

**STATİK İTME ANALİZİ YÖNTEMİYLE
MEVCUT BİR BETONARME YAPININ
İNCELENMESİ VE UYGULANMASI**

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

**Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği
Programı: Yapı Analizi ve Tasarımı**

Tez Danışmanı: Prof.Dr. Melike ALTAN

KASIM 2005

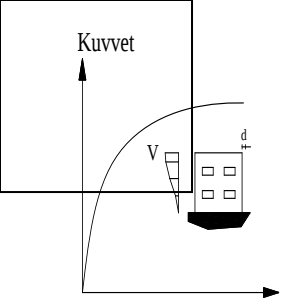
**STATİK İTME ANALİZİ YÖNTEMİYLE
MEVCUT BETONARME BİR YAPININ
İNCELENMESİ VE UYGULANMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Deniz ESİN
(501021058)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 17 Kasım 2005
Tezin Savunulduğu Tarih : 14 Kasım 2005**

**Tez Danışmanı : Prof.Dr. Melike ALTAN (İ.T.Ü.)
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Kadir GÜLER (İ.T.Ü.)
Doç.Dr. Mustafa ZORBOZAN (Y.T.Ü.)**

KASIM 2005



ÖNSÖZ

Bilindiği gibi, ülkemiz coğrafi konum olarak fay hatları üzerinde bulunmaktadır. Son yıllarda ülkemizin üzerinde bulunduğu fay hatlarında, yoğun bir hareketlenme gözlemlenmektedir. Bu fay hareketlerinin sonucu olarak da, ülkemizin çeşitli bölgelerinde, özellikle de Marmara bölgesinde, şiddetli depremler meydana gelmiştir. Gelecekte yeniden çeşitli şiddetlerde depremlerin meydana gelmesi muhtemeldir. Bu kaçınılmaz bir gerçektir. Oluşan bu depremlerin gerek maddi, gerekse manevi bilançosu milletimiz açısından çok ağır olmuştur. Bütün bu acı sonuçların ortaya çıkardığı tablo, ülkemizdeki mevcut binaların depreme karşı dayanıksız olduğu ve gerek mimarlarımızın, gerekse inşaat mühendislerimizin deprem konusunda yetersiz bir bilgi birikimine sahip olduğunu gözler önüne sermektedir. Depremde, binaların yıkılmasındaki temel sebeplerin başında, yetersiz projelendirmenin, kalitesi düşük ve eksik malzeme kullanımının, işçilik hatalarının ve imalat aşamasındaki yetersiz denetimlerinin geldiği gün gibi aşikardır.

Günümüzde deprem, dünyada özellikle de ülkemizde üzerinde hassasiyetle durulan ciddi bir konu haline gelmiştir. Depremin binalara verdiği hasarı minimuma indirebilmek için çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmaların mevcut binalar üzerindeki tatbiki bu yapıların güçlendirilmesi şeklindedir. Güçlendirme maddi açıdan son derece külfetli bir çalışmadır. Bu yüzden binalar inşa edilmeden önce, henüz proje aşamasındayken ciddi bir çalışma yapılarak, son derece hassas bir projelendirmeye gidilmelidir. Günümüzde, binaların deprem güvenliğini sağlamak amacıyla yapılan çalışmalar sonucunda çeşitli deprem analiz yöntemleri geliştirilmiştir. Ayrıca, teknolojik gelişmeler bu yöntemlerin bilgisayar ortamında son derece kolay ve hızlı bir şekilde tatbikine imkan vermektedir.

Yapılan bu çalışmada, sözünü ettiğimiz deprem analiz yöntemlerine genel olarak değinilmiş ve bu yöntemlerden yaygın olarak kullanılan, "Statik İtme Yöntemi" ayrıntılı olarak anlatılmaya çalışılmıştır. Ayrıca, 4 katlı betonarme bir binanın "Statik İtme Yöntemi" ile göçme güvenliği belirlenmiştir. Bu ve benzeri çalışmaların, depremin meydana getirdiği hasarların minimuma indirmek, insan canına daha fazla değer vermek, bu bağlamda tüm müteahhitlerin vicdanlarına seslenmek ve modernleşmek adına faydalı olacağını ümit ederim. Bu çalışmanın ortaya çıkmasında hiçbir fedakarlıktan kaçınmayıp maddi, manevi her türlü desteği sağlayan özellikle tez danışmanım Sayın Prof.Dr. Melike ALTAN'a ve değerli hocalarım Sayın Prof.Dr. Metin AYDOĞAN'a, Yar.Doç.Dr. Konuralp GİRGIN' e sonsuz teşekkürü bir borç bilirim.

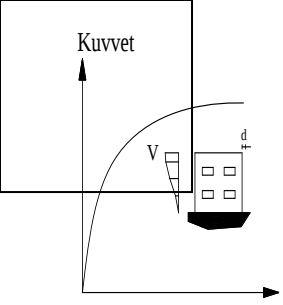
Kasım, 2005

Deniz ESİN

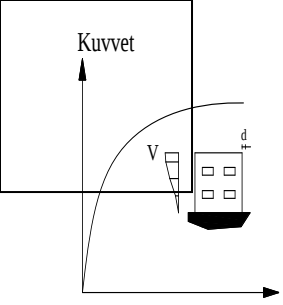
İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	vi
TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
SEMBOL LİSTESİ	x
ÖZET	xii
SUMMARY	xiii
1. GİRİŞ	1
2. PERFORMANS KAVRAMI	4
2.1 Giriş	4
2.2 Performans Seviyeleri	4
2.2.1 Yapısal performans seviyeleri ve aralıkları	6
2.2.2 Yapısal olmayan performans seviyeleri	7
2.2.3 Yapı performans seviyeleri	8
2.3 Yer Hareketi	9
2.4 Performans Amaçları	10
2.4.1 Performans amacı ve sınıflandırılması	10
2.5 Performans Amaçlarının Karşılaştırılması	12
2.5.1 Başlangıç performans amacı	12
2.5.2 Son performans amacı	12
3. LİNEER OLMAYAN STATİK ANALİZ (PUSHOVER ANALİZİ)	13
3.1 Giriş	13
3.2 Basitleştirilmiş Lineer Olmayan Analiz İçin Yöntemler	15
3.2.1 Kapasiteyi belirlemek için adım adım işlemler	16
3.2.2 Talep spektrumunu belirlemek için adım adım işlemler	17
3.2.3 Kapasite spektrum yöntemi kullanılarak sismik talebin hesaplanması	18
3.2.3.1 Kapasite spektrumu yönteminin kavramsal oluşumu	19
3.2.3.2 Kapasite spektrum eğrisinin doğrular haline getirilmesi	22
3.2.3.3 %5 sönümlü talep spektrum eğrisinin oluşturulması	23
3.2.3.4 Sönümün tahmini ve %5 sönümlü talep spektrumunun indirgenmesi	25
3.2.4 Performans noktasının bulunması	28
3.2.4.1 Kapasite ve talep spektrumlarının kesişimi	28
3.2.4.2 Yöntem A kullanılarak performans noktasının hesaplanması	29

4. MEVCUT BETONARME BİR BİNANIN LİNEER OLMAYAN STATİK ANALİZİ	33
4.1 Giriş	33
4.2 Genel Bilgiler	33
4.3 Yapıya Etkiyen Yükler	34
4.3.1 Düşey yükler	34
4.3.1.1 Sabit yükler	34
4.3.1.2 Hareketli yükler	34
4.3.1.3 Düşey yüklerin hesaplanması	35
4.3.2 1998 Afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmeliğe göre eşdeğer yatay deprem yükü hesabı	35
4.4 EPARC Analiz Programı Kullanılarak Yapının Deprem Güvenliğinin Tahkiki	37
4.4.1 Help2000 programı	39
4.4.2 Eparc programı	40
4.4.3 Check programı	40
4.4.4 Yapının “X” yönü için analiz sonuçları ve değerlendirilmesi	41
4.4.5 Yapının “Y” yönü için analiz sonuçları ve değerlendirilmesi	42
4.5 SAP 2000 Nonlinear Analiz Programı Kullanılarak Yapının Deprem Güvenliğinin Tahkiki	44
4.6 Modal Analiz Sonuçları	45
4.7 SAP 2000 Nonlinear Analiz Programı Kullanılarak Yapının Deprem Güvenliğinin Tahkiki	46
4.7.1 Yapının “X” yönü için analiz sonuçları	46
4.7.2 Yapının “Y” yönü için analiz sonuçları	48
4.7.3 Yapıya ait performans noktalarının bulunması	49
4.7.3.1 Yapının “X” yönüne ait performans noktasının bulunması	49
4.7.3.2 Yapının “Y” yönüne ait performans noktasının bulunması	53
4.7.4 Yapının SAP 2000 analiz sonuçlarının değerlendirilmesi	55
4.8 Yapının Güçlendirilmesi	55
4.8.1 Güçlendirilen yapıya ait 1998 afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkındaki yönetmeliğe göre eşdeğer yatay deprem yükü hesabı	56
4.8.2 Modal analiz sonuçları	57
4.8.3 Güçlendirilmiş yapının deprem güvenliğinin tahkiki	58
4.8.3.1 Yapının “X” yönü için analiz sonuçları	58
4.8.3.2 Yapının “Y” yönü için analiz sonuçları	60
4.8.4 Yapıya ait performans noktalarının bulunması	61
4.8.4.1 Yapının “X” yönüne ait performans noktasının bulunması	61
4.8.4.2 Yapının “Y” yönüne ait performans noktasının bulunması	63

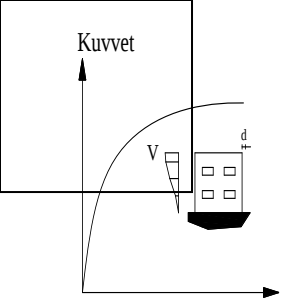


5. SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI ve DEĞERLENDİRİLMESİ	66
KAYNAKLAR	70
EK-A	71
EK-B	79



KISALTMALAR

ADRS	: İvme–Yerdeğiştirme Talep Spektrumu, Acceleration-Displacement Response Spectra
ATC	: Applied Technology Council
B	: Yapının Kullanıma Devam Performans Seviyesi
CP	: Yapının Yapısal Stabilité Performans Seviyesi, Collaps Prevention
CSM	: Kapasite Spektrumu Metodu
DE	: Tasarım Depremi, Design Earthquake
EPARC	: Elasto-Plastic Analys of Reinforced Concrete
IO	: Yapının Hemen Kullanım Performans Seviyesi, Immediate Occupancy
LS	: Yapının Can Güvenliği Performans Seviyesi, Life Safety
ME	: Maksimum Deprem, Maximum Earthquake
NP	: Yapısal Olmayan Performans, Nonstructural Performance
SE	: İşlevsel Deprem, Service Earthquake
SP	: Yapısal Performans, Structural Performance
TGD	: Temel Güvenlik Depremi

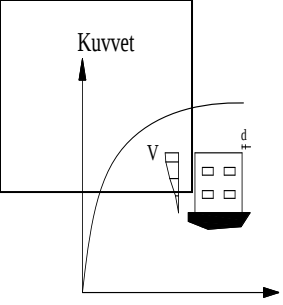


TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Yapı performans seviyeleri (Yapısal ve yapısal olmayan performans seviyeleri)	5
Tablo 2.2. Performans amaçlarının sınıflandırılması	11
Tablo 3.1. Analitik işlemlerin algoritması	14
Tablo 3.2. Yöntem seçim tablosu	19
Tablo 3.3. Deprem bölge katsayısı	23
Tablo 3.4. Kaynağa mesafe katsayısı	23
Tablo 3.5. Zemin sınıfı tablosu	24
Tablo 3.6. Deprem katsayı C_A	24
Tablo 3.7. Deprem katsayı C_V	25
Tablo 3.8. Yapı davranış türü	27
Tablo 3.9. Sönüm düzeltme katsayısı	27
Tablo 3.10. Spektral azaltma katsayıları S_{RA} ve S_{RV}	28
Tablo 3.11. Spektral azaltma katsayıları S_{RA} ve S_{RV} 'nin minimum değerleri ...	28
Tablo 4.1. Bina ağırlığı	35
Tablo 4.2. Katlara ait toplam kat ağırlıkları, kütleleri ve kütle atlet momentleri	45
Tablo 4.3. Yapının doğal titreşim periyotları	46
Tablo 4.4. Kat ötelenmeleri	46
Tablo 4.5. Güçlendirilen yapının kat ağırlıkları	56
Tablo 4.6. i. Kata gelen deprem yükü	57
Tablo 4.7. Güçlendirilen yapının kat kütleleri ve kütle atalet momentleri	57
Tablo 4.8. Güçlendirilen yapının doğal titreşim periyotları	57
Tablo 4.9. Güçlendirilen yapının kat ötemeleri	58
Tablo 5.1 Mevcut yapının EPARC programı analiz sonuçları.....	66
Tablo 5.2 Mevcut yapının SAP 2000 programı analiz sonuçlar.....	66
Tablo 5.3 EPARC ve SAP 2000 analiz programı sonuç değerlerinin kıyaslanması.....	67
Tablo 5.4 Güçlendirilmiş yapının SAP 2000 program analiz sonuçları.....	67
Tablo A.1. Yapıya etkiyen düşey yükler tablosu	71
Tablo A.2. Yapının mevcut durumdaki giriş donatı çapları ve adetleri.....	76
Tablo A.3. Yapının mevcut durumdaki kolon boyuna donatı çapları ve adetleri	77

ŞEKİL LİSTESİ

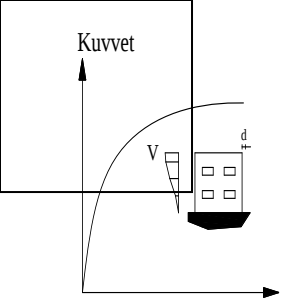
	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : Bina performans seviyeleri	12
Şekil 3.1 : Taban kesme kuvveti, Tepe yerdeğiştirmesi	16
Şekil 3.2 : Geleneksel ve ADRS formatlarında talep spektrumları	21
Şekil 3.3 : Klasik spektrumun ADRS spektrumuna dönüştürölmesi	22
Şekil 3.4 : Kapasite spektrumu metodu için kapasite spektrumunu doğrular halinde gösterme	23
Şekil 3.5 : %5 Sönümlü elastik deprem spektrumu	25
Şekil 3.6 : Spektral indirgeme ile sönüm elde edilmesi.....	26
Şekil 3.7 : Talep spektrumunun azaltılması	28
Şekil 3.8 : Talep spektrumu ve kapasite spektrumlarının kabul edilebilir toleranslar içindeki kesişim noktası	29
Şekil 3.9 : Kapasite spektrumu ile talep spektrumun kesiştirilmesi	29
Şekil 3.10 : Başlangıç performans noktasının bulunması.....	30
Şekil 3.11 : Kapasite spektrumun kırıklı hale getirilmesi	30
Şekil 3.12 : Kapasite spektrumu ile indirgenmiş talep spektrumun üst üste çizilmesi	31
Şekil 3.13 : İndirgenmiş talep spektrumu ile kapasite spektrumun kesiştirilmesi.....	31
Şekil 4.1 : İdealleştirilmiş iç kuvvet-şekil değiştirme bağıntıları	38
Şekil 4.2 : Yapının X yönü için taban kesme kuvveti – çatı yerdeğiştirme grafiği	41
Şekil 4.3 : Yapının X yönü için göçme durumunda oluşan plastik mafsalların yerleri	42
Şekil 4.4 : Yapının Y yönü için taban kesme kuvveti – çatı yerdeğiştirme grafiği	43
Şekil 4.5 : Yapının Y yönü için göçme durumunda oluşan plastik mafsalların yerleri	43
Şekil 4.6 : Yapının X yönü için kapasite eğrisi	47
Şekil 4.7 : Yapının X yönü için göçme durumunda oluşan plastik mafsalların yerleri	47
Şekil 4.8 : Yapının Y yönü için kapasite eğrisi	48
Şekil 4.9 : Yapının Y yönü için göçme durumunda oluşan plastik mafsalların yerleri	49
Şekil 4.10 : %5 sönümlü talep spektrum eğrisi	50
Şekil 4.11 : Yapının X yönü için kapasite spektrum eğrisi	50
Şekil 4.12 : %5 sönümlü talep spektrum eğrisi ve yapının X yönü için kapasite spektrum eğrisi	51
Şekil 4.13 : Tahmini performans noktası	51
Şekil 4.14 : Yapının X yönü için doğrular haline getirilmiş kapasite spektrum eğrisi	52



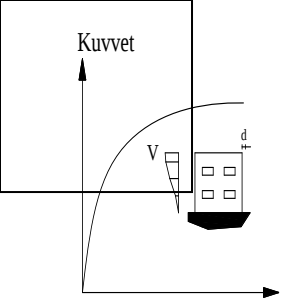
Şekil 4.15	: İndirgenmiş talep spektrumu ve yapının X yönü için kapasite spektrum eğrisi	53
Şekil 4.16	: Yapının Y yönü için kapasite spektrum eğrisi	54
Şekil 4.17	: Yapının Y yönü için performans noktası	55
Şekil 4.18	: Güçlendirilmiş yapının X yönü için kapasite eğrisi	59
Şekil 4.19	: Güçlendirilmiş yapının X yönü için göçme durumunda oluşan plastik mafsalların yerleri	59
Şekil 4.20	: Güçlendirilmiş yapının Y yönü için kapasite eğrisi	60
Şekil 4.21	: Güçlendirilmiş yapının Y yönü için göçme durumunda oluşan plastik mafsalların yerleri	61
Şekil 4.22	: Güçlendirilmiş yapının X yönü için kapasite spektrum eğrisi ...	62
Şekil 4.23	: Güçlendirilmiş yapının X yönü için performans noktası	63
Şekil 4.24	: Güçlendirilmiş yapının Y yönü için kapasite spektrum eğrisi ...	64
Şekil 4.25	: Güçlendirilmiş yapının Y yönü için performans noktası	65
Şekil 5.1	: Yapının X yönü için güçlendirme sonucu kapasite değişimi.....	68
Şekil 5.2	: Yapının Y yönü için güçlendirme sonucu kapasite değişimi.....	68
Şekil 5.3	: Taşıyıcı sistemde kapasite spektrum eğrisi.....	69
Şekil A.1	: Zemin kat kalıp planı.....	79
Şekil A.2	: Normal kat kalıp planı.....	80
Şekil A.3	: 3.normal kata ait eleman ve düğüm noktalarının gösterimi.....	81
Şekil A.4	: Yapının üç boyutlu modeli.....	82
Şekil B.1	: Güçlendirilmiş yapı zemin kat kalıp planı.....	83
Şekil B.2	: Güçlendirilmiş yapı normal kat kalıp planı.....	84
Şekil B.3	: Güçlendirilmiş yapının üç boyutlu modeli.....	85
Şekil B.4	: Güçlendirilmiş yapıda kullanılan perde1 ve perde2'nin ölçüleri ve donatı düzeni.....	86
Şekil B.5	: Güçlendirilmiş yapıda kullanılan perde3 ve perde4'ün ölçüleri ve donatı düzeni.....	87

SEMBOL LİSTESİ

A_0	: Etkin yer ivmesi
C_A	: Zeminin etkili maksimum ivme katsayısı
C_t	: Eşdeğer deprem yükü yönteminde birinci doğal titreşim periyodunun yaklaşık olarak belirlenmesinde kullanılan katsayı
C_v	: Periyodu 1 s olan %5 sönümlü sistemin spektrum değeri
E	: Deprem etki katsayısı
E_D	: Bir çevrimde sönümle tüketilen enerji
E_{S_0}	: Maksimum şekil değiştirme enerjisi
F_i	: Eşdeğer deprem yükü yönteminde i'inci kata etkiyen eşdeğer deprem yükü
F_N	: Birinci doğal titreşim periyodunun hesabında i'inci kata etkiyen fiktif yük
g	: Yer çekimi ivmesi
h_f	: Döşeme kalınlığı
H_N	: Toplam bina yüksekliği
I	: Bina önem katsayısı
$I_{i,kütle}$	: i. kat kütle atalet momenti
K_i	: Başlangıç rijitliği
M	: Toplam bina kütlesi
m_i	: i. katın kütlesi
N	: Yapıdaki kat sayısı
N_A, N_V	: Deprem kaynağına olan mesafe katsayısı
n	: Hareketli yük katılım katsayısı
$P_{göçme}$	: Yapının göçme durumundaki yatay yük parametresi
R	: Deprem yükü azaltma katsayısı
q	: Hareketli yük katsayısı
S_a	: Spektral ivme
S_d	: Spektral yer değiştirme
S_{RA}, S_{RV}	: Spektral azaltma katsayıları
T	: Periyot
T_A, T_B	: Spektrum karakteristik periyotları
T_1	: Bina birinci doğal titreşim periyodu
V_b	: Taban kesme kuvveti
V_t	: Toplam eşdeğer deprem yükü
W	: Toplam bina ağırlığı
w_i	: i. katın ağırlığı
Z	: Deprem bölge katsayısı
α_1	: Birinci doğal titreşim modu için modal kütle katsayısı
β_{ef}	: Etkili toplam sönüm
β_o	: Eşdeğer vizkoz sönüm
$\Delta_{çatı}$	: Yapının en üst noktasının (çatı) yer değiştirmesi
ϵ_{su}	: Betonda izin verilen en büyük birim kısalma



- ϕ_{i1} : i. kattaki modun şekli
- ϕ_{N1} : Yapının en üst katına ait yanal yer değiştirme
- ϕ_{Xi} : i.Katta X eksenli doğrultusundaki modun şekli
- ϕ_{Yi} : i.Katta Y eksenli doğrultusundaki modun şekli
- γ_{beton} : Beton birim hacim ağırlığı
- κ : Sönüm düzeltme katsayısı
- Γ_1 : Birinci doğal titreşim modu için modal katılma katsayısı



STATİK İTME ANALİZİ YÖNTEMİYLE MEVCUT BİR BETONARME YAPININ İNCELENMESİ

ÖZET

Bu çalışmada, binalar için performans kavramı, doğrusal olmayan bir hesap yöntemi olan statik itme yöntemiyle binalarının deprem güvenliğinin irdelenmesi konusu hakkında ayrıntılı bilgi verilmeye çalışılmıştır. Ayrıca ‘Statik İtme Yöntemi’ kullanılarak 4 katlı mevcut betonarme bir yapının deprem güvenliği tahkik edilmiştir.

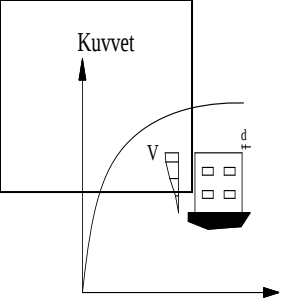
5 bölüm halinde sunulmuş olan bu çalışmanın, birinci bölümünde çalışmanın içerdiği konular hakkında genel bilgi verilmiş ve bu konuların önemi özetle vurgulanmıştır.

İkinci bölüm, güncel bir konu olan performans kavramına ayrılmıştır. Bu bölümde ilk olarak, performans kavramının genel tanımı yapılmış, daha sonra, binalar için olası performans seviyeleri ve bu performans seviyelerinin belirlenmesinde etkili olan kriterler açıklanmıştır.

Üçüncü bölümde, çalışmanın temelini oluşturan ve statik itme analizine dayanan ‘Kapasite Spektrum Yöntemi’ ana hatlarıyla açıklanmış ve bu yöntemin nasıl uygulanacağı belirtilmiştir.

Dördüncü bölümde, çalışmanın kapsamı içinde ele alınan yapının doğrusal olmayan analizinde kullanılan ve statik itme yöntemine dayalı olarak geliştirilmiş olan EPARC analiz programının içeriği kısaca anlatılmıştır. Programın dayandığı hesap yönteminin esasları, varsayımları, programın giriş ve çıktı dosyaları hakkında bilgi verilmiştir. Planı belirli betonarme bir yapının mevcut durumdaki deprem güvenliği SAP 2000 ve EPARC analiz programları kullanılarak tahkik edilmiştir. Elde edilen analiz sonuçlarına göre yapıda güçlendirme çalışması yapılmış ve göçme yükü ile deprem güvenliği yeniden belirlenmiştir.

Son bölümde analiz sonuçları karşılaştırılmış ve genel bir değerlendirme yapılmıştır.



ABSTRACT

In this study, the following subjects are presented; performance based design, assessment of seismic safety by using pushover analysis method (a linear static analysis method) of existing structures. Besides, 'A four-story RC building' is evaluated

The study consists of five chapters. There is an introduction to the subjects, and their importances are summarized in Chapter 1.

The performance objectives are given in Chapter 2. Firstly 'performance objectives' are defined, after that the building performance levels and parameters for determining the performance levels are presented

In the following chapter, principles of 'The Capacity Spectrum Method' based on pushover analysis and application of the method are presented.

In the chapter 4, the contents of 'EPARC analysis program', used in the nonlinear analyze of the building and based on pushover analyze method are given briefly. Principles of the program, assumptions, inputs entered on the program, and outputs are explained. A RC building having four storeys is evaluated with SAP 2000 and EPARC analysis programs assessing seismic safety of the building. According to the results of the analysis retrofit has been done; collapsing load and earthquake security has been determined.

In the final part, a comparison between analysis results has been compared and a general conclusions are given.

1. GİRİŞ

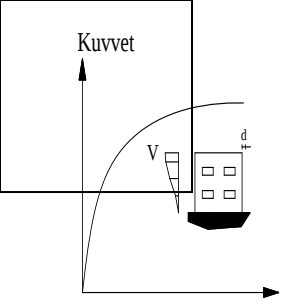
Mevcut bir betonarme yapının, düşey ve yatay yükler altındaki davranışı çeşitli belirsizlikler nedeniyle tam olarak belirlenememektedir. Ayrıca, depremin yapıya etki yönünün sürekli değişken olması da düşünüldüğünde yapının davranışındaki belirsizlikler daha da artmaktadır. Buna rağmen bir takım kabuller yapılarak çeşitli hesap yöntemleri geliştirilmiştir. Fakat, ard arda yaşanan depremlerden alınan dersler, bu alanda daha kapsamlı çalışmaların yapılması gerektiğini ortaya çıkarmış ve daha gerçekçi çözüm yöntemleri geliştirilmeye başlanmıştır. Bu yöntemlerinin üretilmesinde teknolojik gelişmelerinde payı büyüktür. Bilgisayarlardaki gelişime paralel olarak karmaşık hesaplar geliştirilmiş olup, bu hesaplamalar esnasındaki olası hataların en aza indirilebilmesi sağlanabilmektedir. Bu yazılımlar sayesinde gelişmiş hesap yöntemleri, çeşitli yapı modelleri üzerinde çok kısa bir zamanda uygulanabilir duruma gelmiştir. Bütün bu imkanlar bize, olası modeller arasından amacımıza hizmet eden en uygun modeli seçme şansını vermektedir.

Deprem, ne zaman ve hangi şiddette olacağı önceden tahmin edilemeyen bir doğa olayıdır. Depremi oluşmasını engellemek mümkün değildir. Depremi yapılarda oluşturacağı hasarları sınırlandırmak amacıyla önceden bir takım tedbirler alınabilir. Deprem sonrası oluşan can ve mal kayıplarının önüne geçmek için; yaşananlardan bir ders alıp, projelendirmeye ve denetime gereken önemin verilmesi şarttır. Binaların, her türlü olasılıklar göz önüne alınarak ve gelişmiş hesap yöntemleri kullanılarak en uygun şekilde projelendirilmesi gerekir. Daha sonra bu projenin, çok sıkı bir denetim altında hayata geçirilmesi sağlanmalıdır.

Son zamanlarda "binalar için performans kavramı" konusu sıkça gündeme gelmektedir. Peki bir bina için performans kavramı nedir? Kısaca performans kavramı, bahsi geçen yapının, talep edilen sismik yer hareketini karşılayabilmeye kapasitesi olarak açıklanabilir. Söz konusu kapasite ise, binanın ayrı ayrı yapısal olan veya olmayan elemanlarının kapasitelerinden oluşan bir bütündür. Durum böyle olunca bir bina için çeşitli performans seviyelerinden bahsetmek mümkündür. Binalar için uygun görülen performans seviyesi doğrudan o binaya yapılacak olan

güçlendirme çalışmalarının kapsamını değiştirmektedir. Bir bina için birden fazla performans seviyesi belirlenebilir. Bu durum, mevcut yapı sahibine gerek güçlendirmenin maliyeti açısından gerekse yeni inşa edeceği yapının deprem güvenliği açısından çeşitli alternatifler sunmaktadır. Burada sözü edilen performans kavramı, bu tezin kapsamı içinde yer alan 2.Bölümde ayrıntılı olarak anlatılmaktadır.

Depreme karşı yapılan hesapların temel amacı, insanların can güvenliğinin sağlanmasıdır. İkinci planda ise, depremde bina içinde korunan eşyaların hasarlarının minimum olmasını temin etmek gelir. Sonuç olarak, amaç yapının tamamıyla göçmesinin veya yapının ekonomik olarak tamir edilemez bir düzeyde hasara uğramasının engellenmesidir. Mevcut şartnamelere göre binalar, ömürleri boyunca en az bir defa tasarım depremi geçirecek şekilde projelendirilirler. Mevcut doğrusal hesap yöntemleri yapının depremden sonraki durumu hakkında net bir fikir vermemektedir. Ayrıca, aynı binanın defalarca deprem etkisine maruz kalması sonucunda nasıl bir davranış biçimi sergileyeceği konusu da tam bir belirsizlik arzeder. Bu durumda, doğrusal hesap yöntemlerinin yapının deprem hesabında yetersiz kaldığı sonucuna varılabilir. Bu aşamada devreye, daha gerçekçi bir çözüm yöntemi olan ve yapının elastik ötesi davranışlarını da göz önünde bulunduran doğrusal olmayan hesap yöntemleri girer. Yapılar için, sabit düşey yükler altında, yatay yüklerin orantılı olarak artırılmasıyla yapılan doğrusal olmayan hesap yöntemine, "Statik İtme Yöntemi" denir. Bu yöntem, binanın deprem esnasındaki davranışını daha gerçekçi olarak temsil ettiği için, hesaplamaların daha doğru bir şekilde yapılmasına imkan tanımaktadır. Statik İtme Yönteminde, binanın bütün elemanlarının şekil değiştirme davranışları tanımlanır. Bu hesaplama yönteminde malzemenin elastiklik sınırları dışında kalan plastiklik kapasitesinden de yararlanılmaktadır. Statik İtme Yönteminde, oluşturulan modeller ufak adımlarla ötelenmeye, maruz bırakılır. Her adımda yapıyı oluşturan elemanlardan biri veya birkaçının davranış şekillerindeki değişim gözlenir. Bu değişimler, elemanın nihai taşıma kapasitesine ulaşmasıyla son bulur. Bu şekilde, yapı belirlenen yanal öteleme sınırına erişinceye kadar ya da yapıyı teşkil eden elemanların, daha önceden tanımlanan göçme şekil değiştirmelerine ulaşınca kadar analiz devam ettirilir. Sonuçta, geline şekil değiştirme seviyesi itibariyle binada deprem sonrası oluşacak hasar seviyesi belirlenmektedir. Statik İtme Yöntemi hakkında 3.Bölümde daha ayrıntılı bilgi verilmektedir.



Statik İtme Yöntemi, özellikle üzerinden birkaç deprem geçmiş veya henüz depreme maruz kalmamış, yapıldığı tarih itibariyle, tabi olduğu şartnamelerde bulunmadığı için, yeni şartnamelerde yapılan düzenlemelere uymayan mevcut yapıların, hangi bölgelerinde en çok hasar oluşacağının görülebilmesi açısından oldukça kullanışlıdır. Ayrıca eski yapıların malzeme kalitelerinin son derece düşük olması, zaman içinde malzemelerin özelliklerini yitirebilmesi gibi hususlar hesaplarda kesinlikle göz ardı edilmemelidir. Eski yapıların mevcut durumu, titiz çalışmalar sonucunda tespit edildikten sonra, her türlü ayrıntı, hesaba katılarak güçlendirme projesi hazırlanarak, bu proje binaya tatbik edilmelidir. Güçlendirme oldukça pahalı bir uygulamadır. Bu sebeple yapılacak binalara henüz projelendirme aşamasındayken gereken önemin verilmesi şarttır.

Sonuç itibariyle, günümüzde gelişmiş hesap tekniklerini kullanarak depreme dayanıklı yapılar inşa etmek mümkündür. Bilimsel ve teknolojik gelişmeler buna olanak tanımaktadır. Bütün bu imkanlara, sağlam bir denetim mekanizması da ilave edilince deprem artık bir felaket olmaktan çıkabilir. Böylece, deprem sonrasında, meydana gelen onca can ve mal kayıplarının önüne geçilmiş ya da en aza indirilmiş olunur.

2. PERFORMANS KAVRAMI

2.1 Giriş

Performans amaçları, binaların olası bir depreme karşı göstereceği davranışı ifade eder. Yani sismik performans tanımlar. Sismik performans, belirli bir deprem etkisi altında kabul edilebilir maksimum hasar durumlarının belirlenmesi ve sınıflandırılması şeklinde tanımlanır. Performans amacı tek bir deprem durumunu kapsayabildiği gibi birden çok durumu da kapsayabilir, bu durum “Çoklu Performans Amacı” diye isimlendirilir.

Yapı için uygun performans amacına yapı sahibi ve mühendis birlikte karar verir. Performans amacı belirlendikten sonra mühendis analizlerde kullanılacak sismik talebi ve bu talebe göre yapısal ve yapısal olmayan sistemlerin tasarımında kullanılacak kabul edilebilirlik kriterlerini tanımlar. Beklenen düzeyde bir yer sarsıntısı meydana geldiği zaman, eğer uygulama esnasında bir hata yapılmamış ise, yapıların belirlenen performans seviyesine ve hatta daha fazla bir performans seviyesine ulaşması beklenir. Ancak belirlenen performans seviyesinin oluşması, uygulamadaki yanlışlıklar ve projelendirmedeki muhtemel hatalar nedeniyle kesin değildir. Bu bölümde Yapı Performans Seviyeleri, bu seviyelerin kombinasyonları, nasıl tespit edileceği ve deprem risk seviyeleri tanımlanacaktır.

2.2 Performans Seviyeleri

Hakkında yeter derecede bilgi sahibi olunan bina ile belirli bir yer hareketi için hasar durumunun sınırlandırılması performans seviyeleri ile belirlenir. Bu performans seviyelerini belirleyen durumlar, binalardaki fiziksel hasarlar, bu hasarların yarattığı can güvenliği tehdidi ve depremden sonra yapının kullanılabilirliği olarak tanımlanabilir. Bina performans seviyeleri, yapısal ve yapısal olmayan performans seviyelerinin kombinasyonları şeklinde ifade edilir. Bunlar için olası performans seviyeleri Tablo 2.1’de gösterilmiştir.

Tablo 2.1 Yapı Performans Seviyeleri (Yapısal ve Yapısal Olmayan Performans Seviyeleri)

Yapı Performans Seviyeleri						
Yapısal Olmayan Performans Seviyeleri	Yapısal Performans Seviyeleri					
	SP-1 Hemen Kullanım	SP-2 Kontrolü Hasar Aralığı	SP-3 Can Güvenliği	SP-4 Sınırlı Güvenlik Aralığı	SP-5 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

NR: Tavsiye Edilmez

1-A, 1-B, 1-C, 2-C, 3-C, 4-C, 3-D, 4-D, 5-E : En çok kullanılan performans seviyeleridir.

2.2.1 Yapısal performans seviyeleri ve aralıkları

Yapı elemanlarındaki performans seviyeleri az hasardan çok hasara göre şu şekilde tanımlanır .

Hemen Kullanım Performans Seviyesi SP-1: Depremden sonra çok sınırlı hasar meydana gelmiştir. Binanın taşıyıcı sisteminin, depremden önceki bütün taşıyıcılık özelliklerinin, düşey ve yatay yük taşıma kapasitesinin hemen hemen hiç değişmediği performans seviyesidir. Yapısal hasarlardan dolayı can güvenliğini tehdit eden bir risk yoktur. Bina, giriş, çıkış ve tam kullanım için güvenli durumdadır.

Kontrollü Hasar Performans Aralığı SP-2: Bu seviye net bir performans seviyesi olmayıp, depremden sonraki hasar durumunu belirten bir performans aralığıdır. Bu aralık, can güvenliğinin ötesine giderek hasarın da belirli ölçüde sınırlandırılmasına karşı gelir. Yönetmeliklerde yeni binalar için 50 yıllık bir süre içinde aşılma olasılığı %10 olarak tanımlanan deprem etkisinde öngörülen performans seviyesi bu aralığa karşı gelir. Ayrıca, tarihi ve mimari açıdan değerli olan eserlerin korunması amacıyla, hasarı kontrol altında tutan bu performans aralığı kullanılabilir.

Can Güvenliği Performans Seviyesi SP-3: Yapıda deprem sonrası kayda değer hasarların meydana gelmesine rağmen, binada yerel veya toptan göçme söz konusu değildir. Binada halen bu duruma ulaşmayı engelleyecek ek bir kapasite mevcuttur. Yaralanmalar muhtemel olmasına rağmen, can güvenliği tehlikesi bulunmamaktadır. Bu tarz binalarda onarım ekonomik açıdan mümkün değilse bile, eğer bina tekrar kullanılacaksa binada geniş çaplı yapısal onarımlar mutlaka gereklidir.

Sınırlı Güvenlik Performans Aralığı SP-4: Bu seviye de net bir performans seviyesi değildir. Binaların güçlendirilmesinde tam bir can güvenliğinin sağlanamaması durumunda göz önüne alınabilir. Bu seviyede, güçlendirme tüm yapısal elemanlar için gerekmeyecektir. Fakat, can güvenliği seviyesinden daha fazla, toptan göçme seviyesinden ise daha az bir güçlendirme mutlaka gerekecektir.

Toplu Göçmenin Önlenmesi(Yapısal Stabilit) Performans Seviyesi SP-5:

Taşıyıcı sistem güç tükenme sınırında bulunmaktadır. Yatay kuvveti karşılayan taşıyıcı sistemde önemli hasarlar oluşmuş, yanal rijitlik ve dayanımda önemli oranda azalmalar başlamıştır. Buna rağmen sistemin yükünü taşıyan bütün önemli yapı bileşenleri yapının sabit ve hareketli yüklerini taşıyabilecek durumdadır. Yapı

stabilitesini kaybetmemesine rağmen deprem sonrası artçı şoklar sebebiyle her an yıkılma tehlikesiyle karşı karşıyadır. Eğer, binanın tekrar kullanılması gerekiyorsa mutlaka geniş kapsamlı bir güçlendirme yapılmalıdır. Genellikle, bu derece hasarlı binaların, gerek teknik gerekse ekonomik açıdan güçlendirilmesi uygun bir karar değildir. Ancak istisnai durumlarda güçlendirme yoluna gidilir. Bu performans seviyesinde toptan göçme tehlikesi kesin olarak engellenememiştir. Bununla birlikte taşıyıcı olmayan performans seviyesi NP-E normal olarak SP-5 ile eşleşmek durumundadır. Diğer olasılıklar yapı zarar görse de içerisindeki eşyaların zarar görmemesinin gerektiği durumlarda geçerlidir. Özet olarak, bu seviye maksimum yer hareketine karşı yapının toptan göçmeye maruz kalmayacağı nihai noktadır. Bu seviyenin, yeni binalarda maksimum deprem etkisi altında sağlanması tavsiye edilir. Diğer bir önemli husus da, bu seviye ne kadar gerçeğe yakın görünse ve işlemleri uygun deneylerle açıklanabilse de henüz analitik bir yöntemle formüle edilebilmiş değildir.

Taşıyıcı Elemanlarda Oluşan Hasarın Göz Önüne Alınmadığı Performans Aralığı SP-6: Bu da, tam manasıyla bir performans seviyesi değildir. Yapısal olmayan elemanların (duvarlar, asma tavan, yüzey kaplamaları, eşyalar vb.) sismik açıdan değerlendirilmesini ve güçlendirilmesini amaçlayan bir seviyeyi ifade eder. Örneğin, içerisinde manevi açıdan değeri oldukça yüksek olan eşyaların bulunduğu bir binanın yıkılması durumunda dahi içerisindeki eşyalara zarar gelmemesinin istendiği hallerde, binanın korunmasının yanında içerisindeki eşyalarında ayrıca korunmasının gerektiği bu seviyeyle ifade edilebilir.

2.2.2 Yapısal olmayan performans seviyeleri

NP-n ile simgelenirler. Yapısal olmayan performans seviyeleri, yapının taşıyıcı olmayan elemanlarında meydana gelen hasar seviyelerini açıklamaya yarar. Ayrıca, doğrudan değerlendirme ve güçlendirme aşamasındaki teknik kriterleri belirlemek için de kullanılırlar.

İşlevsel Performans Seviyesi NP-A: Depremden sonra yapısal olmayan elemanlar da, kullanıma mani olabilecek bir durumunun söz konusu olmadığı performans seviyesidir. Bütün makine ve ekipmanlar çalışır durumdadır. Ancak bazı durumlarda bunlar üzerinde çok küçük onarımlar gerekebilir.

Hemen Kullanım Performans Seviyesi NP-B: Genellikle, yapısal olmayan elemanlarda bir hasar söz konusu değildir. Fakat, bazı durumlarda giderilebilen küçük hasarlar görülebilir. Bu seviyede sismik güvenlik durumu etkilenmez.

Can Güvenliği Performans Seviyesi NP-C: Yapısal olmayan elemanlarda önemli zararların meydana geldiği ama bina içi ve dışında herhangi bir göçmenin olmadığı performans seviyesidir. Yapısal olmayan sistemler, makineler ekipmanlar ve araç gereçler onarılıp yerlerine yerleştirilmeden çalıştırılmaz ve kullanılamazlar. Deprem süresince yapısal olmayan elemanların can güvenliği tehdit etme riski çok azdır.

Azaltılmış Hasar Performans Seviyesi NP-D: Parapetler, dış duvarlar, ağır asma tavanlar gibi yapısal (taşıyıcı) olmayan elemanların kısmi ya da tüm olarak göçmesi sonucu, çok sayıda insanın ciddi bir şekilde zarar görmesi veya ölmesi gibi sonuçlar doğurabilen, fakat toptan göçmenin veya yıkılmanın olmadığı performans seviyesidir. Bu durumdaki binalar, deprem sonrası içlerinde ve yakınlarında büyük bir tehdit oluşturmazlar. Yapısal olmayan elemanların onarım ve güçlendirilmesi için henüz herhangi bir teknik geliştirilmemiştir.

Yapısal Olmayan Elemanların Hasarının Göz Önüne Alınmadığı Performans Seviyesi NP-E: Bu seviye esas itibarıyla tam bir performans seviyesini ifade etmemekle birlikte genel durum için bir projelendirme olasılığı sunar. Her şeyden öte mühendis ve yapı sahibi için binanın durumunun saptanmasını kolaylaştırır. Her ne kadar yapısal olmayan elemanların sistemin davranışına etki yapmadığı kabulüne göre hesaplar yapılırsa da gerçekte durumun çok farklı olduğu ve duvarların deprem anında yük taşıdığı bir bilinmektedir. Deprem esnasında bir çok can kaybına sebebiyet veren yapısal olmayan elemanların inşasına da gereken önem verilmelidir.

2.2.3 Yapı performans seviyeleri

Yapı performans seviyeleri, yapısal olan ve yapısal olmayan performans seviyelerinin birlikte düşünülmesi ve binadaki hasarları sınırlandırmak amacıyla bunların birleştirilmesi sonucunda ortaya çıkar. Mümkün olan tüm durumlar Tablo2.1' de gösterilmiştir. Kullanım açısından oldukça yaygın olan I-A, I-B, 3-C, 3-D, 5-E performans seviyeleri öncelikli olarak açıklanmıştır.

Kullanıma Devam Performans Seviyesi I-A (B): Binanın yapısal olan ve yapısal olmayan elemanlarındaki hasar, kullanıma devamı etkilemeyecek seviyededir. Binanın yedek sistemlerinin devreye girmesiyle kullanıma devam edilebilir. Binada

hasar sınırlandırılmış olduğu için, can güvenliği problem değildir, hiçbir onarıma ihtiyaç yoktur ve hiçbir tereddüde kapılmadan bina kullanılabilir.

Hemen Kullanım Performans Seviyesi 1-B (IO): Bu seviye, önemli binalar için öngörülen seviye olup, binanın bütün hacimleri ve sistemleri kullanılabilecek durumdadır. Buralarda küçük onarımlara ihtiyaç duyulabilir.

Can Güvenliği Performans Seviyesi 3-C (LS): Taşıyıcı sistemde hasar mevcut olduğu halde, önemli bir kapasite kalmıştır ve taşıyıcı olmayan elemanlarda hasar kontrol altındadır. Bu hasardan dolayı can güvenliğinin tehlikeye girmesi çok düşük bir olasılıktır. Sarsıntı anında eşyalar hareket edebilir, sarsıntı sonrası sızıntı ve yangın tehlikesi vardır. Bu performans seviyesi, günümüzde yönetmeliklerin yeni binalar için öngörmüş olduğu performans seviyesinden biraz daha düşük bir seviyedir. Yani yönetmelikler, binanın bu seviyedekinden daha fazla yer değiştirme yapmasını öngörür.

Bina Performans Seviyesi 3-D: Taşıyıcı elemanlardaki can güvenliği seviyesi ile taşıyıcı olmayan elemanlardaki azaltılmış hasar seviyesinin birleşimidir. Yönetmeliklerde bulunan 50 yıl % 10 olasılıklı deprem tanımını alarak yapılan ve deprem kuvvetlerinin %75'ini karşılayabilecek şekilde gerçekleştirilen güçlendirme müdahalesinin böyle bir performans seviyesini sağladığı kabul edilebilir.

Yapısal Stabilité (Toptan Göçmenin Önlendiği) Performans Seviyesi 5-E (CP): Binanın düşey yük taşıyan sistemi ancak ayaktadır. Artçı depremler için herhangi bir kapasite kalmamıştır. Taşıyıcı olan ve olmayan elemanlardaki hasardan dolayı can güvenliği tehlikesi oldukça yüksektir.

2.3 Yer Hareketi

Performans amaçlarını şekillendirebilmek için yer hareketi ile arzu edilen performans seviyesi birleştirilmelidir. Yer hareketi, deprem oluşma ihtimali ile deprem şiddetinin her ikisinin birden kullanılması ile (probabilistik yaklaşım) veya belirli bir fay üzerinde sadece bir kez meydana gelmesi beklenen maksimum sarsıntı (deterministik yaklaşım) olarak da izah edilebilir. Deprem hareketinin belirlenmesi tasarım için kesinlikle gereklidir. Yer hareketi, genel olarak üç başlık altında toplanabilir.

İşlevsel (Servis) Depremi (SE): 50 yıllık bir zaman diliminde meydana gelme olasılığı %50 olan depremdir. Ortalama dönüş periyodu 75 yıl olan bu depremin binanın ömrü boyunca ortaya çıkma ihtimali çok yüksektir.

Dizayn (Tasarım) Depremi (DE): 50 yıllık bir zaman diliminde meydana gelme olasılığı %10 olan yer hareketidir. Ortalama dönüş periyodu yaklaşık 500 yıl olan bu depremin binanın ömrü boyunca ortaya çıkması çok sık görülmeyen bir olaydır.

Maksimum Deprem (ME): 50 yıllık bir zaman diliminde meydana gelme olasılığı %2 olan yer hareketidir. Bu, ortalama dönüş periyodu yaklaşık 2500yıl olacak şekilde, bölgedeki jeolojik bilgiler göz önüne alınarak belirlenebilecek en büyük deprem olarak kabul edilir. Bu depremin etkileri tasarım depremin yaklaşık 1.25-1.5 katı kadardır. Deprem yönetmeliklerinde, tasarım depreminin etkisinin, bina önem katsayısı ile artırılmasıyla böyle bir deprem tanımlanmaya çalışılır.

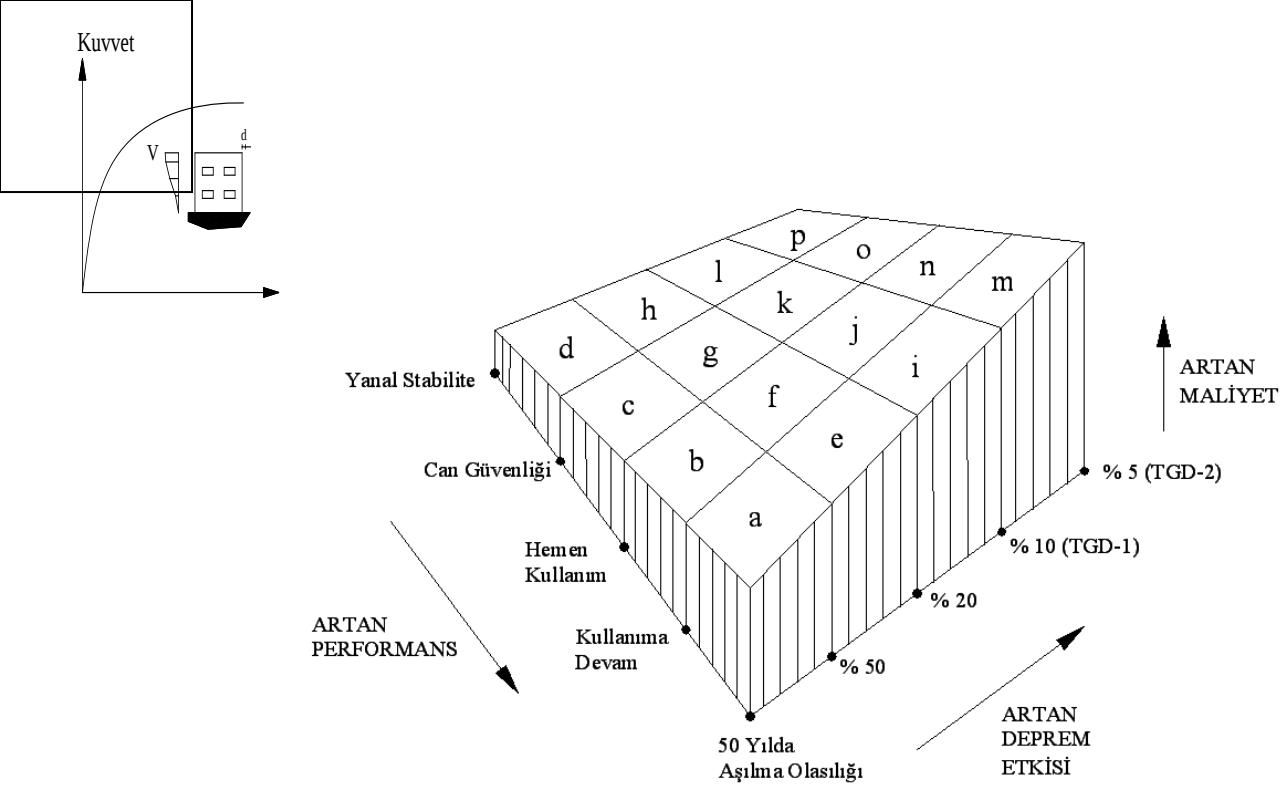
2.4 Performans Amaçları

2.4.1 Performans amaçlarının sınıflandırılması

Sismik performans amacı, büyüklüğü verilen yer hareketi için tahmin edilen bina performansının seçilmesi ile saptanır. Binanın depremden sonra kullanılabilmesi için, ileri seviyede bir amaç seçilebilir. Ancak, bu durumda güçlendirmenin ağır, maliyetinin de yüksek olacağı unutulmamalıdır. Güçlendirme işleminde bir bina için göz önüne alınacak amaç, deprem etki seviyesine ve bina performans seviyesine bağlı olarak Tablo 2.2'de verilmiştir. Burada Temel Güvenlik Depremi 1 (TGD-1) ve Temel Güvenlik Depremi2 (TGD-2) olmak üzere iki deprem etkisi tanımlanmıştır. Tablo 2.2'de verilen performans amaçlarından birinin seçiminde; seçilecek güvenlik seviyesinin ve kabul edilecek deprem etki seviyesinin belirlenmesinin yanında, binanın güçlendirme maliyeti ile depremden hemen sonra kullanılabilmesi durumu da etkili olacaktır. Şekil 2.1' de performans seviyelerinin güçlendirme maliyeti ile ilişkisi gösterilmiştir. Bir bina için tek performans seviyesi seçilebileceği gibi, birden fazla performans seviyesi de seçilebilir. Tablo 2.2'de verilen performans amaçlarından, ana köşegende yer alan a,f,k,p amaçları normal binalar için, alt köşegende bulunan e,j,o amaçları önemli binalar için ve i,n amaçları ise çok özel güvenliğe sahip olan binalar için önerilir.

Tablo 2.2 Performans amaçlarının sınıflandırılması

Performans Amacının Saptanması				
	Yapı Performans Seviyesi			
Deprem Etki Seviyesi	Kullanıma Devam Performans Seviyesi 1-A (B)	Hemen Kullanım Performans Seviyesi 1-B (IO)	Can Güvenliği Performans Seviyesi 3-C (LS)	Yapısal Stabilit� Performans Seviyesi 5-E (CP)
%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 ~%5 / 50 yıl Maksimum Deprem (ME)	m	n	o	p



Şekil 2.1 Bina performans seviyeleri

2.4 Performans Amaçlarının Kararlaştırılması

2.4.1 Başlangıç performans amacı

Performans seviyesinin, özel yapılarda yapı sahibi tarafından, yerleşim alanları içinde ise yerel yönetimler tarafından belirlenmesi gerekir. Öncelikli olarak değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi gereken yapıların performans seviyelerinin mümkün olduğunca çabuk saptanabilmesi için bu işlemin yerel yönetimlerce yapılması daha uygundur. Sismik değerlendirmeye ilgili beklentilerin ve güçlendirme projesinin belirlendiği bir ilk durum raporu hazırlanırsa bina sahibi ve tasarımcıların mevcut olanaklarla en uygun performans amacını belirleyebilmesine yardımcı olur.

2.4.2 Son performans amacı

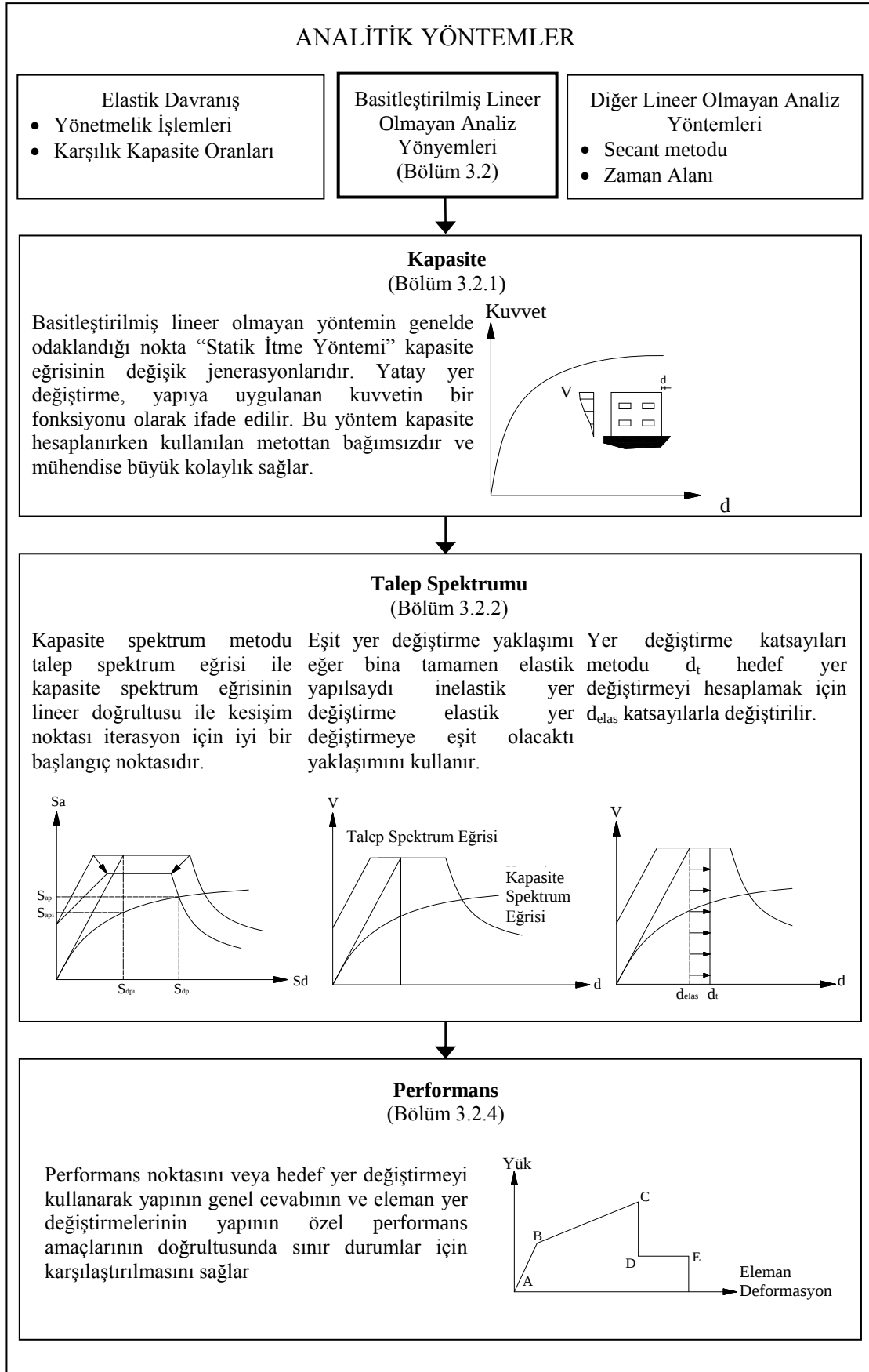
Başlangıç performans amacı gerek duyulduğu takdirde bina sahibi ve ilgili mühendis tarafından değiştirilebilir, artırılabilir veya azaltılabilir. Değerlendirme ve güçlendirme aşamasında kullanılan son performans amacı, rapor ve çizimlerde açıklanarak ifade edilmelidir.

3. LİNEER OLMAYAN STATİK ANALİZ (PUSHOVER ANALİZİ)

3.1 Giriş

Bu kısımda, mevcut binaların performans seviyelerinin belirlenmesi veya olası deprem etkileri göz önüne alınarak yapılan güçlendirme projesinin yeterli seviyede olup olmadığını kontrol etmek için gerekli olan analitik işlemler açıklanmıştır. Mevcut betonarme yapılar için elastik (doğrusal) ve inelastik (doğrusal olmayan) analiz olmak üzere başlıca iki analiz yöntemi mevcuttur. Doğrusal analiz yöntemlerinde sadece malzemenin doğrusal sınırlar içindeki davranışı göz önüne alınır. Malzemenin doğrusal olmayan davranışları hesaba katılmadığı için malzemede kalan ek kapasiteden yararlanılmamaktadır. Doğrusal olmayan analiz yöntemleri genellikle (zaman tanım alanında çözüm) analizine dayanır. Ancak, time history analizi yaygın olarak kullanılmayacak kadar pahalı bir hesap yöntemidir. Bununla beraber kullanımı daha kolay olan basitleştirilmiş doğrusal olmayan analiz yöntemleri de mevcuttur. Bu basitleştirilmiş analiz yöntemlerinden, kapasite (Pushover) eğrisi ile indirgenmiş talep (Response) spektrumu eğrilerinin kesişim noktalarını bulmak suretiyle uygulanan ‘Kapasite Spektrum Yöntemi’(CSM) ile doğrusal olmayan analiz işlemleri kolayca yapılabilir. Bu kısımda özellikle Kapasite Spektrum Yöntemiyle ile doğrusal olmayan statik analiz işlemlerinin uygulanması konusu ele alınacaktır. Tablo 3.1 ‘de analiz yöntemleri özetlenmiştir. Doğrusal analiz yöntemleri yapının elastiklik kapasitesini ve ilk akmanın nerede meydana geleceğini açık bir şekilde göstermesine rağmen mekanizma durumlarını ve akma sırasındaki kuvvet dağılımını göstermede yetersiz kalmaktadır. Buna karşılık inelastik (doğrusal olmayan) analiz yöntemleri binaların göçme anına kadar olan davranışlarının ve yıkılma durumundaki mod şekillerinin nasıl olacağını çok büyük bir yaklaşıklıkla gösterir. Tasarımda doğrusal olmayan hesap yöntemlerinin kullanılması, mühendise deprem esnasında binanın gerçek davranışı hususunda net bir fikir verir ve daha gerçekçi çözümler bulunmasına imkan sağlar.

Tablo 3.1.Analitik İşlemlerin Algoritması



Doğrusal olmayan bir analiz yöntemi olan Kapasite Spektrum Yöntemi, binanın toplam kesme kuvveti ile en üst katında(çatı) meydana gelen yer değiştirme arasındaki ilişkiyi temsil eden kapasite eğrisiyle, sismik yer hareketini temsil eden talep (Response) spektrumu eğrisinin karşılaştırılmasını grafik bir ortamda mühendise sunar. Bu yöntem, mevcut binaların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi için son derece faydalıdır ve, olası bir deprem anında binanın mevcut durumdaki davranışı ile güçlendirildikten sonraki davranışı hususunda net bir fikir verir.

3.2 Basitleştirilmiş Lineer Olmayan Analiz İçin Yöntemler

Performansa dayalı tasarım işlemlerinin tamamı talep (Karşılık) ve kapasiteye göre şekillenir. Talep, depremin bir göstergesidir. Kapasite ise, yapının sismik talebe karşılık verebilme yeteneğidir. Diğer bir ifadeyle yapının olası bir deprem talebini kendi bünyesinde söndürerek engelleyebilecek bir kapasiteye sahip olması gerekmektedir. Bu sebepten dolayı yapının performans seviyesi 2.Bölümde anlatılan tasarım amaçları ile uygun olmalıdır. Bina performans seviyesi; binanın yapılış amacı, önem derecesi, bina sahibinin isteği gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak belirlenir.

Gerek Kapasite Spektrum Yöntemi, gerekse Deplasman Katsayıları Yöntemi gibi statik itme yöntemlerini kullanılarak basitleştirilmiş doğrusal olmayan analiz işlemlerini yapabilmesi için Kapasite, Talep (Karşılık Deplasmanı) ve Performans olmak üzere üç özelliğe ihtiyaç vardır.

Kapasite: Kapasite, yapının beklenen talep deprem etkisini karşılayabilme özelliğidir. Yapıyı oluşturan elemanların dayanım ve şekil değiştirme kapasitelerine bağlı olan yapının genel kapasitesidir. Taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan sistemlerin ve elemanların kapasiteleri ile yapının kapasitesi tanımlanabilir.Yapıda performans amacıyla tanımlanan deprem etkisine karşı koyabilecek kapasitenin bulunması gerekir. Elastik sınır ötesindeki kapasitenin bulunması için doğrusal olmayan statik analiz kullanılabilir. Bu tüm yapının kuvvet-yerdeğiştirme eğrisinin yaklaşık olarak bulunması işlemidir.

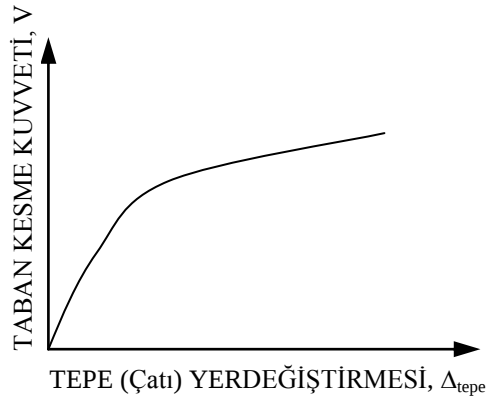
Talep (Yer değiştirme): Deprem esnasında yer hareketi zaman bağlı olarak sürekli yön değiştirir. Bu yön değiştirmeler sebebiyle, depreme maruz kalan bir binada karışık yatay yer değiştirme olayları ortaya çıkar. Yapısal tasarım için gerekli olan parametreleri belirlemek amacıyla, her bir zaman aralığında bu yer hareketini

izlemek (Time History Analizi) pek pratik olmayan bir hesap yöntemidir. Söz konusu yapı ve yer hareketi için karşılık yer değiştirme, yer hareketi boyunca binada meydana gelmesi beklenen maksimum yer değiştirmedir.

Performans: Performans kontrolü yapılabilmesi için öncelikle kapasite eğrisi ve talep yer değiştirmesi belirlenmelidir. Performans sınırlarının amacı yapı bileşenlerinin kabul edilebilir sınırların üstünde de minimum hasar görmesini veya hiç hasar görmemesini sağlamaktır. İlgili seviye sınırlarının kontrol edilmesiyle binanın istenen performans seviyesini sağlayabilirliğine bakılır. Bu performans seviyesine bağlı sınırlar iki türdür. Birincisi düşey yük kapasitesi, yatay yük kapasitesi ve katlar arası rölatif ötelenmeler sınırının oluşturduğu tüm bina için kabul kriterleridir. İkincisi ise döşeme, kolon ve temel gibi her bir eleman için öngörülen sınırlardır. Yapısal eleman sınırları yanında katlar arası rölatif öteleme sınırı da elemanlar için bir kabul kriteri oluşturur. Bu sınırların sağlanmaması durumu performans seviyesinin değiştirilmesi gerektiğinin göstergesidir.

3.2.1 Kapasiteyi belirlemek için adım adım işlemler

Yapı kapasitesi pushover eğrisi ile temsil edilir. Bir yapının kapasitesini belirlemenin yani kuvvet-yerdeğiştirme eğrisinin çiziminin en uygun yolunu yapının tabanında meydana gelen kesme kuvveti ile çatıda (tepe) oluşan yatay yer değiştirmesini bir grafik üstünde belirleyip işaretlemektir. Bknz. Şekil 3.1



Şekil 3.1 Taban kesme kuvveti, Tepe yerdeğiştirmesi

SAP 2000 gibi bazı doğrusal olmayan hesap yazılımları statik itme analizini iterasyona gerek duymadan doğrudan yapabilmektedir. Bu çalışmanın kapsamı içinde yer alan ve analiz sonuçları 5.Bölümde verilmiş olan 4 katlı betonarme binanın statik itme analizi hem SAP 2000 hem de bu amaç için yazılmış olan ve

kapsamı 4.Bölümde ayrıntılı olarak anlatılan EPARC programı ile yapılmıştır. Bu programlara ilave olarak ETAPS, SAP 90 gibi yazılımlar kullanılarak da kapasite eğrisi elde edilebilir. Kapasite eğrisi çizilirken, genellikle yapının birinci (asıl) doğal titreşim modu esas alınarak yapılan yüklemeler sonucunda yapıda meydana gelen taban kesme kuvveti ile oluşan yatay yer değiştirme göz önünde tutulur. Bu durum genellikle 1.moda ait doğal titreşim periyodunun 1 saniye ya da daha az olduğu binalar için geçerlidir. Çünkü, bu türden binalarda daha yüksek modların yapıya etkileri oldukça küçük olduğu için bu etkiler göz ardı edilebilir. Ancak, çok katlı ve daha sünek yapılarda genellikle 1.moda ait doğal titreşim periyodu 1saniye'den daha fazladır. Yüksek modların yapıya olan etkileri göz ardı edilemeyecek kadar büyüktür ve ilgili mühendis hesaplarda bu etkileri de dikkate almak zorundadır.

Kapasite hesabı yapılırken aşağıdaki işlem sırası takip edilmelidir.

1. Yatay kat yükleri, kat kütle merkezlerine birinci mod şekliyle etkililir. Bu analiz sırasında düşey ağırlık yüklerinin de hesaba katılması gerekmektedir.
2. Düşey ve yatay yüklerin gerekli kombinasyonları için elaman kuvvetleri hesaplanır.
3. Analiz sonucunda bulunan taban kesme kuvveti ve çatı yerdeğiştirmesi kaydedilir. Performans kontrolünde kullanılacağından eleman kuvvetleri ve dönmeler de kaydedilmelidir.
4. Plastik mafsalları oluşan kesitler için rijitlik sıfır alınarak model tekrar oluşturulur.
5. Yapı elemanlarında yeni bir plastik mafsalları oluşumu gözlenen kadar yükler arttırılır.
6. Yapı kapasitesi limit duruma ulaşana kadar 4, 5 ve 6.adımlar tekrar edilir. Burada sözü edilen limit durum (çatı yerdeğiştirmesinin belirli bir değere ulaşması veya yapıda bir göçme mekanizması oluşması) daha önceden belirlenen performans seviyesine göre seçilebilir.

3.2.2 Talep spektrumunu belirlemek için adım adım işlemler

Güçlendirme yapılırken performans seviyelerinin tespit edilmesi konusunda yapı kapasitesinin belirlenmesine ilave olarak, belirli bir deprem etkisi altında 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 faydalanabilinmesini sağlar.

Performans seviyesini tespit etmek için gerekli olan sismik talebin belirlenmesi amacıyla çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu çalışmada Kapasite Spektrum Yöntemi (ATC-40'da verilen yöntem) kullanılmıştır.

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 fiziki cevabı (yanıtı) ifade eder.

3.2.3 Kapasite spektrumu yöntemi kullanılarak sismik talebin hesaplanması

Performans noktasının yeri aşağıda açıklanan iki koşul ile doğrulanmalıdır.

- 1) Nokta kapasite spektrumu eğrisi üzerinde olmalı.
- 2) Nokta, %5 sönümlü elastik talep spektrumundan indirgenmiş talep spektrumunun üzerinde olmalı.

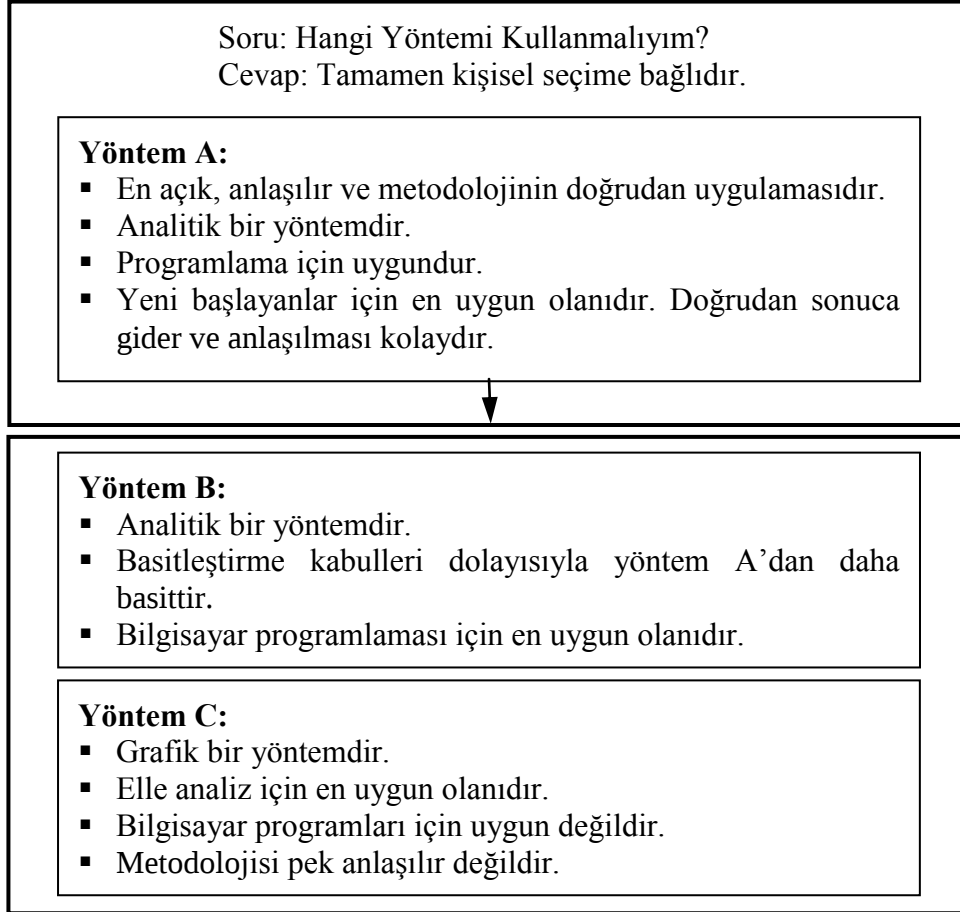
Bu iki şartın sağlanması, performans noktasının kapasite eğrisi ile indirgenmiş talep spektrumunun kesiştiği noktada bulunması demektir. Bu noktanın bulunması için ardışık yaklaşım (iterasyon) yapılması gerekmektedir. Bu işlem için aşağıda üç farklı yöntem anlatılmakta olup üçü de aynı amaç için kullanılmaktadır.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

A Yöntemi: Bu yöntem kavramın en direk uygulamasıdır. Tamamıyla iteratif bir yöntemdir; formüllendirilmiş esaslar kolaylıkla bilgisayar programlarına adapte edilebilir. Bu grafikten çok analitik bir yöntemdir. Yeni başlayanlar için en uygun ve anlaşılır yöntem olup ve sonuca en kısa yoldan ulaşmak mümkündür.

B Yöntemi : Kapasite eğrisinin iki doğrultuda modellenmesi imkanını veren basit bir yöntemdir. Performans noktasının gerçek değeri küçük iterasyonlar yapılarak bulunur. Yöntem B grafikten çok analitik (işlemsel) bir yöntemdir; dolayısıyla bilgisayar programlarına adapte edilmesi de en uygun yöntemdir. Yöntem B'nin uygulanmasının anlaşılması Yöntem A'ya nazaran daha zordur.

C Yöntemi : Yöntem C, performans noktasını bulmak için kullanılan zayıf bir grafik yöntemidir. El ile analiz için en uygun yöntemdir. Fakat anlaşılması zordur ve bilgisayara uyarlaması tam değildir.

Tablo 3.2 Yöntem seçim tablosu



3.2.3.1 Kapasite spektrum yönteminin kavramsal oluşumu (Kapasite eğrisinin kapasite spektrumuna dönüştürülmesi)

Kapasite Spektrumu Yönteminin kullanılması için taban kesme kuvveti ve tepe yer değiştirmesinin yani kapasite eğrisinin mutlaka kapasite spektrumuna dönüştürülmesi gerekir ki bu Spektral İvme - Spektral Yerdeğiştirme (ADRS¹) formatındadır. Dönüşümü yapabilmek için gerekli formüller:

¹ Acceleration Displacement Response Spectra (ADRS), Mahaney 1993.

$$\Gamma_1 = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}) / g}{\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}^2) / g} \right] \quad (3.1)$$

$$M_1^* = \left[\frac{\left(\sum_{i=1}^N m_i * \phi_{i1} \right)^2}{\sum_{i=1}^N m_i * \phi_{i1}^2} \right] \quad (3.2)$$

$$\alpha_1 = \frac{\left[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}) / g \right]^2}{\left[\sum_{i=1}^N w_i / g \right] \left[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}^2) / g \right]} \quad (3.3)$$

$$\alpha_1 = \frac{M_1^*}{M} \quad (3.4)$$

$$S_a = \frac{V_b}{\alpha_1 * W} \quad (3.5)$$

$$S_d = \frac{\Delta_N}{\Gamma_1 * \phi_{N1}} \quad (3.6)$$

Formüllerde kullanılan terimler aşağıda açıklanmaktadır:

Γ_1 = Birinci doğal titreşim modu için Modal Katılma Katsayısı

α_1 = Birinci doğal titreşim modu için Modal Kütle Katsayısı

w_i/g = i. kattaki toplanmış kütle

ϕ_{i1} = i. kattaki modun şekli

N = Yapıdaki kat sayısı

V_t = Taban kesme kuvveti

W = Zati yük + n*Hareketli yük

Δ_{tepe} = Tepe yer değiştirmesi (V ve Δ_{tepe} kapasite Eğrisini oluşturur)

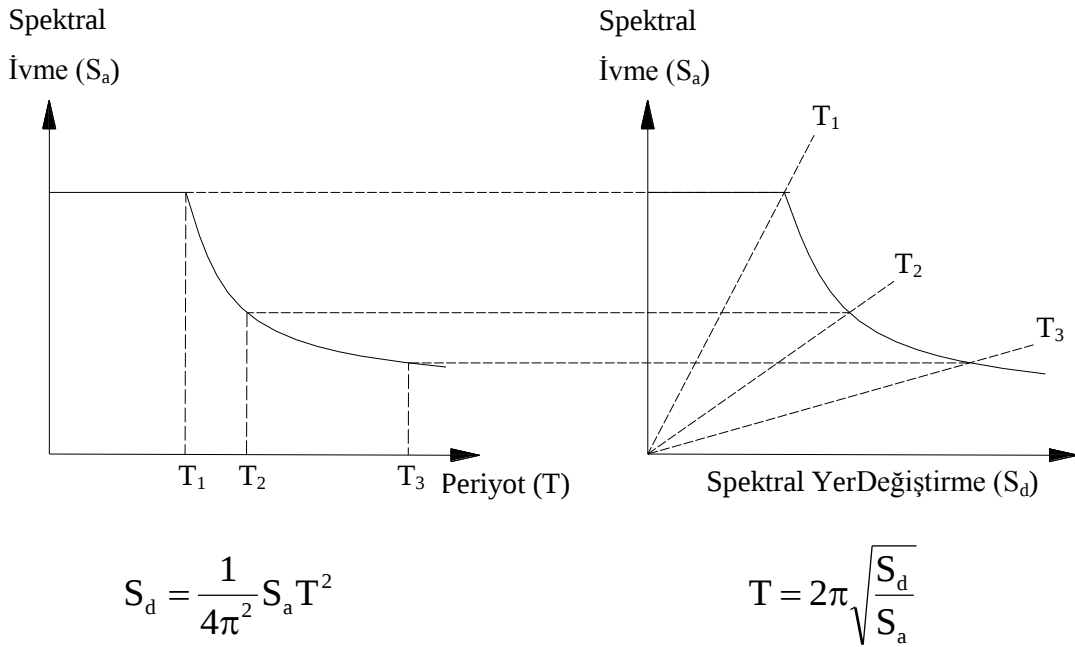
S_a = Spektral ivme

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

S_d = Spektral yer değiştirme (S_a ve S_d kapasite Spektrumunu oluşturur.)

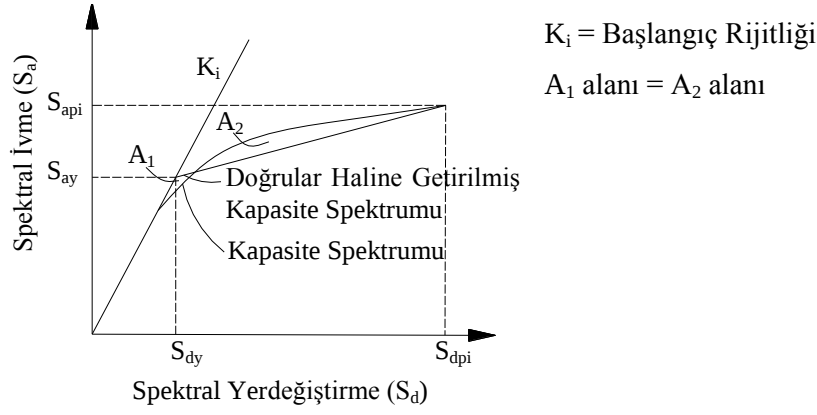
Kapasite eğrisi kapasite spektrumuna dönüştürülürken ilk adımda modal katılım katsayısı Γ_1 ve modal kütle katsayısı α_1 hesaplanır. Daha sonra bu değerler kullanılarak kapasite eğrisi üzerindeki her nokta için spektral ivme S_a ve spektral yer değiştirme S_d değerleri hesaplanarak kapasite spektrum eğrisi oluşturulur.

Genel olarak talep spektrumu spektral ivme-periyot, yani S_a -T biçiminde gösterilmektedir. ADRS formatı ise bu kadar yaygın olarak kullanılmamaktadır. Bu format arasındaki geçiş kolaydır ve bu geçişin grafiği şekil3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Geleneksel ve ADRS formatlarında talep spektrumları

Kapasite spektrumu ile karşılık spektrumun çakıştırılmış hali klasik formatta ve ADRS formatında gösterilmektedir. Bu grafikler incelendiğinde T_1 periyodunda A noktasına kadar sabit olduğu, B noktasına ulaştığında ise periyodun T_2 olduğu görülmektedir. Bu durum yapıda gözlenen lineer olmayan şekil değiştirmelerin artmasıyla periyodun da attığını gösterir. Periyodun artışı klasik gösterimde açık olarak görülmektedir. Sabit periyotların başlangıçtan geçen doğrular olarak gösterildiği ADRS formatında da bu durum oldukça belirgindir.



Şekil 3.4 Kapasite spektrumu metodu için kapasite spektrumunu doğrular halinde gösterme

3.2.3.3 %5 Sönümlü talep spektrum eğrisinin oluşturulması

%5 sönümlü talep spektrum eğrisi sismik katsayılara bağlı olarak tanımlanır. Bu sismik katsayılar C_A ve C_V dir. C_A ve C_V yapının bulunduğu deprem bölgesine, deprem kaynağına olan mesafeye, hesaplamalarda kullanılacak olan deprem türüne ve yapının bulunduğu zeminin sınıfına bağlı olarak hesaplanır. Yapının bulunduğu deprem bölgesine göre Deprem Bölge Katsayısı Z Tablo 3.3’den okunur.

Tablo 3.3 Deprem Bölge Katsayısı

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

Kaynağa Mesafe Katsayıları olan N_A ve N_V , yapının deprem kaynağına olan mesafesine ve bu deprem kaynağının oluşturacağı deprem türüne bağlı olarak Tablo 3.4’den okunur.

Tablo 3.4 Kaynağa Mesafe Katsayısı

Deprem Kaynağı Türü	Deprem Kaynağına Mesafe							
	$\leq 2\text{km}$		5km		10km		$\geq 15\text{km}$	
	N_A	N_V	N_A	N_V	N_A	N_V	N_A	N_V
A: Büyük Deprem Oluşturan Kaynak	1.5	2.0	1.2	1.6	1.0	1.2	1.0	1.0
B: Orta Deprem Oluşturan Kaynak	1.3	1.6	1.0	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0
C : Küçük Deprem Oluşturan Kaynak	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

Yapının bulunduğu zeminin türüne göre Tablo 3.5’den zemin sınıfı belirlenir.

Tablo 3.5 Zemin Sınıfı Tablosu

	S _A	S _B	S _C	S _D	S _E	S _F
Zemin Sınıfı ve Tanımı	Sert Kaya	Kaya	Çok Sıkı Zemin, Yumuşak Kaya	Sert Zemin	Yumuşak Zemin	Yerel Zemin İncelemesi Gerekli

Hesaplarda kullanılacak olan deprem etkisi belirlenir. Bu deprem etkisine bağlı olarak C_A ve C_V sismik katsayıları için ayrı ayrı E değeri aşağıdaki şekilde bulunur;

Kullanma depremi için: $E = 0.5$

Tasarım depremi için : $E = 1.0$

Maksimum deprem için: 4. Bölge için $E = 1.25$, 3. Bölge için $E = 1.50$

Bulunan deprem bölge katsayısı, kaynağa mesafe katsayısı ve deprem itki katsayısı çarpılarak C_A ve C_V sismik katsayıları için ayrı ayrı Deprem Katsayısı bulunur. Belirlenen zemin sınıfına ve hesaplanan deprem katsayısına bağlı olarak Tablo 3.6 ve Tablo 3.7’den C_A , C_V sismik katsayıları belirlenir.

Tablo 3.6 Deprem Katsayısı C_A

	Deprem Katsayısı ZEN1					
Zemin Sınıfı	=0.075	=0.15	=0.20	=0.30	=0.40	>0.40
SA	0.08	0.15	0.20	0.30	0.40	1.0*ZEN
SB	0.08	0.15	0.20	0.30	0.40	1.0*ZEN
SC	0.09	0.18	0.24	0.33	0.40	1.0*ZEN
SD	0.12	0.22	0.28	0.36	0.44	1.1*ZEN
SE	0.19	0.30	0.34	0.36	0.36	0.9*ZEN
SF	Yerel Zemin İncelenmesi Gerekli					

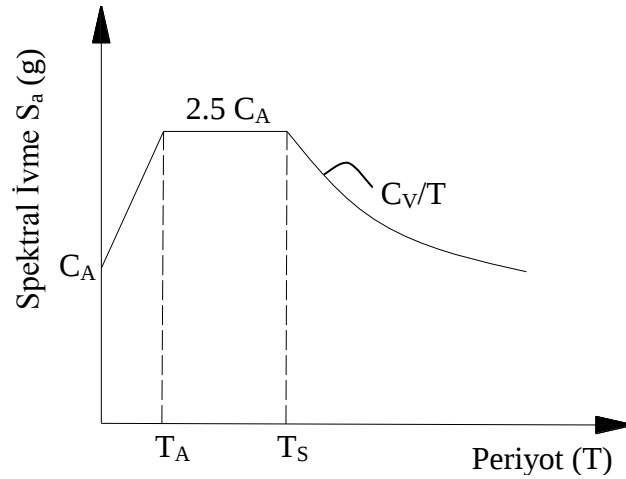
Tablo 3.7 Deprem Katsayısı C_V

	Deprem Katsayısı ZEN1					
Zemin Sınıfı	=0.075	=0.15	=0.20	=0.30	=0.40	>0.40
SA	0.08	0.15	0.20	0.30	0.40	1.0*ZEN
SB	0.08	0.15	0.20	0.30	0.40	1.0*ZEN
SC	0.13	0.25	0.32	0.45	0.56	1.4*ZEN
SD	0.18	0.32	0.40	0.54	0.64	1.6*ZEN
SE	0.26	0.50	0.64	0.84	0.96	2.4*ZEN
SF	Yerel Zemin İncelenmesi Gerekli					

Bulunan C_A , C_V sismik katsayılarına ve Formül 3.7, Formül 3.8 yardımıyla bulunan T_S , T_A değerlerine bağlı olarak %5 sönümlü talep spektrum eğrisi Şekil 3.5’de gösterildiği gibi çizilir.

$$T_S = C_V / 2.5 * C_A \quad (3.7)$$

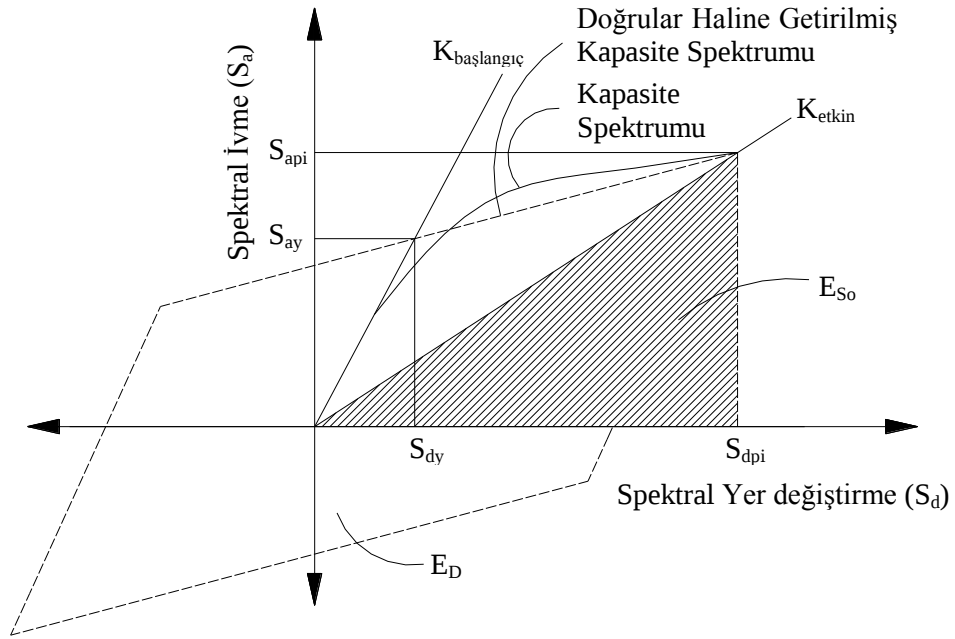
$$T_A = 0.2 * T_S \quad (3.8)$$

**Şekil 3.5** %5 Sönümlü elastik deprem spektrumu

3.2.3.4 Sönümün tahmini ve %5 sönümlü talep spektrumunun indirgenmesi

Yönetmeliklerde verilen elastik ivme-yer değiştirme spektrum eğrisi %5’lik bir viskoz sönüm içerir, ancak deprem etkisinde yapıda elastik olmayan ve çevrimsel oluşan şekil değiştirmeler sonucu enerjinin tüketilmesi söz konusudur. Deprem etkisi altında yerdeğiştirme ile yük arasındaki veya benzer olan spektral yerdeğiştirme ile

spektral ivme arasındaki bağıntı Şekil 3.6’da görüldüğü gibi elastik sınır aşıldığında bir çevrimsel değişim gösterir.



Şekil 3.6 Spektral azaltma ile sönüm elde edilmesi

Bu eğrinin içinde kalan alan çevrimsel sönüm ile orantılıdır. Bu sönüm β_0^2 olarak eşdeğer viskoz sönüme yaklaşık olarak dönüştürülebilir. Sonuç olarak etkili toplam sönüm oranı β_{ef} ;

$$\beta_{ef} = 0.05 + \kappa \beta_0 \quad (3.9)$$

$$\beta_0 = \frac{1}{4\pi} \frac{E_D}{E_{S_0}} \quad (3.10)$$

olarak bulunabilir. Burada E_D bir çevrimde sönümle tüketilen enerji olup çevrim içinde kalan alana ve E_{S_0} aynı yük seviyesi altındaki maksimum şekil değiştirme enerjisine (Şekil 3.6’da taranan alana) karşılık gelir. Geometrik bağıntılar kullanılarak

$$\beta_{ef} = 0.05 + \beta_0 = 0.05 + 0.64 \cdot \kappa \cdot \frac{S_{a_y} \cdot S_{d_{pi}} - S_{d_y} \cdot S_{a_{pi}}}{S_{a_{pi}} \cdot S_{d_{pi}}} \quad (3.11)$$

² β_0 ifadesinin ayrıntılı bir şekilde çıkarılışını görmek isteyenler ATC-40, Bölüm 8’den faydalanabilirler.

yazılabilir. Burada S_{dy} ve S_{ay} doğrusal elastik davranışın sınırındaki, S_{dpi} ve S_{api} ise hedeflenen performans seviyesindeki spektral yer değiştirme ve spektral ivme değerlerini göstermektedir. Çevrimsel sönümün belirlenmesinde kullanılan paralel kenarın gerçek yapıda farklı olabileceği düşünülerek bir κ düzeltme katsayısı öngörülmüştür. Çevrimsel davranışın tam olarak oluşmadığı yapıların kalitesi düşük yapılarda bu katsayı daha küçük seçilir. Yeni yapılarda sönüm çevrimi dolgun biçimde oluşacağı için düzeltme katsayısı büyük, eski yapılarda ise enerji tüketimi daha az olacağı için küçük olacaktır. Bunun gibi deprem süresinin uzun olması durumunda enerji tüketimi artacağı için kısa süreli depreme göre düzeltme katsayısı büyük olacaktır. Yapı davranış türü Tablo 3.8’den, düzeltme katsayısı Tablo 3.9’dan alınabilir.

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

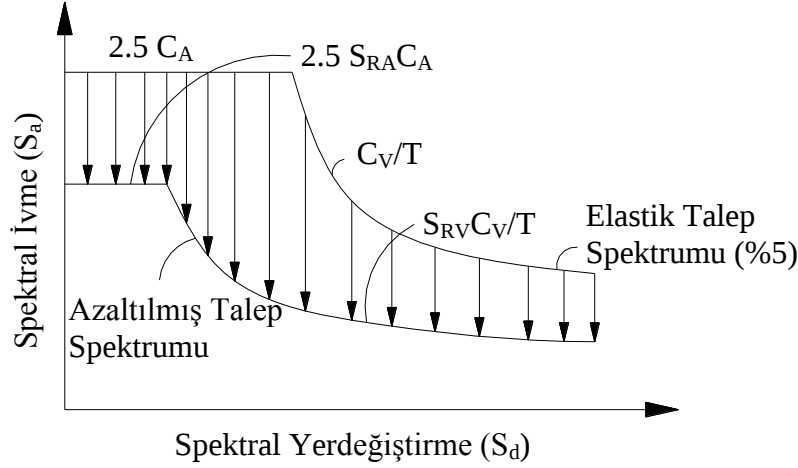
Yapı Davranış Türü	A	B	C
K	1.00	0.67	0.33

Doğrusal olmayan davranışın göz önüne alınması için tanımlanan bu eşdeğer sönüm değerlerine bağlı olarak talep spektrumunda SR_A ve SR_V katsayıları ile azaltma yapılır (Şekil 3.10). Bu katsayılar yapıda deprem etkisine bağlı olarak çıkacak sönüme ve yapı davranış türüne bağlı olup, Tablo 3.10’de verilmiştir. Görüldüğü gibi bu azaltma; sönüm oranı ve yapının yeni olması ile artmaktadır. Bu azaltma katsayıları

$$SR_A = \frac{1}{2,12} [3,21 - 0,68 \ln(100 * \beta_{ef})] \quad (3.12)$$

$$SR_V = \frac{1}{1,65} [2,31 - 0,41 \ln(100 * \beta_{ef})] \quad (3.13)$$

formülleri ile de hesaplanabilir ancak bulunan değerlerin Tablo 3.11’de verilen minimum değerlerden büyük olması gerekir.



Şekil 3.7 Talep spektrumunun azaltılması

Tablo 3.10 Spektral azaltma katsayıları S_{RA} ve S_{RV}

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

Tablo 3.11 Spektral azaltma katsayıları S_{RA} ve S_{RV} 'nin minimum değerleri

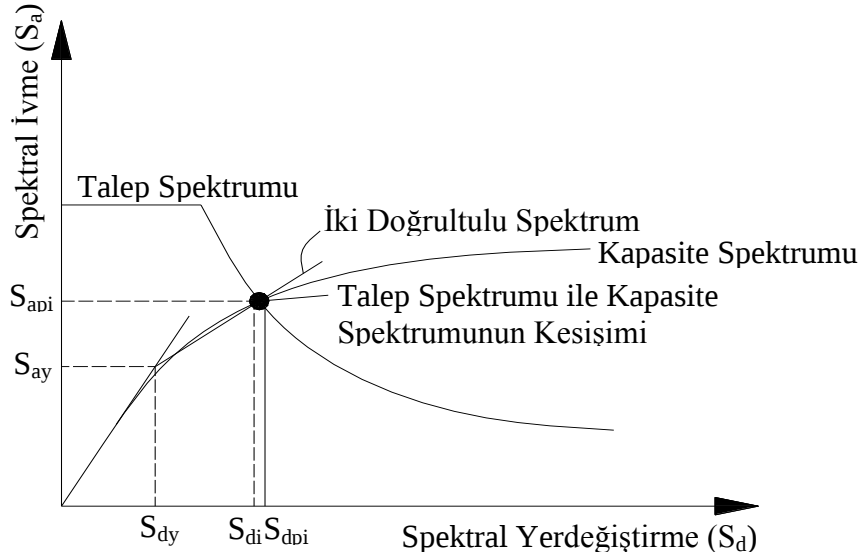
	Yapı davranış türü A	Yapı davranış türü B	Yapı davranış türü C
S_{RA}	0.33	0.44	0.56
S_{RV}	0.50	0.56	0.67

3.2.4 Performans noktasının bulunması

3.2.4.1 Kapasite ve talep spektrumlarının kesişimi

Kapasite spektrumu ile talep spektrumunun kesişim noktasındaki S_{dp} spektral yerdeğiştirme, S_{api} , S_{dpi} deneme performans noktalarının S_{dpi} spektral yerdeğiştirmenin $\pm 5\%$ 'i kadar ise ($0.95S_{dpi} \leq S_{di} \leq 1.05S_{dpi}$) performans noktası bulunmuş demektir. Eğer, Kapasite spektrumu ile talep spektrumunun kesişim noktası kabul edilebilir tolerans içerisinde değilse, yeni bir S_{api} , S_{dpi} noktası seçilir ve iterasyona devam edilir. Şekil 3.8 bu durumu göstermektedir. Performans noktası

deprem yer hareketine karşılık binada oluşabilecek maksimum yapısal yerdeğiştirmeyi gösterir.

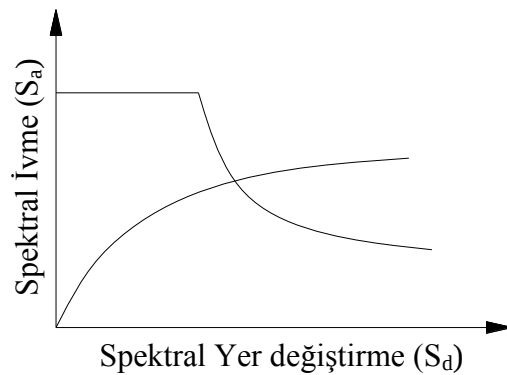


Şekil 3.8 Talep spektrumu ve kapasite spektrumlarının kabul edilebilir toleranslar içindeki kesişim noktası

3.2.4.2 Yöntem A'yı Kullanarak Performans Noktasını Hesaplama

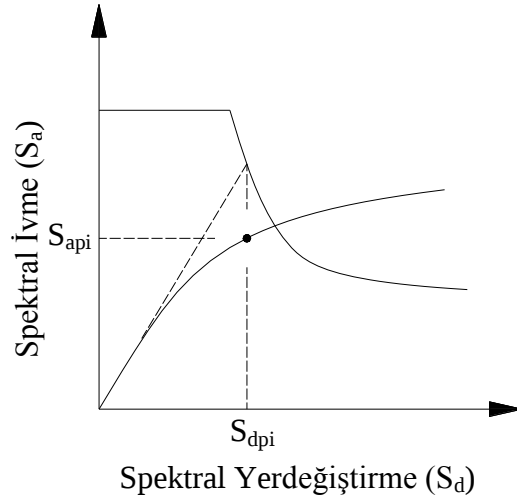
Performans noktasının bulunması 7 aşamadan oluşur:

1. %5 sönümlü elastik talep spektrum eğrisi oluşturulur.
2. Formüller yardımıyla kapasite eğrisi, kapasite spektrumuna dönüştürülür. Kapasite spektrumu eğrisi, %5 sönümlü talep spektrum eğrisiyle üst üste çizilir.



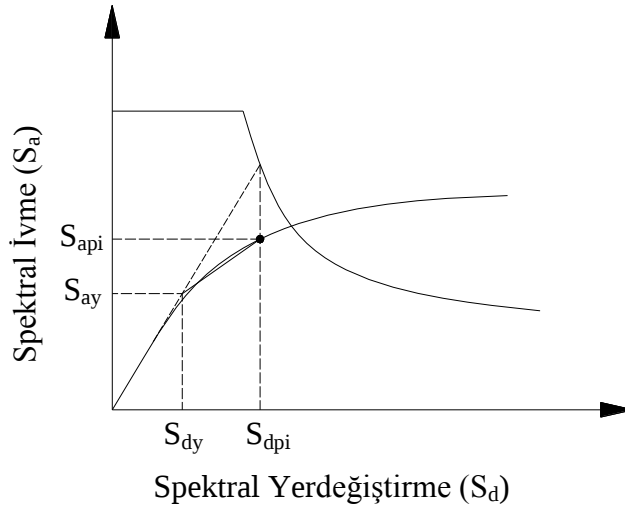
Şekil 3.9 Kapasite spektrumu ile talep spektrumun kesiştirilmesi

3. Şekil 3.10'da gösterildiği gibi kapasite spektrumunun doğrusal olan kısmı uzatılarak %5 sönümlü talep spektrumu ile kesiştirilir ve bu noktanın kapasite spektrum eğrisi üzerine düşey izdüşümü alınarak tahmini bir başlangıç S_{api} , S_{dpi} performans noktası belirlenir.



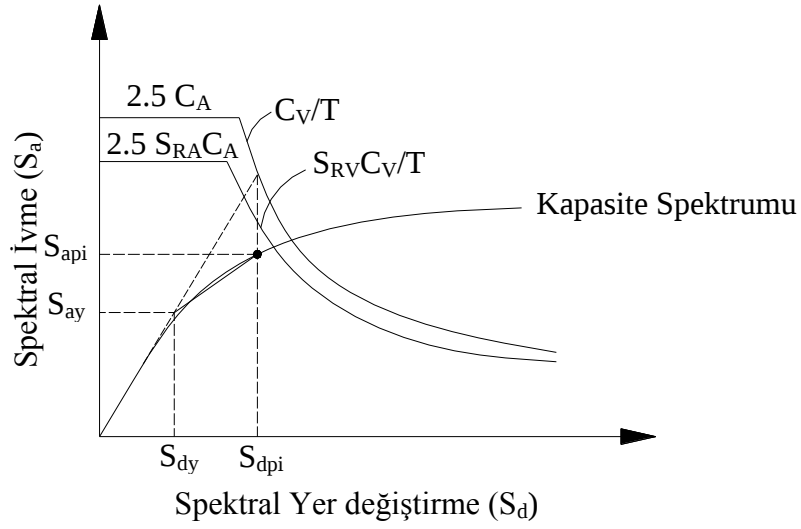
Şekil 3.10 Başlangıç performans noktasının bulunması

4. Kapasite spektrumu doğru şeklinde kapasite spektrumuna dönüştürülür.



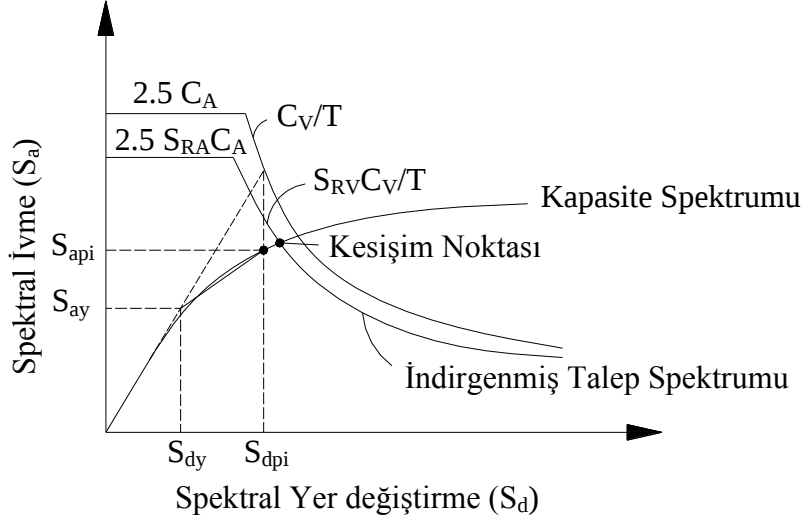
Şekil 3.11 Kapasite spektrumunun kırıklı hale dönüştürülmesi

5. Spektral azaltma katsayıları S_{RA} ve S_{RV} hesaplanır. %5 sönümlü talep spektrumundan bu indirgenme katsayıları ile indirgenmiş talep spektrumuna geçilir. Kapasite spektrumu ile indirgenmiş talep spektrumu aynı grafikte çizilir.



Şekil 3.12 Kapasite spektrumun ve İndirgenmiş talep spektrumun üst üste çizilmesi

6. Kapasite spektrumu ile indirgenmiş talep spektrumunun kesiştiği nokta belirlenir. Bu noktanın yatay spektral yer değiştirme koordinatı olan S_{dp} noktası anlatılan yeterli ve kabul edilebilir yaklaşıklıkta ise işlem yeterlidir ve bu nokta gerçek performans noktasıdır.



Şekil 3.13 İndirgenmiş talep spektrumu ile kapasite spektrumun kesiştirilmesi

7. Eğer S_{ap} , S_{dp} noktası yeterli, kabul edilebilir yakınlıkta değilse dördüncü adıma dönülür ve koordinatları S_{ap} , S_{dp} olarak bulunan nokta başlangıç performans noktası olarak kabul edilir ve diğer işlemler tekrar edilir.

8. Eğer S_{ap} , S_{dp} noktası yeterli kabul edilebilir yakınlıkta ise S_{api} , S_{dpi} noktası başlangıç performans noktası, S_{ap} , S_{dp} gerçek performans noktası ve S_{dp} muhtemel deprem için maksimum yapısal yer değiştirmedir.

4. MEVCUT BETONARME BİR BİNANIN LİNEER OLMAYAN STATİK ANALİZİ

4.1 Giriş

Bu bölümde, daha önceki bölümde detaylı olarak açıklanan statik itme analizinin daha iyi anlaşılabilmesi için inşa edilmiş olan 4 katlı betonarme bir yapının deprem güvenliğinin kontrolü yapılmıştır. Mevcut yapının deprem güvenliğinin tahkiki ve göçme yükünün tayini için EPARC¹ ve Sap 2000 Nonlinear Analiz bilgisayar programları kullanılmıştır. EPARC bilgisayar programına girilen veriler ton, metre birimleri cinsinden olması gerektiği için tüm veriler ton, metre birimleri cinsinden hazırlanmış ve sonuçlar da bu birimler cinsinden elde edilmiştir.

4.2 Genel Bilgiler

Mevcut yapının analizinde kullanılan genel bilgiler aşağıda sıralanmıştır.

Yapı analizinde kullanılan birimler : ton, metre

Yapı kat sayısı = Bir zemin kat ve üç normal kat

Kat yüksekliği (h) : Zemin kat = 3.00 m, normal katlar = 2.80 m

Yapının X doğrultusundaki toplam uzunluğu = 16.60 m

Yapının Y doğrultusundaki toplam uzunluğu = 10.80 m

Deprem bölgesi = 1. Bölge

Etkin yer ivmesi (A_0) = 0.40

Deprem bölge katsayısı (Z) = 0.40

Analizde kullanılan deprem türü : Tasarım depremi, $E = 1.0$

Yapının bilinen en yakın deprem kaynağına olan mesafesi $\cong 10$ km

Bina önem katsayısı (I) = 1.0

Zemin sınıfı = Z4

¹ EPARC (Statik İtme Analiz) bilgisayar programı Yar.Doç.Dr. Konuralp GİRĞİN tarafından doktora tezi olarak yapılmıştır.

Spektrum karakteristik periyotları : $T_A = 0.20$ sn , $T_B = 0.90$ sn

Deprem yükü azaltma katsayısı (R) = 4

Mevcut yapıda kullanılan beton sınıfı : BS 16

Betonun birim kısalması (ϵ_{cu}) = 0.003

Beton birim hacim ağırlığı (γ_{beton}) = 25 kN/m³

Çelik sınıfı : BC I

Çeliğin birim uzaması (ϵ_{su}) = 0.01

Döşeme türü : Plak

Döşeme kalınlığı = 0.12 m

Dış duvar birim ağırlığı ($\gamma_{dışduvar}$) = 4.2 kN/m²

İç duvar birim ağırlığı ($\gamma_{içduvar}$) = 2.5 kN/m²

Sıva + kaplama ağırlığı = 1.6 kN/m²

Hareketli yükler : $q = 1.5$ kN /m² (Teras katı)

Hareketli yükler : $q = 2.0$ kN /m² (Konut odaları)

Hareketli yükler : $q = 3.5$ kN /m² (Konut merdivenleri)

Hareketli yükler : $q = 5.0$ kN /m² (Konut balkonları)

4.3 Yapıya Etkiyen Yükler

4.3.1 Düşey yükler

4.3.1.1 Sabit yükler

g = Betonarme plak ağırlığı + (Sıva + Kaplama) ağırlığı

Betonarme plak ağırlığı = $h_f * \gamma_{beton} = 0.12 * 25 = 3.0$ kN/m²

(Sıva + Kaplama) ağırlığı = 1.6 kN/m²

$g = 3.0 + 1.6 = 4.6$ kN/m²

4.3.1.2 Hareketli yükler

Tepe Katı (Teras) : $q = 1.5$ kN /m²

Konut Odaları : $q = 2.0$ kN /m²

Konut Merdivenleri : $q = 3.5$ kN /m²

Balkonlar : $q = 5.0$ kN /m²

4.3.1.3 Düşey yüklerin hesaplanması

Statik itme analizi yapılırken, sabit ve hareketli yüklerden döşemelere etkiyen düzgün yayılı yükler, önce kirişlere aktarılır ve daha sonrada eşdeğer tekil yüklere çevrilir. EPARC bilgisayar programında yapılacak statik itme analizi sonuçlarının daha hassas olması için, eşdeğer tekil yük sayısı uzun kirişlerde daha fazla, kısa kirişlerde daha azdır. Bu şekilde hesaplanan bütün düşey yükler Ek A'da verilmiştir.

4.3.2 1998 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmeliğe Göre Eşdeğer Yatay Deprem Yüğü Hesabı

Toplam eşdeğer deprem yüğü hesabı:

$$V_t = \frac{W * A(T_1)}{R_a(T_1)} \geq 0.10 * A_0 * I * W$$

V_t : Toplam eşdeğer deprem yüğü.

W : Toplam bina ağırlığı. ($W_i = W_g + nW_q$)

T_1 : Bina birinci doğal titreşim periyodu.

n : Hareketli yük katılım katsayısı = 0.3

Toplam bina ağırlığı:

Tablo 4.1 Bina Ağırlığı

Kat No	TOPLAM Sabit Yüğü (W_g) (kN)	n	TOPLAM Hareketli Yüğü (W_q) (kN)	TOPLAM Kat Ağırlığı ($W_i = W_g + nW_q$) (kN)
3	1420.2	0.3	310.0	1513.2
2	1638.0	0.3	417.1	1763.1
1	1638.0	0.3	417.1	1763.1
Z	1660.7	0.3	423.8	1787.8
TOPLAM BİNA AĞIRLIĞI ($W_3 + W_2 + W_1 + W_Z$)				6827.2

Binanın birinci doğal titreşim periyodu

Bina toplam boyu ($H_N < 25m$) olduğu için binanın birinci doğal titreşim periyodu yaklaşık yöntemle hesaplanmıştır.

$$T_1 \cong T_{1A} = C_t * H_N^{3/4}$$

Binanın taşıyıcı sistemi sadece çerçevelerden oluştuğu için ;

$$C_t = 0.07$$

$$H_N = 11.40 \text{ m}$$

$$T_1 = 0.07 * 11.40^{3/4}$$

$$T_1 = 0.43429 \text{ s}$$

$$A(T_1) = A_0 * I * S(T_1)$$

Yapı 1. Derece deprem bölgesinde olduğu için ;

A₀: Etkin yer ivmesi

$$A_0 = 0.40$$

I: Bina önem katsayısı

$$I = 1.0$$

Yerel Zemin Sınıfı : Z4

$$T_A = 0.20 \text{ s}$$

$$T_B = 0.90 \text{ s}$$

Yapının birinci doğal titreşim periyodu spektrum karakteristik periyotları arasında kaldığı için ;

$$T_A < T_1 < T_B \Rightarrow S(T_1) = 2.5$$

$$A(T_1) = A_0 * I * S(T_1) = 0.40 * 1.0 * 2.5 = 1$$

$$T_1 > T_A \Rightarrow R_a(T) = R$$

Yapı yerinde dökme betonarme binadır. Deprem yüklerinin tamamı çerçevelerle taşındığı ve süneklik düzeyi normal olduğu için ;

$$R = 4$$

$$R_a(T) = R = 4$$

$$\text{Taban Kesme Kuvveti} = V_t = \frac{W * A(T_1)}{R_a(T_1)} = \frac{6827.2 * 1}{4} = 1706.8 \text{ kN}$$

$$\text{Taban Kesme Kuvveti} = V_t \geq 0.10 * A_0 * I * W = 0.10 * 0.40 * 1.0 * 6827.2 = 273.1 \text{ kN}$$

$$\text{Hesapta Esas Alınacak Taban Kesme Kuvveti} \quad V_t = 1706.8 \text{ kN}$$

Katlara etkiyen eşdeğer deprem yükün hesabı:

$$V_t = \Delta F_N + \sum_{i=1}^N F_i$$

$H_N \leq 25$ m olduğu için $\Delta F_N = 0$

$$F_i = (V_t - \Delta F_N) * \frac{w_i * H_i}{\sum_{j=1}^N (w_j * H_j)}$$

$$F_{\text{Çatı}} = (1706.8) * \frac{1513.2 * 11.40}{48002.5} = 613.4 \text{ kN}$$

$$F_{2.\text{Kat}} = (1706.8) * \frac{1763.1 * 8.60}{48002.5} = 539.1 \text{ kN}$$

$$F_{1.\text{Kat}} = (1706.8) * \frac{1763.1 * 5.80}{48002.5} = 363.6 \text{ kN}$$

$$F_{\text{Zemin.}} = (1706.8) * \frac{1787.8 * 3.00}{48002.5} = 190.7 \text{ kN}$$

Katlara gelen kesme kuvveti:

$$V_{\text{tepe}} = F_{\text{Tepe}} = 613.4 \text{ kN}$$

$$V_{2.\text{Kat}} = F_{\text{Tepe}} + F_{2.\text{Kat}} = 613.4 + 539.1 = 1152.5 \text{ kN}$$

$$V_{1.\text{Kat}} = F_{\text{Tepe}} + F_{2.\text{Kat}} + F_{1.\text{Kat}} = 613.4 + 539.1 + 363.6 = 1516.1 \text{ kN}$$

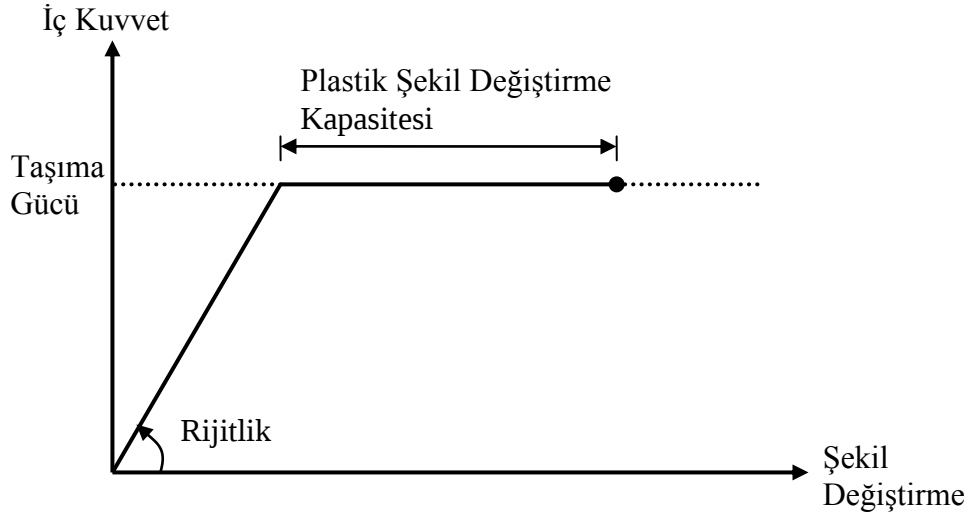
$$V_{\text{Zemin}} = F_{\text{Tepe}} + F_{2.\text{Kat}} + F_{1.\text{Kat}} + F_{\text{Zemin}} = 613.4 + 539.1 + 363.6 + 190.7 = 1706.8 \text{ kN}$$

4.4 EPARC ANALİZ PROGRAMI KULLANILARAK YAPININ DEPREM GÜVENLİĞİNİN TAHKİKİ

EPARC programı, betonarme yapı sistemlerinde, limit yükün ve göçme güvenliğinin belirlenmesi amacıyla, yük artımı yöntemi kullanılarak geliştirilmiştir. EPARC bilgisayar programının dayandığı varsayımlar aşağıda sıralanmıştır.

1. Betonarme çubuk elemanlarda iç kuvvet-şekil değiştirme bağıntılarının iki doğru parçasından oluşacak şekilde idealleştirilebileceği varsayılır.

2. Lineer olmayan eğilme ve uzama şekil değiştirmelerinin plastik kesit adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, bu kesitlerin dışındaki bölgelerde sistemin lineer-elastik davrandığı kabul edilir.



Şekil 4.1 İdealleştirilmiş İç Kuvvet-Şekil değişirme Bağıntıları

3. Akma koşulları eğilme momentlerine, normal kuvvete ve burulma momentine bağlıdır. Kesme kuvvetinin ve burulma momentlerinin akma koşullarına etkisi gözönüne alınmamıştır. Bileşik eğik eğilme haline ait üç boyutlu akma yüzeyi düzlem parçalarla idealleştirilmiştir.

4. Bileşik eğik eğilme durumunda, akma vektörünün akma yüzeyine dik olduğu varsayılmaktadır.

5. Birinci veya ikinci mertebe teorisi uygulanmamaktadır. Yapının narinliğine ve normal kuvvetlerin büyüklüğüne bağlı olarak hangi yöntem uygulanacağı belirlenir.

6. Yayılı yükler yeter sayıda, statikçe eşdeğer tekil kuvvetlere dönüştürülerek hesap yapılmaktadır.

7. Sistemin şekil değiştirmesi sırasında yüklerin doğrultularının değişmediği varsayılır.

8. Sistemi oluşturan çubukların doğru eksenli, sabit en kesitli ve normal kuvvetin çubuk boyunca değişmediği varsayılmaktadır. Eğer bu koşullar sağlanmazsa çubuklar yeteri kadar küçük parçalara bölünerek önceki koşulların sağlatılması yapılır.

Bu program betonarme uzay çubuk sistemlerde ikinci mertebe elastoplastik limit yüklerinin belirlenmesini sağlayan bir programdır. Program sabit düşey yükler altında yatay yüklerin aralarındaki oran sabit kalacak şekilde artması sonucu oluşan yapı yatay yük taşıma parametresini belirlemektedir. Programda yapı ağırlığı ve

hareketli yüklerin değişiminin büyük olmayacağı düşünülerek düşey yüklerin sabit olduğu varsayılmıştır. Programda betonarme çubuk elemanlarının lineer olmayan davranışları bileşik iç kuvvet durumunu da kapsayan plastik kesit kavramı göz önüne alınmaktadır. Geometri değişimlerinin denge denklemlerine etkisini ifade eden ikinci mertebe etkileri de hesaba katılabilir ama bu çalışmada birinci mertebe etkilere göre hesap yapılmıştır.

Program üç ayrı alt programın birbirlerine veri hazırlaması mantığı ile çalışmaktadır.

Fortran dilinde kodlanan üç ayrı program sıra ile çalıştırılarak veri aktarımı sağlanır.

Bunlar:

. Help200 programı,

. Eparc programı,

. Check programıdır.

Sırasıyla yukarıda belirtilen bilgisayar programların giriş verileri, programın hesap yöntemi ve adımları ile kabul ettiği varsayımlar anlatılacaktır.

4.4.1. Help2000 programı:

Bu program ilk giriş bilgilerinin verildiği ve bunları Eparc ve Check programlarının kullanacağı şekilde veri hazırlayıp dosyalayan programdır.

Programa giriş verileri:

. Sistem geometrisini belirleyecek tüm büyüklükler, düğüm noktası, çubuk eleman sayıları, numaralandırmaları tanımlanır.

Sistemdeki çubuk sayısı : 296

Mesnetler dahil düğüm noktası sayısı : 193

Mesnetler hariç düğüm noktası sayısı : 175

Düşey yüklü düğüm noktası sayısı : 175

Yüklü çubuk eleman sayısı : 224

Yatay yük etkileyen düğüm nokta sayısı : 4

Kat sayısı : 4

Kat kütle merkezi koordinatları : X = 8.30 m , Y = 5.40 m

. Betonarme yapı sisteminin malzeme özelliklerinin girilmesi, beton karakteristik değerleri (f_{ck} , ϵ_{cu} , ϵ_{co} , E_c), beton çeliği karakteristik değerleri beton çeliği karakteristik değerleri (f_{yk} , ϵ_{su} , E_s) ile malzeme gerilme şekil değiştirme bağıntıları tanımlanır.

Betonun karakteristik basınç dayanımı : 16000.0 kN/m²

Çeliğin karakteristik akma dayanımı : 220000.0 kN /m²

Betonun elastisite modülü : 27000000 kN /m²

Çeliğin maksimum birim uzaması : 0.01

. Çubuk en kesit geometrileri tanımlanır.

. Kolon ve kiriş donatılarının miktar ve düzenleri aktarılır.

. Yükler girilir, yalnız kiriş yayılı yükleri programa eşdeğer tekil yüklere çevrilerek verilmektedir.

Program bu verilerle bileşik eğilme etkisindeki betonarme çubuk elemanlarda akma yüzeylerinin karakteristik noktalarını belirler. Kiriş elemanlarda tüm kesitlerde M_{L1} , M_{L2} taşıma güçlerinin ve χ_{L1} , χ_{L2} eğrilik kapasitelerinin değerlerinin hesaplarını yapmaktadır. Bununla birlikte Eparc programının okuyacağı çatlamış kesit rijitliklerini ve brüt kesit rijitliklerinin hesaplanması ve ikinci mertebe hesabında etkin olacak normal kuvvetlerin hesabını yapar.

4.4.2.Eparc programı

Bu programın tüm giriş verileri Help2000 tarafından hazırlanmaktadır. Sistem geometrisi, malzeme özellikleri, mesnetlenmeler, yüklemeler ve kolonlarda bileşik eğilme durumunu ifade eden üç boyutlu akma yüzeyini tanımlayan nokta koordinatları ve kiriş eğilme momenti kapasiteleri, kesit rijitlikleri gereklidir. Sistemin çözümünün birinci ya da ikinci mertebe olmasına karar verilir ve gerekli bilgiler Help2000 dosyalarından okutularak hesap devam eder.

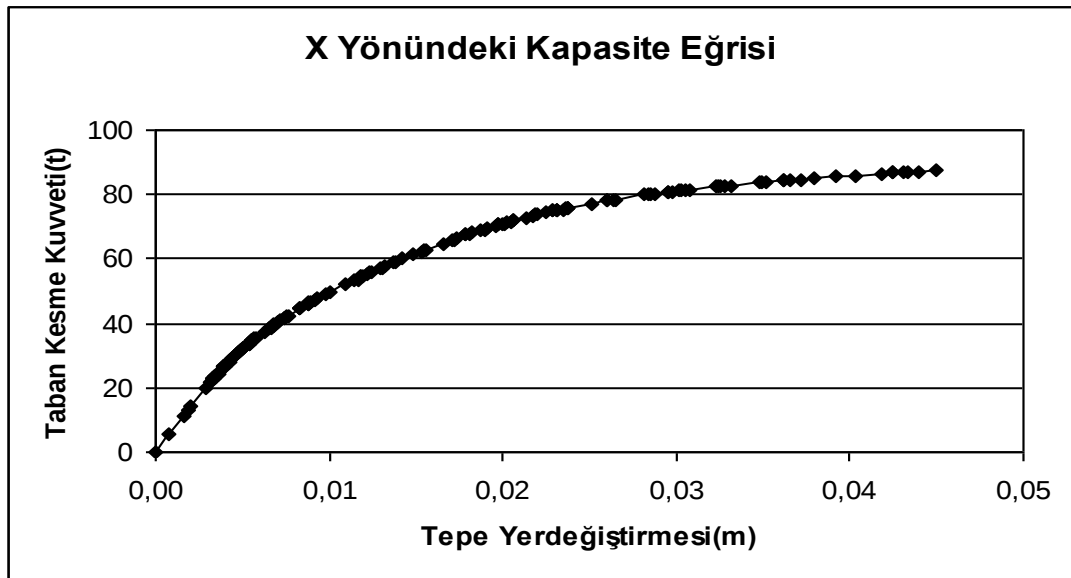
4.4.3.Check programı

Yük artımının her adımında oluşan plastik kesitlerdeki dönme kapasiteleri hesaplanıp Eparc programı çıkışındaki plastik kesit dönmeleriyle karşılaştırılarak kontrol edilmekte ve hangi yük parametresinde limit değere ulaşıldığı belirlenerek göçme yükü bulunmaktadır.

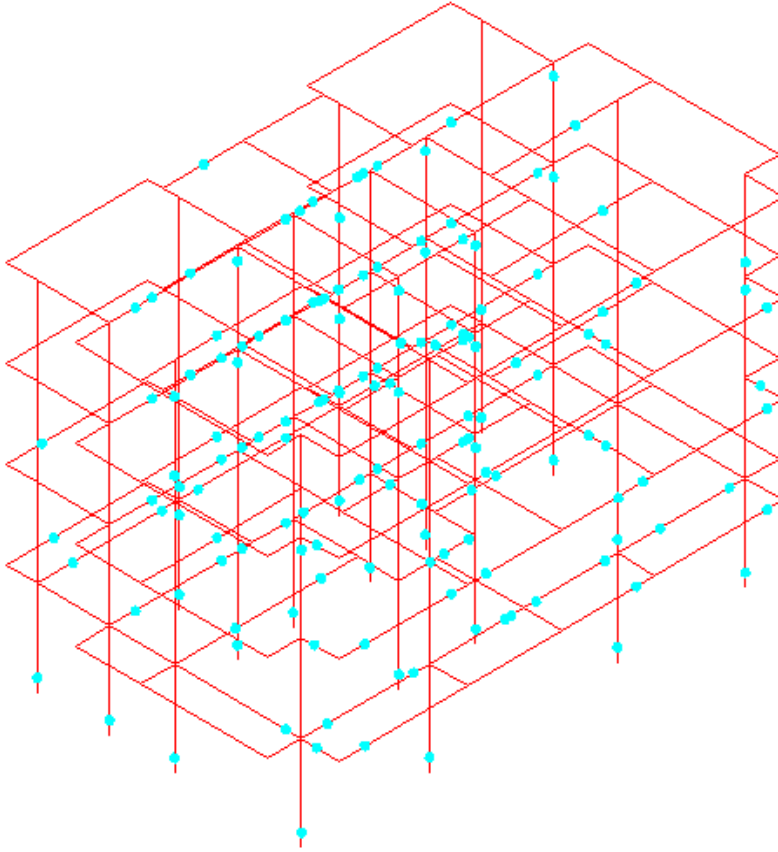
Yapıya ait veri giriş dosyası tamamlandıktan sonra Help2000, Eparc ve Check programları sıra ile çalıştırılarak analiz tamamlanır. Analiz sonucunda yapının deprem kuvveti karşısındaki güvenilirliği ve göçme yükü belirlenir. Deprem kuvvetinin X ve Y yönleri için ayrı ayrı etkidiği varsayılarak bu işlem her iki yön içinde yapılır.

4.4.4 Yapının “X” yönü için analiz sonuçları ve değerlendirilmesi

Yapılan statik itme analizi sonucunda yapının göçme durumundaki taban kesme kuvveti (V_t) ve tepe yer değiştirmesi (Δ_N) bulunmuştur. Taban kesme kuvveti ile tepe yer değiştirmesi arasındaki ilişki Şekil 4.2’de gösterilmiştir. Yapının “X” yönünde dayanabildiği taban kesme kuvveti yani “X” yönündeki göçme yükü $V_{göçme} = 876.4$ kN, bu göçme yükü sonucu oluşan tepe yer değiştirmesi $\Delta_N = 0.045$ m dir. Yapının yük parametresi $P_{göçme} = 0.5135$ dir. (*Göçme yükü = Binanın karşıladığı taban kesme kuvveti / Binaya etkiyen deprem yükü*) Yapıda 150 adet plastik mafsall oluşması sonucunda yapı labil hale gelmiştir. Bunların 110 tanesi kirişlerde, 40 tanesi kolonlarda bulunmaktadır. Plastik mafsalların yerleri Şekil 4.3’te gösterilmiştir. Bu beklenen ve istenilen bir durum değildir. Yapının deprem kuvvetine karşı dayanımının iyi olması için yük parametresinin en az 1.2~1.4 arasında olması beklenmektedir. Mevcut yapının “X” yönünde hesaplanan yük parametresi bu aralığın çok altında yer almaktadır. Bu, yapının deprem kuvvetine karşı dayanımının çok kötü ve yıkılma tehlikesi bulunduğunu göstermektedir.



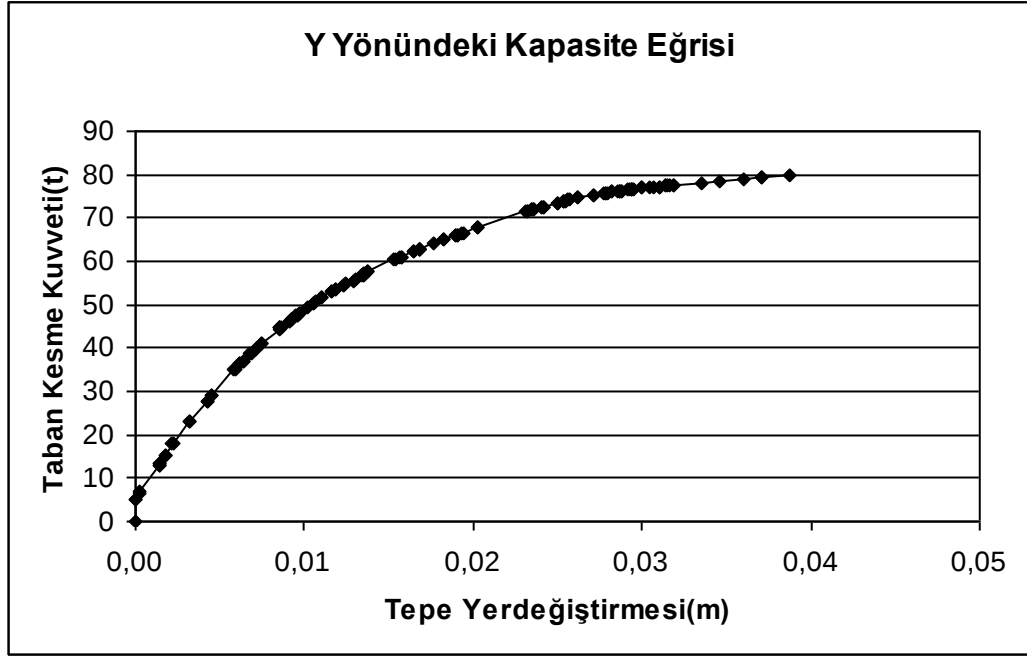
Şekil 4.2 Yapının X yönü için taban kesme kuvveti – tepe yer değiştirme grafiği



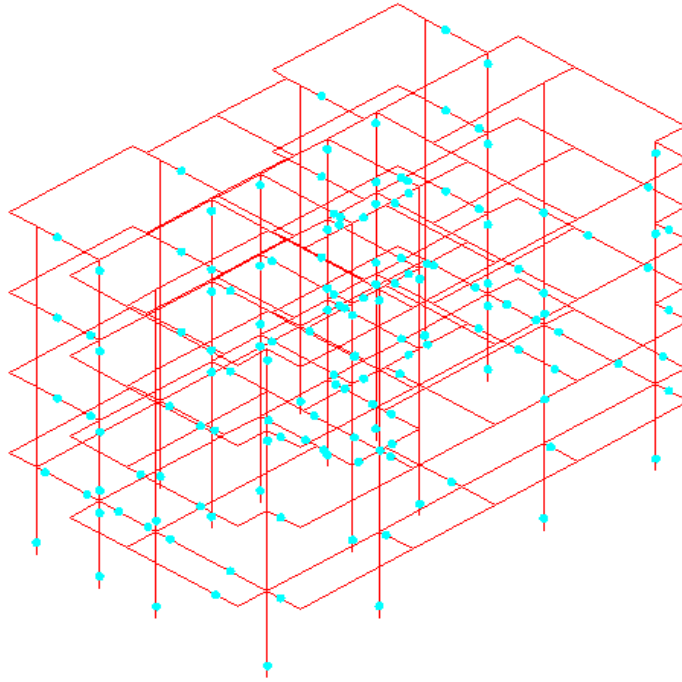
Şekil 4.3 Yapının X yönü için göçme durumunda oluşan plastik mafsalların yerleri

4.4.5 Yapının “Y” yönü için analiz sonuçları ve değerlendirilmesi

Yapıya deprem kuvvetinin “Y” yönünde etkimesi durumunda taban kesme kuvveti (V_t) ve tepe yer değiştirmesi (Δ_N) bulunmuştur. Taban kesme kuvveti ile tepe yer değiştirmesi arasındaki ilişki Şekil 4.4’te gösterilmiştir. Yapının “Y” yönündeki göçme yükü $V_{göçme} = 797.8$ kN, bu göçme yükü sonucu oluşan tepe yer değiştirmesi $\Delta_N = 0.0388$ m dir. Yapının yük parametresi $P_{göçme} = 0.4674$ dir. Yapıda 150 adet plastik mafsıl oluşması sonucunda yapı labil hale gelmiştir. Bunların 93 tanesi kirişlerde, 57 tanesi kolonlarda bulunmaktadır. Plastik mafsalların yerleri Şekil 4.5’de gösterilmiştir. Yapı “Y” yönünde de istenilen güvenlikte değildir.



Şekil 4.4 Yapının Y yönü için taban kesme kuvveti – tepe yerdeğiştirme grafiği



Şekil 4.5 Yapının Y yönü için göçme durumunda oluşan plastik mafsalların yerleri

4.5 Sap 2000 Nonlinear Analiz Programı Kullanılarak Yapının Deprem Güvenliğinin Tahkiki

Bu bölümde, yapının deprem güvenliğinin tahkiki ve statik itme analizi Sap 2000 Nonlinear bilgisayar analiz programı kullanılarak yapılmıştır. EPARC programı için modellenen yapı yine aynı programın içinde olan SAPSAP dosyası ile Sap 2000 programına aktarılmış ve gerekli düzeltmeler yapılmıştır.

Sap 2000 programına aktarılmış ve gerekli düzeltmeler yapılmış sistemin plastik mafsallık özellikleri tanımlıdır. Statik itme analizi yapmak için programa analizin kaç adımda ve her adımda neler yapılacağı tanımlanmalıdır. Statik itme analizi iki adımdan oluşmaktadır. Birincisi, PUSH1, düşey sabit yükler için yapılmaktadır. Bu adımın uygulanmasının nedeni düşey sabit yüklerin deprem esnasında yapıya olan etkisinin tanımlamak istenmesidir. Kullanılacak yüklerin normalize edilmiş halini, yüklere ulaşana kadar arttırmak suretiyle yapılmakta ve bu adım sistemin düşey yükler altında doğrusal olmayan çözümlemeleri için kullanılmaktadır. Bu adımda düşey yük kuvvet çarpanı girilerek tanımlama gerçekleştirilir ve ikinci adıma geçilir. Analizin ikinci adımı, PUSH2 ise, depremden dolayı oluşan yatay kuvvetler için yapılmaktadır. İkinci aşamada yapıya program tarafından kütle merkezlerine yatay kuvvet uygulanmaktadır. Programa ulaşabileceği maksimum yer değiştirme tanımlanır. Bu değer toplam bina yüksekliğinin 0.04 katından daha büyük bir değer olamaz. Yatay yük kuvvet çarpanı girilerek ikinci adımın tanımlama işlemi bitirilir. Programın statik itme analizini yapabilmesi için ilk olarak sistemin doğrusal ve modal analizlerinin yapılması gerekmektedir. Yapının doğrusal ve modal analizleri tamamlandıktan sonra statik itme analizine başlanmaktadır. Bu analiz deformasyon kontrollü yük artımı yöntemidir. Analiz öncelikle birinci adımı tamamlamaktadır. Birinci adım tamamlandıktan sonra düşey sabit yüklerden dolayı oluşan şekil değiştirmeler program tarafından kaydedilerek ikinci adıma geçilmektedir. Düşey yüklerin yapının yanal stabilitesine olan etkisini de göz önüne almak için ikinci adım birinci adımın kaldığı yerden devam ettirilir. İkinci adımda yatay kuvvet sıfırdan başlayarak adım adım arttırılmaktadır. Uygulanan yatay kuvvet sonucu yapı şekil değiştirme yapmakta ve plastik mafsallar oluşmaya başlamaktadır. Bu işlem yapı labil hale gelene kadar, belirlenen maksimum şekil değiştirmeye ulaşana kadar veya yapıdaki herhangi bir eleman göçme durumuna gelinceye kadar devam etmektedir. Bu şartlardan herhangi biri oluştuğu zaman analiz sona ermektedir. Yapılan analiz

sonucunda, her bir ötelenme adımı için binanın karşıladığı taban kesme kuvveti ile yaptığı yer değiştirme (en üst kata ait yer değiştirme) değerleri kaydedilir. Yapı elemanlarının da hasar durumları ve seviyeleri belirtilir. Analizin sona erdiği noktadaki yatay kuvvet binanın dayanabildiği maksimum taban kesme kuvvetine, şekil değiştirme de oluşabilecek maksimum şekil değiştirmeye karşılık gelmektedir.

Statik itme analizi yapının her iki yönü için, yani “X” ve “Y” yönleri için, ayrı ayrı yapılmıştır. Yapılan analiz sonucunda herbir adım için elde edilen taban kesme kuvvetleri ve şekil değiştirmeler kullanılarak yapının “X” ve “Y” yönlerine ait kapasite eğrileri çizilmiştir. Daha sonraki aşamada, elde edilen kapasite eğrileri ve modal analiz sonuçlarından yararlanılarak yapının performans noktaları belirlenmiştir.

4.6 Modal Analiz Sonuçları

Yapıda kütlelerin katlara homojen olarak dağıldığı ve yapının plandaki görüntüsünün dikdörtgen olduğu kabul edilerek kat kütle atalet momentleri ($I_{i,kütle}$), aşağıda ve formül yardımıyla hesaplanmıştır. Katlara ait toplam kat ağırlıkları, kütleleri ve kütle atalet momentleri Tablo 4.2’de verilmiştir.

$$I_{i,kütle} = M_i * \frac{a^2 + b^2}{12}$$

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

M_i : i. katın kütlesi

a : Yapının X eksenine doğrultusundaki toplam boyu

b : Yapının Y eksenine doğrultusundaki toplam boyu

Tablo 4.2 Katlara ait toplam kat ağırlıkları, kütleleri ve kütle atalet momentleri

Kat No	Toplam Kat Ağırlıkları (W_i) (kN)	Kat Kütleleri (M_i) (kN*s ² /m)	Kat Kütle Atalet Momentleri (I_i) (kN*m*s ²)
3. Kat	1513.2	154.25	5041.40
2. Kat	1763.1	179.72	5873.85
1. Kat	1763.1	179.72	5873.85
Zemin Kat	1787.8	182.24	5956.21

Yapı Sap 2000 Nonlinear analiz programında modellenerek modal analizi yapılmıştır. Modal analiz sonucu her iki global eksen için bulunan doğal titreşim periyotları T_x , T_y Tablo 4.3’de ve kat ötelenmeleri ϕ_{xi} , ϕ_{yi} Tablo 4.4’de verilmiştir.

Tablo 4.3 Yapının doğal titreşim periyotları

	T_x (s)	T_y (s)
Doğal Titreşim Periyodu	0.5561	0.6540

Tablo 4.4 Kat ötelenmeleri

Kat No	ϕ_{xi}	ϕ_{yi}
3. Kat	0.1484	0.1846
2. Kat	0.1307	0.1539
1. Kat	0.0955	0.1068
Zemin Kat	0.0572	0.0476

4.7 Sap 2000 Nonlinear Analiz Programı Kullanılarak Yapının Deprem Güvenliğinin Tahkiki

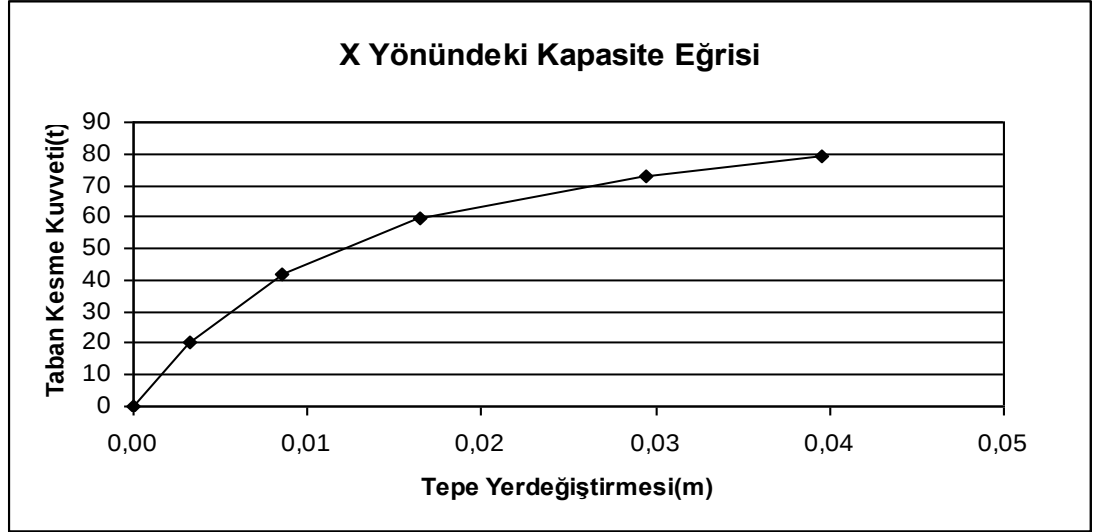
Bu bölümde, yapının deprem güvenliğinin tahkiki ve statik itme analizi Sap 2000 Nonlinear programı kullanılarak yapılmıştır. Eparc programı için modellenen yapı yine aynı programın içinde olan SAPSAP dosyası ile Sap 2000 programına aktarılmış ve gerekli düzeltmeler yapılmıştır.

Bölüm 4.5 anlatılan adımlar sırasıyla uygulanarak yapının her iki yönü için statik itme analizi yapılmıştır. Yapılan analiz sonucunda herbir iterasyon için elde edilen taban kesme kuvvetleri ve yer değiştirmeler kullanılarak yapının “X” ve “Y” yönlerine ait kapasite eğrileri çizilmiştir. Daha sonraki aşamada, elde edilen kapasite eğrileri ve modal analiz sonuçlarından yararlanılarak yapının performans noktaları belirlenmiştir.

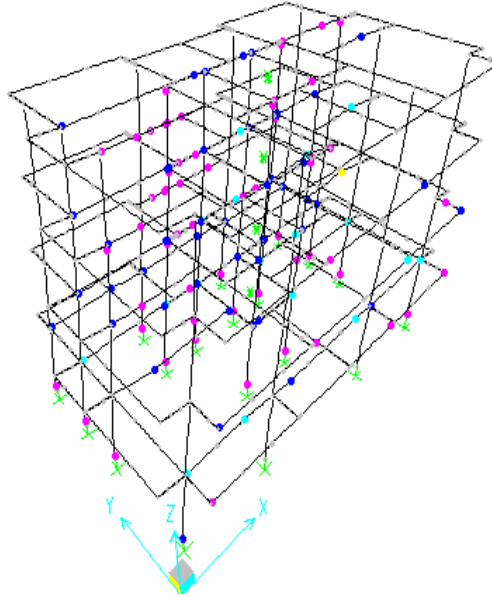
4.7.1 Yapının “X” yönü için analiz sonuçları

Yapılan statik itme analizi sonucunda yapının göçme durumundaki taban kesme kuvveti (V_t) ve tepe yer değiştirmesi (Δ_N) bulunmuştur. Taban kesme kuvveti ile tepe yer değiştirmesi arasındaki ilişki Şekil 4.6’de gösterilmiştir. Yapının “X” yönünde dayanabildiği taban kesme kuvveti yani “X” yönündeki göçme yükü $V_{göçme} = 790.359$ kN, bu göçme yükü sonucu oluşan tepe yer değiştirmesi $\Delta_N = 0.0395$ m dir.

Yapının yük parametresi $P_{göçme} = 0.4631$ dir. Statik itme analizi sonucunda yapıda 56 tanesi hemen kullanım performans seviyesinde (B-IO), 52 tanesi kontrol edilebilir hasar aralığında (IO-LS), 20 tanesi sınırlı güvenlik aralığında (LS-CP) plastik mafsallar oluşarak yapı göçme durumuna ulaşmıştır. Plastik mafsalların yerleri Şekil 4.7’de gösterilmiştir.



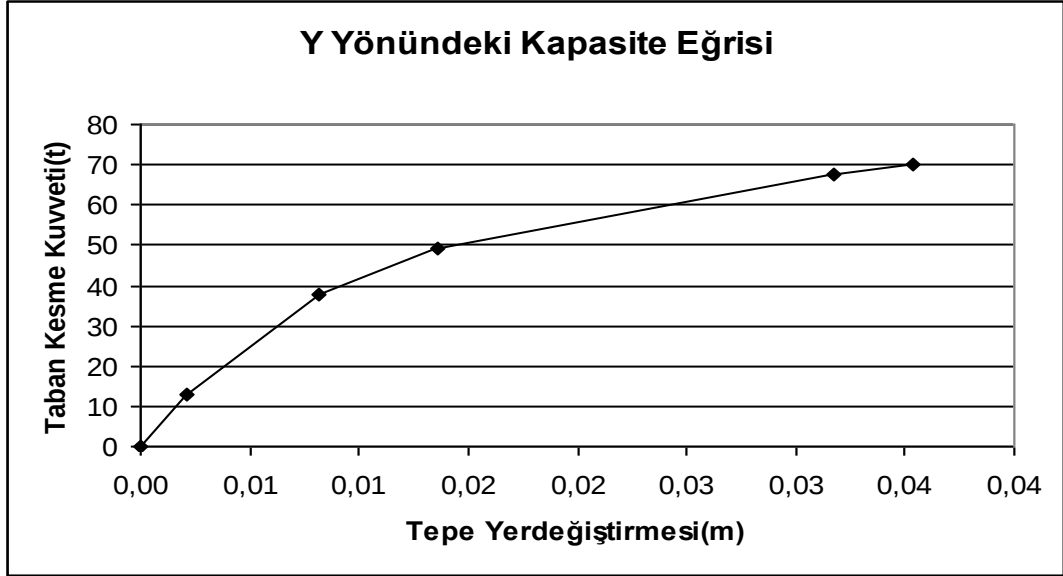
Şekil 4.6 Yapının X yönü için kapasite eğrisi



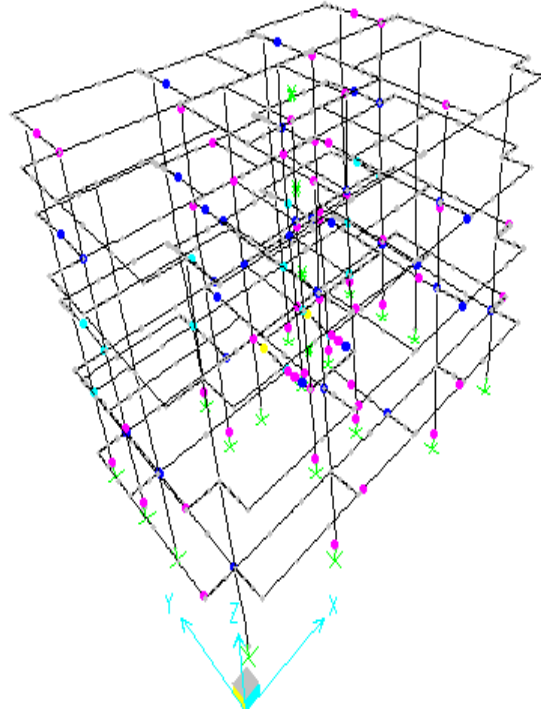
Şekil 4.7 Yapının X yönü için göçme durumunda oluşan plastik mafsalların yerleri

4.7.2 Yapının “Y” yönü için analiz sonuçları

Yapılan statik itme analizi sonucunda yapının göçme durumundaki taban kesme kuvveti (V_b) ve tepe yerdeğiştirmesi (Δ_N) bulunmuştur. Taban kesme kuvveti ile tepe yer değiştirmesi arasındaki ilişki şekil 4.8’de gösterilmiştir. Yapının “Y” yönündeki göçme yükü $V_{göçme} = 699.706 \text{ kN}$, bu göçme yükü sonucu oluşan tepe yer değiştirmesi $\Delta_N = 0.0354 \text{ m}$ dir. Yapının yük parametresi $P_{göçme} = 0.4100$ dir. Statik itme analizi sonucunda yapıda 56 tanesi hemen kullanım performans seviyesinde (B-IO), 41 tanesi kontrol edilebilir hasar aralığında (IO-LS), 14 tanesi sınırlı güvenlik aralığında (LS-CP) plastik mafsallar oluşarak yapı göçme durumuna ulaşmıştır. Plastik mafsalların yerleri şekil 4.9’da gösterilmiştir.



şekil 4.8 Yapının Y yönü için kapasite eğrisi



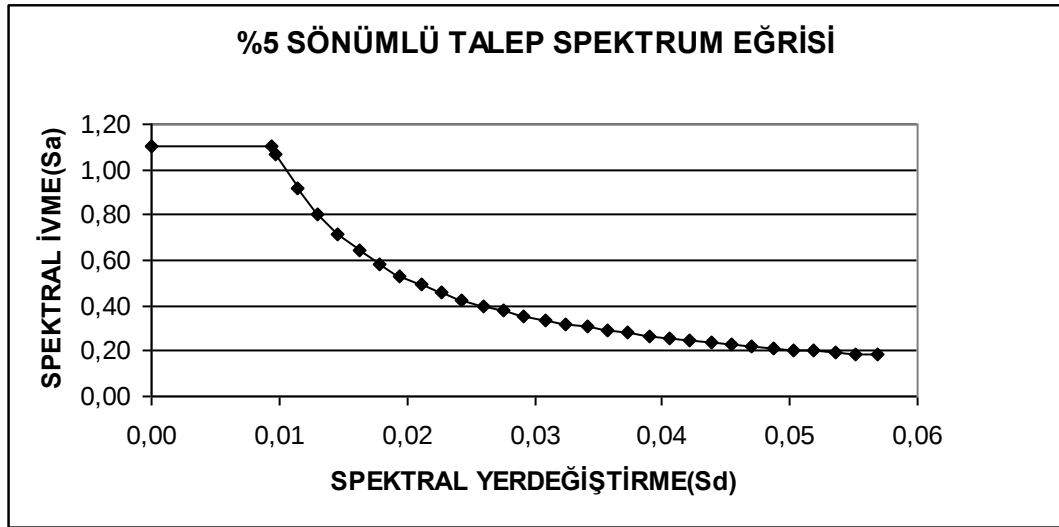
Şekil 4.9 Yapının Y yönü için göçme durumunda oluşan plastik mafsalların yerleri

4.7.3 Yapıya ait performans noktalarının bulunması

Bu bölümde, kapasite eğrileri elde edilen yapıya ait performans noktaları, Bölüm 3’te anlatılan Yöntem A adım adım uygulanarak bulunmuştur.

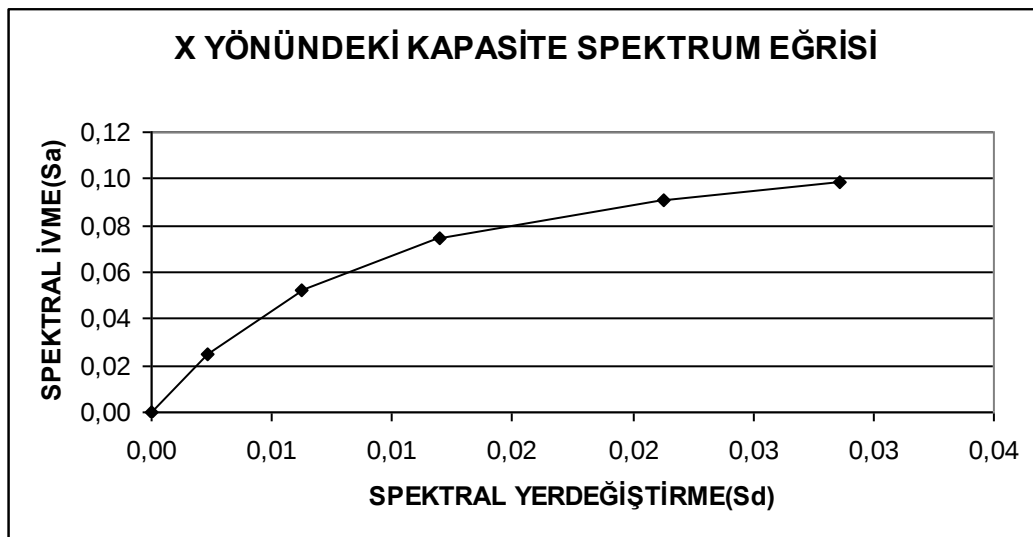
4.7.3.1 Yapının “X” yönüne ait performans noktasının bulunması

I. Adım : Yapıya ait %5 sönümlü talep spektrum eğrisi çizilir. % 5 sönümlü talep spektrum eğrisinin çizimi için yapıya ait deprem bölge katsayısı, zemin sınıfı, deprem kaynağına olan mesafesi, hangi deprem seviyesine göre tasarlanacağı gibi verilerin elde edilmesi gerekir. Veriler elde edildikten sonra Tablo 3.3’den mevcut yapıya ait deprem bölge katsayısı $Z = 0.4$, Tablo 3.4’den kaynağa mesafe katsayıları $N_A = 1.0$, $N_V = 1.0$ okunmuştur. Yapının zemin sınıfı sert zemin ve yapı tasarım depremine göre inşa edilmiştir. Tablolardan okunan değerler kullanılarak ZEN çarpanı 0.40 bulunmuştur. ZEN çarpanından ve zemin sınıfından yararlanılarak Tablo 3.6’dan C_A değeri 0.44, Tablo 3.7’den C_V değeri 0.64 okunmuştur. Formül 3.7 ve Formül 3.8’de C_A , C_V yerlerine konularak $T_A = 0.1164$ s ve $T_S = 0.5818$ s değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerlere göre %5 sönümlü talep spektrum eğrisi çizilmiş ve Şekil 4.10’da gösterilmiştir.

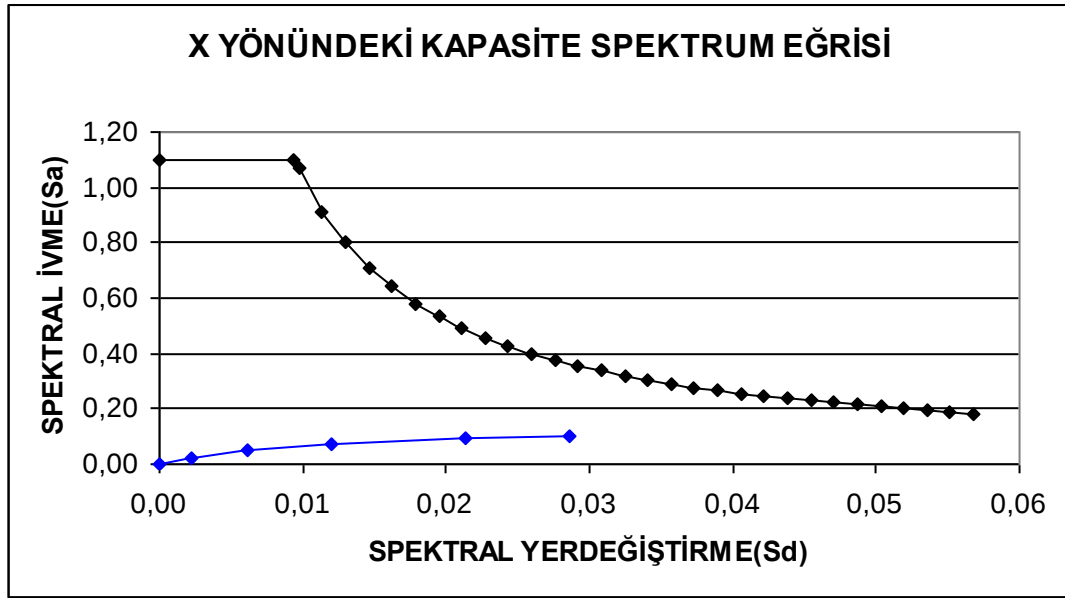


Şekil 4.10 %5 sönümlü talep spektrum eğrisi

II. Adım : Kapasite eğrisi kapasite spektrum eğrisine dönüştürülür. Kapasite spektrum eğrisi ve %5 sönümlü talep spektrum eğrisi aynı grafik üzerinde çizilerek birleştirilir. Bölüm 3.2.3.1.'de detaylı anlatıldığı gibi Formül 3.1'den $\Gamma_1=8.4997$ ve Formül 3.3'den $\alpha_1 = 0.9034$ hesaplanmıştır. Daha önce bulunan statik itme analizinin her adımına karşılık gelen taban kesme kuvveti ve tepe katı yerdeğiştirmesi Formül 3.5 ve Formül 3.6'dan yararlanılarak spektral ivme ve spektral yerdeğiştirmeye dönüştürülmüştür. Bu şekilde kapasite eğrisi kapasite spektrum eğrisine dönüştürülmüş ve Şekil 4.11'den gösterilmiştir. Daha önce elde edilen %5 sönümlü talep spektrum eğrisi ile kapasite spektrum eğrisi aynı grafik üzerinde çizilmiş ve Şekil 4.12'de gösterilmiştir.

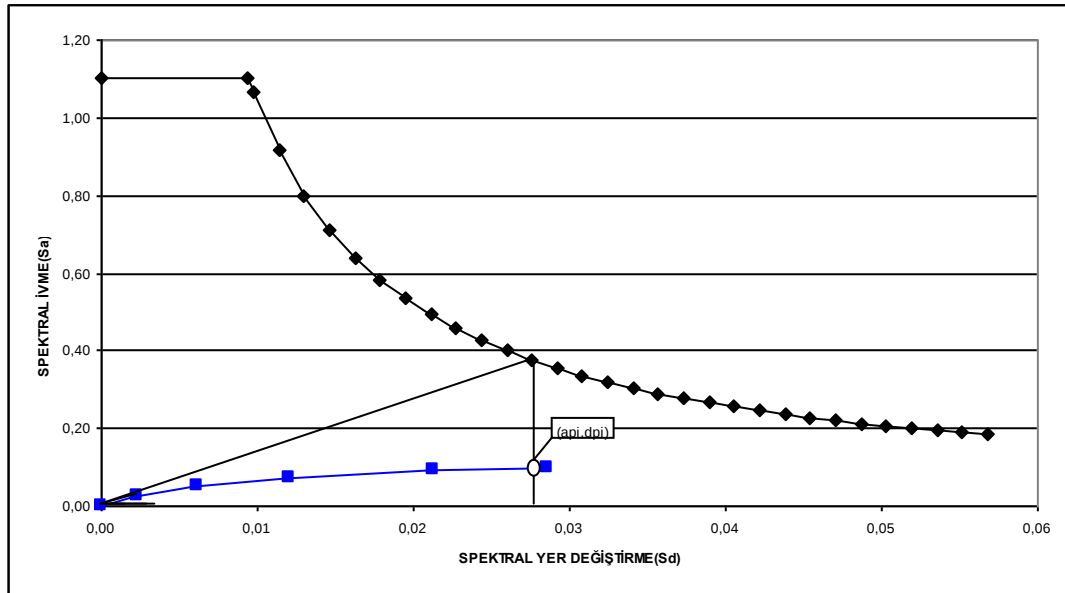


Şekil 4.11 Yapının X yönü için kapasite spektrum eğrisi



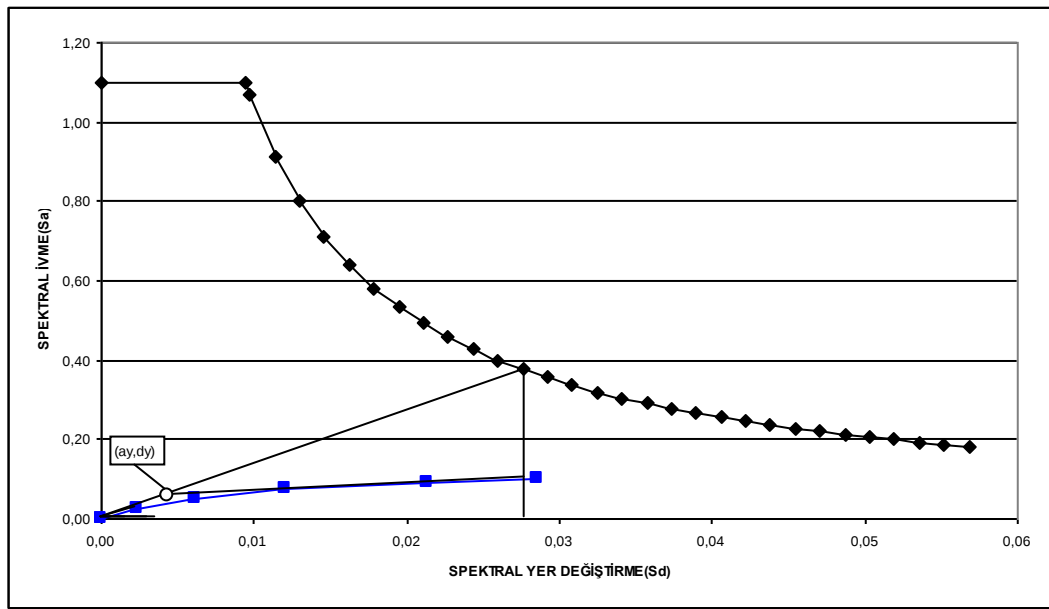
Şekil 4.12 %5 sönümlü talep spektrum eğrisi ve yapının X yönü için kapasite spektrum eğrisi

III. Adım : Tahmini bir başlangıç S_{api} , S_{dpi} performans noktası belirlendikten sonra kapasite spektrum eğrisinin lineer olan kısmı uzatılarak talep eğrisi ile kesiştirilmiştir. Bu kesişim noktasından kapasite spektrum eğrisi üzerine dik bir doğru çizilerek $S_{ap1} = 0.0986$, $S_{dp1} = 0.0276$ tahmini performans noktası bulunmuş ve Şekil 4.13’de gösterilmiştir.



Şekil 4.13 Tahmini performans noktası

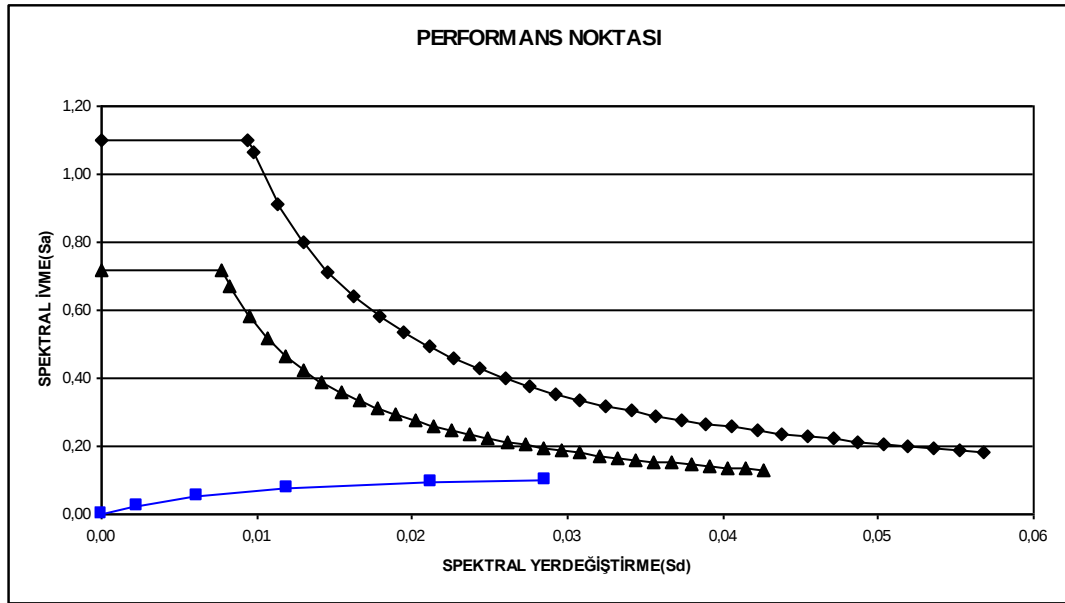
IV. Adım : Kapasite spektrum eğrisinin geliştirilmesindeki işlemler kullanılarak kapasite spektrum eğrisi, kırıklı kapasite spektrum eğrisine dönüştürülmüştür. Tahmini olarak bulunan performans noktasından başlayarak kapasite spektrum eğrisini kesip lineer olarak uzatılan doğruda bitecek şekilde bir doğru çizilmiştir. Bu doğrunun kapasite spektrum eğrisini kestiği noktanın sağında ve solunda bulunan, bu doğru ile kapasite spektrum eğri parçası arasında kalan alanlar tahmini olarak eşit hale getirilmiştir. Bu şekilde doğrular haline getirilmiş kapasite spektrumu elde edilmiş ve Şekil 4.14’den gösterilmiştir. Bu şekilde $S_{ay} = 0.0600$ ve $S_{dy} = 0.0040$ değerleri okunmuştur.



Şekil 4.14 Yapının X yönü için doğrular haline getirilmiş kapasite spektrum eğrisi

V. Adım : İndirgenmiş talep spektrumu elde edilir ve kapasite spektrum eğrisi ile aynı grafikte çizilir. Tablo 3.8’den yapı davranış türü olarak Tip C belirlenip Tablo 3.9’dan sönüm değıştirme oranı $\kappa = 0.33$ okunmuştur. Formül 3.11 kullanılarak toplam sönüm oranı $\beta_{ef} = 0.1479$ hesaplanmıştır. Formül 3.12’de ve Formül 3.13’te bulunan toplam sönüm oranı yerine konularak spektral azaltma katsayıları $S_{RA} = 0.6500$ ve $S_{RV} = 0.7306$ hesaplanmıştır. Elde edilen spektral azaltma katsayıları kullanılarak %5 sönümlü talep spektrum eğrisi %15 sönümlü talep spektrum eğrisine indirgenmiş ve Şekil 4.15’de gösterilmiştir.

VI. Adım : Kapasite spektrum eğrisi ile indirgenmiş talep spektrum eğrisi kesişmemiştir. Kapasite spektrum eğrisi indirgenmiş talep spektrum eğrisine ulaşmamıştır. Yapı yetersiz olduğu için gerçek performans noktası bulunamamıştır.

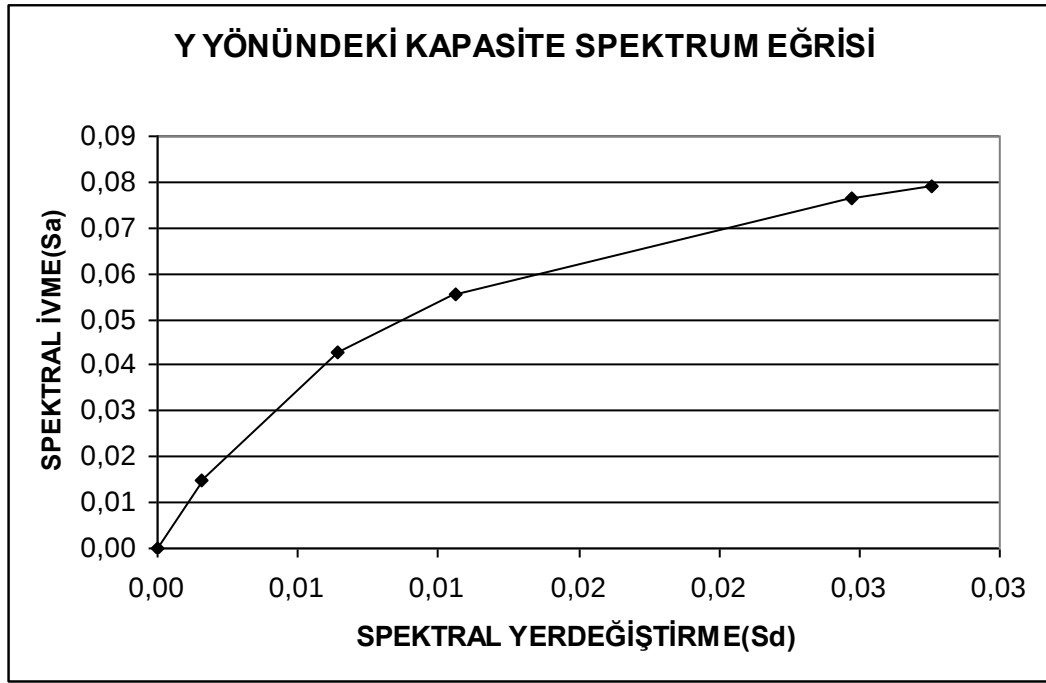


Şekil 4.15 İndirgenmiş talep spektrumu ve yapının X yönü için kapasite spektrum eğrisi

4.7.3.2 Yapının “Y” yönüne ait performans noktasının bulunması

I. Adım : Yapıya ait %5 sönümlü talep spektrum eğrisi çizilir. % 5 sönümlü talep spektrum eğrisinin çizimine deprem kuvvetinin yapıya etkime yönü önemli olmadığı için “X” yönüne ait %5 sönümlü talep spektrumu “Y” yönü içinde kullanılmış ve Şekil 4.10’da gösterilmiştir.

II. Adım : Kapasite eğrisi Kapasite spektrum eğrisine dönüştürülür. Kapasite spektrum eğrisi ve %5 sönümlü talep spektrum eğrisi aynı grafik üzerinde çizilerek birleştirilir. Bölüm 3.2.3.1.’de detaylı anlatıldığı gibi Formül 3.1’den $\Gamma_1=7.0127$ ve Formül 3.3’den $\alpha_1 = 0.8462$ hesaplanmıştır. Daha önce bulunan statik itme analizinin her adımına karşılık gelen taban kesme kuvveti ve tepe katı yerdeğiştirmesi Formül 3.5 ve Formül 3.6’dan yararlanılarak spektral ivme ve spektral yerdeğiştirmeye dönüştürülmüştür. Bu şekilde kapasite eğrisi kapasite spektrum eğrisine dönüştürülmüş ve Şekil 4.16’da gösterilmiştir. Daha önce elde edilen %5 sönümlü talep spektrum eğrisi ile kapasite spektrum eğrisi aynı grafik üzerinde çizilmiş ve Şekil 4.17’de gösterilmiştir.



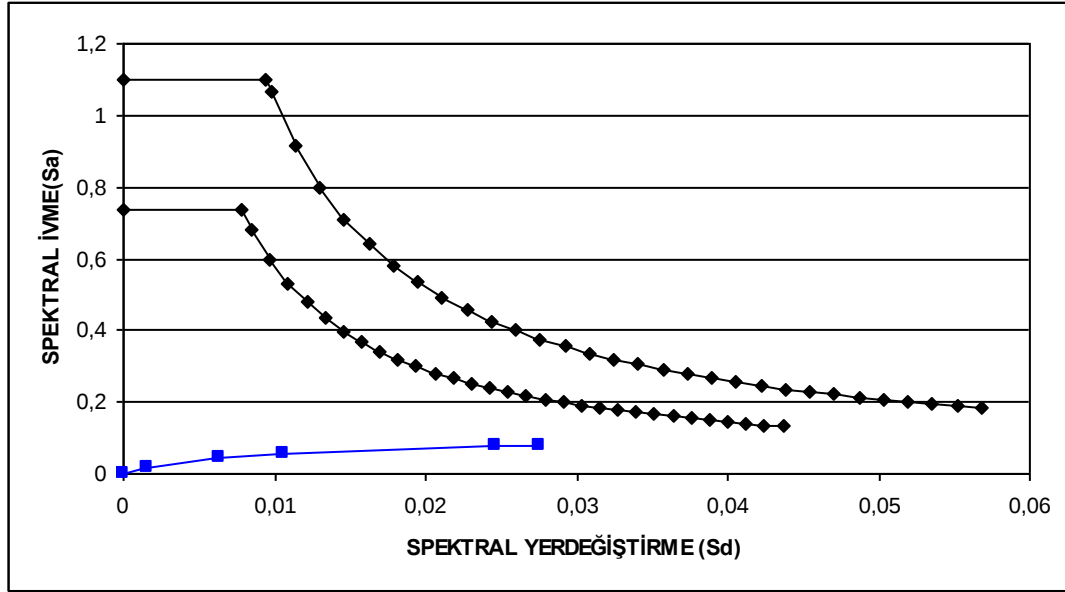
Şekil 4.16 Yapının Y yönü için kapasite spektrum eğrisi

III. Adım : Tahmini bir başlangıç S_{api} , S_{dpi} performans noktası belirlendikten sonra kapasite spektrum eğrisinin lineer olan kısmı uzatılarak talep eğrisi ile kesiştirilmiştir. Bu kesişim noktasından kapasite spektrum eğrisi üzerine dik bir doğru çizilerek $S_{ap1} = 0.0791$, $S_{dp1} = 0.0276$ tahmini performans noktası bulunmuş ve Şekil 4.17’de gösterilmiştir.

IV. Adım : Kapasite spektrum eğrisinin geliştirilmesindeki işlemler kullanılarak kapasite spektrum eğrisi, kırıklı kapasite spektrum eğrisine dönüştürülmüştür. Tahmini olarak bulunan performans noktasından başlayarak kapasite spektrum eğrisini kesip lineer olarak uzatılan doğruda bitecek şekilde bir doğru çizilmiştir. Bu doğrunun kapasite spektrum eğrisini kestiği noktanın sağında ve solunda bulunan, bu doğru ile kapasite spektrum eğri parçası arasında kalan alanlar tahmini olarak eşit hale getirilmiştir. Bu şekilde doğrular haline getirilmiş kapasite spektrumu elde edilmiştir.. Bu şekilde $S_{ay} = 0.0400$ ve $S_{dy} = 0.0024$ değerleri okunmuştur.

V. Adım : İndirgenmiş talep spektrumu elde edilir ve kapasite spektrum eğrisi ile aynı grafikte çizilir. Tablo 3.8’den yapı davranış türü olarak Tip C belirlenip Tablo 3.9’dan sönüm değiştirme oranı $\kappa = 0.33$ okunmuştur. Formül 3.11 kullanılarak toplam sönüm oranı $\beta_{ef} = 0.1384$ hesaplanmıştır. Formül 3.12’de ve Formül 3.13’te bulunan toplam sönüm oranı yerine konularak spektral azaltma katsayıları $S_{RA} =$

0.6713 ve $S_{RV} = 0.7471$ hesaplanmıştır. Elde edilen spektral azaltma katsayıları kullanılarak %5 sönümlü talep spektrum eğrisi %14 sönümlü talep spektrum eğrisine indirgenmiş ve Şekil 4.17’de gösterilmiştir.



Şekil 4.17 Yapının Y yönü için performans noktası

4.7.4 Yapının Sap 2000 analiz sonuçlarının değerlendirilmesi

Her iki yön için de yapının deprem güvenliği olması istenilen değerlerin altındadır. Beklenen depremden dolayı oluşacak taban kesme kuvvetini karşılayamadan göçme durumuna gelmiştir. Yapının deprem kuvvetine karşı dayanımını artırmak için yapı “X” ve “Y” yönlerinde güçlendirilmelidir

4.8 Yapının Güçlendirilmesi

Yapılan analizler ve deprem güvenliğinin tahkiki sonucu yapının her iki yönde de depreme karşı dayanımının az olduğu belirlenmiş ve deprem güvenliğinin artırılması için güçlendirilmesine karar verilmiştir. Yapıyı güçlendirmek için altı adet betonarme perde ilave edilmiştir. Bunlardan üç tanesi “X” yönünde, üç tanesi “Y” yönünde konulmuştur. Betonarme perdeler iki tip olarak tasarlanmıştır. Birinci tip betonarme perdeler yapıda var olan iki kolon arasına yerleştirilmiştir. Her iki kolonun dört yanı mantolanarak başlık bölgesi olarak tasarlanmış ve perde ile birlikte çalışması sağlanmıştır. İkinci tip betonarme perde tasarlanırken yapının taşıyıcı sisteminin konumundan dolayı bir ucundaki başlık bölgesi yapıda var olan bir kolonun dört yanı mantolanarak yapılmış, diğer ucundaki başlık bölgesi daha

sonradan tasarlanıp yapılmış ve perde ile birlikte çalışması sağlanmıştır.Üçüncü tip perde de her iki ucundaki başlık bölgesi sonradan tasarlanarak yapılmış ve perde ile birlikte çalışması sağlanmıştır.

Yapıda yapılan güçlendirmeden dolayı daha önceden modellenen sistem üzerinde gereken değişiklikler yapılmıştır. Betonarme perdeler belirlenen yerlere konulmuş, mesnet şartları ve plastik mafsallık şartları tanımlanmıştır. Yapının yapı rijitliği ve kat kütlelerinin artmasından dolayı doğrusal ve modal analizler yeniden yapılmıştır. Bu işlemler tamamlandıktan sonra Bölüm 4.5'te anlatılan adımlar sırasıyla uygulanarak yapının her iki yönü için statik itme analizi yapılmıştır. Yapılan analiz sonucunda her bir adım için elde edilen taban kesme kuvvetleri ve yer değiştirmeler kullanılarak yapının “X” ve “Y” yönlerine ait kapasite eğrileri çizilmiştir. Daha sonraki aşamada, elde edilen kapasite eğrileri ve modal analiz sonuçlarından yararlanılarak yapının performans noktaları belirlenmiştir.

4.8.1 Güçlendirilen yapıya ait 1998 afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkındaki yönetmeliğe göre eşdeğer yatay deprem yükü hesabı

$$V_t = \frac{W \cdot A(T_1)}{R_a(T_1)} \geq 0.10 \cdot A_0 \cdot I \cdot W$$

Güçlendirilen yapının kat ağırlıkları ve toplam bina ağırlığı hesaplanarak Tablo 4.5’de gösterilmiştir.

Tablo 4.5 Güçlendirilen yapının kat ağırlıkları

Kat No	i. Kat Ağırlığı (kN)	w_i
3. Kat	1774.1	
2. Kat	2024.1	
1. Kat	2024.1	
Zemin Kat	2068.1	

Bölüm 4.3.2’de izlenilen adımlar ve yapılan hesaplamalar güçlendirilmiş yapı için de yapılmıştır. Taban kesme kuvveti $V_b = 1972.6$ kN bulunmuştur. Katlara gelen deprem yükleri hesaplanmış ve Tablo 4.6’da gösterilmiştir.

Tablo 4.6 i. Kata gelen deprem yükü

Kat No	Kata Gelen Deprem Yüğü (F_i) (kN)
3. Kat	717.9
2. Kat	617.8
1. Kat	416.7
Zemin Kat	220.2

4.8.2 Modal analiz sonuçları

Güçlendirilen yapının kat ağırlıkları Bölüm 4.8.1’de hesaplanmış ve Tablo 4.5’de gösterilmiştir. Kat ağırlıkları ile birlikte kat kütleleri ve kat kütle atalet momentleride artmıştır. Hesaplanan kat kütleleri ve kütle atalet momentleri Tablo 4.7’de gösterilmiştir.

Tablo 4.7 Güçlendirilen yapının kat kütleleri ve kütle atalet momentleri

Kat No	Kat kütleleri (M_i) (kN*s ² /m)	Kat Kütle Atalet Momentleri (I_i) (kN*m*s ²)
3. Kat	180.85	5910.72
2. Kat	206.33	6743.48
1. Kat	206.33	6743.48
Zemin Kat	210.82	6890.23

Güçlendirilen yapı Sap 2000 Nonlinear analiz programında modellenerek modal analizi yapılmıştır. Modal analiz sonucu her iki global eksen için bulunan doğal titreşim periyotları T_x , T_y Tablo 4.8’de ve kat ötelenmeleri ϕ_{xi} , ϕ_{yi} Tablo 4.9’da verilmiştir.

Tablo 4.8 Güçlendirilen yapının doğal titreşim periyotları

	T_x (s)	T_y (s)
Doğal Titreşim Periyodu	0.1787	0.2833

Tablo 4.9 Güçlendirilen yapının kat ötelenmeleri

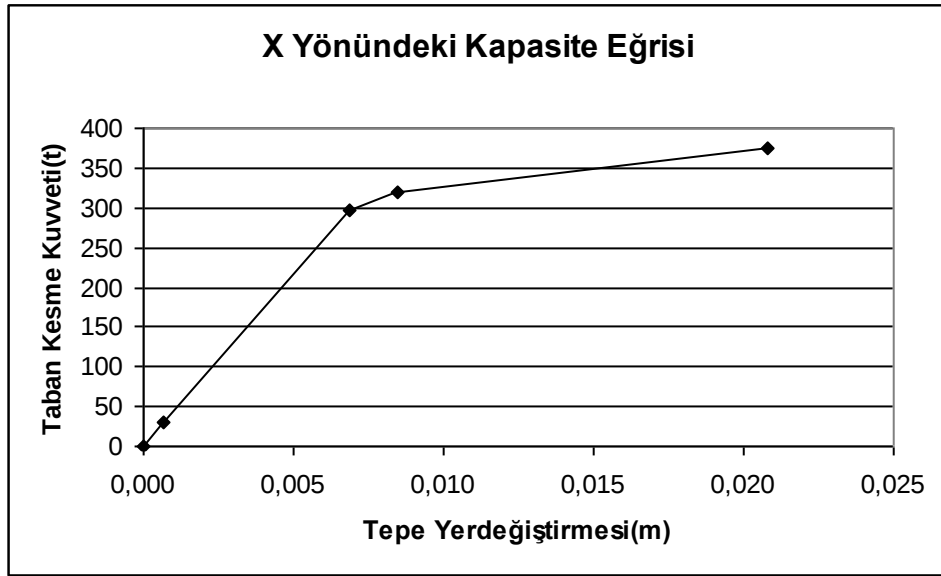
Kat No	ϕ_{xi}	ϕ_{yi}
3. Kat	0.1957	0.1979
2. Kat	0.1383	0.1381
1. Kat	0.0788	0.0775
Zemin Kat	0.0283	0.0264

4.8.3 Güçlendirilmiş yapının deprem güvenliğinin tahkiki

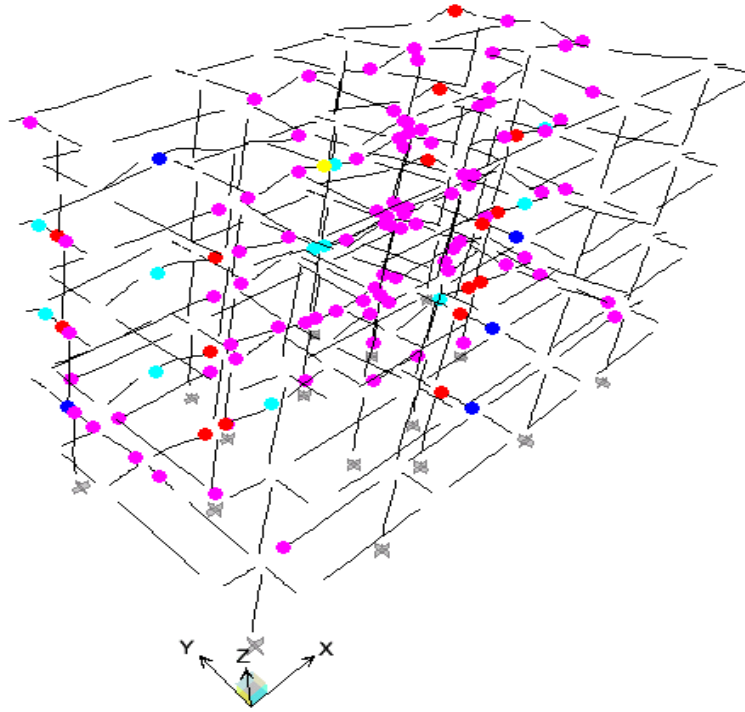
Yapılan güçlendirme çalışmasının yeterli olup olmadığını, güçlendirilmiş yapının deprem güvenliğini belirlemek için statik itme analizi yapılmıştır. Statik itme analizi Bölüm 4.5’te anlatılan adımlar sırasıyla uygulanarak yapının her iki yönü için yapılmıştır. Yapılan analiz sonucunda herbir adım için elde edilen taban kesme kuvvetleri ve yer değiştirmeler kullanılarak yapının “X” ve “Y” yönlerine ait kapasite eğrileri çizilmiştir. Daha sonraki aşamada, elde edilen kapasite eğrileri ve modal analiz sonuçlarından yararlanılarak yapının performans noktaları belirlenmiştir.

4.8.3.1 Yapının “X” yönü için analiz sonuçları

Yapılan statik itme analizi sonucunda yapının göçme durumundaki taban kesme kuvveti (V_t) ve tepe yer değiştirmesi (Δ_N) bulunmuştur. Taban kesme kuvveti ile tepe yer değiştirmesi arasındaki ilişki Şekil 23’te gösterilmiştir. Yapının “X” yönünde taşıyabildiği taban kesme kuvveti yani “X” yönündeki göçme yükü $V_{göçme} = 3427.3$ kN, bu göçme yükü sonucu oluşan tepe yerdeğiştirmesi $\Delta_N = 0.0140$ m dir. Yapının yük parametresi $P_{göçme} = 1.737$ dir. Statik itme analizi sonucunda yapıda 91 tanesi hemen kullanım performans seviyesinde (B-IO), 34 tanesi kontrol edilebilir hasar aralığında (IO-LS), 11 tanesi sınırlı güvenlik aralığında (LS-CP) plastik mafsallar oluşarak yapı göçme durumuna ulaşmıştır. Plastik mafsalların yerleri şekil 4.19 ‘da gösterilmiştir.



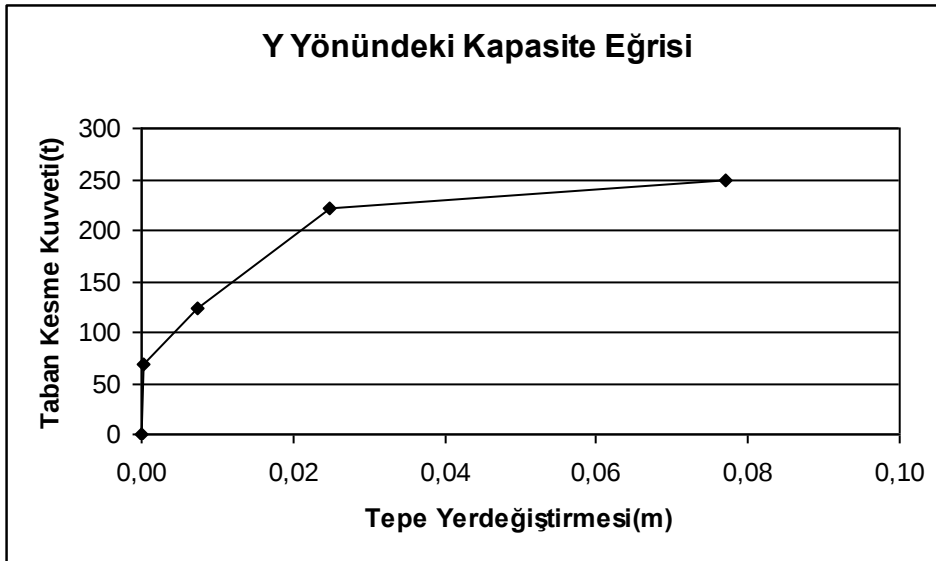
Şekil 4.18 Güçlendirilmiş yapının X yönü için kapasite eğrisi



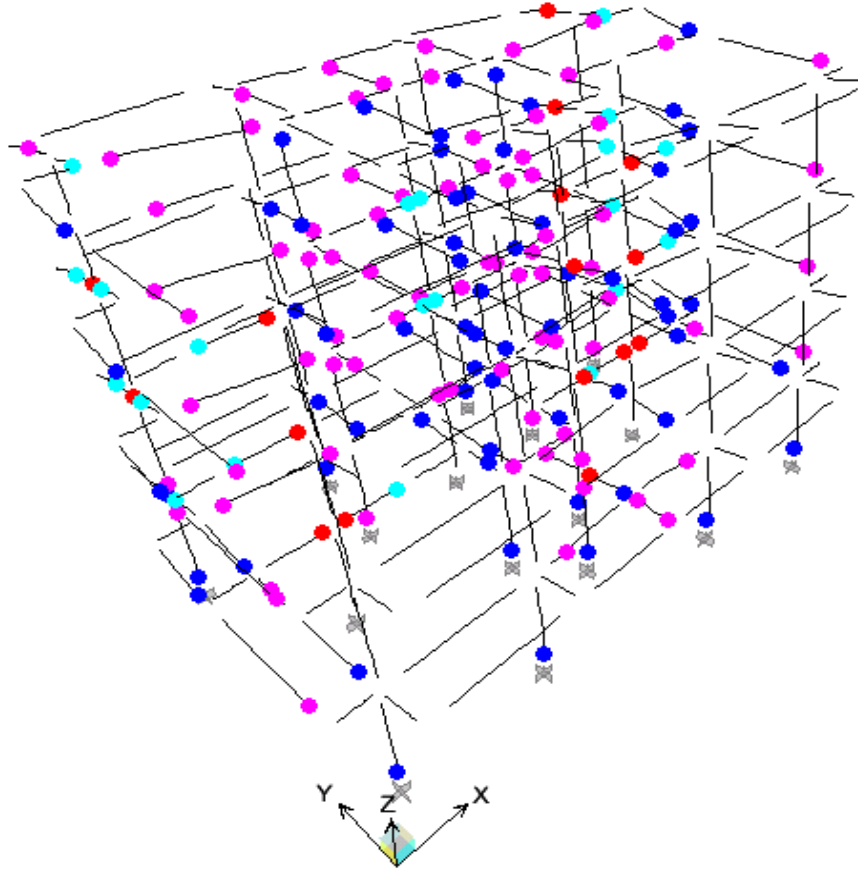
Şekil 4.19 Güçlendirilmiş yapının X yönü için göçme durumunda oluşan plastik mafsalların yerleri

4.8.3.2 Yapının “Y” yönü için analiz sonuçları

Yapılan statik itme analizi sonucunda yapının göçme durumundaki taban kesme kuvveti (V_b) ve tepe yer değiştirmesi (Δ_N) bulunmuştur. Taban kesme kuvveti ile tepe yer değiştirmesi arasındaki ilişki Şekil 20’de gösterilmiştir. Yapının “Y” yönündeki göçme yükü $V_{göçme} = 2214.6$ kN, bu göçme yükü sonucu oluşan tepe yerdeğiştirmesi $\Delta_N = 0.0238$ m dir. Yapının yük parametresi $P_{göçme} = 1.072$ dır. Statik itme analizi sonucunda yapıda 72 tanesi hemen kullanım performans seviyesinde (B-IO), 64 tanesi kontrol edilebilir hasar aralığında (IO-LS), 55 tanesi sınırlı güvenlik aralığında (LS-CP) plastik mafsallar oluşarak yapı göçme durumuna ulaşmıştır. Plastik mafsalların yerleri Şekil 4.21’de gösterilmiştir.



Şekil 4.20 Güçlendirilmiş yapının Y yönü için kapasite eğrisi



Şekil 4.21 Güçlendirilmiş yapının Y yönü için göçme durumunda oluşan plastik mafsalların yerleri

4.8.4 Güçlendirilmiş yapıya ait performans noktalarının bulunması

Bu bölümde, kapasite eğrileri elde edilen güçlendirilmiş yapıya ait performans noktaları, Bölüm 3.2.4.2’de anlatılan Yöntem A adım adım uygulanarak bulunmuştur.

4.8.4.1 Güçlendirilmiş yapının “X” yönüne ait performans noktasının bulunması

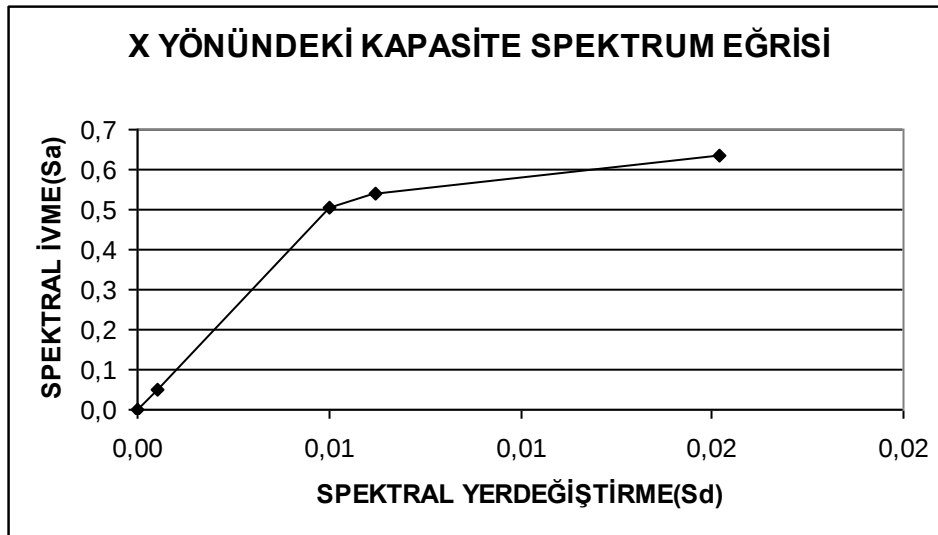
I. Adım : Yapıya ait %5 sönümlü talep spektrum eğrisi çizilir. % 5 sönümlü talep spektrum eğrisinin çiziminde yapının güçlendirilmesinin bir etkisi olmadığı için daha önce çizilen, Şekil 4.10’da gösterilen %5 sönümlü talep spektrumu kullanılmıştır.

II. Adım : Kapasite eğrisi kapasite spektrum eğrisine dönüştürülür. Kapasite spektrum eğrisi ve %5 sönümlü talep spektrum eğrisi aynı grafik üzerinde çizilerek

birleştirilir. Bölüm 3.2.3.1.'de detaylı anlatıldığı gibi Formül 3.1'den $\Gamma_1 = 6.988$ ve Formül 3.4'den $\alpha_1 = 0.7489$ hesaplanmıştır. Daha önce bulunan statik itme analizinin her adımına karşılık gelen taban kesme kuvveti ve tepe katı yer değiştirmesi Formül 3.5 ve Formül 3.6'dan yararlanılarak spektral ivme ve spektral yer değiştirmeye dönüştürülmüştür. Bu şekilde kapasite eğrisi kapasite spektrum eğrisine dönüştürülmüş ve Şekil 4.22'de gösterilmiştir. Daha önce elde edilen %5 sönümlü talep spektrum eğrisi ile kapasite spektrum eğrisi aynı grafik üzerinde çizilmiş ve Şekil 4.23'de gösterilmiştir.

III. Adım : Tahmini bir başlangıç S_{aip} , S_{dpi} performans noktası belirlendikten sonra kapasite spektrum eğrisinin lineer olan kısmı uzatılarak talep eğrisi ile kesiştirilmiştir. Bu kesişim noktasından kapasite spektrum eğrisi üzerine dik bir doğru çizilerek $S_{ap1} = 0.5750$, $S_{dp1} = 0.010$ tahmini performans noktası bulunmuştur ve Şekil 4.23'de gösterilmiştir.

IV. Adım : Kapasite spektrum eğrisinin geliştirilmesindeki işlemler kullanılarak kırıklı kapasite spektumu haline dönüştürülmesi. Tahmini olarak bulunan performans noktasından başlayarak kapasite spektrum eğrisini kesip lineer olarak uzatılan doğruda bitecek şekilde bir doğru çizilmiştir. Bu doğrunun kapasite spektrum eğrisini kestiği noktanın sağında ve solunda bulunan, bu doğru ile kapasite spektrum eğri parçası arasında kalan alanlar tahmini olarak eşit hale getirilmiştir. Bu şekilde doğrular haline getirilmiş kapasite spektumu elde edilmiş ve Şekil 4.23'de gösterilmiştir. Bu şekilde $S_{ay} = 0.520$ ve $S_{dy} = 0.0046$ değerleri okunmuştur.



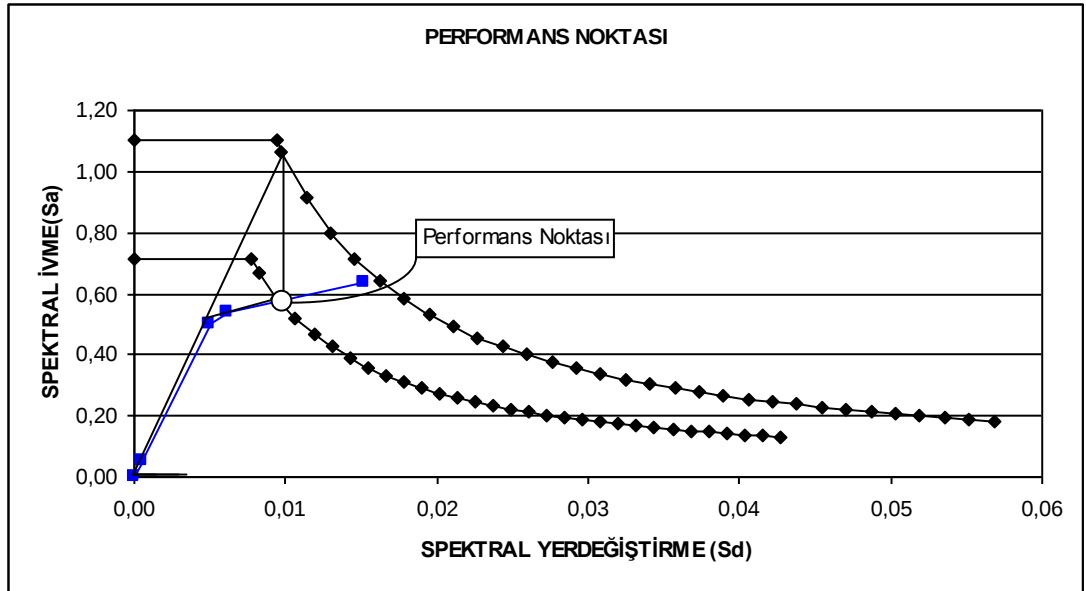
Şekil 4.22 Güçlendirilmiş yapının X yönü için kapasite spektrum eğrisi

V. Adım : İndirgenmiş talep spektrumu elde edilir ve kapasite spektrum eğrisi ile aynı grafikte çizilir. Tablo 3.8’den yapı davranış türü olarak Tip C belirlenip Tablo 3.9’dan sönüm değiştirme oranı $\kappa = 0.33$ okunmuştur. Formül 3.11 kullanılarak toplam sönüm oranı $\beta_{ef} = 0.1485$ hesaplanmıştır. Formül 3.12’de ve Formül 3.13’te bulunan toplam sönüm oranı yerine konularak spektral azaltma katsayıları $S_{RA} = 0.6488$ ve $S_{RV} = 0.7296$ hesaplanmıştır. Elde edilen spektral azaltma katsayıları kullanılarak %5 sönümlü talep spektrum eğrisi %15 sönümlü talep spektrum eğrisine indirgenmiş ve Şekil 4.23’de gösterilmiştir.

VI. Adım : Kapasite spektrum eğrisi ile indirgenmiş talep spektrum eğrisinin kesim noktasındaki değerler $S_{ap} = 0.5800$ ve $S_{dp} = 0.0095$ performans noktasının değerleridir. Performans noktasının kabul edilebilirliği Bölüm 3.2.4.1’de belirtilen kritere göre kontrol edilmiş ve uygun olduğu görülmüştür.

$$0,95 * S_{dpi} < S_{dp} < 1.05 * S_{dpi} \Rightarrow 0.0095 < 0.0100 < 0.0105$$

Bulunan bu nokta yapının “X” yönündeki gerçek performans noktası olarak kabul edilmiştir.

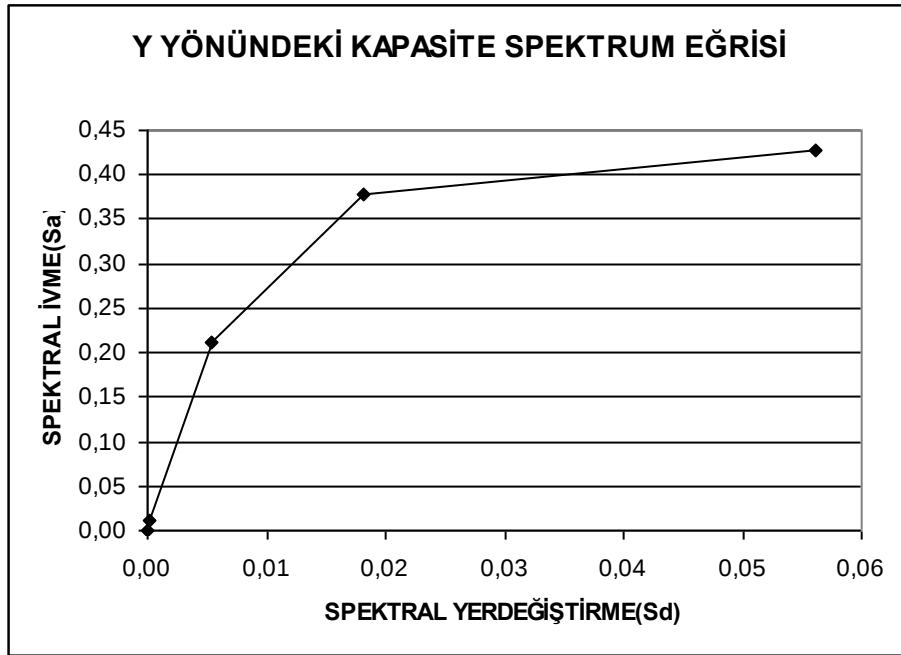


Şekil 4.23 Güçlendirilmiş yapının X yönü için performans noktası

4.8.4.2 Yapının “Y” yönüne ait performans noktasının bulunması

I. Adım : Yapıya ait %5 sönümlü talep spektrum eğrisi çizilir. Şekil 4.10’da gösterilen %5 sönümlü talep spektrumu kullanılmıştır.

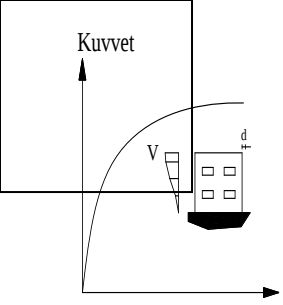
II. Adım : Kapasite eğrisi Kapasite spektrum eğrisine dönüştürülür. Kapasite spektrum eğrisi ve %5 sönümlü talep spektrum eğrisi aynı grafik üzerinde çizilerek birleştirilir. Bölüm 3.2.3.1.'de detaylı anlatıldığı gibi Formül 3.1'den $\Gamma_1 = 6.9203$ ve Formül 3.4'den $\alpha_1 = 0.7386$ hesaplanmıştır. Daha önce bulunan statik itme analizinin her adımına karşılık gelen taban kesme kuvveti ve tepe katı yer değiştirmesi Formül 3.5 ve Formül 3.6'dan yararlanılarak spektral ivme ve spektral yer değiştirmeye dönüştürülmüştür. Bu şekilde kapasite eğrisi kapasite spektrum eğrisine dönüştürülmüş ve Şekil 4.24'de gösterilmiştir. Daha önce elde edilen %5 sönümlü talep spektrum eğrisi ile kapasite spektrum eğrisi aynı grafik üzerinde çizilmiş ve Şekil 4.25'de gösterilmiştir.



Şekil 4.24 Güçlendirilmiş yapının Y yönü için kapasite spektrum eğrisi

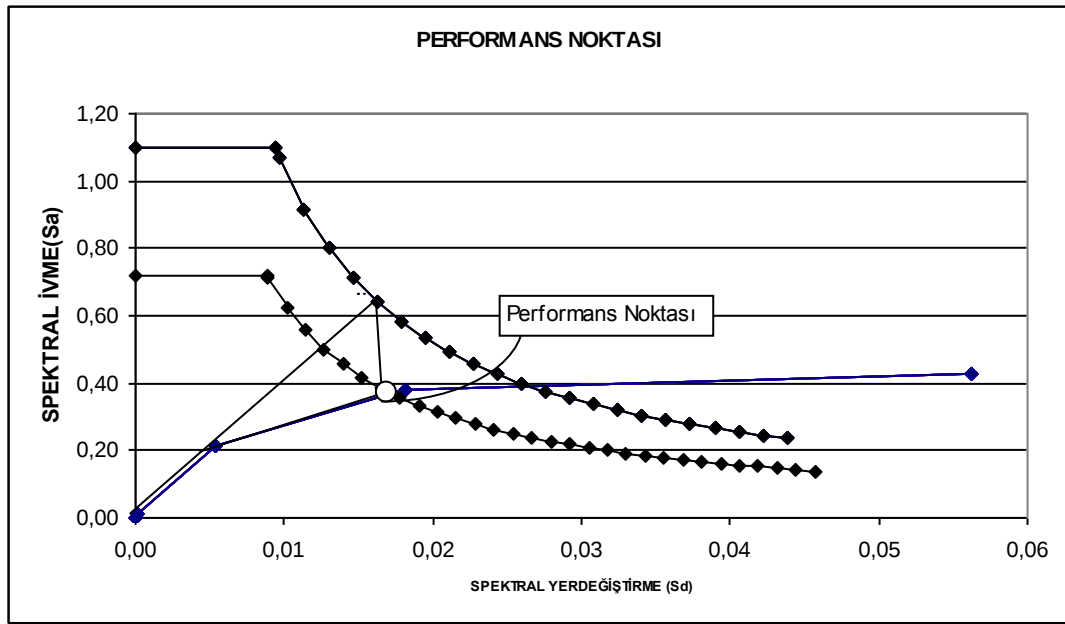
III. Adım : Tahmini bir başlangıç S_{api} , S_{dpi} performans noktası belirlendikten sonra kapasite spektrum eğrisinin lineer olan kısmı uzatılarak talep eğrisi ile kesiştirilmiştir. Bu kesişim noktasından kapasite spektrum eğrisi üzerine dik bir doğru çizilerek $S_{ap1} = 0.3475$, $S_{dp1} = 0.0172$ tahmini performans noktası bulunmuştur ve Şekil 4.25'de gösterilmiştir.

IV. Adım : Kapasite spektrum eğrisinin geliştirilmesindeki işlemler kullanılarak kırıklı kapasite spektumu haline dönüştürülmesi. Tahmini olarak bulunan performans noktasından başlayarak kapasite spektrum eğrisini kesip lineer olarak uzatılan doğruya bitecek şekilde bir doğru çizilmiştir. Bu doğrunun kapasite spektrum eğrisini



kestiği noktanın sağında ve solunda bulunan, bu doğru ile kapasite spektrum eğri parçası arasında kalan alanlar tahmini olarak eşit hale getirilmiştir. Bu şekilde doğrular haline getirilmiş kapasite spektrumu elde edilmiş ve Şekil 4.25’de gösterilmiştir. Bu şekilde $S_{ay} = 0.1982$ ve $S_{dy} = 0.0044$ değerleri okunmuştur.

V. Adım : İndirgenmiş talep spektrumu elde edilir ve kapasite spektrum eğrisi ile aynı grafikte çizilir. Tablo 3.8’den yapı davranış türü olarak Tip C belirlenip Tablo 3.9’dan sönüm değiştirme oranı $\kappa = 0.33$ okunmuştur. Formül 3.11 kullanılarak toplam sönüm oranı $\beta_{ef} = 0.1164$ hesaplanmıştır. Formül 3.12’de ve Formül 3.13’te bulunan toplam sönüm oranı yerine konularak spektral azaltma katsayıları $S_{RA} = 0.7269$ ve $S_{RV} = 0.7901$ hesaplanmıştır. Elde edilen spektral azaltma katsayıları kullanılarak %5 sönümlü talep spektrum eğrisi %12 sönümlü talep spektrum eğrisine indirgenmiş ve Şekil 4.25’de gösterilmiştir.



Şekil 4.25 Güçlendirilmiş yapının Y yönü için performans noktası

VI. Adım : Kapasite spektrum eğrisi ile indirgenmiş talep spektrum eğrisinin kesim noktasındaki değerler $S_{ap} = 0.370$ ve $S_{dp} = 0.0174$ performans noktasının değerleridir. Performans noktasının kabul edilebilirliği Bölüm 3.2.4.1’de belirtilen kriterlere göre kontrol edilmiş ve uygun olduğu görülmüştür.

$$0,95 * S_{dpi} < S_{dp} < 1,05 * S_{dpi} \Rightarrow 0,0163 < 0,0174 < 0,01806$$

Bulunan bu nokta yapının “Y” yönündeki gerçek performans noktası olarak kabul edilmiştir.

5. SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI ve DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu tez çalışmasında açıklanan konular yardımıyla 4.Bölüm içinde analizi yapılan yapı için elde edilen sonuçlar ve sonuçların değerlendirilmesi aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

1-) Toplam 4 kattan oluşan ve taşıyıcı sistemi sadece betonarme çerçevelerden oluşan yapının EPARC programı analiz sonuçları Tablo5.1’de gösterilmiştir.

Tablo 5.1 Mevcut yapının EPARC programı analiz sonuçları

Yön	Δ göçme(m)	Vgöçme(t)	Pgöçme	Oluşan Plastik Mafsal Sayısı		
				Kolonlarda	Kirişlerde	Toplam
X	0.0450	87.64	0.5135	40	110	150
Y	0.0388	79.78	0.4674	57	93	150

2-) Aynı yapının SAP2000 programında analiz edilmesi sonucunda bulunan değerler Tablo 5.2 ‘de özetlenmiştir.

Tablo 5.2 Mevcut yapının SAP2000 program analiz sonuçları

Yön	Δ göçme(m)	Vgöçme(t)	Pgöçme	Oluşan Plastik Mafsal Sayısı			
				(B-IO)	(IO-LS)	(LS-CP)	Toplam
X	0.0395	79.04	0.4631	56	52	20	128
Y	0.0354	69.97	0.4100	56	41	14	111
B-IO : Hemen Kullanım Seviyesi, IO-LS : Hasar Kontrol Aralığı, LS-CP : Sınırlı Güvenlik Aralığı							

3-) Her iki analiz programında alınan sonuçlar karşılaştırıldığında yapının her iki yönde de kapasitesinin çok düşük olduğu görülmektedir. Yapının Y yönündeki kapasitesi X yönüne nazaran daha düşüktür. Yapılan kıyaslama sonucunda EPARC programı sonucunda elde edilen nihai tepe yerdeğiştirme değerleri SAP 2000 programından elde edilen değerlerden X yönü için 5.0 mm, Y yönü için 3.4 mm fazladır. Göçme anında oluşan taban kesme kuvveti EPARC değerleri X yönünde ~%10,Y ~%12 oranında SAP 2000 değerlerinden fazladır.

Tablo 5.3 EPARC ve SAP 2000 analiz programı sonuç değerlerinin kıyaslanması

Analiz Programı	Yön	$\Delta g\ddot{o}\check{c}me(m)$	$Vg\ddot{o}\check{c}me(t)$	$Pg\ddot{o}\check{c}me$
EPARC	X	0.0450	87.64	0.5135
	Y	0.0388	79.04	0.4631
SAP2000	X	0.0395	79.78	0.4674
	Y	0.0354	69.97	0.4100

4-) Yapının SAP 2000 programında analizi sonucunda elde edilen değerler yardımıyla performans noktası hesaplanılmaya çalışılmıştır. Her iki yönde içinde kapasitenin çok düşük olması nedeniyle talep spektrumu indirgenmesine rağmen kapasite spektrumu ile indirgenmiş talep spektrumu bulunamamıştır. Bu durum yapının performans noktası olarak alt sınır değer olan güç performans seviyesinin de altında bir performansa sahip olduğunu göstermektedir.

5-) Bulunan bu değerler sonucunda yapının her iki yönde de güçlendirmeye ihtiyaç duyulduğu sonucuna varılmıştır.

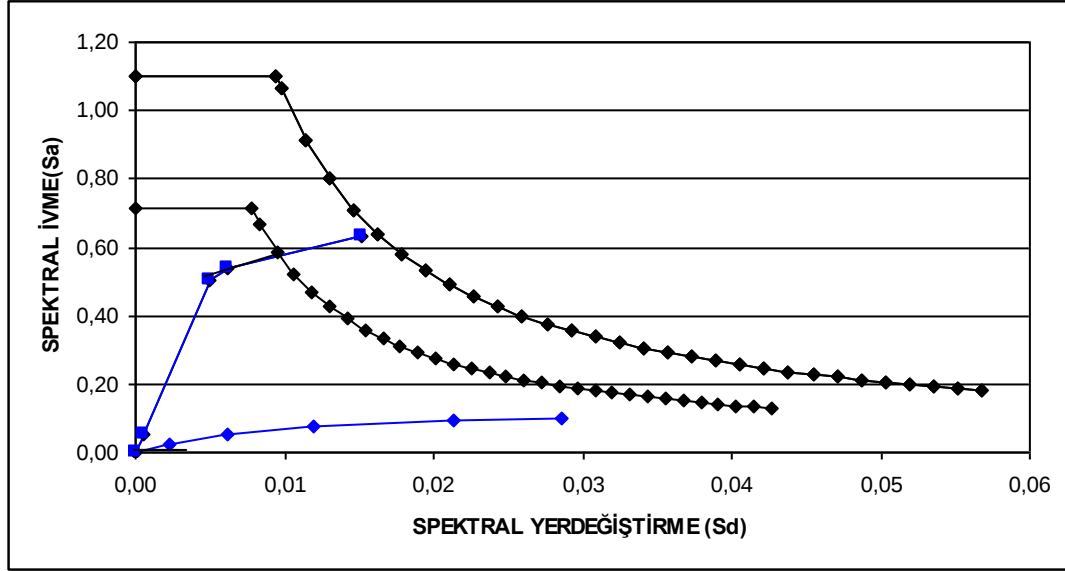
6-) Perde ilavesi ile güçlendirme sonrası sistemin SAP 2000 programı yardımıyla yapılan statik itme analizi sonucunda bulunan değerler Tablo 5.4'te gösterilmiştir.

Tablo 5.4 Güçlendirilmiş yapının SAP 2000 program analiz sonuçları

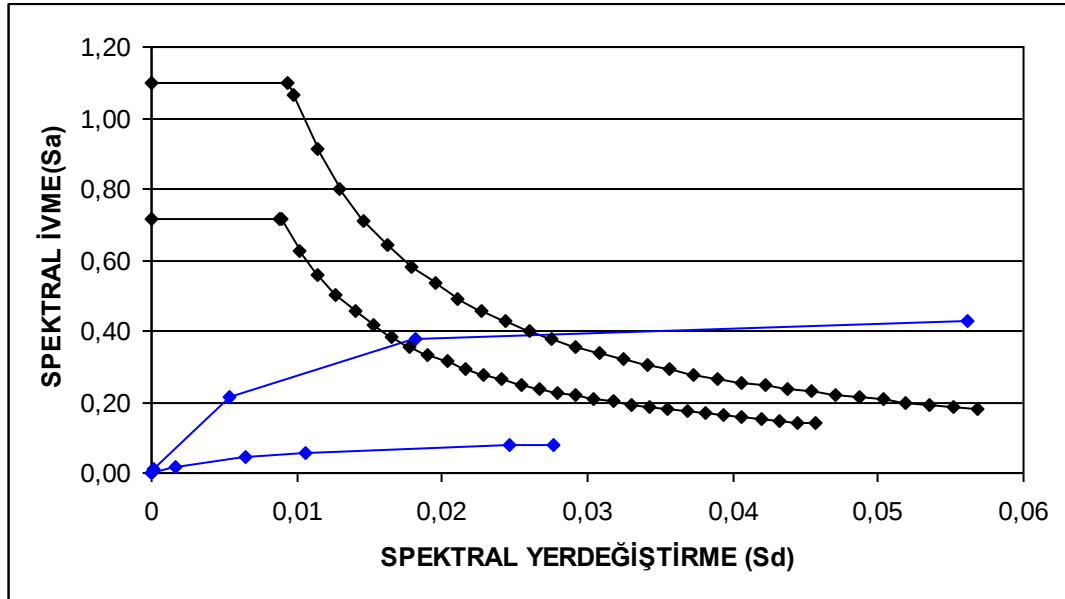
Yön	$\Delta g\ddot{o}\check{c}me(m)$	$Vg\ddot{o}\check{c}me(t)$	$Pg\ddot{o}\check{c}me$	Oluşan Plastik Mafsals Sayısı			
				(B-IO)	(IO-LS)	(LS-CP)	Toplam
X	0.0140	342.73	1.737	91	34	11	136
Y	0.0238	221.46	1.072	72	64	55	191
B-IO : Hemen Kullanım Seviyesi, IO-LS : Hasar Kontrol Aralığı, LS-CP : Sınırlı Güvenlik Aralığı							

7-) Güçlendirme sonucunda SAP2000 analiz programı sonuçları kullanılarak performans noktası hesaplanmıştır. X yönü için etkin sönüm oranı $\beta_{ef} = \%15$ performans noktasının koordinatları $S_{ap} = 0.5800$ ve $S_{dp} = 0.0095$ olarak okunmuştur. Y yönü için etkin sönüm oranı $\beta_{ef} = \%12$ ve performans noktasının koordinatları $S_{ap} = 0.370$ ve $S_{dp} = 0.0174$ olarak bulunmuştur.

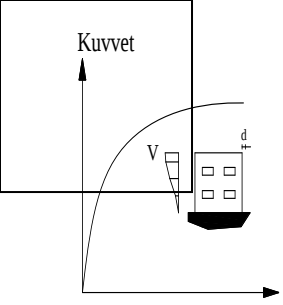
8-) Mevcut yapının kapasitesinin çok düşük olması nedeniyle performan noktası belirlenememiştir. Güçlendirme sonucunda her iki yönde de zayıf olan yapının, eklenen perdeler ve mantolanan kolonlar yardımıyla deprem güvenliği artırılmıştır. Yapıya etkiyen yatay deprem kuvveti eklenen perdeler yardımıyla karşılanmıştır. Güçlendirme sonucu yapının yatay yük parametresinde X yönü için 3.7, Y yönü için 2,6 kat artmıştır



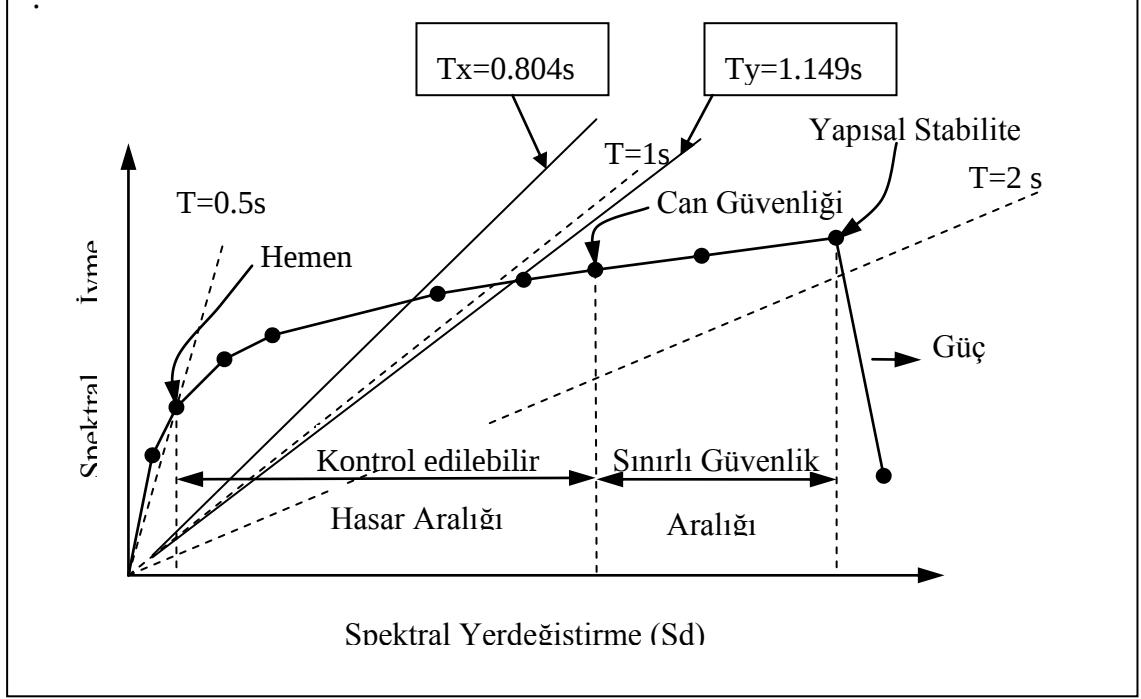
Şekil 5.1 Yapının X yönü için güçlendirme sonucu kapasite değişimi



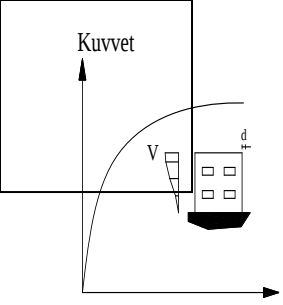
Şekil 5.2 Yapının Y yönü için güçlendirme sonucu kapasite değişimi



9-) Güçlendirilmiş yapının performans seviyesinin isimlendirilmesinde Şekil 5.3'de görülen eğriden faydalanılır. Bulunan performans noktasının koordinatları kullanılarak , $T_x = 0.804s$ ve $T_y = 1.149s$ olarak bulunur. X yönü için yapı can güvenliği performans seviyesindedir. Y yönü için ise kontrol edilebilir hasar aralığındadır.



Şekil 5.3 Taşıyıcı sistemde kapasite spektrum eğrisi



KAYNAKLAR

- [1] **Applied Technology Council, ATC -40**, 1996. Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, California/USA.
- [2] **Federal Emergency Management Agency, FEMA 273/356.**, 1996. Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, California/USA.
- [3] **Celep, Z. ve Kumbasar, N.**, 2004. Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta Dağıtım, İstanbul.
- [4] **Celep, Z.**, 2001, Deprem Etkisinde Binaların Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesinde Performans Kavramı, Meslek içi Eğitim Semineri, IMO Bursa Şubesi, Aralık.
- [5] **TS-498**, 1997. Yapı Elemanların Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [6] **TS-500**, 2000. Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [7] **Celep, Z. ve Kumbasar, N.**, 2001. Betonarme Yapılar, Beta Dağıtım, İstanbul.
- [8] **Aka, İ., Keskinel, F., Çılı, F. ve Çelik, O.**, 2001. Betonarme, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [9] **Deprem Yönetmeliği**, 1998. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı*, Ankara.
- [10] **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.
- [11] **Computers and Structures Inc.**, 2002. Three Dimensional Static and Dynamic Finite Element Analysis and Design of Structures, Berkeley, California.
- [12] **Deprem Yönetmeliği**, 1975. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı*, Ankara.

EK-A**Tablo A.1** Yapıya etkiyen düşey yükler tablosu

Kiriş No	Kiriş Üstüne Etkiyen yükler			
	Kirişin Kendi Ağırlığından Dolayı Oluşan Yük (kN/m)	Duvar Ağırlığından Dolayı Oluşan Yük (kN/m)	Döşeme Ağırlığından Dolayı Oluşan Yük (kN/m)	Kirişin Üzerine Etkiyen Toplam Yayıllı Yük (kN/m)
1	1.90	-	9.90	11.80
2	1.90	-	-	01.90
3	2.40	-	17.84	20.24
4	1.90	-	15.97	17.87
5	2.40	-	15.97	18.37
6	2.40	-	20.83	23.23
7	2.40	-	20.83	23.23
8	2.40	-	18.43	20.83
9	2.40	-	06.48	08.88
10	1.90	-	14.33	16.73
11	2.40	-	14.83	17.23
12	2.40	-	08.05	10.45
13	2.40	-	13.88	16.28
14	1.90	-	17.76	19.66
15	1.90	-	13.56	15.46
16	2.40	-	13.88	16.28
17	1.90	-	14.33	16.73
18	2.40	-	14.83	17.23
19	2.40	-	08.05	10.45
20	2.40	-	20.83	23.23
21	2.40	-	20.83	23.23
22	2.40	-	18.43	20.83
23	2.40	-	06.48	08.88
24	2.40	-	17.84	20.24
25	1.90	-	15.97	17.87
26	2.40	-	15.97	18.37
27	1.90	-	09.90	11.80
28	1.90	-	-	01.90
29	1.90	-	09.97	11.87
30	1.90	-	07.73	09.23
31	1.90	-	07.73	09.23
32	1.90	-	09.97	11.87
33	2.40	-	17.67	20.07
34	2.40	-	17.67	20.07

Kiriş No	Kiriş Üstüne Etkiyen Yükler			
	Kirişin Kendi Ağırlığından Dolayı Oluşan Yük (kN/m)	Duvar Ağırlığından Dolayı Oluşan Yük (kN/m)	Döşeme Ağırlığından Dolayı Oluşan Yük (kN/m)	Kirişin Üzerine Etkiyen Toplam Yayıllı Yük (kN/m)
35	1.90	-	07.33	09.23
36	1.90	-	13.33	15.23
37	1.90	-	13.33	15.23
38	1.90	-	07.33	09.23
39	2.40	-	19.35	21.75
40	2.40	-	19.38	21.78
41	2.40	-	19.38	21.78
42	2.40	-	19.35	21.75
43	1.90	-	07.57	09.47
44	1.90	-	17.49	19.39
45	1.90	-	09.92	11.82
46	1.90	-	06.24	08.14
47	1.90	-	12.24	14.14
48	1.90	-	12.24	14.14
49	1.90	-	06.24	08.14
50	1.90	-	09.92	11.82
51	1.90	-	17.49	19.39
52	1.90	-	07.57	09.47
53	2.40	-	09.84	12.24
54	2.40	-	09.84	12.24
55	2.40	-	09.92	12.32
56	2.40	-	09.92	12.32
57	1.90	09.66	09.08	20.64
58	1.90	09.66	-	11.56
59	2.40	09.24	18.79	30.43
60	1.90	09.66	17.93	29.49
61	2.40	09.24	17.93	29.57
62	2.40	05.50	19.06	26.96
63	2.40	05.50	19.06	26.96
64	2.40	05.50	16.89	24.79
65	2.40	05.50	05.94	13.84
66	1.90	05.77	13.58	21.25
67	2.40	05.50	13.58	21.48
68	2.40	09.24	07.37	19.01
69	2.40	09.24	14.27	25.91
70	1.90	05.77	16.22	23.89
71	1.90	09.66	12.42	23.98
72	2.40	09.24	14.27	25.91
73	1.90	05.77	13.58	21.25
74	2.40	05.50	13.58	21.48
75	2.40	09.24	07.37	19.01
76	2.40	05.50	19.06	26.96
77	2.40	05.50	19.06	26.96
78	2.40	05.50	16.89	24.79

Kiriş No	Kiriş Üstüne Etkiyen Yükler			
	Kirişin Kendi Ağırlığından Dolayı Oluşan Yük (kN/m)	Duvar Ağırlığından Dolayı Oluşan Yük (kN/m)	Döşeme Ağırlığından Dolayı Oluşan Yük (kN/m)	Kirişin Üzerine Etkiyen Toplam Yayıh Yük (kN/m)
79	2.40	05.50	05.94	13.84
80	2.40	09.24	18.79	30.43
81	1.90	09.66	17.93	29.49
82	2.40	09.24	17.93	29.57
83	1.90	09.66	09.08	20.64
84	1.90	09.66	-	11.56
85	1.90	09.66	09.13	20.69
86	1.90	09.66	06.71	18.27
87	1.90	09.66	06.71	18.27
88	1.90	09.66	09.13	20.69
89	2.40	09.24	18.64	30.28
90	2.40	09.24	18.64	30.28
91	1.90	05.75	06.71	14.36
92	1.90	06.60	16.52	25.02
93	1.90	06.60	16.52	25.02
94	1.90	05.75	06.71	14.36
95	2.40	05.50	17.73	25.63
96	2.40	05.50	17.86	25.76
97	2.40	05.50	1786	25.76
98	2.40	05.50	17.73	2563
99	1.90	09.66	06.93	18.49
100	1.90	05.75	16.03	23.68
101	1.90	05.75	09.10	16.75
102	1.90	05.75	05.72	13.37
103	1.90	09.66	12.47	24.03
104	1.90	09.66	12.47	24.03
105	1.90	05.75	05.72	13.37
106	1.90	05.75	09.10	16.75
107	1.90	05.75	16.03	23.68
108	1.90	09.66	06.93	18.49
109	2.40	09.24	10.52	22.16
110	2.40	09.24	10.52	22.16
111	2.40	09.24	09.10	20.74
112	2.40	09.24	09.10	20.74
113	1.90	09.66	09.08	20.64
114	1.90	09.66	-	11.56
115	2.40	09.24	18.79	30.43
116	1.90	09.66	17.93	29.49
117	2.40	09.24	17.93	29.57
118	2.40	05.50	19.06	26.96
119	2.40	05.50	19.06	26.96
120	2.40	05.50	16.89	24.79
121	2.40	05.50	05.94	13.84
122	1.90	05.77	13.58	21.25

Kiriş No	Kiriş Üstüne Etkiyen yükler			
	Kirişin Kendi Ağırlığından Dolayı Oluşan Yük (kN/m)	Duvar Ağırlığından Dolayı Oluşan Yük (kN/m)	Döşeme Ağırlığından Dolayı Oluşan Yük (kN/m)	Kirişin Üzerine Etkiyen Toplam Yayıh Yük (kN/m)
123	2.40	05.50	13.58	21.48
124	2.40	09.24	07.37	19.01
125	2.40	09.24	14.27	25.91
126	1.90	05.77	16.22	23.89
127	1.90	09.66	12.42	23.98
128	2.40	09.24	14.27	25.91
129	1.90	05.77	13.58	21.25
130	2.40	05.50	13.58	21.48
131	2.40	09.24	07.37	19.01
132	2.40	05.50	19.06	26.96
133	2.40	05.50	19.06	26.96
134	2.40	05.50	16.89	24.79
135	2.40	05.50	05.94	13.84
136	2.40	09.24	18.79	30.43
137	1.90	09.66	17.93	29.49
138	2.40	09.24	17.93	29.57
139	1.90	09.66	09.08	20.64
140	1.90	09.66	-	11.56
141	1.90	09.66	09.13	20.69
142	1.90	09.66	06.71	18.27
143	1.90	09.66	06.71	18.27
144	1.90	09.66	09.13	20.69
145	2.40	09.24	18.64	30.28
146	2.40	09.24	18.64	30.28
147	1.90	05.75	06.71	14.36
148	1.90	06.60	16.52	25.02
149	1.90	06.60	16.52	25.02
150	1.90	05.75	06.71	14.36
151	2.40	05.50	17.73	25.63
152	2.40	05.50	17.86	25.76
153	2.40	05.50	17.86	25.76
154	2.40	05.50	17.73	25.63
155	1.90	09.66	06.93	18.49
156	1.90	05.75	16.03	23.68
157	1.90	05.75	09.10	16.75
158	1.90	05.75	05.72	13.37
159	1.90	09.66	12.47	24.03
160	1.90	09.66	12.47	24.03
161	1.90	05.75	05.72	13.37
162	1.90	05.75	09.10	16.75
163	1.90	05.75	16.03	23.68
164	1.90	09.66	06.93	18.49
165	2.40	09.24	10.52	22.16
166	2.40	09.24	10.52	22.16

Kiriş No	Kiriş Üstüne Etkiyen Yükler			
	Kirişin Kendi Ağırlığından Dolayı Oluşan Yük (kN/m)	Duvar Ağırlığından Dolayı Oluşan Yük (kN/m)	Döşeme Ağırlığından Dolayı Oluşan Yük (Kn/m)	Kirişin Üzerine Etkiyen Toplam Yayıh Yük (kN/m)
167	2.40	09.24	09.10	20.74
168	2.40	09.24	09.10	20.74
169	1.90	09.66	03.63	15.19
170	1.90	09.66	03.30	14.86
171	1.90	09.66	07.84	19.40
172	1.90	05.77	12.71	20.38
173	1.90	05.77	03.30	10.97
174	1.90	09.66	15.73	27.29
175	1.90	09.66	10.56	22.12
176	1.90	05.77	-	07.67
177	1.90	05.77	05.17	12.84
178	1.90	09.66	-	11.56
179	1.90	09.66	17.91	28.97
180	1.90	09.66	08.33	19.89
181	1.90	05.77	-	07.67
182	1.90	05.77	18.16	25.83
183	1.90	09.66	17.91	28.97
184	1.90	09.66	08.33	19.89
185	1.90	05.77	05.17	12.84
186	1.90	09.66	-	11.56
187	1.90	05.77	-	07.67
188	1.90	09.66	07.84	19.40
189	1.90	05.77	12.71	20.38
190	1.90	05.77	03.30	10.97
191	1.90	09.66	15.73	27.29
192	1.90	09.66	10.56	22.12
193	1.90	09.66	03.63	15.19
194	1.90	09.66	03.30	14.86
195	1.90	09.66	04.05	15.61
196	1.90	09.66	04.05	15.61
197	1.90	09.66	04.05	15.61
198	1.90	09.66	04.05	15.61
199	1.90	09.66	07.84	19.40
200	1.90	05.77	16.18	23.85
201	1.90	05.77	16.18	23.85
202	1.90	05.77	16.18	23.85
203	1.90	05.77	16.18	23.85
204	1.90	09.66	07.84	19.40
205	1.90	09.66	18.88	30.44
206	1.90	09.66	18.88	30.44
207	1.90	05.77	02.42	10.09
208	1.90	05.77	19.06	26.73
209	1.90	05.77	19.06	26.73
210	1.90	05.77	02.42	10.09

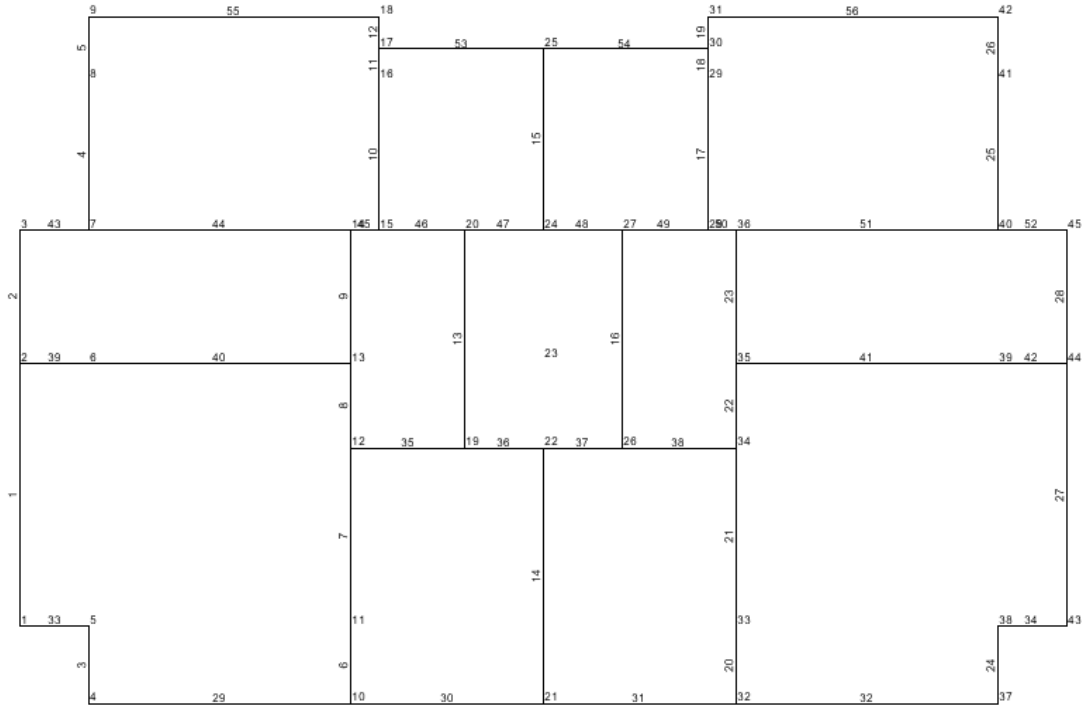
Kiriş No	Kiriş Üstüne Etkiyen yükler						
	Kirişin Kendi Ağırlığından Dolayı Oluşan Yük (kN/m)	Duvar Ağırlığından Dolayı Oluşan Yük (kN/m)	Döşeme Ağırlığından Dolayı Oluşan Yük (kN/m)	Kirişin Üzerine Etkiyen Toplam Yayılı Yük (kN/m)			
211	1.90	09.66	02.42	13.98			
212	1.90	05.77	14.02	21.69			
213	1.90	05.77	14.02	21.69			
214	1.90	05.77	14.69	22.36			
215	1.90	09.66	14.51	26.07			
216	1.90	05.77	14.69	22.36			
217	1.90	05.77	14.02	21.69			
218	1.90	05.77	14.02	21.69			
219	1.90	09.66	02.42	13.98			
220	1.90	05.77	10.39	18.06			
221	1.90	09.66	17.36	28.92			
222	1.90	05.77	10.39	18.06			
223	1.90	09.66	03.30	14.86			
224	1.90	09.66	03.30	14.86			
Tablo A.2 Yapının mevcut durumdaki kiriş donatı çapları ve adetleriKat No	Kiriş No	Pilye	Düz Donatı	Sol Mesnet Ek Donatısı	Sağ Mesnet Ek Donatısı	Montaj Donatısı	
	3-2-1	K201 (60/20)	3φ14	3φ14	-	-	2φ12
	3-2-1	K202 (60/20)	2φ16	2φ16	-	-	2φ12
	3-2-1	K203 (50/20)	2φ14	2φ14	3Φ14	-	2φ12
	3-2-1	K203' (50/20)	1φ12	2φ12	-	-	2φ12
	3-2-1	K204 (50/20)	1φ12	2φ12	-	-	2φ12
	3-2-1	K205 (50/20)	1φ12	2φ12	-	-	2φ12
	3-2-1	K206 (60/20)	2φ16	2φ16	2Φ16	-	2φ12
	3-2-1	K207 (60/20)	2φ16	2φ16	-	-	2φ12
	3-2-1	K208 (50/20)	-	2φ16	3Φ16	3Φ16	2φ16
	3-2-1	K209 (50/20)	2φ14	2φ14	-	-	2φ12
	3-2-1	K211 (50/20)	1φ14	2φ14	-	-	2φ12
	3-2-1	K212 (50/20)	3φ16	2φ16	-	-	2φ12
	3-2-1	K213 (60/20)	2φ16	2φ16	-	-	2φ12
	3-2-1	K214 (50/20)	1Φ14	2φ14	-	-	2φ12
	3-2-1	K214' (50/20)	1φ12	2φ12	-	-	2φ12
	3-2-1	K215 (50/20)	1φ12	2φ12	4Φ14	-	2φ12
	3-2-1	K216 (60/20)	1φ12	2φ12	-	-	2φ12
	3-2-1	K217 (60/20)	2φ16	2φ16	2φ16	-	2φ12
	3-2-1	K218 (60/20)	2Φ16	2φ16	-	-	2φ12
	3-2-1	K221 (50/20)	2φ16	3φ16	-	-	2φ12
	3-2-1	K222 (60/20)	2φ16	3φ16	-	-	2φ12

3-2-1	K223 (60/20)	2φ14	2φ14	-	-	2φ12
Kat No	Kiriş No	Pilye	Düz Donatı	Sol Mesnet Ek Donatısı	Sağ Mesnet Ek Donatısı	Montaj Donatısı
3-2-1	K224 (50/20)	2φ14	3φ14	-	-	2φ12
3-2-1	K225 (50/20)	1φ14	2φ14	-	-	2φ12
Zemin	K101' (50/20)	3φ14	3φ14	-	-	2φ12
Zemin	K101 (50/20)	2φ14	2φ14	-	-	2φ12
Zemin	K102 (50/20)	2φ14	2φ14	-	-	2φ12
Zemin	K103 (50/20)	2φ14	2φ14	-	-	2φ12
Zemin	K104 (50/20)	1φ12	2φ12	-	-	2φ12
Zemin	K105 (50/20)	1φ12	2φ12	-	-	2φ12
Zemin	K106 (50/20)	2φ16	2φ16	-	-	2φ12
Zemin	K107 (50/20)	2φ14	2φ14	-	-	2φ12
Zemin	K108 (50/20)	2φ16	2φ16	-	-	2φ12
Zemin	K107' (50/20)	1φ14	2φ14	-	-	2φ12
Zemin	K108' (50/20)	3φ16	2φ16	-	-	2φ12
Zemin	K109 (50/20)	1φ14	2φ14	-	-	2φ12
Zemin	K110 (50/20)	1φ14	2φ14	-	-	2φ12
Zemin	K111 (50/20)	3φ12	2φ12	-	-	2φ12
Zemin	K110' (50/20)	1φ14	2φ14	-	-	2φ12
Zemin	K111' (50/20)	1φ12	2φ12	-	-	2φ12
Zemin	K112 (50/20)	1φ12	2φ12	-	-	2φ12
Zemin	K113 (50/20)	1φ12	2φ12	-	-	2φ12
Zemin	K114 (50/20)	2φ14	3φ14	-	-	2φ12
Zemin	K115 (50/20)	2φ14	2φ14	-	-	2φ12

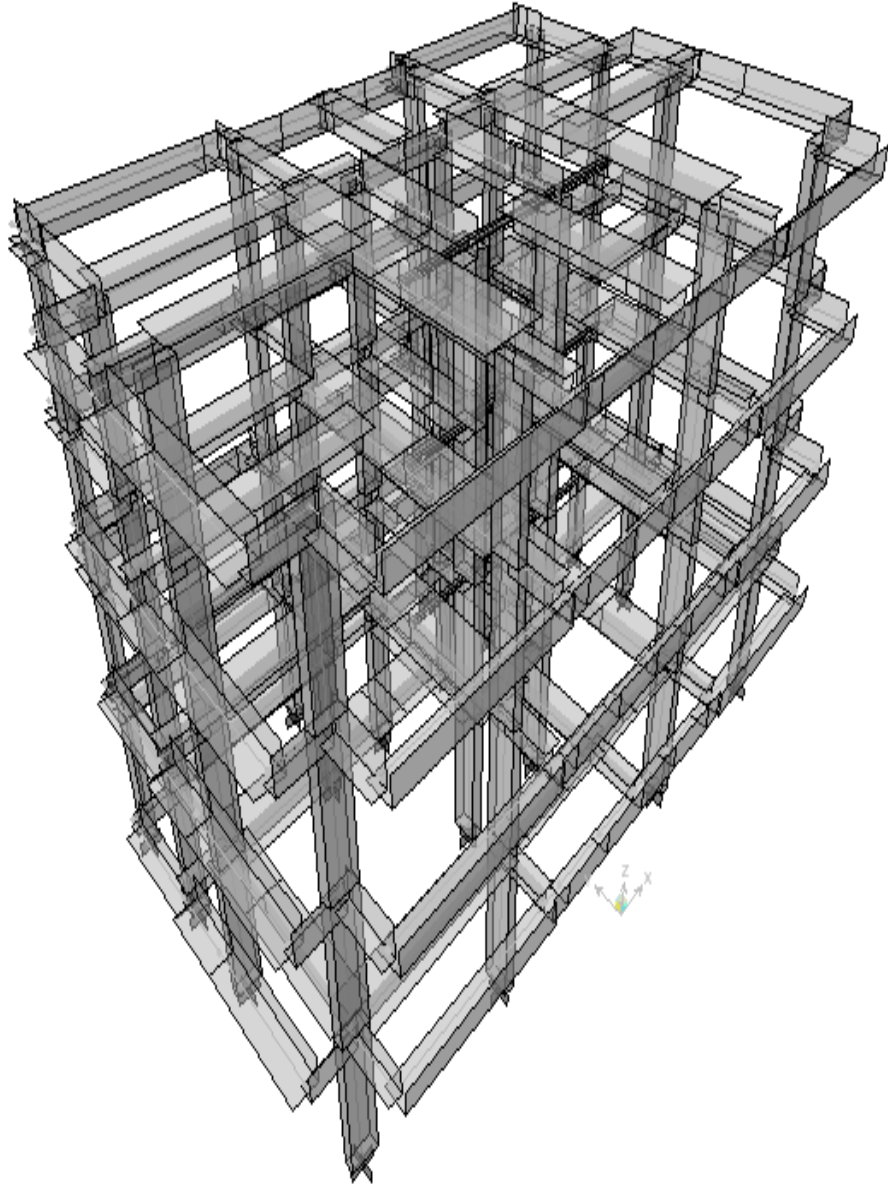
Tablo A.3 Yapının mevcut durumdaki kolon boyuna donatı çapları ve adetleri

Kolon No	Kolon Boyuna Donatı Çapı ve Adeti			
	3. Normal Kat	2. Normal Kat	1. Normal Kat	Zemin Kat
S1	6φ16	6φ16	6φ16	6φ16
S2	8φ16	8φ16	8φ16	8φ16
S3	8φ16	8φ16	8φ16	8φ16
S4	6φ16	6φ16	6φ16	6φ16
S5	6φ16	6φ16	6φ16	6φ16
S6	6φ16	6φ16	6φ16	6φ16
S7	8φ16	8φ16	8φ16	8φ16
S8	8φ16	8φ16	8φ16	8φ16
S9	6φ16	6φ16	6φ16	6φ16
S10	6φ16	6φ16	6φ16	6φ16
S11	8φ16	8φ16	8φ16	8φ16

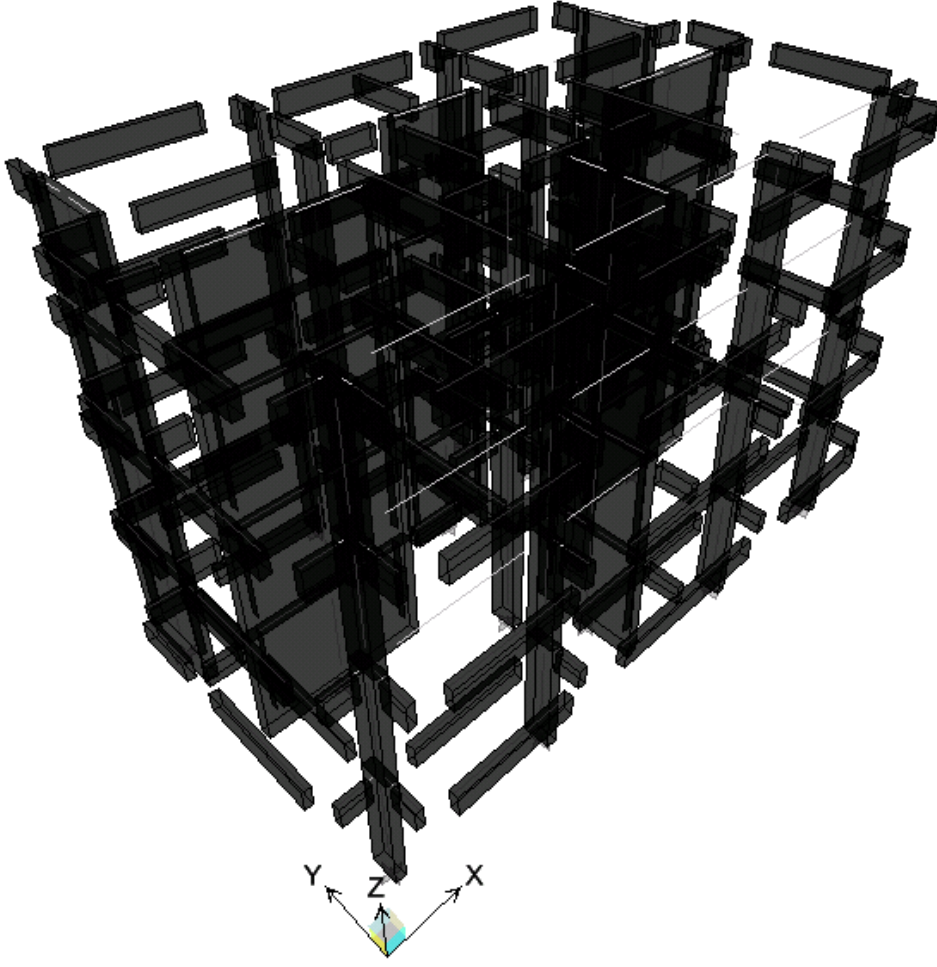
Kolon No	Kolon Boyuna Donatı Çapı ve Adeti			
	3. Normal Kat	2. Normal Kat	1. Normal Kat	Zemin Kat
S12	8φ16	8φ16	8φ16	8φ16
S13	8φ16	8φ16	8φ16	8φ16
S14	8φ16	8φ16	8φ16	8φ16
S15	8φ16	8φ16	8φ16	8φ16
S16	8φ16	8φ16	8φ16	8φ16
S17	8φ16	8φ16	8φ16	8φ16
S18	8φ16	8φ16	8φ16	8φ16



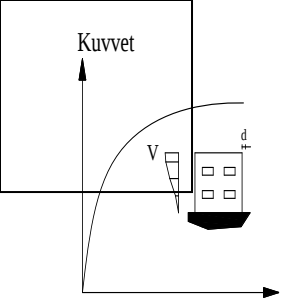
Şekil A.3 3.Normal kata ait elaman ve düğüm numaralarının gösterimi



Şekil A.4 Yapının üç boyutlu modeli



Şekil B.3 Güçlendirilmiş yapının üç boyutlu modeli



ÖZGEÇMİŞ

1 Kasım 1979 tarihinde Denizli’de doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Denizli’de tamamladı. 1998 yılında Denizli Anafartalar Süper Lisesi’nden mezun oldu. 1998 yılında eğitimine devam etmeyi hak kazanmış olduğu Dokuz Eylül Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nden 2002 yılında mezun oldu ve aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Mühendisliği (Yapı Analizi ve Tasarımı Programı) Bölümü’nde Yüksek Lisans eğitimine başladı.