

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**STATİK İTME (PUSHOVER) YÖNTEMİYLE
MEVCUT BİR YAPININ GÜVENLİĞİNİN
BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Deniz CAN**

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : YAPI MÜHENDİSLİĞİ

KASIM 2005

**STATİK İTME (PUSHOVER) YÖNTEMİYLE
MEVCUT BİR YAPININ GÜVENLİĞİNİN
BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Deniz CAN
(501011106)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24 Kasım 2005
Tezin Savunulduğu Tarih : 28 Kasım 2005**

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Melike ALTAN

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

Doç. Dr. Mustafa ZORBOZAN (Y.T.Ü.)

KASIM 2005

ÖNSÖZ

Bilindiği gibi ülkemiz aktif bir deprem kuşağında bulunmakta ve çeşitli büyüklükte depremlere yol açan fay hatları üzerinde konumlanmıştır. Son yıllarda meydana gelen şiddetli depremler ülkemizde çok sayıda can ve mal kaybına neden olmuş, maddi ve manevi önemli zararlar meydana getirmiştir. Ortaya çıkan bu tablo mevcut binaların güvenilirliği konusunda önemli kuşuklara neden olmuş, binaların depreme dayanıksızlığı, mimar ve mühendislerin deprem konusunda yetersiz bilgi birikimlerine sahip olduğu, projelendirmelerin yetersizliği, işçiliğin kötü olduğu, eksik veya kalitesiz malzeme kullanıldığı, denetimlerin yetersiz olduğu gibi birçok sorunun fark edilmesine neden olmuştur.

Gelecekte de deprem oluşumunun kaçınılmaz olacağı düşünülerek bu depremleri mümkün olan en az hasarla atlatabilmek için belirtilen yetersizlikleri minimuma indirmek gerekmektedir. Bu amaçla mevcut binaları depreme dayanıklı hale getirmek için yapılacak güçlendirme çalışmalarında ve bina yapılmadan önce projelendirme sırasında verimli analizler yapabilmek için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Gelişen teknolojinin de yardımıyla bilgisayar destekli etkin analizler yapabilmek mümkün hale gelmiştir.

Bu çalışmada, geliştirilen yöntemlere değinilmiş, bu yöntemlerden “Statik İtme Analizi” ayrıntılı olarak anlatılmaya çalışılmıştır. Buna ek olarak, 1975 Deprem Yönetmeliği şartlarına göre yapılmış mevcut bir 3 katlı betonarme yapı ayrıntılı olarak analiz edilerek bu yöntem uygulamalı olarak anlatılmaya çalışılmıştır.

Tez çalışmam süresince her konuda desteğini benden esirgemeyen, bu çalışmanın ortaya çıkmasını sağlayan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Melike ALTAN’a sonsuz teşekkürü bir borç bilirim.

Kasım 2005

Deniz CAN

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	vi
TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
SEMBOL LİSTESİ	xii
ÖZET	xiv
SUMMARY	xv
1. GİRİŞ	1
2. PERFORMANS KAVRAMI	5
2.1 Giriş	5
2.2 Performans Seviyeleri	6
2.2.1 Yapısal performans seviyeleri ve aralıkları	7
2.2.2 Yapısal olmayan performans seviyeleri	9
2.2.3 Bina performans seviyeleri	11
2.3 Deprem Hareketi	12
2.4 Performans Amaçları	14
2.4.1 Performans amaçları ve sınıflandırılması	14
2.4.2 Performans amaçları	15
2.4.3 Temel güvenlik performans amacı	16
2.4.4 Diğer performans amaçları	17
2.5 Performans Amaçlarının Kararlaştırılması	18
2.5.1 Başlangıç performans amacı	18
2.5.2 Son performans amacı	18
3. LİNEER OLMAYAN STATİK İTME ANALİZİ (PUSHOVER ANALİZİ)	19
3.1 Giriş	19
3.2 Basitleştirilmiş Lineer Olmayan Analiz Yöntemleri	22
3.2.1 Kapasitenin belirlenmesi için adım adım işlemler	23
3.2.2 Talep spektrumunun belirlenmesi için kullanılan yöntemler	26
3.2.3 Kapasite spektrum yöntemi kullanılarak sismik talebin hesaplanması	27
3.2.3.1 Kapasite eğrisinin kapasite spektrumuna dönüştürülmesi	28
3.2.3.2 Kapasite spektrumunun kırıklı hale getirilmesi	31
3.2.3.3 %5 sönümlü talep spektrumun oluşturulması	32
3.2.3.4 Sönümün tahmini ve %5 sönümlü talep spektrumun indirgenmesi	35
3.2.4 Performans noktasının hesaplanması	38

3.2.4.1 Kapasite ve talep spektrumlarının kesişmesi	38
3.2.4.2 Yöntem A kullanılarak performans noktasının hesaplanması	40
4. KULLANILAN ANALİZ PROGRAMLARI	43
4.1 Giriş	43
4.2 EPARC (Betonarme Yapıların Elasto-Plastik Analizi)	43
4.2.1 Programın kullandığı hesap yöntemi ve adımları	43
4.2.2 EPARC bilgisayar programının dayandığı kabuller	44
4.2.3 EPARC programı ve bileşenleri	46
4.2.3.1 Help200 programı	46
4.2.3.2 Eparcs programı	47
4.2.3.3 Check programı	48
4.3 SAP 2000 Nonlinear	49
5.MEVCUT BİR BETONARME BİNANIN BİLGİSAYAR ORTAMINDA ANALİZİ	51
5.1 Giriş	51
5.2 Yapı Bilgileri	51
5.2.1 Genel yapı bilgileri	51
5.2.2 Kiriş ve kolon özellikleri	53
5.3 Yapıya Etki Eden Yükler	54
5.3.1 Düşey yükler	54
5.3.1.1 Sabit yükler	54
5.3.1.2 Hareketli yükler	55
5.3.1.3 Düşey yüklerin hesaplanması ve tanıtılması	55
5.3.2 Yatay yükler	56
5.4 EPARC Analiz Programı ile Yapı Deprem Güvenliği Tahkiki	59
5.4.1 EPARC giriş veri dosyasının hazırlanması	59
5.4.1.1 Yapıya ait genel bilgilerin tanımlanması	59
5.4.1.2 Yapıya ait geometrik bilgilerin tanımlanması	60
5.4.1.3 Kesit özelliklerinin tanımlanması	60
5.4.1.4 Yüklerin tanımlanması	61
5.4.1.5 Donatıların tanımlanması	61
5.4.2 EPARC analiz sonuçları	61
5.4.2.1 X yönü için analiz sonuçları	61
5.4.2.2 Y yönü için analiz sonuçları	63
5.4.2.3 Analiz sonuçlarının değerlendirilmesi	64
5.5 SAP2000 Programı ile Analiz	65

5.5.1 Modellenmiş yapı özelliklerinin SAP 2000'e aktarılması ve analiz yapılması	65
5.5.2 SAP2000 analiz sonuçları	66
5.5.2.1 X yönü	66
5.5.2.2 Y yönü	68
5.6 Performans Noktasının Bulunması	69
5.6.1 Yapının X yönüne ait performans noktasının hesaplanması	69
5.6.2 Yapının Y yönüne ait performans noktasının hesaplanması	73
5.7 Yapının Güçlendirilmesi ve Güçlendirilmiş Yapının Analizi	78
5.7.1 Giriş	78
5.7.2 Güçlendirilmiş yapının kat kütlelerinin ve ağırlıklarının hesabı	78
5.7.3 Güçlendirilmiş yapıda eşdeğer yatay deprem yükü hesabı	79
5.7.4 Güçlendirilmiş yapının modal analizi	80
5.7.5 Güçlendirilmiş yapıya ait SAP 2000 analizi sonuçları	81
5.7.5.1 X yönü	81
5.7.5.2 Y yönü	83
5.7.6 Performans noktasının bulunması	84
5.7.6.1 Yapının X yönüne ait performans noktasının hesaplanması	84
5.7.6.2 Yapının Y yönüne ait performans noktasının hesaplanması	88
6. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	94
KAYNAKLAR	100
EKLER	101
ÖZGEÇMİŞ	116

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 (Yapısal ve yapısal olmayan performans değerleri).....	7
Tablo 2.2: Yapısal performans seviye ve aralıkları.....	9
Tablo 2.3: Yapısal olmayan performans seviyeleri.....	11
Tablo 2.4: Deprem parametreleri.....	13
Tablo 2.5: Performans amaçlarının sınıflandırılması.....	14
Tablo 2.6: Çoklu performans amacı.....	15
Tablo 2.7: Tasarım depreminde can güvenliği performans seviyesi.....	16
Tablo 2.8: Temel güvenlik performans amacı.....	16
Tablo 2.9: Normal binalar için örnek performans amaçları belirlenmesi...	17
Tablo 3.1: Analitik işlemler algoritması.....	21
Tablo 3.2: Performans noktası hesabı için seçilecek yöntem çeşitleri.....	28
Tablo 3.3: Deprem bölge katsayısı Z	32
Tablo 3.4: Zemin sınıflarının tanımı.....	33
Tablo 3.5: Bilinen bir deprem kaynağına olan mesafe katsayısı N_A ve N_V	33
Tablo 3.6: Deprem katsayısı C_A	34
Tablo 3.7: Deprem katsayısı C_V	34
Tablo 3.8: Yapı davranış türü.....	37
Tablo 3.9: Sönüm düzeltme katsayısı κ	37
Tablo 3.10: Spektral azaltma katsayıları SR_A ve SR_V	38
Tablo 3.11: Spektral azaltma katsayıları SR_A ve SR_V 'nin minimum değerleri.....	38
Tablo 5.1: Sabit yüklerden oluşan kat ağırlıkları.....	54
Tablo 5.2: Hareketli yüklerden oluşan kat ağırlıkları.....	56
Tablo 5.3: Toplam bina ağırlığı.....	57
Tablo 5.4: Katlara etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin hesaplanması.....	59
Tablo 5.5: Katlara ait toplam kat ağırlıkları, kat kütleleri ve kütle atalet momentleri.....	65
Tablo 5.6: Yapıya ait doğal titreşim periyotları ve kat ötelenme değerleri.....	66
Tablo 5.7: Toplam bina ağırlığı.....	79
Tablo 5.8: Katlara etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin hesaplanması.....	80
Tablo 5.9: Katlara ait toplam kat ağırlıkları, kat kütleleri ve kütle atalet momentleri.....	80
Tablo 5.10: Güçlendirilmiş yapı doğal titreşim periyotları ve kat ötelenme değerleri.....	81
Tablo 6.1: EPARC programı ile mevcut binanın analiz sonuçları.....	95
Tablo 6.2: SAP 2000 programı ile mevcut binanın analiz sonuçları.....	95

Tablo 6.3:	SAP 2000 programı ile güçlendirilmiş binanın analiz sonuçları	97
Tablo 6.4:	Güçlendirilmiş yapının göçme değerlerinin mevcut yapı göçme değerleri karşısında değişimi.....	97
Tablo 6.5:	Güçlendirilmiş yapı performans seviyesi.....	99
Tablo A.1:	Kiriş boyutları ve kirişlere etkiyen yükler.....	101
Tablo A.2:	Kolon boyutları.....	103
Tablo A.3:	Düzenlenmiş kiriş donatıları.....	104
Tablo A.4:	Düzenlenmiş kolon donatıları.....	106

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1: Bina performans seviyeleri, deprem hareketi ve güçlendirme maliyeti ilişkisi.....	15
Şekil 3.1: Taban kesme kuvveti ile tepe yer değiştirmesi arasındaki ilişki..	24
Şekil 3.2: Geleneksel talep spektrumunun ADRS talep spektrumuna dönüştürülmesi.....	30
Şekil 3.3: Kapasite Spektrumu ile talep spektrumunun üst üste çizilmiş şekli.....	31
Şekil 3.4: Kapasite spektrumunun kırıklı gösterimi.....	31
Şekil 3.5: Talep spektrumu ile kapasite spektrumunun birlikte gösterimi...	32
Şekil 3.6: %5 Sönümlü elastik deprem spektrumu.....	35
Şekil 3.7: Spektral azaltma için sönüm elde edilmesi.....	36
Şekil 3.8: %5 Sönümlü talep spektrumunun indirgenmesi.....	37
Şekil 3.9: Kapasite spektrumu ile talep spektrumunun kesişim noktası.....	39
Şekil 3.10: Talep spektrumunu ve kompozit kapasite spektrumunun kesişim noktası.....	40
Şekil 3.11: Kapasite spektrumu ile talep spektrumunun kesiştirilmesi.....	40
Şekil 3.12: Başlangıç performans noktasının bulunması.....	41
Şekil 3.13: Kapasite spektrumunun kırıklı şekle dönüştürülmesi.....	41
Şekil 3.14: İndirgenmiş talep spektrumunun bulunması.....	42
Şekil 3.15: İndirgenmiş talep spektrumu ile kapasite spektrumunun kesiştirilmesi.....	42
Şekil 4.1: İdealleştirilmiş iç kuvvet-şekil değiştirme bağıntısı.....	45
Şekil 5.1: Kiriş üzerindeki düzgün yayılı yükün eşdeğer tekil yüke çevrilmesi.....	55
Şekil 5.2: Yapının X yönündeki taban kesme kuvveti –tepe yer değiştirmesi grafiği.....	62
Şekil 5.3: Yapıda X yönünde oluşan plastik mafsallar.....	62
Şekil 5.4: Yapının Y yönündeki taban kesme kuvveti –tepe yer değiştirmesi grafiği.....	63
Şekil 5.5: Yapıda Y yönünde oluşan plastik mafsallar.....	64
Şekil 5.6: SAP2000 analiz sonuçlarına göre yapının X yönündeki taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirmesi grafiği.....	67
Şekil 5.7: SAP2000 analiz sonuçlarına göre yapının X yönü için oluşan plastik mafsalların yerleri.....	67
Şekil 5.8: SAP2000 analiz sonuçlarına göre yapının Y yönündeki taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirmesi grafiği.....	68

Şekil 5.9:	SAP2000 analiz sonuçlarına göre yapının Y yönü için oluşan plastik mafsalların yerleri.....	69
Şekil 5.10:	X doğrultusunda %5 sönümlü talep spektrumu.....	70
Şekil 5.11:	X doğrultusunda kapasite spektrumu.....	71
Şekil 5.12:	X doğrultusunda başlangıç performans noktası.....	72
Şekil 5.13:	X doğrultusunda indirgenmiş talep ve kapasite spektrumu.....	73
Şekil 5.14:	Y doğrultusunda %5 sönümlü talep spektrumu.....	74
Şekil 5.15:	Y doğrultusunda kapasite spektrumu.....	75
Şekil 5.16:	Y doğrultusunda başlangıç performans noktası.....	76
Şekil 5.17:	Y doğrultusunda indirgenmiş talep ve kapasite spektrumu.....	77
Şekil 5.18:	SAP2000 analiz sonuçlarına göre güçlendirilmiş yapının X yönündeki taban kesme kuvveti –tepe yer değiştirmesi grafiği...	82
Şekil 5.19:	SAP2000 analiz sonuçlarına göre güçlendirilmiş yapının X yönü için oluşan plastik mafsalların yerleri.....	82
Şekil 5.20:	SAP2000 analiz sonuçlarına göre güçlendirilmiş yapının Y yönündeki taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirmesi grafiği....	83
Şekil 5.21:	SAP2000 analiz sonuçlarına göre güçlendirilmiş yapının Y yönü için oluşan plastik mafsalların yerleri.....	84
Şekil 5.22:	Güçlendirilmiş yapının X doğrultusunda %5 sönümlü talep spektrumu.....	85
Şekil 5.23:	Güçlendirilmiş yapının X doğrultusunda kapasite spektrumu....	86
Şekil 5.24:	Güçlendirilmiş yapının X doğrultusunda başlangıç performans noktası.....	86
Şekil 5.25:	Güçlendirilmiş yapının X doğrultusunda indirgenmiş talep ve kapasite spektrumu.....	87
Şekil 5.26:	Güçlendirilmiş yapının Y doğrultusunda %5 sönümlü talep spektrumu.....	88
Şekil 5.27:	Güçlendirilmiş yapının Y doğrultusunda kapasite spektrumu....	89
Şekil 5.28:	Güçlendirilmiş yapının Y doğrultusunda başlangıç performans noktası.....	90
Şekil 5.29:	Güçlendirilmiş yapının Y doğrultusunda indirgenmiş talep ve kapasite spektrumu.....	91
Şekil 5.30:	Güçlendirilmiş yapının Y doğrultusunda ikinci başlangıç performans noktası.....	91
Şekil 5.31:	Güçlendirilmiş yapının Y doğrultusunda performans noktası....	92
Şekil 6.1 :	Taşıyıcı sistemde kapasite spektrum eğrisi.....	98
Şekil A.1:	2. Kata Ait EPARC düğüm noktaları ve giriş numaralandırması.....	107
Şekil A.2:	Tüm katlara ait Kolon aplikasyon planı ve aks bilgileri.....	108
Şekil A.3:	Zemin kat planı (1. ve 2. kat).....	109
Şekil A.4:	Mevcut yapının 3 boyutlu görünüşü.....	110

Şekil B.1:	Güçlendirilmiş yapının 3 boyutlu görünüşü.....	111
Şekil B.2:	Güçlendirilmiş yapının kolon ve perde aplikasyon planı (Tüm katlar).....	112
Şekil B.3:	Güçlendirilmiş yapının kat planı (Tüm katlar).....	113
Şekil B.4:	Y doğrultusunda kullanılan P01 perdesi aplikasyon planı.....	114
Şekil B.5:	Y doğrultusunda kullanılan P02 perdesi aplikasyon planı.....	114
Şekil B.6:	Y doğrultusunda kullanılan P03 perdesi aplikasyon planı.....	114
Şekil B.7:	X doğrultusunda kullanılan P04 perdesi aplikasyon planı.....	115
Şekil B.8:	X doğrultusunda kullanılan P05 perdesi aplikasyon planı.....	115
Şekil B.9:	X doğrultusunda kullanılan P05 perdesi aplikasyon planı.....	115

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 yer değiştirmesi
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 ekseni doğrultusundaki modun şekli
ϕ_{Yi}	: i. Katta Y ekseni doğrultusundaki modun şekli
Φ	: Donatı apı
Γ_1	: 1. doğal titreşim modu için modal katılım katsayısı
κ	: Sönüm düzeltme katsayısı

STATİK İTME (PUSHOVER) YÖNTEMİYLE MEVCUT BİR YAPININ GÜVENLİĞİNİN BELİRLENMESİ

ÖZET

Bu çalışmada, yapıların depreme karşı davranışları performans kavramına bağlı olarak incelenmiş, lineer olmayan bir analiz yöntemi olan “Statik İtme” yöntemi kullanılarak yapıların deprem etkisi altında güvenilirliği ve yapılabilecek güçlendirme çalışmaları değişik kriterler altında değerlendirilmiştir. Ayrıca, 1975 Deprem Yönetmeliği şartlarına göre inşa edilmiş 3 katlı betonarme bir yapının taşıyıcı sistemi ayrıntılı bir şekilde incelenerek, Statik İtme yöntemiyle deprem güvenliği tahkiki yapılmış ve gerekli güçlendirme çalışması yapılarak incelenen konunun örneklemesi yapılmıştır.

Sunulan bu çalışmanın birinci bölümünde deprem hakkında genel bilgiler verilmiş, çalışmanın içeriği ana hatlarıyla tanımlanmıştır.

İkinci bölümde performans kavramı ayrıntılı olarak incelenmiş, yapısal ve yapısal olmayan performans seviyeleri, yapı performans seviyeleri ve yer hareketlerinin sınıflandırılması konuları incelenmiştir.

Çalışmanın üçüncü bölümünde Statik İtme Analizi ve bu analizde kullanılan “Kapasite Spektrum Yöntemi” ayrıntılı olarak anlatılmış, konuyla ilgili kavramların açıklamaları yapılmıştır.

Dördüncü bölümde Statik İtme Analizi için kullanılabilen, çalışmalarda büyük kolaylık sağlayan bilgisayar desteğini sağlayabilmek amacıyla geliştirilmiş EPARC yazılımı ve SAP 2000 yapısal analiz programı hakkında bilgi verilmiş, hesap yöntemleri ve programları kullanmaya yönelik genel esaslar tanımlanmıştır.

Beşinci bölümde statik itme analizi ile güvenliği belirlenecek olan mevcut bir 3 katlı betonarme bina incelenmiş, 1975 deprem yönetmeliği şartları göz önüne alınarak gerekli düzenlemeler yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre yapıya güçlendirme yapılması gereği ortaya çıkmış, güçlendirme yapılarak yapının deprem güvenliği tekrar tahkik edilmiştir.

Son bölümde ise mevcut bina ve güçlendirilmiş bina analiz sonuçları karşılaştırmalı tablolarla verilerek sonuçlar yorumlanmıştır.

DETERMINATION OF THE SEISMIC SAFETY OF AN EXISTING STRUCTURE BY PUSHOVER ANALYSIS METHOD

SUMMARY

In this study, the behaviours of the structures are examined under seismic effects depending on the performance concept. The seismic safety of the structures and possible retrofit works are evaluated with different criterias by using Pushover Analysis method which is described as a non-linear analysis method. Besides, the practice of the mentioned topic is assigned on an existing 3 storey RC structure which has been built regarding the 1975 Earthquake Regulations .

General information about earthquakes is described and the content of this study is summarized in Chapter 1.

Chapter 2 is allocated to the performance concept in detail and some principal items as constructional performance levels, non- constructional performance levels and building performance levels are presented.

In Chapter 3, “The Capacity Spectrum Method” based on Static Pushover Analysis and the application steps of this method are explained one by one.

In Chapter 4, computer based structural analysis programs EPARC and SAP 2000 which can be used for the Static Pushover Analysis are described. Principles, assignments, considerations and the calculation methods are briefly explained and the program interfaces are described basicly.

In the following chapter, Chapter 5, the structure of an existing RC building is structurally examined regarding the 1975 Earthquake Regulations and a model for an evaluation phase has been prepared. According to the results of the analysis retrofit has been done and the analysis has been repeated.

In the final part, the analysis results have been presented by comparision tables and general evaluations are interpreted.

1. GİRİŞ

Yerkabuğundaki kırılmalar nedeniyle ani olarak oluşan titreşimlerin dalgalar halinde yayılarak geçtikleri ortamları ve yer yüzeyini sarsma olayı olarak kabaca tanımlayabileceğimiz deprem hareketi, insanların hareketsiz kabul ettiği toprağın da hareket edebileceğini ve üzerindeki yapıların hasar görüp, can kaybına uğratabilecek şekilde yıkılabileceklerini gösteren kaçınılmaz bir doğa olayıdır. Bazı ön işaretler zaman zaman görülmesine rağmen günümüzde ne zaman ve hangi şiddette olabileceği önceden güvenilir ve net bir şekilde tahmin edilemeyen bu doğa olayını engellemek mümkün değildir. Deprem riski barınma amacı ile yapılan yapıların yıkılması ile bir afete dönüşmekte ve üzücü sonuçlar doğurmaktadır. Ancak, depremlerin yapılarda oluşturabileceği hasarları sınırlandırmak amacıyla alınacak tedbirlerle maddi hasar ve sosyo-ekonomik kayıpların kabul edilebilir seviyelere indirilmesi mümkündür.

Dünyanın oluşumundan beri, sismik aktivitesi olan bölgelerde depremlerin sürekli olarak meydana geldiği ve bunun sonucunda da milyonlarca insanın ve barınakların yok olduğu bilinmektedir. Dünyada yılda ortalama 700 adet hasar yaratıcı deprem meydana gelmektedir. Kentsel bölgelerde meydana gelen depremler ise en yıkıcı doğal afetler arasında yer almaktadır. Can kayıpları, mal ve altyapıya gelen fiziksel hasar ve ekonomik etkinliklerin kaybı bakımından kentsel deprem afetlerinin bedeli ağır olabilir. Kentsel afetler gelişme hevesini zayıflatır ve özellikle kamu sektörü dışında hasara neden olarak, yeniden toparlanmayı çok güç hale getirir. Mevcut kaynakların gelişmeden ziyade yardım ve onarıma aktarılmasını gerektiren büyük deprem afetleri, gelişmeyi ciddi şekilde baltalar.

Yerküre üzerinde oluşan depremlerin büyüklüğü ve neden oldukları zararlar göz önüne alındığında iki ana deprem kuşağı en çok ilgi çeken bölgelerdir. Bunlardan biri Büyük Okyanusu çevreleyen ve özellikle Japonya üzerinde etkili olan Pasifik Deprem Kuşağı, diğeri ise Cebelitarık'tan Endonezya adalarına uzanan ve Türkiye'nin de içinde bulunduğu Akdeniz-Himalaya deprem kuşağıdır. Türkiye'nin bulunduğu bölgede büyük levhalar arasında küçük birçok levhanın olması, Türkiye'nin büyük bir bölümünün deprem kuşağı içinde yer almasına neden olur. Depremlerin oluşumu tarihsel olarak incelendiğinde, ortalama olarak üç – dört yılda

bir büyüklüğü 7 civarında olan hasar oluşturuvcu bir depremin tekrarlandığı gözlenir. 1900 yılından günümüze kadar süregelen bu depremlerde 100.000 e ulaşan can kayıpları görülmüş ve 1.000.000 a ulaşan bina ağır hasar görmüştür.70 yıldaki depremselliğin benzer şekilde tekrarlanacağı kabulünden yola çıkılarak hazırlanan 10.000 yıllık deprem etkinliğine karşı gelen eş şiddet ve ivme eğrileri incelendiğinde ülkemizdeki depremselliğin aktif şekli net bir şekilde ortaya çıkar. Türkiye’de can ve mal kaybına yol açabilecek büyüklükte yıkıcı depremlerin geçmişten bugüne süregelmesi ve deprem kuşağındaki bir ülkede yaşadığımız düşünüldüğünde, önümüzdeki yıllarda da karşılaşılabileceğimiz depremlerin üzücü sonuçlara neden olabileceği gerçeğini kabul etmemiz gerekir. Jeofizik incelemeler ve önceki depremlerden elde edilen verilerle hazırlanan deprem Bölgeleri Haritası'na göre yurdumuz beş ana deprem bölgesine ayrılmıştır. Bu haritalar nüfus, alan, endüstriyel yoğunluk ve barajların konumu kriterlerine göre incelendiğinde nüfusun %95’inin, toplam alanın %91,4’ünün, önemli endüstri merkezlerinin %98,3’ünün ve barajların %91,6’sının tehlike arz eden ilk dört bölge içerisinde olduğu görülür. Ayrıca istatistiksel bilgilerden son 58 yıl içerisinde deprem kaynaklı olarak yaklaşık 60 bin kişinin hayatını kaybettiğini, 122 bin kişinin yaralandığı ve yaklaşık olarak 400 bin binanın yıkıldığı veya ağır hasar gördüğü anlaşılmaktadır.

Yaşanılan depremlerin ülkemizde yüksek oranda hasarlara sebep olması, daha kapsamlı çalışmalar yapılması ve gerçekçi değerlendirme yöntemlerinin ön plana çıkarılması gereklerini ortaya koymaktadır. Bu sorunu giderebilmek amacıyla ortaya çıkan birçok görüş ve teknolojinin gelişmesine paralel olarak modern bilgisayar programlarının da kullanımı ile birlikte geliştirilen birçok analiz yönteminin değerlendirilmesi, uygulamadaki başarılarının ve eksikliklerinin gözlemlenmesi gerekmektedir. Özellikle yardımcı olarak kullanılan yazılımlar sayesinde tasarım ve projelendirme aşamalarında olası insan hataları en aza indirgenmekte, hassas, karmaşık, ardışık çözümler yapılabilmekte ve analiz süreleri kısaltılarak verimli bir çalışma yapılabilmektedir. Gelişmiş hesap yöntemleri kullanılarak ve değişik olasılıklar gözetilerek yapılan bu analizler kadar, projenin profesyonel denetim altında modern yönetmeliklere uygun olarak hayata geçirilmesi de önemlidir.

Günümüzde kullanılmakta olan yapının inşasına ait yönetmelikler can kaybı oluşmamasını sağlamak ve binanın göçmemesi konusuna odaklı yürütölmüş çalışmalar sonucunda oluşturulmuştur. Deprem sonrası yapının kullanılabilirliği ve

hasar kaynaklı ekonomik zararlar ikinci planda düşünölmektedir. Bu düşünce doğrultusunda binalar bir defa tasarım depremi geçirecek şekilde projelendirilirler. Bu durumda, tasarım depreminden daha büyük bir depremle karşılaşıldığında veya yapının birden çok depremle karşılaşması durumunda taşıyıcı sistemin davranışının nasıl olacağı kullanılan lineer analiz yöntemleri ile net olarak bilinmemektedir. Doğrusal hesap yöntemlerinin yetersiz kaldığı bu durumda daha gerçekçi ve yapının elastik ötesi davranışlarını da hesaba katan doğrusal olmayan analiz yöntemleri devreye girmektedir. Böylece, deprem etkisine maruz kalmış bir binanın ve içerisindeki yapısal olmayan elemanların davranışlarını ve sismik performanslarını belirleyebilmek amacıyla Performansa Dayalı Sismik Analiz konusu ortaya çıkmıştır.

Performans kavramı, yapının talep edilen sismik yer hareketini karşılayabilme kapasitesi olarak tanımlandırılabilir. Kapasite ise, binanın yapısal ve yapısal olmayan elemanlarının taşıma gücü ve şekil değıştirme yeteneklerinin bütününe verilen isimdir. Bu durumda bina için birden çok performans seviyesi belirlenebilir. Performans seviyesi yapının tasarım veya güçlendirme çalışmalarının kapsamını değıştirir. Yapının deprem güvenliği veya depremden sonraki olası güçlendirme maliyeti göz önünde tutularak amaca uygun seçenekler arasından optimum bir performans seviyesi seçilebilir.

Performans kavramına bağlı analiz, binanın taşıyıcı sisteminin deprem sırasındaki davranışı ile ilgili önemli bilgiler vermekle beraber, deprem hareketi sırasında oluşacak lineer olmayan hareketlerin belirlenebilmesini ve binada oluşması beklenen olası mekanizma durumlarının sıralı olarak tespit edilebilmesini sağlamaktadır. Aynı zamanda bu analiz sonucunda binanın deprem sonrası durumu ve gerekli güçlendirme çalışmalarının ne doğrultuda yapılacağı konusunda önemli veriler elde edilmesini sağlamaktadır.

Binalardaki şekil değıştirmelerin kontrol altında tutularak yükleme yapılmasını esas olarak geliştirilen Statik İtme Yöntemi, elastik hesaplamaların yetersizliği karşısında geliştirilmiş, karmaşık bir yapıda olmasına rağmen daha gerçekçi bir yol izlemesi ve doğru sonuçlar vermesiyle öne çıkmış bir doğrusal olmayan analiz yöntemidir. Bu yöntemde, sabit düşey yükler altında, yatay yüklerin orantılı olarak artırılmasıyla küçük yatay ötelenmeler verilen bir taşıyıcı sistemde deprem sırasındaki gerçek davranışlar analizi yapılan modele uygulanır. Yük ve yer değıştirmelerin artmasıyla beraber elastik sınırların ötesindeki plastik davranışlar ortaya çıkmaya başlar ve

elemanların davranışlarındaki değişimler gözlenir. Değişim elemanın taşıma kapasitesine erişmesi ile sonlanır. Bu şekilde yapı belirlenen yanal ötelenme sınırına erişinceye veya yapıyı oluşturan taşıyıcı elemanlar belirlenen göçme şekil değiştirmesine ulaşınca kadar analiz devam ettirilir. Bu noktada ulaşılan seviye binanın deprem sonrası hasar seviyesidir.

Aynı zamanda analiz sırasında en fazla zorlanan kesitler belirlenerek hangi taşıyıcı elemanların yetersiz olabileceği anlaşılarak güçlendirme durumunda bu elemanlar üzerinde durularak güvenlik ve maliyet kriterleri optimum bir seviyede tutulabilir. Deprem geçirmiş veya yapılış tarihi itibarı ile yeni şartnameler ile belirlenmiş kurallara uygunluk gösteremeyen yapılarda güçlendirme gereği ortaya çıktığında bu yöntem oldukça amaca uygun hale gelmektedir.

Sonuçta ortaya çıkan bu yöntemler, gelişmiş bilgisayar desteği sayesinde kolaylıkla kullanılarak, daha güvenli ve amaca uygun yapıların projelendirilmesine ve mevcut yapıların da minimum maliyetlerle güçlendirilmesine olanak tanımaktadır.

2. PERFORMANS KAVRAMI

2.1 Giriş

Yaygın olarak hesap kolaylığı açısından binaların deprem hesapları elemanların yanal yükler etkisinde elastik sınırlar dahilinde davrandığı kabulüne göre yapılır. Deprem etkisi, taşıyıcı çerçeveye, döşemeler dikkate alınarak belirlenen katlara göre etkililerek yerdeğiştirmeler ve tepki kuvvetleri bulunur, elemanların elastik sınırlardaki gerilmelerine ulaşılır. Ancak gerçekte elemanlar lineer elastik davranışın dışında kalmakta, farklı katlardaki elemanların davranışları birbirlerini etkilemekte, bu elemanlar göçme yük değerine erişmemiş ise akma dayanımı ile çalışmaya devam etmekte, kısaca elastik ötesi davranmaktadırlar.

Bu elastik ötesi davranışa ait yükler deprem yükü azaltma katsayısı ile belirlenmektedir ancak bu karmaşık davranışın tek bir katsayı kullanılarak belirlenmesi, oluşacak kuvvetlerin ve yer değıştirmelerin tam olarak bulunması olanaksızdır.

Ortaya çıkan bu yetersizlik ve güç tükenmesi durumundaki belirsizliklerin giderilmesi amacıyla yapılan projelendirmeler ise yüksek maliyetli, ekonomik olmayan ve aşırı güvenli tasarımlara yol açmaktadır. Özellikle mevcut yapıların deprem güvenliğinin belirlenmesi için geliştirilen “Performans Kavramı” bu noktada öne çıkmaktadır. Performans incelemesinde ilk adım deprem etki seviyesi ve performans seviyesinin birleştirilmesi ile oluşan “Performans Amacı”dır.

Performans amaçları binanın sismik performansını, yani olası bir depremde göstereceğı davranış tanımlar. Sismik performans, deprem etkisi altındaki yapılarda önceden kabul edilen sınırlar dahilinde oluşabilecek maksimum hasar durumlarının belirlenmesi ve sınıflandırılması şeklinde de tanımlanabilir. Performans amacı tek bir deprem durumunun yanında birden çok seviyeyi kapsayan yer hareketi etkisinde oluşacak hasarları göz önünde tutuyorsa bu durum “Çoklu Performans Amacı” olarak isimlendirilir.

Bir yapı güçlendirilmeden veya daha inşaa edilmeden önce yapı sahibi ve mühendisin ortak kararı ile binaya uygun bir performans amacı seçilir.

Performans amacı belirlendikten sonra mühendis yapının taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan sistemlerinin analizinde kullanılacak sismik talebi ve kabul edilebilirlik kriterlerini belirler.

Eğer uygulama sırasında belirgin bir hata yapılmamış ise tanıtılan deprem hareketi mertebesinde bir yer sarsıntısı oluştuğunda yapının belirlenen performans seviyesine veya seviyelerine ulaşması beklenir. Bu yöntemde başarılı bir sonuç alabilmek için binanın yapısal özelliklerinin ve zemin davranışının iyi incelenmiş olması gerekir. Özellikle mevcut bir bina için güçlendirme amaçlı hesap yapılıyorsa bu özelliklerin ve değerlerin gerçekçi bir şekilde belirlenmiş olmasıyla ekonomik bir çözümleme yapılabilir.

Bu bölümde binanın yapısal ve yapısal olmayan sistemleri için belirlenmiş performans seviyeleri, bu seviyelerin kombinasyonları olan “Bina Performans Seviyeleri”, deprem risk seviyeleri ve tüm bu seviyelerin nasıl tespit edileceği hakkında bilgi verilecektir[1,2].

2.2 Performans Seviyeleri

Performans seviyeleri belirli bir yapı için belirli bir deprem etkisi altında öngörülen hasar miktarlarının sınır durumlarıdır. Bu performans seviyelerini belirleyen durumlar, binalardaki fiziksel hasarlar, bu hasarlardan oluşabilecek can güvenliği tehdidi ve depremden sonra binanın kullanılabilirlik durumu olarak tanımlanır.

Performans seviyeleri binanın yapısal ve yapısal olmayan elemanları için ayrı ayrı tanımlanır. Beklenen deprem sonucunda istenilen performans derecesine göre tüm bu elemanlara ait ortak bir seviye alınarak binanın performans seviyesi elde edilir. Yapısal ve yapısal olmayan performans seviyeleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 2.1: Bina Performans Seviyeleri (Yapısal ve Yapısal Olmayan Performans Seviyeleri)

Bina Performans Seviyeleri						
Yapısal Olmayan Performans Seviyeleri	Yapısal Performans Seviyeleri					
	SP-1 Hemen Kullanım	SP-2 Kontrollü Hasar Aralığı	SP-3 Can Güvenliği	SP-4 Sınırlı Güvenlik Aralığı	SP-5 Toptan Göçmenin Önlenmesi (Yapısal Stabilite)	SP-6 Hasarın Göz Önüne Alınmadığı
NP-A İşlevsel	1-A Kullanıma Devam (B)	2-A	NR	NR	NR	NR
NP-B Hemen Kullanım	1-B Hemen Kullanım (IO)	2-B	3-B	NR	NR	NR
NP-C Can Güvenliği	1-C	2-C	3-C Can Güvenliği (LS)	4-C	5-C	6-C
NP-D Azaltılmış Hasar	NR	2-D	3-D	4-D	5-D	6-D
NP-E Hasarın Göz Önüne Alınmadığı	NR	NR	3-E	4-E	5-E Yapısal Stabilite (CP)	Uygula- namaz

NR: Tavsiye Edilmez

2.2.1 Yapısal performans seviyeleri ve aralıkları

Yapısal elemanlardaki performans seviyeleri az hasardan çok hasara doğru şu şekilde sıralanır:

- (SP-1) Hemen Kullanım Performans Seviyesi {Immediate Occupancy, IO} :
Depremden sonra çok sınırlı hasar meydana gelmiştir. Binanın taşıyıcı sisteminin bütün taşıyıcılık özelliği, dayanım özellikleri ve kapasitesi hemen hemen devam etmektedir. Yapısal hasarlardan dolayı can güvenliği tehlikesi yoktur. Bina depremden sonra sınırsız olarak kullanıma açıktır.

- (SP-2) Hasar Kontrolü Performans Aralığı {Damage Control, DC}: Bu seviye net ve açık bir seviye değil, deprem sonrası hasar durumu için bir aralıktır. Hemen kullanım ile can güvenliği performans seviyeleri arasındaki bir aralığa, can güvenliğinin korunmasına ek olarak hasarın belirli ölçüde sınırlandırılmasına karşılık gelmektedir. Deprem yönetmeliklerinde yeni binalar için 50 yıllık bir sürede aşılma olasılığı %10 olan deprem etkisinde öngörülen performans seviyesi bu aralığa karşı gelmektedir. Tarihi ve mimari açıdan değerli yapıların korunması için bu performans aralığı kullanılır.
- (SP-3) Can Güvenliği Performans Seviyesi {Life Safety, LS}: Yapının taşıyıcı sisteminde deprem sonrasında önemli derecede hasar olmasına karşılık yerel ve toptan göçme söz konusu değildir. Yapıda bu duruma ulaşmayı önleyecek ek bir kapasite mevcuttur. Yaralanma olabilir ancak can güvenliği tehlikesi bulunmamaktadır. Bu performans seviyesindeki yapıların onarılıp tekrar kullanılması mümkündür, ancak bu onarım maliyeti her durumda ekonomik olmayabilir.
- (SP-4) Sınırlı Güvenlik Performans Aralığı {Limited Safety, LIF}: Bu seviye net ve açık bir seviye değil, can güvenliği ile yapısal stabilite performans seviyeleri arasındaki bir aralıktır. Bir binanın güçlendirilmesinde tam anlamıyla can güvenliğinin sağlanamaması durumunda göz önüne alınabilir. Bu aralıkta güçlendirme tüm yapısal elemanlar için gerekmeyecek ancak can güvenliği seviyesinden fazla, yapısal stabiliteden az bir güçlendirme yapılabilir.
- (SP-5) Yapısal Stabilite Performans Seviyesi {Structural Stability, SS}: Bu seviye yapının taşıyıcı sisteminin güç tükenmesi sınırında bulunması durumuna karşılık gelir. Bu seviye maksimum yer hareketine karşı yapının toptan göçmeye maruz kalmayacağı son noktadır. Yatay kuvveti karşılayan sistemler önemli hasar görmüş, yanal rijitlik ve dayanımda önemli oranda azalmalar olmuş, buna rağmen düşey yük taşınmaya devam etmektedir. Deprem esnasında düşen parçalardan dolayı yapı içi ve dışında önemli yaralanmalar olabilir. Yapı, stabilitesini korumasına rağmen devam eden artçı depremler sebebiyle her an yıkılma tehlikesiyle karşı karşıyadır. Deprem sonrası tekrar kullanılması isteniyorsa çok ayrıntılı bir güçlendirme gerekir. Ancak bu güçlendirme teknik ve ekonomik olarak kabul edilebilir değildir. Yapısal stabilite performans seviyesinin ancak yeni binaların tasarımında maksimum deprem etkisi altında

sağlanması tavsiye edilir. Bu seviyenin daha düşük bir deprem etkisinde sağlanması, daha yüksek bir deprem etkisinde güç tükenmesi durumuna karşı geleceği için uygun değildir.

- (SP-6) Taşıyıcı Elemanların Hasarının Göz Önüne Alınmadığı Performans Seviyesi {Not Considered, NC}: Bu seviyede tam anlamıyla bir seviye olmayıp, yapısal olmayan elemanların (duvarlar, asma tavan, yüzey kaplamaları, eşyalar, vb...) sismik değerlendirmesi ve güçlendirilmesi için bir performans seviyesi tanımlanır. Bina, deprem sırasında yıkılsa bile binanın korunması yanında, istenen elemanların da korunması gerektiği bu seviyeyle ifade edilir.

Tablo 2.2: Yapısal Performans Seviye ve Aralıkları

<i>Performans</i>	<i>Performans</i>	<i>Tanım</i>
SP1		Hemen Kullanım Performans Seviyesi
	SP-2	Hasar Kontrolü Performans Aralığı
SP-3		Can Güvenliği Performans Seviyesi
	SP-4	Sınırlı Güvenlik Performans Aralığı
SP-5		Yapısal Stabilité Performans Seviyesi
SP-6		Hasarın Göz Önüne Alınmadığı Performans Seviyesi

2.2.2.Yapısal olmayan performans seviyeleri

NP-n gösterimi ile simgelenen yapısal olmayan performans seviyeleri, yapının taşıyıcı olmayan elemanlarında meydana gelen hasar seviyelerini açıklamak için kullanılır. Binanın dayanımına etkisi olmamakla beraber; olası yaralanma, devrilme ve kırılmalardan dolayı oluşacak maddi kaybın belirlenmesi, değerlendirme ve güçlendirme aşamasındaki teknik kriterleri belirlemek için kullanılırlar.

- (NP-A) Kullanıma Devam Performans Seviyesi: Deprem sonrasında yapısal olmayan elemanlarda, tesisat ve ekipmanda kullanımı engelleyecek bir hasar oluşmadığı veya ihmal edilebilecek kadar küçük hasarların olduğu durumdur. Tüm makine ve teçhizat çalışmaktadır.

- (NP-B) Hemen Kullanım Performans Seviyesi: Deprem sonrasında yapısal olmayan elemanlarda, tesisat ve ekipmanda ihmal edilemeyecek hasarların oluşması beklenebilir. Kullanımı engelleyen küçük hasar ve aksaklıklar kolayca giderilebilir. Bu seviyede sismik güvenlik durumu etkilenmemiştir.
- (NP-C) Can Güvenliği Performans Seviyesi: Deprem sonrasında taşıyıcı sistemde önemli sayılabilecek bir hasarın olduğu, ancak bina içi ve dışındaki ağır elemanlarda yaralanmalara sebep olabilecek kopmaların, devrilmelerin gerçekleşmediği durumdur. Muhtemel yaralanmalar olabilir ancak can güvenliğine etki edecek boyutlarda değildir. Yapının yerel veya toptan göçmesi söz konusu olmadığı gibi bu duruma ulaşmayı önleyecek ek bir kapasite kalmıştır. Hasar gören yapısal olmayan sistemler, makine, ekipman ve araç-gereçler onarılmadan veya yenilenmeden çalışmayabilir.
- (NP-D) Azaltılmış Hasar Performans Seviyesi: Deprem sonrasında yapıda toptan göçmenin olmadığı; dış yığma duvar, parapet, ağır asma tavan, cephe kaplaması gibi yapısal olmayan elemanlarda kısmi veya tam göçmenin olabildiği ve bu hasar kaynaklı çok sayıda insanın ciddi şekilde zarar görebildiği performans seviyesidir. Bu binalar deprem sonrası içlerinde ve yakınlarında ciddi bir tehlike oluşturmazlar.
- (NP-E) Yapısal Olmayan Elemanların Hasarlarının Göz Önüne Alınmadığı Performans Seviyesi: Bu seviye net bir seviye olmamakla beraber yapı sahibi ve mühendis için yapının genel durumu hakkında fikir vererek yapı hakkında bir dizayn olanağı sunar.

Hesaplamalar yapılırken her ne kadar yapısal olmayan elemanların taşıyıcı sisteme herhangi bir katkısı ve etkisi olmadığı kabulü yapılırsa da; gerçekte, deprem anında taşıyıcı çerçeveler içerisine yerleştirilmiş duvarların yanal yükün belli bir kısmını taşıdığı (yaklaşık % 15) düşünülmektedir. Bu sebeple can kayıplarının oluşmasında önemli bir etken olan yapısal olmayan bu elemanların inşası sırasında gerekli önem gösterilmelidir.

Tablo 2.3: Yapısal Olmayan Performans Seviyeleri

Performans Seviyesi	Tanım
NP-A	Kullanıma Devam Performans Seviyesi
NP-B	Hemen Kullanım Performans Seviyesi
NP-C	Can Güvenliği Performans Seviyesi
NP-D	Azaltılmış Hasar Performans Seviyesi
NP-E	Yapısal Olmayan Elemanların Hasarlarının Göz Önüne

2.2.3. Bina performans seviyeleri

Bina performans seviyeleri taşıyıcı sistemin durumunu gösteren “Yapısal Performans Seviyesi” ile taşıyıcı olmayan elemanların durumunu gösteren “Yapısal Olmayan Performans Seviyesi” tanımlarının birlikte düşünülmesi ve hasarları sınırlandırmak amacıyla bunların birleştirilmesi sonucunda oluşur. Ortaya çıkan kombinasyonlar Tablo 2.1 de gösterilmiştir. Yaygın olarak kullanılan 1-A, 1-B, 3-C, 5-E, 3-D, 3-B performans seviyeleri aşağıda açıklanmıştır.

- 1-A Kullanıma Devam Performans Seviyesi: Yapısal hemen kullanım (SP-1) ve yapısal olmayan kullanıma devam (NP-A) performans seviyelerinin çakıştığı durumdur. Binanın yapısal olan ve yapısal olmayan elemanlarında oluşan hasar, kullanıma devamı etkilemeyecek seviyededir. Binanın yedek sistemlerinin devreye girmesiyle kullanıma devam edilebilir. Hasar sınırlandırılmıştır ve herhangi bir can güvenliği riski söz konusu değildir. Kullanıma devam edebilmek için onarım gerekmez.
- 1-B Hemen Kullanım Performans Seviyesi: Yapısal hemen kullanım (SP-1) ve yapısal olmayan hemen kullanım (NP-B) performans seviyelerinin çakıştığı durumdur. Binada oldukça az hasar görülmekte, taşıyıcı elemanların dayanımı, rijitliği ve sünekliği korunmaktadır. En çok kullanılan bu seviye, önemli binalar için öngörülen seviye olup, binanın bütün hacimleri ve sistemleri kullanılabilir durumdadır. Binada bulunan eşyalarda küçük onarımlara ihtiyaç duyulabilen hasarlar oluşabilir.

- 3-C Can Güvenliği Performans Seviyesi: Yapısal can güvenliği (SP-3) ve yapısal olmayan can güvenliği (NP-C) performans seviyelerinin çakıştığı durumdur. Taşıyıcı sistemde hasar mevcuttur ancak önemli bir kapasite kalmıştır ve taşıyıcı olmayan elemanlarda hasar dışme veya devrilme şeklindedir. Bu hasarlardan dolayı can güvenliği riski çok dışk bir olasılıktır. Deprem anında eşyalar yer değiştirebilir, deprem sonrası ise yangın tehlikesi ve kimyasal tehlike vardır. Bu seviye, günümüzde yönetmeliklerin yeni binalar için öngörmüş olduğu performans seviyesinden biraz daha dışk olarak tanımlanmıştır. Yönetmeliklerde taşıyıcı sistemin bu seviyede belirlenenden daha fazla deplasman yapabilmesi öngörülür.
- 5-E Yapısal Stabilit Performans Seviyesi: Yapısal stabilit (SP-5) ve yapısal olmayan elemanların hasarının göz önüne alınmadığı (NP-E) performans seviyelerinin çakıştığı durumdur. Yapının dışey yük taşıyan sistemi ayaktadır ancak art depremler için ek bir kapasite kalmamıştır ve bu depremlerde yıkılma olasılığı yüksektir. Taşıyıcı olmayan elemanlar ve hatta taşıyıcı elemanlar kaynaklı hasardan dolayı can güvenliği riski mevcuttur. Yapısal olmayan elemanların hasarı ve kat rölatif yer değiştirmeleri kontrol edilemez. Onarım ve güçlendirme koşulları genelde ekonomik olmamaktadır.
- 3-D Bina Performans Seviyesi: Yapısal can güvenliği (SP-3) ve yapısal olmayan azaltılmış hasar (NP-D) performans seviyelerinin çakıştığı durumdur. Yönetmeliklerde bulunan 50 yıl / %10 olasılıklı deprem tanımına karşılık gelen deprem kuvvetlerinin %75'ini alarak yapılan güçlendirmenin ortaya koyduğu performans seviyesidir.
- 3-B Bina Performans Seviyesi: Yapısal can güvenliği (SP-3) ve yapısal olmayan hemen kullanım (NP-B) performans seviyelerinin çakıştığı durumdur. Bu seviyede taşıyıcı elemanlardaki hasar bina kullanımına engel değildir. Bu performans seviyesi bütün bir bina yerine, binanın kontrol merkezi veya bilgisayar merkezi gibi önemli kısımları için kabul edilir.

2.3 Deprem Hareketi

Performans amaçlarını belirleyebilmek için yer hareketi ile beklenen performans seviyesi birleştirilmelidir. Tasarım yapabilmek için analizlerde kullanılmak üzere

farklı seviyelerde tanımlanan yer hareketinin belirlenmesi şarttır. Değişik büyüklükteki depremler için yapının değişik kriterleri sağlaması beklenir. Deprem etki seviyesi spektrum eğrisinin tanımlanması ile belirlenir. Bu tanım, deprem hareketlerinin yapı ömrü içerisindeki 50 yıllık zaman dilimindeki aşılma olasılığı veya benzer büyüklükteki depremler arasındaki ortalama zaman aralığı, yani dönüş periyodu ile belirlenmektedir. Bahsedilen deprem oluşma parametreleri Tablo 2.4 ile gösterilmiştir. ATC-40 raporunda da gösterilen, yaygın olarak üç ana başlık altında toplanan deprem etkisi aşağıda incelenmiştir.

- Servis Depremi (SE) : 50 yıllık periyotlar içerisinde meydana gelme olasılığı %50 olan yer hareketidir. Ortalama dönüş periyodu yaklaşık 75 yıl olan bu depremin binanın ömründe en az bir kere ortaya çıkması olasıdır. Deprem etkileri tasarım depreminin yaklaşık olarak yarısı kadar kabul edilir.
- Tasarım Depremi (DE) : 50 yıllık periyotlar içerisinde meydana gelme olasılığı %10 olan yer hareketidir. Ortalama dönüş periyodu yaklaşık 500 yıl olan bu depremin binanın ömrü boyunca ortaya çıkma ihtimali düşüktür.
- Maksimum Deprem (ME) : 50 yıllık periyotlar içerisinde meydana gelme olasılığı %2 olan yer hareketidir. Ortalama olarak yaklaşık 2500 yıllık dönüş periyodu ile bölgede jeolojik bilgiler göz önüne alınarak oluşabilecek en büyük deprem olarak kabul edilir. Maksimum depremin etkileri tasarım depreminin yaklaşık 1.25~1.5 katı büyüklüğündedir. Deprem yönetmeliklerinde bina önem katsayısı kullanılarak tasarım depreminin etkilerinin artırılması ile tanımlanır.

Tablo 2.4: Deprem parametreleri

Aşılma olasılığı	Zaman Aralığı	Ortalama Dönüş Periyodu
50%	50 Yıl	72 Yıl
20%	50 Yıl	225 Yıl
10%	50 Yıl	474 Yıl
2%	50 Yıl	2475 Yıl

2.4 Performans Amaçları

2.4.1 Performans amaçları ve sınıflandırılması

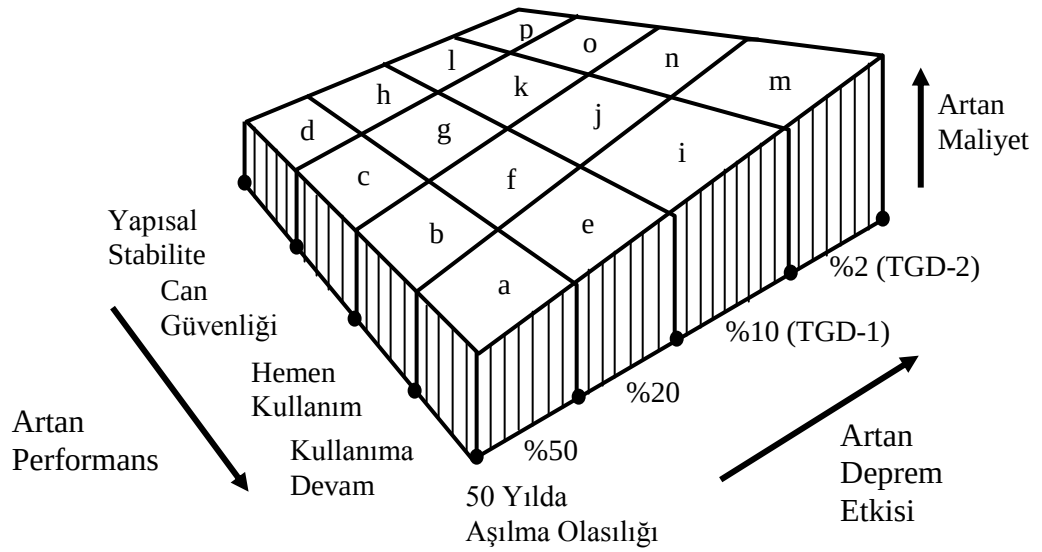
Bir binanın sismik performans amacı, verilen bir deprem seviyesi için istenen bina performansının seçilmesi ile belirtilir. Bu iki tanımın eşleştirilmeleri sonucunda değişik performans amacı seviyeleri oluşturulabilir. Tablo 2.5 ile yapılan bu eşleştirmeler gösterilmiş ve sınıflandırılma kriterleri aşağıda anlatılmıştır. Burada gösterilen her bir seviye tek tek seçilip kullanılabileceği gibi birden fazla seviye seçilerek çoklu performans amacı oluşturulabilir.

Tablo 2.5: Performans amaçlarının sınıflandırılması

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

Tabloda tasarım depremi ve maksimum deprem seviyeleri; sırasıyla Temel Güvenlik Depremi-1 ve Temel Güvenlik Depremi-2 olarak isimlendirilmiştir. TGD-1 aynı zamanda 1998 tarihli Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYH) 'de belirtilen deprem seviyesi olarak da kabul edilebilir. Burada a-f-k-p ile gösterilen ve ana köşegende bulunan amaçlar ana binalar için , e-j-o ile gösterilen amaçlar önemli binalar için, i-n ile gösterilen amaçlar ise güvenliği çok özel olan binalar için kullanılır. K ve p performans amaçlarının beraber düşünüldüğü durum temel güvenlik amacıdır.

Binanın depremden sonra kullanılması için ileri seviyede bulunan bir amaç (p seviyesi) seçilebilir ancak bu durumda yapı yapılırken ortaya çıkacak maliyetinin yüksek olması da olasıdır. Maliyet, performans seviyesi belirlenmesinde bu noktada etkili olmaktadır ve seviye belirlenmesi için yerleşim alanlarında yerel yönetimler, özel mülkiyetlerde ise bina sahibi ve mühendis tarafından bu denge sağlanarak optimum performans seviyesi belirlenmektedir. Bina performans seviyesi, deprem etki seviyesi ve maliyet arasındaki bu ilişki Şekil 2.1 ile gösterilmiştir.



Şekil 2.1: Bina performans seviyeleri, deprem hareketi ve güçlendirme maliyeti ilişkisi

2.4.2 Performans amaçları

Çoklu performans amacı tanımına uygun olarak iki veya daha fazla bina performans seviyesi ile deprem etki seviyesinin birleşiminden oluşur. Örnek olarak Tablo 2.6 ile gösterilen çoklu performans amacında binanın servis depremi halinde kullanıma devam performans seviyesini, tasarım depremi halinde ise can güvenliği performans seviyesini sağlaması istenmiştir.

Tablo 2.6: Çoklu Performans Amacı

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

Tablo 2.7 ile örneklendiği üzere Tasarım Depremi olarak belirlenmiş bir deprem seviyesine karşılık bina performans seviyesi olarak can güvenliği seviyesi seçildiğinde ileri seviyede bir performans amacı elde edilir.

Tablo 2.7: Tasarım depreminde can güvenliği performans seviyesi

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

2.4.3 Temel güvenlik performans amacı

Çoklu performans ana güvenlik amacıdır. Tablo 2.8 ile gösterildiği üzere binanın tasarım depremi halinde can güvenliği performans seviyesini; maksimum deprem halinde de yapısal stabilite performans seviyesini sağlaması beklenir.

Tablo 2.8: Temel Güvenlik Performans Amacı

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

2.4.4 Diğer performans amaçları

Bina performans seviyeleri ile deprem hareketi seviyelerinin değişik kombinasyonları kullanılarak istenilene uygun çeşitli performans amaçları oluşturulabilir. Tablo 2.1 ile gösterilmiş bina performans seviyeleri değişken kriterler göz önüne alınarak kombine edilebilir ve çeşitlendirilebilir. Tablo 2.9 ile normal binalar için oluşturulan örnek performans amaçları gösterilmiştir.

Tablo 2.9: Normal Binalar İçin Örnek Performans Amaçları Belirlenmesi

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

2.5 Performans Amaçlarının Kararlaştırılması

2.5.1 Başlangıç performans amacı

Daha önce belirtildiği üzere binanın projelendirilmesi veya mevcut binanın güçlendirilmesi için kullanılacak performans amacı özel binalar için bina sahibi, toplu yerleşim birimleri için de yerel yönetimler tarafından belirlenmelidir. İlgili mühendis mümkün olduğunca kısa sürede ve mevcut koşullara uygun gerçekçi bir performans amacının seçilebilmesi için gerekli değerlendirmeleri yaparak bu süreçte önemli bir görev üstlenmektedir.

Yapının başlangıç performans amacının belirlenmesi için bina performans seviyesi, deprem etki seviyesi ve ekonomiklik gibi faktörler ortak bir çalışma ile incelenerek sismik değerlendirme ve güçlendirme projesi ile ilgili beklentileri sağlayacak şekilde bir seçim yapılmalıdır.

2.5.2 Son performans amacı

Başlangıç performans amacı daha sonra değişen veya dikkate alınması gereken bazı şartların belirttiği durumlarda bina sahibi ve ilgili mühendisin kararları doğrultusunda tekrar gözden geçirilebilir veya değiştirilebilir. Daha yüksek veya daha düşük bir performans amacı belirlenebilir. Bu durumda, değerlendirme ve güçlendirme aşamalarında kullanılan son performans amacının temel özellikleri ve başlangıç performans amacından farklılıkları ilgili değerlendirme raporları ve güçlendirme çizimlerinde açıklanmalıdır.

3. LİNEER OLMAYAN STATİK İTME ANALİZİ (PUSHOVER ANALİZİ)

3.1 Giriş

Bu kısımda, mevcut binaların performans seviyelerinin değerlendirilmesi ve deprem etkileri dikkate alınarak yapılacak güçlendirme çalışmalarının yeterli olup olmadığını belirlemek için gerekli olan analitik işlemler ve uygulama yöntemleri sırasıyla açıklanmıştır. Bunlar lineer olmayan analiz için basitleştirme yöntemlerini, kapasiteyi, yer değiştirmeyi ve performans seviyesini belirlemek için kullanılacak işlemlerdir.

Betonarme binaların analizi için elastik (lineer) ve elastik olmayan (non lineer) olmak üzere kullanılan başlıca iki analiz yöntemi vardır. Lineer analiz yöntemlerinde malzemenin doğrusal sınırlar içindeki davranışları dikkate alınır. Lineer analiz, statik yatay kuvvet, dinamik yatay kuvvet ve talep- kapasite oranlarını kullanan işlemler içerir. Binaya lineer olarak bir statik itme hareketi verildiğinde karşılık olarak binanın tekrar eski haline dönüp salınımlar yapacağı varsayımı yapılarak gerçekleştirilen lineer analizde malzemenin doğrusal olmayan davranışları göz önüne alınmadığı için elemanlarda kalan ek kapasite kullanılamamaktadır.

Lineer yöntemler kullanılarak yapının elastiklik kapasitesinin ve ilk akmanın nerede olacağının tespit edilmesi mümkün olmasına rağmen yapıdaki mekanizma durumları ve akma sırasındaki kuvvet dağılımları da incelenememektedir.

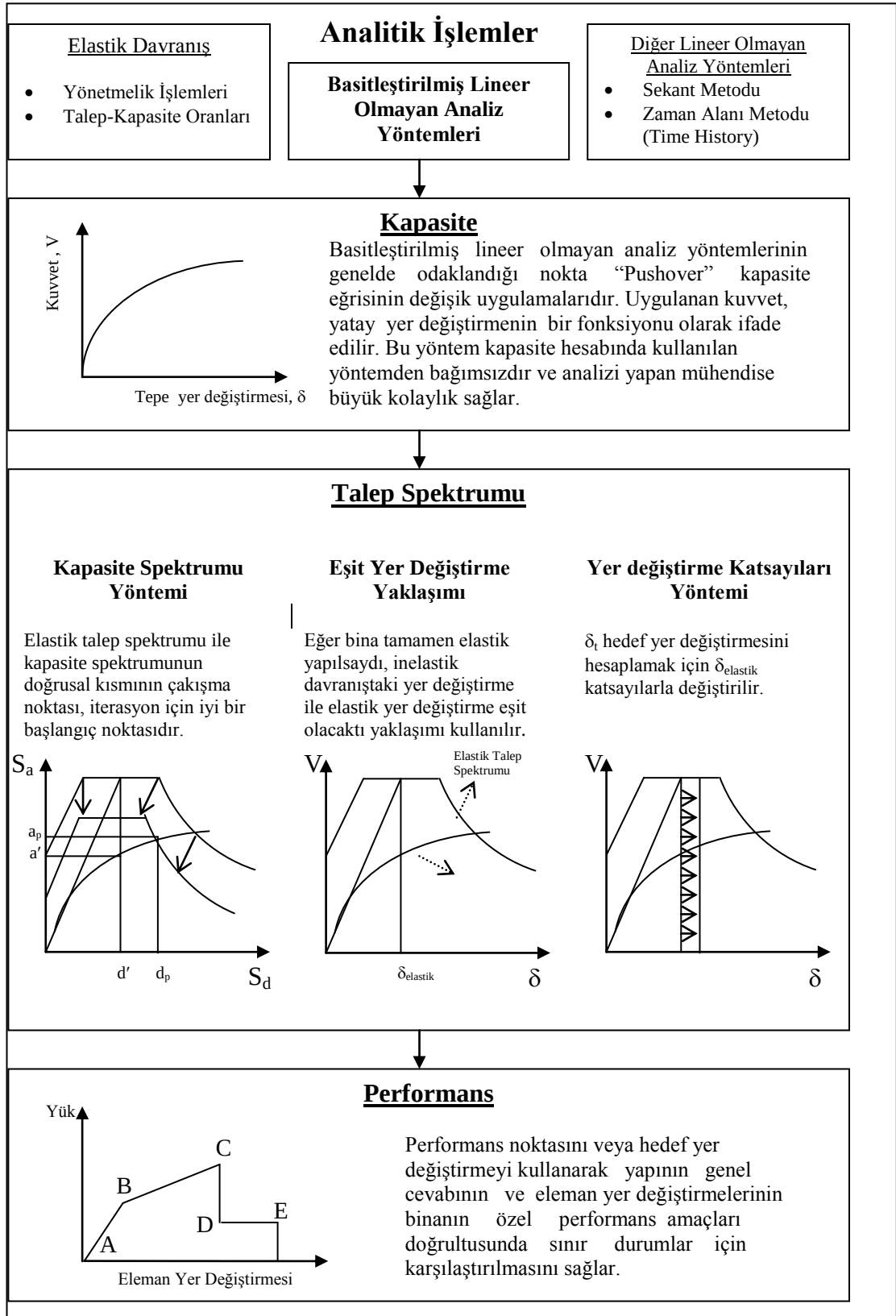
Lineer olmayan analiz yöntemleri ise yapıların göçme anına kadarki davranışlarını, kuvvet dağılımlarını ve mod şeklinin nasıl olacağına dair oldukça net sonuçlar vermektedir. Analiz sırasında lineer olmayan yöntemlerin kullanılması, tasarımı yapan mühendise bir deprem anında binanın davranışı ile ilgili mekanizma durumlarını gösterecek şekilde sonuçlar verebildiği için gerçekçi çözümler üretilmesine olanak tanır.

Lineer olmayan analizlerde kullanılan yöntemler genellikle “Time History” analizine dayanır. Yaygın olarak kullanılamayacak kadar karışık olan bu analizin yanı sıra

kullanımı daha kolay olan basitleştirilmiş lineer olmayan analiz yöntemleri de mevcuttur. Bu yöntemlerden, Kapasite (Pushover) eğrisi ile İndirgenmiş Talep (Response) spektrumu eğrilerinin kesişim noktalarını bularak oluşturulan “ Kapasite Spektrum Yöntemi (CSM) ” kullanılarak lineer olmayan analiz yapılabilir. Bu bölümde öncelikli olarak Kapasite Spektrum Yöntemi kullanılarak yapılan lineer olmayan statik analiz işlemlerinin uygulanması konusu ele alınacaktır. Tablo 3.1 ile lineer olmayan analiz yöntemleri ana hatlarıyla gösterilmiştir.

Kapasite spektrum yöntemi, binanın toplam taban kesme kuvveti ile çatı katında meydana gelen yer değiştirme arasındaki ilişkiyi gösteren kapasite eğrisiyle, sismik yer hareketini temsil eden Talep (response) spektrumu eğrisini grafiksel bir ortamda karşılaştırarak, mühendise bina davranışı hakkında mevcut binaların değerlendirme ve güçlendirmesi aşamasında kullanılmak üzere oldukça açık ve net bilgiler verir. Bu grafiksel ortam aynı zamanda yapılacak güçlendirmenin sismik yer hareketine karşı vereceği yanıtı da gösterebileceği için güçlendirmede izlenilecek yol hakkında elimizde net verilerin bulunmasını sağlar.

Tablo 3.1 Analitik işlemler algoritması



3.2 Basitleştirilmiş Lineer Olmayan Analiz Yöntemleri

Talep ve kapasite kavramları performansa dayalı analizin temelini oluşturan iki önemli kavramdır. Talep, deprem yer hareketinin bir gösterimi, kapasite ise yapının sismik talebe karşılık verebilme yeteneğinin bir gösterimidir. Performans ise kapasitenin talebe karşılık verebilme yeteneği olarak tanımlanabilir. Talep ve kapasite değerlerinin bir araya getirilip grafik tabanda kesiştirilmeleri ile ulaşılan performans noktasına göre yapının deprem hareketi kaynaklı talebe dayanacak mukavemette olması ve talebe dayanacak kapasiteye ulaşması beklenir. Başka bir deyişle yapının performans seviyesi daha önce bahsi geçen tasarım amaçları ile uyumlu olmalıdır.

Performansa dayalı analizde genel olarak iki farklı kriter geçerlidir. Birinci kritere göre yapıya etki eden deprem yükleri, yönetmeliklerde öngörülen seviyelere ulaştığında yapının istenilen performans hedefini dayanım, yer değiştirme ve şekil değiştirmeler bakımından karşılayıp karşılamadığı araştırılır. İkinci kritere göre yapılan araştırma ise belirli bir deprem etkisi altında yapıda beklenen yer değiştirmelere ulaşıldığında yapının beklenen performansa ulaşp ulaşmadığının araştırması yapılan yer değiştirme kontrolüdür.

Basitleştirilmiş lineer olmayan analiz yöntemleri arasında en çok kullanılan yöntemler aşağıda kısaca tanımlanmıştır.

Kapasite Spektrum Yöntemi (ATC-40): Maksimum yer değiştirmeyi bulmak için kapasite eğrisi ile indirgenmiş talep spektrumunun kesiştirilmesi ise uygulanır.

Yer değiştirme Katsayıları Yöntemi (FEMA -273): Kapasite ve talebin birbirine bağlı olarak incelendiği bu yöntem Kapasite Spektrum Yöntemine benzemektedir fakat bu yöntemde yer değiştirme grafik tabanlı değil, sayısal olarak bulunur. Kapasite eğrisinin kapasite spektrumuna dönüştürülmesine gerek yoktur.

Statik itme analizi yöntemlerinde yukarıda bahsi geçen iki yöntem de dahil olmak üzere Kapasite, Talep ve Performans tanımları birbirleri ile ilişkilendirilerek analiz yapılır. Bu tanımlar aşağıda kısaca özetlenmiştir.

- **Kapasite:** Yapının toplam kapasitesi yapıyı oluşturan elemanların dayanım ve deformasyon yapabilme kapasitelerine bağlıdır. Lineer analiz yöntemleri ile binanın elastiklik sınırına kadar olan deformasyon yapabilme kapasitesi

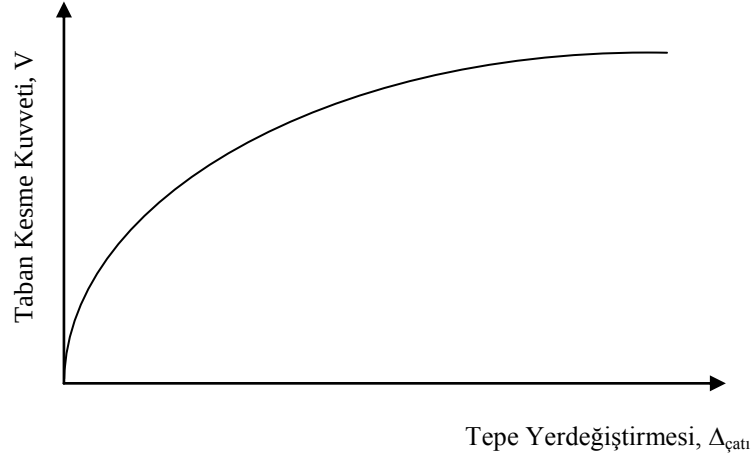
bulunabilir fakat elastik sınırın ötesindeki kapasiteleri belirlemek için statik itme analizi gibi bazı lineer olmayan analiz yöntemlerinin kullanılması gerekir. Statik itme analizinde, yapıyı oluşturan elemanların akma sınırlarına ulaşması için sisteme ardışık olarak arttırılan yatay yük uygulanır. Bu yöntemle yapının matematiksel modeli, akma noktasına gelen elemanlar için azaltılmış dayanım değerleri hesaba katılarak yeniden düzenlenir. Bu işleme yapı labil hale gelene kadar veya daha önceden belirlenmiş bir sınıra ulaşılan kadar devam edilir. Bu analizin sonucunda binanın kapasite dayanımı ortaya çıkar. Statik itme analizi sonucunda oluşturulan kapasite eğrisi elastik limitler aşıldıktan sonra doğrusal olmayan yapı davranışı hakkında oldukça gerçekçi sonuçlar sunmasına rağmen sonuçların yaklaşık olduğu göz ardı edilmemelidir. Bilgisayar teknolojisi ve geliştirilen yeni yazılımlar sayesinde sistemlerin lineer olmayan davranışlarını hemen modelleyebilmek ve bunlara ait kapasite eğrilerini kısa bir zamanda elde edebilmek mümkün hale gelmiştir.

- **Talep:** Deprem anında oluşan yer hareketleri yapının zamana bağlı olarak değişen ve karmaşık yatay yer değiştirmeler yapmasına neden olurlar. Projelendirme sırasında gerekli parametreleri belirleyebilmek amacıyla her bir zaman aralığında bu hareketleri izlemek (Time History Analizi) pratik olmayan bir hesap yöntemidir. Belli bir yapı ve yer hareketi için talep yer değiştirmesi, yer hareketi boyunca binada oluşması beklenen maksimum yer değiştirme olarak tanımlanabilir.
- **Performans:** Kapasite eğrisi ve talep spektrumu belirlendikten sonra bu eğrilerin kesiştirilmesi sonucunda ortaya çıkan performans noktasının bulunması ile performans kontrolü yapılabilir. Performans kontrolü yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda ortaya çıkacak hasarın, bina için öngörölmüş performans seviyesi gereklilikleri dahilinde ortaya çıkması, bu seviyenin üzerinde hasar oluşmamasını sağlamak amacıyla yapılmaktadır.

3.2.1 Kapasitenin belirlenmesi için adım adım işlemler

Yapının kapasitesi pushover eğrisi (Statik itme eğrisi) ile temsil edilir. Yapının kapasitesini belirlemek, kuvvet-yer değiştirme eğrisini çizmek için yapının tabanında meydana gelen kesme kuvvetleri ile tepe noktasında oluşan yatay yer değiştirmeler

arasındaki ilişkinin belirlenmesi ve grafik ortamda işaretlenmesi gerekmektedir. Şekil 3.1 ile örnek bir kapasite eğrisi gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Taban kesme kuvveti ile tepe yer değiştirmesi arasındaki ilişki

Lineer olmayan hesap yapabilen bazı bilgisayar yazılımları statik itme analizini iterasyona gerek duymadan direk olarak yapabilmektedir. SAP 2000 Nonlinear ve Drain -2dx adım adım kapasite belirlenmesine gerek kalmayan bu programlardan bazılarıdır. Ayrıca pushover eğrisini oluşturmak için ETABS, RISA,EPARC gibi programlar kullanılabilir. Bu çalışmada analizi yapılan 3 katlı betonarme binanın hesaplarında EPARC ve SAP 2000 programları kullanılmış ve programlarla ilgili ayrıntılı bilgi 4. Bölümde verilmiştir.

Kapasite eğrisi çizilirken, genellikle yapının birinci doğal titreşim modu göz önüne 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 1 saniye ya da daha az olduğu binalar için geçerlidir. Bu türden binalarda daha yüksek modların yapıya etkileri oldukça küçük olduğu için bu etkiler göz ardı edilebilir. Fakat, çok katlı ve daha sünek yapılarda (1. moda ait doğal titreşim periyodu 1 saniyeden daha fazla olan yapılarda) yüksek modların yapıya olan etkileri göz ardı edilemeyecek kadar büyüktür ve hesaplarda bu etkiler dikkate alınmak zorundadır.

Kapasite hesabı yapılırken aşağıdaki adımlar sırası ile takip edilmelidir.

- 1- Yapıya ait bilgisayar modeli oluşturulur.
- 2- Oluşturulan modeldeki her eleman derecelerine göre sınıflandırılır.
- 3- Yatay kuvvetler temel mod şekillerine ve kat ağırlıklarına göre yapının kütle merkezlerine uygulanır. Bu analiz aynı zamanda zati yükleri de kapsamalıdır. Aşağıda yatay yüklerin uygulama noktalarına göre beş farklı durum örneklenmiştir.

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

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

- 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,

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

- Birinci mafsallara kadar iii. tip yapılardaki gibi hesaplanır. Birinci mafsallardan sonra oluşan her artırım için kuvvetler deformasyon yapmış yeni şekle göre değiştirilmelidir.
- iii. ve iv. Tip yapılarla aynıdır fakat yüksek mod şekillerinin etkilerinin de dikkate 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 belirli 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 yer değiştirmeleri 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 yer değiştirmesi oldukça sabit olsa da yatay yük arttırılmaya devam edilir.
- 10- Limite ulaşıncaya kadar 7, 8 ve 9. adımlar tekrar edilir. $P-\Delta$ 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 aşıyor demektir ve statik itme işlemi biter.

3.2.2 Talep spektrumunun belirlenmesi için kullanılan yöntemler

Güçlendirme yapılırken, kullanılacak performans seviyelerinin tespit edilmesi hususunda yapı kapasitesinin belirlenmesine ilave olarak, belirli bir deprem etkisinde olası maksimum yer değiştirmenin saptanması da son derece önemli bir konudur. Yapılan bu çalışmada Kapasite Spektrum Yöntemine ağırlık verilmiştir. Çünkü, bu yöntem güçlendirme çalışmalarında büyük kolaylıklar sağlayarak, yapı için elde edilen kapasite eğrisinden maksimum düzeyde faydalanabilmemizi sağlar.

Performans seviyesini tespit etmek için gerekli olan sismik talebin belirlenmesi amacıyla çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Fakat, biz bu çalışmada Kapasite Spektrum Yöntemini (ATC-40'da verilen yöntem) kullanacağız.

Kapasite Spektrum Yönteminde depremin talep yer değiştirmesi, kapasite spektrumu üzerinde "Performans Noktası" diye adlandırılan bir noktada oluşur. Sözü edilen

performans noktası, yapının sismik kapasitesini; diğer bir deyişle belirli bir deprem etkisi altında kalan yapının bu etkiye karşı göstereceği direnci (karşılığı) ifade eder.

Sismik talebin belirlenmesinde kullanılan diğer bir yöntem de Yer Değiştirme Katsayıları Yöntemidir. Bu yöntem, farklı tiplerdeki tek serbestlik dereceli sistemlere ait Time History analizi sonuçlarının istatistiksel analizi üzerine temellendirilmiştir.

3.2.3 Kapasite spektrum yöntemi kullanılarak sismik talebin hesaplanması

Performans noktasının yeri aşağıdaki iki temel koşulu sağlamalıdır:

- Bulunan performans noktası, yapının kapasite eğrisi üzerinde yer almalıdır.
- Söz konusu performans noktası, %5 sönümlü talep spektrumundan indirgenmiş olan spektrum eğrisi üzerinde yer almalıdır.

Kısacası performans noktası, bu iki koşulu aynı anda sağlayacak olan, yani kapasite eğrisi ile indirgenmiş talep spektrumunun kesiştiği noktadır. Performans noktasını belirlemek için iterasyon yapmaya ihtiyaç vardır. Aşağıda bu yaklaşım işlemi kolaylaştırmak için üç farklı yöntem ile birlikte kapasite spektrum yönteminin kavramsal ifadesi de bulunmaktadır. Asıl itibarıyla aşağıdaki üç yöntem de aynı amaca hizmet eder. Fakat, bunların matematik ifadeleri bazı farklılıklar gösterir.

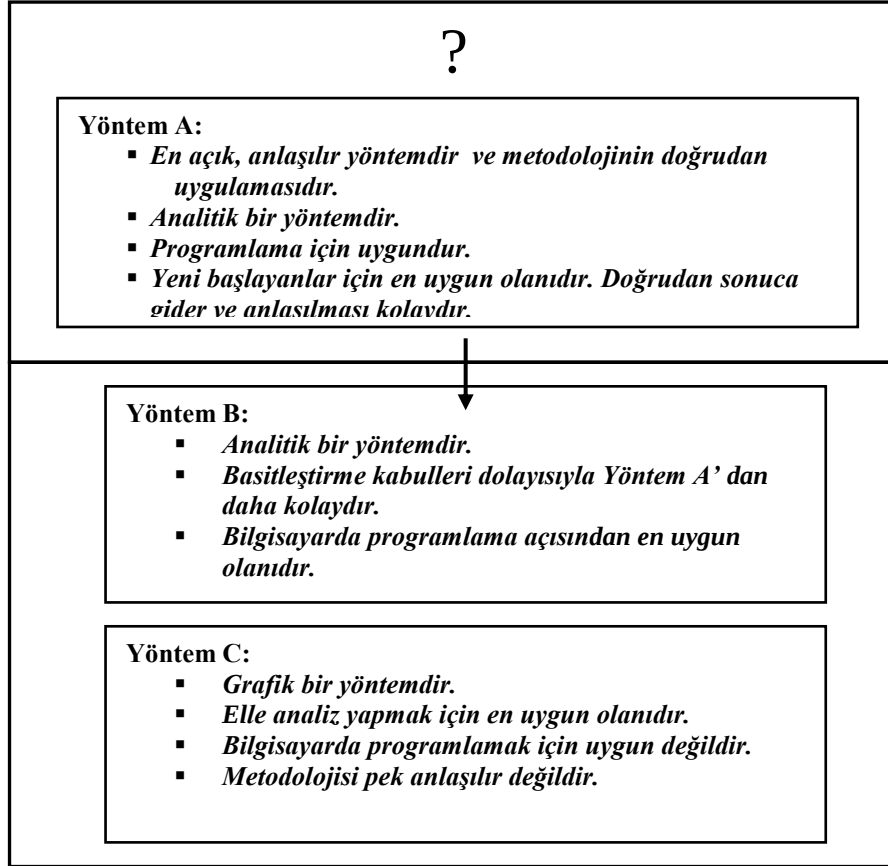
Kapasite Spektrum Yöntemin Kavramsal İfadesi: Bu kısım kapasite spektrum yönteminin teorik temellerini, gerekli formülasyonları ve bir takım hesapları içerir (Bölüm 3.2.3.1). Bu bölümde adım adım performans noktasının bulunması anlatılmaz bunun için A, B ve C yöntemlerinin incelenmesi gerekir.

Yöntem A: Bu yöntem, kavramın en doğrudan uygulamasıdır. Bu yöntem tamamıyla iterasyona dayalıdır; fakat gerekli formülasyon yapıldığı takdirde bu işlemler bilgisayar ortamına aktararak kolaylıkla çözüme ulaşılabilir. Bu yöntem, grafik olmaktan ziyade analitik bir yöntemdir. Yeni başlayanlar için en ideal ve anlaşılır yöntem olup sonuca en kısa yoldan varmak mümkündür.

Yöntem B: Kapasite eğrisinin iki doğrultuda modellenmesine imkan sunan basit bir yöntemdir. Performans noktasının gerçek yeri küçük iterasyonlar yapılarak bulunur. Yöntem B de analitik bir yöntem olması dolayısıyla gerekli formülasyonlar yardımıyla bilgisayar ortamına adapte edilmesi en uygun yöntemdir. Bu yöntemin uygulanması, Yöntem A' nın uygulanmasından daha az anlaşılırdır.

Yöntem C: Bu yöntem, performans noktasını bulmak için kullanılan zayıf bir grafik yöntemidir. Elle analiz yapmak için en uygun olanıdır. Buna rağmen anlaşılması zordur ve bilgisayar ortamına tam olarak adapte edilmesi mümkün değildir. Tablo 3.2 ile yukarıdaki her üç yöntem 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 ve tepe yer değiştirmesi cinsinden verilen kapasite eğrisinin, Spektral İvme-Spektral Yer değiştirme formatına dönüştürülmesi gerekir. Dönüştürme ile elde edilen eğriye Spektral İvme-Spektral Yer değiştirme (ADRS) formatında olan “Kapasite Spektrum Eğrisi” denir. Bu dönüşümü yapabilmek için gerekli matematiksel ifadeler :

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

$$M_1^* = \frac{(\sum_{i=1}^N m_i \phi_{i1})^2}{\sum_{i=1}^N m_i \phi_{i1}^2} \quad (3.4)$$

$$\alpha_1 = \frac{\left[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}) / g \right]^2}{\left[\sum_{i=1}^N w_i / g \right] \left[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}^2) / g \right]} \quad (3.5)$$

$$S_a = \frac{V_b}{\alpha_1 W} \quad (3.6)$$

$$S_d = \frac{\Delta_{\text{çatı}}}{\Gamma_1 \phi_{N1}} \quad (3.7)$$

Formüllerde kullanılan simgeler

Γ_1 = Birinci doğal titreşim modu için Modal Katılım Katsayısı

α_1 = Birinci doğal titreşim modu için Modal Kütle Katsayısı

w_i/g = i. Kattaki toplanmış kütle

ϕ_{i1} = i. Kattaki modun şekli (i. katın yanal yer değiştirmesi)

N = Yapıdaki kat sayısı

V_b = Taban kesme kuvveti

W = Zati yük + Hareketli yük (Katsayısız)

$\Delta_{\text{çatı}}$ = Çatı yer değiştirmesi (V_b ve $\Delta_{\text{çatı}}$ Kapasite Eğrisini oluşturur)

S_a = Spektral ivme

ϕ_{N1} = Yapının en üst katına ait yanal yer değiştirme

S_d = Spektral yer değiştirme (S_a ve S_d Kapasite Spektrumunu oluşturur)

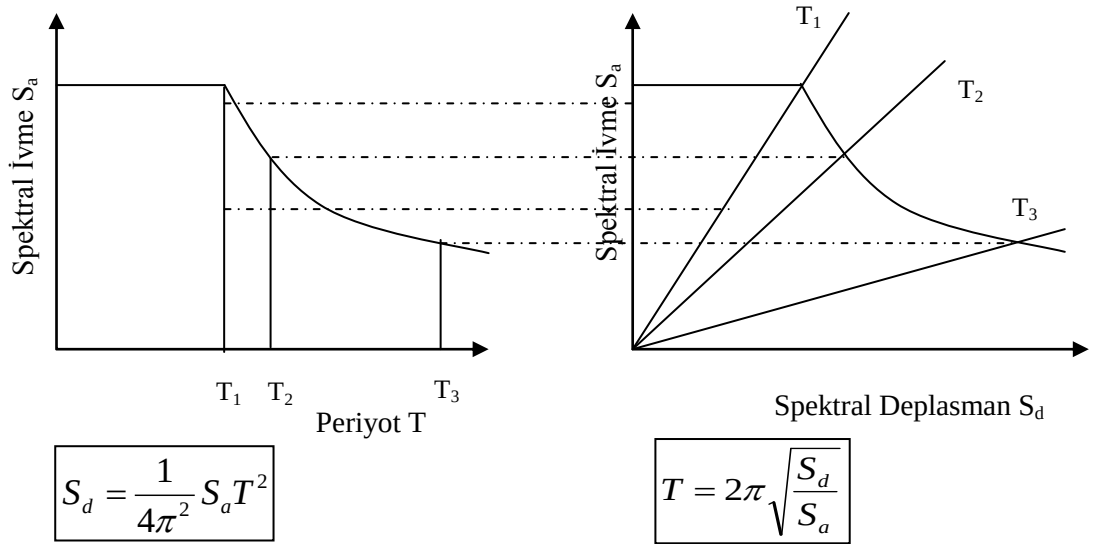
Kapasite eğrisini ADRS formatındaki kapasite spektrumuna dönüştürmek için yapılması gereken işlemler sırasıyla aşağıda özetlenmiştir:

İlk olarak denklem (3.3) ve (3.5) kullanılarak birinci doğal titreşim modu için modal katılım katsayısı Γ_1 ve modal kütle katsayısı α_1 hesaplanır.

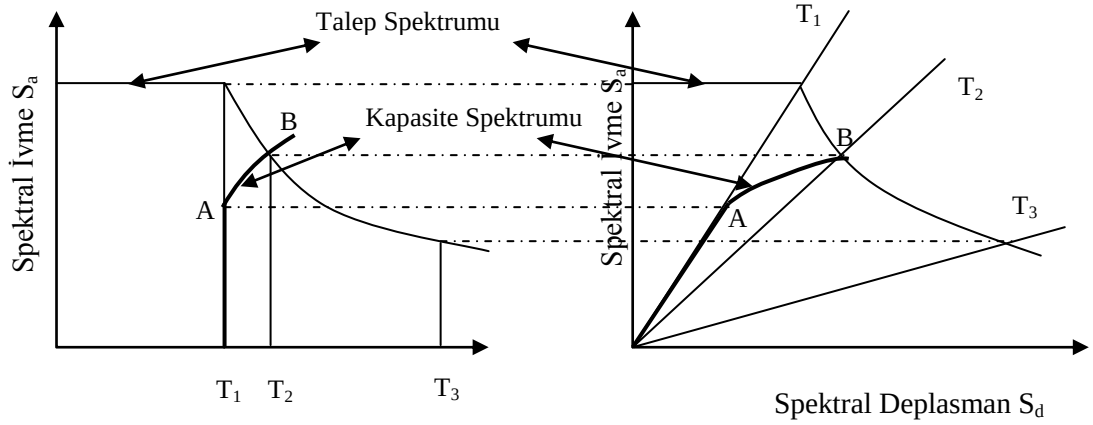
Daha sonra kapasite eğrisi üzerindeki her bir nokta ($V - \Delta_{\text{çatı}}$) Denklem (3.6) ve (3.7) yardımıyla S_a (Spektral İvme) ve S_d (Spektral Yer değiştirme) formatına dönüştürülür.

Genel olarak, mühendisler talep spektrumunun S_a ve T şeklini kullanmaktadır; bunun aksine S_a ve S_d (ADRS) formatı ise pek kullanılmaz. Şekil 3.2’de aynı spektrumun her iki formatı da gösterilmektedir. ADRS spektrumu üzerinde yer alan herhangi bir noktadaki T periyodu, $T=2\pi(S_d/S_a)^{1/2}$ şeklinde hesaplanabilir. Aynı şekilde ADRS spektrumu üzerindeki herhangi bir noktadaki S_d değeri, $S_d= S_a T^2/4\pi^2$ formülü ile hesaplanabilir.

Şekil 3.3’de görüldüğü gibi kapasite spektrumu, T_1 periyodunda A noktasına kadar sabittir. B noktasına ulaşıldığında ise periyot T_2 değerini alır. Bu durum yapının elastik davranışı kayb olduğu zaman periyodunun arttığının göstergesidir. Periyot artışlarının bu durumu her iki formattaki spektrum üzerinden açıkça gözlemlenebilmektedir.

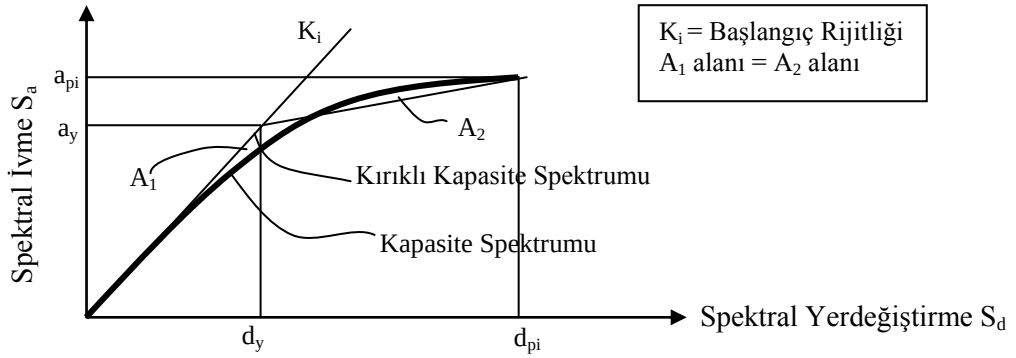


Şekil 3.2: Geleneksel talep spektrumunun ADRS formatına dönüştürülmesi



Şekil 3.3: Kapasite spektrumu ile talep spektrumunun üst üste çizilmiş şekli

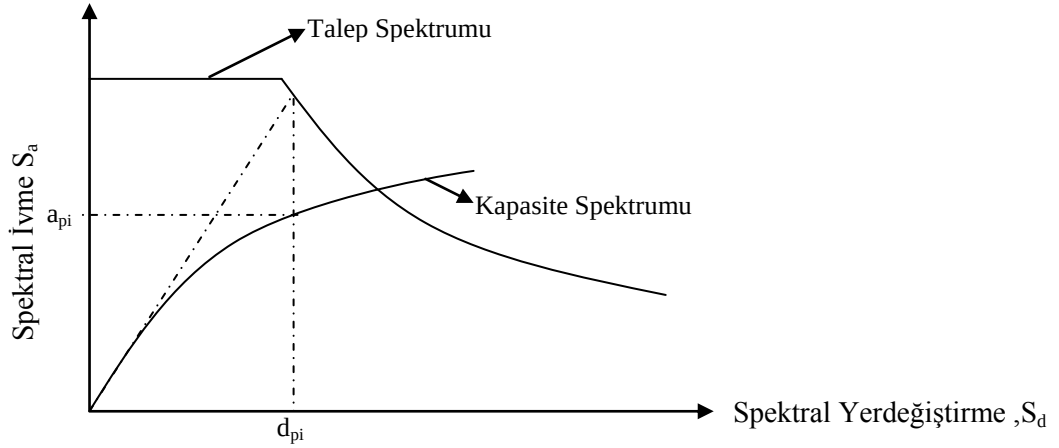
3.2.3.2 Kapasite spektrumunun kırıklı hale getirilmesi



Şekil 3.4: Kapasite spektrumunun kırıklı gösterimi

Kırıklı kapasite spektrumunun doğrular şeklinde oluşturulabilmesi için etkin sönümün ve bu sönüme uygun olan talep spektrumunun tahmin edilmesi gerekir. Aynı zamanda başlangıç performans noktası olarak adlandırılan a_{pi} ve d_{pi} koordinatlarının da tahminle belirlenmesi gerekir. Bu noktanın tahmini için göz önüne alınan deprem bölgesine bağlı olarak %5 sönümlü talep spektrum eğrisi oluşturulur. Daha sonra oluşturulan talep spektrum eğrisi ile sisteme ait kapasite spektrum eğrisi Şekil 3.5’de görüldüğü gibi aynı grafik ortamda çizilir. Kapasite spektrumu eğrisinin lineer kısmı uzatılarak %5 sönümlü talep spektrumu ile kesiştirilir. Kesişim noktasının kapasite spektrumu üzerindeki düşey iz düşümü alınarak başlangıç performans noktasının koordinatları (a_{pi} ve d_{pi}) elde edilir. a_{pi} ve d_{pi} koordinatları belirlendikten sonra Şekil 3.4’de gösterildiği gibi bulunan başlangıç performans noktasından geriye doğru (önceden uzatılarak çizilmiş lineer kısma doğru), kapasite spektrumunun üzerinde kalan A_1 alanı ile bu eğrinin altında kalan A_2 alanı eşit olacak şekilde bir doğru çizilir. Bu iki alanın eşitlenmesinin nedeni

gerçek kapasite eğrisi ile oluşturulan kırıklı temsiliinin aynı oranda enerji sönümlemesini sağlamaktır. Başka bir deyişle parçalı gösterimi daha gerçekçi kılmak için bu doğru çizilirken A_1 ve A_2 alanları mümkün olduğunca eşitlenmelidir.



Şekil 3.5: Talep spektrumu ile kapasite spektrumunun birlikte gösterimi

3.2.3.3 %5 sönümlü talep spektrumunun oluşturulması

%5 sönümlü talep spektrum eğrisi, C_A ve C_V sismik parametrelerine bağlı olarak tanımlanır. C_A ve C_V , yapının bulunduğu deprem bölgesine, bilinen bir deprem kaynağına olan uzaklığına, kullanılacak deprem türüne ve zemin sınıfına bağlı olarak hesaplanır.

Bu sismik katsayıları belirlemek için belirtilen diğer parametreleri adım adım seçmek gerekir.

- Öncelikle yapının bulunduğu deprem bölgesine göre Deprem bölge katsayısı “Z” Tablo 3.3’ den okunur.

Tablo 3.3: Deprem bölge katsayısı Z

Bölge	1	2A	2B	3	4
Z	0.075	0.15	0.20	0.30	0.40

- Yapının bulunduğu zemine göre Tablo 3.4 yardımı ile Yapı Zemin Sınıfı bulunur.

Tablo 3.4: Zemin sınıflarının tanımı

Zemin sınıfı ve tanımı	S _A	S _B	S _C	S _D	S _E	S _F
	Sert kaya	Kaya	Çok sıkı zemin, yumuşak kaya	Sert zemin	Yumuşak zemin	İncelenmesi Gerekli zemin

- Tablo 3.5’den yapının bilinen bir deprem kaynağına olan uzaklığına ve deprem kaynağının oluşturacağı deprem türüne bağlı olarak Kaynağa Mesafe Katsayıları N_A ve N_V bulunur.

Tablo 3.5: Bilinen bir 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 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

- Daha sonra kullanılacak Deprem Etkisinin belirlenmesi gerekir. Deprem etkisine bağlı olarak CA ve CV katsayılarını elde edebilmek için E değerleri bulunurken aşağıdaki değerlerden uygun olanı seçilir.

Servis Depremi = $E = 0.5$

Tasarım Depremi = $E = 1.0$

Maksimum Deprem = $E = 1.25$ (ATC 40 Tablo 4.7 ile belirtilen 4. Bölge için)
 $E = 1.50$ (ATC 40 Tablo 4.7 ile belirtilen 3. Bölge için)

- İlk adımda bulunan Deprem bölge katsayısı “ Z ”, kaynağa mesafe katsayıları “ NA ” ve “ NV ” değerleri ve deprem etki seviyesi “ E ” değerleri çarpılarak ayrı ayrı Deprem Katsayısı “ ZEN ” hesaplanır.

- En son olarak hesaplanan deprem katsayısına ve belirlenen zemin sınıfına göre Tablo 3.6 ve Tablo 3.7 kullanılarak C_A ve C_V değerleri bulunur.

Tablo 3.6: Deprem katsayısı, C_A

	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	0.09	0.18	0.24	0.33	0.40	$1.1*ZEN$
S_D	0.12	0.22	0.28	0.36	0.44	$1.0*ZEN$
S_E	0.19	0.30	0.34	0.36	0.36	$0.9*ZEN$
S_F	Yerel zemin incelemesi gerekli					

Tablo 3.7: Deprem katsayısı, C_V

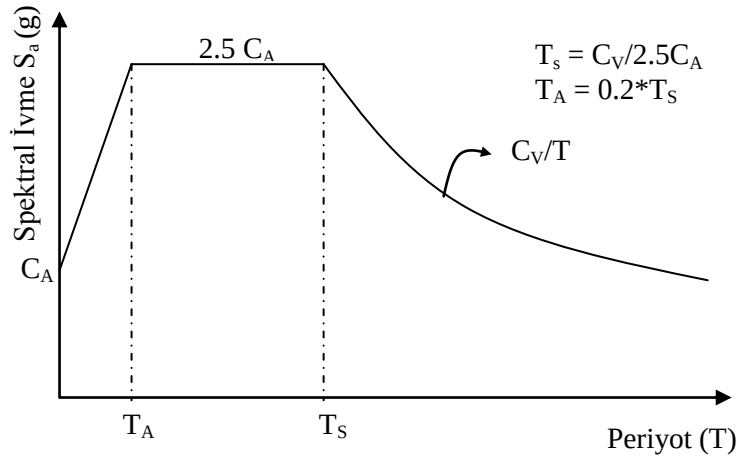
	Deprem katsayısı ZEN					
Zemin Sınıfı	=0.075	=0.15	=0.20	=0.30	=0.40	> 0.40
S_A	0.08	0.15	0.20	0.30	0.40	$1.0*ZEN$
S_B	0.08	0.15	0.20	0.30	0.40	$1.0*ZEN$
S_C	0.13	0.25	0.32	0.45	0.56	$1.4*ZEN$
S_D	0.18	0.32	0.40	0.54	0.64	$1.6*ZEN$
S_E	0.26	0.50	0.64	0.84	0.96	$2.4*ZEN$
S_F	Yerel zemin incelemesi gerekli					

- C_A ve C_V değerleri bulunduktan sonra Denklem 3.8 ve 3.9 kullanılarak T_A ve T_s değerleri elde edilir.

$$T_s = C_V / 2.5 * C_A \quad (3.8)$$

$$T_A = 0.2 * T_s \quad (3.9)$$

Bulunan C_A , C_V , T_A ve T_s değerlerine bağlı olarak %5 sönümlü talep spektrum eğrisi Şekil 3.6'da gösterildiği gibi çizilir.



Şekil 3.6: %5 Sönümlü elastik deprem spektrumu

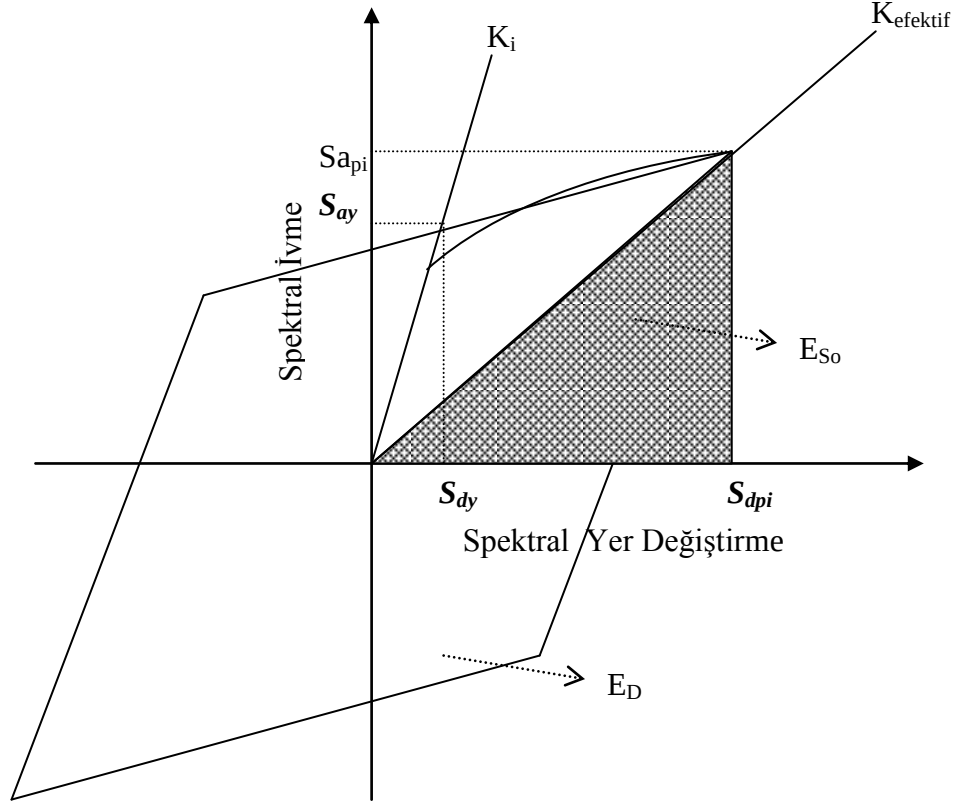
3.2.3.4 Sönümün tahmini ve %5 sönümlü talep spektrumunun indirgenmesi

Kullanılan elastik ivme – yer değiştirme spektrum eğrisi yönetmelikler ile belirlendiği üzere %5 lik bir viskoz sönüm öngörülerek oluşturulmaktadır fakat deprem hareketi ile yapıda ortaya çıkan enerjinin bir kısmı elastik olmayan çevrimsel şekil değiştirmeler nedeniyle tüketilmektedir. Bu sönüm eşdeğer viskoz sönüm ile temsil edilebilir.

Elastik sınır aşıldığında ortaya çıkacak olan spektral ivme ile spektral yer değiştirme bağıntısı aşağıdaki grafikte gösterildiği üzere çevrimsel bir değişim gösterir. Grafikteki eğrinin altında kalan taralı alan çevrimsel sönüm ile orantılıdır ve bu sönüm β_0 olarak eşdeğer viskoz sönüme dönüştürülebilir. Etkili toplam sönüm oranı aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanır.

$$\beta_{ef} = 0.05 + \kappa \beta_0 \quad (3.10)$$

$$\beta_0 = \frac{E_D}{4\pi E_{So}} \quad (3.11)$$



Şekil 3.7: Spektral azaltma için sönüm elde edilmesi

Burada E_D bir çevrimde sönümle tüketilen enerji olup, çevrim içinde kalan alana ve E_{So} aynı yük seviyesi altındaki maksimum şekil değiştirme enerjisine (Şekil 3.7'deki taralı alan) karşı gelir. Geometrik bağıntılar kullanılarak;

$$\beta_{ef} = 0.05 + \kappa\beta_0 = 0.05 + 0.64\kappa \frac{S_{ay}S_{dpi} - S_{dy}S_{api}}{S_{api}S_{dpi}} \quad (3.12)$$

yazılabilir. Buradaki S_{dy} ve S_{ay} doğrusal elastik davranışın sınırındaki, S_{dpi} ve S_{api} ise hedeflenen performans seviyesindeki spektral yer değiştirme ve spektral ivme değerleridir. Çevrimsel sönümün belirlenmesinde kullanılan paralel kenarın, gerçek yapıda farklı olabileceği düşünülerek bir κ düzeltme katsayısı öngörülmüştür. Çevrimsel davranışın tam olarak oluşmadığı, yapım kalitesi düşük yapılarda, bu katsayı daha küçük alınır. Yeni yapılarda sönüm çevrimi, dolgun bir biçimde oluşacağı için düzeltme katsayısı büyük, eski yapılarda ise enerji tüketimi daha az olacağı için bu katsayı küçük olacaktır. Deprem süresi bu katsayının değişik değerde alınmasına neden olan diğer bir unsurdur. Deprem süresinin uzun olması durumunda

enerji tüketimi artacağı için, kısa süreli depreme oranla düzeltme katsayısı κ daha büyük bir değer alacaktır. Bu katsayıya ilişkin değerler, Tablo 3.8’den seçilecek yapı davranış türüne bağlı olarak Tablo 3.9’da verilmiştir.

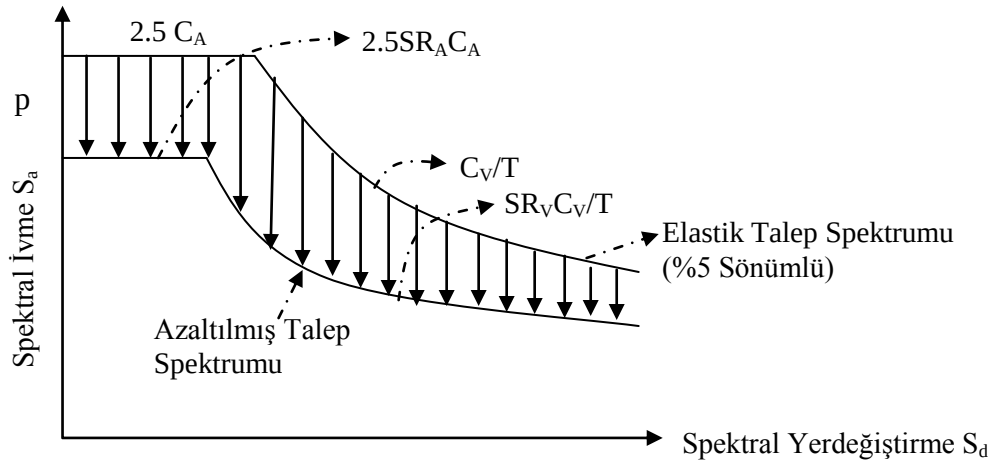
Tablo 3.8: Yapı davranış türü

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

Tablo 3.9: Sönüm düzeltme katsayısı κ

Yapı davranış türü	Tip A	Tip B	Tip C
κ	1.00	0.67	0.33

Doğrusal olmayan davranışın göz önüne alınması için, bu eşdeğer sönüm değerlerine bağlı olarak talep spektrumunda SR_A ve SR_V katsayıları ile azaltma yapılır. Şekil 3.8’de bu katsayılarla bağlı olarak %5 sönümlü talep spektrumunun indirgenmesi gösterilmiştir.



Şekil 3.8: %5 Sönümlü talep spektrumunun indirgenmesi

Azaltma yapılırken kullanılacak olan SR_A ve SR_V katsayıları yapıda deprem etkisine bağlı olarak oluşacak sönüme ve yapı davranış türüne bağlı olarak Tablo 3.10 ile gösterilmiştir.

Tablo 3.10: Spektral azaltma katsayıları SR_A ve SR_V

	Yapı Davranış Türü A			Yapı Davranış Türü B			Yapı Davranış Türü C		
β_0	β_{ef}	SR_A	SR_V	β_{ef}	SR_A	SR_V	β_{ef}	SR_A	SR_V
0.00	0.05	1.00	1.00	0.05	1.00	1.00	0.05	1.00	1.00
0.05	0.10	0.78	0.83	0.08	0.83	0.87	0.07	0.91	0.93
0.15	0.20	0.55	0.66	0.15	0.64	0.73	0.10	0.78	0.83
0.25	0.28	0.44	0.57	0.22	0.53	0.63	0.13	0.69	0.76
0.35	0.35	0.38	0.52	0.26	0.47	0.59	0.17	0.61	0.70
≥ 0.45	0.40	0.33	0.50	0.29	0.44	0.56	0.20	0.56	0.67

Görüldüğü üzere yapılan azaltma; sönüm oranıyla ve yapının yeni olması ile artmaktadır. SR_A ve SR_V azaltma katsayıları denklem (3.13) ve (3.14) yardımıyla da hesaplanabilir. Ancak, bulunan değerler Tablo 3.11’de verilen minimum değerlerden daha büyük olmalıdır.

$$SR_A = \frac{1}{2.12} [3.21 - 0.68 \lambda n(100 \beta_{ef})] \quad (3.13)$$

$$SR_V = \frac{1}{1.65} [2.31 - 0.41 \lambda n(100 \beta_{ef})] \quad (3.14)$$

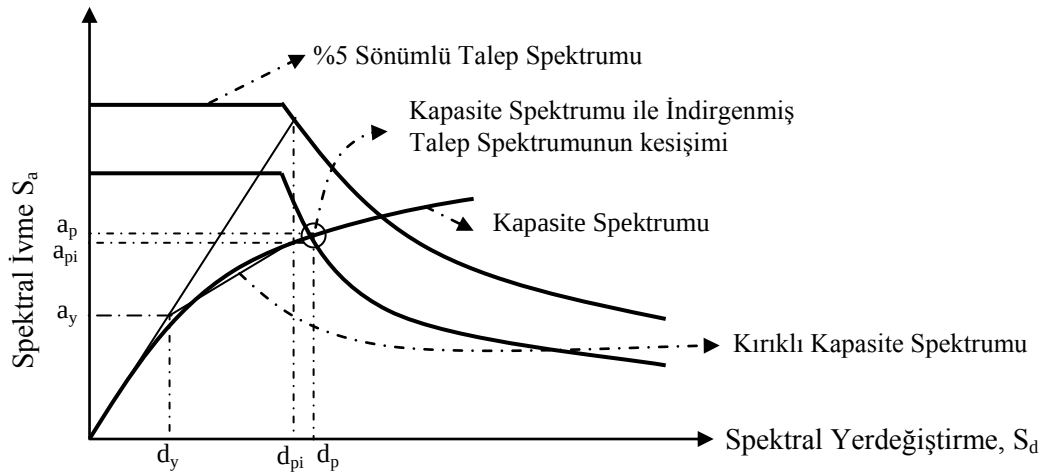
Tablo 3.11: Spektral azaltma katsayıları SR_A ve SR_V ’nin minimum değerleri

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

3.2.4 Performans noktasının hesaplanması

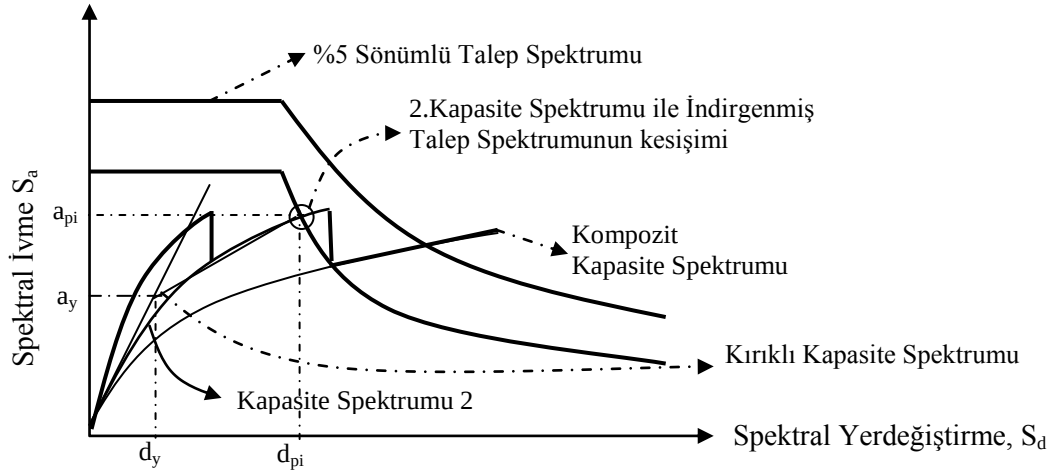
3.2.4.1 Kapasite ve talep spektrumlarının kesişmesi

Kapasite spektrumu ile indirgenmiş talep spektrumunun kesişim noktasının yatay koordinatı olan d_p spektral yer değiştirmesi, başlangıç performans noktasının yatay koordinatı olan d_{pi} spektral yer değiştirmesinden $\pm\%5$ 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 dahilinde değilse, yeni bir a_{pi} , d_{pi} noktası seçilir ve iterasyona devam edilir. Son iterasyon sonucu olarak bulunan performans noktası, yeni başlangıç performans noktası olarak alınarak bu işlem tekrarlanırsa yapılan iterasyonun gerçek performans noktasına yaklaşımı daha hızlı olur. Açıklanan bu kavram Şekil 3.9 ile gösterilmiştir.



Şekil 3.9: Kapasite spektrumu ile talep spektrumunun kesişim noktası

Kapasite spektrum eğrisi testere dişi şeklinde ise, birleşik kapasite spektrumu farklı birkaç tane kapasite spektrumundan oluşturulmalıdır. Bu yaklaşımda, iki doğrultuda gösterilen spektrum ile kompozit kapasite spektrumunun kesişme noktalarının aynı olmasına dikkat edilmelidir. Bu durum Şekil 3.10 yardımı ile gösterilmiştir.

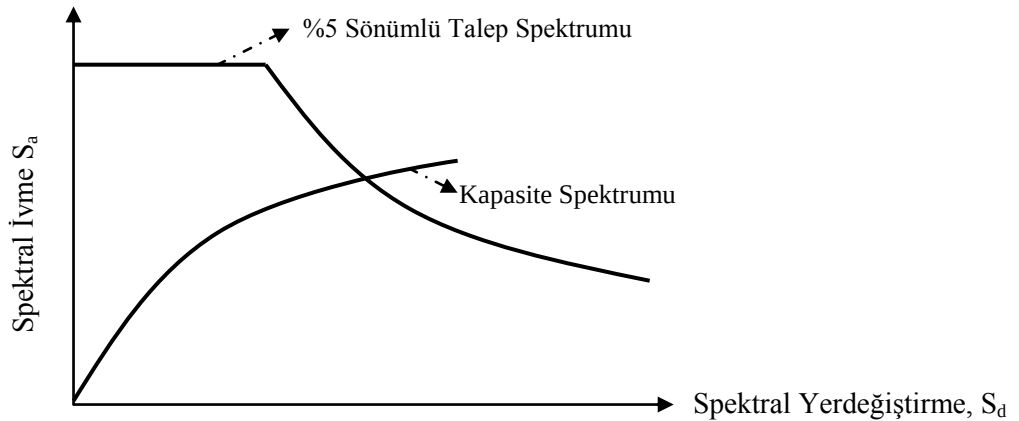


Şekil 3.10: Talep spektrumu ve kompozit kapasite spektrumunun kesişim noktası

3.2.4.2 Yöntem A kullanılarak performans noktasının hesaplanması

Performans noktası bu yöntemle bulunacaksa, yapılacak işlemler el ile veya bilgisayar desteği ile yapılabilir. Anlatılan prensiplerin en sade biçimi olarak tanımlanacak bu yöntemin işlem sırası aşağıdaki gibidir.

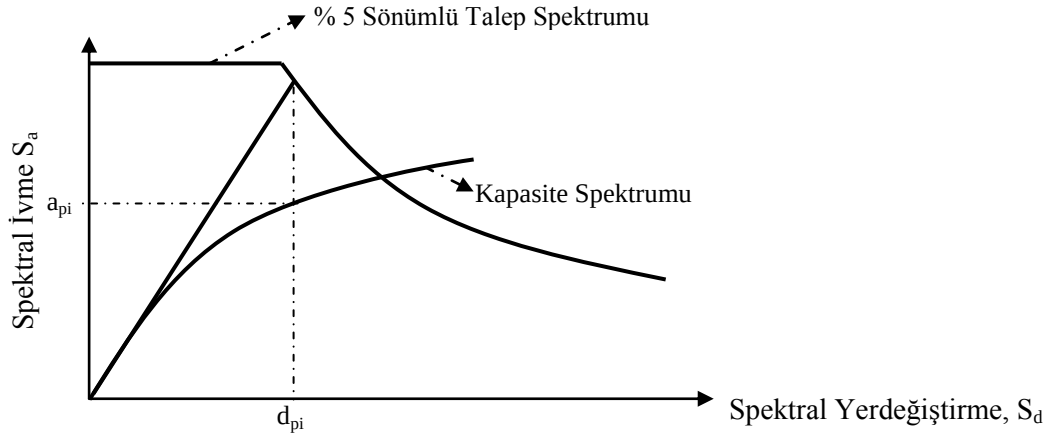
- 1) Bölüm 3.2.3.3’de anlatıldığı şekilde %5 sönümlü elastik talep spektrumu çizilir.
- 2) Bölüm 3.2.3.1’de anlatıldığı şekilde Denklem (3.3), (3.4), (3.5), (3.6) ve (3.7) yardımıyla kapasite eğrisi kapasite spektrumuna dönüştürülür. Kapasite spektrumu ile %5 sönümlü elastik talep spektrumu Şekil 3.11’deki gibi aynı grafik üzerinde gösterilir.



Şekil 3.11: Kapasite spektrumu ile talep spektrumunun kesiştirilmesi

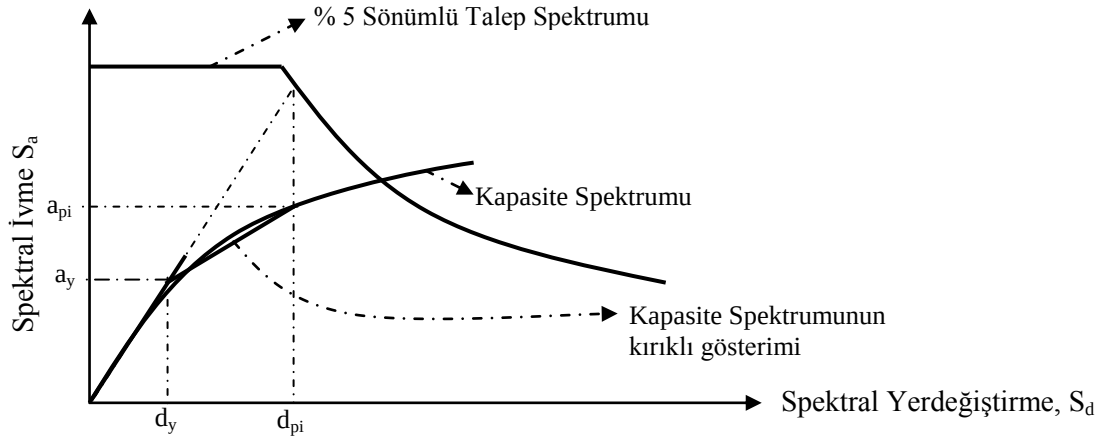
- 3) Şekil 3.12’de gösterildiği şekilde kapasite spektrumunun doğrusal olan kısmı uzatılarak talep spektrumu ile kesiştirilir. Bu kesişim noktasının kapasite

spektrumu üzerindeki düşey iz düşümü bulunur. Bulunan bu nokta, koordinatları a_{pi} ve d_{pi} olan başlangıç performans noktasıdır.



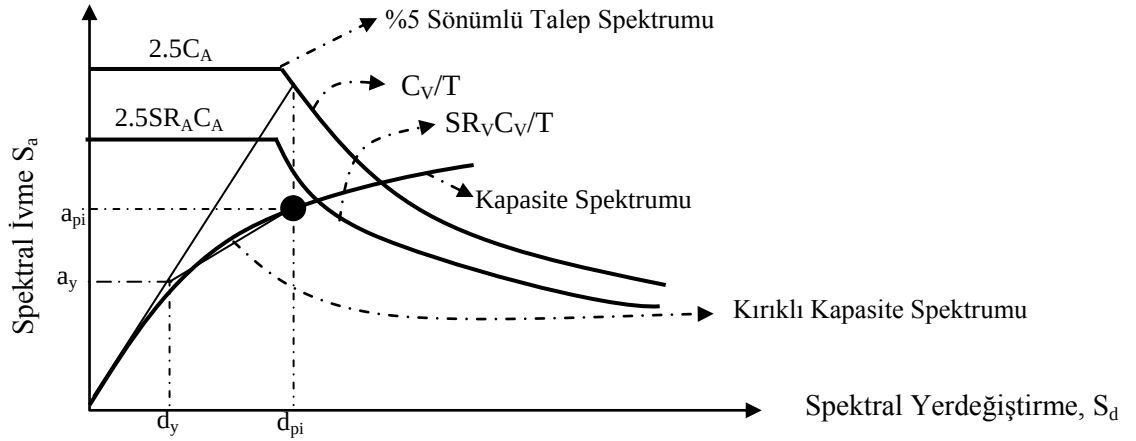
Şekil 3.12: Başlangıç performans noktasının bulunması

- 4) Bölüm 3.2.3.2’de anlatıldığı şekilde kapasite spektrumu Şekil 3.13’deki gibi kırıklı hale getirilir.



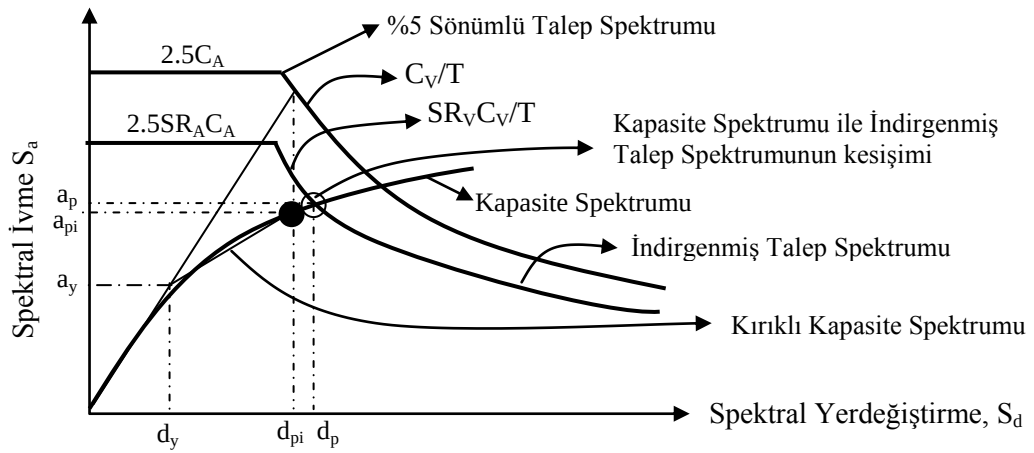
Şekil 3.13: Kapasite spektrumunun kırıklı şekle dönüştürülmesi

- 5) Bölüm 3.2.3.4’de anlatıldığı gibi Denklem (3.13) ve (3.14) kullanılarak SR_A ve SR_V hesaplanır. Bulunan bu indirgeme katsayıları kullanılarak % 5 sönümlü talep spektrumu, etkin sönüme sahip indirgenmiş talep spektrumuna dönüştürülür. Bu durum Şekil 3.14 ile gösterilmiştir.



Şekil 3.14: İndirgenmiş talep spektrumunun bulunması

- 6) Kapasite spektrumu ile indirgenmiş talep spektrumunun kesişim noktası belirlenir. Bulunan kesişim noktasının yatay koordinatı olan d_p değeri, d_{pi} değerinden Bölüm 3.2.4.1’de açıklandığı üzere $\pm$ %5 kadar yada daha az farklı ise bulunan nokta gerçek performans noktası olarak kabul edilebilir. Bu durum Şekil 3.15 ile gösterilmiştir.



Şekil 3.15: İndirgenmiş talep spektrumu ile kapasite spektrumunun kesiştirilmesi.

- 7-) Eğer bulunan a_p , d_p noktası kabul edilebilir toleranslar ($\pm$ %5) içinde değilse 4. Adıma geri dönülerek, koordinatları a_p , d_p olan nokta, başlangıç performans noktası alınarak sonraki işlemler tekrarlanır.
- 8-) Eğer a_p , d_p noktası kabul edilebilir sınırlar dahilindeyse a_{pi} - d_{pi} noktası başlangıç performans noktası; a_p - d_p gerçek performans noktası; d_p ise hesaba katılan muhtemel deprem sonucunda oluşacak maksimum yapısal yer değiştirme değeridir.

4. KULLANILAN ANALİZ PROGRAMLARI

4.1 Giriş

Yapılacak statik itme analizi için iki farklı bilgisayar yazılımı kullanılacaktır. Kullanılacak olan EPARC ve SAP 2000 programlarının genel tanımları ve anlatılan metodolojideki kullanım şekilleri bu bölümde ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

4.2 EPARC (Betonarme Yapıların Elasto-Plastik Analizi)

EPARC (Elasto-Plastic Analysis of Reinforced Concrete Structures) programı Girgin K. [11]. tarafından fortran programlama dili kullanılarak betonarme uzay çubuk sistemlerde ikinci mertebe elastoplastik limit yüklerinin belirlenmesi için geliştirilmiştir.

Program sabit düşey yükler altında, aralarındaki oran sabit kalacak şekilde artan yatay yükler için yapıların kapasitelerini belirlemektedir. Sistem normal kuvvetlerinde etkisi daha fazla olan düşey yüklerin sabit olarak tanımlanması çözümün lineerleştirilmesinde önemli bir etken olarak kabul edilmiştir. Sistem düşey yüklerini oluşturan yapı zati ağırlıklarının ve hareketli yüklerin değişiminin büyük olmayacağı düşünüldüğünde bu kabul oldukça gerçekçi olacaktır.

Betonarme çubuk elemanların lineer olmayan davranışları, bileşik iç kuvvet durumunu da içeren plastik kesit kavramı ile plastik şekil değiştirmelerin yığılı olması halini göz önüne almaktadır. Buna ek olarak geometri değişimlerinin denge denklemlerine etkisini ifade eden ikinci mertebe etkileri de hesaba katılabilir.

4.2.1 Programın kullandığı hesap yöntemi ve adımları

Yük artımı yöntemi kullanılan programın yapmış olduğu hesaplamalarda matris deplasman yöntemi kullanılmıştır. Çözümü yapılan problemin bilinmeyenleri düğüm noktası yer değiştirmeleridir. Geometrisi, yükleri, malzeme özellikleri girilen sistemin her çubuk elemanı için hesaplanan brüt kesit rijitlikleri ile birinci mertebe rijitlik matrisleri $[S_{dd}]$ ve yükleme matrisleri $[P_o]$ oluşturulur. Daha sonra sistem düşey yükler altında çözülerek çubuk uç kuvvetlerine ait sonuçlar biriktirilir. Yatay yükün sistem üzerindeki normal kuvvetlere fazla etkisinin olmadığı kabulü ile sadece düşey yüklerden oluşan normal kuvvet değerleriyle, ikinci mertebe etkileri matrisi

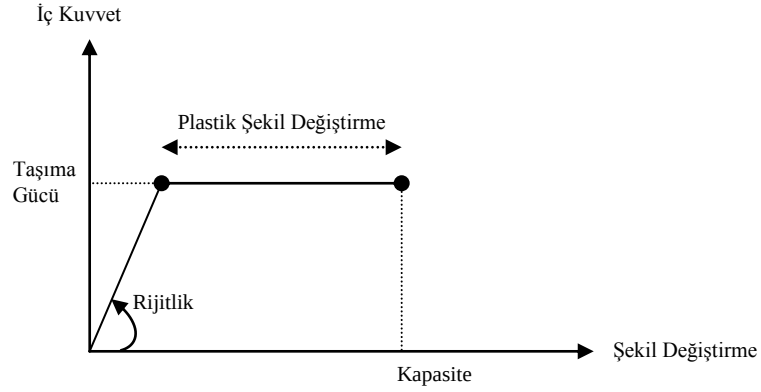
[S_{ddII}] hesaba katılırken; kesitlerdeki rijitliklerin bulunması için de bu normal kuvvet değerleri esas alınır.

Yatay yük artımının ilk adımında bir plastik kesit olmadığından [S] rijitlik matrisinin kendisi kullanılarak yatay yük parametresi $P_y = 1,0$ alınarak sistem çözülür. Elde edilen uç kuvvetleri yardımıyla 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 parametrelerinin en küçüğü bulunur. Bu yük parametresi, sistemde ilk plastik mafsallın olduğu adımı, bu parametrenin altında akma meydana gelen kesit ise o plastik mafsallın yerini belirler. Bir sonraki adımda, sisteme ait denklem takımına oluşan plastik kesitin akma koşulunu sağlayacak bir denklem eklenir. Bu denklemin bilinmeyen olarak plastik şekil değiştirme parametresi sistem bilinmeyenlerine eklenir. Bilinmeyen uç yer değiştirmelerinin akma koşuluna etkisini ve mafsaldaki plastik şekil değiştirmenin denge denklemlerine etkisini içeren satır ve sütun sistem rijitlik matrisine eklenir. İkinci adım için hesaba oluşturulan bu matris ile devam edilir. Bundan sonraki her plastik mafsall önceki adımda kullanılan matrise bir sütun ve satır ekler.

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

4.2.2 EPARC bilgisayar programının dayandığı kabuller

- 1) Betonarme çubuk elemanlarda iç kuvvet-şekil değiştirme bağıntılarının iki doğru parçasından meydana gelecek şekilde idealleştirilebileceği kabul edilmektedir. Bu durum Şekil 4.1 ile gösterilmiştir.



Şekil 4.1: İdealleştirilmiş iç kuvvet-şekil değiştirme bağıntısı

- 2) Lineer olmayan eğilme, uzama ve şekil değiştirmelerin plastik kesitlerde olduğu, bu kesitlerin dışında sistemin lineer-elastik davranış gösterdiği kabulü yapılmıştır.
- 3) Akma koşulunun eğilme momentlerine, normal kuvvete ve burulma momentine bağlı olduğu dikkate alınmıştır. Bileşik eğik eğilme ve burulma durumlarına ait akma koşullarının birbirinden ayrılabilceği kabul edilerek bileşik eğilme haline ait üç boyutlu akma yüzeyi düzlem parçalarından oluşacak şekilde idealleştirilmiştir. Kesme kuvvetlerinin akma koşuluna etkisi dikkate alınmamıştır.
- 4) Bileşik eğik eğilme durumunda, akma vektörünün akma yüzeyine dik olduğu kabul edilmektedir.
- 5) Yapı sisteminin narinliğine ve normal kuvvetlerin büyüklüğüne bağlı olarak birinci veya ikinci mertebe teorilerinden uygun olanı seçilmektedir.
- 6) Sistemdeki yer değiştirmeler sırasında yüklerin doğrultularının değişmediği kabul edilir.
- 7) Çubukların asal düzlemleri içindeki yer değiştirmelerin denge denklemlerine etkisi dikkate alınmış, burulma yer değiştirmeleri kaynaklı ikinci mertebe etkileri dikkate alınmamıştır.
- 8) Sistemi oluşturan çubukların doğru eksenli, sabit enkesitli olduğu ve normal kuvvetin çubuk boyunca sabit olacağı kabul edilmektedir. Bu koşulların

sağlanmadığı durumlarda, çubuklar yeteri kadar küçük parçalara bölünerek idealleştirilmektedir.

- 9) Yayılı yükler yeterli sayıda, statikçe eşdeğer tekil kuvvetlere dönüştürülerek hesap yapılmaktadır.

4.2.3 EPARC programı ve bileşenleri

Eparc programının ihtiyaç duyduğu verilerin çokluğu ve bu verilerin hazırlanabilmesi için Fortran dilinde üç ayrı yardımcı program hazırlanmıştır. Bu programlar sırasıyla çalıştırılarak birbirlerinin ihtiyaç duyduğu verileri hazırlamaktadırlar. Bu programlar çalıştırılma sırasıyla;

- Help 200
- Eparcs
- Check programlarıdır.

4.2.3.1 Help200 programı

İlk giriş bilgileri kullanıcı tarafından bu program yardımıyla hazırlanır ve sistem tanıtılır. Girilen veriler Eparcs ve Check programlarının kullanacağı verileri hazırlar ve dosyalar. Giriş verileri aşağıda özetlenen bilgileri içerir.

- Sistem geometrisinin tanımlanabilecek tüm büyüklükleri; düğüm noktalarının ve çubuk elemanların sayıları, koordinat bilgileri ve numaralandırılmalar,
- 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), malzeme gerilme-şekil değiştirme bağıntıları,
- Çubuk elemanların en kesit geometrileri ,
- Kolon ve kirişlerde kullanılan donatı miktarları ve donatıların kesit içindeki dizilişlerini belirten koordinatları,
- Yükler (kiriş yükleri programa sadece tekil kuvvetler cinsinden tanıtılabildiği için hesaplanan yayılı yükler statikçe eşdeğer olan tekil yüklere dönüştürülerek tanımlanır), düğüm noktası yükleri ve deprem hareketinden oluşan yatay yükler,

Tüm giriş verileri (ton-m) cinsinden tanıtılmaktadır.

Program, hazırlanan bu verilerle bileşik eğik eğilme etkisindeki çubuk elemanlarda akma yüzeylerinin karakteristik noktalarını belirler. Sadece eğilme etkisindeki elemanlarda (kiriş) tüm kesitler için taşıma güçlerinin ve M_{L1} , M_{L2} , X_{L1} , X_{L2} değerlerinin hesaplarını yapmaktadır. Bunun yanı sıra ikinci mertebe hesabında etkin olacak normal kuvvetlerin hesabını ve Eparcs programının okuyacağı çatlamış kesit rijitlikleri ile brüt kesit rijitliklerini hesaplar.

Help200 programına ait bazı çıkış dosyaları;

- Y1.SON : Dosyada, düğüm noktaları yer değiştirmelerinin numaraları, sistemin tüm düğüm noktalarının ve çubuk elemanların koordinatları; çubuk elemanlarının uç numaraları, en kesitlerinin boyutları, alanları, brüt en kesit rijitlikleri ve burulma rijitlikleri kaydedilmektedir.
- Y2.SON : Dosyada, en kesitlerin brüt eğilme rijitlikleri dikkate alınarak, sadece düşey yükler etkisi altında elde edilen hesap sonuçları, uç kuvvetleri ve momentleri kaydedilmektedir.
- EPARC.DAT : Dosyada, çatlamış kesit rijitlikleri; kirişlerde sol, orta ve sağ uçta olmak üzere pozitif ve negatif eğilme moment kapasiteleri, kolonların burulma rijitlikleri, her iki eksene ait eğilme rijitlikleri; uzama rijitlikleri ile normal kuvvetleri hesaplanmış ve üç boyutlu akma yüzeylerinin tanımı için gerekli koordinatlar kaydedilmektedir.
- EPBRUT.DAT : Dosyada, brüt en kesit eğilme rijitlikleri; kirişlerin moment kapasiteleri; kolon ve perde elemanlar için normal kuvvete göre eğilme momentleri ve üç boyutlu akma yüzeylerinin tanımı için gerekli koordinatlar kaydedilmektedir.
- CIZIM.DXF : Kat kolon açılımlarının tek tek gösterildiği AutoCAD dosyalarıdır.

4.2.3.2 Eparcs programı

Bu programın giriş verilerinin tümü Help200 programı tarafından hazırlanmaktadır. Sistem geometrisi, malzeme özellikleri, yüklemeler, mesnet koşulları, kolonlarda bileşik eğik eğilme durumunu ifade eden üç boyutlu akma yüzeyini tanımlayan nokta koordinatları, kiriş eğilme momenti kapasiteleri ve sistemdeki kesitlere ait rijitlikler giriş verilerini oluşturmaktadır.

Sistemin çözümünde hangi yolun izleneceğine bu aşamada karar verilir. Birinci yada ikinci mertebe teorisine göre hesap yapılacak olması seçimi başka bir deyişle çubukların çatlamış en kesit rijitliklerinin veya brüt en kesit rijitliklerinin kullanılacak olması seçimidir. Bu seçime göre hesaplamalar Eparc.dat ya da epbrut.dat dosyalarından biri kullanılarak yapılır.

Eparcs programına ait çıkış dosyaları;

- EP5.SON : Dosyada, plastik kesitleri oluşturan yük parametreleri; plastik kesitlerin yerleri, türleri, yer değiştirme değerleri ve plastik kesitlerdeki iç kuvvetler bulunmaktadır.
- DONME.SON : Dosyada, plastik kesit dönmelerinin değerleri bulunmaktadır.
- GRFY.DAT ve GRFX.DAT : Dosyada, başlangıçta seçilmiş bir düğüm noktasının y ve x doğrultusundaki yer değiştirmelerinin yük parametreleriyle paralel olarak kaydedilmiş değerleri bulunmaktadır.
- KONT2.SON : Dosyada, her yük artımı adımına ait yük parametreleriyle beraber plastik kesitlerin yerleri ve o adımdaki plastik dönme değerleri bulunmaktadır. Bulunan bu değerler Check programı tarafından kullanılmak üzere kaydedilir.

4.2.3.3 Check programı

Check programı, yük artımının her adımında oluşan plastik kesitlerdeki dönme kapasitelerini hesaplayarak, bulunan değerleri Eparcs programı tarafından hesaplanan ve kaydedilen plastik kesit dönmeleriyle karşılaştırır. Bu karşılaştırma sonucunda dönme kapasitesi aşılan kesitler bulunur ve hangi yük parametresinde limit değerlere ulaşıldığı belirlenerek göçme yükü bulunur.

Check programına ait çıkış dosyası;

- KONTROL.SON : Dosyada, hesaplamanın birinci adımından başlanarak tüm adımlardaki dönme kapasitesini aşan kesitler kaydedilir. Ardışık iki adım arasında dönme kapasitesi aşılyorsa, durumun tam olarak hangi yük parametresinde gerçekleştiğini bulabilmek amacıyla bu iki adım arasında dönme kapasitesi göz önüne alınarak lineer bir interpolasyon yapılır.

Göçme yükü ve bu sırada seçilen düğüm noktası yer değiştirmesi hesaplanarak kaydedilir.

4.3 SAP 2000 nonlinear

Sap 2000 analiz programı (SAP 2000 Nonlinear Structural Analysis Program, CSI Berkeley) birçok akademik çalışmada ve güncel çalışmalarda kullanılan çok amaçlı ve ülkemizde kullanımı oldukça yaygın olan bir programdır . Bu bölümde programın genel çalışma prensipleri değil, statik itme analizi için programın nasıl kullanılacağı kısaca özetlenecektir.

Eparc programı için modellenen yapı, programın çıkış dosyalarından birisi olan SAPSAP dosyası yardımıyla Sap 2000 programına aktarılır ve gerekli düzeltmeler yapılır.

Oluşturulan sistemin plastik mafsallık özellikleri artık tanımlı haldedir. Programa statik itme analizinin kaç aşamada yapılacağı ve bu aşamalarda hangi işlemlerin yapılacağı tanıtılmalıdır.

Statik itme analizi düşey yükler ve yatay yükler etkisi altında olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada, deprem sırasında düşey yüklerin yapı davranışına etkisini tanımlamak amacıyla bu yükler altında analiz yapılır. Düşey yükler etkisinde doğrusal olmayan çözümleme için kullanılan bu aşamada yük tanımlaması düşey yük kuvvet çarpanı girilerek yapılır.

Analizin ikinci aşamasında deprem nedeniyle oluşacak yatay kuvvetler dikkate alınacaktır. Kütle merkezlerine program tarafından yatay kuvvet uygulanacak ve ulaşılabilen maksimum yer değiştirme tanımlanarak, bu yer değiştirme bina boyunun 0.04 katı gibi bir değerle sınırlandırılacaktır. Yatay yük çarpanı girilerek ikinci aşamaya ait tanımlama da yapılmış olur.

İki aşamalı olarak nitelendirilebilen statik itme analizinden önce sistemin doğrusal ve modal analizleri yapılmalıdır. Deformasyon kontrollü yük artımı yönteminde ilk olarak düşey yüklerin dikkate alındığı ilk aşama tamamlanmalıdır. Bu aşamadan elde edilecek şekil değiştirmeler kaydedilerek ikinci aşamaya geçilir. Düşey yüklerin yapının yatay stabilitesine olan etkisini göz önüne alabilmek için analiz kaldığı yerden devam ettirilir.

İkinci aşamada yatay kuvvet sıfırdan başlayarak arttırılır. Yapıda şekil değiştirmeler ve plastik mafsallar oluşmaya başlar. Yük artım işlemi yapı maksimum şekil değiştirme sınırına gelene kadar, yapı labil hale gelene kadar veya göçme durumu oluşana kadar devam ettirilir. Bu üç şarttan herhangi birinin oluşması analizin bittiğini gösterir.

Analiz sonucunda her yük artımı sırasında binada en üst kattaki yer değiştirme ve karşılık gelen taban kesme kuvveti değerleri kaydedilir. Analiz sona erdiğinde ulaşılan değerler maksimum şekil değiştirme ve karşılanabilecek maksimum taban kesme kuvveti değerlerine denk gelmektedir.

Yapıya ait kapasite eğrileri çizilirken, her iki yön için tekrarlanan analiz sonuçlarından elde edilen şekil değiştirme – taban kesme kuvveti değerleri kullanılır.

Tüm bu hesaplama ve analizler dizisinin sonucunda oluşturulan kapasite eğrileri ve elde edilecek modal analiz sonuçları kullanılarak yapı performans noktaları bulunur.

5. MEVCUT BİR BETONARME BİNANIN BİLGİSAYAR ORTAMINDA ANALİZİ

5.1 Giriş

Bu bölümde 1975 Deprem Yönetmeliğine göre projelendirilmiş ve inşa edilmiş, 1999 Marmara Depreminde hasar görmüş, çerçeve taşıyıcı sistemle oluşturulmuş betonarme bir binanın 3.Bölüm de anlatılan Statik İtme Analizi kullanılarak güvenlik derecesi araştırılmış ve bulunan sonuçlar dikkate alınarak yapılacak güçlendirme çalışmasının gerekliliği araştırılmıştır. Güçlendirme işleminde sonraki durum ayrıca irdelenmiştir. Analizlerin nasıl yapılacağı ve yorumlanması hakkında sayısal bir örnek olarak ta nitelendirilebilecek bu çalışmada, yapının statik ve dinamik analizleri 4. Bölümde tanımlanan EPARC ve SAP 2000 analiz programları kullanılarak yapılmıştır.

Bu uygulama sırasında; sırasıyla mevcut yapı bilgilerinin tespit edilmesi, yapıya etki ettirilecek yüklerin hesaplanması, kullanılacak bilgisayar programlarına bu bilgilerin tanıtılması ve elde edilen sonuçlara göre bina davranışının bulunması gerekmektedir. Yapıda güçlendirme için yapılacak değişiklikler sonucunda tüm işlemler baştan tekrarlanacaktır.

5.2. Yapı Bilgileri

5.2.1 Genel yapı bilgileri

İncelenecek yapı zemin kat + 2 normal kattan (toplam 3 kat) ibaret betonarme karkas bir binadır. Okul binası olarak kullanılan yapının taşıyıcı sistemi, temin edilen projeler kontrol edilerek ve yapılan rölöve çalışmaları dikkate alınarak belirlenmiş; tespit edilen hususlar aşağıda özetlenmiştir.

- Kat yükseklikleri zemin katta 4.00 m., diğer katlarda 3.20 m dir. (Toplam bina yüksekliği 10,4 m.'dir.)

- Binanın çatısı oturtma ahşap çatıdır. Hacimler idari bürolar ve genellikle derslik olarak kullanılmaktadır. Yapıda konsol bulunmamakta olup yapı, planda 322 m²'lik bir alana oturmaktadır.
- Yapı taşıyıcı sistemi çerçevelerden oluşmaktadır. Yapının uzun doğrultusunda 6 aks, kısa doğrultusunda 5 aks bulunmaktadır. Kat Kalıp Planı Ek A Şekil A.3 ile verilmiştir.
- Yapının döşeme sistemi kiriş + plak döşeme olup plak kalınlığı büyük döşemelerde 20 cm., diğerlerinde 15 cm'dir.
- Dış kirişler 30/70 cm iç kirişler 30/70, 40/70 ve 25/50 cm. boyutlarındadır.
- Kolonlar 50x25, 50x30, 50x40 cm. boyutlarındadır.
- Donatı çeliğinin kalitesi BÇI'dir.
- Betonarme binada tahkik hesaplarında esas alınacak beton basınç dayanımı 10 N/mm² dir . (BS 10)
- Zemin etüdü raporlarına göre bina C grubu zeminde bulunmaktadır.
- Yerel zemin sınıfı Z3 olarak belirlenmiştir.
- Zemin emniyet gerilmesi yaklaşık 100 kN/m² dir.
- Etkin yer ivmesi katsayısı 0,40 olarak alınacaktır.
- Yapı önem katsayısı I= 1,4 olarak alınacaktır.
- Zemin hakim periyotları Ta= 0,15 s. Tb= 0,60 s. olarak alınacaktır.
- Taşıyıcı sistemin davranış katsayısı süneklik düzeyi normal betonarme binada R= 4 alınacaktır.

Bunlara ek olarak aşağıda belirtilen değerler hesaplamalarda kullanılacaktır.

- Uygulanacak deprem türü: Tasarım depremi
- Deprem etki türü katsayısı : E=1.0 (tasarım depremi)
- Beton sınıfı : BS10 ($f_{cd} = 10 \text{ MPa}$)
- $E_c = 24277 \text{ Mpa} = (E_c = 3250\sqrt{f_{cd}}+14000)$
- Betonun birim kısalması $\varepsilon_{cu} = 0,003$

- Çelik sınıfı : BÇ I ($f_{yd} = 215820 \text{ kN/m}^2$)
- Çeliğin maksimum birim uzaması $\epsilon_{su} = 0,01$
- Güçlendirme beton sınıfı: BS 20 ($f_{cd} = 20 \text{ MPa}$)
- $E_c = 28534 \text{ Mpa} = (E_c = 3250\sqrt{f_{cd}}+14000)$
- Güçlendirme çelik sınıfı: BÇ I ($f_{yd} = 215820 \text{ kN/m}^2$)

5.2.2 Kiriş ve kolon özellikleri

Yapıda perde bulunmamakta, mevcut kolon ve kirişlerin donatı planları bulunmamaktadır. Yapıdaki kolonların çoğu x doğrultusunda yerleştirilmiştir. 21 adet kolonun sadece 5 tanesi y doğrultusunda daha güçlüdür. Kolonlara ait donatılar, binanın yapıldığı tarih ve minimum şartlar dikkate alınarak, düşey yükleri taşıyabilecek şekilde belirlenmiştir. 3 değişik boyutta olan kolonların ölçüleri katlarda farklılık göstermemektedir. Kolon boyutları ve tipik donatı yerleşimleri EK A, Tablo A.1 ile verilmiştir.

Binanın tüm dış kirişleri 30*70 cm boyutlarındadır. İç kirişler ise 25*50, 30*70 ve 40*70 cm ölçülerinde farklılaşmaktadır. Yine mevcut donatı planlarının bulunamaması nedeni ile bu kirişlerde dah olumsuz görünen düşey yükleri taşıyabilecek donatılar seçilmiştir. Bina yapım tarihi nedeni ile 1998 deprem yönetmeliği esasları kullanılmamıştır. Binanın okul binası olarak kullanılması nedeni ile hesaba katılan artırılmış hareketli yükler, 20 cm'lik döşeme kalınlıkları, yaklaşık 52 m² lik döşemeler ve 7,2 metreye varan kiriş açıklıkları nedeni ile oldukça yüksek kesit tesirleri elde edilmiş, bulunan değerlere göre seçilebilecek minimum donatılar belirlenmiştir. Bu doğrultuda bulunan minimum alanlar Ø18 donatı seçilerek standartlaştırılmıştır. Kiriş donatıları, adetleri ve alanları EK A, Tablo A.2 ile verilmiştir.

5.3 Yapıya Etki Eden Yükler

5.3.1 Düşey yükler

5.3.1.1 Sabit yükler

Sabit yükler döşeme ağırlıkları, kiriş ağırlıkları, kolon ağırlıkları ve duvar ağırlıkları olarak ayrı ayrı hesaplanmış ve katlara göre toplamaları bulunarak bina ağırlığı hesaplanmıştır. Bu hesaplarda kabul edilen bazı yükler aşağıda özetlenmiştir.

Döşeme ağırlığı = Betonarme plak ağırlığı + (şap + kaplama) ağırlığı

$$(\text{Şap} + \text{Kaplama}) \text{ ağırlığı} = 1,4715 \text{ kN/m}^2$$

$$\gamma_{\text{beton}} = 24,525 \text{ kN/m}^2$$

Büyük döşemeler = 20 cm kalınlık

$$g = h_f * \gamma_{\text{beton}} + (\text{Şap} + \text{Kaplama}) = 0,2 * 2,5 + 0,15 = 6,3765 \text{ kN/m}^2$$

Küçük döşemeler = 15 cm kalınlık

$$g = h_f * \gamma_{\text{beton}} + (\text{Şap} + \text{Kaplama}) = 0,15 * 2,5 + 0,15 = 5,1503 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Dış duvar birim ağırlığı} = 2,9430 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{İç duvar birim ağırlığı} = 2,4525 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Çatı Ağırlığı} = 1,1772 \text{ kN/m}^2$$

Yukarıdaki değerler kullanılarak hesaplanan kat ağırlıkları Tablo 5.1 ile gösterilmiştir.

Tablo 5.1: Sabit yüklerden oluşan kat ağırlıkları

KAT:	Sabit Yükler				G toplam yük (kN)
	Döşeme (kN)	Kiriş (kN)	Kolon (kN)	İç-Dış Duvar (kN)	
2. Kat	2107,29	706,71	128,51	514,24	3456,75
1. Kat	1650,73	706,71	257,02	1028,58	3642,94
Zemin Kat	1650,73	706,71	289,20	1189,76	3836,30
TOPLAM					10935,89

5.3.1.2 Hareketli yükler

Çatı katı (çatı arası odalar) $= 1,4715 \text{ kN/m}^2$

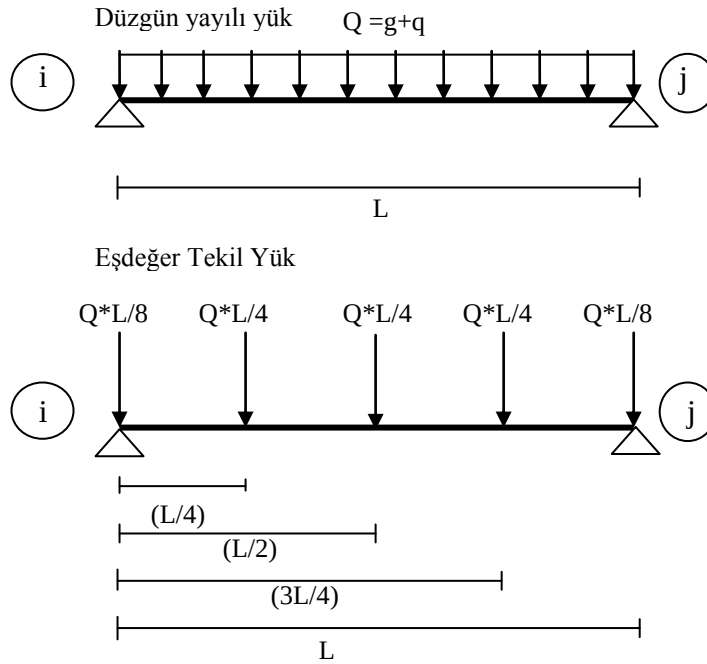
Sınıflar $= 3,4335 \text{ kN/m}^2$

Okul Merdivenleri $= 4,905 \text{ kN/m}^2$

5.3.1.3 Düşey yüklerin hesaplanması ve tanıtılması

Sabit ve hareketli yükler bazı katsayılar kullanılarak birleştirilir ve kirişler üzerine düzgün yayılı yük olarak etkitilir. Yapıdaki tüm kirişler için tek tek hesaplanan bu değerler EK A, Tablo A.2 ile gösterilmiştir. Kolon ağırlıkları program tarafından otomatik olarak hesaplandığı için bu değerler hesaba katılmamıştır.

Eparc programında kiriş üzerine etkiyen düzgün yayılı yük tanımlanamadığı için bu yükler eşdeğer tekil yüklere dönüştürülmüştür. Böylece döşemelerden, duvarlardan ve kirişin kendi ağırlığından kaynaklanan yükler; kiriş üzerine ve düğüm noktalarına etki eden tekil yüklere dönüştürülür. Bu yöntem Şekil 5.1 ile gösterilmiştir.



Şekil 5.1: Kiriş üzerindeki düzgün yayılı yükün eşdeğer tekil yüke çevrilmesi

5.3.2 Yatay yükler

Yatay deprem yükü 1998 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik esasları dahilinde hesaplanmıştır. Deprem hesabına başlarken öncelikle kat ağırlıklarının hesaplanması gerekmektedir.

Bina toplam ağırlığı W ,

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

formülü ile, kat ağırlıkları ise

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

formülü yardımıyla hesaplanacaktır. Yukarıdaki formüllerde;

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

İncelenen bina okul olarak kullanıldığı için hareketli yük katılım katsayısı (n) 0,60 olarak belirlenmiştir. Buna göre Tablo 5.1 ile bulunan sabit yük kaynaklı ağırlıklar dikkate alınarak hesaplanan hareketli yük katılım değerleri Tablo 5.2 ile gösterilmiştir.

Tablo 5.2: Hareketli yüklerden oluşan kat ağırlıkları

KAT:	Q_i (kN)	n	$n*Q_i$ (kN)
2. Kat	410,55	0,60	246,33
1. Kat	979,92	0,60	587,91
Zemin Kat	979,92	0,60	587,91

Toplam bina ağırlığı (5.1) ve (5.2) denklemleri yardımıyla Tablo 5.3 ile gösterildiği şekilde hesaplanmıştır

Tablo 5.3: Toplam bina ağırlığı

Kat	Sabit Yük g_i (kN)	Hareketli Yük $0,60 \cdot q_i$ (kN)	Kat Ağırlığı , w_i (kN)
2. kat	3456,75	246,33	3702,49
1. kat	3642,94	587,91	4230,86
Zemin. kat	3836,30	587,91	4424,21
TOPLAM			12358,05

Binanın tümüne etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü ;

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

denklemleri ile tanımlanır. $A(T_1)$, spektral ivme katsayısı Denklem (5.4) ile bulunur.

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

$A_0 \Rightarrow$ etkin yer ivme katsayısı, deprem bölgesine bağlı olup hesabı yapılan bina için 0,40 olarak hesaba katılacaktır.

$I \Rightarrow$ Bina önem katsayısı, okullar için 1,40 olarak belirlenmiştir.

$S(T) \Rightarrow$ Spektrum katsayısı, yerel zemin koşullarına ve bina doğal periyodu T 'ye bağlı olarak Denklem (5.5a), (5.5b) ve (5.5c) ile hesaplanır.

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

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

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

T_A ve $T_B \Rightarrow$ Spektrum karakteristik periyodları, yerel zemin sınıflarına bağlı olup Z_3 zemin sınıfı için 0,15 ve 0,60 olarak hesaba katılacaktır.

$T \Rightarrow$ Yapının doğal periyodu, bina toplam yüksekliği $H_N < 25$ m olduğundan Denklem (5.6) ile hesaplanır.

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

Bina taşıyıcı sistemi sadece çerçevelerden oluştuğu için C_t değeri 0,007 alınacaktır.

$$T_1 \cong T_{1A} = C_t \cdot H_N^{3/4} = 0,07 \cdot 10,4^{3/4} = 0,405 \text{ s.}$$

$T_A = 0,15$, $T_B = 0,60$ ve $T_1 = 0,405$ sn. olduğu için Spektrum katsayısı Denklem (5.5b) dikkate alınarak göre $S(T) = 2,5$ değerini alır.

$$A(T_1) = A_0 \cdot I \cdot S(T) = 0,40 \cdot 1,4 \cdot 2,5 = 1,4$$

$R_d(T) \Rightarrow$ deprem yükü azaltma katsayısı, taşıyıcı sistem davranış katsayısı R 'ye ve doğal titreşim periyodu T 'ye bağlı olarak Denklem (5.7a) ve (5.7b) ile hesaplanır.

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

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

Yapı yerinde dökme betonarme binadır. Binanın süneklik düzeyi normal olduğu ve deprem yükleri çerçeveler ile taşındığı için $R=4$ alınır. Denklem (5.7b) ile gösterildiği üzere ($T > T_A$) olduğu için

$$R_d(T) = R = 4$$

Böylelikle toplam eşdeğer deprem yükü Denklem (5.3) yardımıyla;

$$V_t = \frac{W \cdot A(T_1)}{R_d(T_1)} \geq 0,10 \cdot A_0 \cdot I \cdot W \Rightarrow \frac{12358,05 \cdot 1,4}{4} \geq 0,10 \cdot 0,40 \cdot 1,4 \cdot 12358,05$$

$$V_t = 4325,34 \text{ kN} \geq 692,05 \text{ kN}$$

olarak hesaplanır.

Katlara etkiyen eşdeğer deprem yükü Denklem (5.8) yardımıyla hesaplanmış, elde edilen değerler Tablo 5.4 ile gösterilmiştir.

$$F_i = V_t \left[\frac{(w_i \cdot H_i)}{\sum (w_i \cdot H_i)} \right] \quad (5.8)$$

Tablo 5.4: Katlara etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin hesaplanması

Kat	Katın yerden yüksekliği (m)	Katın toplam ağırlığı (kN)	$w_i \cdot H_i$	$F_i = V_t \left[\frac{(w_i \cdot H_i)}{\sum (w_i \cdot H_i)} \right]$ (kN)
2. Kat	10,4	3702,49	38511,41	1921,94
1. Kat	7,2	4230,86	30462,40	1520,24
Zemin Kat	4	4424,21	17696,75	883,17
		$\sum w_i \cdot H_i =$	86670,57	

5.4 EPARC Analiz Programı ile Yapı Deprem Güvenliği Tahkiki

5.4.1 EPARC giriş veri dosyasının hazırlanması

Daha önce anlatıldığı üzere Help 200 programının okuyabileceği düzende bir veri dosyası oluşturulmalıdır. Malzeme özellikleri, yapının geometrisi, çubuk elemanların kesit özellikleri, bağlanma şekilleri, düğüm noktalarına ait geometrik bilgiler, taşıyıcı sisteme etkiyen yükler, düğüm noktalarına etkiyen yükler, çubuk elemanların donatı düzenleri, deprem yükü tanımı gibi analiz için gerekli tüm değerler belirli bir sıra ve belli bir şablon dahilinde hazırlanmıştır. Hazırlanan veri bloklarına ait kısa açıklama aşağıda verilmiştir.

5.4.1.1 Yapıya ait genel bilgilerin tanımlanması

Bu bölümde sistemi oluşturan çubuk elemanların, kolon ve kirişlerin adetleri, düğüm noktası adetleri, yüklü eleman ve noktaların adetleri, her kattaki düğüm noktası sayıları, master joint koordinatları ve kat yükseklikleri verilmiştir. Ayrıca kolon ağırlıklarının hesaba katılıp katılmayacağı, kirişlerde gövde donatısı veya burulma boyuna donatısının olup olmadığı gibi yapıya ait genel tanımlar yapılmaktadır. Analizi yapılan sistem için bu değerler aşağıdaki şekilde düzenlenmiştir.

Sistemdeki çubuk eleman sayısı	= 162
Mesnetler dahil düğüm noktası sayısı	= 93
Mesnetler hariç düğüm noktası sayısı	= 72
Düşey yüklü düğüm noktası sayısı	= 69
Yüklü çubuk eleman sayısı (kirişler)	= 99
Yatay yük etkileyen düğüm noktası sayısı	= 3
Kat sayısı	= 3
Betonun karakteristik basınç dayanımı	= 9810 kN/m ²
Çeliğin karakteristik akma dayanımı	= 215820 kN/m ²
Betonun elastisite modülü	= 23816131,4 kN/m ²
Çelikte maksimum birim uzama	= 0.001
Kat kütle merkezinin koordinatları;	X=7.20 m, Y=10.80 m

5.4.1.2 Yapıya ait geometrik bilgilerin tanımlanması

Bu bölümde sistemi üç boyutlu olarak oluşturabilecek şekilde düğüm numaraları ve çubuk eleman tanımları yapılır. Her nokta ve elemana değişik numaralar verilmiştir. Düğüm noktaları en üst kattan başlayarak sırayla numaralandırılmış, alt katlarda da aynı sıra kullanılarak düğüm noktalarının bazılarının Z ekseninde türetilmesine olanak sağlayan döngü elde edilmiştir. Numaralandırılması yapılan tüm noktaların X, Y ve Z koordinatları verilmiştir.

Çubuk elemanlar da benzer döngüsel türetmelere olanak verecek şekilde numaralandırılmış, çubukların i ve j uçlarındaki düğüm noktaları belirtilerek sistem içerisindeki yerleşimleri ve boyları programa tanıtılmıştır. Önce kirişlere ait bilgiler girilmiş, daha sonra numaralandırma devam edecek şekilde kolon bilgileri girilmiştir.

5.4.1.3 Kesit özelliklerinin tanımlanması

Çubuk elemanların enkesit bilgileri tanımlanırken numaralandırma sırasına uygun olacak şekilde önce kirişlere, daha sonra kolonlara ait bilgiler girilir. Kirişlerin

genişliği, derinlikleri, T veya L kesitli oldukları gibi bilgiler ; kolonların ise boyutları tek tek tanımlanır.

5.4.1.4 Yüklerin tanımlanması

Eşdeğer tekil yüke dönüştürülmüş kiriş yüklerinin tanımlandığı bu bölümde numaralandırma sırası ile kirişlerin üzerinde kaç adet tekil yük bulunduğu, tekil yük değerleri ve bu yüklerin etki ettiği mesafeler tanımlanır. Düğüm noktaları için etki eden tekil yük toplam değeri ayrı ayrı tanımlanır. Bölüm 5.3.2 'de bulunan yatay deprem kuvveti değerleri, tanımlanan master joint noktalarına etkilir. Bu veri bloğu giriş dosyasının en sonuna eklenir.

5.4.1.5 Donatıların tanımlanması

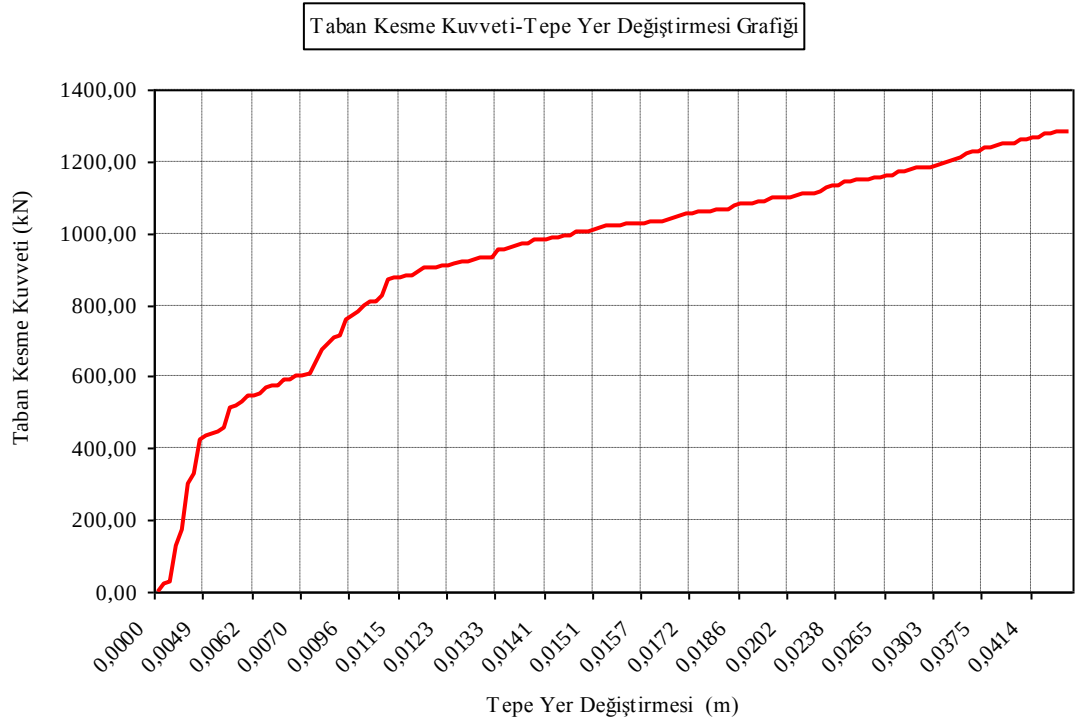
Kiriş ve kolon donatılarına ait bilgiler bu bölüm ile programa tanıtılır. Kirişler uzunluk doğrultusunda sol, orta ve sağ bölge olmak üzere üç parçaya ayrılmıştır. Buna göre kirişte buluna tüm boyuna donatılar bulundukları konum ve enkesit içerisindeki konumlarına göre, toplam alan değerleri belirtilerek programa tanıtılır. Başka bir deyişle donatıların bulundukları koordinatlar programa tanıtılır.

Kolon donatıları da aynı şekilde, kolon merkezine göre koordinatlar ve koordinatlara karşılık gelen donatı alanları belirtilerek tanımlanır. En fazla 16 adet kolon donatısı tanımlı yapılabilmektedir. Beton birim kısalma değerleri de bu veri bloklarında tanımlanır.

5.4.2 EPARC analiz sonuçları

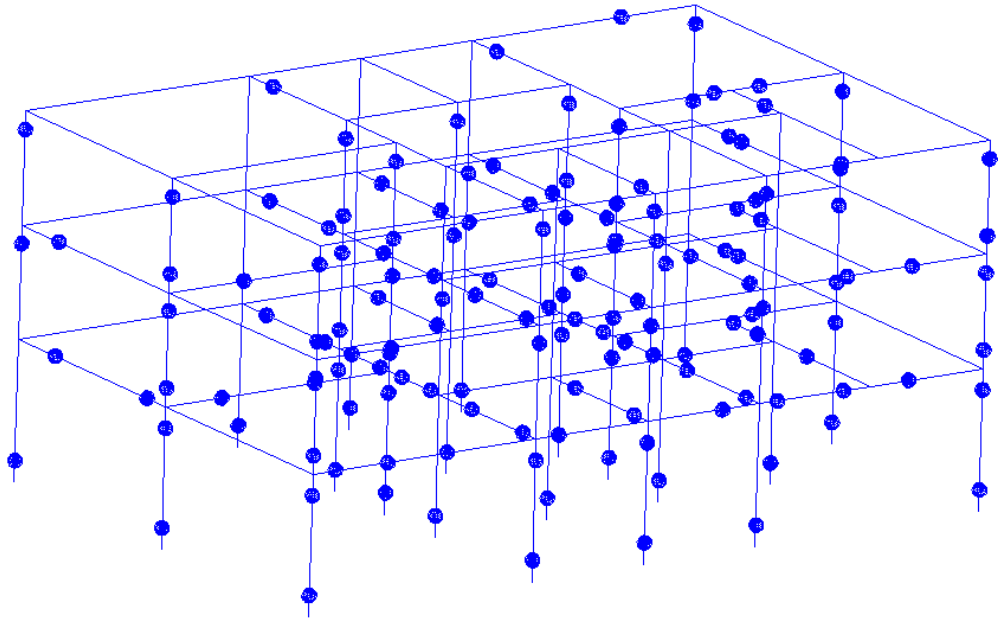
5.4.2.1 X yönü için analiz sonuçları

Analiz sonucunda oluşan X yönündeki taban kesme kuvveti - tepe yerdeğiştirmesi arasındaki ilişki şekil 5.2 ile verilmiştir. Grafik üzerinde de görüldüğü üzere yapının bu yönde dayanabildiği maksimum taban kuvveti, yani X yönündeki göçme yükü $V_{göçme} = 1284,495$ kN olarak okunmuştur. Bu göçme yükü sırasında oluşan çatı yer değiştirme değeri ise $\Delta_{göçme} = 0,045$ m olarak bulunmuştur. Yapının bu yöndeki yük parametresi (Binanın karşıladığı taban kesme kuvveti / Binaya etkiyen deprem yükü) $P_{göçme} = 0.29697$ olarak bulunmuştur.



şekil 5.2: Yapının X yönündeki taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirmesi grafiği

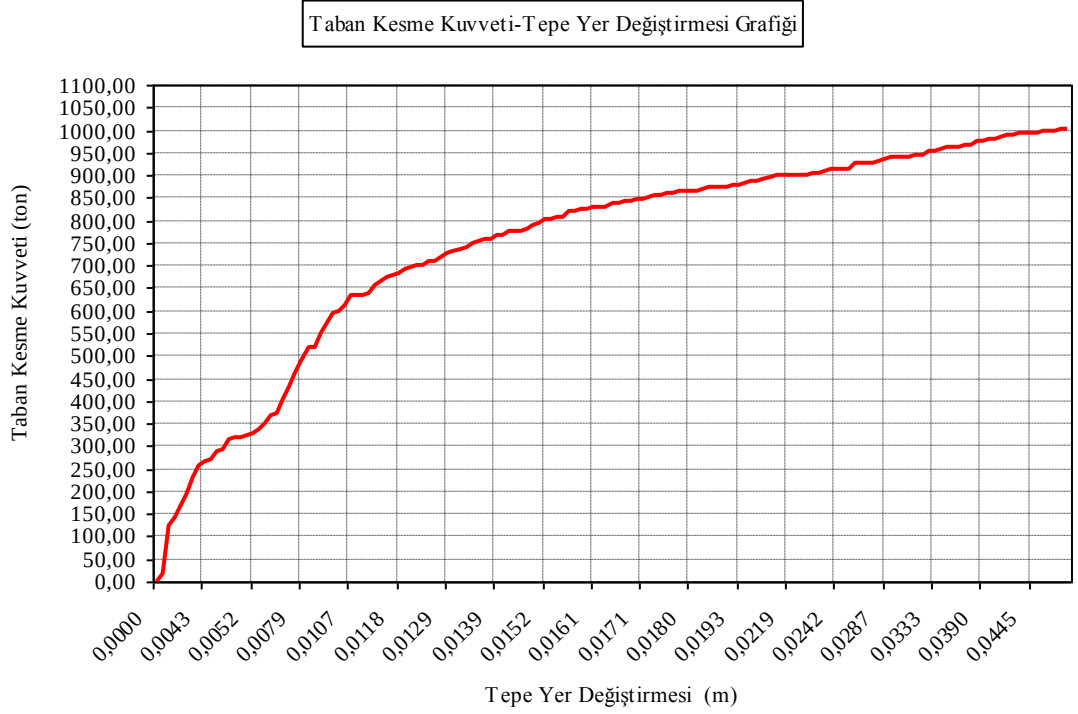
Yapıda toplam 150 adet plastik mafsall oluşması ile yapı labil hale gelmiştir. Plastik mafsalların 72 tanesi kirişlerde, 78 tanesi kolonlarda bulunmaktadır. Plastik mafsalların oluştuğu noktalar şekil 5.3 ile gösterilmiştir.



şekil 5.3: Yapıda X yönünde oluşan plastik mafsallar

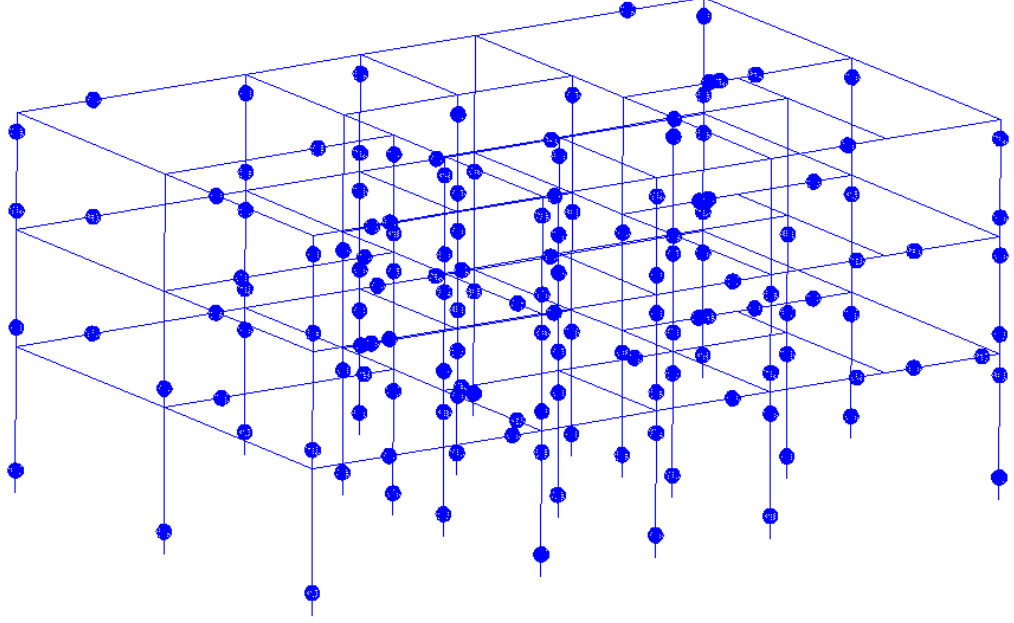
5.4.2.2 Y yönü için analiz sonuçları

Analiz sonucunda oluşan Y yönündeki taban kesme kuvveti - tepe yerdeğiştirmesi arasındaki ilişki şekil 5.4 ile verilmiştir. Grafik üzerinde de görüldüğü üzere yapının bu yönde dayanabildiğı maksimum taban kuvveti, yani Y yönündeki göçme yükü $V_{göçme} = 1002,137$ kN olarak okunmuştur. Bu göçme yükü sırasında oluşan çatı yer değiştirme değeri ise $\Delta_{göçme} = 0,0474$ m olarak bulunmuştur. Yapının bu yöndeki yük parametresi (Binanın karşıladığı taban kesme kuvveti / Binaya etkiyen deprem yükü) $P_{göçme} = 0.23169$ olarak bulunmuştur.



şekil 5.4: Yapının Y yönündeki taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirmesi grafiği

Yapıda toplam 150 adet plastik mafsalloluşması ile yapı labil hale gelmiştir. Plastik mafsalların 51 tanesi kirişlerde, 99 tanesi kolonlarda bulunmaktadır. Plastik mafsalların oluştuğı noktalar şekil 5.5 ile gösterilmiştir.



Şekil 5.5: Yapıda Y yönünde oluşan plastik mafsallar

5.4.2.3 Analiz sonuçlarının değerlendirilmesi

Bu analiz sonucunda yapı yük parametresi değerlerine bağlı olarak binanın her iki yönde de istenmeyecek bir dayanımda olduğu, yapının deprem tehlikesi altında oldukça güçsüz ve tehlikeli olduğu sonucuna varabiliriz.

Yapının deprem kuvvetine karşı dayanımının iyi olması için yük parametresinin beklenen değerleri 1,2- 1,4 gibi yüksek güvenli değerler olmalıdır. İncelediğimiz binada görüldüğü üzere bu değerler X ve Y yönleri için sırasıyla 0,297 ve 0,231 olarak bulunmuştur. Bina kolonlarının çoğunun uzun kenarlarının X doğrultusuna paralel yerleştirildiğini hatırlarsak, binanın bu yönde kısmen daha dayanımlı olduğu sonucunun kanıtlanması ile yapılacak bir güçlendirme çalışmasında deprem kuvvetini karşılayacak perdelerin kullanılması gereği anlaşılmış olur.

5.5 SAP 2000 Programı İle Analiz

5.5.1 Modellenmiş yapı özelliklerinin SAP 2000'e aktarılması ve analiz yapılması

Eparc programı ile modellenmiş ve mafsallık özellikleri bulunmuş yapının SAP 2000 ortamında modellenmesi ve grafik ortamda bazı modifikasyonlar yapılar modal analiz ve statik itme analizine hazır hale getirilmesi gerekmektedir. Program kullanıcı arabiriminin veri girişine daha elverişli olması nedeni ile SAP 2000 programının eski bir versiyonu olan v7.44 kullanılmıştır.

Yapının analizi için gerekli tüm veri blokları Eparc tarafından SAP 2000 giriş bilgisi formatında hazırlanmıştır. Bu giriş dosyasının sonuna mafsallık özelliklerinin bulunduğu veri bloğu eklenerek tüm veriler SAP 2000 programına okutulur. Modal analiz yapılabilmesi için mod sayısı, kat kütleleri ve kat kütle atalet momentleri programda tanımlanır. Bölüm 5.3.2 'de hesaplanan kat ağırlıkları g yerçekim ivmesine bölünerek kat kütleleri hesaplanır. Kat kütle atalet momentleri, $I_{i,kütle}$, Denklem (5.9) yardımıyla hesaplanmış ve bulunan değerler Tablo 5.5 ile gösterilmiştir.

$$I_{i,kütle} = M_i \frac{(a^2 + b^2)}{12} \quad (5.9)$$

Formülde ;

$I_{i,kütle}$: i. kat kütle atalet momenti

M_i : i. kat kütlesi

a, b : Yapının X ve Y doğrultularındaki toplam uzunluğu

Tablo 5.5: Katlara ait toplam kat ağırlıkları, kat kütleleri ve kütle atalet momentleri

Kat No	Kat Ağırlığı, w_i (kN)	Kat kütleleri, M_i	Kat kütle Atalet Momentleri, $I_{i,kütle}$
3. Kat	3702,49	377,42	21198,96
2. Kat	4230,86	431,28	24220,84
Zemin Kat	4424,21	450,99	25327,48

Bu değerlerin master joint noktalarına etkiltilmesinden sonra yapının modal analizi yapılmıştır. Bu analiz sonucunda yapıya ait periyot ve kat ötelenme değerleri Tablo 5.6 da gösterildiği şekilde okunmuştur.

Tablo 5.6: Yapıya doğal titreşim periyotları ve kat ötelenme değerleri

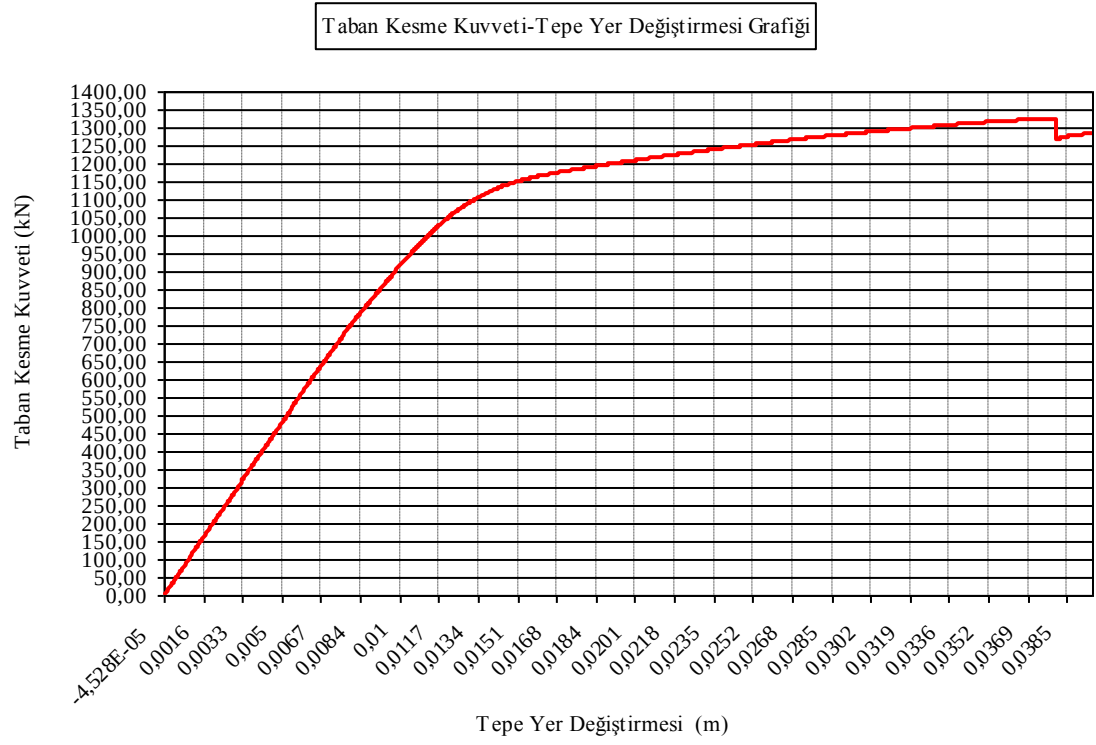
$T_X = 0.6546 \text{ s}$ $T_Y = 0.7242 \text{ s}$		
Kat No	$\Phi_{xi} \text{ (m)}$	$\Phi_{yi} \text{ (m)}$
3. Kat	0.08177	0.10869
2. Kat	0.06842	0.09186
Zemin Kat	0.04325	0.05940

Daha sonra sistemde statik itme analizi için analiz özellikleri tanımlanır. Düşey ve Yatay olmak üzere birbirini sırasıyla takip edecek olan iki dizi analiz tanımında, kontrol noktasının tanımı, iterasyon sayısı ve limit ötelenme değerleri gibi veriler programa tanımlanır. Modellenmiş sistem statik itme analizine hazır hale gelmiştir.

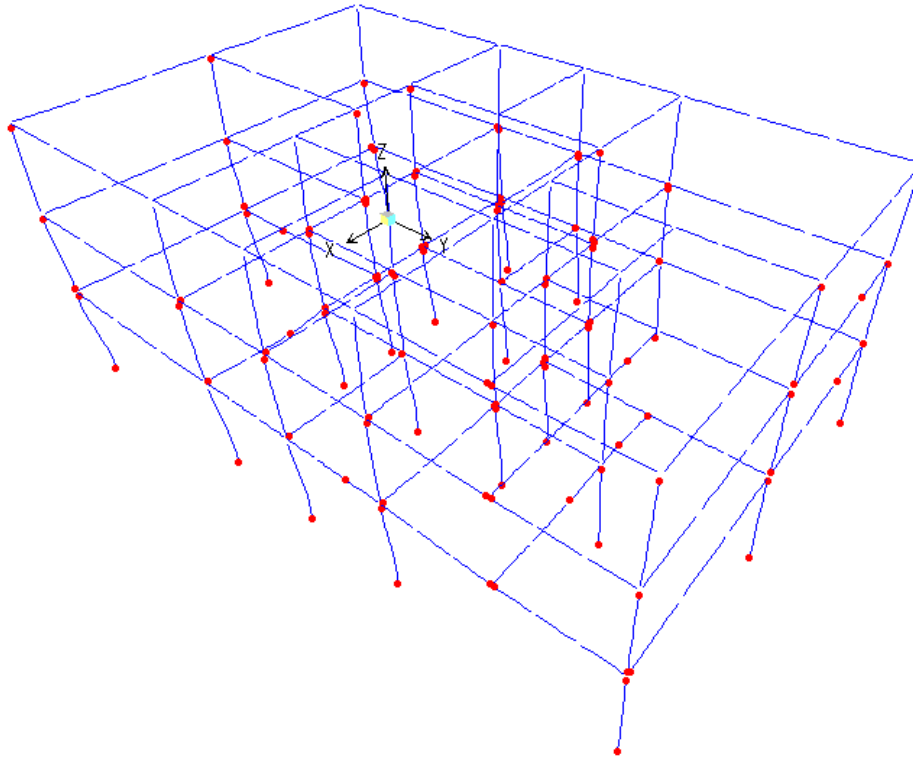
5.5.2 SAP 2000 analizi sonuçları

5.5.2.1 X yönü

Statik itme analizi sonucunda X yönü için göçme durumundaki taban kesme kuvveti $V_{göçme} = 1324,705 \text{ kN}$ ve tepe yerdeğiştirmesi $\Delta_{göçme} = 0,038 \text{ m}$ olarak bulunmuştur. Yapıya ait taban kesme kuvveti- Tepe Yer değiştirmesi ilişkisi şekil 5.6 ile gösterilmiştir. Yapı yük parametresi $P_{göçme} = 0,31$ olarak bulunmuştur. Analiz sonucunda 59 adet hemen kullanım seviyesinde (B-IO), 52 adet hasar kontrol aralığında (IO-LS) ve 7 adet sınırlı güvenlik aralığında (LS-CP) olan toplam 118 adet plastik mafsalları oluşmuştur. Plastik mafsalların yerleri şekil 5.7 ile gösterilmiştir.



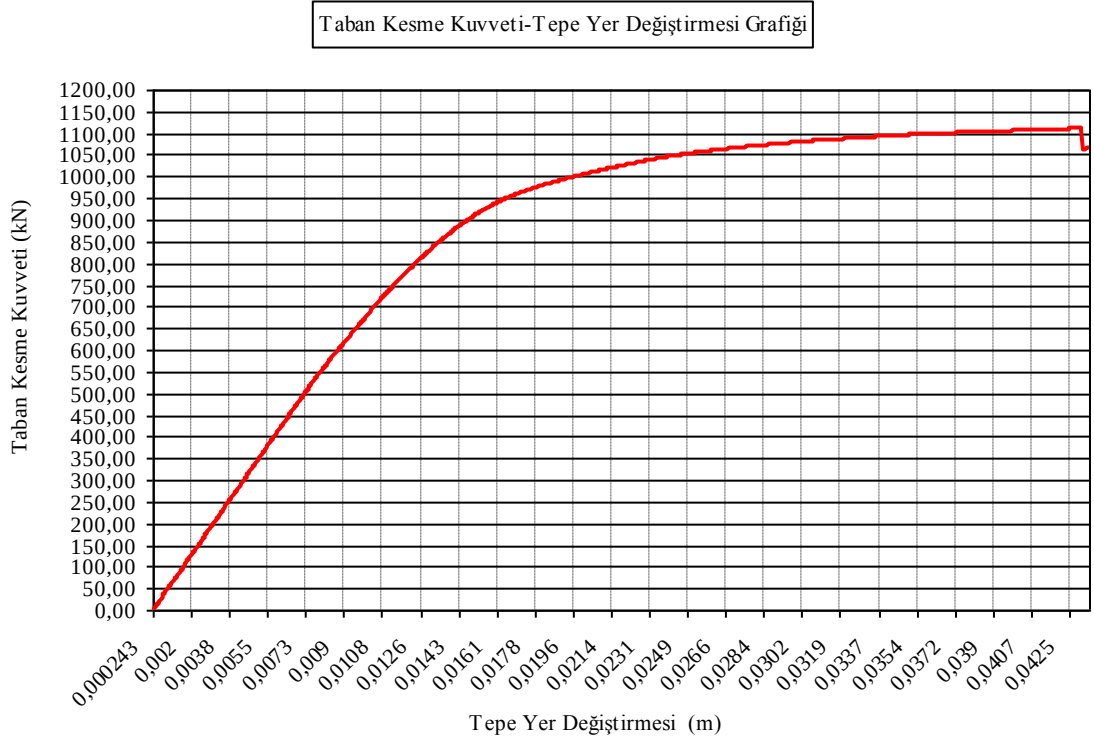
şekil 5.6: SAP 2000 analiz sonuçlarına göre yapının X yönündeki taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirmesi grafiği



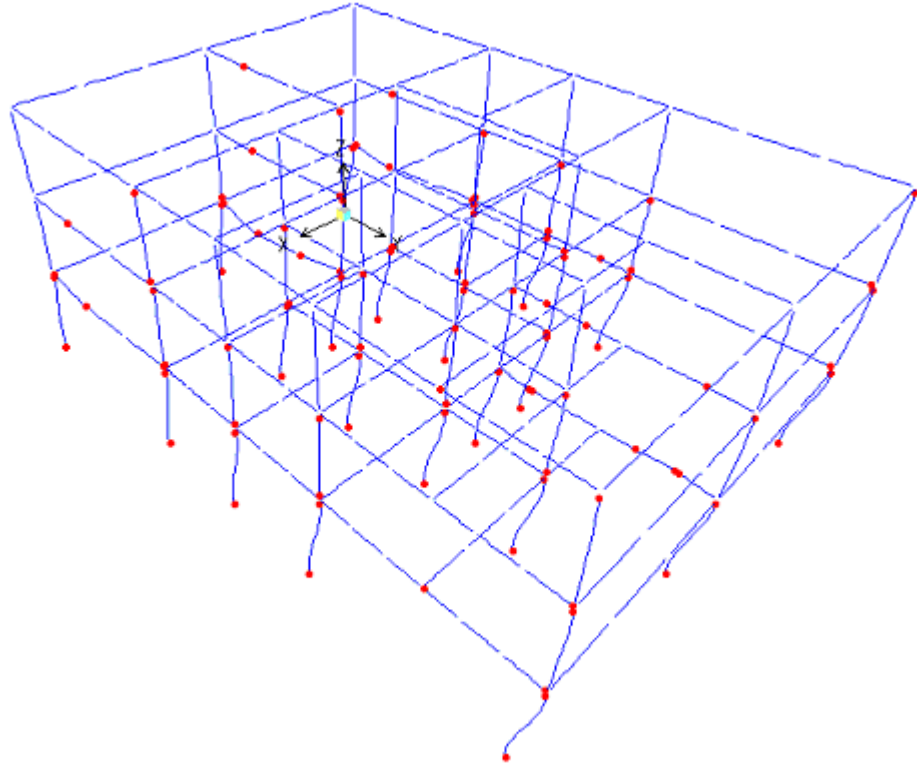
şekil 5.7: SAP 2000 analiz sonuçlarına göre yapının X yönü için oluşan plastik mafsalların yerleri

5.5.2.2 Y yönü

Statik itme analizi sonucunda Y yönü için göçme durumundaki taban kesme kuvveti $V_{göçme} = 1110,95 \text{ kN}$ ve tepe yerdeğiştirmesi $\Delta_{göçme} = 0,043 \text{ m}$ olarak bulunmuştur.Yapıya ait taban kesme kuvveti- Tepe Yer değiştirmesi ilişkisi şekil 5.8 ile gösterilmiştir. Yapı yük parametresi $P_{göçme}=0,26$ olarak bulunmuştur. Analiz sonucunda 49 adet hemen kullanım seviyesinde (B-IO), 47 adet hasar kontrol aralığında (IO-LS) ve 3 adet sınırlı güvenlik aralığında (LS-CP) olan toplam 99 adet plastik mafsal oluşmuştur. Plastik masfsalların yerleri şekil 5.9 ile gösterilmiştir.



şekil 5.8: SAP 2000 analiz sonuçlarına göre yapının Y yönündeki taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirmesi grafiği



Şekil 5.9: SAP 2000 analiz sonuçlarına göre yapının Y yönü için oluşan plastik mafsalların yerleri

5.6 Performans Noktasının Bulunması

Elde edilen kapasite eğrileri kullanılarak Bölüm 3'te anlatılmış olan Yöntem A kullanılarak yapının performans hesabı yapılacaktır.

5.6.1 yapının X yönüne ait performans noktasının hesaplanması

Yöntem A'da anlatılan işlem sırası aşağıdaki şekilde uygulanmıştır.

1.Adım : İlk olarak %5 sönümlü talep spektrum eğrisinin çizilmesi gerekmektedir. Eğrinin çizilmesi için Bölüm 3.2.3.3'te ayrıntılı olarak anlatılan deprem bölge katsayısı, deprem kaynağına olan mesafe, kullanılacak deprem etki seviyesi, zemin sınıfı değerlerinden uygun olanları seçilmiştir. Buna göre deprem bölgesi 1. bölge olduğu için Z değeri 0.4, büyük bir deprem kaynağına olan mesafenin 15 km.den fazla olduğu kabulüne göre $N_A = 1.00$ ve $N_V = 1.00$, yerel zemin sınıfı olarak S_C -çok sıkı zemin seçilmiştir. Yapının tasarım depremine göre inceleneceği kabulü ile bu veriler kullanılarak ZEN çarpanları C_A ve C_V için 0,4 olarak bulunmuştur. Son olarak yerel zemin sınıflarına göre Tablo 3.6 ve Tablo 3.7 kullanılarak C_A parametresi 0.40 ve C_V parametresi 0.56 olarak okunur.

Hesaplanan C_A , C_V ve diğer parametreler kullanılarak %5 sönümlü talep spektrum eğrisi çizilir. Spekturumu oluştururken periyot yerine spektral yerdeğiştirme değerleri $S_d = (S_a * T^2) / 4 \pi^2$ formülü yardımıyla hesaplanarak yazılır. Bu şekilde çizilmiş eğri Şekil 5.10 ile gösterilmiştir.

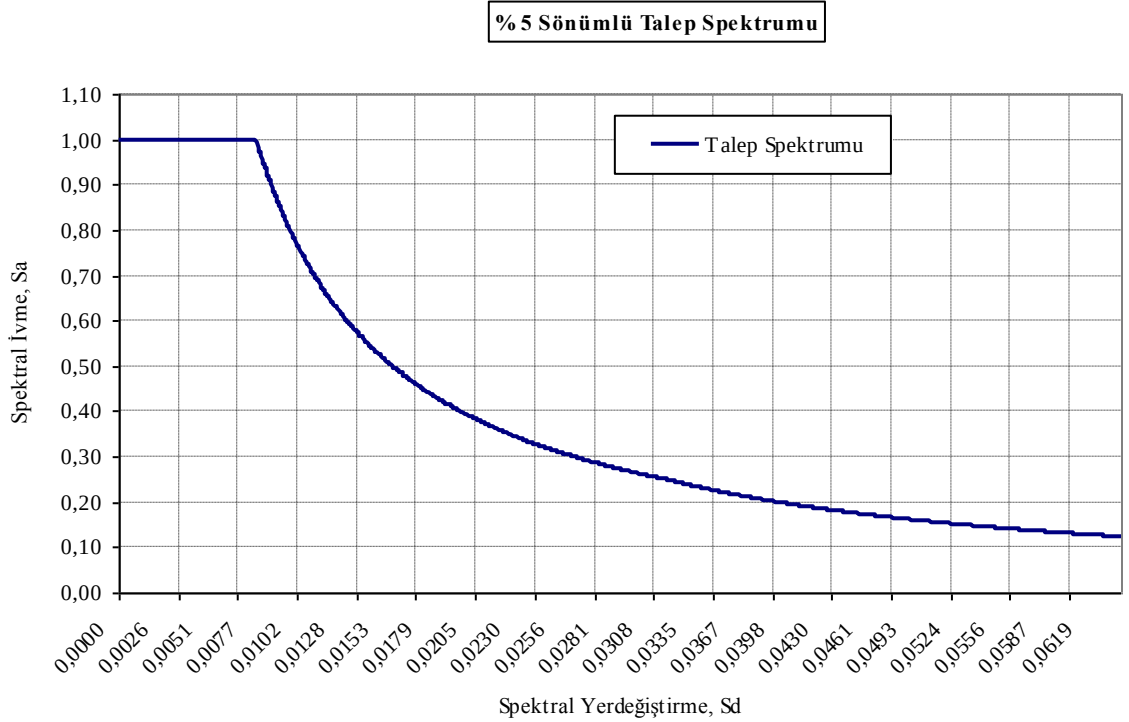
$$C_A = 0.40$$

$$C_V = 0.56$$

$$S_a = 2.5 \times C_A = 1$$

$$T_s = C_V / (2.5 \times C_A) = 0.56 \text{ s}$$

$$T_a = 0.2 \times T_s = 0.112 \text{ s}$$



Şekil 5.10: X doğrultusunda %5 sönümlü talep spektrumu

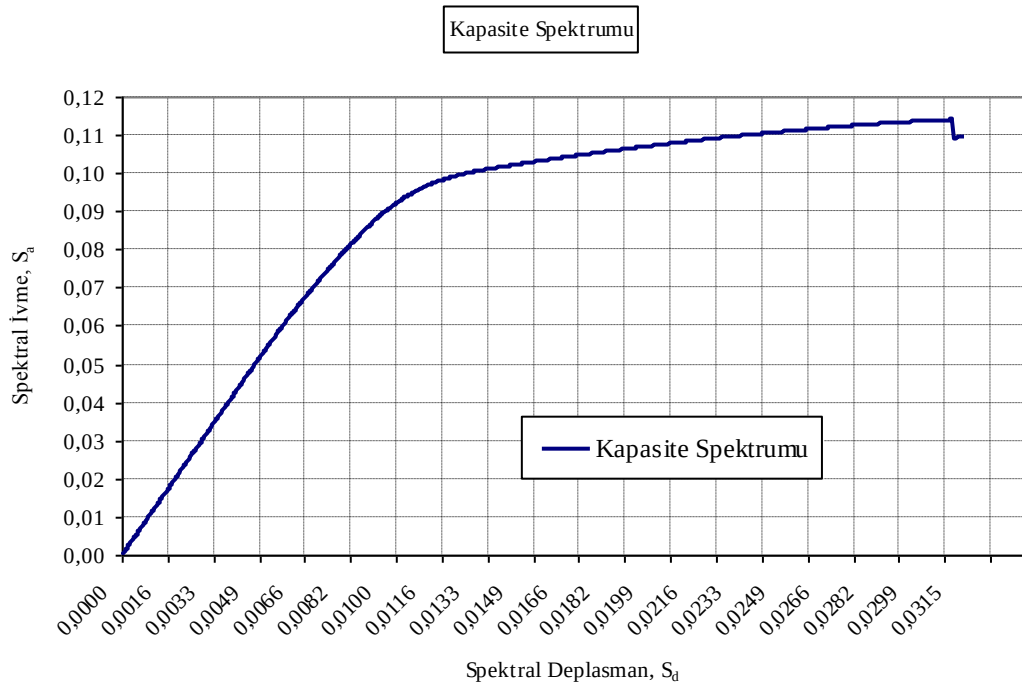
2.Adım : Bölüm 3.2.3.1’de anlatıldığı şekilde Kapasite eğrisi, Kapasite spektrum eğrisine dönüştürülür. Denklem 3.3, Denklem 3.4 ve Denklem 3.5 kullanılarak Γ_1 , M_1 ve α_1 değerleri hesaplanır. Formüllerdeki Φ_{xi} yanal kat ötelenmesi değerleri modal analiz sonucunda hesap yapılan yönde okunan ötelenme değerleridir.

$$\Gamma_1 = 14,82$$

$$\alpha_1 = 0,94034$$

$M_1 = 120,7526$ olarak hesaplanmıştır.

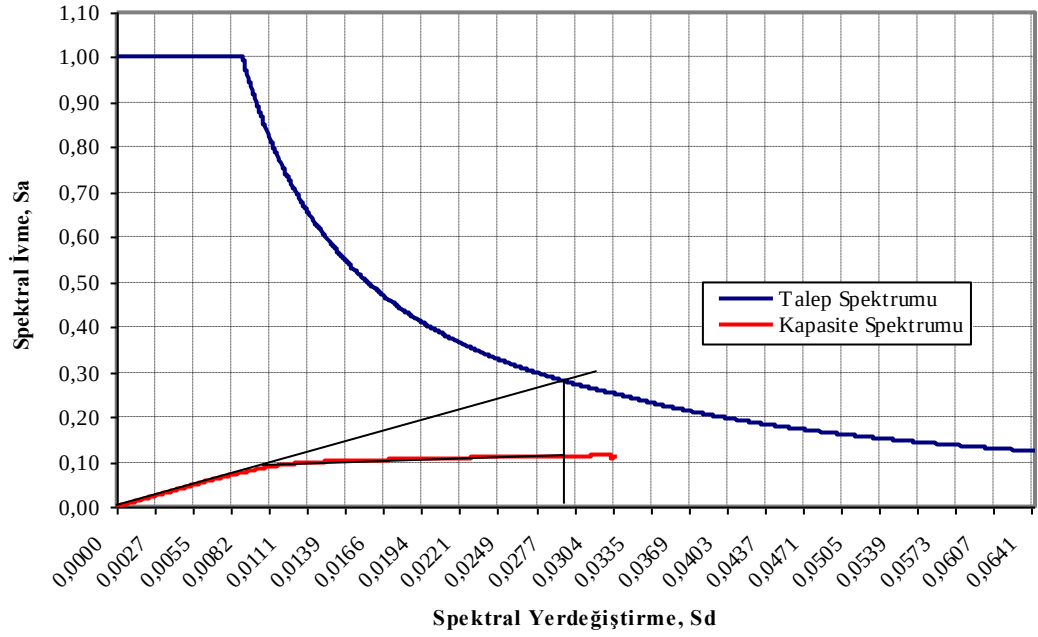
Denklem (3.6) ve (3.7) kullanılarak Taban Kesme Kuvveti – Tepe Yer değıştirmesi grafiğı, yani kapasite eğrisi, Spektarl İvme – Spektarl Yerdeğıştirme formatındaki Kapasite Spektrum Eğrisine dönüştürölür. Hesaplanan Kapasite Spektrumu Şekil 5.11 ile gösterilmiştir.



Şekil 5.11: X doğrultusunda kapasite spektrumu

3.Adım: Şekil 5.12' de görüldüğü üzere talep ve kapasite spektrumları aynı grafik üzerinde üst üste çizilmiştir. Kapasite spektrum eğrisinin lineer kısmı uzatılarak talep spektrum eğrisi ile kesiştirilmiştir. Bulunan noktadan kapasite spektrumu üzerine dik bir doğru çizilerek bu noktanın izdüşümü bulunmuş ve $S_{api}=0,1129$, $S_{dpi}=0,0285$ olarak okunmuştur. Başlangıç performans noktası bu nokta olarak kabul edilip işlemlere devam edilecektir.

Talep Spektrumu - Kapasite Spektrumu

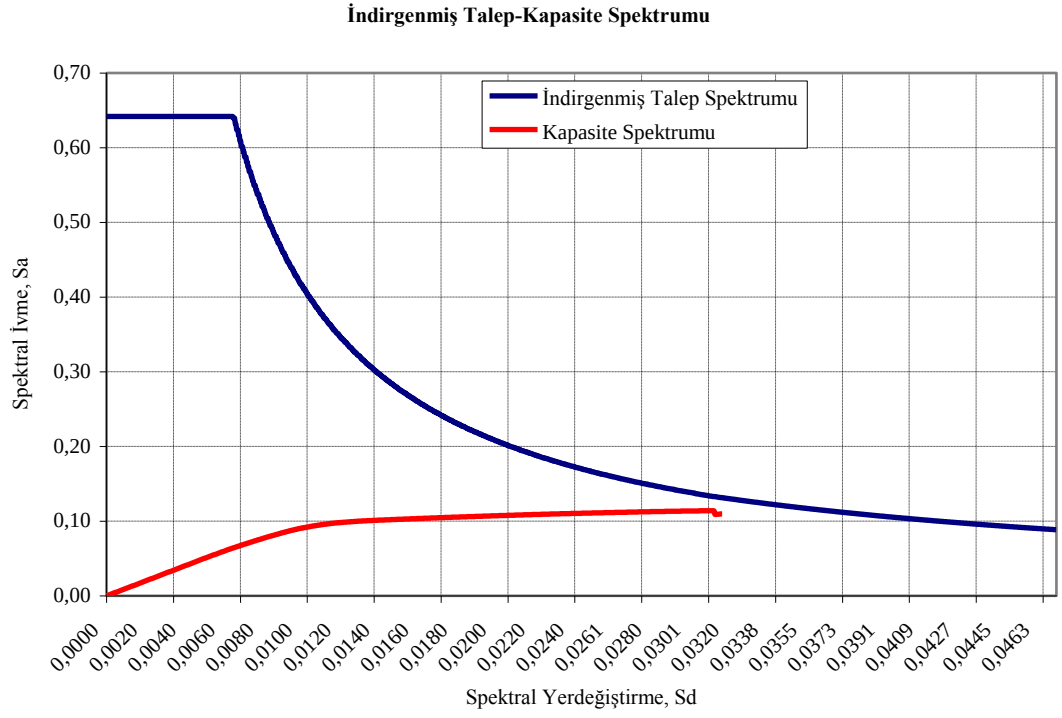


Şekil 5.12: X doğrultusunda başlangıç performans noktası

4.Adım: Kırıklı kapasite spektrum eğrisi elde edebilmek için başlangıç performans noktasından, kapasite spektrum eğrisinin başlangıcındaki doğrusal kısma doğru bir doğru çizilir. Bu doğru çizilirken kapasite spektrum eğrisi ile doğru arasında sağda ve solda eşit alanlar kalmasına dikkat edilir. Bu yöntemle çizilen ve başlangıç doğrusu ile kesiştirilen doğrunun lineer kısmı kestiği noktanın koordinatları $S_{ay}=0,0912$ ve $S_{dy}=0,0093$ olarak okunmuştur. Oluşan kırık kapasite spektrumu Şekil 5.12 ile gösterilmiştir.

5.Adım: İndirgenmiş talep spektrumu elde edilir. İndirgenme işlemi için Bölüm 3.2.3.4'te anlatılan yol izlenir. Yapı davranış türü Tablo 3.8 yardımıyla Tip C olarak belirlenmiş, sönüm değiştirme oranı κ ise 0.33 olarak bulunmuştur. Denklem 3.12 kullanılarak $\beta_{eff} = 0.1517$, Denklem 3.13 ve 3.14 kullanılarak $SR_A=0.64194$, $SR_V=0.72431$ olarak hesaplanmıştır. Son olarak %5 sönümlü talep spektrumu bu katsayılar yardımıyla % 15 sönümlü talep spektrum eğrisine indirgenmiştir.

6.Adım: Kapasite spektrumu ve indirgenmiş talep spektrumu ve aynı grafik üzerinde çizilerek Şekil 5.14 ile gösterilmiştir. Görüldüğü üzere kapasite eğrisi ile indirgenmiş talep spektrumu eğrisi kesişmemiştir. Yapının bu yönde tanımlanabilecek bir performans seviyesine bile ulaşamayacak kadar yetersiz olduğu anlaşılmıştır.

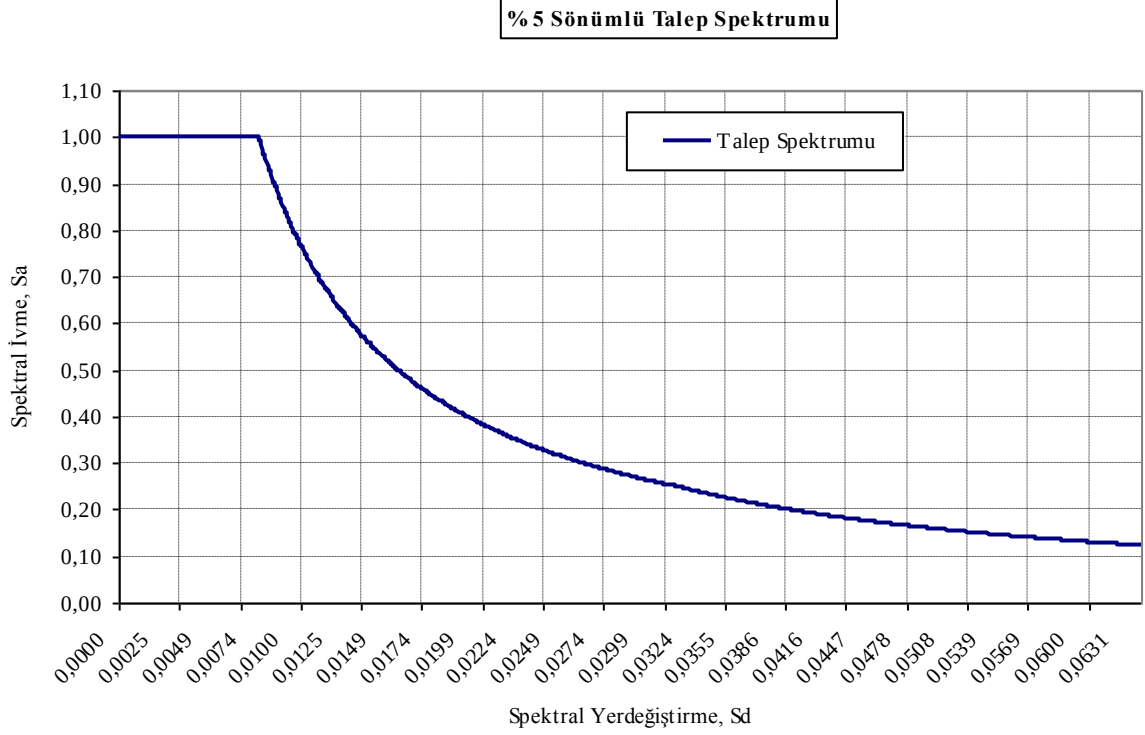


Şekil 5.13: X doğrultusunda indirgenmiş talep ve kapasite spektrumu

5.6.2 Yapının Y yönüne ait performans noktasının hesaplanması

Yöntem A'da anlatılan ve X yönü için hesapları yapılan işlem sırası aşağıdaki şekilde Y yönü için de uygulanmıştır.

1.Adım: %5 sönümlü talep spektrum eğrisinin çizilmesi gerekmektedir. Bölüm 5.6.1'de hesapları yapılarak X yönü için kullanılan talep spektrumu kullanılacaktır. Kullanılacak talep spektrum eğrisi Şekil 5.14 ile gösterilmiştir.



Şekil 5.14: Y doğrultusunda %5 sönümlü talep spektrumu

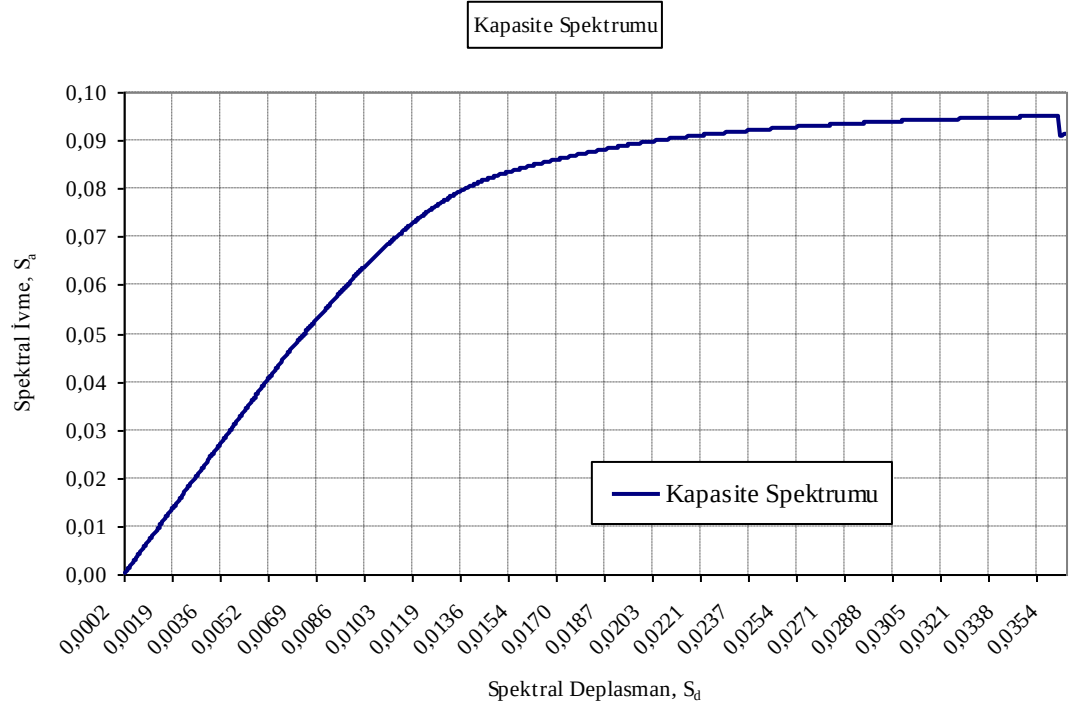
2.Adım: Bölüm 3.2.3.1’de anlatıldığı şekilde Kapasite eğrisi, Kapasite spektrum eğrisine dönüştürülür. Denklem 3.3, Denklem 3.4 ve Denklem 3.5 kullanılarak Γ_1 , M_1 ve α_1 değerleri hesaplanır. Formüllerdeki Φ_{y_i} yanal kat ötelenmesi değerleri modal analiz sonucunda hesap yapılan yönde okunan ötelenme değerleridir.

$$\Gamma_1 = 11,09$$

$$\alpha_1 = 0,94555$$

$M_1 = 121,4218$ olarak hesaplanmıştır.

Denklem (3.6) ve (3.7) kullanılarak Taban Kesme Kuvveti – Tepe Yer değiştirme grafiği, yani kapasite eğrisi, Spektral İvme – Spektral Yerdeğiştirme formatındaki Kapasite Spektrum Eğrisine dönüştürülür. Hesaplanan Kapasite Spektrumu Şekil 5.15 ile gösterilmiştir.

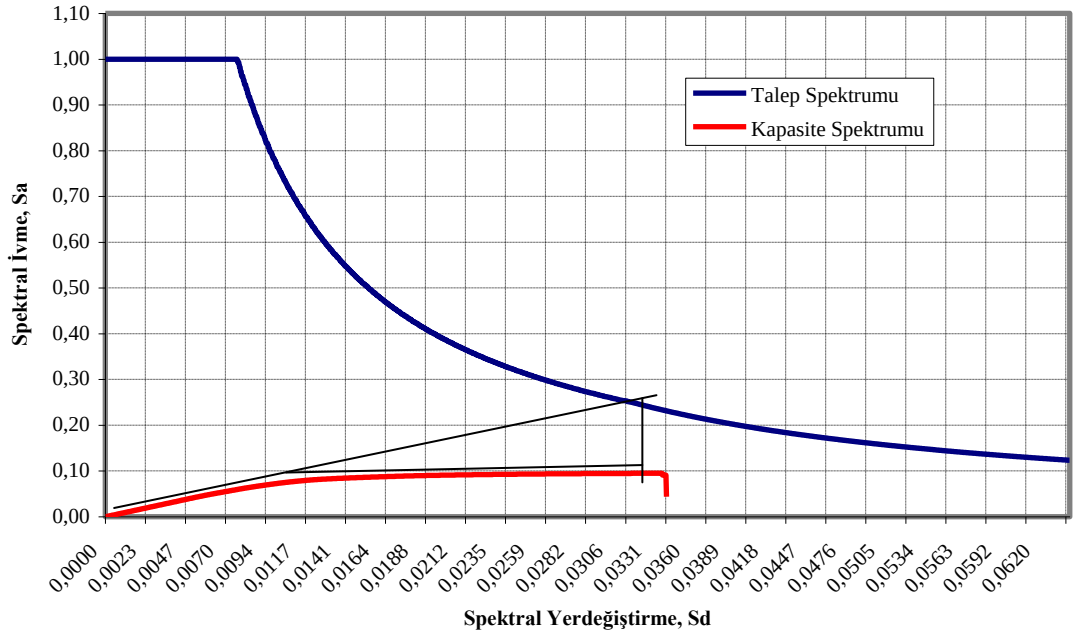


Şekil 5.15: Y doğrultusunda kapasite spektrumu

3.Adım: Şekil 5.16’ da görüldüğü üzere talep ve kapasite spektrumları aynı grafik üzerinde üst üste çizilmiştir. Kapasite spektrum eğrisinin lineer kısmı uzatılarak talep spektrum eğrisi ile kesiştirilmiştir. Bulunan noktadan kapasite spektrumu üzerine dik bir doğru çizilerek bu noktanın izdüşümü bulunmuş ve $S_{api}=0,0948$, $S_{dpi}=0,0319$ olarak okunmuştur. Başlangıç performans noktası bu nokta olarak kabul edilip işlemlere devam edilecektir.

4.Adım: Kırıklı kapasite spektrum eğrisi elde edebilmek için başlangıç performans noktasından, kapasite spektrum eğrisinin başlangıcındaki doğrusal kısma doğru bir doğru çizilir. Bu doğru çizilirken kapasite spektrum eğrisi ile doğru arasında sağda ve solda eşit alanlar kalmasına dikkat edilir. Bu yöntemle çizilen ve başlangıç doğrusu ile kesiştirilen doğrunun lineer kısmı kestiği noktanın koordinatları $S_{ay}=0,0831$ ve $S_{dy}=0,0104$ olarak okunmuştur. Oluşan kırıklı kapasite spektrumu Şekil 5.16 ile gösterilmiştir.

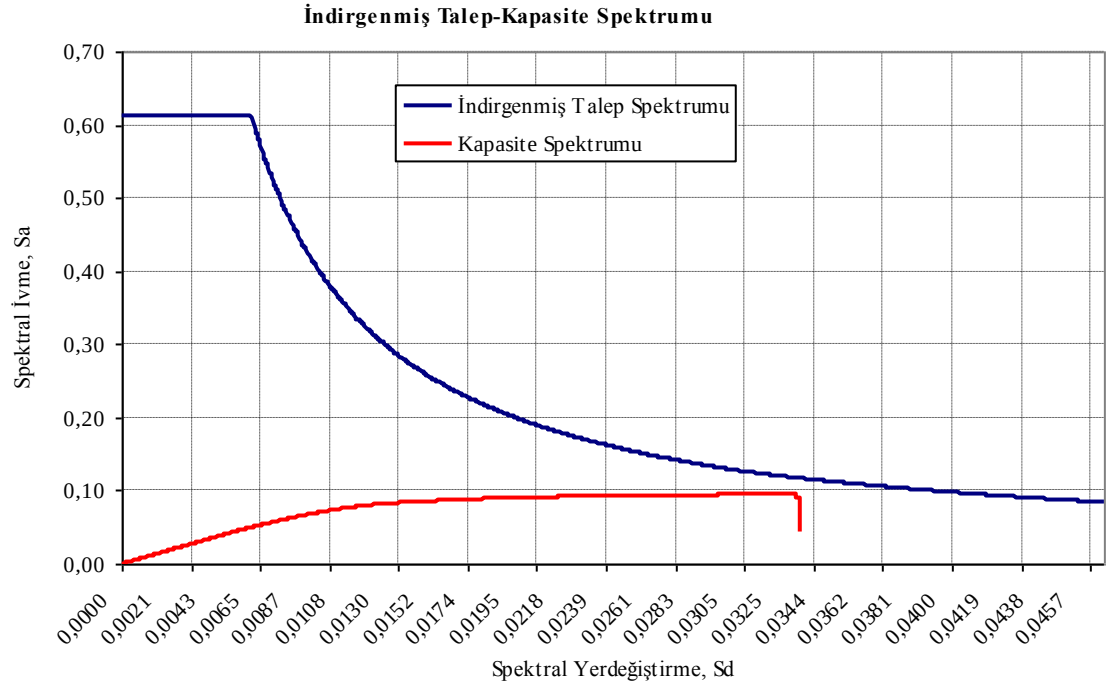
Talep-Kapasite Spektrumu



Şekil 5.16: Y doğrultusunda başlangıç performans noktası

5.Adım: İndirgenmiş talep spektrumu elde edilir. İndirgenme işlemi için Bölüm 3.2.3.4'te anlatılan yol izlenir. Yapı davranış türü Tablo 3.8 yardımıyla Tip C olarak belirlenmiş, sönüm değiştirme oranı κ ise 0.33 olarak bulunmuştur. Denklem 3.12 kullanılarak $\beta_{eff} = 0.1656$, Denklem 3.13 ve 3.14 kullanılarak $SR_A=0.61376$, $SR_V=0.70248$ olarak hesaplanmıştır. Son olarak %5 sönümlü talep spektrumu bu katsayılar yardımıyla % 17 sönümlü talep spektrum eğrisine indirgenmiştir.

6.Adım: Kapasite spektrumu ve indirgenmiş talep spektrumu ve aynı grafik üzerinde çizilerek Şekil 5.17 ile gösterilmiştir. Görüldüğü üzere kapasite eğrisi ile indirgenmiş talep spektrumu eğrisi kesişmemiştir. Yapının X yönünde olduğu gibi bu yönde de tanımlanabilecek bir performans seviyesine bile ulaşamayacak kadar yetersiz olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 5.17: Y doğrultusunda indirgenmiş talep ve kapasite spektrumu

5.7 Yapının Güçlendirilmesi ve Güçlendirilmiş Yapının Analizi

5.7.1 Giriş

Yapılan analizler ve hesaplamalar sonucunda yapı iki yönde de oldukça yetersiz çıkmış ve yapıya güçlendirme yapılması gereği ortaya çıkmıştır. Yapı Y yönünde daha güçsüzdür. Bu yönde yapılacak bir güçlendirme için planda düzenli olma koşulları da göz önüne alınarak 3 adet perde yerleştirilmiştir. Plan geometrisi ve simetriyi sağlayabilmek amacıyla yerleştirilen 3 adet perdenin de 7,2 m'lik açıklıklara yerleştirilmesi kararlaştırılmıştır. Perdelerin tümü mevcut kolonların arasına yerleştirilecektir. Kolon ve perdenin beraber çalışması amacıyla perdelerin bağlandığı kolonlar mantolanacaktır. Yapının düşey yükleri altında da daha güçlü olmasını sağlayacak bu işlem X yönü için de yapılmıştır.

X yönü kısmen daha güçlü olan yön olduğu için bu doğrultuya yerleştirilecek perdeler 4,75 m'lik açıklıklara yerleştirilecektir. Plan geometrisi dikkate alınarak orta aksa ve merdiven boşluğu çevresine yerleştirilen bu perdeler de mevcut kolonların arasında tasarlanmıştır. Mevcut kolonlar mantolanacaktır. Eklenen perdeler ve mantolanacak başlık kolonlarına ait donatı detayları Ek B Şekil B.3 ve Şekil B.4 ile gösterilmiştir.

Güçlendirilmiş yapının planı Ek B Şekil B.1, güçlendirilen yapıya ait 3 boyutlu model ise Ek B Şekil B.2 ile gösterilmiştir.

Modellenmiş mevcut sistem üzerinde bazı değişiklikler yapılmış, perdeler mafsal özellikleri ile tanımlanmış ve eklenen noktalar kat diyafram hareketi içerisine dahil edilmiştir. Yapıya eklenen perdeler ve mantolanan kolonlar nedeni ile bina ağırlığı artmıştır. Kaldırılan iç ve dış duvar ağırlıklarının azaldığı dikkate alınarak kat kütleleri, kat atalet momentleri, deprem yükleri ve katlara etkiyen yükler yeniden hesaplanarak sisteme tanıtılmıştır.

Modellemede tüm değişiklikler yapıldıktan sonra kapasite ve performans hesapları daha önce kullanılan yöntemle tekrarlanmıştır.

5.7.2 Güçlendirilmiş yapının kat kütleleri ve ağırlıklarının hesabı

Güçlendirme sırasında sabit yükleri artıran perdeler ve mantolanan kolonların ağırlığı toplam kat ağırlıklarına eklenmiş, kaldırılan iç ve dış duvar ağırlıkları kat

ağırlıklarından çıkarılmıştır. Güçlendirilmiş yapıya ait toplam bina ağırlığı (5.1) ve (5.2) denklemleri kullanılarak Tablo 5.7 ile gösterilmiştir.

Tablo 5.7: Toplam bina ağırlığı

Kat	Sabit Yük g_i (kN)	Hareketli Yük $0,60 \cdot q_i$ (kN)	Kat Ağırlığı , w_i (kN)
2. kat	3769,17	246,30	4015,47
1. kat	4267,87	587,94	4855,81
Zemin. kat	4539,29	587,94	5127,23
TOPLAM			13998,52

5.7.3 Güçlendirilmiş yapıda eşdeğer yatay deprem yükü hesabı

Kat ağırlıkları değiştiği için eşdeğer deprem yükü hesabının tekrarlanması gerekmektedir.

Toplam eşdeğer deprem yükü Denklem (5.3) yardımıyla;

$$V_t = \frac{W \cdot A(T_1)}{R_a(T_1)} \geq 0,10 \cdot A_0 \cdot I \cdot W \Rightarrow \frac{13998,5 \cdot 1,4}{4} \geq 0,10 \cdot 0,40 \cdot 1,4 \cdot 13998,5$$

$$V_t = 4899,48 \text{ kN} \geq 783,92 \text{ kN}$$

olarak hesaplanır.

Katlara etkiyen eşdeğer deprem yükü Denklem (5.8) yardımıyla hesaplanmış, elde edilen değerler Tablo 5.8 ile gösterilmiştir.

Tablo 5.8: Katlara etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin hesaplanması :

Kat	Katın yerden yüksekliği (m)	Katın toplam ağırlığı (kN)	$w_i \cdot H_i$	$F_i = V_t \left[\frac{(w_i \cdot H_i)}{\sum (w_i \cdot H_i)} \right] \text{ (kN)}$
2. Kat	10,4	4015,47	41760,9	2104,32
1. Kat	7,2	4855,81	34961,8	1761,72
Zemin Kat	4	5127,23	20508,9	1033,44
		$\sum w_i \cdot H_i =$	97231,7	

5.7.4 Güçlendirilmiş yapının modal analizi

Modal analiz yapılabilmesi için mod sayısı, kat kütleleri ve kat kütle atalet momentleri programda tanımlanır. Bölüm 5.7.2 'de hesaplanan kat ağırlıkları g yerçekim ivmesine bölünerek kat kütleleri hesaplanır. Kat kütle atalet momentleri, $I_{i,kütle}$, Denklem (5.9) yardımıyla hesaplanmış ve bulunan değerler Tablo 5.9 ile gösterilmiştir.

Tablo 5.9: Katlara ait toplam kat ağırlıkları, kat kütleleri ve kütle atalet momentleri

Kat No	Kat Ağırlığı, w_i (kN)	Kat kütleleri, M_i	Kat kütle Atalet Momentleri, $I_{i,kütle}$
3. Kat	4015,47	409,32	22987,66
2. Kat	4855,81	494,99	27798,40
Zemin Kat	5127,23	522,65	29352,24

Bu değerlerin master joint noktalarına etkilmesinden sonra yapının modal analizi yapılmıştır. Bu analiz sonucunda yapıya ait periyot ve kat ötelenme değerleri Tablo 5.10'da gösterildiği şekilde okunmuştur.

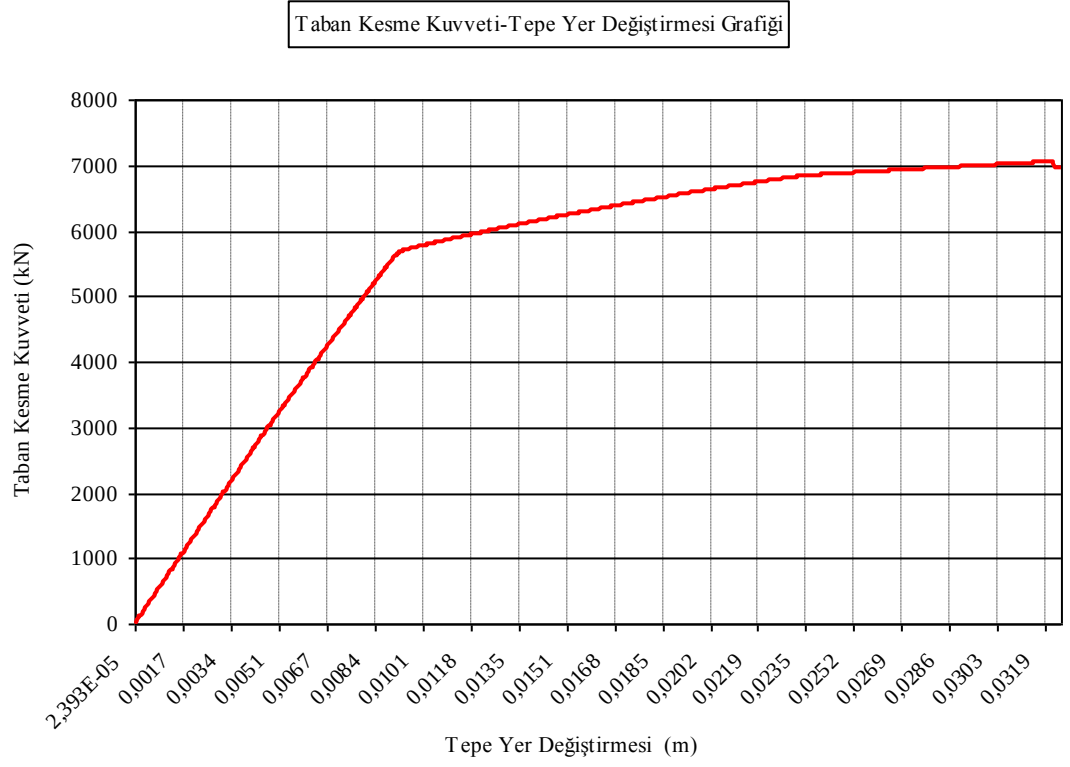
Tablo 5.10: Güçlendirilmiş doğal titreşim periyotları ve kat ötelenme değerleri

$T_X = 0.2379 \text{ s}$ $T_Y = 0.1583 \text{ s}$		
Kat No	$\Phi_{xi} \text{ (m)}$	$\Phi_{yi} \text{ (m)}$
3. Kat	0.12086	0.11963
2. Kat	0.07781	0.07942
Zemin Kat	0.03453	0.03741

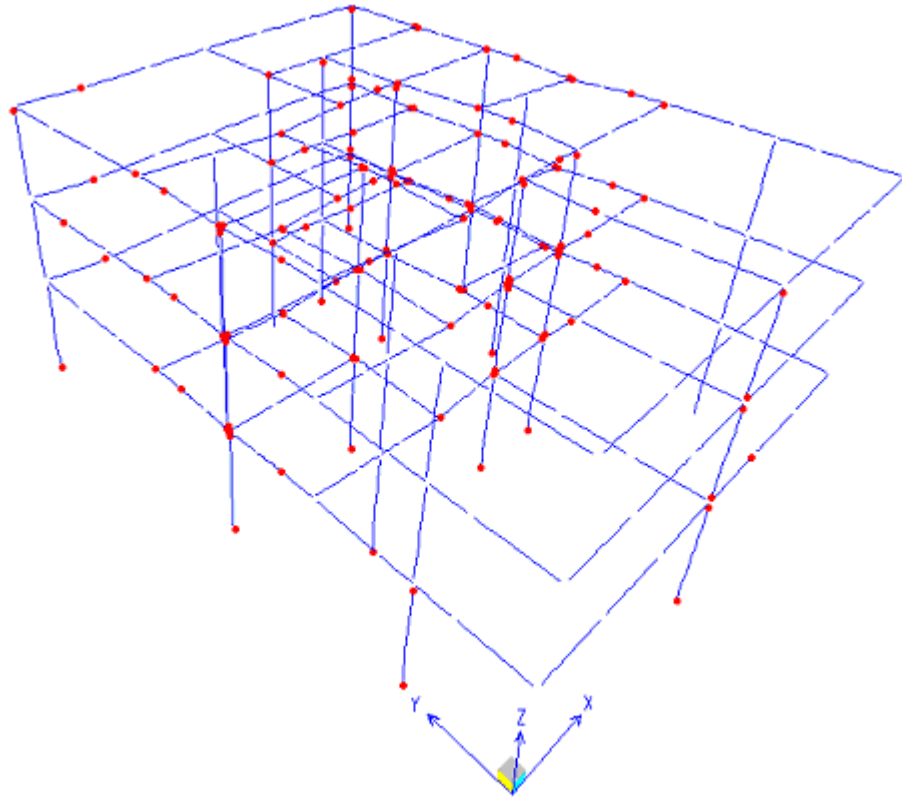
5.7.5 Güçlendirilmiş yapıya ait SAP 2000 analizi sonuçları

5.7.5.1 X yönü

Statik itme analizi sonucunda X yönü için göçme durumundaki taban kesme kuvveti $V_{göçme} = 7054,083 \text{ kN}$ ve tepe yerdeğiştirmesi $\Delta_{göçme} = 0,032 \text{ m}$ olarak bulunmuştur. Yapıya ait taban kesme kuvveti- Tepe Yer değiştirmesi ilişkisi Şekil 5.18 ile gösterilmiştir. Yapı yük parametresi $P_{göçme} = 1,44$ olarak bulunmuştur. Analiz sonucunda 76 adet hemen kullanım seviyesinde (B-IO), 56 adet hasar kontrol aralığında (IO-LS) ve 8 adet sınırlı güvenlik aralığında (LS-CP) olan toplam 140 adet plastik mafsall oluşmuştur. Plastik mafsalların yerleri Şekil 5.19 ile gösterilmiştir.



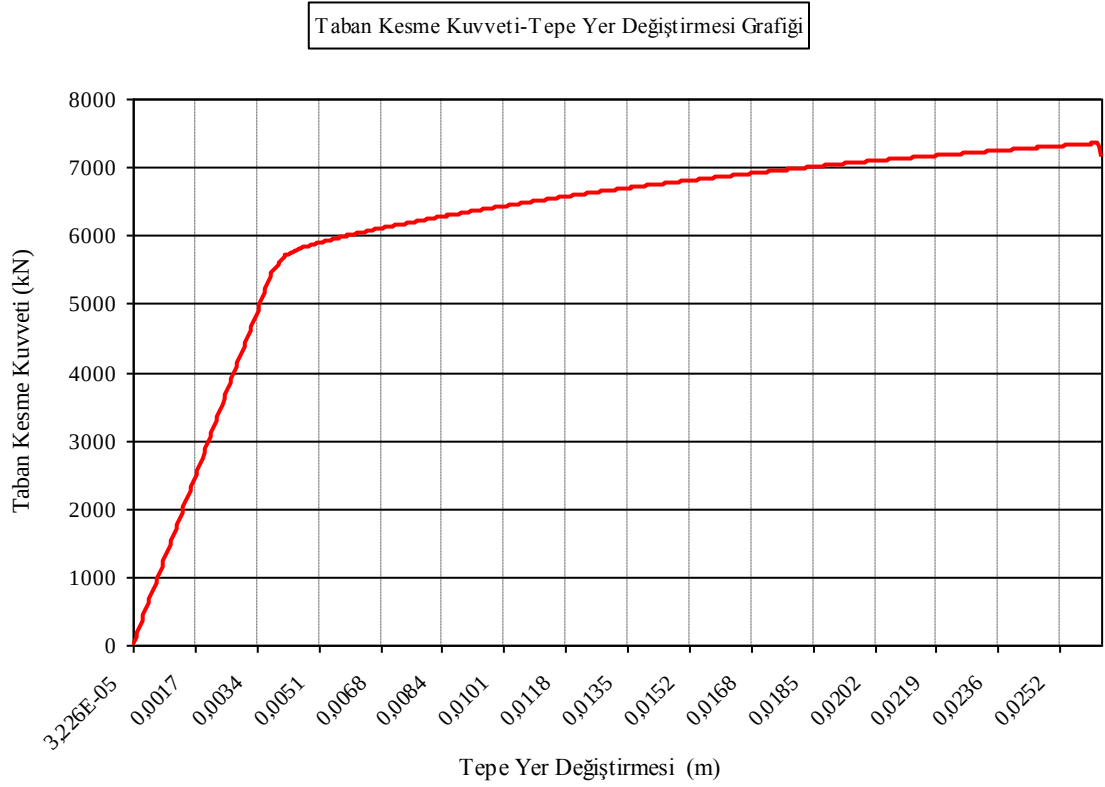
şekil 5.18: SAP 2000 analiz sonuçlarına göre güçlendirilmiş yapının X yönündeki taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirmesi grafiği



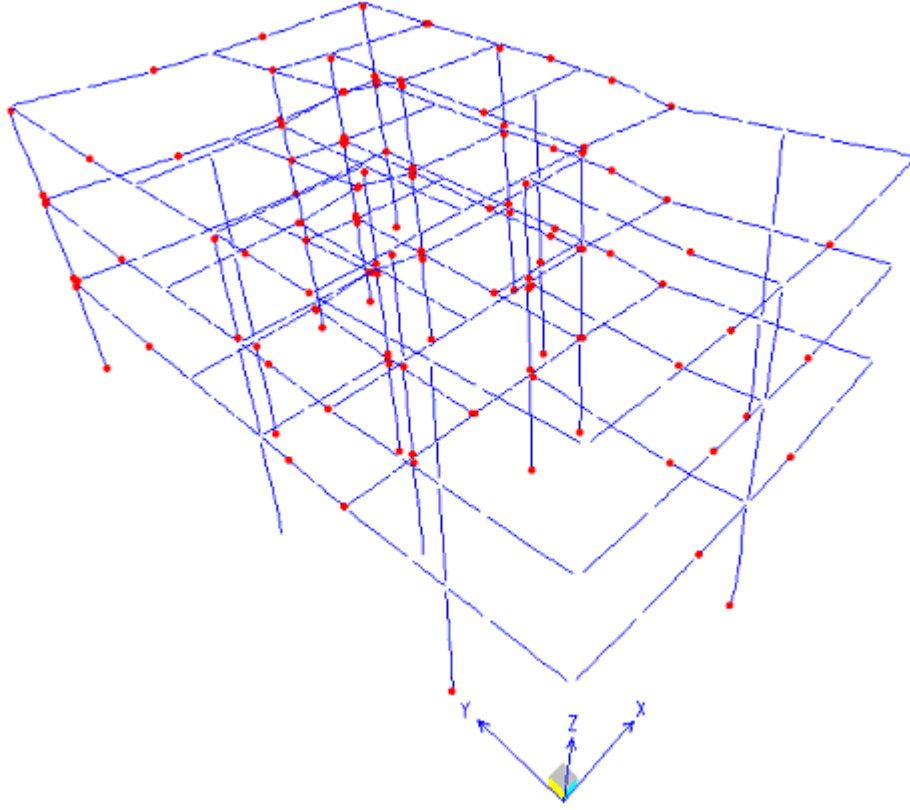
şekil 5.19: SAP 2000 analiz sonuçlarına göre güçlendirilmiş yapının X yönü için oluşan plastik mafsalların yerleri

5.7.5.2 Y yönü

Statik itme analizi sonucunda Y yönü için göçme durumundaki taban kesme kuvveti $V_{göçme} = 7286,34$ kN ve tepe yerdeğiştirmesi $\Delta_{göçme} = 0,026$ m olarak bulunmuştur.Yapıya ait taban kesme kuvveti- Tepe Yer değiştirmesi ilişkisi şekil 5.20 ile gösterilmiştir. Yapı yük parametresi $P_{göçme}= 1,49$ olarak bulunmuştur. Analiz sonucunda 51 adet hemen kullanım seviyesinde (B-IO), 33 adet hasar kontrol aralığında (IO-LS) ve 7 adet sınırlı güvenlik aralığında (LS-CP) olan toplam 91 adet plastik mafsall oluşmuştur. Plastik mafsalların yerleri şekil 5.21 ile gösterilmiştir.



şekil 5.20: SAP 2000 analiz sonuçlarına göre güçlendirilmiş yapının Y yönündeki taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirmesi grafiği



Şekil 5.21: SAP 2000 analiz sonuçlarına göre güçlendirilmiş yapının Y yönü için oluşan plastik mafsalların yerleri

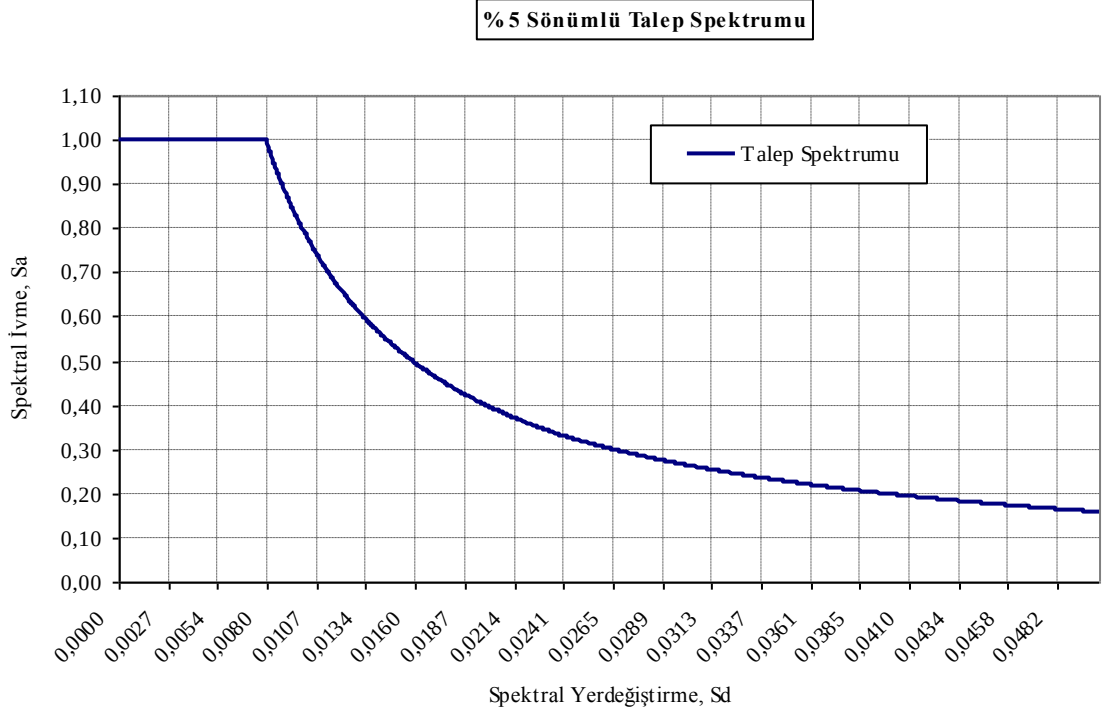
5.7.6 Performans noktasının bulunması

Elde edilen kapasite eğrileri kullanılarak Bölüm 3'te anlatılmış olan Yöntem A kullanılarak yapının performans hesabı yapılacaktır.

5.7.6.1 Yapının X yönüne ait performans noktasının hesaplanması

Yöntem A'da anlatılan işlem sırası aşağıdaki şekilde uygulanmıştır.

1. Adım: İlk olarak %5 sönümlü talep spektrum eğrisinin çizilmesi gerekmektedir. Bölüm 5.6'da anlatıldığı üzere hesaplanan C_A , C_V ve diğer parametreler kullanılarak %5 sönümlü talep spektrum eğrisi çizilir. Spekturumu oluştururken periyot yerine spektral yerdeğiştirme değerleri $S_d = (S_a \times T^2) / 4 \pi^2$ formülü yardımıyla hesaplanarak yazılır. Bu şekilde çizilmiş eğri Şekil 5.22 ile gösterilmiştir.



Şekil 5.22: Güçlendirilmiş yapıda X doğrultusunda %5 sönümlü talep spektrumu

2. Adım: Kapasite eğrisi, Kapasite spektrum eğrisine dönüştürülür. Γ_1 , M_1 ve α_1 değerleri hesaplanır. Formüllerdeki Φ_{xi} yanal kat ötelenmesi değerleri modal analiz sonucunda hesap yapılan yönde okunan ötelenme değerleridir.

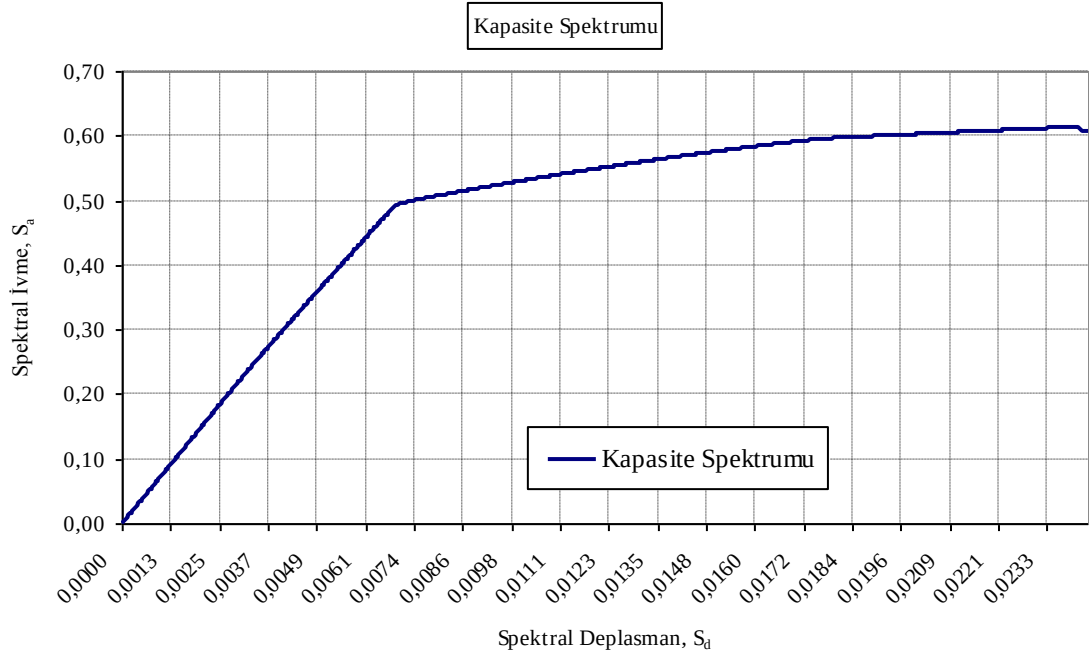
$$\Gamma_1 = 11,046$$

$$\alpha_1 = 0,8208$$

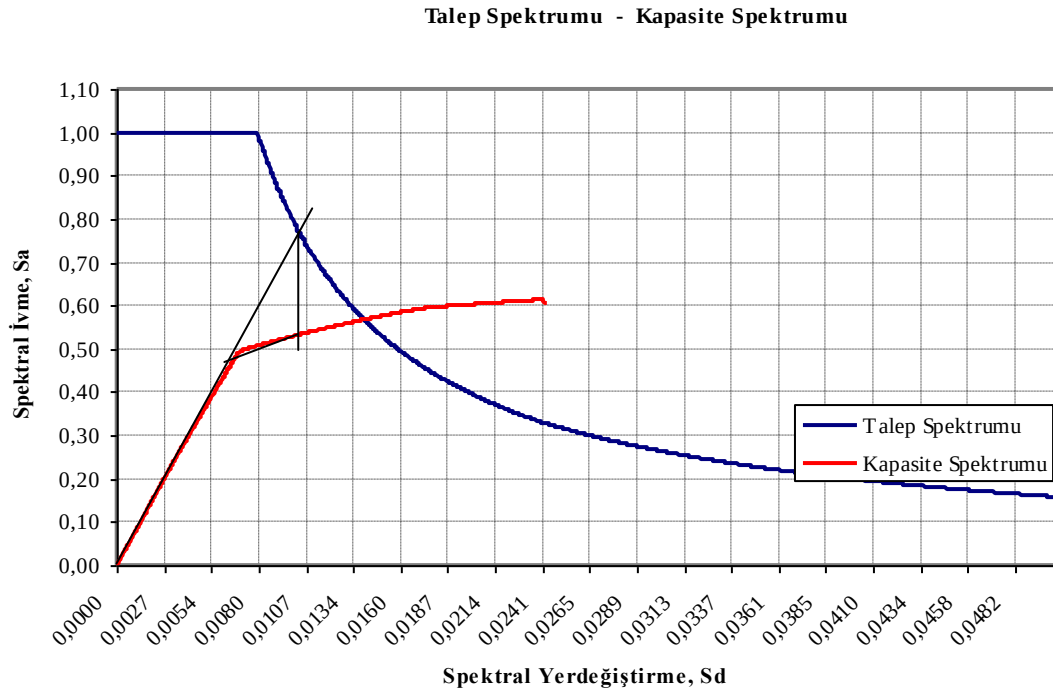
$M_1 = 119,3942$ olarak hesaplanmıştır.

Denklem (3.6) ve (3.7) kullanılarak Taban Kesme Kuvveti – Tepe Yer değişirmesi grafiği, yani kapasite eğrisi, Spektral İvme – Spektral Yerdeğiştirme formatındaki Kapasite Spektrum Eğrisine dönüştürülür. Hesaplanan Kapasite Spektrumu Şekil 5.23 ile gösterilmiştir.

3. Adım: Şekil 5.24’ te görüldüğü üzere talep ve kapasite spektrumları aynı grafik üzerinde üst üste çizilmiştir. Kapasite spektrum eğrisinin lineer kısmı uzatılarak talep spektrum eğrisi ile kesiştirilmiştir. Bulunan noktadan kapasite spektrumu üzerine dik bir doğru çizilerek bu noktanın izdüşümü bulunmuş ve $S_{api}=0,5315$, $S_{dpi}=0,0102$ olarak okunmuştur. Başlangıç performans noktası bu nokta olarak kabul edilip işlemlere devam edilecektir.



Şekil 5.23: Güçlendirilmiş yapının X doğrultusunda kapasite spektrumu



Şekil 5.24: Güçlendirilmiş yapının X doğrultusunda başlangıç performans noktası

4. Adım: Kırıklı kapasite spektrum eğrisi elde edebilmek için başlangıç performans noktasından, kapasite spektrum eğrisinin başlangıcındaki doğrusal kısma doğru bir doğru çizilir. Bu doğru çizilirken kapasite spektrum eğrisi ile doğru arasında sağda

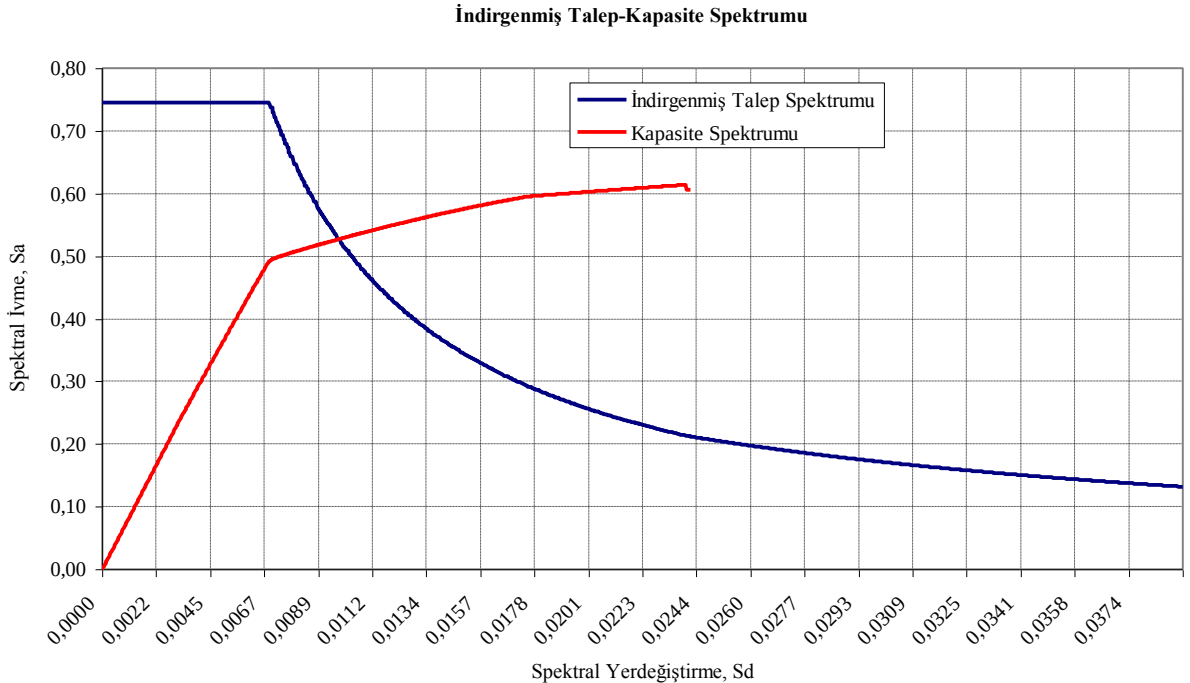
ve solda eşit alanlar kalmasına dikkat edilir. Bu yöntemle çizilen ve başlangıç doğrusu ile kesiştirilen doğrunun lineer kısmı kestiği noktanın koordinatları $S_{ay}=0,4739$ ve $S_{dy}=0,0062$ olarak okunmuştur. Oluşan kırıklı kapasite spektrumu Şekil 5.24 ile gösterilmiştir.

5. Adım: İndirgenmiş talep spektrumu elde edilir. İndirgenme işlemi için Bölüm 3.2.3.4'te anlatılan yol izlenir. %5 sönümlü talep spektrumu daha önce anlatılan katsayılar yardımıyla % 11 sönümlü talep spektrum eğrisine indirgenmiştir.

6. Adım: Kapasite spektrumu ve indirgenmiş talep spektrumu ve aynı grafik üzerinde çizilerek Şekil 5.25 ile gösterilmiştir. İki spektrumun kesiştiği noktanın koordinatları $S_{ap}=0,5278$ ve $S_{dp}=0,0098$ olarak okunmuştur. Bulunan bu nokta güçlendirilmiş yapının X doğrultusundaki performans noktasıdır. Bulunan noktanın kabul edilebilmesi için S_{dp} değerinin $0,95 \cdot S_{dpi} < S_{dp} < 1,05 \cdot S_{dpi}$ aralığında olması gerekmektedir.

$S_{dpi}=0,0102$ ve $S_{dp}=0,0098$ olarak bulunduğuna göre;

$$0,95 \cdot 0,0102 < 0,0097 < 1,05 \cdot 0,0102 \Rightarrow 0,00969 < 0,00980 < 0,01071$$

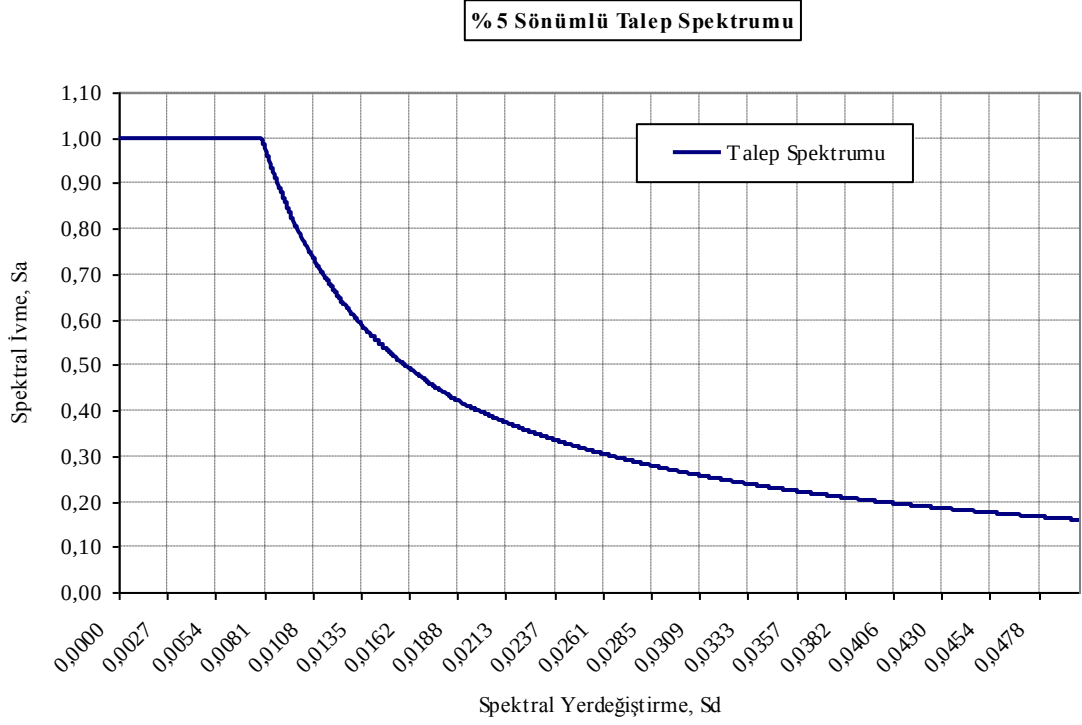


Şekil 5.25: Güçlendirilmiş yapının X doğrultusunda indirgenmiş talep ve kapasite spektrumu

5.7.6.2 Yapının Y yönüne ait performans noktasının hesaplanması

Yöntem A'da anlatılan ve X yönü için hesapları yapılan işlem sırası aşağıdaki şekilde Y yönü için de uygulanmıştır.

1. Adım: %5 sönümlü talep spektrum eğrisinin çizilmesi gerekmektedir. Kullanılacak talep spektrum eğrisi Şekil 5.26 ile gösterilmiştir.



Şekil 5.26: Güçlendirilmiş yapının Y doğrultusunda %5 sönümlü talep spektrumu

2. Adım: Kapasite eğrisi, Kapasite spektrum eğrisine dönüştürülür. Γ_1 , M_1 ve α_1 değerleri hesaplanır. Formüllerdeki Φ_{yi} yanal kat ötelenmesi değerleri modal analiz sonucunda hesap yapılan yönde okunan ötelenme değerleridir.

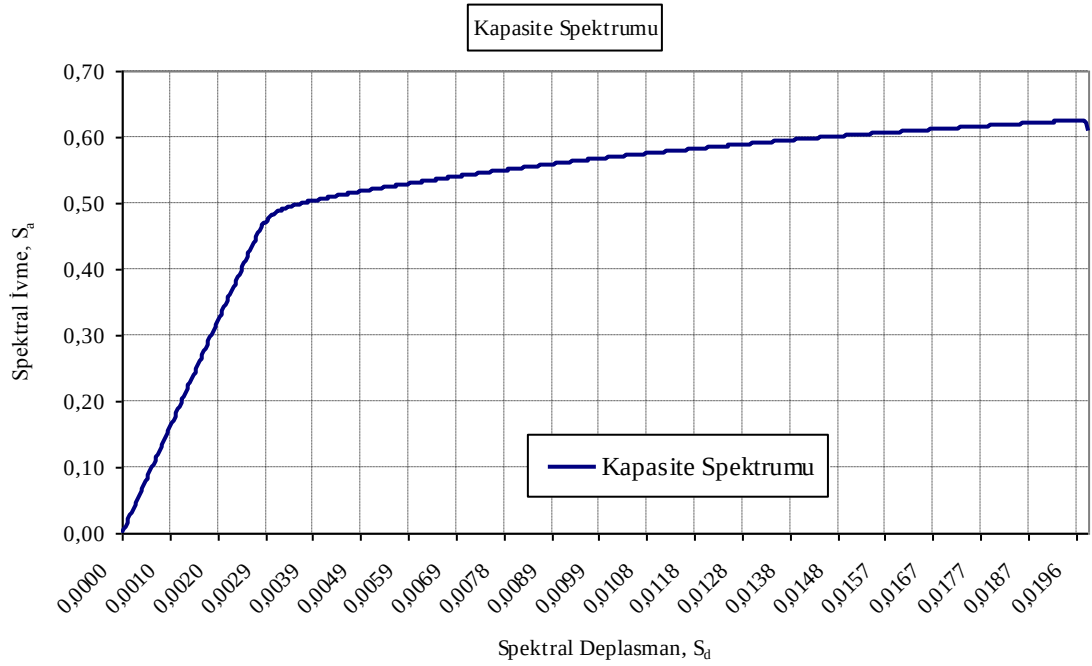
$$\Gamma_1 = 11,103$$

$$\alpha_1 = 0,8390$$

$M_1 = 122,048$ olarak hesaplanmıştır.

Denklem (3.6) ve (3.7) kullanılarak Taban Kesme Kuvveti – Tepe Yer değiştirme grafiği, yani kapasite eğrisi, Spektral İvme – Spektral Yerdeğiştirme formatındaki

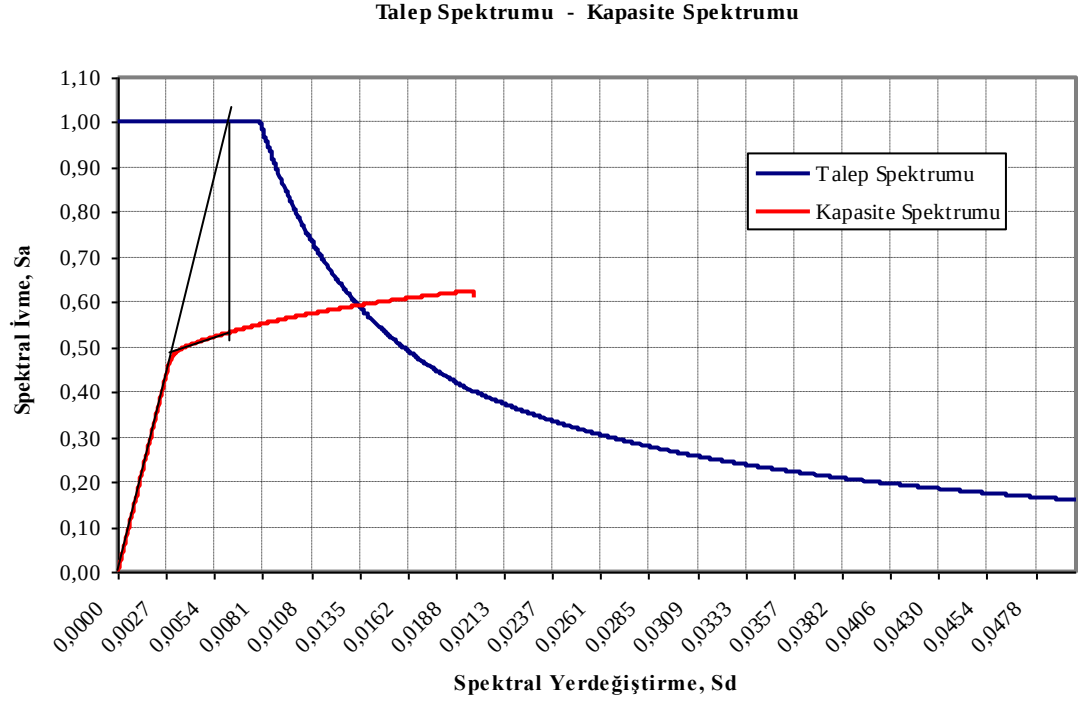
Kapasite Spektrum Eğrisine dönüştürülür. Hesaplanan Kapasite Spektrumu Şekil 5.27 ile gösterilmiştir.



Şekil 5.27: Güçlendirilmiş yapının Y doğrultusunda kapasite spektrumu

3. Adım: Şekil 5.28' de görüldüğü üzere talep ve kapasite spektrumları aynı grafik üzerinde üst üste çizilmiştir. Kapasite spektrum eğrisinin lineer kısmı uzatılarak talep spektrum eğrisi ile kesiştirilmiştir. Bulunan noktadan kapasite spektrumu üzerine dik bir doğru çizilerek bu noktanın izdüşümü bulunmuş ve $S_{api}=0,5319$, $S_{dpi}=0,0061$ olarak okunmuştur. Başlangıç performans noktası bu nokta olarak kabul edilip işlemlere devam edilecektir.

4. Adım: Kırıklı kapasite spektrum eğrisi elde edebilmek için başlangıç performans noktasından, kapasite spektrum eğrisinin başlangıcındaki doğrusal kısma doğru bir doğru çizilir. Bu doğru çizilirken kapasite spektrum eğrisi ile doğru arasında sağda ve solda eşit alanlar kalmasına dikkat edilir. Bu yöntemle çizilen ve başlangıç doğrusu ile kesiştirilen doğrunun lineer kısmı kestiği noktanın koordinatları $S_{ay}=0,4910$ ve $S_{dy}=0,0029$ olarak okunmuştur. Oluşan kırıklı kapasite spektrumu Şekil 5.28 ile gösterilmiştir.



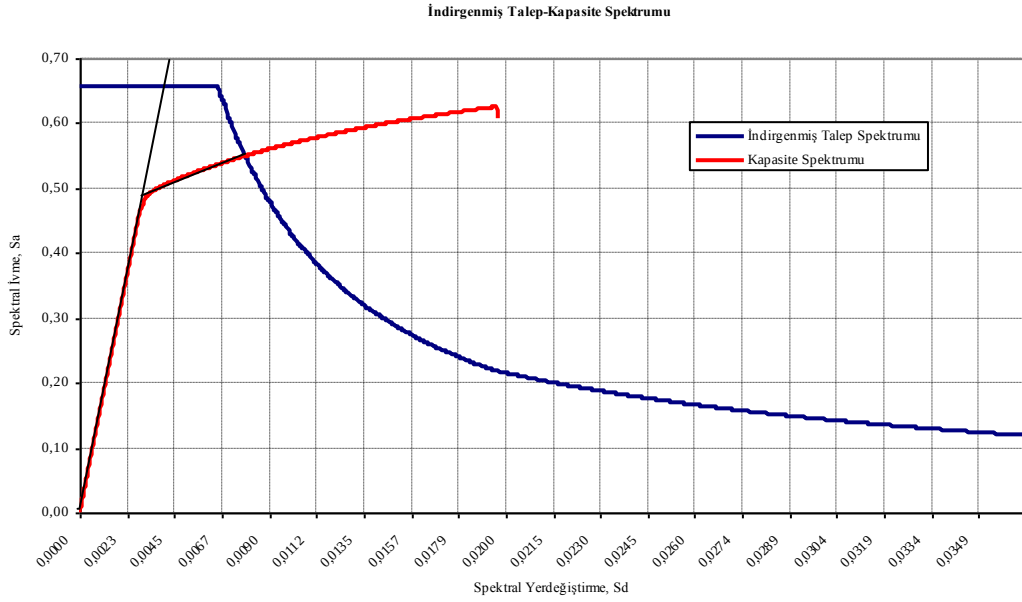
Şekil 5.28: Güçlendirilmiş yapının Y doğrultusunda başlangıç performans noktası

5. Adım: İndirgenmiş talep spektrumu elde edilir. İndirgenme işlemi için Bölüm 3.2.3.4'te anlatılan yol izlenir. %5 sönümlü talep spektrumu daha önce anlatılan katsayılar yardımıyla % 14 sönümlü talep spektrum eğrisine indirgenmiştir.

6. Adım: Kapasite spektrumu ve indirgenmiş talep spektrumu ve aynı grafik üzerinde çizilerek Şekil 5.29 ile gösterilmiştir. İki spektrumun kesiştiği noktanın koordinatları $S_{ap}=0,5499$ ve $S_{dp}=0,0078$ olarak okunmuştur. Bulunan noktanın kabul edilebilmesi için S_{dp} değerinin $0,95 \cdot S_{dpi} < S_{dp} < 1,05 \cdot S_{dpi}$ aralığında olması gerekmektedir.

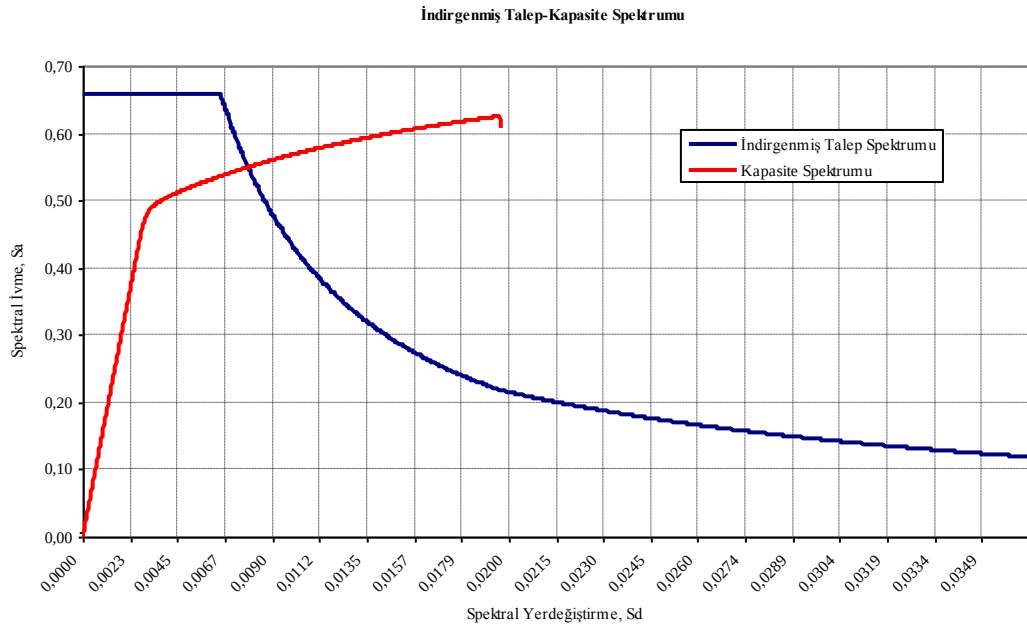
$S_{dpi}=0,0061$ ve $S_{dp}=0,0078$ olarak bulunduğu göre;

$0,95 \cdot 0,0061 < 0,0078 < 1,05 \cdot 0,0061 \Rightarrow 0,00579 < 0,00780 < 0,0064$ şartı sağlanmamış olur. Bu durumda iterasyona devam edilmeli, elde edilen nokta başlangıç performans noktası olarak kabul edilerek işlemler tekrarlanmalıdır.



Şekil 5.29: Güçlendirilmiş yapının Y doğrultusunda indirgenmiş talep ve kapasite spektrumu

7. Adım: 4. adıma geri dönmüştür. Kırıklı kapasite spektrum eğrisi elde edebilmek için başlangıç performans noktasından, kapasite spektrum eğrisinin başlangıcındaki doğrusal kısma doğru bir doğru çizilir. Bu doğru çizilirken kapasite spektrum eğrisi ile doğru arasında sağda ve solda eşit alanlar kalmasına dikkat edilir. Bu yöntemle çizilen ve başlangıç doğrusu ile kesiştirilen doğrunun lineer kısmı kestiği noktanın koordinatları $S_{ay}=0,4891$ ve $S_{dy}=0,0029$ olarak okunmuştur. Oluşan kırıklı kapasite spektrumu Şekil 5.30 ile gösterilmiştir.



Şekil 5.30: Güçlendirilmiş yapının Y doğrultusunda ikinci başlangıç performans noktası

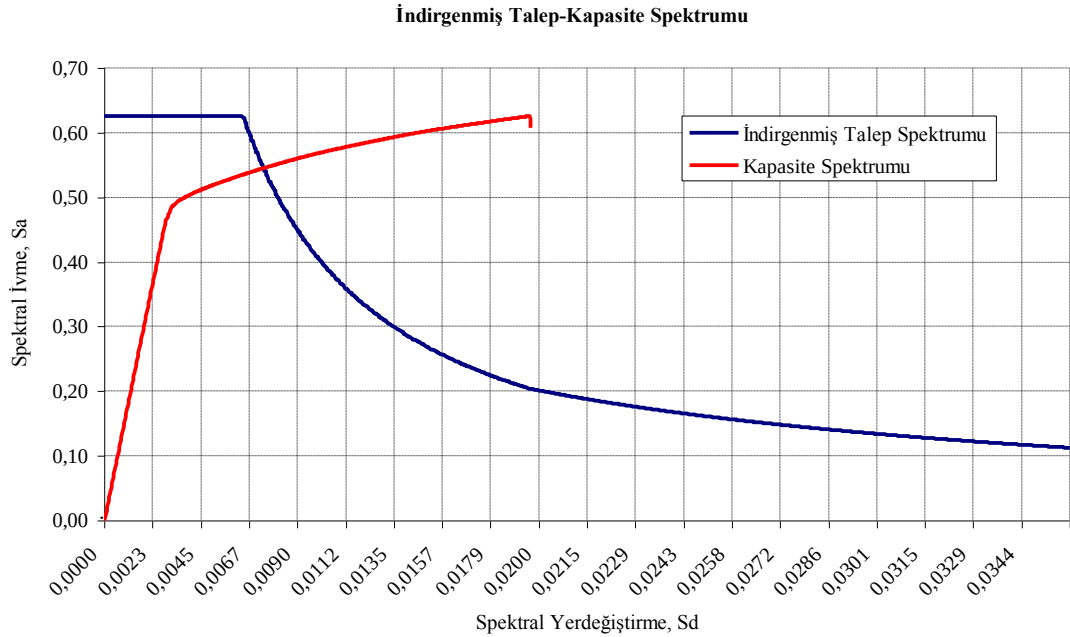
8.Adım: İndirgenmiş talep spektrumu tekrar indirgenir. İndirgenme işlemi için Bölüm 3.2.3.4'te anlatılan yol izlenir. %14 sönümlü talep spekturumu S_{api} , S_{dpi} , S_{ay} ve S_{dy} katsayıları yardımıyla % 16 sönümlü talep spektrum eğrisine indirgenmiştir.

9.Adım : Kapasite spektrumu ve indirgenmiş talep spektrumu ve aynı grafik üzerinde çizilerek Şekil 5.31 ile gösterilmiştir. İki spektrumun kesiştiği noktanın koordinatları $S_{ap}=0,5454$ ve $S_{dp}=0,0075$ olarak okunmuştur. Bulunan noktanın kabul edilebilmesi için S_{dp} değerinin $0,95*S_{dpi} < S_{dp} < 1,05*S_{dpi}$ aralığında olması gerekmektedir.

$S_{dpi}=0,0078$ ve $S_{dp}=0,0075$ olarak bulunduğuna göre;

$$0,95*0,0078 < 0,0075 < 1,05*0,0078 \Rightarrow 0,00741 < 0,00750 < 0,00819.$$

$S_{ap}=0,5454$ ve $S_{dp}=0,0075$ noktası güçlendirilmiş yapının Y doğrultusundaki performans noktasıdır.



Şekil 5.31: Güçlendirilmiş yapının Y doğrultusunda performans noktası

6. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

1975 Deprem Yönetmeliğinde göre tasarlanmış bir okul binasının depreme karşı dayanımı bu tez kapsamında örnek olarak incelenmiştir. Deprem güvenliği kontrolü için anlatılan 3. bölümde analiz aşamaları ayrıntılı olarak anlatılan statik itme yöntemi kullanılmıştır.

İncelenen binanın depreme karşı güvenliğinin araştırılmasından önce binada bazı tasarım ve imalat hataları olduğu gözlemlenmiştir. Binada deprem kuvvetini karşılayabilecek perde bulunmamakta, mevcut kolonların çoğu ise X doğrultusunda yer almaktadır. Kolon boyutları düşey yükleri ancak taşıyabilecek şekilde düzenlenmiştir. Perde kullanılmaması ile beraber en önemli sorun yapıda oldukça geniş açıklıkların geçilmesidir. Binadaki hacimlerin çoğu derslik olarak kullanıldığı için büyük hacimlere ihtiyaç duyulmuş ve döşeme boyutları 7,2 x 7,2 m. ölçülerine ulaşmıştır. Döşemeyi çevreleyen kirişler ile taşınan yaklaşık 50 m² alana sahip bu döşemelerin kalınlıkları 20 cm seçilmiş, bu da kat ağırlıklarının, dolayısıyla deprem yükünün artmasını sağlamıştır. Yapılan ölçümler sonucunda beton kalitesinin yetersiz olduğu, BS 10 kalitesinde olduğu gözlemlenmiştir. Donatı planlarının elde edilememesi nedeniyle 1975 deprem yönetmeliğine göre minimum donatı hesaplanmış ve bu donatıların kullanıldığı varsayılmıştır. Yapının incelenmesinde bu donatıların da tam olarak mevcut olmadığı, özellikle döşemelerdeki açıklık donatısı eksikliği nedeniyle yapıda görünen en büyük hasarın döşemelerde olduğu, orta bölgelerde ise büyük sehimler olduğu gözlemlenmiştir. Bu açıklıkları daha rahat geçebilmek için bina tasarım aşamasındayken döşemelerin dişli veya tali kirişli olarak yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır. Bununla beraber döşemeleri taşıyacak kirişlerden bazıları 40x70 cm. ölçüsündedir. Yüksek kirişler ve döşeme kalınlığının fazla olması zati yüklerin beklenenden bir hayli fazla çıkmasına, binanın okul binası olarak kullanılması nedeniyle hareketli yüklerin ve hareketli yük katılım katsayısının büyük oluşu gibi etkenler bina ağırlığını çok fazlalaştırmıştır. Bu nedenle hesaplanan deprem yüklerine karşı P göçme yükü parametresi oldukça düşük değerlerde kalmış, ciddi bir güçlendirme yapılmasına karşılık bu değer istenilen değerlerin biraz üzerine ancak çıkabilmiştir. Aşağıda analiz aşamaları sonucunda bulunan değerler ve bu değerlerin kısa bir şekilde değerlendirilmesine yer verilmiştir.

- 1) EPARC programı ile analiz yapıldıktan sonra Tablo 6.1 ile gösterilen tepe yerdeğiştirmesi, taban kesme kuvveti ve yük parametresi değerleri elde edilmiş, bu yük altında oluşan plastik mafsalların sayısı verilmiştir.

Tablo 6.1: EPARC programı ile mevcut binanın analiz sonuçları

Yön	$P_{göçme}$	$V_{göçme}$ (kN)	$\Delta_{göçme}$ (m)	Plastik Mafsal Sayısı		
				Kolon	Kiriş	Toplam
X	0,2967	1282,55	0,0450	78	72	150
Y	0,2317	1002,14	0,0474	99	51	150

- 2) EPARC ile yapılan analiz sonuçları SAP 2000 programına aktarılmış, statik itme analizi verileri tanımlanmış, modal analiz ve pushover analizi yapılmıştır. Yapılan statik itme analizine ait sonuçlar Tablo 6.2 ile verilmiştir.

Tablo 6.2: SAP 2000 programı ile mevcut binanın analiz sonuçları

Yön	$P_{göçme}$	$V_{göçme}$ (kN)	$\Delta_{göçme}$ (m)	Plastik Mafsal Sayısı			
				Hemen Kullanım	Hasar Kontrol	Sınırlı Güvenlik	Toplam
X	0,31	1324,71	0,038	59	52	7	118
Y	0,26	1110,95	0,043	49	47	3	99

- 3) Her iki analiz programında da yaklaşık değerler elde edilmiş, göçme durumuna ait değerler yaklaşık aynı oranlarda kalmıştır. İki analiz sonucunda da kolonların daha güçlü olduğu X yönü daha güçlü çıkmış, yük parametresi ve göçme taban kesme kuvveti Y yönüne oranla daha fazla olmuştur. Göçme anında hesaplanan tepe yer değiştirmesi değerleri SAP 2000 programında her iki yön için de EPARC programı sonuçlarına göre daha az olmuştur.
- 4) Elde edilen SAP 2000 değerleri kullanılarak performans hesabı yapılmıştır. Her iki yön için de ayrı ayrı yapılan hesaplamalarda analiz sonucu elde edilen Taban Kesme Kuvveti - Tepe Yer değiştirmesi değerleri kullanılmıştır. Yapılan işlemler sonucunda kapasite spektrumları ve indirgenmiş talep spektrumları oluşturulmuş ve aynı grafik üzerinde çizilmiştir. Talep spektrumu indirgendiği halde iki yönde de kapasite spektrumunu kesmemiş, yani geçerli bir performans değeri okunamamıştır. Bu bize yapının deprem güvenliğinin öngörülen sınır değerlerin bile altında kalacak kadar kötü olduğunu ve her iki yön için de güçlendirme çalışması yapılması gerektiğini göstermektedir.
- 5) Deprem yüklerini karşılamak amacıyla öncelikle daha zayıf olan Y doğrultusuna 3 adet perde yerleştirilmiştir. Bu perdeler 7,2 m. lik akslar boyunca yerleştirilmiş olup, planda düzensizliğe neden olmayacak simetri sağlanarak yerleştirilmiştir. Yine aynı kriter dahilinde X doğrultusuna da 3 adet perde eklenmiş, bu perdeler 4,75 m'lik akslar boyunca yerleştirilerek yapının her iki yönde de yakın deprem dayanımına sahip olması amaçlanmıştır. Perdelere ait tipik donatı detayları Ek B Şekil B.3 ile gösterilmiştir. Perde temellerine ait ek bir çalışma yapılmamış, mevcut temel düzeninin yeterli geldiği kabul edilmiştir.
- 6) Güçlendirme yapıldıktan sonra sistem tekrar modellenmiş, gerekli düzenlemeler yapılmış ve statik itme analizi tekrarlanmıştır. Analiz sonuçları Tablo 6.3 ile özetlenmiştir.

Tablo 6.3: SAP 2000 programı ile güçlendirilmiş binanın analiz sonuçları

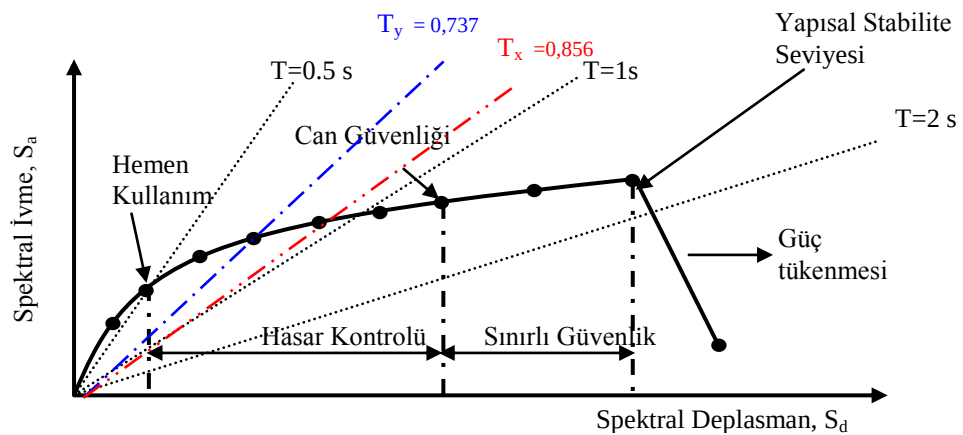
Yön	$P_{göçme}$	$V_{göçme}$ (kN)	$\Delta_{göçme}$ (m)	Plastik Mafsal Sayısı			
				Hemen Kullanım	Hasar Kontrol	Sınırlı Güvenlik	Toplam
X	1,44	7054,08	0,032	76	56	8	140
Y	1,49	7286,34	0,026	51	33	7	91

7) Güçlendirilmiş yapının SAP 2000 analiz sonuçları mevcut yapıyla kıyaslandığı zaman yük parametrelerinde her iki yön için de artış olduğu görülmüştür. Mevcut yapıda daha zayıf olan Y yönü güçlendirmeden sonra X yönüne oranla daha güçlü hale gelmiş, X yönü yük parametresinde 4,645 kat artış olurken bu oran Y yönünde 5,731 kat olarak bulunmuştur. Benzer şekilde göçme durumunda karşılanan taban kesme kuvveti değerlerinde X yönünde 5,234 kat artış olurken, bu oran Y yönü için 6,558 kat olarak bulunmuştur. Tepe yer değiştirme değerlerinde ise X yönünde % 16'lık bir azalma, Y yönünde ise % 40'lık bir azalma gözlemlenmiştir. Bu değerler tablo 6.4 ile gösterilmiştir. Yapı kapasitesindeki büyük artışa rağmen yer değiştirme değerlerindeki azalma sistemin rijitleştiğini, Y yönündeki % 40'lık azaltma ise bu yöne eklenen 7,2 metrelik perdelerin yapı yatay yük taşıma kapasitesine ve rijitliğine olan etkisini göstermektedir.

Tablo 6.4: Güçlendirilmiş yapının göçme değerlerinin mevcut yapı göçme değerleri karşısında değişimi

Yön	$P_{göçme}$	$V_{göçme}$	$\Delta_{göçme}$
	Güçlendirilmiş/Mevcut	Güçlendirilmiş/Mevcut	Güçlendirilmiş/Mevcut
X	4,645	5,324	0,842
Y	5,731	6,558	0,605

- 8) Bulunan değerler kullanılarak performans hesabı yapılmıştır. Kapasite spektrumları güçlendirilmiş yapı için tekrar çizilmiş ve her iki yönde de kapasite eğrisinin birden arttığı, eğrinin ilk kısmının lineere yakın bir eğilimde olduğu görülmüştür. X yönünde mevcut kolonların da depreme karşı dayanımının bulunması nedeni ile artış bu yönde daha yumuşak, Y yönünde ise yapı birden rijitleştiği için eğri daha kırıklı oluşmuştur. Oluşan kapasite spektrumları indirgenmiş talep spektrumları ile kesişmiş ve performans noktası değerleri okunmuştur. Y yönü için ilk indirgeme sonucunda bulunan performans değeri gerekli şartı sağlamadığı için talep spektrumu iki kere indirgenmiştir. Buna göre X yönü için etkin sönüm oranı $\beta_{eff} = 0.1099$, performans noktası koordinatları $S_{ap}=0.5278$ ve $S_{dp}=0.0098$ olarak okunmuştur. Y yönü için etkin sönüm oranı $\beta_{eff} = 0.1593$ ve performans noktası koordinatları $S_{ap}=0.5454$ ve $S_{dp}=0.0075$ olarak bulunmuştur.
- 9) Güçlendirilen yapıda her iki yön için de bulunan S_{ap} ve S_{dp} koordinat değerleri kullanılarak $T = 2\pi\sqrt{S_d/S_a}$ formülü yardımı ile periyot değeri hesaplanır. Buna göre $T_x=0,856$ s ve $T_y=0,737$ s olarak hesaplanmıştır.
- 10) Bulunan periyotlar ve Şekil 6.1 yardımıyla yapının her iki yönde de kontrol edilebilir hasar aralığında olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 6.1: Taşıyıcı sistemde kapasite spektrum eğrisi

11) Yapısal olmayan performans seviyesi olarak NP-C Can Güvenliği Performans Seviyesi seçilmesi halinde Bina Performans Seviyesi olarak SP-2 Kontrollü Hasar Aralığında 2-C seviyesi okunmuştur. Bu seviye Tablo 6.5 ile gösterilmiştir.

Tablo 6.5: Güçlendirilmiş yapı performans seviyesi

Madde I. Bina Performans Seviyeleri						
Yapısal Olmayan Performans Seviyeleri	Yapısal Performans Seviyeleri					
	SP-1 Hemen Kullanım	SP-2 Kontrollü Hasar Aralığı	SP-3 Can Güvenliği	SP-4 Sınırlı Güvenlik Aralığı	SP-5 Toptan Göçmenin Önlenmesi (Yapısal Stabilité)	SP-6 Hasarın Göz Önüne Alınmadığı
NP-A İşlevsel	1-A Kullanıma Devam (B)	2-A	NR	NR	NR	NR
NP-B Hemen Kullanım	1-B Hemen Kullanım (IO)	2-B	3-B	NR	NR	NR
NP-C Can Güvenliği	1-C	2-C	3-C Can Güvenliği (LS)	4-C	5-C	6-C
NP-D Azaltılmış Hasar	NR	2-D	3-D	4-D	5-D	6-D
NP-E Hasarın Göz Önüne Alınmadığı	NR	NR	3-E	4-E	5-E Yapısal Stabilité (CP)	Uygulanamaz

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 İçi Eğitim Semineri, IMO Bursa Şubesi, Aralık
- [7] **TS-498,** 1987. Yapılar hesaplarında kullanılacak yükler, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- [8] **TS-500,** 2000. Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- [9] **Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik,** ABYYHY1997. Bayındırlık Bakanlığı, Ankara
- [10] **Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik,** ABYYHY1975. İmar ve İskan Bakanlığı, Ankara
- [11] **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.

EKLER

EK – A

Tablo A.1: Kiriş Boyutları ve Kirişlere Etkiyen Yükler

Kat No:	Kiriş No:	Uzunluk (m):	h kiriş (m):	bw (m):	Kiriş üzerine etkiyen toplam Yük (kN/m)
2	1	7,2	0,7	0,3	33,34
2	2	3,6	0,7	0,3	22,59
2	3	3,6	0,7	0,3	22,59
2	4	7,2	0,7	0,3	33,34
2	5	3,6	0,5	0,25	37,56
2	6	3,6	0,5	0,25	37,56
2	7	7,2	0,7	0,4	54,66
2	8	3,6	0,7	0,4	42,06
2	9	3,6	0,7	0,4	43,83
2	10	3,6	0,7	0,3	39,15
2	11	3,6	0,7	0,3	39,15
2	12	3,6	0,7	0,3	29,59
2	13	7,2	0,7	0,3	33,34
2	14	3,6	0,7	0,3	22,59
2	15	3,6	0,7	0,3	22,59
2	16	3,6	0,7	0,3	22,59
2	17	3,6	0,7	0,3	22,51
2	18	7,2	0,7	0,3	33,12
2	19	7,2	0,7	0,3	33,12
2	20	4,75	0,7	0,3	44,18
2	21	2,45	0,5	0,25	44,21
2	22	2,45	0,5	0,25	44,21
2	23	4,75	0,5	0,25	42,56
2	24	4,75	0,5	0,25	34,27
2	25	4,75	0,5	0,25	34,21
2	26	4,75	0,7	0,3	44,18
2	27	2,45	0,5	0,25	44,21
2	28	2,45	0,5	0,25	29,92
2	29	4,75	0,5	0,25	34,21
2	30	2,45	0,5	0,25	31,01
2	31	4,75	0,5	0,25	36,95
2	32	7,2	0,7	0,3	33,12
2	33	7,2	0,7	0,3	27,51
1	34	7,2	0,7	0,3	35,15
1	35	3,6	0,7	0,3	23,74
1	36	3,6	0,7	0,3	22,09
1	37	7,2	0,7	0,3	35,15
1	38	3,6	0,5	0,25	40,25

Kat No:	Kiriş No:	Uzunluk (m):	h kiriş (m):	bw (m):	Kiriş üzerine etkiyen toplam Yük (kN/m)
1	39	3,6	0,5	0,25	38,61
1	40	7,2	0,7	0,4	58,28
1	41	3,6	0,7	0,4	43,47
1	42	3,6	0,7	0,4	45,15
1	43	3,6	0,7	0,3	40,20
1	44	3,6	0,7	0,3	40,20
1	45	3,6	0,7	0,3	28,70
1	46	7,2	0,7	0,3	35,15
1	47	3,6	0,7	0,3	22,09
1	48	3,6	0,7	0,3	22,09
1	49	3,6	0,7	0,3	22,09
1	50	3,6	0,7	0,3	22,02
1	51	7,2	0,7	0,3	34,91
1	52	7,2	0,7	0,3	34,91
1	53	4,75	0,7	0,3	47,38
1	54	2,45	0,5	0,25	47,21
1	55	2,45	0,5	0,25	47,21
1	56	4,75	0,5	0,25	43,75
1	57	4,75	0,5	0,25	35,08
1	58	4,75	0,5	0,25	33,01
1	59	4,75	0,7	0,3	45,37
1	60	2,45	0,5	0,25	47,21
1	61	2,45	0,5	0,25	30,82
1	62	4,75	0,5	0,25	33,01
1	63	2,45	0,5	0,25	29,97
1	64	4,75	0,5	0,25	35,62
1	65	7,2	0,7	0,3	34,91
1	66	7,2	0,7	0,3	26,78
Z	67	7,2	0,7	0,3	35,15
Z	68	3,6	0,7	0,3	23,74
Z	69	3,6	0,7	0,3	22,09
Z	70	7,2	0,7	0,3	35,15
Z	71	3,6	0,5	0,25	40,25
Z	72	3,6	0,5	0,25	38,61
Z	73	7,2	0,7	0,4	58,28
Z	74	3,6	0,7	0,4	43,47
Z	75	3,6	0,7	0,4	45,15
Z	76	3,6	0,7	0,3	40,20
Z	77	3,6	0,7	0,3	40,20
Z	78	3,6	0,7	0,3	28,70
Z	79	7,2	0,7	0,3	35,15
Z	80	3,6	0,7	0,3	22,09
Z	81	3,6	0,7	0,3	22,09
Z	82	3,6	0,7	0,3	22,09
Z	83	3,6	0,7	0,3	22,02
Z	84	7,2	0,7	0,3	34,91
Z	85	7,2	0,7	0,3	34,91
Z	86	4,75	0,7	0,3	47,38
Z	87	2,45	0,5	0,25	47,21

Kat No:	Kiriş No:	Uzunluk (m):	h kiriş (m):	bw (m):	Kiriş üzerine etkiyen toplam Yık (kN/m)
Z	88	2,45	0,5	0,25	47,21
Z	89	4,75	0,5	0,25	43,75
Z	90	4,75	0,5	0,25	35,08
Z	91	4,75	0,5	0,25	33,01
Z	92	4,75	0,7	0,3	45,37
Z	93	2,45	0,5	0,25	47,21
Z	94	2,45	0,5	0,25	30,82
Z	95	4,75	0,5	0,25	33,01
Z	96	2,45	0,5	0,25	29,97
Z	97	4,75	0,5	0,25	35,62
Z	98	7,2	0,7	0,3	34,91
Z	99	7,2	0,7	0,3	26,78

Tablo A.2: Kolon Boyutları

Kolon No:	y (m):	X (m):
S1	0,5	0,3
S2	0,3	0,5
S3	0,25	0,5
S4	0,3	0,5
S5	0,3	0,5
S6	0,3	0,5
S7	0,25	0,5
S8	0,3	0,5
S9	0,5	0,4
S10	0,5	0,4
S11	0,5	0,4
S12	0,5	0,4
S13	0,3	0,5
S14	0,3	0,5
S15	0,3	0,5
S16	0,25	0,5
S17	0,5	0,3
S18	0,3	0,5
S19	0,3	0,5
S20	0,3	0,5
S21	0,3	0,5

Tablo A.3: Düzenlenmiş Kiriş Donatıları

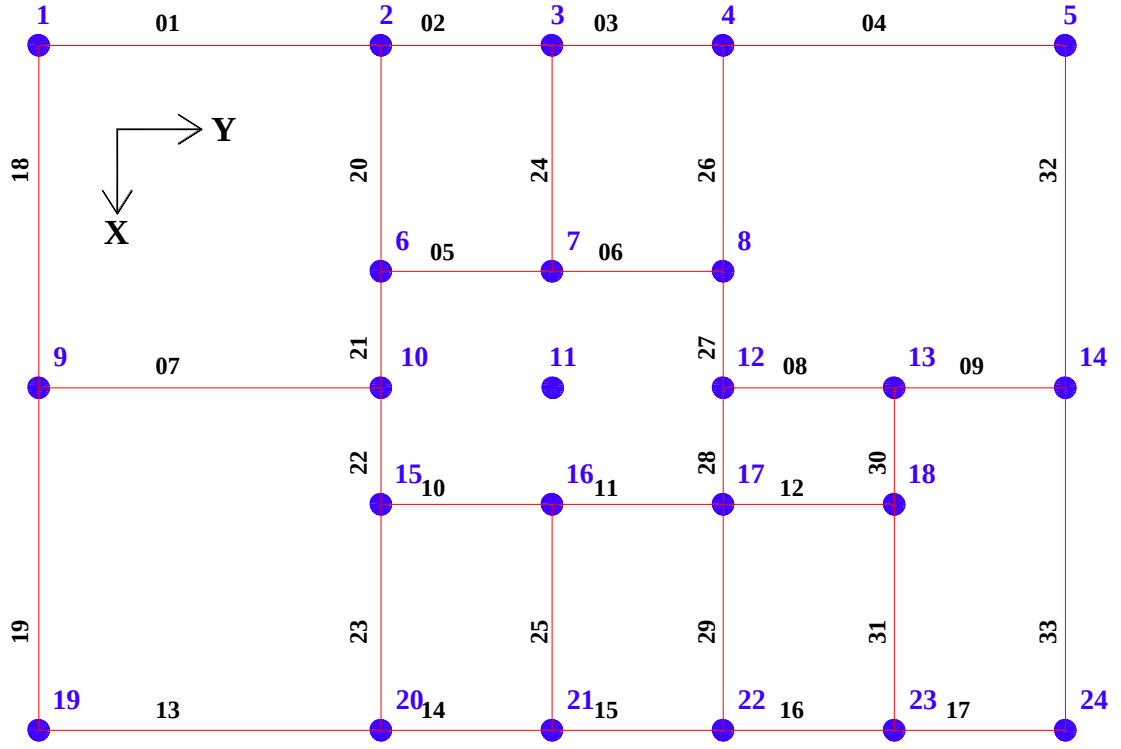
					Sol uç Kesiti			Orta Kesit			Sağ uç Kesiti		
Kiriş No:	Kiriş Boyutları			Tanımlan Donatı çapı	Üst	Alt	Toplam Donatı Alanı	Üst	Alt	Toplam Donatı Alanı	Üst	Alt	Toplam Donatı Alanı
1	0,7	*	0,3	18	4	3	17,81	2	5	17,81	6	3	22,90
2	0,7	*	0,3	18	6	3	22,90	2	3	12,72	6	3	22,90
3	0,7	*	0,3	18	6	3	22,90	2	3	12,72	6	3	22,90
4	0,7	*	0,3	18	6	3	22,90	2	5	17,81	4	3	17,81
5	0,5	*	0,25	18	4	3	17,81	2	5	17,81	6	3	22,90
6	0,5	*	0,25	18	6	3	22,90	2	5	17,81	4	3	17,81
7	0,7	*	0,4	18	8	4	30,53	2	7	22,90	8	4	30,53
8	0,7	*	0,4	18	8	4	30,53	2	7	22,90	8	4	30,53
9	0,7	*	0,4	18	8	4	30,53	2	7	22,90	8	4	30,53
10	0,7	*	0,3	18	4	3	17,81	2	5	17,81	6	3	22,90
11	0,7	*	0,3	18	6	3	22,90	2	5	17,81	6	3	22,90
12	0,7	*	0,3	18	6	3	22,90	2	5	17,81	4	3	17,81
13	0,7	*	0,3	18	4	3	17,81	2	5	17,81	6	3	22,90
14	0,7	*	0,3	18	6	3	22,90	2	3	12,72	6	3	22,90
15	0,7	*	0,3	18	6	3	22,90	2	3	12,72	6	3	22,90
16	0,7	*	0,3	18	6	3	22,90	2	5	17,81	6	3	22,90
17	0,7	*	0,3	18	6	3	22,90	2	5	17,81	4	3	17,81
18	0,7	*	0,3	18	7	3	25,44	3	7	25,44	11	3	35,62
19	0,7	*	0,3	18	11	3	35,62	3	7	25,44	7	3	25,44
20	0,7	*	0,3	18	4	3	17,81	2	5	17,81	5	3	20,35
21	0,5	*	0,25	18	5	3	20,35	2	4	15,27	4	3	17,81
22	0,5	*	0,25	18	4	3	17,81	2	4	15,27	5	3	20,35
23	0,5	*	0,25	18	5	3	20,35	2	5	17,81	4	3	17,81
24	0,5	*	0,25	18	4	3	17,81	2	5	17,81	4	3	17,81
25	0,5	*	0,25	18	4	3	17,81	2	5	17,81	4	3	17,81
26	0,7	*	0,3	18	4	3	17,81	2	5	17,81	5	3	20,35
27	0,5	*	0,25	18	5	3	20,35	2	4	15,27	4	3	17,81
28	0,5	*	0,25	18	4	3	17,81	2	4	15,27	5	3	20,35
29	0,5	*	0,25	18	5	3	20,35	2	5	17,81	4	3	17,81
30	0,5	*	0,25	18	4	3	17,81	2	5	17,81	6	3	22,90
31	0,5	*	0,25	18	6	3	22,90	2	5	17,81	4	3	17,81
32	0,7	*	0,3	18	7	3	25,44	3	7	25,44	11	3	35,62
33	0,7	*	0,3	18	11	3	35,62	3	7	25,44	7	3	25,44
34	0,7	*	0,3	18	4	3	17,81	2	5	17,81	6	3	22,90
35	0,7	*	0,3	18	6	3	22,90	2	3	12,72	6	3	22,90
36	0,7	*	0,3	18	6	3	22,90	2	3	12,72	6	3	22,90
37	0,7	*	0,3	18	6	3	22,90	2	5	17,81	4	3	17,81
38	0,5	*	0,25	18	4	3	17,81	2	5	17,81	6	3	22,90
39	0,5	*	0,25	18	6	3	22,90	2	5	17,81	4	3	17,81
40	0,7	*	0,4	18	8	4	30,53	2	7	22,90	8	4	30,53
41	0,7	*	0,4	18	8	4	30,53	2	7	22,90	8	4	30,53
42	0,7	*	0,4	18	8	4	30,53	2	7	22,90	8	4	30,53
43	0,7	*	0,3	18	4	3	17,81	2	5	17,81	6	3	22,90
44	0,7	*	0,3	18	6	3	22,90	2	5	17,81	6	3	22,90
45	0,7	*	0,3	18	6	3	22,90	2	5	17,81	4	3	17,81
46	0,7	*	0,3	18	4	3	17,81	2	5	17,81	6	3	22,90
47	0,7	*	0,3	18	6	3	22,90	2	3	12,72	6	3	22,90

					Sol uç Kesiti			Orta Kesit			Sağ uç Kesiti		
Kiriş No:	Kiriş Boyutları			Tanımlanan Donatı Çapı	Üst	Alt	Toplam Donatı Alanı	Üst	Alt	Toplam Donatı Alanı	Üst	Alt	Toplam Donatı Alanı
48	0,7	*	0,3	18	6	3	22,90	2	3	12,72	6	3	22,90
49	0,7	*	0,3	18	6	3	22,90	2	5	17,81	6	3	22,90
50	0,7	*	0,3	18	6	3	22,90	2	5	17,81	4	3	17,81
51	0,7	*	0,3	18	7	3	25,44	3	7	25,44	11	3	35,62
52	0,7	*	0,3	18	11	3	35,62	3	7	25,44	7	3	25,44
53	0,7	*	0,3	18	4	3	17,81	2	5	17,81	5	3	20,35
54	0,5	*	0,25	18	5	3	20,35	2	4	15,27	4	3	17,81
55	0,5	*	0,25	18	4	3	17,81	2	4	15,27	5	3	20,35
56	0,5	*	0,25	18	5	3	20,35	2	5	17,81	4	3	17,81
57	0,5	*	0,25	18	4	3	17,81	2	5	17,81	4	3	17,81
58	0,5	*	0,25	18	4	3	17,81	2	5	17,81	4	3	17,81
59	0,7	*	0,3	18	4	3	17,81	2	5	17,81	5	3	20,35
60	0,5	*	0,25	18	5	3	20,35	2	4	15,27	4	3	17,81
61	0,5	*	0,25	18	4	3	17,81	2	4	15,27	5	3	20,35
62	0,5	*	0,25	18	5	3	20,35	2	5	17,81	4	3	17,81
63	0,5	*	0,25	18	4	3	17,81	2	5	17,81	6	3	22,90
64	0,5	*	0,25	18	6	3	22,90	2	5	17,81	4	3	17,81
65	0,7	*	0,3	18	7	3	25,44	3	7	25,44	11	3	35,62
66	0,7	*	0,3	18	11	3	35,62	3	7	25,44	7	3	25,44
67	0,7	*	0,3	18	4	3	17,81	2	5	17,81	6	3	22,90
68	0,7	*	0,3	18	6	3	22,90	2	3	12,72	6	3	22,90
69	0,7	*	0,3	18	6	3	22,90	2	3	12,72	6	3	22,90
70	0,7	*	0,3	18	6	3	22,90	2	5	17,81	4	3	17,81
71	0,5	*	0,25	18	4	3	17,81	2	5	17,81	6	3	22,90
72	0,5	*	0,25	18	6	3	22,90	2	5	17,81	4	3	17,81
73	0,7	*	0,4	18	8	4	30,53	2	7	22,90	8	4	30,53
74	0,7	*	0,4	18	8	4	30,53	2	7	22,90	8	4	30,53
75	0,7	*	0,4	18	8	4	30,53	2	7	22,90	8	4	30,53
76	0,7	*	0,3	18	4	3	17,81	2	5	17,81	6	3	22,90
77	0,7	*	0,3	18	6	3	22,90	2	5	17,81	6	3	22,90
78	0,7	*	0,3	18	6	3	22,90	2	5	17,81	4	3	17,81
79	0,7	*	0,3	18	4	3	17,81	2	5	17,81	6	3	22,90
80	0,7	*	0,3	18	6	3	22,90	2	3	12,72	6	3	22,90
81	0,7	*	0,3	18	6	3	22,90	2	3	12,72	6	3	22,90
82	0,7	*	0,3	18	6	3	22,90	2	5	17,81	6	3	22,90
83	0,7	*	0,3	18	6	3	22,90	2	5	17,81	4	3	17,81
84	0,7	*	0,3	18	7	3	25,44	3	7	25,44	11	3	35,62
85	0,7	*	0,3	18	11	3	35,62	3	7	25,44	7	3	25,44
86	0,7	*	0,3	18	4	3	17,81	2	5	17,81	5	3	20,35
87	0,5	*	0,25	18	5	3	20,35	2	4	15,27	4	3	17,81
88	0,5	*	0,25	18	4	3	17,81	2	4	15,27	5	3	20,35
89	0,5	*	0,25	18	5	3	20,35	2	5	17,81	4	3	17,81
90	0,5	*	0,25	18	4	3	17,81	2	5	17,81	4	3	17,81
91	0,5	*	0,25	18	4	3	17,81	2	5	17,81	4	3	17,81
92	0,7	*	0,3	18	4	3	17,81	2	5	17,81	5	3	20,35
93	0,5	*	0,25	18	5	3	20,35	2	4	15,27	4	3	17,81
94	0,5	*	0,25	18	4	3	17,81	2	4	15,27	5	3	20,35
95	0,5	*	0,25	18	5	3	20,35	2	5	17,81	4	3	17,81

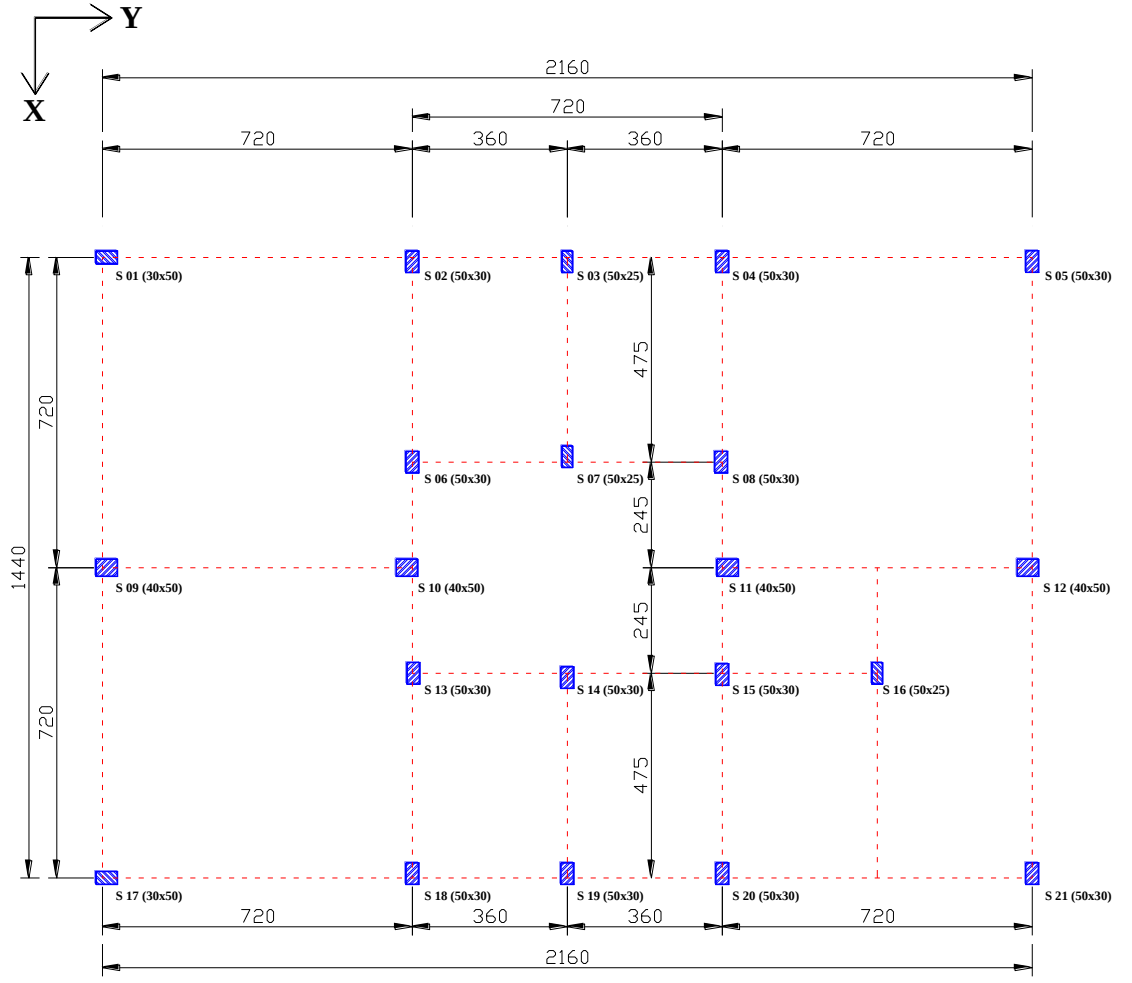
					Sol uç Kesiti			Orta Kesit			Sağ uç Kesiti		
Kiriş No:	Kiriş Boyutları			Tanımlanan Donatı Çapı	Üst	Alt	Toplam Donatı Alanı	Üst	Alt	Toplam Donatı Alanı	Üst	Alt	Toplam Donatı Alanı
96	0,5	*	0,25	18	4	3	17,81	2	5	17,81	6	3	22,90
97	0,5	*	0,25	18	6	3	22,90	2	5	17,81	4	3	17,81
98	0,7	*	0,3	18	7	3	25,44	3	7	25,44	11	3	35,62
99	0,7	*	0,3	18	11	3	35,62	3	7	25,44	7	3	25,44

Tablo A.4: Düzenlenmiş Kolon Donatıları

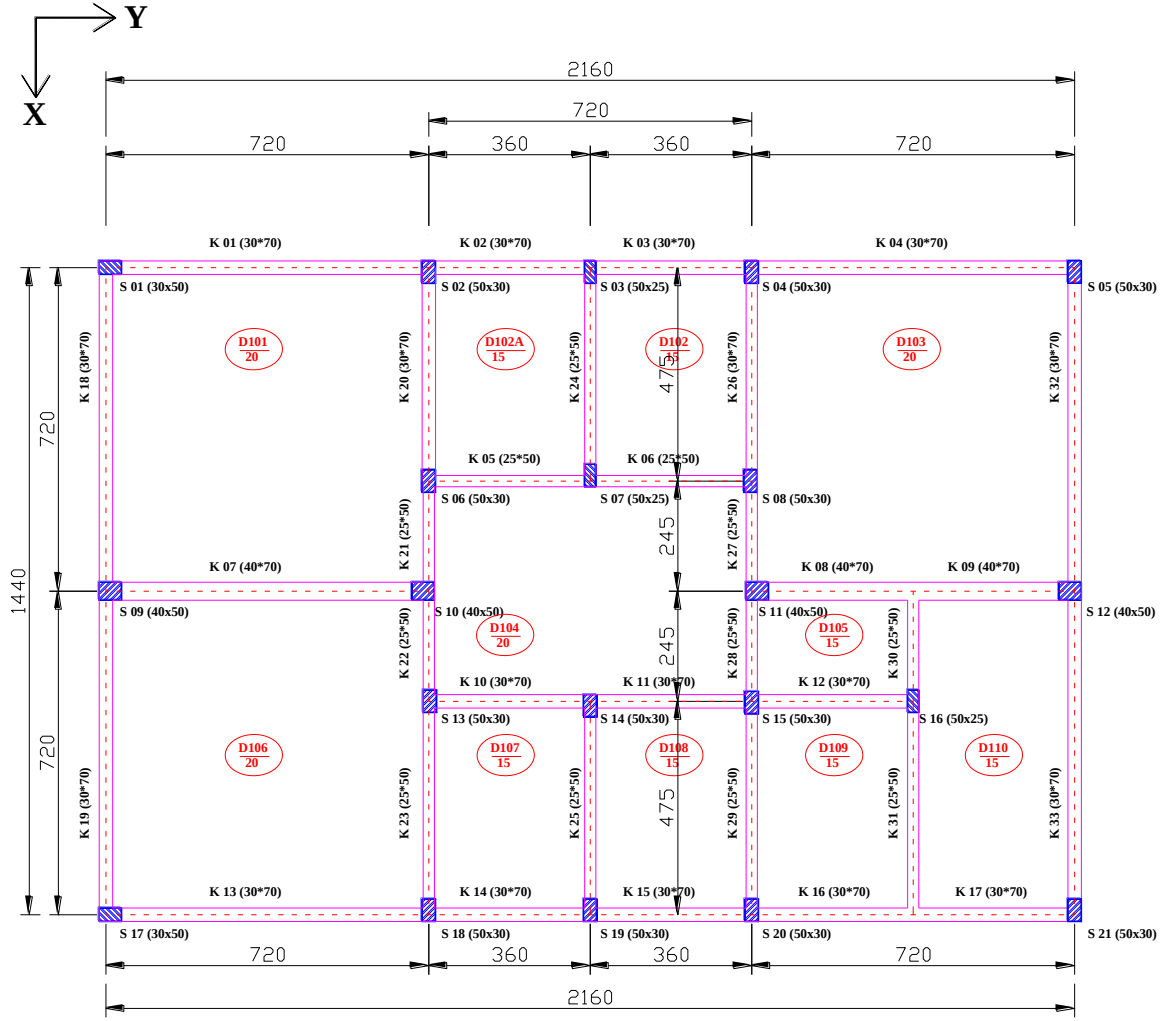
Kolon No:	Boyuna Donatı Çapı ve Adedi
S1	3Ø16 + 2Ø14
S2	3Ø16 + 2Ø14
S3	3Ø16 + 2Ø14
S4	3Ø16 + 2Ø14
S5	3Ø16 + 2Ø14
S6	3Ø16 + 2Ø14
S7	3Ø16 + 2Ø14
S8	3Ø16 + 2Ø14
S9	8Ø16 + 2Ø16
S10	8Ø16 + 2Ø16
S11	8Ø16 + 2Ø16
S12	8Ø16 + 2Ø16
S13	3Ø16 + 2Ø14
S14	3Ø16 + 2Ø14
S15	3Ø16 + 2Ø14
S16	3Ø16 + 2Ø14
S17	3Ø16 + 2Ø14
S18	3Ø16 + 2Ø14
S19	3Ø16 + 2Ø14
S20	3Ø16 + 2Ø14
S21	3Ø16 + 2Ø14



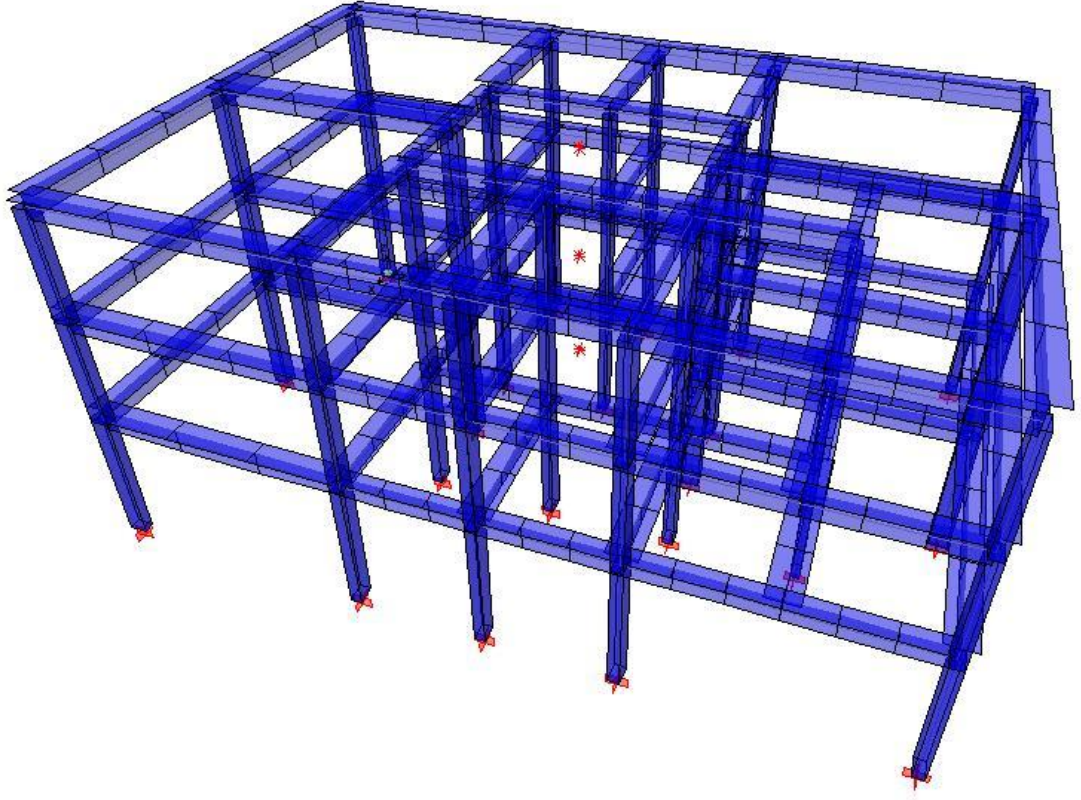
Şekil A.1: 2. Kata Ait EPARC Düğüm Noktaları ve Kiriş Numaralandırması



Şekil A.2: Tüm Katlara Ait Kolon Aplikasyon Planı ve Aks Bilgileri

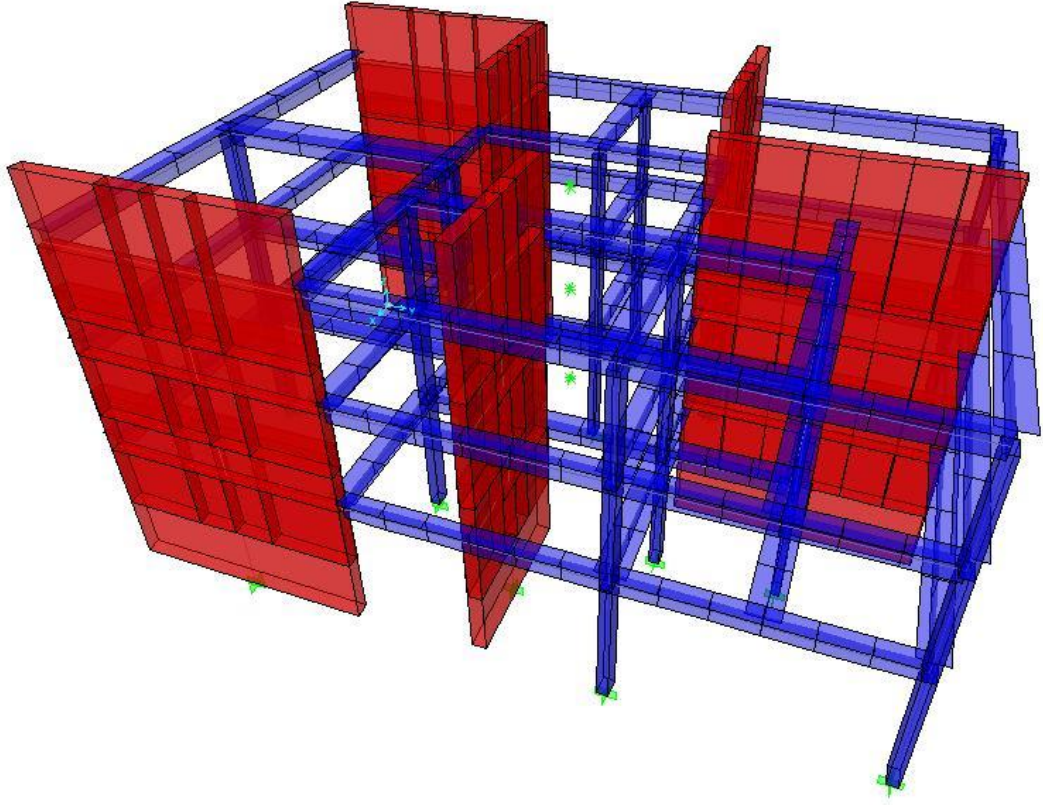


Şekil A.3: Zemin Kat Planı (1. ve 2. kat)

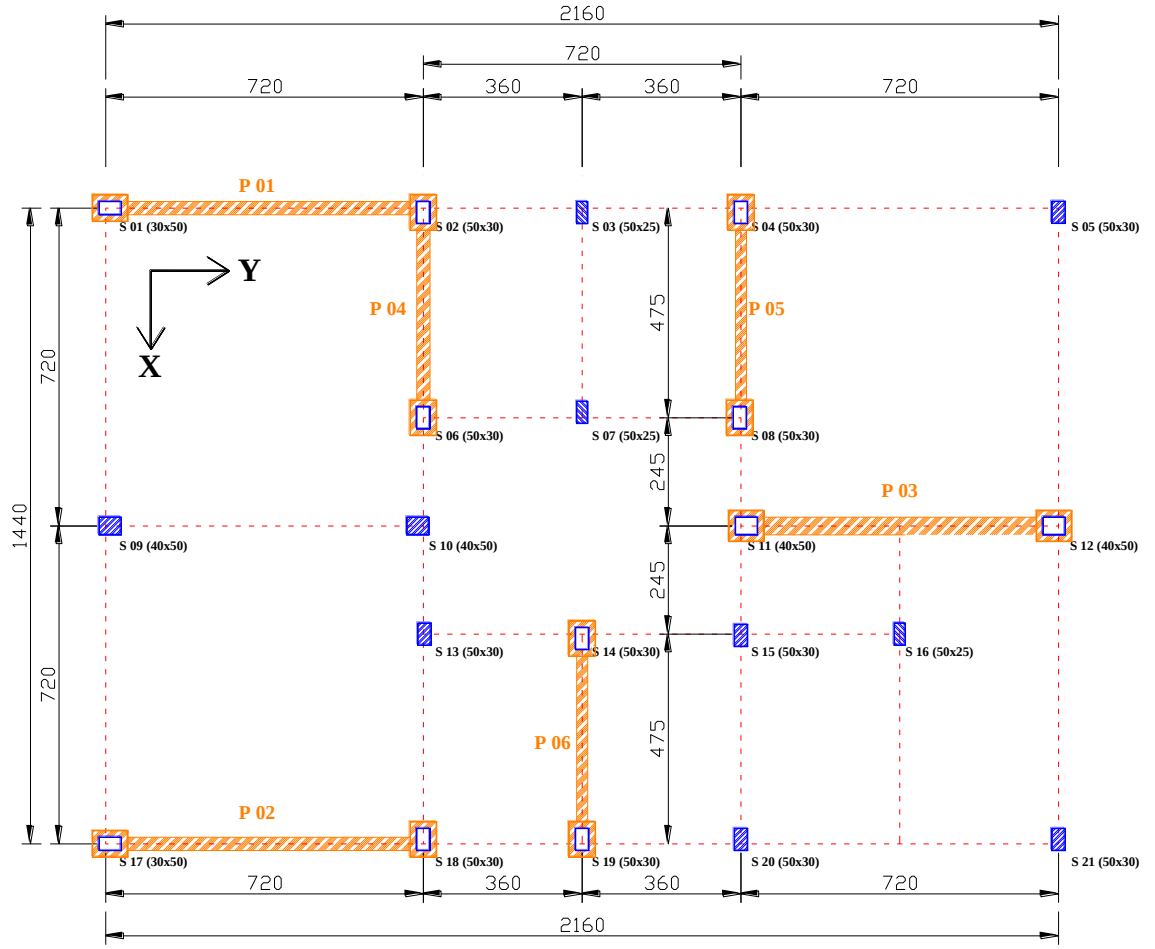


Şekil A.4: Mevcut Yapının 3 Boyutlu Görünüşü

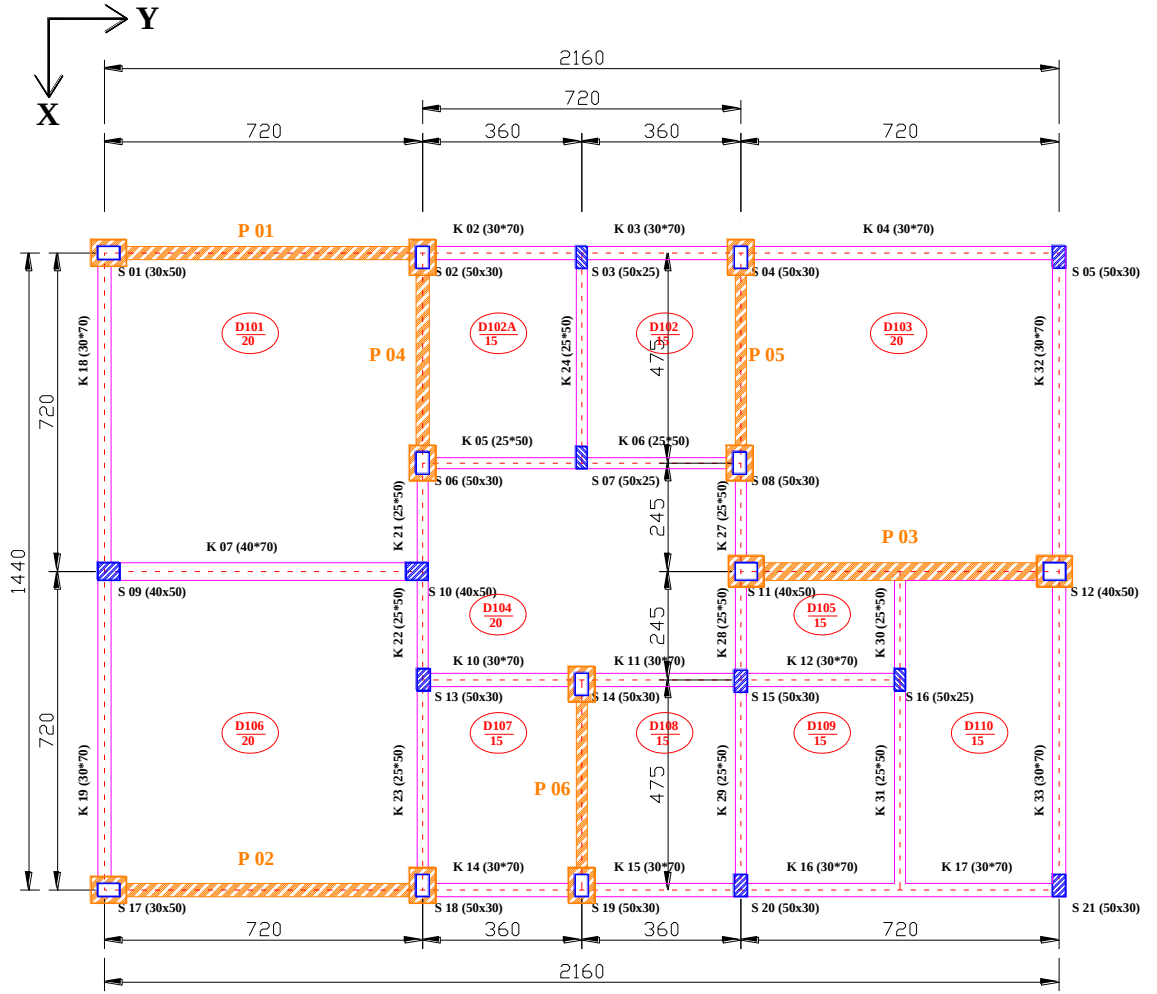
EK – B



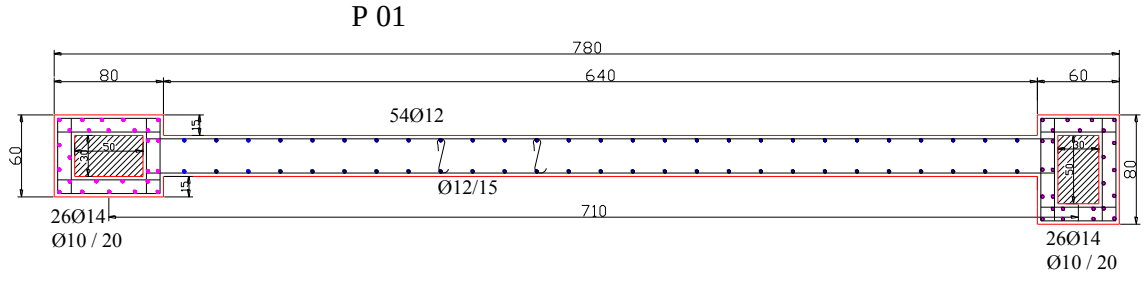
Şekil B.1: Güçlendirilmiş Yapının Üç Boyutlu Görünümü



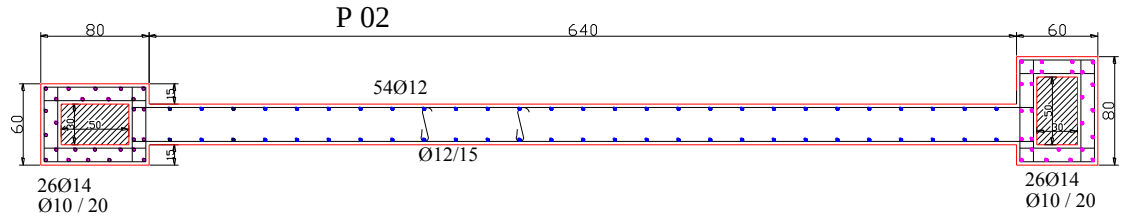
Şekil B.2: Güçlendirilmiş Yapının Kolon ve Perde Aplikasyon Planı (Tüm Katlar)



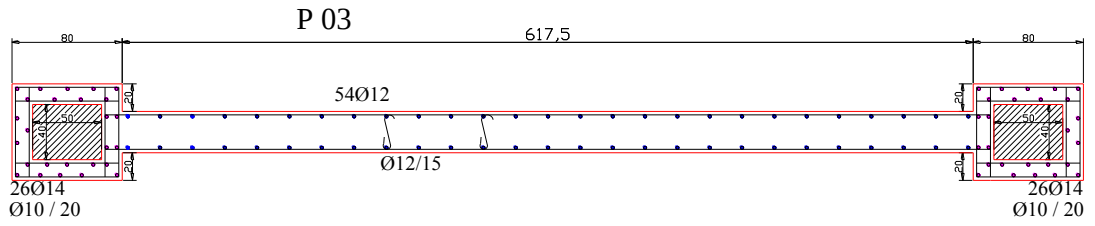
Şekil B.3: Güçlendirilmiş Yapının Kat Planı (Tüm Katlar)



Şekil B.4: Y Doğrultusunda Kullanılan P01 Perdesi Aplikasyon Planı

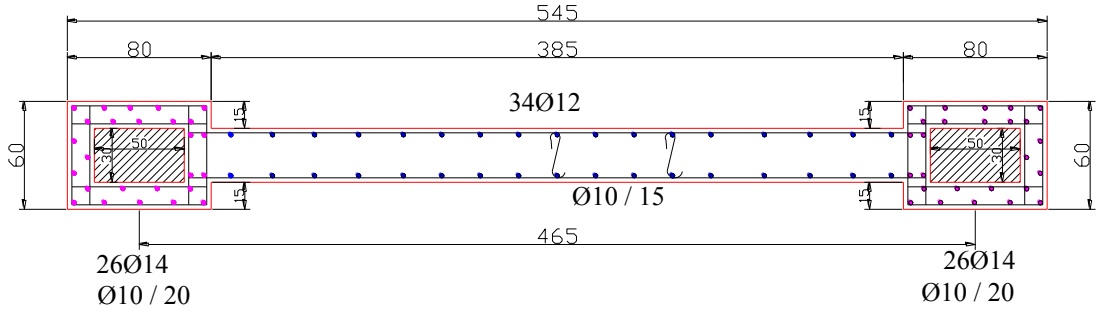


Şekil B.5: Y Doğrultusunda Kullanılan P02 Perdesi Aplikasyon Planı



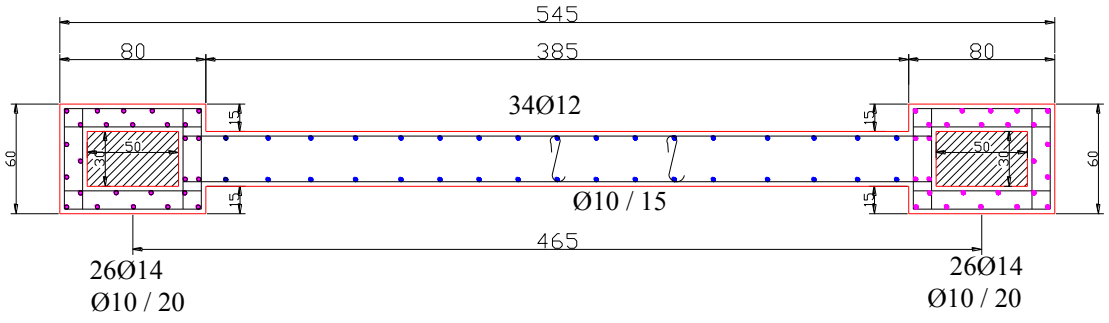
Şekil B.6: Y Doğrultusunda Kullanılan P03 Perdesi Aplikasyon Planı

P 04



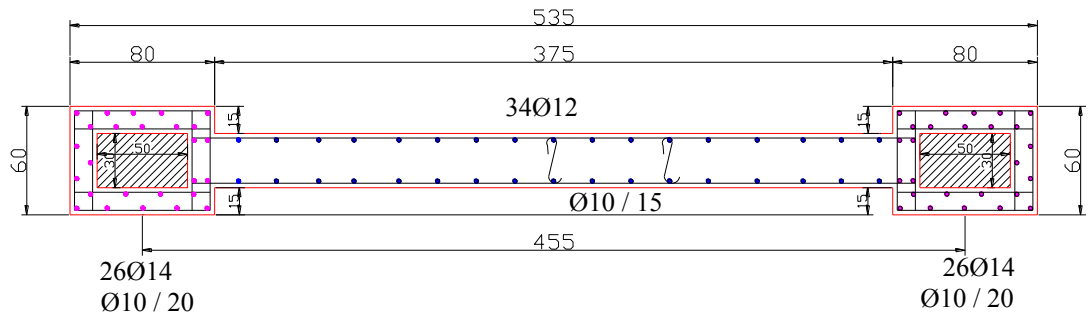
Şekil B.7: X Doğrultusunda Kullanılan P04 Perdesi Aplikasyon Planı

P 05



Şekil B.8: X Doğrultusunda Kullanılan P05 Perdesi Aplikasyon Planı

P 06



Şekil B.9: X Doğrultusunda Kullanılan P06 Perdesi Aplikasyon Planı

ÖZGEÇMİŞ

Deniz CAN, 1980 yılında Eskişehir’de doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Eskişehir’de tamamladı. 1997 yılında Eskişehir Kılıçoğlu Anadolu Lisesi’nden mezun oldu ve eğitimine Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nde devam etti. 2001 yılında tamamladığı lisans eğitimine aynı yıl başlayan İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Mühendisliği Programı’nda (Yapı Analizi ve Boyutlandırması Tez Alanı) yüksek lisans eğitimi ile devam etti.