

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**STATİK İTME ANALİZİ YÖNTEMİYLE
MEVCUT BİR BETONARME YAPININ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş.Müh. Burçin KESİM

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : YAPI MÜHENDİSLİĞİ

OCAK 2005

**STATİK İTME ANALİZİ YÖNTEMİYLE
MEVCUT BİR BETONARME YAPININ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş.Müh. Burçin KESİM

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24 Aralık 2004

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Melike ALTAN

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Metin AYDOĞAN (İ.T.Ü.)

Doç. Dr. Mustafa ZORBOZAN (Y.T.Ü.)

OCAK 2005

ÖNSÖZ

Ülkemiz coğrafi konum itibariyle deprem kuşağı üzerinde bulunmakta ve 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. Deprem kaçınılmaz ve önüne geçilemez bir doğa olayı olarak düşünülmelidir. Ülkemizin gelecekte de bu tür depremler yaşaması muhtemeldir. Önemli olan bu depremleri olabilecek en az hasarla atlatabilmektir.

Son yıllarda vukua gelen depremler nedeniyle dünyada ve ülkemizde depreme dayanıklı yapı tasarımı oldukça önem kazanmıştır. Mevcut yapıları depreme karşı hazır hale getirmek ve 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 kuvvetine karşı geliştirilen analiz yöntemlerinden “Statik İtme Analizi” ayrıntılı bir şekilde anlatılmaya çalışılmış ve 1975 Deprem Yönetmeliğine göre inşaa edilmiş mevcut bir yapının analizi yapılmıştır. Bu çalışmada her türlü teknik desteği ve yardımı esirgemeyen değerli hocalarım Sayın Yrd. Doç. Dr. Konuralp GİRĞİN’e, Prof. Dr. Metin AYDOĞAN’a ve özellikle tüm çalışmalarımın ortaya çıkmasını sağlayan değerli hocam Prof. Dr. Melike ALTAN’a teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Aralık, 2004

Burçin KESİM

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	3
2.2.1 Yapısal performans seviyeleri ve aralıkları	4
2.2.2 Yapısal olmayan performans seviyeleri	6
2.2.3 Yapı performans seviyeleri	8
2.3 Yer hareketi	9
2.4 Performans amaçları	10
2.4.1 Performans amacı ve sınıflandırılması	10
2.5 Performans amaçlarının karşılaştırılması	12
2.5.1 Başlangıç performans amacı	12
2.5.2 Son performans amacı	12
3. LİNEER OLMAYAN STATİK ANALİZ (PUSHOVER ANALİZİ)	13
3.1 Giriş	13
3.2 Basitleştirilmiş lineer olmayan analiz için yöntemler	15
3.2.1 Kapasiteyi belirlemek için adım adım işlemler	16
3.2.2 Talep spektrumunu belirlemek için adım adım işlemler	17
3.2.3 Kapasite spektrum yöntemi kullanılarak sismik talebin hesaplanması	18
3.2.3.1 Kapasite spektrumu yönteminin kavramsal oluşumu	20
3.2.3.2 Kapasite spektrum eğrisinin doğrular haline getirilmesi	24
3.2.3.3 %5 sönümlü talep spektrum eğrisinin oluşturulması	25
3.2.3.4 Sönümün tahmini ve %5 sönümlü talep spektrumunun indirgenmesi	27
3.2.4 Performans noktasının bulunması	30
3.2.4.1 Kapasite ve talep spektrumlarının kesişimi	30

3.2.4.2 Yöntem A kullanılarak performans noktasının hesaplanması	31
4. MEVCUT BİR BETONARME BİNANIN LİNEER OLMAYAN STATİK ANALİZİ	34
4.1 Giriş	34
4.2 Genel bilgiler	35
4.3 Yapıya etkiyen yükler	36
4.3.1 Düşey yükler	36
4.3.1.1 Sabit yükler	36
4.3.1.2 Hareketli yükler	36
4.3.1.3 Düşey yüklerin hesaplanması	36
4.3.2 1998 Afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmeliğe göre eşdeğer yatay deprem yükü hesabı	36
4.4 EPARC analiz programı kullanılarak yapının deprem güvenliğinin tahkiki	39
4.4.1 Yapının “X” yönü için analiz sonuçları ve değerlendirilmesi	42
4.4.2 Yapının “Y” yönü için analiz sonuçları ve değerlendirilmesi	44
4.5 Sap2000 nonlinear analiz programı kullanılarak yapının deprem güvenliğinin tahkiki	46
4.5.1 Yapının “X” yönü için analiz sonuçları ve değerlendirilmesi	47
4.5.2 Yapının “Y” yönü için analiz sonuçlarının değerlendirilmesi	47
4.6 1975 Deprem yönetmeliğine göre mevcut yapının donatılarının kontrolü	47
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	49
4.7 EPARC analiz programı kullanılarak 1975 deprem yönetmeliğine göre donatıları belirlenen yapının deprem güvenliğinin tahkiki	49
4.7.1 1975 Deprem yönetmeliğine göre donatıları belirlenen yapının “X” yönü için analiz sonuçları ve değerlendirilmesi	49
4.7.2 1975 Deprem yönetmeliğine göre donatıları belirlenen yapının “Y” yönü için analiz sonuçları ve değerlendirilmesi	51
4.8 Modal analiz sonuçları	53
4.9 Sap2000 nonlinear analiz programı kullanılarak 1975 deprem yönetmeliğine göre donatıları belirlenen yapının deprem güvenliğinin tahkiki	54
4.9.1 Yapının “X” yönü için analiz sonuçları	54
4.9.2 Yapının “Y” yönü için analiz sonuçları	56
4.9.3 Yapıya ait performans noktalarının bulunması	57
4.9.3.1 Yapının “X” yönüne ait performans noktasının bulunması	57
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	66
4.10.2 Modal analiz sonuçları	66
4.10.3 Güçlendirilmiş yapının deprem güvenliğinin tahkiki	67
4.10.3.1 Yapının “X” yönü için analiz sonuçları	68
4.10.3.2 Yapının “Y” yönü için analiz sonuçları	69
4.10.4 Yapıya ait performans noktalarının bulunması	71
4.10.4.1 Yapının “X” yönüne ait performans noktasının bulunması	71
4.10.4.2 Yapının “Y” yönüne ait performans noktasının bulunması	73
5. SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI ve DEĞERLENDİRİLMESİ	76
KAYNAKLAR	79
EK-A	80
EK-B	91
ÖZGEÇMİŞ	102

KISALTMALAR

ADRS	: İvme–Yer değiştirme Talep Spektrumu, Acceleration-Displacement Response Spectra
ATC	: Applied Technology Council
B	: Kullanıma Devam Performans Seviyesi
CP	: Yapısal Stabilit� 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
NR	: Tavsiye Edilmez, Not Recommend
SE	: İşlevsel Deprem, Service Earthquake
SP	: Yapısal Performans, Structural Performance
TGD	: Temel Güvenlik Depremi

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Yapı performans seviyeleri (Yapısal ve yapısal olmayan performans seviyeleri)	4
Tablo 2.2. Yapısal performans seviyeleri ve aralıkları	6
Tablo 2.3. Yapısal olmayan performans seviyeleri	7
Tablo 2.4. Göz önüne alınabilecek deprem için parametreler	10
Tablo 2.5. Performans amaçlarının sınıflandırılması	11
Tablo 3.1. Analitik işlemlerin algoritması	14
Tablo 3.2. Yöntem seçim tablosu	19
Tablo 3.3. Deprem bölge katsayısı	25
Tablo 3.4. Kaynağa mesafe katsayısı	25
Tablo 3.5. Zemin sınıfı tablosu	26
Tablo 3.6. Deprem katsayı C_A	26
Tablo 3.7. Deprem katsayı C_V	27
Tablo 3.8. Yapı davranış türü	29
Tablo 3.9. Sönüm düzeltme katsayısı	29
Tablo 3.10. Spektral azaltma katsayıları S_{RA} ve S_{RV}	30
Tablo 3.11. Spektral azaltma katsayıları S_{RA} ve S_{RV} 'nin minimum değerleri ...	30
Tablo 4.1. Sabit yükler	37
Tablo 4.2. Bina ağırlığı	37
Tablo 4.3. Katlara ait toplam kat ağırlıkları, kütleleri ve kütle atlet momentleri	53
Tablo 4.4. Yapının doğal titreşim periyotları	53
Tablo 4.5. Kat ötelenmeleri	53
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	67
Tablo 4.9. Güçlendirilen yapının doğal titreşim periyotları	67
Tablo 4.10. Güçlendirilen yapının kat ötemeleri	67
Tablo A.1. Yapıya etkileyen düşey yükler tablosu	80
Tablo A.2. Yapının X yönü için beton ve beton çeliği kalitesine göre yatay yük parametresi karşılaştırılmaları	83
Tablo A.3. Yapının Y yönü için beton ve beton çeliği kalitesine göre yatay yük parametresi karşılaştırılmaları	84
Tablo A.4. Yapının mevcut durumdaki kiriş donatı çapları ve adetleri.....	84
Tablo A.5. 1975 Deprem Yönetmeliğine göre donatıları düzenlenen yapının kiriş donatı çapları ve adetleri	87
Tablo A.6. Yapının mevcut durumdaki kolon boyuna donatı çapları ve adetleri	89
Tablo A.7. 1975 Deprem Yönetmeliğine göre donatıları düzenlenen yapının kolon boyuna donatı çapları ve adetleri	90

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : Bina performans seviyeleri	11
Şekil 3.1 : Taban kesme kuvveti, çatı yer değiştirmesi	16
Şekil 3.2 : Modal katılma katsayıları ve modal kütle katsayıları için bir örnek	21
Şekil 3.3 : Geleneksel ve ADRS formatlarında talep spektrumları	22
Şekil 3.4 : Kapasite spektrumu ile talep spektrumunun üst üste çizilmiş şekli	22
Şekil 3.5 : ADRS spektrumuna dönüştürme	23
Şekil 3.6 : Kapasite spektrumu metodu için kapasite spektrumunu doğrular halinde gösterme	24
Şekil 3.7 : Kapasite spektrum eğrisi ile %5 sönümlü talep spektrum eğrisinin aynı grafik ortamda çizilmesi	25
Şekil 3.8 : %5 Sönümlü elastik deprem spektrumu	27
Şekil 3.9 : Spektral indirgeme için sönümün ifadesi	28
Şekil 3.10 : Talep spektrumunun azaltılması	30
Şekil 3.11 : Talep spektrumu ve kapasite spektrumlarının kabul edilebilir toleranslar içindeki kesişim noktası	31
Şekil 3.12 : Yöntem A, ikinci adım	31
Şekil 3.13 : Yöntem A, üçüncü adım	32
Şekil 3.14 : Yöntem A, dördüncü adım	32
Şekil 3.15 : Yöntem A, beşinci adım	33
Şekil 3.16 : Yöntem A, altıncı adım	33
Şekil 4.1 : Düzgün yayılı yükün eşdeğer tekil yüke çevrilmesi	36
Şekil 4.2 : İdealleştirilmiş iç kuvvet-şekil değiştirme bağıntıları	40
Şekil 4.3 : Yapının X yönü için taban kesme kuvveti – çatı yer değiştirme grafiği	43
Şekil 4.4 : Yapının X yönü için göçme durumunda oluşan plastik mafsalların yerleri	44
Şekil 4.5 : Yapının Y yönü için taban kesme kuvveti – çatı yer değiştirme grafiği	45
Şekil 4.6 : Yapının Y yönü için göçme durumunda oluşan plastik mafsalların yerleri	45
Şekil 4.7 : Yapının X yönü için taban kesme kuvveti – çatı yer değiştirme grafiği	50
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

Şekil 4.10	: Yapının Y yönü için göçme durumunda oluşan plastik mafsalların yerleri	52
Şekil 4.11	: Yapının X yönü için kapasite eğrisi	55
Şekil 4.12	: Yapının X yönü için göçme durumunda oluşan plastik mafsalların yerleri	55
Şekil 4.13	: Yapının Y yönü için kapasite eğrisi	56
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	59
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 noktası	64
Şekil 4.23	: Güçlendirilmiş yapının X yönü için kapasite eğrisi	68
Şekil 4.24	: Güçlendirilmiş yapının X yönü için göçme durumunda oluşan plastik mafsalların yerleri	69
Şekil 4.25	: Güçlendirilmiş yapının Y yönü için kapasite eğrisi	70
Şekil 4.26	: Güçlendirilmiş yapının Y yönü için göçme durumunda oluşan plastik mafsalların yerleri	70
Şekil 4.27	: Güçlendirilmiş yapının X yönü için kapasite spektrum eğrisi ...	72
Şekil 4.28	: Güçlendirilmiş yapının X yönü için performans noktası	73
Şekil 4.29	: Güçlendirilmiş yapının Y yönü için kapasite spektrum eğrisi ...	74
Şekil 4.30	: Güçlendirilmiş yapının Y yönü için performans noktası	75
Şekil 5.1	: Taşıyıcı sistemde kapasite spektrum eğrisi	78
Şekil B.1	: Zemin kat kalıp planı	91
Şekil B.2	: 3. Normal kat kalıp planı	92
Şekil B.3	: 3. Normal kata ait eleman ve düğüm numaralarının gösterimi .	93
Şekil B.4	: Güçlendirilmiş yapı zemin kat kalıp planı	94
Şekil B.5	: Güçlendirilmiş yapı 3. normal kat kalıp planı	95
Şekil B.6	: Güçlendirilmiş yapı 3. normal kat kolon aplikasyon planı	96
Şekil B.7	: P1 Perde detayı	97
Şekil B.8	: P2 Perde detayı	98
Şekil B.9	: P3 Perde detayı	99
Şekil B.10	: P4 Perde detayı	100
Şekil B.11	: P5 Perde detayı	101

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 etkileyen eşdeğer deprem yükü
F_N	: Birinci doğal titreşim periyodunun hesabında i'inci kata etkileyen 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 bölge katsayısı

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

STATİK İTME ANALİZİ YÖNTEMİYLE MEVCUT BİR BETONARME YAPININ İNCELENMESİ ÖZET

Bu çalışmada 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 yapılmıştır.

Birinci bölümde bu çalışmanın amacı ve bu konunun önemi anlatılmaya çalışılmış, çalışma hakkında genel bir bilgi verilmiştir.

İkinci bölümde performans kavramı açıklanmıştır. Yapısal ve yapısal olmayan performans seviyelerinin, bu seviyelerin birleşiminden oluşan yapı performans seviyelerinin açıklamaları yapılmış ve hangi kriterlerden oluştukları anlatılmıştır. Ayrıca yer hareketinden kısaca bahsedilmiştir.

Üçüncü bölümde Statik İtme Analizi açıklanmıştır. Bu analizde kullanılan önemli kavramlar; kapasite spektrumu, talep spektrumu ve performans noktası detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Analizin nasıl uygulanacağı ve uygulama aşamaları ayrıntılı olarak izah edilmiştir.

Dördüncü bölümde Statik İtme Analizini yani deformasyon kontrollü yük artım yöntemini daha kolay ve hızlı bir biçimde uygulayabilmek amacıyla kullanılan EPARC ve Sap2000 analiz programlarında, yapıyı modellemek için gerekli adımlar açıklanmış ve EPARC analiz programının dayandığı varsayımlardan ve çalışma prensibinden kısaca bahsedilmiştir. Dört katlı betonarme bir yapının mevcut durumdayken statik itme analizi ile göçme yükü ve deprem güvenliği tahkiki yapılmıştır. Mevcut yapının beton ve donatı çeliği kalitesi artırılarak analiz tekrar yapılmış ve yapı taşıma kapasitesine olan etkisi incelenmiştir. Yapı yetersiz olduğu için 1975 Deprem Yönetmeliğine göre donatılarının doğru konup konmadığı 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.

ABSTRACT

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, security control against power of earthquake and retrofit works has been described. 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, the purpose and importance of this work has been described and general information about the work has been given.

In the second part, performance concept has been described. Constructional and non-constructional performance levels, and building performance levels comprised by these levels has been described and the criteria they depend on has been given.

In the third part, Static Pushover Analysis has been described. The important concepts used in this analysis are; capacity spectrum, demand spectrum and performance point has been described in detail. The application of the analysis and application steps is 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, namely deformation controlled load increase method, faster and more easily, has been given; the assumptions which EPARC program is built on and working principles has been described briefly. A concrete building with four floors has been investigated in terms of collapsing load with static pushover analysis and earthquake security. 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 made and a general evaluation has been provided.

1. GİRİŞ

Son yıllarda yaşanan depremler belli bir yerleşim planına uygun olmadan sağlıksız olarak gelişen bölgelerde inşa edilmiş olan yapılarda yüksek oranda hasara neden olmuştur.

Teknolojinin ve deneyimlerin gelişmesine bağlı olarak yapıların mevcut deprem güvenliği ve deprem hasarı değerlendirme yöntemlerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Modern bilgisayar biliminin gelişimi mühendislik problemlerinin çözüm yöntemlerini arttırmakta, daha hassas çözüm yapılabilmesine imkan tanımaktadır.

Bilindiği gibi ülkemizde 1992 Erzincan, 1995 Dinar, 1998 Adana-Ceyhan ve 1999 Kocaeli-Düzce depremlerinin ardından yerinde yapılan incelemelerde mevcut yapıların büyük bir kısmında proje ve/veya imalat ve kullanım hatalarından dolayı hasar ve can kaybı çok yüksek düzeyde olmuştur. Deprem kuşağı üzerinde bulunan ülkelerde depremde sonra bir yapının hemen kullanılıp kullanılamayacağı veya güçlendirilip güçlendirilemeyeceğinin belirlenmesi önemlidir. Bunun yanı sıra öngörülen bir deprem için bir yapının kapasitesinin tayin edilerek güvenlik düzeyinin belirlenmesi ve bu çalışmaların sonucunda yapının kullanımı hakkında karar verilmesi olası bir depremde hasarın sınırlı kalmasını sağlayabilecektir.

Depremlerden elde edilen deneyimler sonucunda bir çok ülkede olduğu gibi ülkemizde de deprem yönetmelikleri değiştirilmektedir. Yeni deprem yönetmeliklerinde yapıların güvenlik seviyeleri yükseltilmektedir. Ülkemizde bir çok yapının yürürlükteki deprem yönetmeliğinden daha önce inşa edildiği, inşa sırasında imalat hataları yapılma olasılığının yüksek olduğu ve çoğu zaman projesinde göz önüne alınan kullanım amacından farklı ve itinasız kullanıldığı göz önüne alındığında bir program çerçevesinde 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.

Bu yöntemde 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 ulaşınca kadar analiz devam ettirilir. Sonuçta bulunan şekil değiştirme göz önüne alınarak deprem sonrası oluşacak hasar seviyesi belirlenebilir.

2. PERFORMANS KAVRAMI

2.1 Giriş

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” diye 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. Beklenen düzeyde bir yer sarsıntısı meydana geldiği zaman, eğer uygulama esnasında bir hata yapılmamış ise, yapıların belirlenen performans seviyesine ve hatta daha fazla bir performans seviyesine ulaşması beklenir. Ancak belirlenen performans seviyesinin oluşması, uygulamadaki yanlışlıklar ve projelendirmedeki muhtemel yanlışlıklar nedeniyle kesin değildir. Bu bölümde Yapı Performans Seviyeleri, bu seviyelerin kombinasyonları, nasıl tespit edileceği ve deprem risk seviyeleri tanımlanacaktır.

2.2 Performans Seviyeleri

Performans seviyelerini belirleyen durumlar, yapılarda depremden sonra olması beklenen 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. Beklenen 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 edilir. (Tablo 2.1)

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

Yapı Performans Seviyeleri						
Yapısal Olmayan Performans Seviyeleri	Yapısal Performans Seviyeleri					
	SP-1 Hemen Kullanım	SP-2 Kontrolü Hasar Aralığı	SP-3 Can Güvenliği	SP-4 Sınırlı Güvenlik Aralığı	SP-5 Yapısal Stabilitate	SP-6 Hasarın Göz Önüne Alınmadığı
NP-A İşlevsel	1-A Kullanıma Devam (B)	2-A	NR	NR	NR	NR
NP-B Hemen Kullanım	1-B Hemen Kullanım (IO)	2-B	3-B	NR	NR	NR
NP-C Can Güvenliği	1-C	2-C	3-C Can Güvenliği (LS)	4-C	5-C	6-C
NP-D Azaltılmış Hasar	NR	2-D	3-D	4-D	5-D	6-D
NP-E Hasarın Göz Önüne Alınmadığı	NR	NR	3-E	4-E	5-E Yapısal Stabilitate (CP)	UYGULANAMAZ

NR: Tavsiye Edilmez

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

2.2.1 Yapısal Performans Seviyeleri ve Aralıkları

Yapı elemanlarındaki performans seviyeleri az hasardan çok hasara göre şu şekilde tanımlanır (Tablo 2.2):

Hemen Kullanım Performans Seviyesi SP-1: Depremden sonra çok sınırlı yapısal hasarın meydana geldiği durumdur. Yapının taşıyıcı sisteminin depremden önceki bütün dayanım özellikleri ve kapasitesinin hemen hemen hiç değişmediği performans seviyesidir. 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 kullanım ile can güvenliği performans seviyeleri arasındaki bir aralığa karşı gelmektedir. 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. 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 arasındaki bir aralığa karşı gelmektedir. Sınırlı güvenlik aralığında güçlendirme tüm yapısal elemanlar için gerekmeyecektir 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 yükleri karşılayacak durumdadır. Beklenen deprem esnasında düşen parçalardan dolayı yapının içinde ve dışında önemli yaralanmalar görülebilir. Yapı tüm stabilitesini kaybetmemesine rağmen devam eden artçı depremler yapının yıkılmasına sebep olabilir. 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 olduğu 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 eşyaların da 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 etkisi sonrası konumları ve işlevselliklerinin değişmediği, aynı kaldığı performans seviyesidir. Tüm makine ve ekipmanlar çalışır durumdadır.

Hemen Kullanım Performans Seviyesi NP-B: Yapısal olmayan elemanların konumunun değişmediği fakat kullanımı 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 çalıştırılmaz 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 yapılsa da pratikte böyle olmadığı deprem anında çerçevelerin içine örülen duvarların çerçevelere yardım ettiği ve yük taşıdığı gerçektir¹. Bu nedenle, yapısal olmayan elemanların inşaatında gereken itina verilerek can kayıpları önlenabilir.

Tablo 2.3 Yapısal Olmayan Performans Seviyeleri

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

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

2.2.3 Yapı Performans Seviyeleri

Taşıyıcı sisteminin durumunu gösteren yapısal performans seviyesi ile taşıyıcı olmayan elemanların durumunu gösteren yapısal olmayan performans seviyelerinin birleştirilmesi ile 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): Yapının yapısal ve yapısal olmayan elemanlarında oluşan hasarlar, kullanıma devamı etkilemeyecek seviyededir. Yani yapı işlevselliğini korumaktadır. Yapı kullanımında can güvenliğini tehdit eden hiçbir risk yoktur. Kullanıma devam etmek için onarıma gerek yoktur. Önemli olarak, bina dışındaki taşımacılık ve iletişim hatları gibi hayati önem taşıyan servislerin hizmet verebilmeleri korunmalıdır.

Hemen Kullanım Performans Seviyesi 1-B (IO): Bu performans seviyesi önemli yapılar için öngörülen seviyedir. Bina hacimleri ve sistemleri kullanılabilir durumda. 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. Deprem sonrası kimyasal tehlike ve yangın tehlikesi vardır. Bu performans seviyesi yönetmeliklerin yeni binalar için öngördüğü performans seviyesinden daha düşük bir seviyeyi tanımlar. Yani yönetmeliklerde bu seviyeden daha fazla yerdeğiştirme yapması düşünülür.

Yapısal Stabilité (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 ayakta. Ancak artçı depremler için hiçbir kapasite kalmamıştır ve artçı depremler sonucu yıkılma olasılığı yüksektir. Taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlarda oluşan hasarlar, yıkılan ve düşen parçalardan dolayı can güvenliği tehlikesi vardır. Yapısal olmayan elemanlar işlevini kaybetmiş ve taşıyıcı sistem de büyük hasar görmüş durumdadır.

Bina Performans Seviyesi 3-D: Taşıyıcı elemanlarda can güvenliği ve taşıyıcı olmayan elemanlarda azaltılmış hasar seviyelerinin birleşimidir. Yönetmeliklerde bulunan 50 yıl %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

Performans amaçlarını belirleyebilmek 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. Deprem 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 artırılması 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

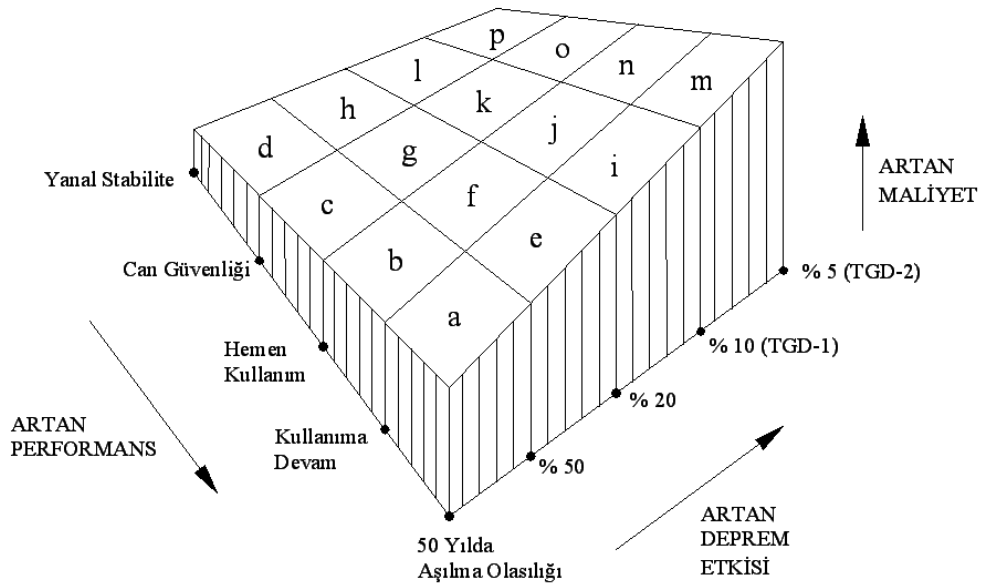
2.4 Performans Amaçları

2.4.1 Performans Amacı ve Sınıflandırılması

Sismik performans amacı, büyüklüğü verilen yer hareketi için tahmin edilen bina performansının seçilmesi ile saptanır. İki veya çok seviyeli performans amacı, farklı yer hareketi seviyesi için farklı performanslar seçilerek belirlenir. Performans amaçları Tablo 2.5'te gösterildiği gibi sınıflandırılmıştır. 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.

Tablo 2.5 Performans amaçlarının sınıflandırılması

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

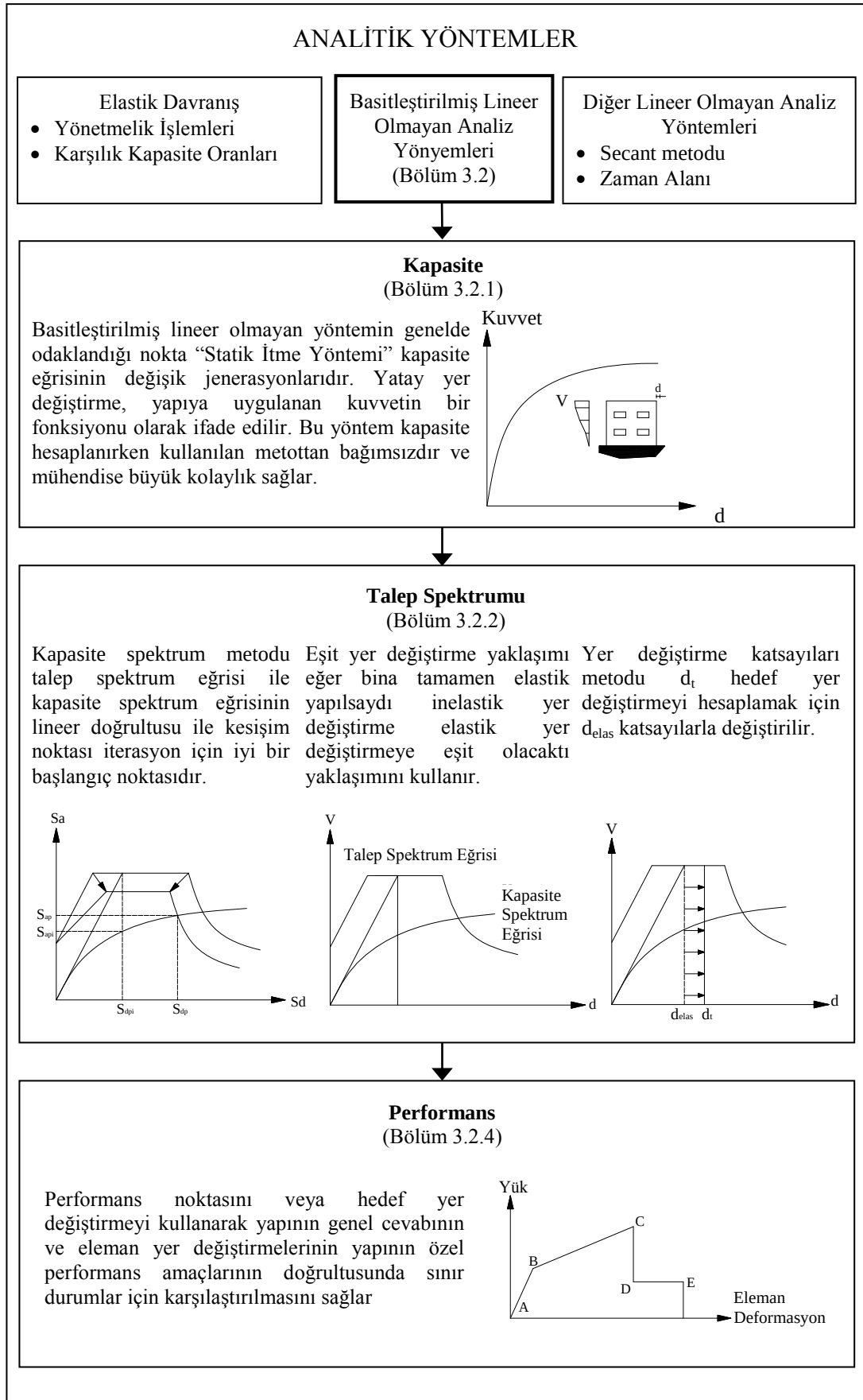
3.1 Giriş

Bu bölümde mevcut binaların performansının değerlendirilmesi veya beklenen 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 nonlinear (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 nasıl davranacağı hakkında çok iyi fikir verir, gerçeğe yakın çözümler bulmasını ve esnek yorum imkanı sağlar.

Tablo 3.1 Analitik İşlemlerin Algoritması



Lineer olmayan bir işlem olan kapasite spektrumu yöntemi binanın toplam taban kesme kuvveti ile yapının en üst noktasında oluşan (tepe) 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 yoldur. Bina 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 verebilme durumu ile ölçülür. Başka bir deyişle, yapı depremin talebine karşılık verebilecek kapasiteye sahip olmalıdır. Bu yüzden yapı performansı ikinci bölümde anlatılan projelendirme amaçları ile uyumlu olmalıdır.

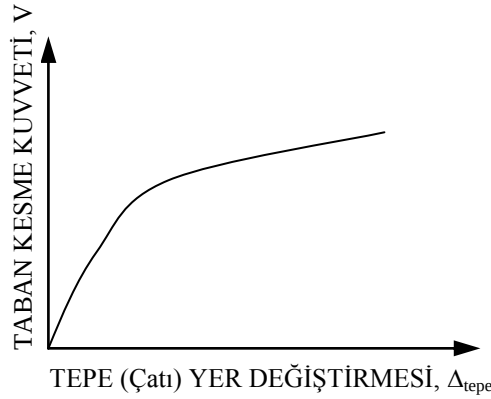
Kapasite spektrumu yöntemi ve deplasman katsayılar yöntemi gibi pushover yöntemleri kullanılarak basitleştirilmiş lineer olmayan analiz işlemlerini yapabilmek için öncelikle aşağıda açıklanan üç şeye ihtiyaç vardır: Kapasite, Talep (Talep yer değiştirmeleri) ve performans. Bunlar kısaca açıklanmıştır:

- ❖ **Kapasite:** Yapının tüm kapasitesi taşıma gücüne ve her bir 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 beklenen 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 için Adım Adım işlemler

Yapı kapasitesi pushover eğrisi ile gösterilir. Bir yapının kapasitesini belirlemenin yani kuvvet-yer değiştirme eğrisinin 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, Tepe Yer değiştirmesi

SAP2000 gibi bazı lineer olmayan analiz programları statik itme analizini doğrudan yapabilmektedir. Eğer bu programlar kullanılmıyacaksa 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 birinci modun periyodu bir

saniyeden fazladır dolayısıyla mühendis daha yüksek modların etkisini de göz önüne almalıdır.

Aşağıda kapasitenin hesaplanma adımları gösterilmiştir.

1. Kat yatay yükleri kat kütlelerinin toplandığı kütle merkezlerine birinci mod şekliyle etkililir (Analiz aynı zamanda düşey yükü 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 tepe yer değiştirmesi kaydedilir. Bunlarla birlikte eleman kuvvetlerini ve dönmelerini kaydetmek de faydalı olacaktır çünkü bunlar performans kontrolünde gerekli olacaktır.
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. Tepe yer değiştirmesi artmasına rağmen taban kesme kuvveti 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 noktasıdır².

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.

² 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 Yöntemi³ 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 doğrulanmalı:

- 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 histerik 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 itibarıyla 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 adapte edilebilir. Bu grafikten çok analitik bir yöntemdir.

³ ATC-40'ta kullanılan yöntem

Yeni 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 yöntemidir. El ile analiz için en uygun yöntemdir. Fakat anlaşılması zordur ve bilgisayara uyarlaması tam değildir.

Tablo 3.2 Yöntem seçim tablosu⁴

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. Doğrudan sonuca gider ve anlaşılması 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. ▪ Metodolojisi pek anlaşılır değildir.

⁴ 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 taban kesme kuvveti ve tepe yer değiştirmesinin yani kapasite eğrisinin mutlaka kapasite spektrumuna dönüştürülmesi gerekir ki bu Spektral İvme - Spektral Yer değiştirme (ADRS⁵) formatındadır. Dönüşümü yapabilmek için gerekli formüller:

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

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

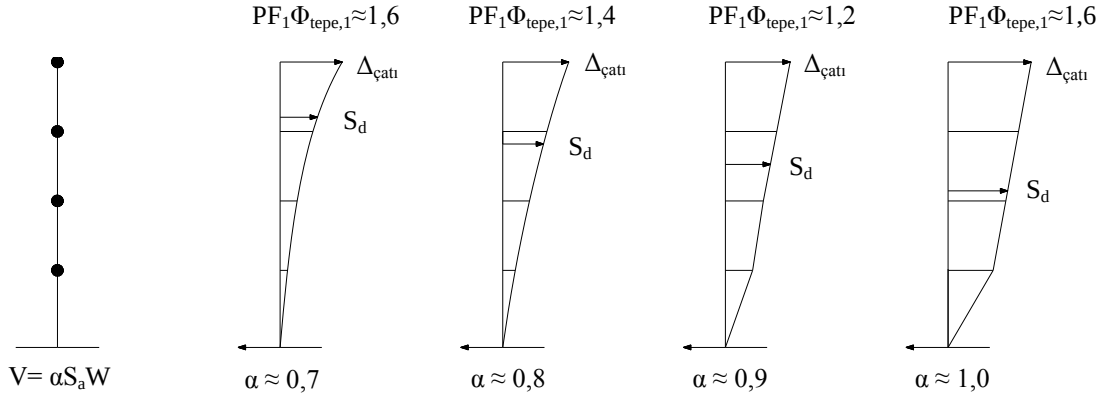
$$\alpha_1 = \frac{\left[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}) / g \right]^2}{\left[\sum_{i=1}^N w_i / g \right] \left[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}^2) / g \right]} \quad (3.3)$$

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

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

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

⁵ Acceleration Displacement Response Spectra (ADRS), Mahaney 1993.

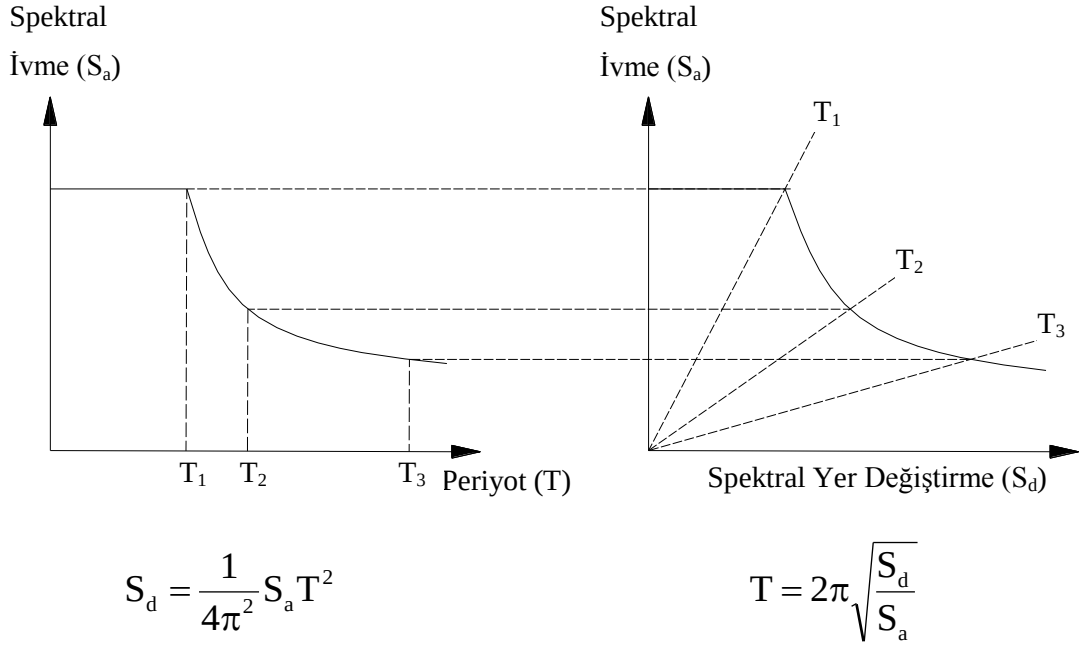


Şekil 3.2 Modal Katılma Katsayıları ve Modal Kütle Katsayıları için bir örnek

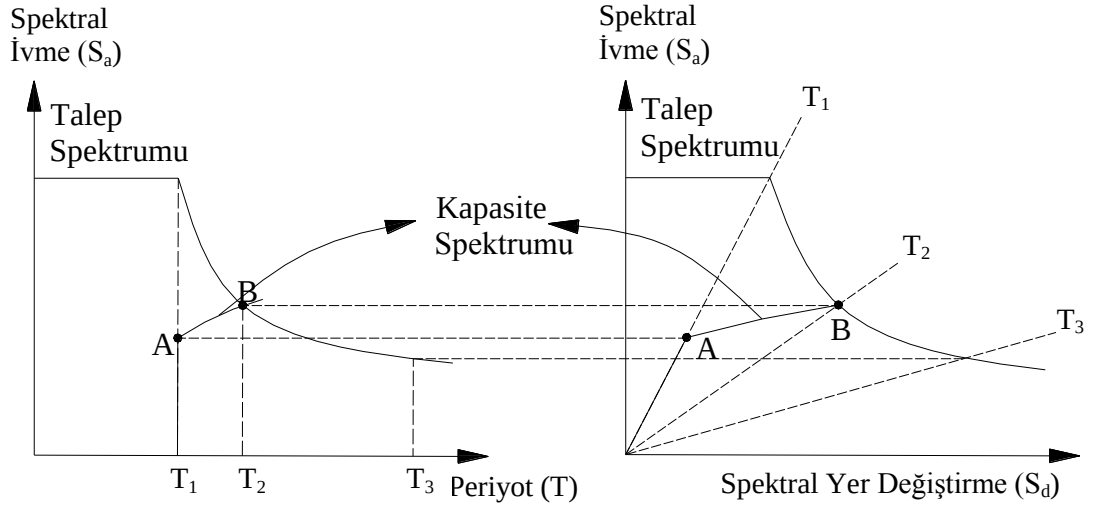
- Γ_1 = Birinci doğal titreşim modu için Modal Katılma Katsayısı
- α_1 = Birinci doğal titreşim modu için Modal Kütle Katsayısı
- w_i/g = i. Kattaki toplanmış kütle
- Φ_{i1} = i. Kattaki modun şekli
- N = Yapıdaki kat sayısı
- V_b = Taban kesme kuvveti
- W = Zati yük + $n \cdot$ Hareketli yük
- Δ_{tepe} = Tepe yer değiştirmesi (V ve Δ_{tepe} kapasite Eğrisini oluşturur)
- S_a = Spektral ivme
- ϕ_{N1} = Yapının en üst katına ait yanal yer değiştirme
- S_d = Spektral yer değiştirme (S_a ve S_d kapasite Spektrumunu oluşturur.)

Kapasite 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 spektrumunu 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 , $S_d = S_a T^2 / 4\pi^2$ formülü ile hesaplanabilir.



Şekil 3.3 Geleneksel ve ADRS formatlarında talep spektrumları

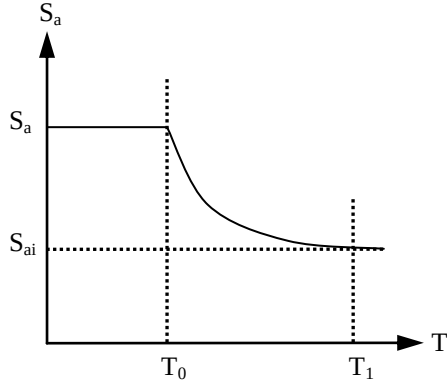


Şekil 3.4 Kapasite spektrumu ile talep spektrumunun üst üste çizilmiş şekli

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 arttığını ifade eder. Periyodun artması geleneksel spektrum üzerinde açıkça görülmektedir; aynı zamanda da ADRS formatlı spektrumda da oldukça bellidir.

ADRS SPEKTRUMUNA DÖNÜŞTÜRME

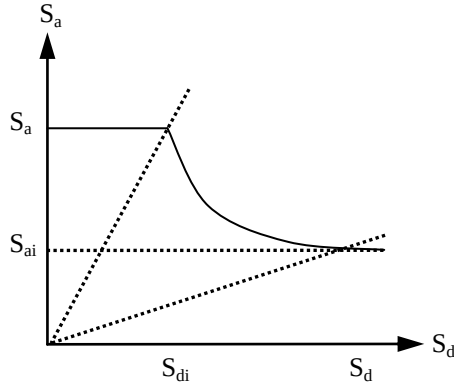
Talep Spektrumuna Dönüştürme



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:

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



S_a, S_d için ADRS formatı

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

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

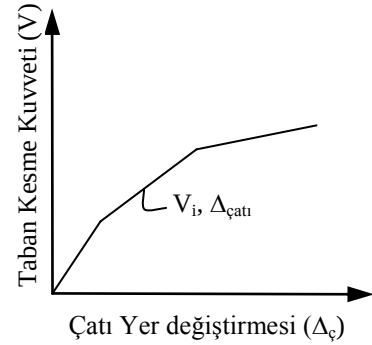
$$S_{di} = \frac{T_i}{2\pi} S_v$$

Kapasite Spektrumuna Dönüştürme

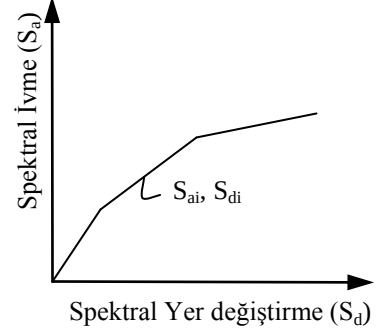
Kapasite (puhsover) eğrisinden kapasite spektrumuna geçmek için birinci mod spektral koordinatlarının noktadan noktaya dönüşüm yapılması gerekir. Kapasite eğrisi üzerindeki her bir $V_i, \Delta_{\text{çatı}}$ noktası, bunlara karşılık gelen S_{ai}, S_{di} kapasite noktalarına aşağıdaki eşitlikler kullanılarak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

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

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



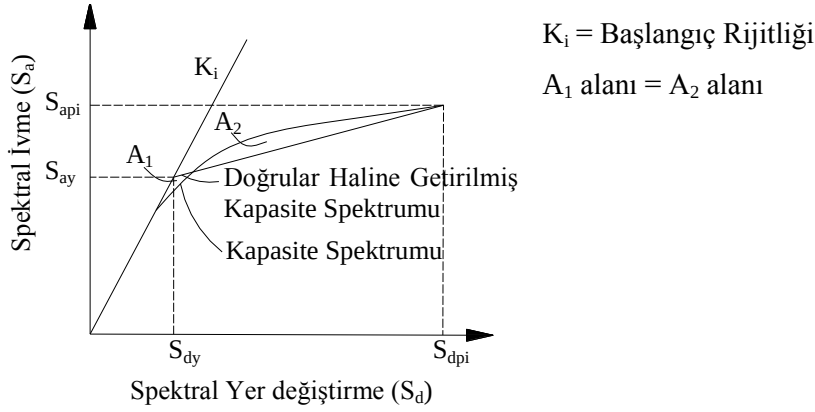
Kapasite Eğrisi



Kapasite Spektrumu

Şekil 3.5 ADRS spektrumuna dönüştürme

3.2.3.2 Kapasite Spektrum Eğrisinin Doğrular Haline Getirilmesi



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} koordinatlarında 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’de 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 spektrumunu 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 sönümlenmesini 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 ileride anlatılacaktır.

Deprem Kaynağı Türü	Deprem Kaynağına Mesafe							
	≤ 2km		5km		10km		≥ 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

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

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

- Kullanma depremi için $E = 0.5$
- Tasarım depremi için $E = 1.0$
- Maksimum deprem için;
 - 4. Bölge için $E = 1.25$
 - 3. Bölge için $E = 1.50$

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

Tablo 3.6 Deprem Katsayısı C_A

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

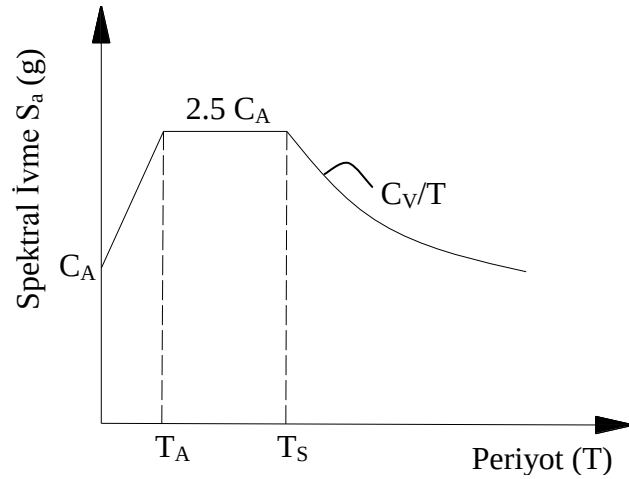
Tablo 3.7 Deprem Katsayısı C_V

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

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

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

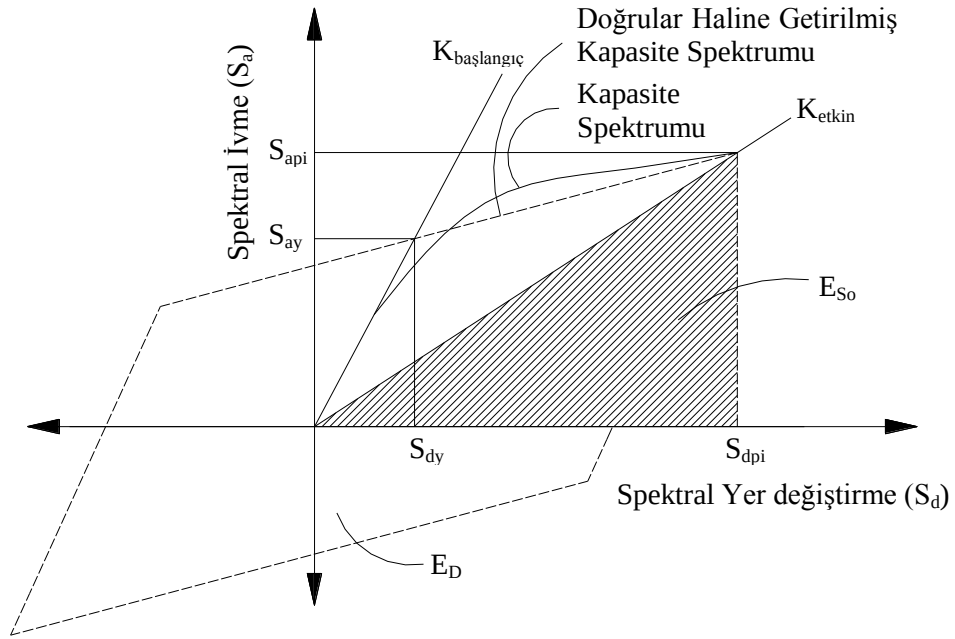
$$T_A = 0.2 * T_S \quad (3.8)$$

**Şekil 3.8** %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 değıştirme ile spektral ivme arasındaki bağıntı Şekil 3.9’da görüldüğü gibi elastik sınır aşıldığında bir çevrimsel değışim gösterir.



Şekil 3.9 Spektral indirgeme için sönümün ifadesi

Bu eğrinin içinde kalan alan çevrimsel sönüm ile orantılıdır. Bu sönüm β_0^6 olarak eşdeğer viskoz sönüme yaklaşık olarak dönüştürülebilir. Sonuç olarak etkili toplam sönüm oranı β_{ef} ;

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

$$\beta_0 = \frac{1}{4\pi} \frac{E_D}{E_{S0}} \quad (3.10)$$

olarak bulunabilir. Burada E_D bir çevrimde sönümle tüketilen enerji olup çevrim içinde kalan alana ve E_{S0} aynı yük seviyesi altındaki maksimum şekil değıştirme enerjisine (Şekil 3.9’da taranan alana) karşılık gelir. Geometrik bağıntılar kullanılarak

$$\beta_{ef} = 0,05 + \beta_0 = 0,05 + 0,64 * \kappa * \frac{S_{a_y} * S_{d_{pi}}}{S_{a_{pi}} * S_{d_y}} \quad (3.11)$$

yazılabilir. Burada S_{dy} ve S_{ay} doğrusal elastik davranışın sınırındaki, S_{dpi} ve S_{api} ise hedeflenen performans seviyesindeki spektral yer değıştirme ve spektral ivme

⁶ 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

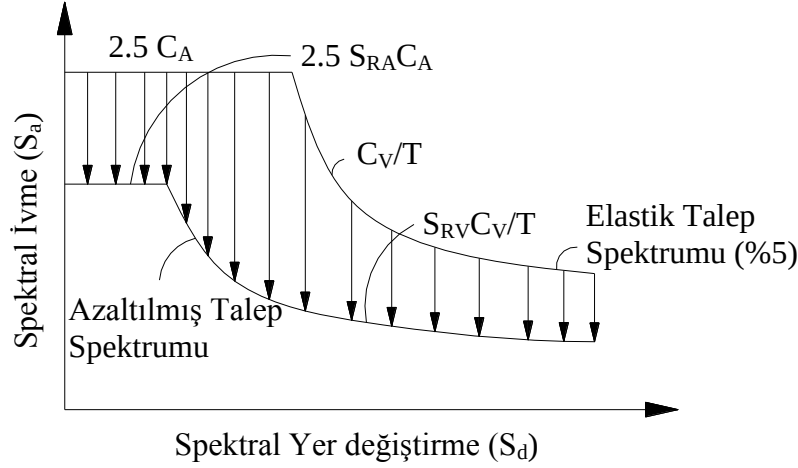
Yapı Davranış Türü	A	B	C
K	1.00	0.67	0.33

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

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

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

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



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

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

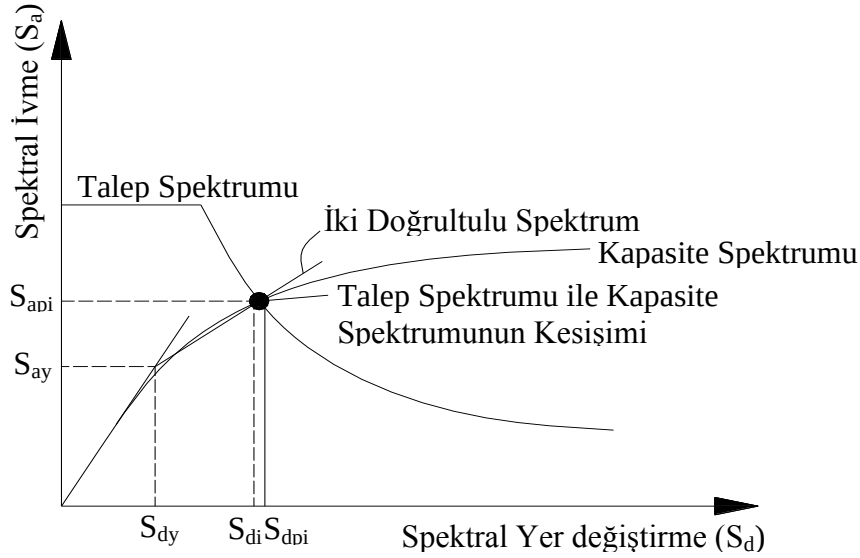
	Yapı davranış türü A	Yapı davranış türü B	Yapı davranış türü C
S_{RA}	0.33	0.44	0.56
S_{RV}	0.50	0.56	0.67

3.2.4 Performans Noktasının Bulunması

3.2.4.1 Kapasite ve Talep Spektrumlarının Kesişimi

Kapasite spektrumu ile talep spektrumunun kesişim noktasında ki S_{dp} spektral yer değıştirme, S_{api} , S_{dpi} deneme performans noktalarının S_{dpi} spektral yer değıştirmenin $\pm 5\%$ 'i kadar ise ($0.95S_{dpi} \leq S_{di} \leq 1.05S_{dpi}$) performans noktası bulunmuş demektir. Eğer, Kapasite spektrumu ile talep spektrumunun kesişim noktası kabul edilebilir tolerans içerisinde değilse, yeni bir S_{api} , S_{dpi} noktası seçilir ve iterasyona devam

edilir. Şekil 3.11 bu kavramı göstermektedir. Performans noktası deprem yer hareketine karşılık binada oluşabilecek maksimum yapısal yer değiştirmeyi gösterir.

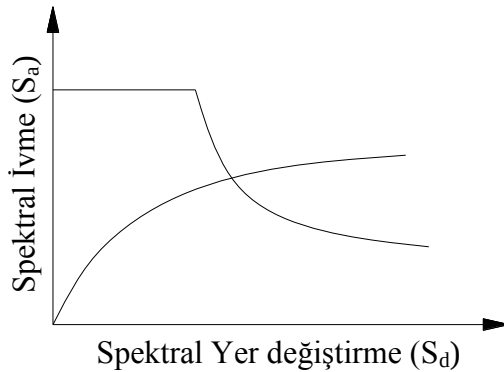


Şekil 3.11 Talep spektrumu ve kapasite spektrumlarının kabul edilebilir toleranslar içindeki kesişim noktası

3.2.4.2 Yöntem A'yı Kullanarak Performans Noktasını Hesaplama

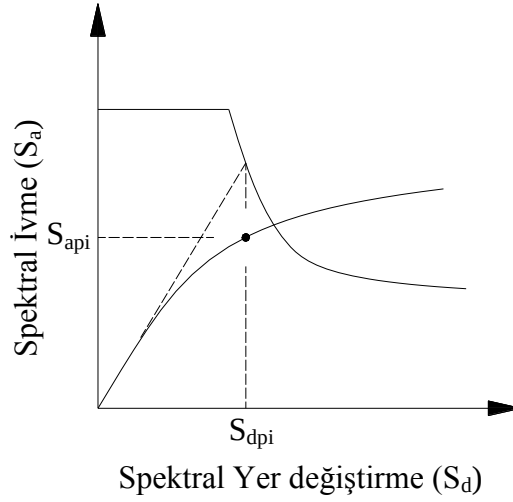
Bu yöntemde performans noktasını bulmak için yapılacak iterasyonlar el ile veya bilgisayarla yapılabilir. Bu yöntem daha önce bahsedilen prensiplerin en sade biçimde uygulamasıdır. İşlemler aşağıda gösterilen sırayla yapılır.

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.



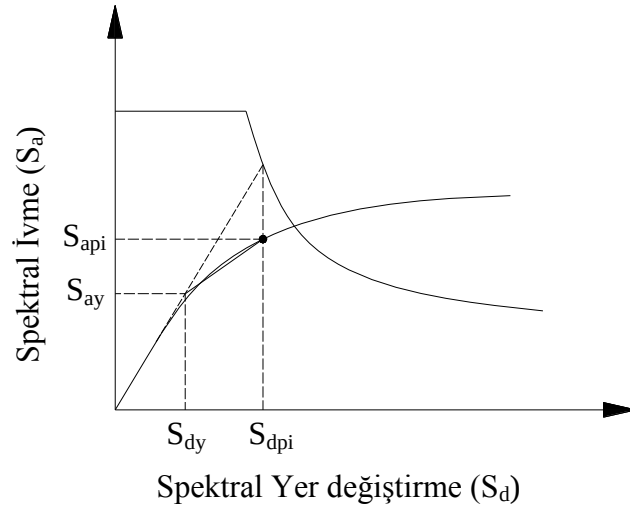
Şekil 3.12 Yöntem A, ikinci adım

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.



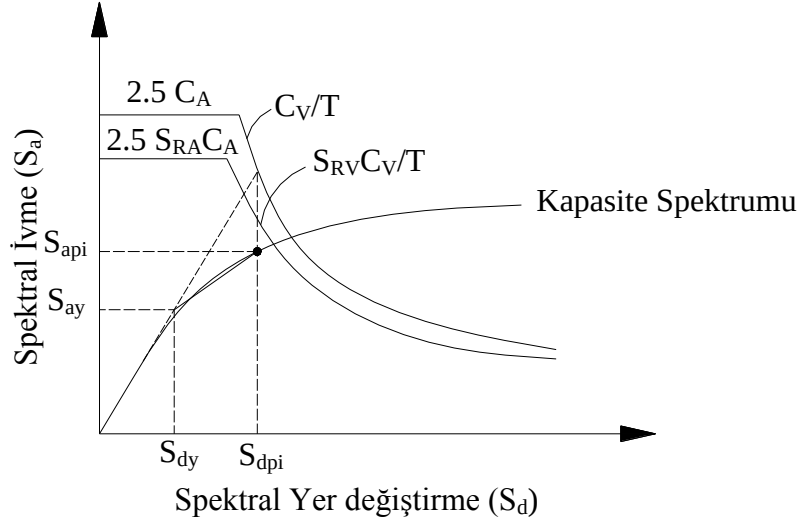
Şekil 3.13 Yöntem A, üçüncü adım

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



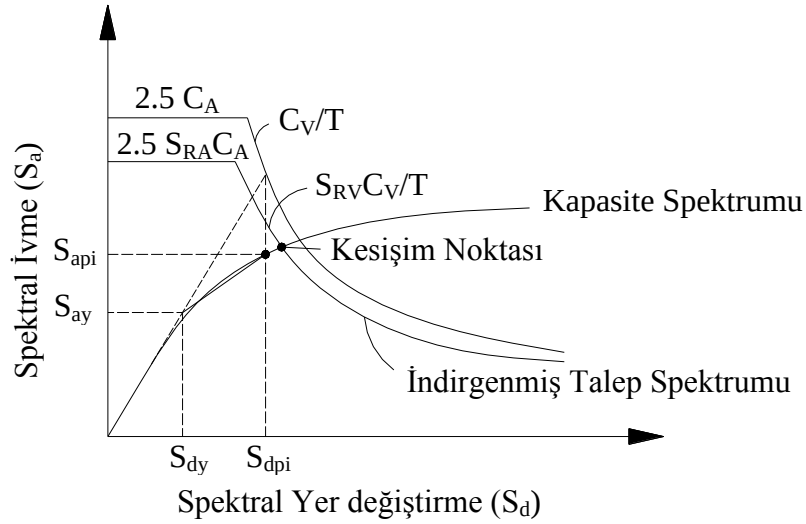
Şekil 3.14 Yöntem A, dördüncü adım

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 inşa edilen mevcut bir yapının deprem güvenliğinin kontrolü ve güçlendirme çalışması yapılmıştır. Özellikle 1975 Deprem Yönetmeliğine göre inşa 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 EPARC⁷ ve Sap 2000 Nonlinear Analiz bilgisayar programları kullanılmıştır. EPARC bilgisayar programına girilen veriler ton, metre birimleri cinsinden olması gerektiği için tüm veriler ton, metre birimleri cinsinden hazırlanmış ve sonuçlar da bu birimler cinsinden elde edilmiştir. Yapılan analizlerin sonuçlarına göre mevcut yapının 1975 Deprem Yönetmeliğine uygun inşa edilip edilmediği araştırılmıştır. Yapının taşıyıcı sistemi 1975 Deprem Yönetmeliğine uygun olarak projelendirildikten sonra uygun inşa 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.

⁷ EPARC (Statik İtme Analiz) bilgisayar programı Yar.Doç.Dr. Konuralp GİRĞİN 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_0) = 0.40
- Deprem bölge katsayısı (Z) = 0.40
- Analizde kullanılan deprem türü : Tasarım depremi, E = 1.0
- Yapının bilinen en yakın deprem kaynağına olan mesafesi $\cong$ 10 km
- Bina önem katsayısı (I) = 1.0
- Zemin sınıfı = Z4
- 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 14
- Betonun birim kısalması (ϵ_{cu}) = 0.003
- Güçlendirmede kullanılan beton sınıfı : BS 20
- Beton birim hacim ağırlığı (γ_{beton}) = 2.5 t/m³
- Çelik sınıfı : BC I
- Çeliğin birim uzaması (ϵ_{su}) = 0.01
- Döşeme türü : Plak
- Döşeme kalınlığı = 0.12 m
- Dış duvar birim ağırlığı ($\gamma_{dışduvar}$) = 0.30 t/m²
- İç duvar birim ağırlığı ($\gamma_{içduvar}$) = 0.25 t/m²
- Sıva + kaplama ağırlığı = 0.15 t/m²
- Hareketli yükler : q = 0.20 t/m² (Teras katı ve konut odaları)
- Hareketli yükler : q = 0.35 t/m² (Konut merdivenleri ve balkonlarda)

4.3 Yapıya Etkiyen Yükler

4.3.1 Düşey Yükler

4.3.1.1 Sabit Yükler

$g = \text{Betonarme plak ağırlığı} + (\text{Sıva} + \text{Kaplama}) \text{ ağırlığı}$

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

$(\text{Sıva} + \text{Kaplama}) \text{ ağırlığı} = 0.15 \text{ t/m}^2$

$g = 0.30 + 0.15 = 0.45 \text{ t/m}^2$

4.3.1.2 Hareketli Yükler

Tepe Katı (Teras) : $q = 0.20 \text{ t/m}^2 = 2.0 \text{ kN/m}^2$

Konut Odaları : $q = 0.20 \text{ t/m}^2 = 2.0 \text{ kN/m}^2$

Konut Merdivenleri : $q = 0.35 \text{ t/m}^2 = 3.5 \text{ kN/m}^2$

Balkonlar : $q = 0.35 \text{ t/m}^2 = 3.5 \text{ kN/m}^2$

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 kirişlerde daha fazla, kısa kirişlerde daha azdır. Bu şekilde hesaplanan bütün düşey yükler Ek A'da verilmiştir.



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 ;

$$C_t = 0.07$$

$$H_N = 11.65 \text{ m}$$

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

$$T_1 = 0.44141s$$

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

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 ;

$$R = 4$$

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

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

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

$$\text{Hesapta Esas Alınacak Taban Kesme Kuvveti} \quad V_t = 147.619t$$

➤ Katlara etkiyen eşdeğer deprem yükün hesabı

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

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

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

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

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

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

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

➤ Katlara gelen kesme kuvveti

$$V_{\text{tepe}} = F_{\text{Tepe}} = 50.218 \text{ t}$$

$$V_{2.\text{Kat}} = F_{\text{Tepe}} + F_{2.\text{Kat}} = 50.218 + 46.880 = 97.098 \text{ t}$$

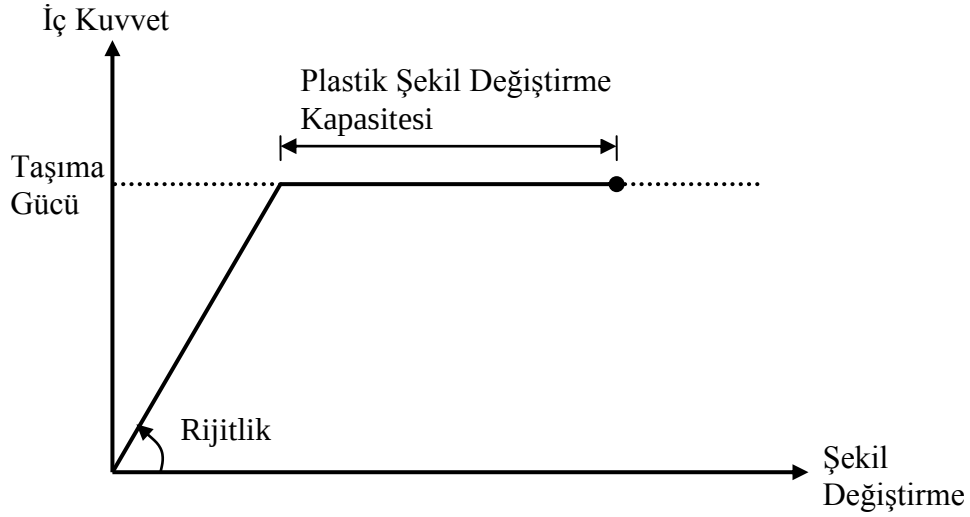
$$V_{1.\text{Kat}} = F_{\text{Tepe}} + F_{2.\text{Kat}} + F_{1.\text{Kat}} = 50.218 + 46.880 + 32.697 = 129.795 \text{ t}$$

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

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 Bağlantıları

- 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. Yayıllı yükler yeter sayıda, statikçe eşdeğer tekil kuvvetlere dönüştürülerek hesap yapılmaktadır.
- viii. Sistemin şekil değiştirmesi 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 ardışık yük

artımları için hesaplanmaktadır. Her yük artımı, herhangi bir kesitteki iç kuvvet durumunun akma koşulunun belirlediği sınır durumuna erişmesi halinde, diğer bir deyişle 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 şekil değiştirmeler meydana gelmektedir. Lineer olmayan eğilme şekil değiştirmelerinin ön görülen dönme kapasitelerini aşması halinde meydana gelebilecek göçme durumu ise, EPARC programı ile CHECK bilgisayar 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 tepe katı yer değiştirmesidir.

Normal kuvvetlerin çok büyük olmamasından dolayı ikinci mertbe etkilerinin ihmal edilmesi varsayılmış, yapı birinci mertbe 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 üzerinde bulunan yükler, yapıda bulunan donatıların yerleri ve adetleri belirlenerek girilmiştir. Sistemin geometrisi oluşturulurken EK-B'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 numaralandırılması da en üst kattan başlayarak belli bir düzende yapılmıştır. İlk olarak kirişlere daha sonra da 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

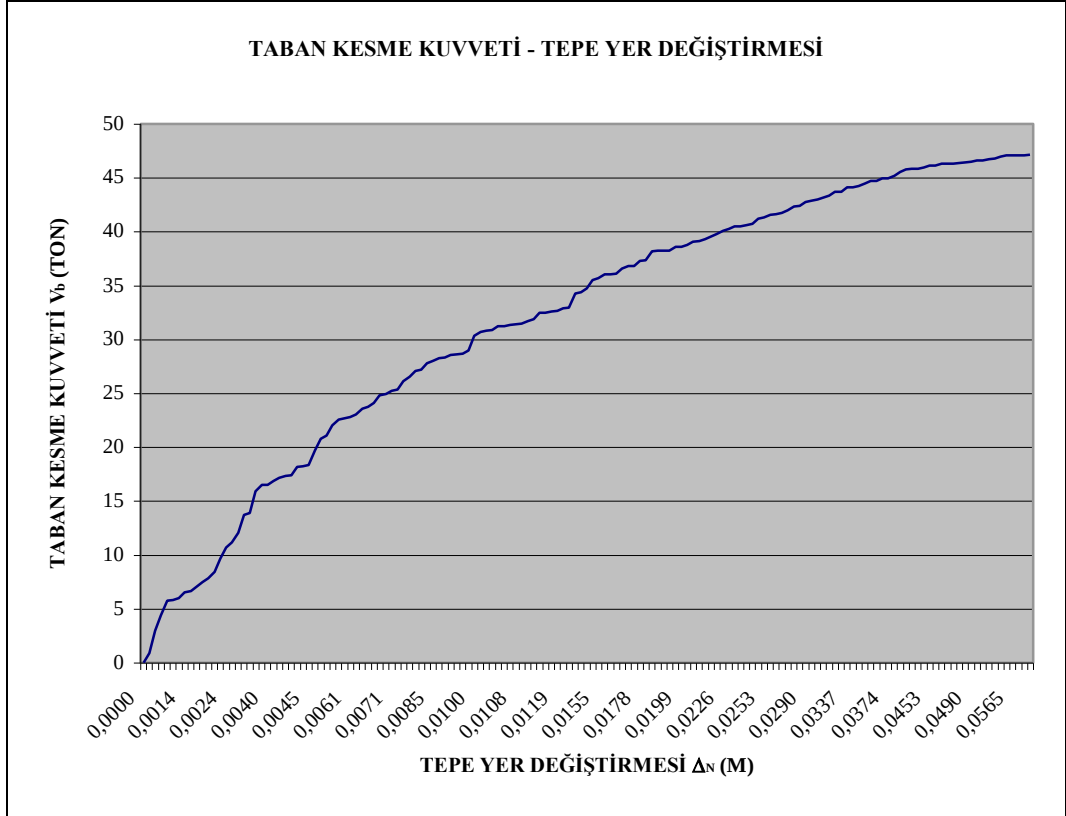
- Yüklü çubuk eleman sayısı : 149
- Yatay yük etkileyen düğüm noktası sayısı : 4
- Kat sayısı : 4
- Betonun karakteristik basınç dayanımı : 1400.00
- Çeliğin karakteristik akma dayanımı : 22000.00
- Betonun elastisite modülü : 2616038.7
- Çeliğin maksimum birim uzaması : 0.01
- Kat kütle merkezi koordinatları ; X : 6.10 m, Y : 5.60 m
- Düğüm noktası koordinatlarının tanımlanması (Global X ve Y eksenleri aynı olan noktalar Z eksenine 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 etkileyen düşey yük ve momentlerin tanımlanması :
- Kiriş boyuna donatı alanlarının ve konumlarının tanımlanması :
- Kolon donatı alanlarının ve konumlarının tanımlanması :
- Yatay deprem kuvvetinin etkilediği 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 etkilediği varsayılarak bu işlem her iki yön içinde yapılır.

4.4.1 Yapının “X” Yönü İçin Analiz Sonuçları ve Değerlendirilmesi

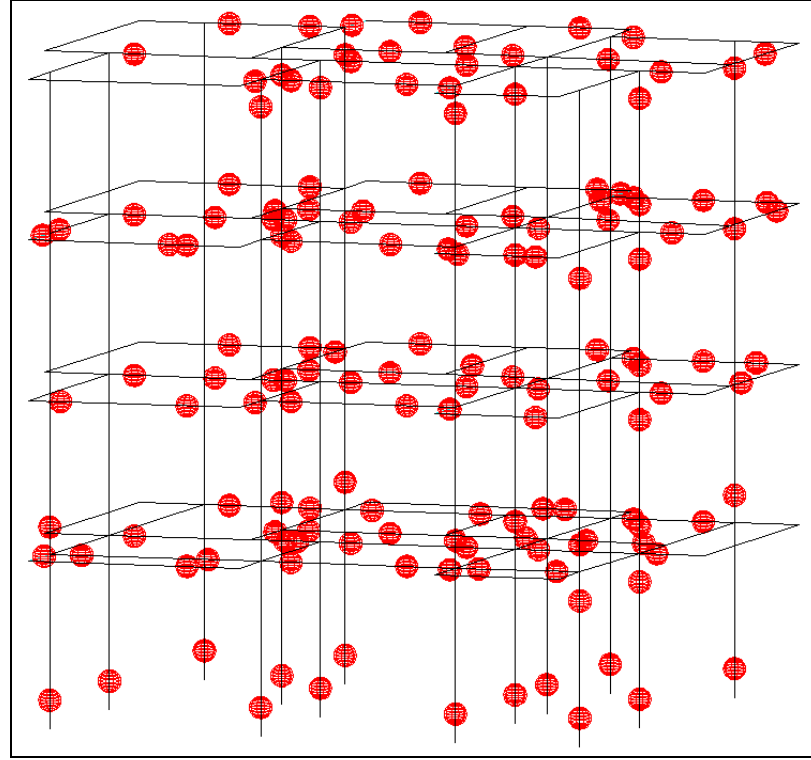
Yapılan statik itme analizi sonucunda yapının göçme durumundaki taban kesme kuvveti (V_b) ve tepe yer değiştirmesi (Δ_N) bulunmuştur. Taban kesme kuvveti ile tepe yer değiştirmesi arasındaki ilişki Şekil 4.3’de gösterilmiştir. Yapının “X” yönünde dayanabildiği taban kesme kuvveti yani “X” yönündeki göçme yükü $V_{göçme} = 47.150$ ton, bu göçme yükü sonucu oluşan tepe yer değiştirmesi $\Delta_N = 0.058$ m dir. Yapının yük parametresi $P_{göçme} = 0.3194$ dir. “Göçme yükü = Binanın karşıladığı

taban kesme kuvveti / Binaya etkiyen deprem yükü”. Yapıda 150 adet plastik mafsall oluşması sonucunda yapı labil hale gelmiştir. Bunların 110 tanesi kirişlerde, 40 tanesi kolonlarda bulunmaktadır. Plastik mafsalların yerleri Şekil 4.4’te gösterilmiştir. Bu beklenen ve istenilen bir durum değildir. Yapının deprem kuvvetine karşı dayanımının iyi olması için yük parametresinin en az 1.2~1.4 arasında olması beklenmektedir. Mevcut yapının “X” yönünde hesaplanan yük parametresi bu aralığın çok altında yer almaktadır.



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

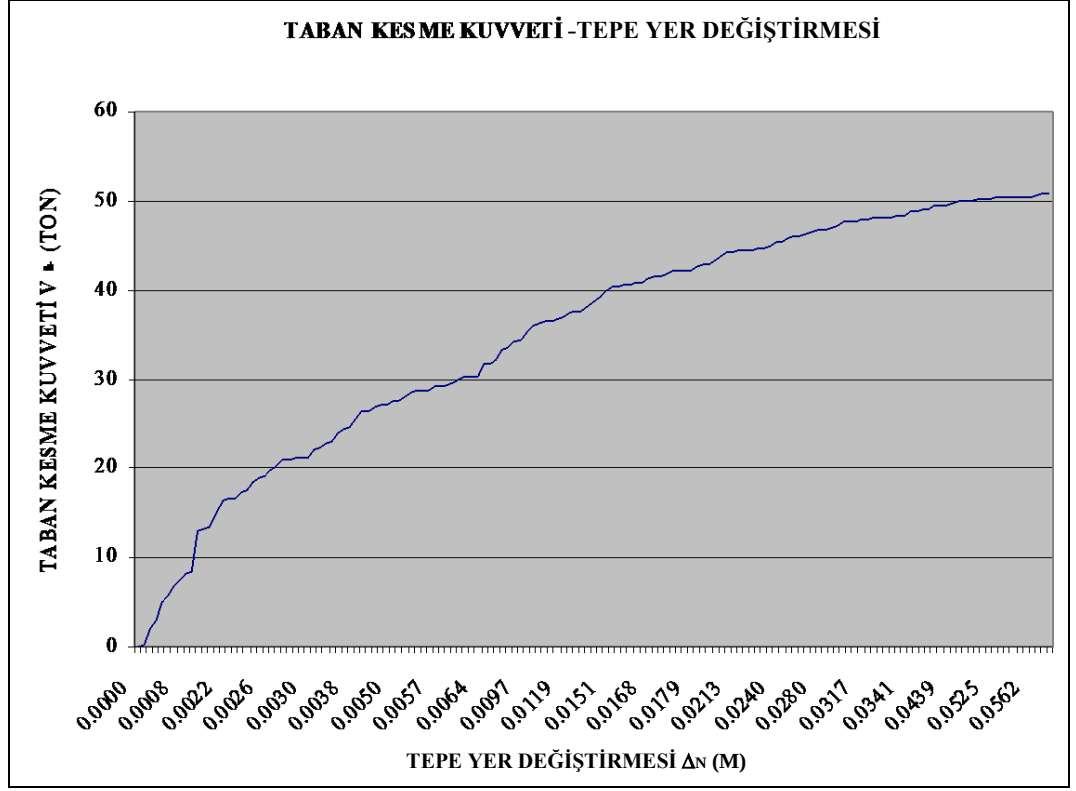
Bu, yapının deprem kuvvetine karşı dayanımının çok kötü ve yıkılma tehlikesi bulunduğunu göstermektedir. Bu durumun başlıca nedenleri yapıda bulunan düzensizlikler ve donatıların yetersiz oluşudur. Taşıyıcı sistem daha düzenli tasarlanmış ve yeterli donatı konulmuş olsaydı daha iyi sonuçlar alınabilirdi. Mevcut yapının sadece beton ve beton çeliği kalitelerinin arttırılarak analiz tekrarlanmış ve sonuçlar Ek A’da tabloda verilmiştir.



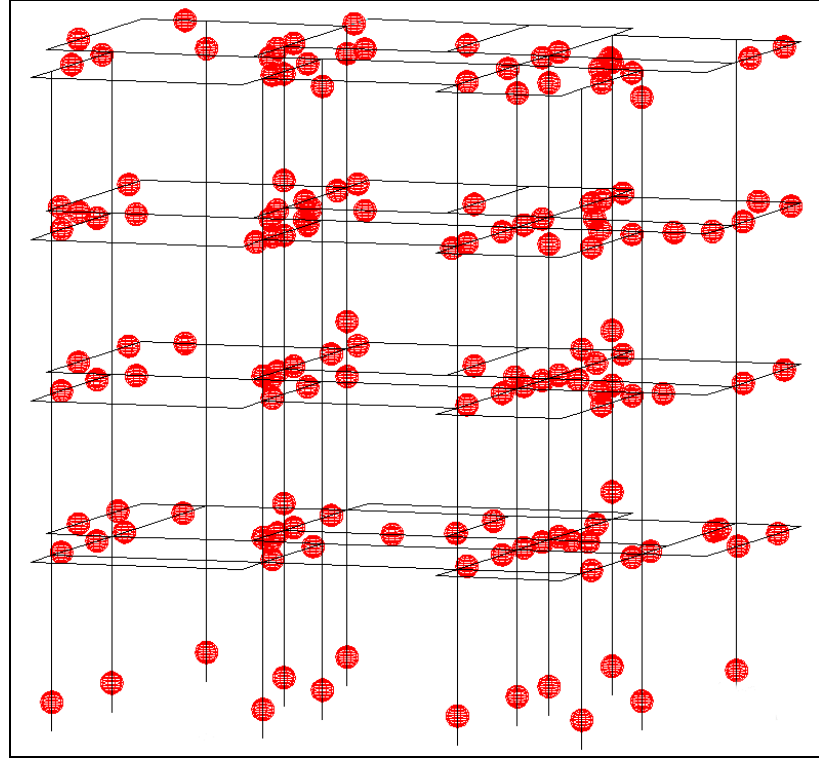
Şekil 4.4 Yapının X yönü için göçme durumunda oluşan plastik mafsalların yerleri

4.4.2 Yapının “Y” Yönü İçin Analiz Sonuçları ve Değerlendirilmesi

Yapıya deprem kuvvetinin “Y” yönünde etkimesi durumunda taban kesme kuvveti (V_b) ve tepe yer değiştirmesi (Δ_N) bulunmuştur. Taban kesme kuvveti ile tepe yer değiştirmesi arasındaki ilişki Şekil 4.5’te gösterilmiştir. Yapının “Y” yönündeki göçme yükü $V_{göçme} = 50,944$ ton, bu göçme yükü sonucu oluşan tepe yer değiştirmesi $\Delta_N = 0.071$ m dir. Yapının yük parametresi $P_{göçme} = 0.3451$ dir. Yapıda 150 adet plastik mafsall oluşması sonucunda yapı labil hale gelmiştir. Bunların 119 tanesi kirişlerde, 31 tanesi kolonlarda bulunmaktadır. Plastik mafsalların yerleri Şekil 4.6’da gösterilmiştir. Yapı “Y” yönünde de istenilen güvenlikte değildir. Aynı sorunlar bu yön içinde geçerlidir. Mevcut yapının sadece beton ve beton çeliği kaliteleri arttırılarak analiz tekrarlanmış ve sonuçlar Ek A’da tabloda verilmiştir.



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



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

4.5 Sap2000 Nonlinear 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 aktarılmış ve gerekli düzeltmeler yapılmıştır.

Sap2000 programına aktarılmış ve gerekli düzeltmeler yapılmış sistemin plastik mafsallık özellikleri tanımlıdır. Statik itme analizi yapmak için programa analizin kaç adımda ve her adımda neler yapılacağı tanımlanmalıdır. Statik itme analizi iki adımdan oluşmaktadır. Birincisi, PUSH1, düşey sabit yükler için yapılmaktadır. Bu adımın uygulanmasının nedeni düşey sabit yüklerin deprem esnasında yapıya olan etkisinin tanımlamak istenmesidir. Kullanılacak yüklerin normalize edilmiş halini, yüklere ulaşana kadar arttırmak suretiyle yapılmakta ve bu adım sistemin düşey yükler altında doğrusal olmayan çözümlemeleri için kullanılmaktadır. Bu adımda düşey yük kuvvet çarpanı girilerek tanımlama gerçekleştirilir ve ikinci adıma geçilir. Analizin ikinci adımı, PUSH2 ise, depremden dolayı oluşan yatay kuvvetler için yapılmaktadır. İkinci aşamada yapıya program tarafından kütle merkezlerine yatay kuvvet uygulanmaktadır. Programa ulaşabileceği maksimum yer değiştirme tanımlanır. Bu değer toplam bina 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 program tarafından kaydedilerek ikinci adıma geçilmektedir. Düşey yüklerin yapının yanılabilitesine olan etkisini de göz önüne almak için ikinci adım birinci adımın kaldığı yerden devam ettirilir. İkinci adımda yatay kuvvet sıfırdan başlayarak adım adım arttırılmaktadır. Uygulanan yatay kuvvet sonucu yapı şekil değiştirme yapmakta ve plastik mafsallar oluşmaya başlamaktadır. Bu işlem yapı labil hale gelene kadar, belirlenen maksimum şekil değiştirmeye ulaşana kadar veya yapıdaki herhangi bir eleman göçme durumuna gelinceye kadar devam etmektedir.

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

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

4.5.1 Yapının “X” Yönü İçin Analiz Sonuçları ve Değerlendirilmesi

Mevcut yapıya uygulanan statik itme analizi birinci adımı tamamlayamadığı için analiz sonuçlanmamıştır. Program herhangi bir 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 içinde 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 adımı tamamlayamadığı için öncelikle kiriş daha sonrada kolon donatılarının 1975 Deprem Yönetmeliğine göre doğru belirlenip belirlenmediği kontrol edilmiştir. 1975 Deprem Yönetmeliğine göre kontrol edilmesinin nedeni yapının bu şartname yürürlükteyken tasarlanıp inşa edilmiş olmasıdır.

4.6.1 1975 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmeliğe Göre Eşdeğer Deprem Yüğü Hesabıyla Yatay Yüğülerin Hesabı

$$F = C * W$$

F : Statik eşdeğer toplam yatay yük

C : Deprem katsayısı

W : Toplam bina ağırlığı

$$C = C_o * K * S * I$$

C_o (Deprem bölge katsayısı) = 0.1

K (Yapı tipi katsayısı) = 1

S (Yapı dinamik katsayısı) = 1/(0.8+T-T_o) = 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.

$$W = 590.475 \text{ ton}$$

$$F = C * W = 0.1 * 590.475 = 59.0475 \text{ ton}$$

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

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

F_i : i. kata uygulanacak yatay yük

F_t : Yapının en üst kat düzeyine uygulanacak münferit kuvvet

H/D ≤ 3 ise F_t = 0 alınabilir.

$$H/D = 0.9549 \Rightarrow F_t = 0$$

$$F_{\text{Tepe Katı}} = 20.087 \text{ ton}$$

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

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

$$F_{\text{Zemin Kat}} = 7.130 \text{ ton}$$

4.6.2 Kiriş Donatılarının Kontrolü

Yapılan tahkikler sonucu kiriş donatılarının yetersiz olduğu görülmüştür. Mevcut yapıdaki kirişlerin boyutlarında herhangi bir 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 herhangi bir 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.

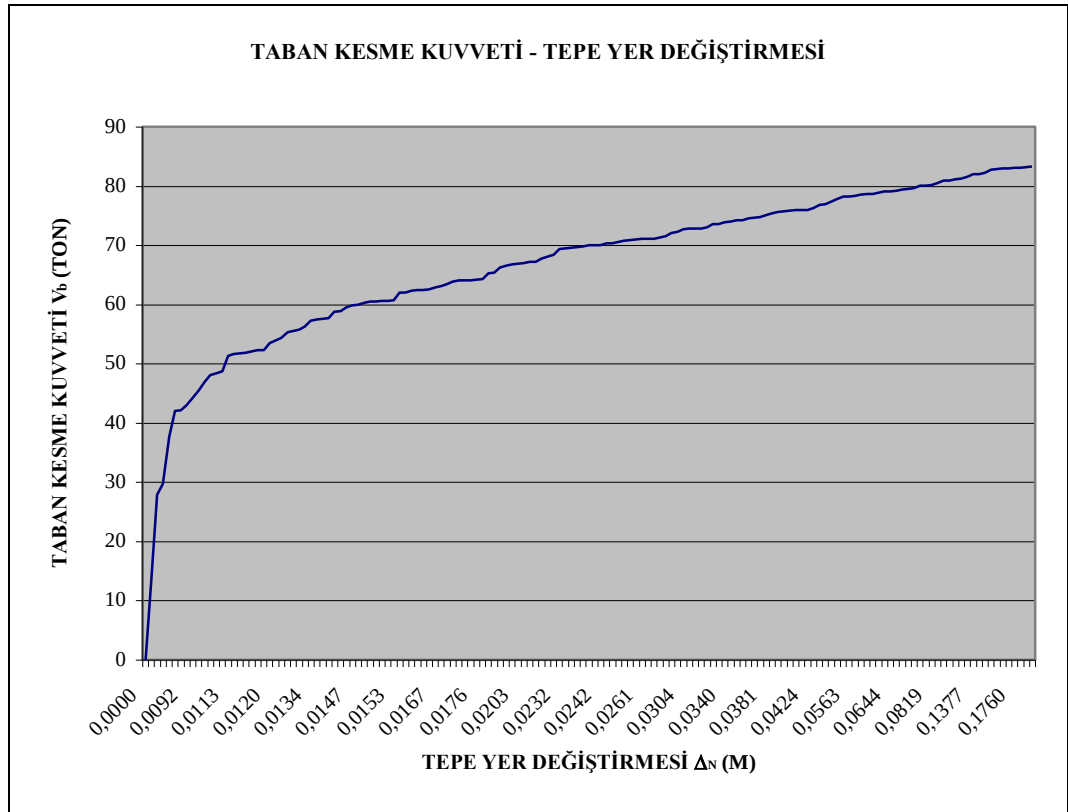
4.7 EPARC Analiz Programı Kullanılarak 1975 Deprem Yönetmeliğine Göre Donatıları Belirlenen Yapının Deprem Güvenliğinin Tahkiki

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 hazırlanıp 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.

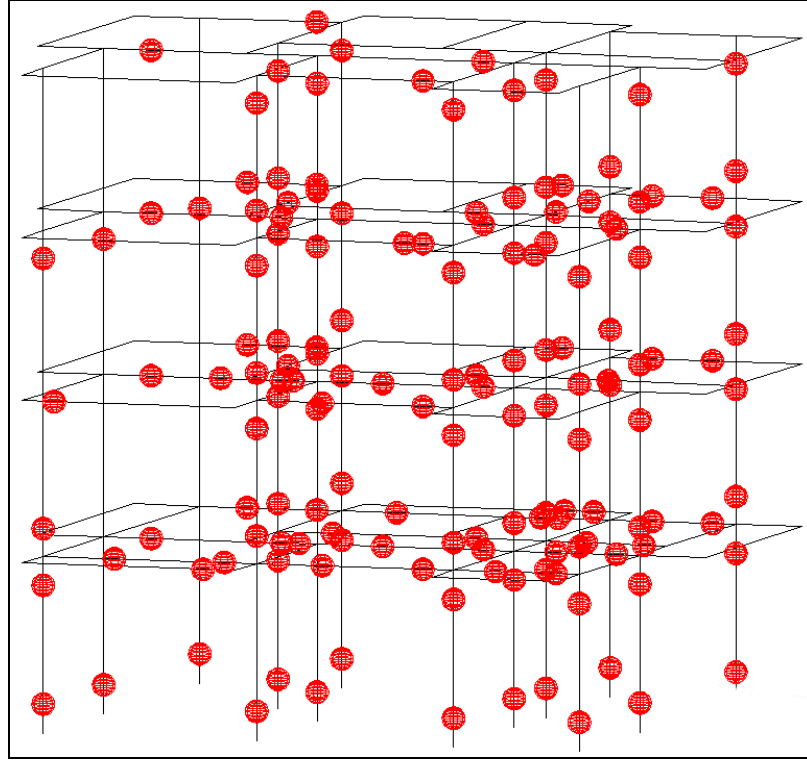
4.7.1 1975 Deprem Yönetmeliğine Göre Donatıları Belirlenen Yapının “X” Yönü İçin Analiz Sonuçları ve Değerlendirilmesi

Yapılan statik itme analizi sonucunda yapının göçme durumundaki taban kesme kuvveti (V_b) ve tepe yer değiştirmesi (Δ_N) bulunmuştur. Taban kesme kuvveti ile tepe yer değiştirmesi arasındaki ilişki Şekil 4.7’de gösterilmiştir. Yapının “X” yönünde dayanabildiği taban kesme kuvveti yani “X” yönündeki göçme yükü $V_{göçme} = 83.301$ ton, bu göçme yükü sonucu oluşan tepe yer değiştirmesi $\Delta_N = 0.1864$ m dir. Yapının yük parametresi $P_{göçme} = 0.564$ dir. Yapıda 150 adet plastik mafsall oluşması sonucunda yapı labil hale gelmiştir. Bunların 64 tanesi kirişlerde, 86 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 $P_{göçme} = 1.41$ olmuş olacaktı. Bu yük parametresi beklenen ve istenilen bir değerdedir. Yapının deprem kuvvetine karşı dayanımı, iyi ve güvenlidir denilebilir. Fakat aynı yapı 1998 deprem yönetmeliğine göre değerlendirildiğinde yetersiz kalmaktadır. Yük parametresi istenilen değer altındadır. Bu beklenen 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 inşa 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.



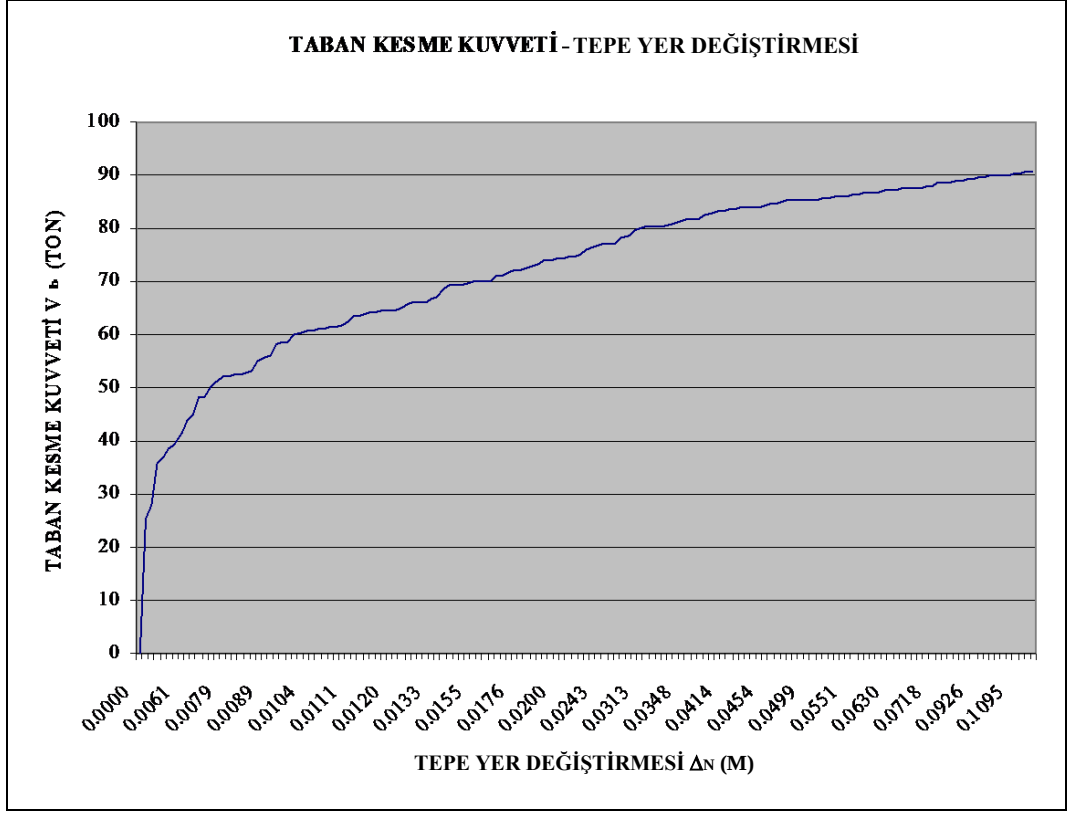
Şekil 4.7 Yapının X yönü için taban kesme kuvveti – tepe yer değiştirme grafiği



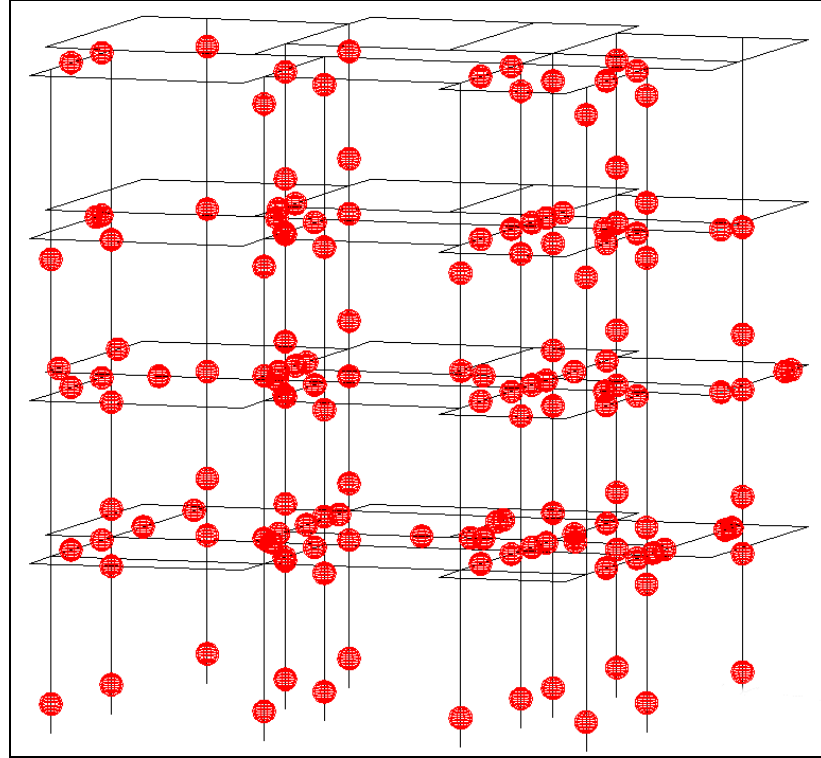
Şekil 4.8 Yapının X yönü için göçme durumunda oluşan plastik mafsalların yerleri

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 tepe yer değiştirmesi (Δ_N) bulunmuştur. Taban kesme kuvveti ile tepe yer değiştirmesi arasındaki ilişki Şekil 4.9’da gösterilmiştir. Yapının “Y” yönünde ki göçme yükü $V_{göçme} = 90.59$ ton, bu göçme yükü sonucu oluşan tepe yer değiştirmesi $\Delta_N = 0.1165$ m dir. Yapının yük parametresi $P_{göçme} = 0.614$ dir. Yapıda 150 adet plastik mafsall oluşması sonucunda yapı labil hale gelmiştir. Bunların 77 tanesi kirişlerde, 73 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 – tepe 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 eksen doğrultusundaki toplam uzunluğu

b : Yapının Y eksen 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 global 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	0.6022	0.5310

Tablo 4.5 Kat ötelenmeleri

Kat No	ϕ_{xi}	ϕ_{yi}
3. Kat	0.17849	0.15935
2. Kat	0.14454	0.12926
1. Kat	0.09058	0.08296
Zemin Kat	0.04544	0.04088

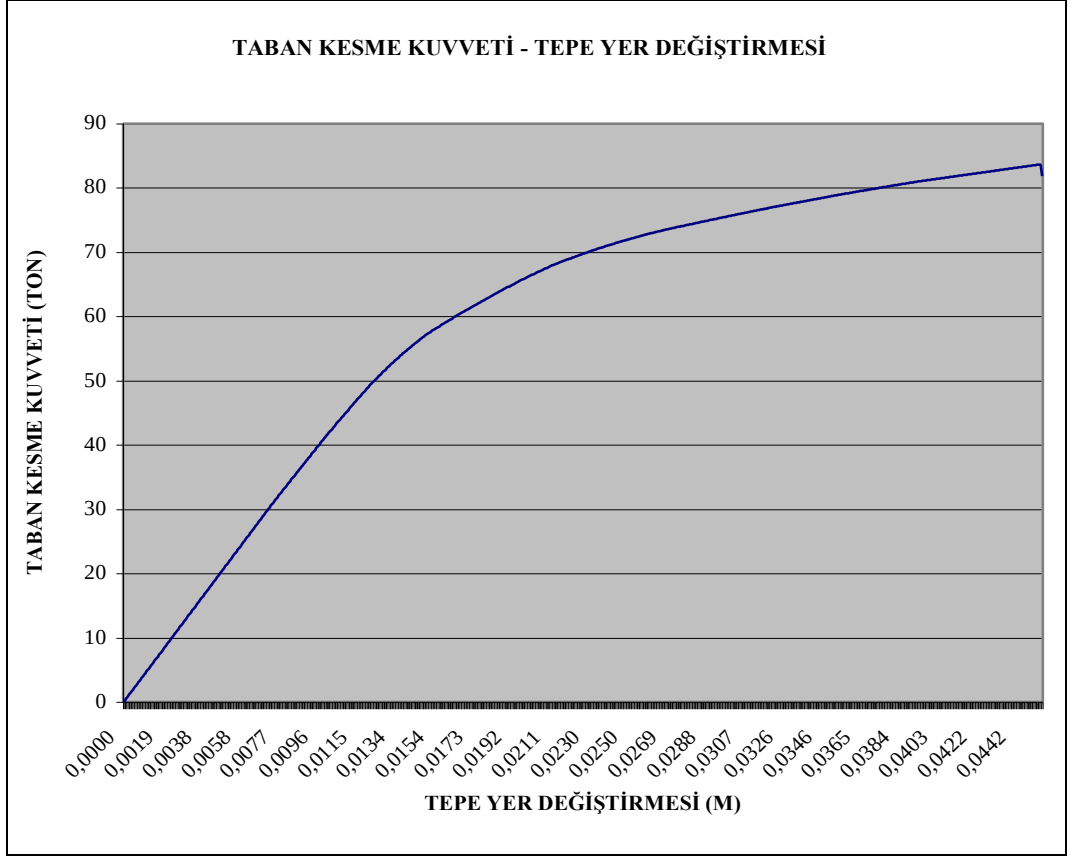
4.9 Sap2000 Nonlinear Analiz Programı Kullanılarak 1975 Deprem Yönetmeliğine Göre Donatıları Belirlenen Yapının Deprem Güvenliğinin Tahkiki

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 aktarılmış ve gerekli düzeltmeler yapılmıştır.

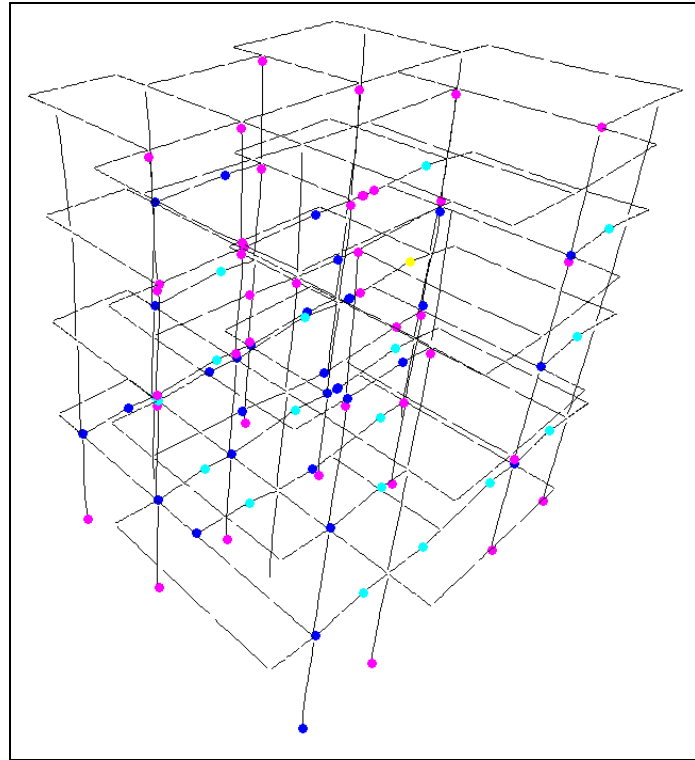
Bölüm 4.5 anlatılan adımlar sırasıyla uygulanarak yapının her iki yönü için statik itme analizi yapılmıştır. Yapılan analiz sonucunda herbir iterasyon için elde edilen taban kesme kuvvetleri ve yer değiştirmeler kullanılarak yapının “X” ve “Y” yönlerine ait kapasite eğrileri çizilmiştir. Daha sonraki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

4.9.1 Yapının “X” Yönü İçin Analiz Sonuçları

Yapılan statik itme analizi sonucunda yapının göçme durumundaki taban kesme kuvveti (V_b) ve tepe yer değiştirmesi (Δ_N) bulunmuştur. Taban kesme kuvveti ile tepe yer değiştirmesi arasındaki ilişki Şekil 4.11’de gösterilmiştir. Yapının “X” yönünde dayanabildiği taban kesme kuvveti yani “X” yönündeki göçme yükü $V_{göçme} = 83.6536$ ton, bu göçme yükü sonucu oluşan tepe yer değiştirmesi $\Delta_N = 0.0454$ m dir. Yapının yük parametresi $P_{göçme} = 0.567$ dir. Statik itme analizi sonucunda yapıda 41 tanesi hemen kullanım performans seviyesinde (B-IO), 32 tanesi kontrol edilebilir hasar aralığında (IO-LS), 19 tanesi sınırlı güvenlik aralığında (LS-CP) plastik mafsallar oluşarak yapı göçme durumuna ulaşmıştır. Plastik mafsalların yerleri Şekil 4.12’de gösterilmiştir.



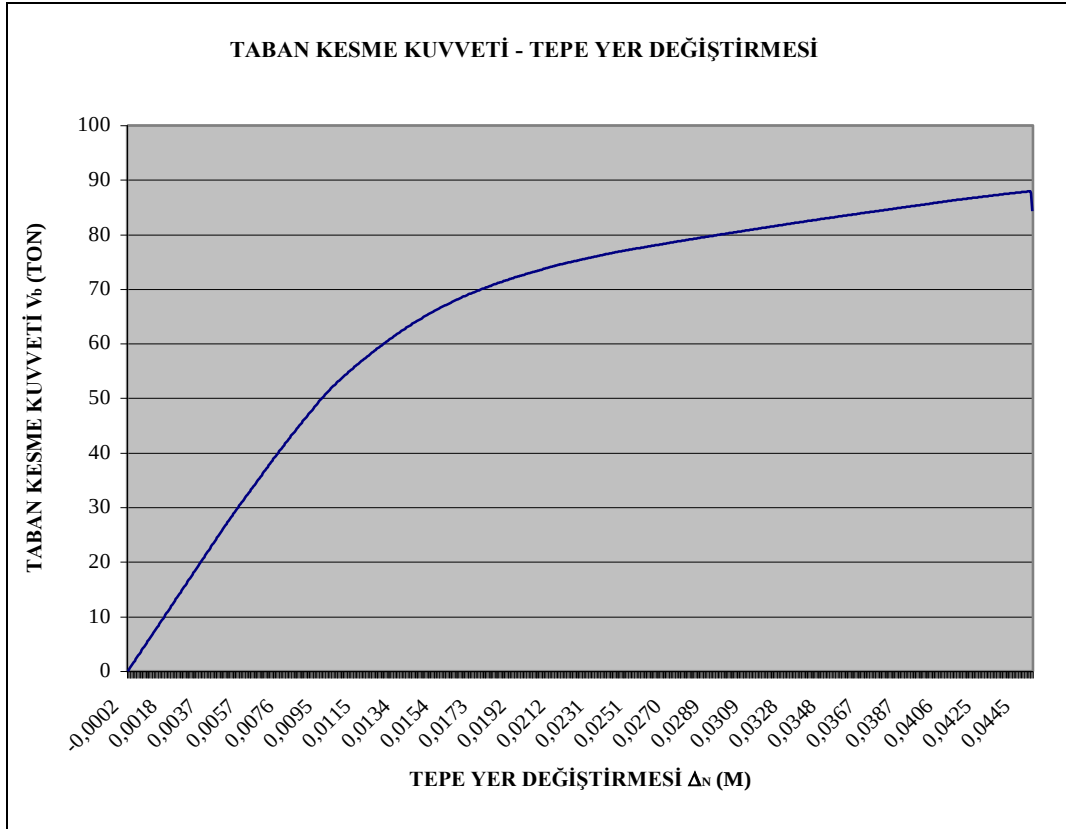
Şekil 4.11 Yapının X yönü için kapasite eğrisi



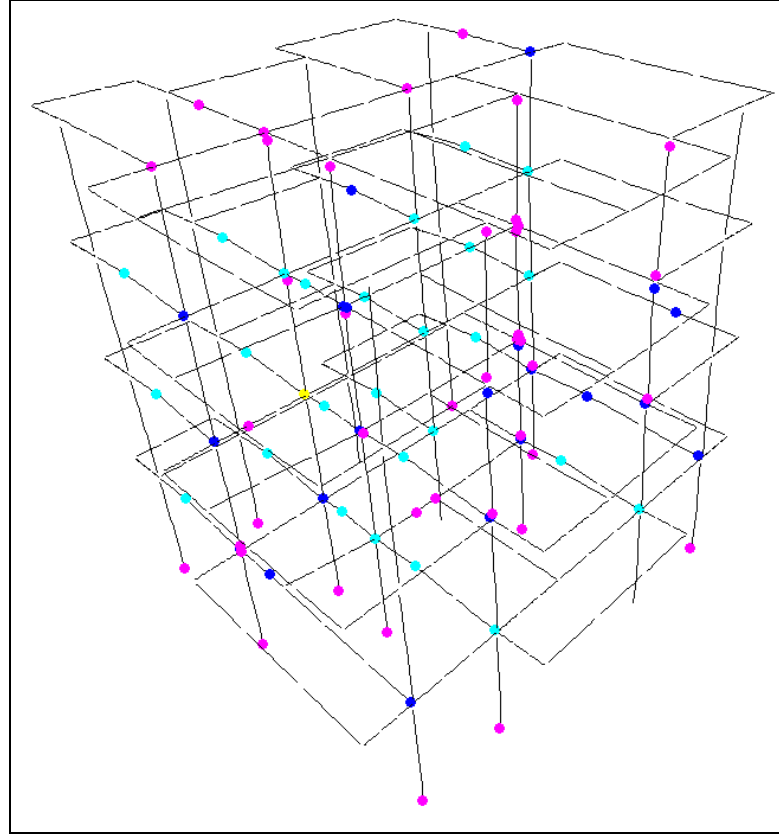
Şekil 4.12 Yapının X yönü için göçme durumunda oluşan plastik mafsalların yerleri

4.9.2 Yapının “Y” Yönü İçin Analiz Sonuçları

Yapılan statik itme analizi sonucunda yapının göçme durumundaki taban kesme kuvveti (V_b) ve tepe yer değiştirmesi (Δ_N) bulunmuştur. Taban kesme kuvveti ile tepe yer değiştirmesi arasındaki ilişki Şekil 4.13’de gösterilmiştir. Yapının “Y” yönündeki göçme yükü $V_{göçme} = 87.9309$ ton , bu göçme yükü sonucu oluşan tepe yer değiştirmesi $\Delta_N = 0.045$ m dir. Yapının yük parametresi $P_{göçme} = 0.5957$ dir. Statik itme analizi sonucunda yapıda 41 tanesi hemen kullanım performans seviyesinde (B-IO), 21 tanesi kontrol edilebilir hasar aralığında (IO-LS), 27 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

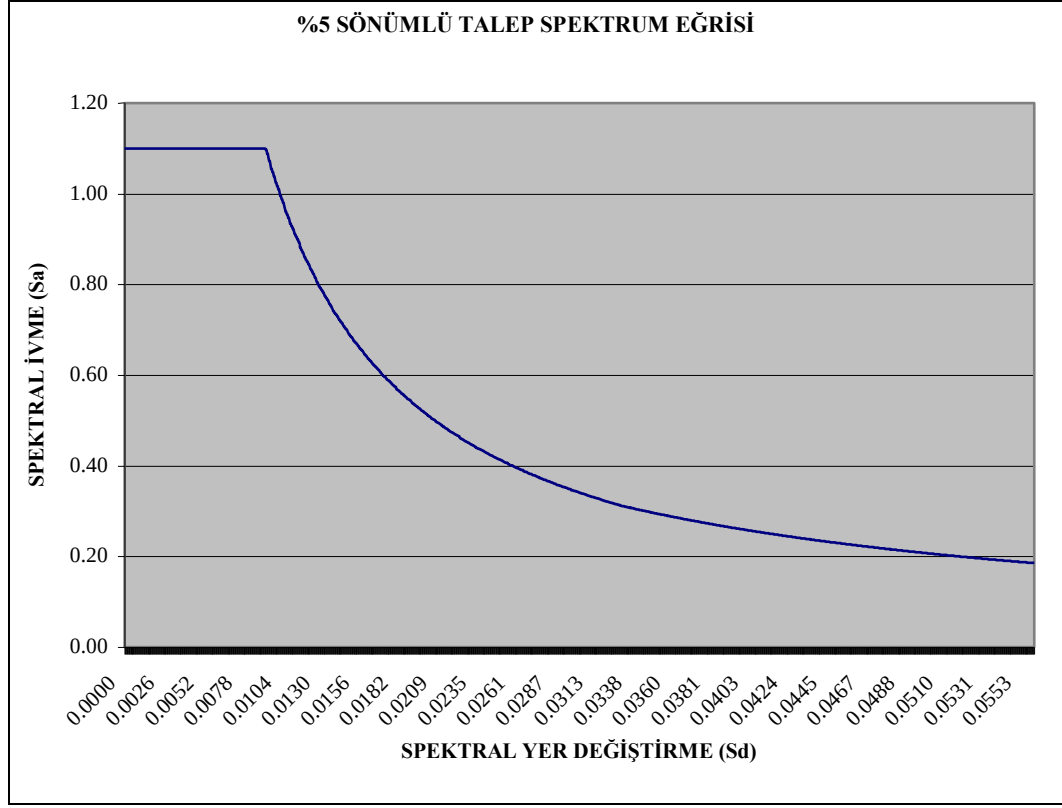
4.9.3 Performans Noktasının Bulunması

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

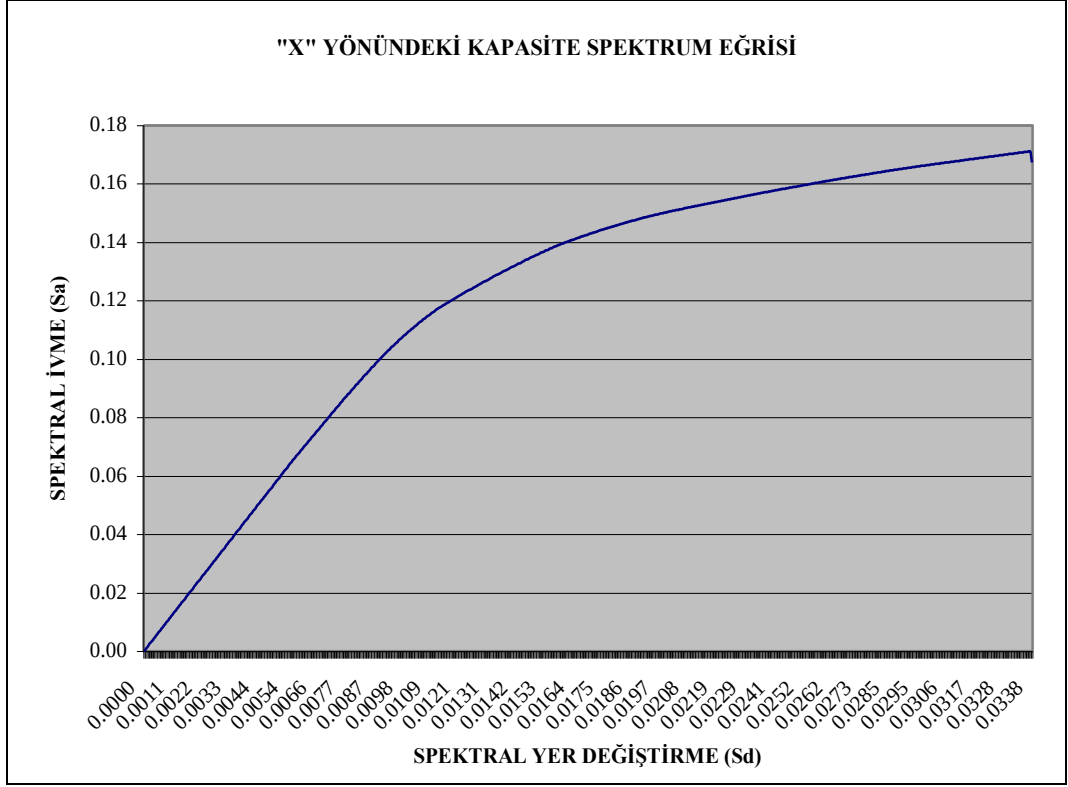
I. Adım : Yapıya ait %5 sönümlü talep spektrum eğrisi çizilir. % 5 sönümlü talep spektrum eğrisinin çizimi için yapıya ait deprem bölge katsayısı, zemin sınıfı, deprem kaynağına olan mesafesi, hangi deprem seviyesine göre tasarlanacağı gibi verilerin elde edilmesi gerekir. Veriler elde edildikten sonra 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 inşa edilmiştir. Tablolardan okunan değerler kullanılarak ZEN çarpanı 0.40 bulunmuştur. ZEN çarpanından ve zemin sınıfından yararlanılarak Tablo 3.6’dan C_A değeri 0.44, Tablo 3.7’den C_V değeri 0.64 okunmuştur. Formül 3.7 ve Formül 3.8’de C_A , C_V yerlerine konularak $T_A = 0.1164$ sn ve $T_S = 0.5818$

değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerlere göre %5 sönümlü talep spektrum eğrisi çizilmiş ve Şekil 4.15'te gösterilmiştir.

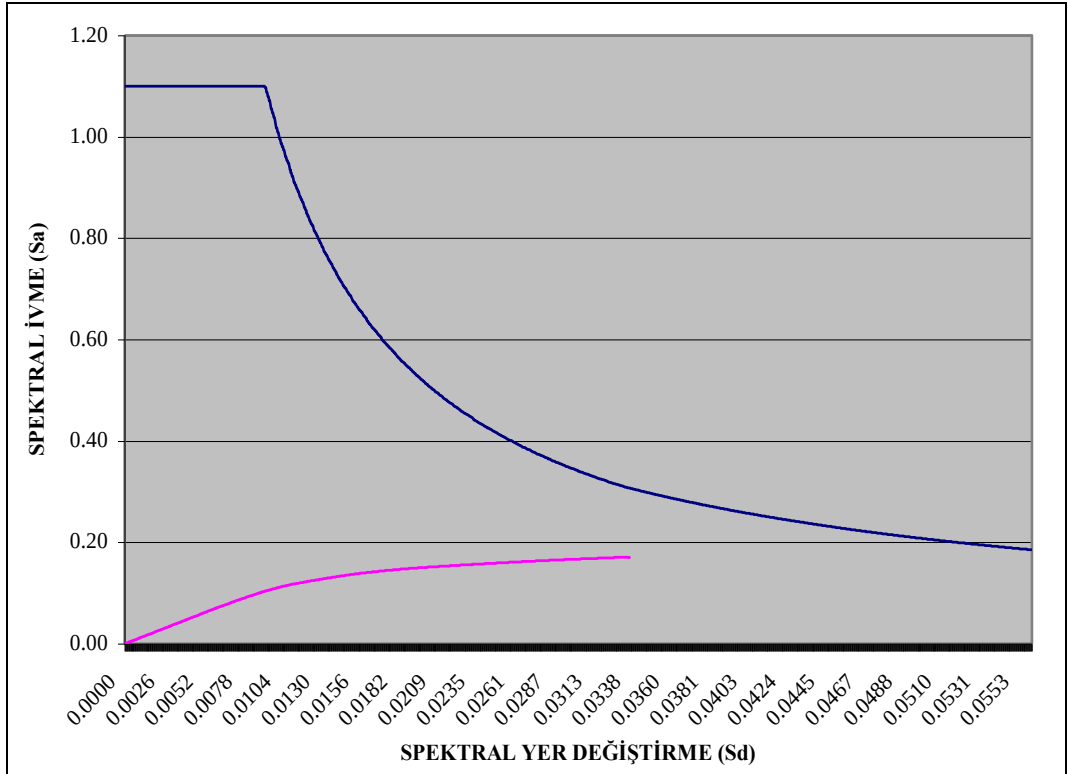


Şekil 4.15 %5 sönümlü talep spektrum eğrisi

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 $M_1^* = 49.83$, Formül 3.1'den $\Gamma_1 = 7.52$ ve Formül 3.4'den $\alpha_1 = 0.828$ hesaplanmıştır. Daha önce bulunan statik itme analizinin her adımına karşılık gelen taban kesme kuvveti ve tepe katı yer değiştirmesi Formül 3.5 ve Formül 3.6'dan yararlanılarak spektral ivme ve spektral yer değiştirmeye dönüştürülmüştür. Bu şekilde kapasite eğrisi kapasite spektrum eğrisine dönüştürülmüş ve Şekil 4.16'den gösterilmiştir. Daha önce elde edilen %5 sönümlü talep spektrum eğrisi ile kapasite spektrum eğrisi aynı grafik üzerinde çizilmiş ve Şekil 4.17'de gösterilmiştir.

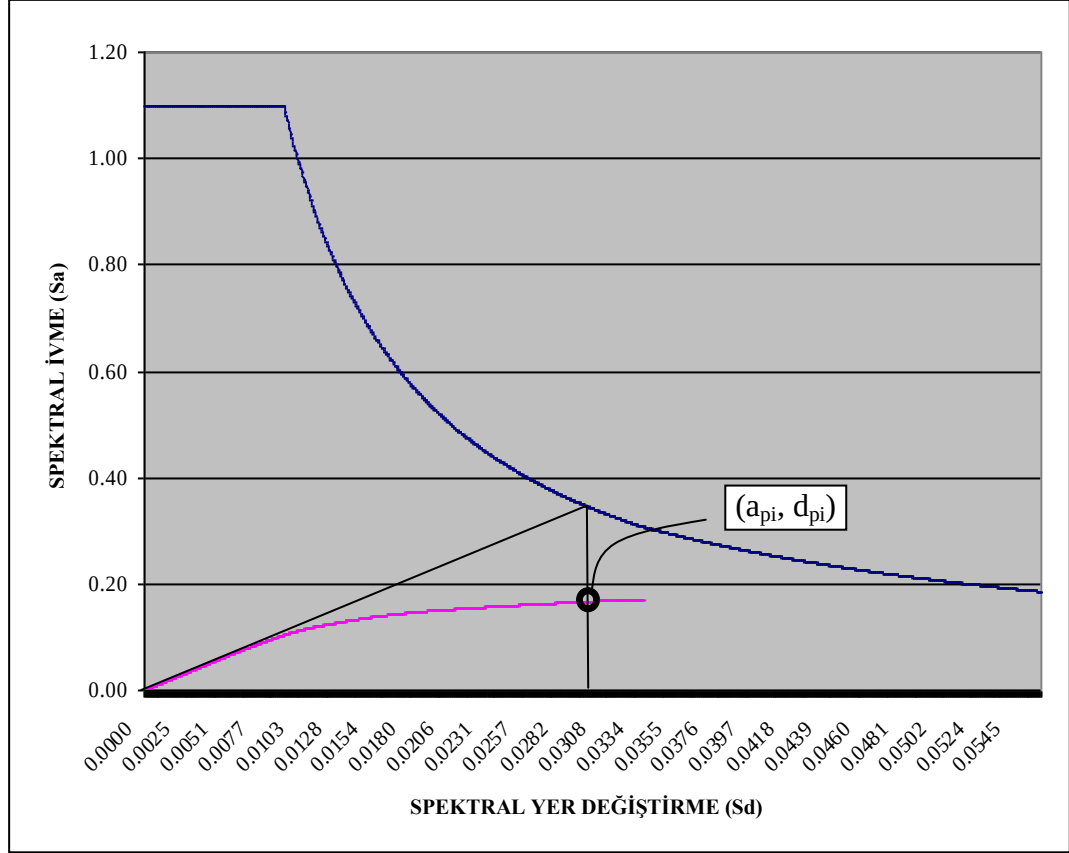


Şekil 4.16 Yapının X yönü için kapasite spektrum eğrisi



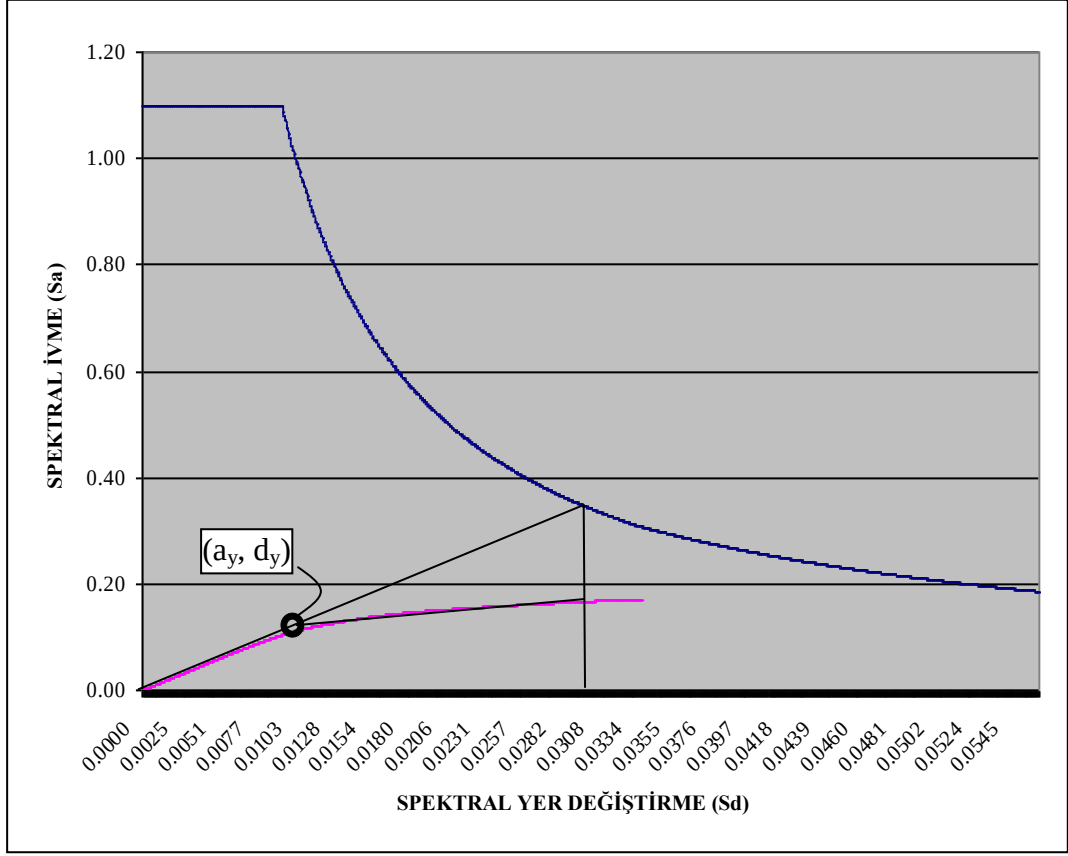
Şekil 4.17 %5 sönümlü talep spektrum eğrisi ve yapının X yönü için kapasite spektrum eğrisi

III. Adım : Tahmini bir başlangıç S_{api} , S_{dpi} performans noktası belirlendikten sonra kapasite spektrum eğrisinin lineer olan kısmı uzatılarak talep eğrisi ile kesiştirilmiştir. Bu kesişim noktasından kapasite spektrum eğrisi üzerine dik bir doğru çizilerek $S_{ap1} = 0.1668$, $S_{dp1} = 0.0302$ tahmini performans noktası bulunmuş ve Şekil 4.18’de gösterilmiştir.



Şekil 4.18 Tahmini performans noktası

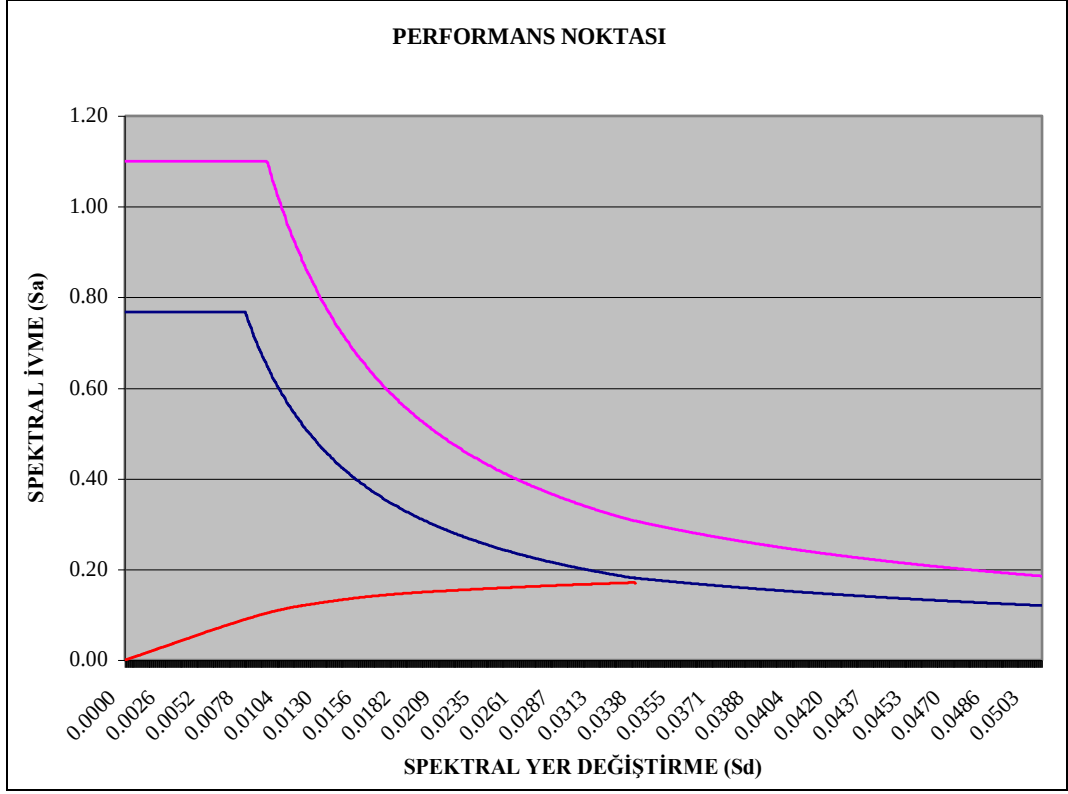
IV. Adım : Kapasite spektrum eğrisinin geliştirilmesindeki işlemler kullanılarak kapasite spektrum eğrisi, kırıklı kapasite spektrum eğrisine dönüştürülmüştür. Tahmini olarak bulunan performans noktasından başlayarak kapasite spektrum eğrisini kesip lineer olarak uzatılan doğruda bitecek şekilde bir doğru çizilmiştir. Bu doğrunun kapasite spektrum eğrisini kestiği noktanın sağında ve solunda bulunan, bu doğru ile kapasite spektrum eğri parçası arasında kalan alanlar tahmini olarak eşit hale getirilmiştir. Bu şekilde doğrular haline getirilmiş kapasite spektrumu elde edilmiş ve Şekil 4.19’den gösterilmiştir. Bu şekilde $S_{ay} = 0.1227$ ve $S_{dy} = 0.0112$ 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 $\kappa = 0.33$ okunmuştur. Formül 3.11 kullanılarak toplam sönüm oranı $\beta_{ef} = 0.1273$ hesaplanmıştır. Formül 3.12’de ve Formül 3.13’te bulunan toplam sönüm oranı yerine konularak spektral azaltma katsayıları $S_{RA} = 0.6980$ ve $S_{RV} = 0.7678$ hesaplanmıştır. Elde edilen spektral azaltma katsayıları kullanılarak %5 sönümlü talep spektrum eğrisi %13 sönümlü talep spektrum eğrisine indirgenmiş ve Şekil 4.20’da gösterilmiştir.

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

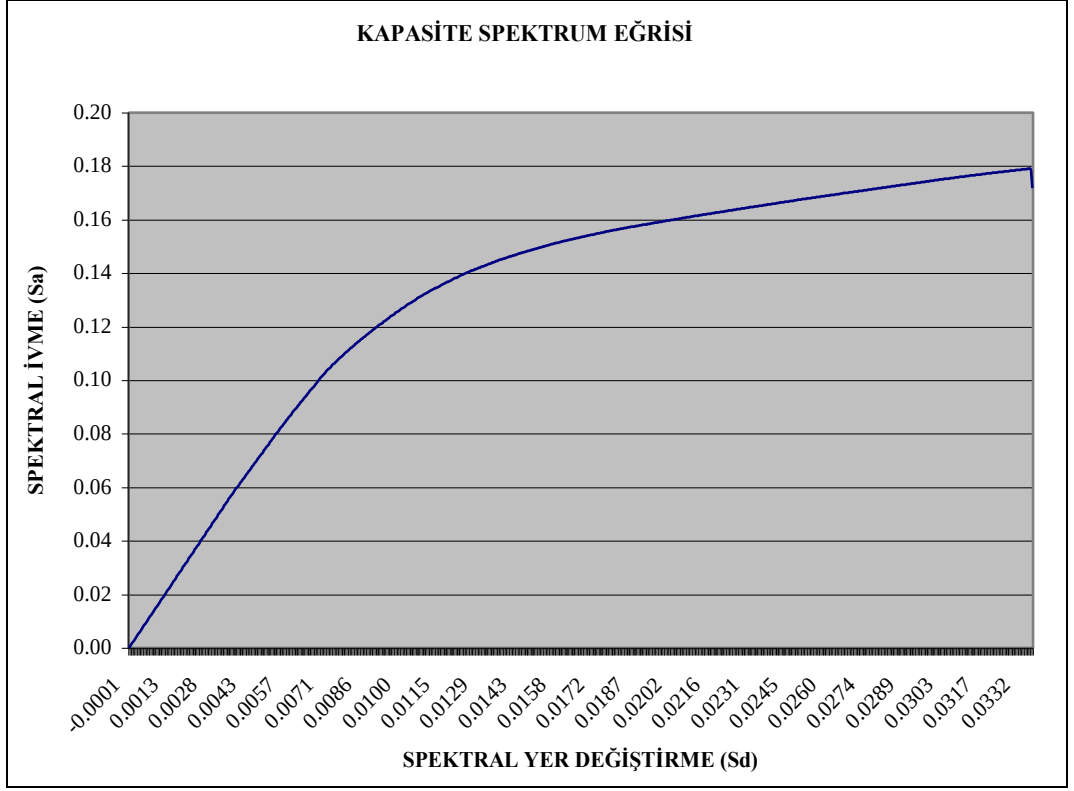


Şekil 4.20 İndirgenmiş talep spektrumu ve yapının X yönü için kapasite spektrum eğrisi

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 $M_1^* = 50.054$, Formül 3.1’den $\Gamma_1 = 8.404$ ve Formül 3.4’den $\alpha_1 = 0.832$ hesaplanmıştır. Daha önce bulunan statik itme analizinin her adımına karşılık gelen taban kesme kuvveti ve tepe katı yer değiştirmesi Formül 3.5 ve Formül 3.6’dan yararlanılarak spektral ivme ve spektral yer değiştirmeye dönüştürülmüştür. Bu şekilde kapasite eğrisi kapasite spektrum eğrisine dönüştürülmüş ve Şekil 4.21’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.



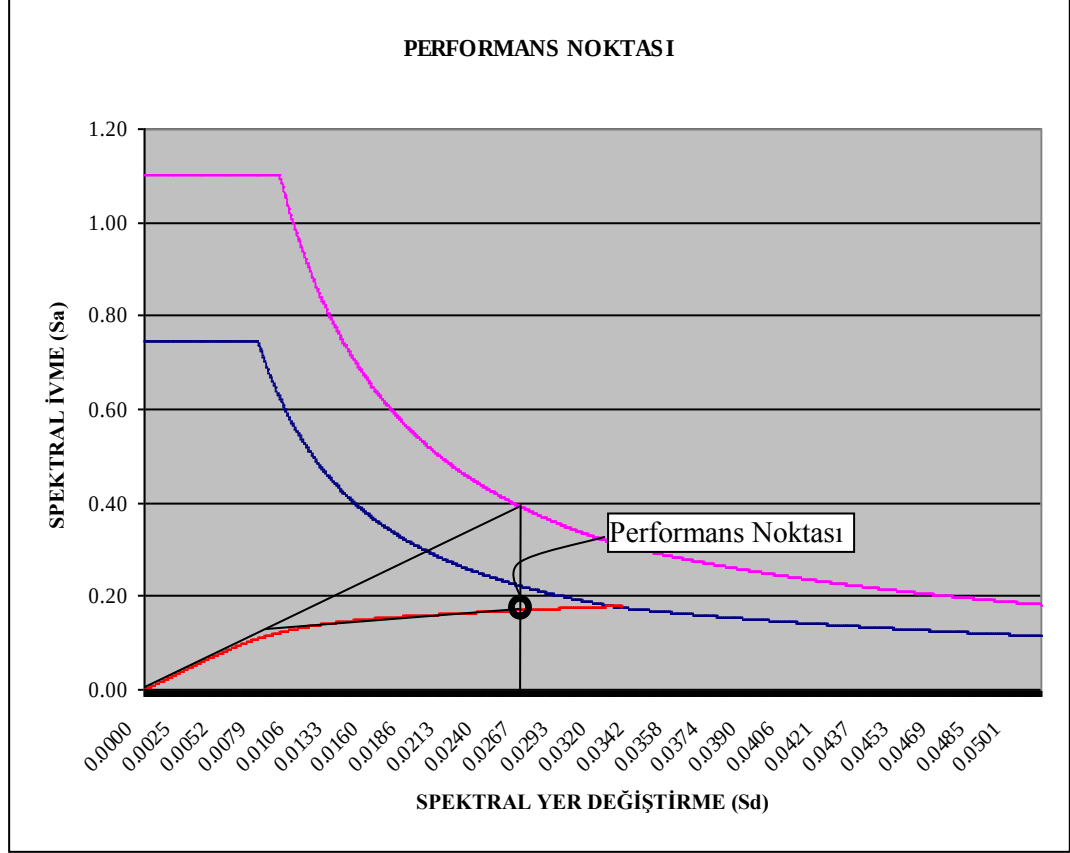
Şekil 4.21 Yapının Y yönü için kapasite spektrum eğrisi

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 $S_{ap1} = 0.1699$, $S_{dp1} = 0.0266$ tahmini performans noktası bulunmuş ve Şekil 4.22’de gösterilmiştir.

IV. Adım : Kapasite spektrum eğrisinin geliştirilmesindeki işlemler kullanılarak kapasite spektrum eğrisi, kırıklı kapasite spektrum eğrisine dönüştürülmüştür. Tahmini olarak bulunan performans noktasından başlayarak kapasite spektrum eğrisini kesip lineer olarak uzatılan doğrudaki 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 $S_{ay} = 0.1228$ ve $S_{dy} = 0.0085$ 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 değıştirme oranı $\kappa = 0.33$ okunmuştur. Formül 3.11 kullanılarak

toplam sönüm oranı $\beta_{ef} = 0.1352$ hesaplanmıştır. Formül 3.12’de ve Formül 3.13’te bulunan toplam sönüm oranı yerine konularak spektral azaltma katsayıları $S_{RA} = 0.6788$ ve $S_{RV} = 0.7529$ 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 noktası

VI. Adım : Kapasite spektrum eğrisi ile indirgenmiş talep spektrum eğrisinin kesim noktasındaki değerler $S_{ap} = 0.1785$ ve $S_{dp} = 0.0331$ performans noktasının değerleridir. Performans noktasının kabul edilebilirliği Bölüm 3.2.4.1’de belirtilen kriterlere göre kontrol edilmiş ve uygun olmadığı görülmüştür çünkü yapının bu yönde deprem kuvvetine karşı dayanımı yetersizdir.

$$0,95 \cdot S_{dpi} < S_{dp} < 1.05 \cdot S_{dpi} \Rightarrow 0.0253 < 0.0331 < 0.0279$$

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, olması istenilen değerlerin altındadır. Olması beklenen depremden dolayı oluşacak taban kesme kuvvetini

karşılayamadan göçme durumuna gelmiştir. Yapının deprem kuvvetine karşı dayanımını artırmak için yapı “X” ve “Y” yönlerinde güçlendirilmelidir.

4.10 Yapının Güçlendirilmesi

Yapılan analizler ve deprem güvenliğinin tahkiki sonucu yapının her iki yönde de depreme karşı dayanımının az olduğu belirlenmiş ve deprem güvenliğinin artırılması için güçlendirilmesine karar verilmiştir. Yapıyı güçlendirmek için beş adet betonarme perde yapılmıştır. Bunlardan üç tanesi “X” yönünde, iki tanesi “Y” yönünde konulmuştur. Betonarme perdeler iki tip olarak tasarlanmıştır. Birinci tip betonarme perdeler yapıda var olan iki kolon arasına yapılmıştır. Her iki kolonun dört yanı mantolanarak başlık bölgesi olarak tasarlanmış ve perde ile birlikte çalışması sağlanmıştır. İkinci tip betonarme perde tasarlanırken yapının taşıyıcı sisteminin konumundan dolayı bir ucundaki başlık bölgesi yapıda var olan bir kolonun dört yanı mantolanarak yapılmış, diğer ucundaki başlık bölgesi daha sonradan tasarlanıp yapılmış ve perde ile birlikte çalışması sağlanmıştır. Yapının “X” yönünün güçlendirilmesi için tasarlanan ve yapılan betonarme perdelerle ilgili detaylar EK-B’de yer alan Şekil B.6, Şekil B.7 ve Şekil B.8’de verilmiştir. Yapının “Y” yönünün güçlendirilmesi için tasarlanan ve yapılan betonarme perdelerle ilgili detaylar EK-B’de yer alan Şekil B.9 ve Şekil B.10’da verilmiştir.

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

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

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

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

Tablo 4.6 Güçlendirilen yapının kat ağırlıkları

Kat No	Toplam Sabit Yüğü (ton)	Toplam Hareketli Yüğü (ton)	i. Kat Ağırlığı (ton)	w _i
3. Kat	118.713	24.091	125.94	
2. Kat	154.86	29.362	163.669	
1. Kat	158.505	29.362	167.313	
Zemin Kat	166.103	29.362	174.912	

Bölüm 4.3.2’de izlenilen adımlar ve yapılan hesaplamalar güçlendirilmiş yapı için de yapılmıştır. Taban kesme kuvveti $V_b = 157.958$ 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 Yüğü (F _i) (ton)
3. Kat	52.136
2. Kat	51.179
1. Kat	35.375
Zemin Kat	19.268

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	12.838	293.432
2. Kat	16.684	381.338
1. Kat	17.055	389.829
Zemin Kat	17.830	407.534

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	0.3035	0.2542

Tablo 4.10 Güçlendirilen yapının kat ötelenmeleri

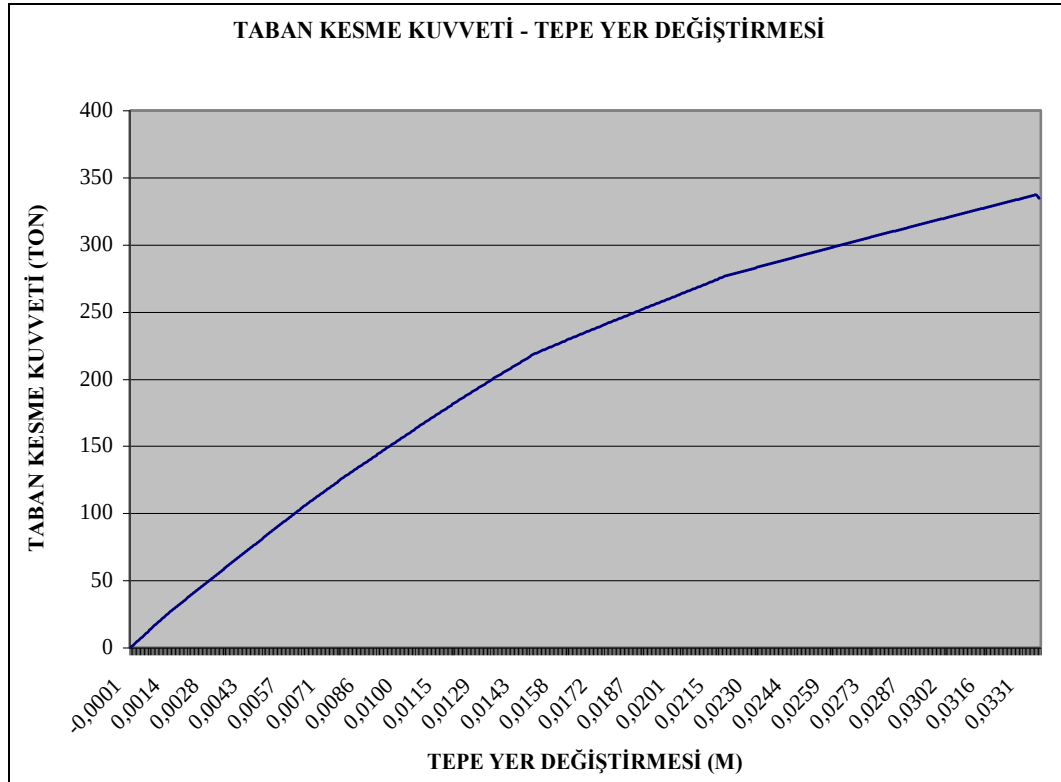
Kat No	ϕ_{Xi}	ϕ_{Yi}
3. Kat	0.1732	0.2050
2. Kat	0.1204	0.1404
1. Kat	0.0675	0.0775
Zemin Kat	0.0239	0.0270

4.10.3 Güçlendirilmiş Yapının Deprem Güvenliğinin Tahkiki

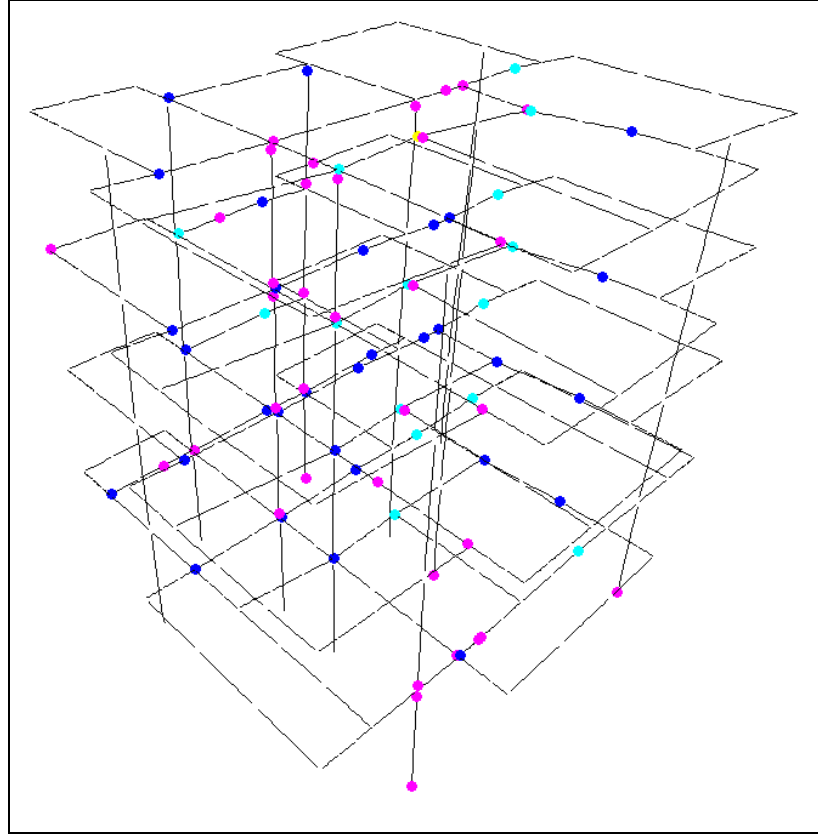
Yapılan güçlendirme çalışmasının yeterli olup olmadığını, güçlendirilmiş yapının deprem güvenliğini belirlemek için statik itme analizi yapılmıştır. Statik itme analizi Bölüm 4.5’te anlatılan adımlar sırasıyla uygulanarak yapının her iki yönü için yapılmıştır. Yapılan analiz sonucunda herbir adım için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

4.10.3.1 Yapının “X” Yönü İçin Analiz Sonuçları

Yapılan statik itme analizi sonucunda yapının göçme durumundaki taban kesme kuvveti (V_b) ve tepe yer değiştirmesi (Δ_N) bulunmuştur. Taban kesme kuvveti ile tepe yer değiştirmesi arasındaki ilişki Şekil 23’te gösterilmiştir. Yapının “X” yönünde taşıyabildiği taban kesme kuvveti yani “X” yönündeki göçme yükü $V_{göçme} = 337.226$ ton, bu göçme yükü sonucu oluşan tepe yer değiştirmesi $\Delta_N = 0.0335$ m dir. Yapının yük parametresi $P_{göçme} = 2.135$ dir. Statik itme analizi sonucunda yapıda 36 tanesi hemen kullanım performans seviyesinde (B-IO), 32 tanesi kontrol edilebilir hasar aralığında (IO-LS), 15 tanesi sınırlı güvenlik aralığında (LS-CP) plastik mafsallar oluşarak yapı göçme durumuna ulaşmıştır. Plastik mafsalların yerleri Şekil 24’de gösterilmiştir.



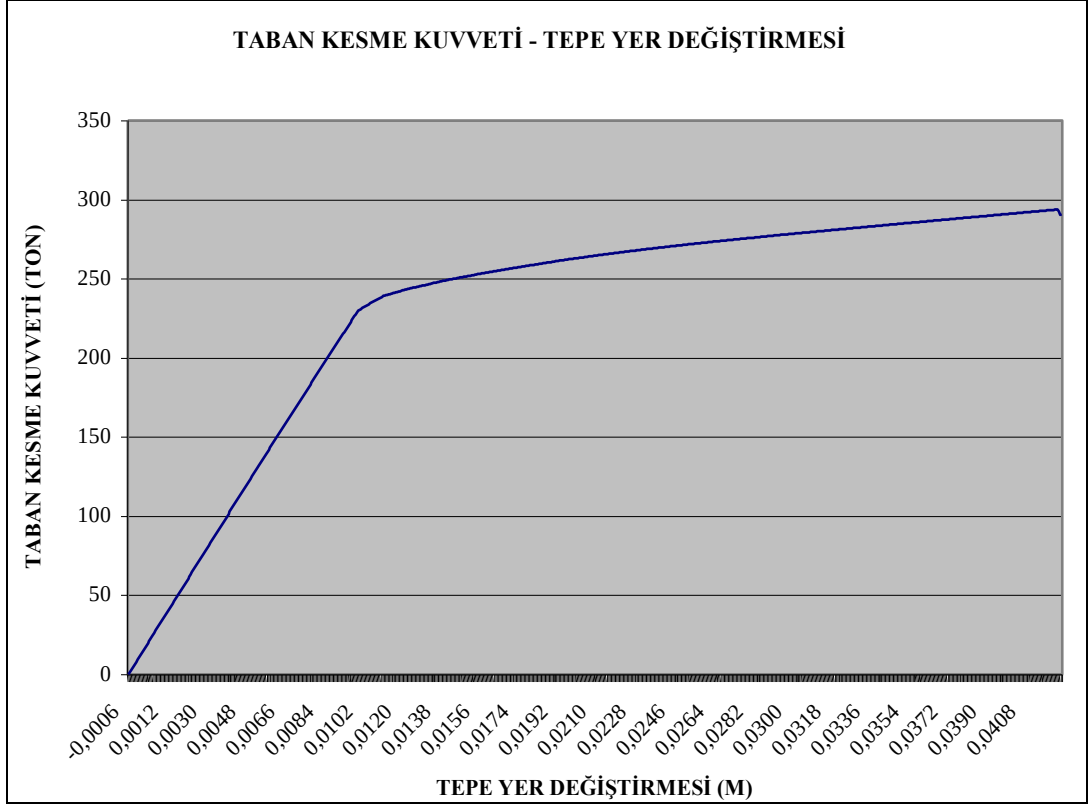
Şekil 4.23 Güçlendirilmiş yapının X yönü için kapasite eğrisi



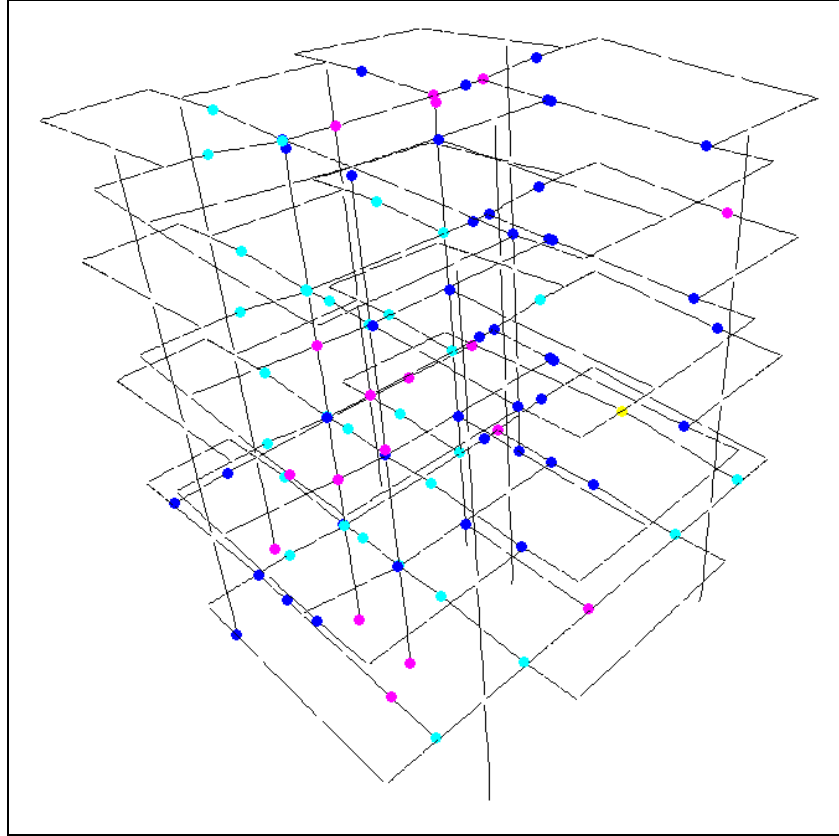
Şekil 4.24 Güçlendirilmiş yapının X yönü için göçme durumunda oluşan plastik mafsalların yerleri

4.10.3.2 Yapının “Y” Yönü İçin Analiz Sonuçları

Yapılan statik itme analizi sonucunda yapının göçme durumundaki taban kesme kuvveti (V_b) ve tepe yer değiştirmesi (Δ_N) bulunmuştur. Taban kesme kuvveti ile tepe yer değiştirmesi arasındaki ilişki Şekil 25’te gösterilmiştir. Yapının “Y” yönündeki göçme yükü $V_{göçme} = 293.80$ ton, bu göçme yükü sonucu oluşan tepe yer değiştirmesi $\Delta_N = 0.0423$ m dir. Yapının yük parametresi $P_{göçme} = 1.86$ dır. Statik itme analizi sonucunda yapıda 19 tanesi hemen kullanım performans seviyesinde (B-IO), 43 tanesi kontrol edilebilir hasar aralığında (IO-LS), 32 tanesi sınırlı güvenlik aralığında (LS-CP) plastik mafsallar oluşarak yapı göçme durumuna ulaşmıştır. Plastik mafsalların yerleri Şekil 26’da gösterilmiştir.



Şekil 4.25 Güçlendirilmiş yapının Y yönü için kapasite eğrisi



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

4.10.4 Güçlendirilmiş Yapıya Ait Performans Noktalarının Bulunması

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

4.10.4.1 Güçlendirilmiş Yapının “X” Yönüne Ait Performans Noktasının Bulunması

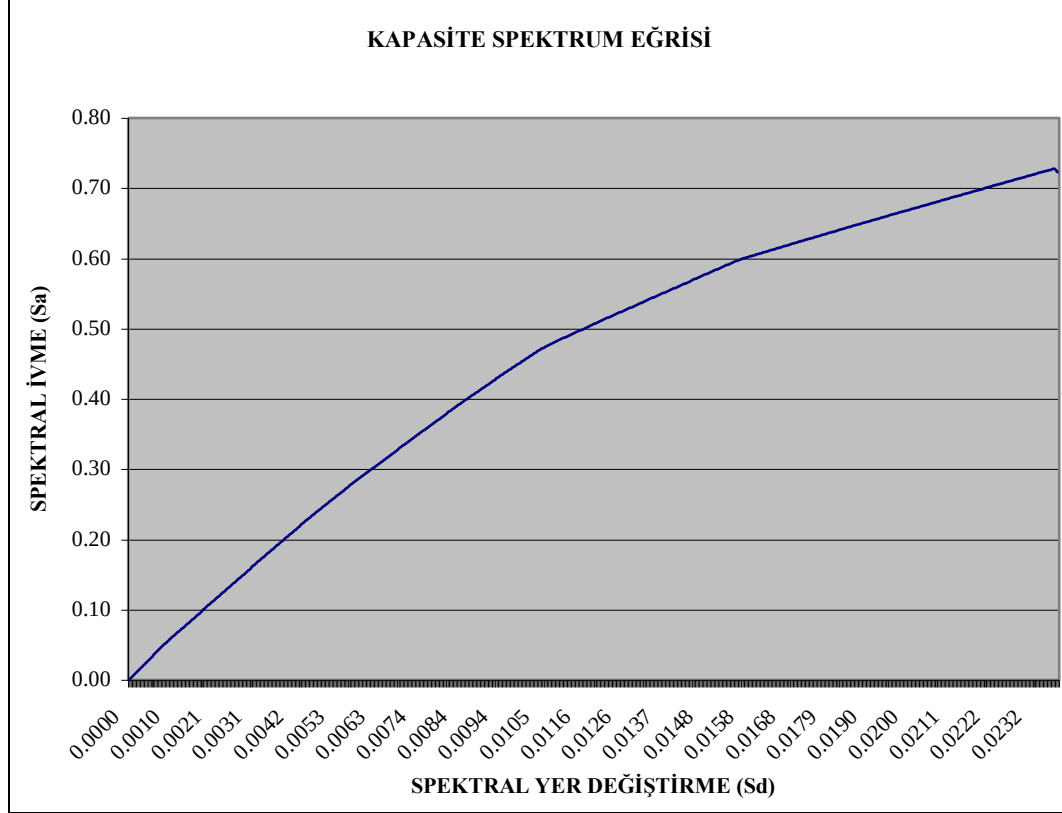
I. Adım : Yapıya ait %5 sönümlü talep spektrum eğrisi çizilir. % 5 sönümlü talep spektrum eğrisinin çiziminde yapının güçlendirilmesinin bir etkisi olmadığı için daha önce çizilen, Şekil 4.15’te gösterilen %5 sönümlü talep spektrumu kullanılmıştır.

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 $M_1^* = 47.226$, Formül 3.1’den $\Gamma_1 = 8.128$ ve Formül 3.4’den $\alpha_1 = 0.733$ hesaplanmıştır. Daha önce bulunan statik itme analizinin her adımına karşılık gelen taban kesme kuvveti ve tepe katı yer değiştirmesi Formül 3.5 ve Formül 3.6’dan yararlanılarak spektral ivme ve spektral yer değiştirmeye dönüştürülmüştür. Bu şekilde kapasite eğrisi kapasite spektrum eğrisine dönüştürülmüş ve Şekil 4.27’de gösterilmiştir. Daha önce elde edilen %5 sönümlü talep spektrum eğrisi ile kapasite spektrum eğrisi aynı grafik üzerinde çizilmiş ve Şekil 4.28’de gösterilmiştir.

III. Adım : Tahmini bir başlangıç S_{aip} , S_{dpi} performans noktası belirlendikten sonra kapasite spektrum eğrisinin lineer olan kısmı uzatılarak talep eğrisi ile kesiştirilmiştir. Bu kesişim noktasından kapasite spektrum eğrisi üzerine dik bir doğru çizilerek $S_{ap1} = 0.5805$, $S_{dp1} = 0.0149$ tahmini performans noktası bulunmuştur ve Şekil 4.28’de gösterilmiştir.

IV. Adım : Kapasite spektrum eğrisinin geliştirilmesindeki işlemler kullanılarak kırıklı kapasite spektumu haline dönüştürülmesi. Tahmini olarak bulunan performans noktasından başlayarak kapasite spektrum eğrisini kesip lineer olarak uzatılan doğruda bitecek şekilde bir doğru çizilmiştir. Bu doğrunun kapasite spektrum eğrisini kestiği noktanın sağında ve solunda bulunan, bu doğru ile kapasite spektrum eğri parçası arasında kalan alanlar tahmini olarak eşit hale getirilmiştir. Bu şekilde

doğrular haline getirilmiş kapasite spektrumu elde edilmiş ve Şekil 4.28’de gösterilmiştir. Bu şekilde $S_{ay} = 0.3977$ ve $S_{dy} = 0.0079$ değerleri okunmuştur.



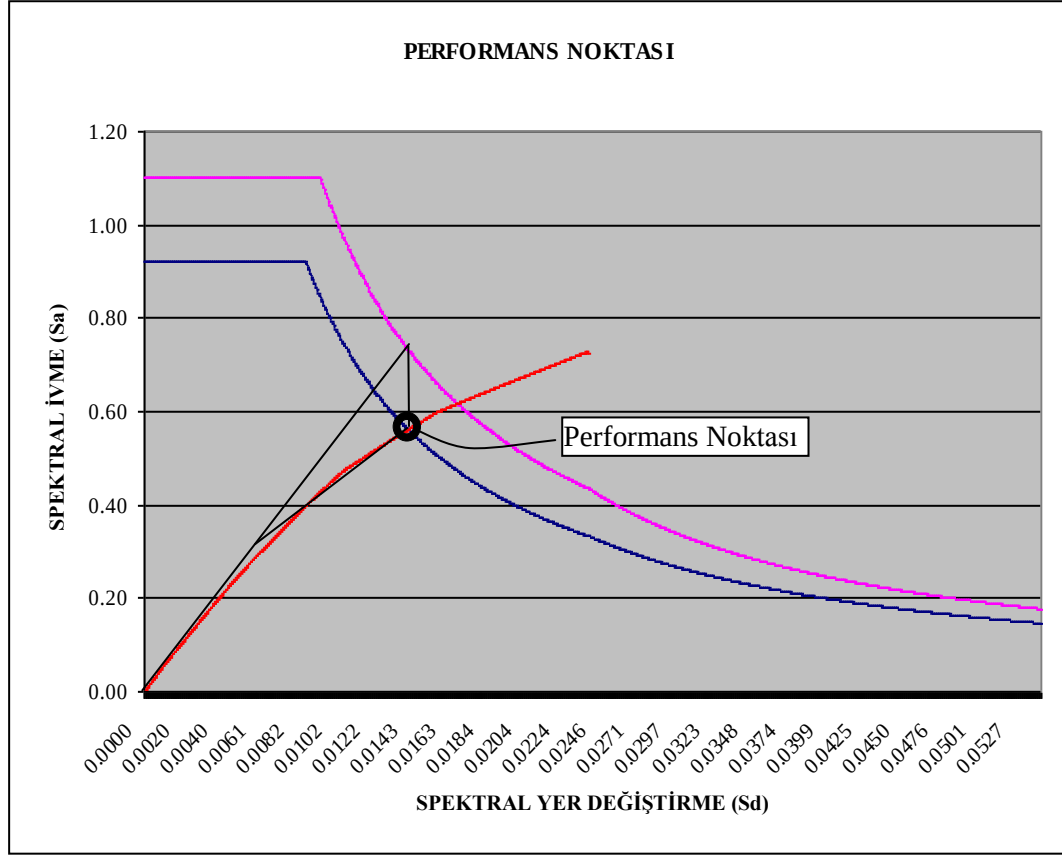
Şekil 4.27 Güçlendirilmiş yapının X yönü için kapasite spektrum eğrisi

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 değıştirme oranı $\kappa = 0.33$ okunmuştur. Formül 3.11 kullanılarak toplam sönüm oranı $\beta_{ef} = 0.0826$ hesaplanmıştır. Formül 3.12’de ve Formül 3.13’te bulunan toplam sönüm oranı yerine konularak spektral azaltma katsayıları $S_{RA} = 0.8369$ ve $S_{RV} = 0.8754$ hesaplanmıştır. Elde edilen spektral azaltma katsayıları kullanılarak %5 sönümlü talep spektrum eğrisi %8.3 sönümlü talep spektrum eğrisine indirgenmiş ve Şekil 4.28’de gösterilmiştir.

VI. Adım : Kapasite spektrum eğrisi ile indirgenmiş talep spektrum eğrisinin kesim noktasındaki değerler $S_{ap} = 0.56474$ ve $S_{dp} = 0.014277$ performans noktasının değerleridir. Performans noktasının kabul edilebilirliği Bölüm 3.2.4.1’de belirtilen kritere göre kontrol edilmiş ve uygun olduğu görülmüştür.

$$0,95 * S_{dpi} < S_{dp} < 1.05 * S_{dpi} \Rightarrow 0.0142386 < 0.014277 < 0.0157374$$

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

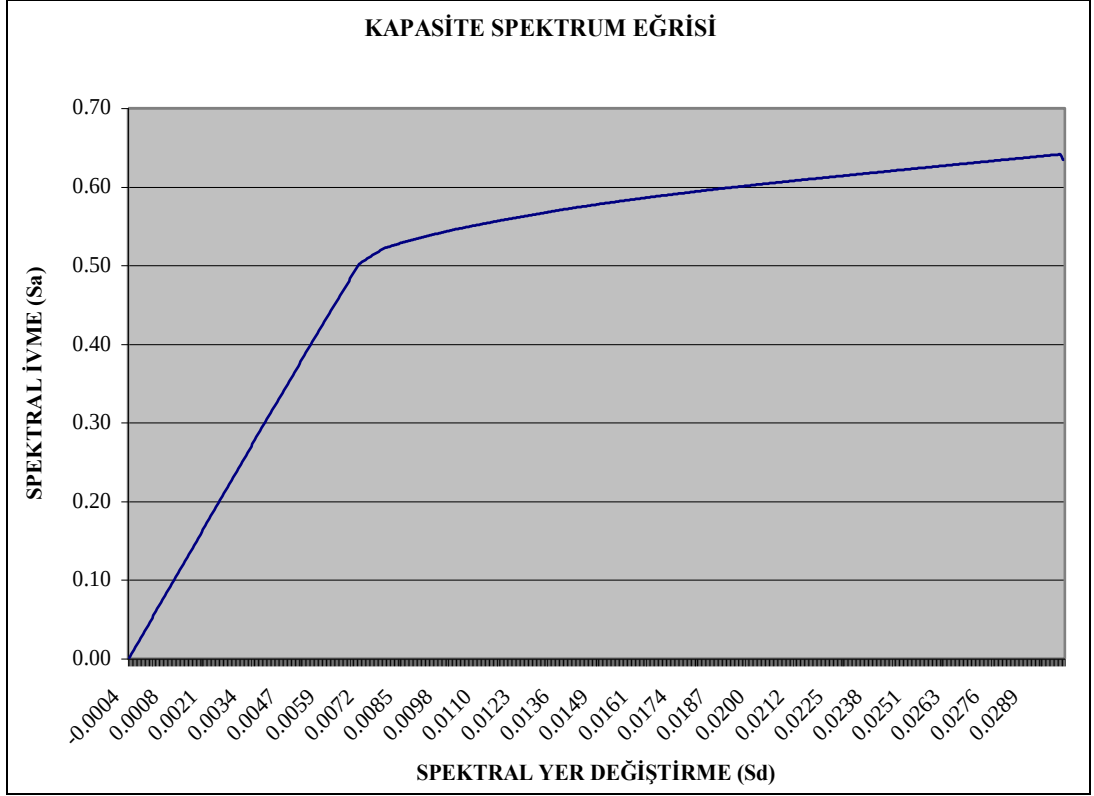


Şekil 4.28 Güçlendirilmiş yapının X yönü için performans noktası

4.10.4.2 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 $M_1^* = 46.696$, Formül 3.1'den $\Gamma_1 = 6.890$ ve Formül 3.4'den $\alpha_1 = 0.725$ hesaplanmıştır. Daha önce bulunan statik itme analizinin her adımına karşılık gelen taban kesme kuvveti ve tepe katı yer değiştirmesi Formül 3.5 ve Formül 3.6'dan yararlanılarak spektral ivme ve spektral yer değiştirmeye dönüştürülmüştür. Bu şekilde kapasite eğrisi kapasite spektrum eğrisine dönüştürülmüş ve Şekil 4.29'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.



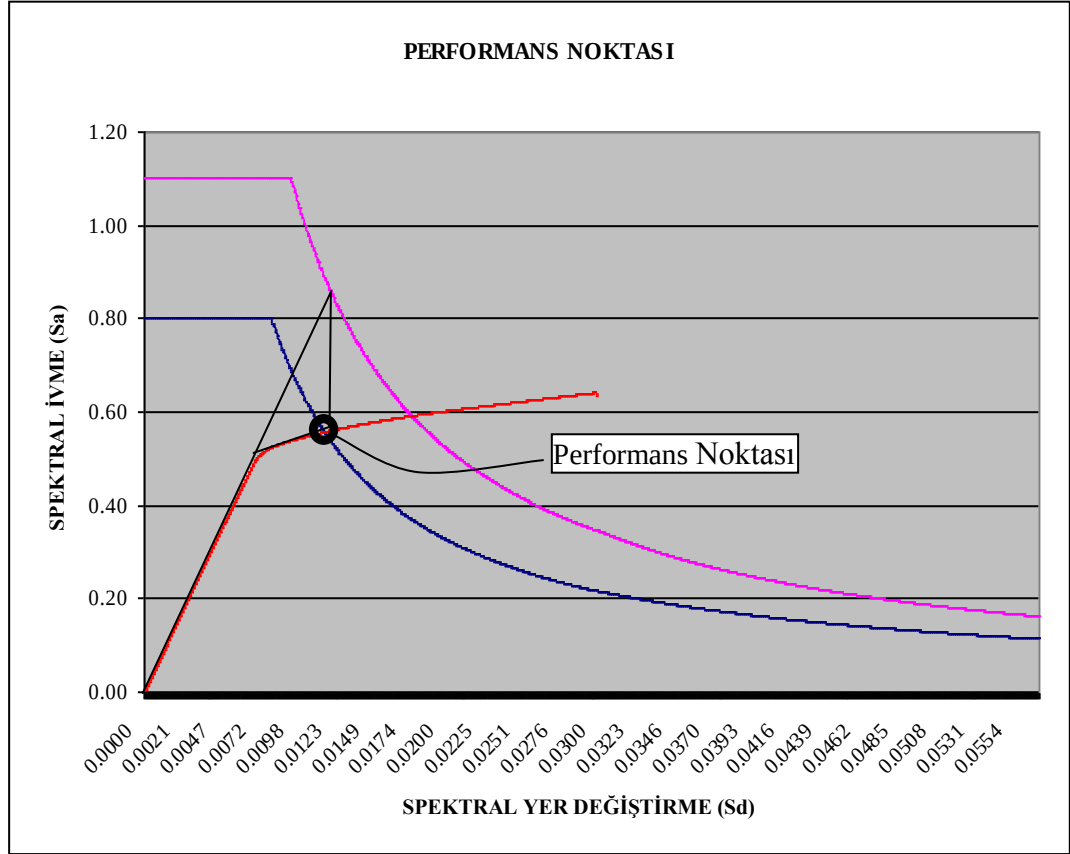
Şekil 4.29 Güçlendirilmiş yapının Y yönü için kapasite spektrum eğrisi

III. Adım : Tahmini bir başlangıç S_{api} , S_{dpi} performans noktası belirlendikten sonra kapasite spektrum eğrisinin lineer olan kısmı uzatılarak talep eğrisi ile kesiştirilmiştir. Bu kesişim noktasından kapasite spektrum eğrisi üzerine dik bir doğru çizilerek $S_{ap1} = 0.5592$, $S_{dp1} = 0.0119$ tahmini performans noktası bulunmuştur ve Şekil 4.30'da gösterilmiştir.

IV. Adım : Kapasite spektrum eğrisinin geliştirilmesindeki işlemler kullanılarak kırıklı kapasite spektumu haline dönüştürülmesi. Tahmini olarak bulunan performans noktasından başlayarak kapasite spektrum eğrisini kesip lineer olarak uzatılan doğruda bitecek şekilde bir doğru çizilmiştir. Bu doğrunun kapasite spektrum eğrisini kestiği noktanın sağında ve solunda bulunan, bu doğru ile kapasite spektrum eğri parçası arasında kalan alanlar tahmini olarak eşit hale getirilmiştir. Bu şekilde doğrular haline getirilmiş kapasite spektumu elde edilmiş ve Şekil 4.30'da gösterilmiştir. Bu şekilde $S_{ay} = 0.519$ ve $S_{dy} = 0.0074$ değerleri okunmuştur.

V. Adım : İndirgenmiş talep spektumu 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 $\beta_{ef} = 0.116$ hesaplanmıştır. Formül 3.12'de ve Formül 3.13'te

bulunan toplam sönüm oranı yerine konularak spektral azaltma katsayıları $S_{RA} = 0.7279$ ve $S_{RV} = 0.7909$ hesaplanmıştır. Elde edilen spektral azaltma katsayıları kullanılarak %5 sönümlü talep spektrum eğrisi %12 sönümlü talep spektrum eğrisine indirgenmiş ve Şekil 4.30'da gösterilmiştir.



Şekil 4.30 Güçlendirilmiş yapının Y yönü için performans noktası

VI. Adım : Kapasite spektrum eğrisi ile indirgenmiş talep spektrum eğrisinin kesim noktasındaki değerler $S_{ap} = 0.559222$ ve $S_{dp} = 0.011966$ performans noktasının değerleridir. Performans noktasının kabul edilebilirliği Bölüm 3.2.4.1'de belirtilen kritere göre kontrol edilmiş ve uygun olduğu görülmüştür.

$$0,95 * S_{dpi} < S_{dp} < 1.05 * S_{dpi} \Rightarrow 0.0113677 < 0.011966 < 0.012564$$

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

5. SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI ve DEĞERLENDİRİLMESİ

Dinar İlçesinde 1975 Deprem Yönetmeliğine göre projelendirilip inşa 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 ulaşarak yıkılabilir. Yapının mevcut durumda deprem güvenliği yetersizdir. Bu sonuçları elde etmemizi hazırlayan başlıca nedenler yani yapının depreme karşı dayanımının yetersiz oluşunun başlıca nedenleri aşağıda kısaca açıklanmıştır:

- Yapının projelendirme aşamasında taşıyıcı sistemi 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 beton ve donatı kalitesi artırılarak analiz tekrarlanmıştır ve çok daha iyi fakat olması istenilen değerlerin altında sonuçlar elde edilmiştir. Bunun nedeni özellikle donatı kalitesi artırılarak olması gereken minimum donatı şartının sağlanmış olmasıdır.

Bu sonuçlardan sonra mevcut yapının taşıyıcı sisteminin tasarımında ve boyutlandırılmasında herhangi bir değişiklik yapılmadan sadece kiriş ve kolon donatıları 1975 Deprem Yönetmeliğine göre yeniden hesaplanıp düzenlenmiştir.

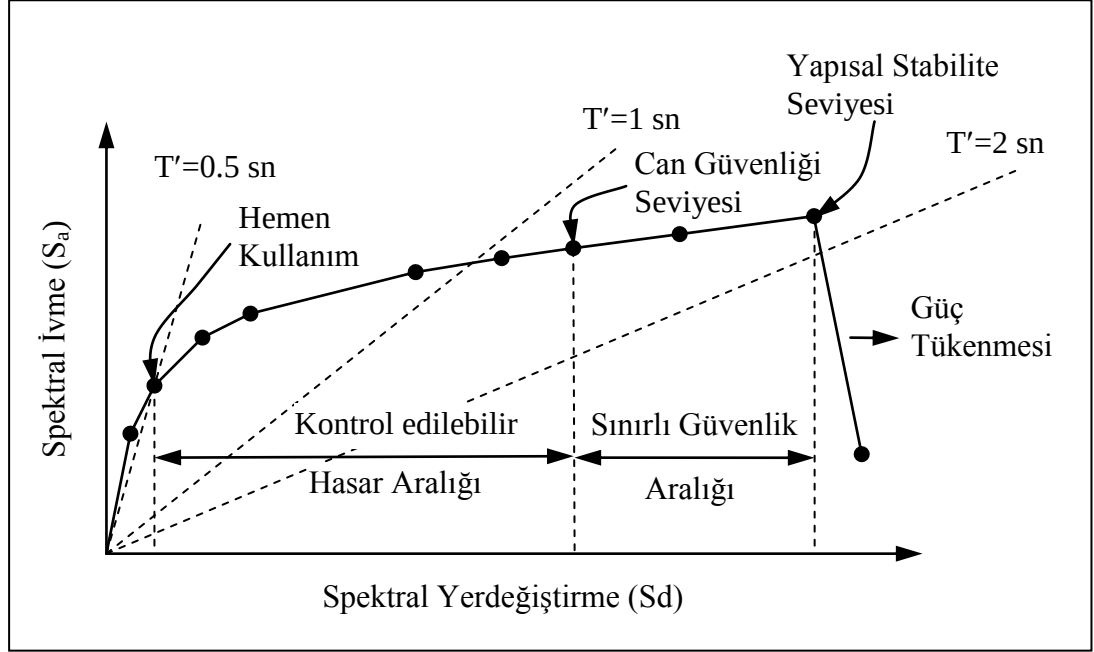
Yapının bu yönetmeliğe göre yeniden projelendirilmesinin nedeni yapı doğru projelendirilmiş olsaydı statik itme analizi sonucunda günümüz kriterlerine, değerlerine ulaşp ulaşamayacağını kontrol etmek içindir. Çünkü günümüzde bu yönetmeliğe göre inşa edilmiş birçok mevcut yapı vardır ve bu yapıların deprem güvenliği kontrolünün gerekli olup olmadığı konusunda ışıık 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 inşa edilmiş yapıların deprem güvenliklerinin kontrol edilmesi gerektiğini göstermektedir.

Deprem güvenliği yetersiz olan yapıda güçlendirme çalışması yapılmıştır ve yapı betonarme perdelerle takviye edilmiştir. Güçlendirilen yapı yeniden modellenerek statik itme analizi yapılmış, göçme yükü parametresi ve performans noktası bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar olması istenilen değerlerin üstündedir ve yapının deprem güvenliği sağlanmıştır.

1975 Deprem Yönetmeliğine göre kiriş ve kolon donatıları yeniden düzenlenen yapının güçlendirilmeden önceki ve sonraki performans noktalarının karşılaştırılması ve açıklanması Şekil 5.1 yardımıyla yapılmıştır. Yapının X yönü için güçlendirilmeden önceki halinde performans noktasına ulaşlamamıştır. Çünkü yapının bu yöndeki rijitliği yetersizdir ve indirgenmiş talep spektrumu ile kapasite spektrumu kesişmemektedir. Güçlendirmeden sonra performans noktası bulunmuştur ve koordinatları $S_a = 0.564738$, $S_d = 0.014277$ dir. Bu değerlere göre bulunan periyot $T = 0.99902$ sn'dir. Bulunan periyot değeri yapının kontrol edilebilir hasar aralığında olduğunu göstermektedir. Yapının Y yönü için güçlendirmeden önceki halinde performans noktası bulunmuştur ve koordinatları $S_a = 0.178538$, $S_d = 0.0331557$ dir. Bu değerlere göre bulunan periyot $T = 2.70776$ sn'dir. Bulunan periyot değeri yapının yapısal stabilite seviyesini aştığını yani göçtüğünü göstermektedir. Güçlendirmeden sonra performans noktası bulunmuştur ve koordinatları $S_a = 0.5592$, $S_d = 0.011966$ dir. Bu değerlere göre bulunan periyot $T = 0.9191$ sn'dir. Bulunan periyot değeri yapının kontrol edilebilir hasar aralığında olduğunu göstermektedir.

Yapılan hesaplamalar ve elde edilen sonuçlar ışığında görülüyor ki yapılar yürürlükte olan yönetmeliklere uygun şekilde projelendirilip inşa edilirse,

güçlendirilirse ve bu aşamalarda gerekli kontroller yapılırsa tasarım depremi altında göçme meydana gelmeyecek ve can kaybı önlenmiş olacaktır.



Şekil 5.1 Taşıyıcı sistemde kapasite spektrum eğrisi

KAYNAKLAR

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

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

Kiriş No	Kiriş Üstüne Etkiyen yükler			
	Kirişin Kendi Ağırlığından Dolayı Oluşan Yük (t/m)	Duvar Ağırlığından Dolayı Oluşan Yük (t/m)	Döşeme Ağırlığından Dolayı Oluşan Yük (t/m)	Kirişin Üzerine Etkiyen Toplam Yayılı Yük (t/m)
1	0.190	0.270	0.832	1.292
2	0.190	0.270	0.325	0.785
3	0.190	0.270	0.843	1.303
4	0.190	0.270	0.843	1.303
5	0.190	0.270	0.618	1.078
6	0.190	-	1.450	1.640
7	0.190	-	0.715	0.905
8	0.190	-	1.580	1.770
9	0.190	0.270	0.843	1.303
10	0.190	-	1.466	1.656
11	0.190	-	1.700	1.890
12	0.190	0.270	0.964	1.424
13	0.190	0.270	0.848	1.308
14	0.190	-	1.879	2.069
15	0.190	-	1.421	1.611
16	0.190	0.270	0.964	1.424
17	0.190	0.270	0.964	1.424
18	0.190	0.270	1.031	1.491
19	0.190	0.270	0.412	0.872
20	0.190	0.270	0.650	1.110
21	0.190	0.270	0.758	1.218
22	0.190	0.270	0.758	1.218
23	0.190	0.270	0.823	1.283
24	0.190	0.270	0.823	1.283
25	0.190	-	1.246	1.436
26	0.190	-	0.997	1.187
27	0.190	-	1.235	1.425
28	0.190	0.270	0.488	0.948
29	0.190	-	1.101	1.291
30	0.190	-	1.361	1.551
31	0.190	-	1.430	1.620
32	0.190	-	1.668	1.858
33	0.190	0.270	0.823	1.283
34	0.190	0.270	0.776	1.236

Kiriş No	Kiriş Üstüne Etkiyen yükler			
	Kirişin Kendi Ağırlığından Dolayı Oluşan Yük (t/m)	Duvar Ağırlığından Dolayı Oluşan Yük (t/m)	Döşeme Ağırlığından Dolayı Oluşan Yük (t/m)	Kirişin Üzerine Etkiyen Toplam Yayıllı Yük (t/m)
35	0.190	0.270	0.613	1.073
36	0.190	0.270	0.845	1.305
37	0.190	0.705	0.832	1.727
38	0.190	0.705	0.325	1.220
39	0.190	0.705	0.843	1.738
40	0.190	0.705	0.843	1.738
41	0.190	0.705	0.618	1.513
42	0.190	0.588	1.450	2.227
43	0.190	0.588	0.715	1.493
44	0.190	0.705	1.580	2.475
45	0.190	0.705	1.190	2.085
46	0.190	0.588	1.466	2.243
47	0.190	0.588	1.700	2.478
48	0.190	0.705	1.310	2.205
49	0.190	0.705	1.195	2.090
50	0.190	0.588	1.879	2.657
51	0.190	0.588	1.421	2.199
52	0.190	0.705	2.244	3.139
53	0.190	0.705	0.964	1.859
54	0.190	0.705	1.031	1.926
55	0.190	0.705	0.412	1.307
56	0.190	0.705	0.650	1.545
57	0.190	0.705	0.758	1.653
58	0.190	0.705	0.758	1.653
59	0.190	0.705	1.863	2.758
60	0.190	0.705	1.863	2.758
61	0.190	0.588	1.246	2.023
62	0.190	0.588	0.997	1.774
63	0.190	0.588	1.235	2.013
64	0.190	0.705	0.488	1.383
65	0.190	0.705	1.101	1.996
66	0.190	0.588	1.361	2.139
67	0.190	0.588	1.430	2.208
68	0.190	0.588	1.668	2.446
69	0.190	0.705	1.250	2.145
70	0.190	0.705	1.816	2.711
71	0.190	0.705	0.613	1.508
72	0.190	0.705	0.845	1.740
73	0.265	0.660	0.832	1.757
74	0.265	0.660	0.325	1.250
75	0.265	0.660	0.843	1.768
76	0.265	0.660	0.843	1.768
77	0.265	0.660	0.618	1.543
78	0.240	0.563	1.450	2.252

Kiriş No	Kiriş Üstüne Etkiyen yükler			
	Kirişin Kendi Ağırlığından Dolayı Oluşan Yük (t/m)	Duvar Ağırlığından Dolayı Oluşan Yük (t/m)	Döşeme Ağırlığından Dolayı Oluşan Yük (t/m)	Kirişin Üzerine Etkiyen Toplam Yayıllı Yük (t/m)
79	0.240	0.563	0.715	1.518
80	0.265	0.660	1.580	2.480
81	0.265	0.660	1.190	2.115
82	0.240	0.563	1.466	2.268
83	0.240	0.563	1.700	2.503
84	0.265	0.660	1.310	2.235
85	0.265	0.660	1.195	2.120
86	0.240	0.563	1.879	2.682
87	0.240	0.563	1.421	2.224
88	0.265	0.660	2.244	3.169
89	0.265	0.660	0.964	1.889
90	0.265	0.660	1.031	1.956
91	0.265	0.660	0.412	1.337
92	0.265	0.660	0.650	1.575
93	0.265	0.660	0.758	1.683
94	0.265	0.660	0.758	1.683
95	0.265	0.660	1.863	2.788
96	0.265	0.660	1.863	2.788
97	0.240	0.563	1.246	2.048
98	0.240	0.563	0.997	1.799
99	0.240	0.563	1.235	2.038
100	0.265	0.660	0.488	1.413
101	0.265	0.660	1.101	2.026
102	0.240	0.563	1.361	2.164
103	0.240	0.563	1.430	2.233
104	0.240	0.563	1.668	2.471
105	0.265	0.660	1.250	2.175
106	0.265	0.660	1.816	2.741
107	0.265	0.660	0.613	1.538
108	0.265	0.660	0.845	1.770
109	0.265	0.660	0.390	1.315
110	0.265	-	1.051	1.316
111	0.265	-	0.715	0.980
112	0.265	0.660	0.780	1.705
113	0.265	0.660	0.320	1.245
114	0.265	0.660	0.260	1.185
115	0.240	0.563	1.221	2.024
116	0.240	0.563	0.715	1.518
117	0.240	0.675	1.516	2.431
118	0.235	0.660	0.667	1.592
119	0.240	0.563	1.309	2.112
120	0.240	0.563	1.473	2.276
121	0.265	0.660	0.607	1.532
122	0.265	0.660	0.607	1.532

Kiriş No	Kiriş Üstüne Etkiyen yükler			
	Kirişin Kendi Ağırlığından Dolayı Oluşan Yük (t/m)	Duvar Ağırlığından Dolayı Oluşan Yük (t/m)	Döşeme Ağırlığından Dolayı Oluşan Yük (t/m)	Kirişin Üzerine Etkiyen Toplam Yayıllı Yük (t/m)
123	0.240	0.563	1.594	2.397
124	0.240	0.563	1.235	2.038
125	0.265	-	1.235	1.500
126	0.265	0.660	2.017	2.942
127	0.265	0.660	0.260	1.185
128	0.265	0.660	0.390	1.315
129	0.265	0.660	0.390	1.315
130	0.265	0.660	0.260	1.185
131	0.265	0.660	0.498	1.423
132	0.265	-	0.802	1.067
133	0.265	-	1.040	1.305
134	0.265	0.660	1.603	2.528
135	0.265	0.660	1.300	2.225
136	0.240	0.563	0.917	1.719
137	0.240	0.563	0.997	1.799
138	0.240	0.563	1.235	1.038
139	0.265	0.660	0.260	1.185
140	0.240	0.675	1.032	1.947
141	0.240	0.563	1.361	2.164
142	0.240	0.563	1.410	2.213
143	0.240	0.563	1.388	2.191
144	0.265	0.660	0.687	1.612
145	0.265	-	1.050	1.315
146	0.265	0.660	1.816	2.741
147	0.265	-	1.215	1.480
148	0.265	0.660	0.436	1.361
149	0.265	0.660	0.390	1.315

Tablo A.2 Yapının X yönü için beton ve donatı kalitesine göre yatay yük parametresi karşılaştırmaları

Beton Kalitesi	Donatı Kalitesi	Yatay Yük Parametresi	Çatı Yer Değiştirmesi (m)	Taban Kesme Kuvveti (ton)	Plastik Mafsal Sayısı	
					Kiriş	Kolon
BS 14	BC I	0.3194	0.058	47.15	110	40
BS 14	BC III	0.6169	0.154	91.07	88	62
BS 16	BC I	0.3249	0.064	47.96	110	40
BS 16	BC III	0.6283	0.150	92.74	89	61

Beton Kalitesi	Donatı Kalitesi	Yatay Yük Parametresi	Çatı Yer Değiştirmesi (m)	Taban Kesme Kuvveti (ton)	Plastik Mafsal Sayısı	
					Kiriş	Kolon
BS 20	BC I	0.3288	0.054	48.54	113	37
BS 20	BC III	0.6335	0.159	93.51	89	61

Tablo A.3 Yapının Y yönü için beton ve donatı kalitesine göre yatay yük parametresi karşılaştırmaları

Beton Kalitesi	Donatı Kalitesi	Yatay Yük Parametresi	Çatı Yer Değiştirmesi (m)	Taban Kesme Kuvveti (ton)	Plastik Mafsal Sayısı	
					Kiriş	Kolon
BS 14	BC I	0.3451	0.071	50.94	119	31
BS 14	BC III	0.6947	0.129	102.55	100	50
BS 16	BC I	0.345	0.109	50.93	120	30
BS 16	BC III	0.6948	0.139	102.56	103	47
BS 20	BC I	0.357	0.068	52.70	119	31
BS 20	BC III	0.7054	0.230	104.14	105	45

Tablo A.4 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

Kat No	Kiriş No	Pilye	Düz Donatı	Sol Mesnet Ek Donatısı	Sağ Mesnet Ek Donatısı	Montaj Donatısı
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
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

Kat No	Kiriş No	Pilye	Düz Donatı	Sol Mesnet Ek Donatısı	Sağ Mesnet Ek Donatısı	Montaj Donatısı
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
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 A.5 1975 Deprem Yönetmeliğine göre donatıları düzenlenen yapının giriş 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
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

Kat No	Kiriş No	Pilye	Düz Donatı	Sol Mesnet Ek Donatısı	Sağ Mesnet Ek Donatısı	Montaj Donatısı
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
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

Kat No	Kiriş No	Pilye	Düz Donatı	Sol Mesnet Ek Donatısı	Sağ Mesnet Ek Donatısı	Montaj Donatısı
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

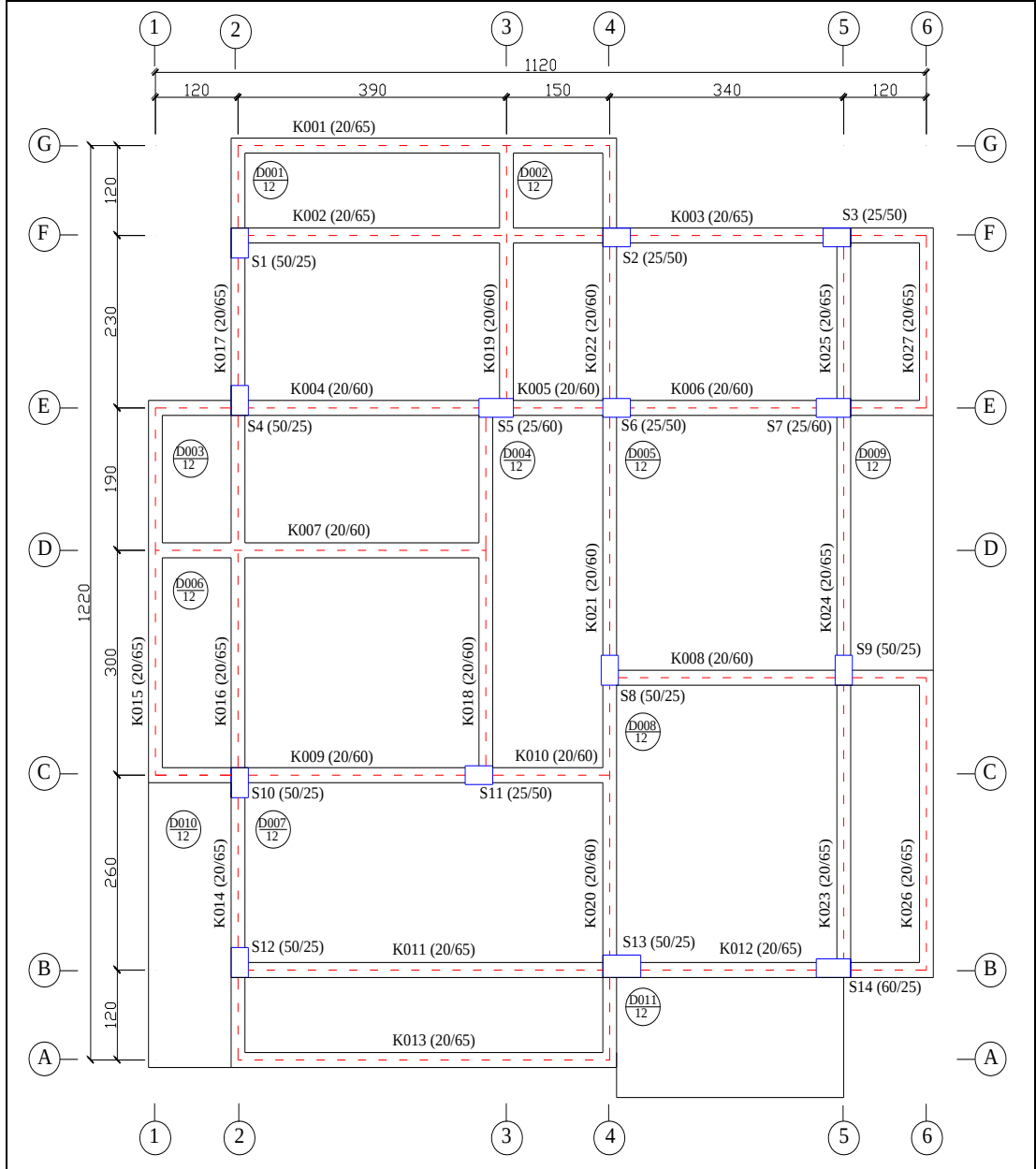
Tablo A.6 Yapının mevcut durumdaki kolon boyuna donatı çapları ve adetleri

Kolon No	Kolon Boyuna Donatı Çapı ve Adeti			
	3. Normal Kat	2. Normal Kat	1. Normal Kat	Zemin Kat
S1	6φ16	6φ16	6φ16	6φ16
S2	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

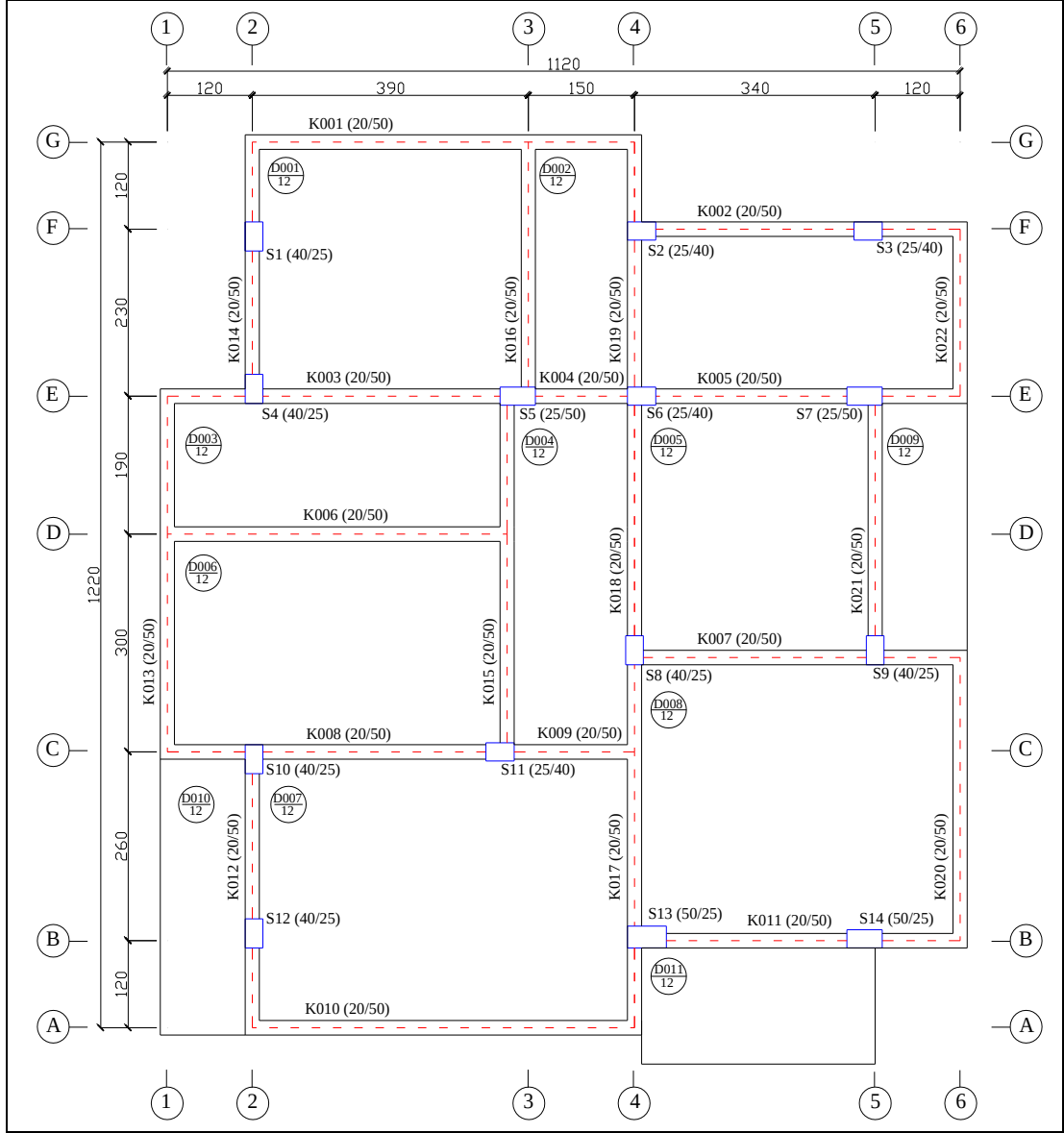
Tablo A.7 1975 Deprem Yönetmeliğine göre donatıları düzenlenen yapının kolon boyuna donatı çapları ve adetleri

Kolon No	Kolon Boyuna Donatı Çapı ve Adeti			
	3. Normal Kat	2. Normal Kat	1. Normal Kat	Zemin Kat
S1	6φ16	8φ16	8φ16	8φ16
S2	8φ16	8φ16	8φ16	8φ16
S3	6φ16	6φ16	8φ16	8φ16
S4	6φ16	6φ16	8φ16	8φ16
S5	8φ16	8φ16	12φ16	12φ16
S6	6φ16	8φ16	8φ16	8φ16
S7	8φ16	8φ16	12φ16	12φ16
S8	6φ16	6φ16	8φ16	10φ16
S9	6φ16	6φ16	8φ16	12φ16
S10	6φ16	6φ16	8φ16	10φ16
S11	8φ16	8φ16	8φ16	8φ16
S12	6φ16	6φ16	8φ16	8φ16
S13	8φ16	8φ16	8φ16	10φ16
S14	8φ16	8φ16	12φ16	12φ16

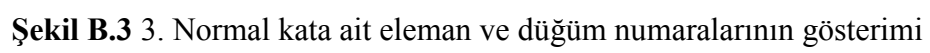
EK-B



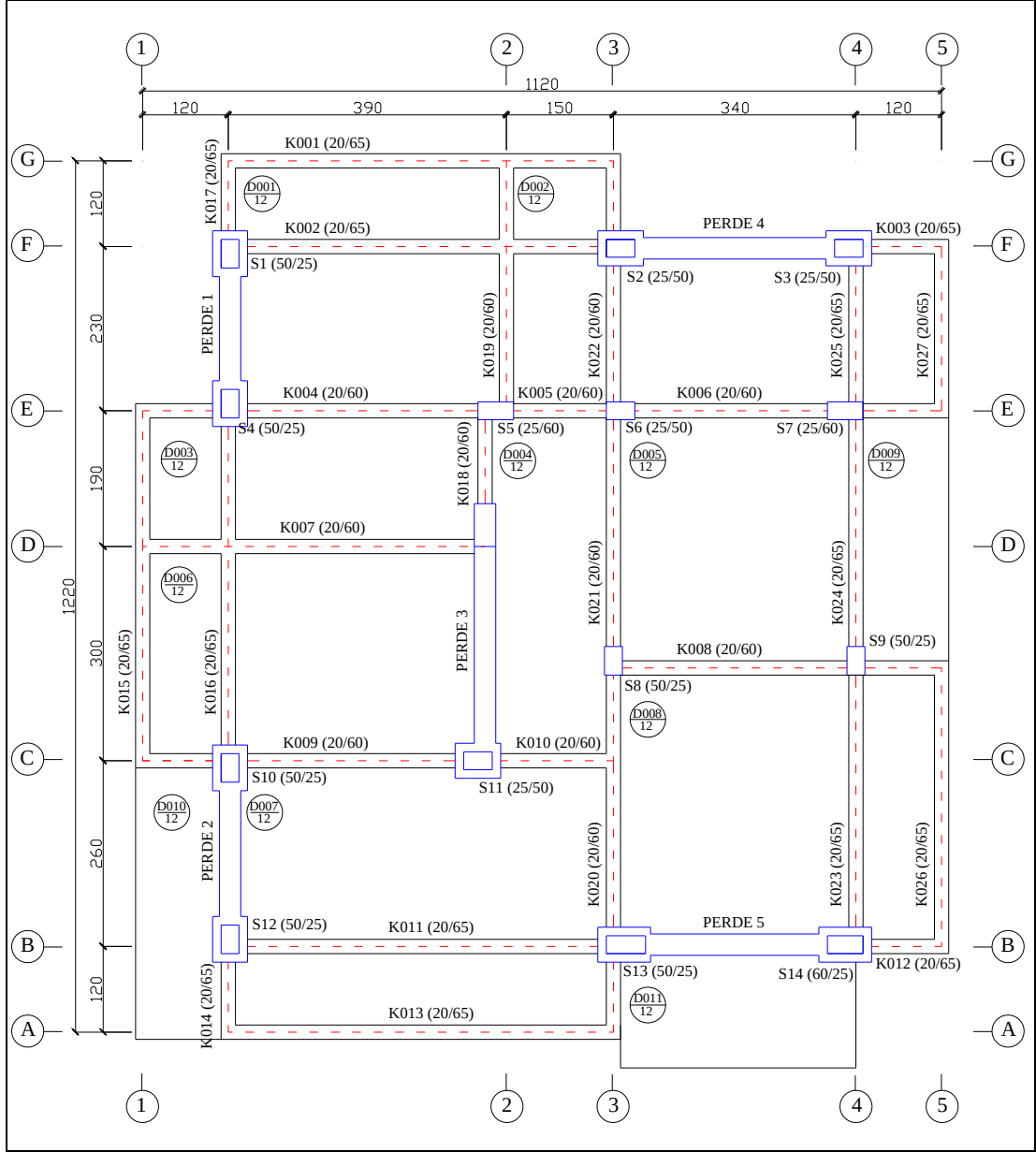
Şekil B.1 Zemin kat kalıp planı



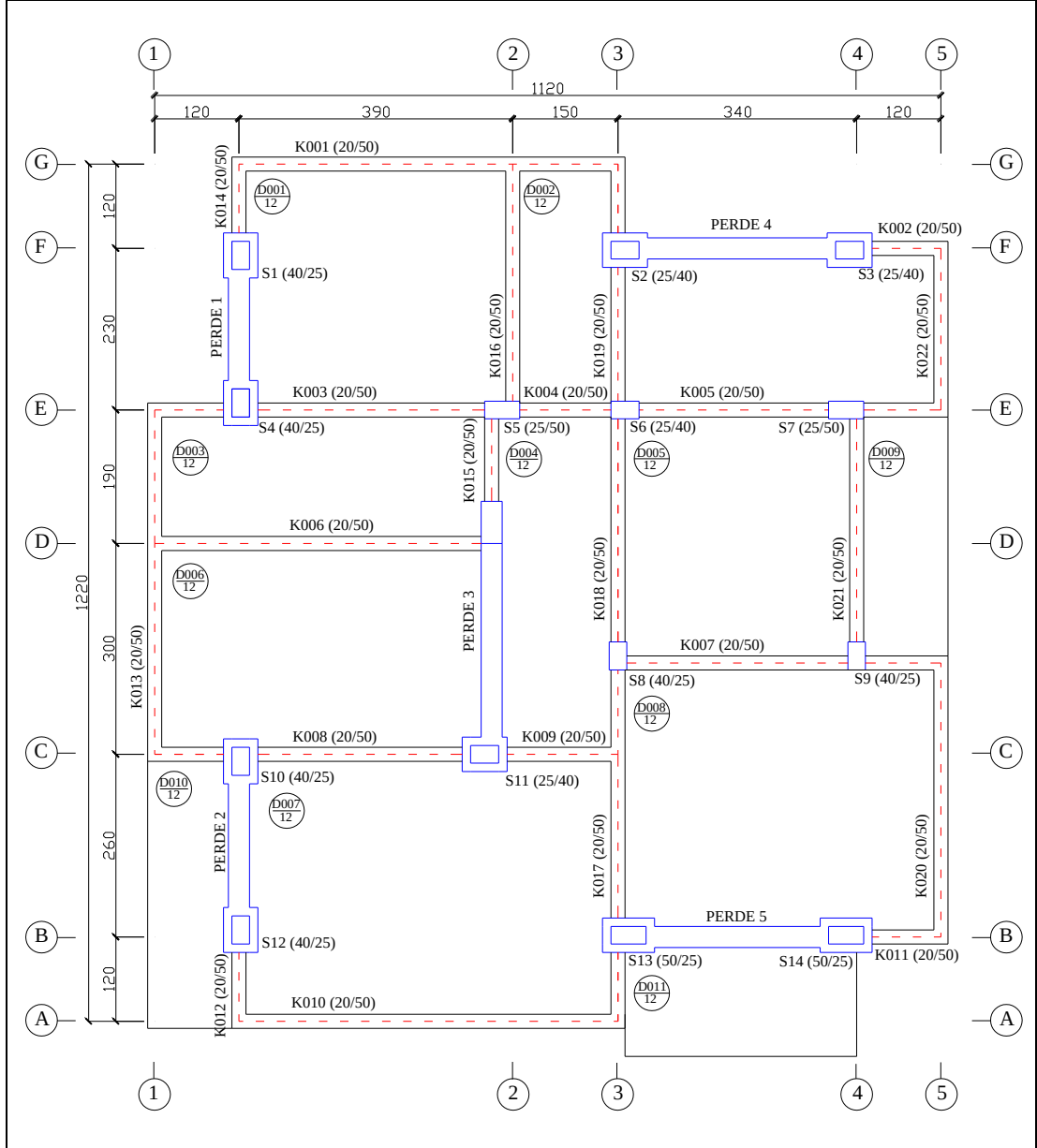
Şekil B.2 3. Normal kat kalıp planı



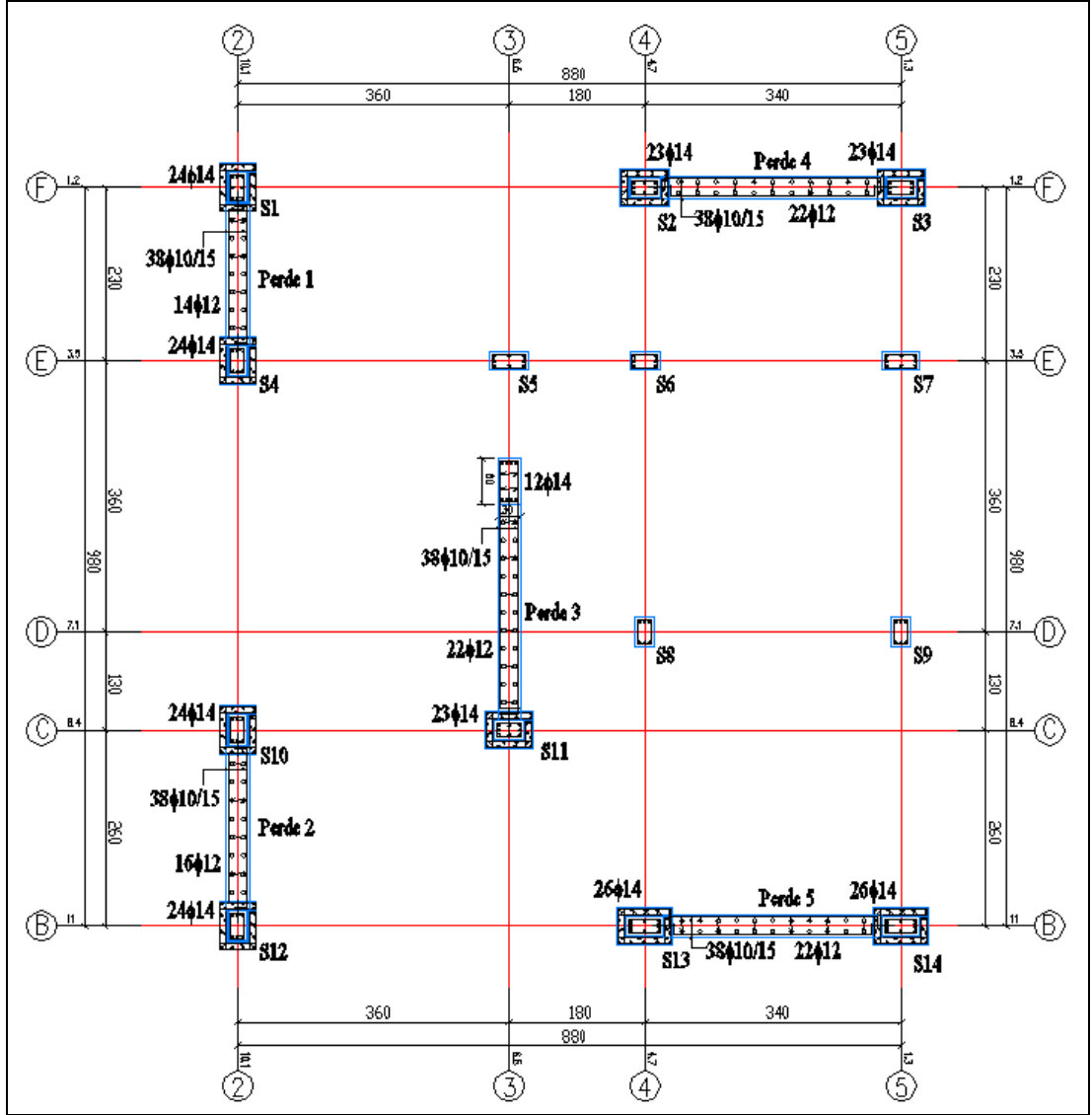
Şekil B.3 3. Normal kata ait eleman ve düğüm numaralarının gösterimi



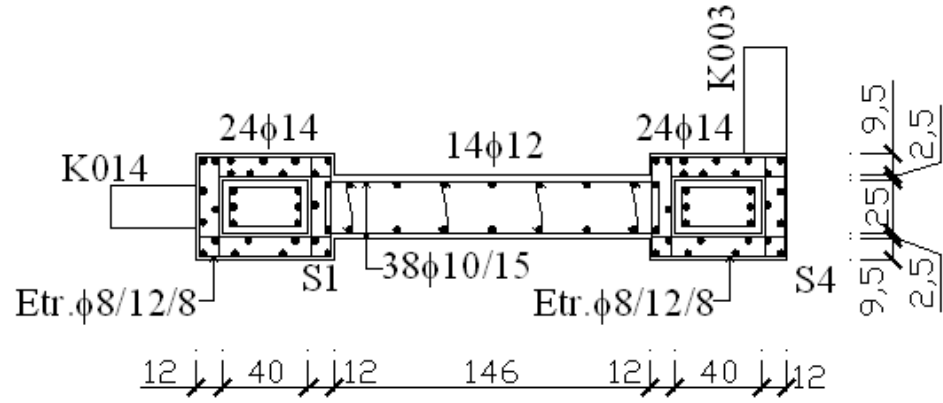
Şekil B.4 Güçlendirilmiş yapı zemin kat kalıp planı



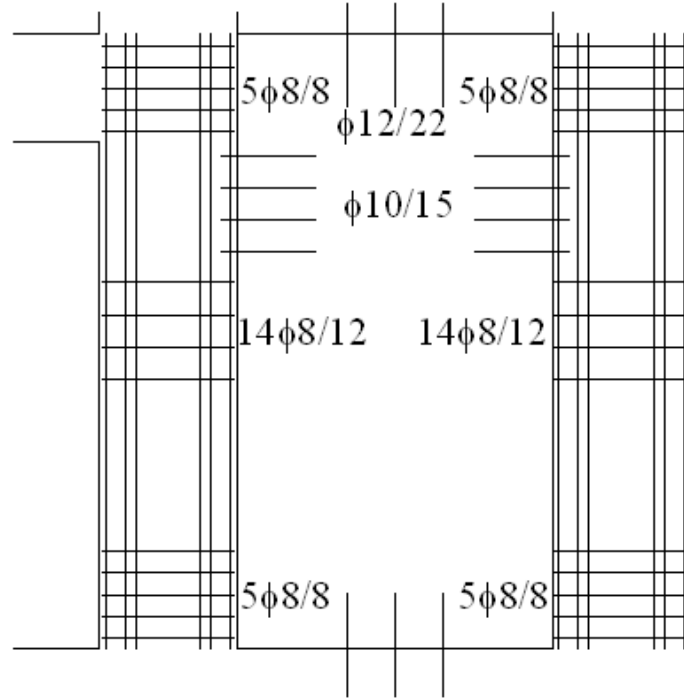
Şekil B.5 Güçlendirilmiş yapı 3. normal kat kalıp planı



Şekil B.6 Güçlendirilmiş yapı 3. normal kat kolon aplikasyon planı

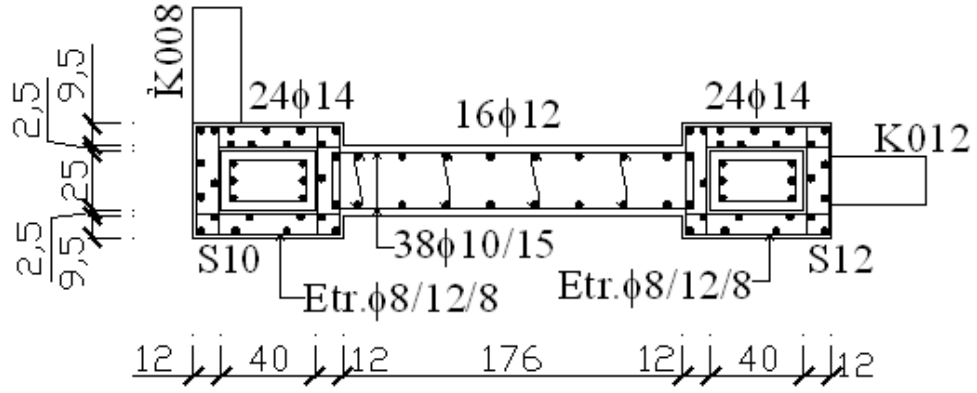


P1 PERDE APLİKASYON PLANI

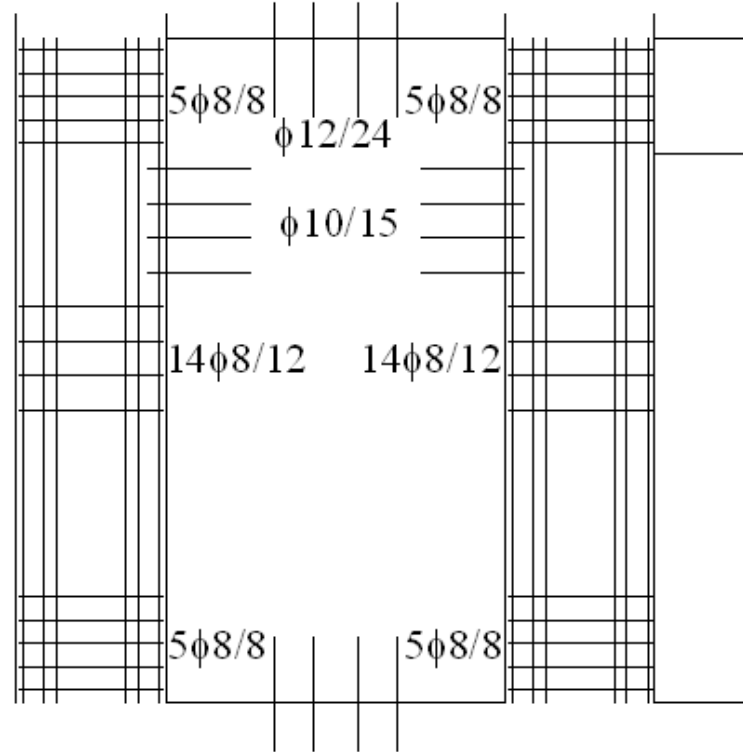


P1 PERDE KESİTİ

Şekil B.7 P1 Perde detayı

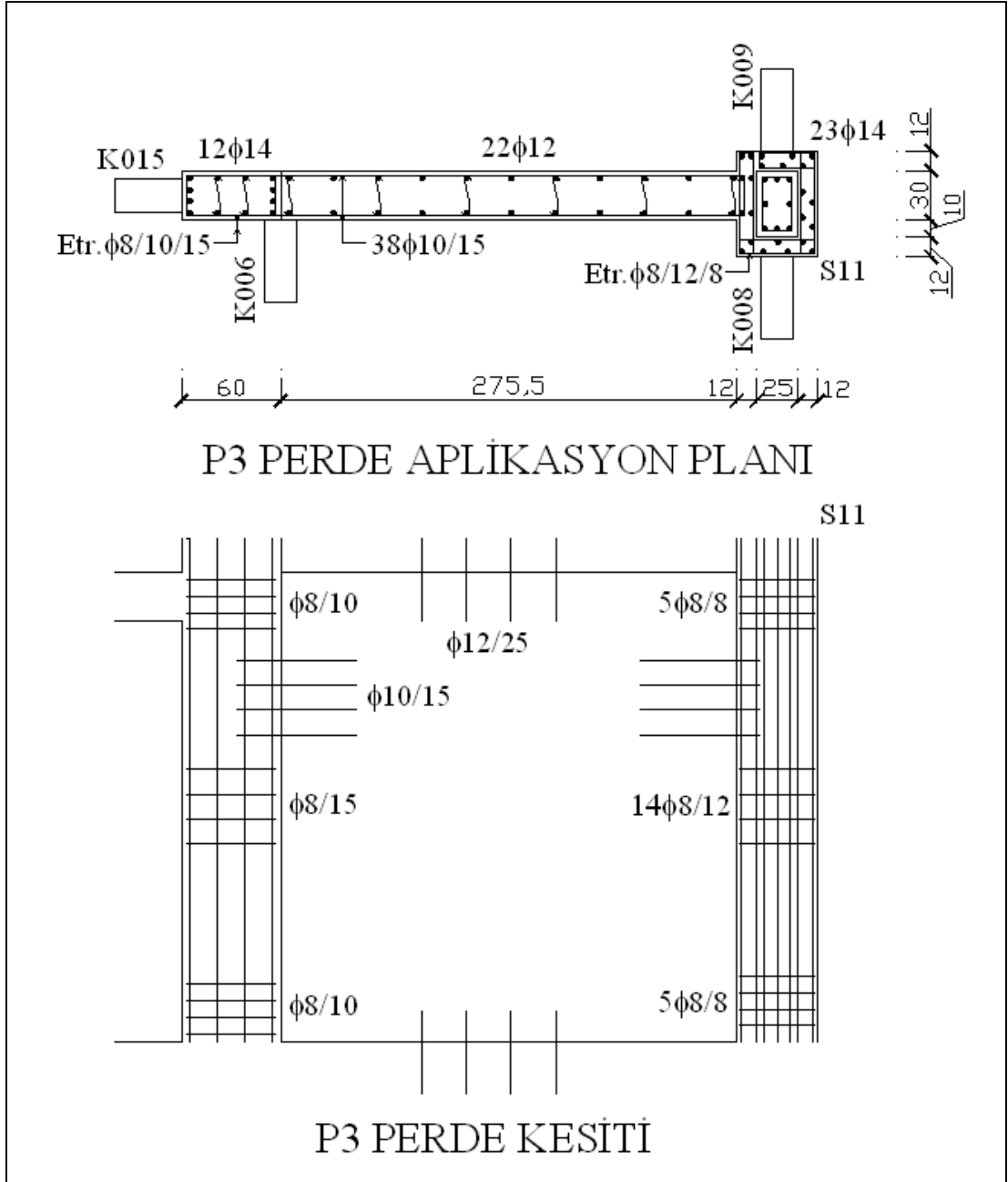


P2 PERDE APLİKASYON PLANI

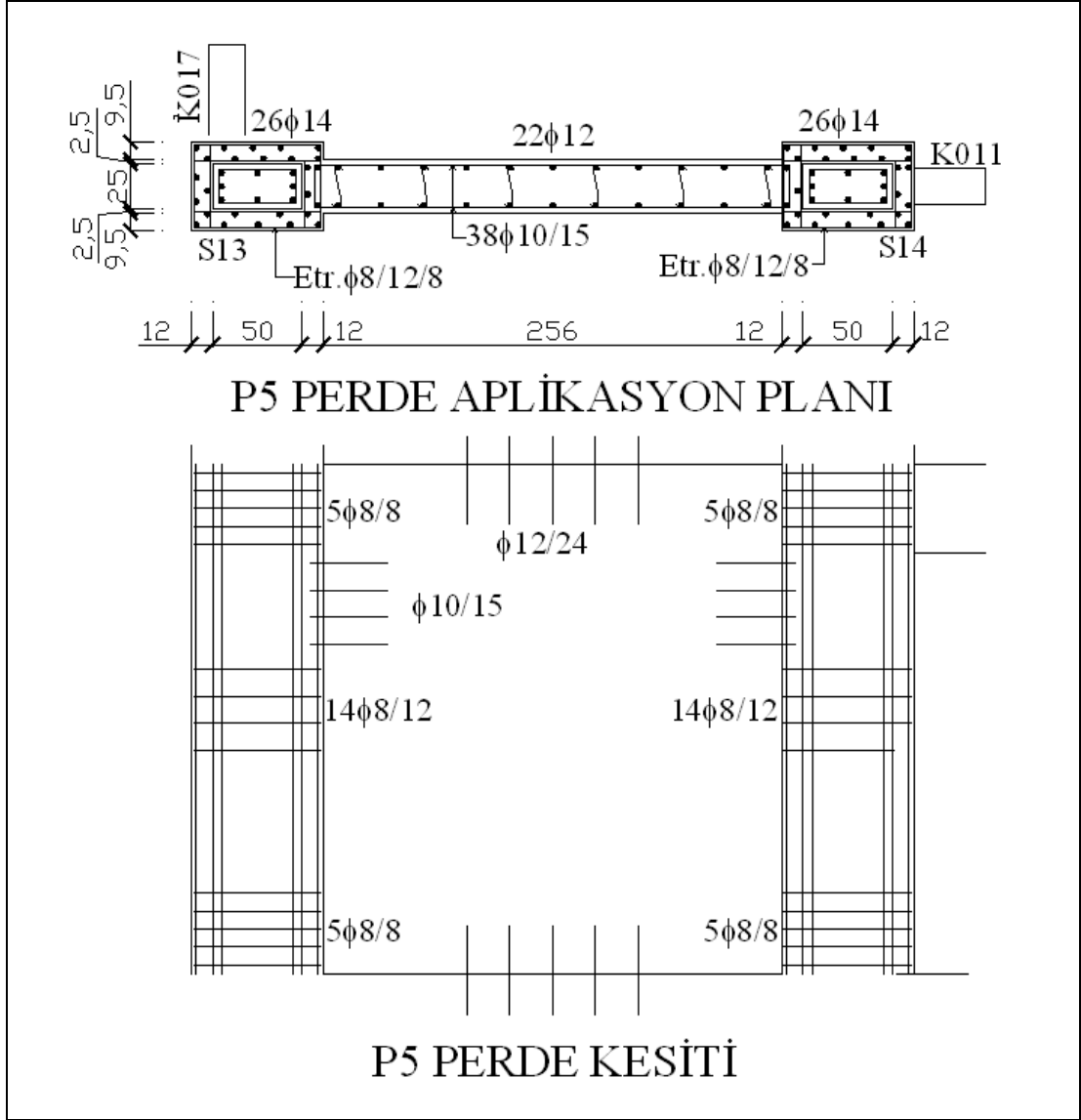


P2 PERDE KESİTİ

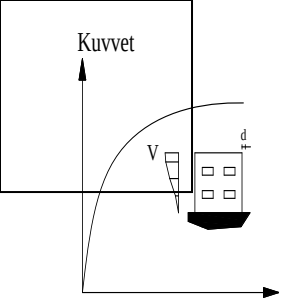
Şekil B.8 P2 Perde detayı



Şekil B.9 P3 Perde detayı



Şekil B.11 P5 Perde detayı



ÖZGEÇMİŞ

8 Temmuz 1978 tarihinde Kırklareli’de doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Kırklareli’de tamamladı. 1997 yılında Kırklareli Anadolu Lisesi’nden mezun oldu. 1997 yılında eğitimine devam etmeyi hak kazanmış olduğu Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nden 2002 yılında 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.