KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MEVCUT BETONARME BİNALARIN DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZİNDE YAYILI VE YIĞILI MAFSAL YAKLAŞIMININ YAPI PERFORMANSINA ETKİSİ

EYÜP BİNGÖL

KOCAELİ 2021

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MEVCUT BETONARME BİNALARIN DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZİNDE YAYILI VE YIĞILI MAFSAL YAKLAŞIMININ YAPI PERFORMANSINA ETKİSİ

EYÜP BİNGÖL

Dr. Öğr. Üyesi Erkan Akpınar **Danışman, Kocaeli Üniversitesi**	……..
Prof. Dr. Kemal Beyen **Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi**	……..
Prof. Dr. Yasin Fahjan **Jüri Üyesi, İstanbul Teknik Üniversitesi**	……..

Tezin Savunulduğu Tarih: 24.06.2021

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu çalışmada zaman tanım alanında yapılan analizlerle, mevcut iki betonarme binanın, farklı doğrusal olmayan modelleme yaklaşımları incelenmiştir.

Lisans eğitimimden itibaren akademik çalışmaları ve araştırmaları sevdiren, tez süresi boyunca yol göstererek desteğini esirgemeyen değerli tez danışmanı hocam Dr. Öğr. Üyesi Erkan Akpınar'a teşekkür ederim.

Lisans eğitimimin ilk yıllarında tanıştığım, mesleki ve etik olarak örnek aldığım, her türlü durumda bilgi ve tecrübesinden faydalandığım kıymetli hocam Doç. Dr. Fuad Okay'a teşekkürü borç bilirim.

Yüksek lisans eğitimi boyunca beni her zaman teşvik eden ve desteğini hissettiğim, değerli meslektaşım Süleyman Sukas'a teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak, yaşamım boyunca desteklerini hissettiğim, her zaman arkamda durarak beni cesaretlendiren eşim Buse Bingöl ve çok kıymetli aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs – 2021 Eyüp BİNGÖL

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR ..... İ
İÇİNDEKİLER ..... İİ
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... Vİ
TABLOLAR DİZİNİ ..... Xİ
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ ..... Xİİİ
ÖZET XV
ABSTRACT ..... XVİ
GİRİŞ 1
1. BETONARME ELEMANLARDA DOĞRUSAL OLMAYAN MODELLEME 4
1.1. Malzeme Modelleri 4
1.1.1. Beton için malzeme modelleri 5
1.1.2. TBDY 2018'de tanımlanan beton modeli 6
1.1.3. Donatı çeliği için malzeme modelleri 8
1.1.4. TBDY 2018'de tanımlanan donatı çeliği modeli 9
1.2. Doğrusal Olmayan Davranış 10
1.3. Yığılı Plastik Davranış Modeli 12
1.3.1. Moment-eğrilik (M-ϕ) 13
1.3.2. Plastik mafsal boyu (L_p) 14
1.3.3. TBDY 2018'de Tanımlanan Yığılı Plastik Davranış Modeli 15
1.4. Yayılı Plastik Davranış Modeli 16
1.4.1. Sonlu uzunluklu yayılı plastisite 16
1.4.2. Fiber kesitlerin eleman boyunca integrasyonu ile yayılı plastisite 19
1.4.3. Sonlu katı modeller ile yayılı plastisite 19
1.5. Plastite Modelleri ile İlgili Yapılan Çalışmalar 19
1.5.1. Rodrigues ve diğ. (2012) 19
1.5.2. Lopez F. ve diğ. (2014) 22
1.5.3. Amir Salihovic ve Naida Ademovic (2017) 25
1.5.4. Saad Khan ve Fatima Khalid (2019) 26
1.6. Yığılı ve Yayılı Plastisite Yaklaşımlarının Kıyası 28
1.7. Tersinir Yüklemede Çevrimsel Model 29
1.7.1. İskelet eğrisi 29
1.7.2. Takeda Çevrimsel Davranış Modeli 30
1.7.3. Standart Donatı Çeliği Çevrimsel Davranış Modeli 33
1.7.4. TBDY 2018'de Çevrimsel Davranış Modeli 35
1.8. Geometrik Doğrusal Olmama (P-Δ) 35
2. BETONARME YAPILARIN DOĞRUSAL OLMAYAN YÖNTEMLE PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ 37
2.1. Deprem Yer Hareketlerinin Tanımlanması 37
2.1.1. Deprem yer hareketi düzeyleri 37
2.1.2. Standart deprem yer hareketi spektrumları 38
2.1.2.1. Yerel zemin sınıflarının belirlenmesi 38
2.1.2.2. Harita spektral ivme katsayıları ve tasarım spektral ivme katsayıları 38
2.1.2.3. Yerel zemin etki katsayıları 39
2.1.2.4. Yatay elastik tasarım spektrumu 39
2.1.3. Zaman tanım alanında deprem yer hareketlerinin tanımlanması 40
2.1.3.1. Deprem Kayıtlarının Seçimi 40

2.1.3.2. Deprem kayıtlarının basit ölçeklendirme yöntemi ile ölçeklendirilmesi 41
2.1.3.3. Literatürde deprem kayıtlarının zaman tanım alanında ölçeklendirilmesi 41
2.2. Deprem Etkisi Altında Binaların Değerlendirilmesi 42
2.2.1. Bina kullanım sınıfı 43
2.2.2. Deprem tasarım sınıfı 43
2.2.3. Bina tabanı ve bina yüksekliği 44
2.2.4. Bina yükseklik sınıfı 44
2.2.5. Bina performans düzeyleri 45
2.2.6. Mevcut betonarme binanın performans hedefleri ve uygulanacak tasarım yaklaşımları 45
2.3. Deprem Etkisi Altında Binaların Şekil Değiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarımı için Hesap Esasları 46
2.3.1. Şekil değiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım (ŞGDT) yaklaşımı 46
2.3.2. Deprem etkisinin tanımlanması ve diğer etkilerle birleştirilmesi 46
2.3.3. Doğrusal olmayan hesap için taşıyıcı sistemin modellenmesine ilişkin kurallar 47
2.3.3.1. Genel Modelleme Kuralları 47
2.3.3.2. Etkin kesit rijitlikleri 47
2.3.3.3. Kiriş ve kolonların modellenmesi 48
2.3.3.4. Betonarme perdelerin modellenmesi 49
2.3.3.5. Bodrum perdelerinin ve döşemelerin modellenmesi 50
2.3.3.6. Kütlelerin modellenmesi 50
2.3.3.7. Ek dışmerkezlik etkisinin modellenmesi 50
2.3.4. Doğrusal olmayan hesap yönteminin seçimi 50
2.3.5. İtme yöntemleri 51
2.3.6. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi ile deprem hesabı 51
2.3.6.1. Deprem kayıtlarının seçimi ve ölçeklendirilmesi 52
2.3.6.2. Rayleigh sönüm modeli 52
2.3.6.3. Değerlendirmeye Esas Şekildeğiştirme ve İç Kuvvet Talepleri 54
2.3.7. Şekil değiştirmelerin ve iç kuvvetlerin değerlendirilmesi 54
2.3.7.1. Yayılı mafsal yaklaşımıyla göçmenin önlenmesi performans düzeyi 54
2.3.7.2. Yığılı mafsal yaklaşımıyla göçmenin önlenmesi performans düzeyi 55
2.3.7.3. Kontrollü hasar performans düzeyi 56
2.3.7.4. Sınırlı hasar performans düzeyi 56
2.4. Deprem Etkisi Altında Mevcut Bina Sistemlerin Değerlendirilmesi için Özel Kurallar 57
2.4.1. Binalardan bilgi toplanması 57
2.4.1.1. Binalardan toplanacak bilginin kapsamı 57
2.4.1.2. Bilgi düzeyleri 57
2.4.1.3. Betonarme bina geometrisi 57
2.4.1.4. Betonarme binaların eleman detayları 58
2.4.1.5. Betonarme binaların malzeme özellikleri 58
2.4.1.6. Bilgi düzeyi katsayıları 59
2.4.2. Yapı elemanlarında hasar sınırları ve hasar bölgeleri 59
2.4.2.1. Kesit hasar sınırları 59
2.4.2.2. Kesit hasar bölgeleri 60
2.4.3. Deprem hesabına ilişkin genel ilke ve kurallar 60

2.4.4. Betonarme elemanların şekil değiştirme sınırları 61
2.4.5. Mevcut binaların deprem performansının belirlenmesi 61
2.4.5.1. Mevcut binalarda sınırlı hasar performans düzeyi 62
2.4.5.2. Mevcut binalarda kontrollü hasar performans düzeyi 62
2.4.5.3. Mevcut binalarda göçmenin önlenmesi hasar performans düzeyi 62
3. ANALİTİK ÇALIŞMA 63
3.1. Mevcut Binaların Genel Özellikler 64
3.1.1. Düzensiz binanın özellikleri 64
3.1.2. Düzenli binanın özellikleri 66
3.2. Matematik Modellerin 3D Görüntüleri 68
3.3. Modal Analiz 70
3.3.1. Yapı kütleleri 70
3.3.2. Modal Analiz Sonuçları 71
3.4. Deprem Etkisi için Bina Değerlendirilmesi 72
3.4.1. Bina parametreleri 72
3.4.2. Mevcut binanın performans hedefi ve uygulanacak tasarım yaklaşımı 72
3.5. DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyi için Deprem Parametreleri 72
3.5.1. Zemin Parametreleri 72
3.5.2. Spektrum katsayıları 73
3.5.3. Yatay Elastik Tasarım Spektrumu 73
3.6. Deprem Kayıtlarının Seçimi ve Ölçeklendirilmesi 73
3.6.1. Deprem Kayıtlarının Veri Bankasından Bulunması 73
3.6.2. Deprem kayıtlarının basit ölçeklendirme yöntemiyle ölçeklendirilmesi 77
3.7. Doğrusal Olmayan Matematik Modelin Oluşturulması 80
3.7.1. Kesitlerin tanımlanması 80
3.7.1.1. Kiriş kesit ve donatı detayı 81
3.7.1.2. Kolon kesit ve donatı detayı 81
3.7.1.3. Perde kesit ve donatı detayı 82
3.7.2. Malzeme modelleri 82
3.7.2.1. Beton malzeme modelleri 82
3.7.2.2. Donatı çeliği için kullanılan malzeme modelleri 86
3.7.3. Yığılı plastik davranış modelleri 87
3.7.4. Yayılı plastik davranış modelleri 90
3.7.4.1. Kirişler için fiber mafsalın tanımlanması 91
3.7.4.2. Kolonlar için fiber mafsalın tanımlanması 92
3.7.4.3. Perdeler için yayılı mafsalın tanımlanması 94
3.8. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan yöntemle deprem hesabı 96
3.8.1. Doğrusal olmayan düşey yükün tanımı 96
3.8.2. Doğrusal olmayan deprem yükünün tanımı 97
3.8.3. Rayleigh sönüm modeli 100
3.9. Şekil değiştirmelerin ve iç kuvvetlerin değerlendirilmesi 101
3.9.1. Yayılı mafsal yaklaşımıyla göçmenin önlenmesi performans düzeyi 101
3.9.2. Yığılı mafsal yaklaşımıyla göçmenin önlenmesi performans düzeyi 101
4. ANALİZ SONUÇLARINI DEĞERLENDİRME 103
4.1. Düzensiz Binanın M_1_Col_SAP ve M_1_All_SAP Modelleri Kıyası 105
4.1.1. Kirişlerin kesme güvenliği 105
4.1.2. Kirişlerin performansı 106
4.1.3. Kolonların kesme güvenliği 107
4.1.4. Kolonların performansı 111

4.1.5. Kat deplasmanları ve kat kesme kuvvetleri 112
4.2. Düzenli Binanın M_2_Col_SAP ve M_2_All_SAP Modelleri Kıyası 116
4.2.1. Kirişlerin kesme güvenliği 116
4.2.2. Kirişlerin performansı 117
4.2.3. Kolonların kesme güvenliği 118
4.2.4. Kolonların performansı 119
4.2.5. Kat deplasmanları ve kat kesme kuvvetleri 120
4.3. Düzenli Binanın M_3_Col_SAP ve M_3_All_SAP Modelleri Kıyası 123
4.3.1. Kirişlerin kesme güvenliği 124
4.3.2. Kirişlerin performansı 124
4.3.3. Kolonların kesme güvenliği 125
4.3.4. Kolonların performansı 127
4.3.5. Kat deplasmanları ve kat kesme kuvvetleri 128
4.4. Düzenli Binanın M_4_Col_PER ve M_4_All_PER Modelleri Kıyası 131
4.4.1. Kirişlerin kesme güvenliği 131
4.4.2. Kirişlerin performansı 132
4.4.3. Kolonların kesme güvenliği 133
4.4.4. Kolonların performansı 134
4.4.5. Kat deplasmanları ve kat kesme kuvvetleri 135
4.5. Düzenli Binanın M_2_Col_SAP ve M_3_Col_SAP Modelleri Kıyası 138
4.5.1. Kirişlerin kesme güvenliği 139
4.5.2. Kirişlerin performansı 139
4.5.3. Kolonların kesme güvenliği 141
4.5.4. Kolonların performansı 141
4.5.5. Kat deplasmanları ve kat kesme kuvvetleri 143
4.6. Düzenli Binanın M_2_All_SAP ve M_3_All_SAP Modelleri Kıyası 146
4.6.1. Kirişlerin kesme güvenliği 146
4.6.2. Kirişlerin performansı 147
4.6.3. Kolonların kesme güvenliği 148
4.6.4. Kolonların performansı 149
4.6.5. Kat deplasmanları ve kat kesme kuvvetleri 150
4.7. Düzenli Binanın M_3_Col_SAP ve M_4_Col_PER Modelleri Kıyası 153
4.7.1. Kirişlerin kesme güvenliği 154
4.7.2. Kirişlerin performansı 154
4.7.3. Kolonların kesme güvenliği 156
4.7.4. Kolonların performansı 156
4.7.5. Kat deplasmanları ve kat kesme kuvvetleri 158
4.8. Düzenli Binanın M_3_All_SAP ve M_4_All_PER Modelleri Kıyası 160
4.8.1. Kirişlerin kesme güvenliği 161
4.8.2. Kirişlerin performansı 162
4.8.3. Kolonların kesme güvenliği 163
4.8.4. Kolonların performansı 163
4.8.5. Kat deplasmanları ve kat kesme kuvvetleri 165
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 168
KAYNAKLAR 174
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER 178
ÖZGEÇMİŞ 179

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Betonun Basınç Dayanımının $\sigma-\varepsilon$ Eğrisi Üzerindeki Etkileri.....5
Şekil 1.2. Betonarme Bir Kolonda Sargılama Etkisi 6
Şekil 1.3. TBDY 2018 Sargılı ve Sargısız Beton Modelleri.....6
Şekil 1.4. Örnek Bir Kesit ve Beton Dayanımı için Sargısız ve Sargılı Beton Modellerinin Karşılaştırılması.....8
Şekil 1.5. TBDY 2018'de Donatı Çeliği için Tanımlanan Gerilme-Şekil değiştirme İlişkisi 10
Şekil 1.6. Betonarme Kesitte Moment-Eğrilik İlişkisi 11
Şekil 1.7. Yığılı ve Yayılı Plastisitenin Şematik Gösterimi 12
Şekil 1.8. Yığılı Plastite Yaklaşımı: (a) Konsol Kolon; (b) Eğriliğin Kolon Boyunca Değişimi; (c) Plastik Dönme 12
Şekil 1.9. (a) Kesit Analizi; (b) Moment-Eğrilik Grafiği; (c) Plastik Moment-Dönme Grafiği 13
Şekil 1.10. SAP2000 Programında Farklı Kabullerle Modellenen Düzenli Bir Binada Tipik Bir Kirişte Oluşan Eksenel Kesit Zorunun (kN) Zamanla Değişimi.....18
Şekil 1.11. SAP2000 Programında Farklı Kabullerle Modellenen Düzenli Bir Binada Tipik Bir Kirişin Moment (kNm)- Dönme (radyan) Grafikleri.....18
Şekil 1.12. Rodrigues ve diğ. (2012) Doğrusal Olmayan Modelleme: (a) Yığılı Mafsal; (b) Kuvvet Bazlı Formüllü Yayılı Mafsal; (c) Yer Değiştirme Bazlı Formüllü Yayılı Mafsal.....20
Şekil 1.13. Rodigues ve Diğ. (2012) Örnek Bir Kolonun Kesme-Öteleme Eğrileri 21
Şekil 1.14. Rodigues ve Diğ. (2012) Örnek Bir Kolonun Çevrimsel Tepkileri 22
Şekil 1.15. Vecchio ve Emara (1992) Tarafından Deneyi Yapılan Çerçeve 22
Şekil 1.16. Deneysel ve Farklı Plastisite Yaklaşımlarının Kapasite Eğrileri.....24
Şekil 1.17. Yayılı Mafsal Modellerde Geometrik Doğrusal Olmama Durumunun Dahil Edilip Edilmemesiyle İlgili Kapasite Grafikleri.....24
Şekil 1.18. Amir Salihovic ve Naida Ademovi (2018) Çalışmasına ait Deneysel ve SAP2000 Analiz Sonuçlarının Kıyaslanması 26
Şekil 1.19. Saad Khan ve Fatima Khalid (2019) İtme Analizi (sol) ve Dinamik Analiz (sağ) Yük-Deplasman Grafikleri.....27
Şekil 1.20. Kirişler Yığılı (Plastik) Mafsal ve Kolonlar Fiber Mafsal Şematik Gösterimi 29
Şekil 1.21. İskelet (Zarf) Eğrisi.....30
Şekil 1.22. Takeda Çevrimsel Modeli 30
Şekil 1.23. SAP2000-Artımsal Çevrim Yükü Altında Takeda Çevrimsel Modeli.....31
Şekil 1.24. PERFORM-3D Bozunma Olmayan Döngü: (a) Elasto Plastik Davranış için; (b) Üç Doğrulu Davranış için 31
Şekil 1.25. PERFORM-3D Bozunan Döngü: (a) Elasto Plastik Davranış için; (b) Üç Doğrulu Davranış için.....32
Şekil 1.26. Örnek Kesitin M-F İlişkisi için Rijitlik Bozunması Dikkate Alınarak Hazırlanan Şematik Çevrimsel Davranış.....32
Şekil 1.27. Örnek Beton Malzemesi için Rijitlik Bozunması Dikkate Alınarak Hazırlanan Şematik Çevrimsel Davranış.....33

Şekil 1.28. SAP2000-Artımsal Çevrim Yükü Altında Kinematik Çevrimsel Modeli....34
Şekil 1.29. Örnek Donatı Çeliği Malzemesi için Hazırlanan Şematik $\sigma-\varepsilon$ İlişkili Çevrimsel Davranış....34
Şekil 1.30. Geometrik Doğrusal Olmama....35
Şekil 1.31. P-Δ etkisi Olan (With) ve Olmayan (w/o) Durumda Kuvvet-Deformasyon Eğrisi....36
Şekil 2.1. Yatay Elastik Tasarım Spektrumu....40
Şekil 2.2. Çubuk (Kiriş-Kolon) Eleman Lokal Serbestlikleri....48
Şekil 2.3. Rijit Diyafram Serbestliklerinin Şematik Gösterimi....49
Şekil 2.4. (a) Kütleyle-Orantılı Sönüm; (b) Rijitlikle-Orantılı Sönüm....52
Şekil 2.5. Mod Sönüm Oranlarının Doğal Frekansla Değişimi: (a) Kütleyle orantılı sönüm ve rijitlikle orantılı sönüm; (b) Rayleigh Sönümü....53
Şekil 2.6. Enkesitte a_i ve b_o/h_o Tanımı....55
Şekil 2.7. Plastik Dönme Sınırındaki ϕ_u'nun Tanımı: (a) Birim Şekil Değiştirme Diyagramı; (b) Moment Eğrilik Grafiği....56
Şekil 2.8. Kesit Hasar Bölgeleri....60
Şekil 3.1. Düzensiz Binanın Zemin Katının Rölevesi....65
Şekil 3.2. Düzensiz Binanın Normal Katlarının Rölevesi....65
Şekil 3.3. Düzenli Binanın Zemin ve Normal Katlarının Rölevesi....67
Şekil 3.4. M_1 (Düzensiz Bina) Modeli....68
Şekil 3.5. M_2 (Düzenli Bina) Modeli....68
Şekil 3.6. M_3 (Düzenli Bina) Modeli....69
Şekil 3.7. M_4 (Düzenli Bina) Modeli 3D Görüntüsü....69
Şekil 3.8. SAP2000 Kütle Tanımı....70
Şekil 3.9. DD-2 Deprem Yer Hareketi için Yatay Elastik Tasarım Spektrum Grafiği ve Değerleri....73
Şekil 3.10. Türkiye Diri Fay Haritası Serisi - Bursa (NK35-12) Paftası....74
Şekil 3.11. Peer Web Uygulaması Deprem Kaydı Arama Parametreleri....75
Şekil 3.12. Seçilen On Bir Depremin Ölçeklendirilmemiş Bileşke Spektrumları ve Ortalaması....76
Şekil 3.13. Seçilen On Bir Depremin 1.Ölçek Katsayısıyla Ölçeklenmiş Bileşke Spektrumlarının Ortalaması....78
Şekil 3.14. Seçilen On Bir Deprem Kaydının Son Ölçek Katsayısı ile Ölçeklenmiş Bileşke Spektrumlarının Ortalaması....79
Şekil 3.15. Seçilen On Bir Deprem Kaydının $0,2T_p$ ile $1,5T_p$ Arasında Son Ölçek Katsayılarıyla Ölçeklenmiş Bileşke Spektrumlarının Ortalaması....79
Şekil 3.16. RSN-838 Deprem Kaydı için İvme, Hız ve Yerdeğiştirme Zaman Grafikleri....80
Şekil 3.17. (a) Düzenli Bina; (b) Düzensiz Binadaki Örnek Kiriş Kesiti....81
Şekil 3.18. (a) Düzenli Bina; (b) Düzensiz Binadaki Örnek Kolon Kesiti....81
Şekil 3.19. Düzensiz Binada Örnek Perde Detayı....82
Şekil 3.20. SAP2000'de Düzenli Binanın Sargısız Beton Modeli....83
Şekil 3.21. PERFORM-3D'de Düzenli Binanın Sargısız Beton Modeli....83
Şekil 3.22. SAP2000'de Düzenli Binanın Örnek Kolonu için Sargılı Beton Modeli....84
Şekil 3.23. PERFORM-3D'de Düzenli Binanın Örnek Kolonu için Sargılı Beton Modeli....84
Şekil 3.24. SAP2000 Örnek Beton Malzemesi Çevrimsel Model Seçimi....85
Şekil 3.25. PERFORM-3D Örnek Beton Malzemesi Çevrimsel Modelleme....85
Şekil 3.26. SAP2000'de Donatı Çeliği Modeli....86
Şekil 3.27. PERFORM-3D'de Donatı Çeliği Modeli....86
Şekil 3.28. SAP2000'de Donatı Çeliği Malzemesi Çevrimsel Model Seçimi....87

Şekil 3.29. PERFORM-3D Donatı Çeliği Malzemesi Çevrimsel Modelleme 87
Şekil 3.30. Düzensiz Binada Örnek Plastik Mafsalın Moment-Eğrilik Analizi.....88
Şekil 3.31. Düzenli Binada Örnek Plastik Mafsalın Moment-Eğrilik Analizi 88
Şekil 3.32. Düzensiz Binadaki Örnek Bir Plastik Mafsalın SAP2000 Programında Tanımlanması 89
Şekil 3.33. Düzenli Binadaki Örnek Bir Plastik Mafsalın SAP2000 Programında Tanımlanması 89
Şekil 3.34. PERFORM-3D, Düzenli Bina Örnek Plastik Mafsal Tanımı.....90
Şekil 3.35. PERFORM-3D, Düzenli Bina Örnek Plastik Mafsalın Çevrimsel Modeli.....90
Şekil 3.36. SAP2000, Düzensiz Bina Örnek Kiriş Fiber Mafsalı 91
Şekil 3.37. SAP2000, Düzenli Bina Örnek Kiriş Fiber Mafsalı.....92
Şekil 3.38. PERFORM-3D, Düzenli Bina Örnek Kiriş Fiber Mafsalı 92
Şekil 3.39. SAP2000, Düzensiz Bina Örnek Kolon Fiber Mafsalı.....93
Şekil 3.40. SAP2000, Düzenli Bina Örnek Kolon Fiber Mafsalı.....93
Şekil 3.41. PERFORM-3D, Düzenli Bina Örnek Kolon Fiber Mafsalı 94
Şekil 3.42. SAP2000 Shell Layered Nonlinear Alan Elemanın Teorik Modeli.....94
Şekil 3.43. SAP2000 Shell Layered Nonlinear Alan Elemanın Pratik Modeli 95
Şekil 3.44. SAP2000 Shell Layered Nonlinear Perde Başlık Bölgesi Yayılı Plastik Davranış Modeli 95
Şekil 3.45. SAP2000 Shell Layered Nonlinear Perde Gövde Bölgesi Yayılı Plastik Davranış Modeli 96
Şekil 3.46. SAP2000 Doğrusal Olmayan Düşey Yük Tanımı 96
Şekil 3.47. PERFORM-3D Doğrusal Olmayan Düşey Yük Tanımı.....97
Şekil 3.48. SAP2000, RSN1619 Deprem Kaydı Takımı 0° Yük Tanımı 98
Şekil 3.49. SAP2000, RSN1619 Deprem Kaydı Takımı 90° Yük Tanımı 98
Şekil 3.50. PERFORM-3D, RSN1619 Deprem Kaydı Takımı 0° Yük Tanımı.....99
Şekil 3.51. PERFORM-3D, RSN1619 Deprem Kaydı Takımı 90° Yük Tanımı 99
Şekil 3.52. PERFORM-3D Analiz Serisi Detayları ve Başlangıç Yükü 100
Şekil 3.53. SAP2000, Rayleigh Sönüm Modeli.....100
Şekil 3.54. PERFORM-3D, Rayleigh Sönüm Modeli.....101
Şekil 4.1. Kirişlerin Kesme için Talep/Kapasite Oranları 106
Şekil 4.2. Kiriş Performansının KH sınırı Cinsinden Kat Dağılımı 107
Şekil 4.3. Kolon-Perde Kesme için Talep/Kapasite Oranları (X) 108
Şekil 4.4. Kolon-Perde Kesme için Talep/Kapasite Oranları (Y) 109
Şekil 4.5. P1 Perdesi Kesme Kuvveti Talep ve Kapasitesi (x).....109
Şekil 4.6. P1 Perdesi Kesme Kuvveti Talep ve Kapasitesi (y).....110
Şekil 4.7. P2 Perdesi Kesme Kuvveti Talep ve Kapasitesi (x).....110
Şekil 4.8. P2 Perdesi Kesme Kuvveti Talep ve Kapasitesi (y).....110
Şekil 4.9. Kolon ve Perde Performansının KH sınırı Cinsinden Kat Dağılımı (x).....112
Şekil 4.10. Kolon ve Perde Performansının KH sınırı Cinsinden Kat Dağılımı (y).....112
Şekil 4.11. Kat Yer Değiştirmeleri (x).....113
Şekil 4.12. Kat Yer Değiştirmeleri (y).....113
Şekil 4.13. Katların Göreli Kat Ötelemesi, Δ/h (x) 114
Şekil 4.14. Katların Göreli Kat Ötelemesi, Δ/h (y) 114
Şekil 4.15. Kat Kesme Kuvveti (x) 115
Şekil 4.16. Kat Kesme Kuvveti (y) 115
Şekil 4.17. Kirişlerin Kesme için Talep/Kapasite Oranları 116
Şekil 4.18. Kiriş Performansının KH sınırı Cinsinden Kat Dağılımı 117
Şekil 4.19. Kolonların Kesme için Talep/Kapasite Oranları (X).....118
Şekil 4.20. Kolonlarda Kesme için Talep/Kapasite Oranları (Y) 119

Şekil 4.21. Kolonların Performansının KH sınırı Cinsinden Kat Dağılımı (x) 120
Şekil 4.22. Kat Yer Değiştirmeleri (x).....120
Şekil 4.23. Kat Yer Değiştirmeleri (y).....121
Şekil 4.24. Katların Göreli Kat Ötelemesi, ∆/h (x) 121
Şekil 4.25. Katların Göreli Kat Ötelemesi, ∆/h (y) 122
Şekil 4.26. Kat Kesme Kuvveti (x) 122
Şekil 4.27. Kat Kesme Kuvveti (y) 123
Şekil 4.28. Kirişlerin Kesme için Talep/Kapasite Oranları 124
Şekil 4.29. Kiriş Performansının KH sınırı Cinsinden Kat Dağılımı 125
Şekil 4.30. Kolonların Kesme için Talep/Kapasite Oranları (X).....126
Şekil 4.31. Kolonlarda Kesme için Talep/Kapasite Oranları (Y).....126
Şekil 4.32. Kolonların Performansının KH sınırı Cinsinden Kat Dağılımı (x) 127
Şekil 4.33. Kat Yer Değiştirmeleri (x).....128
Şekil 4.34. Kat Yer Değiştirmeleri (y).....128
Şekil 4.35. Katların Göreli Kat Ötelemesi, ∆/h (x) 129
Şekil 4.36. Katların Göreli Kat Ötelemesi, ∆/h (y) 129
Şekil 4.37. Kat Kesme Kuvveti (x) 130
Şekil 4.38. Kat Kesme Kuvveti (y) 130
Şekil 4.39. Kirişlerin Kesme için Talep/Kapasite Oranları 131
Şekil 4.40. Kiriş Performansının KH sınırı Cinsinden Kat Dağılımı 132
Şekil 4.41. Kolonların Kesme için Talep/Kapasite Oranları (X).....133
Şekil 4.42. Kolonlarda Kesme için Talep/Kapasite Oranları (Y).....134
Şekil 4.43. Kolonların Performansının KH sınırı Cinsinden Kat Dağılımı (x) 135
Şekil 4.44. Kat Yer Değiştirmeleri (x).....135
Şekil 4.45. Kat Yer Değiştirmeleri (y).....136
Şekil 4.46. Katların Göreli Kat Ötelemesi, ∆/h (x) 136
Şekil 4.47. Katların Göreli Kat Ötelemesi, ∆/h (y) 137
Şekil 4.48. Kat Kesme Kuvveti (x) 137
Şekil 4.49. Kat Kesme Kuvveti (y) 138
Şekil 4.50. Kirişlerin Kesme için Talep/Kapasite Oranları 139
Şekil 4.51. Kiriş Performansının KH sınırı Cinsinden Kat Dağılımı 140
Şekil 4.52. Kolonların Kesme için Talep/Kapasite Oranları (X).....141
Şekil 4.53. Kolonların Performansının KH sınırı Cinsinden Kat Dağılımı (x) 142
Şekil 4.54. Kat Yer Değiştirmeleri (x).....143
Şekil 4.55. Kat Yer Değiştirmeleri (y).....143
Şekil 4.56. Katların Göreli Kat Ötelemesi, ∆/h (x) 144
Şekil 4.57. Katların Göreli Kat Ötelemesi, ∆/h (y) 144
Şekil 4.58. Kat Kesme Kuvveti (x) 145
Şekil 4.59. Kat Kesme Kuvveti (y) 145
Şekil 4.60. Kirişlerin Kesme için Talep/Kapasite Oranları 147
Şekil 4.61. Kiriş Performansının KH sınırı Cinsinden Kat Dağılımı 148
Şekil 4.62. Kolonların Kesme için Talep/Kapasite Oranları (X).....148
Şekil 4.63. Kolonların Performansının KH sınırı Cinsinden Kat Dağılımı (x) 150
Şekil 4.64. Kat Yer Değiştirmeleri (x).....150
Şekil 4.65. Kat Yer Değiştirmeleri (y).....151
Şekil 4.66. Katların Göreli Kat Ötelemesi, ∆/h (x) 151
Şekil 4.67. Katların Göreli Kat Ötelemesi, ∆/h (y) 152
Şekil 4.68. Kat Kesme Kuvveti (x) 152
Şekil 4.69. Kat Kesme Kuvveti (y) 153
Şekil 4.70. Kirişlerin Kesme için Talep/Kapasite Oranları 154
Şekil 4.71. Kiriş Performansının KH sınırı Cinsinden Kat Dağılımı 155
Şekil 4.72. Kolonların Kesme için Talep/Kapasite Oranları (X).....156
Şekil 4.73. Kolonların Performansının KH sınırı Cinsinden Kat Dağılımı (x) 157

Şekil 4.74. Kat Yer Değiştirmeleri (x).....158
Şekil 4.75. Kat Yer Değiştirmeleri (y).....158
Şekil 4.76. Katların Göreli Kat Ötelemesi, ∆/h (x) 159
Şekil 4.77. Katların Göreli Kat Ötelemesi, ∆/h (y) 159
Şekil 4.78. Kat Kesme Kuvveti (x) 160
Şekil 4.79. Kat Kesme Kuvveti (y) 160
Şekil 4.80. Kirişlerin Kesme için Talep/Kapasite Oranları 161
Şekil 4.81. Kiriş Performansının KH sınırı Cinsinden Kat Dağılımı 162
Şekil 4.82. Kolonların Kesme için Talep/Kapasite Oranları (X).....163
Şekil 4.83. Kolonların Performansının KH sınırı Cinsinden Kat Dağılımı (x) 164
Şekil 4.84. Kat Yer Değiştirmeleri (x).....165
Şekil 4.85. Kat Yer Değiştirmeleri (y).....165
Şekil 4.86. Katların Göreli Kat Ötelemesi, ∆/h (x) 166
Şekil 4.87. Katların Göreli Kat Ötelemesi, ∆/h (y) 166
Şekil 4.88. Kat Kesme Kuvveti (x) 167
Şekil 4.89. Kat Kesme Kuvveti (y) 167

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1.1. Donatı Çeliklerinin Temel Mekanik Özellikleri....9
Tablo 1.2. Literatürdeki Plastik Mafsal Boyunun Ampirik Formülleri....15
Tablo 2.1. Deprem Yer Hareketi Düzeyleri....37
Tablo 2.2. Yerel Zemin Sınıfları....38
Tablo 2.3. Kısa Periyot Bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayıları....39
Tablo 2.4. 1,0 Saniye Periyot için Yerel Zemin Etki Katsayıları....39
Tablo 2.5. Bina Kullanım Sınıfları ve Bina Önem Katsayıları....43
Tablo 2.6. Deprem Tasarım Sınıfları (DTS)....44
Tablo 2.7. Bina Yükseklik Sınıfları ve Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları....44
Tablo 2.8. Bina Performans Düzeyleri....45
Tablo 2.9. Mevcut Yerinde Dökme Betonarme Binanın Performans Hedefleri ve Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımları....45
Tablo 2.10. Hareketli Yük Kütle Katılım Katsayısı....46
Tablo 2.11. Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanlarının Etkin Kesit Rijitliği Çarpanları....48
Tablo 2.12. Hesap Yöntemi Seçilme Sınırları....51
Tablo 2.13. Bina Geometrisi için Toplanan Bilgiler....57
Tablo 2.14. Taşıyıcı Sistem Elemanlarından Her Katta Alınacak Numune Oranları....58
Tablo 2.15. Beton Numune ve Donatı Numune Miktarları....59
Tablo 2.16. Bilgi Düzeyi Katsayıları....59
Tablo 2.17. Kesit Hasar Durumları....60
Tablo 3.1. İncelenen Binalar İçin Oluşturulan Modellerin Özellikleri....63
Tablo 3.2. Düzensiz Bina Genel Özellikleri....64
Tablo 3.3. Düzenli Bina Genel Özellikleri....66
Tablo 3.4. Dört Farklı Modelin Kat Ağırlıkları (kN)....70
Tablo 3.5. Dört Doğrusal Modelin Modal Analiz Sonuçları, Periyot (T,s) ve Kütle Katılım Oranları (Ux, Uy, Rz)....71
Tablo 3.6. Bölüm 2.2'ye Göre Bina Parametreleri....72
Tablo 3.7. Deprem Hesabında Kullanılacak Zemin Parametreleri....72
Tablo 3.8. DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyi Spektrum Değerleri....73
Tablo 3.9. Seçilen 11 Adet Deprem Kaydı Listesi....75
Tablo 3.10. Aynı Depremde Seçilen Kayıt Adetleri....76
Tablo 3.11. Bileşke Spektrumların 0,2Tp ve 1,5Tp Aralığındaki Değerleri....77
Tablo 3.12. Seçilen On Bir Deprem Kaydı için Ölçek Katsayıları....78
Tablo 3.13. Düzensiz Bina BH-1 Fiber Mafsalındaki ve Düzenli Bina C_30x50 Fiber Mafsalındaki Beton Fiberlerin Göçmenin Önlenmesi Sınırları....101
Tablo 3.14. Düzensiz Bina BH-1 Yığılı Mafsalındaki Plastik Dönme Göçmenin Önlenmesi Sınırı....102
Tablo 4.1. İncelenen Binalarda Oluşturulan Modellerin Özellikleri....103
Tablo 4.2. M_1 Modellerinin Modal Analiz Sonuçları....105
Tablo 4.3. Kirişlerde Sünek/Gevrek Elemanların Adedi....106

Tablo 4.4. Kirişlerin Performans Değerlendirmesi 107
Tablo 4.5. Kolon-Perde Sünek/Gevrek Elemanların Adedi (X) 108
Tablo 4.6. Kolon ve Perdelerin Performans Değerlendirmesi (x) 111
Tablo 4.7. Kolon ve Perdelerin Performans Değerlendirmesi (y) 111
Tablo 4.8. M_2 Modellerinin Modal Analiz Sonuçları 116
Tablo 4.9. Kirişlerin Performans Değerlendirmesi 117
Tablo 4.10. Kolon ve Perdelerin Performans Değerlendirmesi (x) 119
Tablo 4.11. M_3 Modellerinin Modal Analiz Sonuçları 123
Tablo 4.12. Kirişlerin Performans Değerlendirmesi 125
Tablo 4.13. Kolon ve Perdelerin Performans Değerlendirmesi (x) 127
Tablo 4.14. M_4 Modellerinin Modal Analiz Sonuçları 131
Tablo 4.15. Kirişlerin Performans Değerlendirmesi 132
Tablo 4.16. Kolon ve Perdelerin Performans Değerlendirmesi (x) 134
Tablo 4.17. Modal Analiz Sonuçları 138
Tablo 4.18. Kirişlerin Performans Değerlendirmesi 140
Tablo 4.19. Kolon ve Perdelerin Performans Değerlendirmesi (x) 142
Tablo 4.20. Modal Analiz Sonuçları 146
Tablo 4.21. Kirişlerin Performans Değerlendirmesi 147
Tablo 4.22. Kolon ve Perdelerin Performans Değerlendirmesi (x) 149
Tablo 4.23. Modal Analiz Sonuçları 153
Tablo 4.24. Kirişlerin Performans Değerlendirmesi 155
Tablo 4.25. Kolon ve Perdelerin Performans Değerlendirmesi (x) 157
Tablo 4.26. Modal Analiz Sonuçları 161
Tablo 4.27. Kirişlerin Performans Değerlendirmesi 162
Tablo 4.28. Kolon ve Perdelerin Performans Değerlendirmesi (x) 164
Tablo 5.1. M_1 (a), M_2 (b), M_3 (c) ve M_4 (d) Modelleri için Analiz Sonuçlarının Kendi Arasında Karşılaştırılması 169
Tablo 5.2. M_2 ve M_3 Modellerinin Analiz Sonuçlarının Rijit Diyafram Kabulü Ana Başlığı Altında Karşılaştırılması 170
Tablo 5.3. M_2 ve M_3 Modellerinin Analiz Sonuçlarının Farklı Yazılımlar için Karşılaştırılması 170

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

b_w	:	Betonarme Elemanın Etkin Kesit Rijitliği
$(EI)_e$	:	Donatı Malzemesi Elastite Modülü
E_s	:	Mevcut Betonun Çekme Dayanımı
f_{ctm}	:	Donatı Çeliğindeki Gerilme
f_s	:	Donatı Çeliğinin Akma Dayanımı
f_{sy}	:	Donatı Çeliğinin Kopma Dayanımı
f_{su}	:	Kesit Yüksekliği
h	:	Plastik Mafsal Boyu
L_p	:	Kesme Açıklığı
L_s	:	Etkin Akma Momenti
M_y	:	Yatay Elastik Tasarım Spektral İvmesi
$S_{ae}(T)$	:	Kısa Periyot Harita Spektral İvme Katsayısı
S_S	:	1,0 Saniye Periyot İçin Harita Spektral İvme Katsayısı
S_1	:	Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı
S_{DS}	:	1,0 Saniye Periyot İçin Tasarım Spektral İvme Katsayısı
S_{D1}	:	Yatay Elastik Tasarım İvme Spektrumu Köşe Periyodu
T_A	:	Yatay Elastik Tasarım İvme Spektrumu Köşe Periyodu
T_B	:	Bodrum Katlar Dahil Binanın Tümü İçin Aynı Doğrultuda Hesaplanan Doğal Titreşim Periyodu
$T_{p,tüm}$	:	Bodrum Katlar Hariç Binanın Tümü İçin Aynı Doğrultuda Hesaplanan Doğal Titreşim Periyodu
$T_{p,üst}$	:	Kolon, Kiriş ve Perdede Tasarım Kesme Kuvveti
V_e	:	Beton Birim Şekil Değiştirmesi
ε_c	:	Betonun Ezilme Birim Şekil Değiştirmesi
ε_{cu}	:	Sınırlı Hasar Performans Düzeyi İçin İzin Verilen Sargılı Beton Birim Kısalma Sınırı
$\varepsilon_c^{(SH)}$	:	Kontrollü Hasar Performans Düzeyi İçin İzin Verilen Sargılı Beton Birim Kısalma Sınırı
$\varepsilon_c^{(KH)}$	:	Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi İçin İzin Verilen Sargılı Beton Birim Kısalma Sınırı
$\varepsilon_c^{(GÖ)}$	:	Donatı Çeliğinin Birim Şekil Değiştirmesi
ε_s	:	Donatı Çeliğinin Kopma Birim Şekil Değiştirmesi
ε_{su}	:	Sınırlı Hasar Performans Düzeyi İçin İzin Verilen Donatı Çeliği Birim Şekil Değiştirmesi Sınırı
$\varepsilon_s^{(SH)}$	:	Kontrollü Hasar Performans Düzeyi İçin İzin Verilen Donatı Çeliği Birim Şekil Değiştirmesi Sınırı
$\varepsilon_s^{(KH)}$	:	Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi İçin İzin Verilen Donatı Çeliği Birim Şekil Değiştirmesi Sınırı
$\varepsilon_s^{(GÖ)}$	:	Burulma Düzensizliği Katsayısı
η_{bi}	:	Göçme Öncesi Eğrilik
$\emptyset_u$	:	Akma Eğriliği
$\emptyset_y$	:	Plastik Dönme
θ_p	:	Akma Dönmesi

θ_y : Sınırlı Hasar Performans Düzeyi İçin İzin Verilen Plastik Dönme Sınırı
$\theta_p^{(SH)}$: Kontrollü Hasar Performans Düzeyi İçin İzin Verilen Plastik Dönme Sınırı
$\theta_p^{(KH)}$: Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi İçin İzin Verilen Plastik Dönme Sınırı
$\theta_p^{(G\ddot{O})}$: Donatı Malzemesi Elastite Modülü

Kısaltmalar

B.D. : Bilgi Düzeyi
DD-1 : Deprem Yer Hareketi Düzeyi -1
DD-2 : Deprem Yer Hareketi Düzeyi -2
DD-3 : Deprem Yer Hareketi Düzeyi -3
DD-4 : Deprem Yer Hareketi Düzeyi -3
TBDY : Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği

MEVCUT BETONARME BİNALARIN DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZİNDE YAYILI VE YIĞILI MAFSAL YAKLAŞIMININ YAPI PERFORMANSINA ETKİSİ

ÖZET

Bu tezin amacı, farklı düzensizliklere sahip betonarme binaların deprem etkisinde doğrusal olmayan davranışları incelenirken, kolonları yayılı mafsal davranışı ile tanımlanmış olan yapılarda (i) kirişler için farklı iki mafsal (yığılı-plastik ve yayılı-fiber mafsal) yaklaşımının ve (ii) döşemeler için iki farklı tanımlama yaklaşımının (rijit diyafram kabulü ve sonlu alan eleman tanımlaması) yapı performansına etkilerini ortaya koymaktır. Bunların yanında, pratikte sıklıkla kullanılan, aralarında tanımlama/çözümleme mantığı olarak kısmen farklılıklar bulunan iki program (SAP2000 ve Perform3D) kullanımı durumunda, kirişlerde farklı mafsal yaklaşımı seçimiyle elde edilen performans düzeyi sonuçlarının nasıl değiştiğinin incelenmesi, tezin hedefleri arasındadır.

Çalışmada, güncel yönetmelikler öncesi tasarlanmış düzensiz ve düzenli binalar için kirişleri fiber ve plastik mafsalla modellenmiş, döşemeleri sonlu alan elemanlarla tanımlanmış ikişer ayrı model üretilmiştir. Düzenli bina için döşemelerde sadece rijit diyafram kabulü yapıldığı, kirişlerin fiber ve plastik mafsalla tanımlandığı iki model daha üretilmiştir. Döşemelerin sonlu elemanlar kullanılmadan, rijit diyafram kabulüyle tanımlanmasına olanak veren düzenli bina için benzer iki model, Perform3D programında da oluşturulmuştur. Toplamda sekiz model hazırlanmış ve eşlenik model sonuçları birbiriyle karşılaştırılmıştır.

Doğrusal olmayan yapı analizlerinde, kolonlarla birlikte kirişlerin de fiber mafsallarla modellenmesinin, daha rasyonel sonuçlar verdiği öngörülmektedir. Bunun temel nedeninin, dinamik yükler altında oluşan eksenel basınç kuvvetinin ve buna bağlı moment kapasitelerindeki artışın, yapısal sisteme dahil edilebilmesi olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca döşemelerde kullanılan rijit diyafram kabulüyle, döşemenin sonlu elemanlarla modellenmesi kıyaslandığında, kirişlerin fiber mafsallarla modellendiği durumlarda daha gerçekçi sonuçlara ulaşıldığı öngörülmektedir. Kullanılan iki bilgisayar programının kesit, eleman ve modelleme adına farklı yaklaşımlar barındırdığı ve programa göre değişen sınırlamalara sahip olduğu için analiz sonuçlarında da farklılıklara neden olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Doğrusal Olmayan Analiz, Yayılı (Fiber) Mafsal, Yığılı (Plastik) Mafsal, Zaman Tanım Alanında Analiz.

THE EFFECT OF USING DISTRIBUTED AND CONCENTRATED HINGE APPROACHES ON BUILDING PERFORMANCE IN NONLINEAR ANALYSIS OF EXISTING REINFORCED CONCRETE BUILDINGS

ABSTRACT

In this thesis it has been examined the nonlinear behavior of reinforced concrete buildings with different irregularities in the earthquake effect. The aim of this thesis is to show the effects of (i) the approaches of two different hinge (concentrated-plastic and distributed-fiber hinge) for beams and (ii) two different definitions (rigid diaphragm acceptance and modeling of finite area elements) approaches for slabs on building performance in buildings in which columns were defined as fiber hinges. This study also examines the changes in the results of performance level obtained by different hinge approaches in beams using two software (SAP2000 and Perform3D) which have partial differences in terms of definition/analysis logic.

In the study, two different models were produced for the regular and irregular buildings designed before current regulations, whose beams were modeled with fiber and plastic hinges, and whose floors were defined by finite area elements. For regular building, two more models were produced in which rigid diaphragm acceptance without finite elements for slabs, and which fiber and plastic hinges definition for beams. Two similar models for the regular building were modeled also using PERFORM-3D software. Total of eight models were produced and the results of the conjugate models were compared with each other.

It was predicted that modeling beams and columns with fiber hinges presents more rational results in nonlinear structural analysis. It was understood that the main reason for this was the ability to incorporate the axial compressive force under dynamic loads and increase in moment capacities related to this into the structural system. In addition, more realistic results were obtained in modeling beams with fiber hinges when it was compared the modeling of slabs with finite elements and rigid diaphragm acceptance without finite elements. As a result, it was determined that the reasons for obtaining different analysis results in the two software are that the programs have different approaches in terms of cross-section, element and modeling and have varying limitations.

Keywords: Nonlinear Analysis, Distributed (Fiber) Hinges, Concentrated (Plastic) Hinge, Time History Analysis.

GİRİŞ

Öngörülen yükler altında yapıların uygun ve doğru biçimde tasarımının yanı sıra, özellikle deprem yükleri altında nasıl bir performans sergileyecekleri ve tasarıma esas depremde hangi seviyede hasar oluşacağı konusu büyük önem taşımaktadır. Modern yaklaşımda yapı tasarımında kullanılan kapasite tasarımı felsefesinde, doğrusal analizde kapalı bir formda doğrusal olmayan sünek davranış hesaba katılmakta ancak bunun şekil değiştirme anlamında kazancı tam olarak analizlere yansıtılmamaktadır. Bu da yapılan tasarımda, derecesi net olarak belli olmayan bir hasarın kabul edilmesini beraberinde getirmektedir. Oluşacak hasar seviyesindeki bu belirsizlik, başlangıçta ve analiz sırasında yapılan kabuller neticesinde ve öngörülen yüklerin değişkenliğine de bağlı olarak deprem sonrasında göçmeye dahi gidebilen sonuçlara sebebiyet verebilmektedir.

Yapıların deprem etkisindeki hasar seviyelerini belirleyebilmek için performans analizleri yapılmaktadır. Performans analizlerinde sıklıkla şekil değiştirmeye göre değerlendirme kullanılmaktadır. Türkiye'de yapıların performansının incelenmesi olgusu, 2007 yılında yürürlüğe giren Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY 2007) [1] ile standart haline gelmeye başlamıştır. DBYBHY 2007'de söz konusu değerlendirme, yalnızca mevcut binaların performansının belirlenmesi için kullanılmaktaydı. 2018 yılında yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018) [2] ile birlikte bina önemi ve deprem tehlikesi durumuna göre değişen şartlar için bazı yeni binalarda da bu tasarım yöntemi zorunlu hale gelmiştir.

TBDY 2018'de, bir önceki yönetmeliğe göre doğrusal olmayan analizler için daha fazla bilgi ve yönlendirme bulunmaktadır. Plastisite yaklaşımları yığılı mafsal ve yayılı mafsal başlıklarıyla detaylandırılmıştır. Elemanların doğrusal ve doğrusal olmayan sonlu eleman modellemeleri açıkça tarif edilmiştir.

TBDY 2018'de, deprem etkisinin doğrusal olmayan analizlerle hesaplanması için iki temel yöntem tanımlanmaktadır. Söz konusu yöntemler ana başlıklarıyla 'İtme Yöntemleri' ve 'Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemleri'dir. İtme yöntemlerinin bina

geometrisine göre değişen kullanılabilirlik sınırları bulunmaktadır. Zaman tanım alanında hesap yönteminin kullanılması için herhangi bir sınır bulunmamaktadır.

Şekil değiştirmeye göre değerlendirmede hasar seviyeleri, doğrusal olmayan davranışı modelleyen mafsallarla izlenmektedir. Söz konusu hasar seviyelerinin tespiti için yapılan doğrusal olmayan analizlerde sıklıkla iki mafsal tipi kullanılmaktadır. Birincisi ve basit yaklaşımı olan yığılı mafsal (plastik), ikincisi ve daha gerçekçi olanı yayılı (fiber) mafsaldır.

Plastik mafsal, kesitin M-Φ (Moment-Eğrilik) davranışına bağlı olarak, eleman üzerinde noktasal ve sıfır uzunluklu olarak tanımlanır. Hem eleman uzunluğu boyunca hem de kesit üzerinde noktasal olarak tanımlanır ve dönme deformasyonları izlenir. Fiber mafsal ise en genel ifadeyle, kesitte doğrusal olmayan malzeme modelleri kullanılarak, elemanın küçük parçalara bölünerek modellenmesidir. Fiber mafsal teorisi 1990 yıllarına dayansa da kullanılması bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle yaygınlaşmıştır. Bunun en temel nedeni bilgisayar ortamında yapılan analizler için daha fazla hesap gücü ve daha fazla saklama alanı gerektirmesidir. Yayılı mafsal teorisinin farklı modelleme seçenekleri bulunmaktadır. En basit seçenekte, kesit üzerinde tek eksenli doğrusal olmayan malzeme modelini temsil eden küçük parçaların, yalnızca mafsal boyunca entegrasyonunu dikkate alınır. Göreli olarak daha gelişmiş durumda, söz konusu fiber kesitin eleman boyunca entegrasyonu dikkate alınmaktadır. En gerçekçi ve karmaşık olan seçenekte ise çok eksenli doğrusal olmayan malzeme modellerini kesit üzerinde değil, eleman uzunluğu boyunca katı modellerle tanımlanmaktadır.

Günümüzde bilgisayar teknolojisinin gelişmesi neticesinde, fiber mafsallar sadece perdeler için değil kolon ve kiriş elemanlar için de kullanılmaktadır. Bu çalışmada temel olarak, farklı düzensizlik durumundaki bina modellerinde, döşeme tanımlarındaki farklılıklar da göz önüne alınarak, felsefeleri farklı olan iki mafsal tipinin kirişlerde kullanılması durumunun, yapının doğrusal olmayan dinamik davranışında ne gibi farklılıklar oluşturduğu araştırılmıştır.

Bu çalışmada bilgisayar yazılımı olarak SAP2000v21 [3] ve PERFORM-3Dv7 [4] sonlu elemanlar programları kullanılmıştır. Söz konusu bilgisayar yazılımlarının her ikisi de yığılı ve yayılı mafsal yaklaşımını çözümleyebilmektedir. Her iki yazılım da fiber mafsal teorisindeki en basit modelleme olan kesit üzerinde tek eksenli doğrusal olmayan malzemeyi temsil eden küçük parçaların, yalnızca mafsal boyunca

entegrasyonu yöntemini kullanmaktadır. SAP2000, PERFORM-3D'ye göre kullanımı daha yaygın ve modelleme bakımından daha kolay olan, pratikte sıklıkla tercih edilen bir yapısal analiz programıdır. SAP2000 genel olarak doğrusal ve doğrusal olmayan analiz amacıyla kullanılırken, PERDORM-3D daha çok doğrusal olmayan yapısal performans değerlendirme amacıyla kullanılmaktadır. PERFORM-3D programının analiz aşamasında sakladığı bilgiler sınırlı ve daha düşük miktarda olduğundan dolayı bilgisayar hafızası bakımından daha avantajlıdır. Ancak PERFORM-3D programında, düzensiz ve karmaşık binayı tüm elemanlarıyla modellemek zor olduğundan, çoğu zaman saplama kirişlerinin kaldırılması, döşemelerin sonlu elemanlarla modellenmemesi gibi yaklaşımlar yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada her iki bilgisayar yazılımından elde edilen sonuçların kıyaslanması da yapılmıştır.

1. BETONARME ELEMANLARDA DOĞRUSAL OLMAYAN MODELLEME

Bu bölümde betonarme elemanlarda doğrusal olmayan modelleme teknikleri ele alınmıştır. Doğrusal olmayan davranışın tanımlanabilmesi için ilk olarak doğrusal olmayan malzeme tanımı yapılmıştır. Ardından iki ana başlığa ayrılan plastisite yaklaşımları açıklanmış; literatürde plastisite yaklaşımlarıyla ilgili yapılan çalışmalar sunulmuştur. Monotonik ve statik yüklerde söz konusu olmayan ancak deprem gibi tersinir dinamik yüklerde, doğrusal olmayan davranışı doğrudan etkileyen çevrimsel modelleme de bu bölümde açıklanmıştır. Son olarak doğrusal olmayan davranışın diğer bir türü olan geometrik doğrusal olmama, diğer bir deyişle P-Δ incelenmiştir.

1.1. Malzeme Modelleri

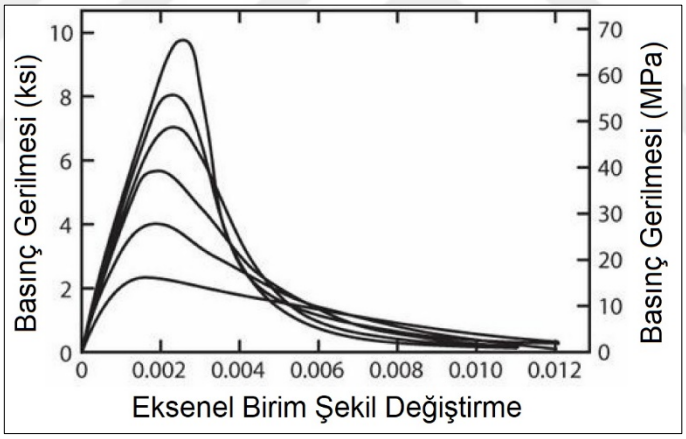
Betonarme sistemler gevrek beton malzemesi ile sünek donatı çeliği malzemesinden oluşmaktadır. Beton, içerisinde birçok farklı kimyasal özelliklere sahip bileşenler barındırdığından oldukça heterojen ve tanımı karmaşık bir malzemedir. Donatı çeliği ise betonun tam tersine homojen ve tanımı göreli olarak daha basit bir malzemedir. Söz konusu iki yapısal malzemenin doğrusal olmayan malzeme davranışlarının tanımı $\sigma-\varepsilon$ (gerilme-birim şekil değiştirme) ilişkileriyle belirlenir. Malzemelerin $\sigma-\varepsilon$ ilişkileri bir, iki veya üç eksenli olabilir. Şekil 1.7 (a) ve (b)'deki yığılı plastisite yaklaşımında malzeme modelleri kesit analizlerinde kullanılmaktadır. Yayılı plastisite yaklaşımındaki Şekil 1.7 (c) ve (d)'de görülen fiber kesitlerde, tek eksenli malzeme modelleri yeterli olmaktadır. Şekil 1.7 (e)'de gösterilen sonlu eleman ağıyla oluşturulmuş plastisite yaklaşımında ise üç eksenli malzeme modelleri kullanılmaktadır. Çalışma kapsamında oluşturulan malzeme modelleri, fiber mafsal yaklaşımı gereği tek eksenlidir.

Doğrusal olmayan analizlerde kullanılacak malzeme modellerinin, ticari yazılımlardaki matematik modelleri oluşturulurken genelde karmaşık ve çok sayıdaki entegrasyon noktası basitleştirilmektedir. PERFORM-3D yazılımında, malzeme modellerindeki entegrasyon noktası sınırlandırılmıştır. SAP2000 yazılımında ise herhangi bir sınır yoktur. Ancak sayısal çözümün basitliği ve süresi için $\sigma-\varepsilon$ ilişkisini veren optimum sayıda entegrasyon noktası belirlenmelidir.

Deprem gibi çevrimsel yüklerdeki gerçek davranışı yakalayabilmek için $\sigma-\varepsilon$ ilişkileri çevrimsel davranış modelleri dikkate alınarak oluşturulmalıdır. Beton ve donatı çeliklerinde, çevrimsel modeller Bölüm 1.7'de incelenmiştir.

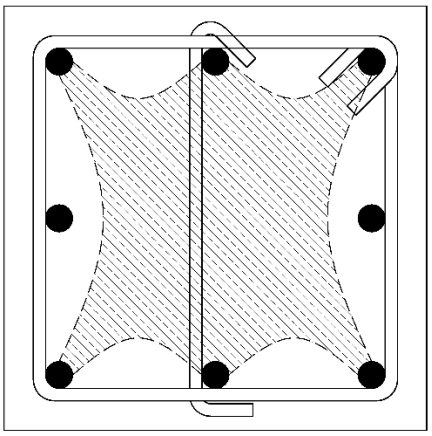
1.1.1. Beton için malzeme modelleri

Geçmişte yapılan deneyler ve çalışmalar, betonun $\sigma-\varepsilon$ ilişkisinin birçok parametreye bağlıdır. Basınç deneyi yapılacak olan numunenin boyutları, deneyde yükleme hızı, betonun dayanımı ve sargılama durumu gibi etkiler $\sigma-\varepsilon$ ilişkisini çıkarmaktadır. Bu nedenle, betonun gerçek $\sigma-\varepsilon$ ilişkisini tanımlamak oldukça karmaşıktır. Söz konusu etkilerden bağımsız olarak betonun basınç deneyi altında yaklaşık ε_{co} = 0,002'de en büyük dayanıma geldiği ve bu birim şekil değiştirmeden sonra Şekil 1.1'de [5], [6] görüldüğü üzere dayanımının azaldığı görülmektedir. Betonların sınıflandırılması genelde en büyük basınç dayanımına göre yapılır. Betonun, çekme dayanımının oldukça az olmasından dolayı çekme etkisi çoğu zaman ihmal edilir.



Şekil 1.1. Betonun Basınç Dayanımının $\sigma-\varepsilon$ Eğrisi Üzerindeki Etkileri

Betonarme elemanlarda kullanılan enine donatılar (etriye, çiroz ve fret gibi) betonun sargılanmış çekirdek betonunda dayanım ve süneklik artışı sağlar. Bunun nedeni betonarme elemanların basınç yüküne maruz kaldığında, enine donatıların dışa doğru genişlemek isteyen çekirdek betonuna yanal basınç uygulamasıdır (Şekil 1.2). Sargılama etkisi ε_{co} sınırının da 0,002 değerinden ileriye kaydırmaktadır. Sargılama etkisi, enine donatının çapı, dayanımı, enkesitteki miktarı, boy kesitteki aralığı ve kanca durumuna göre değişmektedir.

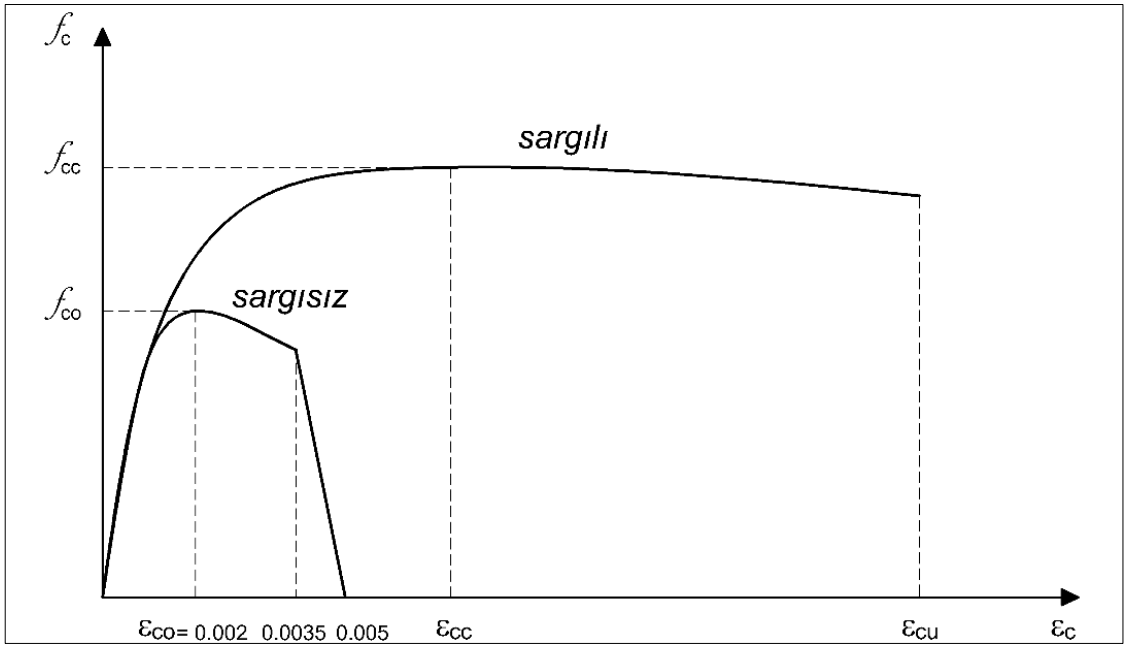


Şekil 1.2. Betonarme Bir Kolonda Sargılama Etkisi

Beton modelleri ile ilgili araştırmacılar birçok çalışma yapmış; sargılı-sargısız beton modelleri geliştirmişlerdir. Bu tezde, sargılı beton modeli olarak günümüzde sıklıkla kullanılan kabul görmüş ve TBDY 2018'in beton modelinde esas aldığı, Mander [7] sargılı beton modeli kullanılmıştır. Söz konusu beton modelinin bağıntıları bir sonraki bölümde sunulmuştur.

1.1.2. TBDY 2018'de tanımlanan beton modeli

TBDY 2018 doğrusal olmayan hesaplarda kullanılmak üzere sargılı ve sargısız beton modeli olarak Şekil 1.3'teki [2] σ–ε ilişkisini önermektedir.



Şekil 1.3. TBDY 2018 Sargılı ve Sargısız Beton Modelleri

Sargılı beton modelinde, betondaki basınç gerilmesi (f_c), birim basınç kısalma ε_c'ye bağlı olarak Denklem (1.1) ile hesaplanmalıdır.

$$f_c = \frac{f_{cc}\, x\, r}{r + 1 + x^r} \tag{1.1}$$

$$f_{cc} = \lambda_c f_{co} \qquad \lambda_c = 2{,}254\sqrt{1 + 7{,}94\frac{f_e}{f_{co}}} - 2\frac{f_e}{f_{co}} - 1{,}254 \tag{1.2}$$

$$f_e = \frac{f_{ex} + f_{ey}}{2} \tag{1.3}$$

$$f_{ex} = k_e \rho_x f_{yw} \qquad f_{ey} = k_e \rho_y f_{yw} \tag{1.4}$$

$$\rho_x = \frac{n\, A_{sw}}{s\, h_o} \qquad \rho_y = \frac{n\, A_{sw}}{s\, b_o} \tag{1.5}$$

$$k_e = \left(1 - \frac{\sum a_i^2}{6 b_o h_o}\right)\left(1 - \frac{s}{2b_o}\right)\left(1 - \frac{s}{2h_o}\right)\left(1 - \frac{A_s}{b_o h_o}\right) \tag{1.6}$$

$$x = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}} \qquad \varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co}[1 + 5(\lambda_c - 1)] \qquad \varepsilon_{co} \cong 0{,}002 \tag{1.7}$$

$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}} \qquad E_c \cong 5.000\sqrt{f_{co}}\ [MPa] \qquad E_{sec} = \frac{f_{cc}}{\varepsilon_{cc}} \tag{1.8}$$

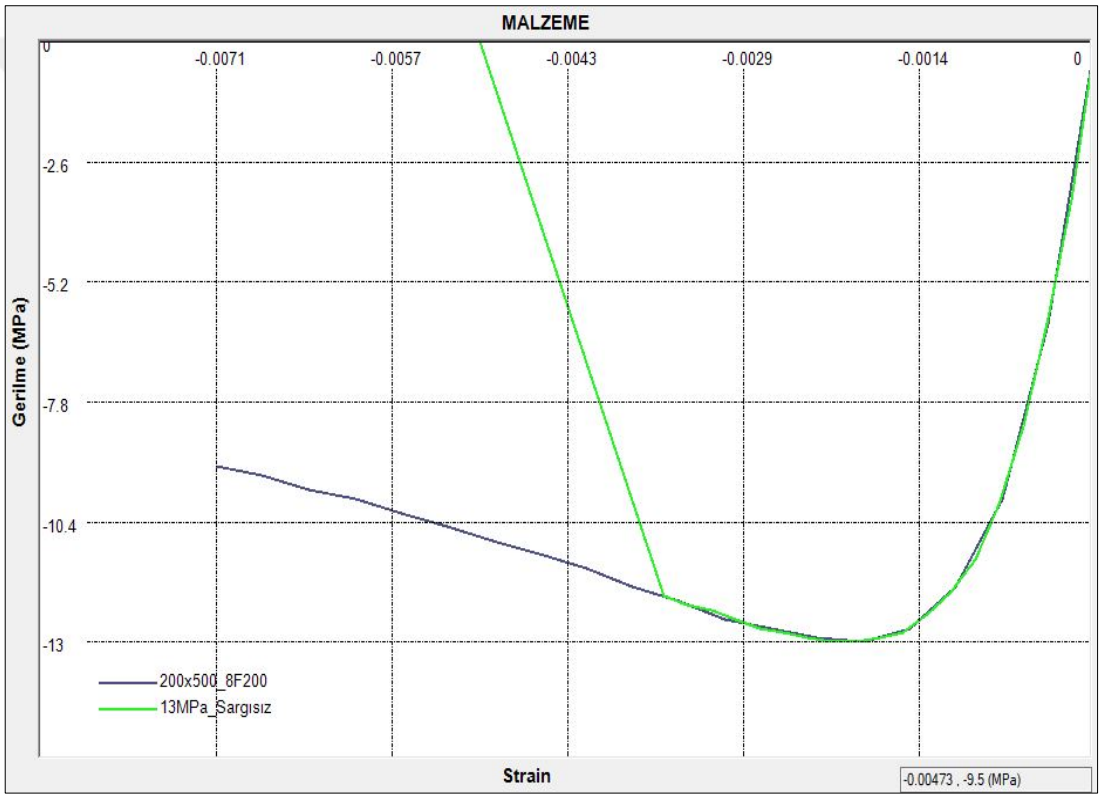
$b_o\ ve\ h_o$	:	Göbek betonu sargılayan etriyelerin eksenleri arasında kalan boyutlar
a_i	:	Bir etriye kolu veya çiroz tarafından mesnetlenen boyuna donatıların eksenleri arasındaki uzaklık
k_e	:	Sargılama etkinlik katsayısı
f_{co}	:	Sargısız beton basınç dayanımı

Denklem (1.2)'deki λ_c'nin 1 olması durumunda sargısız beton modeli ilişkisi (0,0035'e kadar) oluşturulmaktadır. Beton basınç altındayken ulaşabildiği en büyük birim şekil değiştirme ε_{cu}, literatürden Denklem (1.9)'da verilmiştir.

$$\varepsilon_{cu} = 0{,}004 + \left(1{,}4\left(\rho_x + \rho_y\right) f_{yw} \frac{0{,}1}{f_{cc}}\right) \tag{1.9}$$

Bölüm 2.4.4'te açıklanan şekil değiştirme izin sınırları hesaplanırken, betonarme kesitlerdeki etriyelerinin kancalarının 90° olması durumunda, yanal donatının hacimsel oranı %30'u dikkate alınmaktadır. Benzer şekilde matematik modellerde, doğrusal olmayan beton malzeme tanımı yapılırken de kancanın 90° olması

durumunda yanal donatıların hacimsel oranları %70 azaltılmaktadır. Mevcut binalarda enine donatıların az olması, sargılanmış boy donatıları arasındaki mesafelerin (a_i) büyük olması, sargılama etkinlik katsayısını (k_e) azaltmakta hatta sıfıra eşit olmasına neden olmaktadır. Bu durumda yanal basınç etkisi de ortadan kalkmaktadır. Ancak söz konusu sargılamayla ortaya çıkan beton davranışının sünekliği, Denklem (1.9)'dan anlaşılacağı üzere sargılanmamış betona göre fazladır. Diğer bir deyişle mevcut yetersiz yanal donatıyla oluşan sargılama gerilmesi, betonun basınç dayanımını arttıracak düzeyde olmamakla beraber, betonun şekil değiştirme kapasitesinin olumlu yönde gelişmesine neden olmaktadır. Söz konusu etki Şekil 1.4'te gösterilmektedir.



Şekil 1.4. Örnek Bir Kesit ve Beton Dayanımı için Sargısız ve Sargılı Beton Modellerinin Karşılaştırılması

1.1.3. Donatı çeliği için malzeme modelleri

Betonarme elemanlarda, çelik donatılar, betonunun sağlayamadığı çekme dayanımı için kullanılır. Burkulma durumu ihmal edilirse, donatı çelikleri basınç ve çekmede aynı $\sigma-\varepsilon$ ilişkisine sahiptir. Donatı çeliğinin $\sigma-\varepsilon$ ilişkisi genel olarak akma, çekme ve kopma dayanımları ile bu dayanımlara karşılık gelen birim şekil değiştirmeler arasında tanımlanan doğrusal veya doğrusal olmayan parçalarla ifade edilir. Donatı

sınıflandırması, donatı çeliğinin akma dayanımına göre yapılır ve farklı akma dayanımına sahip donatı çeliklerinin akma birim şekil değiştirmesi ε_{sy}, farklıdır. Akma dayanımına kadar çelik malzemesinin elastik davrandığı kabul edilir. Donatı çeliğinin davranışı betona göre nispeten daha kolay tahmin edilmektedir. Aynı zamanda hesaplarda akma platosu genelde düz bir çizgi ile idealize edilmektedir.

1.1.4. TBDY 2018'de tanımlanan donatı çeliği modeli

TBDY 2018 doğrusal olmayan hesaplarda kullanılmak üzere donatı çeliği modeli olarak Şekil 1.5'deki [2] σ–ε ilişkisini elastik, plastik ve pekleşme bölgesi olarak üç farklı bölgede üç farklı denklemle tanımlanmaktadır.

$$
\begin{aligned}
f_s &= E_s \varepsilon_s && \left(\varepsilon_s \le \varepsilon_{sy}\right) \\
f_s &= f_{sy} && \left(\varepsilon_{sy} < \varepsilon_s \le \varepsilon_{sh}\right) \\
f_s &= f_{su} - \left(f_{su} - f_{sy}\right)\frac{(\varepsilon_{su} - \varepsilon_s)^2}{(\varepsilon_{su} - \varepsilon_{sh})^2} && \left(\varepsilon_{sh} < \varepsilon_s \le \varepsilon_{su}\right)
\end{aligned}
\qquad (1.10)
$$

f_{sy} : Donatı çeliğinin akma dayanımı

f_{su} : Donatı çeliğinin kopma dayanımı

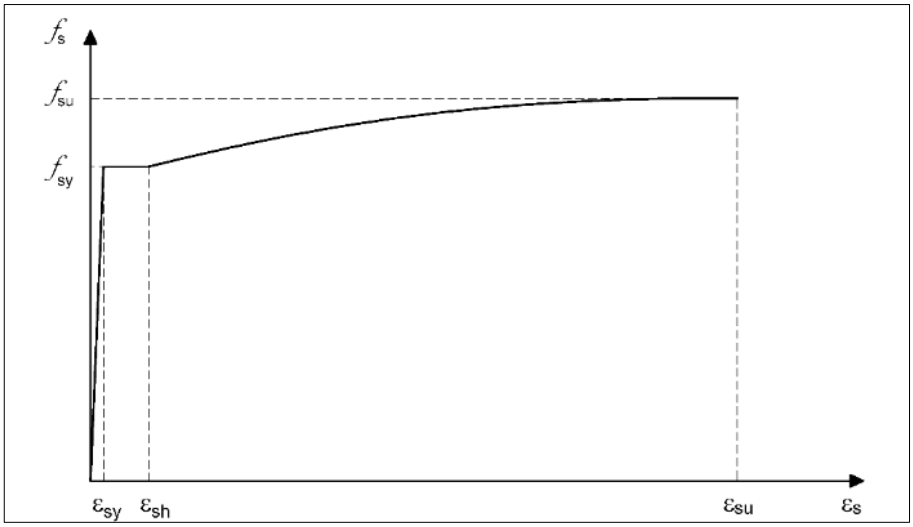
ε_{sy} : Donatı çeliğinin akma birim şekil değiştirmesi

ε_{su} : Donatı çeliğinin akma birim şekil değiştirmesi

Tüm donatı çeliği sınıfları için elastisite modülü $E_s = 2x10^5$ MPa olarak tanımlanmış olup; diğer mekanik özellikler donatı sınıflarına göre Tablo 1.1'de [2] verilmiştir.

Tablo 1.1. Donatı Çeliklerinin Temel Mekanik Özellikleri

Kalite	f_{sy} (Mpa)	ε_{sy}	ε_{sh}	ε_{su}	f_{su} / f_{sy}
S220	220	0,0011	0,011	0,12	1,20
S420	420	0,0021	0,008	0,08	1,15 - 1,35
B420C	420	0,0021	0,008	0,08	1,15 - 1,35
B500C	500	0,0025	0,008	0,08	1,15 - 1,35



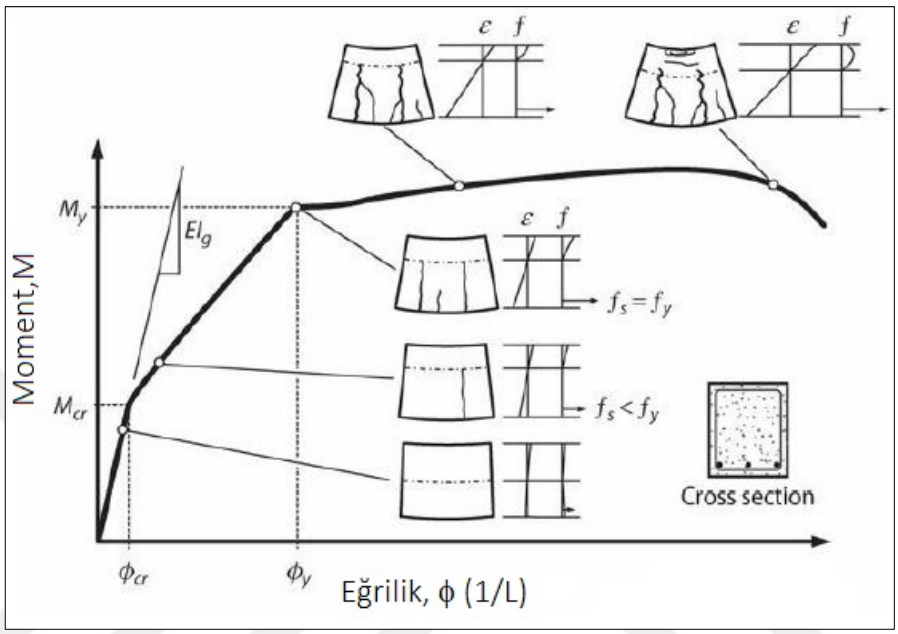
Şekil 1.5. TBDY 2018'de Donatı Çeliği için Tanımlanan Gerilme-Şekil değiştirme İlişkisi

1.2. Doğrusal Olmayan Davranış

Betonarme yapı elemanlarında çatlama, akma ve kapasiteye ulaşma sınır durumları ile doğrusal olmayan davranış ortaya çıkmaktadır. Kesme, burulma vb. etkilerin baskın olduğu elemanlarda, kapasiteye ulaşıldıktan sonra taşıyıcılık sona ermekte, dayanımda ani ve toptan düşüş yaşanmakta, negatif rijitlik ve yumuşama ile gevrek bir davranış elde edilmektedir. Bu tip kuvvet kontrolü altındaki doğrusal olmayan davranışta, süneklikten ve plastik davranıştan söz edilemez. Eğilmenin baskın olduğu elemanlarda ise kapasiteye ulaşıldıktan sonra, malzeme ve kesit özelliklerine bağlı olarak, yapı elemanının artan elastik ötesi deformasyonla yük taşımaya devam edebildiği sünek bir davranış elde edilebilmektedir. Bu tip deplasman kontrolü altındaki doğrusal olmayan davranışta, elastik ötesi yani plastik davranış nitelendirilebilmekte ve buna bağlı olarak hasar görebilirlik değerlendirilebilmektedir. Bu durum, elemandaki donatı aderans boyunun yeteri kadar sağlanabildiği ve kesme-eğilme etkileşiminin düşük seviyede olduğu durumlarda, belirgin biçimde ortaya çıkmaktadır. Eğilme altında kesitin doğrusal olmayan davranışı, eksenel yük seviyesine de bağlı olarak, moment-eğrilik ilişkisiyle elde edilmektedir. Yapı ve yapı elemanlarının doğrusal olmayan davranışı, yukarıda anlatıldığı üzere malzeme kaynaklı olabileceği gibi geometrik ve sınır şartlar kaynaklı da olabilmektedir.

Moment-eğrilik arasındaki ilişki, betonarme kesitin betonunda çatlama oluştuğu ana kadar (M_{cr},ϕ_{cr}) Şekil 1.6'da [5] görüldüğü üzere doğrusaldır. Betonda yükleme öncesinde kılcal çatlaklar olsa bile betonun çekme dayanımına ulaşması sonrasında çatlaklar daha belirgin hale gelir. Çatlama sonrasında kesit rijitliğinde azalma olur.

Moment-eğrilik ilişkisinde asıl kritik değişim, boy donatının akmasıyla ($M=M_y$) meydana gelir. Bu değişim tek sıra donatılı kesitlerde daha keskin biçimde görülmektedir. Örnek olarak dairesel kesitte, boy donatıların akması kademeli olarak gerçekleşeceğinden dolayı, moment-eğrilik ilişkisindeki akma sonrası rijitlik değişimi kademeli olarak meydana gelir [5].

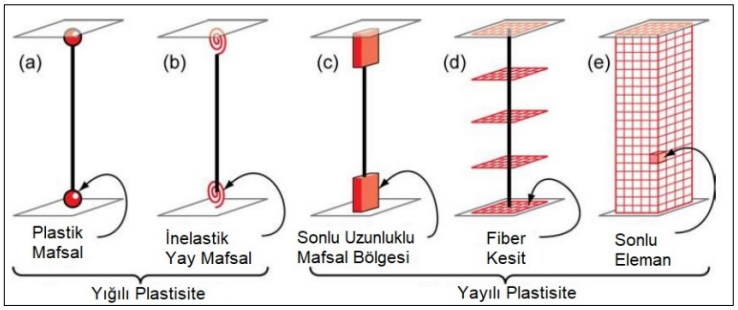


Şekil 1.6. Betonarme Kesitte Moment-Eğrilik İlişkisi

Şekil 1.6'da [5] görüldüğü üzere akma (ϕ_y) sonrası bölge, elemanın plastik davranış kabiliyetini, elastik ötesi deformasyon özelliğini ortaya koymaktadır. Donatı akmaya ulaştıktan sonra donatıdaki birim uzamalar ve basınç bölgesindeki beton liflerde birim kısalmalar devam eder. Malzeme modellerindeki nihai birim şekil değiştirmelerine ulaşan lifler, göçmeye seviyesine geldiğinden kesit davranışında etkisiz hale gelir. Sünek davranışta, basınç bölgesindeki en dışta yer alan beton lifler, nihai birim şekil değiştirmelere ulaştığında basınç bölgesinde tekrar dağılımla bir altta yer alan beton liflerde birim şekil değiştirmelerin artması, çekme tarafındaki hali hazırda akmış olan donatıların uzamaya devam ederek eleman üzerindeki yükün taşınmaya devam etmesi beklenir. Sünek davranış kapasitesini, bir başka deyişle plastik davranışı, temel olarak kesitteki donatı oranı belirler.

Yapı elemanlarının doğrusal olmayan analizlerinde, elastik şekil değiştirmeler ve akma sonrasında oluşan plastik şekil değiştirmeler incelenmektedir. Doğrusal olmayan analizlerde, plastik şekil değiştirmeyi matematik modele aktaran, birçok çalışma ve farklı yaklaşımlar bulunmaktadır. Bu yaklaşımlar TBDY-2018'de de olduğu

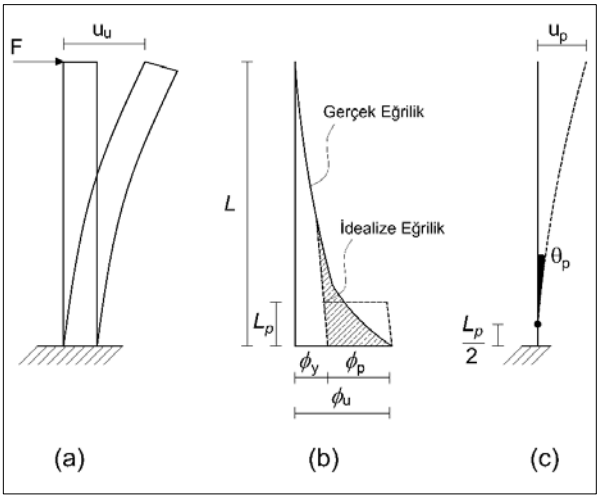
üzere yığılı ve yayılı plastisite olmak üzere iki ana başlığa ayrılmaktadır. Şekil 1.7.'de [8] farklı matematik modellerine sahip yaklaşımlar şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 1.7. Yığılı ve Yayılı Plastisitenin Şematik Gösterimi

1.3. Yığılı Plastik Davranış Modeli

Plastisite yaklaşımlarından yığılı plastik davranış (plastik mafsal kavramı) doğrusal olmayan modellemelerde çokça tercih edilen bir yaklaşımdır. Bunun en önemli nedeni oldukça kaba kabullerle, kesitte plastik mekanizmayı basitçe ele almasıdır. Bu durum doğrusal olmayan gerçek davranışın tam olarak yakalayamamasına sebep olarak da gösterilebilir. Genel yaklaşımı itibariyle eğilme etkisindeki elemanın uzunluğu boyunca en çok zorlanan kesitlerinde sıfır uzunluklu bir plastik mafsal modeli geliştirilir.



Şekil 1.8. Yığılı Plastite Yaklaşımı: (a) Konsol Kolon; (b) Eğriliğin Kolon Boyunca Değişimi; (c) Plastik Dönme

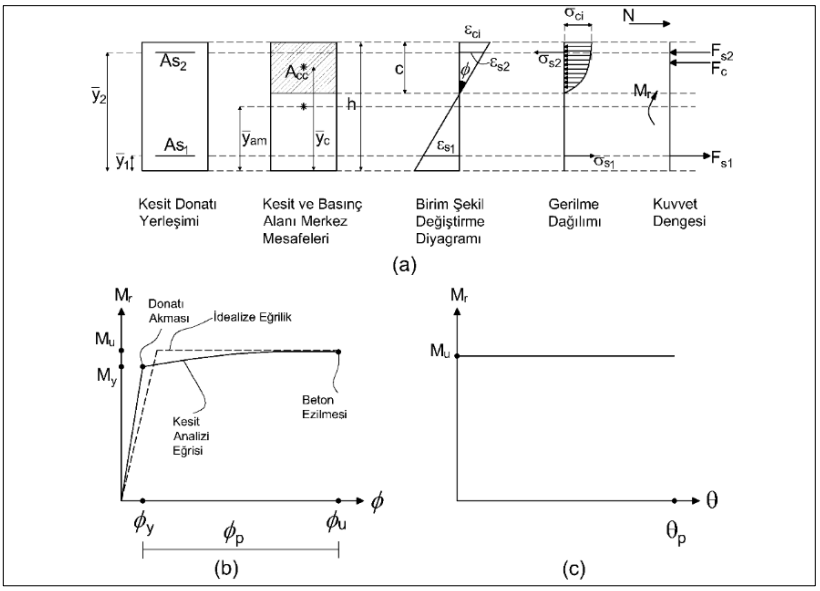
Şekil 1.8.'de, konsol bir kolonun tepe noktasından u_u kadar yanal yerdeğiştirme yaptıracak yanal bir kuvvet uygulanmaktadır. Bu yanal kuvvet elemanın ucunda toplamı u_u olan doğrusal ve doğrusal olmayan deplasmanları ve kesit eğriliklerini

oluşturacaktır. Bu davranış modelinde, elemanın plastik eğriliğe başladığı kesitiyle mesnet bölgesinde en çok plastik eğrilik yapan kesiti arasında kalan (Şekil 1.8. – b taralı alan) plastik eğrilik alanını, eşdeğer dikdörtgen (Şekil 1.8. – b kesikli çizgi) yaklaşımıyla idealize edilmektedir. Sıfır uzunluklu plastik mafsal, temsili plastik mafsal boyu (L_p) ve plastik eğrilik (ϕ_p) değerlerine bağlı olarak oluşturulan eşdeğer dikdörtgenin ortasında konumlandırılmaktadır. Elemanın uzunluğu boyunca bir noktada yoğunlaştığı kabulü ile tanımlanan plastik dönme (θ_p) Şekil 1.8.(b)'deki taralı alana eşittir.

$$\theta_p = \emptyset_p . L_p \tag{1.11}$$

1.3.1. Moment-eğrilik (M-ϕ)

Plastik mafsalın yük altında ne kadar plastik kapasitesi olduğunun tespiti moment-eğrilik (M-ϕ) ilişkisiyle bulunur. M-ϕ tanımında iki genel varsayım yapılmaktadır. Bunlardan birincisi düzlem kesitler düzlem kalır, ikincisi ise beton ve donatı arasındaki aderansın tam olmasıdır. Beton ve donatı için seçilen malzeme modellerinin σ–ε bağıntıları, kesit boyutları, donatı yerleşimi ve eksenel yük parametreleriyle kesit analizi yapılarak M-ϕ grafiği oluşturulur. Bu parametrelerden malzeme modelleri M-ϕ grafiğinin oluşturulmasında çoğu zaman kritik olmaktadır.



Şekil 1.9. (a) Kesit Analizi; (b) Moment-Eğrilik Grafiği; (c) Plastik Moment-Dönme Grafiği

Şekil 1.9. (a)'da şematik gösterimi verilen kesit analizi diyagramları, 0 ile betonun nihai şekil değiştirmesi (ε_{cu}) arasında sırasıyla ve belirli sayıda ε_c değeri için oluşturulur. Her

bir ε_{ci} değeri için, ilk olarak bir tarafsız eksen derinliği (c) seçilir. Ardından düzlem kesitler düzlem kalır yaklaşımıyla donatı birim şekil değiştirmeleri (ε_s) hesaplanır. Seçilen malzeme modellerine göre beton ve donatı için birim şekil değiştirmelerin karşılığı olan gerilmeler (σ) hesaplanır. Gerilmeler, donatı alanları ve beton basınç alanıyla çarpılarak eşdeğer kuvvetler hesaplanıp, kuvvet dengesi kontrol edilir. Kuvvet dengesini sağlayan doğru tarafsız eksen derinliğiyle moment ve eğrilikler hesaplanır. Bu işlemler her bir ε_{ci} adımı için tekrarlanarak elde edilen bütün M-ϕ ikilileri bir grafikte işaretlenirse Şekil 1.9. (b)'deki M-ϕ ilişkisi elde edilir. Bu ilişki kesitin sünekliğini ve plastik deformasyon sınırlarını tarif etmektedir. Çoğu zaman matematik modellerin basitleştirilmesi amacıyla kesit analizi ile oluşturulan ilişki iki doğrulu bir grafikle idealize edilir. İdealize bağıntıda donatının akmaya başladığı eğrilik ile betonun ezildiği eğrilik arası plastik eğrilik (ϕ_p) olarak tanımlanmaktadır. Plastik mafsal modeli, plastik eğriliğin Denklem (1.11)'de gösterildiği üzere plastik mafsal boyu (L_p) ile çarpılmasıyla elde edilen plastik dönme ve nihai moment kapasitesi (M_u) yardımıyla oluşturulur. Deprem gibi tersinir yüklemelerde, aynı kesitte negatif yön için de benzer bir plastik mafsal modeli oluşturulmalıdır.

1.3.2. Plastik mafsal boyu (L_p)

Yığılı plastisite yaklaşımında plastik mafsal boyunda, moment-eğrilik bağıntısı ile plastik mafsal modelinin tanımı olan moment-dönme arasında doğrudan bir ilişki bulunmaktadır. Plastik mafsal boyu L_p matematik modelin doğrusal olmayan sayısal analizinde sıfır uzunluklu bir plastiklik olmasıyla birlikte eğrilik ve dönme dönüşümleri nedeniyle oldukça kritik bir parametredir.

Betonarme elamanın moment veya eğrilik diyagramının mesnet bölgelerinde değişimi sertleştikçe plastik mafsal boyu kısalmakta, değişim yumuşadıkça artmaktadır. Kesit analizleri sonucunda akma momentine ve plastik deformasyon kapasitesine bağlı olarak plastik mafsal boyu değişmektedir. Bileşik eğilme etkisindeki betonarme elemanlarda normal kuvvet etkisiyle plastikleşme daha geniş bir bölgeye yayılır. Normal kuvvet etkisinde kesitin, moment-eğrilik bağıntısı da değişkenlik göstermektedir [9].

Geneli itibariyle plastik mafsal boyunun kabulü birden fazla değişken parametreye bağlıdır. Plastik mafsal boyuyla ilgili, geçmişte oldukça fazla çalışma yapılmış olmakla birlikte, konunun hala güncelliğini koruduğu gözlenmektedir. Plastik mafsal boyu üzerine yapılan çalışmalardan pek çok ampirik formül türetilmiştir. Bu formüllerden

genel kabul görmüş ve sayısal modellerde kullanılan bazıları Tablo 1.2.'de gösterilmektedir.

Tablo 1.2. Literatürdeki Plastik Mafsal Boyunun Ampirik Formülleri

Kaynak	L_p	Uygulanan Eleman
Baker (1956) [10]	$k\left(\frac{z}{d}\right)^{\frac{1}{4}} d$	B.A. kiriş ve kolonlar
Sawyer (1964) [11]	$0{,}25d + 0{,}075z$	-
Corley (1966) [12]	$0{,}5d + 0{,}2\sqrt{d\left(\frac{z}{d}\right)}$	B.A. kirişler
Mattock (1967) [13]	$0{,}5d + 0{,}05z$	B.A. kirişler
Priestlley and Park (1987) [14]	$0{,}08z + 6\,d_b$	B.A. kolonlar
Paulay ve Priestley (1992) [15]	$0{,}08z + 0{,}022\,d_b f_y$	B.A. kiriş ve kolonlar
Panagiotakos ve Fardis (2001) [16]	$0{,}18z + 0{,}021 d_b f_y$	B.A. kiriş ve kolonlar

1.3.3. TBDY 2018'de Tanımlanan Yığılı Plastik Davranış Modeli

TBDY 2018'e göre, plastik mafsal boyu olarak adlandırılan plastik şekil değiştirme bölgesinin uzunluğu (L_p), çalışan doğrultudaki kesit boyutu (h)'nin yarısına eşit alınmalıdır (L_p=0,5h).

Yönetmelik sadece eksenel kuvvet altında plastik şekil değiştirme yapan elemanların plastik şekil değiştirme bölgelerinin uzunluğunun, ilgili elemanın serbest boyuna eşit alınması gerektiği belirtmektedir.

TBDY 2018'de kolon ve kirişlerde plastik mafsalların, kolon-kiriş birleşim bölgesinin hemen dışına, diğer bir deyişle kolon veya kirişlerin net açıklıklarının uçlarına konulabileceği belirtilmektedir. Bununla birlikte yönetmelik, düşey yüklerin etkisiyle kiriş açıklıklarında da plastik mafsalların oluşabileceğinin göz önüne alınmasını istemektedir.

Yönetmelik, betonarme plastik mafsal etkin akma momentlerinin (kesit analizleri) tanımlanmasında, betonun basınç birim şekil değiştirmesinin 0,0035 ve donatı çeliğinin birim şekil değiştirmesinin 0,01 alınmasına izin vermektedir. Bu analizlerde, düşey yüklerden meydana gelen eksenel kuvvet de dikkate alınmalıdır.

TBDY 2018, betonarme ve çelik kesitlerin iki doğrulu iç kuvvet-plastik şekil değiştirme bağıntılarında pekleşme etkisinin (plastik dönme artışına bağlı olarak plastik momentin artışının) terk edilebileceğini de belirtmektedir.

1.4. Yayılı Plastik Davranış Modeli

Yapı elemanın doğrusal olmayan davranışının modellenmesi, kesit boyunca ve eleman uzunluğunca plastisitenin farklı şekilde tanımlamasıyla çeşitlendirilebilmektedir [8]. Şekil 1.7'de görüldüğü üzere, yayılı plastik davranış modelleri; sonlu uzunluklu, eleman boyunca integrasyon noktaları olan sıfır uzunluklu (fiber kesit) ve üç boyutlu katı model olmak üzere üç alt başlığa ayrılabilir.

1.4.1. Sonlu uzunluklu yayılı plastisite

Sonlu uzunluklu yayılı plastisite (Şekil 1.7-c) yaklaşımı, elemanın istenilen noktalarında (genelde i ve j uçları için) doğrusal olmayan malzeme tanımlı fiberlerle veya moment-eğrilik ilişkileriyle tanımlanır [8]. Elemanın sonlu uzunluklu mafsallar dışında kalan bölümün elastik kaldığı kabul edilir. Bu durumda elemanın rijitliği, iki ucunda sonlu uzunluklu mafsalların doğrusal olmayan malzeme tanımlarından gelen rijitlikleri ile elastik bölgenin etkin rijitliğinden hesaplanmaktadır.

SAP2000 yazılımındaki yayılı plastiklik (fiber mafsal) enine kesitteki her bir fiber için doğrusal olmayan $\sigma-\varepsilon$ ilişkileri kullanılarak tanımlanır. Her bir fiberin davranışı en kesitte toplanarak ve mafsal uzunluğuyla çarpılarak eksenel kuvvet – deformasyon ve her iki eksen için de moment – dönme ilişkileri elde edilir. Fiber mafsallarda kesme davranışı doğrudan dikkate alınmamaktadır. Kesme davranışı için doğrusal kayma modülü kullanılmaktadır. Program, hesap yoğunluğunu en aza indirmek için doğruluğu ve verimliliği dikkate alan optimum fiber sayısının kullanılmasını önermektedir. Fiber mafsallardaki dayanım kaybı, doğrudan malzeme tanımlarındaki dayanım kaybıyla belirlenir. Fiberler ayrı ayrı güç tükenmesine ulaştığından dayanım kaybı özellikle mantıklı mafsal boyları için kademeli olarak gerçekleşecektir. Program kılavuzunda ayrıca dayanım kaybı modellemesine çok dikkat edilmesi ve gerekirse malzeme tanımlarının değiştirilmesi tavsiye edilmektedir [17].

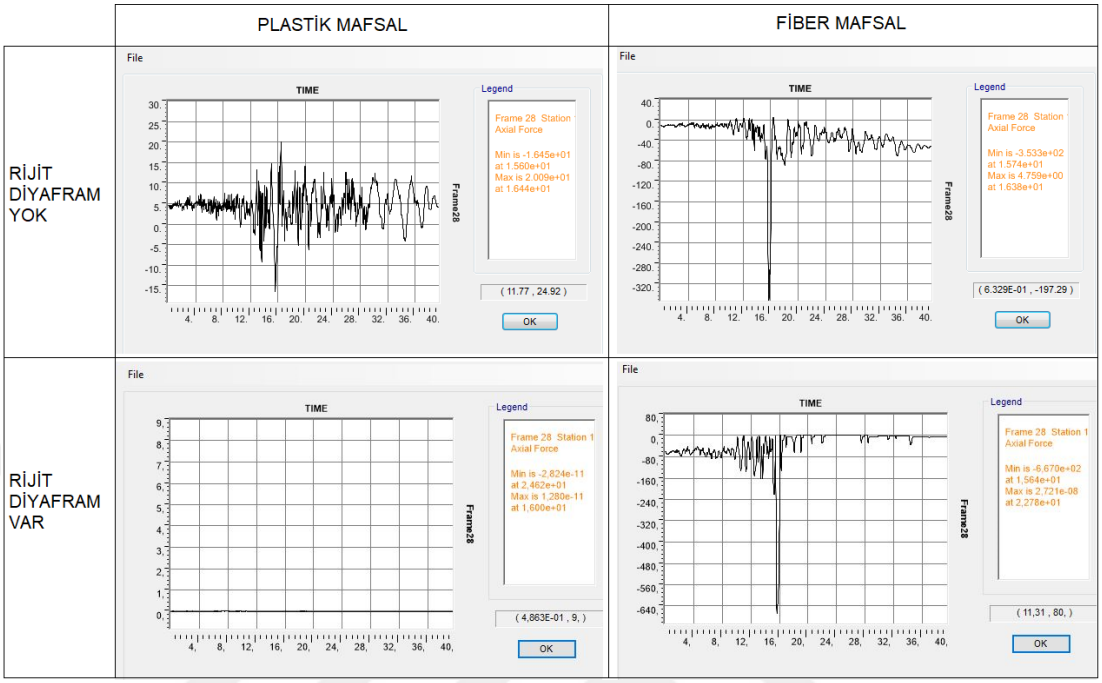
PERFORM-3D yazılımındaki elastik olmayan fiber bileşenler kolon ve kirişler için çelik ve beton malzeme modelleriyle tanımlanabilmektedir. Kirişler için en fazla 12 adet fiber kullanılarak P-M etkileşimi ve kolonlar için ise en fazla 60 adet fiber kullanılarak P-M-M etkileşimi modellenebilmektedir. Program, modellemede en büyük fiber sayısını doğrudan kullanmak yerine, tek bir konsol kolon üzerinde yapılacak denemelerle optimum fiber sayısını bulmayı önermektedir. Programda, tüm fiberlerin davranışları toplanarak kesitin davranışı bulunur. Ancak bu davranış her bir fiber segmentinin orta noktasında hesaplanır. Bununla birlikte, eğilme momenti ve fiber

gerilmeleri genellikle fiber segmentlerinin uçlarında maksimum olacaktır. Bu nedenle özellikle eğilme momentinin hızla değiştiği bir kiriş veya kolon kısımlarında fiber segmentlerinin boyu oldukça kısa olmalıdır. Her bir fiber segmenti, aslında bir kiriş veya kolon sonlu elemanıdır. Her bir eğilme düzleminde iki eğilme deformasyon modu vardır: sabit ve doğrusal eğilme modu. Doğrusal eğilme modunda rijitlik, enine kesitin başlangıçtaki elastik rijitliğine bağlı olarak sabit kalır. Kesit davranışı doğrusallıktan uzaklaştıkça sabit eğilme modu için rijitlik değişir. Fiber segmentinde P-M veya P-M-M etkileşimi varsa, bu etkileşim yalnızca sabit eğilme modlarını etkiler. Sabit eğilme modlarında, kayma rijitliğinin de sabit kaldığı unutulmamalıdır. Çünkü değişken kayma rijitliği sadece doğrusal eğilme moduyla ilişkilidir [4].

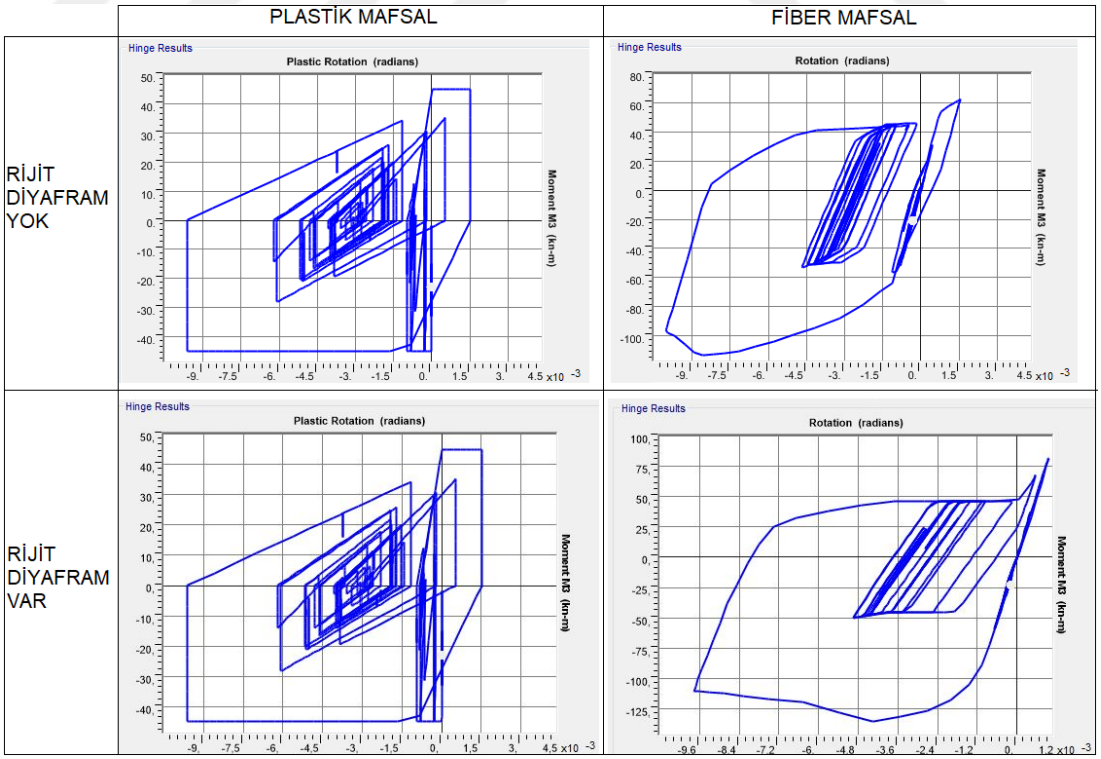
Betonarme bir kiriş yüklenip çatladıkça kesitin tarafsız ekseni basınç tarafına doğru kayar ve dolayısıyla uzar. Kirişin bu uzaması bağlandığı kolonlar tarafından sınırlandırılırsa, kirişte eksenel basınç kuvveti oluşur. Oluşan bu eksenel kuvvet, kirişin moment kapasitesini önemli ölçüde arttırabilir. Ayrıca bu durum kirişin bağlandığı kolonların davranışı üzerinde de önemli bir etkiye neden olabilir. Bahsi geçen bu etki doğrusal analizlerde ve plastik mafsal teorisinin kullanıldığı doğrusal olmayan analizlerde göz ardı edilmektedir. Ancak modellemede fiber segmentler kullanıldığında analize dahil edilir. Bunun farkında olmak önemlidir; zira, belirtilen etki gerçek yapılarda oluşan gerçek bir etkidir. Bu durum modellemede ihmal edilmek istenirse, elemanda eksenel mafsal (P Release/Hinge) tanımlanabilir. Bu tür mafsallar kirişlerde kullanılabilir; ancak kolonlarda asla kullanılmamalıdır. Döşemelerin modellenmesinde rijit diyafram varsayımı uygulanırsa da dikkatli olmak gerekir. Çünkü bu varsayım eksenel rijitlikle ilgili sınırlama getirmektedir. Rijit diyafram varsayımının yapıldığı durumlarda, yukarıda açıklandığı gibi eksenel mafsal eklenmesi düşünülmelidir [4].

Bu tezde, kirişlerde fiber mafsal ve plastik mafsal yaklaşımlarının kullanımının kiriş davranışına etkileri incelendiğinden yukarıdaki konuyla ilgili örnek bir çalışma yapılmıştır. Çalışmadaki döşemelerin sonlu elemanlarla, kolonların fiber mafsallarla modellendiği düzenli bina modelinde, kirişler fiber mafsal ile plastik mafsal kullanılarak iki farklı şekilde modelleme yapılmıştır. Bu iki modelden ayrıca rijit diyafram kabulü yaparak ve yapmayarak ikişer model daha oluşturulmuştur. Örnek bir deprem kaydı için analizi yapılarak, tipik bir kirişin doğrusal bölümünün i ucunda eksenel kuvvet zorunun (kN) zamanla değişimi incelenmiştir. Şekil 1.10'dan görülebileceği gibi, kirişin fiber mafsallarla modellenmesi durumunda kirişte eksenel basınç kuvveti oluşmaktadır. Ayrıca, rijit diyafram kabulünün bu etkiyi daha da büyüttüğü

görülmektedir. Kirişlerde ihmal edilemeyecek büyüklüklerde eksenel basınç kuvveti oluşumu, moment kapasitesini Şekil 1.11'da görüldüğü üzere artırmaktadır.



Şekil 1.10. SAP2000 Programında Farklı Kabullerle Modellenen Düzenli Bir Binada Tipik Bir Kirişte Oluşan Eksenel Kesit Zorunun (kN) Zamanla Değişimi



Şekil 1.11. SAP2000 Programında Farklı Kabullerle Modellenen Düzenli Bir Binada Tipik Bir Kirişin Moment (kNm)- Dönme (radyan) Grafikleri

1.4.2. Fiber kesitlerin eleman boyunca integrasyonu ile yayılı plastisite

Fiber kesit formülasyonu (Şekil 1.7-d) modelleri, plastik davranışı elemanın enine kesitleri boyunca ve eleman uzunluğu boyunca sayısal integrasyonlarla dağıtır. Tek eksenli malzeme modelleri, enine kesitlerde doğrusal olmayan çevrimsel eksenel $\sigma-\varepsilon$ özelliklerini yakalamak için tanımlanır. Düzlem kesitler düzlem kalır varsayımı uygulanır. Tek eksenli malzeme fiberleri gerilme sonuçlarını ve artan moment-eğrilik ilişkilerini elde etmek için kesit üzerinde sayısal olarak entegre edilir. Kesit parametreleri daha sonra yer değiştirme veya kuvvet bazlı formülasyonlarla eleman uzunluğu boyunca farklı kesitlere sayısal olarak entegre edilir [18], [19]. Yayılı fiber formülasyonları genellikle plastik mafsal dönmeleri vermez, bunun yerine çelik ve beton fiberlerin birim şekil değiştirmelerini verir [8].

Bu yaklaşımda Şekil 1.12 – b kuvvet bazlı formülasyon ve Şekil 1.12 – c yer değiştirme bazlı formülasyon olarak iki metot bulunmaktadır [20]. Kuvvet bazlı formülasyon elemanda entegrasyon noktalarıyla plastik davranışı eleman uzunluğu boyunca yaymaktadır. Yer değiştirme bazlı formülasyonda ise elemanın iki ucunda entegrasyon noktası olmak üzere elemanın sonlu eleman parçalarına ayrılmasıyla plastik davranışı eleman uzunluğu boyunca yaymaktadır.

1.4.3. Sonlu katı modeller ile yayılı plastisite

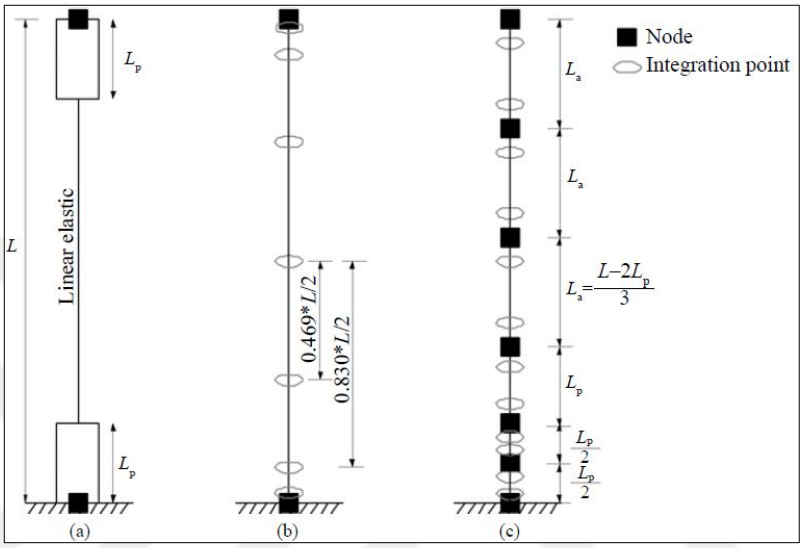
En karmaşık model, eleman uzunluğu boyunca ve enine kesitler boyunca, çok sayıda girdi parametresine sahip doğrusal olmayan çevrimsel yapısal özelliklere sahip küçük sonlu katı modellere ayırır (Şekil 1.7-e). Bu modelleme çok yönlülüğü sunar ancak parametre ve hesap gücü açısından en büyük zorluğu da sunar [8].

1.5. Plastite Modelleri ile İlgili Yapılan Çalışmalar

1.5.1. Rodrigues ve diğ. (2012)

Rodrigues ve diğ. (2012) çalışmasında çevrimsel ve çift eksenli yatay yükleme ile betonarme kolonların eksenel yük etkisinde doğrusal olmayan modelleme tekniklerini değerlendirmeyi ve karşılaştırmayı amaçlamıştır [20]. Bu çalışmada yapılan sayısal modellemeler, Rodrigues ve diğ. (2010) çalışmasındaki tek eksenli ve çift eksenli çevrimsel yükleme altında tam öçekli 24 adet betonarme kolon deney sonuçlarıyla karşılaştırılacaktır. Rodrigues ve diğ. (2010) çalışmasındaki 24 adet kolona güçlü bir temel üzerinde konsol betonarme kolonlar olarak deney uygulanmıştır [21]. Bu

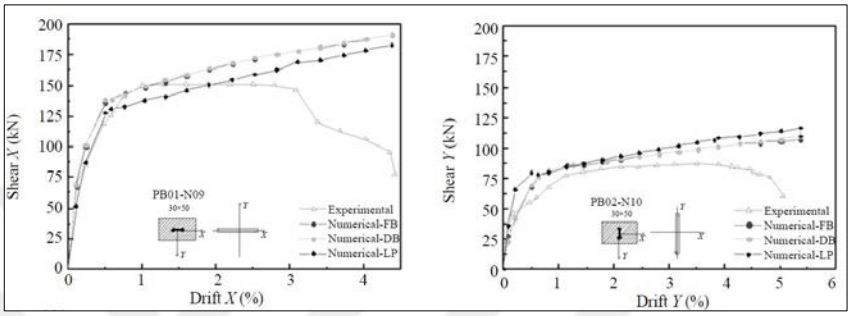
çalışmadaki modellemeler hem malzeme hem de geometrik doğrusal olmayan davranışı göz önünde bulunduran statik veya dinamik analiz yapabilen SeismoStruct programıyla yapılmıştır. Yazılımla üç farklı doğrusal olmayan modelleme yaklaşımları kullanılmıştır. Her kolon şematik gösterimi Şekil 1.12.'de [20] gösterilen yığılı mafsal, kuvvet bazlı yayılı mafsal ve yer değiştirme bazlı yayılı mafsal yaklaşımlarıyla modellenmiştir.



Şekil 1.12. Rodrigues ve diğ. (2012) Doğrusal Olmayan Modelleme: (a) Yığılı Mafsal; (b) Kuvvet Bazlı Formüllü Yayılı Mafsal; (c) Yer Değiştirme Bazlı Formüllü Yayılı Mafsal

Beton için sargılı mander beton modeli [7] kullanılmıştır. Betonun çevrimsel modeli olarak Martinez-Rueda ve Elnashai (1997) tarafından önerilen model kullanılmıştır [22]. Kabul edilen beton malzeme değerleri deney sonuçlarına uygundur [21]. Malzemenin mekanik parametreleri numuneler üzerindeki deney sonuçlarına göre tanımlanmıştır. Donatı malzemesi için Menegotto ve Pinto (1973) tarafından önerilen tek eksenli modeli [23], Filippou ve diğ. (1983) tarafından önerilen izotropik sertleşme kuralları [24] ile birleştirilen model kullanılmıştır. Bu model çevrimsel yükleme altında, rijitlik kaybını temsil etmek için *Bauschinger Efekti'ni* hesaba katar. Analizler sonucunda 30 cm x 50 cm ebatlarındaki kolonların (N09, N10, N11, N12 ve N18) kesme-öteleme eğrileriyle deneysel eğriler arasında uyum bulunduğu ifade edilmiştir. Deneysel sonuçlarla sayısal model sonuçlarının kesme-öteleme eğrileri karşılaştırılarak korelasyon katsayısı (R^2) hesaplanmıştır. Bu karşılaştırmada en küçük korelasyon katsayısı 0,75 olup, sayısal analizlerin çoğundan 0,75'ten daha büyük korelasyon katsayıları bulunmuştur. Bu durum deneysel verilerle uyumun iyi olduğunun işaretidir. İncelenen her kolon için üç farklı doğrusal olmayan modelleme

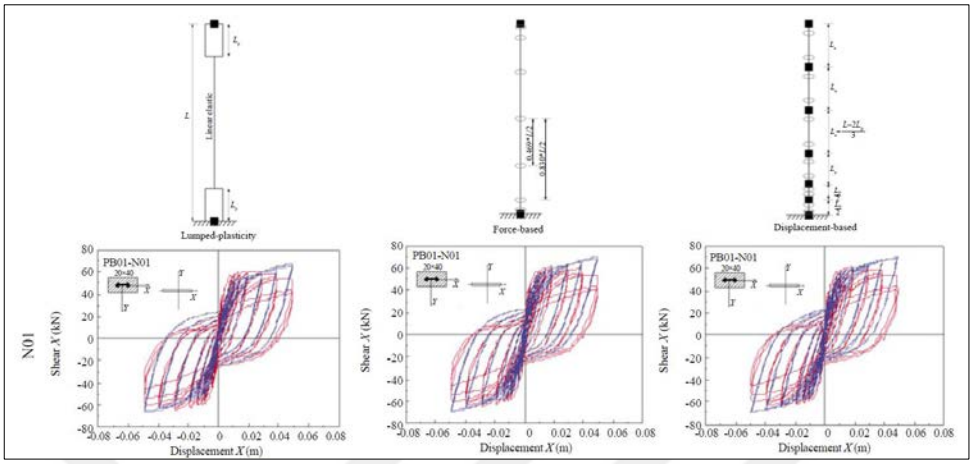
yaklaşımlarında benzer korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Bununla birlikte yığılı plastite yaklaşımı en küçük katsayıyı vermiştir. Tüm kolonlar için iki yönlü talepleri düşünüldüğünde, güçlü yön (X) ve zayıf yön (Y) benzer korelasyon katsayılarını çıkarmıştır. Deneysel sonuçlarla sayısal sonuçların kesme-öteleme eğrileri karşılaştırıldığında başlangıç rijitliğini uyumu en kötü olan kuvvet bazlı yayılı mafsal yaklaşımıdır. Deneyi yapılan tüm kolonlar için sekant rijitlik değişimi sayısal modellerle karşılaştırıldığında tek eksenli veya çift eksenli eğilme için oldukça uyumludur.



Şekil 1.13. Rodigues ve Diğ. (2012) Örnek Bir Kolonun Kesme-Öteleme Eğrileri

Çevrimsel modelleme, en uyumlu sonuçta bile boy donatının burkulmasından dolayı dayanım kaybını tam olarak yakalayamayacağı açıklanmıştır. Çelik kaymasının sınırlı modellenmesinden dolayı, sayısal modellerden elde edilen çevrimsel tepki, yük boşaltma-yeniden yükleme aşamasındaki deneysel olarak gözlemlenen sıkıştırma etkisini tam olarak yakalayamayacağı ifade edilmiştir. Tek eksenli ve çift eksenli yükleme altında her kolon için kesme kuvveti değerleri, üç farklı modelleme yaklaşımında da yeter seviyede uyum gösterdiği açıklanmıştır. Genel olarak tek eksenli yükleme altında, sayısal modellerin enerji tüketmesi deneysel sonuçlardan fazla olduğu görülmüştür. Bu durum çift eksenli yükleme altında görülmemiştir. Enerjinin fazla hesaplanması dayanım kaybı etkisinin yetersiz modellenmesinden kaynaklanabilir olduğu düşüncesi ifade edilmiştir. Yazarlar betonarme kolonların çift eksenli doğrusal olmayan modellenmesinde birçok sorunun olduğunu vurgulamakta fayda olduğunu açıklamıştır. Bu çalışmada üç farklı yaklaşımın da dayanım kaybı başlayana kadar çevrimsel tepkisini doğru tahmin edildiği açıklanmıştır. Betonarme yapıların doğrusal olmayan analizlerinde büyük dönme talepleri için boy donatının daha titiz bir şekilde değerlendirerek, donatı burkulmasını daha doğru bir şekilde hesaba dahil edebilmesi için donatı malzeme modeli daha da geliştirilmesinin gerekli olduğu ifade edilmiştir. Bu durumun dayanım kaybını daha iyi yansıtacağı açıklanmıştır. Son olarak incelenen üç farklı modelleme yaklaşımı, deneysel verilerle

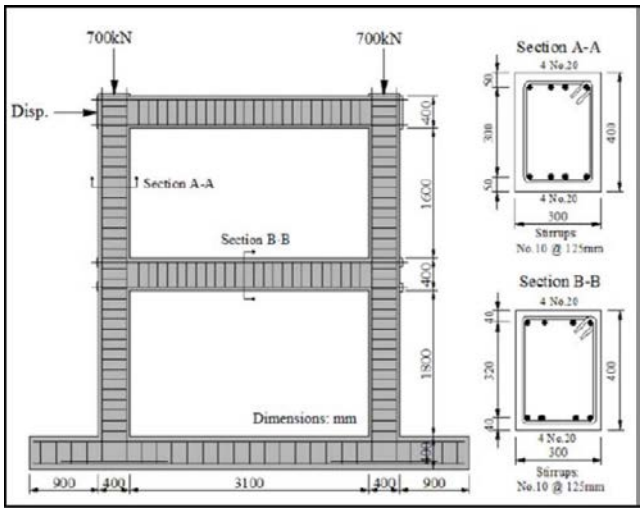
benzer sapmalar göstermektedir. Bundan dolayı yazarlar basit olduğu için yığılı mafsal modelinin kullanılmasını önermektedir.



Şekil 1.14. Rodigues ve Diğ. (2012) Örnek Bir Kolonun Çevrimsel Tepkileri

1.5.2. Lopez F. ve diğ. (2014)

Bu çalışmada Vecchio ve Emara (1992) tarafından deneyleri yapılan Şekil 1.15'deki [25], [26] tek açıklıklı ve iki katlı düzlem çerçevenin doğrusal olmayan modellemelerle simülasyonunun yapılması amaçlanmaktadır.



Şekil 1.15. Vecchio ve Emara (1992) Tarafından Deneyi Yapılan Çerçeve

Kuvvet yer değiştirme yasalarını, etkileşim yüzeyleri dikkate alınarak tanımlayan yığılı mafsallar [27], deprem mühendisliğinde yaygın olarak kullanılan SAP2000 ile modellenmiştir. Yığılı mafsalların özellikleri FEMA 356 2000 Tablo 6-7 ve Tablo 6-8'e göre belirlenmiştir. Yığılı mafsal modelinin en kritik kısmı mafsal özellikleri ve mafsalın konumudur. Moment ve P-M mafsalına ek olarak bir kesme mafsalı tanımlanabilir

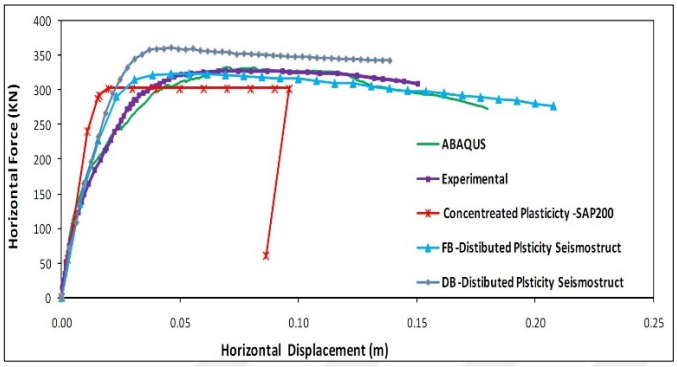
ancak bu mafsal diğer mafsallarla etkileşime girmez. Diğer bir deyişle, yığılı mafsallar için örneğin kolon içinde kesme mafsalının çalışmasının eksenel kapasite üzerinde hiçbir etkisi yoktur.

Yayılı plastiklik yaklaşımı, klasik olan yer değiştirme bazlı [28], [29] ve daha yeni olan kuvvet bazlı [30], [31] formüllü olmak üzere iki farklı yaklaşımla modellenebilir. Bu çalışmadaki yayılı mafsallar, her iki yayılı yaklaşımını da hesaplayabilen SeismoStruct yazılımı ile modellenmiştir. Çalışmada ilk model olan kuvvet bazlı yayılı mafsalı FB, ikinci model her betonarme elemanı beş sonlu eleman kullanarak yer değiştirme bazlı yayılı mafsalı DB ile sembolize edilmiştir. Analiz sonuçlarının hassasiyeti için her elemanın kesiti 250 fibere ve her eleman uzunluğu boyunca beş entegrasyon noktasına bölünmüştür. FB elemanlar için çözümün doğruluğu entegrasyon noktalarının sayısı veya elemanların sayısı arttırılarak iyileştirilebilir. DB elemanları için yalnızca elemanların (betonarme çubuğun sonlu eleman parçası) sayısı arttırılarak yapılabilir. Bu modelin temel sınırlaması kesme ve eğilme davranışının etkileşimli olmamasıdır. Beton davranışı için tek eksenli Mander sargılı [7] beton malzeme modeli kullanılmıştır. Çelik davranışı için tek eksenli model [23] ile izotropik sertleşmeyi dikkate alan [24] malzeme modeli kullanılmıştır. Bu model elastik sonrası bölgede burkulmayı tanımlayabilmektedir [32].

Mekanik bazlı süreklilik modeli, çubuk elemanlarda betonu, 3 boyutlu 8 noktalı ve altı yüzeyli katı sonlu elemanlar ile ayrıklaştırmaktadır. Donatı çubuklarını ise 2 noktalı eksenel eleman olarak temsil etmektedir. Beton davranışı Lee ve Fenves (1998) tarafından önerilen akma yüzeyinin modifikasyonları [33] ve çok eksenli plastik hasar (Lubliner ve diğ. 1989) modeli ile tanımlanmaktadır [34]. Çelik davranışı için normal plastite modelini kullanır. Beton ve çelik arasındaki aderansı *Gömülü Eleman Tekniği* ile tanımlamaktadır. Analiz, büyük yer değiştirmeler için yapılır ancak büyük birim şekil değiştirmeler için yapılmaz. Bu analizler ABAQUS kodunda yapılabilmektedir. Mekanik bazlı süreklilik modeli betonarme elemanların herhangi üç eksenli gerilme durumlarını göz önünde bulunarak tüm göçme modlarını ve tüm davranış kapasitelerini modeller. Yazarlar bu analiz modelini detaylı olarak açıklamışlardır [26].

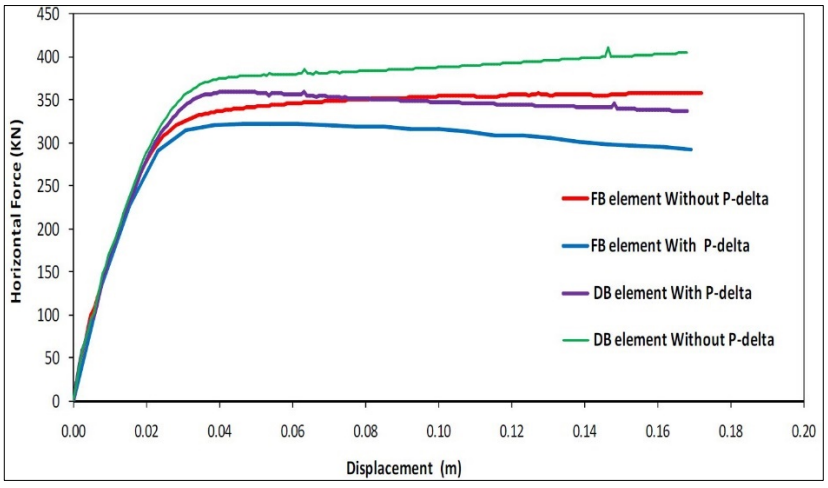
Analiz sonuçlarına bakıldığında Şekil 1.16.'de [26] görüleceği üzere sadece yığılı mafsal modelinin genel tepkiyi tahmin edemediği ifade edilmiştir. Çerçevenin nihai yer değiştirmesinin yarısında göçtüğü açıklanmıştır. Yayılı mafsal modellerin her ikisi de kiriş ve kolonlardaki ilk çatlaklardan sonra (ilk rijitlik bölgesinden sonra) yumuşama aşamasındaki rijitliği çok iyi yakalayamadığı açıklanmıştır. Süreklilik mekaniği modeli

çerçevenin genel davranışını çok iyi tahmin (İlk çatlaklardan sonra yumuşama, nihai kapasite, süneklik ve göçme durumu gibi davranışlar) etmiştir. Deneyde birinci katın kirişinde ilk çatlak oluşmuştur [25] ve bu modelin ilk çatlağı doğru tahmin ettiği ifade edilmiştir.



Şekil 1.16. Deneysel ve Farklı Plastisite Yaklaşımlarının Kapasite Eğrileri

Bu çalışmada yayılı mafsallar ile ilgili geometrik doğrusal olmayan davranışla ilgili daha fazla araştırma yapılmıştır. P-Δ etkisi dahil edilmeden, herhangi bir yumuşama olmadan daha fazla yanal kuvvete dayanabilir. Şekil 1.17.'den de [26] anlaşılacağı üzere yayılı mafsal modellerinde yumuşamanın ana sebebinin geometrik doğrusal olmama olduğu sonucuna varılabileceği açıklanmıştır. Sonuç olarak monotik yüklemeye tabi olan BA çerçevenin davranışını, basitleştirilmiş modellerin tahmin edemediği vurgulanmıştır. Yığılı mafsal modelinin ise plastik mafsalların hasar mekanizmasını doğru tahmin ettiği ancak hem nihai deplasman kapasitesini hem de nihai yanal kuvvet kapasitesine ulaşamadığı açıklanmıştır.



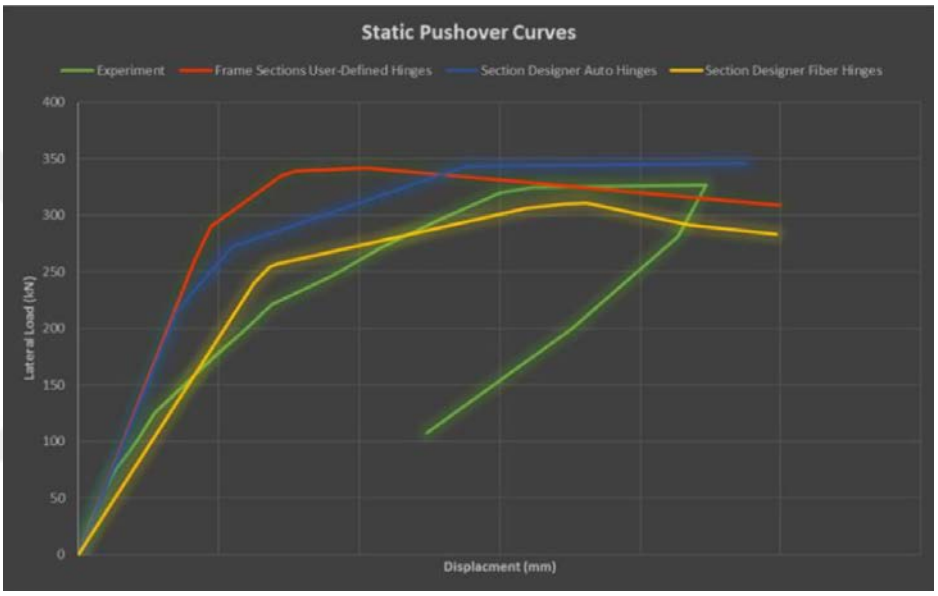
Şekil 1.17. Yayılı Mafsal Modellerde Geometrik Doğrusal Olmama Durumunun Dahil Edilip Edilmemesiyle İlgili Kapasite Grafikleri

FB formülasyonlu yayılı mafsal modeli nihai dayanıma ulaşmada ve gerçek performansla karşılaştırıldığında DB formülasyonlu yayılı mafsal modelinden daha iyi durumda olduğu ifade edilmiştir. Ayrıca yayılı modellerde en büyük yanal kuvvet kapasitesine ulaştıktan hemen sonra yatay platoya geçmesinin nedeni geometrik doğrusal olmama durumu olduğu açıklanmıştır. Yazarlar tarafından sürekli ortam mekaniğine dayalı model, deneysel betonarme çerçevenin performansını sergilemesi bakımından üstün özellik gösterdiği ifade edilmiştir [26].

1.5.3. Amir Salihovic ve Naida Ademovic (2017)

Amir Salihovic ve Naida Ademovic (2017) SAP2000 programında, Duong (2006) tarafından yapılan büyük ölçekli betonarme çerçevenin deney sonuçlarıyla kıyaslamak üzere üç adet doğrusal olmayan analiz için model oluşturmuştur. Duong (2006) deney sonuçlarını, Toronto Üniversitesi tarafından geliştirilen yazılım VecTor2'yi kullanarak deneyi yapılan betonarme çerçeveyi modellemiştir. VecTor2 betonarme membran yapılarının doğrusal olmayan sonlu elemanlar analizi için *Basınç Alan Teorisi*'ne dayalı bir programdır [35]. Amir Salihovic ve Naida Ademovic (2017) kullanıcı tanımlı yığılı mafsal, kesit tasarımı modülü ile oluşturulmuş oto yığılı mafsallar (FEMA 356 kriterlerine göre) ve fiber mafsallar ile oluşturduğu üç modelin itme eğrilerini deney sonuçları ve VecTor2 sonuçlarıyla kıyaslanmasını incelenmiştir. Kullanıcı tanımlı yığılı mafsallar için dikdörtgen kesitli çubuk elemanlar, diğer iki model için kesit tasarımı modülü ile oluşturan kesitlerle çubuk elemanlar tanımlanmıştır. Kullanıcı tanımlı yığılı mafsal modelinde kirişler için M3 mafsalı, kolonlar içinse P-M3 mafsalı tanımlanmıştır. Mafsalların Moment-Dönme grafiği ve sınır durumları FEMA 356'ya göre oluşturulmuştur. Kesit tasarımı modülü ile oluşturulmuş oto mafsal modelinde, kesit tasarımı aşamasında çekirdek beton alanı için sargılı mander beton modeli [7] ve beton paspayı alanı için sargısız beton modeli kullanılmıştır. Kesit modülü ile oluşturulan çubuk elemanlara FEMA 356'ya göre oto yığılı mafsallar atanmıştır. Fiber mafsallarla oluşturulan modelde, sargılı beton modeli, sargısız beton modeli ve donatı olmak üzere üç tip malzeme ile fiber kesit tanımlanmıştır. Kesit genişliği 300 mm ve yüksekliği 400 mm olan kesit için 12 donatı modeli fiberi, 36 sargısız beton modeli fiberi ve 80 sargılı beton modeli fiberi kullanılmıştır. Yapılan itme analizleri sonucunda, ilk olarak itme eğrilerinin tepe noktaları kıyaslanmıştır. Duong (2006) tarafından yapılan deney sonucunun itme eğrisi tepe noktası 327 kN ve VecTor2 yazılımıyla yapılan analizin itme eğrisi tepe noktası 371 kN' dur [35]. Amir Salihovic ve Naida Ademovic (2017) tarafından SAP2000 ile yapılan kullanıcı tanımlı plastik mafsal, kesit tasarımı modülüyle oto yığılı mafsal ve fiber mafsal sonuçları

sırasıyla 341 kN, 347 kN ve 311 kN olarak hesaplanmıştır. SAP2000 ile oluşturulan modellerin itme eğrisindeki tepe noktalarının deneysel tepe noktası değerine yakın olduğu sonucu çıkarılmıştır. Ayrıca SAP2000 modellerinin itme eğrileriyle deneysel itme eğrisi kıyaslanmış ve Şekil 1.18.'de [36] görüldüğü üzere yığılı mafsalların ilk rijitliklerinin ve akma dayanımlarının olduğundan daha fazla hesapladığı ancak fiber mafsalların malzeme gerilme-şekil değiştirme modellerini doğrudan kullandığı için akma öncesinde de doğrusal olmayan davranışın dikkate alındığı sonucu çıkarılmıştır. Optimum fiber sayısını yakalamak şartıyla fiber mafsalların deneysel sonuca daha yakın olduğu açıklanmıştır [36].

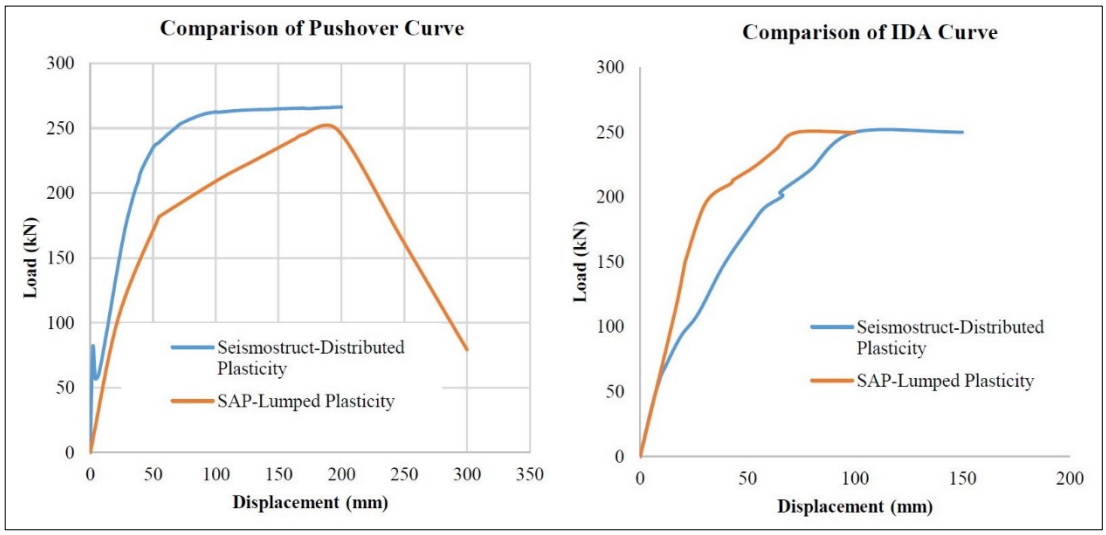


Şekil 1.18. Amir Salihovic ve Naida Ademovi (2018) Çalışmasına ait Deneysel ve SAP2000 Analiz Sonuçlarının Kıyaslanması

1.5.4. Saad Khan ve Fatima Khalid (2019)

Saad Khan ve Fatima Khalid (2019) SAP2000 programıyla yığılı mafsal davranışını ve SeismoStruct programıyla yayılı mafsal davranışını incelemiştir. Her iki yazılımda da çerçeve genişliği 12 ft ve kat yüksekliği 10 ft olan 3 katlı düzlem çerçeve, kirişler 8x8 inç ve kolonlar 8x24 inç olarak modellenmiştir. Çubuk elemanların donatı tasarımı ACI 318-99 yönetmeliği kullanılarak düşey yükler altında yapılmıştır. SeismoStruct programında yayılı mafsal, 3 ile 5 entegrasyon bölümüne ayrılmıştır. En kesit beton için sargılı mander beton modeli [7] ve donatı için iki doğrulu çelik malzeme modelinin kullanıldığı toplam 150 fiberden oluşturulmuştur. SAP2000'de yığılı mafsal özellikleri FEMA 356'nın varsayılan ayarlarına göre tanımlanmıştır. Aktif faya uzaklığı (R_{rup}) 0-200 km aralığında, deprem büyüklüğü 4.5 ile 5.5 aralığında olacak şekilde PEER (Pacific Earthquake Engineering Reseach) veri tabanı kullanılarak 7 adet deprem

seçilmiştir. Tüm deprem kayıtları bölgesi 2B ve zemin tipi SD olarak oluşturulan tepki spektrumu kullanılarak SeismoMatch yazılımında ölçeklendirilmiştir. İtme analizleri sonucunda Şekil 1.19.'de [37] görüldüğü üzere yayılı mafsal SeismoStruct itme eğrisinin, yığılı mafsal SAP2000 itme eğrisine göre akmaya kadar olan ilk rijitlik daha fazladır. Yığılı mafsal SAP2000 en büyük taban kesme değeri 252 kN ve yayılı mafsal SeismoStruct en büyük taban kesme değeri 266 kN'dur. Yayılı mafsal SeismoStruct itme eğrisinde akma öncesinde farklı çatlama noktaları görülmüş ve bu durumun akma öncesindeki tepkiyi ölçebilme açısından daha iyi olduğu açıklanmıştır. İtme eğrileri kıyaslandığından makul bir uyum içerisinde olduğu ifade edilmiştir. Zaman tanım alanında yapılan analizlerde her zaman adımı için en büyük taban kesme ve en büyük yer değiştirme artımlı olarak kaydedilmiş (itme eğrisiyle kıyaslayabilmek için) ve yedi yer hareketi sonuçlarının ortalamasıyla artımlı dinamik analiz eğrisi (IDA) oluşturulmuştur. Artımlı dinamik analiz eğrisi her iki modelde de başlangıçta aynı rijitliği verirken yayılı mafsal SeismoStruct rijitliği sonrasında göreli olarak azalmıştır. Dinamik analizler için her iki modelde de taban kesmeler oldukça uyumluyken kapasite tahminlerinin benzer olduğu ancak yığılı mafsalın rijitliğinin biraz fazla olduğu açıklanmıştır. Genel olarak dinamik analizlerin, itme analizlerine göre daya uyumlu ve taban kesmesinin daha küçük olduğu ifade edilmiştir. Yığılı mafsal SAP2000 sonucunun dinamik analizlerde daha rijit ancak itme analizlerinde yayılı mafsal SeismoStruct sonucunun daha rijit olduğu açıklanmıştır. Yazar ileride yapılacak analizlerle ilgili daha yüksek modları dikkate alan daha fazla sayıda analiz yapılmasını önermektedir [37].



Şekil 1.19. Saad Khan ve Fatima Khalid (2019) İtme Analizi (sol) ve Dinamik Analiz (sağ) Yük-Deplasman Grafikleri

1.6. Yığılı ve Yayılı Plastisite Yaklaşımlarının Kıyası

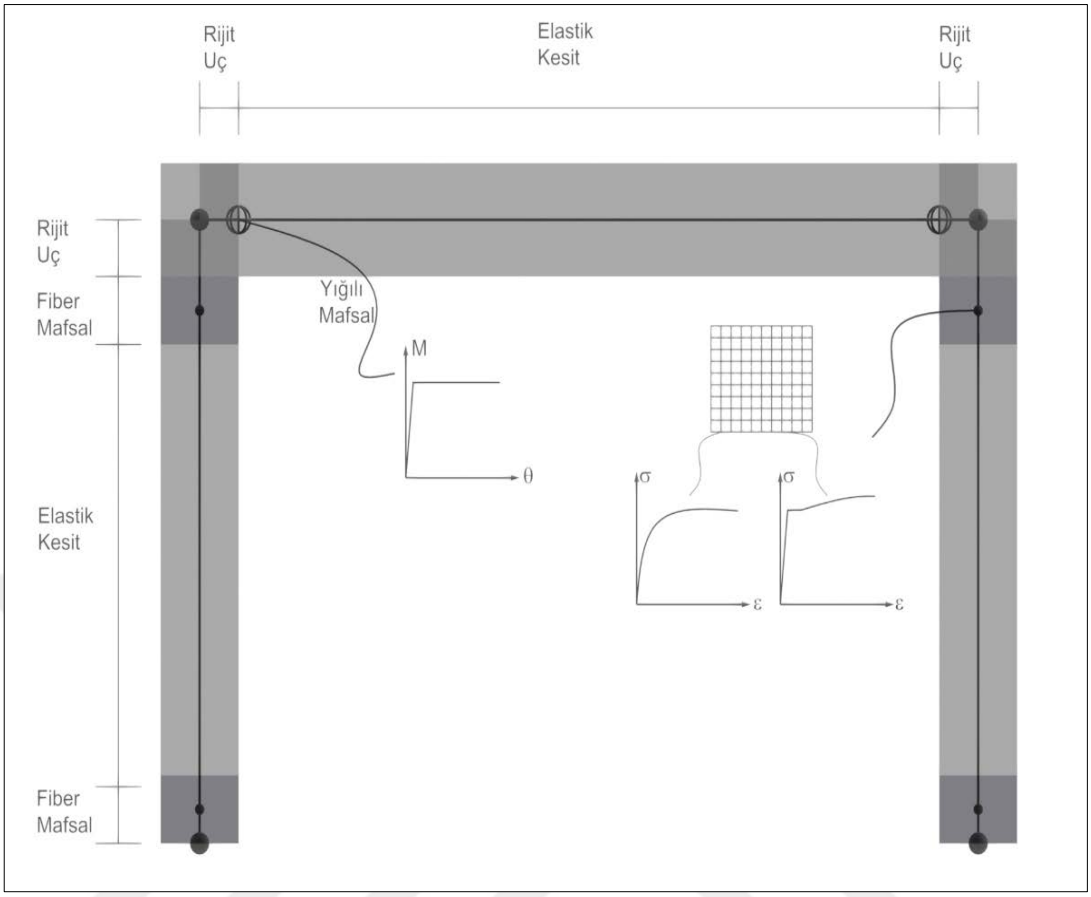
Sonlu uzunluklu plastisite (Yayılı mafsal) yaklaşımında, deformasyonlar mafsal uzunluğu boyuna entegre edildiğinden dolayı, yığılı mafsala göre akma dağılımını daha gerçekçi bir şekilde yakalamaktadır. Bu nedenle mafsal dönmelerinin hesaplanması kolaylaşmaktadır [8].

Fiber kesitlerin eleman boyunca entegrasyonuyla modellenmesi ve sonlu katı modellerle modellenmesi yaklaşımları diğer yaklaşımlara göre P-M davranışını doğrudan yakalar [8].

Yayılı plastisite modelleri (Şekil 1.7-c, Şekil 1.7-d, Şekil 1.7-e), kesit boyunca ve eleman boyunca gerilme-birim şekil değiştirme varyasyonlarını daha ayrıntılı modeller. Çeliğin burkulmasından kaynaklı mukavemet kaybı gibi önemli davranışları veya eğilme ve kesmenin doğrusal olmayan etkileşiminin karmaşık ve sayısal olarak yoğun modeller olmadan yakalaması zordur. Bu nedenle yığılı mafsallarla, moment-dönme ve çevrimsel eğrileriyle ilgili eleman test verileri kullanılarak kalibrasyon yoluyla elemanların doğrusal olmayan çevrimsel bozunmalarını hesaplamak daha uygun olabilir. Bu nedenle analiz modeli türlerini seçerken beklenen davranış, varsayımlar ve önerilen model türünün yaklaşımları gibi parametreleri anlamak önemlidir. Daha karmaşık formülasyonlar davranışın belirli yönlerini modellemek için daha iyi yetenekler sunarken, daha basit modeller ilgili özelliği aynı veya daha basit yaklaşımla daha etkili bir şekilde yakalayabilir [8].

Şekil 1.20'de görüldüğü üzere plastik mafsallar moment – dönme iskelet eğrisiyle sıfır uzunluklu tanımlanırken, fiber mafsallar her malzeme için ayrı ayrı gerilme – birim şekil değiştirme iskelet eğrileriyle sonlu uzunluklu tanımlanır. Bu nedenle çevrimsel davranış plastik mafsallarda moment-dönme ilişkisinde tanımlanır. Ancak fiber mafsallarda doğrudan malzeme modelleriyle tanımlanabilmektedir. Ayrıca plastik mafsallar sıfır uzunluklu olduğundan eleman rijitliğine doğrudan bir katkısı bulunmamaktadır. Fiber mafsalla doğrusal olmayan tanımlamada ise, malzemelerin başlangıç rijitliği ve elastik bölümün etkin rijitliğiyle birlikte tanımlanır.

Fiber mafsallar, plastik mafsallara göre gerçeğe daha yakın davranış sergilemektedir. Ancak fiber sayısına bağlı olarak analiz süresi ve hesaplaması çok daha yoğundur.



Şekil 1.20. Kirişler Yığılı (Plastik) Mafsal ve Kolonlar Fiber Mafsal Şematik Gösterimi

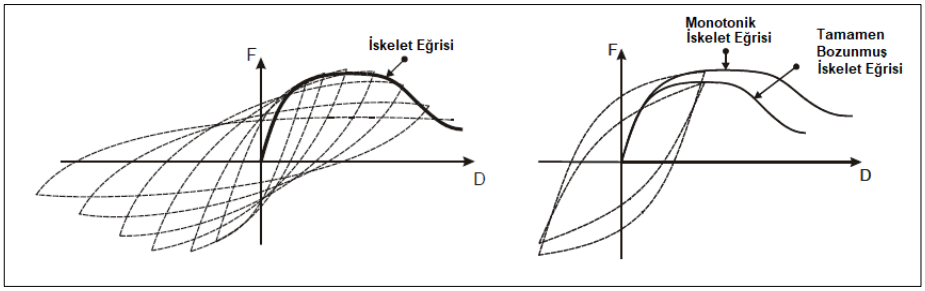
1.7. Tersinir Yüklemede Çevrimsel Model

Çevrimsel modeller, deprem gibi tersinir etkilerde, yüklemeyi ve yük boşaltılmasını göz önüne alır. Çevrimsel davranışla ilgili birçok çalışma yapılmış ve matematik modellerde kullanılan birçok çevrimsel model üretilmiştir. Çevrimsel davranıştaki her bir döngü alanı, harcanan enerjiyi temsil etmektedir.

Bu çalışmada beton malzemesinin ve yığılı mafsalın, çevrimsel davranışı için genelde kullanılan rijitlik bozunmasını dikkate alan Takeda Modeli [38] kullanılacaktır. Donatı çeliği için sünek metal davranışından dolayı standart çevrimsel model kullanılacaktır.

1.7.1. İskelet eğrisi

Şekil 1.21'de [39] görüldüğü üzere statik monotonik yükleme altında oluşturulan aksiyon-deformasyon ilişkisini temsil eden zarf eğrisidir. Aksiyon-deformasyon ilişkisi, malzeme için gerilme-birim şekil değiştirme iken mafsal tanımlamalarında kuvvet-deplasman olmaktadır. Ayrıca bu ilişki genel olarak idealleştirilerek elasto-plastik (iki doğrulu) veya pekleşmeli elasto-plastik (üç doğrulu) olarak modellenir.

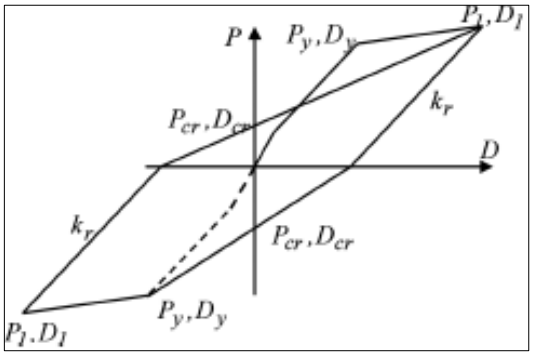


Şekil 1.21. İskelet (Zarf) Eğrisi

Çevrimsel modellerin hepsi iskelet eğri idealleştirmesi, yükleme ve boşaltma aşamasında rijitlik bozunmaları, yükleme-boşaltma eğrilerinin yönelimleri gibi farklılıklar içerir. Ancak tüm modeller iskelet eğrisi baz alınarak sayısal çözümler getirir.

1.7.2. Takeda Çevrimsel Davranış Modeli

Takeda ve diğ. (1970) çalışmasında iskelet eğrisini üç doğrulu olarak tanımlanmıştır. İlk parça çatlamamış kesit, ikinci parça çatlamış ve son parça akma sonrasını temsil etmektedir. Farklı yükleme ve boşaltma koşulları için farklı kurallar tanımlanmıştır. Şekil 1.22'de [38] görüldüğü üzere yeniden yükleme eğrisi, önceki boşaltma noktasına doğru yönelir. Akma sonrası için boşaltma rijitliği k_r ile ifade edilir. Denklem (1.12)'de açıklanmıştır.



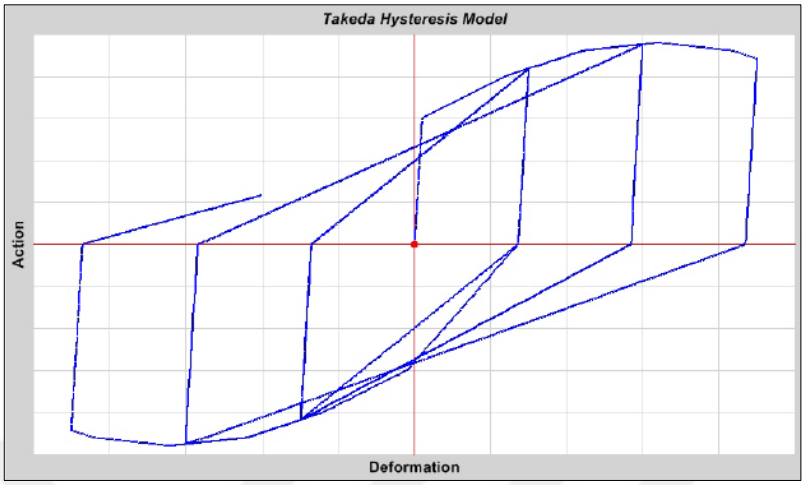
Şekil 1.22. Takeda Çevrimsel Modeli

$$k_r = k_y \left(\frac{D_y}{D_{max}}\right)^{0,4} \tag{1.12}$$

Burada k_y akma rijitliği, D_y ise akma deformasyonunu ifade etmektedir.

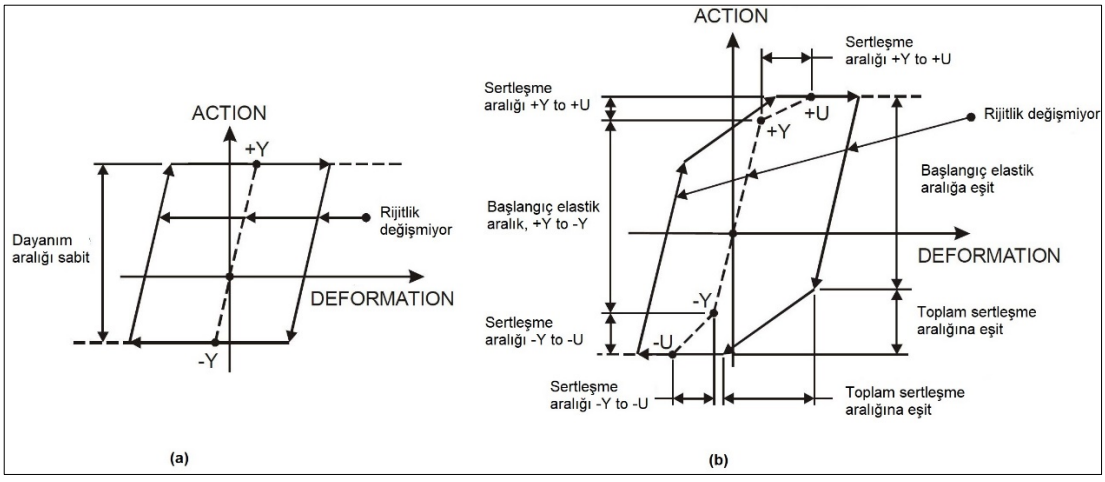
SAP2000 yazılımında malzeme ve yığılı mafsal tanımlamalarında birçok çevrimsel model kullanıcı seçimine bırakılmıştır. Çevrimsel model seçimi yapılır ve ek parametre

gerekmez. Yazılımda Takeda Modelinin, artımsal çevrim yükü altındaki aksiyon-deformasyon ilişkisi Şekil 1.23'de [17] gösterilmiştir.



Şekil 1.23. SAP2000-Artımsal Çevrim Yükü Altında Takeda Çevrimsel Modeli

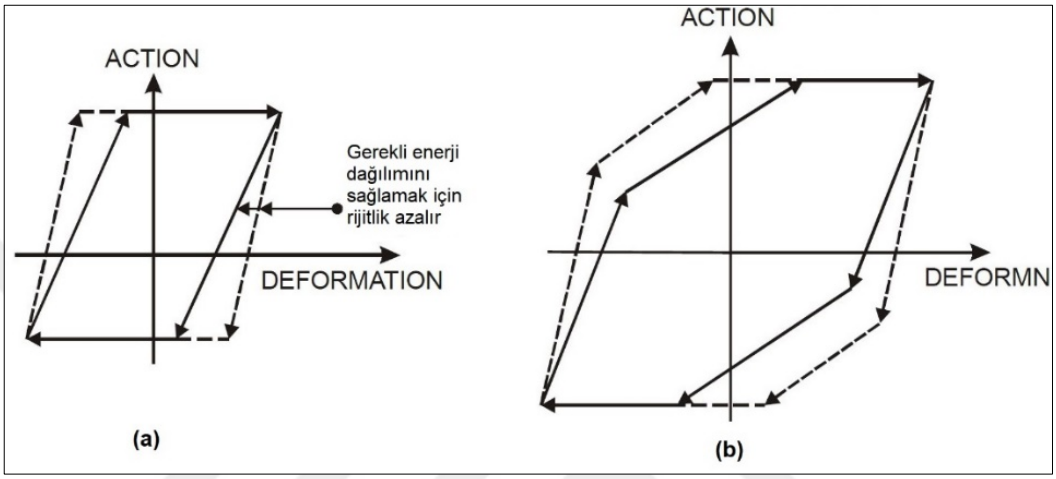
PERFORM-3D yazılımı çevrimsel modellemeyi birçok formda oluşturabilir. Ancak tüm olası şekilleri modellememektedir [4]. Yazılımda modellerin seçimi değil, kullanıcı tanımlı aksiyon-deformasyon eğrisi ve enerji faktörleriyle çevrimsel davranış modellenir. Bu çalışmadaki elasto plastik veya üç doğrulu iskelet eğrileri dayanım kaybı olmaksızın oluşturulmuştur. Şekil 1.24'de [4] bozunma olmayan çevrimsel döngü, elasto plastik ve üç doğrulu aksiyon-deformasyon ilişkisine göre gösterilmiştir.



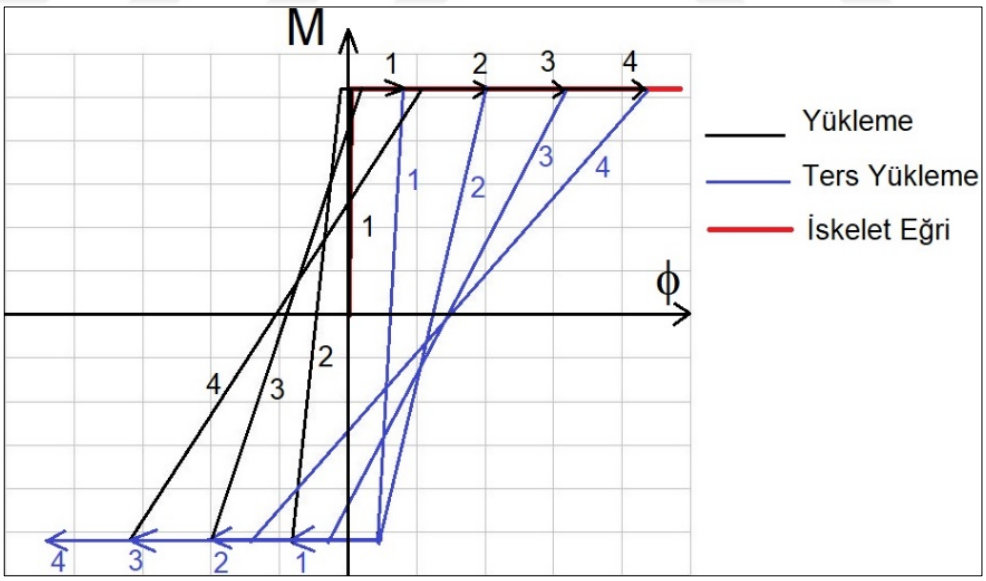
Şekil 1.24. PERFORM-3D Bozunma Olmayan Döngü: (a) Elasto Plastik Davranış için; (b) Üç Doğrulu Davranış için

Tipik tek eksenli aksiyon-deformasyon ilişkisinde, maksimum deformasyonu ile buna karşılık gelen enerji bozunma faktörü arasında bir ilişki belirlenir. Bu enerji bozunma faktörü, bozunmuş döngü alanının bozunmamış döngü alanına oranıyla belirlenir.

Enerji faktörü çarpanıyla birlikle birbirine eşitlenecek alanlar, yükleme ve boşaltma eğrilerinin rjitliklerini değiştirerek belirlenir. Şekil 1.25'de [4] rijitlik bozunması oluşan döngünün, elasto plastik ve üç doğrulu aksiyon-deformasyon ilişkisi şematik olarak gösterilmiştir [4]. Ayrıca örnek bir kesit için elasto plastik ilişkiyle tanımlanan simetrik moment mafsalındaki çevrimsel davranış, rijitlik bozunması dikkate alınarak Şekil 1.26'da şematik olarak gösterilmiştir.



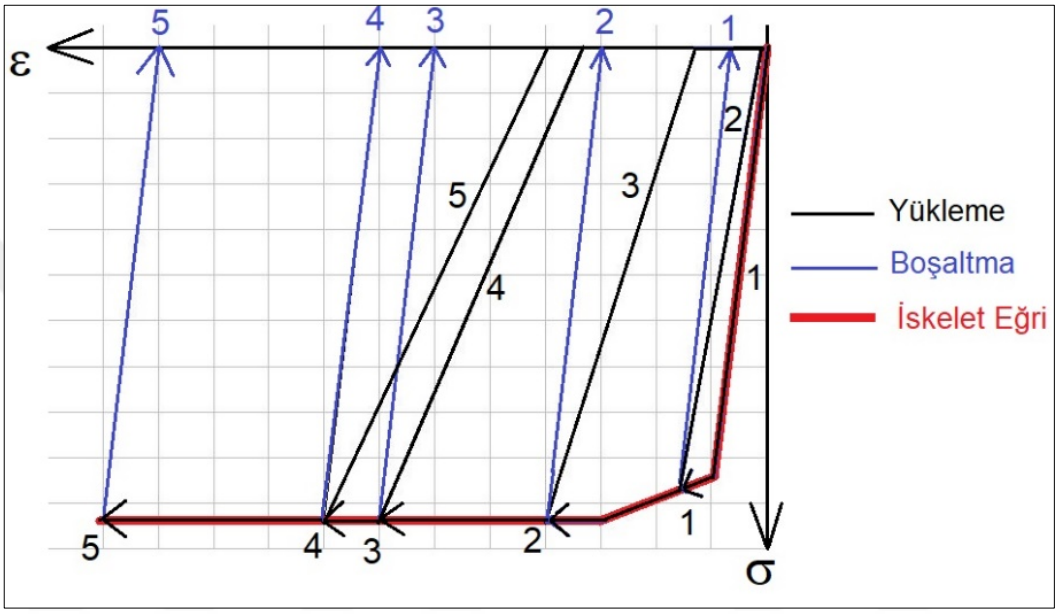
Şekil 1.25. PERFORM-3D Bozunan Döngü: (a) Elasto Plastik Davranış için; (b) Üç Doğrulu Davranış için



Şekil 1.26. Örnek Kesitin M-F İlişkisi için Rijitlik Bozunması Dikkate Alınarak Hazırlanan Şematik Çevrimsel Davranış

Yazılımda elastik olmayan tek eksenli beton malzemesinin çevrimsel davranışı $\sigma-\varepsilon$ ilişkili, elasto plastik veya üç doğrulu (pekleşmeli elasto plastik) iskelet eğrisiyle tanımlanabilmektedir. Yukarıda açıklanan tipik tek eksenli aksiyon-deformasyon

ilişkisi için tanımlanan çevrimsel davranıştan farklı olarak, basınçtaki beton fiberinin boşaltma rijitliği her zaman ilk elastik rijitliğe eşittir. Harcanan enerji, yeniden yükleme rjitliğinin değişimiyle tanımlanır [4]. PERFORM-3D yazılımında tek eksenli beton malzemesinin üç doğrulu iskelet eğrisiyle çevrimsel davranışı, rijitlik bozunması dikkate alınarak Şekil 1.27'da örnek bir beton malzemesiyle şematik olarak gösterilmiştir.



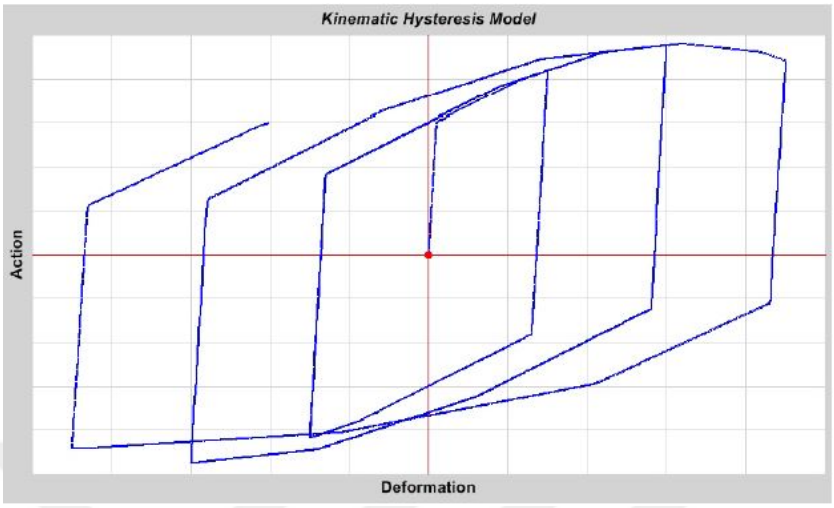
Şekil 1.27. Örnek Beton Malzemesi için Rijitlik Bozunması Dikkate Alınarak Hazırlanan Şematik Çevrimsel Davranış

1.7.3. Standart Donatı Çeliği Çevrimsel Davranış Modeli

Çelik malzemesi, beton veya betonarme davranışına göre sünek ve homojen malzeme olduğundan aksiyon-deformasyon ilişkisinin tahmin edilmesi daha kolaydır. Donatı çeliğindeki burkulma davranışının ihmal edildiği durumlarda, basınç ve çekme birim şekil değiştirmeleri için simetriktir. Bu çalışmada, burkulması önlenmiş donatı çeliği malzeme modelleri kullanılmıştır. Tanımlanan iskelet eğrisinde izotropik sertleşme dikkate alınmaktadır.

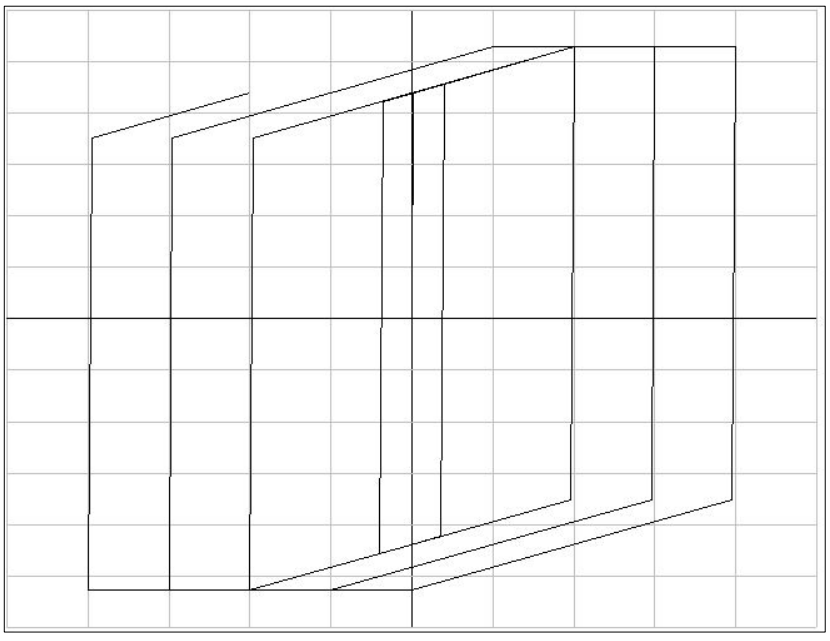
SAP 2000 yazılımında, metaller için Şekil 1.28'deki [17] Kinematik Çevrimsel model önerilmektedir. Bu model Takeda Modelinin temelini oluşturmaktadır. Yükleme ve ters yükleme eğrileri, başlangıç rijitliğine paralel ve aynı uzunlukta oluşturulur. Her bir yükleme ve ters yükleme eğrisi iskelet eğrisinin formuyla iskelet eğrisine katılmaya yönelimlidir. Bu modelde rijitlik bozunması olmadığından çevrimsel döngülerde daha

fazla enerji sönümleme alanı oluşur. Yazılımda çevrimsel model seçimi yeterli olup ek bir parametre gerekmez [17].



Şekil 1.28. SAP2000-Artımsal Çevrim Yükü Altında Kinematik Çevrimsel Modeli

PERFORM 3D yazılımında standart çelik davranışı için burkulması önlenmiş doğrusal olmayan malzemeyle çevrimsel model oluşturulmuştur. İzotropik sertleşmeyi dikkate almak için gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi üç doğrulu (pekleşmeli elasto plastik) olarak oluşturulmuştur. Oluşturulan iskelet eğrisi dayanım kaybını dikkate almamaktadır. Örnek donatı çeliği malzemesi için standart çeliğin rijitlik bozunması olmaksızın çevrimsel davranışı Şekil 1.29'da [4] şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 1.29. Örnek Donatı Çeliği Malzemesi için Hazırlanan Şematik $\sigma-\varepsilon$ İlişkili Çevrimsel Davranış

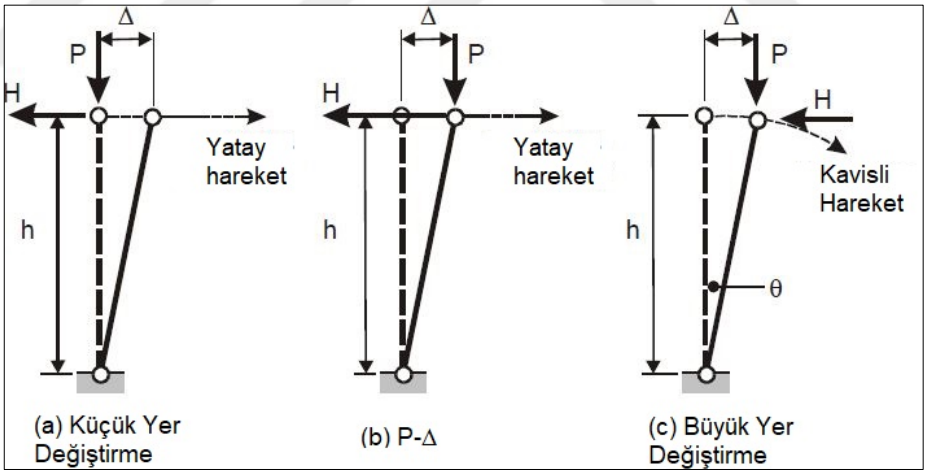
1.7.4. TBDY 2018'de Çevrimsel Davranış Modeli

Yığılı plastik davranış ile modellenen, zaman tanım alanında yapılacak doğrusal olmayan analizlerde, kuvvet-deplasman ilişkilerinde (M-ϕ), çevrimsel modeller kullanılabilir. Çelik taşıyıcı sistemler için standart elasto plastik çevrimsel model ve betonarme taşıyıcı sistemler için önceki maksimuma yönelimli model veya çevrim için rijitlik azalmasına olanak sağlamak üzere ondan türetilmiş modeller kullanılabilir [2].

Yayılı plsatik davranış ile modellenen, zaman tanım alanında yapılacak doğrusal olmayan analizlerde, beton ve çelik fiberler için tanımlanan gerilme-birim şekil değiştirme (σ–ε) ilişkilerinde, çevrimsel davranışı hesaba katan genel kabul görmüş modeller kullanılacaktır [2].

1.8. Geometrik Doğrusal Olmama (P-Δ)

Geometrik doğrusal olmama durumu, yapının veya elemanın deforme olmuş şekliyle yerçekimi (düşey) kaynaklı yüklerden oluşmaktadır. Bu durum ilave gerilmelere yol açmaktadır.



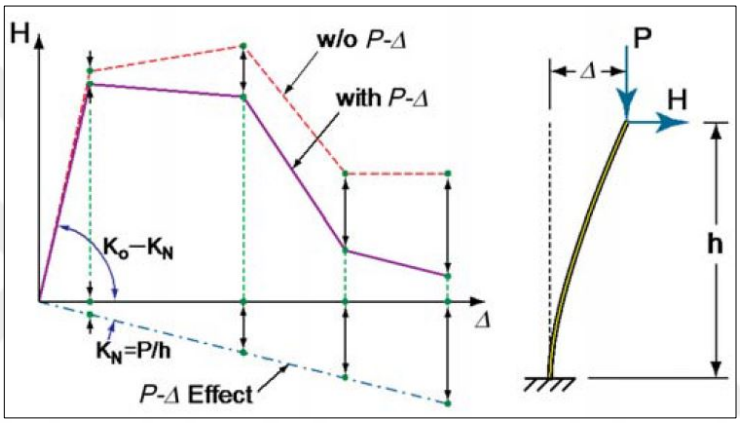
Şekil 1.30. Geometrik Doğrusal Olmama

Küçük yer değiştirmeler teorisi (Şekil 1.30 – a), elemanın tepe noktasının yatay olarak hareket ettiğini kabul eder. Çubuk uzantısının sıfır olduğunu öngören küçük yer değiştirmeler geometrisidir. Denge denklemi başlangıç konumunda olduğundan, Δ'nın tüm değerleri için H kuvveti sıfırdır [4].

P-Δ teorisi (Şekil 1.30 – b), elemanın tepe noktasının yatay olarak hareket ettiğini ve çubuk uzantısının sıfır olduğunu kabul eder. Denge denklemi deforme olmuş konumda olduğundan H = PΔ / h ile hesaplanır [4].

Büyük yer değiştirmeler teorisi (Şekil 1.30 – c), elemanın tepe noktasının kavisli şekilde hareket ettiğini, böylece hem dikey hem de yatay olarak hareket ettiğini ve bu nedenle çubuk uzantısının gerçekten sıfır olduğunu kabul eder. Denge denklemi deforme olmuş konumda olduğundan H = PΔ / h.cosθ ile hesaplanır [4].

Geometrik doğrusal olmama dikkate alınacaksa her zaman P-Δ analizini kullanmak yeterince doğrudur. Yalnızca kablo yapıları gibi çok esnek yapılar için büyük yer değiştirme analizi kullanmak gerekir. P-Δ analizi, büyük yer değiştirme analizine göre hesaplama açısından daha verimlidir. Birçok yapı için gerçek büyük yer değiştirmeleri hesaba katmak bilgisayar zamanı kaybıdır [40].



Şekil 1.31. P-Δ etkisi Olan (With) ve Olmayan (w/o) Durumda Kuvvet-Deformasyon Eğrisi

Şekil 1.31'da [41], [8] gösterilen P-Δ etkileri olan ve olmayan bir konsol kolonun idealize edilmiş taban kesme grafiğidir. Yerçekimi yükü büyükse, rijitlik azalması (K_N ile gösterilir) yanal dayanım kaybına ve stabil olmama durumuna katkıda bulunur. Bu nedenle P-Δ etkisi ister statik ister dinamik olsun, analizlerde doğrudan dikkate alınmalıdır. Bu, tüm binanın yerçekimi yüklerinin analizde bulunması gerektiği ve yapısal modelde uygun P-Δ analiz tekniklerinin tanıtılması gerektiği anlamına gelir (Wilson 2002; Powell 2010). ASCE 7 doğrusal olmayan sismik analizler için 1,0D + 0,5L kombinasyonu kadar bir yerçekimi yükü belirtir [8].

2. BETONARME YAPILARIN DOĞRUSAL OLMAYAN YÖNTEMLE PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

Bu bölümde TBDY 2018 yönetmeliği kapsamında doğrusal olmayan yöntemle performans değerlendirilmesi, yönetmelikte Bölüm-2, Bölüm-3, Bölüm-5 ve Bölüm-15 sıralamasıyla açıklanmıştır. İlk olarak sayısal analizlerde kullanılacak olan deprem yükleri için deprem yer hareketlerinin tanımlanması (TBDY 2018 Bölüm-2) açıklanmıştır. Daha sonra ilgili deprem yer hareketi düzeyi için bina türüne göre performans hedefini belirlemek için deprem etkisi altında binaların değerlendirilmesi (TBDY 2018 Bölüm-3) yapılmıştır. Sonrasında doğrusal olmayan performans değerlendirmesi için şekil değiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım (Ş.G.D.T) esasları (TBDY 2018 Bölüm-5) ve söz konusu esaslarla mevcut binalar için değerlendirme (TBDY 2018 Bölüm-15) açıklanmıştır.

Bu çalışma kapsamında gerçek deprem kayıtlarıyla, zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi kullanılarak performans değerlendirilmesi yapılacaktır. Alt bölümlerdeki açıklamalar bu yönteme göre zenginleştirilmiştir.

2.1. Deprem Yer Hareketlerinin Tanımlanması

2.1.1. Deprem yer hareketi düzeyleri

TBDY 2018'de 4 farklı deprem yer hareketinin tanımı yapılmıştır. Bu depremlerin spektral büyüklüklerinin 50 yılda aşılma olasılıkları ve buna karşı gelen tekrarlanma periyotları Tablo 2.1.'de [2] verilmiştir. DD-2 deprem yer hareketi, standart tasarım deprem yer hareketidir.

Tablo 2.1. Deprem Yer Hareketi Düzeyleri

Deprem Yer Hareketi Düzeyi	Tekrarlanma Periyodu (yıl)	50 Yılda Aşılma Olasılığı (%)	Niteliği
DD-1	2475	2	Çok Seyrek
DD-2	475	10	Seyrek
DD-3	72	50	Sık
DD-4	43	68	Çok sık

2.1.2. Standart deprem yer hareketi spektrumları

2.1.2.1. Yerel zemin sınıflarının belirlenmesi

TBDY-2018'de Madde 16.4'teki esaslara göre belirlenen yerel zemin sınıfları, Tablo 2.2'de verilmiştir [2].

Tablo 2.2. Yerel Zemin Sınıfları

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	Üst 30 metrede ortalama		
		$(V_s)_{30}$ [m/s]	$(N_{60})_{30}$ [darbe/30 cm]	$(c_u)_{30}$ [kPa]
ZA	Sağlam, sert kayalar	>1500	-	-
ZB	Az ayrışmış, orta sağlam kayalar	760-1500	-	-
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrışmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	360-760	>50	>250
ZD	Orta sıkı – sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	180-360	15-50	70-250
ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak – katı kil tabakaları veya PI > 20 ve w > %40 koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası (c_u < 25 kPa) içeren profiller	<180	<15	<70
ZF	Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler: 1) Deprem etkisi altında çökme ve potansiyel göçme riskine sahip zeminler (sıvılaşabilir zeminler, yüksek derecede hassas killer, göçebilir zayıf çimentolu zeminler vb.), 2) Toplam kalınlığı 3 metreden fazla turba ve/veya organik içeriği yüksek killer, 3) Toplam kalınlığı 8 metreden fazla olan yüksek plastisiteli (PI >50) killer, 4) Çok kalın (> 35 m) yumuşak veya orta katı killer			

2.1.2.2. Harita spektral ivme katsayıları ve tasarım spektral ivme katsayıları

Harita spektral ivme katsayıları kısa periyot (S_S) ve 1,0 saniye periyot (S_1) olmak üzere deprem yer hareketi düzeyine bağlı olarak Türkiye Deprem Tehlike Haritasında boyutsuz katsayılar olarak tanımlanmıştır. Bu katsayılar Denklem (2.1) ve Denklem (2.2)'de görüldüğü üzere, yerel zemin katsayılarıyla (F_s, F_1) çarpılarak tasarım spektral ivme katsayıları (S_{DS}, S_{D1}) elde edilir [2].

$$S_{DS} = S_S F_S \tag{2.1}$$

$$S_{D1} = S_1 F_1 \tag{2.2}$$

2.1.2.3. Yerel zemin etki katsayıları

Yerel zemin sınıflarına bağlı olarak belirlenen kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı (F_S) ve 1,0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayısı (F_1) Tablo 2.3 ve Tablo 2.4.'deki ara değerler için doğrusal enterpolasyonla belirlenebilir [2].

Tablo 2.3. Kısa Periyot Bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayıları

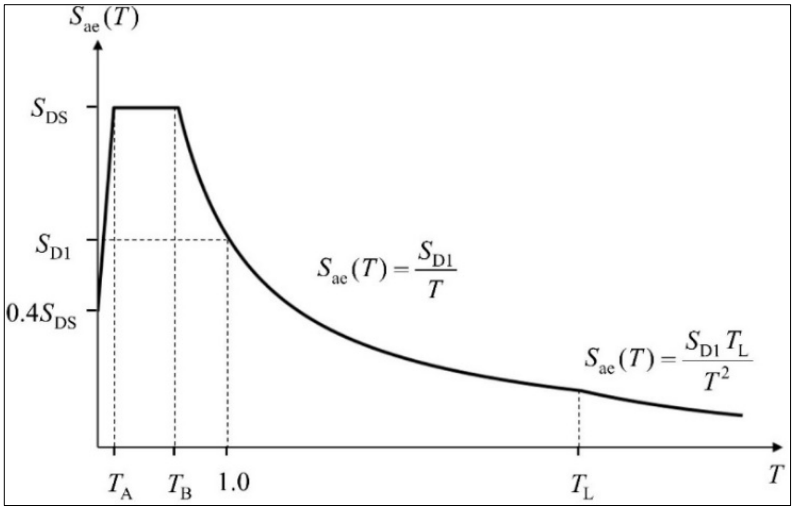
Yerel Zemin Sınıfı	Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_s					
	$S_S \leq 0,10$	$S_S = 0,20$	$S_S = 0,30$	$S_S = 0,40$	$S_S = 0,50$	$S_S \geq 0,60$
ZA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
ZB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
ZC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
ZD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
ZE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır (Bkz. TBDY 2018 16.5)					

Tablo 2.4. 1,0 Saniye Periyot için Yerel Zemin Etki Katsayıları

Yerel Zemin Sınıfı	1,0 saniye periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_1					
	$S_1 \leq 0,10$	$S_1 = 0,20$	$S_1 = 0,30$	$S_1 = 0,40$	$S_1 = 0,50$	$S_1 \geq 0,60$
ZA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
ZB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
ZC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
ZD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
ZE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır (Bkz. TBDY 2018 16.5)					

2.1.2.4. Yatay elastik tasarım spektrumu

Yatay elastik tasarım spektrumu herhangi bir yer hareketi düzeyi için tasarım spektral katsayılarına ve periyoda bağlı olarak Şekil 2.1.'de [2] gösterildiği gibi ordinatı yerçekimi ivmesi (g) cinsinden yatay elastik tasarım spektrumu (S_{ae}) olan grafik ile elde edilir. Yatay elastik tasarım spektrumu S_{ae}'nin periyotla ilişkisi Denklem (2.3)'te tanımlanmıştır.



Şekil 2.1. Yatay Elastik Tasarım Spektrumu

$$
\begin{aligned}
S_{ae}(T) &= \left(0{,}4 + 0{,}6\frac{T}{T_A}\right)S_{DS} && (0 \le T \le T_A)\\
S_{ae}(T) &= S_{DS} && (T_A \le T \le T_B)\\
S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1}}{T} && (T_B \le T \le T_L)\\
S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1}T_L}{T^2} && (T_L \le T)
\end{aligned}
\qquad (2.3)
$$

Denklem (2.3)'ün kullanım aralığını belirleyen köşe periyotları T_A ve T_B ile sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu T_L Denklem (2.4)'te tanımlanmıştır.

$$
\begin{aligned}
T_A &= 0{,}2\frac{S_{D1}}{S_{DS}}\\
T_B &= \frac{S_{D1}}{S_{DS}}\\
T_L &= 6
\end{aligned}
\qquad (2.4)
$$

2.1.3. Zaman tanım alanında deprem yer hareketlerinin tanımlanması

2.1.3.1. Deprem Kayıtlarının Seçimi

"Bina taşıyıcı sistemlerin zaman tanım alanında deprem hesabında kullanılacak deprem kayıtlarının seçimi, tasarıma esas deprem yer hareketi düzeyi ile uyumlu deprem büyüklükleri, fay uzaklıkları, kaynak mekanizmaları ve yerel zemin koşulları dikkate alınarak yapılacaktır. Binanın bulunduğu bölgede tasarıma esas deprem yer hareketi düzeyi ile uyumlu geçmiş deprem kayıtlarının mevcut olması durumunda öncelikle bu kayıtlar kullanılacaktır" [2].

Yukarıdaki parametrelerle bulunan deprem kaydı veya deprem kaydı takımlarından en az on bir tane olmak üzere seçim yapılmalıdır. Deprem kaydı seçiminde kaynak depremi aynı olan bir kayıttan en fazla üç adet kullanılabilir [2].

2.1.3.2. Deprem kayıtlarının basit ölçeklendirme yöntemi ile ölçeklendirilmesi

Zaman tanım alanında yapılacak analizlerde, seçilen deprem kayıtlarının ölçeklendirilmesi basit ölçeklendirme yöntemi ile yapılabilir.

Bir veya iki boyutlu hesaplar için, seçilen deprem kayıtlarının davranış spektrumlarının ortalaması, aynı periyot adımında yatay elastik tasarım spektrum veya sahaya özel elastik spektrum değerlerine oranı en az 1,0 olacaktır.

Üç boyutlu hesaplarda her deprem kaydı için iki yatay bileşeninin davranış spektrumlarıyla, kareleri toplamının karekökü işlemiyle bileşke spektrumlar elde edilecektir. Seçilen deprem kayıtlarının bileşke davranış spektrumlarının ortalaması, $0{,}2T_p$ ile $1{,}5T_p$ periyot aralığı için, aynı periyot adımında yatay elastik tasarım spektrum veya sahaya özel elastik spektrum değerlerine oranı en az 1,3 olacaktır. İki yatay bileşen için aynı ölçek katsayısı kullanılacaktır.

2.1.3.3. Literatürde deprem kayıtlarının zaman tanım alanında ölçeklendirilmesi

Deprem yer hareketi kaydının frekansını değiştirmeden tüm kaydı aşağı ve yukarı öteleyecek ölçek katsayıları kullanılır. Bu yöntemde, deprem yer hareketi davranış spektrumu ile tasarım spektrumunun arasındaki fark, en küçük kareler tekniğiyle küçültülür. Gerçek deprem kaydıyla hedef spektrum değerlerinin farkının integraliyle hesaplanan “Fark” denkleminden türetilen ölçekleme katsayısı (α), Denklem (2.5)’de tanımlanmıştır [42].

$$\alpha = \frac{\sum_{T=T_A}^{T_B} \left(S_a^{gerçek}(T)\, S_a^{hedef}(T) \right)}{\sum_{T=T_A}^{T_B} \left(S_a^{gerçek}(T) \right)^2} \tag{2.5}$$

α : Doğrusal ölçekleme katsayısı

$S_a^{gerçek}$: Gerçek deprem kaydının ivme spektrumu

S_a^{hedef} : Davranış spektrumu

T : Titreşim periyodu

T_A : Ölçekleme yapılacak periyot aralığı alt sınırı

T_B : Ölçekleme yapılacak periyot aralığı üst sınırı

Fahjan (2008) çalışmasında, birden fazla deprem kaydının kullanılması durumunda ölçeklemeyle ilgili farklı yaklaşımlara sahip üç yöntem önerilmektedir;

1- Bütün deprem kayıtlarından tek bir ölçekleme katsayısı kullanılarak elde edilen gerçek spektrum ortalamasının, tasarım spektrumu ile uyumu aranır. Bu yöntemde, ölçek katsayısıyla hesaplanan gerçek spektrumların ortalaması, tasarım spektrumuna uygun olur ancak her kayıt için aynı ölçekleme katsayısı kullanılır.
2- Her bir deprem kaydı için ayrı ayrı Denklem (2.5) uygulanıp, ölçeklenmiş deprem kayıtlarının ortalaması alınır. Her biri için ayrı ayrı ölçeklenme katsayısı bulunmasına rağmen, tasarım spektrumu ile çok iyi bir eşleşme beklenmez.
3- Bütün deprem kayıtlarının spektrum ortalaması ile tasarım spektrumu arasında uyum aranır. Deprem kayıt sayısı kadar türev alınarak, deprem kayıt sayısı kadar denklem çözümüyle optimum ölçekleme katsayısı bulunur. Buna rağmen her bir deprem kaydı için bulunan ölçekleme katsayısı, pozitif veya negatif olmak üzere çok büyük veya çok küçük değerler hesaplanabilir [42].

Doğrusal olmayan zaman tanım alanında yapılacak, deprem kayıtlarının seçiminde ölçekleme katsayısının (α), 0,5 ile 2,0 arasında olması önerilir. Ayrıca deprem kayıtları arasından yapılacak seçimlerde, Denklem (2.8)'deki "Oransal Göreceli Hata" değeri en küçük olan kayıtlar kullanılmalıdır [42].

$$\text{(Toplam Göreceli Hata)} = \sum_{T_A}^{T_B} \left| \frac{\alpha\, S_a^{gerçek}(T) - S_a^{hedef}(T)}{S_a^{hedef}(T)} \right| \tag{2.6}$$

$$k = \frac{T_B - T_A}{\Delta T} \tag{2.7}$$

$$\text{(Oransal Göreceli Hata \%)} = \text{(Toplam Göreceli Hata)} .100 / k \tag{2.8}$$

2.2. Deprem Etkisi Altında Binaların Değerlendirilmesi

TBDY 2018'de bina performans hedeflerinin belirlenebilmesi için bina kullanım, deprem tasarım ve bina yükseklik sınıflarının belirlenmesi gerekmektedir.

2.2.1. Bina kullanım sınıfı

Tablo 2.5.'te [2] görüldüğü üzere yönetmelik binanın kullanım amacına göre üç adet bina kullanım sınıfı (BKS) tanımlamıştır. Bina kullanım sınıflarına (BKS) bağlı olarak bina önem katsayıları (I) belirtilmiştir [2].

Tablo 2.5. Bina Kullanım Sınıfları ve Bina Önem Katsayıları

Bina Kullanım Sınıfı	BKS = 1	Bina Önem Katsayısı (I)
BKS = 1	Deprem sonrası kullanımı gereken binalar, insanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar, değerli eşyanın saklandığı binalar ve tehlikeli madde içeren binalar	1,5
	a) Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları).	
	b) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb.	
	c) Müzeler.	
	d) Toksin, patlayıcı, parlayıcı, vb özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar.	
BKS = 2	İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar	1,2
	Alışveriş merkezleri, spor tesisleri, sinema, tiyatro, konser salonları, ibadethaneler, vb.	
BKS = 3	Diğer binalar	1,0
	BKS=1 ve BKS=2 için verilen tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb.)	

2.2.2. Deprem tasarım sınıfı

Yönetmelik'te DD-2 deprem yer hareketi düzeyine göre belirlenen kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısına ve bina kullanım sınıfına bağlı olarak Tablo 2.6'da dört adet deprem tasarım sınıfı (DTS) tanımlanmıştır [2].

Tablo 2.6. Deprem Tasarım Sınıfları (DTS)

DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyinde Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı (S_{DS})	Bina Kullanım Sınıfı	
	BKS = 1	BKS = 2,3
$S_{DS} < 0,33$	DTS = 4a	DTS = 4
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	DTS = 3a	DTS = 3
$0,50 \leq S_{DS} < 0,75$	DTS = 2a	DTS = 2
$0,75 \leq S_{DS}$	DTS = 1a	DTS = 1

2.2.3. Bina tabanı ve bina yüksekliği

Bodrumlu binalarda hem üç tarafından veya tamamında çevre perdesi bulunmaz hem de $T_{p,tüm} < 1,1T_{p,üst}$ koşulu sağlamazsa bina tabanı temel üst kotunda tanımlanır. Burada $T_{p,tüm}$ bodrum katlar dahil bina titreşim periyodu $T_{p,üst}$ ise bodrum kat kütleleri hariç bina titreşim periyodudur. Bu koşulların sağlanması durumunda bina tabanı, bodrum katın üstündeki döşeme seviyesinde tanımlanır. Bodrumsuz binaların da bina tabanı temel üst kotunda tanımlanır. Bina yüksekliği H_N deprem hesabı için bina tabanından itibaren ölçülen yüksekliktir [2].

2.2.4. Bina yükseklik sınıfı

Deprem tasarım sınıflarına ve bina yüksekliğine bağlı olarak bina yükseklik sınıfı (BYS) belirlenmektedir. Tablo 2.7'da belirtilen bina yükseklik sınıfların BYS=1 olan binalar yüksek yapılar olarak değerlendirilmektedir [2].

Tablo 2.7. Bina Yükseklik Sınıfları ve Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları

Bina Yükseklik Sınıfı	Bina Yükseklik Sınıfları ve Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları [m]		
	DTS = 1, 1a, 2, 2a	DTS = 3, 3a	DTS = 4, 4a
BYS = 1	$H_N > 70$	$H_N > 91$	$H_N > 105$
BYS = 2	$56 < H_N \leq 70$	$70 < H_N \leq 91$	$91 < H_N \leq 105$
BYS = 3	$42 < H_N \leq 56$	$56 < H_N \leq 70$	$56 < H_N \leq 91$
BYS = 4	$28 < H_N \leq 42$	$42 < H_N \leq 56$	
BYS = 5	$17,5 < H_N \leq 28$	$28 < H_N \leq 42$	
BYS = 6	$10,5 < H_N \leq 17,5$	$17,5 < H_N \leq 28$	
BYS = 7	$7 < H_N \leq 10,5$	$10,5 < H_N \leq 17,5$	
BYS = 8	$H_N \leq 7$	$H_N \leq 10,5$	

2.2.5. Bina performans düzeyleri

Bina performans hedeflerinin belirlenebilmesi amacıyla deprem etkisi altındaki bina taşıyıcı sistemleri için Tablo 2.8'de dört adet performans düzeyi belirlenmiştir [2].

Tablo 2.8.Bina Performans Düzeyleri

Performans Düzeyi	Hasar ile ilgili Açıklama
Kesintisiz Kullanım (KK)	Hasar yok veya ihmal edilebilir seviyede
Sınırlı Hasar (SH)	Sınırlı seviyede hasar meydan gelebilir
Kontrollü Hasar (KH)	Çok ağır olmayan ve onarılabilir hasar seviyesinde
Göçmenin Önlenmesi (GÖ)	Ağır hasar seviyesi, göçme öncesi durum

2.2.6. Mevcut betonarme binanın performans hedefleri ve uygulanacak tasarım yaklaşımları

Dört farklı deprem yer hareketi için DTS=1a ve 2a olan binalarda ileri performans hedefi diğer DTS katsayılarına sahip binalarda normal performans hedefi tanımlaması yapılmıştır. Bu performans hedefleriyle Dayanıma Göre Tasarım (DGT) ve Şekil değiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım (ŞGDT) olmak üzere iki farklı değerlendirme/tasarım yaklaşımı tanımlanmıştır. Mevcut yerinde dökme betonarme binalar için performans hedefi ve değerlendirme yaklaşımı Tablo 2.9'de verilmiştir. Diğer tür binalar için benzer tablolar TBDY 2018'de tanımlanmıştır [2].

Tablo 2.9. Mevcut Yerinde Dökme Betonarme Binanın Performans Hedefleri ve Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımları

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

2.3. Deprem Etkisi Altında Binaların Şekil Değiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarımı için Hesap Esasları

2.3.1. Şekil değiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım (ŞGDT) yaklaşımı

Doğrusal olmayan modelleme ile oluşturulan elemanların iç kuvvet-şekil değiştirme bağıntıları elde edilir. Tablo 2.9'da belirtilen performans hedeflerine uygun olarak seçilen yer hareketi düzey(ler)ine göre yapılan statik veya dinamik deprem analizleriyle doğrusal olmayan şekil değiştirme ve dayanım talepleri hesaplanır. Güçlendirilecek mevcut veya yeni yapılacak binalarda, bu taleplerin performans hedeflerine uygun şekil değiştirme ve dayanım kapasiteleri kıyaslanıp, taleplerin kapasitelerin altında olduğu gösterilir. Aksi durumda kesitler değiştirilerek hesaplar tekrarlanmalıdır [2].

2.3.2. Deprem etkisinin tanımlanması ve diğer etkilerle birleştirilmesi

ŞGDT kapsamında deprem etkisi iki farklı yöntemle hesaplanmaktadır. Birincisi itme yöntemi, ikinci ise zaman tanım alanında deprem analizleri yöntemidir. Deprem etkilerinin düşey yüklerle birleştirilmesi Denklem (2.9)'da gösterilmiştir.

$$G + Q_e + 0{,}2S + E_d^{(H)} + 0{,}3E_d^{(Z)} \tag{2.9}$$

G : Sabit Yük

Q_e : Hareketli Yük

S : Kar yükü

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

$E_d^{(Z)}$: Düşey deprem etkisi

Denklem (2.9)'da verilen hareketli yük, Tablo 2.10'daki hareketli yük kütle katılım katsayısı (n) ile çarpılarak hesaplanır.

Tablo 2.10. Hareketli Yük Kütle Katılım Katsayısı

Binanın Kullanım amacı	n
Depo, antrepo, vb.	0,80
Okul, öğrenci yurdu, spor tesisi, sinema, tiyatro, konser salonu, ibadethane, kolanta, mağaza, vb.	0,60
Konut, işyeri, otel, hastane, otopark, vb.	0,30

Doğrusal olmayan hesap yöntemleriyle gerçekleştirilecek itme veya zaman tanım alanında analizle yapılacak deprem hesaplarında, Denklem (2.9)'daki $E_d^{(H)}$ dışındaki düşey yükler, artımsal olarak uygulanan doğrusal olmayan statik analizle taşıyıcı sisteme uygulanmalıdır. Bu analizde elde edilen iç kuvvet ve şekil değiştirmeler yatay deprem hesabının başlangıç koşulları olarak dikkate alınmalıdır. Yeni yapılacak binalar için düşey yükler ile yapılan doğrusal olmayan analizlerde plastik şekil değiştirme oluşmaması istenir. Yatay deprem etkisi $E_d^{(H)}$, itme yöntemlerinde Denklem (2.10) ile göz önüne alınacaktır. Zaman tanım alanında yapılan analizlerde ise her iki yönün deprem kaydı birlikte kullanıldığından $E_d^{(H)}$ etkisi doğrudan hesaplanmaktadır [2].

$$E_d^{(H)} = \pm E_d^{(X)} \pm 0{,}3E_d^{(Y)}$$
$$E_d^{(H)} = \pm 0{,}3E_d^{(X)} \pm E_d^{(Y)} \quad (2.10)$$

2.3.3. Doğrusal olmayan hesap için taşıyıcı sistemin modellenmesine ilişkin kurallar

2.3.3.1. Genel Modelleme Kuralları

- Oluşturulacak matematiksel model, mutlaka üç boyutlu olmalıdır.
- Analizde, birbirine dik her iki doğrultudaki yatay deprem etkisi de dikkate alınmalıdır.
- Doğrusal sönüm oranı %5 alınmalıdır.
- İkinci mertebe etkiler (P-Δ) hesaplarda dikkate alınmalıdır.
- Beton ve donatı çeliğinin malzeme dayanımları için, mevcut binalarda mevcut dayanımlar (TBDY 2018- Bölüm 15.2), yeni yapılacak binalarda ise beklenen malzeme dayanımları (TBDY 2018- Bölüm 5.4) kullanılmalıdır [2].

2.3.3.2. Etkin kesit rijitlikleri

Doğrusal olarak modellenen betonarme elemanların etkin kesit rijitliği çarpanları, düzlem içi ve düzlem dışı davranışlarını içermek üzere Tablo 2.11'de verilmiştir [2].

Yığılı plastik davranış modeliyle modellenen çubuk elemanların ve perdelerin etkin kesit rijitliği çarpanı Denklem (2.11) kullanılarak hesaplanmalıdır [2].

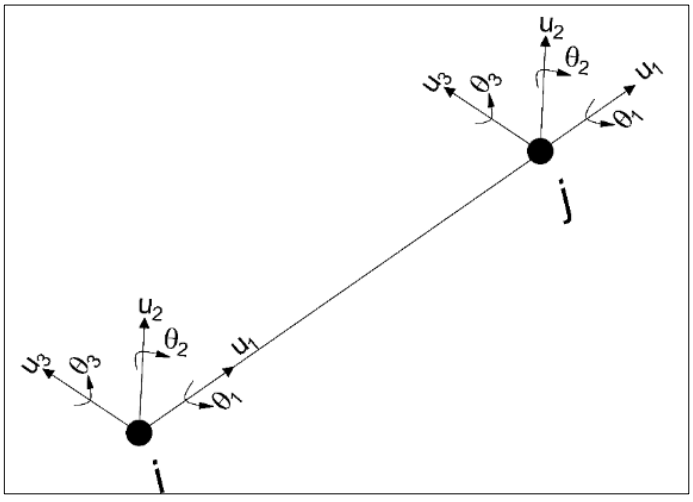
Tablo 2.11. Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanlarının Etkin Kesit Rijitliği Çarpanları

Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanı	Etkin Kesit Rijitliği Çarpanı	
Perde-Döşeme (Düzlem içi)	Eksenel	Kayma
Perde	0,50	0,50
Bodrum Perdesi	0,80	0,50
Döşeme	0,25	0,25
Perde-Döşeme (Düzlem dışı)	Eğilme	Kesme
Perde	0,25	1,00
Bodrum perdesi	0,50	1,00
Döşeme	0,25	1,00
Çubuk Eleman	Eğilme	Kesme
Bağ kirişi	0,15	1,00
Çerçeve kirişi	0,35	1,00
Çerçeve kolonu	0,70	1,00
Perde (Eşdeğer çubuk)	0,50	0,50

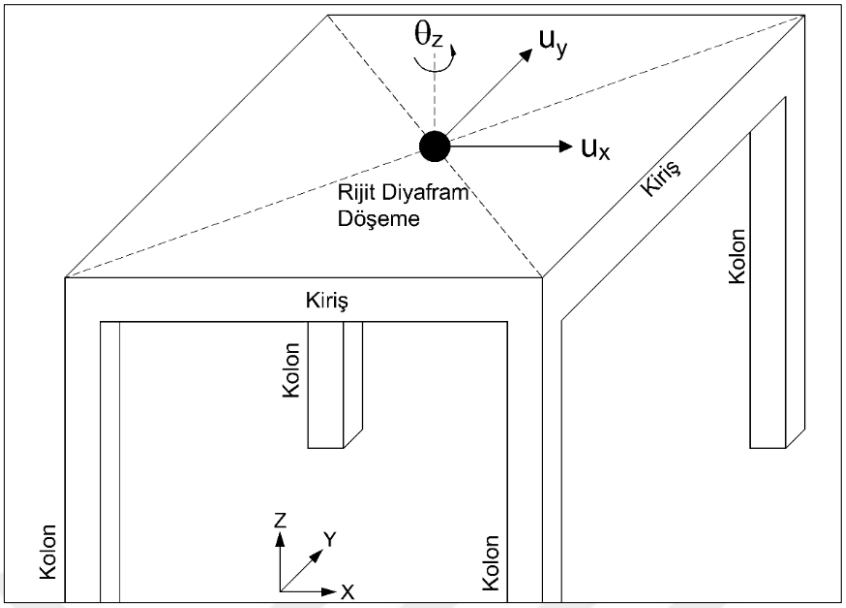
$$(EI)_e = \frac{M_y}{\theta_y}\frac{L_s}{3} \tag{2.11}$$

2.3.3.3. Kiriş ve kolonların modellenmesi

Kiriş ve kolonlar Şekil 2.2'de gösterilen altı serbestlikli çubuk eleman olarak modellenecektir. Doğrusal olmayan davranış, eleman uçlarında tanımlanan yığılı veya yayılı plastik davranış modeli ile tanımlanacaktır. Genel olarak yığılı plastik davranış modeli yeterli seviyede kabul görmektedir. Döşemelerin rijit diyafram olarak modellenmesi durumunda, Şekil 2.3'deki şematik gösterimde görüldüğü üzere rijit diyaframa karşı olan serbestlikler kaldırılacaktır. [2].



Şekil 2.2. Çubuk (Kiriş-Kolon) Eleman Lokal Serbestlikleri



Şekil 2.3. Rijit Diyafram Serbestliklerinin Şematik Gösterimi

Çubuk elemanlarda (kolon-kiriş) plastik mafsallar, elemanların net açıklıklarının uçlarına konulabilir. Bununla beraber düşey yükler altında kiriş açıklıklarında plastik mafsal oluşabileceği de düşünülmelidir. Plastik mafsallar arasında kalan uzunluk, doğrusal olarak modellenecek ve etkin kesit rijitlikleri Bölüm 2.3.3.2'ye göre hesaplanacaktır [2].

2.3.3.4. Betonarme perdelerin modellenmesi

Planda enkesiti dikdörtgen, I, T, L veya C şeklinde olan perdelerde, plandaki en uzun kolunun toplam perde yüksekliğine oranı 0,5'i aşmıyorsa ve itme yöntemleriyle deprem hesabı yapılıyorsa, çubuk eleman olarak ve yığılı plastik mafsal modeli ile doğrusal olmayan modelleme yapılabilir. Bu durumda;

- Rijit bodrum katları bulunan binalarda en az birinci bodrum kattan (zemin katın bir altındaki kat) başlamak üzere her katta perdenin alt bölümüne plastik mafsallar tanımlanmalıdır.
- Plastik mafsallar arasında kalan uzunluk, doğrusal olarak modellenecek ve etkin kesit rijitlikleri Bölüm 2.3.3.2'ye göre hesaplanacaktır.
- Karmaşık perdelerin kollarının döşeme seviyesinde bağlı olduğu sonlu eleman noktalarının (döşeme veya kiriş) bağımlı serbestlik dereceleri, perdenin üç boyutlu rijit cisim koşulunu sağlamak üzere kesit ağırlık merkezindeki eşdeğer çubuk elemanın ana düğüm noktasındaki altı serbestlik derecesi ile kinematik olarak bağlanacaktır.

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan deprem hesabının kullanılması durumunda veya incelenen binanın yüksek bina (BYS = 1) olması durumunda perdeler için plastik mafsal modeli kullanılmayacaktır. Bu elemanlar yayılı plastik model davranışı (kesit hücresi/fiber) ile modellenecektir. Bağ kirişli boşluklu perdelerin bağ kirişleri, 2.3.3.3'ye göre modellenecektir [2].

2.3.3.5. Bodrum perdelerinin ve döşemelerin modellenmesi

Bodrum perdeleri ve döşemeler, özel durumlar hariç etkin kesit rjitliği çarpanı için Tablo 2.11 esas alınarak doğrusal olarak modellenecektir. Bu elemanların modellemesinde TBDY 2018- 4.5.'deki kurallar esastır [2].

2.3.3.6. Kütlelerin modellenmesi

Taşıyıcı sistem elemanların sonlu eleman noktalarında, o noktaya etkiyen toplam yükün bileşkesi olarak kütle tanımı yapılır. Söz konusu tekil kütleler iki yatay ve düşey öteleme serbestlik derecelerine göre tanımlanır. Sonlu eleman düğüm noktası j'ye etkiyen kütle Denkem (2.12) ile hesaplanacaktır [2].

$$w_j^{(S)} = w_{Gj}^{(S)} + n\, w_{Qj}^{(S)} \qquad m_j^{(S)} = \frac{w_j^{(S)}}{g} \tag{2.12}$$

$w_{Gj}^{(S)}$: Bileşke Sabit Yük

$m_j^{(S)}$: j Noktasındaki Tekil Kütle

$w_{Qj}^{(S)}$: Hareketli Yük

g : Yerçekimi ivmesi

Denklem (2.12)'deki n katsayısı, 2.3.2'deki Tablo 2.10'da verilen hareketli yük kütle katılım katsayısıdır [2].

2.3.3.7. Ek dışmerkezlik etkisinin modellenmesi

Yeni yapılacak binalar için ek dışmerkezlik etkisi TBDY 2018- 5.4.7'de tanımlanmıştır. Mevcut binaların performans değerlendirmesinde TBDY 2018- 15.4.6 gereği ek dışmerkezlik etkisi tanımlanmamaktadır.

2.3.4. Doğrusal olmayan hesap yönteminin seçimi

ŞGDT yaklaşımında, tek modlu ve çok modlu itme yöntemleri ile zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap metotları kullanılmaktadır. Tablo 2.12'de hesap yönteminin seçilme koşulları verilmiştir.

Tablo 2.12. Hesap Yöntemi Seçilme Sınırları

<table>
<tr><td colspan="2">Hesap Yöntemi</td><td>Koşulları</td></tr>
<tr><td rowspan="3">İtme Yöntemleri</td><td rowspan="2">Tek Modlu İtme (Sabit / Değişken)</td><td>BYS ≥ 5</td></tr>
<tr><td>$\eta_{bi} < 1{,}4$</td></tr>
<tr><td>$\frac{m_{Vt1}^{Toplam}}{m_{Vt1}^{Bodrumsuz}} \geq 0{,}70$</td></tr>
<tr><td>Çok Modlu İtme</td><td>BYS ≥ 2</td></tr>
<tr><td colspan="2">Zaman Tanım Alanında Analiz</td><td>-</td></tr>
</table>

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi tüm binalar için kullanılabilir. Ancak yüksek binalarda (BYS=1) bu yöntemin kullanılması zorunludur. İtme yöntemleri TBDY 2018 Madde 5.6'da açıklanmıştır [2].

2.3.5. İtme yöntemleri

Doğrusal olmayan deprem hesabında Tek Modlu İtme Yöntemleri ve Çok Modlu İtme Yöntemleri tercih edilebilir. Yöntemlerin kullanılabilme sınırları Tablo 2.12'de özetlenmiştir. Tek modlu itme yöntemi, Sabit Tek Modlu ve Değişken Tek Modlu yöntemler olarak farklı yaklaşımlarla kullanılabilir [2]. Bu çalışma kapsamında itme yöntemleri kullanılmayacaktır.

2.3.6. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi ile deprem hesabı

Bu yöntem ivme-zaman cinsinden elde edilen deprem kaydının, her zaman artışında Denklem (2.13)'deki diferansiyel denklem takımını çözerek doğrudan integrasyon hesabı yapmaktadır. Bu yöntemde, doğrusal olmayan davranış nedeniyle taşıyıcı sistemin rijitliğinde oluşan değişimler hesaplarda alınmaktadır.

$$[m]\ddot{x}(t) + [c]\dot{x}(t) + [k]x(t) = [P](t) \tag{2.13}$$

$[m]$: Kütle matrisi
$[c]$: Sönüm matrisi
$[k]$: Rijitlik matrisi
$[P]$: Dış yük matrisi

2.3.6.1. Deprem kayıtlarının seçimi ve ölçeklendirilmesi

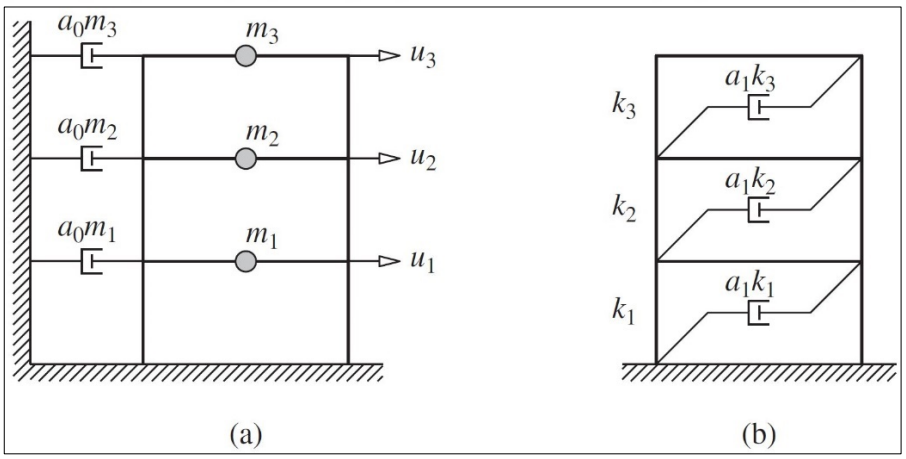
En az on bir adet birbirine dik iki doğrultudaki deprem yer hareketi takımları, taşıyıcı sistemin global (x) ve (y) eksenlerine birlikte uygulanacaktır. Her bir adet deprem yer hareketi takımıyla yapılan analiz, 90° döndürerek tekrarlanacaktır. Böylece toplamda on bir adet deprem yer hareketi takımı için yirmi iki adet analiz yapılacaktır. Söz konusu deprem yer hareketi takımlarının seçimi ve ölçeklenmesi Bölüm 2.1.3'e göre yapılacaktır [2].

2.3.6.2. Rayleigh sönüm modeli

TBDY 2018 viskoz sönüm matrisi için Rayleigh sönüm modelini veya modal sönüm modelini önermektedir. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan deprem analizleri için sıklıkla Rayleigh sönüm modeli kullanılmaktadır.

Rayleigh sönüm modeliyle Denklem (2.13)'teki c sönüm matrisi, Denklem (2.14) ile hesaplanmaktadır. Rayleigh sönümü, şematik gösterimi Şekil 2.4'te verilen, kütleyle orantılı sönüm ve rijitlikle orantılı sönümün toplanmasıyla hesaplanır.

$$c = a_0 m + a_1 k \tag{2.14}$$



Şekil 2.4.(a) Kütleyle-Orantılı Sönüm; (b) Rijitlikle-Orantılı Sönüm [43]

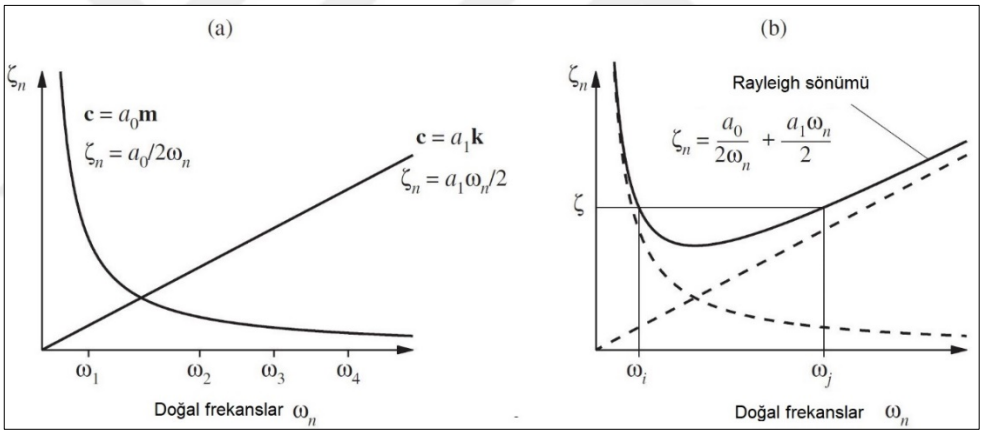
Denklem (2.14)'te, a_0 ve a_1 katsayıları sırasıyla s^{-1} ve s birimlerine sahiptir. Bu katsayılar herhangi bir i ve j modları için kabul edilen sönüm oranlarına (ζ_i *ve* ζ_j) göre Denklem (2.15) ile hesaplanır [43].

$$\frac{1}{2}\begin{bmatrix} 1/\omega_i & \omega_i \\ 1/\omega_j & \omega_j \end{bmatrix}\begin{Bmatrix} a_0 \\ a_1 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \zeta_i \\ \zeta_j \end{Bmatrix} \tag{2.15}$$

a_0 ve a_1 katsayıları hesaplandıktan sonra sönüm matrisi Denklem (2.14) ile bulunur. Diğer modların sönüm oranları Denklem (2.15) ile hesaplanır.

$$\zeta_n = \frac{a_0}{2}\frac{1}{\omega_n} + \frac{a_1}{2}\omega_n \tag{2.16}$$

Modların doğal frekanslarına bağlı sönüm oranlarının değişimi Şekil 2.5'ta gösterilmiştir. Doğal frekans noktaları ω_i ve ω_j seçilirken, sistemdeki etkin modların anlamlı sönüm oranlarına sahip olacak şekilde seçilmelidir. Örneğin ilk beş modun etkin olduğu ve bunların yaklaşık aynı sönüm oranlarına ζ, sahip olduğu düşünüldüğünde, i noktası için birinci mod ve j noktası için dördüncü modun seçilmesi uygun olacaktır. Bu durumda Şekil 2.5'ten [43] anlaşılacağı üzere ikinci ve üçüncü modun sönüm oranı biraz küçük ve beşinci modun biraz büyük olacaktır. Katılımı önemsizleşen bu durumda, daha büyük modlarda sönüm oranının büyümesi sorun yaratmayacaktır [43].



Şekil 2.5. Mod Sönüm Oranlarının Doğal Frekansla Değişimi: (a) Kütleyle orantılı sönüm ve rijitlikle orantılı sönüm; (b) Rayleigh Sönümü

PERFORM-3D Kullanıcı Kılavuzu, doğrusal olmayan dinamik analizlerde i ve j noktalarının seçimiyle ilgili iki alternatif sunmaktadır. Birincisi doğrusal analizler için de önerdiği Ti/T1≈0,25 ve Tj/T1≈0,90 alınabilir. İkinci alternatif, yapı dinamik analiz sırasında hasar alması nedeniyle rijitliğinin azalacağını göz önünde bulundurarak etkin titreşim modlarının süresi genellikle artacağını düşünmektedir. Periyot, sekant rijitliğinin karaköküyle ters orantılıdır. Yani kabaca rijitlik 4 kat azalırsa, periyot 2 kat artacaktır. Örneğin birinci modun hâkim olduğu ve süneklik oranının 6 ($\sqrt{6} \approx 2{,}5$) olduğu varsayılırsa, ilk mod periyodunun doğrusal periyot aralığının 2,5 katına çıkacağı beklenir. Bu durumda Ti/T1≈1,2 ve Tj/T1≈2,2 alınabilir [4].

2.3.6.3. Değerlendirmeye Esas Şekildeğiştirme ve İç Kuvvet Talepleri

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan en az 2x11=22 adet analizden elde edilecek sünek davranışa sahip elemanlardaki şekil değiştirme talepleri ve gevrek davranışa sahip elemanlardaki iç kuvvet talepleri, her bir analizden elde edilen sonuçların en büyük mutlak değerlerinin ortalaması alınarak hesaplanacaktır.

2.3.7. Şekil değiştirmelerin ve iç kuvvetlerin değerlendirilmesi

Yeni betonarme binalar ve yüksek binalar için performans analizlerinin sonucunda elde edilen şekil değiştirme taleplerinin kıyaslanacağı izin verilen şekil değiştirme sınırları Yönetmelik'te tanımlanmaktadır.

2.3.7.1. Yayılı mafsal yaklaşımıyla göçmenin önlenmesi performans düzeyi

Betonun birim kısalması için tanımlanan sınır değer hesaplarken, enkesitte kullanılan sargı donatısının mekanik donatı oranını gösteren ω_{we}, Denklem (2.17)'de verilmiştir.

$$\omega_{we} = a_{se}\rho_{sh,min}\frac{f_{ywe}}{f_{ce}} \tag{2.17}$$

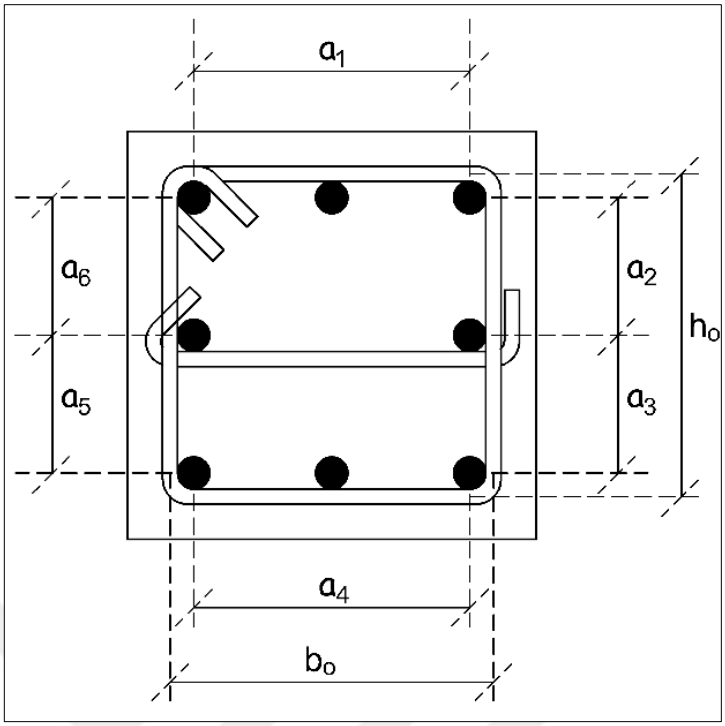
Dikdörtgen ve dairesel enkesitli elemanlarda, göçmenin önlenmesi performans düzeyi için tanımlanan betonun birim kısalma izin sınırı Denklem (2.18)'de verilmiştir.

Dikdörtgen enkesitlerde;	Dairesel enkesitlerde;	
$\varepsilon_c^{(GÖ)} = 0{,}0035 + 0{,}04\sqrt{\omega_{we}} \le 0{,}018$	$\varepsilon_c^{(GÖ)} = 0{,}0035 + 0{,}07\sqrt{\omega_{we}} \le 0{,}018$	(2.18)
$\alpha_{se} = \left(1 - \frac{\sum a_i^2}{6b_o h_o}\right)\left(1 - \frac{s}{2b_o}\right)\left(1 - \frac{s}{2h_o}\right)$	$\alpha_{se} = \left(1 - \frac{s}{2D}\right)^n$	(2.19)
$\rho_{sh} = \frac{A_{sh}}{b_k s}$	$\rho_{sh} = \frac{A_{os}}{Ds}$	(2.20)

b_o ve h_o : Göbek betonu sargılayan etriyelerin eksenleri arasında kalan boyutlar

a_i : Bir etriye kolu veya çiroz tarafından mesnetlenen boyuna donatıların eksenleri arasındaki uzaklık

α_{se} : Sargı donatısı etkinlik katsayısı



Şekil 2.6. Enkesitte a_i ve b_o/h_o Tanımı

Göçmenin önlenmesi performans düzeyi için tanımlanan donatı çeliği birim şekil değiştirme sınırı Denklem (2.21)'de verilmiştir.

$$\varepsilon_s^{(GÖ)} = 0{,}4\varepsilon_{su} \tag{2.21}$$

ε_{su} : Çekme dayanımının karşılığı olan birim uzamadır.

2.3.7.2. Yığılı mafsal yaklaşımıyla göçmenin önlenmesi performans düzeyi

Yığılı mafsal ile modellenen elemanların plastik dönmesi, uygun malzeme modelleri kullanılarak ve eksenel kuvvetin etkisi de dikkate alınarak yapılan moment-eğrilik analizlerinden Denklem (2.22) ile hesaplanacaktır.

$$\theta_p^{(GÖ)} = \frac{1}{2}\left[\left(\phi_u - \phi_y\right)L_p\left(1 - 0{,}5\frac{L_p}{L_s}\right) + 4{,}5\phi_u d_b\right] \tag{2.22}$$

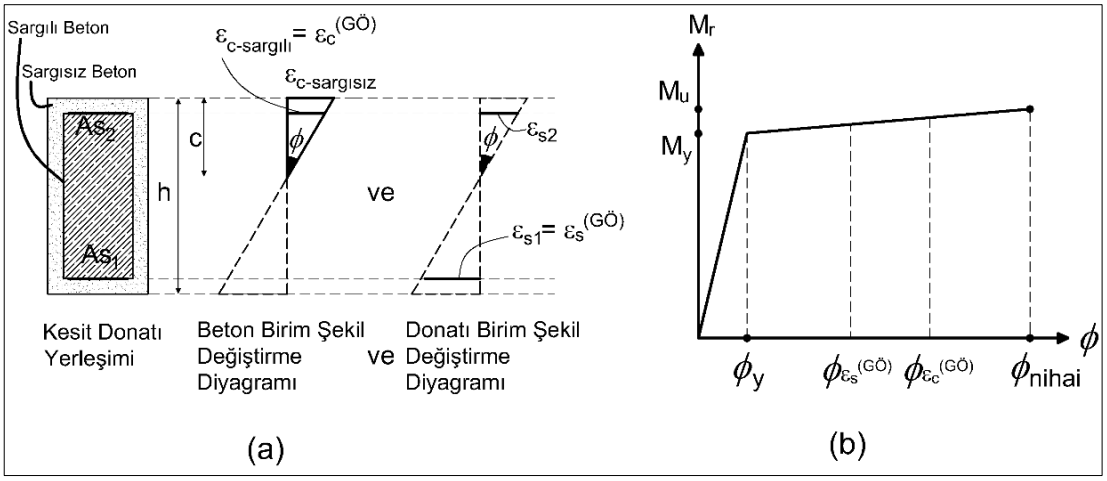
ϕ_y : Akma eğriliği (1/m).

ϕ_u : 2.3.7.1'de hesaplanan birim şekil değiştirmeler ile malzeme modelleri kullanılarak eksenel kuvveti de dikkate alarak yapılan kesit analizlerinden elde edilen göçme öncesi toplam eğrilik (1/m).

L_p : Plastik mafsal boyu (m).

L_s : Kesme açıklığı = Moment/Kesme Kuvveti ≈ L/2 (m).

d_b : Mesnete veya düğüm noktasına kenetlenen boy donatıların ortalama çapı (m)



Şekil 2.7. Plastik Dönme Sınırındaki ϕ_u'nun Tanımı: (a) Birim Şekil Değiştirme Diyagramı; (b) Moment Eğrilik Grafiği

Göçme öncesi toplam eğrilik ϕ_u Şekil 2.7'de açıklanan, Denklem (2.23) yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$\phi_u = min\left(\phi_{\varepsilon_c^{(GÖ)}} ; \phi_{\varepsilon_s^{(GÖ)}}\right) \tag{2.23}$$

2.3.7.3. Kontrollü hasar performans düzeyi

Beton ile donatı çeliği için izin verilen birim şekil değiştirme sınırları ve plastik dönme için izin verilen sınırları, göçmenin önlenmesi sınırlarına bağlı olarak Denklem (2.24)'te verilmiştir.

$$\begin{aligned} \varepsilon_c^{(KH)} &= 0{,}75\varepsilon_c^{(GÖ)} \\ \varepsilon_s^{(KH)} &= 0{,}75\varepsilon_s^{(GÖ)} \\ \theta_p^{(KH)} &= 0{,}75\theta_p^{(GÖ)} \end{aligned} \tag{2.24}$$

2.3.7.4. Sınırlı hasar performans düzeyi

Beton ve donatı çeliği için izin verilen birim şekil değiştirme sınırları ve plastik dönme için izin verilen sınırları, sabit sayılar olarak Denklem (2.25)'de verilmiştir.

$$\begin{aligned} \varepsilon_c^{(SH)} &= 0{,}0025 \\ \varepsilon_s^{(SH)} &= 0{,}0075 \\ \theta_p^{(SH)} &= 0 \end{aligned} \tag{2.25}$$

2.4. Deprem Etkisi Altında Mevcut Bina Sistemlerin Değerlendirilmesi için Özel Kurallar

Bina ve bina türü yapıların tümünün performans değerlendirmesi, Bölüm 2.1 ve 2.3'deki esaslara göre yapılacaktır.

2.4.1. Binalardan bilgi toplanması

2.4.1.1. Binalardan toplanacak bilginin kapsamı

Mevcut binalardan, taşıyıcı sistemin tamamen tanımlanması, temel sisteminin tanımlanması, zemin özelliklerinin belirlenmesi, mevcut hasarların tespiti ve yıllar içerisindeki taşıyıcı sisteme yapılan müdahalelerin tümünün belirlenmesidir. Bu kapsamda elde edilen bilgilerin, varsa yapı uygulama projesi ile uyumunun kontrol edilmesi.

2.4.1.2. Bilgi düzeyleri

Bilgi düzeyleri, mevcut binada elde edilen bilgilerin kapsamına göre sınırlı ve kapsamlı bilgi düzeyi olmak üzere ikiye ayrılır. Kapsamlı bilgi düzeyinde sınırlı bilgi düzeyine göre daha fazla tespit, numune ve ölçüm yapılır. BKS=1 ve BKS=2 olan binalarda kapsamlı bilgi düzeyi seçimi zorunludur.

2.4.1.3. Betonarme bina geometrisi

Kapsamlı bilgi düzeyinde, mevcut binanın projeleri varsa ve projeyle mevcut tespitlerde önemli farklılıklar varsa proje yok sayılır.

Tablo 2.13. Bina Geometrisi için Toplanan Bilgiler

Sınırlı – Kapsamlı (Proje Yoksa) B.D.	Kapsamlı (Proje Varsa) B.D.
Binanın rölevesi çıkartılacaktır.	Projeyle kontrol edilecektir.
Matematik modeli oluşturabilecek yeterlilikte B.A elemanların ve duvarların yerleşimi, yüksekliği, ebatları, malzemesi ve açıklıkları belirlenmelidir.	Projeyle kontrol edilecektir.
Binanın temeli için inceleme çukuru açılmalıdır.	Projeyle kontrol edilecektir.
Binadaki düzensizlikler (kısa kolon, ayrık veya bitişik nizam, korozyon vb.) detaylı olarak planda işaretlenecek ve belirlenecektir.	Projeyle kontrol edilecektir.
-	Bina kütlesinin özenle tanımlanabilmesi için gerekli bilgiler içermelidir.

2.4.1.4. Betonarme binaların eleman detayları

Mevcut binanın kolon, perde ve kiriş taşıyıcılarda beton örtüsünü almak üzere sıyırma işlemi yapılarak donatı tespiti yapılmaktadır. Sıyırma işlemi kolonlar ve kirişler için açıklığının orta bölümündeki üçte birlik kısmında yapılmalıdır. Sıyırma işlemi yapılan yüzeyler, sonrasında yüksek mukavemetli tamir harcıyla kapatılmalıdır. Tarama işlemi sıyrılma uygulanmayan elemanlarda donatı tespit cihazlarıyla yapılmaktadır [2].

Tablo 2.14. Taşıyıcı Sistem Elemanlarından Her Katta Alınacak Numune Oranları

Her Katta Yapılacak İşlemler		Sınırlı B.D.	Kapsamlı B.D.	
			Proje Varsa	Proje Yoksa
Sıyırma	Perde Kolon	%5	%5	%10
	Kiriş	1 adet	1 adet	1 adet
Tarama	Perde Kolon	%20	%20	%30
	Kiriş	-	%10 (Çerçeve)	%15

Sınırlı bilgi düzeyi için binanın yapıldığı tarihteki yönetmeliğin minimum donatı koşullarını sağladığı varsayılır. Kolon ve perdeler için donatı tespiti yapılan elemanlarda, bulunan donatının minimum donatıya oranını ifade eden donatı gerçekleşme katsayısı hesaplanır. Bu katsayı, en büyük 1 olmak üzere donatı tespiti yapılmayan diğer düşey taşıyıcılara uygulanır. Kiriş donatıları düşey yük tasarımı ile belirlenir.

Kapsamlı bilgi düzeyi için projeler yoksa veya proje mevcutla uyumlu değilse kolonlar, perdeler ve kirişler için donatı gerçekleşme katsayısı hesaplanır ve tespiti yapılmayan elemanlara uygulanır. Bu bilgi düzeyi için de donatı gerçekleşme katsayısı 1'i geçemez [2].

2.4.1.5. Betonarme binaların malzeme özellikleri

Kolonlardan veya perdelerden TS EN 12504-1 esaslarına uygun olarak beton örneği (karot) alınır. Alınan numunelerin uzunluğu ve anma çapı 100 mm ise sonuçlar doğrudan kullanılır. Uzunluğu ve anma çapı farklı ise uygun dönüştürme katsayıları kullanılarak sonuçlar kullanılır. Eğer binada toplam numune sayısı üç ise yani tek katlı bina sınırlı bilgi düzeyi seçildiyse, en küçük değer mevcut beton dayanımı olarak kullanılacaktır. Numune sayısının üçten fazla olduğu durumda, numunelerin ortalama

eksi standart sapma değeriyle *0,85 çarpı ortalama* değerinden büyük olanı mevcut beton dayanımı olarak kullanılır. Eğer numunelerin en küçük tek değeri, diğer numunelerin ortalamasının 0,75 katından daha düşük ise değerlendirmelerde dikkate alınmaz.

Tablo 2.15. Beton Numune ve Donatı Numune Miktarları

Malzeme Özelliklerinin Tespiti		Sınırlı B.D.	Kapsamlı B.D.
Beton Karot	Zemin katta en az	3 adet	3 adet
	Diğer katlardan en az	3 adet	2 adet
	Toplam Binada en az	-	9 adet
	Her 400 m^2 en az	-	1 adet
Donatı		Görsel tespit	Numune alınması

İncelenebilen donatılarda, korozyon etkisi tespit edilecek ve kapasite hesaplarında dikkate alınacaktır. Sınırlı bilgi düzeyinde sıyrılan yüzeydeki donatının, görsel olarak donatı sınıfı tespit edilecektir. Kapsamlı bilgi düzeyinde her donatı sınıfı için (S220, S420 vb.) birer adet numune alınacak. Alınan numunenin çekme testi sonucunda karakteristik özellikleri belirlenecek ve proje ile uygunluğu kontrol edilecek. Uygun olmaması durumunda, eleman kapasitelerinde uygulanmak üzere, üç adet daha numune alınıp en elverişsizi akma gerilmesi olarak kabul edilecektir [2].

2.4.1.6. Bilgi düzeyi katsayıları

Mevcut binalarda seçilen bilgi düzeylerine göre belirlenen bilgi düzeyi katsayıları Tablo 2.16'de verilmiştir. Bu katsayıların uygulandığı mevcut malzeme dayanımları, malzeme katsayılarına bölünmemek üzere eleman kapasite hesaplarında kullanılacaktır.

Tablo 2.16. Bilgi Düzeyi Katsayıları

Bilgi Düzeyi	Bilgi Düzeyi Katsayısı
Sınırlı	0,75
Kapsamlı	1,00

2.4.2. Yapı elemanlarında hasar sınırları ve hasar bölgeleri

2.4.2.1. Kesit hasar sınırları

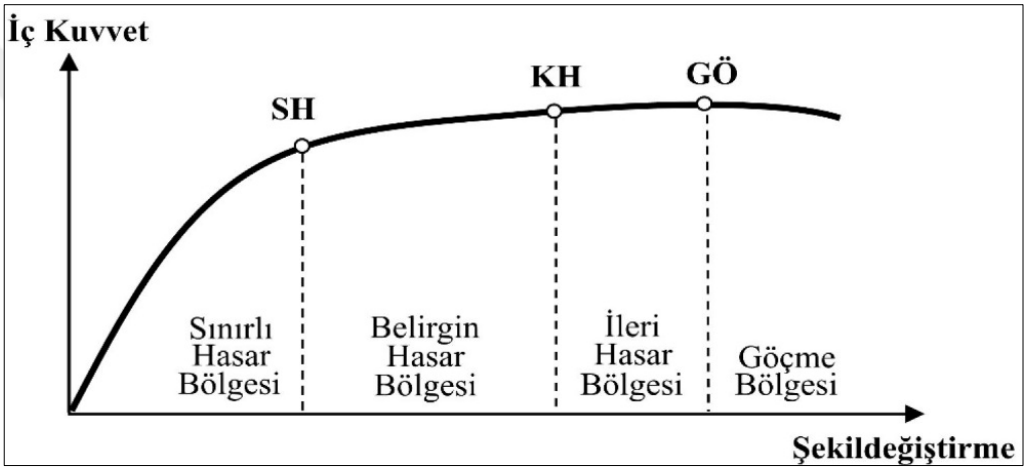
Betonarme elemanların sünek davranışında, kesit düzeyinde üç hasar sınırı belirlenmiştir. Gevrek elemanlar bu sınıflandırmaya dahil edilmemektedir.

Tablo 2.17. Kesit Hasar Durumları

Kesit Hasar Durumu	Hasar ile ilgili Açıklama
Sınırlı Hasar (SH)	Sınırlı seviyede elastik ötesi davranış beklenir.
Kontrollü Hasar (KH)	Güvenliği sağlayacak elastik ötesi davranış beklenir.
Göçmenin Önlenmesi (GÖ)	İleri düzeyde elastik ötesi davranış beklenir.

2.4.2.2. Kesit hasar bölgeleri

Kesit hasar sınırlarına bağlı olarak belirlenen kesit hasar bölgeleri Şekil 2.8'de [2] gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Kesit Hasar Bölgeleri

2.4.3. Deprem hesabına ilişkin genel ilke ve kurallar

Mevcut binaların deprem performansı belirlemek amacıyla doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemler kullanılabilir. Aşağıdaki genel kuralar her iki yöntem için de geçerlidir.

- Bölüm 0'deki yatay elastik tasarım spektrumu kullanılacak ve bölüm 2.2.1'deki bina önem katsayısı deprem hesabında kullanılmayacaktır (I=1,0).
- Deprem hesabında düşey yükler ve deprem etkisi birlikte uygulanacak ve kütleler bölüm 2.3.3.6'e göre belirlenecektir.
- Döşemeleri yatayda rijit diyafram olarak çalışabilecek binalarda, iki yatay ötelene ve düşey eksende dönme serbestlik dereceleri dikkate alınacaktır. Rijit diyaframın kat serbestlik derecesi kütle merkezinde, ek dışmerkezlik etkisi olmaksızın tanımlacaktır.
- Mevcutta kısa kolon tanımına giren kolonlar, gerçek boylarıyla modellenecektir.

- Eksenel kuvvet ile bir eksenli veya iki eksenli eğilme davranışında kullanılacak etkileşim diyagramlarında, ε_{cu} =0,0035 ve ε_{su}=0,01 alınabilir.
- Betonarme elemanların uç bölgeleri, rijit bölge olarak değerlendirilebilir.
- Etkin kesit rijitlikleri, Bölüm 2.3.3.2'deki Tablo 2.11'e göre hesaplanacaktır.
- Kirişlerin pozitif ve negatif moment kapasiteleri hesabında, tabla içindeki donatı ve betonun katkısı dikkate alınabilir.
- Betonarme elemanın donatılarında kenetlenme ve bindirme boyunda eksiklik tespit edilirse, eksikliği oranında donatının akma gerilmesi azaltılacaktır.
- Bölüm 2.1 ve Bölüm 2.3'deki diğer esaslar geçerlidir.

2.4.4. Betonarme elemanların şekil değiştirme sınırları

Mevcut binadaki donatılar nervürsüz (düz) ise yapılan analizlerden elde edilen donatı çeliği birim şekil değiştirmesi ve plastik dönme talepleri 1,5 ile çarpılarak arttırılacaktır.

Betonarme elemanların kesitlerindeki beton ve donatı çeliğinin birim şekil değiştirme ve plastik dönmeleri için sınır değerler bölüm 2.3.7.1, 2.3.7.2, 2.3.7.3 ve 2.3.7.4'de tanımlanmıştır. Mevcutta bulunan etriyelerin 90° kanca şeklinde olması durumunda, 2.3.7.1'deki ρ_{sh} oranı 0,3ρ_{sh} olarak alınacaktır. Denklem (2.22)'deki L_s hiçbir zaman L_p'den küçük olmayacaktır.

Yapılan analizler sonucunda elde edilen kesme kuvveti (V_e) Denklem (2.26)'yı sağlıyorsa, daha önce tanımlanan şekil değiştirme sınırları geçerlidir. Ancak kesme kuvveti oranı 1,30'dan büyükse, şekil değiştirme sınırları 0,50 ile çarpılarak azaltılacaktır. Kesme kuvveti oranın 0,65 ile 1,30 arasında bulunması durumunda, azaltma katsayısı doğrusal enterpolasyonla bulunmalıdır [2].

$$\frac{V_e}{b_w d f_{ctm}} < 0{,}65 \qquad (2.26)$$

2.4.5. Mevcut binaların deprem performansının belirlenmesi

Sınırlı hasar performans düzeyi, kontrollü hasar performans düzeyi ve göçmenin önlenmesi performans düzeyi olmak üzere üç farklı bina performans düzeyi tanımlanmaktadır. Bu üç performans düzeyindeki oranlar her kat için ve depremin iki doğrultusu için ayrı ayrı değerlendirilecektir.

2.4.5.1. Mevcut binalarda sınırlı hasar performans düzeyi

- Gevrek elemanların güçlendirilmesi ön şarttır.
- Kirişlerin %20'si belirgin hasar bölgesine geçebilir.
- Diğer tüm taşıyıcı elemanlar sınırlı hasar bölgesinde kalmalıdır [2].

2.4.5.2. Mevcut binalarda kontrollü hasar performans düzeyi

- Gevrek elemanların güçlendirilmesi ön şarttır.
- İkincil kirişler (saplama) hariç olmak üzere kirişlerin %35'i ileri hasar bölgesine geçebilir.
- İleri hasar bölgesine geçen düşey taşıyıcı elemanlarda, bu elemanların toplam kesme kuvvetinin katın toplam kesme kuvvetine oranı 0,2'den küçük olmalıdır. En üst katta bu oran 0,4'e kadar arttırılabilir.
- Diğer taşıyıcı elemanlar sınırlı veya belirgin hasar bölgesindedir. Ancak düşey taşıyıcıların alt ve üst kesitleri belirgin hasar sınırını aşmışsa bu elemanların kesme kuvveti toplamının katın toplam kesme kuvvetine oranı 0,3'ten küçük olmalıdır [2].

2.4.5.3. Mevcut binalarda göçmenin önlenmesi hasar performans düzeyi

- Gevrek elemanların tümünün göçme bölgesinde olduğu kabul edilir.
- İkincil kirişler hariç olmak üzere kirişlerin en fazla %20'si göçme bölgesine geçebilir.
- Diğer taşıyıcı elemanlar sınırlı, belirgin ve ileri hasar bölgesindedir. Ancak düşey taşıyıcıların alt ve üst kesiti belirgin hasar sınırını aşmışsa bu elemanların kesme kuvveti toplamının katın toplam kesme kuvvetine oranı 0,3'ten küçük olmalıdır [2].

3. ANALİTİK ÇALIŞMA

Bu bölümde iki adet mevcut binanın performans incelemesi yapılmıştır. Bunlardan biri planda ve düşeyde düzensizlikler içeren bir bina diğeri ise planda ve düşeyde düzenli bir binadır. İncelenen binalar iki farklı bilgisayar programıyla modellenmiştir. Düzensiz bina İstanbul ilinin Beykoz ilçesinde bulunmaktadır. Aynı deprem kayıtlarının kullanılabilmesi için düzenli binanın konumunun da aynı olduğu kabul edilmiştir. İncelenen iki bina için oluşturulan modellerin tanımları ile isimlendirmeleri Tablo 3.1'de sunulmuştur.

Tablo 3.1. İncelenen Binalar İçin Oluşturulan Modellerin Özellikleri

Model İsmi	Bina	Program	Plastisite Yaklaşımı	Döşeme Sonlu Elemanlar	Rijit Diyafram Kabulü
M_1_Col_SAP	Düzensiz	SAP2000	Kolonlar Fiber / Kirişler Yığılı	Var	Yok
M_1_All_SAP			Tümü Fiber	Var	Yok
M_2_Col_SAP	Düzenli		Kolonlar Fiber / Kirişler Yığılı	Var	Yok
M_2_All_SAP			Tümü Fiber	Var	Yok
M_3_Col_SAP			Kolonlar Fiber / Kirişler Yığılı	Yok	Var
M_3_All_SAP			Tümü Fiber	Yok	Var
M_4_Col_PER		Perform-3D	Kolonlar Fiber / Kirişler Yığılı	Yok	Var
M_4_All_PER			Tümü Fiber	Yok	Var

İncelenen modellerin tamamında (M_1, M_2, M_3 ve M_4) tezin temel konusu olan, doğrusal olmayan kiriş modellemesinde kullanılan iki farklı yaklaşım olan yığılı mafsal ve fiber mafsal modelleri kullanılarak ayrı modeller oluşturulmuş ve sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır. İlave olarak, düzenli bina modellerinden olan M_2 ve M_3 modellerinde, uygulamalarda sıklıkla tercih edilen döşemeler ve ikincil (saplama) kirişlerinin yerine rijit diyafram kabulü SAP2000 yazılımında incelenmiştir. M_3 ve M_4 modelleri ise , ülkemizde genel kabul görmüş iki farklı yazılımlarının sonuçlarının kıyası için yapılmıştır.

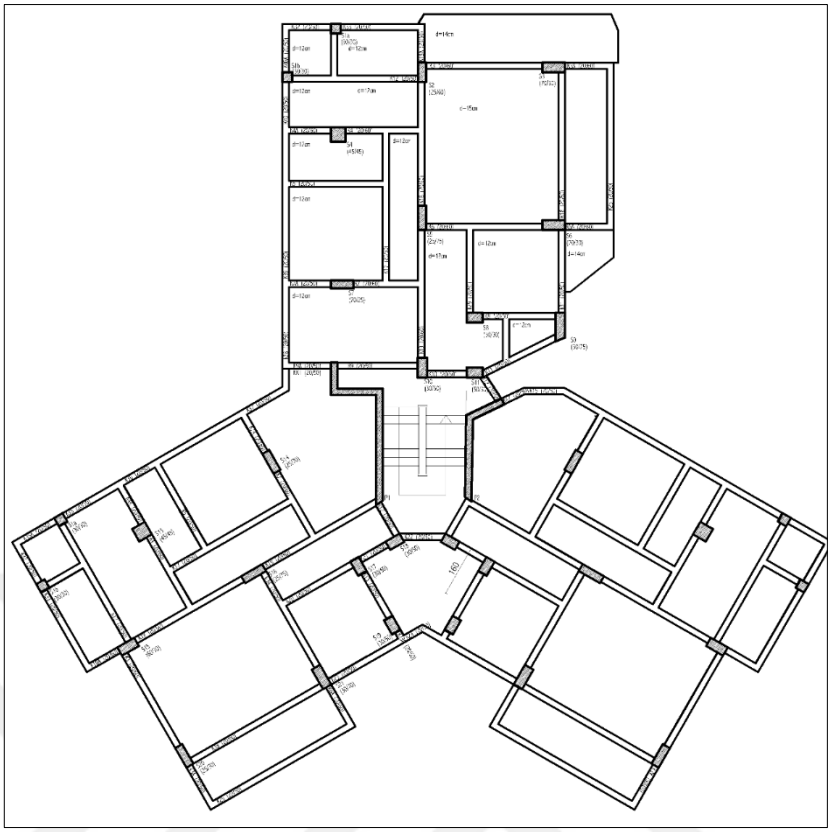
3.1. Mevcut Binaların Genel Özellikler

3.1.1. Düzensiz binanın özellikleri

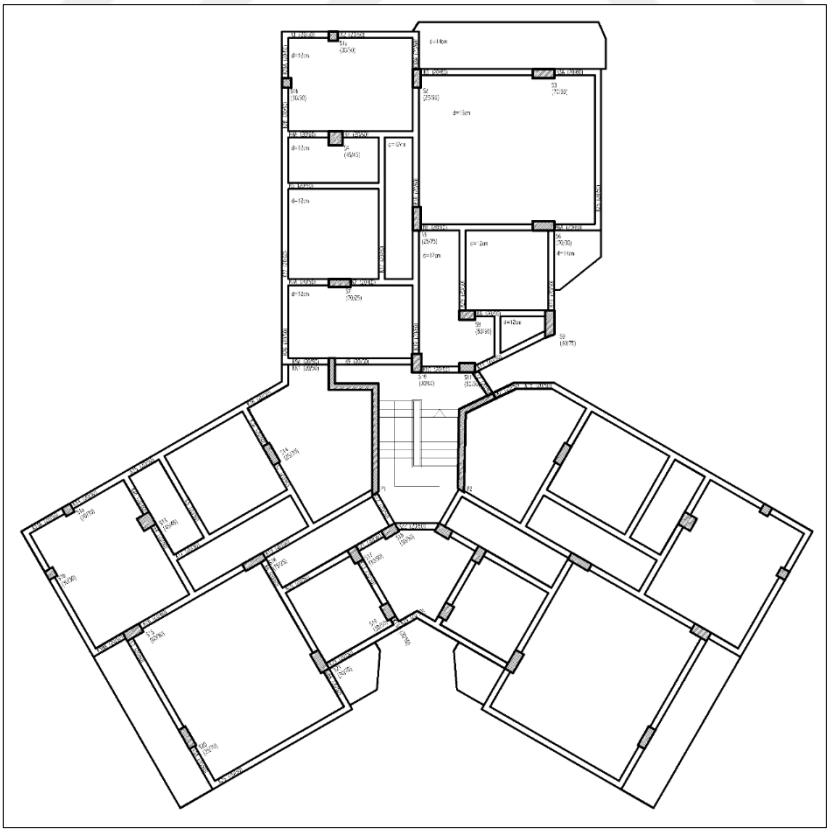
İncelenen yapı planda 3 kollu yıldız şeklinde tasarlanmış olup; bir koluyla diğer iki kolu arasında kat yüksekliğinin yarısı kadar kot farkı bulunmaktadır. Yapının herhangi bir katında üç bağımsız birim bulunmakta ve bir bağımsız birime ara sahanlık kotundan giriş yapılmaktadır. Yapının kolonları, 3 kat çıktıktan sonra küçültülmüş ve küçültülen boyutlar son kata kadar devam etmektedir. Sahada yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen bilgiler Tablo 3.2'de verilmiştir. Yapıda planda ve düşeyde düzensizlikler bulunmaktadır.

Tablo 3.2. Düzensiz Bina Genel Özellikleri

Yapım Yılı	:	1990			
Kat Sayısı	:	6			
Kat Yüksekliği	:	2,8 m			
Kullanım Amacı	:	Konut			
Bina Oturum	:	315 m^2			
Bilgi Düzeyi	:	Kapsamlı (1)			
Beton	:	17,9 MPa			
Donatı Çeliği	:	S220			
Zemin	:	ZB			
Nizamı	:	Ayrık Nizam			
Döşeme	:	12,14 ve 15 cm kirişli plak			
Kiriş	:	20/50 ve 20/60			
Sistem	:	B.A Çerçeve + Perde			
		Dead_Kaplama	:	2,5	kN/m^2
Döşeme Yükü	:	Q	:	2,5	kN/m^2
		Dead	:	Oto	
Dış Kiriş Yükü	:	Dead_Duvar	:	5,5	kN/m
İç Kiriş Yükü	:	Dead_Duvar	:	4,5	kN/m
Kiriş Kolon Zati	:	Dead	:	Oto	



Şekil 3.1. Düzensiz Binanın Zemin Katının Rölevesi



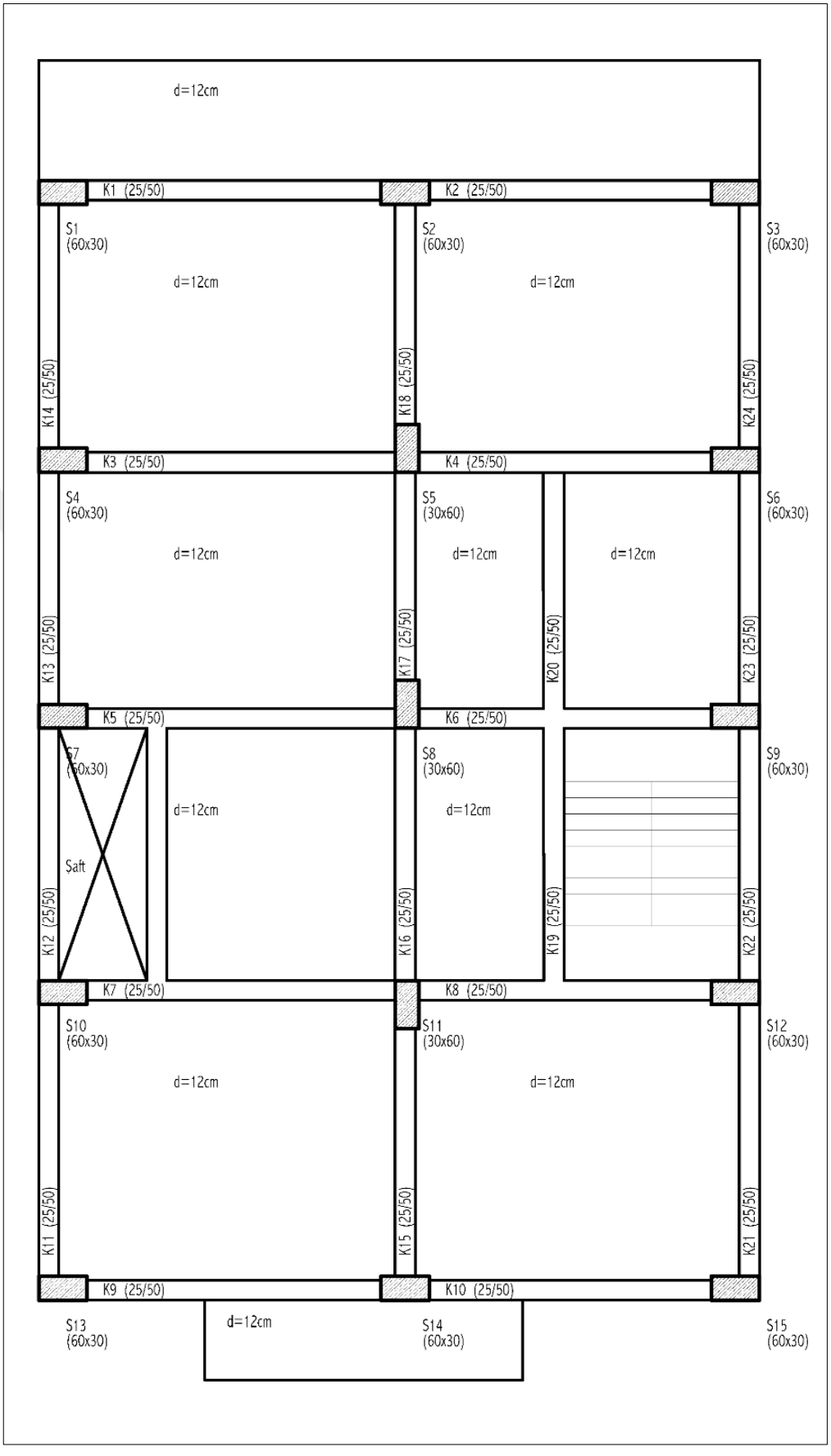
Şekil 3.2. Düzensiz Binanın Normal Katlarının Rölevesi

3.1.2. Düzenli binanın özellikleri

Tezde incelenen diğer bina Şekil 3.3'ten görülebileceği gibi, planda ve düşeyde oldukça düzenlidir. Yapıda düzensizlik oluşturan ön ve arka cephede çıkmalar bulunmaktadır. Ayrıca merdiven boşluğunda, ıslak hacimde ve ışıklık için teşkil edilmiş olan 3 adet ikincil kiriş bulunmaktadır. Yapının kolonları, bir kat çıktıktan sonra küçültülmüş ve küçültülen boyutlar son kata kadar devam etmektedir. Sahada yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen bilgiler Tablo 3.3'de verilmiştir.

Tablo 3.3. Düzenli Bina Genel Özellikleri

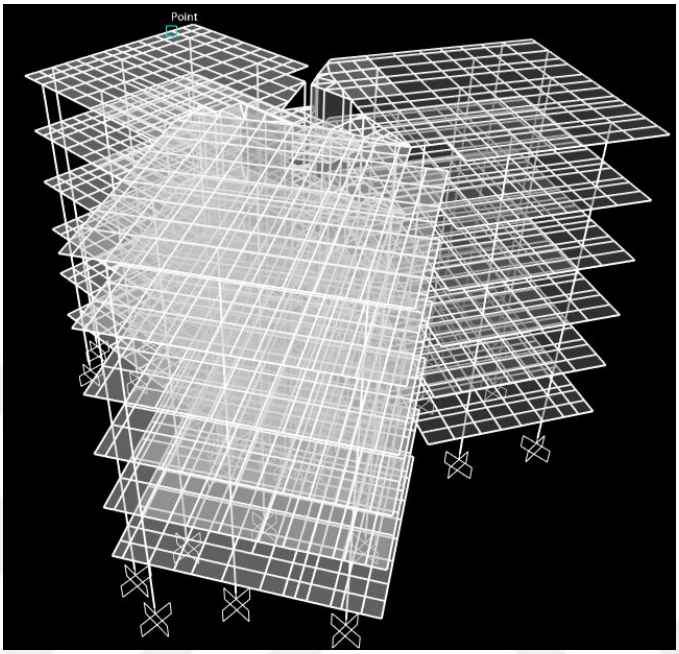
Yapım Yılı	:	1990			
Kat Sayısı	:	5			
Kat Yüksekliği	:	2,8 m			
Kullanım Amacı	:	Konut			
Bina Oturum	:	126 m^2			
Bilgi Düzeyi	:	Kapsamlı (1)			
Beton	:	13 MPa			
Donatı Çeliği	:	S220			
Zemin	:	ZB			
Nizamı	:	Bitişik Nizam			
Döşeme	:	12 cm kirişli plak			
Kiriş	:	25/50			
Sistem	:	B.A Çerçeve			
		Dead_Kaplama	:	2	kN/m^2
Döşeme Yükü	:	Q	:	2	kN/m^2
		Dead	:	Oto	
Dış Kiriş Yükü	:	Dead_Duvar	:	5,5	kN/m
İç Kiriş Yükü	:	Dead_Duvar	:	4,5	kN/m
Kiriş Kolon Zati	:	Dead	:	Oto	



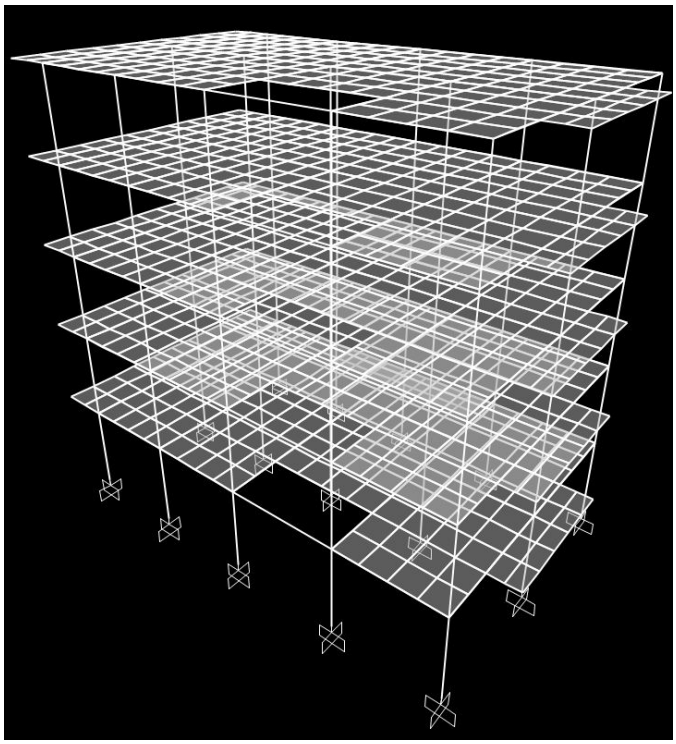
Şekil 3.3. Düzenli Binanın Zemin ve Normal Katlarının Rölevesi

3.2. Matematik Modellerin 3D Görüntüleri

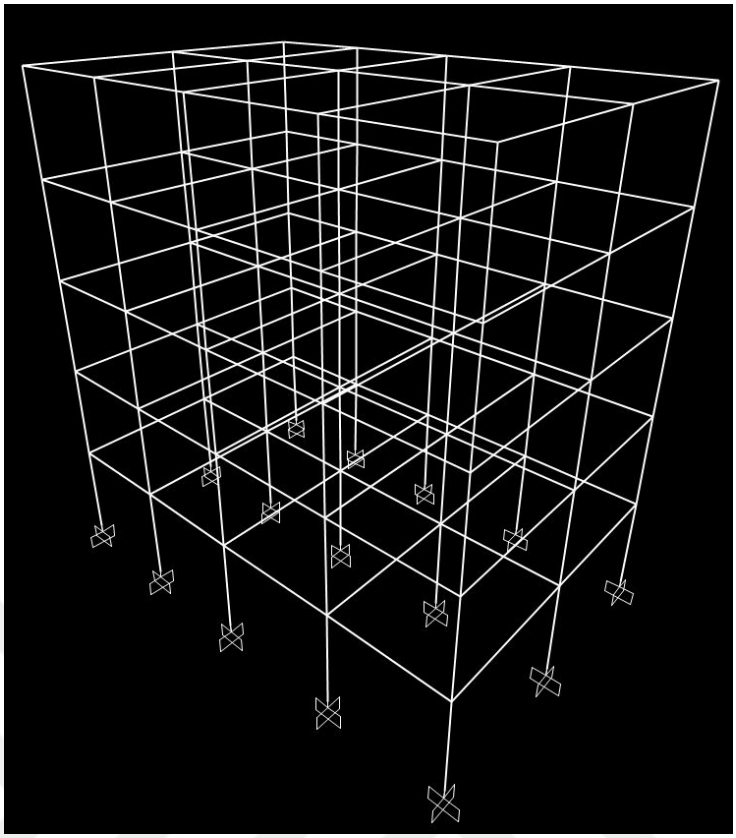
Çalışmada kullanılan dört temel model olan M_1, M_2, M_3 ve M_4 matematik modellerin 3D görüntüleri sırasıyla Şekil 3.4, Şekil 3.5, Şekil 3.6 ve Şekil 3.7'de gösterilmiştir.



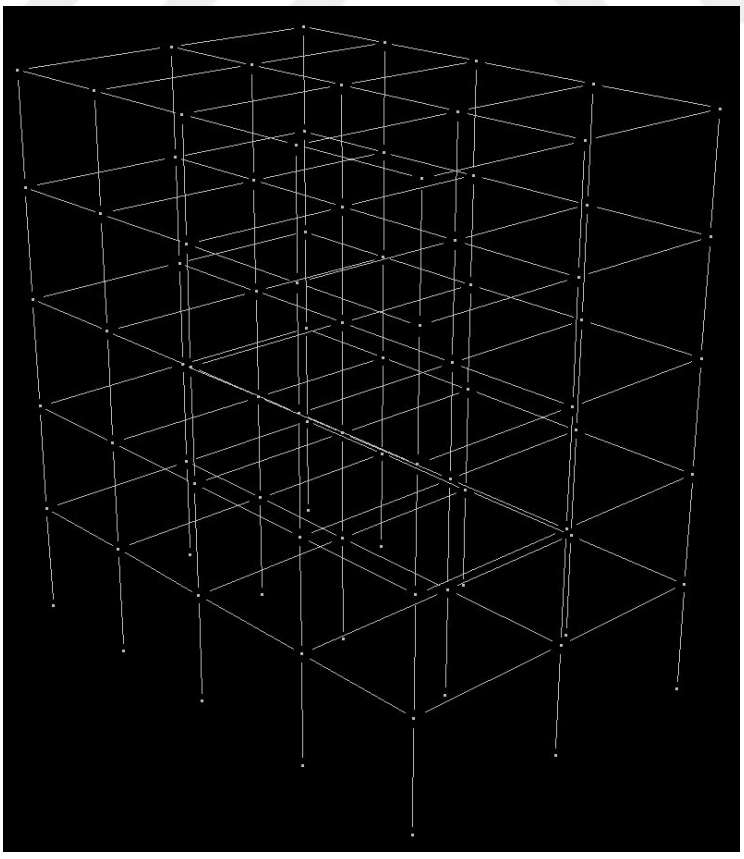
Şekil 3.4. M_1 (Düzensiz Bina) Modeli



Şekil 3.5. M_2 (Düzenli Bina) Modeli



Şekil 3.6. M_3 (Düzenli Bina) Modeli



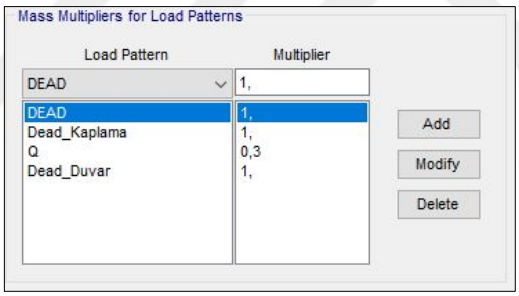
Şekil 3.7. M_4 (Düzenli Bina) Modeli 3D Görüntüsü

3.3. Modal Analiz

İncelenen dört grup model için (toplamda sekiz model) doğrusal olmayan modellemeye geçilmeden önce doğrusal kesitler ve Bölüm 2.3.3.2'de tanımlanan etkin kesit rijitlikleri dikkate alınarak modal analiz yapılmış ve modellerin hâkim periyotları belirlenmiştir.

3.3.1. Yapı kütleleri

Sap2000 programı, binaya uygulanan yüklerin istenilen katsayılarla çarpılarak ve birbirlerine eklenerek kütle kaynağı olarak tanımlanabilmesine imkân sağladığından modal kütleyi, her iki yatay ve düşey öteleme serbestliklerine göre kolayca tanımlayabilmektedir. PERFORM modelleri, SAP2000 programından aktarılarak oluşturulduğu için, bu modellerde de aynı kütleler tanımlanmıştır. Şekil 3.8'de görüldüğü üzere zati yükler 1, hareketli yükler ise Tablo 2.10'da konutlar için tanımlanan n=0,30 katılım oranıyla kütle hesabına katılmıştır.



Şekil 3.8.SAP2000 Kütle Tanımı

Çarpanlarıyla çarpılmış yüklerden hesaplanan ve modellerde okunan kütleler Tablo 3.4'de verilmiştir.

Tablo 3.4. Dört Farklı Modelin Kat Ağırlıkları (kN)

Kat	Düzensiz bina	Düzenli Bina		
	M_1_SAP	M_2_SAP	M_3_SAP	M_4_PER
1. Kat	4,366	1,647	1,641	1,641
2. Kat	4,241	1,632	1,626	1,626
3. Kat	4,241	1,632	1,626	1,626
4. Kat	4,188	1,632	1,626	1,626
5. Kat	4,188	1,553	1,547	1,547
6. Kat	3,086	-	-	-
TOPLAM	24,310	8,096	8,066	8,066

3.3.2. Modal Analiz Sonuçları

Çalışma kapsamındaki dört model, doğrusal olmayan modelleme yapılmadan önce, diğer bir deyişle yalnızca çatlamış doğrusal kesitler ve rijit uç bölgeler dikkate alınarak yapılan modal analizlerde Tablo 3.5'deki periyot ve etkin kütleler hesaplanmıştır.

Tablo 3.5. Dört Doğrusal Modelin Modal Analiz Sonuçları, Periyot (T,s) ve Kütle Katılım Oranları (Ux, Uy, Rz)

Kat	Düzensiz bina	Düzenli Bina		
	M_1_SAP	M_2_SAP	M_3_SAP	M_4_PER
	T(s)-Ux-Uy-Rz	T(s)-Ux-Uy-Rz	T(s)-Ux-Uy-Rz	T(s)-Ux-Uy-Rz
1. Mod	0,89-%6-%0-%73	0,78-%80-%0-%1	0,80-%79-%0-%1	0,80-%79-%0-%-
2. Mod	0,78-%70-%2-%6	0,73-%0-%83-%0	0,76-%0-%83-%0	0,76-%0-%83-%-
3. Mod	0,61-%2-%73-%0	0,65-%0-%0-%81	0,70-%1-%0-%80	0,69-%0-%0-%-
4. Mod	0,30-%0-%0-%11	0,24-%11-%0-%0	0,24-%11-%0-%0	0,25-%11-%0-%-
5. Mod	0,26-%12-%0-%0	0,23-%0-%10-%0	0,24-%0-%10-%0	0,24-%0-%10-%-
6. Mod	0,21-%0-%0-%1	0,21-%0-%0-%11	0,22-%0-%0-%11	0,22-%0-%0-%-
7. Mod	0,19-%0-%12-%0	0,14-%0-%1-%0	0,14-%0-%3-%0	0,14-%0-%4-%-
8. Mod	0,17-%0-%1-%2	0,14-%0-%1-%0	0,13-%5-%0-%0	0,13-%5-%0-%-
TOP.	-%91-%90-%93	-%91-%96-%92	-%96-%97-%92	-%96-%97-%-
Tpx (s)	0,78	0,78	0,80	0,80
Tpy (s)	0,61	0,73	0,76	0,76

Doğrusal modelleme ile elde edilen modal analiz sonuçları Tablo 3.5'de görüldüğü gibi elde edilmekle birlikte doğrusal olmayan modelleme yapıldığında söz konusu modal parametrelerde değişiklikler olmaktadır. Doğrusal olmayan modelleme yapıldığında yığılı mafsal tanımlandığında sonlu eleman modelinde çubuk elemanlarda eleman boyunca ek entegrasyon noktaları oluşturulduğundan binanın özelliklerine göre başlangıç periyotları değişmektedir. Benzer şekilde, fiber mafsal tanımlamaları için mafsal boyuna ve malzeme özelliklerine bağlı olarak fiber segmentlerinin rijitlikleri genel sistem rijitliğe dahil edildiğinden, ayrıca yığılı mafsal tanımındaki gibi eleman boyunca ek entegrasyon noktaları oluşturulduğundan, yapının başlangıç periyotları değişmektedir. Söz konusu değişimler analiz sonuçlarının değerlendirildiği bölümde gösterilmiştir.

3.4. Deprem Etkisi için Bina Değerlendirilmesi

Bölüm 2.2'deki tanım ve esaslarla deprem tasarım sınıfı (DTS) ve bina yükseklik sınıfı (BYS) parametreleriyle yapının performans hedefi ve tasarım yaklaşımı tespit edilecektir.

3.4.1. Bina parametreleri

Çalışmada ele alınan iki bina için bina parametreleri Tablo 3.6'de verilmiştir.

Tablo 3.6. Bölüm 2.2'ye Göre Bina Parametreleri

Açıklama		Düzensiz Bina	Düzenli Bina
Bina kullanım sınıfı (BKS)	:	3	3
Deprem tasarım sınıfı (DTS)	:	1	1
Bina yüksekliği (m)	:	16,8	14,0
Bina yükseklik sınıfı (BYS)	:	6	6

3.4.2. Mevcut binanın performans hedefi ve uygulanacak tasarım yaklaşımı

Mevcut yerinde dökme betonarme binanın performans hedef ve değerlendirme tasarım yaklaşımı Tablo 2.9'de tanımlanmıştır. Deprem tasarım sınıfına göre DD-2 deprem yer hareketi düzeyiyle normal performans hedefi, Kontrollü Hasar (KH) ve değerlendirme/tasarım yaklaşımı Şekil Değiştirmeye Göre Tasarım (ŞGDT) ile tek performans hedefi belirlenmiştir.

3.5. DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyi için Deprem Parametreleri

Daha önce de belirtildiği gibi, incelenen her iki binanın da düzensiz binanın bulunduğu İstanbul ili Beykoz ilçesinde konumlandığı varsayılmıştır.

3.5.1. Zemin Parametreleri

İstanbul ili, Beykoz ilçesindeki düzensiz binada zemin tespit çalışmaları yapılmıştır. Yapılan çalışmaların sonuçları Tablo 3.7'da verilmiştir.

Tablo 3.7. Deprem Hesabında Kullanılacak Zemin Parametreleri

Zemin Sınıfı	:	ZB
VS30 (m/s)	:	873
T (s)	:	0,34
Zemin Emniyet Gerilmesi (kg/cm^2)	:	1,8
Düşey Yatak Katsayısı (t/m^3)	:	2.160

3.5.2. Spektrum katsayıları

DD-2 yer hareketi düzeyi için spektrum katsayıları, Türkiye Deprem Tehlike Haritaları (https://tdth.afad.gov.tr) ile tanımlanmıştır. İlgili koordinatlarda bulunan yapının, ZB zemin sınıfı dikkate alınarak, analizlerde kullanılan spektrum değerleri Tablo 3.8'de verilmiştir.

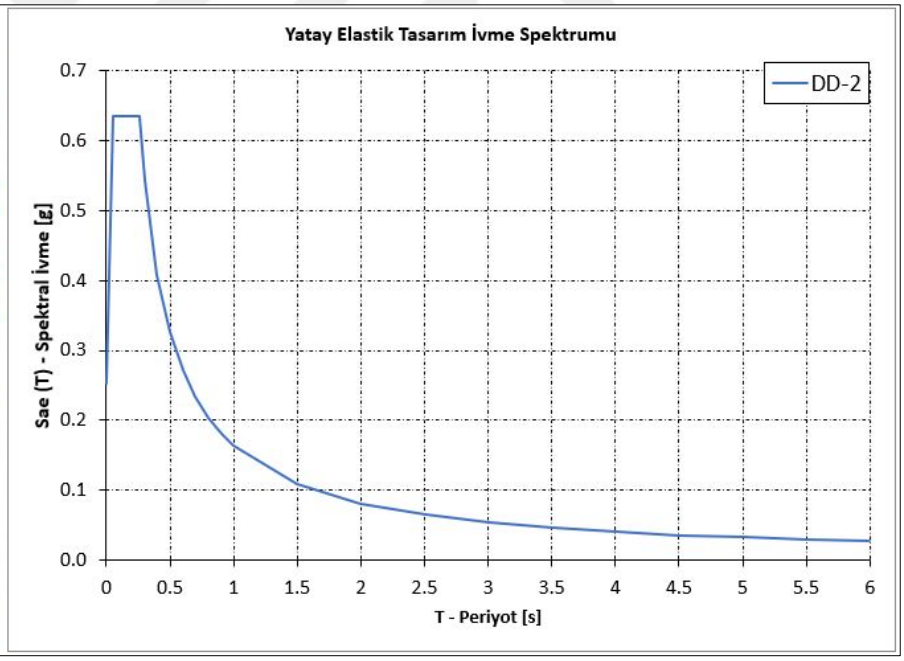
Tablo 3.8. DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyi Spektrum Değerleri

S_S	S_1	PGA (g)	F_S	F_1	S_{DS}	S_{D1}	T_A (s)	T_B (s)	T_L (s)
0,705	0,204	0,293	0,900	0,800	0,634	0,163	0,051	0,257	6,000

3.5.3. Yatay Elastik Tasarım Spektrumu

DD-2 Deprem yer hareketi için doğal titreşim periyoduna bağlı olarak yerçekimi ivmesi [g] cinsinden Sae(T), Denklem (2.3)'e göre hesaplanmış ve Şekil 3.9'daki grafik elde edilmiştir.

T(s)	S_{ae} (g)
0.000	0.2538
0.051	0.6345
0.100	0.6345
0.200	0.6345
0.257	0.6345
0.300	0.5440
0.400	0.4080
0.500	0.3264
0.600	0.2720
0.700	0.2331
0.800	0.2040
0.900	0.1813
1.000	0.1632
1.500	0.1088
2.000	0.0816
2.500	0.0653
3.000	0.0544
3.500	0.0466
4.000	0.0408
4.500	0.0363
5.000	0.0326
5.500	0.0297
6.000	0.0272



Şekil 3.9. DD-2 Deprem Yer Hareketi için Yatay Elastik Tasarım Spektrum Grafiği ve Değerleri

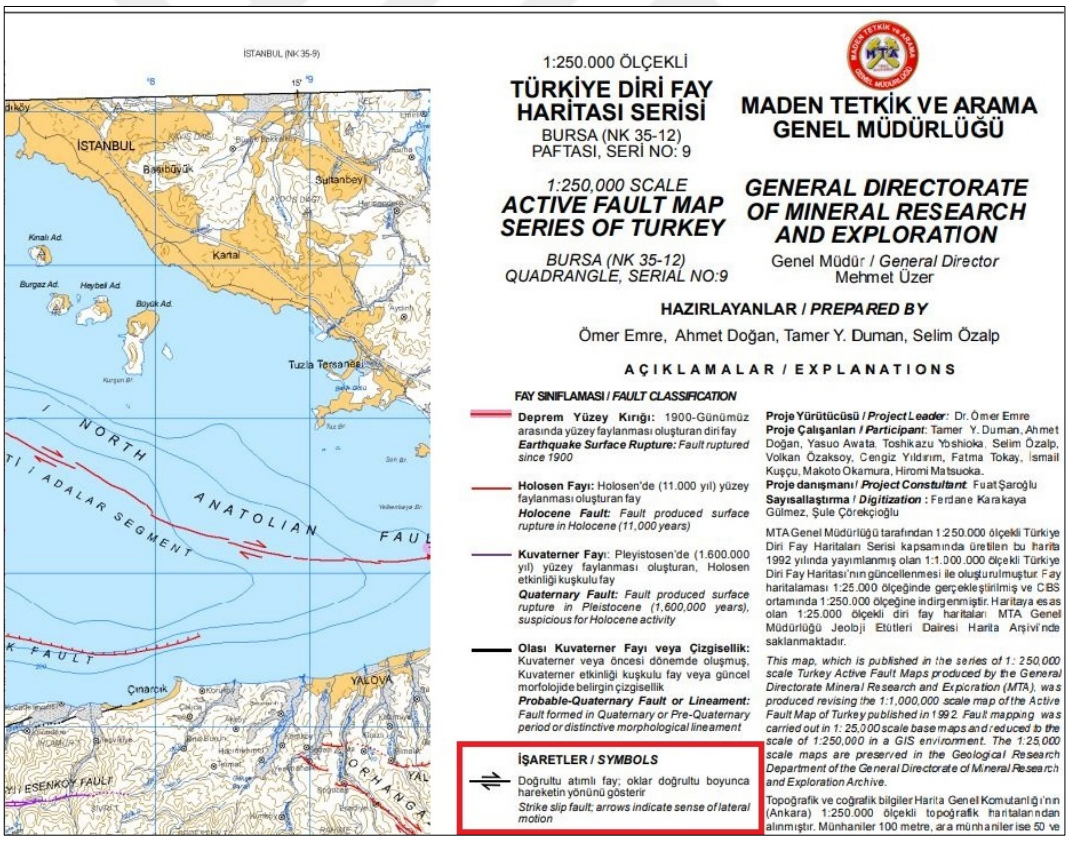
3.6. Deprem Kayıtlarının Seçimi ve Ölçeklendirilmesi

3.6.1. Deprem Kayıtlarının Veri Bankasından Bulunması

Bölüm 2.1.3'deki esaslara uygun deprem kayıtları, PEER (Pacific Earhquake Engineering Research) Ground Motion Database web sitesindeki

(https://ngawest2.berkeley.edu) veri kütüphanesinde aranmıştır [44]. PEER web uygulamasında kullanılmak üzere ilgili parametreler aşağıda açıklanmıştır.

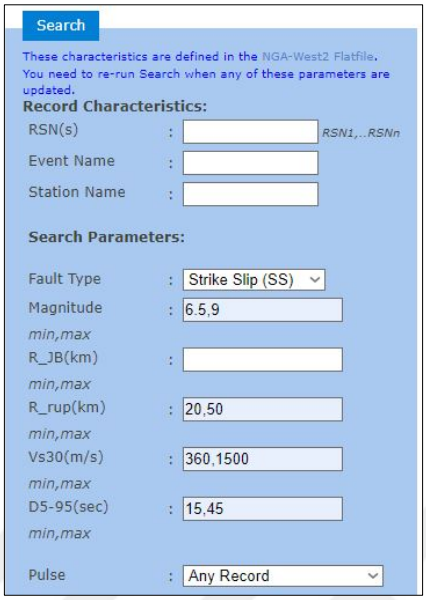
- Fay tipi olarak, Şekil 3.10'daki Türkiye Diri Fay Haritası Serisi – Bursa (NK35-12) Paftasına göre strike slip fault (doğrultu atımlı fay) seçilmiştir.
- Bölgenin depremselliği, tarihte olan depremler ve beklenen senaryo depremlere göre deprem büyüklüğü (magnitude), 6,5 ile 9,0 aralığında seçilmiştir.
- R_{rup} (aktif faya olan uzaklık), 20 ile 50 km aralığında belirtilmiştir. İlgili konumun diri faya uzaklığı yaklaşık 30 km'dir.
- Kayma dalgası hızının (Vs30) aralıkları, zemin sınıfına göre Tablo 2.2'de ZC ve ZB zemin sınıflarını esas alınarak 360 ile 1500 m/s olarak belirlenmiştir. Mevcut yapıda yapılan çalışmalar sonucunda V_{s30}, 873 m/s olarak belirlenmiştir.
- Kuvvetli yer hareketi kısmının süresi (anlamlı süre) en az 15 s ve en çok 45 s olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.10. Türkiye Diri Fay Haritası Serisi - Bursa (NK35-12) Paftası

Peer veri kütüphanesinden Şekil 3.11'e [44] göre otuz altı (36) adet deprem kaydı takımı elde edilmiştir. Bu kayıtların içerisinden bu bölümün devamında açıklanan ve

Bölüm 2.1.3'deki esaslara göre seçilen on bir (11) adet deprem kaydı takımı Tablo 3.9'de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Peer Web Uygulaması Deprem Kaydı Arama Parametreleri

Tablo 3.9. Seçilen 11 Adet Deprem Kaydı Listesi

ID	RSN	Deprem ismi	Yıl	İstasyon	Deprem Büyüklüğü	Mekanizma	Rrup (km)	Vs30 (m/s)	Anlamlı süre (s)
1	838	Landers	1992	Barstow	7,3	strike slip	34,9	370,1	21,3
2	1619	Duzce_ Turkey	1999	Mudurnu	7,1	strike slip	34,3	535,2	16,4
3	1762	Hector Mine	1999	Amboy	7,1	strike slip	43,1	382,9	26,7
4	3757	Landers	1992	North Palm Springs Fire Sta #36	7,3	strike slip	27,0	367,8	35,9
5	3759	Landers	1992	Whitewater Trout Farm	7,3	strike slip	27,1	425,0	33,4
6	3871	Tottori_ Japan	2000	HRS002	6,6	strike slip	30,7	458,1	15,2
7	3948	Tottori_ Japan	2000	SMNH02	6,6	strike slip	23,6	502,7	22,3
8	3956	Tottori_ Japan	2000	SMNH12	6,6	strike slip	45,1	590,2	24,4
9	6891	Darfield_ New Zealand	2010	CSHS	7,0	strike slip	43,6	638,4	28,9
10	6915	Darfield_ New Zealand	2010	Heathcote Valley Primary School	7,0	strike slip	24,5	422,0	15,7
11	6971	Darfield_ New Zealand	2010	SPFS	7,0	strike slip	29,9	389,5	22,7

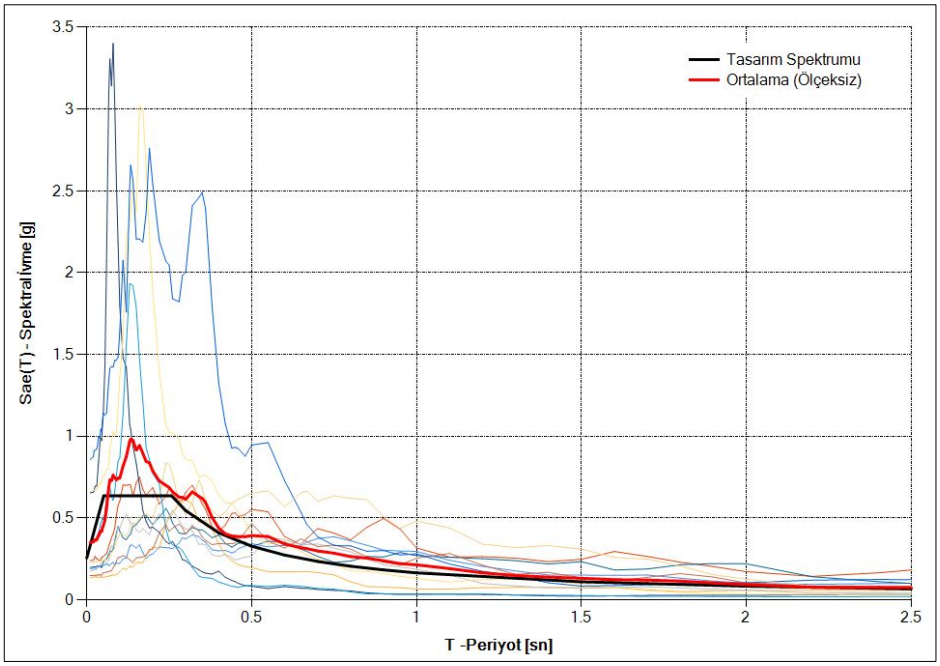
Deprem seçimlerinde, aynı depremden seçilen kayıt takımı sayısının üçü geçmemesi koşuluna dikkat edilmiştir. Aynı depremden seçilen kayıtların sayısı Tablo 3.10'da verilmiştir.

Tablo 3.10. Aynı Depremde Seçilen Kayıt Adetleri

Deprem İsmi	Kayıt Adet
Landers	3
Duzce_ Turkey	1
Hector Mine	1
Tottori_ Japan	3
Darfield_ New Zealand	3

Otuzaltı deprem kaydı içerisinden on bir deprem kaydının seçilmesinde tasarım spektrumuna uyumu ve aşağıdaki bölümde açıklanan ölçek katsayıları en önemli iki etkendir.

PEER veri kütüphanesinden elde edilen kayıtların %5 sönüme sahip tek serbestlik dereceli sistemin davranış spektrumlarını Peer Web uygulaması ile elde edilmiştir. Seçilen deprem yer hareketi kayıtlarının iki yatay bileşenine ait spektrumların kareleri toplamının karekökü (SRSS) alınarak Şekil 3.12'deki bileşke spektrumlar elde edilmiştir.



Şekil 3.12. Seçilen On Bir Depremin Ölçeklendirilmemiş Bileşke Spektrumları ve Ortalaması

3.6.2. Deprem kayıtlarının basit ölçeklendirme yöntemiyle ölçeklendirilmesi

Ölçekleme yapılacak periyot aralığı Bölüm 2.1.3'de belirtildiği üzere $0,2T_p$ ve $1,5T_p$ olarak hesaplanacaktır. Tablo 3.5'deki hâkim periyotlara (T_p) göre güvenli tarafta kalarak T_p, alt sınır için 0,78 s ve üst sınır için 0,8 alınmış ve işlem kolaylığı açısından alt sınırda aşağı, üst sınırda yukarı yuvarlama işlemi yapılmıştır.

$0,2T_p = 0,156 \approx 0,100$

$1,5T_p = 1,200 \approx 1,300$

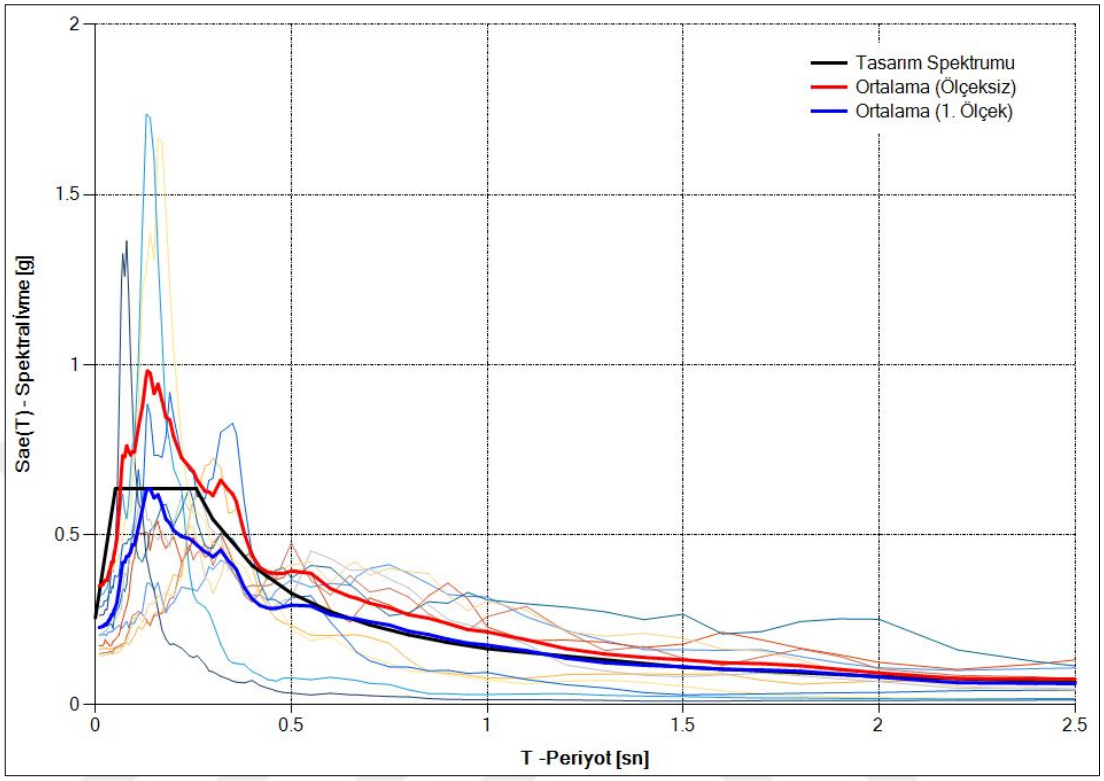
Sınırları belirlenen periyot aralığı, Denklem (2.5) uygulanmak üzere 0,2 saniyelik altı (6) eşit parçaya bölünmüş ve yedi periyot noktalarındaki $S_{ae}(g)$ değerleri Tablo 3.11'de verilmiştir.

Tablo 3.11. Bileşke Spektrumların 0,2Tp ve 1,5Tp Aralığındaki Değerleri

T	Sae (g)											
	Hedef	Gerçek										
	Tasarım	RSN-838	RSN-1619	RSN-1762	RSN-3757	RSN-3759	RSN-3871	RSN-3948	RSN-3956	RSN-6891	RSN-6915	RSN-6971
0,1	0,635	0,223	0,170	0,600	0,419	0,436	1,797	1,354	0,865	0,259	1,640	0,404
0,3	0,544	0,371	0,609	0,656	0,402	0,433	0,237	0,857	0,267	0,400	2,000	0,516
0,5	0,326	0,342	0,195	0,552	0,325	0,265	0,081	0,399	0,086	0,465	0,945	0,650
0,7	0,230	0,373	0,165	0,434	0,264	0,339	0,062	0,250	0,068	0,324	0,384	0,602
0,9	0,180	0,302	0,077	0,496	0,260	0,212	0,036	0,158	0,034	0,229	0,300	0,507
1,1	0,148	0,240	0,064	0,260	0,258	0,150	0,033	0,108	0,034	0,282	0,218	0,438
1,3	0,126	0,175	0,074	0,253	0,238	0,084	0,027	0,127	0,029	0,155	0,144	0,317

Tablo 3.11'deki gerçek ivme spektrumları ve hedef ivme spektrumlarıyla, her bir deprem kaydı için Denklem (2.5) ile ayrı ayrı 1.ölçek katsayıları hesaplanmıştır. 1.ölçek katsayıları, on bir deprem kaydının davranış spektrum değerlerine uygulanmış ve ortalama spektrum Şekil 3.13'de gösterilmiştir. Ölçekleme yapılacak periyot aralığındaki, deprem kayıtlarının ortalamasının spektrum genlikleri her bir adımda

tasarım spektrumunun genliklerinin 1,3 katından büyük olması kuralı için 2.ölçek katsayısı hesaplanmıştır.



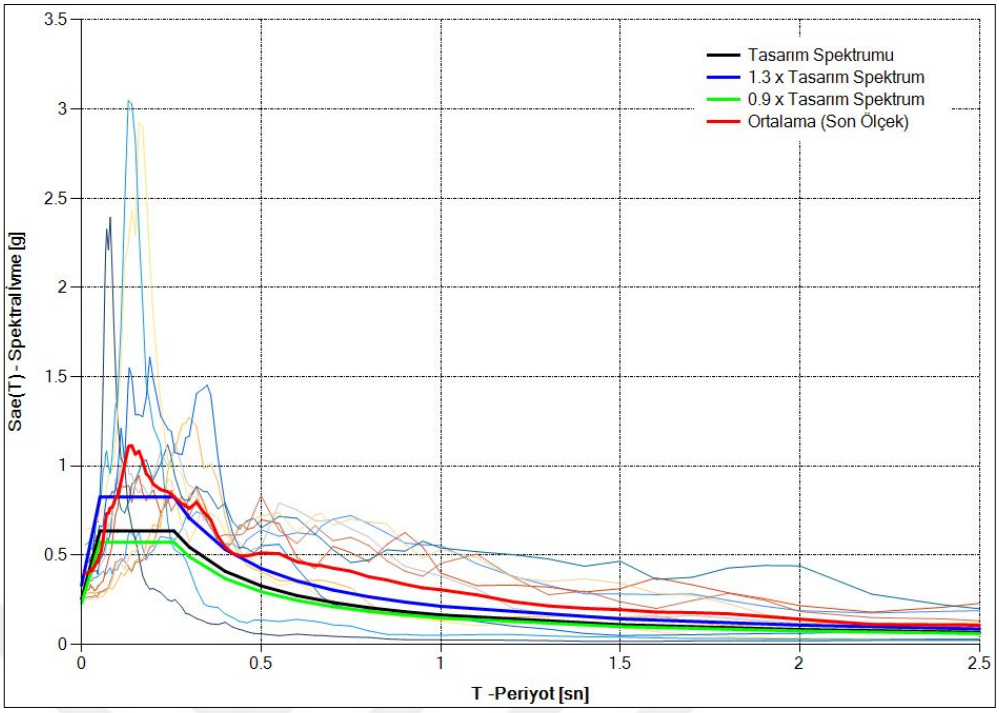
Şekil 3.13. Seçilen On Bir Depremin 1.Ölçek Katsayısıyla Ölçeklenmiş Bileşke Spektrumlarının Ortalaması

Belirtilen periyot aralığında, 1.ölçekli ortalama davranış spektrumuyla, 1,3 Arttırılmış Tasarım Spektrum değerleri her periyot adımı için oranlanmıştır. Bu oranların en büyüğü, seçilen tüm deprem kayıtları için sabit olan 2.ölçek katsayısı, 1,775 olarak hesaplanmıştır. Her bir deprem kaydı için farklı olan 1.ölçek katsayısı ile tüm deprem kayıtları için aynı 2.ölçek katsayısı birlikte uygulanarak son ölçek katsayısı Tablo 3.12'de görüldüğü üzere hesaplanmıştır.

Tablo 3.12. Seçilen On Bir Deprem Kaydı için Ölçek Katsayıları

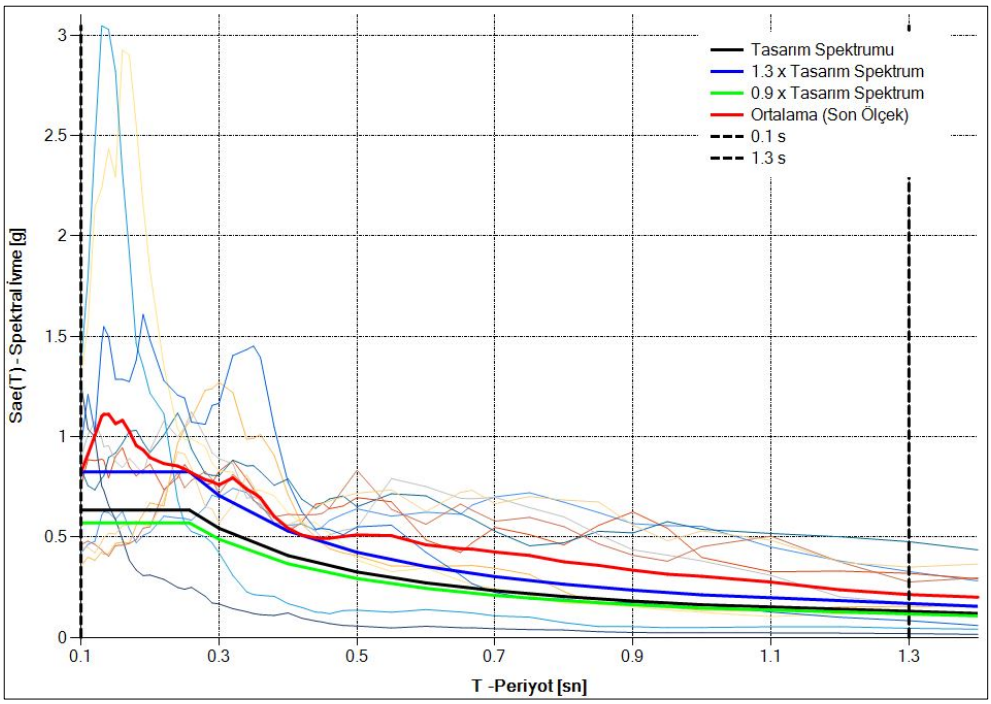
	RSN-838	RSN-1619	RSN-1762	RSN-3757	RSN-3759	RSN-3871	RSN-3948	RSN-3956	RSN-6891	RSN-6915	RSN-6971
1. Ölçek	1,07	1,19	0,72	1,14	1,17	0,40	0,55	0,90	1,02	0,33	0,63
2. Ölçek	1,76										
Son Ölçek	1,88	2,09	1,26	2,01	2,06	0,7	0,97	1,58	1,79	0,58	1,11

Son ölçek katsayılarıyla hesaplanmış deprem kayıtlarının bileşke spektrumlarının ortalaması Şekil 3.14'de görülmektedir.



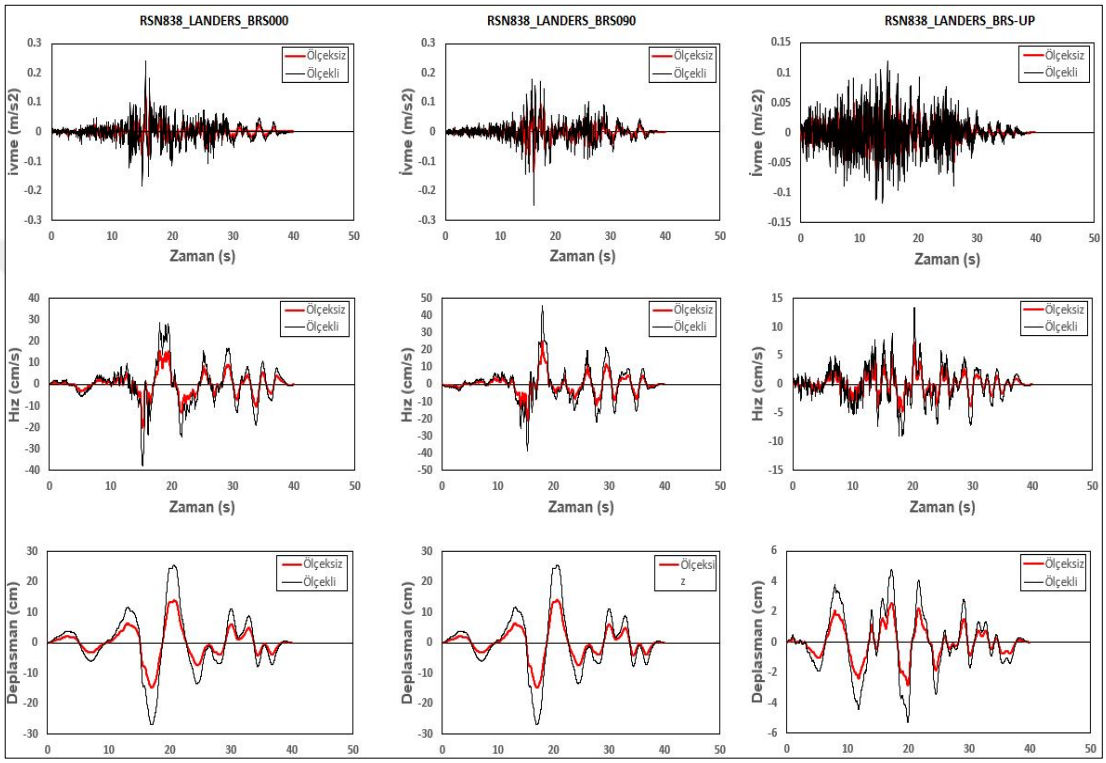
Şekil 3.14. Seçilen On Bir Deprem Kaydının Son Ölçek Katsayısı ile Ölçeklenmiş Bileşke Spektrumlarının Ortalaması

Şekil 3.15'deki grafikten görüleceği üzere, 1,3 kuralı sağlanmıştır. Ayrıca ortalama spektrumun, 0 s ile 0,06 s periyot aralığı hariç diğer periyotlarda 0,9 ile azaltılmış tasarım spektrumunun üstünde kaldığı da gösterilmiştir.



Şekil 3.15. Seçilen On Bir Deprem Kaydının $0,2T_p$ ile $1,5T_p$ Arasında Son Ölçek Katsayılarıyla Ölçeklenmiş Bileşke Spektrumlarının Ortalaması

Yukarıda anlatılan esaslar haricinde, otuz altı (36) deprem kaydı içerisinden seçilecek on bir (11) deprem kaydı, tasarım spektrumuna uyumu dikkate alınarak seçilmiştir. Ölçek katsayılarının 0,5 ile 2,0 arasında olmasına dikkat edilmiştir. Ayrıca seçilen deprem kayıtlarının temiz olmasına dikkat edilmiştir. Örnek olarak RSN-838 depremi için her üç doğrultuda da ölçekli ve ölçeksiz, ivme-zaman, hız-zaman ve deplasman-zaman grafikleri Şekil 3.16'da gösterilmiştir.



Şekil 3.16. RSN-838 Deprem Kaydı için İvme, Hız ve Yerdeğiştirme Zaman Grafikleri

3.7. Doğrusal Olmayan Matematik Modelin Oluşturulması

Kolon ve kirişler iki ucu altı serbestlikli çubuk eleman, perdeler her noktası altı serbestlikli alan eleman olarak modellenmiştir. Çubuk elemanların uç bölgeleri rijit bölge olarak hesaplanmıştır. Rijit bölgenin bitişinde sıfır uzunluklu yığılı mafsal veya sonlu uzunluklu yayılı mafsal (fiber) kullanılmıştır.

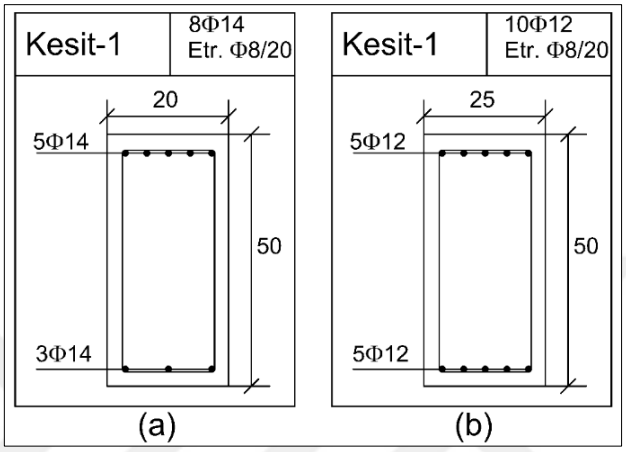
3.7.1. Kesitlerin tanımlanması

Yığılı ve yayılı plastik davranışların modellenmesinde kullanılacak olan kesit listeleri, kolon, kiriş ve perdeler için ayrı ayrı tanımlanmıştır.

Kolon, kiriş ve perde kesitleri için sahada yapılan çalışmalarla uyumlu olarak , net beton örtüsü (pas payı) ortalama 20 mm alınmıştır.

3.7.1.1. Kiriş kesit ve donatı detayı

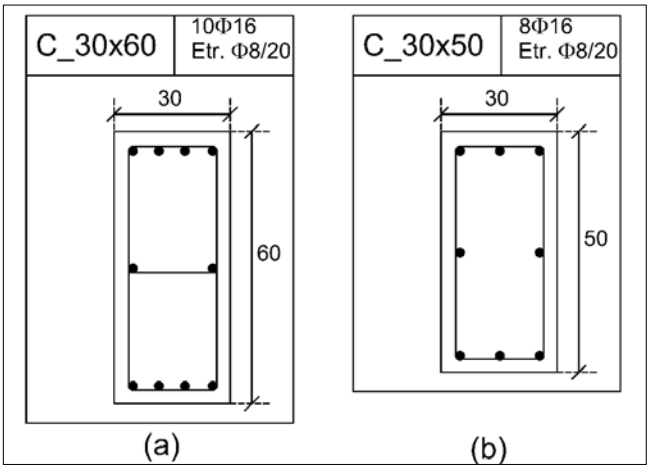
Mevcut projelerdeki kiriş donatı detayları sahada yapılan çalışmalarla kontrol edilmiştir. Elemanın her iki ucu için kiriş boyutları ve donatı detaylarına bağlı olarak düzensiz binada 21 adet kiriş kesiti, düzenli binada 2 adet kiriş kesiti tanımlanmıştır. Örnek olarak her iki binanın Kesit-1 detayları Şekil 3.17'de gösterilmiştir.



Şekil 3.17. (a) Düzenli Bina; (b) Düzensiz Binadaki Örnek Kiriş Kesiti

3.7.1.2. Kolon kesit ve donatı detayı

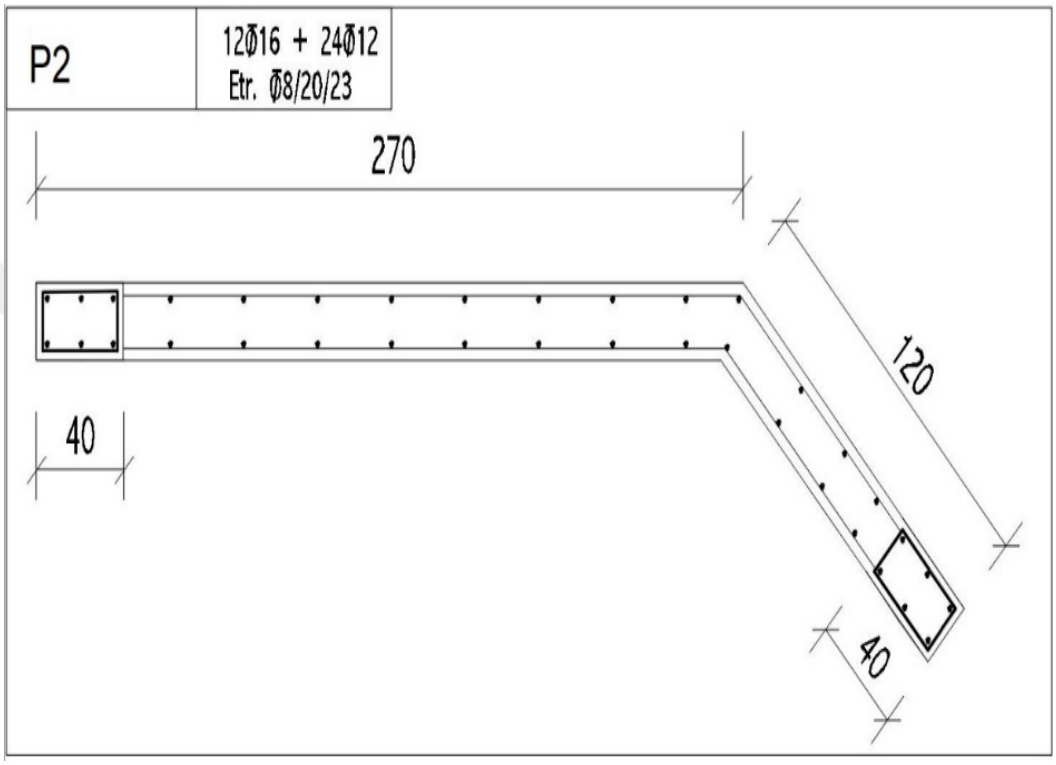
Mevcut projelerdeki kolon donatı detayları sahada yapılan çalışmalarla kontrol edilmiştir. Kolon boyutları ve donatı detaylarına bağlı olarak düzensiz binada 20 adet kolon kesiti, düzenli binada 4 adet kolon kesiti tanımlanmıştır. Örnek olarak düzensiz binada C_30x60 kesiti ve düzenli binada C_30x50 kesiti detayları Şekil 3.18'de gösterilmiştir.



Şekil 3.18. (a) Düzenli Bina; (b) Düzensiz Binadaki Örnek Kolon Kesiti

3.7.1.3. Perde kesit ve donatı detayı

Mevcut projelerdeki perde donatı detayları sahada yapılan çalışmalarla kontrol edilmiştir. Düzenli binada perde bulunmamaktadır. Düzensiz binada 3 farklı perde kesiti bulunmaktadır. Örnek olarak düzensiz binada P2 perde kesiti detayları Şekil 3.19'da gösterilmiştir.

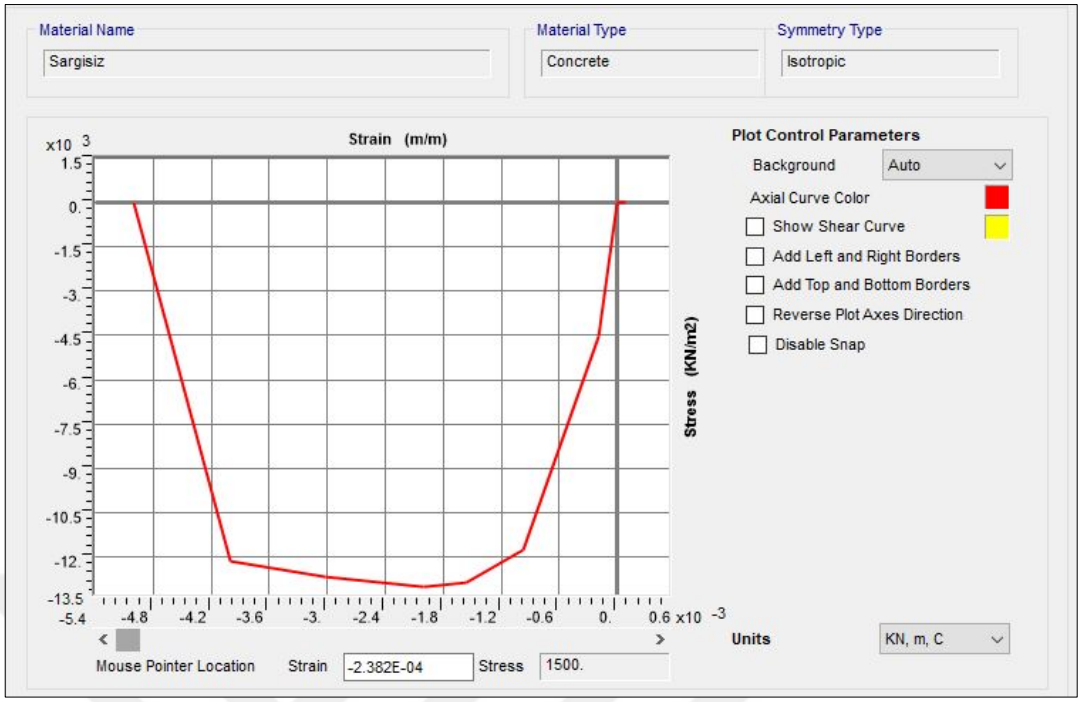


Şekil 3.19. Düzensiz Binada Örnek Perde Detayı

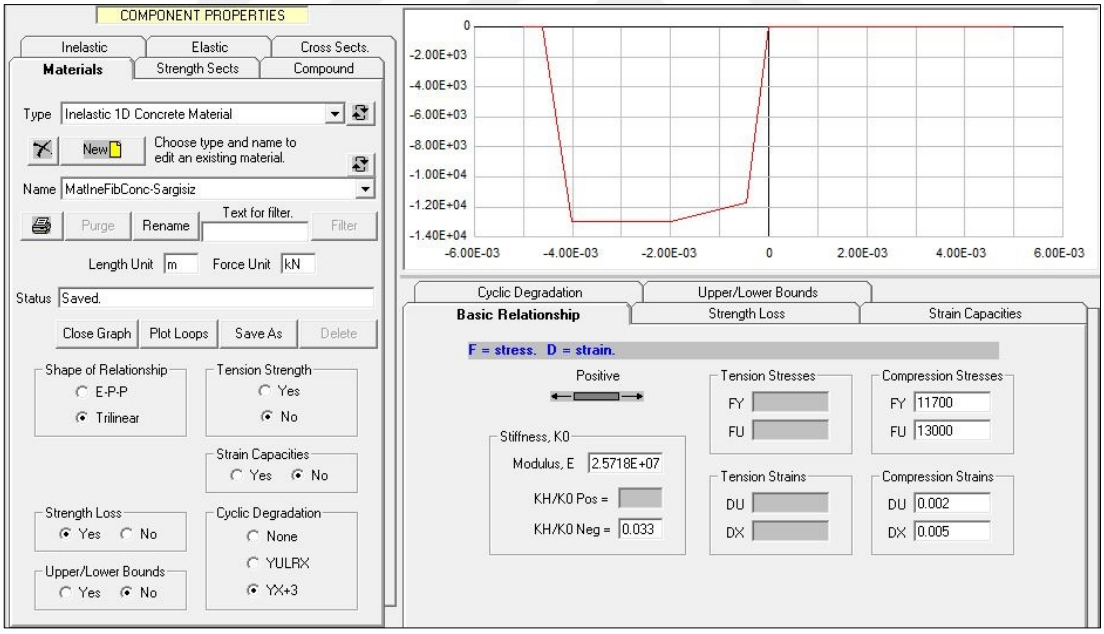
3.7.2. Malzeme modelleri

3.7.2.1. Beton malzeme modelleri

Yapılan saha çalışmalarında, alınan karot numuneler sonucunda düzensiz bina f_{cm}=17,9 MPa, düzenli bina f_{cm}=13,0 Mpa ve bilgi düzeyi katsayısı=1 olarak hesaplanmıştır. Yığılı ve yayılı plastik davranışların modellenmesinde kullanılacak olan beton malzeme modeli, TBDY-2018 EK-5A.1' e göre sargılı ve sargısız beton malzeme modeli esas alınmıştır. Kiriş ve kolonlardaki çekirdek betonları sargılı, net beton örtüsü (paspayı) sargısız beton olarak modellenmiştir. Perdelerin başlık bölgelerinin çekirdek kısmı sargılı, başlık bölgesindeki net beton örtüsü ile gövde bölgesinin tamamı sargısız beton olarak modellenmiştir. Ancak kanca detayı 90° olduğundan, sargılı beton modellerinde, ρ_{sh} hesabında etriyelerin %30' u hesaba dahil edilmiştir.

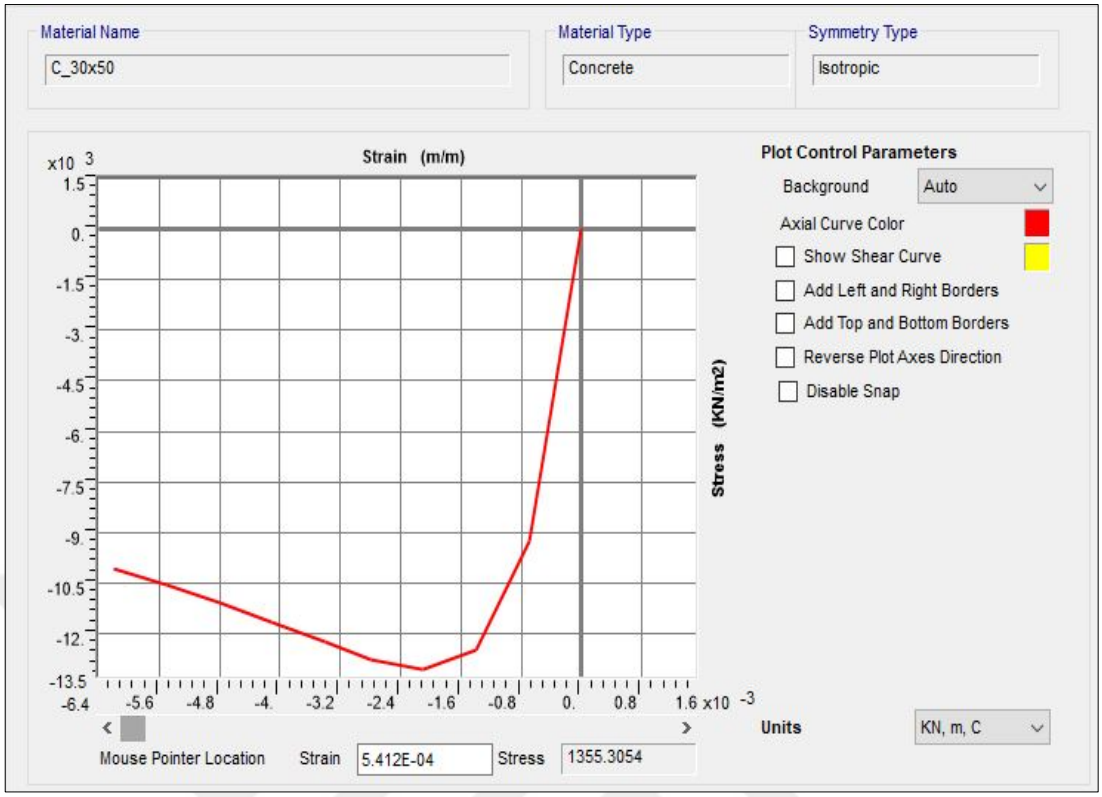


Şekil 3.20. SAP2000'de Düzenli Binanın Sargısız Beton Modeli

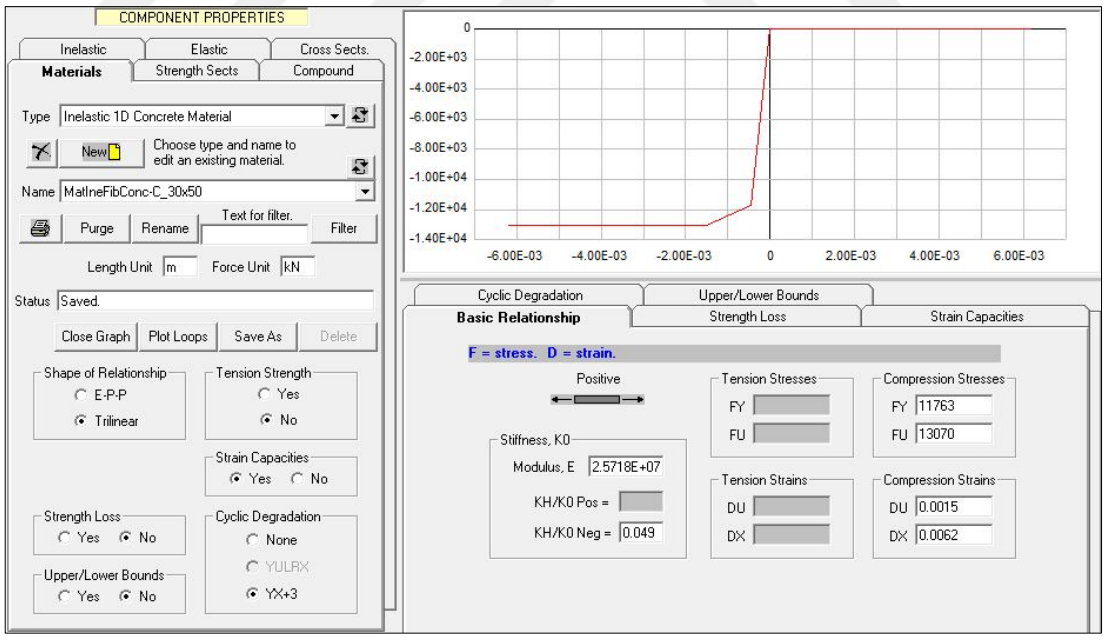


Şekil 3.21. PERFORM-3D'de Düzenli Binanın Sargısız Beton Modeli

Tanımlanan kesit listesi esas alınarak, boyut, boy çap, boy adet ve yanal donatı parametrelerine göre beton malzeme modelleri, düzensiz binada kirişler için 27 adet, kolonlar için 12 adet ve düzenli binada kirişler için 2 adet, kolonlar için ise 2 adet olarak üretilmiştir. Düzenli binada örnek olarak C_30x50 sargılı beton malzemesinin SAP2000 ve PERFORM-3D yazılımlarındaki tanımları sırasıyla Şekil 3.22 ve Şekil 3.23'de gösterilmiştir.

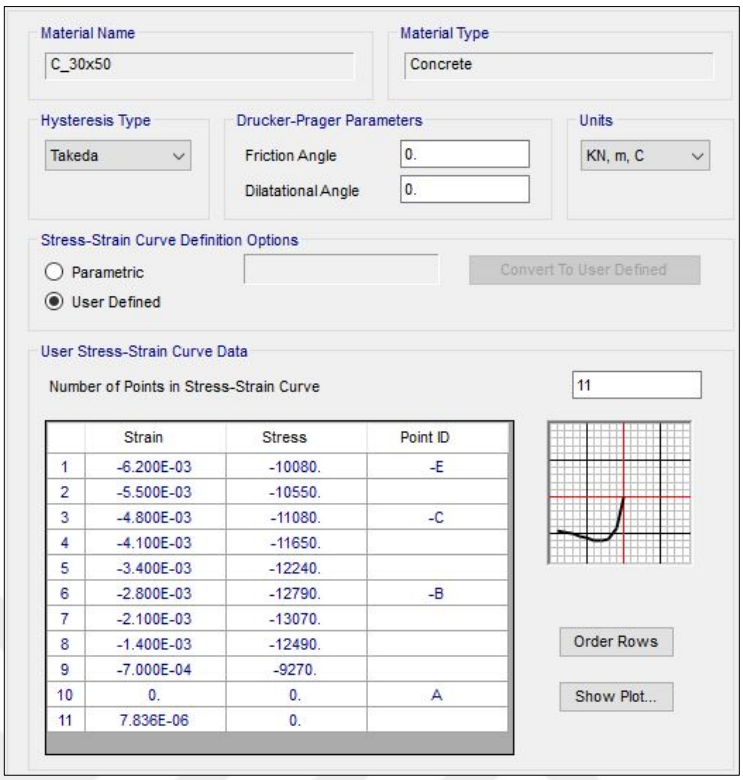


Şekil 3.22. SAP2000'de Düzenli Binanın Örnek Kolonu için Sargılı Beton Modeli

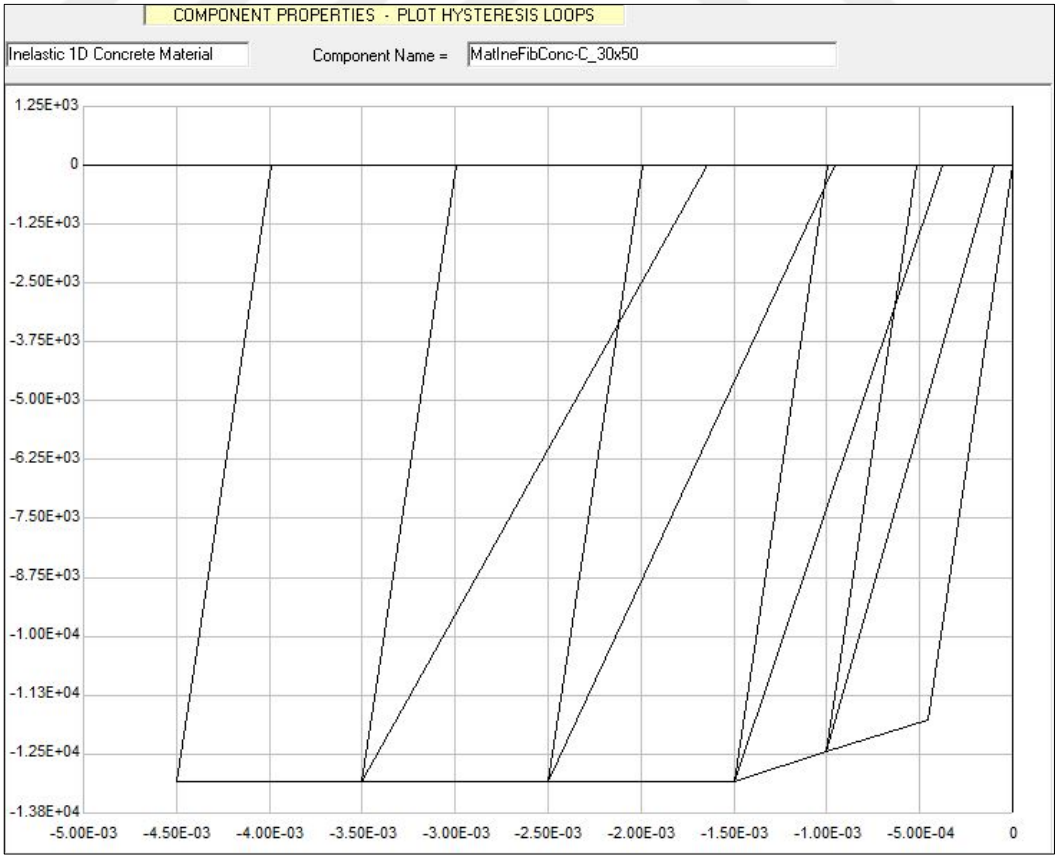


Şekil 3.23. PERFORM-3D'de Düzenli Binanın Örnek Kolonu için Sargılı Beton Modeli

Beton malzemesinin çevrimsel modeli Şekil 3.24'de görüldüğü üzere SAP2000 yazılımında "Takeda" seçimi ile yapılmıştır. PERFORM-3D yazılımında ise kullanıcı tanımlı olarak enerji faktörleri uygulanmış ve Şekil 3.25'de görüldüğü üzere çevrimsel rijitlik kaybını dikkate alan model oluşturulmuştur.



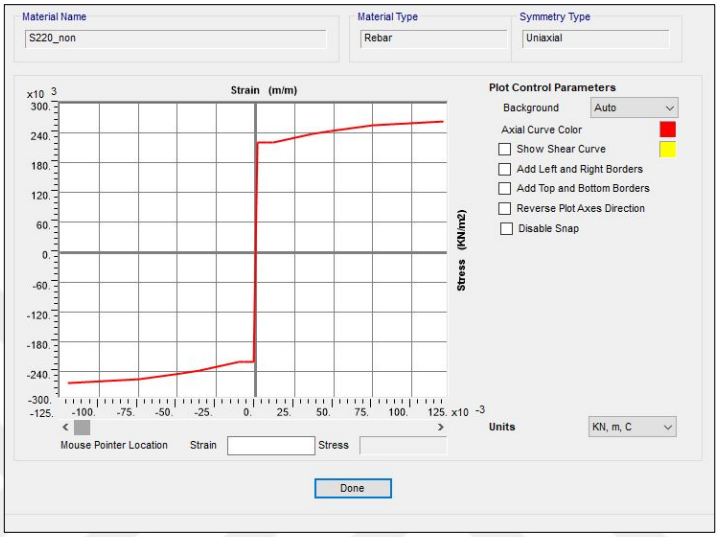
Şekil 3.24. SAP2000 Örnek Beton Malzemesi Çevrimsel Model Seçimi



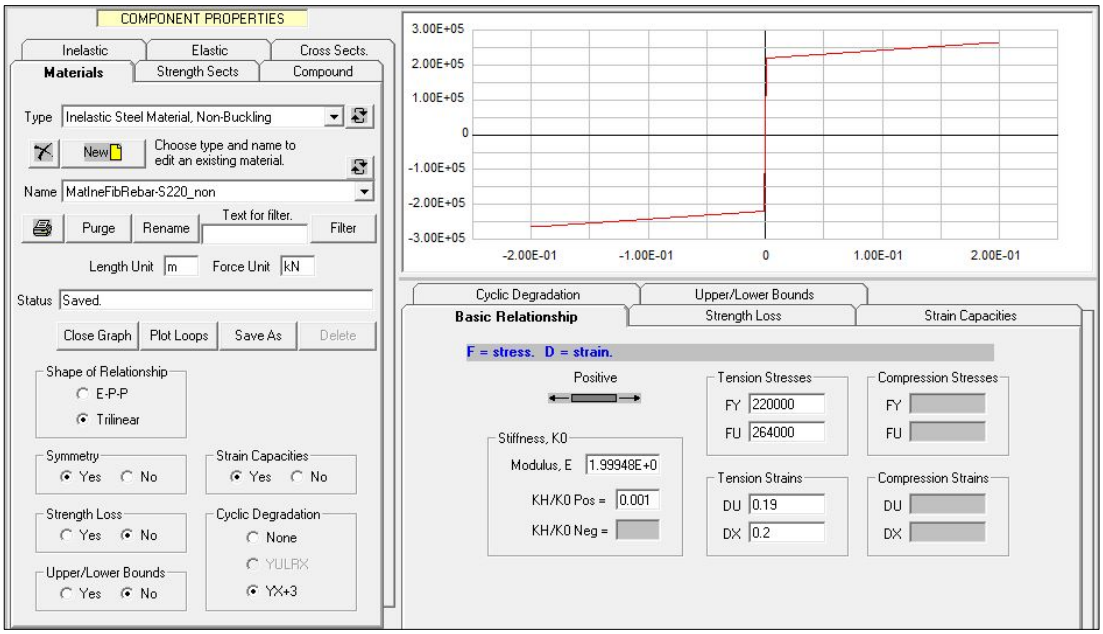
Şekil 3.25. PERFORM-3D Örnek Beton Malzemesi Çevrimsel Modelleme

3.7.2.2. Donatı çeliği için kullanılan malzeme modelleri

Donatı kalitesi her iki binada da S220 olarak belirlenmiştir. Yığılı ve yayılı plastik davranışların modellenmesinde kullanılacak olan donatı çeliği malzeme modelinde, TBDY-2018 EK-5A.2' deki S220 kalitedeki malzeme modeli esas alınmıştır. Her iki yazılımdaki donatı çeliği malzeme modeli Şekil 3.26 ve Şekil 3.27'de gösterilmiştir.



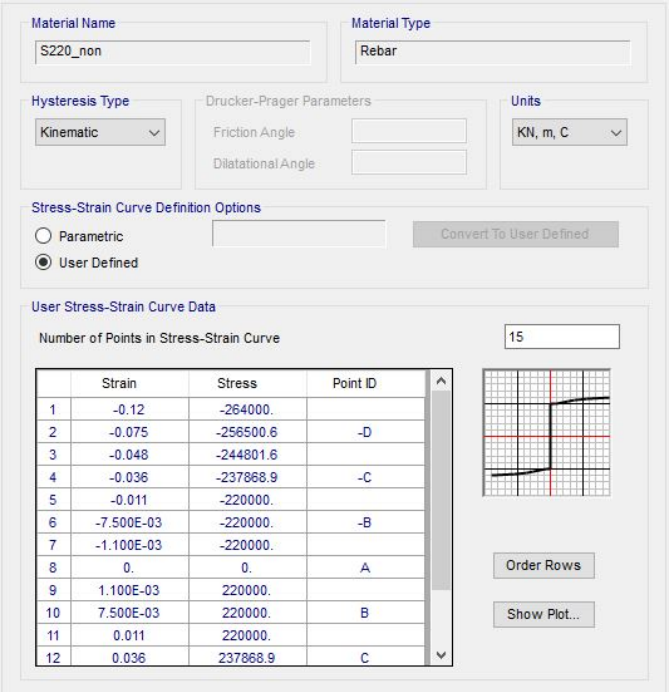
Şekil 3.26. SAP2000'de Donatı Çeliği Modeli



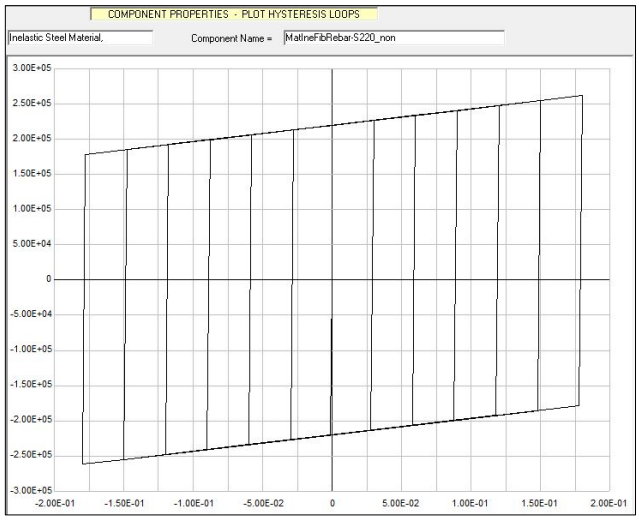
Şekil 3.27. PERFORM-3D'de Donatı Çeliği Modeli

Donatı çeliği malzemesinin çevrimsel modeli Şekil 3.28'de görüldüğü üzere SAP2000 yazılımında "Kinematic" seçimi ile yapılmıştır. PERFORM-3D yazılımında ise standart

donatı çeliği, Şekil 3.29'de görüldüğü üzere çevrimsel davranışı dikkate alan model oluşturulmuştur.



Şekil 3.28. SAP2000'de Donatı Çeliği Malzemesi Çevrimsel Model Seçimi



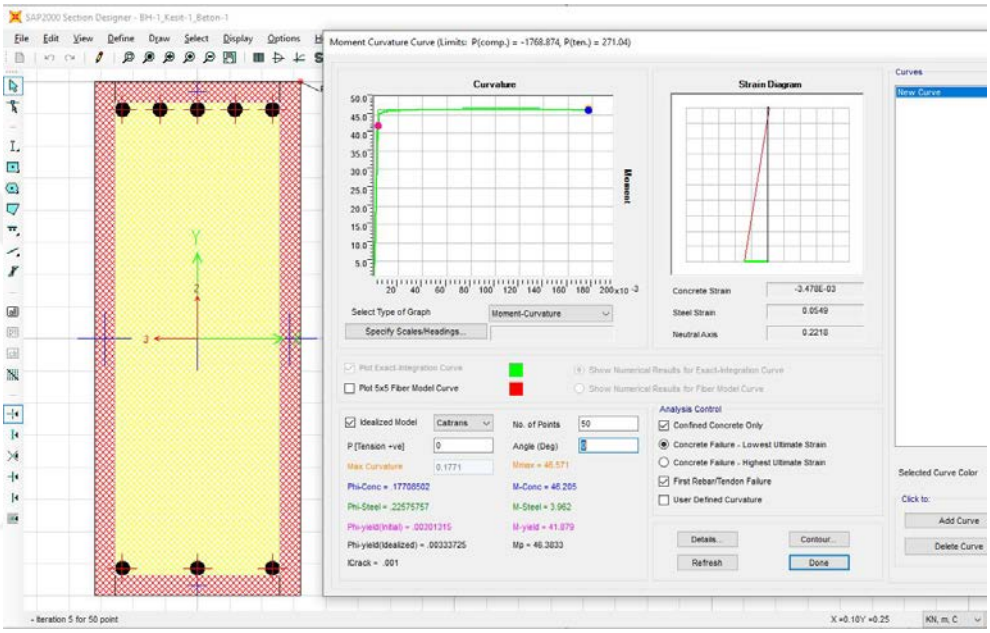
Şekil 3.29. PERFORM-3D Donatı Çeliği Malzemesi Çevrimsel Modelleme

3.7.3. Yığılı plastik davranış modelleri

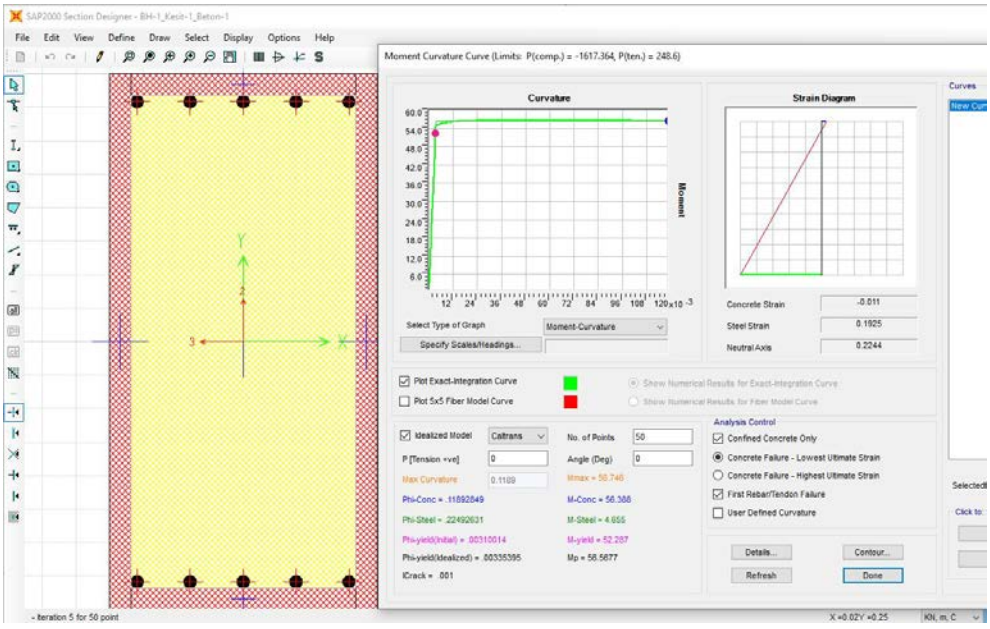
Çalışma kapsamında her model için birer adet ve toplamda 4 adet modelde, kirişler yığılı mafsal ile modellenmiştir. Bölüm 3.7.1'de belirlenen kiriş kesitleri ve Bölüm 3.7.2'deki beton malzeme modellerine göre plastik mafsal tanımlamaları yapılmıştır.

Kirişlerin her iki ucu için kesit ve beton ikilisine göre düzensiz binada 26 adet, düzenli bina da ise 2 adet plastik mafsal tanımlanmıştır.

Plastik mafsalların ilgili malzeme modelleri ve kesitleriyle yapılan kesit analizleri (moment-eğrilik), SAP2000 – Kesit Tasarımı (Section Designer) modülüyle pozitif moment ve negatif moment için yapılmıştır. Düzensiz binada örnek bir plastik mafsalın moment-eğrilik grafiği Şekil 3.30'da ve düzenli binanın örneği ise Şekil 3.31'de gösterilmiştir.

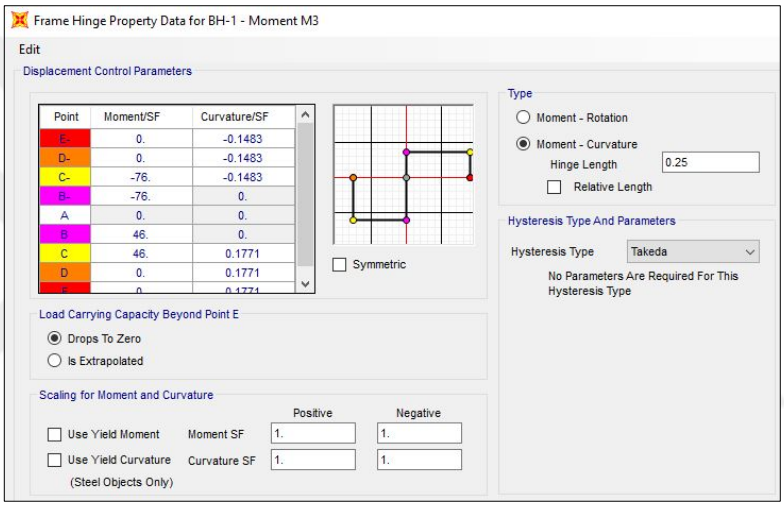


Şekil 3.30. Düzensiz Binada Örnek Plastik Mafsalın Moment-Eğrilik Analizi

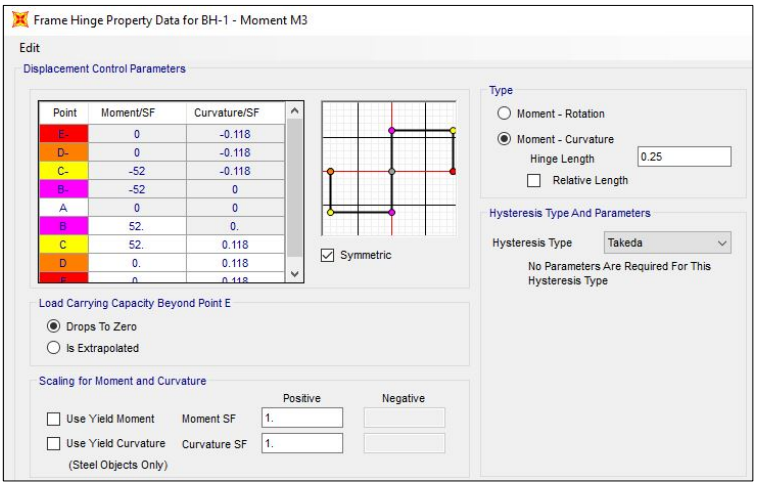


Şekil 3.31. Düzenli Binada Örnek Plastik Mafsalın Moment-Eğrilik Analizi

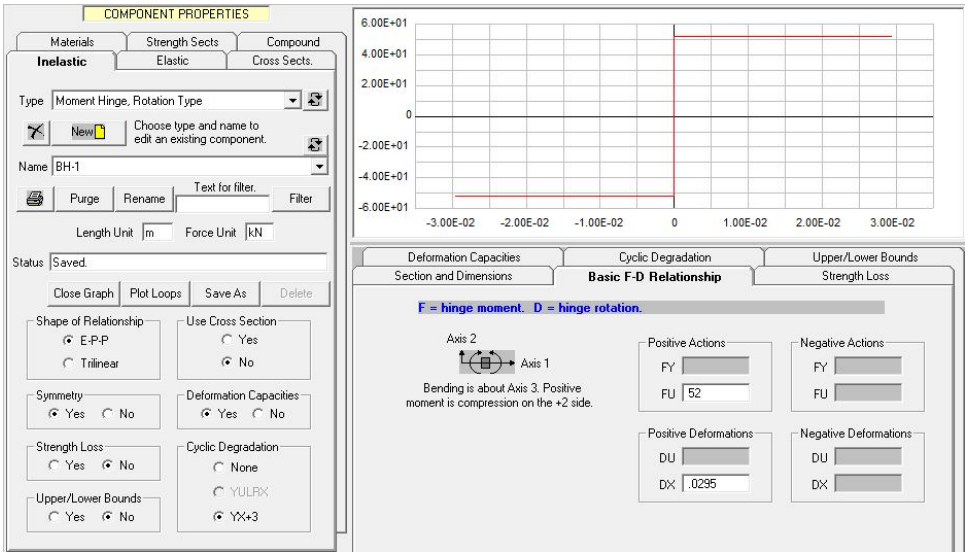
Moment-eğrilik sonuçları ile plastik mafsallar SAP2000'de 'M3 hinge' ve PERFORM-3D'de 'Moment Hinge, Rotation Type' olarak tanımlanmıştır. Moment-eğrilik ilişkisinden moment-dönme ilişkisine geçmek içi kullanılan plastik mafsal boyu (L_p), kesit yüksekliğinin yarısı (h/2) olarak alınmıştır. SAP2000'de yığılı mafsalın çevrim içi rijitlik azalmasına olanak sağlamak üzere 'Takeda' çevrimsel modeli kullanılmıştır. PERFORM-3D yazılımında ise kullanıcı tanımlı olarak enerji faktörleri uygulanmış ve Şekil 3.35'de görüldüğü üzere çevrimsel rijitlik kaybını dikkate alan model oluşturulmuştur. Düzensiz bina için örnek plastik mafsalın tanımlanması Şekil 3.32'de, düzenli bina için örnek plastik mafsalın tanımlanması Şekil 3.33'de ve diğer yazılımda örnek plastik mafsalın tanımlanması Şekil 3.34'de gösterilmiştir.



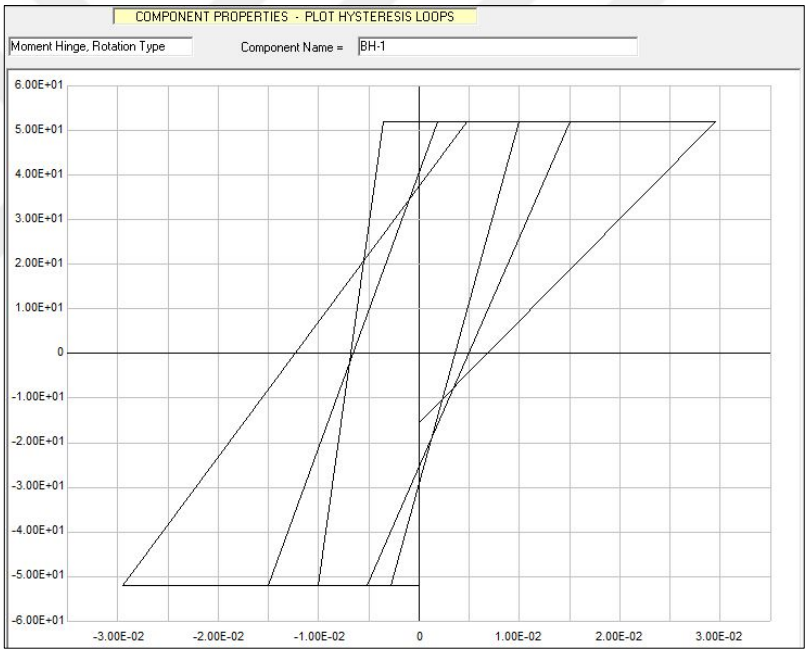
Şekil 3.32 Düzensiz Binadaki Örnek Bir Plastik Mafsalın SAP2000 Programında Tanımlanması



Şekil 3.33. Düzenli Binadaki Örnek Bir Plastik Mafsalın SAP2000 Programında Tanımlanması



Şekil 3.34. PERFORM-3D, Düzenli Bina Örnek Plastik Mafsal Tanımı



Şekil 3.35. PERFORM-3D, Düzenli Bina Örnek Plastik Mafsalın Çevrimsel Modeli

3.7.4. Yayılı plastik davranış modelleri

Çalışma kapsamında her model için birer adet ve toplamda 4 adet modelde, kirişler yayılı mafsal, diğer 4 adet modelde ise kirişler ve kolonlar yayılı mafsalla modellenmiştir. Yapılan birkaç deneme sonunda en uygun sayıda beton ve donatı fiberleri kullanılmıştır.

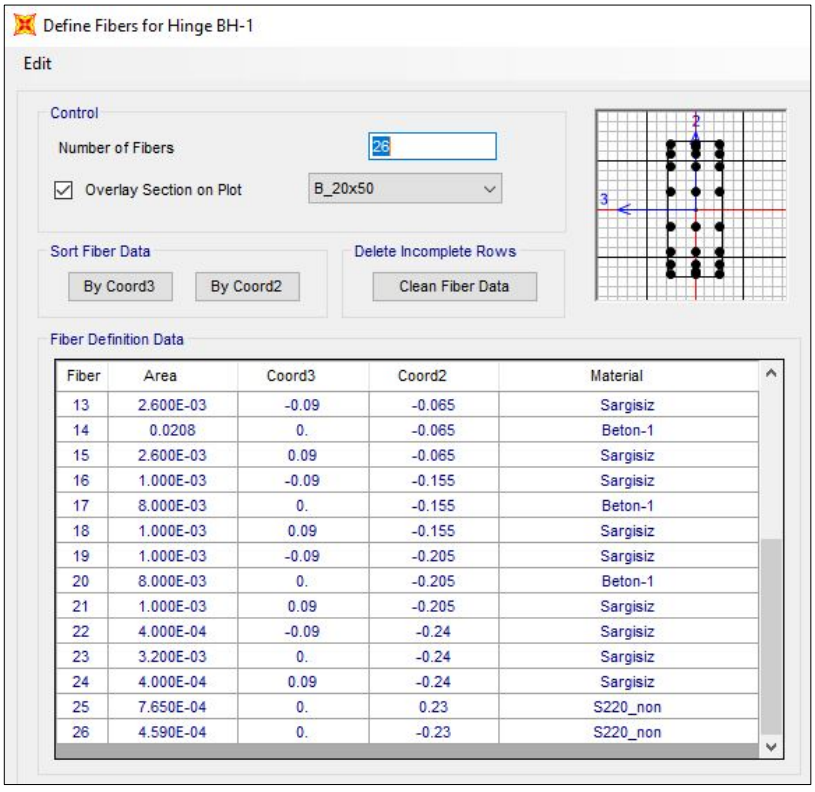
SAP2000 programında kiriş ve kolonlar için ‘Fiber P-M2-M3’ mafsalı ile tanımlama yapılırken, PERFORM-3D programında kirişler için ‘Beam, Inelastic Fiber Section’

kolonlar içinse ‘Column, Inelastic Fiber Section’ tanımlama yapılmaktadır. Diğer bir deyişle kolonlar için P-M2-M3 mafsalı kirişler içinse P-M mafsalı olarak açıklanabilir. P-M2-M3 mafsalı en kesitte iki doğrultuda fiberlere bölerken, P-M mafsalı yalnızca Lokal 2 aksı boyunca fiberlere (enine tek fiber) bölmektedir. Bu durumda kiriş kesitinde yüksekliği boyunca sağ ve sol paspaylarının alanları, sargısız beton modeliyle hesaba katılması gerekirken, enine tek fiber olduğu için sargılı beton modeliyle hesaba katılmaktadır.

Sayısal çözümlemesi sonlu uzunluklu olan fiber mafsalların boyu (Lp), kirişlerde kesit yüksekliğinin yarısı (h/2), kolonlarda ise kat yüksekliği ve kesit boyutları birlikte düşünülerek her kolon için aynı 0,28 m olarak alınmıştır.

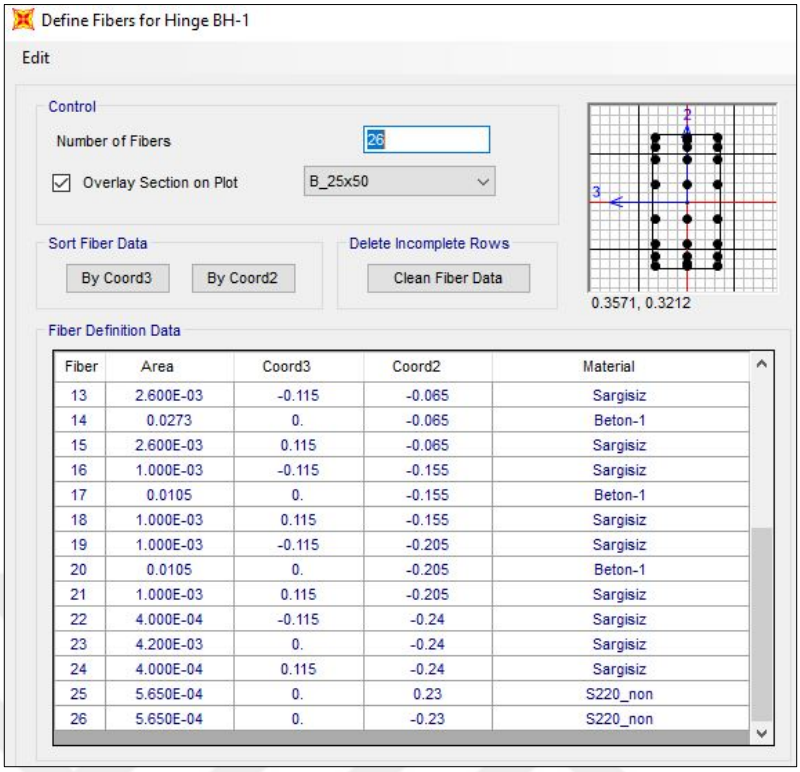
3.7.4.1. Kirişler için fiber mafsalın tanımlanması

Bölüm 3.7.1’de belirlenen kiriş kesitleri ve Bölüm 3.7.2’deki beton malzeme modellerine göre fiber mafsal tanımlamaları yapılmıştır. Kirişlerin her iki ucu için kesit ve beton ikilisine göre düzensiz binada 26 adet, düzenli bina da ise 2 adet fiber mafsal tanımlanmıştır. Düzensiz bina için tanımlanan örnek kiriş fiber mafsalı Şekil 3.36’da düzenli bina için tanımlanan örnek kiriş fiber mafsalı Şekil 3.37’de ve düzenli bina için diğer programda tanımlanan örnek kiriş fiber mafsalı Şekil 3.38’de gösterilmiştir.

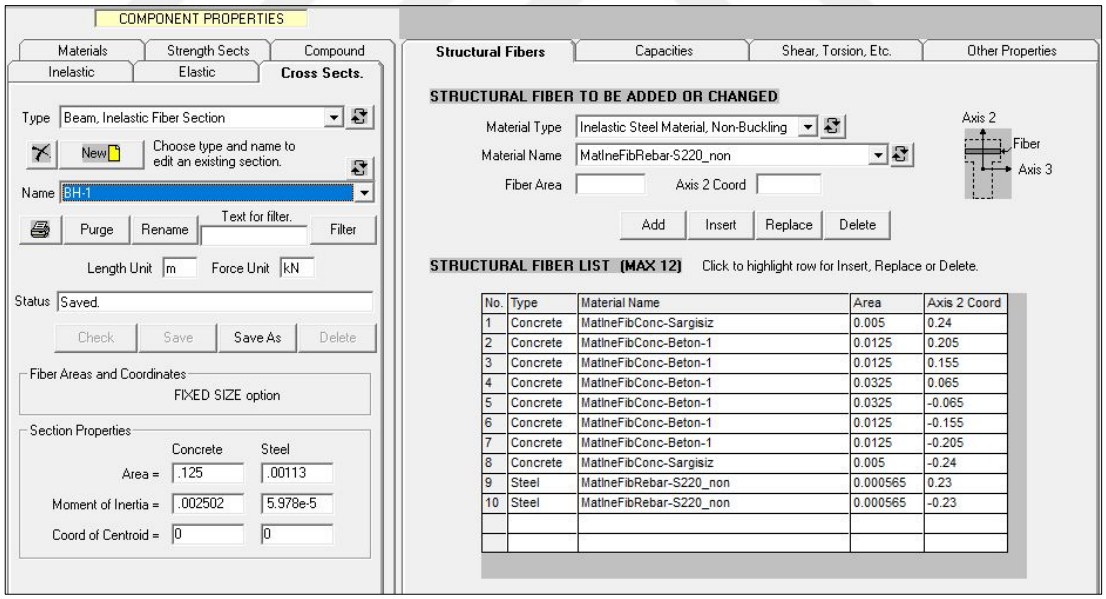


Fiber	Area	Coord3	Coord2	Material
13	2.600E-03	-0.09	-0.065	Sargisiz
14	0.0208	0.	-0.065	Beton-1
15	2.600E-03	0.09	-0.065	Sargisiz
16	1.000E-03	-0.09	-0.155	Sargisiz
17	8.000E-03	0.	-0.155	Beton-1
18	1.000E-03	0.09	-0.155	Sargisiz
19	1.000E-03	-0.09	-0.205	Sargisiz
20	8.000E-03	0.	-0.205	Beton-1
21	1.000E-03	0.09	-0.205	Sargisiz
22	4.000E-04	-0.09	-0.24	Sargisiz
23	3.200E-03	0.	-0.24	Sargisiz
24	4.000E-04	0.09	-0.24	Sargisiz
25	7.650E-04	0.	0.23	S220_non
26	4.590E-04	0.	-0.23	S220_non

Şekil 3.36. SAP2000, Düzensiz Bina Örnek Kiriş Fiber Mafsalı



Şekil 3.37. SAP2000, Düzenli Bina Örnek Kiriş Fiber Mafsalı

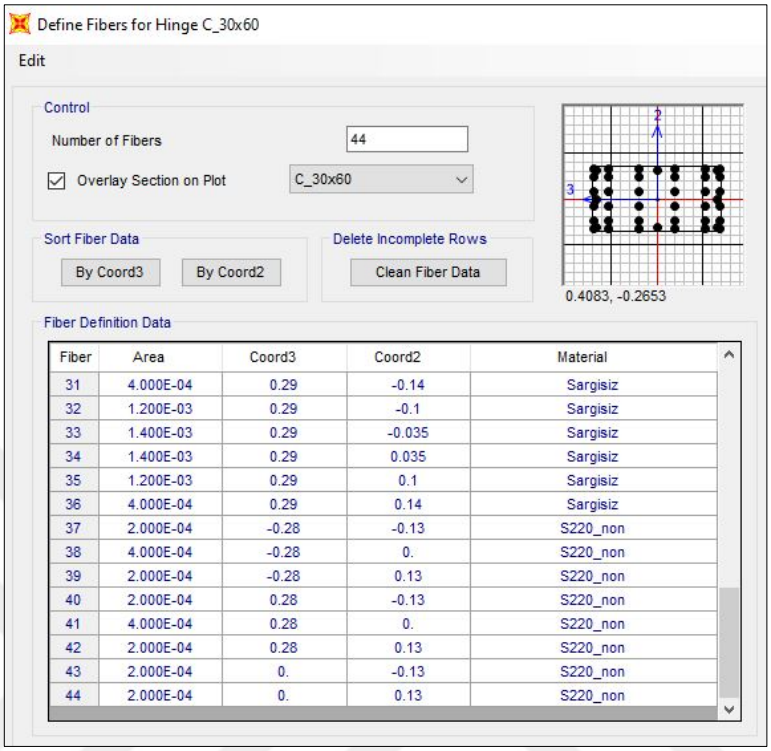


Şekil 3.38. PERFORM-3D, Düzenli Bina Örnek Kiriş Fiber Mafsalı

3.7.4.2. Kolonlar için fiber mafsalın tanımlanması

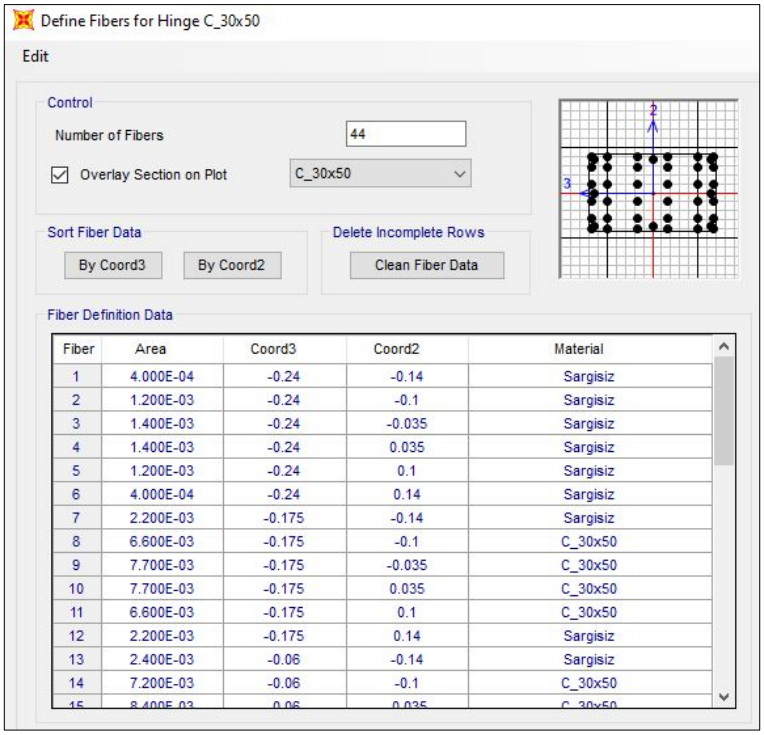
Bölüm 3.7.1.2'de belirlenen kiriş kesitleri ve Bölüm 3.7.2'deki beton malzeme modellerine göre fiber mafsal tanımlamaları yapılmıştır. Her bir kolon kesitine göre düzensiz binada 19 adet, düzenli bina da ise 4 adet fiber mafsal tanımlanmıştır. Düzensiz bina için tanımlanan örnek kiriş fiber mafsalı Şekil 3.39'da düzenli bina için

tanımlanan örnek kiriş fiber mafsalı Şekil 3.40'ta ve düzenli bina için diğer programda tanımlanan örnek kiriş fiber mafsalı Şekil 3.41'de gösterilmiştir.



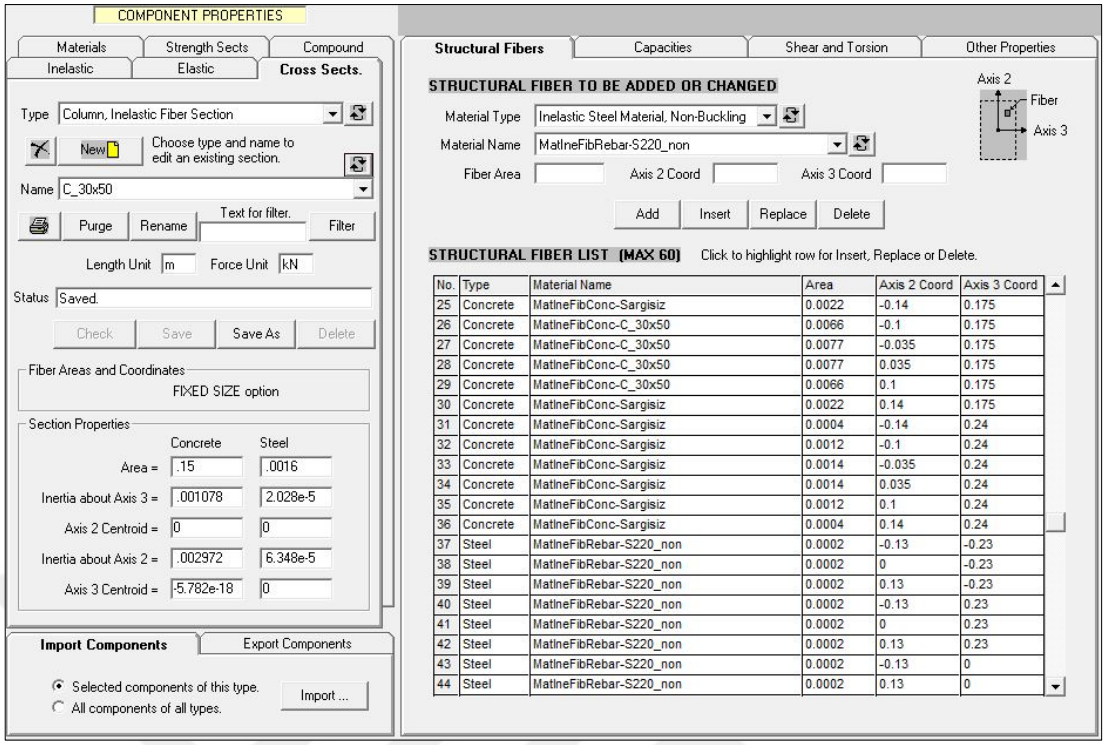
Fiber	Area	Coord3	Coord2	Material
31	4.000E-04	0.29	-0.14	Sargisiz
32	1.200E-03	0.29	-0.1	Sargisiz
33	1.400E-03	0.29	-0.035	Sargisiz
34	1.400E-03	0.29	0.035	Sargisiz
35	1.200E-03	0.29	0.1	Sargisiz
36	4.000E-04	0.29	0.14	Sargisiz
37	2.000E-04	-0.28	-0.13	S220_non
38	4.000E-04	-0.28	0.	S220_non
39	2.000E-04	-0.28	0.13	S220_non
40	2.000E-04	0.28	-0.13	S220_non
41	4.000E-04	0.28	0.	S220_non
42	2.000E-04	0.28	0.13	S220_non
43	2.000E-04	0.	-0.13	S220_non
44	2.000E-04	0.	0.13	S220_non

Şekil 3.39. SAP2000, Düzensiz Bina Örnek Kolon Fiber Mafsalı



Fiber	Area	Coord3	Coord2	Material
1	4.000E-04	-0.24	-0.14	Sargisiz
2	1.200E-03	-0.24	-0.1	Sargisiz
3	1.400E-03	-0.24	-0.035	Sargisiz
4	1.400E-03	-0.24	0.035	Sargisiz
5	1.200E-03	-0.24	0.1	Sargisiz
6	4.000E-04	-0.24	0.14	Sargisiz
7	2.200E-03	-0.175	-0.14	Sargisiz
8	6.600E-03	-0.175	-0.1	C_30x50
9	7.700E-03	-0.175	-0.035	C_30x50
10	7.700E-03	-0.175	0.035	C_30x50
11	6.600E-03	-0.175	0.1	C_30x50
12	2.200E-03	-0.175	0.14	Sargisiz
13	2.400E-03	-0.06	-0.14	Sargisiz
14	7.200E-03	-0.06	-0.1	C_30x50

Şekil 3.40. SAP2000, Düzenli Bina Örnek Kolon Fiber Mafsalı



Şekil 3.41. PERFORM-3D, Düzenli Bina Örnek Kolon Fiber Mafsalı

3.7.4.3. Perdeler için yayılı mafsalın tanımlanması

Bölüm 3.7.1.3'deki perde kesitleri ve 3.7.2'deki malzeme modellerine göre yayılı plastik davranış tanımlamaları yapılmıştır. Perdeler için doğrusal olmayan modelleme, SAP2000' de alan eleman tanımında 'Shell-Layered/Nonlinear' tipi kullanılarak yapılmıştır. Yalnızca düzensiz binada perde bulunmasından dolayı SAP2000 programında doğrusal olmayan perde modellenmiştir. Bu yöntemde, enkesitte her bir doğrusal olmayan malzeme türüne (sargılı beton, sargısız beton, donatı) ilave olarak doğrusal davranışı temsil eden katmanlar oluşturulur.

"Realistic" Shear-Wall Model

Layer	Type	Material	th	d	ang	n	σ_{11}	σ_{22}	σ_{12}
1	Shell	Conc	18.00	0.	0°	5	N	N	N
2	Shell	Rebar	0.09	+6.	0°	1	N	–	N
3	Shell	Rebar	0.09	–6.	0°	1	N	–	N
4	Shell	Rebar	0.18	+6.	90°	1	N	–	N
5	Shell	Rebar	0.18	–6.	90°	1	N	–	N

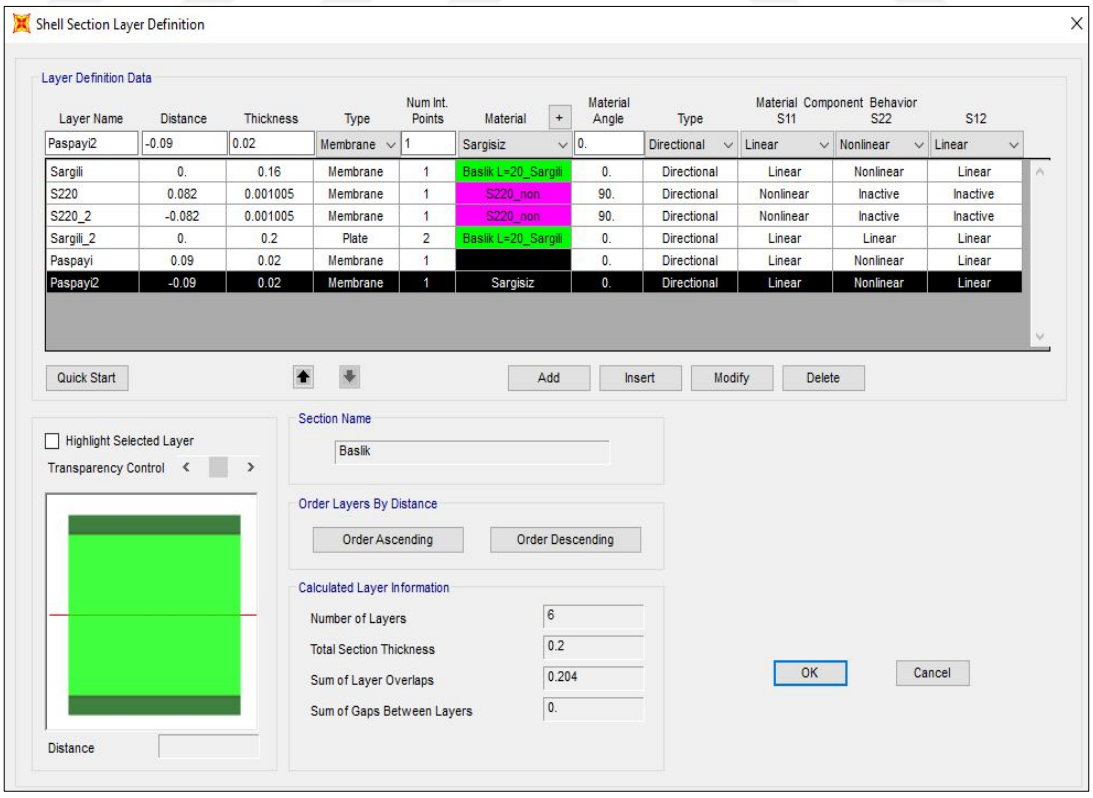
Şekil 3.42. SAP2000 Shell Layered Nonlinear Alan Elemanın Teorik Modeli

"Practical" Shear-Wall Model

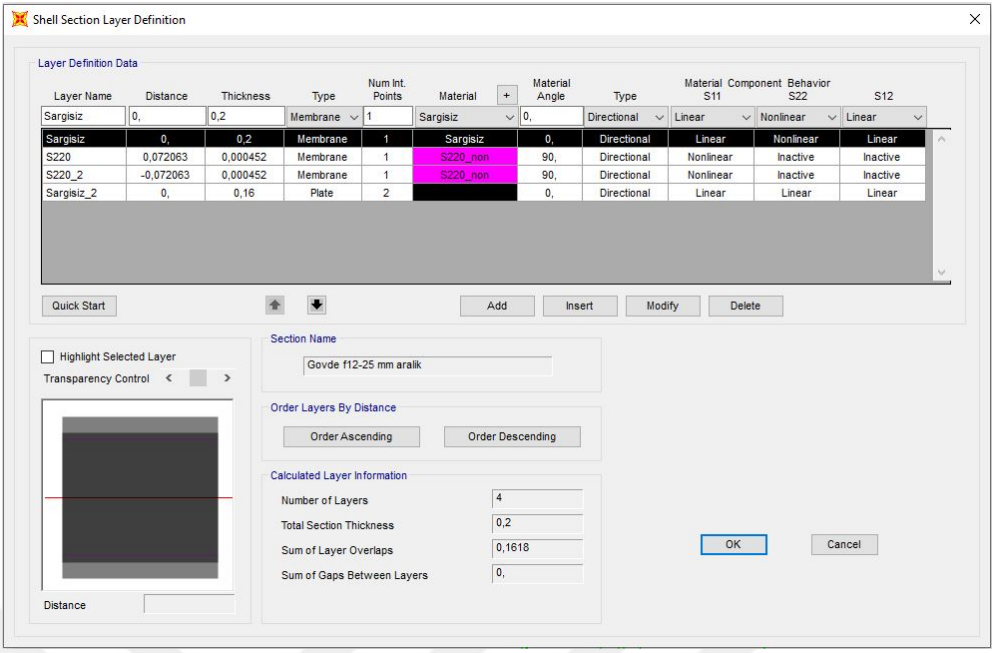
Layer	Type	Material	th	d	ang	n	σ_{11}	σ_{22}	σ_{12}
1	Membr	Conc	18.00	0.	0°	1	L	N	L
2	Membr	Rebar	0.18	+6.	90°	1	N	–	–
3	Membr	Rebar	0.18	–6.	90°	1	N	–	–
4	Plate	Conc	16.00	0.	0°	2	L	L	L

Şekil 3.43. SAP2000 Shell Layered Nonlinear Alan Elemanın Pratik Modeli

Şekil 3.43 ve Şekil 3.44'de [17] tablolarda gösterildiği üzere, 'CSI Analysis Reference Manual' de analiz süresi ve hata payları gibi nedenlerden dolayı teorik model yerine pratik modelin kullanılabileceği önerilmiştir. Böylece doğrusal olmayan davranışın dahil edildiği düzlemiçi şekil değiştirmelerin inceleneceği katmanlar membran, doğrusal davranışın dahil edildiği düzlemdışı kesit zorlarının inceleneceği katmanlar ise 'plate' olarak modellenmektedir [17]. Yapı perdelerinde yukarıdaki öneriye ek olarak, en kesitte her iki uçta doğrusal olmayan sargısız beton davranışının dahil edildiği iki katman daha kullanılmıştır.



Şekil 3.44. SAP2000 Shell Layered Nonlinear Perde Başlık Bölgesi Yayılı Plastik Davranış Modeli

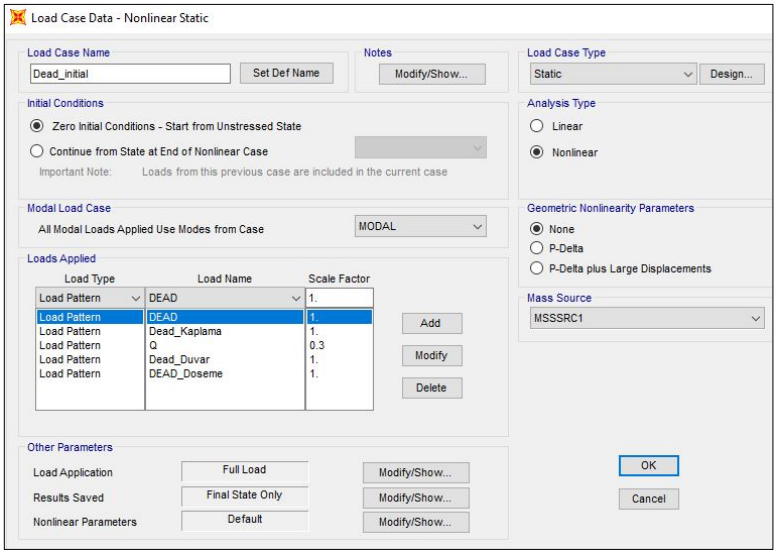


Şekil 3.45. SAP2000 Shell Layered Nonlinear Perde Gövde Bölgesi Yayılı Plastik Davranış Modeli

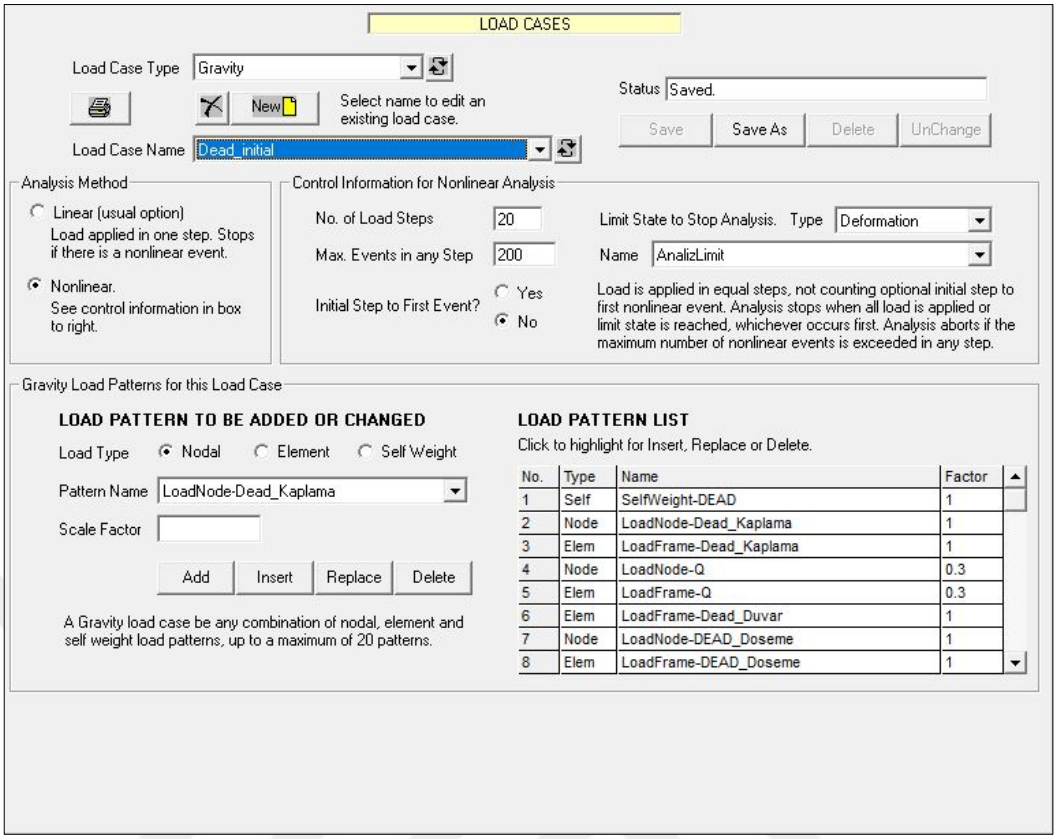
3.8. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan yöntemle deprem hesabı

3.8.1. Doğrusal olmayan düşey yükün tanımı

Doğrusal olmayan deprem analizi yapılmadan önce düşey yüklemeler altında doğrusal olmayan artımsal statik hesap yapılmıştır. Bu hesaptan elde edilen iç kuvvetler ve doğrusal olmayan şekil değiştirmeler, doğrusal olmayan deprem hesabında başlangıç değerleri olarak alınmıştır. Her iki yazılım için doğrusal olmayan başlangıç düşey yükü Şekil 3.46'da ve Şekil 3.47'de gösterilmiştir.



Şekil 3.46. SAP2000 Doğrusal Olmayan Düşey Yük Tanımı



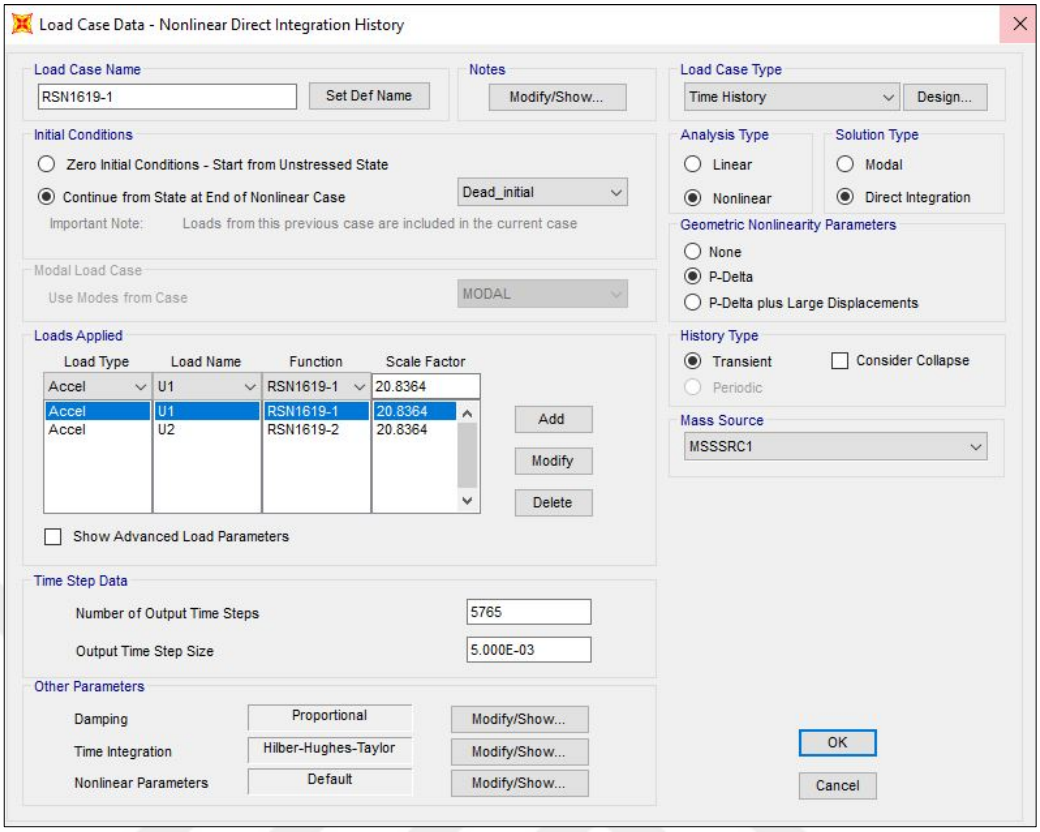
Şekil 3.47. PERFORM-3D Doğrusal Olmayan Düşey Yük Tanımı

3.8.2. Doğrusal olmayan deprem yükünün tanımı

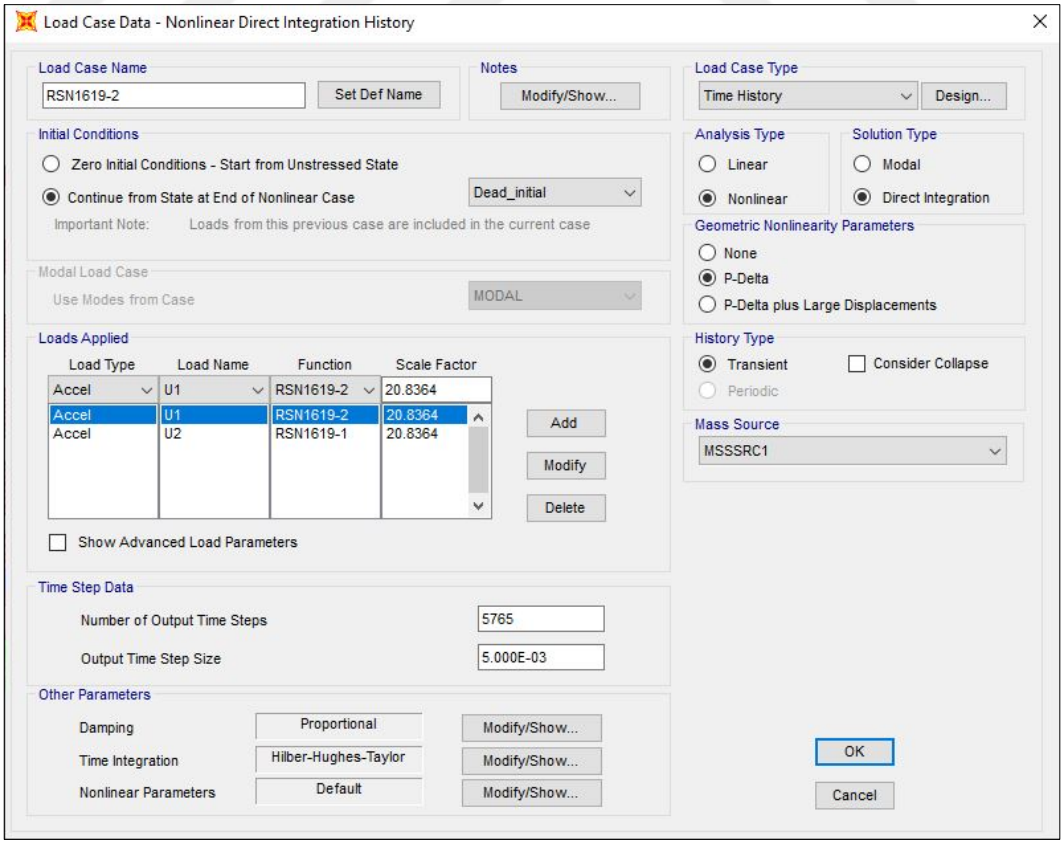
Deprem kaydı iki yatay bileşenin kaydı, yük tanımında birlikte uygulanmıştır. Aynı kayıtları 90° döndürerek (doğrultuları değiştirilerek) aynı depremin ikinci yük tanımı yapılmıştır. Böylece 11x2=22 adet zaman tanım alanında deprem yük tanımı yapılmıştır. SAP2000 yazılımı, her bir yük tanımı için ayrı ayrı başlangıç yükü, geometrik doğrusal olmama, sönüm oranı, kütle kaynağı, entegrasyon parametreleri gibi özellikler belirtilebilirken, PERFORM-3D yazılımında bu örnekler bir analiz serisi için söz konusu özellikleri tek seferde belirtilmektedir. Örnek olarak SAP2000 yazılımda bir deprem kayıt takımıyla oluşturulan iki yük tanımı Şekil 3.48 ve Şekil 3.49'da gösterilmiştir. SAP2000 yazılımda ölçek katsayısı m/s^2 cinsinden, PERFORM-3D yazılımında ise ölçek katsayısı [g] cinsinden tanımlanmaktadır.

Şekil 3.48 ve Şekil 3.49'da görüldüğü üzere SAP2000 programında başlangıç koşulu olarak doğrusal olmayan statik yükleme (Dead_initial) tanımlanmıştır. Geometrik doğrusal olmama (P-Δ) etkisi hesaplarda dikkate alınmıştır.

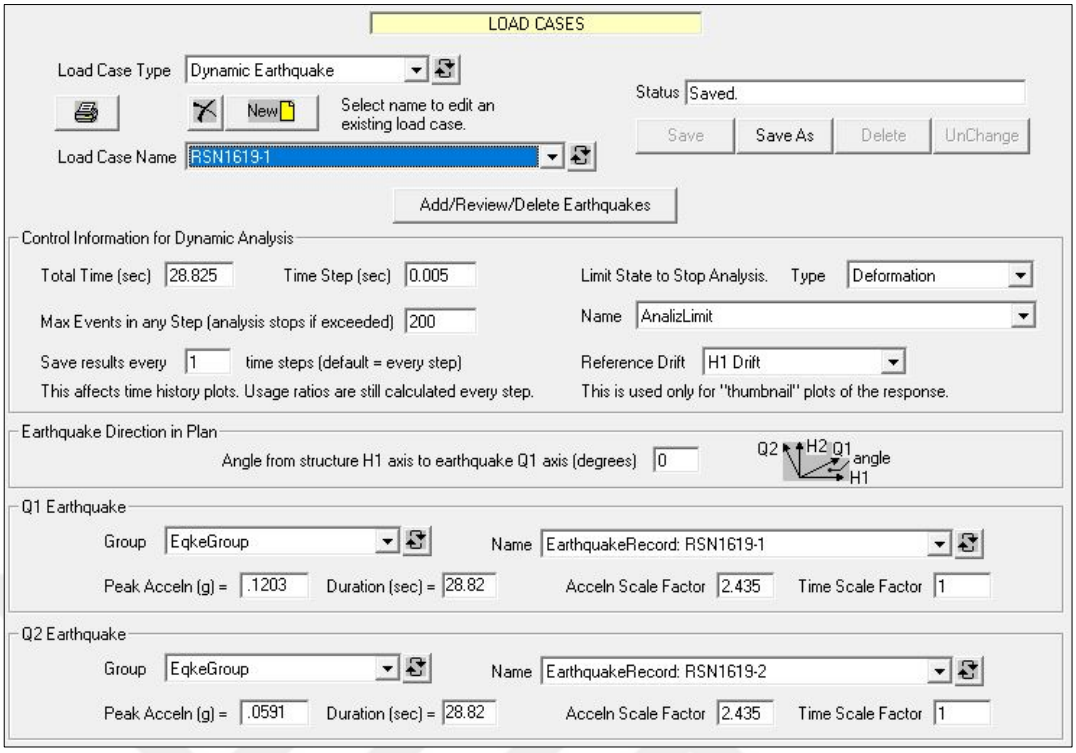
Örnek olarak PERFORM-3D yazılımda bir deprem kayıt takımıyla oluşturulan iki yük tanımı Şekil 3.50 ve Şekil 3.51'de gösterilmiştir.



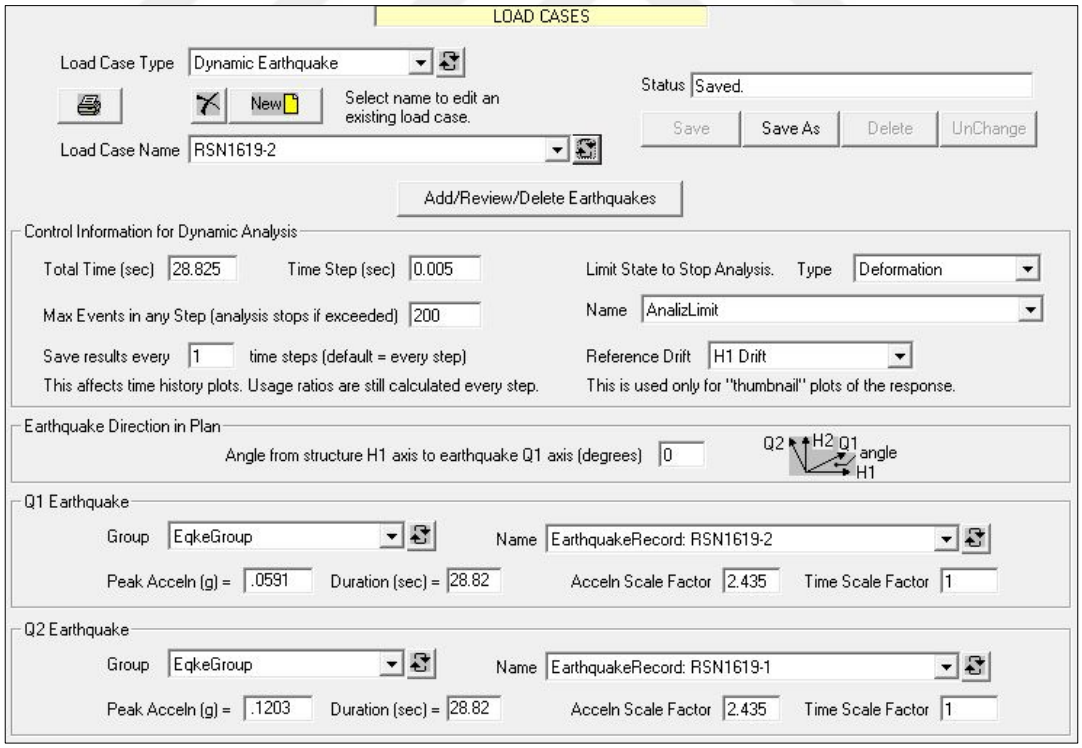
Şekil 3.48. SAP2000, RSN1619 Deprem Kaydı Takımı 0° Yük Tanımı



Şekil 3.49. SAP2000, RSN1619 Deprem Kaydı Takımı 90° Yük Tanımı

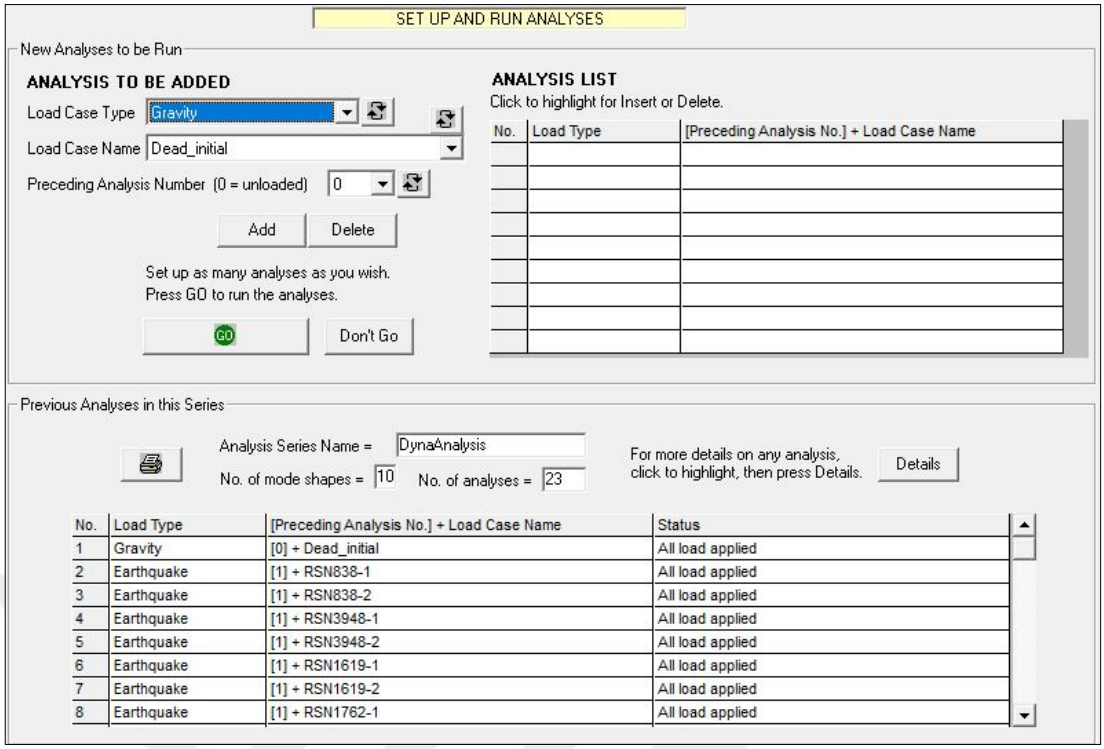


Şekil 3.50. PERFORM-3D, RSN1619 Deprem Kaydı Takımı 0° Yük Tanımı



Şekil 3.51. PERFORM-3D, RSN1619 Deprem Kaydı Takımı 90° Yük Tanımı

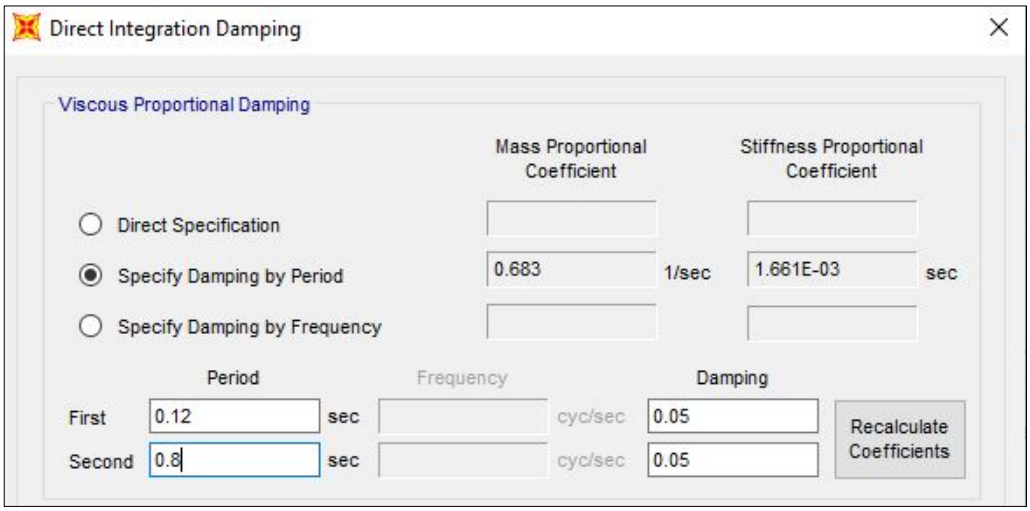
Şekil 3.52'de görüldüğü üzere PERFORM-3D programında başlangıç koşulu olarak doğrusal olmayan statik yükleme (Dead_initial) analiz serisinin 0. adımı olarak tanımlanmıştır.



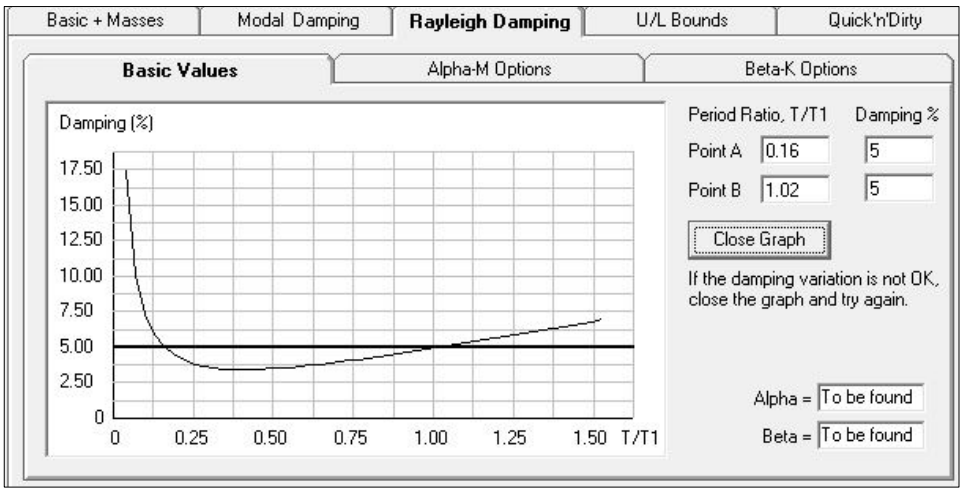
Şekil 3.52. PERFORM-3D Analiz Serisi Detayları ve Başlangıç Yükü

3.8.3. Rayleigh sönüm modeli

Rayleigh sönüm grafiğinin i (A) ve j (B) noktaları, her iki modelin etkin modları farklı olmasına rağmen doğrusal modelin hakim periyotları yaklaşık aynı olduğundan her iki model için %5 sönüm oranıyla aynı sönüm modeli varsayılmıştır. İlk nokta 0,12 saniye ve ikinci nokta 0,8 saniye olarak grafik hesaplanmıştır. SAP2000 programındaki birinci ve ikinci noktalar ile sönüm oranı Şekil 3.53'de gösterilmiştir. PERFORM-3D programında hâkim periyoda oranı olarak veri girişiyle Şekil 3.54'de gösterilmiştir.



Şekil 3.53. SAP2000, Rayleigh Sönüm Modeli



Şekil 3.54. PERFORM-3D, Rayleigh Sönüm Modeli

3.9. Şekil değiştirmelerin ve iç kuvvetlerin değerlendirilmesi

3.9.1. Yayılı mafsal yaklaşımıyla göçmenin önlenmesi performans düzeyi

Örnek olarak düzensiz binada BH-1 fiber mafsalındaki Beton-1 fiberleri için ve düzenli binada C_30x50 fiber mafsalındaki C_30x50 fiberleri için izin verilen beton basınç şekil değiştirme sınırları Denklem (2.17), Denklem (2.18), Denklem (2.19) ve Denklem (2.20) yardımıyla Tablo 3.13'de hesaplanmıştır.

Tablo 3.13. Düzensiz Bina BH-1 Fiber Mafsalındaki ve Düzenli Bina C_30x50 Fiber Mafsalındaki Beton Fiberlerin Göçmenin Önlenmesi Sınırları

Mafsal	b_o (mm)	h_o (mm)	$(\Sigma a_i^2)/(6.b_o.h_o)$	α_{se} (≥0)	ρ_x	ρ_y	$\rho_{sh\text{-}min}$ (%30)	ω_{we}	$\varepsilon_c^{(GÖ)}$
BH-1	152	452	1,103	0	0,0011	0,0033	0,0003	0	0,0035
C_30x50	252	452	0,784	0,1016	0,0011	0,0020	0,0003	0,0004	0,0049

Tüm yayılı mafsallardaki izin verilen donatı birim şekil değiştirme sınırı aşağıda verilmiştir.

$$\varepsilon_s^{(GÖ)} = 0{,}048$$

3.9.2. Yığılı mafsal yaklaşımıyla göçmenin önlenmesi performans düzeyi

Örnek olarak düzensiz binada BH-1 plastik mafsalının pozitif moment yönünde plastik dönme sınırı, Denklem (2.22) yardımıyla Tablo 3.14'de hesaplanmıştır. Bu

denklemdeki ϕ_u, Şekil 2.7 ve Denklem (2.23) ile hesaplanmıştır. Örnek kirişin boyu 1,25 metredir.

Tablo 3.14. Düzensiz Bina BH-1 Yığılı Mafsalındaki Plastik Dönme Göçmenin Önlenmesi Sınırı

Mafsal	$\varepsilon_c^{(GÖ)}$	$\varepsilon_s^{(GÖ)}$	$\phi_{\varepsilon_c^{(GÖ)}}$ (1/m)	$\phi_{\varepsilon_s^{(GÖ)}}$ (1/m)	ϕ_u (1/m)	ϕ_y (1/m)	L_p (m)	L_s (m)	$4.5\phi_u d_b$	$\theta_p^{(GÖ)}$
BH-1	0,0035	0,048	0,124	0,108	0,108	0,0033	0,25	0,625	0,0068	0,0118

Kontrollü hasar performans düzeyi, Denklem (2.24)'e her üç sınır için de göçmenin önlenmesi performans sınırlarının 0,75 ile çarpılmasıyla bulunur.

Sınırlı hasar performans düzeyi için şekil değiştirme ve plastik dönme sınırı, Denklem (2.25)'deki sabit değerlerdir.

Ayrıca Bölüm 2.4.4'te açıklanan kesme oranına bağlı çarpan dikkate alınarak şekil değiştirme üst sınırlarına uygulanmıştır. Mevcut binadaki donatılar düz donatı olduğundan analiz sonucunda elde edilen donatı birim şekil değiştirme ve plastik dönme talepleri 1,5 ile attırılmıştır.

4. ANALİZ SONUÇLARINI DEĞERLENDİRME

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerin (22 adet) sünek davranışa sahip şekil değiştirme talepleri ve gevrek davranışa sahip iç kuvvet talepleri, her analizin sonuçlarının en büyük mutlak değerleri olmak üzere ortalaması alınarak hesaplanmıştır.

Tüm elemanlarda yirmi iki analizin ortalaması hesaplanan kesme iç kuvvet talepleri, TS500-2000'e göre hesaplanan kesme kapasiteleri kıyaslanmıştır. Kesme kapasitesi aşılan elemanlar, gevrek olarak değerlendirilmiş ve performans hesaplarına dahil edilmemiştir.

Fiber mafsalla doğrusal olmayan modelleme teorisi $\sigma-\varepsilon$ ilişkili malzeme fiberleriyle tanımlandığından, analiz sonucundaki şekil değiştirme talepleri ve izin verilen şekil değiştirme sınırları, deprem doğrultusundan bağımsızdır. Ancak Denklem (2.26)'daki kesme oranları, simetrik olmayan kesitler için birbirine dik iki deprem doğrultusunda farklı sonuçlar çıkarmaktadır. Söz konusu kesme oranına bağlı olarak iki farklı deprem doğrultusu için şekil değiştirme sınırları farklı olabilmektedir. Benzer nedenle kat bazındaki performans yüzdeleri sünek elemanlarla hesaplandığından iki deprem doğrultusu için farklı performans yüzdeleri çıkabilmektedir.

Tablo 4.1. İncelenen Binalarda Oluşturulan Modellerin Özellikleri

Model İsmi	Bina	Program	Plastisite Yaklaşımı	Döşeme Sonlu Elemanlar	Rijit Diyafram Kabulü
M_1_Col_SAP	Düzensiz	SAP2000	Kolonlar Fiber / Kirişler Yığılı	Var	Yok
M_1_All_SAP			Tümü Fiber	Var	Yok
M_2_Col_SAP	Düzenli		Kolonlar Fiber / Kirişler Yığılı	Var	Yok
M_2_All_SAP			Tümü Fiber	Var	Yok
M_3_Col_SAP			Kolonlar Fiber / Kirişler Yığılı	Yok	Var
M_3_All_SAP			Tümü Fiber	Yok	Var
M_4_Col_PER		Perform-3D	Kolonlar Fiber / Kirişler Yığılı	Yok	Var
M_4_All_PER			Tümü Fiber	Yok	Var

Bölüm 3'te verilen modellerin notasyonu ve özellikleriyle ilgili Bu bölümde iki adet mevcut binanın performans incelemesi yapılmıştır. Bunlardan biri planda ve düşeyde düzensizlikler içeren bir bina diğeri ise planda ve düşeyde düzenli bir binadır. İncelenen binalar iki farklı bilgisayar programıyla modellenmiştir. Düzensiz bina İstanbul ilinin Beykoz ilçesinde bulunmaktadır. Aynı deprem kayıtlarının kullanılabilmesi için düzenli binanın konumunun da aynı olduğu kabul edilmiştir. İncelenen iki bina için oluşturulan modellerin tanımları ile isimlendirmeleri Tablo 3.1'de sunulmuştur.

Tablo 3.1, sonuçların değerlendirilmesinin anlaşılabilirliği için bu bölümde de tekrar Tablo 4.1'de gösterilmiştir.

Bu bölümde iki farklı bina modeli için (Düzensiz bina modeli M1, düzenli bina modeli M2, M3 ve M4) Tablo 4.1'de verilen sekiz adet modelin karşılaştırması yer almaktadır. İlk dört karşılaştırmada Tablo 4.1'deki dört temel modelin (M_1, M_2, M_3 ve M_4) her biri, kolonlar fiber mafsal - kirişler yığılı mafsal (_Col_) olacak şekilde ve ayrıca kolon - kirişler fiber mafsal (_All_) olacak şekilde iki ayrı model olarak kurulmuş ve analiz sonuçları kendi aralarında karşılaştırılmıştır. Beşinci ve altıncı karşılaştırmada, rijit diyafram kabulünün yapılabileceği düzenli bina için döşeme rijitliğinin sonlu elemanların modellenmesiyle hesaba katıldığı (rijit diyafram kabulü olmaksızın - M_2) analiz sonuçları ile döşeme rijitliğinin diyafram kabulüyle sağlandığı (döşeme sonlu elemanları modellemeden - M_3) analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Yedinci ve sekizinci karşılaştırmada ise çalışmadaki düzenli bina için döşeme rijitliğinin rijit diyafram ile sağlandığı (döşeme sonlu elemanları modellenmeden) SAP2000 (M_3) ile PERFORM-3D (M_4) programlarında oluşturulan modellerin, analiz sonuçları karşılaştırılmıştır.

Bu bölümde yapılan her bir karşılaştırma için, kirişlerin kesme güvenliği tahkiki, kirişlerin performansı, kolonların kesme güvenliği tahkiki, kolonların performansı, kat deplasmanları ve toplam kat kesme kuvvetlerinin sonuçları tablolar ve grafiklerle sunulmuştur.

Bölüm 0'de açıklandığı üzere TBDY 2018'de performans düzeyleri, her iki plastite yaklaşımı (fiber mafsal ve plastik mafsal) için de benzer şekilde, sınırlı hasar (SH) performans düzeyi sabit bir sayı olarak tanımlanmıştır. Diğer performans düzeyleri (KH ve GÖ), SH performans düzeyinden bağımsızdır. GÖ performans düzeyi sayısal

hesap şeklinde verilmiştir. KH düzeyi ise, göçmenin önlenmesi (GÖ) performans düzeyinin belirli bir oranı (0,75) olarak ifade edilmiştir.

Hazırlanmış olan kiriş ve kolon performans düzeyi karşılaştırma grafiklerinde, her bir model için elde edilen şekil değiştirme talep değeri, kendi KH sınırına bölünmüş olarak normalize edilmiş ve oransal olarak verilmiş durumdadır. Buna göre aynı grafiklerde KH düzeyi 1 olarak gösterilmiş, GÖ düzeyi ise 1/0,75 = 1,33 KH olarak verilmiştir.

4.1. Düzensiz Binanın M_1_Col_SAP ve M_1_All_SAP Modelleri Kıyası

Doğrusal olarak, kolonları fiber mafsal - kirişleri yığılı mafsal olarak (M_1_Col_SAP) ve tüm elemanları fiber mafsal olarak (M_1_All_SAP) modellenen üç farklı modelin, modal analiz sonuçları Tablo 4.2'de gösterilmiştir (Doğrusal modellemeye ait modal analizler Tablo 3.5'de verilmiştir).

Tablo 4.2. M_1 Modellerinin Modal Analiz Sonuçları

Mod	Doğrusal Model	M_1_Col_SAP	M_1_All_SAP
1.Mod	0,89 s	0,90 s	0,89 s
2.Mod	0,78 s	0,80 s	0,78 s
3.Mod	0,61 s	0,61 s	0,61 s

Tablo 4.2'de görüldüğü üzere, düzensiz yapı için doğrusal olan model ile kolonların - kirişlerin fiber mafsallı olduğu modelin (M_1_All_SAP) başlangıç periyotları aynıdır. Kolonların fiber mafsal - kirişlerin yığılı mafsal olduğu model (M_1_Col_SAP) ile doğrusal olan modelde yaklaşık aynı sonuçlar hesaplanmıştır. Sonuçların yakın çıkmasında, binanın düzensiz bina oluşu ve yapıda iki adet sistem perdesinin bulunması etkilidir.

4.1.1. Kirişlerin kesme güvenliği

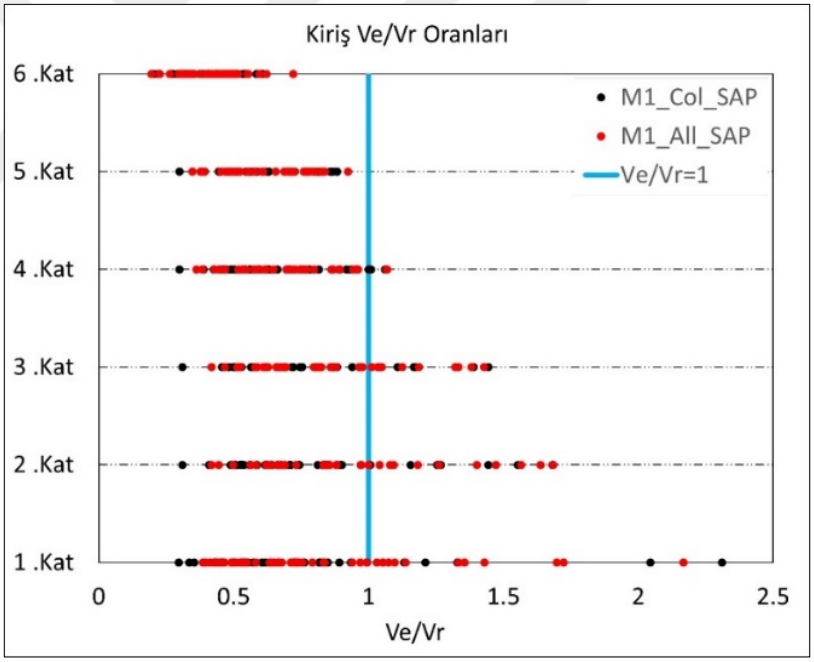
Yapılan yirmi iki analiz sonucunda mutlak en büyüklerin ortalamasına göre sünek ve gevrek elemanlar Tablo 4.3'de verilmiştir.

Toplam kiriş sayıları dikkate alındığında, kolon - kirişlerin fiber mafsal olduğu modelin, kolonların fiber mafsal - kirişlerin yığılı mafsal olduğu modele göre gevrek eleman sayılarında, ilk üç katta sırasıyla %12, %8 ve %8 artış görülmektedir. İki modelin kat

bazında kirişlerinin kesme kapasitelerinin oransal dağılımını gösteren grafik Şekil 4.1'de gösterilmiştir.

Tablo 4.3. Kirişlerde Sünek/Gevrek Elemanların Adedi

Kat	Toplam Birincil Kirişler	M_1_Col_SAP		M_1_All_SAP	
		Sünek	Gevrek	Sünek	Gevrek
1.Kat	42	36	6	31	11
2.Kat	36	29	7	26	10
3.Kat	36	30	6	27	9
4.Kat	36	34	2	34	2
5.Kat	36	36	0	36	0
6.Kat	36	36	0	36	0



Şekil 4.1. Kirişlerin Kesme için Talep/Kapasite Oranları

Şekil 4.1'de görüldüğü üzere kiriş elemanlarda, kolon - kirişlerin fiber mafsal olduğu model, kolonların fiber mafsal - kirişlerin yığılı mafsal olduğu modele göre daha fazla kesme yükü taşımaktadır.

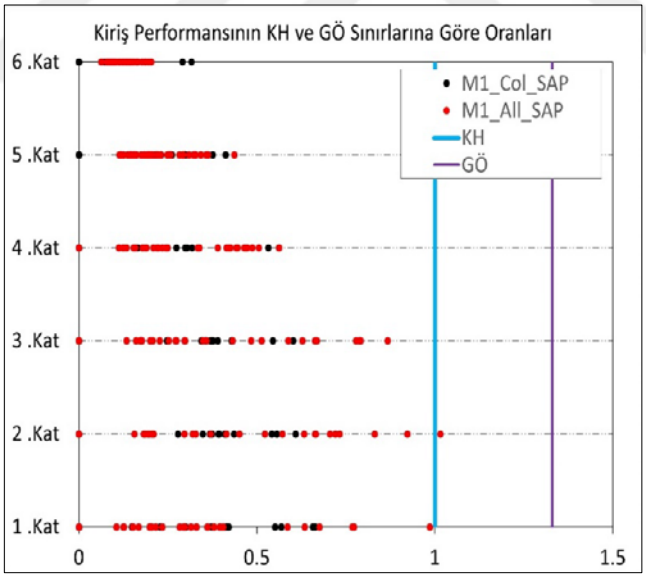
4.1.2. Kirişlerin performansı

Gevrek elemanlar hariç kirişlerde, ortalama birim şekil değiştirme talepleri, izin verilen sınırlarla kıyaslanıp performans seviyesi Tablo 4.4'de hesaplanmıştır.

Tablo 4.4. Kirişlerin Performans Değerlendirmesi

Kat	M_1_Col_SAP					M_1_All_SAP				
	Sünek	SH	BH	IH	GB	Sünek	SH	BH	IH	GB
1.Kat	36	72%	28%	0%	0%	31	100%	0%	0%	0%
2.Kat	29	59%	41%	0%	0%	26	96%	0%	4%	0%
3.Kat	30	67%	33%	0%	0%	27	100%	0%	0%	0%
4.Kat	34	74%	26%	0%	0%	34	100%	0%	0%	0%
5.Kat	36	69%	31%	0%	0%	36	100%	0%	0%	0%
6.Kat	36	89%	11%	0%	0%	36	100%	0%	0%	0%

Tablo 4.4'de görüldüğü üzere kolonların - kirişlerin fiber mafsal olduğu modelin, kolonların fiber mafsal - kirişlerin yığılı mafsal olduğu modele göre kirişlerde hasar seviyesi azalmaktadır. Bu durum, yalnızca 2.katta perdeye bağlanan bir adet kirişte istisna oluşturmaktadır. Söz konusu kirişin kesme talep/kapasite oranı 0,97'dir. Kirişlerin performans değerlendirmesi KH sınırı (GÖ = 1,33KH) cinsinden Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Kiriş Performansının KH sınırı Cinsinden Kat Dağılımı

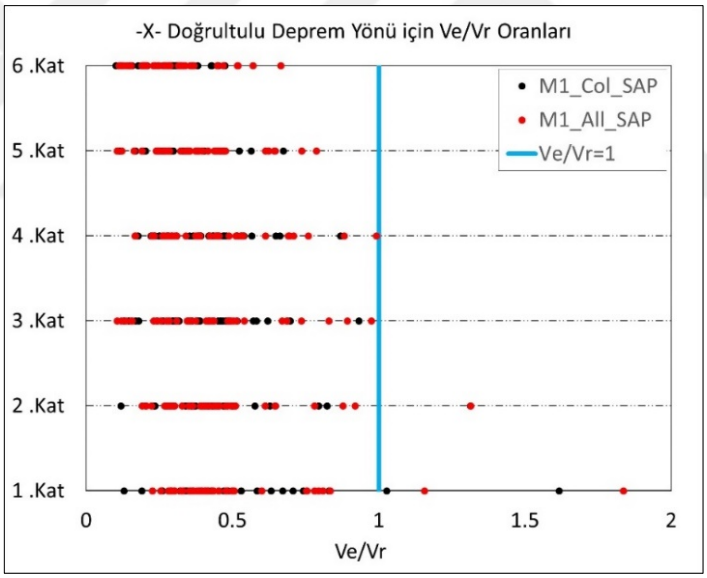
4.1.3. Kolonların kesme güvenliği

Yapılan yirmi iki analiz sonucunda, kolon ve perdelerde mutlak en büyüklerin ortalamasına göre sünek ve gevrek elemanlar, -x- doğrultulu deprem için Tablo 4.5'de verilmiştir.

Tablo 4.5. Kolon-Perde Sünek/Gevrek Elemanların Adedi (X)

-X- Doğrultu Deprem					
Kat	Toplam	M_1_Col_SAP		M_1_All_SAP	
		Sünek	Gevrek	Sünek	Gevrek
1.Kat	36	34	2	34	2
2.Kat	36	35	1	35	1
3.Kat	36	36	0	36	0
4.Kat	36	36	0	36	0
5.Kat	36	36	0	36	0
6.Kat	36	36	0	36	0

Her iki modelde de gevrek eleman sayılarının, ilk iki katta aynı miktarda olduğu hesaplanmıştır. İki modelin kat bazında kolon ve perdelerinin -x- doğrultulu deprem için kesme kapasitelerinin oransal dağılımını gösteren grafik Şekil 4.3'de gösterilmiştir.

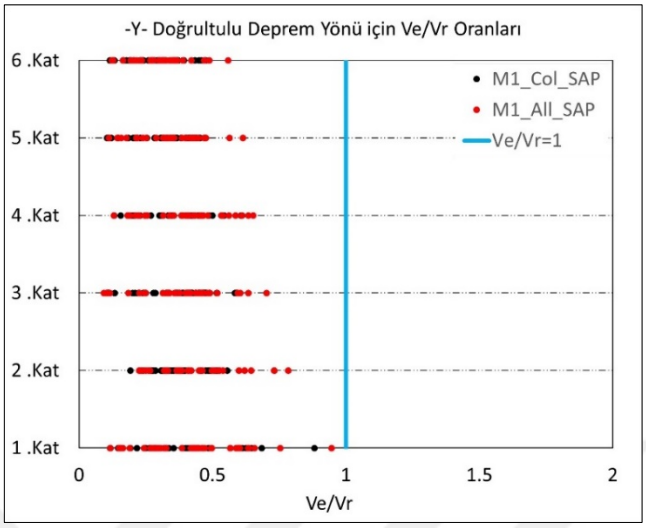


Şekil 4.3. Kolon-Perde Kesme için Talep/Kapasite Oranları (X)

Şekil 4.3'de görüldüğü üzere kolon-perde elemanlarında, kolon - kirişlerin fiber mafsal olduğu model, kolonların fiber mafsal - kirişlerin yığılı mafsal olduğu modele göre daha fazla kesme talebi oluşturmaktadır.

Yapılan yirmi iki analiz sonucunda mutlak en büyüklerin ortalamasına göre her iki modelde de kolonlarda -y- doğrultusu için gevrek eleman bulunmamaktadır. İki

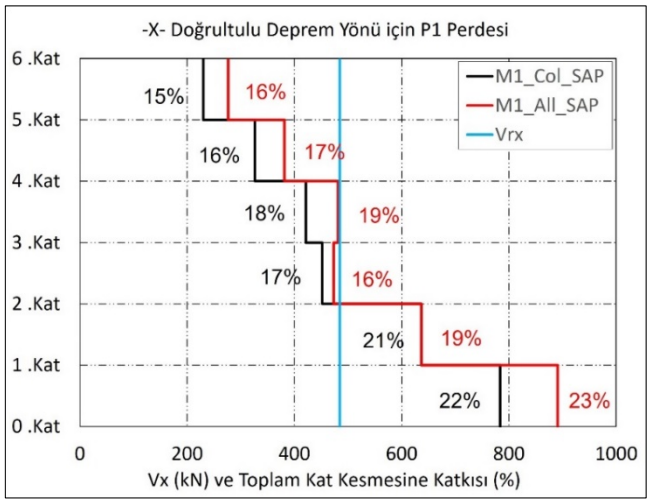
modelin kat bazında kolon ve perdelerinin -y- doğrultulu deprem için kesme kapasitelerinin oransal dağılımını gösteren grafik Şekil 4.4'de gösterilmiştir.



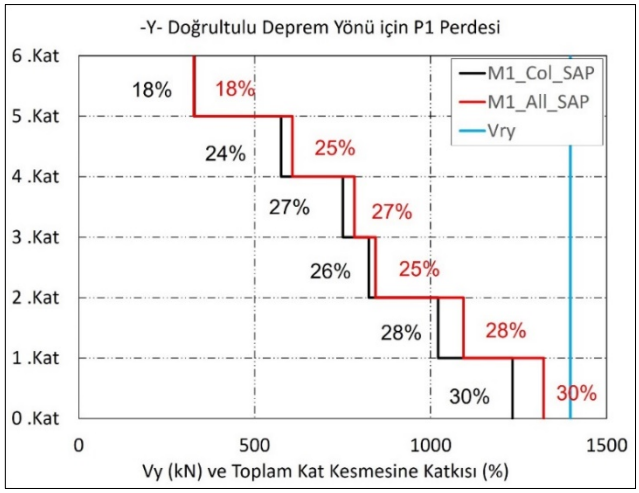
Şekil 4.4. Kolon-Perde Kesme için Talep/Kapasite Oranları (Y)

Şekil 4.4'de görüldüğü üzere kolon/perde elemanlarda, kolon - kirişlerin fiber mafsal olduğu modelde, kolonların fiber mafsal - kirişlerin yığılı mafsal olduğu modele göre daha fazla kesme yükü taşımaktadır.

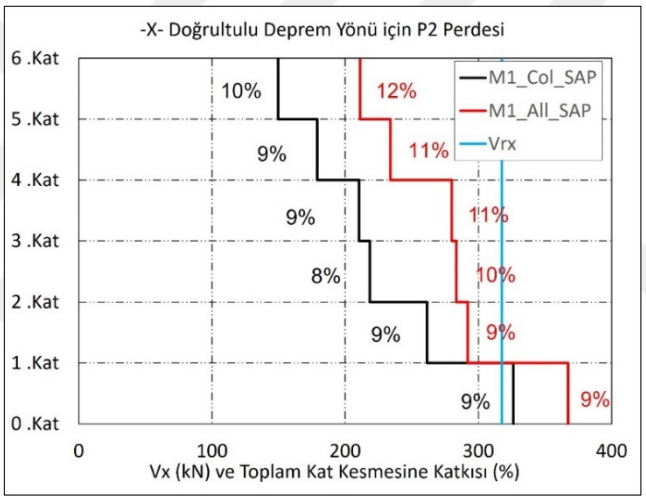
Düzensiz binada bulunan iki adet sistem perdesi P1 ve P2'nin kesme kuvveti talepleriyle kesme kapasiteleri Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'de gösterilmiştir. Söz konusu şekillerde perdelerin taşıdığı kesme kuvvetinin, toplam kat kesmesine oranları (%) yönleriyle birlikte belirtilmiştir.



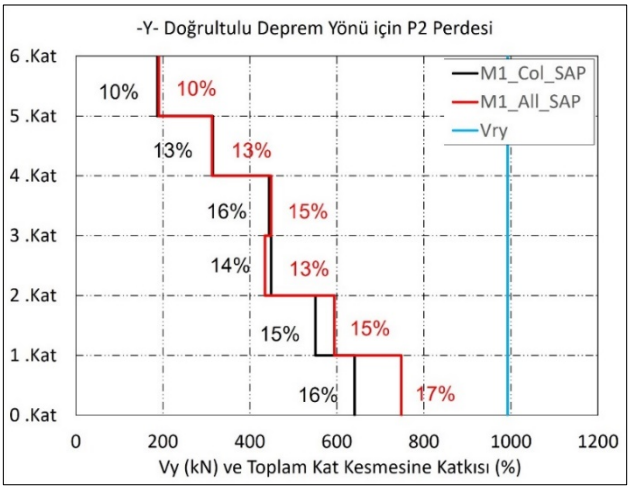
Şekil 4.5. P1 Perdesi Kesme Kuvveti Talep ve Kapasitesi (x)



Şekil 4.6. P1 Perdesi Kesme Kuvveti Talep ve Kapasitesi (y)



Şekil 4.7. P2 Perdesi Kesme Kuvveti Talep ve Kapasitesi (x)



Şekil 4.8. P2 Perdesi Kesme Kuvveti Talep ve Kapasitesi (y)

4.1.4. Kolonların performansı

Gevrek elemanlar hariç kolon ve perdelerde, ortalama birim şekil değiştirme talepleri, izin verilen sınırlarla kıyaslanıp performans seviyesi Tablo 4.6 ve Tablo 4.7'de hesaplanmıştır.

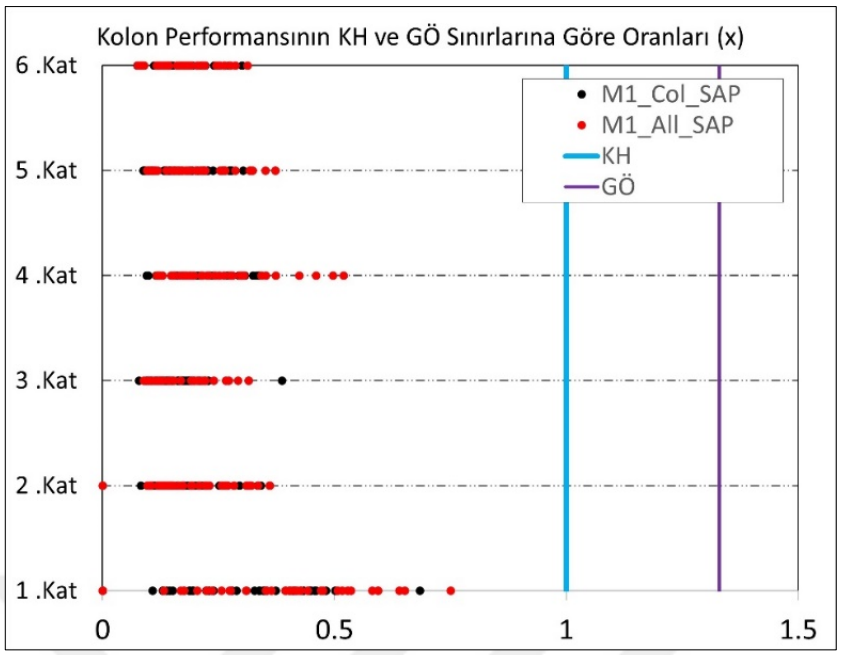
Tablo 4.6. Kolon ve Perdelerin Performans Değerlendirmesi (x)

-X- Doğrultu Deprem										
Kat	M_1_Col_SAP					M_1_All_SAP				
	Sünek	SH	BH	IH	GB	Sünek	SH	BH	IH	GB
1.Kat	34	50%	50%	0%	0%	34	35%	65%	0%	0%
2.Kat	35	97%	3%	0%	0%	35	89%	11%	0%	0%
3.Kat	36	100%	0%	0%	0%	36	89%	11%	0%	0%
4.Kat	36	100%	0%	0%	0%	36	92%	8%	0%	0%
5.Kat	36	100%	0%	0%	0%	36	94%	6%	0%	0%
6.Kat	36	94%	6%	0%	0%	36	86%	14%	0%	0%

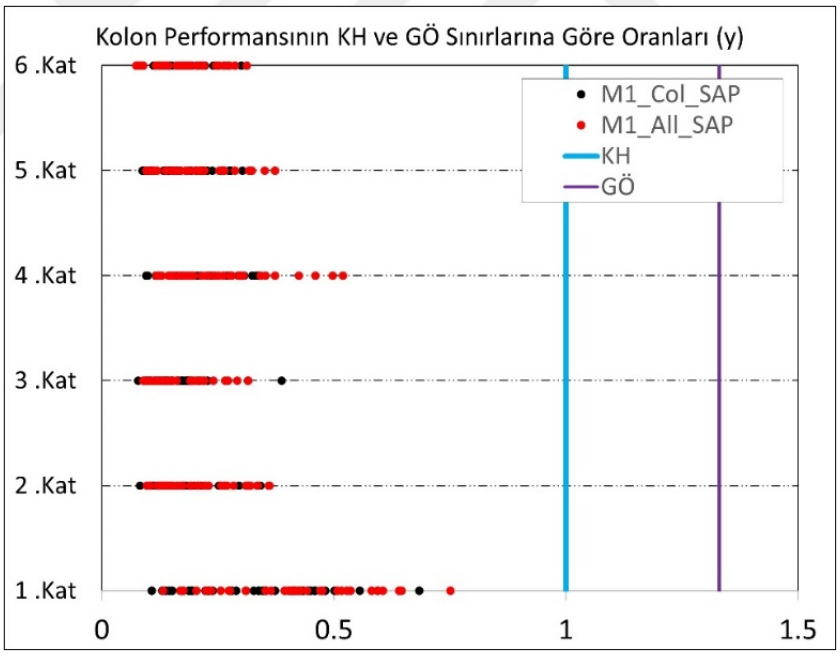
Tablo 4.7. Kolon ve Perdelerin Performans Değerlendirmesi (y)

-Y- Doğrultu Deprem										
Kat	M_1_Col_SAP					M_1_All_SAP				
	Sünek	SH	BH	IH	GB	Sünek	SH	BH	IH	GB
1.Kat	36	53%	47%	0%	0%	36	39%	61%	0%	0%
2.Kat	36	97%	3%	0%	0%	36	89%	11%	0%	0%
3.Kat	36	100%	0%	0%	0%	36	89%	11%	0%	0%
4.Kat	36	100%	0%	0%	0%	36	92%	8%	0%	0%
5.Kat	36	100%	0%	0%	0%	36	94%	6%	0%	0%
6.Kat	36	94%	6%	0%	0%	36	86%	14%	0%	0%

Tablo 4.6 ve Tablo 4.7'de görüldüğü üzere kolonların - kirişlerin fiber mafsal olduğu modelde, kolonların fiber mafsal - kirişlerin yığılı mafsal olduğu modele göre kolon ve perdelerde her iki deprem doğrultusu için de hasar seviyesi artmaktadır. Kolon ve perdelerin performans değerlendirmesi KH sınırı (GÖ = 1,33KH) cinsinden Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'de gösterilmiştir.



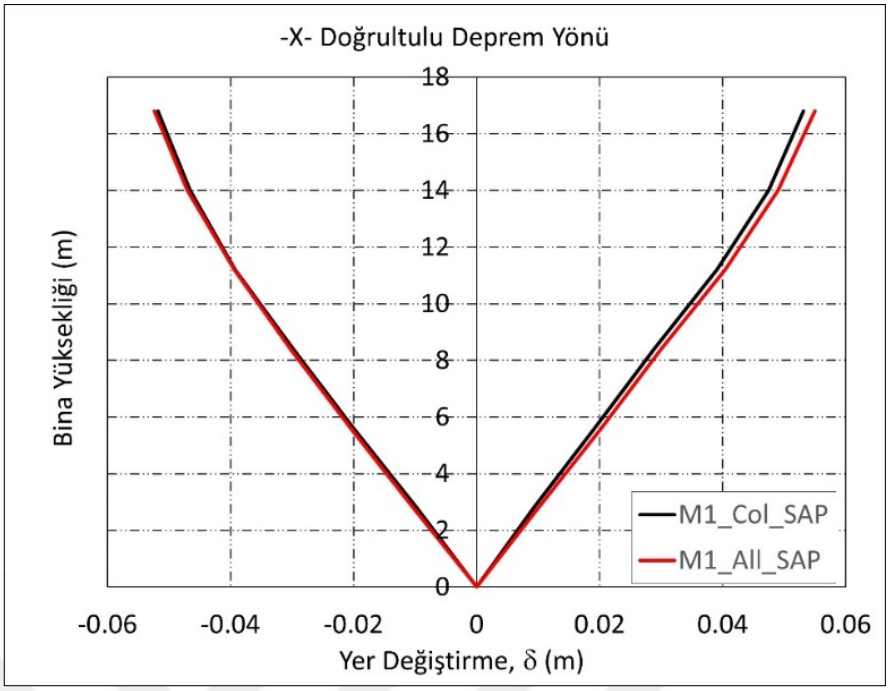
Şekil 4.9. Kolon ve Perde Performansının KH sınırı Cinsinden Kat Dağılımı (x)



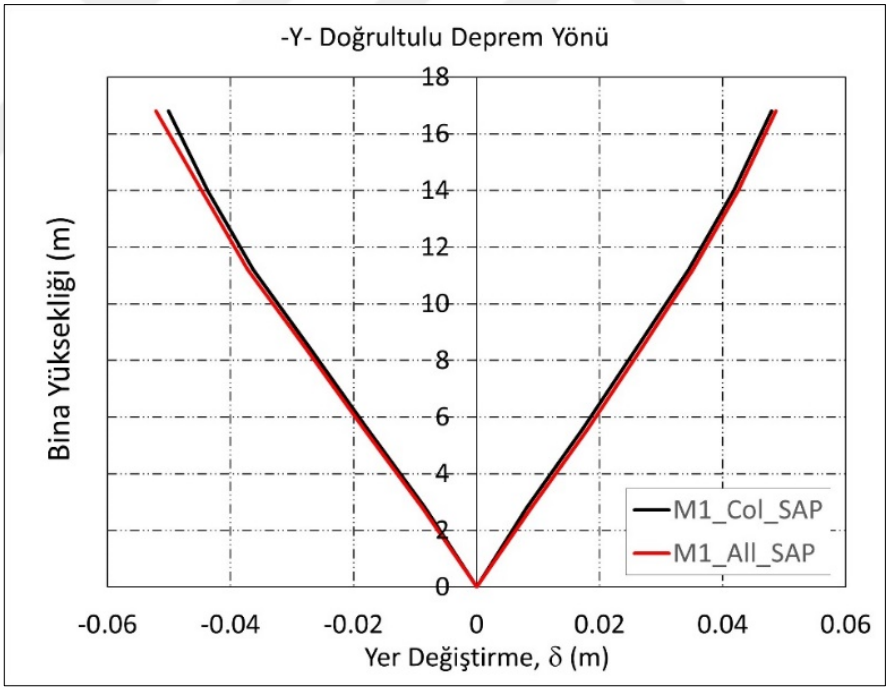
Şekil 4.10. Kolon ve Perde Performansının KH sınırı Cinsinden Kat Dağılımı (y)

4.1.5. Kat deplasmanları ve kat kesme kuvvetleri

Düşey taşıyıcıların uç noktalarıyla her katta yer değiştirmeler yirmi iki analizin yönleriyle birlikte ortalamalarıyla hesaplanmıştır. Kat bazında yapılan hesaplarda, katların yer değiştirme grafiği Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'de gösterilmiştir.

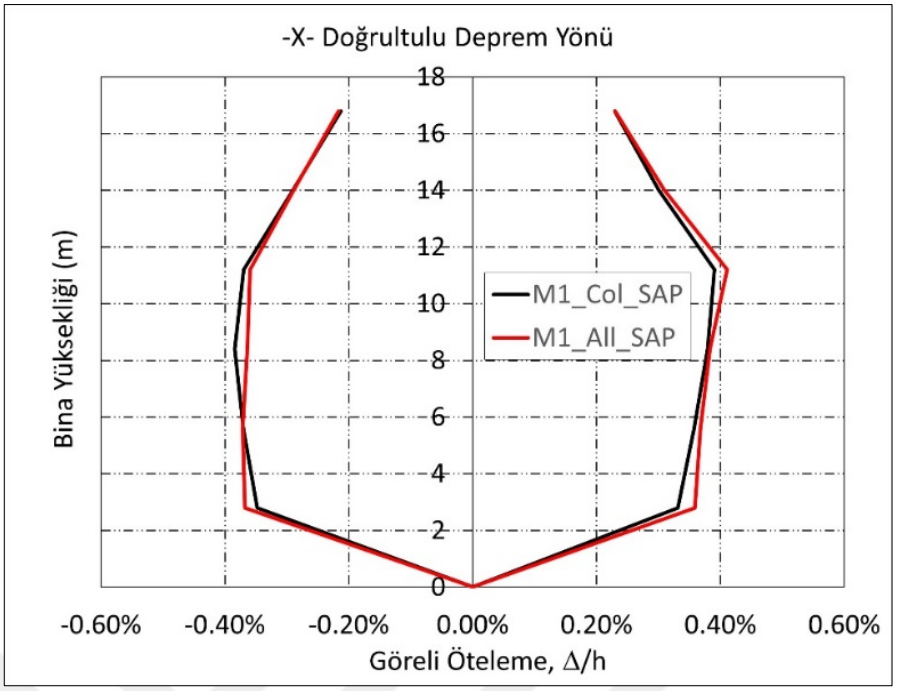


Şekil 4.11. Kat Yer Değiştirmeleri (x)

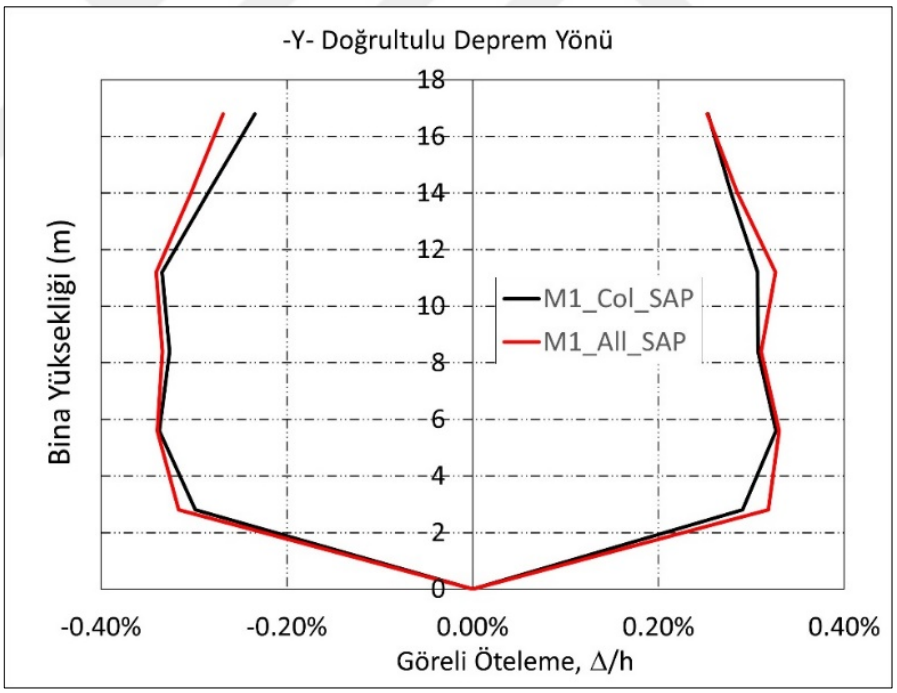


Şekil 4.12. Kat Yer Değiştirmeleri (y)

Kat bazında yapılan hesaplarda, yer değiştirmenin bir alt kata göreli yer değiştirmesinin kat yüksekliğine oranı olan göreli ötelemelerin grafiği Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'de gösterilmiştir.



Şekil 4.13. Katların Göreli Kat Ötelemesi, Δ/h (x)

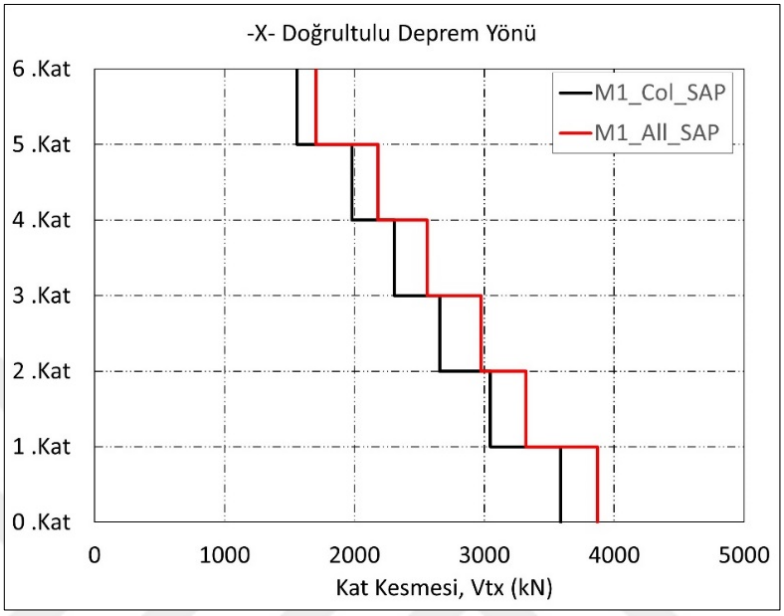


Şekil 4.14. Katların Göreli Kat Ötelemesi, Δ/h (y)

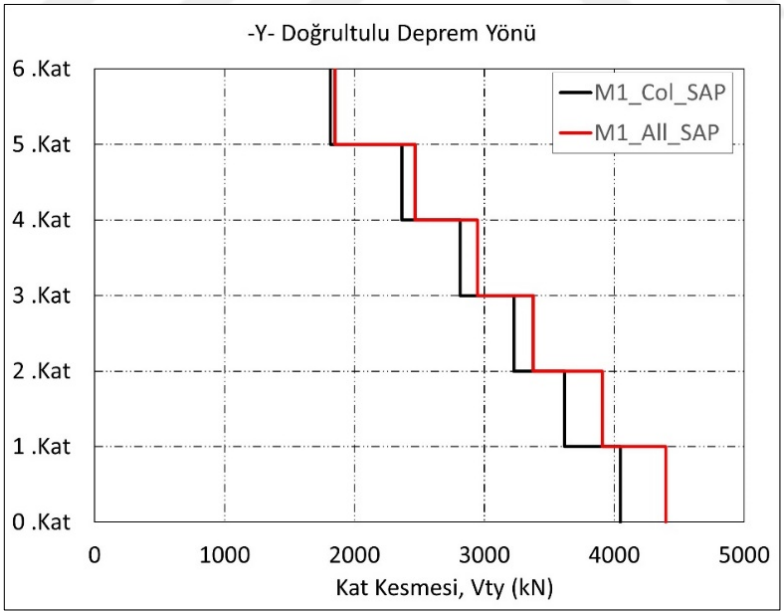
Binanın doğrusal olmayan zaman tanım alanında yapılan analizlerinden hesaplanan mutlak ortalama kat kesme kuvvetleri Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'da gösterilmiştir.

Şekil 4.15'de görüldüğü üzere kolonların - kirişlerin fiber mafsal olduğu modelde, kolonların fiber mafsal - kirişlerin yığılı mafsal olduğu modele göre -x- doğrultulu

deprem için kat kesme kuvvetlerinin, sırasıyla %8, %9, %12, %11, %10, %10 arttığı görülmüştür.



Şekil 4.15. Kat Kesme Kuvveti (x)



Şekil 4.16. Kat Kesme Kuvveti (y)

Şekil 4.16'da görüldüğü üzere kolonların - kirişlerin fiber mafsal olduğu modelde, kolonların fiber mafsal - kirişlerin yığılı mafsal olduğu modele göre -y- doğrultulu deprem için kat kesme kuvvetleri sırasıyla %9, %8, %5, %5, %4, %2 arttığı görülmüştür.

4.2. Düzenli Binanın M_2_Col_SAP ve M_2_All_SAP Modelleri Kıyası

Doğrusal olarak, kolonları fiber mafsal kirişleri yığılı mafsal olarak (M_2_Col_SAP) ve tüm elemanları fiber mafsal olarak (M_2_All_SAP) modellenen üç farklı modelin, modal analiz sonuçları Tablo 4.8'de gösterilmiştir (Doğrusal modellemeye ait modal analizler Tablo 3.5'te verilmiştir).

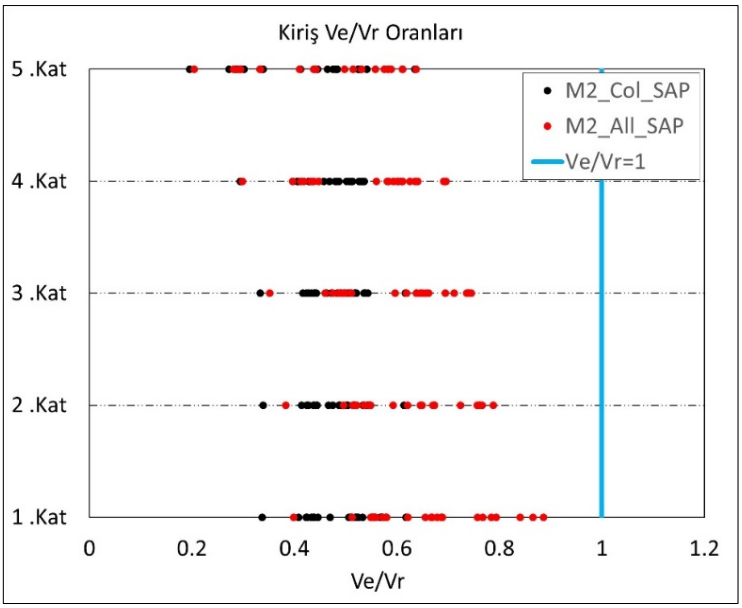
Tablo 4.8. M_2 Modellerinin Modal Analiz Sonuçları

Mod	Doğrusal Model	M_2_Col_SAP	M_2_All_SAP
1.Mod	0,78 s	0,79 s	0,75 s
2.Mod	0,73 s	0,75 s	0,71 s
3.Mod	0,65 s	0,66 s	0,63 s

Tablo 4.8'de görüldüğü üzere düzenli yapıdaki başlangıç periyotları, kolonların fiber mafsal - kirişlerin yığılı mafsal (M_2_Col_SAP) modeliyle doğrusal modeli yaklaşık aynıdır. Ancak kolon - kirişlerin fiber mafsal (M_2_All_SAP) modelinin doğrusal modele göre yaklaşık %4 daha az başlangıç periyodu hesaplanmıştır.

4.2.1. Kirişlerin kesme güvenliği

Yapılan yirmi iki analiz sonucunda mutlak en büyüklerin ortalamasına göre her iki modelde de kirişlerde gevrek eleman bulunmamaktadır. İki modelin kat bazında kirişlerinin kesme kapasitelerinin oransal dağılımını gösteren grafik Şekil 4.17'de gösterilmiştir.



Şekil 4.17. Kirişlerin Kesme için Talep/Kapasite Oranları

Şekil 4.17'de görüldüğü üzere kiriş elemanlarda, kolon - kirişlerin fiber mafsal olduğu modelde, kolonların fiber mafsal - kirişlerin yığılı mafsal olduğu modele göre daha fazla kesme yükü taşımaktadır.

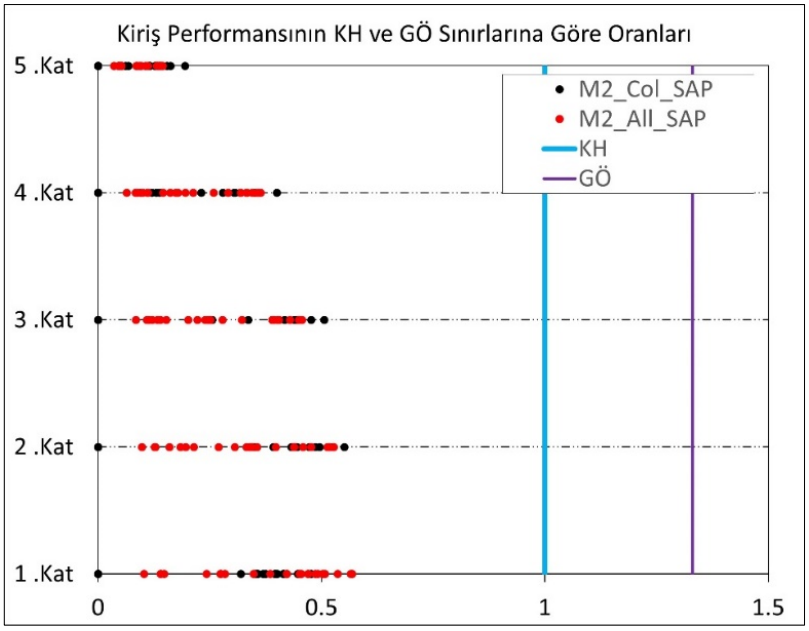
4.2.2. Kirişlerin performansı

Gevrek elemanlar hariç kirişlerde, ortalama birim şekil değiştirme talepleri, izin verilen sınırlarla kıyaslanıp performans seviyesi Tablo 4.9'da hesaplanmıştır.

Tablo 4.9. Kirişlerin Performans Değerlendirmesi

Kat	M_2_Col_SAP					M_2_All_SAP				
	Sünek	SH	BH	IH	GB	Sünek	SH	BH	IH	GB
1.Kat	22	36%	64%	0%	0%	22	95%	5%	0%	0%
2.Kat	22	36%	64%	0%	0%	22	91%	9%	0%	0%
3.Kat	22	36%	64%	0%	0%	22	95%	5%	0%	0%
4.Kat	22	36%	64%	0%	0%	22	100%	0%	0%	0%
5.Kat	22	59%	41%	0%	0%	22	100%	0%	0%	0%

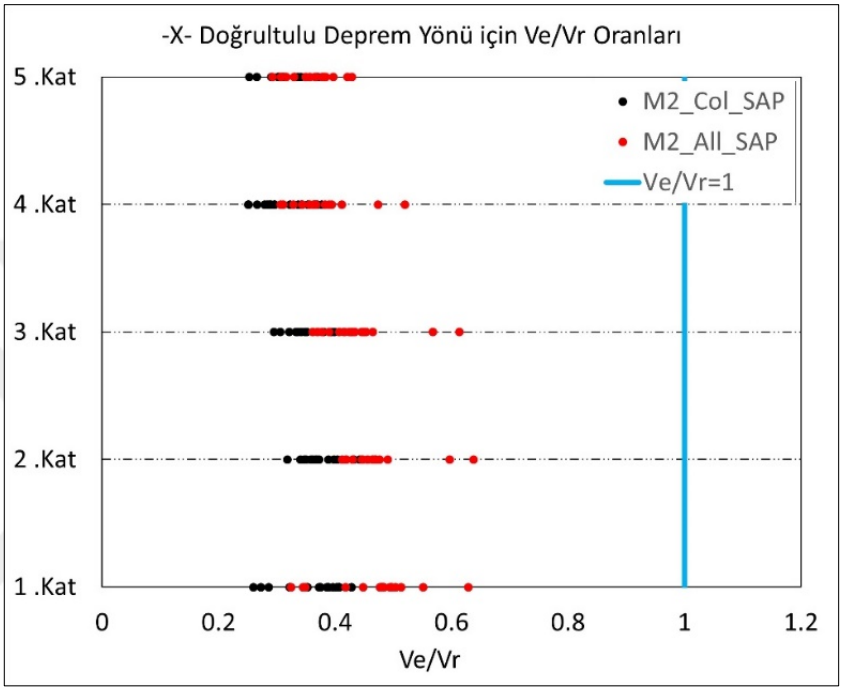
Tablo 4.9'da görüldüğü üzere kolonların - kirişlerin fiber mafsal olduğu modelde, kolonların fiber mafsal - kirişlerin yığılı mafsal olduğu modele göre kirişlerde hasar seviyesi azalmaktadır. Kirişlerin performans değerlendirmesi KH sınırı (GÖ = 1,33KH) cinsinden Şekil 4.18'de gösterilmiştir.



Şekil 4.18. Kiriş Performansının KH sınırı Cinsinden Kat Dağılımı

4.2.3. Kolonların kesme güvenliği

Yapılan yirmi iki analiz sonucunda mutlak en büyüklerin ortalamasına göre her iki modelde de kolonlarda -x- doğrultusu için gevrek eleman bulunmamaktadır. İki modelin kat bazında kolonların -x- doğrultulu deprem için kesme kapasitelerinin oransal dağılımını gösteren grafik Şekil 4.19'da gösterilmiştir.

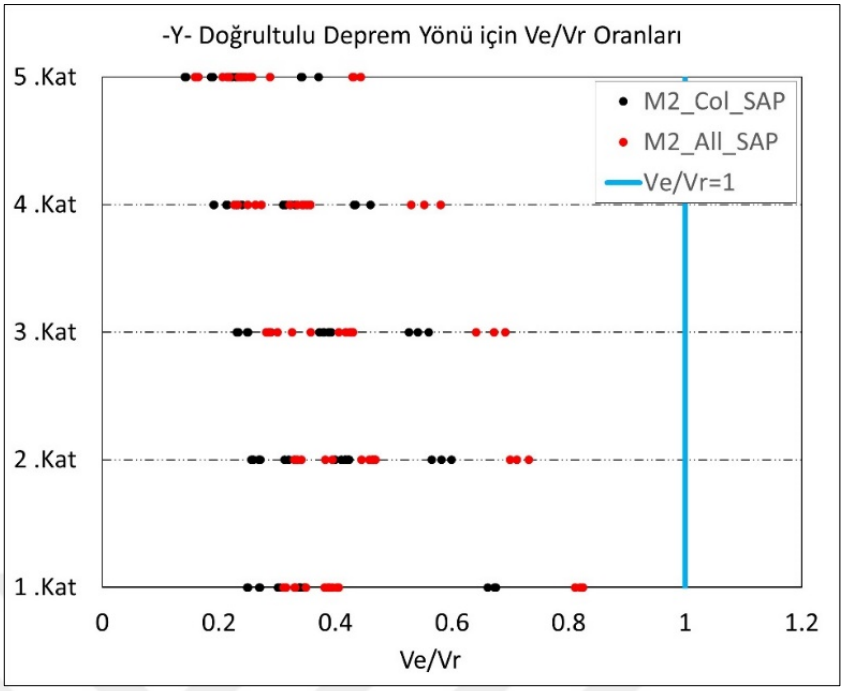


Şekil 4.19. Kolonların Kesme için Talep/Kapasite Oranları (X)

Şekil 4.19'da görüldüğü üzere kolon elemanlarda -x- doğrultusu için, kolon - kirişlerin fiber mafsal olduğu modelde, kolonların fiber mafsal - kirişlerin yığılı mafsal olduğu modele göre daha fazla kesme yükü taşımaktadır.

Yapılan yirmi iki analiz sonucunda mutlak en büyüklerin ortalamasına göre her iki modelde de kolonlarda -y- doğrultusu için gevrek eleman bulunmamaktadır. İki modelin kat bazında kolonların -y- doğrultulu deprem için kesme kapasitelerinin oransal dağılımını gösteren grafik Şekil 4.20'de gösterilmiştir.

Şekil 4.20'de görüldüğü üzere kolon elemanlarda -y- doğrultusu için, kolon - kirişlerin fiber mafsal olduğu model, kolonların fiber mafsal - kirişlerin yığılı mafsal olduğu modele göre daha fazla kesme yükü taşımaktadır.



Şekil 4.20. Kolonlarda Kesme için Talep/Kapasite Oranları (Y)

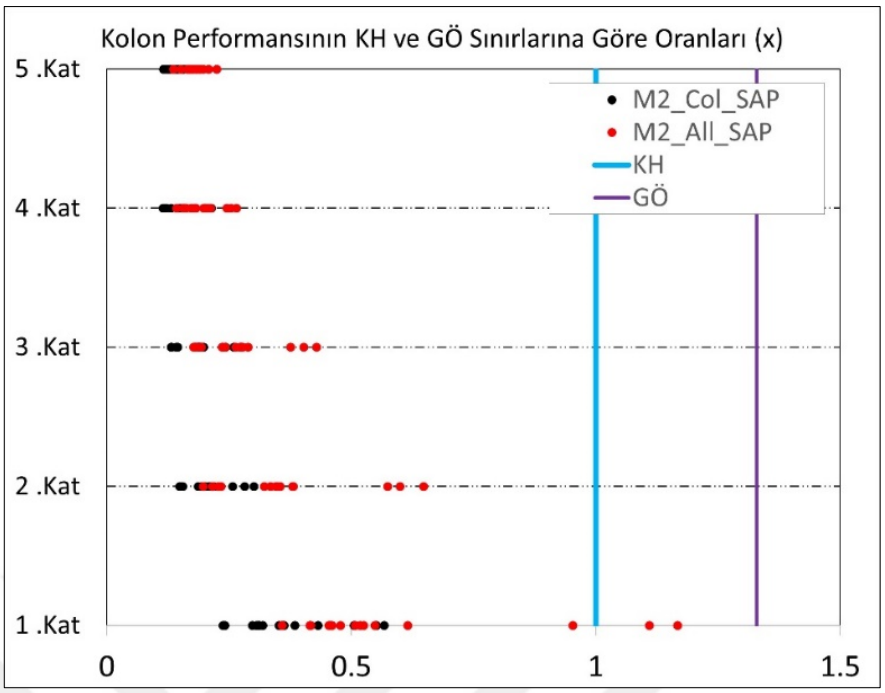
4.2.4. Kolonların performansı

Gevrek elemanlar hariç kolon ve perdelerde, ortalama birim şekil değiştirme talepleri, izin verilen sınırlarla kıyaslanıp performans seviyesi -x- doğrultulu deprem için Tablo 4.10'de hesaplanmıştır. Her iki deprem doğrultusunda da aynı sonuçlar çıktığı için yalnızca -x- doğrultulu sonuçlar verilmiştir.

Tablo 4.10. Kolon ve Perdelerin Performans Değerlendirmesi (x)

-X- Doğrultu Deprem										
Kat	M_2_Col_SAP					M_2_All_SAP				
	Sünek	SH	BH	IH	GB	Sünek	SH	BH	IH	GB
1.Kat	15	73%	27%	0%	0%	15	13%	73%	13%	0%
2.Kat	15	100%	0%	0%	0%	15	100%	0%	0%	0%
3.Kat	15	100%	0%	0%	0%	15	100%	0%	0%	0%
4.Kat	15	100%	0%	0%	0%	15	100%	0%	0%	0%
5.Kat	15	100%	0%	0%	0%	15	100%	0%	0%	0%

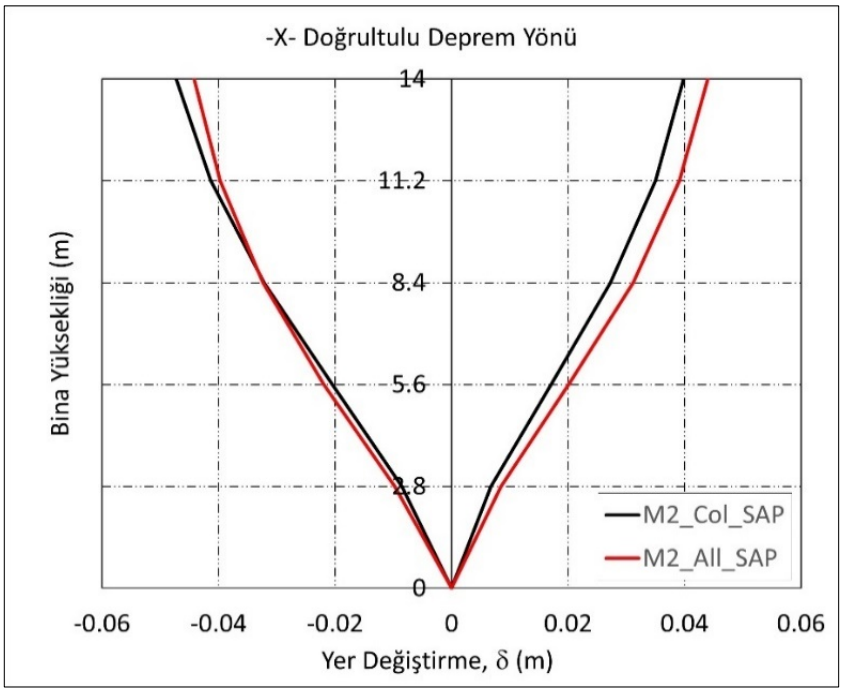
Tablo 4.10'de görüldüğü üzere kolonların - kirişlerin fiber mafsal olduğu modelde, kolonların fiber mafsal - kirişlerin yığılı mafsal olduğu modele göre kolonlarda her iki deprem doğrultusu için de yalnızca 1. katta hasar seviyesi artmaktadır. Kolonların performans değerlendirmesi KH sınırı (GÖ = 1,33KH) cinsinden Şekil 4.21'de gösterilmiştir.



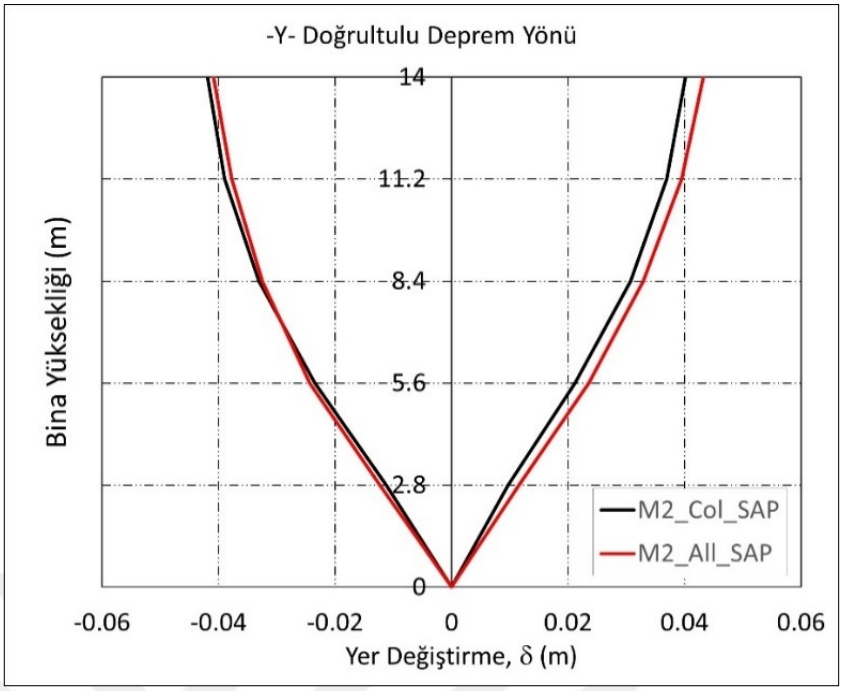
Şekil 4.21. Kolonların Performansının KH sınırı Cinsinden Kat Dağılımı (x)

4.2.5. Kat deplasmanları ve kat kesme kuvvetleri

Düşey taşıyıcıların uç noktalarıyla her katta yer değiştirmeler yirmi iki analizin yönleriyle birlikte ortalamalarıyla hesaplanmıştır. Kat bazında yapılan hesaplarda, katların yer değiştirme grafiği Şekil 4.22 ve Şekil 4.23'de gösterilmiştir.

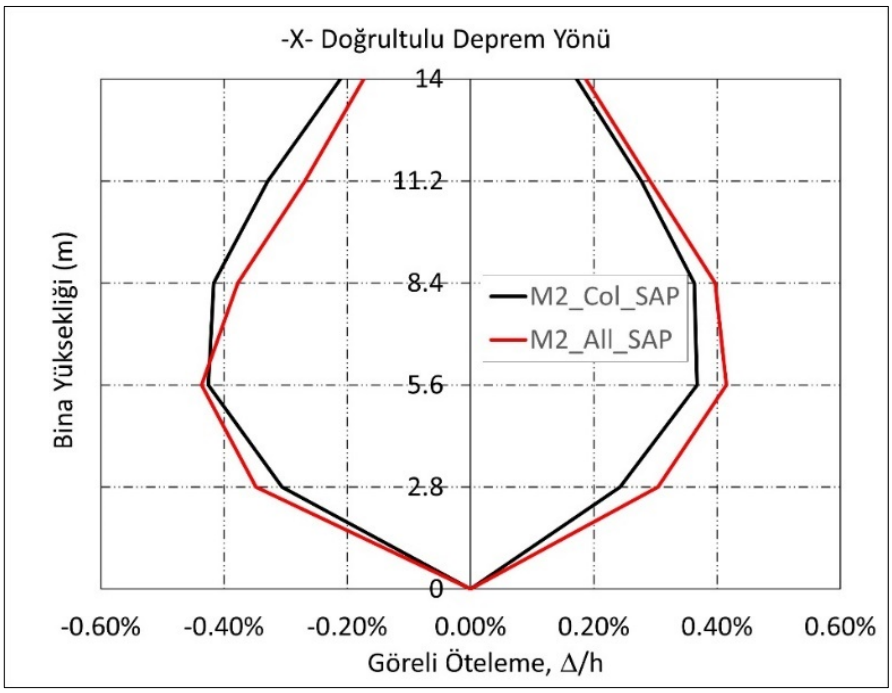


Şekil 4.22. Kat Yer Değiştirmeleri (x)

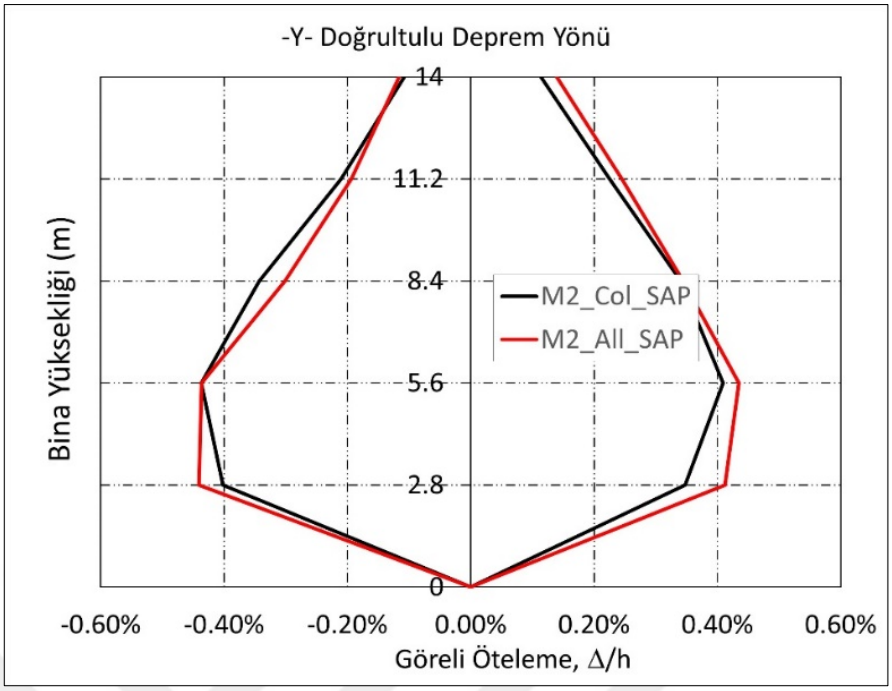


Şekil 4.23. Kat Yer Değiştirmeleri (y)

Kat bazında yapılan hesaplarda, yer değiştirmenin bir alt kata göreli yer değiştirmesinin kat yüksekliğine oranı olan göreli ötelemelerin grafiği Şekil 4.24 ve Şekil 4.25'da gösterilmiştir.

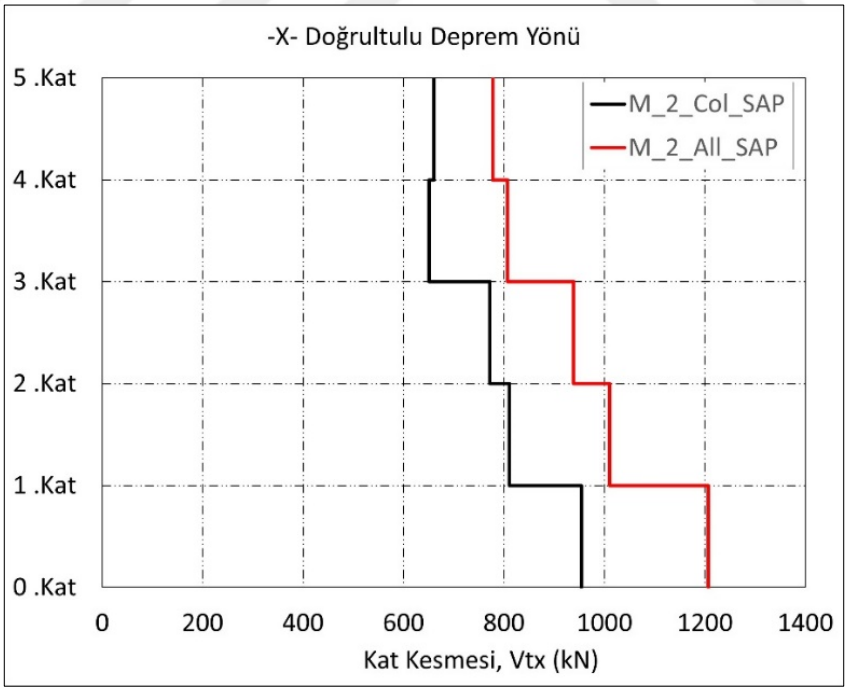


Şekil 4.24. Katların Göreli Kat Ötelemesi, Δ/h (x)



Şekil 4.25. Katların Göreli Kat Ötelemesi, Δ/h (y)

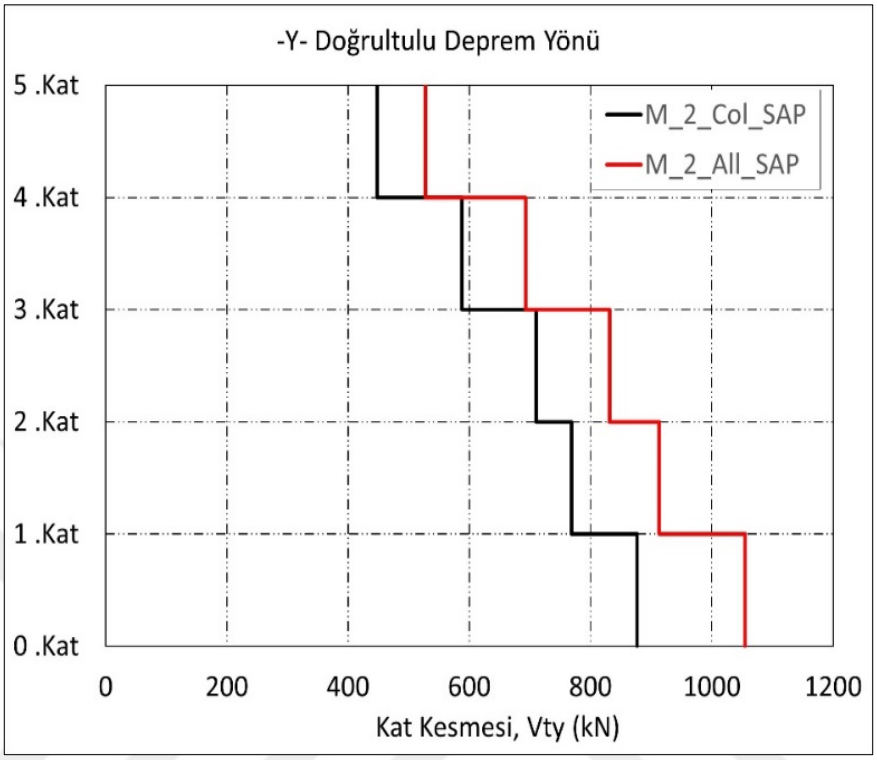
Binanın doğrusal olmayan zaman tanım alanında yapılan analizlerinden hesaplanan mutlak ortalama kat kesme kuvvetleri Şekil 4.26 ve Şekil 4.27'de gösterilmiştir.



Şekil 4.26. Kat Kesme Kuvveti (x)

Şekil 4.26'de görüldüğü üzere kolonların - kirişlerin fiber mafsal olduğu modelde, kolonların fiber mafsal - kirişlerin yığılı mafsal olduğu modele göre -x- doğrultulu

deprem için kat kesme kuvvetleri sırasıyla %26, %25, %22, %24, %18 arttığı görülmüştür.



Şekil 4.27. Kat Kesme Kuvveti (y)

Şekil 4.26'de görüldüğü üzere kolonların - kirişlerin fiber mafsal olduğu modelde, kolonların fiber mafsal - kirişlerin yığılı mafsal olduğu modele göre -y- doğrultulu deprem için kat kesme kuvvetleri sırasıyla %20, %19, %17, %18, %18 arttığı görülmüştür.

4.3. Düzenli Binanın M_3_Col_SAP ve M_3_All_SAP Modelleri Kıyası

Doğrusal olarak, kolonları fiber mafsal kirişleri yığılı mafsal olarak (M_3_Col_SAP) ve tüm elemanları fiber mafsal olarak (M_3_All_SAP) modellenen üç farklı modelin, modal analiz sonuçları Tablo 4.8'de gösterilmiştir (Doğrusal modellemeye ait modal analizler Tablo 3.5'de verilmiştir).

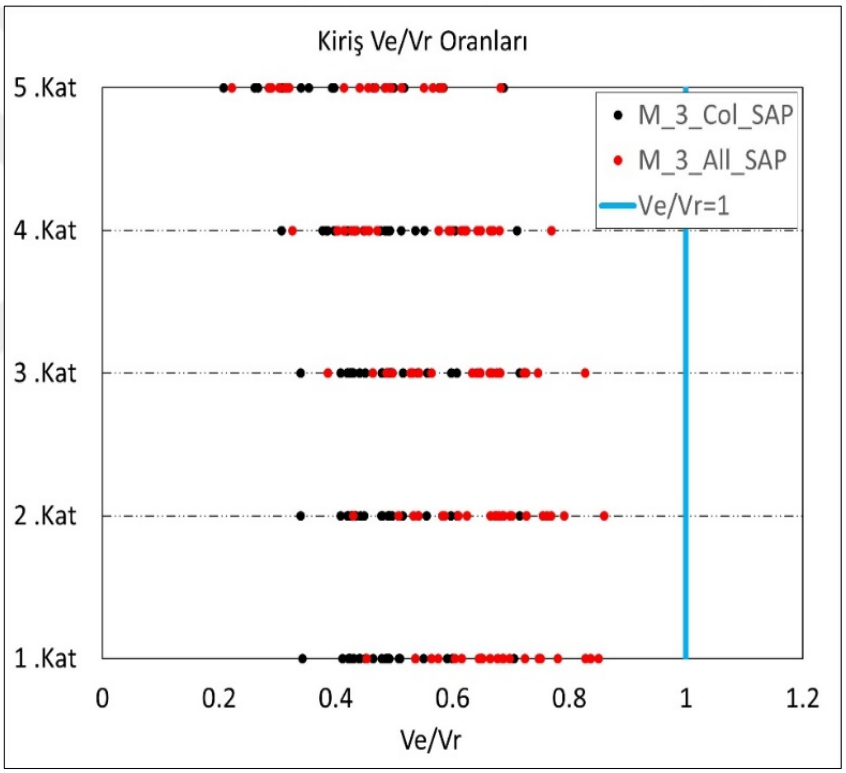
Tablo 4.11. M_3 Modellerinin Modal Analiz Sonuçları

Mod	Doğrusal Model	M_3_Col_SAP	M_3_All_SAP
1.Mod	0,80 s	0,81 s	0,77 s
2.Mod	0,76 s	0,77 s	0,73 s
3.Mod	0,70 s	0,71 s	0,67 s

Tablo 4.11'da görüldüğü üzere düzenli yapıdaki başlangıç periyotları, kolonların fiber mafsal - kirişlerin yığılı mafsal olduğu modelle (M_3_Col_SAP), doğrusal modelde yaklaşık aynıdır. Ancak kolon - kirişlerin fiber mafsal olduğu modelde (M_3_All_SAP), doğrusal modele göre yaklaşık %4 daha az başlangıç periyodu hesaplanmıştır.

4.3.1. Kirişlerin kesme güvenliği

Yapılan yirmi iki analiz sonucunda mutlak en büyüklerin ortalamasına göre her iki modelde de kirişlerde gevrek eleman bulunmamaktadır. İki modelin kat bazında kirişlerinin kesme kapasitelerinin oransal dağılımını gösteren grafik Şekil 4.28'da gösterilmiştir.



Şekil 4.28. Kirişlerin Kesme için Talep/Kapasite Oranları

Şekil 4.28'da görüldüğü üzere kiriş elemanlarda, kolon - kirişlerin fiber mafsal olduğu model, kolonların fiber mafsal - kirişlerin yığılı mafsal olduğu modele göre daha fazla kesme yükü taşımaktadır.

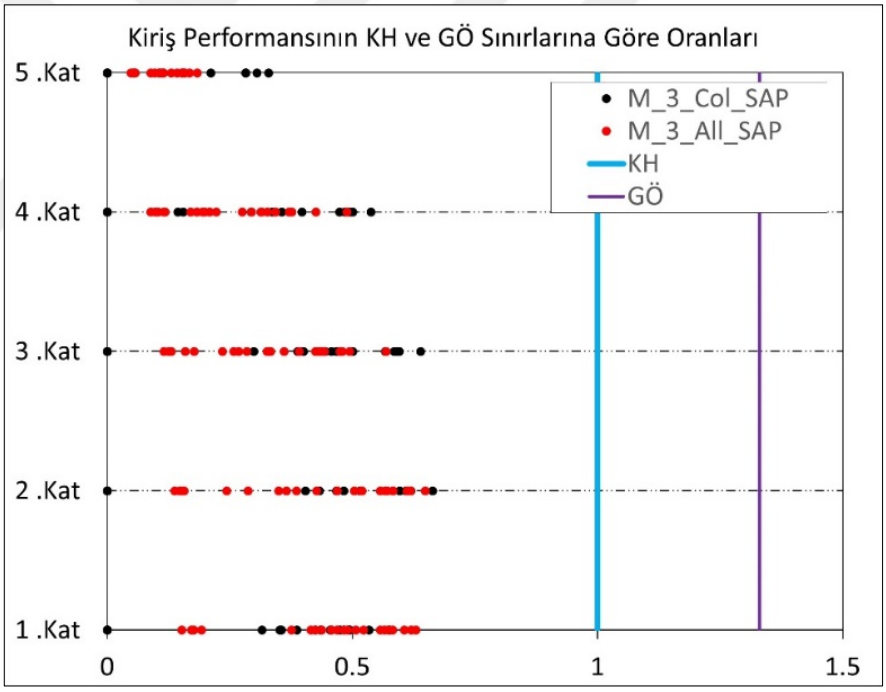
4.3.2. Kirişlerin performansı

Gevrek elemanlar hariç kirişlerde, ortalama birim şekil değiştirme talepleri, izin verilen sınırlarla kıyaslanıp performans seviyesi Tablo 4.12'da hesaplanmıştır.

Tablo 4.12. Kirişlerin Performans Değerlendirmesi

Kat	M_3_Col_SAP					M_3_All_SAP				
	Sünek	SH	BH	IH	GB	Sünek	SH	BH	IH	GB
1.Kat	22	36%	64%	0%	0%	22	86%	14%	0%	0%
2.Kat	22	45%	55%	0%	0%	22	77%	23%	0%	0%
3.Kat	22	36%	64%	0%	0%	22	86%	14%	0%	0%
4.Kat	22	45%	55%	0%	0%	22	95%	5%	0%	0%
5.Kat	22	64%	36%	0%	0%	22	100%	0%	0%	0%

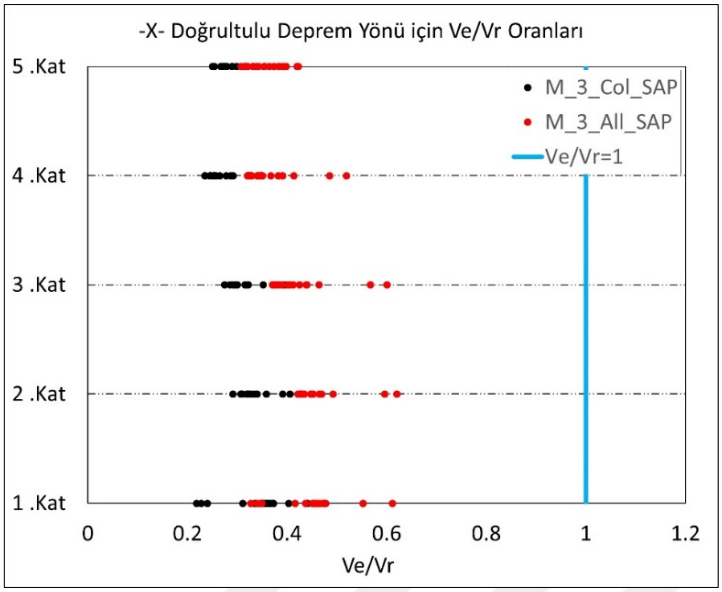
Tablo 4.12'da görüldüğü üzere kolonların - kirişlerin fiber mafsal olduğu modelde, kolonların fiber mafsal - kirişlerin yığılı mafsal olduğu modele göre kirişlerde hasar seviyesi azalmaktadır. Kirişlerin performans değerlendirmesi KH sınırı (GÖ = 1,33KH) cinsinden Şekil 4.29'da gösterilmiştir.



Şekil 4.29. Kiriş Performansının KH sınırı Cinsinden Kat Dağılımı

4.3.3. Kolonların kesme güvenliği

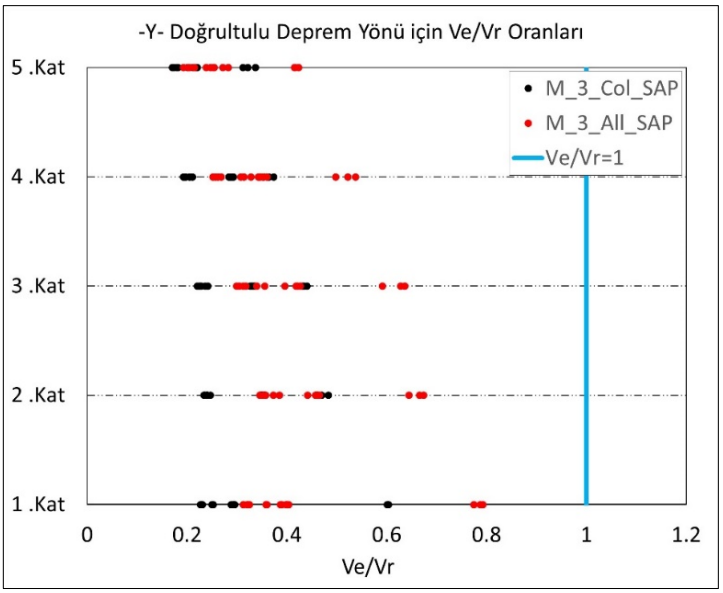
Yapılan yirmi iki analiz sonucunda mutlak en büyüklerin ortalamasına göre her iki modelde de kolonlarda -x- doğrultusu için gevrek eleman bulunmamaktadır. İki modelin kat bazında kolonların -x- doğrultulu deprem için kesme kapasitelerinin oransal dağılımını gösteren grafik Şekil 4.30'de gösterilmiştir.



Şekil 4.30. Kolonların Kesme için Talep/Kapasite Oranları (X)

Şekil 4.30'de görüldüğü üzere kolon elemanlarda -x- doğrultusu için, kolon - kirişlerin fiber mafsal olduğu model, kolonların fiber mafsal - kirişlerin yığılı mafsal olduğu modele göre daha fazla kesme yükü taşımaktadır.

Yapılan yirmi iki analiz sonucunda mutlak en büyüklerin ortalamasına göre her iki modelde de kolonlarda -y- doğrultusu için gevrek eleman bulunmamaktadır. İki modelin kat bazında kolonların -y- doğrultulu deprem için kesme kapasitelerinin oransal dağılımını gösteren grafik Şekil 4.31'de gösterilmiştir.



Şekil 4.31. Kolonlarda Kesme için Talep/Kapasite Oranları (Y)

Şekil 4.31'de görüldüğü üzere kolon elemanlarda -y- doğrultusu için, kolon ve kirişlerin fiber mafsal olduğu model, kolonların fiber mafsal - kirişlerin yığılı mafsal olduğu modele göre daha fazla kesme yükü taşımaktadır.

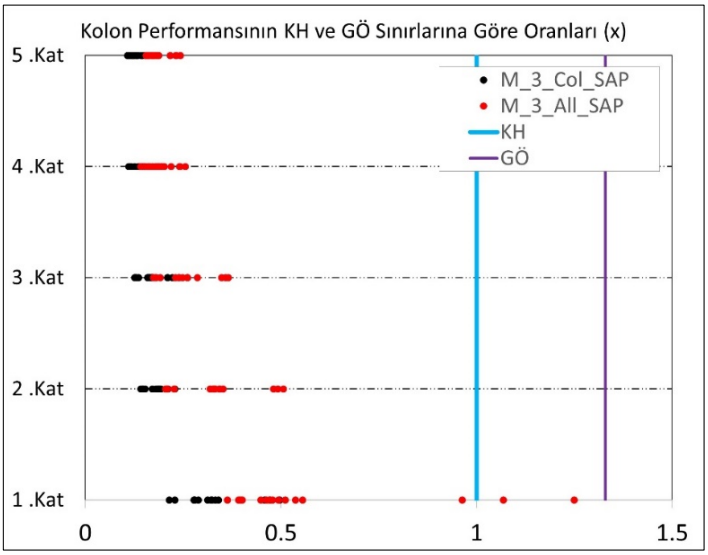
4.3.4. Kolonların performansı

Gevrek elemanlar hariç kolon ve perdelerde, ortalama birim şekil değiştirme talepleri, izin verilen sınırlarla kıyaslanıp performans seviyesi -x- doğrultulu deprem için Tablo 4.13'de hesaplanmıştır. Her iki deprem doğrultusunda da aynı sonuçlar çıktığı için yalnızca -x- doğrultulu sonuçlar verilmiştir.

Tablo 4.13. Kolon ve Perdelerin Performans Değerlendirmesi (x)

-X- Doğrultu Deprem										
Kat	M_3_Col_SAP					M_3_All_SAP				
	Sünek	SH	BH	IH	GB	Sünek	SH	BH	IH	GB
1.Kat	15	80%	20%	0%	0%	15	20%	67%	13%	0%
2.Kat	15	100%	0%	0%	0%	15	100%	0%	0%	0%
3.Kat	15	100%	0%	0%	0%	15	100%	0%	0%	0%
4.Kat	15	100%	0%	0%	0%	15	100%	0%	0%	0%
5.Kat	15	100%	0%	0%	0%	15	100%	0%	0%	0%

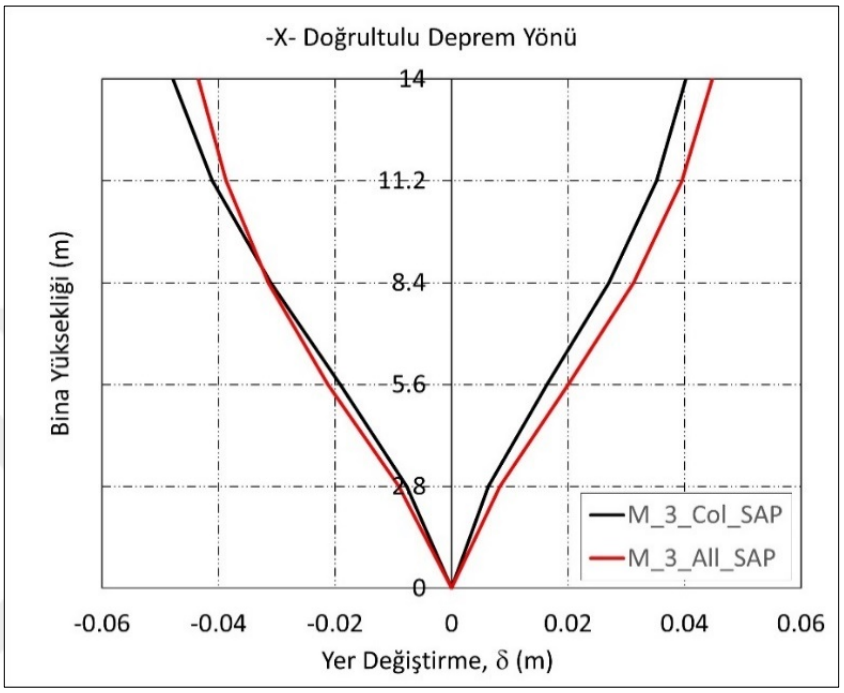
Tablo 4.13'da görüldüğü üzere kolonların - kirişlerin fiber mafsal olduğu modelde, kolonların fiber mafsal - kirişlerin yığılı mafsal olduğu modele göre kolonlarda her iki deprem doğrultusu için de yalnızca 1. katta hasar seviyesi artmaktadır. Kolonların performans değerlendirmesi KH sınırı (GÖ = 1,33KH) cinsinden Şekil 4.32'de gösterilmiştir.



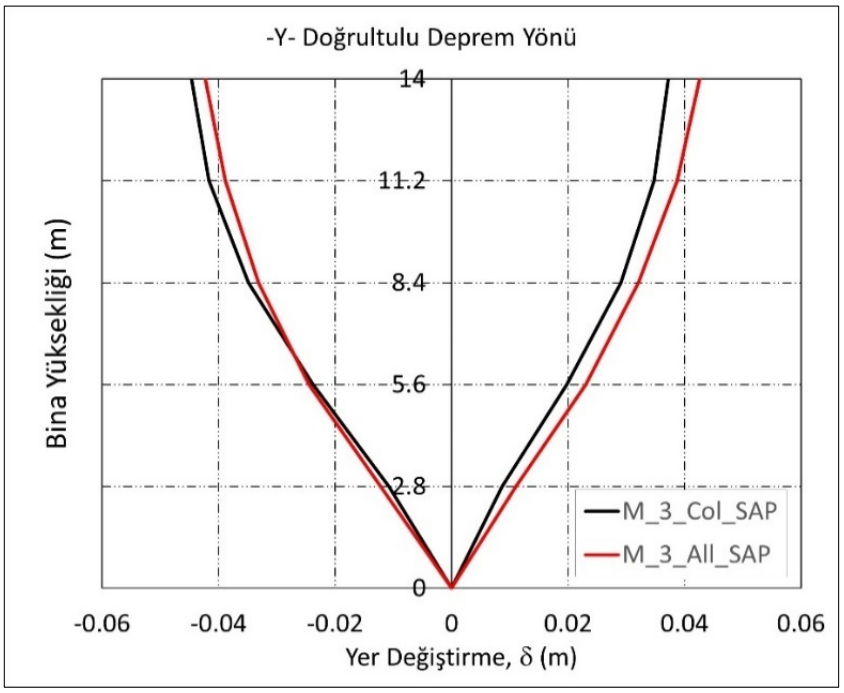
Şekil 4.32. Kolonların Performansının KH sınırı Cinsinden Kat Dağılımı (x)

4.3.5. Kat deplasmanları ve kat kesme kuvvetleri

Düşey taşıyıcıların uç noktalarıyla her katta yer değiştirmeler yirmi iki analizin yönleriyle birlikte ortalamalarıyla hesaplanmıştır. Kat bazında yapılan hesaplarda, katların yer değiştirme grafiği Şekil 4.33 ve Şekil 4.34'da gösterilmiştir.

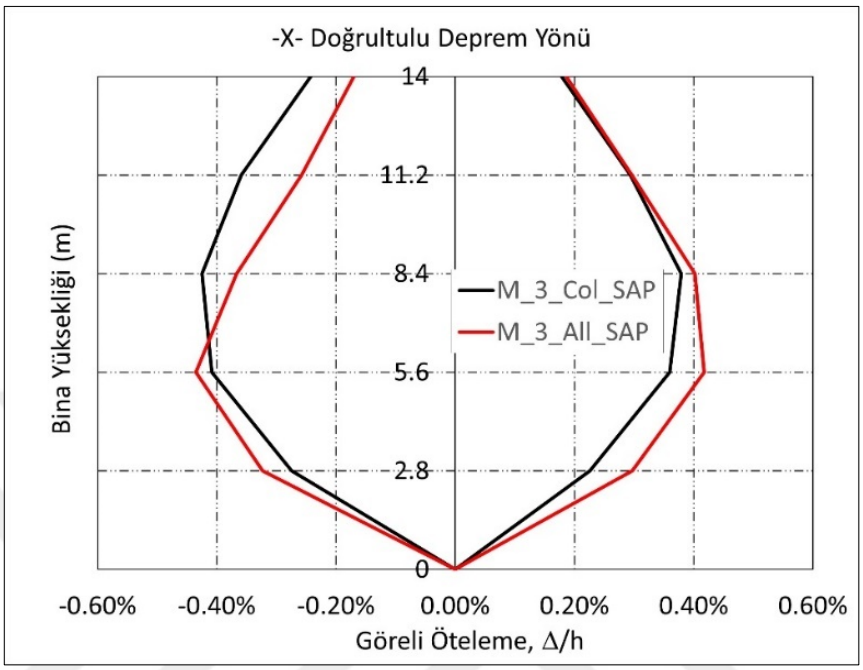


Şekil 4.33. Kat Yer Değiştirmeleri (x)

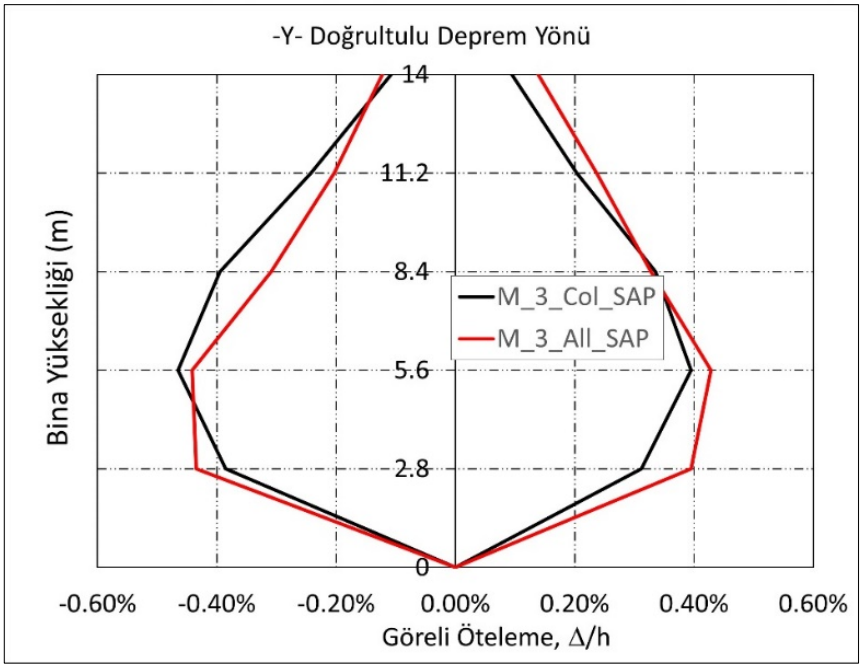


Şekil 4.34. Kat Yer Değiştirmeleri (y)

Kat bazında yapılan hesaplarda, yer değiştirmenin bir alt kata göreli yer değiştirmesinin kat yüksekliğine oranı olan göreli ötelemelerin grafiği Şekil 4.35 ve Şekil 4.36'de gösterilmiştir.

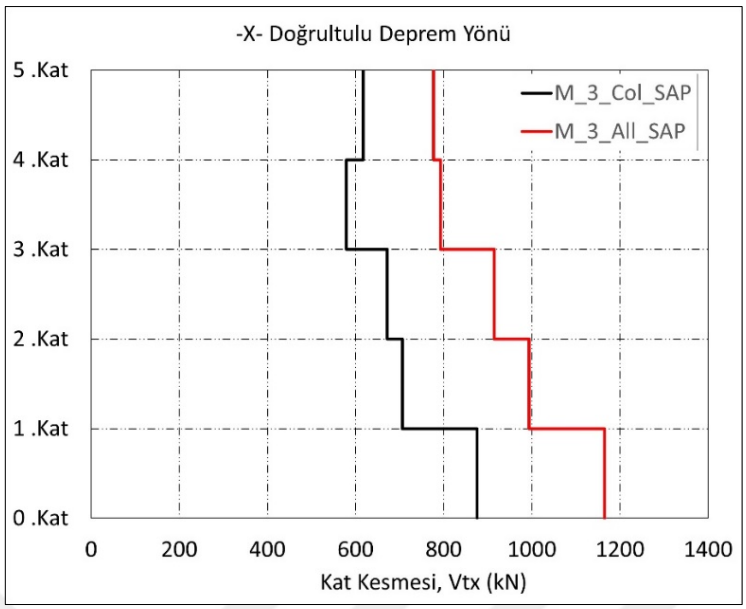


Şekil 4.35. Katların Göreli Kat Ötelemesi, Δ/h (x)



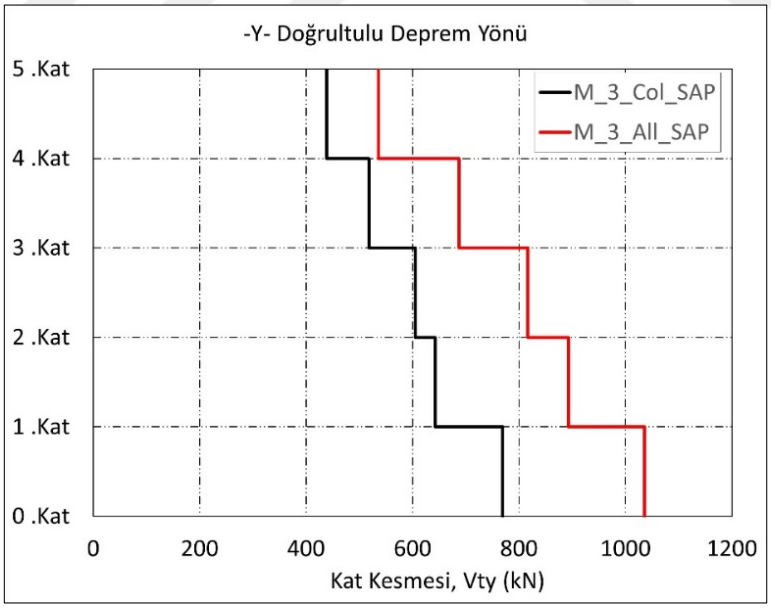
Şekil 4.36. Katların Göreli Kat Ötelemesi, Δ/h (y)

Binanın doğrusal olmayan zaman tanım alanında yapılan analizlerinden hesaplanan mutlak ortalama kat kesme kuvvetleri Şekil 4.37 ve Şekil 4.38'da gösterilmiştir.



Şekil 4.37. Kat Kesme Kuvveti (x)

Şekil 4.37'da görüldüğü üzere kolonların - kirişlerin fiber mafsal olduğu modelde, kolonların fiber mafsal - kirişlerin yığılı mafsal olduğu modele göre -x- doğrultulu deprem için kat kesme kuvvetleri sırasıyla %33, %41, %36, %37, %26 arttığı görülmüştür.



Şekil 4.38. Kat Kesme Kuvveti (y)

Şekil 4.38'da görüldüğü üzere kolonların - kirişlerin fiber mafsal olduğu modelde, kolonların fiber mafsal - kirişlerin yığılı mafsal olduğu modele göre -y- doğrultulu deprem için kat kesme kuvvetleri sırasıyla %35, %39, %35, %33, %22 arttığı görülmüştür.

4.4. Düzenli Binanın M_4_Col_PER ve M_4_All_PER Modelleri Kıyası

Doğrusal olarak, kolonları fiber mafsal - kirişleri yığılı mafsal olarak (M_4_Col_PER) ve tüm elemanları fiber mafsal olarak (M_4_All_PER) modellenen üç farklı modelin, modal analiz sonuçları Tablo 4.14'de gösterilmiştir (Doğrusal modellemeye ait modal analizler Tablo 3.5'de verilmiştir).

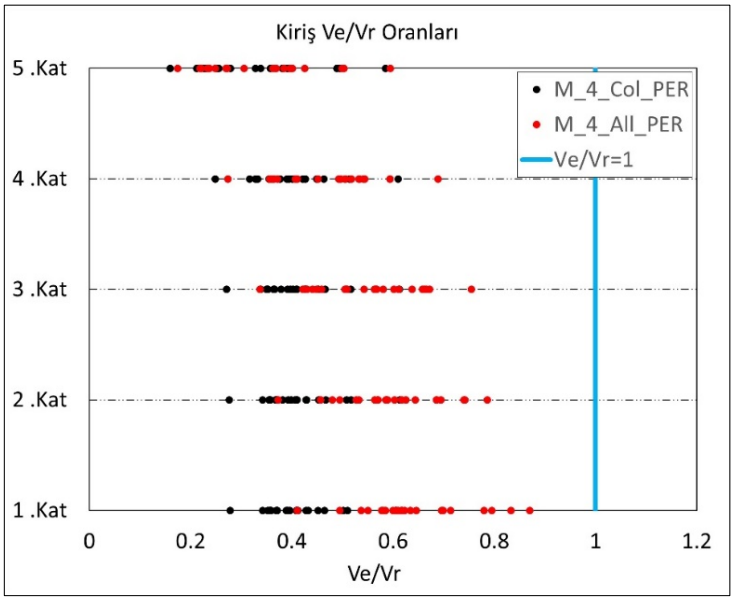
Tablo 4.14. M_4 Modellerinin Modal Analiz Sonuçları

Mod	Doğrusal Model	M_4_Col_PER	M_4_All_ PER
1.Mod	0,80 s	0,78 s	0,75 s
2.Mod	0,76 s	0,73 s	0,71 s
3.Mod	0,69 s	0,68 s	0,65 s

Tablo 4.14'de görüldüğü üzere düzenli yapıdaki başlangıç periyotları, kolonların fiber mafsal - kirişlerin yığılı mafsal olduğu modelde (M_4_Col_PER), doğrusal modelden yaklaşık %2,5 daha az, kolon - kirişlerin fiber mafsal olduğu modelde (M_4_All_PER), doğrusal modele göre yaklaşık %6 daha az başlangıç periyodu hesaplanmıştır.

4.4.1. Kirişlerin kesme güvenliği

Yapılan yirmi iki analiz sonucunda mutlak en büyüklerin ortalamasına göre her iki modelde de kirişlerde gevrek eleman bulunmamaktadır. İki modelin kat bazında kirişlerinin kesme kapasitelerinin oransal dağılımını gösteren grafik Şekil 4.39'de gösterilmiştir.



Şekil 4.39. Kirişlerin Kesme için Talep/Kapasite Oranları

Şekil 4.39'de görüldüğü üzere kiriş elemanlarda, kolon - kirişlerin fiber mafsal olduğu model, kolonların fiber mafsal - kirişlerin yığılı mafsal olduğu modele göre daha fazla kesme yükü taşımaktadır.

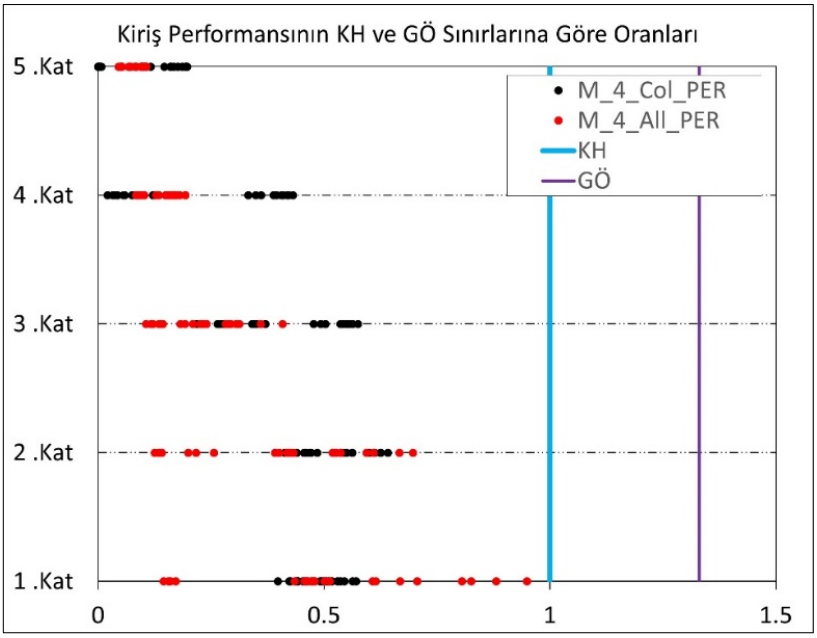
4.4.2. Kirişlerin performansı

Gevrek elemanlar hariç kirişlerde, ortalama birim şekil değiştirme talepleri, izin verilen sınırlarla kıyaslanıp performans seviyesi Tablo 4.15'de hesaplanmıştır.

Tablo 4.15. Kirişlerin Performans Değerlendirmesi

Kat	M_4_Col_ PER					M_4_All_ PER				
	Sünek	SH	BH	IH	GB	Sünek	SH	BH	IH	GB
1.Kat	22	0%	100%	0%	0%	22	82%	18%	0%	0%
2.Kat	22	0%	100%	0%	0%	22	100%	0%	0%	0%
3.Kat	22	0%	100%	0%	0%	22	100%	0%	0%	0%
4.Kat	22	36%	64%	0%	0%	22	100%	0%	0%	0%
5.Kat	22	55%	45%	0%	0%	22	100%	0%	0%	0%

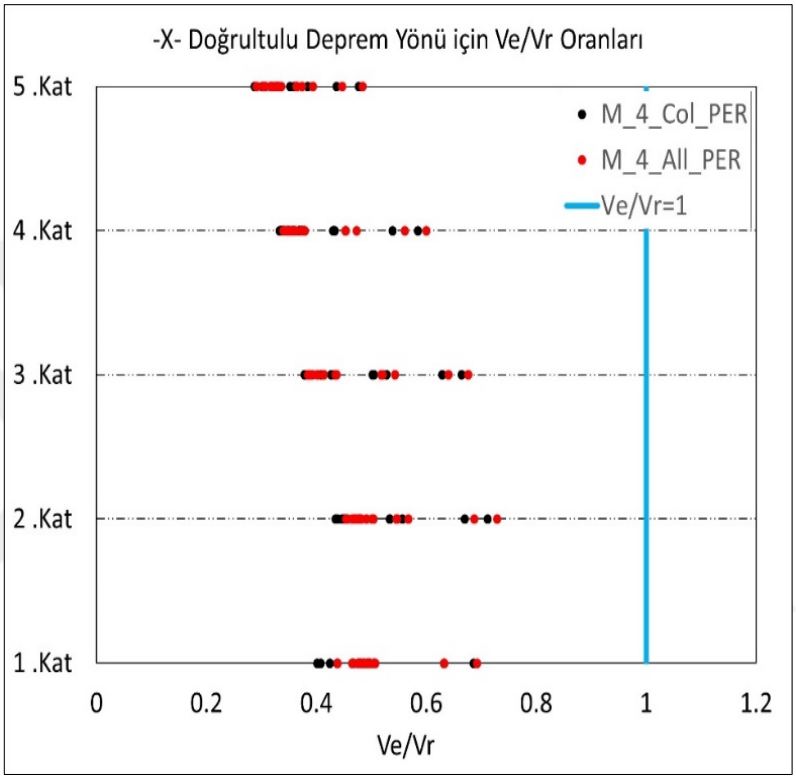
Tablo 4.15'de görüldüğü üzere kolonların - kirişlerin fiber mafsal olduğu modelde, kolonların fiber mafsal - kirişlerin yığılı mafsal olduğu modele göre kirişlerde hasar seviyesi azalmaktadır. Kirişlerin performans değerlendirmesi KH sınırı (GÖ = 1,33KH) cinsinden Şekil 4.40'de gösterilmiştir.



Şekil 4.40. Kiriş Performansının KH sınırı Cinsinden Kat Dağılımı

4.4.3. Kolonların kesme güvenliği

Yapılan yirmi iki analiz sonucunda mutlak en büyüklerin ortalamasına göre her iki modelde de kolonlarda -x- doğrultusu için gevrek eleman bulunmamaktadır. İki modelin kat bazında kolonların -x- doğrultulu deprem için kesme kapasitelerinin oransal dağılımını gösteren grafik Şekil 4.41'de gösterilmiştir.

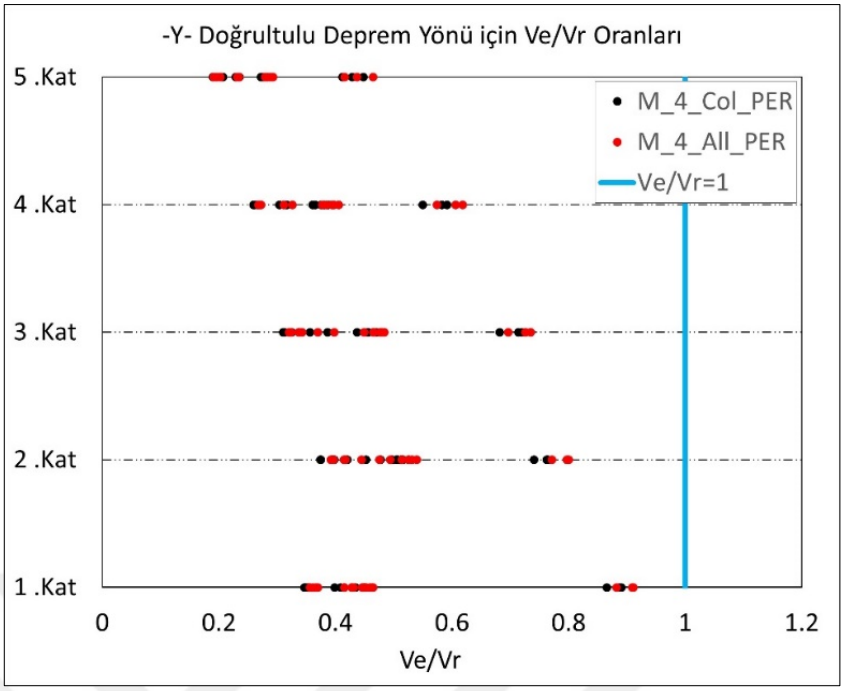


Şekil 4.41. Kolonların Kesme için Talep/Kapasite Oranları (X)

Şekil 4.41'de görüldüğü üzere kolon elemanlarda -x- doğrultusu için, kolon - kirişlerin fiber mafsal olduğu model, kolonların fiber mafsal - kirişlerin yığılı mafsal olduğu modele göre daha fazla kesme yükü taşımaktadır.

Yapılan yirmi iki analiz sonucunda mutlak en büyüklerin ortalamasına göre her iki modelde de kolonlarda -y- doğrultusu için gevrek eleman bulunmamaktadır. İki modelin kat bazında kolonların -y- doğrultulu deprem için kesme kapasitelerinin oransal dağılımını gösteren grafik Şekil 4.42'de gösterilmiştir.

Şekil 4.42'de görüldüğü üzere kolon elemanlarda -y- doğrultusu için, kolon - kirişlerin fiber mafsal olduğu model, kolonların fiber mafsal - kirişlerin yığılı mafsal olduğu modele göre daha fazla kesme yükü taşımaktadır.



Şekil 4.42. Kolonlarda Kesme için Talep/Kapasite Oranları (Y)

4.4.4. Kolonların performansı

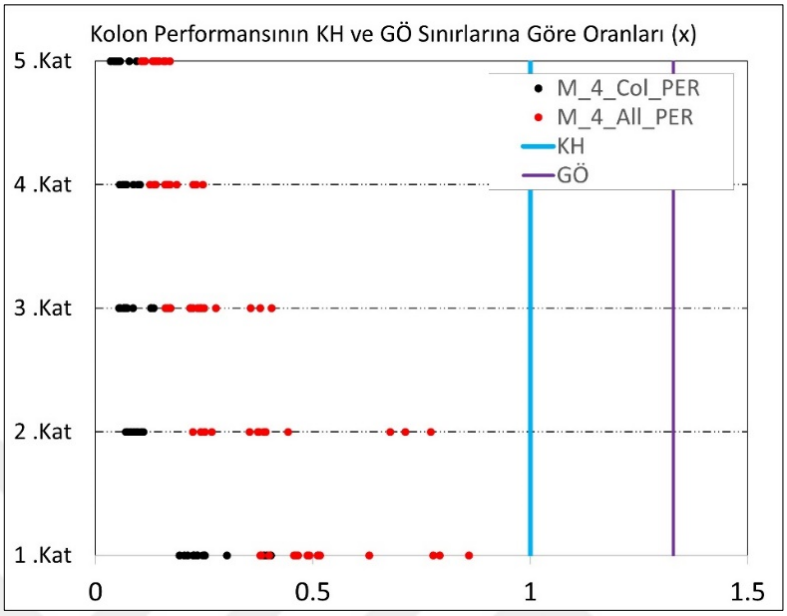
Gevrek elemanlar hariç kolon ve perdelerde, ortalama birim şekil değiştirme talepleri, izin verilen sınırlarla kıyaslanıp performans seviyesi -x- doğrultulu deprem için Tablo 4.16'de hesaplanmıştır. Her iki deprem doğrultusunda da aynı sonuçlar çıktığı için yalnızca -x- doğrultulu sonuçlar verilmiştir.

Tablo 4.16. Kolon ve Perdelerin Performans Değerlendirmesi (x)

-X- Doğrultu Deprem										
Kat	M_4_Col_ PER					M_4_All_ PER				
	Sünek	SH	BH	IH	GB	Sünek	SH	BH	IH	GB
1.Kat	15	93%	7%	0%	0%	15	0%	100%	0%	0%
2.Kat	15	100%	0%	0%	0%	15	80%	20%	0%	0%
3.Kat	15	100%	0%	0%	0%	15	100%	0%	0%	0%
4.Kat	15	100%	0%	0%	0%	15	100%	0%	0%	0%
5.Kat	15	100%	0%	0%	0%	15	100%	0%	0%	0%

Tablo 4.16'de görüldüğü üzere kolonların - kirişlerin fiber mafsal olduğu modelde, kolonların fiber mafsal - kirişlerin yığılı mafsal olduğu modele göre kolonlarda her iki deprem doğrultusu için de 1. ve 2. katta hasar seviyesi artmaktadır. Kolonların

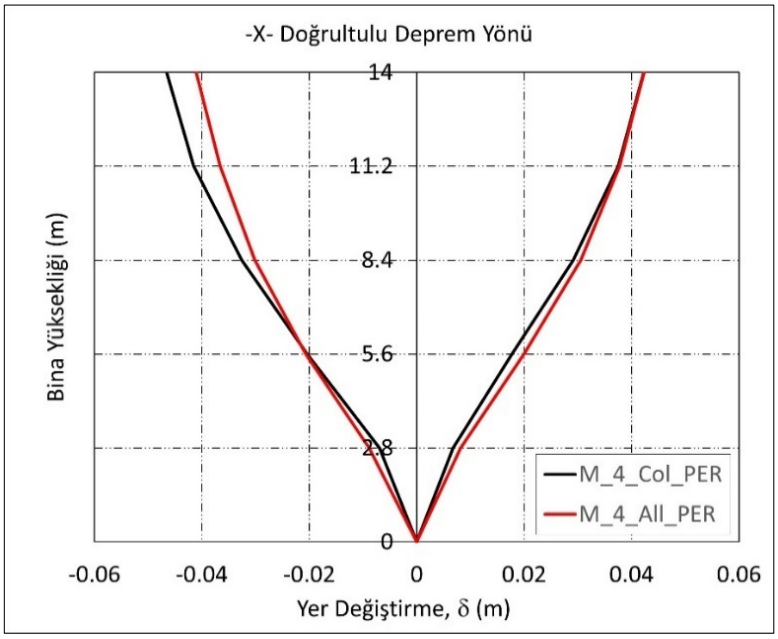
performans değerlendirmesi KH sınırı (GÖ = 1,33KH) cinsinden Şekil 4.43'de gösterilmiştir.



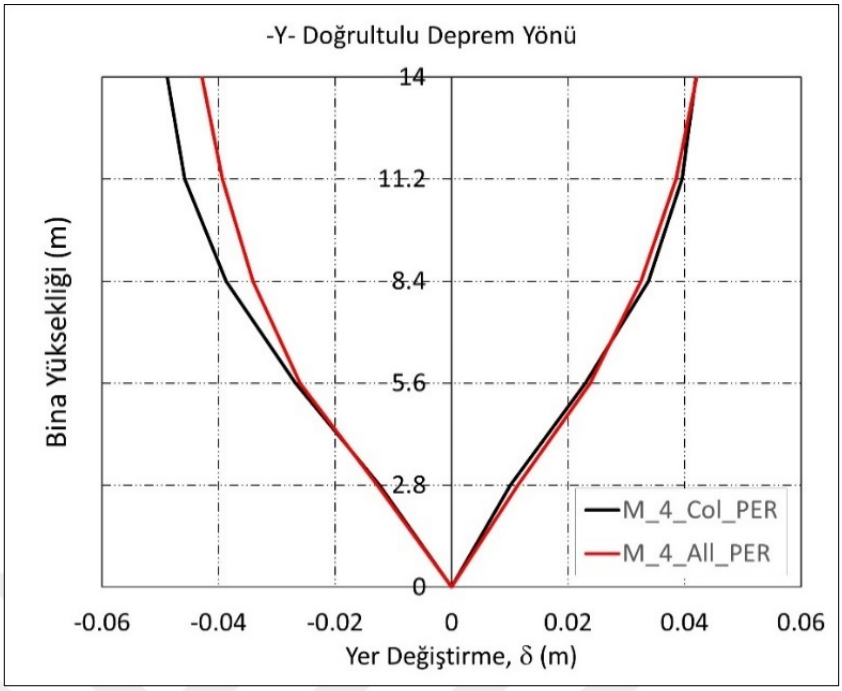
Şekil 4.43. Kolonların Performansının KH sınırı Cinsinden Kat Dağılımı (x)

4.4.5. Kat deplasmanları ve kat kesme kuvvetleri

Düşey taşıyıcıların uç noktalarıyla her katta yer değiştirmeler yirmi iki analizin yönleriyle birlikte ortalamalarıyla hesaplanmıştır. Kat bazında yapılan hesaplarda, katların yer değiştirme grafiği Şekil 4.44 ve Şekil 4.45'de gösterilmiştir.

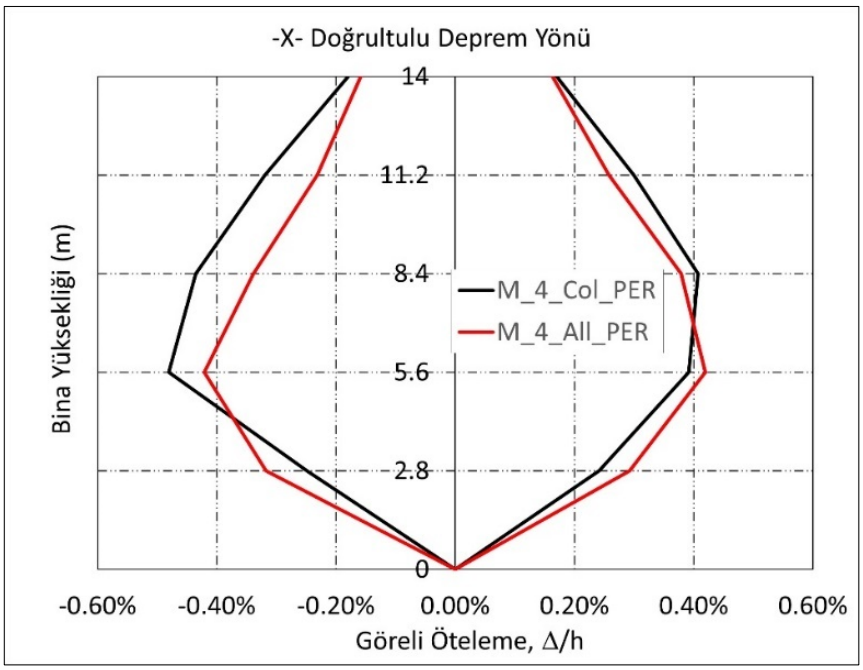


Şekil 4.44. Kat Yer Değiştirmeleri (x)



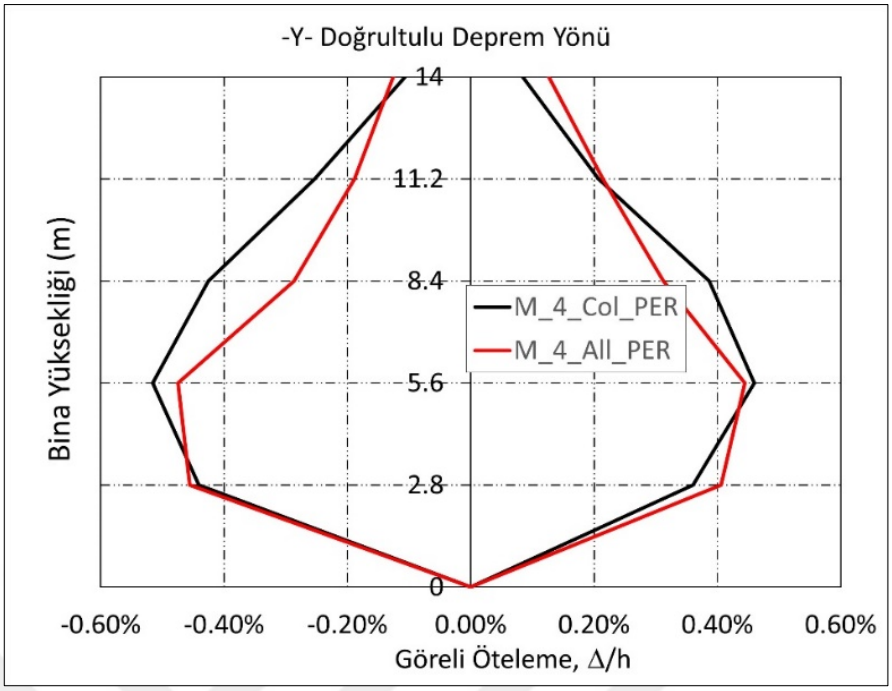
Şekil 4.45. Kat Yer Değiştirmeleri (y)

Kat bazında yapılan hesaplarda, yer değiştirmenin bir alt kata göreli yer değiştirmesinin kat yüksekliğine oranı olan göreli ötelemelerin grafiği Şekil 4.46 ve Şekil 4.47'de gösterilmiştir.

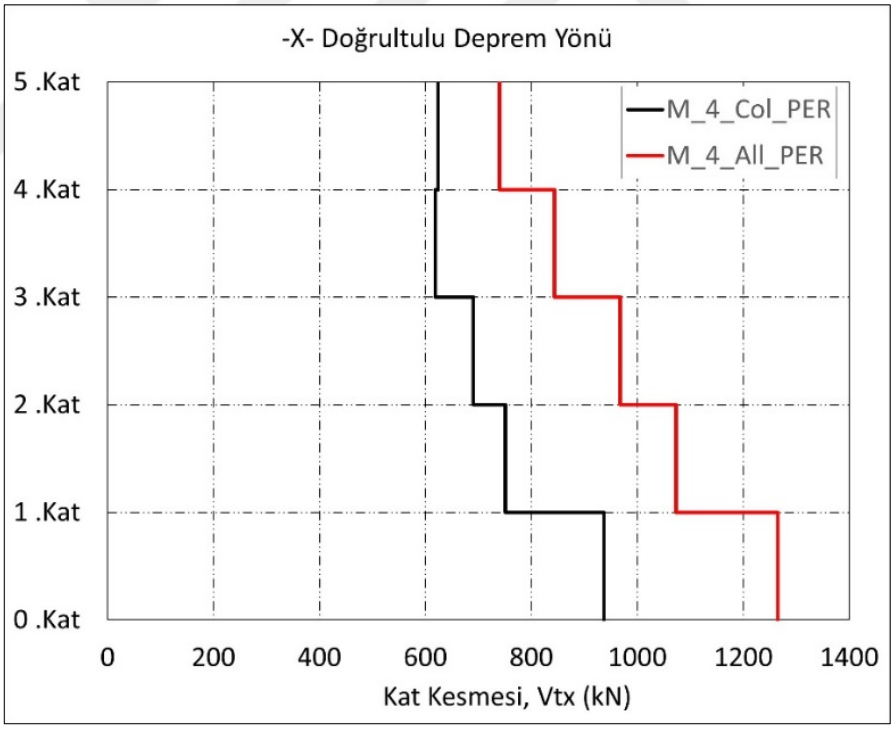


Şekil 4.46. Katların Göreli Kat Ötelemesi, Δ/h (x)

Binanın doğrusal olmayan zaman tanım alanında yapılan analizlerinden hesaplanan mutlak ortalama kat kesme kuvvetleri Şekil 4.48 ve Şekil 4.49'de gösterilmiştir.

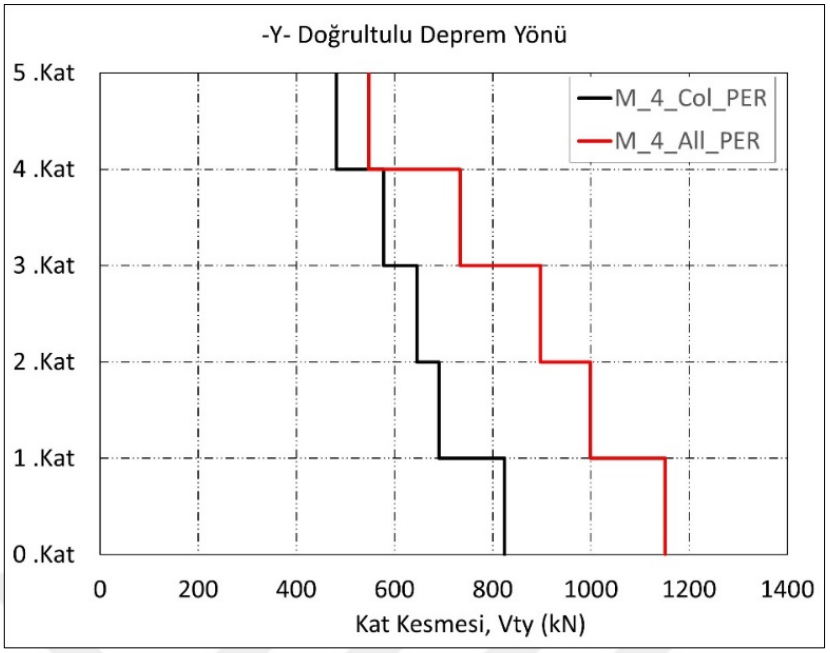


Şekil 4.47. Katların Göreli Kat Ötelemesi, Δ/h (y)



Şekil 4.48. Kat Kesme Kuvveti (x)

Şekil 4.48'de görüldüğü üzere kolonların - kirişlerin fiber mafsal olduğu modelde, kolonların fiber mafsal - kirişlerin yığılı mafsal olduğu modele göre -x- doğrultulu deprem için kat kesme kuvvetleri sırasıyla %35, %43, %40, %36, %19 arttığı görülmüştür.



Şekil 4.49. Kat Kesme Kuvveti (y)

Şekil 4.49'de görüldüğü üzere kolonların - kirişlerin fiber mafsal olduğu modelde, kolonların fiber mafsal - kirişlerin yığılı mafsal olduğu modele göre -y- doğrultulu deprem için kat kesme kuvvetleri sırasıyla %40, %45, %39, %27, %14 arttığı görülmüştür.

4.5. Düzenli Binanın M_2_Col_SAP ve M_3_Col_SAP Modelleri Kıyası

M_2 Modeli ile M_3 Modeli arasındaki fark, döşeme sonlu elemanlarının varlığı ve rijit diyafram kabulüdür. M_2 Modeli döşeme sonlu elemanlarla modellenmiş ve rijit diyafram kabulü yapılmamıştır. M_3 Modelinde ise döşeme sonlu elemanlar kaldırılmış ve rijit diyafram kabulü yapılmıştır. Kolonları fiber mafsal - kirişleri yığılı mafsalla modellenmiş söz konusu iki modelin, modal analiz sonuçları Tablo 4.17'de gösterilmiştir.

Tablo 4.17. Modal Analiz Sonuçları

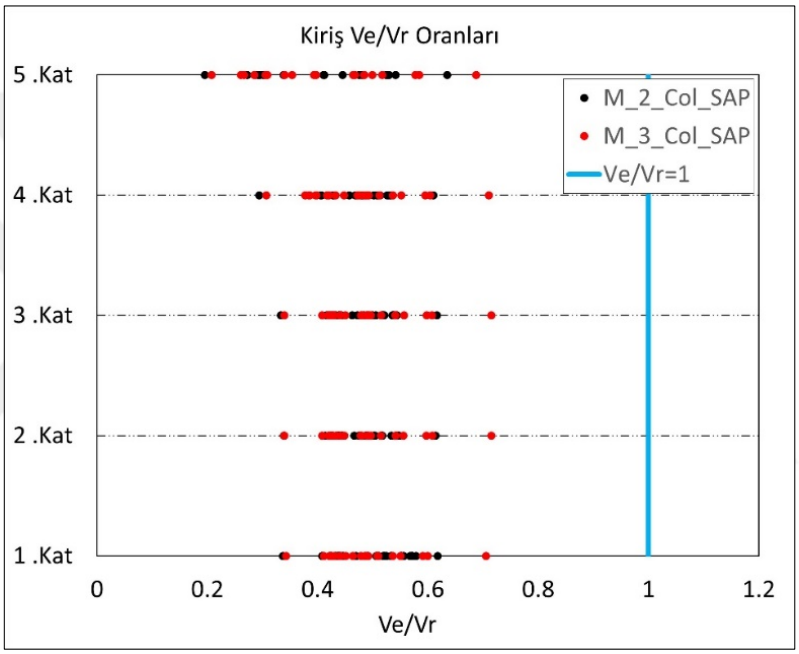
Mod	M_2_Col_SAP	M_3_Col_ SAP
1.Mod	0,79 s	0,81 s
2.Mod	0,75 s	0,77 s
3.Mod	0,66 s	0,71 s

Tablo 4.17'da görüldüğü üzere düzenli yapıda, kolonların fiber mafsal - kirişlerin yığılı mafsal modelinde, döşeme sonlu elemanların kaldırılıp rijit diyafram kabulü yapıldığında, eğilme davranışının başlangıç periyotları için (1. ve 2. mod) yaklaşık

%2,5 artış ve burulma davranışının başlangıç periyodu için (3. mod) yaklaşık %7,5 artış görülmektedir.

4.5.1. Kirişlerin kesme güvenliği

Yapılan yirmi iki analiz sonucunda mutlak en büyüklerin ortalamasına göre her iki modelde de kirişlerde gevrek eleman bulunmamaktadır. İki modelin kat bazında kirişlerinin kesme kapasitelerinin oransal dağılımını gösteren grafik Şekil 4.50'de gösterilmiştir.



Şekil 4.50. Kirişlerin Kesme için Talep/Kapasite Oranları

Şekil 4.50'de görüldüğü üzere kolonların fiber mafsal - kirişlerin yığılı mafsal olması halinde, döşemenin sonlu elemanlarla modellenmesinin veya sadece rijit diyafram kabulü yapılmasının, kirişlerde oluşan kesme kuvvetleri açısından önemli bir farklılığa sebep olmadığı anlaşılmıştır. Döşemenin sonlu elemanlarla modellenip rijit diyafram kabulünün yapılmadığı modelin kirişlerinde oluşan kesme kuvvetleri, döşemenin sadece rijit diyafram kabulünün yapıldığı modelde elde edilenlere göre küçük bir farkla daha düşük çıktığı görülmüştür.

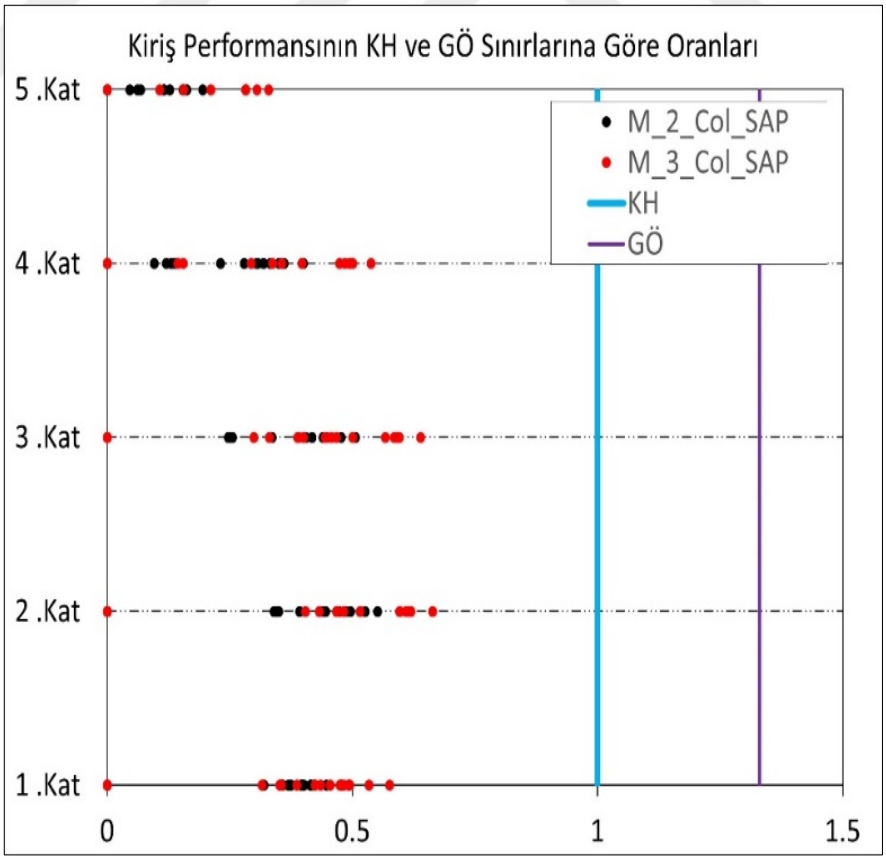
4.5.2. Kirişlerin performansı

Gevrek elemanlar hariç kirişlerde, ortalama birim şekil değiştirme talepleri, izin verilen sınırlarla kıyaslanıp performans seviyesi Tablo 4.18'de hesaplanmıştır.

Tablo 4.18. Kirişlerin Performans Değerlendirmesi

Kat	M_2_Col_ SAP					M_3_Col_ SAP				
	Sünek	SH	BH	IH	GB	Sünek	SH	BH	IH	GB
1.Kat	22	36%	64%	0%	0%	22	36%	64%	0%	0%
2.Kat	22	36%	64%	0%	0%	22	45%	55%	0%	0%
3.Kat	22	36%	64%	0%	0%	22	36%	64%	0%	0%
4.Kat	22	36%	64%	0%	0%	22	45%	55%	0%	0%
5.Kat	22	59%	41%	0%	0%	22	64%	36%	0%	0%

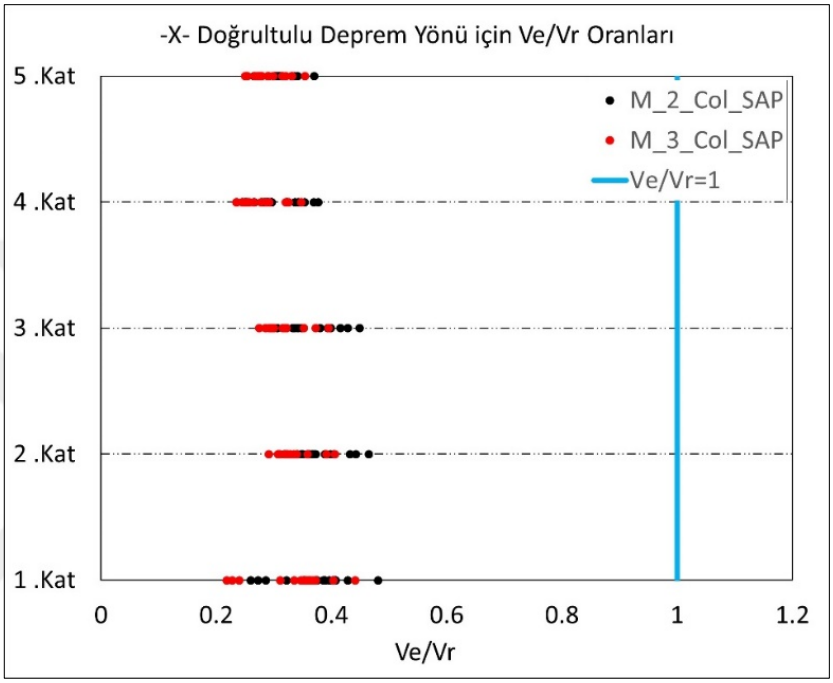
Tablo 4.18'de görüldüğü üzere kolonların fiber mafsal - kirişlerin yığılı mafsal olması halinde, döşemenin sonlu elemanlarla modellenmesi durumunda kirişlerdeki hasar seviyesinin, döşemenin sadece rijit diyafram kabulüyle modellenmesi durumunda elde edilene göre küçük bir farkla daha fazla olarak gerçekleştiği görülmüştür. Kirişlerin performans değerlendirmesi KH sınırı (GÖ = 1,33KH) cinsinden Şekil 4.51'de gösterilmiştir.



Şekil 4.51. Kiriş Performansının KH sınırı Cinsinden Kat Dağılımı

4.5.3. Kolonların kesme güvenliği

Yapılan yirmi iki analiz sonucunda mutlak en büyüklerin ortalamasına göre her iki modelde de kolonlarda -x- doğrultusu için gevrek eleman bulunmamaktadır. İki modelin kat bazında kolonların -x- doğrultulu deprem için kesme kapasitelerinin oransal dağılımını gösteren grafik Şekil 4.52'de gösterilmiştir.



Şekil 4.52. Kolonların Kesme için Talep/Kapasite Oranları (X)

Şekil 4.52'de görüldüğü üzere kolonların fiber mafsal - kirişlerin yığılı mafsal olması halinde, döşemenin sonlu elemanlarla modellenmesinin veya sadece rijit diyafram kabulü yapılmasının, kolonlarda oluşan kesme kuvvetleri açısından önemli bir farklılığa sebep olmadığı anlaşılmıştır. Döşemenin sonlu elemanlarla modellenip rijit diyafram kabulünün yapılmadığı modelin kolonlarında oluşan kesme kuvvetleri, döşemenin sadece rijit diyafram kabulünün yapıldığı modelde elde edilenlere göre küçük bir farkla daha fazla çıktığı görülmüştür.

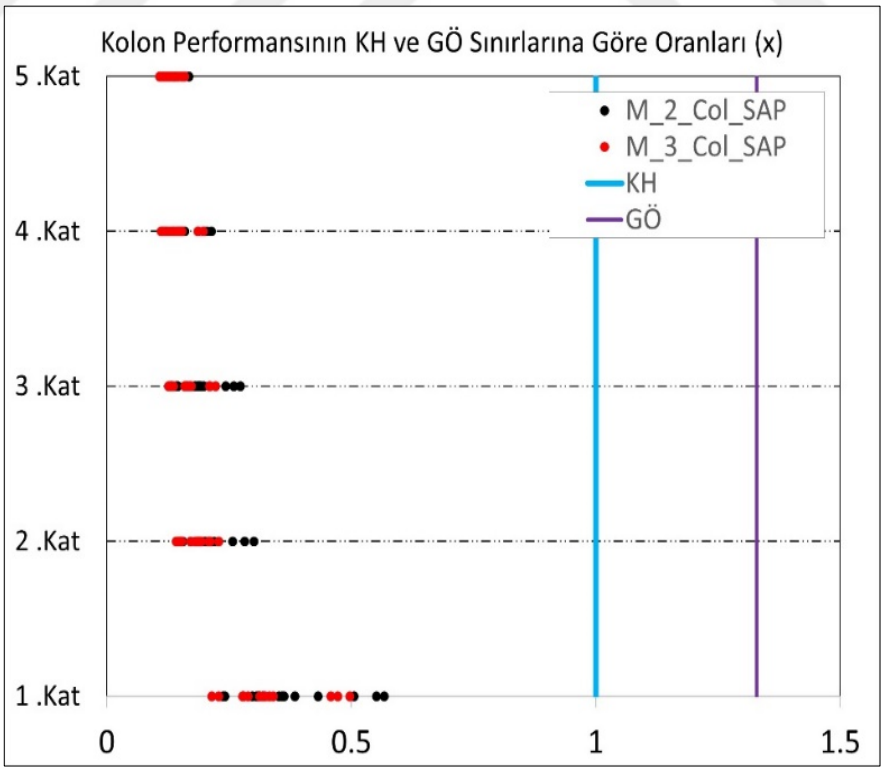
4.5.4. Kolonların performansı

Gevrek elemanlar hariç kolon ve perdelerde, ortalama birim şekil değiştirme talepleri, izin verilen sınırlarla kıyaslanıp performans seviyesi -x- doğrultulu deprem için Tablo 4.19'da hesaplanmıştır. Her iki deprem doğrultusunda da aynı sonuçlar çıktığı için yalnızca -x- doğrultulu sonuçlar verilmiştir.

Tablo 4.19. Kolon ve Perdelerin Performans Değerlendirmesi (x)

-X- Doğrultu Deprem										
Kat	M_2_Col_ SAP					M_3_Col_ SAP				
	Sünek	SH	BH	IH	GB	Sünek	SH	BH	IH	GB
1.Kat	15	73%	27%	0%	0%	15	80%	20%	0%	0%
2.Kat	15	100%	0%	0%	0%	15	100%	0%	0%	0%
3.Kat	15	100%	0%	0%	0%	15	100%	0%	0%	0%
4.Kat	15	100%	0%	0%	0%	15	100%	0%	0%	0%
5.Kat	15	100%	0%	0%	0%	15	100%	0%	0%	0%

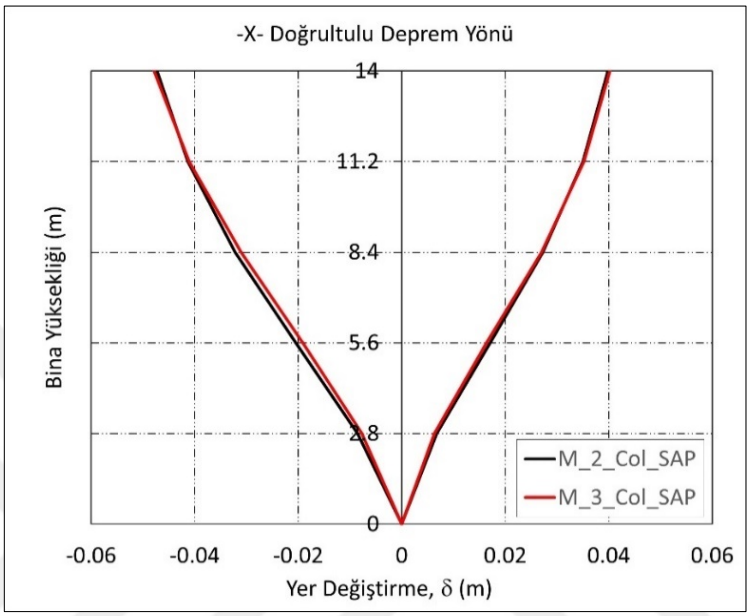
Tablo 4.19'da görüldüğü üzere kolonların fiber mafsal - kirişlerin yığılı mafsal olması halinde, döşemenin sonlu elemanlarla modellenmesi durumunda kolonlardaki hasar seviyesinin, döşemenin sadece rijit diyafram kabulüyle modellenmesi durumunda elde edilene göre (yalnızca 1. katta olmak üzere) küçük bir farkla daha fazla olarak gerçekleştiği görülmüştür. Kolonların performans değerlendirmesi KH sınırı (GÖ = 1,33KH) cinsinden Şekil 4.53'de gösterilmiştir.



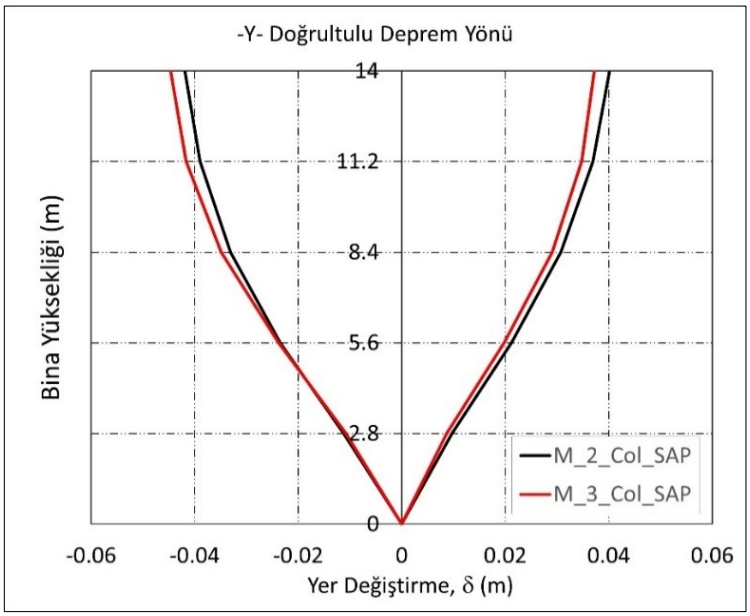
Şekil 4.53. Kolonların Performansının KH sınırı Cinsinden Kat Dağılımı (x)

4.5.5. Kat deplasmanları ve kat kesme kuvvetleri

Düşey taşıyıcıların uç noktalarıyla her katta yer değiştirmeler yirmi iki analizin yönleriyle birlikte ortalamalarıyla hesaplanmıştır. Kat bazında yapılan hesaplarda, katların yer değiştirme grafiği Şekil 4.54 ve Şekil 4.55'da gösterilmiştir.

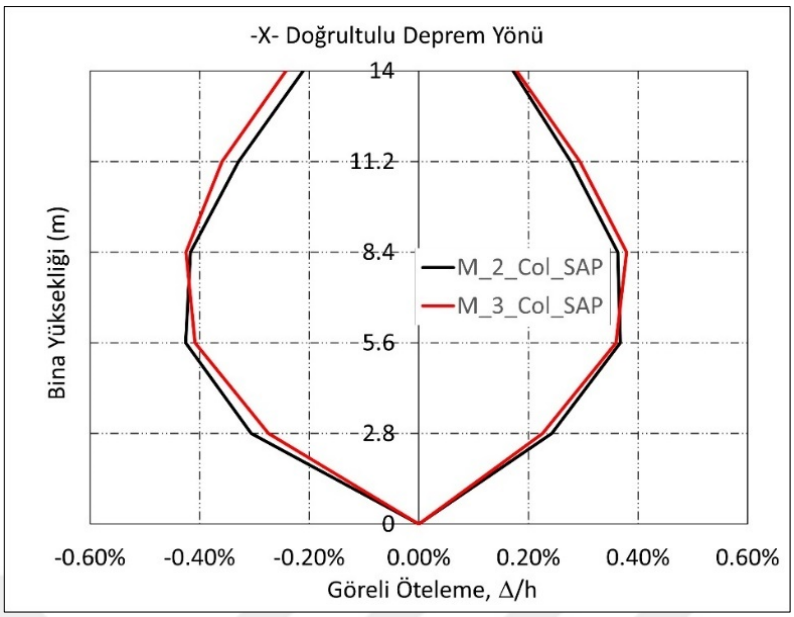


Şekil 4.54. Kat Yer Değiştirmeleri (x)

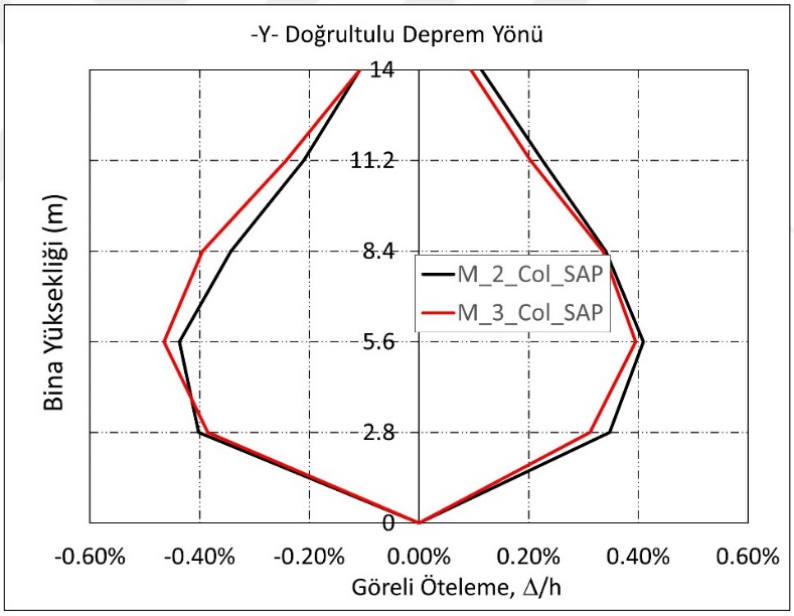


Şekil 4.55. Kat Yer Değiştirmeleri (y)

Kat bazında yapılan hesaplarda, yer değiştirmenin bir alt kata göreli yer değiştirmesinin kat yüksekliğine oranı olan göreli ötelemelerin grafiği Şekil 4.46 Şekil 4.56 ve Şekil 4.57Şekil 4.47'de gösterilmiştir.



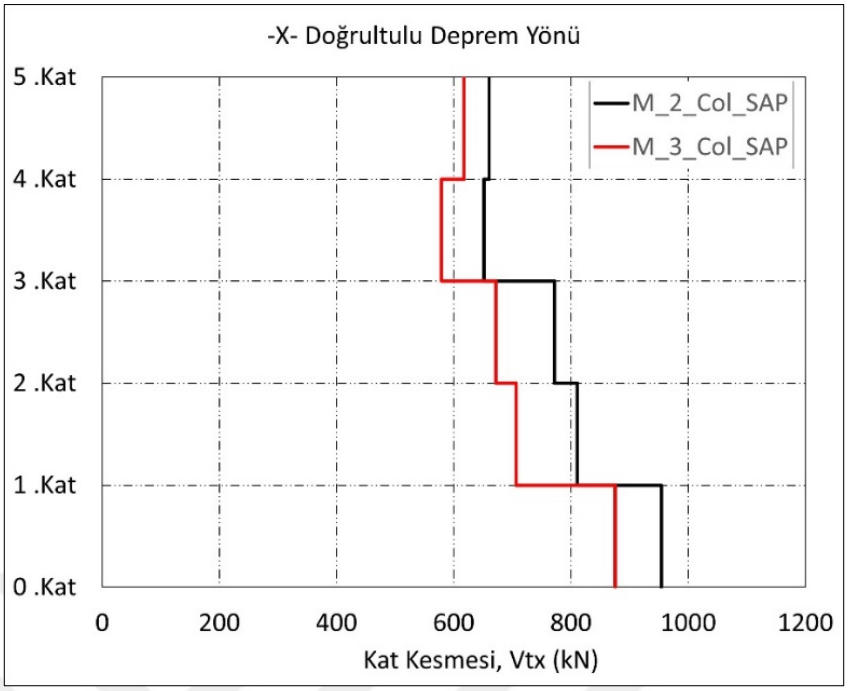
Şekil 4.56. Katların Göreli Kat Ötelemesi, Δ/h (x)



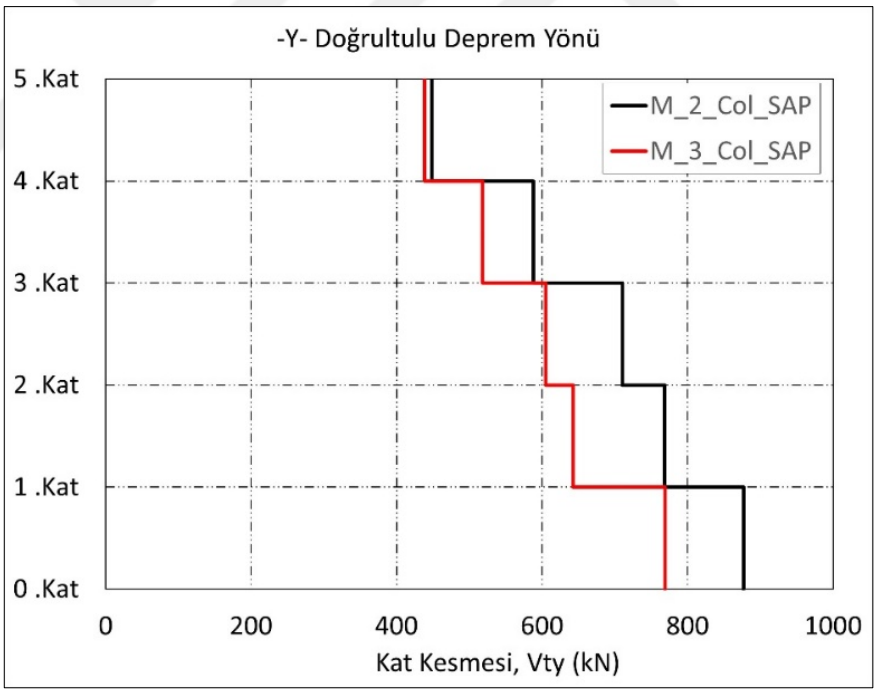
Şekil 4.57. Katların Göreli Kat Ötelemesi, Δ/h (y)

Binanın doğrusal olmayan zaman tanım alanında yapılan analizlerinden hesaplanan mutlak ortalama kat kesme kuvvetleri Şekil 4.58 ve Şekil 4.59'de gösterilmiştir.

Şekil 4.58'de görüldüğü üzere kolonların fiber mafsal - kirişlerin yığılı mafsal olması halinde, döşemenin sonlu elemanlarla modellenmesi durumunda -x- doğrultulu deprem için kat kesme kuvvetlerinin, döşemenin sadece rijit diyafram kabulüyle modellendiği durumunda elde edilenlere göre sırasıyla %8, %13, %13, %11, %7 arttığı görülmüştür.



Şekil 4.58. Kat Kesme Kuvveti (x)



Şekil 4.59. Kat Kesme Kuvveti (y)

Şekil 4.59'de görüldüğü üzere kolonların fiber mafsal - kirişlerin yığılı mafsal olması halinde, döşemenin sonlu elemanlarla modellenmesi durumunda -y- doğrultulu deprem için kat kesme kuvvetlerinin, döşemenin sadece rijit diyafram kabulüyle modellendiği durumunda elde edilenlere göre sırasıyla %8, %13, %13, %11, %7 arttığı görülmüştür.

4.6. Düzenli Binanın M_2_All_SAP ve M_3_All_SAP Modelleri Kıyası

M_2 Modeli ile M_3 Modeli arasındaki fark, döşeme sonlu elemanlarının varlığı ve rijit diyafram kabulüdür. M_2 Modeli döşeme sonlu elemanlarla modellenmiş ve rijit diyafram kabulü yapılmamıştır. M_3 Modelinde ise döşeme sonlu elemanlar kaldırılmış ve rijit diyafram kabulü yapılmıştır. Kolonları ve kirişleri fiber mafsalla modellenmiş söz konusu iki modelin, modal analiz sonuçları Tablo 4.20'de gösterilmiştir.

Tablo 4.20. Modal Analiz Sonuçları

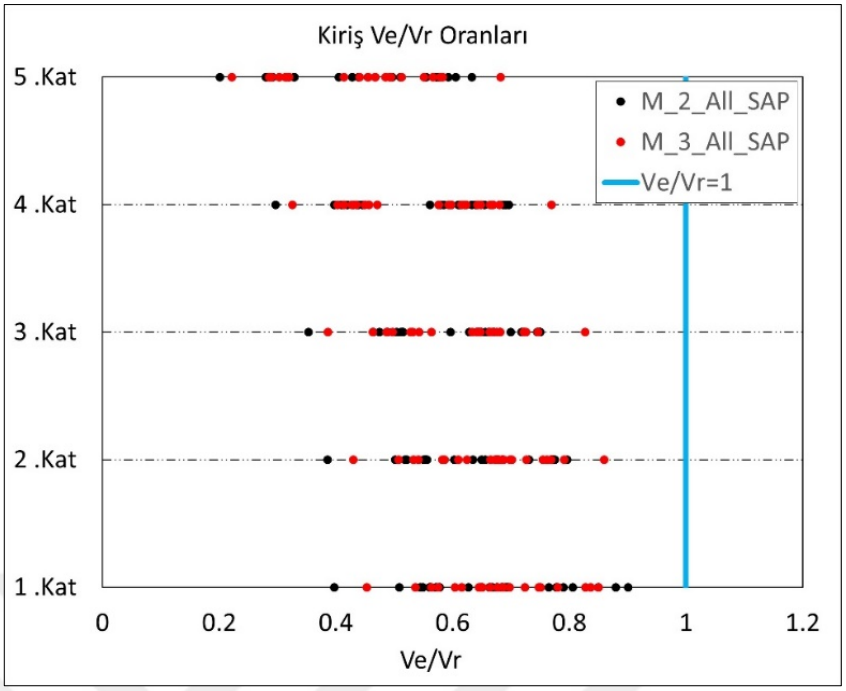
Mod	M_2_All_SAP	M_3_All_ SAP
1.Mod	0,75 s	0,77 s
2.Mod	0,71 s	0,73 s
3.Mod	0,63 s	0,67 s

Tablo 4.20'de görüldüğü üzere düzenli yapıda, kolonların - kirişlerin fiber mafsal mafsal modelinde, döşeme sonlu elemanların kaldırılıp rijit diyafram kabulü yapıldığında eğilme davranışının başlangıç periyotları için (1. ve 2. mod) yaklaşık %2,5 artış ve burulma davranışının başlangıç periyodu için (3.mod) yaklaşık %6 artış görülmektedir.

4.6.1. Kirişlerin kesme güvenliği

Yapılan yirmi iki analiz sonucunda mutlak en büyüklerin ortalamasına göre her iki modelde de kirişlerde gevrek eleman bulunmamaktadır. İki modelin kat bazında kirişlerinin kesme kapasitelerinin oransal dağılımını gösteren grafik Şekil 4.60'de gösterilmiştir.

Şekil 4.60'de görüldüğü üzere kolonların - kirişlerin fiber mafsal olması halinde, döşemenin sonlu elemanlarla modellenmesinin veya sadece rijit diyafram kabulü yapılmasının, kirişlerde oluşan kesme kuvvetleri açısından önemli bir farklılığa sebep olmadığı anlaşılmıştır. Döşemenin sonlu elemanlarla modellenip rijit diyafram kabulünün yapılmadığı modelin kirişlerinde oluşan kesme kuvvetleri, döşemenin sadece rijit diyafram kabulünün yapıldığı modelde elde edilenlere göre (1. kat hariç) küçük bir farkla daha düşük çıktığı görülmüştür.



Şekil 4.60. Kirişlerin Kesme için Talep/Kapasite Oranları

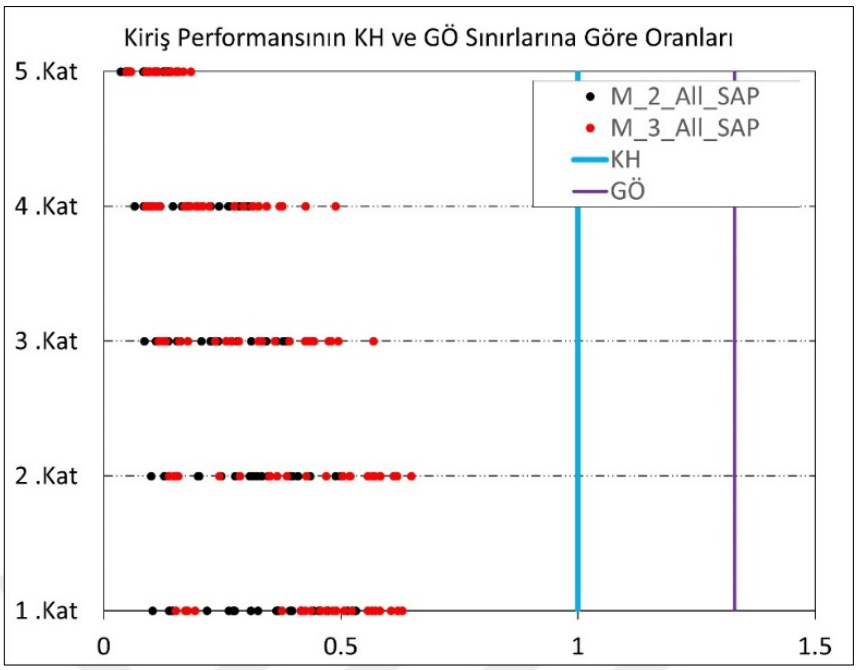
4.6.2. Kirişlerin performansı

Gevrek elemanlar hariç kirişlerde, ortalama birim şekil değiştirme talepleri, izin verilen sınırlarla kıyaslanıp performans seviyesi Tablo 4.21'de hesaplanmıştır.

Tablo 4.21. Kirişlerin Performans Değerlendirmesi

Kat	M_2_All_ SAP					M_3_All_ SAP				
	Sünek	SH	BH	IH	GB	Sünek	SH	BH	IH	GB
1.Kat	22	95%	5%	0%	0%	22	86%	14%	0%	0%
2.Kat	22	91%	9%	0%	0%	22	77%	23%	0%	0%
3.Kat	22	95%	5%	0%	0%	22	86%	14%	0%	0%
4.Kat	22	100%	0%	0%	0%	22	95%	5%	0%	0%
5.Kat	22	100%	0%	0%	0%	22	100%	0%	0%	0%

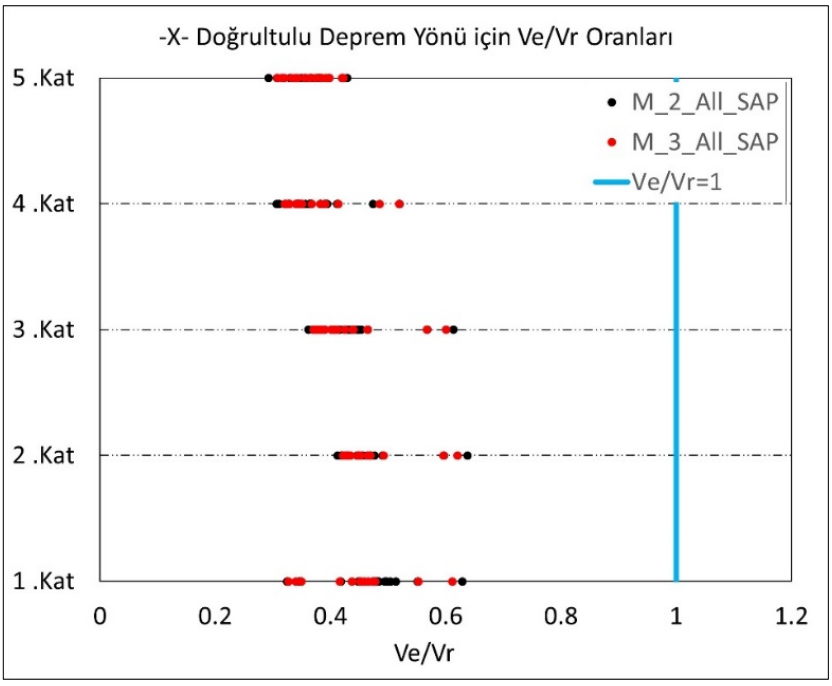
Tablo 4.21'de görüldüğü üzere kolonların - kirişlerin fiber mafsal olması halinde, döşemenin sonlu elemanlarla modellenmesi durumunda kirişlerdeki hasar seviyesinin, döşemenin sadece rijit diyafram kabulüyle modellenmesi durumunda elde edilene göre daha az olarak gerçekleştiği görülmüştür. Kirişlerin performans değerlendirmesi KH sınırı (GÖ = 1,33KH) cinsinden Şekil 4.61'de gösterilmiştir.



Şekil 4.61. Kiriş Performansının KH sınırı Cinsinden Kat Dağılımı

4.6.3. Kolonların kesme güvenliği

Yapılan yirmi iki analiz sonucunda mutlak en büyüklerin ortalamasına göre her iki modelde de kolonlarda -x- doğrultusu için gevrek eleman bulunmamaktadır. İki modelin kat bazında kolonların -x- doğrultulu deprem için kesme kapasitelerinin oransal dağılımını gösteren grafik Şekil 4.62'de gösterilmiştir.



Şekil 4.62. Kolonların Kesme için Talep/Kapasite Oranları (X)

Şekil 4.62'de görüldüğü üzere kolonların - kirişlerin fiber mafsal olması halinde, döşemenin sonlu elemanlarla modellenmesinin veya sadece rijit diyafram kabulü yapılmasının, kolonlarda oluşan kesme kuvvetleri açısından önemli bir farklılığa sebep olmadığı anlaşılmıştır. Döşemenin sonlu elemanlarla modellenip rijit diyafram kabulünün yapılmadığı modelin kolonlarında oluşan kesme kuvvetleri, döşemenin sadece rijit diyafram kabulünün yapıldığı modelde elde edilenlere göre küçük bir farkla daha fazla çıktığı görülmüştür.

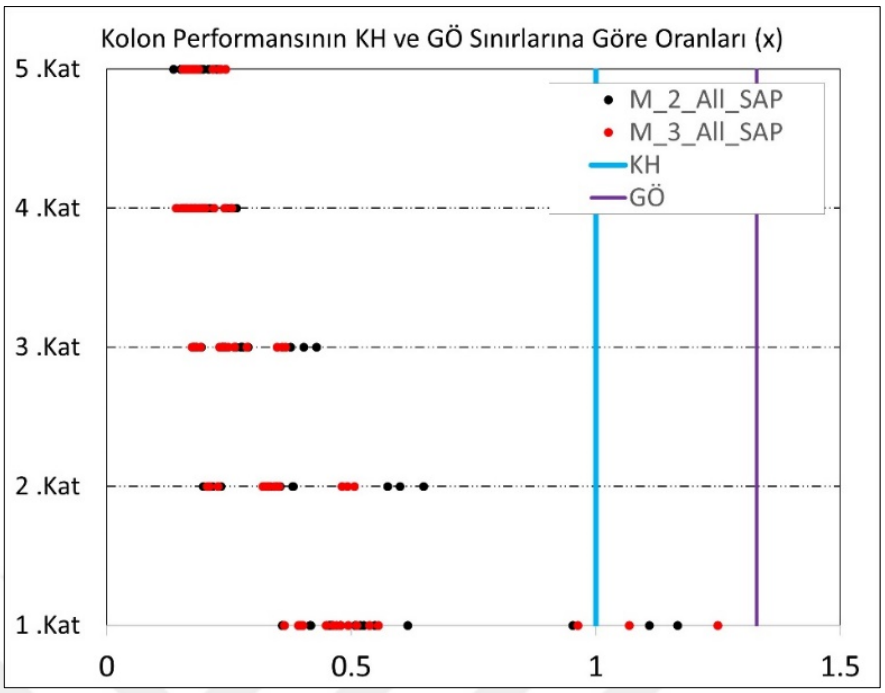
4.6.4. Kolonların performansı

Gevrek elemanlar hariç kolon ve perdelerde, ortalama birim şekil değiştirme talepleri, izin verilen sınırlarla kıyaslanıp performans seviyesi -x- doğrultulu deprem için Tablo 4.22'da hesaplanmıştır. Her iki deprem doğrultusunda da aynı sonuçlar çıktığı için yalnızca -x- doğrultulu sonuçlar verilmiştir.

Tablo 4.22. Kolon ve Perdelerin Performans Değerlendirmesi (x)

-X- Doğrultu Deprem										
Kat	M_2_All_ SAP					M_3_All_ SAP				
	Sünek	SH	BH	IH	GB	Sünek	SH	BH	IH	GB
1.Kat	15	13%	73%	13%	0%	15	20%	67%	13%	0%
2.Kat	15	100%	0%	0%	0%	15	100%	0%	0%	0%
3.Kat	15	100%	0%	0%	0%	15	100%	0%	0%	0%
4.Kat	15	100%	0%	0%	0%	15	100%	0%	0%	0%
5.Kat	15	100%	0%	0%	0%	15	100%	0%	0%	0%

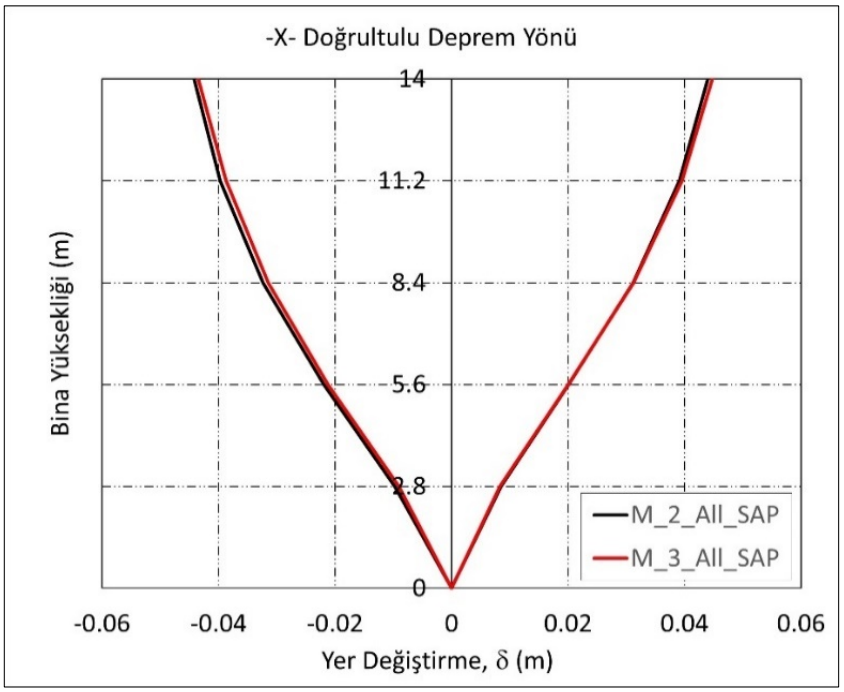
Tablo 4.22'de görüldüğü üzere kolonların - kirişlerin fiber mafsal olması halinde, döşemenin sonlu elemanlarla modellenmesi durumunda kolonlardaki hasar seviyesinin, döşemenin sadece rijit diyafram kabulüyle modellenmesi durumunda elde edilene göre (yalnızca 1. katta olmak üzere) küçük bir farkla daha fazla olarak gerçekleştiği görülmüştür. Kolonların performans değerlendirmesi KH sınırı (GÖ = 1,33KH) cinsinden Şekil 4.63'da gösterilmiştir.



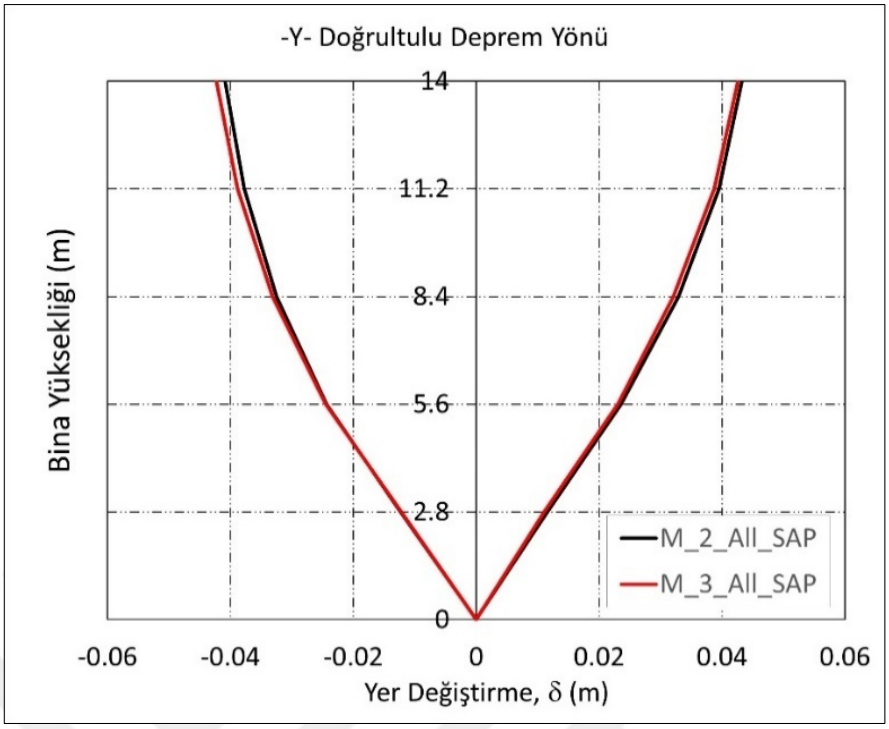
Şekil 4.63. Kolonların Performansının KH sınırı Cinsinden Kat Dağılımı (x)

4.6.5. Kat deplasmanları ve kat kesme kuvvetleri

Düşey taşıyıcıların uç noktalarıyla her katta yer değiştirmeler yirmi iki analizin yönleriyle birlikte ortalamalarıyla hesaplanmıştır. Kat bazında yapılan hesaplarda, katların yer değiştirme grafiği Şekil 4.64 ve Şekil 4.65'de gösterilmiştir.

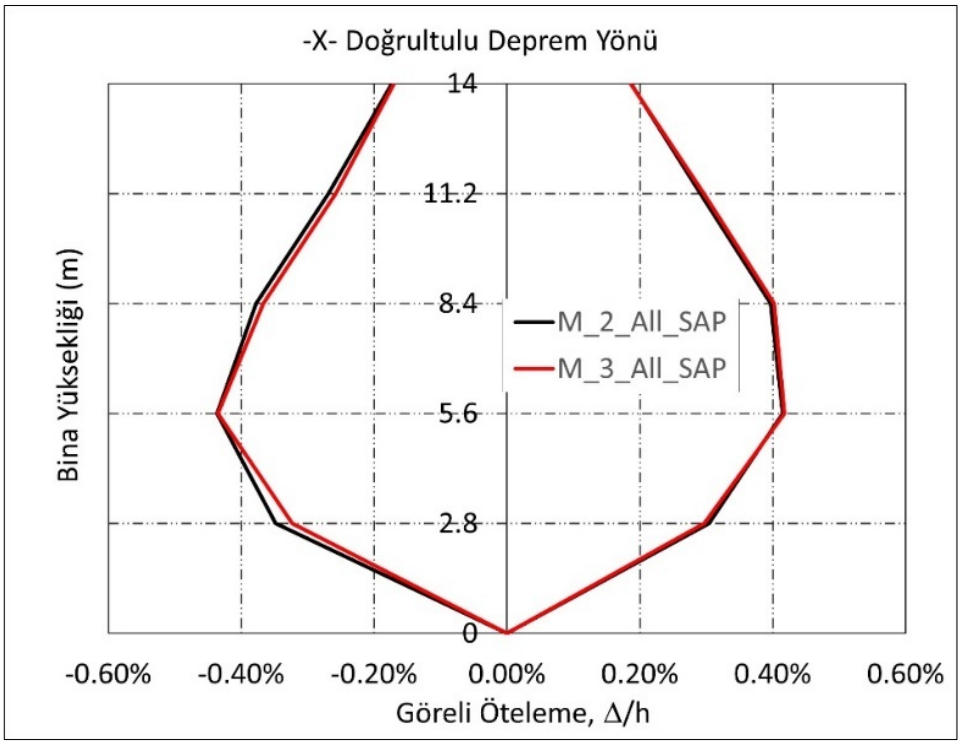


Şekil 4.64. Kat Yer Değiştirmeleri (x)

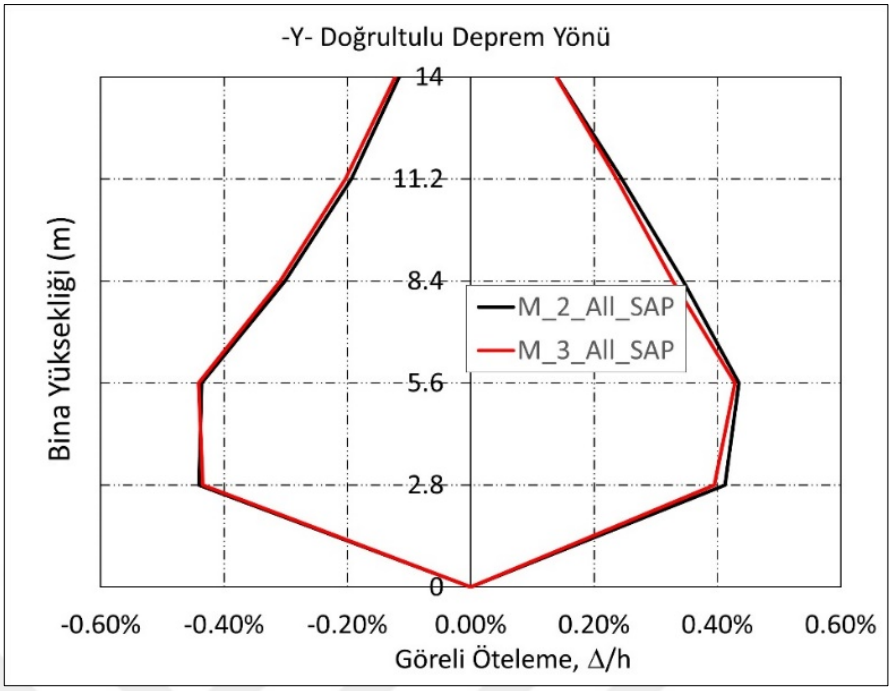


Şekil 4.65. Kat Yer Değiştirmeleri (y)

Kat bazında yapılan hesaplarda, yer değiştirmenin bir alt kata göreli yer değiştirmesinin kat yüksekliğine oranı olan göreli ötelemelerin grafiği Şekil 4.66 ve Şekil 4.67'de gösterilmiştir.

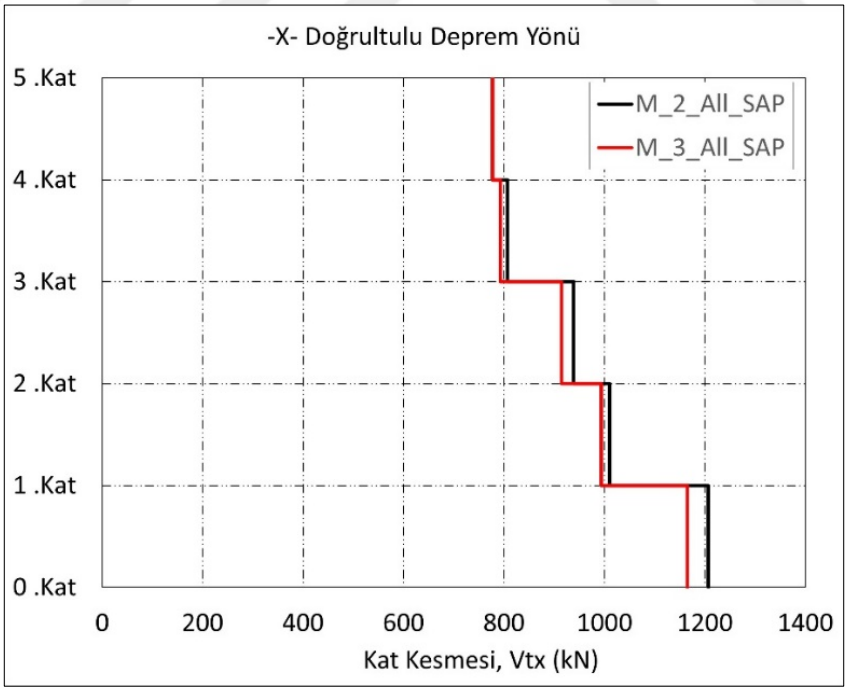


Şekil 4.66. Katların Göreli Kat Ötelemesi, Δ/h (x)



Şekil 4.67. Katların Göreli Kat Ötelemesi, Δ/h (y)

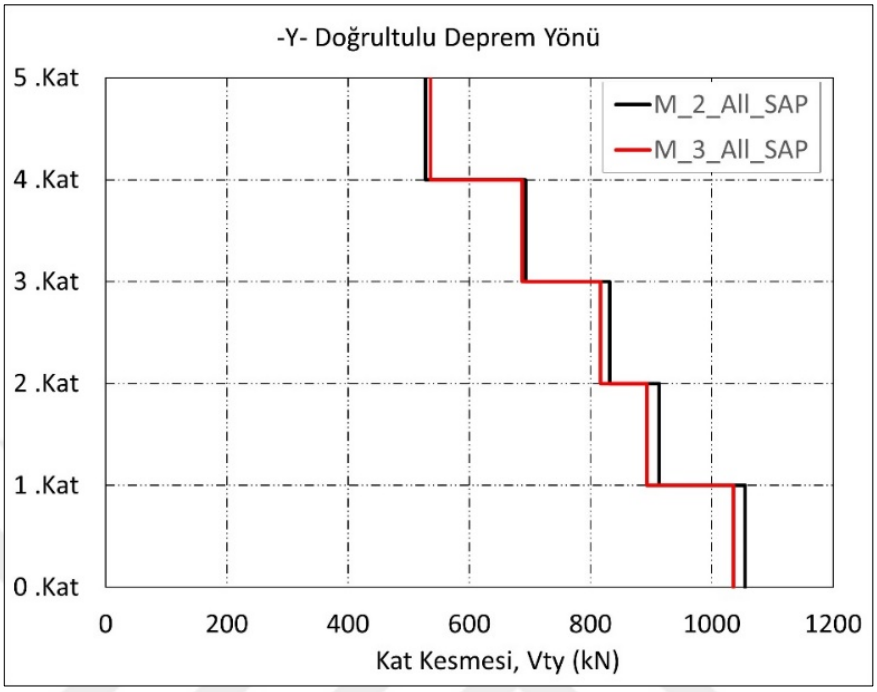
Binanın doğrusal olmayan zaman tanım alanında yapılan analizlerinden hesaplanan mutlak ortalama kat kesme kuvvetleri Şekil 4.68 ve Şekil 4.69'de gösterilmiştir.



Şekil 4.68. Kat Kesme Kuvveti (x)

Şekil 4.68'de görüldüğü üzere kolonların - kirişlerin fiber mafsal olması halinde, döşemenin sonlu elemanlarla modellenmesi durumunda -x- doğrultulu deprem için

kat kesme kuvvetlerinin, döşemenin sadece rijit diyafram kabulüyle modellendiği durumunda elde edilenlere göre sırasıyla %3, %2, %3, %2, %0 arttığı görülmüştür.



Şekil 4.69. Kat Kesme Kuvveti (y)

Şekil 4.69'de görüldüğü üzere kolonların ve kirişlerin fiber mafsal olması halinde, döşemenin sonlu elemanlarla modellenmesi durumunda -y- doğrultulu deprem için kat kesme kuvvetlerinin, döşemenin sadece rijit diyafram kabulüyle modellendiği durumunda elde edilenlere göre sırasıyla %2, %2, %2, %1, %-2 arttığı görülmüştür.

4.7. Düzenli Binanın M_3_Col_SAP ve M_4_Col_PER Modelleri Kıyası

M_3 ve M_4 modelleri aynı tanımlamalarla, farklı yazılımlar kullanılarak modellenmiştir. M_3 Modeli SAP2000 yazılımıyla, M_4 Modeli ise PERFORM-3D yazılımıyla modellenmiş ve analizleri yapılmıştır. Kolonları fiber mafsalla ve kirişleri yığılı mafsalla modellenmiş söz konusu iki modelin, modal analiz sonuçları Tablo 4.23'da gösterilmiştir.

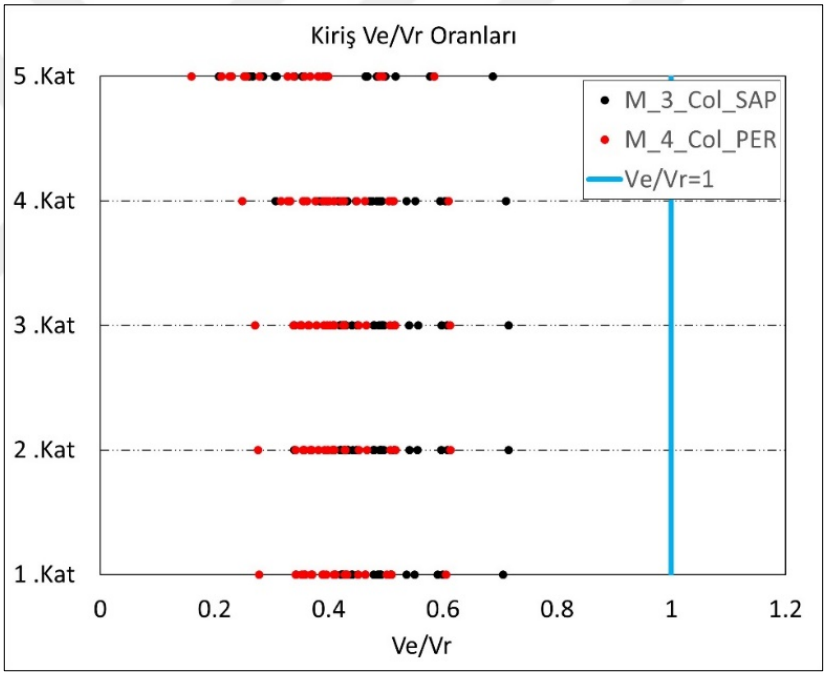
Tablo 4.23. Modal Analiz Sonuçları

Mod	M_3_Col_SAP	M_4_Col_ PER
1.Mod	0,81 s	0,78 s
2.Mod	0,77 s	0,73 s
3.Mod	0,71 s	0,68 s

Tablo 4.23'da görüldüğü üzere düzenli yapıda, kolonların fiber mafsal - kirişlerin yığılı mafsal olması halinde, SAP2000 yazılımıyla oluşturulan modelin başlangıç periyotlarında, PERFORM-3D yazılımıyla oluşturulan modelinin başlangıç periyotlarına göre eğilme davranışında (1. ve 2. mod) yaklaşık %4, burulma davranışında ise (3.mod) yaklaşık %4 farklılık olduğu görülmektedir.

4.7.1. Kirişlerin kesme güvenliği

Yapılan yirmi iki analiz sonucunda mutlak en büyüklerin ortalamasına göre her iki modelde de kirişlerde gevrek eleman bulunmamaktadır. İki modelin kat bazında kirişlerinin kesme kapasitelerinin oransal dağılımını gösteren grafik Şekil 4.70'de gösterilmiştir.



Şekil 4.70. Kirişlerin Kesme için Talep/Kapasite Oranları

Şekil 4.70'de görüldüğü üzere düzenli yapıda, kolonların fiber mafsal - kirişlerin yığılı mafsal olması halinde, SAP2000 yazılımıyla kirişlerde elde edilen kesme kuvvetlerinin, PERFORM-3D yazılımıyla kirişlerde elde edilen kesme kuvvetlerine göre daha fazla olduğu görülmektedir.

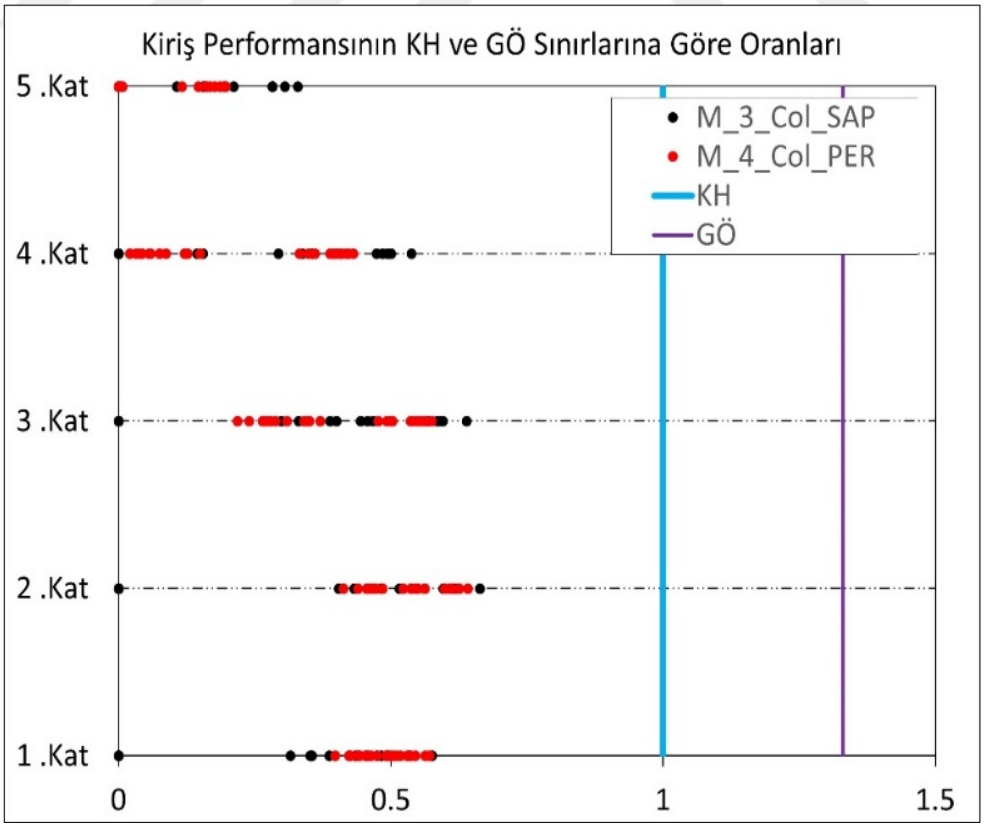
4.7.2. Kirişlerin performansı

Gevrek elemanlar hariç kirişlerde, ortalama birim şekil değiştirme talepleri, izin verilen sınırlarla kıyaslanıp performans seviyesi Tablo 4.24'de hesaplanmıştır.

Tablo 4.24. Kirişlerin Performans Değerlendirmesi

Kat	M_3_Col_ SAP					M_4_Col_ PER				
	Sünek	SH	BH	IH	GB	Sünek	SH	BH	IH	GB
1.Kat	22	36%	64%	0%	0%	22	0%	100%	0%	0%
2.Kat	22	45%	55%	0%	0%	22	0%	100%	0%	0%
3.Kat	22	36%	64%	0%	0%	22	0%	100%	0%	0%
4.Kat	22	45%	55%	0%	0%	22	36%	64%	0%	0%
5.Kat	22	64%	36%	0%	0%	22	55%	45%	0%	0%

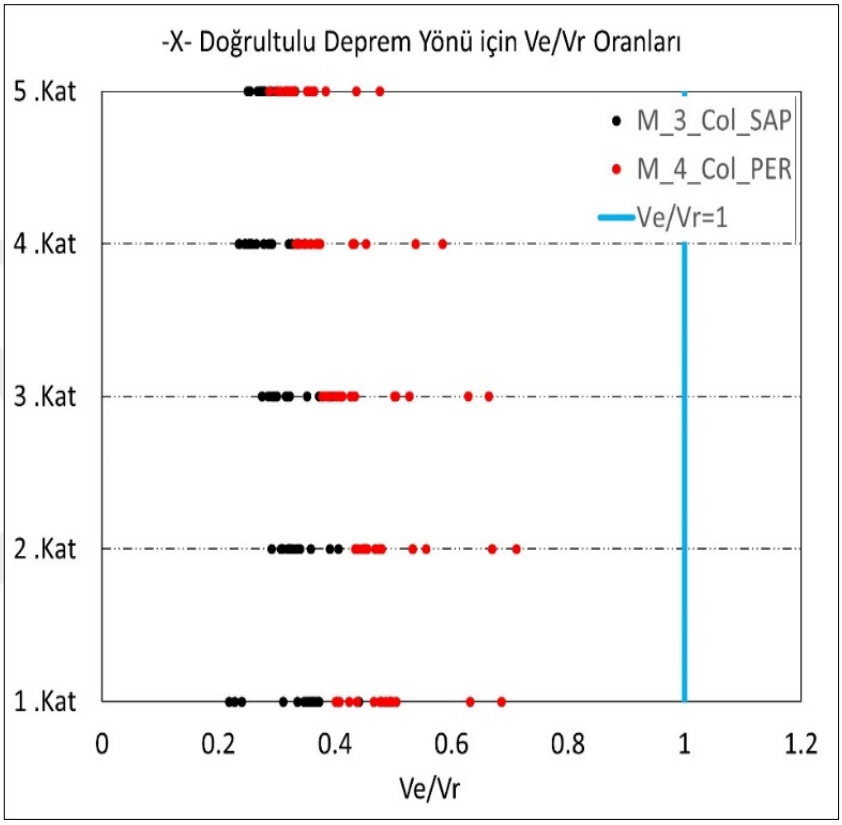
Tablo 4.24'da görüldüğü üzere düzenli yapıda, kolonların fiber mafsal - kirişlerin yığılı mafsal olması halinde, SAP2000 yazılımıyla elde edilen kirişlerdeki hasar seviyesinin, PERFORM-3D yazılımıyla elde edilen kirişlerdeki hasar seviyesine göre daha az olduğu görülmektedir. Kirişlerin performans değerlendirmesi KH sınırı (GÖ = 1,33KH) cinsinden Şekil 4.71'de gösterilmiştir.



Şekil 4.71. Kiriş Performansının KH sınırı Cinsinden Kat Dağılımı

4.7.3. Kolonların kesme güvenliği

Yapılan yirmi iki analiz sonucunda mutlak en büyüklerin ortalamasına göre her iki modelde de kolonlarda -x- doğrultusu için gevrek eleman bulunmamaktadır. İki modelin kat bazında kolonların -x- doğrultulu deprem için kesme kapasitelerinin oransal dağılımını gösteren grafik Şekil 4.72'de gösterilmiştir.



Şekil 4.72. Kolonların Kesme için Talep/Kapasite Oranları (X)

Şekil 4.72'de görüldüğü üzere düzenli yapıda, kolonların fiber mafsal - kirişlerin yığılı mafsal olması halinde, SAP2000 yazılımıyla kolonlarda elde edilen kesme kuvvetlerinin, PERFORM-3D yazılımıyla kolonlarda elde edilen kesme kuvvetlerine göre oldukça az olduğu görülmektedir.

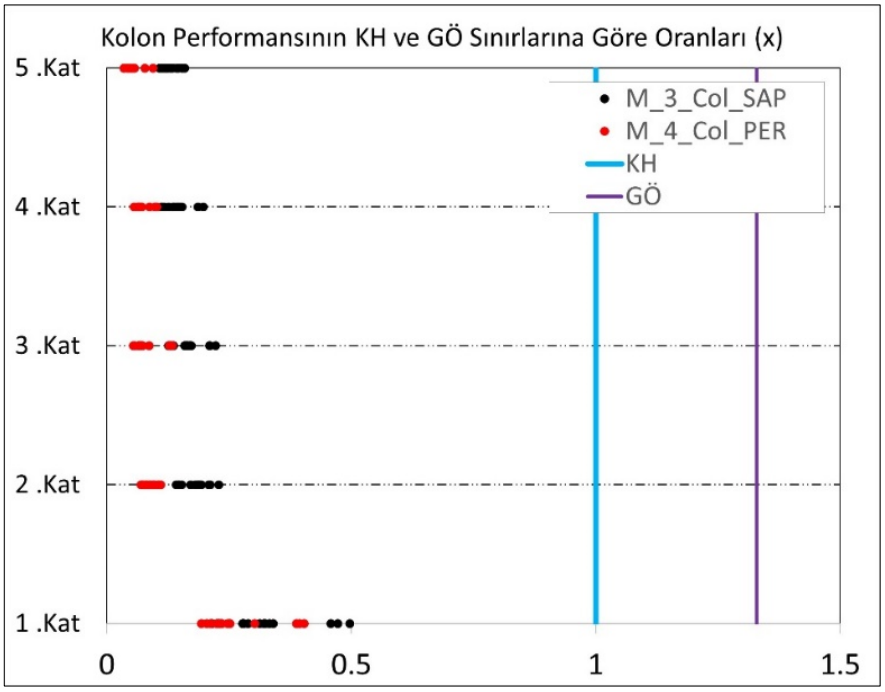
4.7.4. Kolonların performansı

Gevrek elemanlar hariç kolon ve perdelerde, ortalama birim şekil değiştirme talepleri, izin verilen sınırlarla kıyaslanıp performans seviyesi -x- doğrultulu deprem için Tablo 4.25'de hesaplanmıştır. Her iki deprem doğrultusunda da aynı sonuçlar çıktığı için yalnızca -x- doğrultulu sonuçlar verilmiştir.

Tablo 4.25. Kolon ve Perdelerin Performans Değerlendirmesi (x)

-X- Doğrultu Deprem										
Kat	M_3_Col_ SAP					M_4_Col_ PER				
	Sünek	SH	BH	IH	GB	Sünek	SH	BH	IH	GB
1.Kat	15	80%	20%	0%	0%	15	93%	7%	0%	0%
2.Kat	15	100%	0%	0%	0%	15	100%	0%	0%	0%
3.Kat	15	100%	0%	0%	0%	15	100%	0%	0%	0%
4.Kat	15	100%	0%	0%	0%	15	100%	0%	0%	0%
5.Kat	15	100%	0%	0%	0%	15	100%	0%	0%	0%

Tablo 4.25'de görüldüğü üzere düzenli yapıda, kolonların fiber mafsal - kirişlerin yığılı mafsal olması halinde, SAP2000 yazılımıyla elde edilen kolonlardaki hasar seviyesinin, PERFORM-3D yazılımıyla elde edilen kolonlarda hasar seviyesine göre (yalnızca 1. katta olmak üzere) daha fazla olduğu görülmektedir. Kolonların performans değerlendirmesi KH sınırı (GÖ = 1,33KH) cinsinden Şekil 4.73'da gösterilmiştir.

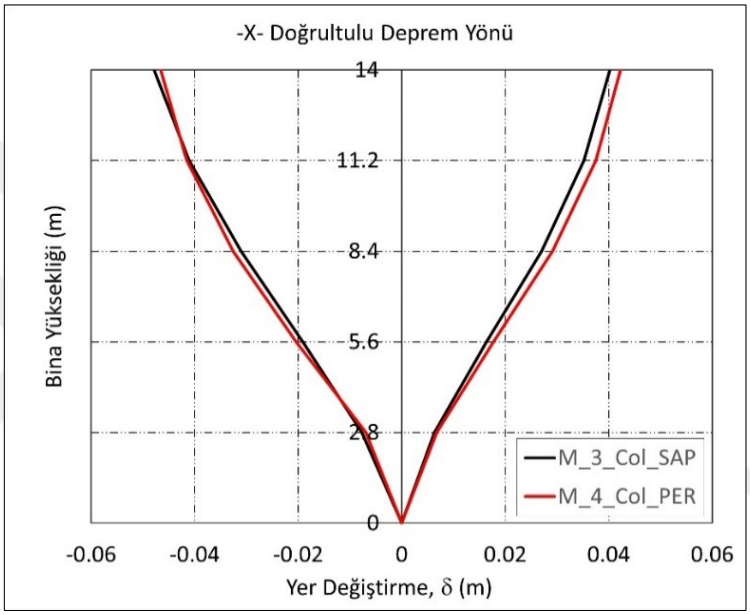


Şekil 4.73. Kolonların Performansının KH sınırı Cinsinden Kat Dağılımı (x)

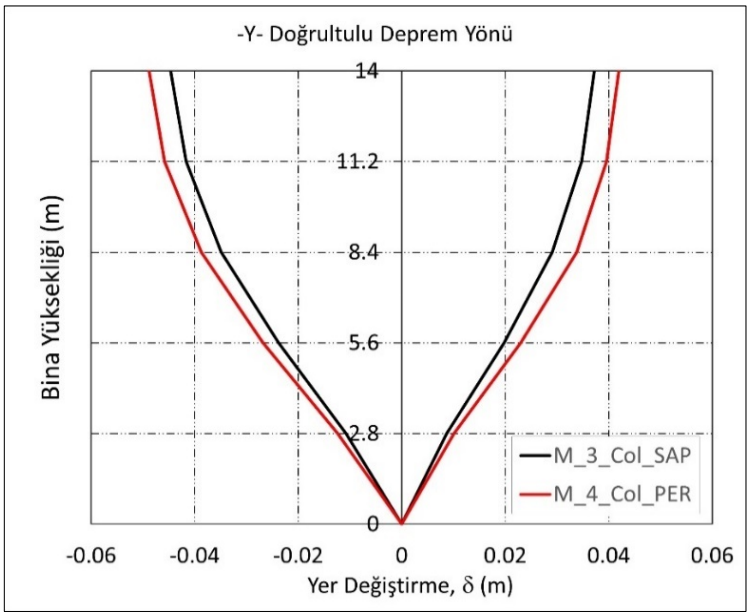
4.7.5. Kat deplasmanları ve kat kesme kuvvetleri

Düşey taşıyıcıların uç noktalarıyla her katta yer değiştirmeler yirmi iki analizin yönleriyle birlikte ortalamalarıyla hesaplanmıştır. Kat bazında yapılan hesaplarda, katların yer değiştirme grafiği Şekil 4.74 ve Şekil 4.75'de gösterilmiştir.

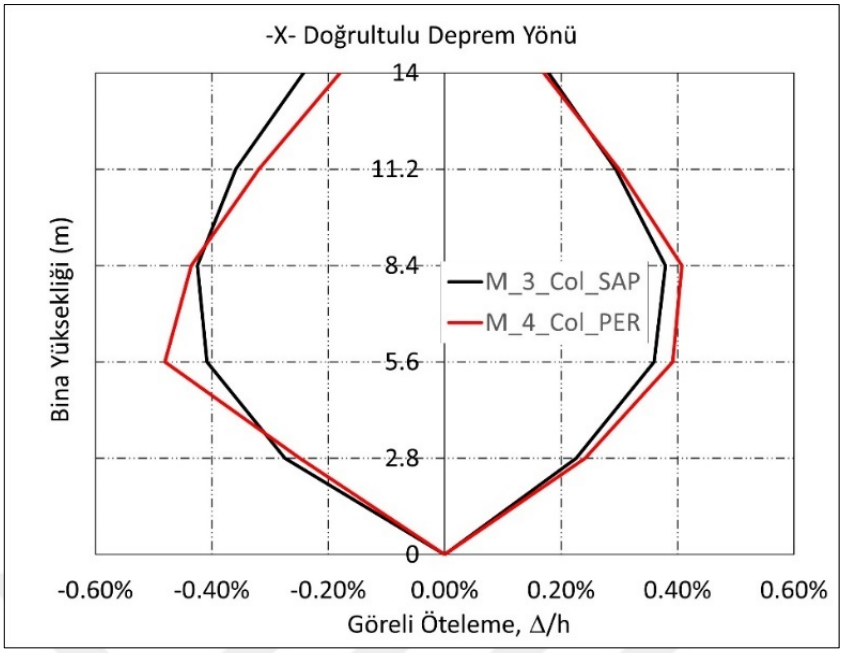
Kat bazında yapılan hesaplarda, yer değiştirmenin bir alt kata göreli yer değiştirmesinin kat yüksekliğine oranı olan göreli ötelemelerin grafiği Şekil 4.76 ve Şekil 4.77'de gösterilmiştir.



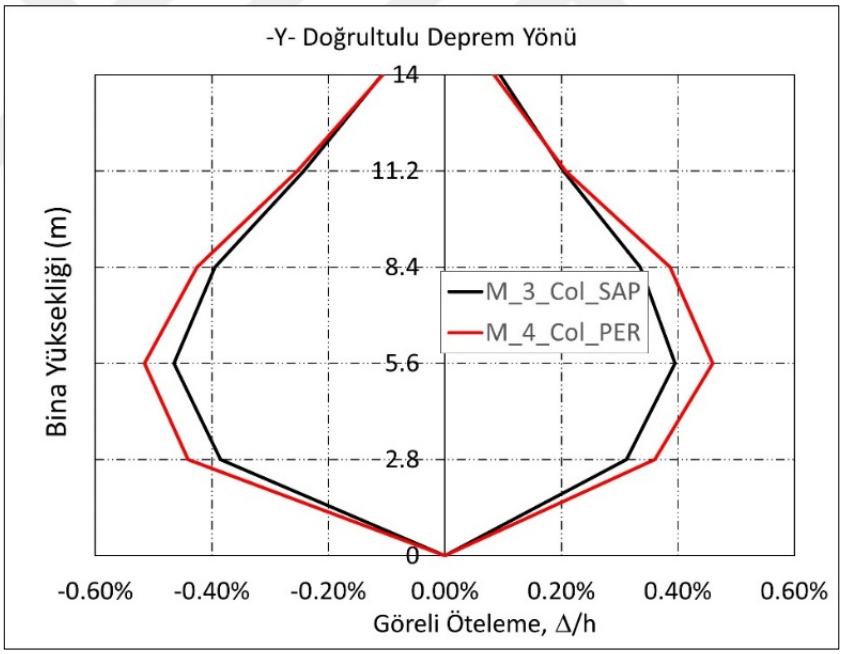
Şekil 4.74. Kat Yer Değiştirmeleri (x)



Şekil 4.75. Kat Yer Değiştirmeleri (y)



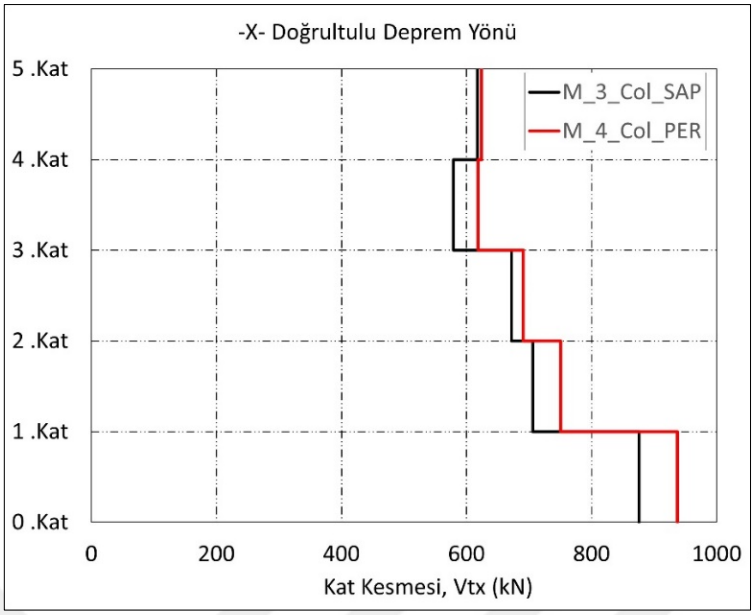
Şekil 4.76. Katların Göreli Kat Ötelemesi, Δ/h (x)



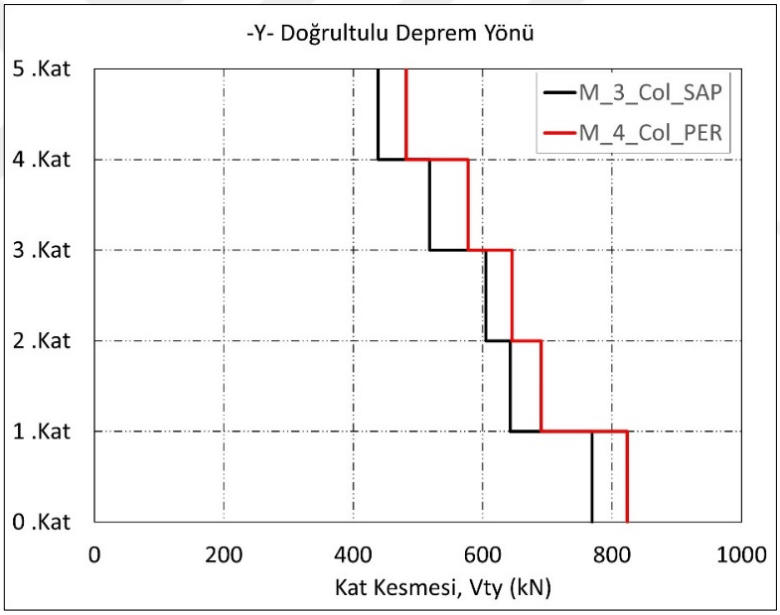
Şekil 4.77. Katların Göreli Kat Ötelemesi, Δ/h (y)

Binanın doğrusal olmayan zaman tanım alanında yapılan analizlerinden hesaplanan mutlak ortalama kat kesme kuvvetleri Şekil 4.78 ve Şekil 4.79'de gösterilmiştir.

Şekil 4.78'de görüldüğü üzere düzenli yapıda, kolonların fiber mafsal - kirişlerin yığılı mafsal olması halinde, SAP2000 yazılımıyla oluşturulan modeldeki -x- doğrultulu deprem için kat kesme kuvvetlerinin, PERFORM-3D yazılımıyla elde edilenlere göre sırasıyla %7, %6, %3, %7, %1 daha az olduğu görülmüştür.



Şekil 4.78. Kat Kesme Kuvveti (x)



Şekil 4.79. Kat Kesme Kuvveti (y)

Şekil 4.79'de görüldüğü üzere düzenli yapıda, kolonların fiber mafsal - kirişlerin yığılı mafsal olması halinde, SAP2000 yazılımıyla oluşturulan modeldeki -y- doğrultulu deprem için kat kesme kuvvetlerinin, PERFORM-3D yazılımıyla elde edilenlere göre sırasıyla %7, %7, %7, %11, %10 az olduğu görülmüştür.

4.8. Düzenli Binanın M_3_All_SAP ve M_4_All_PER Modelleri Kıyası

M_3 ve M_4 modelleri aynı tanımlamalarla, farklı yazılımlar kullanılarak modellenmiştir. M_3 Modeli SAP2000 yazılımıyla, M_4 Modeli ise PERFORM-3D

yazılımıyla modellenmiş ve analizleri yapılmıştır. Kolonları ve kirişleri fiber mafsalla modellenmiş söz konusu iki modelin modal analiz sonuçları Tablo 4.26'de gösterilmiştir.

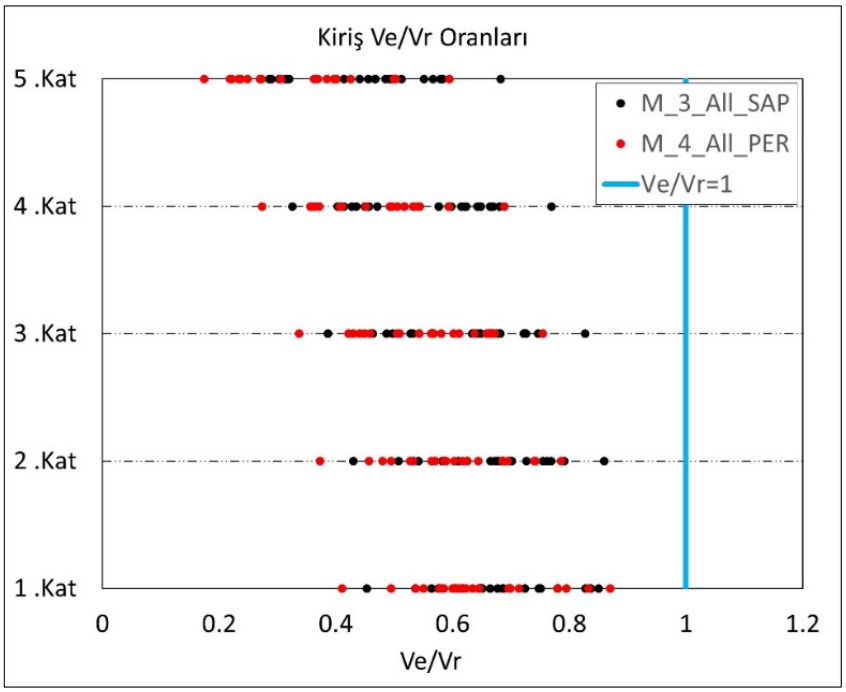
Tablo 4.26. Modal Analiz Sonuçları

Mod	M_3_All_SAP	M_4_ All _ PER
1.Mod	0,77 s	0,75 s
2.Mod	0,73 s	0,71 s
3.Mod	0,67 s	0,65 s

Tablo 4.26'de görüldüğü üzere düzenli yapıda, kolonların - kirişlerin fiber mafsal olması halinde, SAP2000 yazılımıyla oluşturulan modelin başlangıç periyotlarında, PERFORM-3D yazılımıyla oluşturulan modelin başlangıç periyotlarına göre eğilme davranışında (1. ve 2. mod) yaklaşık %3, burulma davranışında ise (3.mod) yaklaşık %3 farklılık olduğu görülmektedir.

4.8.1. Kirişlerin kesme güvenliği

Yapılan yirmi iki analiz sonucunda mutlak en büyüklerin ortalamasına göre her iki modelde de kirişlerde gevrek eleman bulunmamaktadır. İki modelin kat bazında kirişlerinin kesme kapasitelerinin oransal dağılımını gösteren grafik Şekil 4.80'de gösterilmiştir.



Şekil 4.80. Kirişlerin Kesme için Talep/Kapasite Oranları

Şekil 4.80'de görüldüğü üzere düzenli yapıda, kolonların - kirişlerin fiber mafsal olması halinde, SAP2000 yazılımıyla kirişlerde elde edilen kesme kuvvetlerinin, PERFORM-3D yazılımıyla kirişlerde elde edilen kesme kuvvetlerine göre (1. kat hariç olmak üzere) daha fazla olduğu görülmektedir.

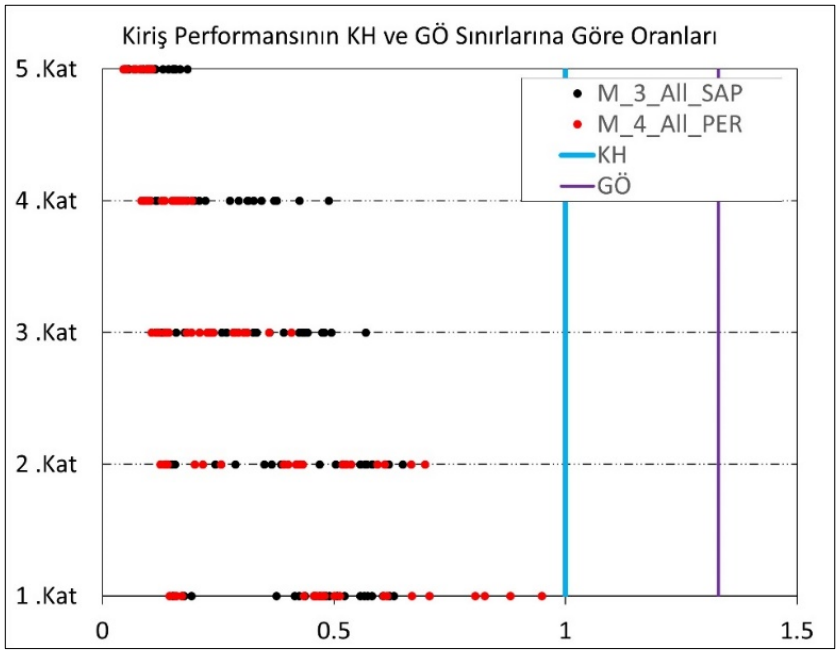
4.8.2. Kirişlerin performansı

Gevrek elemanlar hariç kirişlerde, ortalama birim şekil değiştirme talepleri, izin verilen sınırlarla kıyaslanıp performans seviyesi Tablo 4.27'de hesaplanmıştır.

Tablo 4.27. Kirişlerin Performans Değerlendirmesi

Kat	M_3_All_ SAP					M_4_All_ PER				
	Sünek	SH	BH	IH	GB	Sünek	SH	BH	IH	GB
1.Kat	22	86%	14%	0%	0%	22	82%	18%	0%	0%
2.Kat	22	77%	23%	0%	0%	22	100%	0%	0%	0%
3.Kat	22	86%	14%	0%	0%	22	100%	0%	0%	0%
4.Kat	22	95%	5%	0%	0%	22	100%	0%	0%	0%
5.Kat	22	100%	0%	0%	0%	22	100%	0%	0%	0%

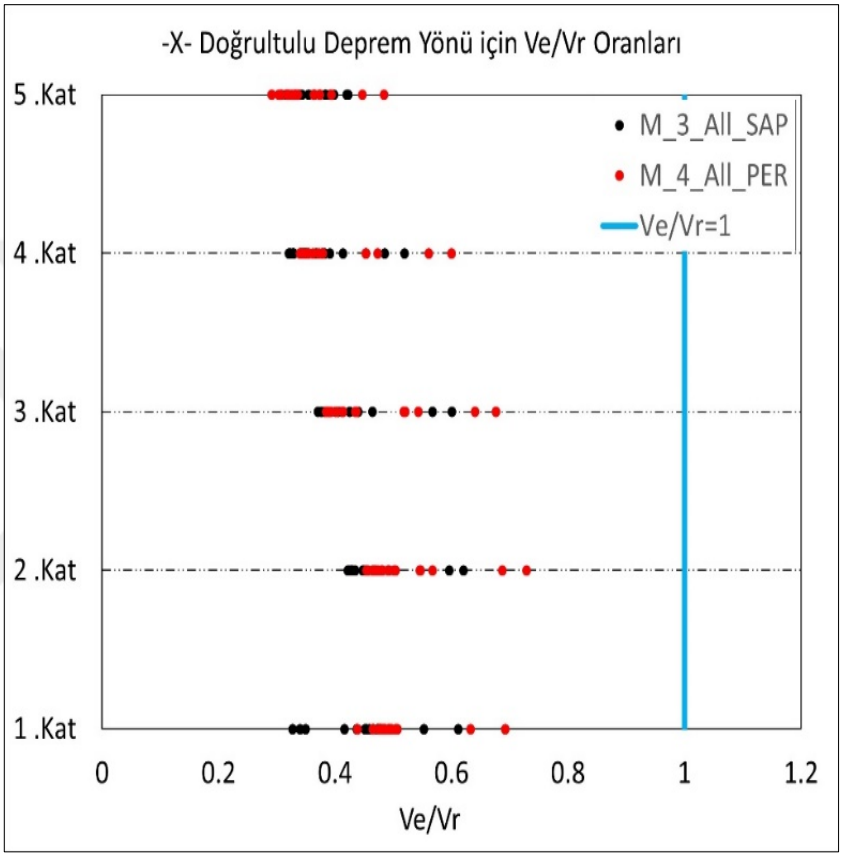
Tablo 4.27'da görüldüğü üzere düzenli yapıda, kolonların - kirişlerin fiber mafsal olması halinde, SAP2000 yazılımıyla elde edilen kirişlerdeki hasar seviyesinin, PERFORM-3D yazılımıyla elde edilen kirişlerdeki hasar seviyesine göre daha fazla olduğu görülmektedir. Kirişlerin performans değerlendirmesi KH sınırı (GÖ = 1,33KH) cinsinden Şekil 4.81'de gösterilmiştir.



Şekil 4.81. Kiriş Performansının KH sınırı Cinsinden Kat Dağılımı

4.8.3. Kolonların kesme güvenliği

Yapılan yirmi iki analiz sonucunda mutlak en büyüklerin ortalamasına göre her iki modelde de kolonlarda -x- doğrultusu için gevrek eleman bulunmamaktadır. İki modelin kat bazında kolonların -x- doğrultulu deprem için kesme kapasitelerinin oransal dağılımını gösteren grafik Şekil 4.82'de gösterilmiştir.



Şekil 4.82. Kolonların Kesme için Talep/Kapasite Oranları (X)

Şekil 4.82'de görüldüğü üzere düzenli yapıda, kolonların - kirişlerin fiber mafsal olması halinde, SAP2000 yazılımıyla kolonlarda elde edilen kesme kuvvetlerinin, PERFORM-3D yazılımıyla kolonlarda elde edilen kesme kuvvetlerine göre daha az olduğu görülmektedir.

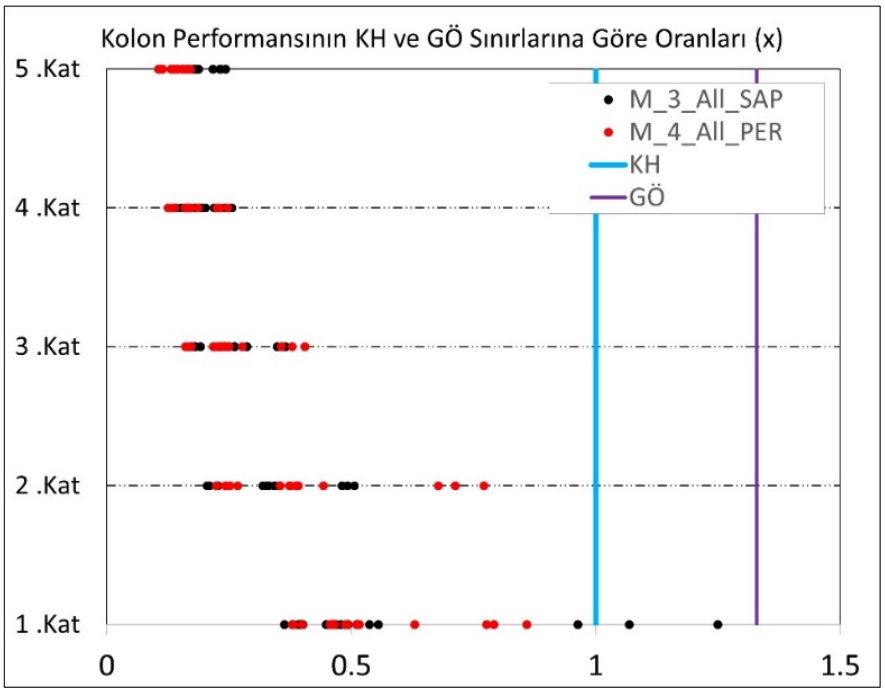
4.8.4. Kolonların performansı

Gevrek elemanlar hariç kolon ve perdelerde, ortalama birim şekil değiştirme talepleri, izin verilen sınırlarla kıyaslanıp performans seviyesi -x- doğrultulu deprem için Tablo 4.28'da hesaplanmıştır. Her iki deprem doğrultusunda da aynı sonuçlar çıktığı için yalnızca -x- doğrultulu sonuçlar verilmiştir.

Tablo 4.28. Kolon ve Perdelerin Performans Değerlendirmesi (x)

-X- Doğrultu Deprem										
Kat	M_3_All_ SAP					M_4_All_ PER				
	Sünek	SH	BH	IH	GB	Sünek	SH	BH	IH	GB
1.Kat	15	20%	67%	13%	0%	15	0%	100%	0%	0%
2.Kat	15	100%	0%	0%	0%	15	80%	20%	0%	0%
3.Kat	15	100%	0%	0%	0%	15	100%	0%	0%	0%
4.Kat	15	100%	0%	0%	0%	15	100%	0%	0%	0%
5.Kat	15	100%	0%	0%	0%	15	100%	0%	0%	0%

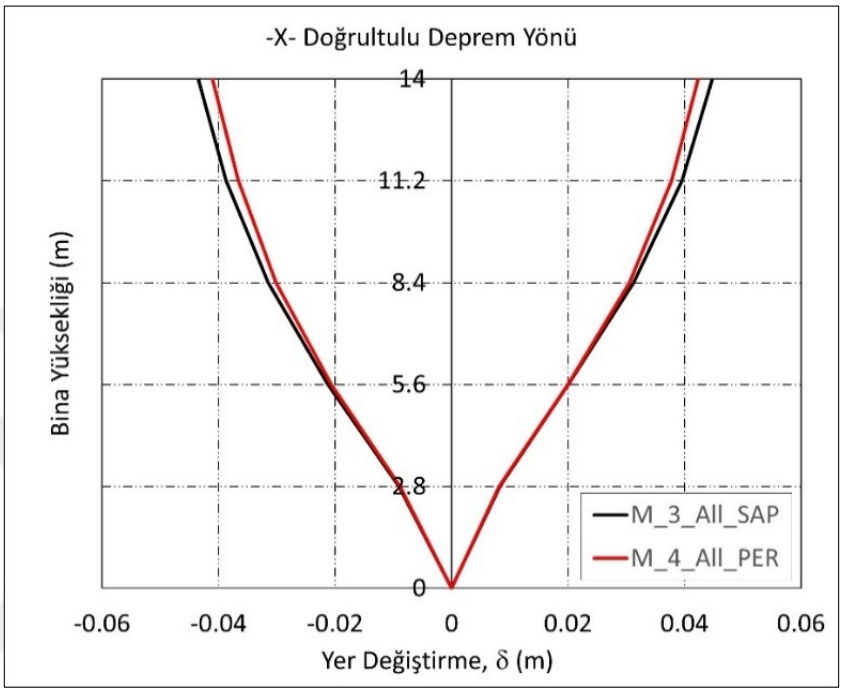
Tablo 4.28'de görüldüğü üzere düzenli yapıda, kolonların - kirişlerin fiber mafsal olması halinde, SAP2000 yazılımıyla elde edilen kolonlardaki hasar seviyesinin, PERFORM-3D yazılımıyla elde edilen kolonlarda hasar seviyesine göre daha az olduğu görülmektedir. Kolonların performans değerlendirmesi KH sınırı (GÖ = 1,33KH) cinsinden Şekil 4.83'da gösterilmiştir.



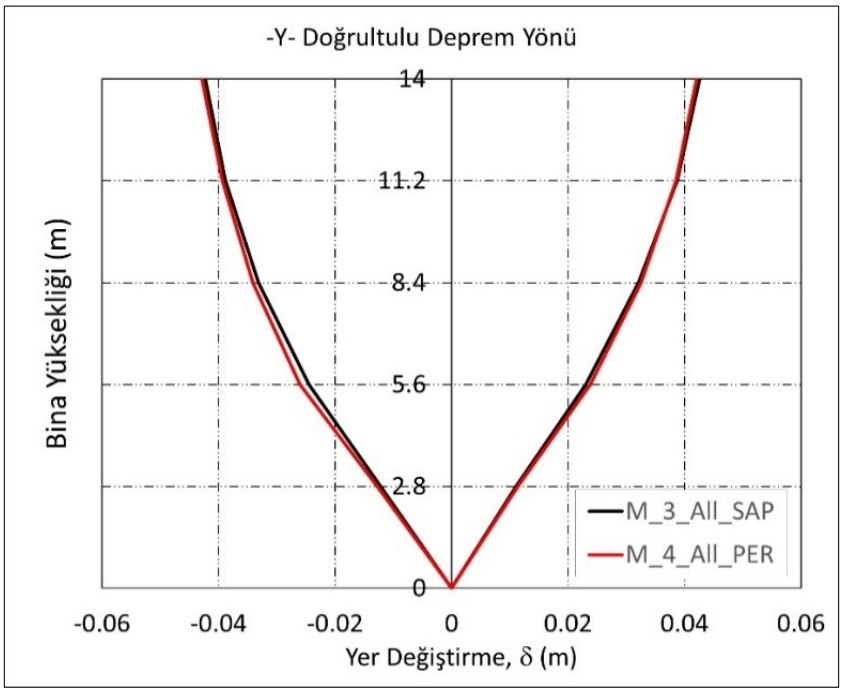
Şekil 4.83. Kolonların Performansının KH sınırı Cinsinden Kat Dağılımı (x)

4.8.5. Kat deplasmanları ve kat kesme kuvvetleri

Düşey taşıyıcıların uç noktalarıyla her katta yer değiştirmeler yirmi iki analizin yönleriyle birlikte ortalamalarıyla hesaplanmıştır. Kat bazında yapılan hesaplarda, katların yer değiştirme grafiği Şekil 4.84 ve Şekil 4.85'de gösterilmiştir.

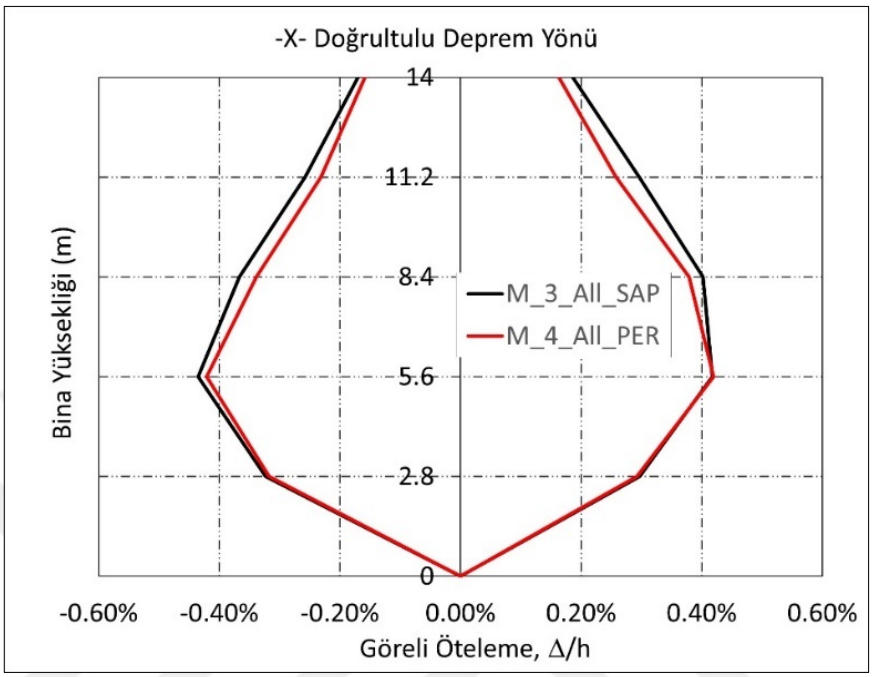


Şekil 4.84. Kat Yer Değiştirmeleri (x)

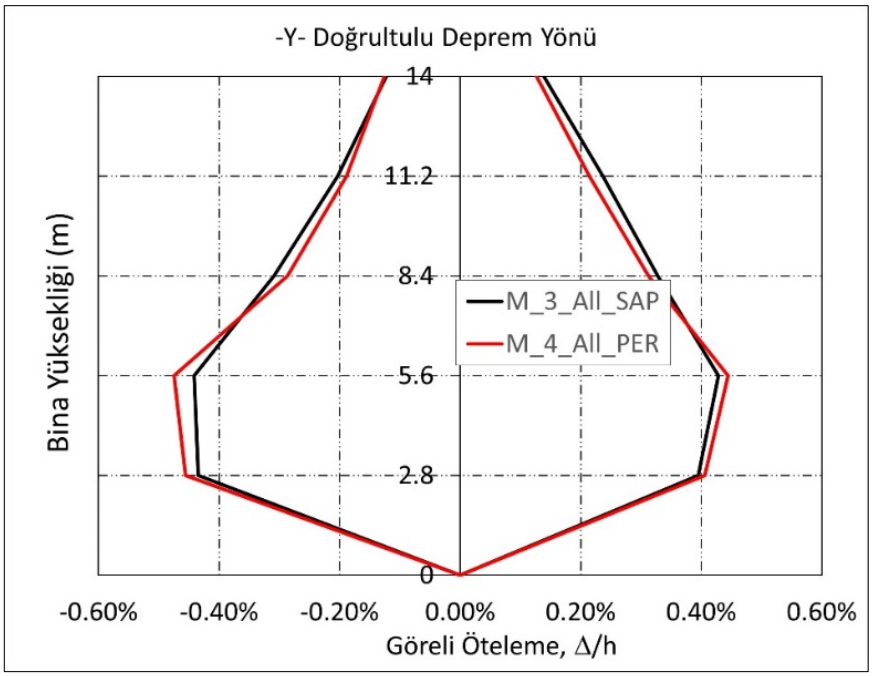


Şekil 4.85. Kat Yer Değiştirmeleri (y)

Kat bazında yapılan hesaplarda, yer değiştirmenin bir alt kata göreli yer değiştirmesinin kat yüksekliğine oranı olan göreli ötelemelerin grafiği Şekil 4.86Şekil 4.46 ve Şekil 4.87'de gösterilmiştir.

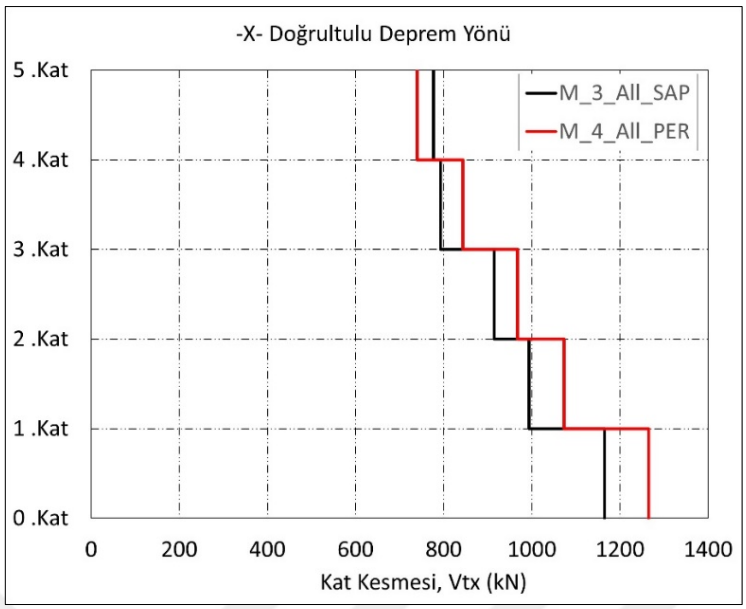


Şekil 4.86. Katların Göreli Kat Ötelemesi, Δ/h (x)



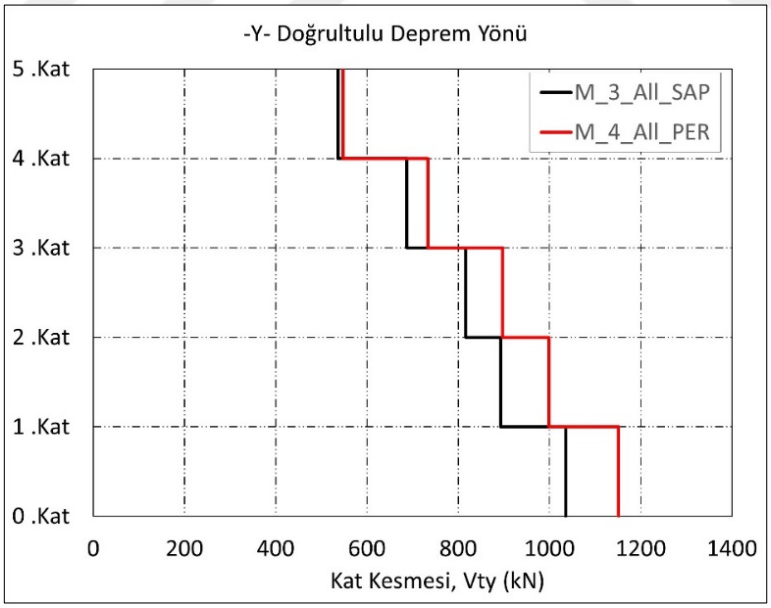
Şekil 4.87. Katların Göreli Kat Ötelemesi, Δ/h (y)

Binanın doğrusal olmayan zaman tanım alanında yapılan analizlerinden hesaplanan mutlak ortalama kat kesme kuvvetleri Şekil 4.88 ve Şekil 4.89'de gösterilmiştir.



Şekil 4.88. Kat Kesme Kuvveti (x)

Şekil 4.88'de görüldüğü üzere düzenli yapıda, kolonların - kirişlerin fiber mafsal olması halinde, SAP2000 yazılımıyla oluşturulan modeldeki -x- doğrultulu deprem için kat kesme kuvvetlerinin, PERFORM-3D yazılımıyla elde edilenlere göre sırasıyla %9, %8, %6, %6, %-5 daha az olduğu görülmüştür.



Şekil 4.89. Kat Kesme Kuvveti (y)

Şekil 4.88'de görüldüğü üzere düzenli yapıda, kolonların - kirişlerin fiber mafsal olması halinde, SAP2000 yazılımıyla oluşturulan modeldeki -y- doğrultulu deprem için kat kesme kuvvetlerinin, PERFORM-3D yazılımıyla elde edilenlere göre sırasıyla %11, %12, %10, %7, %2 daha az olduğu görülmüştür.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada modern yapı şartnameleri öncesi tasarlanmış, planda düzenli ve düzensiz iki binanın, kolonları fiber mafsal olmak üzere kirişlerin fiber mafsal veya yığılı mafsal olması durumunda, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonuçlarının farklılıkları incelenmiştir. Bununla birlikte döşeme sonlu elemanlar olmaksızın rijit diyafram kabulünün, döşemelerin sonlu elemanlarla modellenmesine (rijit diyafram kabulü yapılmadan) göre farklılıkları da değerlendirilmiştir. Ayrıca doğrusal olmayan modellemeyle yapılan analizlerin, iki farklı yazılımın sonuçları da karşılaştırılmıştır.

Aşağıda özetlenen sonuçların, çalışma kapsamında incelenen sınırlı sayıda bina modeli için elde edildiği unutulmamalıdır. Söz konusu sonuçların, daha fazla ve farklılık içeren yapı modelleri ve analizleri ile desteklenmesi gerekmektedir. Eleman boyunca entegrasyon yapılacak fiber mafsallı modellerle elde edilecek farklılıkların incelenmesi ve bunun yanında, söz konusu farklı modelleme tekniklerinin dahil edildiği analizlerin, büyük ölçekli sarsma tablası deneylerinden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılması, gelecekteki araştırmacılara önerilebilir.

Doğrusal olmayan modelleme yapılmadan önce, çatlamış etkin kesit rijitlikleri ve rijit uç bölgeler dikkate alınarak yapılan doğrusal analizlerdeki yapı periyotlarıyla, her iki doğrusal olmayan modellemedeki başlangıç periyotlarında, %6'ya varan farklılıklar oluşmaktadır. Yığılı mafsal yaklaşımında bu değişim, yalnızca sonlu elemanlar entegrasyon noktasıyla izah edilirken, yayılı mafsal yaklaşımında hem entegrasyon noktası hem de fiber segmentinin boyu ve malzeme özelliklerine bağlı rjitlik katkısı olarak izah edilebilmektedir. Fiber segmentinin, elemandaki doğrusal parçanın çatlamış etkin kesit rijitiğine göre malzeme tanımlarına bağlı olarak daha rijit olduğu söylenebilir. Bu durum, özellikle kirişlerin de kolonlarıyla birlikte fiber mafsalla modellendiği yapılar için başlangıç rijitliğinin, doğrusal modele göre daha fazla olduğunu göstermektedir.

Tablo 5.1. M_1 (a), M_2 (b), M_3 (c) ve M_4 (d) Modelleri için Analiz Sonuçlarının Kendi Arasında Karşılaştırılması

	M_1_Col_SAP	**M_1_All_SAP**
Bina	Düzensiz Bina	Düzensiz Bina
Plastisite Yaklaşımı	Kolonlar Fiber / Kirişler Yığılı	Tümü Fiber
Döşeme S.E	Var	Var
Rijit Diyafram	Yok	Yok
Toplam SH'ı Geçen Kiriş	28%	1%
Toplam SH'ı Geçen Kolon	9%	19%
En Üst Kat Maksimum Deplasman (m)	0,053	0,055
Tüm Katlarda Maksimum Kat Göreli Öteleme Oranları, Δ/h (%)	0,39%	0,41%
Üst Katın Tabana Göre Maksimum Göreli Öteleme Oranları, Δ/H (%)	0,32%	0,33%
Maksimum Taban Kesme Kuvvet (kN)	4.048,2	4.395,4

(a)

	M_2_Col_SAP	**M_2_All_SAP**
Bina	Düzenli Bina	Düzenli Bina
Plastisite Yaklaşımı	Kolonlar Fiber / Kirişler Yığılı	Tümü Fiber
Döşeme S.E	Var	Var
Rijit Diyafram	Yok	Yok
Toplam SH'ı Geçen Kiriş	59%	4%
Toplam SH'ı Geçen Kolon	5%	17%
En Üst Kat Maksimum Deplasman (m)	0,040	0,044
Tüm Katlarda Maksimum Kat Göreli Öteleme Oranları, Δ/h (%)	0,41%	0,43%
Üst Katın Tabana Göre Maksimum Göreli Öteleme Oranları, Δ/H (%)	0,29%	0,31%
Maksimum Taban Kesme Kuvvet (kN)	954,4	1.206,9

(b)

	M_3_Col_SAP	**M_3_All_SAP**
Bina	Düzenli Bina	Düzenli Bina
Plastisite Yaklaşımı	Kolonlar Fiber / Kirişler Yığılı	Tümü Fiber
Döşeme S.E.	Yok	Yok
Rijit Diyafram	Var	Var
Toplam SH'ı Geçen Kiriş	55%	11%
Toplam SH'ı Geçen Kolon	4%	16%
En Üst Kat Maksimum Deplasman (m)	0,040	0,045
Tüm Katlarda Maksimum Kat Göreli Öteleme Oranları, Δ/h (%)	0,39%	0,43%
Üst Katın Tabana Göre Maksimum Göreli Öteleme Oranları, Δ/H (%)	0,29%	0,32%
Maksimum Taban Kesme Kuvvet (kN)	875,7	1.165,2

(c)

	M_4_Col_PER	**M_4_All_PER**
Bina	Düzenli Bina	Düzenli Bina
Plastisite Yaklaşımı	Kolonlar Fiber / Kirişler Yığılı	Tümü Fiber
Döşeme S.E.	Yok	Yok
Rijit Diyafram	Var	Var
Toplam SH'ı Geçen Kiriş	82%	4%
Toplam SH'ı Geçen Kolon	1%	24%
En Üst Kat Maksimum Deplasman (m)	0,042	0,042
Tüm Katlarda Maksimum Kat Göreli Öteleme Oranları, Δ/h (%)	0,46%	0,44%
Üst Katın Tabana Göre Maksimum Göreli Öteleme Oranları, Δ/H (%)	0,30%	0,30%
Maksimum Taban Kesme Kuvvet (kN)	937,0	1.265,4

(d)

Tablo 5.2. M_2 ve M_3 Modellerinin Analiz Sonuçlarının Rijit Diyafram Kabulü Ana Başlığı Altında Karşılaştırılması

	M_2_Col_SAP	**M_2_All_SAP**	**M_3_Col_SAP**	**M_3_All_SAP**
Bina	Düzenli Bina	Düzenli Bina	Düzenli Bina	Düzenli Bina
Plastisite Yaklaşımı	Kolonlar Fiber / Kirişler Yığılı	Tümü Fiber	Kolonlar Fiber / Kirişler Yığılı	Tümü Fiber
Döşeme S.E	Var	Var	Yok	Yok
Rijit Diyafram Kabulü	Yok	Yok	Var	Var
Toplam SH'ı Geçen Kiriş	59%	4%	55%	11%
Toplam SH'ı Geçen Kolon	5%	17%	4%	16%
En Üst Kat Maksimum Deplasman (m)	0,040	0,044	0,040	0,045
Tüm Katlarda Maksimum Kat Göreli Öteleme Oranları, D/h (%)	0,41%	0,43%	0,39%	0,43%
Üst Katın Tabana Göre Maksimum Göreli Öteleme Oranları, D/H (%)	0,29%	0,31%	0,29%	0,32%
Maksimum Taban Kesme Kuvvet (kN)	954,4	1.206,9	875,7	1.165,2

Tablo 5.3. M_2 ve M_3 Modellerinin Analiz Sonuçlarının Farklı Yazılımlar için Karşılaştırılması

	M_3_Col_SAP	**M_3_All_SAP**	**M_4_Col_PER**	**M_4_All_PER**
Bina	Düzenli Bina	Düzenli Bina	Düzenli Bina	Düzenli Bina
Program	SAP2000	SAP2000	PERFORM-3D	PERFORM-3D
Plastisite Yaklaşımı	Kolonlar Fiber / Kirişler Yığılı	Tümü Fiber	Kolonlar Fiber / Kirişler Yığılı	Tümü Fiber
Döşeme S.E	Yok	Yok	Yok	Yok
Rijit Diyafram Kabulü	Var	Var	Var	Var
Toplam SH'ı Geçen Kiriş	55%	11%	82%	4%
Toplam SH'ı Geçen Kolon	4%	16%	1%	24%
En Üst Kat Maksimum Deplasman (m)	0,040	0,045	0,042	0,042
Tüm Katlarda Maksimum Kat Göreli Öteleme Oranları, D/h (%)	0,39%	0,43%	0,46%	0,44%
Üst Katın Tabana Göre Maksimum Göreli Öteleme Oranları, D/H (%)	0,29%	0,32%	0,30%	0,30%
Maksimum Taban Kesme Kuvvet (kN)	875,7	1,165,2	937,0	1.265,4

Tablo 5.1, Tablo 5.2 ve Tablo 5.3'te çalışmanın genel karşılaştırmalarının yapıldığı değerlendirmeler yer almaktadır. Söz konusu değerlendirmeler Bölüm 4'te verilen kapsamlı sonuçların, genel özeti olarak fikir vermesi amacıyla verilmiştir. Bölüm 4'te grafik halinde verilmiş sonuçların irdelenmesi önem arz etmektedir.

Kirişlerde oluşan kesme kuvvetleri incelendiğinde, bu çalışma kapsamındaki iki tip bina için–kirişlerin fiber mafsalla modellendiği durumda kesme kuvvetlerinin arttığı görülmektedir. Benzer şekilde döşemelerde alan elemanların kaldırılıp rijit diyafram kabulünün yapıldığı durumlarda, beklendiği üzere kirişlerdeki kesme yükünün arttığı belirlenmiştir. PERFORM-3D yazılımında elde edilen kiriş kesme kuvvetlerinin, SAP2000 yazılımına elde edilen sonuçlara göre daha az olduğu görülmüştür.

Kirişleri, kolonlarıyla birlikte fiber mafsallı olan modellerdeki kiriş hasar seviyelerinin, kirişleri yığılı mafsallı modellere göre daha az olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bunun en temel nedeni, kirişlerin fiber mafsalla modellenmesi durumunda kirişlerde eksenel kuvvete bağlı olarak moment kapasitesindeki artıştır. Ayrıca teorileri gereği, fiber mafsalların hasar seviyesinin belirlendiği talep - kapasite karşılaştırmaları birim şekil değiştirme bazında, yığılı mafsalların ise plastik dönme bazında yapılmaktadır. TBDY-2018 yönetmeliğine göre yığılı mafsallarda, sınırlı hasar plastik dönme limiti sıfır olduğundan, kesit akma momentine ulaştığı an belirgin hasar seviyesine ulaşıldığı öngörülmektedir. Yönetmeliğin bu sınır durumunun, performansı incelenen yapıyı fazlaca cezalandırdığı ve tartışmaya açık bir konu olduğu düşünülmektedir.

Kolonlarda oluşan kesme kuvvetleri, bu çalışma kapsamındaki iki tip bina için kirişler fiber mafsalla modellendiği durumda kesme kuvvetlerinin oldukça arttığı görülmektedir. Bu noktada çalışmada yer alan tüm modellerde, kolonların fiber mafsallarla modellendiğinin göz önünde tutulması önemlidir. Döşemelerde alan elemanların kaldırılıp rijit diyafram kabulünün yapıldığı durumlarda, kolonlardaki kesme yükünün azaldığı sonucuna ulaşılmıştır. PERFORM-3D yazılımında elde edilen kolon kesme kuvvetlerinin, SAP2000 yazılımına elde edilen sonuçlara göre daha fazla olduğu görülmüştür.

Özetle, kesme kuvveti açısından plastik davranışın modellenmesindeki farklılık değerlendirildiğinde, kirişlerin fiber mafsallı modellendiği durumunda kirişlerde ve kolonlarda oluşan kesme kuvvetlerinin, kirişlerin yığılı mafsalla modellendiği duruma göre daha fazla olduğu belirlenmiştir (Tüm modeller için kolonlarda fiber mafsallar bulunmaktadır). Döşeme etkisinin, alan elemanlar olmaksızın rijit diyafram kabulü ile modele dahil edildiği durumlarda, sadece alan elemanların olduğu duruma göre kirişlerde elde edilen kesme kuvvetlerinde artış, kolonlardaki değerlerde ise düşüş olduğu görülmüştür.

Kirişleri fiber mafsallı olan modellerde elde edilen kolon hasar seviyelerinin, kirişleri yığılı mafsallı modellerde elde edilenlere göre daha fazla olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Düzensiz bina için kirişleri fiber mafsallı model ile yığılı mafsallı modelde elde edilen kat deplasmanlarının ve göreli ötelemelerin, yaklaşık aynı ve formlarının benzer olduğu görülmüştür. Düzenli binada kirişleri fiber mafsallı olan modelin, yığılı mafsallı olduğu modele göre kat deplasmanları ve göreli öteleme değerlerinin, az miktarda da

olsa arttığı belirlenmiştir. Döşemeler için sonlu elemanlar kullanılmadan rijit diyafram kabulü yapıldığı durumda, kirişlerin fiber mafsallı veya yığılı mafsallı olduğu modeller arasındaki bu deplasman farkları, biraz daha artmış ve göreli deplasmanların formlarında değişiklikler daha belirgin hale gelmiştir. Kirişlerin yığılı mafsal olması durumunda, PERFORM-3D yazılımındaki modelde elde edilen deplasmanların ve göreli ötelemelerin, formları aynı olmak SAP2000 modelinde elde edilenlere göre daha fazla olduğu görülmüştür. Ancak kirişlerin fiber mafsal olması durumunda her iki programda da elde edilen deplasmanların ve göreli ötelemelerin, yaklaşık aynı olduğu belirlenmiştir.

Kirişlerin fiber mafsal olarak tanımlandığı modellerde elde edilen kat kesme kuvvetlerinin, plastik mafsal olarak tanımlandığı modellere göre oldukça fazla bulunduğu görülmüştür. Düzensiz ve perdeli olan binada bu artış, daha düşük seviyelerdedir. Döşemelerde sonlu elemanlar kullanılmadan rijit diyafram kabulü yapıldığında, rijit diyafram kabulü yapılmadan sonlu elemanlarla döşemelerin modellendiği duruma göre, kirişler yığılı mafsal ile tanımlandığında kat kesme kuvvetlerinin daha düşük olduğu, kirişler fiber mafsal ile tanımlanmışsa kat kesme kuvvetlerinin yaklaşık aynı olduğu sonucuna varılmıştır. PERFORM-3D yazılımında elde edilen kat kesme kuvvetlerinin, SAP2000 yazılımında elde edilen değerlerden daha fazla olduğu görülmüştür. Bunun ana nedeni olarak, başlangıç periyotlarındaki %3-%4'lük değişiklikten kaynaklanan başlangıç rijitliklerindeki farklılık gösterilebilir.

Sonuç olarak, bu çalışma kapsamındaki iki bina ve farklı yaklaşımlarına göre değerlendirildiğinde, kirişlerin fiber veya yığılı mafsal olması durumları arasında, düzensiz perdeli binada kirişlerin performansında, düzenli perdesiz binadaysa kiriş ve kolonların performansında anlamlı seviyede farklılık gözlemlenmiştir (Her iki durumda da kolonlar fiber mafsallı modellenmiştir). Fiber mafsal yaklaşımının, zaman ve bilgisayarda saklama alanı problemleri göz ardı edilirse, gerçek davranışa daha yakın sonuçlar verdiği açıkça ifade edilebilir. Bununla birlikte zaman tanım alanında yapılan dinamik analizlerde, kirişlerin eksenel kesit zoru ihmal edilmeyecek seviyelere ulaşmakta ve bu etki matematik modele yalnızca fiber mafsallarla dahil edilebilmektedir. Fiber mafsal yaklaşımında her iki yazılımda da fiber segmentinin rijitliğine (kesit atalet momentine) müdahale edilememektedir. Bu durumda, modellenen elemanlar (özellikle kiriş elemanlar) için yönetmelikte (TBDY 2018), mafsal dışında kalan orta kısmındaki elastik bölüm için önerdiği oranlarla bulunan etkin kesit rjitliği değerlerinin, fiber segmentinin malzeme $\sigma-\varepsilon$ eğrilerine bağlı hesaplanan rijitlik değerlerinden oldukça az olmasından dolayı, gerçekten uzak bir

yaklaşım olduğu düşünülmektedir. Ayrıca döşeme sonlu elemanlarının kaldırılıp rijit diyafram kabulü yapılması durumu, döşemelerin sonlu elemanlarla modellenmesi (rijit diyafram kabulü yapılmadan) durumuyla kıyaslandığında, kirişlerin fiber mafsalla modellenmesi durumunda daha gerçekçi deprem davranışına ulaşıldığı değerlendirilmiştir.

KAYNAKLAR

[1] DBYBHY, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, *T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı*, Ankara, 2007.

[2] TBDY 2018, Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı için Esaslar, *Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı*, Ankara, 2018.

[3] SAP2000, Structure Analysiz Program, *Computers and Structures Inc*, California, 2005.

[4] Perform-3D, Nonlinear Analysis and Performance Assessment for 3D Sturctures, *Computers and Structures Inc*, Berkeley, 2018.

[5] Moehle J., *Seismic Design of Reinforced Concrete Buildings*, McGraw-Hill Education, 2015.

[6] ACI Committee 363, State-of-the-Art Report on High-Strength Concrete, USA, 1997.

[7] Mander J. B., Priestley M. J. ve Park R., Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete, *J. Struct. Eng.*, 1988*,* **114**(8), 1804-1826.

[8] Deierlein G. G., Reinhorn A. M. ve Willford M. R., *Nonlinear Structural Analysis For Seismic Design*, NEHRP*,* 2010.

[9] Celep Z., *Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış ve Çözümleme*, Beta Dağıtım ,İstanbul, 2008.

[10] Baker A., *Ultimate Load Theory Applied to the Design of Reinforced and Prestressed Concrete Frames*, Concrete Publications Ltd., London, 1956.

[11] Sawyer H., Design of Concrete Frames for Two Failure States. Proc., Int. Symp. on The Flexural Mechanics of Reinforced Concrete, *ASCE-ACI,* 1964, 405-431.

[12] Corley G., Rotation Capacity of Reinforced Concrete Beams, *ASCE J. Struct. Div.,* 1966, **92** (10), 121-146.

[13] Mattock A., Rotational Capacity of Hinging Regions in Reinforced Concrete Beams. Flexural Mechanics of Reinforced Concrete, *American Concrete İnstitute,* 1964, 143-181.

[14] M. Priestley ve R. Park, Strength and Ductility of Concrete Bridge Columns Under Seismic Loading., *ACI Struct. J.,* 1987, **84**(1), 61-76.

[15] Paulay T. ve Priestley M., Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings, *John Wiley and Sons*, New York, 1992.

[16] Panagiotakos T. ve Fardis M., Deformations of Reinforced Concrete Members at Yielding and Ultimate, *ACI Struct. J.,* 2001, **98**(2), 135-148.

[17] CSI, *Analysis Reference Manual*, Computer and Structures, California, 2017.

[18] Kunnath S., Reinhorn A. ve Park Y., Analyyical Modeling of İnelastic Seismic Response of R/C structures, *Journal of Structural Engineering, American Society of Civil Engineers,* 1990, **116**(4), 996-1017.

[19] Spacone E., Filippou F. C. ve Taucer F. F., Fibre Beam-Column Model for Nonlinear Analysis of R/C Frames: Part 1. Formulation, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics,* 1996, **25**(7), 711-725.

[20] Rodrigues H., Varum H., Arede A. ve Costa A., Comparative Efficiency Analysis of Different Nonlinear Modelling Strategies to Simulate The Biaxial Response of RC columns, *Earthquake Engineering and Engineering Vibration,* 2012, **11**(4), 553-566.

[21] Rodrigues H., Varum H., Arede A. ve Costa A., Experimental Study on the Biaxial Bending Cyclic Behavior of RC Columns, *14th European Conference on Earthquake Engineering*, Ohrid, 2010.

[22] Martinez-Rueda J. ve Elnashai A., Confined Concrete Model Under Cyclic Load, *Materials and Structures,* 1997, **30**, 139-147.

[23] Menegotto M. ve Pinto P., *Method of Analysis for Cyclically Loaded R.C. Plane Frames Including Changes in Geometry and Non-elastic Behavior of Elements under Combined Normal Force and Bending*, İsviçre, Zurih, 1973.

[24] Filippou F., Popov E. ve Bertero V., Modelling of R/C Joints Under Cyclic Excitations, *ASCE Journal of Structural Engineering,* 1983, **109**, 2666-2684.

[25] Veccihio F. ve Emara M., Shear Deformantions in Reinforced Concrete Frames, *ACI Sturtural Journal,* 1992, **89**(1), 46-56.

[26] Lopez-Almansa F., Alfarah B. ve Oller S., Numerical Simulation of RC Frame Testing With Damaged Plasticity Model Comparison With Simplified Models, *Second European Conference on Earthquake Engineering and Seismology*, İstanbul, 2014.

[27] Bathe K. ve Wilson E., *Numerical Methods in Finite Element Analysis*, Prentice-Hall, 1976.

[28] Hellesland J. ve Scordelis A. C., Analysis of R.C. Bridge Columns Under Imposed Deformations, *IABSE Colloquium on Advanced Mechanics of Reinforced Concrete*, Delft, 1981.

[29] Mari A. ve Scordelis A., *Nonlinear Geometric Material and Time Dependent Analysis of Three Dimensional Reinforced and Prestressed Concrete Frames,* Universty of California, Berkeley, 1984.

[30] Spacone E., Ciampi V. ve Filippou F., Mixed Formulation of Nonlinear Beam Finite Element, *Computers and Structures,* 1996, **58**(1), 71-83.

[31] Neuenhofer A. ve Filippou F., Evaluation of Nonlinear Frame Finite-Element Models, *Structural Engineering,* 1997, **123**(7), 958-966.

[32] Monti G., Nuti C. ve Santini S., Cyclic Response of Upgraded Sections, *Report No 96-2*, University of Chieti, İtalya, 1996.

[33] Lee J. ve Fenves G., Plastik-Damage Model for Cyclic Loading of Concrete Structures, *Engineering Mechanics,* 1998, **124**(8), 892-900.

[34] Lubliner J., Oliver J., Oller S. ve Onate E., a Plastik-Damage Model for Concrete, *Solids and Structures,* 1989, **25**(3), 299-326.

[35] Duong K., Seismic Behaviour of a Shear-Critical Reinforced Concrete Frame: an Experimental And Numerical İnvestigation, Yüksek Lisans Tezi, Toronto Üniversitesi, 2006.

[36] Salihovic A. ve Ademovic N., Nonlinear Analysis of Reinforced Concrete Frame Under Lateral Load, *Coupled System Mechanics,* 2018, **7**(3), 281-295.

[37] Khan S. ve Khalid F., Comparison of inelastic modeling techniques using static pushover analysis and nonlinear time history analysis, *First South Asia Conference On Eartquake Engineering,* 2019.

[38] Takeda T., Sozen M. ve Nielson N.N., Reinforced Concrete Response to Simulated Earthquakes, *Journal of the Structural Division-ASCE,* 1970, **96**(12), 2557-2573.

[39] Computers and Structures, *Technical Kmowledge Base*, CSİ, California, 2020.

[40] G. H. Powell, *Modeling for Structural Analysis*, Computers and Structures, California, 2010.

[41] PEER/ATC, Modeling and acceptance criteria for seismic design and analysis of tall buildings, *PEER/ATC 72-1 Report*, Redwood City: Applied Technology Council, 2010.

[42] Fahjan Y. M., Türkiye Deprem Yönetmeliği (DBYBHY,2007) Tasarım İvme Spektrumuna Uygun Gerçek Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklenmesi, *İMO Teknik Dergi,* 2008, **19**(3), 4423-4444.

[43] Chopra A. K., *Dynamics of Structures*, Prentice Hall, Boston, 2012.

[44] Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER), Modeling and Acceptance Criterias for Seismic Design and Analysis of Tall Buildings, *Applied Technology Council*, USA, 2010.

[45] TS500, Betonarme Yapıların Tasarımı ve Yapım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2000.

[46] Ersoy U. ve Özcebe G., *Betonarme*, Evrim, İstanbul, 2012.

[47] XTRACT, Cross Sectional Analysis of Components, *Imbsen Software System*, Sacremento, 2001.

[48] Topçu A., *Betonarme-1 Ders Notları*, http://mmf2.ogu.edu.tr/atopcu, Eskişehir, 2013.

[49] A. 318-14, Building Code Requirements for Structural Concrete, *American Concrete Institute*, Farmington Hills, 2014.

[50] Doğangün A., *Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı*, Birsen, İstanbul, 2013

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

[1] Akpınar E., Al E**.** ve **Bingöl E**., Farklı Tür Kirişlerin Yangın Etkisi Altında Moment Kapasitesi ve Etkin Enkesit Alanı Değişimlerinin İncelenmesi, Editörler: Alimi D., Yılmaz B. A., *4th International Istanbul Src Proceedings Book*, 1. Baskı, Babil Yayınevi, İstanbul, Babil Yayınevi, 326-327, 2021.

ÖZGEÇMİŞ

2015 yılında Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 2015 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans eğitimine başladı. 2015 yılından beri, özel sektörde İnşaat Mühendisi olarak çalışmaktadır.