

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**MERKEZİ ÇELİK ÇAPRAZLI PERDE TÜRLERİNİN ETKİNLİĞİNİN
DOĞRUSAL OLMAYAN STATİK İTME ANALİZİ İLE İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Nurten TOPALOĞLU

HAZİRAN, 2007

TRABZON

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**MERKEZİ ÇELİK ÇAPRAZLI PERDE TÜRLERİNİN ETKİNLİĞİNİN
DOĞRUSAL OLMAYAN STATİK İTME ANALİZİ İLE İNCELENMESİ**

İnş. Müh. Nurten TOPALOĞLU

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“İnşaat Yüksek Mühendisi”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 06.06.2007
Tezin Savunma Tarihi : 25.06.2007**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Selim PUL
Jüri Üyesi : Doç. Dr. Metin HÜSEM
Jüri Üyesi : Yrd.Doç. Dr. Hasan KOLAYLI**

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Emin Zeki BAŞKENT

TRABZON 2007

ÖNSÖZ

‘Merkezi Çelik Çaprazlı Perde Türlerinin Etkinliğinin Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi İle İncelenmesi’ konulu bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Çalışmamda her türlü desteğini gördüğüm, değerli vaktini bana ayırarak çalışmama büyük katkı sağlayan saygıdeğer hocam Yrd. Doç. Dr. Selim PUL’a teşekkürlerimi sunarım. Tezimi titizlikle inceleyen sayın hocam Doç. Dr. Metin HÜSEM’e ve Yrd. Doç. Dr. Hasan KOLAYLI’ya teşekkür ederim.

Yine bu çalışmama destek veren değerli arkadaşım İnş. Yük. Müh. Abdülhamit ÖZDAŞ’a, mesleki ve akademik hayatımda hiçbir zaman yardımlarını esirgemeyen Authorised Dealer of SAP2000 İnş. Müh. Engin GÜRAY’a teşekkürlerimi borç bilirim.

Ömrümün her anında beni yürekten destekleyen, hayattaki başarılarımın en büyük sebepleri olan değerli babam Öğretmen Mehmet Yaşar TOPALOĞLU ve annem Neriman TOPALOĞLU’na sonsuz teşekkür ederim. Bu çalışmanın ülkemize faydalı olmasını dilerim.

Nurten TOPALOĞLU

Trabzon 2007

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET	VI
SUMMARY	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VIII
TABLolar DİZİNİ	XII
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XIV
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı.....	2
1.2. Literatür Çalışması.....	2
2. GENEL BİLGİLER	4
2.1. Performans Kavramına Dayalı Tasarım ve Değerlendirme.....	4
2.1.1. Performans Hedefi	5
2.1.2. Deprem Etki Seviyeleri	6
2.1.3. Performans Seviyeleri	8
2.1.4. Yapısal Performans Seviyeleri ve Performans Aralıkları	8
2.1.4.1. Hemen Kullanım Yapısal Performans Seviyesi (S-1)	9
2.1.4.2. Hasar Kontrol Yapısal Performans Aralığı (S-2)	9
2.1.4.3. Can Güvenliği Yapısal Performans Seviyesi (S-3)	10
2.1.4.4. Sınırlı Güvenlik Yapısal Performans Aralığı (S-4)	10
2.1.4.5. Göçmenin Önlenmesi (Stabilitenin Korunması) Yapısal Performans Seviyesi (S-5).....	10
2.1.5. Yapısal Olmayan Performans Seviyeleri	11
2.1.5.1. Kullanıma Devam Performans Seviyesi (N-A)	11
2.1.5.2. Hemen Kullanım Performans Seviyesi (N-B)	12
2.1.5.3. Can Güvenliği Performans Seviyesi (N-C)	12
2.1.5.4. Azaltılmış Hasar Performans Seviyesi (N-D)	12
2.1.5.5. Performansın Dikkate Alınmadığı Seviye (N-E)	13

2.2.	Yapı Performans Seviye ve Aralıkları	13
2.3.	Yeni Deprem Yönetmeliğinin Yaklaşımı	17
2.4.	Yapının Hedeflenen Performans Seviyelerinin Belirlenmesi	18
2.4.1.	Genel Spektrum Eğrisi	19
2.4.2.	Sünek ve Sünek Olmayan Yapı Kapasite Eğrilerinin Kıyaslanması	21
2.4.3.	Elastik Talep Spektrumu	23
2.4.3.1.	Zemin Sınıfları	23
2.4.3.2.	Deprem Bölge Katsayısı	23
2.4.3.3.	Kaynağa Mesafe Katsayıları N_A ve N_V	24
2.5.	Taşıyıcı Sistemin Deprem Etkisi Altında Değerlendirilmesi	26
2.5.1.	Doğrusal Olmayan Statik Analiz Yöntemleri	27
2.5.1.1.	Kapasite Spektrumu Yöntemi (ATC-40)	27
2.5.1.1.1.	Kapasite Spektrum Eğrisi	28
2.5.1.1.2.	Talep Spektrumunun Elde Edilmesi	31
2.5.1.1.3.	Kapasite Eğrisinin Kapasite Spektrumuna Dönüştürülmesi	32
2.5.1.1.4.	Eşdeğer Sönümün Belirlenmesi	33
2.5.1.1.5.	Etkili Sönümün Belirlenmesi	34
2.5.1.1.6.	Elastik Talep Spektrumunun Sönüm ile Azaltılması	35
2.5.1.1.7.	Performans Noktasının Belirlenmesi	36
2.5.1.2.	Yerdeğiştirme Katsayısı Yöntemi (FEMA-356)	37
2.5.1.3.	Yerdeğiştirme Katsayıları Yöntemi (FEMA-273)	43
2.5.2.	Performans Noktasının Kabul Kriterleri	44
2.5.2.1.	Bina İçin Genel Kabul Kriterleri	44
2.5.2.2.	Eleman İçin Kabul Kriterleri	45
2.5.2.3.	Kabul Kriterlerinin Uygulama Adımları	47
2.6.	Taşıyıcı Sistemin Modellenmesi	48
2.6.1.	Birincil (Ana) ve İkincil Elemanlar	48
2.6.2.	Şekil Değiştirme ve Kuvvet Kontrollü Elemanlar	48
2.6.3.	Diyaframlar	48
2.6.4.	Burulma Etkisi	49
2.6.5.	P-Delta Etkisi	50
2.6.6.	Zemin-Yapı Etkileşimi	50

2.6.7.	Çok Eksenli Doğrultulu Deprem Etkisi	51
2.6.8.	Yük Birleştirmesi	51
2.6.9.	Devrilme Etkisi	51
2.6.10.	Duvarlar	52
2.6.11.	Bina Derzleri	53
2.6.12.	Çözümleme Yöntemi	53
2.6.13.	Kabul Kriterleri	54
3.	YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEMELER.....	57
3.1.	Giriş	57
3.2.	Uygulamaya Konu Yapıların Modellenmesi	57
3.3.	Uygulamalar.....	60
3.3.1.	Uygulama-1.....	65
3.3.2.	Uygulama-2.....	71
3.3.3.	Uygulama-3.....	77
3.3.4.	Uygulama-4.....	83
3.3.5.	Uygulama-5.....	88
3.3.6.	Uygulama-6.....	94
3.3.7.	Uygulama-7.....	100
3.3.8.	Çözümlemelerden Elde Edilen Bulguların İrdelenmesi.....	106
4.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	110
5.	KAYNAKLAR	113
ÖZGEÇMİŞ		

ÖZET

Ülkemizde sıkça meydana gelen yıkıcı depremler, yapılarımızın deprem sonrası göstereceği davranışların bilinmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. Deprem Mühendisliğinde son yıllarda meydana gelen gelişmeler bu konuda gerçeğe yakın fikir vermektedir. Doğrusal olmayan analiz yöntemleri ile yapıların deprem etkisi altındaki davranışları daha gerçekçi bir şekilde belirlenebilmekte, daha ekonomik tasarım yapmak mümkün olabilmekte ve yapıların olası bir deprem etkisi altında performansları belirlenebilmektedir. Dolayısıyla gerçekleştirilen bu çalışmada, örnek olarak seçilen bir çelik yapı için merkezi çelik çaprazlı perde türlerinin etkinliğinin doğrusal olmayan statik itme analizi (pushover analysis) ile incelenmesi amaçlanmıştır.

Bu çalışma kapsamında, depremin yapı elemanlarında meydana getireceği etkiler ve bunun sonucunda belirlenecek yapısal performans seviyelerinin belirlenmesinde kullanılan FEMA-356 ve ATC-40'daki yöntemler incelenmekte, çelik çerçeve türü yapı örnekleri artımsal itme yöntemiyle verilmektedir.

Bu çalışma, toplam 4 bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde konunun tanımı yapılmakta, bu konuda yapılmış çalışmalar ve çalışmanın amacı açıklanmaktadır. İkinci bölümde performans kavramına dayalı tasarım ve değerlendirmede kullanılan tanım, kavram ve parametreler açıklanmaktadır. Ayrıca Mart 2007'de yürürlüğe giren yeni deprem yönetmeliğine değinilmektedir. Üçüncü bölümde artımsal itme yöntemiyle, yukarıda tanımlanan bir çelik yapının analizi için veri girişi ve analiz sonuçları ile elde edilen bulgular verilmektedir. Dördüncü bölümde ise çalışmanın tamamından çıkarılan sonuç ve öneriler yer almaktadır. Son olarak da kaynaklar listesi verilmektedir.

Anahtar Kelimeler : Performansa Dayalı Tasarım, Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi, Çelik Çerçeve Yapılar, Merkezi Çelik Çaprazlar

SUMMARY

THE DETERMINATION OF THE EFFECTS OF CONCENTRICALLY BRACING OF STEEL FRAMES BY NONLINEAR STATICAL PUSHOVER ANALYSIS

High frequency in experiencing the hazardous earthquakes in Turkey obliges to guess the structural behaviour of the building stock and effects of earthquake after earth shakings. Technical developments in earthquake engineering, especially in recent years, give more chances to forecast those effects in high accuracy. The behaviour and the performance of buildings under earthquake effects can be considered and economical design can be performed by nonlinear methods. The main goal of this study is to predict and to determine the effects of concentrically bracing of building frames against seismic actions by the use of “Nonlinear statical pushover analysis”.

In this study methods in FEMA-356 and ATC-40 codes will be discussed those are used to guess earthquake effect on a given steel constructed building members and trying to determine structural performance of the building going under the earthquake action, further.

This paper is composed of four main chapters. In first chapter there is a simple description and main concept of the study and some other sample studies have been achieved related with this case. In next chapter the parameters and notations will be used in the foregoing performance based design and check study works are given. Third chapter gives the data input for the incremental pushover method applied on a steel constructed model and the analysis output. In the 4 th chapter the result that have collected from this study and final conclusions are given. Literature references will be at the last pages.

Key Words : Performance Based Design, Nonlinear Pushover Analysis, Steel Frame Structures, Steel Braces

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 2.1.	Yapının hedef performans seviyesinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan performans seviyeleri ve aralıkları.....	15
Şekil 2.2.	Genel spektrum eğrisi (Celep, Z., Kumbasar, N., 2004)	19
Şekil 2.3.	Sünek olan ve olmayan yapılarda performans seviyeleri ve yerdeğiştirme	22
Şekil 2.4.	Elastik talep spektrumu (Celep, Z., Kumbasar, N., 2004)	26
Şekil 2.5.	Basitleştirilmiş tipik yatay yük-deplasman değişimleri	29
Şekil 2.6.	Taşıyıcı sistemde kapasite spektrumu eğrisi	30
Şekil 2.7.	İvme spektrumundan talep spektrumu elde edilmesi (Celep, Z., Kumbasar, N., 2004)	31
Şekil 2.8.	Kapasite spektrumunun elde edilmesi (Celep, Z., Kumbasar, N., 2004)....	32
Şekil 2.9.	Spektral azaltma için sönüm elde edilmesi (Celep, Z., Kumbasar, N., 2004)	33
Şekil 2.10.	Talep spektrumunun azaltılması	36
Şekil 2.11.	Performans noktasının belirlenmesi	37
Şekil 2.12.	Doğrusal olmayan teori ile kapasite eğrisinin elde edilmesi	38
Şekil 2.13.	İki doğru parçası ile kapasite eğrisinin idealleştirilmesi	39
Şekil 2.14.	Yerdeğiştirme Katsayısı Yöntemi akış diyagramı (FEMA-356).....	42
Şekil 2.15.	Eleman davranış eğrileri (Celep, Z., Kumbasar, N., 2004)	54
Şekil 3.1.	Uygulamalara konu olan çelik yapının kat planı.....	61
Şekil 3.2.	Uygulamalara konu olan çelik yapının A-A kesiti.....	62
Şekil 3.3.	Uygulamalara konu olan çelik yapının B-B kesiti.....	63
Şekil 3.4.	Deprem yönetmeliğinde verilen merkezi çelik çaprazlı perde türleri.....	63
Şekil 3.5.	Yapı modellerinde uygulanan çapraz elemanlı perde düzenlemeleri.....	64
Şekil 3.6.	Uygulama-1'e konu olan yapının matematik modeli.....	66
Şekil 3.7.	Uygulama-1'e konu olan yapının dolu gövdeli görünümü.....	66
Şekil 3.8.	Uygulama-1 için atanan mafsallar.....	67
Şekil 3.9.	Uygulama-1'e konu olan yapının X doğrultusunda şekildeğiştirmiş hali ve plastik mafsal oluşumu.....	67
Şekil 3.10.	X doğrultusu için kapasite (pushover) eğrisi.....	68

Şekil 3.11. X doğrultusu için kapasite spektrum eğrisi.....	68
Şekil 3.12. Sembolik bir kapasite eğrisi üzerinde performans aralıkları.....	69
Şekil 3.13. Uygulama-1'e konu olan yapının Y doğrultusundaki şekildeğiştirmiş hali ve plastik mafsall oluşumu.....	70
Şekil 3.14. Y doğrultusu için kapasite (pushover) eğrisi.....	70
Şekil 3.15. Y doğrultusu için kapasite spektrum eğrisi.....	71
Şekil 3.16. Uygulama-2'ye konu olan yapının matematik modeli.....	72
Şekil 3.17. Uygulama-2'ye konu olan yapının dolu gövdeli görünümü.....	72
Şekil 3.18. Uygulama-2 için atanan mafsallar.....	73
Şekil 3.19. Uygulama-2'ye konu olan yapının X doğrultusunda şekildeğiştirmiş hali ve plastik mafsall oluşumu.....	73
Şekil 3.20. X doğrultusu için kapasite (pushover) eğrisi.....	74
Şekil 3.21. X doğrultusu için kapasite spektrum eğrisi.....	74
Şekil 3.22. Uygulama-2'ye konu olan yapının Y doğrultusundaki şekildeğiştirmiş hali ve plastik mafsall oluşumu.....	75
Şekil 3.23. Y doğrultusu için kapasite (pushover) eğrisi.....	76
Şekil 3.24. Y doğrultusu için kapasite spektrum eğrisi.....	76
Şekil 3.25. Uygulama-3'e konu olan yapının matematik modeli.....	77
Şekil 3.26. Uygulama-3'e konu olan yapının dolu gövdeli görünümü.....	78
Şekil 3.27. Uygulama-3 için atanan mafsallar.....	78
Şekil 3.28. Uygulama-3'e konu olan yapının X doğrultusunda şekildeğiştirmiş hali ve plastik mafsall oluşumu.....	79
Şekil 3.29. X doğrultusu için kapasite (pushover) eğrisi.....	80
Şekil 3.30. X doğrultusu için kapasite spektrum eğrisi.....	80
Şekil 3.31. Uygulama-3'e konu olan yapının Y doğrultusundaki şekildeğiştirmiş hali ve plastik mafsall oluşumu.....	81
Şekil 3.32. Y doğrultusu için kapasite (pushover) eğrisi.....	82
Şekil 3.33. Y doğrultusu için kapasite spektrum eğrisi.....	82
Şekil 3.34. Uygulama-4'e konu olan yapının matematik modeli.....	83
Şekil 3.35. Uygulama-4'e konu olan yapının dolu gövdeli görünümü.....	84
Şekil 3.36. Uygulama-4 için atanan mafsallar.....	84
Şekil 3.37. Uygulama-4'e konu olan yapının X doğrultusunda şekildeğiştirmiş hali ve plastik mafsall oluşumu.....	85
Şekil 3.38. X doğrultusu için kapasite (pushover) eğrisi.....	85
Şekil 3.39. X doğrultusu için kapasite spektrum eğrisi.....	86

Şekil 3.40. Uygulama-4'e konu olan yapının Y doğrultusundaki şekildeğiştirmiş hali ve plastik mafsall oluşumu.....	87
Şekil 3.41. Y doğrultusu için kapasite (pushover) eğrisi.....	87
Şekil 3.42. Y doğrultusu için kapasite spektrum eğrisi.....	88
Şekil 3.43. Uygulama-5'e konu olan yapının matematik modeli.....	89
Şekil 3.44. Uygulama-5'e konu olan yapının dolu gövdeli görünümü.....	89
Şekil 3.45. Uygulama-5 için atanan mafsallar.....	90
Şekil 3.46. Uygulama-5'e konu olan yapının X doğrultusunda şekildeğiştirmiş hali ve plastik mafsall oluşumu.....	91
Şekil 3.47. X doğrultusu için kapasite (pushover) eğrisi.....	91
Şekil 3.48. X doğrultusu için kapasite spektrum eğrisi.....	92
Şekil 3.49. Uygulama-5'e konu olan yapının Y doğrultusundaki şekildeğiştirmiş hali ve plastik mafsall oluşumu.....	93
Şekil 3.50. Y doğrultusu için kapasite (pushover) eğrisi.....	93
Şekil 3.51. Y doğrultusu için kapasite spektrum eğrisi.....	94
Şekil 3.52. Uygulama-6'ya konu olan yapının matematik modeli.....	95
Şekil 3.53. Uygulama-6'ya konu olan yapının dolu gövdeli görünümü.....	95
Şekil 3.54. Uygulama-6 için atanan mafsallar.....	96
Şekil 3.55. Uygulama-6'ya konu olan yapının X doğrultusunda şekildeğiştirmiş hali ve plastik mafsall oluşumu.....	96
Şekil 3.56. X doğrultusu için kapasite (pushover) eğrisi.....	97
Şekil 3.57. X doğrultusu için kapasite spektrum eğrisi.....	97
Şekil 3.58. Uygulama-6'ya konu olan yapının Y doğrultusundaki şekildeğiştirmiş hali ve plastik mafsall oluşumu.....	98
Şekil 3.59. Y doğrultusu için kapasite (pushover) eğrisi.....	99
Şekil 3.60. Y doğrultusu için kapasite spektrum eğrisi.....	99
Şekil 3.61. Uygulama-7'ye konu olan yapının matematik modeli.....	100
Şekil 3.62. Uygulama-7'ye konu olan yapının dolu gövdeli görünümü.....	101
Şekil 3.63. Uygulama-7 için atanan mafsallar.....	101
Şekil 3.64. Uygulama-7'ye konu olan yapının X doğrultusunda şekildeğiştirmiş hali ve plastik mafsall oluşumu.....	102
Şekil 3.65. X doğrultusu için kapasite (pushover) eğrisi.....	103
Şekil 3.66. X doğrultusu için kapasite spektrum eğrisi.....	103
Şekil 3.67. Uygulama-7'ye konu olan yapının Y doğrultusundaki şekildeğiştirmiş hali ve plastik mafsall oluşumu.....	104

Şekil 3.68. Y doğrultusu için kapasite (pushover) eğrisi.....	105
Şekil 3.69. Y doğrultusu için kapasite spektrum eğrisi.....	105

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. FEMA-356’da tanımlanan deprem hareketleri ve ortalama tekerrür periyotları	6
Tablo 2.2. Yapı performans hedeflerinin sınıflandırılması	6
Tablo 2.3. Yapısal performans seviyeleri	8
Tablo 2.4. Yapısal performans aralıkları	9
Tablo 2.5. Yapı olmayan performans seviyeleri	11
Tablo 2.6. Hedeflenen yapı performans seviye ve aralıkları	14
Tablo 2.7. Performans seviyelerinin yönetmeliklerdeki karşılıkları	18
Tablo 2.8. S_s kısa periyot spektral parametresine bağlı F_a değerleri (Celep, Z., Kumbasar, N., 2004)	21
Tablo 2.9. S_1 bir saniye periyot spektral parametresine bağlı F_y değerleri (Celep, Z., Kumbasar, N., 2004)	21
Tablo 2.10. Zemin sınıflarının tanımı (Celep, Z., Kumbasar, N., 2004)	23
Tablo 2.11. Deprem bölge katsayısı	23
Tablo 2.12. Kaynağa mesafe katsayısı N_A ve N_V (Celep, Z., Kumbasar, N., 2004)	24
Tablo 2.13. Deprem katsayısı C_A	25
Tablo 2.14. Deprem katsayısı C_V	25
Tablo 2.15. Yapı davranış türü	34
Tablo 2.16. Sönüm değiştirme katsayısı κ	34
Tablo 2.17. Spektral azaltma katsayıları SR_A ve SR_V	35
Tablo 2.18. Minimum spektral azaltma katsayıları SR_A ve SR_V	35
Tablo 2.19. Modal katılım katsayısı C_0 değerleri	40
Tablo 2.20. Katlar arası yerdeğiştirmenin kat yüksekliğine oranının sınırı (Celep, Z., Kumbasar, N., 2004)	45
Tablo 2.21. Göreli kat ötelemesi sınırları	45
Tablo 2.22. C_2 davranış değiştirme katsayısı	52
Tablo 2.23. χ katsayısı	53

Tablo 2.24. Doğrusal davranış kabulünde elemanın kapasitesinin hesabı (Celep, Z., Kumbasar, N., 2004)	56
Tablo 2.25. Doğrusal olmayan davranış kabulünde elemanın kapasitesinin hesabı (Celep, Z., Kumbasar, N., 2004)	56
Tablo 3.1. Kullanılan profillerin kesit özellikleri.....	65
Tablo 3.2. X doğrultusu için 67-77. adımlar arası elemanların performans seviyelerine göre hasar durumu.....	69
Tablo 3.3. Y doğrultusu için 67-77. adımlar arası elemanların performans seviyelerine göre hasar durumu.....	71
Tablo 3.4. X doğrultusu için 66-76. adımlar arası elemanların performans seviyelerine göre hasar durumu.....	75
Tablo 3.5. Y doğrultusu için 64-74. adımlar arası elemanların performans seviyelerine göre hasar durumu.....	77
Tablo 3.6. X doğrultusu için 65-75. adımlar arası elemanların performans seviyelerine göre hasar durumu.....	81
Tablo 3.7. Y doğrultusu için 66-76. adımlar arası elemanların performans seviyelerine göre hasar durumu.....	83
Tablo 3.8. X doğrultusu için 67-77. adımlar arası elemanların performans seviyelerine göre hasar durumu.....	86
Tablo 3.9. Y doğrultusu için 73-83. adımlar arası elemanların performans seviyelerine göre hasar durumu.....	88
Tablo 3.10. X doğrultusu için 66-76. adımlar arası elemanların performans seviyelerine göre hasar durumu.....	92
Tablo 3.11. Y doğrultusu için 77-87. adımlar arası elemanların performans seviyelerine göre hasar durumu.....	94
Tablo 3.12. X doğrultusu için 45-55. adımlar arası elemanların performans seviyelerine göre hasar durumu.....	98
Tablo 3.13. Y doğrultusu için 62-72. adımlar arası elemanların performans seviyelerine göre hasar durumu.....	100
Tablo 3.14. X doğrultusu için 65-75. adımlar arası elemanların performans seviyelerine göre hasar durumu.....	104
Tablo 3.15. Y doğrultusu için 47-57. adımlar arası elemanların performans seviyelerine göre hasar durumu.....	106
Tablo 3.16. Artımsal itme analizi ile elde edilen değerler ve performans seviyelerine göre eleman sayıları.....	107
Tablo 3.17. Uygulamalarda X ve Y doğrultularında belirlenen taban kesme kuvveti ve maksimum tepe yerdeğiştirmeleri.....	108
Tablo 3.18. Uygulamalarda birinci moddaki periyodlar ve ilk üç mod şekilleri.....	109

SEMBOLLER DİZİNİ

A_0	: Etkin yer ivmesi katsayısı
A_n	: Yaklaşık ivme
C_A ve C_V	: Deprem katsayıları
C_0	: Modal katılım katsayısı
C_1, C_2 ve C_3	: Düzeltme katsayıları
E	: Deprem etkisi türü katsayısı
E_D	: Bir çevrimde sönümle tüketilen enerji
E_{So}	: Maksimum şekil değiştirme enerjisi
F_a	: Kısa periyot spektral parametresine bağlı zemin değeri
F_y	: Bir saniye spektral parametresine bağlı zemin değeri
g	: Yerçekimi ivmesi
H_i	: Kat yüksekliği
J	: Kuvvet iletim parametresi
K_e	: Elastik rijitlik
K_s	: Elasto-plastik rijitlik
N	: Kat adedi
N_A ve N_V	: Kaynağa mesafe katsayıları
P_R	: Ortalama dönüş periyodu
P_{E50}	: İstenilen hasar seviyesinin 50 yılda aşılma olasılığı
S_a	: Spektral ivme
S_{a_y}	: Doğrusal elastik davranış sınırındaki spektral ivme
$S_{a_{pi}}$: Hedeflenen performans seviyesindeki spektral ivme
S_d	: Spektral yerdeğiştirme
S_{d_y}	: Doğrusal elastik davranış sınırındaki spektral ivme
$S_{d_{pi}}$: Hedeflenen performans seviyesindeki spektral ivme

S_i	: İstenilen aşılma olasılığı için spektral ivme parametresi
$S_{i10/50}$: 50 yıllık zaman aralığında aşılma olasılığı %10 olan spektral ivme parametresi
S_{iTGD-2}	: TGD-2 için spektral ivme parametresi
SR_A	: İvme değerleri için spektral azaltma katsayısı
SR_V	: Hız değerleri için spektral azaltma katsayısı
S_S	: Kısa periyot ivme parametresi
S_1	: Bir saniyelik periyot ivme parametresi
T_e	: Yapı sisteminin etkin doğal periyodu
T_i	: Yapının i. doğal titreşim moduna ait periyot
T_s	: Karakteristik periyot
Q_D	: Sabit yük
Q_G	: Düşey yük
Q_L	: Harekeli yük
Q_S	: Kar yükü
V_i	: Deprem kat kesme kuvveti
V_t	: Taban kesme kuvveti
w	: Kat ağırlığı
W	: Toplam bina ağırlığı
Z	: Deprem bölge katsayısı
α_1	: 1. moda ait modal kütle katsayısı
β_0	: Eşdeğer viskoz sönüm
β_{ef}	: Etkili toplam sönüm oranı
δ_{maks}	: Maksimum tepe noktası deplasmanı
δ_T	: Hedef deplasman
Δ_N	: N. Katın yerdeğiştirmesi
ϕ_{N1}	: Birinci modda en üst kata ait yerdeğiştirme
κ	: Sönüm değiştirme katsayısı
Γ	: Kütle dağılım katsayısı

1.GİRİŞ

Dünyada meydana gelen depremler sonucu oluşan büyük hasarlar araştırmacıları, yapıların deprem davranışlarını daha doğru anlamak ve daha uygun tasarım kuralları oluşturmak adına yeni yöntemler geliştirmeye zorlamıştır. Bu hasarlar, yüzölçümünün büyük bir çoğunluğu aktif fay hatları üzerinde bulunan Türkiye’de özellikle son yıllarda meydana gelen depremlerde de görülmüş, önemli miktarda can ve mal kayıpları yaşanmıştır. Bu kayıplar, yapılarımızın mevcut durumlarının değerlendirilerek, geleceğe yönelik olarak, gerekli önlemlerin alınması ihtiyacını ortaya çıkarmıştır (Bağcı vd. 2003; Sezen vd. 2003). Zira, yaşanan son depremlerden, mevcut yapıların önemli bir bölümünün 1998 yılında yürürlüğe giren Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik de (ABYYHY-1998) tanımlanan düzeyde deprem güvenliğine sahip olmadığı anlaşılmıştır.

Deprem etkisinde yapının kabul edilebilir davranış göstermesini sağlayacak tasarım, deprem yönetmeliğinde belirtilen kurallara uyulması ile sağlanmaktadır (Celep ve Kumbasar, 2004). Gerek mevcut deprem yönetmeliğinden önce yapılmış binalarda, gerekse tasarımında ve imalatında yeterli özen gösterilmemiş yapılarda, dinamik etkiler altında öngörülenden fazla hasar oluşması muhtemeldir. Bu nedenle beklenen şiddetli deprem karşısında hasarı en aza indirebilmek amacıyla mevcut yapıların kontrol edilip güvenlik düzeylerinin belirlenmesi ve gerekli güçlendirme çalışmalarının yapılması deprem ve inşaat mühendisliklerinin önemli konularından biri haline gelmiştir.

Mevcut ve yeni inşa edilecek yapıların deprem performanslarını belirlemek için uygulanan doğrusal olmayan statik hesap yöntemleri esas olarak; yapının yatay yük taşıma kapasitesini ifade eden kapasite eğrisinin belirlenmesini, bu eğriden yararlanarak göz önüne alınan deprem için yapının elastik olmayan maksimum deplasmanının (deplasman talebinin) hesaplanmasını ve bu deplasman değerine kadar statik olarak itilmiş bir yapının performansının (deprem güvenliğinin) belirlenmesini içermektedir (Özer, 2004).

Mart 2007’de yürürlüğe giren Türk Deprem Yönetmeliği(TDY)’nin 7. bölümünde “Mevcut Binaların Güçlendirilmesi ve Değerlendirilmesi” başlığı altında bu konuya yer verilmiştir. Klasik yapı tasarımındaki kullanım sınır durumu ve taşıma gücü sınır durumu performans noktalarının daha ayrıntılı biçimde ortaya konularak hazırlanan yöntem, uygulanmasının bugün için zor gözükmesine ve kuralları henüz tam olarak

olgunlaşmamasına rağmen deprem mühendisliğinin geleceği açısından umut vaat etmektedir.

1.1. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada, performans kavramına dayalı tasarım ilkesini esas alan doğrusal olmayan statik itme hesap yönteminin (artımsal itme analizi-pushover analizi) ATC-40 (1996), FEMA 273-356 (1996) ve Türk Deprem Yönetmeliği'nde verilen yaklaşımları üzerinde durulduktan sonra, araştırmacılar tarafından genellikle daha az çalışılmış olan üç boyutlu bir çelik çerçeve yapı modelinin bu yöntem kullanılarak çözümlenmesi ve farklı çerçeve tipleri için elde edilen bulguların karşılaştırılması amaçlanmıştır.

1.2. Literatür Çalışması

Çıkış noktasında yapıların doğrusal olmayan davranışının gerçekçi olarak belirlenmesi ve klasik tasarımda öngörülen hedeflerin kontrol edilebilmesi düşüncesi bulunan doğrusal olmayan statik itme yöntemi kullanılarak son yıllarda yapı ya da yapı elemanları üzerinde gerçekleştirilen bazı çalışmalar aşağıda sunulmaktadır.

Habibullah ve Pyle (1998), çalışmalarında üç boyutlu bir yapının artımsal itme metodu ile çözümünün SAP 2000 bilgisayar programıyla nasıl yapıldığını açıklamıştır.

Chopra ve Goel (2002) tarafından yapılan çalışmada yapıların deprem davranışını modal artımsal itme analizi formülasyonlarıyla belirlemektedirler. Ayrıca dokuz katlı bir yapının analizi yapılarak plastikleşme noktaları belirlenmiştir.

Lee ve Woo (2002), çalışmalarında üç katlı bir bina modeli ile duvarların deprem etkisini nasıl azalttığını yaptıkları deneysel çalışmalar yardımıyla belirlemişlerdir. Oluşan mafsalsal ve çatlakların nerelerde ve nasıl oluştuğunu da göstermektedirler.

Chintanapakdee ve Chopra (2003), yaptıkları çalışmada 3, 6, 9, 12, 15 ve 18 katlı yapıların artımsal itme yöntemiyle analizleri yapılarak kapasite eğrileri elde edilmiştir.

Maheri vd., (2003), farklı elemanlarla güçlendirilmiş çelik ve betonarme çerçevelerin artımsal itme sonucu davranışlarını laboratuvar ortamında belirlemişlerdir.

Zheng vd., (2003), yaptıkları çalışmada çok açıklıklı çelik köprülerin deprem davranışlarının tahmininde artımsal itme yöntemini kullanmışlardır.

Bayülke vd., (2003), çalışmalarında değişik tarihlerde yapılmış ve deprem hasarı görmüş ve görmemiş üç betonarme yapıya artımsal itme analizi uygulamışlardır. Analiz sonuçlarından mafsallaşma özelliklerinin etkilerini incelemiş ve yatay yük dayanım düzeylerini karşılaştırarak hasar ve yıkılma nedenlerini incelemişlerdir.

Aydınoglu (2003), yaptığı çalışmada üç boyutlu davranış gösteren bir sisteme artımsal itme yöntemi uygulamıştır.

Altay vd., (2003) yaptıkları çalışmada mevcut beş katlı bir binayı üç farklı metotla güçlendirerek mevcut ve güçlendirilmiş binaların deprem performanslarını artımsal itme yöntemiyle incelemişlerdir.

Elmas ve Kömür (2003), yaptıkları çalışmada 4, 6 ve 8 katlı betonarme düzlem çerçeve sistemlerin düzgün yayılı, üçgen biçimli ve çok modlu yük biçimleri için artımsal itme analizlerini yaparak bu üç yükleme biçimini karşılaştırmışlardır. Bu analiz için Ruaumoko bilgisayar programı kullanmışlardır.

İrtem, E., Türker, K., Hasgül, U., çalışmalarında deprem güvenliği hedeflerini değerlendirmiş ve iki farklı durum için analiz yapmışlardır.

Özer (2005), yaptığı çalışmayla performans kavramına dayalı tasarımını ilgili yönetmelik ve formülasyonlarla açıklamıştır.

İrtem vd, (2005), yaptıkları çalışmada SAP 2000 bilgisayar programı ile artımsal itme analizi hesap adımları özetlemişlerdir.

Yüceer ve Öztürk (2006), çalışmalarında yeni deprem yönetmeliği ve konu ile ilgili diğer ülke yönetmeliklerindeki bilgileri değerlendirmiş, mevcut betonarme binaların performans yaklaşımı ile güçlendirilmesi konusunu teorik ve uygulamalı olarak incelemişlerdir.

Özmen ve Bilgin (2006), yaptıkları çalışmada ülkemiz kamu yapılarında en sık rastlanabilecek olumsuzluklardan olan düşük beton dayanımı ve etriye sıklaştırmasının yetersiz oluşunun yapı davranışına etkisi üzerinde durmuşlardır.

Uçar ve Korkmaz (2006), çalışmalarında betonarme yapıların deprem davranışlarında dolgu duvar etkileri incelenmişlerdir. Artımsal itme analizi yapılarak analiz sonuçlarına göre yapıların deprem davranışlarındaki değişiklikler incelenmiştir.

Uçar, (URL) çalışmasında yapıların performansının belirlenmesinde kullanılan ve FEMA 356' da yer alan Yerdeğiştirme Katsayısı Yöntemi anlatılmaktadır. Ayrıca yapıya ait kapasite eğrisinin elde edilmesi konusunda açıklamalar yapılmakta ve yönteme ait hesap adımları sırası ile verilmektedir.

2.GENEL BİLGİLER

“Performans kavramına dayalı yapı tasarımı”, ilk olarak mevcut yapıların öngörülen sismik etkiler altında göstereceği performansın belirlenmesi ve kapasite tahkiki amacıyla kullanılmıştır. Güçlendirme projelerinin hazırlanmasına esas teşkil edecek verilerin elde edilmesi noktasında çok faydalı olan bu yöntem, daha sonraları yeni yapıların sismik tasarımında da kullanılmaya başlanmıştır. Bu metot sayesinde yeni tasarlanacak yapılar başlangıçta öngörülen performans seviyelerinde boyutlandırılabilir.

Yerdeğiştirmeye bağlı performans kriterlerini esas alan yapısal değerlendirme ve tasarım kavramı, özellikle son yıllarda Amerika Birleşik Devletleri'nin deprem bölgelerindeki mevcut yapıların deprem güvenliklerinin daha gerçekçi olarak belirlenmesi ve yeterli güvenlikte olmayan yapıların güçlendirilmesi çalışmaları esnasında ortaya konulmuş ve geliştirilmiştir.

Amerika Birleşik Devletleri'nin California eyaletinde 1989 yılında meydana gelen Loma Prieta ve 1994'te Northridge depremlerinin neden olduğu büyük hasar, deprem etkileri altında can güvenliğini öngören performans kriterlerine alternatif olarak, yerdeğiştirmeye bağlı daha gerçekçi performans kriterlerini esas alan yöntemlerin geliştirilmesi ihtiyacını da ortaya koymuştur.

Bu amaca yönelik olarak, ATC-40 ve FEMA tarafından NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings - FEMA-273,356 projeleri geliştirilmiştir. Bunun dışında, bu alandaki çalışmalara katkı sağlamak amacıyla, Building Seismic Safety Council (BSSC), American Society of Civil Engineers (ASCE), Earthquake Engineering Research Center of University of California University at Berkeley (EERC-UCB) tarafından yürütülen projeler de mevcuttur.

2.1. Performans Kavramına Dayalı Tasarım ve Değerlendirme

Statik itme (pushover) analizi olarak bilinen doğrusal olmayan statik yöntemin geçmişi 1970'li yıllara dayanmakla birlikte son yıllarda daha da önem kazanmıştır. Statik itme analizinin amacı, yapının dayanım ve şekil değiştirme kapasitelerini belirleyerek ilgili performans düzeylerindeki deprem talepleri ile karşılaştırmak suretiyle, yapının

performansını değerlendirmektir. Bu yöntemde ikinci mertebe etkisi, malzemenin elastik ötesi davranışı ve iç kuvvetlerin yeniden dağılımı da dikkate alınmaktadır.

Performans kavramına dayalı tasarımda kullanılan doğrusal olmayan statik hesap yönteminde, yapının kapasite eğrisi bir seri statik analiz sonucunda elde edilmektedir. Bir yapının “kapasite eğrisi” yanal itki kuvvetlerinden elde edilen taban kesme kuvvetinin en üst kat yer değiştirmesine bağlı grafiği olmaktadır.

Performans kavramına dayalı tasarım ve değerlendirmenin üç temel parametresi *talep*, *kapasite* ve *performans* olarak tanımlanmaktadır. Burada talep, deprem hareketinin göstergesini, kapasite, yapının bu deprem etkisi altındaki davranışını temsil etmektedir. Performans ise talep spektrum eğrisi ile kapasite spektrum eğrisinin kesişim noktası ile ifade edilen (*performans noktası*), yapının taşıyıcı elemanlarının performans seviye sınırlarından hangisinde kaldığına göre belirlenen durum olmaktadır.

Yapısal kapasite, yapıyı oluşturan taşıyıcı elemanların dayanım ve şekil değiştirme kapasitelerinin birleşimi olarak belirlenmektedir. Doğrusal elastik sınırın ötesindeki kapasitenin belirlenmesi söz konusu olduğunda, sistemin hesabının malzeme ve geometrik değişimler bakımından lineer olmayan teoriye göre yapılması gerekmektedir.

Yapısal kapasite, kapasite eğrisi ile temsil edilmektedir. Bu eğri, taban kesme kuvveti ile yapının tepe noktasının yatay deplasmanı arasındaki bağıntı çizilerek elde edilmekte ve bu sırada, yapı sabit yükler ve orantılı olarak artan yatay yükler altında taşıma kapasitesinin sona erdiği sınır duruma kadar hesaplanmaktadır.

Yapısal kapasite eğrisi, genellikle yapının birinci doğal titreşim modu esas alınarak belirlenen eşdeğer statik deprem kuvvetleri altında belirlenmektedir. Başka bir deyişle, yapıların davranışında birinci modun etkin olduğu varsayılmaktadır.

2.1.1. Performans Hedefi

Belirli bir deprem hareketi altında yapı için öngörülen yapısal performans, *performans hedefi* olarak adlandırılmaktadır. Yapısal performans, yapıyı oluşturan taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanların performans seviyelerinin genel ve kümülatif bir değerlendirilmesinin sonucunda ulaşılan ağırlıklı kanaattir. Bir yapı için birden fazla deprem hareketi altında farklı performans hedefleri öngörülebilir. Buna *çok seviyeli performans hedefi* adı verilmektedir. Bu performans hedeflerine ilişkin teknik terimler ileride detaylandırılmıştır.

2.1.2. Deprem Etki Seviyeleri

Performansa dayalı tasarım ve değerlendirmede göz önüne alınmak üzere, farklı düzeyde deprem hareketleri tanımlanmıştır. Bu deprem hareketleri genel olarak, 50 yıllık bir süreç içindeki aşılma olasılıkları ve benzer büyüklükteki depremlerin oluşumu arasındaki zaman aralığı (tekerrür periyodu) ile ifade edilmektedir.

FEMA-356'da kullanılan olasılıklı deprem etki seviyeleri ve ilgili depremlere ait ortalama tekerrür periyotları Tablo 2. 1 'de verilmiştir.

Tablo 2.1. FEMA-356'da tanımlanan deprem hareketleri ve ortalama tekerrür periyotları

Aşılma Olasılığına Sahip Deprem	Ortalama Tekerrür Periyodu (Yıl)
%50/50 yıl	72
%20/50 yıl	225
%10/50 yıl	474
%2/50 yıl	2475

Tablo 2.2. Yapı performans hedeflerinin sınıflandırılması

Deprem Etki Seviyesi	Hedeflenen Yapı Performans Seviyeleri			
	Kullanıma Devam Performans Seviyesi (1-A)	Hemen Kullanım Performans Seviyesi (1-B)	Can Güvenliği Performans Seviyesi (3-C)	Göçmenin Önlenmesi Performans Seviyesi (5-E)
% 50/50 yıl	a	b	c	d
% 20/50 yıl	e	f	g	h
TGD-1 (~% 10/50 yıl)	i	j	k	l
TGD-2 (~ %2/50 yıl)	m	n	o	p

ATC-40'da üç farklı seviyede deprem hareketi tanımlanmıştır. Bir başka deyişle üç farklı sismik risk dikkate alınmaktadır.

Kullanım Depremi olarak Tablo 2.1.' de tanımlanan %50/50 yıl depremi etkileri göz önüne alınır ve tasarım depreminin yaklaşık yarısı olarak kabul edilebilir. Ortalama

dönüş periyodu yaklaşık 75 yıl olan bu depremin binanın ömründe en az bir kere veya daha fazla ortaya çıkması muhtemeldir.

Tasarım Depremi de %10/50 yıl etkisiyle yönetmeliklerde yeni yapılar için verilen etkileri doğurmaktadır. Ortalama dönüş periyodu yaklaşık 500 yıl olan bu deprem, yapının ömrü boyunca ortaya çıkması sık olmayan bir olaydır.

Maksimum Deprem ise yaklaşık 2500 yıllık dönüş periyodu ile bölgede jeolojik bilgiler göz önüne alınarak belirlenebilecek en büyük deprem olarak kabul edilir. Bu deprem etkileri tasarım depreminin yaklaşık 1.25~1.5 katı kadardır. Deprem yönetmeliklerinde tasarım depremi etkisinin, bina önem katsayısı ile artırılması sonucu böyle bir deprem tanımlanmaya çalışılmaktadır.

FEMA-273 ve FEMA-356'da ise Temel Güvenlik Depremi-I ve Temel Güvenlik Depremi-II olmak üzere iki farklı yer hareketi tanımlanmıştır. Bununla beraber 50 yılda aşılma olasılığı farklı depremler de kullanılabilir.

Temel Güvenlik Depremi-I (TGD-1); 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan yer hareketidir ve Temel Güvenlik Depremi-II nin üçte ikisinden küçüktür.

Temel Güvenlik Depremi-II (TGD-2) ise 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan yer hareketidir ve bölgede ya da fayda kaydedilmiş yer hareketlerinin ortalamasının 1.5 katından küçük olanıdır. Tasarımda kullanılacak ivme spektrumları ve bu spektrumların karakteristik değerleri, gerek ATC-40 gerekse FEMA dokümanlarında yukarıda tanımlanan yer hareketlerine ve sismik bölgelere bağlı olarak verilmektedir. Bununla beraber tasarımda bölgeye has ivme, ivme spektrumu veya yer hareketi kayıtları hazırlanıp kullanılabilir (Celep, Z., Kumbasar, N., 2004) .

Bir yapıda belli bir deprem hareketi altında tek bir performans hedefi öngörülebileceği gibi, birden fazla deprem hareketi altında çok seviyeli performans hedefleri de esas alınabilmektedir. Örneğin FEMA-356 açısından yapının tasarımı ve değerlendirilmesi, TGD-I depreminde Tablo 2.2' de ana köşegen üzerinde bulunan *a-f-k-p* performans hedefleri ana yapılar için, *e-j-o* performans hedefleri önemli yapılar için ve *i-n* performans hedefleri de deprem güvenliği çok yüksek olan yapılar için önerilmektedir (Celep, Z., Kumbasar, N., 2004) .

Tablo 2.2' de verilen performans amaçlarından birinin seçiminde; seçilecek güvenlik seviyesinin ve kabul edilecek deprem etki seviyesinin belirlenmesi yanında binanın güçlendirme maliyeti ve binanın depremden kısa bir müddet sonra kullanılabilmesi durumu da etkili olacaktır.

2.1.3. Performans Seviyeleri

Performans seviyeleri, bir yapı için verilen bir deprem etkisi altında öngörülen hasar miktarının sınır durumları olarak nitelendirilmektedir. Bu sınır durumlar, yapıdaki taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlardaki hasar miktarlarına, deprem esnasında ve sonrasında can güvenliğinin sağlanıp sağlanmadığına, deprem sonrasında binanın acilen kullanılıp kullanılmayacağına, deprem sonrası onarım için gereken sürenin uzunluğuna ve hasarın neden olduğu ekonomik kayıplara bağlı olarak belirlenmektedir. Hedeflenen Yapısal Performans Seviyesi, Yapısal Performans Seviyesi ve Yapısal Olmayan Performans Seviyelerinin bir kombinasyonu olarak belirlenmektedir.

2.1.4. Yapısal Performans Seviyeleri ve Performans Aralıkları

Bir yapının yapısal performans seviyeleri ve performans aralıkları, taşıyıcı sistem elemanlarında deprem etkisi ile meydana gelebilecek olası hasara, bu hasarın can güvenliğine etkisine ve deprem sonrasında yapının kullanım ihtiyacına bağlı olarak tanımlanmaktadır.

Bir yapının yapısal performans seviyesi, dört ayrı yapısal performans seviyesinden ve iki yapısal performans aralığından oluşmaktadır.

Tablo 2.3' te yapısal performans seviyeleri ve Tablo 2.4' te yapısal performans aralıkları ve FEMA-356' da bunlara ait kodlar sunulmaktadır.

Tablo 2.3. Yapısal performans seviyeleri

<u>Performans Seviyesi</u>	<u>Kod</u>
Hemen Kullanım	S-1
Can Güvenliği	S-3
Göçmenin Önlenmesi	S-5
Performansın Dikkate Alınmadığı Seviye	S-6

Tablo 2.4. Yapısal performans aralıkları

<u>Performans Aralığı</u>	<u>Kod</u>
Hasar Kontrol	S-2
Sınırlı Güvenlik	S-4

Hasar Kontrol Yapısal Performans Aralığı, Hemen Kullanım Performans Seviyesi (S-1) ile Can Güvenliği Yapısal Performans Seviyelerinin (S-3) enterpolasyonundan elde edilmektedir.

Sınırlı Güvenlik Performans Aralığı için kabul edilebilirlik kriteri ise Can Güvenliği Yapısal Performans Seviyesi (S-3) ve Göçmenin Önlenmesi Yapısal Performans Seviyesi (S-5) için geçerli kabul edilebilirlik kriterlerinin enterpolasyonundan oluşmaktadır.

Tabloda kodları ile belirtilen yapısal performans seviyeleri ve aralıkları aşağıda ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir:

2.1.4.1. Hemen Kullanım Yapısal Performans Seviyesi (S-1)

Depremden sonra sadece sınırlı birtakım hasarların meydana geldiği ve taşıyıcı sistemde çok az hasarın olduğu durumdur. Mevcut yapının düşey ve yanal kuvvet kapasiteleri, yaklaşık olarak deprem öncesindeki dayanım ve rijitliklerini korumaktadır. Yapısal hasarların sonucu olarak, yaşamı tehlikeye atan hasarların oluşma riski çok düşüktür. Öncelikli olarak yer tutmayan bir takım küçük hasarlar onarımlarla giderilebilir.

2.1.4.2. Hasar Kontrol Yapısal Performans Aralığı (S-2)

Hasar Kontrol Yapısal Performans Aralığı (S-2), Can Güvenliği Yapısal Performans Seviyesi (S-3) ve Hemen Kullanım Yapısal Performans Seviyesi (S-1) arasında bulunan hasar durumlarının olduğu performans aralığı olarak tanımlanabilir. Can güvenliğinin sağlanması ile birlikte hasar miktarının da belli ölçüde sınırlandırılmasına karşılık gelmektedir. Deprem yönetmeliklerinde yeni binalar için 50 yıllık bir süre içinde aşılma olasılığı %10 olarak tanımlanan (50 yıl/%10 olasılık) deprem etkisinde öngörülen performans seviyesi bu aralığa düşer.

2.1.4.3. Can Güvenliği Yapısal Performans Seviyesi (S-3)

Can Güvenliği Yapısal Performans Seviyesi (S-3), taşıyıcı sistemde yapısal hasarların meydana geldiği fakat kısmi veya toptan göçme durumunun söz konusu olmadığı deprem sonrası hasar durumu olarak tanımlanmaktadır. Bazı yapısal elemanlar ve bileşenlerde yer yer hasarlar olabilir fakat bu hasarlar yapıda göçme riski oluşturmamaktadır. Deprem esnasında yaralanmalar meydana gelebilir; bununla beraber yapısal hasar sonucu can güvenliğini tehdit eden hasarların ortaya çıkma ihtimalinin düşük olması beklenmektedir. Yapıyı komple onarmak mümkün olabilir fakat ekonomik nedenlerden dolayı pratik olmayabilir.

2.1.4.4. Sınırlı Güvenlik Yapısal Performans Aralığı (S-4)

Bu yapısal performans aralığı, Can Güvenliği Yapısal Performans Seviyesi (S-3) ile Göçmenin Önlenmesi Yapısal Performans Seviyesi (S-5) arasında kalan hasar türü olarak tanımlanmaktadır. Taşıyıcı elemanların performansları tamamen can güvenliği koşullarını sağlamayabilir, ancak göçmenin önlenmesi performans seviyesinden daha yüksektir. Bir binanın güçlendirilmesinde can güvenliğinin tam olarak sağlanamaması durumunda göz önüne alınabilir.

2.1.4.5. Göçmenin Önlenmesi (Stabilitenin Korunması) Yapısal Performans Seviyesi (S-5)

Göçmenin Önlenmesi Yapısal Performans Seviyesi (S-5), yapının kısmen veya toptan göçme sınırına geldiği ağır hasar durumu olarak tanımlanır. Yapıda önemli hasarlar oluşmuştur. Bu hasarlar; yapının yanal yük kapasitesinin rijitlik ve dayanımında azalmalar, büyük miktarda sürekli yanal ötelenmeler ve düşey yük taşıma kapasitesinde azalmalar şeklinde sıralanabilir. Bununla birlikte yapının taşıma kapasitesi düşey yüklerini taşımaya devam etme konusunda yeterlidir. Yapı, stabilitesini korumakla beraber, yapısal yıkıntılardan dolayı çökme riskine bağlı olarak önemli yaralanmalar olabilir. Yapıyı teknik olarak onarmak pratik olmayabilir. Yapının içine tekrar yerleşmek güvenli olmaz çünkü ana şok sonrası gelebilecek deprem aktiviteleri göçmeye neden olabilir. Bu seviyenin, yeni yapıların tasarımında en büyük deprem etkisi altında sağlanması önerilebilir. Düşük bir

deprem etkisi altında bu seviyenin dikkate alınması, daha yüksek bir deprem etkisinde güç tükenmesi anlamına gelecektir ki bu durumdan kaçınılmalıdır.

2.1.5. Yapısal Olmayan Performans Seviyeleri

Taşıyıcı olmayan yapı elemanları için FEMA-356'da tanımlanan performans seviyeleri aşağıdaki tabloda kodları ile birlikte gösterilmiş ve sırası ile açıklamaları yapılmıştır.

Tablo 2.5. Yapısal olmayan performans seviyeleri

<u>Performans Seviyesi</u>	<u>Kod</u>
Kullanıma Devam	N-A
Hemen Kullanım	N-B
Can Güvenliği	N-C
Azaltılmış Hasar	N-D
Performansın Dikkate Alınmadığı Seviye	N-E

2.1.5.1. Kullanıma Devam Performans Seviyesi (N-A)

Depremden sonra taşıyıcı olmayan elemanlar ile tesisatta ve diğer ekipmanlarda hasar oluşmaz ve oluşan hasar ihmal edilebilecek derecede azdır. Binanın normal kullanımı için gereksinim duyulan aydınlatma, su tesisatı, ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme sistemleri, bilgisayar sistemleri gibi yapısal olmayan ancak işlevsel anlamda önemli sistemler fonksiyoneldir. Bu tip yapısal olmayan elemanlar özellikle canlı bir organizma gibi işleyen büyük çaplı binalarda hayatiyet arz eden unsurlardır ve afet anında önemleri anlaşılmaktadır. Bu yapısal olmayan performans seviyesi yapısal mühendisin sorumluluklarının ötesinde bir ilgi gerektirir. Bu elemanların doğru monte edildiğinin garanti edilmesine ilave olarak bazen acil durum tamir birimlerinin kurulmasını da gerektirir. Hatta elektrik ve mekanik anahtar ekipmanlarının şiddetli bir sarsıntı sonrasında çalışacağını garanti edebilecek ciddi kalite testlerinden geçirilmeleri gerekir. Yapısal olmayan performans seviyesi kabul kriterleri ve özel dizayn prosedürleri bu yönetmeliğin kapsamında değildir. Bu ekipmanları bu performans seviyesinde dizayn etmek isteyen

kullanıcılar daha uygun kriter ve yönetmeliklere başvurabilirler (özellikle üretici firmanın sağlayacağı verilere).

2.1.5.2. Hemen Kullanım Performans Seviyesi (N-B)

Bu performans seviyesinde, deprem sonrasında yapısal olmayan elemanlarda hasar meydana gelebilir fakat binanın giriş ve can güvenliği sistemleri, kapılar, merdivenler, asansörler, aydınlatma, yangın alarmları ve sığınak sistemleri -elektrik var ise- kullanılabilir ve çalışır durumdadır. Bazı küçük pencere kırıkları ve hasarlar olabilir. Yapının güvenli olduğu varsayılarak bina sakinleri güvenle ikamet edebilirler. Bazı hasar tespit, temizlik ve tamiratlar gerekebilir. Ancak bazı elemanlar yerinden kaçıp hasara uğrayıp işlevini kaybedebilir. Enerji, su, doğalgaz, iletişim hatları ve normal bir bina kullanımı için gerekli diğer ihtiyaçlar kullanım dışı kalmış olabilir. Can güvenliğini tehdit eden bir yapısal olmayan hasar riski düşüktür.

2.1.5.3. Can Güvenliği Performans Seviyesi (N-C)

Yapısal olmayan kısımlarda hasarların meydana geldiği fakat bunların yaşamı tehdit edecek boyutta olmadığı durumu ifade eden deprem sonrası hasar durumu olarak tanımlanır. Binanın içinde ve dışındaki elemanlarda, yaralanmalara neden olabilecek şekilde ağır makinelerin devrilmesi, çeşitli elemanların yerinden çıkması, kopması veya düşmesi söz konusu değildir. Tesisat ve ekipmanlarda dikkate değer bir hasar oluşur ve onarımı oldukça masraflı olup gayret gerektirir.

2.1.5.4. Azaltılmış Hasar Performans Seviyesi (N-D)

Yapısal olmayan elemanlarda, tesisatta ve diğer ekipmanlarda önemli hasar meydana gelebilir. Fakat binadaki korkulukların, giydirme panellerin, depolama raflarının ve asma tavanların düşmesi, cephe kaplamalarının dökülmesi gibi insanların toplu halde yaralanmalarına neden olabilecek hasarlar oluşmaz. Bunun yanında molozlardan ve çatlaklardan kaynaklanan insanların yaralanabileceği bazı ender kazalara da rastlanabilir. Hafif, küçük veya zemine yakın yapısal olmayan elemanlarda kopmalar veya düşmeler olabilir fakat bunlar yaralanmalara neden olmayacak şekildedir. Azaltılmış hasar

performans seviyesinden kasıt, yapının yapısal olmayan elemanlarının tümünün rehabilitesini gerektirmeyecek kısmi hasarların olmasını kabul etmektir.

2.1.5.5. Performansın Dikkate Alınmadığı Seviye (N-E)

Bazı durumlarda, yapının kullanımı ve davranışını etkilemeyen ve ikincil elemanlar olarak adlandırılan elemanlar için performansın dikkate alınmasına gerek olmayabilir. Yapısal olmayan elemanların tamiratının yapının işlerliğini ciddi anlamda etkileyeceği durumlarda yapısal olmayan elemanların performans seviyesinde dikkate alınmaması öngörülebilir.

2.2. Yapı Performans Seviye ve Aralıkları

Yapının deprem etkisi altında beklenen performansı ortaya çıkacak hasar, sınırlı güvenlik, ekonomik kayıp ve kullanıma ara vermenin doğurduğu sakıncaların toplamı olarak ifade edilmektedir. Yapının hedeflenen performans seviyesi, yapısal ve yapısal olmayan elemanların performans seviyelerinin birleşiminden oluşmaktadır.

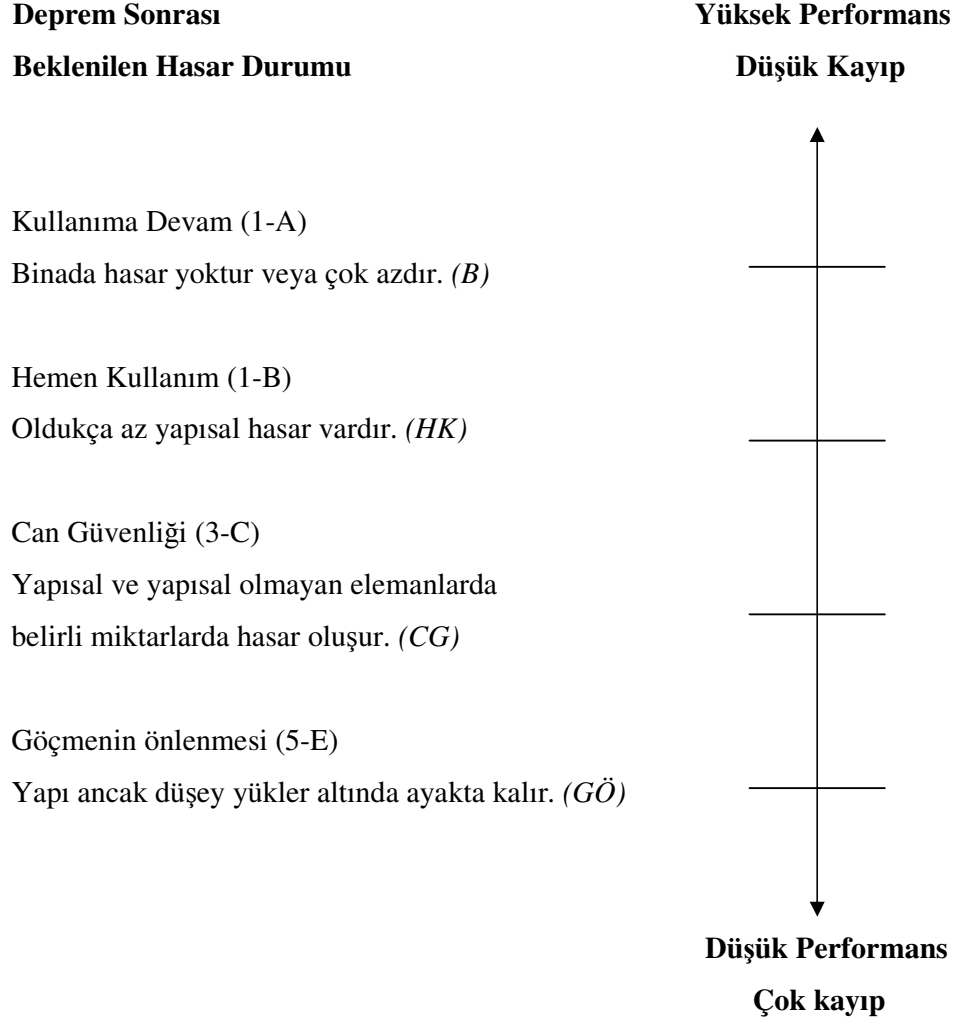
Hedeflenen Yapı Performans Seviyesi, yapısal performans seviyelerinin S-1, S-3, S-5 şeklindeki kodlamalarının sadece rakam kısmı ve yapısal olmayan performans seviyelerinin N-A, N-B, N-C, N-D, N-E şeklindeki kodlamalarından ikinci harfi alınarak 1-B (S1+NB), 3-C (S3+NC) şeklinde belirlenmektedir.

Yapı performans seviyeleri ve aralıklarını tanımlayan olası birleşim durumları Tablo 2.6' da görülmektedir.

Tablo 2.6. Hedeflenen yapı performans seviye ve aralıkları

	Yapısal Performans Seviye ve Aralıkları					
Yapısal Olmayan Performans Seviyeleri	S-1 Hemen Kullanım	S-2 Hasar Kontrol	S-3 Can Güvenliği	S-4 Sınırlı Güvenlik	S-5 Göçmenin Önlenmesi	S-6 Performansın Dikkate Alınmadığı Seviye
N-A Kullanıma Devam	Kullanıma Devam 1-A	2-A	Kullanımı Önerilmez	Kullanımı Önerilmez	Kullanımı Önerilmez	Kullanımı Önerilmez
N-B Hemen Kullanım	Hemen Kullanım 1-B	2-B	3-B	Kullanımı Önerilmez	Kullanımı Önerilmez	Kullanımı Önerilmez
N-C Can Güvenliği	1-C	2-C	Can Güvenliği 3-C	4-C	5-C	6-C
N-D Azaltılmış Hasar	Kullanımı Önerilmez	2-D	3-D	4-D	5-D	6-D
N-E Performansı n Dikkate Alınmadığı Seviye	Kullanımı Önerilmez	Kullanımı Önerilmez	Kullanımı Önerilmez	4-E	Göçmenin Önlenmesi 5-E	Kullanımı Önerilmez

Bir yapıya ait performans hedefinin belirlenmesinde, çoğu kez esas alınan performans seviyelerinin birleşimleri ise Şekil 2.1' de verilmektedir. Bu performans seviyelerine ait açıklamalar aşağıda verilmektedir.



Şekil 2.1. Yapının hedef performans seviyesinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan performans seviyeleri ve aralıkları

1-A Kullanıma Devam Yapı Performans Seviyesi (SI+NA)

Binanın yapısal ve yapısal olmayan elemanlarında hasar yoktur veya kolaylıkla onarılabilecek durumda hasar oluşmaktadır. Birtakım esas olmayan sistemler fonksiyonel olmamasına rağmen bina ikametgah ve kullanıma uygundur. Yapı sistemi deprem öncesi dayanım, rijitlik ve sünekliliğini aynen korumaktadır. Bu yapı performans seviyesinde, yapılar yaşam güvenliği açısından son derece düşük risk taşımaktadır. Yer hareketinin çok düşük durumlarında, birçok yapı bu performans seviyesini sağlamalıdır.

1-B Hemen Kullanım Yapı Performans Seviyesi (SI+NB)

Yapısal elemanlarda hasar oluşmaz veya çok az hasar meydana gelir ve yapısal olmayan elemanlarda da önemsiz hasarlar meydana gelebilir. Yapı orijinal dayanım ve rijitliğini önemli ölçüde korumaktadır. Binanın hemen kullanımı mümkün olmakla beraber, binanın normal olarak fonksiyonunu yerine getirmeden önce bir takım ufak onarımlar ya da temizlemeler yapmak gerekli olabilir. Deprem esnasında yaralanma riski oldukça düşüktür. Birçok yapı sahibi, orta şiddetli bir deprem karşısında bu performans seviyesini elde etmeyi istemektedir.

3-C Can Güvenliği Yapı Performans Seviyesi (S3+NC)

Taşıyıcı sistemde hasar mevcut olduğu halde, önemli bir kapasite kalmıştır ve taşıyıcı olmayan elemanlarda hasar kontrol altındadır. Yapı, deprem öncesi dayanım ve rijitliğinin bir kısmını yitirmiştir. Yapının tekrar oturulmadan önce onarılması gereklidir ve bu onarım ekonomik olarak pratik olmayabilir. Can güvenliği açısından risk düşüktür. Bu seviye, günümüzde yönetmeliklerin yeni yapılar için şiddetli depremlerde öngördüğü performans seviyesinden biraz daha düşük olarak tanımlanır.

5-E Göçmenin Önlenmesi Yapı Performans Seviyesi (S5+NE)

Yapı ancak düşey yükler altında stabilitesini koruyabilmektedir. Yapı, deprem öncesi dayanım ve rijitliğinin önemli bölümünü kaybetmiştir. Ana şoku takip edecek artçı depremler karşısında yapının ayakta kalması zordur. Taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlardaki hasarlardan can güvenliği tehlikesi mevcuttur. Ekonomik kayıp büyüktür ve yapının kullanılmaması gerekir.

Bunların dışında tanımlanmış iki yapı performans seviyesi daha vardır:

3-B Yapı Performans Seviyesi (S3+NB)

Bu seviyede taşıyıcı elemanlardaki hasar, binanın kullanımına engel olmamaktadır. Bu tür performans seviyesinin bütün bir bina için öngörülmesi yerine, binanın kontrol merkezi ve bilgisayar merkezi gibi önemli hacimleri için kabul edilmesi uygun olabilir.

3-D Yapı Performans Seviyesi (S3+ND)

Taşıyıcı elemanlarda can güvenliği ve taşıyıcı olmayan elemanlarda azaltılmış hasar seviyelerinin birleşimidir. Yönetmeliklerde bulunan 50yıl/%10 olasılık deprem tanımını alarak yapılan ve deprem kuvvetlerinin %75' ini alarak yapılan güçlendirme müdahalesinin böyle bir performans seviyesi sağladığı kabul edilebilir.

2.3. Yeni Deprem Yönetmeliğinin Yaklaşımı

Ülkemizde Mart 2007'de yürürlüğe girmiş bulunan yeni Deprem Yönetmeliği' ne göre, mevcut binalardan bilgi toplanması kapsamında yapılacak işlemler; yapısal sistemin tanımlanması, bina geometrisinin, temel sisteminin ve zemin özelliklerinin belirlenmesi, varsa mevcut hasarın ve önceden yapılmış olan değişiklik ve/veya onarımların belirlenmesi, eleman boyutlarının ölçülmesi, malzeme özelliklerinin saptanması, sahada derlenen tüm bu bilgilerin varsa projesine uygunluğunun kontrolüdür.

Mevcut binaların taşıyıcı sistem elemanlarının kapasitelerinin hesabında ve deprem dayanımlarının değerlendirilmesinde kullanılacak eleman detayları ve boyutları, taşıyıcı sistem geometrisine ve malzeme özelliklerine ait bilgiler, bina projelerinden ve raporlarından, binada yapılacak gözlem ve ölçümlerden, binadan alınacak malzeme örneklerine uygulanacak deneylerden elde edilecektir. Mevcut durum bilgilerinin kapsamına göre her bina türü için bilgi düzeyi ve buna bağlı olarak bilgi düzeyi katsayıları tanımlanarak, taşıyıcı eleman kapasitelerinin hesaplanmasında kullanılacaktır. Bilgi düzeyleri sırasıyla sınırlı, orta ve kapsamlı bilgi düzeyleri olarak sınıflandırılır.

a- Sınırlı Bilgi Düzeyi: Binanın taşıyıcı sistem projeleri mevcut değildir. Taşıyıcı sistem özellikleri binada yapılacak ölçümlerle belirlenir.

b- Orta Bilgi Düzeyi: Eğer binanın taşıyıcı sistem projeleri mevcut değilse, sınırlı bilgi düzeyine göre daha fazla ölçüm yapılır. Projeler mevcut ise sınırlı bilgi düzeyinde belirtilen ölçümler yapılarak proje bilgileri doğrulanır.

c- Kapsamlı Bilgi Düzeyi: Binanın taşıyıcı sistem projeleri mevcuttur. Proje bilgilerinin doğrulanması için orta bilgi düzeyine göre kapsamlı ölçümler yapılır.

Türk Deprem Yönetmeliği'nde bu bilgi düzeyleri için yapılacak olan çalışmalar betonarme, çelik, prefabrike betonarme ve yığma binalar için ayrı ayrı açıklanmıştır. Deprem performansı tanımları olarak; hemen kullanım (HK), can güvenliği (CG) ve

göçmenin önlenmesi (GÖ) hasar durumları (performans seviyeleri) kullanılmıştır. Bu performans seviyelerinin ATC-40 ve FEMA-356 yaklaşımlarındaki karşılıkları Tablo 2.7’de verilmektedir.

Tablo 2.7. Performans seviyelerinin yönetmeliklerdeki karşılıkları

Performans Seviyeleri (ATC-40, FEMA-356)	Türk Deprem Yönetmeliği
Kullanıma devam performans aralığı	Minimum hasar bölgesi (Hemen kullanım performans aralığı)
Kullanıma devam performans seviyesi Hemen kullanım performans seviyesi	Belirgin hasar bölgesi (Hemen kullanım performans seviyesi- Can güvenliği performans seviyesi)
Hemen kullanım performans seviyesi Can güvenliği performans seviyesi	
Can güvenliği performans seviyesi Göçmenin önlenmesi performans seviyesi	İleri hasar bölgesi (Can güvenliği performans seviyesi- Göçmenin önlenmesi performans sev.)
Göçme bölgesi	Göçme bölgesi

2.4. Yapının Hedeflenen Performans Seviyesinin Belirlenmesi

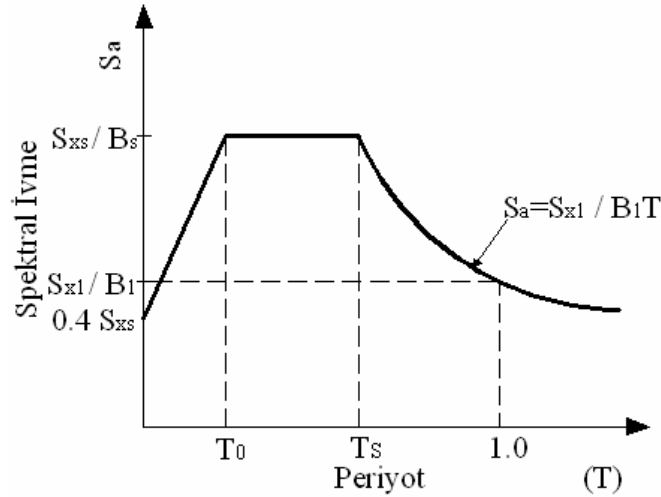
Performans kavramına dayalı tasarımda, talep edilen bina performans seviyesi ile buna karşılık gelen (karşılması gereken) deprem şiddet seviyesinin belirlenmiş olması gerekmektedir. Deprem etki seviyesinin belirlenmesi ancak spektrum eğrisinin tanımlanması ile yapılmaktadır. Tanımlamada depremin 50 yıl içindeki “aşılma olasılığı” parametresi ile belirtilen büyüklükteki talep depremleri arasındaki ortalama zaman aralığı (tekerrür periyodu) parametresinden faydalanılmaktadır. Bu iki parametre arasındaki ilişki Tablo 2.1’ de verilmiştir.

Tasarımda kullanılacak yer hareketi iki farklı biçimde ifade edilmektedir. Bunlar;

- *Probabilistik Yaklaşım:* Tasarımı konu yer hareketinin ortaya çıkma olasılığının asıl parametre olduğu yaklaşımdır.
- *Deterministik Yaklaşım:* Belirli bir bölge ya da fayda oluşması beklenen depremin, en büyük değerinin (genellikle ivme) belirleyici parametre olduğu yaklaşımdır.

2.4.1. Genel Spektrum Eğrisi

Yeni bir binanın projesinin oluşturulmasında göz önüne alınacak amaç, deprem ve bina performans seviyesine bağlı olarak Tablo 2.2’ de verilmektedir. Burada *Temel Güvenlik Depremi-I (TGD-1)* ve *Temel Güvenlik Depremi-II (TGD-2)* olarak iki deprem etkisi tanımlanmaktadır. Bu amaçlardan herhangi birinin seçiminde belirleyici olan parametreler şunlardır: Varsa güçlendirme işleminin maliyeti, bina güvenliğinin artırılması, depremde hasarın azaltılması veya binada kullanımın devam etmesi talebidir. Mevcut binaların güvenliklerinin incelenmesinden bu amaçlardan yaygın olarak *TGD-1*’ de “can güvenliği” ve *TGD-2*’ de “toptan göçmenin önlenmesi” kabul edilmektedir. Ancak, yeni bina projelendirilmesinde çok daha kapsamlı seçenekler söz konusu olabilir. FEMA tarafından hazırlanan haritalar *TGD-1* ve *TGD-2* depremlerinin spektrumunu oluşturmak için gerekli parametrelerin değerlerini içermektedir. Bu haritalardan, binanın bulunduğu bölge ile ilgili spektral değerler olan ve spektrum eğrisinin oluşturulmasında kullanılacak, kısa periyot ivme parametresi S_s ve bir saniye periyot ivme parametresi S_1 değerleri bulunmaktadır. Şekil 2.2’ de bu parametreler kullanılarak elde edilen x doğrultusunda spektrum değişimi verilmektedir. Bu iki depremin spektral değerleri arasında bazı belgelerde 2/3 gibi yaklaşık oranın bulunduğu belirlenmektedir (Celep, Z., Kumbasar, N., 2004) .



Şekil 2.2. Genel spektrum eğrisi (Celep, Z., Kumbasar, N., 2004)

Bu değerlerin aşılma olasılıklarındaki farklılıkları göz önünde bulundurarak spektral verilerin değerlendirilmesi gerekmektedir. Örneğin *TGD-2* kısa periyot parametresi $S_s < 1.5g$ ise, aşılma olasılığının %2/50 ve %10/50 arasında bulunması aşağıdaki ifadede kullanılabilir:

$$\ln(S_i) = \ln(S_{i10/50}) + [\ln(S_{iTGD-2}) - \ln(S_{i10/50})][0.606 \ln(P_R) - 3.73]$$

$$P_R = \frac{1}{1 - [1 - P_{E50}]^{0.02}} \quad (2.1)$$

Burada;

S_i : istenilen aşılma olasılığı için spektral ivme parametresi ($i=S$ ve $i=I$)

$S_{i10/50}$: %10/50 aşılma olasılığı için spektral ivme parametresi ($i=S$ ve $i=I$)

S_{iTGD-2} : TGD-2 için spektral ivme parametresi ($i=S$ ve $i=I$)

P_R : istenilen hasar seviyesinin aşılma olasılığına karşı gelen depremin ortalama dönüş periyodu

P_{E50} : istenilen hasar seviyesinin 50 yılda aşılma olasılığı

Bu formülün kullanılmadığı durumlarda ;

$$S_i = S_{i10/50} \left(\frac{P_R}{475} \right)^n \quad (2.2)$$

ifadesi kullanılır. Burada, deprem bölgesine bağlı olan n katsayısı S_s ve S_1 için farklı olup, 0.30–1.25 arasında değişmektedir.

Kısa periyot spektral ivme parametresi S_{XS} ve bir saniye spektral ivme parametresi S_{X1}

$$S_{XS} = F_a S_s \quad S_{X1} = F_y S_1 \quad (2.3)$$

şeklinde hesaplanmaktadır.

Zemin özelliklerini göz önüne alan F_a ve F_y değerleri Tablo 2.8 ve Tablo 2.9'da tanımlanmaktadır. Görüldüğü gibi zemin iyileştikçe bu parametreler için daha küçük değerler öngörülmektedir. Ayrıca, küçük S_s ve S_1 değerlerinde, zemin özelliklerinin spektrum eğrisine etkisi daha büyük olmaktadır. Buradaki zemin sınıfları Tablo 2.10'da tanımlanmaktadır.

Tablo 2.8. S_s kısa periyot spektral parametresine bağlı F_a değerleri (Celep, Z., Kumbasar, N., 2004)

Zemin sınıfı	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.50$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.00$	$S_s \geq 1.25$
S_A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
S_B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
S_C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
S_D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
S_E	2.5	1.7	1.2	0.9	*
S_F	*	*	*	*	*

(*özel geoteknik inceleme ve dinamik bölge analizi yapılmalıdır)

Tablo 2.9. S_1 bir saniye periyot spektral parametresine bağlı F_y değerleri (Celep, Z., Kumbasar, N., 2004)

Zemin sınıfı	$S_s \leq 0.1$	$S_s = 0.2$	$S_s = 0.3$	$S_s = 0.4$	$S_s \geq 0.5$
S_A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
S_B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
S_C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
S_D	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
S_E	3.5	3.2	2.8	2.4	*
S_F	*	*	*	*	*

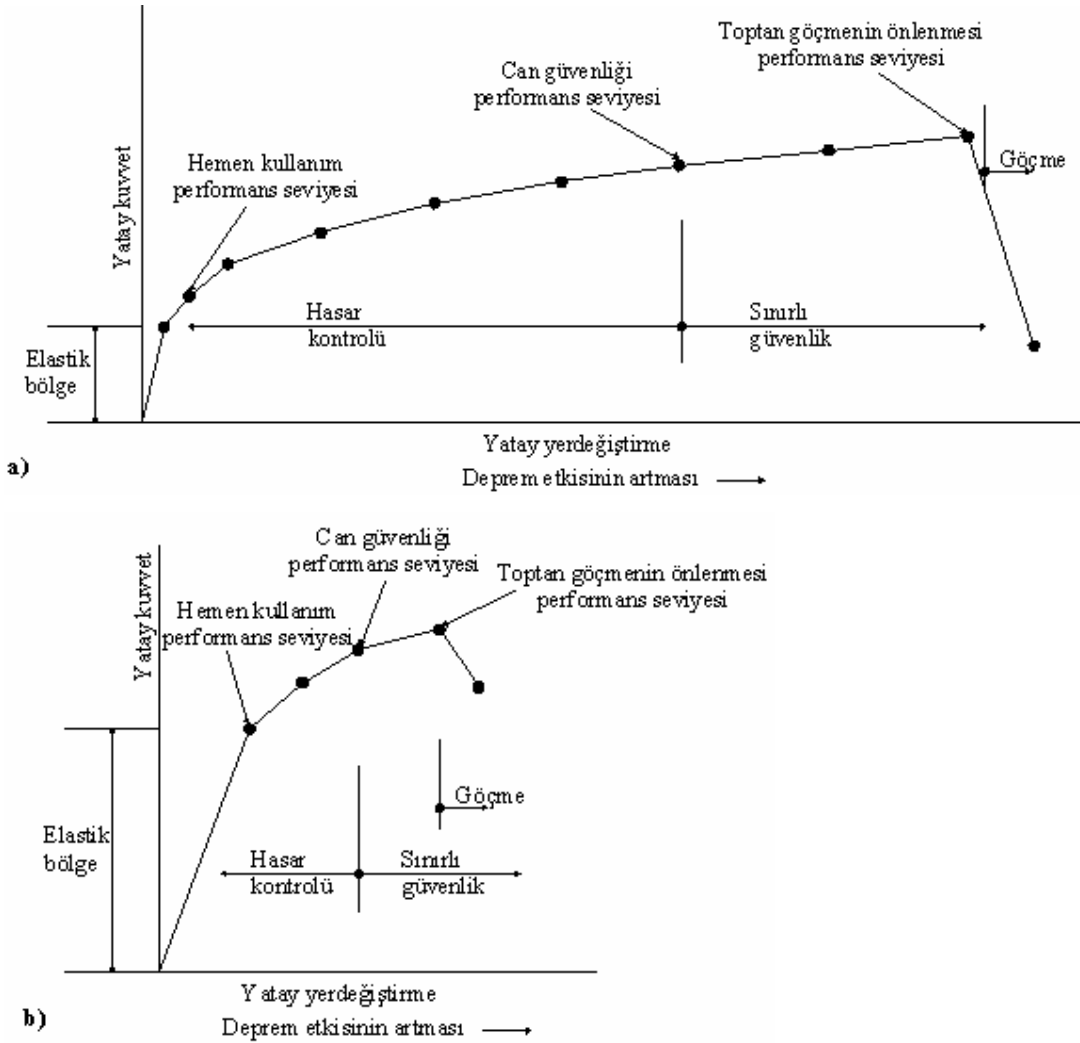
(*özel geoteknik inceleme ve dinamik bölge analizi yapılmalıdır)

2.4.2. Sünek ve Sünek Olmayan Yapı Kapasite Eğrilerinin Kıyaslanması

FEMA-356'da bina için öngörülen performans seviyeleri ATC-40'daki ile benzerdir. Sadece *yapısal stabilize performans seviyesi*, *toptan göçmenin önlenmesi performans seviyesi* olarak isimlendirmektedir. Şekil 2.2.a' da sünek bir yapıda artan taban kesme kuvvetine bağlı olarak meydana gelen yanal yerdeğiştirme gösterilmektedir. Ayrıca, bu şekilde performans seviyeleri de görülmektedir. Hemen kullanım seviyesinde hasar sınırlı kalmıştır. Bina ilk rijitliğinin büyük bir kısmını veya muhtemelen hepsini korumaktadır. Can güvenliği seviyesinde binada önemli hasarlar meydana gelmiş ve bina ilk rijitliğinin önemli bir kısmını kaybetmiştir. Bununla beraber, göçme ortaya çıkmadan oluşacak ek yanal yerdeğiştirme kapasitesi bulunmaktadır. Genel olarak, can güvenliği seviyesini sağlayan binanın, toptan göçmeye erişmeden en az %33 daha büyük yanal yerdeğiştirme yapabileceği kabul edilebilir. Toptan göçmenin önlenmesi seviyesinde,

binada önemli hasar meydana gelmiştir. Bu seviyenin üstüne çıkıldığında, bina kararsız duruma gelecek ve göçecektir. Şekil 2.2.b sünek olmayan davranış durumunda taban kesme kuvveti ile yanal yerdeğiştirme eğrisini göstermektedir. Tanımlanan üç performans seviyesinin burada daha küçük aralıklarla oluştuğu görülmektedir.

Her bir performans amacı, bir yandan belirli bir Deprem Hasar Seviyesi ve diğer yandan belirli bir Bina Performans Seviyesi öngörülerek tanımlanmaktadır. İşlem sırasında binanın her elemanı birincil (ana) ve ikincil (tali) eleman olarak sınıflandırılmaktadır. Ana elemanlar, taşıyıcı sistemin deprem etkisi altında göçmesini doğrudan engelleyen türdendir. Bu elemanlarda kısmi dayanım ve rijitlik kaybının meydana gelmesine müsaade edilmektedir. Binadaki performans seviyeleri, taşıyıcı olan ve olmayan elemanların performans seviyesine bağlı olarak Şekil 2.1' de gösterilmektedir.



Şekil 2.3. Sünek olan ve olmayan yapılarda performans seviyeleri ve yerdeğiştirme

2.4.3. Elastik Talep Spektrumu

Deprem etkisini temsil eden elastik spektrum eğrisi Amerikan Yapı Yönetmeliğindeki C_A ve C_V parametrelerine bağlı olarak tanımlanmaktadır. Bu parametreler; binanın bulunduğu deprem bölgesine, bilinen bir deprem kaynağına olan uzaklığına bağlı olarak ilgili tablolardan alınmaktadır. Buna göre deprem bölge katsayısı Z , deprem etkisi türü katsayısı E ve bilinen deprem kaynağından uzaklığı katsayısı N çarpımından oluşan ZEN parametresine ve zemin sınıfına bağlı olarak C_A ve C_V parametreleri belirlenmektedir.

2.4.3.1. Zemin Sınıfları

Amerikan Yapı Yönetmeliğinde dikkate alınan zemin sınıfları Tablo 2.10'da verilmektedir. Eğer zemin hakkında yeterli veri toplanamıyorsa bu tür zeminler S_F sınıfı olarak tanımlanmaktadır.

Tablo 2.10. Zemin sınıflarının tanımı (Celep, Z., Kumbasar, N., 2004)

Zemin sınıfı ve tanımı	S_A	S_B	S_C	S_D	S_E	S_F
	Sert kaya	Kaya	Çok sıkı zemin, yumuşak kaya	Sert zemin	Yumuşak zemin	Yerel zemin incelemesi gerekli

2.4.3.2. Deprem Bölge Katsayısı

Bir bölge için deprem karakteristiği, bölgenin aktif faylara olan uzaklığına ve zemin özelliklerine göre belirlenmektedir. Tablo 2.11.'de deprem bölge katsayısı değerleri verilmektedir.

Tablo 2.11. Deprem bölge katsayısı

Bölge	1	2A	2B	3	4
Z	0.0075	0.15	0.20	0.30	0.40

2.4.3.3. Kaynağa Mesafe Katsayıları N_A ve N_V

Bazı Amerikan yönetmeliklerinde Türk Deprem Yönetmeliğinde dikkate alınmayan kaynağa mesafe katsayıları dikkate alınmaktadır. Deprem kaynağı türüne bağlı kaynağa mesafe katsayıları Tablo 2.12’de verilmektedir.

Tablo 2.12. Kaynağa mesafe katsayısı N_A ve N_V (Celep, Z., Kumbasar, N., 2004)

Deprem kaynağı türü	Deprem kaynağına mesafe							
	$\leq 2\text{km}$		5 km		10 km		$\geq 15\text{ km}$	
	N_A	N_V	N_A	N_V	N_A	N_V	N_A	N_V
A: Büyük deprem oluşturan kaynak	1.5	2.0	1.2	1.6	1.0	1.2	1.0	1.0
B: Orta deprem oluşturan kaynak	1.3	1.6	1.0	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0
C: Küçük deprem oluşturan kaynak	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

Deprem katsayısı C_A ve C_V ‘nin değerleri $A_o \times E \times N_A$ ve $A_o \times E \times N_V$ katsayılarının çarpımına ve zemin türüne bağlı olarak oluşturulmaktadır. Sert zeminler için bu iki C_A ve C_V değeri $A_o \times E \times N_A$ ($A_o \times E \times N_V$) doğrudan çarpımına eşit kabul edilmektedir. Zemin değerlerinin düşük olduğu bölgelerde C_A değeri sismik etkilerin şiddetli olduğu bölgeler için %10 ve küçük olduğu bölgeler için de %100 arttırılmaktadır. Buna karşılık C_V değeri sismik etkilerin şiddetli olduğu bölgeler için %50 kadar, küçük olduğu bölgeler için ise üç kat arttırılarak kullanılmaktadır. E katsayısı seçilen deprem etkisine bağlı olup, 0.5 (*kullanma depremi*), 1.0 (*tasarım depremi*) ve 1.25 ~ 1.5 (*maksimum deprem*) değerlerini alır. Burada N_A ve N_V katsayıları ile binanın bilinen bir deprem kaynağına olan uzaklığı göz önüne alınmaktadır. 15 km’den yakında bir deprem kaynağı bulunmaması durumunda 1.0 olan bu katsayılar 2 km’den daha yakın bir kaynak olması durumunda $N_A = 1.5$ ve $N_V = 2.0$ değerlerine kadar çıkmaktadır (Tablo 2.13 ve Tablo 2.14).

Tablo 2.13. Deprem katsayısı C_A

Zemin sınıfı	Deprem katsayısı ZEN ¹					
	=0.075	=0.15	=0.20	=0.30	=0.40	>0.40
S_A	0.08	0.15	0.20	0.30	0.40	1.0*ZEN
S_B	0.08	0.15	0.20	0.30	0.40	1.0*ZEN
S_C	0.09	0.18	0.24	0.33	0.40	1.0*ZEN
S_D	0.12	0.22	0.28	0.36	0.44	1.1*ZEN
S_E	0.19	0.30	0.34	0.36	0.36	0.9*ZEN
S_F	Yerel zemin incelemesi gerekli					

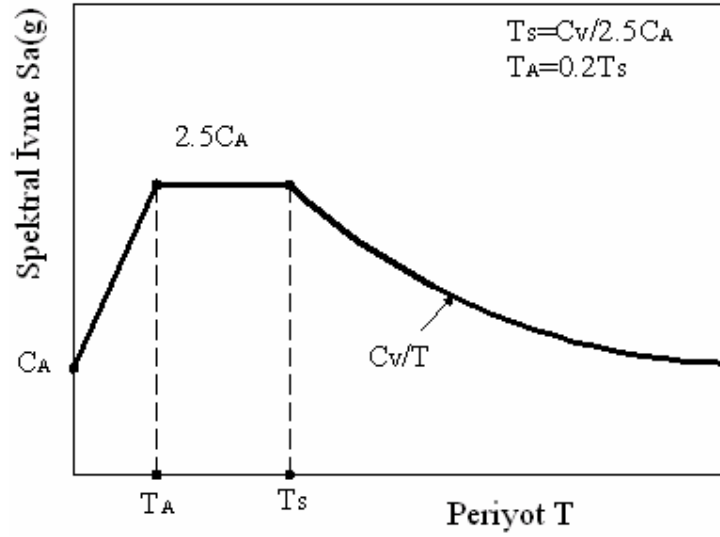
[¹E=0.5 kullanma depremi, E=1.0 tasarım depremi, E=1.25 (Bölge 4) veya 1.5 (Bölge3) maksimum deprem]

Tablo 2.14. Deprem katsayısı C_V

Zemin sınıfı	Deprem katsayısı ZEN ¹					
	=0.075	=0.15	=0.20	=0.30	=0.40	>0.40
S_A	0.08	0.15	0.20	0.30	0.40	1.0*ZEN
S_B	0.08	0.15	0.20	0.30	0.40	1.0*ZEN
S_C	0.13	0.25	0.32	0.45	0.56	1.4*ZEN
S_D	0.18	0.32	0.40	0.54	0.64	1.6*ZEN
S_E	0.26	0.50	0.64	0.84	0.96	2.4*ZEN
S_F	Yerel zemin incelemesi gerekli					

[¹E=0.5 kullanma depremi, E=1.0 tasarım depremi, E=1.25 (Bölge 4) veya 1.5 (Bölge3) maksimum deprem]

Elastik spektrum eğrisi Şekil 2.4.' te verilmektedir. Burada C_A değeri yer hareketinin etkili maksimum ivmesine, $2.5C_A$ da %5'lik sönümlü kısa periyotlu sistemin maksimum ortalama ivmesine karşılık gelmektedir. C_V ise periyodu 1 s olan %5 sönümlü sistemin spektrum değeri olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 2.4. Elastik talep spektrumu (Celep, Z., Kumbasar, N., 2004)

2.5. Taşıyıcı Sistemin Deprem Etkisi Altında Değerlendirilmesi

Son yıllarda meydana gelen depremlerde yapılarda meydana gelen hasarlar ve bunlara bağlı olarak ortaya çıkan ekonomik kayıplar çok büyük olmuştur. Bu depremler, hasar kontrolünün, dolayısıyla performansa dayalı tasarım ve değerlendirmenin çok önemli olduğu gerçeğini ortaya çıkarmıştır.

Yapıların performansının belirlenmesinde doğrusal olmayan statik ve dinamik analiz yöntemleri kullanılmaktadır.

FEMA-356 binaların taşıyıcı sistemlerinin projelendirilmesinde ve güçlendirilmesinde dört tür çözümleme yöntemi önermektedir. Bunlardan ikisi *Doğrusal Statik Çözümleme* ile *Doğrusal Dinamik Çözümleme*' dir. Bu çözümlemeler doğrusal elastik davranışı esas almaktadır. Bu işlemlerde, geometri bakımından doğrusal olmayan davranış da göz önüne alınabilir. Çözümleme doğrusal olmasına rağmen, beton ve yığma elemanların kesitlerinde çatlama özellikleri göz önüne alındığı için belirli ölçüde malzemenin doğrusal olmayan davranışı da göz önüne alınmış olur. *Doğrusal Olmayan Statik Çözümleme* ve *Doğrusal Olmayan Dinamik Çözümleme*' de malzemenin doğrusal olmayan davranışı hesaba katılmaktadır.

Doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemlerinin kullanılması ile yapıların doğrusal olmayan davranışını gerçeğe yakın bir şekilde belirlemek mümkün olmaktadır. Ancak bu yöntemler oldukça karmaşık, zaman alıcı ve çok fazla yerel deprem kaydı gerektirdiğinden

uygulama açısından çok pratik olmamaktadır. Bu nedenle, uygulanması dinamik yöntemlere göre daha kolay olan doğrusal olmayan statik analiz yöntemleri üzerinde yoğunlaşmış ve bu konuda çalışmalar önem kazanmıştır.

Bu çalışmada *Doğrusal Olmayan Statik Analiz Yöntemi* kullanılacağından yalnızca bu yöntem açıklanacaktır.

2.5.1. Doğrusal Olmayan Statik Analiz Yöntemleri

Yapıların deprem hareketi altındaki performanslarının belirlenmesinde kullanılan doğrusal olmayan statik analiz yöntemleri, yapının yatay kuvvetler altındaki davranışını temsil eden yatay kuvvet-yatay yerdeğiştirme ($P-\Delta$) ilişkisinin malzeme ve geometri bakımından doğrusal olmayan teoriye göre belirlenmesi ve değerlendirilmesi esasına dayanmaktadır. Kapasite eğrisinden faydalanılmak sureti ile yapının zayıf elemanları, bunların yerleri ve oluşma bölgeleri ve kısmi veya toptan göçme mekanizmaları belirlenebilmektedir. Ayrıca yapının belli bir deprem etkisi altında kendisinden beklenen performans hedefini gerçekleştirip gerçekleştirilemeyeceği kontrol edilebilmektedir.

Doğrusal olmayan statik analiz yöntemleri ile yapının performansının değerlendirilmesi, kuvvet bazlı ve yerdeğiştirme bazlı değerlendirme olarak ikiye ayrılmaktadır. Bununla ilgili olarak; ATC-40 (1996)'ta *Kapasite Spektrum Yöntemi*, FEMA-356'da yerdeğiştirme bazlı performans kriterlerinin esas alındığı *Yerdeğiştirme Katsayısı Yöntemi* ve FEMA-273 (1997)'te *Yerdeğiştirme Katsayıları Yöntemi* önerilmektedir.

Doğrusal olmayan statik analiz (itme analizi), binanın kapasite eğrisini elde etmek için yapılan bir artımsal statik serisine dayanmaktadır. Kapasite eğrisi de taban kesme kuvvetinin en üst kat yerdeğiştirmesi ($V_b - \Delta_N$) ile değişiminden oluşmaktadır. Bu analizle, yapının; süneklik kapasitesi, dinamik yüklere dayanımı, taşıyıcı sistemlerde oluşan hasarlar belirlenebilmektedir.

2.5.1.1. Kapasite Spektrumu Yöntemi (ATC-40)

Artan deprem yükleri altındaki bir yapıda doğrusal olmayan şekil değiştirmeler meydana gelir. Bu şekil değiştirmeler yapının sönümünü artırır ve dolayısıyla deprem talebini azaltır. Kapasite Spektrumu Yöntemi'nde; yapıda meydana gelen doğrusal

olmayan şekil değiştirmelere bağlı olarak, elastik talep spektrumu indirgenerek kapasite ve talebin eşit olduğu nokta belirlenmektedir. *Performans noktası* adı verilen bu noktada yapıdan beklenen performans hedefinin gerçekleşip gerçekleşmediği kontrol edilmektedir.

2.5.1.1.1. Kapasite Spektrum Eğrisi

Aşağıdaki formüller yardımıyla dinamiğin temel ilkeleri kullanılarak, herhangi bir deprem etkisi altında çok serbestlik dereceli bir sistemde j . XLIVoda meydana gelen taban kesme kuvveti ile bu kuvvetin katlara göre dağılımı hesaplanabilmektedir:

$$V_{bj}(t) = M^*_{j} A_j(t) \quad f_{nj}(t) = M^*_{j} \frac{m_n \phi_{nj}}{\sum_{i=1}^N m_i \phi_{ij}} A_j(t) \quad (2.4)$$

Esas alınan depreme ait spektrum değerleri kullanılarak en büyük ivme değerleri (spektral değerler) elde edilebilmektedir. Deprem etkisinde yapıda önemli etkiyi birinci mod meydana getirdiği için, sadece bu mod göz önüne alınır;

$$V_{b1} = g M_1^* S_{a1} = \alpha_1 W S_{a1} \quad \alpha_1 = \frac{M_1^*}{M} = \frac{M_1^* g}{W} \quad M = \sum_{i=1}^N m_i \quad (2.5.a)$$

$$W = \sum_{i=1}^N w_i = \sum_{i=1}^N m_i g \quad M_1^* = \frac{\left(\sum_{i=1}^N m_i \phi_{i1} \right)^2}{\sum_{i=1}^N m_i \phi_{i1}^2} \quad \alpha_1 = \frac{\left(\sum_{i=1}^N w_i \phi_{i1} \right)^2}{\left(\sum_{i=1}^N w_i \right) \left(\sum_{i=1}^N w_i \phi_{i1}^2 \right)} \quad (2.5.b)$$

olarak yazılabilmektedir. Burada, S_a ivme spektrum değeri Şekil 2.3. 'te genel olarak verildiği gibi boyutsuz kabul edilmiş ve g yerçekimi ivmesi ile boyutlu duruma getirilmiştir. Bulunan taban kesme kuvvetinin katlara dağıtılması

$$f_{n1} = \alpha_1 W \frac{w_n \phi_{n1}}{\sum_{i=1}^N w_i \phi_{i1}} S_{a1} \quad (2.6)$$

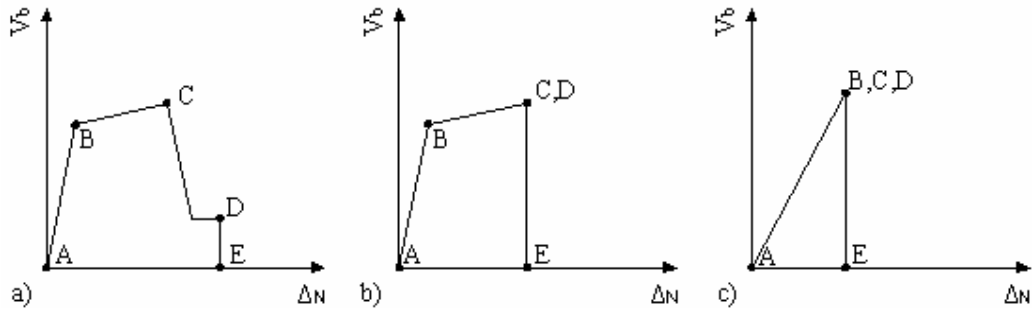
formülüne uyularak yapılmaktadır. Tanımlanan bu yatay kuvvetler altında yatay kat yerdeğiştirmeleri (v_{n1}) ile en üst katı temsil eden N . Katın yer değiştirmesi (Δ_N), sistemin özellikleri kullanılarak aşağıdaki formüller yardımıyla bulunabilmektedir:

$$v_{n1} = \Gamma_1 \phi_{n1} S_{d1} \quad \Delta_N = \Gamma_1 \phi_{N1} S_{d1} \quad \Gamma_1 = \frac{\sum_{i=1}^N m_i \phi_{i1}}{\sum_{i=1}^N m_i \phi_{i1}^2} \quad (2.7)$$

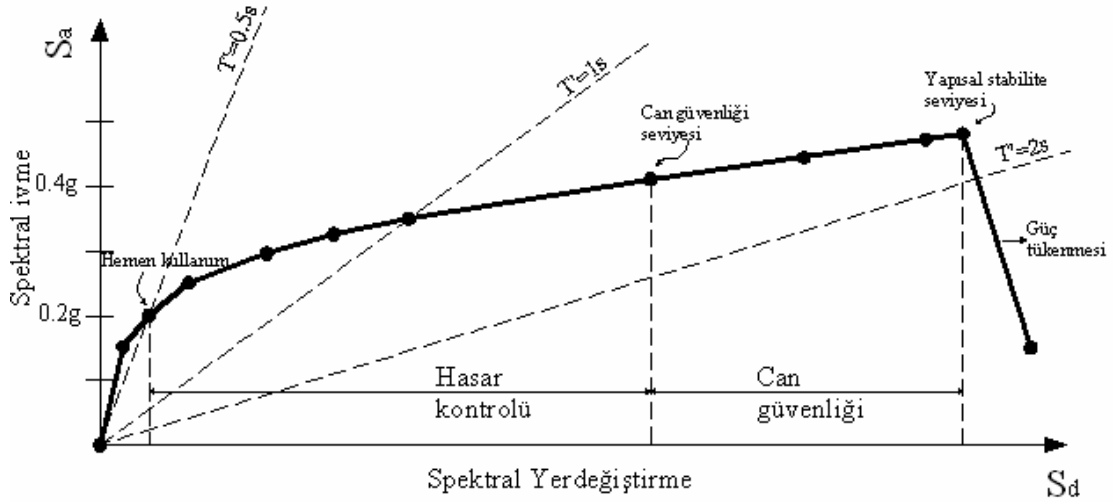
Burada S_{a1} ve S_{d1} birinci moda ait spektral ivme ve yerdeğiştirme değerleri, Γ_1 birinci moddaki kütle dağılım katsayısı ve ϕ_{N1} ise birinci moddaki en üst kata ait yerdeğiştirme değeridir. Bundan sonra daima birinci mod söz konusu olacağı için bu indis yazılmadan ifadeler;

$$S_a = \frac{V_b}{\alpha_1 W} \quad S_d = \frac{\Delta_N}{\Gamma_1 \phi_{N1}} \quad (2.8)$$

olarak basitleştirilmektedir. Böylece bir sisteme etkiyen (V_b) taban kesme kuvveti (toplam yatay deprem yükü) ile (Δ_N) en üst katın yerdeğiştirmesi arasında mevcut olan bu bağıntı, yukarıdaki ifadeler kullanılarak $S_d - S_a$ düzleminde bir spektrum eğrisine dönüştürülmektedir. Bulunacak $V_b - \Delta_N$ bağıntısı ve buna bağlı $S_d - S_a$ eğrisi taşıyıcı sistemin geometrik boyutlarıyla birlikte kesit kapasitelerine de bağlı olacağı için *Kapasite Spektrum Eğrisi* olarak isimlendirilmektedir. Burada, sisteme etkiyen V_b toplam yükünün sistemdeki dağılımı birinci mod ve kat ağırlıkları ile orantılıdır. Şekil 2.5.' te basitleştirilmiş tipik $V_b - \Delta_N$ değişimleri gösterilmektedir.



Şekil 2.5. Basitleştirilmiş tipik yatay yük-yerdeğiştirme değişimleri



Şekil 2.6. Taşıyıcı sistemde kapasite spektrumu eğrisi

Taşıyıcı sistemin deprem etkisi altındaki davranışını karakterize eden grafik en üst kat yerdeğiştirmesinin yatay kuvvete bağlı olarak çizilmektedir. Bu grafiğin eksenleri S_a - S_d değerlerinden oluşmaktadır (bkz. Şekil 2.6). Bu grafikte orjinden geçen doğrular sabit periyot değerlerine karşı gelmektedir. Yükleme devam ettikçe rijitlik azalmakta ve buna bağlı olarak periyot artmaktadır. Verilen bu eğrinin doğrusal bölümü, taşıyıcı sistemin elastik davranmasına karşılık gelmektedir. Yükün artması ile sistemdeki plastik şekil değiştirmeler sonucu sistem yumuşamakta ve rijitlik azalmaktadır. Eğrinin bu bölümünde kesitlerdeki betonlarda dökülmeler ve çatlamlar ile donatıda plastik şekil değiştirmeler meydana gelmektedir. Elemanlarda da plastik mafsalları oluşurken, plastik dönmeler meydana gelmektedir. Elemanlarda hasar olarak, beliren bu tür plastik şekil değiştirmeler artarak devam etmektedir. Taşıyıcı sistem en sonunda yapısal stabilite sınırına gelmekte ve güç tükenmesi ortaya çıkmaktadır. Herhangi bir yükleme adımında meydana gelen hasar ve taşıyıcı sistemde kalan ek kapasite göz önüne alınarak, “*hemen kullanım*”, “*can güvenliği*” ve “*yapısal stabilite*” performans seviyeleri tanımlanabilir. Bunun gibi, *hasar kontrolü* ve *sınırlı güvenlik* performans aralıkları oluşturulabilir ve diğer performans seviye ve aralıkları burada da tanımlanabilir (Celep, Z., Kumbasar, N., 2004).

ATC-40 benzer şekilde FEMA-356’da öngörülen performans seviyeleri artımsal itme analizi sonucunda elde edilen yatay kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi üzerinde Şekil 2.6’da gösterilmektedir.

2.5.1.1.2. Talep Spektrumunun Elde Edilmesi

Standart bir $S_a(T)$ ivme spektrum eğrisi tek serbestlik dereceli sistemin periyodu ile sistemde meydana geldiği kabul edilen mutlak ivme değerinden oluşmaktadır. Yerdeğiştirme spektrumu ile ivme spektrumu arasında yaklaşık olarak

$$S_d \approx \frac{1}{\omega^2} g \quad S_a(T) \approx \frac{T^2}{4\pi^2} g \quad S_a(T) \quad (2.9)$$

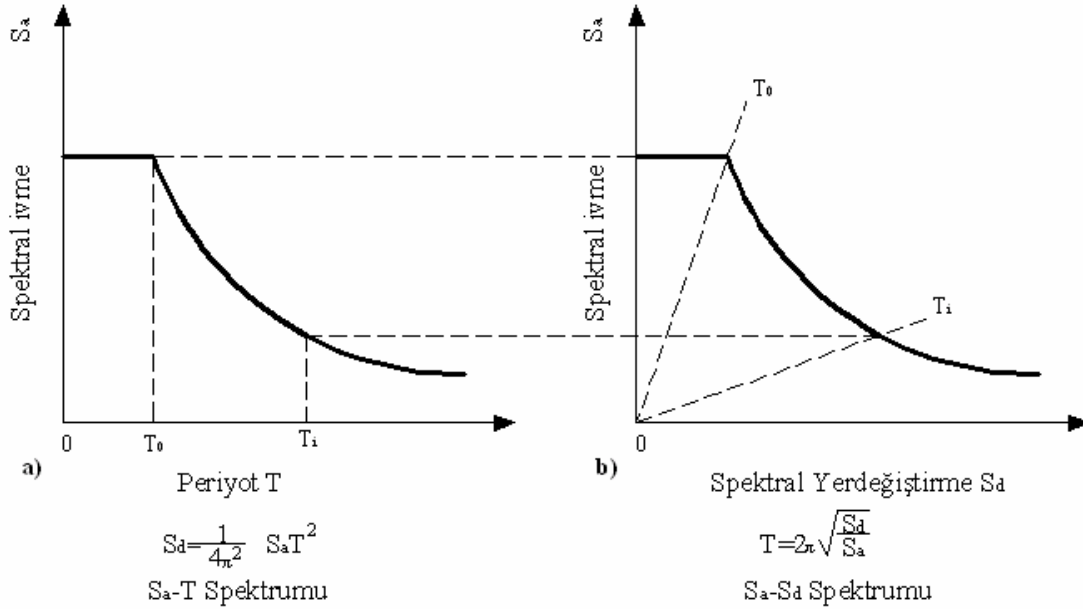
bağıntısı bulunmaktadır.

Standart talep spektrumu sabit spektral bir ivme oranını ve sabit bir ikincil spektral hız oranlarını içermektedir. T_i periyodundaki spektral ivme ve yerdeğiştirmeler aşağıdaki denklemlerle hesaplanabilmektedir.

$$S_{a_i} g = \frac{2\pi}{T_i} S_v \quad (2.10)$$

$$S_{d_i} = \frac{T_i}{2\pi} S_v \quad (2.11)$$

Şekil 2.7' de S_a-T spektrum eğrisi ve yukarıdaki bağıntı kullanılarak bu eğriden elde edilebilecek S_d-S_a spektrum eğrileri gösterilmektedir. Bu yeni eğri bir depremi karakterize etmesi bakımından *Talep Spektrumu* olarak isimlendirilmektedir.



Şekil 2.7. İvme spektrumundan talep spektrumu elde edilmesi
 (Celep, Z., Kumbasar, N., 2004)

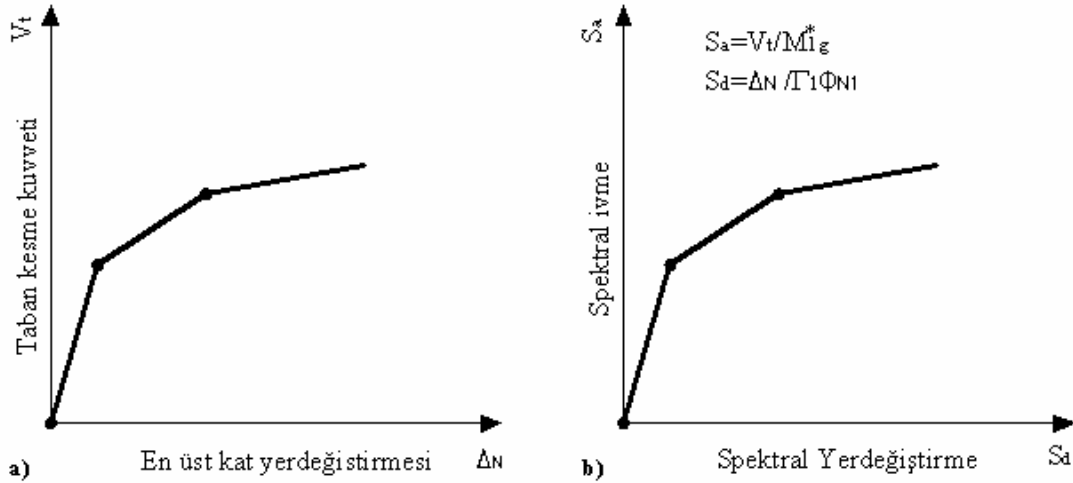
2.5.1.1.3. Kapasite Eğrisinin Kapasite Spektrumuna Dönüştürülmesi

Binalarda deprem davranışında birinci modun etkisi çok daha fazla olduğu için, çözümde birinci mod esas alınmaktadır. Birinci moddaki en büyük öteleme tepe noktasında olacağından kapasite spektrum eğrisinde sadece en üst katın yerdeğiştirmesi göz önüne alınmaktadır. Yatay yükün uygulaması sırasında yapıda düşey yüklerin bulunduğu kabul edilerek ve yatay yük adım adım artırılarak çözüm yapılmaktadır. Her adımda kesitlerdeki dönmeler hesaplanarak sistemin şekil ve yerdeğiştirmeleri bulunmaktadır. Ancak plastik mafsalları kullanarak çözümlemeyi basitleştirebilmektedir.

$$S_a = \frac{V_t}{M_1^* g} \quad (2.12)$$

$$S_d = \frac{\Delta_N}{\Gamma_1 \Phi_{N1}} \quad (2.13)$$

Taban kesme kuvveti (V_t) ile en üst katın yatay yerdeğiştirmesi (Δ_N) arasında başlangıçta rijit elastik davranış kuralları geçerli iken, yüklemenin artmaya devam etmesiyle elastik sınırı aşmış gittikçe yumuşayan bir eğri elde edilmektedir. Bu eğri, taşıyıcı sistemin yatay kuvvet karşılama kapasitesini yansıtmaktadır (Şekil 2.8.).

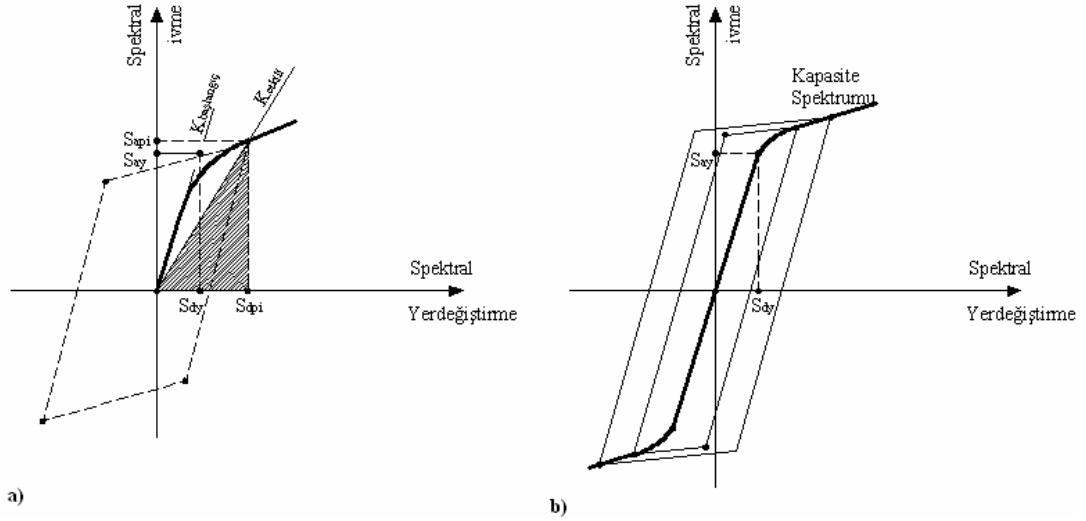


Şekil 2.8. Kapasite spektrumunun elde edilmesi (Celep, Z., Kumbasar, N., 2004)

2.5.1.1.4. Eşdeğer Sönümün Belirlenmesi

Deprem yönetmeliklerinde verilen elastik spektrum eğrileri %5'lik sönüm göz önüne alınarak elde edilmektedir. Ancak, yapı gerçekte doğrusal elastik davranış sınırlarını aşarak doğrusal olmayan bölgeye geçer ve bu sebeple öngörülen sönüm oranında bir miktar artış olur. Bu sönüm artışı doğal olarak yapının hareket esnasında yaptığı işi ve tükettiği enerji miktarını artırır. Buna ilişkin deprem etkisi altında yerdeğiştirme ile yük arasındaki veya benzer olan spektral yerdeğiştirme-spektral ivme arasındaki bağıntı Şekil 2.9' da görülmektedir. Bu grafikte diyagonalin içinde kalan alan tüketilen enerjinin bir ölçüsüdür ve aynı zamanda çevrimsel sönüm ile orantılıdır. Bu sönüm β_0 olarak eşdeğer viskoz sönüme yaklaşık olarak dönüştürülebilmektedir.

$$\beta_0 = \frac{1}{4\pi} \frac{E_D}{E_{S_0}} \quad (2.14)$$



Şekil 2.9. Spektral azaltma için sönüm elde edilmesi (Celep, Z., Kumbasar, N., 2004)

2.5.1.1.5. Etkili Sönümün Belirlenmesi

Elastik olmayan bölgede deprem etkisi altında oluşan etkili toplam sönüm oranı

β_{ef} ;

$$\beta_{ef} = 0.05 + \kappa\beta_o \quad (2.15)$$

olarak bulunabilmektedir. Burada E_D bir çevrimde sönümle tüketilen enerji olup, çevrim içinde kalan alana ve E_{S_o} aynı yük seviyesi altındaki maksimum şekil değiştirme enerjisine (Şekil 2.5' te taralı alana) karşılık gelmektedir. Geometrik bağıntıları kullanarak;

$$\beta_{ef} = 0.05 + \beta_o = 0.05 + 0.64\kappa \frac{S_{a_y} S_{d_{pi}} - S_{d_y} S_{a_{pi}}}{S_{a_{pi}} S_{d_{pi}}} \quad (2.16)$$

formülüne ulaşılabilir. Burada S_{d_y} ve S_{a_y} doğrusal elastik davranışın sınırındaki ve $S_{d_{pi}}$ ve $S_{a_{pi}}$ hedeflenen performans seviyesindeki yerdeğiştirme ve ivme spektral değerlerini göstermektedir. Çevrimsel sönümün belirlenmesinde kullanılan paralel kenarın gerçek yapıda farklı olabileceği düşünülerek bir κ düzeltme katsayısı öngörülmektedir. Çevrimsel davranışın tam oluşmadığı, yapım kalitesi düşük yapılarda bu katsayı daha küçük olarak ortaya çıkmaktadır. Yeni yapılarda sönüm çevrimi dolgun biçimde oluşacağı için düzeltme katsayısı büyük ve eski yapılarda ise enerji tüketimi daha az olacağı için küçük olacaktır. Bunun gibi deprem süresinin uzun olması durumunda enerji tüketimi artacağı için, kısa süreli depreme göre düzeltme katsayısı büyük olacaktır (Tablo 2.15 ve Tablo 2.16).

Tablo 2.15. Yapı davranış türü

Deprem süresi	Genel olarak yeni bina	Ortalama mevcut bina	Zayıf mevcut bina
Kısa	Tip A	Tip B	Tip C
Uzun	Tip B	Tip C	Tip C

Tablo 2.16. Sönüm değiştirme katsayısı κ

Yapı davranış türü	A	B	C
κ	1.00	0.67	0.33

2.5.1.1.6. Elastik Talep Spektrumunun Sönüm ile Azaltılması

% 5 sönümlü elastik talep spektrumu, spektral azaltma katsayıları kullanılarak bir talep spektrumuna dönüştürülebilmektedir.

Doğrusal olmayan davranışın göz önüne alınması için tanımlanan etkili sönüm değerlerine (β_{ef}) bağlı olarak talep spektrumunda SR_A ve SR_V katsayıları (Tablo 2.17) ile azaltma yapılmaktadır. Bu katsayılar, yapıda deprem etkisine bağlı olarak çıkacak olan sönüme ve yapı davranış türüne bağlı olarak aşağıdaki formüllerle daha gerçekçi hesaplanmaktadır.

$$SR_A = \frac{1}{2.12} [3.21 - 0.68 \ln(100\beta_{ef})] \quad SR_V = \frac{1}{1.65} [2.31 - 0.41 \ln(100\beta_{ef})] \quad (2.17)$$

Tablo 2.17. Spektral azaltma katsayıları SR_A ve SR_V

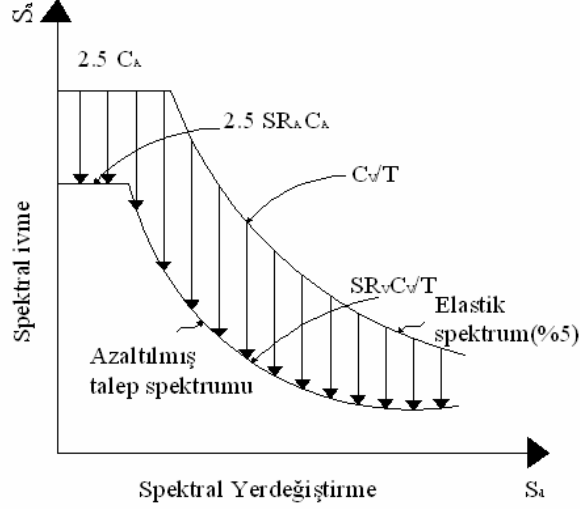
	Yapı davranış türü A			Yapı davranış türü B			Yapı davranış türü C		
β_o	β_{ef}	SR_A	SR_V	β_{ef}	SR_A	SR_V	β_{ef}	SR_A	SR_V
0.0	0.05	1.00	1.00	0.05	1.00	1.00	0.05	1.00	1.00
0.05	0.10	0.78	0.83	0.08	0.83	0.87	0.07	0.91	0.93
0.15	0.20	0.55	0.66	0.15	0.64	0.73	0.10	0.78	0.83
0.25	0.28	0.44	0.57	0.22	0.53	0.63	0.13	0.69	0.76
0.35	0.35	0.38	0.52	0.26	0.47	0.59	0.17	0.61	0.70
≥ 0.45	0.40	0.33	0.50	0.29	0.44	0.56	0.20	0.56	0.67

Bu formüllerle elde edilen değerlerin Tablo 2.18' de verilen minimum değerlerden büyük olması şartı aranmaktadır.

Tablo 2.18. Minimum spektral azaltma katsayıları SR_A ve SR_V

	Yapı davranış türü A	Yapı davranış türü B	Yapı davranış türü C
SR_A	0.33	0.44	0.56
SR_V	0.50	0.56	0.67

Hesaplanan SR_A ve SR_V katsayıları ile birlikte talep spektrumunun azaltılması Şekil 2.10 ' da gösterilmektedir.



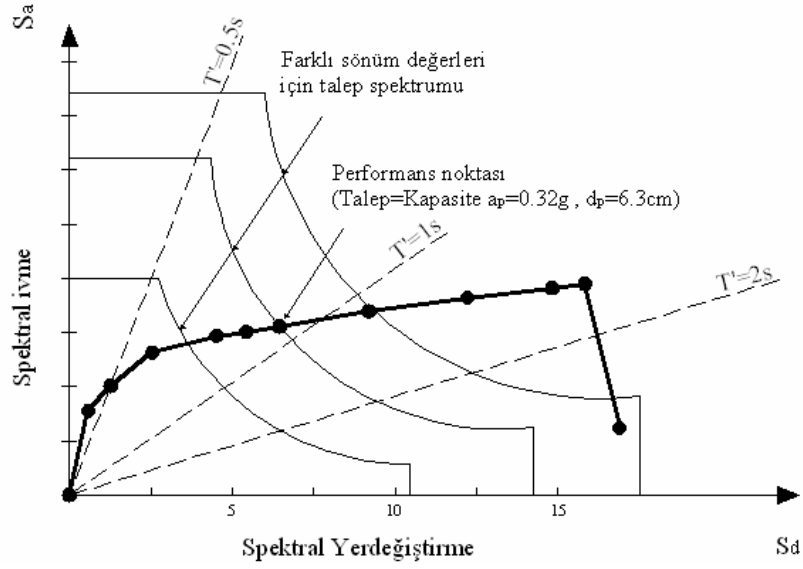
Şekil 2.10. Talep spektrumunun azaltılması

2.5.1.1.7. Performans Noktasının Belirlenmesi

Şekil 2.11' de alışlagelen $S_a - T$ düzleminde öngörülen bir deprem için karşılanması gerekli ivme talebi ve karşılanabilecek kapasite spektrumu beraber görülmektedir. Başlangıç periyodu olarak T_1 (yapının birinci doğal titreşim moduna ait periyot) alındığından kapasite spektrumu bu değerden başlar ve elastik davranış devam ettiği sürece de artmaya devam etmektedir. Plastik şekil değiştirmelerin başlamasıyla periyot uzarken, karşılanabilecek ivme de artmaktadır. Bu hareketin sonunda performans noktasına ulaşılmaktadır. Benzer davranış $S_d - S_a$ düzleminde de izlenebilmektedir. Burada başlangıçtan geçen doğrular sabit periyoda karşı geldiği için kapasite spektrumu başlangıçtan başlayarak elastik davranış bölgesinde sabit bir eğimle yükselmekte, hasarın ortaya çıkması ve rijitliğin azalması ile periyot büyümekte ve kapasite spektrum eğrisinin eğimi azalırken performans noktasına erişilmektedir.

Yukarıdaki açıklamalarda belirleyici kriterin "talep spektrumu" olduğu kabulü ile tasarıma başlanmakta, ancak daha sonra öngörülen deprem etkisi için esas alınan %5 sönümlü bu elastik talep spektrum eğrisi, doğrusal olmayan davranışın sönümü arttırdığı gerçeği dikkate alınarak indirgenmektedir. İndirgeme değeri kapasite spektrum eğrisinde elastik davranışın sona erdiği noktanın koordinatları ile aranan performans noktasının

koordinatları arasındaki ilişkiye bağlıdır. Bu sebeple bu tip bir problemin çözümünün ancak iteratif bir hesapla elde edilebileceği söylenebilmektedir. Şekil 2.11’ de kapasite eğrisi üzerinde bir nokta performans noktası olarak alınmaktadır. Buna bağlı olarak sönüm hesaplanmış, talep spektrumu azaltılmıştır. Eğer azaltılan talep spektrumu ile kapasite spektrumunun kesim noktası seçilen nokta ile üst üste düşerse performans noktası bulunmuş olur. Yoksa yeni bir nokta seçerek iterasyonu yenilemek gerekmektedir.



Şekil 2.11. Performans noktasının belirlenmesi

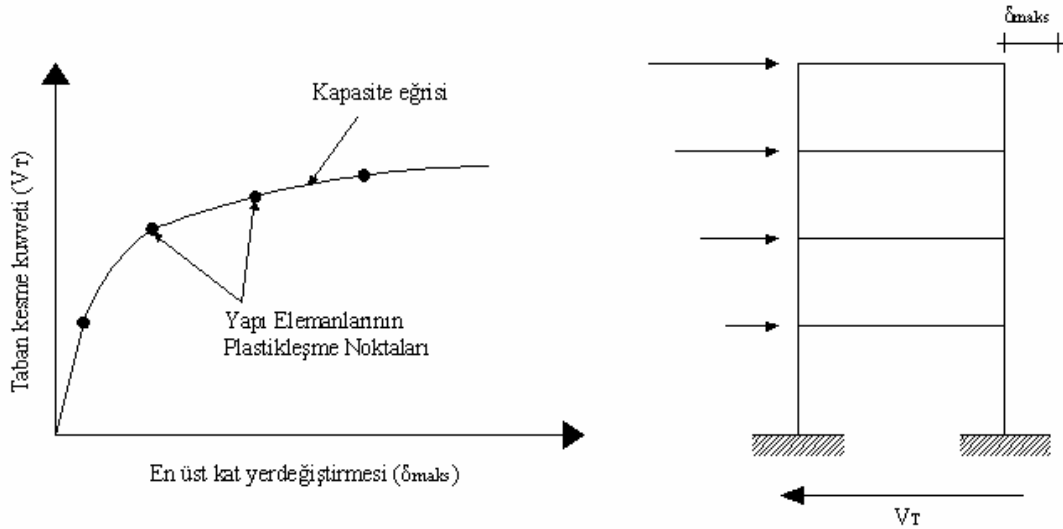
2.5.1.2. Yerdeğiştirme Katsayısı Yöntemi (FEMA-356)

Bu standart, yapıların sismik performansını artırmak için uygulanabilir hükümleri belirtmektedir ve yapı sahiplerine ve mevcut yapıların sismik iyileştirmesini gerçekleştirecek olan mühendislere ulusal nitelikte uygulanabilir bir araç olarak hizmet etmek üzere hazırlanmıştır. İki bölümden oluşmaktadır: teknik gereksinimler ile ilgili hükümler ve bu hükümlerin açıklamasını yapan kısımlar.

Yerdeğiştirme Katsayısı Yöntemi, belli bir deprem yer hareketi için yapıya yüklenen deplasman talebi yapının yatay yük taşıma kapasitesinin birbirine bağımlı olduğu esasına dayanmaktadır. Yerdeğiştirme kontrollü itme analizinde, yapının itileceği

yerdeğiştirme değerinin (hedef yerdeğiştirme) bilinmesi gerekmektedir. Bu yöntemde yerdeğiştirme talebi sayısal bir şekilde belirlenebilmektedir.

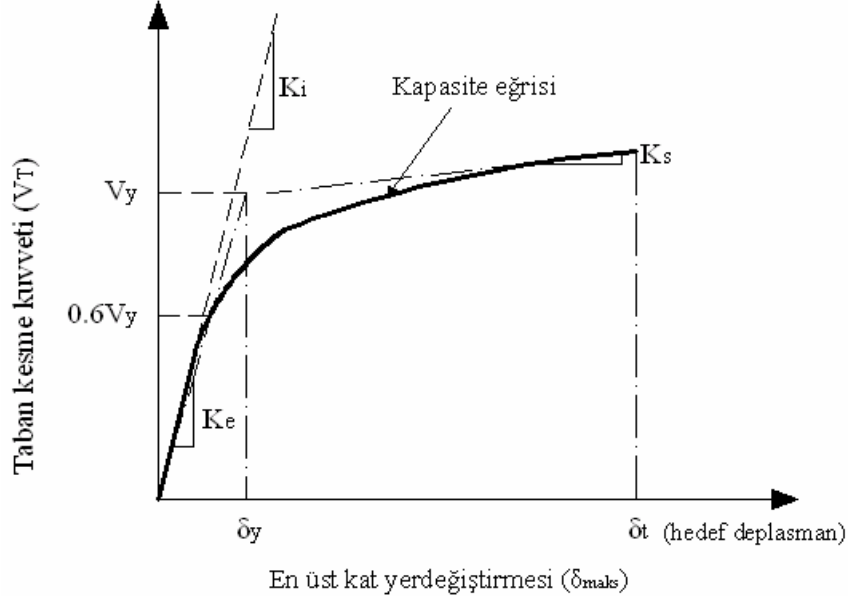
Yerdeğiştirme katsayısı yönteminde, taban kesme kuvveti (V_T) ile maksimum tepe noktası deplasmanı (δ_{maks}) arasındaki ilişkiyi belirleyen *kapasite eğrisi* elde edilmektedir. Yapıya ait kapasite eğrisi ikinci mertebe elasto-plastik hesap ile belirlenmektedir. Kapasite eğrisinin çizilmesinde, yapının birinci doğal periyoduna ve etkin olan modlara bağlı olarak uygun bir yatay yük dağılımı seçilmektedir. Yapı, sabit düşey yükler ve aralarındaki oran sabit kalarak artan yatay yükler altında, malzeme ve geometri değişimleri bakımından lineer olmayan teoriye göre hesaplanarak limit duruma ulaşıncaya kadar izlenmektedir. Her yük değeri için toplam taban kesme kuvveti (V_T) ve buna karşılık gelen en üst kat yatay deplasmanı (δ_{maks}) arasındaki grafik çizilmektedir (bkz. Şekil 2.12).



Şekil 2.12. Doğrusal olmayan teori ile kapasite eğrisinin elde edilmesi

Yapıya ait kapasite eğrisi elde edildikten sonra bu eğri, Şekil 2.13.'te görüldüğü gibi, birincisinin eğimi elastik rijitliği (K_e), ikincisinin eğimi ise elasto-plastik rijitliği (K_s) (elastik sonrası rijitlik) temsil eden iki doğru parçası ile idealleştirilmektedir. İdealleştirme yapılırken gerçek kapasite eğrisi ve idealleştirilmiş kapasite eğrisi altında kalan alanların eşit olması ve K_e eğimli doğrunun kapasite eğrisini kestiği noktanın ordinatının, K_e ve K_s eğimli doğruların kesim noktasının ordinatının 0.60 ($0.6V_y$) katı olması esasları dikkate alınmaktadır. Başlangıçta bu iki doğrunun kesim noktası bilinmediği için bir deneme-yanılma yönteminin uygulanması yoluna gidilir. Buna göre, bir K_e doğrusu seçilir ve V_y değeri belirlenmektedir. K_e doğrusunun kapasite eğrisini kestiği noktanın ordinatı kontrol

edilmekte ve bu değer $0.6V_y$ 'ye eşit oluncaya kadar K_e doğrusu için yeni değerler seçilerek işlem tekrarlanmaktadır.



Şekil 2.13. İki doğru parçası ile kapasite eğrisinin idealleştirilmesi

Kapasite eğrisi bu şekilde idealleştirildikten sonra, sistemin T_e etkin doğal periyodu aşağıda verilen bağıntı ile hesaplanmaktadır.

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \quad (2.18)$$

Burada T_i hesap yapılan doğrultuda yapının elastik dinamik analizi ile bulunan birinci doğal periyodunu, K_i yapının elastik yanal rijitliğini, K_e ise elastik efektif rijitliğini göstermektedir.

Yapı sisteminin etkin doğal periyodu (T_e) bulunduktan sonra, yapının performans kontrolünün yapılacağı hedef deplasmanı (δ_T)

$$\delta_T = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} \quad (2.19)$$

formülü ile elde edilmektedir. Bu formülde kullanılan katsayı ve büyüklükler ile ilgili açıklamalar aşağıda verilmektedir.

C_0 : Çok serbestlik dereceli sistemin tepe noktasının yatay yerdeğiştirmesi ile eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemin spektral yerdeğiştirmesi arasındaki ilişkiyi oluşturan modal katılım katsayısıdır. Elastik davranış dikkate alınır ve sadece birinci mod şekli kullanılırsa C_0 katsayısı, çatı seviyesinde (tepe noktası) birinci mod katılım faktörüne eşittir. Ayrıca yapının kat adedine bağlı olarak FEMA-356'da verilen C_0 modal katılım katsayısının aldığı değerler Tablo 2.19'da verilmektedir.

Tablo 2.19. Modal katılım katsayısı C_0 değerleri

Kat Adedi	Kesme Tipi Yapılar		Diğer Yapılar
	Üçgensel Yük Örneği	Üniform Yük Örneği	Herhangi Bir Yük Örneği
1	1.0	1.0	1.0
2	1.2	1.15	1.2
3	1.2	1.2	1.3
5	1.3	1.2	1.4
10+	1.3	1.2	1.5

*Tabloda verilmeyen ara değerlerin belirlenebilmesi için lineer enterpolasyon kullanılmalıdır.

C_1 : Lineer elastik yerdeğiştirmeler ile beklenen maksimum elastik olmayan yerdeğiştirmeleri ilişkilendiren modifikasyon katsayısıdır ve aşağıdaki bağıntılar ile hesaplanmaktadır.

$$T_e \geq T_s \rightarrow C_1 = 1.0 \quad (2.20)$$

$$T_e < T_s \rightarrow C_1 = \frac{\left[1.0 + \frac{(R-1)T_s}{T_e} \right]}{R} \quad (2.21)$$

Burada T_s ; davranış spektrumunda, spektrumun sabit ivme bölgesinden, spektrumun sabit hız kısmına geçişi ile ilişkili tepki spektrumunun karakteristik periyodunu göstermektedir. R değeri ise, aşağıda verilen bağıntı ile belirlenen ve elastik olmayan dayanım talebinin akma dayanımına oranıdır.

$$R = \frac{\frac{S_a}{g}}{\frac{V_y C_0}{W}} \quad (2.22)$$

Yukarıdaki denklemde, V_y akma dayanımını, S_a yapının birinci doğal periyoduna karşılık gelen spektral ivme, g yerçekimi ivmesini belirtmektedir.

C_2 : Histeristik şeklin, rijitlik azalmasının ve dayanımın kaybolmasının maksimum deplasman davranışı üzerindeki etkisini hesaba katan modifikasyon katsayısıdır. Çeşitli çerçeve sistemleri ve yapısal performans seviyeleri için C_2 değerleri, aşağıda verilen tablodan elde edilmelidir. Ayrıca lineer olmayan analiz yöntemleri için, $C_2=1.0$ olarak kullanılmaktadır.

C_3 : İkinci mertebeye etkileri ile artan yerdeğiştirmelerin etkisini dikkate alan düzeltme katsayısıdır. Bu elastik sonrası rijitliğin efektif elastik rijitliğe oranı olarak tanımlanan α değerinin sıfırdan büyük ($\alpha > 0$) olması durumunda $C_3=1.0$ olarak alınmaktadır. Elastik sonrası rijitliğe sahip yapılar için ise aşağıda verilen bağıntı ile hesaplanmalıdır.

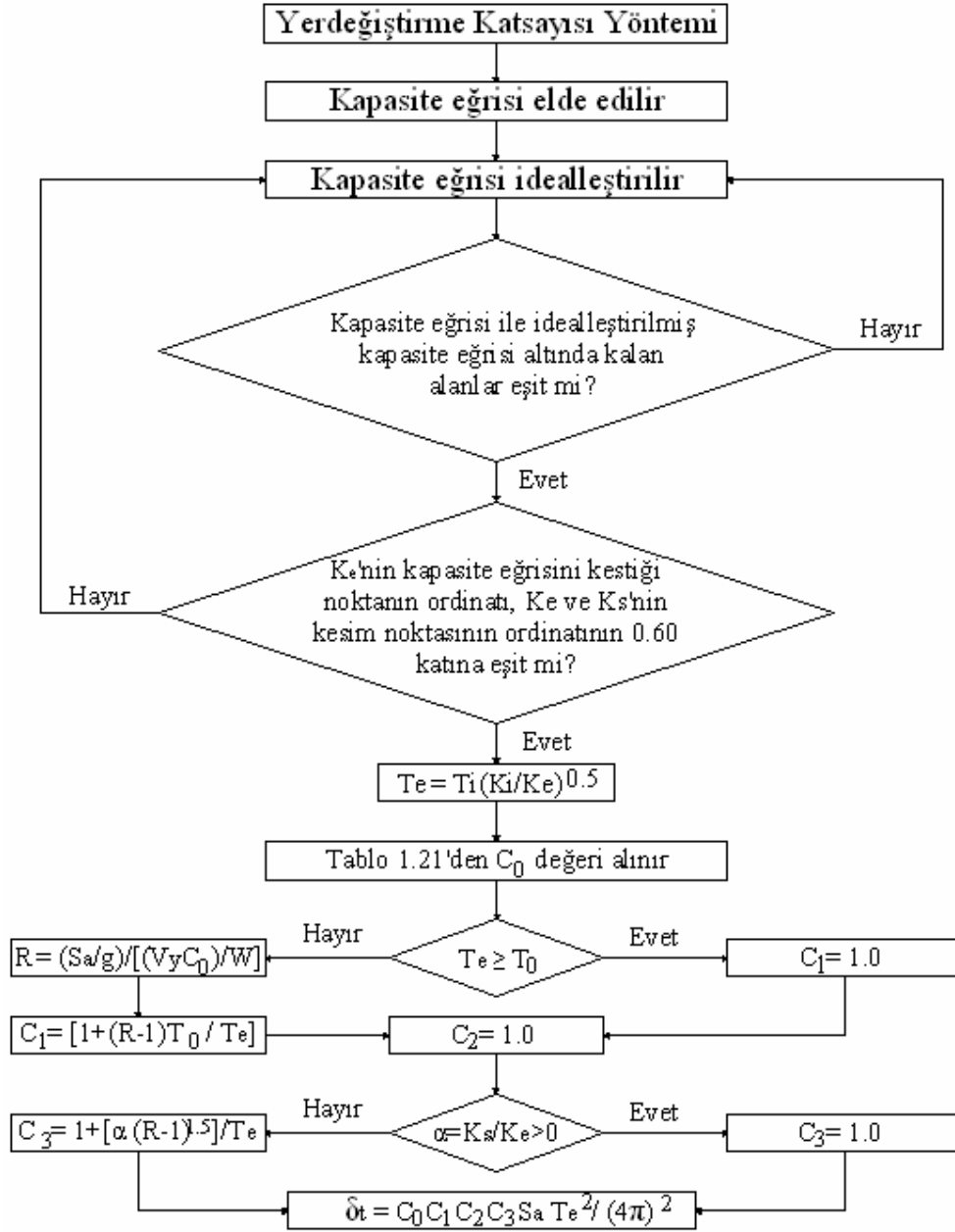
$$\alpha \leq 0 \rightarrow C_3 = 1 + \frac{|\alpha|(R-1)^2}{T_e} \quad (2.23)$$

Yukarıdaki açıklamalardan görüldüğü gibi, Deplasman Katsayısı Yönteminde, hedef yerdeğiştirmenin bulunması için bir ardışık yaklaşım yolunun izlenmesi gerekmektedir. Başlangıçta seçilen ve T_e etkin doğal periyodunun hesabını esas δ_T yerdeğiştirmesi ile yapılan hesaplamalar sonucunda bulunan değerlerin eşit veya birbirine yeterince yakın olması halinde hedef yerdeğiştirme bulunmuş olur ve ardışık yaklaşıma son verilir.

Şekil 2.14'te Yerdeğiştirme katsayısı yöntemine ait akış diyagramı verilmektedir.

Öngörülen deprem etkisi altındaki hedef yerdeğiştirme belirlendikten sonra, performans hedefinin gerçekleşip gerçekleşmediği kontrol edilmektedir. Bunun için, sisteme ait büyüklüklerin değerleri kendilerine ait sınır değerler ile karşılaştırılmaktadır. Çeşitli performans seviyeleri için sınır değerler FEMA-356'da verilmektedir.

Bu standarda uyularak iyileştirilmiş yapıların tasarım depremleri karşısında istenilen seviyelerde performans göstermesi beklenmektedir. Bununla birlikte, standarda uyulması böyle bir performansı garanti etmemektedir. Deprem mühendisliğinin uygulaması hızlı bir şekilde gelişmekte ve bizlerin de güçlü depremler etkisindeki yapıların davranışlarını anlama ve bu davranışları önceden belirleyebilme kabiliyetimiz artmaktadır. Gelecekte yeni bilgiler ve gelişen teknoloji ile bu amaçları sağlayabilecek daha gerçekçi metotların geliştirilebileceği düşünülmektedir.



Şekil 2.14. Yerdeğiştirme katsayısı yöntemi akış diyagramı (FEMA-356)

2.5.1.3. Yerdeğiştirme Katsayıları Yöntemi (FEMA-273)

Statik itme analizi, binanın kapasite eğrisini elde etmek için yapılan bir artımsal statik analiz serisine dayanmaktadır. Bu analiz, değişik yanal yük biçimleri kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Bununla ilgili olarak, FEMA-273'te üç farklı yanal yük biçimi verilmektedir. Bunlar; *üçgen*, *düzgün yayılı* ve *çok modlu* yanal yük biçimleridir. En yaygın olarak kullanılan yanal yük, standartlarda da verilen ve sadece birinci titreşim mod şekline göre belirlenen *ters üçgendir*. Bu dağılım şöyle yazılabilir:

$$F_i = \frac{w_i H_i}{\sum_{j=1}^N w_j H_j} V_b \quad (2.24)$$

Burada w_i i. kat ağırlığını, V_b taban kesme kuvvetini ve H_i ise i. katın zeminden yüksekliğini göstermektedir.

Düzgün yayılı yanal yük biçimi aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilmektedir:

$$F_i = \frac{V_b}{N} \quad (2.25)$$

Çok modlu yanal yük biçiminin hesabı ise 4 adımdan oluşmaktadır:

1- n inci moda ait yanal kuvvetler aşağıdaki bağıntıdan elde edilmektedir.

$$F_{in} = \Gamma_n m_i \phi_{in} A_n \quad (2.26)$$

Burada Γ_n n. modda kütle katılım katsayısı, m_i i. katın kütlesi, ϕ_{in} n. modda i. katın modal yerdeğiştirmesi ve A_n ise yaklaşık ivme olarak görülebilmektedir.

2- Kat kesme kuvvetleri:

$$V_{in} = \sum_{j=1}^N F_{in} \quad (2.27)$$

ifadesinden sağlanabilmektedir.

3- Kat kesme kuvvetleri, karelerin toplamının karekökü kuralı kullanılarak;

$$V_i = \sqrt{\sum n(V_{in})^2} \quad (2.28)$$

şeklinde yazılabilmektedir.

4- Birleştirilmiş kat kesme kuvvetlerinden kat yanal kuvvetleri hesaplanmaktadır.

2.5.2. Performans Noktasının Kabul Kriterleri

Performans noktasının bulunmasından sonra Sa_p ve Sd_p değerlerinden (2.5) ve (2.7) bağıntıları ile bu noktaya karşılık gelen taban kesme kuvveti (V_i) ve en üst kat yerdeğiştirmesi (Δ_N) grafikten okunmaktadır. Binanın kendisi için öngörülen performans seviyesi koşullarını sağlayıp sağlamadığı, ilgili seviye için öngörülen sınırların kontrol edilmesiyle belirlenmektedir. Eğer bu sınırlar sağlanmıyorsa, performans seviyesinin değiştirilmesi veya taşıyıcı elemanların dayanımlarının ve rijitliklerinin arttırılması gerekmektedir. Bu sınırlar ATC-40'da ayrıntılı biçimde verilmiş olup iki sınıfta toplanabilir:

2.5.2.1. Bina İçin Genel Kabul Kriterleri

Bu kabul kriterleri; düşey yük kapasitesi, yatay yük kapasitesi ve katlar arası rölatif ötelemeler sınırlarını içermektedir. Binanın performans noktasındaki toplam yatay yük kapasitesinin devam eden yüklemeler altında mafsallar sebebiyle uğrayacağı kayıplar, binanın toplam yatay yük kapasitesinin %20'sinden daha fazla olmamalıdır. Bu suretle deprem etkisindeki yükleme çevrimleri sonucu oluşan dayanım azalması sınırlandırılır. Hasarın performans seviyelerine bağlı olarak sınıflandırılması için, binanın katlar arası yerdeğiştirmesinin kat yüksekliğine oranının Tablo 2.20'de verilen değerleri aşmaması istenir. Bu suretle hasar sınırlaması yanında, ikinci mertebeye etkilerin de sınırlandırılması gerçekleştirilmektedir. Tabloda verilen yapısal stabilite durumunda her kat için yapılacak kontrolde V_i deprem kat kesme kuvveti ve P_i düşey yüklerden oluşan kat eksenel yüküdür.

Tablo 2.20. Katlar arası yerdeğiştirmenin kat yüksekliğine oranının sınırı
(Celep, Z., Kumbasar, N., 2004)

Katlar arası yerdeğiştirme/ kat yüksekliği sınırı	Performans seviyesi			
	Hemen kullanım	Hasar kontrol	Can güvenliği	Yapısal stabilite
Maksimum toplam oranı	0.01	0.01-0.02	0.02	$0.33V_i / P_i$
Maksimum elastik ötesi yerdeğiştirme oranı	0.005	0.005-0.015	sınır yok	sınır yok

TDY Bölüm 7.7.6' da "Görelü Kat Ötelemelerinin Sınırlandırılması" başlığıyla her performans düzeyi için sağlanması gereken değerler Tablo 2.21'de verilmektedir.

Tablo 2.21. Görelü kat ötelemesi sınırları

Görelü Kat Ötelemesi Oranı	Performans Düzeyi		
	Hemen Kullanım	Can Güvenliği	Göçmenin Önlenmesi
$(\delta_i)_{\max} / h_i$	0.008	0.02	0.03

2.5.2.2. Eleman İçin Kabul Kriterleri

Binanın elemanları taşıyıcı olan ve olmayan diye ikiye ayrılmaktadır. Taşıyıcı olanlar da birincil ve ikincil olmak üzere ayrıca ikiye ayrılır. Kapasite eğrisi üzerinde elde edilen performans noktasında her elemandaki gerilmeler ve şekil değiştirmelerin hesaplanarak kabul edilen performans noktasının şartlarını sağlayıp sağlamadığı ve ilgili sınır değerlerin altında kalıp kalmadığı kontrol edilmektedir. Eleman için gerekli olan kabul kriterleri, elemanın ve elemanda güç tükenmesini meydana getirecek olan kritik etkinin türüne bağlıdır. Örneğin; kiriş ve kolonlardaki momentten kaynaklanan plastik mafsallı dönmeleri, kiriş-kolon birleşim bölgelerinin kesme kuvvetinden dolayı oluşacak kayma açısı ve perdelerin ise ilgili yükler altındaki plastik mafsallı dönmelerinin kabul sınırları göz önünde tutularak kontrol edilmesi öngörülmektedir.

Bu sınırların incelenmesinden, beklendiği gibi yapının ana elemanlarında ikincil elemanlara göre daha küçük plastik mafsallı dönmelerine izin verildiği ve sünekliliğin büyük

olduğu kuvvetli boyuna donatı bulunmayan etriyeli kesitlerde daha büyük dönmelere izin verildiği görülmektedir. Bu sınır dönmeler, performans noktasının “hemen kullanım” a ayarlanması durumunda daha küçülmektedir. Kesme kuvvetinin kritik olduğu, sünek olmayan ve “güç tükenmesi” olabilecek kirişlerde sınır dönme açıları yine küçük tutulmaktadır. Sık etriyenin bulunması durumunda ise sınır dönmeler büyük alınabilmektedir.

Performans kavramı, mevcut bir binanın incelenmesinde veya yeni bir binanın projelendirilmesinde daha gerçekçi bir çözüm sağlamak için geliştirilmiştir. Yukarıda açıklandığı gibi, bu yöntem sayesinde deprem yönetmeliğinde verilen tek yöntemli çözüme karşın binanın fonksiyonuna ve göz önüne alınacak deprem etkisine bağlı olarak çok çeşitli çözümler sunulmaktadır.

Deprem yönetmeliği kurallarına göre daha gerçekçi çözümler sunan, matematiksel çekiciliği olan ve ardışık yaklaşım gerektiren bu yöntemin zayıf tarafları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Yönetmeliklerdeki kontrol kriterlerini oluşturan sınır değerler böylesi ciddi bir yöntem için yetersiz kabul edilebilecek sayıdaki deney ve çözümlerden elde edilmiştir. Yeni yapılacak çözümlerden kazanılacak deneyimlerle bu değerlerde değişiklik yapılması ve daha gerçekçi değerlerin elde edilmesi zaman içerisinde gerçekleşecektir.
- İncelemede birinci modun etkili olduğu kabul edilerek yöntem geliştirilmiştir. Çözümde kapasite eğrisinin elde edilmesinde birinci mod değişimine uygun bir yük alınmaktadır. Ancak, plastik şekil değiştirmelerin oluşması ile rijitlik ve birinci mod olarak kabul edilebilecek titreşim şekli değişir. Ayrıca, periyodu büyük binalarda (örneğin çok katlı, moment dayanımlı betonarme çerçeveli yapılar ile çelik yapılar) diğer modların katkısı da önemli olacağından yöntemin yaklaşımı zayıflamaktadır.
- Çözüm, genel olarak düzlem çerçeve sistemler için geliştirilmiştir. Üç boyutlu taşıyıcı sistemlere yapılacak genelleştirme için yeni kabullere ihtiyaç vardır.
- Depremde oluşan plastik mafsallarda çevrimsel şekil değiştirmelerden dolayı önemli bir enerji miktarı tüketilir. Kapasite eğrisi tek bir yönde yükleme sonucu elde edildiği için, çevrimsel davranışın içinde kalan alan ile temsil edilen ilave enerji tüketiminin bu yöntem ile dikkate alınması mümkün değildir. Yine de bu ilave enerji tüketimini dikkate almak maksadıyla yönetmeliklerde deneysel ve

ilave matematiksel çalışmalar sonucu elde edilmiş yaklaşık bir sönüm katsayısı kullanılır.

2.5.2.3. Kabul Kriterlerinin Uygulama Adımları

Yukarıda açıklanan işlemler mevcut bir binanın değerlendirilmesi için yapılabileceği gibi, öngörülen bir güçlendirmenin seçilen bir performans seviyesine uygunluğunu belirlemek için de yapılabilmektedir. Binanın öngörülen performans seviyesinin koşullarını sağlayıp sağlamadığı, ilgili seviye için konulan sınırların kontrol edilmesiyle belirlenmektedir. Performans seviyesine bağlı olan bu sınırlar iki türdür:

- Binanın tümü için öngörülen kabul kriterleri olup, düşey yük kapasitesi, yatay yük kapasitesi ve katlar arası rölatif ötelemeler sınırı bunları teşkil etmektedir.
- Her eleman için öngörülen kabul kriterleri olup; döşeme, kiriş, kolon, perde ve temel gibi taşıyıcı sistem elemanları için öngörülen sınırlardır.

Eğer bu sınırlar sağlanamıyorsa, performans seviyesinin değiştirilmesi veya binanın güçlendirilmesi gerekmektedir. Yapısal elemanlar için sınırlar olduğu gibi yapısal olmayan elemanlar için de kabul kriteri vardır. Katlar arası göreceli öteleme sınırı buna örnektir. Bina için bir performans seviyesinin seçilmesi

- Bina için deprem etkisinin seçilmesi ve ilgili elastik spektrum eğrisinin geliştirilmesi
- Taşıyıcı sisteme birinci moda benzer bir dağılımda yatay kuvvet uygulayarak, elastik ötesi davranışı da göz önüne alarak, taban kesme kuvveti ile en üst katın yatay yerdeğiştirmesi arasındaki değişimin elde edilmesi
- Kapasite spektrum eğrisinin bulunması ve üzerinde muhtemel performans noktası seçip, buna uygun sönüm değerleri kullanarak, elastik spektrum eğrisinin azaltılıp talep spektrumuna durumuna getirilmesi
- Kapasite spektrum ve talep spektrum eğrilerinin kesiştirilerek kesişmenin seçilen performans noktasında olup olmadığının kontrolü. Eğer seçilen ve elde edilen nokta üst üste düşmüyorsa yeni bir nokta seçilerek işlemin tekrarlanması
- Bulunan performans noktasına karşı gelen noktaya ait gerilme ve şekil değiştirmelerin yapı için kabul edilen performans seviyesi sınır kabul kriterlerini sağlayıp sağlamadığının kontrolü. Kabul kriterleri sağlanmıyorsa, binanın güçlendirilmesi veya kabul edilen güçlendirmenin ağırlaştırılması.

2.6. Taşıyıcı Sistemin Modellenmesi

2.6.1. Birincil (Ana) ve İkincil Elemanlar

Birincil Elemanlar: Taşıyıcı sistemin birincil elemanları deprem yükünün karşılanmasındaki ana elemanlardır. Bunlar deprem ve düşey yükleri karşılayacak şekilde boyutlandırılmalıdır.

İkincil Elemanlar: İkincil elemanlar yatay yük karşılayan sistemin bir parçası değildir ancak bunlar da düşey yükler altında iken deprem yüklerinden oluşan yerdeğiştirmelere dayanacak şekilde değerlendirilmelidir.

Doğrusal çözümlemede, eğer ikincil elemanların yatay rijitliği birincil elemanların rijitliğinin %25'ini geçmiyorsa, bu ikincil elemanların çözümlenmeye katılmasına ihtiyaç yoktur. Buna karşılık, doğrusal olmayan çözümlemede birincil ve ikincil elemanların rijitlikleri beraberce göz önüne alınmalıdır. Bunun gibi, yapısal olmayan elemanların rijitliği de toplam rijitliğin %10'unu geçiyorsa modelde göz önüne alınması gerekmektedir.

2.6.2. Şekil Değiştirme ve Kuvvet Kontrollü Elemanlar

Taşıyıcı sistemin elemanları *şekil değiştirme kontrollü ve kuvvet kontrollü* olmak üzere sınıflandırılmaktadır. Şekil değiştirme kontrollü elemanda oluşabilecek maksimum şekil değiştirme akma değerinin ortaya çıkmasına müsaade edecek seviyededir. Elemanın maksimum şekil değiştirmesi, elemanın sünekliği ile sınırlıdır. Kuvvet kontrollü elemanda oluşan maksimum şekil değiştirme akma değerinin ortaya çıkmasına müsaade edecek seviyede değildir. Sınırlı sünekliği olan elemanlar kuvvet kontrollü olarak kabul edilmektedir.

2.6.3. Diyaframlar

Binada diyaframlar (döşemeler ve çatı örtüsü) depremde oluşan atalet kuvvetlerini çerçeve sisteminin düşey elemanlarına iletirler. Bu iletimin sağlanması için, döşemelerle kolon ve perdeler arasındaki birleşimde yeterli mukavemetin mevcut olması gerekmektedir. Rijit düşey kolon ve perde gibi elemanların diyaframlarla birleşiminde, kirişlerin kullanılması tercih edilmelidir. Diyaframlar rijitliklerine göre esnek, rijit ve bu

ikisinin arasında olmak üzere üç sınıfta göz önüne alınırlar. Eğer diyaframın maksimum yatay yerdeğiştirmesi, alt katın kat ortalama rölatif yerdeğiştirmesinin iki katı ise, diyafram esnek olarak kabul edilmektedir. Rijit diyaframda ise diyaframın maksimum yatay yerdeğiştirmesi, alt katın kat ortalama rölatif yer değiştirmesinin yarısından daha küçüktür. Rijit olmayan diyaframlarda, diyaframın Şekil değiştirmesinden dolayı atalet kuvvetlerinin dağılmasında ortaya çıkan değişim göz önüne alınmalıdır.

2.6.4. Burulma Etkisi

Modelleme üç boyutlu yapılmalıdır. Ancak, burulma etkilerinin ihmal edilebileceği veya yaklaşık olarak hesaba katılabileceği durumlarda iki boyutlu çözümlene yapılabilmektedir. Yatayda burulma momenti, taşıyıcı sistemin her katında alt kattaki düşey elemanların rijitlik merkezi ile kat kütle merkezi arasındaki dışmerkezlikten oluşan burulma momenti (gerçek burulma momenti) ile farklı kütle dağılımını göz önüne alabilmek için hesaba katılan %5 ek dışmerkezlikten oluşan burulma momentinin (tesadüfi burulma momenti) toplamı olarak alınmalıdır.

İç kuvvetlerde ve yerdeğiştirmelerde gerçek burulma momentinden oluşan artımlar bütün katlarda göz önüne alınmalıdır. Tesadüfi burulma momenti gerçek burulma momentinin %25' inden küçükse veya bu iki burulma momenti etkisi altında en büyük yatay yerdeğiştirmenin ortalama yerdeğiştirmeye oranı %10 değerini aşmıyorsa, tesadüfi burulma momentinden iç kuvvetlerde ve yerdeğiştirmelerde meydana gelecek artışlar ihmal edilebilir. Eğer doğrusal çözümlerde toplam burulma momenti etkisi altında bulunacak δ_{maks} en büyük yerdeğiştirmenin δ_{ort} ortalama yer değerine oranı 1.2 değerini aşmıyorsa, tesadüfi burulma momentinden oluşan iç kuvvet ve yerdeğiştirmeler

$$A_x = \left[\frac{\delta_{maks}}{1.2\delta_{ort}} \right]^2 \leq 3.0 \quad (2.29)$$

katsayısı ile arttırılır. Eğer toplam burulma momenti etkisi altında bulunacak en büyük yerdeğiştirmenin ortalama yerdeğiştirmeye oranı $\eta = \delta_{maks} / \delta_{ort} > 1.5$ ise üç boyutlu çözümlene yapılmalıdır.

Eğer iki boyutlu çözümleme söz konusu olursa, her iki doğrusal çözümlemede kuvvet ve yerdeğiştirme değerleri η ile çarpılarak burulma etkisi yaklaşık olarak hesaba katılmaktadır. Doğrusal olmayan statik (dinamik) çözümlemede ise hedef yerdeğiştirme (yer ivme kaydı) η ile çarpılarak arttırılır.

2.6.5. P-Delta Etkisi

Bu etkinin katkısının doğrusal çözümlemede değerlendirilmesi için, binanın her katında ve iki doğrultuda θ_i parametresi hesap edilmelidir:

$$\theta_i = \frac{P_i \delta_i}{V_i h_i} \quad (2.30)$$

Burada, P_i sürekli ve sabit hareketli yükler ile geçici hareketli yüklerin %25'inin binanın i . katındaki kolon ve perdelerde oluşturduğu düşey yük, V_i deprem kat kesme kuvveti, h_i kat yüksekliği ve δ_i göz önüne alınan doğrultuda rölatif kat ötelemesidir. Eğer $\theta_i \leq 0.10$ ise P-delta etkisi göz önüne alınmayabilir. Eğer $\theta_i > 0.33$ ise kararsızlık önemli olduğu için, taşıyıcı sistemin yanal yerdeğiştirmeyi azaltacak şekilde tekrar düzenlenmesi gerekmektedir. Buna karşılık $0.33 > \theta_i > 0.10$ ise çözümlemede, ilgili katta deprem iç kuvvetleri ve yerdeğiştirmeleri $1.0 / (1.0 - \theta_i)$ ile büyütülerek düşey yükün ikinci mertebe etkileri göz önüne alınmalıdır. Doğrusal olmayan çözümlemedeki P-delta etkisinin statik katkısı ise çözümleme ikinci mertebe etkilerini içerecek şekilde yapılarak göz önüne alınmaktadır.

P-delta etkisinin dinamik katkısı ise, doğrusal olan ve olmayan statik çözümlerinde yatay yükün belirlenmesinde etkili olan C_3 katsayısı ile hesaba katılmaktadır.

2.6.6. Zemin-Yapı Etkileşimi

Bu etki göz önüne alındığında, binanın etkili birinci periyodunda ve sönümünde değişiklik ortaya çıkabilir. Ancak, bu durum eleman etkilerini %25'ten fazla azaltacak şekilde kullanılmamalıdır.

2.6.7. Çok Eksenli Doğrultulu Deprem Etkisi

Bina her doğrultuda depremi karşılayacak şekilde boyutlandırılmalıdır. Düzenli binalarda binanın asal eksenlerinde deprem etkisinin ayrı ayrı alınması yeterli olmaktadır. Ancak, planda düzensiz binalarda bir doğrultuda deprem etkisinin %100'ü ve diğer doğrultuda %30'unu hesaba katarak, eleman iç kuvvetleri ve yerdeğiştirmeler toplanabilir. Yatay konsollarda düşey deprem etkisi, yatay deprem etkisinin 2/3'ü alınarak göz önüne alınmalıdır.

2.6.8. Yük Birleştirmesi

Çözümlemede deprem yüklerinin Q_G düşey yüklerle birleştirilmesi gerekir. Bu amaçla düşey yükler deprem yüklerini arttırıcı yönde ise;

Q_D sabit yükü, Q_L hareketli yüklerinin %25'i, Q_S hesap kar yükünün %20'si olmak üzere;

$$Q_G = 1.1(Q_D + Q_L + Q_S), \quad (2.31)$$

eğer düşey yüklerin etkisi deprem yüklerini azaltıcı yönde ise,

$$Q_G = 0.9Q_D \quad (2.32)$$

olarak hesaba katılmaktadır (Celep, Z., Kumbasar, N., 2004).

2.6.9. Devrilme Etkisi

Yapıda en üst kattan başlayarak en alta kadar devrilme etkisi incelenmelidir. Devrilme etkisi, ağırlık yüklerinin etkisiyle veya yapılan bağlantılarla karşılanmaktadır. Eğer doğrusal yöntem kullanılmışsa, ağırlık yüklerinin devrilme etkilerini karşılaması için,

$$M_{ST} > \frac{M_{OT}}{C_1 C_2 C_3 J} \quad (2.33)$$

eşitsizliği sağlanmalıdır. Burada;

M_{OT} : devirici deprem yüklerinin göz önüne alınan katta oluşturduğu devrilme momenti,

M_{ST} : düşey yüklerin devrilme eksenine göre momenti,

C_1 : elastik ötesi davranışı göz önüne alan katsayı, $T < 0.10$ s ise $C_1 = 1.5$ ve $T \geq T_s$ ise $C_1 = 1.0$

T_s : spektrum eğrisinde karakteristik periyot

C_2 : büyük yerdeğiştirmelerde rijitlik ve dayanımda meydana gelen azalmaları göz önüne alan katsayı Tablo 2. 22'de performans seviyesine bağlı olarak verilmiştir.

Kat kesme kuvvetinin %30'undan fazlasını karşılayan elemanların rijitlik ve dayanımlarında deprem etkisinde azalma meydana geliyorsa, bu sistemler *Çerçeve Türü 1* olarak isimlendirilmektedir. Bu tür elemanlara; normal süneklikte çerçeveler, dışmerkez rijitleştirme çerçeveleri, birleşim bölgeleri yarı rijit olan çerçeveler, sadece çekme taşıyan rijitleştirme çerçeveleri, donatısız yığma duvarlar örnek verilebilmektedir. Bunun dışındakiler *Çerçeve Türü 2* sınıfındadır.

C_3 : ikinci mertebeye etkilerden dolayı yatay yerdeğiştirmelerin büyümesini göz önüne alan katsayı olup, $\theta < 0.1$ için $C_3 = 1.0$ ve $\theta \geq 0.1$ için $C_3 = 1 + 5(\theta - 0.1)/T$ alınacaktır.

J : kuvvet iletim parametresi olup; yüksek, orta ve düşük deprem tehlikesi bölgelerinde sıra ile 2.0, 1.5 ve 1.0 alınabilir. Hemen kullanım durumunda ise 1.0 alınması önerilmektedir (Celep, Z., Kumbasar, N., 2004).

Tablo 2.22. C_2 davranış değiştirme katsayısı

Performans seviyesi	$T \leq 0.1s$		$T \geq T_s$	
	Çerçeve türü 1	Çerçeve türü 2	Çerçeve türü 1	Çerçeve türü 2
Hemen kullanım (HK)	1.0	1.0	1.0	1.0
Can güvenliği (CG)	1.3	1.0	1.1	1.0
Toptan göçmenin önlenmesi (GÖ)	1.5	1.0	1.2	1.0

2.6.10. Duvarlar

Duvarlar, düzleminde ve düzlemi dışında meydana gelecek deprem kuvvetlerini taşıyacak şekilde boyutlandırılmalıdır. Diyaframlarla kuvvet iletimi sağlayacak bağlantılar yapılmalıdır. Yapılacak bağlantı, ilgili duvar ağırlığının χS_{XS} katını taşıyacak şekilde

düzenlenmelidir (Tablo 1.23). Duvar, bağlantı noktaları mesnet kabul edilerek düzlem dışı duvar ağırlığının $0.4S_{XS}$ katını taşıyabilmelidir. (S_{XS} , kısa periyot spektral ivme parametresini ifade emektedir.)

Tablo 2.23. χ katsayısı

Performans seviyesi	χ
Hemen kullanım performans seviyesi	0.6
Can güvenliği performans seviyesi	0.4
Toptan göçmenin önlenmesi performans seviyesi	0.3

2.6.11. Bina Derzleri

İki komşu binanın depremde çarpışmasını önlemek için binalar birbirinden yeteri kadar ayrıık bulunmalıdır. Eğer binalar arası mesafe

$$s_i = \sqrt{\Delta_{i1}^2 + \Delta_{i2}^2} \leq 0.04 \times bina \quad \text{yüksekliği} \quad (2.34)$$

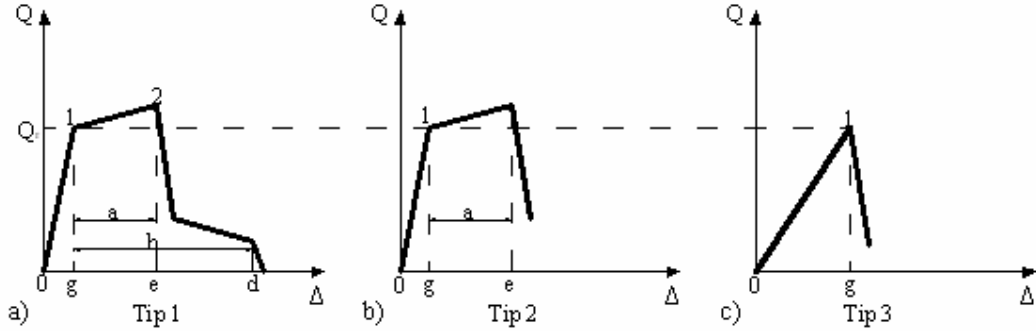
den daha büyükse, çarpışma tehlikesinin bulunmadığı kabul edilmektedir. Burada Δ_{i1} ve Δ_{i2} komşu iki binanın i . katının yerdeğıştirmesidir. Tablo 2.6'da verilen k ve p temel güvenlik amaçları koşullarında kabul edilebilmesi için ayrıntılı bir çözümlene yapılmalıdır. Eğer binaların kat seviyeleri aynı ise, kat diyaframlarının çarpmasından oluşan kuvvetin iletilebildiğı gösterilmelidir. Eğer bu sağlanmıyorsa, çarpmadan oluşan hasara rağmen sistemin yatay ve düşey deprem kuvvetlerini taşıdığı gösterilmelidir.

2.6.12. Çözümlene Yöntemi

Taşıyıcı sistemin yüksek modlarının etkili olması ve düzensiz olması durumunda doğrusal statik yöntemin yaklaşımı yeterli olmaz. Bu sebepten aşağıdaki durumlarda doğrusal statik yöntem kullanılmamalıdır:

- Bina yüksekliği $35m$ 'yi geçiyorsa,
- Binanın planda bir doğrultudaki boyutu (en üst çekme kat hariç olmak üzere) komşu katlardakinin 1.4 katını geçiyorsa,

- Binanın bir katının en büyük yatay yerdeğiştirmesi, kat ortalama yerdeğiştirmesinin 1.5 katını geiyorrsa,
- Binanın bir katının en büyük yatay ortalama yerdeğiştirmesi, komşu katlardakinin 1.5 katını geiyorrsa,
- Binanın yatay yük karşılayan sistemi ortogonal değilse,
Buna karşılık doğrusal olmayan yöntemler yukarıda açıklanan düzensizliklerin bulunduğu durumda kullanılmaktadır. Doğrusal olmayan statik czmlene ise, her performans seviyesi için aşağıdaki sınırlamalar çerçevesinde kullanılmaktadır:
- Yüksek modların etkili olduğu durumlarda statik czmlene yeterli olmaz. Eğer %90 kütle katılım oranı ile modal czmlene yapıldığında, bulunan kat kesme kuvveti bir mod göz önüne alınarak bulunanın %130'unun geiyorrsa, yüksek modların etkili olduğuna karar verilir.
- Taşıyıcı sistem hakkında ayrıntılı bilgi olmadığı durumlarda doğrusal olmayan statik czmlene kullanılmamalıdır.



şekil 2.15. Eleman davranış eğrileri (Celep, Z., Kumbasar, N., 2004)

2.6.13. Kabul Kriterleri

Doğrusal statik veya dinamik czmlemeden sonra elde edilen sonuçların değerlendirilmesi ile her elemanın davranışına göre kabul kriteri söz konusu olmaktadır. şekil 2.12'de basitleştirilmiş kuvvet-yer değiştirme eğrileri gösterilmektedir. Bunlardan birinci eğri sünek davranışı temsil etmektedir. Eğride elastik davranıştan sonra pekleşme veya yumuşama gösteren bir plastik davranış bölgesi mevcuttur. Yumuşama bölgesinde karşılanan kuvvet azalmış olmasına rağmen, yine ihmal edilmeyecek bir değer söz konusudur. Bu tür davranış gösteren bir ana elemanın kabul edilmesi, seçilen performans

seviyesine göre elastik (0-1) veya pekleşen plastik (1-2) bölgede kalması ile mümkündür. İkincil elemanların kabul edilme durumu, eğrinin her bölgesinde söz konusu olabilir. Ana

elemanlarda $e > 2g$ ise (değilse), davranışın yerdeğiştirme (kuvvet) kontrolü altında çıktığı kabul edilmektedir. İkincil elemanlarda ise, bu davranış daima yerdeğiştirme kontrolü olarak kabul edilmektedir. Burada Q_y , elemanın akma dayanımını göstermektedir.

Şekil 2.12'deki ikinci eğri de diğer tür bir sünek davranışı temsil etmektedir. Elastik ve plastik davranıştan sonra ani bir düşüşle dayanım kaybolur. Plastik bölgenin yeterince büyük olması durumunda da ($e \geq 2g$), bu davranışın şekil değiştirme kontrolü altında çıktığı kabul edilmektedir. Bu koşulun sağlanmadığı durumda ise, davranışın kuvvet kontrolü altında olduğu kabul edilmektedir. Bu davranışı sergileyen ana ve ikincil elemanların kabul edilmesi, performans seviyesine bağlıdır.

Şekil 2.12' deki üçüncü davranış eğrisi gevrek veya sünek olmayan davranışı temsil etmektedir. Elastik bölgeden sonra ani bir düşüş ve dayanımın tamamen kaybı söz konusudur. Daima kuvvet kontrollü olarak isimlendirilen bu davranışın kabulü, ana ve ikincil elemanlarda ancak elastik bölgede kalınması ile mümkündür.

Bazı elemanların kabul kriteri dönme veya yerdeğiştirme (ϕ veya Δ) olarak öngörülebildiği gibi, bunların akma değerlerine oranı (ϕ/ϕ_y , Δ/Δ_y) olarak da verilebilmektedir. Doğrusal olmayan çözümlere kullanıldığında, elemanların kapasiteleri, yerdeğiştirme değeri kontrolü durumunda müsaade edilen elastik olmayan yerdeğiştirme; kuvvet kontrolü durumunda da müsaade edilen dayanım değeri olarak kabul edilmektedir. Eğer doğrusal çözümlere kullanılıyorsa; yerdeğiştirme kontrolü durumunda, Q_{CE} beklenen dayanım, her elemanda performans durumuna ve etki seviyesine bağlı m davranış değiştirme katsayısı ile çarpımı kapasite olarak tanımlanmaktadır. Kuvvet kontrolü durumunda ise müsaade edilen dayanım esas alınmaktadır. Tablo 2.24 ve Tablo 2.25'te bu kapasiteler özetlenmiştir. Burada κ eleman hakkında bilgiyi yansıtan bir katsayı ve σ malzeme dayanımındaki standart sapmadır. Kuvvet ve yerdeğiştirme kapasitesinin hesabı her eleman için ayrıntılı biçimde verilmektedir.

Tablo 2.24. Doğrusal davranış kabulünde elemanın kapasitesinin hesabı (kapasite azaltma katsayısı $\phi=1$) (Celep, Z., Kumbasar, N., 2004)

Parametre	Yer değiştirme kontrollü	Kuvvet kontrollü
Mevcut malzeme dayanımı	Pekleşmeli beklenen değer	Alt sınır değeri ($\approx -1\sigma$ seviyesi)
Mevcut etki kapasitesi	κQ_{CE}	κQ_{CE}
Yeni malzeme dayanımı	Beklenen malzeme değeri	Öngörülen malzeme değeri
Yeni etki kapasitesi	Q_{CE}	Q_{CE}

Tablo 2.25. Doğrusal olmayan davranış kabulünde elemanın kapasitesinin hesabı (kapasite azaltma katsayısı $\phi=1$) (Celep, Z., Kumbasar, N., 2004)

Parametre	Yer değiştirme kontrollü	Kuvvet kontrollü
Yerdeğiştirme kapasitesi- Mevcut eleman	κ - yer değiştirme sınırı	-
Yerdeğiştirme kapasitesi- Yeni eleman	Yerdeğiştirme sınırı	-
Dayanım kapasitesi- Mevcut eleman	-	κQ_{CL}
Dayanım kapasitesi- Yeni eleman	-	Q_{CL}

3. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEMELER

3.1. Giriş

İkinci bölümde açıklanmış olan artımsal itme analizi yöntemi, bu bölümde örnek olarak seçilen çelik çerçeveli yapılara uygulanmaktadır. Yapılan analizlerde SAP2000 (2003) bilgisayar programı kullanılmıştır. Örnek modellere etkiyen düşey yükler TS498'e (1997) göre belirlenmiştir. SAP2000 bilgisayar programında modelleme ve artımsal itme analizinin nasıl yapıldığı açıklanmakta, seçilen yapılar için gerçekleştirilen çözümler aşağıda sunulmaktadır.

3.2. Uygulamaya Konu Yapıların Modellenmesi

Çözümlerinde kullanılan SAP2000 bilgisayar programında bir yapının modellenmesi ve çözümü genellikle aşağıdaki işlem adımlarıyla yapılmaktadır.

a) Tanımlama:

Aks sayıları, açıklıkları ve kat yükseklikleri girilerek yapının geometrik bilgileri programa tanıtılmış olur. Daha sonra malzeme tanımı ve yük tanımlamaları yapılmaktadır. Hareketli ve hareketsiz yükler üst üste toplanırken yanal yükler ise ayrı ayrı alınır. Son olarak da dinamik fonksiyon tanımlamaları yapılmaktadır.

b) Atama:

Tanımlama işleminden sonra atama işlemi yapılır. Daha önce tanımlanan malzeme, kesit ve yükler atanarak model oluşturulur.

c) Analiz:

Oluşturulan model koşullararak analiz yapılır.

d) Boyutlandırma:

Analizin sonunda boyutlandırma işlemi yapılır. Bu işlem de programda tanıtılmış yönetmeliklerden herhangi birinin seçilmesiyle gerçekleştirilmektedir.

Artımsal itme analizinin uygulanmasında, yapının modelleme işlemi tamamlandıktan sonra kesitlerde plastik mafsalları tanımlamalarının yapılması gerekmektedir. Elastik olmayan analiz sonucunda plastikleşmesi beklenen kiriş ve kolon elemanların kritik kesitleri için iç

kuvvet – deformasyon bağıntıları tanımlanmakta ve ilgili kesitlere atanmaktadır. Bu aşamada iki seçenek mevcuttur.

Birincisinde; bu bağıntılar kullanıcı tarafından programa girilir. İkincisinde; kesit ve donatı özellikleri göz önünde bulundurularak ATC-40 ve FEMA-356’da önerilen bağıntılar kullanılarak program tarafından otomatik olarak belirlenir. Bu bağıntılar SAP2000 programında şu şekilde tanımlanmıştır. Tek eksenli eğilme momentini içeren *M3* mafsalı (genellikle kirişlerde kullanılmaktadır), iki eksenli eğilme momenti ve eksenel kuvvetin etkileşimini içeren *PMM* mafsalı (genellikle kolon ve perdelerde kullanılmaktadır), sadece kesme kuvvetini içeren *V* mafsalı (genellikle kolon ve perdelerde kullanılmaktadır) ve sadece eksenel kuvveti içeren *P* mafsalıdır.

Elastik ötesi davranış sonucunda oluşan plastik şekil değiştirmelerin plastik mafsal bölgelerinde toplandığı kabulüyle, belirli bir yük parametresinden sonra sistemde yeterince plastik mafsalın oluşması beklenmektedir. Sistemde ilk plastik mafsal oluşması demek, sistemin doğrusal-elastik davranıştan doğrusal olmayan davranışa geçmesi demektir.

Artımsal itme analizi, kullanıcının yapıyı oluşturan tüm elemanların hasar oranlarını belirlemesine imkan sağlamaktadır. Programda eleman kesitinin hangi deformasyon değerlerinde hangi hasarın yani performans seviyesinin oluştuğunun tanınması gerekmektedir. Elemanın deformasyon sürecinde, dönme değerlerine göre hangi performans (hasar) seviyesinde bulunduğunu program ifade eder. Bu seviyeye karşılık gelen moment değerlerinin program tarafından analiz sırasında tanınması sağlanır.

Elemanların modellenmesi işlemi sona erdikten sonra analiz için yapılması gerekli hesaplamaların da programa tanıtılması gerekmektedir. İlk aşamada sabit ve hareketli yükler bir katsayı ile çarpılarak yapı modeline uygulanır. Burada dikkate alınan ağırlık yapının kendi ağırlığı olduğu için bu katsayı “1” olarak seçilmektedir. Çözümleme, ilk aşamada yapı modeline etkileyen sabit ve hareketli yüklerin neden olacağı şekildeğiştirme değerlerinin elde edilmesi ile sonuçlandırılmaktadır.

Dinamik analizi içeren ikinci aşamada ise yatay yerdeğiştirme değerleri belirlenmektedir.

SAP2000 programı yardımıyla gerçekleştirilen artımsal itme analizinin, biri yük kontrollü, diğeri ise yanal deplasman kontrollü analiz olmak üzere iki temel şekli bulunmaktadır. Yanal deplasman kontrollü analiz ise yüke, ivmeye veya mod şekline bağlı olarak yapılabilmektedir.

SAP2000 programında artımsal itme analizinden önce yapının düşey yükler altında doğrusal analizinin yapılması gerekmektedir. Doğrusal analiz yapıldıktan sonra doğrusal olmayan statik itme analizi (artımsal itme analizi) programda koşturulabilir. Bu analiz gerçekleştirilirken üç yöntem kullanılmaktadır:

- Sistemdeki yüklemelerin tamamının kaldırılması

Hızlı ve ekonomik çözümdür.

- Yerel yük düzenlemesi

Bu metodun diğerinden farkı; yükleme yapının tamamından kaldırılmaz, sadece plastikleşen (boşalan) mafsallın olduğu elemandan yükleme kaldırılarak bu elemana verilecek yük diğer elemanlara paylaştırılarak yükleme sürecine devam edilir.

- Sekant çözüm metodu

Sistem sekant rijitliğini kullanarak yeniden yüklenir. Bu metod diğer ikisinden çok farklıdır. Bir elemanın üzerindeki mafsallardan herhangi biri plastikleşmeye başladığında, doğrusal olmayan her bir mafsal sekant rijitliği özelliğine göre yeniden oluşturulur ve analiz tekrarlanır. Sekant eğrisi gerilme-şekil değiştirme ($\sigma - \epsilon$) eğrisi üzerinde her bir mafsal için belirlenir.

Doğrusal olmayan bu analiz sonucunda program kütüphanesinden seçilen her bir yerdeğiştirme adımı için yapının, taban kesme kuvveti, spektral yerdeğiştirmeye karşılık gelen ivme değerleri ve elemanların hangi performans seviyelerinde buldukları gibi bilgiler elde edilebilir. Daha önce programda girilen sınır yerdeğiştirme değerine analiz sonucunda ulaşılmamış ise modeli oluşturan elemanlardan herhangi biri bu sınır yerdeğiştirme değerine erişmeden göçme noktasına ulaşmış demektir. Ancak taşıyıcı sistem henüz göçmemiştir. Bu durumda yerdeğiştirme değeri artırılıp işlemler tekrarlanır. Yapı, sınır yerdeğiştirme değerine eriştiğinde ise taşıyıcı sistem göçme durumuna ulaşmış demektir ki bu noktadaki yerdeğiştirme ve kesme kuvveti değerleri aranan değerler olmaktadır.

Buraya kadar SAP2000 programı ile doğrusal olmayan statik analizde izlenilecek yol ana hatlarıyla özetlendi. Bu analizde izlenen yol, daha açıklayıcı olabilmesi açısından, aşağıda maddeler halinde sunulmaktadır.

- Malzeme özelliklerinin tanımlanması
- Kesit özelliklerinin tanımlanması
- Yapı elemanlarının oluşturulması

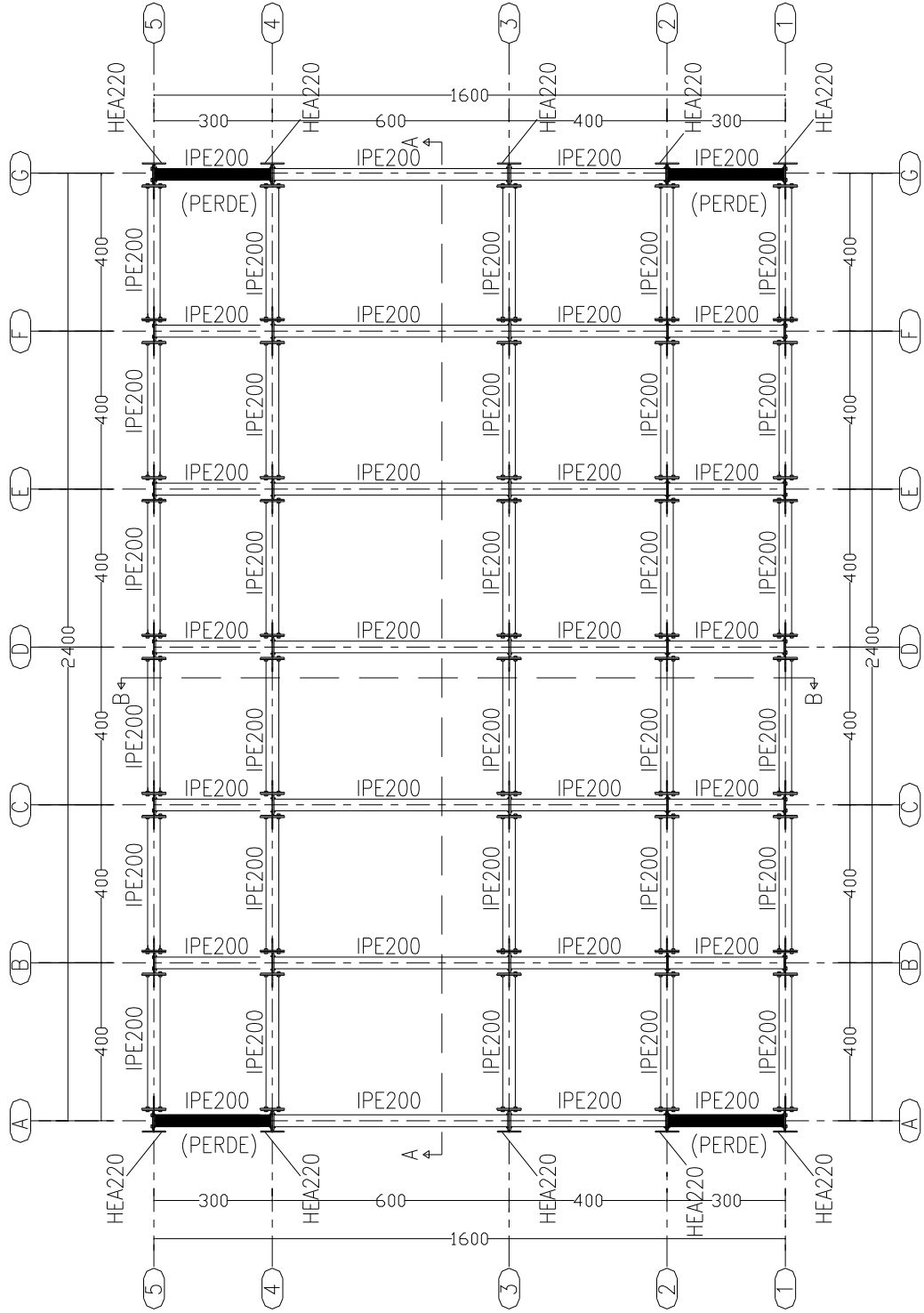
- Kesit özelliklerinin girilerek yapı elemanlarına atanması
- Yüklerin girilmesi (TS498 ve Yeni Türk Deprem Yönetmeliği kullanılmıştır)
- Düşey yüklerin (sabit ve hareketli) tanımlanması ve modele uygulanması
- Doğrusal analizin koşturulması
- Plastik mafsallık özelliklerinin tanımlanması
- Plastik mafsalların yapı elemanlarına atanması
- Yükleme için yatay yüklerin (deprem yükleri) tanımlanması
- Doğrusal olmayan analiz için kontrol noktasının, analiz çeşidinin ve yük katsayılarının girilmesi
- Doğrusal olmayan analizin koşturulması

Analiz koşturulduktan sonra yapı elemanlarında oluşan plastik mafsallar ve yerleri elde edilerek model üzerinde görüntülenebilir. Ayrıca, performans seviyeleri ile elemanlarda oluşan kesit etkileri ve taşıyıcı sistem yük parametresi – yerdeğiştirme değerleri elde edilebilmektedir.

3.3. Uygulamalar

Artımsal itme analizi uygulaması için kullanım amacı iş merkezi olan 5 katlı bir çelik yapı tasarlanmıştır. Bu yapının plan görünümü Şekil 3.1’de, kesitleri ise Şekil 3.2 ve Şekil 3.3’de gösterilmektedir. Bu yapı öncelikle salt çerçeve sistem (perdesiz) olarak, sonra plan görünüşünde (Şekil 3.1) gösterilen açıklıklarda ilave edilen ve TDY Bölüm 4.5’ te *Merkezi ve Dışmerkez Çelik Çaprazlı Perdeler* başlığı altında tanımlanan çapraz eleman türleri (Şekil 3.4) ile yazar tarafından “W” tipi olarak tanımlanan çapraz elemanlar kullanılarak oluşturulan toplam 6 tür perde düzenlemesi için ayrı ayrı çözümlenmiştir. Yapı modellerinde uygulanan perde düzenlemeleri Şekil 3.5’de topluca verilmiştir. Perde elemanlar modele, yapının planda daha az rijit olduğu, Y doğrultusunda yerleştirilmiştir.

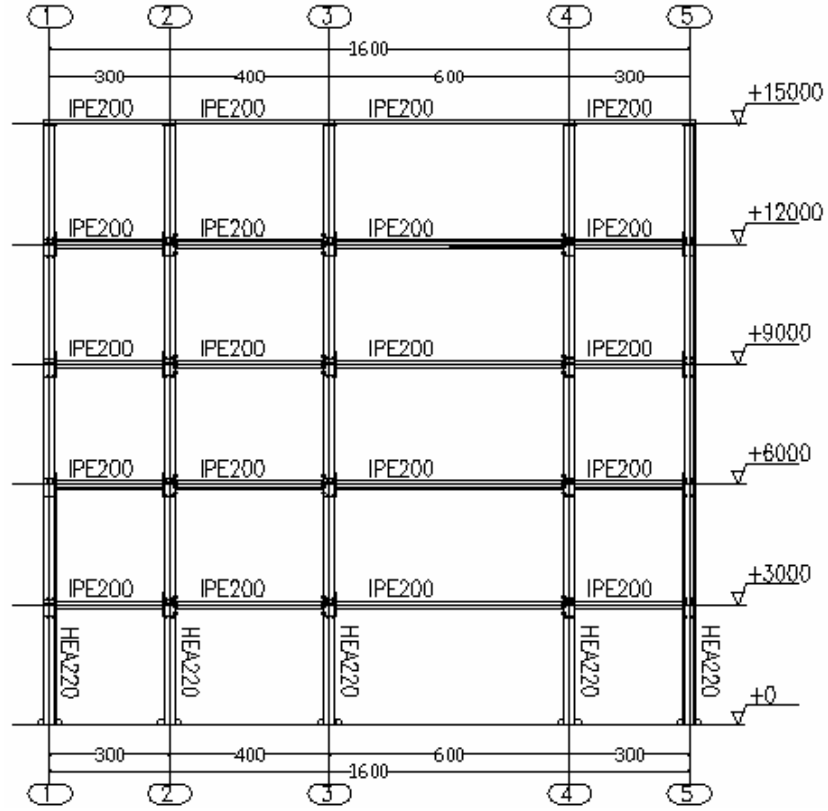
Çaprazların çerçeve düğüm noktalarına merkezi olarak bağlandığı merkezi çelik çaprazlı perdeler süneklik düzeyi yüksek veya süneklik düzeyi normal sistem olarak boyutlandırılabilirler (bkz. TDY-Bölüm 4.5.b).



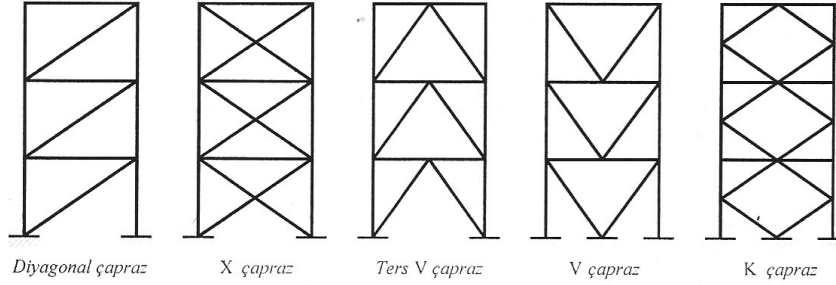
Şekil 3.1. Uygulamalara konu olan çelik yapının kat planı



Şekil 3.2. Uygulamalara konu olan çelik yapının A-A kesiti

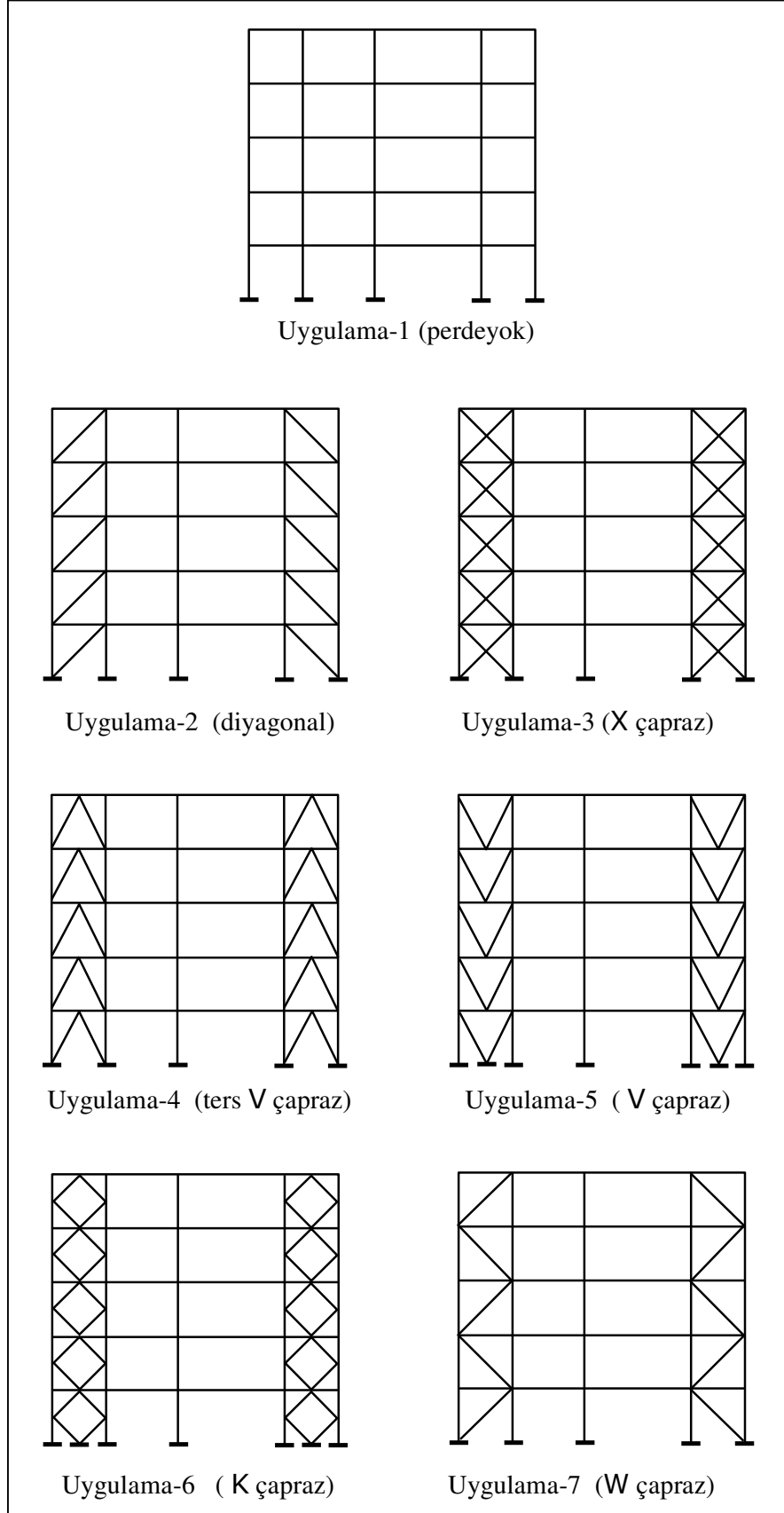


Şekil 3.3. Uygulamalara konu olan çelik yapının B-B kesiti



Şekil 3.4. Deprem yönetmeliğinde verilen merkezi çelik çaprazlı perde türleri

Hesaplar, yapının 1. derece deprem bölgesinde olduğu kabulüyle gerçekleştirilmiştir. Böylece deprem bölge katsayısı, $Z= 0.0075$ seçilmiştir. Tasarım depremi seçilerek deprem etkisi türü katsayısı $E=1.0$ kabul edilmiştir. Orta deprem oluşturan deprem kaynağına mesafe 10 km seçilerek kaynağa mesafe katsayıları $N_A=1.0$ ve $N_V=1.0$ alınmıştır. Bu katsayıların çarpımından oluşan ZEN parametresine ve zemin sınıfına bağlı olarak C_A ve C_V parametreleri sırasıyla 0.18 ve 0.25 seçilmiştir. Çok sıkı zemin-yumuşak kaya olarak adlandırılan S_C sınıfı zemin seçilmiştir.

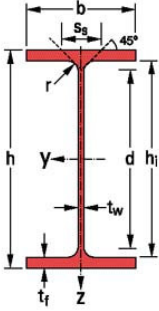


Şekil 3.5. Yapı modellerinde uygulanan çapraz elemanlı perde düzenlemeleri

Deprem davranış türü, uzun süreli deprem dikkate alınarak, yeni tasarlanan yapı için öngörülen B tipi seçilmiştir. Buna bağlı olarak, “kappa faktörü” adıyla tanımlanan sönüm değiştirme katsayısı $\kappa=0.67$ olarak belirlenmiştir.

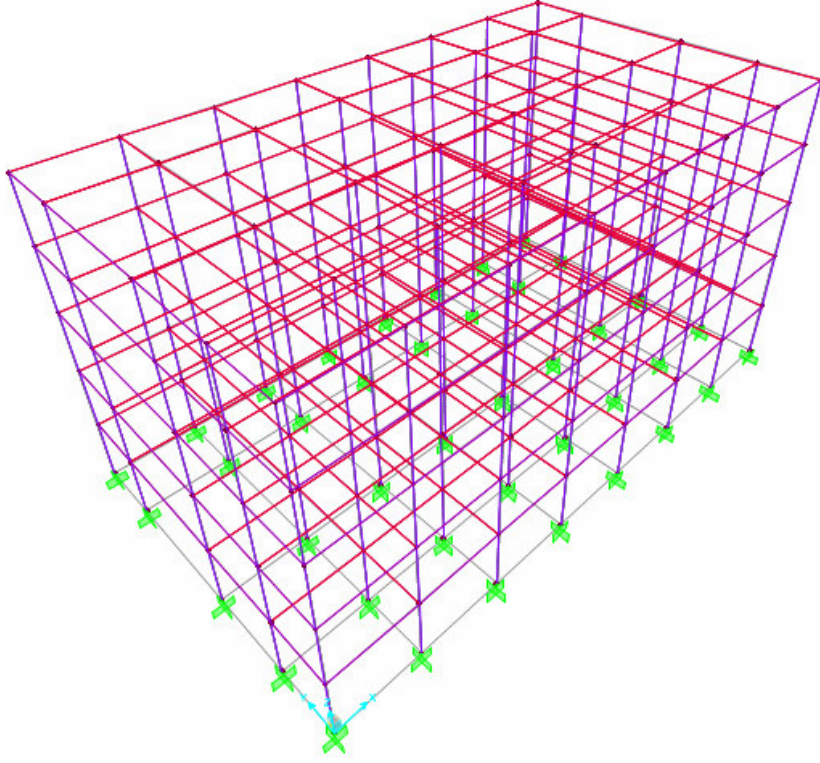
Bu çalışmada yanal deplasman kontrollü artımsal itme analizi, yüke dayalı olarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca daha önce açıklandığı şekilde, sistemdeki yüklemelerin tamamının kaldırılması yöntemi uygulanmıştır. Yapının modellenmesinde kolonlar HE220A, kirişler IPE200 ve çapraz elemanlar HE120A olarak seçilmiştir. Çelik türü St-37 kabul edilen profillerin kesit özellikleri Tablo 3.1’de verilmektedir.

Tablo 3.1. Kullanılan profillerin kesit özellikleri

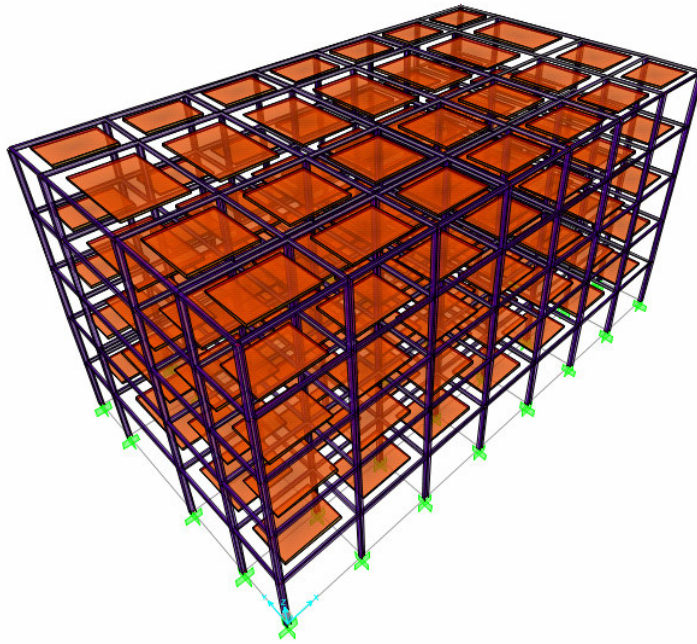
	KESİT	ÖLÇÜLER						KESİT ALANI	TASARIM ÖLÇÜLERİ		
		G	h	b	tw	tf	r	A	hi	d	Ø
		kg/m	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm ²	mm	mm
	IPE 200	22,4	200	100	5,6	8,5	12	28,48	183,0	159,0	M10
	HE 120 A	19,9	114	120	5,0	8,0	12	25,34	98	74	M12
	HE 220 A	50,5	210	220	7,0	11,0	18	64,34	188	152	M27

3.3.1. Uygulama-1

Bu uygulamada 5 katlı çelik çerçeve, perdesiz olarak çözümlenmiştir. Yapının SAP2000 programıyla artımsal itme analizinin yapılabilmesi için oluşturulan matematik modeli Şekil 3.6’da, dolu gövdeli görünümü Şekil 3.7’de ve atanan mafsallar Şekil 3.8’de verilmektedir.



Şekil 3.6. Uygulama-1'e konu olan yapının matematik modeli

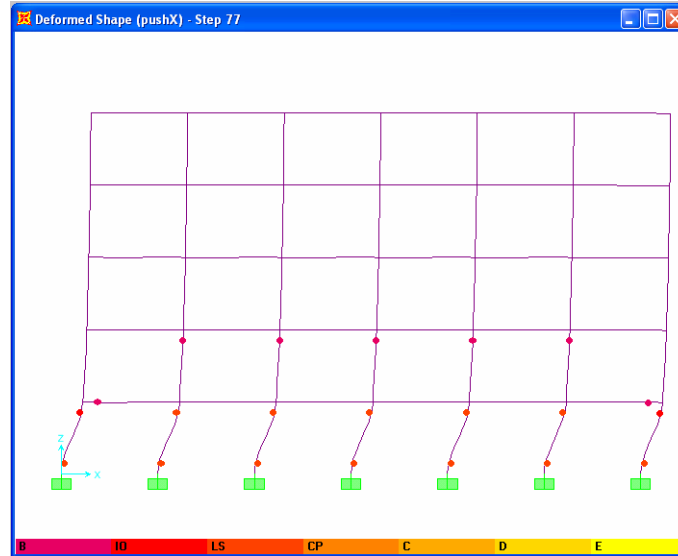


Şekil 3.7. Uygulama-1'e konu olan yapının dolu gövdeli görünümü

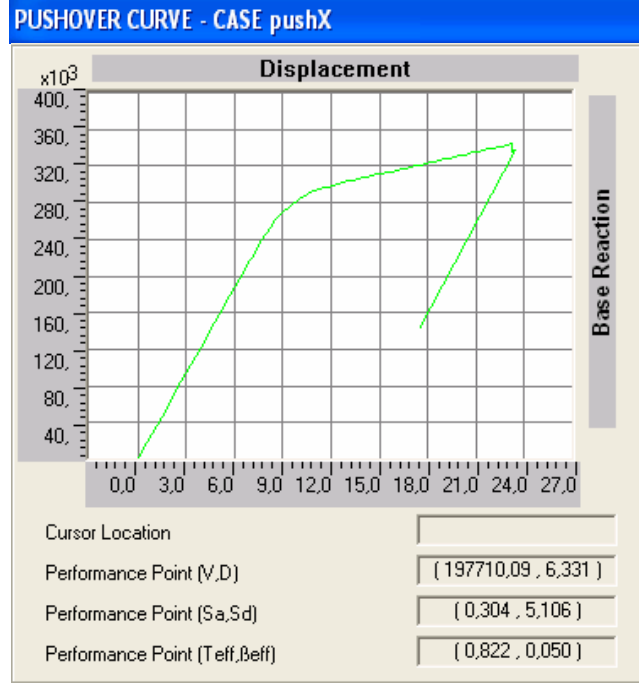


Şekil 3.8. Uygulama-1 için atanan mafsallar

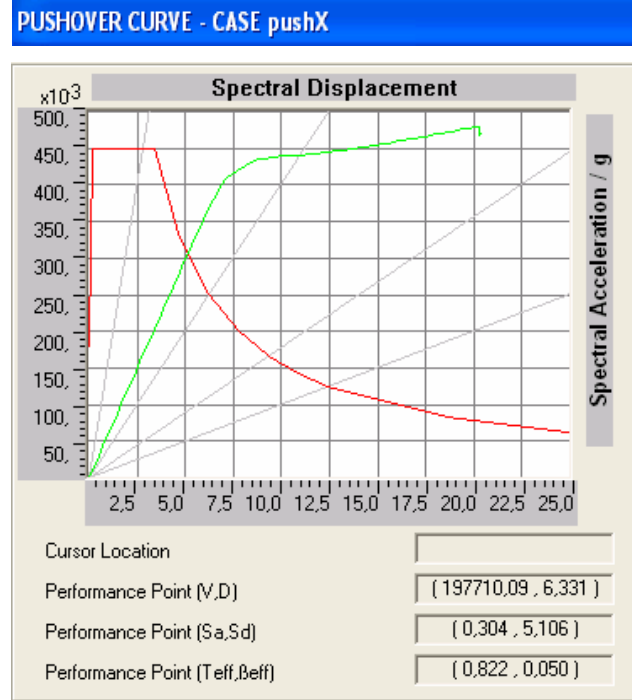
Artımsal itme analizi sonucunda yapının göçme anında (77. adım) X doğrultusunda şekil değiştirmiş hali ve plastik mafsal oluşumu Şekil 3.9’da, elde edilen kapasite eğrisi Şekil 3.10’da, kapasite spektrum eğrisi Şekil 3.11’de ve elemanların performans seviyelerine göre hasar durumları (mafsal sayıları) ise Tablo 3.2’de verilmektedir.



Şekil 3.9. Uygulama-1’e konu olan yapının X doğrultusunda şekil değiştirmiş hali ve plastik mafsal oluşumu



Şekil 3.10. X doğrultusu için kapasite (pushover) eğrisi



Şekil 3.11. X doğrultusu için kapasite spektrum eğrisi

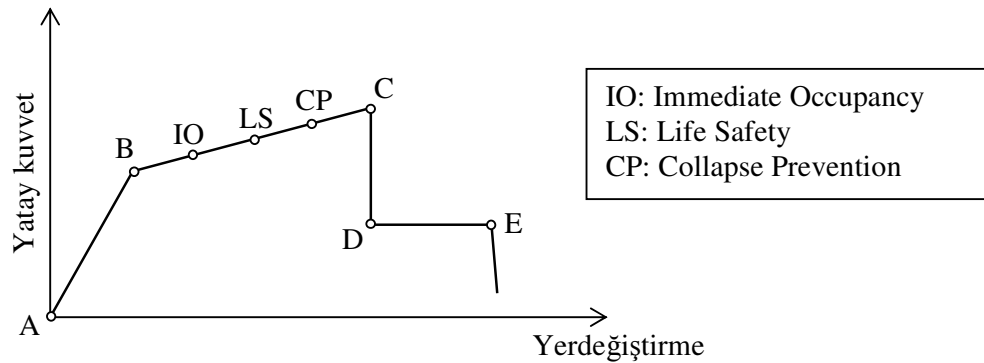
Tablo 3.2. X doğrultusu için 67-77. adımlar arası elemanların performans seviyelerine göre hasar durumu

Step	Displacement	Base Force	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
67	21,1558	335974,2188	823	37	25	45	0	0	0	0	930
68	21,4558	337174,8438	823	37	20	50	0	0	0	0	930
69	21,7558	338375,4688	820	40	19	51	0	0	0	0	930
70	22,0558	339561,2813	820	40	19	51	0	0	0	0	930
71	22,3558	340747,1250	814	46	19	51	0	0	0	0	930
72	22,6558	341902,0938	812	48	18	52	0	0	0	0	930
73	22,9558	343046,3750	811	49	14	56	0	0	0	0	930
74	23,2558	344188,1563	810	50	7	62	0	1	0	0	930
75	23,2561	336353,0938	810	50	5	64	0	0	1	0	930
76	23,4676	337357,7188	810	50	4	59	0	6	1	0	930
77	17,4464	141540,3594	810	50	4	58	0	1	7	0	930

Bu tabloda geçen aralıklar;

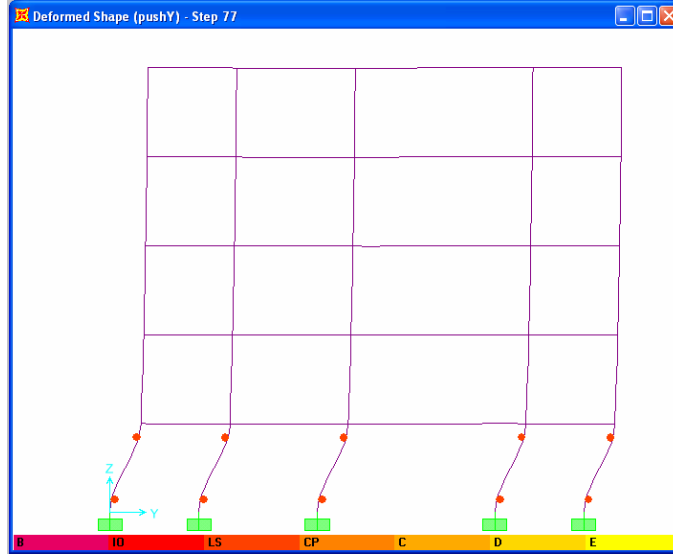
- A-B : Doğrusal elastik davranış bölgesi
- B-IO : Elastik ötesi-hemen kullanım seviyesi aralığı
- IO-LS : Hemen kullanım-can güvenliği seviyesi aralığı
- LS-CP : Can güvenliği-göçmenin önlenmesi seviyesi aralığı
- CP-C : Göçmenin önlenmesi-göçme sınırı aralığı
- C-D : Gerilmenin boşalıp kırılmaların başladığı aralık
- D-E : Göçme bölgesi
- > E : Tamamen göçme noktası

olarak tanımlanmaktadır. Bu aralıklar sembolik bir kapasite eğrisi üzerinde basitleştirilmiş olarak aşağıda Şekil 3.12'de gösterilmektedir.

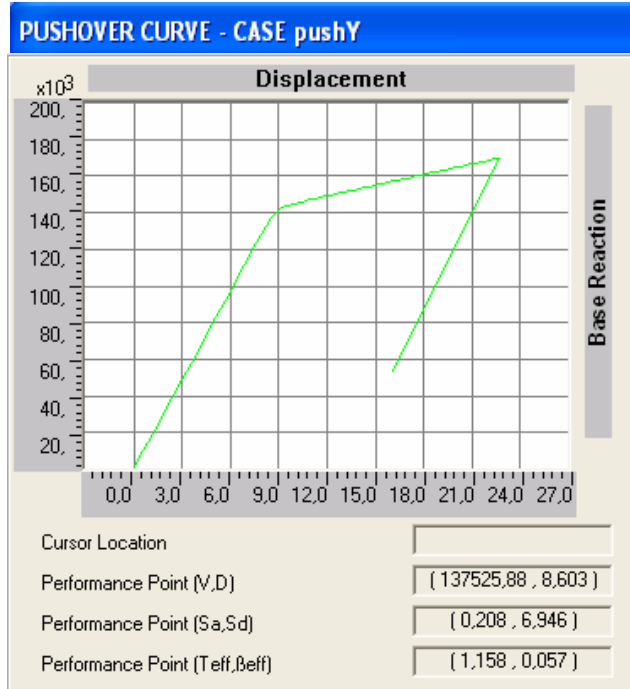


Şekil 3.12. Sembolik bir kapasite eğrisi üzerinde performans aralıkları

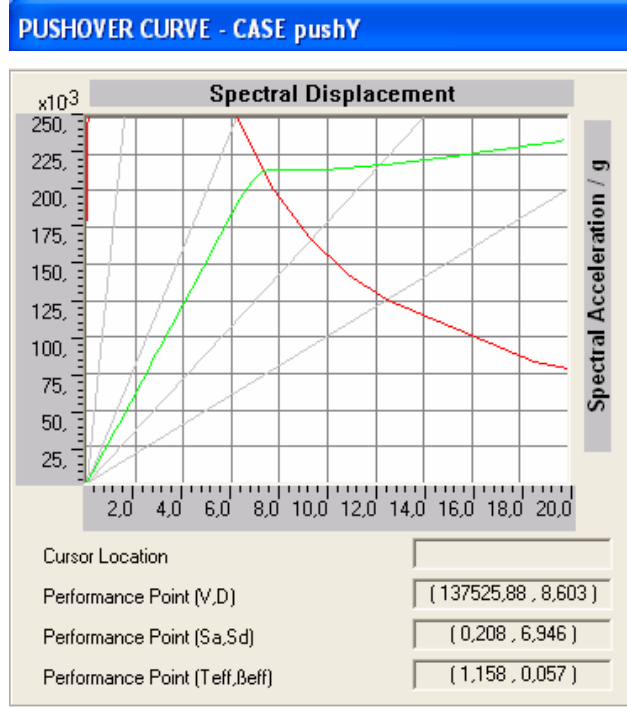
Yapının göçme anında (77. adım) Y doğrultusundaki şekil değiştirmiş hali ve plastik mafsall oluşumu Şekil 3.13'te, elde edilen kapasite eğrisi Şekil 3.14'te, kapasite spektrum eğrisi Şekil 3.15'te ve elemanların performans seviyelerine göre hasar durumları (mafsal sayıları) da Tablo 3.3'te verilmektedir.



Şekil 3.13. Uygulama-1'e konu olan yapının Y doğrultusundaki şekildeğiştirmiş hali ve plastik mafsall oluşumu



Şekil 3.14. Y doğrultusu için kapasite (pushover) eğrisi



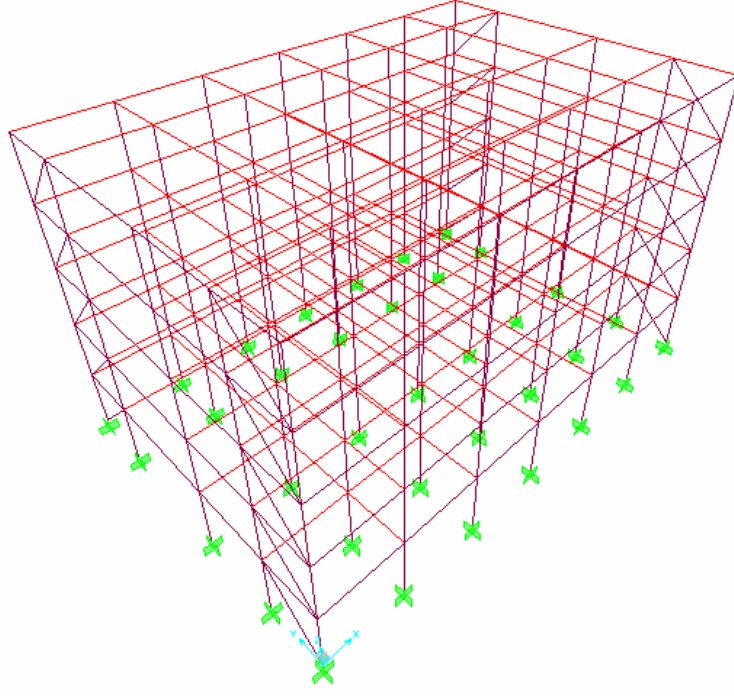
Şekil 3.15. Y doğrultusu için kapasite spektrum eğrisi

Tablo 3.3. Y doğrultusu için 67-77. adımlar arası elemanların performans seviyelerine göre hasar durumu

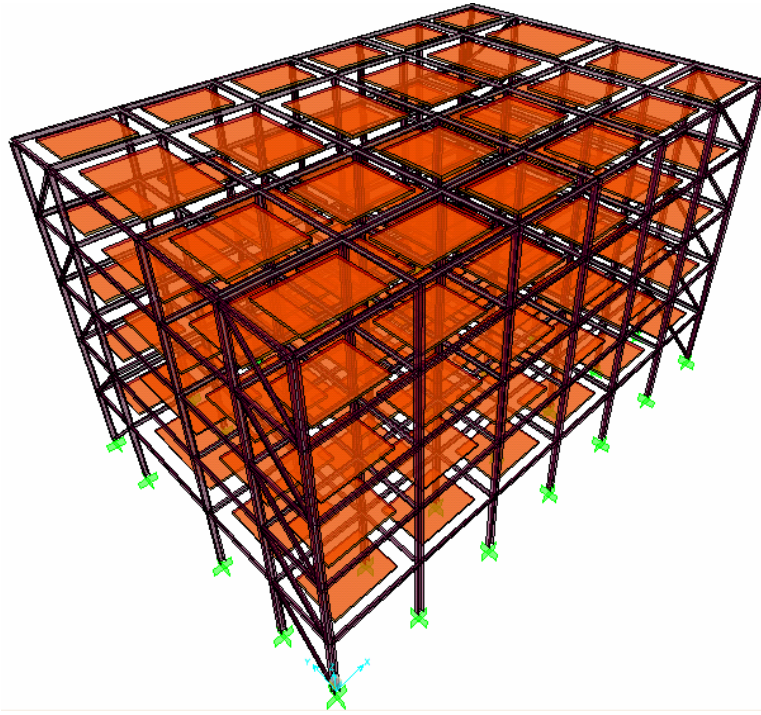
Step	Displacement	Base Force	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
67	20,0002	164674,3750	830	30	30	40	0	0	0	0	930
68	20,3002	165245,0469	830	30	20	50	0	0	0	0	930
69	20,6002	165815,7188	830	30	13	57	0	0	0	0	930
70	20,9002	166386,3906	830	30	9	61	0	0	0	0	930
71	21,2002	166957,0625	830	30	7	63	0	0	0	0	930
72	21,5002	167527,7344	830	30	4	66	0	0	0	0	930
73	21,8002	168098,4063	830	30	0	70	0	0	0	0	930
74	22,1002	168669,0625	828	32	0	70	0	0	0	0	930
75	22,4002	169236,6250	828	32	0	70	0	0	0	0	930
76	22,6863	169777,9219	823	37	0	67	0	3	0	0	930
77	15,9797	52823,9883	823	37	0	55	0	0	15	0	930

3.3.2. Uygulama-2

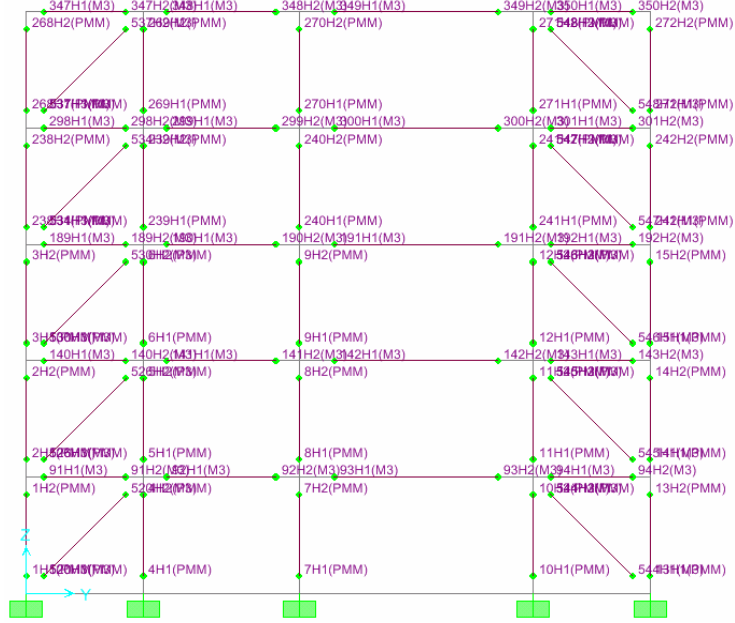
Uygulama-1'e konu olan 5 katlı çelik çerçeve yapının Y doğrultusunda ve Şekil 3.1'deki kat planında gösterilen yerlerine diyagonal çelik çapraz elemanlar eklenerek, artımsal itme analizinin yapılabilmesi için oluşturulan yeni durumun matematik modeli Şekil 3.16'da, dolu gövdeli görünümü Şekil 3.17'de ve atanan mafsallar Şekil 3.18'de verilmektedir.



Şekil 3.16. Uygulama-2'ye konu olan yapının matematik modeli

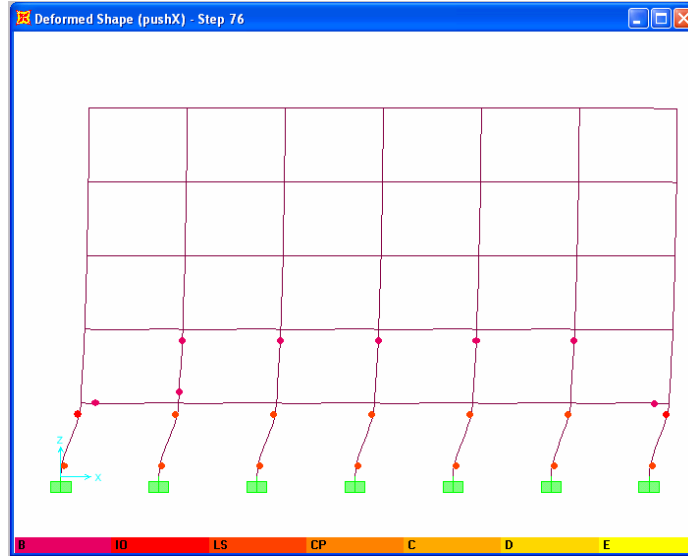


Şekil 3.17. Uygulama-2'ye konu olan yapının dolu gövdeli görünümü

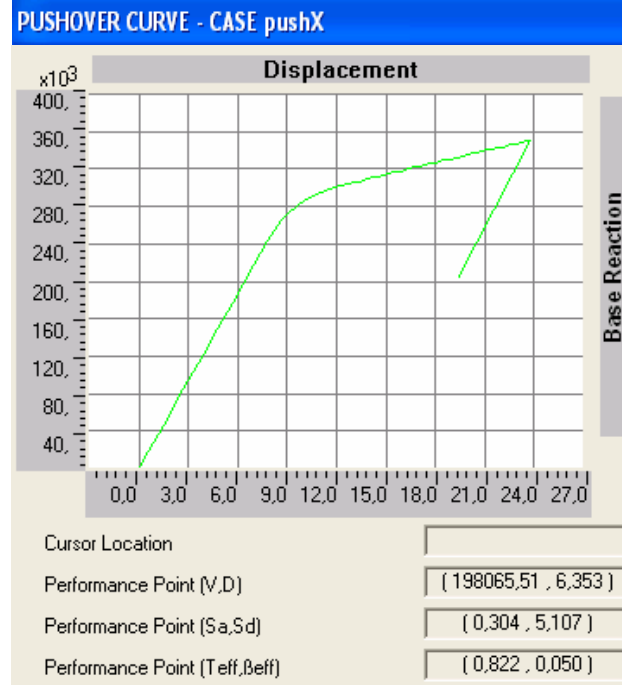


Şekil 3.18. Uygulama-2 için atanan mafsallar

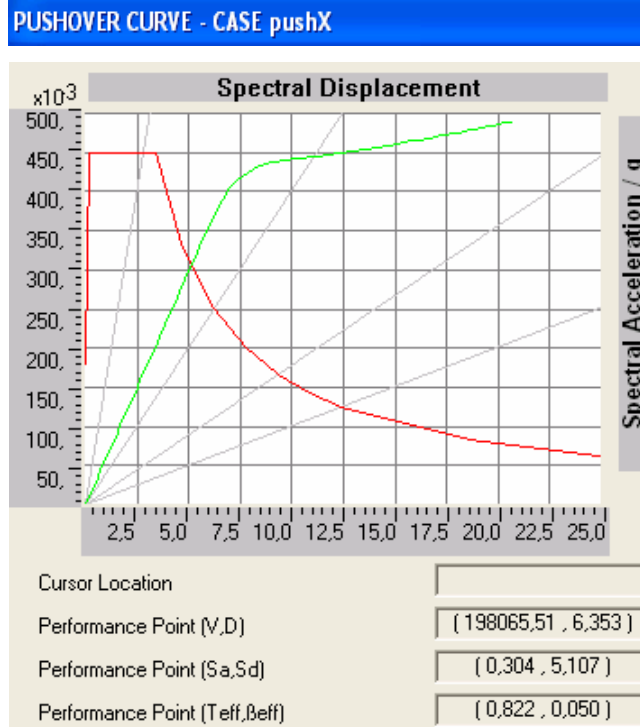
Yapının göçme anında (76. adım) X doğrultusundaki şekil değiştirmiş hali ve plastik mafsal oluşumu Şekil 3.19’da, elde edilen kapasite eğrisi Şekil 3.20’de, kapasite spektrum eğrisi Şekil 3.21’de ve elemanların performans seviyelerine göre hasar durumları (mafsal sayıları) ise Tablo 3.4’te verilmektedir.



Şekil 3.19. Uygulama-2’ye konu olan yapının X doğrultusundaki şekil değiştirmiş hali ve plastik mafsal oluşumu



Şekil 3.20. X doğrultusu için kapasite (pushover) eğrisi

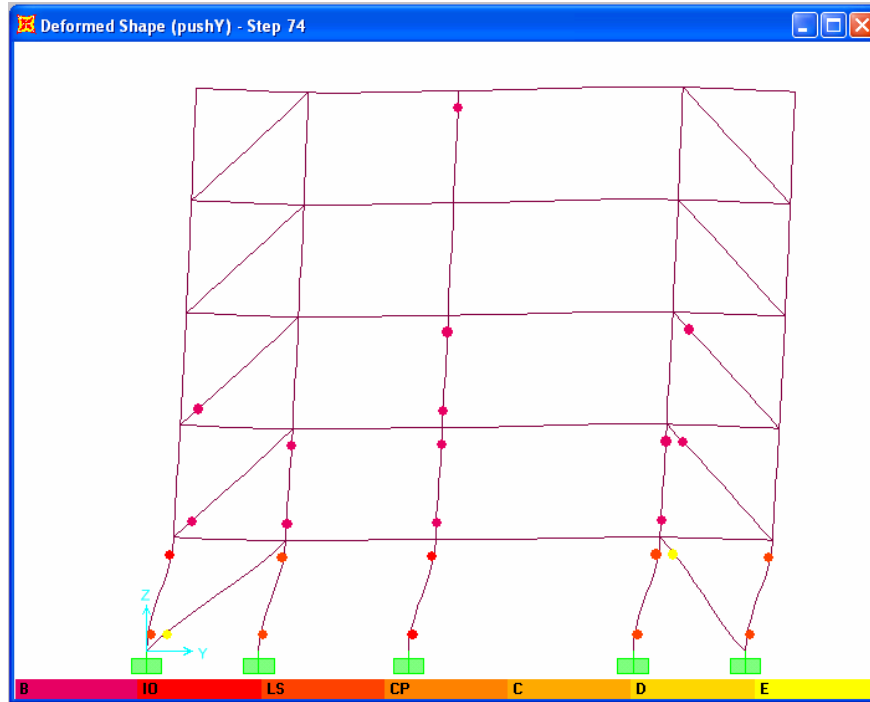


Şekil 3.21. X doğrultusu için kapasite spektrum eğrisi

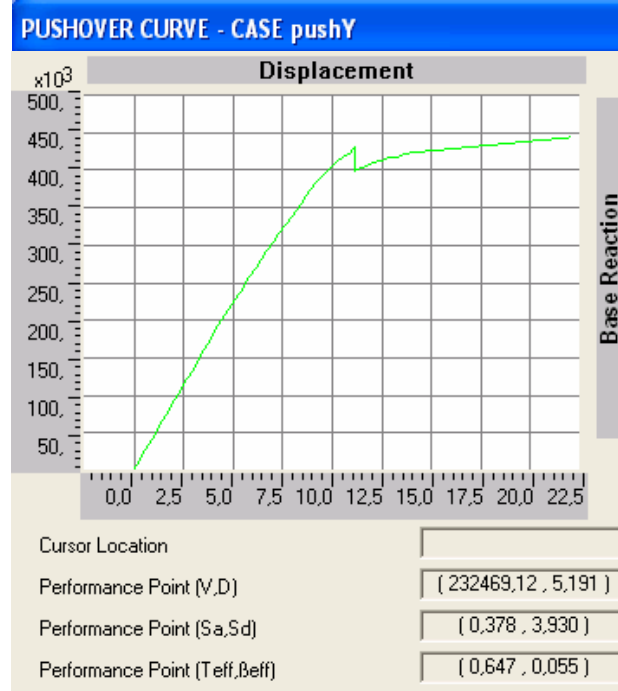
Tablo 3.4. X doğrultusu için 66-76. adımlar arası elemanların performans seviyelerine göre hasar durumu

Step	Displacement	Base Force	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
66	21,1363	340137,5313	876	44	29	41	0	0	0	0	990
67	21,4363	341364,3750	872	48	21	49	0	0	0	0	990
68	21,7363	342577,4688	867	53	19	51	0	0	0	0	990
69	22,0363	343761,8438	865	54	20	51	0	0	0	0	990
70	22,3363	344938,1875	864	54	21	51	0	0	0	0	990
71	22,6363	346113,8438	864	54	21	51	0	0	0	0	990
72	22,9363	347289,5000	864	54	20	52	0	0	0	0	990
73	23,2363	348465,1563	864	54	13	59	0	0	0	0	990
74	23,5363	349640,8125	861	57	8	64	0	0	0	0	990
75	23,7016	350281,2500	860	58	7	61	0	4	0	0	990
76	19,3079	202324,3125	860	58	7	59	0	1	5	0	990

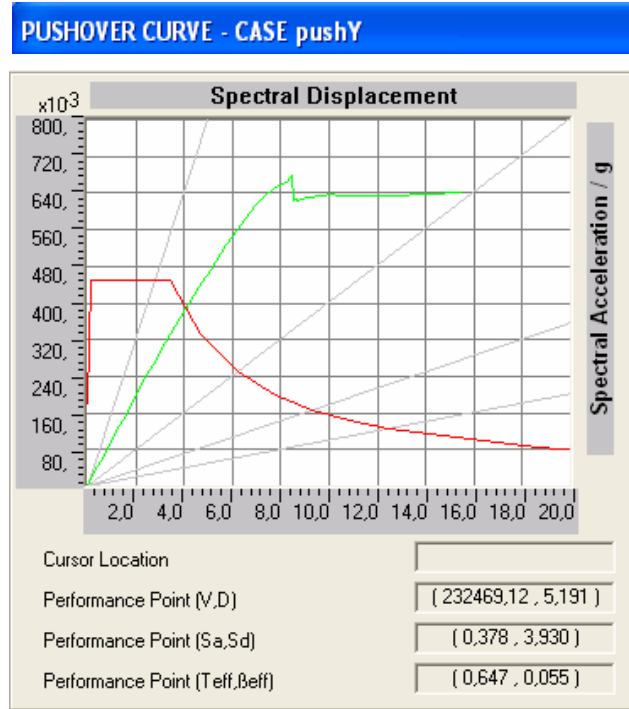
Yapının göçme anında (74. adım) Y doğrultusundaki şekil değiştirmiş hali ve plastik mafsalları Şekil 3.22’de, elde edilen kapasite eğrisi Şekil 3.23’te, kapasite spektrum eğrisi Şekil 3.24’te ve elemanların performans seviyelerine göre hasar durumları (mafsal sayıları) da Tablo 3.5’te verilmektedir.



Şekil 3.22. Uygulama-2’ye konu olan yapının Y doğrultusundaki şekildeğiştirilmiş hali ve plastik mafsalları oluşumu



Şekil 3.23. Y doğrultusu için kapasite (pushover) eğrisi



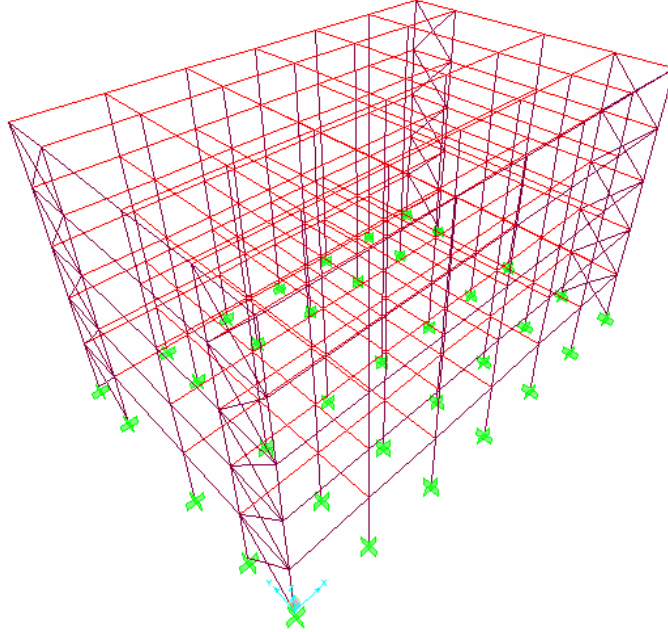
Şekil 3.24. Y doğrultusu için kapasite spektrum eğrisi

Tablo 3.5. Y doğrultusu için 64-74. adımlar arası elemanların performans seviyelerine göre hasar durumu

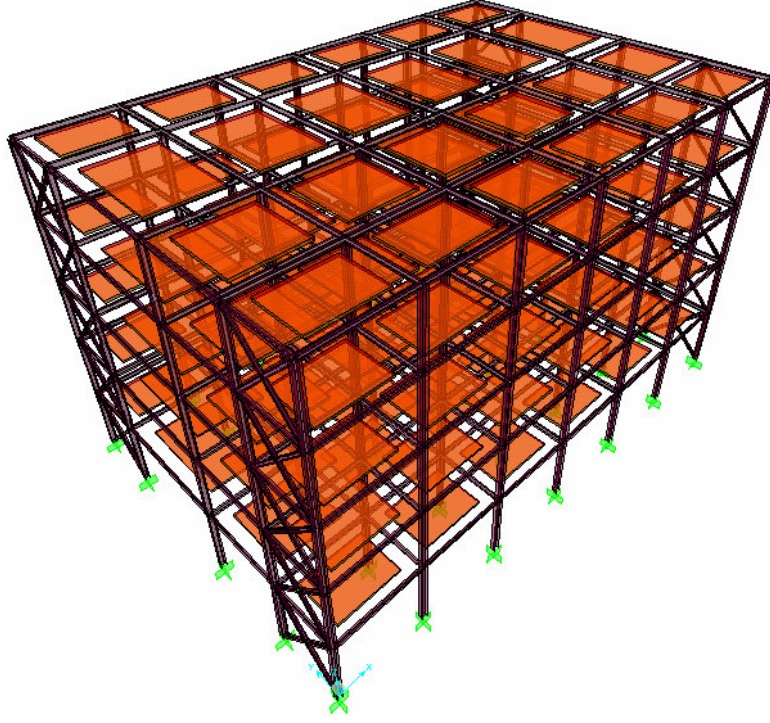
Step	Displacement	Base Force	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
64	19,0840	436429,5625	886	28	71	1	0	0	0	4	990
65	19,3840	437222,2500	885	29	70	2	0	0	0	4	990
66	19,6840	438012,1563	883	30	70	3	0	0	0	4	990
67	19,9840	438800,8438	882	30	70	4	0	0	0	4	990
68	20,2840	439589,1875	881	31	68	6	0	0	0	4	990
69	20,5840	440375,5000	879	33	68	6	0	0	0	4	990
70	20,8840	441160,5938	879	33	67	7	0	0	0	4	990
71	21,1840	441945,6563	876	36	67	7	0	0	0	4	990
72	21,4840	442727,4375	875	37	66	8	0	0	0	4	990
73	21,7840	443508,7500	874	38	66	8	0	0	0	4	990
74	22,0840	444289,1250	871	41	66	8	0	0	0	4	990

3.3.3. Uygulama-3

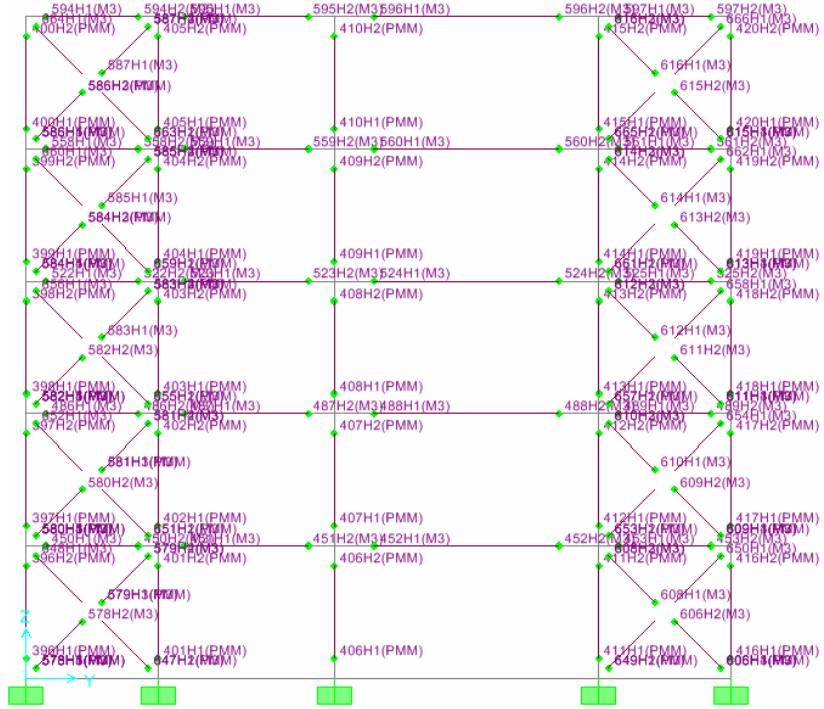
Uygulama-1'e konu olan 5 katlı çelik çerçeve yapının Y doğrultusunda ve Şekil 3.1'deki kat planında gösterilen yerlerine X tipi çelik çapraz elemanlar eklenerek, artımsal itme analizinin yapılabilmesi için oluşturulan yeni durumun matematik modeli Şekil 3.25'te, dolu gövdeli görünümü Şekil 3.26'da ve atanan mafsallar Şekil 3.27'de verilmektedir.



Şekil 3.25. Uygulama-3'e konu olan yapının matematik modeli

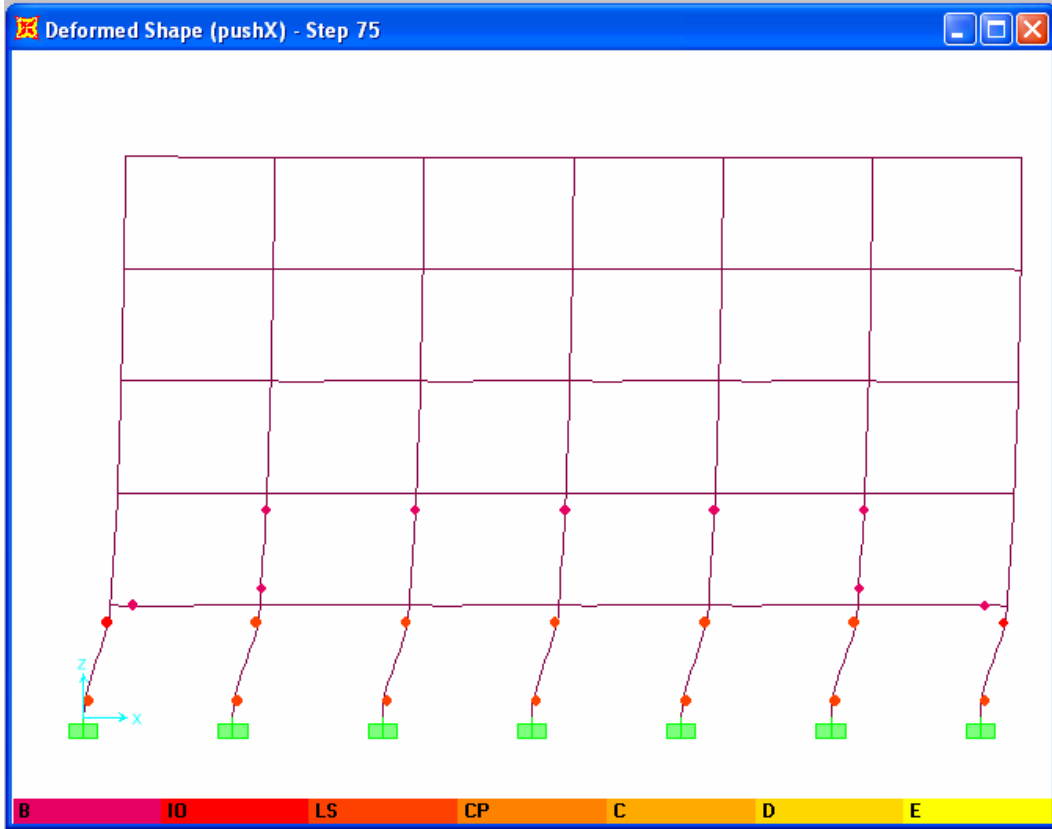


Şekil 3.26. Uygulama-3'e konu olan yapının dolu gövdeli görünümü

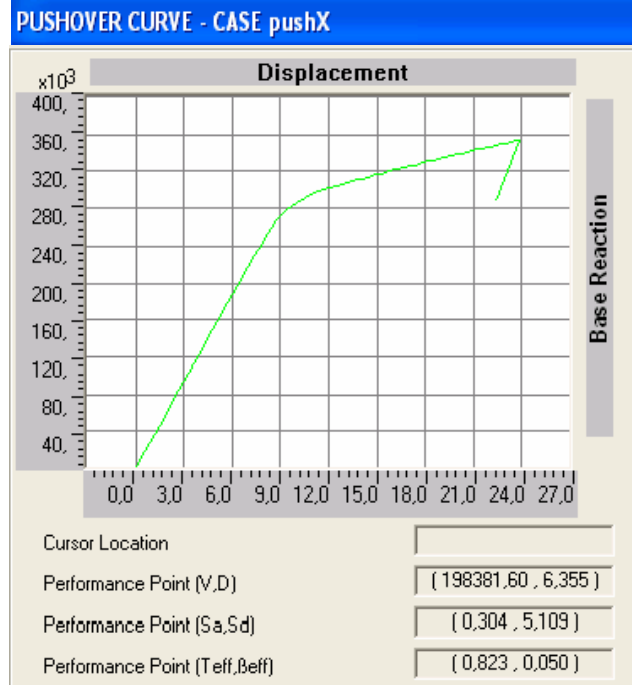


Şekil 3.27. Uygulama-3 için atanan mafsallar

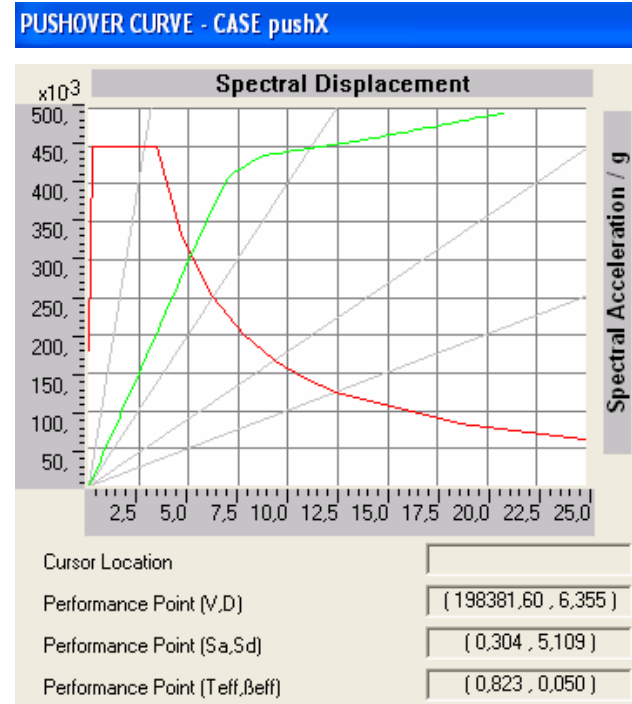
Yapının göçme anında (75. adım) X doğrultusundaki şekil değiştirmiş hali ve plastik mafsall oluşumu Şekil 3.28’de, elde edilen kapasite eğrisi Şekil 3.29’da, kapasite spektrum eğrisi Şekil 3.30’da ve elemanların performans seviyelerine göre hasar durumları (mafsal sayıları) ise Tablo 3.6’da verilmektedir.



Şekil 3.28. Uygulama-3’e konu olan yapının X doğrultusundaki şekil değiştirmiş hali ve plastik mafsall oluşumu



Şekil 3.29. X doğrultusu için kapasite (pushover) eğrisi

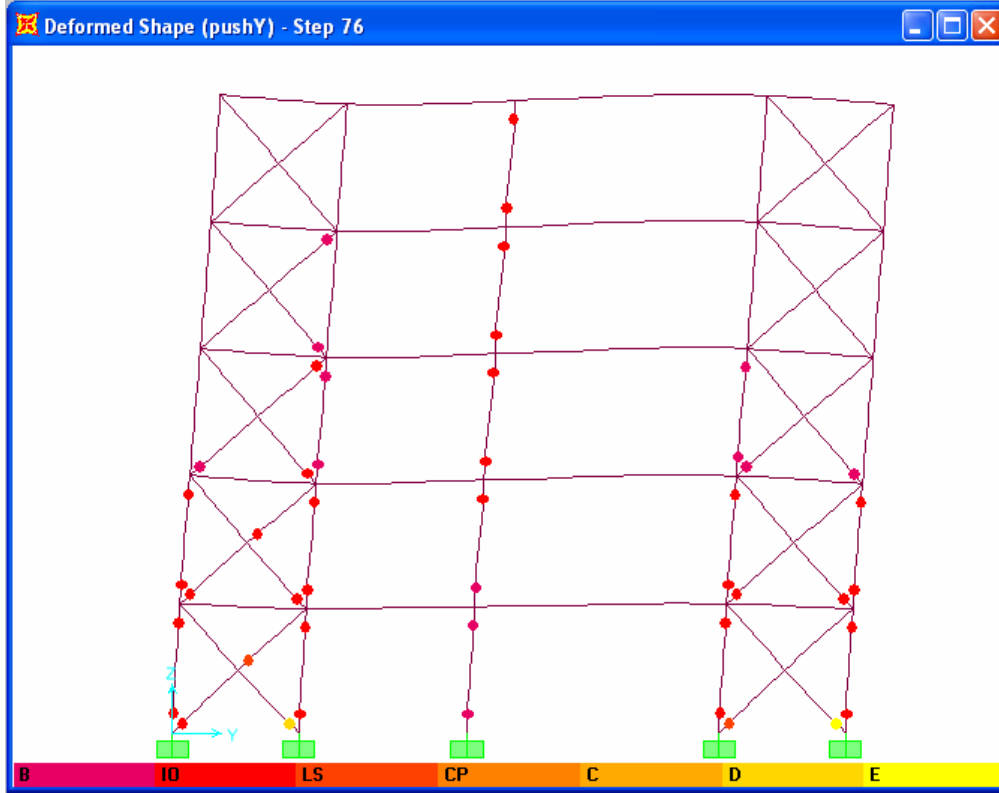


Şekil 3.30. X doğrultusu için kapasite spektrum eğrisi

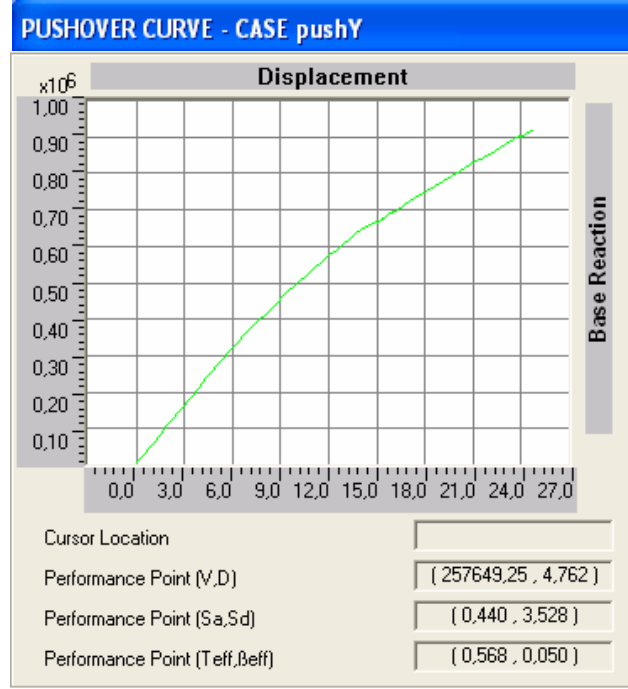
Tablo 3.6. X doğrultusu için 65-75. adımlar arası elemanların performans seviyelerine göre hasar durumu

Step	Displacement	Base Force	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
65	21,2182	343796,4063	1056	61	31	42	0	0	0	0	1190
66	21,5182	345012,2813	1056	61	25	48	0	0	0	0	1190
67	21,8182	346228,1563	1052	65	22	51	0	0	0	0	1190
68	22,1182	347436,0938	1051	66	22	51	0	0	0	0	1190
69	22,4182	348635,0000	1051	66	22	51	0	0	0	0	1190
70	22,7182	349833,9375	1049	68	22	51	0	0	0	0	1190
71	23,0182	351021,2813	1048	69	20	53	0	0	0	0	1190
72	23,3182	352207,0313	1047	68	20	55	0	0	0	0	1190
73	23,6182	353391,1875	1044	71	12	63	0	0	0	0	1190
74	23,8429	354271,2188	1044	71	10	61	0	4	0	0	1190
75	22,4277	288418,1875	1044	71	9	53	0	0	13	0	1190

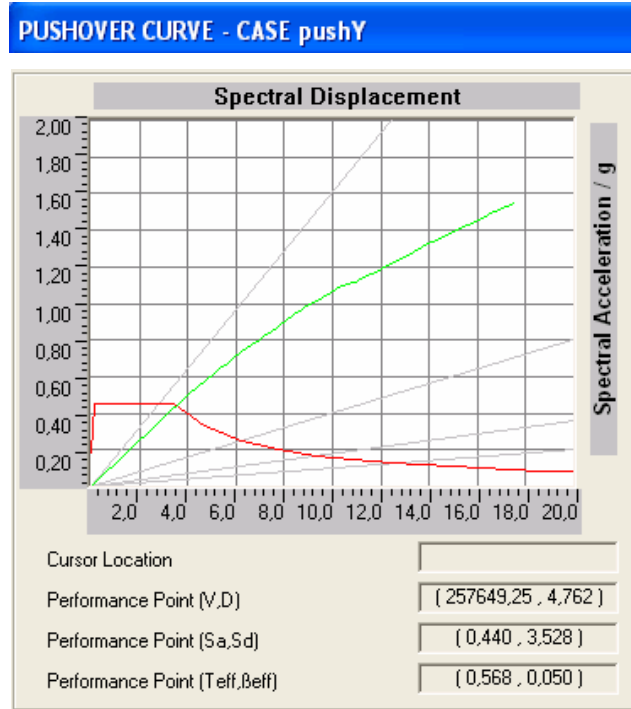
Yapının göçme anında (76. adım) Y doğrultusundaki şekil değiştirmiş hali ve plastik mafsall oluşumu Şekil 3.31’de, elde edilen kapasite eğrisi Şekil 3.32’de, kapasite spektrum eğrisi Şekil 3.33’te ve elemanların performans seviyelerine göre hasar durumları (mafsal sayıları) da Tablo 3.7’de verilmektedir.



Şekil 3.31. Uygulama-3’e konu olan yapının Y doğrultusundaki şekildeğiştirmiş hali ve plastik mafsall oluşumu



Şekil 3.32. Y doğrultusu için kapasite (pushover) eğrisi



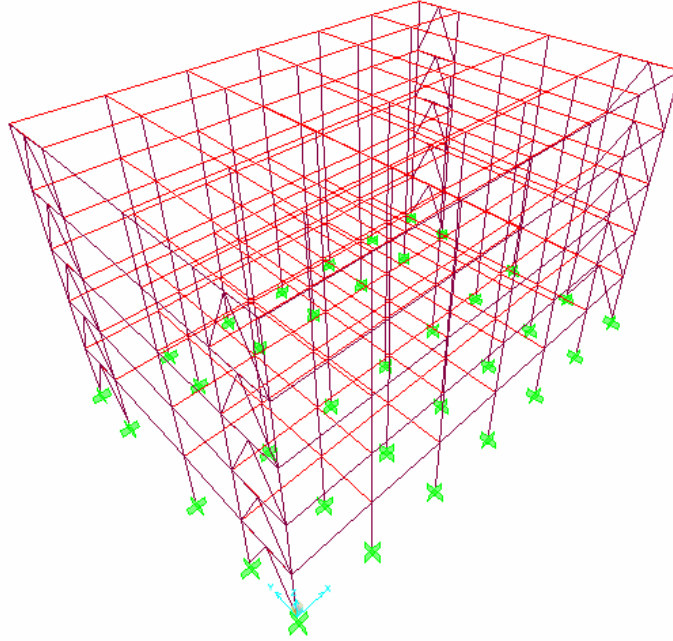
Şekil 3.33. Y doğrultusu için kapasite spektrum eğrisi

Tablo 3.7. Y doğrultusu için 66-76. adımlar arası elemanların performans seviyelerine göre hasar durumu

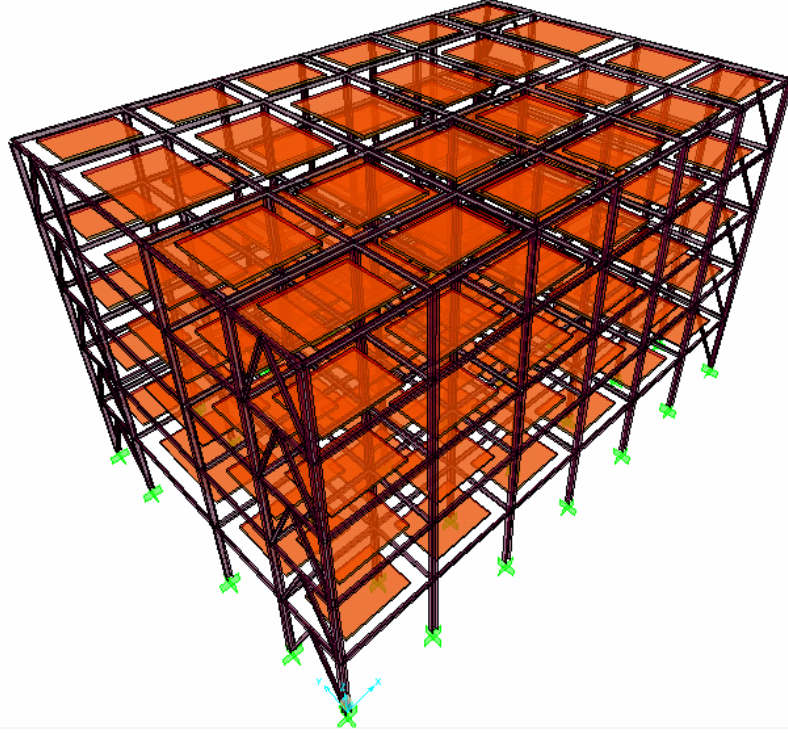
Step	Displacement	Base Force	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
66	22,1044	854755,0000	801	291	89	6	0	0	2	1	1190
67	22,4044	862722,3750	797	295	88	7	0	0	2	1	1190
68	22,7044	870672,2500	796	295	88	8	0	0	2	1	1190
69	23,0044	878598,6875	790	300	89	8	0	0	2	1	1190
70	23,3934	888796,6875	789	301	88	9	0	0	2	1	1190
71	23,6934	896506,6875	788	301	88	10	0	0	2	1	1190
72	23,9598	903343,4375	787	301	89	9	0	1	2	1	1190
73	23,9601	899926,1250	787	301	89	9	0	0	3	1	1190
74	24,2601	906933,4375	787	295	94	10	0	0	3	1	1190
75	24,6824	916672,8125	787	295	94	9	0	1	2	2	1190
76	24,6634	911622,3750	787	295	93	10	0	0	3	2	1190

3.3.4. Uygulama-4

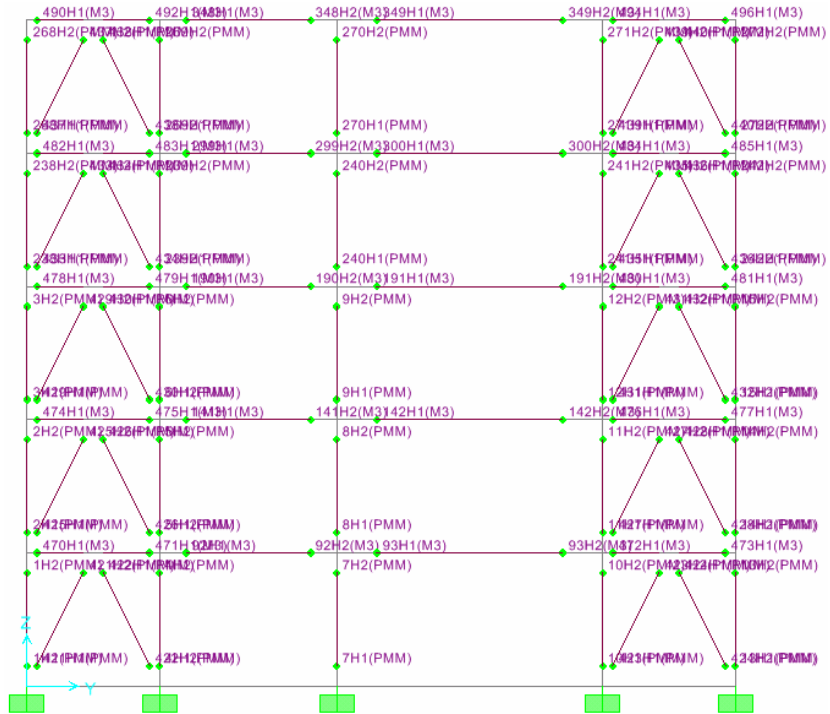
Uygulama-1'e konu olan 5 katlı çelik çerçeve yapının Y doğrultusunda ve Şekil 3.1'deki kat planında gösterilen yerlerine ters V tipi çelik çapraz elemanlar eklenerek, artımsal itme analizinin yapılabilmesi için oluşturulan yeni durumun matematik modeli Şekil 3.34'te, dolu gövdeli görünüm Şekil 3.35'te ve atanan mafsallar Şekil 3.36'da verilmektedir.



Şekil 3.34. Uygulama-4'e konu olan yapının matematik modeli

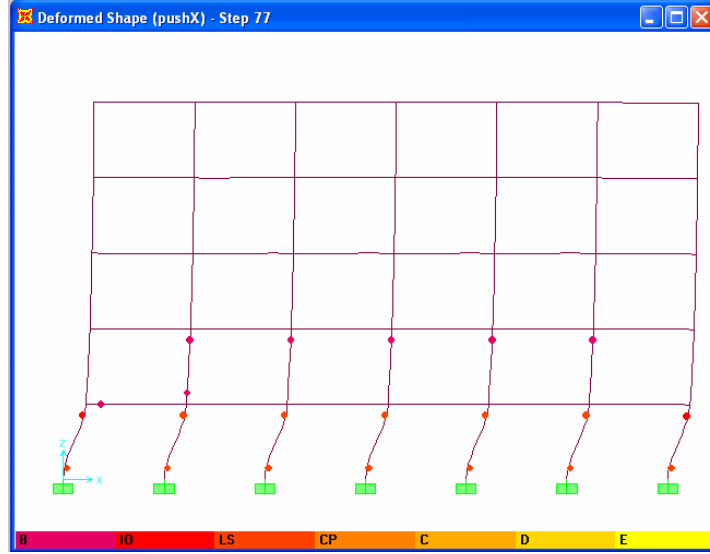


Şekil 3.35. Uygulama-4'e konu olan yapının dolu gövdeli görünümü

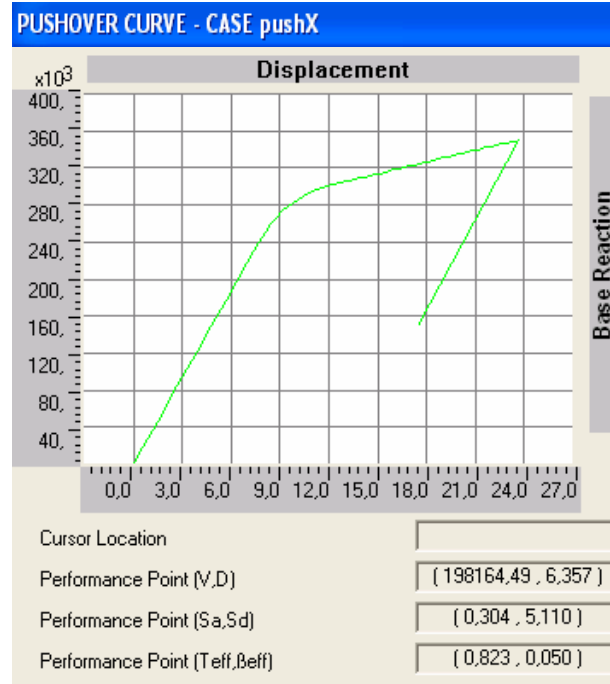


Şekil 3.36. Uygulama-4 için atanan mafsallar

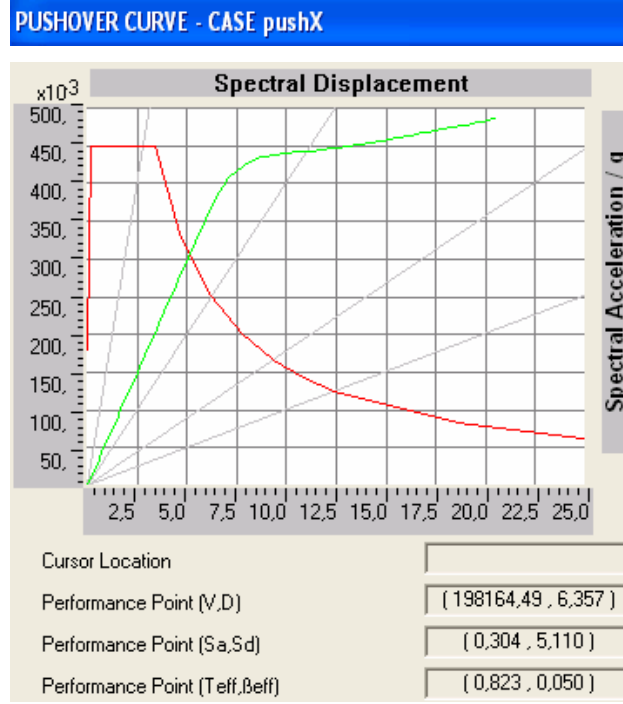
Yapının göçme anında (77. adım) X doğrultusundaki şekil değiştirmiş hali ve plastik mafsall oluşumu Şekil 3.37’de, elde edilen kapasite eğrisi Şekil 3.38’de, kapasite spektrum eğrisi Şekil 3.39’da ve elemanların performans seviyelerine göre hasar durumları (mafsal sayıları) ise Tablo 3.8’de verilmektedir.



Şekil 3.37. Uygulama-4’e konu olan yapının X doğrultusundaki şekildeğiştirmiş hali ve plastik mafsall oluşumu



Şekil 3.38. X doğrultusu için kapasite (pushover) eğrisi

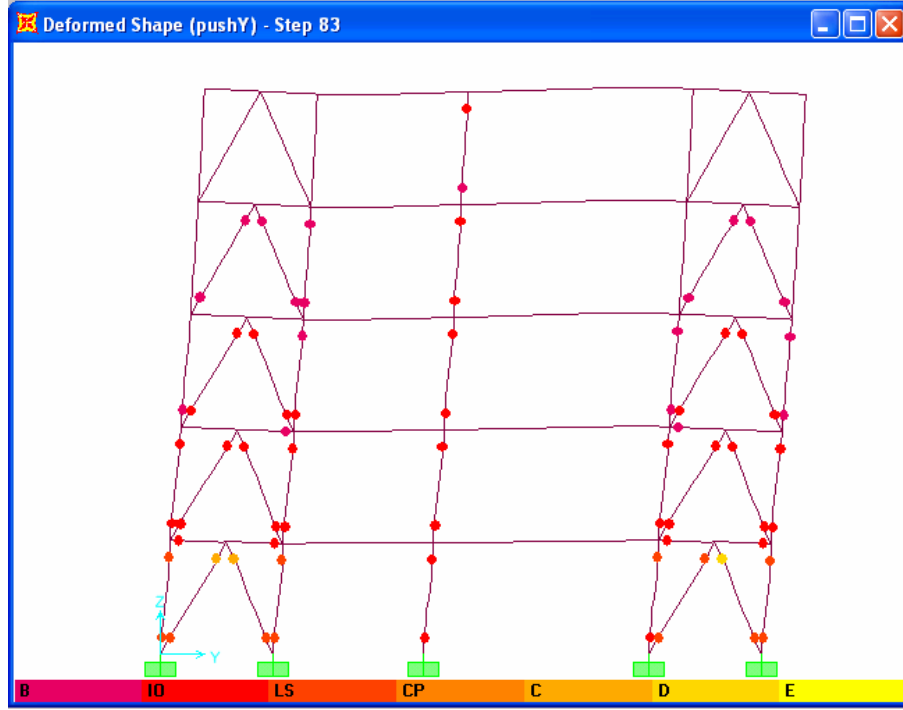


Şekil 3.39. X doğrultusu için kapasite spektrum eğrisi

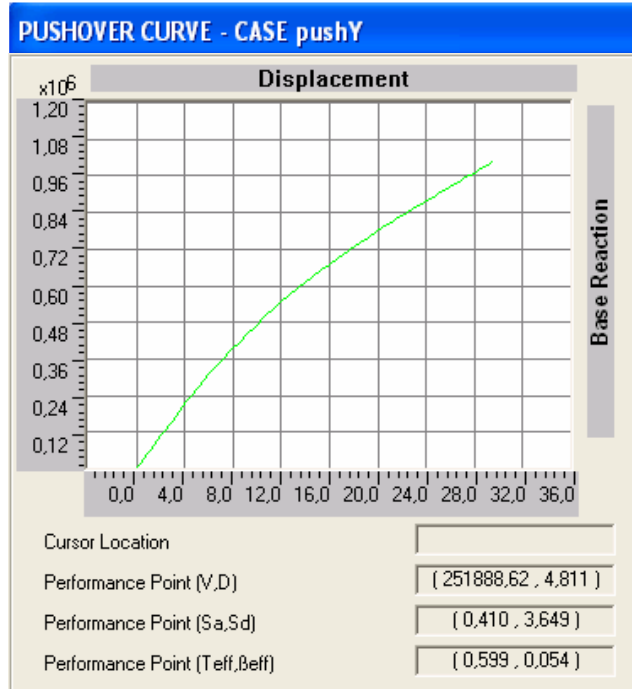
Tablo 3.8. X doğrultusu için 67-77. adımlar arası elemanların performans seviyelerine göre hasar durumu

Step	Displacement	Base Force	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
67	21,0947	339786,9063	895	45	31	39	0	0	0	0	1010
68	21,3947	341005,7500	892	48	23	47	0	0	0	0	1010
69	21,6947	342215,6875	887	53	19	51	0	0	0	0	1010
70	21,9947	343400,4688	886	54	19	51	0	0	0	0	1010
71	22,2947	344578,8438	883	57	19	51	0	0	0	0	1010
72	22,5947	345749,2500	883	57	19	51	0	0	0	0	1010
73	22,8947	346919,6563	883	57	18	52	0	0	0	0	1010
74	23,1947	348090,0938	882	58	17	53	0	0	0	0	1010
75	23,4947	349258,8750	880	60	8	62	0	0	0	0	1010
76	23,6556	349882,2188	877	63	7	62	0	1	0	0	1010
77	17,4702	149192,6563	877	63	4	62	0	1	3	0	1010

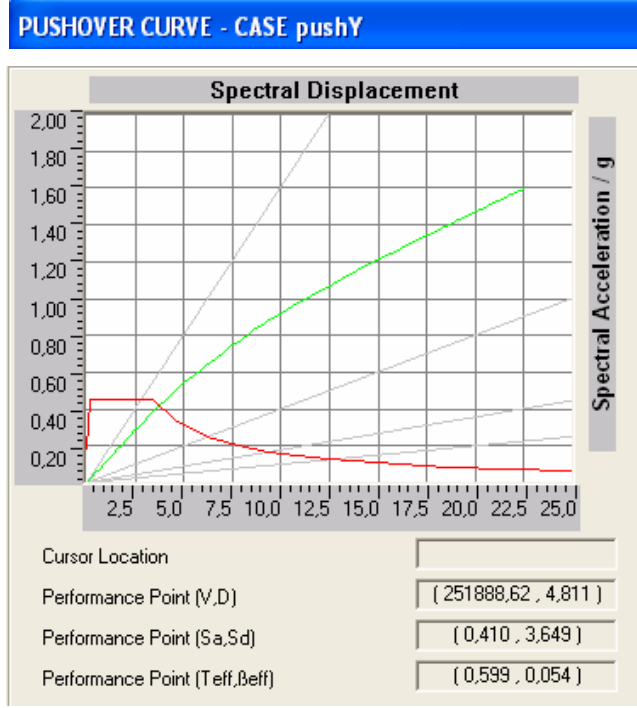
Yapının göçme anında (83. adım) Y doğrultusundaki şekil değiştirmiş hali ve plastik mafsall oluşumu Şekil 3.40'da, elde edilen kapasite eğrisi Şekil 3.41'de, kapasite spektrum eğrisi Şekil 3.42'de ve elemanların performans seviyelerine göre hasar durumları (mafsal sayıları) da Tablo 3.9'da verilmektedir.



Şekil 3.40. Uygulama-4'e konu olan yapının Y doğrultusundaki şekil değiştirmiş hali ve plastik mafsall oluşumu



Şekil 3.41. Y doğrultusu için kapasite (pushover) eğrisi



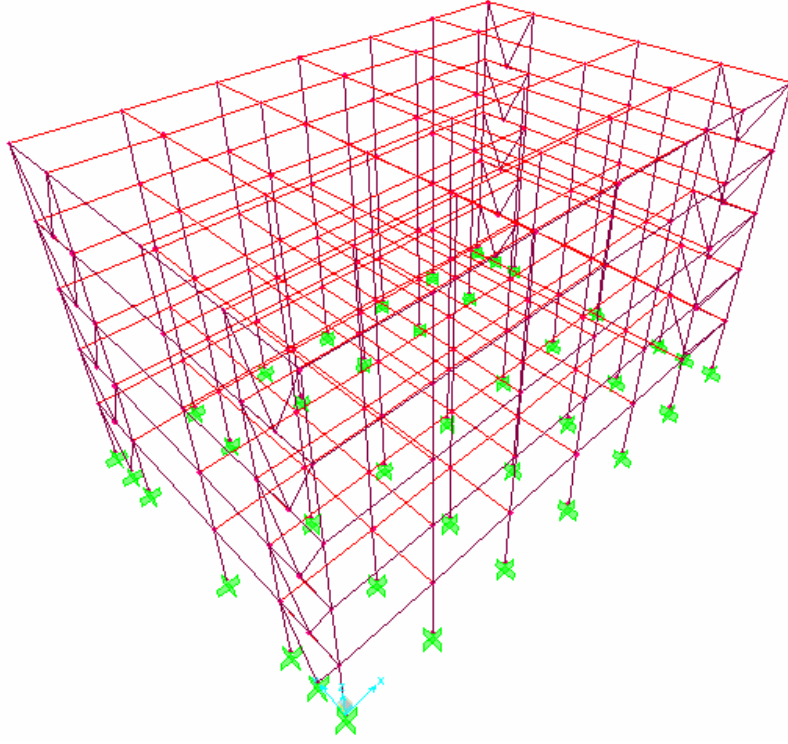
Şekil 3.42. Y doğrultusu için kapasite spektrum eğrisi

Tablo 3.9. Y doğrultusu için 73-83. adımlar arası elemanların performans seviyelerine göre hasar durumu

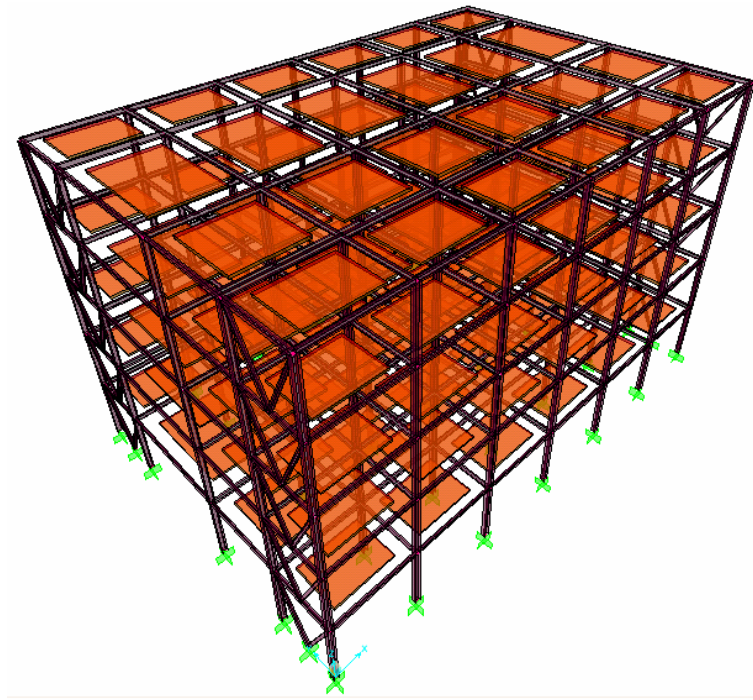
Step	Displacement	Base Force	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
73	26,7653	941939,7500	637	180	175	18	0	0	0	0	1010
74	27,0653	948899,5000	637	165	188	20	0	0	0	0	1010
75	27,3653	955859,2500	634	159	195	22	0	0	0	0	1010
76	27,6653	962778,8125	629	160	199	22	0	0	0	0	1010
77	27,9653	969649,6250	629	155	204	22	0	0	0	0	1010
78	28,2653	976520,4375	625	157	206	22	0	0	0	0	1010
79	28,5653	983359,5625	625	156	203	26	0	0	0	0	1010
80	28,8653	990198,7500	625	156	201	28	0	0	0	0	1010
81	29,1653	997037,9375	625	153	204	28	0	0	0	0	1010
82	29,4653	1003877,1250	621	155	204	28	0	2	0	0	1010
83	29,4002	999239,6875	621	155	204	24	0	4	2	0	1010

3.3.5. Uygulama-5

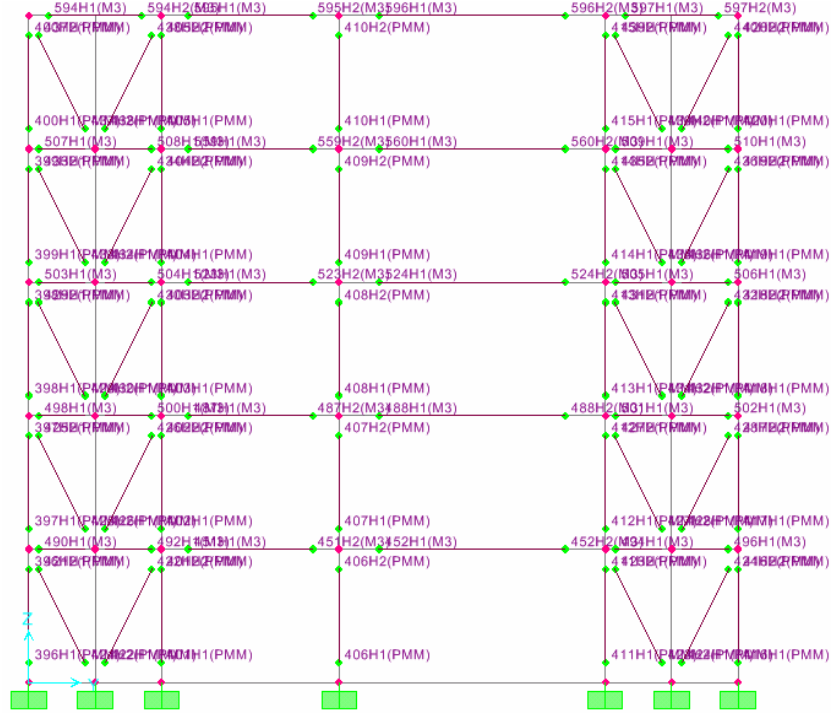
Uygulama-1'e konu olan 5 katlı çelik çerçeve yapının Y doğrultusunda ve Şekil 3.1'deki kat planında gösterilen yerlerine V tipi çelik çapraz elemanlar eklenerek, artımsal itme analizinin yapılabilmesi için oluşturulan yeni durumun matematik modeli Şekil 3.43'te, dolu gövdeli görünüm Şekil 3.44'te ve atanan mafsallar Şekil 3.45'te verilmektedir.



Şekil 3.43. Uygulama-5'e konu olan yapının matematik modeli

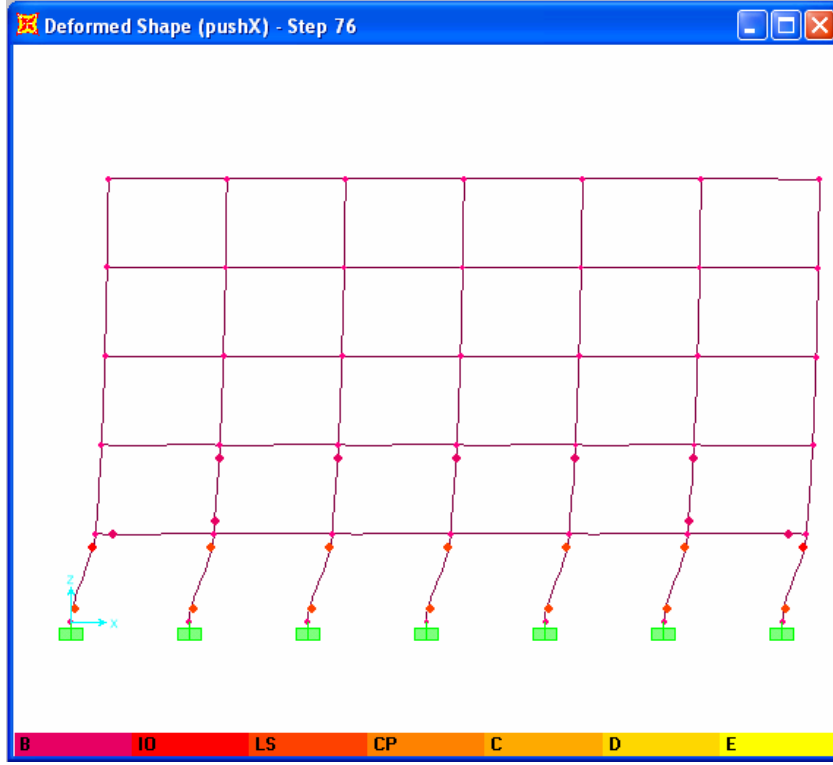


Şekil 3.44. Uygulama-5'e konu olan yapının dolu gövdeli görünümü

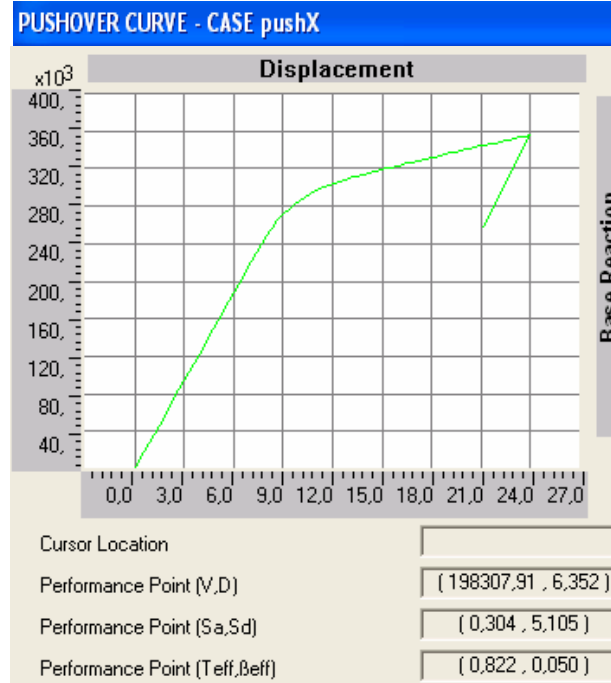


Şekil 3.45. Uygulama-5 için atanan mafsallar

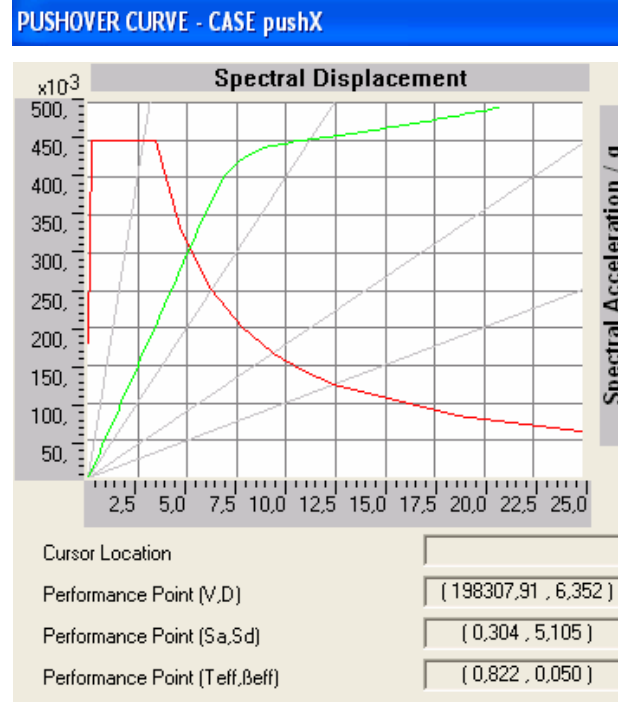
Yapının göçme anında (76. adım) X doğrultusundaki şekil değiştirmiş hali ve plastik mafsal oluşumu Şekil 3.46'da, elde edilen kapasite eğrisi Şekil 3.47'de, kapasite spektrum eğrisi Şekil 3.48'de ve elemanların performans seviyelerine göre hasar durumları (mafsal sayıları) ise Tablo 3.10'da verilmektedir.



Şekil 3.46. Uygulama-5'e konu olan yapının X doğrultusundaki şekil değiştirmiş hali ve plastik mafsall oluşumu



Şekil 3.47. X doğrultusu için kapasite (pushover) eğrisi

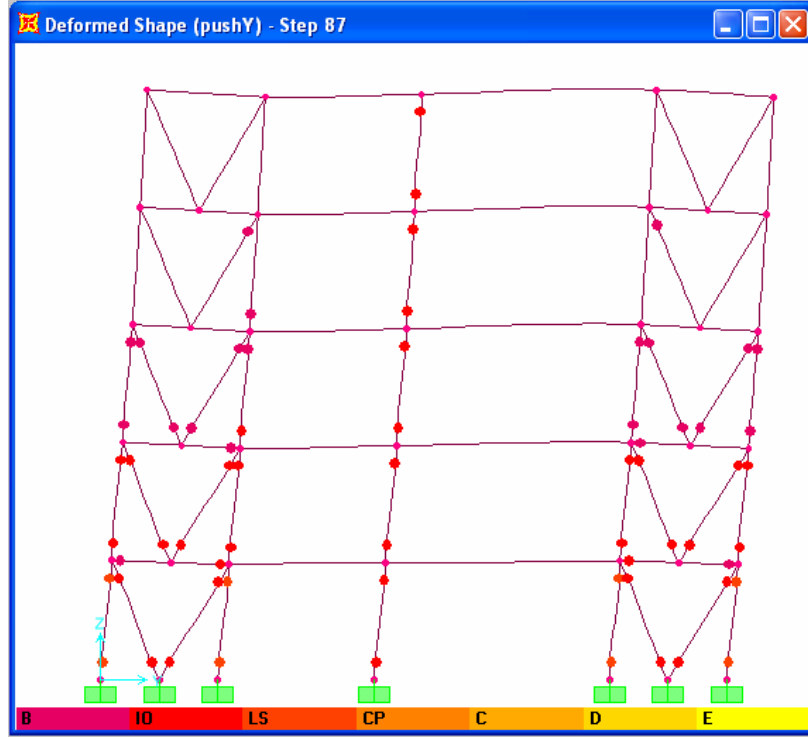


Şekil 3.48. X doğrultusu için kapasite spektrum eğrisi

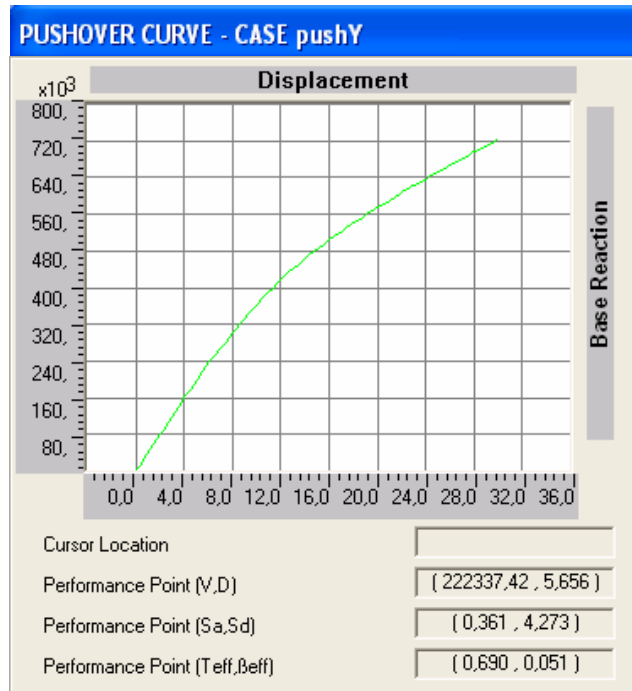
Tablo 3.10. X doğrultusu için 66-76. adımlar arası elemanların performans seviyelerine göre hasar durumu

Step	Displacement	Base Force	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
66	21,2421	344984,5313	873	62	36	39	0	0	0	0	1010
67	21,5421	346163,4688	872	62	29	47	0	0	0	0	1010
68	21,8421	347341,6563	871	59	30	50	0	0	0	0	1010
69	22,1421	348516,7813	869	61	29	51	0	0	0	0	1010
70	22,4421	349680,2188	869	61	29	51	0	0	0	0	1010
71	22,7421	350843,6875	867	63	29	51	0	0	0	0	1010
72	23,0421	351999,2500	867	63	28	52	0	0	0	0	1010
73	23,3421	353154,8125	865	65	25	55	0	0	0	0	1010
74	23,6421	354296,8125	862	68	18	62	0	0	0	0	1010
75	23,9421	355434,4688	860	68	18	62	0	2	0	0	1010
76	21,1137	256564,8906	860	68	17	59	0	2	4	0	1010

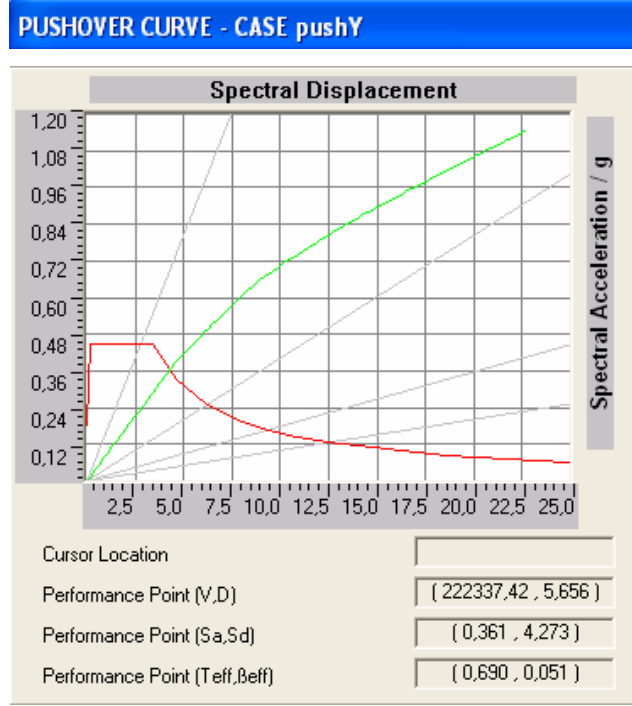
Yapının göçme anında (87. adım) Y doğrultusundaki şekil değiştirmiş hali ve plastik mafsall oluşumu Şekil 3.49'da, elde edilen kapasite eğrisi Şekil 3.50'de, kapasite spektrum eğrisi Şekil 3.51'de ve elemanların performans seviyelerine göre hasar durumları (mafsal sayıları) da Tablo 3.11'de verilmektedir.



Şekil 3.49. Uygulama-5'e konu olan yapının Y doğrultusundaki şekilgeçirmiş hali ve plastik mafsall oluşumu



Şekil 3.50. Y doğrultusu için kapasite (pushover) eğrisi



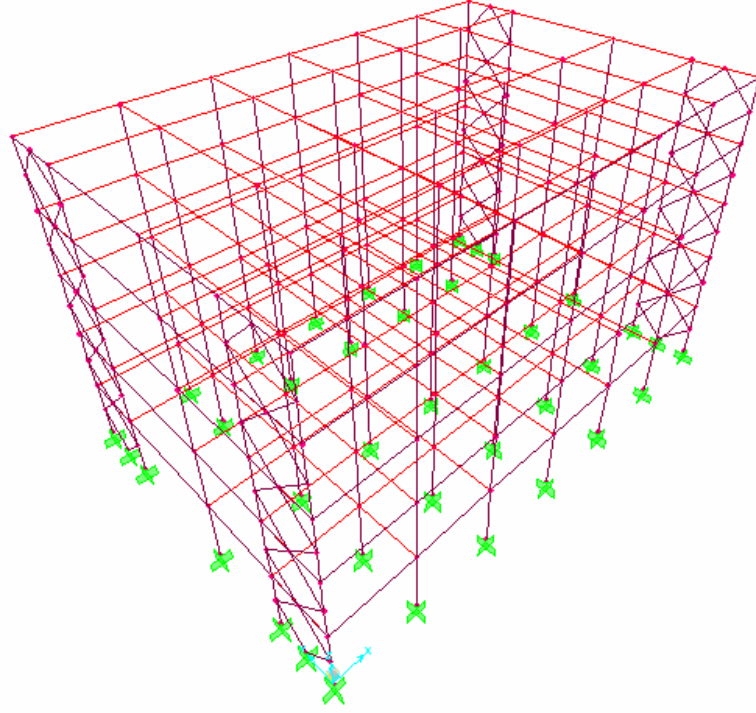
Şekil 3.51. Y doğrultusu için kapasite spektrum eğrisi

Tablo 3.11. Y doğrultusu için 77-87. adımlar arası elemanların performans seviyelerine göre hasar durumu

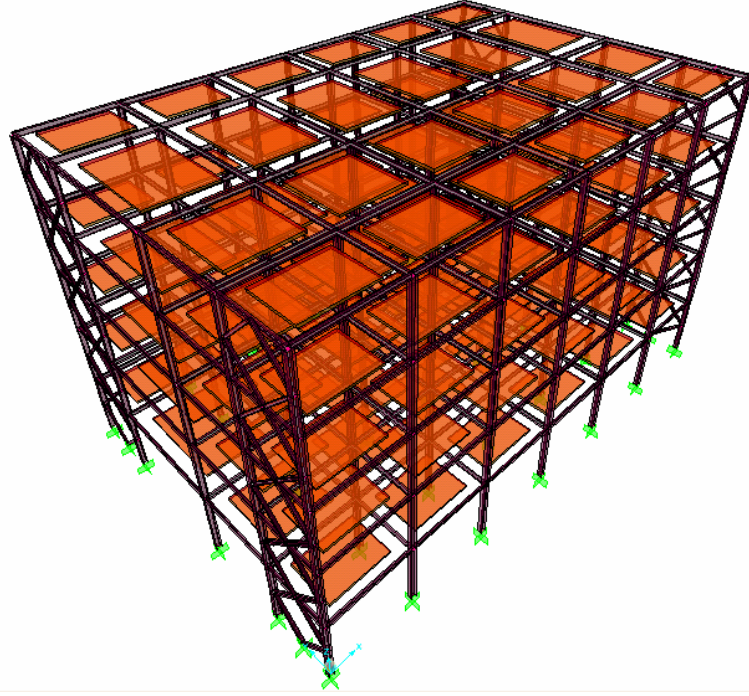
Step	Displacement	Base Force	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
77	26,8857	678865,9375	645	198	153	14	0	0	0	0	1010
78	27,1857	683176,3750	642	197	157	14	0	0	0	0	1010
79	27,4857	687461,2500	640	197	159	14	0	0	0	0	1010
80	27,7857	691734,1875	640	195	159	16	0	0	0	0	1010
81	28,0857	696007,1250	640	189	165	16	0	0	0	0	1010
82	28,3857	700280,0625	640	173	181	16	0	0	0	0	1010
83	28,6857	704553,0000	640	168	186	16	0	0	0	0	1010
84	28,9857	708825,9375	636	169	189	16	0	0	0	0	1010
85	29,5421	716661,5625	628	172	194	16	0	0	0	0	1010
86	29,8421	720839,1875	628	168	198	16	0	0	0	0	1010
87	29,9707	722629,6875	628	168	198	16	0	0	0	0	1010

3.3.6. Uygulama-6

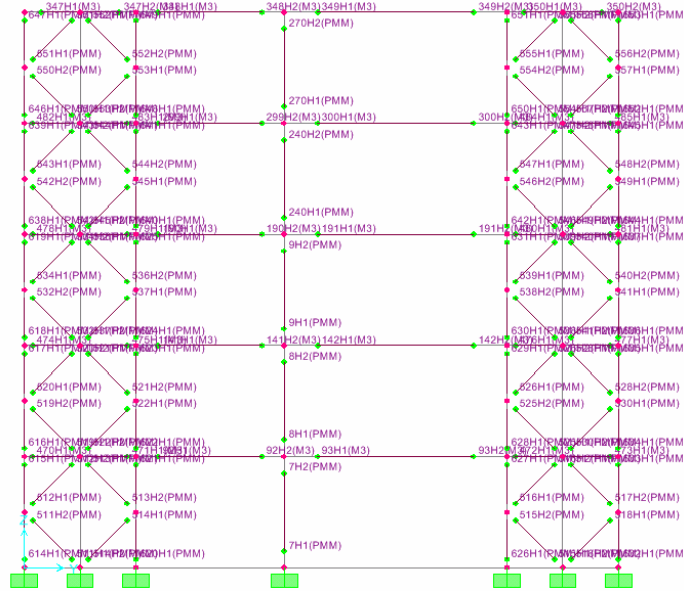
Uygulama-1'e konu olan 5 katlı çelik çerçeve yapının Y doğrultusunda ve Şekil 3.1'deki kat planında gösterilen yerlerine K tipi çelik çapraz elemanlar eklenerek, artımsal itme analizinin yapılabilmesi için oluşturulan yeni durumun matematik modeli Şekil 3.52'de, dolu gövdeli görünüm Şekil 3.53'te ve atanan mafsallar Şekil 3.54'te verilmektedir.



Şekil 3.52. Uygulama-6'ya konu olan yapının matematik modeli

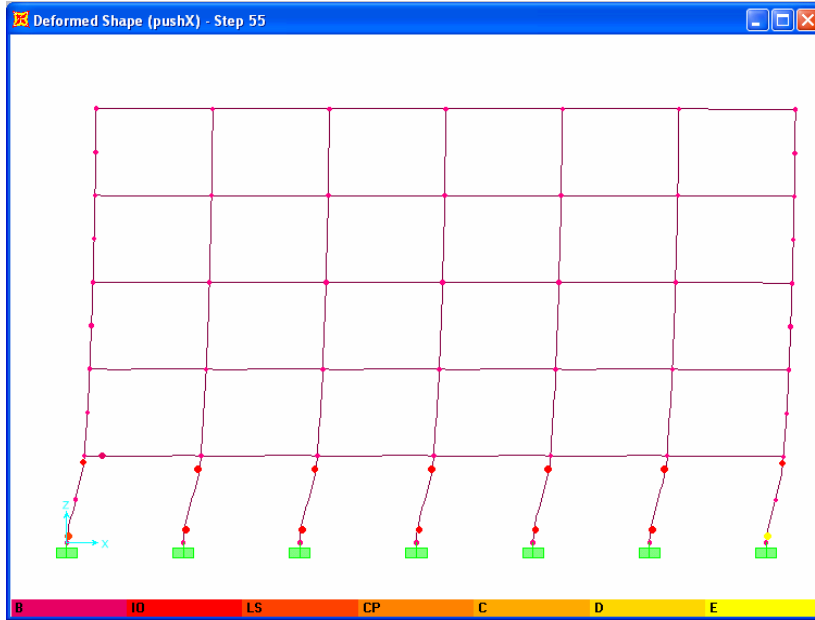


Şekil 3.53. Uygulama-6'ya konu olan yapının dolu gövdeli görünümü

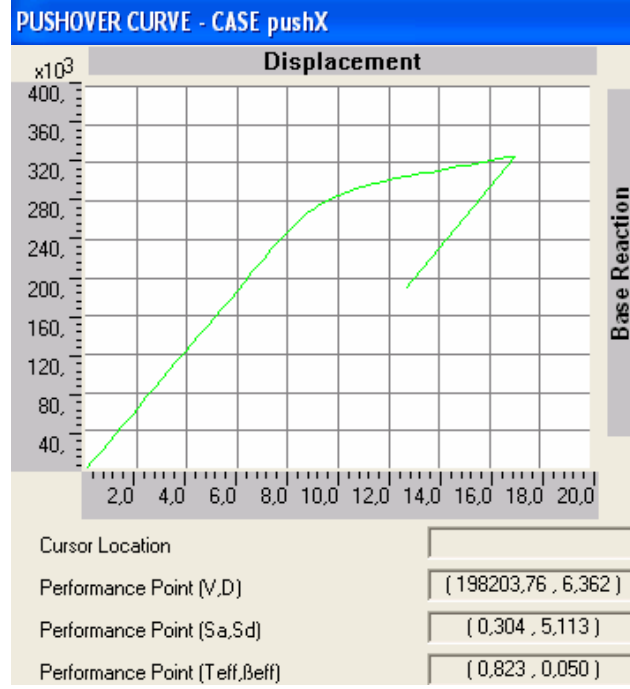


Şekil 3.54. Uygulama-6 için atanan mafsallar

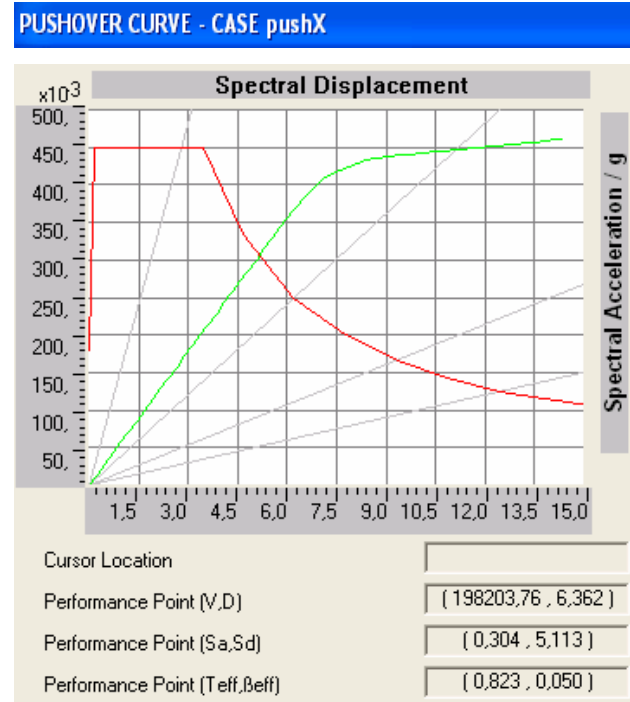
Artımsal itme analizi sonucunda yapının göçme anında (55. adım) X doğrultusundaki şekil değiştirmiş hali ve plastik mafsal oluşumu Şekil 3.55'te, elde edilen kapasite eğrisi Şekil 3.56'da, kapasite spektrum eğrisi Şekil 3.57'de ve elemanların performans seviyelerine göre hasar durumları (mafsal sayıları) ise Tablo 3.12'de verilmektedir.



Şekil 3.55. Uygulama-6'ya konu olan yapının X doğrultusundaki şekil değiştirmiş hali ve plastik mafsal oluşumu



Şekil 3.56. X doğrultusu için kapasite (pushover) eğrisi

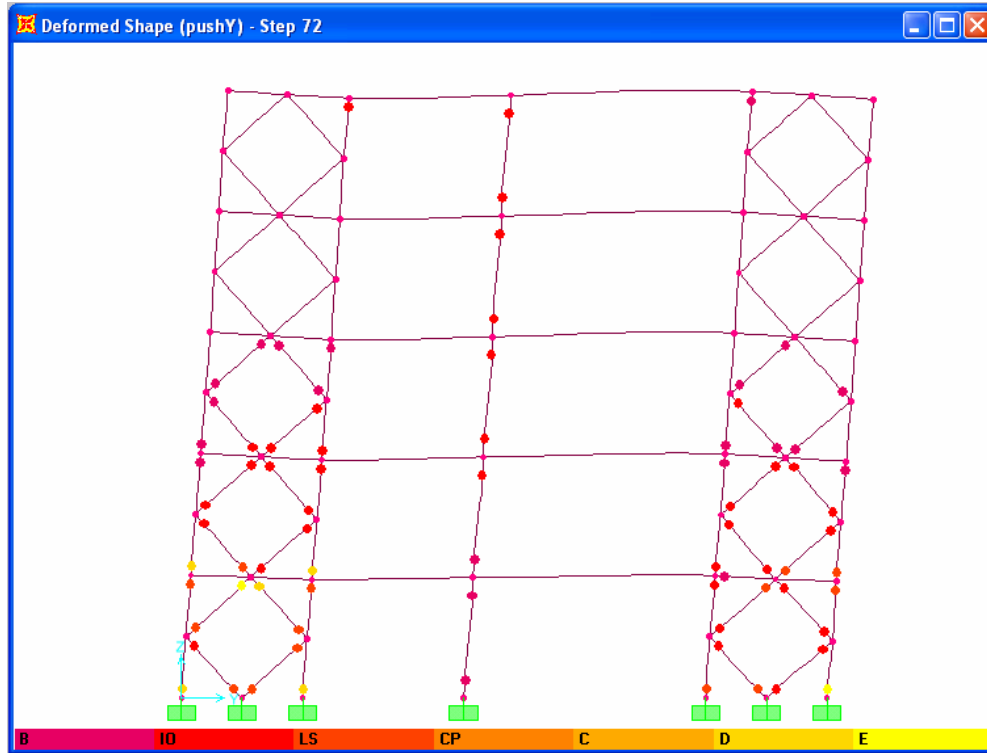


Şekil 3.57. X doğrultusu için kapasite spektrum eğrisi

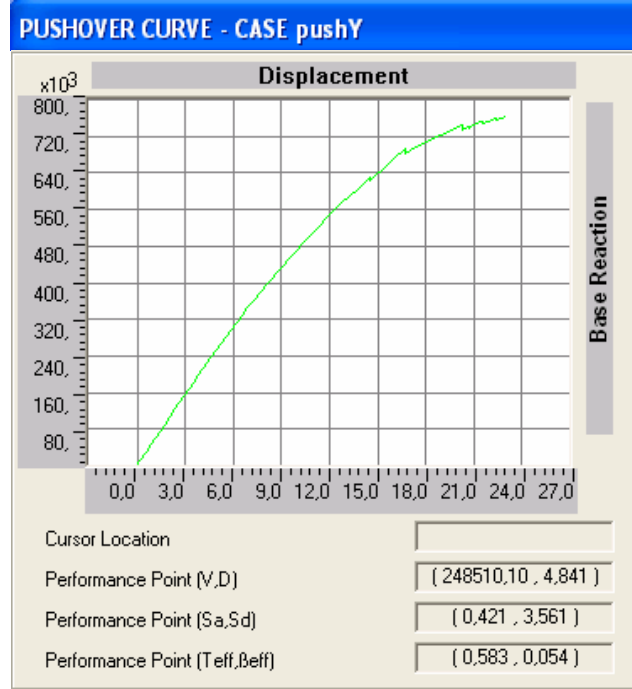
Tablo 3.12. X doğrultusu için 45-55. adımlar arası elemanların performans seviyelerine göre hasar durumu

Step	Displacement	Base Force	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
45	14,2541	313375,8125	989	44	57	0	0	0	0	0	1090
46	14,5541	314866,6563	989	40	61	0	0	0	0	0	1090
47	14,8541	316357,5000	989	31	70	0	0	0	0	0	1090
48	15,1541	317848,3750	988	32	68	2	0	0	0	0	1090
49	15,4541	319335,0938	988	32	62	8	0	0	0	0	1090
50	15,7541	320821,8125	988	32	62	8	0	0	0	0	1090
51	16,0541	322308,5313	988	32	62	8	0	0	0	0	1090
52	16,3541	323795,2813	988	32	62	8	0	0	0	0	1090
53	16,7432	325715,7188	978	42	62	8	0	0	0	0	1090
54	17,0074	326966,4063	978	42	61	6	0	3	0	0	1090
55	12,6277	188465,9375	978	42	61	6	0	0	0	3	1090

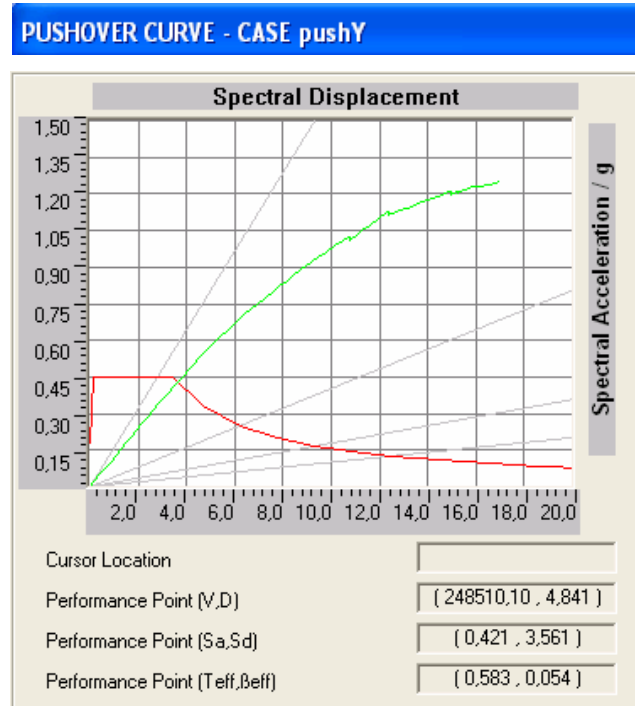
Yapının göçme anında (72. adım) Y doğrultusundaki şekil değiştirmiş hali ve plastik mafsall oluşumu Şekil 3.58’de, elde edilen kapasite eğrisi Şekil 3.59’da, kapasite spektrum eğrisi Şekil 3.60’da ve elemanların performans seviyelerine göre hasar durumları (mafsal sayıları) da Tablo 3.13’te verilmektedir.



Şekil 3.58. Uygulama-6’ya konu olan yapının Y doğrultusundaki şekildeğiştirilmiş hali ve plastik mafsall oluşumu



Şekil 3.59. Y doğrultusu için kapasite (pushover) eğrisi



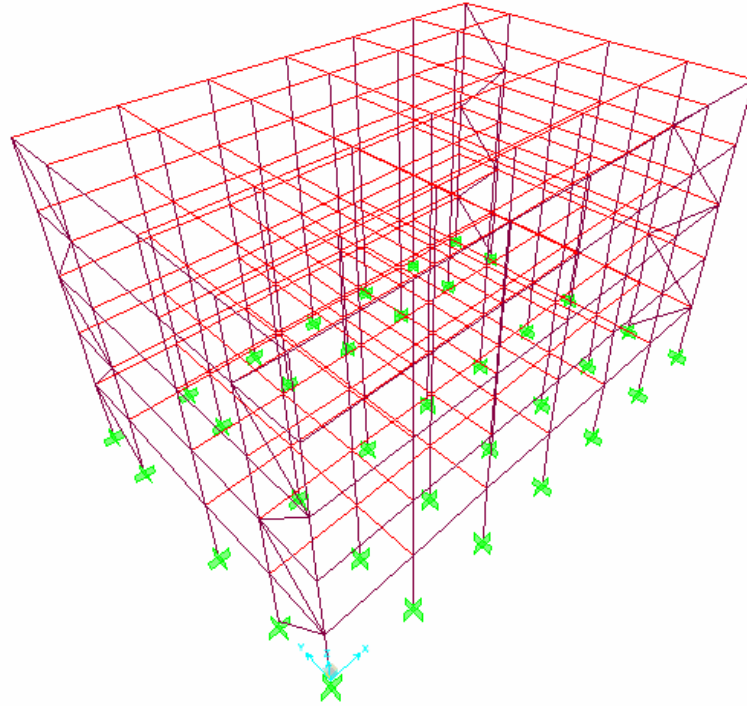
Şekil 3.60. Y doğrultusu için kapasite spektrum eğrisi

Tablo 3.13. Y doğrultusu için 62-72. adımlar arası elemanların performans seviyelerine göre hasar durumu

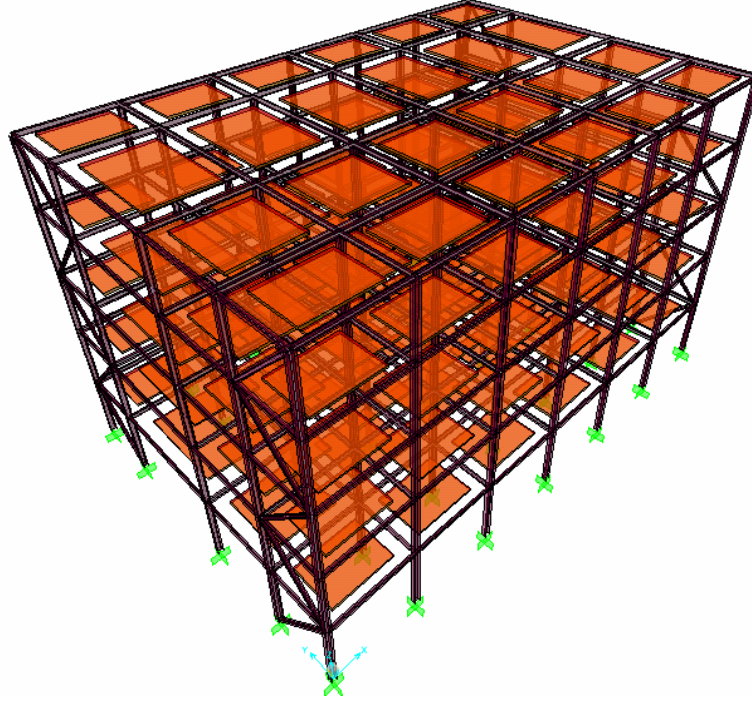
Step	Displacement	Base Force	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
62	20,6548	742031,7500	707	289	70	16	0	2	4	2	1090
63	20,6551	738462,3125	707	289	68	18	0	0	6	2	1090
64	20,9551	743208,4375	703	293	64	22	0	0	6	2	1090
65	21,4895	751423,4375	696	298	58	30	0	0	6	2	1090
66	21,5478	752281,1875	696	298	58	30	0	0	4	4	1090
67	21,5481	747571,3750	696	296	60	28	0	0	6	4	1090
68	21,8481	751385,5000	694	296	62	28	0	0	6	4	1090
69	22,4234	758568,8125	692	293	65	26	0	4	6	4	1090
70	22,4237	756863,6875	692	293	65	26	0	0	10	4	1090
71	22,7237	760664,0000	692	289	69	26	0	0	10	4	1090
72	23,0237	764464,3125	689	284	75	28	0	0	10	4	1090

3.3.7. Uygulama-7

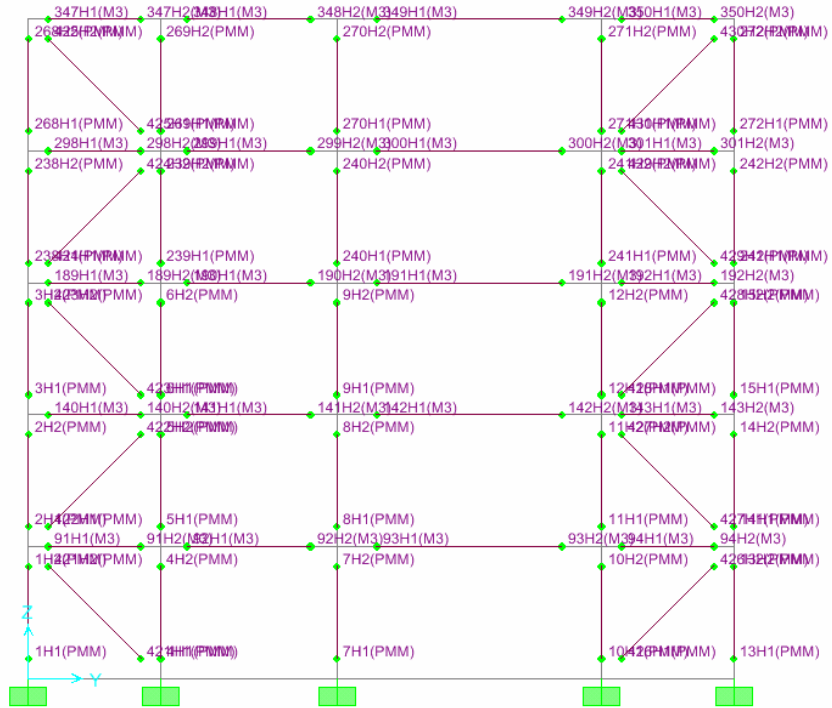
Uygulama-1'e konu olan 5 katlı çelik çerçeve yapının Y doğrultusunda ve Şekil 3.1'deki kat planında gösterilen yerlerine W tipi çelik çapraz elemanlar eklenerek, artımsal itme analizinin yapılabilmesi için oluşturulan yeni durumun matematik modeli Şekil 3.61'de, dolu gövdeli görünüm Şekil 3.62'de ve atanan mafsallar Şekil 3.63'te verilmektedir.



Şekil 3.61. Uygulama-7'ye konu olan yapının matematik modeli

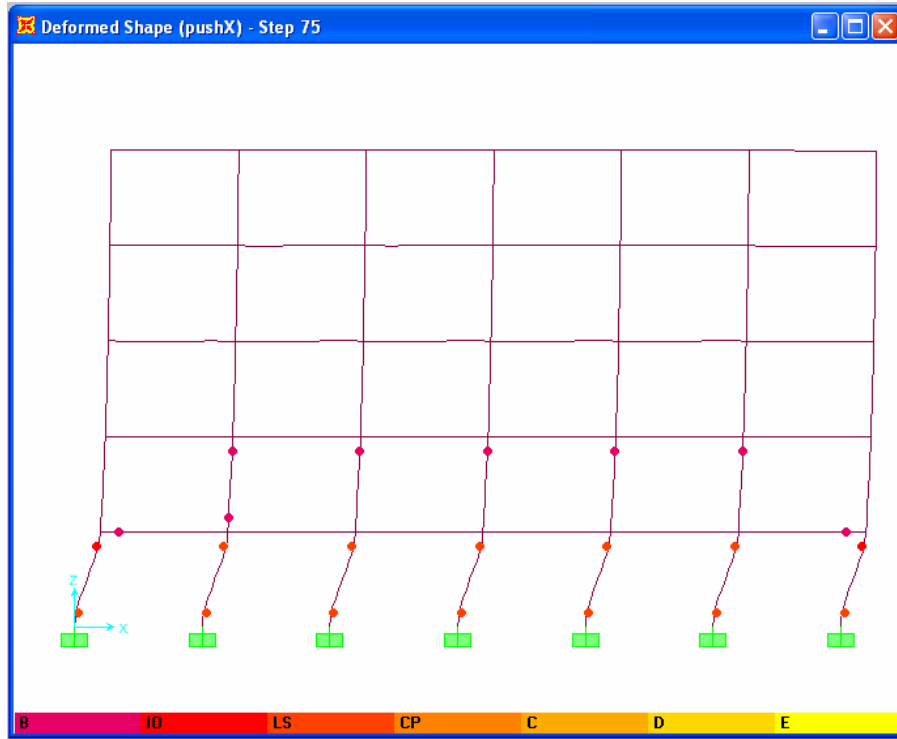


Şekil 3.62. Uygulama-7'ye konu olan yapının dolu gövdeli görünümü

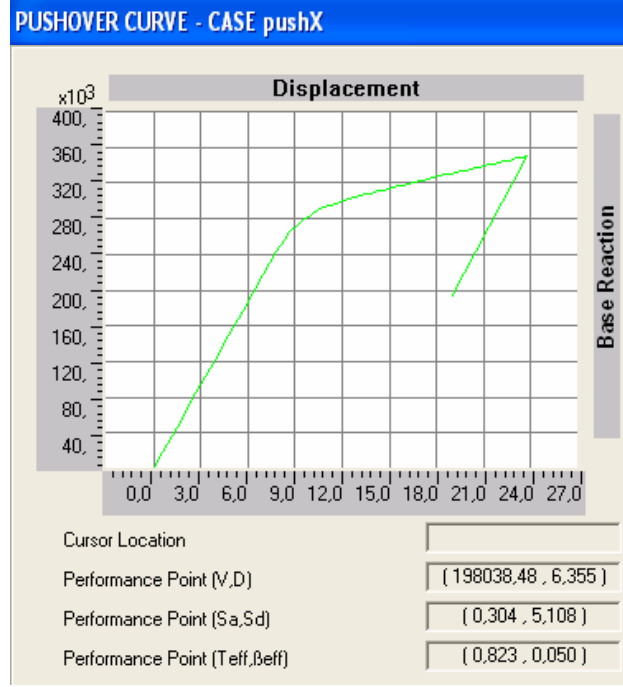


Şekil 3.63. Uygulama-7 için atanan mafsallar

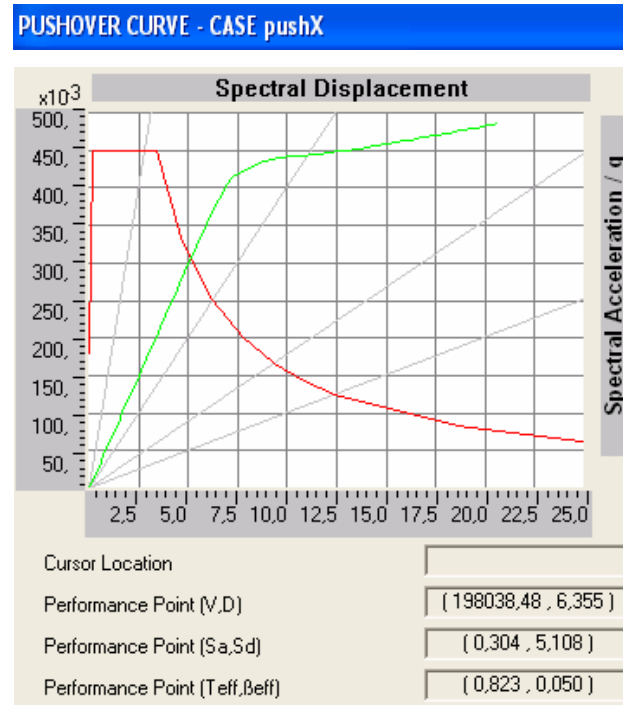
Artımsal itme analizi sonucunda yapının göçme anında (75. adım) X doğrultusundaki şekil değiştirmiş hali ve plastik mafsall oluşumu Şekil 3.64'te, elde edilen kapasite eğrisi Şekil 3.65'te, kapasite spektrum eğrisi Şekil 3.66'da ve elemanların performans seviyelerine göre hasar durumları (mafsal sayıları) ise Tablo 3.14'te verilmektedir.



Şekil 3.64. Uygulama-7'ye konu olan yapının X doğrultusundaki şekildeğiştirmiş hali ve plastik mafsall oluşumu



Şekil 3.65. X doğrultusu için kapasite (pushover) eğrisi

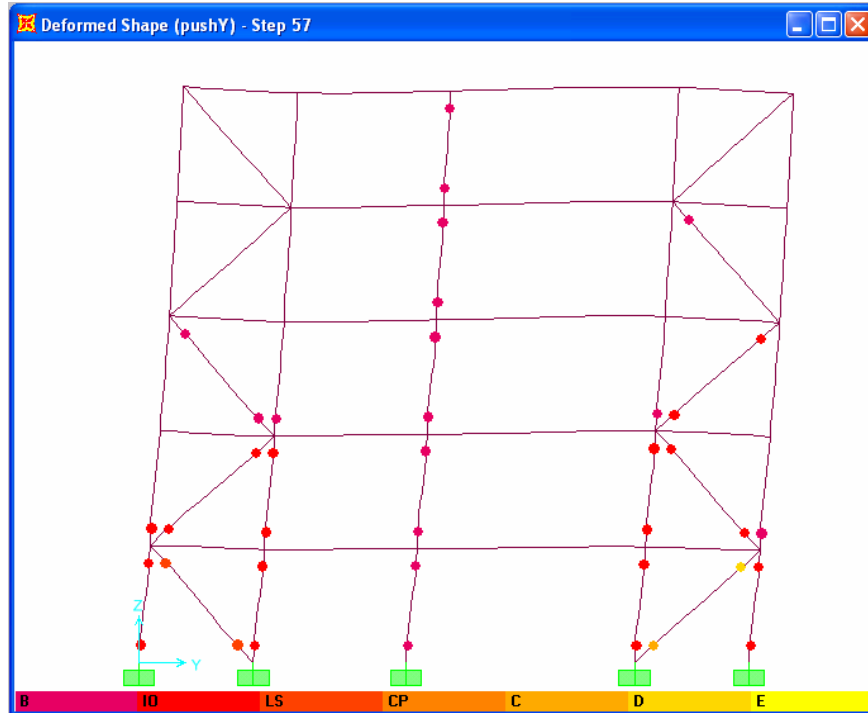


Şekil 3.66. X doğrultusu için kapasite spektrum eğrisi

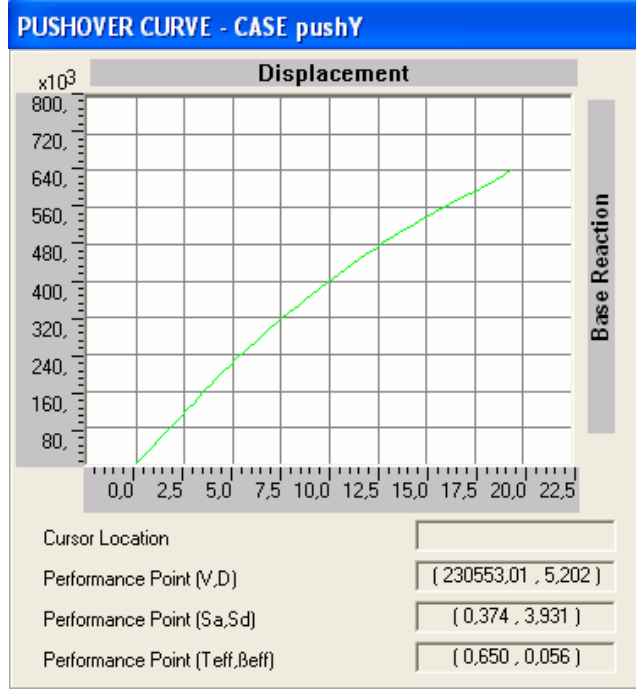
Tablo 3.14. X doğrultusu için 65-75. adımlar arası elemanların performans seviyelerine göre hasar durumu

Step	Displacement	Base Force	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
65	21,0702	339434,5625	854	46	31	39	0	0	0	0	970
66	21,3702	340646,2813	853	47	23	47	0	0	0	0	970
67	21,6702	341856,0313	845	55	20	50	0	0	0	0	970
68	21,9702	343027,6250	843	57	19	51	0	0	0	0	970
69	22,2702	344189,9375	843	57	19	51	0	0	0	0	970
70	22,5702	345352,2500	841	59	19	51	0	0	0	0	970
71	22,8702	346513,3125	841	59	18	52	0	0	0	0	970
72	23,1702	347674,4063	840	60	15	55	0	0	0	0	970
73	23,4702	348830,1250	838	62	8	62	0	0	0	0	970
74	23,7016	349714,4688	836	64	5	63	0	2	0	0	970
75	18,9541	190973,7969	836	64	4	59	0	4	3	0	970

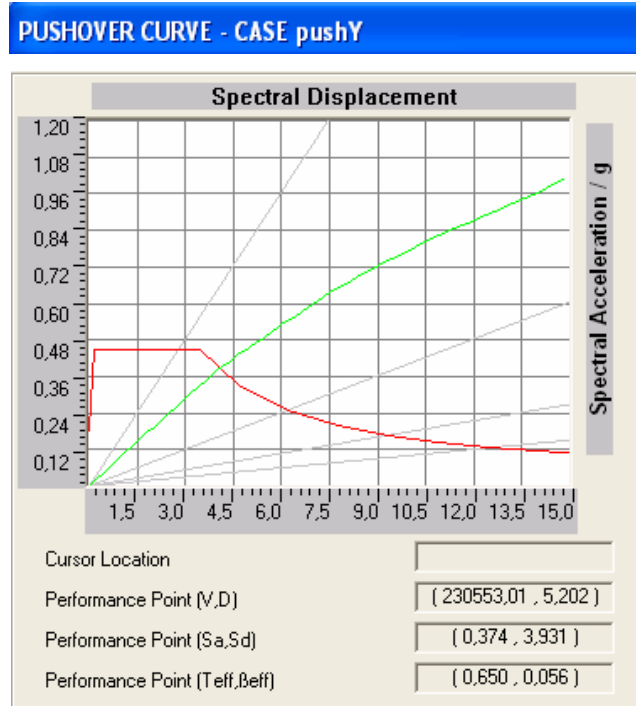
Yapının göçme anında (57. adım) Y doğrultusundaki şekil değiştirmiş hali ve plastik mafsalları Şekil 3.67’de, elde edilen kapasite eğrisi Şekil 3.68’de, kapasite spektrum eğrisi Şekil 3.69’da ve elemanların performans seviyelerine göre hasar durumları (mafsal sayıları) da Tablo 3.15’te verilmektedir.



Şekil 3.67. Uygulama-7’ye konu olan yapının Y doğrultusundaki şekil değiştirmiş hali ve plastik mafsalları



Şekil 3.68. Y doğrultusu için kapasite (pushover) eğrisi



Şekil 3.69. Y doğrultusu için kapasite spektrum eğrisi

Tablo 3.15. Y doğrultusu için 47-57. adımlar arası elemanların performans seviyelerine göre hasar durumu

Step	Displacement	Base Force	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
47	16,2413	567673,1250	762	172	32	4	0	0	0	0	970
48	16,5413	574437,4375	760	172	34	4	0	0	0	0	970
49	17,0034	584687,5625	746	184	36	4	0	0	0	0	970
50	17,3034	591224,5000	745	183	36	6	0	0	0	0	970
51	17,7859	601578,8750	722	206	36	6	0	0	0	0	970
52	18,3015	612287,1250	714	212	36	6	0	2	0	0	970
53	18,3018	611961,1250	714	212	36	6	0	0	2	0	970
54	18,6018	620251,0000	712	214	36	6	0	0	2	0	970
55	18,9018	628496,8750	710	216	36	6	0	0	2	0	970
56	19,2018	636725,9375	710	214	38	6	0	0	2	0	970
57	19,4064	642337,5625	705	219	38	4	0	2	2	0	970

3.3.8. Çözümlerden Elde Edilen Bulguların İrdelenmesi

Artımsal itme yöntemiyle SAP2000 bilgisayar programında çözümlenen bu yapıların X ve Y doğrultularındaki hasar durumları Tablo 3.16'da gösterilmektedir.

Bu sonuçlara göre programda salt çelik çerçeve yapının itme analizi sonucunda 930 elemandan x yönündekilerin 7'si, y yönündekilerin de 15'i göçme bölgesine ulaşmıştır. Diyagonal çapraz elemanlar kullanılan yapının itme analizi sonucu 990 elemandan x yönündekilerin 4'ü, y yönündekilerin de 6'sı ulaşmıştır. X çapraz kullanılan yapının itme analizi sonucu 1190 elemandan x yönündekilerin 13'ü, y yönündekilerin de 5'i göçme bölgesine ulaşmıştır. Ters V çapraz kullanılan yapının itme analizi sonucu 1010 elemandan x yönündekilerin 4'ü, y yönündekilerin de 6'sı göçme bölgesine ulaşmıştır. V çapraz kullanılan yapının itme analizi sonucu 1010 elemandan x yönündekilerin 6'sı göçme bölgesine ulaşırken, y yönünde hiçbir eleman göçme bölgesine ulaşmamıştır. K çapraz kullanılan yapının itme analizi sonucu 1090 elemandan x yönündekilerin 3'ü, y yönündekilerin de 14'ü göçme bölgesine ulaşmıştır. W çapraz kullanılan yapının itme analizi sonucu 970 elemandan x yönündekilerin 7'si, y yönündekilerin de 4'ü göçme bölgesine ulaşmıştır.

Tablo 3.16. Artımsal itme analizi ile elde edilen değerler ve performans seviyelerine göre eleman sayıları

Uygulama No	Perde Türü	İtme Yönü	Performans noktasında değerler		Performans seviyelerine göre eleman sayıları									
			$S_a^{(1)}$	$S_d^{(2)}$	A-B	B-HK	HK-CG	CG-GÖ	GÖ-C	C-D	D-E	>E	Toplam	
1		X	0.304	5.106	810	50	4	58	0	1	7	0	930	
		Y	0.208	6.946	823	37	0	55	0	0	15	0	930	
2		X	0.304	5.107	860	58	7	59	0	1	5	0	990	
		Y	0.378	3.930	871	41	66	8	0	0	0	4	990	
3		X	0.304	5.109	1044	71	9	53	0	0	13	0	1190	
		Y	0.440	3.528	787	295	93	10	0	0	3	2	1190	
4		X	0.304	5.110	877	63	4	62	0	1	3	0	1010	
		Y	0.410	3.649	621	155	204	24	0	4	2	0	1010	
5		X	0.304	5.105	860	68	17	59	0	2	4	0	1010	
		Y	0.361	4.273	628	168	198	16	0	0	0	0	1010	
6		X	0.304	5.113	978	42	61	6	0	0	0	3	1090	
		Y	0.421	3.561	689	284	75	28	0	0	10	4	1090	
7		X	0.304	5.108	836	64	4	59	0	4	3	0	970	
		Y	0.374	3.931	705	219	38	4	0	2	2	0	970	

Uygulamalara konu olan yapıların her iki doğrultu için performans noktasında belirlenen toplam taban kesme kuvveti ve maksimum tepe yerdeğiştirme değerleri Tablo 3.17' de gösterilmektedir.

Tablo 3.17. Uygulamalarda X ve Y doğrultularında belirlenen taban kesme kuvveti ve maksimum tepe yerdeğiştirmeleri

Uygulama No	Taban kesme kuvveti (V_r , kN)		Maksimum tepe yerdeğiştirmesi (δ , cm)	
	X doğrultusu	Y doğrultusu	X doğrultusu	Y doğrultusu
1	1938.874	1348.668	6.331	8.603
2	1942.359	2279.743	6.353	5.191
3	1945.459	2526.676	6.355	4.762
4	1943.330	2470.184	6.357	4.811
5	1944.736	2180.385	6.352	5.656
6	1943.715	2437.052	6.362	4.841
7	1942.094	2260.953	6.355	5.202

Artımsal itme analizlerinden elde edilen bu tabloya göre güçlendirme doğrultusu olan Y doğrultusunda en az taban kesme kuvveti V çaprazlı modele (Uygulama-5) etkinken, en fazla taban kesme kuvveti ise X çaprazlı modele (Uygulama-3) etkimektedir. Maksimum tepe yerdeğiştirmelerinde ise ters orantılı bir durum mevcuttur.

Y doğrultusundaki en fazla yerdeğiştirme salt çerçeve modelinde (Uygulama-1) ortaya çıkmıştır. Perde elemanlar ilave edilmiş diğer modellerde ise bu doğrultudaki en az yerdeğiştirme X çaprazlı modelde ve en fazla yerdeğiştirme V çaprazlı modelde görülmüştür.

Artımsal itme analizi sonucunda göçme bölgesinde oluşan mafsallar, Y (güçlendirme) doğrultusunda, salt çerçevesi sistemde toplam eleman sayılarına göre %1.6 iken diyagonal çaprazlı modelde %0.4, X çaprazlı modelde %0.4, ters V çaprazlı modelde %0.4, V çaprazlı modelde %0, K çaprazlı modelde %1.3 ve W çaprazlı modelde %0.4'tür. Bu oranlara göre V çaprazlı perde düzenlemesinin en etkin olduğu görülmektedir. Bu durum V çaprazın 1. katta temele bağlı oluşu şeklinde açıklanabilir.

Yerdeğiştirme değerleri ve mafsallaşma durumları birlikte değerlendirildiğinde, X çaprazlı perde düzenlemesinin diğer türlere göre daha rijit olduğu, V çaprazlı perde düzenlemesinin ise en sünek davranışa sahip model olduğu görülmektedir.

Gerçekleştirilen uygulamalarda yapı modellerinin birinci modlarına ait periyot değerleri ve ilk üç modlarına ait mod şekilleri Tablo 3.18’de verilmektedir. Buna göre, perdesiz model olan Uygulama-1’in periyodu 1.22 s iken diğer tüm perdeli modellerin periyodları hemen hemen birbirine eşit olarak 0.88 s’dir. Buradan, uygulanan perde düzenlemesine göre perde çapraz tiplerinin periyot üzerinde etkisinin yok denecek kadar az olduğu görülmektedir. Uygulanan perde düzenlemesi perdesiz modelin periyodunu ortalama % 28 oranında azaltmıştır. İlk üç moda ait mod şekillerine bakıldığında ise perdesiz modelin birinci modunun eğilme, ikinci modunun burulma ve üçüncü modunun yine eğilme modu olmasına karşın, diğer tüm perdeli modellerde birinci ve ikinci modun eğilme, üçüncü modun burulma modu olduğu görülmektedir. Buradan, benzer şekilde, perde çapraz tipinin ilk üç mod şekli üzerinde yine bir etkisinin olmadığı söylenebilir.

Tablo 3.18. Uygulamalarda birinci moddaki periyodlar ve ilk üç mod şekilleri

Uygulama No	1. moddaki periyod (s)	Mod Şekli		
		Mod 1	Mod 2	Mod 3
1	1.22371	Eğilme	Burulma	Eğilme
2	0.88200	Eğilme	Eğilme	Burulma
3	0.88223	Eğilme	Eğilme	Burulma
4	0.88244	Eğilme	Eğilme	Burulma
5	0.88178	Eğilme	Eğilme	Burulma
6	0.88298	Eğilme	Eğilme	Burulma
7	0.88212	Eğilme	Eğilme	Burulma

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Doğrusal olmayan analiz yöntemleri ile yapıların deprem etkisi altındaki davranışları daha gerçekçi bir şekilde belirlenebilmekte ve daha ekonomik tasarım yapmak mümkün olabilmektedir. Bu yöntemlerden faydalanılarak yapıların olası bir deprem etkisi altında performansları belirlenebilmektedir. Dolayısıyla gerçekleştirilen bu çalışmada, örnek olarak seçilen bir çelik yapı için merkezi çelik çaprazlı perde türlerinin etkinliğinin doğrusal olmayan statik itme analizi (artımsal itme analizi) ile incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, çalışmanın birinci bölümünde konu hakkında daha önce gerçekleştirilen bazı araştırmaları içeren literatür taraması verilmiş, ikinci bölümde, performansa dayalı yapı tasarımı ilkeleri hakkında yönetmeliklere dayalı genel bilgiler üzerinde ayrıntılı olarak durulmuş, artımsal itme analiz yöntemi tanıtılmıştır. Çalışmanın üçüncü bölümünde ise tasarlanan çelik yapı modelinin doğrusal olmayan artımsal itme analizleri, Türk Deprem Yönetmeliği'nde verilen merkezi çelik çaprazlı perdeler de eklenerek, SAP2000 paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmaların tümünden çıkarılabilecek bazı sonuçlar aşağıda özetlenmektedir.

- Salt çerçeve ve Y doğrultusunda dıştaki 4 açıklığa yerleştirilmiş çapraz elemanlı perdeler içeren yapı modelleri üzerinde gerçekleştirilen artımsal itme analizleri sonucunda; salt çerçeveli modelde X doğrultusunda 930 elemandan 50 tanesinin hemen kullanım, 4 tanesinin can güvenliği, 58 tanesinin göçmenin önlenmesi ve 8 tanesinin de göçme bölgesine ulaştığı görülmektedir. Y doğrultusunda ise 930 elemandan 37 tanesinin hemen kullanım, 55 tanesinin göçmenin önlenmesi ve 15 tanesinin de göçme bölgesinde olduğu görülmektedir.

- Diyagonal çelik çaprazlı perde kullanılan modelde, X doğrultusunda 990 elemandan 58 tanesi hemen kullanım, 7 tanesi can güvenliği, 59 tanesi göçmenin önlenmesi ve 6 tanesi de göçme bölgesine ulaşmaktadır. Y doğrultusunda ise 990 elemandan 41 tanesi hemen kullanım, 66 tanesi can güvenliği, 8 tanesi göçmenin önlenmesi ve 4 tanesi de göçme bölgesine ulaşmaktadır.

- X çaprazlı perde kullanılan modelde, X doğrultusunda 1190 elemandan 71 tanesi hemen kullanım, 9 tanesi can güvenliği, 53 tanesi göçmenin önlenmesi ve 13 tanesi de göçme bölgesine ulaşmaktadır. Y doğrultusunda ise 1190 elemandan 295 tanesi hemen

kullanım, 93 tanesi can güvenliği, 10 tanesi göçmenin önlenmesi ve 5 tanesi de göçme bölgesine ulaştığı görülmektedir.

- Ters V çaprazlı perde kullanılan modelde, X doğrultusunda 1010 elemandan 63 tanesi hemen kullanım, 4 tanesi can güvenliği, 62 tanesi göçmenin önlenmesi ve 4 tanesi de göçme bölgesine ulaşmaktadır. Y doğrultusunda ise 1010 elemandan 155 tanesi hemen kullanım, 204 tanesi can güvenliği, 24 tanesi göçmenin önlenmesi ve 6 tanesi de göçme bölgesine ulaşmaktadır.

- V çaprazlı perde kullanılan modelde, X doğrultusunda 1010 elemandan 68 tanesi hemen kullanım, 17 tanesi can güvenliği, 59 tanesi göçmenin önlenmesi ve 6 tanesi de göçme bölgesine ulaşmaktadır. Y doğrultusunda ise 1010 elemandan 168 tanesi hemen kullanım, 198 tanesi can güvenliği ve 16 tanesi göçmenin önlenmesine ulaştığı görülmektedir.

- K çaprazlı perde kullanılan modelde, X doğrultusunda 1090 elemandan 42 tanesi hemen kullanım, 61 tanesi can güvenliği, 6 tanesi göçmenin önlenmesi ve 3 tanesi de göçme bölgesine ulaşmaktadır. Y doğrultusunda ise 1090 elemandan 284 tanesi hemen kullanım, 75 tanesi can güvenliği, 28 tanesi göçmenin önlenmesi ve 14 tanesi de göçme bölgesine ulaşmaktadır.

- W çaprazlı perde kullanılan modelde, X doğrultusunda 970 elemandan 64 tanesi hemen kullanım, 4 tanesi can güvenliği, 59 tanesi göçmenin önlenmesi ve 7 tanesi de göçme bölgesine ulaşmaktadır. Y doğrultusunda ise 970 elemandan 219 tanesi hemen kullanım, 38 tanesi can güvenliği, 4 tanesi göçmenin önlenmesi ve 4 tanesi de göçme bölgesine ulaştığı görülmektedir.

- Perde elemanların yerleştirildiği Y doğrultusu göz önüne alınarak, göçme bölgesindeki eleman sayılarının toplam eleman sayısına oranları ise salt çerçeve, diyagonal, X, ters V, V, K ve W tipi perdeli modellerde sırasıyla %1.6, %0.4, %0.4, %0.4, %0.0, %1.3 ve %0.4'tür. Bu oranlara göre V çaprazlı perde düzenlemesinin en etkin olduğu görülmektedir. Bunun da V çaprazın 1. katta temele ankastre bağlı oluşuyla açıklanabileceği düşünülmektedir.

- Perde elemanların yerleştirildiği ve dolayısıyla incelemelerde daha çok dikkate alınan Y doğrultusundaki maksimum yatay yerdeğiştirme (8.603 cm) salt çerçeve modelinde ortaya çıkmıştır. Perde elemanlar ilave edilmiş diğer modellerde ise bu doğrultudaki minimum yatay yerdeğiştirme (4.762 cm) X çaprazlı modelde ve maksimum yatay yerdeğiştirme (5.656 cm) V çaprazlı modelde görülmüştür. Y doğrultusunda salt

çerçevesi modelin yatay yerdeğiştirmesi X çaprazlı model ile %45, V çaprazlı model ile %34 oranında azalmıştır.

- Artımsal itme analizi sonucunda göçme bölgesinde hiç eleman olmamasına rağmen maksimum yatay yerdeğiştirme yapan V çaprazlı modeldeki bu davranışın süneklikle açıklanabileceği düşünölmektedir. Bununla birlikte, gerçekteştirilen analizlerden X çaprazlı modelin diğer türlere göre daha rijit olduğu anlaşılmıştır.

- Perde türlerinin elde edilen mod şekilleri ve birinci moda ait periyod değerleri üzerinde hemen hiç etkisinin olmadığı görölmüştür.

Sonuç olarak, yabancı deprem yönetmeliklerinde mevcut olan ve Türk Deprem Yönetmeliği'ne de Mart 2007 itibariyle girmiş bulunan artımsal itme analizi ile performans değerlendirmesi yaklaşımı kullanılarak yeni yapılacak ve mevcut binaların gelecekteki deprem performansları hakkında önceden bilgi edinilebilmekte, böylece binanın hangi elemanlarının onarım-güçlendirmeye ihtiyacı olduğu belirlenebilmektedir. Bu teknikle onarım-güçlendirme projelerinin hazırlanmasında mühendise eski yönetmelikte izin verilmeyen bazı esneklikler tanınmış olmasına rağmen, bu esnekliklerin yönetmeliklerdeki temel kurallara aykırılık gösterecek şekilde kullanılmayacağı de açıktır.

5. KAYNAKLAR

- Altay, G. ve Mete, E., 2004. Farklı Yöntemler Kullanılarak Güçlendirilmiş Betonarme Binaların Deprem Performanslarının Belirlenmesi, XVII. Teknik Kongre ve Sergisi, İ.M.O., İstanbul, 13 s.
- Anonim, 1998. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, İzmir, 89 s.
- ATC 40, 1996. Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Applied Technology Council, Atc, Vol .1, Redwood City, California, 1996.
- Aydinoğlu, M.N., Yapıların Deprem Performansının Değerlendirilmesi için Artımsal Spektrum Analizi (ARSA) Yöntemi, V. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 26-30 Mayıs 2003, İstanbul, 13 s.
- Balcan, H., 2005. Performansa Dayalı Yaklaşımla Betonarme Yapıların Doğrusal Olmayan Davranışlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Bayülke, N., Kuran, F., Doğan, A., Kocaman, C., Memiş, H. ve Soyal, L., 2003. Betonarme Yapıların Doğrusal Olmayan İtme Analizleri ve Deprem Hasarı ile Karşılaştırılması, V. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 26-30 Mayıs 2003, İstanbul, Bildiri No: AT-108, 10 s.
- Celep, Z. ve Kumbasar, N., 2004. Deprem Yapılar Mühendisliğine Giriş ve Deprem Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta Dağıtım, İstanbul, 700 s.
- Celep, Z., 2004. Performans Kavramına Dayalı Tasarım ve Güncelleştirme, K.T.Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Semineri, Trabzon, 12 s.
- Elmas, M. ve Kömür, M.A., Betonarme Düzlem Çerçeve Sistemlerin Farklı Yanal Yük Biçimleri İçin Elastik Olmayan Statik (İtme) Analizi, V. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 26-30 Mayıs 2003, İstanbul, Bildiri No: AT-021, 7 s.
- Doğangün, A., 2002. Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı, Birsen Yayınevi, İstanbul 780 s.
- FEMA 356, 2004. NEHRP Guidelines for Seismic Rehabilitation of Building, Federal Emergency Management Geney, Washington, 415 p.
- Gong, Y., 2003. Performance-Based Design of Steel Building Frameworks Under Seismic Loading, Waterloo, Ontario, Canada.
- Habibullah, A. and Pyle, S., 1998. Practical Three Dimensional Nonlinear Static Pushover Analysis in SAP2000, Structure Magazine, 1, 1-4.

- İrtem, E., Türker, K. ve Hasgöl, U., 2004. Türk Deprem Yönetmeliğine Göre Tasarlanmış Betonarme Yapıların Performansının Değerlendirilmesi, VI. Uluslararası İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler Kongresi, 6-8 Ekim 2004, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul, 10 s.
- İrtem, E., Türker, K. ve Hasgöl, U., 2005. SAP 2000 ile Pushover Analiz İçin Özet Açıklama Balıkesir, 3 s.
- Kömür, M.A. ve Elmas M., 2003. Betonarme Düzlem Çerçeve Sistemlerin Farklı Yanal Yük Biçimleri İçin Elastik Olmayan Statik (İtme) Analizi, Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 26-30 Mayıs 2003, İstanbul, 7s.
- Özdaş, A., 2006. Asmolen Döşemeli Betonarme Yapıların Artımsal İtme Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon, 155 sayfa.
- Özer, E., 2004. Yapı Sistemlerinin Lineer Olmayan Analizi, Ders Notları, İ.T.Ü., İstanbul
- Özer, E., 2005. Performansa Dayalı Tasarım ve Değerlendirme, İstanbul, 14 s.
- Özmen, H. B. ve Bilgin, H., Kamu Yapılarında Beton Dayanımı ve Enine Donatının Performansa Etkisi, XII. Uluslararası İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler Kongresi 11-13 Ekim 2006, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 10 s.
- Öztürk, T. ve Yüceer, E., 2006. Betonarme Binaların Yeni Deprem Yönetmeliğindeki Performans Yaklaşımı İle Güçlendirilmesi, Yedinci Uluslararası İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler Kongresi, 11-13 Ekim 2006, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- SAP 2000, 2004. Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures, Analysis Reference, Version 8.2.3, Berkeley, California.
- TS 498, 1997. Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 19 s.
- Uçar T., Korkmaz A., 2006, Betonarme Binaların Deprem Davranışında Dolgu Duvar Etkisinin İncelenmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi 8, 1, 101-108 s, İzmir.
- Uçar T., Performansa Dayalı Analizde FEMA Analiz Yöntemlerinin Değerlendirilmesi, İzmir, 14 s.
- Yüceer, E., Öztürk, T., Betonarme Binaların Yeni Deprem Yönetmeliğindeki Performans Yaklaşımı il Güçlendirilmesi, XII. Uluslararası İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler Kongresi, 11-13 Ekim 2006-04-10, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 12 s.

ÖZGEÇMİŞ

Nurten TOPALOĞLU 1983 yılında Trabzon'da doğdu. İlköğrenimini Hüseyin Hüsnü Aker İlkokulu'nda, orta ve lise öğrenimini Trabzon Yunus Emre Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2000-2001 öğretim yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Gümüşhane Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde lisans öğrenimine başladı. İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden 2 Temmuz 2004 tarihinde mezun olup, aynı yılda Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. Bekar olan Topaloğlu, iyi derecede İngilizce ve bilgisayar, başlangıç seviyesinde de Almanca bilmektedir.