**T.C.**

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

# BETONARME YAPILARDA PERDE YERLEŞİMİNİN DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞA ETKİSİ

**Samet ERDEN**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Programı

Danışman

Prof. Dr. Bilge DORAN

Mayıs, 2024

**T.C.**

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

# BETONARME YAPILARDA PERDE YERLEŞİMİNİN DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞA ETKİSİ

Samet ERDEN tarafından hazırlanan tez çalışması 09.05.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Programı YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Bilge DORAN
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

**Jüri Üyeleri**

Prof. Dr. Bilge DORAN, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Sema ALACALI, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Bülent AKBAŞ, Üye
Gebze Teknik Üniversitesi _____

Danışmanım Prof. Dr. Bilge DORAN sorumluluğunda tarafımca hazırlanan "Betonarme Yapılarda Perde Yerleşiminin Doğrusal Olmayan Davranışa Etkisi" başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Samet ERDEN

İmza

*Eşime*

*ve*

*Aileme*

# TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimimi tamamlamanın mutluluğunu yaşıyorum. Bu tez çalışması süresince, bilgi ve deneyimlerini aktaran, desteğini her zaman hissettiğim, fikirlerimi ve isteklerimi göz önünde bulundurarak bana lisans ve listansüstü eğitimim süresince destek veren, sabır ve anlayışını hiç esirgemeyen danışmanım Sayın Prof. Dr. Bilge Doran'a,

Tez çalışmam süresince anlayışını, desteğini ve ilgisini esirgemeyen Kübra Tıraş, Birsen Tıraş ve Dr. Süleyman Tıraş'a, Arup Mühendislik ailesine, İnş. Yük. Müh. Selçuk Cebeci'ye, Sta4Cad yazılımını lisanslı olarak kullanmamı sağlayan Sta Bilgisayar Mühendislik'e,

Hayatım boyunca desteklerini her zaman hissettiğim sevgili anneme, babama, kardeşlerim Betül ve Burak'a,

Anlayışını ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili eşim Buşra'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Samet ERDEN

# İÇİNDEKİLER

**SİMGE LİSTESİ** viii
**KISALTMA LİSTESİ** xi
**ŞEKİL LİSTESİ** xii
**TABLO LİSTESİ** xvi
**ÖZET** xvii
**ABSTRACT** xix
**1 GİRİŞ** 1
1.1 Literatür Araştırması 1
1.2 Tezin Amacı 6
1.3 Hipotez 6
**2 BETONARME PERDELİ ÇERÇEVELİ YAPILARIN DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZİ** 7
2.1 Malzeme Modelleri 7
2.1.1 Sargılı ve Sargısız Beton Modelleri 7
2.1.2 Donatı Çeliği Modeli 8
2.2 Plastik Mafsal Hipotezi 9
2.3 Deprem Etkisi Altında Yapıların Performansı 12
2.3.1 Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları 13
2.3.2 Yapı Elemanlarında Hasar Bölgeleri 13
2.3.3 Bina Performans Düzeyleri 13
2.3.4 Bina Performans Hedefleri 14
2.3.5 Betonarme Perdeli Çerçeve Sistem Elemanları İçin İzin Verilen Şekil Değiştirme Sınırları 14
2.4 Yapıların Performanslarının Doğrusal Olmayan Sabit Tek Modlu İtme Yöntemiyle Belirlenmesi 15
**3 SAYISAL MODELLEME** 19
3.1 Betonarme Perdeli Çerçeveli Yapı Örnekleri 19
3.2 Tasarımda Göz Önüne Alınan Yükler ve Yük Birleşimleri 23
3.2.1 Sabit Dış Yükler ve Hareketli Yükler 23
3.2.2 Deprem Yükleri ve Dinamik Parametreler 23
3.2.3 Yük Birleşimleri 25
3.3 Doğrusal Elastik Modelleme ve Tasarım 25
3.4 Yapı Elemanlarının Doğrusal Olmayan Davranışının Modellenmesi 28
3.4.1 Kiriş Elemanların Modellenmesi 28

3.4.2 Kolon Elemanların Modellenmesi ..... 29
3.4.3 Betonarme Perde Elemanların Modellenmesi ..... 29
3.5 Plastik Mafsal Tanımları ..... 30
3.5.1 Yapı Malzemelerinin Doğrusal Olmayan Tanımları ..... 30
3.5.2 Kirişlerin Plastik Mafsal Tanımları ..... 33
3.5.3 Kolonların Plastik Mafsal Tanımları ..... 34
3.5.4 Perdelerin Plastik Mafsal Tanımları ..... 37
3.6 Hedef Yer Değiştirme İstemlerinin Belirlenmesi ..... 39
3.7 Bilineer Eğrilerin Oluşturulması ve Süneklik Katsayılarının Hesabı ..... 40
3.8 6-Katlı Örnek Yapıların Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması ..... 41
3.8.1 Hedef Yer Değiştirme İstemleri ..... 41
3.8.2 Taban Kesme Kuvvetleri ..... 42
3.8.3 Modal Analiz Sonuçları ..... 43
3.8.4 İtme Eğrileri ..... 43
3.8.5 Bilineer Eğriler ve Süneklik Katsayıları ..... 45
3.8.6 Plastik Şekil Değiştirmeler ve Kesit Hasar Bölgeleri ..... 49
3.9 8-Katlı Örnek Yapıların Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması ..... 51
3.9.1 Hedef Yer Değiştirme İstemleri ..... 52
3.9.2 Taban Kesme Kuvvetleri ..... 52
3.9.3 Modal Analiz Sonuçları ..... 53
3.9.4 İtme Eğrileri ..... 54
3.9.5 Bilineer Eğriler ve Süneklik Katsayıları ..... 55
3.9.6 Plastik Şekil Değiştirmeler ve Kesit Hasar Bölgeleri ..... 58
3.10 10-Katlı Örnek Yapıların Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması ..... 61
3.10.1 Hedef Yer Değiştirme İstemleri ..... 62
3.10.2 Taban Kesme Kuvvetleri ..... 62
3.10.3 Modal Analiz Sonuçları ..... 63
3.10.4 İtme Eğrileri ..... 64
3.10.5 Bilineer Eğriler ve Süneklik Katsayıları ..... 65
3.10.6 Plastik Şekil Değiştirmeler ve Kesit Hasar Bölgeleri ..... 68
**4 SONUÇLAR VE ÖNERİLER** **72**
**KAYNAKÇA** **75**
**EK-A** **77**

**EK-B** **78**
**TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR** **79**

# SİMGE LİSTESİ

| | |
|---|---|
| $a_1$ | İtme Adımı Sonunda Elde Edilen Birinci Moda Ait Modal İvme |
| $a_1^{(X,k)}$ | X Deprem Doğrultusu İçin k'ıncı İtme Adımında Birinci Moda Ait Modal Tek Serbestlik Dereceli Sistem'in Modal Sözde-İvmesi [$m/s^2$] |
| $\varepsilon_c$ | Beton Basınç Birim Şekil Değiştirmesi |
| $\varepsilon_{cc}$ | Sargılı Betonun Taşıyabileceği En Büyük Basınç Gerilmesi Anındaki Şekil Değiştirme |
| $\varepsilon_{co}$ | Sargısız Betonun Taşıyabileceği En Büyük Basınç Gerilmesi Anındaki Şekil Değiştirme |
| $\varepsilon_{sh}$ | Donatı Çeliğinin Pekleşme Başlangıcındaki Birim Şekil Değiştirmesi |
| $\varepsilon_s$ | Donatı Çeliğinin Pekleşme Başlangıcındaki Birim Şekil Değiştirmesi |
| $\varepsilon_{su}$ | Donatı Çeliğinin Kopma Birim Şekil Değiştirmesi |
| $\varepsilon_{sy}$ | Donatı Çeliğinin Akma Birim Şekil Değiştirmesi |
| $\varepsilon_{cu}$ | Sargılı Betondaki Maksimum Basınç Birim Şekil Değiştirmesi |
| $f_c$ | Sargılı Betonda Beton Basınç Gerilmesi |
| $f_{cc}$ | Sargılı Beton Dayanımı |
| $f_{co}$ | Sargısız Betonun Basınç Dayanımı |
| $f_s$ | Donatı Çeliğindeki Gerilme |
| $f_{sy}$ | Donatı Çeliğinin Akma Dayanımı |
| $f_{su}$ | Donatı Çeliğinin Kopma Dayanımı |
| $C_R$ | Spektral Yer Değiştirme Oranı |
| D | Dayanım Fazlalığı Katsayısı |
| d | Kesitin Karakteristik Yüksekliği |
| $d_b$ | Boyuna Donatı Çapı (Çekmede Ortalama) [m] |
| $d_1$ | Birinci Moda Ait Modal Tek Serbestlik Dereceli Sistem'in Modal Yer Değiştirmesi [m] |
| $d_1^{(X)k}$ | X Deprem Doğrultusu İçin k'ıncı İtme Adımında Birinci Moda Ait Modal Tek Serbestlik Dereceli Sistem'in Modal Yer Değiştirmesi [m] |
| $d_{1,max}^{(X)}$ | X Deprem Doğrultusu İçin Modal Tek Serbestlik Dereceli Sistemin En Büyük Yer Değiştirmesi [m] |
| EI | Eğilme Rijitliği |
| $E_x$,$E_y$ | Deprem Yükleri |
| $F_S$ | Kısa Periyot Bölgesi İçin Yerel Zemin Etki Katsayısı |

| | |
|---|---|
| $F_1$ | 1.0 Saniye Periyot İçin Yerel Zemin Etki Katsayısı |
| G | Sabit Yük Etkisi |
| $L_p$ | Plastik Mafsal Boyu |
| $L_S$ | Kesme Açıklığı |
| $m_{tx1}^{(X,1)}$ | X Deprem Doğrultusu İçin X Ekseni Doğrultusunda Birinci İtme Adımında Belirlenen ve İtme Hesabı Boyunca Hiç Değiştirilmeyen Sabit Mod Şekli'ne Göre Hesaplanan Taban Kesme Kuvveti Modal Etkin Kütlesi [t] |
| M | Eğilme Momenti |
| $M_p$ | En Büyük Eğilme Momenti Kapasitesi |
| Q | Hareketli Yükler |
| $R_y$ | Akma Dayanımı Azaltma Katsayısı |
| S | Kar Yükü Etkisi |
| $S_s$ | Kısa Periyot Harita Spektral İvme Katsayısı |
| $S_1$ | 1.0 Saniye Periyot İçin Harita Spektral İvme Katsayısı |
| $S_{DS}$ | Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı |
| $S_{D1}$ | 1.0 Saniye Periyot İçin Tasarım Spektral İvme Katsayısı |
| $S_{ae}(T_1)$ | Birinci Doğal Titreşim Periyodu $T_1$'e Karşı Gelen Doğrusal Elastik Spektral İvme [g] |
| $S_{de}(T_1)$ | Birinci Doğal Titreşim Periyodu $T_1$'e Karşı Gelen Doğrusal Elastik Spektral Yer Değiştirme [m] |
| $S_{di}(T_1)$ | Birinci Doğal Titreşim Periyodu $T_1$'e Karşı Gelen Doğrusal Olmayan Spektral Yer Değiştirme [m] |
| $T_B$ | Yatay Elastik Tasarım İvme Spektrumu Köşe Periyodu [s] |
| $T_1$ | Birinci Moda Ait Doğal Titreşim Periyodu [s] |
| $u_{Nx1}^{(X,k)}$ | X Deprem Doğrultusu İçin k'ıncı İtme Adımında N'inci Katta (Binanın Tepesinde) Hesaplanan Yer Değiştirme [m] |
| $V_1$ | Birinci Moda Ait Taban Kesme Kuvveti |
| $V_{x1}$ | X Deprem Doğrultusunda Birinci Moda Ait Taban Kesme Kuvveti |
| $V_{tx1}^{(X,k)}$ | X Deprem Doğrultusu İçin k'ıncı İtme Adımında Hesaplanan Taban Kesme Kuvveti [kN] |
| $\varphi_P$ | Plastik Eğrilik |
| $\varphi_U$ | Toplam Eğrilik |
| $\varphi_Y$ | Akma Eğriliği |
| $\theta_P^{(GÖ)}$ | Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi İçin İzin Verilen Plastik Dönme Sınırı [rad] |
| $\chi_p$ | Kesitin Eğilme Momentine Karşı Gelen Birim Dönme |

| | |
|---|---|
| $\phi_{xN1}$ | Binanın Tepesinde X Deprem Doğrultusunda Birinci Moda Ait Mod Şekli Genliği |
| $\Gamma_1^{(X,1)}$ | X Deprem Doğrultusu İçin Birinci İtme Adımında Belirlenen ve İtme Hesabı Boyunca Hiç Değiştirilmeyen Sabit Mod Şekli'ne Göre Hesaplanan Modal Katkı Çarpanı |
| $\Gamma_{X1}$ | X Deprem Doğrultusunda Birinci Moda Ait Katkı Çarpanı |
| $\mu$ | Süneklik Katsayısı |
| $\Delta m$ | Maksimum Yer Değiştirme |
| $\Delta y$ | Akma Yer Değiştirmesi |
| $\omega_{we}$ | Etkin Sargı Donatısının Mekanik Donatıya Oranı |

# KISALTMA LİSTESİ

| | |
|---|---|
| BHB | Belirgin Hasar Bölgesi |
| BKS | Bina Kullanım Sınıfı |
| BYS | Bina Yükseklik Sınıfı |
| DD | Deprem Düzeyi |
| DGT | Dayanıma Göre Tasarım |
| DTS | Deprem Tasarım Sınıfı |
| FEMA | ABD Federal Acil Durum Yönetim Kurumu (Federal Emergency Management Agency) |
| GB | Göçme Bölgesi |
| GÖ | Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi |
| I | Bina Önem Katsayısı |
| İHB | İleri Hasar Bölgesi |
| KH | Kontrollü Hasar bölgesi |
| KK | Kesintisi Kullanım Performans Düzeyi |
| PGA | En Büyük Yer İvmesi (Peak Ground Acceleration) |
| SH | Sınırlı Hasar Performans Düzeyi |
| SHB | Sınırlı Hasar Bölgesi |
| SP-1 | Perdelerin Kenar Aksta ve Ortada Olduğu Durum |
| SP-2 | Perdelerin Bina Merkezinde Olduğu, Çekirdek Perde Durumu |
| SP-3 | Perdelerin Bina Köşesinde L Tipinde Olduğu Durum |
| ŞDGT | Şekil Değiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım |
| TBDY | Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği |
| Xtract | Kesit Analiz Programı (Cross-Sectional X Structural Analysis of Components) |

# ŞEKİL LİSTESİ

**Şekil 2.1** Sargılı ve sargısız betona ait gerilme-şekil değiştirme grafiği [13] ..... 8
**Şekil 2.2** Donatı çeliğine ait gerilme-şekil değiştirme grafiği **[**13] ..... 9
**Şekil 2.3** Kiriş kesitlerinde eğilme momenti-eğrilik ilişkisi **[**14**]** ..... 10
**Şekil 2.4** Kolon kesitlerinde eğilme momenti-eğrilik ilişkisi [14] ..... 10
**Şekil 2.5** İdealleştirilmiş bünye bağıntısı [14] ..... 11
**Şekil 2.6** Kesit Hasar Bölgeleri [13] ..... 13
**Şekil 2.7** Yükleme-yer değiştirme grafiği **[**14**]** ..... 16
**Şekil 2.8** Plastik mafsalların oluşumu [14] ..... 16
**Şekil 2.9** İtme eğrisi ve modal kapasite diyagramı [14] ..... 17
**Şekil 3.1** SP-1 kat kalıp planı ..... 19
**Şekil 3.2** SP-2 kat kalıp planı ..... 20
**Şekil 3.3** SP-3 kat kalıp planı ..... 20
**Şekil 3.4** SP-1 üç boyutlu görünüşler (sırasıyla 6 katlı, 8 katlı ve 10 katlı) ..... 21
**Şekil 3.5** SP-2 üç boyutlu görünüşler (sırasıyla 6 katlı, 8 katlı ve 10 katlı) ..... 21
**Şekil 3.6** SP-3 üç boyutlu görünüşler (sırasıyla 6 katlı, 8 katlı ve 10 katlı) ..... 22
**Şekil 3.7** ZC yerel zemin sınıfına göre yatay elastik ivme spektrumu ..... 24
**Şekil 3.8** ZE yerel zemin sınıfına göre yatay elastik ivme spektrumu ..... 24
**Şekil 3.9** Plastik mafsal (P-M2-M3 Etkileşimi) [19] ..... 29
**Şekil 3.10** Çok katmanlı kabuk eleman [16] ..... 30
**Şekil 3.11** Xtract [22] yazılımında sargılı C30 beton modelinin tanımlanması ..... 31
**Şekil 3.12** Xtract [22] yazılımında sargısız C30 beton modelinin tanımlanması ..... 31
**Şekil 3.13** Xtract [22] yazılımında B420C donatı çeliği modelinin tanımlanması 32
**Şekil 3.14** Sap2000 [20] yazılımında sargılı C30 beton modelinin tanımlanması 32
**Şekil 3.15** Sap2000 [20] yazılımında B420C donatı çeliği modelinin tanımlanması ..... 33
**Şekil 3.16** Sap2000 [20] yazılımında kiriş plastik mafsalının tanımlanması-1 ..... 33
**Şekil 3.17** Sap2000 [20] yazılımında kiriş plastik mafsalının tanımlanması-2 ..... 34
**Şekil 3.18** 40×40 cm kolon kesiti plastik mafsal tanımı ..... 35
**Şekil 3.19** 45×45 cm kolon kesiti plastik mafsal tanımı ..... 35
**Şekil 3.20** 50×50 cm kolon kesiti plastik mafsal tanımı ..... 36
**Şekil 3.21** 55×55 cm kolon kesiti plastik mafsal tanımı ..... 36
**Şekil 3.22** Ø20/10 başlık donatılı perde elemanı için çok katmanlı kabuk modeli tanımı ..... 37

**Şekil 3.23** Ø22/10 başlık donatılı perde elemanı için çok katmanlı kabuk modeli tanımı ..... 37

**Şekil 3.24** Ø25/10 başlık donatılı perde elemanı için çok katmanlı kabuk modeli tanımı ..... 38

**Şekil 3.25** Ø12/15 gövde donatılı perde elemanı için çok katmanlı kabuk modeli tanımı ..... 38

**Şekil 3.26** Ø16/15 gövde donatılı perde elemanı için çok katmanlı kabuk modeli tanımı ..... 38

**Şekil 3.27** İtme eğrisinin bilineer eğrisi [18] ..... 40

**Şekil 3.28** 6 katlı örnek binalarda hedef yer değiştirme istemleri (ZC yerel zemin sınıfı) ..... 42

**Şekil 3.29** 6 katlı örnek binalarda hedef yer değiştirme istemleri (ZE yerel zemin sınıfı) ..... 42

**Şekil 3.30** 6 katlı örnek binalarda taban kesme kuvvetleri (ZC yerel zemin sınıfı) ..... 42

**Şekil 3.31** 6 katlı örnek binalarda taban kesme kuvvetleri (ZE yerel zemin sınıfı) ..... 43

**Şekil 3.32** 6 katlı örnek binalarda itme eğrileri (ZC yerel zemin sınıfı) ..... 44

**Şekil 3.33** 6 katlı örnek binalarda itme eğrileri (ZE yerel zemin sınıfı) ..... 44

**Şekil 3.34** 6 katlı örnek binalarda göreli kat ötelemesi oranları ..... 45

**Şekil 3.35** 6 katlı SP-1 yapısına ait bilineer eğri (ZC yerel zemin sınıfı) ..... 46

**Şekil 3.36** 6 katlı SP-2 yapısına ait bilineer eğri (ZC yerel zemin sınıfı) ..... 46

**Şekil 3.37** 6 katlı SP-3 yapısına ait bilineer eğri (ZC yerel zemin sınıfı) ..... 47

**Şekil 3.38** 6 katlı SP-1 yapısına ait bilineer eğri (ZE yerel zemin sınıfı) ..... 47

**Şekil 3.39** 6 katlı SP-2 yapısına ait bilineer eğri (ZE yerel zemin sınıfı) ..... 48

**Şekil 3.40** 6 katlı SP-3 yapısına ait bilineer eğri (ZE yerel zemin sınıfı) ..... 48

**Şekil 3.41** 6 katlı SP-1, SP-2 ve SP-3 (soldan sağa) yapılarına ait üç boyutlu mafsallaşma gösterimi (ZC yerel zemin sınıfı) ..... 49

**Şekil 3.42** 6 katlı SP-1, SP-2 ve SP-3 (soldan sağa) yapılarına ait kiriş kesit hasar durumları (ZC yerel zemin sınıfı) ..... 49

**Şekil 3.43** 6 katlı SP-1, SP-2 ve SP-3 (soldan sağa) yapılarına ait kolon kesit hasar durumları (ZC yerel zemin sınıfı) ..... 49

**Şekil 3.44** 6 katlı SP-1 yapısına ait perde elemanın donatı ve beton katmanlarının itme analizi son adımında gerilme diyagramları (ZC yerel zemin sınıfı) ..... 50

**Şekil 3.45** 6 katlı SP-1, SP-2 ve SP-3 (soldan sağa) yapılarına ait üç boyutlu mafsallaşma gösterimi (ZE yerel zemin sınıfı) ..... 50

**Şekil 3.46** 6 katlı SP-1, SP-2 ve SP-3 (soldan sağa) yapılarına ait kiriş kesit hasar durumları (ZE yerel zemin sınıfı) ..... 50

**Şekil 3.47** 6 katlı SP-1, SP-2 ve SP-3 (soldan sağa) yapılarına ait kolon kesit hasar durumları (ZE yerel zemin sınıfı) ..... 51

**Şekil 3.48** 6 katlı SP-1 yapısına ait perde elemanın donatı ve beton katmanlarının itme analizi son adımında gerilme diyagramları (ZE yerel zemin sınıfı) ..... 51

**Şekil 3.49** 8 katlı örnek binalarda hedef yer değiştirme istemleri (ZC yerel zemin sınıfı) ..... 52

**Şekil 3.50** 8 katlı örnek binalarda hedef yer değiştirme istemleri (ZE yerel zemin sınıfı) ..... 52

**Şekil 3.51** 8 katlı örnek binalarda taban kesme kuvvetleri (ZC yerel zemin sınıfı) ..... 53

**Şekil 3.52** 8 katlı örnek binalarda taban kesme kuvvetleri (ZE yerel zemin sınıfı) ..... 53

**Şekil 3.53** 8 katlı örnek binalarda itme eğrileri (ZC yerel zemin sınıfı) ..... 54

**Şekil 3.54** 8 katlı örnek binalarda itme eğrileri (ZE yerel zemin sınıfı) ..... 54

**Şekil 3.55** 8 katlı örnek binalarda göreli kat ötelemesi oranları ..... 55

**Şekil 3.56** 8 katlı SP-1 yapısına ait bilineer eğri (ZC yerel zemin sınıfı) ..... 56

**Şekil 3.57** 8 katlı SP-2 yapısına ait bilineer eğri (ZC yerel zemin sınıfı) ..... 56

**Şekil 3.58** 8 katlı SP-3 yapısına ait bilineer eğri (ZC yerel zemin sınıfı) ..... 57

**Şekil 3.59** 8 katlı SP-1 yapısına ait bilineer eğri (ZE yerel zemin sınıfı) ..... 57

**Şekil 3.60** 8 katlı SP-2 yapısına ait bilineer eğri (ZE yerel zemin sınıfı) ..... 58

**Şekil 3.61** 8 katlı SP-3 yapısına ait bilineer eğri (ZE yerel zemin sınıfı) ..... 58

**Şekil 3.62** 8 katlı SP-1, SP-2 ve SP-3 (soldan sağa) yapılarına ait üç boyutlu mafsallaşma gösterimi (ZC yerel zemin sınıfı) ..... 59

**Şekil 3.63** 8 katlı SP-1, SP-2 ve SP-3 (soldan sağa) yapılarına ait kiriş kesit hasar durumları (ZC yerel zemin sınıfı) ..... 59

**Şekil 3.64** 8 katlı SP-1, SP-2 ve SP-3 (soldan sağa) yapılarına ait kolon kesit hasar durumları (ZC yerel zemin sınıfı) ..... 59

**Şekil 3.65** 8 katlı SP-1 yapısına ait perde elemanın donatı ve beton katmanlarının itme analizi son adımında gerilme diyagramları (ZC yerel zemin sınıfı) ..... 60

**Şekil 3.66** 8 katlı SP-1, SP-2 ve SP-3 (soldan sağa) yapılarına ait üç boyutlu mafsallaşma gösterimi (ZE yerel zemin sınıfı) ..... 60

**Şekil 3.67** 8 katlı SP-1, SP-2 ve SP-3 (soldan sağa) yapılarına ait kiriş kesit hasar durumları (ZE yerel zemin sınıfı) ..... 60

**Şekil 3.68** 8 katlı SP-1, SP-2 ve SP-3 (soldan sağa) yapılarına ait kolon kesit hasar durumları (ZE yerel zemin sınıfı) ..... 61

**Şekil 3.69** 8 katlı SP-1 yapısına ait perde elemanın donatı ve beton katmanlarının itme analizi son adımında gerilme diyagramları (ZE yerel zemin sınıfı) ..... 61

**Şekil 3.70** 10 katlı örnek binalarda hedef yer değiştirme istemleri (ZC yerel zemin sınıfı) ..... **62**

**Şekil 3.71** 10 katlı örnek binalarda hedef yer değiştirme istemleri (ZE yerel zemin sınıfı) ..... 62

**Şekil 3.72** 10 katlı örnek binalarda taban kesme kuvvetleri (ZC yerel zemin sınıfı) ..... 63

**Şekil 3.73** 10 katlı örnek binalarda taban kesme kuvvetleri (ZE yerel zemin sınıfı) ..... 63

**Şekil 3.74** 10 katlı örnek binalarda itme eğrileri (ZC yerel zemin sınıfı) ..... 64

**Şekil 3.75** 10 katlı örnek binalarda itme eğrileri (ZE yerel zemin sınıfı) ..... 64

**Şekil 3.76** 10 katlı örnek binalarda göreli kat ötelemesi oranları ..... 65

**Şekil 3.77** 10 katlı SP-1 yapısına ait bilineer eğri (ZC yerel zemin sınıfı) ..... 66

**Şekil 3.78** 10 katlı SP-2 yapısına ait bilineer eğri (ZC yerel zemin sınıfı) ..... 66

**Şekil 3.79** 10 katlı SP-3 yapısına ait bilineer eğri (ZC yerel zemin sınıfı) ..... 67

**Şekil 3.80** 10 katlı SP-1 yapısına ait bilineer eğri (ZE yerel zemin sınıfı) ..... 67

**Şekil 3.81** 10 katlı SP-2 yapısına ait bilineer eğri (ZE yerel zemin sınıfı) ..... 68

**Şekil 3.82** 10 katlı SP-3 yapısına ait bilineer eğri (ZE yerel zemin sınıfı) ..... 68

**Şekil 3.83** 10 katlı SP-1, SP-2 ve SP-3 (soldan sağa) yapılarına ait üç boyutlu mafsallaşma gösterimi (ZC yerel zemin sınıfı) ..... 69

**Şekil 3.84** 10 katlı SP-1, SP-2 ve SP-3 (soldan sağa) yapılarına ait kiriş kesit hasar durumları (ZC yerel zemin sınıfı) ..... 69

**Şekil 3.85** 10 katlı SP-1, SP-2 ve SP-3 (soldan sağa) yapılarına ait kolon kesit hasar durumları (ZC yerel zemin sınıfı) ..... 69

**Şekil 3.86** 10 katlı SP-1 yapısına ait perde elemanın donatı ve beton katmanlarının itme analizi son adımında gerilme diyagramları (ZC yerel zemin sınıfı) ..... 70

**Şekil 3.87** 10 katlı SP-1, SP-2 ve SP-3 (soldan sağa) yapılarına ait üç boyutlu mafsallaşma gösterimi (ZE yerel zemin sınıfı) ..... 70

**Şekil 3.88** 10 katlı SP-1, SP-2 ve SP-3 (soldan sağa) yapılarına ait kiriş kesit hasar durumları (ZE yerel zemin sınıfı) ..... 70

**Şekil 3.89** 10 katlı SP-1, SP-2 ve SP-3 (soldan sağa) yapılarına ait kolon kesit hasar durumları (ZE yerel zemin sınıfı) ..... 71

**Şekil 3.90** 10 katlı SP-1 yapısına ait perde elemanın donatı ve beton katmanlarının itme analizi son adımında gerilme diyagramları (ZE yerel zemin sınıfı) ..... 71

# TABLO LİSTESİ

**Tablo 2.1** Mevcut betonarme yapılar için performans hedefleri [13] ..... 14
**Tablo 3.1** Örnek binaların eleman boyutları ..... 22
**Tablo 3.2** Ölü ve hareketli yük değerleri ..... 23
**Tablo 3.3** Tasarımda kullanılan yük birleşimleri ..... 25
**Tablo 3.4** Kolon kesit tipleri ..... 26
**Tablo 3.5** Betonarme perde donatı bilgileri ..... 26
**Tablo 3.6** Örnek binalara ait kiriş kesit bilgileri ..... 27
**Tablo 3.7** Betonarme kiriş kesit tipleri ..... 28
**Tablo 3.8** 6 katlı örnek binalara ait modal analiz sonuçları ..... 43
**Tablo 3.9** 6 katlı örnek binalar için hesaplanmış süneklik katsayıları ..... 45
**Tablo 3.10** 8 katlı örnek binalara ait modal analiz sonuçları ..... 53
**Tablo 3.11** 8 katlı örnek binalar için hesaplanmış süneklik katsayıları ..... 55
**Tablo 3.12** 10 katlı örnek binalara ait modal analiz sonuçları ..... 63
**Tablo 3.13** 10 katlı örnek binalar için hesaplanmış süneklik katsayıları ..... 65

# ÖZET

## Betonarme Yapılarda Perde Yerleşiminin Doğrusal Olmayan Davranışa Etkisi

Samet ERDEN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Programı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Bilge DORAN

Son yıllarda, konut ve ticari türü yapıların sayılarında önemli bir artış olmuştur. Bu artış, yapıların sismik kuvvetlere karşı direncini ve deprem yüklerinin yapısal sistemler üzerindeki etkilerini göz önünde bulundurma gerekliliğini ortaya koymaktadır. Taşıyıcı sistemler sismik etkiler nedeniyle büyük yatay yer değiştirmelere maruz kalmaktadır. Birçok deprem ülkesinde tercih edilen betonarme perdeli taşıyıcı sistemler, büyük deprem yüklerine karşı direnç göstermekte ve aynı zamanda büyük yatay yer değiştirmeleri önlemektedir. Betonarme perdeler, deprem yüklerinin neden olduğu yatay yer değiştirmelere karşı efektif dayanım ve rijitlik sağlamak amacıyla yapısal sistemlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Betonarme perdeler genellikle bina planının etkili bir yerinde konumlandırıldığında deprem yüklerine karşı daha iyi tepki verir. Bu nedenle, perde elemanların konumlandırılması binanın davranışı üzerinde belirgin bir etkiye sahiptir. Bu çalışmanın temel amacı, yapısal sistem içerisinde farklı

konumlandırılmış perde elemanların farklı kat adetlerine ve farklı yerel zemin sınıflarına sahip yapılarda gerçek davranışını incelemek ve her bir durum için sonuçları karşılaştırmaktır. Bu amaçla, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) esaslarına tasarlanmış betonarme perde elemanların üç farklı konumuna ait geometrilerinin 6, 8 ve 10 katlı yapılarda ZE ve ZC yerel zemin sınıflarına göre doğrusal elastik tasarımları yapılmıştır. Örnek binalar kolon, kiriş, döşeme ve betonarme perde taşıyıcı elemanlardan oluşmaktadır. Söz konusu yapıların doğrusal elastik tasarıma esas geometri ve donatı bilgilerine göre doğrusal olmayan statik analizleri gerçekleştirilmiştir. Aynı uzunluk ve genişliğe sahip betonarme perde elemanlar üç farklı duruma göre konumlandırılarak modellenmiş ve sadece betonarme perde duvarların düzeninden ve konumlandırılmasından kaynaklanan farklılıkların etkileri karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Betonarme Perdeler, Doğrusal Olmayan Analiz, Deprem Kuvvetleri

# ABSTRACT

## Effect of Shear Wall Location on the Nonlinear Behaviour of Reinforced Concrete Buildings

Samet ERDEN

Department of Civil Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Bilge DORAN

In the past few years, there has been a notable increase in the quantity of residential and commercial buildings. This increase highlights the necessity of considering the resistance of structures against seismic forces and the effects of earthquake loads on structural systems. Structural systems are subjected to large horizontal displacements due to seismic effects. Reinforced concrete shear wall systems, which are preferred in many earthquake-prone zones, demonstrate resistance to large seismic loads while preventing significant horizontal displacements. Reinforced concrete shear walls are widely used in structural systems to provide effective strength and stiffness against the horizontal displacements induced by seismic loads. When positioned effectively in the building plan, these shear walls respond better to earthquake loads. Therefore, the location of shear wall elements has a significant impact on the behavior of the structural system. The main aim of this study is to investigate the actual behavior of shear wall elements positioned differently within the structural systems with different numbers of stories and different soil types, and to compare the results for each case. To achieve this goal,

linear elastic designs were carried out for reinforced concrete shear wall elements with geometries corresponding to three different positions in 6, 8, and 10-story buildings designed according to the Turkish Seismic Code (TSC-2018) for soil types ZE and ZC. The example buildings consist of columns, beams, slabs, and reinforced concrete shear wall elements. Nonlinear static analyses were performed based on the geometry and reinforcement details obtained from linear elastic designs. Concrete shear wall elements with the same length and width were modeled in three different configurations, and only the effects arising from the arrangement and location of the concrete walls were compared.

**Keywords:** Shear Wall, Nonlinear Analysis, Earthquake Loading

# 1
# GİRİŞ

Betonarme perde elemanlar, yapısal sistemlerin rijitlikliklerini, dayanımlarını ve sünekliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. Binaların deprem güvenlikleri açısından rijitlik, dayanım ve süneklik kavramları önemlidir. Sismik etkilerin yaygın bir şekilde etkili olduğu ülkemizde, deprem esnasında oluşan yatay etkilerle birlikte yapısal sistemlerin kabul edilebilir sınırlar içerisinde davranış sergilemeleri beklenir. Bu da, perdeli çerçeveli sistemlerin kullanımının tercih edilmesini ve yaygınlaşmasını kaçınılmaz hale getirmiştir. Türkiye'de betonarme perdeli çerçeve sistemli yapıların kullanımı son yıllarda çok yaygınlaşmıştır. Tasarım aşamalarında taşıyıcı betonarme perde elemanların planda doğru konumlandırılması, betonarme perdeli çerçeve sistemlerin deprem performanslarının ve doğrusal olmayan davranışlarının belirlenmesinde çok önemli parametrelerden biridir.

## 1.1 Literatür Araştırması

Betonarme yapılarda perde yerleşiminin sistem davranışına etkisinin araştırılmasına yönelik yapılan çalışmaları, doğrusal ve doğrusal olmayan analizler olmak üzere iki temel başlık altında toplamak mümkündür. Doğrusal analiz yöntemleri kullanılarak yapılan çalışmalarda genellikle taban kesme kuvvetleri, periyotlar, yatay ötelenmeler ve göreli kat ötelemeleri gibi parametreler incelenmiştir. Doğrusal olmayan analiz yöntemleri kullanılarak yapılan çalışmalarda ise süneklik kavramı, taban kesme kuvvetleri, yatay ötelenmeler, itme eğrileri ve yapılan analize esas kesit hasar durumları araştırılmıştır.

Reşatoğlu ve Jkhsi [1] tararından yapılan çalışmada farklı kalınlıklarda ve farklı konumlarda perde duvarlara sahip betonarme yapıların sünekliğini çeşitli parametreler kullanarak değerlendirmek amaçlanmıştır. Araştırmalarında doğrusal olmayan analiz yöntemlerini kullanarak iki boyutlu sayısal modellerden elde ettikleri maksimum yer değiştirme, akma yer değiştirmesi ve taban kesme kuvvetleri sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Eleman açıklıklarının ve bina kat adetlerinin artırılmasıyla süneklik katsayısı değerinin yükseldiğini elde etmişlerdir. Perde elemanların kalınlık artışı ise süneklik katsayısı değerinin düşüşüne neden olmuştur. Eleman açıklıklarının ve perde kalınlıklarının artışı, taban kesme

kuvvetleri değerlerini de artırmıştır. Perde elemanın merkezde ve kenar aksta olmak üzere iki farklı yerleşime göre karşılaştırması yapılmıştır. Betonarme perde elemanın bina merkezinde olması halinde süneklik katsayısı değerinin kenarda olması durumuna göre azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca, perde elemanın kenar akstan merkez aksa alınması durumunda taban kesme kuvveti sonuç değerleri artmıştır.

Baig ve Rashid [2] çalışmalarında altı farklı yapısal sistem konfigürasyonu üzerine 10, 25, 35 ve 50 katlı yapılarda davranışları incelemeyi amaçlamıştır. Ana hedef olarak, rüzgar ve deprem kuvvetlerinin farklı yapısal özelliklere sahip yüksek binalar üzerindeki etkisini, farklı kat adetlerine ve yükseklikliklere sahip yapıların farklı perde konumlarına göre davranışlarını incelemeyi belirlemişlerdir. Her bir kat adedine sahip altı farklı geometrinin modeli kurulmuş ve yatay yer değiştirme sonuçlarıyla birlikte modal analiz sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Analiz sonuçlarına göre 10'dan daha az kat adedine sahip yapılarda betonarme çerçeveli perdesiz sistemin daha ekonomik olacağını ifade etmişlerdir. 25 katlı yapılarda ise çekirdek perdeli betonarme çerçeve sistemlerin en iyi sonuçları verdiğini belirtmişlerdir. 35 kat adedine sahip yapılarda yüksek titreşim modları elde edilmiştir. Büyük taban kesme kuvveti değerlerini taşıyabilecek merkezi çekirdek ve kenar akslarda perdelerle birlikte betonarme çerçeve sistemin uygun olduğu görülmüştür. 50 ve üstü kat adedine sahip yapılarda ise titreşim modlarının çok yüksek olduğu belirtilmiştir. Betonarme çerçeveli veya perdeli bir sistemin yüksek titreşimli yapılarda tasarımının oldukça zor olduğu ve yenilikçi bir sistemin olması gerektiği vurgulanmıştır.

Jean Pierre ve Abdallah [3] çalışmalarında betonarme yapılarda perdeli ve perdesiz olmak üzere iki farklı taşıyıcı sisteme göre kat adedi ve açıklıkları değiştirerek doğrusal olmayan tek modlu itme analizi yöntemini kullanmışlardır. Analizler sonucu elde ettikleri ilk plastik deformasyondaki taban kesme kuvvetini ve yatay ötelenmeyi oranlayarak her bir kat adedinde ve açıklıktaki taşıyıcı sistemler için elastik rijitlik faktörünü hesaplamış ve sonuçları karşılaştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre, taşıyıcı sistem içerisinde perde duvar olması, çerçeve sisteme göre elastik rijitlik katsayısını yükseltmiştir. Kat adetlerine göre sistemler karşılaştırıldığında az katlı yapıların elastik rijitlik katsayıları daha yüksek hesaplanmıştır.

Khelaifia, Chebili ve Zine [4] çalışmalarında tek modlu itme analizi yöntemini kullanarak betonarme çerçeveli perdeli sistemlerde perde konumunun ve adedinin sismik performansa etkisini araştırmışlardır. Kapasite eğrileri, göreli kat ötelemeleri ve kesit performans seviyeleri karşılaştırılmıştır. Betonarme perde elemanların bina merkezinde olmasının diğer geometrilere göre daha iyi bir performans seviyesi sağladığını belirlemişlerdir. Bina tasarımında perde eleman sayısının artırılmasının rijitliğin artmasına ve göreli kat ötelemelerinin azalmasına yardımcı olduğunu, bunun da hedeflenen performans seviyesinin elde edilmesine olanak sağladığını ifade etmişlerdir. Plandaki perde elemanların toplam alanları ve katın toplam alanı oranlandığında, %1.5 gibi bir oran elde edilmiştir. Bu oran da taşıyıcı sistemde daha iyi bir performans seviyesi elde edilmesini sağlamıştır. Ancak bu durumda tüm elemanlar elastik bölgede çalışmışlardır. Bu durumun tasarım ve uygulama açısından ekonomik olmadığı belirtilmiştir. Yapılan çalışmada perde elemanların toplam alanı katın toplam alanına oranlandığında %1.00 sonucu elde edilirse hedeflenen tasarım koşulları ve performans seviyelerinin sağlanabileceği ifade edilmiştir.

Yaman, Tekeli ve Demir [5] çalışmalarında betonarme bir taşıyıcı sistemde perde yerleşimi farklılıklarının binanın kapasitesine ve deprem performansına etkisini araştırmışlardır. 2×2 açıklıklı 5 adet ve 4×4 açıklıklı 3 adet farklı plan yerleşimlerine göre taşıyıcı sistemleri incelemiş ve sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Yöntem olarak, tek modlu itme analizini kullanmışlardır. Plandaki perde oranının artmasıyla taban kesme kuvveti değerlerinin arttığını, doğal titreşim periyotlarının ve yer değiştirme istemlerinin ise azaldığı sonucunu elde etmişlerdir.

Titiksh ve Bhatt [6] çalışmalarında zemin + 10 katlı betonarme yapılarda perde elemanların farklı yerleşimlerinin doğrusal davranışa etkisini araştırmışlar ve sonuçları karşılaştırmışlardır. Perdesiz, bina dış aksında köşelerde L tipinde perde elemanlar, dış aksta ortada dikdörtgen şeklinde perde elemanlar ve bina çekirdeğinde konumlandırılmış perde elemanlar olmak üzere 4 farklı geometriyi incelemişlerdir. Çalışmada, doğrusal analizin göreli kat ötelemeleri ve kat kesme kuvvetleri sonuçları karşılaştırılmıştır. Göreli kat ötelemeleri sonuçları açısından bina çekirdeğinde konumlandırılmış perde elemana sahip geometri en iyi sonucu vermiştir. Kat kesme kuvveti değerleri ise bina dış aksında köşelerde L tipinde perde elemanlar bulunan geometride en yüksek elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre

perde elemanların bina çekirdeğinde olmasının orta ve yüksek binalar için ideal çerçeve tipi olduğu belirtilmiştir.

Doğan, Genç ve Odacıoğlu [7] çalışmalarında taşıyıcı sisteme ait plandaki perde oranı görece düşük olan perdeli çerçeveli sistemlerde, perdenin konsol taşıyıcı eleman gibi davranıp kolonun çerçeve elemanı gibi davranması durumunda ortaya çıkan davranış uyumsuzluğunu gidermeyi amaçlamışlardır. Bina tabanında perde eleman davranışını sağlayabilmek için, perdelerin karşıladığı momentin bina tabanındaki momente oranı dikkate alınarak, plandaki betonarme perde birim alanının tüm kat plan alanına oranının en düşük değerini belirlemeye çalışmışlardır. Doğrusal elastik yöntem kullanılarak, göreli kat ötelemeleri ve taban kesme kuvveti sonuçları karşılaştırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda plandaki betonarme perde oranının %0.1 olduğu asansör ile sınırlı perde kullanılan modelde, alt katta kat kesme kuvvetinin perdelere dağılım yüzdesi %30 iken üst katlara çıkıldıkça bu oranın azaldığı görülmüştür. Perdeye gelen devrilme momentinin bina taban devrilme momentine oranının %75'ten az olduğu durumda, en alt kat kolonlarında karşılaşabilecek kesitlerin yetersiz sonucunun aksine en üst katlarda bu sorunla karşılaşıldığını ifade etmişlerdir. Plandaki betonarme perde oranının belirli bir sınırın üzerinde olması, perde-kolon davranışının daha uyumlu olmasının yanı sıra sadece asansör çevresi ile sınırlandırılmış betonarme perde kullanımına oranla donatı imalatı bakımından daha optimum bir çözüm ve ekonomik bir tasarım doğurmuştur.

Maddela, Bollini ve Dindi [8] çalışmalarında 10 ve 15 katlı iki adet betonarme çerçeveli sisteme perde ekleyerek sonuçları irdelemişlerdir. Doğrusal olmayan tek modlu itme analizi yöntemini kullanarak 10 ve 15 katlı yapılarda %1 ve %2 yatay yer değiştirmeye göre itme eğrilerini, kapasite eğrilerini, eleman hasar durumlarını karşılaştırmışlardır. %1 yatay yer değiştirmeye maruz bırakıldıklarında 10 ve 15 kat adedine sahip yapılarda performans seviyesi "Hemen Kullanım" ve "Can Güvenliği" arasında olmuştur. %2'ye göre yatay ötelenme olduğunda ise performans seviyesi "Can Güvenliği" ve "Göçmenin Önlenmesi" arasında kalmıştır. Perde elemanların yapılara eklenmesiyle yatay ötelenmelerin önemli ölçüde azaldığını tespit etmişlerdir.

Ahamad ve Pratap [9] çalışmalarında Hindistan'da dört farklı deprem bölgesinde (2, 3, 4 ve 5. bölgeler) sismik değerlere göre bir adet betonarme çerçeveli sistemi,

iki adet betonarme perdeli çerçeve sistemi analiz etmişlerdir. Taban kesme kuvvetleri, yatay yer değiştirmeler, göreli kat ötelemeleri ve burulma düzensizliklerini karşılaştırmışlardır. Bu sonuçlara göre farklı deprem kuvvetleri ve farklı geometrilere sahip sistemlerin sonuçlarını incelemişlerdir. Tüm sistemler için Hindistan'ın 5. deprem bölgesinde en fazla yatay ötelenme gözlenmiştir. Tüm sonuçlara göre, binanın köşelerinde L tipinde perde olması durumu en iyi sonuçları vermiştir.

Saravankumar ve Samson [10] çalışmalarında zemin + 6 katlı bir konut binası için perdelerin farklı plan yerleşimlerinin doğrusal olmayan tek modlu itme analizi yöntemi sonuçları açısından karşılaştırmışlardır. Bu çalışmada tümü kenar akslarda olan perdelerin lokasyonları değiştirilerek sonuçlar irdelenmiştir. Buna göre, yapısal sistemlerde perdelerin çerçeve sistemin merkezine yaklaşması durumunda daha fazla taban kesme kuvveti taşıdıkları görülmüştür. En fazla taban kesme kuvveti alan model, perdesiz çerçeve sisteme göre %75 daha fazla taban kesme kuvveti taşımıştır.

Krishnan ve Sivakumar [11] çalışmalarında zemin + 14 kata sahip betonarme çerçeveli yapılarda düzenli ve düzensiz yapı türlerine göre plandaki perde yerleşimlerinin yapısal davranışa etkisini incelemişlerdir. Tüm yapılar için yatay ötelenmeler, göreli kat ötelemeleri ve dinamik analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Perde duvarlı yapılarda periyotlar %50 - %60 oranında daha düşük değerlerde çıkmıştır. Bu da perdeli sistemlerin daha rijit olduğunu göstermiştir. Planda düzenli sistemler, sismik etkilere daha iyi cevap vermişlerdir. Ayrıca, düzenli yapılar kendi içinde karşılaştırıldığında, merkezi çekirdekli sistemin yatay ötelenmelerinin ve periyodunun en düşük olduğu görülmüştür.

Maram ve Rao [12] çalışmalarında biri betonarme çerçeve üçü ise betonarme perdeli çerçeve olmak üzere dört farklı yerleşime göre 10 katlı sistemleri incelemişlerdir. Doğrusal olmayan sabit tek modlu itme yöntemini kullanmışlardır. Süneklik katsayısı sonuçlarını karşılaştırmışlardır. En yüksek süneklik katsayısı değerini kenar akslarda ortada bulunan yerleşimde elde etmişlerdir. Perdelerin bina merkezine doğru yaklaştırılmasının süneklik katsayısı değerini azalttığını belirtmişlerdir. Ayrıca, kesit hasar durumları karşılaştırıldığında merkezi çekirdek modelindeki elemanların hasar durumlarının diğer modellere göre daha olumsuz olduğunu tespit etmişlerdir.

## 1.2 Tezin Amacı

Bu tez çalışmasının esas amacı, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) esas alınarak tasarlanmış üç farklı betonarme perde yerleşimine sahip perdeli çerçeve yapıların 6, 8 ve 10 katlı olmak üzere üç farklı kat adedine ve iki farklı yerel zemin sınıfına göre doğrusal olmayan tek modlu itme analizi ile dinamik parametrelerle beraber taban kesme kuvvetlerini, kesit hasar durumlarını ve süneklik katsayılarını elde etmek, her bir durum için sonuçları karşılaştırmak ve perde yerleşiminin doğrusal olmayan davranış üzerindeki etkilerini incelemektir. Bölüm 2'de yapılara ait malzeme modelleri, plastik mafsal hipotezi, doğrusal olmayan analize esas performans hedefi ve sistem elemanlarına ait şekil değiştirme sınırları ile ilgili bilgiler verilmiştir. Ayrıca, doğrusal olmayan tek modlu itme yöntemiyle ilgili teknik bilgiler sunulmuştur. Bölüm 3'te analize esas yapıların sayısal modellenmesiyle ilgili bilgiler verilmiştir. Her bir geometri için kabul edilen yüklemeler, dinamik parametreler, modelleme teknikleri ve analiz sonuçlarıyla ilgili karşılaştırmalı tablolar ve grafikler tarif edilmiştir. Perde yerleşiminin doğrusal olmayan davranış üzerine etkisini detaylı incelemek ve karşılaştırmalı sonuçları görebilmek için farklı kat adetlerine ve farklı zemin sınıflarına ait doğrusal olmayan analize esas sonuçlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bölüm 4'te tüm geometrilere ait elde edilen karşılaştırmalı sonuçlar irdelenmiştir. Yapısal modelleme tekniği olarak kolon ve kiriş elemanlar için sıkça kullanılan yığılı plastik davranış modeli tercih edilmiştir. Betonarme perdeler için ise çok katmanlı kabuk eleman modelin geçerliliği doğrulanmış ve analize esas olarak kullanılmıştır. Her bir geometri için sayısal modeller kurulmuş ve çalışmalar yapılmıştır.

## 1.3 Hipotez

Bu tez çalışmasında, farklı bina yüksekliğine sahip ve üç farklı betonarme perde yerleşimi dikkate alınarak TBDY-2018'e göre tasarlanmış olan perdeli çerçeve yapıların, iki farklı yerel zemin sınıfı dikkate alınarak doğrusal olmayan sabit tek modlu itme analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, her bir durum için birbirleriyle karşılaştırıldığında, perde yerleşiminin yapıların doğrusal olmayan davranışları üzerinde belirgin bir etkisi olduğu görülmüştür. Bu etki, farklı perde yerleşimleri, farklı bina yükseklikleri ve yerel zemin sınıfları için karşılaştırmalı olarak irdelenecek ve sonuçlar arasındaki farklılıklar ortaya konacaktır.

# 2
# BETONARME PERDELİ ÇERÇEVELİ YAPILARIN DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZİ

Betonarme perdeli çerçeveli sistemler, modern yapı türleri içerisinde sıklıkta tercih edilmektedir. Bu tür sistemler, genellikle sismik etkilere maruz kalan çok katlı yapı türlerinde kullanılmaktadır. Ancak bu tür perdeli çerçeveli betonarme yapıların doğrusal olmayan analizleri lineer elastik yöntemlerden farklı bir yaklaşım gerektirmektedir. Doğrusal olmayan analiz, malzeme davranışının doğrusal olmayan özelliklerini dikkate alarak gerçeğe daha yakın sonuçlar elde etmeyi amaçlamaktadır. Bu analizde yapısal elemanlar arasındaki etkileşim ve malzeme davranışındaki deformasyon sınırları dikkate alınarak yapısal sistemlerin gerçeğe daha yakın modellenmesi mümkün olabilir. Bu bölümde, betonarme perdeli çerçeveli sistemlerin doğrusal olmayan analize esas kavramları açıklanmıştır.

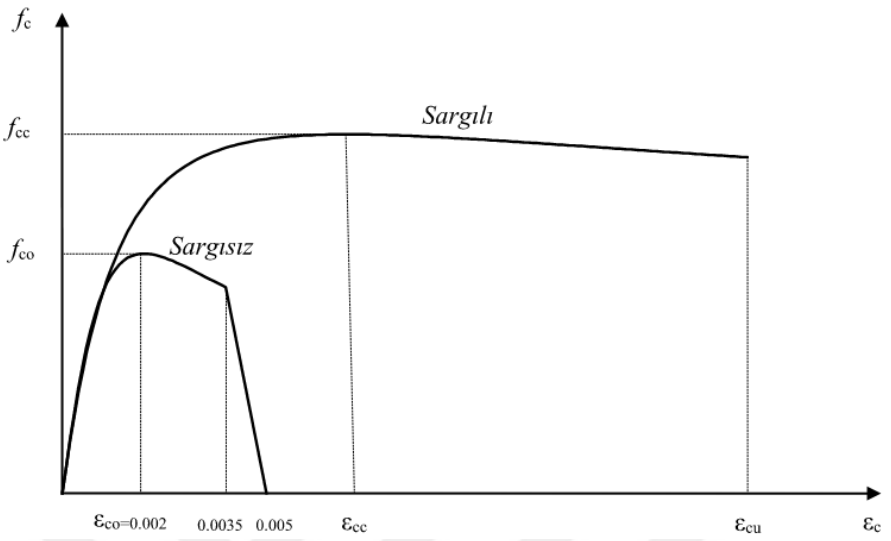
## 2.1 Malzeme Modelleri

Yapı sistemlerinin esas malzemeleri olan betonarme betonu ve donatı çeliği malzemelerinin gerilme-şekil değiştirme ilişkilerini tek bir eğri ile tanımlamak son derece zordur. Bu sebeple, malzeme modellemeleri için yapılan hesaplarda bazı kabuller yapılmıştır. Bu kabullerle birlikte gerçeğe en yakın gerilme-şekil değiştirme ilişkisinin tanımlanması amaçlanmıştır. Sargılı ve sargısız beton ile birlikte donatı çeliği malzemeleri için malzeme modelleri TBDY-2018'de tanımlanmıştır [13].

### 2.1.1 Sargılı ve Sargısız Beton Modelleri

TBDY-2018'de tanımlanan doğrusal olmayan analizde kullanılmak üzere sargılı ve sargısız beton için gerilme-şekil değiştirme ilişkilerine ait grafikler verilmiştir [13]. Sargılı betonun malzeme davranışı, keside ait yatay ve düşey donatıların hacimsel oranlarına, betonarme betonunun basınç dayanımına, donatı çeliğinin malzeme özelliklerine, kesitteki normal kuvvet mertebesine göre değişkenlik gösterir. Sargılı ve sargısız beton için gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 2.1'de verilmiştir. Burada, $f_{co}$ - sargısız betonun basınç dayanımını, $f_{cc}$ - sargılı beton dayanımını, $\varepsilon_{co}$ - sargısız betonun taşıyabileceği en büyük basınç gerilmesi anındaki şekil

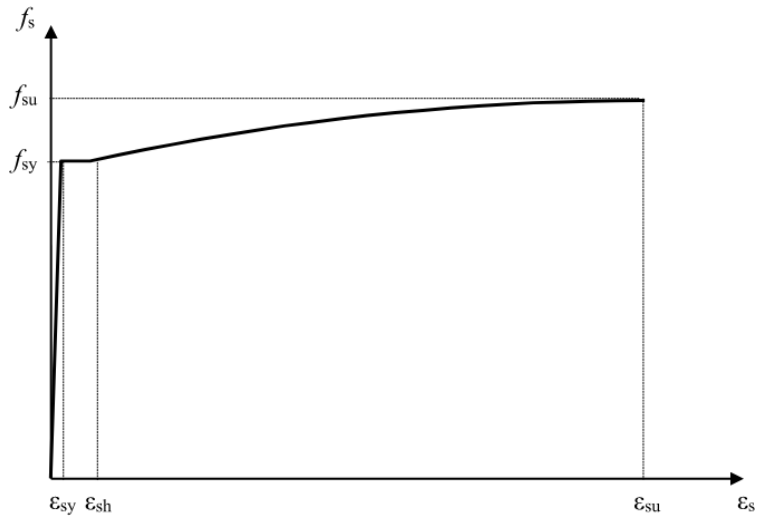
değiştirmeyi, $\varepsilon_{cc}$ - sargılı betonun taşıyabileceği en büyük basınç gerilmesi anındaki şekil değiştirmeyi ve $\varepsilon_{cu}$ - sargılı betondaki maksimum basınç birim şekil değiştirmeyi ifade etmektedir.




**Şekil 2.1** Sargılı ve sargısız betona ait gerilme-şekil değiştirme grafiği [13]

### 2.1.2 Donatı Çeliği Modeli

Lineer olmayan analize esas donatı çeliği için gerilme-şekil değiştirme bağıntıları TBDY-2018'de tanımlanmıştır [13]. Elastik bölge, donatı çeliğinin gerilme-şekil değiştirme ilişkisinde akma gerilmesine kadar doğrusal davranışın sergilendiği kısımdır. Elasto-plastik bölge ise, doğrusal olan davranışın sona erdiği ve gerilmelerin az miktarda değiştiği, akma sahanlığının bulunduğu alandır. Bu bölgede, malzemenin elastik davranışı kısmen plastik deformasyona geçer. Pekleşme bölgesi ise, akma sahanlığının sonrasında, gerilmenin belirgin biçimde fazlalaştığı bölgeyi tanımlar. Bu bölgede, yapısal malzeme daha fazla deformasyona uğrar ve sertleşir [13]. Donatı çeliğinin malzeme modeline ait gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 2.2'de verilmiştir. $f_{sy}$ - donatı çeliğinin akma dayanımını, $f_{su}$ - donatı çeliğinin kopma dayanımını, $\varepsilon_{sy}$ - donatı çeliğinin akma birim şekil değiştirmeyi, $\varepsilon_{sh}$ - donatı çeliğinin pekleşme başlangıcındaki birim şekil değiştirmeyi ve $\varepsilon_{su}$ - donatı çeliğinin kopma birim şekil değiştirmeyi temsil etmektedir.




**Şekil 2.2** Donatı çeliğine ait gerilme-şekil değiştirme grafiği [13]

## 2.2 Plastik Mafsal Hipotezi

Doğrusal olmayan analizlerde taşıyıcı sistem elemanlarında meydana gelen plastik şekil değiştirmelerin plastik mafsal adı verilen belirli kesitte toplandığı varsayılır. Betonarme ve çelik sistemlerin yeterli düzeyde sünek davranış sergilediği durumlarda plastik mafsal varsayımının kullanılması, hesap süresini önemli ölçüde azaltır [14].

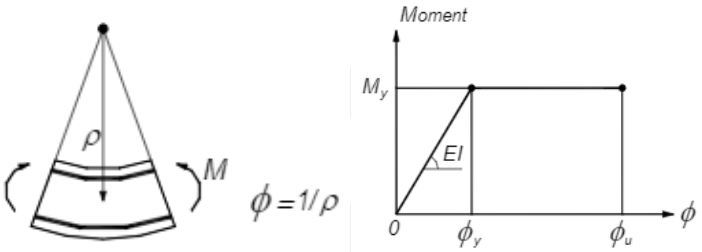
Betonarme kesitlerin eğilme momenti-eğrilik ($M-\chi$) ilişkileri incelendiğinde, minimum düzeyle sünekliğe sahip olan elemanlara ait bağlantıların iki farklı bölgeden oluştuğu görülmüştür. İlk bölgede, kesidin taşıdığı eğilme momentinin daha düşük mertebeleri için, moment-eğrilik ilişkisine göre kesidin doğrusal-elastik davranış sergilediği kabul edilir. Bu alanda, kesitteki beton ve çelik malzemeleri doğrusal davranış sergilediğinden, moment-eğrilik ilişkisinde de benzer bir eğilim görülür. Ancak gerilmelerin artmasıyla birlikte, beton çatlar ve donatı akar. Betonun çatlaması ve donatının akmasıyla birlikte, beton ve çelikte doğrusal olmayan gerilme-şekil değiştirme ilişkilerinin görülmeye başlanması, kesitin eğilme momenti-eğrilik ilişkisinin doğrusal davranışının sona erdiği noktayı işaret eder. Eğilme momenti-eğrilik ilişkisinin ikinci bölgesinde, eğri daha yatay bir konuma geçer. Bu bölgede, keside etki eden eğilme momentinde küçük artışlar olur ve plastik davranış hakimdir. Ancak bununla birlikte eğrilik ve kesitteki dönmeler

hızlı bir şekilde artar ve eğriliğin limit değerlere ulaşmasıyla birlikte kesitin taşıma gücünde tükenme meydana gelir [23].

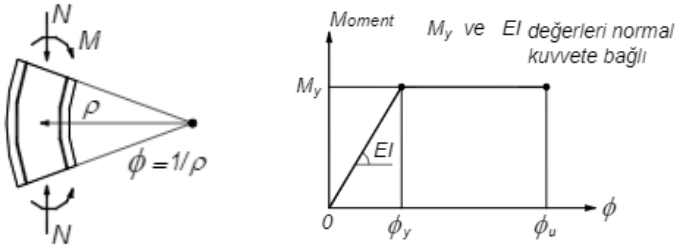
Plastik mafsal hipotezinde eleman üzerinde $l_p$ uzunluğuna sahip bir bölgede doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin denklem 2.1 ile tanımlanmış bir noktada toplandığı kabul edilir.

$$\varphi_P = \int_{l_p} \chi_p d_s \tag{2.1}$$

$\varphi_p$, plastik mafsalın dönmesini ifade eder. Kirişlerde ve kolonlarda eğilme momenti-eğrilik ilişkileri sırasıyla Şekil 2.3 ve Şekil 2.4'te verilmiştir.




**Şekil 2.3** Kiriş kesitlerinde eğilme momenti-eğrilik ilişkisi [14]



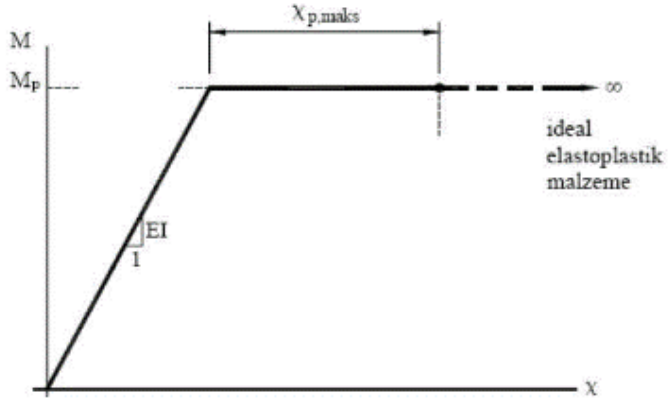

**Şekil 2.4** Kolon kesitlerinde eğilme momenti-eğrilik ilişkisi [14]

Plastik mafsal hipotezinin uygulanabilmesi, gerçek eğilme momenti-eğrilik ilişkisinin iki doğrusal parça ile idealize edilmesiyle sağlanmaktadır. Burada X birim dönmeyi, $X_p$ ise kesitin eğilme momentine karşı gelen birim dönmeyi temsil eder.

$$M \leq M_p \text{ için } X = \frac{M}{EI} \tag{2.2}$$

$$M = M_p \text{ için } X \rightarrow X_{p,maks} \tag{2.3}$$

Plastik mafsal hipotezine göre, eğilme momenti-eğrilik ilişkisi, biri yatay olmak üzere iki doğru parça ile idealize edilir. Bu iki nokta, kesin bir ayrım olmamakla birlikte, çekme donatısının akmaya ulaşması ve betondaki birim kısalmanın $\varepsilon_{CU}$ sınır değerine erişmesi, bu iki doğrusal davranışı birbirinden ayıran bir nokta olarak kabul edilebilir [14]. İdealleştirilmiş bünye bağıntısı Şekil 2.5'te verilmiştir.




**Şekil 2.5** İdealleştirilmiş bünye bağıntısı [14]

Sisteme etkiyen düşey ve yatay yüklerin artmasıyla, plastik mafsalın dönmesi, kesitin dönme kapasitesi olarak nitelendirilen limit değerlere ulaştığında, ortaya çıkan büyük plastik şekil değiştirmeler, kesiti yük taşıyamaz hale getirir. Bir veya daha fazla taşıyıcı sistem kesitinde dönme kapasitesine ulaşılması sonucu yapı sistemi kullanılamaz hale gelir.

M- $\chi$ bağıntısına ve eğilme momenti diyagramına bağlı olarak dönme kapasitesi elde edilir.

$$\text{maks} \int_{l_p} \chi_p d_s \qquad (\chi \rightarrow \chi_{p,maks}) \tag{2.4}$$

Dönme kapasitesi ise denklem 2.5'te verilen bağıntı ile hesaplanır.

$$\text{maks } \varphi_P = l_p \chi_{p,maks} \tag{2.5}$$

$L_p$, kesitlerin plastik mafsal boyu olarak ifade edilir ve yaklaşık olarak $l_p$=0.5d (d: enkesit yüksekliği) formülüyle hesaplanır [13].

Plastik mafsal dönmelerini etkileyen etkenler aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

1. Betonarme betonunun ve beton çeliğinin gerilme-birim şekil değiştirme diyagramlarını belirleyen $\varepsilon_{cu}$ ve $\varepsilon_{su}$ birim boy değişimleri,

2. Betonarme betonunun $\varepsilon_{cu}$ birim boy değişmesini etkileyen sargı donatısının yerleşim düzeni,
3. Kesitteki plastik bölge uzunluğunu belirleyen en kesit boyutları,
4. Taşıyıcı sistem elemanındaki eğilme momenti ve eksenel kuvvet değerleri,

Plastik mafsal hipotezinin esasları aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

1. Taşıyıcı sistem kesitinin taşıdığı $M_p$ plastik moment değerinin, eğilme momenti değerine eşit olması durumunda kesitte plastik mafsal oluşacaktır. Bu durum, kesitin taşıyabileceği en büyük moment değerine ulaşmış olduğu anlamına gelir. Bundan sonra kesit, kapasitesinden daha fazla eğilme momenti taşıyamaz duruma gelir ve serbestçe dönmeye başlar. Kesitteki plastik dönme değeri $\varphi_p$ dönme kapasitesine eriştiğinde ve bu sınır değeri aştığında kesit yük taşıyamaz hale gelmiştir.
2. Plastik mafsallar yapı sistemine ait kesitlerin genellikle düğüm noktalarına yakın uç kısımlarında ve elemanın orta bölgelerinde oluşur. Ancak, sistemin ayakta kalmasını sağlayan, stabilitesini belirleyen plastik mafsallar, çoğunlukla elemanın düğüm noktalarına yakın uç kısımlarındakilerdir. Elemanın düğüm noktalarına yakın uç kısımları arasında kalan orta bölge ise genellikle doğrusal-elastik bir davranış sergiler.
3. Kolonlar ve perdeler gibi ana düşey taşıyıcı elemanlar, hem eksenel yük hem de eğilme momentine maruz kalırlar. Yönetmelikler, düşey taşıyıcı elemanların boyutlandırma hesaplarında sadece eksenel kuvvet etkisini değil, plastik momentin de dikkate alınmasını açıklar. Bu nedenle, taşıyıcı sistemin düşey elemanlarında plastik mafsal hesapları yapılırken, kesitte taşınan plastik moment $M_p$ yerine, normal kuvvetin sayısal değerine karşılık gelen indirgenmiş plastik moment $M_p$' dikkate alınır.

## 2.3 Deprem Etkisi Altında Yapıların Performansı

Bu bölümde, söz konusu temel ilkeler ve hesap kurallarını sınırlayan etkenler ile betonarme binaların performans hedefleri ve düzeyleri, yapı elemanlarında hasar sınırları, hasar bölgeleri ve izin verilen şekil değiştirme sınırları açıklanmıştır.

### 2.3.1 Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları

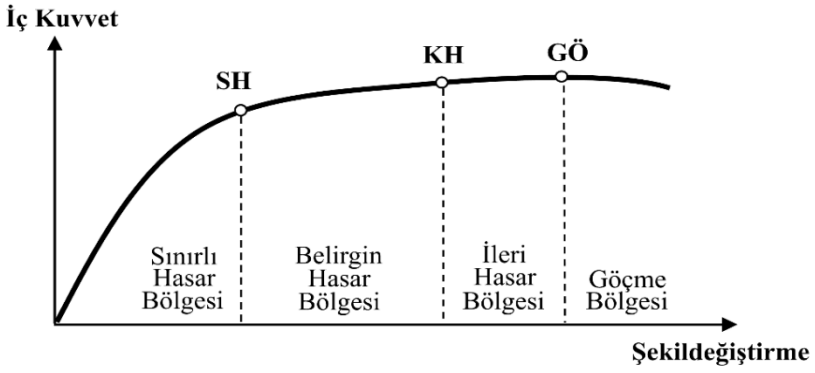
TBDY-2018'de üç hasar sınırı tanımlanmıştır. Bu hasar sınırları, süney davranış sergileyen yapı elemanları içindir. Hasar sınırları, "Sınırlı Hasar (SH)", "Kontrollü Hasar (KH)" ve "Göçme Öncesi Hasar (GÖ)" olarak ifade edilmiştir [13].

- Sınırlı Hasar (SH): Kesitte sınırlı düzeyde elastik ötesi davranış görünür.
- Kontrollü Hasar (KH): Kesit kapasitesinin üzerindeki kuvvetleri güvenle taşıyabileceği elastik ötesi davranışı temsil eder.
- Göçme Öncesi Hasar (GÖ): Kesitte ileri düzeyde gerilme-şekil değiştirme ilişkisini temsil eder.

### 2.3.2 Yapı Elemanlarında Hasar Bölgeleri

Yapı elemanlarına ait hasar bölgeleri TBDY-2018'de tanımlanmıştır. Şekil 2.6'da TBDY-2018'de tanımlanan kesit hasar bölgeleri gösterilmiştir.

Hasarı SH'ya ulaşmayan kesitler Sınırlı Hasar Bölgesi'nde, SH ile KH arasında kalan kesitler Belirgin Hasar Bölgesi'nde, KH ile GÖ arasında kalan kesitler İleri Hasar Bölgesi'nde, GÖ'yü aşan kesitler ise Göçme Bölgesi'nde yer alırlar [13].




**Şekil 2.6** Kesit Hasar Bölgeleri [13]

### 2.3.3 Bina Performans Düzeyleri

Sismik yüklere maruz kalan taşıyıcı sistemler için performans düzeyleri ve açıklamaları maddeler halinde verilmiştir:

- Kesintisiz Kullanım (KK) Performans Düzeyi: Binaya ait taşıyıcı sistem elemanlarında yapısal hasarın oluşmadığı veya meydana gelen hasarın ihmal edilebilecek düzeyde kaldığı performans seviyesini ifade etmektedir [13].

- Sınırlı Hasar (SH) Performans Düzeyi: Bina taşıyıcı sistem elemanlarında sınırlı seviyede eleman hasarının oluştuğu, lineer olmayan davranışın kısıtlı olduğu kesit hasar seviyesini ifade etmektedir [13].
- Kontrollü Hasar (KH) Performans Düzeyi: Yapıya ait taşıyıcı sistem kesitlerinde genellikle onarılabilir olan ve genellikle çok fazla olmayan hasar seviyesini ifade etmektedir [13].
- Göçmenin Önlenmesi (GÖ) Performans Düzeyi: Ciddi düzeyde hasarın yaşandığı ancak sistemin tam olarak çökmesinin önlendiği durumu ifade etmektedir. Binanın kısmen veya tamamen göçmesi engellenmiştir [13].

### 2.3.4 Bina Performans Hedefleri

TBDY-2018'de tanımlanan mevcut yapı sistemleri için deprem tasarım sınıfları, deprem yer hareketi düzeyleri ve bunlara karşılık gelen performans hedefleri Tablo 2.1'de gösterilmiştir [13].

**Tablo 2.1** Mevcut betonarme yapılar için performans hedefleri [13]

| Deprem Yer H. Düzeyi | DTS = 1, 2, 3, 3a, 4, 4a | | DTS = 1a, 2a | |
|---|---|---|---|---|
| | Normal Performans Hedefi | Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı | İleri Performans Hedefi | Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı |
| DD-3 | — | — | SH | ŞGDT |
| DD-2 | KH | ŞGDT | — | — |
| DD-1 | — | — | KH | ŞGDT |

### 2.3.5 Betonarme Perdeli Çerçeve Sistem Elemanları İçin İzin Verilen Şekil Değiştirme Sınırları

Betonarme perdeli çerçeve sistem elemanları için izin verilen şekil değiştirme limitleri, yapı elemanlarının üzerindeki yüklerin etkisi altında deformasyonları sınıflandırmaya yarayan kılavuzlardır. Betonarme perdeli çerçeve sistem elemanları için belirlenen şekil değiştirme sınırları TDY-2018'de verilmiş ve aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

Göçmenin Önlenmesi (GÖ) performans düzeyinde beton ve donatı çeliği için kesitte izin verilen toplam birim şekil değiştirmeler denklem 2.6 ve 2.7, plastik dönme sınırları ise denklem 2.8'e göre hesaplanır [13]. Denklem 2.6'da verilen $\omega_{we}$etkin sargı donatısının mekanik donatıya oranını temsil eder.

$$\varepsilon_C^{(GÖ)} = 0.0035 + 0.04\sqrt{\omega_{we}} \tag{2.6}$$

$$\varepsilon_S^{(GÖ)} = 0.4\varepsilon_{su} \tag{2.7}$$

$$\theta_P^{(GÖ)} = \frac{2}{3}\left[\left((\varphi_U - \varphi_Y)L_P\left(1 - 0.5\frac{L_P}{L_S}\right)\right) + 4.5\varphi_U\, d_b\right] \tag{2.8}$$

Kontrollü Hasar (KH) performans düzeyinde beton ve donatı çeliği için kesitte izin verilen toplam birim şekil değiştirmeler ile plastik dönme sınırları, denklem 2.9 ve 2.10'a göre hesaplanır [13].

$$\varepsilon_C^{(KH)} = 0.75\varepsilon_C^{(GÖ)}\ ;\ \varepsilon_S^{(KH)} = 0.75\varepsilon_S^{(GÖ)} \tag{2.9}$$

$$\theta_P^{(KH)} = 0.75\theta_P^{(GÖ)} \tag{2.10}$$

Sınırlı Hasar (SH) performans düzeyinde beton ve donatı çeliği için kesitte izin verilen toplam birim şekil değiştirmeler ve plastik dönme limitleri, denklem 2.11 ve 2.12'ye göre hesaplanır [13].

$$\varepsilon_C^{(SH)} = 0.0025\ ;\ \varepsilon_S^{(SH)} = 0.0075 \tag{2.11}$$

$$\theta_P^{(SH)} = 0 \tag{2.12}$$

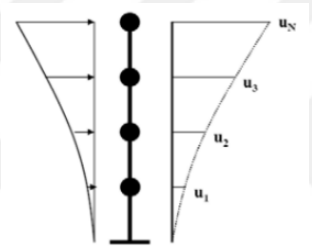
## 2.4 Yapıların Performanslarının Doğrusal Olmayan Sabit Tek Modlu İtme Yöntemiyle Belirlenmesi

Tek modlu itme yöntemi, her hesap adımında göz önünde bulundurulan deprem doğrultusunda hakim olan titreşim moduna göre taşıyıcı sistemin yer değiştirmesi, plastik şekil değiştirmesi ve iç kuvvet artışları, deprem kuvvetlerinin artışları etkisi altında bir sınıra kadar birikimli değerlerin hesaplanması şeklinde açıklanabilir. Son adımda hesaplanan yer değiştirme istemine kadar birikimli değerler hesaplanarak şekil değiştirme hesabına esas büyüklükler elde edilir. Bu yöntem, birinci modun etkili olduğu az katlı ve burulma düzensizliğinin sınırlı olduğu binalarda yeterli yaklaşımı sağlar. TBDY-2018'de verilen sınır şartları aşağıdaki gibi verilmiştir [13]:

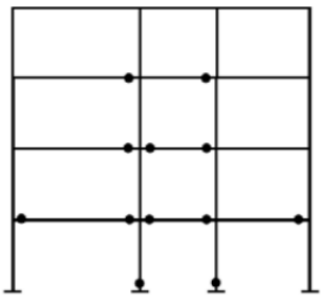
- Deprem doğrultusundaki hakim olan birinci titreşim modunda hesaplanan etkin kütle katılım oranı 0.70'ten büyük olmalıdır [13].

- Burulma düzensizliği katsayısı ($\eta_{bi}$) 1.4'ten küçük olmalıdır [13],
- Bina yükseklik sınıfı 5 veya daha büyük olmalıdır (BYS ≥ 5) [13],

Sabit tek modlu itme yöntemi, taşıyıcı sistemin deprem etkisi talebiyle yatay yük taşıma kapasitesini karşılaştırır. Buna göre deprem yükleri altında yapı sistemine ait performans durumu belirlenebilir. Bu yöntemin dört aşaması bulunmaktadır. Bunlardan ilki taşıyıcı sistemin kapasite eğrisinin belirlenmesidir. İkincisi, deprem yükleri altında yer değiştirmeye ait talep eğrisinin belirlenmesidir. Üçüncü aşama, bu iki eğrinin kesiştirilmesi ve taşıyıcı sistemin dengeye ulaştığı bina performans durumunun belirlenmesidir. Son olarak da bu performans durumuna göre kesitlerin iç kuvvetleri ve şekil değiştirmeleri incelenir. Bu şekil değiştirmeler ve iç kuvvetler de performans durumunun hedeflenen düzeye uygun olup olmadığının kontrolü için kullanılır [14].



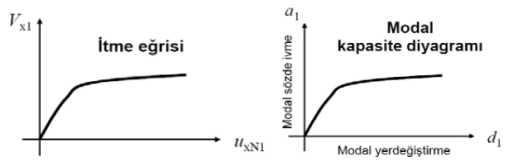

**Şekil 2.7** Yükleme-yer değiştirme grafiği [14]



**Şekil 2.8** Plastik mafsalların oluşumu [14]

Şekil 2.7'de yükleme-yer değiştirme grafiği ve Şekil 2.8'de taşıyıcı sistemdeki plastik mafsal oluşumu gösterilmiştir. Statik itme eğrisi, tamamen sistemin özelliklerine bağlıdır ve lineer olmayan davranışa göre taşıyıcı sistemin karşıladığı $V_{x1}$ yatay kuvvetin etkisiyle ortaya çıkan $u_{xN1}$ yatay ötelenme arasındaki bağlantıyı ifade eder. Dinamik elasto-plastik davranışta, kuvvet-yer değiştirme eğrisi, temel eğri olarak kabul edilir. Statik itme eğrisinde, yatay kuvvetin değeri arttıkça plastik şekil değiştirmeler ve yatay yer değiştirmelerin mertebeleri büyür. Bu da, taşıyıcı

sistemde elastik ötesi yer değiştirmelerin artmasına ve hasasrın ortaya çıkmasına sebep olur. Bu eğrinin adımlarında, plastik mafsal kesitlerinin oluşma sıralaması, sistem davranışını değerlendirmek için önemli bilgiler içerir. Statik itme eğrisi ve talep eğrisinin birleştirilmesi için bir eksen değişimi yapılır. $V_1$ toplam kuvvet (taban kesme kuvveti), $a_1$ modal ivmeye ve $u_{N1}$ en üst katın yer değiştirmesi $d_1$ modal yer değiştirmeye dönüştürülür [14]. Şekil 2.9'da itme eğrisi ve modal kapasite diyagramları ifade edilmiştir.




**Şekil 2.9** İtme eğrisi ve modal kapasite diyagramı [14]

İtme hesabında $a_1^{(X,k)}$, (X) deprem doğrultusunda taban kesme kuvveti $V_{tx1}^{(X,k)}$için yazılan denklem 2.13 ile elde edilir [13].

$$a_1^{(X,k)} = \frac{V_{tx1}^{(X,k)}}{m_{tx1}^{(X,1)}} \tag{2.13}$$

Tek serbestlik dereceli sistemin birinci moduna ait modal modal yer değiştirmesi $d_1^{(X,k)}$ herhangi bir i'inci katta x doğrultusundaki yatay yer değiştirmeden elde edilebilir. Bu amaçla, itme hesabında taşıyıcı sistemin N'inci katındaki tepe yer değiştirmesinden yararlanılarak denklem 2.14'teki bağıntıyla hesaplanır [13,14].

$$d_1^{(X,k)} = \frac{u_{Nx1}^{(X,k)}}{\Phi_{Nx1}^{(1)} \Gamma_1^{(X,1)}} \tag{2.14}$$

Statik itme analizinde, her bir adımda modal yer değiştirmenin, denklem 2.12 ile itme analizinin ilk adımındaki lineer sistemine ait sabit mod şeklinden elde edilmesi nedeniyle yapılan yaklaşık hesabı kısmen gidermek için, herhangi bir k'ıncı itme adımında elde edilen yer değiştirme artışı, yaklaşık olarak o adımdaki değişken mod şekli genliği olarak anılabilir [13,14]. Buna göre, tipik bir i'inci katta x doğrultusundaki serbestelik derecesi denklem 2.15'teki bağıntıyla hesaplanır.

$$\Phi_{ix1}^{(k)} \approx u_{ix1}^{(X,k)} - u_{ix1}^{(X,k-1)} \tag{2.15}$$

Bu durumda modal yer değiştirme $d_1^{(X,k)}$, tepe yer değiştirmesinden bağımsız olarak denklem 2.16 ile elde edilir [13,14].

$$d_1^{(X,k)} = d_1^{(X,k-1)} + \frac{1}{\Gamma_1^{(X,k)}} \tag{2.16}$$

# 3
# SAYISAL MODELLEME

Bu bölümde, sayısal modellemeye esas örnek binaların geometrik özellikleri, TBDY-2018'e göre doğrusal elastik tasarım sonuçları ve doğrusal olmayan analiz sonuçları karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

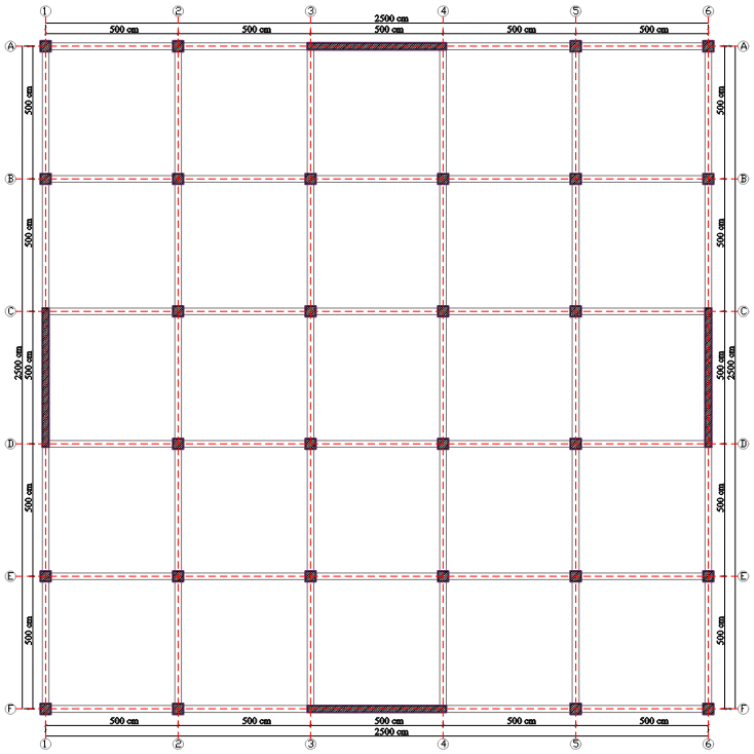
## 3.1 Betonarme Perdeli Çerçeveli Yapı Örnekleri

Örnek binalar, perdeli çerçeveli yapı sisteminden oluşmaktadırlar. Binalar planda simetrik olarak düzenlenmiş olup, 2.8 m kat yüksekliğine ve her iki yönde 5 m aks aralığına sahiptir. Örnek binaların plandaki uzunlukları her iki yön için 25 m'dir. Farklı bina yüksekliğine ve üç farklı betonarme perde yerleşimine sahip perdeli çerçeveli yapıların plan gösterimleri Şekil 3.1, Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'te verildiği gibidir:

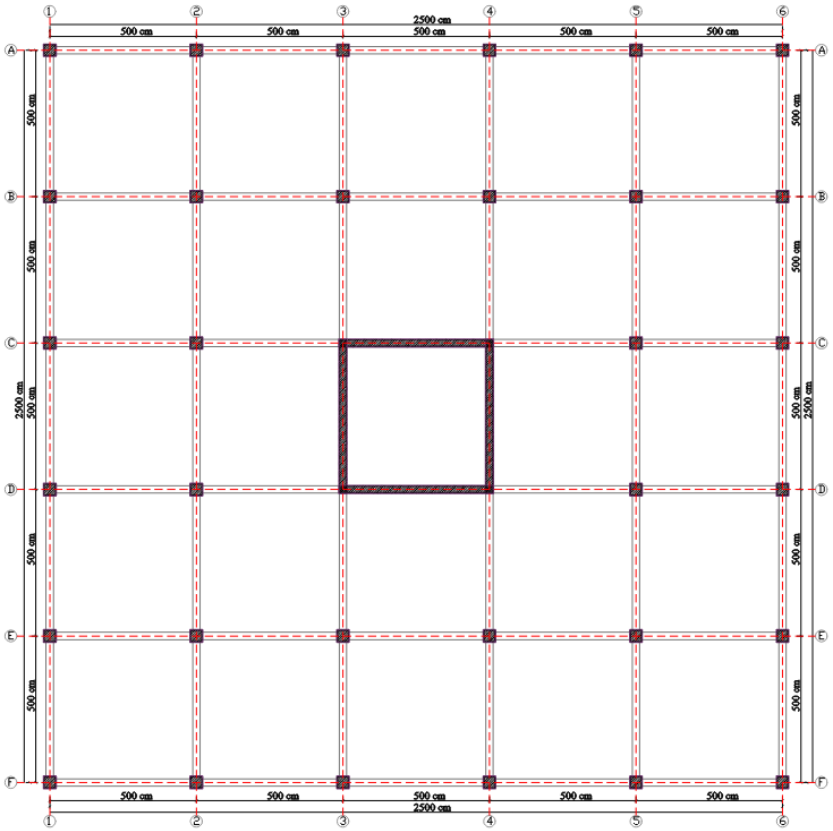
SP-1: Perdelerin kenar aksta ve ortada olduğu durum (Şekil 3.1),

SP-2: Perdelerin bina merkezinde olduğu, çekirdek perde durumu (Şekil 3.2),

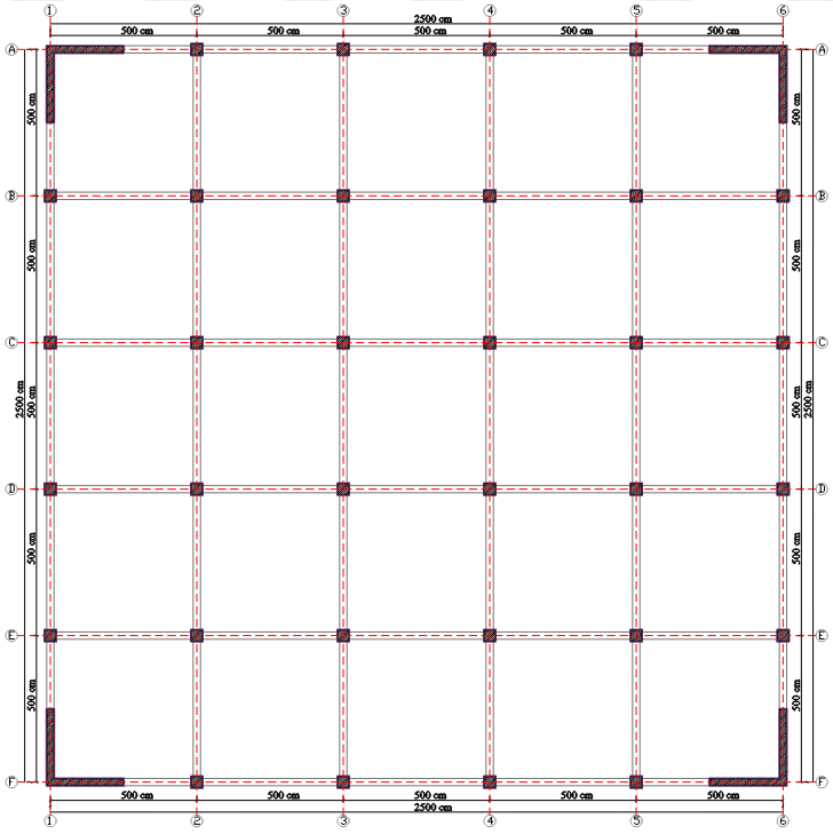
SP-3: Perdelerin bina köşesinde L tipinde olduğu durum (Şekil 3.3)




**Şekil 3.1** SP-1 kat kalıp planı

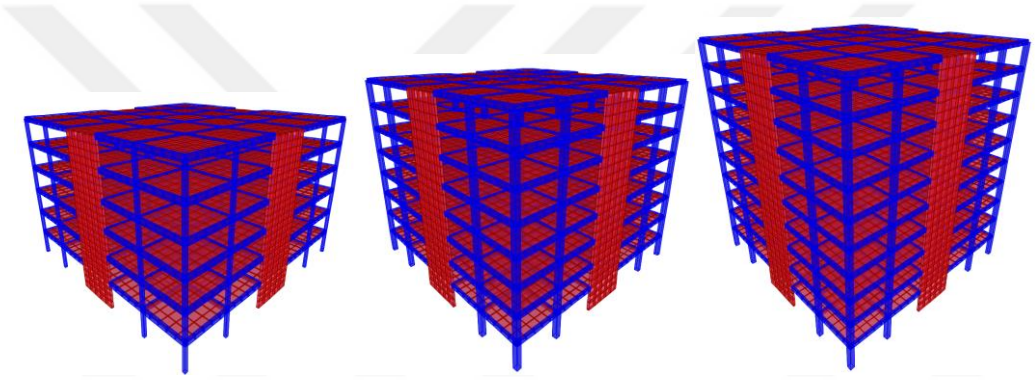



**Şekil 3.2** SP-2 kat kalıp planı

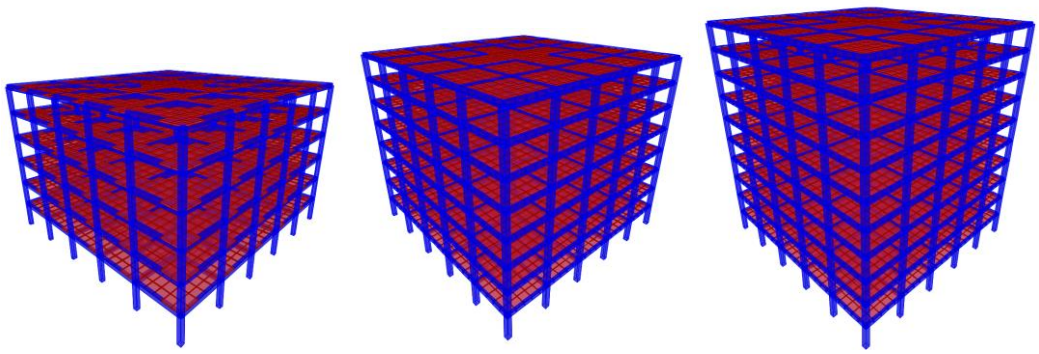



**Şekil 3.3** SP-3 kat kalıp planı

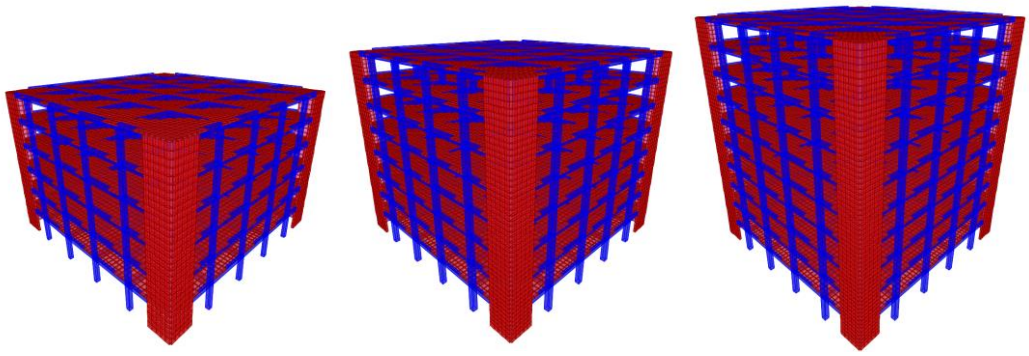
Taşıyıcı sistem eleman boyutları, aynı bina yüksekliğine ve aynı yerel zemin sınıfına sahip örnek yapılar için aynı olacak şekilde kabul edilmiştir. Kirişler, döşeme kalınlığı ve perde kalınlıkları tüm geometriler için aynı boyutlarda seçilmiştir. Kolon boyutları her bir örnek bina içinde aynı olmakla birlikte, örnek binalar arasında zemin sınıfı ve bina yüksekliklerine bağlı olarak değişkenlik göstermiştir. Kabul edilen 2.8 m kat yüksekliği değerine göre 6 katlı yapılar BYS=6, 8 ve 10 katlı yapılar ise BYS=5 sınıfına girmektedir. Örnek sistemler için kabul edilen bina yükseklikleri, tek modlu itme analizi şartlarını sağlamaktadır. Yapı malzemesi olarak beton için C30, donatı için B420C malzeme kabulü yapılmıştır. Tüm örnek yapılara ait üç boyutlu görseller Şekil 3.4, Şekil 3.5 ve Şekil 3.6'da verilmiştir.



**Şekil 3.4** SP-1 üç boyutlu görünüşler (sırasıyla 6 katlı, 8 katlı ve 10 katlı)



**Şekil 3.5** SP-2 üç boyutlu görünüşler (sırasıyla 6 katlı, 8 katlı ve 10 katlı)



**Şekil 3.6** SP-3 üç boyutlu görünüşler (sırasıyla 6 katlı, 8 katlı ve 10 katlı)

Kolon boyutları, kiriş boyutları, döşeme kalınlığı ve perde kalınlıkları Tablo 3.1'de özetlenmiştir.

**Tablo 3.1** Örnek binaların eleman boyutları

| Örnek Bina Tarifi | Kolon Boyutları | Kiriş Boyutları | Döşeme Kalınlığı | Perde Kalınlığı |
|---|---|---|---|---|
| SP-1, ZC, 6 Katlı | 40×40 cm | 25×50 cm | 12 cm | 25 cm |
| SP-1, ZC, 8 Katlı | 45×45 cm | 25×50 cm | 12 cm | 25 cm |
| SP-1, ZC, 10 Katlı | 50×50 cm | 25×50 cm | 12 cm | 25 cm |
| SP-2, ZC, 6 Katlı | 40×40 cm | 25×50 cm | 12 cm | 25 cm |
| SP-2, ZC, 8 Katlı | 45×45 cm | 25×50 cm | 12 cm | 25 cm |
| SP-2, ZC, 10 Katlı | 50×50 cm | 25×50 cm | 12 cm | 25 cm |
| SP-3, ZC, 6 Katlı | 40×40 cm | 25×50 cm | 12 cm | 25 cm |
| SP-3, ZC, 8 Katlı | 45×45 cm | 25×50 cm | 12 cm | 25 cm |
| SP-3, ZC, 10 Katlı | 50×50 cm | 25×50 cm | 12 cm | 25 cm |
| SP-1, ZE, 6 Katlı | 40×40 cm | 25×50 cm | 12 cm | 25 cm |
| SP-1, ZE, 8 Katlı | 50×50 cm | 25×50 cm | 12 cm | 25 cm |
| SP-1, ZE, 10 Katlı | 55×55 cm | 25×50 cm | 12 cm | 25 cm |
| SP-2, ZE, 6 Katlı | 40×40 cm | 25×50 cm | 12 cm | 25 cm |
| SP-2, ZE, 8 Katlı | 50×50 cm | 25×50 cm | 12 cm | 25 cm |
| SP-2, ZE, 10 Katlı | 55×55 cm | 25×50 cm | 12 cm | 25 cm |
| SP-3, ZE, 6 Katlı | 40×40 cm | 25×50 cm | 12 cm | 25 cm |
| SP-3, ZE, 8 Katlı | 50×50 cm | 25×50 cm | 12 cm | 25 cm |
| SP-3, ZE, 10 Katlı | 55×55 cm | 25×50 cm | 12 cm | 25 cm |

## 3.2 Tasarımda Göz Önüne Alınan Yükler ve Yük Birleşimleri

Bölüm 3.1'de verilen taşıyıcı sistemlerin tasarımı için hesaplarda dikkate alınacak sabit dış yükler, hareketli yükler, deprem yükleri ve yük birleşimleri bu bölüm altında verilmiştir.

### 3.2.1 Sabit Dış Yükler ve Hareketli Yükler

Yapı sistemlerine ait elemanların ölü ağırlıkları için analiz programına beton birim hacim değeri 25 kN/m$^3$, donatı çeliği için ise 78.5 kN/m$^3$ tanımlanmıştır. Ayrıca, analizlerde dikkate alınan kat döşemelerindeki ölü ve hareketli yük değerleri Tablo 3.2'de verilmiştir.

**Tablo 3.2** Ölü ve hareketli yük değerleri

| Yük | Yük Değeri (kN/m$^2$) |
|---|---|
| Kaplama yükü | 2.50 |
| Hareketli yük | 2.00 |

### 3.2.2 Deprem Yükleri ve Dinamik Parametreler

Yapıların, İstanbul İli, Silivri İlçesi'nde konut binaları olarak hizmet verdiği kabul edilmiştir. İki farklı yerel zemin sınıfına göre deprem parametreleri belirlenmiş ve doğrusal olmayan statik analizlerde (itme analizi) kullanılmıştır. Ayrıca, hesaplarda ek dış merkezlik dikkate alınmamış, her iki yerel zemin sınıfı için sabit tek modlu itme analizi yöntemi kullanılmıştır. Her iki yerel zemin sınıfı kabulüne yatay ivme spektrum eğrileri sırasıyla Şekil 3.7 ve Şekil 3.8'de verilmiştir.

*ZC Yerel Zemin Sınıfına Göre Deprem Parametreleri:*

Yerel zemin sınıfı :ZC

Enlem/Boylam :41.079888°/28.277086°

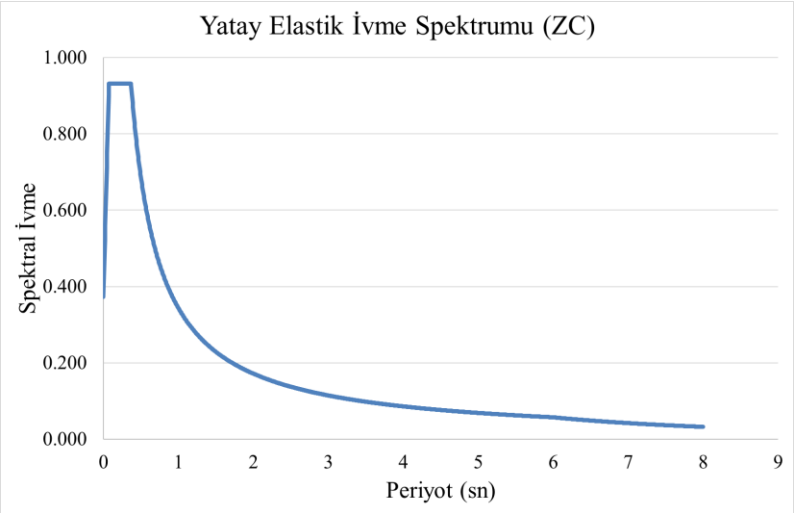
PGA :0.319g

$S_s$ :0.776

$S_1$ :0.229

$S_{DS}= S_s \times F_S = 0.776 \times 1.200 = 0.931$

$S_{D1}= S_1 \times F_1 = 0.229 \times 1.500 = 0.344$




**Şekil 3.7** ZC yerel zemin sınıfına göre yatay elastik ivme spektrumu

*ZE Yerel Zemin Sınıfına Göre Deprem Parametreleri:*

Yerel zemin sınıfı :ZE

Enlem/Boylam :41.079888°/28.277086°

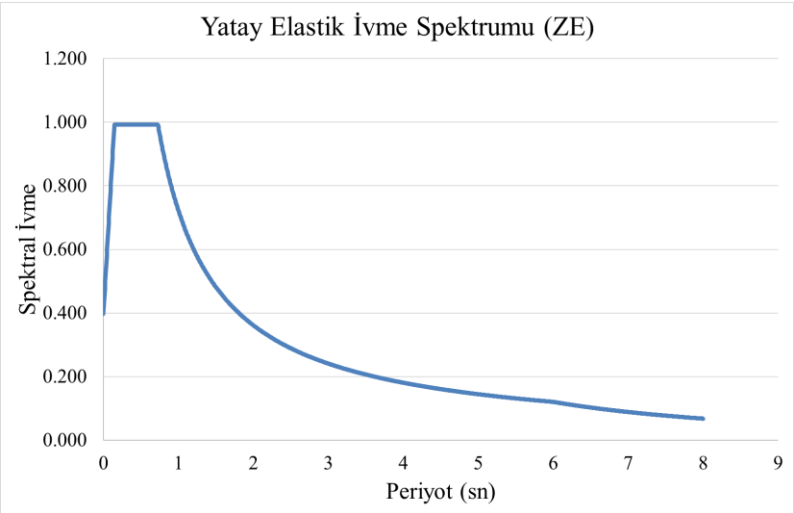
PGA :0.319g

$S_s$ :0.776

$S_1$ :0.229

$S_{DS}= S_s \times F_S=0.776\times1.279=0.993$

$S_{D1}= S_1 \times F_1=0.229\times3.155=0.722$




**Şekil 3.8** ZE yerel zemin sınıfına göre yatay elastik ivme spektrumu

### 3.2.3 Yük Birleşimleri

Kesit hesapları için tasarımda kullanılan yük birleşimleri Tablo 3.3'te verilmiştir.

**Tablo 3.3** Tasarımda kullanılan yük birleşimleri

| Yük Birleşimi |
|---|
| G+Q+S |
| G+0.5Q |
| G+0.5S |
| 1.4G+1.6Q+1.6S |
| $(1.0+0.2S_{DS})G+Q+0.2S+E_x+0.3E_y$ |
| $(1.0+0.2S_{DS})G+Q+0.2S+E_y+0.3E_x$ |
| $(0.9-0.2S_{DS})G+E_x+0.3\ E_y$ |
| $(0.9-0.2S_{DS})G+E+0.3E_x$ |
| $(1.0+0.2S_{DS})G+Q+0.2S+D\times E_x+0.3D\times E_y$ |
| $(1.0+0.2S_{DS})G+Q+0.2S+D\times E_y+0.3D\times E_x$ |
| $(0.9-0.2S_{DS})G+D\times E_x+0.3D\times E_y$ |
| $(0.9-0.2S_{DS})G+D\times E_y+0.3D\times E_x$ |

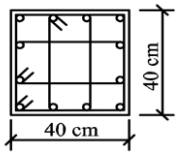
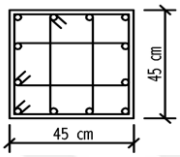
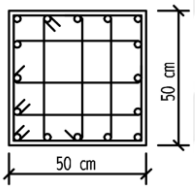
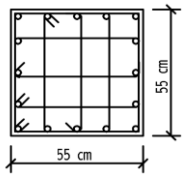
## 3.3 Doğrusal Elastik Modelleme ve Tasarım

Çalışmanın ilk aşamasında, örnek binaların doğrusal elastik modelleri kurulmuş ve tasarımları yapılmıştır. Dayanıma Göre Tasarım (DGT) kapsamında doğrusal hesap yöntemlerinden biri olan eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılmıştır. Deprem etkilerinin süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçeveler ile boşluksuz betonarme perdeler ile taşındığı kabulüyle taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R) 7, dayanım fazlalığı katsayısı ise (D) 2.5 seçilmiştir. Örnek binaların tasarımda dikkate alınacak kullanım amacına bağlı olarak bina kullanım sınıfı (BKS) 3, deprem tasarım sınıfı (DTS) ise 1'dir. Binanın tasarımı STA4Cad V14.1 [21] yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tasarım sonuçlarına göre, tüm geometriler için kiriş enkesit boyutları 25×50 cm seçilmiştir. Kolon boyutları ise ZC yerel zemin sınıfına sahip örnek yapılarda bina yükseklik sınıfına göre 40×40 cm, 45×45 cm ve 50×50 cm'dir. ZE yerel zemin sınıfına sahip örnek yapılarda ise bina yükseklik sınıfına göre kolon boyutları 40×40 cm, 50×50 cm ve 55×55 cm kabul edilmiştir. Perde kalınlıkları 25

cm olarak kabul edilmiş ve kesit hesapları yapılmıştır. Döşeme kalınlıkları 12 cm seçilmiştir.

Kolon eleman boyutları ve doğrusal olmayan analize esas kabul edilen kesit donatı bilgileri Tablo 3.4'te verilmiştir.

**Tablo 3.4** Kolon kesit tipleri

| Kolon Kesit Tipleri | Boyutlar (cm) | Düşey Donatı | Yatay Donatı |
|---|---|---|---|
|  | 40×40 cm | 12Ø14 | Ø8/8/15 |
|  | 45×45 cm | 12Ø16 | Ø8/8/15 |
|  | 50×50 cm | 16Ø16 | Ø8/8/15 |
|  | 55×55 cm | 16Ø16 | Ø8/8/15 |

Perde elemanlar için doğrusal olmayan analize esas kabul edilen kesit donatı bilgileri Tablo 3.5'te verilmiştir.

**Tablo 3.5** Betonarme perde donatı bilgileri

| Örnek Bina | Perdelerin Başlık Bölgelerinin Uzunluğu (m) | Başlık Bölgesi Düşey Donatı | Başlık Bölgesi Yatay Donatı | Gövde Düşey Donatı | Gövde Yatay Donatı |
|---|---|---|---|---|---|
| SP-1, ZC, 6 Katlı | 1.00 | Ø20/10 | Ø10/10 | Ø12/15 | Ø8/10 |
| SP-1, ZC, 8 Katlı | 1.00 | Ø22/10 | Ø10/10 | Ø16/15 | Ø8/10 |
| SP-1, ZC, 10 Katlı | 1.00 | Ø22/10 | Ø10/10 | Ø16/15 | Ø8/10 |
| SP-2, ZC, 6 Katlı | 1.00 | Ø20/10 | Ø10/10 | Ø12/15 | Ø8/10 |
| SP-2, ZC, 8 Katlı | 1.00 | Ø22/10 | Ø10/10 | Ø16/15 | Ø8/10 |
| SP-2, ZC, 10 Katlı | 1.00 | Ø22/10 | Ø10/10 | Ø16/15 | Ø8/10 |

**Tablo 3.5** Betonarme perde donatı bilgileri (devamı)

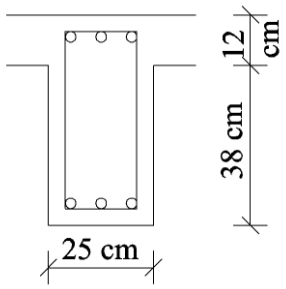
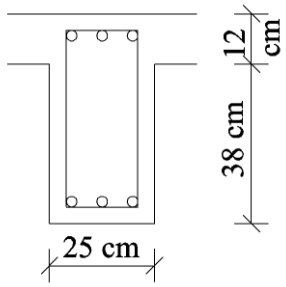
| Örnek Bina | Perdelerin Başlık Bölgelerinin Uzunluğu (m) | Başlık Bölgesi Düşey Donatı | Başlık Bölgesi Yatay Donatı | Gövde Düşey Donatı | Gövde Yatay Donatı |
|---|---|---|---|---|---|
| SP-3, ZC, 6 Katlı | 1.00 | Ø20/10 | Ø10/10 | Ø12/15 | Ø8/10 |
| SP-3, ZC, 8 Katlı | 1.00 | Ø22/10 | Ø10/10 | Ø16/15 | Ø8/10 |
| SP-3, ZC, 10 Katlı | 1.00 | Ø22/10 | Ø10/10 | Ø16/15 | Ø8/10 |
| SP-1, ZE, 6 Katlı | 1.00 | Ø20/10 | Ø10/10 | Ø12/15 | Ø8/10 |
| SP-1, ZE, 8 Katlı | 1.00 | Ø22/10 | Ø10/10 | Ø16/15 | Ø8/10 |
| SP-1, ZE, 10 Katlı | 1.00 | Ø25/10 | Ø10/10 | Ø16/15 | Ø8/10 |
| SP-2, ZE, 6 Katlı | 1.00 | Ø20/10 | Ø10/10 | Ø12/15 | Ø8/10 |
| SP-2, ZE, 8 Katlı | 1.00 | Ø22/10 | Ø10/10 | Ø16/15 | Ø8/10 |
| SP-2, ZE, 10 Katlı | 1.00 | Ø25/10 | Ø10/10 | Ø16/15 | Ø8/10 |
| SP-3, ZE, 6 Katlı | 1.00 | Ø20/10 | Ø10/10 | Ø12/15 | Ø8/10 |
| SP-3, ZE, 8 Katlı | 1.00 | Ø22/10 | Ø10/10 | Ø16/15 | Ø8/10 |
| SP-3, ZE, 10 Katlı | 1.00 | Ø25/10 | Ø10/10 | Ø16/15 | Ø8/10 |

Kirişler için doğrusal olmayan analize esas kabul edilen kesit donatı bilgileri Tablo 3.6'da, kiriş kesitlerin özellikleri ise Tablo 3.7'de verilmiştir.

**Tablo 3.6** Örnek binalara ait kiriş kesit bilgileri

| Örnek Bina | Boyutlar (cm) | Boyuna Donatı (Alt ve Üst) | Enine Donatı |
|---|---|---|---|
| SP-1, ZC, 6 Katlı | 25×50 cm | 3Ø16 (alt)+ 3Ø16 (üst) | Ø8/9/20 |
| SP-1, ZC, 8 Katlı | 25×50 cm | 3Ø16 (alt)+ 3Ø16 (üst) | Ø8/9/20 |
| SP-1, ZC, 10 Katlı | 25×50 cm | 3Ø16 (alt)+ 3Ø16 (üst) | Ø8/9/20 |
| SP-2, ZC, 6 Katlı | 25×50 cm | 3Ø16 (alt)+ 3Ø16 (üst) | Ø8/9/20 |
| SP-2, ZC, 8 Katlı | 25×50 cm | 3Ø16 (alt)+ 3Ø16 (üst) | Ø8/9/20 |
| SP-2, ZC, 10 Katlı | 25×50 cm | 3Ø16 (alt)+ 3Ø16 (üst) | Ø8/9/20 |
| SP-3, ZC, 6 Katlı | 25×50 cm | 3Ø16 (alt)+ 3Ø16 (üst) | Ø8/9/20 |
| SP-3, ZC, 8 Katlı | 25×50 cm | 3Ø16 (alt)+ 3Ø16 (üst) | Ø8/9/20 |
| SP-3, ZC, 10 Katlı | 25×50 cm | 3Ø16 (alt)+ 3Ø16 (üst) | Ø8/9/20 |
| SP-1, ZE, 6 Katlı | 25×50 cm | 3Ø16 (alt)+ 3Ø16 (üst) | Ø8/9/20 |
| SP-1, ZE, 8 Katlı | 25×50 cm | 3Ø20 (alt)+ 3Ø20 (üst) | Ø8/9/20 |
| SP-1, ZE, 10 Katlı | 25×50 cm | 3Ø20 (alt)+ 3Ø20 (üst) | Ø8/9/20 |
| SP-2, ZE, 6 Katlı | 25×50 cm | 3Ø16 (alt)+ 3Ø16 (üst) | Ø8/9/20 |
| SP-2, ZE, 8 Katlı | 25×50 cm | 3Ø20 (alt)+ 3Ø20 (üst) | Ø8/9/20 |
| SP-2, ZE, 10 Katlı | 25×50 cm | 3Ø20 (alt)+ 3Ø20 (üst) | Ø8/9/20 |
| SP-3, ZE, 6 Katlı | 25×50 cm | 3Ø16 (alt)+ 3Ø16 (üst) | Ø8/9/20 |
| SP-3, ZE, 8 Katlı | 25×50 cm | 3Ø20 (alt)+ 3Ø20 (üst) | Ø8/9/20 |
| SP-3, ZE, 10 Katlı | 25×50 cm | 3Ø20 (alt)+ 3Ø20 (üst) | Ø8/9/20 |

**Tablo 3.7** Betonarme kiriş kesit tipleri

| Kiriş Kesit Tipleri | Boyutlar (cm) | Boyuna Donatı | Enine Donatı |
|---|---|---|---|
|  | 25×50 cm | 3Ø16 (alt) +3Ø16 (üst) | Ø8/9/20 |
|  | 25×50 cm | 3Ø20 (alt) +3Ø20 (üst) | Ø8/9/20 |

ZC ve ZE yerel zemin sınıflarına ait tüm geometrilerin raporları teze ekli harici bellek içerisinde (Ek A) verilmiştir. Dosyaların adlandırılmasında ilk parametre zemin sınıfını, ikinci parametre kat adedini, üçüncü parametre ise bina geometrisini ifade etmektedir.

## 3.4 Yapı Elemanlarının Doğrusal Olmayan Davranışının Modellenmesi

Doğrusal olmayan analiz yöntemleri, yapıların sismik etkiler altında sergilediği davranışı gerçeğe daha yakın bir şekilde temsil eder. Doğrusal olmayan yöntemler, hem mevcut yapıların sismik performanslarının belirlenmesinde hem de yeni yapılacak yapıların tasarımında kullanılır. Doğrusal olmayan analiz yöntemlerinin kullanılması durumunda yapısal sistem hesap modelindeki taşıyıcı sistem elemanları malzeme ve geometrik özellikleri dikkate alınarak elastik ötesi davranışı temsil etmelidir.

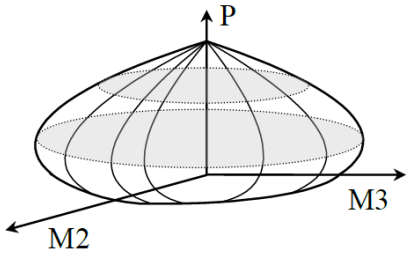
### 3.4.1 Kiriş Elemanların Modellenmesi

Kirişlerin kendi düzlemlerinde eğilme davranışı göstermeleri, plastik mafsal özelliklerinin tanımlanmasında belirleyicidir. Düşey etkilerden dolayı kirişlerin

birleşim kesitlerinde eğilme momentinin değişimi daha fazla farklılık gösterir. Elemanlarda plastikleşme durumu değişken olduğu için, basitleştirmek amacıyla eşdeğer bir boy tanımlanır [14]. Plastik mafsal boyu olarak tanımlanan bu boyun bağlı olduğu en önemli büyüklük ise TBDY-2018'de tanımlanan kesit yüksekliğinin yarısı olarak öngörülmüştür [13]. Farklı kiriş kesitleri için kabul edilen donatı düzenleri dikkate alınmıştır. Benzer donatı ve kesit düzenine sahip taşıyıcı sistem kirişleri için benzer plastik mafsal özellikleri tespit edilmiş ve tanımlanmıştır. Kirişler, tarafsız eksene göre simetriktir. Pozitif ve negatif momentlere göre moment-eğrilik ilişkileri aynı kabul edilmiş ve analiz modelinde plastik mafsal özellikleri bu doğrultuda atanmıştır.

### 3.4.2 Kolon Elemanların Modellenmesi

Deprem etkisi altında kolon elemanların zorlanan bölgelerinin iki uçta olduğu kabul edilir ve plastik mafsal tanımları iki uca yapılır. Bunun sebebi, elastik olmayan şekil değiştirmelerin tamamının tanımlanan bu uç bölgelerde meydana geldiği varsayılmasıdır. Plastik mafsallar arasında kalan bölgede davranışın doğrusal elastik olduğu varsayılır. Çubuk elemanın eşdeğer modeli, genellikle iki doğrusal parçalı moment-dönme ilişkisi ve plastik mafsal tanımına dayanır. Plastik mafsalların (P-M2-M3 etkileşimi, Şekil 3.9), yapı elemanlarının uçlarındaki plastik bölgelerde oluştuğu ya da elemanların hesap açıklığı boyunca dağıldığı kabul edilir [19].

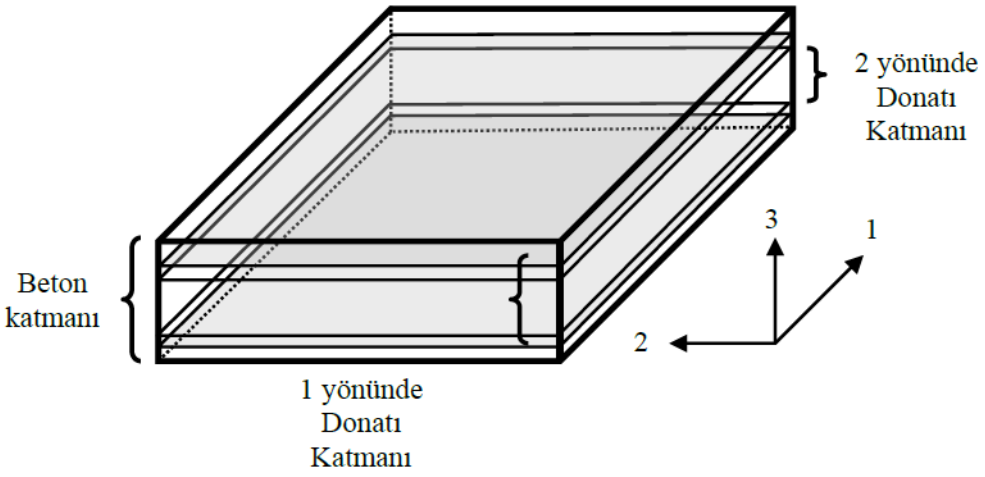



**Şekil 3.9** Plastik mafsal (P-M2-M3 Etkileşimi) [19]

### 3.4.3 Betonarme Perde Elemanların Modellenmesi

Perde elemanların doğrusal olmayan analizinde çok katmanlı kabuk elemanlar kullanılarak daha gerçekçi sonuçlar elde edilebilmektedir. Analiz ve tasarım yazılımlarının çoğunda kabuk elemanlarının düzlem içi dönme serbestlik derecesiyle birlikte her düğümde altı serbestlik derecesine sahip olduğu varsayılır. Bu serbestlik derecelerinin kullanımı, kabuk eleman modelini üç boyutlu çubuk

elemanları ile uyumlu konuma getirir. Şekil 3.10'da gösterilen çok katmanlı kabuk elemanı, kompozit malzeme mekaniği prensiplerine dayanır ve bu düzlem/düzlem dışı eğilme çifti ve düzlemsel eğilme-kesme çifti gibi betonarme perdelerin doğrusal olmayan davranışlarını temsil eder [15].



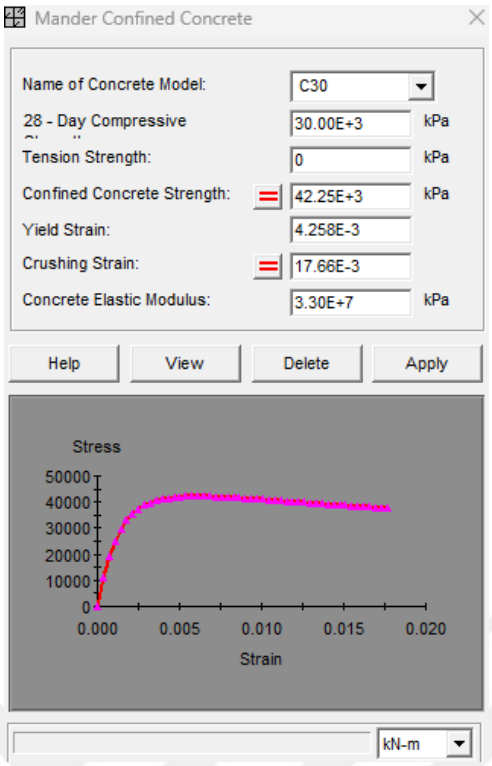

**Şekil 3.10** Çok katmanlı kabuk eleman [16]

## 3.5 Plastik Mafsal Tanımları

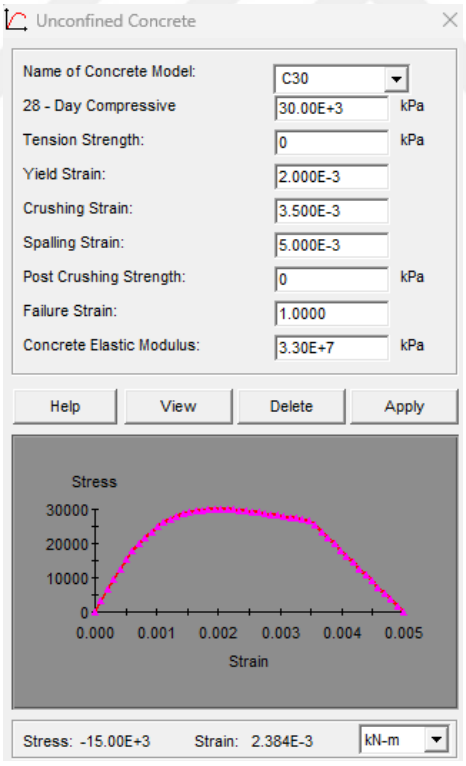
Plastik mafsallar, yapı elemanlarında oluşan plastik yer değiştirmelerin toplandığı noktalar olarak tanımlanır. Plastik mafsal dışında kalan yapısal sistem eleman bölgelerinin yer değiştirmelerinin elastik kaldığı kabul edilmiş ve eleman orta bölgelerine plastik mafsal ataması yapılmamıştır. TBDY-2018'de belirtilen eleman limit değerlerine ve taşıyıcı sistem kesitleri için kabul edilmiş özelliklere göre plastik mafsal tanımlamaları yapılmış ve her bir kesit için Sap2000 [20] yazılımında oluşturulan analiz modellerine atanmıştır.

### 3.5.1 Yapı Malzemelerinin Doğrusal Olmayan Tanımları

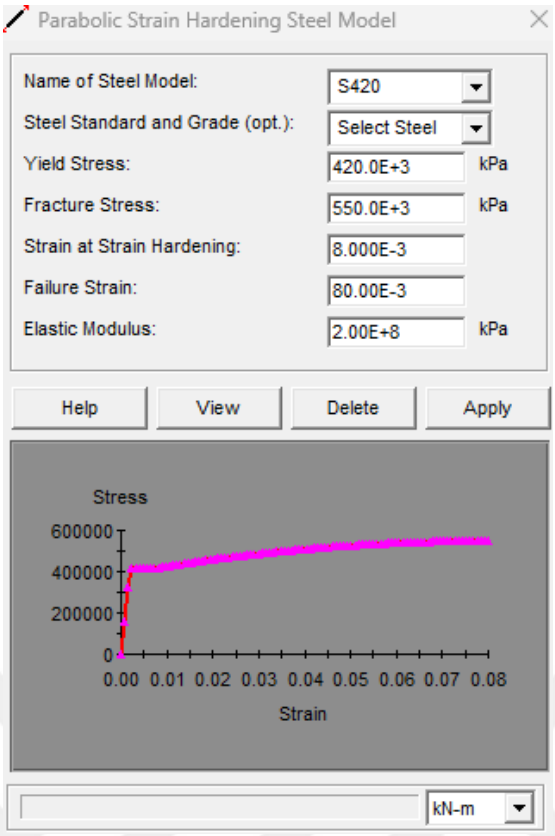
Yapı elemanlarının plastik mafsal tanımlarında kullanılacak analize esas doğrusal olmayan malzeme tanımları Xtract V3.0.8 [22] ve Sap2000 [20] yazılımlarında yapılmıştır. Betonarme betonu ve donatı çeliği malzemelerine ait gerilme-şekil değiştirme bağıntıları Şekil 3.11, Şekil 3.12, Şekil 3.13, Şekil 3.14 ve Şekil 3.15'te gösterilmiştir.



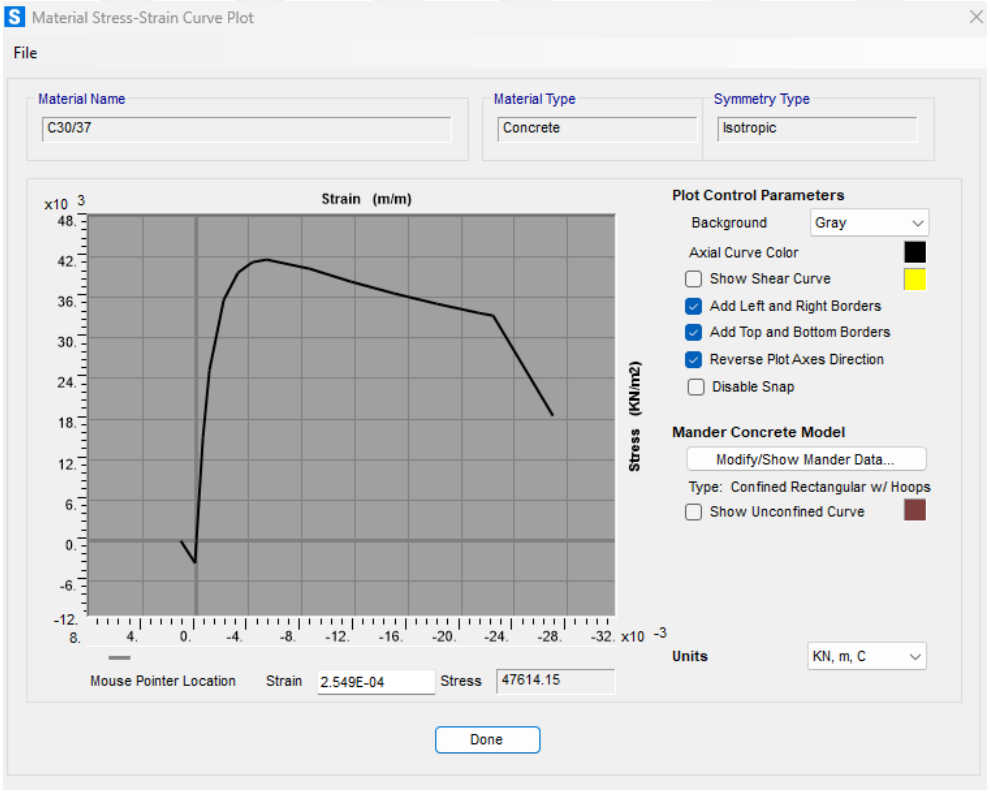

**Şekil 3.11** Xtract [22] yazılımında sargılı C30 beton modelinin tanımlanması



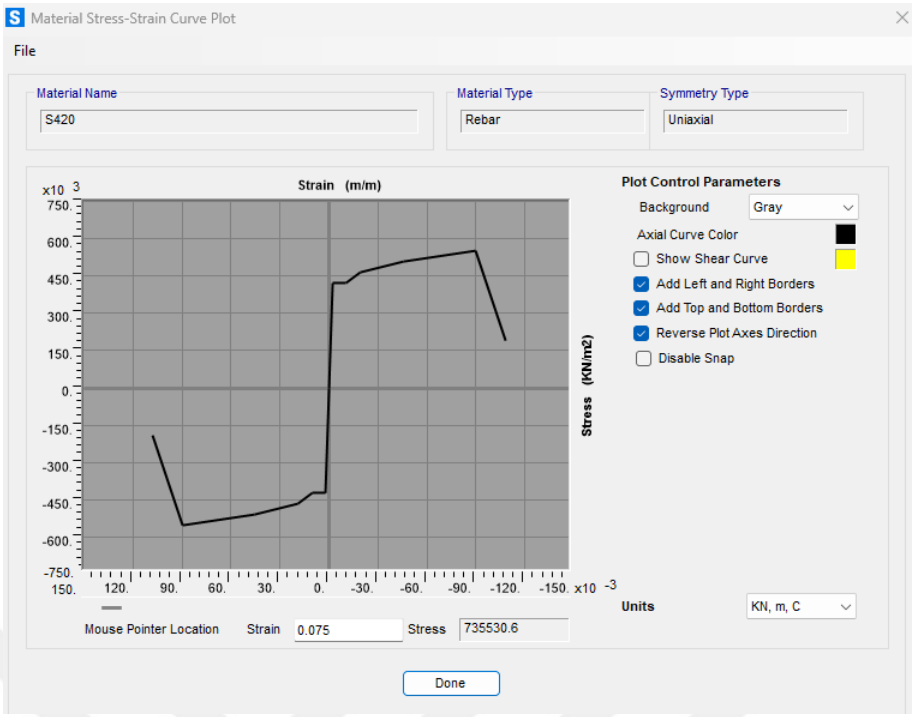

**Şekil 3.12** Xtract [22] yazılımında sargısız C30 beton modelinin tanımlanması




**Şekil 3.13** Xtract [22] yazılımında B420C donatı çeliği modelinin tanımlanması



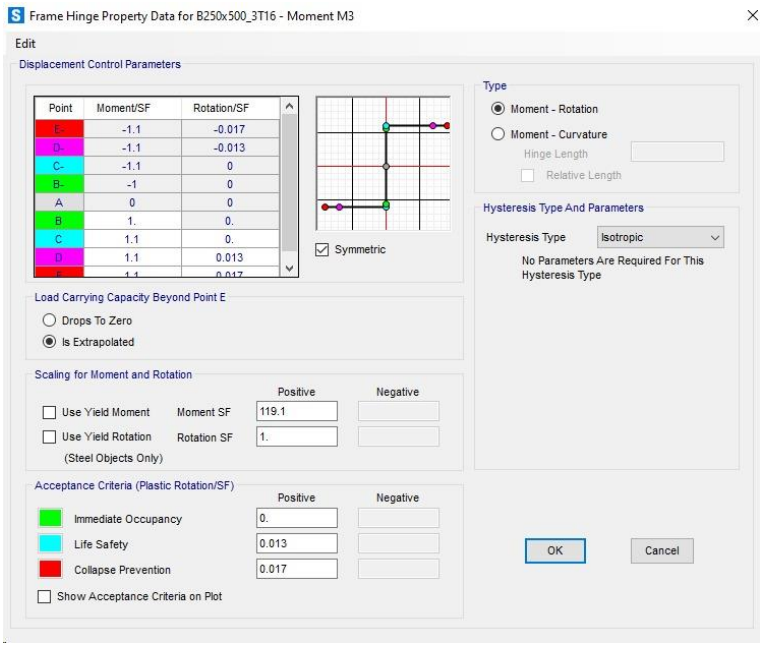

**Şekil 3.14** Sap2000 [20] yazılımında sargılı C30 beton modelinin tanımlanması



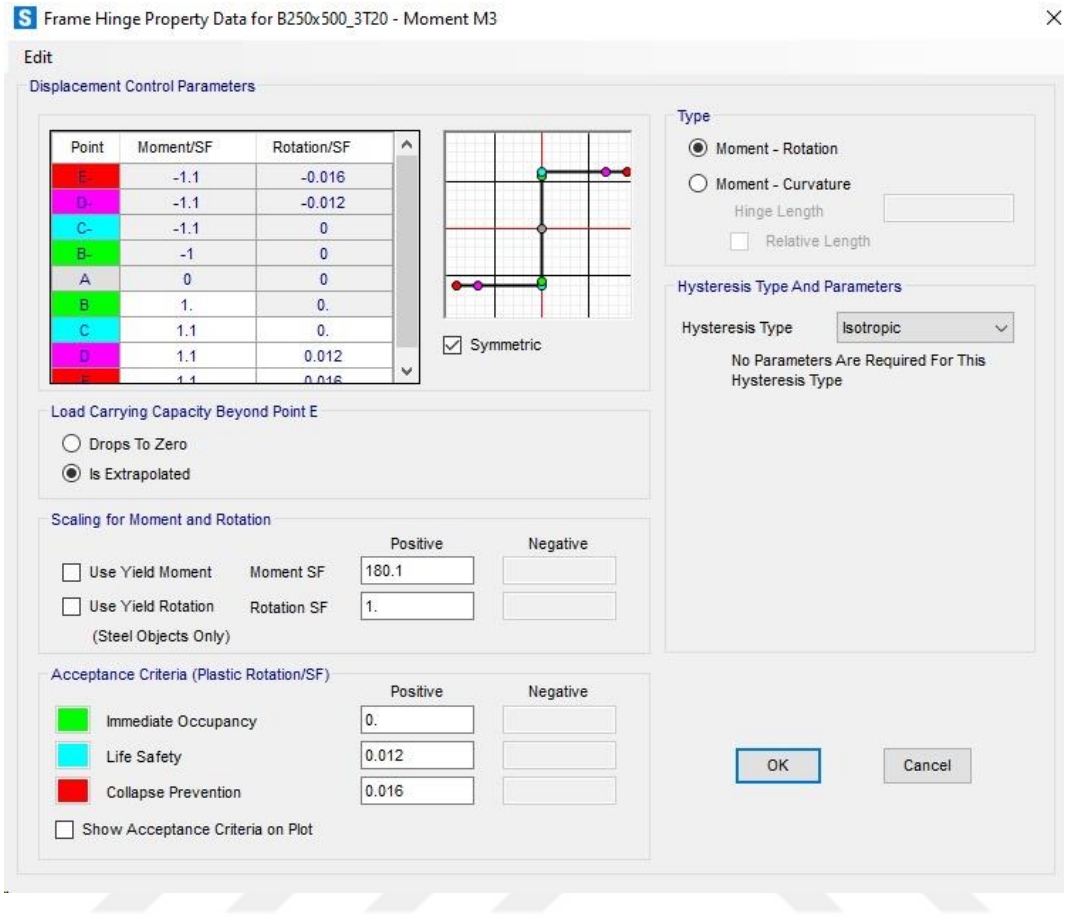

**Şekil 3.15** Sap2000 [20] yazılımında B420C donatı çeliği modelinin tanımlanması

### 3.5.2 Kirişlerin Plastik Mafsal Tanımları

Kiriş kesitlerine ait akma momentleri hesaplanırken Xtract [22] yazılımı kullanılmıştır. Bu değerlere göre iki farklı kiriş kesiti için Sap2000 [20] programına tanımlamalar yapılmıştır. Her iki tip kiriş kesiti için tanımlamalar Şekil 3.16 ve Şekil 3.17'de gösterilmiştir.



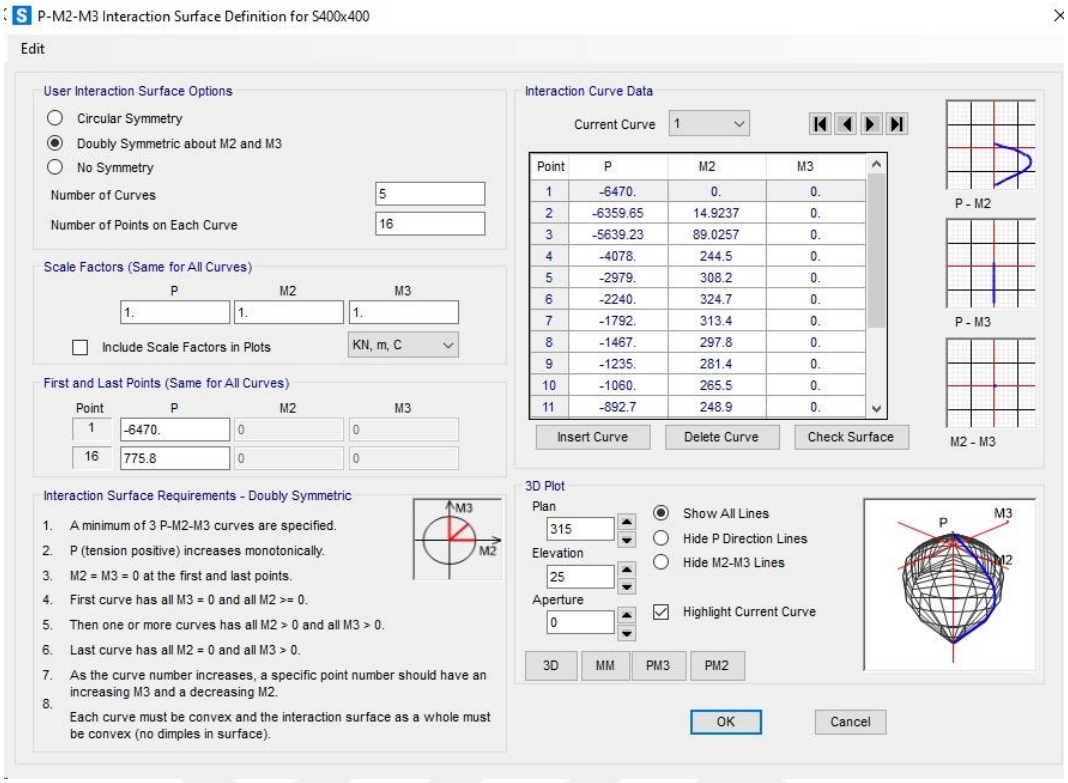

**Şekil 3.16** Sap2000 [20] yazılımında kiriş plastik mafsalının tanımlanması-1



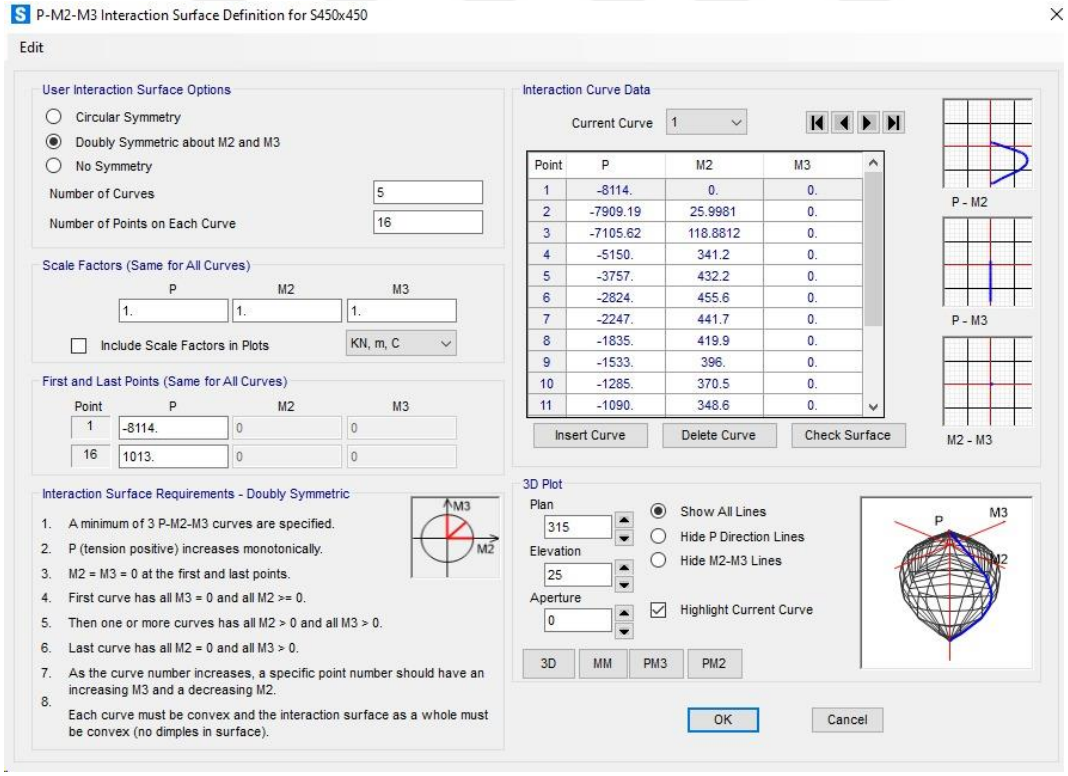

**Şekil 3.17** Sap2000 [20] yazılımında kiriş plastik mafsalının tanımlanması-2

### 3.5.3 Kolonların Plastik Mafsal Tanımları

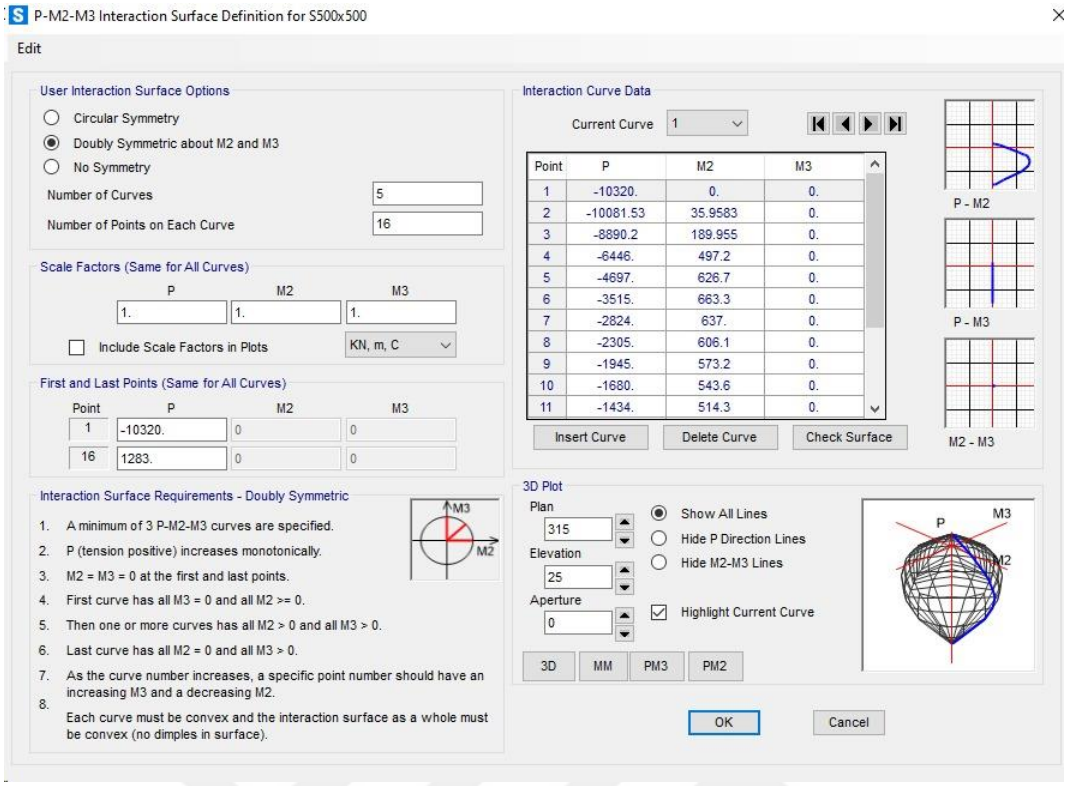
Kolon kesitlerineki akma yüzeyleri ve moment-eğrilik ilişkilerine ait hesaplar, Xtract [22] kesit analizi yazılımı kullanılarak yapılmış ve hesap modeline aktarılmıştır. Kolon kesitlerinde normal kuvvet ve iki eksenli eğilme etkilerinin olması sebebiyle plastik mafsal özellikleri P-M2-M3 olarak seçilmesini zorunlu kılar [14]. P-M-M tipindeki plastik mafsal özelliklerinin analiz modeline tanımlanabilmesi için taşıyıcı sistem kolon kesitlerine ait akma yüzeylerinin ve moment-eğrilik ilişkilerinin belirlenmiş olması gerekmektedir. Tanımlamalar, Şekil 3.18, Şekil 3.19, Şekil 3.20 ve Şekil 3.21'de gösterilmiştir.



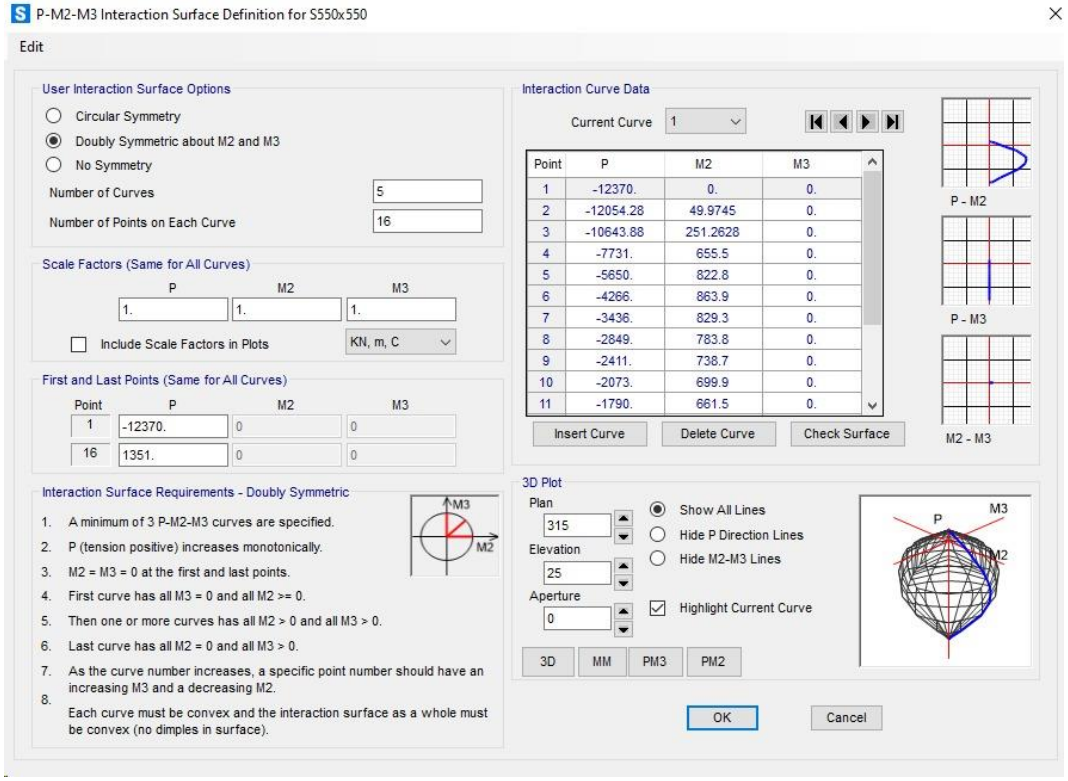

**Şekil 3.18** 40×40 cm kolon kesiti plastik mafsal tanımı




**Şekil 3.19** 45×45 cm kolon kesiti plastik mafsal tanımı



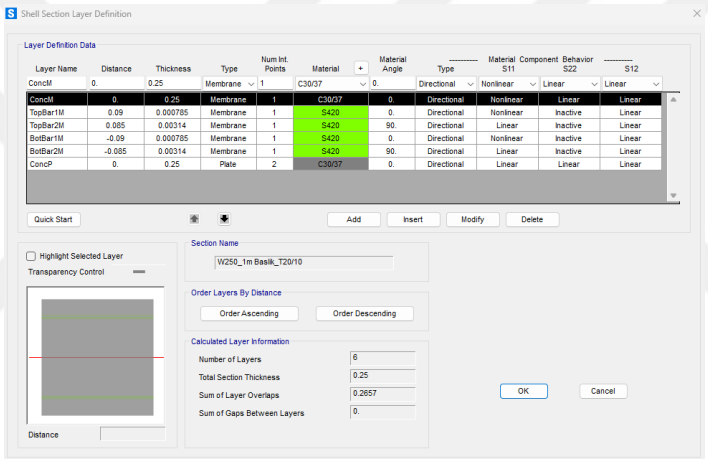

**Şekil 3.20** 50×50 cm kolon kesiti plastik mafsal tanımı



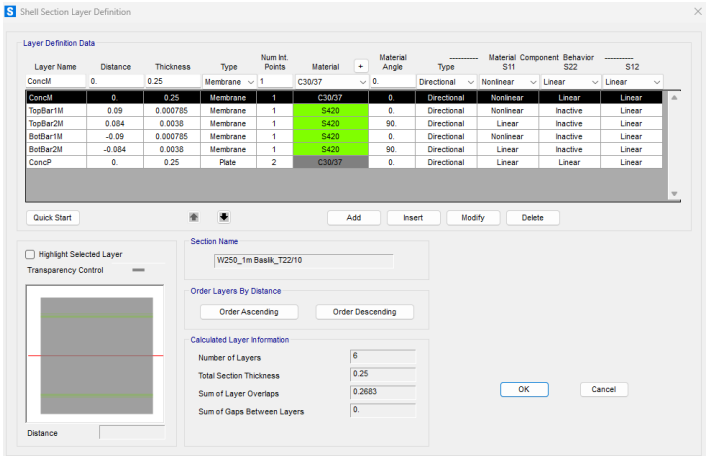

**Şekil 3.21** 55×55 cm kolon kesiti plastik mafsal tanımı

### 3.5.4 Perdelerin Plastik Mafsal Tanımları

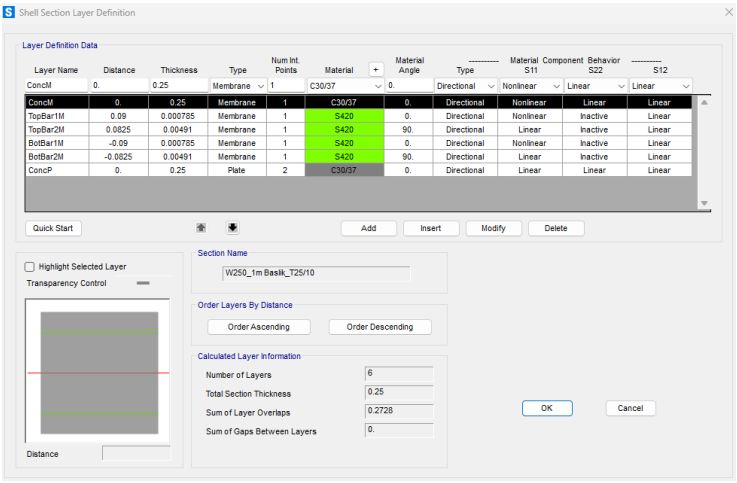
Taşıyıcı sistem elemanlarına ait malzeme modelleri, betonarme perdeler için de kullanılmıştır. Yapılan malzeme tanımlarına göre Sap2000 [20] programına çok katmanlı kabuk modelleri her bir perde kesiti için tanımlanmıştır. Sap2000 [20] programında bulunan çok katmanlı kabuk elemanlarını oluşturabilme seçeneği kullanılarak betonarme perde elemanların lineer olmayan özellikleri modellenmiştir. Betonarme perde elemanlarda, çok katmanlı kabuk modeline dayalı malzeme davranışının belirtilebilmesiyle betonarme perde elemanlarda yayılı plastik davranışın elde edilmesi mümkündür. Tüm perde tipleri için hesap modeline tanımlanan doğrusal olmayan çok katmanlı kabuk modelleri Şekil 3.22, Şekil 3.23, Şekil 3.24, Şekil 3.25 ve Şekil 3.26'da verilmiştir.



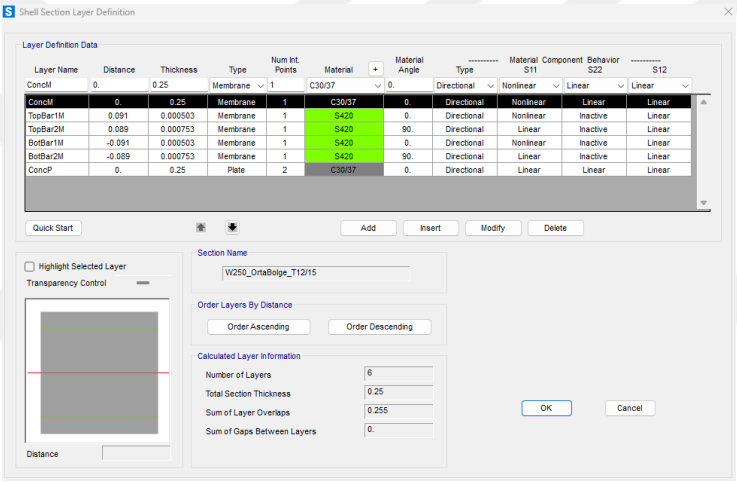

**Şekil 3.22** Ø20/10 başlık donatılı perde elemanı için çok katmanlı kabuk modeli tanımı



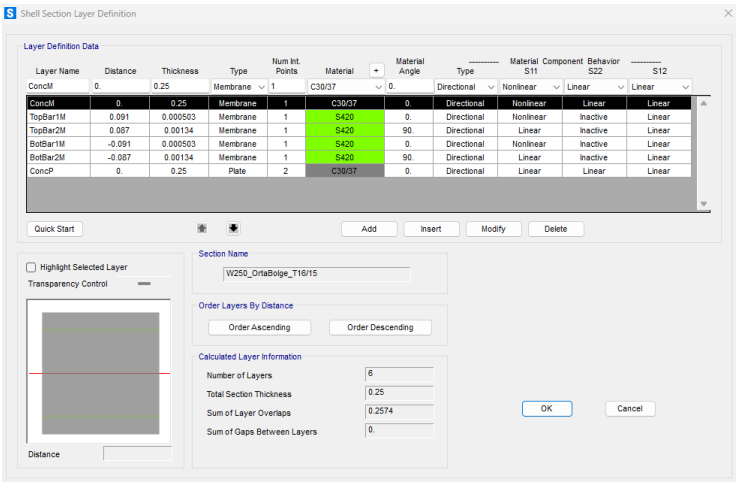

**Şekil 3.23** Ø22/10 başlık donatılı perde elemanı için çok katmanlı kabuk modeli tanımı




**Şekil 3.24** Ø25/10 başlık donatılı perde elemanı için çok katmanlı kabuk modeli tanımı




**Şekil 3.25** Ø12/15 gövde donatılı perde elemanı için çok katmanlı kabuk modeli tanımı




**Şekil 3.26** Ø16/15 gövde donatılı perde elemanı için çok katmanlı kabuk modeli tanımı

## 3.6 Hedef Yer Değiştirme İstemlerinin Belirlenmesi

Yapısal sistemlerin analizinde kullanılacak hedef yer değiştirme istemleri, TBDY-2018'e göre lineer olmayan spektral yer değiştirme olarak belirlenecektir [13]. Bir deprem doğrultusunda modal analize esas yer değiştirme talebinin elde edilmesi sismik etkiler altında modal kapasite diyagramı tarafından temsil edilen modal tek serbestlik dereceli sistemin en büyük yer değiştirmesinin hesabına karşı gelmektedir [13].

$$d_{1,max}^{(X)} = S_{di}(T_1) \tag{3.1}$$

$$S_{di}(T_1) = C_R S_{de}(T_1) \tag{3.2}$$

Spektral yer değiştirme oranı $C_R$, sistemin birinci doğal periyodu $T_1$'in yatay elastik tasarım spektrumunun sınır periyodu olan $T_B$'den büyük olması durumunda 1 olarak kabul edilir. $T_1$'in $T_B$'den küçük olması durumunda denklem 3.3 geçerlidir ve $C_R$ katsayısı için hesap yapılır [13].

$$C_R = \frac{1 + (R_y - 1)\frac{T_B}{T_1}}{R_y} \tag{3.3}$$

Yapının birinci titreşim periyodu $T_1$'in $T_B$'den küçük olduğu durumda, spektral yer değiştirme oranı olan $C_R$ katsayısını hesaplayabilmek için modal kapasite diyagramına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bağlamda, modal kapasite diyagramını elde edebilmek amacıyla, büyük bir deplasman değeri kabul edilerek sabit tek modlu itme analizi gerçekleştirilir.

Bu çalışmada, her bir geometri için bina yüksekliklerinin %5'i kadar bir tepe deplasman değeri seçilmiştir. Elde edilen modal kapasite diyagramı, akma spektral ivmesi $a_{y1}$'in belirlenmesi için iki doğrulu elasto-plastik diyagrama dönüştürülür. Dönüşüm işleminde, diyagramların altındaki alanların eşitliği esas alınmıştır. Elasto-plastik diyagramın başlangıç noktası sıfır olarak kabul edilirken, bitiş noktası modal kapasite diyagramındaki spektral ivmenin maksimum olduğu nokta olarak belirlenmiştir. Daha sonra akma noktasının belirlenebilmesi için bir spektral yer değiştirme değeri ve bu yer değiştirme değerine karşılık gelen spektral ivme belirlenerek iki doğrulu diyagram oluşturulmuştur. İki doğrulu diyagramın altındaki alanlar birbirine yeterince yaklaşana/eşitlenene kadar akma noktası için

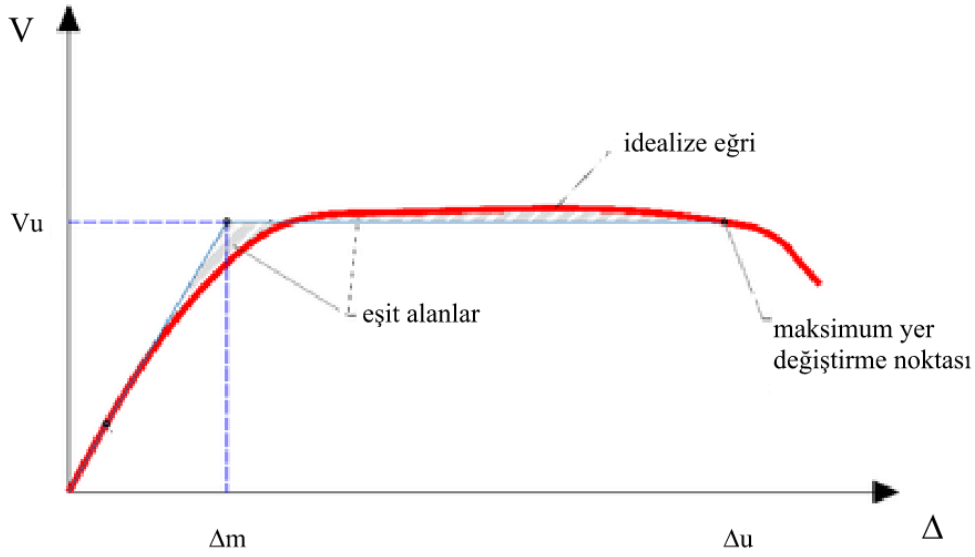
seçilen spektral yer değiştirme değeri değiştirilir. Elde edilen akma spektral ivmesi kullanılarak önce $R_y$, ardından sırasıyla spektral yer değiştirme oranı $C_R$ katsayısı ve modal tek serbestlik dereceli sistemin en büyük yer değiştirmesi $d_{1,max}^{(X)}$ hesaplanır.

Modal tek serbestlik dereceli sistemin en büyük yer değiştirmesi hesaplandıktan sonra yapının hedef tepe yer değiştirme isteminin hesaplanması için denklem 3.4'te verilen bağıntı kullanılır.

$$u_{xN1} = \Gamma_{X1}\phi_{xN1}d_{1,max}^{(X)} \tag{3.4}$$

## 3.7 Bilineer Eğrilerin Oluşturulması ve Süneklik Katsayılarının Hesabı

Statik itme analizi, bir yapının deprem kuvvetlerine karşı doğrusal olmayan davranışını değerlendirmek için basitleştirilmiş bir yöntem olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. İtme analizi eğrileri, yapının doğrusal olmayan davranışını göstermekte ve yanal yer değiştirmeye bağlı olarak bir taban kesme kuvveti değerlerini sunmaktadır. Bu yöntem, birincil eğri ve iki doğrusal eğrinin altında eşit alanlar olduğu varsayımıyla FEMA356 ilkelerine dayanmaktadır [17].




**Şekil 3.27** İtme eğrisinin bilineer eğrisi [18]

Şekil 3.27'de gösterilen bilineer eğri, kapasite yer değiştirmesi ve maksimum yer değiştirme olarak iki noktada tanımlanabilir. Taşıyıcı sistemin eğrisine uygun bir

yaklaşım elde edildikten sonra maksimum kapasite elde edilir. Sistemin bazı bileşenlerinin kapasiteye ulaşamadığı düşünüldüğünde taşıyıcı sistem dayanımında %15'lik bir azalma kabul edilerek bilineer eğri oluşturulabilir.

$$\mu = \Delta u / \Delta m \tag{3.5}$$

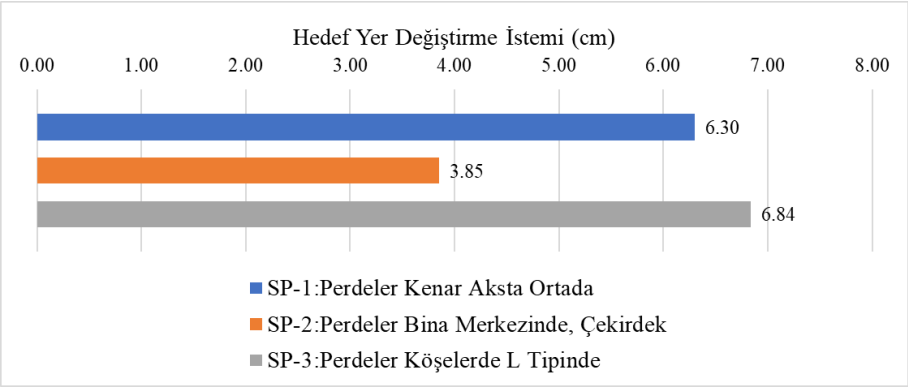
Süneklik katsayısı, bilineer kapasite eğrisinde maksimum yer değiştirme ile doğrusal yer değiştirme arasındaki oran olarak tanımlanır ve denklem 3.5'e göre hesaplanır. Kapasite eğrisinden bilineer bir eğri türetmek için her iki eğrinin altındaki alanın eşdeğer olmasını sağlamak gereklidir. Tipik olarak, akma noktasını belirlemek için kapasite eğrisi, spektral yer değiştirme eksenine ilişkin alanla eşleşen bir bilineer eğriye basitleştirilir. Bu prensip, eşit enerji kuralı olarak ifade edilir.

## 3.8 6-Katlı Örnek Yapıların Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

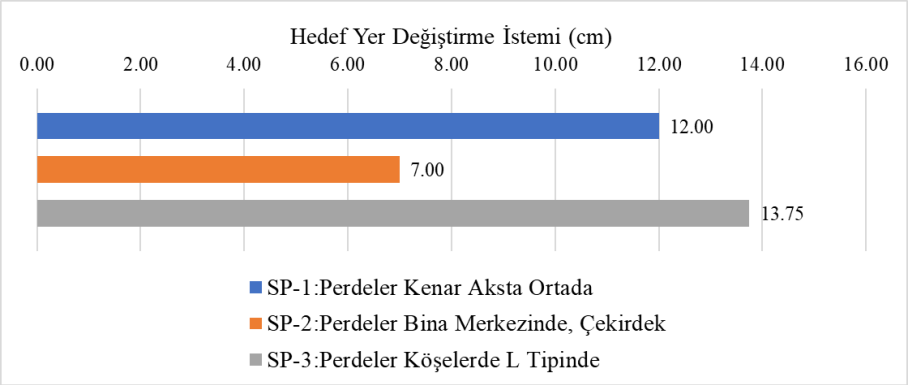
6 katlı örnek binaların doğrusal olmayan analiz sonuçları bu başlık altında verilmiştir. İki farklı yerel zemin sınıfına göre 6 katlı yapıların hedef yer değiştirme istemleri, taban kesme kuvvetleri sonuçları, modal analiz sonuçları, itme eğrileri, bilineer eğrileri, süneklik katsayıları, plastik şekil değiştirmeleri ve kesit hasar bölgeleri alt başlıklarda karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

### 3.8.1 Hedef Yer Değiştirme İstemleri

Statik itme analizinin son adımı olan hedef yer değiştirme istemi, binaların performans seviyelerinin tayininde belirleyicidir. Buna göre, TBDY-2018'de tanımlanan hesap adımları uygulanarak 6 katlı örnek binaların hedef yer değiştirme istemleri hesaplanmış ve Şekil 3.28 ve Şekil 3.29'da karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



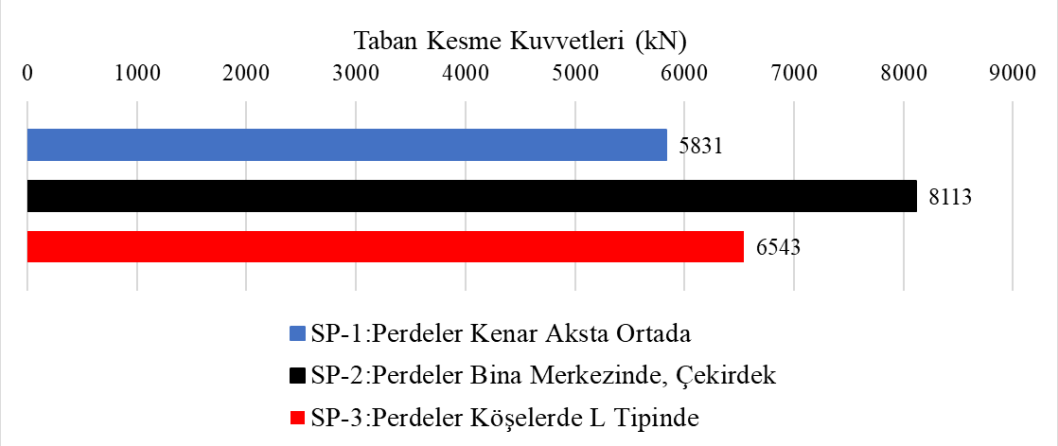

**Şekil 3.28** 6 katlı örnek binalarda hedef yer değiştirme istemleri (ZC yerel zemin sınıfı)



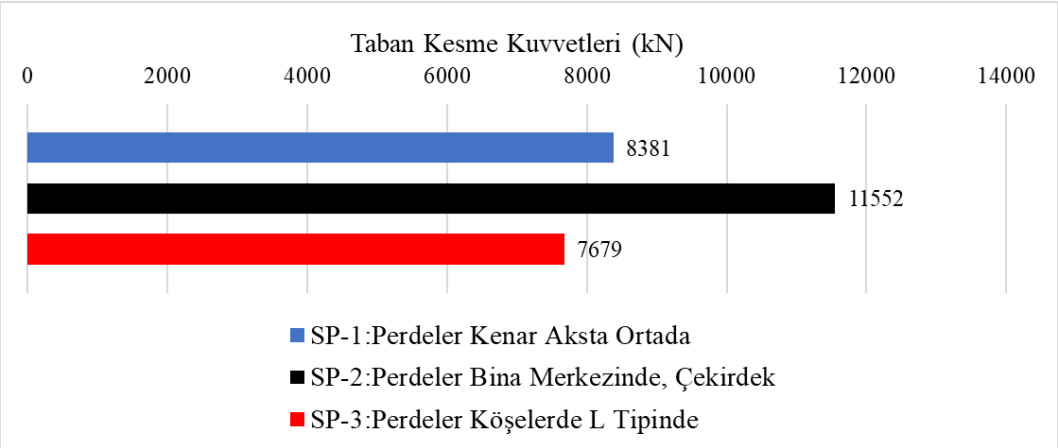

**Şekil 3.29** 6 katlı örnek binalarda hedef yer değiştirme istemleri (ZE yerel zemin sınıfı)

### 3.8.2 Taban Kesme Kuvvetleri

6 katlı örnek binalarda doğrusal olmayan analiz sonuçlarına göre karşılaştırmalı taban kesme kuvvetleri değerleri Şekil 3.30 ve Şekil 3.31'de verilmiştir.




**Şekil 3.30** 6 katlı örnek binalarda taban kesme kuvvetleri (ZC yerel zemin sınıfı)




**Şekil 3.31** 6 katlı örnek binalarda taban kesme kuvvetleri (ZE yerel zemin sınıfı)

### 3.8.3 Modal Analiz Sonuçları

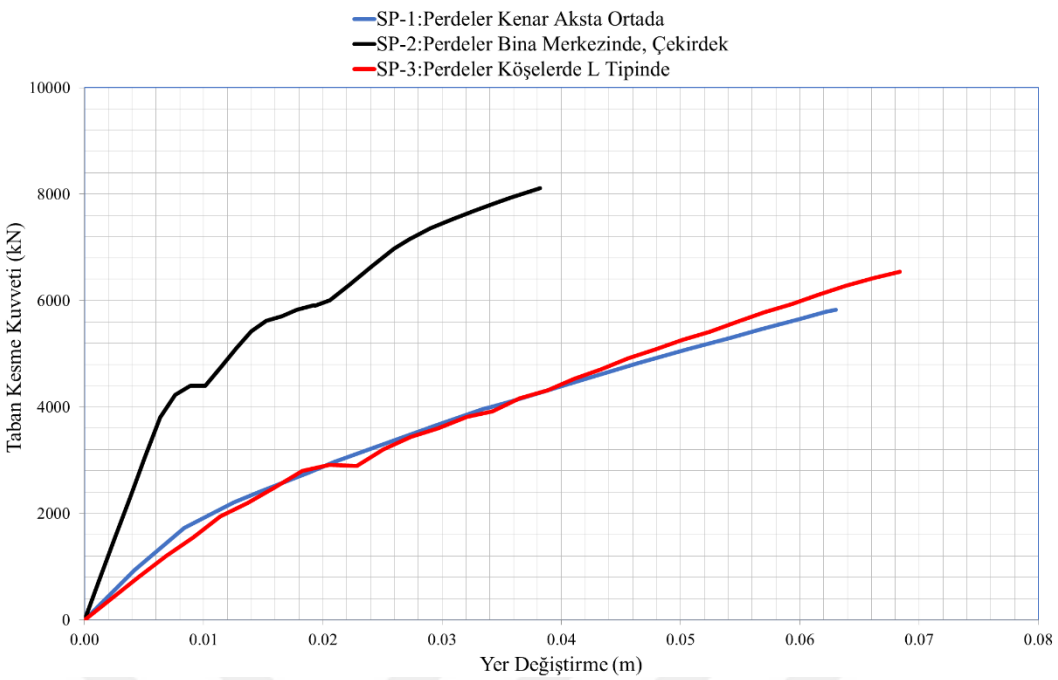
Modal analiz sonuçlarına göre 6 katlı örnek yapılara ait hakim periyotlar ve kütle katılım oranları Tablo 3.8'de verilmiştir. Örnek binalar simetrik olduğundan, her iki doğrultu için de sonuçlar aynıdır.

**Tablo 3.8** 6 katlı örnek binalara ait modal analiz sonuçları

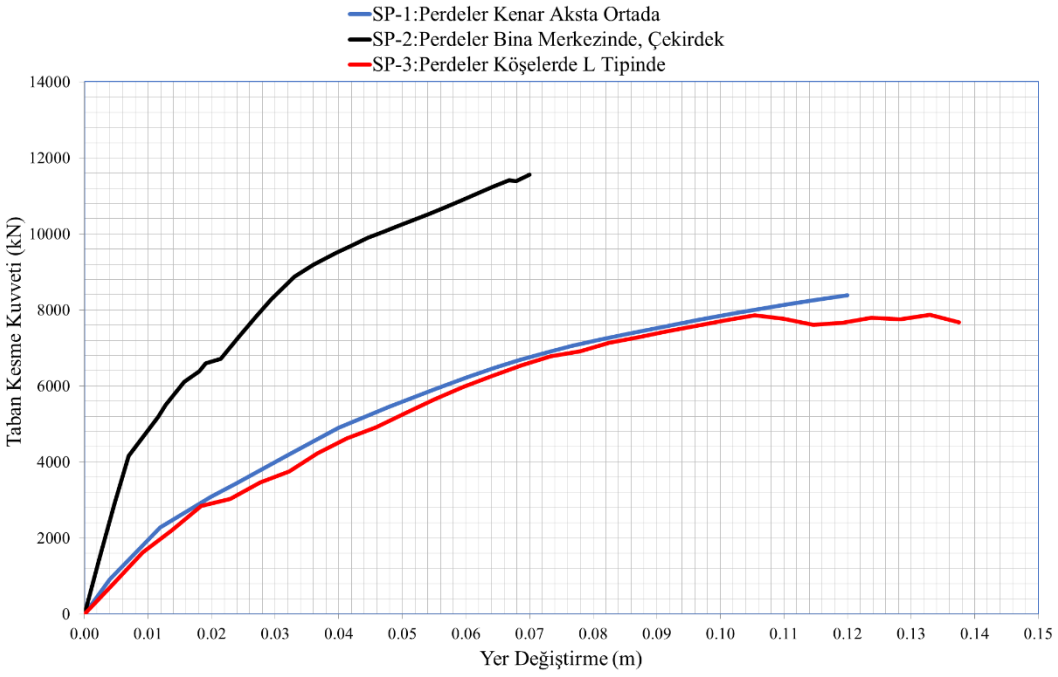
| Örnek Bina Tarifi | Periyot (sn) | Kütle Katılım Oranları |
|---|---|---|
| SP-1, ZC, 6 Katlı | 0.530 | 0.72 |
| SP-2, ZC, 6 Katlı | 0.330 | 0.70 |
| SP-3, ZC, 6 Katlı | 0.600 | 0.72 |
| SP-1, ZE, 6 Katlı | 0.530 | 0.72 |
| SP-2, ZE, 6 Katlı | 0.330 | 0.70 |
| SP-3, ZE, 6 Katlı | 0.600 | 0.72 |

### 3.8.4 İtme Eğrileri

6 katlı örnek binalarda doğrusal olmayan analiz sonuçlarına göre karşılaştırmalı itme eğrileri Şekil 3.32 ve Şekil 3.33'te verilmiştir.

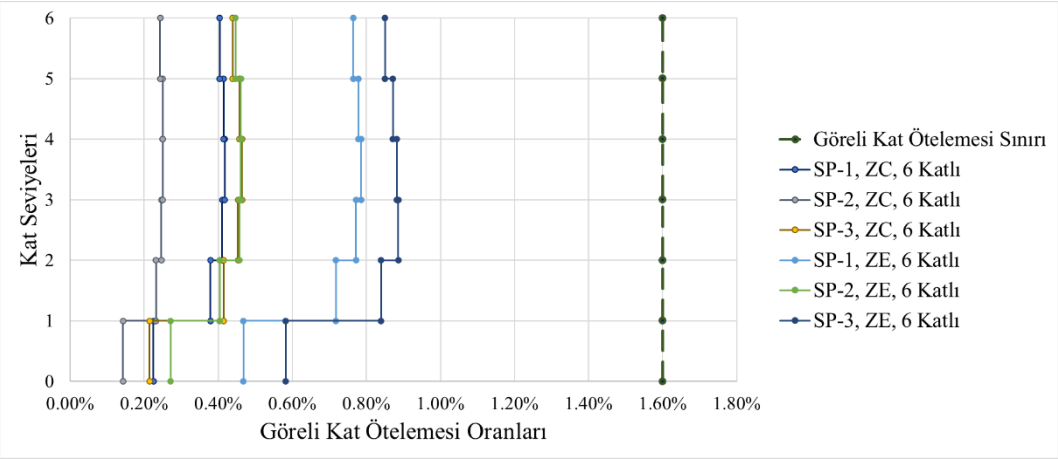



**Şekil 3.32** 6 katlı örnek binalarda itme eğrileri (ZC yerel zemin sınıfı)




**Şekil 3.33** 6 katlı örnek binalarda itme eğrileri (ZE yerel zemin sınıfı)

İtme analizinin son adımına karşı gelen göreli kat ötelemeleri oranları ZC ve ZE yerel zemin sınıflarına ait 6 katlı yapılarda her bir kat için Şekil 3.34'te verilmiştir.



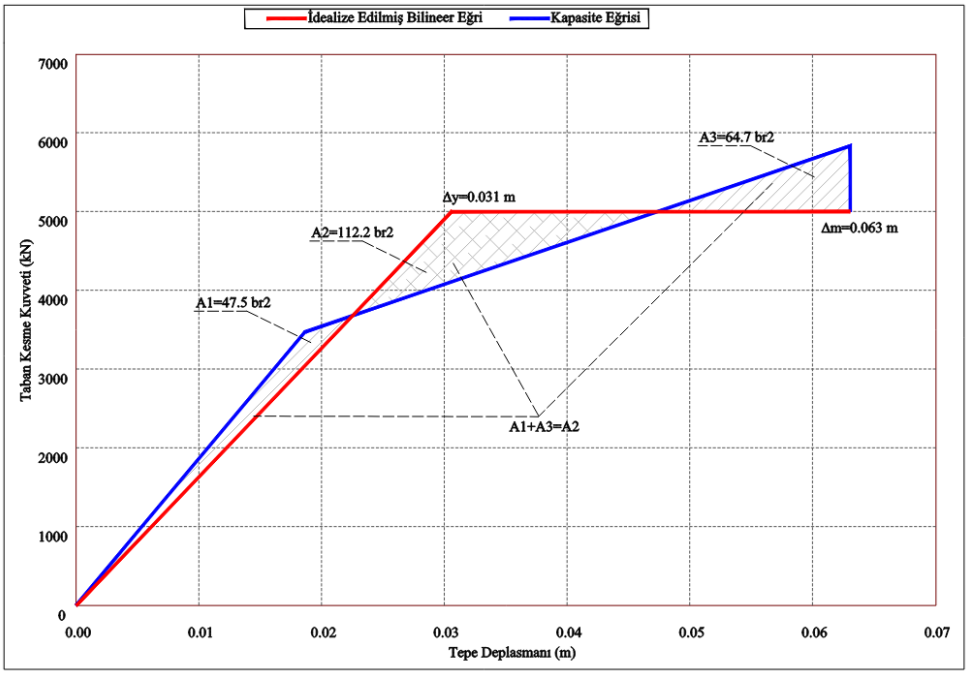

**Şekil 3.34** 6 katlı örnek binalarda göreli kat ötelemesi oranları

### 3.8.5 Bilineer Eğriler ve Süneklik Katsayıları

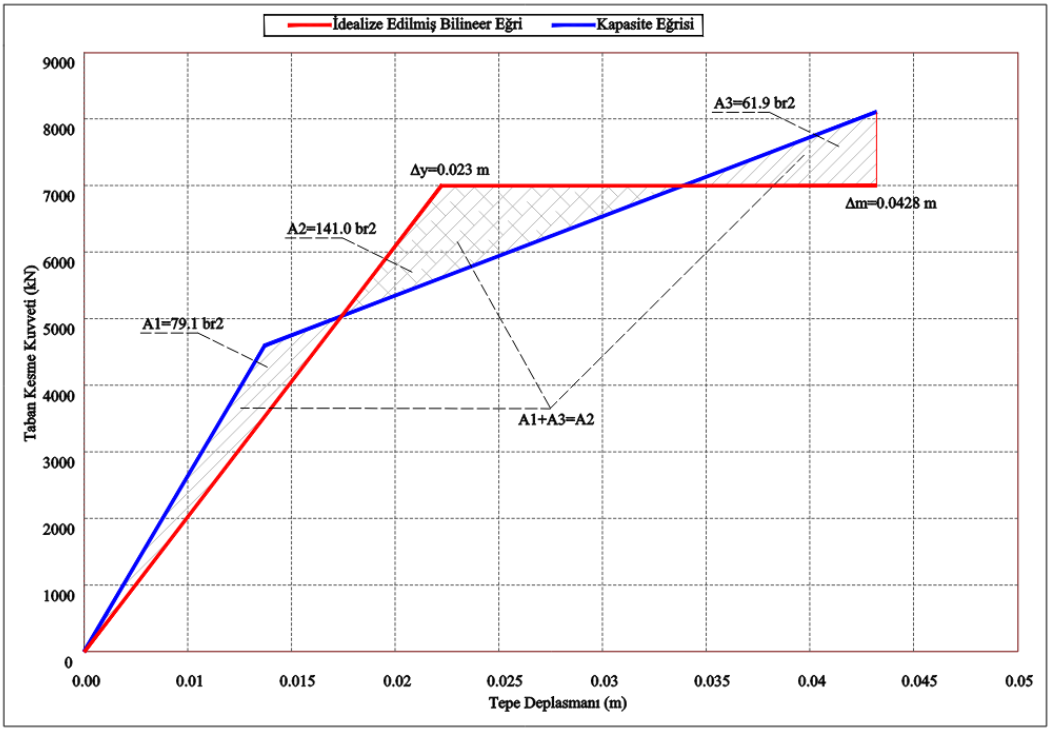
6 katlı örnek binalarda doğrusal olmayan analiz sonuçlarına bilineer eğriler çizilmiş ve süneklik katsayıları hesaplanmıştır. İki farklı zemin sınıfı kabulüne göre 6 katlı binalara ait bilineer eğrilerin gösterimleri sırasıyla Şekil 3.35, Şekil 3.36, Şekil 3.37, Şekil 3.38, Şekil 3.39 ve Şekil 3.40'ta verilmiştir. 6 katlı örnek binalara ait süneklik katsayıları Tablo 3.9'da verilmiştir.

**Tablo 3.9** 6 katlı örnek binalar için hesaplanmış süneklik katsayıları

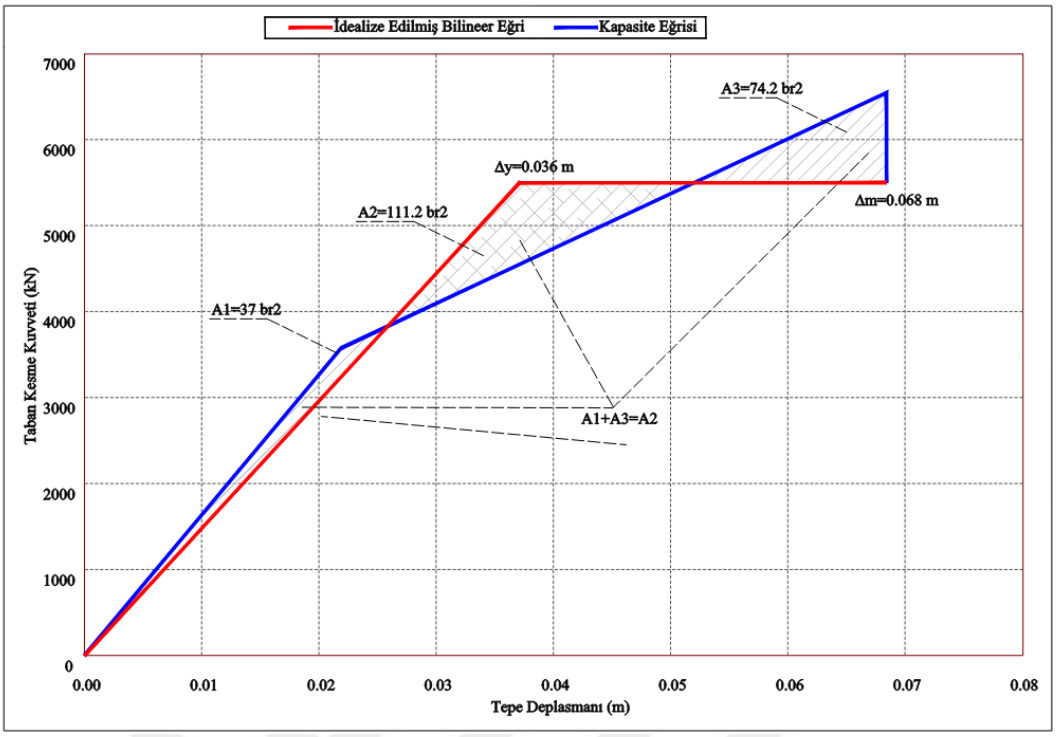
| Örnek Bina Tarifi | Δy (m) | Δm (m) | μ (Süneklik katsayısı) |
|---|---|---|---|
| SP-1, ZC, 6 Katlı | 0.031 | 0.063 | 2.032 |
| SP-2, ZC, 6 Katlı | 0.023 | 0.038 | 1.652 |
| SP-3, ZC, 6 Katlı | 0.036 | 0.068 | 1.889 |
| SP-1, ZE, 6 Katlı | 0.043 | 0.120 | 2.791 |
| SP-2, ZE, 6 Katlı | 0.027 | 0.070 | 2.593 |
| SP-3, ZE, 6 Katlı | 0.043 | 0.138 | 3.209 |



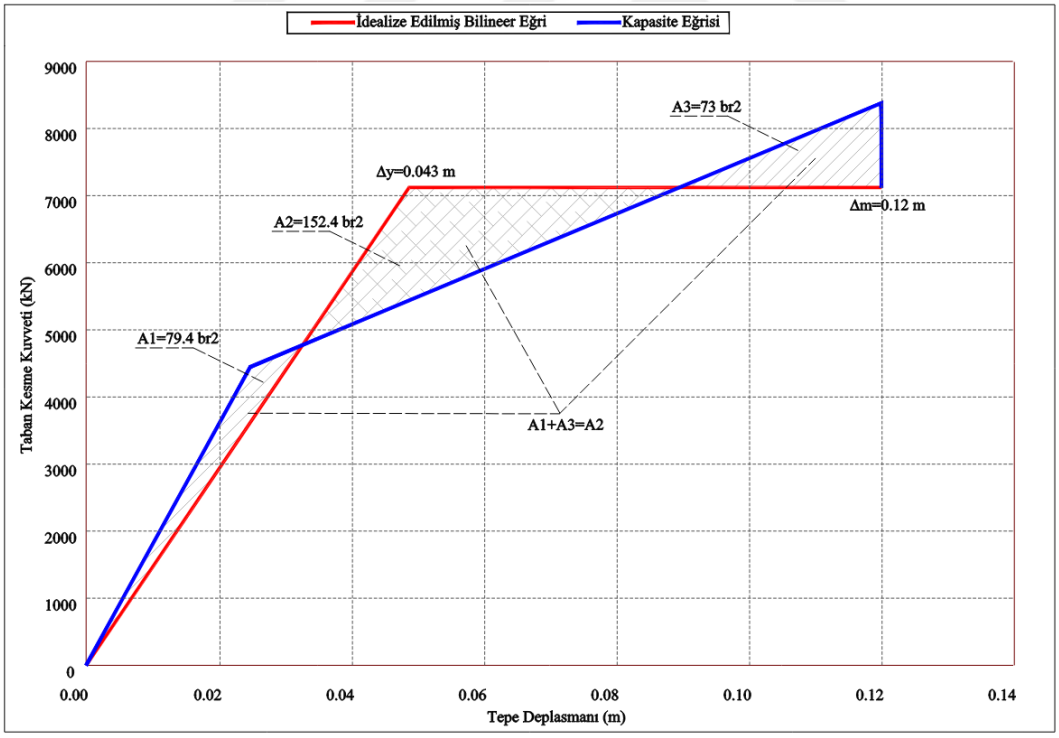

**Şekil 3.35** 6 katlı SP-1 yapısına ait bilineer eğri (ZC yerel zemin sınıfı)



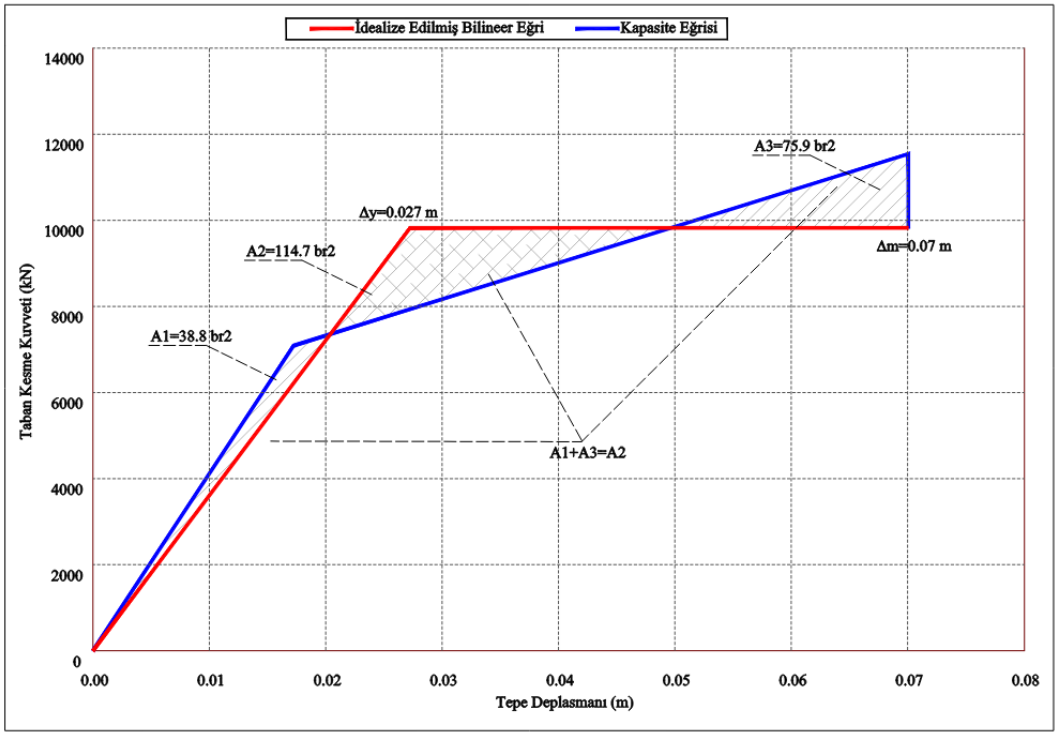

**Şekil 3.36** 6 katlı SP-2 yapısına ait bilineer eğri (ZC yerel zemin sınıfı)



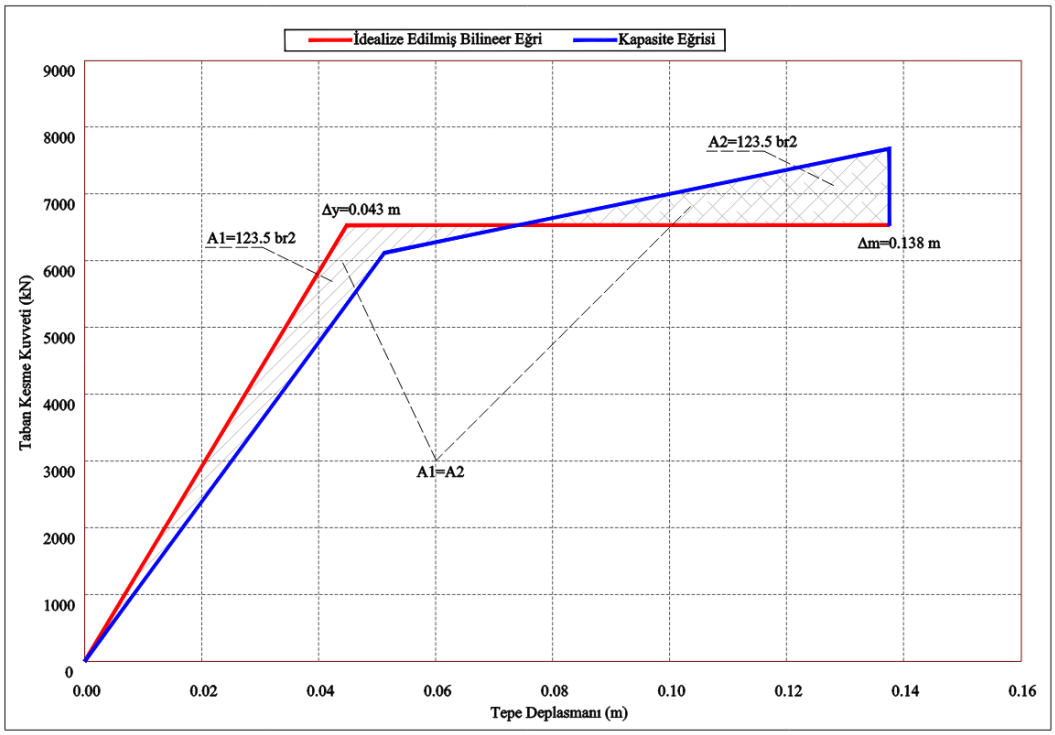

**Şekil 3.37** 6 katlı SP-3 yapısına ait bilineer eğri (ZC yerel zemin sınıfı)




**Şekil 3.38** 6 katlı SP-1 yapısına ait bilineer eğri (ZE yerel zemin sınıfı)



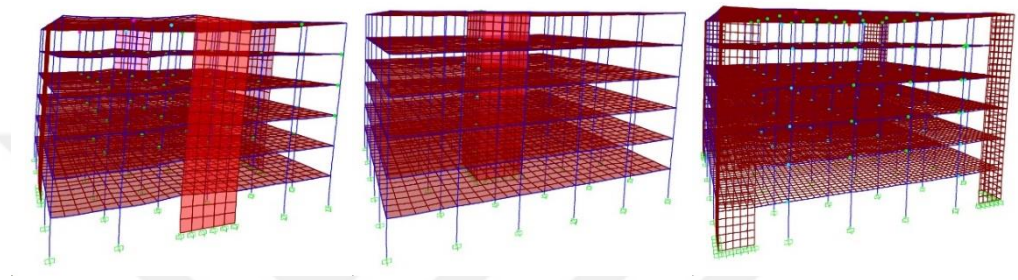

**Şekil 3.39** 6 katlı SP-2 yapısına ait bilineer eğri (ZE yerel zemin sınıfı)




**Şekil 3.40** 6 katlı SP-3 yapısına ait bilineer eğri (ZE yerel zemin sınıfı)

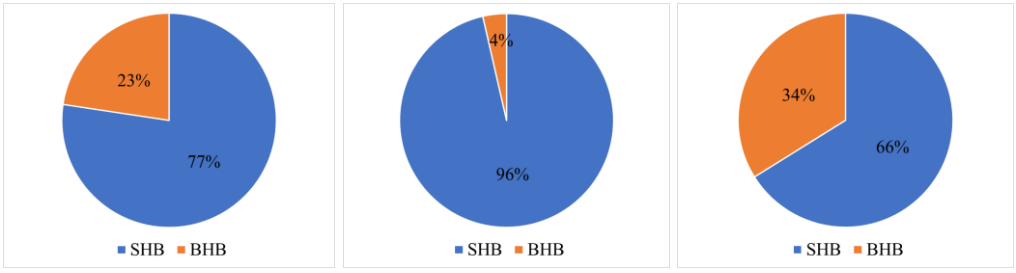
### 3.8.6 Plastik Şekil Değiştirmeler ve Kesit Hasar Bölgeleri

Kirişlerin lineer olmayan davranışa ait sonuçların elde edilmesi, uç bölgelerine atanan plastik mafsallar yardımıyla sağlanmıştır. Yapılan doğrusal olmayan analizler sonucunda 6 katlı yapıların kiriş ve kolon elemanlarında plastik dönme değerleri elde edilmiştir. Perde elemanların doğrusal olmayan analiz sonuçları için çok katmanlı kabuk elemandan donatı ve beton için itme analizinin son adımındaki gerilme değerleri alınmıştır. ZC yerel zemin sınıfına sahip 6 katlı örnek binalara ait mafsallaşma görselleri Şekil 3.41'de verilmiştir.

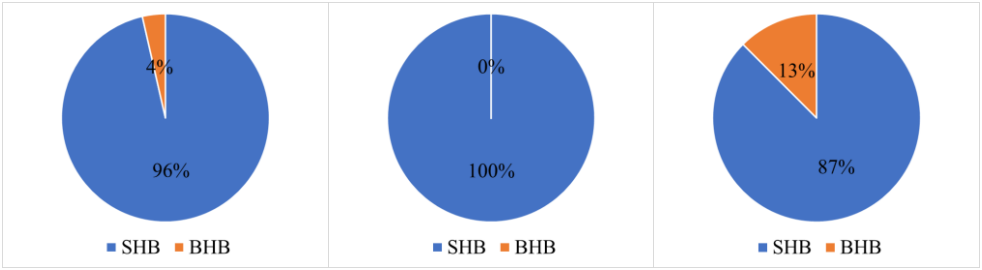


**Şekil 3.41** 6 katlı SP-1, SP-2 ve SP-3 (soldan sağa) yapılarına ait üç boyutlu mafsallaşma gösterimi (ZC yerel zemin sınıfı)

ZC yerel zemin sınıfına sahip 6 katlı örnek binalara ait kiriş kesit hasar durumları Şekil 3.42'de, kolon kesit hasar durumları Şekil 3.43'te verilmiştir.

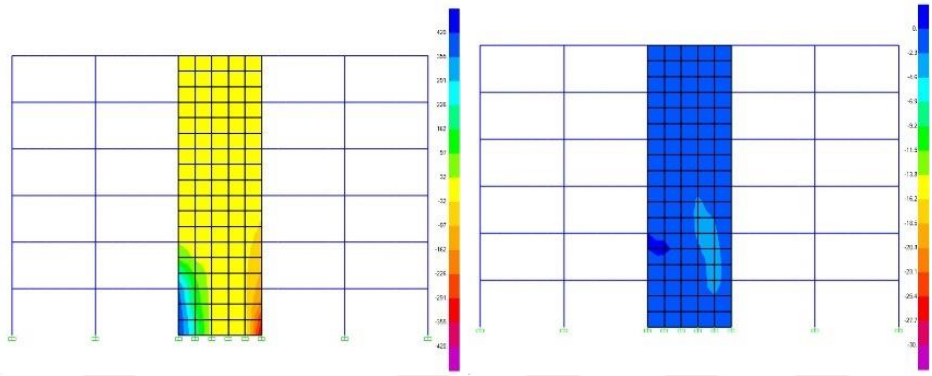



**Şekil 3.42** 6 katlı SP-1, SP-2 ve SP-3 (soldan sağa) yapılarına ait kiriş kesit hasar durumları (ZC yerel zemin sınıfı)



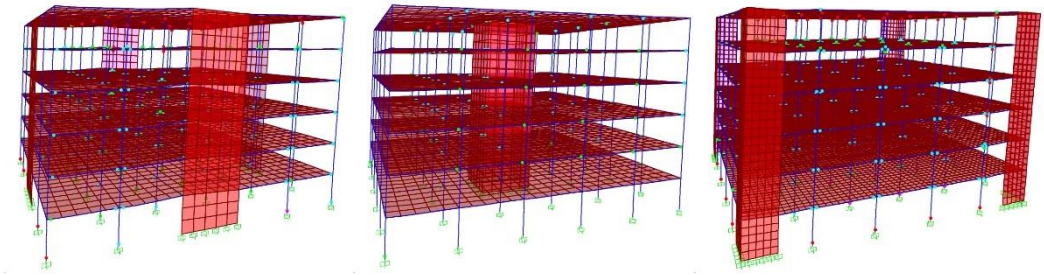

**Şekil 3.43** 6 katlı SP-1, SP-2 ve SP-3 (soldan sağa) yapılarına ait kolon kesit hasar durumları (ZC yerel zemin sınıfı)

Perde elemanları için tanımlanmış çok katmanlı kabuk elemanın itme analizi son adımındaki gerilme diyagramı Şekil 3.44'te verilmiştir. Örnek olarak SP-1 geometrisine ait perde elemanı gösterilmiştir. ZC yerel zemin sınıfına sahip 6 katlı diğer tüm örnek binalar için perde elemanlar "Sınırlı Hasar" bölgesindedir.



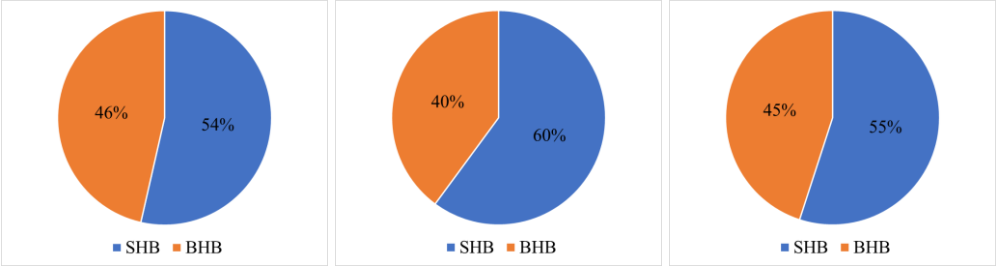
**Şekil 3.44** 6 katlı SP-1 yapısına ait perde elemanın donatı ve beton katmanlarının itme analizi son adımında gerilme diyagramları (ZC yerel zemin sınıfı)

ZE yerel zemin sınıfına sahip 6 katlı örnek binalara ait mafsallaşma görselleri Şekil 3.45'te verilmiştir.

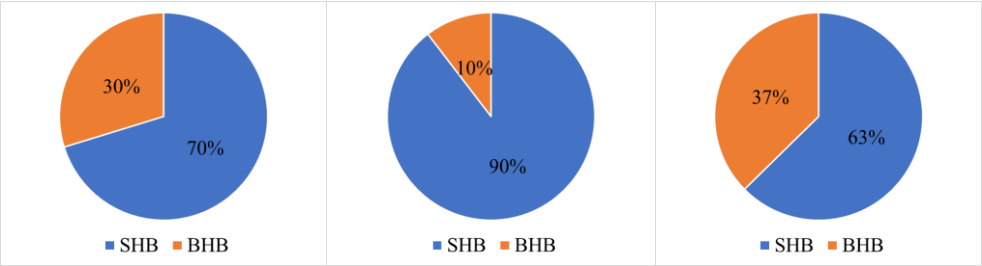


**Şekil 3.45** 6 katlı SP-1, SP-2 ve SP-3 (soldan sağa) yapılarına ait üç boyutlu mafsallaşma gösterimi (ZE yerel zemin sınıfı)

ZE yerel zemin sınıfına sahip 6 katlı örnek binalara ait kiriş kesit hasar durumları Şekil 3.46'da, kolon kesit hasar durumları Şekil 3.47'de verilmiştir.

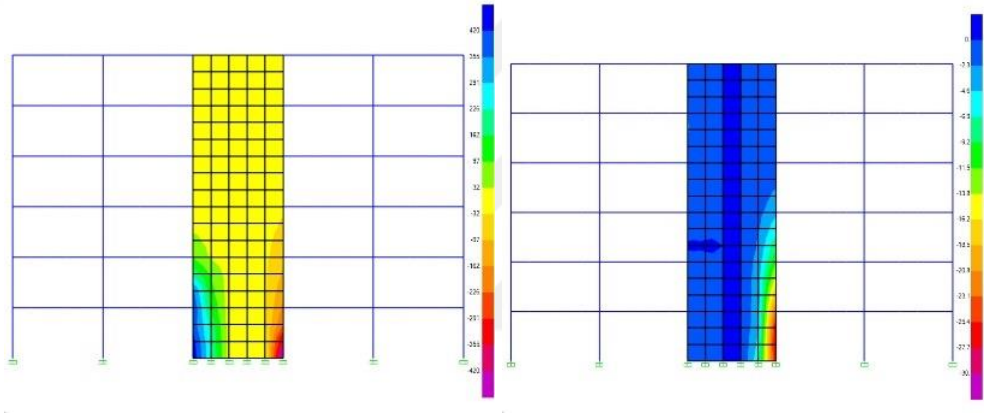



**Şekil 3.46** 6 katlı SP-1, SP-2 ve SP-3 (soldan sağa) yapılarına ait kiriş kesit hasar durumları (ZE yerel zemin sınıfı)




**Şekil 3.47** 6 katlı SP-1, SP-2 ve SP-3 (soldan sağa) yapılarına ait kolon kesit hasar durumları (ZE yerel zemin sınıfı)

Perde elemanları için tanımlanmış çok katmanlı kabuk elemanın itme analizi son adımındaki gerilme diyagramı Şekil 3.48'de verilmiştir. Örnek olarak SP-1 geometrisine ait perde elemanı gösterilmiştir. ZE yerel zemin sınıfına sahip 6 katlı diğer tüm örnek binalar için perde elemanlar "Sınırlı Hasar" bölgesindedir.



**Şekil 3.48** 6 katlı SP-1 yapısına ait perde elemanın donatı ve beton katmanlarının itme analizi son adımında gerilme diyagramları (ZE yerel zemin sınıfı)

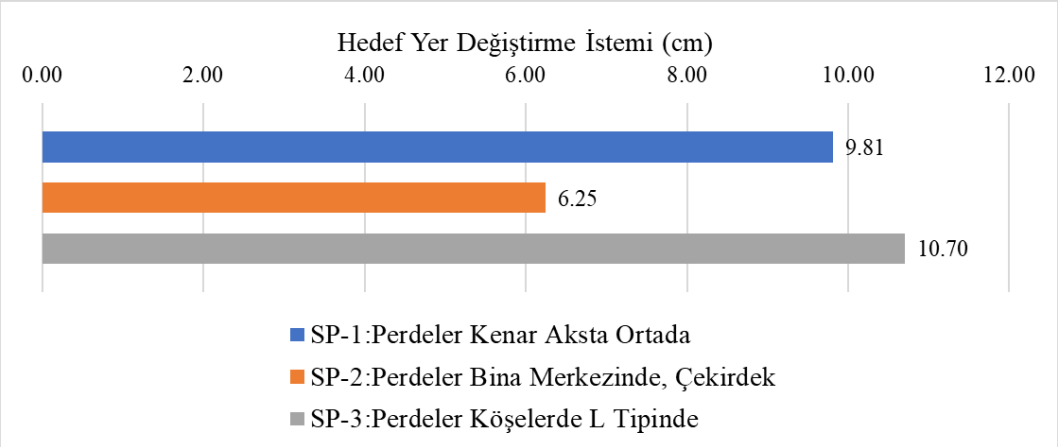
6 katlı yapılara ait tüm yapısal sistem elemanları için plastik şekil değiştirme değerleri Ek-B'de verilmiştir.

## 3.9 8-Katlı Örnek Yapıların Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

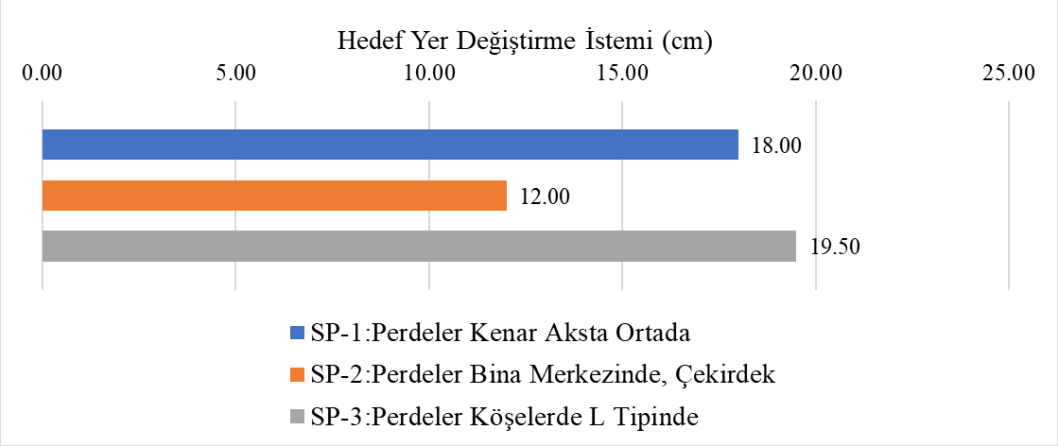
8 katlı örnek binaların doğrusal olmayan analiz sonuçları bu başlık altında verilmiştir. İki farklı yerel zemin sınıfına göre 8 katlı yapıların hedef yer değiştirme istemleri, taban kesme kuvvetleri sonuçları, modal analiz sonuçları, itme eğrileri, bilineer eğrileri, süneklik katsayıları, plastik şekil değiştirmeleri ve kesit hasar bölgeleri alt başlıklarda karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

### 3.9.1 Hedef Yer Değiştirme İstemleri

TDY-2018'de tanımlanan hesap adımları uygulanarak 8 katlı örnek binaların hedef yer değiştirme istemleri hesaplanmış, Şekil 3.49 ve Şekil 3.50'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



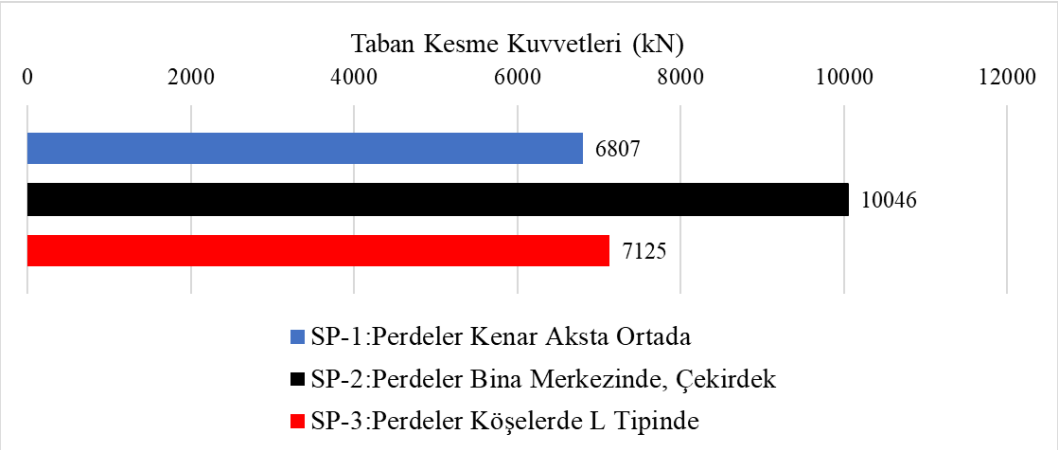

**Şekil 3.49** 8 katlı örnek binalarda hedef yer değiştirme istemleri (ZC yerel zemin sınıfı)



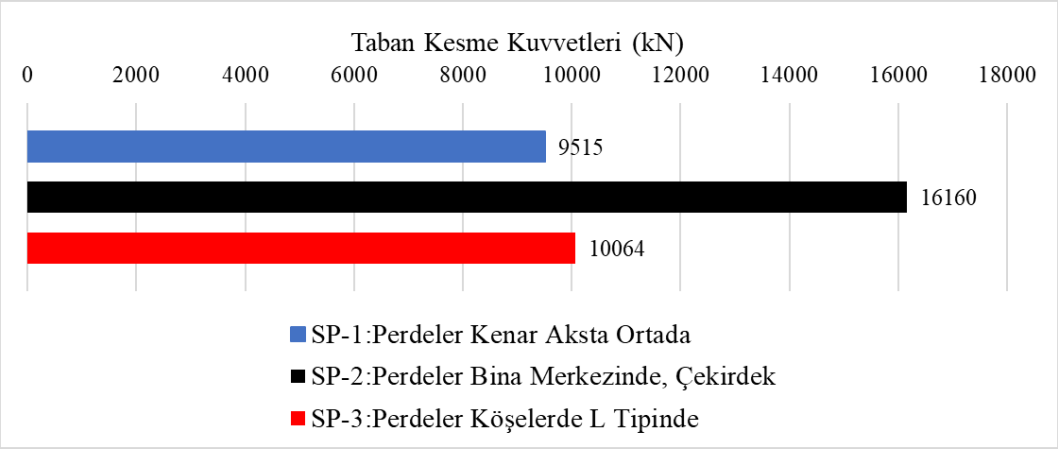

**Şekil 3.50** 8 katlı örnek binalarda hedef yer değiştirme istemleri (ZE yerel zemin sınıfı)

### 3.9.2 Taban Kesme Kuvvetleri

8 katlı örnek binalarda doğrusal olmayan analiz sonuçlarına göre karşılaştırmalı taban kesme kuvvetleri değerleri Şekil 3.51 ve Şekil 3.52'de verilmiştir.




**Şekil 3.51** 8 katlı örnek binalarda taban kesme kuvvetleri (ZC yerel zemin sınıfı)




**Şekil 3.52** 8 katlı örnek binalarda taban kesme kuvvetleri (ZE yerel zemin sınıfı)

### 3.9.3 Modal Analiz Sonuçları

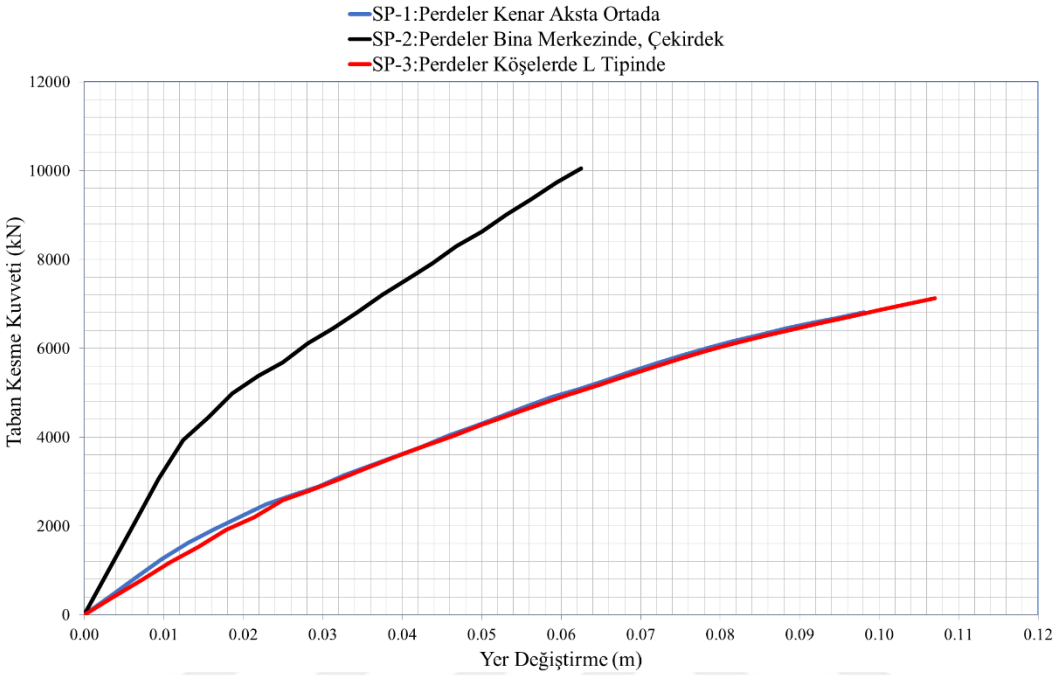
Modal analiz sonuçlarına göre 8 katlı örnek yapılara ait hakim periyotlar ve kütle katılım oranları Tablo 3.10'da verilmiştir. Örnek binalar simetrik olduğundan, her iki doğrultu için de sonuçlar aynıdır.

**Tablo 3.10** 8 katlı örnek binalara ait modal analiz sonuçları

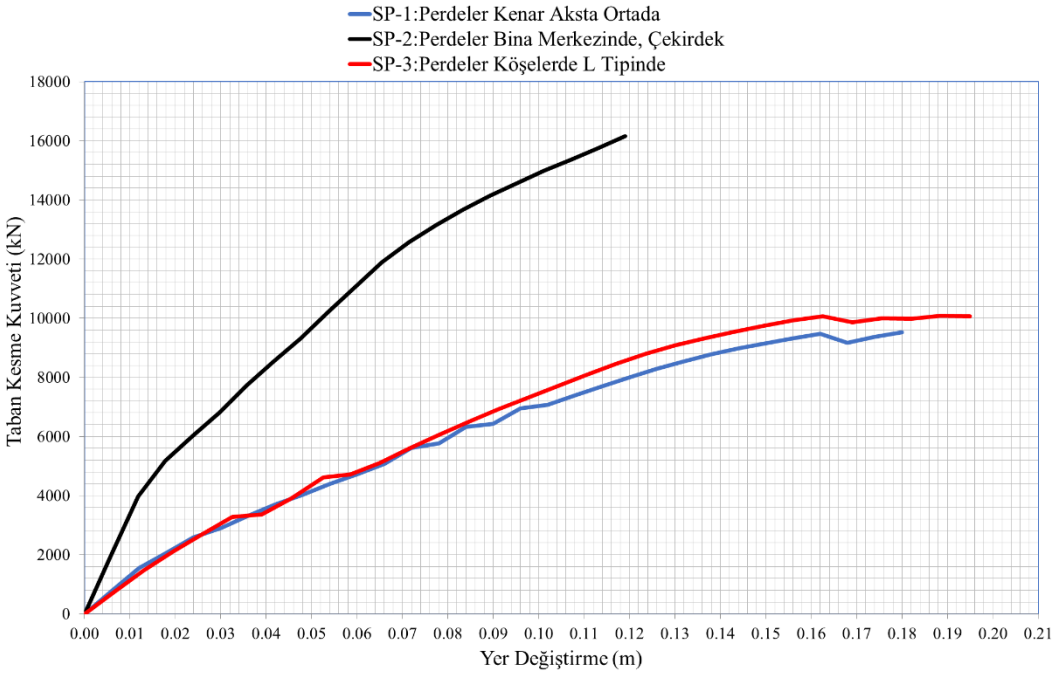
| Örnek Bina Tarifi | Periyot (sn) | Kütle Katılım Oranları |
|---|---|---|
| SP-1, ZC, 8 Katlı | 0.818 | 0.71 |
| SP-2, ZC, 8 Katlı | 0.516 | 0.70 |
| SP-3, ZC, 8 Katlı | 0.886 | 0.71 |
| SP-1, ZE, 8 Katlı | 0.807 | 0.71 |
| SP-2, ZE, 8 Katlı | 0.504 | 0.70 |
| SP-3, ZE, 8 Katlı | 0.872 | 0.71 |

### 3.9.4 İtme Eğrileri

8 katlı örnek binalarda doğrusal olmayan analiz sonuçlarına göre karşılaştırmalı itme eğrileri Şekil 3.53 ve Şekil 3.54'te verilmiştir.

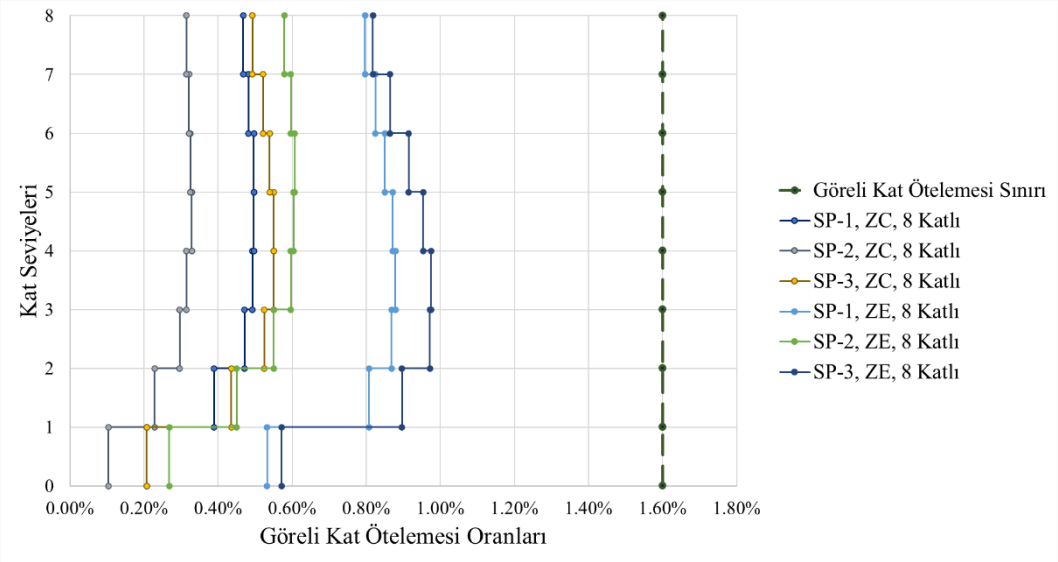



**Şekil 3.53** 8 katlı örnek binalarda itme eğrileri (ZC yerel zemin sınıfı)




**Şekil 3.54** 8 katlı örnek binalarda itme eğrileri (ZE yerel zemin sınıfı)

İtme analizinin son adımına karşı gelen göreli kat ötelemeleri oranları ZC ve ZE yerel zemin sınıflarına ait 8 katlı yapılarda her bir kat için Şekil 3.55'te verilmiştir.




**Şekil 3.55** 8 katlı örnek binalarda göreli kat ötelemesi oranları

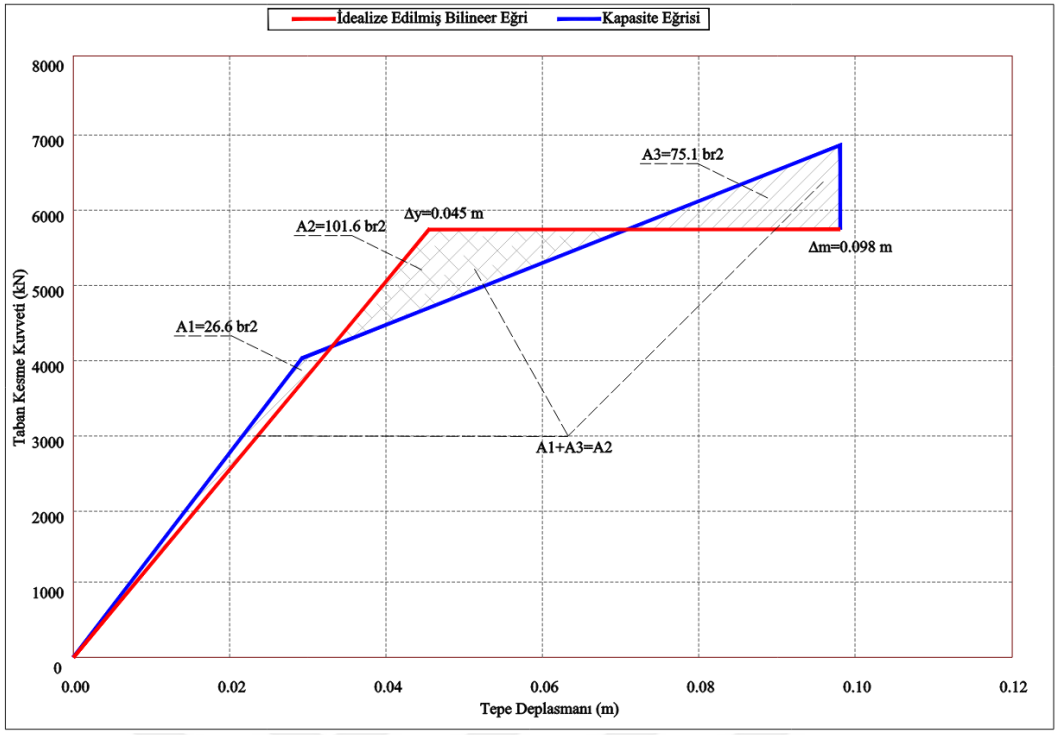
### 3.9.5 Bilineer Eğriler ve Süneklik Katsayıları

8 katlı örnek binalarda doğrusal olmayan analiz sonuçlarına bilineer eğriler çizilmiş ve süneklik katsayıları hesaplanmıştır. 8 katlı örnek binalara ait süneklik katsayıları Tablo 3.11'de verilmiştir.

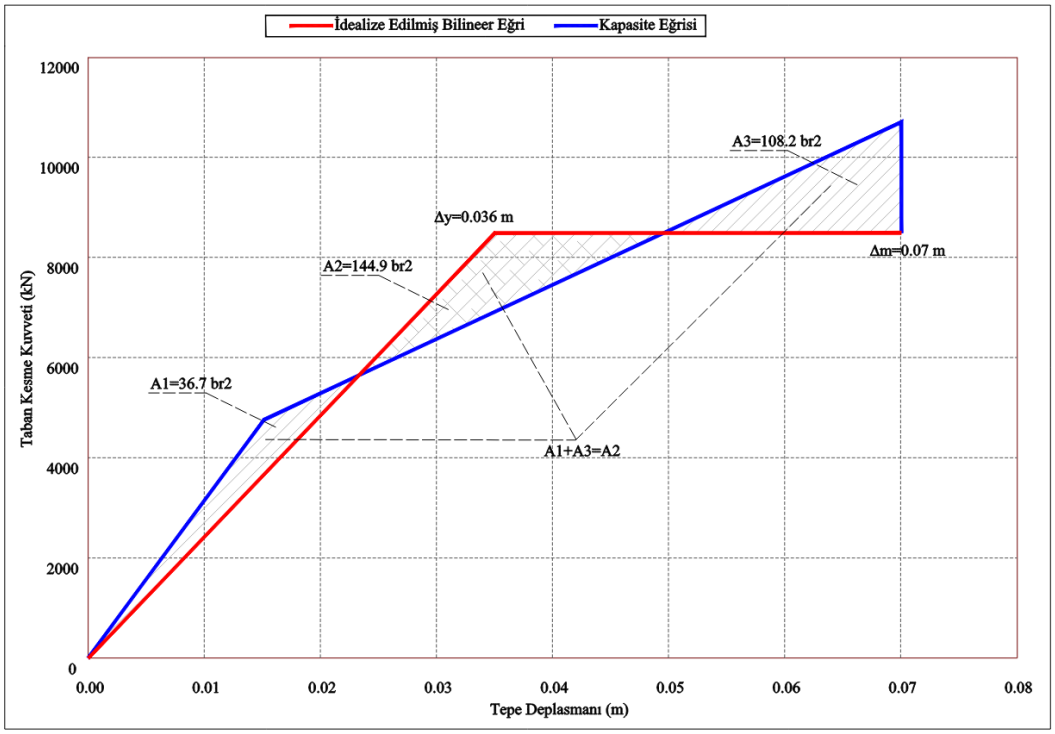
**Tablo 3.11** 8 katlı örnek binalar için hesaplanmış süneklik katsayıları

| Örnek Bina Tarifi | Δy (m) | Δm (m) | μ (Süneklik katsayısı) |
|---|---|---|---|
| SP-1, ZC, 8 Katlı | 0.045 | 0.098 | 2.178 |
| SP-2, ZC, 8 Katlı | 0.036 | 0.070 | 1.944 |
| SP-3, ZC, 8 Katlı | 0.054 | 0.107 | 1.981 |
| SP-1, ZE, 8 Katlı | 0.071 | 0.180 | 2.535 |
| SP-2, ZE, 8 Katlı | 0.062 | 0.120 | 1.935 |
| SP-3, ZE, 8 Katlı | 0.080 | 0.195 | 2.438 |

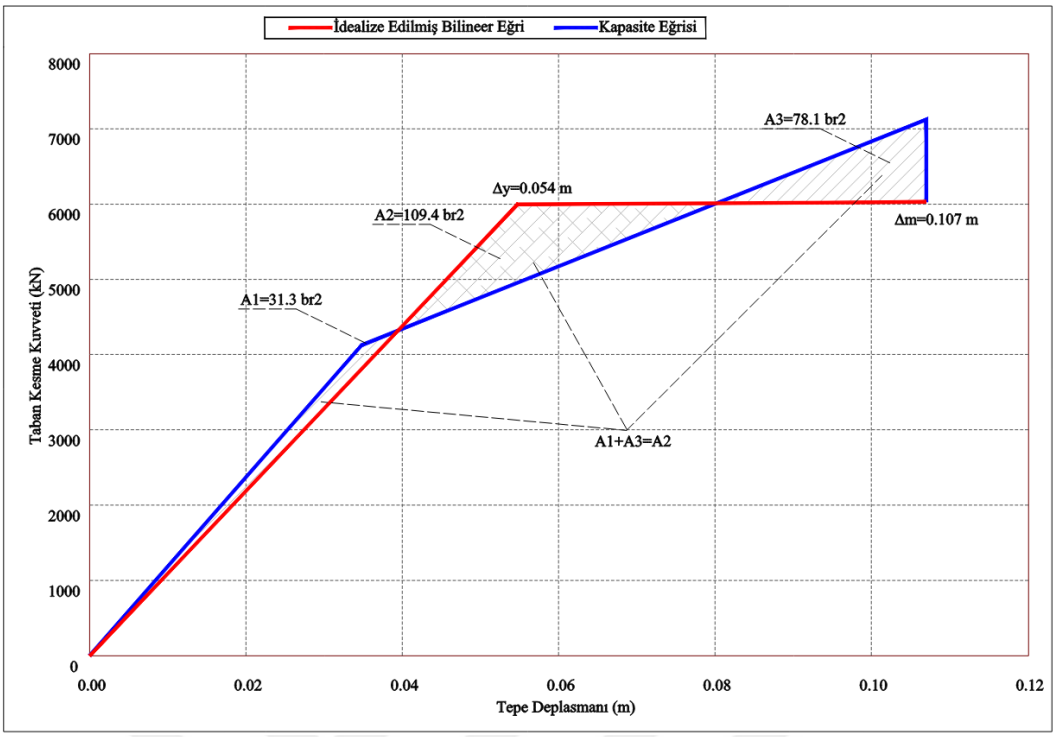
İki farklı zemin sınıfı kabulüne göre 8 katlı binalara ait bilineer eğrilerin gösterimleri sırasıyla Şekil 3.56, Şekil 3.57, Şekil 3.58, Şekil 3.59, Şekil 3.60 ve Şekil 3.61'de verilmiştir.



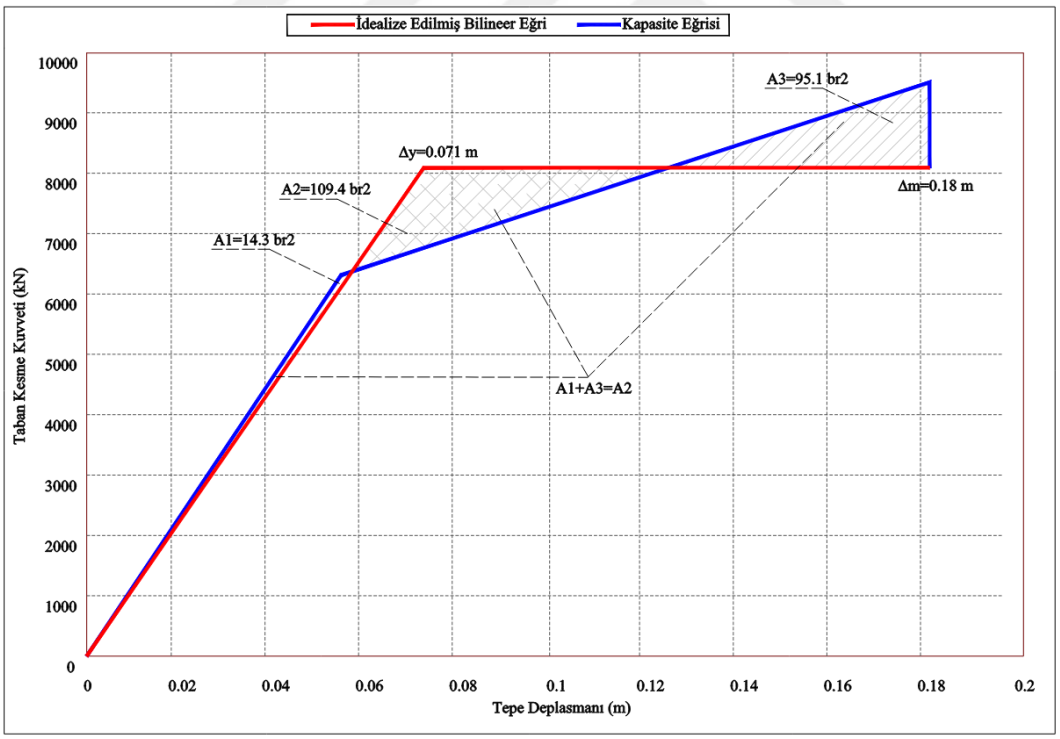

**Şekil 3.56** 8 katlı SP-1 yapısına ait bilineer eğri (ZC yerel zemin sınıfı)



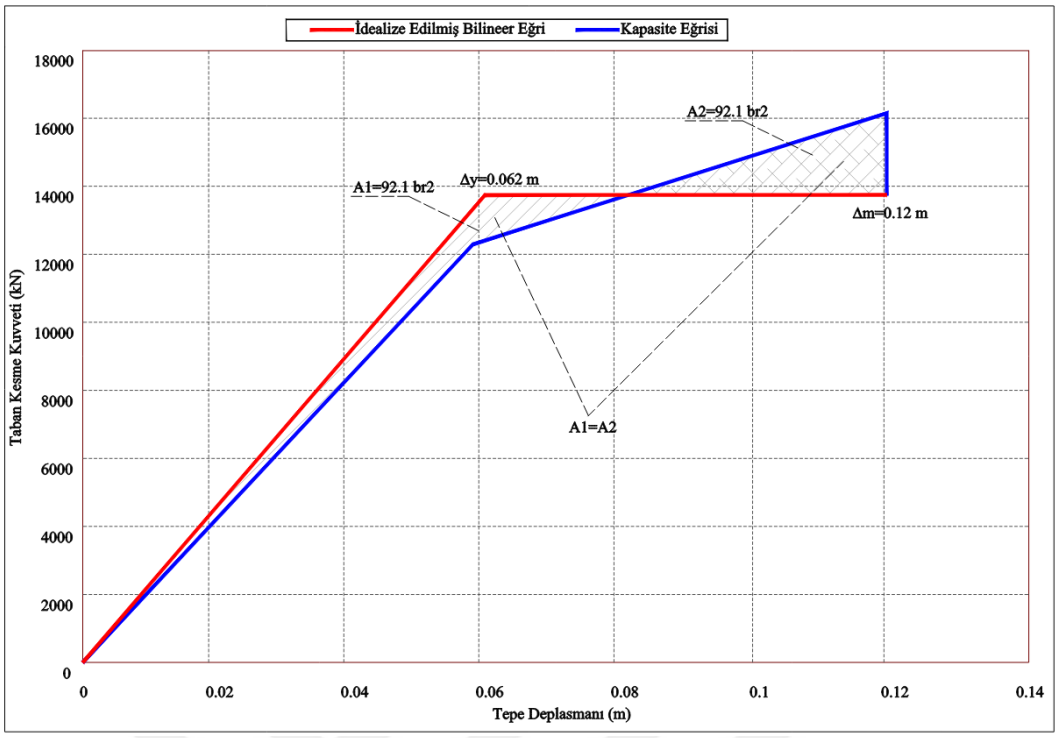

**Şekil 3.57** 8 katlı SP-2 yapısına ait bilineer eğri (ZC yerel zemin sınıfı)



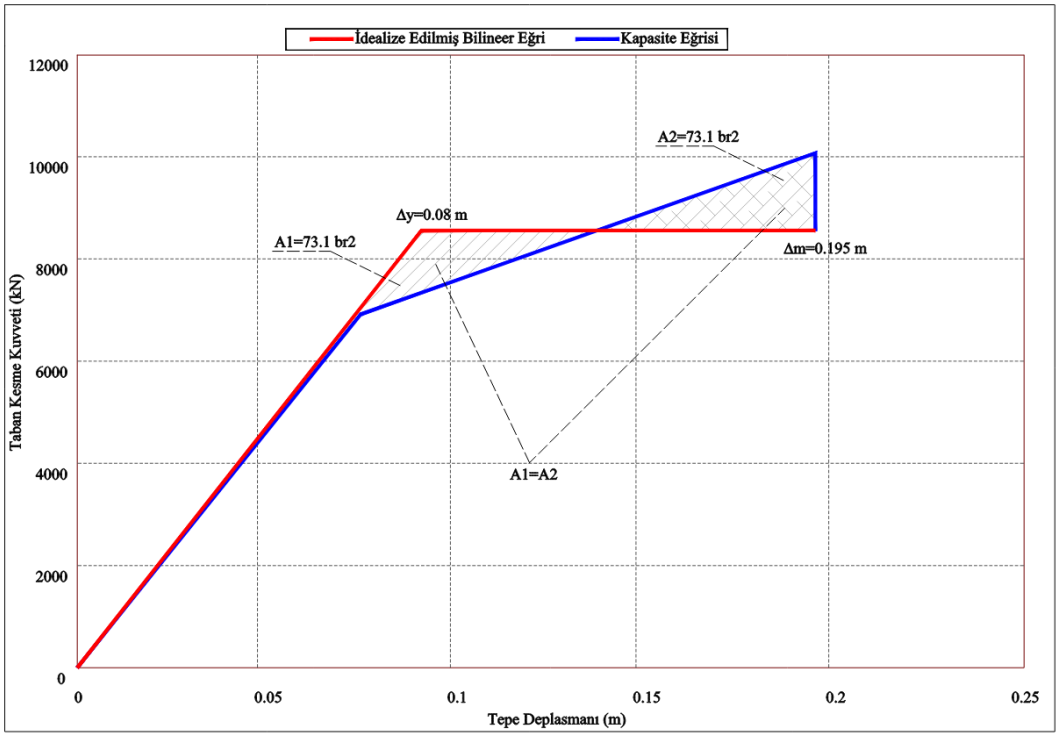

**Şekil 3.58** 8 katlı SP-3 yapısına ait bilineer eğri (ZC yerel zemin sınıfı)




**Şekil 3.59** 8 katlı SP-1 yapısına ait bilineer eğri (ZE yerel zemin sınıfı)




**Şekil 3.60** 8 katlı SP-2 yapısına ait bilineer eğri (ZE yerel zemin sınıfı)

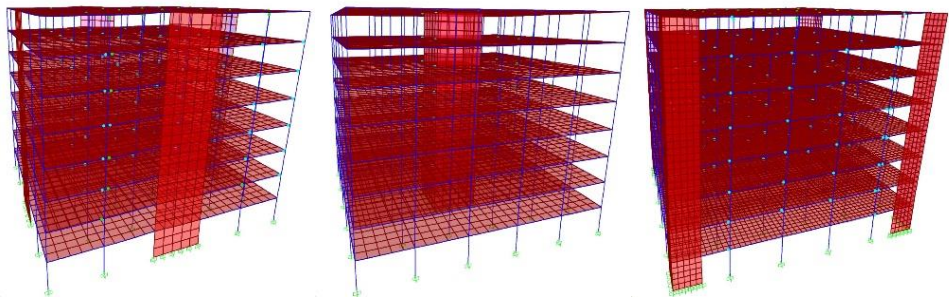



**Şekil 3.61** 8 katlı SP-3 yapısına ait bilineer eğri (ZE yerel zemin sınıfı)

### 3.9.6 Plastik Şekil Değiştirmeler ve Kesit Hasar Bölgeleri

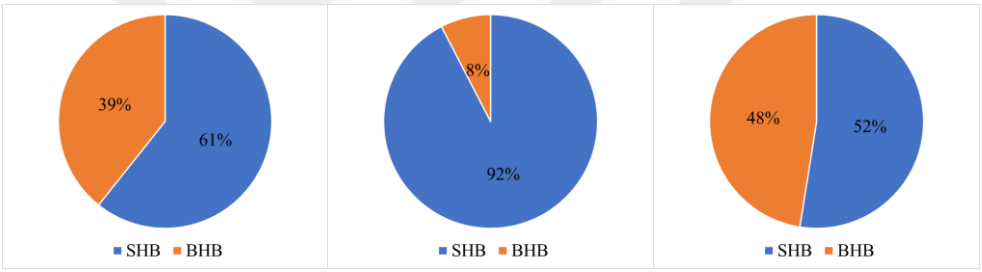
Yapılan doğrusal olmayan analizler sonucunda 8 katlı yapıların kiriş ve kolon elemanlarında plastik dönme değerleri elde edilmiştir. Perde elemanların doğrusal

olmayan analiz sonuçları için çok katmanlı kabuk elemandan donatı ve beton için itme analizinin son adımındaki gerilme değerleri alınmıştır. ZC yerel zemin sınıfına sahip 8 katlı örnek binalara ait mafsallaşma görselleri Şekil 3.62'de verilmiştir.

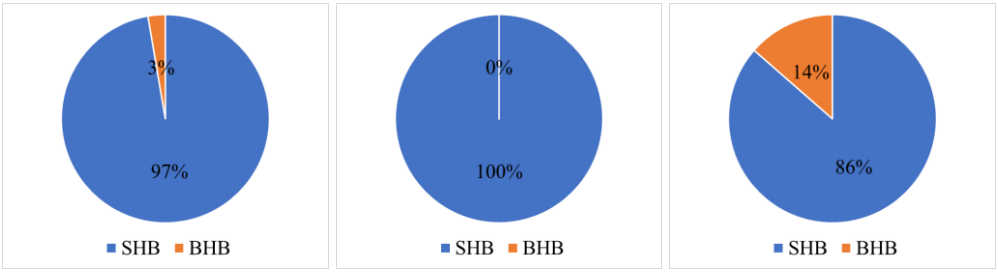


**Şekil 3.62** 8 katlı SP-1, SP-2 ve SP-3 (soldan sağa) yapılarına ait üç boyutlu mafsallaşma gösterimi (ZC yerel zemin sınıfı)

ZC yerel zemin sınıfına sahip 8 katlı örnek binalara ait kiriş kesit hasar durumları Şekil 3.63'te, kolon kesit hasar durumları Şekil 3.64'te verilmiştir.

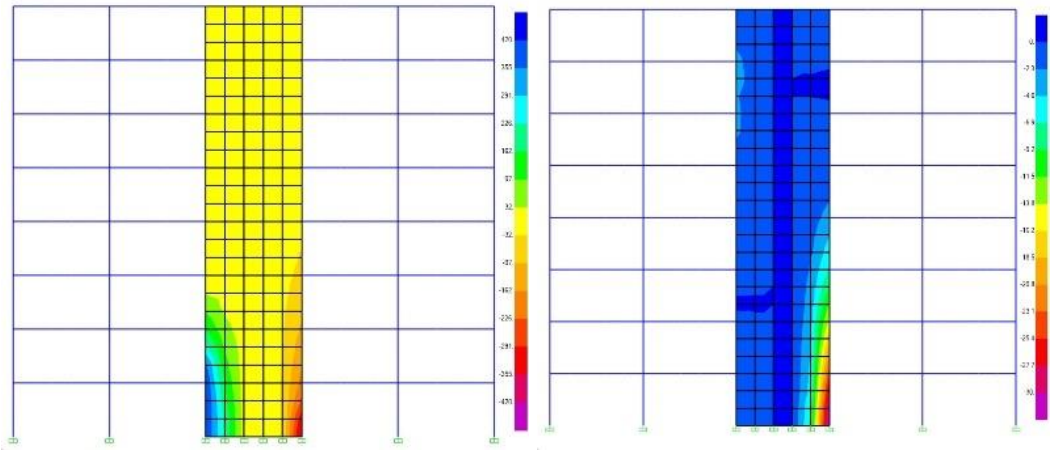



**Şekil 3.63** 8 katlı SP-1, SP-2 ve SP-3 (soldan sağa) yapılarına ait kiriş kesit hasar durumları (ZC yerel zemin sınıfı)



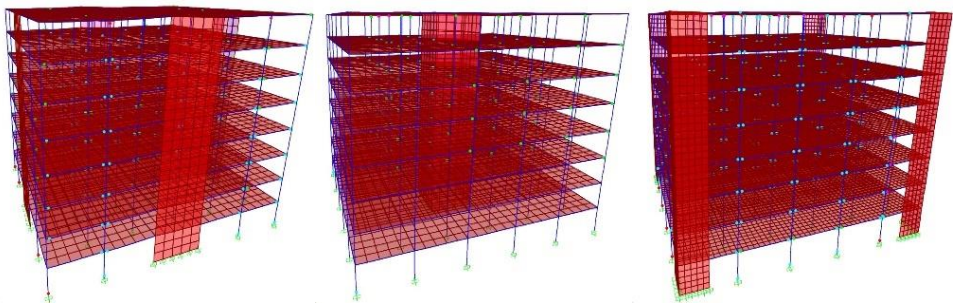

**Şekil 3.64** 8 katlı SP-1, SP-2 ve SP-3 (soldan sağa) yapılarına ait kolon kesit hasar durumları (ZC yerel zemin sınıfı)

Perde elemanları için tanımlanmış çok katmanlı kabuk elemanın itme analizi son adımındaki gerilme diyagramı Şekil 3.65'te verilmiştir. Örnek olarak SP-1 geometrisine ait perde elemanı gösterilmiştir. ZC yerel zemin sınıfına sahip 8 katlı diğer tüm örnek binalar için perde elemanlar "Sınırlı Hasar" bölgesindedir.



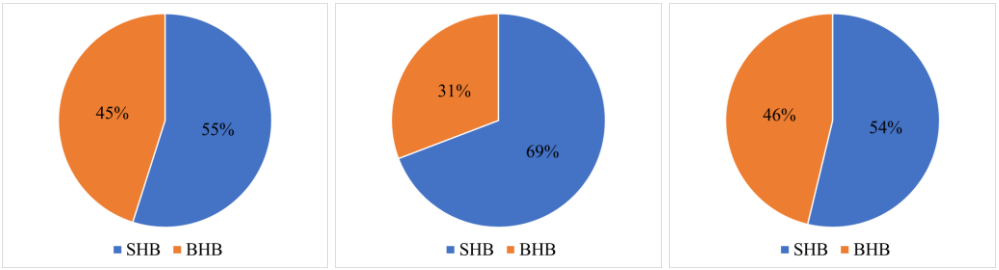
**Şekil 3.65** 8 katlı SP-1 yapısına ait perde elemanın donatı ve beton katmanlarının itme analizi son adımında gerilme diyagramları (ZC yerel zemin sınıfı)

ZE yerel zemin sınıfına sahip 8 katlı örnek binalara ait mafsallaşma görselleri Şekil 3.66'da verilmiştir.

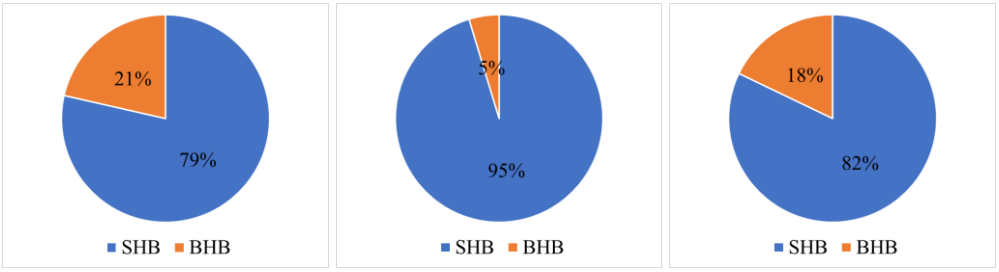


**Şekil 3.66** 8 katlı SP-1, SP-2 ve SP-3 (soldan sağa) yapılarına ait üç boyutlu mafsallaşma gösterimi (ZE yerel zemin sınıfı)

ZE yerel zemin sınıfına sahip 8 katlı örnek binalara ait kiriş kesit hasar durumları Şekil 3.67'de, kolon kesit hasar durumları Şekil 3.68'de verilmiştir.

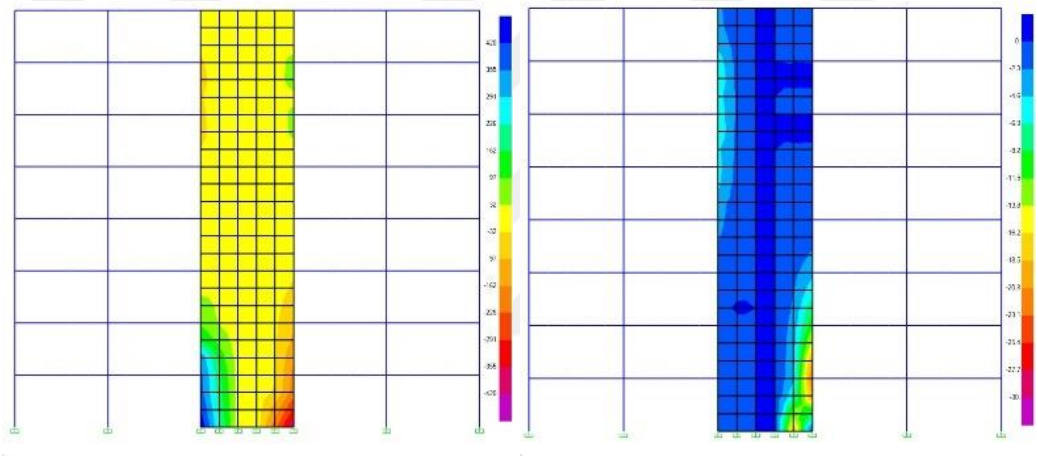



**Şekil 3.67** 8 katlı SP-1, SP-2 ve SP-3 (soldan sağa) yapılarına ait kiriş kesit hasar durumları (ZE yerel zemin sınıfı)




**Şekil 3.68** 8 katlı SP-1, SP-2 ve SP-3 (soldan sağa) yapılarına ait kolon kesit hasar durumları (ZE yerel zemin sınıfı)

Perde elemanları için tanımlanmış çok katmanlı kabuk elemanın itme analizi son adımındaki gerilme diyagramı Şekil 3.69'da verilmiştir. Örnek olarak SP-1 geometrisine ait perde elemanı gösterilmiştir. ZE yerel zemin sınıfına sahip 8 katlı diğer tüm örnek binalar için perde elemanlar "Sınırlı Hasar" bölgesindedir.



**Şekil 3.69** 8 katlı SP-1 yapısına ait perde elemanın donatı ve beton katmanlarının itme analizi son adımında gerilme diyagramları (ZE yerel zemin sınıfı)

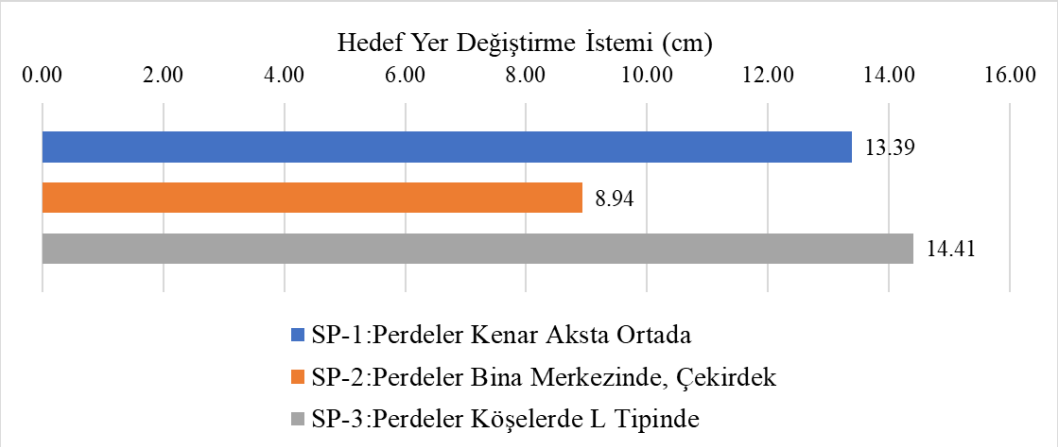
8 katlı yapılara ait tüm yapısal sistem elemanları için plastik şekil değiştirme değerleri Ek-B'de verilmiştir.

## 3.10 10-Katlı Örnek Yapıların Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

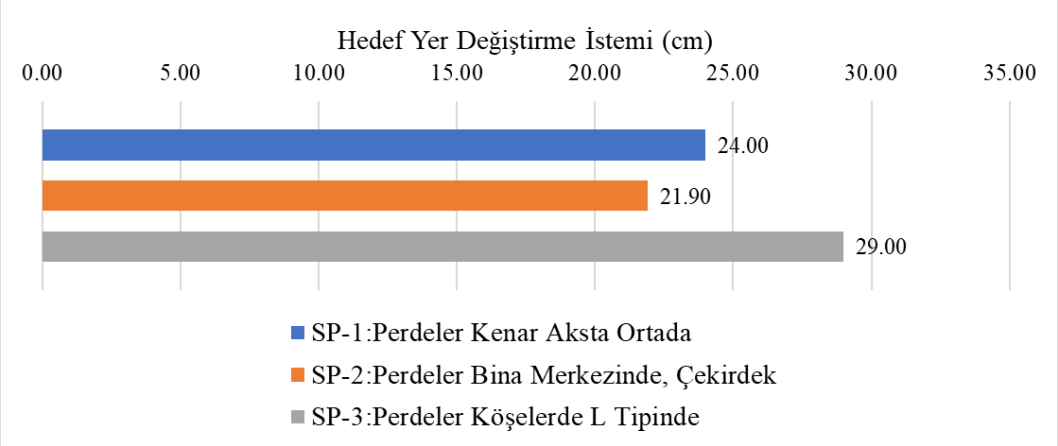
10 katlı örnek binaların doğrusal olmayan analiz sonuçları bu başlık altında verilmiştir. İki farklı yerel zemin sınıfına göre 10 katlı yapıların hedef yer değiştirme istemleri, taban kesme kuvvetleri sonuçları, modal analiz sonuçları, itme eğrileri, bilineer eğrileri, süneklik katsayıları, plastik şekil değiştirmeleri ve kesit hasar bölgeleri alt başlıklarda karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

### 3.10.1 Hedef Yer Değiştirme İstemleri

TDY-2018'de tanımlanan hesap adımları uygulanarak 10 katlı örnek binaların hedef yer değiştirme istemleri hesaplanmış, Şekil 3.70 ve Şekil 3.71'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



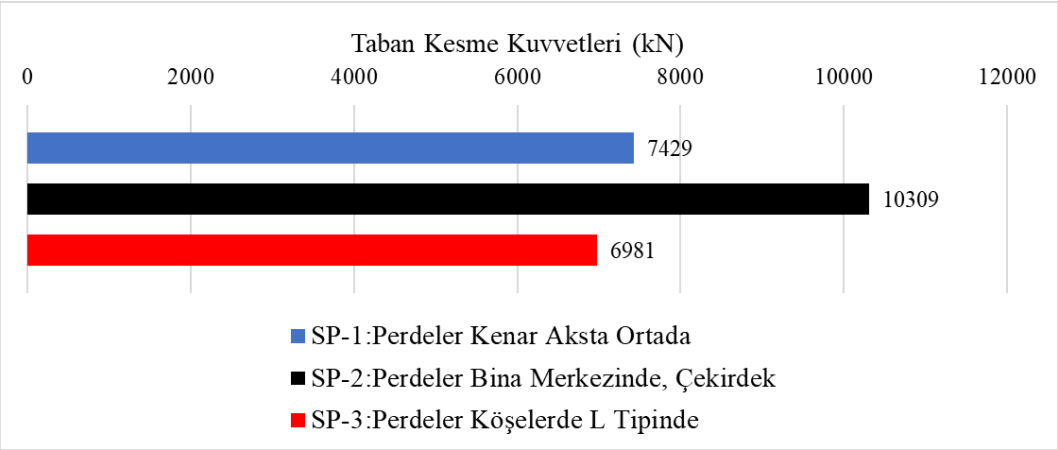

**Şekil 3.70** 10 katlı örnek binalarda hedef yer değiştirme istemleri (ZC yerel zemin sınıfı)



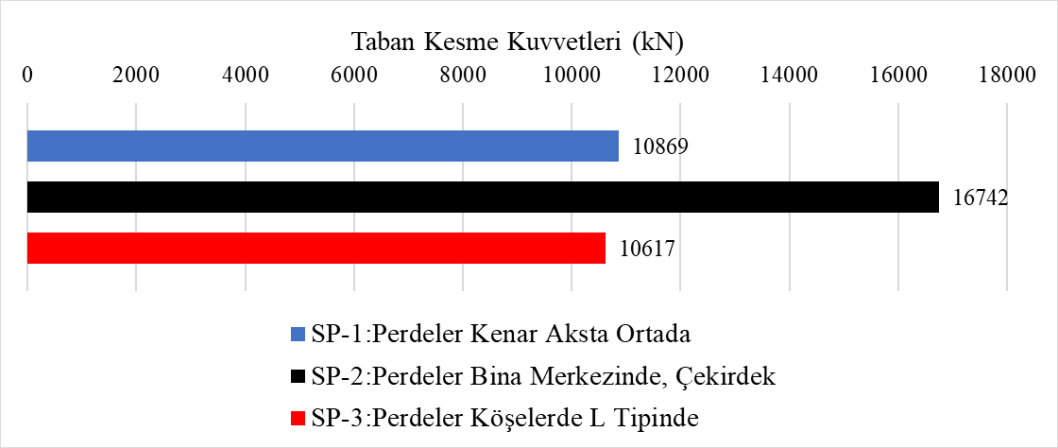

**Şekil 3.71** 10 katlı örnek binalarda hedef yer değiştirme istemleri (ZE yerel zemin sınıfı)

### 3.10.2 Taban Kesme Kuvvetleri

10 katlı örnek binalarda doğrusal olmayan analiz sonuçlarına göre karşılaştırmalı taban kesme kuvvetleri değerleri Şekil 3.72 ve Şekil 3.73'te verilmiştir.




**Şekil 3.72** 10 katlı örnek binalarda taban kesme kuvvetleri (ZC yerel zemin sınıfı)




**Şekil 3.73** 10 katlı örnek binalarda taban kesme kuvvetleri (ZE yerel zemin sınıfı)

### 3.10.3 Modal Analiz Sonuçları

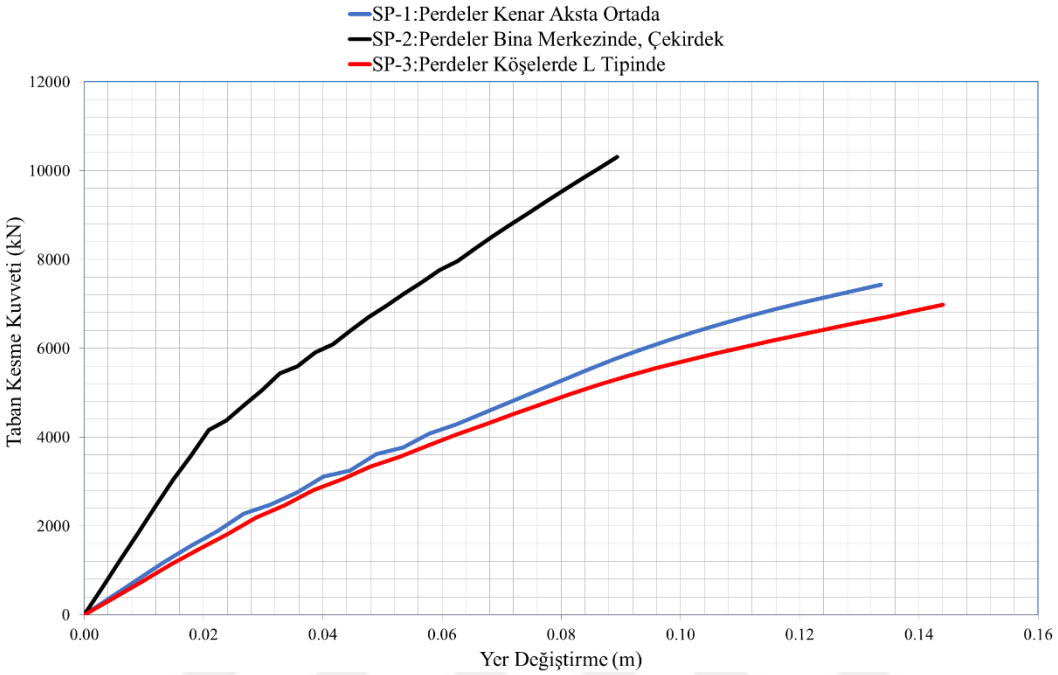
Modal analiz sonuçlarına göre 10 katlı örnek yapılara ait hakim periyotlar ve kütle katılım oranları Tablo 3.12'de verilmiştir. Örnek binalar simetrik olduğundan, her iki doğrultu için de sonuçlar aynıdır.

**Tablo 3.12** 10 katlı örnek binalara ait modal analiz sonuçları

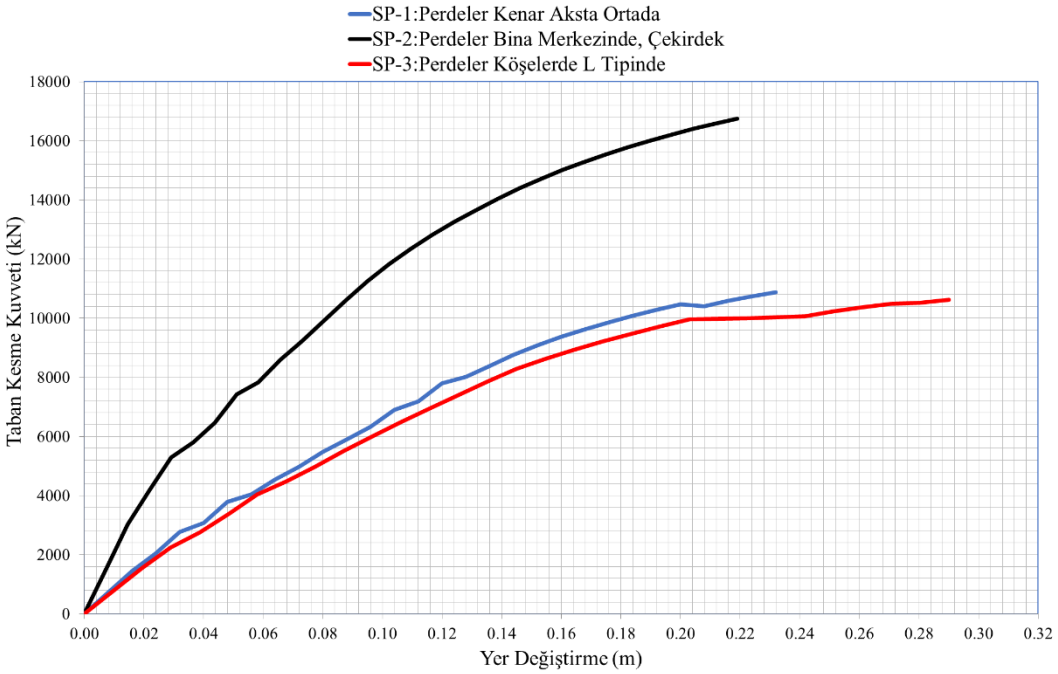
| Örnek Bina Tarifi | Periyot (sn) | Kütle Katılım Oranları |
|---|---|---|
| SP-1, ZC, 10 Katlı | 1.090 | 0.71 |
| SP-2, ZC, 10 Katlı | 0.740 | 0.71 |
| SP-3, ZC, 10 Katlı | 1.190 | 0.71 |
| SP-1, ZE, 10 Katlı | 1.080 | 0.71 |
| SP-2, ZE, 10 Katlı | 0.720 | 0.70 |
| SP-3, ZE, 10 Katlı | 1.160 | 0.71 |

### 3.10.4 İtme Eğrileri

10 katlı örnek binalarda doğrusal olmayan analiz sonuçlarına göre karşılaştırmalı itme eğrileri Şekil 3.74 ve Şekil 3.75'te verilmiştir.

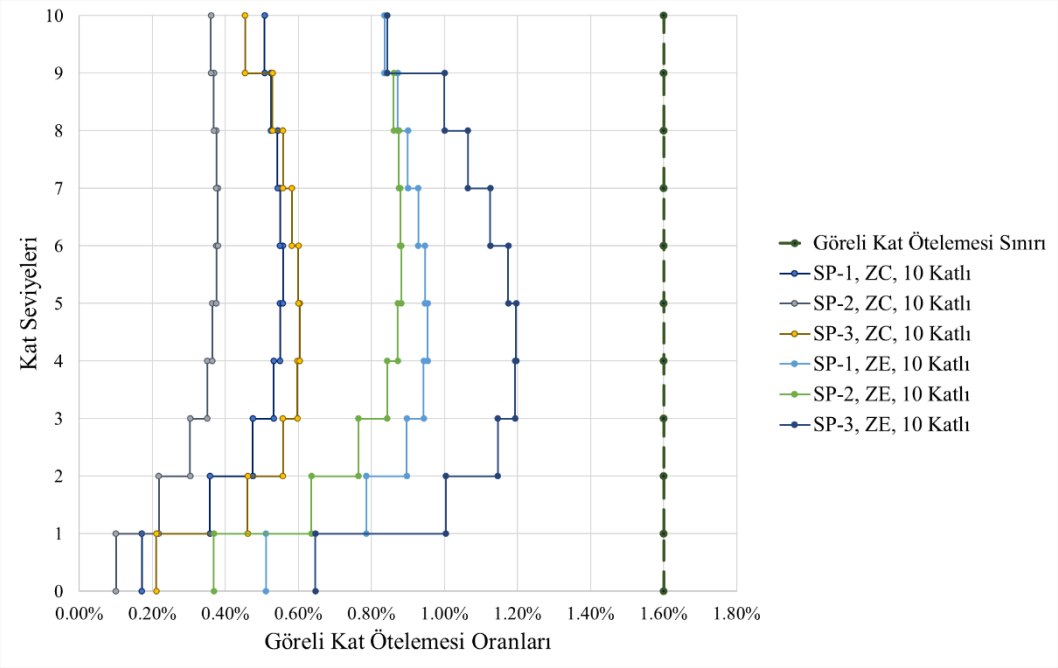



**Şekil 3.74** 10 katlı örnek binalarda itme eğrileri (ZC yerel zemin sınıfı)




**Şekil 3.75** 10 katlı örnek binalarda itme eğrileri (ZE yerel zemin sınıfı)

İtme analizinin son adımına karşı gelen göreli kat ötelemeleri oranları ZC ve ZE yerel zemin sınıflarına ait 10 katlı yapılarda her bir kat için Şekil 3.76'da verilmiştir.



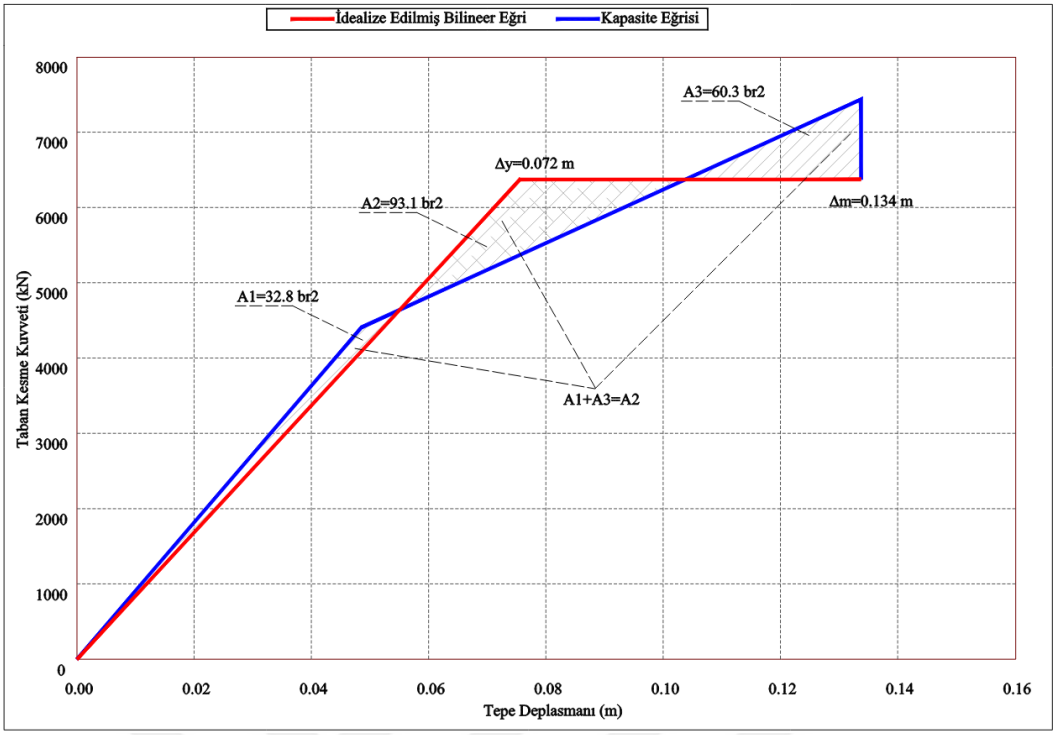

**Şekil 3.76** 10 katlı örnek binalarda göreli kat ötelemesi oranları

### 3.10.5 Bilineer Eğriler ve Süneklik Katsayıları

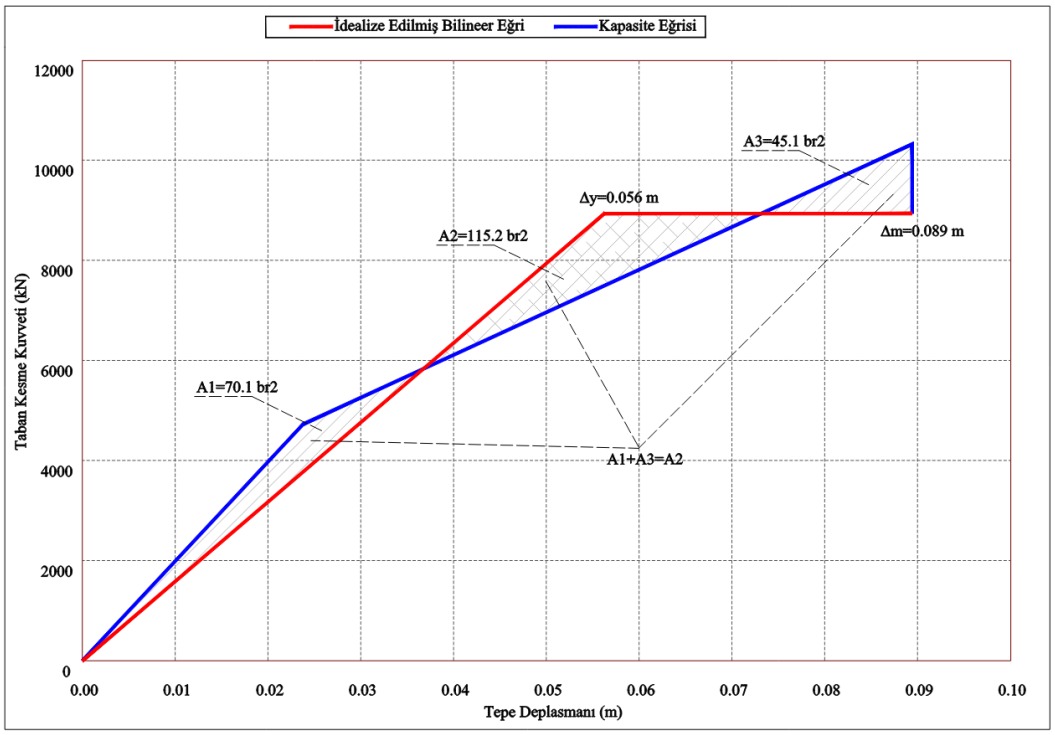
10 katlı örnek binalarda doğrusal olmayan analiz sonuçlarına bilineer eğriler çizilmiş ve süneklik katsayıları hesaplanmıştır. İki farklı zemin sınıfı kabulüne göre 10 katlı binalara ait bilineer eğrilerin gösterimleri sırasıyla Şekil 3.77, Şekil 3.78, Şekil 3.79, Şekil 3.80, Şekil 3.81 ve Şekil 3.82'de verilmiştir. 10 katlı örnek binalara ait süneklik katsayıları Tablo 3.13'de verilmiştir.

**Tablo 3.13** 10 katlı örnek binalar için hesaplanmış süneklik katsayıları

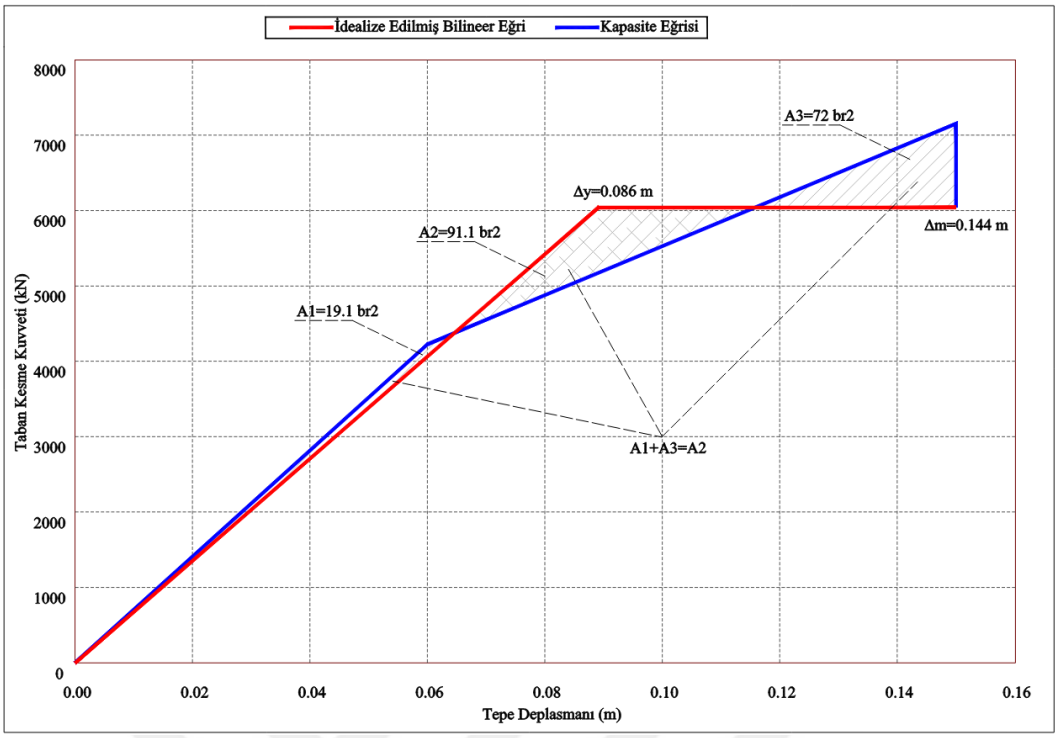
| Örnek Bina Tarifi | Δy (m) | Δm (m) | μ (Süneklik katsayısı) |
|---|---|---|---|
| SP-1, ZC, 10 Katlı | 0.072 | 0.134 | 1.861 |
| SP-2, ZC, 10 Katlı | 0.056 | 0.089 | 1.589 |
| SP-3, ZC, 10 Katlı | 0.086 | 0.144 | 1.674 |
| SP-1, ZE, 10 Katlı | 0.109 | 0.232 | 2.128 |
| SP-2, ZE, 10 Katlı | 0.108 | 0.219 | 2.028 |
| SP-3, ZE, 10 Katlı | 0.131 | 0.290 | 2.214 |



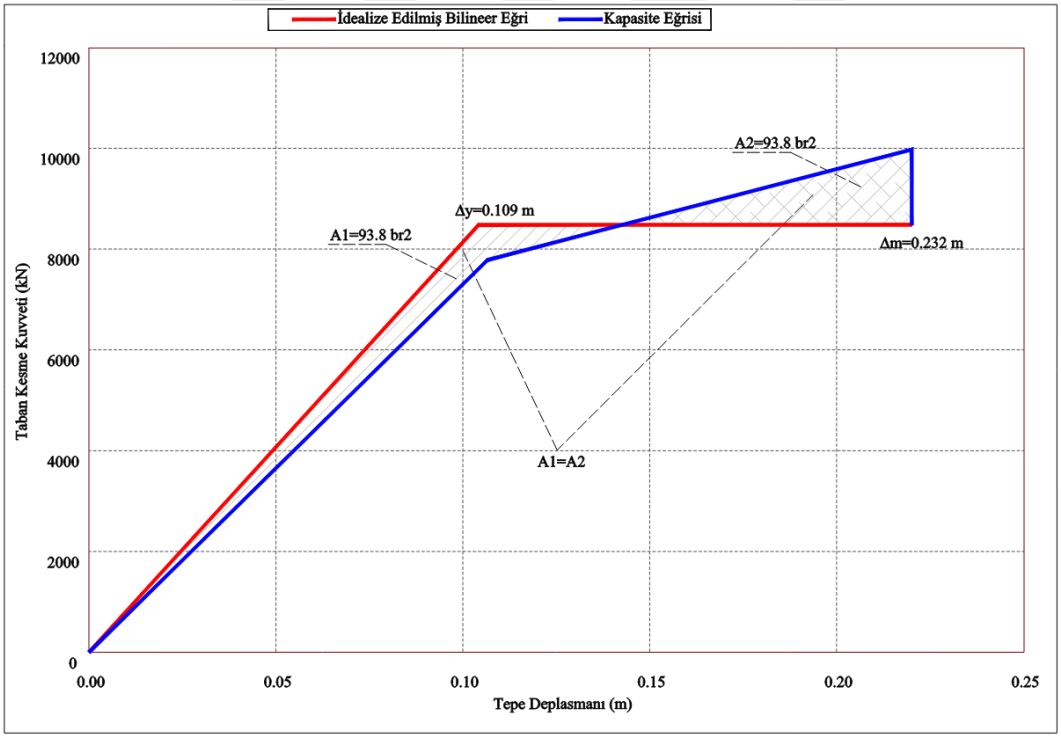

**Şekil 3.77** 10 katlı SP-1 yapısına ait bilineer eğri (ZC yerel zemin sınıfı)



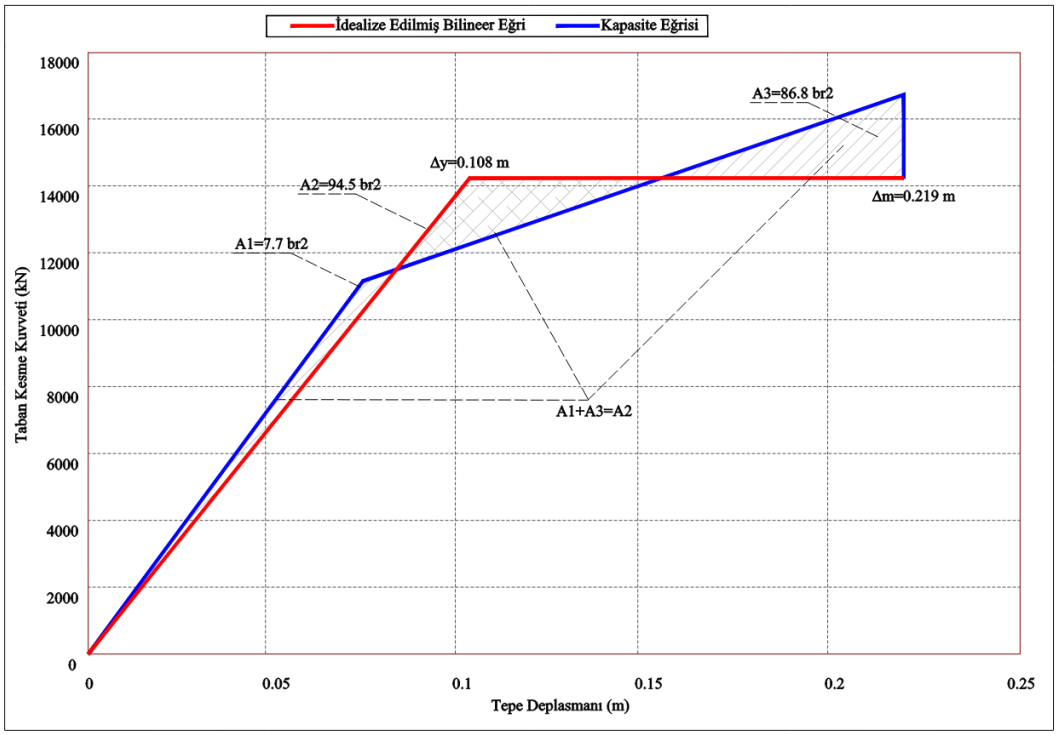

**Şekil 3.78** 10 katlı SP-2 yapısına ait bilineer eğri (ZC yerel zemin sınıfı)



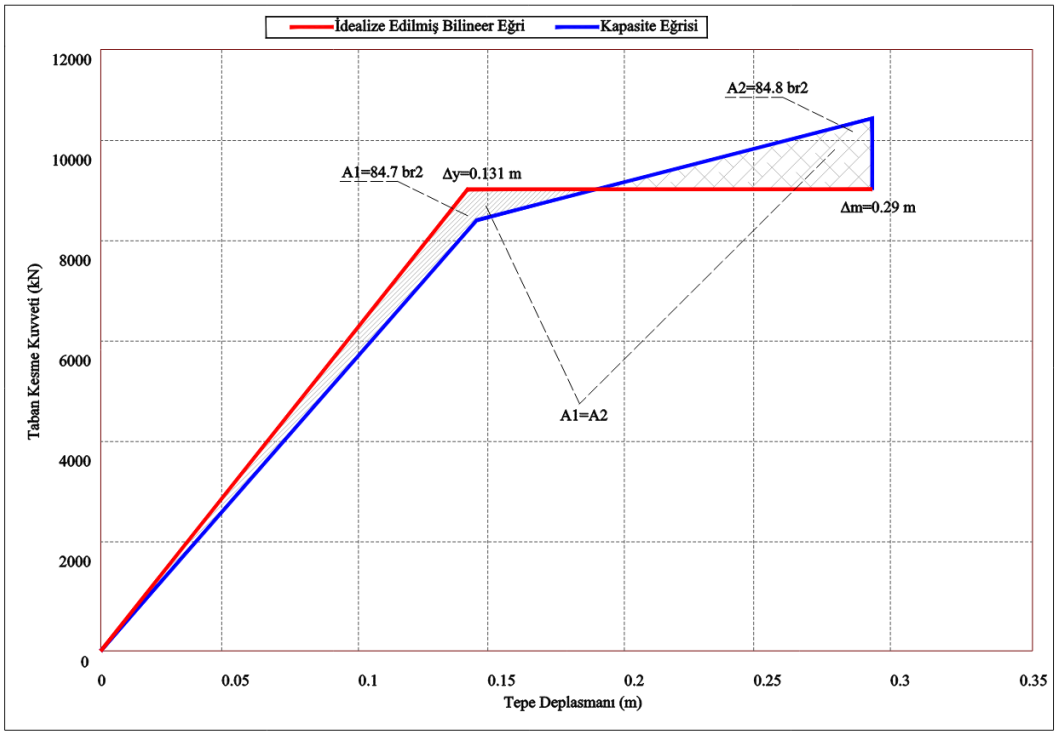

**Şekil 3.79** 10 katlı SP-3 yapısına ait bilineer eğri (ZC yerel zemin sınıfı)




**Şekil 3.80** 10 katlı SP-1 yapısına ait bilineer eğri (ZE yerel zemin sınıfı)




**Şekil 3.81** 10 katlı SP-2 yapısına ait bilineer eğri (ZE yerel zemin sınıfı)

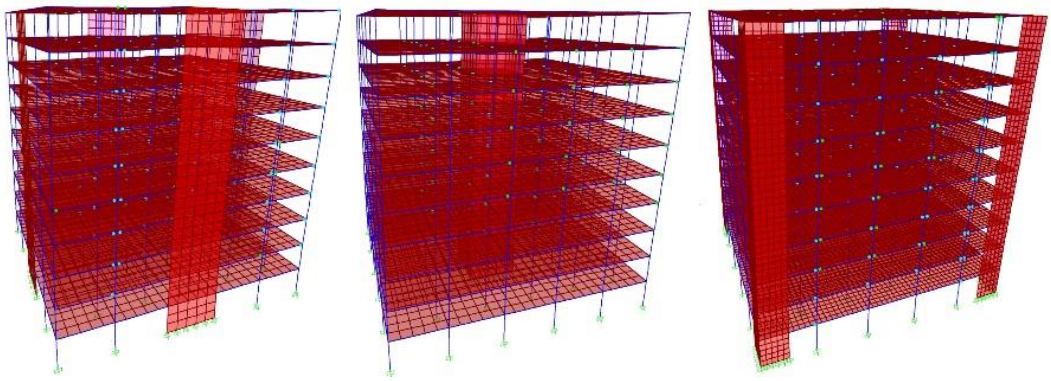



**Şekil 3.82** 10 katlı SP-3 yapısına ait bilineer eğri (ZE yerel zemin sınıfı)

### 3.10.6 Plastik Şekil Değiştirmeler ve Kesit Hasar Bölgeleri

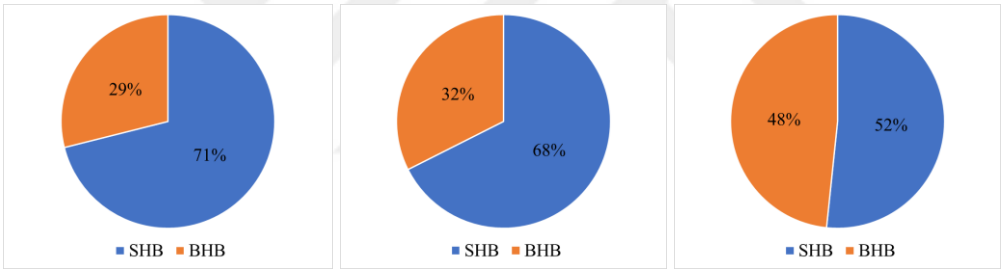
Yapılan doğrusal olmayan analizler sonucunda 10 katlı yapıların kiriş ve kolon elemanlarında plastik dönme değerleri elde edilmiştir. Perde elemanların doğrusal

olmayan analiz sonuçları için çok katmanlı kabuk elemandan donatı ve beton için itme analizinin son adımındaki gerilme değerleri alınmıştır. ZC yerel zemin sınıfına sahip 10 katlı örnek binalara ait mafsallaşma görselleri Şekil 3.83'te verilmiştir.

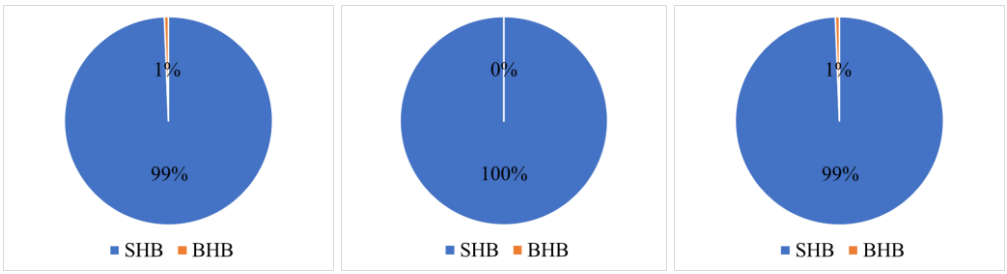


**Şekil 3.83** 10 katlı SP-1, SP-2 ve SP-3 (soldan sağa) yapılarına ait üç boyutlu mafsallaşma gösterimi (ZC yerel zemin sınıfı)

ZC yerel zemin sınıfına sahip 10 katlı örnek binalara ait kiriş kesit hasar durumları Şekil 3.84'te, kolon kesit hasar durumları Şekil 3.85'te verilmiştir.

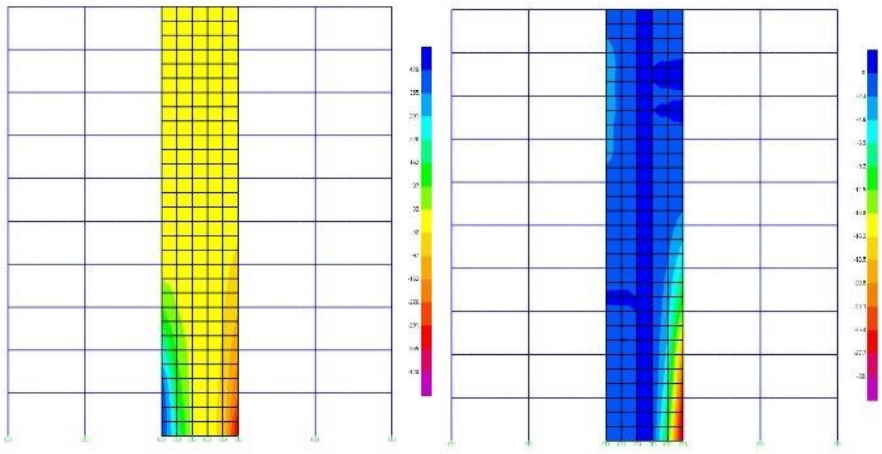



**Şekil 3.84** 10 katlı SP-1, SP-2 ve SP-3 (soldan sağa) yapılarına ait kiriş kesit hasar durumları (ZC yerel zemin sınıfı)



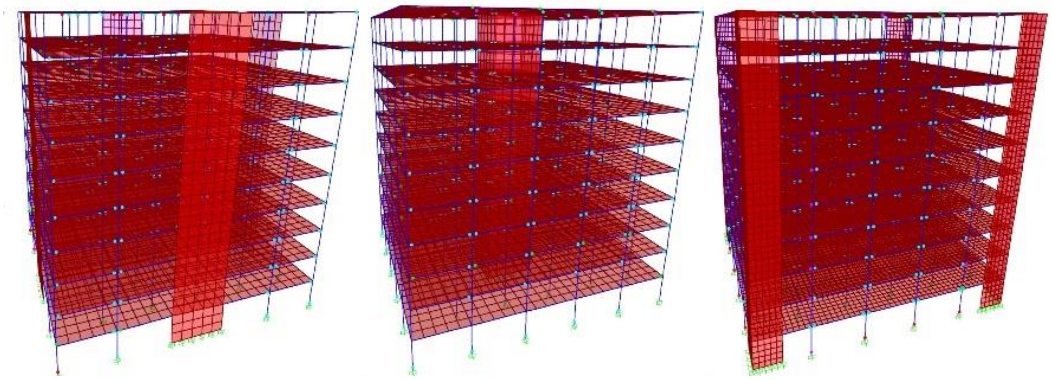

**Şekil 3.85** 10 katlı SP-1, SP-2 ve SP-3 (soldan sağa) yapılarına ait kolon kesit hasar durumları (ZC yerel zemin sınıfı)

Perde elemanları için tanımlanmış çok katmanlı kabuk elemanın itme analizi son adımındaki gerilme diyagramı Şekil 3.86'da verilmiştir. Örnek olarak SP-1 geometrisine ait perde elemanı gösterilmiştir. ZC yerel zemin sınıfına sahip 10 katlı diğer tüm örnek binalar için perde elemanlar "Sınırlı Hasar" bölgesindedir.



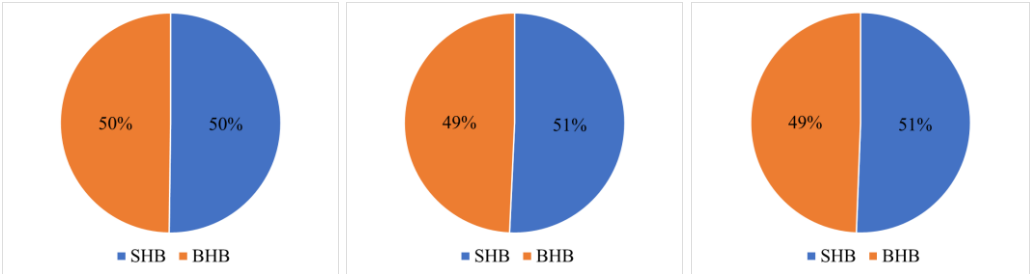
**Şekil 3.86** 10 katlı SP-1 yapısına ait perde elemanın donatı ve beton katmanlarının itme analizi son adımında gerilme diyagramları (ZC yerel zemin sınıfı)

ZE yerel zemin sınıfına sahip 10 katlı örnek binalara ait mafsallaşma görselleri Şekil 3.87'de verilmiştir.

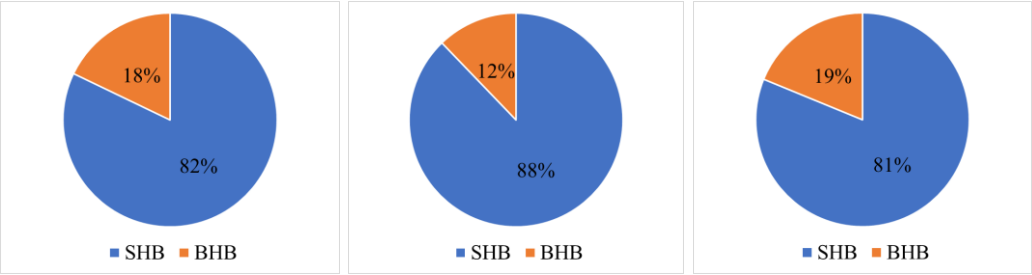


**Şekil 3.87** 10 katlı SP-1, SP-2 ve SP-3 (soldan sağa) yapılarına ait üç boyutlu mafsallaşma gösterimi (ZE yerel zemin sınıfı)

ZE yerel zemin sınıfına sahip 10 katlı örnek binalara ait kiriş kesit hasar durumları Şekil 3.88'de, kolon kesit hasar durumları Şekil 3.89'da verilmiştir.

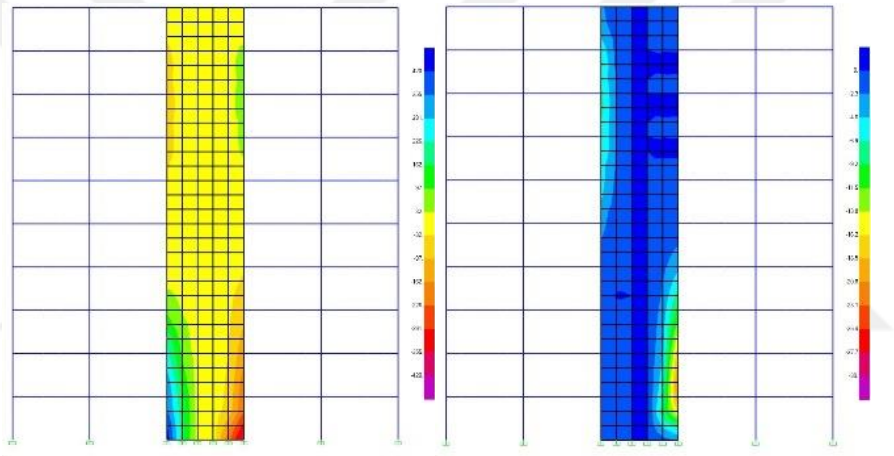



**Şekil 3.88** 10 katlı SP-1, SP-2 ve SP-3 (soldan sağa) yapılarına ait kiriş kesit hasar durumları (ZE yerel zemin sınıfı)




**Şekil 3.89** 10 katlı SP-1, SP-2 ve SP-3 (soldan sağa) yapılarına ait kolon kesit hasar durumları (ZE yerel zemin sınıfı)

Perde elemanları için tanımlanmış çok katmanlı kabuk elemanın itme analizi son adımındaki gerilme diyagramı Şekil 3.90'da verilmiştir. Örnek olarak SP-1 geometrisine ait perde elemanı gösterilmiştir. ZE yerel zemin sınıfına sahip 10 katlı diğer tüm örnek binalar için perde elemanlar "Sınırlı Hasar" bölgesindedir.



**Şekil 3.90** 10 katlı SP-1 yapısına ait perde elemanın donatı ve beton katmanlarının itme analizi son adımında gerilme diyagramları (ZE yerel zemin sınıfı)

10 katlı yapılara ait tüm yapısal sistem elemanları için plastik şekil değiştirme değerleri Ek-B'de verilmiştir.

# 4
# SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, TBDY-2018 esasları doğrultusunda doğrusal elastik tasarlanmış üç farklı betonarme perde yerleşimine sahip perdeli çerçeveli yapılar incelenmiştir. Bu yapılar, 6, 8 ve 10 katlı olmak üzere üç farklı bina yüksekliğine ve iki farklı yerel zemin sınıfına göre gruplandırılmıştır. Doğrusal olmayan tek modlu itme analizi yöntemi ile dinamik parametrelerle birlikte taban kesme kuvvetleri, itme eğrileri, kesit hasar durumları, bilineer eğriler ve süneklik katsayıları elde edilmiştir. Sonuçlar, her bir durum için ayrı ayrı değerlendirilmiş ve betonarme perdelerin plandaki yerleşimlerinin doğrusal olmayan davranış üzerindeki etkisi irdelenmiştir. Yapılan bu çalışmanın, perdelerin plandaki yerleşimleriyle ilgili tartışmalara ve çalışmalara katkıda bulunması beklenmektedir. Bu tez çalışmasının sonucunda aşağıdaki bulgulara ulaşılmıştır:

1. Perdelerin bina merkezinde bulunduğu modellerde (SP-2) modal periyotlar bu tez çalışmasında kabul edilen tüm bina yükseklikleri açısından karşılaştırıldığında diğer geometrilere göre daha düşüktür. SP-2 geometrisine sahip modellerin periyotları 6 katlı yapılarda SP-1'e göre %38, SP-3'e göre %45, 8 katlı yapılarda SP-1'e göre %36, SP-3'e göre %42, 10 katlı yapılarda ise SP-1'e göre %34, SP-3'e göre %39 daha düşüktür. SP-2 modelindeki perde yerleşimine sahip sistemler tüm bina yükseklikleri için diğer geometrilere göre daha rijit davranış göstermiştir.
2. Perdelerin bina merkezinde bulunduğu modeller (SP-2) taban kesme kuvvetleri açısından karşılaştırıldığında diğer geometrilere göre ZC zemin sınıfındaki 6 katlı yapılarda SP-1'e göre %39, SP-3'e göre %24, 8 katlı yapılarda SP-1'e göre %48, SP-3'e göre %41, 10 katlı yapılarda ise SP-1'e göre %39, SP-3'e göre %48 daha yüksektir. ZE zemin sınıfına göre karşılaştırıldığında ise SP-2 geometrisine sahip modellerin taban kesme kuvvetleri 6 katlı yapılarda SP-1'e göre %38, SP-3'e göre %50, 8 katlı yapılarda SP-1'e göre %70, SP-3'e göre %61, 10 katlı yapılarda ise SP-1'e göre %54, SP-3'e göre %58 daha yüksektir.
3. Perdelerin bina merkezinde bulunduğu modellerde (SP-2) hedef yer değiştirme istemi bakımından diğer modellerle karşılaştırıldığında ZC zemin sınıfındaki 6 katlı yapılarda (3.85 cm) SP-1'e göre %39, SP-3'e göre %44, 8 katlı yapılarda

(6.25 cm) SP-1'e göre %36, SP-3'e göre %42, 10 katlı yapılarda (8.94 cm) ise SP-1'e göre %33, SP-3'e göre %38 daha düşüktür. ZE zemin sınıfına göre karşılaştırıldığında ise SP-2 geometrisine sahip modellerin hedef yer değiştirme istemleri 6 katlı yapılarda (7.00 cm) SP-1'e göre %42, SP-3'e göre %49, 8 katlı yapılarda (12.00 cm) SP-1'e göre %33, SP-3'e göre %38, 10 katlı yapılarda (21.90 cm) ise SP-1'e göre %9, SP-3'e göre %24 daha düşüktür.

4. ZC yerel zemin sınıfında SP-1, SP-2 ve SP-3 geometrilerinin süneklik katsayıları 6 katlı yapılarda sırasıyla 2.032, 1.652 ve 1.889, 8 katlı yapılarda 2.178, 1.944 ve 1.981, 10 katlı yapılarda sırasıyla 1.861, 1.589 ve 1.674 hesaplanmıştır. ZE yerel zemin sınıfında ise SP-1, SP-2 ve SP-3 geometrilerinin süneklik katsayıları 6 katlı yapılarda sırasıyla 2.791, 2.593 ve 3.209, 8 katlı yapılarda 2.535, 1.935 ve 2.438, 10 katlı yapılarda ise sırasıyla 2.128, 2.028 ve 2.214 olarak hesaplanmıştır. Perdelerin bina merkezinde bulunduğu modellerde (SP-2) her iki zemin sınıfı ve tüm bina yükseklikleri için süneklik katsayıları diğer modellere kıyasla daha düşük hesaplanmıştır. ZC zemin sınıfı için SP-1 ve SP-3 geometrilerinin süneklik katsayılarının sonuçları benzerdir. ZE zemin sınıfına sahip 6 ve 10 katlı yapılarda ise SP-3 geometrisine ait süneklik katsayıları diğer geometrilerle kıyaslandığında daha yüksek hesaplanmıştır.
5. Perde yerleşim tiplerini temsil eden tüm geometriler ve bina yükseklikleri için, ZE yerel zemin sınıfında hesaplanan taban kesme kuvvetleri ve hedef yer değiştirme istemlerinin sayısal değerleri, ZC yerel zemin sınıfına göre daha yüksektir. Çalışma kapsamında kabul edilen tüm bina yükseklikleri ve perde yerleşimleri için ZE yerel zemin sınıfında itme analizinin son adımındaki plastikleşen kolon ve kiriş eleman adetleri, ZC yerel zemin sınıfına göre daha fazladır.
6. Süneklik katsayıları, mafsallaşmalar ve kesit hasar durumları karşılaştırıldığında, SP-3 geometrisinin diğer geometrilere göre daha sünek davrandığı söylenebilir.
7. Tüm sonuçlar karşılaştırıldığında perdelerin bina köşelerinde L tipinde yerleşimi doğrusal olmayan davranışın incelenmesi çerçevesinde (SP-3) en iyi sonuçları vermiştir.
8. Gelecekte yapılması muhtemel çalışmalarda, bu tür binaların deprem performanslarının Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz yöntemi ile belirlenmesi daha hassas sonuçlar elde edilebilmesi açısında uygun olacaktır.

Ayrıca, daha farklı zemin koşulları ve bina yükseklikleri kabul edilerek, karşılaştırma kriterleri artırılabilir.

# KAYNAKÇA


[1] R. Resatoglu ve S. Jkhsi, "Evaluation of ductility of reinforced concrete structures with shear walls having different thicknesses and different positions," *IIUM Engineering Journal*, Cilt 23, Sayı 2, ss. 32–44, 2022.

[2] M. A. Baig ve R. Rashid, "Effect of shear wall on performance of multistorey building," *International Journal of Engineering Science Technologies*, Cilt. 4, Sayı 5, ss. 26–39, 2020.

[3] J. Pierre, L. Ngenge, ve A. M. S. Wafi, "Assessment of plastic hinge in RC structures with and without shear walls applying pushover analysis," *International Journal of Advanced Engineering*, Cilt 1, Sayı 1, 2020.

[4] A. Khelaifia, R. Chebili, ve A. Zine, "Impact of the position and quantity of shear walls in buildings on the seismic performance," *Asian Journal of Civil Engineering*, Cilt 25, ss. 953–964, 2024.

[5] S. Yaman, H. Tekeli, ve F. Demir, "Betonarme binalarda perde yeri değişiminin bina performansına etkisi," *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Sayı 16, ss. 194-204, 2019.

[6] A. Titiksh ve G. Bhatt, "Optimum positioning of shear walls for minimizing the effects of lateral forces in multistorey-buildings," *Archives of Civil Engineering*, Cilt 63, Sayı 1, ss. 151-162, 2017.

[7] O. Dogan, Y. Genç, ve O. G. Odacıoğlu, "Betonarme taşıyıcı sistemlerin depreme dayanıklı tasarımında uyumlu perde-çerçeve davranışı için minimum perde oranının belirlenmesi," *Politeknik Dergisi*, Cilt 25, Sayı 4, ss. 1561–1573, 2022, doi: 10.2339/politeknik.871889.

[8] N. Maddela, P. Bollini ve V. N. Dindi, "Pushover analysis for 5x5 bays concrete building with and without shear wall," *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, Cilt 8, Sayı 10, ss. 1792–1801, 2017.

[9] S. Akhil Ahamad ve K. V. Pratap, "Dynamic analysis of G+20 multi storied building by using shear walls in various locations for different seismic zones by using Etabs," *Materials Today: Proceedings*, Cilt 43, ss. 1043–1048, 2020.

[10] R. M. Saravanakumar ve S. Samson, "Optimum location of shear wall in g+6 building at the outer periphery using pushover analysis," Preprint, Version 1, 19 September 2022. [Online]. Available: Research Square. DOI: 10.21203/rs.3.rs-2046019/v1

[11] R. Krishnan ve V. L. Sivakumar, "A comparative study of geometry and locations of shear walls on regular and ırregular rc structures by using response spectrum analysis," *Indian Journal Of Science And Technology*, Cilt 16, Sayı 30, ss. 2358–2364, 2023.

[12] M. Parsaei Maram ve K. Rama Mohana Rao, "Effect of location of lateral force resisting system on seismic behavior of rc building," *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*, Cilt 4, Sayı 10, ss. 4598-4603, 2013.

[13] *TBDY-2018*, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, 2018.

[14] Z. Celep, "Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış ve Çözümleme," Beta Basım Yayın Dağıtım, İstanbul, 2020.

[15] Z. Miao, X. Z. Lu, J. Jiang ve L. Ye, "Nonlinear FE model for rc shear walls based on multi-layer shell element and micro-plane constitutive model," In Computational Methods in Engineering & Science, Springer Berlin Heidelberg, 2006.

[16] Y. Fahjan, B. Doran, ve B. Akbas, "Pushover analysis for performance based-seismic design of rc frames with shear walls," *15WCEE 2012, Lisbon-Portugal*, ss. 20-24, 2012.

[17] Federal Emergency Management Agency, "Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings," FEMA 356, Reston, Virginia, ABD, 2000.

[18] J. Vielma-Perez ve M. Mulder, "Improved procedure for determining the ductility of buildings under seismic loads," *Revista Internacional de Metodos Numericos Para Calculo y Diseno En Ingenieria*, Cilt 34, Sayı 1, ss. 27, 2018.

[19] S. Otani, "Nonlinear dynamic analysis of reinforced concrete building structures," *Canadian Journal of Civil Engineering*, Cilt 7, Sayı 2, ss. 333-344, 1980.

[20] SAP2000 (V.24.1), "Static and Dynamic Finite Element Analysis of Structures," Computers and Structures, Inc.

[21] STA4-CAD. (V14.1), "Structural Analysis For Computer Aided Design," İstanbul, 2008.

[22] XTRACT. (2001). "Cross Sectional Analysis of Components," Imbsen Software System, Sacramento.

[23] A. Çakıroğlu ve E. Özer, "Malzeme ve Geometri Değişimi Bakımından Lineer Olmayan Sistemler," Matbaa Teknisyenleri Basımevi, Ankara, 1980.

# EK-A

Ek-A'da, ZC ve ZE yerel zemin sınıflarına ait tüm geometrilerin doğrusal elastik tasarım raporları verilmiştir. Bu raporlar, teze ekli harici bellek içerisinde (Ek A) Ek-A klasörü içinde yer almaktadır. Dosyaların adlandırılmasında ilk parametre zemin sınıfını, ikinci parametre kat adedini, üçüncü parametre ise bina geometrisini ifade etmektedir.

# EK-B

Ek-B'da, ZC ve ZE yerel zemin sınıflarına ait tüm geometrilerin 6, 8 ve 10 katlı bina yüksekliklerine göre yapısal sistem elemanları için plastik şekil değiştirme değerleri verilmiştir. Bu değerler, teze ekli harici bellek içerisinde (Ek B) Ek-B klasörü içinde yer almaktadır.

# TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

**Konferans Bildirileri**

**1**. S.Erden, B.Doran, “Effect of Location in Plan of Reinforced Concrete Shear Walls on Nonlinear Behavior” 7th International Conference on Earthquake Engineering and Seismology (7ICEES), Antalya, Türkiye, 2023.