

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MEVCUT BİR YAPININ GÜVENLİĞİNİN
STATİK İTME (PUSHOVER) METODU
KULLANILARAK BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Ümit KILIÇ

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : YAPI MÜHENDİSLİĞİ

OCAK 2005

**MEVCUT BİR YAPININ GÜVENLİĞİNİN
STATİK İTME (PUSHOVER) METODU
KULLANILARAK BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Ümit KILIÇ
501001141**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 27 Aralık 2004
Tezin Savunulduğu Tarih : 28 Ocak 2005**

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Melike ALTAN

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Kadir GÜLER (İ.T.Ü.)

Doç. Dr. Mustafa ZORBOZAN (Y.T.Ü.)

OCAK 2005

ÖNSÖZ

Deprem kaçınılmaz bir doğa olayıdır ve yapıların yıkılmasıyla felaketlere dönüşmektedir. Dünyanın bir çok bölgesinde olduğu gibi ülkemizde de bir çok deprem meydana gelmekte ve can kayıplarına yol açmaktadır. Geliştirilen her yeni yöntem ve dayanıklı malzemeyle yapılar daha sağlam ve güvenilir kılınmaktadır. Fakat buna rağmen yine de tasarımda ve uygulamada insan faktörü etkili olmaktadır. Bu nedenle yapıların oluşturulmasının her aşamasında azami dikkat ve özen gösterilmesi gerekmektedir. Son zamanda yaşanan depremlerle ülkemizde oluşan yüksek can kaybının sebebinin bu dikkat ve özenin gösterilmediği anlaşılmıştır. Yapıları daha sonradan depreme dayanıklı hale getirmek, dayanıklı olarak inşa edilmesinden daha zor ve masraflı bir çözüm yoludur.

Gerek tez çalışmamda gerekse yüksek lisans öğrenimim boyunca bilgi ve deneyimlerini paylaşarak çalışmalarında beni teşvik eden danışman hocam Sayın Prof. Dr. Melike ALTAN 'a ve desteklerini hiç esirgemeyen aileme sonsuz teşekkürler ederim.

Ocak 2005

Ümit KILIÇ

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	vi
TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
SEMBOL LİSTESİ	xi
ÖZET	xiii
SUMMARY	xiv

1. GİRİŞ	1
2. PERFORMANS KAVRAMI	4
2.1 Giriş	4
2.2 Performans Seviyeleri	5
2.2.1 Yapısal Performans Seviyeleri.....	6
2.2.2 Yapısal Olmayan Performans Seviyeleri	7
2.2.3 Bina Performans Seviyeleri	8
2.3 Deprem Hareketi	9
2.4 Performans Amaçları	10
2.4.1 Performans Amaçlarının Sınıflandırılması.....	11
2.4.2 Performans Amaçları	12
2.4.3 Temel Güvenlik Performans Amacı.....	13
2.4.4 Diğer Performans Amaçları.....	13
2.5 Performans Amaçlarının Kararlaştırılması	14
2.5.1 Başlangıç Performans Amacı.....	14
2.5.2 Son Performans Amacı.....	14
3. BASİTLEŞTİRİLMİŞ LİNEER (DOĞRUSAL) OLMAYAN ANALİZ YÖNTEMİ	15
3.1 Giriş	15
3.2 Basitleştirilmiş Lineer Olmayan Analiz Yöntemleri	17
3.2.1 Kapasitenin Belirlenmesi için Adım Adım İşlemler.....	18
3.2.2 Talep Spektrumunun Belirlenmesi için Adım Adım İşlemler	20
3.2.3 Kapasite Spektrum Yöntemi Kullanılarak Talebin Hesaplanması.....	21
3.2.3.1 Kapasite Eğrisinin Kapasite Spektrumuna Dönüştürülmesi.....	22
3.2.3.2 Kapasite Spektrumunun Parçalı Olarak gösterilmesi.....	25

3.2.3.3 Sönümün Tahmini ve %5 Sönümlü Talep Spektrumun indirgenmesi.....	26
3.2.4 Performans Noktasının Oluşturulması.....	31
3.2.4.1 Kapasite ve Talep Spektrumu Kesişmesi.....	31
3.2.4.2 Performans Noktasının Hesaplanmasında Yöntem A'nın Kullanılması	32
4. KULLANILAN ANALİZ PROGRAMLARI	35
4.1 Giriş.....	35
4.2 EPARC (Betonarme Yapıların Elasto-Plastik Analizi).....	35
4.2.1 Programın Hesap Yöntemi ve Adımları.....	35
4.2.2 Varsayımlar.....	36
4.2.3 EPARC Programını Oluşturan Alt Programlar	38
4.2.3.1 Help200 Programı.....	38
4.2.3.2 Eparcs Programı.....	40
4.2.3.3 Check Programı.....	41
4.3 SAP2000	41
5.ÖRNEK : BİR YAPININ BİLGİSAYAR ORTAMINDA ANALİZİ	43
5.1 Giriş	43
5.2 Mevcut Yapı Bilgileri.....	43
5.2.1 Genel Yapı Bilgileri.....	43
5.2.2 Kiriş-Kolon Boyutları ve Donatı Düzeni.....	45
5.2.2 Kütle ve Ağırlıkların Hesabı.....	45
5.3 Sisteme Etkiyen Yükler.....	47
5.3.1 Düşey Yükler.....	47
5.3.2 Yatay Yükler.....	47
5.4 EPARC Programında Analizin Yapılması ve Elde Edilen Sonuçlar	50
5.4.1 EPARC Analiz Programı Giriş Bilgilerinin Oluşturulması.....	50
5.4.2 EPARC Programına Ait Analiz Sonuçları	53
5.4.2.1 X Doğrultusu	53
5.4.2.2 Y Doğrultusu	54
5.5 SAP2000 Programında Analizin Yapılması ve Elde Edilen Sonuçlar..	56
5.5.1 SAP2000 Analiz Programı Giriş Bilgilerinin Oluşturulması.....	56
5.5.2 SAP2000 Programına Ait Analiz Sonuçları	58
5.5.2.1 X Doğrultusu	58
5.5.2.2 Y Doğrultusu	60
5.6 Yapının Performans Noktasının Bulunması.....	60
5.6.1 Yapının X Doğrultusuna Ait Performans Noktasının Hesaplanması	63
5.6.2 Yapının Y Doğrultusuna Ait Performans Noktasının Hesaplanması	66

5.7 Yapının Güçlendirilmesi ve Güçlendirilmiş Yapının Analizi.....	69
5.7.1 Giriş.....	69
5.7.2 Güçlendirilmiş Yapının Kütle ve Ağırlıkların Hesabı.....	70
5.7.3 Güçlendirilmiş Yapıda Sisteme Etkiyen Yükler.....	71
5.7.3.1 Düşey Yükler.....	71
5.7.3.2 Yatay Yükler.....	71
5.7.4 SAP2000 Programında Analizin Yapılması ve Elde	
Edilen Sonuçlar.....	72
5.7.4.1 SAP2000 Analiz Programı Giriş	
Bilgilerinin Oluşturulması.....	72
5.7.4.2 X Yönündeki SAP2000 programına Ait	
Analiz Sonuçları	73
5.7.4.3 Y Yönündeki SAP2000 programına Ait	
Analiz Sonuçları.....	75
5.7.5 Güçlendirilmiş Yapının Performans Noktasının	
Hesaplanması.....	75
5.7.5.1 X Doğrultusuna Ait Performans Noktasının	
Hesaplanması.....	75
5.7.5.2 Yapının Y Doğrultusuna Ait Performans	
Noktasının Hesaplanması.....	79
5.8 Değişik Malzeme Çeşitlerine Göre Kapasite Değişimi.....	83
5.8.1 Malzeme Özellikleri	83
5.8.2 1975 Deprem Yönetmeliğine Göre Yatay Yük Hesabı.....	83
5.8.3 Analiz Sonuçları.....	85
6. SONUÇLAR.....	87
KAYNAKLAR	93
EK A.....	94
EK B.....	104
ÖZGEÇMİŞ.....	108

KISALTMALAR

SE	: Servis Depremi
DE	: Tasarım Depremi
ME	: Maksimum Deprem
CSM	: Kapasite Spektrum Yöntemi
FEMA	: Federal Emergency Management Agency
TS	: Türk Standardı
BS	: Beton Sınıfı
BÇ	: Beton Çeliği
ADRS	: Acceleration-Displacement Response Spectra, İvme-Deplasman Talep Spektrumu
ATC-40	: Applied Technology Council-40 No'lu Raporu

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1 Bina performans seviyeleri	5
Tablo 2.2 Göz önüne alınacak deprem parametreleri.....	10
Tablo 2.3 Performans amaçlarının sınıflandırılması.....	11
Tablo 2.4 Çok seviyeli performans amaçları.....	12
Tablo 2.5 Tasarım depreminde can güvenliği seviyesi.....	12
Tablo 2.6 Temel Güvenlik Performans Amacı.....	13
Tablo 2.7 Normal Binalar İçin Örnek Performans Seviyeleri.....	13
Tablo 2.8 Performans Amaçlarının Ekonomiklik Durumları.....	14
Tablo 3.1 Analitik işlemler algoritması.....	16
Tablo 3.2 Performans noktası hesabı için seçilecek yöntem çeşitleri.....	22
Tablo 3.3 Yapı davranış tipleri.....	28
Tablo 3.4 Sönüm düzeltme katsayısı κ	29
Tablo 3.5 Spektral azaltma katsayıları SR_A ve SR_V 'nin minimum değerleri..	30
Tablo 5.1 Sabit Yüklerden Oluşan Kat Ağırlıkları.....	46
Tablo 5.2 Hareketli Yüklerden Oluşan Kat Ağırlıkları.....	46
Tablo 5.3 Bina toplam ağırlığı.....	47
Tablo 5.4 Katlara etkijen eşdeğer deprem yüklerinin hesaplanması.....	50
Tablo 5.5 Her kata ait ağırlık, kütle ve kütle atalet momenti değerleri.....	56
Tablo 5.6 Yapıya ait periyot ve kat ötelenme değerleri.....	57
Tablo 5.7 Zemin sınıflarının tanımı.....	61
Tablo 5.8 Deprem bölge katsayıları.....	62
Tablo 5.9 Deprem kaynağına olan mesafe katsayısı N_A ve N_V	62
Tablo 5.10 C_A Değerleri.....	62
Tablo 5.11 C_V Değerleri.....	63
Tablo 5.12 Güçlendirme sonrası sabit yüklerden oluşan kat ağırlıkları.....	70
Tablo 5.13 Güçlendirme sonrası bina toplam ağırlığı.....	71
Tablo 5.14 Güçlendirilmiş yapıda katlara etkijen eşdeğer deprem yüklerinin hesaplanması.....	72
Tablo 5.15 Güçlendirilmiş yapıda her kata ait ağırlık, kütle ve kütle atalet momenti değerleri.....	73
Tablo 5.16 Güçlendirilmiş yapıya ait periyot ve kat ötelenme değerleri.....	73
Tablo 5.17 1975 ABYYHY göre katlara etkijen eşdeğer deprem yüklerinin hesaplanması	74
Tablo 5.18 $\Phi 12$ ve $\Phi 14$ kiriş donatısı kullanılması hali için 1975 ve 1998 ABYYHY'e göre çeşitli malzeme tiplerinde yapının yük taşıma kapasitesi ve plastik mafsal oluşumu.....	86
Tablo 6.1 Mevcut yapının EPARC programı analiz sonuçları.....	87
Tablo 6.2 Mevcut yapının SAP2000 programı analiz sonuçları.....	87
Tablo 6.3 EPARC ve SAP2000 analiz programı sonuç değerlerinin kıyaslanması.....	88
Tablo 6.4 Güçlendirilmiş yapının SAP2000 programı analiz sonuçları.....	89

Tablo 6.5	Güçlendirilmiş yapının performans seviyesi.....	92
Tablo A.1	Kolon boyutları.....	94
Tablo A.2	Kiriş donatıları.....	97

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1	Bina performans seviyeleri ile güçlendirme maliyeti arasındaki ilişki..... 11
Şekil 3.1	Taban kesme kuvveti ile tepe yer değiştirmesi arasındaki ilişki..... 18
Şekil 3.2	Geleneksel talep spektrumun ADRS talep spektrumuna dönüştürülmesi..... 24
Şekil 3.3	Kapasite Spektrumu ile talep spektrumunun üst üste çizilmiş hali.. 24
Şekil 3.4	Kapasite spektrumunun parçalı olarak gösterilmesi..... 25
Şekil 3.5	Histeretik sönüme eşdeğer eş değer viskoz sönümün belirlenmesi. 26
Şekil 3.6	Sönümle yutulan E_D enerjisinin belirlenmesi..... 27
Şekil 3.7	%5 Sönümlü talep spektrumunun indirgenmesi..... 30
Şekil 3.8	Kapasite spektrumu ile talep spektrumunun kesişim noktası 31
Şekil 3.9	Kapasite spektrumu ile talep spektrumunun kesiştirilmesi 32
Şekil 3.10	Başlangıç performans noktasının bulunması..... 32
Şekil 3.11	Kapasite spektrumunun parçalı hale dönüştürülmesi..... 33
Şekil 3.12	İndirgenmiş talep spektrumunun bulunması..... 33
Şekil 3.13	İndirgenmiş talep spektrumu ile kapasite spektrumun kesiştirilmesi..... 34
Şekil 4.1	İdealleştirilmiş iç kuvvet-şekil değiştirme bağıntısı..... 37
Şekil 4.2	Moment-Yerdeğiştirme eğrisi 42
Şekil 5.1	Kiriş üzerindeki yayılı yüklerin tekil kuvvetlere çevrilmesi..... 48
Şekil 5.2	EPARC programı analiz sonuçlarına göre X yönünde yapıda oluşan plastik mafsallar..... 53
Şekil 5.3	EPARC programı analiz sonuçlarına göre yapının X yönündeki yatay kuvvet-tepe yerdeğiştirmesi grafiği..... 54
Şekil 5.4	EPARC programı analiz sonuçlarına göre Y yönünde yapıda oluşan plastik mafsallar..... 55
Şekil 5.5	EPARC programı analiz sonuçlarına göre yapının Y yönündeki yatay kuvvet-tepe yerdeğiştirmesi grafiği..... 55
Şekil 5.6	SAP2000 programı analiz sonuçlarına göre yapının X yönünde oluşan plastik mafsalların yerleri..... 58
Şekil 5.7	SAP2000 programı analiz sonuçlarına göre yapının X yönündeki yatay kuvvet-tepe yerdeğiştirmesi grafiği..... 59
Şekil 5.8	SAP2000 programı analiz sonuçlarına göre yapının Y yönünde oluşan plastik mafsalların yerleri..... 59
Şekil 5.9	SAP2000 programı analiz sonuçlarına göre yapının Y yönündeki yatay kuvvet-tepe yerdeğiştirmesi grafiği..... 60
Şekil 5.10	%5 Sönümlü talep spektrumu grafiği..... 61
Şekil 5.11	Yapının X doğrultusunda %5 sönümlü talep spektrumu..... 64
Şekil 5.12	Yapının X doğrultusunda kapasite spektrumu..... 64
Şekil 5.13	Yapının X doğrultusunda başlangıç performans noktası..... 65
Şekil 5.14	Yapının X doğrultusunda indirgenmiş talep ve kapasite spektrumu 66

Şekil 5.15	Yapının Y doğrultusunda %5 sönümlü talep spektrumu.....	67
Şekil 5.16	Y doğrultusunda kapasite spektrumu.....	68
Şekil 5.17	Yapının Y doğrultusunda başlangıç performans noktası.....	68
Şekil 5.18	Yapının Y doğrultusunda indirgenmiş talep ve kapasite spektrumu	69
Şekil 5.19	SAP2000 programı analiz sonuçlarına göre güçlendirilmiş yapının X yönüne ait yatay kuvvet-tepe yerdeğiştirmesi grafiği.....	74
Şekil 5.20	SAP2000 programı analiz sonuçlarına göre güçlendirilmiş yapının X yönünde oluşan plastik mafsalların yerleri.....	74
Şekil 5.21	SAP2000 programı analiz sonuçlarına göre güçlendirilmiş yapının Y yönüne ait yatay kuvvet-tepe yerdeğiştirmesi grafiği.....	75
Şekil 5.22	SAP2000 programı analiz sonuçlarına göre güçlendirilmiş yapının Y yönünde oluşan plastik mafsalların yerleri.....	76
Şekil 5.23	Güçlendirilmiş yapının X doğrultusundaki %5 sönümlü talep spektrumu.....	77
Şekil 5.24	Güçlendirilmiş yapının X doğrultusundaki kapasite spektrumu....	77
Şekil 5.25	Güçlendirilmiş yapının X doğrultusundaki başlangıç performans noktası.....	78
Şekil 5.26	Güçlendirilmiş yapının X doğrultusundaki performans noktasının belirlenmesi.....	79
Şekil 5.27	Güçlendirilmiş yapının Y doğrultusundaki %5 sönümlü talep spektrumu.....	80
Şekil 5.28	Güçlendirilmiş yapının Y doğrultusundaki kapasite spektrumu....	81
Şekil 5.29	Güçlendirilmiş yapının Y doğrultusundaki başlangıç performans noktası.....	81
Şekil 5.30	Güçlendirilmiş yapının Y doğrultusundaki performans noktasının belirlenmesi.....	82
Şekil 6.1	Yapının X yönündeki güçlendirme sonucu kapasite değişimi.....	90
Şekil 6.2	Yapının Y yönündeki güçlendirme sonucu kapasite değişimi.....	90
Şekil 6.3	Taşıyıcı sistemde kapasite spektrum eğrisi.....	91
Şekil A.1	S05 kolonunun donatıları ve yerleşim düzeni.....	94
Şekil A.2	Normal yapıda kolonların yerleşim düzeni.....	95
Şekil A.3	Kolonların donatı düzeni ve miktarı.....	96
Şekil A.4	Sürekli ve süreksiz kirişlerde örnek donatı düzeni	99
Şekil A.5	Giriş katı planı.....	100
Şekil A.6	Normal kat planı.....	101
Şekil A.7	Yapının üç boyutlu görünümü.....	102
Şekil A.8	4.Normal kata ait eleman ve düğüm numaraları.....	103
Şekil B.1	Güçlendirilmiş yapının üç boyutlu görüntüsü.....	104
Şekil B.2	Güçlendirilmiş yapının normal kat planı.....	105
Şekil B.3	Güçlendirilmiş yapıda Y doğrultusunda kullanılan perdelerin ölçüleri ve donatı düzeni	106
Şekil B.1	Güçlendirilmiş yapıda X doğrultusunda kullanılan perdelerin ölçüleri ve donatı düzeni	107

SEMBOLLER

A_0	: Etkin yer ivmesi katsayısı
C_A	: Zeminin etkili maksimum ivme katsayısı
C_V	: Periyodu 1 sn. olan %5 sönümlü sistemin spektrum değeri
E	: Deprem etki türü katsayısı
E_c	: Betonun elastisite modülü
E_D	: Sönümle yutulan enerji
E_s	: Beton çeliğinin elastisite modülü
E_{SO}	: Maksimum şekil değiştirmenin enerjisi
f_{ck}	: Betonun karakteristik basınç dayanımı
F_i	: i. Kata etkiyen eşdeğer deprem yükü
f_{yk}	: Beton çeliğinin karakteristik akma dayanımı
f_{cd}	: Betonun hesap basınç dayanımı
f_{yd}	: Beton çeliğinin hesap akma gerilmesi
g	: Yerçekimi ivmesi
g_i	: i. Katın sabit yüklerinden oluşan ağırlık
H	: Binanın toplam yüksekliği
H_i	: i. Katın yerden yüksekliği
I	: Bina önem kat sayısı
$I_{i,kütle}$	: i. Katın kütle atalet momenti
M_i	: i. Kata ait kütle
n	: Hareketli yük katılım katsayısı
N_{A-V}	: Bilinen bir deprem kaynağına olan mesafe katsayıları
$P_{göçme}$	: Göçme anındaki taban kesme kuvvetinin yük parametresi
$[P_o]$	: Sisteme ait yükleme matrisi
$R_a(T_1)$	: Deprem yükü azaltma katsayısı
q_i	: i. Katın hareketli yüklerinden oluşan ağırlık
S_a	: Spektral ivme
S_d	: Spektral yer değiştirme
SR_A	: Spektral azaltma katsayısı
SR_V	: Spektral azaltma katsayısı
$S(T_1)$	: Spektrum katsayısı
$[S_{dd}]$	: Üzerinde plastik kesitler bulunmayan sisteme ait, rijitlik matrisi
T	: Periyot
T_{A-B}	: Zeminin spektrum karakteristik periyotları
V	: Taban kesme kuvveti
w_i	: i. Katın ağırlığı
W	: Bina toplam ağırlığı
Z	: Deprem bölge katsayısı
α_1	: 1. doğal titreşim modu için modal kütle katsayısı
β_{eff}	: Etkili toplam sönüm oranı
β_o	: Eşdeğer sönümle temsil edilen histeretik sönüm
δ	: Yer değiştirme

Δ_{tepe}	: Yapının tepe yerdeğiştirmesi
ϵ_{cu}	: Betonun birim kısalması
ϵ_{co}	: Betonda plastik şekil değiştirmenin başlamasına karşı gelen birim kısalma
ϵ_{su}	: Beton eliğinin akmaya karşı gelen en büyük birim boy değişimi
ϕ_{Xi}	: i.Katta X eksenini doğrultusundaki modun şekli
ϕ_{Yi}	: i.Katta Y eksenini doğrultusundaki modun şekli
Φ	: Donatı apı
Γ_1	: 1. doğal titreşim modu için modal katılım katsayısı
κ	: Sönüm düzeltme katsayısı

ÖZET

MEVCUT BİR YAPININ GÜVENLİĞİNİN STATİK İTME (PUSHOVER) METODU KULLANILARAK BELİRLENMESİ

Depreme karşı yapıların taşıyıcı elemanlarının boyutlandırılması ve mevcut yapıların depreme karşı güvenliklerinin belirlenmesi bu tez kapsamında incelenmiştir. Yapı elemanlarının elastik ötesi davranışları göz önüne alınarak yapılan hesaplamaların, şu anda yönetmeliklerde de kullanılmakta olan elastik hesap yöntemlerine nazaran daha güvenilir ve doğru sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Lineer olmayan analiz yöntemlerinin başında gelen statik itme (pushover) analizinin bu nedenle kullanılmasının faydaları açıklanmıştır.

Altı bölümden oluşmakta olan bu tezin, birinci bölümünde deprem konusunda genel bilgi verilmiştir. Ayrıca tezde değinilecek konular hakkında özet bilgiler açıklanmıştır. İkinci bölümde performans kavramı hakkında genel bilgi verilmiş ve performans seviyelerini belirlenmesinin nasıl gerçekleştiği, üçüncü bölümde statik itme analizi ve bu analiz yöntemine dayanan “Kapasite Spektrum Yöntemi” ayrıntılarıyla adım adım anlatılmıştır. Dördüncü bölümde bu analizi gerçekleştirmek için kullanılabilecek olan EPARC ve SAP2000 bilgisayar programları ve çalışma ilkeleri ayrıntılarıyla incelenmiştir.

Bu bilgiler kullanılarak beşinci bölümde 5 katlı betonarme bir yapının deprem güvenliği SAP2000 ve EPARC analiz programları kullanılarak tahkik edilmiştir. Yapılan analizlerin sonuçlarına göre yapıya güçlendirme uygulanmış ve yapının güçlendirmeden sonraki deprem güvenliği tekrar kontrol edilmiştir. Ayrıca farklı yapı malzemeleri için yapı taşıma kapasitesinin nasıl değiştiği incelenmiştir. Altınca bölümde yapılan analizler sonucunda elde edilen veriler kıyaslanmış ve sonuç değerleri yorumlanmıştır. Çalışmanın Ek A bölümünde mevcut yapı hakkında çizimler ve tablolar, Ek B bölümünde güçlendirilmiş yapı hakkında çizimler verilmiştir.

SUMMARY

DETERMINING THE SAFETY OF AN EXISTING STRUCTURE USING PUSHOVER ANALYSIS METHOD

In this the study, assigning dimensions of the structure's members and determining safety of existing structures against earthquake are examined. It is observed that the calculations that are made considering the structure members' over elastic behaviors are more reliable than the calculation methods in the valid guidelines. Because of this, the advantages of using pushover analysis method that is first in nonlinear analysis methods.

The study consists of some parts. In the first part of this thesis, consisting of six parts, general information about earthquake is given. Furthermore, summarized information about to subject mentioned in the thesis is explained. In the second part, general information about the concept of "Performance" is given, and how realized these performance levels are explained. In the third part, analyses of static pushover and based on this analysis process "Capacity Spectrum Method" is explained in detail. In the fourth section, EPARC and SAP2000 computer packages and their working principles which could be used to realize this analysis are examined in detail.

By using this information in the fifth part, the earthquake safety of a five story concrete building is investigated with the help of SAP2000 and EPARC. According to the result of the analysis applied, strengthening is applied in the building. Right after the strengthening given, the earthquake safety of the building is rechecked. Moreover, how building support capacity differs is analyzed for various building materials. In concluding of the analyses done in the sixth part, the data obtained are compared and final evaluations are interpreted .The drawings and charts of the building in the appendices A, and drawings of the strengthened building in the appendices B are illustrated.

1. GİRİŞ

İnsanoğlu var olduğundan bu yana bir çok doğal afetle baş etmek zorunda kalmıştır. Doğal afetler içinde depremin kendine has bir özelliği vardır. Deprem meydana gelmeden önce bazı ön işaretler görülebilse de, günümüzde depremin önceden tahmin edilmesi konusunda güvenilir sonuçlar mevcut değildir. Bu nedenle yapılar depreme karşı güvenli olarak inşa edilerek, deprem etkilerinden korunmaya çalışılmaktadır. Depremin bir afete dönüşmesi barınmak ve iş yeri olarak kullanılmak için yapılan yapıların yıkılması sonucu oluşmaktadır.

Dünyanın oluşumundan beri, sismik yönden aktif bulunan bölgelerde depremlerin sürekli olarak oluştuğu ve sonucundan da milyonlarca insanın ve barınakların yok olduğu bilinmektedir. Bütün dünyada yılda ortalama 700 adet hasar yaratıcı deprem meydana gelmektedir. Kentsel bölgelerde meydana gelen depremler en yıkıcı doğal afetler arasında yer almaktadır.

Bilindiği gibi yurdumuz dünyanın en etkin deprem kuşaklarından birinin üzerinde bulunmaktadır. Geçmişte yurdumuzda birçok yıkıcı depremler olduğu gibi, gelecekte de sık sık oluşacak depremlerle büyük can ve mal kaybına uğranacağı bir gerçektir. Yurdumuzda oluşturulan Deprem Bölgeleri Haritası'na göre, yurdumuzun %92'sinin aktif deprem bölgeleri içerisinde olduğu, nüfusumuzun %95'inin deprem tehlikesi altında yaşadığı ve ayrıca büyük sanayi merkezlerinin %98'i ve barajlarımızın %93'ünün deprem bölgesinde bulunduğu bilinmektedir. Son 58 yıl içerisinde depremlerden, 58.202 vatandaşımız hayatını kaybetmiştir.

Deprem karşısında ilk olarak yapılması gereken yapıların göçmemesini ve can kaybı oluşmamasını sağlamak, ikinci olarak da yapının ekonomik olarak tamir edilemez bir düzeyde hasara uğramasının engellenmesidir. Bunun için yapıyı ayakta tutan taşıyıcı sistemin şartnamelere uygun olarak düzenlenmesini sağlamak ve yeterli denetim altında bunun uygulamasını gerçekleştirmektir. Şartnameler gereği ve ekonomik açıdan, binalar bir defa tasarım depremi geçirecek şekilde projelendirilirler. Bu

nedenle tasarım depreminden büyük bir depremle karşılaşıldığında yada bir yapının birden çok deprem yaşaması sonucunda neler olacağı tam bilinmemektedir.

Performans bu noktada bir çözüm yolu olarak geliştirilmiş ve günümüzde yeni kullanılmaya başlanan bir kavramdır. Kısaca performans kavramı, yapının talep edilen sismik yer hareketini karşılayabilme kapasitesi olarak açıklanabilir. Bahsi geçen kapasite ise, binanın ayrı ayrı yapısal olan ve yapısal olmayan elemanlarının kapasitelerinden oluşan bir bütündür. Böyle bir oluşum içinde bina için çeşitli performans seviyelerinden bahsetmek mümkündür. Yapının özelliklerine göre seçilecek olan bu seviye sonucunda güçlendirme yada yeniden projelendirme aşamasında işlemler farklılık göstermektedir. Bir yapı için birden çok performans seviyesi de belirlenebilir. Böylece maliyet ve güvenlik açısından çeşitli alternatifler oluşturulabilir. Performans kavramı 2.Bölüm içinde ayrıntılı olarak açıklanacaktır.

Ülkemizdeki yönetmeliklerde de olduğu gibi taşıyıcı sistem boyutlandırmasında bugüne kadar kullanılan yaklaşım elemanların elastik sınırlar dahilinde davrandığı kabulüyle hesap yapılmasıdır. Fakat gerçekte farklı katlardaki elemanların deprem davranışları da birbirini etkilemekte ve elemanlar sıra ile akma noktasına ulaşırken deprem sona erene kadar, eğer elemanlar göçme yük değerlerine erişmemişler ise, sadece bu akma dayanımı ile çalışmaya devam etmektedirler. Böyle bir durumu kontrol altında tutmak ve hesabını yapabilmek için lineer olmayan analiz yöntemleri kullanılmalıdır.

Lineer olmayan analiz yöntemlerinde yük ve yerdeğiştirme arttıkça yapıdaki elemanların bir kısmında elastik ötesi davranışlar ortaya çıkmaktadır. Bu işlemin sonucunda elde edilen eğriyle yapının kapasitesi kolaylıkla görülebilmektedir. Geliştirilen tekniklerle belirli bir deprem hareketi için talep belirlenebilmekte ve bu talebin kapasite eğrisiyle birlikte kullanılmasıyla kapasite ve talebin birbirine eşit olduğu bir noktaya varılabilmektedir. Bu nokta performans noktası olarak adlandırılır ve belirtilen deprem hareketi için gerçek yerdeğiştirmenin bir tahminidir.

Bu yöntemin başlıcası statik itme yöntemidir. Statik itme yöntemi kısaca bir yapı için sabit düşey yükler altında, yatay yüklerin orantılı olarak arttırılmasıyla yapılan doğrusal olmayan hesap yöntemi olarak tanımlanabilir. Bu yöntemde kritik kesitlerde plastik mafsallar tanımlanarak sisteme etkiyen yatay yükler her adımda arttırılarak yapıya uygulanır. Bu durumlar için iç kuvvetler, yerdeğiştirmeler ve plastik şekil değiştirmeler hesaplanır. Yapı için belirlenen maksimum yanal ötelenmeye ya da

yapıyı oluşturan elemanların göçme deformasyonuna ulaşması durumunda analiz sonlandırılarak, yapının kapasitesi ortaya çıkartılır. Bu yöntem Bölüm 3'te ayrıntılarıyla açıklanmıştır.

Özellikle birkaç deprem etkisinde kalmış veya henüz deprem yaşamasa da inşa edildiği tarih itibari ile yeni düzenlemeleri karşılamayan yapıların hangi bölgelerinde en fazla hasar oluştuğunu görmek açısından bu yöntem çok kullanışlıdır. Eski yapıların malzeme kalitelerinin de son derece zayıf olması, zaman içinde özelliklerini yitirebilmesi, bu yapılarda daha dikkatli çalışmaların yürütülmesi gerektiğini gösteren bir unsur olduğu söylenebilir.

Günümüzde depremlere karşı alınacak önlemler gitgide yeni yöntemlerin ve malzemelerin üretilmesiyle artmakta ve yeni yapılar daha güvenli inşa edilebilmektedir. Kullanılacak malzeme iyileştirilerek ve deprem etkisini düşürecek önlemler alınarak yapılar inşa edilmelidir.

Sonuç olarak, depremlere karşı dayanıklı yapıları oluşturmak için gerekli bilgisayar programları, malzemeler her geçen gün geliştirilmektedir. Bütün bu imkanlara, tam anlamıyla çalışan bir denetim mekanizması eklendiğinde deprem sonucunda oluşabilecek can ve mal kaybı düşük ölçüde olacaktır olur.

2. PERFORMANS KAVRAMI

2.1 Giriş

Deprem hareketine karşı yapılacak hesaplamalarda şu anda kullanılmakta olan hesap yöntemlerinde hesap kolaylığı için yapının elastik davranış yaptığı kabulü göz önüne alınmıştır. Fakat gerçekte yapı elastik ötesi davranmaktadır. Elastik davranış göz önüne alınarak yapılan hesaplamalar sonucunda bulunan değerler belli kabuller ve katsayılar yardımıyla indirgenmekte ancak oluşan durumu tam ifade etmemektedir. Performans kavramının ortaya çıkmasıyla özellikle mevcut yapıların deprem güvenliğinin belirlenmesi için kolaylık sağlanmakta ve gerçeğe yakın bilgiler elde edilmektedir. Bu yöntem yeni yapı sistemlerinin boyutlandırılması ve mevcut yapıların güçlendirilmesinde de kullanılmaktadır,[1,2].

Performans hedefi yapının istenilen sismik performansını belirler. Sismik performans, bir sismik tehlike (deprem) için maksimum oluşabilecek hasar durumunun (performans seviyesi) belirtilmesiyle tanımlanır. Bir performans hedefi bir çok seviyeyi kapsayan yer hareketi için hasar durumlarının göz önünde bulundurulmasını kapsayabilir ve o zaman çok seçenekli performans hedefi olarak isimlendirilir.

Yapı sahibi performans hedefini seçtikten sonra mühendis analizde kullanılacak sismik talebi ve yapının yapısal ve yapısal olmayan sisteminin değerlendirilmesi ve tasarımı için kullanılacak performans seviyelerinin sınır değerlerini ifade eden kabul edilebilirlik kriterlerini tanımlayabilir.

Performans seviyesine göre yapılan hesaplama yönteminde başarılı bir sonuç alabilmek yapısal özelliklerin ve zemin davranışlarının çok iyi bilinmesine bağlı olacaktır. Eğer mevcut bir bina için tekrar hesap yapılıyorsa, elemanların yapısal dayanım değerlerinin doğru ve gerçekçi bir şekilde ölçülmesi sayesinde ekonomik bir yaklaşım sağlanabilir.

Bir performans seviyesi göz önünde bulundurulan deprem hareketi ve yapı için uygun bulunan sınırlı bir hasar durumunu belirtir. Bu sınırlı durum yapıdaki fiziksel

hasar ile yapı sakinlerinin can güvenliğini tehdit ve yapının deprem sonrası işlevliğini sürdürmesi ile tanımlanır.

Performans tabanlı deprem hesaplamalarında yapılacaklar şöyle sıralanabilir ;

- Sismik performans değerlerinin elde edilmesi için talep kriterlerinin belirlenmesi ve sismik performans seviyesinin belirlenmesi,
- Bina özelliklerinin ve var olan eksiklerinin belirlenmesi,
- Binanın beklenen performans değerinin ve sismik kapasitesinin analizler yardımıyla belirlenmesi,
- Bulunan değerlerin, istenilen değerlerle karşılaştırılıp eksiklerin giderilmesi.

2.2 Performans Seviyeleri

Yapısal ve yapısal olmayan sistemlerin hedef performans seviyeleri ayrı ayrı tanımlanır. Yapısal ve yapısal olmayan performans seviyelerinin kombinasyonu, bir yapı için hasar durumunu tanımlamak amacıyla bina performans seviyelerini oluşturur. En yaygın olarak kullanılan bina performans seviyeleri ve tanımları aşağıda verilmiştir [3,6].

Tablo 2.1 Bina performans seviyeleri (yapısal ve yapısal olmayan performans seviyeleri)

Yapısal olmayan performans seviyeleri	Yapısal performans seviyeleri					
	S-1 Hemen kullanım	S-2 Kontrollü hasar aralığı	S-3 Can güvenliği	S-4 Sınırlı güvenlik aralığı	S-5 Yapısal Stabilitate	S-6 Hasarın göz önüne alınmadığı
N-A Kullanıma devam	1-A Kullanıma devam	2-A	Tavsiye Edilmez	Tavsiye Edilmez	Tavsiye Edilmez	Tavsiye Edilmez
N-B Hemen kullanım	1-B Hemen kullanım	2-B	3-B	Tavsiye Edilmez	Tavsiye Edilmez	Tavsiye Edilmez
N-C Can güvenliği	1-C	2-C	3-C Can güvenliği	4-C	5-C	6-C
N-D Azaltılmış hasar	Tavsiye Edilmez	2-D	3-D	4-D	5-D	6-D
N-E Hasarın göz önüne alınmadığı	Tavsiye Edilmez	Tavsiye Edilmez	3-E	4-E	5-E Yapısal Stabilitate	Uygulanamaz

2.2.1.Yapısal Performans Seviyeleri

- Hemen Kullanım Performans Seviyesi (S-1) : Depremden sonra çok sınırlı hasar meydana gelmiştir. Taşıyıcı sistemin bütün taşıyıcılık özelliği, dayanım özellikleri, karakteristikleri ve kapasitesi hemen hemen devam etmektedir. Yapısal hasarlardan dolayı oluşan can güvenliği riski yoktur. Yapı depremden sonra sınırsız olarak kullanıma açıktır, bina giriş-çıkış için güvenli durumdadır.
- Kontrollü Hasar Performans Aralığı (S-2) : Bu seviye net ve açık bir seviye değil deprem sonrası hasar durumu için bir aralıktır. Bu aralık can güvenliğinin korunmasının ek olarak hasarın belirli ölçüde sınırlandırılmasına karşılık gelir. Şu an kullandığımız 50 yıllık bir sürede aşılma olasılığı %10 olan deprem etkisi bu seviyeye denk gelmektedir. Tarihi ve mimari açıdan değerli yapıların korunması için bu performans aralığı kullanılır.
- Can Güvenliği Performans Seviyesi (S-3) : Deprem sonrasında yapının taşıyıcı sisteminde önemli derecede hasar olmasına karşılık çökme, yerel ve toptan göçme söz konusu değildir ve yapıda bu duruma ulaşmayı önleyecek ek bir kapasite mevcuttur. Yaralanma olabilir fakat can güvenliği tehlikesi bulunmamaktadır. Bu performans seviyesindeki yapıların onarılıp tekrar kullanılması mümkün fakat yüksek maliyet gerektirmektedir.
- Sınırlı Güvenlik Performans Aralığı (S-3) : Bu seviye net bir seviye olmayıp tanımlama kolaylığı için oluşturulmuş bir aralıktır. Binaların güçlendirilmesinde tam anlamıyla bir can güvenliğinin sağlanamaması durumunda göz önüne alınabilir. Bu seviyede güçlendirme tüm yapısal elemanlar için gerekmeyecek fakat can güvenliği seviyesinin üstünde, toptan göçmenin altında bir güçlendirme yapılabilir.
- Yapısal Stabilit (Toptan Göçmenin Önlenmesi) Performans Seviyesi (S-5) : Yapının taşıyıcı sisteminin güç tükenmesi sınırında bulunması durumuna karşılık gelir. Yatay yük taşıyan sistemler önemli hasar görmüştür ve yanal rijitlik ve dayanımda önemli oranda azalmalar olmuş, buna rağmen düşey yük taşınmaya devam etmektedir. Yapı, stabilitesinin bir kısmını korumasına rağmen deprem sonrası artçı şoklar sebebiyle her an yıkılma tehlikesiyle karşı karşıyadır. Genellikle bu tarz hasar görmüş binaların onarımı, gerek teknik

gerekse ekonomik açıdan önerilmez, eğer binanın tekrar kullanılması gerekiyorsa geniş kapsamlı bir güçlendirmeye ihtiyaç duymaktadır. Bu seviye maksimum yer hareketine karşı yapının toptan göçmeye maruz kalmayacağı son noktadır ve yeni binalarda maksimum deprem etkisi altında sağlanması tavsiye edilir.

- Taşıyıcı Elemanların Hasarının Göz Önüne Alınmadığı Performans Seviyesi (S-6) : Bu seviyede tam anlamıyla bir seviye olmayıp, yapısal olmayan elemanların (duvar, asma tavan, yüzey kaplamaları, eşyalar vb. taşıyıcı sistem dışındaki her şey) sismik değerlendirmesi ve güçlendirilmesi için bir seviye ifade eder. Bina depreme dayanamayıp yıkılsa bile binanın korunması yanında, istenen elemanın zarar görmeme durumu bu seviyeyle ifade edilir.

2.2.2.Yapısal Olmayan Performans Seviyeleri

Yapının taşıyıcı sistemi dışında kalan elemanlarında meydana gelen hasar seviyelerini açıklamak için yapısal olmayan performans seviyeleri kullanılmaktadır. Ayrıca, doğrudan değerlendirme ve güçlendirme aşamasındaki teknik kriterleri belirlemek için de kullanılır

- Kullanıma Devam Performans Seviyesi (N-A) : Deprem hareketi sonrasında yapısal olmayan elemanlarda kullanımı önleyen bir durum söz konusu değildir. Bütün makine ve ekipmanlar çalışır durumda olsa da çok ufak düzeltme gerekebilir.
- Hemen Kullanım Performans Seviyesi (N-B) : Yapısal olmayan elemanlarda bir hasar söz konusu değildir. Kullanıma karşı kolayca giderilebilen küçük bazı engeller ve cisimlerde yer değiştirmeler beklenebilir. Bu seviyede sismik güvenlik durumu etkilenmemiştir.
- Can Güvenliği Performans Seviyesi (N-C) : Yapısal olmayan performans seviyelerinin ortası sayılan bu seviyede yapısal olmayan bileşenlerde kayda değer zararların meydana geldiği fakat bina içinde ve dışında çok ağır zarar ve yıkılmanın olmadığı varsayılır. İkincil zararlar olarak düşünülen gaz ileten basınçlı boruların kırılmadan kalabildiği durumdur. Yapısal olmayan sistemler, araç-gereç ve makineler eski yerlerine yerleştirilmeden ve/veya onarılmadan çalıştırılmazlar. Bunlara rağmen binada yerel veya toptan

göçme söz konusu değildir. Binada bu duruma ulaşmayı önleyecek ek bir kapasite mevcuttur.

- Azaltılmış Hasar Performans Seviyesi (N-D) : Yapısal olmayan yapı bileşenlerinin (parapet, dış duvar, ağır asma tavan vb.) kısmi veya tam olarak göçmesi sonucu çok sayıda insan ciddi bir şekilde zarar görebileceği veya ölebileceği bir performans seviyesidir. Bu seviyede toptan göçmenin ve yıkılmanın olmadığı varsayılır. Bu durumdaki binalar içinde ve yakınında sarsıntı sonrası büyük bir tehdit oluşturmazlar. Yapısal olmayan elemanların onarım ve güçlendirmesi için günümüze kadar bir usul getirilmemiştir.
- Yapısal Olmayan Elemanların Hasarının Göz Önüne Alınmadığı Performans Seviyesi (N-E) : Bu seviye tam anlamıyla bir performans seviyesini ifade etmemekle birlikte genel durum için bir tasarım olasılığı sunar. Bina durumunun saptanmasında kolaylaştırır.

Yapılan hesaplamalara göre yapısal olmayan elemanların sistemin davranışına etki yapmadığı varsayılsa bile olası bir deprem anında iç duvarların yük taşıdığı bir gerçektir. Bu nedenle can kaybına da sebep olan yapısal olmayan elemanların inşasına gereken önem verilmelidir.

2.2.3. Bina Performans Seviyeleri

Yapısal ve yapısal olmayan elemanlardaki hasar neticelerinin birlikte düşünüldüğü, oluşan tüm hasarların göz önüne alındığı durumlarda, binaların performans seviyeleri aşağıdaki gibidir.

- Kullanıma Devam Performans Seviyesi (1-A) : Binanın yapısal olan ve yapısal olmayan elemanlarındaki hasar, kullanıma devamı etkileyemeyecek seviyededir. Binanın yedek sistemlerinin devreye girmesi ile kullanıma devam edilir. Can güvenliği ile ilgili hiçbir problemin olmadığı ve onarımın gereksiz olduğu durumdur.
- Hemen Kullanım Performans Seviyesi (1-B) : Bu seviye önemli yapılar için öngörülen seviyedir. Binanın hacimleri ve sistemleri kullanılabilecek durumdadır. Binada bulunan eşyalarda hasar olabilir.
- Can Güvenliği Performans Seviyesi (3-C) : Yapısal olan elemanlarda onarılabılır hasarlar ve yapısal olmayan elemanlarda ise düşme ve devrilme

durumları oluşabilir. Ancak, bu hasardan can güvenliğinin tehlikeye girmesi çok düşük bir olasılıktır. Bu seviye günümüzde yönetmeliklerin yeni binalar için öngördüğü performans seviyesinden biraz daha düşük olarak tanımlanmıştır. Yani yönetmelikler, binanın bu seviyedekinden daha fazla yerdeğiştirme yapmasını öngörür.

- Yapısal Stabilité Performans Seviyesi (5-E): Binanın düşey yük taşıyan sistemi ancak ayaktaadır. Artçı depremler için herhangi bir kapasite kalmamıştır. Kaplamadan, taşıyıcı olmayan elemanlardaki ve hatta taşıyıcı elemanlardaki hasardan can güvenliği tehlikesi mevcuttur. Taşıyıcı olmayan elemanların hasarı ve kat rölatif yer değıştirmeleri gibi hususlar kontrol edilemez.
- Bina Performans Seviyesi (3-D) : Yönetmeliklerde bulunan 50 yıl / %10 olasılıklı deprem tanımını alarak yapılan ve deprem kuvvetlerinin %75'ini alacak şekilde gerçekleştirilen güçlendirme müdahalesinin böyle bir performans seviyesini sağladığı kabul edilir.
- Bina Performans Seviyesi (3-B) : Hasar binanın kullanımına engel değildir. Bu seviye tüm bina yerine bina kontrol merkezi veya bilgisayar merkezi gibi önemli kısımlar için kabul edilir.

Yapısal ve yapısal olmayan elemanlardaki performans seviyelerinin birlikte düşünüldüğü durumlar ve bina performans seviyelerinin bulunduğu aralıklar Tablo 2.1 de gösterilmiştir.

2.3 Deprem Hareketi

Performans amaçlarını şekillendirebilmek için depremin hareketi ve arzu edilen performans seviyesi birleştirilmiştir. Yer hareketinin belirlenmesi projelendirme için kesinlikle gereklidir. Aşağıda deprem yer hareketi için ifade edilen seviyeler görölmektedir.

- Servis Depremi (SE) : 50 yıllık bir zaman dilimi içinde meydana gelme olasılığı %50 olan yer hareketidir. Ortalama dönüş periyodu 75 yıl olan bu depremin binanın ömrü boyunca ortaya çıkması olasıdır.

- Tasarım (Dizayn)Depremi (DE) : 50 yıllık bir zaman dilimi içinde meydana gelme olasılığı %10 olan yer hareketidir. Ortalama dönüş periyodu 500 yıl olan bu depremin binanın ömrü boyunca ortaya çıkması çok sık olası bir durum değildir.
- Maksimum Deprem (ME) : 50 yıllık bir zaman diliminde meydana gelme olasılığı %2 olan yer hareketidir. Ortalama dönüş periyodu 2500 yıl olacak şekilde bölgede oluşabilecek en büyük deprem olarak kabul edilir. Bu depremin etkileri tasarım depreminin yaklaşık 1.25~1.5 katı büyüklüğündedir. Bina önem katsayısı artırılarak tasarım depreminin etkilerinin artırılması ile tanımlanır.

Deprem etki seviyesinin belirlenmesi spektrum eğrisinin tanımlanması ile yapılır. Olasılık ve ortalama zaman aralığından yola çıkılır. Spektrum eğrisinin tanımlanması yolu ile elde edilen bu seviye 50 yıl içindeki aşılma olasılığına göredir. Deprem oluşma ihtimali parametreleri Tablo 2.2 'de gösterilmiştir.

Tablo 2.2 Göz önüne alınacak deprem parametreleri

Aşılma olasılığı	Zaman Aralığı	Ortalama Dönüş Periyodu
50%	50 Yıl	72 Yıl
20%	50 Yıl	225 Yıl
10%	50 Yıl	474 Yıl
5%	50 Yıl	2475 Yıl

2.4 Performans Amaçları

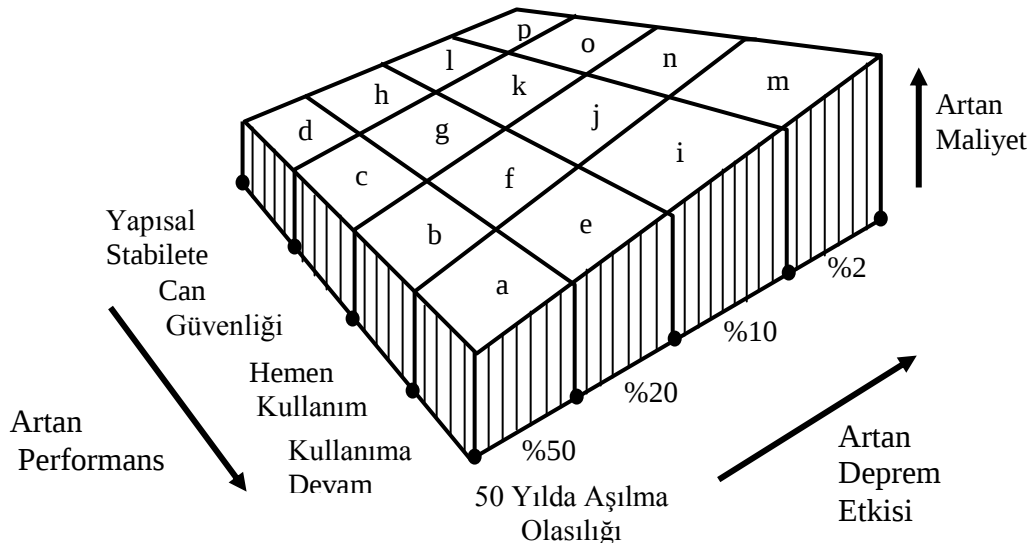
2.4.1 Performans Amaçlarının Sınıflandırılması

Tablo 2.3 'de gösterildiği gibi 50 yılda aşılma olasılıklarına göre deprem yer hareketleriyle bina performans seviyeleri eşleştirilmesi sonucu çeşitli performans amaçları seviyeleri oluşmuştur. Burada a, f, k, p amaçları ana binalar için e, j, o amaçları önemli binalar için ve i, n amaçları ise güvenliği çok özel binalar için kullanılmaktadır. Her bir seviye tek tek seçilip kullanılabileceği gibi, birden çok seviyenin aynı anda bir arada kullanılmasıyla çoklu performans amacı oluşturulmuş olur. k ve p seviyelerinin birlikte düşünüldüğü temel güvenlik performans amacıdır.

Tablo 2.3 Performans amaçlarının sınıflandırılması

	Bina Performans Seviyesi			
Deprem Yer Hareketi	Kullanıma Devam (1-A)	Hemen Kullanım (1-B)	Can Güvenliği (3-C)	Yapısal Stabilitate (5-E)
%50 / 50 Yıl Servis Depremi	a	b	c	d
%20 / 50 Yıl	e	f	g	h
%10 / 50 Yıl Tasarım Depremi	i	j	k	l
%2 / 50 Yıl Maksimum Deprem	m	n	o	p

Yüksek seviyelerdeki amaçlar örneğin p amacı gibi yüksek maliyetler çıkarabilir. Bu noktada performans seviyeleri yerleşim alanlarında yerel yönetimler tarafından, özel mülkiyetlerde ise bina sahibi ve mühendis tarafından belirlenmektedir. Şekil 2.1 ‘de üç boyutlu olarak bina performans seviyeleri ve deprem yer hareketinin kombinasyonlarının maliyetle olan ilişkisi gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Bina performans seviyeleri ile güçlendirme maliyeti arasındaki ilişki

Karşılanmak istenen depremin büyüklüğünün ve istenilen performansın artması sonucunda maliyette yükselmektedir. Bu nedenle kullanılacak amaç yapıya en uygun şekilde seçilmeli ve bu şekilde işleme devam edilmelidir.

2.4.2 Performans Amaçları

Sismik performans amacı, büyüklüğü verilen deprem hareketi için tahmin edilen bina performansının seçilmesi ile saptanır. Çok seviyeli performans amacı da iki veya daha fazla beklenen performans ve yer hareketi seçimi ile belirlenir. Tablo 2.4 'de bu örneklenmiştir ve tabloda görüldüğü gibi yapılacak analizde, servis depremine karşı kullanıma devam, tasarım depremine karşı can güvenliği seviyesine ulaşması beklenir.

Tablo 2.4 Çok seviyeli performans amaçları

	Bina performans seviyesi			
Deprem yer hareketi seviyesi	Kullanıma devam	Hemen kullanım	Can güvenliği	Yapısal Stabilitate
Servis (SE)	X			
Tasarım (DE)			X	
Maksimum (ME)				

Tablo 2.5 'de görüldüğü gibi ileri seviyede bir amaç seçilebilir ama bu durumda maliyetin yükseleceği de göz önünde tutulmalıdır.

Tablo 2.5 Tasarım depreminde can güvenliği seviyesi

	Bina performans seviyesi			
Deprem yer hareketi seviyesi	Kullanıma devam	Hemen kullanım	Can güvenliği	Yapısal Stabilitate
Servis (SE)				
Tasarım (DE)			X	
Maksimum (ME)				

2.4.3 Temel Güvenlik Performans Amacı

Tablo 2.6 ‘da görüldüğü gibi Can Güvenliği-Tasarım Depremi ile Yapısal Stabilitate-Maksimum Deprem seviyelerinin birlikte düşünüldüğü çoklu performans ana güvenlik amacıdır.

Tablo 2.6 Temel Güvenlik Performans Amacı

	Bina performans seviyesi			
Deprem yer hareketi seviyesi	Kullanıma devam	Hemen kullanım	Can güvenliği	Yapısal Stabilitate
Servis (SE)				
Tasarım (DE)			X	
Maksimum (ME)				X

2.4.4 Diğer Performans Amaçları

Yapı performans seviyeleri ile deprem çeşitlerinin farklı kombinasyonları sonucu çeşitli performans amaçları elde edilir. Tablo 2.7’de normal binalar için örnek performans seviyeleri ve Tablo 2.8 ‘de performans amaçlarının ekonomiklik durumları gösterilmiştir.

Tablo 2.7 Normal Binalar İçin Örnek Performans Seviyeleri

Sismik Tehlike	Yeni Binalar	Güncel Güçlendirmeler	Yüksek Kullanım Amacı	Minimum Tasarım Süresi
Birleştirilmiş Performans Seviyesi				
Servis Depremi (SE)				
Tasarım Depremi (DE)	2-C	3-D	3-C	1-C
Maksimum Deprem (ME)	5-E		3-D	

Tablo 2.8 Performans Amaçlarının Ekonomiklik Durumları

Sismik Tehlike	Kısa Ömürlü Yapılar	Orta Ömürlü Yapılar	Uzun Ömürlü Yapılar
Birleştirilmiş Performans Seviyesi			
Servis Depremi (SE)	3-D		
Tasarım Depremi (DE)			5-E
Maksimum Deprem (ME)		5-E	

2.5 Performans Amaçlarının Kararlaştırılması

2.5.1 Başlangıç Performans Amacı

Performans seviyesinin, özel yapılar için yapı sahibi tarafından, yerleşim alanları için de yerel yönetimler tarafından belirlenmesi gerekir. Öncelikli olarak değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi gereken yapıların performans seviyelerinin mümkün olabildiğince çabuk saptanabilmesi için bu işlemin bölgenin yerel yönetimlerince yapılması daha uygundur. Yapının durumunun önceden belirlenmesi, değerlendirme ve güçlendirme projeleri için gerekli olan performans seviyesinin yapı sahibi ve tasarım ekibi tarafından saptanabilmesi gibi konularda “sismik amaçlar” yardımcı olur.

2.5.2 Son Performans Amacı

Gerek duyulduğu takdirde başlangıç performansı amacı, bina sahibi ve ilgili mühendis tarafından değiştirilebilir, indirilebilir veya yükseltilebilir. Değerlendirme ve güçlendirme tasarımında kullanılan son performans amacı, rapor ve çizimlerde açıklanarak ifade edilmelidir.

3. BASİTLEŞTİRİLMİŞ LİNEER (DOĞRUSAL) OLMAYAN ANALİZ YÖNTEMİ

3.1 Giriş

Bu bölümde mevcut yapıların performans seviyelerinin belirlenmesi için gerçekleştirilecek olan analiz yöntemlerinin seçimi ve nasıl uygulanacağı anlatılacaktır,[1].

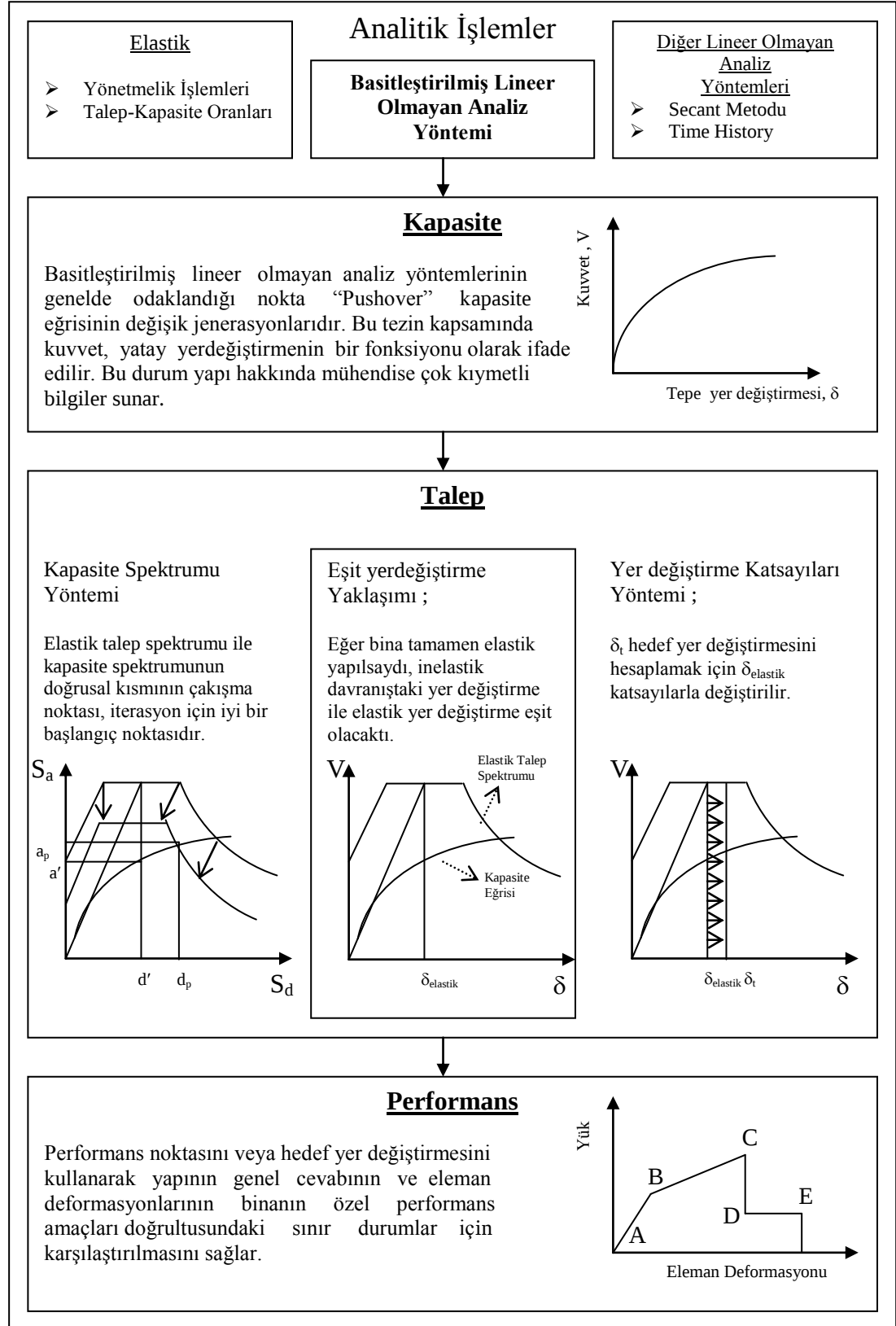
Varolan betonarme binalarda elastik (doğrusal) ve inelastik (doğrusal olmayan) analiz olmak üzere iki farklı analiz yöntemi uygulanabilir. Elastik analiz yöntemleri ; statik yatay kuvvet, dinamik yatay kuvvet ve talep kapasite oranını kullanan işlemler içerir. En temel elastik olmayan analiz metodu aşırı karmaşık olan ve genel kullanım için uygun olmayan doğrusal olmayan Time History analizidir. Lineer olmayan statik analiz yöntemleri de denilen, basitleştirilmiş doğrusal olmayan analiz yöntemleri, kapasite spektrum yöntemini (CSM) içermektedir.Bu yöntem, kapasite eğrisi ve indirgenmiş talep spektrumunun kesişim noktasının bulunması ve böylece maksimum yer değiştirmeyi tahmin etmekte kullanılır. Tablo 3.1 ‘de doğrusal olmayan analiz yöntemleri özetlenmiştir.

Elastik yöntem, yapıların elastik kapasitesi ve ilk akmanın olacağı yeri açık bir şekilde göstermesine rağmen, yıkılma mekanizmasının oluşması ve artan akma sırasındaki kuvvetlerin yeniden dağılımının nasıl olacağını tahmin etmekte yetersiz kalır. İnelastik (doğrusal olmayan) analiz işlemleri, göçme anına kadar olan davranış modelleri ve yıkılma durumundaki mod şekillerinin nasıl olacağını hesaplayarak binaların nasıl tepki göstereceğinin anlaşılmasını sağlar. Elastik olmayan analizlerin kullanımı mühendislere yapıların elastik kapasitesini aştığında, örneğin büyük bir deprem sırasında, nasıl davranacaklarını anlamalarına yardım eder.

Kapasite spektrum metodu, yapının kapasite (pushover) eğrisiyle talep spektrumu eğrisinin karşılaştırılmasını grafik bir ortamda mühendise sunar. Bu yüzden bu yöntem, var olan betonarme binaların değerlendirilmesinde ve güçlendirme tasarımlarının yapılmasında faydalıdır. Grafikselleştirme, binaların deprem yer

hareketine nasıl tepki göstereceğini, değişik güçlendirme stratejilerinin örneğin rijitlik veya güç artırımının binaların deprem talebine göstereceği yanıtı olan etkisini açıklar.

Tablo 3.1 Analitik işlemler algoritması



3.2 Basitleştirilmiş Lineer Olmayan Analiz Yöntemleri

Performansa dayalı tasarım işleminin iki anahtar kavramı talep ve kapasitedir. Talep, deprem yer hareketinin gösterimi olup, kapasite yapının sismik talebe karşılık dayanma yeteneğidir. Performans ise kapasitenin talebe karşılık verebilme şeklidir. Diğer bir deyişle yapı, deprem talebine dayanacak kapasiteye sahip olmalıdır. Yani yapının performans seviyesi tasarımın amacı ile uyumlu olmalıdır.

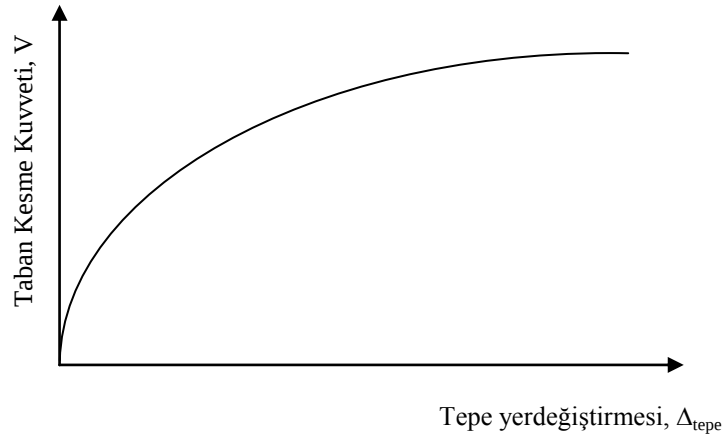
Statik itme yöntemleri yani kapasite spektrum metodu, yer değiştirme katsayısı yöntemi 3 temel öğeye ihtiyaç duyar, bunlar: kapasite, talep (yerdeğiştirme) ve performanstır. Bu üç kavram aşağıda kısaca açıklanmıştır :

- **Kapasite** : Yapının toplam kapasitesi yapıyı oluşturan elemanların şekil değiştirme ve dayanım kapasitelerine bağlıdır. Elastik limitlerin ötesindeki kapasiteleri belirlemek için statik itme (pushover) analizi gibi bazı lineer olmayan analizler gereklidir. Bu analiz, art arda gelen elastik analizlerin kullanılması ve süperpoze edilmesiyle bütün yapının kuvvet-yer değiştirme kapasite diyagramını elde edilmesinde kullanılır. Yapının matematiksel modeli akan elemanların azaltılmış rijitliklerini hesaba katmak için değiştirilir. Yatay kuvvet dağılımı, yapıyı oluşturan bileşenlerin akmasına kadar tekrar uygulanır. Bu işleme, yapı labil hale gelene kadar veya önceden belirlenmiş olan sınır değere erişene kadar devam edilir. İki boyutlu modeller için lineer olmayan davranışı direk olarak modelleyen ve pushover eğrisini oluşturan bilgisayar programları bulunmaktadır. Analiz sonucunda elde edilen kapasite (Pushover) eğrisi, yapıların elastik limitlerini aştıktan sonra nasıl davranacaklarının tahmin edilmesinde yardımcı olur.
- **Talep** : Yer hareketi etkisindeki yapıda yer değiştirme talebi yapının yer hareketi sırasında yapacağı maksimum yer değiştirmeyi göstermektedir. Deprem sırasında oluşan yer hareketleri, yapıda zamanla değişebilen karmaşık yatay yer değiştirmeler oluşturur. Bu hareketi izleyerek her zaman adımında yapısal tasarım gereksinimlerini belirlemek pek pratik değildir. Geleneksel lineer analiz yöntemleri tasarım kriteri olarak yatay kuvvetleri kullanır. Lineer olmayan yöntemler içinse tasarım kriteri olarak bir takım yatay yer değiştirmelerin kullanılması daha kolaydır ve daha elverişlidir.

- **Performans** : Performans, kapasite eğrisi ve talep eğrisinin kesişmesiyle oluşan performans noktası ile belirlenir. Performans kontrolü yapılabilmesi için öncelikle kapasite eğrisi ve talep eğrisi belirlenmelidir. Performans kontrolü, yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda meydana gelen hasarın kabul edilen sınırların içinde kalıp kalmayacağını belirler.

3.2.1 Kapasitenin Belirlenmesi için Adım Adım İşlemler

Yapının kapasitesi pushover eğrisi ile temsil edilir. Bir yapının kapasitesinin bulunmasında en iyi yol, yapının taban kesme kuvveti ile tepe yerdeğiştirmesinin arasındaki ilişkiyi gösteren eğrinin çizilmesiyle elde edilir.



Şekil 3.1 Taban kesme kuvveti ile tepe yerdeğiştirmesi arasındaki ilişki

Bazı doğrusal olmayan bilgisayar yazılımları statik itme (Pushover) analizini iterasyona gerek duymadan doğrudan yapabilmektedir. Bu bilgisayar programları kullanıldıkça adım adım kapasite belirlemeye gerek kalmamaktadır. Bu bilgisayar programları arasında DRAIN-2DX, SAP2000, EPARC ,ETABS, RISA sayılabilir.

Kapasite eğrisi çizilirken, genellikle yapının 1. doğal titreşim modu esas alınarak yapılan yüklemeler sonucunda yapıda meydana gelen taban kesme kuvveti ile oluşan yatay yer değiştirme göz önünde tutulur. Bu durum genellikle 1.moda ait doğal titreşim periyodunun bir saniye yada daha az olduğu binalar için geçerlidir. Çünkü bu türden binalarda daha yüksek modların yapıya etkileri oldukça küçük olduğu için göz ardı edilebilir. Ancak çok katlı ve daha sünek yapılarda genellikle 1. modun doğal titreşim periyodu bir saniyeden daha fazladır. Yüksek modların yapıya etkisi oldukça büyüktür ve tasarımda bu etkiler de dikkate alınmalıdır.

Kapasite hesabı yapılırken aşağıdaki adımlar sırasıyla izlenir.

- 1- Yapının bir bilgisayar modeli oluşturulur.
- 2- Modeldeki her bir eleman derecelerine göre sınıflandırılır.
- 3- Yatay kuvvetler temel mod şekillerine ve kat ağırlıklarına göre yapının kütle merkezlerine uygulanır. Bu analiz aynı zamanda ölü yükleri de içermelidir. Aşağıda yatay yüklerin uygulama noktalarına göre beş farklı durum örneklenmiştir.

- i. Genellikle tek katlı yapılara uygulanması önerilen ve yatay kuvvetin yapının tepe noktasına uygulandığı yapılar,
- ii. Yatay kuvvetin, yapının her bir katına deprem yönetmeliğinin öngördüğü şekilde Denklem (3.1) deki formül yardımıyla, eşdeğer statik yatay yük olarak kat ağırlıkları oranında uygulandığı yapılar,

$$F_x = [w_x \cdot h_x / \sum w_x \cdot h_x] V \quad (3.1)$$

- iii. Yapının 1.mod şekline uygun olarak, kat kütlelerinin toplandığı kütle merkezlerine yatay kuvvetlerin Denklem (3.2) yardımıyla hesaplanmasıyla uygulandığı yapılardır. Kapasite eğrisi 1.mod şekline göre yapılan yüklemeyle elde edilir. Ancak bu durum yapının 1.moduna ait doğal titreşim periyodunun bir saniye veya daha altı değerler için geçerli olmaktadır,

$$F_x = [w_x \cdot \phi_x / \sum w_x \cdot \phi_x] V \quad (3.2)$$

- iv. Birinci mafsallara kadar iii. tip yapılardaki gibi hesaplanır. Birinci mafsallardan sonra oluşan her artım için kuvvetler değişen deforme olmuş şekle göre ayarlanmalıdır,
 - v. iii. ve iv. Tip yapılarla aynıdır fakat yüksek mod şekillerinin etkilerinin de göz önüne alınması gerekir. Bu etkiler yüksek moda uygulanacak statik itme analizi ile belirlenir. Yüksek modlarda yapı hem itilip hem çekilerek mod şekli devam ettirilir.
- 4- Eleman kuvvetleri yatay ve düşey yüklerin gerekli kombinasyonlarına göre hesap edilir.

- 5- Bazı eleman veya eleman grupları için yatay yük, eleman dayanımının %10'u olacak şekilde ayarlanır.
- 6- Performans kontrolü için taban kesme kuvveti ve tepe yerdeğiştirmeleri kaydedilir. Ayrıca eleman kuvvetleri ve dönmelerinin kaydedilmesi bu kontrolün yapılmasında yararlı olur.
- 7- Mafsallaşan elemanlar için, rijitlik sıfır veya çok küçük alınarak model tekrar kontrol edilir.
- 8- Başka bir elemanda veya eleman grubunda akma oluşuncaya kadar yatay yük arttırılmaya devam edilir.
- 9- Taban kesme kuvvetine nazaran tepe yerdeğiştirmesi oldukça sabit olsa da yatay yük arttırılmaya devam edilir.
- 10- Son limite ulaşıncaya kadar 7, 8 ve 9 adımlar tekrar edilir. P-Δ etkileri düzensiz bir duruma geldiğinde yapı elemanları ve eleman grupları tamamıyla yıkılmaya başlıyor demektir. Bu duruma gelindiğinde yapı düşey yük taşıma kapasitesini de yitirir. Bu durumda kapasite aşılıyor demektir ve statik itme işlemi biter.

3.2.2 Talep Spektrumunun Belirlenmesi için Adım Adım İşlemler

Mevcut bir yapının kapasite eğrisinin elde edilmesi mühendis için çok kullanışlıdır. Özel zemin hareketleri için oluşacak muhtemel maksimum yer değiştirmelerin belirlenmesi, performans amaçlarına karar verilmesi kadar önemlidir. Uygun bir performans noktası belirleyebilmek için kapasite eğrisi ve sismik talep belirlenmelidir. Sismik talebin belirlenmesinde kapasite spektrum yöntemi kullanılmaktadır. Kapasite spektrumu yönteminde kapasite spektrumu üzerinde alınan bir noktanın talep eğrisi ile çakıştırılması sonucunda bulunan nokta binanın “performans noktası” olarak adlandırılır. Bu noktaya karşılık gelen talep eğrisi üzerindeki yer ise talep yer değiştirmesini gösterir. Sözü edilen performans noktası, yapının sismik kapasitesini yani belirli bir deprem etkisi altında kalan yapının bu etkiye karşı göstereceği direnci ifade eder. Bu yöntem FEMA 273 de farklı modellere ait tek serbestlik dereceli sistemlerde zaman tanım alanı analizi (Time History Analizi) sonuçlarına göre yapılan istatistiksel bir analiz yöntemi olan katsayı yöntemiyle kullanılmaktadır.

3.2.3 Kapasite Spektrum Yöntemi kullanılarak Talebin Hesaplanması

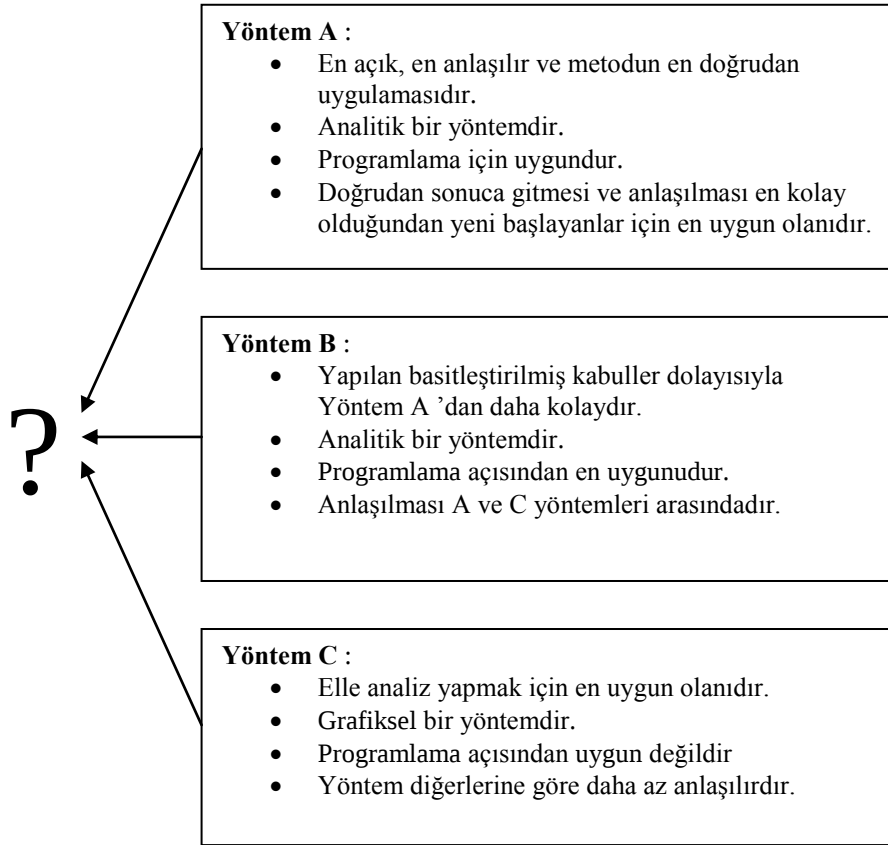
Performans noktasının yeri yapıya verilen bir yerdeğiştirme sonucunda oluşan kapasite eğrisinin üstünde ve %5 sönümlü talep spektrumundan indirgenmiş spektrum eğrisinin üzerinde bulunmak gibi iki koşulu sağlamalıdır.

Bu iki şartın sağlanması, performans noktasının kapasite eğrisi ile indirgenmiş talep spektrumunun kesiştiği noktada bulunması demektir. Bu noktanın bulunması için ardışık yaklaşım (iterasyon) yapılması gerekmektedir. Bu işlem için aşağıda üç farklı yöntem anlatılmakta olup üçü de aynı amaç için kullanılmaktadır. Fakat kullanılan işlemler farklılık göstermektedir.

- **A Yöntemi** : Bu yöntem, metodun en doğrudan uygulamasıdır. Tamamen iterasyona dayanmakta fakat gerekli formülasyonlar yapıldığında bilgisayar ortamına aktararak kolaylıkla çözümlenebilmektedir. Grafiksel olmaktan çok analitik bir yöntemdir. Anlaşılması en kolay ve doğrudan bir uygulama olduğu için yeni başlayanlar için en uygun yöntemdir.
- **B Yöntemi** : Kapasite eğrisini iki yönde de modellemeye olanak sağlayan basit bir yöntemdir. Performans noktasının yeri küçük iterasyonlar yapılarak bulunur. A yöntemi gibi, B yöntemi de grafiksel yaklaşımdan çok analitik bir yöntemdir ve bilgisayar ortamına aktarılmaya en uygun yöntemdir. A yöntemine nazaran daha az anlaşılır olabilir.
- **C Yöntemi** : Bu yöntem performans noktasını bulmak için zayıf bir grafiksel yöntemdir. Elle analiz için en uygun yöntem olmasına karşın bilgisayar ortamına aktarılması en uygunsuz olanıdır.

Bu yöntemlerden hangisinin kullanılacağı tamamen kişisel seçimlere bağlıdır. Her bir yöntemin özellikleri Tablo 3.2 'de özetlenmiştir.

Tablo 3.2 Performans noktası hesabı için seçilecek yöntem çeşitleri



3.2.3.1 Kapasite Eğrisinin Kapasite Spektrumuna Dönüştürülmesi

Kapasite spektrum yönteminin kullanılabilmesi için “Taban Kesme Kuvveti-Tepe Yerdeğiştirme” formatında bulunan kapasite eğrisinin “Spektral İvme-Spektral Yerdeğiştirme” formatına dönüştürülmesi gerekir. Bu dönüşüm sonucunda bulunacak eğri Kapasite spektrum eğrisi olarak adlandırılır ve ADRS¹ formatındadır. Kapasite spektrumu yönteminde yapının davranışında birinci doğal titreşim modunun etkin olduğu varsayılır. Dönüşüm için gerekli matematiksel ifadeler aşağıda verilmiştir.

$$\Gamma_1 = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1})/g}{\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}^2)/g} \right] \quad (3.3)$$

¹ADRS (Acceleration-Displacement Response Spektra), Spektral ivme-Spektral Yerdeğiştirme , Mahaney 1993

$$\alpha_1 = \frac{\left[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}) / g \right]^2}{\left[\sum_{i=1}^N w_i / g \right] \left[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}^2) / g \right]} \quad (3.4)$$

$$S_a = \frac{V/W}{\alpha_1} \quad (3.5)$$

$$S_d = \frac{\Delta_{\zeta au}}{\Gamma_1 \phi_{\zeta au,1}} \quad (3.6)$$

Formüllerde;

Γ_1 = 1. doğal titreşim modu için modal katılım katsayısı

α_1 = 1. doğal titreşim modu için modal kütle katsayısı

w_i / g = i. kattaki toplanmış kütle

ϕ_{i1} = 1. doğal titreşim periyodunda i. kattaki yanal yer değiştirme

N = Yapıdaki kat sayısı

V = Taban kesme kuvveti

W = Binanın ölü ve hareketli yük toplamı

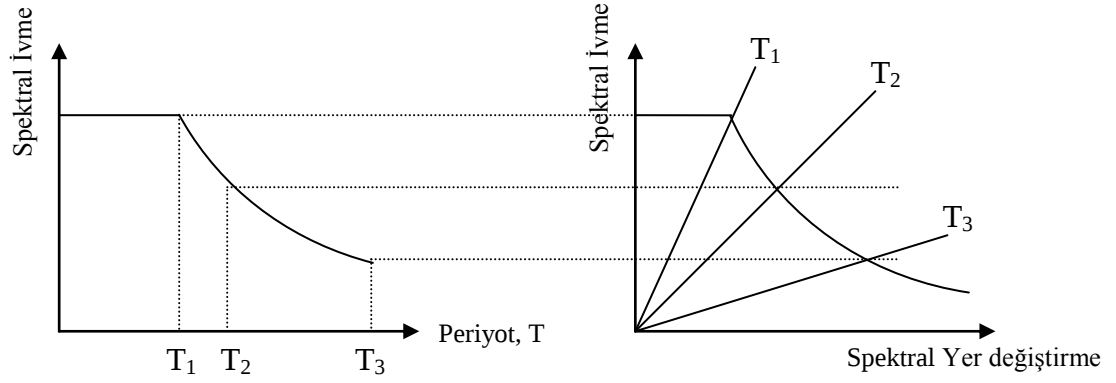
Δ_{tepe} = Tepe yerdeğiştirmesi

S_a = Spektral ivme

S_d = Spektral yer değiştirme

dir.

Kapasite eğrisi kapasite spektrumuna dönüştürülürken önce Denklem (3.3) ve (3.4) kullanılarak birinci doğal titreşim modu için modal katılım katsayısı Γ_1 ve modal kütle katsayısı α_1 hesaplanır. Bundan sonra kapasite eğrisi üzerindeki her bir nokta için yani her V ve Δ_{tepe} için Denklem (3.5) ve (3.6) kullanılarak S_a ve S_d olarak karşılıkları hesaplanır.



$$S_d = \frac{1}{4\pi^2} S_a T^2$$

Geleneksel Talep
Spektrumu

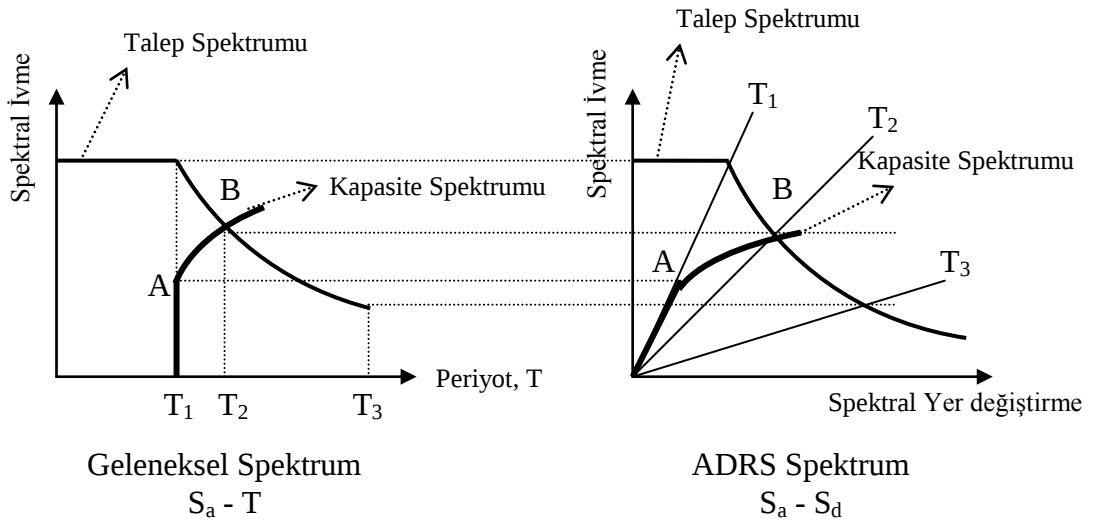
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{S_d}{S_a}}$$

ADRS Talep
Spektrumu

Şekil 3.2 Geleneksel talep spektrumun ADRS talep spektrumuna dönüştürülmesi

Genellikle talep spektrumu spektral ivme ve periyot olarak karşımıza çıkmaktadır. Fakat ADRS formatında periyotlar sabit olarak başlangıç noktasından geçen doğrular olarak ifade edilirler. ADRS spektrumundaki herhangi bir nokta için periyot $T = 2\pi \sqrt{S_d/S_a}$ formülüyle hesaplanabilir. Aynı şekilde geleneksel spektrum

üzerinde herhangi bir nokta için de spektral yer değiştirme $S_d = \frac{1}{4\pi^2} S_a T^2$ formülüyle hesaplanabilir.

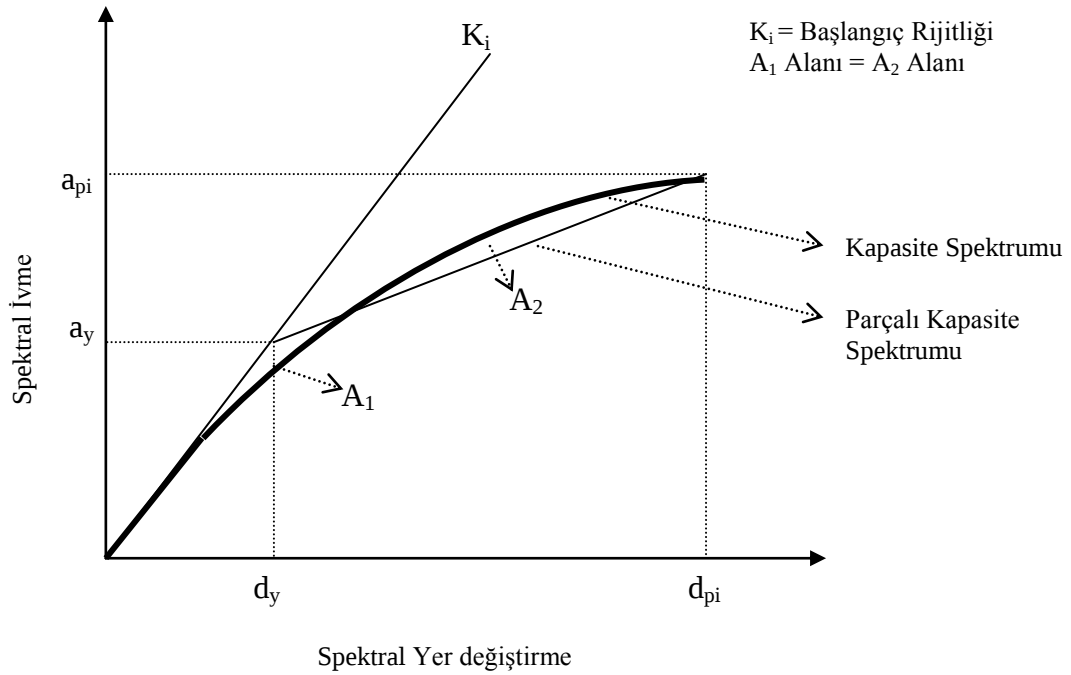


Şekil 3.3 Kapasite Spektrumu ile talep spektrumunun üst üste çizilmiş hali

Şekil 3.3 'de kapasite spektrumunun geleneksel ve ADRS formatlarıyla birlikte kullanımı görülmektedir. Görüldüğü gibi kapasite spektrumu T_1 periyodunda A noktasına kadar sabittir. B noktasına ulaşıldığında periyot uzayarak T_2 değerini alır. Bu da yapının elastik ötesi davranış yaptığında periyodunun arttığının bir göstergesidir. Periyot artışı her iki format üzerinde de kolayca görülebilmektedir.

3.2.3.2 Kapasite Spektrumunun parçalı olarak gösterilmesi

Kapasite spektrumunun parçalı olarak gösterilebilmesi için öncelikle etkin sönümün ve buna uygun talep spektrumunun tahmin edilmesi gerekir. Ayrıca başlangıç performans noktası olarak adlandırılan noktanın koordinatlarının " a_{pi} ve d_{pi} " tahmin edilerek belirlenmesi gerekmektedir. Bu noktanın tahmini için göz önüne alınan deprem bölgesine göre %5 sönümlü talep spektrumu ve yapının kapasite spektrumu kullanılır. Bu koordinatlar belirlendikten sonra şekilde gösterildiği gibi başlangıçtaki rijitlik bir doğruyla uzatılarak ve bulunan başlangıç performans noktasından geriye doğru birer doğru çizilir. Kapasite spektrumunun üzerinde kalan A_1 alanı ile bu eğrinin altında kalan A_2 alanı eşit olacak şekilde bu doğrular kesiştirilir. Bu alanların eşitlenmesindeki sebep gerçek kapasite eğrisi ile yapılan parçalı temsiliinin aynı oranda enerji sönümlemesini sağlamaktır.



Şekil 3.4 Kapasite spektrumunun parçalı olarak gösterilmesi

3.2.3.3 Sönümün Tahmini ve %5 sönümlü Talep Spektrumun İndirgenmesi

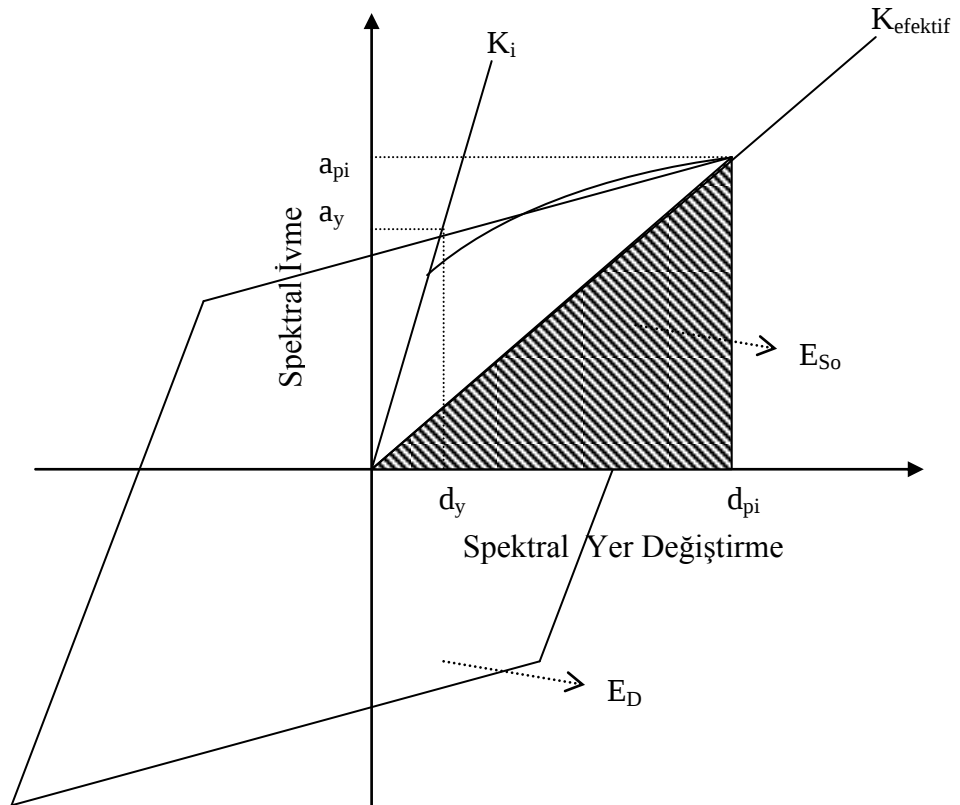
Deprem yer hareketi yapıyı elastik ötesi bölgede davranışa doğru sürüklediğinde oluşan sönüm yapıda var olan viskoz sönüm ile histeretik sönümün toplamı olarak düşünülebilir. Histeretik sönüm Taban Kesme Kuvveti-Yapı Yerdeğiştirmesi diyagramının çizilmesi sırasında oluşan çevrimlerin içinde kalan alan ile ilgili bir değerdir. Histeretik sönüm eşdeğer viskoz sönüm ile temsil edilebilir. Eşdeğer viskoz sönüm $\beta_{eşdeğer}$, d_{pi} değerlerinin maksimumu ile ilgilidir ve aşağıdaki eşitlikle ifade edilebilir.

$$\beta_{eşdeğer} = \beta_0 + 0.05 \quad (3.7)$$

Burada,

β_0 = Eşdeğer sönümle temsil edilen histeretik sönüm

0.05 = Yapıda var olduğu düşünölen viskoz sönüm



Şekil 3.5 Histeretik sönüme eşdeğer eş değer viskoz sönümün belirlenmesi

β_0 değeri aşağıdaki denklemle hesaplanabilir.

$$\beta_0 = \frac{1}{4\pi} \frac{E_D}{E_{S_0}} \quad (3.8)$$

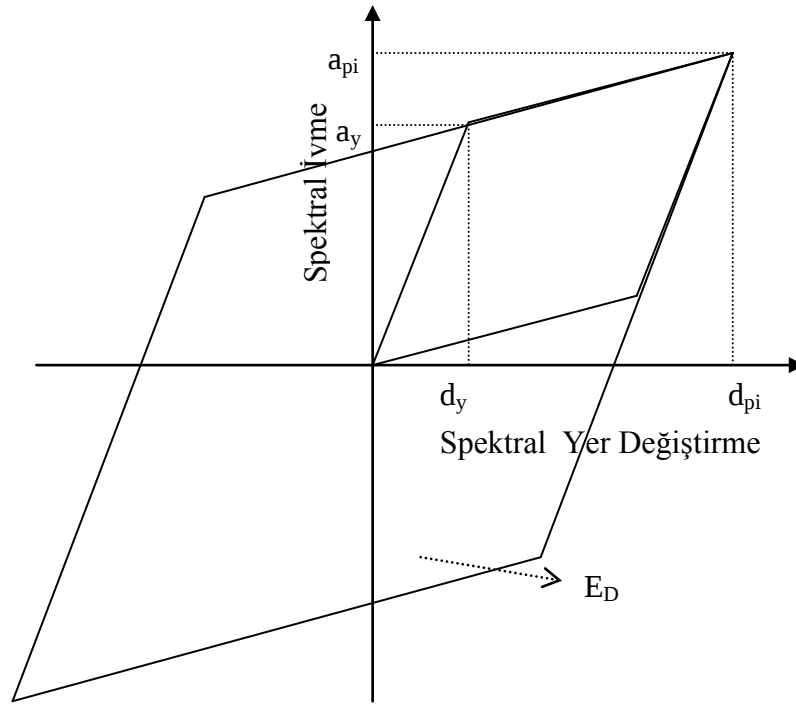
Burada,

E_D = Sönümle yutulan enerji

E_{S_0} = Maksimum şekil değiştirmenin enerjisidir

E_D ve E_{S_0} ' ın fiziksel önemi Şekil 3.5 'da gösterilmektedir.

E_D bir çevrimde yapı tarafından yutulan enerjidir veya diğer bir deyişle şekil de görüldüğü gibi tek bir histeresis çevrimde kapalı alanda temsil edilir. E_{S_0} bu döngüyle ilgili olarak maksimum şekil değiştirme enerjisidir ve Şekil 3.5 görüldüğü gibi taralı üçgenin alanına eşittir.



Şekil 3.6 Sönümle yutulan E_D enerjisinin belirlenmesi

E_D = Histeresis çevrim altında kalan alan

E_D = Büyük paralel kenarın alanı

E_D = Taralı alanın 4 katı

Birkaç matematiksel işlem yapıldıktan sonra E_D 'nin Şekil 3.6 'daki taralı alanın 4 katına eşit olduğu kolayca hesaplanabilir ve aşağıda verilen eşitlikle ifade edilir.

$$E_D = 4(a_y \cdot d_{pi} - d_y \cdot a_{pi}) \quad (3.9)$$

Bu durumda viskoz sönüm;

$$\beta_0 = \frac{1}{4\pi} \frac{4(a_y \cdot d_{pi} - d_y \cdot a_{pi})}{a_{pi} d_{pi} / 2} = \frac{2}{\pi} \frac{a_y \cdot d_{pi} - d_y \cdot a_{pi}}{a_{pi} d_{pi}} \quad (3.10)$$

$$\beta_0 = \frac{0.637(a_y \cdot d_{pi} - d_y \cdot a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}} \quad (3.11)$$

$$\beta_{eşdeğer} = \beta_0 + 0.05 = \frac{0.637(a_y \cdot d_{pi} - d_y \cdot a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}} + 0.05 \quad (3.12)$$

Yeterli süneklikte olmayan yapılar için daha önceki formülle verilen eşdeğer viskoz sönüm κ katsayısı ile düzeltilerek efektif viskoz sönüm tanımlanabilir. Buna göre ;

$$\beta_{efektif} = \kappa \beta_0 + 0.05 = 0.637 \kappa \frac{(a_y \cdot d_{pi} - d_y \cdot a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}} + 0.05 \quad (3.13)$$

formülü ile tanımlanabilir. κ faktörü yapının taşıyıcı sistemine ve yer sarsıntısının süresine diğer bir deyimle binanın yapısal davranışına bağlıdır. ATC-40 da 3 yapı tipi tanımlanır. Yapı davranış tipinin seçimi yapı taşıyıcı sisteminin esas elemanlarına ve yer sarsıntısının süresine bağlı olarak Tablo 3.3 'te gösterilmiştir.

Tablo 3.3 Yapı davranış tipleri

Deprem Süresi	Genel Olarak Yeni Bina	Ortalama Mevcut Bina	Zayıf Mevcut Bina
Kısa Süreli	Tip A	Tip B	Tip C
Uzun Süreli	Tip B	Tip C	Tip C

Burada ki yeni bina mevcut yönetmeliklere uyarak detaylandırılan, yatay yüklere karşı yeni taşıyıcı sistemler içeren ve yapıda bulunan yönetmeliklere uymayan elemanların dayanım ve rijitliklerinin de katkısının az olduğu binaları temsil etmektedir. Ortalama mevcut bina diğer durumdaki yapılar için kullanılmaktadır. Bu davranış tipi mevcut güçlendirme binalarının çoğu için uygun olabilir.

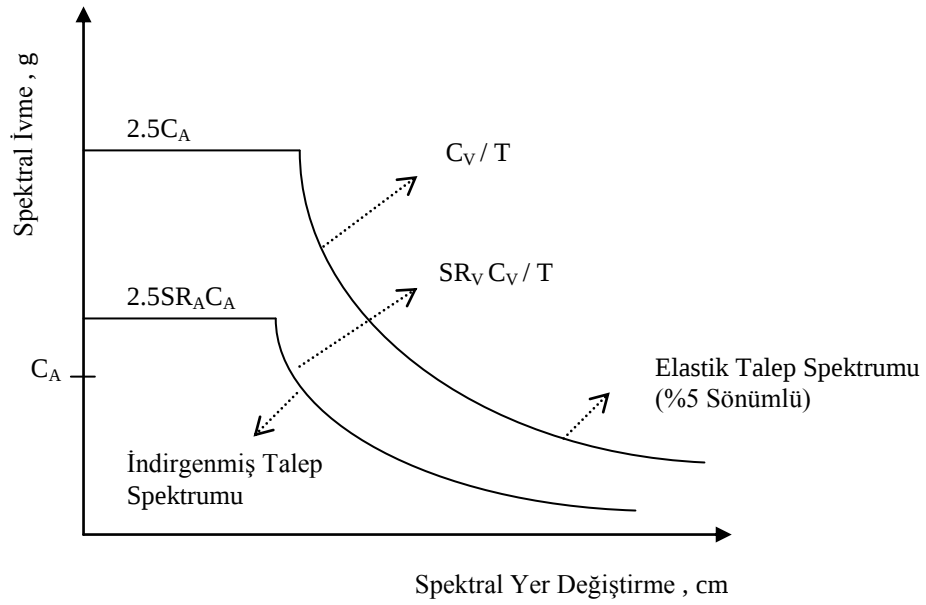
Yapı tipi A idealize edilmiş histerezis çevrimi tam olarak temsil edebilen yani κ katsayısının 1.0 olduğu davranış tipidir. Yapı tipi B için κ katsayısına 2/3 değeri verilirken β_{efektif} in yüksek değerler alması durumunda bu sayı azaltılır. Yapı tipi C daha yetersiz bir histerezis davranışı gösterir ve κ katsayısı için 1/3 değeri kullanılır. Yapı davranış tiplerine göre belirlenen κ katsayısının β_0 değerine bağlı olarak çeşitli değişimler gösterir. ve bunlara uygulanan κ katsayıları Tablo 3.4 'te gösterilmiştir.

Tablo 3.4 Sönüm düzeltme katsayısı κ

Yapı Davranış Türü	Tip A	Tip B	Tip C
K Katsayısı	1.00	0.67	0.33

Doğrusal olmayan davranışın göz önüne alınması için, bu eşdeğer sönüme bağlı olarak talep spektrumunda SR_A ve SR_V katsayıları ile azaltma yapılır. SR_A spektrumun sabit ivme bölgesindeki azaltma değerini, SR_V ise sabit hız bölgesindeki spektral azaltma değerini ifade eder. C_A ve C_V değerleri deprem bölgesi, zemin türü, faya olan mesafe ve esas alınan deprem seviyesi gibi birçok etmene bağlıdır.

Şekil 3.7'de bu katsayılarla bağlı olarak %5 sönümlü talep spektrumunun indirgenmesi gösterilmektedir.



Şekil 3.7 %5 Sönümlü talep spektrumunun indirgenmesi

Yapılan bu azaltma , sönüm oranıyla ve yapının yeni olması ile artmaktadır. SR_A ve SR_V azaltma katsayıları Denklem (3.14) ve (3.15) yardımıyla hesaplanır. Ancak, bulunan değerler Tablo 3.5 ‘te verilen değerlerden daha küçük olmamalıdır.

$$SR_A = \frac{3.21 - 0.68 \ln(\beta_{eff})}{2.12} \geq \text{Tablo 3.5 Değerleri} \quad (3.14)$$

$$SR_V = \frac{2.31 - 0.41 \ln(\beta_{eff})}{1.65} \geq \text{Tablo 3.5 Değerleri} \quad (3.15)$$

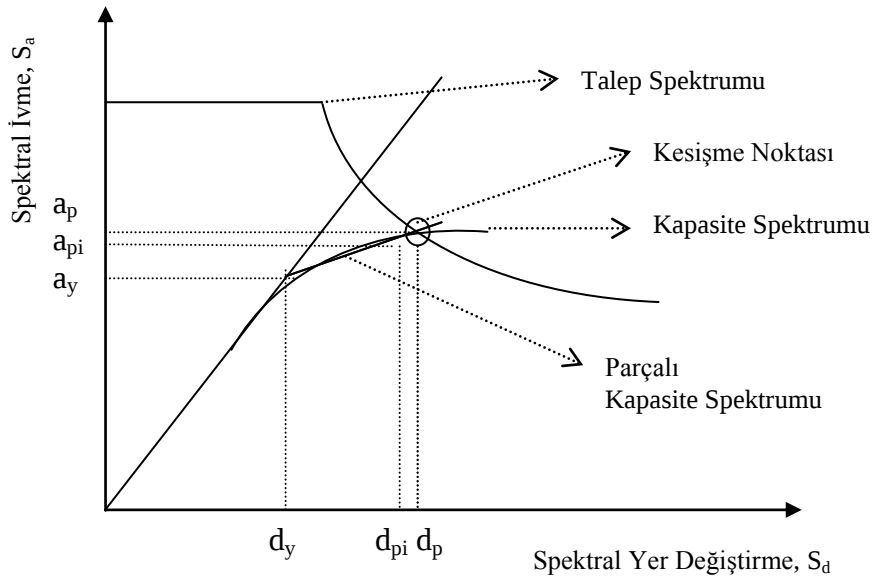
Tablo 3.5 Spektral azaltma katsayıları SR_A ve SR_V ‘nin minimum değerleri

Yapı Davranış Tipleri	SR_A	SR_V
Tip A	0.33	0.50
Tip B	0.44	0.56
Tip C	0.56	0.67

3.2.4 Performans Noktasının Oluşturulması

3.2.4.1 Kapasite ve Talep Spektrumu Kesişmesi

Kapasite spektrumu ile indirgenmiş talep spektrumunun kesişim noktasının yatay koordinatı olan d_p spektral yerdeğiştirmesi, başlangıç performans noktasının koordinatı olan d_{pi} spektral yerdeğiştirmesinden $\pm\%5$ kadar farklı ise $(0.95d_{pi} \leq d_p \leq 1.05d_{pi})$ bulunan performans noktası gerçek performans noktası olarak kabul edilebilir. Eğer kapasite spektrumu ile talep spektrumunun kesişim noktası, kabul edilebilir toleranslar içinde değilse, yeni bir a_{pi} , d_{pi} noktası seçilir ve iterasyona devam edilir. Bir sonraki iterasyon için eğer son iterasyon sonucu yeni başlangıç performans noktası olarak alınırsa yapılan iterasyonun gerçek performans noktasına yaklaşımı daha hızlı olur. Bu noktalar Şekil 3.8 'de gösterilmiştir.



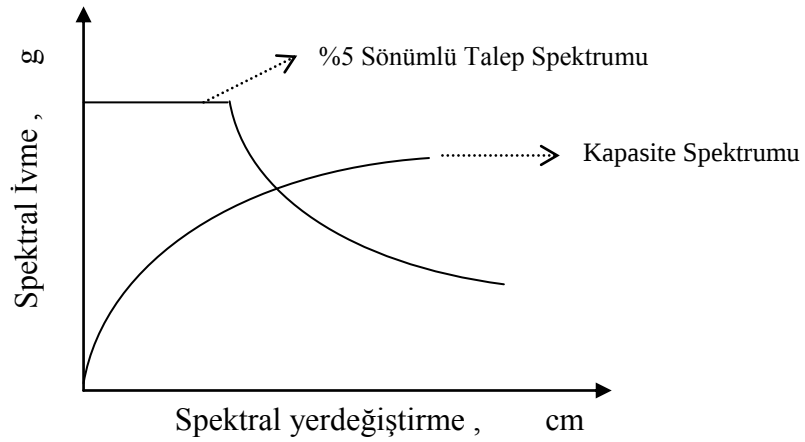
Şekil 3.8 Kapasite spektrumu ile talep spektrumunun kesişim noktası

Eğer kapasite spektrumu eğrisi testere dişi şeklinde ise, birleşik kapasite spektrumu farklı birkaç tane kapasite spektrumundan oluşturulmalı ve performans noktası bulunurken dikkat edilmelidir. Bu analiz için iki doğrultuda gösterilen spektrum ile kompozit kapasite spektrumunun kesişme noktalarının aynı olması gerekir.

3.2.4.2 Performans Noktasının Hesaplanmasında Yöntem A 'nın Kullanılması

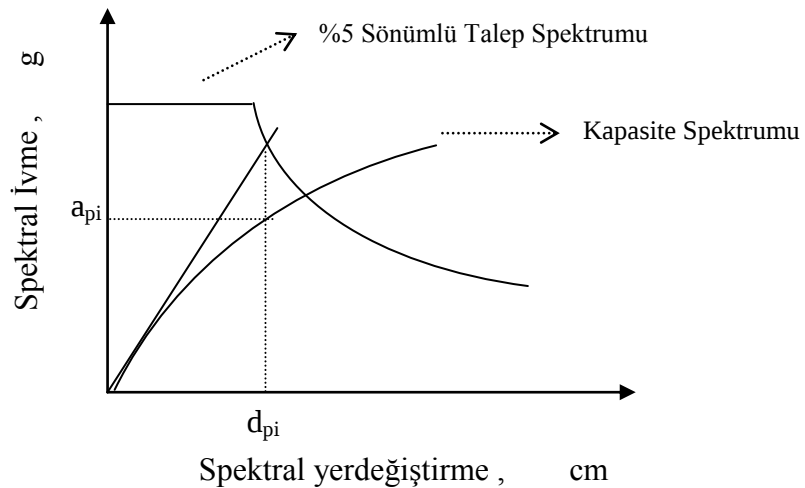
Performans noktasının hesaplanması için bu yöntemde kullanılacak iterasyonlar elle veya bilgisayarda yapılabilir. Bu yöntem, daha önce bahsedildiği gibi prensibin en sade uygulanış şeklidir. İşlemler aşağıdaki adım sırasıyla gerçekleştirilir:

1. Bölüm 3.2.2 anlatıldığı şekilde %5 sönümlü talep spektrum eğrisi oluşturulur.
2. Bölüm 3.2.3.1'deki denklemler (3.3), (3.4), (3.5) ve (3.6) kullanılarak kapasite eğrisi kapasite spektrumuna dönüştürülür. Kapasite ve %5 sönümlü talep spektrumu Şekil 3.9 'daki gibi aynı grafikte gösterilir.



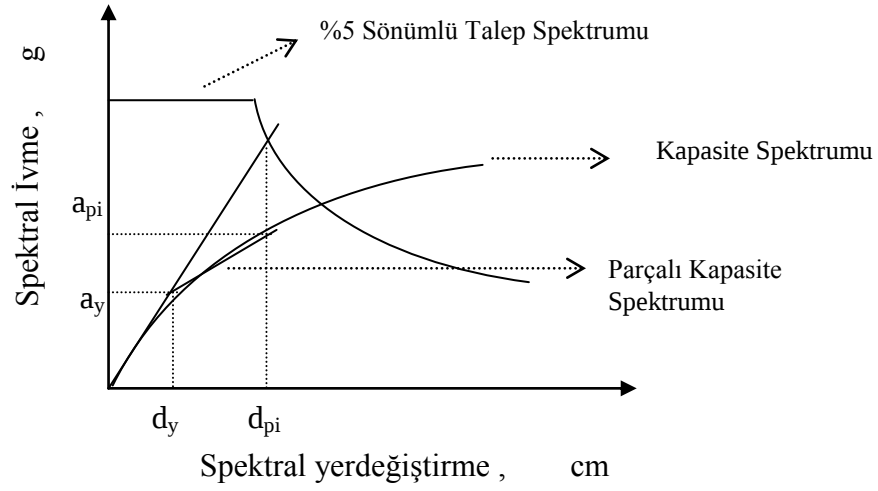
Şekil 3.9 Kapasite spektrumu ile talep spektrumunun kesiştirilmesi

3. Şekil 3.10 'de gösterildiği gibi kapasite spektrumunun doğrusal olan kısmı uzatılarak talep spektrumu ile kesiştirilir ve bu kesişim noktasının kapasite spektrumu üzerindeki düşey iz düşümü bulunur. Bulunan bu nokta, a_{pi} ve d_{pi} olan başlangıç performans noktasıdır.



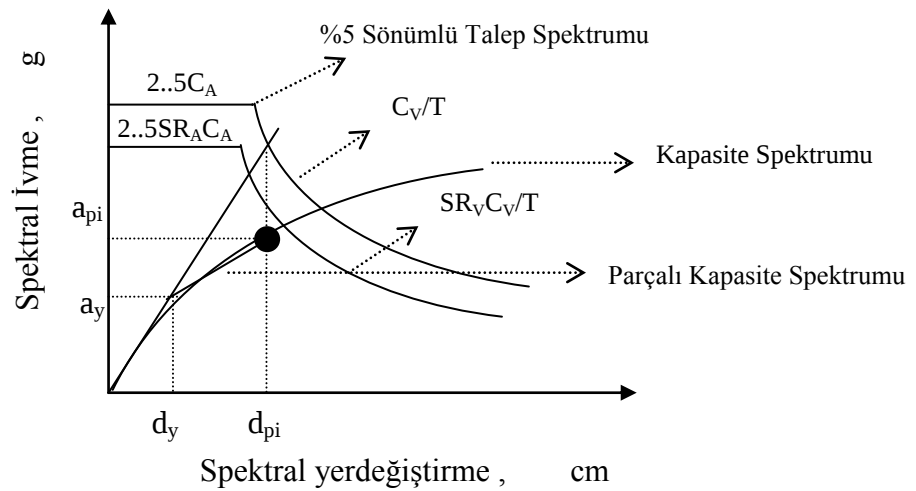
Şekil 3.10 Başlangıç performans noktasının bulunması

4. Bölüm 3.2.3.2 'de anlatıldığı gibi kapasite spektrumu Şekil 3.11 'deki gibi parçalı hale getirilir.



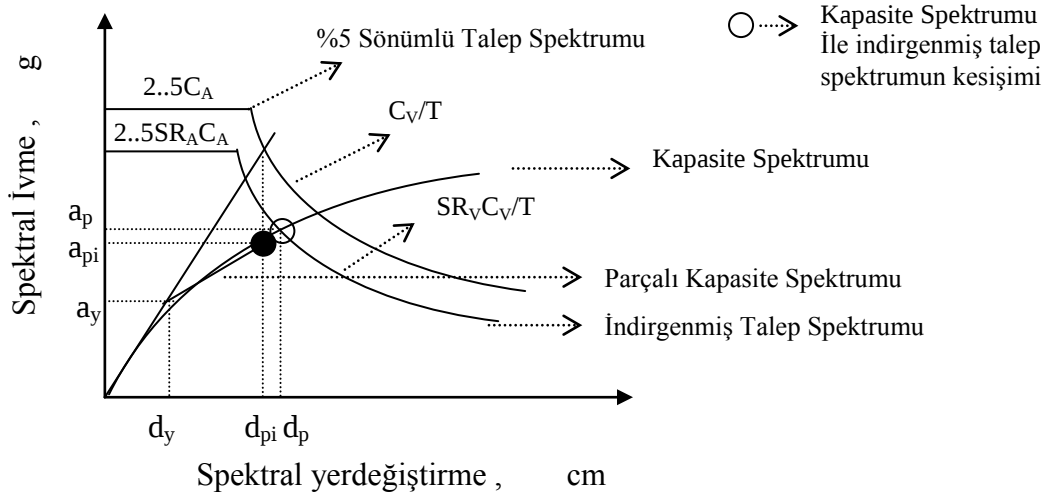
Şekil 3.11 Kapasite spektrumunun parçalı hale dönüştürülmesi

5. Bölüm 3.2.3.3 'de anlatıldığı gibi Denklem (3.14) ve (3.15) kullanılarak SR_A ve SR_V katsayıları hesaplanır. Bu katsayılardan yararlanarak Şekil 3.12 'de olduğu gibi %5 sönümlü talep spektrumu, bulunan etkin sönüme sahip olan talep spektrumuna indirgenir.



Şekil 3.12 İndirgenmiş talep spektrumunun bulunması

6. Şekil 3.13 'te gösterildiği gibi kapasite spektrum ile indirgenmiş talep spektrumunun kesişme noktası belirlenir. Bulunan kesişim noktasının yatay koordinatı olan d_p spektral yerdeğiştirme değeri, d_{pi} spektral yerdeğiştirme değerinden Bölüm 3.2.4.1 'de açıklandığı gibi $\pm\%5$ kadar yada daha az farklı ise bulunan bu nokta gerçek performans noktası olarak kabul edilir.



Şekil 3.13 İndirgenmiş talep spektrumu ile kapasite spektrumunun kesiştirilmesi

7. Eğer bulunan a_p , d_p noktası kabul edilebilir toleranslar içindeyse iterasyona son verilir ve bu nokta performans noktası olarak kabul edilir. Aksi taktirde 4. adıma geri dönülerek , koordinatları a_p , d_p olarak bulunan nokta, başlangıç performans noktası kabul edilerek diğer adımlar tekrarlanır.
8. Eğer a_p , d_p noktası kabul edilebilir sınırlar içindeyse a_{pi} , d_{pi} başlangıç performans noktası, a_p , d_p gerçek performans noktası, d_p ise öngörülen muhtemel deprem için maksimum yapısal yer değıştirmesi olarak adlandırılır.

4. KULLANILAN ANALİZ PROGRAMLARI

4.1 Giriş

Bu bölümde yapılacak olan statik itme (Pushover) analizi için kullanılacak olan bilgisayar programları ve kullanım detayları anlatılacaktır. Yapılan çalışma için iki farklı program kullanılmış olup bunlar ;

- EPARC
- SAP2000 v7.44 'dir.

4.2 EPARC (Betonarme Yapıların Elasto-Plastik Analizi)

Bu program betonarme uzay çubuk sistemlerde ikinci mertebe elastoplastik limit yüklerinin belirlenmesi için Girgin,K., tarafında geliştirilmiştir, [12]. Program sabit düşey yükler altında aralarındaki oran sabit kalacak şekilde artan yatay yükler için yapıların kapasitelerini belirlemektedir. Sistem normal kuvvetlerinde etkinliği çok daha fazla olan düşey yüklerin sabit olarak girilmesi çözümün lineerleştirilmesi açısından bir kabul olarak öngörülmüştür.

Ayrıca sistem de düşey yüklerini oluşturan yapı öz ağırlıkları ve hareketli yüklerin değişiminin büyük olamayacağı düşünülürse bu kabul çok gerçekçi olacaktır. Betonarme çubuk elemanların lineer olmayan davranışları, birleşik iç kuvvet durumunu da içeren plastik mafsallı kesit kavramı ile plastik şekil değiştirmelerin yığılı olması halini göz önüne almaktadır. Geometri değişimlerin denge denklemlerine etkisini ifade eden ikinci mertebe etkileri de hesaba katılabilir.

4.2.1 Programın Hesap Yöntemi ve Adımları

Bu analiz programının kullandığı hesap yönteminde, yapı elemanlarında meydana gelen geometri değişimlerinin denge denklemlerine etkisi ve betonarmenin doğrusal olmayan davranışı göz önüne alınmaktadır. Bu yük artımı yönteminin geliştirilmesinde matris deplasman yönteminden faydalanılmıştır. Problemin bilinmeyenleri düğüm noktası yer değiştirmeleridir. Geometrisi, yükleri, malzeme

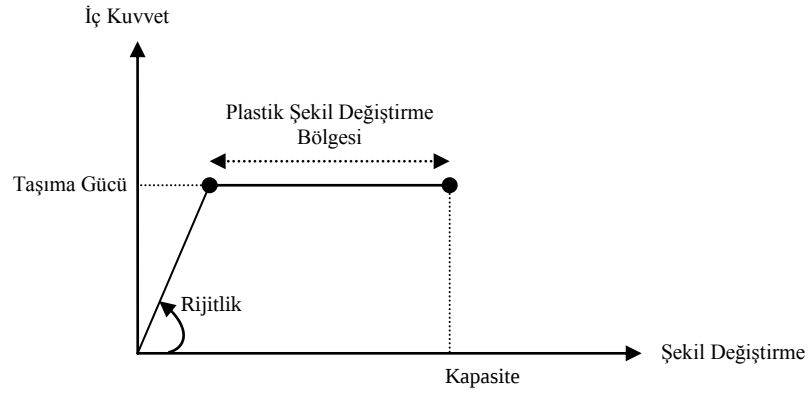
özellikleri girilen sistemin her çubuk elemanı hesaplanan brüt kesit rijitlikleri için $[S_{dd}]$ birinci mertebe rijitlik matrisleri ve $[P_o]$ yükleme matrisleri oluşturulur ve sistem düşey yükler altında çözülerek çubuk uç kuvvetleri saklanır. Sistem üzerindeki normal kuvvetlere yatay yüklerin etkisinin fazla olmadığı kabulüne göre sadece düşey yüklerden oluşan normal kuvvet değerleriyle ikinci mertebe etkileri matrisi $[S_{dd}^{II}]$ hesaba katılırken kesitlerdeki rijitliklerin bulunması için de bu normal kuvvet değerleri esas alınır.

Yatay yük arttırımının ilk adımında bir plastik kesit olmadığından $[S]$ rijitlik matrisinin kendisi kullanılarak yatay yük parametresi $P_y = 1,0$ değeri için sistem çözülür ve elde edilen uç kuvvetleriyle tüm kritik kesitlerde kirişler için moment, kolonlarda moment ve normal kuvvetlerin içinde bulunduğu kapalı akma koşulu denklemi yazılır. Bütün kesitler için yazılan akma koşulu denklemlerini sağlayan yük parametrelerinden en küçüğü tespit edilir ve bu yük parametresi, sistemde ilk plastik mafsallın olduğu adımı ve bu yük parametresinin altında akma meydana gelen kesit ise o plastik mafsallın yerini belirtir. Bundan sonraki adımda, sisteme ait denklem takımına, oluşan plastik kesitin akma koşulunu sağlayacak bir denklem ilave edilir. Bu denklemin bilinmeyenleri olarak da plastik şekil değiştirme parametresi sistemin bilinmeyenlerine dahil edilir. Bilinmeyen uç yerdeğiştirmelerinin akma koşuluna, mafsaldaki plastik şekil değiştirmenin denge denklemlerine etkisini içeren satır ve sütunu sistem rijitlik matrisine ekleyerek ikinci adım için hesaba bu matris ile devam edilir. Bundan sonraki her plastik mafsall önceki adımda kullanılan matrise bir kolon ve satır ekler.

Program plastik kesitlerdeki dönme değerlerini dönme kapasiteleriyle program içinde karşılaştırmadan serbestçe dönmesine izin vererek yük artım adımlarının mekanizma durumuna kadar gitmesine olanak sağlamıştır.

4.2.2 Varsayımlar

- 1) Betonarme çubuk elemanlarda eksenel kuvvet, eğilme ve burulma momentleri etkisiyle oluşan iç kuvvet-şekil değiştirme bağıntılarının iki doğru parçasından meydana gelecek şekilde idealleştirilebileceği kabul edilmektedir ve bu durum Şekil 4.1 'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 İdealleştirilmiş iç kuvvet-şekil değiştirme bağıntısı

- 2) Birinci ve ikinci mertebe teorisi, yapı sisteminin narinliğine ve normal kuvvetlerin büyüklüğüne bağlı olarak uygun olan yöntem uygulanmaktadır. İkinci mertebe teorisi uygulanırken geometrik değişimlerin denge denklemlerine etkisi göz önüne alınmakta; geometrik uygunluk koşullarına etkisi ise dikkate alınmamaktadır.
- 3) Akma koşulları eğilme momentlerine, normal kuvvete ve burulma momentine bağlıdır. Bileşik eğik eğilme ve burulma durumlarına ait akma koşullarının birbirinden ayrılabilmesi dikkate alınmıştır ve bileşik eğilme haline ait üç boyutlu akma yüzeyi düzlem parçacıklarından oluşacak şekilde idealleştirilmiştir. Kesme kuvvetlerinin akma koşullarına etkisi alınmamıştır.
- 4) Bileşik eğilme durumunda, akma vektörünün akma yüzeyine dik olduğu varsayılmaktadır.
- 5) Lineer olmayan eğilme, uzama ve burulma şekil değiştirmelerinin belirli kesitlerde toplandığı (Plastik kesit), bu kesitler dışındaki bölgelerde sistemin lineer-elastik davrandığı varsayılmıştır. Böylece, tek eksenli basit eğilme etkisindeki düzlem çubuk sistemlere uygulanabilen plastik mafsallı hipotezi, bileşik iç kuvvet durumunu da içerecek şekilde genişletilmiş olur.
- 6) Sistemin yer değiştirmesi sırasında yüklerin doğrultularının değişmediği varsayılır.

- 7) Çubukların asal düzlemleri içindeki yer değiştirmelerin denge denklemlerine etkisi göz önüne alınmış, buna karşılık burulma yer değiştirmelerinden oluşan ikinci mertebe etkileri dikkate alınmamıştır.
- 8) Sistemi oluşturan çubukların doğru eksenli, sabit en kesitli ve normal kuvvetin çubuk boyunca değişmediği varsayılmaktadır. Eğer bu koşullar sağlanmazsa çubuklar yeteri kadar küçük parçalara bölünerek yukarıda verilen koşulların sağlanması yaklaşık olarak gerçekleşir.
- 9) Yayılı yükler yeter sayıda, statikçe eşdeğer tekil kuvvetlere dönüştürülerek hesap yapılmaktadır.

4.2.3 EPARC Programını Oluşturan Alt Programlar

EPARC programı FORTRAN dilinde yazılmış ve birbirine bağımlı olarak çalışan üç ayrı programdan oluşmaktadır. Yapılacak lineer olmayan analiz için gerek duyulan bilgilerin fazla olması dolayısıyla bu alt programlar birbirlerine veri hazırlamaları mantığıyla ve aşağıdaki sıralamayla çalışmaktadır.

- Help200 Programı,
- Eparcs Programı,
- Check Programı 'dır.

4.2.3.1 Help200 Programı

Bu program kullanıcı tarafından hazırlanan ve analiz edilecek yapı hakkındaki bilgileri içeren veri dosyasını alarak, daha sonra Eparcs ve Check programlarında kullanılmak üzere gerekli olan veri dosyalarını hazırlar. Programa giriş verilerini oluşturan unsurlar :

Program Fortran dilinde yazılmış ve bir giriş bilgilerinin bulunduğu dosya hazırlanmak suretiyle çalıştırılmaktadır. Bu dosya içinde

- Sistem geometrisini tanımlayacak tüm büyüklükler; düğüm noktası ve çubuk eleman sayıları, bunların koordinat bilgileri ve numaralandırılmaları,
- Betonarme yapı sisteminin malzeme özellikleri; beton karakteristik değerleri (f_{ck} , ϵ_{cu} , ϵ_{co} , E_c), beton çeliği karakteristik değerleri (f_{yk} , ϵ_{su} , E_s) ile malzeme gerilme-şekil değiştirme bağıntıları,

- Sistemdeki tüm çubuk elemanların en kesit geometrileri ,
- Kolon ve kirişlerde bulunan donatı miktarları ve kesit içindeki yerlerini belirten koordinatları,
- Yüklerin girilmesi; kiriş yükleri sadece tekil kuvvetler olarak verilebildiğinden hesaplanan yayılı yükler statikçe eşdeğer olan tekil yüklere dönüştürülerek verilir, düğüm noktası yükleri ve deprem hareketinden oluşan yatay yükler

bulunmaktadır.

Help200 programı hazırlanan bu veri dosyasını alarak bileşik eğik eğilme etkisindeki çubuk elemanlarda akma yüzeylerinin karakteristik noktalarını belirler ve sadece eğilme etkisindeki elemanlarda (kirişler) tüm kesitler için taşıma güçlerinin ve M_{L1} , M_{L2} , X_{L1} , X_{L2} değerlerinin hesaplarını yapmaktadır. Ayrıca ikinci mertebe hesabında etkin olacak normal kuvvetlerin hesabı ve Eparcs programının okuyacağı çatlamış kesit rijitliklerini ile brüt kesit rijitliklerini hesaplar. Hesaplamalar sonucunda oluşan çıktı dosyalarından önemli birkaç tanesi ve içerikleri aşağıdaki gibidir:

- Y1.SON : Dosyanın içeriğinde, düğüm noktalarının yer değiştirme bileşenlerinin numaraları, sistemin tüm düğüm noktaları koordinatları, çubuk elemanlarının uç numaraları, en kesitlerin boyutları, alanları, sistemdeki yükler, çubukları brüt en kesit rijitlikleri ve burulma rijitlikleri kaydedilmektedir.
- Y2.SON : Dosyanın içeriğinde, en kesitlere ait brüt eğilme rijitlikleri esas alınarak, sadece düşey yükler için yapılan hesaplar sonucunda elde edilen kesit tesirleri bulunmaktadır.
- EPBRUT.DAT : Dosyanın içeriğinde, en kesitlere ait brüt eğilme rijitlikleri, kirişlerin eğilme momenti kapasiteleri, kolon ve perde elemanlar için normal kuvvete göre eğilme momentleri ve üç boyutlu akma yüzeylerinin tanımı için gerekli koordinat bilgileri bulunmaktadır.
- EPARC.DAT : Dosyanın içeriğinde, kirişlerin çatlamış kesit rijitlikleri, kirişlerin sol, orta ve sağ uçta olma üzere pozitif ve negatif eğilme momenti kapasiteleri, kolonların burulma rijitlikleri, her iki eksene ait eğilme rijitlikleri, uzama rijitlikleri, normal kuvvetleri hesaplanmış ve üç boyutlu

akma yüzeylerinin tanımı için gerekli koordinatlar bulunmaktadır ve bu veriler Eparcs programı giriş verilerinin büyük kısmını oluşturmaktadır.

- CIZIM.DXF : Her katın kolon açılımlarının tek tek gösterildiği AutoCAD dosyasıdır

4.2.3.2 Eparcs Programı

Bu program tüm giriş verilerini Help200 programı tarafından hazırlanan dosyalardan okumaktadır. Programda kullanılacak verileri, sistem geometrisi, malzeme özellikleri, yükleme durumları, mesnetlenme koşulları, kolonlardaki bileşik eğik eğilme durumunu ifade eden üç boyutlu akma yüzeyini tanımlayan nokta koordinatları, sistemdeki kesitlere ait rijitlikler ve kirişlerin eğilme momenti kapasiteleri olarak sıralamak mümkündür.

Sistemin çözümünün birinci yada ikinci mertebe teorisine göre mi hesaplamanın yapılacağı olması ve buna istinaden çubukların çatlamış en kesit rijitlikleri veya brüt en kesit rijitlikleri kullanılacak olmasına bu aşamada karar verilerek hesaplamalar Eparc.dat ya da epbrut.dat dosyalarından biri okutularak hesaba devam edilir. Eparcs programı çıktı dosyaları :

- EP5.SON : Dosyanın içeriğinde, sistemdeki plastik kesitleri oluşturan yük parametreleri, bu plastik kesitlerin yerleri, türleri, yer değiştirme değerleri ve plastik kesitlerdeki iç kuvvetler bulunmaktadır.
- DONME.SON : Dosyanın içeriğinde, sistemde oluşan plastik kesit dönmelerinin değerleri vardır.
- GRFY.DAT ve GRFX.DAT : Dosyanın içeriğinde, kullanıcı tarafından başlangıçta seçilen bir düğüm noktasının x ve y doğrultusundaki yer değiştirmelerinin yük parametreleriyle paralel olarak kaydedilmiş değerleri vardır.
- KONT2.SON : Dosyanın içeriğinde, uygulanan her yük artımı adımına ait yük parametreleriyle beraber plastik kesitlerin yerleri ve o adımdaki plastik dönme değerleri bulunmaktadır. Daha sonraki adımda bu değerler Check programı tarafından kullanılacaktır.

4.2.3.3 Check Programı

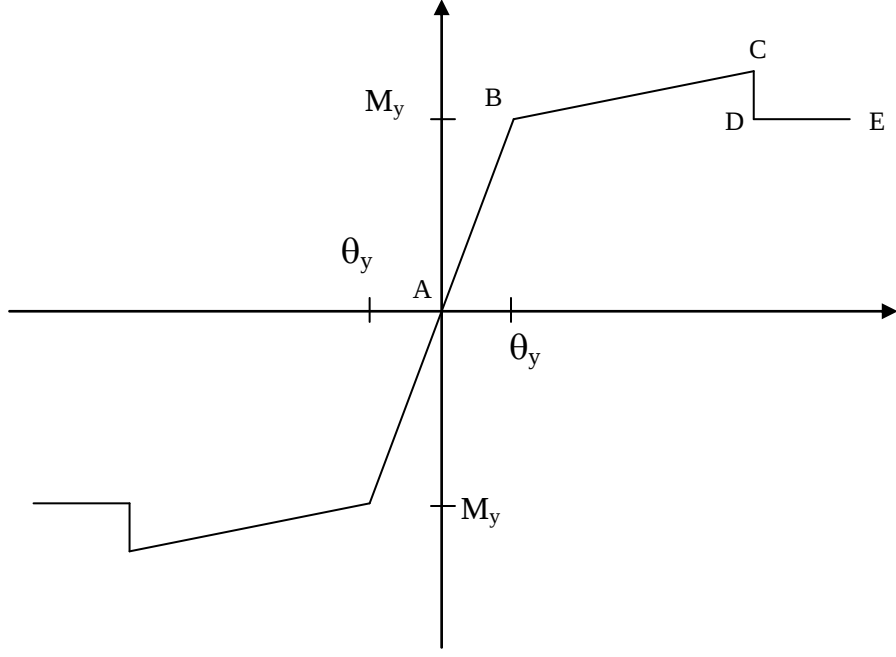
Bu program, yük artımının her adımında tanımlanmış sistemde oluşan plastik kesitlerdeki dönme kapasitelerini hesaplayarak, bu değerleri Eparcs programı tarafından hesaplanan plastik kesit dönmeleriyle karşılaştırır (KONT2.SON) ve bu karşılaştırma neticesinde dönme kapasitesi aşılın kesitleri kaydeder. Check programı çıktı dosyası:

- KONTROL.SON : Dosyanın içeriğinde, hesaplamanın ilk adımından başlanarak tüm hesap adımlarındaki dönme kapasitesini aşan kesitler kaydedilir. Eğer ardışık iki adım arasında dönme kapasitesi aşılyorsa, bu durumun tam olarak hangi yük parametresinden oluştuğunu görmek için bu iki adım arasında dönme kapasitesini göz önüne alarak lineer bir interpolasyon yapılır. Böylece göçme yükünü ve bu esnadaki seçilen düğüm noktası yer değıştirmesini hesaplayarak kaydeder.

4.3 SAP 2000

Lineer olmayan statik analiz için kullanılabilecek diğeri bir programda SAP2000 bilgisayar programıdır. Analize başlanmadan önce ilgili yapı modeli; eleman boyutları, kesitler, yapıya etkiyen yükler ve malzeme özellikleri, temel koşullar programda oluşturulur. SAP 2000 programında statik itme analizi için sadece çubuk elemanlara mafsalları tanımlanabildiğinden analiz çerçeve tipi elemanlara uygulanabilir. Perde duvarı gibi elemanlar çerçeve elemanı olarak tarif edilip modellenirler. Bu programda lineer olmayan davranışlar sadece kullanıcı tarafından plastik mafsalları atanan yerlerde oluşur. Bu nedenle mafsallara ait özelliklerin tespit edilmesi ve elemanlara atanması gerekmektedir. Çubuk elemanın üzerinde istenilen yerde ve istenilen adette mafsalları tanımlı yapılabilmektedir.

Oluşacak mafsalları moment, normal kuvvet, burulma ve kesme kuvveti için ayrı ayrı tanımlanabileceğı gibi normal kuvvet ve momentin birlikte bulunduğu durum için de tanımlanabilir. Bütün mafsalları tipleri Şekil 4.2 'de verilen diyagrama benzer şekilde artan yükler altında davranırlar.



Şekil 4.2 Moment-Yerdeğiştirme eğrisi

Şekil 4.2 ‘de görüldüğü üzere gelen yükler etkisiyle yapı elemanı önce elastik olarak hareket etmekte , akma noktasının aşılmasından sonra plastik yerdeğiştirme yapmaktadır. Plastik yerdeğiştirme belli bir süre devam ettikten sonra belirli bir şekil değıştirme değerinde ani bir gerilme boşalması ile sistem çok az bir moment taşıma kapasitesine ulaşır , güç tükenmesi durumuna kadar bu moment taşınmaya devam eder ve daha sonra göçme oluşur.

Programda istenildiği taktirde hazır olarak tanımlı mafsallı tiplerinin değeri kullanılabileceği gibi ATC-40 ve FEMA – 356 baz alınarak kullanılacak mafsallı tiplerinin değeri hesaplanabilir.

5. ÖRNEK : BİR BİNANIN BİLGİSAYAR ORTAMINDA ANALİZİ

5.1 Giriş

Bu bölümde tasarımı 1975 Deprem yönetmeliğine göre yapılmış, 1995 Dinar depreminde hasar görmüş, betonarme çerçeve sistemle oluşturulmuş bir yapının 3.Bölüm de anlatılan Statik İtme (Pushover) Analizi kullanılarak güvenliği sınanmış ve bu sonuçlar dahilinde güçlendirme uygulanarak ne derece bir artış sağlandığı gözlenmiştir.

Bilgisayar ortamında yapılacak bu işlem için 4.Bölüm de özellikleri anlatılan EPARC ve SAP2000 programları kullanılmıştır. Mevcut ve güçlendirilmiş yapı her iki deprem doğrultusu için bilgisayarda modellenmiş ve Statik İtme (Pushover) Analizi uygulanarak sonuçlar kıyaslanmıştır. Yapılacak işlemler sırasıyla mevcut yapı bilgilerinin tespit edilmesi, yapıya uygulanacak yüklerin hesaplanması, bilgisayar programına bu bilgilerin tanıtılması ve sonuçlar yardımıyla binanın durumunun değerlendirilmesi olarak verilebilir. Ayrıca mevcut yapı için değişik malzeme çeşitleriyle analizler yenilenerek yapıldığı yıldaki yönetmelik ve günümüzdeki yönetmelik arasında bir kıyaslama yapılmıştır.

5.2. Mevcut Yapı Bilgileri

5.2.1 Genel Yapı Bilgileri

Afyon İli Dinar İlçesinde bulunan bina 1995 Dinar Depreminde hasar görmüştür. Depremin büyüklüğü $M = 5,9$ dur. Depremin merkez üstsü Dinar İlçesine 10-15 km mesafede oluşmuş ve maksimum zemin ivmesi 0,3g dir, [7]. Ana deprem oluşmadan önce bir sıra öncü deprem oluşması nedeniyle canlı kaybı az yaşanmıştır.

Yapı bir zemin ve dört normal kattan oluşan ve konut olarak kullanılan bir binadır. Binanın zemin kat alanı 130 m^2 , normal kat alanı 125 m^2 dir. Tüm katlarda kat yüksekliği eşit olup 2.80 m ve bina toplam yüksekliği 14 m dir. Binanın taşıyıcı sistemi betonarme çerçevelerden oluşmaktadır. Yapıda betonarme perde mevcut

değildir. Döşemeler kirişli plak döşemedir. Yapı kat planları ve üç boyutlu gösterimi Ek A 'da Şekil A.5, Şekil A.6 ve Şekil A.7 'te verilmiştir. Aşağıda bu işlemler sırasında kullanılacak tüm bilgiler görülmektedir.

- Kat sayısı : Zemin + 4 Kat
- Kat yüksekliği : $h = 2.8 \text{ m}$
- Toplam kat yüksekliği : $H = 14 \text{ m}$
- Dış duvar kalınlığı : 19 cm
- Dış duvar malzemesi : Delikli tuğla (20/20/19) cm
- İç duvar kalınlığı : 9 cm
- İç duvar malzemesi : Delikli tuğla (20/20/9) cm
- Döşeme kalınlığı : 12 cm
- Döşeme Tipi : Kirişli plak döşeme
- Deprem bölgesi : 1. Bölge
- Deprem bölge katsayısı : $Z = 0.40$
- Bilinen deprem kaynağına uzaklığı : 15 km
- Uygulanacak deprem türü : Tasarım depremi
- Deprem etki türü katsayısı : $E=1.0$ (tasarım depremi)
- Etkin yer ivmesi katsayısı : $A_0 = 0.40$
- Taşıyıcı sistem davranış katsayısı : 4
- Yerel zemin sınıfı : Z_4
- Zeminin spektrum karakteristik periyotları : $T_A = 0.20 \text{ sn}$ ve $T_B 0.90 \text{ sn}$
- Bina önem katsayısı : 1.0
- Beton sınıfı : BS10 ($f_{cd} = 10 \text{ Mpa} = 1000 \text{ ton/m}^2$)
- $E_c = 24277 \text{ Mpa} = 2427740 \text{ ton/m}^2$ ($E_c = 3250\sqrt{(f_{cd})+14000}$)
- Betonun birim kısalması $\epsilon_{cu} = 0,003$
- Çelik sınıfı : BÇI ($f_{yd} = 2200 \text{ kg/cm}^2 = 22000 \text{ ton/m}^2$)

- Çeliğin birim uzaması $\varepsilon_{su} = 0,01$
- Güçlendirme beton sınıfı : BS20 ($f_{cd} = 20 \text{ Mpa} = 2000 \text{ ton/m}^2$)
- $E_c = 28534 \text{ Mpa} = 2853444 \text{ ton/m}^2$ ($E_c = 3250\sqrt{f_{cd}} + 14000$)
- Güçlendirme çelik sınıfı : BÇI ($f_{yd} = 2200 \text{ kg/cm}^2 = 22000 \text{ ton/m}^2$)

5.2.2 Kiriş-Kolon Boyutları ve Donatı Düzeni

Sistem sadece kolon ve kirişlerin oluşturduğu çerçevelerden meydana gelmekte ve perde bulunmamaktadır. Yapıdaki kirişler tek tip olup 20 cm / 60 cm boyutundadır. Normal katlarda toplam 36 adet kiriş, giriş katında 38 adet kiriş bulunmaktadır. Kiriş donatıları, sürekli veya süreksiz kiriş olma durumuna göre değişiklik göstermekte, donatı adet ve şekilleri Ek A 'da Tablo A.2 ve Şekil A.4 'de verilmektedir.

Yapıyı oluşturan kolonlar toplam 7 tiptir. Her katta 18 adet kolon bulunmaktadır, giriş katında bu sayı 19 adet olmaktadır. Kolon boyutları zemin katta farklılık gösterirken diğer normal katlar için aynı devam etmektedir. Kolon boyutlarının değerleri ve donatı krokileri Ek A 'da Tablo A.1 ve Şekil A.3 'de verilmiştir.

5.2.3 Kütle ve Ağırlıkların Hesabı

Binanın toplam ağırlığı olan W,

$$W = \sum_{i=1}^N w_i \quad (5.1)$$

bağıntısından, kat ağırlıkları

$$w_i = g_i + n q_i \quad (5.2)$$

formülünden hesaplanacaktır. Formülde;

W : Toplam kat ağırlığı

w_i : i. Katın ağırlığı

g_i : i. Katın sabit yüklerinden oluşan ağırlık

q_i : i. Katın hareketli yüklerinden oluşan ağırlık

n : Hareketli yük katılım katsayısı

dır.

Duvar ağırlıkları dış duvarlarda 0.3 t/m^2 , iç duvarlarda 0.25 ton/m^2 , döşeme plağının kalınlığı 12 cm, plak üzerindeki şap+kaplama malzemesinin ağırlığı 0.15 ton/m^2 , çatının ağırlığı 0.12 ton/m^2 olarak hesaplanmıştır ve her kata ait ağırlık değerleri Tablo 5.1 'te verilmektedir.

Tablo 5.1 Sabit Yüklerden Oluşan Kat Ağırlıkları

Kat No	Döşeme (t)	Kiriş (t)	Kolon (t)	Duvar (t)	g_i (t)
Çatı katı	64,77	21,90	8,58	27,80	123,05
4. kat	55,32	21,90	17,15	55,61	149,98
3. kat	55,32	21,90	17,15	55,61	149,98
2. kat	55,32	21,90	17,15	55,61	149,98
1. kat	57,47	23,05	29,42	57,19	167,13
Toplam					740,12

Hareketli yükler çatı katları için 0.15 t/m^2 , odalarda 0.2 t/m^2 , merdivenlerde ve balkonlarda 0.35 t/m^2 alınarak hesaplanmıştır, [8]. Hareketli yük katılım katsayısı , n , konutlar için 0,30 olarak belirlenmiştir ve hesaplanmış değerler Tablo 5.2'te özetlenmiştir, [10].

Tablo 5.2 Hareketli Yüklerden Oluşan Kat Ağırlıkları

Kat No	q_i (t)	$n \cdot q_i$ (t)
Çatı katı	21,59	6,48
4. kat	28,16	8,45
3. kat	28,16	8,45
2. kat	28,16	8,45
1. kat	29,83	8,95

Bina toplam ağırlığı Denklem (5.1) ve (5.2) yardımıyla hesaplanarak Tablo 5.3 'da verilmiştir.

Tablo 5.3 Bina toplam ağırlığı

Kat	g_i (t)	$0,30 \cdot q_i$ (t)	Toplam kat, w_i (t)
Çatı katı	123,05	6,48	129,53
4. kat	149,98	8,45	158,43
3. kat	149,98	8,45	158,43
2. kat	149,98	8,45	158,43
1. kat	167,13	8,95	176,08
Toplam			780,9

5.3 Sisteme Etkiyen Yükler

5.3.1 Düşey Yükler

Yapıya etkiyen düşey yükler, yapı elemanlarının ağırlıklarından oluşacak yükler ve yönetmeliklerde tanımlanmış hareketli yüklerin oluşturacağı yüklerin belli güvenlik katsayılarıyla çarpılarak birleştirilmesinden oluşur.

EPARC programında düşey yükler düğüm noktaları ve giriş üzerine sadece tekil olarak tanımlanabildiği için düşey yayılı yükler Şekil 5.1 ‘de görüldüğü gibi tekil yüklere çevrilmiştir. Kolon ağırlıklarını otomatik hesaplama seçeneği bulunması nedeniyle kolon ağırlıkları hesaba katılmamıştır.

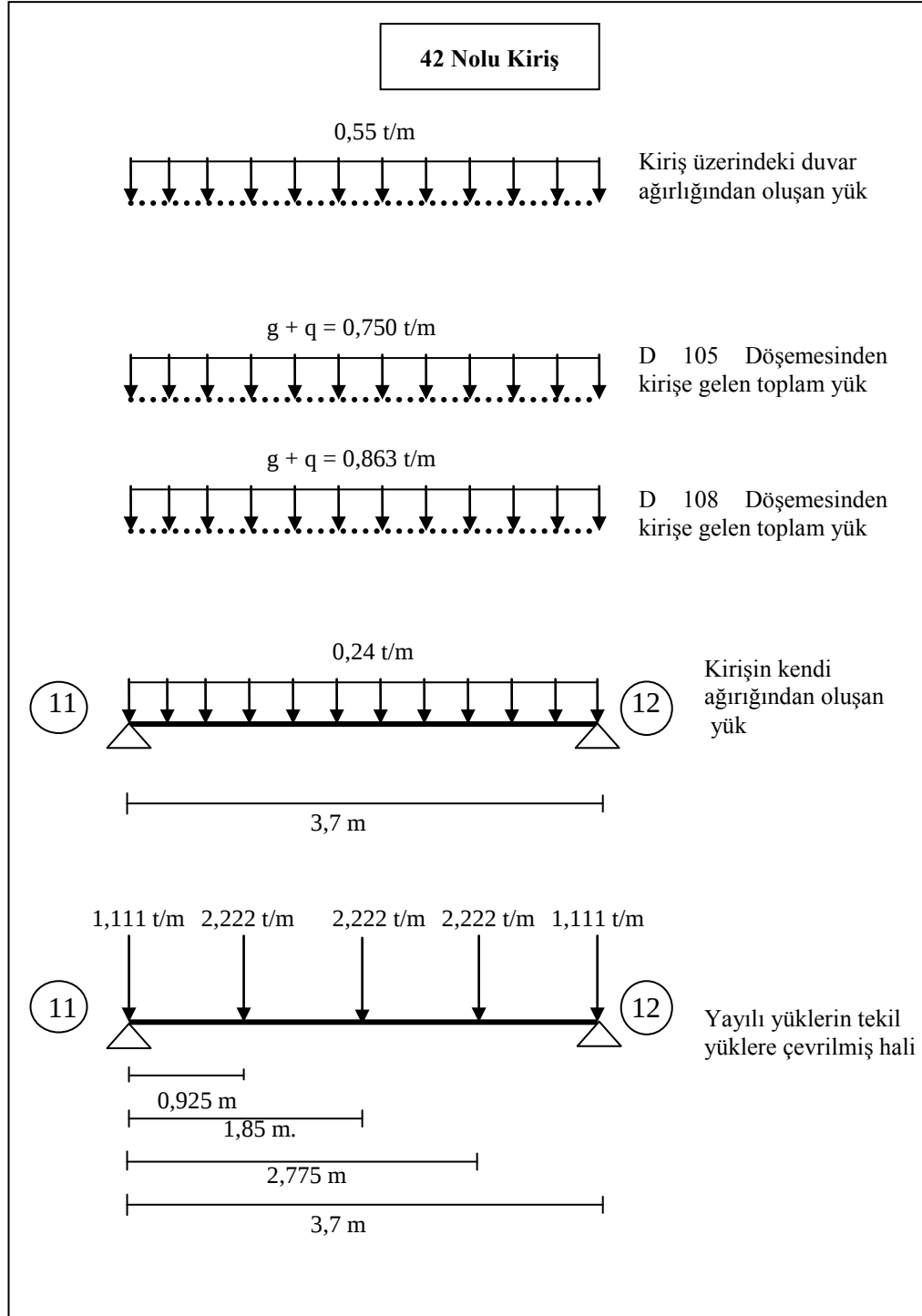
5.3.2 Yatay Yükler

Türkiye’de yürürlükte bulunan 1998 ABYYHY ‘te açıklandığı üzere binanın tümüne etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü,[10];

$$V_t = \frac{W \cdot A(T_1)}{R_a(T_1)} \geq 0,10 \cdot A_0 \cdot I \cdot W \quad (5.3)$$

denklemleri ile tanımlanır. Buradaki $A(T_1)$, spektral ivme katsayısı olup Denklem (5.4) ile belirlenir.

$$A(T) = A_0 \cdot I \cdot S(T) \quad (5.4)$$



Şekil 5.1 Kiriş üzerindeki yayılı yüklerin tekil kuvvetlere çevrilmesi

Bu denklemde yer alan etkin yer ivme katsayısı A_0 , deprem bölgesine bağlıdır. İncelenen yapı birinci derece deprem bölgesinde bulunduğundan bu katsayı 0,40 değerine karşılık gelir. Bina önem katsayısı, I, konutlar için 1,00 olarak verilmiştir. Spektrum katsayısı, $S(T)$ ise yerel zemin koşullarına ve bina doğal titreşim periyodu T 'ye bağlı olarak Denklem (5.5a), (5.5b) ve (5.5c) yardımı ile hesaplanır.

$$S(T) = 1 + 1,5 \cdot T / T_A \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad (5.5a)$$

$$S(T) = 2,5 \quad (T_A < T \leq T_B) \quad (5.5b)$$

$$S(T) = 2,5 \cdot (T_B / T)^{0,8} \quad (T > T_B) \quad (5.5c)$$

Formüllerdeki T_A ve T_B , yerel zemin sınıflarına bağlı olup binanın bulunduğu zemin sınıfı Z_4 için sırasıyla 0,20 ve 0,90 değerlerini almaktadır. Yapının doğal periyodu olan T ise bina toplam yüksekliği $H_N < 25$ m olduğundan Denklem (5.6) 'teki bağıntıyla hesaplanacaktır.

$$T_1 \cong T_{1A} = C_t \cdot H_N^{3/4} \quad (5.6)$$

Formüldeki C_t değeri, taşıyıcı sistemin sadece betonarme çerçevelerden oluşan binalarda 0,07 değerini almaktadır.

$$T_1 \cong T_{1A} = C_t \cdot H_N^{3/4} = 0,07 \cdot 14^{3/4} = 0,51 \text{ sn.}$$

Yapının doğal periyodu, T_A ve T_B değerleri arasında bulunduğu için Denklem (5.5b) 'ye göre $S(T) = 2,5$ değerini alır.

$$A(T_1) = A_0 \cdot I \cdot S(T) = 0,40 \cdot 1,0 \cdot 2,5 = 1$$

$R_a(T)$ deprem yükü azaltma katsayısı, taşıyıcı sistem tipine göre tanımlanan taşıyıcı sistem davranış katsayısı R 'ye ve doğal titreşim periyodu T 'ye bağlı olarak Denklem (5.7a) ve (5.7b) 'ye göre belirlenecektir.

$$R_a(T) = 1,5 + (R - 1,5) T / T_A \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad (5.7a)$$

$$R_a(T) = R \quad (T > T_A) \quad (5.7b)$$

Taşıyıcı sistem davranış katsayısı R deprem yüklerinin tamamıyla çerçevelerle taşındığı sistemler için 4 olarak verilmiştir ve yapının doğal periyodu T , T_A dan büyük olduğundan direk alınmıştır. Böylelikle toplam eşdeğer deprem yükü Denklem (5.3) yardımıyla;

$$V_t = \frac{W \cdot A(T_1)}{R_a(T_1)} \geq 0,10 \cdot A_0 \cdot I \cdot W \Rightarrow \frac{780,902 \cdot 1}{4} \geq 0,10 \cdot 0,40 \cdot 1 \cdot 780,902$$

$$V_t = 195,226 \text{ t} \geq 31,23 \text{ t}$$

olur.

Katlara etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin hesaplanması Tablo 5.4 'de gösterilmiştir.

Tablo 5.4. Katlara etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin hesaplanması :

i. kat	i. katın yerden yüksekliği (m)	i. katın toplam ağırlığı (t)	$w_i \cdot H_i$	$F_i = V_t \left[\frac{(w_i \cdot H_i)}{\sum (w_i \cdot H_i)} \right] \text{ (t)}$
Çatı Katı	14	129,52	1813,32	56,47
3. Kat	11,2	158,42	1774,31	55,25
2. Kat	8,4	158,42	1330,73	41,44
1. Kat	5,6	158,42	887,155	27,63
Zemin Katı	2,8	165,67	463,878	14,44
		$\sum w_i \cdot H_i$	6269,393	

5.4 EPARC Programında Analizin Yapılması ve Elde Edilen Sonuçlar

5.4.1 EPARC Analiz Programı Giriş Bilgilerinin Oluşturulması

Analiz için girdi dosyası hazırlanarak geometrik ve yükleme durumu programa tanıtılacaktır. İzlenecek adımlar aşağıda sıralanmıştır.

- ❖ Yapının genel bilgilerinin düzenlenmesi,
- ❖ Düğüm noktaları ve çubuk elemanların numaralandırılması,
- ❖ Kiriş ve kolon boyutlarının tanımlanması,
- ❖ Kirişlere gelen yüklerin hesaplanması,
- ❖ Düğüm noktalarına gelen yüklerin hesaplanması,
- ❖ Kolonlarda donatı düzeninin tanımlanması,
- ❖ Kirişlerde donatı düzeninin tanımlanması,
- ❖ Deprem yükünün hesaplanması.

Aşağıda bu adımlar açıklanmıştır ;

➤ **Genel Yapı Bilgileri :** Analiz için girdi dosyası hazırlanırken ilk olarak binayı oluşturan toplam çubuk elemanların, tüm düğüm noktalarının, mesnetler hariç düğüm noktalarının, kirişlerin, yatay yüklerin etkiyeceği düğüm noktalarının sayıları verilmektedir. Eğer kolon ağırlıkları hesaba katılmak isteniyorsa bu kısımda belirtilmektedir. Bu çözülen örnekte kolon ağırlıkları hesaba katılmamıştır. Bu bölümde ayrıca kat sayısı ve yükseklikleri , her kattaki düğüm noktası sayısı ve master joint yeri de tanımlanmıştır. Ek olarak kirişler için gövde donatısının ve burulma boyuna donatısının bulunup bulunmadığı da tanımlanmaktadır. Bu örnek için hem gövde donatısı hem de burulma boyuna donatısı yoktur. Genel yapı giriş bilgileri aşağıda sıralanmıştır.

- Sistemdeki çubuk eleman sayısı = 273 (182 kiriş, 91 kolon)
- Sistemdeki mesnetler dahil düğüm noktası sayısı = 160
- Sistemdeki mesnetler hariç düğüm noktası sayısı = 141
- Sistemdeki düşey yüklü (z eksenine yönünde) düğüm noktası sayısı = 141
- Sistemdeki yüklü çubuk eleman sayısı (Sadece yüklü kirişler) = 182
- Betonun karakteristik basınç dayanımı = 1000 ton/m²
- Çeliğin karakteristik akma dayanımı = 22000 ton/m²
- Betonun elastisite modülü = 2427740.2 ton/m²
- Çelikte maksimum birim uzama = 0.001
- Kat kütle merkezinin koordinatları; X=7.60 m, Y=5.10 m

➤ **Sistem Geometrisi :** İkinci adım olarak sistem geometrisi tanımlanmaktadır. Her bir düğüm noktası ve çubuk eleman ayrı ayrı numaralandırılmıştır. Numaralandırma üst katlardan başlayıp alt katlara doğru ilerlemekte ve planda aynı yerde bulunan noktaların sistematik bir şekilde numaralarının artmasına özen gösterilmiştir. Her kattaki numaralandırma örneği EK A 'da Şekil A.8 'de verilmiştir. Böylelikle döngüsel formüller kullanılarak işlemler daha çabuk sonlandırılmıştır. Düğüm noktaları yapı için seçilen koordinat sistemine göre 3 boyutlu olarak programa verilmektedir.

Çubuk elemanların numaralandırılmasında da aynı kriterlere dikkat edilmiş önce planda x doğrultusuna paralel kirişler tüm binada numaralandırılmış ardından diğer doğrultudaki kirişlere geçilmiş ve en son olarak kolonlar üst katlardan alt katlara doğru numaralandırılmıştır. Daha sonra numaralandırılan çubuk elemanların hangi düğüm noktalarını birbirine bağladığı programa tanıtılmıştır.

➤ **Kolon - Kiriş Boyutları :** Numaralandırma işleminden sonra sisteme kiriş ve kolon boyutları tanıtılmıştır. Öncelikle kiriş elemanlar tanıtılacak olup, analizi yapılan binada tüm kirişlerin aynı boyutta ve 20 cm / 60 cm ölçüsündedir. Data hazırlanırken kirişlerin L veya T kesitte oluşu belirtilmekte döşemeler 12 cm kalınlıkta olduğundan başlık kalınlığı olarak bu değer girilmekte ve program başlık genişliğini kendisi hesaplamaktadır. Yapıda kolon boyutları zemin katta farklılık göstermekte olup diğer katlarda aynı devam etmektedir. Toplam yedi çeşit kolon tipi bulunmakta ve boyutları Ek A 'da Tablo A.1 verilmiştir.

➤ **Sisteme Etkiyen Yükler :** Bölüm 5.3.1'de anlatıldığı gibi programa sadece tekil yükler girilebildiği için oluşabilecek tüm yükler tekil yüke çevrilerek verilir. Yük taşıyan çubuk elemanlar için çubuk bilgileri, üzerinde kaç adet tekil yük bulunduğu, bu yüklerin değerleri ve çubuk başından olan uzaklıkları programa tanıtılır. Düğüm noktası yükleri de düğüm noktası bilgileri ve değerleri olarak yazılır.

Yatay deprem kuvvetleri Bölüm 5.3.2 de anlatıldığı gibi bulunarak, oluşturulacak datanın en sonuna eklenir. Bu kısımda hangi yönde etkiyeceği ve hangi noktaya uygulanacağı da programa tanıtılmalıdır.

➤ **Eleman Donatıları :** Çubuk elemanlarda bulunan donatılar bu kısımda tanıtılır. Kirişler için kiriş boyu üç bölgeye ayrılarak bu kısımlarda bulunan donatıların yer ve alan değerleri girilir, bu değerler Ek A 'da Tablo A.2 'de verilmiştir. En son olarak beton birim kısalma değerleri her bölge için tanımlanır.

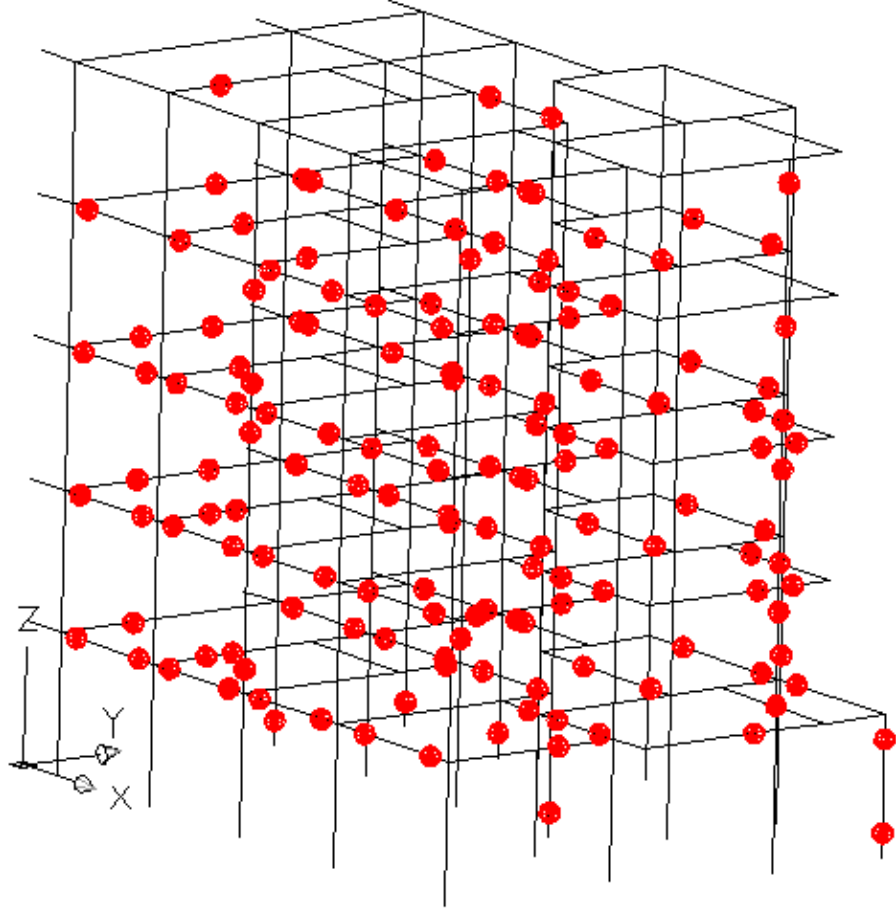
Maksimum 16 adete kadar kolon donatıları kolon merkezine göre koordinatları ve alan miktarları verilerek programa girilir ve örnek bir kolon için Ek A Şekil A.1 'de gösterilmiştir. Bu kısımda da kolonlar için beton birim kısalma değeri programa tanıtılır .

5.4.2 EPARC programına Ait Analiz Sonuçları

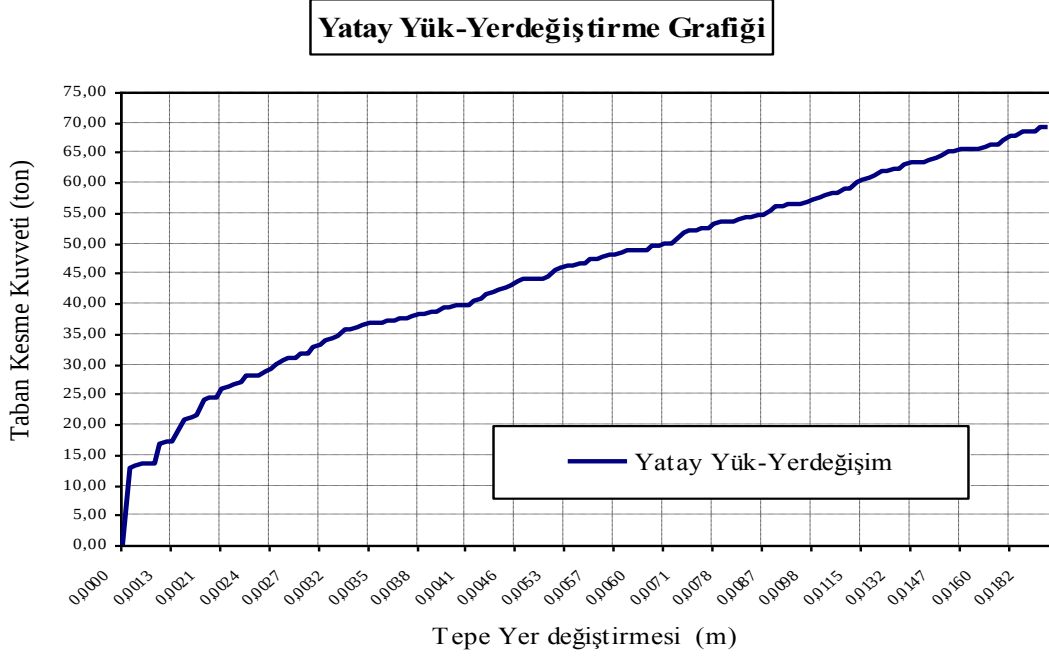
5.4.2.1 X Doğrultusu

Yapılan analiz sonucunda uygulanan 150 yükleme adımı sonucunda oluşan X yönündeki taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirmesi arasındaki ilişki şekil 5.3 'te verilmiştir. Bu sonuçlara göre bu yöndeki yük parametresi $P_{göçme} = 0.3548$ olarak bulunmuştur. Göçme anında uygulanan yük $V_{göçme} = 69,27$ ton ve göçme anındaki nihai tepe yerdeğiştirmesi $\Delta_{göçme} = 0,019$ m olarak bulunmuştur.

Göçme anına kadar oluşan 150 plastik mafsallın 120 'si kirişlerde, 30 'u kolonlarda oluşmuştur. Oluşan mafsalların yerleri şekil 5.2 'te gösterilmiştir.



şekil 5.2 EPARC programı analiz sonuçlarına göre X yönünde yapıda oluşan plastik mafsallar



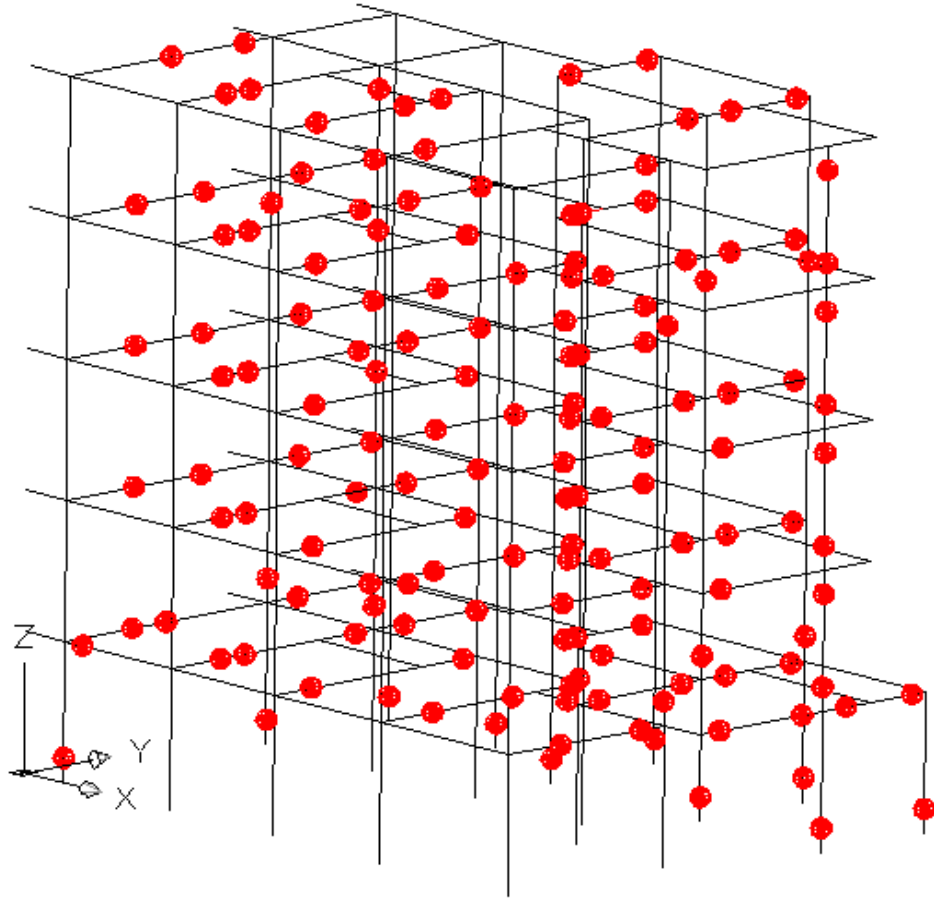
Şekil 5.3 EPARC programı analiz sonuçlarına göre yapının X yönündeki yatay kuvvet-tepe yerdeğiştirmesi grafiği

5.4.2.2 Y Doğrultusu

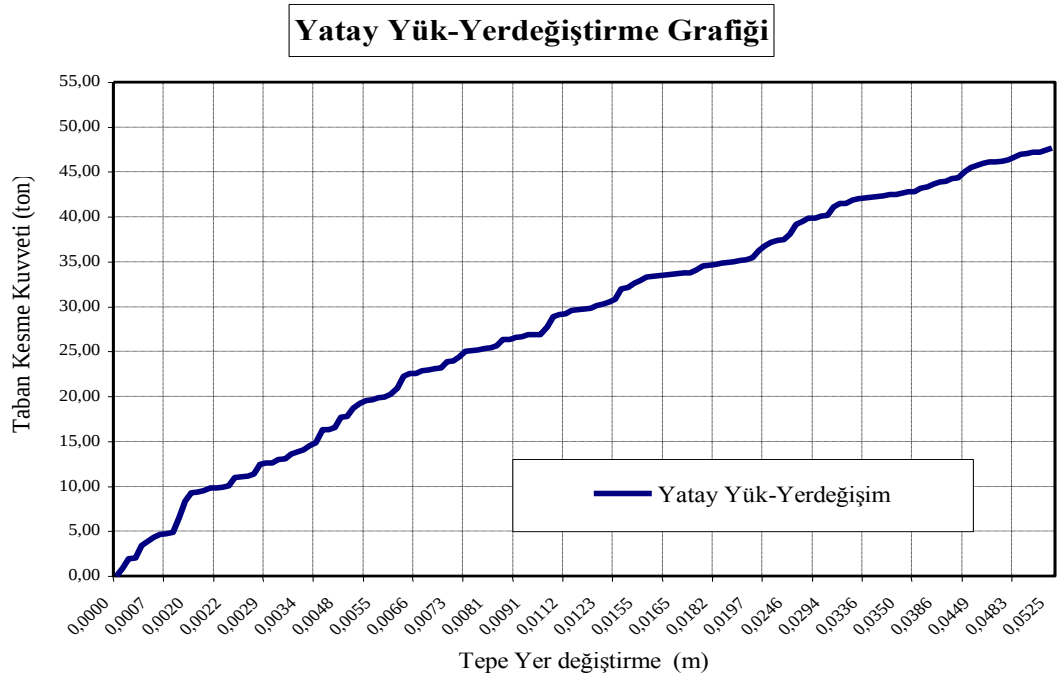
Bu yönde yapılan analiz sonucunda 150 yükleme adımı sonucunda oluşan Y yönündeki taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirmesi arasındaki ilişki Şekil 5.5 ‘da verilmiştir. Bu sonuçlara göre bu yöndeki yük parametresi $P_{göçme} = 0.2441$ olarak bulunmuştur. Göçme anında uygulanan yük $V_{göçme} = 47,65$ ton ve göçme anındaki nihai tepe yerdeğiştirmesi $\Delta_{göçme} = 0,053$ m olarak bulunmuştur.

Göçme anına kadar oluşan 150 plastik mafsallın 119 ‘si kirişlerde, 31 ‘u kolonlarda oluşmuştur. Oluşan mafsalların yerleri Şekil 5.4 ‘de gösterilmiştir.

Analizler sonucu için bulunan değerler karşılaştırıldığında binanın her iki doğrultu içinde yeterli güvenlikte olmadığı görölmektedir. Y doğrultusundaki kapasite X yönüne göre daha düşüktür. Y doğrultusunda yapı çok az bir yerdeğiştirme yaptıktan sonra labil hale gelip göçmektedir. Bu sonuçlara göre yapıda her iki doğrultuda güçlendirme gerekmektedir.



Şekil 5.4 EPARC programı analiz sonuçlarına göre Y yönünde yapıda oluşan plastik mafsallar



Şekil 5.5 EPARC programı analiz sonuçlarına göre yapının Y yönündeki yatay kuvvet-tepe yerdeğiştirmesi grafiği

5.5 SAP2000 Programında Analizin Yapılması ve Elde Edilen Sonuçlar

5.5.1 SAP2000 Analiz Programı Giriş Bilgilerinin Oluşturulması

Bu bölümde EPARC programı tarafından analiz edilen örnek yapının SAP2000 programı tarafından analizi gerçekleştirilecektir. Kullanılan program SAP2000'in 7.44 versiyonudur.

EPARC programı içinde bulunan SAPSAP programı yardımıyla oluşturulan veri dosyası yardımıyla SAP2000 için oluşturulması gereken tüm yapı bilgileri direk elde edilebilir. Bu dosya içinde sistemdeki tüm eleman kesitleri, donatıları ve yerleri, akslar ve malzeme özellikleri bulunmaktadır. Ayrıca tüm mafsal noktaları, mafsal özellikleri, PMM ve M diyagramları da dosyalar yardımıyla SAP2000'e aktarılmıştır.

Bu bilgilerin girilmesinin ardından analiz kısmının gerçekleştirilebilmesi için bazı bilgilerin ve analiz koşullarının programa tanıtılması gerekmektedir. İlk olarak modal analiz yapılarak titreşim periyotları ve kat ötelenmeleri hesaplanmıştır. Bölüm 5.2.3 'te bulunan kat ağırlıkları g yerçekim ivmesine bölünerek kat kütleleri hesaplanmıştır. Denklem (5.8) yardımıyla bulunan kat kütlelerinden her kata ait kütle atalet momentleri $I_{i,kütle}$ hesaplanmış ve Tablo 5.5 'te gösterilmiştir,[5].

Tablo 5.5 Her kata ait ağırlık, kütle ve kütle atalet momenti değerleri

Kat No	Kat Ağırlığı, w_i (ton)	Kat kütleleri, M_i	Kat kütle Atalet Momentleri, $I_{i,kütle}$
Çatı Katı	129.53	13.20	297.79
4. Kat	158.43	16.15	364.23
3. Kat	158.43	16.15	364.23
2. Kat	158.43	16.15	364.23
1. Kat	176.08	17.95	404.92

Bulunan kat kütleleri M_i ve kütle atalet momentleri $I_{i,kütle}$ SAP2000 programı içinde her katın master joint noktalarına eklenerek analiz gerçekleştirilerek Tablo 5.6 'da görülen değerler elde edilmiştir.

$$I_{i,k\ddot{u}t\ddot{u}l\ddot{e}} = M_i \frac{(a^2 + b^2)}{12} \quad (5.8)$$

Form\ddot{u}lde ;

$I_{i,k\ddot{u}t\ddot{u}l\ddot{e}}$: i. kata ait k\ddot{u}t\ddot{u}le atalet momenti

M_i : i. kata ait k\ddot{u}t\ddot{u}le

a, b : Yapının X ve Y doğrultusundaki uzunluğu

dir.

Tablo 5.6 Yapıya ait periyot ve kat \ddot{o}telenme değerleri

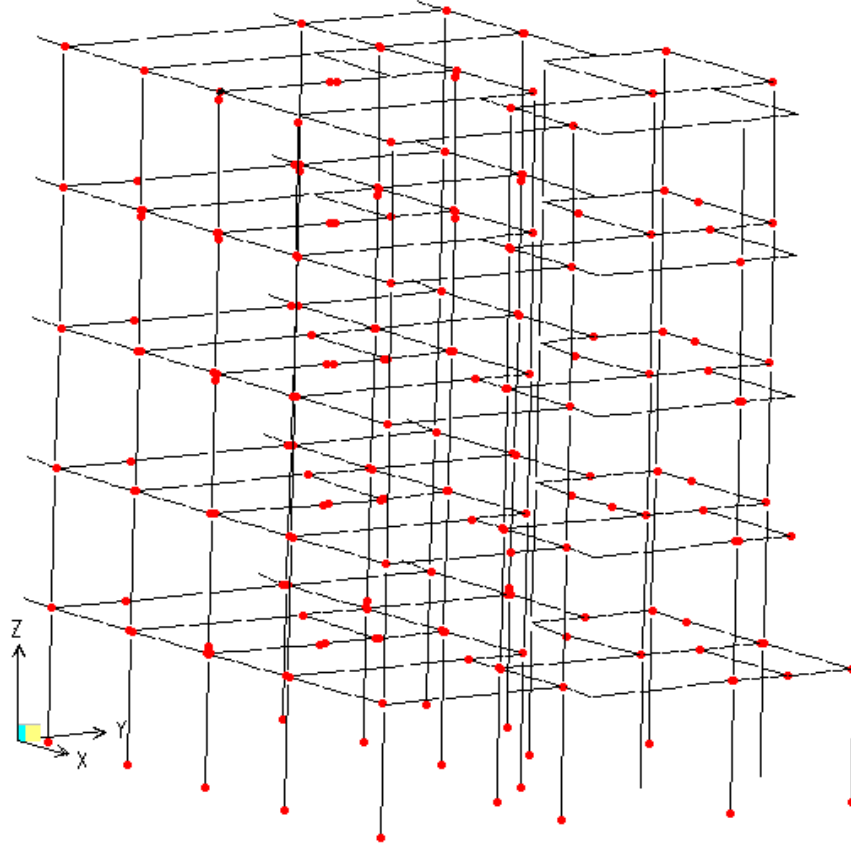
T _X = 0.5153 sn T _Y =0.6774 sn		
Kat No	Φ_{xi} (m)	Φ_{yi} (m)
\u00c7atı Katı	0.13796	0.14487
4. Kat	0.12303	0.12952
3. Kat	0.09694	0.10302
2. Kat	0.06174	0.06760
1. Kat	0.02296	0.02767

Statik itme analizi tanıtılacak olan iki adımda ger\u00e7ekleştirilmiştir. Birinci adım yapıya etkiyen d\ddot{u}şey y\ddot{u}klerin yanal yerdeğiştirmeye olan etkisini g\ddot{o}z \ddot{o}n\ddot{u}ne alabilmek i\u00e7in tanımlanan DUSEY olarak adlandırılan adım, ikinci adım yapıya etkiyen yatay kuvvetler yani eşdeğer deprem kuvvetleri sonucunda oluşacak yerdeğiştirmelerin belirleneceği adım olan YATAY adımıdır. İlk adımda yapıya etkiyen sabit ve hareketli y\ddot{u}kler katılım katsayısıyla \u00e7arpılarak hesaba dahil edilerek deprem esnasında bu y\ddot{u}klerin ne gibi ek yerdeğiştirmeler oluşturacağı hesaba katılır. İkinci adımda ise B\ddot{o}l\ddot{u}m 5.3.2 de hesaplanan deprem kuvvetleri yapıya aralarındaki oran sabit kalacak şekilde belli artımlarla etkitilecektir. Yapılan bu işlem yapı labil hale gelene kadar ya da belirlenen yerdeğiştirme aşılana kadar devam ettirilir. Her adım i\u00e7in uygulanan yatay kuvvet, oluşan tepe yerdeğiştirmesi ve elemanlarda oluşan hasar seviyeleri kaydedilir.

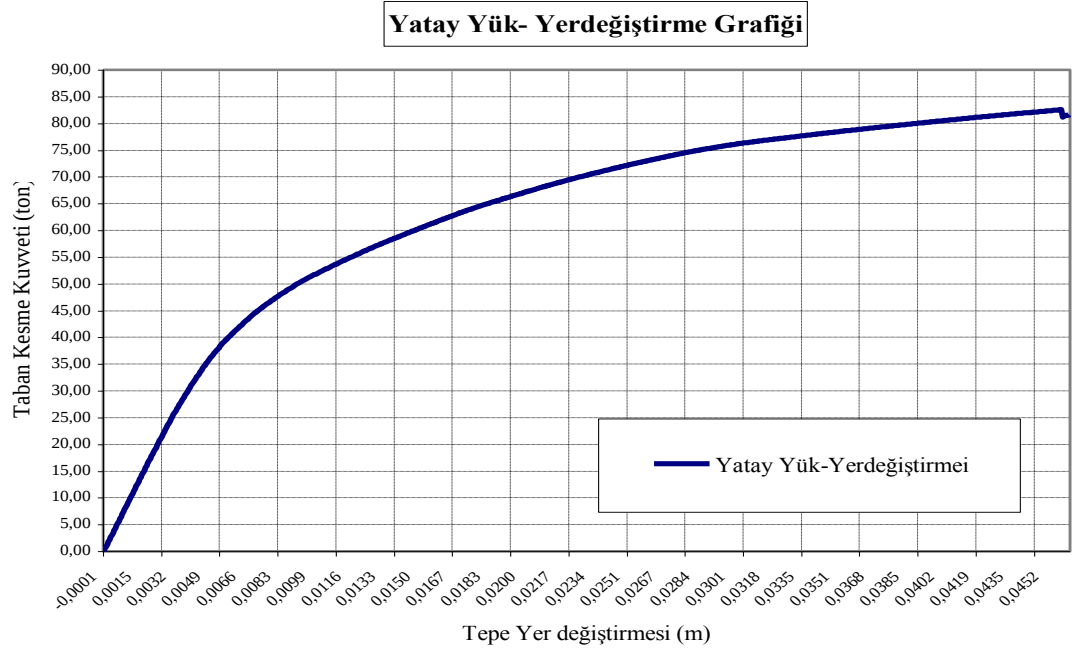
5.5.2 SAP2000 programına Ait Analiz Sonuçları

5.5.2.1 X Doğrultusu

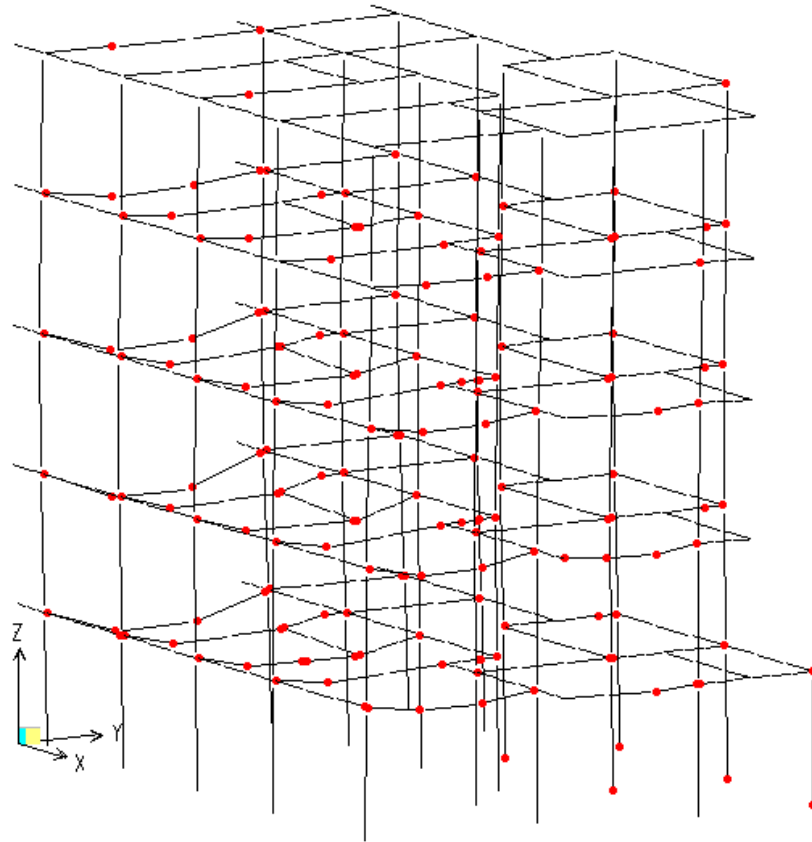
Sistemin SAP2000 programında analiz edilmesinin ardından, X yönü için taban kesme kuvveti $V_{göçme} = 82,55$ ton ve tepe yerdeğiştirmesi $\Delta_{göçme} = 0,046$ m olarak bulunmuştur. Bulunan değerlerle oluşan taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirmesi grafiği şekil 5.7 'de görölmektedir. Taban kesme kuvvetinin yük parametresi $P_{göçme}=0,43$ olarak bulunmuştur. Sistemde 75'i hemen kullanım seviyesi (B-IO), 71'ü hasar kontrol aralığında (IO-LS) ve 38'i sınırlı güvenlik aralığında (LS-CP) olmak üzere toplam 184 adet plastik mafsall oluşmuştur ve şekil 5.6 'da gösterilmiştir.



şekil 5.6 SAP2000 programı analiz sonuçlarına göre yapının X yönünde oluşan plastik mafsalların yerleri



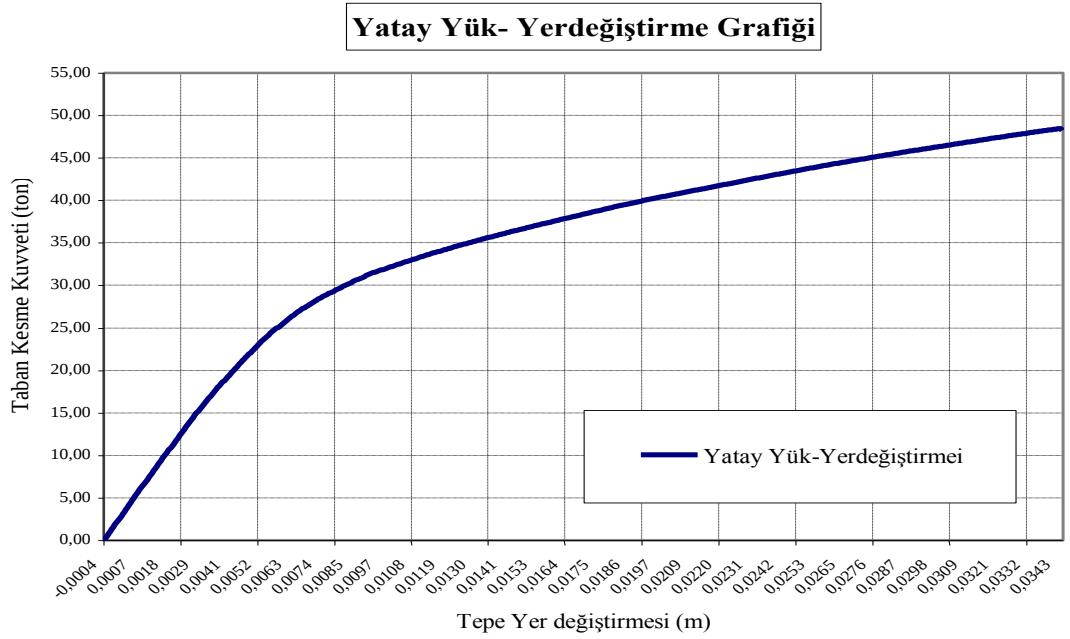
şekil 5.7 SAP2000 programı analiz sonuçlarına göre yapının X yönündeki yatay kuvvet-tepe yerdeğiştirmesi grafiği



şekil 5.8 SAP2000 programı analiz sonuçlarına göre yapının Y yönünde oluşan plastik mafsalların yerleri

5.5.2.2 Y Doğrultusu

Y doğrultusu için yapılan analiz sonucunda ise taban kesme kuvveti $V_{göçme} = 48,45$ ton ve tepe yerdeğiştirmesi $\Delta_{göçme} = 0,035$ m değerleri elde edilmiştir. Bulunan değerlerle oluşan taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirmesi grafiği şekil 5.9 ‘da görölmektedir. Taban kesme kuvvetinin yük parametresi $P_{göçme} = 0,25$ olarak bulunmuştur. Sistemde 27’i hemen kullanım seviyesi (B-IO), 63’ü hasar kontrol aralığında (IO-LS) ve 15’i sınırlı güvenlik aralığında (LS-CP) olmak üzere toplam 105 adet plastik mafsall oluşmuştur ve şekil 5.8 ‘de gösterilmiştir.

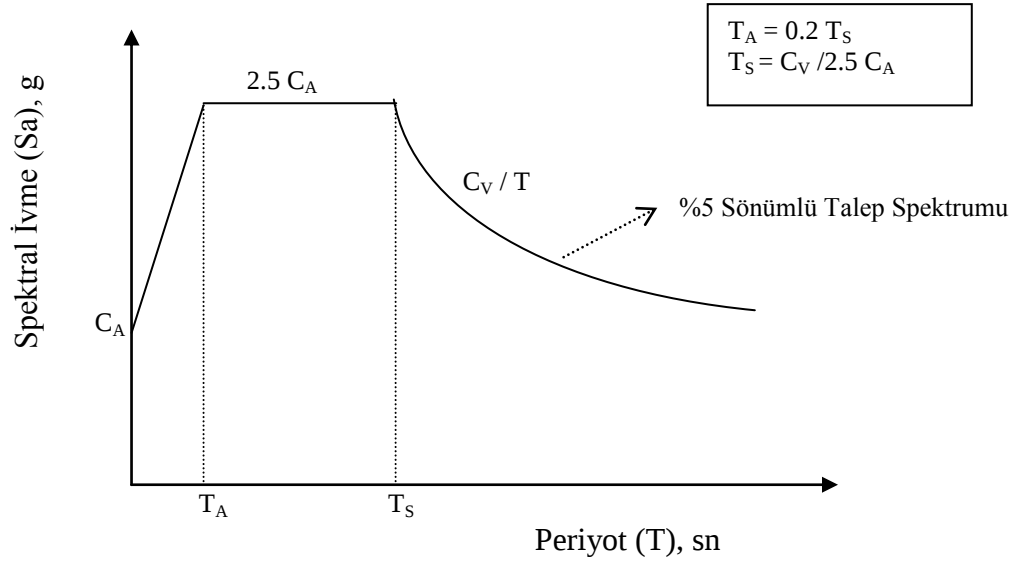


şekil 5.9 SAP2000 programı analiz sonuçlarına göre yapının Y yönündeki yatay kuvvet-tepe yerdeğiştirmesi grafiği

5.6 Yapının Performans Noktasının Bulunması

Bu kısımda SAP2000 programı analiz sonuçlarından elde edilen kapasite eğrisi ile aşağıdaki değerler kullanılarak bulunacak talep spektumu belli işlem adımlarından geğirilerek performans noktası bulunur.

Performansın bulunabilmesi için yapının şekil 5.10 ‘de görölen %5 sönümlü talep spektrum eğrisinin hesaplanması gerekmektedir. Bu eğri mevcut ve güçlendirilecek yapının her iki doğrultusu içinde değişmemektedir.



Şekil 5.10 %5 Sönümlü talep spektrumu grafiği

%5 sönümlü talep spektrum eğrisi C_A ve C_V parametlerine bağlı Şekil 5.10 ‘de görüldüğü gibi tanımlanır. Bu parametlerinin bulunması için deprem katsayısı ZEN’in hesaplanması ve yerel zemin sınıfının tanımlanması gerekmektedir. Yerel zemin sınıfı Tablo 5.7 de gösterilmiştir ve bu örnek için S_D sert zemin seçilmiştir.

Deprem katsayısı ZEN, deprem bölge katsayısı Z, deprem etki türü katsayısı E^1 ve bilinen bir deprem kaynağından olan uzaklık katsayıları olan N_A ve N_V değerlerinin birbirleri ile çarpımından elde edilir. Deprem bölgesi 4 numaralı (ABYYHY’e göre 1 numaralı) bölgedir ve Tablo 5.8 ‘den Z değeri 0.4, deprem etki türü olarak tasarım depremi kullanılacağından $E=1.0$ ve büyük bir deprem kaynağına olan mesafenin 15 km. olduğu bu örnek için Tablo 5.9 ‘ten $N_A = 1.00$ ve $N_V = 1.00$ değerleri bulunur.

Tablo 5.7 Zemin sınıflarının tanımı

	S_A	S_B	S_C	S_D	S_E	S_F
Zemin Sınıfı ve Tanımı	Sert kaya	Kaya	Çok sıkı zemin, yumuşak kaya	Sert zemin	Yumuşak zemin	İncelenmesi gerekli durum

¹Deprem etki türü katsayısı “E”, ATC 40 Tablo 4.7’de işlevsel deprem için $E=0.5$, tasarım deprem için $E=1.0$, maksimum deprem için $E=1.25$ (Bölge 4) ve $E=1.5$ (Bölge 3) olarak verilmektedir.

Tablo 5.8 Deprem bölge katsayıları

Bölge	1	2A	2B	3	4
Z	0.0075	0.15	0.2	0.3	0.4

Bulunan bu değerlerle C_A için ZEN değeri 0.40 , C_V için ZEN değeri 0,40 olarak hesaplanır. Bu değerler için yerel zemin sınıflarına göre C_A parametresi Tablo 5.10 ‘dan 0.44 ve C_V parametreleri Tablo 5.11 ‘den 0.64 olarak okunur.

Tablo 5.9 Deprem kaynağına olan mesafe katsayısı N_A ve N_V

Deprem Kaynağı Türü	Bilinen deprem kaynağına olan 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 : Büyük bir deprem oluşturacak kaynak	1.50	2.00	1.20	1.60	1.00	1.20	1.00	1.00
B : Orta bir deprem oluşturacak kaynak	1.30	1.60	1.00	1.20	1.00	1.00	1.00	1.00
C : Küçük bir deprem oluşturacak kaynak	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Tablo 5.10 C_A Değerleri

	Deprem Katsayısı ZEN					
Zemin Sınıfı	= 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	0.9	0.18	0.24	0.33	0.40	1.1*ZEN
S_D	0.12	0.22	0.28	0.36	0.44	1.6*ZEN
S_E	0.19	0.30	0.34	0.36	0.36	0.9*ZEN
S_F	Yerel Zeminin incelenmesi gerekli					

Tablo 5.11 C_V Değerleri

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

5.6.1 Yapının X Doğrultusuna Ait Performans Noktasının Hesaplanması

Yapının X doğrultusuna ait performans noktası hesabı için Bölüm 3.2.4.2 'de anlatılan Yöntem A işlem adımları takip edilmiştir. Bu işlemler aşağıda sıralanmıştır.

- 1.Adım : Bölüm 5.6 anlatılan ve değerleri hesaplanan C_A ve C_V parametreler yardımıyla Şekil 5.11 'de görülen %5 sönümlü talep spektrumu oluşturulur. Spekturumu oluştururken periyot yerine Şekil 3.2 'de gösterildiği gibi spektral yerdeğiştirme değerleri $S_d = (S_a * T^2) / 4 \pi^2$ formülü yardımıyla hesaplanarak yazılır.

$$S_a = 2.5 * C_A = 1.1$$

$$T_s = C_V / (2.5 * C_A) = 0.5818 \text{ sn}$$

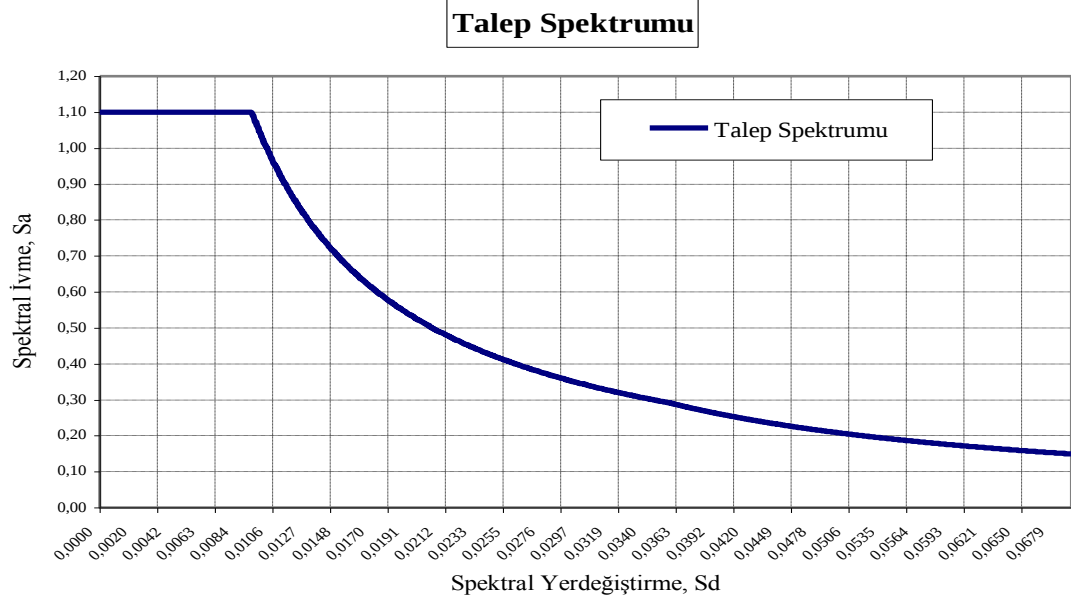
$$T_a = 0.2 * T_s = 0.1164 \text{ sn}$$

- 2.Adım : Kapasite eğrisinin kapasite spektrumuna dönüştürülmesi işlemi Bölüm 3.2.3.1 'de anlatıldığı gibi Denklem (3.3) ve (3.4) sonucunda bulunan katsayılar yardımıyla yapılır. Denklemlerde kullanılacak Φ_{xi} değerleri modal analiz sonucunda elde edilen X doğrultusundaki değerlerdir.

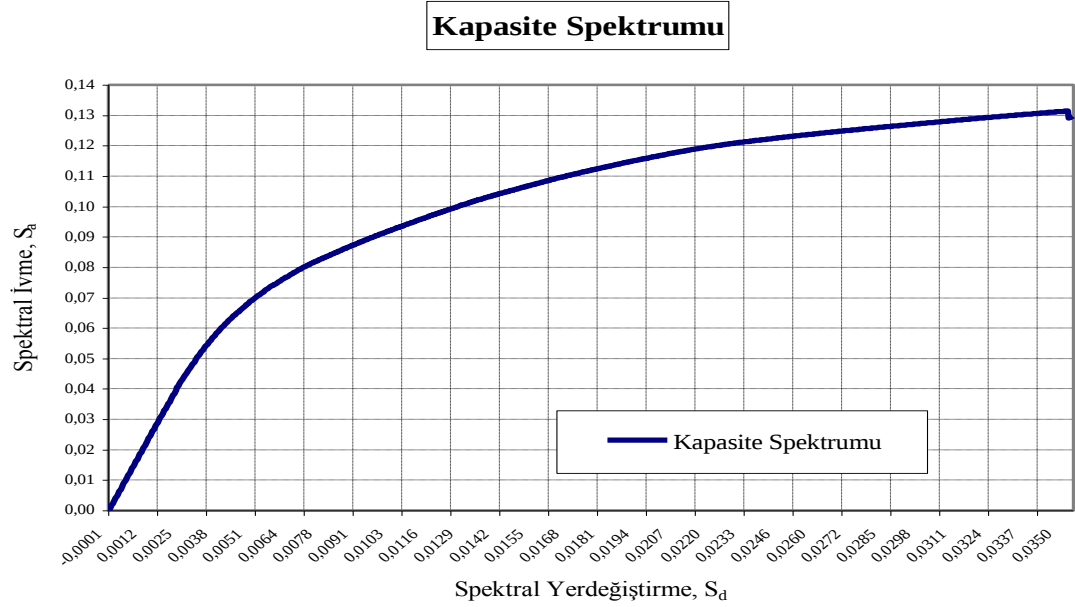
$$\Gamma_1 = 9.4403$$

$$\alpha_1 = 0.8045$$

Bu katsayılar Denklem (3.5) ve (3.6) 'de yerine konularak yatay kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi, kapasite spektrumuna dönüştürülür. Hesaplamalarla bulunan değerler yardımıyla çizilen kapasite spektrumu Şekli 5.12 'de gösterilmiştir.

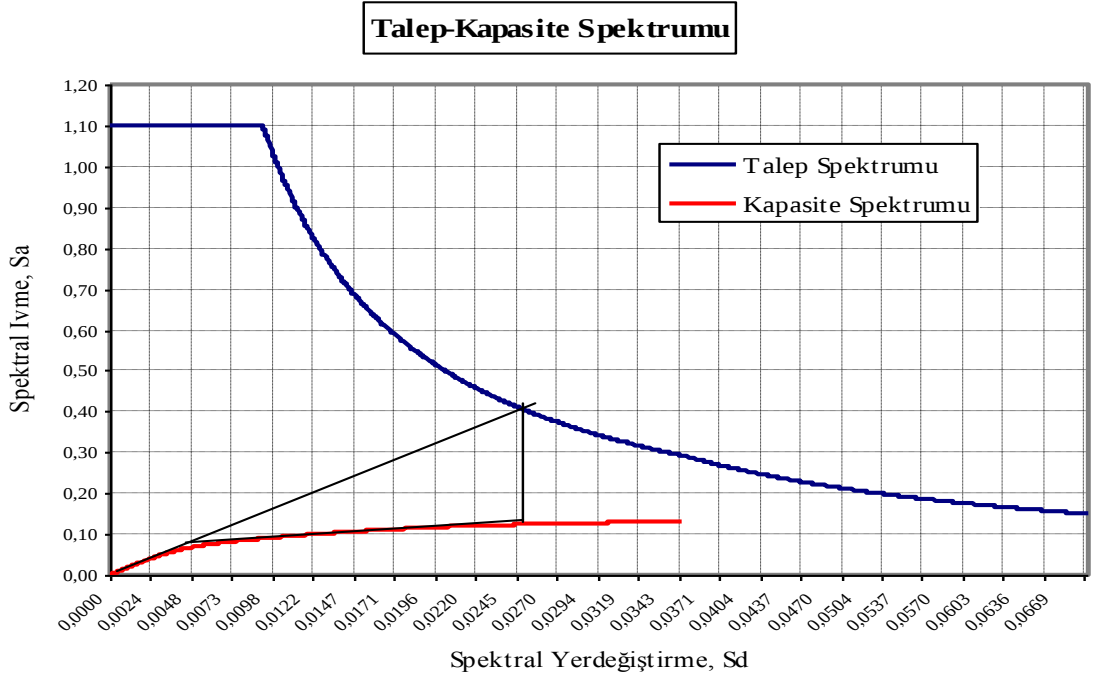


Şekil 5.11 Yapının X doğrultusunda %5 sönümlü talep spektrumu



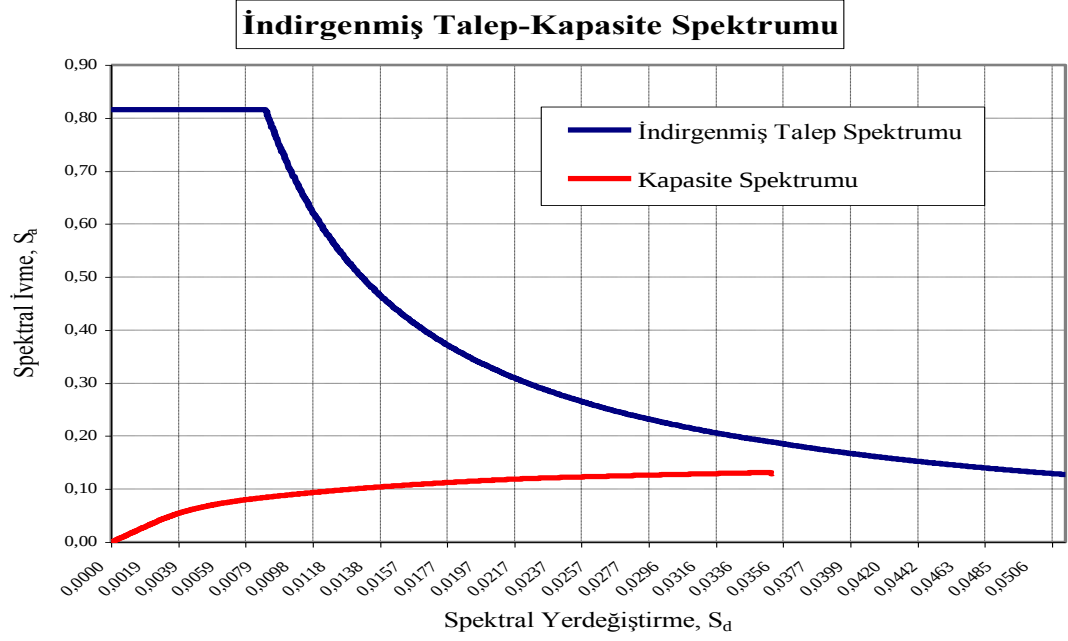
Şekil 5.12 Yapının X doğrultusunda kapasite spektrumu

- 3.Adım : Kapasite spektrumu ile talep spektrumu aynı grafik üzerinde Şekil 5.13 'te gösterildiği gibi üst üste çizilmiştir. Kapasite spektrumunun doğrusal olan kısmı uzatılmış ve talep spektrumu ile kesiştirilmiştir. Bu noktanın kapasite spektrumu üzerindeki düşey iz düşümü işaretlenmiş ve koordinatları $S_{api}=0,1235$, $S_{dpi}=0,0255$ olarak okunmuştur. Bu nokta kabul edilen başlangıç performans noktasıdır.
- 4.Adım : Kapasite spektrumu Bölüm 3.2.3.2 'de anlatıldığı gibi başlangıç performans noktası ile kapasite spektrumun doğrusal kısmından uzatılan doğru alanlar eşit olacak şekilde birleştirilir. Bu noktanın koordinatları $S_{ay}=0,0638$, $S_{dy}=0,0058$ olarak okunmuş ve kırıklı kapasite spektrumu Şekil 5.13 'de gösterilmiştir.



Şekil 5.13 Yapının X doğrultusunda başlangıç performans noktası

- 5.Adım : Talep spektrumu indirgenmesi işlemi Bölüm 3.2.3.3 'te gösterildiği gibi gerçekleştirilmiştir. Tablo 3.3'den yapı davranışı zayıf mevcut bina ve uzun süreli bir deprem için tanımlanan Tip C olarak seçilmiştir. Tablo 3.4 den sönüm düzeltme katsayısı bu tip binalar için $\kappa = 0.33$ olarak okunmuştur. Denklem (3.13) 'den $\beta_{eff} = 0.1111$ hesaplanmıştır. Denklem (3.14) ve (3.15) yardımıyla azaltma katsayıları $SR_A=0.74192$, $SR_V=0.80176$ olarak hesaplanmıştır. %5 sönümlü talep spektrumu bu katsayılarla indirgenmiş ve Şekil 5.14 'da gösterilmiştir.



Şekil 5.14 Yapının X doğrultusunda indirgenmiş talep ve kapasite spektrumu

- 6.Adım : İndirgenmiş talep spektrumu ve kapasite spektrumu aynı grafik üzerinde çizilerek Şekil 5.14 'da gösterilmiştir. Yapı kapasitesinin çok düşük olması nedeniyle kapasite spektrumu ve indirgenmiş talep spektrumu kesişmemiştir. Yapılan yeni iterasyonlar sonucunda kesişim sağlanamamıştır. Yapının performans noktası tanımlanabilecek performans seviyelerinden daha düşük bir seviyededir.

5.6.2 Yapının Y Doğrultusuna Ait Performans Noktasının Hesaplanması

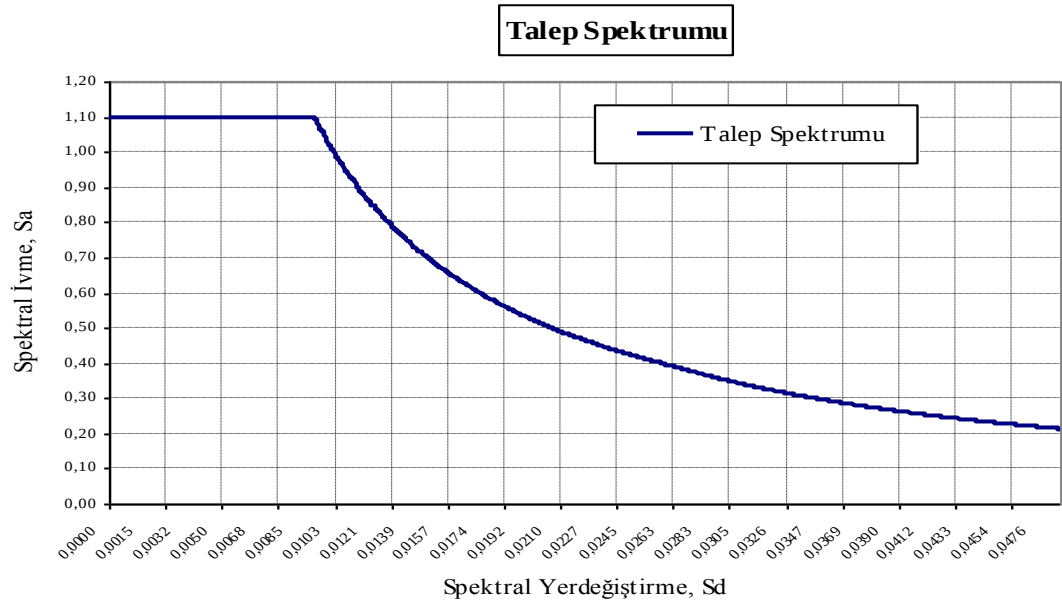
Yapının Y doğrultusuna ait performans noktası hesabı için Bölüm 3.2.4.2 'de anlatılan Yöntem A işlem adımları takip edilmiştir. Bu işlemler aşağıda sıralanmıştır.

- 1.Adım : Bölüm 5.6.1 'de X doğrultusu için bulunan %5 sönümlü talep spektrumu Y doğrultusu içinde aynı değerlerden oluşmaktadır ve Şekil 5.15 'deki gibi çizilmiştir.
- 2.Adım : Kapasite eğrisinin kapasite spektrumuna dönüştürülmesi işlemi Bölüm 3.2.3.1 'de anlatıldığı gibi Denklem (3.3) ve (3.4) sonucunda bulunan katsayılar yardımıyla yapılır. Denklemlerde kullanılacak Φ_{yi} değerleri modal analiz sonucunda elde edilen Y doğrultusundaki değerlerdir.

$$\Gamma_1 = 8.99245$$

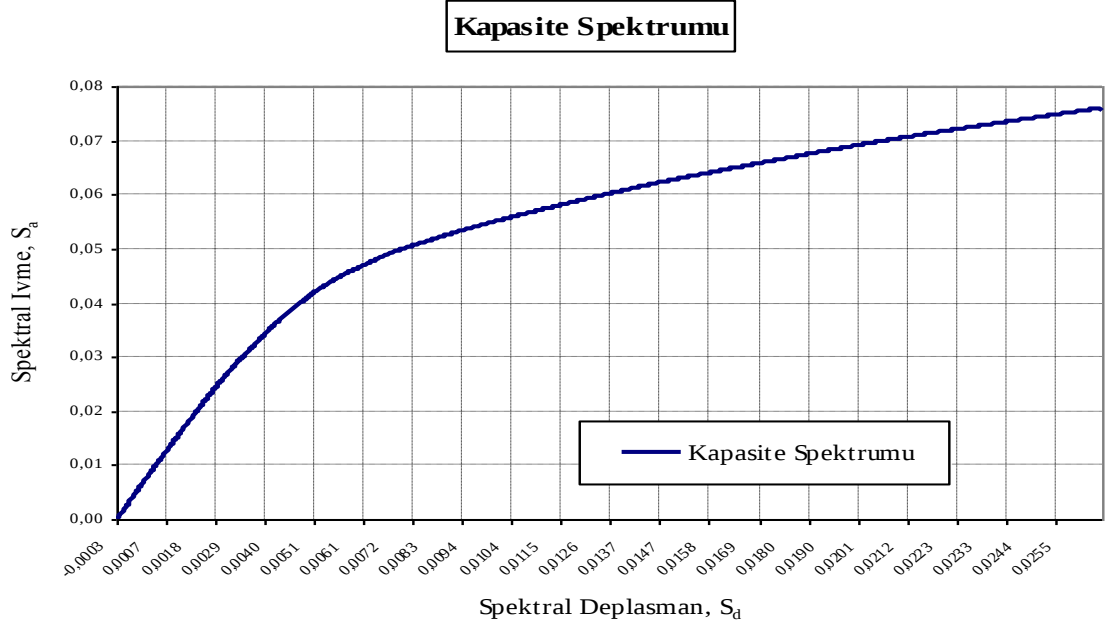
$$\alpha_1 = 0.81977$$

Bu katsayılar Denklem (3.5) ve (3.6) 'da kullanılarak yatay kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi, kapasite spektrumuna dönüştürülür. Hesaplamalarla bulunan değerler yardımıyla çizilen kapasite spektrumu Şekli 5.16 'de gösterilmiştir.

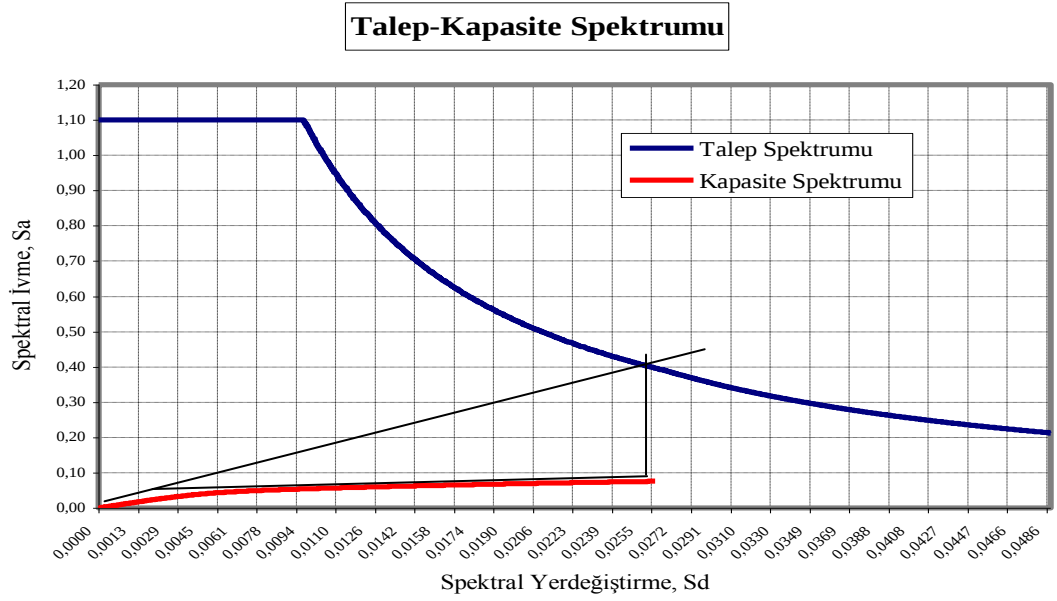


Şekil 5.15 Yapının Y doğrultusunda %5 sönümlü talep spektrumu

- 3.Adım : Kapasite spektrumu ile talep spektrumu aynı grafik üzerinde Şekil 5.17 'da gösterildiği gibi üst üste çizilmiştir. Kapasite spektrumunun doğrusal olan kısmı uzatılmış ve talep spektrumu ile kesiştirilmiştir. Bu noktanın kapasite spektrumu üzerindeki düşey iz düşümü işaretlenmiş ve koordinatları $S_{api}=0.0756$, $S_{dpi}=0.026$ olarak okunmuştur. Bu nokta kabul edilen başlangıç performans noktasıdır.
- 4.Adım : Kapasite spektrumu Bölüm 3.2.3.2 'de anlatıldığı gibi başlangıç performans noktası ile kapasite spektrumun doğrusal kısmından uzatılan doğru alanlar eşit olacak şekilde birleştirilir. Bu noktanın koordinatları $S_{ay}=0.03296$, $S_{dy}=0.0021$ olarak okunmuş ve kırıklı kapasite spektrumu Şekil 5.17 'da gösterilmiştir.



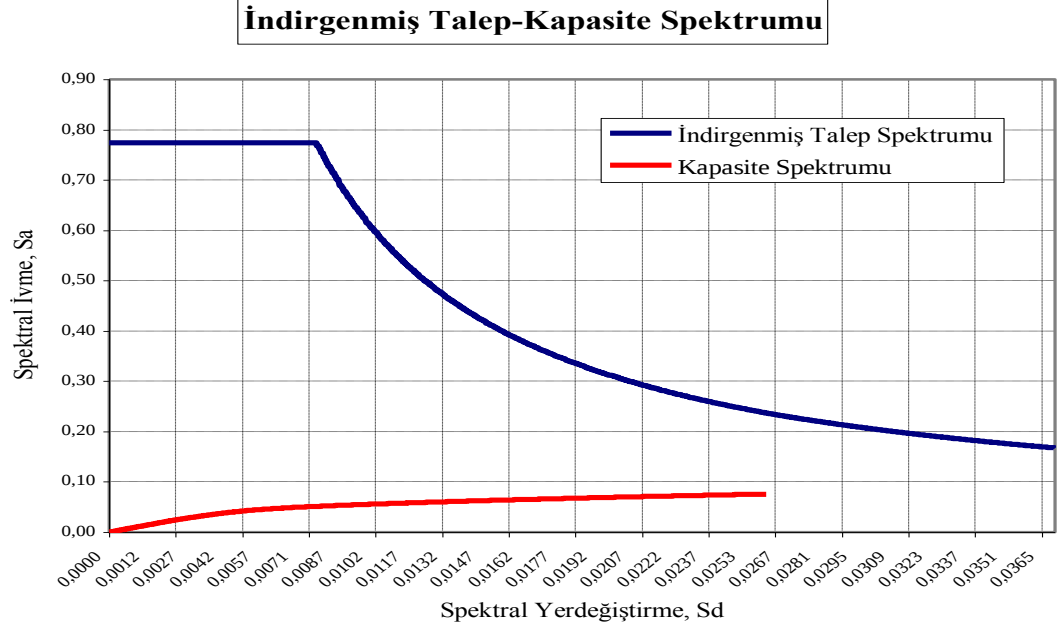
Şekil 5.16 Yapının Y doğrultusunda kapasite spektrumu



Şekil 5.17 Yapının Y doğrultusunda başlangıç performans noktası

- 5.Adım : Talep spektrumu indirgenmesi işlemi Bölüm 3.2.3.3 'te gösterildiği gibi gerçekleştirilmiştir. Yapı davranışı Tip C ve $\kappa = 0.33$ için Denklem (3.13) 'den $\beta_{eff} = 0.12502$ hesaplanmıştır.

Denklem (3.14) ve (3.15) yardımıyla azaltma katsayıları $SR_A = 0.70396$, $SR_V = 0.77235$ olarak hesaplanmıştır. %5 sönümlü talep spektrumu bu katsayılarla indirgenmiş ve Şekil 5.18 ‘de gösterilmiştir.



Şekil 5.18 Yapının Y doğrultusunda indirgenmiş talep ve kapasite spektrumu

- 6.Adım : İndirgenmiş talep spektrumu ve kapasite spektrumu aynı grafik üzerinde çizilerek Şekil 5.18 ‘de gösterilmiştir. Yapı kapasitesinin çok düşük olması nedeniyle kapasite spektrumu ve indirgenmiş talep spektrumu kesişmemiştir. Yapılan yeni iterasyonlar sonucunda kesişim sağlanamamıştır. Yapının performans noktası tanımlanabilecek performans seviyelerinden daha düşük bir seviyededir.

5.7 Yapının Güçlendirilmesi ve Güçlendirilmiş Yapının Analizi

5.7.1 Giriş

Yapılan hesaplamalar sonucunda, yapının her iki yönde de son derece yetersiz olduğu görülmüştür. Bu nedenle yapıya güçlendirme yapılmaya karar verilmiştir. Yapının Y doğrultusundaki kapasitesinin diğer doğrultudaki kapasiteye göre daha az olması nedeniyle bu yönde çalışacak 3 adet perde yerleştirilmiştir. Bu yönde yerleştirilen iki perde mimari nedenlerle sadece tek taraflarından S04 ve S11 kolonlarına bağlanmıştır. Diğer perde S09 ve S10 kolonları arasına yerleştirilmiştir.

X doğrultusunda da 2 perde yerleştirilerek bu doğrultudaki güçlendirilme tamamlanmıştır. Bu yöndeki ilk perde S03 ve S06 kolonları arasına, ikinci perde S13 ve S17 kolonları arasına yerleştirilmiştir. Sisteme toplam 5 adet perde eklenmiş olup perdeler ile kolonlar arasındaki bağlantının sağlanabilmesi için kolonlar 4 tarafından mantolanmıştır. Eklenen 5 adet perdenin ve başlık kolonlarının donatı detaylar EK B 'de Şekil B.3 ve Şekil B.4 'de gösterilmiştir. Güçlendirilen yapının normal kat planı ve üç boyutlu gösterimi Ek B 'de Şekil B.1 ve Şekil B.2 'de gösterilmiştir.

Güçlendirilen yapı SAP2000 programıyla analiz edilmiştir. Sistem geometrisi değişen yapı için yeni eklenen kısımlar tekrar tanımlanmış ve değişen yapı değerleri için tekrar hesap yapılmıştır. Güçlendirilen yapıda ağırlık değiştiği için tekrar hesaplanmıştır. Buna bağlı olarak yatay yük hesabı yeni ağırlığa göre yinelenmiştir. Daha sonra Bölüm anlatıldığı gibi yapı kapasitesi ve performans noktası X ve Y doğrultuları için hesaplanmıştır.

5.7.2 Güçlendirilmiş Yapının Kütle ve Ağırlıkların Hesabı

Yapı güçlendirilirken eklenen perdeler ve mantolanan kolonlar nedeniyle sabit yüklerden oluşan kat ağırlıklarında artış olmuştur. Bu nedenle kat ağırlıkları tekrar hesaplanarak Tablo 5.12 da gösterilmiştir.

Tablo 5.12 Güçlendirme sonrası sabit yüklerden oluşan kat ağırlıkları

Kat No	Döşeme (t)	Kiriş (t)	Kolon (t)	Perde (t)	Duvar (t)	g_i (t)
Çatı katı	64,77	21,90	8,58	8,10	27,80	131,15
4. kat	55,32	21,90	17,15	16,20	55,61	166,18
3. kat	55,32	21,90	17,15	16,20	55,61	166,18
2. kat	55,32	21,90	17,15	16,20	55,61	166,18
1. kat	57,47	23,05	29,42	24,30	57,19	191,43
Toplam						821,12

Denklem (5.1) ve (5.2) kullanılarak toplam kat ağırlıkları ve toplam yapı ağırlığı hesaplanarak Tablo 5.13 da gösterilmiştir.

Tablo 5.13 Güçlendirme sonrası bina toplam ağırlığı

Kat	g_i (t)	$0,30 \cdot q_i$ (t)	Toplam kat, w_i (t)
Çatı katı	131,15	6,48	137,63
4. kat	166,18	8,45	174,63
3. kat	166,18	8,45	174,63
2. kat	166,18	8,45	174,63
1. kat	191,43	8,95	200,38
Toplam (W_i)			861,90

5.7.3 Güçlendirilmiş Yapıda Sisteme Etkiyen Yükler

5.7.3.1 Düşey Yükler

Yapıya eklenen sadece perdeler olduğu ve eski kolonların mantolanması nedeniyle, Bölüm 5.3.1 ‘de anlatıldığı gibi perde ve kolon ağırlıklarının hesaplanması program tarafından gerçekleştirildiğinden, yapının güçlendirilmemiş hali için kullanılan düşey yük değerleri aynen kullanılmıştır.

5.7.3.2 Yatay Yükler

Bölüm 5.3.2 ‘de anlatılan eşdeğer deprem yükünün hesaplanmasında kat ağırlığının değişmesinden dolayı değişiklik olmuştur. Yeni kat ağırlıklarıyla hesap yapılarak bulunan katlara ait eşdeğer deprem yükleri Tablo 5.14 ‘de gösterilmiştir.

$$V_t = \frac{W A(T_1)}{R_a(T_1)} \geq 0.10 \cdot A_0 \cdot I \cdot W \Rightarrow \frac{861.90 \cdot 1}{4} \geq 0.10 \cdot 0.40 \cdot 1 \cdot 861.90$$

$$V_t = 215.475 \text{ t} \geq 34.48 \text{ t}$$

Tablo 5.14 Güçlendirilmiş yapıda katlara etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin hesaplanması

i. kat	i. katın yerden yüksekliği (m)	i. katın toplam ağırlığı (t)	$w_i \cdot H_i$	$F_i = V_t \left[\frac{(w_i \cdot H_i)}{\sum (w_i \cdot H_i)} \right] (t)$
Çatı Katı	14	137,63	1926,82	60,27
3. Kat	11,2	174,63	1955,87	61,18
2. Kat	8,4	174,63	1466,89	45,88
1. Kat	5,6	174,63	977,93	30,59
Zemin Katı	2,8	200,38	561,06	17,55
		$\sum w_i \cdot H_i$	6888,57	

5.7.4 SAP2000 Programında Analizin Yapılması ve Elde Edilen Sonuçlar

5.7.4.1 SAP2000 Analiz Programı Giriş Bilgilerinin Oluşturulması

Güçlendirilen yapının SAP2000 programında analizi için, yapının ilk halinde eklenen perdeler ve mantolanan kolonlar için değişiklikler yapılmıştır. Sistem uyarlandıktan sonra Bölüm 5.5.1 ‘de anlatıldığı gibi işlemler tekrarlanmıştır.

İlk olarak modal analiz yapılarak titreşim periyotları ve kat ötelenmeleri hesaplanmıştır. Bölüm 5.7.3.2 ‘te bulunan kat ağırlıkları g yerçekim ivmesine bölünerek kat kütleleri hesaplanmıştır. Denklem yardımıyla bulunan kat kütlelerinden her kata ait kütle atalet momentleri hesaplanmış ve Tablo 5.15 ‘da gösterilmiştir.

Bulunan kat kütleleri M_i ve kütle atalet momentleri $I_{i,kütle}$ SAP2000 programı içinde her katın master joint noktalarına eklenerek analiz gerçekleştirilerek Tablo 5.16 ‘da görülen değerler elde edilmiştir.

Tablo 5.15 Güçlendirilmiş yapıda her kata ait ağırlık, kütle ve kütle atalet momenti değerleri

Kat No	Kat Ağırlığı, w_i (ton)	Kat kütleleri, M_i	Kat kütle Atalet Momentleri, $I_{i,kütle}$
Çatı Katı	137,63	14,03	314,98
4. Kat	174,63	17,80	400,05
3. Kat	174,63	17,80	400,05
2. Kat	174,63	17,80	400,05
1. Kat	200,38	20,43	459,82

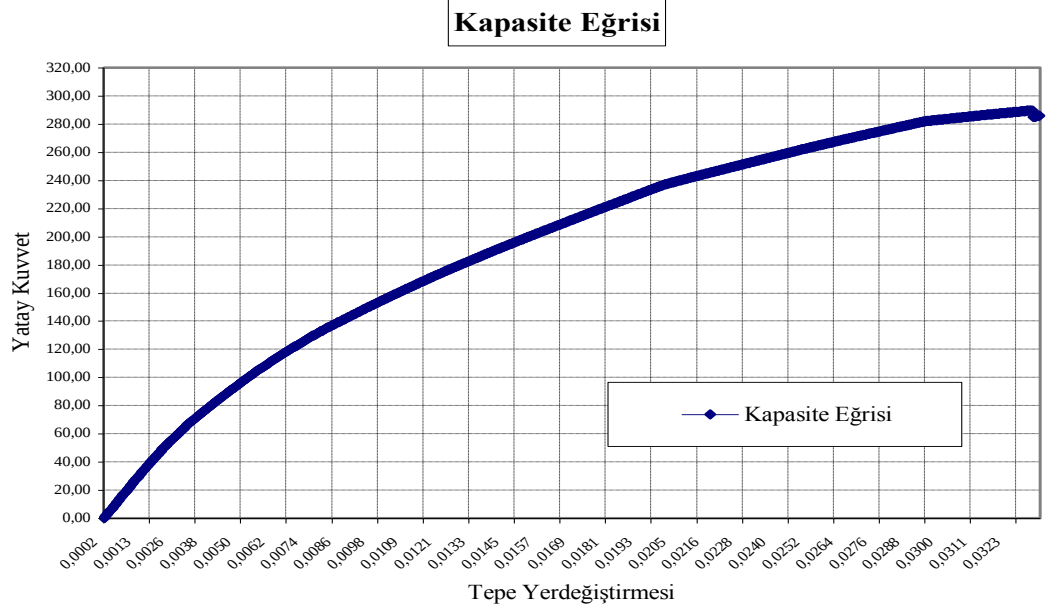
Tablo 5.16 Güçlendirilmiş yapıya ait periyot ve kat ötelenme değerleri

$T_X = 0.4009$ sn $T_Y = 0.3731$ sn		
Kat No	Φ_{xi} (m)	Φ_{yi} (m)
Çatı Katı	0.10276	0.02746
4. Kat	0.08217	0.02095
3. Kat	0.05804	0.01416
2. Kat	0.03289	0.00770
1. Kat	0.01139	0.00261

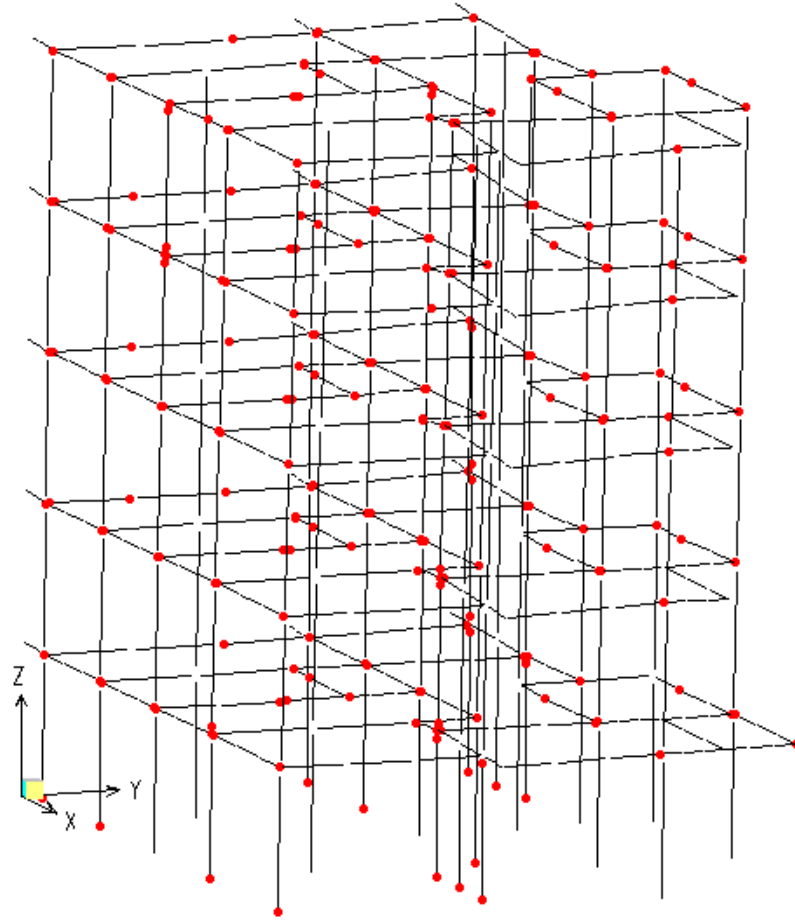
5.7.4.2 X Yönündeki SAP2000 programına Ait Analiz Sonuçları

Sistemin SAP2000 programında analiz edilmesinin ardından, X yönü için taban kesme kuvveti $V_{göçme} = 289,71$ ton ve tepe yerdeğiştirmesi $\Delta_{göçme} = 0,033$ m olarak bulunmuştur. Bulunan değerlerle oluşan taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirmesi grafiğı Şekil 5.19 ‘da görölmektedir.

Taban kesme kuvvetinin yük parametresi $P_{göçme} = 1,34$ olarak bulunmuştur. Sistemde 110’i hemen kullanım seviyesi (B-IO), 94’ü hasar kontrol aralığında (IO-LS) ve 18’i sınırlı güvenlik aralığında (LS-CP) olmak üzere toplam 222 adet plastik mafsall oluşmuştur ve Şekil 5.20 ‘de gösterilmiştir.



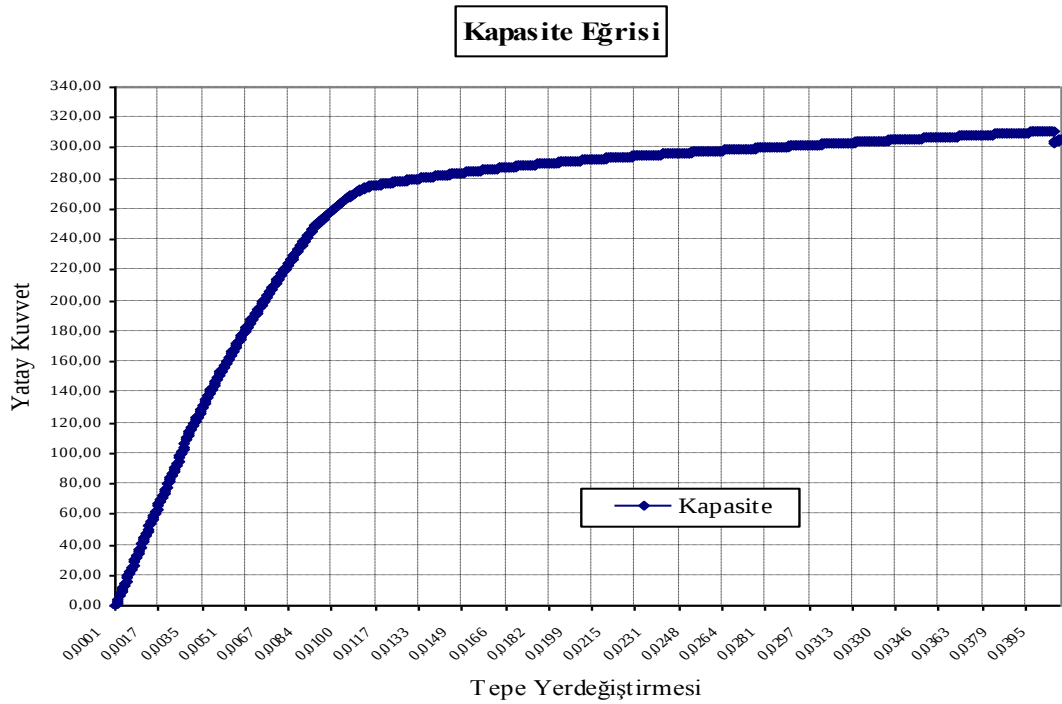
Şekil 5.19 SAP2000 programı analiz sonuçlarına göre güçlendirilmiş yapının X yönüne ait yatay kuvvet-tepe yerdeğıştirmesi grafiğı



Şekil 5.20 SAP2000 programı analiz sonuçlarına göre güçlendirilmiş yapının X yönünde oluşan plastik mafsalların yerleri

5.7.4.3 Y Yönündeki SAP2000 programına Ait Analiz Sonuçları

Y doğrultusu için yapılan analiz sonucunda ise taban kesme kuvveti $V_{göçme} = 311,34$ ton ve tepe yerdeğiştirmesi $\Delta_{göçme} = 0,04$ m değerleri elde edilmiştir. Bulunan değerlerle oluşan taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirmesi grafiği şekil 5.21 ‘de görölmektedir. Taban kesme kuvvetinin yük parametresi $P_{göçme} = 1,44$ olarak bulunmuştur. Sistemde 44’i hemen kullanım seviyesi (B-IO), 121’ü hasar kontrol aralığında (IO-LS) ve 37’i sınırlı güvenlik aralığında (LS-CP) olmak üzere toplam 202 adet plastik mafsall oluşmuştur ve şekil 5.22 ‘de gösterilmiştir.



şekil 5.21 SAP2000 programı analiz sonuçlarına göre güçlendirilmiş yapının Y yönüne ait yatay kuvvet-tepe yerdeğiştirmesi grafiği

5.7.5 Güçlendirilmiş Yapının Performans Noktasının Hesaplanması

5.7.5.1 X Doğrultusuna Ait Performans Noktasının Hesaplanması

Yapının X doğrultusuna ait performans noktası hesabı için Bölüm 3.2.4.2 ‘de anlatılan Yöntem A işlem adımları takip edilmiştir. Bu işlemler aşağıda sıralanmıştır.

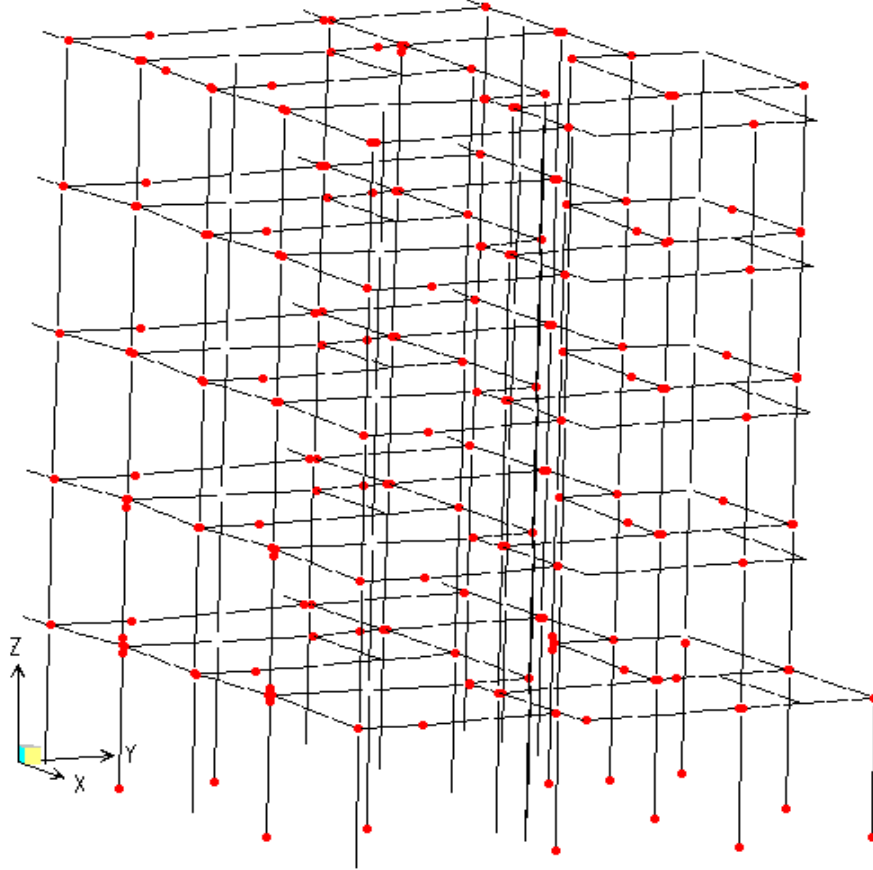
- 1.Adım : Bölüm 5.6 anlatılan ve değerleri hesaplanan C_A ve C_V parametreler yardımıyla şekil 5.23 ‘de görölen %5 sönümlü talep spektrumu oluşturulur. Spektrumunu oluştururken periyot yerine şekil 3.2 ‘de gösterildiği gibi

spektral yerdeğiştirme değerleri $S_d = (S_a * T^2) / 4 \Pi^2$ formülü yardımıyla hesaplanarak yazılır.

$$S_a = 2.5 * C_A = 1.1$$

$$T_s = C_V / (2.5 * C_A) = 0.5818$$

$$T_a = 0.2 * T_s = 0.1164$$



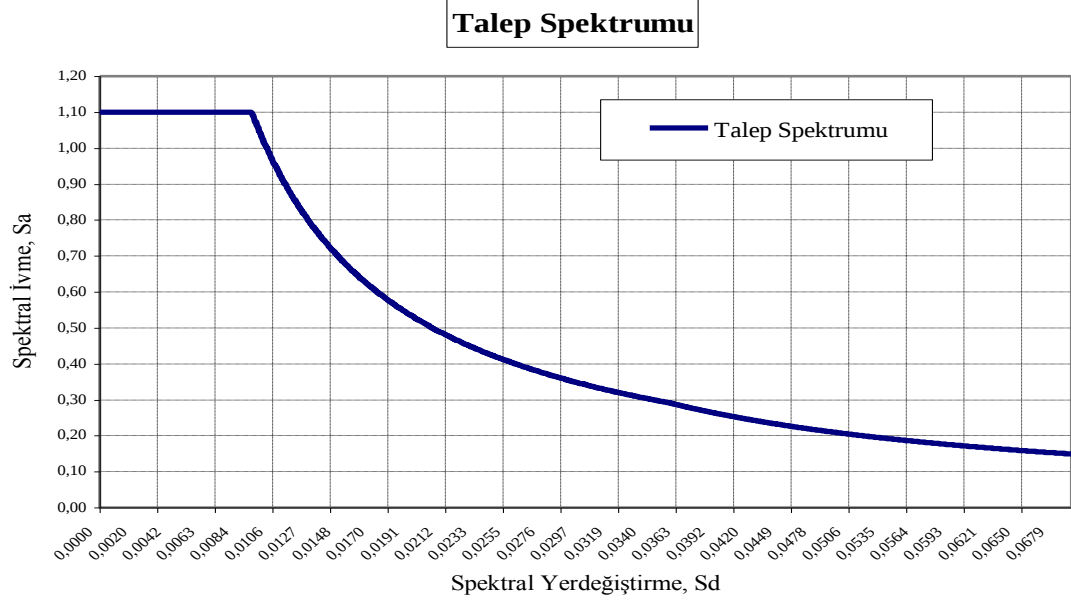
Şekil 5.22 SAP2000 programı analiz sonuçlarına göre güçlendirilmiş yapının Y yönünde oluşan plastik mafsalların yerleri

- 2.Adım : Kapasite eğrisinin kapasite spektrumuna dönüştürölmesi işlemi Bölüm 3.2.3.1 'de anlatıldığı gibi Denklem (3.3) ve (3.4) sonucunda bulunan katsayılar yardımıyla yapılır. Denklemlerde kullanılacak Φ_{xi} değerleri güçlendirilmiş yapının modal analizi sonucunda elde edilen değerlerdir.

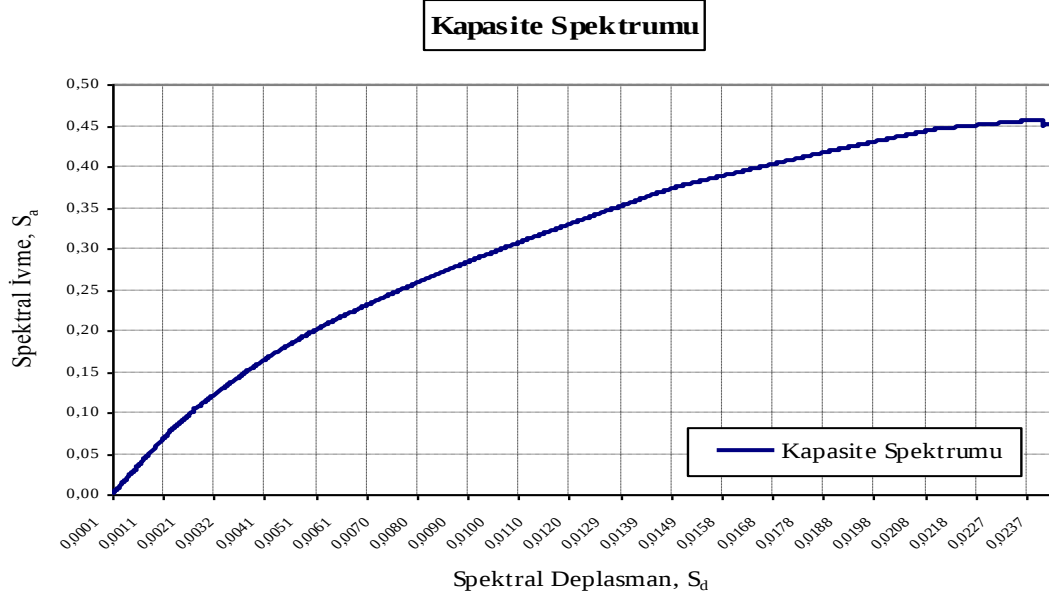
$$\Gamma_1 = 13,5796$$

$$\alpha_1 = 0,73505$$

Bu katsayılar Denklem (3.5) ve (3.6) 'da kullanılarak Yatay Kuvvet-Yerdeğiştirme eğrisi, kapasite spektrumuna dönüştürülür. Hesaplamalarla bulunan değerler yardımıyla çizilen kapasite spektrumu Şekil 5.24 'de gösterilmiştir.

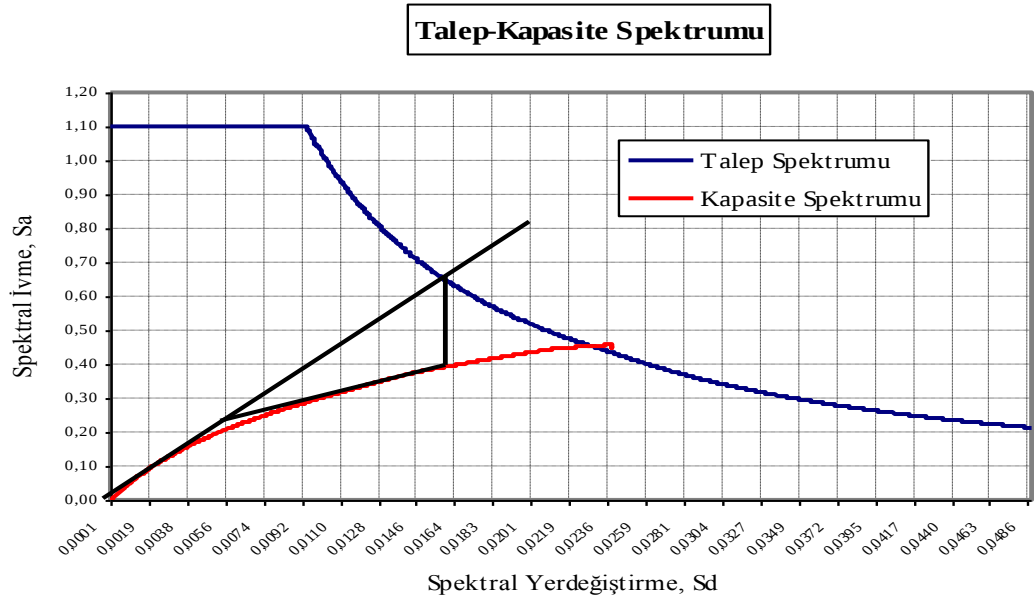


Şekil 5.23 Güçlendirilmiş yapının X doğrultusundaki %5 sönümlü talep spektrumu



Şekil 5.24 Güçlendirilmiş yapının X doğrultusundaki kapasite spektrumu

- 3.Adım : Kapasite spektrumu ile talep spektrumu aynı grafik üzerinde Şekil 5.25 'de gösterildiği gibi üst üste çizilmiştir. Kapasite spektrumunun doğrusal olan kısmı uzatılmış ve talep spektrumu ile kesiştirilmiştir. Bu noktanın kapasite spektrumu üzerindeki düşey iz düşümü işaretlenmiş ve koordinatları $S_{api} = 0.3950$, $S_{dpi} = 0.01620$ olarak okunmuştur. Bu nokta kabul edilen başlangıç performans noktasıdır.
- 4.Adım : Kapasite spektrumu Bölüm 3.2.3.2 'de anlatıldığı gibi başlangıç performans noktası ile kapasite spektrumun doğrusal kısmından uzatılan doğru alanlar eşit olacak şekilde birleştirilir. Bu noktanın koordinatları $S_{ay} = 0.2451$, $S_{dy} = 0.0057$ olarak okunmuş ve kırıklı kapasite spektrumu Şekil 5.25 'de gösterilmiştir.

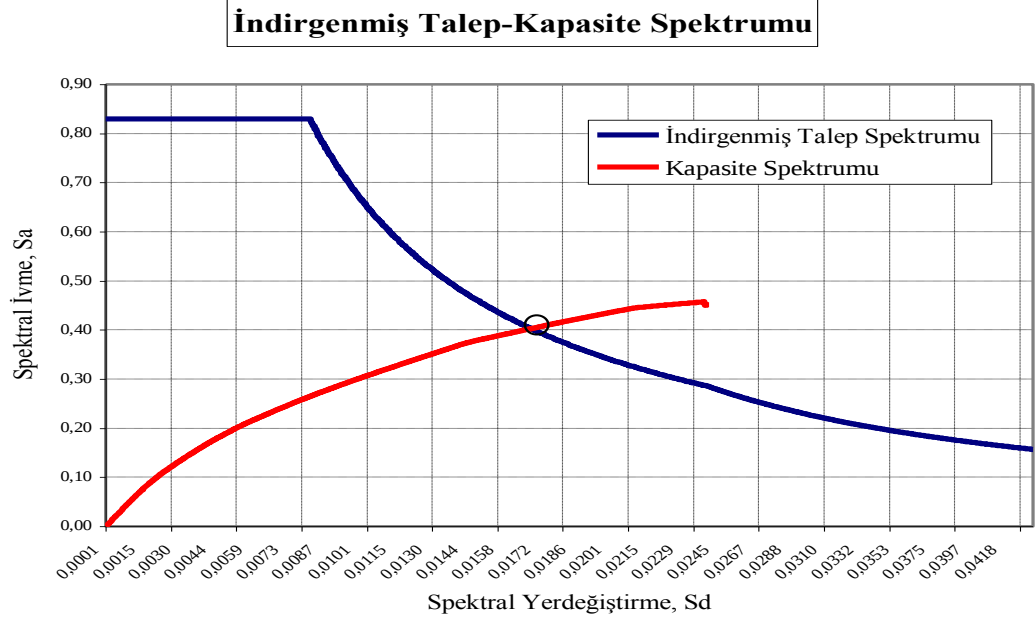


Şekil 5.25 Güçlendirilmiş yapının X doğrultusundaki başlangıç performans noktası

- 5.Adım : Talep spektrumu indirgenmesi işlemi Bölüm 3.2.3.3 'te gösterildiği gibi gerçekleştirilmiştir. Tablo 3.3'den yapı davranışı zayıf mevcut bina ve uzun süreli bir deprem için tanımlanan Tip C olarak seçilmiştir. Tablo 3.4 den sönüm düzeltme katsayısı bu tip binalar için $\kappa = 0.33$ olarak okunmuştur. Denklem (3.13) 'den $\beta_{eff} = 0.10674$ hesaplanmıştır. Denklem (3.14) ve (3.15) yardımıyla azaltma katsayıları $SR_A = 0.75466$ ve $SR_V = 0.81164$ olarak hesaplanmıştır. %5 sönümlü talep spektrumu bu katsayılarla indirgenmiş ve Şekil 5.26 'da gösterilmiştir.

- 6.Adım : İndirgenmiş talep spektrumu ve kapasite spektrumu aynı grafik üzerinde çizilerek Şekil 5.26 'da gösterilmiştir. Kesişim noktasının koordinatları $S_{ap} = 0.40267$ ve $S_{dp} = 0.01698$ olarak okunur.

$$0.95 \cdot S_{dpi} < S_{dp} < 1.05 \cdot S_{dpi} \rightarrow 0.01539 < 0.01698 < 0.01701$$



Şekil 5.26 Güçlendirilmiş yapının X doğrultusundaki performans noktasının belirlenmesi

5.7.5.2 Yapının Y Doğrultusuna Ait Performans Noktasının Hesaplanması

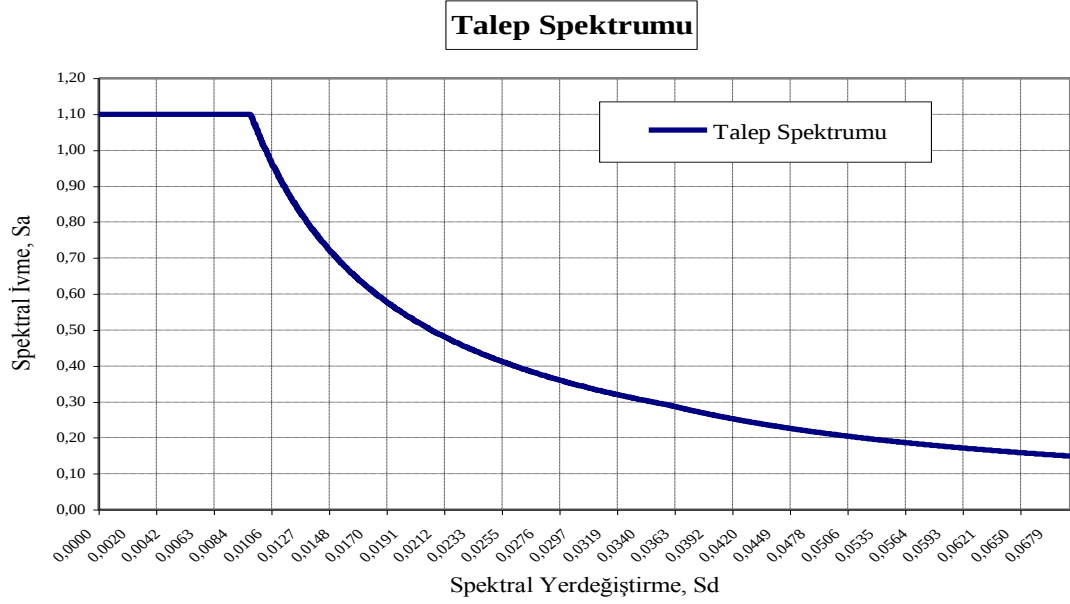
Yapının Y doğrultusuna ait performans noktası hesabı için Bölüm 3.2.4.2 'de anlatılan Yöntem A işlem adımları takip edilmiştir. Bu işlemler aşağıda sıralanmıştır.

- 1.Adım : Bölüm 5.6 anlatılan ve değerleri hesaplanan C_A ve C_V parametreler yardımıyla Şekil 5.27 'de görülen %5 sönümlü talep spektrumu oluşturulur. Spekturumu oluştururken periyot yerine Şekil 3.2 'de gösterildiği gibi spektral yerdeğiştirme değerleri $S_d = (S_a \cdot T^2) / 4 \Pi^2$ formülü yardımıyla hesaplanarak yazılır.

$$S_a = 2.5 \cdot C_A = 1.1$$

$$T_s = C_V / (2.5 \cdot C_A) = 0.5818$$

$$T_a = 0.2 \cdot T_s = 0.1164$$



Şekil 5.27 Güçlendirilmiş yapının Y doğrultusundaki %5 sönümlü talep spektrumu

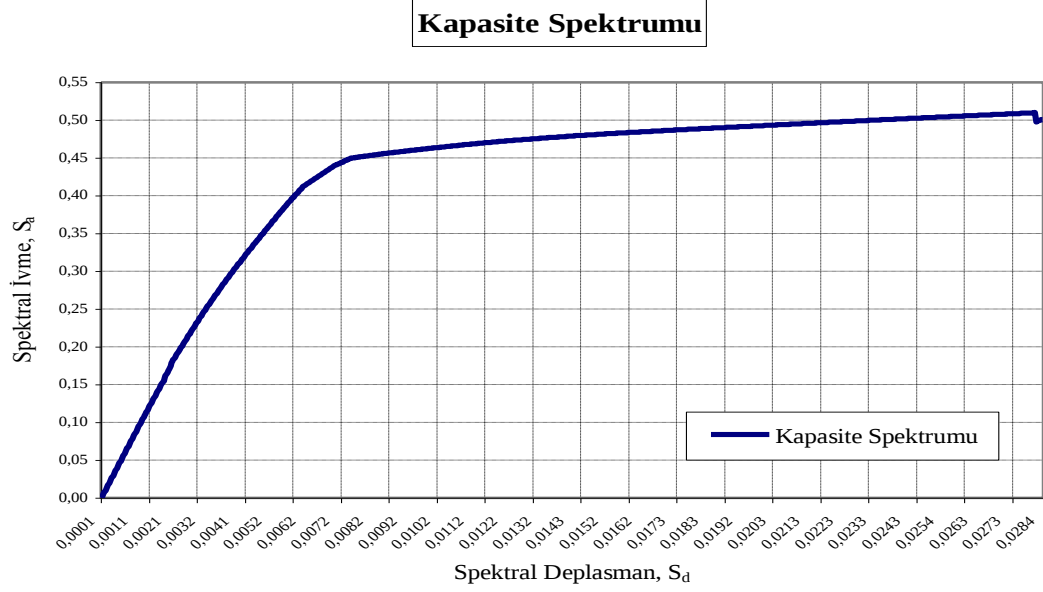
- 2.Adım : Kapasite eğrisinin kapasite spektrumuna dönüştürülmesi işlemi Bölüm 3.2.3.1 ‘de anlatıldığı gibi Denklem (3.3) ve (3.4) sonucunda bulunan katsayılar yardımıyla yapılır. Denklemlerde kullanılacak Φy_i değerleri modal analiz sonucunda elde edilen değerlerdir.

$$\Gamma_1 = 51,8502$$

$$\alpha_1 = 0,70855$$

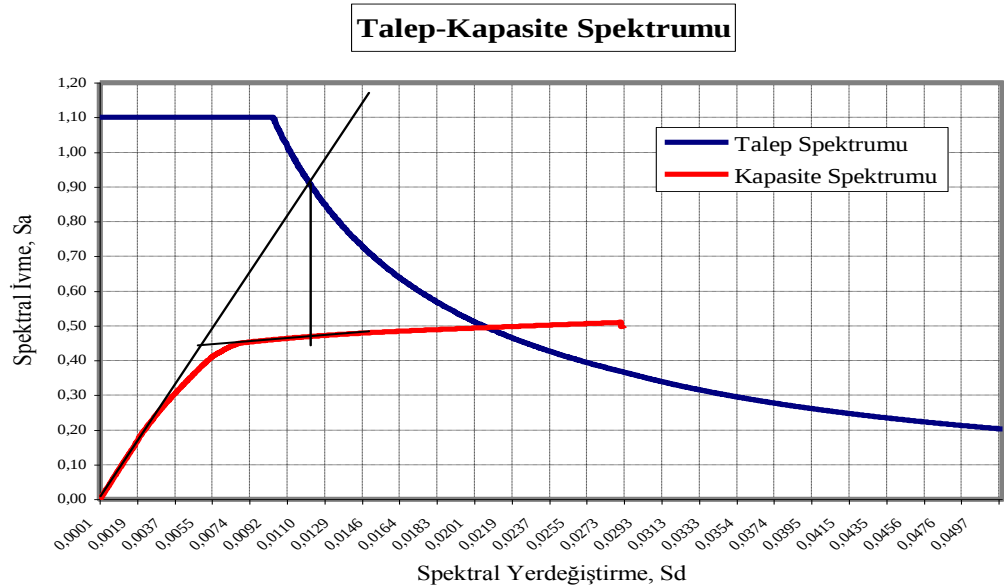
Bu katsayılar Denklem (3.5) ve (3.6) ‘da kullanılarak yatay kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi, kapasite spektrumuna dönüştürülür. Hesaplamalarla bulunan değerler yardımıyla çizilen kapasite spektrumu Şekli 5.28 ‘de gösterilmiştir.

- 3.Adım : Kapasite spektrumu ile talep spektrumu aynı grafik üzerinde Şekil 5.29 ‘da gösterildiği gibi üst üste çizilmiştir. Kapasite spektrumunun doğrusal olan kısmı uzatılmış ve talep spektrumu ile kesiştirilmiştir. Bu noktanın kapasite spektrumu üzerindeki düşey iz düşümü işaretlenmiş ve koordinatları $S_{api} = 0,469941$, $S_{dpi} = 0,011589$ olarak okunmuştur. Bu nokta kabul edilen başlangıç performans noktasıdır.



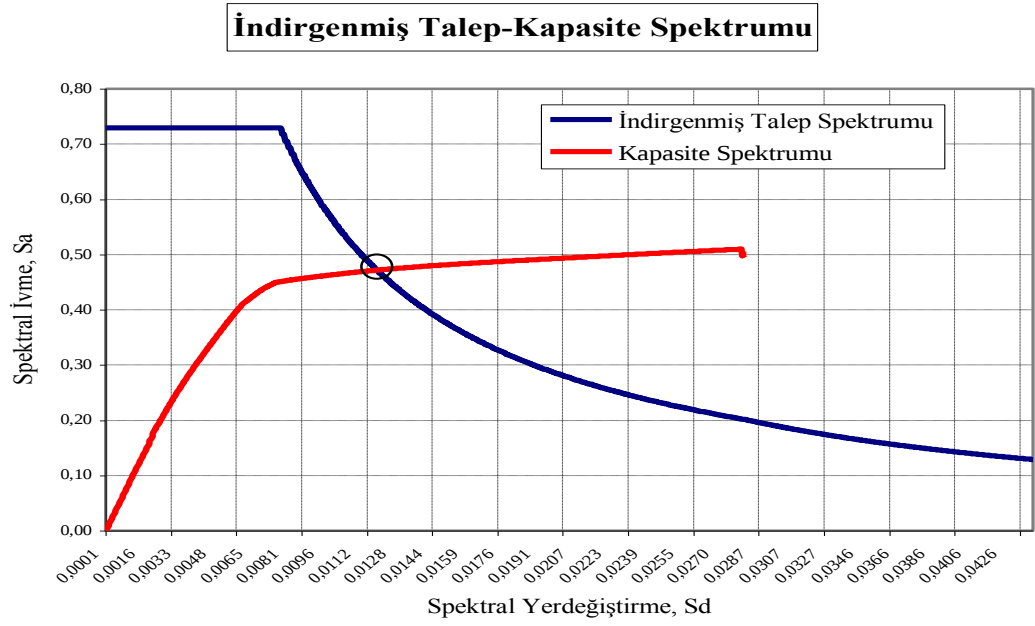
Şekil 5.28 Güçlendirilmiş yapının Y doğrultusundaki kapasite spektrumu

- 4.Adım : Kapasite spektrumu Bölüm 3.2.3.2 ‘de anlatıldığı gibi başlangıç performans noktası ile kapasite spektrumun doğrusal kısmından uzatılan doğru alanlar eşit olacak şekilde birleştirilir. Bu noktanın koordinatları $S_{ay} = 0,42388$ $S_{dy} = 0,00541$ olarak okunmuş ve kırıklı kapasite spektrumu Şekil 5.29 ‘da gösterilmiştir.



Şekil 5.29 Güçlendirilmiş yapının Y doğrultusundaki başlangıç performans noktası

- 5.Adım : Talep spektrumu indirgenmesi işlemi Bölüm 3.2.3.3 ‘te gösterildiği gibi gerçekleştirilmiştir. Tablo 3.3’den yapı davranışı zayıf mevcut bina ve uzun süreli bir deprem için tanımlanan Tip C olarak seçilmiştir. Tablo 3.4 den sönüm düzeltme katsayısı bu tip binalar için $\kappa = 0.33$ olarak okunmuştur. Denklem (3.13) ‘den $\beta_{eff} = 0,14191$ hesaplanmıştır. Denklem (3.14) ve (3.15) yardımıyla azaltma katsayıları $SR_A = 0,66332$ $SR_V = 0,74087$ olarak hesaplanmıştır. %5 sönümlü talep spektrumunu bu katsayılara indirgenmiş ve Şekil 5.30 ‘da gösterilmiştir.



Şekil 5.30 Güçlendirilmiş yapının Y doğrultusundaki performans noktasının belirlenmesi

- 6.Adım : İndirgenmiş talep spektrumu ve kapasite spektrumu aynı grafik üzerinde çizilerek Şekil 5.30 ‘da gösterilmiştir. Kesişim noktasının koordinatları $S_{ap} = 0.47185$ ve $S_{dp} = 0.012080$ olarak okunur.

$$0.95 \cdot S_{dpi} < S_{dp} < 1.05 \cdot S_{dpi} \rightarrow 0.01101 < 0.012080 < 0.012169$$

5.8 Değişik Malzeme Çeşitlerine Göre Kapasite Değişimi

Örnek yapı inşa edildiği tarih itibarıyla 1975 deprem yönetmeliğine göre tasarımı gerçekleştirilmiştir. Yapıda beton sınıfı BS10 ve çelik sınıfı BÇI kullanıldığı saptanmıştır. Bu bölüm içinde 1998 ve 1975 deprem yönetmeliklerine göre hesaplanan eşdeğer deprem kuvveti, malzeme özellikleri değiştirilerek yapıya uygulanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yapılacak analizler için EPARC programı kullanılmıştır. Beton sınıfı yerine BS14 , beton çeliği yerine BÇIII malzemeleri kullanılarak çeşitli kombinasyonlar oluşturulmuştur. Ayrıca kiriş donatılarında kullanılan $\Phi 12$ donatı yerine, $\Phi 14$ donatı kullanılması hali içinde yapılan hesaplamalar tekrarlanmıştır. 1998 deprem yönetmeliğine göre eşdeğer deprem kuvvetleri Bölüm 5.3.2 'de hesaplanmıştır.

5.8.1 Malzeme Özellikleri

Yeni malzeme bilgileri aşağıda verilmiştir;

- Beton sınıfı : BS14 ($f_{cd} = 14 \text{ Mpa} = 1400 \text{ ton/m}^2$)
- $E_c = 26160 \text{ Mpa} = 2616039 \text{ ton/m}^2$ ($E_c = 3250\sqrt{(f_{cd})+14000}$)
- Betonun birim kısalması $\varepsilon_{cu} = 0.003$
- Çelik sınıfı : BÇIII ($f_{yd} = 4200 \text{ kg/cm}^2 = 42000 \text{ ton/m}^2$)
- Çeliğin birim uzaması $\varepsilon_{su} = 0.01$

5.8.2 1975 Deprem Yönetmeliğine Göre Yatay Yük Hesabı

Yapıya etkiyen statik eşdeğer yatay yükleri toplamı 1975 ABYYHY 'de, [11] ;

$$F = C . W \quad (5.9)$$

denklemini ile hesaplanacaktır. Burada W yapının toplam ağırlığı ve C deprem katsayısıdır ve Denklem (5.10) ile hesaplanır.

$$C = C_o . K . S . I \quad (5.10)$$

Formülde C_o deprem bölge katsayısı, K yapı tipi katsayısı, S yapı dinamik katsayısı (Spektrum katsayısı) ve I yapı önem katsayısıdır.

C_o , değeri yapının dinarda olması ve 1. deprem bölgesine girmesi dolayısıyla 0.10 olarak tanımlanmıştır. K , yapının düktil çerçevelerden ve hafif ve az bölme duvarlardan oluşması dolayısıyla 1,0 olarak seçilmiştir. Yapı dinamik katsayısı S Denklem (5.11) ile hesaplanır.

$$S = \frac{1}{|0,8 + T - T_0|} \quad (5.11)$$

Formülde, T saniye cinsinden yapının birinci normal moduna ait doğal periyodu, T_0 ise zeminin hakim periyodunu göstermektedir. Binanın bulunduğu zemin 4. sınıf zemin cinsine karşılık gelmekte olup zemin hakim periyodu için ortalama değer olarak yönetmelikte 0,80 verilmektedir. Bu formülden bulunan S değeri maksimum 1,0 alınır. S katsayısının hesabında kullanılacak bina doğal periyodu T için Denklem (5.12a) ve (5.12b) den hesaplanan değerlerden elverişsiz olanı kullanılır.

$$T = \frac{0,09.H}{\sqrt{D}} \quad (5.12a)$$

$$T = (0,07 \sim 0,1)N \quad (5.12b)$$

Formüllerde, H binanın temel üst kotundan ölçülen yüksekliği (m), D yatay yükler doğrultusuna paralel doğrultudaki bina genişliği (m) ve N bina temel düzeyi üstündeki kat adedidir.

$$T = \frac{0,09.H}{\sqrt{D}} = \frac{0,09.14}{14,7} = 0,33 \text{ ya da } T = 0,08.5 = 0,40 \text{ olduğundan } T = 0,40 \text{ sn}$$

$$S = \frac{1}{|0,8 + T - T_0|} = \frac{1}{|0,8 + 0,40 - 0,80|} = 2,5 \Rightarrow \text{Maksimum değeri aştığından } S = 1$$

alınır.

Yapı önem katsayısı I ise özel konutlarda 1 olarak tanımlanmıştır. Burada Deprem katsayısı C ;

$$C = C_o \cdot K \cdot S \cdot I = 0,1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,10$$

olarak bulunur.

Bina toplam ağırlığı , $W = 780,9$ t ve statik eşdeğer yatay yüklerin toplamı ;

$$F = C . W = 0,10 . 780,9 = 78,1 \text{ t}$$

Katlara etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin hesaplanması Tablo 5.17 'de gösterilmiştir. Bu durumda 1998 Deprem yönetmeliğine göre yükler $195,226 / 78,1 \cong 2,5$ katı artmıştır.

Tablo 5.17. 1975 ABYYHY göre katlara etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin hesaplanması

i. kat	i. katın yerden yüksekliği (m)	i. katın toplam ağırlığı (t.)	$w_i . H_i$	$F_i = V_t \left[\frac{(w_i . H_i)}{\sum (w_i . H_i)} \right] t.$
Çatı Katı	14	129,52	1813,32	22,586
3. Kat	11,2	158,42	1774,31	22,100
2. Kat	8,4	158,42	1330,73	16,575
1. Kat	5,6	158,42	887,155	11,050
Zemin Katı	2,8	165,67	463,878	5,778
		$\sum w_i . H_i$	6269,393	

5.8.3 Analiz Sonuçları

Yapılan analiz sonuçlarına göre normal sistem için bulunan sonuçlar ve kiriş donatısı olarak $\Phi 12$ yerine $\Phi 14$ kullanılması ve A_s miktarında yapılan %27 artırım sonucu oluşan değerler Tablo 5.18 'de gösterilmiştir. Oluşturulan bu tablolarda yapının labil hale geçene kadar taşıyabildiği taban kesme kuvveti, bu kuvvetin uygulanan eşdeğer deprem kuvvetine olan oranı (yük parametresi), maksimum çatı yerdeğiştirmesi, kirişlerde ve kolonlarda oluşan mafsallık adetleri yapılan malzeme değişikliklerine göre verilmiştir.

6. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında açıklanan konular yardımıyla 5. Bölüm içinde analizi yapılan yapı için elde edilen sonuçlar ve sonuçların değerlendirilmesi aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

1-) Toplam 5 kattan oluşan ve taşıyıcı sistemi sadece betonarme çerçevelerden oluşan yapının EPARC programı analiz sonuçları Tablo 6.1 ‘de gösterilmiştir.

Tablo 6.1 Mevcut yapının EPARC programı analiz sonuçları

Yön	$\Delta_{göçme}$ (m)	$V_{göçme}$ (ton)	$P_{göçme}$	Oluşan Plastik Mafsals Sayısı		
				Kolonlarda	Kirişlerde	Toplam
X	0,019	69,27	0,3548	30	120	150
Y	0,053	47,65	0,2441	31	119	150

2-) Aynı yapının SAP2000 programında analiz edilmesi sonucunda bulunan değerler Tablo 6.2 'de özetlenmiştir.

Tablo 6.2 Mevcut yapının SAP2000 programı analiz sonuçları

Yön	$\Delta_{göçme}$ (m)	$V_{göçme}$ (ton)	$P_{göçme}$	Oluşan Plastik Mafsals Sayısı			
				(B-IO)	(IO-LS)	(LS-CP)	Toplam
X	0,046	82,55	0,43	75	71	38	184
Y	0,035	48,45	0,25	27	63	15	105

B-IO : Hemen Kullanım Seviyesi, IO-LS : Hasar Kontrol Aralığı, LS-CP : Sınırlı Güvenlik Aralığı

3-) Her iki analiz programında alınan sonuçlar karşılaştırıldığında yapının her iki yönde de kapasitesinin çok düşük olduğu görülmektedir. Yapının Y yönündeki kapasitesi X yönüne nazaran daha düşüktür. Fakat sonuçların birebir aynı değildir. Yapılan kıyaslama sonucunda, özellikle yapının nihai tepe yerdeğiştirme değerleri farklılık göstermektedir. X yönü için SAP2000 programı sonucunda bulunandan değer EPARC programı sonucu elde edilen değerden 2,9 cm fazla iken Y yönü için SAP2000 programı sonucunda bulunandan değer EPARC programı sonucu elde edilen değerden 1,8 cm azdır. Göçme anında oluşan taban kesme kuvveti değerleri için Y yönünde her iki programda neredeyse aynı değerler elde edilmiştir. Fakat X yönü için SAP2000 programı değerleri ~%15 oranında fazladır. Bulunan sonuçlar Tablo 6.1 'de gösterilmiştir.

Tablo 6.3 EPARC ve SAP2000 analiz programı sonuç değerlerinin kıyaslanması

Analiz Programı	Yön	$\Delta_{göçme}$ (m)	$V_{göçme}$ (t)	$P_{göçme}$
EPARC	X	0,019	69,27	0.3548
	Y	0,053	47,65	0.2441
SAP2000	X	0,046	82,55	0,43
	Y	0,035	48,45	0,25

4-) Yapının SAP2000 programında analizi sonucunda elde edilen değerler yardımıyla performans noktası hesaplanmaya çalışılmıştır. Her iki yön içinde kapasitenin çok düşük olması nedeniyle talep spektrumunun iki kere indirgenmesine rağmen kapasite spektrumu ile indirgenmiş talep spektrumu çakışmamıştır. Bu nedenle mevcut yapının performans noktası bulunamamıştır. Bu durum yapının performans noktası olarak alt sınır değer olan güç tükenmesi performans seviyesinin de altında bir performans sahip olduğunu göstermektedir.

5-) Bulunan bu değerler sonucunda yapının her iki yönde de güçlendirme yapılmaya ihtiyaç duyulduğu sonucuna varılmıştır. Y yönünde deprem güvenliğinin daha düşük olması nedeniyle EK A donatı detayları gösterilen 3 adet perde bu yönde yerleştirilmiştir. X yönü için 2 adet perde konulması uygun görülmüş ve donatı detaylar EK A da verilen 2 adet perde X yönünde yerleştirilerek sistem düzenlenmiştir. Perdelerin bağlandığı kolonlar mantolanarak perdelerle bir çalışması sağlanmıştır.

Eklenecek perdelerin temellerinin nasıl oluşturulacağı bu tez kapsamında incelenmeyip eski temel düzeninin yeterli geldiği kabul edilmiştir.

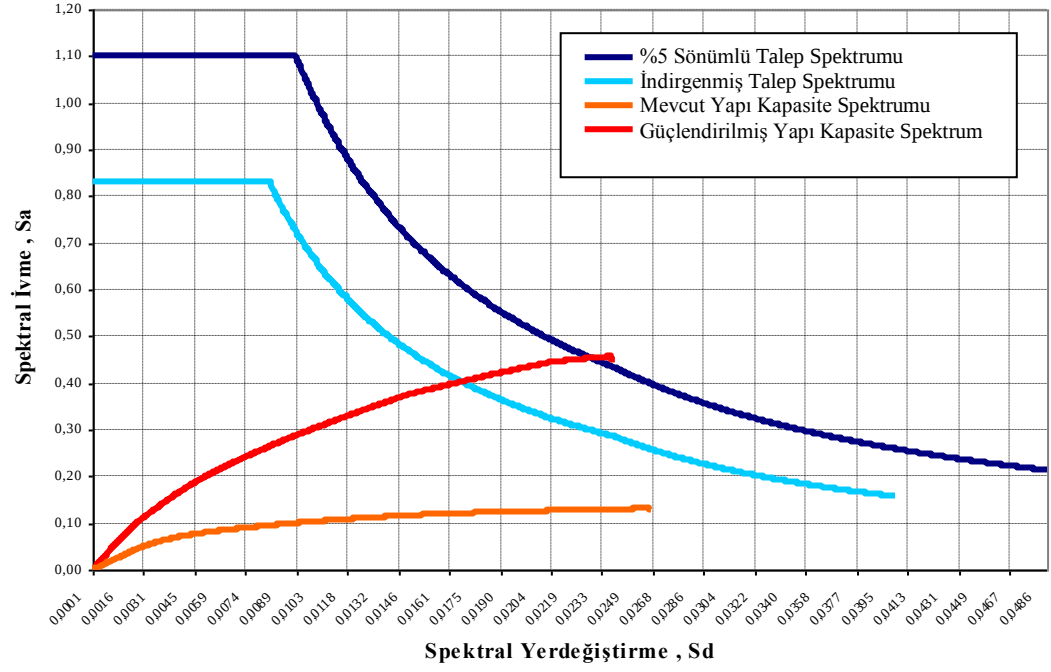
6-) Güçlendirme sonucu sistemin SAP2000 programı yardımıyla yapılan statik itme analizi sonucunda bulunan değerler Tablo 6.4'te gösterilmiştir.

Tablo 6.4 Güçlendirilmiş yapının SAP2000 programı analiz sonuçları

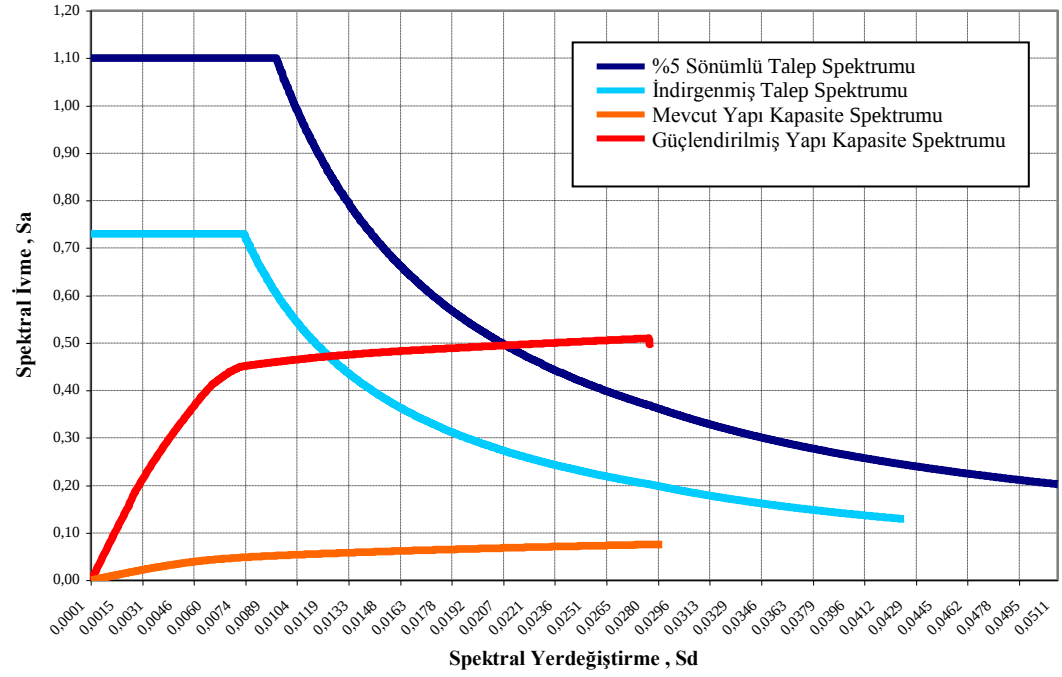
Yön	$\Delta_{göçme}$ (m)	$V_{göçme}$ (ton)	$P_{göçme}$	Oluşan Plastik Mafsals Sayısı			
				(B-IO)	(IO-LS)	(LS-CP)	Toplam
X	0,033	289,71	1,34	110	94	18	222
Y	0,04	311,34	1,44	44	121	37	202
B-IO : Hemen Kullanım Seviyesi, IO-LS : Hasar Kontrol Aralığı, LS-CP : Sınırlı Güvenlik Aralığı							

7-) Güçlendirme sonucunda SAP2000 analiz programı sonuçları kullanılarak performans noktası hesaplanmıştır. X yönü için etkin sönüm oranı $\beta_{eff} \approx \%10.7$ performans noktasının koordinatları $S_{ap}=0.40267$ ve $S_{dp}=0.01698$ olarak okunurmuştur. Y yönü için etkin sönüm oranı $\beta_{eff} \approx \%14.2$ ve performans noktasının koordinatları $S_{ap}=0.47185$ ve $S_{dp}=0.012080$ olarak bulunmuştur.

8-) Mevcut yapının kapasitesinin çok düşük olması nedeniyle performans noktası belirlenememiştir. Güçlendirme sonucunda her iki yönde de zayıf olan yapının, eklenen perdeler ve mantolanan kolonlar yardımıyla deprem güvenliği arttırılmıştır. Yapıya etkiyen yatay deprem kuvveti eklenen perdeler yardımıyla karşılanmaktadır. Güçlendirme sonucu yapının yatay yük parametresinde X yönü için 3.1, Y yönü için 5,7 kat artış olmuştur.



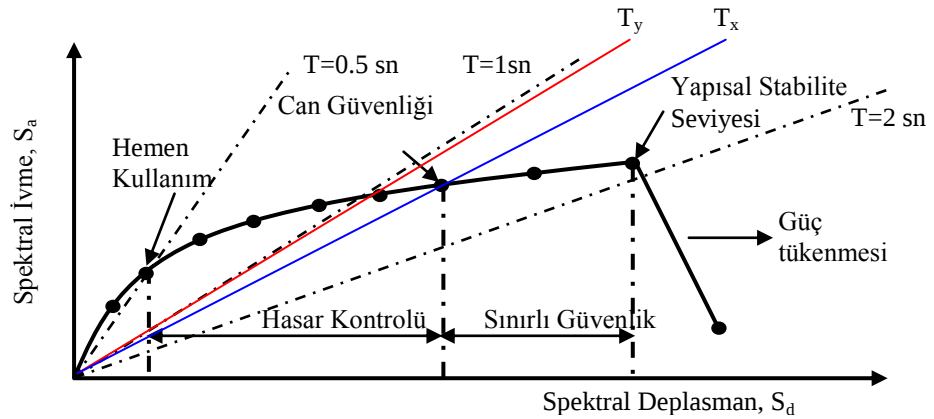
Şekil 6.1 Yapının X yönündeki güçlendirme sonucu kapasite değişimi



Şekil 6.2 Yapının Y yönündeki güçlendirme sonucu kapasite değişimi

Kapasite değişimi şekil 6.1 ve 6.2 de gösterilmiştir. Mevcut yapıda kolonların birçoğunun X yönünde çalışması nedeniyle kat rijitliği bu yönde daha yüksektir. Eklenen yeni perdeler bu yöndeki taşıma gcnu orantılı bir şekilde arttırdığı için kapasite eğrisi düzgün bir şekilde artmıştır. Y yn için yapının dayanma gcnn bulunmaması ve kat rijitliğinin bu yönde çok düşük olması nedeniyle eklenen perdeler gelen kesme kuvvetini karşılayarak kapasite eğrisinin birden artmasını sağlamıştır. Kapasite eğrisinde olan kırılma perdelerde plastik mafsalsın olduğu anı göstermekte daha sonra kolonlardaki g tükenmesi bitene kadar yapı yerdeğiştirme yapmaktadır.

Güçlendirilmiş yapının performans seviyesinin isimlendirilmesinde şekil 6.3 ‘de grlen eğriden faydalanılır. Bulunan performans noktasının koordinatları kullanılarak, $T = 2\pi\sqrt{S_d/S_a}$ formülü yardımıyla $T_x=1.291$ sn ve $T_y=1.006$ sn olarak bulunur. X yn için yapı ‘‘Can Güvenliği’’ performans seviyesindedir. Y yn için ise ‘‘Hasar Kontrolü’’ aralığındadır.



şekil 6.3 Taşıyıcı sistemde kapasite spektrum eğrisi

Taşıyıcı olmayan sistem için can güvenliği performans seviyesinin seçilmesi halinde X ve Y yönleri için oluşan bina performans seviyesi Tablo 6.5 ‘deki gibi bulunur.

- 9-) Tasarımı 1975 yönetmeliğine göre yapılan yapının 1998 yönetmeliğine göre çok düşük bir seviyede olduğu grlmektedir. Tasarım için kullanılacak eşdeğer deprem yükünün yaklaşık 2.5 kat artması nedeniyle yapının mevcut taşıyıcı sistemi yeterli gelmemiştir. Değişik beton ve elik sınıflarının kullanılmasıyla da 1998 yönetmeliğindeki deprem yükü taşınamamıştır. elik

Tablo 6.5 Güçlendirilmiş yapının performans seviyesi

Yapısal olmayan performans seviyeleri	Yapısal performans seviyeleri					
	S-1 Hemen kullanım	S-2 Kontrollü hasar aralığı	S-3 Can güvenliği	S-4 Sınırlı güvenlik aralığı	S-5 Yapısal Stabilitate	S-6 Hasarın göz önüne alınmadığı
N-A Kullanıma devam	1-A Kullanıma devam	2-A	Tavsiye Edilmez	Tavsiye Edilmez	Tavsiye Edilmez	Tavsiye Edilmez
N-B Hemen kullanım	1-B Hemen kullanım	2-B	3-B	Tavsiye Edilmez	Tavsiye Edilmez	Tavsiye Edilmez
N-C Can güvenliği	1-C	2-C	3-C Can güvenliği	4-C	5-C	6-C
N-D Azaltılmış hasar	Tavsiye Edilmez	2-D	3-D	4-D	5-D	6-D
N-E Hasarın göz önüne alınmadığı	Tavsiye Edilmez	Tavsiye Edilmez	3-E	4-E	5-E Yapısal Stabilitate	Uygulanamaz
X Yönü Y yönü						

kalitesinin artmasıyla plastik mafsalların oluşumunda kolonlarda artış olmuştur. Beton kalitesi kapasite üzerinde çeliğe nazaran daha düşük artışlar sağlamıştır.

Bu çalışma kapsamında; örnek yapıya mevcut ve güçlendirilmiş hali için statik itme analizi uygulanarak bulunan sonuçlar yukarda değerlendirilmiştir.

KAYNAKLAR

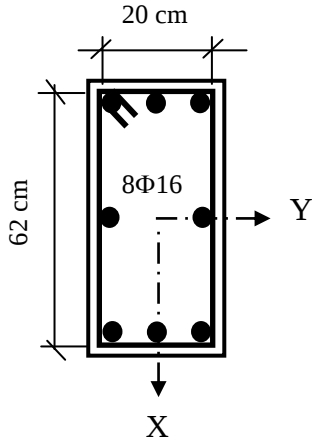
- [1] **Applied Technology Council, ATC -40**, Kasım 1996, Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, V 1 Redwood City, California/USA
- [2] **Federal Emergency Managament Agency, FEMA 273/356**, 1996a, Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, V 1 Redwood City, California/USA
- [3] **Celep, Z. Ve Kumbasar, N.**, 2004, Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta Dağıtım, İstanbul
- [4] **Celep, Z. ve Kumbasar, N.**, 1998, Betonarme Yapılar, Beta Dağıtım, İstanbul
- [5] **Celep, Z. ve Kumbasar, N.**, 2001. Yapı Dinamiği, Beta Dağıtım, İstanbul
- [6] **Celep, Z.**, 2001, Deprem Etkisinde Binaların Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesinde Performans Kavramı, Meslek içi Eğitim Semineri, IMO Bursa Şubesi, Aralık
- [7] **1 EKİM 1995 Dinar Depremi Raporu**, 1995, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul
- [8] **TS-498**, 1987, Yapılar hesaplarında kullanılacak yükler, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- [9] **TS-500**, 2000, Betonarme Yapıların hesap ve yapım kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- [10] **Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik**, ABYYHY1997., Bayındırlık Bakanlığı, Ankara
- [11] **Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik**, ABYYHY1975., İmar ve İskan Bakanlığı, Ankara
- [12] **Girgin, K.**, 1996, Betonarme Yapı Sistemlerinde İkinci Mertebe Limit Yükün ve Göçme Güvenliğinin Belirlenmesi İçin Bir Yük Artım Yöntemi, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

EK - A

Tablo A.1 Kolon boyutları

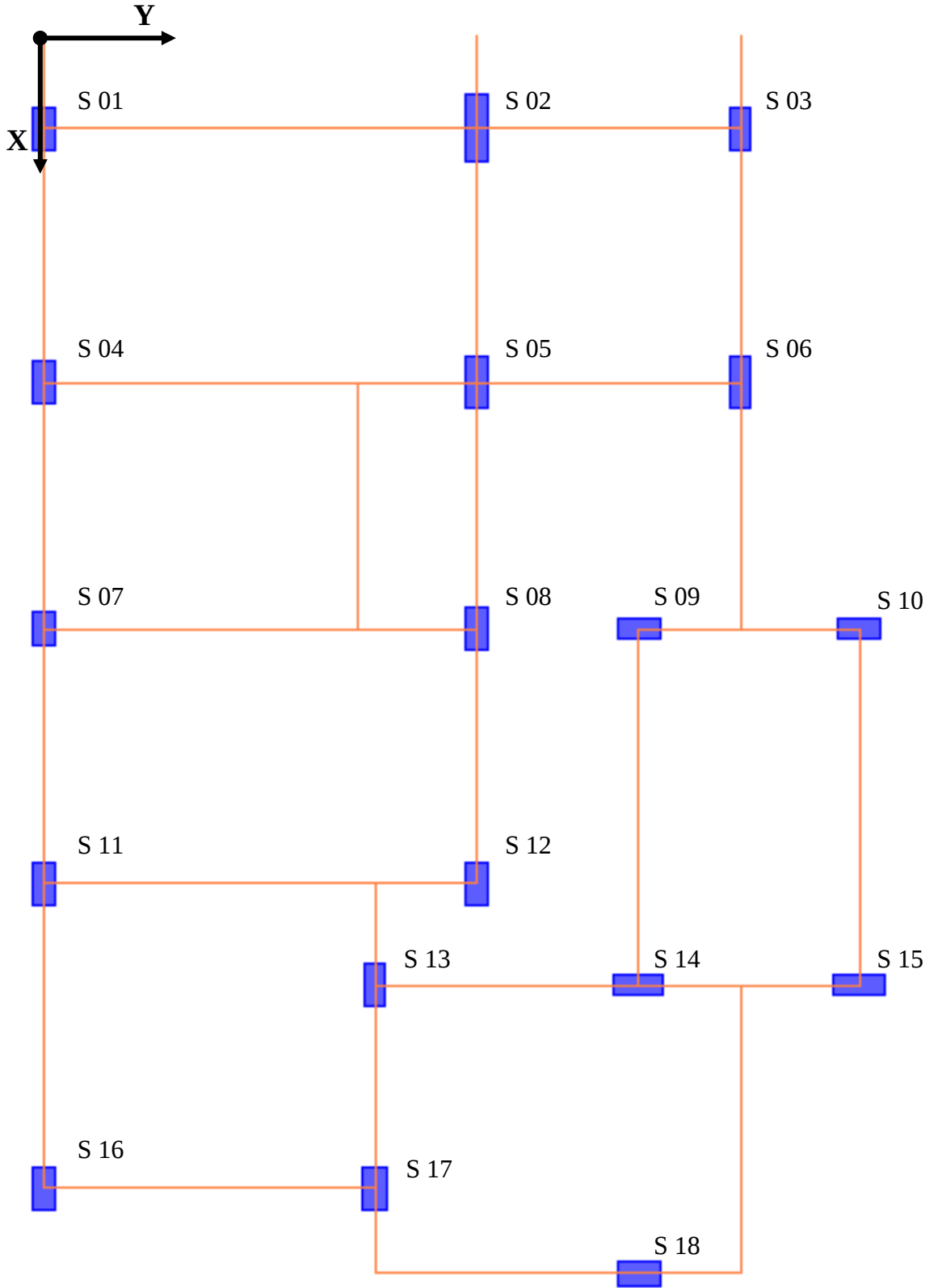
Kolon No	Zemin Kat	Diğer Katlar	Kolon No	Zemin Kat	Diğer Katlar
S01	25 / 60	25 / 50	S11	25 / 60	25 / 50
S02	25 / 80	25 / 80	S12	25 / 60	25 / 50
S03	25 / 60	25 / 50	S13	25 / 60	25 / 50
S04	25 / 60	25 / 50	S14	25 / 70	25 / 60
S05	25 / 70	25 / 60	S15	25 / 70	25 / 60
S06	25 / 70	25 / 60	S16	25 / 60	25 / 50
S07	25 / 50	25 / 40	S17	30 / 60	30 / 50
S08	25 / 50	25 / 50	S18	30 / 60	30 / 50
S09	25 / 50	25 / 50	S19	25 / 60	Yok
S10	25 / 60	25 / 50			

S05 25/70 cm

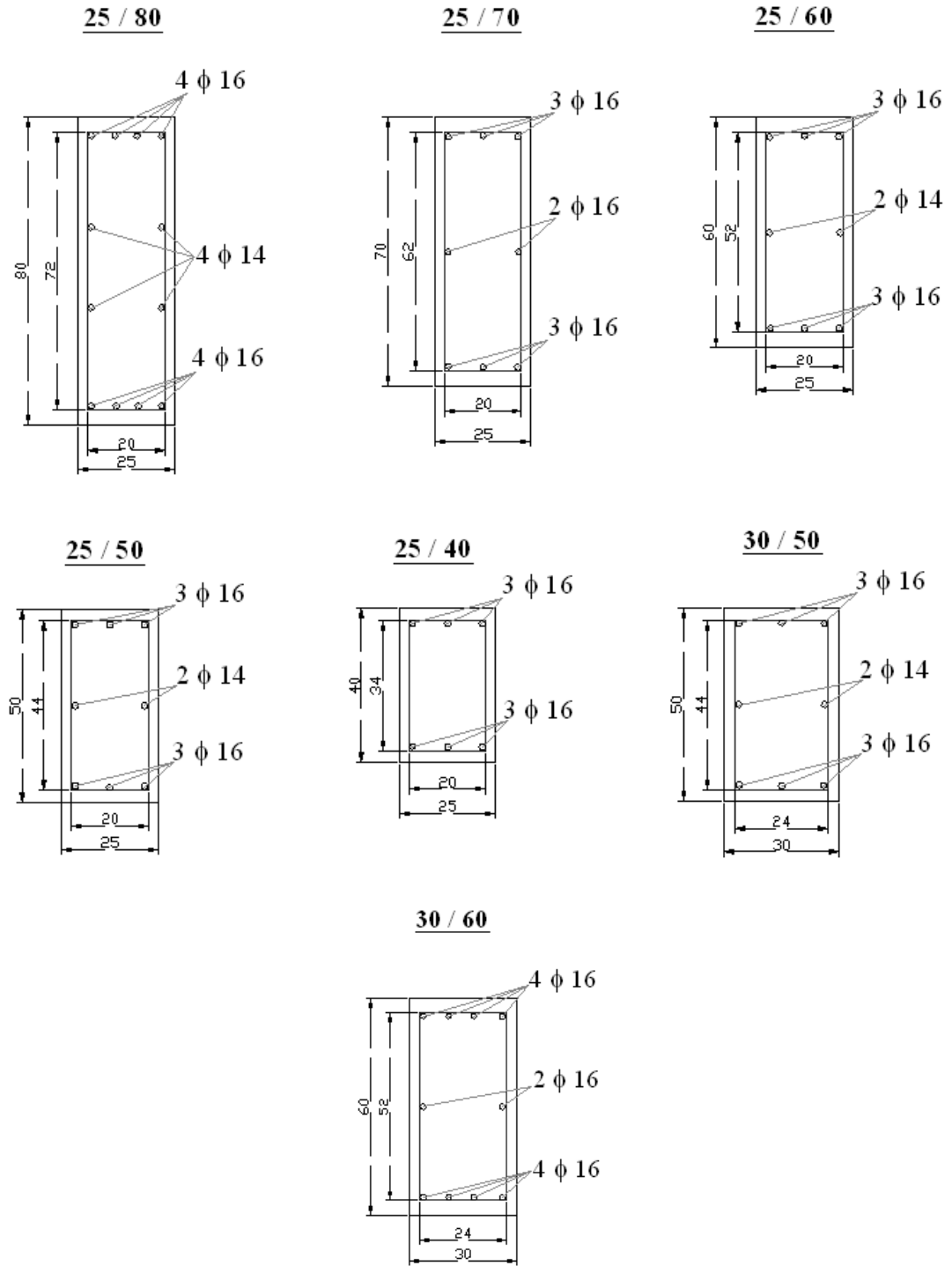


Donatı No:	X (m)	Y (m)
1	-0.310	-0.100
2	-0.310	0
3	-0.310	0.100
4	0	-0.100
5	0	0.100
6	0.310	-0.100
7	0.310	0
8	0.310	0.100
Donatı Alanı (Φ16)=2.01 cm ²		

Şekil A.1 S05 kolonunun donatıları ve yerleşim düzeni



Şekil A.2 Normal yapıda kolonların yerleşim düzeni



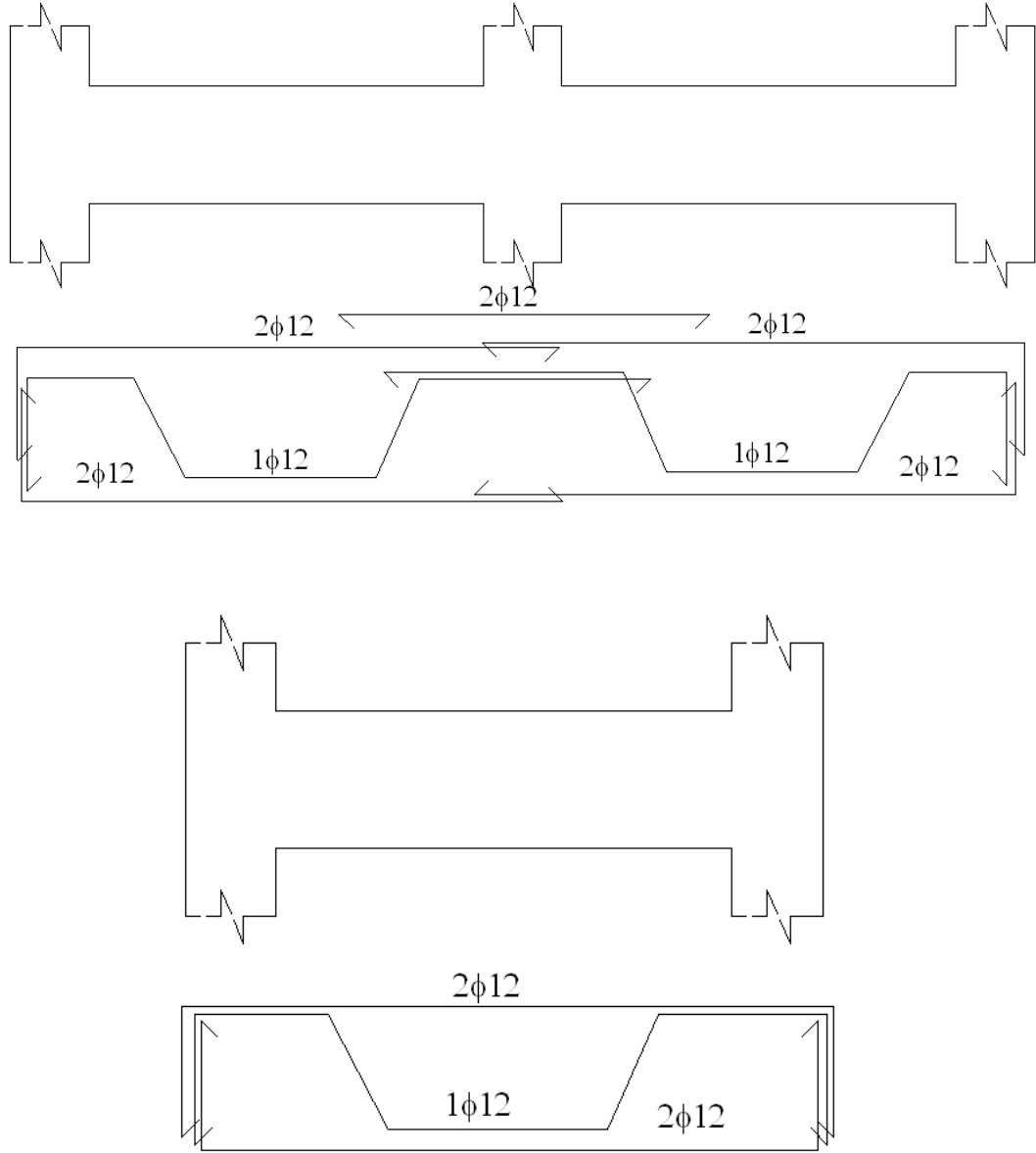
Şekil A.3 Kolonların donatı düzeni ve miktarı

Tablo A.2 Kiriş donatıları

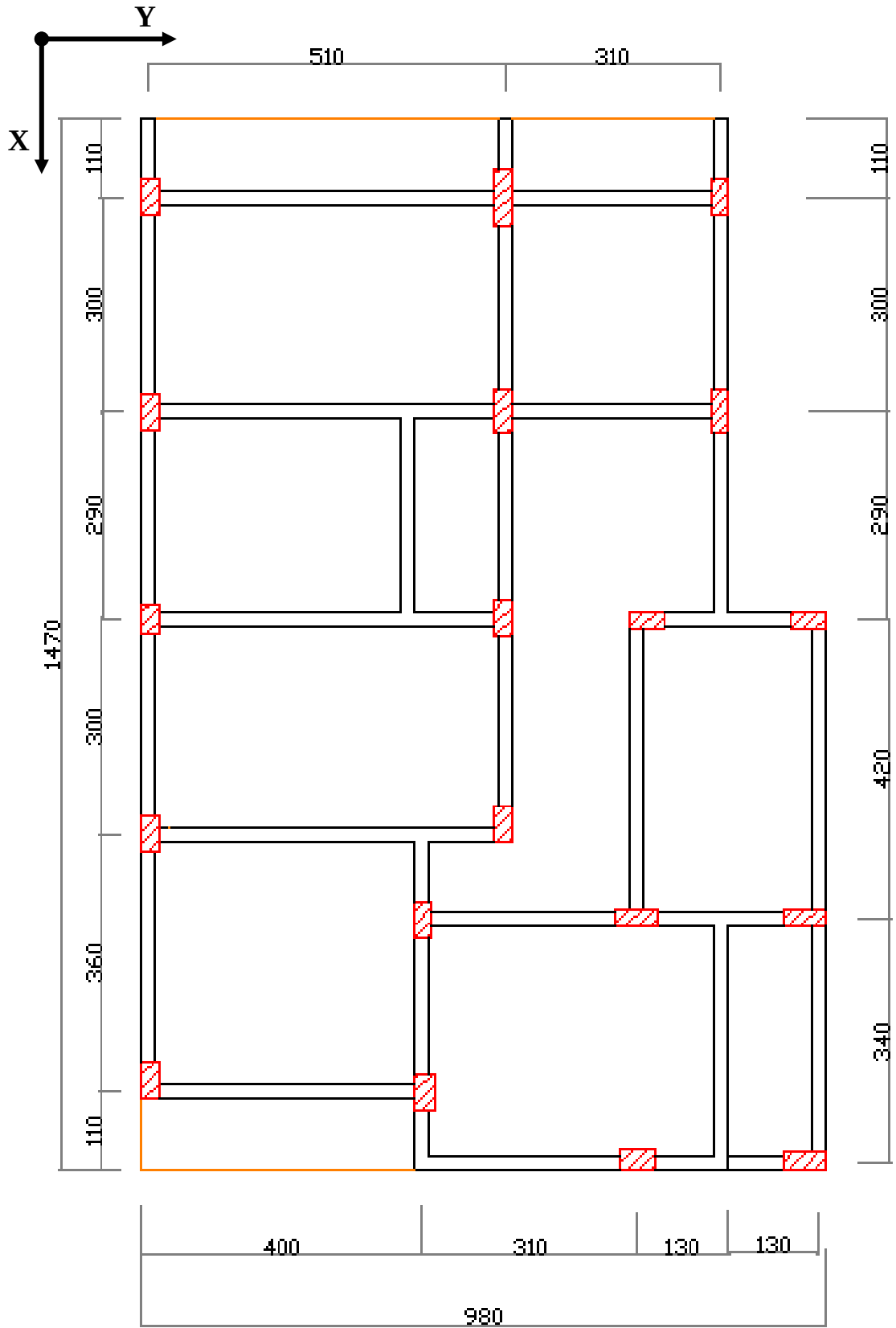
Kiriş Numaraları:	Kullanılan Donatı Çapı Φ	Kirişin Sol Uç Kesiti			Kirişin Orta Kesiti			Kirişin Sağ Uç Kesiti		
		Üst	Alt	Donatı Alanı cm^2	Üst	Alt	Donatı Alanı cm^2	Üst	Alt	Donatı Alanı cm^2
KZ01 (20/60)	12	3	2	5,65	2	3	5,65	5	2	7,92
KZ02 (20/60)	12	5	2	7,92	2	3	5,65	3	2	5,65
KZ03 (20/60)	12	3	2	5,65	2	3	5,65	5	2	7,92
KZ04 (20/60)	12	5	2	7,92	2	3	5,65	5	2	7,92
KZ05 (20/60)	12	5	2	7,92	2	3	5,65	3	2	5,65
KZ06 (20/60)	12	3	2	5,65	2	3	5,65	5	2	7,92
KZ07 (20/60)	12	5	2	7,92	2	3	5,65	3	2	5,65
KZ08 (20/60)	12	3	2	5,65	2	3	5,65	5	2	7,92
KZ09 (20/60)	12	5	2	7,92	2	3	5,65	3	2	5,65
KZ10 (20/60)	12	3	2	5,65	2	3	5,65	5	2	7,92
KZ11 (20/60)	12	5	2	7,92	2	3	5,65	3	2	5,65
KZ12 (20/60)	12	3	2	5,65	2	3	5,65	5	2	7,92
KZ13 (20/60)	12	5	2	7,92	2	3	5,65	5	2	7,92
KZ14 (20/60)	12	5	2	7,92	2	3	5,65	3	2	5,65
KZ15 (20/60)	12	3	2	5,65	2	3	5,65	3	2	5,65
KZ16 (20/60)	12	3	2	5,65	2	3	5,65	5	2	7,92
KZ17 (20/60)	12	5	2	7,92	2	3	5,65	5	2	7,92
KZ18 (20/60)	12	3	2	5,65	2	3	5,65	5	2	7,92
KZ19 (20/60)	12	5	2	7,92	2	3	5,65	5	2	7,92
KZ20 (20/60)	12	5	2	7,92	2	3	5,65	5	2	7,92
KZ21 (20/60)	12	5	2	7,92	2	3	5,65	5	2	7,92
KZ22 (20/60)	12	5	2	7,92	5	2	7,92	5	2	7,92
KZ23 (20/60)	12	3	2	5,65	2	3	5,65	3	2	5,65
KZ24 (20/60)	12	3	2	5,65	2	3	5,65	5	2	7,92
KZ25 (20/60)	12	5	2	7,92	2	3	5,65	5	2	7,92
KZ26 (20/60)	12	5	2	7,92	2	3	5,65	3	2	5,65
KZ27 (20/60)	12	3	2	5,65	2	3	5,65	5	2	7,92
KZ28 (20/60)	12	5	2	7,92	2	3	5,65	5	2	7,92
KZ29 (20/60)	12	5	2	7,92	2	3	5,65	5	2	7,92
KZ30 (20/60)	12	5	2	7,92	5	2	7,92	5	2	7,92
KZ31 (20/60)	12	3	2	5,65	2	3	5,65	3	2	5,65
KZ32 (20/60)	12	3	2	5,65	2	3	5,65	3	2	5,65
KZ33 (20/60)	12	3	2	5,65	2	3	5,65	5	2	7,92
KZ34 (20/60)	12	5	2	7,92	2	3	5,65	5	2	7,92
KZ35 (20/60)	12	5	2	7,92	5	2	7,92	5	2	7,92
KZ36 (20/60)	12	5	2	7,92	2	3	5,65	3	2	5,65
KZ37 (20/60)	12	5	2	7,92	2	3	5,65	3	2	5,65
KZ38 (20/60)	12	3	2	5,65	2	3	5,65	5	2	7,92
K101 (20/60)	12	3	2	5,65	2	3	5,65	5	2	7,92
K102 (20/60)	12	5	2	7,92	2	3	5,65	3	2	5,65
K103 (20/60)	12	3	2	5,65	2	3	5,65	5	2	7,92

K104 (20/60)	12	5	2	7,92	2	3	5,65	5	2	7,92
K105 (20/60)	12	5	2	7,92	2	3	5,65	3	2	5,65
K106 (20/60)	12	3	2	5,65	2	3	5,65	5	2	7,92
K107 (20/60)	12	5	2	7,92	2	3	5,65	3	2	5,65
K108 (20/60)	12	3	2	5,65	2	3	5,65	5	2	7,92
K109 (20/60)	12	5	2	7,92	2	3	5,65	3	2	5,65
K110 (20/60)	12	3	2	5,65	2	3	5,65	5	2	7,92
K111 (20/60)	12	5	2	7,92	2	3	5,65	3	2	5,65
K112 (20/60)	12	3	2	5,65	2	3	5,65	5	2	7,92
K113 (20/60)	12	5	2	7,92	2	3	5,65	5	2	7,92
K114 (20/60)	12	5	2	7,92	2	3	5,65	3	2	5,65
K115 (20/60)	12	3	2	5,65	2	3	5,65	3	2	5,65
K116 (20/60)	12	3	2	5,65	2	3	5,65	5	2	7,92
K117 (20/60)	12	5	2	7,92	2	3	5,65	3	2	5,65
K118 (20/60)	12	3	2	5,65	2	3	5,65	5	2	7,92
K119 (20/60)	12	5	2	7,92	2	3	5,65	5	2	7,92
K120 (20/60)	12	5	2	7,92	2	3	5,65	5	2	7,92
K121 (20/60)	12	5	2	7,92	2	3	5,65	5	2	7,92
K122 (20/60)	12	5	2	7,92	5	2	7,92	5	2	7,92
K123 (20/60)	12	3	2	5,65	2	3	5,65	3	2	5,65
K124 (20/60)	12	3	2	5,65	2	3	5,65	5	2	7,92
K125 (20/60)	12	5	2	7,92	2	3	5,65	5	2	7,92
K126 (20/60)	12	5	2	7,92	2	3	5,65	3	2	5,65
K127 (20/60)	12	3	2	5,65	2	3	5,65	5	2	7,92
K128 (20/60)	12	5	2	7,92	2	3	5,65	5	2	7,92
K129 (20/60)	12	5	2	7,92	2	3	5,65	5	2	7,92
K130 (20/60)	12	5	2	7,92	5	2	7,92	5	2	7,92
K131 (20/60)	12	3	2	5,65	2	3	5,65	3	2	5,65
K132 (20/60)	12	3	2	5,65	2	3	5,65	3	2	5,65
K133 (20/60)	12	3	2	5,65	2	3	5,65	5	2	7,92
K134 (20/60)	12	5	2	7,92	2	3	5,65	5	2	7,92
K135 (20/60)	12	5	2	7,92	5	2	7,92	5	2	7,92
K136 (20/60)	12	3	2	5,65	2	3	5,65	3	2	5,65

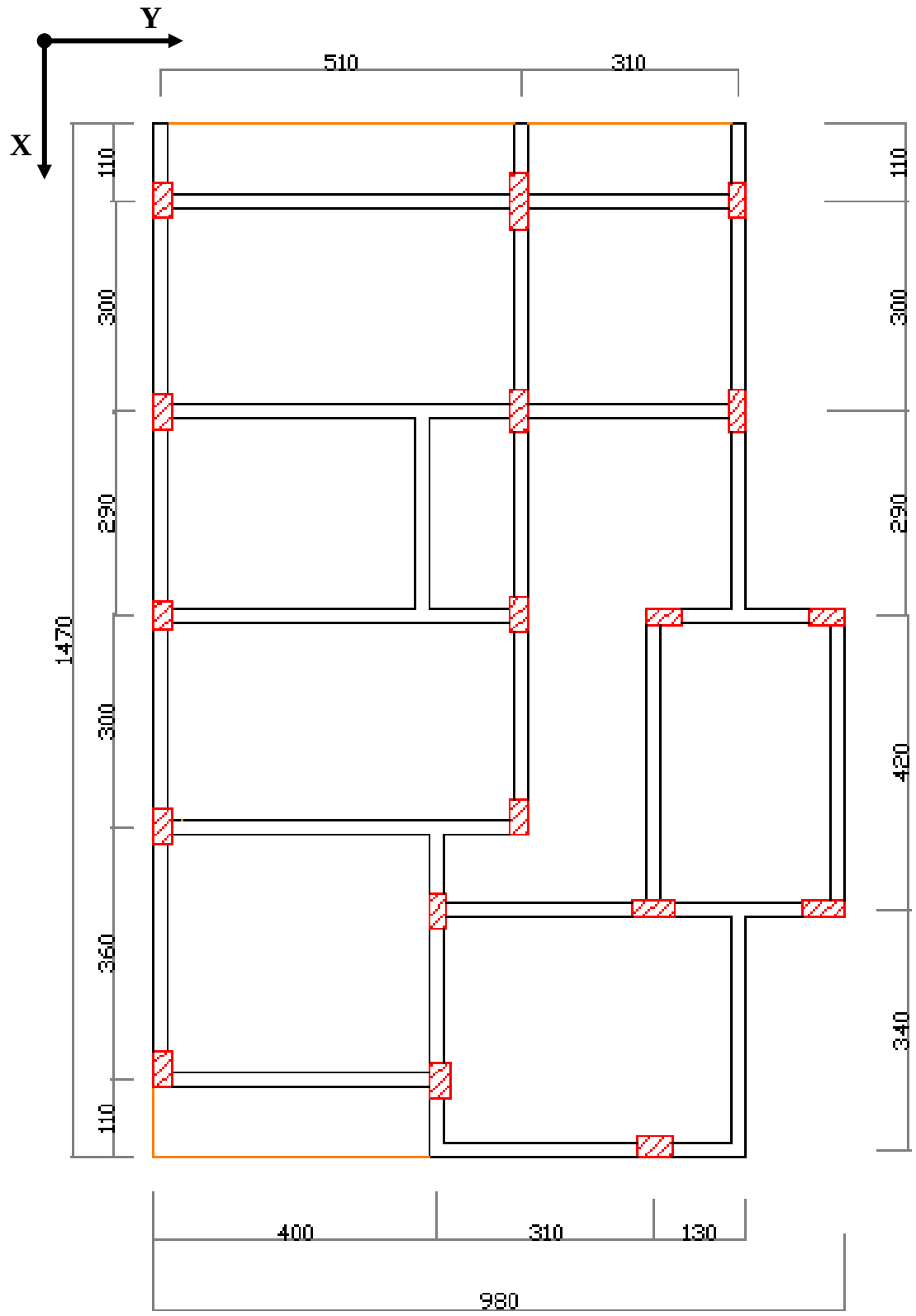
K2,K3 ve K4 kat kirişleri K1 kat kirişleriyle aynı özelliktedirler.



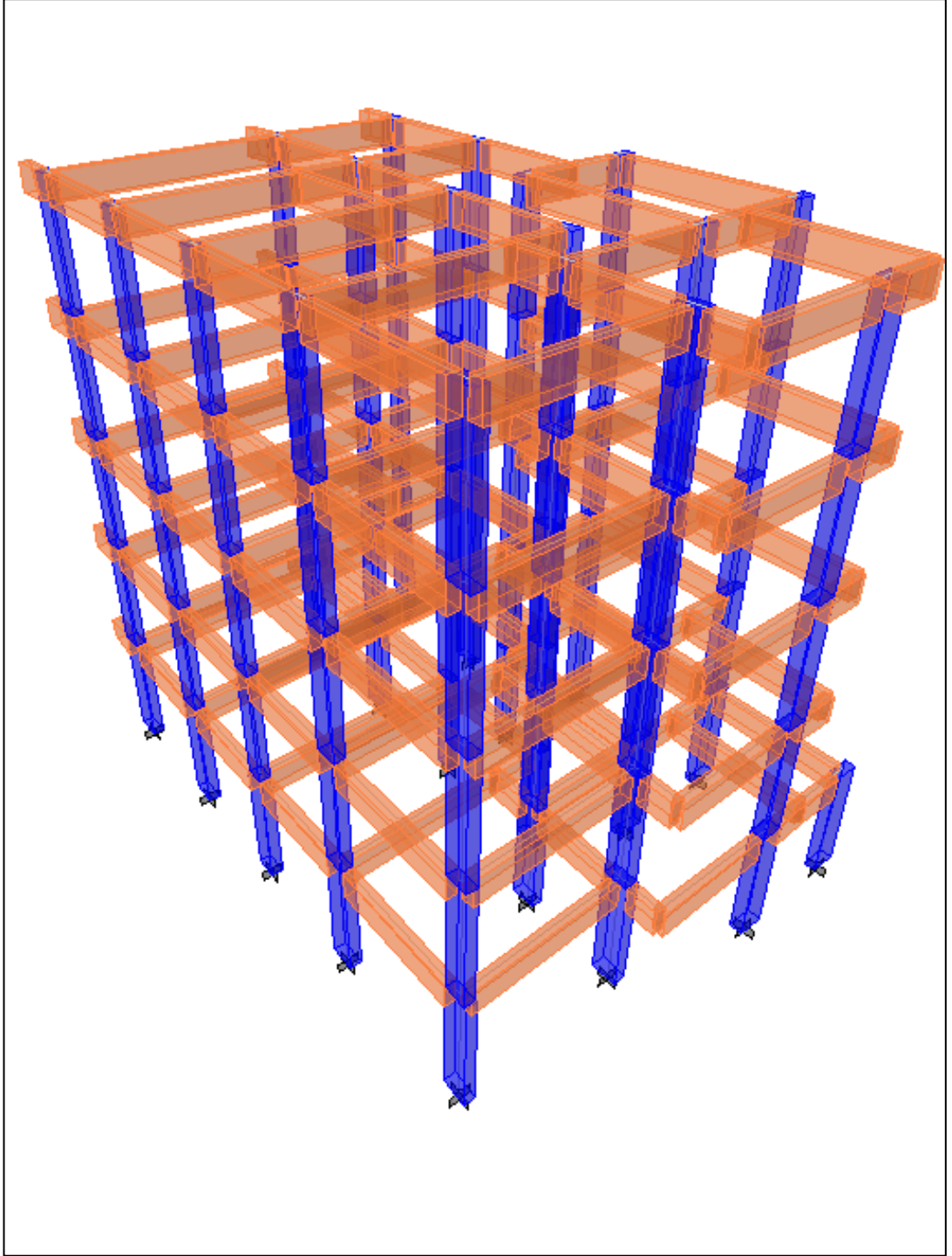
Şekil A.4 Sürekli ve süreksiz kirişlerde örnek donatı düzeni



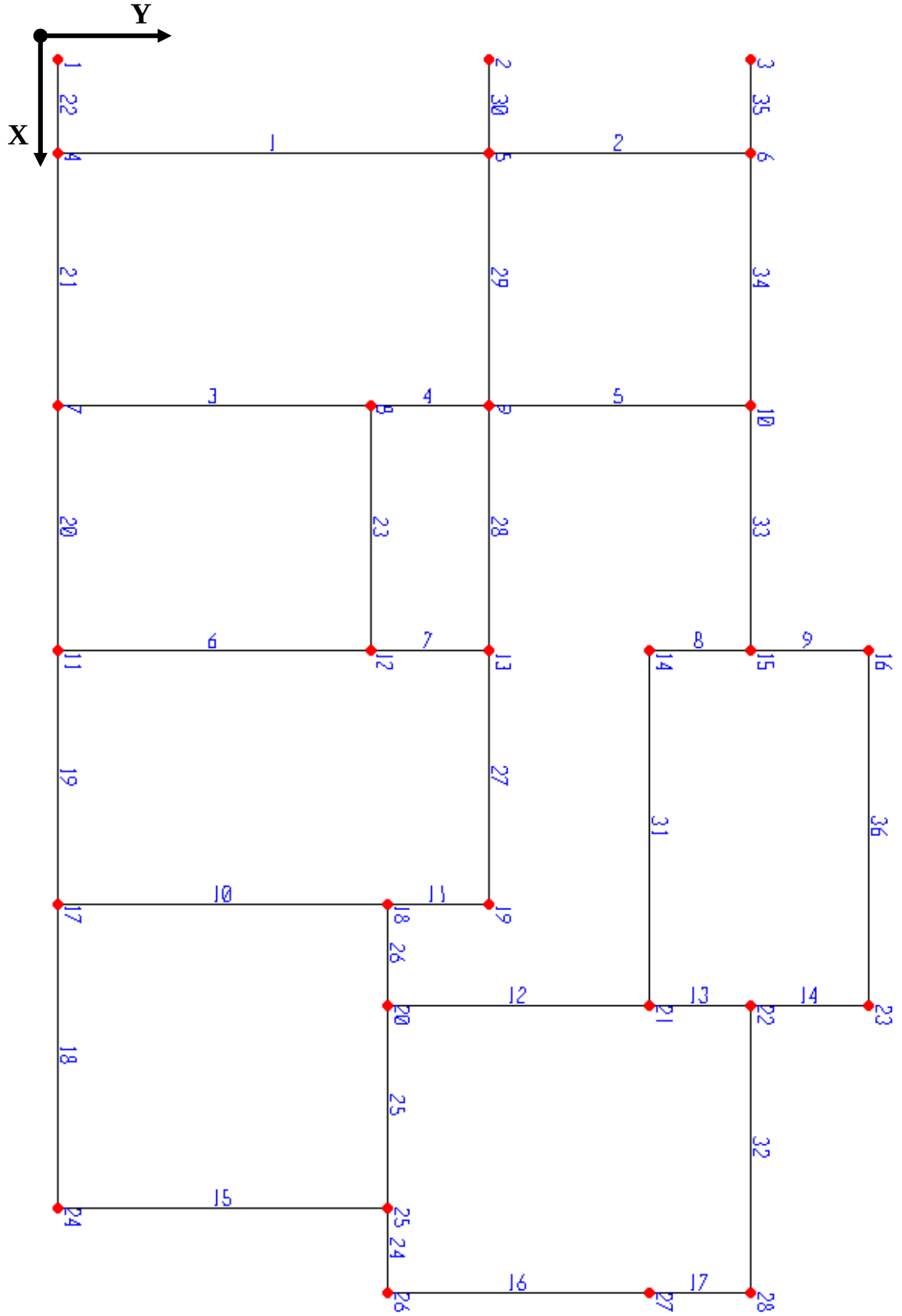
Şekil A.5 Giriş katı planı



Şekil A.6 Normal kat planı

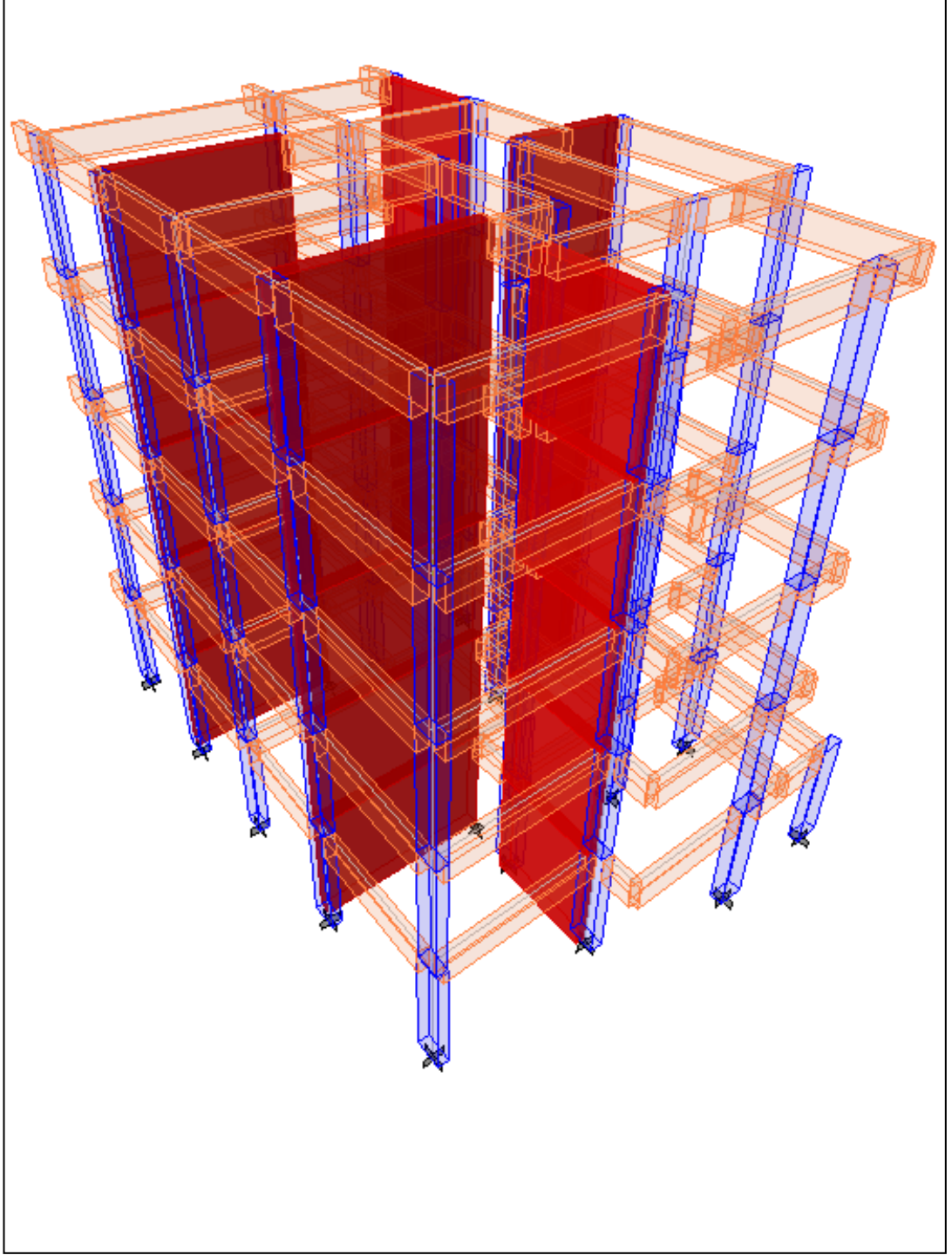


Şekil A.7 Yapının üç boyutlu görünümü

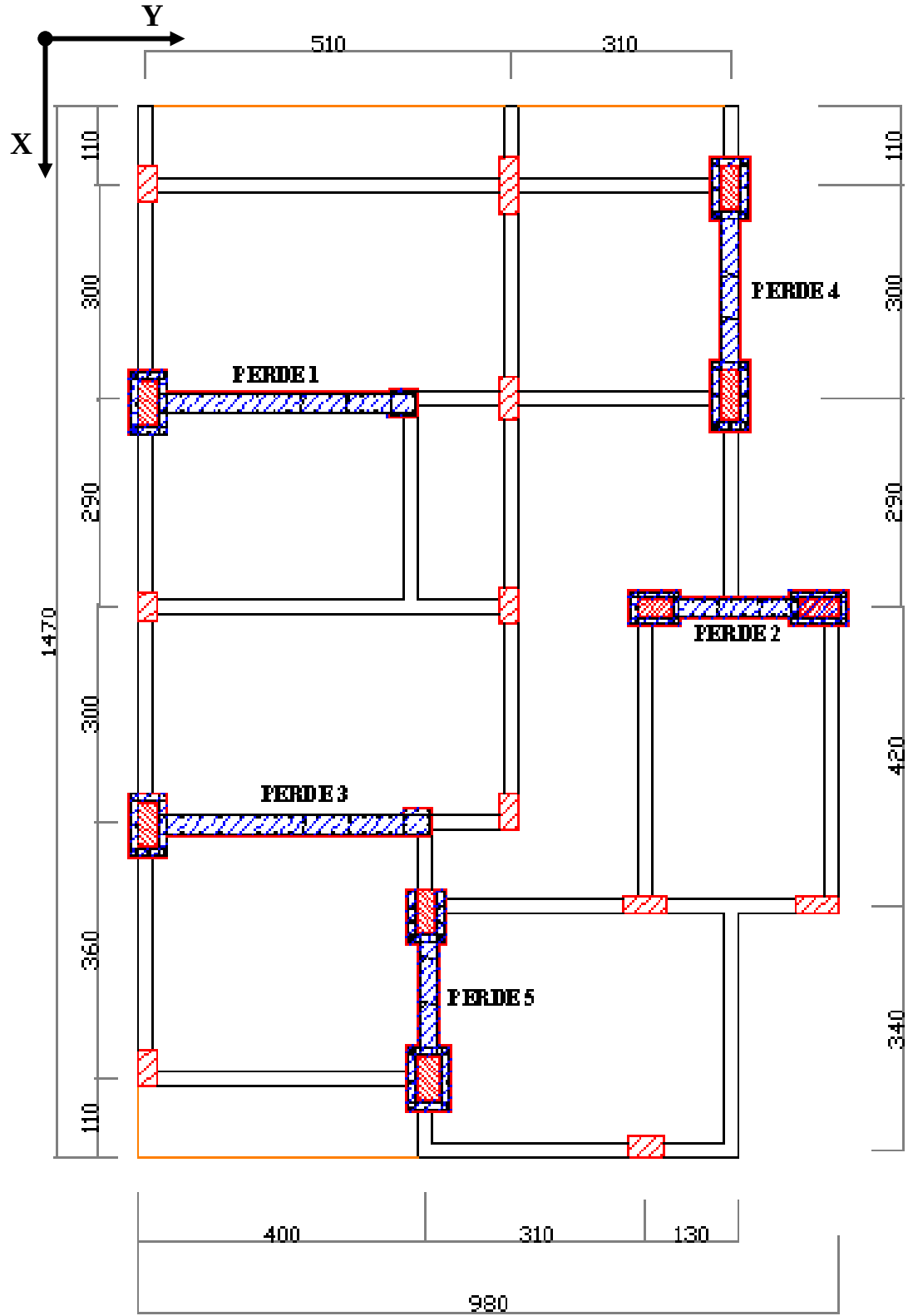


Şekil A.8 4.Normal kata ait eleman ve düğüm numaraları

EK - B

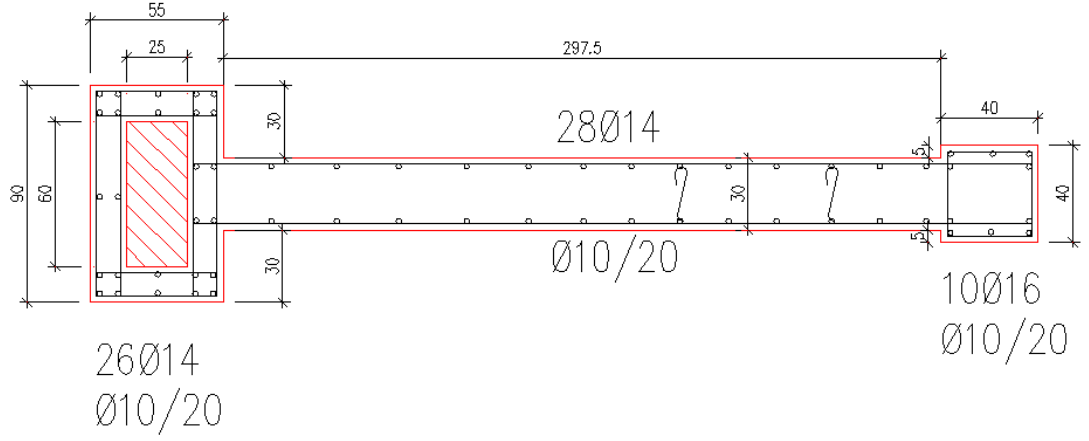


Şekil B.1 Güçlendirilmiş yapının üç boyutlu görüntüsü

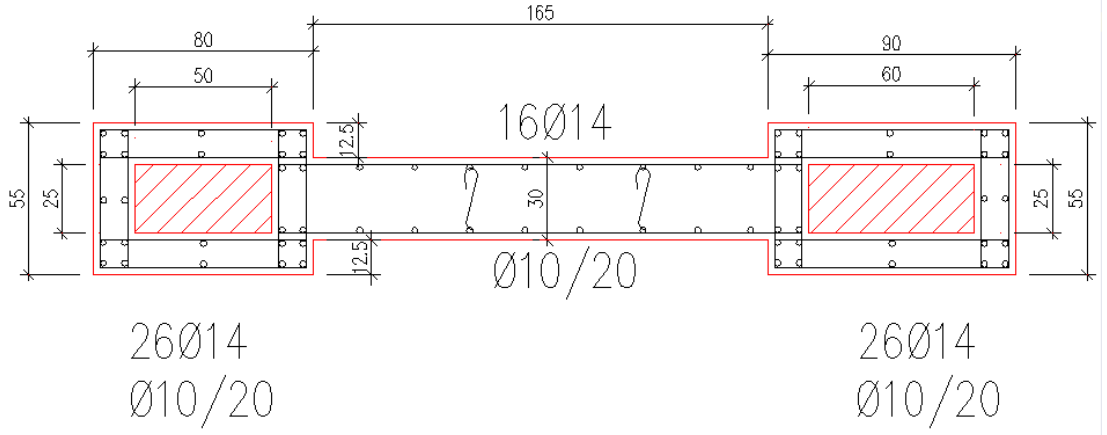


Şekil B.2 Güçlendirilmiş yapının normal kat planı

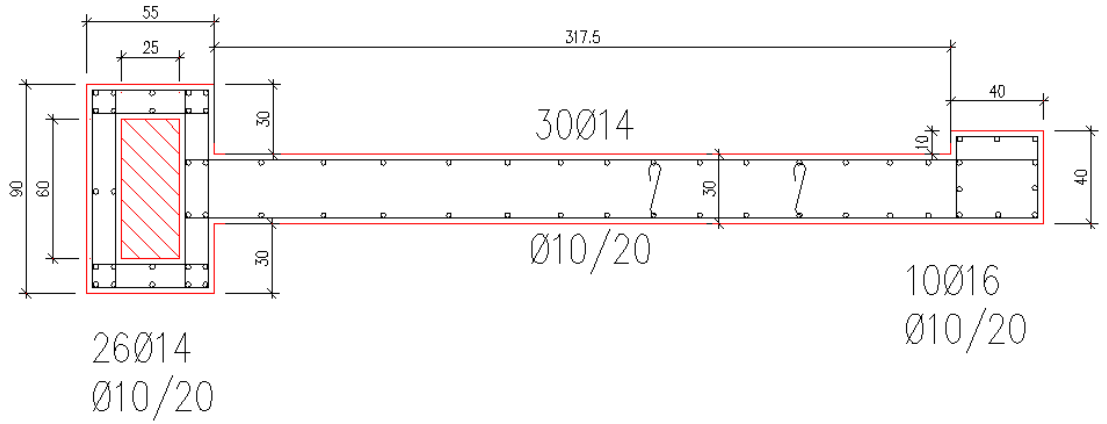
Perde 1



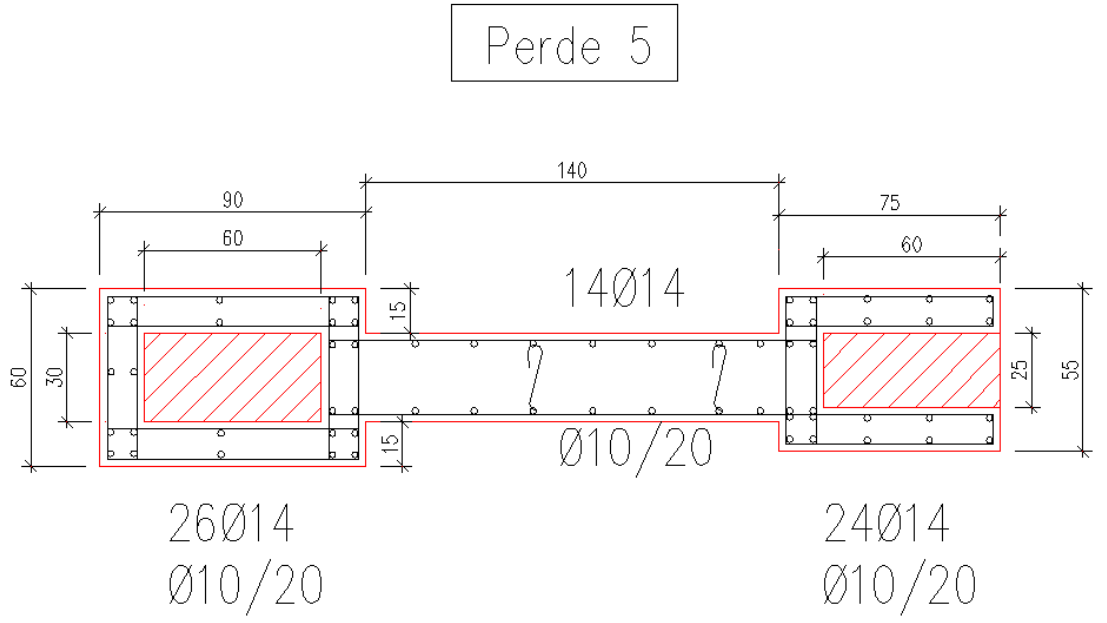
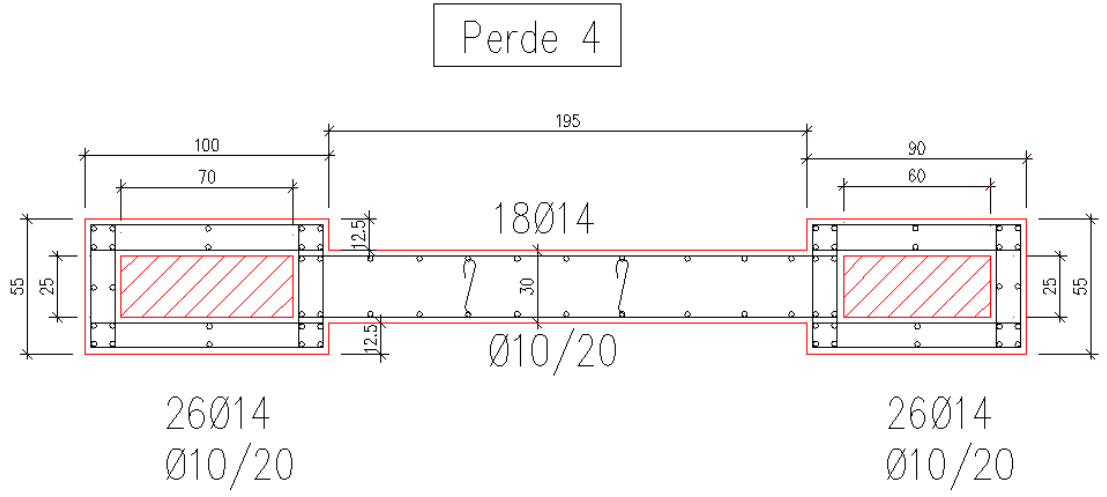
Perde 2



Perde 3



Şekil B.3 Güçlendirilmiş yapıda Y doğrultusunda kullanılan perdelerin ölçüleri ve donatı düzeni



Şekil B.4 Güçlendirilmiş yapıda X doğrultusunda kullanılan perdelerin ölçüleri ve donatı düzeni

ÖZGEÇMİŞ

Ümit KILIÇ, 1979 yılında İstanbul’da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini İstanbul’da tamamladı. 1996 yılında 50. Yıl Avcılar İnsa Lisesi’nden mezun oldu ve aynı yıl İstanbul Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nde üniversite hayatına adım attı. Mezun olduğu 2000 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi’nde İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Mühendisliği yüksek lisans programında eğitimine devam etti.