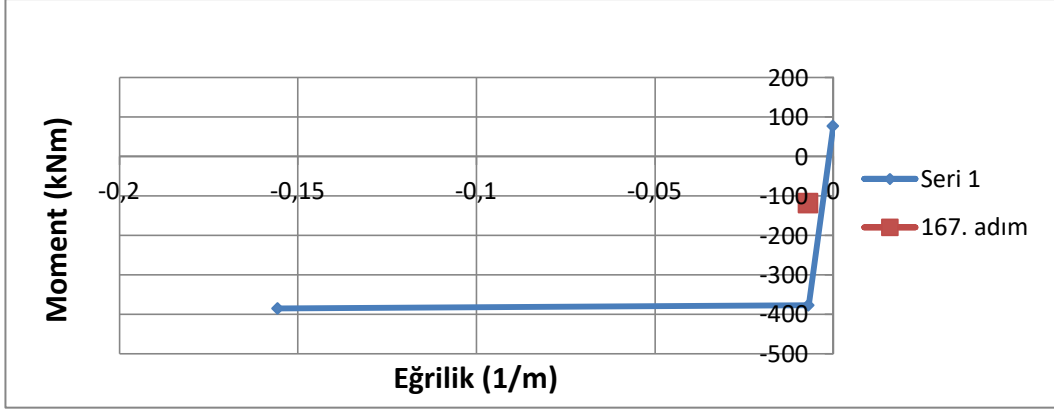
EK A 18H Nolu Plastik Mafsalsın Moment-Eğrilik Grafiği



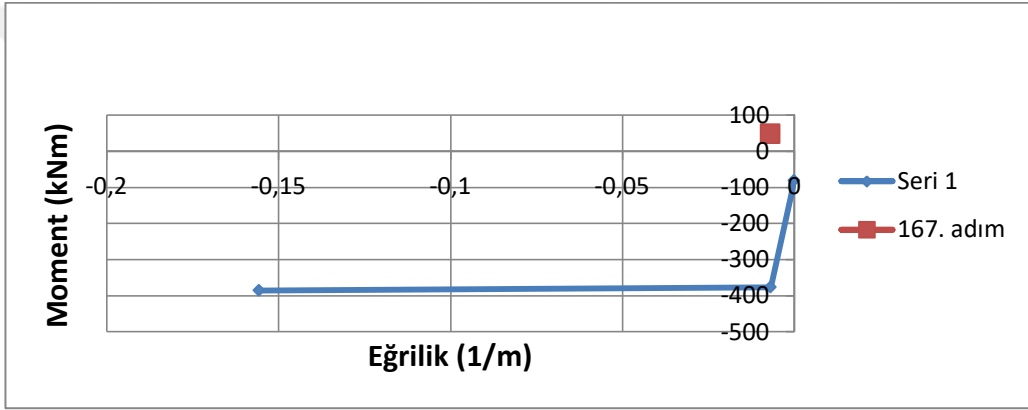
EK B 19H Nolu Plastik Mafsalsın Moment-Eğrilik Grafiği



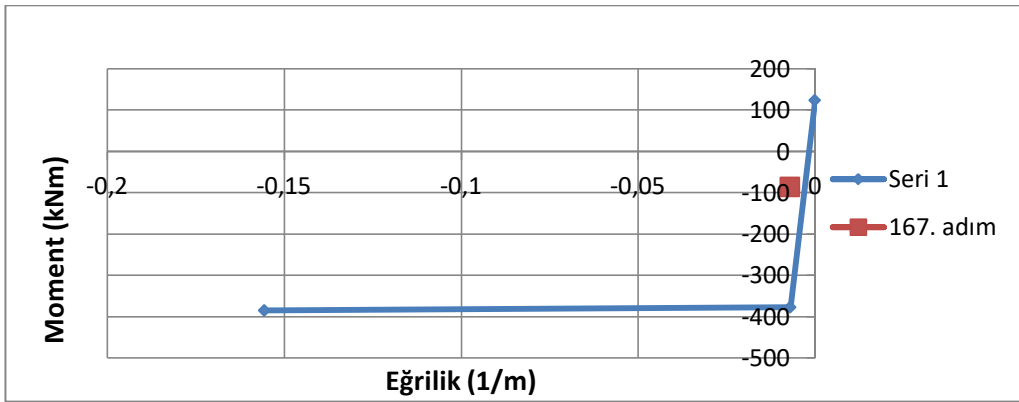
EK C 20H Nolu Plastik Mafsalsın Moment-Eğrilik Grafiği



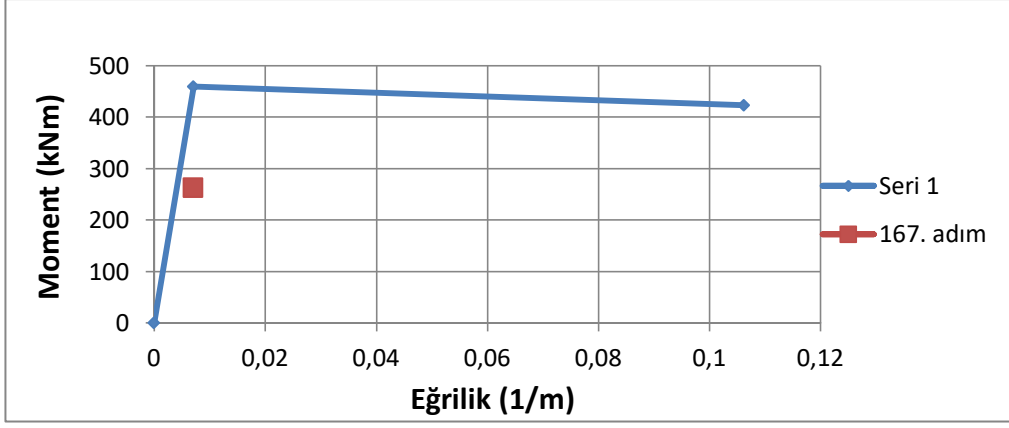
EK Ç 21H Nolu Plastik Mafsalın Moment-Eğrilik Grafiği



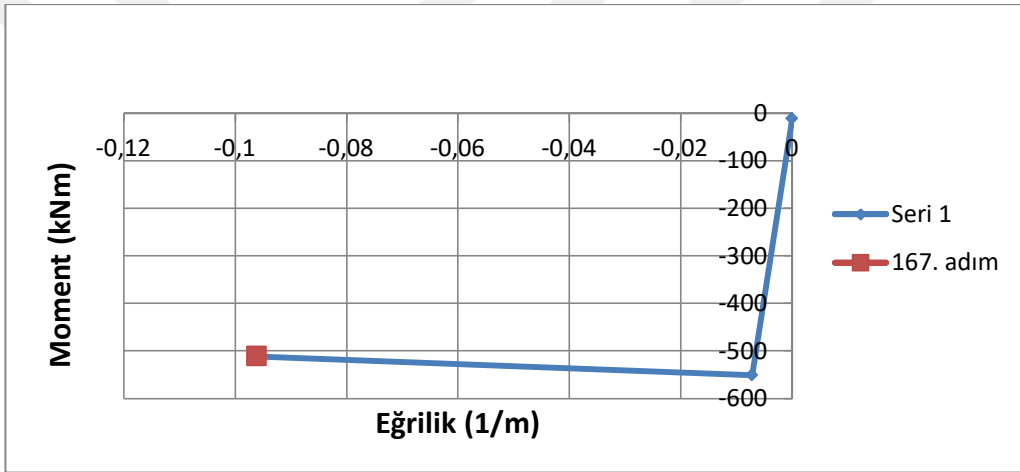
EK D 22H Nolu Plastik Mafsalın Moment-Eğrilik Grafiği



EK E 23H Nolu Plastik Mafsalın Moment-Eğrilik Grafiği

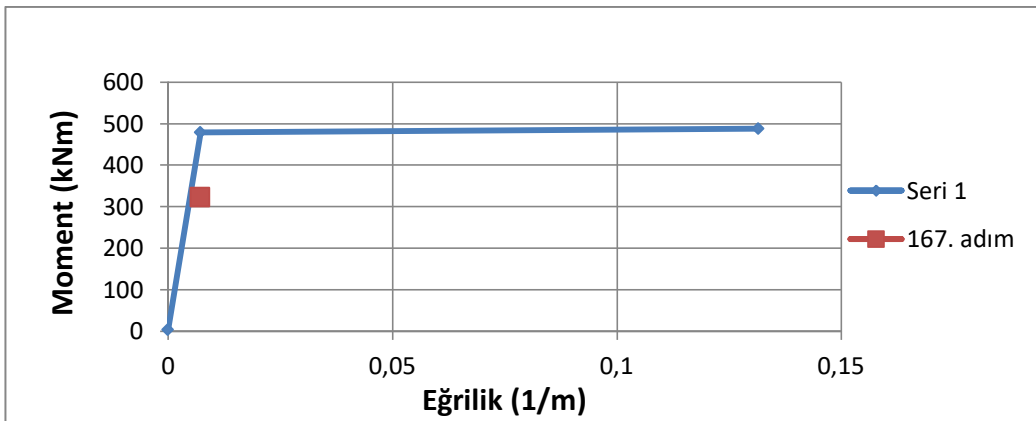


EK F 24H Nolu Plastik Mafsalsın Moment-Eğrilik Grafiği

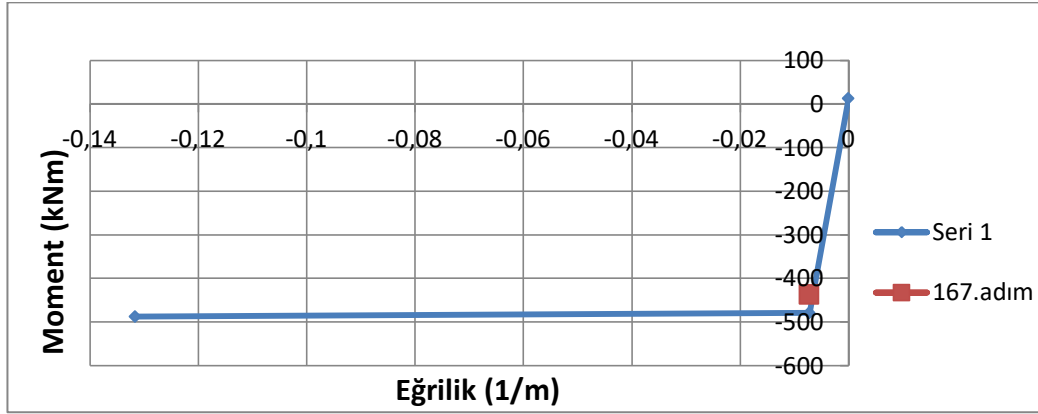


EK G 25H Nolu Plastik Mafsalsın Moment-Eğrilik Grafiği

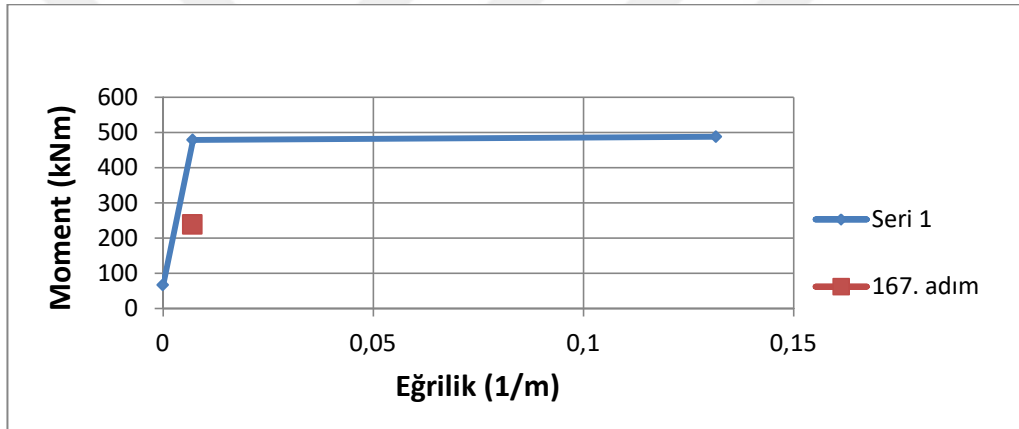
(Bölgesel kırılmanın gerçekleştiği kesit)



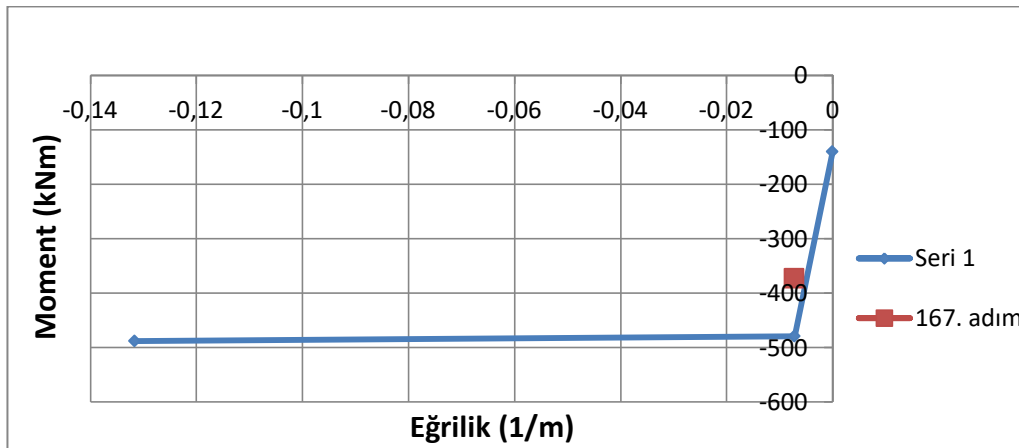
EK H 26H Nolu Plastik Mafsalsın Moment-Eğrilik Grafiği



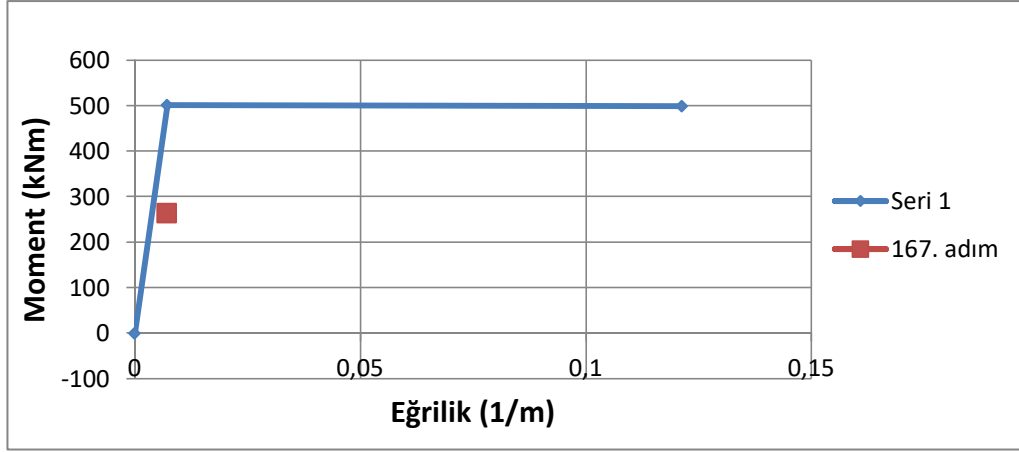
EK I 27H Nolu Plastik Mafsalın Moment-Eğrilik Grafiği



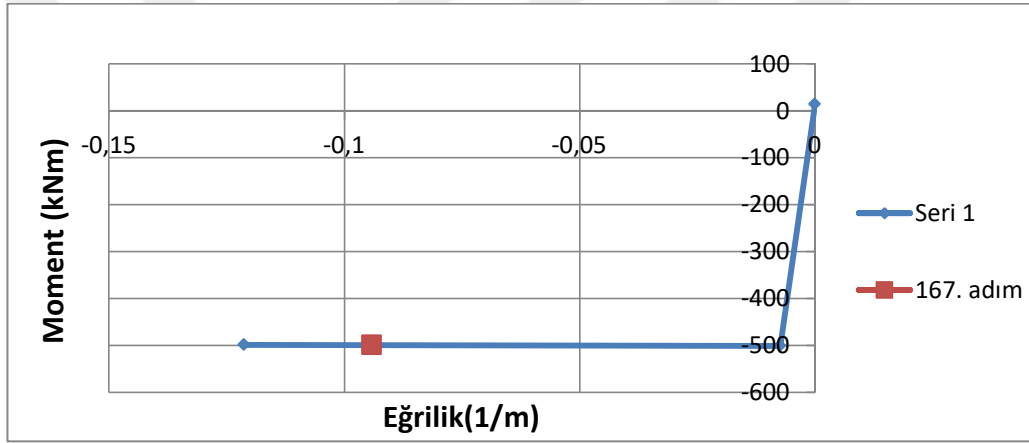
EK İ 28H Nolu Plastik Mafsalın Moment-Eğrilik Grafiği



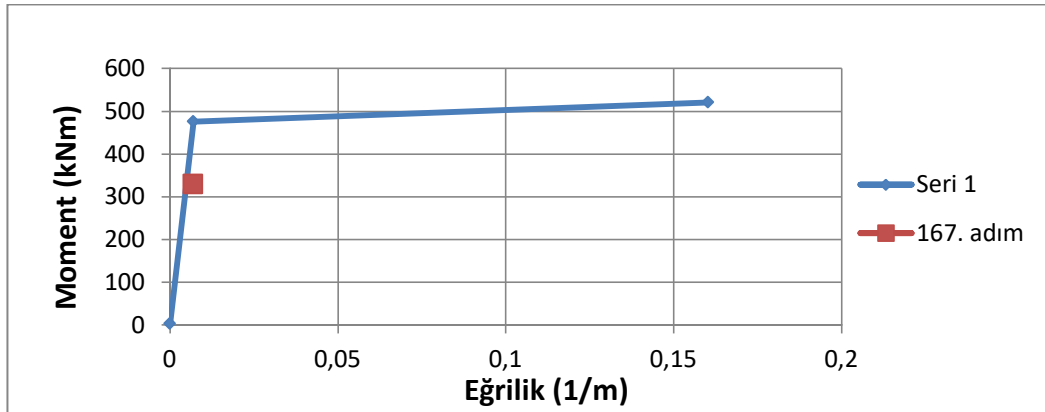
EK J 29H Nolu Plastik Mafsalın Moment-Eğrilik Grafiği



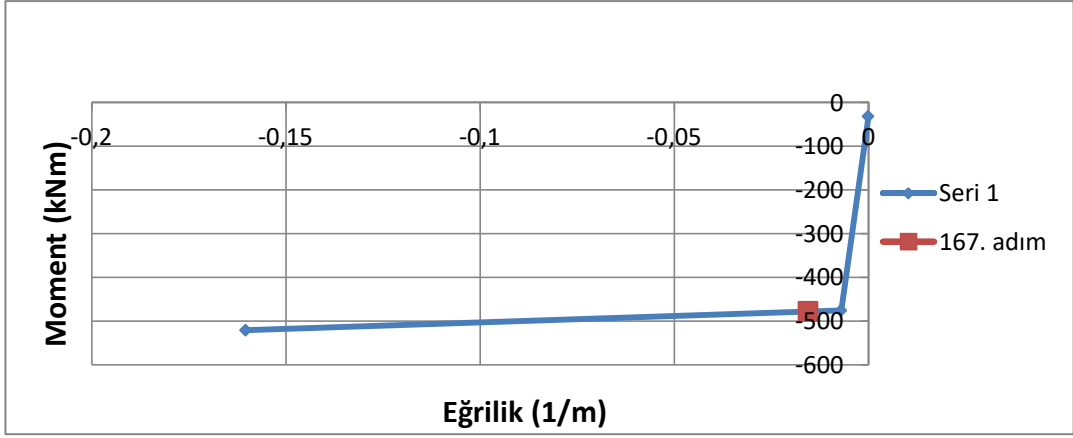
EK K 30H Nolu Plastik Mafsalın Moment-Eğrilik Grafiği



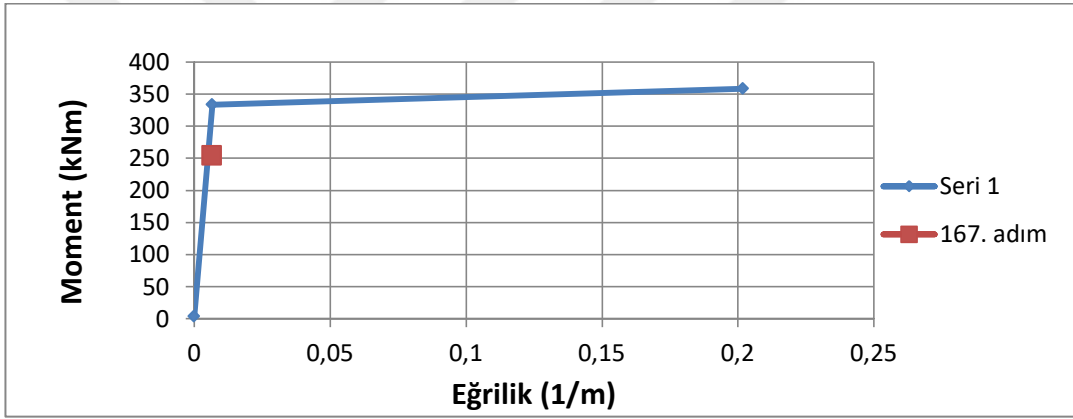
EK L 31H Nolu Plastik Mafsalın Moment-Eğrilik Grafiği



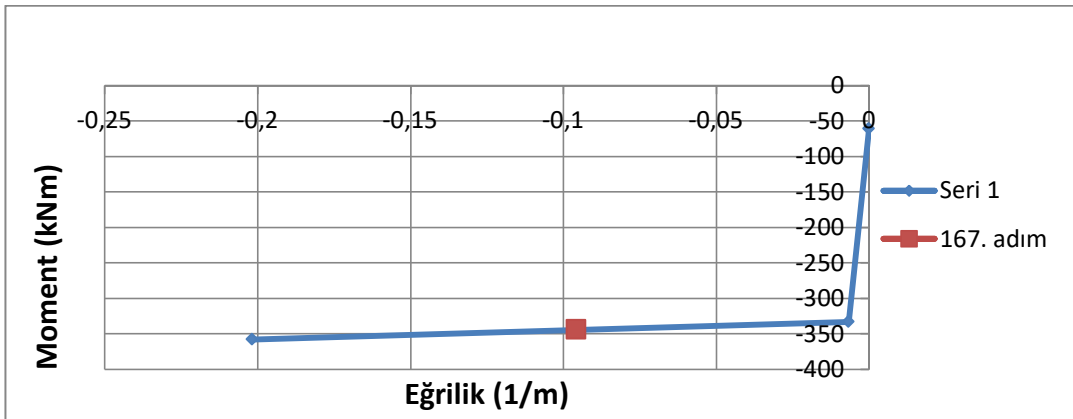
EK M 32H Nolu Plastik Mafsalın Moment-Eğrilik Grafiği



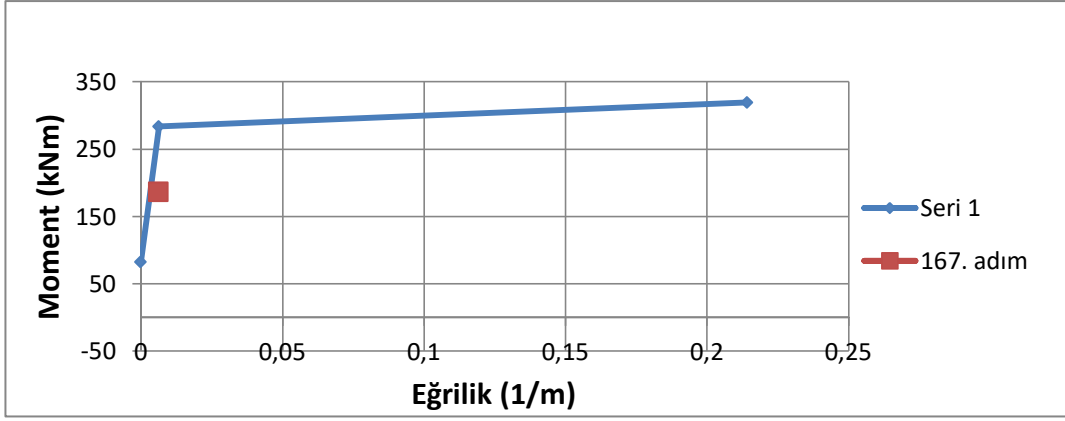
EK N 33H Nolu Plastik Mafsalın Moment-Eğrilik Grafiği



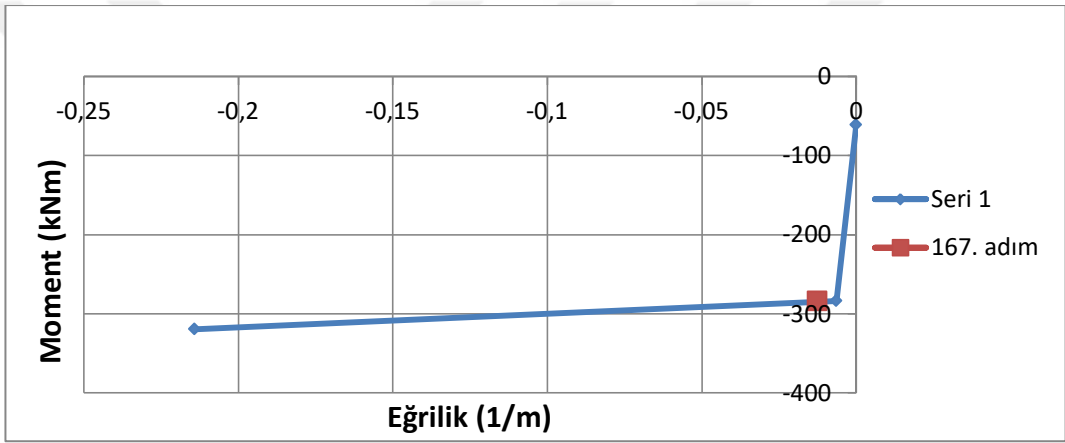
EK O 34H Nolu Plastik Mafsalın Moment-Eğrilik Grafiği



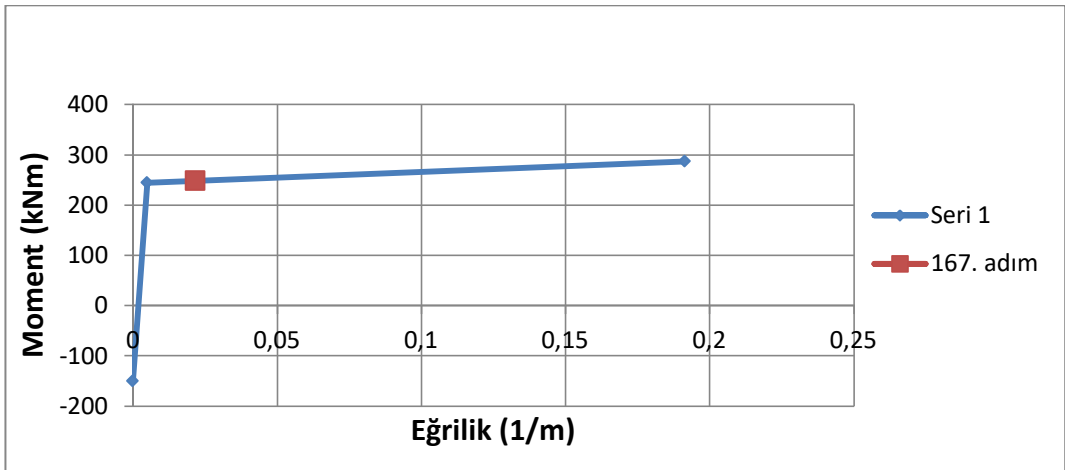
EK P 35H Nolu Plastik Mafsalın Moment-Eğrilik Grafiği



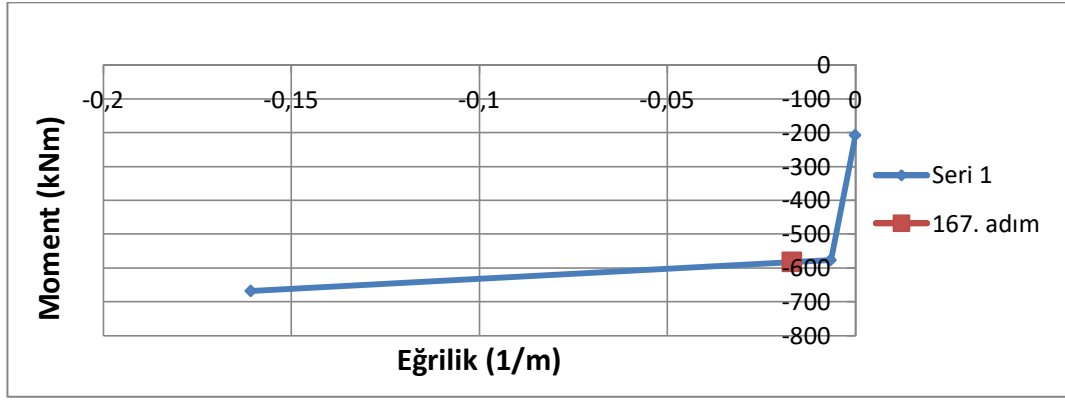
EK R 36H Nolu Plastik Mafsalı Moment-Eğrilik Grafiği



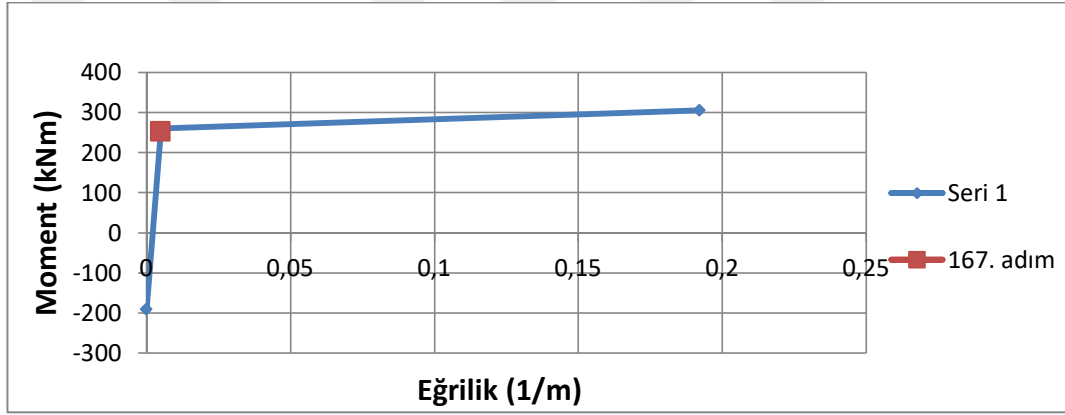
EK S 37H Nolu Plastik Mafsalı Moment-Eğrilik Grafiği



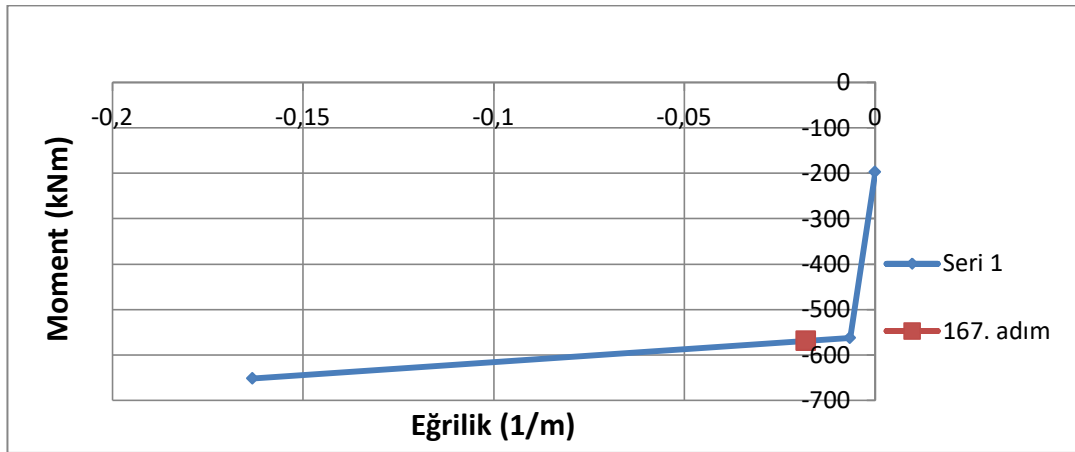
EK T 38H Nolu Plastik Mafsalı Moment-Eğrilik Grafiği



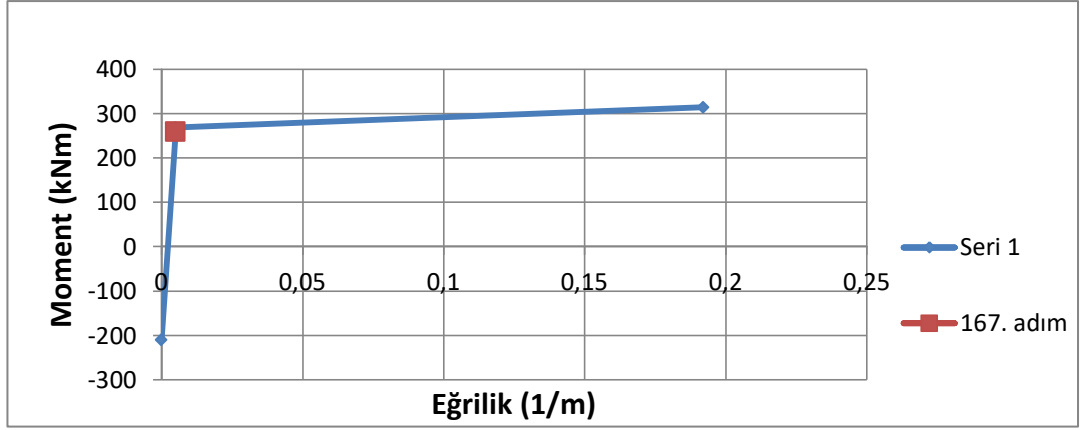
EK U 39H Nolu Plastik Mafsalın Moment-Eğrilik Grafiği



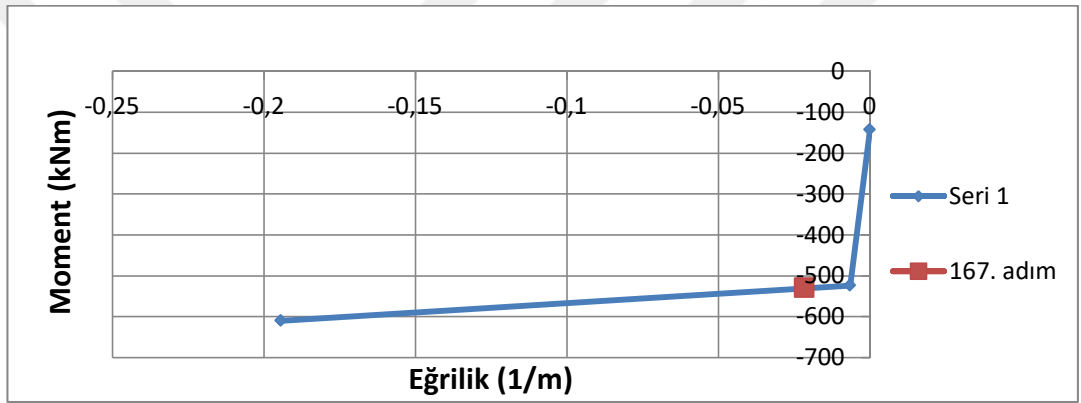
EK V 40H Nolu Plastik Mafsalın Moment-Eğrilik Grafiği



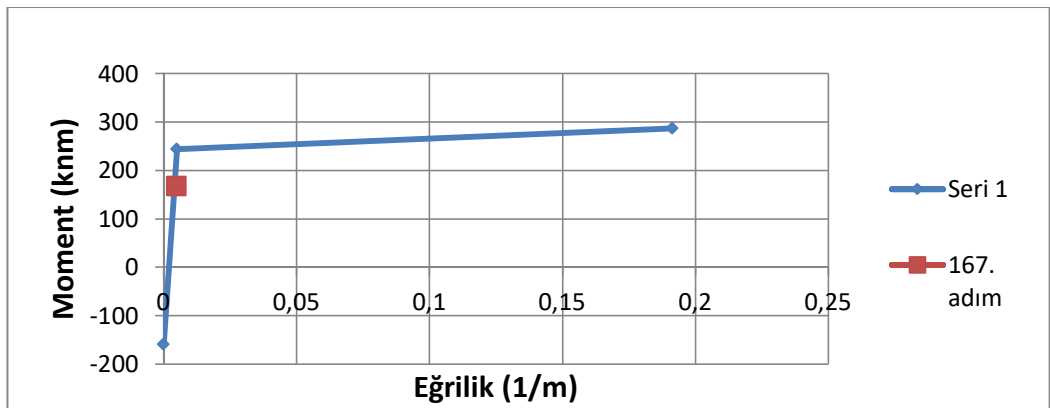
EK Y 41H Nolu Plastik Mafsalın Moment-Eğrilik Grafiği



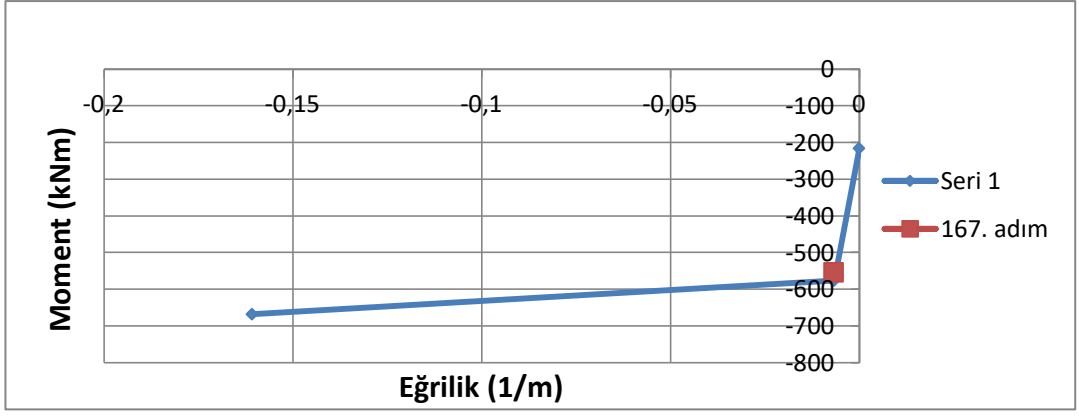
EK Z 42H Nolu Plastik Mafsalın Moment-Eğrilik Grafiği



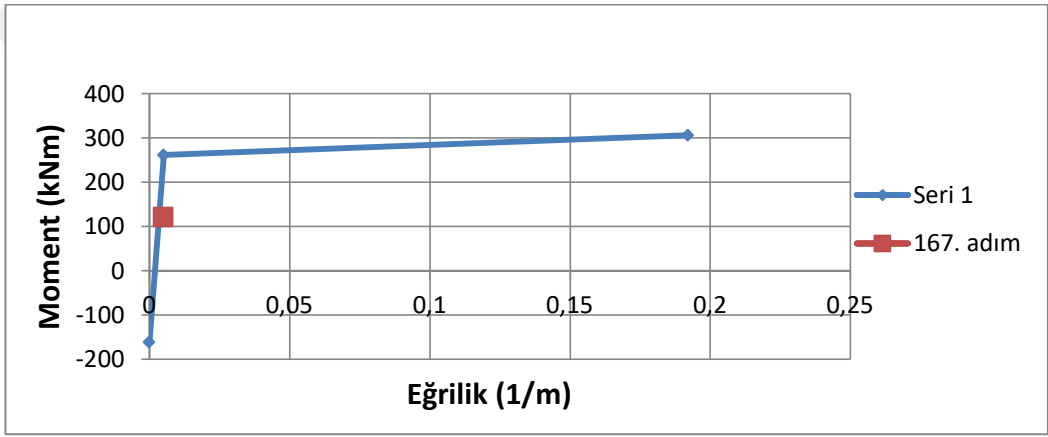
EK AA 43H Nolu Plastik Mafsalın Moment-Eğrilik Grafiği



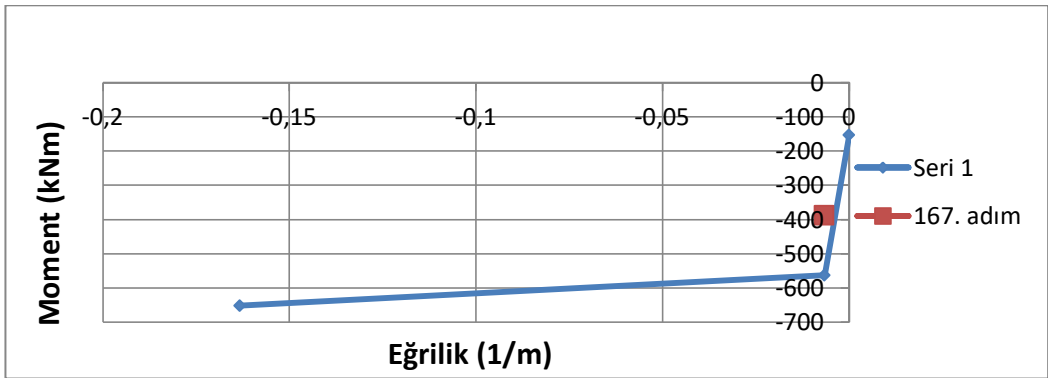
EK AB 44H Nolu Plastik Mafsalın Moment-Eğrilik Grafiği



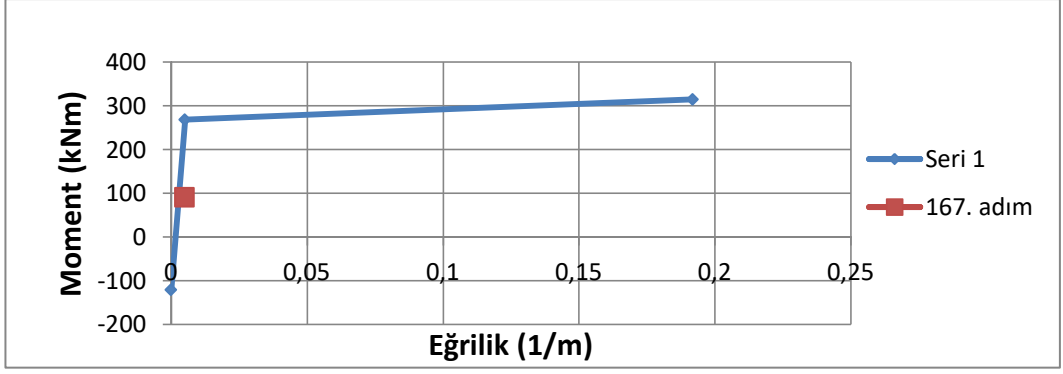
EK AC 45H Nolu Plastik Mafsalın Moment-Eğrilik Grafiği



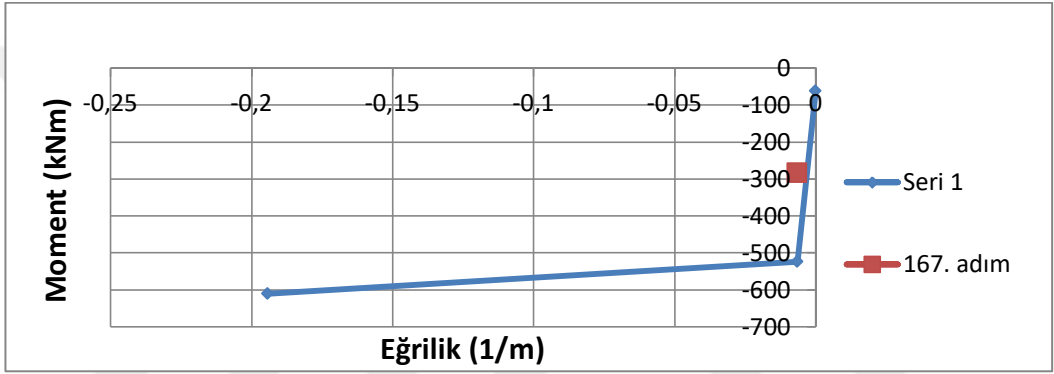
EK AD 46H Nolu Plastik Mafsalın Moment-Eğrilik Grafiği



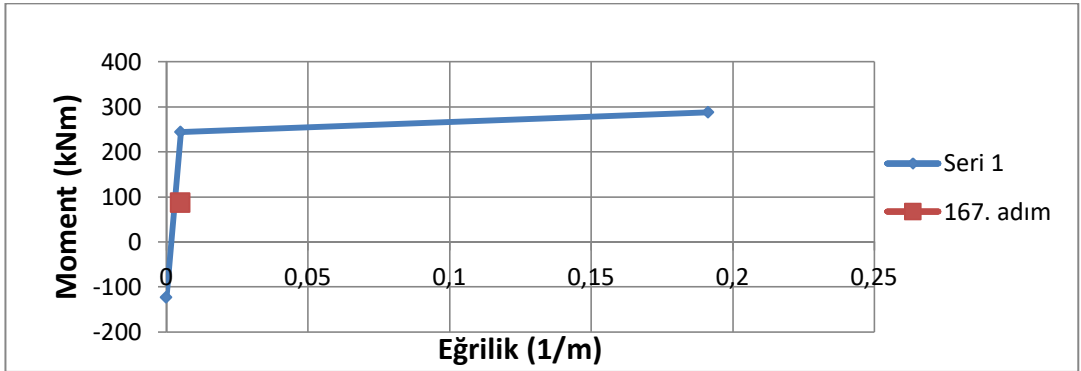
EK AE 47H Nolu Plastik Mafsalın Moment-Eğrilik Grafiği



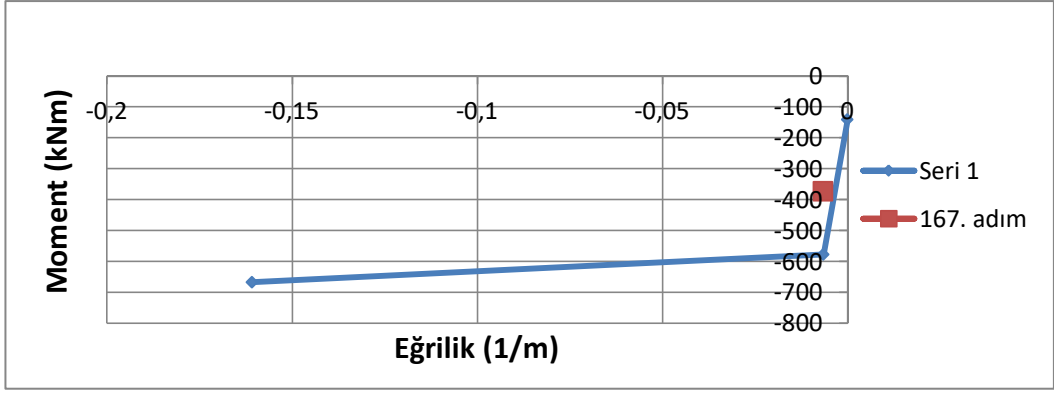
EK AF 48H Nolu Plastik Mafsalın Moment-Eğrilik Grafiği



EK AG 49H Nolu Plastik Mafsalın Moment-Eğrilik Grafiği



EK AH 50H Nolu Plastik Mafsalın Moment-Eğrilik Grafiği



EK AI 51H Nolu Plastik Mafsalın Moment-Egrilik Grafiği

