İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

STATİK İTME ANALİZİ KULLANILARAK MEVCUT BİR BETONARME YAPININ İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş.Müh. Korhan ORAL

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : YAPI MÜHENDİSLİĞİ

MAYIS 2005

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

STATİK İTME ANALİZİ KULLANILARAK MEVCUT BİR BETONARME YAPININ İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş.Müh. Korhan ORAL
501021009

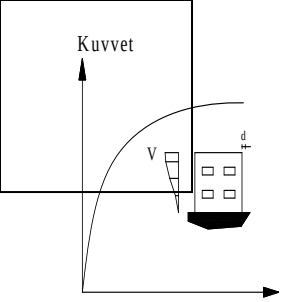
Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 9 Mayıs 2005
Tezin Savunulduğu Tarih : 30 Mayıs 2005

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Melike ALTAN

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

Doç. Dr. Mustafa ZORBOZAN (Y.T.Ü.)

MAYIS 2005



ÖNSÖZ

Ülkemiz deprem kuşağında yer aldığı için sürekli olarak çeşitli büyüklükte depremlere maruz kalmaktadır. Özellikle yakın geçmişte ülkemizde oluşan büyük depremlerden sonra çok sayıda can ve mal kaybı olmuştur. Bu durum ülkemize maddi ve manevi büyük zararlar vermiştir. Tüm bunların ortaya çıkardığı tablo, ülkemizde yapılmış olan binaların depreme karşı yeterince dayanıklı olmadığıdır. Gerek projelendirme aşamasında, gerekse malzeme seçiminde, gerekse uygulama aşamasında gereken hassasiyet gösterilmemekte ve malesef gerekli kontrol mekanizması sağlanamamaktadır. Bunların sonucu olarak da, aynı büyük acı defalarca yaşanmış ve yaşanmaya da devam etmektedir.

Son yıllarda yaşanılan depremler nedeniyle, dünyada ve ülkemizde depreme dayanıklı yapı tasarımı oldukça önem kazanmıştır. Mevcut yapıların depreme karşı güvenliğini kontrol etmek ve gerekirse güçlendirmek, proje aşamasındaki yapıları depreme karşı dayanıklı inşaa etmek için, çeşitli analiz yöntemleri geliştirilmiş olup gelişen teknoloji bu analizlerin bilgisayar ortamında oldukça hızlı bir şekilde yapılmasına imkan vermektedir.

Yapılan bu çalışmada deprem çözümlemeleri için geliştirilen, malzeme ve yapı davranışını çok daha iyi tanımlayan, sistemin ve malzemenin sadece lineer davranışını değil, lineer ötesi davranışını da dikkate alan ve daha gerçekçi sonuçlar veren, performans kavramına dayalı analiz yöntemlerinden "Statik İtme Analizi" ayrıntılı bir şekilde anlatılmaya çalışılmış ve 1975 Deprem Yönetmeliği'ne göre inşaa edilmiş mevcut bir yapının analizi ve güçlendilmesi yapılmış, elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak yorumlanmıştır. Bu çalışmada her türlü teknik desteği ve yardımı esirgemeyen değerli hocalarım Sayın Yrd. Doç. Dr. Konuralp GİRGİN'e, Prof. Dr. Metin AYDOĞAN'a, İnş. Yük. Müh Burçin KESİM'e ve özellikle tüm çalışmalarımın ortaya çıkmasını sağlayan değerli hocam Prof. Dr. Melike ALTAN'a katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Mayıs, 2005 Korhan ORAL

İÇİNDEKİLER

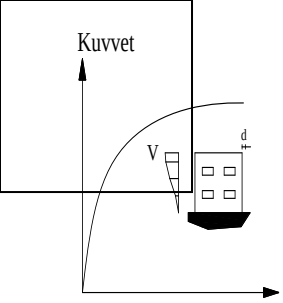
KISALTMALAR **vi**
TABLO LİSTESİ **vii**
ŞEKİL LİSTESİ **viii**
SEMBOL LİSTESİ **x**
ÖZET **xii**
SUMMARY **xiii**

1. GİRİŞ **1**

2. PERFORMANS KAVRAMI **3**
2.1 Giriş 3
2.2 Performans Seviyeleri 5
2.2.1 Yapısal Performans Seviyeleri ve Aralıkları 6
2.2.2 Yapısal Olmayan Performans Seviyeleri 8
2.2.3 Yapı Performans Seviyeleri 9
2.3 Yer Hareketi 10
2.4 Performans Amaçları 11
2.4.1 Performans Amacı ve Sınıflandırılması 11
2.5 Performans Amaçlarının Karşılaştırılması 13
2.5.1 Başlangıç Performans Amacı 13
2.5.2 Son Performans Amacı 13

3. LİNEER OLMAYAN STATİK ANALİZ (PUSHOVER ANALİZİ) **14**
3.1 Giriş 14
3.2 Basitleştirilmiş Lineer Olmayan Analiz İçin Yöntemler 16
3.2.1 Kapasiteyi Belirlemek İçin Adım Adım İşlemler 17
3.2.2 Talep Spektrumunu Belirlemek İçin Adım Adım İşlemler 18
3.2.3 Kapasite Spektrum Yöntemi Kullanılarak Sismik Talebin Hesaplanması 19
3.2.3.1 Kapasite Spektrumu Yönteminin Kavramsal Oluşumu 21
3.2.3.2 Kapasite Spektrum Eğrisinin Doğrular Haline Getirilmesi 25
3.2.3.3 %5 Sönümlü Talep Spektrum Eğrisinin Oluşturulması 26
3.2.3.4 Sönümün Tahmini ve %5 Sönümlü Talep Spektrumunun İndirgenmesi 28
3.2.4 Performans Noktasının Bulunması 31
3.2.4.1 Kapasite ve Talep Spektrumlarının Kesişimi 31
3.2.4.2 Yöntem A Kullanılarak Performans Noktasının Hesaplanması 32

4. MEVCUT BİR BETONARME BİNANIN LİNEER OLMAYAN STATİK ANALİZİ **35**
4.1 Giriş 35
4.2 Genel Bilgiler 36
4.3 Yapıya Etkiyen Yükler 37
4.3.1 Düşey Yükler 37
4.3.1.1 Sabit Yükler 37
4.3.1.2 Hareketli Yükler 37
4.3.1.3 Düşey Yüklerin Hesaplanması 37
4.3.2 1998 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmeliğe Göre Eşdeğer Yatay Deprem Yükü Hesabı 37
4.4 EPARC Analiz Programı Kullanılarak Yapının Deprem Güvenliğinin Tahkiki 40
4.4.1 Yapının "X" Yönü İçin Analiz Sonuçları ve Değerlendirilmesi 43
4.4.2 Yapının "Y" Yönü İçin Analiz Sonuçları ve Değerlendirilmesi 45
4.5 Sap2000 Nonlineer Analiz Programı Kullanılarak Yapının Deprem Güvenliğinin Tahkiki 47
4.5.1 Yapının "X" Yönü İçin Analiz Sonuçları ve Değerlendirilmesi 48
4.5.2 Yapının "Y" Yönü İçin Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi 48
4.6 1975 Deprem Yönetmekiğine Göre Mevcut Yapının Donatılarının Kontrolü 48
4.6.1 1975 Deprem Yönetmeliğine Göre Toplam Yatay Yükün Hesabı 48
4.6.2 Kiriş Donatılarının Kontrolü 49
4.6.3 Kolon Donatılarının Kontrolü 50
4.7 EPARC Analiz Programı Kullanılarak 1975 Deprem Yönetmeliğine Göre Donatıları Belirlenen Yapının Deprem Güvenliğinin Tahkiki 50
4.7.1 1975 Deprem Yönetmeliğine Göre Donatıları Belirlenen Yapının "X" Yönü İçin Analiz Sonuçları ve Değerlendirilmesi 50
4.7.2 1975 Deprem Yönetmeliğine Göre Donatıları Belirlenen Yapının "Y" Yönü İçin Analiz Sonuçları ve Değerlendirilmesi 52
4.8 Modal Analiz Sonuçları 53
4.9 Sap2000 Nonlineer Analiz Programı Kullanılarak 1975 Deprem Yönetmeliğine Göre Donatıları Belirlenen Yapının Deprem Güvenliğinin Tahkiki 54
4.9.1 Yapının "X" Yönü İçin Analiz Sonuçları 54
4.9.2 Yapının "Y" Yönü İçin Analiz Sonuçları 56
4.9.3 Yapıya Ait Performans Noktalarının Bulunması 58
4.9.3.1 Yapının "X" Yönüne Ait Performans Noktasının Bulunması 58
4.9.3.2 Yapının "Y" Yönüne Ait Performans Noktasının Bulunması 62
4.9.4 Yapının Sap2000 Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi 64
4.10 Yapının Güçlendirilmesi 65
4.10.1 Güçlendirilen Yapıya Ait 1998 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmeliğe Göre Eşdeğer Yatay Deprem Yükü Hesabı 65



4.10.2 Modal Analiz Sonuçları 66
4.10.3 Mantolanan Kesitin Atalet Momenti Hesabı 67
4.10.4 Güçlendirilmiş Yapının Deprem Güvenliğinin Tahkiki 68
4.10.4.1 Yapının "X" Yönü İçin Analiz Sonuçları 69
4.10.4.2 Yapının "Y" Yönü İçin Analiz Sonuçları 70
4.10.5 Yapıya Ait Performans Noktalarının Bulunması 72
4.10.5.1 Yapının "X" Yönüne Ait Performans Noktasının Bulunması 72
4.10.5.2 Yapının "Y" Yönüne Ait Performans Noktasının Bulunması 73

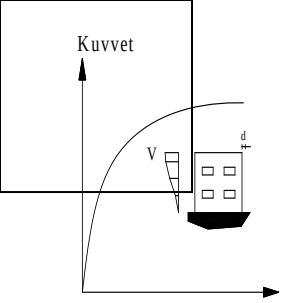
5. SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI ve DEĞERLENDİRİLMESİ 79

KAYNAKLAR 83

EK-A 85

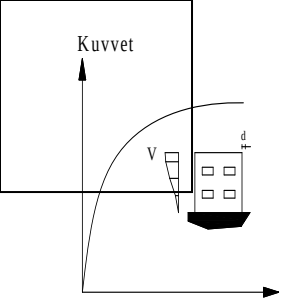
EK-B 93

ÖZGEÇMİŞ 105



KISALTMALAR

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



TABLO LİSTESİ

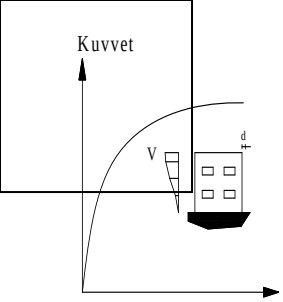
Sayfa No

Tablo 2.1.	Yapı performans seviyeleri (Yapısal ve yapısal olmayan performans seviyeleri)	5
Tablo 2.2.	Yapısal performans seviyeleri ve aralıkları	7
Tablo 2.3.	Yapısal olmayan performans seviyeleri	9
Tablo 2.4.	Göz önüne alınabilecek deprem için parametreler	11
Tablo 2.5.	Performans amaçlarının sınflandırılması	12
Tablo 3.1.	Analitik işlemlerin algoritması	15
Tablo 3.2.	Yöntem seçim tablosu	20
Tablo 3.3.	Deprem bölge katsayısı	26
Tablo 3.4.	Kaynağa mesafe katsayısı	26
Tablo 3.5.	Zemin sınıfı tablosu	27
Tablo 3.6.	Deprem katsayı C_A	27
Tablo 3.7.	Deprem katsayı C_V	28
Tablo 3.8.	Yapı davranış türü	30
Tablo 3.9.	Sönüm düzeltme katsatısı	30
Tablo 3.10.	Spektral azaltma katsayıları S_{RA} ve S_{RV}	31
Tablo 3.11.	Spektral azaltma katsayıları S_{RA} ve S_{RV}'nin minimum değerleri	31
Tablo 4.1.	Sabit yükler	38
Tablo 4.2.	Bina ağırlığı	38
Tablo 4.3.	Katlara ait toplam kat ağırlıkları, kütleleri ve kütle atlet momentleri	53
Tablo 4.4.	Yapının doğal titreşim periyotları	54
Tablo 4.5.	Kat ötelenmeleri	54
Tablo 4.6.	Güçlendirilen yapının kat ağırlıkları	66
Tablo 4.7.	i. Kata gelen deprem yükü	66
Tablo 4.8.	Güçlendirilen yapının kat kütleleri ve kütle atalet momentleri	66
Tablo 4.9.	Güçlendirilen yapının doğal titreşim periyotları	67
Tablo 4.10.	Güçlendirilen yapının kat ötemeleri	67
Tablo 5.1.	Tablo 5.1 X Doğrultusundaki Statik İtme Analizi Sonuçları	82
Tablo 5.2.	Tablo 5.1 Y Doğrultusundaki Statik İtme Analizi Sonuçları	82
Tablo A.1.	Yapının mevcut durumdaki kiriş donatı çapları ve adetleri	85
Tablo A.2.	1975 Deprem Yönetmeliğine göre donatıları düzenlenen yapının kiriş donatı çapları ve adetleri	87
Tablo A.3.	Mevcut yapının kolon boyuna donatı çapları ve adetleri	90
Tablo A.4.	1975 Deprem Yönetmeliğine göre donatıları düzenlenen yapının kolon boyuna donatı çapları ve adetleri	90
Tablo A.5.	Kolonları 12 cm mantolanmış yapının kolon boyuna donatı çapları ve adetleri	91
Tablo A.6.	Mantolama kesitinin elasitisite modülünün mevcut beton elastisite modülü cinsinden ifade edilişi	91

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1 : Bina performans seviyeleri 12
Şekil 3.1 : Taban kesme kuvveti, çatı yer değiştirmesi 17
Şekil 3.2 : Modal katılma katsayıları ve modal kütle katsayıları için bir örnek 22
Şekil 3.3 : Geleneksel ve ADRS formatlarında talep spektrumları 23
Şekil 3.4 : Kapasite spektrumu ile talep spektrumunun üst üste çizilmiş şekli 23
Şekil 3.5 : ADRS spektrumuna dönüştürme 24
Şekil 3.6 : Kapasite spektrumu metodu için kapasite spektrumunu doğrular halinde gösterme 25
Şekil 3.7 : Kapasite spektrum eğrisi ile %5 sönümlü talep spektrum eğrisinin aynı grafik ortamda çizilmesi 26
Şekil 3.8 : %5 Sönümlü elastik deprem spektrumu 28
Şekil 3.9 : Spektral indirgeme için sönümün ifadesi 29
Şekil 3.10 : Talep spektrumunun azaltılması 31
Şekil 3.11 : Talep spektrumu ve kapasite spektrumlarının kabul edilebilir toleranslar içindeki kesişim noktası 32
Şekil 3.12 : Yöntem A, ikinci adım 32
Şekil 3.13 : Yöntem A, üçüncü adım 33
Şekil 3.14 : Yöntem A, dördüncü adım 33
Şekil 3.15 : Yöntem A, beşinci adım 34
Şekil 3.16 : Yöntem A, altıncı adım 34
Şekil 4.1 : Düzgün yayılı yükün eşdeğer tekil yüke çevrilmesi 37
Şekil 4.2 : İdealleştirilmiş iç kuvvet-şekil değiştirme bağıntıları 41
Şekil 4.3 : Yapının X yönü için taban kesme kuvveti – çatı yer değiştirme grafiği 44
Şekil 4.4 : Yapının X yönü için göçme durumunda oluşan plastik mafsalların yerleri 45
Şekil 4.5 : Yapının Y yönü için taban kesme kuvveti – çatı yer değiştirme grafiği 46
Şekil 4.6 : Yapının Y yönü için göçme durumunda oluşan plastik mafsalların yerleri 46
Şekil 4.7 : Yapının X yönü için taban kesme kuvveti – çatı yer değiştirme grafiği 51
Şekil 4.8 : Yapının X yönü için göçme durumunda oluşan plastik mafsalların yerleri 51
Şekil 4.9 : Yapının Y yönü için taban kesme kuvveti – çatı yer değiştirme grafiği 52

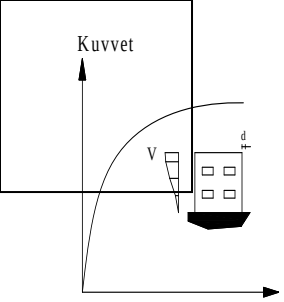


Sayfa No

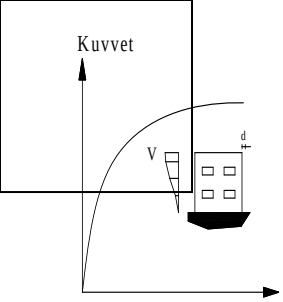
Şekil 4.10 : Yapının Y yönü için göçme durumunda oluşan plastik mafsalların yerleri 53
Şekil 4.11 : Yapının X yönü için kapasite eğrisi 55
Şekil 4.12 : Yapının X yönü için göçme durumunda oluşan plastik mafsalların yerleri 56
Şekil 4.13 : Yapının Y yönü için kapasite eğrisi 57
Şekil 4.14 : Yapının Y yönü için göçme durumunda oluşan plastik mafsalların yerleri 57
Şekil 4.15 : %5 sönümlü talep spektrum eğrisi 58
Şekil 4.16 : Yapının X yönü için kapasite spektrum eğrisi 59
Şekil 4.17 : %5 sönümlü talep spektrum eğrisi ve yapının X yönü için kapasite spektrum eğrisi 60
Şekil 4.18 : Tahmini performans noktası 60
Şekil 4.19 : Yapının X yönü için doğrular haline getirilmiş kapasite spektrum eğrisi 61
Şekil 4.20 : İndirgenmiş talep spektrumu ve yapının X yönü için kapasite spektrum eğrisi 62
Şekil 4.21 : Yapının Y yönü için kapasite spektrum eğrisi 63
Şekil 4.22 : Yapının Y yönü için performans eğrisi..... 64
Şekil 4.23 : Mantolanan kesitin atalet momenti hesabı için eşdeğer kesit 67
Şekil 4.24 : Elastisite Modülü Dönüşümü..... 68
Şekil 4.25 : Güçlendirilmiş yapının X yönü için kapasite eğrisi 69
Şekil 4.26 : Güçlendirilmiş yapının X yönü için göçme durumunda oluşan plastik mafsalların yerleri 70
Şekil 4.27 : Güçlendirilmiş yapının Y yönü için kapasite eğrisi 71
Şekil 4.28 : Güçlendirilmiş yapının Y yönü için göçme durumunda oluşan plastik mafsalların yerleri 71
Şekil 4.29 : Güçlendirilmiş yapının X yönü için kapasite spektrum eğrisi ... 73
Şekil 4.30 : Güçlendirilmiş yapının X yönü için performans değerleri..... 74
Şekil 4.31 : Güçlendirilmiş yapının X yönü için performans noktası..... 75
Şekil 4.32 : Güçlendirilmiş yapının Y yönü için kapasite spektrum eğrisi ... 76
Şekil 4.33 : Güçlendirilmiş yapının Y yönü için performans değerleri..... 77
Şekil 4.34 : Güçlendirilmiş yapının Y yönü için performans noktası 78
Şekil 5.1 : Taşıyıcı sistemde kapasite spektrum eğrisi 82
Şekil B.1 : 3. Normal kata ait eleman ve düğüm numaralarının gösterimi.. 93
Şekil B.2 : Zemin kat kalıp planı..... 94
Şekil B.3 : 3. Normal kat kalıp planı..... 95
Şekil B.4 : Güçlendirilmiş zemin kat kalıp planı..... 96
Şekil B.5 : Güçlendirilmiş normal kat kalıp planı..... 97
Şekil B.6 : Güçlendirilmiş zemin kat kolon aplikasyon planı..... 98
Şekil B.7 : Güçlendirilmiş normal kat kolon aplikasyon planı..... 99
Şekil B.8 : Zemin kat kolon etriye detayı..... 100
Şekil B.9 : Normal kat kolon etriye detayı..... 101
Şekil B.10 : Perde ile güçlendirilmiş yapı zemin kat kalıp planı..... 102
Şekil B.11 : Perde ile güçlendirilmiş yapı 3. normal kat kalıp planı..... 103
Şekil B.12 : Perde ile güçlendirilmiş yapı 3. normal kat kolon aplikasyon planı..... 104

SEMBOL LİSTESİ

A_0 : Etkin yer ivmesi
C : 1975 deprem yönetmeliğinde deprem katsayısı
C_A : Zeminin etkili maksimum ivme katsayısı
C_o : 1975 deprem yönetmeliğinde deprem bölge katsayısı
C_t : Eşdeğer deprem yükü yönteminde birinci doğal titreşim periyodunun yaklaşık olarak belirlenmesinde kullanılan katsayı
C_V : Periyodu 1 sn. olan %5 sönümlü sistemin spektrum değeri
E : Deprem etki katsayısı
E_D : Bir çevrimde sönümle tüketilen enerji
E_{So} : Maksimum şekil değiştirme enerjisi
F : 1975 deprem yönetmeliğinde statik eşdeğer toplam yatay yük
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 boyu
I : Bina önem katsayısı
$I_{i,kütle}$: i. kat kütle atalet momenti
K : 1975 deprem yönetmeliğinde yapı tipi katsayısı
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 : 1975 deprem yönetmeliğinde yapı dinamik 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 bölde katsayısı



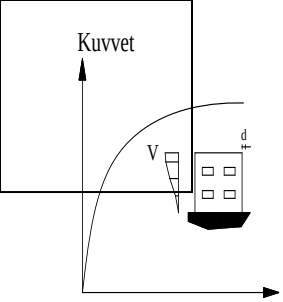
α_1 : Birinci doğal titreşim modu için modal kütle katsayısı
β_{ef} : Etkili toplam sönüm
β_o : Eşdeğer vizkoz sönüm
$\Delta_{çatı}$: Yapının en üst noktasının (çatı) yer değiştirmesi
ε_{su} : Betonda izin verilen en büyük birim kısalma
ϕ_{i1} : i. kattaki modun şekli
ϕ_{N1} : Yapının en üst katına ait yanal yer değiştirme
ϕ_{Xi} : i.Katta X ekseni doğrultusundaki modun şekli
ϕ_{Yi} : i.Katta Y ekseni doğrultusundaki modun şekli
γ_{beton} : Beton birim hacim ağırlığı
κ : Sönüm düzeltme katsayısı
Γ_1 : Birinci doğal titreşim modu için modal katılma katsayısı



ÖZET

Bu çalışmada performans kavramına dayalı, deformasyon kontrollü lineer olmayan analiz yöntemi olan Statik İtme Analizi Yöntemi anlatılmıştır. Bu yöntem kullanılarak yapıların deprem karşısındaki davranışları değerlendirilmiş, deprem kuvvetine karşı güvenliğinin kontrolü ve güçlendirme çalışması anlatılmıştır. 1975 Deprem Yönetmeliğine göre inşaa edilen betonarme bir yapı üzerinde ayrıntılı bir şekilde anlatılan konuların bir uygulaması yapılmştır.

Birinci bölümde çalışma hakkında genel bilgi verilmiştir. İkinci bölümde performans kavramı açıklanmıştır. Üçüncü bölümde Statik İtme Analizi, analizin nasıl uygulanacağı, uygulama aşamaları ve analizde kullanılan tüm formüller ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Dördüncü bölümde Statik İtme Analizi yapılırken kullanılan EPARC ve Sap2000 analiz programlarında, yapıyı modellemek için gerekli adımlar ayrıntılı şekilde açıklanmıştır. Analizin uygulaması olarak, dört katlı betonarme bir yapının mevcut durumdayken statik itme analizi ile göçme yükü ve deprem güvenliği tahkiki yapılmıştır. Yapı yetersiz olduğu için 1975 Deprem Yönetmeliğine göre donatılarının doğruluğu kontrol edilmiş ve analiz tekrarlanmıştır. 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.



SUMMARY

In this work, Static Pushover Analysis Method which is a non-linear deformation controlled analysis method according to performance concept has been described. By using this method, earthquake behaviors of buildings has been evaluated, safety control against power of earthquake and retrofit works has been studied. All the methods described in this work have been applied in detail to a building which has been built according to 1975 Earthquake Regulations.

In the first part, general information about the work and analysis has been given. In the second part, performance concept has been explained. In the third part, Static Pushover Analysis has been described. The application of the analysis and application steps are given in detail. In the forth part, necessary steps for modeling the building in EPARC and SAP2000 analysis programs which are used to apply Static Pushover Method. A concrete building having four floors has been investigated in terms of collapsing load with static pushover analysis and earthquake safety. Since the building is weak, steel construction has been checked if they comply with the 1975 Earthquake Regulations and analysis has been repeated. 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 carried out and a general evaluation has been provided.

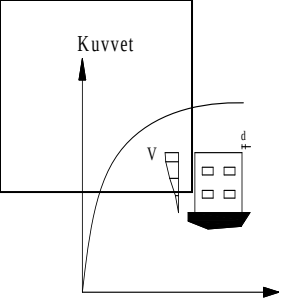
1. GİRİŞ

Ülkemizde bir çok yapının yürürlükteki deprem yönetmeliğinden daha önce inşa edildiği, inşası sırasında imalat hataları yapılma olasılığının yüksek olduğu ve çoğu zaman projesinde göz önüne alınan kullanım amacından farklı ve itinasız kullanıldığı göz önüne alındığında, riskli bölgelerdeki önemli yapılardan başlamak üzere tüm yapıların deprem performanslarının tespit edilmesi gerekmektedir. Bir yapının deprem performansı yapının talep edilen sismik yer hareketini karşılayabilme kapasitesi olarak tanımlanabilir.

Statik itme analizi yöntemi olarak isimlendirilen hesap yöntemi ile yapıların projelendirilmeleri veya mevcut yapıların taşıyıcı sistemlerinin kontrol edilmesi ve güçlendirilmesi için bu binaların farklı büyüklükteki depremler karşısında performansları esas alınır. Kabul edilen performans değeri, olası bir depremde binanın yapısal veya yapısal olmayan elemanlarında oluşabilecek hasar derecelerine göre belirlenir. Bir bina için çeşitli performans seviyeleri tespit edilebilir. Performans seviyesi yapının projelendirilme veya güçlendirme çalışmalarının kapsamını değiştirmektedir. Bu durum yapı sahibine gerek güçlendirme maliyeti gerekse yapının deprem güvenliği açısından çeşitli seçenekler sunar.

Performansa dayalı analitik çözümleme kuvvet esaslı hesaplamalara göre çok daha karmaşık bir yapıda olmasına karşın daha gerçekçi bir yol izlemesi, çözümlerin daha doğru ve ekonomik olmasına olanak tanır.

Statik itme yönteminde binanın tüm elemanlarının deformasyon davranışları tanımlanır. Normal hesaplamalarda elastik sınırlar için tanımlanan elastisite modülü, bu davranış şekillerinin belirlenmesinde yetersiz kalmaktadır, bu noktadan hareketle oluşturulan idealize edilmiş taşıyıcı sistemde sabit düşey yükler altında yatay yükler orantılı olarak arttırılarak yani küçük ötelenmeler verilerek her bir adımda taşıyıcı sistemi oluşturan elemanların davranışları izlenir. Bu hesaplama yönteminde malzemenin elastik sınırların ötesinde plastik davranışları da göz önüne alınır. Yapı belirlenen yanal ötelenme sınırına erişinceye kadar veya taşıyıcı sistemi



teşkil eden elemanların daha önce tanımlanmış göçme şekil değiştirmelerine ulaşıncaya kadar analiz devam ettirilir. Sonuçta bulunan şekil değiştirme göz önüne alınarak deprem sonrası oluşacak hasar seviyesi belirlenebilir.

Günümüzde gelişen hesap yöntemleri kullanılarak depreme dayanıklı yapılar inşa etmek artık mümkündür. Bilimsel ve teknolojik gelişmeler, çözümü kolaylaştıran ve hızlandıran bilgisayar programları, iyi yetişen genç mühendisler ve tecrübeli mühendislerin gözetimindeki sağlam bir kontrol mekanizması sayesinde deprem artık korkulacak bir doğa olayı olmaktan çıkmıştır.

2. PERFORMANS KAVRAMI

2.1 Giriş

Performans kavramı, deprem mühendisliğinde yeni gelişen bir kavram olup, önce mevcut yapıların deprem güvenliğinin belirlenmesi için geliştirilmiştir. Ancak, daha sonra bu yöntemin yeni yapıların tasarımında da kullanılabilmesi söz konusu olmuştur.

Gerçekte bütün mühendislik boyutlandırmalarının performansa dayalı olduğu söylenebilir. Bilindiği gibi, betonarme taşıyıcı sistem boyutlamasında iki performans seviyesi esas alınır: Kullanma sınır durumu ve taşıma gücü sınır durumu. Birinci performans seviyesinde kullanma durumundaki yükler altında taşıyıcı sistemin hasarın kullanıcıları rahatsız etmeyecek seviyede kalması ve aşırı yer değiştirmelerin meydana gelmemesi istenir. İkinci performans seviyesinde de taşıyıcı sistemin beklenen yüklerin arttırılmış değerleri altında güç tükenmesine gelmeden kabul edilebilir bir güvenliğinin mevcut olması beklenir.

Deprem mühendisliğinde performansa dayalı tasarım, deprem etkisi altında yapıdan beklenen performans seviyesinin ortaya çıkması için kullanılacak yöntemleri verir. Performans seviyesi, depremden sonra yapıda meydana gelecek hasar seviyesi ile ölçülür.

Gerçekte deprem yönetmeliklerinde tanımlanan deprem etkisi ve sınır durumlar ile bir performans seviyesi tanımlanmıştır. Performansa dayalı tasarımda belirli bir deprem etkisinde yapıda birden fazla performans (hasar) seviyesinin ortaya çıkması öngörülür.

Diğer bir açıdan deprem yönetmeliklerinin oluşumu incelenirse, 20 yıldan daha öncelerinde bile birden fazla performans seviyesinin tanımlandığı görülebilir: Yapının küçük depremleri hasarsız atlatması, büyük depremleri can güvenliği tehlikesi sağlayan sınırlı hasarla atlatması ve çok büyük depremleri de toptan göçme olmaksızın atlatması istenir. Performansa dayalı tasarımda da bu amaçlar daha belirgin şekilde tanımlanarak kabul edilmiştir. Alışıla gelen depreme dayanıklı yapı tasarımında, "can güvenliği" olarak tanımlanan performans seviyesine karşı geldiği

kabul edilen, durum için tasarım yapılır. Performansa dayalı tasarımda ise ek performans seviyeleri öngörülür ve bunların sağlanması için tasarım yöntemleri veya sınır durumları tanımlanır.

Yapılarda deprem etkisinin belirlenmesinde çok büyük belirsizlikler olduğu bilinmektedir. Bunun gibi, yapıların deprem etkisindeki davranışında da benzer belirsizliklerin olduğu kabul edilir. Taşıyıcı sistemler; kapasiteleri, karşılamaları beklenen deprem etkilerinden daha büyük olacak şekilde düzenlenirler. Bir taşıyıcı sistemin yatay yük taşıma kapasitesi, malzeme dayanımlarının, taşıyıcı sistemin düzeni ve rijitlik dağılımının oldukça karmaşık bir fonksiyonudur. Bu nedenle bir yapı için ayrıntılı yapılacak her türlü değerlendirme ve çözümlemelerin de bu belirsizliklerden kaynaklanan yaklaşıklıkları içereceği göz önüne alınmalıdır.

Performansa dayalı deprem mühendisliğinde bir binanın deprem performansı amacı iki soruya cevap verilerek tanımlanır. Binada depremden sonra nasıl bir hasar seviyesi ve bununla ilgili olarak nasıl bir performans seviyesi kabul edilecektir? Bunların belirlenmesinde hangi deprem esas alınacaktır? Bu iki sorunun cevabının birleştirilmesi ile *Bina Deprem Performans Amacı* tanımlanır.

Performans amaçları, binaların olası bir depreme karşı göstereceği davranışı tanımlar yani sismik performansı 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" olarak adlandırılır.

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. Beklenilen 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 performas seviyesinin oluşması, uygulamadaki yanlışlıklar ve projelendirmedeki muhtemel yanlışlıklar nedeniyle kesin değildir. Bu bölümde Yapı Performans Seviyeleri, bu seviyelerin kombinasyonları, nasıl tespit edileceği ve deprem risk seviyeleri tanımlanacaktır.

2.2 Performans Seviyeleri

Yapının belirli bir yer hareketi sonucunda kabul edilebilir limitlerdeki hasar durumu, seçilen performans seviyesi ile belirlenir. Performans seviyelerini belirleyen durumlar, yapılarda depremden sonra olması beklenilen fiziksel hasarlar, bu hasarların oluşturduğu can güvenliği tehdidi ve yapının deprem sonrası hizmet verebilmesi olarak tanımlanır.

Performans seviyeleri binaların yapısal ve yapısal olmayan elemanları için ayrı ayrı belirlenir. Beklenilen deprem sonrasında, istenilen performans derecesine göre yapısal ve yapısal olmayan elemanlara ait ortak bir seviye belirlenerek tüm yapının performans değeri bulunur, yani hedeflenen performans seviyesi yapısal ve yapısal olmayan performans seviyelerinin kombinasyonları olarak ifade edelir. (Tablo 2.1)

Tablo 2.1 Yapı 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 Stabilite	SP-6 Hasarın Göz Önüne Alınmadığı
NP-A İşlevsel	1-A Kullanıma Devam (B)	2-A	TE	TE	TE	TE
NP-B Hemen Kullanım	1-B Hemen Kullanım (IO)	2-B	3-B	TE	TE	TE
NP-C Can Güvenliği	1-C	2-C	3-C Can Güvenliği (LS)	4-C	5-C	6-C
NP-D Azaltılmış Hasar	TE	2-D	3-D	4-D	5-D	6-D
NP-E Hasarın Göz Önüne Alınmadığı	TE	TE	3-E	4-E	5-E Yapısal Stabilite (CP)	UYGULA NAMAZ

TE: 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

Yapısal performans seviyeleri SP-n harfleri ile simgelenir. Yapı elemanlarındaki performans seviyeleri az hasardan çok hasara göre şu şekilde tanımlanır (Tablo 2.2):

Hemen Kulanım Performans Seviyesi SP-1: Depremden sonra çok sınırlı yapısal hasarın meydana geldiği durumdur. Yapının tüm düşey ve yatay yük taşıyıcı sistemleri, depremden önceki bütün dayanım özelliklerini ve kapasitesini hemen hemen korur. Yapısal hasardan dolayı can güvenliği tehdidi oluşturacak bir durum yoktur. Yapı deprem sonrası hemen kullanıma açılabilir.

Kontrol Edilebilir Hasar Aralığı SP-2: Bu seviye net ve açık bir seviye değildir. Hemen kulanım ile can güvenliği performans seviyeleri arasında kalmaktadır. Can güvenliğinin sağlanmasının yanında hasarın belirli ölçüde sınırlandırılmasına karşı gelir. Deprem yönetmeliklerinde binalar için 50 yıllık bir dönemde aşılma olasılığı %10 olarak belirtilen deprem etkisinde öngörülen performans seviyesi kontrol edilebilir hasar aralığıdır. Tarihi binaların ve değerli mimari özellikteki yapıların korunması amacıyla bu performans aralığı kullanılabilir.

Can Güvenliği Performans Seviyesi SP-3: Yapının taşıyıcı sistemde deprem sonrası önemli sayılabilecek hasarlar olmasına rağmen, yapıda yerel veya toptan göçme olmaz. Hasar seviyesi, yapısal stabilite durumundakine göre daha azdır. Binada göçme durumuna ulaşmayı önleyecek ek bir kapasite vardır. Yapı taşıyıcı sistemi göçmez veya işlevsiz hale gelmez. Deprem neticesinde bina içinde bulunan kişilerde yaralanmalar görülebilir ama can güvenliği tehlikesi yoktur. Yapının tekrar hizmet verebilmesi için geniş çaplı yapısal onarımlar (güçlendirme) gereklidir ancak onarım maliyeti her durumda ekonomik olmayabilir.

Sınırlı Güvenlik Aralığı SP-4: Bu seviye net bir seviye değildir. Can güvenliği ile yapısal stabilite performans seviyeleri arasında kalmaktadır. Sınırlı güvenlik aralığında güçlendirme tüm yapısal elemanlar için gerekmiyecektir ancak can güvenliği performans seviyesinden fazla, yapısal stabilite seviyesinden daha az bir güçlendirme gerekecektir.

Yapısal Stabilite Performans Seviyesi SP-5: Bu performans seviyesinde yapı taşıyıcı sistemi güç tükenmesi durumuna gelmiştir, yani yapının taşıyıcı sistemi kısmi veya toptan göçmeye ulaşma sınırındadır. Yapıda önemli hasarlar oluşur ve yanal dayanımı, rijitliği, yük taşıma kapasitesi önemli derecede zayıflar. Buna rağmen yapı taşıyıcı sistemi, sabit ve hareketli tüm düşey yükleri karşılayacak durumdadır. Yapı tüm stabilitesini kaybetmemesine rağmen, deprem sonrası oluşacak artçı şoklar yapının yıkılmasına sebep olabilir. Binanın içinde ve dışında, binadan düşebilecek parçalardan dolayı önemli yaralanmalar görülebilir. Binanın tekrar kullanılması gerekiyorsa mutlaka çok iyi bir şekilde güçlendirilmesi ve onarılması gerekmektedir. Ancak bu tür yapılarda yapılması gereken güçlendirme hem teknik olarak hem de ekonomik olarak zayıf bir olasılıktır. Toptan göçme tehlikesi bu performans seviyesinde kesin bir şekilde engellenememiştir. Yapısal stabilite performans seviyesi yeni binaların tasarımında maksimum deprem etkisi altında sağlanması gerekir. Daha düşük bir deprem etkisinde bu performans seviyesinin sağlanması, daha yüksek bir deprem etkisi oluştuğu zaman yapının güç tükenmesi sınırının üstüne çıkması durumuna karşı gelir, bu kabul edilemez.

Taşıyıcı Elemanların Hasarının Göz Önüne Alınmadığı Performans Seviyesi SP-6: Bu net bir performans seviyesi değildir. Ancak yapısal olmayan elemanların sismik değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi için bir performans seviyesi tanımlar. Örnek olarak içerisinde manevi değeri çok yüksek eşyaların bulunduğu bir yapı yıkılması durumunda dahi bu eşyaların zarar görmemesi istenebilir. Böyle bir durumda yapının korunmasının yanında içerisindeki eşyalarında ayrıca korunması gerektiği bu performans seviyesi ile ifade edilir.

Tablo 2.2 Yapısal Performans Seviyeleri ve Aralıkları

Performans Seviyesi	Performans Aralığı	Tanım
SP-1		Hemen kullanım performans seviyesi
	SP-2	Kontrol edilebilir hasar performans aralığı
SP-3		Can güvenliği performans seviyesi
	SP-4	Sınırlı güvenlik performans aralığı
SP-5		Yapısal stabilite performans seviyesi
SP-6		Hasarın göz önüne alınmadığı performans seviyesi

2.2.2 Yapısal Olmayan Performans Seviyeleri

Yapısal olmayan performans seviyeleri NP-n harfleri ile simgelenir. Bu performans seviyesi yapının taşıyıcı olmayan elemanlarında deprem etkisinde oluşacak hasar durumlarını açıklar. Doğrudan değerlendirme ve güçlendirme aşamalarındaki teknik kriterleri belirlemek için kullanılır (Tablo 2.3).

İşlevsel Performans Seviyesi NP-A: Yapısal olmayan elemanların ve sistemlerin deprem sonrası konumlarının ve işlevselliklerinin değişmediği, neredeyse aynı kaldığı performans seviyesidir. Tüm makine ve ekipmanlar çalışır durumdadır.

Hemen Kullanım Performans Seviyesi NP-B: Yapısal olmayan elemanların konumunun değişmediği fakat kulanımı engelleyen, kolayca giderilebilen küçük bazı hasar ve aksaklıkların olduğu performans seviyesidir. Bu performans seviyesinde sismik güvenlik durumu etkilenmemiştir.

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 çalıştırılamaz ve kullanılamazlar. Deprem süresince yapısal olmayan elemanların can güvenliğini tehdit etme riski çok azdır.

Azaltılmış Hasar Performans Seviyesi NP-D: Parapetler, dış yığma duvarlar, cephe kaplaması, ağır asma tavanlar gibi yapısal olmayan elemanlarda kısmi veya tam göçme olarak çok sayıda insanın önemli derecede yaralanmasına veya ölmesine neden olabildiği fakat yapıda toptan göçmenin olmadığı performans seviyesidir.

Yapısal Olmayan Elemanların Hasarının Göz Önüne Alınmadığı Performans Seviyesi NP-E: Bu net bir performans seviyesi olmamasına rağmen mühendis ve yapı sahibi için yapının durumunun saptanmasını kolaylaştırır.

Yapısal olmayan elemanların taşıyıcı sisteme herhangi bir etkisi ve katkısı olmadığı kabul edilerek hesaplar yapılsada pratikte böyle olmadığı deprem anında çerçevelerin içine örülen duvarların çerçevelere yardım ettiği ve yük taşıdığı gerçektir[1]. Bu nedenle, yapısal olmayan elemanların inşaatına gereken itina verilerek can kayıpları önlenebilir.

Tablo 2.3 Yapısal Olmayan Performans Seviyeleri

[1] Yanal yükün %15'ini bölme duvarların karşılayabildiği düşüncesi hakimdir.

Performans Seviyesi	Tanım
NP-A	İşlevsel performans seviyesi
NP-B	Hemen kullanım performans seviyesi
NP-C	Can güvenliği performans seviyesi
NP-D	Azaltılmış hasar performans seviyesi
NP-E	Hasarın göz önüne alınmadığı performans seviyesi

2.2.3 Yapı Performans Seviyeleri

Binanın deprem etkisi altında beklenen performansı, ortaya çıkacak hasar, ekonomik kayıp ve faaliyete ara vermenin sakıncasının toplamı olarak görülür. Taşıyıcı sisteminin durumunu gösteren yapısal performans seviyesi ile taşıyıcı olmayan elemanların durumunu gösteren yapısal olmayan performans seviyelerinin kombinasyonu sonucu, talep edilen sınırlı hasar durumunu ifade eden yapı performans seviyeleri oluşur. Mümkün olan kombinasyonlar Tablo 2-1 de gösterilmiştir. Yaygın olarak kullanılan 1-A, 1-B, 3-C, 5-E performans seviyeleri öncelikli olarak açıklanacaktır.

Kullanıma Devam Performans Seviyesi 1-A (B): Binanın yapısal ve yapısal olmayan elemanlarında oluşan hasarlar, kullanıma devamı etkilemiyecek seviyededir yani yapı işlevselliğini korumaktadır. Yapı kullanımında can güvenliğini tehdit eden hiçbir risk yoktur. Kullanıma devam etmek için onarıma gerek yoktur.

Hemen Kulanım Performans Seviyesi 1-B (IO): Bu performans seviyesi önemli yapılar için öngörülen seviyedir. Bina hacimleri ve sistemleri kullanılabilecek durumdadır. Binada bulunan eşyalarda bir miktar hasar olabilir.

Can Güvenliği Performans Seviyesi 3-C (LS): Yapısal ve yapısal olmayan hasarlar mevcuttur. Bu hasarlardan dolayı oluşabilecek can güvenliği riski çok düşük bir olasılıktır. Deprem anında mobilya ve eşyaların konumu sabit değildir devrilerek yaralanmalara yol açabilir. Deprem sonrası kimyasal tehlike ve yangın tehlikesi vardır. Bu performans seviyesi günümüzdeki yönetmeliklerin yeni binalar için öngördüğü performans seviyesinden biraz daha düşük bir seviyeyi tanımlar. Yönetmeliklerde, binanın bu seviyeye göre daha fazla yerdeğiştirme yapacağı düşünülür.

Yapısal Stabilite (Toptan Göçmenin Önlendiği) Performans Seviyesi 5-E (CP): Bu performans seviyesi yapı taşıyıcı sistemi veya yatay yük taşıyan sistem için tanımlanabilir. Yapının düşey yük taşıyan sistemi ayaktadır ancak artçı depremler için hiçbir kapasite kalmamıştır ve artçı depremler sonucu yıkılma olasılığı yüksektir. Taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlarda oluşan hasarlardan, yıkılan ve düşen parçalardan dolayı can güvenliği tehlikesi vardır. Yapısal olmayan elemanlar işlevini kaybetmiş ve taşıyıcı sistem de büyük hasar görmüş durumdadır. Taşıyıcı olmayan elemanların hasarı ve kat relatif yer değiştirmeleri gibi hususlar kontrol edilemez.

Bina Performans Seviyesi 3-D: Taşıyıcı elemanlarda can güvenliği ve taşıyıcı olmayan elemanlarda azaltılmış hasar seviyelerinin birleşimidir. Yönetmeliklerde bulunan 50yıl/%10 olasılık deprem tanımı için verilen deprem kuvvetlerinin %75 ini alacak şekilde yapılan güçlendirmenin böyle bir performans seviyesini sağladığı kabul edilebilir.

2.3 Yer Hareketi

Performansa dayalı tasarımda, seçilen belirli bir bina performans seviyesinin hangi deprem etkisi altında elde edilmesi gerektiğinin belirlenmesi gerekir. Bunun yapılabilmesi için yer hareketi ve istenilen performans seviyesi birleştirilmelidir. Yer hareketinin belirlenmesi tasarım için kesinlikle gereklidir. Farklı büyüklüklere sahip depremler için yapının farklı kriterleri karşılaması planlanır. Deprem etki seviyesinin belirlenmesi spektrum eğrisinin tanımlanması ile yapılır. Depremin 50 yıl içindeki aşılma olasılığı tanımından veya benzer büyüklükteki depremler arasındaki ortalama dönüş periyodu tanımından hareket edilir. Bu iki tanım arasındaki ilişki Tablo 2.4'te verilmiştir. Yaygın olarak aşağıdaki üç deprem etkisi kullanılır.

Servis Deprem (SE): 50 yıllık periyotlar içinde meydana gelme olasılığı %50 olan depremlerdir. Servis deprem seviyesi tasarım depremi seviyesinin yaklaşık yarısıdır. Ortalama dönüş periyodu yaklaşık 75 yıl olan bu depremin yapının ömrü boyunca olma ihtimali çok yüksek fakat şiddeti ve büyüklüğü az olan bir depremi tanımlar.

Tasarım Depremi (DE): 50 yıllık periyotlar içinde meydana gelme olasılığı %10 olan depremlerdir. Ortalama dönüş periyodu yaklaşık 500 yıl olan bu depremin yapının ömrü boyunca olma ihtimali düşüktür.

Maksimum Deprem (ME): 50 yıllık periyotlar içinde meydana gelme olasılığı %5 olan depremlerdir. Ortalama dönüş periyodu yaklaşık 2500 yıl olacak şekilde, bölgede jeolojik bilgiler göz önüne alınarak belirlenebilecek en büyük deprem olarak kabul edilir. Maksimum deprem etkileri tasarım depremi etkilerinin yaklaşık 1,25~1,5 katıdır. Deprem yönetmeliklerinde tasarım depremi etkisinin, bina önem katsayısı ile arttırılması sonucunda maksimum deprem tanımlanmaya çalışılır.

Tablo 2.4 Göz önüne alınabilecek deprem için parametreler

Aşılma Olasılığı	Esas Alınan Zaman Aralığı	Ortalama Dönüş Periyodu
% 50	50 yıl	72 yıl
% 20	50 yıl	225 yıl
% 10	50 yıl	474 yıl
% 5	50 yıl	2475 yıl

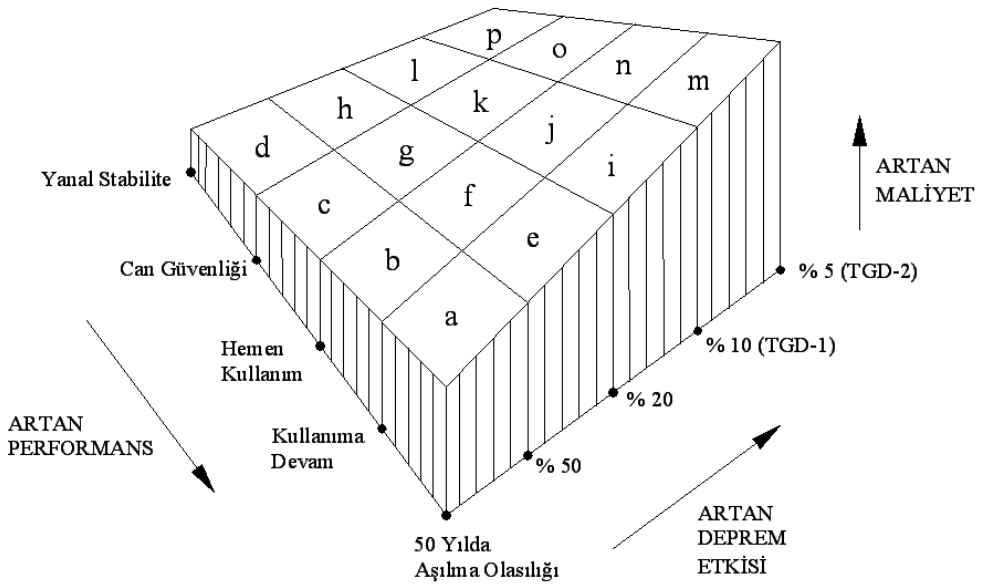
2.4 Performans Amaçları

2.4.1 Performans Amacı ve Sınıflandırılması

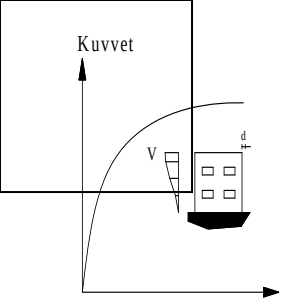
Sismik performans amacı, büyüklüğü verilen yer hareketi için tahmin edilen bina performansının seçilmesi ile saptanır. Performans amacı, farklı yer hareketi seviyesi için farklı performanslar seçilerek belirlenir. Performans amaçları Tablo 2.5'te gösterildiği gibi sınıflandırılmıştır. Burda Temel Güvenlik Depremi 1 (TGD-1) ve Temel Güvenlik Depremi 2 (TGD-2) olarak iki deprem etkisi tanımlanmıştır. Tablo 2.5'te verilen performans amaçlarından birinin seçiminde; seçilecek güvenlik seviyesinin ve kabul edilecek deprem etkisi seviyesinin belirlenmesi yanında binanın güçlendirme maliyeti ve binanın depremden kısa bir süre sonra kullanılabilmesi durumu da etkili olacaktır. Performans seviyelerinin maliyetle ilişkisi Şekil 2.1'de gösterilmiştir. Tablo 2.5'te verilen performans amaçlarından ana köşegende bulunan a-f-k-p amaçları ana binalar için, alt köşegende bulunan e-j-o önemli binalar için ve en alt köşegende bulunan i-n güvenliği çok özel olan binalar için önerilir. Bir bina için tek performans seviyesi seçilebileceği gibi birden fazla performans seviyesi de seçilebilir. Örneğin TGD-1 depreminde can güvenliği performans seviyesi ve TGD-2 depreminde yapısal stabilite performans seviyesi seçimi yapılabilir.

Tablo 2.5 Performans amaçlarının sınıflandırılması

Performans Amacının Saptanması				
Deprem Etki Seviyesi	Yapı Performans Seviyesi			
	Kullanıma Devam Performans Seviyesi 1-A (B)	Hemen Kullanım Performans Seviyesi 1-B (IO)	Can Güvenliği Performans Seviyesi 3-C (LS)	Yapısal Stabilite 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



2.5 Performans Amaçlarının Karşılaştırılması

2.5.1 Başlangıç Performans Amacı

Yapının tüm performans hedefi, binanın sahibi (özel binalar için) ya da sahip durumundaki hükümet kuruluşu (kamuya ait binalar için) tarafından, her bina için değerlendirme ve güçlendirmenin yapılmasından önce belirlenir. Sorumlu mühendis bina sahibine, başlangıç performans amacının belirlenmesinde, her türlü durum değerlendirilerek mevcut koşullardaki en uygun kararın verilmesine yardımcı olmalıdır.

Güçlendirme projesi veya sismik değerlendirmeyle ilgili beklentilerin belirlendiği bir durum raporunun hazırlanması, bina sahibi ve tasarım ekibine mevcut kaynaklarla yapılabilecek en uygun performans amacının belirlenmesinde yardımcı olur.

2.5.2 Son Performans Amacı

Başlangıç hedefi bina sahibi tarafından, sorumlu mühendis ile koordinasyon halinde; fiyat, tarihi değerinin gözetilmesi, binanın kalan ömrü ya da diğer durum ve sınırlamalar düşünülerek gözden geçirilebilir veya üzerinde bazı değişiklikler yapılabilir. Değerlendirme ve güçlendirmede kullanılan sonuç performans amacı, değerlendirme raporunda ve güçlendirme çizimlerinde, hedeflenen sonucun başarıyla elde edilmesinin garanti edilemeyeceği vurgulanarak belirtilmelidir.

3. LİNEER OLMAYAN STATİK ANALİZ (PUSHOVER ANALİZİ)

3.1 Giriş

Bu bölümde mevcut binaların performansının değerlendirilmesi veya beklenilen deprem kuvvetine göre yapılan güçlendirme projesinin yeterli olup olmadığının kontrolü için gerekli analitik işlemler açıklanmıştır. Bunlar lineer olmayan analiz için basitleştirme yöntemleri, kapasiteyi (Pushover) ve karşılığı (yerdeğiştirme) belirlemek için gerekli işlemler ve performans kontrolü için gerekli işlemlerdir.

Mevcut betonarme binaların analizi için elastik (lineer) ve elastik olmayan (lineer olmayan) çeşitli analiz yöntemleri vardır. Lineer analiz yöntemlerinde statik yatay yük, dinamik yatay yük ve lineerlik işlemleri talep-kapasite oranları ile mümkündür. Bu analiz yöntemlerinde malzeme bakımından nonlineer (doğrusal olmayan) davranış göz önüne alınmadığı için mevcut olan ek kapasite kullanılmamış olur. Lineer olmayan birçok temel analiz metodu tamamıyla lineer olmayan time history analizidir. Bu analiz genelde kullanılamayacak kadar karmaşıktır. Kullanılan basitleştirilmiş lineer olmayan analiz metodlarında ise maksimum yerdeğiştirmeyi tahmin etmek için kapasite (Pushover) eğrisi ile indirgenmiş Talep spektrumunun kesişim noktası olarak uygulanan "Kapasite Spektrum Metodu" (CSM) ile lineer olmayan analiz işlemleri yapılır. Bu bölümde genel olarak kapasite spektrumu metodu ile lineer olmayan statik analiz işlemlerinin uygulanmasına yer verilecektir

Bir lineer analiz yapının elastik kapasitesini ve ilk akmanın nerede olacağını iyi bir şekilde göstermesine karşın mekanizma durumlarını ve akma sırasında kuvvet dağılımını tahmin edemez. Elastik olmayan (Lineer olmayan) analiz yapıların göçme anına kadar davranışını ve yıkılma durumundaki mod şeklinin gerçekten nasıl olacağını çok büyük bir yaklaşıklıkla gösterir. Projelendirme için lineer olmayan yöntemlerin kullanımı mühendise büyük bir depreme maruz kalan yapının, elastik sınır aşıldıktan sonra nasıl davranacağı hakkında çok iyi fikir verir, gerçeğe yakın çözümler bulmasını ve esnek yorum yapabilmesini sağlar.

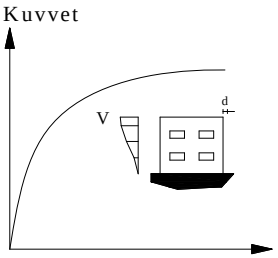
Tablo 3.1 Analitik İşlemlerin Algoritması

ANALİTİK İŞLEMLER

Elastik Davranış	Basitleştirilmiş Lineer Olmama durumu (Bölüm 3.2)	Diğer Lineer Olmayan İşlemler
• Yönetmelik İşlemleri • Karşılık Kapasite Oranları		• Sekant metodu • Zaman Alanı

Kapasite
(Bölüm 3.2.1)

Basitleştirilmiş lineer olmayan yöntemin genelde odaklandığı nokta "Statik İtme Yöntemi" kapasite eğrisinin değişik jenerasyonlarıdır. Yatay yer değiştirme, yapıya uygulanan kuvvetin bir fonksiyonu olarak ifade edilir. Bu yöntem kapasite hesaplanırken kullanılan metottan bağımsızdır ve mühendise büyük kolaylık sağlar.

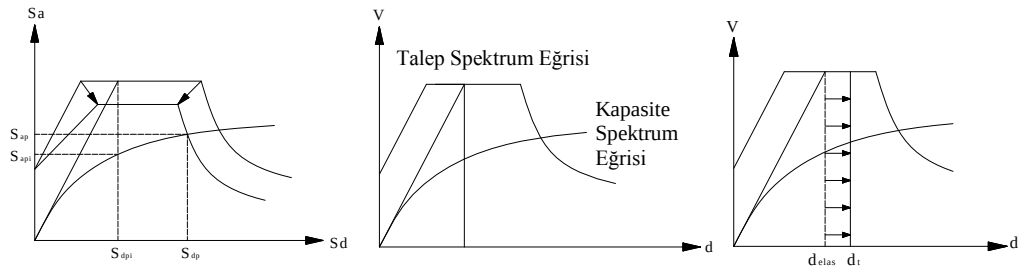


Talep Spektrumu
(Bölüm 3.2.2)

Kapasite spektrum metodu talep spektrum eğrisi ile kapasite spektrum eğrisinin lineer doğrultusu ile çakışma noktası iterasyon için iyi bir başlangıç noktasıdır.

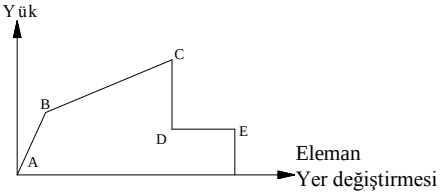
Eşit yer değiştirme yaklaşımı eğer bina tamamen elastik yapılsaydı inelastik yer değiştirme elastik yer değiştirmeye eşit olacaktı yaklaşımını kullanır.

Yer değiştirme katsayıları metodu d_t hedef yer değiştirmeyi hesaplamak için d_{elas} katsyılarla değiştirilir.



Performans
(Bölüm 3.2.4)

Performans noktasını veya hedef yer değiştirmeyi kullanarak yapının genel cevabının ve eleman yer değiştirmelerinin yapının özel performans amaçlarının doğrultusunda sınır durumlar için karşılaştırılmasını sağlar



Lineer olmayan bir işlem olan kapasite spektrumu yöntemi binanın toplam taban kesme kuvveti ile yapının en üst noktasında oluşan (çatı) yer değiştirmesi arasındaki ilişkiyi gösteren kapasite eğrisi ile sismik yer hareketini ifade eden talep spektrumu eğrisinin karşılaştırılmasını grafik bir ortamda mühendise sunar. Bu yöntem mevcut binaların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi için son derece kullanışlı bir metottur. Binanın mevcut durumdayken ve güçlendirildikten sonra ne şekilde davranacağı açık ve net bir şekilde bu yöntemle görülebilir.

3.2 Basitleştirilmiş Lineer Olmayan Analiz İçin Yöntemler

Performans bazlı analizlerin iki önemli kavramı talep ve kapasitedir. Tüm işlemler bu iki kavrama dayanarak yapılır. Talep, deprem yer hareketinin göstergesidir. Kapasite, yapının sismik talebe karşılık verebilme yeteneğinin göstergesidir. Performans, kapasitenin talebe cevap verebilmesi ile ölçülür. Başka bir deyişle, yapı depremin talebine karşılık verebilecek kapasitede olmalıdır. Bu yüzden yapı performansı ikinci bölümde anlatılan projelendirme amaçları ile uyumlu olmalıdır.

Kapasite spektrumu yöntemi ve deplasman katsayılar yöntemi gibi pushover yöntemleri kullanılarak basitleştirilmiş lineer olmayan analiz işlemlerini yapabilmek için öncelikle aşağıda açıklanan üç şeye ihtiyaç vardır: Kapasite, Talep (Talep yer değiştirmeleri) ve performans. Bunlar aşağıda kısaca açıklanmıştır:

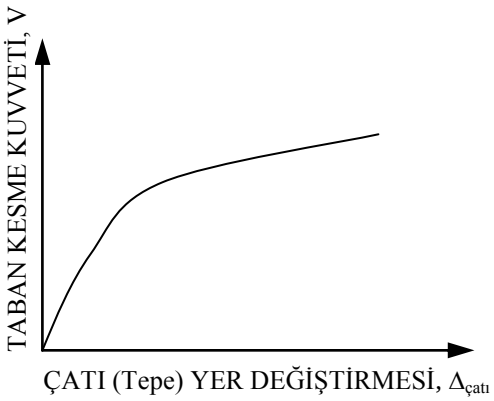
Kapasite: Yapının tüm kapasitesi taşıma gücüne ve herbir yapı bileşenlerinin deformasyon yapabilme kapasitesine bağlıdır. Elastik sınıra kadar olan bölümdeki deformasyon yapabilme kapasitesi lineer analiz yöntemleri ile hesaplanabilir fakat elastik sınırın ötesindeki deformasyon yapabilme kapasitesini belirlemek için pushover gibi lineer olmayan analizlerden bazılarını kullanmak gerekir. Bu yöntemde yapı bileşenlerinin akmaya ulaşması için gereken yatay yük artırılarak uygulanır. Bu işleme yapı labil hale gelene veya önceden belirlenen bir sınıra ulaşana kadar devam edilir. 3.2.1'de bu konu detaylı olarak anlatılmaktadır. İki ve üç boyutlu modeller için lineer olmayan davranış ve pushover eğrisi bilgisayar programları tarafından direk olarak yapılabilmektedir. Statik itme analizi (Pushover) sonucu elde edilen kapasite eğrisi lineer ötesi davranış için gerçekçi sonuçlar sunsa da oldukça yaklaşık bir yöntem olduğu unutulmamalıdır.

Talep (Yer değiştirme): Deprem anındaki yer hareketi zamana bağlı olarak çok karmaşık yatay yer değiştirme şekilleri ortaya çıkarır. Yapısal projelendirme gereksinimlerini belirlemek için her zaman aralığında bu hareketi izlemek (yani Time History Analiz) pratik olmayan bir hesap yöntemidir. Belirli bir yapı ve yer hareketi için talep yer değiştirmesi, yer hareketi süresince binanın tahmini beklenilen maksimum karşılığıdır.

Performans: Kapasite eğrisi ve talep yer değiştirmesi bir kez belirlendikten sonra performans kontrolü yapılabilir. Performans sınırları yapısal ve yapısal olmayan bileşenlerin performans limitlerinin kabul edilebilir durumlarının ötesinde hasar görmemesini sağlamak içindir.

3.2.1 Kapasiteyi Belirlemek İçin Adım Adım İşlemler

Yapı kapasitesi pushover eğrisi ile gösterilir. Bir yapının kapasitesini belirlemenin yani kuvvet-yer değiştirme eğrisini çizmenin 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, Çatı Yer değiştirmesi

SAP2000 gibi bazı lineer olmayan analiz programları statik itme analizini iterasyon gerekmeden doğrudan yapabilmektedir. Eğer bu programlar kullanılmayacaksa aşağıdaki adımlar uygulanmalıdır. Pushover eğrisini oluşturmak için ETABS, SAP90, RISA gibi programlar da kullanılabilir. Pushover eğrisi genellikle yapının birinci (fundamental) moduna talep gösterdiği şekil ve taban kesme kuvveti üzerine oluşturulur. Çünkü, bu tür yapılarda daha yüksek modların yapıya etkileri oldukça küçük olduğu için bu etkiler ihmal edilebilir. Bu genellikle doğal titreşim periyodu bir saniye olan yapılar için geçerlidir. Yüksek, narin ve daha sünek yapılarda 1.

modun periyodu bir saniyeden fazladır dolayısıyla bu durumda hesap yapılırken daha yüksek modların etksini de göz önüne alınmalıdır.

Aşağıda kapasitenin hesaplanma adımları gösterilmiştir.

1. Kat yatay yükleri kat kütlelerinin toplandığı kütle merkezlerine birinci mod şekliyle etkitilir (Analiz aynı zamanda ağırlık yükünü de içermelidir).
2. Yatay ve düşey yükün gerekli kombinasyonları için eleman kuvvetleri hesaplanır.
3. Bazı eleman veya eleman grupları için yatay yük eleman dayanımının %10'u kadar bir kuvvet olarak ayarlanır. Fakat çoğu yapılar için 1. ve 2. madde yeterlidir.
4. Taban kesme kuvveti ve çatı yer değiştirmesi kaydedilir. Bunlarla birlikte eleman kuvvetlerini ve dönmelerini kaydetmek de faydalı olacaktır çünkü bunlar performans kontrolünde gereklidir.
5. Mafsallaşan elemanlar için rijitliği sıfır alıp model tekrar kontrol edilir.
6. Başka bir eleman (veya eleman grubu) akmaya ulaşana (mafsallaşana) kadar yatay yüke yeni bir artış vermeye devam edilir.
7. Taban kesme kuvveti artmasına rağmen çatı yer değiştirmesi oldukça sabit olsa da yatay yükün artışına devam edilir.
8. P-Δ etkileri birbirinden çok fazla farklılık gösteren düzenli olmayan bir duruma geldiğinde yapı elemanları veya eleman grupları tamamıyla göçmeye başlıyor demektir. Bu durumda yapı düşey yük taşıma kapasitesini de kaybediyor anlamındadır. Bu nokta statik itme analizinin son noktasıdır[1].

3.2.2 Talep Spektrumunu Belirlemek İçin Adım Adım İşlemler

Güçlendirme çalışması için kullanılacak performans amaçlarının tespit edilmesi ne kadar önemli ise, belirli bir deprem için muhtemel maksimum yer değiştirmenin saptanması da o kadar önemlidir. Bu çalışmada Kapasite Spektrumu Yöntemi kullanılacaktır. Çünkü bu yöntem güçlendirme çalışmalarında kolaylık sağlar ve kapasite eğrisinin etkili bir şekilde kullanılabilmesini sağlar.

[1] Mühendislerin bu noktadan sonra da yüklemeye devam edip perdeli yapılar gibi özel yapılarda perde davranışı ve yapı yıkılımı hakkında görsel bilgi edinebilirler.

Performans seviyesini belirleyebilmek için kapasite eğrisi ile birlikte sismik talebin de belirlenmesi gerekir. Bu talep yer değiştirmelerini belirlemek için Kapasite Spektrumu Yöntemi[2] kullanılacaktır.

Kapasite Spektrumu Yöntemindeki deprem talep yer değiştirmesi kapasite spektrumu üzerinde "Performans Noktası" diye adlandırılan bir noktada oluşur. Bu performans noktası, yapının sismik kapasitesini; yani belirli bir depremle zorlanan yapının cevabını (karşılığını) gösterir.

3.2.3 Kapasite Spektrumu Yöntemi Kullanılarak Sismik Talebin Hesaplanması

Performans noktasının yeri şu iki koşul ile doğrulanmalıdır:

1) Nokta kapasite spektrumu eğrisi üzerinde olmalı.

2) Nokta, %5 sönümlü elastik talep spektrumundan indirgenmiş talep spektrumunun üzerinde olmalı.

Performans noktası kapasite spektrumu ile indirgenmiş talep spektrumunun kesiştiği noktadır. Bu yöntemde etkin sönüme bağlı bir terim olarak spektral indirgeme faktörleri verilmiştir. Etkin uygun sönümleme, kapasite eğrisinin şekline, tahmini yer değiştirme karşılığına ve histerisis çevrime bakılarak hesaplanır. Bina gerçek çevrimlerindeki muhtemel kusur ve eksiklikler, viskoz sönüm değerleri ve denklemler ile teorik olarak hesaplanabilir.

Genel olarak performans noktasının belirlenmesi yukarıdaki iki kriterin sağlanması ile ortaya çıkar. Performans noktasının belirlenmesi için iterasyon yapılır. Aşağıda bu işlemi kolaylaştırmak için üç ayrı yöntem ve kapasite spektrum yönteminin kavramsal ifadesi bulunmaktadır. Temel itibariyle üç yöntem de aynıdır ama matematik ifadeleri farklılıklar gösterir.

- **Kapasite Spektrum Yönteminin Kavramsal İfadesi:** Bu bölüm kapasite spektrum yönteminin teorik temellerini, gerekli formülasyonları ve hesabını içerir. Bu bölüm adım adım performans noktasını bulmayı anlatmaz bunun için A,B,C yöntemlerini incelemek gerekir.
- **Yöntem A:** Bu yöntem kavramın en direk uygulamasıdır. Tamamıyla iteratif bir yöntemdir; fakat formüllendirilmiş esaslar kolaylıkla bilgisayar programlarına uygulanabilir. Bu grafikten çok analitik bir yöntemdir. Yeni

[2] ATC-40'ta kullanılan yöntem

başlayanlar için en uygun ve anlaşılır yöntemdir ve sonuca en kısa yoldan ulaşmak mümkündür.

- **Yöntem B:** Kapasite eğrisinin iki doğrultuda modellenmesi imkanını sunan 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.
- **Yöntem C:** Yöntem C, performans noktasını bulmak için kullanılan zayıf bir grafik yöntemdir. Bilgisayar olmaksızın çözüm için en uygun yöntemdir. Fakat anlaşılması zordur ve bilgisayara uyarlaması tam değildir.

Tablo 3.2 Yöntem seçim tablosu[3]

Soru: Hangi Yöntemi Kullanmalıyım?
Cevap: Tamamen kişisel seçime bağlıdır.

Yöntem A:
- En açık, anlaşılır ve metodolojinin doğrudan uygulamasıdır.
- Analitik bir yöntemdir.
- Programlama için uygundur.
- Yeni başlayanlar için en uygun olanıdır. Direk sonuca gider ve analşılması kolaydır.

Yöntem B:
- Analitik bir yöntemdir.
- Basitleştirme kabulleri dolayısıyla yöntem A'dan daha basittir.
- Bilgisayar programlaması için en uygun olanıdır.

Yöntem C:
- Grafik bir yöntemdir.
- Elle analiz için en uygun olanıdır.
- Bilgisayar programları için uygun değildir.
- Metodolijisi pek anlaşılır değildir.

[3] Bu tezin kapsamında Yöntem A Bölüm 3.2.4.2'de ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır. Fakat Yöntem B ve Yöntem C anlatılmamıştır. İlgilenenler bu yöntemlerin açıklamalarını ATC-40, Bölüm 8-27'den bulabilirler.

3.2.3.1 Kapasite Spektrum Yönteminin Kavramsal Oluşumu (Kapasite Eğrisinin Kapasite Spektrumuna Dönüştürülmesi)

Kapasite Spektrumu Yönteminin kullanılması için performans noktası taban kesme kuvveti ve çatı yer değiştirmesinin yani kapasite eğrisinin mutlaka kapasite spektrumuna dönüştürülmesi gerekir ki bu Spektral İvme - Spektral Yer değiştirme (ADRS[4]) formatındadır. Dönüşümü yapabilmek için gerekli formüller:

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

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

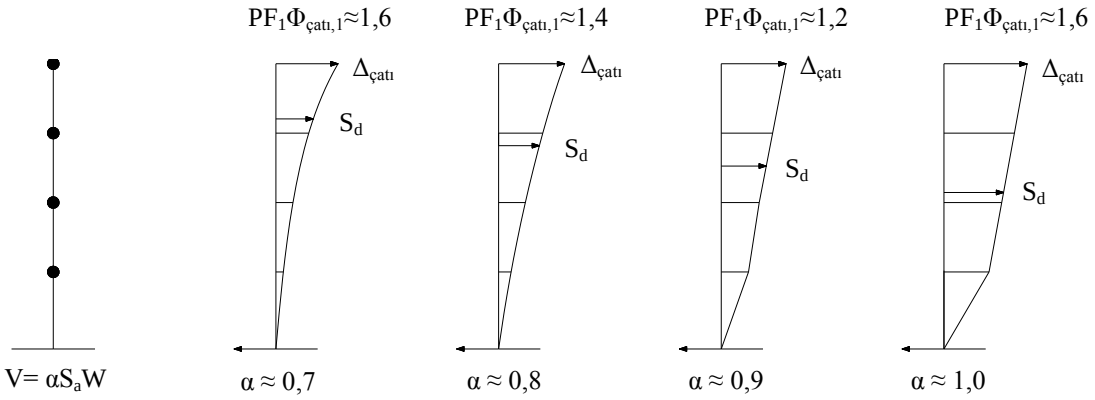
$$\alpha_1 = \frac{\left[\sum_{i=1}^{N} (w_i \phi_{i1}) / g \right]^2}{\left[\sum_{i=1}^{N} w_i / g \right] \left[\sum_{i=1}^{N} (w_i \phi_{i1}^2) / g \right]} \tag{3.3}$$

$$\alpha_1 = \frac{M_1^*}{M} \tag{3.4}$$

$$S_a = \frac{V_b}{\alpha_1 * W} \tag{3.5}$$

$$S_d = \frac{\Delta_N}{\Gamma_1 * \phi_{N1}} \tag{3.6}$$

[4] Acceleration Displacement Response Spectra (ADRS), Mahaney 1993.



Şekil 3.2 Modal Katılım Katsayıları ve Modal Kütle Katsayıları için bir örnek

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_b = Taban kesme kuvveti

W = Zati yük + n*Hareketli yük

$\Delta_{çatı}$ = Çatı yer değiştirmesi (V ve $\Delta_{çatı}$ kapasite Eğrisini oluşturur)

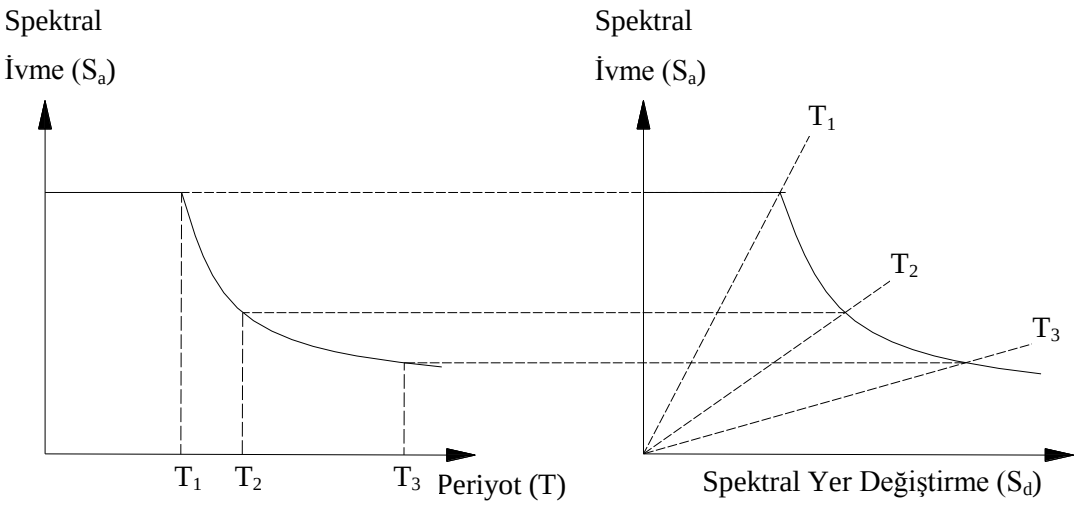
S_a = Spektral ivme

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

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

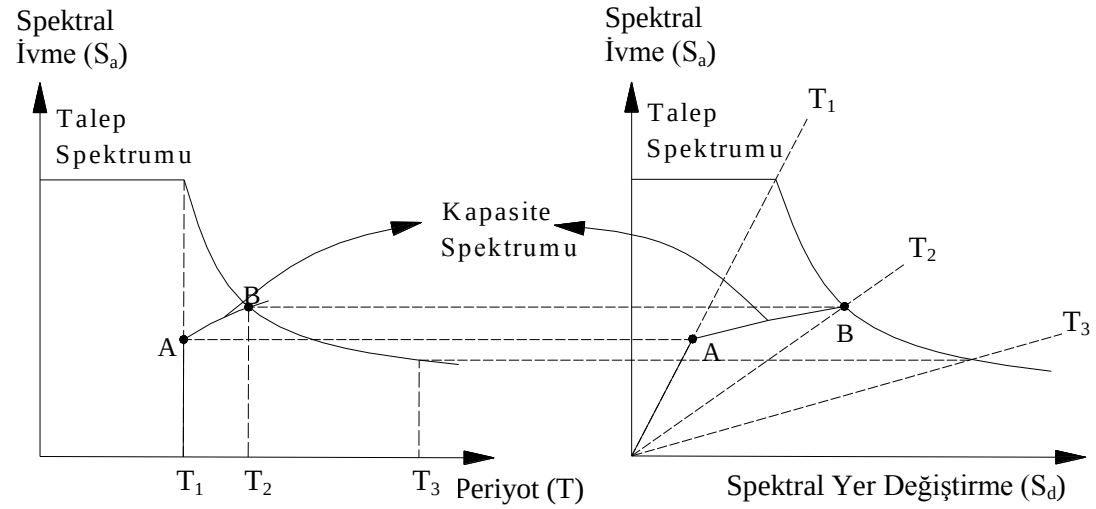
Kapasite eğrisini ADRS formatındaki kapasite spektrumuna dönüştürmek için; ilk olarak denklem 3.1 ve 3.4 kullanılarak birinci doğal titreşim modu için modal katılma katsayısı Γ_1 ve birinci doğal titreşim modu için modal kütle katsayısı α_1 hesaplanır. Daha sonra denklem 3.5 ve 3.6 kullanılarak kapasite eğrisi üzerindeki her nokta S_a (spektral ivme) ve S_d'lere (spektral yer değiştirmelere) dönüştürülür.

Mühendisler genellikle talep spektrumunu S_a, ve T şeklinde kullandıkları halde; S_a ve S_d (ADRS) formatına ise pek alışık değildir. Şekil 3.3 aynı spektrumu iki formatta da göstermektedir. ADRS spektrumu üzerindeki herhangi bir noktadaki T, periyodu $T=2\pi(S_d / S_a)^{1/2}$ ile hesaplanabilir. Benzer olarak ADRS spektrumu üzerindeki herhangi bir noktadaki S_d, $S_d = S_aT^2/4\pi^2$ formülü ile hesaplanabilir.



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

Şekil 3.3 Geleneksel ve ADRS formatlarında talep spektrumları

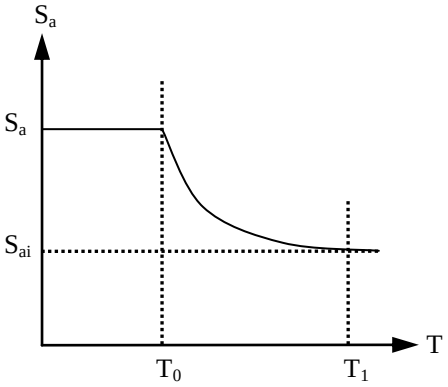


Şekil 3.4 Kapasite spektrumu ile talep spektrumunun üst üste çizilmiş şekli

Şekil 3.4'te görüldüğü gibi kapasite spektrumu T_1 periyodunda A noktasına kadar sabittir. B noktasına ulaşıldığında periyod T_2'dir. Bu durum yapı elastik olmayan davranış göstermeye başladığı zaman periyodunun artığını ifade eder. Periyodun artması geleneksel spektrum üzerinde açıkça görülmektedir; aynı zamanda da ADRS formatlı spektrumda da oldukça bellidir.

ADRS SPEKTRUMUNA DÖNÜŞTÜRME

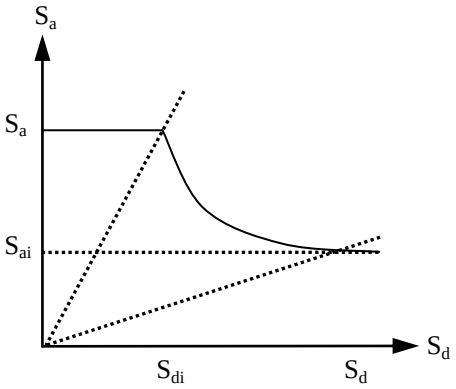
Talep Spektrumuna Dönüştürme



S_a, T için Standart Format

Talep spektrumu üzerindeki her nokta S_a, S_v, S_d ve T değerlerini içermektedir. Standart S_d ve T formatındaki spektrumu ADRS formatına çevirmek için S_{di} değerlerini belirlemek gerekir. Bu da aşağıdaki formülle yapılabilir:

$$S_{di} = \frac{T_i^2}{4\pi^2} S_{ai} g$$



Sa, Sd için ADRS formatı

Standart talep spektrumunda, spektral ivme değerleri için bir sınır vardır. T_i periyodundaki spektral ivme ve hız değerleri aşağıdaki formüllerle bulunur:

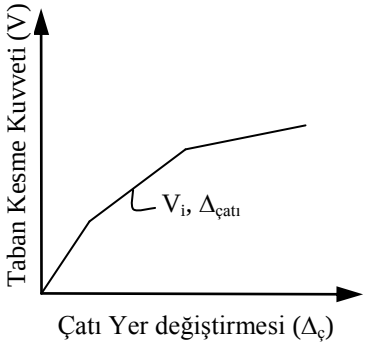
$$S_{ai} g = \frac{2\pi}{T_i} S_v \qquad S_{di} = \frac{T_i}{2\pi} S_v$$

Kapasite Spektrumuna Dönüştürme

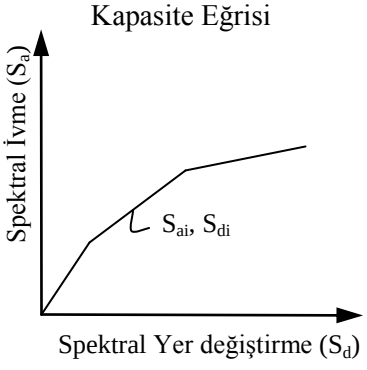
Kapasite (puhsover) eğrisinden kapasite spektrumuna geçmek için birinci mod spektral koordinatlarının noktadan noktaya dönüşümünün yapılması gerekir. Kapasite eğrisi üzerindeki herbir V_i, $\Delta_{çatı}$ noktası, bunlara karşılık gelen S_{ai}, S_{di} kapasite noktalarına aşağıdaki eşitlikler kullanılarak çevrilir:

$$S_{ai} = \frac{V_i}{W} \frac{1}{\alpha}$$

$$S_{di} = \frac{\Delta_{çatı}}{\left(PF_1 * \phi_{1,çatı}\right)}$$



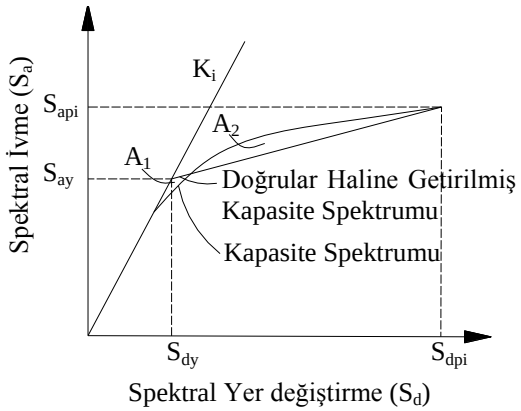
Kapasite Eğrisi



Kapasite Spektrumu

Şekil 3.5 ADRS spektrumuna dönüştürme

3.2.3.2 Kapasite Spektrum Eğrisinin Doğrular Haline Getirilmesi

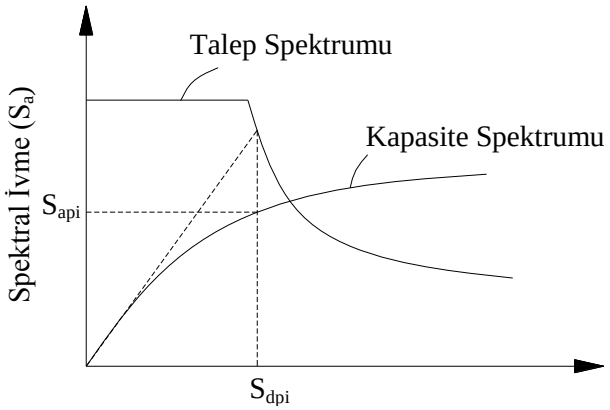


K_i = Başlangıç Rijitliği

A_1 alanı = A_2 alanı

Şekil 3.6 Kapasite spektrumu metodu için kapasite spektrumunu doğrular halinde gösterme

Doğrular şeklinde kapasite spektrumunun oluşturulması için etkin sönümün ve bu sönüme uygun indirgenmiş talep spektrumunun tahmin edilmesi gerekir. Spektrum eğrisinin oluşturulması için S_{api} ve S_{dpi} koordinatlarınında belirlenmesi gerekir. Bu nokta başlangıç performans noktasıdır ve indirgenmiş talep spektrumunu oluşturmak için mühendis tarafından tahmin edilir. Başlangıç performans noktasını tahmin etmek için %5 sönümlü talep spektrumu ve kapasite spektrumu Şekil 3.7'da gösterildiği gibi aynı grafik ortamda çizilir. Kapasite eğrisinin lineer kısmı uzatılarak %5 sönümlü talep spektrumu ile kesiştirilir. Bu kesişim noktasının kapasite eğrisi üzerindeki izdüşümü alınarak başlangıç performans noktasının koordinatları olan S_{api} ve S_{dpi} bulunur. Şekil 3.6'te gösterildiği gibi doğrular şeklinde kapasite spekturumunu oluşturabilmek için bulunan S_{api}, S_{dpi} noktasından geriye daha önce çizilen doğruya doğru A_1 ve A_2 alanları eşit olacak şekilde bir doğru çizilir. Bunun nedeni her bir eğrinin eşit sönümlemesini sağlamaktır ve doğrular şeklinde kapasite spektrumu elde edilmiş olur. Talep spektrumu ile kapasite spektrumu bu tahmin edilen S_{api} ve S_{dpi} noktasında kesişiyorsa bu nokta Performans Noktasıdır. İlk tahmin edilen nokta S_{ap1}, S_{dp1}, ikincisi S_{ap2}, S_{dp2} ve böyle devam eder. Performans noktasının üç ayrı yöntemle de adım adım bulunması ilerde anlatılacaktır.



Şekil 3.7 Kapasite spektrum eğrisi ile %5 sönümlü talep spektrum eğrisinin aynı grafik ortamda çizilmesi

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'dan 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'dan okunur.

Tablo 3.4 Kaynağa Mesafe Katsayısı

Deprem Kaynağı Türü	Deprem Kaynağına Mesafe							
	$\leq$ 2km		5km		10km		$\geq$ 15km	
	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

Zemin Sınıfı ve Tanımı	S_A	S_B	S_C	S_D	S_E	S_F
	Sert Kaya	Kaya	Çok Sıkı Zemin, Yumuşak Kaya	Sert Zemin	Yumuşak Zemin	Yerel Zemin İncelemesi Gerekli

Hesaplarda kullanılacak olan deprem etkisi belirlenir. Bu deprem itkisine 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'dan 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					

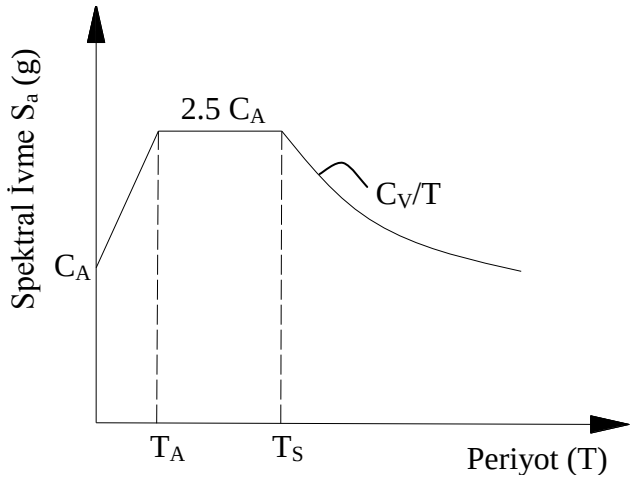
Tablo 3.7 Deprem Katsayısı C_V

	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 3.8'da gösterildiği gibi çizilir.

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

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

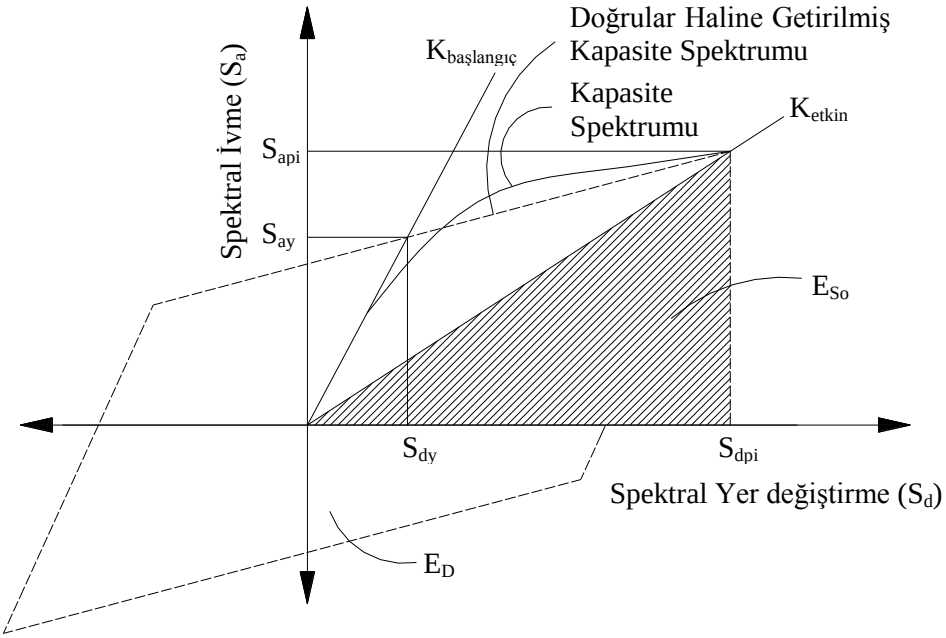


Şekil 3.8 %5 Sönümlü elastik deprem spektrumu

3.2.3.4 Sönümün Tahmini ve %5 Sönümlü Talep Spektrumunun İndirgenmesi

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

olan spektral yer değiştirme ile spektral ivme arasındaki bağıntı Şekil 3.9'de görüldüğü gibi elastik sınır aşıldığında bir çevrimsel değişim gösterir.



Şekil 3.9 Spektral indirgeme için sönümün ifadesi

Bu eğrinin içinde kalan alan çevrimsel sönüm ile orantılıdır. Bu sönüm β_o[5] olarak eşdeğer viskoz sönüme yaklaşık olarak dönüştürülebilir. Sonuç olarak etkili toplam sönüm oranı β_{ef} ;

$$\beta_{ef} = 0.05 + \kappa\beta_0 \tag{3.9}$$

$$\beta_0 = \frac{1}{4\pi}\frac{E_D}{E_{So}} \tag{3.10}$$

olarak bulunabilir. Burada E_D bir çevrimde sönümle tüketilen enerji olup çevrim içinde kalan alana ve E_{So} aynı yük seviyesi altındaki maksimum şekil değiştirme enerjisine (Şekil 3.9'de taranan alana) karşılık gelir. Geometrik bağıntılar kullanılarak

$$\beta_{ef} = 0{,}05 + \beta_0 = 0{,}05 + 0{,}64 * \kappa * \frac{Sa_y * Sd_{pi} \quad Sd_y * Sa_{pi}}{Sa_{pi} * Sd_{pi}} \tag{3.11}$$

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

[5] β_0 ifadesinin ayrıntılı bir şekilde bulunuşunu görmek isteyenler ATC-40, Bölüm 8'den faydalanabilirler

değerlerini göstermektedir. Çevrimsel sönümün belirlenmesinde kullanılan paralel kenarın gerçek yapıda farklı olabileceği düşünülerek bir κ düzeltme katsayısı öngörülmüştür. Çevrimsel davranışın tam olarak oluşmadığı yapım kalitesi düşük yapılarda bu katsayı daha küçük seçilir. Yeni yapılarda sönüm çevirimi 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

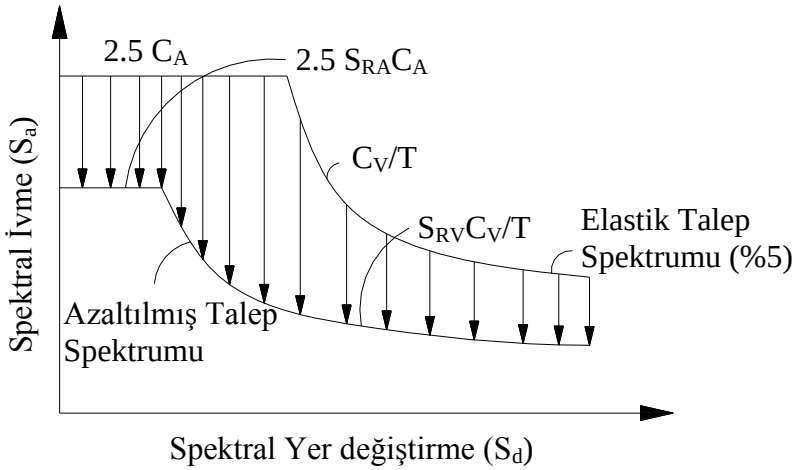
Yapı Davranış Türü	A	B	C
K	1.00	0.67	0.33

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

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

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

formülleri ile de hesaplanabilir ancak bulunan değerlerin Tablo 3.11'de verilen minumum değerlerden büyük olması gerekir.



Şekil 3.10 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}	SR_A	SR_V	β_{ef}	SR_A	SR_V	β_{ef}	SR_A	SR_V
0.0	0.05	1.00	1.00	0.05	1.00	1.00	0.05	1.00	1.00
0.05	0.10	0.78	0.83	0.08	0.83	0.87	0.07	0.91	0.93
0.15	0.20	0.55	0.66	0.15	0.64	0.73	0.10	0.78	0.83
0.25	0.28	0.44	0.57	0.22	0.53	0.63	0.13	0.69	0.76
0.35	0.35	0.38	0.52	0.26	0.47	0.59	0.17	0.61	0.70
≥0.45	0.40	0.33	0.50	0.29	0.44	0.56	0.20	0.56	0.67

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

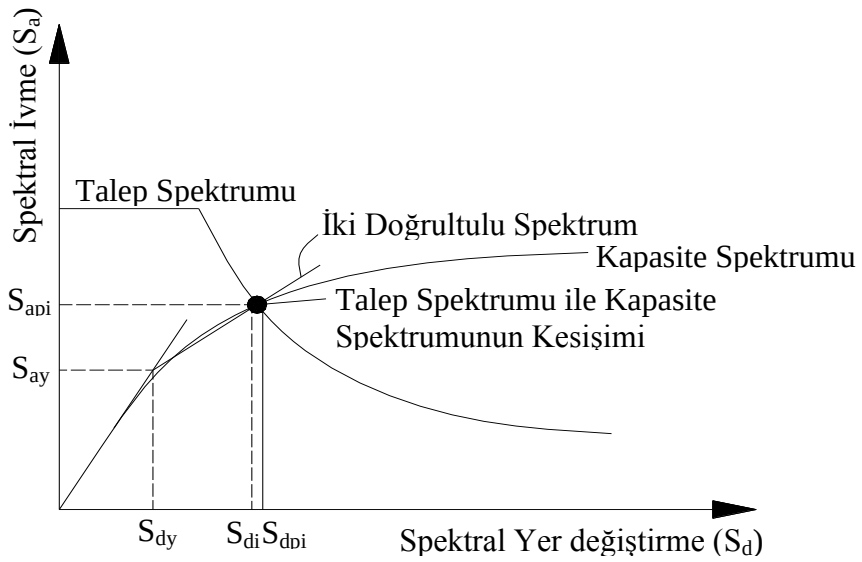
	Yapı davranış türü A	Yapı davranış türü B	Yapı davranış türü C
SR_A	0.33	0.44	0.56
SR_V	0.50	0.56	0.67

3.2.4 Performans Noktasının Bulunması

3.2.4.1 Kapasite ve Talep Spektrumlarının Kesişimi

Kapasite spektrumu ile talep spektrumunun kesişim noktasında ki S_{dp} spektral yer değiştirme, S_{api}, S_{dpi} deneme performans noktalarının S_{dpi} spektral yer değiştirmenin ±%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 3.11 bu kavramı göstermektedir. Performans noktası deprem yer hareketine karşılık binada oluşabilecek maksimum yapısal yer değiştirmeyi gösterir.

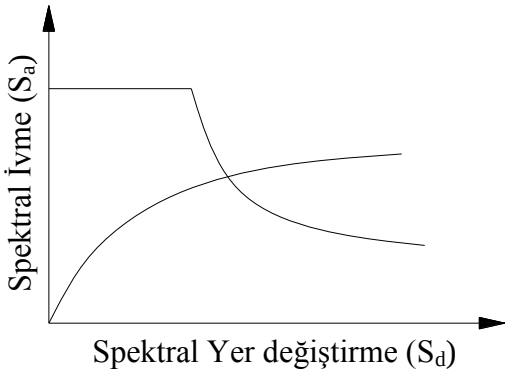


Şekil 3.11 Talep spektrumu ve kapasite spektrumlarının kabul edilebilir toleranslar içindeki kesişim noktası

3.2.4.2 Yöntem A'yı Kullanarak Performans Noktasını Hesaplama

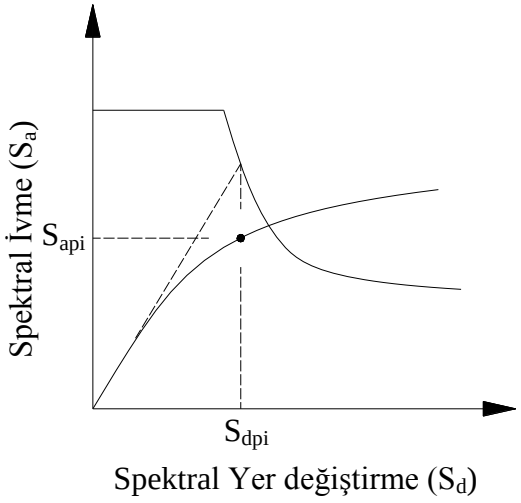
Bu yöntemde performans noktasını bulmak için yapılacak iterasyonlar el ile veya bilgisayarla yapılabilir. Bu yöntem daha önce bahsedilen prensiplerin en sade biçimde uygulamasıdır. İşlemler aşağıda gösterilen sırayla yapılır.

1. Bölüm 3.2.3.3'de anlatılan yöntemler kullanılarak uygun olan %5 sönümlü elastik talep spektrumu çizilir.
2. Bölüm 3.2.3.1'de anlatıldığı gibi 3.1, 3.4, 3.5 ve 3.6 denklemlerinden yararlanarak kapasite eğrisi kapasite spektrumuna dönüştürülür. Kapasite eğrisi ile %5 sönümlü elastik talep spektrumunu Şekil 3.12'deki gibi aynı grafikte gösterilir.



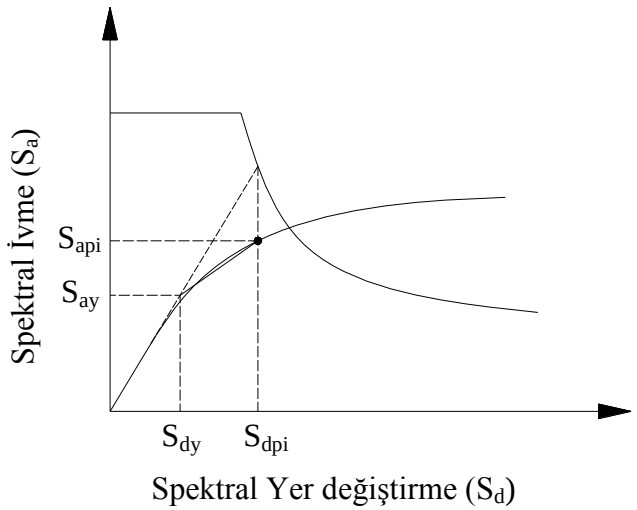
Şekil 3.12 Yöntem A, ikinci adım

3. Şekil 3.13'te 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.



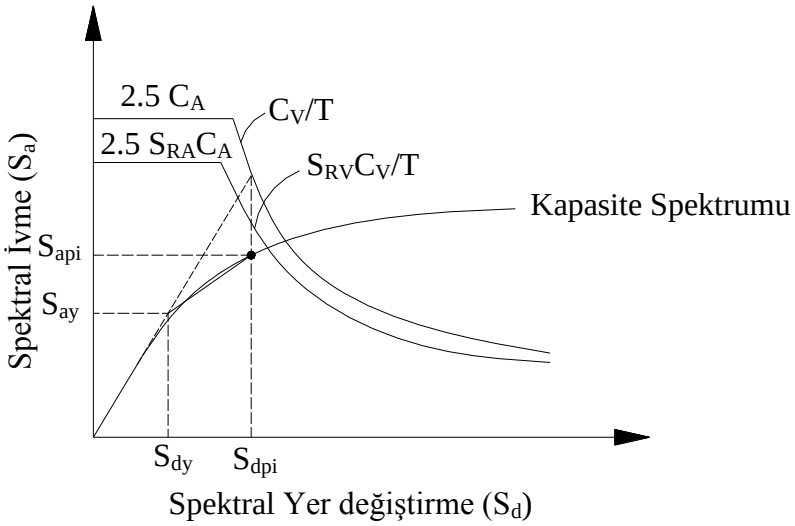
Şekil 3.13 Yöntem A, üçüncü adım

4. Bölüm 3.2.3.2'de anlatıldığı gibi kapasite spektrumu Şekil 3.14'teki gibi doğru şeklinde kapasite spektrumuna dönüştürülür.



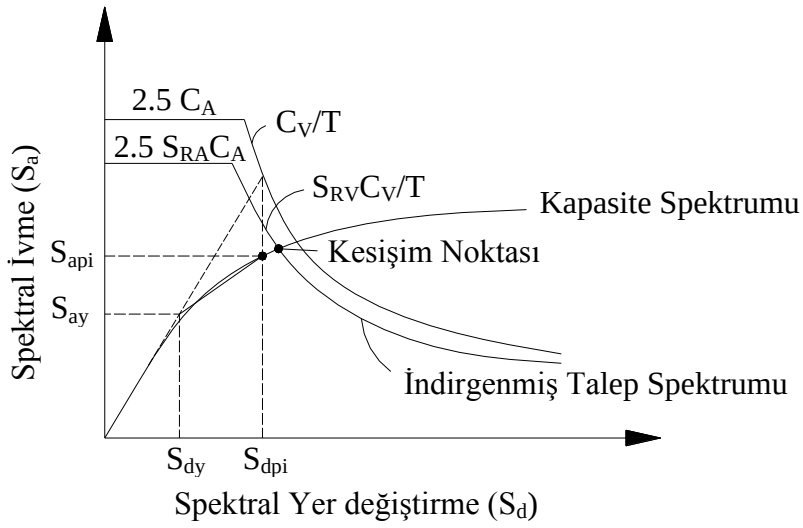
Şekil 3.14 Yöntem A, dördüncü adım

5. Bölüm 3.2.3.4'de anlatıldığı gibi formül (3.12) ve (3.13) kullanılarak S_{RA} ve S_{RV} hesaplanır. %5 sönümlü talep spektrumundan bu indirgenme katsayıları ile indirgenmiş talep spektrumuna geçilir. Şekil 3.15'te gösterildiği gibi kapasite spektrumu ile indirgenmiş talep spektrumu aynı grafikte çizilir.



Şekil 3.15 Yöntem A, beşinci adım

6. Kapasite spektrumu ile indirgenmiş talep spektrumunun kesiştiği nokta belirlenir. Bu noktanın yatay spektral yer değiştirme koordinatı olan S_{dp} noktası Bölüm 3.'te anlatılan yeterli ve kabul edilebilir yaklaşıklıkta ise işlem yeterlidir ve bu nokta gerçek performans noktasıdır. Şekil 3.16



Şekil 3.16 Yöntem A, altıncı adım

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 BİR BETONARME BİNANIN LİNEER OLMAYAN STATİK ANALİZİ

4.1 Giriş

Statik itme analizi hakkındaki teorik bilgiler önceki bölümde detaylı olarak verilmiştir. Bu bölümde, bu bilgilerin daha iyi anlaşılabilmesi için 1975 Deprem Yönetmeliğine göre inşaa edilen mevcut bir yapının deprem güvenliğinin kontrolü ve güçlendirme çalışması yapılmıştır. Özellikle 1975 Deprem Yönetmeliğine göre inşaa edilmiş mevcut bir yapı üzerinde uygulama yapılması düşünülmüştür. Bunun nedeni, bu mevcut yapının 1998 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmeliğin şart ve gereklerini karşılayabiliyor mu, bu yapılar eski yönetmeliğe tam uyularak inşa edilmiş olsalar bile güçlendirme çalışması gerekiyor mu gibi soruların cevaplarını bulmak içindir. Mevcut yapının deprem güvenliğinin tahkiki ve göçme yükünün tayini için EPARC[1] 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 sonuçlarda bu birimler cinsinden elde edilmiştir. Yapılan analizlerin sonuçlarına göre mevcut yapının 1975 Deprem Yönetmeliğine uygun inşaa edilip edilmediği araştırılmıştır. Yapının taşıyıcı sistemi 1975 Deprem Yönetmeliğine uygun olarak projelendirildikten sonra uygun inşaa edildiği koşulu ile statik itme analizi tekrarlanmıştır. Yeni analiz sonuçlarına göre güçlendirme çalışması yapılmış ve bu çalışmanın yeterli olup olmadığını araştırmak için statik itme analizi yeniden uygulanmış ve elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

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

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 = 3.10 m, normal katlar = 2.85 m
- Yapının X doğrultusundaki toplam uzunluğu = 12.20 m
- Yapının Y doğrultusundaki toplam uzunluğu = 11.20 m
- Deprem bölgesi = 1. Bölge
- Etkin yer ivmesi (A_o) = 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 ≅ 15 km
- Bina önem katsayısı (I) = 1.0
- Zemin sınıfı = Z4
- 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 10
- Betonun birim kısalması (ε_{cu}) = 0.003
- Güçlendirmede kullanılan beton sınıfı : BS 20
- Beton birim hacim ağırlığı (γ_{beton}) = 2.5 t/m^3
- Çelik sınıfı : BC I
- Çeliğin birim uzaması (ε_{su}) = 0.01
- Döşeme türü : Plak
- Döşeme kalınlığı = 0.12 m
- Dış duvar birim ağırlığı ($\gamma_{dışduvar}$) = 0.30 t/m^2
- İç duvar birim ağırlığı ($\gamma_{içduvar}$) = 0.25 t/m^2
- Sıva + kaplama ağırlığı = 0.15 t/m^2
- Hareketli yükler : q = 0.20 t/m^2 (Teras katı ve konut odaları)
- Hareketli yükler : q = 0.35 t/m^2 (Konut merdivenleri ve balkonlarda)

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 = $h_f * \gamma_{beton} = 0.12 * 2.5 = 0.30$ t/m^2

(Sıva + Kaplama) ağırlığı = 0.15 t/m^2

g = 0.30 + 0.15 = 0.45 t/m^2

4.3.1.2 Hareketli Yükler

Çatı Katı (Teras) : q = 0.20 t/m^2 = 2.0 kN/m^2

Konut Odaları : q = 0.20 t/m^2 = 2.0 kN/m^2

Konut Merdivenleri : q = 0.35 t/m^2 = 3.5 kN/m^2

Balkonlar : q = 0.35 t/m^2 = 3.5 kN/m^2

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 kirşilerde daha fazla, kısa kirişlerde daha azdır.



Şekil 4.1 Düzgün yayılı yükün eşdeğer tekil yüke çevrilmesi

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

- Toplam eşdeğer deprem yükü hesabı

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

V_t : Toplam eşdeğer deprem yükü.

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 Sabit Yükler

	Sabit Yükler (Ton)				
Kat No	Döşeme Yükü	Kiriş Yükü	Kolon Yükü	Duvar Yükü	TOPLAM Sabit Yük
3	50.634	17.062	4.406	42.553	114.655
2	57.411	17.062	8.813	58.539	141.824
1	57.411	22.782	9.458	56.924	146.575
Z	57.411	28.010	10.673	57.673	153.767

Tablo 4.2 Bina Ağırlığı

Kat No	TOPLAM Sabit Yük (W_g) (Ton)	n	TOPLAM Hareketli Yük (W_q) (Ton)	TOPLAM Kat Ağırlığı ($W_i = W_g + nW_q$) (Ton)
3	114.655	0.3	24.091	121.883
2	141.824	0.3	29.362	150.633
1	146.575	0.3	29.362	155.383
Z	153.767	0.3	29.362	162.576
TOPLAM BİNA AĞIRLIĞI ($W_3 + W_2 + W_1 + W_Z$)				**590.475**

- 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 ;

$C_t = 0.07$

$H_N = 11.65$ m

$T_1 = 0.07 * 11.65^{3/4}$

$T_1 = 0.44141\ s$

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

Yapı 1. Derece deprem bölgesinde olduğu için ;

A_0 : Etkin yer ivmesi

$A_0 = 1.0$

I : Bina önem katsayısı

I = 1.0

Yerel Zemin Sınıfı : Z4

$T_A = 0.20s$

$T_B = 0.90s$

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

$R_a(T) = R = 4$

Taban Kesme Kuvveti = $V_t = \frac{W * A(T_1)}{R_a(T_1)} = \frac{590.475 * 1}{4} = 147.619\ t$

Taban Kesme Kuvveti = $V_t \geq 0.10 * A_0 * I * W = 0.10 * 0.40 * 1.0 * 590.475 = 23.619$

Hesapta Esas Alınacak Taban Kesme Kuvveti $V_t = 147.619\ t$

- Katlara etkiyen eşdeğer deprem yükün hesabı

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

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

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

$$F_{çatı} = (147.619) * \frac{121.823 * 11.65}{4174.02} = 50.218 \text{ t}$$

$$F_{2.Kat} = (147.619) * \frac{150.633 * 8.80}{4174.02} = 46.880 \text{ t}$$

$$F_{1.Kat} = (147.619) * \frac{155.383 * 5.95}{4174.02} = 32.697 \text{ t}$$

$$F_{Zemin} = (147.619) * \frac{162.576 * 3.10}{4174.02} = 17.824 \text{ t}$$

- Katlara gelen kesme kuvveti

$V_{çatı} = F_{Çatı} = 50.218$ t

$V_{2.Kat} = F_{Çatı} + F_{2.Kat} = 50.218 + 46.880 = 97.098$ t

$V_{1.Kat} = F_{Çatı} + F_{2.Kat} + F_{1.Kat} = 50.218 + 46.880 + 32.697 = 129.795$ t

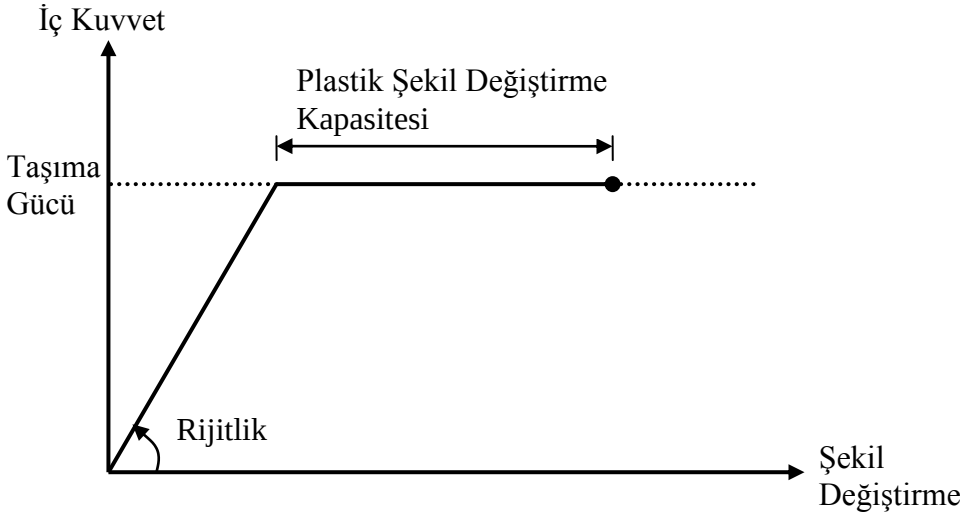
$V_{Zemin} = F_{Çatı} + F_{2.Kat} + F_{1.Kat} + F_{Zemin} = 50.218 + 46.880 + 32.697 + 17.824 = 147.619$ t

4.4 EPARC ANALİZ PROGRAMI KULLANILARAK YAPININ DEPREM GÜVENLİĞİNİN TAHKİKİ

Bu bölümde, göçme yükünün hesabı ve deprem güvenliğinin belirlenmesi amacı ile malzeme ve geometri değişimleri bakımından lineer olmayan betonarme yapı sistemlerinde kullanılmak üzere tasarlanan ve geliştirilen yük artım yönteminin esas alındığı EPARC bilgisayar programı kullanılmıştır. EPARC bilgisayar programının dayandığı varsayımlar aşağıda sıralanmıştır.

i. Betonarme çubuk elemanlarda iç kuvvet-şekildeğiştirme bağıntılarının, Şekil 4.2'de gösterildiği gibi, iki doğru parçasından meydana gelecek şekilde idealleştirilebileceği varsayılmaktadır.

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



Şekil 4.2 İdealleştirilmiş İç Kuvvet-Şekil değiştirme Bağıntıları

iii. Kesme kuvvetlerinin akma koşuluna etkisi terkedilmiştir. Burulma momentlerin akma koşuluna etkisi de terk edilmiştir. Bileşik eğik eğilme haline ait üç boyutlu akma yüzeyi düzlem parçalarından oluşacak şekilde idealleştirilmiştir.

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

v. Yapı sistemlerinin narinliğine ve normal kuvvetlerin büyüklüğüne bağlı olarak birinci veya ikinci mertebe teorilerinden biri uygulanmaktadır.

vi. Sistemi oluşturan çubuklar doğru eksenli, sabit enkesitlidir ve normal kuvvet çubuk boyunca sabittir. Bu koşulların sağlanmadığı çubuklar doğru eksenli, sabit enkesitli olan ve normal kuvveti sabit varsayabilen yeter derecede küçük parçalara ayrılarak idealleştirilebilirler.

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

viii. Sistemin şekildeğiştirmesi sırasında yüklerin doğrultularının değişmediği varsayılmaktadır.

EPARC programı yardımıyla, betonarme düzlem çubuk sistemler ve döşemeleri kendi düzlemi içinde sonsuz rijit varsayılan uzay çubuk sistemler belirli sabit düşey yükler ve orantılı olarak artan yatay yükler altında hesaplanıp, düşey yükler için öngörülen sabit bir güvenlik katsayısı altında, yapı sistemlerinin göçmesine neden olan yatay yükler elde edilir. Yük artımı yönteminde yapı sistemi ardaşık yük

artımları için hesaplanmaktadır. Her yük artımı, herhangibir kesitteki iç kuvvet durumunun akma koşulunun belirlediği sınır durumuna erişmesi halinde, diğer bir değişle sistemde bir plastik kesitin oluşumu ile sona ermektedir. Artan dış yükler altında plastik kesitlerdeki iç kuvvetler akma koşullarını sağlayacak şekilde değişebilmekte, buna karşılık iç kuvvetler doğrultularında sonlu plastik şekildeğiştirmeler meydana gelmektedir. Lineer olmayan eğilme şekildeğiştirmelerinin ön görülen dönme kapasitelerini aşması halinde meydana gelebilecek göçme durumu ise, EPARC programı ile CHECK bilgisyar programı ortak olarak belirlenmektedir. Statik itme analizi, yapı sisteminde oluşan plastik mafsallar yapıyı labil hale getirince veya yapı taşıyıcı sistemindeki herhangi bir eleman göçme durumuna gelince kesilir. Okunan değer yapının göçme durumunda karşı koyabildiği taban kesme kuvveti ve bunun sonucunda oluşan çatı katı yer değiştirmesidir.

Normal kuvvetlerin çok büyük olmamasından dolayı ikinci mertebe etkilerinin ihmal edilmesi varsayılmış, yapı birinci mertebe teorisine göre analiz edilmiştir. Hesaplamalarda elemanların brüt en kesit rijitlikleri kullanılmıştır.

İlk olarak, Help 200 programı için yapı hakkındaki tüm bilgi ve verilerin bulunduğu bir giriş veri dosyası oluşturulmuştur. Bu veri dosyası oluşturulurken yapıda kullanılan malzeme ve bunların karakteristik özellikleri, geometrisi, taşıyıcı eleman boyutları, taşıyıcı eleman üzeride bulunan yükler, yapıda bulunan donatıların yerleri ve adetleri belirlenerek girilmiştir. Sistemin geometrisi oluşturulurken EK-B Şekil B-1'deki numaralandırma kullanılmıştır. Numaralandırma düğüm noktaları ve çubuk elemanlar için ayrı ayrı yapılmıştır. Düğüm noktalarına numara verilmeye en üst kattan belli bir düzene uyularak başlanmış ve alt katlara geçilerek aynı düzende numara verilmeye devam edilmiştir. Bu şekilde mesnetler dahil olmak üzere yapıdaki bütün düğüm noktalarına numara verilmiştir. Çubuk elemanların numaraldırılmasıda en üst kattan başlayarak belli bir düzende yapılmıştır. İlk olarak kirişlere daha sonrada kolonlara numara verilerek numaralandırma işlemi tamamlanmıştır. Help 200 programı için hazırlanan giriş veri dosyasında yer alan bilgiler aşağıda tanımlanmıştır.

- Sistemdeki çubuk sayısı : 205
- Mesnetler dahil düğüm noktası sayısı : 130
- Mesnetler hariç düğüm noktası sayısı : 116

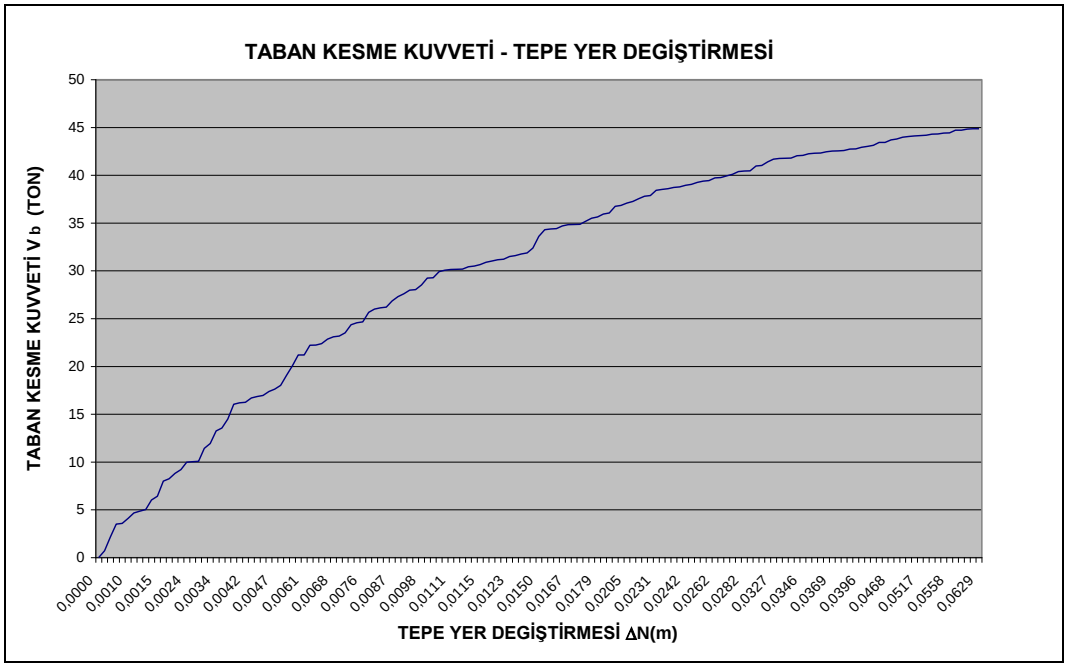
- Düşey yüklü düğüm noktası sayısı : 116
- Yüklü çubuk eleman sayısı : 149
- Yatay yük etkiyen düğüm noktası sayısı : 4
- Kat sayısı : 4
- Betonun karakteristik basınç dayanımı : 1000.00 t / m^2
- Çeliğin karakteristik akma dayanımı : 22000.00 t / m^2
- Betonun elastisite modülü : 2427740.30 t / m^2
- Çeliğin maksimum birim uzaması : 0.01
- Kat kütle merkezi koordinatları ; X : 6.10 m, Y : 5.60 m
- Düğüm noktası koordinatlarının tanımlanması (Global X ve Y eksenleri aynı olan noktalar Z ekseni üzerinde türetilmiştir.) :
- Çubuk eleman uç numaralarının tanımlanması (Çubuk elemanların I ve J ucundaki düğüm noktaları tanımlanarak çubuk elemanın yapıdaki boyu ve konumu belirtilmiştir.) :
- Çubuk elemanlara ait en kesit boyut bilgilerinin tanımlanması :
- Çubuk elemanlar üzerindeki tekil yüklerin tanımlanması (Kiriş üzerinde bulunan yayılı yükler eşdeğer tekil yüke çevrilmiş ve bu şekilde tanımlanmıştır.) :
- Düğüm noktalarına etkiyen düşey yük ve momentlerin tanımlanması :
- Kiriş boyuna donatı alanlarının ve konumlarının tanımlanması :
- Kolon donatı alanlarının ve konumlarının tanımlanması :
- Yatay deprem kuvvetinin etkidiği düğüm noktası ve şiddetinin tanımlanması :

Yapıya ait veri giriş dosyası tamamlandıktan sonra Help 200, 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.

4.4.1 Yapının "X" Yönü İçin Analiz Sonuçları ve Değerlendirilmesi

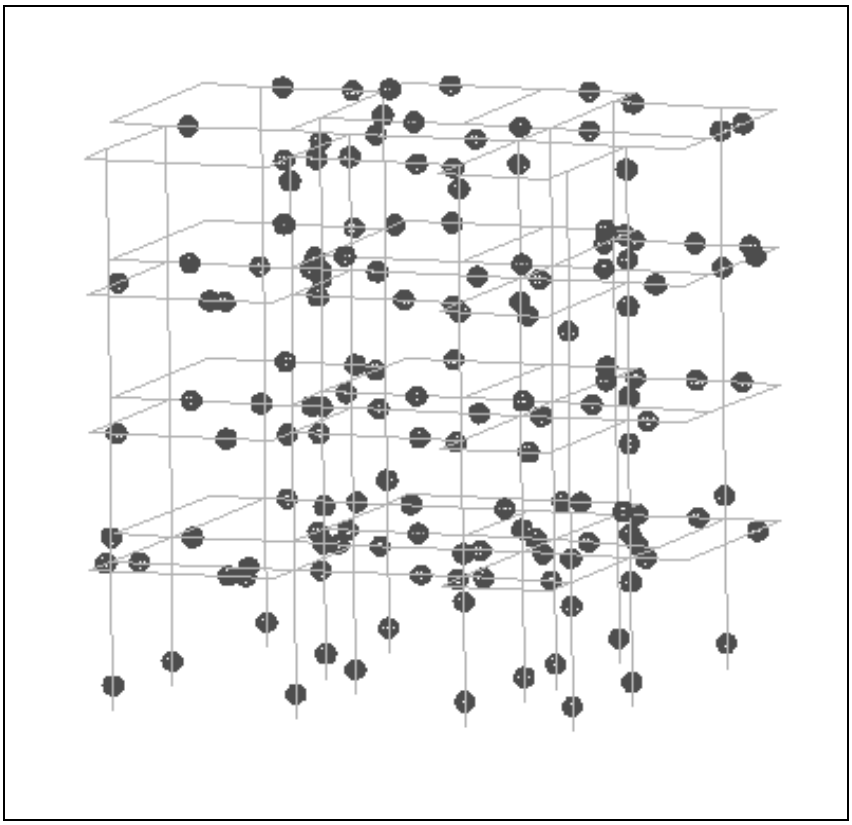
Yapılan statik itme analizi sonucunda yapının göçme durumundaki performans noktası taban kesme kuvveti (V_b) ve çatı yer değiştirmesi (Δ_N) bulunmuştur. Taban kesme kuvveti ile çatı yer değiştirmesi arasındaki ilişki Şekil 4.3'de gösterilmiştir. Yapının "X" yönünde dayanabildiği taban kesme kuvveti yani "X" yönündeki göçme yükü $V_{göçme}$ = 44.866 ton, bu göçme yükü sonucu oluşan çatı yer değiştirmesi Δ_N =

0.063 m dir. Yapının yük parametresi $P_{göçme}$ = 0.3039 dir. "*Göçme yükü = Binanın karşıladığı taban kesme kuvveti / Binaya etkiyen deprem yükü*" Yapıda 150 adet plastik mafsal oluşması sonucunda yapı labil hale gelmiştir. Bunların 109 tanesi kirişlerde, 41 tanesi kolonlarda bulunmaktadır. Plastik mafsalların yerleri Şekil 4.4'te gösterilmiştir. Bu beklenilen 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.



Şekil 4.3 Yapının X yönü için taban kesme kuvveti – çatı yer değiştirme grafiği

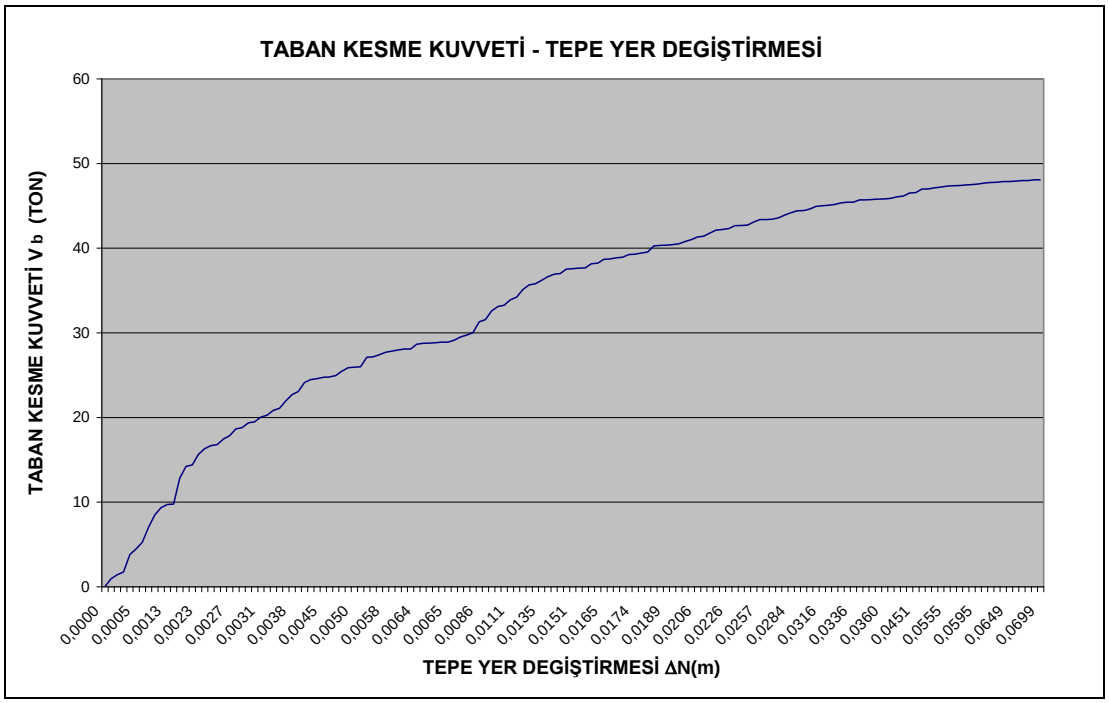
Bu, yapının deprem kuvvetine karşı dayanımının çok kötü ve yıkılma tehlikesi bulunduğunu göstermektedir. Bu durumun başlıca nedenleri yapıda bulunan düzensizlikler ve donatıların yetersiz oluşudur. Taşıyıcı sistem daha düzenli tasarlanmış ve yeterli donatı konulmuş olsaydı daha iyi sonuçlar alınabilirdi.



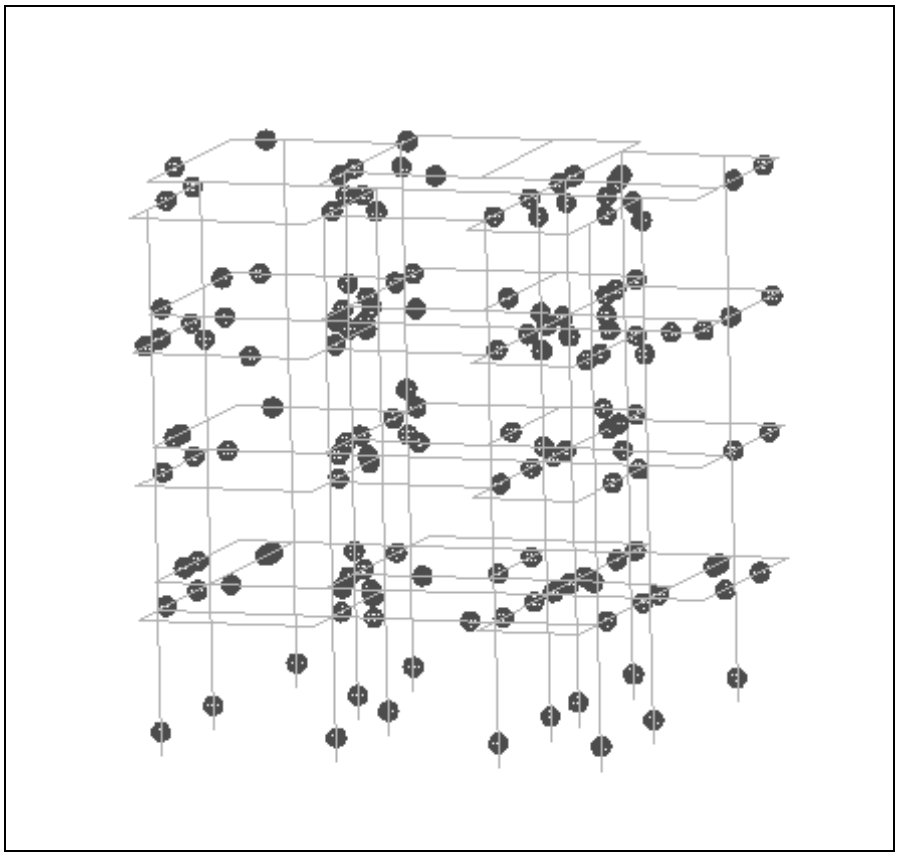
Şekil 4.4 Yapının X yönü için göçme durumunda oluşan plastik mafsalların yerleri

4.4.2 Yapının "Y" Yönü İçin Analiz Sonuçları ve Değerlendirilmesi

Yapıya deprem kuvvetinin "Y" yönünde etkimesi durumunda taban kesme kuvveti (V_b) ve çatı yer değiştirmesi (Δ_N) bulunmuştur. Taban kesme kuvveti ile çatı yer değiştirmesi arasındaki ilişki Şekil 4.5'te gösterilmiştir. Yapının "Y" yönünde ki göçme yükü $V_{göçme}$ = 48.078 ton, bu göçme yükü sonucu oluşan çatı yer değiştirmesi Δ_N = 0.0699 m dir. Yapının yük parametresi $P_{göçme}$ = 0.3257 'dir. Yapıda 150 adet plastik mafsal oluşması sonucunda yapı labil hale gelmiştir. Bunların 120 tanesi kirişlerde, 30 tanesi kolonlarda bulunmaktadır. Plastik mafsalların yerleri Şekil 4.6'da gösterilmiştir. Yapı "Y" yönünde de istenilen güvenlikte değildir. Aynı sorunlar bu yön içinde geçerlidir.



Şekil 4.5 Yapının Y yönü için taban kesme kuvveti – çatı yer değiştirme grafiği



Şekil 4.6 Yapının Y yönü için göçme durumunda oluşan plastik mafsalların yerleri

4.5 SAP2000 Nonlineer Analiz Programı Kullanılarak Yapının Deprem Güvenliğinin Tahkiki

Bu bölümde, yapının deprem güvenliğinin tahkiki ve statik itme analizi SAP2000 Nonlinear bilgisayar analiz programı kullanılarak yapılmıştır. EPARC programı için modellenen yapı yine aynı programın içinde olan SAPSAP dosyası ile SAP2000 programına aktrılmış ve gerekli düzeltmeler yapılmıştır.

SAP2000 programına aktarılmış ve gerekli düzeltmeler yapılmış sistemin plastik mafsal özellikleri tanımlanmıştır. 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 hali, 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 boyunun 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 pragram 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 herhangibir eleman göçme durumuna gelinceye kadar devam etmektedir. Bu şartlardan herhangibiri 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 elemanlarınında 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 kuvvetileri 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.

4.5.1 Yapının "X" Yönü İçin Analiz Sonuçları ve Değerlendirilmesi

Mevcut yapıya uygulanan statik itme analizi birinci adımı tamamlayamadığı için analiz sonuçlanmamıştır. Program herhangibir elemanın göçme durumuna ulaşmasından dolayı analizi kesmiştir. Bu durum mevcut yapının kiriş donatılarının çok yetersiz olduğunu göstermektedir. Mevcut yapı güçlendirilmelidir.

4.5.2 Yapının "Y" Yönü İçin Analiz Sonuçları ve Değerlendirilmesi

"X" yönü için oluşan durum bu yön için de geçerlidir. Taşıyıcı sistem ve donatılar yetersizdir, mevcut yapı güçlendirilmelidir.

4.6 1975 Deprem Yönetmeliğine Göre Mevcut Yapının Donatılarının Kontrolü

Mevcut yapı statik itme analizinin sabit düşey yükler için yapılan birinci adımını tamamlayamadığı için öncelikle kiriş daha sonrada kolon donatılarının 1975 Deprem Yönetmelğine göre doğru belirlenip belirlenmediği kontrol edilmiştir. 1975 Deprem Yönetmeliğine göre kontrol edilmesinin nedeni yapının bu şartname yürürlükteyken tasarlanıp inşaa edilmiş olmasıdır.

4.6.1 1975 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmeliğe Göre Eşdeğer Deprem Yükü Hesabıyla Yatay Yüklerin Hesabı

F = C*W

F : Statik eşdeğer toplam yatay yük

C : Deprem katsayısı

W : Toplam bina ağırlığı

$C = Co * K * S * I$

Co (Deprem bölge katsayısı) = 0.1

K (Yapı tipi katsayısı) = 1

S (Yapı dinamik katsayısı) = 1/(0.8+T-To) = 4.99 > 1 ise S = 1

I (Yapı önem katsayısı) = 1.0

C = 0.1*1*1*1 = 0.1

Toplam bina ağırlığı Bölüm 4.4.1.1'de hesaplanmıştır.

W = 590.475 ton

F = C*W = 0.1*590.475 = 59.0475 ton

$$F_i = (F - F_t) * \frac{W_i * h_i}{\sum_{i=1}^{N} W_i * h_i}$$

$$F_t = (0.004 * F) * \left(\frac{H}{D}\right)^2$$

Fi : i. kata uygulanacak yatay yük

Ft : Yapının en üst kat düzeyine uygulanacak münferit kuvvet

H/D ≤ 3 ise Ft = 0 alınabilir.

H/D = 0.9549 => Ft = 0

$F_{Çatı\ Katı}$ = 20.087 ton

$F_{2.\ Kat}$ = 18.752 ton

$F_{1.\ Kat}$ = 13.079 ton

$F_{Zemin\ Kat}$ = 7.130 ton

4.6.2 Kiriş Donatılarının Kontrolü

Yapılan tahkikler sonucu kiriş donatılarının yetersiz olduğu görülmüştür. Mevcut yapıdaki kirişlerin boyutlarında herhangibir değişiklik yapılmadan donatılar 1975 Deprem Yönetmeliğine göre yeniden hesaplanmış, bulunan bu donatılar (çapı, adedi, düzeni ve alanı) Ek A'da tabloda verilmiştir.

4.6.3 Kolon Donatılarının Kontrolü

Yapılan tahkikler sonucu kolon donatılarının bazı kolonlarda düzeninin yanlış olduğu, bazı kolonlarda ise yetersiz olduğu görülmüştür. Mevcut yapıdaki kolonların boyutlarında hiçbir değişiklik yapılmadan donatılar 1975 Deprem Yönetmeliğine göre yeniden hesaplanıp belirlenmiş, düzenlenmiş ve bulunan bu donatılar (çapı, adedi, düzeni ve alanı) Ek A'da tabloda verilmiştir.

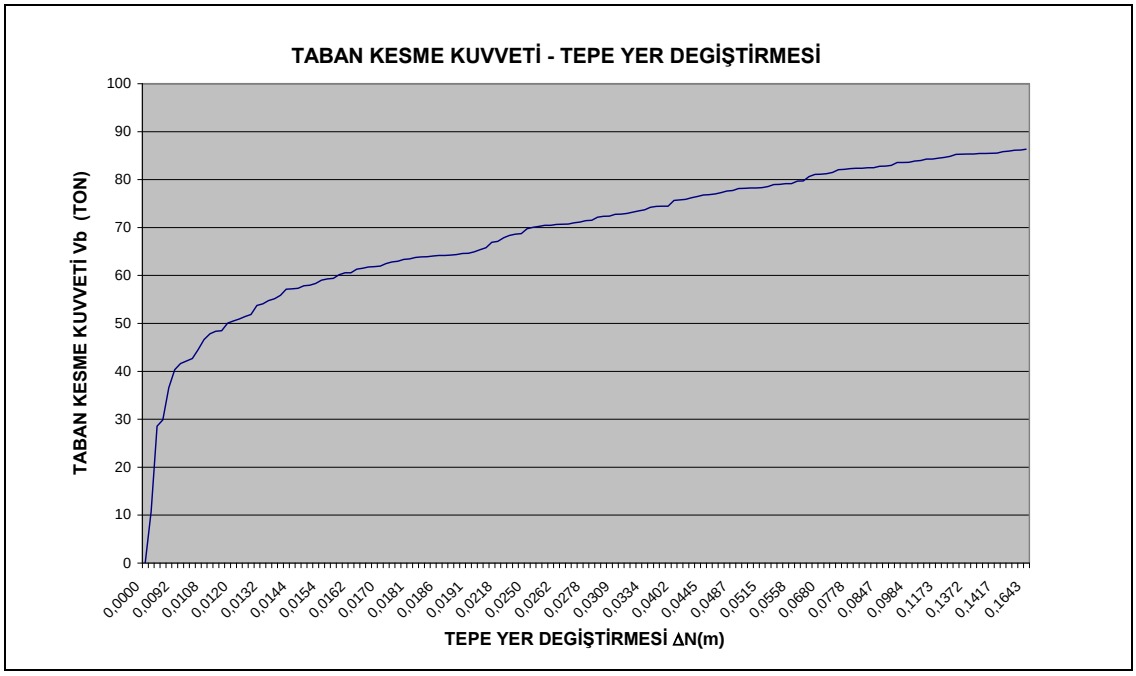
4.7 EPARC Analiz Programı Kullanılarak 1975 Deprem Yönetmeliğine Göre Donatıları Belirlenen Yapının Deprem Güvenliğinin Tahkiki

Mevcut yapının boyutlarında hiçbir değişiklik yapılmamıştır. Bu yüzden kirişlere gelen düşey sabit yükler aynı kalmıştır. Yapıya ait veri giriş dosyası bölüm 4.5'te anlatıldığı gibi hazılanıp Help 200, Eparc ve Check programları sıra ile çalıştırılarak analiz tamamlanmıştır. 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.

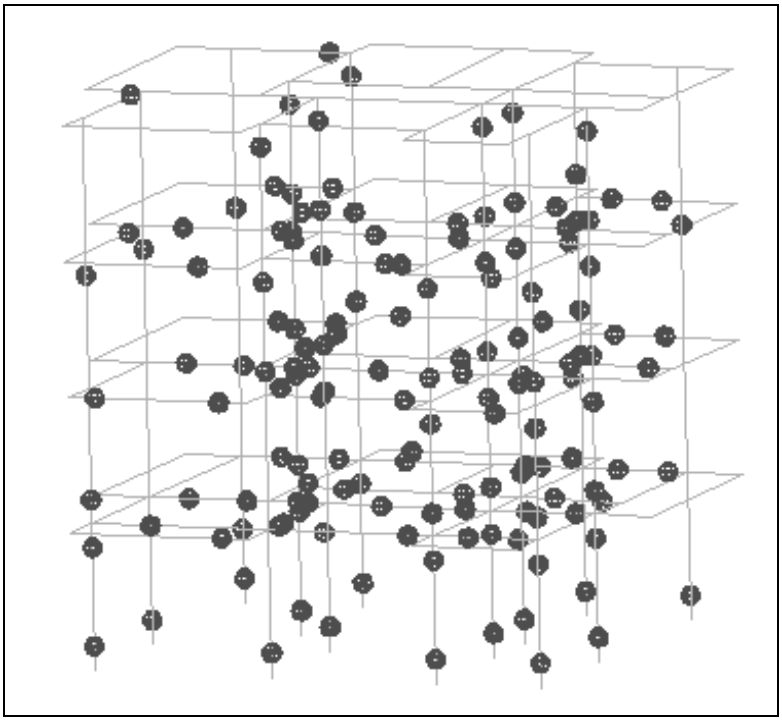
4.7.1 1975 Deprem Yönetmeliğine Göre Donatıları Belirlenen Yapının "X" Yönü İçin Analiz Sonuçları ve Değerlendirilmesi

Yapılan statik itme analizi sonucunda yapının göçme durumundaki taban kesme kuvveti (V_b) ve çatı yer değiştirmesi (Δ_N) bulunmuştur. Taban kesme kuvveti ile çatı yer değiştirmesi arasındaki ilişki Şekil 4.7'de gösterilmiştir. Yapının "X" yönünde dayanabildiği taban kesme kuvveti yani "X" yönündeki göçme yükü $V_{göçme}$ = 86.339 ton, bu göçme yükü sonucu oluşan çatı yer değiştirmesi Δ_N = 0.1642 m'dir. Yapının yük parametresi $P_{göçme}$ = 0.5849 dir. Yapıda 150 adet plastik mafsal oluşması sonucunda yapı labil hale gelmiştir. Bunların 77 tanesi kirişlerde, 73 tanesi kolonlarda bulunmaktadır. Plastik mafsalların yerleri Şekil 4.8'de gösterilmiştir. Donatıları 1975 deprem yönetmeliğine göre düzenlenen yapı yine aynı şartnameye göre değerlendirilmiş olsaydı yapının yük parametresi $P_{göçme}$ = 1.46 olmuş olacaktı. Bu yük parametresi beklenilen ve istenilen bir değerdedir. Yapı deprem kuvvetine karşı dayanımı iyi ve güvenlidir denilebilir. Fakat aynı yapı 1998 deprem şartnamesine göre değerlendirildiğinde yapı yetersiz kalmaktadır. Yük parametresi istenilen değerin altındadır. Bu beklenilen ve istenilen bir durum değildir. Yapıda düzensizlikler bulunmaktadır, taşıyıcı sistemin düzenlenmesi uygun değildir fakat

donatılar 1975 deprem yönetmeliğinin gerektirdiği gibi hesaplanmış ve yerleştirilmiştir. Bu durum 1998 deprem yönetmeliğinden önce inşaa edilen yapıların deprem güvenlik tahkikinin yapılması gerektirdiğini göstermektedir. Eğer gerekiyorsa bu yapılara güçlendirme yapılmalıdır. 1975 deprem yönetmeliğine göre donatıları düzenlenen mevcut yapının "X" yönünde deprem kuvvetine karşı dayanımı yetersizdir. Bu yüzden yapı bu yönde güçlendirilmelidir.



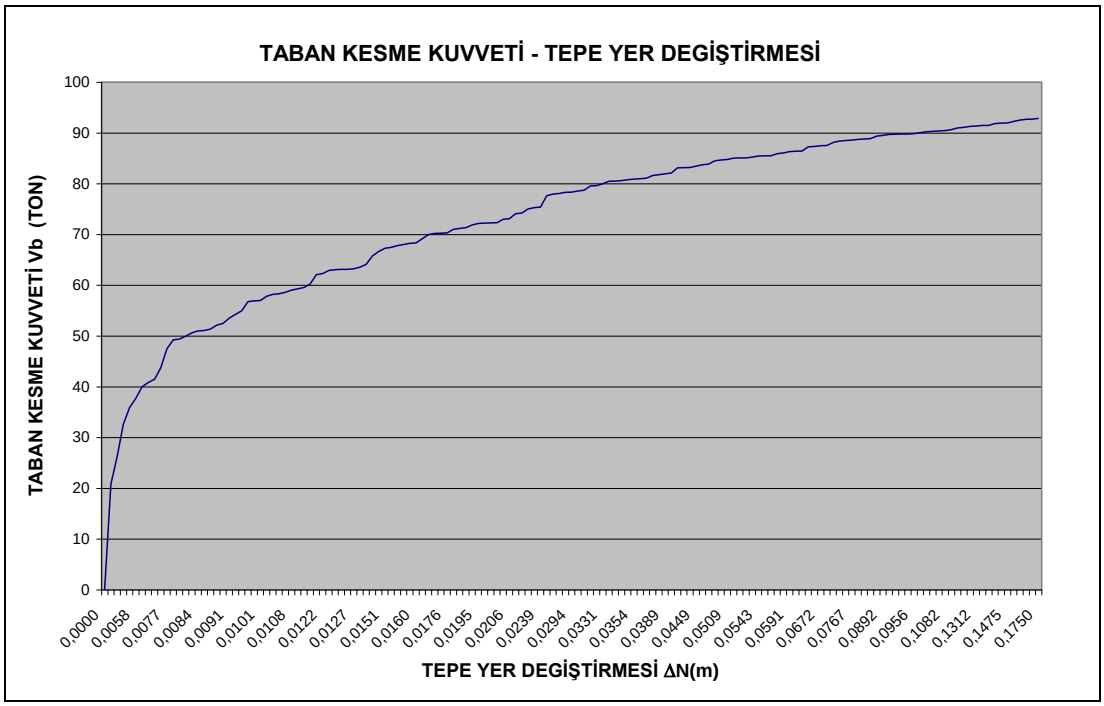
Şekil 4.7 Yapının X yönü için taban kesme kuvveti – çatı yer değiştirme grafiği



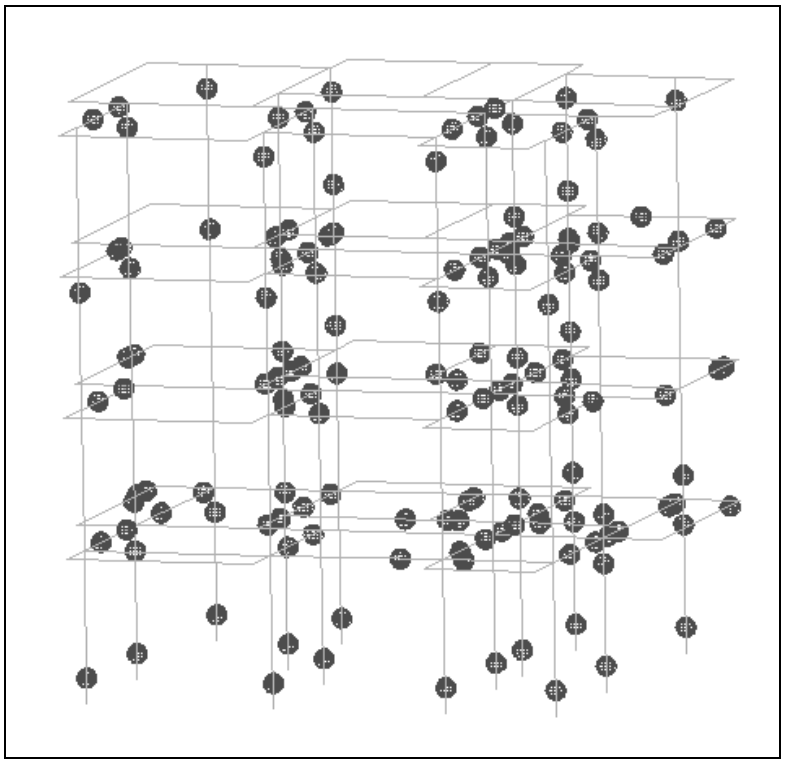
Şekil 4.8 Yapının X yönü için göçme durumunda oluşan plastik mafsalların yerleri

4.7.2 1975 Deprem Yönetmeliğine Göre Donatıları Belirlenen Yapının "Y" Yönü İçin Analiz Sonuçları ve Değerlendirilmesi

Yapıya deprem kuvvetinin "Y" yönünde etkimesi durumunda taban kesme kuvveti (V_b) ve çatı yer değiştirmesi (Δ_N) bulunmuştur. Taban kesme kuvveti ile çatı yer değiştirmesi arasındaki ilişki Şekil 4.9'da gösterilmiştir. Yapının "Y" yönünde ki göçme yükü $V_{göçme}$ = 92.89 ton, bu göçme yükü sonucu oluşan çatı yer değiştirmesi Δ_N = 0.1749 m dir. Yapının yük parametresi $P_{göçme}$ = 0.629 dir.Yapıda 150 adet plastik mafsal oluşması sonucunda yapı labil hale gelmiştir. Bunların 86 tanesi kirişlerde, 64 tanesi kolonlarda bulunmaktadır. Plastik mafsalların yerleri Şekil 4.10'da gösterilmiştir. Yük parametresi istenilen değerin altındadır. "Y" yönünde de yapının deprem kuvvetine karşı dayanımı azdır ve yetersizdir. Bu yüzden yapı bu yönde güçlendirilmelidir.



Şekil 4.9 Yapının Y yönü için taban kesme kuvveti – çatı yer değiştirme grafiği



Şekil 4.10 Yapının Y yönü için göçme durumunda oluşan plastik mafsalların yerleri

4.8 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 verilen formül yardımıyla hesaplanmıştır. Katlara ait toplam kat ağırlıkları, kütleleri ve kütle atalet momentleri Tablo 4.3'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 ekseni doğrultusundaki toplam uzunluğu

b : Yapının Y ekseni doğrultusundaki toplam uzunluğu

Tablo 4.3 Katlara ait toplam kat ağırlıkları, kütleleri ve kütle atalet momentleri

Kat No	**Toplam Kat Ağırlıkları (W_i) (ton)**	**Kat Kütleleri (M_i) (ton*sn^2/m)**	**Kat Kütle Atalet Momentleri (I_i) (ton*m*sn^2)**
3. Kat	121.883	12.424	283.979
2. Kat	150.633	15.355	350.964

1. Kat	155.383	15.839	362.033
Zemin Kat	162.576	16.573	378.791

Yapı Sap 2000 Nonlineer analiz programında modellenerek modal analizi yapılmıştır. Modal analiz sonucu her iki eksen için bulunan doğal titreşim periyotları T_X, T_Y Tablo 4.4'de ve kat ötelenmeleri ϕ_{Xi}, ϕ_{Yi} Tablo 4.5'de verilmiştir.

Tablo 4.4 Yapının doğal titreşim periyotları

	T_x (sn)	**T_y (sn)**
Doğal Titreşim Periyodu	0.4637	0.4081

Tablo 4.5 Kat ötelenmeleri

Kat No	**ϕ_{Xi}**	**ϕ_{Yi}**
3. Kat	0.21010	0.19645
2. Kat	0.19663	0.18275
1. Kat	0.13251	0.12596
Zemin Kat	0.06434	0.06037

4.9 SAP2000 Nonlineer Analiz Programı Kullanılarak 1975 Deprem Yönetmeliğine Göre Donatıları Belirlenen Yapının Deprem Güvenliğinin Tahkiki

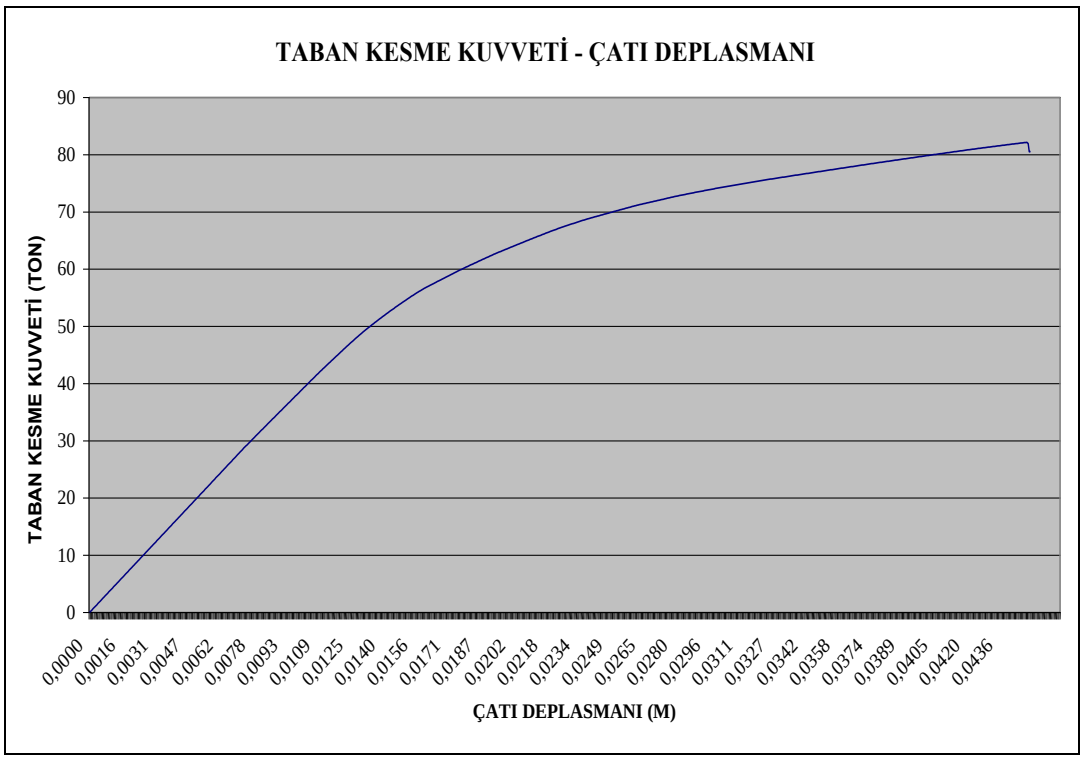
Bu bölümde, yapının deprem güvenliğinin tahkiki ve statik itme analizi SAP2000 Nonlinear programı kullanılarak yapılmıştır. Eparc programı için modellenen yapı yine aynı programın içinde olan SAPSAP dosyası ile SAP2000 programına aktrılmış ve gerekli düzeltmeler yapılmıştır.

Bölüm 4.5'de anlatılan adımlar sırasıyla uygulanarak yapının her iki yönü için statik itme analizi yapılmıştır. Yapılan analiz sonucunda herbir iterasyon için elde edilen taban kesme kuvvetileri 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.

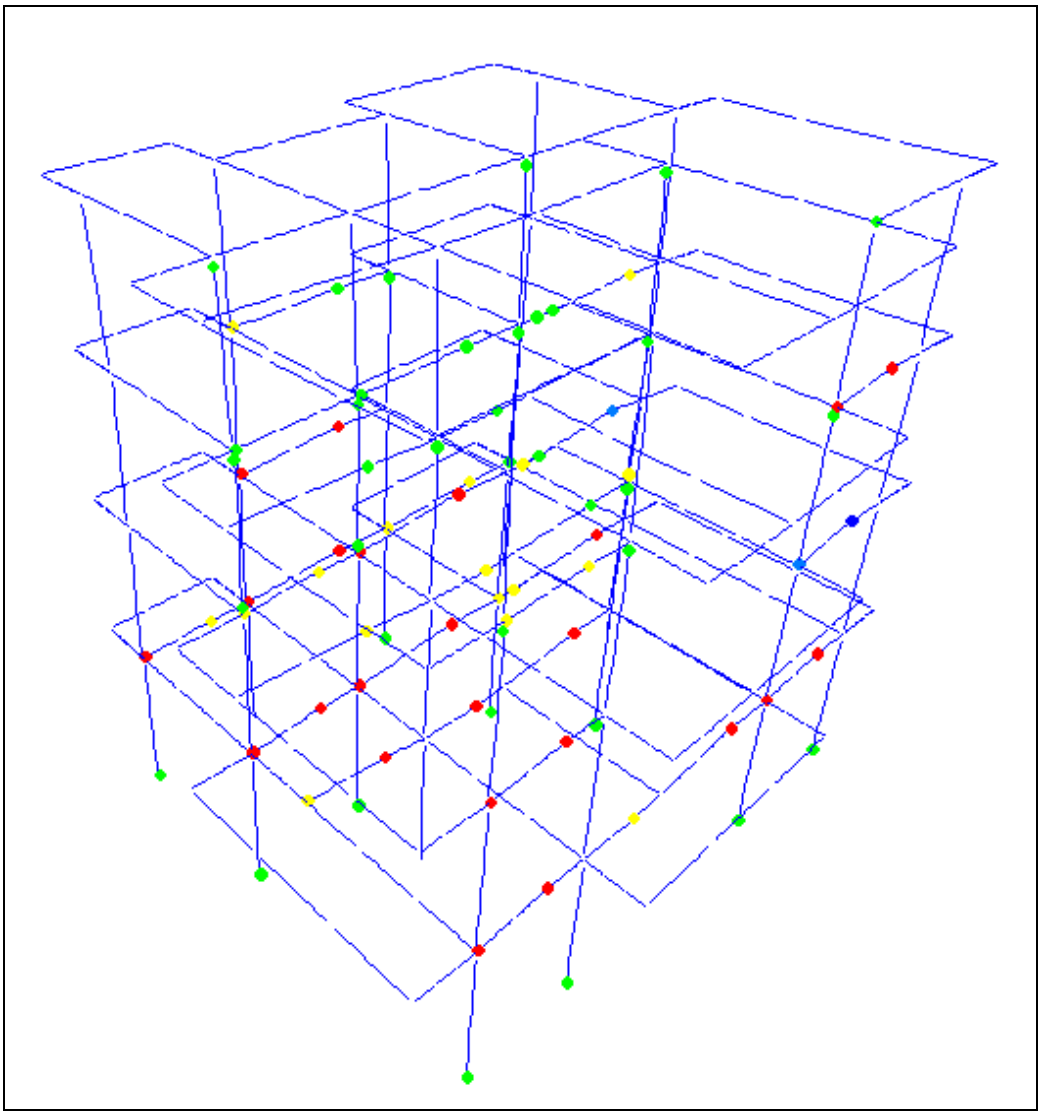
4.9.1 Yapının "X" Yönü İçin Analiz Sonuçları

Yapılan statik itme analizi sonucunda yapının göçme durumundaki taban kesme kuvveti (V_b) ve çatı yer değiştirmesi (Δ_N) bulunmuştur. Taban kesme kuvveti ile çatı

yer değiştirmesi arasındaki ilişki Şekil 4.11'de gösterilmiştir. Yapının "X" yönünde dayanabildiği taban kesme kuvveti yani "X" yönündeki göçme yükü $V_{göçme}$ = 82.1574 ton, bu göçme yükü sonucu oluşan çatı yer değiştirmesi Δ_N = 0.0449 m dir. Yapının yük parametresi $P_{göçme}$ = 0.5565 dir. Statik itme analizi sonucunda yapıda 38 tanesi hemen kullanım performans seviyesinde (B-IO), 19 tanesi kontrol edilebilir hasar aralığında (IO-LS), 26 tanesi sınırlı güvenlik aralığında (LS-CP) plastik mafsallar oluşarak yapı göçme durumuna ulaşmıştır. Plastik mafsalların yerleri Şekil 4.12'de gösterilmiştir.



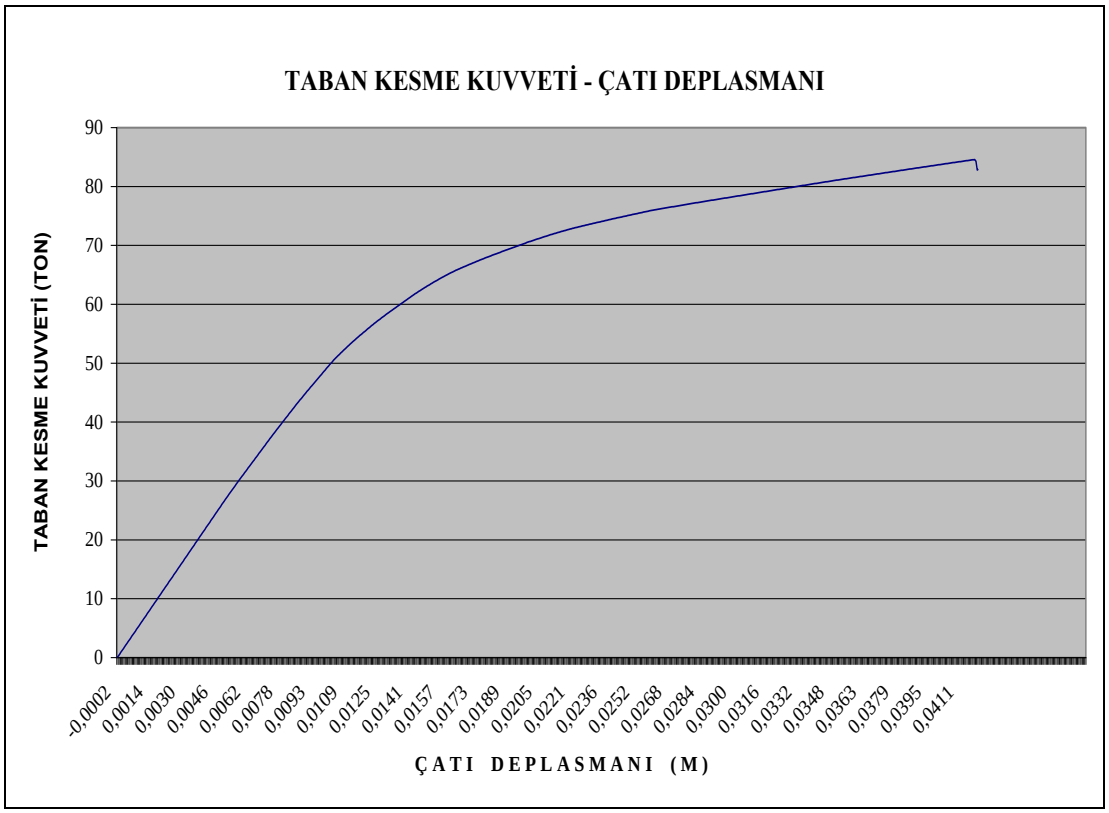
Şekil 4.11 Yapının X yönü için kapasite eğrisi



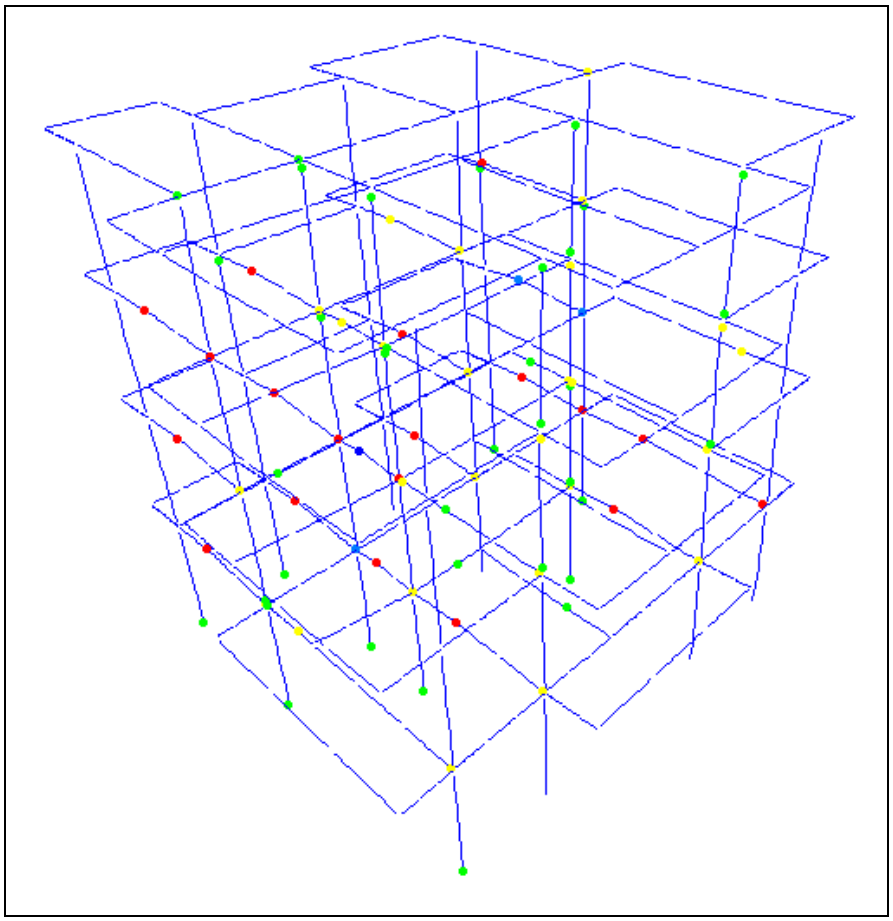
Şekil 4.12 Yapının X yönü için göçme durumunda oluşan plastik mafsalların yerleri

4.9.2 Yapının "Y" Yönü İçin Analiz Sonuçları

Yapılan statik itme analizi sonucunda yapının göçme durumundaki taban kesme kuvveti (V_b) ve çatı yer değiştirmesi (Δ_N) bulunmuştur. Taban kesme kuvveti ile çatı yer değiştirmesi arasındaki ilişki Şekil 4.13'de gösterilmiştir. Yapının "Y" yönündeki göçme yükü $V_{göçme}$ = 84.5662 ton , bu göçme yükü sonucu oluşan çatı yer değiştirmesi Δ_N = 0.0418 m dir. Yapının yük parametresi $P_{göçme}$ = 0.5728 dir. Statik itme analizi sonucunda yapıda 29 tanesi hemen kullanım performans seviyesinde (B-IO), 27 tanesi kontrol edilebilir hasar aralığında (IO-LS), 18 tanesi sınırlı güvenlik aralığında (LS-CP) plastik mafsallar oluşarak yapı göçme durumuna ulaşmıştır. Plastik mafsalların yerleri Şekil 4.14'de gösterilmiştir.



Şekil 4.13 Yapının Y yönü için kapasite eğrisi



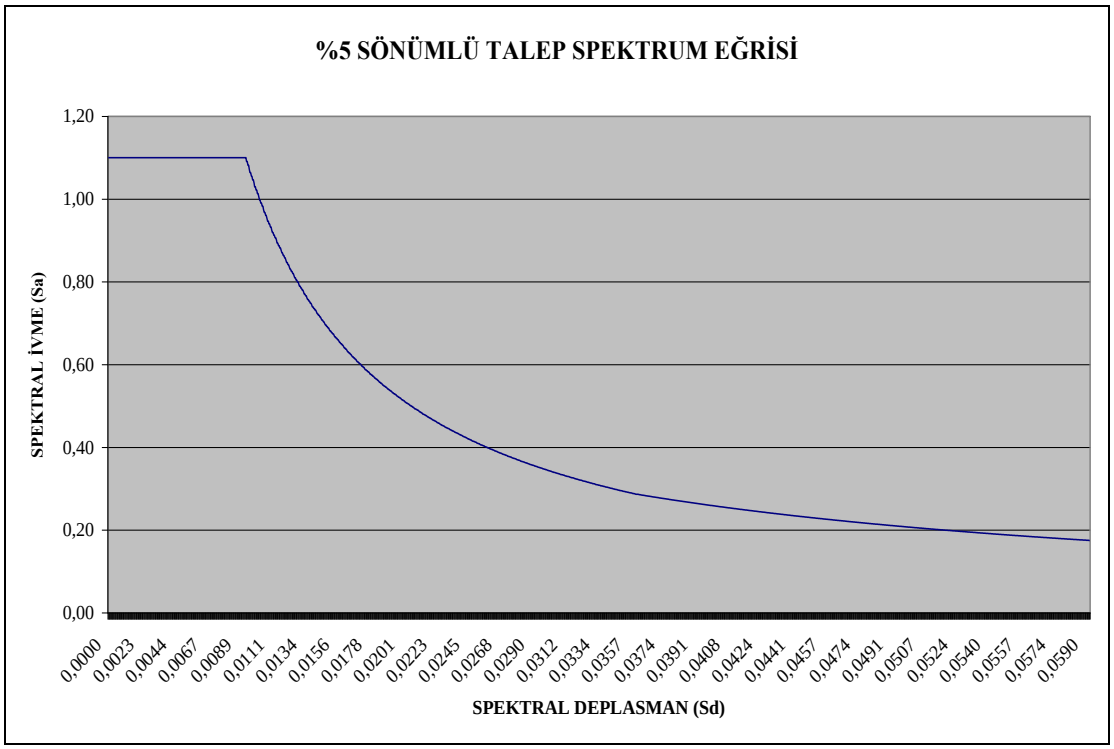
Şekil 4.14 Yapının Y yönü için göçme durumunda oluşan plastik mafsalların yerleri

4.9.3 Performans Noktasının Bulunması

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

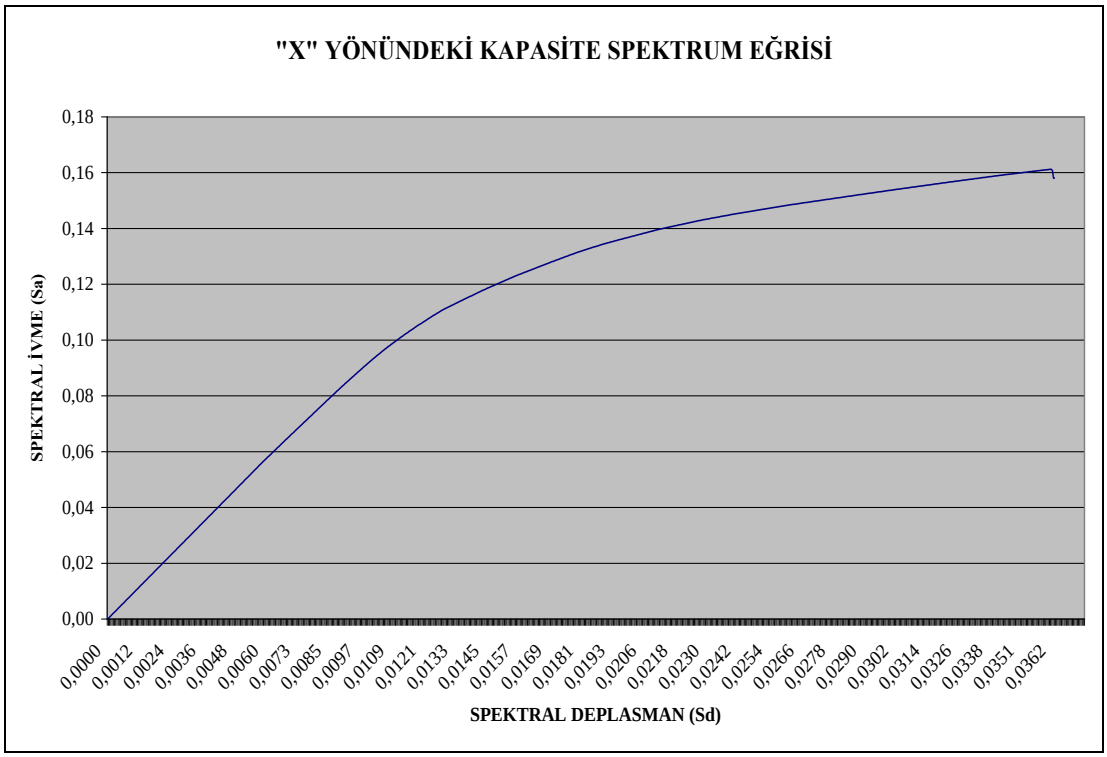
4.9.3.1 Yapının "X" Yönüne Ait Performans Noktasının Bulunması

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 inşaa 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 = 0.1163 sn ve T_S = 0.5818 değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerlere göre %5 sönümlü talep spektrum eğrisi çizilmiş ve Şekil 4.15'te gösterilmiştir.



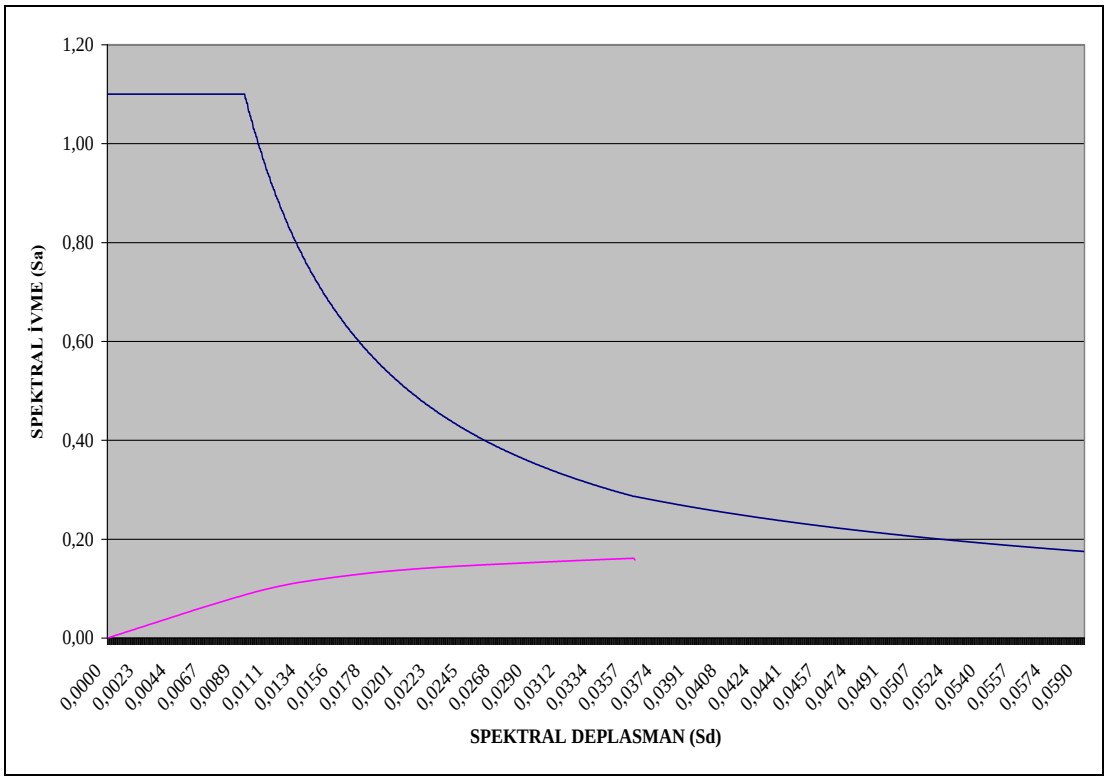
Şekil 4.15 %5 sönümlü talep spektrum eğrisi

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 3.2'den $M_1^* = 51.95$, Formül 3.1'den $\Gamma_1 = 5.91$ ve Formül 3.4'den $\alpha_1 = 0.863$ hesaplanmıştır. Daha önce bulunan statik itme analizinin her adımına karşılık gelen taban kesme kuvveti ve çatı 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 4.16'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.

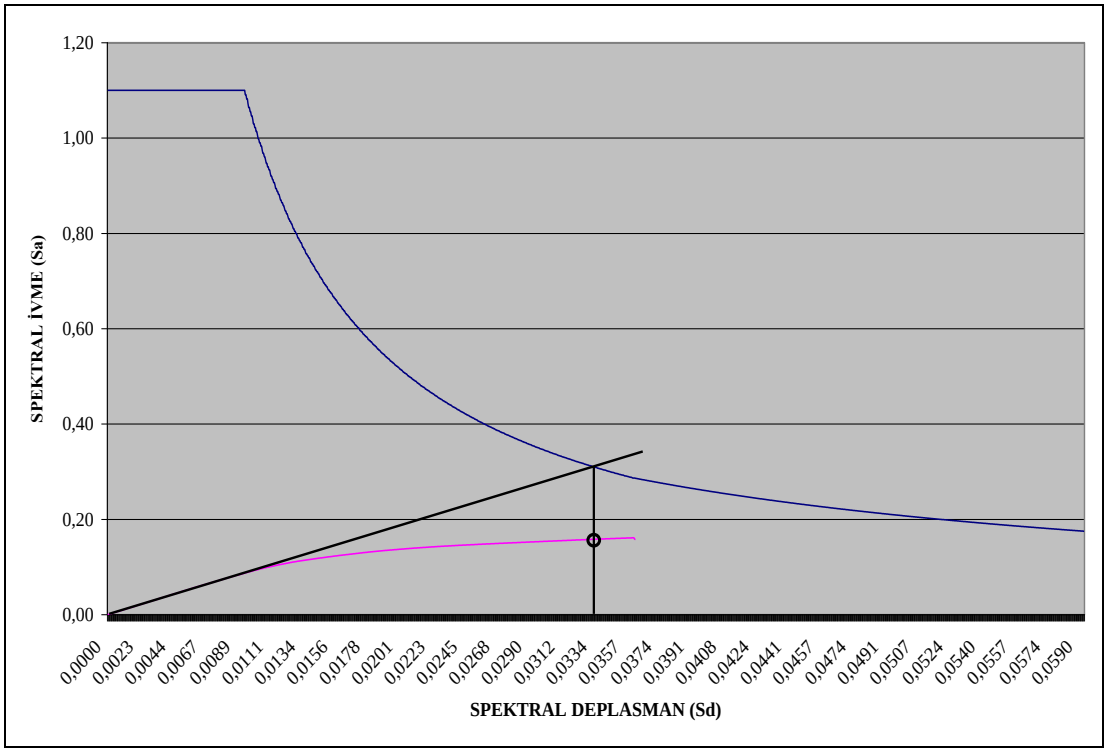


Şekil 4.16 Yapının X yönü için kapasite spektrum eğrisi

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 $S_{ap1} = 0.1566$, $S_{dp1} = 0.0323$ tahmini performans noktası bulunmuş ve Şekil 4.18'de gösterilmiştir.



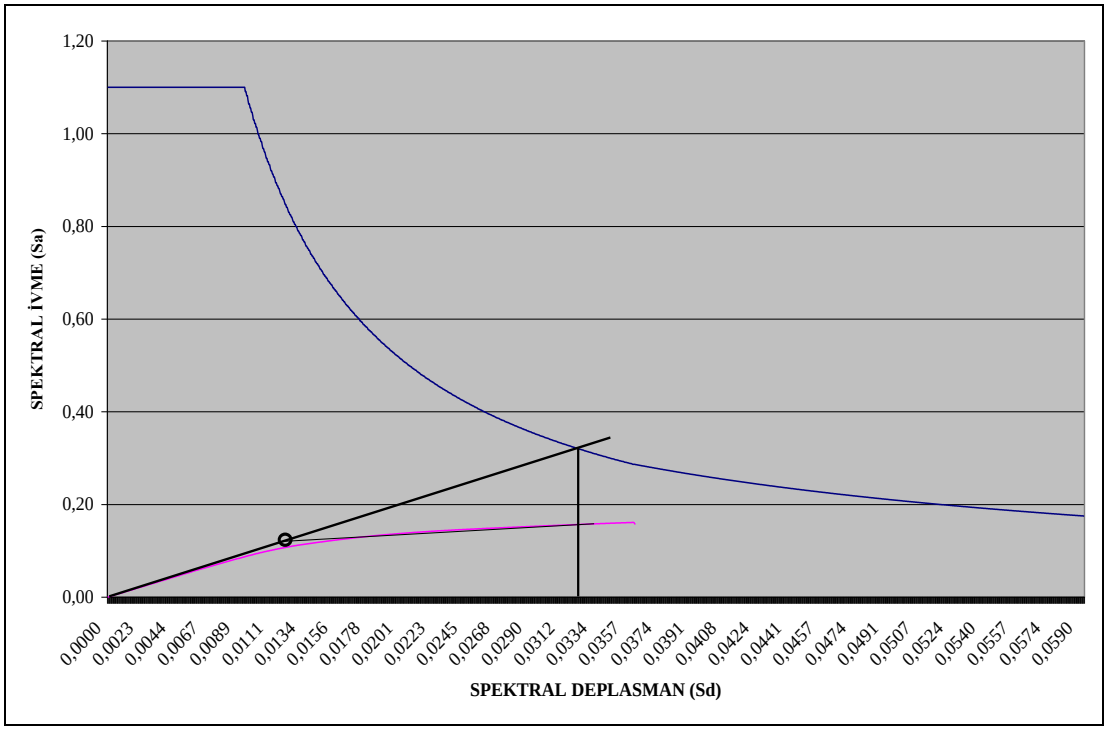
Şekil 4.17 %5 sönümlü talep spektrum eğrisi ve yapının X yönü için kapasite spektrum eğrisi



Şekil 4.18 Tahmini performans noktası

IV. Adım : Kapasite spektrum eğrisinin geliştirilmesindeki işlemler kullanılarak kapasite spektrum eğrisi, kırıklı kapasite spektum eğrisine dönüştürülmüştür.

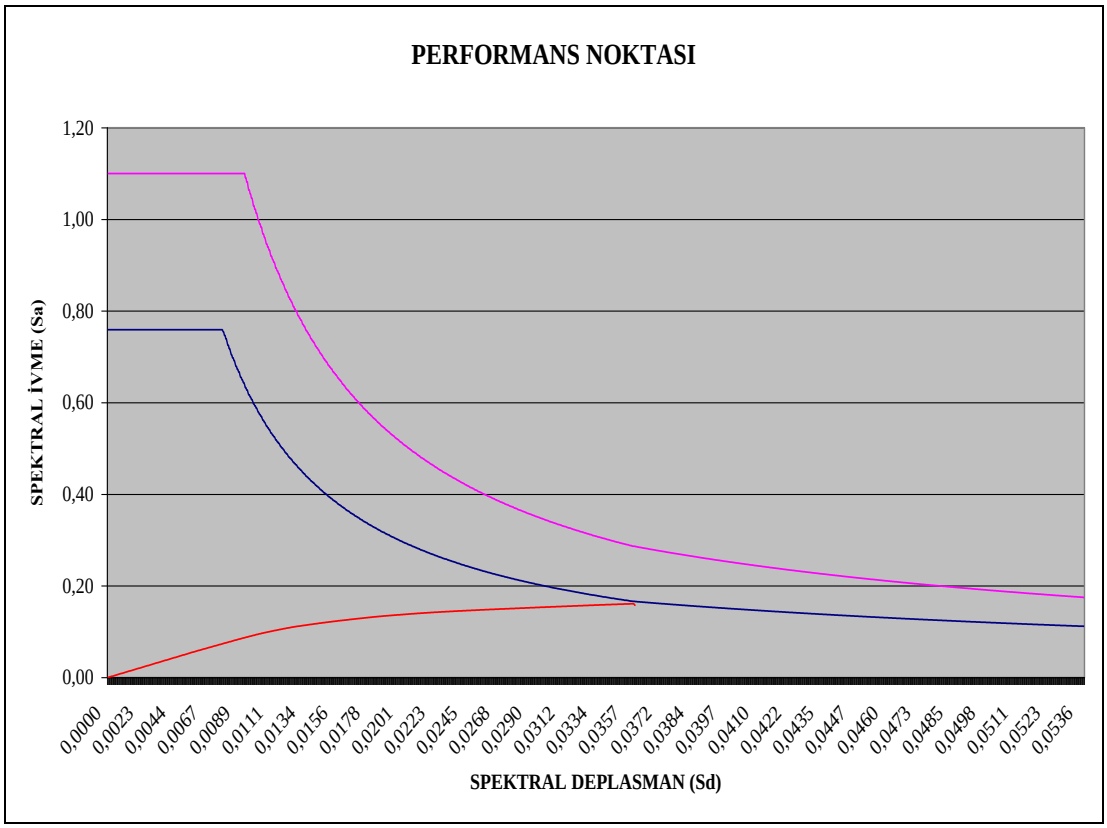
Tahmini olarak bulunan performans noktasından başlayarak kapasite spektrum eğrisini kesip lineer olarak uzatılan doğruda bitecek şekilde bir doğru çizilmiştir. Bu doğrunun kapasite spektrum eğrisini kestiği noktanın sağında ve solunda bulunan, bu doğru ile kapasite spektrum eğri parçası arasında kalan alanlar tahmini olarak eşit hale getirilmiştir. Bu şekilde doğrular haline getirilmiş kapasite spektrumu elde edilmiş ve Şekil 4.19'da gösterilmiştir. Bu şekilde S_{ay} = 0.1093 ve S_{dy} = 0.0102 değerleri okunmuştur.



Şekil 4.19 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 değiştirme oranı κ = 0.33 okunmuştur. Formül 3.11 kullanılarak toplam sönüm oranı β_{ef} = 0.130 hesaplanmıştır. Formül 3.12'de ve Formül 3.13'te bulunan toplam sönüm oranı yerine konularak spektral azaltma katsayıları S_{RA} = 0.69015 ve S_{RV} = 0.76166 hesaplanmıştır. Elde edilen spektral azaltma katsayıları kullanılarak %5 sönümlü talep spektrum eğrisi %13 sönümlü talep spektrum eğrisine indirgenmiş ve Şekil 4.20'de gösterilmiştir.

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



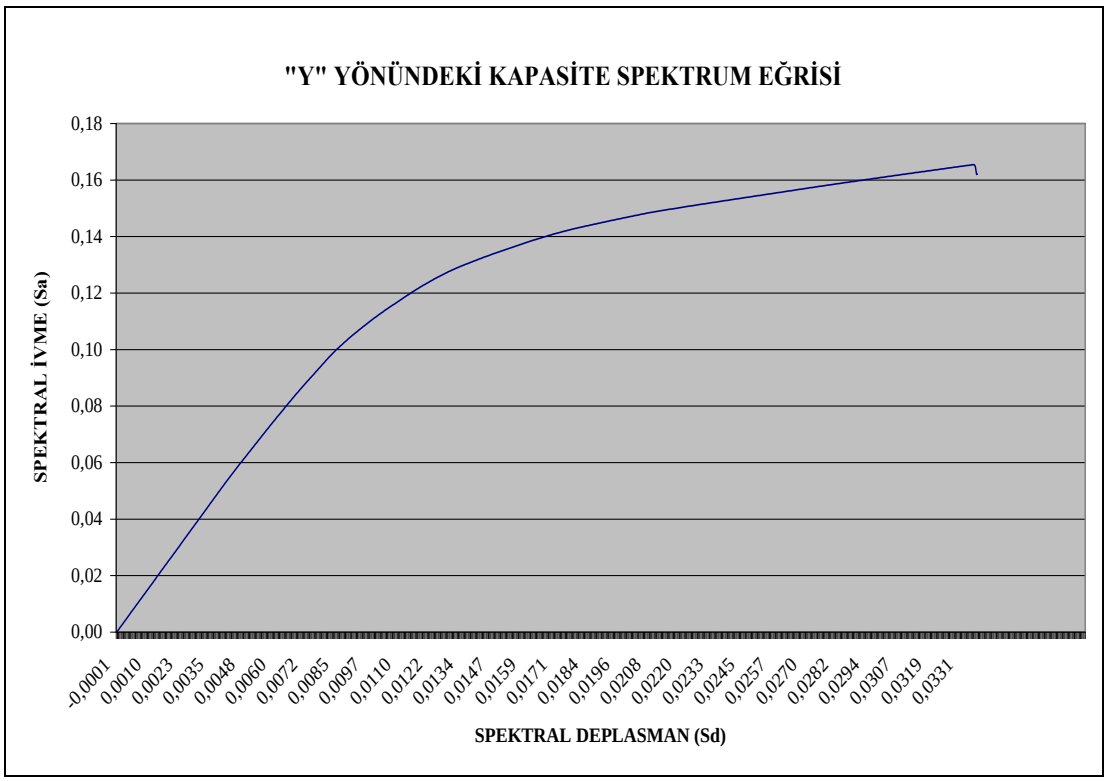
Şekil 4.20 İndirgenmiş talep spektrumu ve yapının X yönü için kapasite spektrum eğrisi

4.9.3.2 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 4.15'de 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 3.2'den $M_1^* = 52.1052$, Formül 3.1'den $\Gamma_1 = 6.3206$ ve Formül 3.4'den $\alpha_1 = 0.8656$ hesaplanmıştır. Daha önce bulunan statik itme analizinin her adımına karşılık gelen taban kesme kuvveti ve çatı 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 4.21'de gösterilmiştir. Daha önce

elde edilen %5 sönümlü talep spektrum eğrisi ile kapasite spektrum eğrisi aynı grafik üzerinde çizilmiş ve Şekil 4.22'de gösterilmiştir.

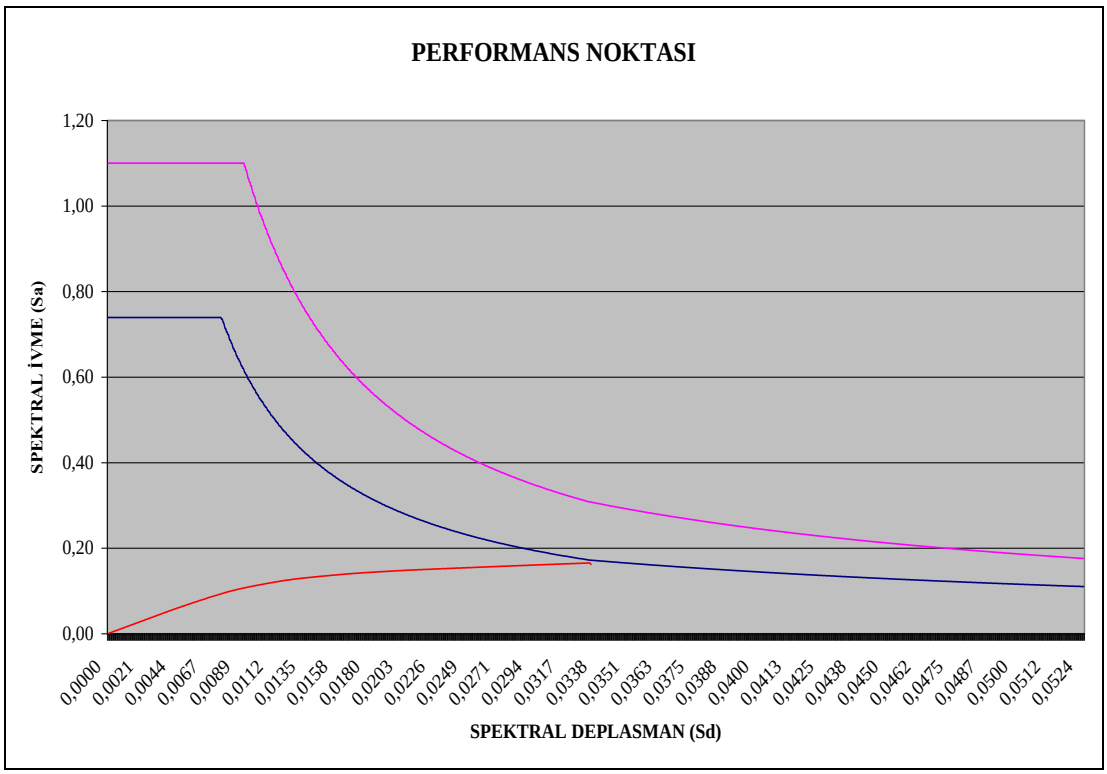


Şekil 4.21 Yapının Y yönü için kapasite spektrum eğrisi

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 $S_{ap1} = 0.159$, $S_{dp1} = 0.0288$ tahmini performans noktası bulunmuş ve Şekil 4.22'de gösterilmiştir.

IV. Adım : Kapasite spektrum eğrisinin geliştirilmesindeki işlemler kullanılarak kapasite spektrum eğrisi, kırıklı kapasite spektum 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 4.22'de gösterilmiştir. Bu şekilde $S_{ay} = 0.117$ ve $S_{dy} = 0.0091$ 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 $\beta_{ef} = 0.138$ hesaplanmıştır. Formül 3.12'de ve Formül 3.13'te bulunan toplam sönüm oranı yerine konularak spektral azaltma katsayıları $S_{RA} = 0.67206$ ve $S_{RV} = 0.74765$ hesaplanmıştır. Elde edilen spektral azaltma katsayıları kullanılarak %5 sönümlü talep spektrum eğrisi %14 sönümlü talep spektrum eğrisine indirgenmiş ve Şekil 4.22'de gösterilmiştir.



Şekil 4.22 Yapının Y yönü için performans eğrisi

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

4.9.4 Yapının SAP2000 Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Yapının "Y" yönü "X" yönüne göre deprem kuvvetine karşı daha kuvvetlidir. Fakat her iki yön için de yapının deprem güvenliği yoktur, hesaplanan değerler olması istenilen değerlerin altındadır. Mevcut bina, olası depremden dolayı oluşacak taban kesme kuvvetini karşılayamadan göçme durumuna gelmiştir. Yapının deprem

kuvvetine karşı dayanımını artırmak için yapı "X" ve "Y" yönlerinde güçlendirilmelidir.

4.10 Yapının Güçlendirilmesi

Yapılan analizler ve deprem güvenliğinin tahkiki sonucu, yapının heriki yönde de depreme karşı dayanımının az olduğu belirlenmiş ve deprem güvenliğinin arttırılması için güçlendirilmesine karar verilmiştir. Yapıyı güçlendirmek için yapıdaki bütün kolonlar mantolanmıştır. Mantolama işlemi her kolonda 12 cm olacak şekilde yapılmıştır. Mevcut yapıda kullanılan beton sınıfı BS 10 iken, güçlendirme yapılırken mantolama kesitininin beton sınıfı BS 20 olarak alınmıştır. Mantolama yapılmış kolonların kesitleri ve donatıları ile ilgili detaylar EK-B'de yer alan Şekil B.6, Şekil B.7, Şekil B.8 ve Şekil B.9'da verilmiştir.

Mantolama yapılırken, yapıda daha önceden bulunan kolon kesit hesaplarda dikkate alınmamış ve sadece mantolama sonucu oluşan kutu kesitin çalıştığı varsayılmıştır. Yapıda, yapılan güçlendirmeden dolayı daha önceden modellenen sistem üzerinde gereken değişiklikler yapılmıştır. Kolon ebatları değiştirilmiş, mesnet şartları ve plastik mafsal 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.

4.10.1 Güçlendirilen Yapıya Ait 1998 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmeliğe Göre Eşdeğer Yatay Deprem Yükü Hesabı

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

Güçlendirilen yapının kat ağırlıkları ve toplam bina ağırlığı hesaplanarak Tablo 4.6'da gösterilmiştir.

Tablo 4.6 Güçlendirilen yapının kat ağırlıkları

Kat No	Toplam Sabit Yük g (ton)	Toplam Hareketli Yük q (ton)	i. Kat Ağırlığı w_i (ton)
3. Kat	124.691	24.091	131.918
2. Kat	161.895	29.362	170.704
1. Kat	167.002	29.362	175.811
Zemin Kat	175.724	29.362	184.533

Bölüm 4.3.2'de izlenilen adımlar ve yapılan hesaplamalar güçlendirilmiş yapı içinde yapılmıştır. Taban kesme kuvveti V_b = 165.742 ton bulunmuştur. Katlara gelen deprem yükleri hesaplanmış ve Tablo 4.7'de gösterilmiştir.

Tablo 4.7 i. Kata gelen deprem yükü

Kat No	Kata Gelen Deprem Yükü (F_i) (ton)
3. Kat	54.6941
2. Kat	53.4608
1. Kat	37.2282
Zemin Kat	20.3584

4.10.2 Modal Analiz Sonuçları

Güçlendirilen yapının kat ağırlıkları Bölüm 4.10.1'de hesaplanmış ve Tablo 4.6'da gösterilmiştir. Kat ağırlıkları ile birlikte kat kütleleri ve kat kütle atalet momentleride artmıştır. Hesaplanan kat kütleleri ve kütle atalet momentleri Tablo 4.8'de gösterilmiştir.

Tablo 4.8 Güçlendirilen yapının kat kütleleri ve kütle atalet momentleri

Kat No	Kat kütleleri (M_i)	Kat Kütle Atalet Momentleri (I_i)
3. Kat	13.4473	307.362
2. Kat	17.4010	397.729
1. Kat	17.9216	409.628
Zemin Kat	18.8107	429.949

Güçlendirilen yapı Sap 2000 Nonlineer analiz programında modellenerek modal analizi yapılmıştır. Modal analiz sonucu her iki global eksen için bulunan doğal

titreşim periyotları T_X, T_Y Tablo 4.9'da ve kat ötelenmeleri ϕ_{Xi}, ϕ_{Yi} Tablo 4.10'da verilmiştir.

Tablo 4.9 Güçlendirilen yapının doğal titreşim periyotları

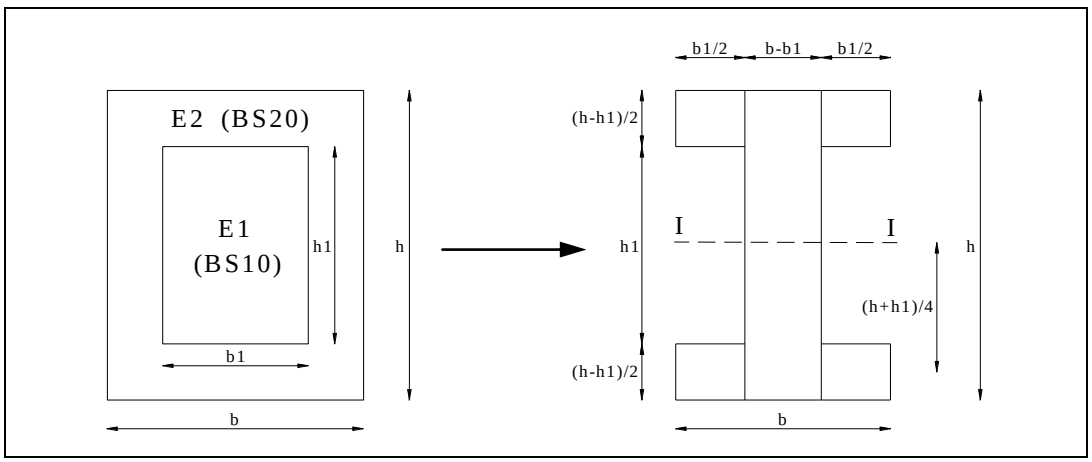
	T_X (sn)	**T_Y (sn)**
Doğal Titreşim Periyodu	0.3698	0.3565

Tablo 4.10 Güçlendirilen yapının kat ötelenmeleri

Kat No	**ϕ_{Xi}**	**ϕ_{Yi}**
3. Kat	0.1802	0.1632
2. Kat	0.1366	0.1247
1. Kat	0.0817	0.0760
Zemin Kat	0.0329	0.0305

4.10.3 Mantolanan Kesitin Atalet Momenti Hesabı

Sap 2000 programı kullanılarak statik itme analizi yapılırken program data dosyalarını EPARC programından almaktadır. EPARC programında ise sadece tek bir elastisite modülü kullanılabilmektedir. Mantolama işlemi ile güçlendirme yapılırken eski kolon kesitin çalışmadığı varsayılır, yani sadece kutu kesitin çalıştığı kabul edilir. Bu durumda mantolanan kesite ait elastisite modülünün hesaplanarak eski betonun elastisite modülü cinsinden ifade edilmesi gerekmektedir. Bu gereksinimden dolayı aşağıda verilen dönüşüm formülleri kullanılarak hesaplanan değerler EK-A'da verilmiştir.

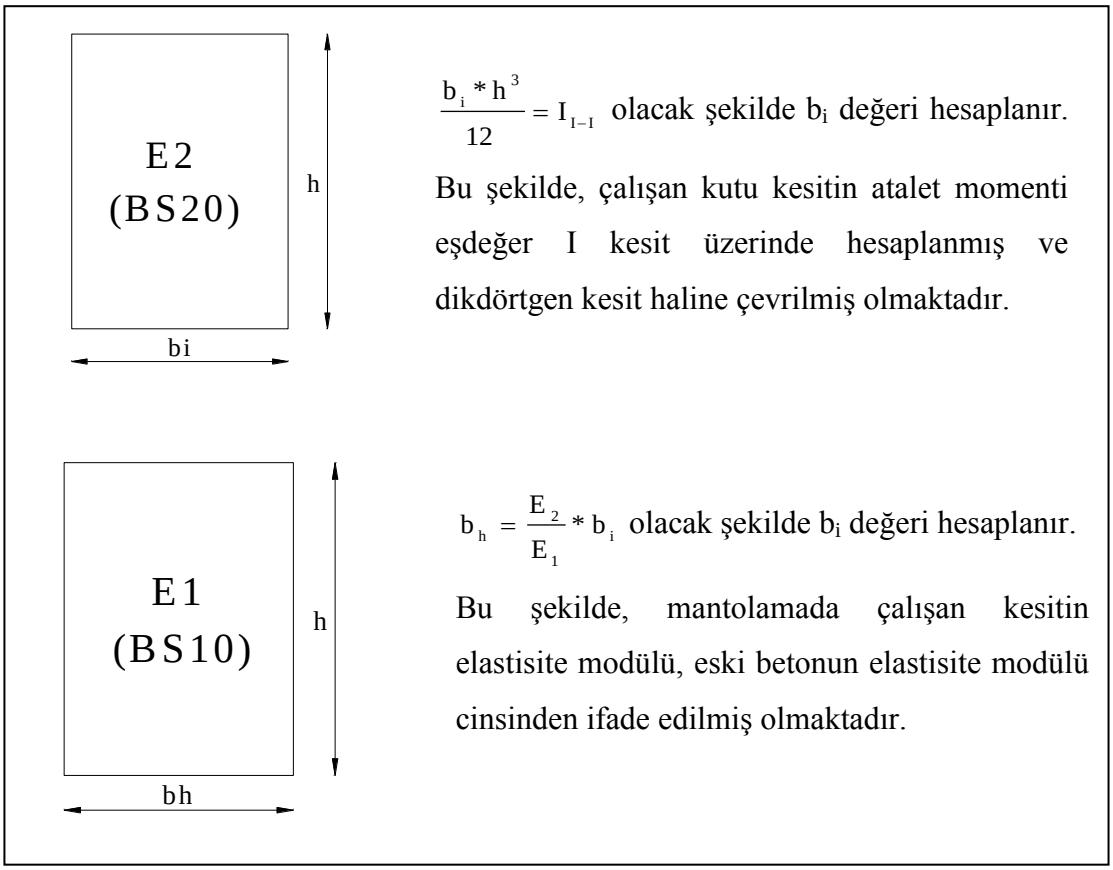


Şekil 4.23 Mantolanan kesitin atalet momenti hesabı için eşdeğer kesit

Çalışan I kesite ait atalet momentinin hesabı;

$$I_{I-I} = (b - b1)\frac{h^3}{12} + 2\left[\left(\frac{b1}{2} + \frac{b1}{2}\right)\left(\frac{h - h1}{2}\right)^3 \frac{1}{12} + \left(\frac{b1}{2} + \frac{b1}{2}\right)\left(\frac{h - h1}{2}\right)\left(\frac{h + h1}{4}\right)^2\right]$$

$$I_{I-I} = (b - b1)\frac{h^3}{12} + 2\left[b1\left(\frac{h - h1}{2}\right)^3 \frac{1}{12} + b1\left(\frac{h - h1}{2}\right)\left(\frac{h + h1}{4}\right)^2\right]$$



$\frac{b_i * h^3}{12} = I_{I-I}$ olacak şekilde b_i değeri hesaplanır.

Bu şekilde, çalışan kutu kesitin atalet momenti eşdeğer I kesit üzerinde hesaplanmış ve dikdörtgen kesit haline çevrilmiş olmaktadır.

$b_h = \frac{E_2}{E_1} * b_i$ olacak şekilde b_i değeri hesaplanır.

Bu şekilde, mantolamada çalışan kesitin elastisite modülü, eski betonun elastisite modülü cinsinden ifade edilmiş olmaktadır.

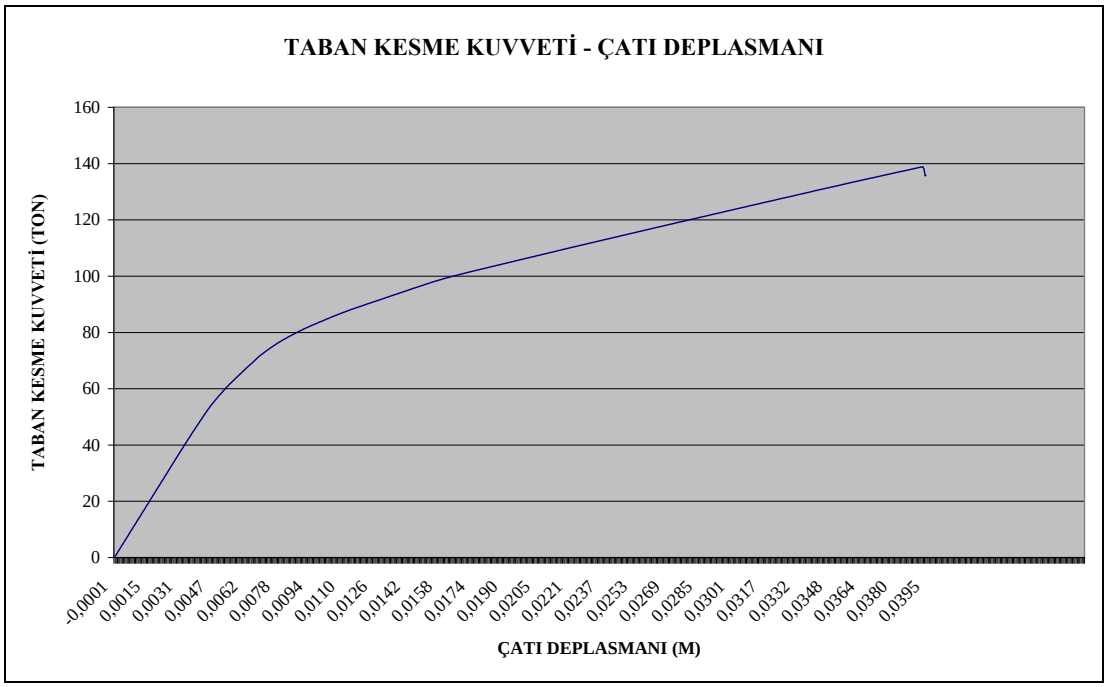
Şekil 4.24 Elastisite Modülü Dönüşümü

4.10.4 Güçlendirilmiş Yapının Deprem Güvenliğinin Tahkiki

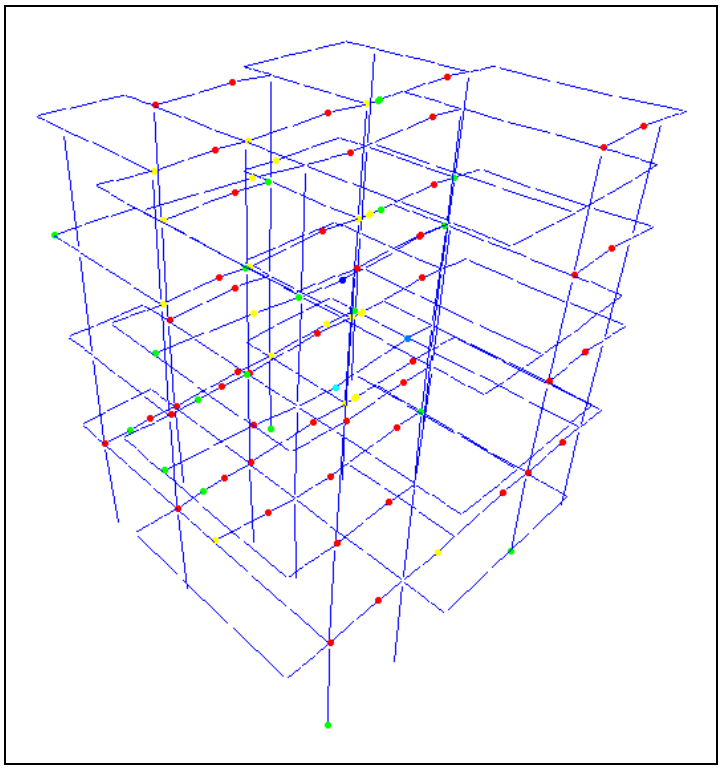
Yapılan güçlendirme çalışmasının yeterli olup olmadığını görmek, güçlendirilmiş yapının deprem güvenliğini belirlemek için statik itme analizi yapılmıştır. Statik itme analizi Bölüm 4.5'te anlatılan adımlar sırasıyla uygulanarak yapının her iki yönü için yapılmıştır. Yapılan analiz sonucunda herbir adım için elde edilen taban kesme kuvvetileri 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.

4.10.4.1 Yapının “X” Yönü İçin Analiz Sonuçları

Yapılan statik itme analizi sonucunda yapının göçme durumundaki taban kesme kuvveti (V_b) ve çatı yer değiştirmesi (Δ_N) bulunmuştur. Taban kesme kuvveti ile çatı yer değiştirmesi arasındaki ilişki Şekil 4.25’de gösterilmiştir. Yapının “X” yönünde taşıyabildiği taban kesme kuvveti yani “X” yönündeki göçme yükü $V_{göçme}$ = 138.861 ton, bu göçme yükü sonucu oluşan çatı yer değiştirmesi Δ_N = 0.0394 m dir. Yapının yük parametresi $P_{göçme}$ = 0.8378 dir. Statik itme analizi sonucunda yapıda 13 tanesi hemen kullanım performans seviyesinde (B-IO), 22 tanesi kontrol edilebilir hasar aralığında (IO-LS), 51 tanesi sınırlı güvenlik aralığında (LS-CP) plastik mafsallar oluşarak yapı göçme durumuna ulaşmıştır. Plastik mafsalların yerleri Şekil 4.26’da gösterilmiştir.



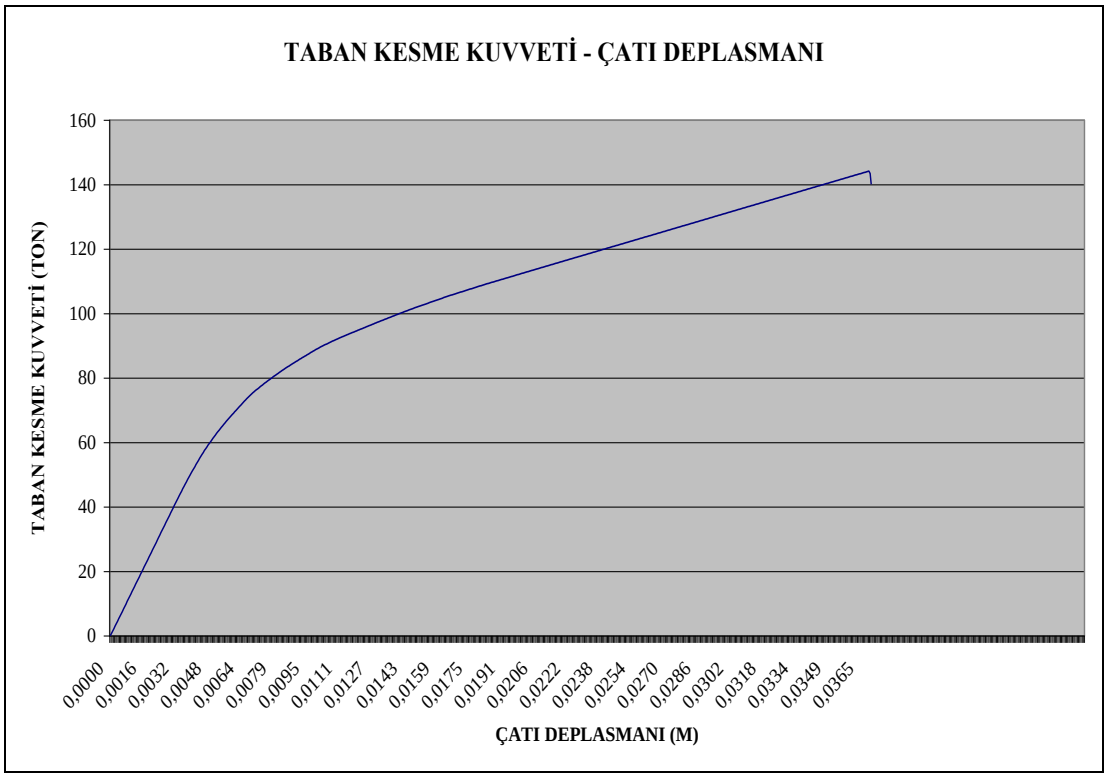
Şekil 4.25 Güçlendirilmiş yapının X yönü için kapasite eğrisi



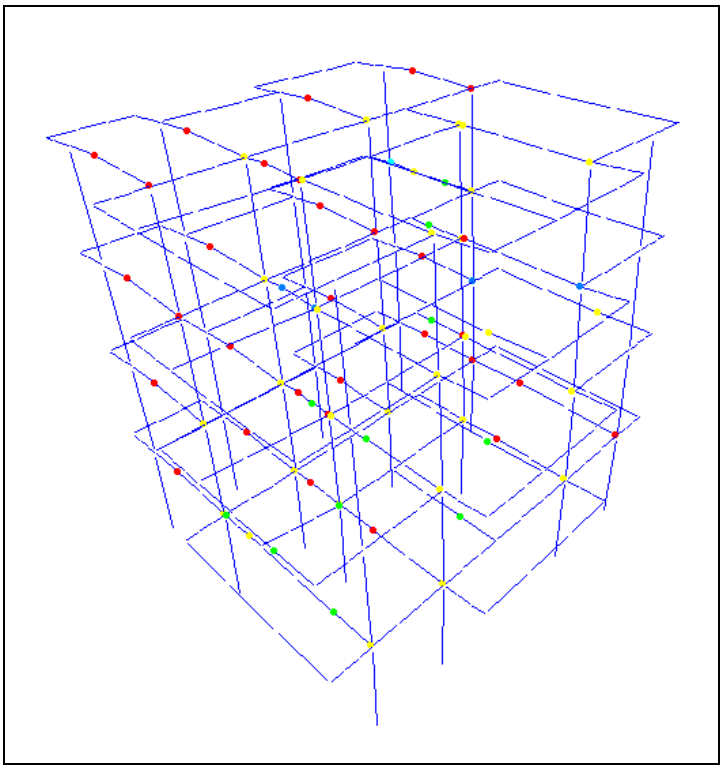
Şekil 4.26 Güçlendirilmiş yapının X yönü için göçme durumunda oluşan plastik mafsalların yerleri

4.10.4.2 Yapının "Y" Yönü İçin Analiz Sonuçları

Yapılan statik itme analizi sonucunda yapının göçme durumundaki taban kesme kuvveti (V_b) ve çatı yer değiştirmesi (Δ_N) bulunmuştur. Taban kesme kuvveti ile çatı yer değiştirmesi arasındaki ilişki Şekil 4.27'de gösterilmiştir. Yapının "Y" yönündeki göçme yükü $V_{göçme}$ = 144.193 ton, bu göçme yükü sonucu oluşan çatı yer değiştirmesi Δ_N = 0.0369 m dir. Yapının yük parametresi $P_{göçme}$ = 0.869 dir. Statik itme analizi sonucunda yapıda 5 tanesi hemen kullanım performans seviyesinde (B-IO), 37 tanesi kontrol edilebilir hasar aralığında (IO-LS), 26 tanesi sınırlı güvenlik aralığında (LS-CP) plastik mafsallar oluşarak yapı göçme durumuna ulaşmıştır. Plastik mafsalların yerleri Şekil 4.28'de gösterilmiştir.



Şekil 4.27 Güçlendirilmiş yapının Y yönü için kapasite eğrisi



Şekil 4.28 Güçlendirilmiş yapının Y yönü için göçme durumunda oluşan plastik mafsalların yerleri

4.10.5 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.

4.10.5.1 Güçlendirilmiş Yapının "X" Yönüne Ait Performans Noktasının Bulunması

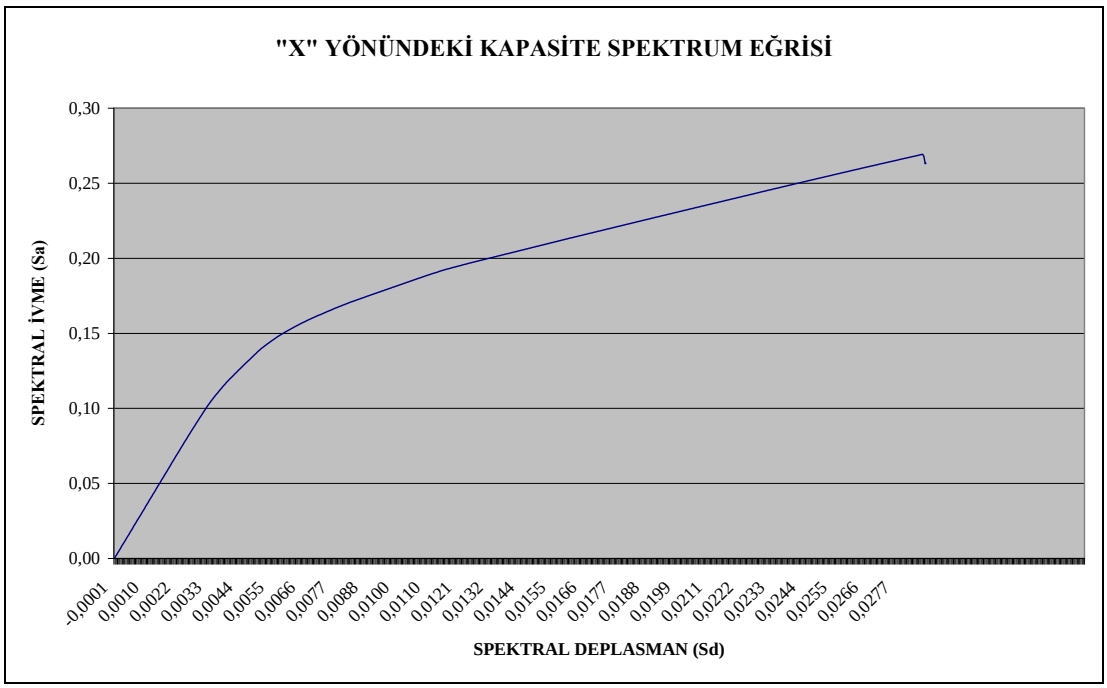
I. Adım : Yapıya ait %5 sönümlü talep spektrum eğrisi çizilir. % 5 sönümlü talep spektrum eğrisinin çiziminde yapının güçlendirilmesinin bir etkisi olmadığı için daha önce çizilen, Şekil 4.15'te gösterilen %5 sönümlü talep spektrumu kullanılmıştır.

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 3.2'den $M_1^* = 52.574$, Formül 3.1'den $\Gamma_1 = 7.632$ ve Formül 3.4'den $\alpha_1 = 0.7779$ hesaplanmıştır. Daha önce bulunan statik itme analizinin her adımına karşılık gelen taban kesme kuvveti ve çatı 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 4.29'da gösterilmiştir. Daha önce elde edilen %5 sönümlü talep spektrum eğrisi ile kapasite spektrum eğrisi aynı grafik üzerinde çizilmiş ve Şekil 4.30'da 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} = 0.2224 S_{dp1} =0.0181 tahmini performans noktası bulunmuştur ve Şekil 4.30'da gösterilmiştir.

IV. Adım : Kapasite spektrum eğrisinin geliştirilmesindeki işlemler kullanılarak kırıklı kapasite spektumu haline 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 4.30'da gösterilmiştir. Bu şekilde S_{ay} = 0.140 ve S_{dy} = 0.0044 değerleri okunmuştur.

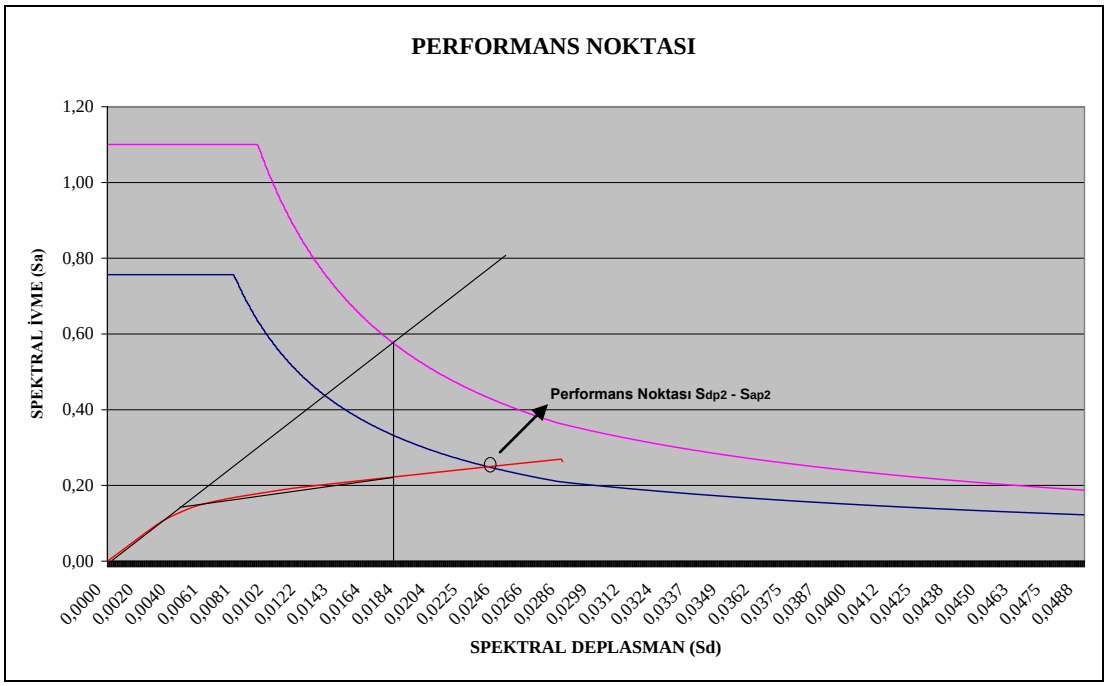


Şekil 4.29 Güçlendirilmiş yapının X yönü için kapasite spektrum eğrisi

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 κ = 0.33 okunmuştur. Formül 3.11 kullanılarak toplam sönüm oranı β_{ef} = 0.1316 hesaplanmıştır. Formül 3.12'de ve Formül 3.13'te bulunan toplam sönüm oranı yerine konularak spektral azaltma katsayıları S_{RA} = 0. 6875 ve S_{RV} = 0.7595 hesaplanmıştır. Elde edilen spektral azaltma katsayıları kullanılarak %5 sönümlü talep spektrum eğrisi %13 sönümlü talep spektrum eğrisine indirgenmiş ve Şekil 4.30'da gösterilmiştir.

VI. Adım : Kapasite spektrum eğrisi ile indigenmiş talep spektrum eğrisinin kesim noktasındaki değerler S_{ap} = 0.2493 ve S_{dp} = 0.0240 performans noktasının değerleridir. Performans noktasının kabul edilebilirliği Bölüm 3.2.4.1'de belirtilen kritere göre kontrol edilmiş ve uygun olmadığı görülmüştür.

$$0{,}95 * S_{dpi} < S_{dp} < 1.05 * S_{dpi} \Rightarrow 0.017 \not< 0.024 \not< 0.019$$

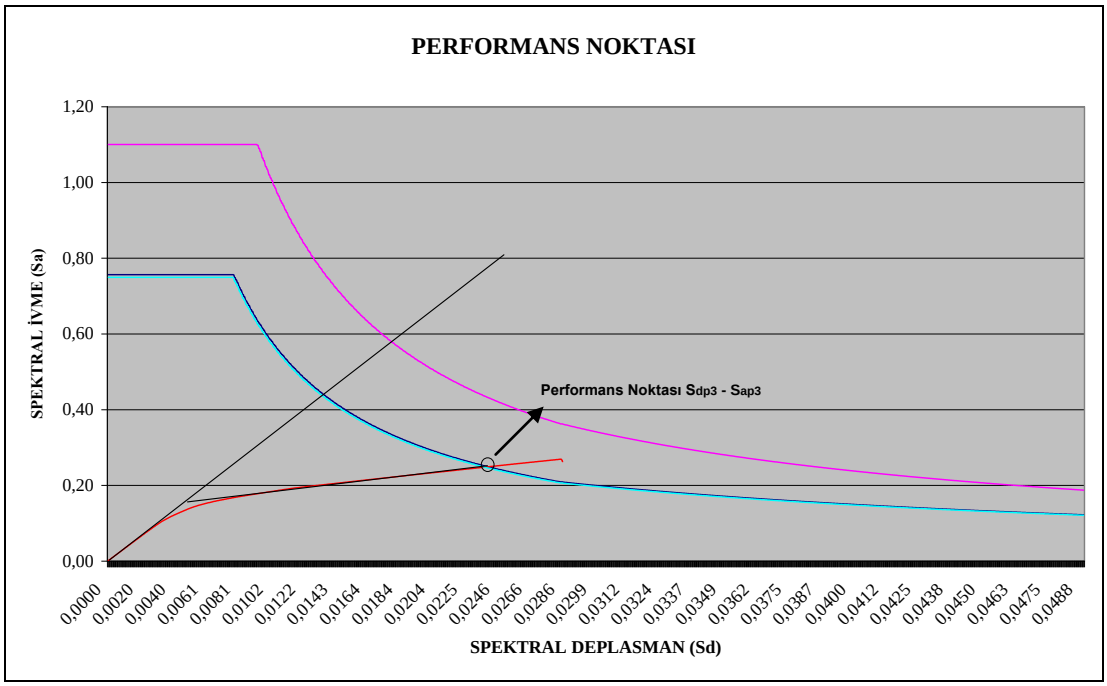


Şekil 4.30 Güçlendirilmiş yapının X yönü için performans değerleri

VII. Adım : Bu durumda bir önceki adımda hesaplanan $S_{ap} = 0.2493$ ve $S_{dp} = 0.0240$ değerleri, $S_{ap2} = 0.2493$ ve $S_{dp2} = 0.0240$ olarak kabul edilmiştir. Aynı işlemler IV. adımdan itibaren tekrarlanmıştır. $\kappa = 0.33$, $\beta_{ef} = 0.1343$, $S_{RA} = 0.\ 6809$, ve $S_{RV} = 0.7545$ değerleri bulunmuş ve ikinci kez indigenmiş talep spektrum eğrisi cizilmiştir, Şekil 4.31'de gösterilmiştir. Kapasite spektrum eğrisi ile ikinci kez indigenmiş talep spektrum eğrisinin kesim noktasındaki değerler $S_{ap3} = 0.247$ ve $S_{dp3} = 0.0238$ performans noktasının değerleridir. Performans noktasının kabul edilebilirliği Bölüm 3.2.4.1'de belirtilen kritere göre kontrol edilmiş ve uygun olduğu görülmüştür.

$$0{,}95 * S_{dpi} < S_{dp} < 1.05 * S_{dpi} \Rightarrow 0.0228 < 0.0238 < 0.0261$$

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

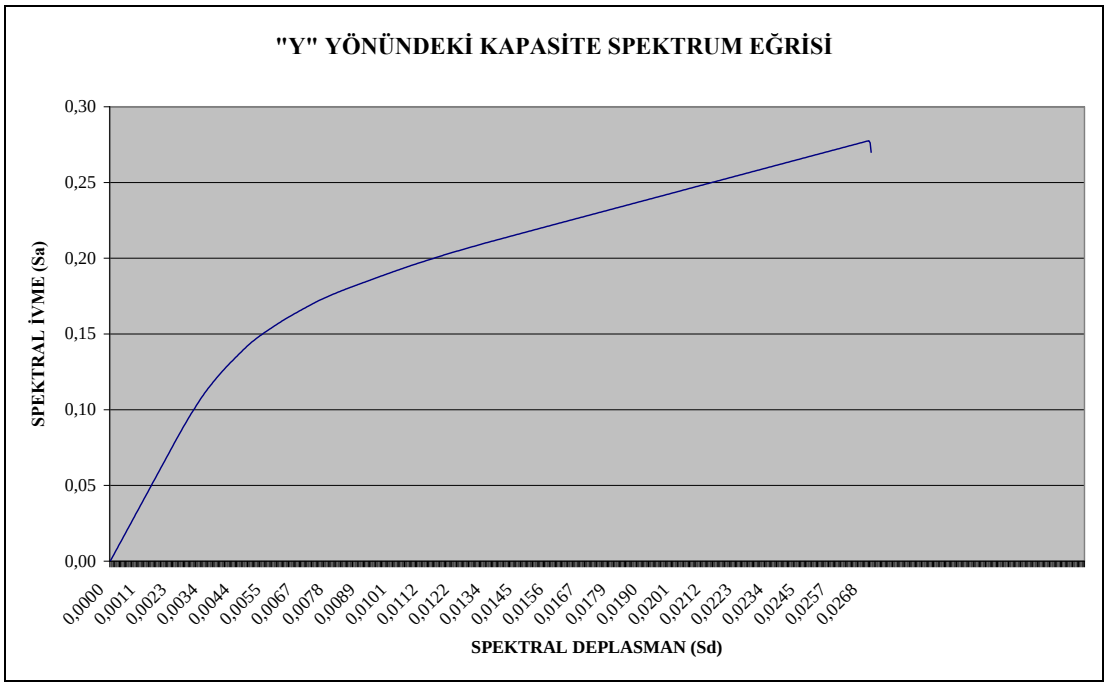


Şekil 4.31 Güçlendirilmiş yapının X yönü için performans noktası

4.10.5.2 Yapının "Y" Yönüne Ait Performans Noktasının Bulunması

I. Adım : Yapıya ait %5 sönümlü talep spektrum eğrisi çizilir. Şekil 4.15'te 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 3.2'den $M_1^* = 52.9578$, Formül 3.1'den $\Gamma_1 = 8.4015$ ve Formül 3.4'den $\alpha_1 = 0.7836$ hesaplanmıştır. Daha önce bulunan statik itme analizinin her adımına karşılık gelen taban kesme kuvveti ve çatı 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 4.32'de gösterilmiştir. Daha önce elde edilen %5 sönümlü talep spektrum eğrisi ile kapasite spektrum eğrisi aynı grafik üzerinde çizilmiş ve Şekil 4.33'de gösterilmiştir.



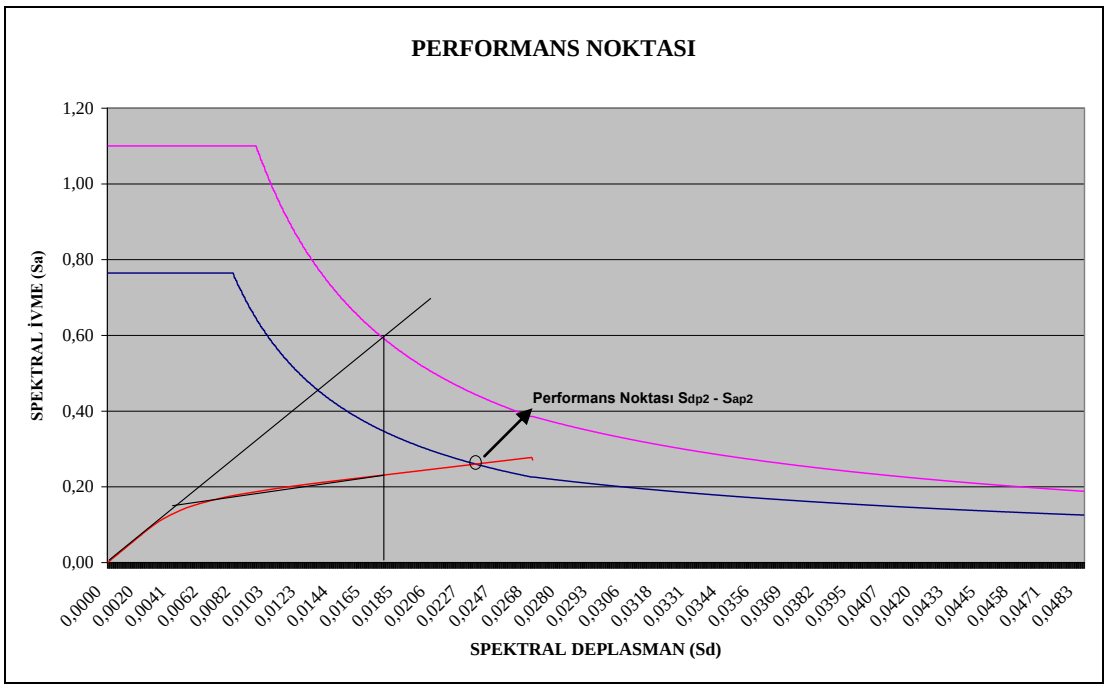
Şekil 4.32 Güçlendirilmiş yapının Y yönü için kapasite spektrum eğrisi

III. Adım : Tahmini bir başlangıç S_{api}, S_{dpi} performans noktası belirlendikten sonra kapasite spektrum eğrisinin lineer olan kısmı uzatılrak talep eğrisi ile kesiştirilmiştir. Bu kesişim noktasından kapasite spektrum eğrisi üzerine dik bir doğru çizilerek S_{ap1} = 0.2301, S_{dp1} = 0.0173 tahmini performans noktası bulunmuştur ve Şekil 4.33'de gösterilmiştir.

IV. Adım : Kapasite spektrum eğrisinin geliştirilmesindeki işlemler kullanılarak kırıklı kapasite spektumu haline 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 4.33'de gösterilmiştir. Bu şekilde S_{ay} = 0.1416 ve S_{dy} = 0.0042 değerleri okunmuştur.

V. Adım : İndirgenmiş talep spektrumu elde edilir ve kapasite spektrum eğri ile aynı grafikte çizilir. Tablo 3.8'den yapı davranış türü olarak Tip C belirlenip Tablo 3.9'dan sönüm değiştirme oranı κ = 0.33 okunmuştur. Formül 3.11 kullanılarak toplam sönüm oranı β_{ef} = 0.1284 hesaplanmıştır. Formül 3.12'de ve Formül 3.13'te bulunan toplam sönüm oranı yerine konularak spektral azaltma katsayıları S_{RA} = 0.695 ve S_{RV} = 0.765 hesaplanmıştır. Elde edilen spektral azaltma katsayıları

kullanılarak %5 sönümlü talep spektrum eğrisi %13 sönümlü talep spektrum eğrisine indirgenmiş ve Şekil 4.33'de gösterilmiştir.



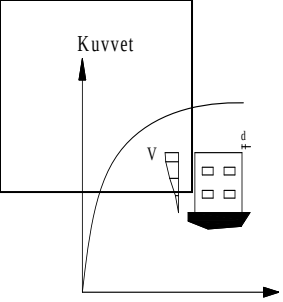
Şekil 4.33 Güçlendirilmiş yapının Y yönü için performans değerleri

VI. Adım : Kapasite spektrum eğrisi ile indigenmiş talep spektrum eğrisinin kesim noktasındaki değerler S_{ap} = 0.2601 ve S_{dp} = 0.0234 performans noktasının değerleridir. Performans noktasının kabul edilebilirliği Bölüm 3.2.4.1'de belirtilen kritere göre kontrol edilmiş ve uygun olmadığı görülmüştür.

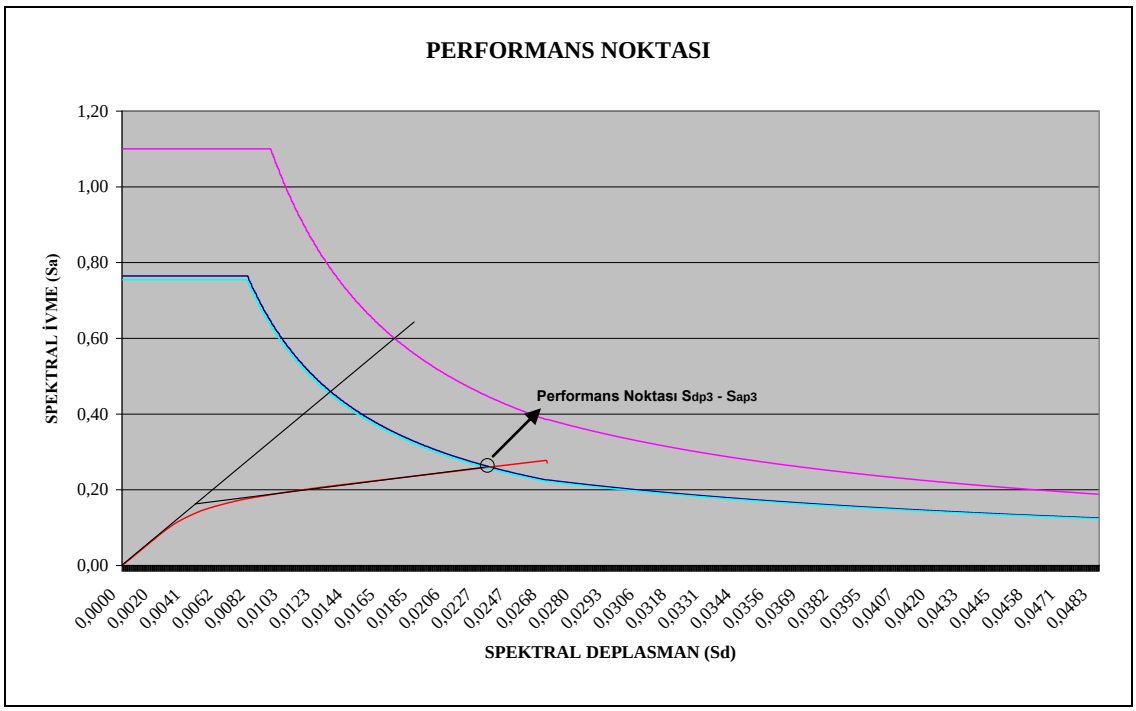
$$0{,}95 * S_{dpi} < S_{dp} < 1.05 * S_{dpi} \Rightarrow 0.0165 \not< 0.0234 \not< 0.0182$$

VII. Adım : Bu durumda bir önceki adımda hesaplanan S_{ap} = 0.2601 ve S_{dp} = 0.0234 değerleri, S_{ap2} = 0.2601 ve S_{dp2} = 0.0234 olarak kabul edilmiştir. Aynı işlemler IV. adımdan itibaren tekrarlanmıştır. κ = 0.33, β_{ef} = 0.1321, S_{RA} = 0. 6861, ve S_{RV} = 0.7585 değerleri bulunmuş ve ikinci kez indigenmiş talep spektrum eğrisi cizilmiştir, Şekil 4.34'de gösterilmiştir. Kapasite spektrum eğrisi ile ikinci kez indigenmiş talep spektrum eğrisinin kesim noktasındaki değerler S_{ap3} = 0.2582 ve S_{dp3} = 0.0231 performans noktasının değerleridir. Performans noktasının kabul edilebilirliği Bölüm 3.2.4.1'de belirtilen kritere göre kontrol edilmiş ve uygun olduğu görülmüştür.

$$0{,}95 * S_{dpi} < S_{dp} < 1.05 * S_{dpi} \Rightarrow 0.0222 < 0.0231 < 0.0245$$



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



Şekil 4.34 Güçlendirilmiş yapının Y yönü için performans noktası

5. SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI ve DEĞERLENDİRİLMESİ

Dinar İlçesinde 1975 Deprem Yönetmeliğine göre projelendirilip inşaa edilmiş mevcut bir betonarme yapının deprem güvenliğinin kontrolü statik itme analizi (Pushover) yöntemiyle yapılmıştır. Analiz sonucunda yapının karşılayabildiği taban kesme kuvvetinin tasarım depremi sonucu oluşacak kuvvete oranını veren göçme yükü parametresi ($P_{göçme}$) ve yapının performans noktası elde edilmiştir. Mevcut durumdaki yapı için statik itme analizi sonucu bulunan değerler olması istenilen değerlerin çok altında bulunmaktadır. Yapı tasarım depreminden daha küçük şiddetteki bir deprem sonucu göçme durumuna ulaşıp yıkılabilir. Yapının mevcut durumda deprem güvenliği yetersizdir. Bu sonuçları elde etmemizin başlıca nedenleri, yani yapının depreme karşı dayanımının yetersiz oluşunun başlıca nedenleri aşağıda kısaca açıklanmıştır:

- Yapının projelendirme aşamasında taşıyıcı sistem tasarımında hatalar yapılmıştır. Kolonların birbirine kirişlerle bağlantısı tam olarak sağlanmamış, birçok kirişte dolaylı mesnetlenmeler yapılmış, yük aktarımı belirsiz duruma getirilmiştir.
- Yapının kiriş donatıları yetersizdir. Alan kazanılmak için konsol çıkmalar yapılmış fakat gerekli donatı konularak önlem alınmamıştır.
- Yapının kolon donatıları yetersizdir ve donatı düzenleri yanlış yapılmıştır.
- Yapının beton kalitesi düşüktür ve yetersizdir.

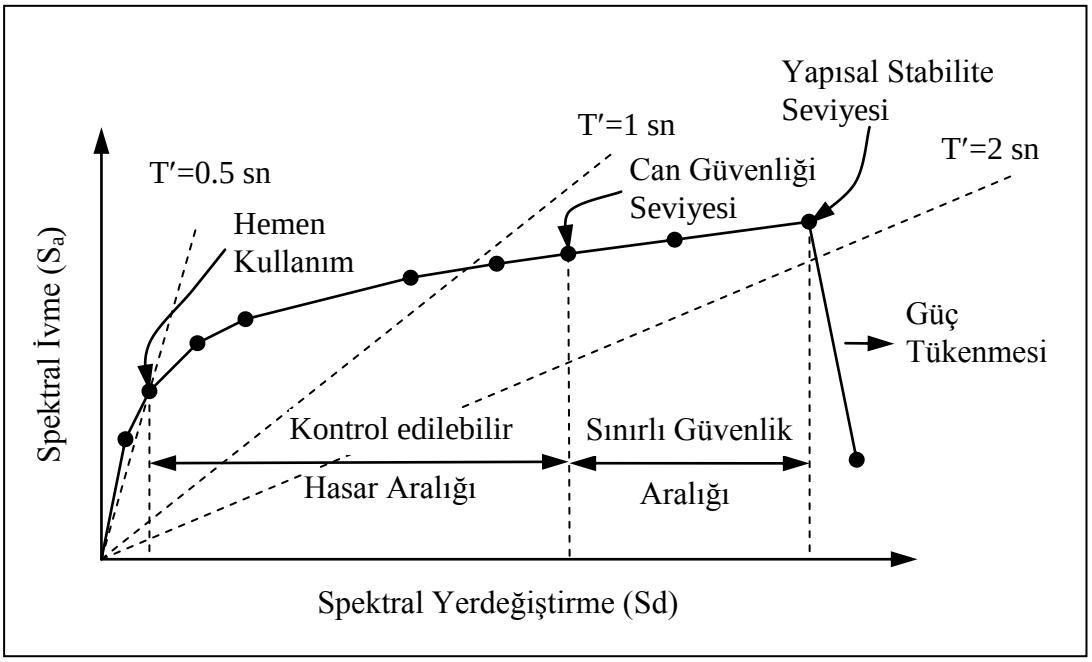
Mevcut yapının taşıyıcı sisteminin tasarımında ve boyutlandırılmasında herhangibir değişiklik yapılmadan sadece kiriş ve kolon donatıları 1975 Deprem Yönetmeliğine göre yeniden hesaplanıp düzenlenmiştir. Yapının bu yönetmeliğe göre yeniden projelendirilmesinin nedeni yapı doğru projelendirilmiş olsaydı statik itme analizi sonucunda günümüz kriterlerine göre istenilen değerlere ulaşıp ulaşamıyacağını kontrol etmek içindir. Çünkü günümüzde bu yönetmeliğe göre inşaa edilmiş birçok mevcut yapı vardır ve bu tahkik yapıların deprem güvenliği kontrolünün gerekli olup olmadığı konusunda mühendislere ışık tutacaktır. Kiriş ve kolon donatıları yeniden

düzenlenen yapı sistemi bilgisayar ortamında modellenerek statik itme analizi yapılmıştır. Bulunan göçme yükü parametresi yine olması istenilen değerin altındadır ve yapının deprem güvenliği yeterli değildir. Bu da bize 1975 Deprem Yönetmeliğine göre projelendirilip inşaa edilmiş yapıların deprem güvenliklerinin kontrol edilmesi gerektiğini göstermektedir.

Deprem güvenliği yetersiz olan yapıda güçlendirme çalışması yapılmıştır ve yapıdaki tüm kolonlar mantolanarak analiz tekrarlanmıştır. Güçlendirilen yapı yeniden modellenerek statik itme analizi yapılmış, göçme yükü parametresi ve performans noktası bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar ilk duruma göre çok daha iyi olmasına rağmen istenilen performans değeri yakalanamamıştır ve yapının deprem güvenliği sağlanamamıştır.

1975 Deprem Yönetmeliğine göre kiriş ve kolon donatıları yeniden düzenlenen yapının güçlendirilmeden sonraki performans noktalarının açıklanması Şekil 5.1 yardımıyla yapılmıştır. Yapının X ve Y yönü için güçlendirilmeden önceki halinde performans noktasına ulaşılamamıştır çünkü yapının her iki yöndeki rijitliği yetersizdir ve indirgenmiş talep spektrumu ile kapasite spektrumu kesişmemektedir. Güçlendirmeden sonra performans noktası her iki doğrultu içinde ayrı ayrı bulunmuştur. Performans noktasının X doğrultusundaki koordinatları S_a = 0.247, S_d =0.0238 dir. Bu değerlere göre bulunan periyot T = 1.949 s'dir. Bulunan periyot değeri yapının güç tükenmesi bölgesinde olduğunu ve yapısal stabilite performans seviyesini aştığını göstermektedir. Performans noktasının Y doğrultusundaki koordinatları ise S_a = 0.2582, S_d =0.0231 dir. Bu değerlere göre bulunan periyot T = 1.879 sn'dir. Bulunan periyot değeri yapının bu doğrultuda biraz daha iyi durumda olmasına rağmen yine güç tükenmesi bölgesinde olduğunu ve yapısal stabilite performans seviyesini aştığını göstermektedir.

Yapılan hesaplamalar ve elde edilen sonuçlar ışığında görülüyor ki, mevcut betonarme yapıdaki taşıyıcı sistem çok düzensiz ve yetersiz olduğu için güçlendirme sonucunda bile hedeflenen performans seviyeleri yakalanamamıştır. Yapılan güçlendirmenin ağırlaştırılması gerekmektedir.



Şekil 5.1 Taşıyıcı sistemde kapasite spektrum eğrisi

Aynı yapı, farklı bir tez konusu olarak ele alınmış fakat güçlendirme aşamasında betonarme perdeler kullanılmıştır[1]. Aynı yapının farklı iki güçlendirme metodu sonucunda elde edilen analiz sonuçları X doğrultusu için Tablo 5.1'de, Y doğrultusu için Tablo 5.2'de verilmiştir.

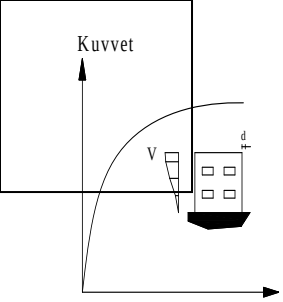
Tablo 5.1 X Doğrultusundaki Statik İtme Analizi Sonuçları

AÇIKLAMA	Vt (Ton)	Δn (m)	Pgöçme	T (sn)
Mevcut Yapı	44.866	0.063	0.304	-
1975 Deprem Şartnamesine Göre Donatıları Düzenlenmiş Yapı	82.157	0.0449	0.556	-
Kolonları Mantolanmış Yapı	138.86	0.039	0.837	1.949
Perdeler İle Güçlendirilmiş Yapı[1]	337.226	0.0335	2.135	0.999

Tablo 5.2 Y Doğrultusundaki Statik İtme Analizi Sonuçları

AÇIKLAMA	Vt (Ton)	Δn (m)	Pgöçme	T (sn)
Mevcut Yapı	48.078	0.069	0.3257	-
1975 Deprem Şartnamesine Göre Donatıları Düzenlenmiş Yapı	84.566	0.0418	0.5728	-
Kolonları Mantolanmış Yapı	144.19	0.0369	0.869	1.879
Perdeler İle Güçlendirilmiş Yapı[1]	293.80	0.0423	1.860	0.919

[1] İnş. Müh. B. Kesim tarafından, 2004 yılında yüksek lisans tezi olarak incelenmiştir.



İki analiz sonuçları karşılaştıralarak yorumlandığı zaman görülmüştür ki, mantolama yoluyla güçlendirme yapıldığı zaman bina mevcut haline göre iyileşme göstermekte fakat performans olarak istenilen seviyelere ulaşamamaktadır, halbuki yapıda muhtelif yerlerde betonarme perdeler teşkili yoluyla güçlendirme yapıldığı zaman bina hem mevcut haline göre iyileşme göstermekte hemde performans olarak istenilen seviyelere ulaşmaktadır. Bunun nedeni, yapıda bulunan kolonlara mantolama yapıldığı zaman binanın sadece rijitliği artmakta ancak yapıdaki, taşıyıcı sistemdeki yanlışlıklar ve eksiklikler giderilememektedir. Bunun yanında betonarme perde teşkili yapıldığı zaman binanın sadece rijitliği artmakla kalmayıp bunun yanında perdelerin yerlerinin doğru tespiti ile taşıyıcı sistemdeki hatalar giderilebilmektedir. Kirişin kirişe taşıtılması, yanlış ve dolaylı mesnetlenmeler, yük aktarımındaki yanlışlıklar vb. tüm yanlışlıklar perde teşkili ile giderilebildiği için performans değeri de istenilen seviyede olmuştur.

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.

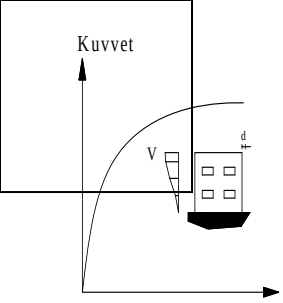
[8] **Aka, İ., Keskinel, F., Çılı, F. ve Çelik, O.,** 2001. Betonarme, Birsen Yayınevi, İstanbul.

[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



[13] **Kesim, B.,** 2004. Statik İtme Analizi Yöntemiyle Mevcut Bir Betonarme Yapının İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

EK-A

Tablo A.1 Yapının mevcut durumdaki kiriş donatı çapları ve adetleri

Kat No	Kiriş No	Pilye	Düz Donatı	Sol Mesnet Ek Donatısı	Sağ Mesnet Ek Donatısı	Montaj Donatısı
3	K001 (50/20)	1ϕ12	2ϕ12	-	-	2ϕ12
3	K002 (50/20)	1ϕ12	2ϕ12	-	2ϕ12	2ϕ12
3	K003 (50/20)	1ϕ12	2ϕ12	2ϕ12	-	2ϕ12
3	K004 (50/20)	-	3ϕ12	-	-	2ϕ12
3	K005 (50/20)	1ϕ12	2ϕ12	-	2ϕ12	2ϕ12
3	K006 (50/20)	1ϕ12	2ϕ12	-	-	2ϕ12
3	K007 (50/20)	1ϕ12	2ϕ12	-	2ϕ12	2ϕ12
3	K008 (50/20)	1ϕ12	2ϕ12	2ϕ12	-	2ϕ12
3	K009 (50/20)	-	3ϕ12	-	-	2ϕ12
3	K010 (50/20)	1ϕ12	2ϕ12	-	-	2ϕ12
3	K011 (50/20)	1ϕ12	2ϕ12	-	2ϕ12	2ϕ12
3	K012 (50/20)	1ϕ12	2ϕ12	2ϕ12	-	2ϕ12
3	K013 (50/20)	1ϕ12	2ϕ12	-	-	2ϕ12
3	K014 (50/20)	1ϕ12	2ϕ12	-	2ϕ12	2ϕ12
3	K015 (50/20)	1ϕ12	2ϕ12	-	-	2ϕ12
3	K016 (50/20)	1ϕ12	2ϕ12	-	-	2ϕ12
3	K017 (50/20)	1ϕ12	2ϕ12	2ϕ12	-	2ϕ12
3	K018 (50/20)	1ϕ12	2ϕ12	-	-	2ϕ12
3	K019 (50/20)	1ϕ12	2ϕ12	-	2ϕ12	2ϕ12
3	K020 (50/20)	1ϕ12	2ϕ12	-	-	2ϕ12
3	K021 (50/20)	1ϕ12	2ϕ12	-	-	2ϕ12
3	K022 (50/20)	1ϕ12	2ϕ12	-	-	2ϕ12
2	K001 (50/20)	1ϕ12	2ϕ12	-	-	2ϕ12
2	K002 (50/20)	1ϕ12	2ϕ12	-	2ϕ12	2ϕ12
2	K003 (50/20)	1ϕ12	2ϕ12	2ϕ12	-	2ϕ12
2	K004 (50/20)	-	3ϕ12	-	-	2ϕ12
2	K005 (50/20)	1ϕ12	2ϕ12	-	2ϕ12	2ϕ12
2	K006 (50/20)	1ϕ12	2ϕ12	-	-	2ϕ12
2	K007 (50/20)	1ϕ12	2ϕ12	-	2ϕ12	2ϕ12

Kat No	Kiriş No	Pilye	Düz Donatı	Sol Mesnet Ek Donatısı	Sağ Mesnet Ek Donatısı	Montaj Donatısı
2	K008 (50/20)	1ϕ12	2ϕ12	2ϕ12	-	2ϕ12
2	K009 (50/20)	-	3ϕ12	-	-	2ϕ12
2	K010 (50/20)	1ϕ12	2ϕ12	-	-	2ϕ12
2	K011 (50/20)	1ϕ12	2ϕ12	-	2ϕ12	2ϕ12
2	K012 (50/20)	1ϕ12	2ϕ12	2ϕ12	-	2ϕ12
2	K013 (50/20)	1ϕ12	2ϕ12	-	-	2ϕ12
2	K014 (50/20)	1ϕ12	2ϕ12	-	2ϕ12	2ϕ12
2	K015 (50/20)	1ϕ12	2ϕ12	-	-	2ϕ12
2	K016 (50/20)	1ϕ12	2ϕ12	-	-	2ϕ12
2	K017 (50/20)	1ϕ12	2ϕ12	2ϕ12	-	2ϕ12
2	K018 (50/20)	1ϕ12	2ϕ12	-	-	2ϕ12
2	K019 (50/20)	1ϕ12	2ϕ12	-	2ϕ12	2ϕ12
2	K020 (50/20)	1ϕ12	2ϕ12	-	-	2ϕ12
2	K021 (50/20)	1ϕ12	2ϕ12	-	-	2ϕ12
2	K022 (50/20)	1ϕ12	2ϕ12	-	-	2ϕ12
1	K001 (65/20)	1ϕ12	2ϕ12	-	-	2ϕ12
1	K002 (65/20)	1ϕ12	2ϕ12	-	2ϕ12	2ϕ12
1	K003 (60/20)	1ϕ12	2ϕ12	2ϕ12	-	2ϕ12
1	K004 (60/20)	-	3ϕ12	-	-	2ϕ12
1	K005 (60/20)	1ϕ12	2ϕ12	-	2ϕ12	2ϕ12
1	K006 (60/20)	1ϕ12	2ϕ12	-	-	2ϕ12
1	K007 (60/20)	1ϕ12	2ϕ12	-	2ϕ12	2ϕ12
1	K008 (60/20)	1ϕ12	2ϕ12	2ϕ12	-	2ϕ12
1	K009 (60/20)	-	3ϕ12	-	-	2ϕ12
1	K010 (65/20)	1ϕ12	2ϕ12	-	-	2ϕ12
1	K011 (65/20)	1ϕ12	2ϕ12	-	2ϕ12	2ϕ12
1	K012 (65/20)	1ϕ12	2ϕ12	2ϕ12	-	2ϕ12
1	K013 (65/20)	1ϕ12	2ϕ12	-	-	2ϕ12
1	K014 (65/20)	1ϕ12	2ϕ12	-	2ϕ12	2ϕ12
1	K015 (60/20)	1ϕ12	2ϕ12	-	-	2ϕ12
1	K016 (60/20)	1ϕ12	2ϕ12	-	-	2ϕ12
1	K017 (60/20)	1ϕ12	2ϕ12	2ϕ12	-	2ϕ12
1	K018 (60/20)	1ϕ12	2ϕ12	-	-	2ϕ12
1	K019 (60/20)	1ϕ12	2ϕ12	-	2ϕ12	2ϕ12
1	K020 (65/20)	1ϕ12	2ϕ12	-	-	2ϕ12
1	K021 (65/20)	1ϕ12	2ϕ12	-	-	2ϕ12
1	K022 (65/20)	1ϕ12	2ϕ12	-	-	2ϕ12
Zemin	K001 (65/20)	1ϕ12	2ϕ12	-	-	2ϕ12
Zemin	K002 (65/20)	1ϕ12	2ϕ12	-	-	2ϕ12
Zemin	K003 (60/20)	1ϕ12	2ϕ12	-	2ϕ12	2ϕ12
Zemin	K004 (60/20)	1ϕ12	2ϕ12	-	-	2ϕ12

Kat No	Kiriş No	Pilye	Düz Donatı	Sol Mesnet Ek Donatısı	Sağ Mesnet Ek Donatısı	Montaj Donatısı
Zemin	K005 (60/20)	-	3ϕ12	-	-	2ϕ12
Zemin	K006 (60/20)	1ϕ12	2ϕ12	-	2ϕ12	2ϕ12
Zemin	K007 (60/20)	1ϕ12	2ϕ12	-	-	2ϕ12
Zemin	K008 (60/20)	1ϕ12	2ϕ12	-	2ϕ12	2ϕ12
Zemin	K009 (60/20)	1ϕ12	2ϕ12	2ϕ12	-	2ϕ12
Zemin	K010 (65/20)	-	3ϕ12	-	-	2ϕ12
Zemin	K011 (65/20)	1ϕ12	2ϕ12	-	-	2ϕ12
Zemin	K012 (65/20)	1ϕ12	2ϕ12	-	2ϕ12	2ϕ12
Zemin	K013 (65/20)	1ϕ12	2ϕ12	-	-	2ϕ12
Zemin	K014 (65/20)	1ϕ12	2ϕ12	2ϕ12	-	2ϕ12
Zemin	K015 (60/20)	1ϕ12	2ϕ12	-	-	2ϕ12
Zemin	K016 (60/20)	1ϕ12	2ϕ12	-	-	2ϕ12
Zemin	K017 (60/20)	1ϕ12	2ϕ12	-	2ϕ12	2ϕ12
Zemin	K018 (60/20)	1ϕ12	2ϕ12	-	-	2ϕ12
Zemin	K019 (60/20)	1ϕ12	2ϕ12	-	-	2ϕ12
Zemin	K020 (65/20)	1ϕ12	2ϕ12	2ϕ12	-	2ϕ12
Zemin	K021 (65/20)	1ϕ12	2ϕ12	-	-	2ϕ12
Zemin	K022 (65/20)	1ϕ12	2ϕ12	-	2ϕ12	2ϕ12
Zemin	K023 (65/20)	1ϕ12	2ϕ12	-	-	2ϕ12
Zemin	K024 (65/20)	1ϕ12	2ϕ12	-	-	2ϕ12
Zemin	K025 (65/20)	1ϕ12	2ϕ12	-	-	2ϕ12
Zemin	K026 (65/20)	1ϕ12	2ϕ12	-	-	2ϕ12
Zemin	K027 (65/20)	1ϕ12	2ϕ12	-	-	2ϕ12

Tablo A2 1975 Deprem Yönetmeliğine göre donatıları düzenlenen yapının kiriş donatı çapları ve adetleri

Kat No	Kiriş No	Pilye	Düz Donatı	Sol Mesnet Ek Donatısı	Sağ Mesnet Ek Donatısı	Montaj Donatısı
3	K001 (50/20)	3ϕ14	4ϕ14	-	-	2ϕ12
3	K002 (50/20)	2ϕ14	2ϕ14	2ϕ14	4ϕ14	2ϕ14
3	K003 (50/20)	2ϕ14	2ϕ14	5ϕ18	2ϕ14	3ϕ14
3	K004 (50/20)	-	4ϕ14	2ϕ14	3ϕ14	2ϕ12
3	K005 (50/20)	2ϕ14	2ϕ14	3ϕ14	5ϕ14	2ϕ14
3	K006 (50/20)	3ϕ14	3ϕ14	-	-	2ϕ12
3	K007 (50/20)	2ϕ14	2ϕ14	2ϕ14	5ϕ14	2ϕ14
3	K008 (50/20)	2ϕ14	2ϕ14	5ϕ18	3ϕ14	3ϕ14
3	K009 (50/20)	-	4ϕ14	3ϕ14	3ϕ14	2ϕ12
3	K010 (50/20)	3ϕ14	4ϕ14	-	-	2ϕ12
3	K011 (50/20)	2ϕ14	2ϕ14	4ϕ14	5ϕ18	3ϕ14
3	K012 (50/20)	2ϕ14	2ϕ14	5ϕ18	3ϕ14	3ϕ14

Kat No	Kiriş No	Pilye	Düz Donatı	Sol Mesnet Ek Donatısı	Sağ Mesnet Ek Donatısı	Montaj Donatısı
3	K013 (50/20)	3ϕ18	4ϕ18	-	-	2ϕ12
3	K014 (50/20)	2ϕ14	2ϕ14	2ϕ14	4ϕ18	3ϕ12
3	K015 (50/20)	3ϕ14	3ϕ14	3ϕ14	5ϕ18	3ϕ14
3	K016 (50/20)	2ϕ14	2ϕ14	5ϕ18	1ϕ14	3ϕ14
3	K017 (50/20)	2ϕ14	2ϕ14	5ϕ18	2ϕ14	3ϕ14
3	K018 (50/20)	2ϕ14	2ϕ14	2ϕ14	-	2ϕ14
3	K019 (50/20)	2ϕ14	2ϕ14	-	4ϕ18	3ϕ12
3	K020 (50/20)	2ϕ14	2ϕ14	1ϕ14	1ϕ14	2ϕ12
3	K021 (50/20)	2ϕ14	2ϕ14	3ϕ18	4ϕ14	2ϕ14
3	K022 (50/20)	2ϕ14	2ϕ14	1ϕ14	1ϕ14	2ϕ12
2	K001 (50/20)	3ϕ14	4ϕ14	-	-	2ϕ12
2	K002 (50/20)	2ϕ14	2ϕ14	2ϕ14	4ϕ14	2ϕ14
2	K003 (50/20)	2ϕ14	2ϕ14	5ϕ18	2ϕ14	3ϕ14
2	K004 (50/20)	-	4ϕ14	2ϕ14	3ϕ14	2ϕ12
2	K005 (50/20)	2ϕ14	2ϕ14	3ϕ14	5ϕ14	2ϕ14
2	K006 (50/20)	3ϕ14	3ϕ14	-	-	2ϕ12
2	K007 (50/20)	2ϕ14	2ϕ14	2ϕ14	5ϕ14	2ϕ14
2	K008 (50/20)	2ϕ14	2ϕ14	5ϕ18	3ϕ14	3ϕ14
2	K009 (50/20)	-	4ϕ14	3ϕ14	3ϕ14	2ϕ12
2	K010 (50/20)	3ϕ14	4ϕ14	-	-	2ϕ12
2	K011 (50/20)	2ϕ14	2ϕ14	4ϕ14	5ϕ18	3ϕ14
2	K012 (50/20)	2ϕ14	2ϕ14	5ϕ18	3ϕ14	3ϕ14
2	K013 (50/20)	3ϕ18	4ϕ18	-	-	2ϕ12
2	K014 (50/20)	2ϕ14	2ϕ14	2ϕ14	4ϕ18	3ϕ12
2	K015 (50/20)	3ϕ14	3ϕ14	3ϕ14	5ϕ18	3ϕ14
2	K016 (50/20)	2ϕ14	2ϕ14	5ϕ18	1ϕ14	3ϕ14
2	K017 (50/20)	2ϕ14	2ϕ14	5ϕ18	2ϕ14	3ϕ14
2	K018 (50/20)	2ϕ14	2ϕ14	2ϕ14	-	2ϕ14
2	K019 (50/20)	2ϕ14	2ϕ14	1ϕ14	1ϕ14	2ϕ12
2	K020 (50/20)	2ϕ14	2ϕ14	3ϕ18	4ϕ14	2ϕ14
2	K021 (50/20)	2ϕ14	2ϕ14	1ϕ14	1ϕ14	2ϕ12
2	K022 (50/20)	2ϕ14	2ϕ14	2ϕ14	-	2ϕ14
1	K001 (65/20)	3ϕ14	3ϕ14	-	-	2ϕ12
1	K002 (65/20)	2ϕ14	3ϕ14	3ϕ14	3ϕ18	2ϕ14
1	K003 (60/20)	2ϕ14	2ϕ14	4ϕ18	3ϕ14	3ϕ12
1	K004 (60/20)	-	4ϕ14	3ϕ14	3ϕ14	2ϕ12
1	K005 (60/20)	2ϕ14	2ϕ14	3ϕ14	4ϕ18	2ϕ14
1	K006 (60/20)	3ϕ14	3ϕ14	-	-	2ϕ12
1	K007 (60/20)	2ϕ14	2ϕ14	2ϕ14	4ϕ14	2ϕ14
1	K008 (60/20)	2ϕ14	2ϕ14	4ϕ18	3ϕ14	3ϕ12
1	K009 (60/20)	-	4ϕ14	3ϕ14	3ϕ14	2ϕ12

Kat No	Kiriş No	Pilye	Düz Donatı	Sol Mesnet Ek Donatısı	Sağ Mesnet Ek Donatısı	Montaj Donatısı
1	K010 (65/20)	3ϕ14	3ϕ14	-	-	2ϕ12
1	K011 (65/20)	2ϕ14	3ϕ14	3ϕ18	5ϕ18	3ϕ14
1	K012 (65/20)	2ϕ14	3ϕ14	5ϕ18	4ϕ14	3ϕ14
1	K013 (65/20)	2ϕ18	3ϕ18	-	-	2ϕ12
1	K014 (65/20)	2ϕ14	2ϕ14	2ϕ14	4ϕ18	3ϕ12
1	K015 (60/20)	3ϕ14	3ϕ14	3ϕ14	4ϕ18	3ϕ14
1	K016 (60/20)	2ϕ14	2ϕ14	4ϕ18	1ϕ14	3ϕ12
1	K017 (60/20)	2ϕ14	2ϕ14	4ϕ18	3ϕ14	3ϕ12
1	K018 (60/20)	2ϕ14	2ϕ14	3ϕ14	-	2ϕ14
1	K019 (60/20)	2ϕ14	3ϕ14	-	3ϕ18	2ϕ14
1	K020 (65/20)	2ϕ14	3ϕ14	1ϕ14	1ϕ14	2ϕ12
1	K021 (65/20)	2ϕ14	3ϕ14	4ϕ18	4ϕ14	3ϕ12
1	K022 (65/20)	2ϕ14	3ϕ14	1ϕ14	1ϕ14	2ϕ12
Zemin	K001 (65/20)	2ϕ14	3ϕ14	1ϕ14	1ϕ14	2ϕ12
Zemin	K002 (65/20)	2ϕ14	3ϕ14	1ϕ14	1ϕ14	2ϕ12
Zemin	K003 (65/20)	2ϕ14	3ϕ14	3ϕ14	3ϕ18	2ϕ14
Zemin	K004 (60/20)	2ϕ14	2ϕ14	2ϕ18	4ϕ14	2ϕ14
Zemin	K005 (60/20)	-	4ϕ14	4ϕ14	3ϕ18	2ϕ14
Zemin	K006 (60/20)	2ϕ14	2ϕ14	3ϕ18	5ϕ18	3ϕ14
Zemin	K007 (60/20)	2ϕ14	2ϕ14	1ϕ14	1ϕ14	2ϕ12
Zemin	K008 (60/20)	2ϕ14	2ϕ14	2ϕ14	2ϕ18	2ϕ12
Zemin	K009 (60/20)	2ϕ14	2ϕ14	4ϕ14	4ϕ14	2ϕ14
Zemin	K010 (60/20)	-	4ϕ14	4ϕ14	3ϕ14	2ϕ14
Zemin	K011 (65/20)	2ϕ14	3ϕ14	2ϕ14	3ϕ14	2ϕ14
Zemin	K012 (65/20)	2ϕ14	3ϕ14	3ϕ14	5ϕ18	3ϕ14
Zemin	K013 (65/20)	2ϕ14	3ϕ14	1ϕ14	1ϕ14	2ϕ12
Zemin	K014 (65/20)	2ϕ14	3ϕ14	5ϕ18	3ϕ14	3ϕ14
Zemin	K015 (65/20)	2ϕ14	3ϕ14	1ϕ14	1ϕ14	2ϕ12
Zemin	K016 (60/20)	2ϕ14	3ϕ14	3ϕ14	3ϕ14	2ϕ14
Zemin	K017 (60/20)	2ϕ14	3ϕ14	3ϕ14	4ϕ18	3ϕ12
Zemin	K018 (60/20)	2ϕ14	3ϕ14	3ϕ14	3ϕ18	2ϕ14
Zemin	K019 (60/20)	2ϕ14	2ϕ14	2ϕ18	1ϕ14	2ϕ12
Zemin	K020 (60/20)	2ϕ14	2ϕ14	3ϕ18	2ϕ18	2ϕ14
Zemin	K021 (65/20)	2ϕ14	2ϕ14	2ϕ18	-	2ϕ14
Zemin	K022 (65/20)	2ϕ14	2ϕ14	-	4ϕ14	2ϕ14
Zemin	K023 (65/20)	2ϕ14	3ϕ14	3ϕ14	3ϕ14	2ϕ14
Zemin	K024 (65/20)	2ϕ14	3ϕ14	3ϕ14	-	2ϕ14
Zemin	K025 (65/20)	2ϕ14	3ϕ14	-	2ϕ14	2ϕ12
Zemin	K026 (65/20)	2ϕ14	3ϕ14	1ϕ14	1ϕ14	2ϕ12
Zemin	K027 (65/20)	2ϕ14	3ϕ14	1ϕ14	1ϕ14	2ϕ12

Tablo A.3 Mevcut yapının 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	6ϕ16	6ϕ16	6ϕ16	6ϕ16
S3	6ϕ16	6ϕ16	6ϕ16	6ϕ16
S4	6ϕ16	6ϕ16	6ϕ16	6ϕ16
S5	6ϕ16	6ϕ16	6ϕ16	6ϕ16
S6	6ϕ16	6ϕ16	6ϕ16	6ϕ16
S7	6ϕ16	6ϕ16	6ϕ16	6ϕ16
S8	6ϕ16	6ϕ16	6ϕ16	6ϕ16
S9	6ϕ16	6ϕ16	6ϕ16	6ϕ16
S10	6ϕ16	6ϕ16	6ϕ16	6ϕ16
S11	6ϕ16	6ϕ16	6ϕ16	6ϕ16
S12	6ϕ16	6ϕ16	6ϕ16	6ϕ16
S13	6ϕ16	6ϕ16	6ϕ16	6ϕ16
S14	6ϕ16	6ϕ16	6ϕ16	6ϕ16

Tablo A.4 1975 Deprem Yönetmeliğine göre donatıları düzenlenen yapının 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	8ϕ16	8ϕ16	10ϕ16
S2	6ϕ16	8ϕ16	8ϕ16	10ϕ16
S3	6ϕ16	6ϕ16	12ϕ16	10ϕ16
S4	6ϕ16	6ϕ16	8ϕ16	12ϕ16
S5	8ϕ16	8ϕ16	8ϕ16	12ϕ16
S6	6ϕ16	8ϕ16	8ϕ16	10ϕ16
S7	8ϕ16	8ϕ16	8ϕ16	12ϕ16
S8	6ϕ16	8ϕ16	8ϕ16	12ϕ16
S9	6ϕ16	8ϕ16	10ϕ16	16ϕ16
S10	6ϕ16	6ϕ16	10ϕ16	14ϕ16
S11	8ϕ16	10ϕ16	8ϕ16	10ϕ16
S12	6ϕ16	6ϕ16	8ϕ16	10ϕ16
S13	8ϕ16	8ϕ16	10ϕ16	16ϕ16
S14	8ϕ16	8ϕ16	8ϕ16	12ϕ16

Tablo A.5 Kolonları 12 cm mantolanmış yapının kolon boyuna donatı çapları ve adetleri

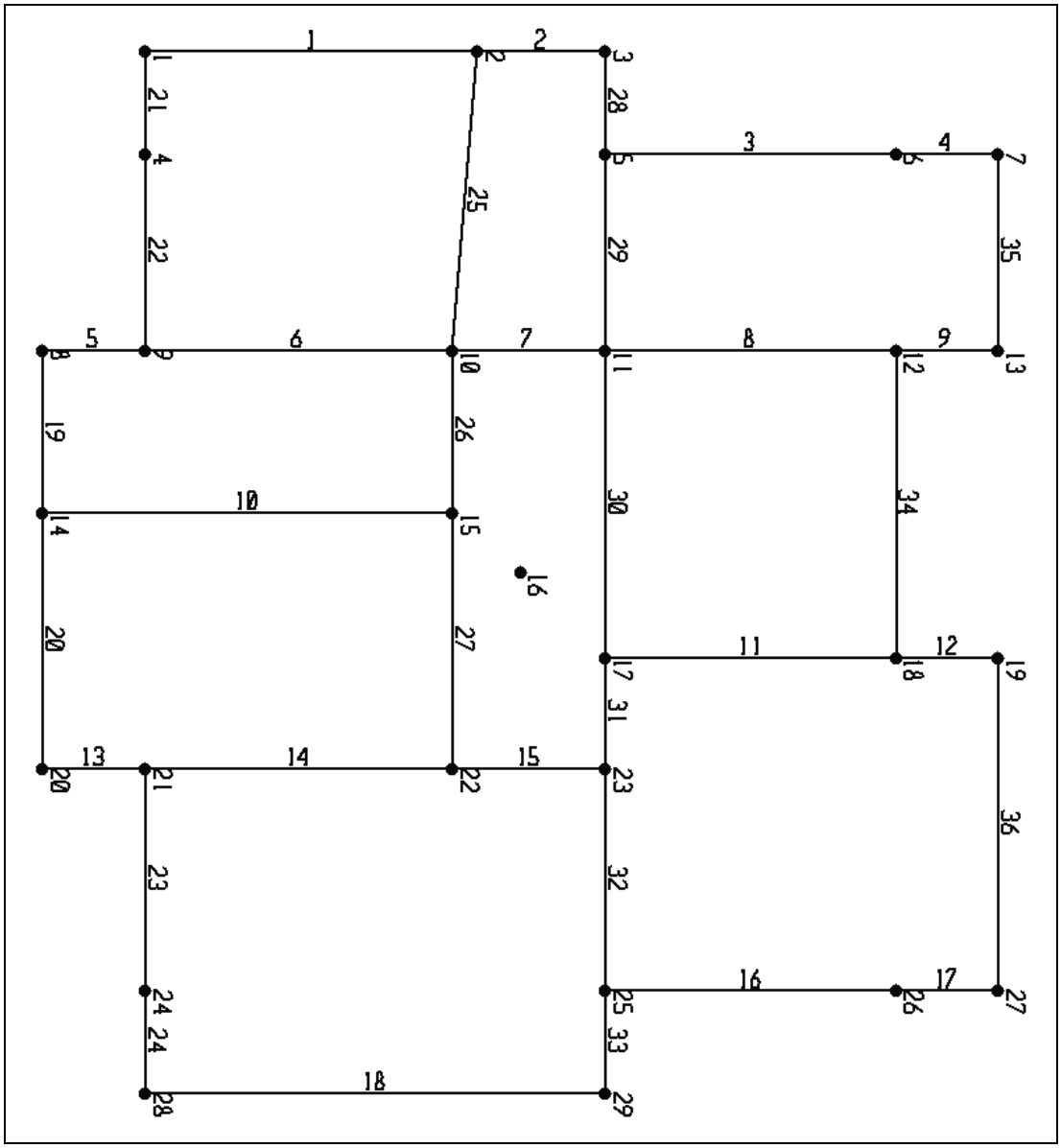
Kolon No	Kolon Boyuna Donatı Çapı ve Adeti			
	3. Normal Kat	2. Normal Kat	1. Normal Kat	Zemin Kat
S1	25ϕ18	25ϕ18	26ϕ18	26ϕ18
S2	26ϕ18	26ϕ18	29ϕ18	29ϕ18
S3	25ϕ18	25ϕ18	25ϕ18	29ϕ18
S4	26ϕ18	26ϕ18	29ϕ18	29ϕ18
S5	25ϕ18	25ϕ18	26ϕ18	26ϕ18
S6	25ϕ18	25ϕ18	26ϕ18	26ϕ18
S7	25ϕ18	25ϕ18	25ϕ18	29ϕ18
S8	26ϕ18	26ϕ18	26ϕ18	26ϕ18
S9	26ϕ18	26ϕ18	29ϕ18	29ϕ18
S10	25ϕ18	25ϕ18	26ϕ18	26ϕ18
S11	25ϕ18	25ϕ18	25ϕ18	25ϕ18
S12	25ϕ18	25ϕ18	25ϕ18	25ϕ18
S13	25ϕ18	25ϕ18	25ϕ18	25ϕ18
S14	25ϕ18	25ϕ18	25ϕ18	25ϕ18

Tablo A.6 Mantolama kesitinin elasitisite modülünün mevcut beton elastisite modülü cinsinden ifade edilişi

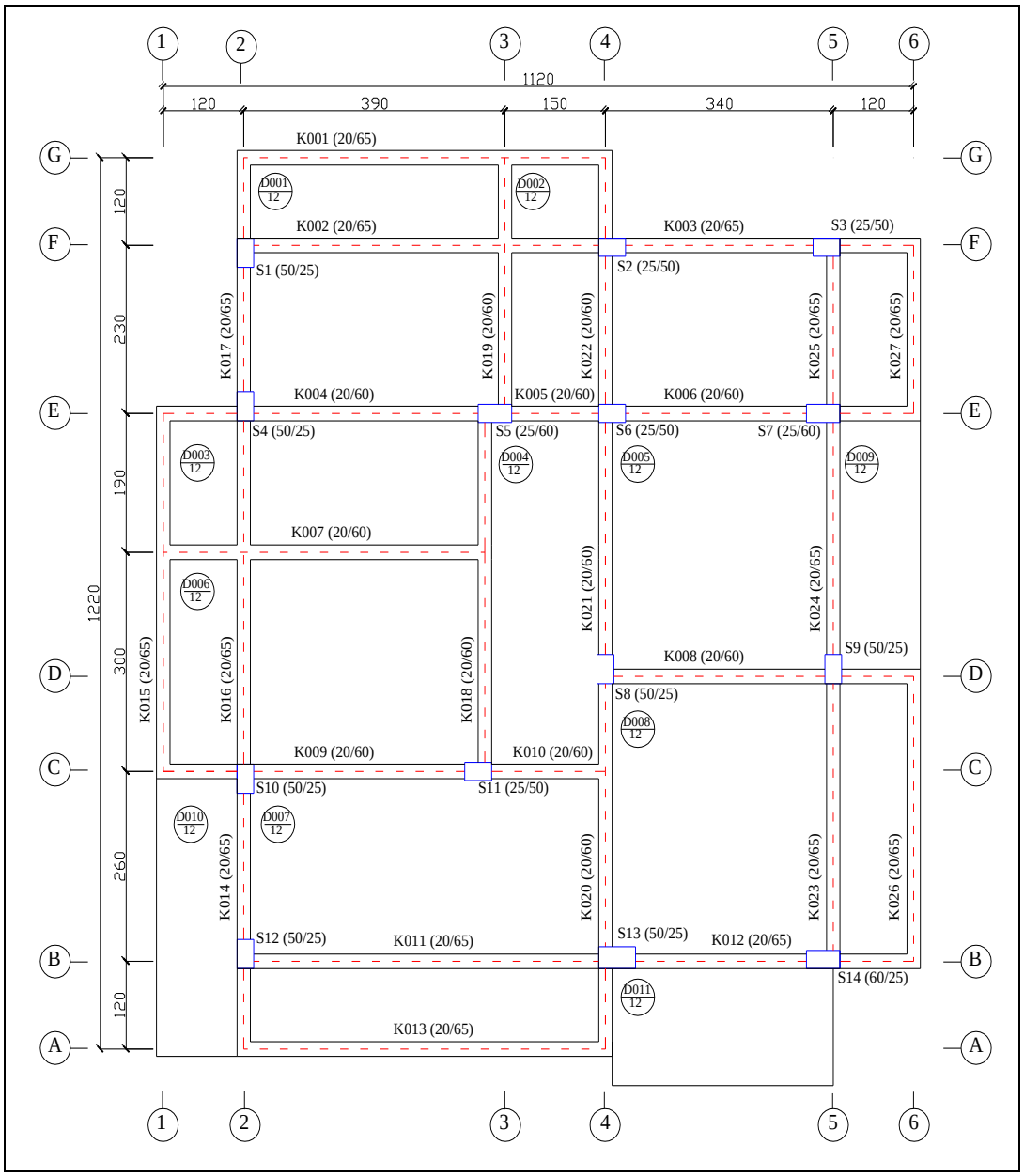
KOLON	b1 (cm)	h1 (cm)	Δ (cm)	b (cm)	h (cm)	I (cm^4)	bi (cm)	E2/E1	bh (cm)
S101	25	50	12	49	74	1394248	41,29	1,153	47,61
S102	25	60	12	49	84	1970208	39,89	1,153	45,99
S103	25	50	12	49	74	1394248	41,29	1,153	47,61
S104	25	60	12	49	84	1970208	39,89	1,153	45,99
S105	25	50	12	49	74	1394248	41,29	1,153	47,61
S106	25	50	12	49	74	1394248	41,29	1,153	47,61
S107	25	50	12	49	74	1394248	41,29	1,153	47,61
S108	25	50	12	49	74	1394248	41,29	1,153	47,61
S109	25	60	12	49	84	1970208	39,89	1,153	45,99
S110	25	50	12	49	74	1394248	41,29	1,153	47,61
S111	25	50	12	49	74	1394248	41,29	1,153	47,61
S112	25	50	12	49	74	1394248	41,29	1,153	47,61
S113	25	50	12	49	74	1394248	41,29	1,153	47,61
S114	25	50	12	49	74	1394248	41,29	1,153	47,61
S201	25	50	12	49	74	1394248	41,29	1,153	47,61
S202	25	60	12	49	84	1970208	39,89	1,153	45,99
S203	25	50	12	49	74	1394248	41,29	1,153	47,61
S204	25	60	12	49	84	1970208	39,89	1,153	45,99
S205	25	50	12	49	74	1394248	41,29	1,153	47,61
S206	25	50	12	49	74	1394248	41,29	1,153	47,61

S207	25	50	12	49	74	1394248	41,29	1,153	47,61
S208	25	50	12	49	74	1394248	41,29	1,153	47,61
S209	25	60	12	49	84	1970208	39,89	1,153	45,99
S210	25	50	12	49	74	1394248	41,29	1,153	47,61
S211	25	50	12	49	74	1394248	41,29	1,153	47,61
S212	25	50	12	49	74	1394248	41,29	1,153	47,61
S213	25	50	12	49	74	1394248	41,29	1,153	47,61
S214	25	50	12	49	74	1394248	41,29	1,153	47,61
S301	25	40	12	49	64	937088	42,90	1,153	49,46
S302	25	50	12	49	74	1394248	41,29	1,153	47,61
S303	25	40	12	49	64	937088	42,90	1,153	49,46
S304	25	50	12	49	74	1394248	41,29	1,153	47,61
S305	25	40	12	49	64	937088	42,90	1,153	49,46
S306	25	40	12	49	64	937088	42,90	1,153	49,46
S307	25	40	12	49	64	937088	42,90	1,153	49,46
S308	25	50	12	49	74	1394248	41,29	1,153	47,61
S309	25	50	12	49	74	1394248	41,29	1,153	47,61
S310	25	40	12	49	64	937088	42,90	1,153	49,46
S311	25	40	12	49	64	937088	42,90	1,153	49,46
S312	25	40	12	49	64	937088	42,90	1,153	49,46
S313	25	40	12	49	64	937088	42,90	1,153	49,46
S314	25	40	12	49	64	937088	42,90	1,153	49,46
S401	25	40	12	49	64	937088	42,90	1,153	49,46
S402	25	50	12	49	74	1394248	41,29	1,153	47,61
S403	25	40	12	49	64	937088	42,90	1,153	49,46
S404	25	50	12	49	74	1394248	41,29	1,153	47,61
S405	25	40	12	49	64	937088	42,90	1,153	49,46
S406	25	40	12	49	64	937088	42,90	1,153	49,46
S407	25	40	12	49	64	937088	42,90	1,153	49,46
S408	25	50	12	49	74	1394248	41,29	1,153	47,61
S409	25	50	12	49	74	1394248	41,29	1,153	47,61
S410	25	40	12	49	64	937088	42,90	1,153	49,46
S411	25	40	12	49	64	937088	42,90	1,153	49,46
S412	25	40	12	49	64	937088	42,90	1,153	49,46
S413	25	40	12	49	64	937088	42,90	1,153	49,46
S414	25	40	12	49	64	937088	42,90	1,153	49,46

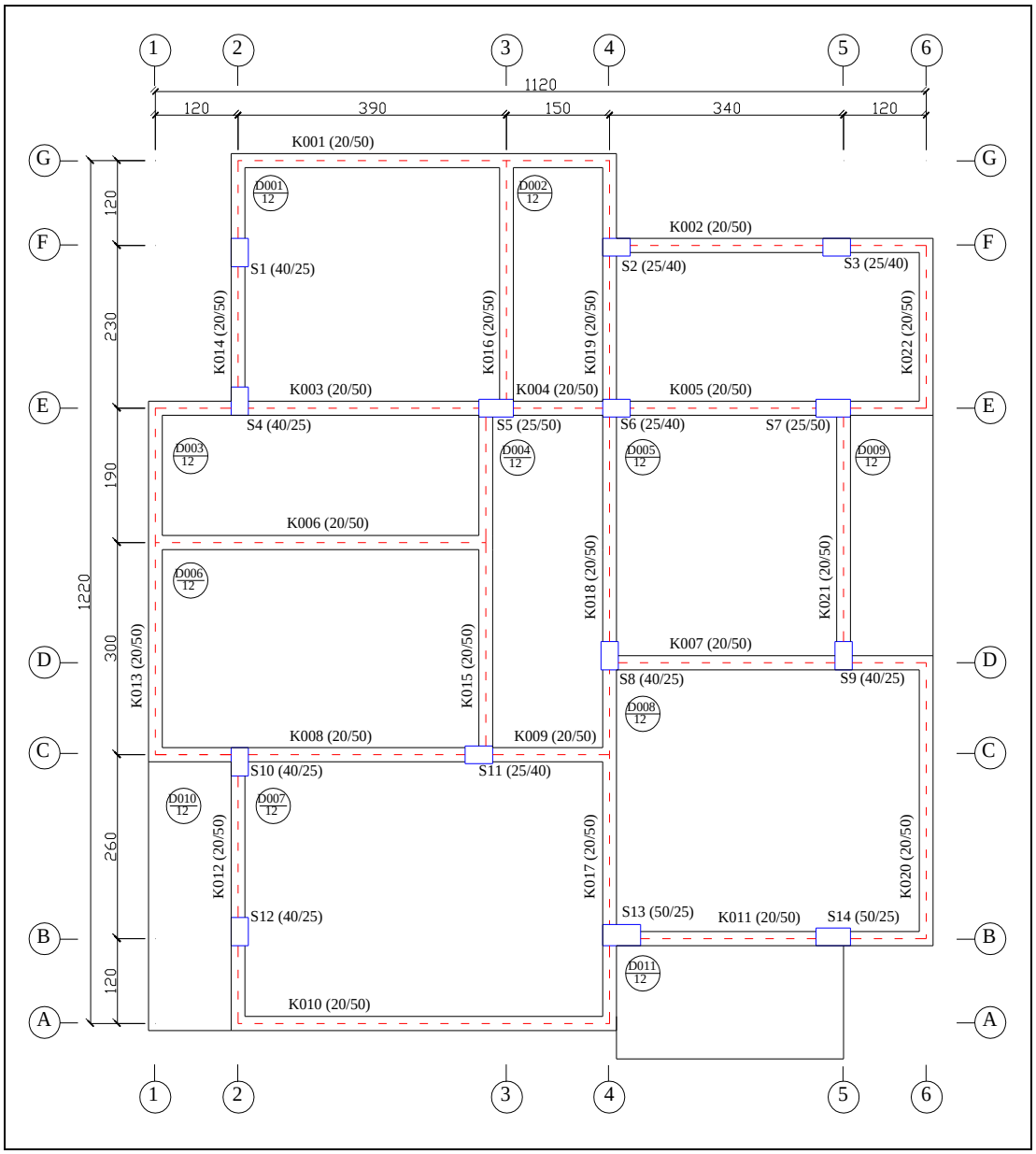
EK-B



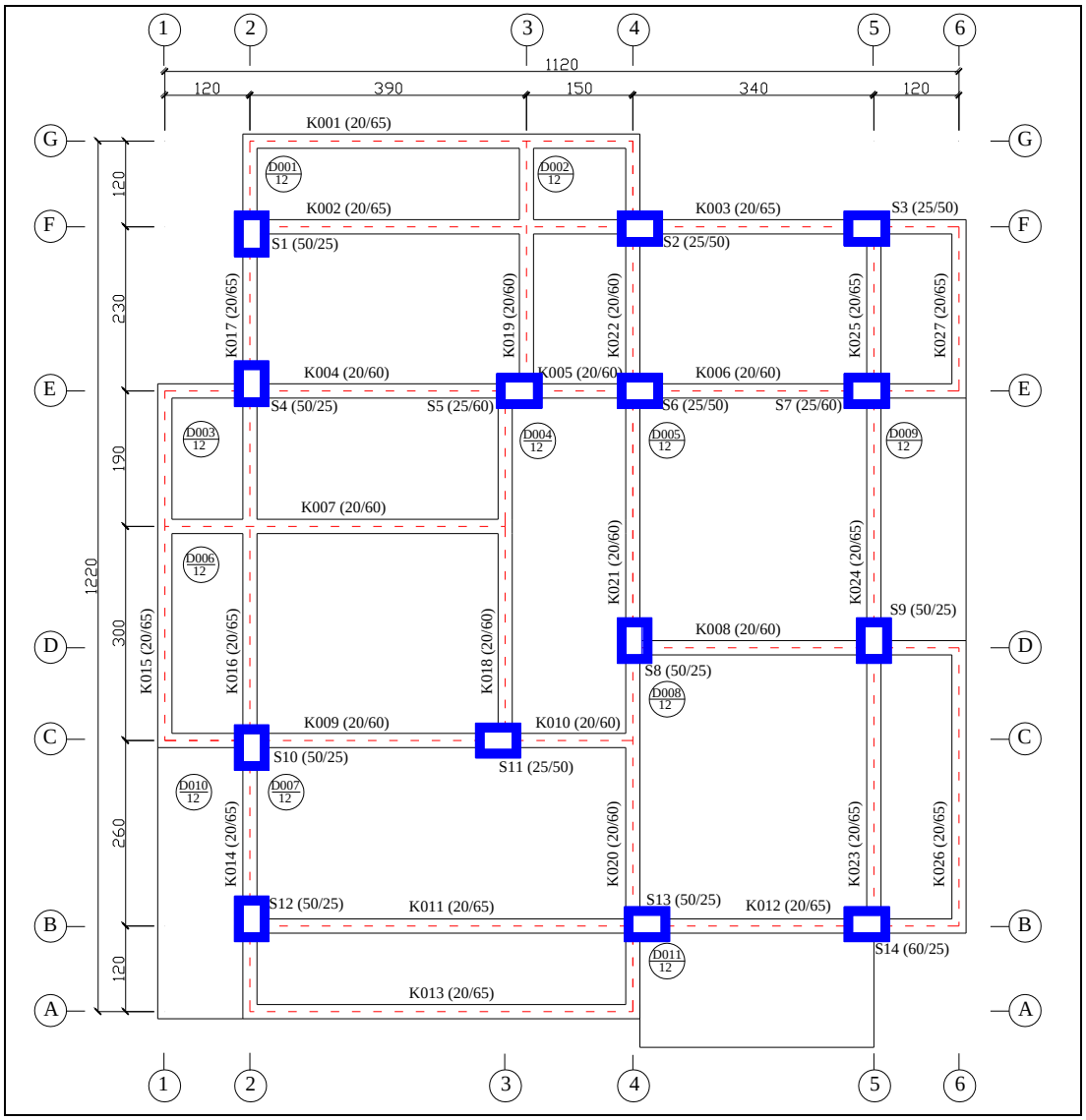
Şekil B.1 3. Normal kata ait eleman ve düğüm numaralarının gösterimi



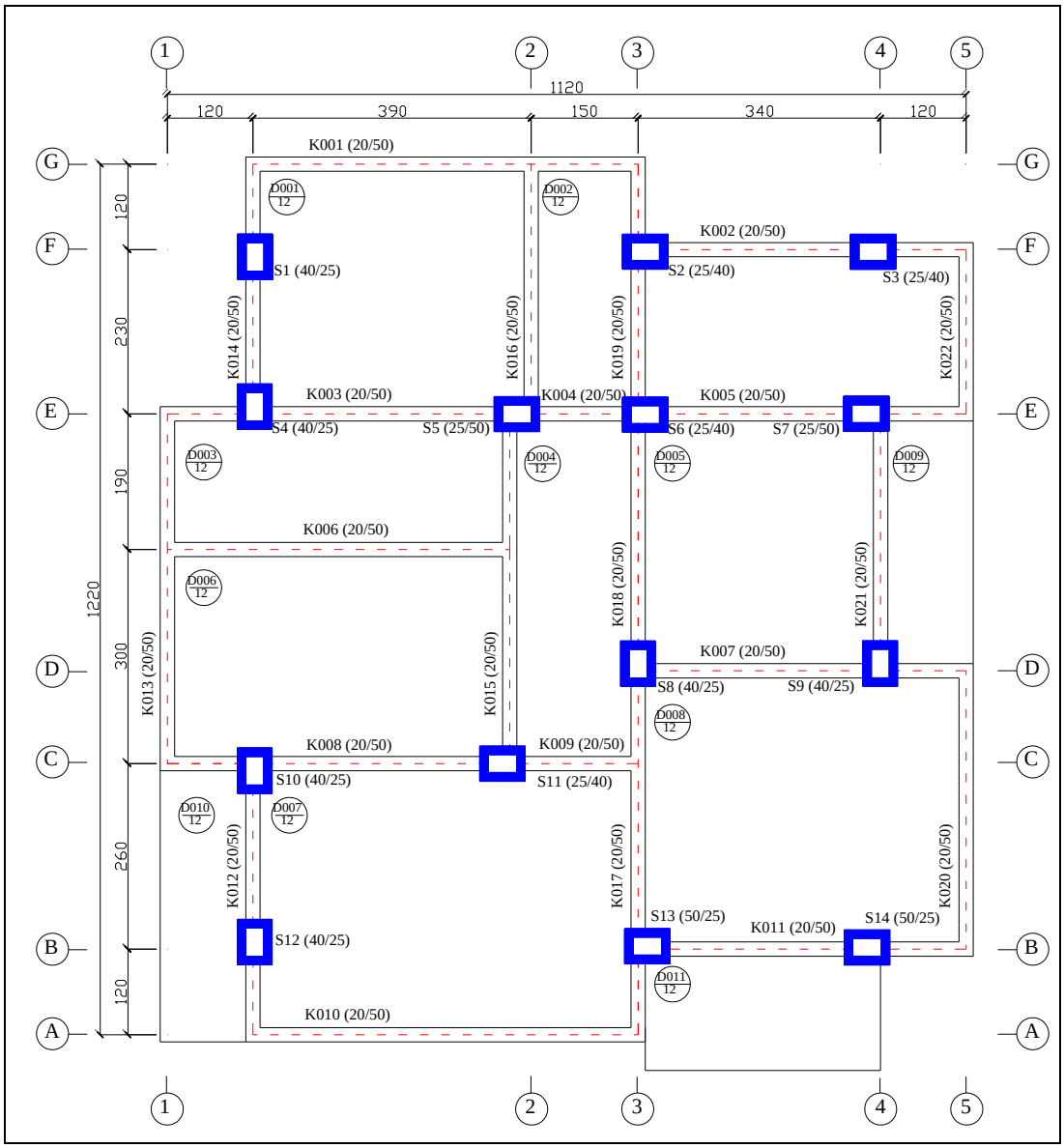
Şekil B.2 Zemin kat kalıp planı



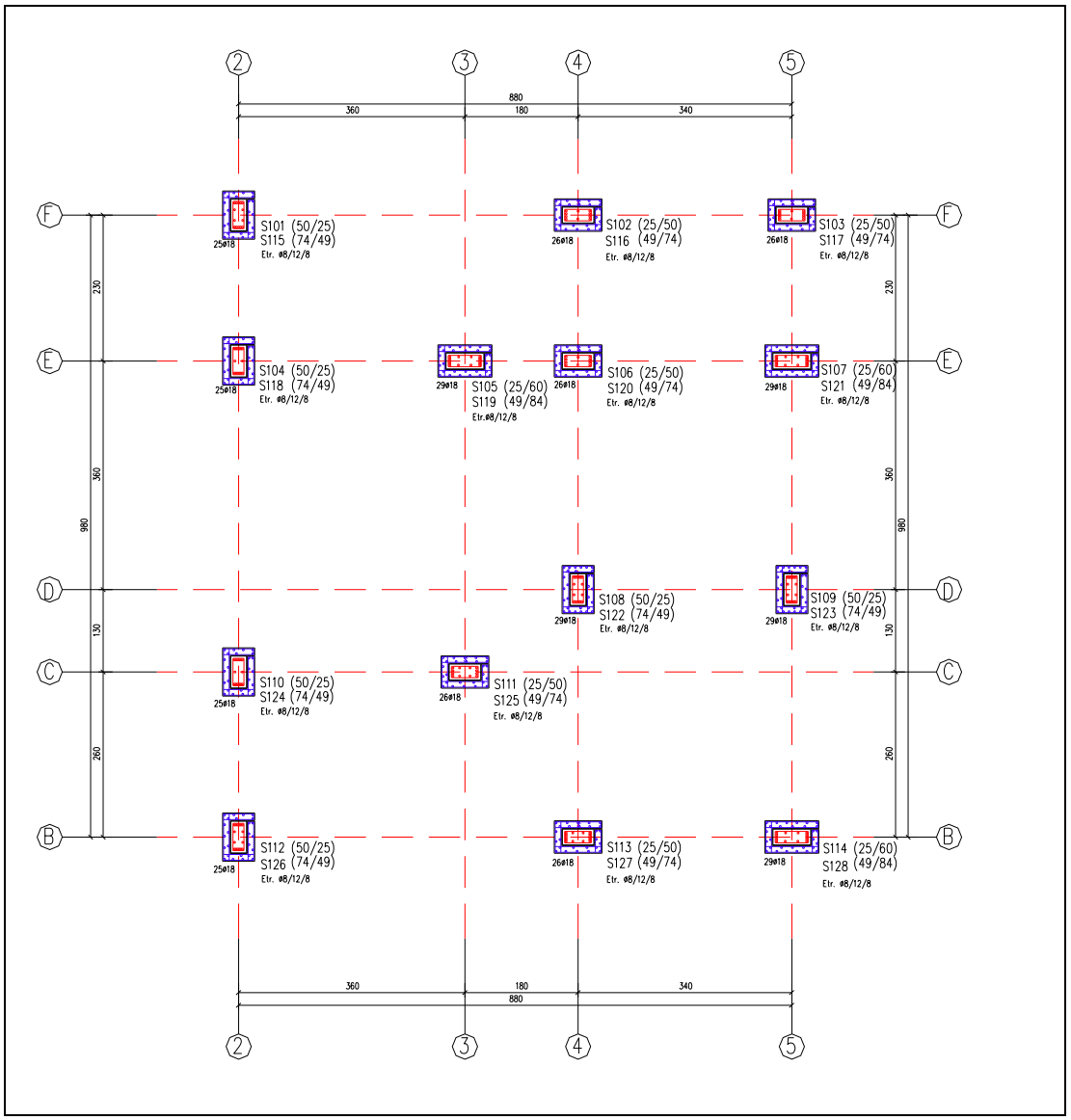
Şekil B.3 3. Normal kat kalıp planı



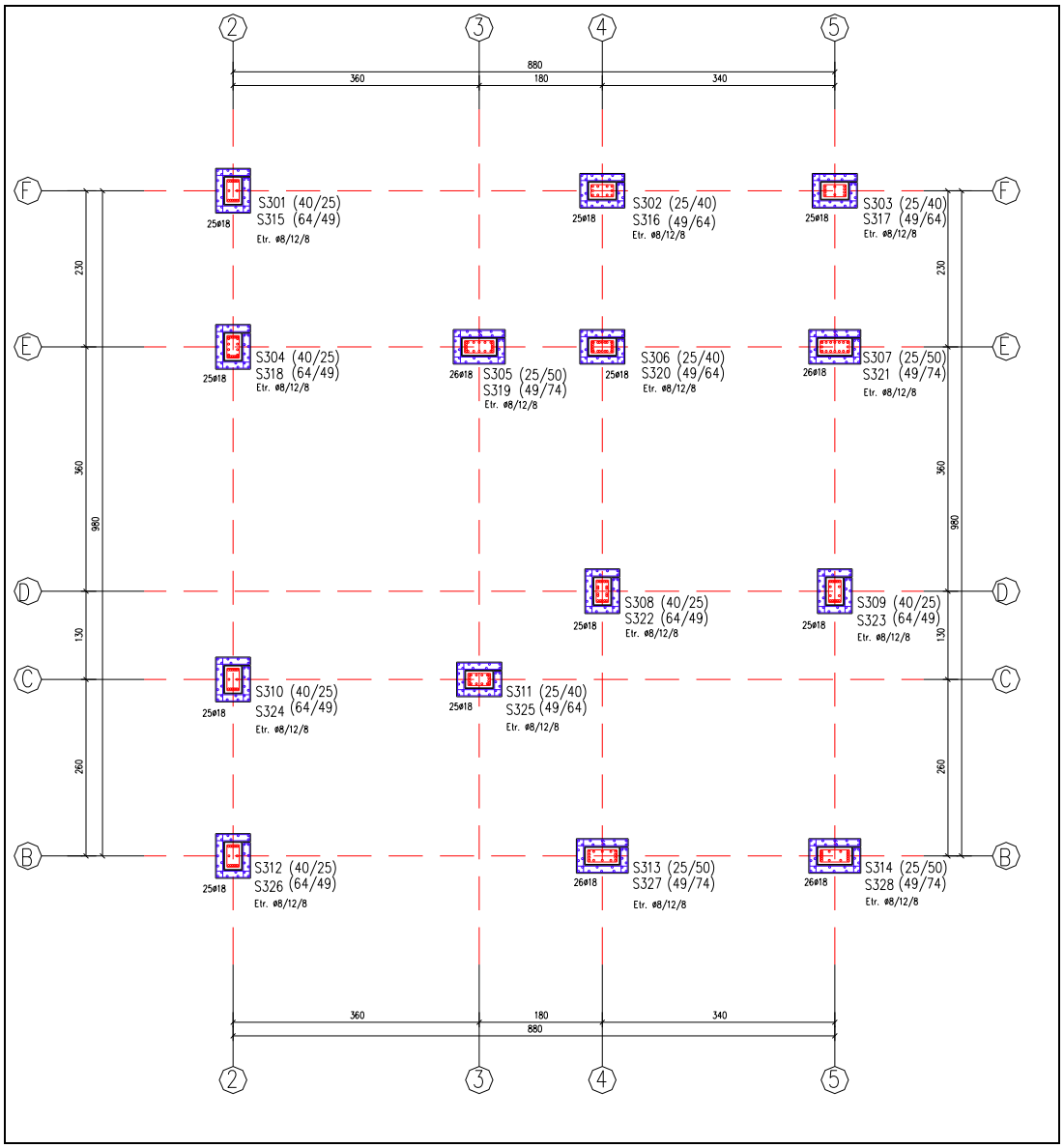
Şekil B.4 Güçlendirilmiş zemin kat kalıp planı



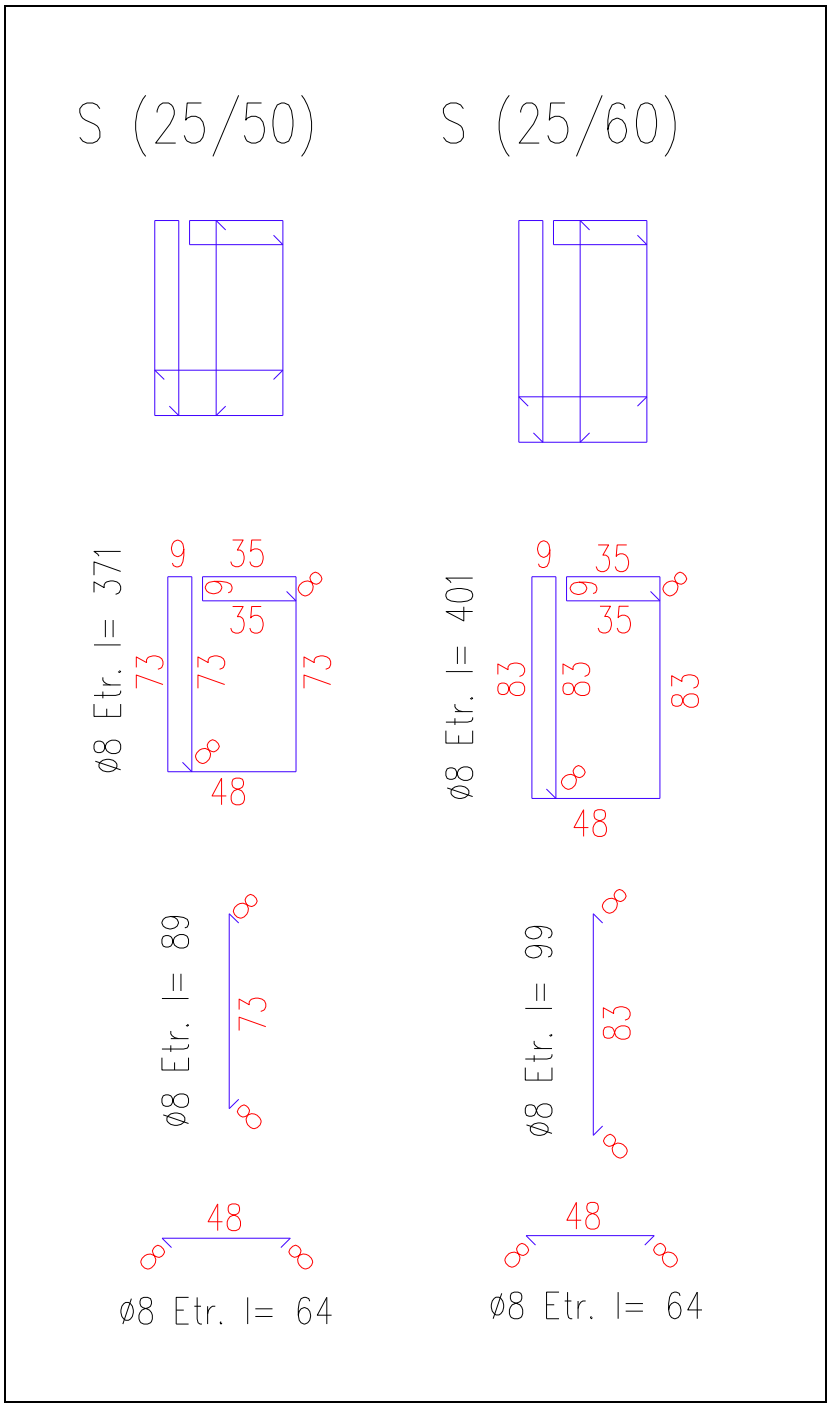
Şekil B.5 Güçlendirilmiş normal kat kalıp planı



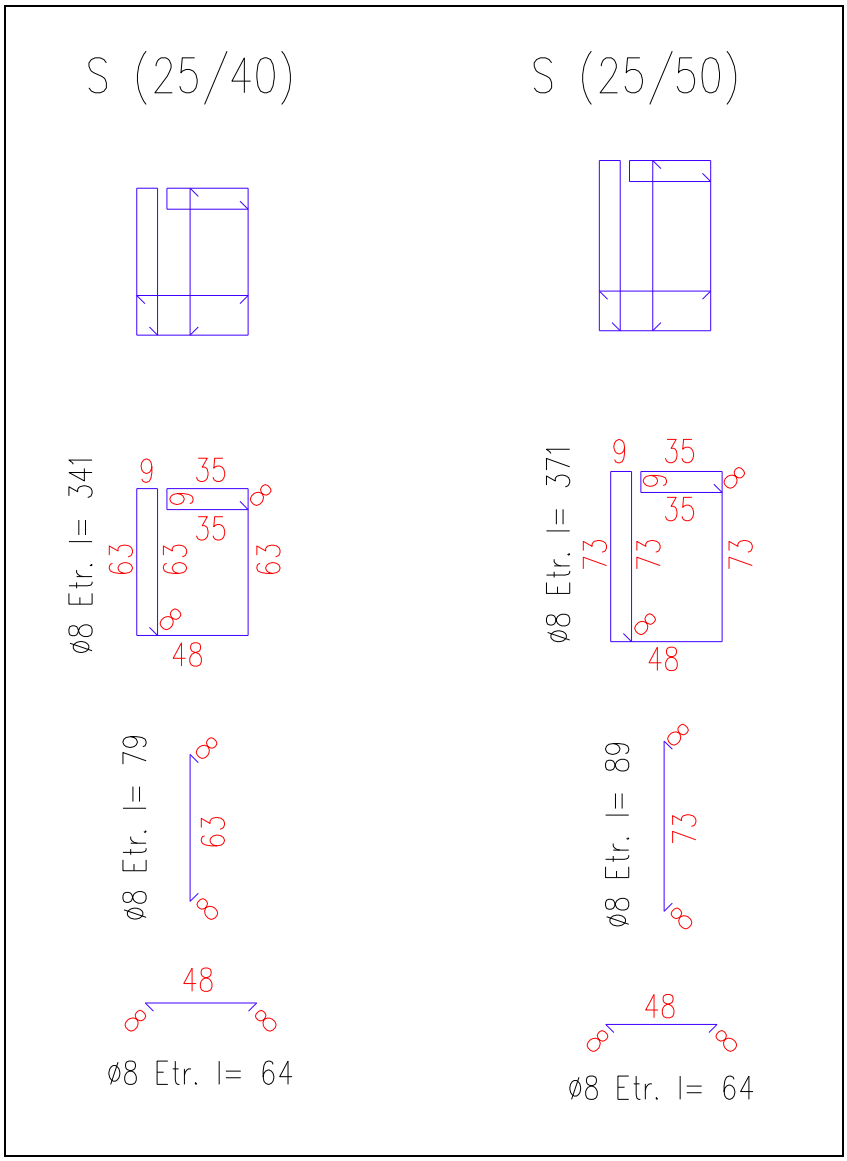
Şekil B.6 Güçlendirilmiş zemin kat kolon aplikasyon planı



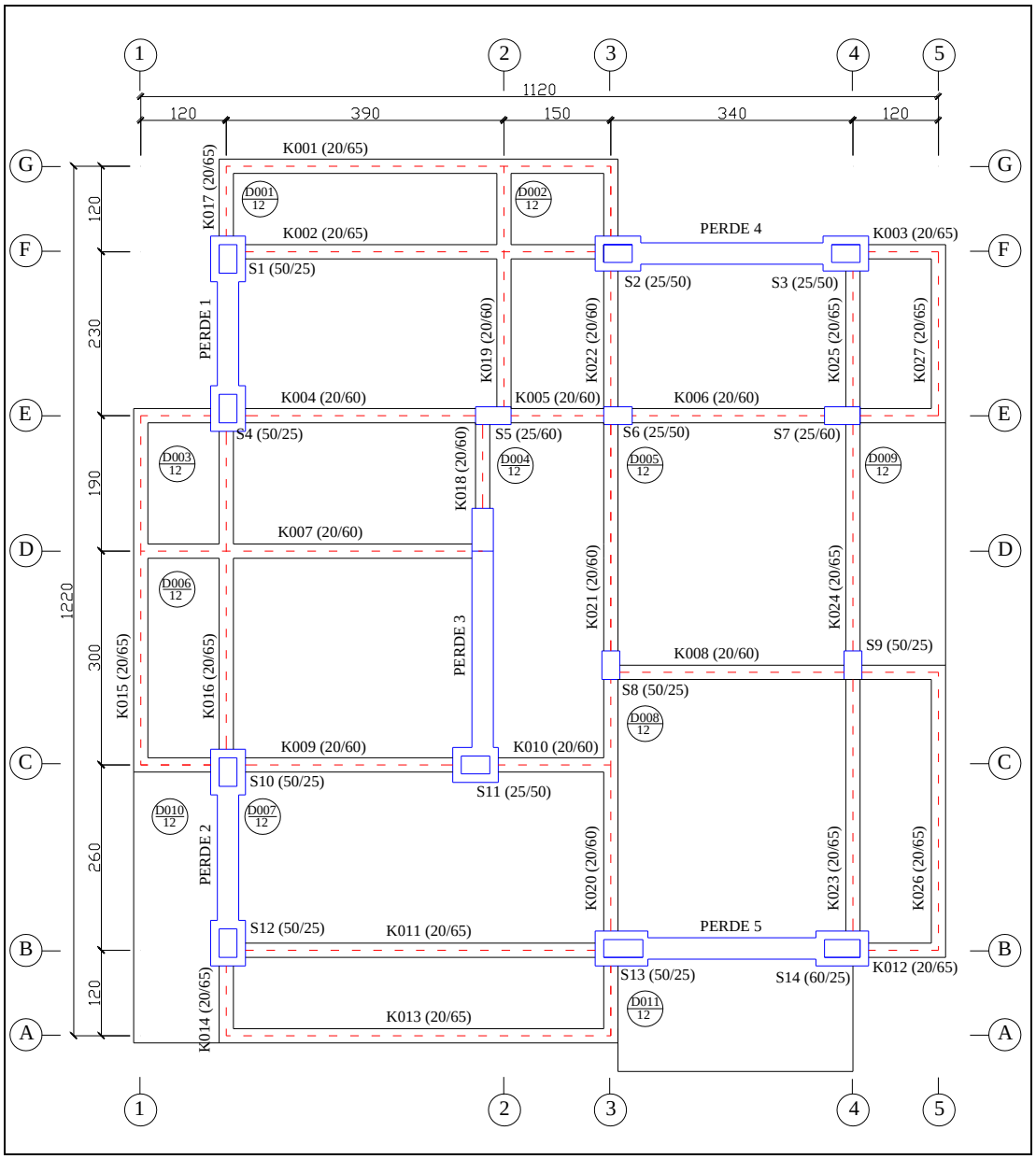
Şekil B.7 Güçlendirilmiş normal kat kolon aplikasyon planı



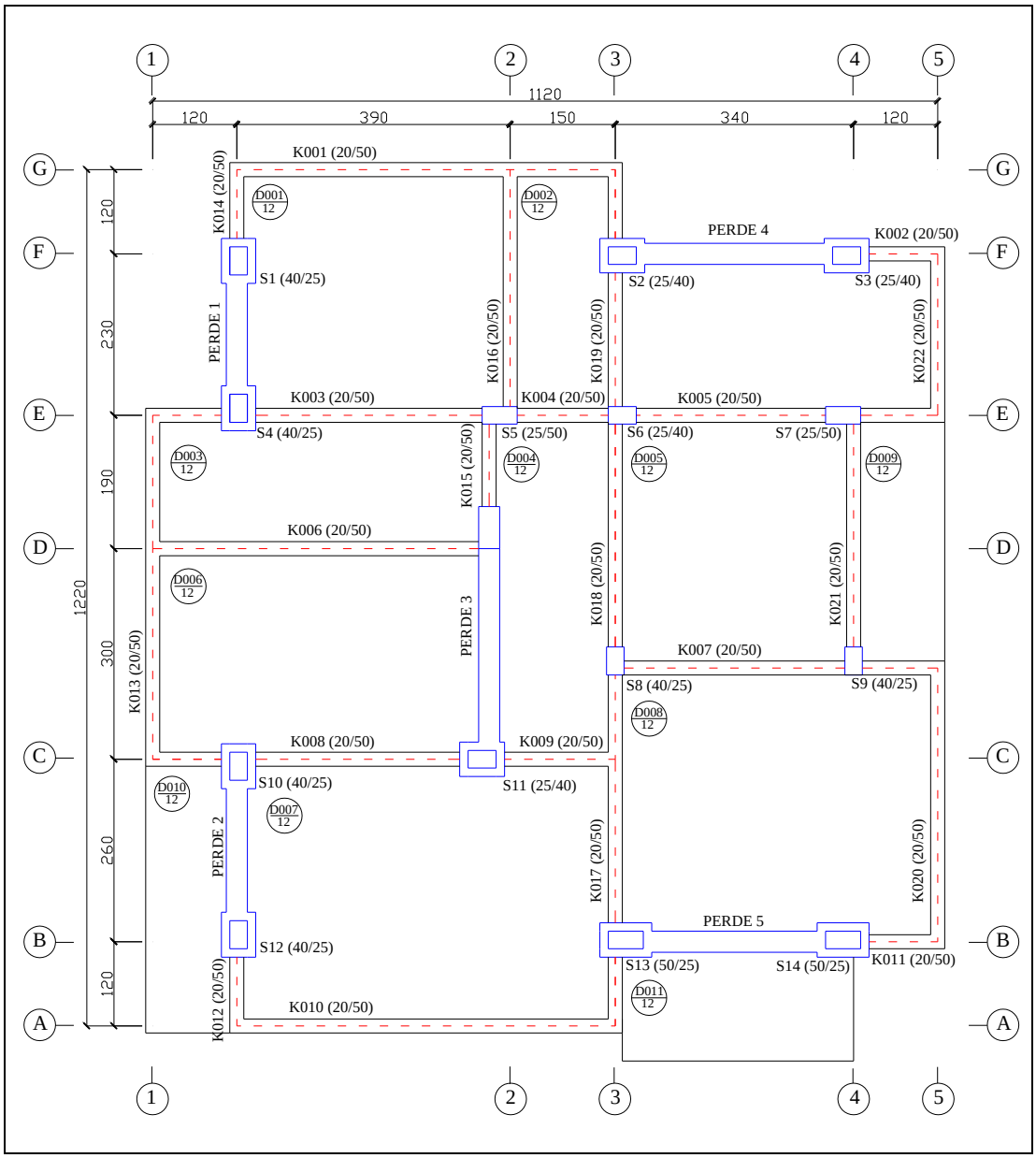
Şekil B.8 Zemin kat kolon etriye detayı



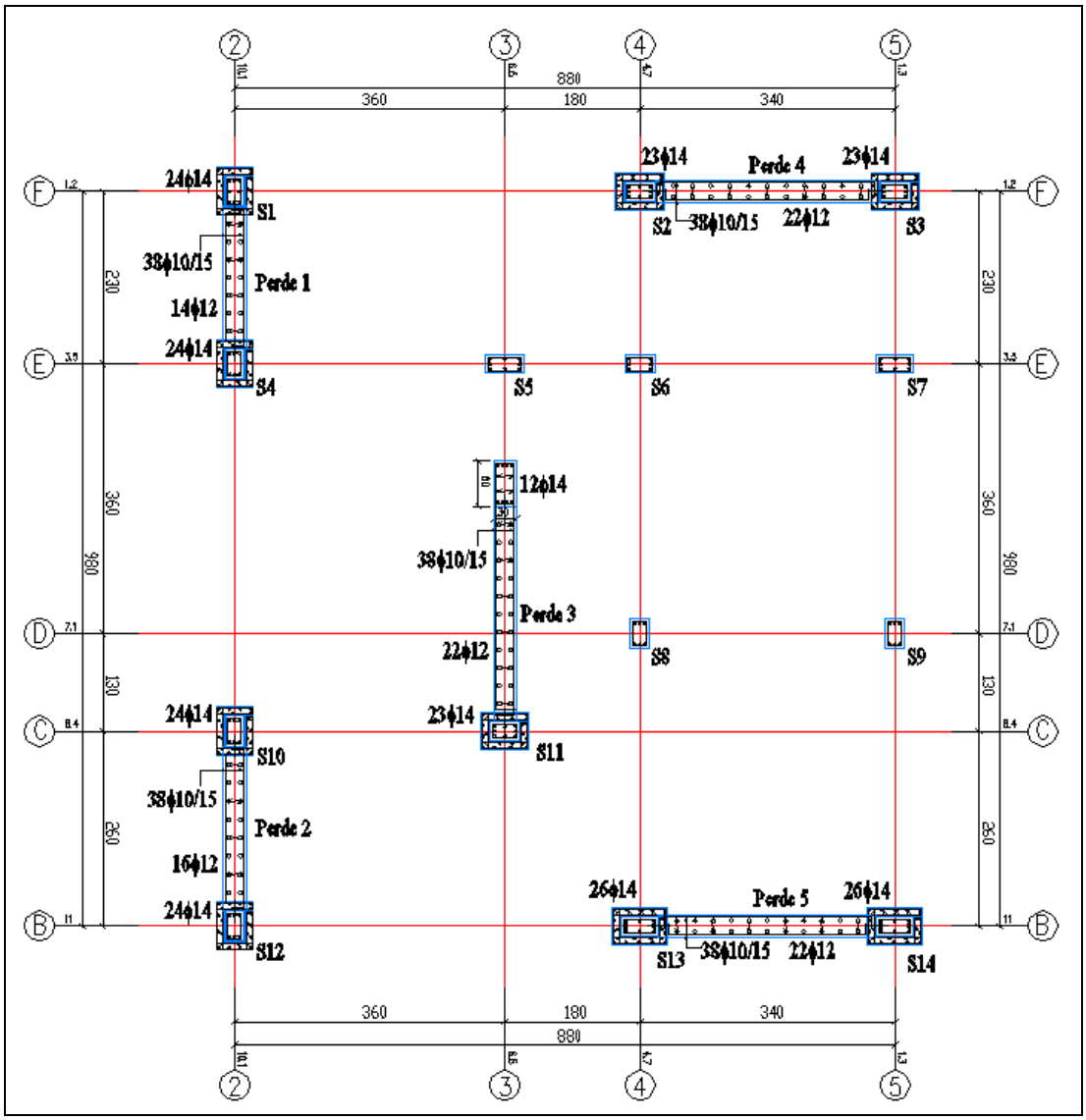
Şekil B.9 Normal kat kolon etriye detayı



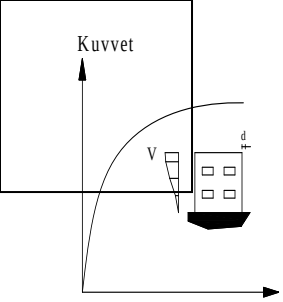
Şekil B.10 Perde ile güçlendirilmiş yapı zemin kat kalıp planı



Şekil B.11 Perde ile güçlendirilmiş yapı 3. normal kat kalıp planı



Şekil B.12 Perde ile güçlendirilmiş yapı 3. normal kat kolon aplikasyon planı



ÖZGEÇMİŞ

5 Nisan 1979 tarihinde İstanbul'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Edirne'de tamamladı. 1996 yılında Edirne Lisesi'nden mezun oldu. 1997 yılında eğitimine devam etmeyi hak kazanmış olduğu Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden 2002 yılında iyi dereceyle mezun oldu ve aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Mühendisliği (Yapı Analizi ve Tasarımı Programı) Bölümü'nde Yüksek Lisans eğitimine başladı.