

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ASMOLEN DÖŞEMELİ BETONARME YAPILARIN DOĞRUSAL OLMAYAN
STATİK İTME ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Abdülhamit ÖZDAŞ

**AĞUSTOS, 2006
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ASMOLEN DÖŞEMELİ BETONARME YAPILARIN DOĞRUSAL OLMAYAN
ARTIMSAL İTME ANALİZİ**

İnş. Müh. Abdülhamit ÖZDAŞ

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

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 31.07.2006
Tezin Savunma Tarihi : 24.08.2006**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Adem DOĞANGÜN
Jüri Üyesi : Prof. Dr. Yusuf AYVAZ
Jüri Üyesi : Prof. Dr. Muzaffer DOĞAN**

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Emin Zeki BAŞKENT

TRABZON 2006

ÖNSÖZ

‘Asmolen Döşemeli Betonarme Yapıların Doğrusal Olmayan Artımsal İtme Analizi’ konulu bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak gerçekleştirilmiştir.

Bu önemli konuda çalışma yapmaya beni yönlendiren, tez çalışmam sırasında değerli zamanlarını ayırarak yardımlarını benden esirgemeyen, çalışmamı yakından takip edip her türlü bilgilerini benimle paylaşan kıymetli hocam Prof. Dr. Adem DOĞANGÜN’e teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca değerli zamanlarını ayırarak tez çalışmamı değerlendiren değerli hocam Prof. Dr. Yusuf AYVAZ’a ve Prof. Dr. Muzaffer DOĞAN hocama da teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Tez çalışmamın şekillenmesinde ve bu aşamaya gelmesinde maddi ve manevi çok büyük katkıları olan başta değerli arkadaşım Serkan ÜNVER’e, yine katkılarını esirgemeyen Arş. Gör. Hakan ÇELİK’e, diğer yüksek lisans arkadaşlarıma, TEKBİR Mühendislik bürosunun kıymetli çalışanları Teknik Eleman Süleyman KARPUZ, Mimar Necip BULAK ve İnş. Yük. Müh. Mehmet Salih TOMAÇ’a da şükranlarımı sunarım.

Ayrıca bu günlere gelmemde maddi ve manevi olarak desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, mesleğimde bilgi portföyümü genişleten, sürekli bir şeyler öğrenmemi sağlayan sevgili babam İnş. Yük. Müh. Mustafa ÖZDAŞ’a, bana hep sahip çıkan kıymetli annem Kadime ÖZDAŞ’a, her zaman yanımda olan kız kardeşlerime sonsuz teşekkür eder, bu çalışmanın ülkemize faydalar getirmesini dilerim.

Abdülhamit ÖZDAŞ
Trabzon 2006

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET	V
SUMMARY	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VII
TABLolar DİZİNİ	XI
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XIII
1. GİRİŞ	1
1.1. Konunun Tanıtımı	1
1.2. Daha Önce Yapılan Çalışmalar	3
1.3. Tezin Amaç ve Kapsamı	4
2. GENEL BİLGİLER	9
2.1. Yapıların Performans Değerlendirmesinde Kullanılan Tanım, Kavram ve Parametreler	9
2.1.1. Kapasite	9
2.1.2. İstem	10
2.1.3. Performans	10
2.1.4. Performans Hedefi	11
2.1.5. Deprem Etki (Yer Hareketi) Seviyeleri	12
2.1.6. Binalardan Bilgi Toplanması	16
2.1.6.1. Binalardan Toplanacak Bilginin Kapsamı	16
2.1.6.2. Bilgi Düzeyleri	16
2.1.7. Türk Deprem Yönetmeliğine Göre Bina Performans Seviyeleri	19
2.1.8. ATC-40' a Göre Performans Seviyeleri	22
2.1.8.1. Performans Amaçları	29
2.1.8.2. Bölgenin Depremselliği	32
2.2. Yapı Sistemlerinin Çözümleme Yöntemleri	39
2.2.1. Doğrusal Olmayan Artımsal İtme Analizi	40

2.2.1.1.	ATC-40' da Tanımlanan Kapasite Spektrumu Yöntemi	43
2.2.1.2.	Türk Deprem Yönetmeliğinde Tanımlı Kapasite Spektrumu Yöntemi	70
3.	YAPILAN ÇALIŞMALAR	83
3.1.	Giriş	83
3.2.	Uygulamaya Konu Binaların SAP2000 Programıyla Modellenmesi	85
3.3.	SAP2000 Programı İle Uygulamaya Konu Olan Binanın Artımsal İtme Analizi	89
3.4.	STA4 Programı ile Uygulamaya Konu Olan Binanın Artımsal İtme Analizi	94
3.4.1.	Asmolen Döşemeli Betonarme Binanın STA4 Programıyla Çözümlemesi ...	95
3.5.	Ide-STATİK Programı İle Uygulamaya Konu Olan Binanın Artımsal İtme Analizi	98
3.5.1.	Asmolen Döşemeli Betonarme Binanın Ide-STATİK Programıyla Çözümlemesi	100
3.6.	Dolgunuz (Görünür) ve Dolgu Malzemeli (Asmolen) On Farklı Kata Sahip Dişli Döşemeli Betonarme Binaların Artımsal İtme Analizi	104
3.6.1.	Dolgunuz Asmolen Döşemeli Betonarme Bina Modelleri	104
3.6.2.	Dolgu Malzemeli Asmolen Döşemeli Betonarme Bina Modelleri	114
4.	İRDELEME	125
4.1.	STA4 Programıyla Çözüm İçin	125
4.2.	Ide-STATİK Programıyla Çözüm İçin	125
4.3.	SAP2000 Programıyla Çözüm İçin	125
4.4.	Dolgu Malzemesinin Bulunup Bulunmaması Durumlarında Bulguların İrdelenmesi	128
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER	133
6.	KAYNAKLAR	135
	ÖZGEÇMİŞ	139

ÖZET

Türkiye’de sık aralıklarla yıkıcı depremlerin meydana gelmesi, mevcut ve yeni yapılacak yapıların oluşma ihtimali yüksek depremlerde ne tür bir davranış göstereceğinin bilinmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. Elastik sınırların ötesinde zorlanan yapının deprem esnasındaki davranışının gerçekçi olarak belirlenebilmesi için, doğrusal olmayan davranışın dikkate alınması gerekmektedir. Bu yüzden bu çalışmada, dikkate alınan yapılar için doğrusal olmayan davranışı dikkate alan Artımsal İtme analizi gerçekleştirilmektedir.

Ülkemizde son yıllarda yaygın olarak inşa edilen asmolen döşemeli betonarme binaların deprem performanslarını incelemek ve deprem yönetmeliğimize yeni giren performans değerlendirmelerinin uygulamasını göstermek amacıyla bu çalışma gerçekleştirilmiştir.

Bu amaçla gerçekleştirilen çalışma toplam 5 bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde konu genel hatlarıyla tanıtılmakta, çalışmanın amaç ve kapsamı verilmektedir. İkinci bölümde yapıların performans değerlendirilmesinde kullanılan ve bu alanda nispeten yeni olarak sıkça duyulmaya başlanan tanım, kavram ve parametreler açıklanmaktadır. Yine aynı bölümde özellikle Mart 2007’de yürürlüğe girecek olan yeni deprem yönetmeliğinde mühendislerin kullanmak durumunda oldukları Artımsal İtme Analizi ile ilgili bilgiler ve hesap yöntemleri verilmektedir. Üçüncü bölüm yapılan çalışmalar bölümü olup bu bölümde tez kapsamında dikkate alınan asmolen döşemeye sahip betonarme yapılara ilişkin bilgiler ve bunların artımsal itme analizlerinden elde edilen bulgular sunulmaktadır. Aynı özellikteki yapılar için gerçekleştirilen çözümlerinde program sonuçları arasındaki farkın görülebilmesi için üç farklı program kullanılmıştır. Diğer taraftan sadece dolgu malzemesinin etkisini görebilmek amacıyla bir program kullanılarak farklı kata sahip yapılar için de çözümler gerçekleştirilmiştir. Çalışmadan çıkartılan bu bulguların irdelenmesi ise dördüncü bölümde yapılmaktadır. Söz konusu irdelenmeler STA-4, İdeSTATİK ve SAP2000 programlarına göre elde edilen bulguların irdelenmesi ve ayrıca dolgu malzemesinin bulunup bulunmamasına göre elde edilen bulguların irdelenmesi şeklinde yapılmaktadır. Çalışmanın bütününden çıkartılan sonuç ve öneriler ise beşinci ve son bölümde verilmektedir. Bu bölümü kaynaklar listesi izlemektedir.

Anahtar Kelimeler : Artımsal İtme Analizi, Doğrusal Olmayan Analiz, Asmolen Döşemeli Yapı, Performans

SUMMARY

Pushover Analysis of Reinforce Concrete Buildings with Ribbed Slab

The frequent occurrence of destructive earthquakes in Turkey appears the necessity to estimate dynamic behaviour of existing and new buildings. When the behaviour of buildings are subjected to earthquake beyond elastic limits, nonlinear behaviours is needed to be considered. Therefore, in the proposed study, the pushover static analysis, taking into account nonlinear behaviours, are carried out for sample buildings.

Two main purposes are selected for the study such as to investigate earthquake performance of reinforced concrete buildings with ribbed slabs and to show applications of requirement related to performance of buildings recommended by the new earthquake code. The study carried out for these purposes consist of five chapter. In the first chapter, the aim and scope of the study is given. The definitions, parameters and concepts most newly used for structures and performance evaluation are presented in the second chapter. In the same chapter, the information, and analysis methods related to pushover analysis are given considering the requirements by Turkish Earthquake Code which will be implemented on March 2007. In the third chapter, informative knowledges related to sample structures with ribbed slab taken into this study are given and the results obtained from pushover analysis are also given. Three different analysis programs STA4, Ide-STATIK and SAP2000 are used to show differences at results for same building. The results obtained from pushover analysis of a building with ten different story with and without filled matter. Evaluations of the results are discussed and illustrated in chapter 4. The conclusion and suggestion from all over the study are presented in the last chapter.

Consequently, the results of the programs SAP2000, STA4 and Ide-STATIC are compared with each other and the program STA4 gives closer results to SAP2000 than the other.

Keywords: Pushover Analysis, Nonlinear Pushover Analysis, Performance, structure with ribbed slab.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1. Bir yapının deprem etkisiyle oluşan performans seviyelerine göre performans (kapasite) eğrisi.....	15
Şekil 2.2. Kesit hasar sınırları ve hasar bölgeleri	15
Şekil 2.3. Genel spektrum eğrisi (Celep, Z., Kumbasar, N., 2004)	31
Şekil 2.4. Bina performans seviyeleri – deprem etkisi – maliyet arasındaki ilişki.....	32
Şekil 2.5. Elastik İstem Spektrumu (Celep, Z., Kumbasar, N., 2004)	38
Şekil 2.6. Analiz yöntemleri	39
Şekil 2.7. Plastik mafsalların kuvvet-şekil değiştirme ilişkisi	42
Şekil 2.8. Kapasite eğrisinin elde edilmesi	44
Şekil 2.9. Ç.S.D. Sistemin eşdeğer T.S.D. Sisteme dönüştürülmesi.....	46
Şekil 2.10. Kapasite eğrisinin kapasite spektrumuna dönüştürülmesi	48
Şekil 2.11. Genel istem spektrumu	49
Şekil 2.12. İstem spektrumunun ADRS formatına dönüştürülmesi	50
Şekil 2.13. Kapasite spektrumunun istem spektrumu ile kullanımı	50
Şekil 2.14. İstem spektrumunun azaltılması için sönümün elde edilmesi	53
Şekil 2.15. Kapasite spektrumunun kırıklı hale getirilmesi	54
Şekil 2.16. Yapı davranış türleri A,B,C için κ düzeltme katsayıları	56
Şekil 2.17. Yapı davranış türleri A,B,C için β_{eff} 'ün β_0 ile değişimi.....	57
Şekil 2.18. Genel istem spektrumunun azaltılması	59
Şekil 2.19. A,B ve C yapısal davranış tipleri için istem spektrumları	60
Şekil 2.20. Kapasite ve istem spektrumunun kesiştirilmesi	61
Şekil 2.21. İvme-yerdeğiştirme formatındaki istem spektrumu	62
Şekil 2.22. Kapasite ve istem spektrumlarının aynı diyagramda gösterilişi	62
Şekil 2.23. Tahmini performans noktasının bulunması	63
Şekil 2.24. Kapasite spektrumunun kırıklı hale getirilmesi	63
Şekil 2.25. Azaltılmış istem spektrumunun gösterimi	64
Şekil 2.26. Performans noktasının belirlenmesi	64
Şekil 2.27. Kuvvet-şekil değiştirme eğrisi	67

Şekil 2.28. Birincil elemanlar için şekil değiştirme eğrisi	68
Şekil 2.29. İkincil elemanlar için şekil değiştirme eğrisi	68
Şekil 2.30. Plastik mafsalsal dönmesi (ATC-40)	69
Şekil 2.31. Perde ötelenmesi ve plastik mafsalsal dönmesi (FEMA-356)	69
Şekil 2.32. Tasarım ivme spektrumu (Türk Deprem Yönetmeliği)	72
Şekil 2.33. Pekleşme etkisi (Türk Deprem Yönetmeliği)	78
Şekil 2.34. Spektral yerdeğiştirme oranının (C_{R1}) hesaplanması	81
Şekil 2.35. İtme analizi sonunda elde edilen modal kapasite diyagramı	82
Şekil 2.36. Eşdeğer akma noktasının koordinat diyagramı	82
Şekil 3.1. Plastik mafsallar için kuvvet-şekildeğiştirme eğrisi.....	86
Şekil 3.2. Uygulamaya konu olan binanın SAP2000'deki matematik modeli	89
Şekil 3.3. Uygulamaya konu olan binanın SAP2000'deki üç boyutlu görünümü	90
Şekil 3.4. Uygulamaya konu olan binanın SAP2000' de X doğrultusunda 51. adımda oluşan plastik mafsallaşma	90
Şekil 3.5. X doğrultusu için kapasite (pushover) eğrisi	91
Şekil 3.6. X doğrultusu için kapasite spektrum eğrisi	92
Şekil 3.7. Uygulamaya konu olan binanın SAP2000'de Y doğrultusu için 51. adımda oluşan plastik mafsallaşma	92
Şekil 3.8. Y doğrultusu için kapasite (pushover) eğrisi	93
Şekil 3.9. Y doğrultusu için kapasite spektrum eğrisi	94
Şekil 3.10. Uygulamaya konu olan binanın STA4'de modellenmiş kalıp planı	96
Şekil 3.11. Uygulamaya konu olan binanın STA4'de üç boyutlu modellenmesi	96
Şekil 3.12. Uygulamaya konu olan binanın STA4'de elde edilen X ve Y doğrultuları için kapasite (pushover) eğrisi	97
Şekil 3.13. Uygulamaya konu olan binanın Ide-STATİK'de modellenmiş kalıp planı	100
Şekil 3.14. Uygulamaya konu olan binanın Ide-STATİK'de üç boyutlu modellenmesi	101
Şekil 3.15. Uygulamaya konu olan binanın Ide-STATİK'de elde edilen kapasite eğrisi	102
Şekil 3.16. Uygulamaya konu olan binanın Ide-STATİK'de elde edilen plastik mafsallaşma	102
Şekil 3.17. Uygulamaya konu olan binanın Ide-STATİK'de performans seviyelerine göre elemanlarda oluşan plastik mafsallar	103
Şekil 3.18. Tek katlı binanın X doğrultusu için kapasite (pushover) eğrisi	104
Şekil 3.19. Tek katlı binanın X doğrultusu için kapasite spektrum eğrisi	105

Şekil 3.20. İki katlı binanın X doğrultusu için kapasite (pushover) eğrisi	105
Şekil 3.21. İki katlı binanın X doğrultusu için kapasite spektrum eğrisi	106
Şekil 3.22. Üç katlı binanın X doğrultusu için kapasite (pushover) eğrisi	106
Şekil 3.23. Üç katlı binanın X doğrultusu için kapasite spektrum eğrisi	107
Şekil 3.24. Dört katlı binanın X doğrultusu için kapasite (pushover) eğrisi	107
Şekil 3.25. Dört katlı binanın X doğrultusu için kapasite spektrum eğrisi	108
Şekil 3.26. Beş katlı binanın X doğrultusu için kapasite (pushover) eğrisi	108
Şekil 3.27. Beş katlı binanın X doğrultusu için kapasite spektrum eğrisi	109
Şekil 3.28. Altı katlı binanın X doğrultusu için kapasite (pushover) eğrisi	109
Şekil 3.29. Altı katlı binanın X doğrultusu için kapasite spektrum eğrisi	110
Şekil 3.30. Yedi katlı binanın X doğrultusu için kapasite (pushover) eğrisi	110
Şekil 3.31. Yedi katlı binanın X doğrultusu için kapasite spektrum eğrisi	111
Şekil 3.32. Sekiz katlı binanın X doğrultusu için kapasite (pushover) eğrisi	111
Şekil 3.33. Sekiz katlı binanın X doğrultusu için kapasite spektrum eğrisi	112
Şekil 3.34. Dokuz katlı binanın X doğrultusu için kapasite (pushover) eğrisi	112
Şekil 3.35. Dokuz katlı binanın X doğrultusu için kapasite spektrum eğrisi	113
Şekil 3.36. On katlı binanın X doğrultusu için kapasite (pushover) eğrisi	113
Şekil 3.37. On katlı binanın X doğrultusu için kapasite spektrum eğrisi	114
Şekil 3.38. Tek katlı binanın X doğrultusu için kapasite (pushover) eğrisi	114
Şekil 3.39. Tek katlı binanın X doğrultusu için kapasite spektrum eğrisi	115
Şekil 3.40. İki katlı binanın X doğrultusu için kapasite (pushover) eğrisi	115
Şekil 3.41. İki katlı binanın X doğrultusu için kapasite spektrum eğrisi	116
Şekil 3.42. Üç katlı binanın X doğrultusu için kapasite (pushover) eğrisi	116
Şekil 3.43. Üç katlı binanın X doğrultusu için kapasite spektrum eğrisi	117
Şekil 3.44. Dört katlı binanın X doğrultusu için kapasite (pushover) eğrisi	117
Şekil 3.45. Dört katlı binanın X doğrultusu için kapasite spektrum eğrisi	118
Şekil 3.46. Beş katlı binanın X doğrultusu için kapasite (pushover) eğrisi	118
Şekil 3.47. Beş katlı binanın X doğrultusu için kapasite spektrum eğrisi	119
Şekil 3.48. Altı katlı binanın X doğrultusu için kapasite (pushover) eğrisi	119
Şekil 3.49. Altı katlı binanın X doğrultusu için kapasite spektrum eğrisi	120
Şekil 3.50. Yedi katlı binanın X doğrultusu için kapasite (pushover) eğrisi	120
Şekil 3.51. Yedi katlı binanın X doğrultusu için kapasite spektrum eğrisi	121
Şekil 3.52. Sekiz katlı binanın X doğrultusu için kapasite (pushover) eğrisi	121

Şekil 3.53. Sekiz katlı binanın X doğrultusu için kapasite spektrum eğrisi	122
Şekil 3.54. Dokuz katlı binanın X doğrultusu için kapasite (pushover) eğrisi	122
Şekil 3.55. Dokuz katlı binanın X doğrultusu için kapasite spektrum eğrisi	123
Şekil 3.56. On katlı binanın X doğrultusu için kapasite (pushover) eğrisi	123
Şekil 3.57. On katlı binanın X doğrultusu için kapasite spektrum eğrisi	124

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Deprem Etki Seviyeleri (Yer Hareketi Seviyeleri).....	13
Tablo 2.2. Deprem Etki Seviyeleri (En Sık Kullanılan).....	13
Tablo 2.3. Türk Deprem Yönetmeliğine Göre Bina Performans Hedefleri	22
Tablo 2.4. Yapısal Performans Seviyeleri ve Aralıkları (Celep, 2004)	23
Tablo 2.5. Yapısal Olmayan Performans Seviyeleri (Celep, 2004)	25
Tablo 2.6. Bina Performans Seviyeleri (Celep, 2004)	27
Tablo 2.7. Yaygın Olarak Kullanılan Bina Performans Seviyeleri (Celep, 2004)	28
Tablo 2.8. Bina Performans Amaçlarının Sınıflandırılması (Celep, 2004)	29
Tablo 2.9. Zemin Çeşitleri (ICBO, 1996)	33
Tablo 2.10. Deprem Bölge Katsayısı (ICBO, 1996)	35
Tablo 2.11. Kaynağa (en yakın) Mesafe Katsayısı, N_A ve N_V (ICBO, 1996)	36
Tablo 2.12. Fay tanımlamasına göre deprem fay tipleri (Pakdamar, 2001)	36
Tablo 2.13. Deprem Katsayısı, C_A (ICBO, 1996)	37
Tablo 2.14. Deprem Katsayısı, C_V (ICBO, 1996)	37
Tablo 2.15. Yapısal davranış tipleri (ATC-40).....	51
Tablo 2.16. Düzeltme katsayıları (ATC-40).....	56
Tablo 2.17. SR_A ve SR_V değerleri (ATC-40).....	58
Tablo 2.18. Minimum SR_A ve SR_V değerleri (ATC-40)	58
Tablo 2.19. Katlar arası yerdeğiştirmenin kat yüksekliğine oranının sınırı (Global yerdeğiştirme sınırı). (ATC-40)	66
Tablo 2.20. Etkin yer ivmesi katsayısı	70
Tablo 2.21. Zemin grupları	71
Tablo 2.22. Yerel zemin sınıfları	72
Tablo 2.23. Spektrum karakteristik periyotları	71
Tablo 2.24. Taşıyıcı sistem davranış katsayısı	73
Tablo 2.25. Betonarme kirişler için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları	75
Tablo 2.26. B.arme kolonlar için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları ...	75
Tablo 2.27. Göreli kat ötelenmesi sınırları	79

Tablo 3.1. 40-51. adımlar arası X doğrultusu için elemanların durumu	91
Tablo 3.2. 40-51. adımlar arası Y doğrultusu için elemanların durumu	93
Tablo 3.3. Uygulamaya konu olan binanın STA4’de elde edilen yerdeğiştirme değerleri	97
Tablo 4.1. STA-4, ide-STATİK ve SAP2000’den elde edilen bulguların karşılaştırılması	126
Tablo 4.2. SAP2000 verilerine göre performans seviyeleri	127
Tablo 4.3. Ide-STATİK verilerine göre performans seviyeleri	127
Tablo 4.4. STA4 verilerine göre performans seviyeleri	128
Tablo 4.5. X doğrultusu için karşılaştırma	129
Tablo 4.6. Y doğrultusu için karşılaştırma	129
Tablo 4.7. 66-76. adımlar arası sekiz katlı dolgusuz dişli döşemeli binanın hasar gören eleman sayıları	130
Tablo 4.8. 69-79. adımlar arası sekiz katlı dolgusuz dişli döşemeli binanın hasar gören eleman sayıları	131
Tablo 4.9. 73-83. adımlar arası sekiz katlı dolgusuz dişli döşemeli binanın hasar Gören eleman sayıları	131
Tablo 4.10. 73-83. adımlar arası sekiz katlı dolgusuz dişli döşemeli binanın hasar gören eleman sayıları	132

SEMBOLLER DİZİNİ

A_0	: Etkin yer ivmesi katsayısı
$A(T)$: Spektral ivme katsayısı
C_A ve C_V	: Deprem katsayısı
d_c	: Toplam kohezyonlu zemin tabaka kalınlığı
d_{CH}	: Tüm kohezyonsuz zemin tabakalarının toplam kalınlığı
d_{CH_i}	: i. tabakanın standart penetrasyon direnci
d_i	: i. tabakanın kalınlığı
d_s	: Toplam zemin profili kalınlığı
E_D	: Bir çevrimde sönümle tüketilen enerji
E_{S_0}	: Maksimum şekil değiştirme enerjisi
F_x	: Katlara etkiyen yatay yükler
h	: Çalışan doğrultudaki kesit boyutu
h_i	: Kat yüksekliği
L_p	: Plastik şekil değiştirme bölgesi'nin uzunluğu
m_i	: i. kattaki kütle (W_i/g)
M_W	: Maksimum moment manyitudü
N	: Kat adeti
\bar{N}	: Standart penetrasyon deneyi
N_A ve N_V	: Kaynağa (en yakın) mesafe katsayısı
\bar{N}_{CH}	: Kohezyonsuz zeminler için standart penetrasyon deneyi vuruş sayısı
N_D	: Eksenel basınç kuvveti
PF_1	: 1. moda ait modal kütle çarpanı
R	: Etki/kapasite oranları
S_a	: Spektral ivme
$S_{ae}(T)$: Elastik 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 yerdeğiştirme
$S_{d_{pi}}$: Hedeflenen performans seviyesindeki spektral yerdeğiştirme
S_i	: İstenilen aşılma olasılığı için spektral ivme parametresi
$S_{i_{10/50}}$: 50 yıllık zaman aralığında aşılma olasılığı %10 olan spektral ivme parametresi
$S_{i_{TGD-2}}$: TGD-2 için spektral ivme parametresi
SR	: Kayma oranı
SR_A	: İvme değerleri için spektral azaltma katsayısı
SR_V	: Hız değerleri için spektral azaltma katsayısı
S_I	: Bir saniyelik periyot ivme parametresi
S_S	: Kısa periyot ivme parametresi
$S(T)$: Türk Deprem Yönetmeliği'nde tanımlanan spektrum katsayısı
$\overline{S_U}$: Drenajsız kayma mukavemeti
S_{u_i}	: i. tabakanın drenajsız kayma mukavemeti
T_A ve T_B	: Spektrum karakteristik periyotları
T_n	: Binanın doğal periyodu
V_e	: Kapasite kesme kuvveti
V_r	: Kesme kapasitesi
$\overline{V_S}$: Kayma dalgası hızı
V_{s_i}	: i. katmanın (tabakanın) kayma dalgası hızı
V_t	: Taban kesme kuvveti (toplam yatay deprem yükü)
W	: Toplam bina ağırlığı
α_1	: 1. moda ait modal kütle katsayısı
β_0	: Eşdeğer viskoz sönümü temsil eden histerik sönüm
β_{eff}	: Etkili sönüm oranı
δ_ζ	: Çatı (tepe) yerdeğiştirme değeri
ϕ_{i_2}	: 1. modun i. kattaki genliği

- $(\delta_i)_{mak}$: İlgili kattaki düşey elemanların uçları arasında hesaplanan en büyük göreli kat ötelenmesi
- δ_{tepe_1} : Çatı seviyesindeki 1. moddaki genliği
- θ : Plastik mafsallarda oluşan dönme
- θ_p : Plastik mafsallarda oluşan dönme
- θ_y : Akma dönmesi
- μ : Sönüm oranı
- κ : Sönüm katsayısı

1. GİRİŞ

1.1. Konunun Tanıtımı

Dünyada meydana gelen depremlerde, yapılarda oluşan hasarların ekonomik boyutlarının çok büyük olması depreme dayanıklı yapı tasarımında hasar kontrolünün de göz önüne alınması gerektiğini göstermiştir. Gerçekten de son yıllarda ülkemizde meydana gelen depremler özellikle de 1999 depremleri göstermiştir ki, depremlerin yapılarda oluşturduğu hasarlar nedeniyle ülke ekonomisi büyük zarar görmektedir. Bu durum sadece ülkemiz için geçerli olmayıp bazı gelişmiş ülkeler de benzer durumlarla karşılaşmışlardır.

Nitekim ABD’ de 1994 Northridge (California) depremi büyük ekonomik kayıplara yol açmıştır. Bu bağlamda bazı standart ve yönetmeliklerin yeniden hazırlanması yoluna gidilmiştir. Geleneksel kuvvete dayalı tasarım yönteminin yerine performansa dayalı tasarım ve değerlendirme ile ilgili çalışmalar önem ve hız kazanmıştır (Naeim ve diğerleri, 2001).

Bugün birçok çağdaş ülke yönetmeliğinde olduğu gibi 2007’de yürürlüğe girecek olan Yeni Türk Deprem Yönetmeliği’nde de depreme dayanıklı yapı tasarımının ana ilkesi olarak; yapılar ve buna bağlı olarak binalar için çeşitli deprem seviyelerine göre bazı performans hedefleri öngörülmektedir. Öngörülen hedefler yönetmelikte yer alan çeşitli koşullar (süneklik, yer değiştirme v.b.) ile sağlatılmaya çalışılmaktadır. Ancak yönetmelikteki geleneksel deprem tasarımı ile yapı veya bina performansının öngörülen sınırlar içerisinde kalıp kalmadığının kontrolü yapılamamaktadır. Bunun içinde doğrusal olmayan statik veya dinamik analiz yöntemlerinin birisinin veya her ikisinin kullanılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

Büyük depremler yapıların genellikle elastik ötesi davranışa sebep olarak ağır hasar görmesine neden olabilmektedir. Bu durumda yapı davranışının elastik kalacağı varsayımı ile yapılan analizler, yapının gerçek performansının anlaşılmasını engellemektedir.

Oysa, doğrusal olmayan analiz yöntemleriyle yapıların elastik ötesi davranışlarının belirlenebilmesi mümkün olmaktadır. Bu yöntemler ile yapı taşıyıcı sistem veya taşıyıcı sistem elemanlarının hangisinin göz önüne alınan depreme göre ilk önce devre dışı kalacağı belirlenebilmektedir.

Yapıların değerlendirilmesinde; yer hareketinin tanımlanmasında, malzeme özelliklerinin kapasiteye etkisinin belirlenmesinde, yapısal davranışın performansının değerlendirilmesinde ve limit değerlerinin tayininde bu belirsizlikler karşımıza çıkabilmektedir. Klasik yöntemlerde karşımıza çıkan bu belirsizlikler görmezden gelinmekte ve analizler ise bu belirsizlikler dikkate alınmadan yapılmaktadır. Oysa doğrusal olmayan davranışın dikkate alındığı analizlerde bu belirsizlikler ihmal edilmemektedir. Her bir yapı elemanının elastik ötesi davranışının göz önünde bulundurulmasıyla, her bir elemandaki rijitlik ve dayanım azalmalarının dikkate alınması, yer hareketi nedeniyle yapıda oluşacak deformasyonların belirlenmesinde daha gerçekçi bir yaklaşım sağlamaktadır (Celep, Z., Kumbasar, N., 2004). Bu durumda doğrusal olmayan davranışın dikkate alındığı çözümleri günümüz bilgisayar ve yazılımlarından da yararlanarak gerçekleştirmek, ülke topraklarının büyük bir kısmı deprem riski altında bulunan ülkemizde son derece önemli olmaktadır.

Depremlerden sonra ortaya çıkan raporlarda döşeme sistemleri için yapılan irdelemelerde, kirişli döşeme hasarına rastlanmadığı, ancak asmolen döşeme hasarlarına yaygın olarak rastlandığı belirtilmektedir. Bu bağlamda çalışmada deprem davranışları çokça konuşulan asmolen döşemeli betonarme yapı sistemler seçilmiştir. Asmolen döşemeler dişli döşeme sınıfına girdiğinden, dişli döşeme sistemlerini çeşitli bakımlardan irdelemekte fayda vardır. Öncelikle döşeme açıklıklarının büyük olması durumunda ekonomik olması bakımından dişli döşeme yapılması bir seçenek olarak ortaya çıkmaktadır. Bu döşeme sistemi tekil ve şerit yüklerin döşemeye etkileri durumları için de uygun olmaktadır (Doğangün, A., 2005). Bu döşeme sisteminde baca, havalandırma boşluğu, tesisat boşlukları gibi küçük boşlukları bırakmak için önlem almaya gerek yoktur. Mimari açıdan da bina sahibine ve uygulama sorumlusu mimara büyük kolaylıklar sağlamaktadır. En önemli avantajı olarak; düz bir kalıp üzerine işlem yapıldığından, işçilikten önemli oranda tasarruf sağlaması belirtilebilir. Bu gibi nedenlerden dolayı asmolen döşemeli betonarme yapılar özellikle son yıllarda en fazla tercih edilen döşeme sistemlerinden biri olmuştur.

Asmolen döşemelerin yukarıda bahsedilen üstün tarafları yanında, bazı zayıf yanları da bulunmaktadır. Öncelikle bilindiği üzere yapıya etki eden deprem kuvveti yapı ağırlığıyla doğru orantılı olduğundan ve asmolen döşemeler de yapıyı ağırlaştırdığından asmolen döşemeli bir sistemde yapıya etkiyen deprem kuvveti de büyük olmaktadır.

2.1. Daha Önce Yapılan Çalışmalar ve Yönetmelikler

Pushover analizi, statik itme analizi olarak da adlandırılan artımsal itme analizinin yapılar için performans değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanımı oldukça yeni sayılabilir. Bu konuda bireysel yada çeşitli ekipler tarafından gerçekleştirilen çalışmaların başlıcaları aşağıda sunulmaktadır.

Habibullah ve Pyle (1998), çalışmasında FEMA ve ATC-40'taki yapı performans seviyeleri kullanılarak yapıların üç boyutlu doğrusal olmayan artımsal itme analizinin SAP2000 programı ile nasıl yapıldığını açıklamışlardır.

Krawinkler ve Seneviratna (1998), dört katlı bir binanın deprem performansının belirlenmesinde yine artımsal itme analizini kullanmışlardır.

Qian ve Zhou (1999), artımsal itme analizini en temel halde formüllerle açıklamaya çalışmışlardır. İki katlı bir binanın kapasite eğrileri analitik ve sayısal yöntemler kullanılarak elde edilmiştir.

Ballard ve Sedarat (1999), Washington gölü üzerinde açılabilen dört ayaklı bir köprüyü modellemiştir. Çalışmada DIANA programı kullanılmıştır. Kolon yorulma diyagramları, kapasite diyagramları ve plastik mafsallık noktaları grafikler ve şekillerle sunulmuştur.

Moghadam ve Tso (2000), artımsal itme analizini deprem talebinin asimetric binalarda oluşturduğu zararın değerlendirilmesinde kullanmışlardır. Çalışmada eksantrik ve simetric binaların üç boyutlu artımsal itme analizi örnekler yardımı ile verilmektedir. Modal analizler, kapasite diyagramları, momentler ve grafikler tablolar halinde verilmekte ve sonuçlar karşılaştırmaktadır.

Ganzerli vd., (2000), yapısal optimizasyonu kullanarak performans seviyelerine göre binaların tasarımını incelemişlerdir.

Coleman ve Spacone (2001), tarafından yapılan çalışmada üzerine uygulanan yük sonucu bir yapı elemanın nasıl bir kapasite eğrisi çizdiği anlatılmaktadır. Plastik mafsalların nerelerde meydana geldiği kolon ve kiriş örnekleri üzerinde gösterilmiştir.

Chandler ve Lam (2001), çalışmalarında farklı uygulama alanları için deprem mühendisliğinde performansa dayalı yaklaşım üzerinde durmuşlardır.

Chopra ve Goel (2002), çalışmasında binaların deprem davranışını belirlemek için modal artımsal itme analiz formülasyonunu sunmaktadırlar. Çalışmada dokuz katlı bir binanın analizi yapıp, bazı katların plastik mafsallık noktaları belirlenmiştir.

Susantha vd., (2002), beton, çelik ve beton-çelik kolon örneklerinin kapasitelerini Sonlu Elemanlar Yönteminden yararlanarak belirlemişlerdir.

Lee ve Woo (2002), çalışmalarında duvarların depremin etkisini nasıl azatlığını üç katlı bir bina modeli üzerinde çeşitli ivme kayıtlarıyla yaptıkları laboratuvar deneyleriyle belirlenmiştir. Ayrıca, plastik mafsal noktalarının hangi bölgelerde oluştuğu, duvardaki çatlakların nasıl ve nerede oluştuğu da gösterilmiştir.

Filiatrault vd., (2002), iki katlı ahşap bir deney binası oluşturup, bu bina üzerinde laboratuvar ortamında çeşitli deneyler yapmışlardır. Binanın çeşitli büyüklüklerdeki depremler karşısında nasıl bir davranış sergilediği grafikler ve kapasite eğrileri ile gösterilmektedir. Bu deneylerde çeşitli kalitede ağaçlar kullanılıp yapı dayanımında malzeme özelliklerinin ne kadar önemli rol oynadığı grafiklerle gösterilmiştir.

El-Tawil vd., (2002), tarafından yapılan çalışmalarda betonarme binalarda artımsal itme analizinin nasıl uygulanacağı hakkında bilgiler verilmektedir. Örnek olarak 12 katlı betonarme binanın performans davranışı belirlenmiştir.

Chou ve Uang (2003), çerçeve yapıların enerji dağılımını incelemiştir. 5, 7 ve 9 katlı üç değişik çerçevenin artımsal itme analizi sonuçları karşılaştırılmıştır. Çalışmada DRAIN-2DX programını kullanılmıştır. Kapasite diyagramları ve bu üç bina elemanlarının kat boyunca yüksekliğe bağlı olarak enerji dağıtımını gösterilmektedir.

Aydınoglu (2003), çalışmasında çok modlu deprem performans değerlendirmeleri için elastik olmayan spektral yerdeğiştirmelere dayalı bir artımsal davranış spektrum işlemi sunmuştur.

Li vd., (2003), bir bina üzerinde yaptıkları deneyden yararlanarak ATC-40'daki A, B, C, D ve E değerlerini değişik kolonlar için gösterip, bu binadaki plastik mafsal noktalarının nasıl ve nerede oluştuğunu grafikler yardımıyla sunmuşlardır.

Salonikios vd., (2003), tarihi değeri bulunan binaların yıkılmasını önlemek için nasıl bir yöntem izlemek gerektiğini araştırmıştır. Çalışmada, tuğladan yapılmış yığma binalar incelenmiştir. SAP2000 ve CAST3M programları yardımıyla binayı modelleyip, sonuçları karşılaştırmışlardır. Binanın plastik mafsal noktalarını oluşumunu sunmuşlardır.

Wong ve Wang (2003), tarafından gerçekleştirilen çalışmada, depremde oluşan enerjinin bina tarafından nasıl karşıladığı anlatılmakta ve şekiller yardımı ile plastik mafsal noktaları ve tuttıkları enerjiler gösterilmektedir. Örnek olarak altı katlı bina üzerinde çeşitli depremlerin (El Centro 1940, Loma Priate 1989, Northridge 1994, Kobe 1995) ivme

kayıtlarından oluşan her kata ait yerdeğiştirmeler ve enerjileri tablolar halinde sunulmaktadır.

Chintanapakdee ve Chopra (2003), tarafından yapılan çalışmada alt katlardan yüksek katlara göre yerdeğiştirmelerin nasıl değiştiği vurgulanmaktadır. rnek olarak 3, 6, 9, 12, 15 ve 18 katlı binaların statik itme yöntemine göre analizleri yapılıp kapasite eğrileri elde edilmiştir.

Mele vd., (2003), tarihi öneme sahip bir binayı Sonlu Elemanlar Yöntemiyle modelleyerek binanın depremde göstermiş olduğu davranışları görüntüler yardımıyla açıklamakta ve kapasite eğrilerini vermişlerdir.

Liu vd., (2003), tarafından yapılan çalışmada yapı performansı ve maliyeti arasındaki ilişki tablolar halinde sunulmuştur. Beş katlı bir yapı modeli üzerinde değişik spektrumlar kullanılarak performans diyagramları izilmişdir.

Maheri vd., (2003), değişik elemanlarla güçlendirilmiş elik ve betonarme ervelerin artımsal itme davranışlarını laboratuvar ortamında belirlemişlerdir.

Zheng vd., (2003), çalışmasında çok açıklıklı elik köprülerin deprem davranışlarının tahmininde artımsal itme yöntemini kullanmıştır.

Jan vd., (2004), yüksek katlı binaların deprem davranışını belirlemek için bir st - sınırlı artımsal itme analiz yöntemi geliştirmişlerdir. Değişik kolon ve kiriş elemanlar için 30 katlı bir binanın performans analizini ayrıntılı olarak incelemişlerdir.

Sung, (2005), tek kolon veya erve tipli betonarme yapıların artımsal itme analizini gerçekleştirmiş plastik mafsalların karakterini belirlemiş ve analiz sonuçlarını vermiştir.

Maison ve Bruce, (2005), seçmiş oldukları binaların FEMA' ya göre artımsal itme analizini gerçekleştirerek bir değerlendirme sunmaktadırlar. Bu değerlendirmede, artımsal itme analizinin tartışmaya açık konularına da açıklık getirilmeye çalışmışlardır.

Zou, (2005), Performansa dayalı doğrusal olmayan artımsal itme analizini kullanarak bilgisayar kullanım teknikleriyle artımsal itme analizini nümerik olarak gerçekleştirerek betonarme binaların performansa dayalı tasarımıını yapmıştır. Performansa dayalı tasarımın etkinliğini ve pratikliğini göstermek için çalışmasında iki erve sisteme sahip betonarme bina rneği sunmuştur.

Barros, (2005), simetrik olmayan üç boyutlu erve sistem bir yapıyı modellemekte ve bu modelin artımsal itme analizini gerçekleştirerek doğrusal olmayan dinamik tepkisi üzerinde yüksek modlu titreşimin etkilerini incelemiştir.

Goel ve Rakesh, (2005), doğrusal olmayan tepki spektrumu analizine karşı artımsal itme analizinin bir karşılaştırmasını çalışmalarında sunmuşlardır. Artımsal itme analizi ile belirlenen deprem istemlerinin gerçekliği FEMA-356'da tanımlı kuvvet vektörlerini kullanarak araştırmasını yapmışlardır. Ayrıca mod sayısının artırılması da çalışmaya katılmış, kat yanal ötelenmeleri ve kirişlerdeki plastik dönmeler analiz gerçekleştirilirken göz önüne alınmıştır.

Chandrasekaran, (2006), modal artımsal itme analizini kullanarak çerçeve sisteme sahip çok katlı betonarme binaların deprem değerlendirilmesini yapmıştır. Çok katlı çerçeve sisteme sahip betonarme binalarda yüklerin şiddetinin artmasıyla zayıf bağlantıları ve göçme modunun etkisini incelemiştir. Yanal kuvvet ve kat ötelenmelerine göre performansa dayalı artımsal analizi kullanarak değerlendirme yapmış ve temel modları kullanarak kontrollerde bulunmuştur.

Türkiye'de de özellikle 2004'den sonra son yıllarda performansa dayalı hesaba uygulamalarına ilişkin olarak çalışmalar gerçekleştirilmiş ve yayınların yapılmasına başlanmıştır.(Pakdamar, F., 2001, Celep, Z., Kumbasar, N., 2004, Hancıoğlu, B., 2004, Özer, E., 2004, Altay, G., 2004, İrtem, E., 2004, Atalar, A., 2005, Balcan, H., 2005, Korkmaz, K.A., 2005). Ancak asmolen döşemeli sisteme sahip betonarme yapıların artımsal itme analizine ilişkin bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Günümüzde performansa dayalı tasarımda ATC-40 ve FEMA-356 (FEMA-273, FEMA-274) olmak üzere birbirine çok yakın iki yaklaşım mevcuttur. Aşağıda bu iki yaklaşım hakkında kısaca bilgi verilmektedir.

a) ATC-40 : Hazırlanan ön standart niteliğindeki bu belge sadece betonarme binaların incelenmesi, değiştirilmesi ve güçlendirilmesi için olmasına karşılık, diğer tür binalar içinde kullanılmaktadır. Aynı şekilde bu belge mevcut binalar için hazırlanmasına karşılık, aynı işlemler yeni yapılacak binaların projelendirilmesi için de uygulanabilir. Performansa dayalı tasarımda; bir binanın deprem performans amacı iki soruya cevap verilerek tanımlanır. Binada depremden sonra nasıl bir hasar seviyesi meydana gelebileceği ve bununla ilgili olarak nasıl bir performans seviyesi kabul edilecektir, Bunların belirlenmesinde hangi deprem esas alınacaktır, bu iki sorunun cevaplarının birleştirilmesiyle Bina Deprem Performans Amacı tanımlanır (Celep, Z., Kumbasar, N., 2004). ATC-40, yapının değerlendirme süreci için aşağıdaki adımları izlemeyi tavsiye eder.

- Bir projenin başlangıcı : Projenin öncelikli hedefi ve toplam kapsamı belirlenir.
- Mesleki niteliğin seçim : Sismik olarak tehlikeli bölgelerdeki binaların tasarım ve yapım analizinde deneyimleri ispatlanmış mühendisler seçilir.
- Performans amacı : Sismik etkinin özel bir seviyesi için oluşturulan seçeneklerden bir performans amacı seçilir.
- Bina şartlarının gözden geçirilmesi : Bina arsası veya şantiyesi ziyaret edilir ve çizimler yeniden incelenir.
- Ekonomiyi göz önünde bulundurmak için alternatifler : Tetkik edilmekte olan bina için uygun veya tahsis edilmiş doğrusal olmayan prosedür türleri kontrol edilerek bina için en az maliyetli performans seçilir.
- Yöntemi onaylamak ve emsali gözden geçirmek : Sismik değerlendirme ve analiz için resmi binalar ve dikkate alınan diğer kaliteli (denetim ölçümleri uygun olan) binalar ile kontrol edilir.
- Araştırmaların detayları belirlenir : Eğer münasipse, bir doğrusal olmayan statik analiz uygulanır.
- Sismik kapasite : Kapasite (pushover) eğrisi bilinse dahi elastik olmayan kapasite eğrisi belirlenir. Daha sonra elastik olmayan kapasite eğrisi spektrumuna çevrilir.
- Sismik tehlike : Spektral koordinatların çevrilmesi ve tehlike (risk) seviyesinin seçilmesi için özel bir talep spektrumu geçerli olur.
- Performansın onaylanması : İvme-yerdeğiştirme formatındaki spektral koordinatlarda azaltılmış (indirgenmiş) sismik talep ve kapasite spektrumunun kesişimi olarak geçerli performans noktası belirlenir.
- Yapı dökümanları hazırlanır .
- Yapının kalitesi kontrol edilir.

ATC-40'ın performansa dayalı tasarımın temeli; esasen FEMA-273 ve FEMA-274, NEHRP (Binaların sismik onarımı için rehber) ve SEAOC's Vision 2000 ile aynıdır. Bu ön standartlar; binaların performansa dayalı deprem mühendisliği adı altında toplanırlar.

b) FEMA 356 : Bu yönetmelik, ilk önce FEMA-273 ve FEMA-274 olarak, binaların depreme karşı güçlendirilmesinde kullanılmak üzere geliştirilmiş bir ön standarttır. ATC-40'daki gibi burada tanımlanan verilerin (performansa dayalı kavramlar) yeni yapılacak projelerin tasarımında da kullanılması mümkündür. ATC-40 betonarme binaların incelenmesi için hazırlanmasına karşın, ki sonraları diğer tür binalar içinde

kullanılabilir olduğu anlaşılmıştır, FEMA-356 kapsamını daha geniş tutarak bütün bina türlerini içine almış ve kabul kriterlerini doğrusal ve doğrusal olmayan çözümlene sonuçlarına göre vermiştir. Dolayısıyla bu iki belge hemen hemen birbirinin aynıdır. Yani ATC-40'da tavsiye edilenler ile temelde benzerlik gösterir.

1.3 . Tez Çalışmasının Amaç ve Kapsamı

Asmolen döşemeler için daha önce açıklanan üstünlük ve sakıncalardan görüldüğü gibi, bu döşemelerin en önemli sorunu depremlerde ortaya çıkmaktadır. Oysa asmolen döşemeli yapıların doğrusal ve doğrusal olmayan deprem davranışlarını incelemeye yönelik çalışmalara yapılan literatür araştırmasında rastlanılmamıştır.

Mart 2007'de yürürlüğe girecek olan Türk Deprem Yönetmeliğinde esas olarak yapıların onarım ve güçlendirmesine esas olacak şekilde yeni bir bölüm ilave edilmiştir. Yapıların performans değerlendirmelerini içeren ve ilk defa yönetmeliğe giren bu bölümün uygulamasına ülke inşaat mühendisliği bilgi ve alt yapısının bugün itibariyle alışkın olduğunu söylemek mümkün değildir. Bu bakımdan bu duruma ilişkin uygulamaların ortaya konması ülke mühendisliği açısından son derece önemlidir.

Ülkemizde özellikle son yıllarda yaygın olarak inşa edilen asmolen döşemeli betonarme binaların deprem performanslarını incelemek ve deprem yönetmeliğimize yeni giren performans değerlendirmelerinin uygulamasını göstermek amacıyla bu çalışma gerçekleştirilmiştir.

Bu amaçla gerçekleştirilen çalışmada; yapıların performansa göre hesapları için kullanılan tanımlar ve kavramlar, Dünya'da yaygın olarak bilinen yöntemlerin ve Türk Deprem Yönetmeliğine yeni ilave edilen bölümün ışığında açıklanmaktadır. Daha sonra örnek olarak seçilen asmolen döşemeli betonarme binaların artımsal itme analizi farklı bilgisayar programları yardımıyla gerçekleştirilerek elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak sunulmaktadır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Yapıların Performans Değerlendirmesinde Kullanılan Tanım, Kavram ve Parametreler

Gerçekte yapı, orta yada daha büyüklükteki depremlere karşı genellikle elastik ötesi davranış gösterdiğinden bu davranışa ait yükler deprem yükü azaltma katsayı ile belirlenmektedir. Bu durumda elastik ötesi davranışın tek bir katsayı ile belirlenmiş olması, depremde yapıya etkiyecek deprem kuvvetinin, oluşacak yerdeğiştirmelerin ve elemanlardaki şekil değiştirme düzeylerinin belirlenmesi bakımından yetersiz olabilmektedir. Bu yetersizlikler, yapıların depreme karşı güvenliğinde bazı belirsizliklere yol açmakta ve bu belirsizlikler aşırı güvenli yapı (yüksek maliyetli) ortaya çıkarabilmekte, dolayısıyla da bu durum ekonomik olmayan yapıların inşa edilmesine neden olmaktadır.

Son yıllarda uygulanmaya başlayan yapıların performanslarının değerlendirilmesi ilkesi yeni tanımlar, kavramlar ve daha önce adı fazla duyulmamış yöntem ve standartları gündeme getirmiştir. Performans değerlendirmesinde kullanılan başlıca kavramlar aşağıda kısaca açıklanmaktadır.

2.1.1. Kapasite

Binanın deprem yer hareketine karşılık verebilme yeteneğinin bir göstergesidir. Binayı oluşturan taşıyıcı sistem veya taşıyıcı olmayan sistem elemanlarının dayanımları ve deformasyonlara karşı göstereceği davranışa bağlıdır. Bina deprem yer hareketi nedeniyle elastik ötesi davranış gösterdiğinde, plastik bölge olarak adlandırılan elastik olmayan bölgedeki şekil değiştirme (deformasyon) kabiliyetlerini belirleyebilmek için artımsal itme analizi gibi doğrusal olmayan analizler kullanılmaktadır. Elastik ötesi davranış gösteren binanın taşıyıcı sistem veya elemanlarının azalan rijitliklerini hesaba katmak için binanın matematiksel modeli yenilenerek değiştirilir. Matematiksel modeli değiştirilen bina, yatay yüklerin etkisi altında elemanlarda akmalar meydana gelene kadar artımsal olarak tekrar tekrar yüklemeye devam edilir. Bu işleme daha öncede açıklandığı gibi binanın stabilitesi bozulana kadar veya daha önceden mühendis ve mal sahibince ortaklaşa belirlenen bir sınır yerdeğiştirme değerine ulaşmaya kadar devam edilir. Binanın elastik limitlerini aşması

durumundaki davranışı, kapasite eğrisi ile izah edilmektedir. Bunun sonucu olarak binanın kapasite dayanımı ortaya çıkmış olur.

2.1.2. İstem

Deprem hareketinin bir göstergesidir. Bir başka deyişle, binanın belirli bir deprem etkisi altında bulunduğu süreç içerisinde beklenen maksimum tepkisidir. Deprem sırasında oluşan yer hareketleri binanın, karmaşık ve zamana göre değişen yatay yerdeğiştirmeler yapmasına yol açar. Bu hareketi izleyerek her adımda yapı tasarım gereksinimlerini belirlemek pek pratik değildir. Doğrusal olmayan analiz yöntemleri, tasarım kriterleri olarak yatay yerdeğiştirmeleri kullandığından bina analizinde beklenen en büyük depreme ait yer değiştirme değerleri girilerek talep grafiği elde edilmiş olur. Deprem etkisi altındaki binanın yer değiştirme istemi, binanın yatay yüke maruz kalması sırasında yapacağı maksimum yer değiştirmeyi göstermektedir. Beklenen deprem ve deprem etkisine ilişkin istem grafiklerini oluşturmak için zemin koşullarının yanı sıra binanın sönüm yüzdesi de bilinmelidir. Yaklaşık olarak bu değer betonarme yapılar için %5 olarak alınır.

2.1.3. Performans

Analizi yapılan binanın öngörülen (belirlenen) deprem karşısında oluşturulan kapasite ve talep grafiklerinin kesişim noktasındaki yer değiştirme değeridir. Bir binanın performansını belirleyebilmemiz için tanımdan da anlaşılacağı gibi önce kapasite ve istem grafiklerinin elde edilmesi gerekir. Performansı belirlemenin amacı; yapıyı oluşturan sistem veya elemanlarının kabul edilebilir sınırların üstüne çıkılması durumunda bile minimum seviyede hasar görmesini veya hiç hasar görmemesini sağlamaktır. Belirlenen performans noktasının kontrol edilmesiyle binanın istenen performans seviyesine ulaşp-ulaşmayacağına bakılır. Tüm bina için düşey yük kapasitesine, yatay yük kapasitesine ve katlar arası rölatif yer değiştirmelere bakılır. Taşıyıcı sistemi oluşturan döşeme, kiriş, kolon, perde ve temel gibi her bir eleman için performansa bağlı sınırlar kontrol edilir.

Performans kavramı, deprem mühendisliğinde yeni gelişen bir kavram olup, önceleri mevcut yapı yada binaların deprem güvenliğinin belirlenmesi için geliştirilmiştir. Ancak, daha sonra performans kavramının yeni yapılacak yapı yada binaların tasarımında da kullanılabileceği ortaya çıkmıştır. Performans kavramına dayalı boyutlama klasik

(geleneksel) yöntemlere göre daha ayrıntılı inceleme gerektiren bir yöntemdir. Bir başka ifadeyle klasik yöntemlerin genişletilmiş olarak da tanımlanabilir.

Performansa dayalı tasarımdan kasıt; yapının sismik performansını belirleyebilmektir. Sismik performans ise; yapıların meydana gelmesi beklenen depreme karşı göstereceği davranıştır. Başka bir deyişle sismik performans; belirli bir deprem etkisi altında yapıda oluşabilecek maksimum hasar durumunun belirlenmesi olarak da açıklanabilir.

Performansa dayalı tasarımda; bir tasarım depreminin ardından betonarme taşıyıcı sistem boyutlamasında iki performans seviyesi esas alınır. Bunlardan ilki; taşıyıcı sistemde oluşacak hasarların kullanıcıyı rahatsız etmeyecek derecede az olmasını dikkate alan ve buna bağlı olarak yerdeğiştirmenin minimum olmasını göz önünde bulunduran kullanım sınır durumudur. Diğeri ise; beklenen yüklerin arttırılmış durumunda taşıyıcı sistemin güç tükenmesine gelmeden kabul edilebilir bir güvenlik sağladığı seviye olan taşıma gücü sınır durumudur.

Performansa dayalı tasarım, deprem etkisi altında binadan beklenen performans seviyesinin belirlenebilmesi için kullanılacak yöntemleri gösterir. Deprem yönetmelikleri incelenirse, performansa dayalı tasarımın doğuşu daha yeni olmasına rağmen, yakın geçmişten daha öncelerinde bile, birden fazla performans seviyesinin tanımlandığı görülebilir. Örneğin; yapının oluşacak küçük depremleri hasarsız atlatması, oluşma ihtimali çok düşük büyük depremleri can güvenliği sağlayan sınırlı hasarla atlatması, oluşma ihtimali çok düşük olan çok büyük depremleri de toptan göçme olmaksızın atlatması gösterilebilir. Performansa dayalı tasarımda ise bu amaçlar daha da belirgin bir şekilde tanımlanarak çözümlenelerde dikkate alınmıştır.

Klasik yöntemlerde depreme dayanıklı yapı tasarımında, “can güvenliği” olarak tanımlanan performans seviyesine karşılık gelen durum için tasarım yapılır. Performansa dayalı tasarımda ise, ek performans seviyesi öngörülür ve bu seviyelerin sağlanması için tasarım yöntemleri veya sınır durumları tanımlanır.

2.1.4. Performans Hedefleri

Bir yapının performans hedefi yapının sismik performansıdır. Bir performans hedefi, birçok seviyeyi kapsayan yer hareketi için hasar durumlarının göz önünde

bulundurulmasını kapsayabilir. Bu durum, çok seçenekli performans hedefi olarak isimlendirilir.

Yapının performans hedefini belirlerken iki husus göz önünde bulundurulmalıdır. İlk husus; mal sahibi ve mühendis bir araya gelerek, mal sahibinin istek, ihtiyaç ve bütçesine göre birden fazla performans seviyesi göz önünde bulundurmak suretiyle birlikte karar verilmesidir. Yani yapı sahibi mühendise performans hedefini iletir. İkinci husus ise mühendis, çözümlemede kullanılacak sismik istemi ve yapının yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının değerlendirilip tasarım için kullanılacak performans seviyelerinin sınır değerlerini ifade eden kriterleri tanımlar. Böylece bu iki hususun gerçekleştirilmesiyle de yapı performans hedefi tanımlanmış olur.

Yapı performans hedefinin belirlenmesinde dikkate alınan depremin meydana gelmesi halinde, yapının veya binanın dikkate alınan depreme göre ulaşması beklenen performans hedefine ve hatta bu performans hedefinin üstünde bir performans seviyesine ulaşması beklenir. Çünkü; taşıyıcı sistemler; kapasiteleri, karşılımları beklenen deprem etkilerinden daha büyük olacak şekilde düzenlenirler. Ancak yapı beklenen bu performans hedefine ulaşamayabilir. Performansa dayalı tasarımın yeni ve yoruma açık bir metot olması, tecrübesi fazla olmayan ve dinamik bilgisi yetersiz mühendislerin hatalı yorumlar yapabilmeleri yapının beklenen performans hedefine ulaşamamasının nedenlerindedir (Celep, Z., Kumbasar, N., 2004). Ayrıca betonarme gibi gizemli bir malzemenin de elastik ötesi davranışının çok iyi bilinmeyişi de bu hataların oluşmasına neden olabilir.

2.1.5. Deprem Etki (Yer Hareketi) Seviyeleri

Yapıların veya binaların performans hedefi belirlenirken dikkate alınması gereken en önemli husus depremdir. Buna bağlı olarak da istenilen performans seviyesinin ne gibi bir deprem etkisi altında gerçekleşmesi beklendiği durumu belirlemek gerekmektedir. Bu yüzden deprem etki seviyeleri tanımlanmak suretiyle bu belirleme gerçekleştirilebilir.

Deprem etki seviyesi; depremin esas alınan zaman aralığında (50 yıl) aşılma olasılığı ve depremin dönüş periyodunun (benzer büyüklükteki depremler arasındaki periyotların ortalaması) dikkate alınmasıyla belirlenmektedir. Bunun yanında yer hareketinin belirlenmesi de tasarım için gereklidir. FEMA-273 yaygın olarak kullanılan dört çeşit deprem etki seviyesi (yer hareketi) tanımlamıştır. Bu seviyeler Tablo 2.1’de verilmektedir.

Tablo 2.1. Deprem etki seviyeleri (yer hareketi seviyeleri)

Aşılma Olasılığı (%)	Esas Alınan Zaman Aralığı (Yıl)	Dönüş Periyodu (Yıl)
50	50	72
20	50	225
10	50	474
2	50	2475

Bilindiği gibi depremin etkisi; zemin özelliklerine, aktif fay kuşaklarının nicel özelliklerine ve binaya olan mesafelerine bağlı olarak değişmektedir. Deprem yer hareketi için üç deprem etki seviyesi göz önüne alınmaktadır (Tablo 2.2). Bu etki seviyeleri hesaplarda en çok kullanılan seviyelerdir.

Tablo 2.2. Deprem etki seviyeleri (en sık kullanılan)

Göz önüne alınabilecek deprem için parametreler	Deprem Etki Seviyeleri		
	Kullanım Depremi	Tasarım Depremi	Maksimum Deprem
Esas alınan zaman aralığı (yıl)	50	50	50
Aşılma olasılığı (%)	50	10	2
Ortalama dönüş periyodu (yıl)	72	474	2475

Kullanım Depremi :

50 yıllık zaman aralığında aşılma olasılığı %50 olan deprem olarak tanımlanmaktadır. Bu depremin dönüş periyodu ise 72 yıldır. Yapının hizmet ömrü boyunca oluşma ihtimali en yüksek, ancak büyüklüğü en düşük olan depremi ifade etmektedir. Bu deprem seviyesi, tasarım deprem seviyesine göre oluşma ihtimali daha yüksektir. Bu depremin binanın ömründe en az bir kere veya daha fazla ortaya çıkması muhtemeldir.

- **Tasarım Depremi :**

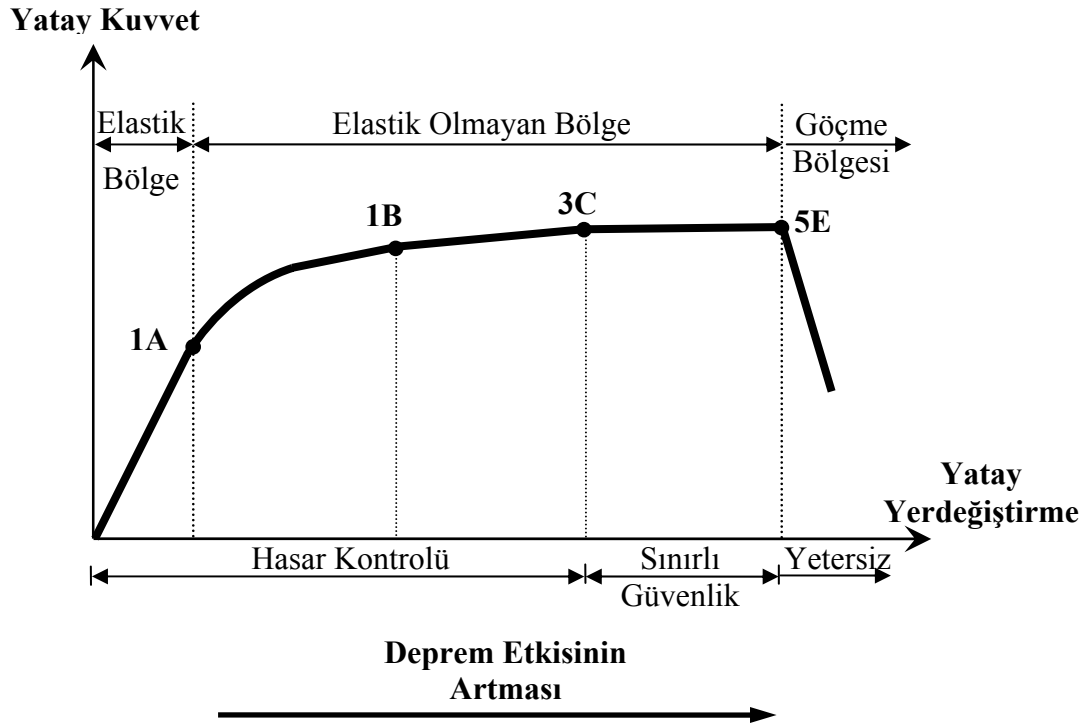
50 yıllık zaman aralığında aşılma olasılığı %10 olan deprem olarak tanımlanmakta olan tasarım depreminin dönüş periyodu 474 yıldır. Bu deprem binanın ömründe ortaya çıkması sık olmayan bir durumdur. FEMA-273’de bu deprem temel güvenlik depremi (BSE-1) olarak ifade edilmiş ve Mart 2007’de yürürlüğe girecek olan (ABYYHY, 2006) Türk Deprem Yönetmeliğinde de yeni yapılacak yapılar için bu depremin esas alınması öngörülmektedir.

- **Maksimum Deprem :**

50 yıllık zaman aralığında aşılma olasılığı %2 olan deprem olarak tanımlanmaktadır. Bu depremin dönüş periyodu 2475 yıldır. Bu deprem, bölgede jeolojik bilgiler göz önüne alınarak belirlenebilecek en büyük deprem olarak kabul edilir. Deprem yönetmeliklerinde, tasarım depremi etkisinin bina önem katsayısı ile artırılması sonucu böyle bir deprem tanımlanmaya çalışılır. Bu depremin binanın ömrü boyunca ortaya çıkması çok nadir bir durumdur.

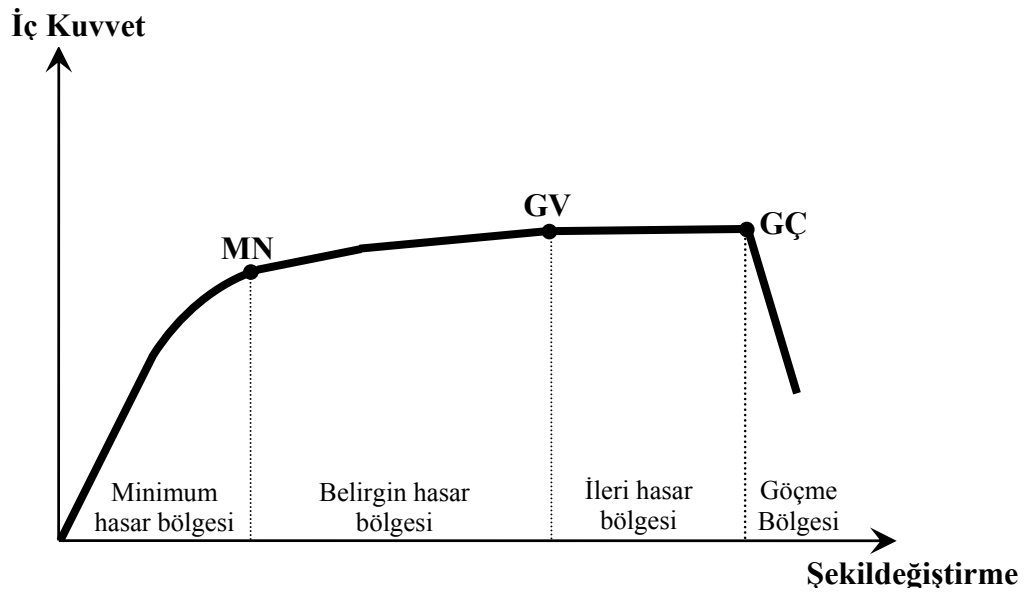
Bir yapı için şematik olarak gösterilen Şekil 2.1, yapıya etkiyen deprem etkisinin artmasıyla yani yatay kuvvetlerin büyümesiyle, yatay yer değiştirmedeki değişimlerin geometrik olarak birleştirilmesini ifade etmektedir. Bu şekil üzerinde performans seviyeleri de belirlenerek elde edilen eğri (kapasite eğrisi) bölgelere ayrılmıştır. Görüldüğü gibi hemen kullanım (1A) performans seviyesinden itibaren yapı elastik davranışın ötesine geçerek elastik olmayan bir davranışa yönelmektedir. Bu bölgede plastik şekil değiştirmeler ile enerji tüketilmekte, yapı sünek bir davranış göstermektedir. Elastik olmayan bölge davranışı göçmenin önlenmesi performans seviyesine (5E) kadar devam etmektedir.

Elastik olmayan davranış bölgesinde yapı plastik şekil değiştirmeler ile enerji tüketme işlemi sona erdikten sonra yapı göçme bölgesine gelmekte ve sadece düşey yük taşıma kapasitesine sahip olmaktadır. Herhangi bir yatay yük etkimesi durumunda ise bina stabilitesini kaybedip göçmektedir.



Şekil 2.1. Bir yapının deprem etkisiyle oluşan performans seviyelerine göre performans (kapasite) eğrisi

Bu grafik Mart 2007'de yürürlüğe girecek olan Türk Deprem Yönetmeliğinde aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.



Şekil 2.2. Kesit hasar sınırları ve hasar bölgeleri

2.1.6. Binalardan Bilgi Toplanması

2.1.6.1. Binalardan Toplanacak Bilginin Kapsamı

Binaların taşıyıcı sistem elemanlarının kapasitelerinin hesaplanmasında ve deprem dayanımlarının değerlendirilmesinde kullanılacak eleman detayları ve boyutları, taşıyıcı sistem geometrisine ve malzeme özelliklerine ilişkin bilgiler, binaların projelerinden ve raporlarından, binada yapılacak gözlem ve ölçümlerden, binadan alınacak malzeme örneklerine uygulanacak deneylerden elde edilecektir.

Binalardan bilgi toplanması kapsamında yapılacak işlemler, yapısal sistemin tanımlanması, bina geometrisinin, temel sisteminin ve zemin özelliklerinin belirlenmesi, varsa mevcut hasarın ve evvelce yapılmış olan değişiklik ve/veya onarımların belirlenmesi, eleman boyutlarının ölçülmesi, malzeme özelliklerinin saptanması, sahada derlenen tüm bu bilgilerin binanın varsa projesine uygunluğunun kontrolüdür.

2.1.4.2. Bilgi Düzeyleri

Binaların incelenmesinden elde edilecek mevcut durum bilgilerinin kapsamına göre her bina türü için bilgi düzeyi ve buna bağlı olarak bilgi düzeyi katsayıları tanımlanacaktır. Bilgi düzeyleri sırasıyla *sınırlı*, *orta* ve *kapsamlı* olarak sınıflandırılacaktır. Elde edilen bilgi düzeyleri taşıyıcı eleman kapasitelerinin hesaplanmasında kullanılacaktır.

- *Sınırlı bilgi düzeyi*'nde binanın taşıyıcı sistem projeleri mevcut değildir. Taşıyıcı sistem özellikleri binada yapılacak ölçümlerle belirlenir.
- *Orta bilgi düzeyi*'nde eğer binanın taşıyıcı sistem projeleri mevcut değilse, sınırlı bilgi düzeyine göre daha fazla ölçüm yapılır. Eğer mevcut ise sınırlı bilgi düzeyinde belirtilen ölçümler yapılarak proje bilgileri doğrulanır.
- *Kapsamlı bilgi düzeyi*'nde binanın taşıyıcı sistem projeleri mevcuttur. Proje bilgilerinin doğrulanması amacıyla yeterli düzeyde ölçümler yapılır.

1) Betonarme Binalarda Sınırlı Bilgi Düzeyi :

a) **Bina Geometrisi:** Saha çalışması ile binanın taşıyıcı sistem plan rölevesi çıkarılacaktır. Mimari projeler mevcut ise, röleve çalışmalarına yardımcı olarak kullanılır. Elde edilen bilgiler tüm betonarme elemanların ve bölme duvarların her kattaki yerini, eksen açıklıklarını, yüksekliklerini ve boyutlarını içermelidir ve binanın hesap modelinin oluşturulması için yeterli olmalıdır. Temel sistemi bina içinde veya dışında açılacak yeterli

sayıda inceleme çukuru ile belirlenecektir. Binadaki kısa kolonlar ve benzeri olumsuzluklar kat planına ve kesitlere işlenecektir. Binanın komşu binalarla olan ilişkisi (ayrık, bitişik, derz var/yok) belirlenecektir.

b) Eleman Detayları: Betonarme projeler veya uygulama çizimleri mevcut değildir. Betonarme elemanlardaki donatı miktarı ve detaylarının binanın yapıldığı tarihteki minimum donatı koşullarını sağladığı varsayılır. Bu varsayımın doğrulanması veya hangi oranda gerçekleştiğinin belirlenmesi için her katta en az birer adet olmak üzere kolonların her birinden %10 ve kirişlerin her birinden %5 oranında elemanın pas payları sıyrılarak donatı ve donatı bindirme boyu tespiti yapılacaktır. Sıyırma işlemi kolonların ve kirişlerin uzunluğunun açıklık ortasındaki üçte birlik bölümde yapılmalı, ancak donatı bindirme boyunun tespiti amacıyla en az üç kolonda bindirme bölgelerinde yapılmalıdır. Sıyrılan yüzeyler daha sonra yüksek dayanımlı tamir harcı ile kapatılacaktır. Ayrıca pas payı sıyrılmayan elemanların %20'sinde enine ve boyuna donatı sayısı ve yerleşimi donatı tespit cihazları ile belirlenecektir. Donatı tespiti yapılan betonarme kolon ve kirişlerde bulunan mevcut donatının minimum donatıya oranını ifade eden *donatı gerçekleşme katsayısı* kolonlar ve kirişler için ayrı ayrı belirlenecektir. Bu katsayı donatı tespiti yapılmayan diğer tüm elemanlara uygulanarak donatı miktarları belirlenecektir.

c) Malzeme Özellikleri: Her katta kolonlardan veya perdelerden TS-10465'de belirtilen koşullara uygun şekilde en az iki adet beton örneği (karot) alınarak deney yapılacak ve örneklerden elde edilen en düşük basınç dayanımı *mevcut beton dayanımı* olarak alınacaktır. Donatı sınıfı, daha önce açıklandığı şekilde sıyrılan yüzeylerde yapılan görsel inceleme ile tespit edilecek, bu sınıftaki çeliğin karakteristik akma dayanımı *mevcut çelik dayanımı* olarak alınacaktır. Bu incelemede, donatısında korozyon gözlenen elemanlar planda işaretlenecek ve bu durum eleman kapasite hesaplarında dikkate alınacaktır.

2) Betonarme Binalarda Orta Bilgi Düzeyi :

a) Bina Geometrisi: Binanın betonarme projeleri mevcut ise, binada yapılacak ölçümlerle mevcut geometrinin projesine uygunluğu kontrol edilir. Proje yoksa, saha çalışması ile binanın taşıyıcı sistem rölevesi çıkarılacaktır. Elde edilen bilgiler tüm betonarme elemanların ve bölme duvarların her kattaki yerini, açıklıklarını, yüksekliklerini ve boyutlarını içermelidir. Bina geometrisi bilgileri, bina kütesinin hassas biçimde tanımlanması için gerekli ayrıntıları içermelidir. Binadaki kısa kolonlar ve benzeri olumsuzluklar kat planına ve kesitlere işlenecektir. Binanın komşu binalarla olan ilişkisi

(ayrık, bitişik, derz var/yok) belirlenecektir. Temel sistemi bina içinde veya dışında açılacak yeterli sayıda inceleme çukuru ile belirlenecektir.

b) Eleman Detayları: Betonarme projeler veya imalat çizimleri mevcut değil ise daha önce açıklanan koşullar geçerlidir, ancak donatı kontrolü yapılacak kolon ve kirişlerin sayısı her katta en az ikişer adet olmak üzere o kattaki toplam kolon sayısının %20'sinden ve kiriş sayısının %10'undan az olmayacaktır. Betonarme projeler veya imalat çizimleri mevcut ise donatı kontrolü için yukarıda açıklanan işlemler, aynı miktardaki betonarme elemanda uygulanacaktır. Ayrıca pas payı sıyrılmayan elemanların %20'sinde enine ve boyuna donatı sayısı ve yerleşimi donatı tespit cihazları ile belirlenecektir. Proje ile uygulama arasında uyumsuzluk bulunması halinde, betonarme elemanlardaki mevcut donatının projede öngörülen donatıya oranını ifade eden *donatı gerçekleşme katsayısı* kolonlar ve kirişler için ayrı ayrı belirlenecektir. Eleman kapasitelerinin belirlenmesinde kullanılan bu katsayı 1'den büyük olamaz. Bu katsayı donatı tespiti yapılmayan diğer tüm elemanlara uygulanarak donatı miktarları belirlenecektir.

c) Malzeme Özellikleri: Her kattaki kolonlardan veya perdelerden toplam üç adetten az olmamak üzere ve binada toplam 9 adetten az olmamak üzere, her 400 m²'den bir adet beton örneği (karot) TS-10465'de belirtilen koşullara uygun şekilde alınarak deney yapılacaktır. Elemanların kapasitelerinin hesaplanmasında örneklerden elde edilen (ortalama-standart sapma) değerleri *mevcut beton dayanımı* olarak alınacaktır. Beton dayanımının binadaki dağılımı, karot deney sonuçları ile uyarlanmış beton çekici okumaları veya benzeri hasarsız inceleme araçları ile kontrol edilebilir.

Donatı sınıfı, yukarıdaki paragrafta açıklandığı şekilde sıyrılan yüzeylerde yapılan görsel inceleme ile tespit edilecek, bu sınıftaki çeliğin karakteristik dayanımı eleman kapasite hesaplarında *mevcut çelik dayanımı* olarak alınacaktır. Bu incelemede, donatısında korozyon gözlenen elemanlar planda işaretlenecek ve bu durum eleman kapasite hesaplarında dikkate alınacaktır.

3) Betonarme Binalarda Kapsamlı Bilgi Düzeyi :

a) Bina Geometrisi: Binanın betonarme projeleri mevcuttur. Binada yapılacak ölçümlerle mevcut geometrinin projelere uygunluğu kontrol edilir. Projeler ölçümler ile önemli farklılıklar gösteriyor ise proje yok sayılır ve bina orta bilgi düzeyine uygun olarak incelenecektir. Binadaki kısa kolonlar ve benzeri olumsuzluklar kat planına ve kesitlere işlenecektir. Komşu binalarla ilişkisi (ayrık, bitişik, derz var/yok) belirlenecektir. Bina geometrisi bilgileri, bina kütesinin hassas biçimde tanımlanması için gerekli ayrıntıları

içermelidir. Temel sistemi bina içinde veya dışında açılacak yeterli sayıda inceleme çukuru ile belirlenecektir.

b) Eleman Detayları: Binanın betonarme detay projeleri mevcuttur. Donatının projeye uygunluğunun kontrolü için, aynı miktardaki betonarme elemanda uygulanacaktır. Ayrıca pas payı sıyrılmayan elemanların %20'sinde enine ve boyuna donatı sayısı ve yerleşimi donatı tespit cihazları ile belirlenecektir. Proje ile uygulama arasında uyumsuzluk bulunması halinde, betonarme elemanlardaki mevcut donatının projede öngörülen donatıya oranını ifade eden *donatı gerçekleşme katsayısı* kolonlar ve kirişler için ayrı ayrı belirlenecektir. Eleman kapasitelerinin belirlenmesinde kullanılan bu katsayı 1'den büyük olamaz. Bu katsayı donatı tespiti yapılmayan diğer tüm elemanlara uygulanarak donatı miktarları belirlenecektir.

c) Malzeme Özellikleri: Her kattaki kolonlardan veya perdelerden toplam üç adetten az olmamak üzere ve binada toplam 9 adetten az olmamak üzere, her 200 m²'den bir adet beton örneği (karot) TS-10465'de belirtilen koşullara uygun şekilde alınarak deney yapılacaktır. Elemanların kapasitelerinin hesaplanmasında, örneklerden elde edilen (ortalama-standart sapma) değerleri *mevcut beton dayanımı* olarak alınacaktır. Beton dayanımının binadaki dağılımı, karot deney sonuçları ile uyarlanmış beton çekici okumaları veya benzeri hasarsız inceleme araçları ile kontrol edilebilir. Donatı sınıfı, daha önce açıklandığı şekilde sıyrılan yüzeylerde yapılan inceleme ile tespit edilecek, her sınıftaki çelik için (S220, S420, vb.) birer adet örnek alınarak deney yapılacak, çeliğin akma ve kopma dayanımları ve şekildeğiştirme özellikleri belirlenerek projeye uygunluğu saptanacaktır. Projesine uygun ise, eleman kapasite hesaplarında projede kullanılan çeliğin karakteristik akma dayanımı *mevcut çelik dayanımı* olarak alınacaktır. Uygun değil ise, en az üç adet örnek daha alınarak deney yapılacak, elde edilen en elverişsiz değerler eleman kapasite hesaplarında *mevcut çelik dayanımı* olarak alınacaktır. Bu incelemede, donatısında korozyon gözlenen elemanlar planda işaretlenecek ve bu durum eleman kapasite hesaplarında dikkate alınacaktır.

2.1.7. Türk Deprem Yönetmeliğine Göre Bina Performans Seviyeleri

Mart 2007'de yürürlüğe girecek olan Türk Deprem Yönetmeliğinde bina performans seviyeleri tanımlanmıştır. Binaların deprem güvenliği, uygulanan deprem etkisi altında binada oluşması beklenen hasarların durumu ile ilişkilidir ve dört farklı hasar durumu için

tanımlanmıştır. Deprem geçirmiş binaların deprem sonrası hasar durumlarının belirlenmesi için de aynı tanımlar kullanılabilir.

- **Hemen Kullanım Durumu :**

Bu performans seviyesindeki binada, uygulanan deprem etkisi altında yapısal elemanlarda hasar oluşmamıştır ve dayanım özellikleri korunmaktadır. Binada kalıcı yerdeğiştirmeler oluşmamıştır. Az sayıda elemanda akma sınırı aşılmış olabilir. Yapısal olmayan elemanlarda çatlamlar görülebilir, ancak bu çatlaklar onarılabilir düzeydedir.

- **Can Güvenliği Durumu :**

Bu performans seviyesine ulaşan binada, uygulanan deprem etkisi altında yapısal elemanların bir kısmında hasar görülür, ancak bu elemanlar yatay rijitliklerinin ve dayanımlarının önemli bölümünü korumaktadırlar. Düşey taşıyıcı elemanlar düşey yükleri taşımada yeterlidir. Yapısal olmayan elemanlar ise, hasarlı olmakla beraber dolgu duvarlar yıkılmamıştır. Binada az miktarda kalıcı yerdeğiştirmeler oluşabilir, ancak gözle fark edilebilir değerlerde değildir.

- **Göçmenin Önlenmesi Durumu :**

Bu performans seviyesindeki binaya uygulanan deprem etkisi altında yapısal elemanların önemli kısmında hasar görülür. Bu elemanların bazıları yatay rijitliklerinin ve dayanımlarının önemli bölümünü kaybetmişlerdir. Binanın düşey taşıyıcı elemanlarının düşey yükleri taşıma kapasiteleri yeterlidir, ancak bazı elemanlar eksenel kapasitelerine ulaşmıştır. Yapısal olmayan elemanlar ise hasarlıdır. Dolgu duvarlarının bir bölümü yıkılmıştır. Binada kalıcı yerdeğiştirmeler oluşmuştur.

- **Göçme Durumu :**

Bina uygulanan deprem etkisi altında göçme durumuna ulaşmıştır. Binayı oluşturan düşey taşıyıcı elemanların bir bölümü göçmüştür. Henüz göçmeyen düşey taşıyıcı elemanlar ise düşey yükleri hala taşıyabilmektedir, ancak rijitliklerinde ve dayanımlarında çok büyük azalmalar meydana gelmiştir. Yapısal olmayan elemanların büyük çoğunluğu göçmüştür. Binada belirgin kalıcı yerdeğiştirmeler oluşmuştur. Bu performans seviyesindeki bina, ya tamamen göçmüştür veya yıkılmanın eşiğindedir. Yani daha sonra meydana gelebilecek hafif şiddetteki bir yer hareketinde bile yıkılma olasılığı oldukça yüksektir.

Mart 2007'de yürürlüğe girecek olan Türk Deprem Yönetmeliğinde bina performans seviyeleri şu şekilde belirtilmiştir.

a) Türk Deprem Yönetmeliğine Göre Bina Performans Seviyelerinin Belirlenmesi : Binaların deprem performanslarının belirlenmesi için bina performans seviyelerinin aşağıdaki kuralları sağlaması gerekmektedir.

- **Hemen Kullanım Durumu :**

Binanın düşey taşıyıcılarının tümü minimum hasar bölgesindedir. Ancak herhangi bir katta uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda; kirişlerin en fazla % 10'unun belirgin hasar bölgesinde (yani minimum hasar sınırı ile güvenlik sınırı arasında kalan bölge) olması durumunda da bina **Hemen Kullanım** durumunda kabul edilir.

- **Can Güvenliği Durumu :**

Binanın tüm elemanları minimum veya belirgin hasar bölgelerindedir. Ancak herhangi bir katta, uygulanan deprem doğrultusundaki kirişlerin en fazla % 20'si ileri hasar bölgesinde ise ve ileri hasar bölgesindeki kolonların, kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı % 20'nin altında ise bina **Can Güvenliği** durumunda kabul edilir. Can güvenliği durumunun kabul edilebilmesi için herhangi bir katta, alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden akma sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının % 30'u aşmaması gerekir. En üst katta ileri hasar bölgesindeki düşey elemanların kesme kuvvetleri toplamının, o kattaki tüm kolonların kesme kuvvetlerinin toplamına oranı en fazla % 40 olabilir.

- **Göçmenin Önlenmesi Durumu :**

Binanın tüm elemanları ileri hasar veya alt hasar bölgelerindedir. Ancak bir katta uygulanan deprem doğrultusunda göçme bölgesindeki kirişlerin sayısı toplam sayının %20'sinden az ise veya göçme bölgesindeki kolonların kesme kuvvetlerinin toplamı o katta bulunan kolonların toplam kesme kuvvetine oranı % 20'nin altında ise ve bu elemanların durumu binanın kararlılığını bozmuyorsa bina **Göçmenin Önlenmesi** durumunda kabul edilir.

Göçmenin önlenmesi durumunun kabul edilebilmesi için herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden minimum hasar sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kat kesme kuvvetine oranının % 30'u aşmaması gerekir. En üst katta göçme bölgesindeki kolonların kesme kuvvetlerinin toplamının o kattaki tüm kolonların kesme kuvvetlerinin toplamına oranı en

fazla % 40 olabilir. Binanın mevcut durumunda kullanımı, can güvenliği bakımından sakıncalıdır.

- **Göçme Durumu :**

Bina eğer Göçmenin önlenmesi durumunu sağlamıyorsa göçme durumundadır. Yani bina yıkılmış veya yıkılmak üzeredir. Binanın mevcut durumunda kullanımı, can güvenliği bakımından sakıncalıdır.

b) Türk Deprem Yönetmeliğine Göre Binalar İçin Performans Hedefleri : Türk deprem yönetmeliğine göre binanın hedeflenen performans seviyesinin belirlenebilmesi için 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem etkisi esas alınmaktadır. Mevcut veya yeni yapılacak binaların deprem güvenliğinin belirlenmesinde esas alınacak deprem etkileri ve hedeflenecek performans seviyeleri Tablo 2.3’de izah edilmektedir.

Tablo 2.3. Türk Deprem Yönetmeliğine göre bina performans hedefleri

Binanın Kullanım Amacı ve Türü	Depremin Aşılma Olasılığı		
	50 Yılda %50	50 Yılda %10	50 Yılda %2
Deprem Sonrası Kullanımı Gereken Binalar: Hastaneler, sağlık tesisleri, itfaiye binaları, haberleşme ve enerji tesisleri, ulaşım istasyonları, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, afet yönetim merkezleri, vb.	-	HK	CG
İnsanların Uzun Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar: Okullar, yatakhaneler, yurtlar, pansiyonlar, askeri kışlalar, cezaevleri, müzeler, vb.	HK	-	CG
İnsanların Kısa Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar: Sinema, tiyatro, konser salonları, kültür merkezleri, spor tesisleri.	-	CG	GÖ
Tehlikeli Madde İçeren Binalar: Toksik, parlayıcı ve patlayıcı özellikleri olan maddelerin bulunduğu ve depolandığı binalar.	-	HK	GÖ
Diğer Binalar: Yukarıdaki Tanımlara girmeyen diğer binalar (konutlar, işyerleri, oteller, turistik tesisler, endüstri yapıları, vb.)	-	CG	-
HK: Hemen Kullanım, CG: Can Güvenliği, GÖ: Göçmenin Önlenmesi.			

2.1.8. ATC-40’a Göre Performans Seviyeleri

Bir yapının performans seviyesi; depremden sonra ortaya çıkması beklenen hasar durumuna, bina içinde bulunanların can güvenliği ile depremden sonra binanın hizmet verebilmesine bağlı olarak tanımlanır. Kısaca; belirli bir deprem etkisi altında bina için verilen hasar miktarlarının limit durumlarıdır diyebiliriz.

Yapı performans seviyesi belirlenirken dikkate alınan bu limit durumlar, yapıdaki veya binadaki taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlardaki hasar miktarları, bu oluşan veya oluşacak hasarların hayati tehlike gösterip göstermemesi, deprem sonrasında yapının kullanılıp kullanılmaması, ekonomik kayıplar gibi etkenlere bağlı olarak belirlenir. Bu performans seviyeleri taşıyıcı sistem ve elemanlarında hasar durumunu tanımlayan yapısal performans seviyesi ve taşıyıcı olmayan elemanların hasar durumunu tanımlayan yapısal olmayan performans seviyesi olarak iki kısımdan oluşmaktadır.

a) Yapısal Performans Seviyeleri ve Aralıkları : Taşıyıcı sistem elemanlarında deprem etkisinde meydana gelecek muhtemel hasara ve bu hasarla ilgili olarak binanın kullanımına bağlı olarak yapısal performans seviyeleri ve aralıkları Tablo 2.4'deki gibi tanımlanır.

Tablo 2.4. Yapısal performans seviyeleri ve aralıkları (Celep, Z., Kumbasar, N., 2004)

Performans Seviyesi	Performans Aralığı	Tanım
SP-1		Hemen kullanım performans seviyesi
	SP-2	Hasar kontrolü performans aralığı
SP-3		Can güvenliği performans seviyesi
	SP-4	Sınırlı güvenlik performans aralığı
SP-5		Yapısal stabilite (göçmenin önlenmesi) perf. seviyesi
SP-6		Yapısal performansın göz önüne alınmadığı durum

- **Hemen Kullanım Performans Seviyesi (SP-1) :**

Bu performans seviyesindeki yapıda depremden sonra çok sınırlı hasar meydana gelmiştir. Yapının taşıyıcı sisteminin depremden önceki bütün taşıyıcılık özelliği ve kapasitesi hemen hemen depremden sonra da aynıdır. Yapısal hasardan oluşan bir yaralanma mevcut değildir. Yapı depremden sonra da sınırsız olarak kullanıma açıktır. Önemli hizmet veren kurum ve kuruluşlar için kullanılan en yaygın performans seviyesidir.

- **Hasar Kontrolü Performans Aralığı (SP-2) :**

Deprem sonrası hasar durumunun hemen kullanım ile can güvenliği performans seviyeleri arasına karşılık gelen performans aralığıdır. Dolayısıyla bu performans aralığı üstten hemen kullanım performans seviyesi, alttan da can güvenliği performans seviyesi ile sınırlandırılmıştır. Can güvenliğinin sağlanması yanında deprem sonrası hasarın da belli bir

değerde sınırlandırılmasına karşılık gelir. Deprem yönetmeliklerinde yeni binalar için 50 yıllık bir süre içerisinde aşılma olasılığı %10 olarak tanımlanan (tasarım depremi) deprem etkisinden öngörülen performans seviyesi bu aralığa tekabül eder.

- **Can Güvenliği Performans Seviyesi (SP-3) :**

Bu performans seviyesinde deprem sonrasında taşıyıcı sistemde önemli sayılabilecek hasar oluşabilir. Ancak; kısmi veya toptan göçme söz konusu değildir. Yapıda toptan yada kısmi göçmeye ulaşmayı önleyecek bir ek kapasite kalmıştır. Toptan göçmeye karşılık güvenlik, bir alt seviye olan stabilitenin korunması (göçmenin önlenmesi) performans seviyesindekinden daha fazladır. Dolayısıyla da oluşacak hasar miktarı daha azdır. Taşıyıcı elemanların kopması veya konumlarını değiştirmeleri söz konusu değildir. Yaralanmaların muhtemel olmasına rağmen, can güvenliği tehlikesi bulunmamaktadır.

- **Sınırlı Güvenlik Performans Aralığı (SP-4) :**

Bu durum can güvenliği ile yapısal stabilite performans seviyeleri arasına karşılık gelen performans aralığıdır. Bir yapının can güvenliğinin tam olarak sağlanamaması durumunda göz önüne alınabilir. Bu performans aralığı üstten can güvenliği performans seviyesi, alttan da yapısal stabilite (göçmenin önlenmesi) performans seviyesi ile sınırlandırılmıştır. Bu performans aralığındaki taşıyıcı elemanların performansları tamamen can güvenliği performans seviyesi koşullarını sağlamayabilir ancak buna rağmen yapısal stabilite performans seviyesindekinden ise daha yüksektir.

- **Yapısal Stabilite (Göçmenin Önlenmesi) Performans Seviyesi(SP-5):**

Bu performans seviyesinde yapı taşıyıcı sistemi, güç tükenmesi sınırında bulunur. Yani depremin sonrasında yapıyı kısmi veya toptan göçme sınırına getiren hasar durumunu temsil eder. Taşıyıcı elemanlarda önemli hasarlar oluşmuş olup, yanal rijitlik ve dayanımda azalmalar meydana gelmiştir. Buna rağmen, yapının düşey yük taşıma kapasitesi düşey yükleri taşımaya devam etmek için yeterlidir. Yapı için, stabilitesinin bir kısmını korumasına rağmen artçı şoklarla oluşan yatay kuvvetler karşısında yıkılma tehlikesi bulunmaktadır. Yapının içinde ve dışında düşen parçalardan dolayı önemli yaralanma tehlikesi bulunmaktadır. Bu seviyenin yeni yapıların tasarımında maksimum deprem etkisi altında sağlanması tavsiye edilir. Daha düşük bir deprem etkisinde bu seviyenin göz önüne alınması, daha yüksek bir deprem etkisinde güç tükenmesinin (göçmenin) yüksek olasılıkla bulunmasına karşılık gelir ki, bunun kabul edilmesi uygun değildir.

- **Yapısal Performansın Göz Önüne Alınmadığı Durum (SP-6) :**

Tam anlamıyla bir performans seviyesi değildir. Yapı depreme dayanamaz ve deprem sırasında yıkılır.

Taşıyıcı sistem elemanlarında deprem etkisi altında oluşacak hasar sınırları mart 2007’de yürürlüğe girecek olan Türk Deprem Yönetmeliğinde, ATC-40 ve FEMA-356 ‘dan farklı olarak üç sınır durum tanımlanmıştır. Bunlar; Minimum Hasar Sınırı (MN), Güvenlik Sınırı (GV) ve Göçme Sınırı’dır (GÇ). Bu durum Şekil 2.2’de izah edilmektedir. Minimum hasar sınırı kritik kesitte elastik ötesi davranışın başlangıcını, güvenlik sınırı kesitin dayanımını güvenli olarak sağlayabileceği elastik ötesi davranışın sınırını, göçme sınırı ise kesitin göçme öncesi davranışın sınırını tanımlamaktadır. Gevrek elemanlar için elastik ötesi davranışın oluşmasına izin verilmez.

b) Yapısal Olmayan Performans Seviyeleri : Yapının taşıyıcı olmayan elemanlarında deprem etkisiyle meydana gelebilecek muhtemel hasara ve kullanımına bağlı olarak performans seviyeleri Tablo 2.5’deki gibi tanımlanır.

Tablo 2.5. Yapısal olmayan performans seviyeleri (Celep, Z., Kumbasar, N., 2004)

Performans Seviyesi	Tanım
NP-A	Kullanıma devam performans seviyesi
NP-B	Hemen kullanım performans seviyesi
NP-C	Can güvenliği performans seviyesi
NP-D	Azaltılmış hasar performans seviyesi
NP-E	Yapısal olmayan performansın göz önüne alınmadığı durum

- **Kullanıma Devam Performans Seviyesi (NP-A) :**

Bu performans seviyesindeki yapıda, depremden sonra yapısal olmayan elemanlarda kullanımı önleyen bir durum yoktur. Makine ve teçhizat çalışmaya devam etmektedir.

- **Hemen Kullanım Performans Seviyesi (NP-B) :**

Yapısal olmayan elemanlarda bir hasar olmamakla birlikte, kullanımı engelleyen ancak kolayca giderilebilecek bazı küçük hasarlar beklenebilir. Bazı makine ve teçhizatlarda yer değiştirmeler olabilmektedir.

- **Can Güvenliği Performans Seviyesi (NP-C) :**

Bu performans seviyesindeki binada, deprem sonrası taşıyıcı sistemde önemli derecede hasar olmasına karşın, yapının yerel veya toptan göçmesi söz konusu değildir. Bununla beraber yapısal olmayan elemanlarda da önemli sayılabilecek hasarlar meydana gelmiştir. Makine ve teçhizat onarım ve yenileme olmadan çalışmayabilir.

- **Azaltılmış Hasar Performans Seviyesi (NP-D) :**

Bu seviyedeki binada deprem sonrası yapısal olmayan elemanların hemen hepsinde hasar beklenmektedir. Ancak, parapet, dış yağma duvar, cephe kaplaması, ağır tavan gibi büyük parçaların düşmesi sonucu bir yaralanma söz konusu olmaz. Yani bu seviyede, insanların ciddi şekilde yaralanmalarına sebep olacak şekilde veya miktarda hasar beklenmemektedir.

- **Yapısal Olmayan Performansın Göz Önüne Alınmadığı Durum (NP-E) :**


Yapısal olmayan elemanların (asma tavan, kaplama v.b.) performans değerlendirmesi için seviye ifade etmekle birlikte tam anlamıyla bir performans seviyesi değildir. Yapısal olmayan elemanlarda kısmi yada toptan göçmenin oluşması mümkündür. Bu elemanlar yıkılmaya karşı dayanımlarını kaybetmişlerdir yada yıkılmışlardır.


Binanın deprem etkisi altında beklenen performansı, ortaya çıkacak hasar, buna paralel ekonomik kayıp ve binanın hizmet verebilmesinin kesintiye uğramasından dolayı oluşan sakıncasının toplamı olarak görülür. Buna bağlı olarak da bina performans seviyeleri, taşıyıcı sistemin durumunu gösteren yapısal performans seviyesi ile taşıyıcı olmayan elemanların durumunu gösteren yapısal olmayan performans seviyesi tanımlarının birleştirilmesiyle Bina Performans Seviyesi tanımlanır. Tablo 2.6'da bina performans seviyeleri gösterilmektedir.


Tablo 2.6. Bina performans seviyeleri (Celep, Z., Kumbasar, N., 2004)

Yapısal olmayan performans seviyeleri	Yapısal Performans Seviyeleri					
	SP-1 Hemen Kullanım	SP-2 Hasar Kontrolü	SP-3 Can Güvenliği	SP-4 Sınırlı Güvenlik	SP-5 Yapısal Stabilite	SP-6 Yapısal performansın göz önüne alınmadığı durum
NP-A Kullanıma devam	1A Kullanıma devam	2A	K.Ö.	K.Ö.	K.Ö.	K.Ö.
NP-B Hemen kullanım	1B Hemen kullanım	2B	3B	K.Ö.	K.Ö.	K.Ö.
NP-C Can güvenliği	1C	2C	3C Can güvenliği	4C	5C	6C
NP-D Azaltılmış hasar	K.Ö.	2D	3D	4D	5D	6D
NP-E Yapısal olmayan performansın göz önüne alınmadığı durum	K.Ö.	K.Ö.	3E	4E	5E Yapısal Stabilite	U

 : Yaygın olarak kullanılanlar

 : Kullanılması yaygın olmayanlar

 : Kullanılması önerilmeyenler

 : Uygulanamaz

Tablo 2.6’da da görüldüğü gibi bina performans seviyelerinin tamamlanmasında harf ve rakamların birleşmesinden yararlanılmış sütunlara rakam, satırlara da harfler atanmıştır. Görüldüğü gibi bunlardan ayrı olarak isimlendirilen seviyeler yaygın olarak kabul görenler olup, bunların açılımı da Tablo 2.7’de verilmektedir.

Tablo 2.7. Yaygın olarak kullanılan bina performans seviyeleri (Celep, Z., Kumbasar, N., 2004)

Bina Performans Seviyesi	Yapısal ve yapısal Olmayan performans Seviyeleri	Tanım
1-A	SP-1 NP-A	Kullanıma devam performans seviyesi
1-B	SP-1 NP-B	Hemen kullanım performans seviyesi
3-C	SP-3 NP-C	Can Güvenliği performans seviyesi
5-E	SP-5 NP-E	Yapısal stabilite performans seviyesi
6-E	SP-6 NP-E	Uygulanamaz.

- **Kullanıma Devam Performans Seviyesi (1-A) :**

Bu performans seviyesindeki binada, yapısal sistem ve elemanlarında önemli hasar yoktur. Yapısal olmayan elemanlarda da elemanların hasarları yine kullanıma devamı etkilemeyecek sevedir. Duvar ve tavanlarda çatlamlar olabilir. Binanın yedek sistemlerinin devreye girmesiyle kullanıma devam edilir. Hayati önem taşıyan binaların projelendirmesinde dikkate alınması gereken performans seviyesidir.

- **Hemen Kullanım Performans Seviyesi (1-B) :**

Bu seviye önemli binalar için öngörülen seviyedir. Binanın sistemleri kullanılabilir durumdadır. Binada bulunan eşyalarda ise hasar olabilir. Tavan ve duvarlardan sıva parçaları düşebilir. Bu performans seviyesindeki binada can güvenliği tehlikesi yoktur.

- **Can Güvenliği Performans Seviyesi (3-C) :**

Bu seviyedeki binaların yapısal sistem ve elemanlarında orta dereceli hasar vardır ve taşıyıcı sistemde önemli miktarda kapasite kalmış durumdadır. Yapısal olmayan elemanlarda ise düşme ve devrilme gibi durumlar ortaya çıkar. Çatı katları ve bacalar tamamıyla veya kısmi olarak yıkılmış olabilir. Can güvenliğinin tehlikeye girme riski çok düşüktür. Günümüz yönetmeliklerinde yeni yapılacak yapılar için öngörülen daha düşük bir performans seviyesine karşılık gelmektedir.

- **Yapısal Stabilite (Göçmenin Önlenmesi) Performans Seviyesi (5-E) :**

Bu performans seviyesindeki binada, yapısal sistemde ve yapısal olmayan elemanlarda hasarlar mevcuttur. Bu hasarlar taşıyıcı sistemde, az miktarda yerdeğiştirmeler

ve büyük çatlaklarla birlikte görülmektedir. Yapısal olmayan elemanlarda ise duvarlarda büyük çatlakların meydana gelmesi şeklinde, karakterize edilebilir. Bu performans seviyesindeki binada, can güvenliği tehlikesi vardır. Yatay kuvvetlere karşı taşıyıcılık bitmiş, sadece düşey yükleri taşımaya yeterli kapasite kalmıştır. Ancak, artçı şoklar neticesinde bile yıkılmanın beklendiği durumdur.

- **Uygulanamayan Performans Seviyesi (6-E) :**

Yapısal sistem ve elemanlarında kısmi veya toptan göçme mümkündür. Yapısal olmayan elemanlar ise yıkılmaya karşı dayanımlarını yitirmişlerdir yada yıkılmışlardır. Bu performans seviyesindeki binaların ani göçmeleri mümkündür. Bu binalar derhal korumaya alınmalı yada derhal yıkılmalıdır.

2.1.8.1. Performans Amaçları

Bir bina için göz önüne alınacak performans amacı, deprem etki seviyesine ve bina performans seviyesine bağlı olarak belirlenir ve aşağıdaki Tablo 2.8’de gösterildiği gibi ifade edilir.

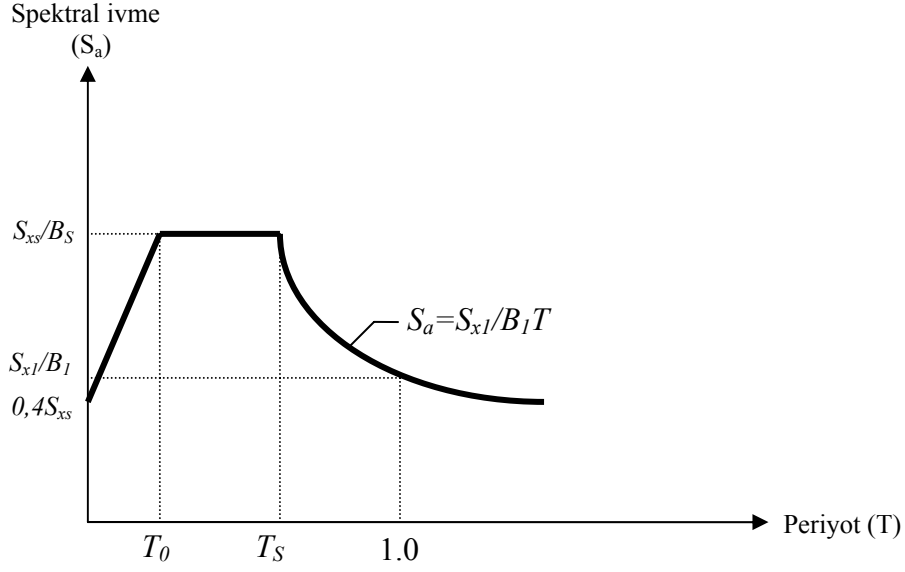
Tablo 2.8. Bina performans amaçlarının sınıflandırılması (Celep, Z., Kumbasar, N., 2004)

Deprem Etki Seviyeleri	Bina Performans Seviyeleri			
	Kullanıma devam (1-A)	Hemen kullanım (1-B)	Can güvenliği (3-C)	Yapısal stabilite (5-E)
Kullanım depremi (%50-50 yıl)	a	b	c	d
%20-50 yıl	e	f	g	h
Tasarım depremi (TGD-1) (%10-50 yıl)	i	j	k	l
Maksimum deprem (TGD-2) (%2-50 yıl)	m	n	o	p

Bu şekilde bir tablo oluşturularak bina performans amacının belirlenmesinin nedeni; performans-deprem etkisi-maliyet arasındaki ilişkiyi daha iyi tanımlayabilmektir. Bunun için Tablo 2.8’de görüldüğü gibi ilk satırdan başlayarak bina performans seviyeleri ile deprem etki seviyelerinin birleşimlerine sırasıyla harfler atanmak suretiyle tablo oluşturulmuştur. “*a,f,k,p*” ile simgelenen ve tablo’nun köşegenini ihtiva eden bu performans amaçları ana binalar için öngörülmektedir. “*e, j, o*” ile simgelenen performans amaçları önemli binalar için, “*i, n*” ile simgelenenler güvenliği çok özel binalar için ve “*m*” harfi de nükleer santral gibi hayati öneme haiz binalar için performans amacını simgelemektedir.

Bunlara binaen FEMA-273’de Temel Güvenlik Depremi – 1 (TGD-1) ve Temel Güvenlik Depremi – 2 (TGD-2) olarak iki deprem etkisi tanımlanmaktadır. Tablo 2.8’den de görülebileceği gibi TGD-1 tasarım depremine karşılık gelmekte ve can güvenliği performans seviyesi yani “*k*” seçimi yapılmaktadır. Yine TGD-2 maksimum depreme karşılık gelmekte ve yapısal stabilite performans seviyesi yani “*p*” seçimi yapılmaktadır. Dolayısıyla “*k ve p*” temel güvenlik amaçları olarak tanımlanmaktadır. Bu durum Tablo 2.8’de ifade edilmektedir.

FEMA tarafından hazırlanan haritalar TGD-1 ve TGD-2 depremlerinin spektrumu oluşturmak için gerekli parametrelerin değerlerini içermektedir. Bu haritalar yardımıyla, binanın bulunduğu bölge ile ilgili spektral değerler olası ve spektrum eğrisinin oluşturulmasında kullanılacak, kısa periyot ivme parametresi olan “*S_s*” ve bir saniyelik periyot ivme parametresi “*S_l*” değerleri bulunur. Şekil 2.3’den de görüldüğü gibi bu parametreler kullanılarak χ doğrultusunda genel spektrum eğrisi elde edilmiştir (Celep, Z., Kumbasar, N., 2004).



Şekil 2.3. Genel spektrum eğrisi (Celep, Z., Kumbasar, N., 2004)

Değişik aşılma olasılığı durumları için spektral değerlerin değiştirilmesi gerekmektedir. Eğer TGD-2, kısa periyot parametresi $S_S < 1,5g$ ise, 50 yıllık zaman aralığında aşılma olasılığının %2 ve %10 arasında bulunması durumunda aşağıdaki ifade kullanılabilir.

$$\ln(S_i) = \ln(S_{i_{10/50}}) + [\ln(S_{i_{TGD-2}}) - \ln(S_{i_{10/50}})] [0,606 \cdot \ln(P_R) - 3,73] \dots\dots\dots(2.1)$$

$$P_R = \frac{1}{1 - (1 - P_{E_{50}})^{0,02}} \dots\dots\dots(2.2)$$

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

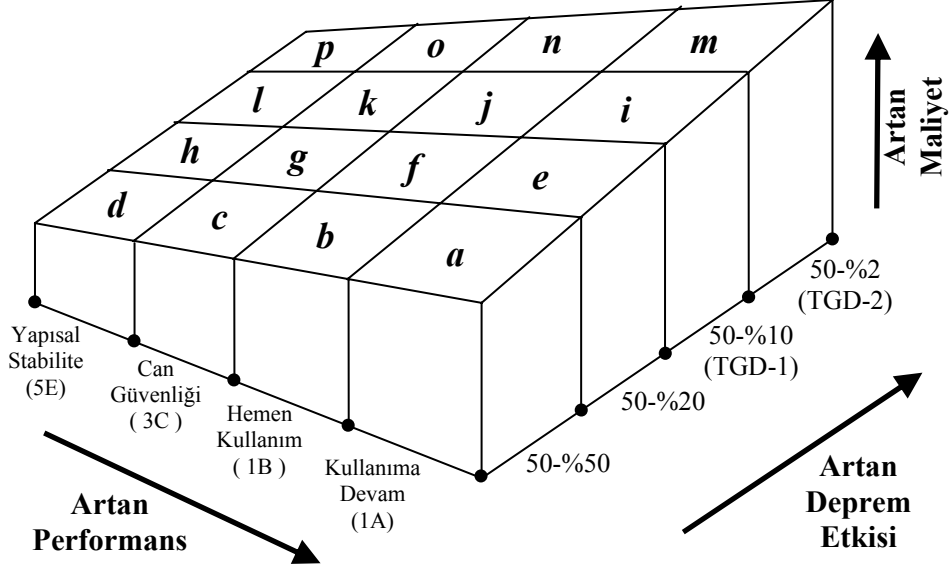
$S_{i_{10/50}}$: 50 yıllık zaman aralığında aşılma olasılığı %10 olan spektral ivme parametresi. ($i = S$ ve $i = I$)

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

Farklı deprem etki seviyeleri için bir binanın birden fazla performans amacı seçilebilmektedir. Bu seçim *Çoklu Performans Hedefi* olarak tanımlanmaktadır.

FEMA-273' de bu durum “ k veya p ” performans amaçları ile “ a, e, l, m ” (yani kullanıma devam performans seviyesi) performans amaçlarının birleştirilmesiyle veya “ b, f, j, n ” (yani hemen kullanım “ p ” performans seviyesi) performans amaçlarının birleştirilmesiyle açıklanmaktadır (Celep, Z., Kumbasar, N., 2004).

Yukarıda da belirtildiği gibi bina performans amacının belirlenmesinden kasıt, seçilecek güvenlik seviyesinin ve kabul edilecek deprem etkisi seviyesinin belirlenmesi yanında maliyetin de bu durumlarla ilişkisini gözler önüne sermektir. Buna mukabil performans seviyesi – deprem etkisi-maliyet arasındaki ilişki aşağıdaki şekilden görülebilir.



Şekil 2.4. Bina performans seviyeleri – deprem etkisi – maliyet arasındaki ilişki (Celep, Z., Kumbasar, N., 2004)

2.1.8.2. Bölgenin Depremselliği

Binaların değerlendirilmesinde etkisi olan en önemli parametre hiç kuşkusuz ki depremdir. Dolayısıyla da deprem ve kriterlerinin belirlenmesinin de binaların projelendirilme aşamalarında ne kadar önemli olduğu aşikardır. Bu göz önüne alınacak kriterleri üç aşamada toplayabiliriz.

- Zemin özellikleri
- Bölgenin deprem özellikleri
- İstem (talep) spektrumu (Elastik Deprem Spektrumu)

a) Zemin Özellikleri :

Binanın içinde bulunduğu bölgenin jeolojik özelliklerinin ve buna bağlı olarak zemin karakteristiklerinin belirlenmesinde zemin tipleri kullanılmaktadır. Arazi için kendi verilerine uygun bir zemin çeşidi atanır. Eğer zemin hakkında yeterli veri toplanamamışsa özel geoteknik incelemesi yapılmalıdır. Bu zemin tipleri ICBO, 1996'dan alınmış ve Tablo 2.9'da ifade edilmiştir.

Tablo 2.9. Zemin çeşitleri (ICBO, 1996)

Zemin tipi	Zemin tipinin tanımlanması	En alt zemine göre üst 30 m'deki zemin özellikleri		
		Kayma dalgası hızı, \bar{V}_s (m/sn)	Standart penetrasyon deneyi, \bar{N} (vuruş/m)	Drenajsız kayma mukavemeti, \bar{S}_U (kN/m ²)
S_A	Sert kaya	$\bar{V}_s > 1500$	Kabul edilmez	Kabul edilmez
S_B	Kaya	$750 < \bar{V}_s \leq 1500$	Kabul edilmez	Kabul edilmez
S_C	Çok sıkı toprak veya yumuşak kaya	$350 < \bar{V}_s \leq 750$	$\bar{N} > 165$	$\bar{S}_U > 100$
S_D	Sert toprak	$180 < \bar{V}_s \leq 350$	$50 \leq \bar{N} \leq 165$	$50 \leq \bar{S}_U \leq 100$
S_E	Yumuşak toprak	$\bar{V}_s \leq 180$	$\bar{N} < 50$	$\bar{S}_U < 50$
S_F	Özel geoteknik inceleme yapılması gerekir.			

Özel geoteknik inceleme yapılması gereken zeminler şu özelliklere sahip olabilir;

- ✓ Sıvılaşabilen zeminlerin bazıları, yüksek hassasiyetli killer ve zayıf çimentolanmış zeminler
- ✓ Kalınlıkları 3m'den fazla yüksek organik killer.
- ✓ Çok yüksek plastisiteli killerle birlikte, plastisite indisi 75'den büyük olan zeminler (derinlikleri 7,5 m'den büyük olmalıdır.)
- ✓ Çok kalın yumuşak sertlikte kil.

Ortalama Zemin Özelliklerinin belirlenebilmesi için; zemin tipinin belirlenebilmesi, kayma dalgası hızının (\bar{V}_s), standart penetrasyon deneyi vuruş sayısının (\bar{N}), ve drenajsız

kayma mukavemetinin ($\overline{S_U}$) belirlenmesi gerekmektedir. Buna göre zemin katmanlara (tabakalara) ayrılır ve numaralandırılır.

Ortalama kayma dalgası hızı ($\overline{V_s}$) aşağıdaki formül ile hesaplanabilir.

$$\overline{V_s} = \frac{d_s}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{V_{s_i}}} \dots\dots\dots(2.3)$$

d_i : i. tabakanın kalınlığı (m)

d_s : toplam zemin tipi kalınlığı (m)

V_{s_i} : i. katmanın (tabakanın) kayma dalgası hızı (m/sn)

Ortalama standart penetrasyon deneyi vuruş sayıları aşağıdaki formüllerle belirlenir.

$$\overline{N} = \frac{d_s}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}} \qquad \overline{N_{CH}} = \frac{d_{CH}}{\sum_{i=1}^n \frac{d_{CH_i}}{N_{CH_i}}} \dots\dots\dots(2.4)$$

\overline{N} : standart penetrasyon deneyi vuruş sayısı (vuruş/m)

$\overline{N_{CH}}$: kohezyonsuz zeminler için standart penetrasyon deneyi vuruş sayısı
(vuruş/m)

d_{CH} : tüm kohezyonsuz zemin tabakalarının toplam kalınlığı (m)

d_{CH_i} : i. tabakanın standart penetrasyon direnci (direkt olarak arazide ölçülür).

Ortalama drenajsız kayma mukavemeti ($\overline{S_U}$) aşağıdaki formüllerle belirlenir;

$$\overline{S_u} = \frac{d_c}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{S_{u_i}}} \dots\dots\dots(2.5)$$

d_c : toplam kohezyonlu zemin tabaka kalınlığı (m)

S_{u_i} : i. tabakanın drenajsız kayma mukavemeti (kN/m²)

b) Bölgenin Deprem Özellikleri :

Bir bölge için deprem özellikleri, o bölgenin deprem durumuna (aktif faylara olan mesafesine, zemin özelliklerine) göre belirlenmektedir. Söz konusu deprem özelliklerini belirleyebilmek için, deprem bölge katsayısının ve bölgenin deprem kaynağından uzaklığını ifade eden katsayının bulunması gerekir. Bu katsayılara göre de spektral ivme-periyot eğrisinin elde edilmesi gerekmektedir.

✓ Deprem bölge katsayısı, her bölgenin depremselliğini ifade eden bölge numaralarından ibarettir. Yani bölgelerin, depremselliğine göre numaralandırılmasıdır. A.B.D.’de bu konu hakkındaki standart, CBSC (California Building Standart Code 1995)’dir. Bu standart, deprem tehlikesini (riskini) büyükten küçüğe doğru artması olarak ifade etmiş ve en tehlikeli depremi 4 olarak tanımlamıştır. Bu durum Tablo 2.10’da gösterilmiştir.

Tablo 2.10. Deprem bölge katsayısı (ICBO, 1996)

Bölge	4	3	2B	2A	1
Z	0,40	0,30	0,20	0,15	0,0075

Bu numaralandırma işlemi Türk Deprem Yönetmeliği ile benzeşmekte fakat sıralamada farklılık oluşturmaktadır. Nitekim Türk Deprem Yönetmeliği en tehlikeli deprem riskini ‘1’ olarak tanımlamıştır. Yani CBSC’nin yaptığı sıralamanın tam tersidir ve Türk Deprem Yönetmeliğinde 3. bölge olarak adlandırılan kısım, CSBC’de “2A ve 2B” olarak iki kısımda ifade edilmiştir.

✓ Türk Deprem Yönetmeliğinde deprem kaynağından uzaklık parametresi dikkate alınmamıştır. Ancak, FEMA- 273, deprem fay tipine bağlı olarak kaynağa mesafe katsayıları tanımlamıştır. Buna göre her bölgenin kendine özgü özelliklerine göre bir uzaklık katsayısı vardır. Bu özelliklere göre deprem fay tipi Tablo 2.11’de ifade edilmiştir. Deprem kaynağına uzaklık katsayıları ve deprem fay tipine göre oluşturulan Tablo 2.11 aşağıdaki gibidir.

Tablo 2.11. Kaynağa (en yakın) mesafe katsayısı, N_A ve N_V (ICBO, 1996)

Deprem fay tipi	Deprem kaynağına olan en yakın (dik) mesafe							
	≤ 2 km		5 km		10 km		≥ 15 km	
	N_A	N_V	N_A	N_V	N_A	N_V	N_A	N_V
A	1,5	2,0	1,2	1,6	1,0	1,2	1,0	1,0
B	1,3	1,6	1,0	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0
C	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Tablo 2.12. Fay tanımlamasına göre deprem fay tipleri (Pakdamar, 2001)

Deprem fay tipi	Deprem fay tanımlaması		
	Açıklama	Maksimum moment manyitüdü, M_W	Kayma oranı SR (mm/yıl)
A	Yüksek deprem aktivitesi olan, büyük manyitüdü depremler oluşturabilecek faylar	$M_W \geq 7,0$	$SR \geq 5,0$
B	“A ve C” tipi dışındaki tüm faylar	Uygulanamaz	Uygulanamaz
C	Düşük deprem aktivitesi olan, büyük manyitüdü depremler oluşturamayacak faylar	$M_W < 6,5$	$SR < 2,0$

c) İstem Spektrumu :

Bir zemine ait istem spektrumunun belirlenmesinde, en basit ve en sık kullanılan yöntem olan bölge deprem katsayıları yöntemi kullanılır. Bunun için binalara çeşitli deprem tehlike seviyelerine göre; elastik ivmeyi tanımlayan katsayı olan C_A ve elastik hızı tanımlayan katsayı olan C_V gibi iki katsayı atanır. C_A ve C_V değerleri; zemin tipleri ile sarsıntı şiddeti, bölge katsayısı ve kaynaktan uzaklık katsayısının çarpımlarının birleştirilmeleri ile tablolştırılır. Tablo 2.13 ve Tablo 2.14, C_A ve C_V değerlerini vermektedir.

Tablo 2.13. Deprem katsayısı, C_A (ICBO, 1996)

Zemin profil tipi	Deprem Katsayısı, ZEN					
	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	0,09	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	Özel geoteknik inceleme yapılmalı					

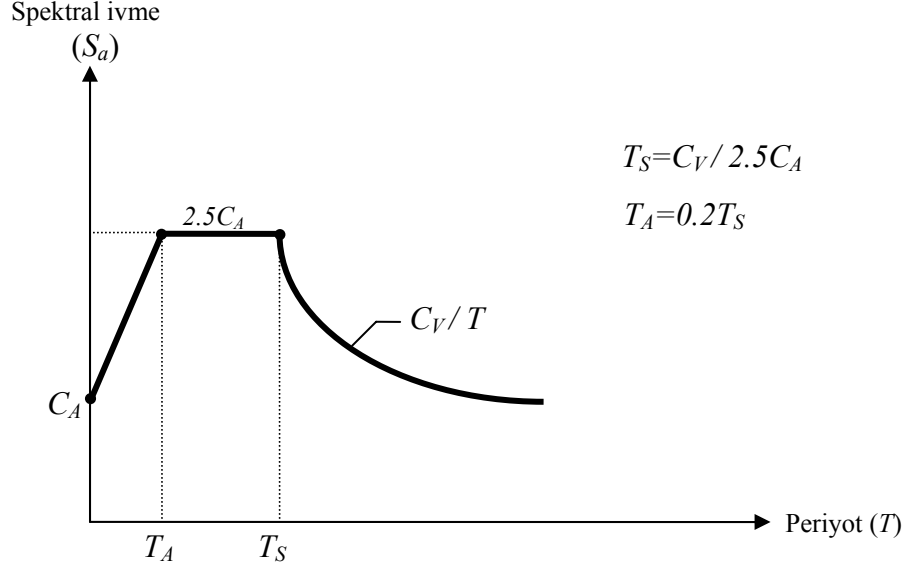
Deprem bölge katsayısı “ Z ”, deprem etkisi türü katsayısı (sarsıntı şiddetini belirlemek için) ve bilinen deprem kaynağından olan uzaklık katsayısı “ N ” çarpımından oluşan ZEN parametresi, elastik spektrum eğrisini tanımlayan “ C_A ve C_V ” parametrelerinin bulunabilmesi için belirleyici noktadır.

“ E ” parametresi; kullanım depremi için 0.5 , tasarım depremi için 1.0 ve maksimum deprem için 1.25 veya 1.50 olarak alınır. Maksimum depremde 4. bölge için 1.25 , 3. bölge için 1.50 alınır. Daha önce de ifade edildiği gibi ZEN değeri, bölge katsayısı (Z), deprem etkisi türü (sarsılma şiddeti) katsayısı (E) ve bilinen deprem kaynağından uzaklık katsayısının (N) çarpımından elde edilir.

Tablo 2.14. Deprem katsayısı, C_V (ICBO, 1996)

Zemin profil tipi	Deprem Katsayısı, ZEN					
	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	Özel geoteknik inceleme yapılmalı					

C_A ve C_V parametresine bağılı olarak tanımlanan ve deprem etkisini temsil eden elastik talep spektrumu eğrisinin oluşturulması Şekil 2.5’de gösterilmektedir. Elastik talep spektrumunun oluşturulmasında sönüm %5 alınmıştır.



Görüldüğü gibi ivme spektrum eğrilerinin oluşturulmasında yatay ekseninde tek serbestlik dereceli sistemin periyodu, düşey ekseninde ise sistemde geldiği kabul edilen mutlak ivmenin maksimum değeri bulunur. (Celep, Z., Kumbasar, N., 2004).

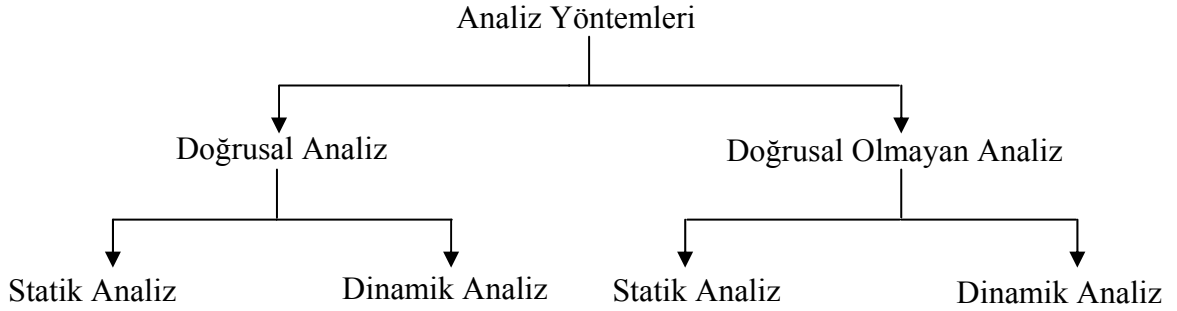
Burada; C_A zeminin etkili maksimum ivme katsayısını temsil ederken, $2,5C_A$ 'da %5'lik sönümlü kısa periyotlu sistemin maksimum ortalama ivme katsayısına karşılık gelmektedir. C_V ise; periyodu 1 sn olan %5 sönümlü sistemin spektrum değerini verir.

2.2. Yapı Sistemlerinin Çözümleme Yöntemleri

Betonarme yapıların analizi hem doğrusal hem de doğrusal olmayan analiz yöntemleri ile yapılabilmektedir. Bunlardan doğrusal analiz yöntemleri; yapının elastik kapasitesinin iyi bir şekilde tanımlanmasını vermesine, ayrıca ilk elastik ötesi davranışın nerelerde oluşabileceğini göstermesine karşılık yapının göçme mekanizmasını belirleyemez ve elastik ötesi davranışlar sonucunda oluşan kuvvet dağılımlarını da dikkate almaz.

Bununla birlikte doğrusal olmayan analiz yöntemleri ise; yapının hangi eleman veya bölgesinde yetersizlik olduğunu önceden tahmin edebilmemize ve yapının nasıl ve hangi aşamalarda göçme ihtimalinin oluşabileceğini anlamamıza yardımcı olmaktadır.

Doğrusal analiz yöntemleri kendi arasında doğrusal statik analiz ve doğrusal dinamik analiz olmak üzere ikiye ayrılırken aynı şekilde doğrusal olmayan analiz yöntemleri de doğrusal olmayan statik analiz ve doğrusal olmayan dinamik analiz olmak üzere ikiye ayrılır. Bu durumu şematik olarak ifade etmek için Şekil 2.6'daki gibi bir gösterimden yararlanılabilir. Böylece analiz yöntemlerinin türlerini bir yapı ağacı olarak ifade edebiliriz.



Şekil 2.6. Analiz yöntemleri

Deprem etkisine maruz kalan bir yapıdan beklenen yapının göçmemesidir. Şartnameler gereği binalar hizmet ömrü boyunca bir defa tasarım depremi (%10-50 yıl) geçirecek şekilde projelendirilir ve boyutlandırılır. Bunun en önemli nedeni ekonomidir. Nitekim 50 yıllık zaman aralığında oluşma ihtimali %2 olan maksimum depremlere göre bir yapının projelendirilmesi taşıyıcı eleman boyutlarının çok büyük olmasına neden olur ve belki de hizmet ömrü boyunca yapının karşılaşmayacağı bu depreme göre boyutlandırılması ülke ekonomisi açısından da gerçekçi olmayacaktır. Buna karşın yapının

defalarca hizmet ömrü boyunca deprem etkisine maruz kalması da söz konusu olabilir. Doğrusal analiz yöntemleri tek bir deprem etkisi göz önüne alındığından bu durum karşısında da ne tür bir sonuç alınacağı tahmin edilememektedir. Bu yüzden binalardaki deformasyonların kontrol edilerek, adım adım yüklerin uygulanması temel alınarak doğrusal olmayan artımsal itme analizi yöntemi geliştirilmiştir.

Doğrusal analiz yöntemlerinde, malzemenin gerilme, şekil değiştirme bağıntıları doğrusal – elastik olarak alınmaktadır. Buna karşılık, dış etkiler sonucu işletme yükü sınırı aşılarak binanın taşıma gücü sınırına yaklaşıldıkça, gerilmeler doğrusal elastik sınırı aşmakta ve yerdeğiştirmeler çok küçük olmayan değerler olmaktadır.

Günümüzde doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemleri ile yapıların doğrusal olmayan davranışı oldukça yakın olarak belirlenebilmektedir. Ancak bu yöntemler gerçeğe çok yakın sonuçlar vermesine karşın çok karmaşık, zaman alıcı ve çok fazla miktarda yerel deprem kaydı gerektirdiğinden uygulamadaki mühendisler için uygun olmamaktadır. Bu nedenle daha uygulanabilir olan doğrusal olmayan artımsal analiz yöntemleri üzerindeki çalışmalar önem kazanmış ve bu konu üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu çalışmada da bu durum dikkate alınıp doğrusal olmayan artımsal itme analizi yöntemi üzerinde durulmuştur.

Bir yapının dış yükler altındaki davranışının doğrusal olmaması genel olarak iki nedene dayanır.

1-) Malzemenin doğrusal – elastik olmaması nedeniyle gerilme – şekil değiştirme bağıntılarının (bünye denklemleri) doğrusal olmaması.

2-) Geometri değişimleri genel olarak denge denklemlerinin doğrusal olmaması.

2.2.1. Doğrusal Olmayan Artımsal İtme Analizi

Doğrusal olmayan sistem davranışını esas alan bu yöntemin geliştirilmesinde ve uygulanmasında genel olarak iki durum ile karşılaşılmaktadır. Bunlardan ilki, yapı sistemlerinin doğrusal (lineer) olmamasına neden olan etkenlerin belirlenerek sistem davranışını gerçeğe yakın bir biçimde temsil edecek hesap modelinin oluşturulmasıdır. Diğer ise; bu hesap modelinin analizi sonucunda elde edilen doğrusal olmayan denklem sistemlerinin etkin ve doğru bir biçimde çözülmesidir.

Artımsal itme analizi yönteminde; oluşturulan model, küçük adımlar ile yükleme yapılarak ötelenmeye, dolayısıyla da deformasyona maruz bırakılır. Her bir adım yapı

sistem ve elemanlardan birinin davranışındaki değişimlerin gözlemlendiği mesafe kadardır. Yani herhangi bir elemanın davranışında oluşan ilk değişime kadar olan kısım birinci adımı teşkil eder. Daha sonra bu şekilde yapı adım adım ötelenir. Yapı daha önce belirlenen yatay ötelenme değerine ulaşıncaya kadar yüklemeye devam edilir. Yapıyı oluşturan sistem veya elemanların daha önceden tanımlanan göçme deformasyonlarına ulaşması ile analiz sonlandırılmış olur. Böylece; en son ulaşılan deformasyon seviyesi ile binanın deprem etkisiyle oluşacak hasar seviyesi belirlenmektedir.

Doğrusal olmayan artımsal itme analizi yöntemi temel olarak, yapının veya binanın yatay kuvvete karşı dayanımını temsil eden yatay kuvvet- yer değiştirme ilişkisinin, malzeme ve geometri bakımından doğrusal olmayan teoriye göre elde edilmesine ve bunun çeşitli parametrelere göre değerlendirilmesine dayanmaktadır.

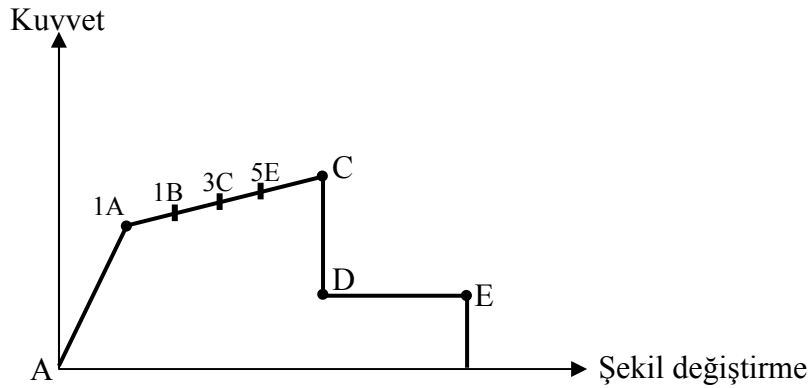
Kapasite eğrisi (Pushover eğrisi) olarak isimlendirilen yatay kuvvet - yer değiştirme ilişkisinin elde edilmesi sayesinde, yapıyı oluşturan elemanların hangilerinin zayıf olduğu ve bu elemanların zayıf bölgelerinin nereleri olduğunu, oluşabilecek kısmi veya toptan göçme mekanizma durumlarını, tüm binanın yapısal sistem elemanlarının ve yapısal olmayan sistem elemanlarının deformasyon talepleri belirlenebilmektedir. Ayrıca, belirli bir deprem seviyesi için binadan istenilen performans hedefinin gerçekleşip-gerçekleşmeyeceği kontrolü de yapılabilmektedir.

Yönetmeliklerde yapı sistem ve elemanlarının boyutlandırılmasında zayıf kiriş – güçlü kolon ilkesi temel alınmaktadır. Bu ilkeye göre; kolon taşıma kapasitelerinin kiriş taşıma kapasitelerinden daha fazla olmasıyla artımsal itme analizindeki her adımda artan yatay yükler altında yapıda oluşabilecek plastik mafsalların ilk olarak kirişlerde ortaya çıkması sağlamaya çalışılmaktadır. Böylece kat mekanizmalarının oluşumunun önüne geçilmek suretiyle yapının toptan göçmesi önlenmeye çalışılır. Yapıya etkiyen yatay yüklerin artması nedeniyle elastik ötesi davranışta oluşması beklenen plastik mafsallar sebebiyle sistemin rijitliği azalmakta (elastik ötesi davranışa geçtiği için) ve bununla beraber yer değiştirmeler artmaktadır. Buradan anlaşılabilir ki; doğrusal olmayan analiz, elastik ötesi davranışta oluşan plastik şekil değiştirmenin plastik mafsallarda toplanması ilkesine dayanmaktadır.

Doğrusal olmayan artımsal analizde, belirli bir yük parametresinden sonra (adım adım ötelenmesiyle) sistemde yeteri kadar plastik mafsalların oluşmasıyla sistem mekanizma durumuna gelmektedir. Dolayısıyla sistemde ilk plastik mafsallara ulaşuncaya kadar sistem doğrusal-elastik davranış göstermektedir. Oluşan her plastik mafsallardaki

şekil değiştirme sınır durumları (performans seviyeleri) için SAP2000, ETABS, DRAIN-2DX, Ide-STATİK, STA4 gibi programlar tarafından adımlar oluşturulmaktadır ve bu programlar sayesinde analiz gerçekleştirilebilmektedir.

Doğrusal olmayan analiz için ATC-40 ve FEMA-273’de önerilen plastik mafsalsal şekil değiştirme özellikleri Şekil 2.7’de gösterilmektedir.



Şekil 2.7. Plastik mafsalların kuvvet-şekil değiştirme ilişkisi

- “A ve B” noktaları arasında sistem elemanı doğrusal davranış gösterir.
- “B” noktası; elastik davranışın sona erdiği plastik davranışın dolayısıyla da plastik şekil değiştirmelerin başladığı noktadır.
- “C” noktası, sistem elemanının taşıma gücü sınır durumunu belirtilmektedir.
- “D” noktasından sonra şekil değiştirmelerin artması durumları için eleman kesiti küçük değerler almaktadır.
- “E” noktası ise, sistem elemanı taşıma gücünü tamamen kaybetmektedir.

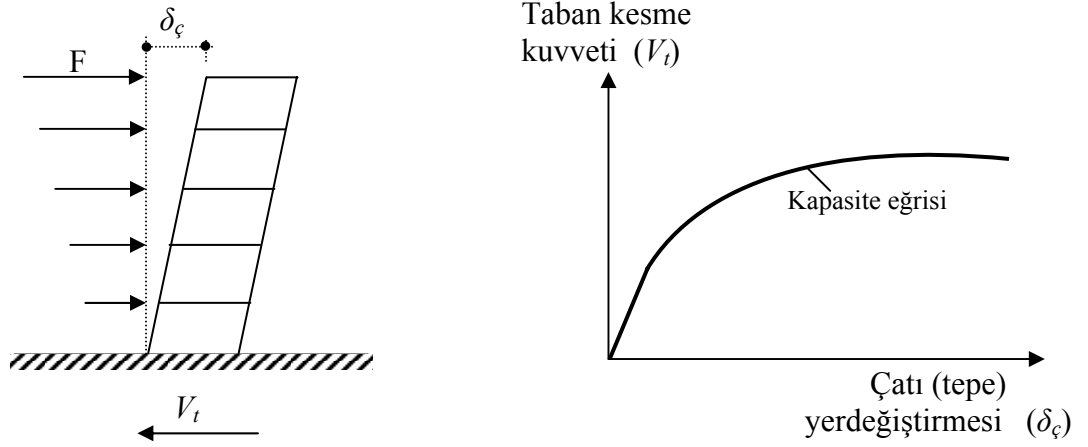
Günümüzde oluşturulan literatürlerde, yapıların doğrusal olmayan davranışını belirlemede yerdeğiştirmelere göre düzenlenip kullanılan üç temel doğrusal olmayan analiz yöntemi mevcuttur. Bu yöntemler, Kapasite Spektrumu Yöntemi (KSY), Deplasman Katsayısı Yöntemi (DKY) ve Sekant Yöntemidir. Bu yöntemlerden en yaygın olarak kullanılanları Kapasite Spektrumu Yöntemi ve Deplasman Katsayısı Yöntemi’dir. Bu çalışmada hem ATC-40 hem de Türk Deprem Yönetmeliği’nde belirtilenler ışığında Kapasite Spektrumu Yöntemi ile performansın belirlenmesi yoluna gidilecektir.

2.2.1.1. ATC-40'da Tanımlanan Kapasite Spektrumu Yöntemi

Kapasite Spektrumu Yöntemi, belirli bir deprem yer hareketi dolayısıyla binada oluşabilecek maksimum yerdeğiştirmeler ile binanın yatay yük taşıma kapasitelerinin birbirine bağımlı olduğu esasına dayanmaktadır. Deprem yüküne maruz kalan binada elastik olmayan deformasyonlar meydana gelir ki, bu deformasyonlar binanın sönümünü artırır ve buna bağılı olarak da artan sönümle beraber yerdeğiştirme talebini de azaltır. Kapasite spektrumu ve diğer doğrusal olmayan statik analiz yöntemlerinin daha anlaşılır olması bakımından bu yöntemin aşamalarını adım adım vererek izahını yapmak gerekir.

Kapasite spektrumu yöntemi, özel olarak, kapasite spektrumu (kapasite eğrisinden üretilen) ile elastik azaltılmış (indirgenmiş) istem spektrumunun (doğrusal olmayan davranış dikkate alınmak suretiyle düzeltilmiş) kesiştiği noktanın yani performans noktasının bulunmasıdır. Dolayısıyla kapasite spektrumu yönteminin ilk aşamasını kapasite eğrisini belirlemek, son aşaması ise performans noktasının belirlenmesidir. Bu aşamaları sırasıyla aşağıdaki gibi özetleyebiliriz.

a) Binanın Kapasite Eğrisinin Belirlenmesi : Doğrusal olmayan artımsal itme analizinin ilk aşaması binanın kapasite eğrisini elde etmektir. Binanın yatay yük taşıma kapasitesini ifade eden kapasite eğrisini elde edebilmek için bina, sabit düşey yükler ve artan yatay yükler altından, malzeme ve geometri değişimi bakımından doğrusal olmayan artımsal itme analizine göre hesaplanarak limit duruma ulaşıncaya kadar bu değişimler gözlenir. Bu değişimler sonucunda, düşeyde her yük değeri için tepki kuvvetleri olan toplam taban kesme kuvvetleri (V_t) ve yatayda da çatı (tepe) yerdeğiştirmelerinin (δ_c) kesişen noktalarının geometrik olarak birleştirilmesiyle elde edilen eğri kapasite eğrisidir. Bu eğriye pushover eğrisi de denilmektedir. Şekil 2.8'de kapasite eğrisinin elde edilmesi görülmektedir.



Şekil 2.8. Kapasite eğrisinin elde edilmesi

Binanın kapasite eğrisini oluşturmak için SAP2000, ETABS, Ide-STATİK, STA4, DRAIN-2DX gibi programlardan yararlanılabilir. Bu çalışmada SAP2000, STA4 ve Ide-STATİK programları kullanılarak kapasite eğrisinin belirlenmesi yoluna gidilmiştir.

Kapasite eğrisinin belirlenebilmesi için genellikle birinci mod dikkate alınarak işlem yapılmaktadır. Bu durum birinci modun, doğal titreşim periyodunun bir saniye yada daha az olduğu binalar için geçerlidir. Çünkü bu tür binalarda, daha yüksek modların binaya etkileri oldukça küçük olduğu için bu etkiler gözardı edilebilir. Ancak çok katlı ve daha sünek binalarda genellikle birinci modun doğal titreşim periyodu bir saniyeden fazladır. Doğal titreşim periyodunun büyük olması ve yüksek modların davranışa olan katkılarının da genelde büyük olmasına neden olur ve tasarım yapılırken bu etkilerin göz önüne alınması gerekliliği ortaya çıkar. Yüksek modlarda bina hem itilip hem çekilerek mod şekli devam ettirilir.

Binanın kapasite eğrisini belirleyebilmek için aşağıdaki yol izlenir:

- ✓ Katlara etkiyen yatay yükler kat kütle merkezlerine birinci mod şekliyle etkittirilir. Ağırlık yükü olan düşey yükler de göz önüne alınmalıdır. Farklı yapılar için uygulama çeşitleri aşağıdaki gibidir.
 - Uygulaması kolay tek katlı yapılarda yapının tepe noktasına yatay yük uygulanır.
 - Yapının her katına yatay yük uygulanır. (Çok katlı yapılarda) Bu yatay yük, deprem yönetmeliğindeki eşdeğer statik yatay yük hesabı gibi ağırlıklar ile orantılı olarak uygulanır.

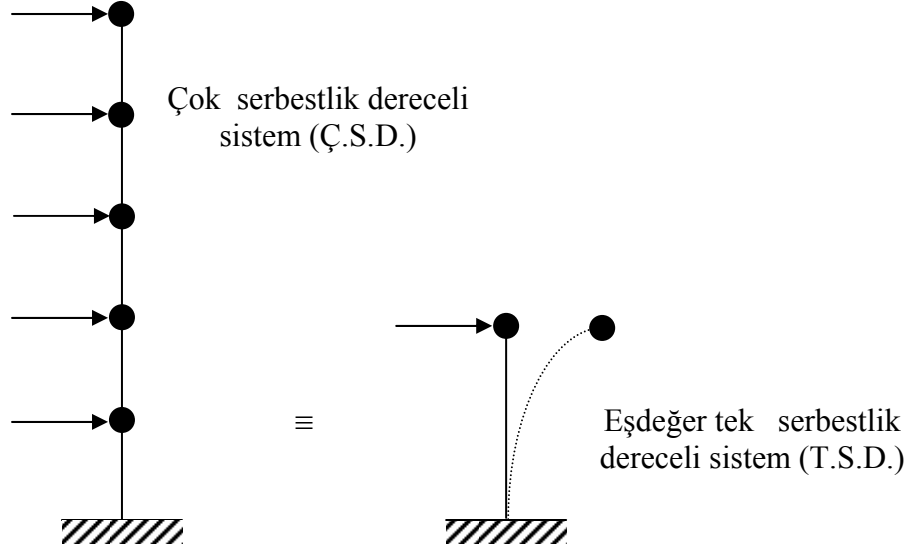
$$F_x = (W_x \cdot H_x / \sum W_x \cdot H_x) \cdot V \quad \dots \dots \dots (2.6)$$

- Yapının kütle merkezlerine yatay yük uygulanır. Periyodu bir saniyeye kadar olan yapılar için kapasite eğrisi birinci mod şekline uygulanır. Bu çalışmada bu model kullanılmıştır ve yapı sistemi, kütle merkezlerine etkittirilen yatay yük ile oluşturulmuştur.

$$F_x = (W_x \cdot \Phi_x / \Sigma W_x \cdot \Phi_x) \cdot V \dots\dots\dots (2.7)$$

- Bu modeldeki yapılar birinci mafsall oluşumuna kadar üçüncü model yapılar gibidir. Ancak birinci mafsall oluşumundan hemen sonra oluşan her artış için kuvvetler deforme olmuş şekle göre ayarlanmalıdır. Zayıf kat oluşumu bu modele örnek teşkil eder.
 - 3. ve 4. modeller ile aynıdır. Fakat yüksek mod şekillerinin de göz önüne alınmasıyla diğerlerinden ayrılan bir modeldir. Yüksek mod şekillerinin etkileri “Yüksek modlu artımsal itme analizi” ile belirlenir.
- ✓ Eleman kuvvetlerinin belirlenebilmesi için yatay ve düşey yüklere göre gerekli hesaplamalar yapılır.
 - ✓ Çoğu binalar için 1. ve 2. modda yeterli olmasına rağmen bazı eleman veya eleman grupları için yatay kuvvet değeri, eleman dayanımının %10’u alınarak belirlenir.
 - ✓ Performans kontrolünün yapılabilmesi için gerekli olan çatı (tepe) yerdeğiştirmesi, taban kesme kuvveti, eleman kuvvetleri kaydedilir.
 - ✓ Mafsallaşan elemanlarda rijitlik sıfır alınıp, model için hesaplamalar tekrar edilir.
 - ✓ Başka bir eleman veya eleman grubunda akma oluşuncaya (plastik mafsall oluşuncaya) kadar yatay yükün artırılarak yükleme yapılmasına devam edilir.
 - ✓ Daha önceden belirlenen son limit değere ulaşınca kadar 5. ve 6. maddedeki işlemler tekrarlanmak suretiyle uygulamaya devam edilir. Yani yük ve yerdeğiştirmeler birbirinden çok fazla farklılık gösteren düzensiz bir duruma geldiğinde bina eleman ve eleman grupları tamamıyla yıkılmaya başlıyor ve yatay yük yanında düşey yük taşıma kapasitesini de kaybediyor demektir. Bu durum artımsal itme işleminin bitmesi demektir.

b) Kapasite Eğrisinin Kapasite Spektrumuna Dönüştürülmesi : Çok serbestlik dereceli sistemin eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemle ilişkili olduğu varsayımına dayanarak ve kapasite eğrisi istem (talep) spektrumu ile karşılaştırılacağı için spektral formata dönüştürülmektedir. Yani taban kesme kuvveti (V_t) – çatı (tepe) yerdeğiştirmesi (δ_c) formatındaki kapasite eğrisi spektral ivme (S_a) – spektral yerdeğiştirme (S_d) formatına dönüştürülür. Ancak, talep spektrumu tek serbestlik dereceli sisteme ait olduğu için, çok serbestlik dereceli sisteme ait kapasite eğrisinin eşdeğer tek serbestlik dereceli sisteme dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu durum Şekil 2.9’da izah edilmektedir. Bu işlem, birinci doğal moda ait kütle katsayısı (α_1) ve modal katılım çarpanı (PF_1) kullanılarak yapılabilmektedir. Bu dönüştürme işlemi için aşağıdaki denklemlerden yararlanılır.



Şekil 2.9. Ç.S.D. Sistemin eşdeğer T.S.D. Sisteme dönüştürülmesi

$$\alpha_1 = \frac{\left[\sum_{i=1}^N (W_i \cdot \phi_i / g) \right]^2}{\sum_{i=1}^N (W_i / g) \left[\sum_{i=1}^N (W_i \cdot \phi_i^2) / g \right]} \quad \dots \dots \dots (2.8)$$

$$PF_1 = \frac{\sum_{i=1}^N (W_i \cdot \phi_i) / g}{\sum_{i=1}^N (W_i \cdot \phi_i) / g} \quad \dots \dots \dots (2.9)$$

Buradaki;

α_1 : 1. moda ait modal kütle katsayısı (birimsiz)

PF_1 : 1. moda ait modal kütle çarpanı (birimsiz)

ϕ_{i_1} : 1. modun i. kattaki genliği

m_i : i. kattaki kütle (W_i/g)

N : kat adetini belirtmektedir.

$$S_a = \frac{V_t / g}{\alpha_1} \dots\dots\dots(2.10)$$

$$S_d = \frac{\delta_\zeta}{PF_1 \cdot \phi_{1epe_1}} \dots\dots\dots(2.11)$$

Buradaki;

S_a : spektral ivme (m/sn^2)

S_d : spektral yerdeğiştirme (m)

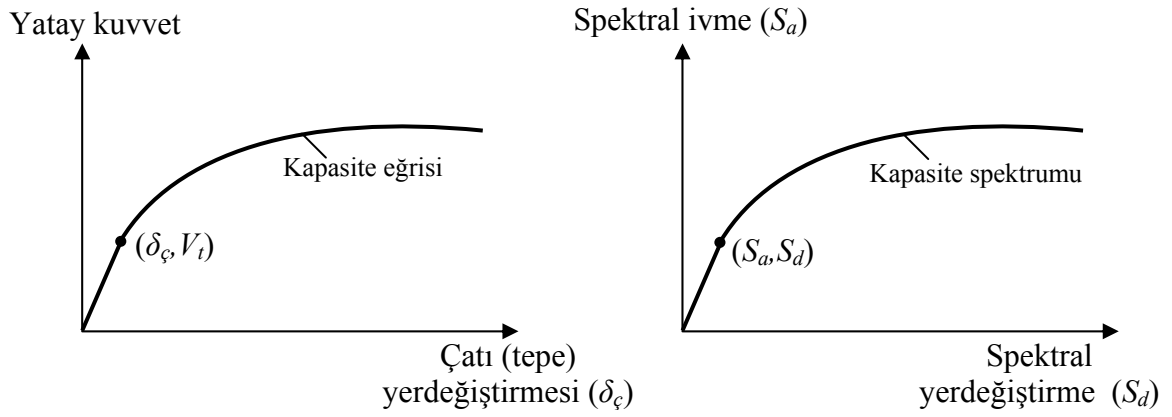
V_t : taban kesme kuvveti (toplam yatay deprem yükü)

δ_ζ : çatı (tepe) yerdeğiştirme değeri

W : toplam bina ağırlığı

δ_{1epe_1} : çatı seviyesindeki 1. moddaki genliği ifade etmektedir.

Bir binaya etkiyen taban kesme kuvveti (V_t) ile en üst katın yani çatının yerdeğiştirmesi (δ_ζ) arasındaki mevcut olan ilişki yukarıdaki bağıntılar kullanılmak suretiyle spektral ivme (S_a) ve spektral yerdeğiştirme (S_d) düzleminde bir spektrum eğrisine dönüştürülür. Şekil 2.10'da kapasite eğrisinin kapasite spektrumuna dönüştürülmesi grafiksel olarak gösterilmiştir.

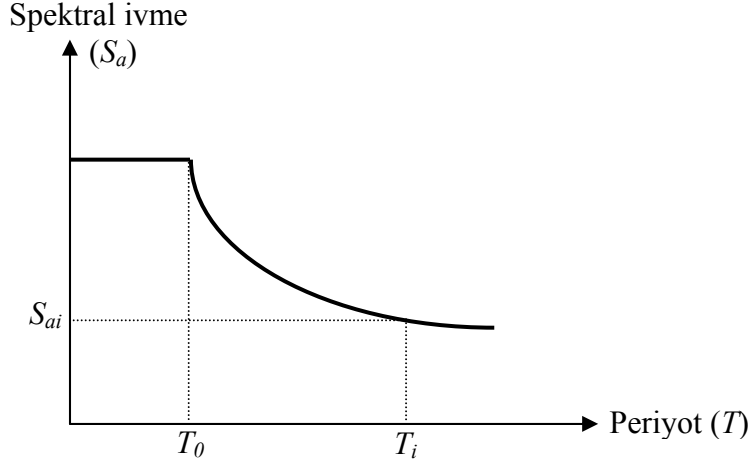


Şekil 2.10. Kapasite eğrisinin kapasite spektrumuna dönüştürülmesi

c) İstem (talep) Spektrumunun Belirlenmesi : Belirli bir bina ve binaya etkiyen deprem yer hareketi için yerdeğiştirme istemi, deprem esnasında binanın beklenen maksimum davranışının bir tahminidir. Deprem yüklerine maruz kalan bina, elastik olmayan şekil değiştirmeler (deformasyonlar) nedeniyle sünekliğin artması nedeniyle rijitlik azalır. Rijitliği azaldıkça da doğal titreşim periyodu ve sönümü artar.

Betonarme bir binanın tasarımında kullanılacak olan performans amacının belirlenmesi ne kadar önemli ise, binaya etkiyen belirli bir deprem etkisi altında beklenen maksimum yerdeğiştirmenin saptanması da o denli önemlidir. Bu nedenle istem spektrumunun bulunması da maksimum yerdeğiştirmenin belirlenmesi açısından çok önemlidir.

İstem spektrum eğrilerinin oluşturulmasında, düşeyde spektral ivme (S_a) ve yatayda tek serbestlik dereceli sistemin periyodu (T) bulunur ve genel istem spektrumunun grafiksel görünümü Şekil 2.11'deki gibidir. Deprem yönetmeliklerinde kullanılan elastik deprem spektrumunun gösterimi Şekil 2.3'de daha önceden grafiksel olarak izah edilmiştir.



Şekil 2.11. Genel istem spektrumu

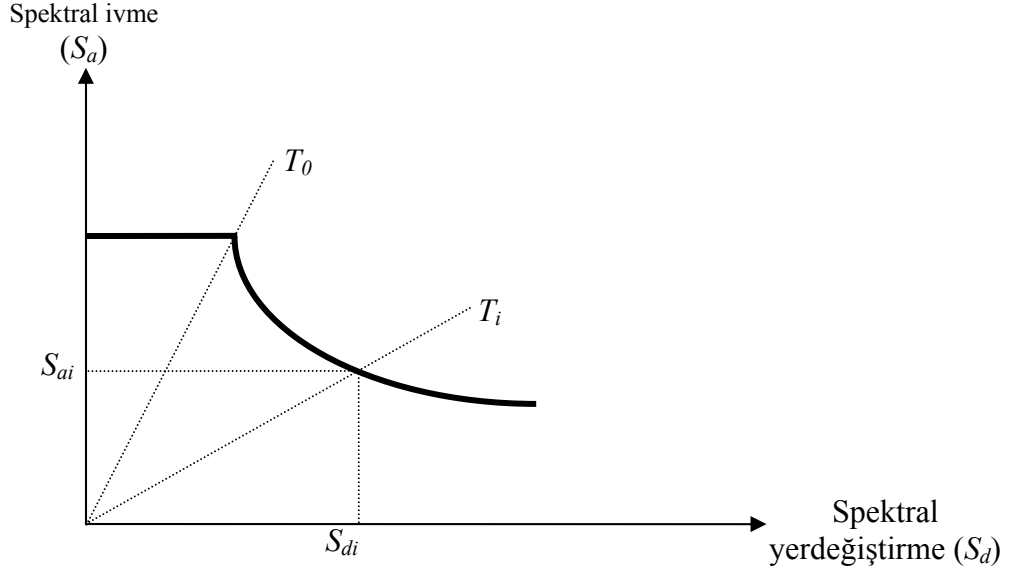
d) İstem (talep) Spektrumunun İvme-Yerdeğiştirme Formatına Dönüştürülmesi : İstem spektrumunun ivme-yerdeğiştirme formatına dönüştürülmesinden kasıt, kapasite spektrumu ile talep spektrumunun aynı diyagram üzerinde karşılaştırılabilmesini sağlamak içindir. Nitekim bunun için ATC-40’da ADRS formatı ibaresi yer almaktadır. Bu ifade; ivme-yerdeğiştirme istem spektrumu ifadesinin ingilizce yazılımını ifade eden baş harflerinden oluşturulmuştur (Acceleration Displacement Respanse Spectra). Daha önce açıklandığı gibi (Şekil 2.11) istem spektrumu grafiğinde; dikey ekseninde spektral ivme ve yatay ekseninde periyot bulunmaktadır. Halbuki kapasite eğrisinden elde edilen ivme-yerdeğiştirme formatındaki kapasite spektrumunda; dikey ekseninde spektral ivme ve yatay ekseninde ise spektral yerdeğiştirme mevcuttur. İstem spektrumunun yatay ekseninde spektral yerdeğiştirmeyi vermesi için aşağıdaki denklemler yardımıyla dönüştürülmeleri gerekir.

$$S_d = \frac{S_a}{\omega^2} = \frac{S_a T^2}{4\pi^2} \dots\dots\dots(2.12)$$

Genel istem spektrumunda; “ T_i ” periyodundaki spektral ivme ve spektral yerdeğiştirmeler aşağıdaki denklemlerle hesaplanabilmektedir. Nitekim istem spektrumu sabit spektral bir ivme oranını ve sabit bir ikincil spektral hız oranlarını içermektedir.

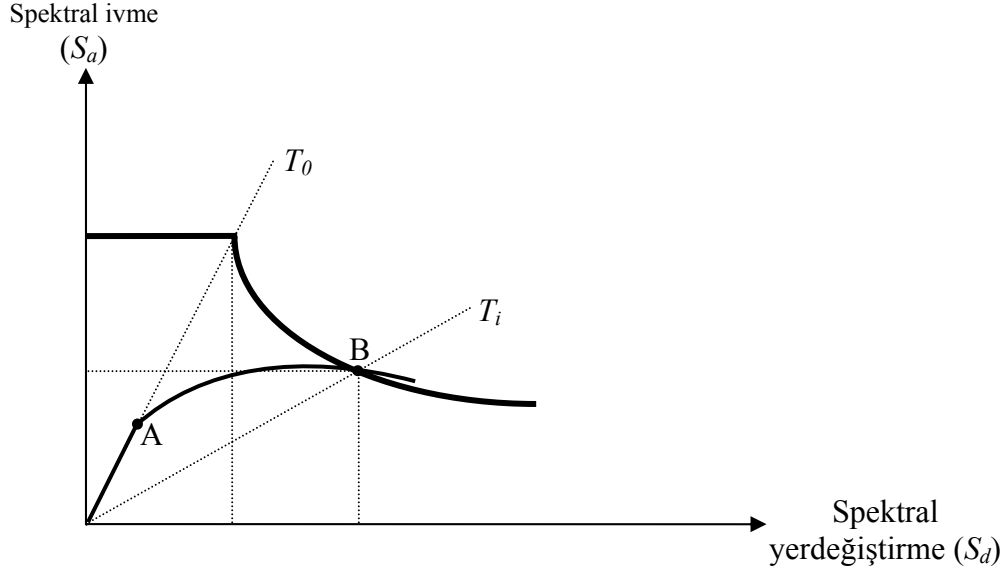
$$S_a = \frac{2\pi \cdot S_v}{T_i} \dots\dots\dots(2.13)$$

Bu denklemler yardımıyla ivme-yerdeğiştirme (ADRS) formatına dönüştürülen istem spektrumu Şekil 2.12’deki gibidir.



Şekil 2.12. İstem spektrumunun ivme-yerdeğiştirme formatına dönüştürülmesi

İvme-yerdeğiştirme formatında istem spektrumunun elde edilmesiyle kapasite spektrumu ve istem spektrumu aynı diyagram üzerinde gösterilebilir. Bu durum Şekil 2.13'de ifade edilmektedir.



Şekil 2.13. Kapasite spektrumunun istem spektrumu ile kullanımı

Yukarıdaki Şekil 2.13'den de görüldüğü gibi kapasite spektrumu izlendiğinde A noktasına kadar periyodun sabit olduğu yani sistemin elastik davranış gösterdiği görülebilir. Kapasite spektrumunda B noktasına ulaşıldığında ise hasarın ortaya çıkması ve rijitliğin azalması ile binanın periyodu uzayarak " T_i " değerini almaktadır. Böylece A

noktasından sonra binanın elastik davranışı bırakıp, elastik ötesi bir davranış yaptığını görebiliriz.

e) İvme-Yerdeğiştirme Formatındaki İstem Spektrumunun Azaltılması : İvme-Yerdeğiştirme formatına ($S_a - S_d$) dönüştürülen elastik istem spektrumunun, binanın doğrusal olmayan davranışını dikkate almak üzere indirgenmesi (azaltılması) gerekmektedir. Yönetmeliklerde verilen ve doğrusal olmayan artımsal itme analiz yönteminde öngörülen ivme-yerdeğiştirme formatındaki istem spektrumu %5'lik bir viskoz sönüm içermektedir. Ancak deprem etkisi altındaki binada elastik olmayan ve çevrimsel bir enerji tüketimi olur. Çünkü elastik davranışın aşılması durumunda şekil değiştirmelerden dolayı çevrimsel bir değişim ortaya çıkmaktadır. İstem spektrumu eğrisi içinde kalan alan çevrimsel sönüm ile orantılıdır ve Şekil 2.14'deki gibidir.

ATC-40'da, elastik talep spektrumunu azaltmak (indirgemek) için üç farklı yöntem önerilmiştir ve A, B, C yöntemleri olarak adlandırılmıştır. Bu yöntemlerden A ve B yöntemleri analitik yani işleme dayalı, C yöntemi ise grafiksel bir uygulamadır.

Yöntemler arasında en açık, anlaşılır ve metodun doğrudan uygulanabilmesiyle en yaygın olarak kullanılan Yöntem A'dır. Yöntem A'da formüllendirilmiş esaslar kolaylıkla bilgisayar programlarına adapte edilebilir.

a) Yöntem A : ATC-40'da 3 yapı tipi tanımlanmıştır. Bu yapı tipleri, taşıyıcı elemanların durumuna (kalitesine) ve deprem esnasında oluşan yer hareketinin süresine bağlı olarak belirlenir ve Tablo 2.15'deki gibidir.

Tablo 2.15. Yapısal davranış tipleri (ATC-40)

Sarsılma süresi	Taşıyıcı elemanların durumu		
	Yeni binalar	Orta yaşlı binalar	Yaşlı binalar
Kısa	A Tipi	B Tipi	C Tipi
Uzun	B Tipi	C Tipi	“

Yine ATC-40'da sarsılma süresi, binanın deprem yer hareketi kaynağına olan uzaklığına, zemin cinsine ve depremin büyüklüğüne bağlı olarak açıklanmıştır. Buna göre, esas olarak deprem yer hareketi kaynağına yakın bölgelerde kısa sarsılma süresi, aksi durumlarda ise uzun sarsılma süresi olacağı tahmin edilebilir.

Tablo 2.15’de binalar taşıyıcı elemanların durumuna göre üç gruba ayrılmıştır. Buradaki yeni binalar kavramı, kullanımdaki yönetmeliğe göre tasarlanmış ve taşıyıcı sistem elemanlarının yatay yük altındaki davranışları bilinen yeni binaları tanımlamaktadır. Yaşlı binalar kavramı, taşıyıcı sistem elemanlarının yatay yük altındaki davranışları bilinmeyen ve iyi durumda olmayan eski binaları tanımlamaktadır. Orta yaşlı binalar kavramı ise, diğer iki kavram dışında kalan durumları ve güçlendirilmiş binaları kapsamaktadır.

İstem spektrumunun azaltılması işleminde elastik ötesi davranışı temsil etmek için bir sönüm tahmini yapılır. Bu tahmin edilen sönüme etkili sönüm oranı (β_{eff}) adı verilmektedir. Eşdeğer viskoz sönüm ile temsil edilen histerik sönüm (β_0) ile etkili sönüm oranı (β_{eff}) arasındaki ilişki aşağıdaki denklemler yardımıyla yaklaşık olarak belirlenebilir.

$$\beta_0 = \frac{E_D}{E_{S_0} \cdot 4\pi} \dots\dots\dots(2.14)$$

$$\beta_{eff} = 0,05 + \kappa \cdot \beta_0 \dots\dots\dots(2.15)$$

Bu denklemlerde ;

κ : Sönüm katsayısı (Kapasite diyagramının şekline bağlı olarak bulunan düzeltme)

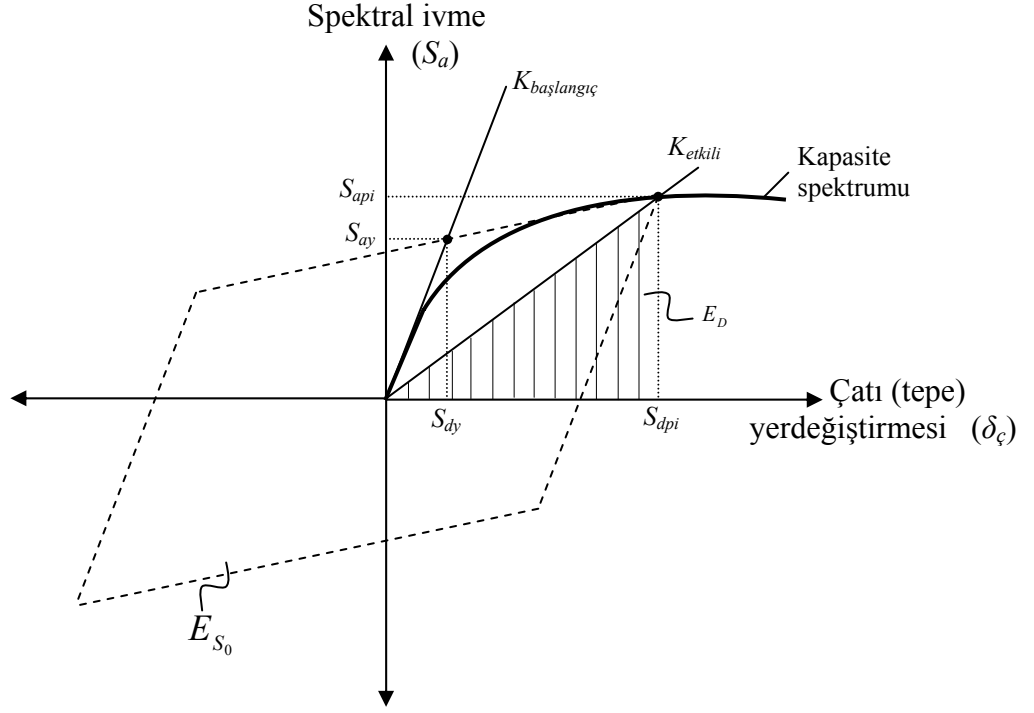
β_{eff} : Etkili sönüm oranı

β_0 : Eşdeğer viskoz sönümü temsil eden histerik sönüm

E_D : Bir çevrimde sönümle tüketilen enerji olup çevrim içi alana eşittir

E_{S_0} : Maksimum şekil değiştirme enerjisi yani taralı alanın tümü

Binaya etkiyen deprem yer hareketi binayı elastik ötesi davranış yapmaya zorladığından binada oluşacak sönüm, viskoz sönüm ile histerik (çevrimsel) sönümün bir kombinasyonu olarak düşünülür. Histerik sönüm; taban kesme kuvveti ve bina yerdeğiştirmesi diyagramının (kapasite eğrisi) çizilmesi sırasında oluşan çevrimlerin içinde kalan alan ile ilgili bir değerdir.

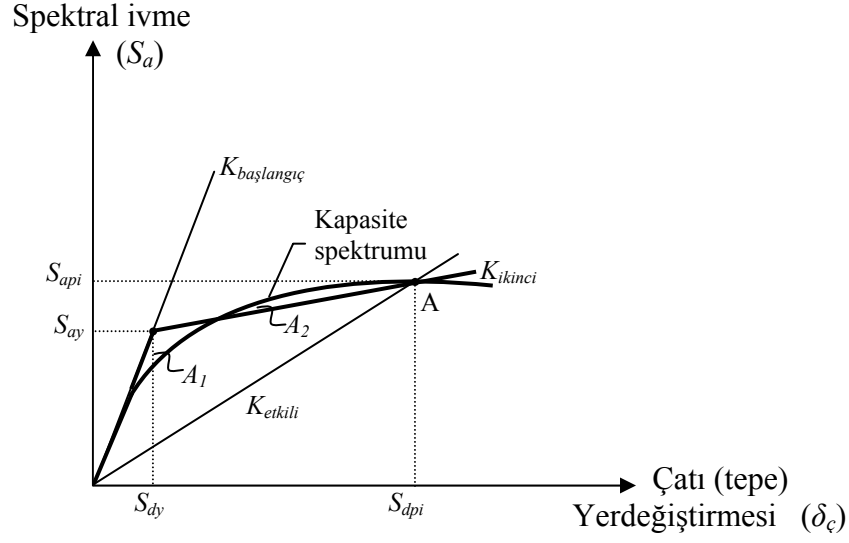


Şekil 2.14. İstem spektrumunun azaltılması için sönümün elde edilmesi

Eşdeğer (histerik) sönümün belirlenebilmesi için (2.14) denkleminde de görülebileceği gibi E_D ve E_{S_0} 'ın belirlenmesi gerekmektedir. Bu değerlerin belirlenebilmesi için geometrik bağıntılarından yararlanılarak hesaplanmaları gerekir. Bu işlem kalabalığından kurtulmak için eşdeğer sönümü doğrudan veren denklem aşağıdaki gibidir.

$$\beta_0 = \frac{2 \cdot (\mu - 1) \cdot (1 - \alpha)}{\pi \cdot \mu \cdot (1 + \alpha \mu - \alpha)} \dots \dots \dots (2.16)$$

Bu denklemde belirtilen sönüm oranı (μ) ve eğim (α)'in binanın elde edilen kapasite spektrumundan hesaplanabilmesi için kırıklı hale getirilmesi gerekmektedir. Kapasite spektrumunun kırıklı hale getirilmesi Şekil 2.15'de gösterilmektedir.



Şekil 2.15. Kapasite spektrumunun kırıklı hale getirilmesi

Kapasite spektrumunu kırıklı hale getirmek için orjinden başlayarak elastik bölge dikkate alınarak K başlangıç doğrusu çizilir. Daha sonra belirlenen $S_{a_{pi}}$ ve $S_{d_{pi}}$ değerlerinin birleşimi olan A noktasından elastik ötesi davranış eğrisini iki eşit alana (A_1 ve A_2) bölen ikinci bir doğru, başlangıç doğrusunu kesecek şekilde çizeriz. Bunun nedeni, ikiye bölünen eğrinin eşit enerji sönümlenmiş olduğunu göstermektir. Başlangıç doğrusunun ikinci doğru ile kesilmesiyle oluşan noktamız, düşeyde S_{d_y} ve yatayda $S_{a_{pi}}$ değerlerine karşılık gelmektedir. Yani Şekil 2.14'deki histerik sönümdeki paralel kenarın dörtte birlik kısmı böylelikle oluşturulmuş ve histerik sönüm idealleştirilmiş olur. Burada;

S_{d_y} : Doğrusal elastik davranış sınırındaki spektral yerdeğiştirme

S_{a_y} : Doğrusal elastik davranış sınırındaki spektral ivme

$S_{d_{pi}}$: Hedeflenen performans seviyesindeki spektral yerdeğiştirme

$S_{a_{pi}}$: Hedeflenen performans seviyesindeki spektral ivme değerlerini

göstermektedir. Şekil 2.15'e göre eğim ve sönüm oranını bulabiliriz.

$$\alpha = \frac{S_{a_{pi}} - S_{a_y}}{S_{d_{pi}} - S_{d_y}} \cdot \frac{S_{d_y}}{S_{a_y}} \dots \dots \dots (2.17)$$

$$\mu = \frac{S_{d_{pi}}}{S_{d_y}} \dots\dots\dots(2.18)$$

Binanın beklenen yerdeğiştirmesinin belirlenebilmesi için sönüm ile doğrudan etkileşim içinde olan binanın eşdeğer periyodunun da hesaplanması gerekmektedir. Aşağıda bu bağıntı verilmektedir.

$$T_{es} = T_n \cdot \sqrt{\frac{\mu}{1 + \alpha\mu - \alpha}} \dots\dots\dots(2.19)$$

Burada ; T_n : Binanın doğal periyodunu temsil eder.

(3.11) denkleminde eşdeğer sönümün belirlenebilmesi için (2.17) ve (2.18)'de bulunan α ve μ değerlerinin (2.16) denkleminde yerine yazılması gerekir. Nitekim bu değerler kırıklı hale getirilen kapasite spektrumu diyagramı üzerinden kolayca bulunabilir. α ve μ değerleri (2.16) denkleminde yerine yazılıp gerekli işlemler yapılırsa spektral ivme ve spektral yerdeğiştirmeye bağılı olarak eşdeğer sönümü aşağıdaki denklem yardımıyla bulabiliriz.

$$\beta_0 = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{S_{a_y} \cdot S_{d_{pi}} - S_{a_{pi}} \cdot S_{d_y}}{S_{a_{pi}} \cdot S_{d_{pi}}} \dots\dots\dots(2.20)$$

Gerçekte histerik çevrim Şekil 2.14'deki gibi düz değildir. Bununla beraber hesaplarda kolaylık sağlanması bakımından idealize edilmiştir. Öyle ki gerçekte çevrim içindeki alan daha küçüktür. Bu idealleştirmeden dolayı gerçek davranışa yaklaşık değer alınması için (2.15) denkleminde (2.20)'de bulunduğumuz eşdeğer sönüm (β_0) değerini yerine yazarsak ve gerekli işlemleri yaparsak etkili sönüm oranını aşağıdaki gibi yazabiliriz.

$$\beta_{eff} = 0,05 + \kappa \cdot 0,637 \cdot \beta_0 \dots\dots\dots(2.21)$$

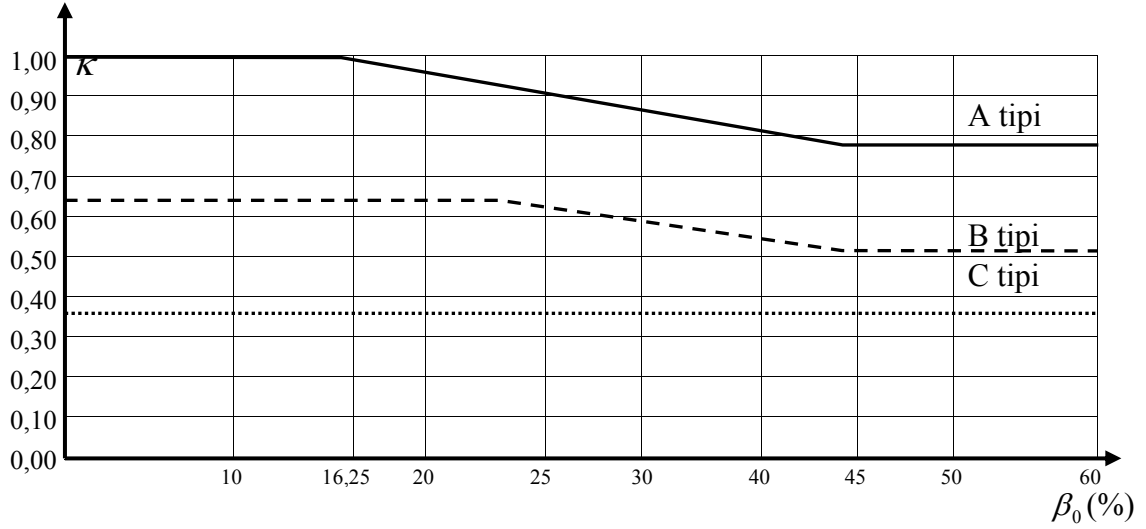
Daha öncede belirtildiği gibi eşdeğer (histerik) viskoz sönümün belirlenmesinde kullanılan paralel kenarın (Şekil 2.14) gerçek binalarda farklı olabileceği düşüncesiyle farklı yapı tipleri ve eşdeğer sönüm için K düzeltme katsayıları tanımlanmış ve ATC-40'da

izah edilmiştir. ATC-40'da belirtilen bu sönüm düzeltme katsayıları Tablo 2.16'da verilmektedir.

Tablo 2.16. Düzeltme katsayıları (ATC-40)

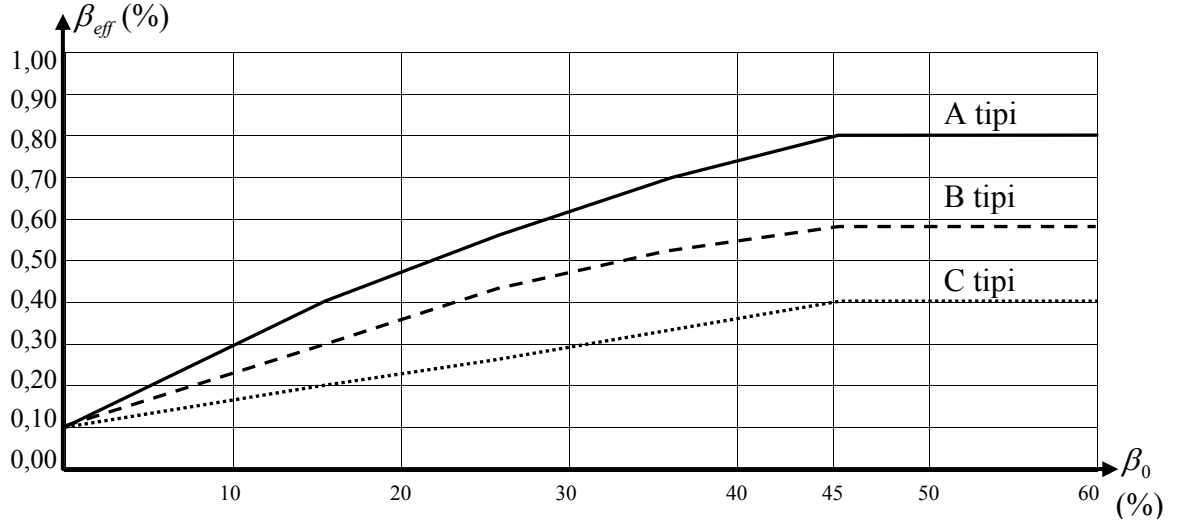
Yapısal Davranış Tipi	Eşdeğer sönüm β_o (%)	Düzeltilme katsayısı, κ
A	$\leq 16,25$	1,0
	$> 16,25$	$1,13 - \frac{0,51.(S_{a_y} \cdot S_{d_{pi}} - S_{a_{pi}} \cdot S_{d_y})}{S_{a_{pi}} \cdot S_{d_{pi}}}$
B	≤ 25	0,67
	> 25	$0,845 - \frac{0,446.(S_{a_y} \cdot S_{d_{pi}} - S_{a_{pi}} \cdot S_{d_y})}{S_{a_{pi}} \cdot S_{d_{pi}}}$
C	-	0,33

Yapı davranış tipleri ve eşdeğer sönüme göre belirlenen düzeltme katsayıları (κ)'nın değişim grafikleri Şekil 2.16'daki gibidir.



Şekil 2.16. Yapı davranış türleri A,B,C için κ düzeltme katsayıları

Yapı davranış tiplerine göre belirlenen düzeltme katsayıları (κ) ve eşdeğer sönüme göre etkin sönüm (β_{eff})'ün değişimi Şekil 2.17'de verilmektedir.



Şekil 2.17. Yapı davranış türleri A,B,C için β_{eff} 'ün β_0 ile değişimi

Binanın yapım kalitesinin düşük olmasından dolayı çevrimsel döngünün tam oluşmadığı binalarda düzeltme katsayısı (κ) düşük bir katsayı olarak karşımıza çıkar. Tablo 2.15 ve Tablo 2.16'nın birlikte incelenmesinden, yeni binalarda sönüm çevrimi (histerik) döngüsü iyi biçimde oluşacağı için düzeltme katsayısı da büyük bunun tersi durumdaki eski binalarda ise küçük olacaktır. Yani yeni binalarda sönümle yutulan enerji fazla, eski binalarda ise azdır. Ayrıca deprem süresinin uzun olması düzeltme katsayısının düşük olmasına, tersi durum ise düzeltme katsayısı (κ)'nın büyük olmasına neden olur. Yani yine bir değişim söz konusudur ve bu değişim Tablo 2.16'dan görülebilir.

Doğrusal olmayan davranışın göz önüne alınan istem spektrumunun azaltılabilmesi için etkin sönüm (β_{eff}) değerlerine bağlı olarak tanımlanan " SR_A ve SR_V " azaltma katsayılarının bilinmesi gerekmektedir. Bu katsayıların belirlenmesinde ise, deprem etkisine bağlı olarak oluşabilecek sönüm ve yapı davranış türü rol oynar. Bu azaltma katsayıları eşdeğer sönüm oranı (β_0) değerlerinin kullanılmasıyla ve etkin sönüm oranının da (2.21) bağıntısıyla bulunup (2.22) ve (2.23)'de yerine konur ve SR_A , SR_V azaltma katsayıları değerleri bulunur. Bu değerler Tablo 2.17'de gösterilmektedir. SR_A , ivme değerleri için spektral azaltma katsayısıdır. SR_V ise, hız değerleri için spektral azaltma katsayısıdır.

$$SR_A = \frac{3,21 - 0,68 \cdot \ln(\beta_{eff})}{2,12} \dots\dots\dots(2.22)$$

$$SR_V = \frac{2,31 - 0,41 \cdot \ln(\beta_{eff})}{1,65} \dots\dots\dots(2.23)$$

Tablo 2.17. SR_A ve SR_V değerleri (ATC-40)

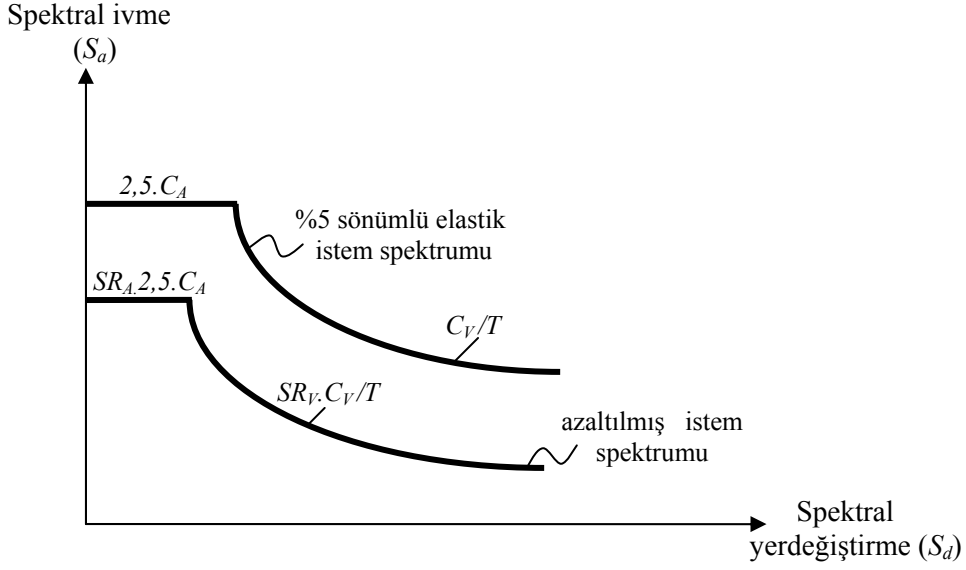
β_o (%)	Yapı Davranış Türü								
	A Tipi			B Tipi			C Tipi		
	β_{eff} (%)	SR_A	SR_V	β_{eff} (%)	SR_A	SR_V	β_{eff} (%)	SR_A	SR_V
0	5	1,00	1,00	5	1,00	1,00	5	1,00	1,00
5	10	0,78	0,83	8	0,83	0,87	7	0,91	0,93
15	20	0,55	0,66	15	0,64	0,73	10	0,78	0,83
25	28	0,44	0,57	22	0,53	0,63	13	0,69	0,76
35	35	0,38	0,52	26	0,47	0,59	17	0,61	0,70
≥ 45	40	0,33	0,50	29	0,44	0,56	20	0,56	0,67

Bulunan SR_A ve SR_V azaltma katsayılarının yapı davranış tiplerine göre belli değerlerden az olmama koşulunu ATC-40 getirmiştir. Tablo 2.17'deki değerlerden daha küçük değerler çıkması halinde SR_A veya SR_V değeri olarak Tablo 2.18'deki herhangi yapı davranış tipine karşılık gelen minimum değerlerden biri alınır. Bu minimum değerlerin gösterimi aşağıdaki gibidir.

Tablo 2.18. Minimum SR_A ve SR_V değerleri (ATC-40)

Yapısal Davranış Tipleri	SR_A	SR_V
A Tipi	0,33	0,50
B Tipi	0,44	0,56
C Tipi	0,56	0,67

SR_A ve SR_V azaltma katsayılarının belirlenmesiyle artık istem spektrumunun azaltılması gerçekleştirilebilir. İstem spektrumunun azaltılması işlemi, daha önceki konularda verilen genel istem spektrumu diyagramı üzerinde göstermek azalmanın anlaşılabilir olması bakımından iyi bir seçenektir. Şekil 2.18'de istem spektrumunun azaltılması tek bir şekil üzerinde açıklanmıştır.



Şekil 2.18. Genel istem spektrumunun azaltılması

Genelleştirme olması bakımından A, B ve C yapısal davranış tipleri için farklı istem spektrumlarını (belli değerler için) bir grafik altında toplarsak eğer, Şekil 2.19'daki gibi bir grafik karşımıza çıkar. Burada;

Zemin tipi $\rightarrow S_B$

$ZEN = 0,4$

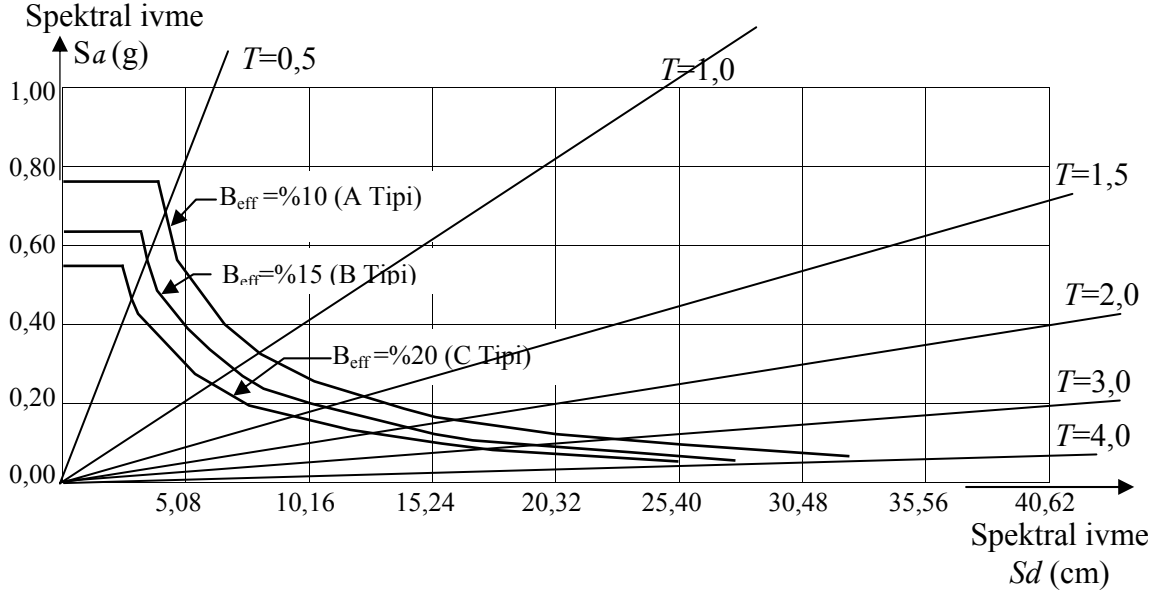
$C_A = 0,4$

$C_V = 0,4$

$\beta_o = 0.15$ değerleri kullanılmıştır.

b) Yöntem B : Kapasite eğrisinin iki doğrultuda modellenmesine imkan sunan basit bir yöntemdir. Performans noktasının gerçek yeri küçük iterasyonlar yapılarak bulunur. Yöntem B de tıpkı Yöntem A gibi analitik (işlemsel) bir yöntemdir. Dolayısıyla gerekli formülasyonlarla bilgisayar ortamına adapte edilebilir. Bu yöntemin uygulanması, ilk yönteme göre daha az anlaşılır olabilir.

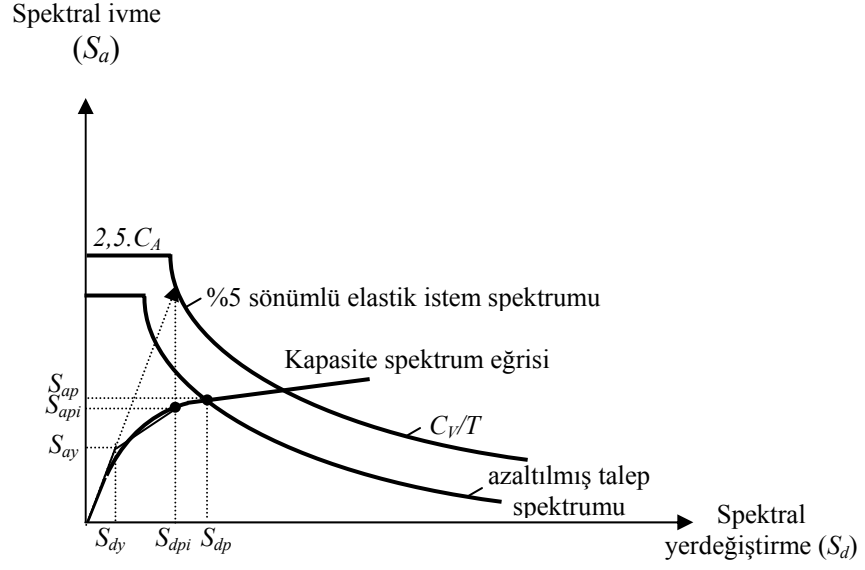
c) Yöntem C : Bu yöntem, performans noktasını bulmak için kullanılan zayıf bir grafiksel yöntemdir. Eğer el ile analiz yapılmak isteniyorsa bu yöntem en uygun olanıdır. Buna rağmen anlaşılması zor ve bilgisayar ortamına tam olarak adapte edilmesi mümkün değildir.



Şekil 2.19. A, B ve C yapısal davranış tipleri için istem spektrumları

f) Kapasite ve İstem Spektrumunun Kesiştirilmesi : Kapasite spektrum eğrisi ile istem spektrum eğrisinin aynı diyagram üzerinde gösterilmesiyle binanın performans noktası bulunabilir. Binanın deprem etkisi altındaki davranışını kapasite spektrum eğrisinin temsil ettiği daha önce belirtilmiştir. Başlangıçta elastik bölgede doğrular sabit olmasına rağmen, yüklemenin artmasıyla elastik bölgeden elastik olmayan bölgeye geçilecek ve burada plastik şekil değiştirmeler meydana gelir. Bu durumda rijitlik azalmış ve periyot da artmıştır.

Kapasite spektrum eğrisi üzerinde ilerlerken rijitlik azalacağından sönüm artmaktadır. Kapasite spektrumunda sönüm, elastik davranışın sona erdiği noktanın koordinatları yanında aranılan performans noktasının koordinatlarına da bağlıdır. Bu durum Şekil 2.14'de gösterilmiştir. Bu artan sönüme bağlı olarak istem spektrumu azaltılır (indirgenir) ve kapasite spektrumu bu azaltılmış istem spektrumu ile karşılaştırılır. Bu durum Şekil 2.20'deki gibidir.

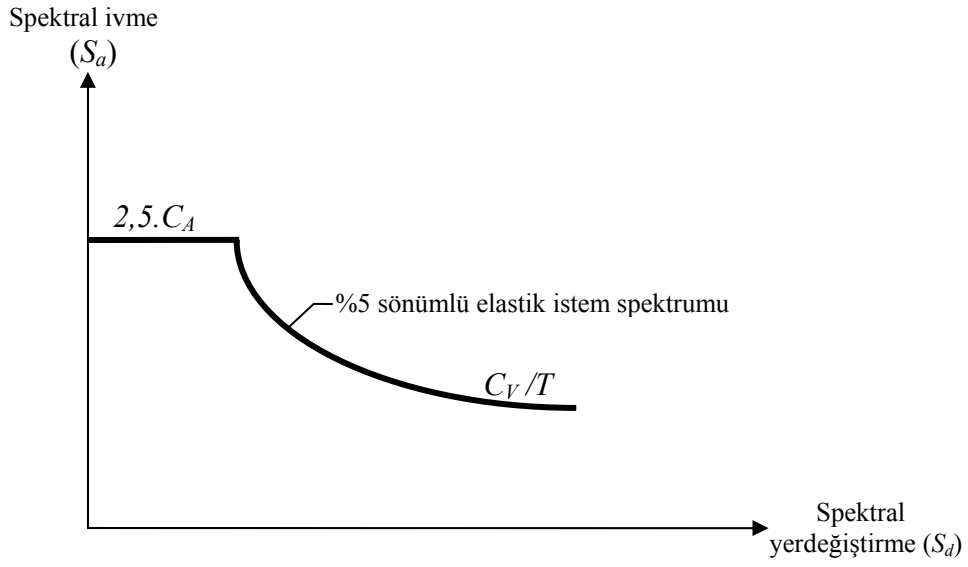


Şekil 2.20. Kapasite ve istem spektrumunun kesiştirilmesi

Azaltılmış istem spektrumu ve kapasite spektrumunun çakıştırılmasıyla binanın performans noktası belirlenerek binanın ne tür depremde nasıl bir hasar görebileceği, depremden sonra kalan ek kapasite miktarlar ile de performans seviyeler tanımlanabilir.

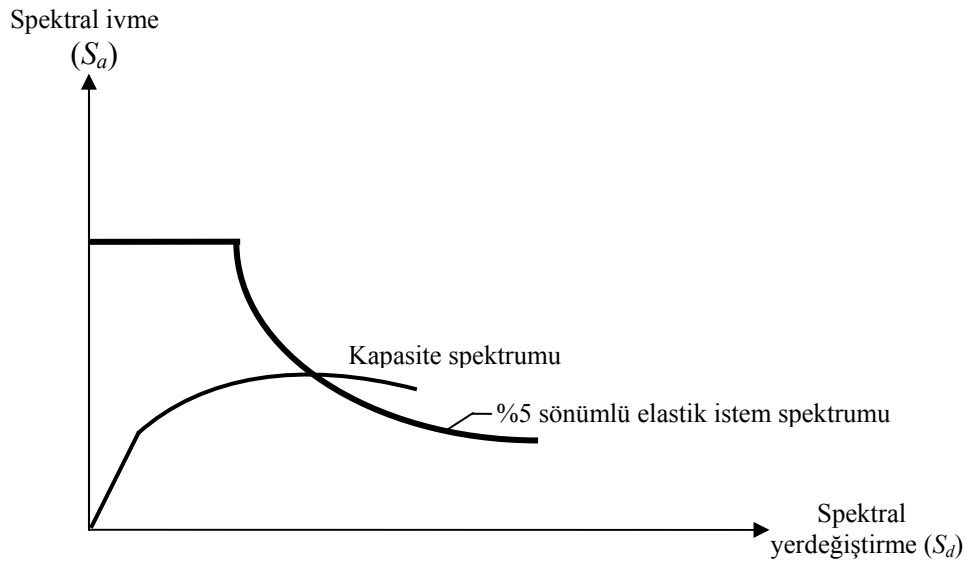
g) Performans Noktasının Adım Adım Belirlenmesi : Performans noktası, binanın deprem yer hareketi nedeniyle yapabileceği maksimum yerdeğiştirmeyi belirleyebilmek için gereklidir. Performans noktasının belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan Yöntem A'ya göre, performans noktasının belirlenmesinde izlenen yol adım adım aşağıdaki gibidir. Burada, açıklamaları daha önce yapılan işlemler maddeleştirilmek suretiyle bir araya toplanmıştır.

1-) Göz önüne alınan bölgeye bağlı olarak %5 sönümlü genel istem spektrum eğrisi ivme-yerdeğiştirme formatında çizilir. Ayrıntılarıyla daha önce açıklanmıştır.



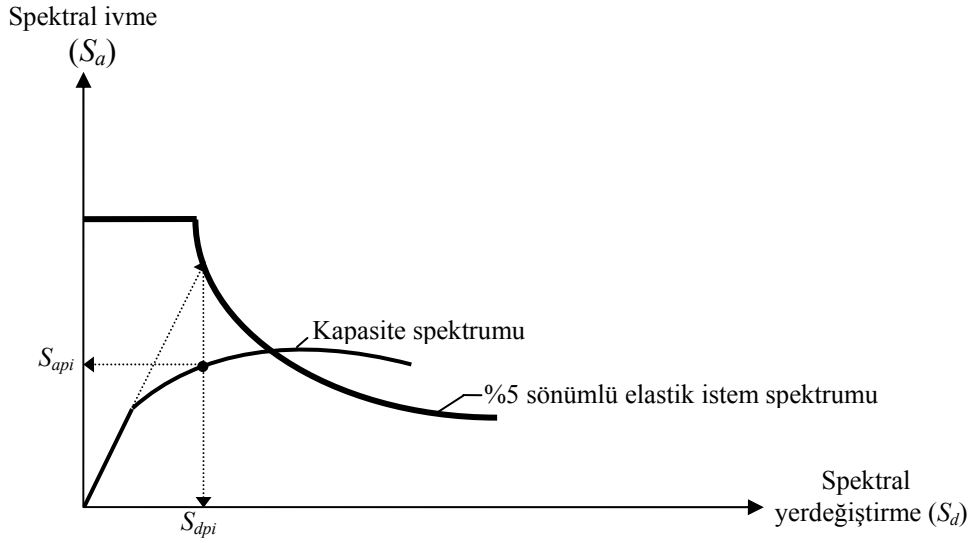
Şekil 2.21. İvme-yerdeğiştirme formatındaki istem spektrumu

2-) Doğrusal olmayan artımsal itme analizinden elde edilmiş olan binanın kapasite eğrisi gerekli denklemler kullanılmak suretiyle kapasite spektrumuna dönüştürülür ve 1. adımdaki ivme-yerdeğiştirme formatındaki istem spektrumu ile aynı diyagram üzerinde gösterilir.



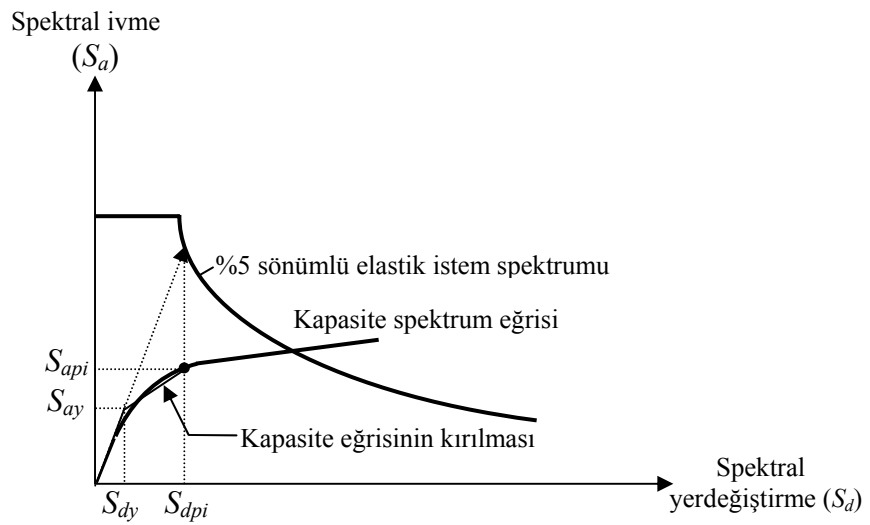
Şekil 2.22. Kapasite ve istem spektrumlarının aynı diyagramda gösterilişi

3-) İstem spektrumu ve kapasite spektrumu aynı diyagram üzerinde gösterildikten sonra iki türlü olarak tahmini bir performans noktası seçilir. Bunlardan ilkinde, mühendisin de kararıyla kapasite spektrumu eğrisi üzerinde eşit yerleştirme yaklaşımıyla bir noktanın belirlenmesi ve işlemleri ona göre yapılmasıdır. Diğerinde ise; kapasite spektrumu eğrisinin doğrusal giden kısmı (elastik davranış bölgesi) uzatılarak istem spektrumu kesilir. Bu noktadan x eksenine bir dik inilmek suretiyle kapasite spektrum eğrisini kestiği nokta tahmini ilk performans noktası olur. Bu noktanın bileşenleri de $S_{a_{pi}}$ ve $S_{d_{pi}}$ değerleridir.



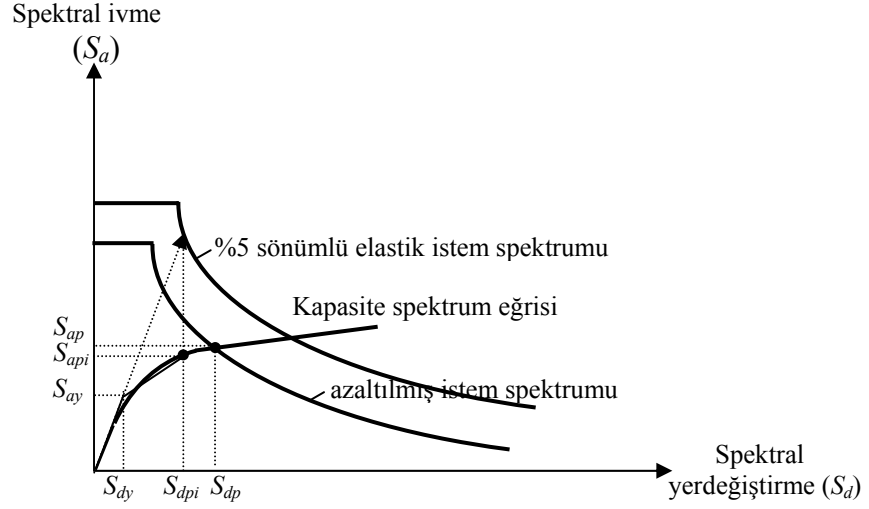
Şekil 2.23. Tahmini performans noktasının bulunması

4-) Kapasite spektrumu kırıklı hale getirilir.



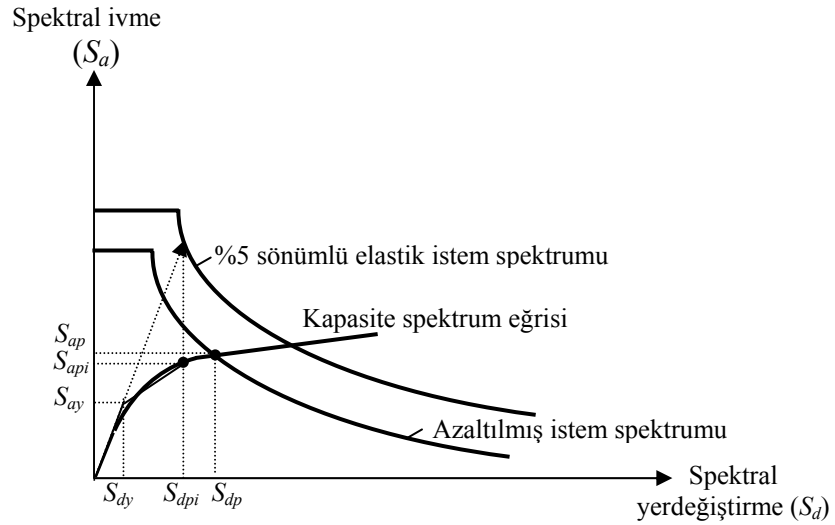
Şekil 2.24. Kapasite spektrumunun kırıklı hale getirilmesi

5-) Daha önce açıklandığı üzere SR_A ve SR_V spektral azaltma katsayıları kullanılarak %5 sönümlü elastik istem spektrumu azaltılır. %5 sönümlü elastik istem spektrumu ile azaltılmış istem spektrumu aynı diyagram üzerinde gösterilir. Kapasite spektrumu da bu diyagram üzerindedir.



Şekil 2.25. Azaltılmış istem spektrumunun gösterimi

6-) Şekil 2.25'de gösterilen işlemler performans noktasının bulunması için yapılır. İndirgenmiş talep spektrumu ile kapasite spektrumu eğrisinin kesiştiği nokta belirlenir. (S_{api} ve S_{dpi}) koordinatlarına sahip bu nokta başlangıç performans noktasıdır. Eğer bu nokta azaltılmış istem spektrumu ve kapasite spektrumu eğrisinin kesişim noktası ise veya %5 kabul edilebilir tolerans sınırları içinde ise belirlenen bu başlangıç performans noktası binanın beklenen performans noktasıdır.



Şekil 2.26. Performans noktasının belirlenmesi

7-) Bu belirlenen başlangıç performans noktası izin verilen tolerans sınırları içinde yer almaz ise yeni bir performans noktası seçilerek 3. ve 7. adıma kadar olan işlemler tekrarlanır. Yeni bir performans noktasının seçilmesi için mühendis iki farklı yaklaşım gösterebilir. Bunlardan biri tecrübesi ile kesişim noktasına çok yakın noktayı kapasite spektrum eğrisi üzerinde belirler ve bu noktaya göre işlemler tekrarlanır. Diğeri ise 6. adımda bulunmuş olan kesişim noktası başlangıç performans noktası olarak belirlenerek işlemle tekrarlanır.

8-) Belirlenen bu başlangıç performans noktası kabul edilebilir yakınlıkta oluncaya kadar döngü devam eder ve en son kabul edilebilir sınırlar içinde bulunan nokta binanın performans noktası olur (S_{ap} ve S_{dp}).

h) Performans Noktasının Kabul Kriterleri : Performans noktasının belirlenmesinden sonra bu noktanın koordinatlarına karşılık gelen S_{ap} ve S_{dp} değerlerinden gerekli bağıntılar yardımıyla taban kesme kuvveti (toplam yatay deprem yükü) ve en üst kat yerdeğiştirmesi hesaplanır. Buna göre binanın öngörülen performans seviyesinin koşullarını sağlayıp sağlamadığı, bu performans seviyesi için istenilen sınır değerlerin kontrol edilmesiyle belirlenir. Eğer bu sınırlar sağlanmıyorsa, bina performans seviyesinin değiştirilmesi veya taşıyıcı elamanlarının dayanımlarının ve boyut büyütülmesi yoluna gidilmek suretiyle de rijitliklerinin artırılması gerekir.

Bu sınır durumlar ATC-40 ve FEMA-356'da ayrıntılı bir biçimde açıklanmış olup, iki grupta toplanmıştır ve kabul kriterleri olarak adlandırılmışlardır.

➤ **Bina İçin Genel Kabul Kriterleri :** Bu kriterler, binanın tümü için öngörülen kabul kriterleridir. Bu kriter içerisinde; düşey yük kapasitesi, yatay yük kapasitesi ve katlar arası rölatif ötelenmeler sınırları bulunur. Binanın belirlenen performans noktasındaki toplam yatay yük kapasitesinin, yatay yüklemenin artmasıyla oluşan plastik mafsallarla %20'den daha fazla azalmaması gerekir. Eğer bu değerden daha fazla miktarda bir azalma söz konusu ise taşıyıcı sistem elemanlarının rijitliklerinin artırılması gerekir. Böylece deprem etkisiyle oluşan yükleme döngüleri sonucu meydana gelen dayanım azalması sınırlandırılmış olur. Deprem etkisi sonucu oluşacak hasarın, performans seviyelerine bağlı olarak sınırlandırılması için, binanın katlar arası yerdeğiştirmesinin kat yüksekliğine oranının Tablo 2.19'daki verilen sınır değerleri aşmaması istenir.

Tablo 2.19. Katlar arası yerdeğiştirmenin kat yüksekliğine oranının (Global yerdeğiştirme)sınırı (ATC-40)

Katlar arası yerdeğiştirme/ kat yüksekliği	Performans Seviyeleri			
	Hemen kullanım (1A)	Hasar kontrolü (1B)	Can gúvenliđi (3C)	Yapısal stabilite (5E)
Maksimum toplam yerdeğiştirme oranı	0,01	0,01-0,02	0,02	$0,33 V_i / P_i$
Maksimum elastik ötesi yerdeğiştirme oranı	0,005	0,005-0,015	Sınır yok	Sınır yok

Tablo 2.19'un oluşturulmasıyla hasar sınırlaması yanında ikinci mertebeye etkilerinin de sınırlandırılması gerçekteşir. Tablo 2.19'da verilen yapısal stabilite (göçmenin önlenmesi) performans seviyesindeki binanın her katı için yapılacak kontrolde; V_i deprem kat kesme kuvvetini P_i ise düşey yüklerden oluşan kat eksenel yükünü temsil eder. Bu tabloda verilen yerdeğiştirme oranı sınır değerleri, laboratuvar deneylerinden elde edilen sonuçlara ve geçmiş depremlerde gözlenmiş olan hasarlara dayanmaktadır.

➤ **Eleman İçin Kabul Kriterleri** : Binanın taşıyıcı sistem elemanlarının her birinin şekil değerleri performans seviyelerine bağlı olarak verilmiş sınır değerlerini aşmamasını kabul eden kriterlerdir. Binanın taşıyıcı sistem elemanları taşıyıcı olan ve olmayan olmak üzere ikiye ayrılırken taşıyıcı olan elemanlarda birincil ve ikincil olmak üzere ayrıca ikiye ayrılır. Bu kriterler; kapasite spektrumu eğrisi üzerinde elde edilen performans noktasında her bir elemandaki gerilmeler ve şekil değerlerinin hesaplanarak kabul edilen performans noktasının şartlarını sağlayıp sağlamadığı ve ilgili sınır değerleri aşıp aşmadığını kontrol eder.

Elemanlar için gerekli olan kabul kriterleri, elemanın türüne ve elemanda güç tükenmesini meydana getirecek olan etkinin türüne bağlıdır. Kabul kriterleri, genel mekanik prensipleri yardımıyla hesaplanan şekil değerleri olabileceği gibi taşıyıcı sistem elemanları ile yapılan deneyler sonucunda da belirlenebilir.

Eleman kabul kriterleri için farklı cins elemanlar sınıflandırılır. Perdeler, rijit duvarlar, döşemeler, plak-kolon çerçevesler, temeller şeklinde sınıflandırma yapılabilir. Performans noktasındaki yatay yüklemeye karşı tepkiye bağlı olarak taşıyıcı sistem

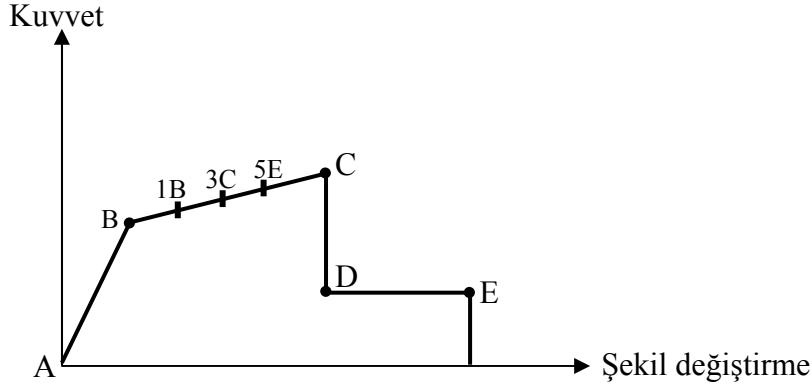
elemanları birincil ve ikincil taşıyıcı elemanlar olarak belirlenirler. Performans noktasındaki gücü en fazla olan ve yanal rijitliklerin çoğunu karşılayan taşıyıcı sistem elemanları birincil (ana) elemanlardır.

Kiriş ve kolonlarda meydana gelecek plastik mafsal dönmelerin kontrol edilmesi öngörülür. Yine kolon-kiriş birleşim bölgelerinde kesme kuvvetinden dolayı oluşacak kayma açısının ve perdelerdeki plastik mafsal dönmelerin kabul sınırları dikkate alınarak kontrol edilmeleri gerekir.

Taşıyıcı sistem elemanları için aşağıda verilmiş olan genel prensipler geçerlidir.

1-) Birincil (ana) elemanlar için;

- Yapısal stabilite (göçmenin önlenmesi) performans seviyesini temsil eden şekil değiştirme değeri, kuvvet-şekil değiştirme eğrisinde (Şekil 2.27) “C” noktasına karşılık gelen şekil değiştirme değerinden büyük olmamalıdır.

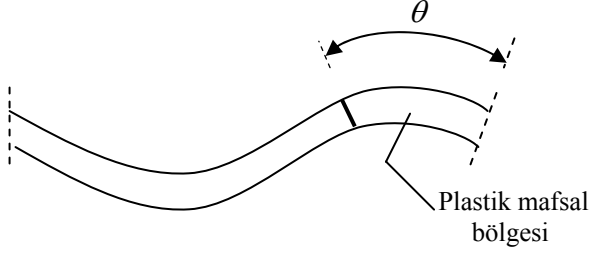


Şekil 2.27. Kuvvet-şekil değiştirme eğrisi

- Can güvenliği performans seviyesini temsil eden şekil değiştirme değeri Şekil 2.27'deki “C” noktasına karşılık gelen şekil değiştirme değerinden hesaplanabilir.

- Hemen kullanım performans seviyesini temsil şekil değiştirme değeri ise; tamamen mühendisin tecrübesine ve öngörüsüne dayanmaktadır. Yatay yük kapasitesinin azalmaya başladığı andaki şekil değiştirme değeri yapısal stabilite (göçmenin önlenmesi) performans seviyesindeki taşıyıcı sistem elemanının şekil değiştirme kapasitesini temsil eder. Birincil elemanlar için şekil değiştirme değeri Şekil 2.28'deki gibidir.

Kabul kriterlerinin hesap veya deney yoluyla belirlenememesi durumunda kiriş, kolan, perde, döşeme, bağ kirişi, temeller gibi taşıyıcı sistem elemanları için verilmiş olan kabul kriterleri de kullanılabilir. Bu kriterler, eleman davranışında eğilim veya kesmenin hakim olması, basınç donatısı oranı, eksenel yük oranı, perdelerde boşluk bulunup-bulunmaması gibi durumlar için verilmiştir. Örnek olarak FEMA-356’da perde ötelenmesi ve plastik mafsal dönmesi, ATC-40’da da plastik mafsal dönmesi verilmiştir.



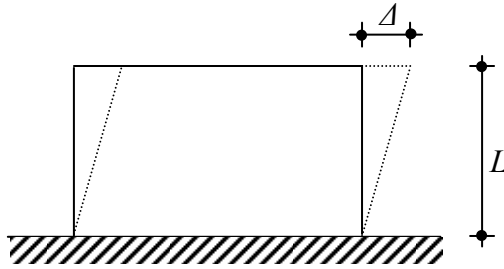
Şekil 2.30. Plastik mafsal dönmesi (ATC-40)

$$\theta = \theta_y + \theta_p \dots\dots\dots(2.24)$$

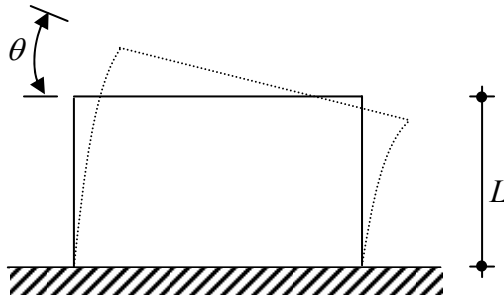
θ_y : akma dönmesi (M_y / EI)

θ_p : plastik mafsal dönmesi

θ : plastik mafsal bölgesindeki dönme



a-) Elastik olmayan davranışta kesmenin etkili olduğu perde ötelenmesi



b-) Elastik olmayan davranışta eğilmenin etkili olduğu plastik mafsal dönmesi

Şekil 2.31. Perde ötelenmesi ve plastik mafsal dönmesi, (a,b), (FEMA-356)

2.2.1.2. Türk Deprem Yönetmeliğinde Tanımlı Kapasite Spektrumu Yöntemi

Mart 2007’de yürürlüğe girecek olan Türk Deprem Yönetmeliğinde *doğrusal elastik olmayan* hesap yöntemlerinde kullanılacak genel ilke ve kurallar aşağıdaki gibidir.

a) Elastik deprem yüklerinin tanımlanması (spektral ivme katsayısı) ; Deprem yüklerinin belirlenmesi için esas alınacak olan *spektral ivme katsayısı* $A(T)$, aşağıda verilmiştir. %5 sönüm oranı için tanımlanan *Elastik ivme Spektrumu*’nun ordinatı olan *Elastik Spektral ivme* $S_{ae}(T)$, Spektral ivme Katsayısı ile yerçekimi ivmesi g ’ nin çarpımına karşılık gelmektedir.

$$A(T) = A_0 * I * S(T) \dots\dots\dots(2.25)$$

$$S_{ae}(T) = A(T) * g \dots\dots\dots(2.26)$$

Etkin yer ivmesi katsayısı A_0 , değerleri aşağıda tanımlanmaktadır.

Tablo 2.20. Etkin yer ivmesi katsayısı, A_0

Deprem Bölgesi	A_0
1	0.4
2	0.3
3	0.2
4	0.1

Türk Deprem Yönetmeliği’nde tanımlanan spektrum katsayısı $S(T)$, yerel zemin koşullarına ve bina doğal periyodu (T)’ye bağlı olarak aşağıdaki gibi hesaplanacaktır.

$$S(T) = 1 + 1.5 \frac{T}{T_A} \quad (0 \leq T \leq T_A) \dots\dots\dots(2.27)$$

$$S(T) = 2.5 \quad (T_A < T \leq T_B) \dots\dots\dots(2.28)$$

$$S(T) = 2.5 \left(\frac{T_B}{T} \right)^{0.8} \quad (T_B < T) \dots\dots\dots(2.29)$$

Spektrum karakteristik periyotları T_A ve T_B , Tablo 2.22 ve 2.23’de tanımlandığı gibi yerel zemin sınıflarına bağlı olarak Tablo 2.21’de verilmiştir.

Tablo 2.21. Spektrum karakteristik periyotları

Yerel zemin sınıfları (Tablo 2.23’e göre)	T_A (saniye)	T_B (saniye)
Z1	0.1	0.3
Z2	0.15	0.4
Z3	0.15	0.6
Z4	0.2	0.9

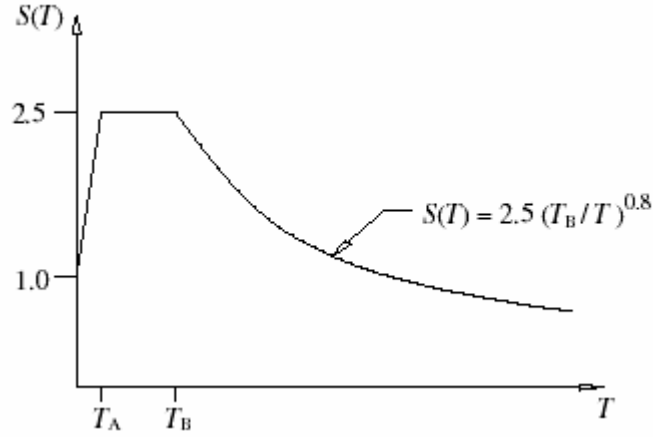
Tablo 2.21. Zemin grupları

Zemin Grubu	Zemin Grubu Tanımı	Stand. Penetr. (N/30)	Relatif Sıktık (%)	Serbest Basınç Direnci (kPa)	Kayma Dalgası Hızı (m/s)
(A)	1. Masif volkanik kayalar ve ayrılmamış sağlam metamorfik kayalar, sert çimentolu tortul kayalar....	—	—	> 1000	> 1000
	2. Çok sıkı kum, çakıl.....	> 50	85–100	—	> 700
	3. Sert kil ve siltli kil.....	> 32	—	> 400	> 700
(B)	1. Tüf ve aglomera gibi gevşek volkanik kayalar, streksizlik dtzlemleri bulunan ayrılmış çimentolu tortul kayalar....	—	—	500–1000	700–1000
	2. Sıkı kum, çakıl.....	30–50	65–85	—	400–700
	3. Çok katı kil ve siltli kil...	16–32	—	200–400	300–700
(C)	1. Yumuşak streksizlik dtzlemleri bulunan çok ayrılmış metamorfik kayalar ve çimentolu tortul kayalar.....	—	—	< 500	400–700
	2. Orta sıkı kum, çakıl.....	10–30	35–65	—	200–400
	3. Katı kil ve siltli kil.....	8–16	—	100–200	200–300
(D)	1. Yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu yumuşak, kalın altıvyon tabakaları.....	—	—	—	< 200
	2. Gevşek kum.....	< 10	< 35	—	< 200
	3. Yumuşak kil, siltli kil.....	< 8	—	< 100	< 200

Tablo 2.23. Yerel zemin sınıfları

Yerel zemin sınıfı	Zemin grubu (Tablo 2.22'ye göre) ve en üst zemin tabakası kalınlığı
Z1	(A) grubu zeminler $h_1 \leq 15$ m olan (B) grubu zeminler
Z2	$h_1 > 15$ m olan (B) grubu zeminler $h_1 \leq 15$ m olan (C) grubu zeminler
Z3	$15 < h_1 \leq 50$ m olan (C) grubu zeminler $h_1 \leq 10$ m olan (D) grubu zeminler
Z4	$h_1 > 50$ m olan (C) grubu zeminler $h_1 > 10$ m olan (D) grubu zeminler

b) Özel tasarım ivme spektrumları : Gerekli durumlarda elastik tasarım ivme spektrumu, yerel deprem ve zemin koşulları göz önüne alınarak yapılacak özel araştırmalarla da belirlenebilir. Ancak, bu şekilde belirlenecek ivme spektrumu ordinatlarına karşı gelen spektral ivme katsayıları, tüm periyotlar için, Tablo 2.21'deki ilgili karakteristik periyotlar gözönüne alınarak Denklem (2.27), (2.28) ve (2.29)'dan bulunacak değerlerden hiçbir zaman daha küçük olmayacaktır.



Şekil 2.32 Tasarım ivme spektrumu

c) Elastik deprem yüklerinin azaltılması (deprem yükü azaltma katsayısı) : Depremde taşıyıcı sistemin kendine özgü doğrusal elastik olmayan davranışını göz önüne almak üzere, yukarıda verilen spektral ivme katsayısına göre bulunacak elastik deprem yükleri, aşağıda tanımlanan *Deprem Yükü Azaltma Katsayısı*'na bölünecektir. Deprem Yükü

Azaltma Katsayısı, çeşitli taşıyıcı sistemler için Tablo 2.24’de tanımlanan *Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı*, R ’ye ve doğal titreşim periyodu, T ’ye bağlı olarak belirlenir.

Türk Deprem Yönetmeliğine göre; birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde; taşıyıcı sistemi sadece çerçevelerden oluşan binalarda *süneklik düzeyi yüksek taşıyıcı sistemler*’in kullanılması zorunludur.

Tablo 2.24. Taşıyıcı sistem davranış katsayısı, R (Türk Deprem Yönetmeliği)

BİNA TAŞIYICI SİSTEMİ	Süneklik Düzeyi Normal Sistemler	Süneklik Düzeyi Yüksek Sistemler
(1) YERİNDE DÖKME BETONARME BİNALAR		
(1.1) Deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı binalar	4	8
(1.2) Deprem yüklerinin tamamının bağ kirişli (boşluklu) perdelerle taşındığı binalar.....	4	7
(1.3) Deprem yüklerinin tamamının boşluksuz perdelerle taşındığı binalar.....	4	6
(1.4) Deprem yüklerinin çerçeveler ile boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar..	4	7

Binaların Türk Deprem Yönetmeliğine göre deprem performansını belirleyebilmek için doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri kullanılabilir. Aşağıda tanımlanan genel ilke ve kuralları şu şekilde sıralayabiliriz.

- Deprem etkisinin tanımında, verilen elastik (azaltılmamış) ivme spektrumu kullanılacak, ancak farklı aşılma olasılıkları için bu spektrum üzerinde yapılan değişiklikler gözönüne alınacaktır. Deprem hesabında tanımlanan bina önem katsayısı uygulanmayacaktır ($I=1.0$).
- Deprem kuvvetleri binaya her iki doğrultuda ve her iki yönde ayrı ayrı etki ettirilecektir.
- Deprem hesabında kullanılacak zemin özellikleri yukarıdaki verilere göre belirlenecektir.
- Binanın taşıyıcı sistem modeli, deprem etkileri ile düşey yüklerin ortak etkileri altında yapı elemanlarında oluşacak iç kuvvet, yerdeğiştirme ve şekildeğiştirmeleri hesaplamak için yeterli doğrulukta hazırlanacaktır.
- Döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, her katta iki yatay yerdeğiştirme ile düşey eksen etrafında dönme serbestlik dereceleri göz

önüne alınacaktır. Kat serbestlik dereceleri her katın kütle merkezinde tanımlanacak, ayrıca ek dışmerkezlik uygulanmayacaktır.

- Betonarme sistemlerin eleman boyutlarının tanımında birleşim bölgeleri sonsuz rijit uç bölgeleri olarak göz önüne alınacaktır.

d) Betonarme binaların yapı elemanlarında performans değerlendirmesi : Betonarme elemanlar, kırılma türü eğilme ise “sünek”, kesme ise “gevrek” olarak sınıflanırlar. Betonarme yapı elemanlarında oluşacak hasarların belirlenmesinde kullanılacak eleman hasar sınırlarının sayısal değerleri aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır. Doğrusal elastik hesap yöntemleri ile sünek elemanların hasar sınırlarının tanımında kiriş, kolon ve perde elemanlarının kesitlerinin *etki/kapasite oranları* (r) cinsinden ifade edilen sayısal değerler kullanılacaktır.

Etki/kapasite oranlarının sınır değerleri Tablo 2.25’de sünek ve gevrek elemanlar için ayrı ayrı verilmiştir. Sünek kolon ve kirişlerin kritik kesitlerinde, eğilme kapasitesi ile uyumlu kapasite kesme kuvveti V_e ’nin kesme kapasitesi V_r ’yi aşmaması gereklidir. Aşması durumunda bu elemanlar gevrek eleman sınıfında sayılırlar. V_r , TS-500’e göre, bilgi düzeyi ile uyumlu *mevcut malzeme dayanımı* değerleri kullanılarak hesaplanacaktır. $H_w / B_w > 2.0$, uç bölgeleri olan ve yatay gövde donatısı oranı $\rho_{sh} > 0.0025$ olan perdeler de sünek eleman olarak kabul edilecektir. Burada verilen sünek eleman koşullarını sağlamayan betonarme elemanlar gevrek eleman olarak sınıflandırılacaktır.

Kırılma türü eğilme olan sünek kiriş, kolon ve perde kesitlerinin eğilme etki/kapasite oranı, sadece deprem etkisi altında hesaplanan kesit momentinin kesit artık moment kapasitesine bölünmesi ile elde edilir. Kesit artık moment kapasitesi, kesitin eğilme momenti kapasitesi ile düşey yükler altında kesitte hesaplanan moment etkisinin farkıdır. Eğilme etki/kapasite oranının hesaplanmasında, uygulanan deprem kuvvetinin yönü dikkate alınacaktır.

Kırılma türü kesme olan gevrek kiriş, kolon ve perdelerin etki/kapasite oranları, kritik kesitlerde hesaptan elde edilen kesme kuvvetinin TS-500’e göre hesaplanan kesme kuvveti dayanımına bölünmesi ile elde edilecektir. Kırılma türü basınç olan gevrek kolonların etki/kapasite oranları, hesaptan elde edilen basınç kuvvetinin TS-500’e göre hesaplanan basınç dayanımına bölünmesi ile elde edilecektir. Kesit kesme kuvveti dayanımı ve basınç dayanımı hesabında tanımlanan bilgi düzeyine göre belirlenen *mevcut malzeme dayanımı*

değerleri kullanılacaktır. Birleşim kesme kuvvetinin kesme dayanımını aşması durumunda bu birleşime saptanan tüm elemanlar göçme bölgesinde kabul edilecektir.

Tablo 2.25. Betonarme kirişler için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları (r)

Sünek Kirişler			Hasar Sınırı		
$\frac{\rho - \rho'}{\rho_b}$	Sargılama	$\frac{V}{b_w d f_{ctm}}^{(1)}$	MN	GV	GÇ
≤ 0.0	Var	≤ 0.65	3	7	10
≤ 0.0	Var	≥ 1.30	2.5	5	8
≥ 0.5	Var	≤ 0.65	3	5	7
≥ 0.5	Var	≥ 1.30	2.5	4	5
≤ 0.0	Yok	≤ 0.65	2.5	4	6
≤ 0.0	Yok	≥ 1.30	2	3	5
≥ 0.5	Yok	≤ 0.65	2.5	4	6
≥ 0.5	Yok	≥ 1.30	1.5	2.5	4
Gevrek Kirişler			1	1	1

Tablo 2.26. Betonarme kolonlar için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları (r)

Sünek Kolonlar			Hasar Sınırı		
$\frac{N}{A_c f_c}$	Sargılama	$\frac{V}{b_w d f_{ctm}}^{(1)}$	MN	GV	GÇ
≤ 0.1	Var	≤ 0.65	3	6	8
≤ 0.1	Var	≥ 1.30	2.5	5	6
≥ 0.4	Var	≤ 0.65	2	4	6
≥ 0.4	Var	≥ 1.30	2	3	5
≤ 0.1	Yok	≤ 0.65	2	3.5	5
≤ 0.1	Yok	≥ 1.30	1.5	2.5	3.5
≥ 0.4	Yok	≤ 0.65	1.5	2	3
≥ 0.4	Yok	≥ 1.30	1	1.5	2
Gevrek Kolonlar			1	1	1

e) *Bina performansının doğrusal elastik olmayan yöntemler ile belirlenmesi* : Deprem etkisi altında binaların yapısal performanslarının belirlenmesi için kullanılacak doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinin amacı, verilen bir deprem için sünek davranışa ilişkin plastik şekildeğiştirme istemleri ile gevrek davranışa ilişkin iç kuvvet istemlerinin hesaplanmasıdır. Daha sonra bu istem büyüklükleri, şekildeğiştirme ve iç kuvvet kapasiteleri ile karşılaştırılarak, kesit ve bina düzeyinde yapısal performans değerlendirilmesi yapılacaktır.

Mart 2007’de yürürlüğe girecek olan Türk Deprem Yönetmeliğinde doğrusal olmayan artımsal itme analizinde performans değerlendirilmesinde izlenilecek yol aşağıda özetlenmiştir.

- Taşıyıcı sistem elemanlarında göz önüne alınacak doğrusal olmayan davranışın idealleştirilmesi ve analiz modelinin oluşturulması doğrusal olmayan artımsal itme analizinin ilk kısmını oluşturur.
- Doğrusal olmayan statik itme analizinde modal yerdeğiştirme isteminin belirlenmesinde kullanılmak üzere, koordinatları spektral ivme ve spektral yerdeğiştirme olarak tanımlanan birinci (hakim) moda ait spektral kapasite diyagramı elde edilir.
- Elde edilen kapasite diyagramı ile birlikte elastik davranış spektrumundan yararlanılarak birinci (hakim) moda ait spektral yerdeğiştirme istemi belirlenir.
- Taşıyıcı sistemde spektral yerdeğiştirme istemine karşılık gelen yerdeğiştirme, plastik şekil değiştirme (plastik mafsal dönmeleri) ve iç kuvvet istemleri hesaplanacaktır.
- Plastikleşen (sünek) kesitlerde hesaplanmış bulunan plastik mafsal dönme istemlerinden plastik eğrilik istemlerine geçilecektir. Toplam eğrilik istemleri elde edilecek ve bunlara bağlı olarak betonarme kesitlerde betonda ve donatı çeliğinde meydana gelen birim şekildeğiştirme istemleri hesaplanacaktır.

Hesaplanan beton ve donatı çeliğinin birim şekildeğiştirme istemleri, kesit düzeyinde çeşitli hasar sınırları için aşağıda tanımlanan ilgili birim şekildeğiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılarak kesit düzeyinde sünek davranışa ilişkin performans değerlendirilmesi yapılmış olacaktır.

f) Doğrusal elastik olmayan davranışın idealleştirilmesi : Türk Deprem Yönetmeliğinde, doğrusal elastik olmayan analiz için *yığılı plastik davranış modeli*’ nin kullanılması öngörülmüştür. Basit eğilme durumunda *plastik mafsal hipotezi*’ ne karşı gelen bu modelde, çubuk eleman olarak idealleştirilen kiriş, kolon ve perde türü taşıyıcı sistem elemanlarındaki iç kuvvetlerin plastik kapasitelerine eriştiği sonlu uzunluktaki bölgeler boyunca, plastik şekildeğiştirmelerin düzgün yayılı biçimde olduğu varsayılmaktadır. Basit eğilme durumunda *plastik mafsal boyu* olarak adlandırılan *plastik şekildeğiştirme*

bölgesi'nin uzunluğu (L_p), çalışan doğrultudaki kesit boyutu (h)'nin yarısına eşit alınacaktır ($L_p = 0.5 h$).

Sadece aksel kuvvet altında plastik şekildeğiştirme yapan elemanların plastik şekildeğiştirme bölgelerinin uzunluğu, ilgili elemanın serbest boyuna eşit alınacaktır. Yığılı plastik şekildeğiştirmeyi temsil eden *plastik kesit*' in, teorik olarak şekildeğiştirme bölgesinin tam ortasına yerleştirilmesi gerekir. Ancak pratik uygulamalarda aşağıda belirtilen yaklaşık idealleştirmelere izin verilebilir.

- Kolon ve kirişlerde plastik kesitler, kolon-kiriş birleşim bölgesinin hemen dışına, diğer bir deyişle kolon veya kirişlerin net açıklıklarının uçlarına konulabilir. Ancak, düşey yüklerin etkisinden ötürü kiriş açıklıklarında da plastik mafsalların oluşabileceği göz önüne alınmalıdır.
- Betonarme perdelerde, plastik kesitlerin her katta perdenin alt ucuna konulmasına izin verilebilir. U , T , L veya kutu kesitli perdeler, bütün kolları birlikte çalışan tek perde olarak idealleştirilmelidir. Binaların bodrum katlarında rijit çevre perdelerinin bulunması durumunda, bu perdelerden üst katlara doğru devam eden perdelerin plastik kesitleri bodrum üstünden başlamak üzere konulmalıdır.

Bir veya iki aksel eğilme ve aksel kuvvet etkisinde plastikleşen betonarme kesitlerin akma yüzeylerinin (etkileşim diyagramlarının) tanımlanmasında aşağıdaki koşullara uyulacaktır:

- Analizde beton ve donatı çeliğinin *mevcut dayanımları* esas alınacaktır.
- Betonun maksimum basınç birim şekildeğiştirmesi 0.003, donatı çeliğinin maksimum birim şekildeğiştirmesi ise 0.01 alınabilir.

Betonarme kesitlerin akma yüzeyleri uygun biçimde doğrusallaştırılarak, iki boyutlu davranış durumunda *akma çizgileri*, üç boyutlu davranış durumunda ise *akma düzlemleri* olarak modellenebilir.

Eğilme etkisindeki betonarme elemanların akma öncesi doğrusal davranışları için *çatlamış kesite ait eğilme rijitlikleri* kullanılacaktır. Daha kesin bir hesap yapılmadıkça, çatlamış kesite ait eğilme rijitlikleri için aşağıda verilen değerler kullanılacaktır.

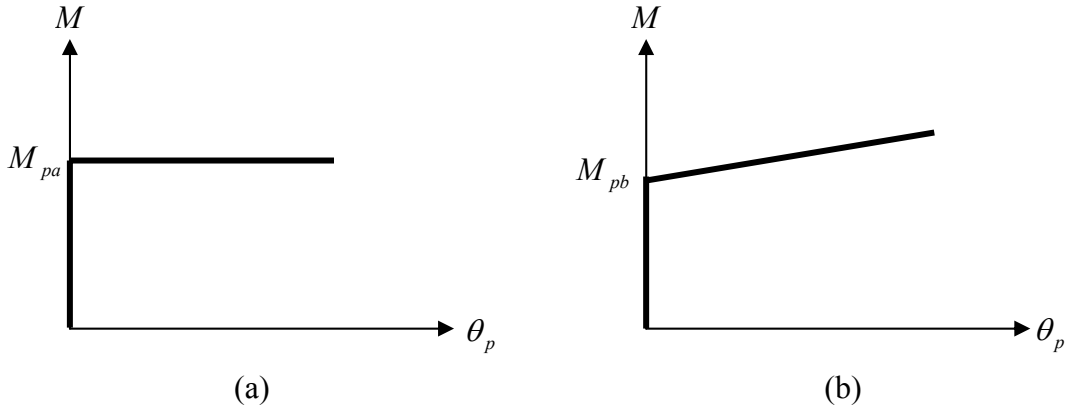
Kirişlerde: $0.4.EI_0$

Kolon ve perdelerde : $N_D / (A_c f_{cm}) \leq 0.10$ olması durumunda : $0.4.EI_0$

$N_D / (A_c f_{cm}) \geq 0.40$ olması durumunda : $0.8.EI_0$

Yukarıdaki bağıntılarda yer alan eksenel basınç kuvveti N_D , düşey yükler altında hesaplanacaktır. N_D 'nin ara değerleri için doğrusal enterpolasyon yapılabilir. Artımsal itme analizi modelinde kullanılacak plastik kesitlerin iç kuvvet-plastik şekildeğiştirme bağıntıları ile ilgili olarak aşağıdaki paragraflar dikkate alınacaktır;

- İç kuvvet-plastik şekildeğiştirme bağıntılarında pekleşme etkisi (plastik dönme artısına bağlı olarak plastik momentin artışı) yaklaşık olarak terk edilebilir. Bu durum Şekil 2.33.a'da izah edilmektedir. Bu durumda, bir veya iki eksenli eğilme ve eksenel kuvvet etkisindeki kesitlerde plastikleşmeyi izleyen itme adımlarında, iç kuvvetlerin akma yüzeyinin üzerinde kalması koşulu ile plastik şekildeğiştirme vektörünün akma yüzeyine yaklaşık olarak dik olması koşulu göz önüne alınacaktır.
- Pekleşme etkisinin göz önüne alınması durumunda Şekil 2.33.b'de, bir veya iki eksenli eğilme ve eksenel kuvvet etkisindeki kesitlerde plastikleşmeyi izleyen itme adımlarında iç kuvvetlerin ve plastik şekildeğiştirme vektörünün sağlaması gereken koşullar, ilgili literatürden alınan uygun bir pekleşme modeline göre tanımlanacaktır.



Şekil 2.33. Pekleşme etkisi (a,b)

g) Betonarme elemanların kesit birim şekildeğiştirme kapasiteleri : Beton ve donatı çeliğinin birim şekildeğiştirmeleri cinsinden elde edilen deprem istemleri, aşağıda tanımlanan birim şekildeğiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılarak, kesit düzeyinde taşıyıcı

sistem performansı belirlenecektir. Plastik şekildeğiştirmelerin meydana geldiği betonarme sünük taşıyıcı sistem elemanlarında, çeşitli kesit hasar sınırlarına göre izin verilen şekildeğiştirme üst sınırları (kapasiteleri) aşağıda tanımlanmıştır.

Kesit *Minimum Hasar Sınırı (MN)* için kesitin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi ile donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi üst sınırları;

$$(\varepsilon_{cu})_{MN} = 0,004 \quad , \quad (\varepsilon_s)_{MN} = 0,010 \text{ olarak belirtilmiştir.}$$

Kesit *Güvenlik Sınırı (GV)* için sargılı bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi ile donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi üst sınırları;

$$(\varepsilon_{cg})_{GV} = 0.004 + 0.0095(\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0,0135 \quad , \quad (\varepsilon_s)_{GV} = 0,040 \text{ 'dır.}$$

Kesit *Göçme Sınırı (GÇ)* için sargılı bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi ile donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi üst sınırları;

$$(\varepsilon_{cg})_{GC} = 0.004 + 0.013(\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0,018 \quad , \quad (\varepsilon_s)_{GC} = 0,060 \text{ alınır.}$$

h) Göreli kat ötelenmelerinin sınırlandırılması : Her bir deprem doğrultusu için, binanın herhangi bir katındaki göreli kat ötelemesi her performans düzeyi için Tablo 2.27'deki koşulları sağlayacaktır.

Tablo 2.27. Göreli kat ötelenmesi sınırları

Görelî Kat Ötelenmesi Oranı	Performans Düzeyi		
	Hemen Kullanım	Can Güvenliği	Göçmenin Önlenmesi
$(\delta_i)_{mak} / h_i$	0.008	0.02	0.03

$(\delta_i)_{mak}$ ilgili kattaki düşey elemanların uçları arasında hesaplanan en büyük göreli kat ötelemesini, h_i ise kat yüksekliğini göstermektedir.

ı) Doğrusal ve doğrusal olmayan spektral yerdeğiştirmenin belirlenmesi : Doğrusal elastik olmayan (lineer olmayan) spektral yerdeğiştirme S_{d1} , itme analizinin ilk adımında, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hakim) moda ait $T_1^{(1)}$ başlangıç

periyoduna karşı gelen *doğrusal elastik (lineer) spektral yerdeğiştirme* S_{de1} 'e bağlı olarak aşağıdaki gibi elde edilir

$$S_{di1} = C_{R1} \cdot S_{de1} \dots\dots\dots(2.30)$$

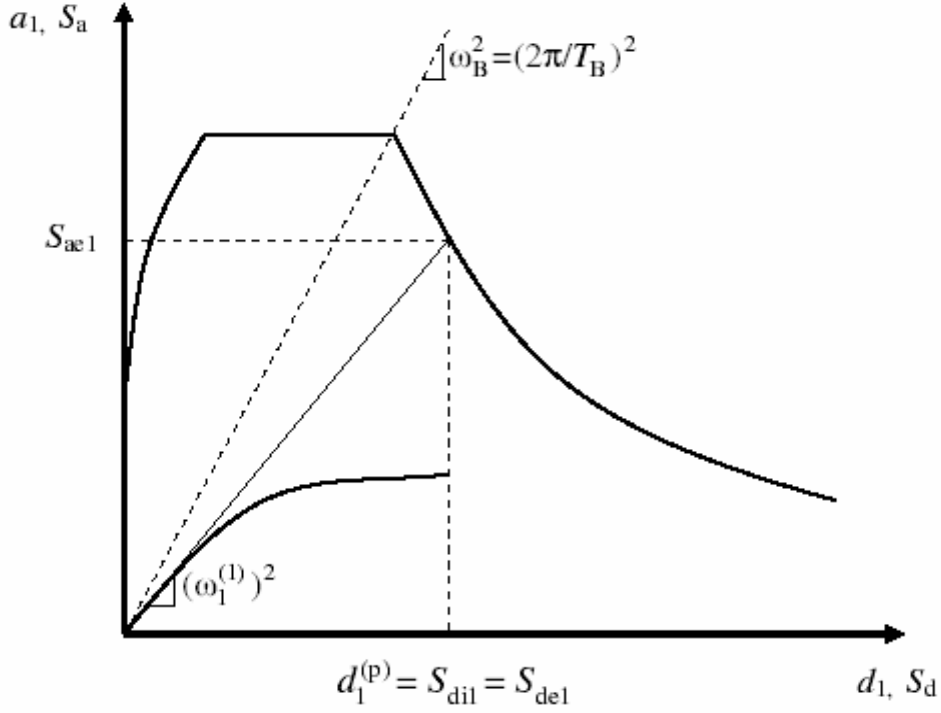
Doğrusal elastik (lineer) spektral yerdeğiştirme S_{de1} , itme analizinin ilk adımında birinci moda ait elastik spektral ivme S_{ae1} 'den hesaplanır.

$$S_{de1} = \frac{S_{ae1}}{(\varpi_1^{(1)})^2} \dots\dots\dots(2.31)$$

Denklem (2.30)'da yer alan *spektral yerdeğiştirme oranı* C_{R1} , başlangıç periyodu $T_1^{(1)}$ 'in değerine ($T_1^{(1)} = 2\pi / \varpi_1^{(1)}$) bağlı olarak belirlenir.

$T_1^{(1)}$ başlangıç periyodunun, ivme spektrumundaki *karakteristik periyod* T_B 'ye eşit veya daha uzun olması durumunda ($T_1^{(1)} \geq T_B$ veya $(\varpi_1^{(1)})^2 \leq \varpi_B^2$), doğrusal elastik olmayan spektral yerdeğiştirme S_{di1} , *eşit yerdeğiştirme kuralı* uyarınca doğal periyodu yine $T_1^{(1)}$ olan *eşlenik doğrusal elastik sistem* 'e ait *lineer elastik spektral yerdeğiştirme* S_{de1} 'e eşit alınacaktır. Buna göre *spektral yerdeğiştirme oranı*, $C_{R1} = 1$ ve onu izleyen birinci (hakim) titreşim moduna ait koordinatları (d_1, a_1) olan modal kapasite diyagramı ile koordinatları "*spektral yerdeğiştirme* (S_d) – *spektral ivme* (S_a)" olan davranış spektrumu bir arada çizilmiştir.

$T_1^{(1)}$ başlangıç periyodunun, ivme spektrumundaki *karakteristik periyod* T_B 'den daha kısa olması durumunda ($T_1^{(1)} < T_B$ veya $(\varpi_1^{(1)})^2 > \varpi_B^2$) ise, spektral yerdeğiştirme oranı C_{R1} , ardışık yaklaşımla aşağıdaki gibi hesaplanacaktır.



Şekil 2.34. Spektral yerdeğiştirme oranının (C_{R1}) hesaplanması

a) İtme analizi sonucunda elde edilen modal kapasite diyagramı Şekil 2.35’de gösterildiği üzere, yaklaşık olarak iki doğrusu (bi-lineer) bir diyagrama dönüştürülür. Bu diyagramın başlangıç doğrusunun eğimi, itme analizinin ilk adımındaki ($i=1$) doğrunun eğimi olan birinci moda ait özdeğere, $(\omega_1^{(1)})^2$ eşit alınır ($T_1^{(1)} = 2\pi / \omega_1^{(1)}$).

b) Ardışık yaklaşımın ilk adımında $C_{R1} = 1$ kabulü yapılarak, diğer deyişle $C_{R1} = 1$ kullanılarak eşdeğer akma noktası’nın koordinatları eşit alanlar kuralı ile belirlenir. Şekil 2.35’de görülen a_{y1} esas alınarak C_{R1} aşağıdaki şekilde tanımlanır.

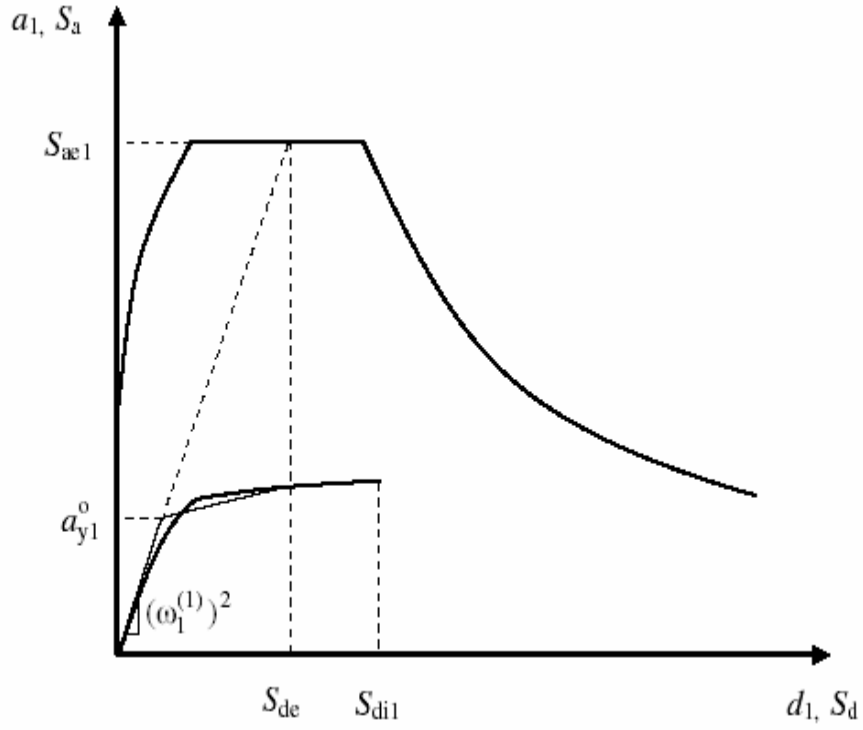
$$C_{R1} = \frac{1 + (R_{y1} - 1) \cdot T_B / T_1^{(1)}}{R_{y1}} \geq 1 \dots\dots\dots(2.32)$$

Bu bağıntıda R_{y1} birinci moda ait dayanım azaltma katsayısı’ nı göstermektedir.

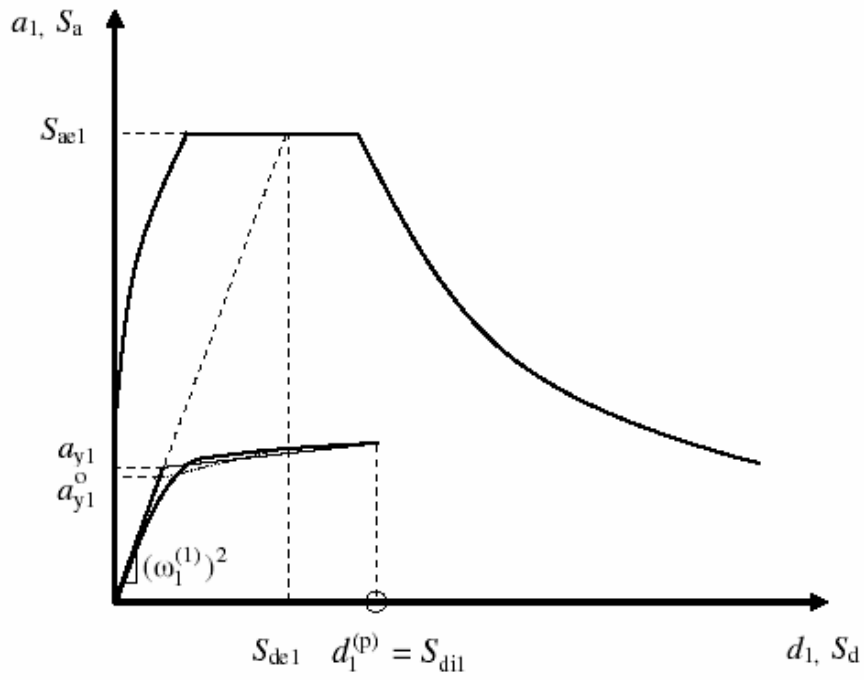
$$R_{y1} = \frac{S_{ae1}}{a_{y1}} \dots\dots\dots(2.33)$$

c) Denk. (2.32)’ den bulunan C_{R1} kullanılarak Denk. (2.30)’a göre hesaplanan S_{d1} esas alınarak eşdeğer akma noktası’nın koordinatları, Şekil 2.36’da gösterildiği üzere, eşit alanlar kuralı ile yeniden belirlenir ve bunlara göre a_{y1} , R_{y1} ve C_{R1} tekrar hesaplanır.

Ardışık iki adımda elde edilen sonuçların kabul edilebilir ölçüde birbirlerine yaklaştıkları adımda ardışık yaklaşıma son verilir.



Şekil 2.35. İtme analizi sonunda elde edilen modal kapasite diyagramı



Şekil 2.36. Eşdeğer akma noktasının koordinat diyagramı

3. YAPILAN ÇALIŞMALAR

3.1. Giriş

Örnek olarak seçilen asmolen döşemeli betonarme binaların doğrusal olmayan analizi ikinci bölümde izah edilmiş olan artımsal itme analizi yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Yapılan analizlerde Dünyada genel amaçlı yapısal çözümleme programı olarak bilinen SAP2000 programının yanında Türkiye’de yaygın olarak kullanılan paket programlar da kullanılmaktadır. Kullanılan bu paket programlar, STA4 ve ideSTATİK paket programlarıdır. PROBİNA Orion v14 doğrusal olmayan artımsal itme analizine yer veriyse de bu kısım henüz tamamlanamadığından bu paket programın değerlendirilmesi yapılamamıştır. Binaların modellenmesinde ve taşıyıcı sistem elemanlarının ön boyutlandırılmasında PROBİNA version 13.1’den, çizimlerde de AUTOCAD programından faydalanılmıştır. Elde edilecek sonuçların karşılaştırılmasında kolaylık sağlamak için her iki yönde de simetrik bina modelleri seçilmiştir. Seçilen bina modelinin herhangi bir uygulaması yoktur, tamamen tasarımsaldır. Binalara etkiyen düşey yükler TS498’e göre, yatay yükler ise Türk Deprem Yönetmeliği’nde yer alan eşdeğer deprem yükü metoduna göre belirlenmiştir.

Son yıllarda oldukça yaygın hale gelen inşaat mühendisliğinde bilgisayar uygulamaları ve bunların bina sistemlerinin çözümlerine yansımaları sonucunda bu konularda çeşitli bilgisayar programları yazılarak uygulama alanlarına girmiştir. Bu tür programlar yaygın olarak uygulanan bina sistemlerinin projelendirilmesinde pratiklikleri sayesinde büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Ancak bu pratiklik hiçbir zaman programa teslim olma yada herkes rahatlıkla projelendirebilir gibi anlamlara gelmemelidir. Çünkü ne kadar pratiklik sağlanıyorsa, modellemelerde yada verilerde o kadar hata yapma riski ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle modellemelerde hataların en aza indirilebilmesi için çözümleme işlemlerinin tecrübeli ve deneyimli inşaat mühendislerince yapılması gerekmekte, çıkan sonuçları mukayese yapabilecek bilgi birikimine sahip kişilerce irdelenmelidir.

Program kullanıcıları zamanlarının çoğunu bilgisayar çıktısından sonuç seçmek ve bunları kullanabilecekleri formda özetlemekle geçirirler. Doğal olarak binlerce rakamın arasında bir saat dahi çalıştıktan sonra kendilerinin de şaşırdukları kadar çok hata yapmaya

başlarlar. Paket bir programdan beklenebilecek en önemli noktalardan birisi de çıktı formunun **Bina Çıktı Raporları**'na benzemesi ve binanın kalıp ve kolon aplikasyon planlarındaki eleman etiketleri kullanılarak yazılmış olmasıdır. Dolayısıyla Türk Deprem Yönetmeliğine de giren Artımsal İtme Analizi yapabilen bu paket programlar sayesinde analiz programlarının sonuçlarını değerlendirmek, program kullanıcısı inşaat mühendislerine de yol gösterecektir.

Bina projelerinin yalnızca proje konusunda deneyimli "**İnşaat Mühendisleri**"nce yapılabileceğini hiç bir zaman unutmamak gerekir. Nitekim deneyimsiz ve mühendislik bilgisi olmayan kişilerce yapılacak tasarımların ve bu tasarımlar sonucu oluşabilecek hataların telafisi mümkün olamayabilir. Dolayısıyla tüm özelliklerine rağmen bu paket programlar, yalnızca "İnşaat Mühendisi" sıfatına sahip kişilerce kullanılabilir.

Yaygın olarak kullanılan bina sistemlerinin genelde ortak karakteristiklerini özetlersek;

1. Binalarda, çerçeve eleman olarak adlandırılan genelde yatay (veya eğimli) kirişler ve düşey kolonlar bulunmaktadır.

2. Binayı oluşturan kolon, kiriş ve perde elemanlarının çoğu benzer kesitlere ve malzeme özelliklerine sahiptirler, dolayısıyla bir tiplene kolaylıkla yapılabilir ve veri dosyalarının hacmi çok küçültülebilir.

3. Kat seviyelerinde yeralan döşemelerin kendi düzlemlerindeki rijitlikleri genellikle çok yüksektir. Bu nedenle kat seviyelerindeki serbestlik dereceleri önemli ölçüde azaltılabilmekte, dolayısıyla da programın gerektirdiği bilgisayar kapasitesi de defalarca küçülmektedir.

4. Bina sistemlerinde eleman boyutları, sonuçları etkileyecek kadar büyüktür ve hesaplarda göz önüne alınmalıdır.

3.2. Uygulamaya Konu Binaların SAP2000 Programıyla Modellenmesi

SAP2000 programı yardımıyla gerçekleştirilen artımsal itme analizi sonucunda, kullanıcının binayı oluşturan tüm elemanların hasar oranlarını belirlemesine imkan sağlamaktadır.

Binanın SAP2000 programında modellenebilmesi için, sistemi oluşturan elemanların boyutları daha önce de belirtildiği gibi PROBİNA programı yardımıyla ön boyutlandırma yapılarak alınmıştır. Eleman kesitleri, binaya ve dolayısıyla da elemanlara etkileyen yükleri

ve malzeme özellikleri programda veri olarak girilmiştir. Binanın modellenmesi işlemi tamamlandıktan sonra kesitlerde plastik mafsalları tanımlamalarının yapılması gerekmektedir. Bu durumda modal analiz ve doğrusal olmayan artımsal itme analizi yapılabilir.

SAP2000 programıyla artımsal itme analizi sadece çerçeve tipi elemanlara uygulanabilir. Uygulamaya konu olan diğer bina tipi perdeli çerçeve sistem için ise, perde elemanlar da çerçeve elemanı olarak tanımlanmak suretiyle gerçekleştirilebilir. Program, mafsalları hipotezi ile çözüm yapmaktadır. Dolayısıyla doğrusal olmayan davranış, belirli bölgelerde mafsalları oluşumu ile dikkate alınmaktadır.

Elastik olmayan analiz sonucunda plastikleşmesi beklenen kiriş ve kolon elemanların kritik kesitleri için iç kuvvet – deformasyon bağıntıları tanımlanır ve ilgili kesitlere atanır. Bu aşamada iki seçenek mevcuttur.

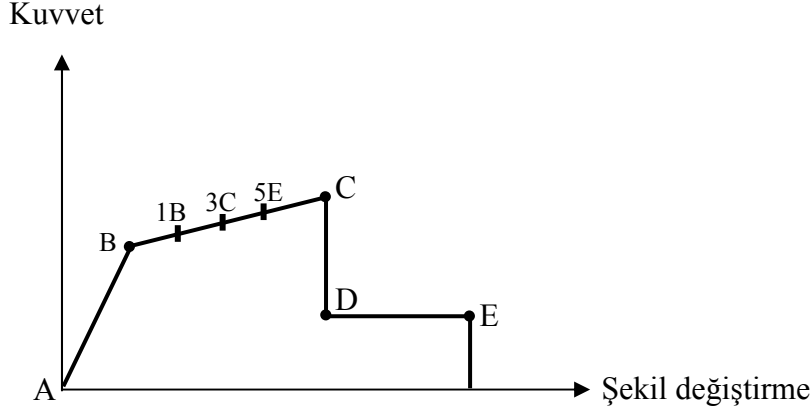
Birincisinde; bu bağıntılar kullanıcı tarafından programa girilir. İkincisinde; kesit ve donatı özellikleri göz önünde bulundurularak ATC-40 ve FEMA-356’da önerilen bağıntılar kullanılarak program tarafından otomatik olarak belirlenir. Bu bağıntılar SAP2000 programında şu şekilde tanımlanmıştır. Tek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

Mafsallara ait özellikler tespit edilip elemanlara atandıktan sonra her kesite ait akma momenti ve dönmesi hesaplanmaktadır. SAP2000 programı, bina elemanlarının akma noktalarına kadar olan davranışlarını elastik davranış olarak dikkate almaktadır. Programda moment-dönme grafiğine ait değerlerinin girilmesi elde edilen bu akma değerlerine oranlanarak yapıldığı için programın bununla ilgili kısmına, bu değerlerin karşılığı olarak 1,0 rakamı yazılarak noktanın grafik üzerindeki değeri 1,0 kabul edilir.

Artımsal itme analizi, plastik şekil değiştirmelerin (elastik ötesi davranış sonucunda oluşan) plastik mafsalları bölgelerinde toplanması ilkesine dayandığı için belirli bir yük parametresinden sonra sistemde yeterince plastik mafsalların oluşması beklenmektedir. Yeteri kadar plastik mafsalların oluşmasıyla da sistem mekanizma durumuna gelmekte ve bu noktadan sonra artan yerdeğiştirme değerlerine karşılık yük parametreleri azalmaktadır. Sistemde ilk plastik mafsalları oluşması demek, sistemin doğrusal-elastik davranıştan doğrusal olmayan davranışa geçmesidir.

SAP2000 programında, doğrusal olmayan davranışın tanımlanması için iki tip mafsall kullanılmıştır. Birincisi, aksenal kuvvet ve eğik eğilmeye maruz kalan, perde gibi elemanlarda doğrusal olmayan davranışı belirtmesi için girilen mafsaldır. İkincisi ise basit eğilmeye maruz kiriş gibi elemanlardaki doğrusal olmayan davranışı temsil eden bir mafsall türüdür.

Doğrusal olmayan artımsal itme analizi için ATC-40 ve FEMA-273’ de önerilen plastik mafsallarda kuvvet-şekildeğiştirme özelliklerini veren grafik daha sonra verilecektir. Ancak bu şekil üzerinde detaylı açıklamalar yapılacağı için Şekil 3.1’deki yeniden gösteriminin yapılması yararlı olacaktır.



Şekil 3.1. Plastik mafsallar için kuvvet-şekildeğiştirme eğrisi

SAP2000 programıyla, oluşan her plastik mafsall şekil değiştirme durumları için (Şekil 3.1’den de görülebileceği gibi B,1B, 3C, 5E, C, D, E) adımlar oluşturulur. AB aralığında eleman doğrusal-elastik davranış göstermektedir. B noktasından itibaren elastik ötesi davranışa geçilir ve plastik şekil değiştirmeler başlar, BC aralığı elemanın pekleşme davranışı gösterdiği aralık olup C noktası kesitin taşıma gücünü belirtir. CD aralığı gerilmelerin boşalıp, kırılma ve kopmaların başladığı aralıktır. “D” noktasından itibaren ise artan şekil değiştirme durumları için kesit özelliklerini kaybetmeye başlamaktadır. E noktası ise; elemanın tamamen göçtüğü kabul edilen noktadır.

SAP2000 programında doğrusal olmayan statik analizlerin yapılabilmesi için iki ayrı yöntem sunulmuştur. Bunlardan ilki; düşey yükler altında çözümlenelerde kullanılan ve yüklerin normalize edilmiş halini kullanan yüklere ulaşınca kadar adım adım arttırmak suretiyle işlem yapan “push to load level defined by pattern” dir. İkincisi ise; yatay yükler altında doğrusal olmayan artımsal çözümleneye yapan ve yüklerin normalize edilmiş

hallerini kullanarak yerdeğiştirme artımlarına göre hesap yapan “push the displacement of” komutudur. Bu analizde, yerdeğiştirmenin istenilen değere ulaşması için yük değerleri artırılır veya azaltılır.

SAP2000 programında Şekil 3.1’in benzeri mevcut olduğundan B, C, C, E noktalarına ait değerlerin girilmesi, eleman kesitinin davranışını modellemek için yeterlidir. Ancak, programın bu noktalara geręek değerlerini atayabilmesi için akma deformasyon değerinin kullanıcı tarafından programda tanımlanması gerekmektedir.

Programda eleman kesitinin hangi deformasyon değerlerinde hangi hasar yani performans seviyesinin olduğunun tanınımının yapılması gerekir. Performans seviyeleri; eleman kriterlerinin alacağı kesme kuvveti, donatı oranları, etriyelerin uygunluğu gibi koşullar FEMA-356’da tarif edilmektedir. Şekil 3.1’de izah edildiği gibi, elemanın B noktasından E noktasına kadar olan deformasyon sürecinde, dönme değerlerine göre hangi performans (hasar) seviyesinde bulunduğunu program ifade eder. Bu seviyeye karşılık gelen moment değerlerinin program tarafından analiz sırasında tanınmasını sağlar.

SAP2000 programında mafsallara ait özelliklerin (bu özelliklere ait değerlerin tanımlanması ileride verilecektir.) girilmesinden sonra taşıyıcı sistemi oluşturan her elemanın iki ucuna da elemana ait mafsal özellikleri atanarak artımsal itme analizi ile elemanların modellenmesi işlemi sona erer.

Elemanların modellenmesi işlemi sona erdikten sonra doğrusal olmayan artımsal itme analizi ile binanın çözümlenmesinin yapılabilmesi için analiz için yapılması gerekli hesaplamaların da programa tanıtılması gerekmektedir. İlk aşamada yapının kendi ağırlık yükünün programa tanıtılması icap eder. Bunun için zati ve hareketli yük birleşimlerini (kombinasyonlarını) bir katsayı ile çarpmak suretiyle binaya etkittirilir. Bu işlem için daha önce de belirtildiği gibi “push to load level defined by pattern” komutu kullanılır. Burada dikkate alınacak ağırlık binanın kendi ağırlığı olduğu için katsayı “1” seçilir. Binanın yapacağı deformasyonlar ilk aşamada bu yüklerin oluşturacağı deformasyonlardır. Dolayısıyla ilk aşamada binaya etki eden zati ve hareketli yükler girilecek ve bu yüklerin neden olacağı deformasyon değerlerinin elde edilmesi ile sonuğlandırılacaktır.

İkinci aşamada ise dinamik hesaplamaların göz önüne alınacağı yatay ötelemelerin yapılacağı ve bu yerdeğiştirmelerin bir sınır değere kadar izin verilebileceği aşamadır. Yani yatay yerdeğiştirmenin biteceği binanın en son izin sınırlarında ulaşabileceği çatı (tepe) yerdeğiştirme değeri de programda girilebilir. Bunun için kullanılacak komut; “push the displacement of” komutudur. Bu değer, hesaplamalarda bir fikir vermesi bakımından

toplam bina yüksekliğinin (H) %4'ü olarak girilebilir. Çıkan sonuca göre elde edilen yerdeğiştirme değeri daha hassas girilerek programa girilmiş olan adım sayısı ise birlikte hassas değerler elde edilebilir. Böylece ikinci aşama verileri programa girilerek bu safha da tamamlanır.

SAP2000 programında artımsal itme analizi ile çözümlene yapılmadan önce binanın doğrusal analizi ile çözümlenmesinin yapılması gerekmektedir. Doğrusal analiz yapıldıktan sonra doğrusal olmayan statik itme analizi programda koşturulabilir. Doğrusal olmayan bu analiz neticesinde girilen (programda kayıtlı) her bir yerdeğiştirme adımı için binanın, taban kesme kuvveti, spektral yerdeğiştirmeye karşılık gelen ivme değerleri, tüm elemanların hangi performans seviyelerinde buldukları elde edilebilir. Daha önce programda girilen sınır yerdeğiştirme değerine analiz sonucunda ulaşılmamış ise binayı oluşturan elemanlardan herhangi biri bu sınır yerdeğiştirme değerine ulaşmadan göçme noktasına ulaşmış demektir. Ancak bina taşıyıcı sistemi göçmemiştir. Yerdeğiştirme değeri arttırılıp işlemler tekrarlanır. Bina sınır yerdeğiştirme değerine erişirse bina taşıyıcı sistemi göçmeye ulaşmış demektir ki bu noktadaki yerdeğiştirme ve kesme kuvveti değerleri aranan değerler olur.

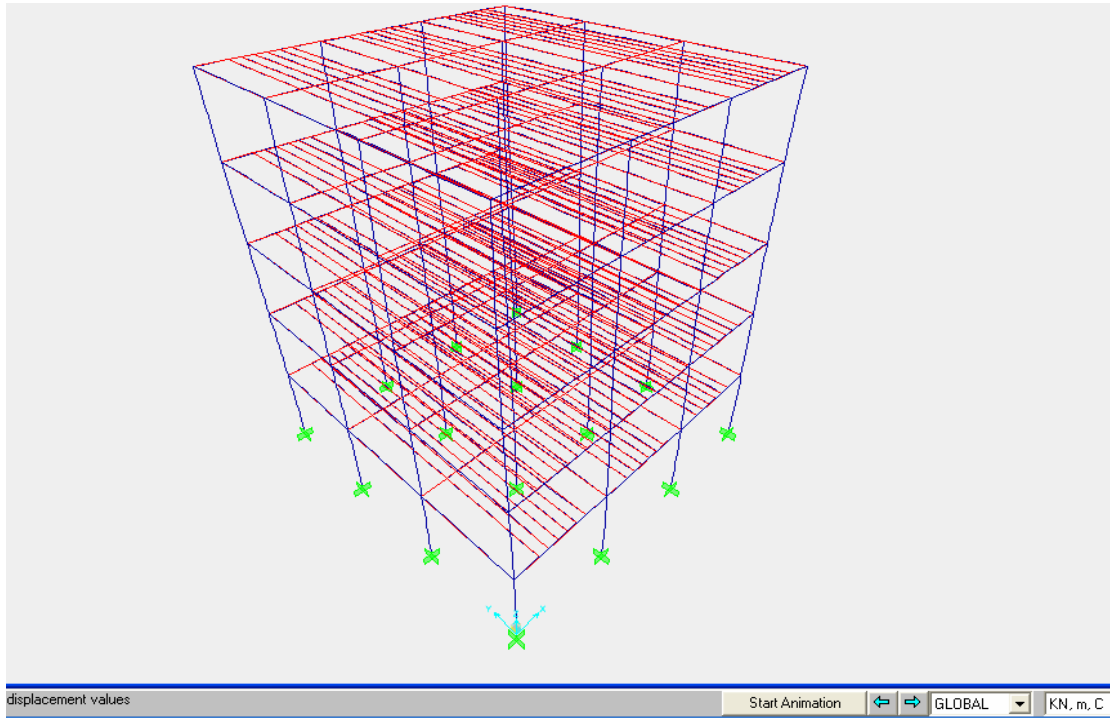
Buraya kadar SAP2000 programı ile doğrusal olmayan statik analizde izlenilecek yol ana hatlarıyla özetlendi. Bu analizde izlenilecek yol aşağıda maddeler halinde sunulmaktadır.

- Bina elemanlarının oluşturulması
- Kesit özelliklerinin girilmesi (Bunun için PROBİNA programından yararlanıldı)
- Kesit özelliklerinin girilerek bina elemanlarına atanması
- Yüklerin girilmesi (TS498 ve Yeni Türk Deprem Yönetmeliği kullanılmıştır)
- Düşey yüklerin (kalıcı ve hareketli) tanımlanması ve modele etkittirilmesi
- Doğrusal analizin koşturulması
- Plastik mafsallık özelliklerinin tanımlanması
- Plastik mafsalların bina elemanlarına atanması
- Yükleme için yatay yüklerin (pushx, pushy) tanımlanması
- Doğrusal olmayan analiz için kontrol noktasının, analiz çeşidinin ve yük katsayılarının girilmesi
- Doğrusal olmayan analizin çalıştırılması

Analiz koşturulduktan sonra bina elemanlarında oluşan plastik mafsallar ve yerleri elde edilerek program ekranında görüntülenebilir. Yine plastik mafsallarda Şekildeğiştirme yani performans seviyeleri de elde edilebilir. Bina elemanlarında oluşacak kesit zorları ve taşıyıcı sistem yük parametresi – yerdeğiştirme değerleri elde edilebilir.

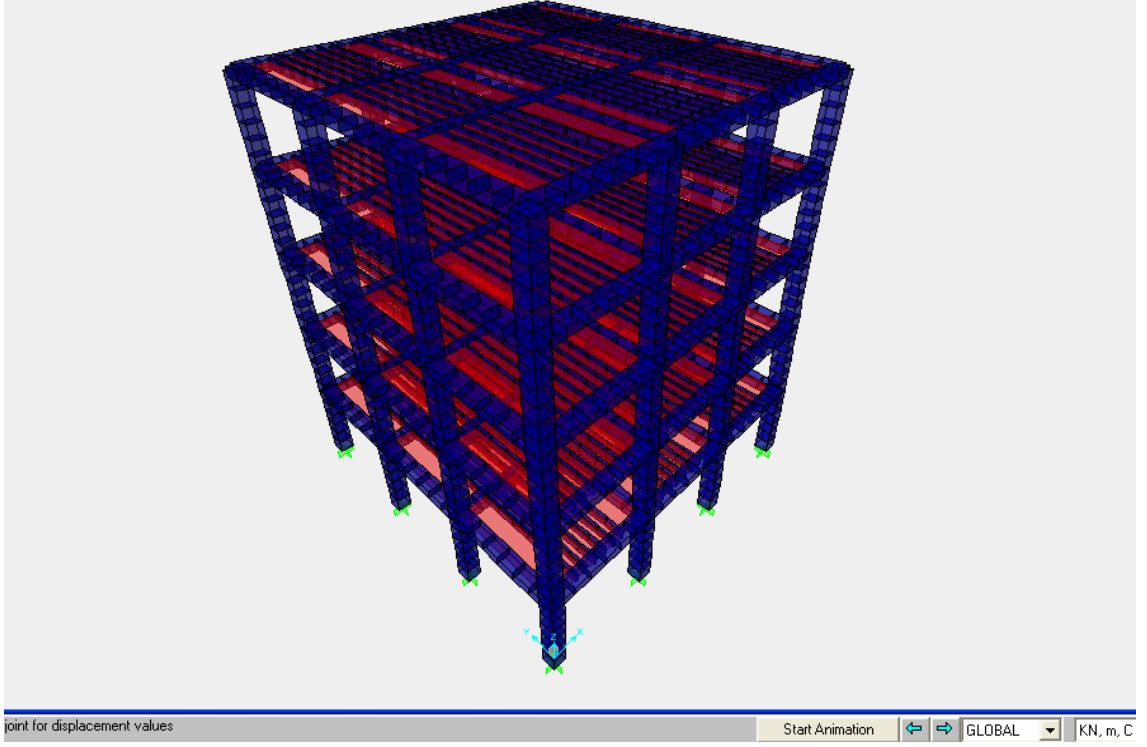
3.3. SAP2000 Programı İle Uygulamaya Konu Olan Binanın Artımsal İtme Analizi

Asmolen döşemeli betonarme binanın SAP2000 programıyla artımsal itme analizinin yapılabilmesi için oluşturulan matematik model Şekil 3.2'deki gibidir.

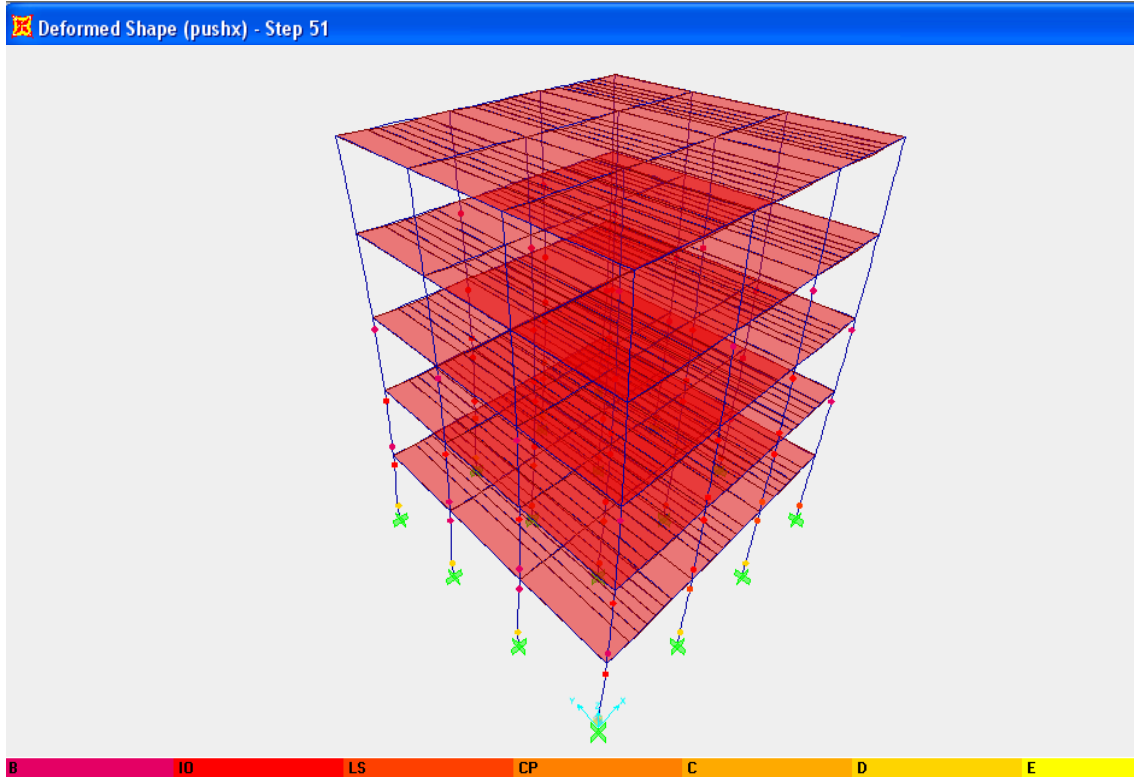


Şekil 3.2. Uygulamaya konu olan binanın SAP2000'deki matematik modeli

Aynı Şekilde hazırlanan modelin SAP2000'deki üç boyutlu görünümü de Şekil 3.3'deki gibi aşağıda gösterilmiştir. 51. adımda yani binanın göçme anında X doğrultusundaki plastik mafsalları oluşumu da Şekil 3.4'de verilmektedir.

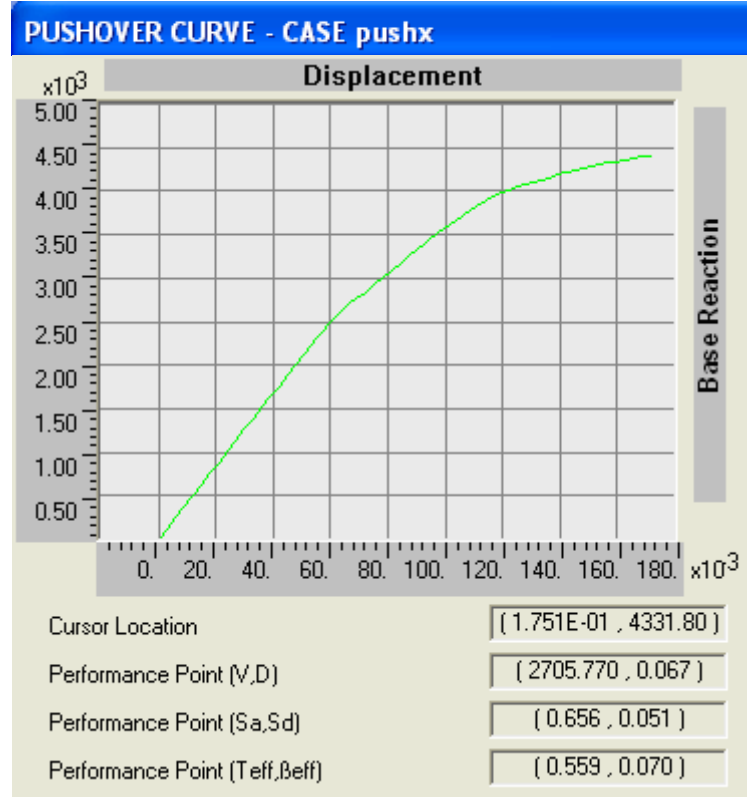


Şekil 3.3. Uygulamaya konu olan binanın SAP2000'deki 3 boyutlu görünümü



Şekil 3.4. Uygulamaya konu olan binanın SAP2000'de X doğrultusunda 51. adımda oluşan plastik mafsallaşma

Uygulamaya konu binanın X doğrultusunda elde edilen kapasite eğrisi Şekil 3.5’de, kapasite spektrum eğrisi Şekil 3.6’da ve elemanların hasar durumlarını gösteren tablo da Tablo 3.1’de aşağıda verilmektedir.

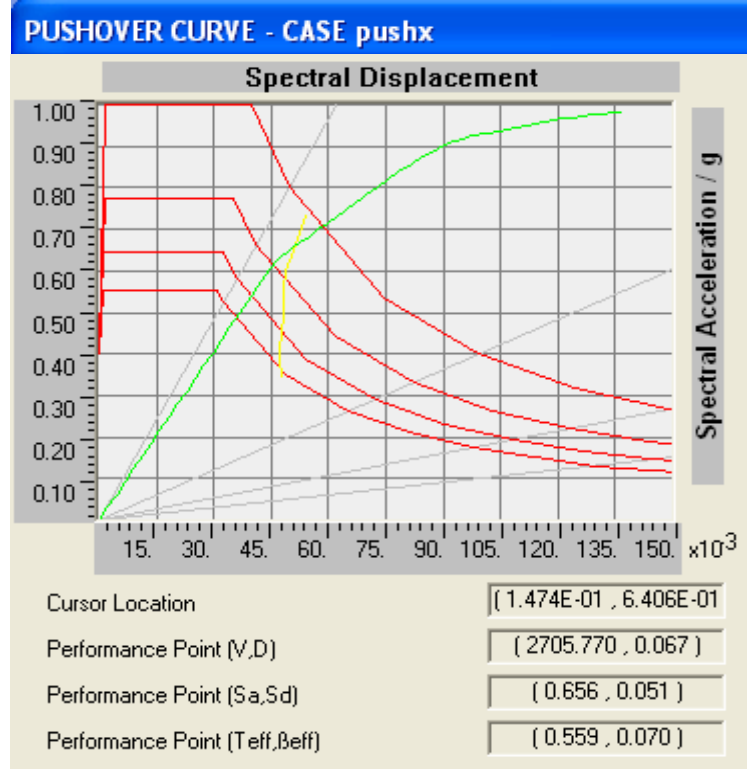


Şekil 3.5. X doğrultusu için kapasite (pushover) eğrisi

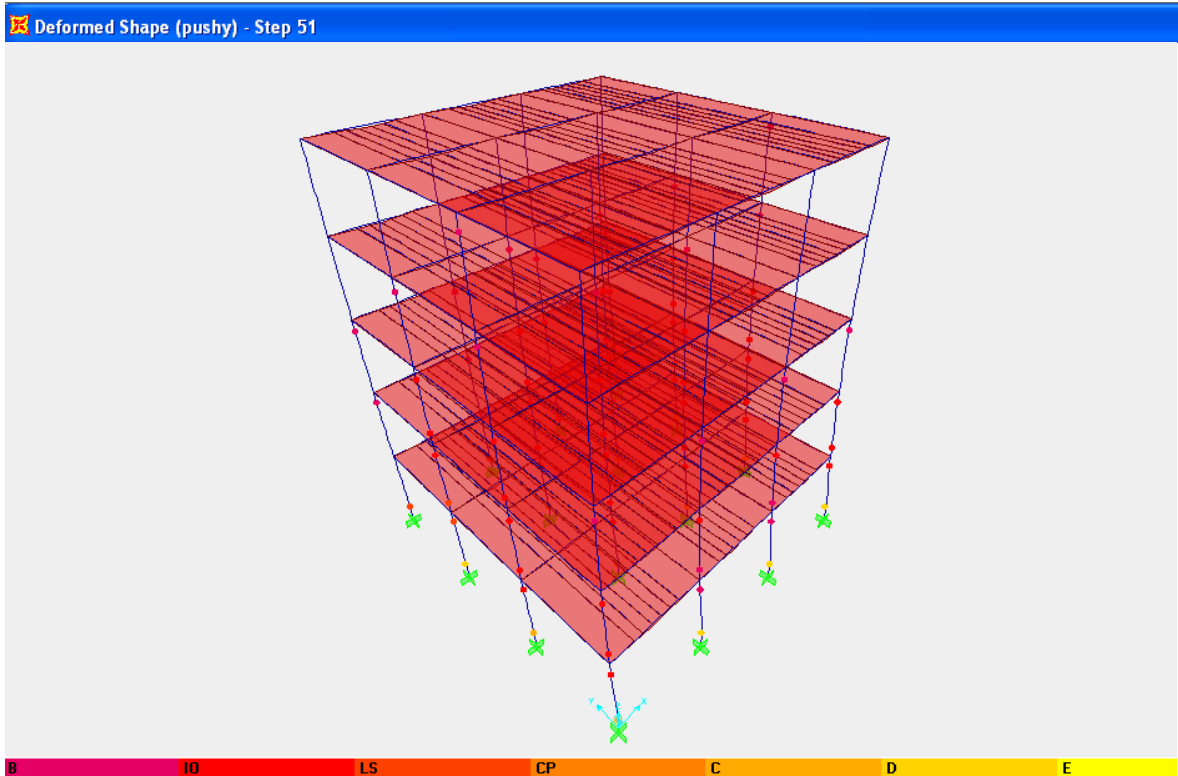
Tablo 3.1. 40-51. adımlar arası X doğrultusu için elemanların durumu

Step	Displacement	Base Force	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
40	0.1365	4155.0132	870	34	20	16	0	0	0	0	940
41	0.1395	4183.0688	868	32	24	16	0	0	0	0	940
42	0.1425	4209.6660	868	32	24	16	0	0	0	0	940
43	0.1483	4259.7476	866	26	32	16	0	0	0	0	940
44	0.1538	4301.5000	860	32	32	16	0	0	0	0	940
45	0.1568	4322.0273	856	34	34	16	0	0	0	0	940
46	0.1598	4341.1699	854	34	36	16	0	0	0	0	940
47	0.1628	4359.4800	854	30	40	16	0	0	0	0	940
48	0.1658	4377.7900	852	28	44	16	0	0	0	0	940
49	0.1688	4393.0288	852	28	42	18	0	0	0	0	940
50	0.1718	4408.2676	852	26	38	22	0	2	0	0	940
51	0.1186	2005.5040	850	28	34	20	0	0	8	0	940

51. adımda yani binanın göçme anında Y doğrultusundaki plastik mafsall oluşumu Şekil 3.7’de verilmektedir.

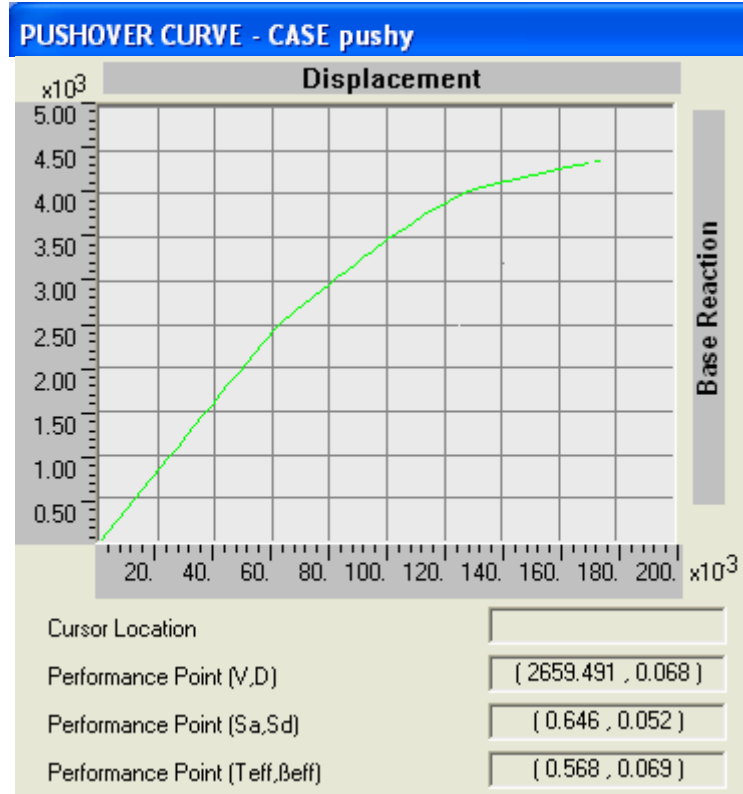


Şekil 3.6. X doğrultusu için kapasite spektrum eğrisi



Şekil 3.7. Uygulamaya konu olan binanın Sap2000'de Y doğrultusu için 51. adımda oluşan plastik mafsallaşma

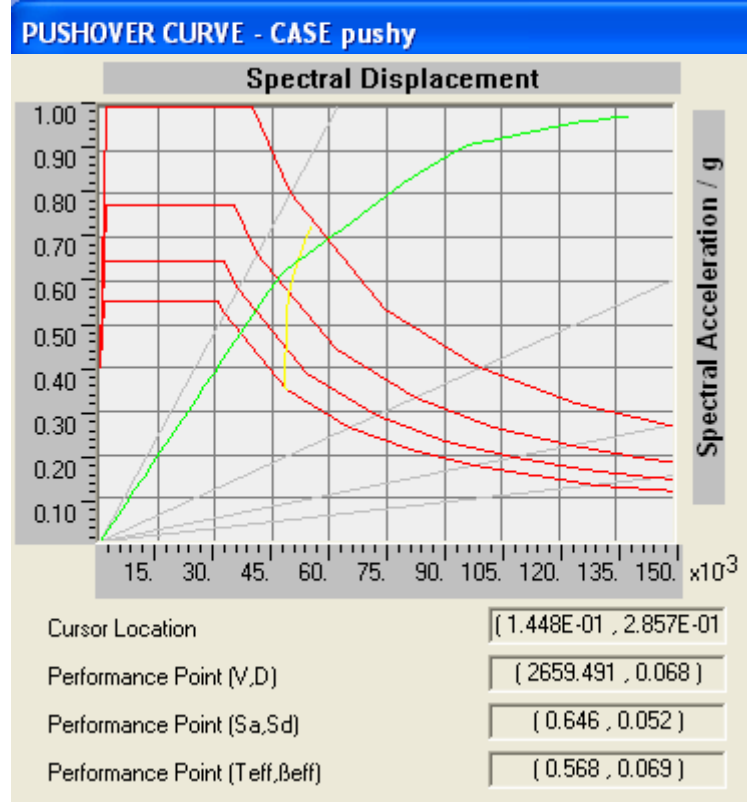
Uygulamaya konu binanın Y doğrultusunda elde edilen kapasite eğrisi Şekil 3.8’de, kapasite spektrum eğrisi Şekil 3.9’da ve elemanların hasar durumlarını gösteren tablo da Tablo 3.2’de aşağıda verilmektedir.



Şekil 3.8. Y doğrultusu için kapasite (pushover) eğrisi

Tablo 3.2. 40-51. adımlar arası Y doğrultusu için elemanların durumu

Step	Displacement	Base Force	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
40	0.1422	4150.6777	868	34	22	16	0	0	0	0	940
41	0.1452	4176.7002	868	32	24	16	0	0	0	0	940
42	0.1482	4202.7227	864	32	28	16	0	0	0	0	940
43	0.1512	4226.0156	864	30	30	16	0	0	0	0	940
44	0.1542	4249.3086	864	28	32	16	0	0	0	0	940
45	0.1572	4272.6011	862	30	32	16	0	0	0	0	940
46	0.1602	4295.0000	858	34	32	16	0	0	0	0	940
47	0.1632	4314.7021	856	32	36	16	0	0	0	0	940
48	0.1662	4333.5732	854	32	38	16	0	0	0	0	940
49	0.1713	4361.0806	852	30	42	16	0	0	0	0	940
50	0.1743	4376.1196	850	28	42	18	0	2	0	0	940
51	0.1233	2174.5471	850	26	42	10	0	6	6	0	940



Şekil 3.9. Y doğrultusu için kapasite spektrum eğrisi

3.4. STA4 Programı İle Uygulamaya Konu Olan Binanın Artımsal İtme Analizi

Bu bölümde daha önce PROBİNA'da ön boyutlandırması yapılan 5 katlı asmolen döşemeli betonarme bir binanın STA4 programıyla artımsal itme analizi yapılmakta, kapasite (pushover) eğrisi elde edilerek plastik mafsallaşma, maksimum çatı (tepe) yerdeğiştirmesi, binaya etkiyen taban kesme kuvveti gibi değerler elde edilmektedir.

STA4 programı, çok katlı betonarme yapıların 3 boyutlu analizini ve çizimlerini yapan bir paket programdır. Yapının tümü için global rijitlik matrisi bir defada kurulur ve bloklama tekniği ile deplasmanlar bulunur. Kat düzlemindeki plakların yatay düzlemde sonsuz rijitliğini dikkate alarak, kat düzlemindeki d_x , d_y , d_z deplasmanları için her katta 3 bilinmeyen, eleman uçlarında d_x , d_y , d_z deplasmanları için her noktada 3 bilinmeyen kullanarak betonarme yapıların çözülmesi yapılmaktadır. Kiriş ve kolon elemanlarında kayma deformasyonları ile burulma etkileri dikkate alınmaktadır. Denklem takımını; çözümünün hızlı olabilmesi için uç nokta numaraları, program tarafından nokta

optimizasyonu ile minimum hafızada çözecek şekilde düzenlenir. Yapı ve temel birlikte çözülebilmekte olup, Winkler hipotezi kullanılmaktadır.

STA4 programında global rijitlik matrisinde dikkate alınan hususlar aşağıdaki gibi sıralanabilir;

-Kirişlerin kolon ve perde içindeki kısımları, sonsuz rijit alınarak yük ve rijitlik matrislerinin düzenlenmesi.

-Geniş perdeler zayıf yönde saplanan kirişlerin, fiktif kolon kontrollü elastik ankastre olarak çözümü.

-Geniş perdeler rijitliği yönünde saplanan kirişlerde, kayma deformasyonların dikkate alınması.

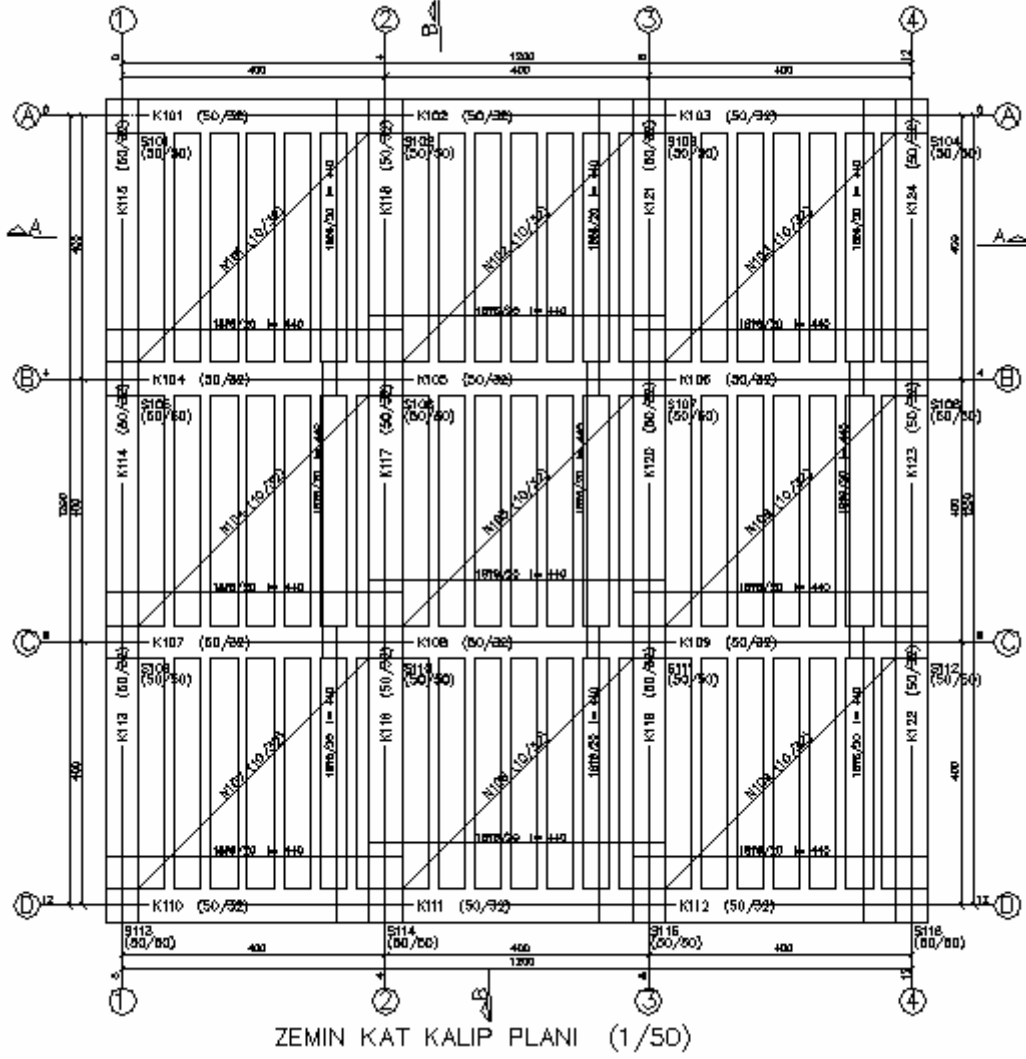
-Altındaki kolon ile eksenlerinde kaçıklık olan kolonlarda, eksenel yük eksantrikliğinin rijitlik matrisinde dikkate alınması.

-Dinamik analizde; CQC (Complete Quadratic Combination) metodu ile %5 sönüm yüzdesine göre kuvvetlerin bulunması şeklinde açıklayabiliriz.

3.4.1. Asmolen Döşemeli Betonarme Binanın STA4 Programı İle Çözümlemesi

Çözümleme için öncelikle Şekil 3.2'den görülebileceği üzere bina kat planı programda çizilir ve daha önceden belirlenen boyutlandırmalar dikkate alınarak matematik model oluşturulur. Bu modellemeye göre tüm veriler girildikten sonra STA4 programında analiz koşturulur. Analiz sonunda kapasite (pushover) eğrisini elde etmek amacıyla pushover eğrisi menüsünden yararlanılır. Buna göre elde edilen veriler neticesinde değerlendirme yapılabilir.

STA4'de oluşturulan kalıp planı Şekil 3.10'daki gibi aşağıda verilmektedir. Matematik modeli oluşturulan binanın üç boyutlu görünümü ise Şekil 3.11'de verilmektedir.

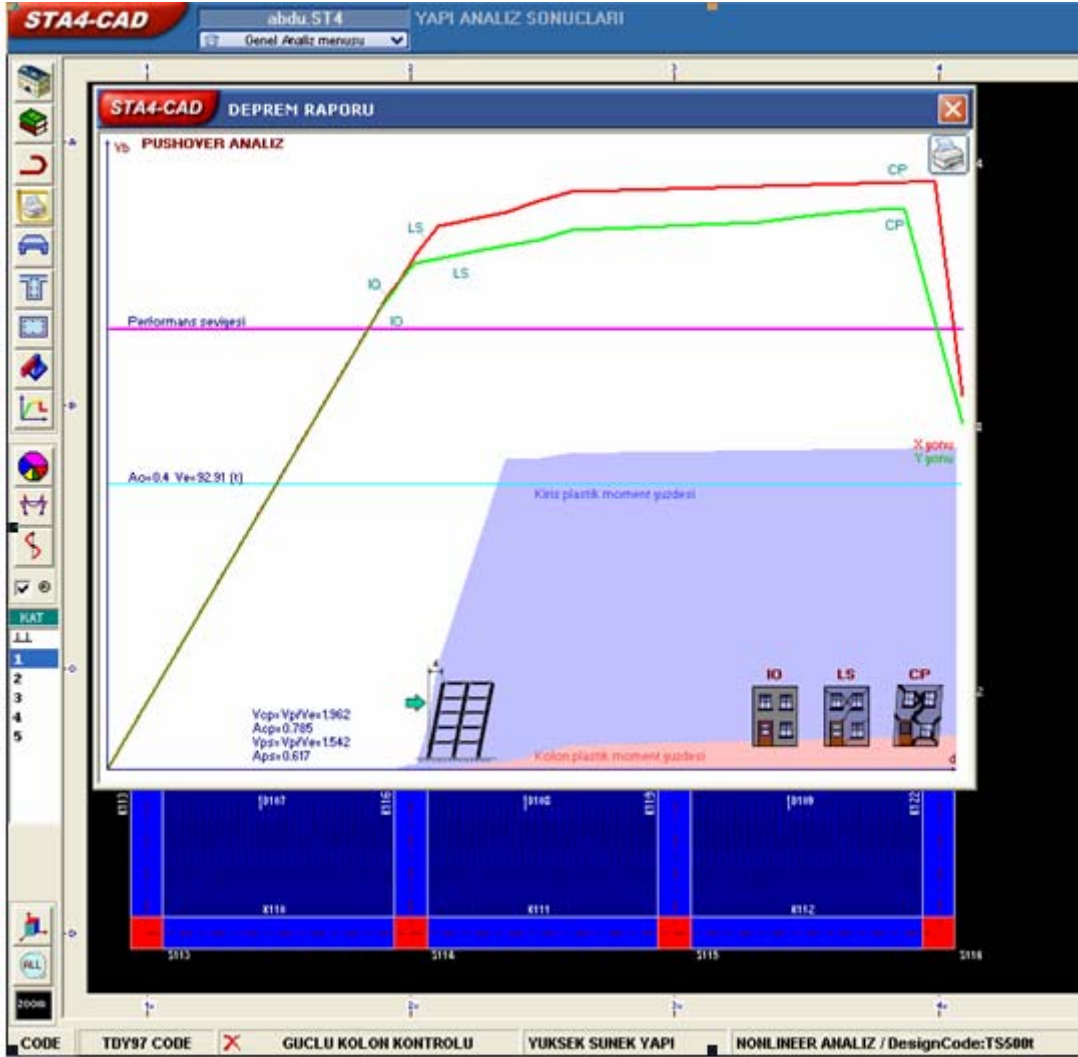


Şekil 3.10. Uygulamaya konu olan binanın STA4’de modellenmiş kalıp planı



Şekil 3.11. Uygulamaya konu olan binanın STA4’de üç boyutlu modellenmesi

STA4 programında artımsal itme analizinin yapılmasından sonra elde edilen X ve Y doğrultularına ait kapasite eğrileri tek bir diyagram üzerinde Şekil 3.12’de verilmektedir. Analiz sonucunda elde edilen yerdeğiştirme değerleri ise Tablo 3.3’de gösterilmektedir.



Şekil 3.12. Uygulamaya konu olan binanın STA4’de elde edilen X ve Y doğrultuları için kapasite (pushover) eğrisi

Tablo 3.3. Uygulamaya konu olan binanın STA4’de elde edilen yerdeğiştirme değerleri

Kat Deprem deplasmanları														
Ü	Kat	9. yükleme	10. yükleme	11. yükleme	12. yükleme	(dyf)	ëx (m)	ëz (rad)	ëx (m)	ëz (rad)	ëy (m)	ëz (rad)	ëy (m)	ëz (rad)
5		0.0110374	0.0000000	-0.024037	0.0000000	-0.024037	0.0000000	0.0240374	0.0000000					
4		0.0088754	0.0000000	-0.020875	0.0000000	-0.020875	0.0000000	0.0208754	0.0000000					
3		0.0043500	0.0000000	-0.016035	0.0000000	-0.016035	0.0000000	0.0160350	0.0000000					
2		0.0029151	0.0000000	-0.009915	0.0000000	-0.009915	0.0000000	0.0099151	0.0000000					
1		0.0006338	0.0000000	-0.003633	0.0000000	-0.003633	0.0000000	0.0036338	0.0000000					

3.5. IdeSTATİK Programı İle Uygulamaya Konu Olan Binanın Artımsal İtme Analizi

Bu bölümde de, 5 katlı asmolen döşemeli betonarme bir binanın ideSTATİK programıyla artımsal itme analizi yapılmakta, kapasite (pushover) eğrisi elde edilerek plastik mafsallaşma, maksimum çatı yerdeğiştirmesi, binaya etkiyen taban kesme kuvveti gibi değerler elde edilmektedir.

IdeSTATİK programı da, STA4 programı gibi bina sistemlerinin 3-boyutlu analizi, kolon, perde, kiriş ve döşeme gibi yapı elemanlarının dizaynı ve donatı hesapları ile temel hesaplarının hazırlanması amacıyla geliştirilmiş bir inşaat mühendisliği uygulama programıdır.

IdeSTATİK analiz programında; rijitlik matrisleri metodu ile hiçbir bloklama tekniği kullanılmaz. (ideSTATİK, 2005). Taşıyıcı sistemin rijitlik matrisi kod numaraları metodu ile oluşturulur. Her düğüm noktasında 3 öteleme 3 dönme olmak üzere 6 serbestlik derecesi tanımlanmıştır. Katlarda düğüm noktaları otomatik olarak alınır. Katlardaki düğüm noktaları bağımlı nokta (depended joint) kabul edilir. Bağımsız olması istenirse, programa bildirilir.

IdeSTATİK programında kartezyen koordinat sistemi kullanır. Sonlu elemanlar 4 düğüm noktası, 12 serbestlik dereceli, dikdörtgen plak elemanlarıdır. Yükler, düğüm noktalarına etkiyen noktasal, iki düğüm noktası arasında çizgisel ve eleman üzerinde yayılı olabilir. Nervürlü kaset plakları uzayda sonlu elemanlar olarak tasarlanmıştır. Levhalar, perdeler, yüksek gövdeli kirişler de sonlu elemanlar olarak modellenmiştir. ideSTATİK paket programında eğri yüzeyli taşıyıcı sistemler modellenemez. Dinamik hesaplar bakımından, uzayda ve kütleleri katlarda toplanmış çok kütleli sistem dikkate alınmıştır. Dışmerkezlik (eksantrisite) analizi kartezyen eksen takımları doğrultusunda gerçekleştirilir. Ancak sistem istenilen açıya döndürülebilir. Kesit hesapları, Taşıma Gücü Yöntemi' ne göre belirlenir.

Öz ağırlıklar, beton birim ağırlığı ile eleman boyutlarının çarpılması sonucunda otomatik olarak hesaplanır. Beton birim ağırlığı 'Proje Genel Ayarları Yük Güvenlik' sekmesinde beton birim ağırlığı değeri kullanıcı bilgilerine göre girilebilir. Döşemelerin üzerinde bulunan her türlü malzeme ağırlığı dikkate alınabilir. Kullanıcı malzeme yüklerini hesaplar ve 'Döşeme Ayarları' diyalogunda Genel Ayarlar sekmesinde Kaplama *G* satırında tanımlanır. Döşeme öz ağırlığından oluşan yük bu değere katılmamalıdır. Program döşeme öz ağırlığını otomatik olarak hesaplamaktadır.

120 mm kalınlığındaki parke bir döşemenin kaplama yükü;

$$\text{Ahşap parke} = 25 * 0,800 = 20 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Tesviye betonu} = 30 * 2,200 = 66 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Sıva} = 25 * 2,00 = 50 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Toplam} = 136 \text{ kN/m}^2$$

Buna göre kaplama G satırına **136 kN/m²** yazılır.

Nervür ve kaset döşemelerde, kaplama ağırlığı, dolgu malzemesi ağırlığı ile toplanarak girilmelidir. Nervür ve kaset dışlarının beton ağırlığı ise program tarafından otomatik olarak eklenir. Nervür veya kaset döşeme yerleştirildiğinde yukarıdaki değere, $7 * 25 = 175 \text{ kN/m}^2$, döşeme kalınlığı değeri otomatik eklenir ve çizim ekranında G , 550 kN/m^2 olarak görünür. Nervür analizi sonunda geri kalan dışların $0.1 * 25 * 2 * 25 = 125 \text{ kN/m}^2$ ağırlığı program tarafından hesaplanır ve toplam G değerine eklenir.

$$\text{Dolgu tuğlası ağırlığı} = 225 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Karo mozaik harcı} = 60 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Karo mozaik} = 50 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Sıva} = 400 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Toplam} = 375 \text{ kN/m}^2$$

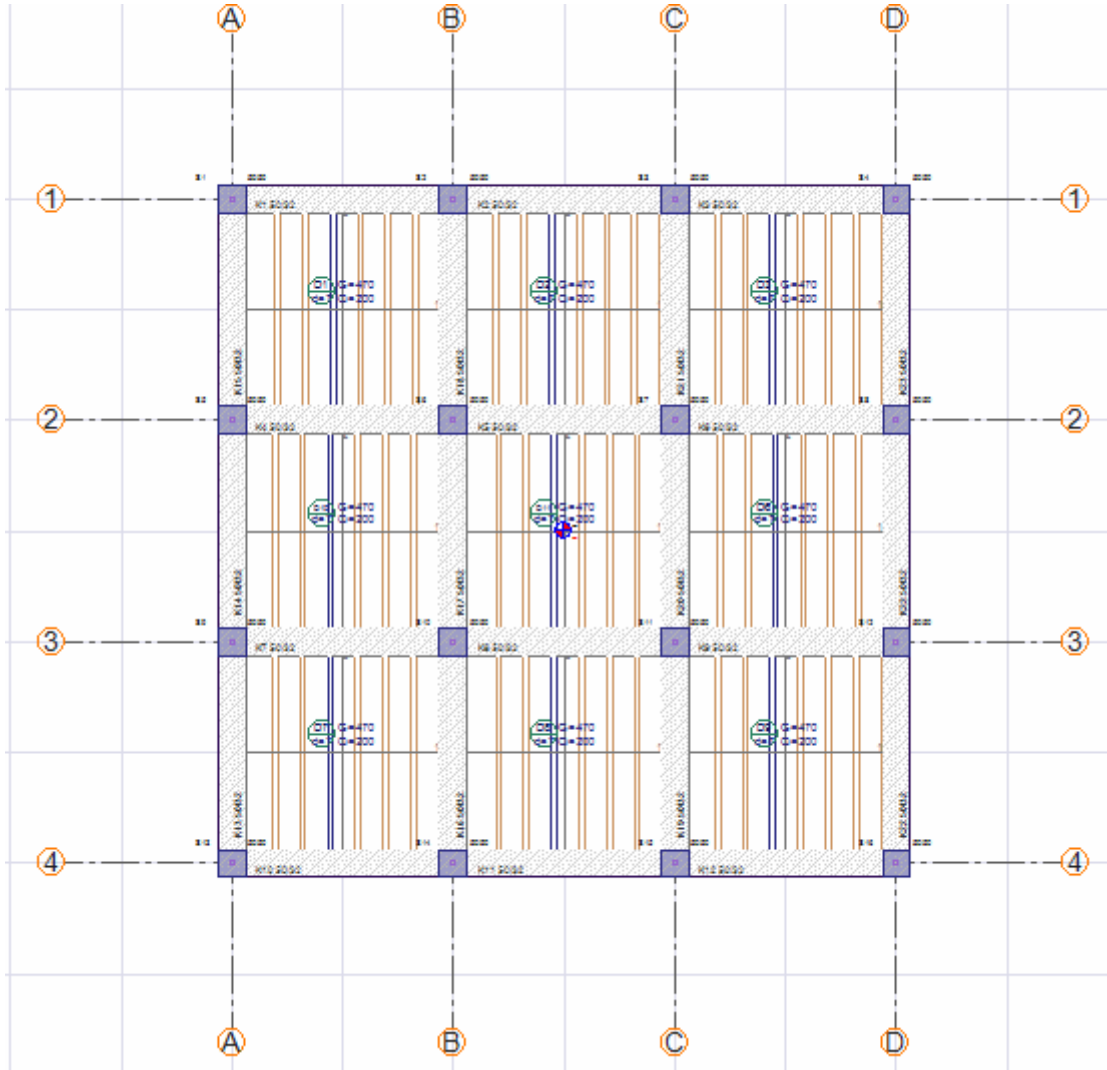
Kullanıcı Döşeme ayarlarında kaplama G satırına 375 kN/m^2 yazar.

Ön görülen yük katsayıları ve dikkate alınması gereken yük kombinasyonları aşağıdaki gibidir. Yalnız düşey yükler için; $1.4G + 1.6Q$, rüzgar yükünün söz konusu olduğu durumlarda; $1.0G + 1.3Q + 1.3W$ veya $1.4G + 1.6Q$ veya $0.9G + 1.3W$, depremin söz konusu olduğu durumlarda; $1.0G + 1.0Q + 1.0E$ veya $1.4G + 1.6Q$ veya $0.9G + 1.0E$, yatay toprak basıncı söz konusuysa; $1.4G + 1.6Q + 1.6H$ veya $0.9G + 1.6H$ olarak alınır.

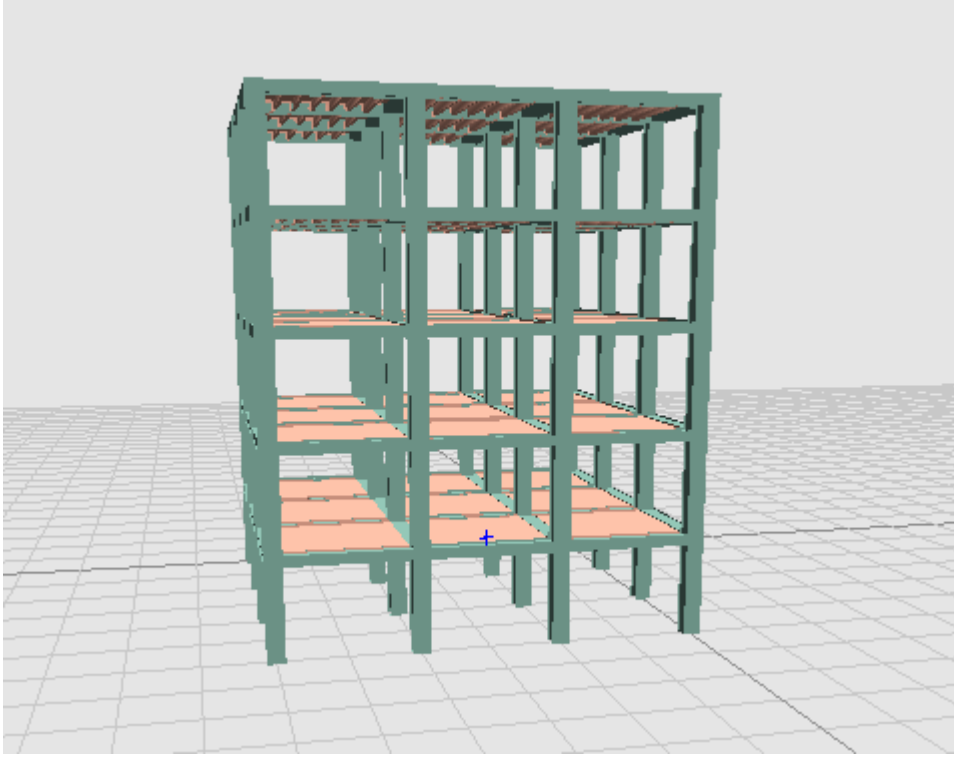
3.5.1. Asmolen Döşemeli Betonarme Binanın ideSTATİK Programı İle Çözümlemesi

Çözümleme için öncelikle Şekil 3.13'den görülebileceği üzere bina kat planı programda çizilir ve daha önceden belirlenen boyutlandırmalar dikkate alınarak matematik model oluşturulur. Bu modellemeye göre tüm veriler girildikten sonra ideSTATİK programında analiz koşturulur. Analiz sonunda kapasite (pushover) eğrisini elde etmek amacıyla pushover eğrisi menüsünden yararlanılır. Buna göre elde edilen veriler neticesinde değerlendirme yapılabilir.

İdeSTATİK'de oluşturulan kalıp planı Şekil 3.13'deki gibi aşağıda verilmektedir. Matematik modeli oluşturulan binanın üç boyutlu görünümü ise Şekil 3.14'de verilmektedir.

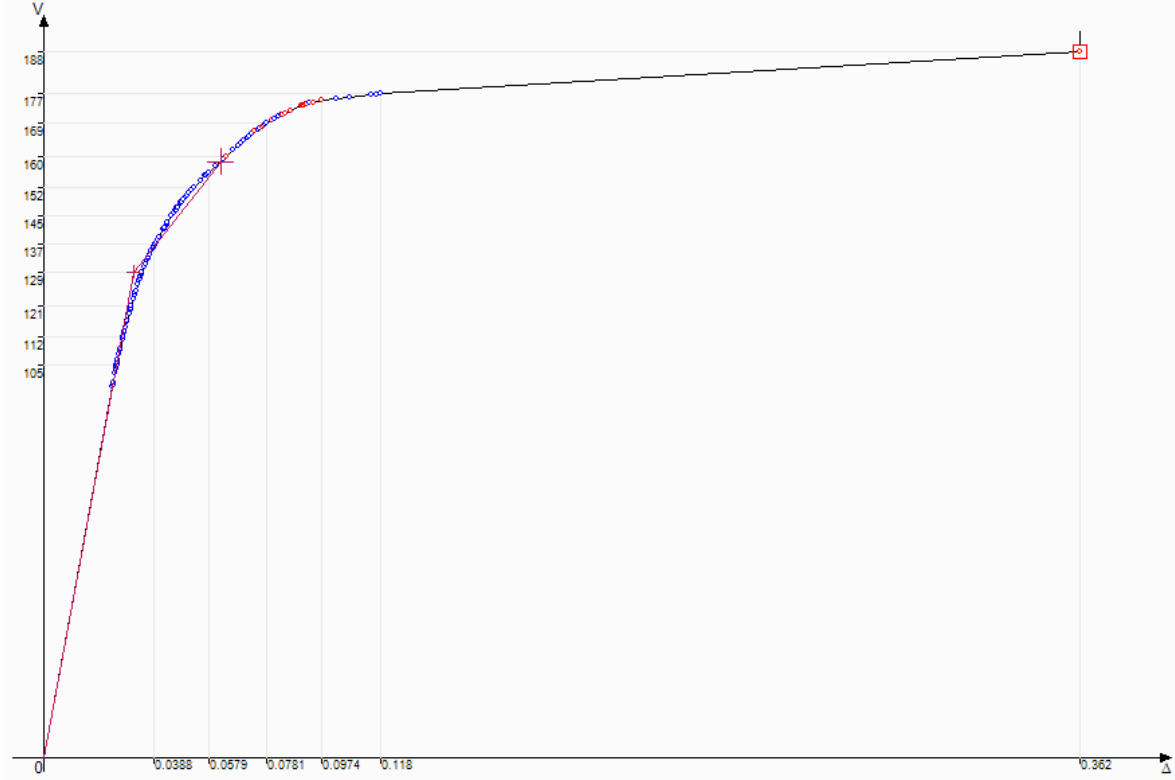


Şekil 3.13. Uygulamaya konu olan binanın ideSTATİK'te modellenmiş kalıp planı

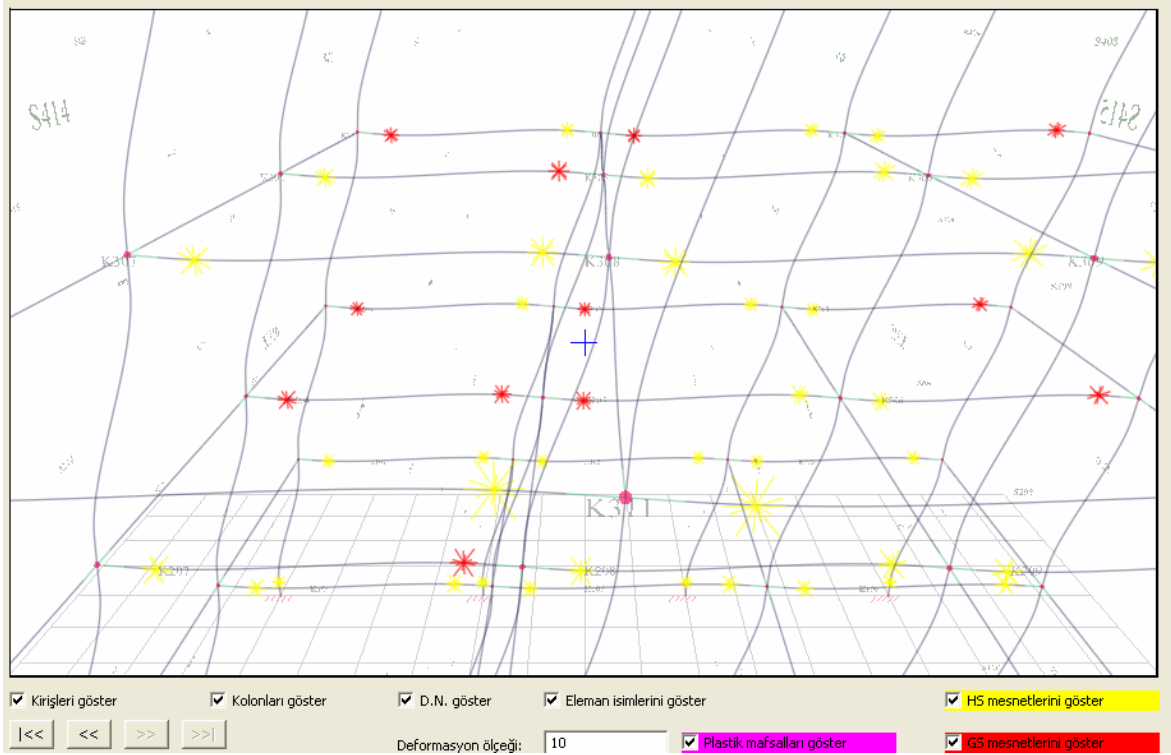


Şekil 3.14. Uygulamaya konu olan binanın ideSTATİK’de üç boyutlu modellenmesi

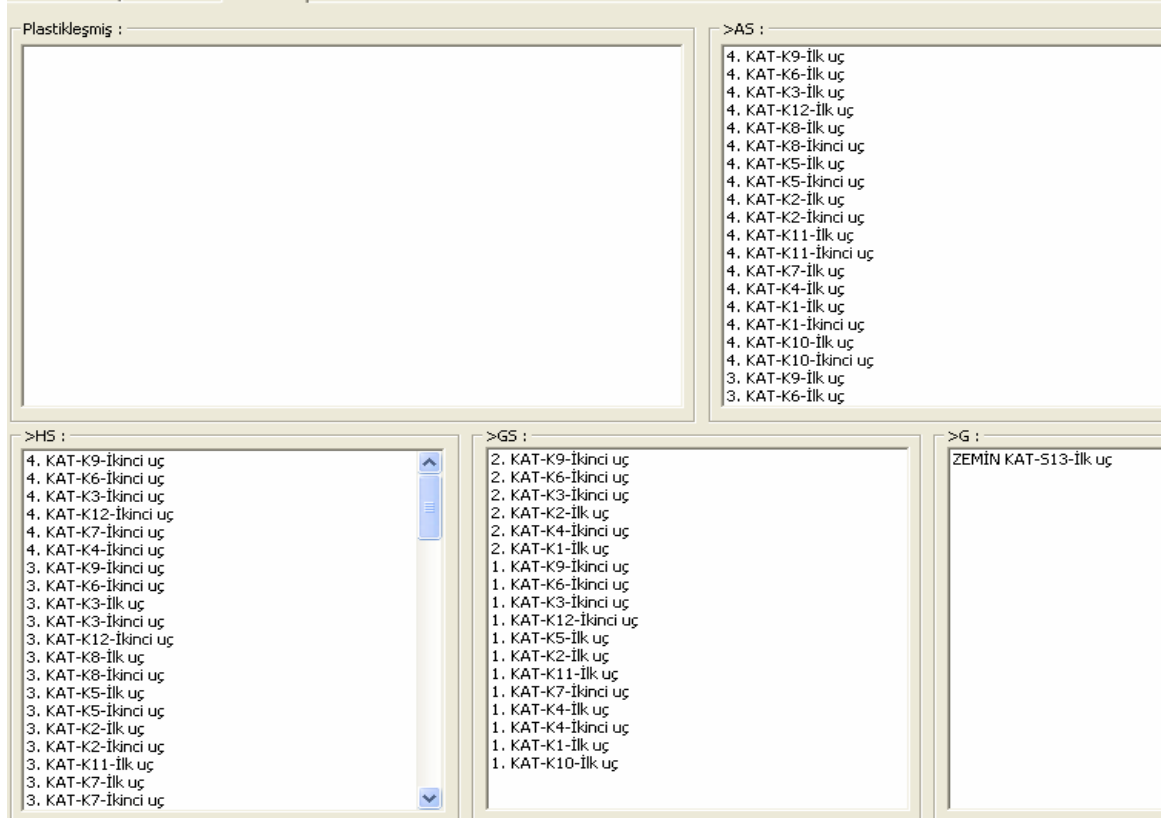
IdSTATİK programında artımsal itme analizinin yapılmasından sonra elde edilen X doğrultusuna ait kapasite eğrisi bir diyagram üzerinde Şekil 3.15’de verilmektedir. Yine artımsal itme analizinden elde edilen plastik mafsallaşma Şekil 3.16’daki gibidir. Performans seviyelerine göre elemanlardaki hasar seviyelerini gösteren plastik mafsallaşma Şekil 3.17’de verilmektedir. Artımsal itme analizi sonucunda elde edilen yerdeğiştirme değerleri ise Tablo 3.4’de gösterilmektedir.



Şekil 3.15. Uygulamaya konu olan binanın ideSTATİK’de elde edilen kapasite eğrisi



Şekil 3.16. Uygulamaya konu olan binanın ideSTATİK’de elde edilen plastik mafsallaşma



Şekil 3.17. Uygulamaya konu olan binanın ideSTATİK’de performans seviyelerine göre elemanlarda oluşan plastik mafsallar

Tablo 3.4. Uygulamaya konu olan binanın ideSTATİK’de elde edilen yerdeğiştirme değerleri

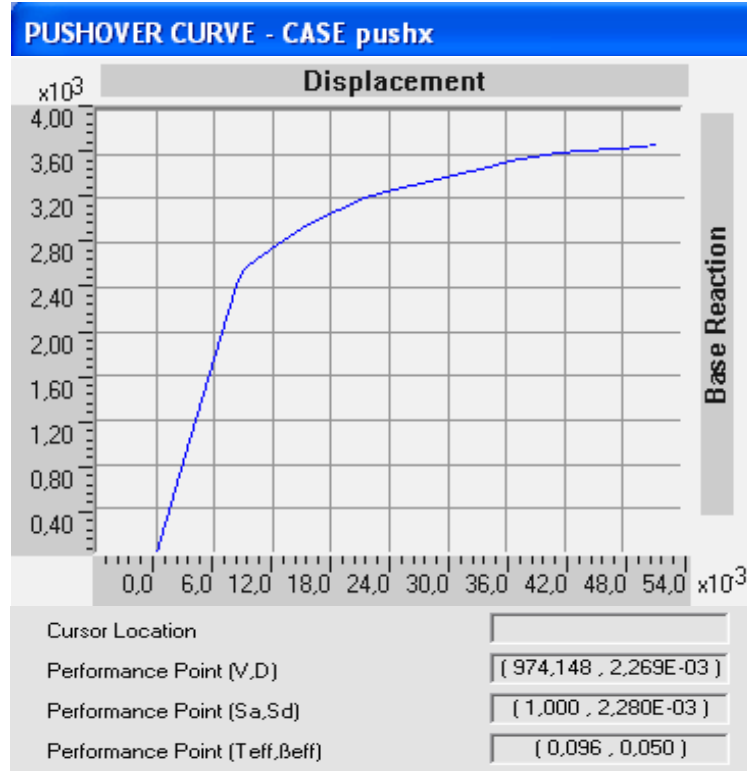
Kat	$h(m)$	X_g	Y_g	$W (kN)$	$F_x (kN)$	$F_y (kN)$
K.05	15	6.00	6.00	2126.3	309.71	309.71
K.04	12	6.00	6.00	2126.3	247.77	247.77
K.03	9	6.00	6.00	2126.3	185.83	185.83
K.02	6	6.00	6.00	2126.3	123.88	123.88
K.01	3	6.00	6.00	2126.3	61.94	61.94

3.6. Dolgusuz (Görünür) ve Dolgu Malzemeli (Asmolen) On Farklı Kata Sahip Dışlı Döşemeli Betonarme Binaların Artımsal İtme Analizi

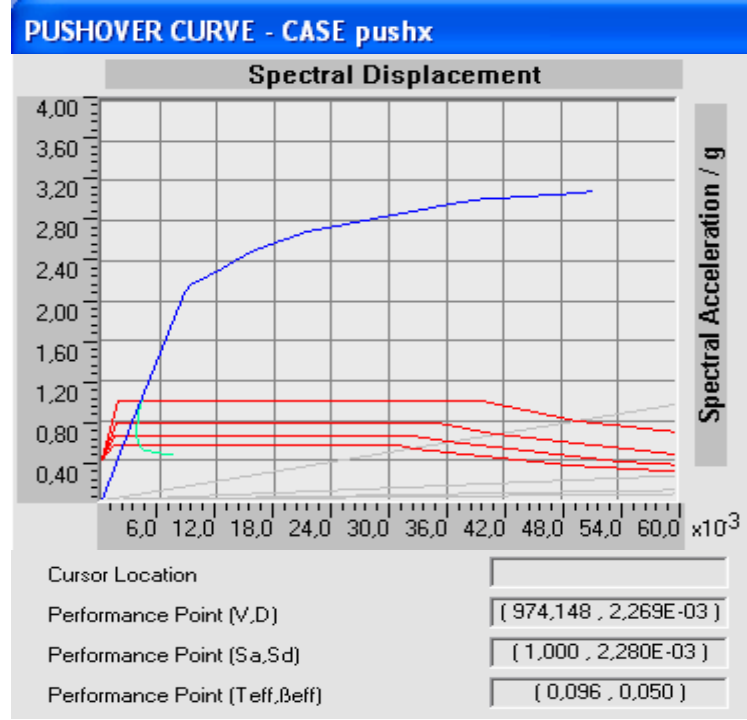
Bu kısımda tek katlıdan on katlıya kadar asmolen döşemeli betonarme binaların dolgu malzemeli (briket tuğla) ve dolgusuz olarak modellenmesiyle elde edilen, binanın karşılayabileceği maksimum taban kesme kuvvetleri ve maksimum çatı (tepe) yerdeğiştirmeleri karşılaştırılmaktadır. Ayrıca hasar gören eleman tabloları da verilmektedir. Bunun için önce dolgu malzemesi dikkate alınmadan analizler yapılmıştır. Daha sonra da dolgu malzemesi dikkate alınarak analizler yaptırılarak gerekli veriler elde edilmiştir. Bu kısımda dikkate alınan bina planı daha önce dikkate alınan planla aynı olup, binaların sadece kat sayısı değiştirilmektedir.

3.6.1. Dolgusuz Asmolen Döşemeli Betonarme Bina Modelleri

a) *Tek katlı asmolen döşemeli betonarme bina* : Tek (bir) katlı binanın SAP2000 programı yardımıyla gerçekleştirilen artımsal itme analizinden elde edilen bulgular aşağıda verilmektedir.

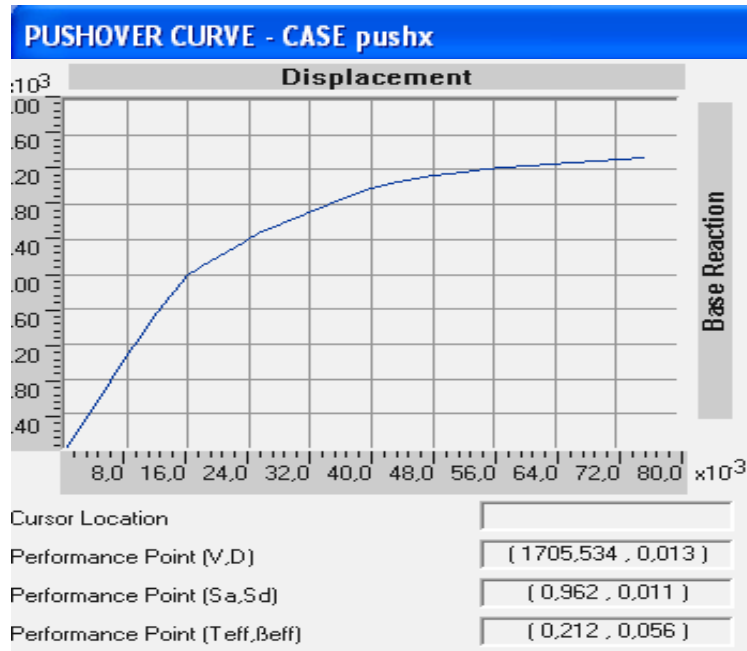


Şekil 3.18. Tek katlı binanın X doğrultusu için kapasite (pushover) eğrisi

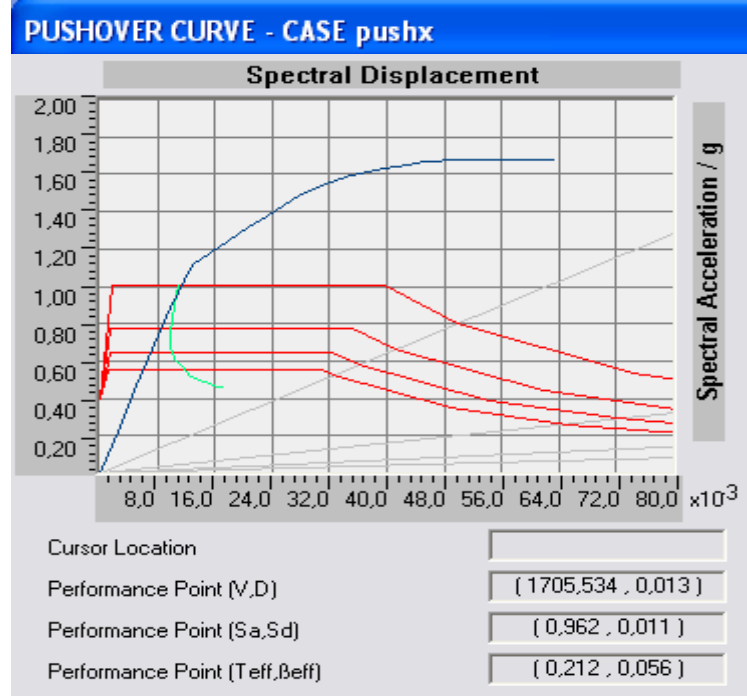


Şekil 3.19. Tek katlı binanın X doğrultusu için kapasite spektrum eğrisi

b) İki katlı asmolon döşemeli betonarme bina : İki katlı binanın SAP2000 programı yardımıyla gerçekleştirilen artımsal itme analizinden elde edilen bulgular aşağıda verilmektedir.

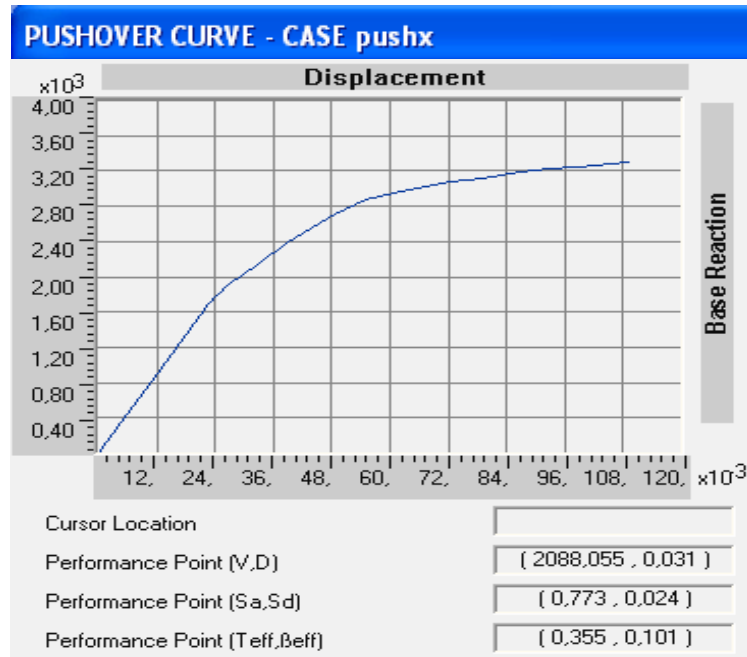


Şekil 3.20. İki katlı binanın X doğrultusu için kapasite (pushover) eğrisi

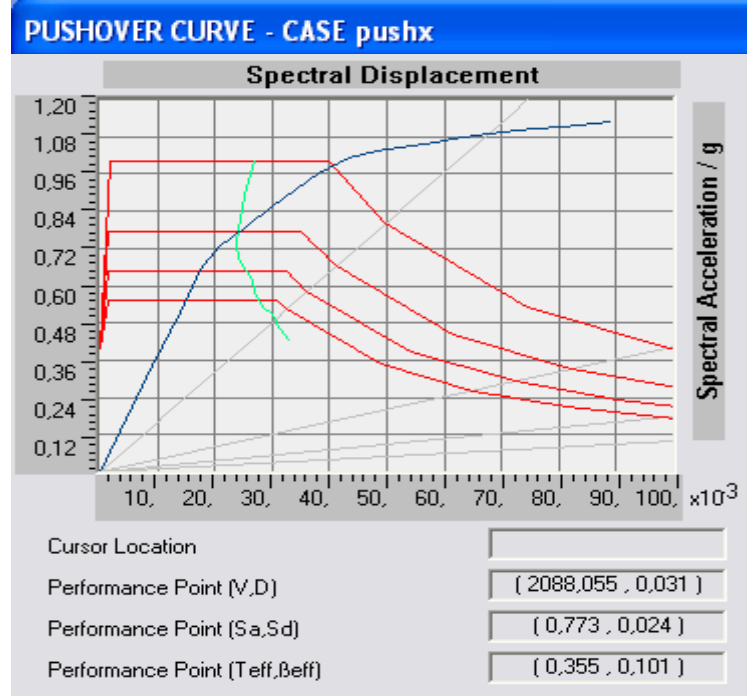


Şekil 3.21. İki katlı binanın X doğrultusu için kapasite spektrum eğrisi

c) *Üç katlı asmolen döşemeli betonarme bina* : Üç katlı binanın SAP2000 programı yardımıyla gerçekleştirilen artımsal itme analizinden elde edilen bulgular aşağıda verilmektedir.

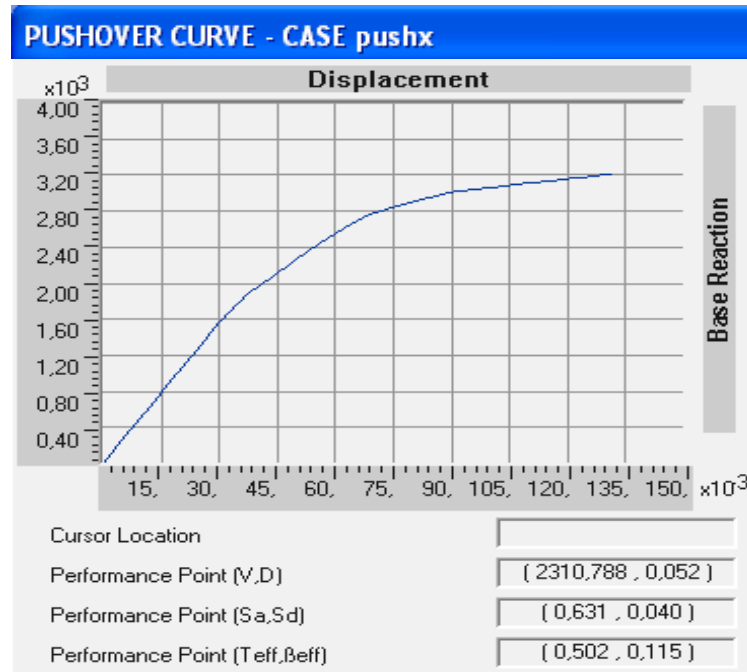


Şekil 3.22. Üç katlı binanın X doğrultusu için kapasite (pushover) eğrisi

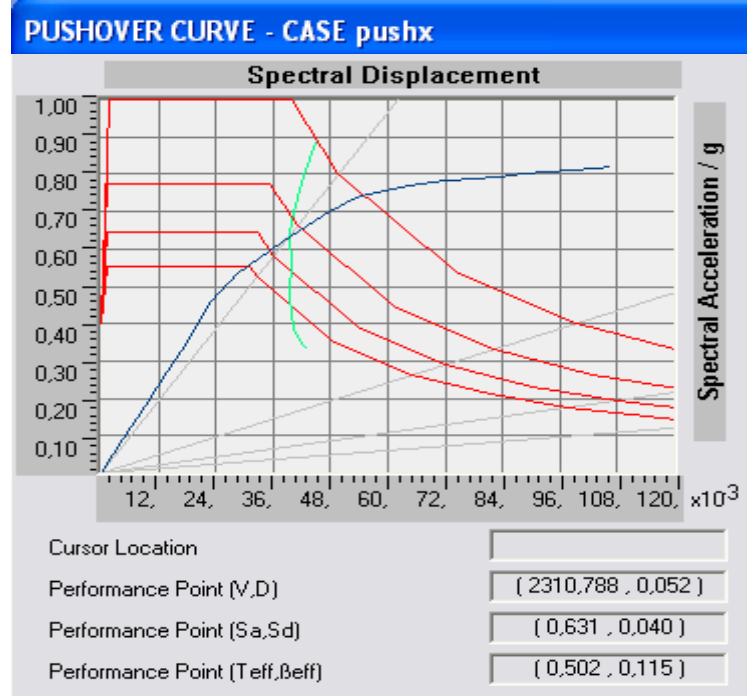


Şekil 3.23. Üç katlı binanın X doğrultusu için kapasite spektrum eğrisi

d) Dört katlı asmolen döşemeli betonarme bina : Dört katlı binanın SAP2000 programı yardımıyla gerçekleştirilen artımsal itme analizinden elde edilen bulgular aşağıda verilmektedir.

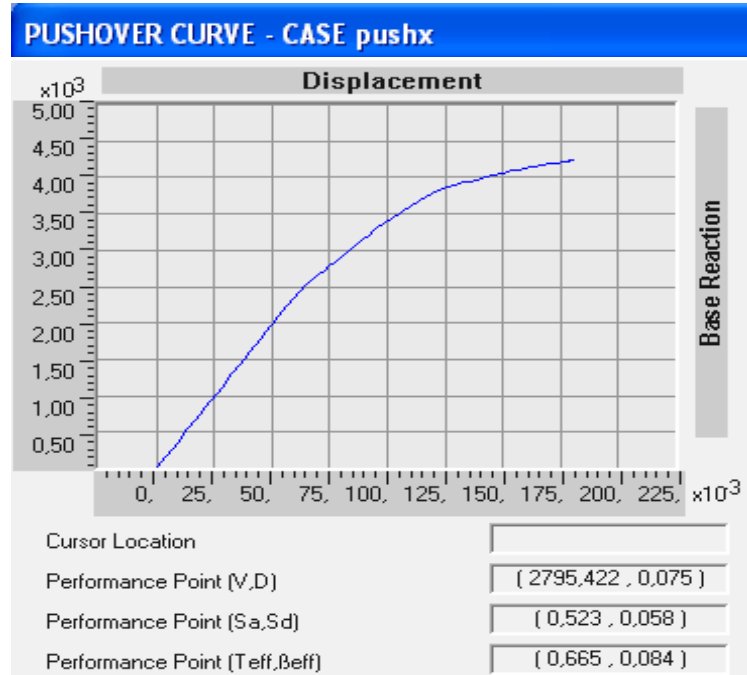


Şekil 3.24. Dört katlı binanın X doğrultusu için kapasite (pushover) eğrisi

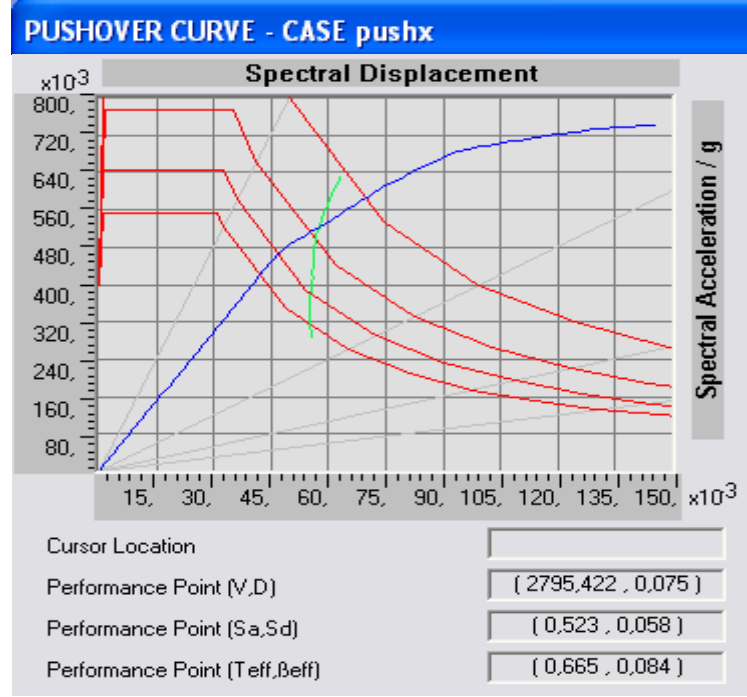


Şekil 3.25. Dört katlı binanın X doğrultusu için kapasite spektrum eğrisi

e) *Beş katlı asmolen döşemeli betonarme bina* : Beş katlı binanın SAP2000 programı yardımıyla gerçekleştirilen artımsal itme analizinden elde edilen bulgular aşağıda verilmektedir.

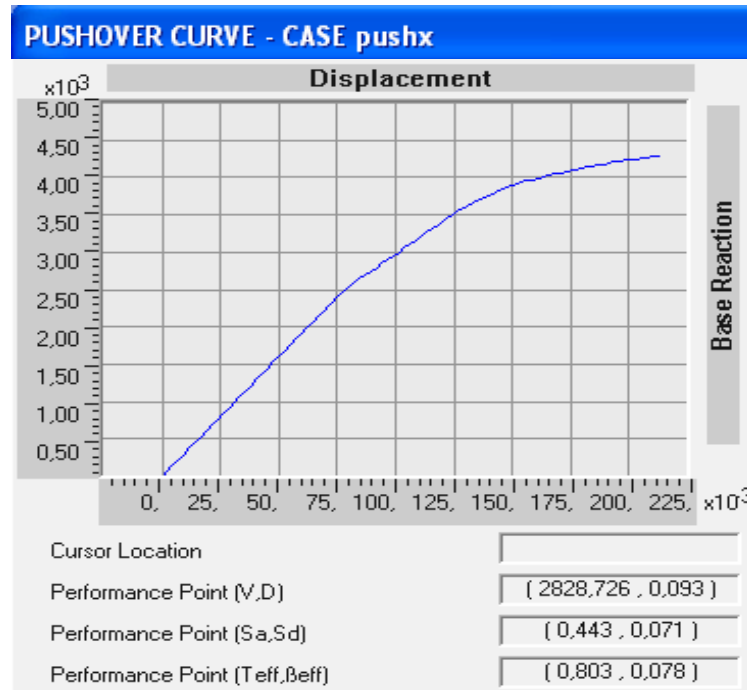


Şekil 3.26. Beş katlı binanın X doğrultusu için kapasite (pushover) eğrisi

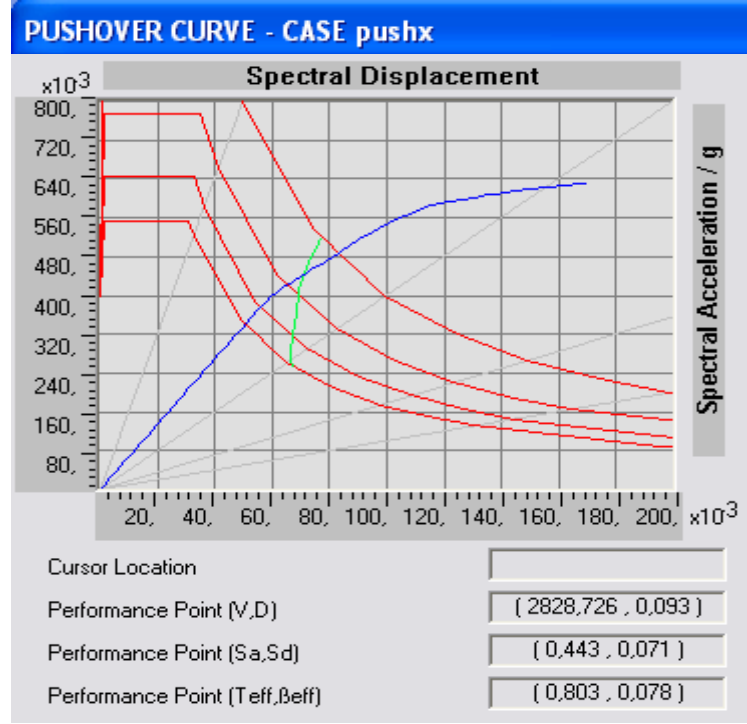


Şekil 3.27. Beş katlı binanın X doğrultusu için kapasite spektrum eğrisi

f) *Altı katlı asmolen döşemeli betonarme bina* : Altı katlı binanın SAP2000 programı yardımıyla gerçekleştirilen artımsal itme analizinden elde edilen bulgular aşağıda verilmektedir.

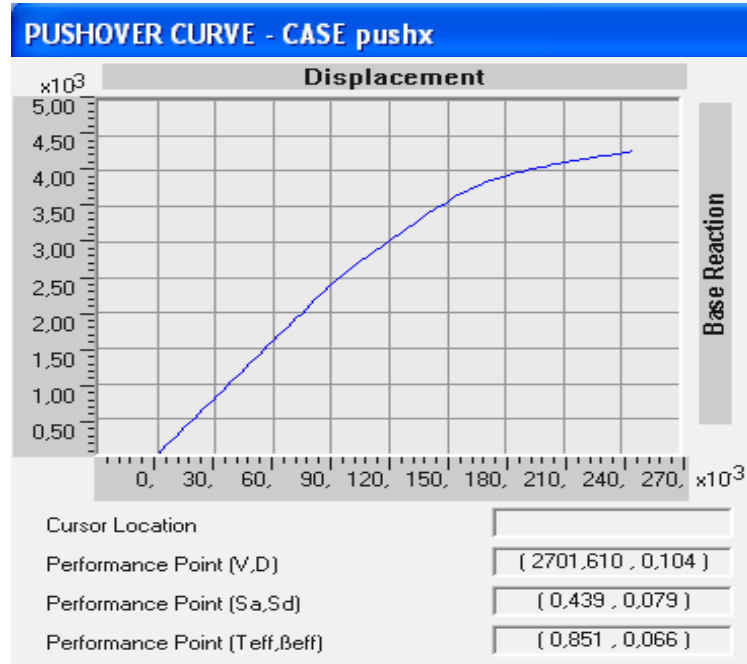


Şekil 3.28. Altı katlı binanın X doğrultusu için kapasite (pushover) eğrisi

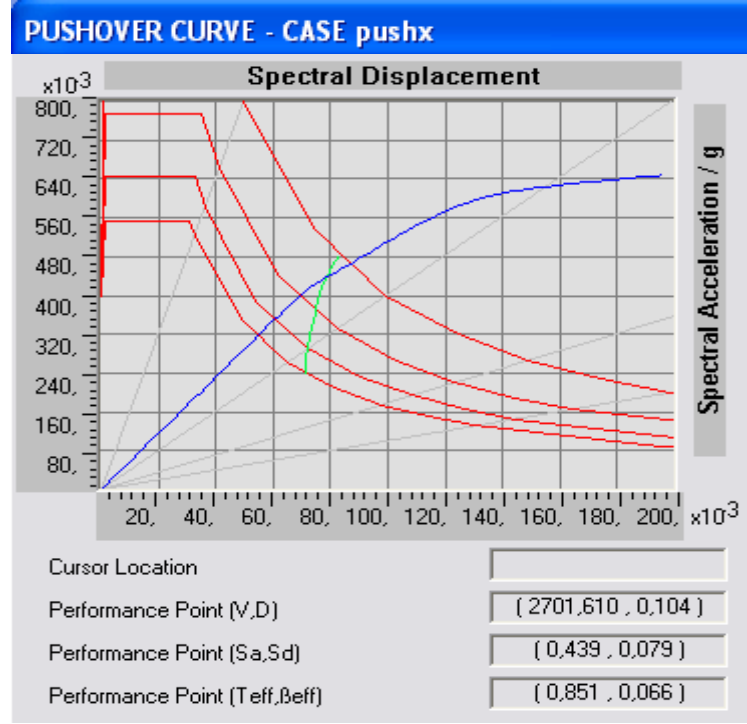


Şekil 3.29. Altı katlı binanın X doğrultusu için kapasite spektrum eğrisi

g) Yedi katlı asmolen döşemeli betonarme bina : Yedi katlı binanın SAP2000 programı yardımıyla gerçekleştirilen artımsal itme analizinden elde edilen bulgular aşağıda verilmektedir.

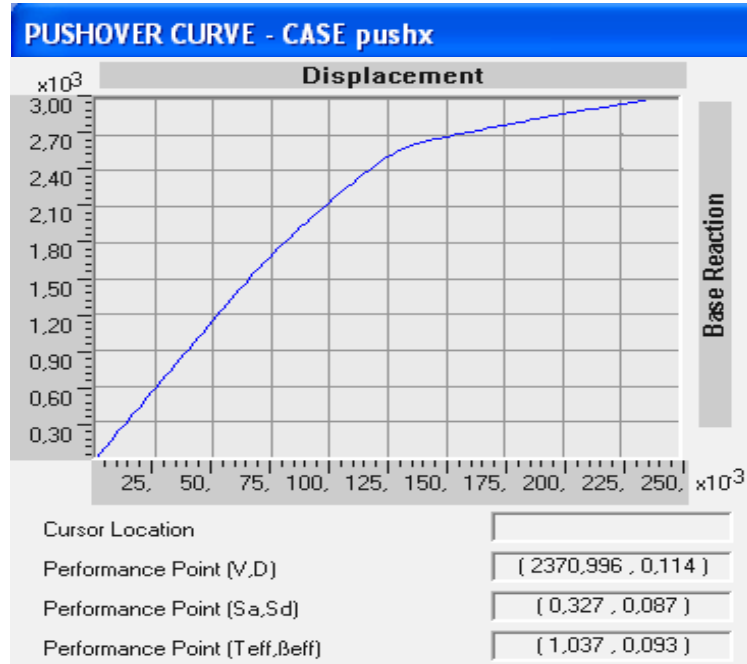


Şekil 3.30. Yedi katlı binanın X doğrultusu için kapasite (pushover) eğrisi

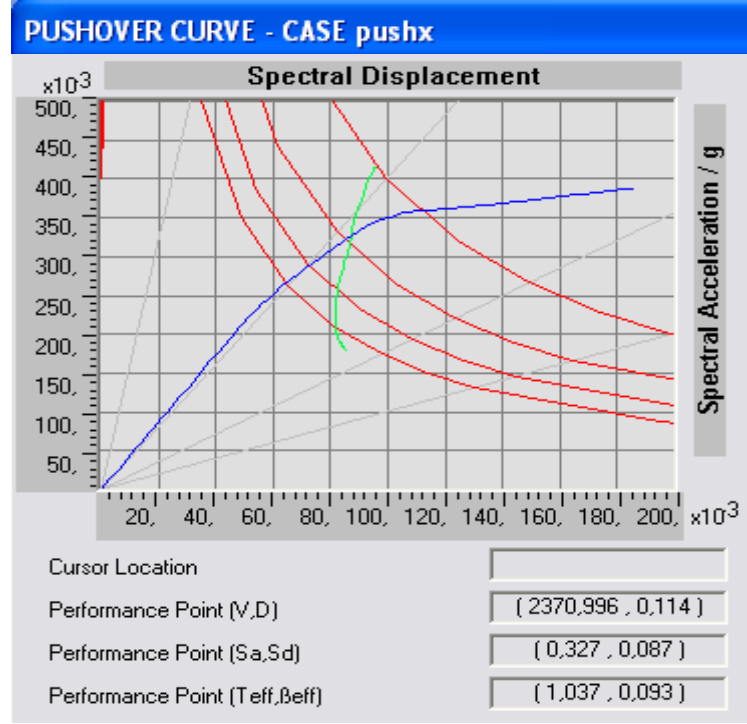


Şekil 3.31. Yedi katlı binanın X doğrultusu için kapasite spektrum eğrisi

h) Sekiz katlı asmolen döşemeli betonarme bina : Sekiz katlı binanın SAP2000 programı yardımıyla gerçekleştirilen artımsal itme analizinden elde edilen bulgular aşağıda verilmektedir.

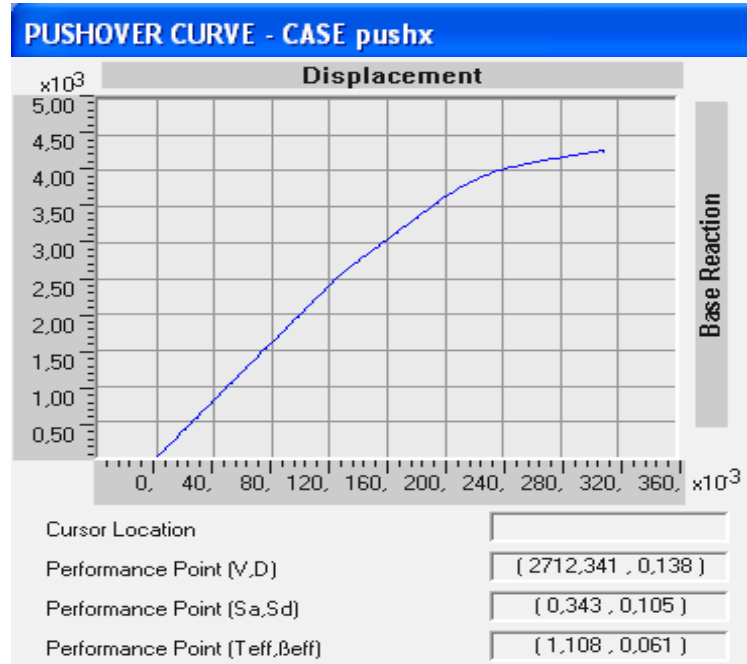


Şekil 3.32. Sekiz katlı binanın X doğrultusu için kapasite (pushover) eğrisi

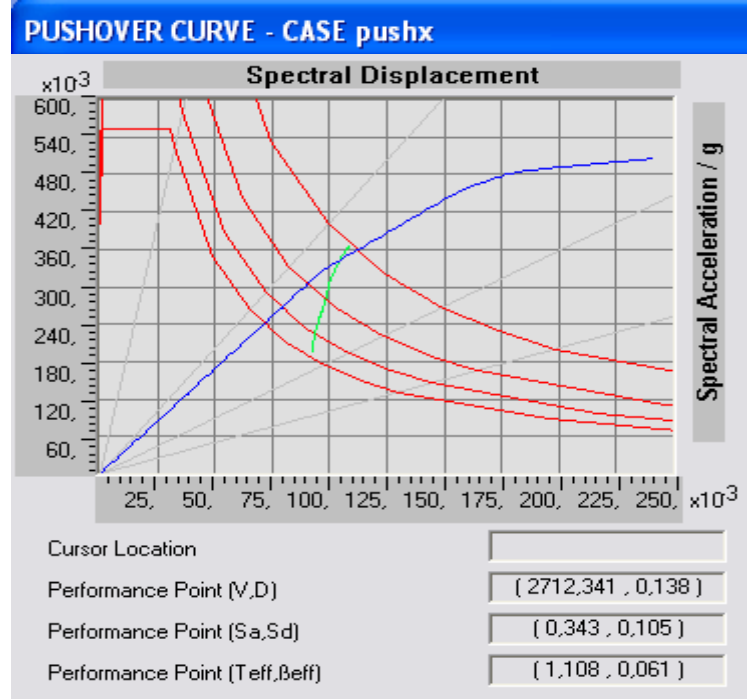


Şekil 3.33. Sekiz katlı binanın X doğrultusu için kapasite spektrum eğrisi

ı) Dokuz katlı asmolen döşemeli betonarme bina : Dokuz katlı binanın SAP2000 programı yardımıyla gerçekleştirilen artımsal itme analizinden elde edilen bulgular aşağıda verilmektedir.

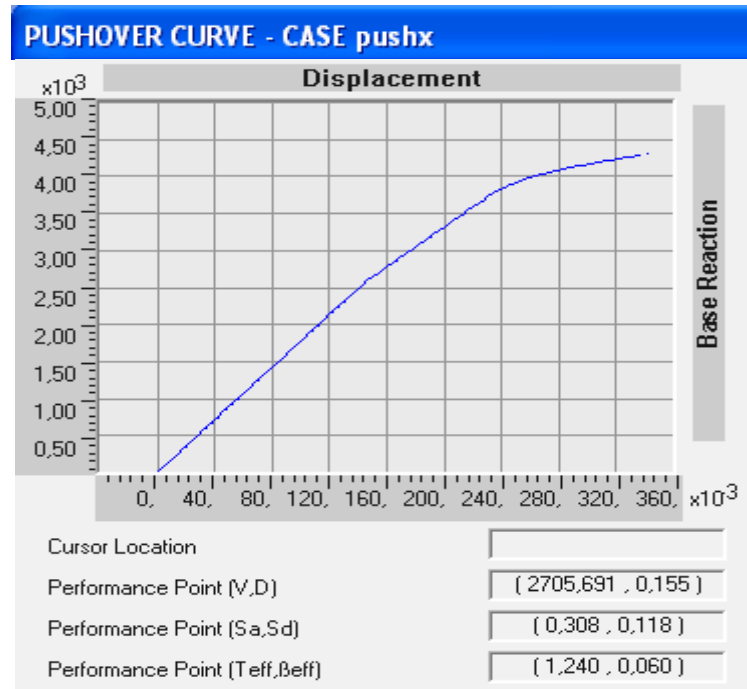


Şekil 3.34. Dokuz katlı binanın X doğrultusu için kapasite eğrisi

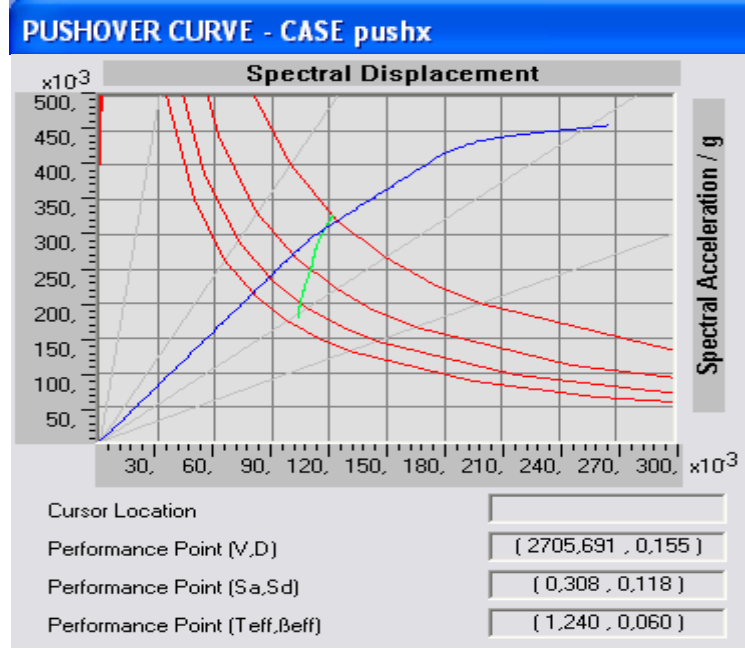


Şekil 3.35. Dokuz katlı binanın X doğrultusu için kapasite spektrum eğrisi

i) On katlı asmolen döşemeli betonarme bina : On katlı binanın SAP2000 programı yardımıyla gerçekleştirilen artımsal itme analizinden elde edilen bulgular aşağıda verilmektedir.



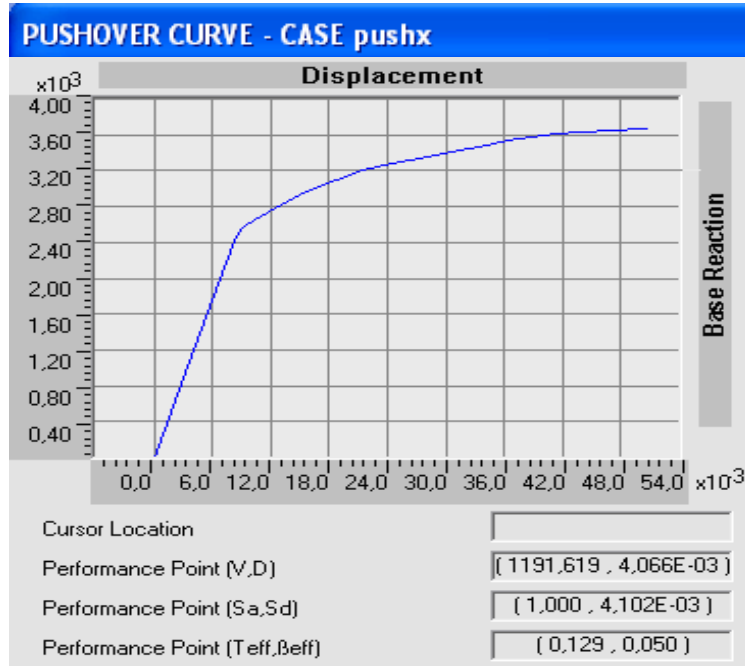
Şekil 3.36. On katlı binanın X doğrultusu için kapasite (pushover) eğrisi



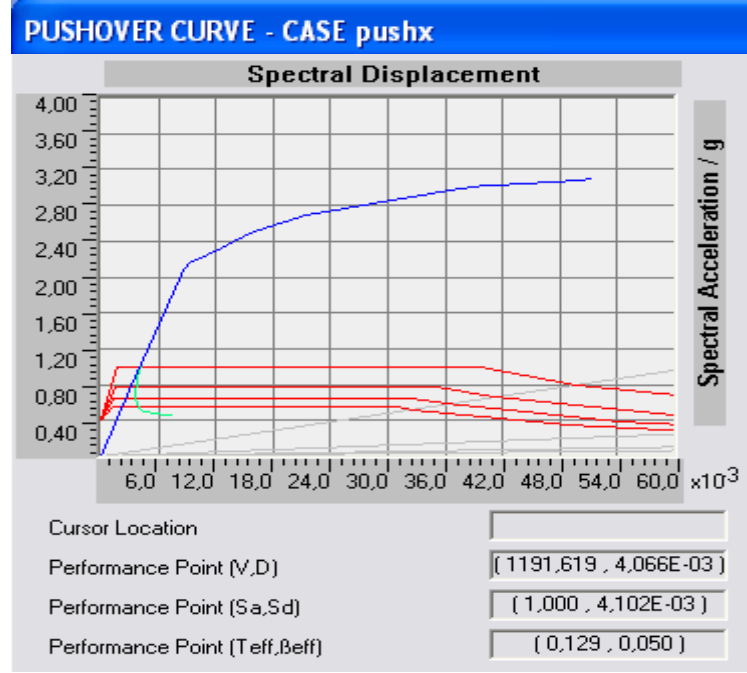
Şekil 3.37. On katlı binanın X doğrultusu için kapasite spektrum eğrisi

3.6.2. Dolgu Malzemeli Asmolen Döşemeli Betonarme Bina Modelleri

a) *Tek katlı asmolen döşemeli betonarme bina* : Tek (bir) katlı binanın SAP2000 programı yardımıyla gerçekleştirilen artımsal itme analizinden elde edilen bulgular aşağıda verilmektedir.

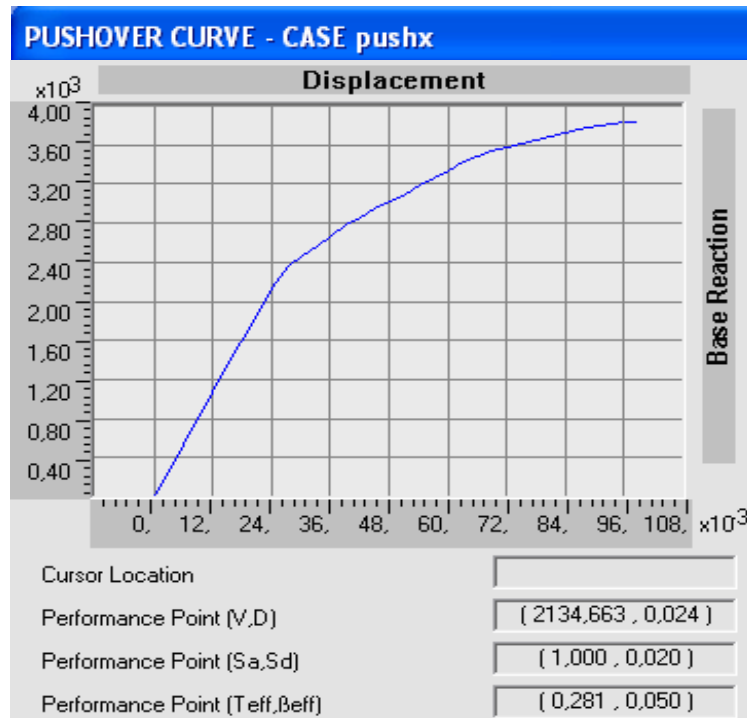


Şekil 3.38. Tek katlı binanın X doğrultusu için kapasite (pushover) eğrisi

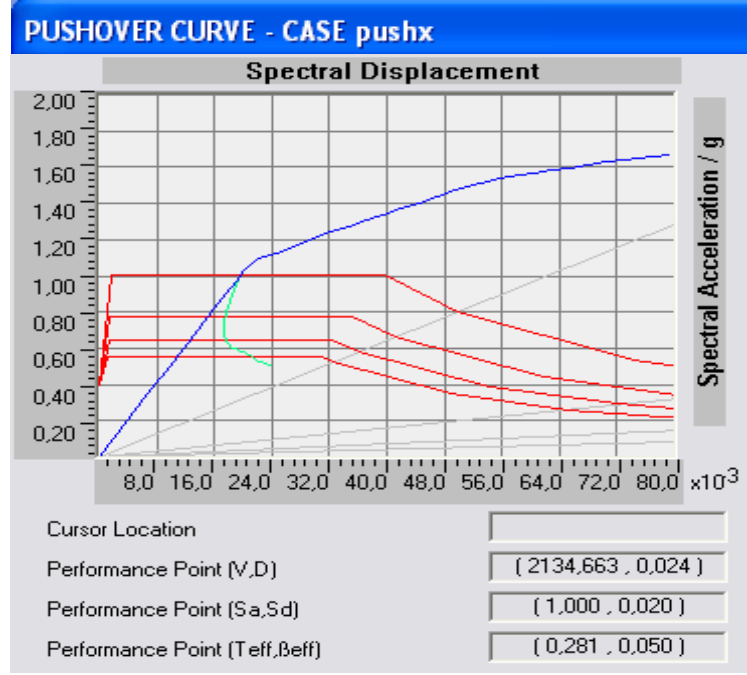


Şekil 3.39. Tek katlı binanın X doğrultusu için kapasite spektrum eğrisi

b) İki katlı asmolen döşemeli betonarme bina : İki katlı binanın SAP2000 programı yardımıyla gerçekleştirilen artımsal itme analizinden elde edilen bulgular aşağıda verilmektedir.

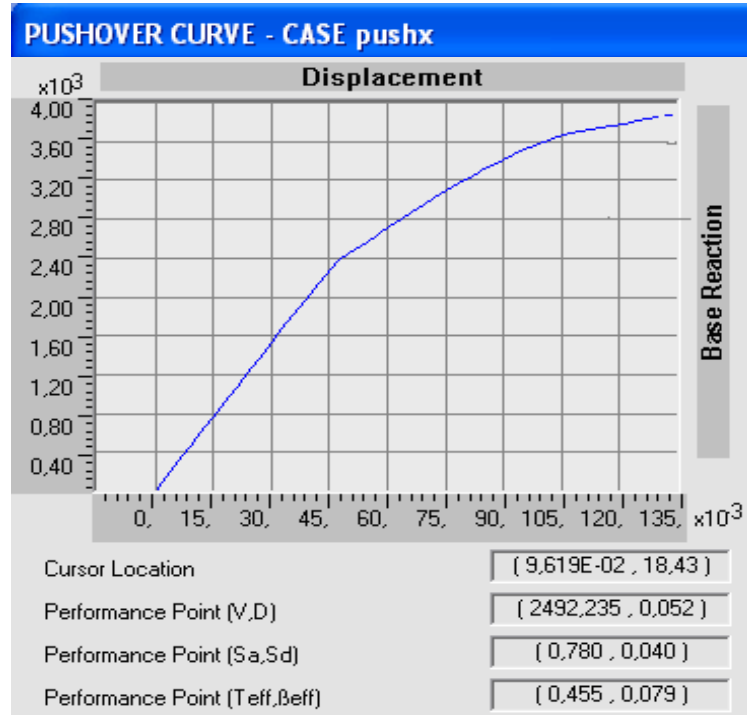


Şekil 3.40. İki katlı binanın X doğrultusu için kapasite (pushover) eğrisi

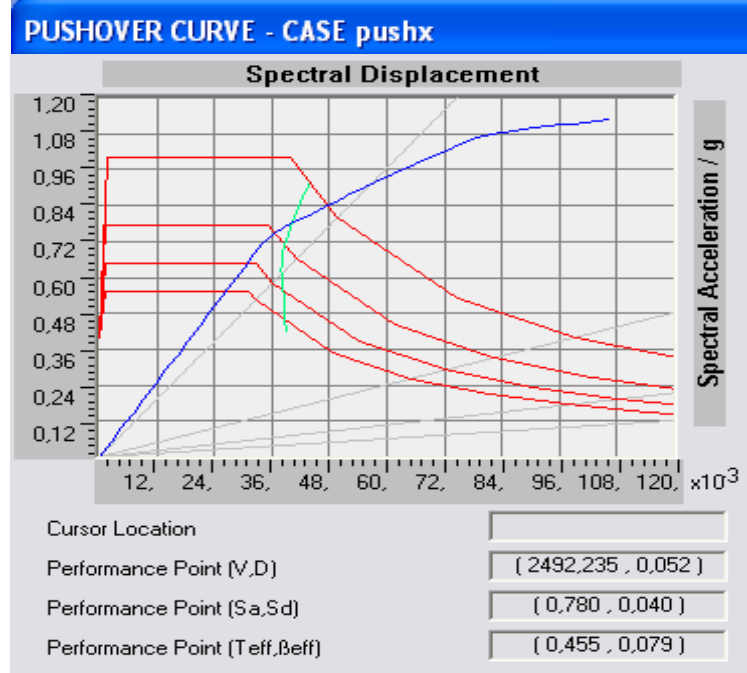


Şekil 3.41. İki katlı binanın X doğrultusu için kapasite spektrum eğrisi

c) *Üç katlı asmolen döşemeli betonarme bina* : Üç katlı binanın SAP2000 programı yardımıyla gerçekleştirilen artımsal itme analizinden elde edilen bulgular aşağıda verilmektedir.

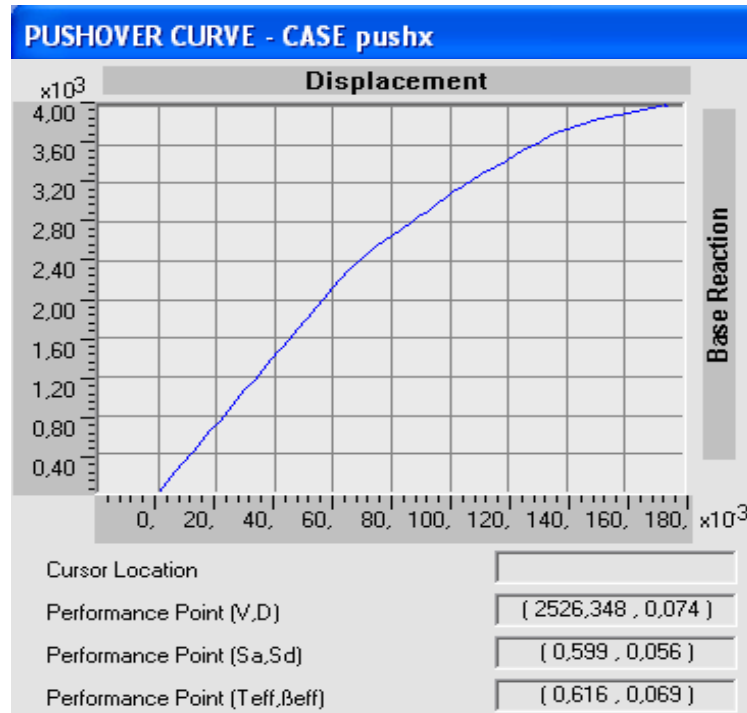


Şekil 3.42. Üç katlı binanın X doğrultusu için kapasite (pushover) eğrisi

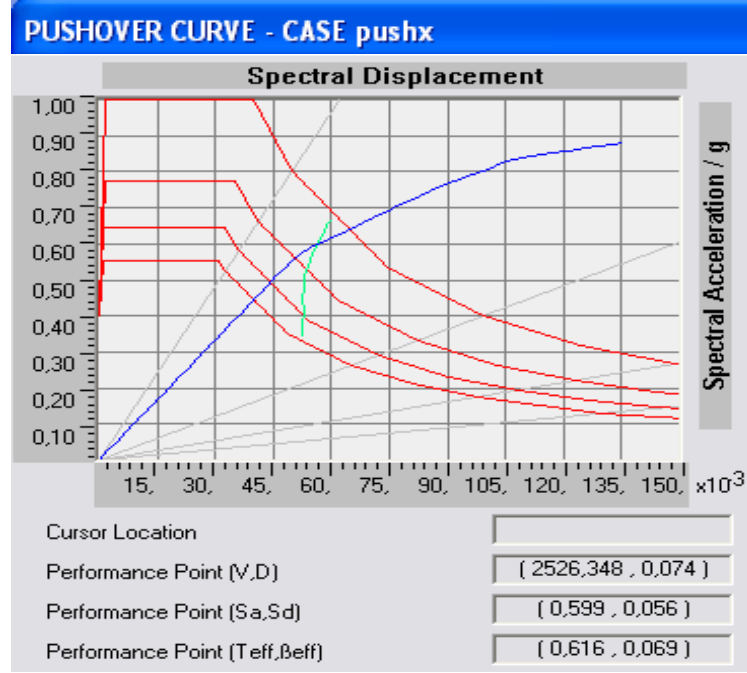


Şekil 3.43. Üç katlı binanın X doğrultusu için kapasite spektrum eğrisi

d) Dört katlı asmolen döşemeli betonarme bina : Dört katlı binanın SAP2000 programı yardımıyla gerçekleştirilen artımsal itme analizinden elde edilen bulgular aşağıda verilmektedir.

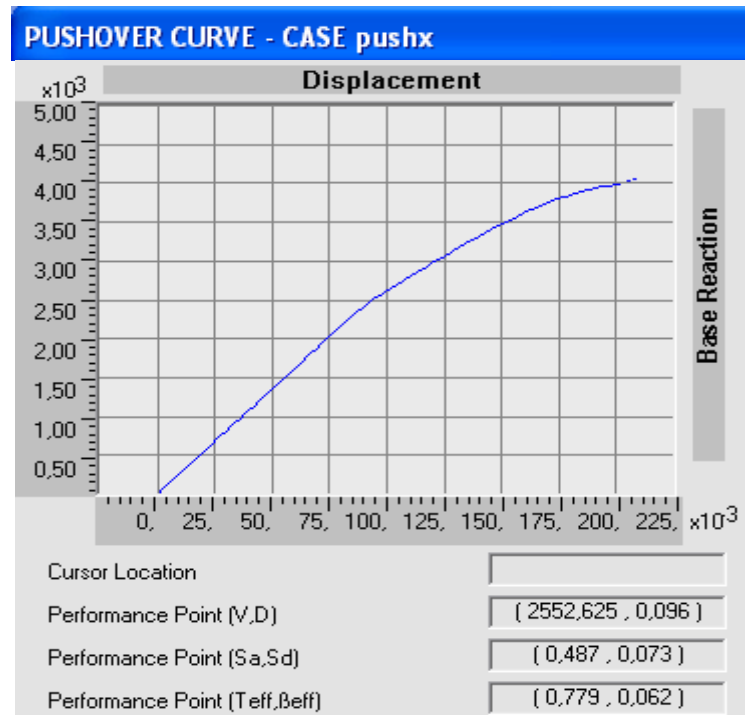


Şekil 3.44. Dört katlı binanın X doğrultusu için kapasite (pushover) eğrisi

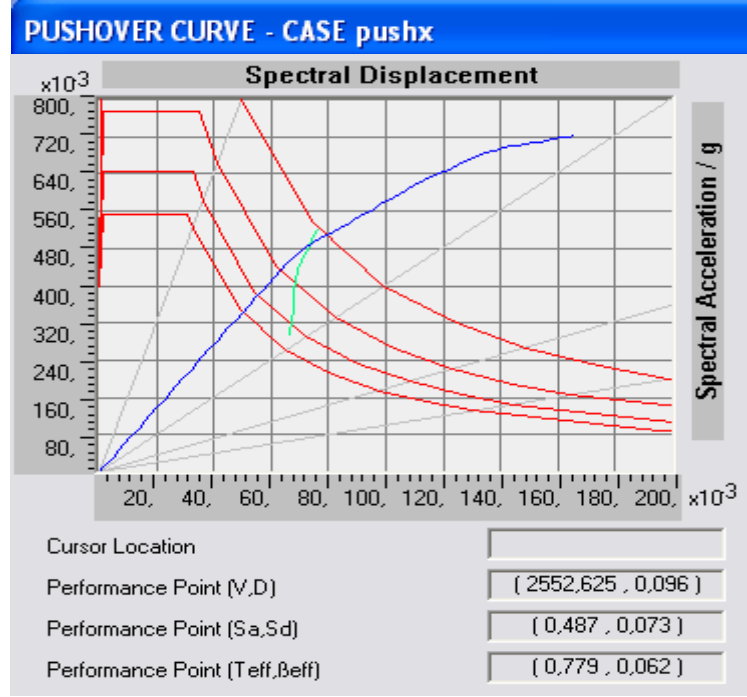


Şekil 3.45. Dört katlı binanın X doğrultusu için kapasite spektrum eğrisi

e) *Beş katlı asmolen döşemeli betonarme bina* : Beş katlı binanın SAP2000 programı yardımıyla gerçekleştirilen artımsal itme analizinden elde edilen bulgular aşağıda verilmektedir.

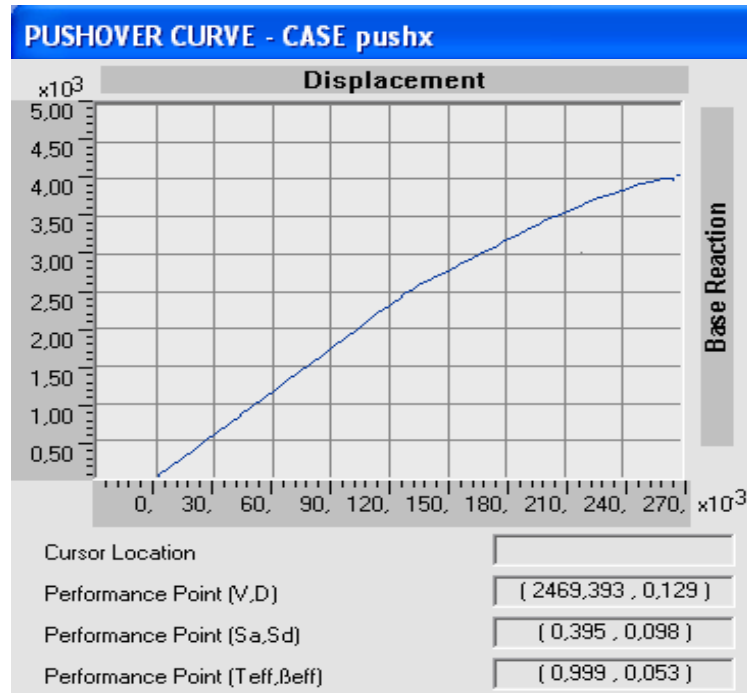


Şekil 3.46. Beş katlı binanın X doğrultusu için kapasite (pushover) eğrisi

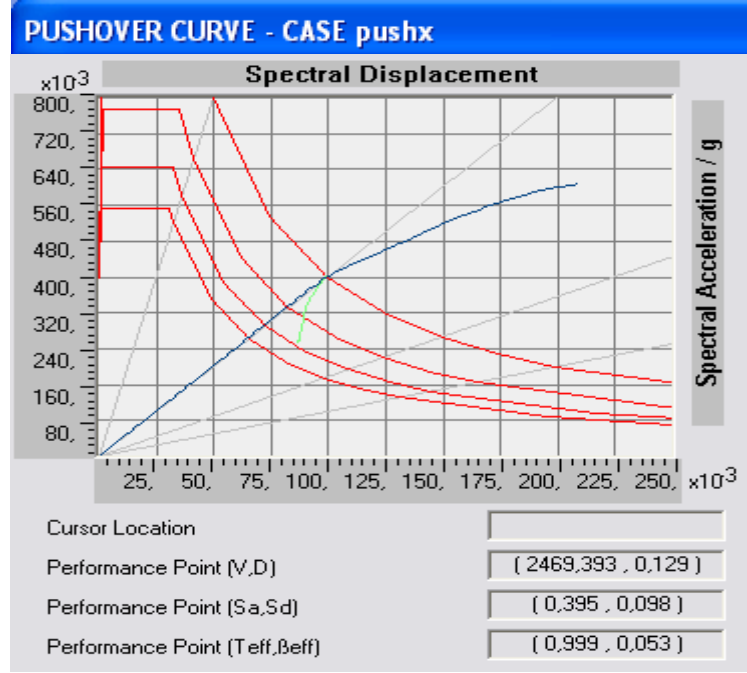


Şekil 3.47. Beş katlı binanın X doğrultusu için kapasite spektrum eğrisi

f) *Altı katlı asmolen döşemeli betonarme bina* : Altı katlı binanın SAP2000 programı yardımıyla gerçekleştirilen artımsal itme analizinden elde edilen bulgular aşağıda verilmektedir.

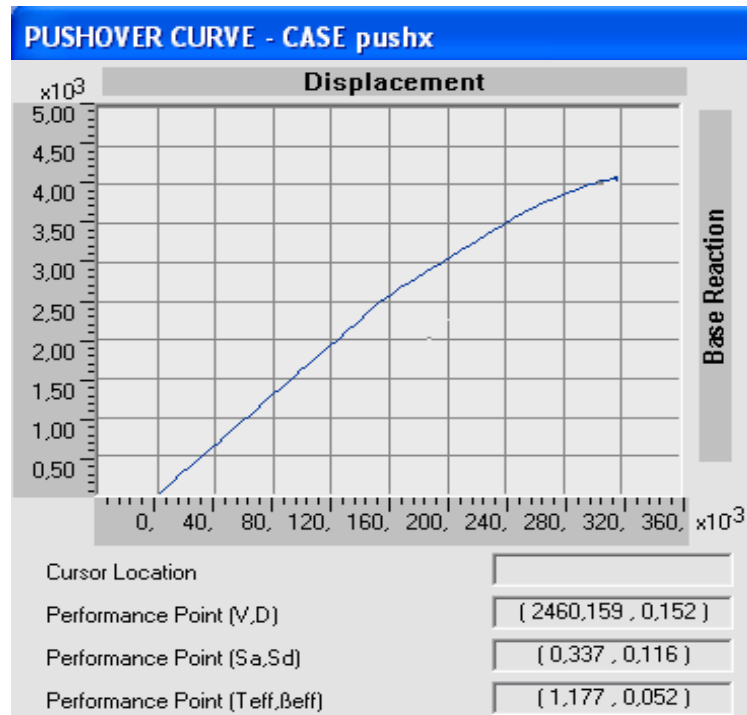


Şekil 3.48. Altı katlı binanın X doğrultusu için kapasite (pushover) eğrisi

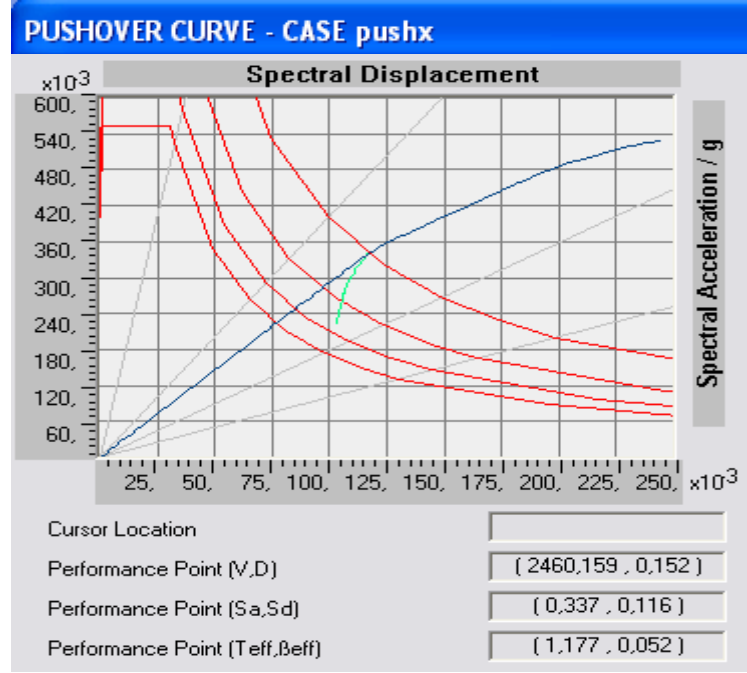


Şekil 3.49. Altı katlı binanın X doğrultusu için kapasite spektrum eğrisi

g) Yedi katlı asmolen döşemeli betonarme bina : Yedi katlı binanın SAP2000 programı yardımıyla gerçekleştirilen artımsal itme analizinden elde edilen bulgular aşağıda verilmektedir.

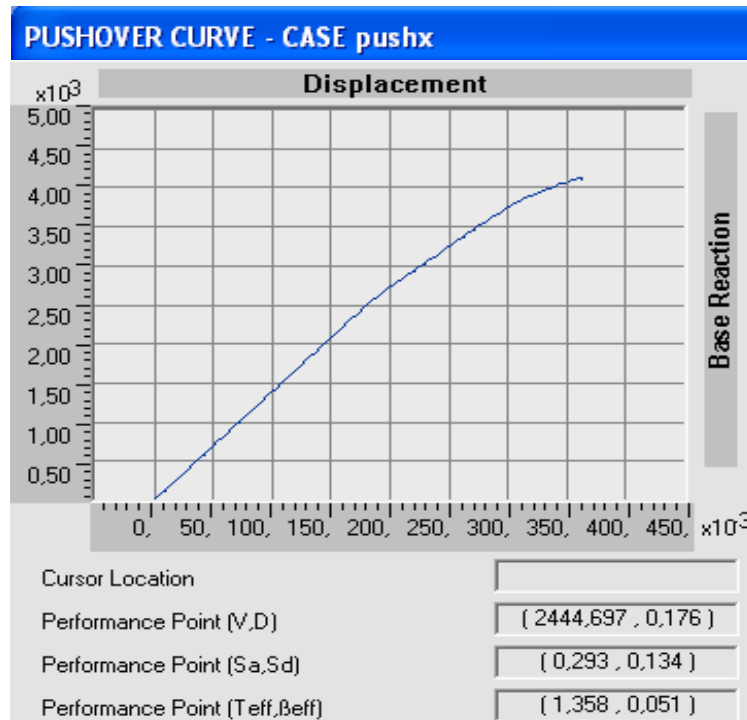


Şekil 3.50. Yedi katlı binanın X doğrultusu için kapasite (pushover) eğrisi

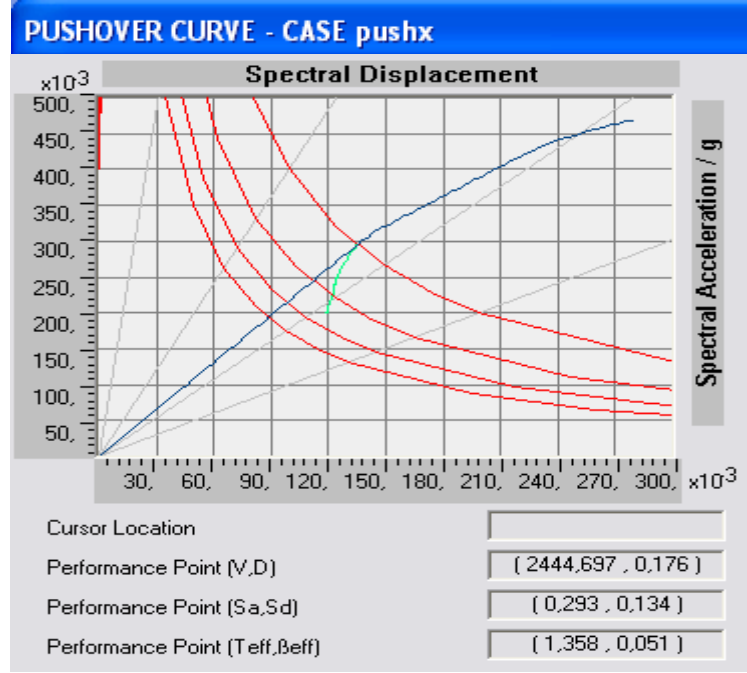


Şekil 3.51. Yedi katlı binanın X doğrultusu için kapasite spektrum eğrisi

h) Sekiz katlı asmolen döşemeli betonarme bina : Sekiz katlı binanın SAP2000 programı yardımıyla gerçekleştirilen artımsal itme analizinden elde edilen bulgular aşağıda verilmektedir.

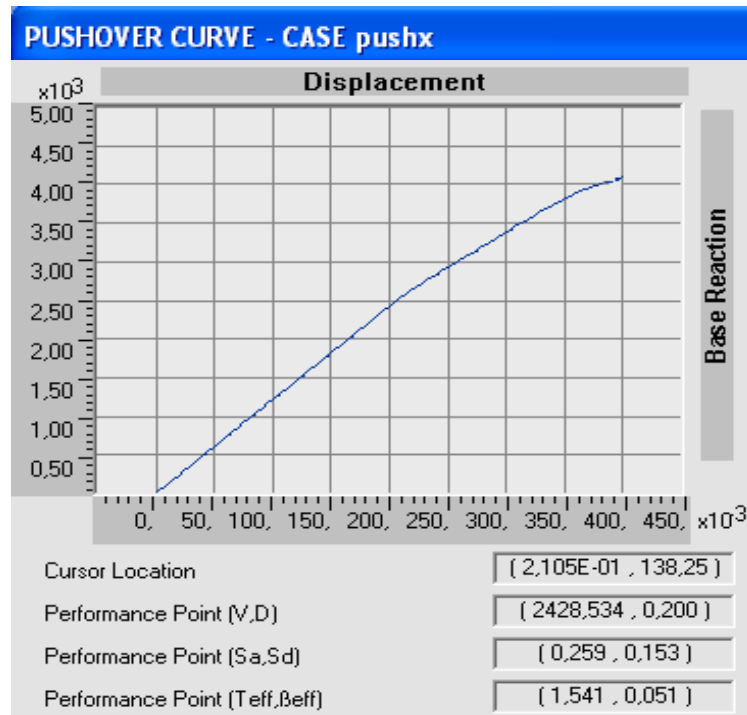


Şekil 3.52. Sekiz katlı binanın X doğrultusu için kapasite (pushover) eğrisi

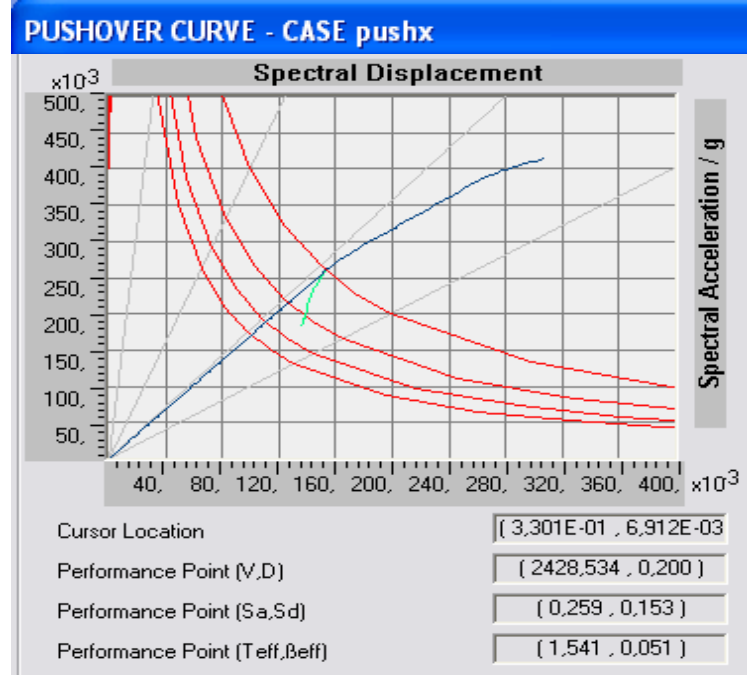


Şekil 3.53. Sekiz katlı binanın X doğrultusu için kapasite spektrum eğrisi

i) **Dokuz katlı asmolen döşemeli betonarme bina** : Dokuz katlı binanın SAP2000 programı yardımıyla gerçekleştirilen artımsal itme analizinden elde edilen bulgular aşağıda verilmektedir.

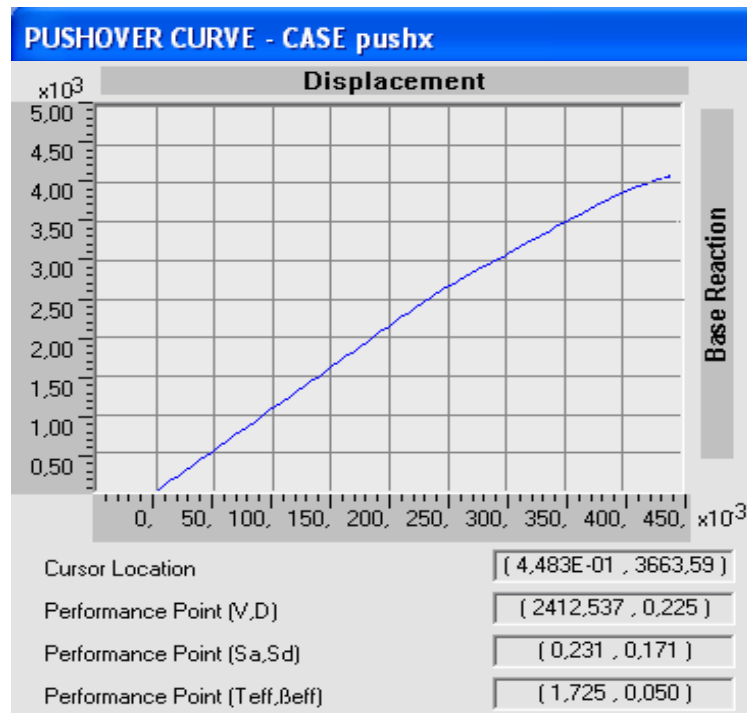


Şekil 3.54. Dokuz katlı binanın X doğrultusu için kapasite eğrisi

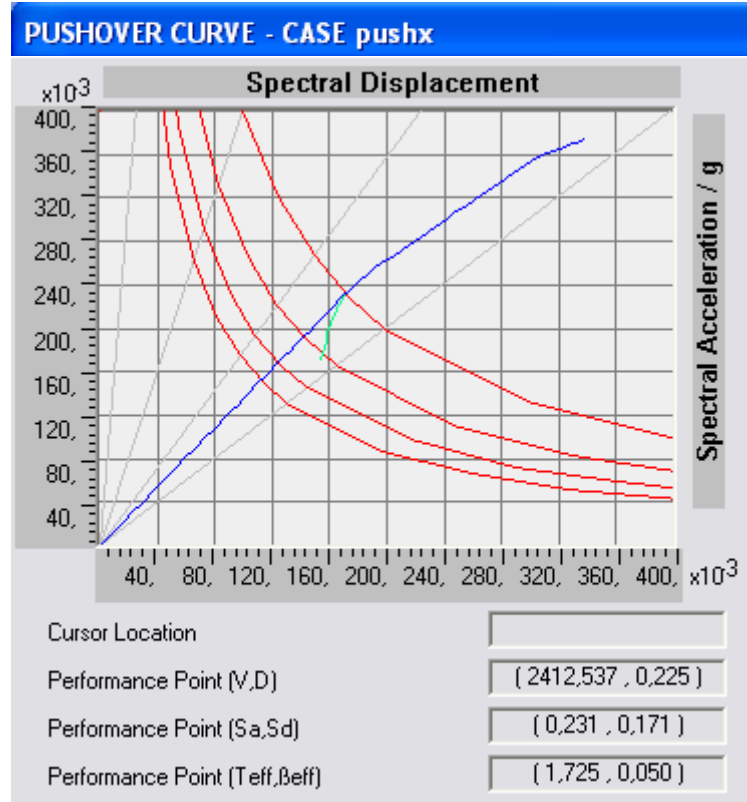


Şekil 3.55. Dokuz katlı binanın X doğrultusu için kapasite spektrum eğrisi

i) On katlı asmolon döşemeli betonarme bina : On katlı binanın SAP2000 programı yardımıyla gerçekleştirilen artımsal itme analizinden elde edilen bulgular aşağıda verilmektedir.



Şekil 3.56. On katlı binanın X doğrultusu için kapasite (pushover) eğrisi



Şekil 3.57. On katlı binanın X doğrultusu için kapasite spektrum eğrisi

4. İRDELEME

4.1. STA4 Programıyla Çözüm İçin

Bina davranışı için X doğrultusunda performans noktası 1962 kN taban kesme kuvvetine karşılık gelmektedir. Çatı (tepe) yerdeğiştirmesi ise 110.4 mm olarak belirlenmiştir. Etkin sönüm %5 olup artımsal itme analizine tabi tutulan bina, 142. adım sonunda 12 elemanın güç tükenmesine maruz kalmasıyla göçmüştür.

Y doğrultusu için performans noktası, sistem simetrik bir yapıya sahip olduğundan X doğrultusu için belirlenenlerle yaklaşık aynı değerler olmuştur. Bu durum Şekil 3.12'den görülebilir.

4.2. IdeSTATİK Programıyla Çözüm İçin

Bina davranışı için X doğrultusunda performans noktası 1880 kN taban kesme kuvvetine karşılık gelmektedir. Çatı (tepe) yerdeğiştirmesi ise 118.35 mm olarak belirlenmiştir. Yine etkin sönüm %5' dir. Doğrusal olmayan artımsal itme analizine tabi tutulan bina, 137. adım sonunda 18 eleman güç tükenmesine maruz kalmıştır. Bu durum Şekil 3.7'de ifade edilmektedir.

Y doğrultusu için performans noktası, sistem simetrik bir yapıya sahip olduğundan X doğrultusu için belirlenenlerle aynı değer olmuştur. Bu durum Şekil 3.15'den görülebilir.

4.3. SAP2000 Programıyla Çözüm İçin

Bina davranışı için X doğrultusunda performans noktası 2705,77 kN taban kesme kuvvetine karşılık gelmektedir. Çatı (tepe) yerdeğiştirmesi ise 67 mm olarak belirlenmiştir. Etkin sönüm %5 olarak belirlenmiş olup doğrusal olmayan artımsal itme analizine tabi tutulan bina, 51. adım sonunda 8 elemanın güç tükenmesine maruz kalmasıyla göçmüştür. Bu durum Şekil 3.4'deki plastik mafsallaşma şekli'nde ortaya konulmuştur.

Y doğrultusu için performans noktası küçük farklılıklar göstermekle birlikte aynı değerler elde edilmiştir. Buna göre y doğrultusu performans noktası 2659,5 kN taban kesme kuvvetine karşılık gelmektedir. Çatı (tepe) yerdeğiştirmesi ise 68 mm olarak

belirlenmiştir. Etkin sönüm %5'dir. Doğrusal olmayan artımsal itme analizine tabi tutulan bina, 51. adım sonunda 12 elemanın güç tükenmesine maruz kalmasıyla göçmüştür.

Yukarıda verilen değerler çizelge halinde Tablo 4.1'de verilmektedir.

Tablo 4.1. STA4, ideSTATİK ve SAP2000'den elde edilen bulguların karşılaştırılması

Bina tipi	"X" doğrultusu				"Y" doğrultusu			
	$V (kN)$	$\delta_{tepe} (mm)$	$\beta_{eff} (%)$	Göçen eleman sayısı	$V (kN)$	$\delta_{tepe} (mm)$	$\beta_{eff} (%)$	Göçen eleman sayısı
STA4 Programına göre	1962	110	5	12	1962	110	5	12
Ide-STATİK Programına göre	1880	118	5	18	1880	118	5	18
SAP2000 Programına göre	2705,77	67	5	8	2659,5	68	5	12

Tablo 4.1'den de görülebileceği üzere çalışmaya konu olan asmolen döşemeli betonarme bina için en büyük taban kesme kuvveti SAP2000 programından elde edilmiştir. En büyük çatı (tepe) yerdeğiştirmesi ise Ide-STATİK programı ile yapılan çözümlemeden elde edilmiştir. Diğer taraftan asmolen döşemeli betonarme bir yapının performans değerlendirilmesinde paket programlarından STA4 ve Ide-STATİK birbirlerine genel olarak daha yakın sonuçlar vermektedir.

Yapılan çözümler sonucunda çizdirilen şekillerden çerçeve sisteme sahip asmolen döşemeli betonarme binalarda plastik mafsallar önce asmolen döşeme dışlarında yani nervür kirişlerinde, sonra ise yastık kirişlerinde oluşmaktadır. Bu durum çalışmaya konu tüm analiz programlarında görülmüştür. Kuvvetli kolon-zayıf kiriş ilkesine göre plastik mafsalların kolonlardan önce kirişlerde oluşması beklenir. Bu yüzden analiz sonuçlarından da görülebileceği üzere ilk plastik mafsallaşma kolonlarda değil, kirişlerde meydana gelmiştir.

ATC-40 ve FEMA-273 de tanımlanan performans seviyeleri ile Türk Deprem Yönetmeliği'nde tanımlanan performans seviyelerini elde ettiğimiz SAP2000 bulguları

Tablo 4.2’de karşılaştırılmalı olarak verilmektedir. Benzer karşılaştırmalar ideSTATİK için Tablo 4.3’de, STA4 için ise Tablo 4.4’de verilmektedir.

Tablo 4.2. SAP2000 verilerine göre performans seviyeleri

Performans Seviyeleri (ATC-40, FEMA-273)	Eleman Sayıları	Türk Deprem Yönetmeliği
Kullanıma devam performans aralığı	850	Min. hasar bölgesi (Hemen kullanım perf. aralığı)
Kullanıma devam performans seviyesi Hemen kullanım performans seviyesi	28	Belirgin hasar bölgesi (Hemen kullanım perf. seviyesi - Can güvenliği perf. seviyesi)
Hemen kullanım performans seviyesi Can güvenliği performans seviyesi	34	
Can güvenliği performans seviyesi Göçmenin önlenmesi perf. seviyesi	20	İleri hasar bölgesi (Can güvenliği perf. seviyesi – Göçmenin önlenmesi perf. sev.)
Göçme bölgesi	8	Göçme bölgesi

Tablo 4.3. IdeSTATİK verilerine göre performans seviyeleri

Performans Seviyeleri (ATC-40, FEMA-273)	Eleman Sayıları	Türk Deprem Yönetmeliği Taslak Metni
Kullanıma devam performans aralığı	520	Min. hasar bölgesi (Hemen kullanım perf. aralığı)
Kullanıma devam performans seviyesi Hemen kullanım performans seviyesi	35	Belirgin hasar bölgesi (Hemen kullanım perf. seviyesi - Can güvenliği perf. seviyesi)
Hemen kullanım performans seviyesi Can güvenliği performans seviyesi	47	
Can güvenliği performans seviyesi Göçmenin önlenmesi perf. seviyesi	17	İleri hasar bölgesi (Can güvenliği perf. seviyesi – Göçmenin önlenmesi perf. sev.)
Göçme bölgesi	1	Göçme bölgesi

Tablo 4.4. STA4 verilerine göre performans seviyeleri

Performans Seviyeleri (ATC-40, FEMA-273)	Eleman Sayıları	Türk Deprem Yönetmeliği Taslak Metni
Kullanıma devam performans aralığı	540	Min. hasar bölgesi (Hemen kullanım perf. aralığı)
Kullanıma devam performans seviyesi Hemen kullanım performans seviyesi	30	Belirgin hasar bölgesi (Hemen kullanım perf. seviyesi - Can güvenliği perf. seviyesi)
Hemen kullanım performans seviyesi Can güvenliği performans seviyesi	38	
Can güvenliği performans seviyesi Göçmenin önlenmesi perf. seviyesi	10	İleri hasar bölgesi (Can güvenliği perf. seviyesi – Göçmenin önlenmesi perf. sev.)
Göçme bölgesi	2	Göçme bölgesi

4.4. Dolgu Malzemesinin Bulunup Bulunmaması Durumlarında Bulguların İrdelenmesi

Dişli döşemeye sahip betonarme binalar için dolgu malzemesinin bulunmadığı (görünür dişli döşemeli) ve dolgu malzemesinin bulunduğu (asmolen döşemeli) binaların artımsal itme analizi bulguları karşılaştırılmalı olarak aşağıda irdelenmektedir.

1 (tek) kattan 10 kata kadar toplam kata sahip dikkate alınan binaların artımsal itme analizinden elde edilen bulgular toplu olarak X doğrultusu için Tablo 4.5’de, Y doğrultusu için Tablo 4.6’da verilmektedir.

Tablo 4.5. X doğrultusu için karşılaştırma

Kat Adedi	X doğrultusu				Yerdeğiştirme
	Dolgunsuz (görünür dişli)		Dolgu Malzemeli (asmolen)		Farkı (%)
	V_t	δ_{tepe}	V_t	δ_{tepe}	δ_{tepe}
1	974,2	2,27	1191,7	4,1	80
2	1705,5	13	2134,7	24	85
3	2088,1	31	2492,2	52	68
4	2310,8	52	2526,4	74	42
5	2795,4	75	2552,6	96	28
6	2828,7	93	2459,4	129	39
7	2701,6	104	2460,2	152	46
8	2371	114	2444,7	176	55
9	2712,3	138	2428,5	200	45
10	2705,7	155	2412,6	225	46

Tablo 4.6. Y doğrultusu için karşılaştırma

Kat Adedi	Y doğrultusu				Yerdeğiştirme
	Dolgunsuz (görünür dişli)		Dolgu Malzemeli (asmolen)		Farkı (%)
	V_t	δ_{tepe}	V_t	δ_{tepe}	δ_{tepe}
1	974,6	2,28	1191,6	4,4	93
2	1694,8	14	2130,2	25	79
3	2066,1	32	2451,9	53	66
4	2268,5	53	2485,7	75	42
5	2743,5	77	2508,9	98	27
6	2778,7	95	2424,3	131	38
7	2651,4	106	2411,3	155	46
8	2329,8	117	2394,2	180	54
9	2665,1	141	2380	204	47
10	2656,4	158	2364	229	45

Tablo 4.5 ve 4.6'dan görülebileceği üzere, bina modellerinde dolgusuz asmolen döşemeli betonarme bina modellerinde dolgu malzemeli binaya göre neredeyse yarı yarıya daha az bir yatay yerdeğiştirme değerleri elde edilmiştir. Bu da dolgu malzemesinin binaya eklediği olumsuz yöndeki ağırlık binaya etkiyen yatay kuvveti de artırmakta, dolayısıyla da bununla birlikte yatay yerdeğiştirmelerde önemli ölçüde artışlar olmaktadır.

Görüldüğü gibi dolgu malzemeli betonarme binanın maksimum taban kesme kuvveti kat adedi ile birlikte sürekli artmasına rağmen beşinci kattan sonra azalmaktadır. Dolgusuz betonarme binanın ise altıncı kattan sonra azalmakta, dokuz ve onuncu katlarda yeniden bir önceki kata göre artmaktadır.

Aynı tablolardan görülebileceği gibi analiz sonuçlarına göre yerdeğiştirmeler kat adedine göre sürekli artmakta, dolgu malzemesinin etkisiyle dolgusuz asmolen döşemeli betonarme binada onuncu katta elde edilen maksimum çatı (tepe) yerdeğiştirmesine dolgu malzemeli asmolen döşemeli betonarme binada daha yedinci katta ulaşılmaktadır.

Hasar gören eleman sayıları incelendiğinde ise; dolgusuz (görünür) dışlı döşemede göçen eleman sayısının dolgulu (asmolen) dışlı döşemede göçen eleman sayısının aynısı olduğu, sadece performans seviyelerinde farklılıklar olduğu görülmüştür. Örnek olarak alınan sekiz katlı dolgusuz dışlı döşemeli binanın X doğrultusu için hasar gören eleman sayıları Tablo 4.7'deki gibidir. Aynı şekilde Y doğrultusu için hasar gören eleman sayıları Tablo 4.8'deki gibidir.

Tablo 4.7. 66-76. adımlar arası sekiz katlı dolgusuz dışlı döşemeli binanın hasar gören eleman sayıları

Step	Displacement	Base Force	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
66	0,2176	2829,5654	1402	26	56	20	0	0	0	0	1504
67	0,2206	2839,4707	1402	26	54	22	0	0	0	0	1504
68	0,2236	2849,3760	1400	26	54	24	0	0	0	0	1504
69	0,2266	2859,2339	1398	28	50	28	0	0	0	0	1504
70	0,2296	2868,8955	1398	26	52	28	0	0	0	0	1504
71	0,2326	2878,5574	1394	28	52	30	0	0	0	0	1504
72	0,2356	2887,7935	1394	26	54	30	0	0	0	0	1504
73	0,2386	2897,0298	1392	28	46	38	0	0	0	0	1504
74	0,2416	2905,7021	1392	28	40	44	0	0	0	0	1504
75	0,2446	2914,3745	1392	28	40	44	0	0	0	0	1504
76	0,1553	984,2670	1386	34	32	36	0	4	12	0	1504

Tablo 4.8. 69-79. adımlar arası sekiz katlı dolgunsuz dişli döşemeli binanın hasar gören eleman sayıları

Step	Displacement	Base Force	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
69	0,2202	2814,4482	1404	24	56	20	0	0	0	0	1504
70	0,2232	2824,4114	1404	24	56	20	0	0	0	0	1504
71	0,2262	2834,3748	1404	24	52	24	0	0	0	0	1504
72	0,2292	2844,3381	1404	24	52	24	0	0	0	0	1504
73	0,2322	2854,3013	1400	26	54	24	0	0	0	0	1504
74	0,2352	2863,9551	1398	26	52	28	0	0	0	0	1504
75	0,2382	2873,5613	1396	28	52	28	0	0	0	0	1504
76	0,2412	2883,1047	1396	26	52	30	0	0	0	0	1504
77	0,2442	2892,6484	1392	28	48	36	0	0	0	0	1504
78	0,2472	2901,2617	1392	28	44	40	0	0	0	0	1504
79	0,1438	836,2791	1392	28	38	34	0	2	10	0	1504

Dolgu dişli döşemeli binanın X doğrultusu için hasar gören eleman sayıları Tablo 4.9'deki gibidir. Aynı şekilde Y doğrultusu için hasar gören eleman sayıları Tablo 4.10'deki gibidir.

Tablo 4.9. 73-83. adımlar arası sekiz katlı dolgunsuz dişli döşemeli binanın hasar gören eleman sayıları

Step	Displacement	Base Force	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
73	0,2263	2793,6223	1406	24	54	20	0	0	0	0	1504
74	0,2293	2803,1355	1404	24	56	20	0	0	0	0	1504
75	0,2323	2812,5024	1404	24	56	20	0	0	0	0	1504
76	0,2353	2821,8694	1402	26	56	20	0	0	0	0	1504
77	0,2383	2831,1069	1402	26	52	24	0	0	0	0	1504
78	0,2413	2840,3447	1402	24	50	28	0	0	0	0	1504
79	0,2443	2849,5825	1402	24	50	28	0	0	0	0	1504
80	0,2473	2858,8201	1398	24	54	28	0	0	0	0	1504
81	0,2503	2867,8340	1398	24	50	32	0	0	0	0	1504
82	0,2533	2876,8477	1398	22	46	38	0	0	0	0	1504
83	0,1828	1396,7173	1394	26	38	30	0	4	12	0	1504

Tablo 4.9. 73-83. adımlar arası sekiz katlı dolgusuz dişli döşemeli binanın hasar gören eleman sayıları

PUSHOVER CURVE											
Step	Displacement	Base Force	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
73	0,2314	2782,8604	1408	22	54	20	0	0	0	0	1504
74	0,2344	2792,3870	1408	20	56	20	0	0	0	0	1504
75	0,2374	2801,9133	1406	22	56	20	0	0	0	0	1504
76	0,2404	2811,3499	1404	24	56	20	0	0	0	0	1504
77	0,2434	2820,6570	1404	24	52	24	0	0	0	0	1504
78	0,2464	2829,9639	1404	24	52	24	0	0	0	0	1504
79	0,2494	2839,2710	1404	20	54	26	0	0	0	0	1504
80	0,2524	2848,5781	1404	20	52	28	0	0	0	0	1504
81	0,2554	2857,8853	1402	22	52	28	0	0	0	0	1504
82	0,2584	2867,0730	1396	28	44	36	0	0	0	0	1504
83	0,2161	1976,8024	1396	26	42	28	0	0	12	0	1504

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüz mimari uygulamalarında asmolen döşemeler oldukça yaygın olarak kullanılmaya başlandığından bu çalışmada asmolen döşemeli betonarme binaların doğrusal olmayan artımsal itme analizi ile bunların performanslarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu bağlamda analizler için uygulamada yaygın olarak kullanılan asmolen döşemeli betonarme binaları temsil edecek çeşitli yapılar seçilmiştir. Bu çalışma esas olarak iki kısma ayrılabilir. Birinci kısımda konuyu tanıtıcı genel bilgiler verilmekte, performansa dayalı hesapta kullanılan terim ve tanımlar açıklanmakta, artımsal itme analizinin hesap şekli sunulmaktadır. Bu kısım Mart 2007'de yürürlüğe girecek olan deprem yönetmeliğindeki konuyla ilgili hususları da içermektedir. İkinci kısım ise; genel olarak birinci kısımda verilen hususların örnek yapılar üstünde uygulanması olarak düşünülebilir. Söz konusu ikinci bölümün gerçekleştirilmesinde uygulamada çalışan mühendislerin de yararlandıkları paket programlar yada ticari programlar da olarak adlandırılan SAP2000, PROBINA, STA4 ve ideSTATİK programlarından yararlanılmıştır. Gerçekleştirilen bu çalışmalar sonucunda çıkartılabilecek sonuçlardan başlıcaları aşağıda verilmektedir.

- Bilindiği gibi doğrusal elastik malzeme davranışının dikkate alındığı hesaplar ancak malzemenin deprem esnasında fazla zorlanmadığı durumlarda geçerlidir. Fakat orta büyüklükteki veya daha büyük depremlerde yapılar önemli oranda hasar görmektedir. Bu durumda birkaç yılda bir yıkıcı depremlerin meydana geldiği ülkemizde doğrusal olmayan davranışın da dikkate alınması gerçek davranışlarının belirlenebilmesi açısından don derece önemli olmaktadır.

- Deprem yönetmeliğine yeni giren artımsal itme analizi, mevcut veya yeni yapılacak binaların deprem karşısında göstereceği davranışı önceden göstermesi açısından mühendis ve mal sahibine uygun bir ortam hazırlamaktadır. Bu yöntem kullanılarak gerçekleştirilen performans değerlendirmesine göre mevcut binaların hangi elemanlarının güçlendirmeye gereksinim duyduğu belirlenebilir. Bu durumda mühendis onarım güçlendirme tekniğine karar verirken bu bilgilerden yararlanabilir.

- Çalışmada dikkate alınan yapıların artımsal itme analizi uygulamada yaygın olan üç ticari (paket) program kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu analizler sonucunda çözümlemesi yapılan binaların performans değerlendirmesinde Mart 2007'de yürürlüğe girecek olan Deprem Yönetmeliğinden de yararlanılmıştır.

- Uygulamadaki mühendislerin kullanmış oldukları programların kullanıcılara sağladıkları kolaylıklar tartışılmazdır. Çünkü mühendis son derece karmaşık hesapları ve çok sayıda detaylandırmaları kolayca yapma imkanı sunmaktadır. Artımsal itme analizi konusunda da ülke mühendisliğine kolaylıklar sağlayacağı söylenebilir. Ancak aynı bina ve malzeme özelliklerine sahip yapılar için gerçekleştirilen artımsal itme analizlerinden farklı programlar için farklı değerlere ulaşılmıştır. Tolerans sınırlarını aşan farklar bu konunun tam incelenmediğine işaret etmektedir. Dolayısıyla bu programların yazılımlarını gerçekleştirenlerin bu konu üzerinde daha ayrıntılı durmaları gerekmektedir.

- Bu çalışmada görülmüştür ki, aynı eleman ve aynı donatılara göre modellenen binanın analiz sonuçlarında STA4 programından elde edilen bulguların SAP2000 programından elde edilen bulgulara daha yakın sonuç vermiştir. Aynı zamanda STA4 ve ideSTATİK programlarından elde edilen bulguların da birbirlerine yakın olduğu görülmüştür.

ATC-40 ve FEMA-273’de belirtilen performans seviyeleri ve aralıkları, Türk Deprem Yönetmeliği’nde tanımlanan seviye ve aralıklarla genel itibariyle benzerdir. Ancak bazı tanımlama farklılıkları mevcuttur. Örneğin Türk Deprem Yönetmeliği’nde, ATC-40 ve FEMA-273’de tanımlanan bina performans seviyelerinden kullanıma devam performans seviyesi (1A) olarak tanımlanmamıştır. Ayrıca, uygulanamayan performans seviyesi (6E) de Türk Deprem Yönetmeliğinde mevcut değildir. ATC-40 ve FEMA-273’de elastik olmayan bölge olarak tanımlanan bölge Mart 2007’de yürürlüğe girecek olan Türk Deprem Yönetmeliği’nde “belirgin hasar” ve “ileri hasar” bölgeleri olmak üzere iki kısma ayrılmaktadır. Elastik bölge ise minimum hasar bölgesi olarak tanımlanmıştır.

Bilindiği gibi dişli döşemeler dolgulu (asmolen) yada dolgusuz olarak inşa edilmektedir. Sadece dolgu malzemesinin yapının deprem davranışına etkilerini incelemelerimize konu olmuştur. Yapılan analizlerden dolgu malzemesinin yapıdaki yanal ötelenmeyi önemli oranda (yaklaşık %50 oranında) artırdığı görülmüştür. Bu durumda bu tür döşemelerde dolgu malzemesi kullanılacaksa bunun hafif malzemelerden yapılması yapının deprem davranışı açısından son derece önemli olmaktadır. Ayrıca artımsal itme analizine tabi tutulan bina modellerinde bütün katlarda dolgusuz ve dolgulu dişli döşemeye sahip binada göçen eleman sayıları aynı kalmakla birlikte, göçmenin önlenmesi ve göçme bölgesinde performans seviyesindeki eleman sayıları farklılaştığı görülmüştür.

6. KAYNAKLAR

- Altay, G., Mete, E., 2004. Farklı Yöntemler Kullanılarak Güçlendirilmiş Betonarme Binaların Deprem Performansının Belirlenmesi, 5. Ulusal Mühendislik Kongresi, Balıkesir.
- Atalar, A., 2005. Statik İtme (Pushover) Yöntemi İle Çapraz Elemanlı Betonarme Çerçevelerin Performans Seviyelerinin Belirlenmesi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- ATC-40, 1996. Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Cilt I and II Applied Technology Council, Redwood City, California.
- Aydınoğlu, M.N., 2003. An Incremental Response Spectrum Analysis Procedure Based on Inelastic Spectral Displacements for Multi-Mode Seismic Performance Evaluation, Bulletin of Earthquake Engineering, 1, 3–36.
- Balcan, H., 2005. Performansa Dayalı Yaklaşımla Betonarme Yapıların Doğrusal Olmayan Davranışlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Ballard, T.A. and Sedarat, H., 1999. SR5 Lake Washington Ship Canal Bridge Pushover Analysis, Computers and Structures, 72, 63-80.
- Barros, R.C. and Almeida, R., 2005. Pushover Analysis of Asymmetric Three-Dimensional building Frames, Journal of Civil Engineering and Management, 11, 3-12.
- CBSC, 1995. International Conference of Building Officials, California Building Standards Commission, California.
- Celep, Z. ve Kumbasar, N., 2004. Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta Dağıtım, İstanbul.
- Chandler, A.M. and Lam, N.T.K., 2001. Performance-Based Design in Earthquake Engineering a Multidisciplinary Review, Engineering Structures, 23, 1525–1543.
- Chandrasekaran, S. and Roy, A., 2006. Seismic Evaluation of Multi-Storey Reinforced Concrete Frame Using Modal Pushover Analysis, Nonlinear Dynamics, 43, 329-342.
- Chintanapakdee, C. and Chopra, A.K., 2003. Evaluation of Modal Pushover Analysis Using Generic Frames, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 32, 417–442.

- Chopra, A.K. and Goel, R.K., 2002. A Modal Pushover Analysis Procedure for Estimating Seismic Building, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 31, 561–582.
- Chou, C. and Uang, C., 2003. A Procedure for Evaluating Seismic Energy Demand of Framed Structures, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 32, 229–244.
- Coleman, J. and Spacone, E., 2001. Localization Issues In Force-Based Frame Elements, Journal of Structural Engineering, Vol. 127, No. 11.
- Doğangün, A., 2005. Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı, Birsen Basın Yayın Dağıtım, İstanbul.
- El-Tawil, S., Kuenzli, M.C. and Hassan, M., 2002. Pushover of Hybrid Coupled Walls I Design and Modeling, Journal of Structural Engineering, 10, 1282–1289.
- FEMA 273 / 274/ 356, 1996. Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Cilt I Federal Emergency Management Agency, Redwood City, California.
- Filiatrault, A., Isoda, H. and Folz, B., 2002. Hysteretic Damping of Wood Framed Buildings, Engineering Structures, 25, 461–471.
- Ganzerli, S., Pantelides, C.P. and Reaveley, L.D., 2000. Performance-Based Design Using Structural Optimization, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 29, 1677 – 1690.
- Goel, R.K. and Chopra, A.K., 2005. Extension of Modal Pushover Analysis to Compute Member Forces, Earthquake Spectra, 21, 125-139.
- Habibullah, A. and Plye, S., 1998. Practical Three Dimensional Nonlinear Static Pushover Analysis in SAP2000, Structure Magazine, 1, 1-4.
- Hancıoğlu, B., 2004. Betonarme Yapıların Güçlendirilmesinde Performans Yaklaşımı, Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- ICBO, 1996. Committee Action and Challenge I Building Standards International Conference of Building Officials, California.
- IdeSTATİK, 2005. Bina Analiz Programı, ideYAPI Bilgisayar Destekli Tasarım Mühendislik Danışmanlık ve Taahhüt Ltd. Şti., İstanbul.
- İrtem, E., Türker, K., Hasgöl, U., 2004. Türk Deprem Yönetmeliğinin Performans Hedeflerinin Lineer Olmayan Statik Analiz Yöntemleri İle Değerlendirilmesi, 5. Ulusal Mühendislik Kongresi, Balıkesir.

- Jan, T.S., Liu, M.W. and Kao, Y., 2004. An Upper-Bound Pushover Analysis Procedure For Estimating The Seismic Demands of High-Rise Buildings, Engineering Structures, 26, 117–128.
- Korkmaz, K.A. and Duzgun, M., 2006. Evaluation of Load Distributions in Pushover Analysis, Tecnikal Journal of Turkish Chamber of Civil Engineers, 17, 3873-3878.
- Krawinkler, H. and Seneviratna, G.D.P.K., 1998. Pros and Cons of a Pushover Analysis of Seismic Performance Evaluation, Engineering Structures, Vol. 20, 8, 452-464.
- Lee, H. S. and Woo W., S., 2002. Effect of Masonry Infills on Seismic Performance of a 3-Storey X Frame with Non-Seismic Detailing, Earthquake Engineering And Structural Dynamics, 31, 353–378.
- Li, J.H., Su, R.K.L. and Chandler, A.M., 2003. Assessment of Low-Rise Building With Transfer Beam Under Seismic Forces, Engineering Structures, 25, 1515–1523.
- Liu, M., Burns, S.A. and Wen, Y.K., 2003. Optimal Seismic Design of Steel Frame Buildings Based on Life Cycle Cost Considerations, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 32, 1313–1332
- Maheri, M.R., Kousari, R. and Razazan, M., 2003. Pushover Tests on Steel X-Braced and Knee-Braced RC Frames, Engineering Structures, 25, 1697–1705.
- Maison, B.F., 2005. Discussions of ‘Evaluation of Modal and FEMA Pushover Analyses, Earthquake Spectra, 21, 275-279.
- Mele, E., Luca, A.D. and Giordano, A., 2003. Modelling and Analysis of a Basilica Under Earthquake Loading, Journal of Cultural Heritage, 4, 355–367.
- Moghadam, A.S. and Tso, W.K., 2000. 3-D Pushover Analysis for Damage Assessment of Buildings Vol. 2, No. 3 / 23.
- Naeim, F., Bhatia, H., Lobo, R., 2001. Performance Based Seismic Engineering, Kluwer Academic Publishers, Boston.
- NIBS, 1996. Development of a Standardized Earthquake Loss Estimation Methodology, National Institute of Building Science, NIBS, FEMA, Washington.
- Özer, E., 2004. Yapı Sistemlerinin Lineer Olmayan Analizi Ders Notları, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

- Pakdamar, F., 2001. Performans Metodu'nun Mevcut Betonarme Binaların İncelenmesi İçin Kullanılması ve Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- PROBİNA Orion, 2002. Bina Analiz Programı, Prota Yazılım Bilişim ve Mühendislik Hizmetleri Ltd. Şti., Ankara.
- Qian, J. and Zhou, J., 1999. Full-Range Pushover Analysis of a RC Frame, Supported by Essential Project of the National Natural Science Foundation, 3, 337-344.
- Salonikios, T., Karakostas, C., Lekidis, V. and Anthoine, A., 2003. Comparative Inelastic Pushover Analysis of Masonry Frames, Earthquake Engineering and Structural, 25, 1515–1523.
- SAP2000, 2003. Structural Analysis Program, Computer and Structures, Inc., 1995 University Avenue, Berkeley, California.
- STA4, 2005. Bina Analiz Programı, STA Bilgisayar Mühendislik ve Müşavirlik Ltd. Şti., İstanbul.
- Sung, Yu-Chi., 2005. A Study on Pushover Analyses of Reinforced Concrete Columns, Structural Engineering and Mechanics, 21, 35-52
- Susantha, K.A.S., Ge, H. and Usami, T., 2002. Cyclic Analysis And Capacity Prediction of Concrete-filled Steel Box Columns, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 31, 195–216.
- TDY, 2006. Yeni Türk Deprem Yönetmeliği, Ankara.
- Türk Standartları, 1997. Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri (TS 498), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Türk Standartları, 1992. Yapı ve Yapı Bileşenlerinde Sertleşmiş Betondan Nümuneye Alınması ve Basınç Mukavemetinin Tayini (TS-10465), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Wong, K.K.F. and Wang, Y., 2003. Energy-Based Design of Structures Using Modified Force Analogy Method, Wiley Interscience, No: 1, 50-72.
- Zheng, Y., Usami, T. and Ge, H., 2003. Seismic Response Predictions of Multi-Span Steel Bridges Through Pushover Analysis, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 32, 1259–1274.
- Zou, X.-K. and Chan, C.-M., 2005. Optimal Seismic Performance-Based Design of Reinforced Concrete Building Using Nonlinear Pushover Analysis, Engineering Structures, 27, 1289-1302.

ÖZGEÇMİŞ

Abdülhamit ÖZDAŞ 1979 yılında Trabzon Çaykara'da doğdu. İlköğrenimini Gazipaşa İlköğretim Okulu'nda, orta ve lise öğrenimini Trabzon İmam-Hatip Lisesi'nde tamamladı. 1999-2000 öğretim yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde lisans öğrenimine başladı. İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden 09 Ağustos 2002 tarihinde mezun olup, aynı yılda Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitü'sü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. Bekar olan Özdaş, iyi derecede İngilizce ve bilgisayar bilmektedir.