

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MEVCUT BİNALARIN ZEMİN YAPI ETKİLEŞİMİNİ
DİKKATE ALARAK DEPREM
PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş Müh. Tansu GÖKÇE**

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : YAPI MÜHENDİSLİĞİ

OCAK 2008

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MEVCUT BİNALARIN ZEMİN YAPI ETKİLEŞİMİNİ
DİKKATE ALARAK DEPREM
PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Tansu GÖKÇE
(501051118)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 17 Aralık 2007
Tezin Savunulduğu Tarih : 29 Ocak 2008**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç.Dr. Konuralp GİRGIN
Diğer Jüri Üyeleri Doç. Dr. F. Gülten GÜLAY (İ.T.Ü.)
Doç Dr. Oğuz Cem ÇELİK (İ.T.Ü)**

OCAK 2008

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın ortaya çıkmasındaki en büyük rolü üstlenen, her durumda ilgi, anlayış ve yardımlarını esirgemeyen, bilgilerini sınırsızca paylaşan, kendisiyle çalışma fırsatını yakalamış olmak benim için bir dönüm noktası olan saygıdeğer hocam Doç. Dr. Engin ORAKDÖĞEN'e ve bu çalışma boyunca hiçbir zaman desteğini benden esirgemeyen tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Konuralp GİRĞİN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmanın her aşamasında bana yardımcı olan İnş. Yük. Müh. Berna BÜYÜKŞİŞLİ'ye, LessLoss ve Hazturk projelerindeki katkılarından dolayı Prof. Dr. Hasan BODUROĞLU'na ve yüksek lisans eğitimim boyunca beni maddi açıdan destekleyerek daha rahat koşullarda çalışmamı sağlayan TÜBİTAK- BİDEB'e, her anımda bana destek olan değerli dostlarım Serdar ATEŞ ve Eda ÇETİNKAYA'ya hayatım boyunca hep yanımda olan maddi ve manevi desteğini benden esirgemeyen aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Ocak 2008

Tansu GÖKÇE

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	viii
SEMBOL LİSTESİ	xii
ÖZET	xiv
SUMMARY	xv
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
2.2.3. Yapı performans seviyeleri	7
2.3. Yer Hareketi	8
2.4. Performans Amaçları	9
2.4.1. Performans amaçlarının sınıflandırılması	9
2.4 Performans Amaçlarının Kararlaştırılması	11
2.4.1. Başlangıç performans amacı	11
2.4.2. Son performans amacı	11
3. DOĞRUSAL OLMAYAN STATİK ANALİZ	12
3.1. Giriş	12
3.2. Basitleştirilmiş Doğrusal Olmayan Analiz İçin Yöntemler	13
3.2.1. Kapasitenin belirlenmesinde izlenen yol	14
3.2.2. Talep spektrumunun belirlenmesinde izlenen yol	15
3.2.3. Kapasite spektrumu yöntemi kullanılarak sismik talebin hesaplanması	16
3.2.3.1. Kapasite spektrum yönteminin kavramsal oluşumu	17
3.2.3.2. Kapasite spektrum eğrisinin doğrular haline getirilmesi	20
3.2.3.3. %5 sönümlü talep spektrum eğrisinin oluşturulması	21
3.2.3.4. Sönümün tahmini ve %5 sönümlü talep spektrumunun indirgenmesi	23

3.2.4. Performans noktasının bulunması	26
3.2.4.1. Kapasite ve talep spektrumlarının kesişimi	26
3.2.4.2. Yöntem A'yı kullanarak performans noktasını hesaplama	27
4. EŞDEĞER LİNEERLEŞTİRME İÇİN GELİŞTİRİLMİŞ İŞLEMLER	31
4.1. Temel Eşdeğer Lineerleştirme Parametreleri	32
4.1.1. Efektif sönüm	34
4.1.2. Efektif periyot	35
4.1.3. Sekant periyotlu kullanım için MADRS	37
4.2. Efektif Sönüm İçin Spektral İndirgeme	39
4.3. Çözüm İşlemleri	40
4.4. Yaklaşık Çözüm İşlemi	46
4.5. İterasyon Stratejisi	47
5. ZEMİN-YAPI ETKİLEŞİM ETKİLERİNİ İÇEREN İŞLEMLER	49
5.1 Kinematik Etkiler için İşlemler	52
5.2 Temel Sönümü için İşlemler	55
6. ZEMİN-YAPI ETKİLEŞİMİ DİKKATE ALINARAK GÜÇLENDİRİLMİŞ BİR BİNANIN PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ	61
6.1. Sayısal Örnek	63
6.2 Güçlendirilmiş Binanın Elde Edilen Performans Değerlerinin Karşılaştırılması	74
7. SONUÇLAR	80
KAYNAKLAR	81
EK A	83
ÖZGEÇMİŞ	101

KISALTMALAR

ADRS	: İvme-Deplasman Tepki Spektrumu
BLH	: Bilineer Histeritik
CS	: Kapasite Spektrum Eğrisi
CSM	: Kapasite Spektrum Metodu
EPP	: Elastik Mükemmel Plastik, Elastic Perfectly Plastic
FIM	: Temel Giriş Hareketi, Foundation Input Motion
MADRS	: Modifiye Edilmiş İvme-Deplasman Tepki Spektrumu
NSP	: Doğrusal Olmayan Statik İşlem, Non-Linear Static Procedure
PGA	: Pik Yer İvmesi, Peak Ground Acceleration
RRS	: Tepki Spektrumu Oranı, Ratio Of Response Spectra
SD	: Rijitlik Azaltma, Stiffness Degradation
SDD	: Dayanım ve Rijitlik Azaltma, Strength and Stiffness Degradation
SDOF	: Tek Serbestlik Dereceli Sistem
SSI	: Zemin Yapı Etkileşimi, Soil-Structure Interaction
STDG	: Rijitlik Azaltma, Stiffness Degradation
STRDG	: Kuvvet İndirgeme

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1	Yapı performans seviyeleri (yapısal ve yapısal olmayan performans seviyeleri) 4
Tablo 2.2	Performans amaçlarının sınıflandırılması..... 10
Tablo 3.1	Deprem bölge katsayısı 21
Tablo 3.2	Kaynağa mesafe katsayısı..... 21
Tablo 3.3	Zemin sınıfı tablosu..... 22
Tablo 3.4	Deprem katsayısı C_A 22
Tablo 3.5	Deprem katsayısı C_V 23
Tablo 3.6	Yapı davranış türü 25
Tablo 3.7	Sönüm düzeltme katsayısı 25
Tablo 3.8	Spektral azaltma katsayıları S_{RA} ve S_{RV} 26
Tablo 3.9	Spektral azaltma katsayıları S_{RA} ve S_{RV} 'nin minimum değerleri..... 26
Tablo 4.1	Efektif sönüm için denklemlerde kullanılan katsayılar 35
Tablo 4.2	Efektif periyot için denklemlerde kullanılan katsayılar 36
Tablo 5.1	Dalga hızı indirgeme faktörünün (n) yaklaşık değerleri..... 54
Tablo 6.1	Zemin sınıflarının mekanik özellikleri 63
Tablo 6.2	Değişik zemin sınıfları için güçlendirilmiş binanın birinci doğal periyotları 65
Tablo 6.3	Radye temelli güçlendirilmiş binanın X yönündeki eşdeğer deprem yükleri (DBYBHY2007) 65
Tablo 6.4	Radye temelli güçlendirilmiş binanın Y yönündeki eşdeğer deprem yükleri (DBYBHY2007) 66
Tablo 6.5	Sürekli temelli güçlendirilmiş binanın X yönündeki eşdeğer deprem Yükleri, tip 1, (DBYBHY2007) 66
Tablo 6.6	Sürekli temelli güçlendirilmiş binanın Y yönündeki eşdeğer deprem yükleri, tip 1, (DBYBHY2007) 66
Tablo 6.7	Sürekli temelli güçlendirilmiş binanın X yönündeki eşdeğer deprem yükleri, tip 2, (DBYBHY2007) 66
Tablo 6.8	Sürekli temelli güçlendirilmiş binanın Y yönündeki eşdeğer deprem yükleri, tip 2, (DBYBHY2007) 67
Tablo 6.9	Sürekli temelli güçlendirilmiş binanın X yönündeki eşdeğer deprem yükleri, tip 3, (DBYBHY2007) 67
Tablo 6.10	Sürekli temelli güçlendirilmiş binanın Y yönündeki eşdeğer deprem yükleri, tip 3, (DBYBHY2007) 67
Tablo 6.11	Tekil temelli güçlendirilmiş binanın X yönündeki eşdeğer deprem yükleri, (DBYBHY2007) 68
Tablo 6.12	Tekil temelli güçlendirilmiş binanın Y yönündeki eşdeğer deprem yükleri, (DBYBHY2007) 68
Tablo 6.13	Ankastre temelli güçlendirilmiş binanın X yönündeki eşdeğer deprem yükleri, (DBYBHY2007) 68

Tablo 6.14	Ankastre temelli güçlendirilmiş binanın Y yönündeki eşdeğer deprem yükleri, (DBYBHY2007)	68
Tablo 6.15	Radye temelli, sürekli temelli ve tekil temelli güçlendirilmiş binanın performans noktası ordinatları (X Doğrultusunda)	79
Tablo 6.16	Radye temelli, sürekli temelli ve tekil temelli güçlendirilmiş binanın performans noktası ordinatları (Y Doğrultusunda)	79

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 :Bina performans seviyeleri	11
Şekil 3.1 :Taban kesme kuvveti, tepe yer değiştirmesi	14
Şekil 3.2 :Modal katılma katsayıları ve modal kütle katsayıları için bir örnek	18
Şekil 3.3 :Geleneksel ve ADRS formatlarında talep spektrumları.....	19
Şekil 3.4 :Kapasite spektrumu ile talep spektrumunun üst üste çizilmiş şekli.....	19
Şekil 3.5 :Kapasite spektrumu metodu için kapasite spektrumunu doğrular (bilineer) halinde gösterme	20
Şekil 3.6 :Kapasite spektrum eğrisi ile %5 sönümlü talep spektrum eğrisinin aynı grafik ortamda çizilmesi.....	21
Şekil 3.7 :Spektral indirgeme için sönümün ifadesi.....	24
Şekil 3.8 :Talep spektrumunun azaltılması	26
Şekil 3.9 :Talep spektrumu ve kapasite spektrumlarının kabul edilebilir toleranslar içindeki kesişim noktası	27
Şekil 3.10 :Yöntem A, ikinci adım.....	28
Şekil 3.11 :Yöntem A, üçüncü adım	28
Şekil 3.12 :Yöntem A, dördüncü adım.....	29
Şekil 3.13 :Yöntem A, beşinci adım	29
Şekil 3.14 :Yöntem A, altıncı adım.....	30
Şekil 4.1 :Eşdeğer lineer sistemin efektif periyot ve efektif sönüm parametrelerini gösteren ivme-deplasman tepki spektrumu (ADRS).....	31
Şekil 4.2 :Bir Gauss dağılımı için deplasman hatasının olasılık yoğunluk fonksiyonunun örnek gösterimi.....	33
Şekil 4.3 :İnelastik davranış tipleri.....	33
Şekil 4.4 :Sekant periyotlu kullanım için modifiye edilmiş ivme-deplasman tepki spektrumu (MADRS)	38
Şekil 4.5 :Çeşitli kaynak dokümanlarda yer alan, sönümün (β_{eff}) bir fonksiyonu olan sönüm katsayısı B (FEMA440, 2005).....	39
Şekil 4.6 :İlk talep ADRS ve kapasite spektrumu	41
Şekil 4.7 :Kapasite eğrisinin bilineer gösterimi	42
Şekil 4.8 :Doğudan iterasyon kullanarak muhtemel maksimum deplasmanın belirlenmesi (İşlem A).....	43
Şekil 4.9 :Kapasite spektrumu ile MADRS 'nin kesişimini kullanarak muhtemel maksimum deplasman noktasının belirlenmesi	44
Şekil 4.10 :MADRS kullanarak muhtemel performans noktalarının belirlenmesi ..	45
Şekil 4.11 :Yaklaşık çözüm işlemi ile daha detaylı işlemlerin karşılaştırması (FEMA440, 2005)	46
Şekil 4.12 :Eşdeğer lineerleştirme için varsayılan deplasman ile hesaplanan deplasman karşılaştırması yapılarak izleyen iterasyon	48
Şekil 5.1 :Temel modeli kabulleri.....	51

Şekil 5.2	:Periyotun ve efektif temel büyüklüğü b_e 'nin bir fonksiyonu olan ortalama taban etkisi (RRS_{bsa}) (FEMA440, 2005).....	53
Şekil 5.3	:Gömülme derinliği $e=30$ ft, periyot T ve kayma dalgası hızı v_s 'nin bir fonksiyonu olan gömülme etkisi ($RRSe$) için tepki spektrum oranı (FEMA440, 2005).	54
Şekil 5.4	:Sabit gömülme oranı $e/r_x=0$ iken, temel rijitlik rotasyonel rijitlik h/r_θ 'nın çeşitli değerleri için efektif periyot uzanım oranı $\tilde{T}_{eff}/T_{eff}$ 'nin bir fonksiyonu olan, temel sönümü β_f için bir örnek. (FEMA440).....	58
Şekil 5.5	:Sabit gömülme oranı $e/r_x=0.5$ iken, temel rijitlik rotasyonel rijitlik h/r_θ 'nın çeşitli değerleri için efektif periyot uzanım oranı $\tilde{T}_{eff}/T_{eff}$ 'nin bir fonksiyonu olan, temel sönümü β_f için bir örnek. (FEMA440).....	59
Şekil 6.1	:Elasto-plastik Winkler zemin modelinde kullanılan çubuk elemanın yük-şekil değiştirme grafiği	61
Şekil 6.2	:Radye temelli binanın analizinde kullanılan matematik model.....	62
Şekil 6.3	:Güçlendirilmiş binanın normal kat planı	64
Şekil 6.4	:Analizlerde kullanılan farklı temel tipleri.....	69
Şekil 6.5	:Ankastre temelli güçlendirilmiş binanın performans grafiği.....	71
Şekil 6.6	:Radye temelli güçlendirilmiş binanın performans grafiği	71
Şekil 6.7	:Sürekli temelli güçlendirilmiş binanın performans grafiği, (Tip 1).....	72
Şekil 6.8	:Sürekli temelli güçlendirilmiş binanın performans grafiği, (Tip 2).....	72
Şekil 6.9	:Sürekli temelli güçlendirilmiş binanın performans grafiği, (Tip 3).....	73
Şekil 6.10	:Tekil temelli güçlendirilmiş binanın performans grafiği.....	73
Şekil 6.11	:Z1 sınıfı zemin için farklı temel sistemlerine sahip güçlendirilmiş binaların performans eğrilerinin karşılaştırması (X Doğrultusu).....	74
Şekil 6.12	:Z1 sınıfı zemin için farklı temel sistemlerine sahip güçlendirilmiş binaların performans eğrilerinin karşılaştırması (Y Doğrultusu).....	74
Şekil 6.13	:Z2 sınıfı zemin için farklı temel sistemlerine sahip güçlendirilmiş binaların performans eğrilerinin karşılaştırması (X Doğrultusu).....	75
Şekil 6.14	:Z2 sınıfı zemin için farklı temel sistemlerine sahip güçlendirilmiş binaların performans eğrilerinin karşılaştırması (Y Doğrultusu).....	76
Şekil 6.15	:Z3 sınıfı zemin için farklı temel sistemlerine sahip güçlendirilmiş binaların performans eğrilerinin karşılaştırması (X Doğrultusu).....	76
Şekil 6.16	:Z3 sınıfı zemin için farklı temel sistemlerine sahip güçlendirilmiş binaların performans eğrilerinin karşılaştırması (Y Doğrultusu).....	77
Şekil 6.17	:Z4 sınıfı zemin için farklı temel sistemlerine sahip güçlendirilmiş binaların performans eğrilerinin karşılaştırması (X Doğrultusu).....	78
Şekil 6.18	:Z4 sınıfı zemin için farklı temel sistemlerine sahip güçlendirilmiş binaların performans eğrilerinin karşılaştırması (Y Doğrultusu).....	78
Şekil A.1	:Z1 sınıfı zemin için ankastre temelli güçlendirilmiş binanın performans grafiği (Xdoğrultusu)	83
Şekil A.2	:Z1 sınıfı zemin için ankastre temelli güçlendirilmiş binanın performans grafiği (Y Doğrultusu).....	83
Şekil A.3	:Z1 sınıfı zemin için radye temelli güçlendirilmiş binanın performans grafiği (X Doğrultusu).....	84
Şekil A.4	:Z1 sınıfı zemin için radye temelli güçlendirilmiş binanın performans grafiği (Y Doğrultusu).....	84
Şekil A.5	:Z1 sınıfı zemin için sürekli temelli güçlendirilmiş binanın performans grafiği, tip 1, (X Doğrultusu)	85

Şekil A.6	:Z1 sınıfı zemin için sürekli temelli güçlendirilmiş binanın performans grafiği, tip 1, (Y Doğrultusu)	85
Şekil A.7	:Z1 sınıfı zemin için sürekli temelli güçlendirilmiş binanın performans grafiği, tip 2, (X Doğrultusu)	86
Şekil A.8	:Z1 sınıfı zemin için sürekli temelli güçlendirilmiş binanın performans grafiği, tip 2, (Y Doğrultusu)	86
Şekil A.9	:Z1 sınıfı zemin için sürekli temelli güçlendirilmiş binanın performans grafiği, tip 3, (X Doğrultusu)	87
Şekil A.10	:Z1 sınıfı zemin için sürekli temelli güçlendirilmiş binanın performans grafiği, tip 3, (Y Doğrultusu)	87
Şekil A.11	:Z1 sınıfı zemin için tekil temelli güçlendirilmiş binanın performans grafiği, (X Doğrultusu).....	88
Şekil A.12	:Z1 sınıfı zemin için tekil temelli güçlendirilmiş binanın performans grafiği, (Y Doğrultusu).....	88
Şekil A.13	:Z3 sınıfı zemin için ankastre temelli güçlendirilmiş binanın performans grafiği (Xdoğrultusu)	89
Şekil A.14	:Z3 sınıfı zemin için ankastre temelli güçlendirilmiş binanın performans grafiği (Y Doğrultusu).....	89
Şekil A.15	:Z3 sınıfı zemin için radye temelli güçlendirilmiş binanın performans grafiği (X Doğrultusu).....	90
Şekil A.16	:Z3 sınıfı zemin için radye temelli güçlendirilmiş binanın performans grafiği (Y Doğrultusu).....	90
Şekil A.17	:Z3 sınıfı zemin için sürekli temelli güçlendirilmiş binanın performans grafiği, tip 1, (X Doğrultusu)	91
Şekil A.18	:Z3 sınıfı zemin için sürekli temelli güçlendirilmiş binanın performans grafiği, tip 1, (Y Doğrultusu)	91
Şekil A.19	:Z3 sınıfı zemin için sürekli temelli güçlendirilmiş binanın performans grafiği, tip 2, (X Doğrultusu)	92
Şekil A.20	:Z3 sınıfı zemin için sürekli temelli güçlendirilmiş binanın performans grafiği, tip 2, (Y Doğrultusu)	92
Şekil A.21	:Z3 sınıfı zemin için sürekli temelli güçlendirilmiş binanın performans grafiği, tip 3, (X Doğrultusu)	93
Şekil A.22	:Z3 sınıfı zemin için sürekli temelli güçlendirilmiş binanın performans grafiği, tip 3, (Y Doğrultusu)	93
Şekil A.23	:Z3 sınıfı zemin için tekil temelli güçlendirilmiş binanın performans grafiği, (X Doğrultusu).....	94
Şekil A.24	:Z3 sınıfı zemin için tekil temelli güçlendirilmiş binanın performans grafiği, (Y Doğrultusu).....	94
Şekil A.25	:Z4 sınıfı zemin için ankastre temelli güçlendirilmiş binanın performans grafiği (Xdoğrultusu)	95
Şekil A.26	:Z4 sınıfı zemin için ankastre temelli güçlendirilmiş binanın performans grafiği (Y Doğrultusu).....	95
Şekil A.27	:Z4 sınıfı zemin için radye temelli güçlendirilmiş binanın performans grafiği (X Doğrultusu).....	96
Şekil A.28	:Z4 sınıfı zemin için radye temelli güçlendirilmiş binanın performans grafiği (Y Doğrultusu).....	96
Şekil A.29	:Z4 sınıfı zemin için sürekli temelli güçlendirilmiş binanın performans grafiği, tip 1, (X Doğrultusu)	97
Şekil A.30	:Z4 sınıfı zemin için sürekli temelli güçlendirilmiş binanın performans grafiği, tip 1, (Y Doğrultusu)	97

Şekil A.31 :Z4 sınıfı zemin için sürekli temelli güçlendirilmiş binanın performans grafiği, tip 2, (X Doğrultusu)	98
Şekil A.32 :Z4 sınıfı zemin için sürekli temelli güçlendirilmiş binanın performans grafiği, tip 2, (Y Doğrultusu)	98
Şekil A.33 :Z4 sınıfı zemin için sürekli temelli güçlendirilmiş binanın performans grafiği, tip 3, (X Doğrultusu)	99
Şekil A.34 :Z4 sınıfı zemin için sürekli temelli güçlendirilmiş binanın performans grafiği, tip 3, (Y Doğrultusu)	99
Şekil A.35 :Z4 sınıfı zemin için tekil temelli güçlendirilmiş binanın performans grafiği, (X Doğrultusu).....	100
Şekil A.36 :Z4 sınıfı zemin için tekil temelli güçlendirilmiş binanın performans grafiği, (Y Doğrultusu).....	100

SEMBOL LİSTESİ

a_{eff}	: Efektif ivme
A_f	: Temel alanı
a_i	: Maksimum ivme ordinatı
a_{max}	: Maksimum ivme
a_{pi}	: Performans noktası varsayımı yapılan noktanın ivme ordinatı
a_y	: Kapasite eğrisinin akma noktasının ivme ordinatı
B	: Sönüm Katsayısı
C_A, C_V	: Sismik katsayı
d_i	: Maksimum deplasman
d_{pi}	: Performans noktası varsayımı yapılan noktanın deplasman ordinatı
d_y	: Kapasite eğrisinin akma noktasının deplasman ordinatı
E	: Deprem etki katsayısı
e	: Temel tabanının derinliği
F	: Eş değer toplam yatay yük
g	: Yerçekimi ivmesi
G	: Efektif zemin kayma modülü
h^*	: Efektif yapı rijitliği
K^*_{fixed}	: Efektif yapısal rijitlik
K_i	: Başlangıç rijitliği
k_s	: Zemin yatak katsayısı
K_x	: Temelin ötelenme rijitliği
K_θ	: Efektif dönme rijitliği
M	: Modifikasyon faktörü
M^*	: Birinci mod için toplam kütle ile efektif kütle katsayısının çarpılmasıyla elde edilen efektif kütle
m_i	: i. katın kütlesi
n	: Dalga hızı indirgeme faktörü
N_A, N_V	: Deprem kaynağına olan mesafe
q_u	: Zemin taşıma kapasitesi
RRS_{bsa}	: Temel taban ortalama faktörü
RRS_e	: Gömülme etkisi faktörü
r_x	: Eşdeğer temel yarıçapı
r_θ	: Eşdeğer temel yarıçapı
S_a	: Spektral İvme
S_d	: Spektral deplasman
$(S_a)_\beta$	: β sönüm oranına dolayı indirgenmiş spektral vime
S_{RA}, S_{RV}	: Spektral indirgeme faktörleri
T	: Sabit temel kabulü yapılan modelin lineer periyodu
T_0	: Sistemin birinci periyodu
T_{eff}	: Efektif periyot
T_{sec}	: Sekant periyodu
$\tilde{T}$	: Esnek temel kabulü yapılan modelin lineer periyodu

V_b	: Taban kesme kuvveti
v_s	: Yerel zemin sınıfı için dalga hızı, temel altındaki (b_e derinliğinde ki) hızın ortalama değeri
w_i	: i. katın ağırlığı
Z	: Sismik bölge katsayısı
α	: Post-elastik rijitlik oranı
α_1	: Birinci doğal titreşim modu için modal kütle katsayısı
β_0	: Histerik sönümün eşdeğer viskos sönüm olarak temsil edilmiş hali
β_0	: Sistemin sönüm oranı
β_{eff}	: Efektif sönüm
β_f	: Temel zemin etkileşiminden dolayı oluşan temel sönümü
β_i	: Sabit temelli (ankastre) yapı modelinin sönüm oranı
Γ_1	: Birinci doğal titreşim modu için modal katılım katsayısı
$\Delta_{\text{çatı}}$	: Yapının tepe deplasmanı
ϕ_{i1}	: i. kattaki modun şekli
ϕ_{N1}	: Yapının en üst katına ait yanıl yer değıştirme
μ	: Süneklik (düktilite) talebi
ν	: Zemin poisson oranı

MEVCUT BİNALARIN ZEMİN YAPI ETKİLEŞİMİNİ DİKKATE ALARAK DEPREM PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZET

Bu çalışmada, ilave perdeler ile güçlendirilmiş var olan bir binanın, temel etkileri dikkate alınarak yapılan performans değerlendirmesi sunulmuştur. Binanın doğrusal olmayan statik analizine yapı-zemin etkileşimi dahil edilmiştir ve performans değerlendirmesi FEMA 440'ta yer alan Bölüm 6 ve Bölüm 8'e göre yapılmıştır. Analizler radye temel, sürekli temel, kısmi sürekli temel ve tekil temel gibi farklı temel tiplerini içermektedir. Zemin davranış modeli olarak, çekme almayan elasto-plastik Winkler zemin modeli kullanılmıştır. Doğrusal olmayan statik itme analizi ve performans değerlendirmesi SAP2000 paket programı ile yapılmıştır. Hesaplamalar iki büyük deprem doğrultusu olan X ve Y doğrultusunda yapılmıştır. Elasto-plastik Winkler zemin davranışı, sadece eksenel kuvvet alan ve eşdeğer eksenel rijitlikleri tanımlanmış, eşdeğer çubuk elemanlar tarafından sergilenmektedir. Statik itme analizinde, eşdeğer çubuk elemanların çekme limitleri sıfır alınmış ve basınç limitleri q_u maksimum zemin taşıma kapasitesinden hesaplanmıştır. Analizlerde radye temel, sürekli temel ve tekil temeller, lineer-elastik kabuk eleman olarak idealize edilmiştir. Tasarım deprem spektrumu kinematik zemin-yapı etkileşimi ve temel sönümü dikkate alınarak Fema440 Bölüm 8'e göre azaltılmıştır. Böylece kinematik etkileşimden dolayı, serbest zemin hareket spektrumu, ampirik formüllerle hesaplanan çeşitli katsayılar ile çarpılarak temel altı hareket spektruma indirgenmiştir. Tasarım deprem spektrumları DBYBHY 2007'den alınmıştır. Diğer yandan β_0 ile gösterilen ilk sönüm değeri temel sönüm etkisine bağlı olarak artırılabilir. Temel sönümü, genellikle yapının efektif yüksekliğine ve eşdeğer temel rotasyonel yarıçapına bağlıdır. Bu nedenle, temel sönümü, temel ayak alanı ve kat kütleleri yeterince büyük olduğunda etkilidir. Seçilen örnek binalardaki temel alanları küçük olduğu için ilk sönüm değeri artırılmamış ve $\beta_0 = 0.05$ alınmıştır. FEMA440'a göre, etkin sönüm ve etkin periyot, tek serbestlik dereceli sistemlerin doğrusal olmayan davranışlı modellerinden elde edilen çeşitli katsayılarla ve lineer deplasmanın toplam deplasmana oranı olarak tanımlanan süneklik (düktilite) oranı μ 'ye bağlı olarak elde edilir. Analizin başında, süneklik oranı $\mu = 2$ olarak kabul edilmiştir. Bununla birlikte doğrusal olmayan sistem davranışları ile ilişkili olan katsayılar binanın statik itme eğrileri dikkate alınarak akma sonrası rijitlik oranı (α) değerlerine bağlı olarak FEMA440'ta yer alan Tablo 6.1 ve Tablo 6.2'den alınmıştır. Sonuç olarak güçlendirilmiş binanın performans değerlendirmeleri ve değişik temel tiplerinin (radye temel, sürekli temel, kısmi sürekli temel, ve tekil temel) karşılaştırmaları verilmiştir.

PERFORMANCE EVALUATION OF EXISTING BUILDINGS CONSIDERING THE SOIL-STRUCTURE INTERACTION

SUMMARY

In this Msc. thesis, performance evaluations of an existing building strengthened by additional shear-walls, are presented as a case study by considering the foundation effects. Thus, soil-structure interaction is included in the non-linear static analyses of the building and performance evaluations are made according to Chapter 6 and Chapter 8 of FEMA440. Different foundation types are considered in analyses such as mat foundation, partial mat foundation, isolated or continuous spread footings. As a soil behavior model, tensionless elastic-plastic Winkler soil model is used. Non-linear push-over analyses and performance evaluations are performed by SAP2000 computer package. The calculations are performed for two major earthquake directions X and Y. Elastic-plastic Winkler soil behavior is presented by equivalent frame elements subjected only to axial forces and equivalent axial stiffness is defined for those. In the push-over analyses, tension limits of the equivalent frame members are taken as equal to zero and the compression limits of those are calculated from the q_u ultimate soil bearing capacity. Mat foundation and isolated or continuous spread footings are idealized as linear-elastic thick shell elements in the analyses. Design earthquake spectra can be reduced by considering the kinematic soil-structure interaction and foundation damping, according to Chapter 8 of FEMA440. Thus, due to the kinematic interaction, free field input motion i.e. design earthquake spectra are reduced by multiplying a coefficient calculated by an empirical formulae and then foundation input motion spectra is obtained. Design earthquake spectra are taken from the TEC2007. On the other hand, initial damping represented by β_0 can be increased due to the foundation damping effects. Foundation damping is mostly depends on the effective height of the structure and equivalent rotational radius of the footings. Therefore, foundation damping is effective when the structural footprint area and story masses are big enough. As the footprint area of the sample buildings are small, the initial damping is not increased and taken as $\beta_0 = 0.05$. According to FEMA440, effective damping and effective period depend on the various coefficients obtained from non-linear behavior models of single degree of freedom systems and ductility ratio μ is defined as the ratio of linear displacement to total displacement. In the beginning of the analyses, ductility ratios are accepted as $\mu = 2$. Furthermore, the coefficients related with non-linear system behavior are taken from Table 6-1 and Table 6-2 of FEMA440 depending on post yielding stiffness ratio (α) values of the buildings considering the push-over curves. Finally, performance evaluations and comparisons for the strengthening building are given in detail according to different types of foundations.

1. GİRİŞ

Türkiye, dünyadaki aktif fay hatlarından bir tanesinin üzerinde yer almaktadır. Geçmişte yaşanan depremler büyük miktarda can ve mal kayıplarıyla sonuçlanmıştır. Ülkenin toplam alanın %92'si deprem riski altında ve nüfusun %95'i bu alan üzerinde yaşamaktadır. Sanayi alanının %98 ve barajların %95'i deprem bölgesinde yer almaktadır. Geçtiğimiz 60 yıl içerisinde meydana gelen depremlerde 60.000 kişi hayatını kaybetmiş, 120.000 kişi yaralanmış ve 400.000 bina yıkılmıştır. Bütün bu sebeplerden dolayı mevcut binaların güçlendirilmesi ve sismik performanslarının artırılması gelecekte yaşanacak olan depremlerde can ve mal kaybının önlenmesi açısından çok büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, önceki yönetmeliklerin eksiklikleri dikkate alınarak Türk Deprem Yönetmeliği revize edilmiş ve 2007 yılında yayınlanmıştır. Yeni yönetmelikte, eski yönetmelikte yer almayan, mevcut yapıların güçlendirmesi ve sismik performans koşulları yer almaktadır. Diğer bir taraftan yeni yönetmelik henüz temel ve zemin etkilerini içermemektedir. Güçlendirme ve performans hesaplamalarında genel olarak binalar ankastre mesnetli sistem varsayımı ile çözümlenmektedir.

Bu konuda sınırlı sayıda literatür bulunmaktadır. Bunlardan birkaçı şunlardır: Bayat ve Ghannad (2006) çalışmalarında bir modifiye performans değerlendirme metodu öngörmüşlerdir ve bu metodu tipik bir binada uygulamışlardır. B'arce ve Esteve (2006) DRAIN2D programını kullanarak kat ve global süneklik talepleri ve 2 boyutlu tipik betonarme binalar kümesinde güvenilirlik seviyeleri üzerindeki dinamik yapı-zemin etkileşimi etkisi üzerine çalışmıştır. Araştırmaya göre zemin-yapı etkileşimi süneklik talebinde bir indirgemeye neden olmaktadır. Hutchinson, Raychowdhury ve Chang (2006) 2 boyutlu çerçevede doğrusal olmayan time-history analizi kullanarak, ilave perde elemanların tepkisini araştırmıştır. Zemin titreşim, kayma ve oturma etkileri ana temeldeki esneklikte göz önünde bulundurularak dikkate alınmıştır ve bunlar şunu göstermiştir ki zemin-temel-yapı etkileşimi sismik kuvvetlerin ve görelî kat ötelenmesi taleplerinin azaltılmasında büyük bir potansiyele sahiptir. Bunu da ek olarak gelen enerjinin bina-temel sisteminde dağıtarak yapmaktadır.

Jafarieh ve Ghannad (2006) zemin-yapı etkileşiminin miktarını belirlemek için bir deplasman tabanlı tasarım işlemi öngörmüşlerdir. Xuezhang ve Nobuo, (2006) tekil temelerde temel tipi ve şeklinin dinamik zemin-yapı etkileşimine etkisini, ince katmanlı eleman metodu ve esnek hacimli altyapı metodunu kullanarak incelemiştir. Bu çalışmada, empedanslar ve boşluklu veya düzensiz şekilli yüzeysel temelerin temel giriş hareketleri, boşluksuz dikdörtgen radye temellerle karşılaştırılmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlar göstermiştir ki; frekans yüksek değerlerde olmadığı zaman boşlukların etkisi de büyük değildir. Tekil temelin ve sürekli temelin dinamik özellikleri incelenmiştir ve eşdeğer radye temeller ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışmanın ana amacı, temel tipinin 3 boyutlu var olan güçlendirilmiş bir binanın sismik performansı üzerindeki önemini vurgulamaktır.

2. PERFORMANS KAVRAMI

2.1 Giriş

Performans amaçları, binaların olası bir depreme karşı göstereceği davranışı ifade eder, 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 isimlendirilir.

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

2.2. Performans Seviyeleri

Hakkında yeter derecede bilgi sahibi olunan bina ile belirli bir yer hareketi için hasar durumunun sınırlandırılması performans seviyeleri ile belirlenir. Bu performans seviyelerini belirleyen durumlar, binalardaki fiziksel hasarlar, bu hasarların yarattığı can güvenliği tehdidi ve depremden sonra yapının kullanılabilirliği olarak tanımlanabilir. Bina performans seviyeleri, yapısal ve yapısal olmayan performans

seviyelerinin kombinasyonları şeklinde ifade edilir. Bunlar için olası performans seviyeleri Tablo 2.1'de gösterilmiştir.

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

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

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 hasar meydana gelmiştir. Binanın taşıyıcı sisteminin, depremden önceki bütün taşıyıcılık özelliklerinin, düşey ve yatay yük taşıma kapasitesinin hemen hemen hiç değişmediği performans seviyesidir. Yapısal hasarlardan dolayı can güvenliğini

tehdit eden bir risk yoktur. Bina, giriş, çıkış ve tam kullanım için güvenli durumdadır.

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

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

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

Toplu Göçmenin Önlenmesi (Yapısal Stabilité) Performans Seviyesi SP-5: Taşıyıcı sistem güç tükenme sınırında bulunmaktadır. Yatay kuvveti karşılayan taşıyıcı sistemde önemli hasarlar oluşmuş, yanal rijitlik ve dayanımda önemli oranda azalmalar başlamıştır. Buna rağmen sistemin yükünü taşıyan bütün önemli yapı bileşenleri yapının sabit ve hareketli yüklerini taşıyabilecek durumdadır. Yapı stabilitesini kaybetmemesine rağmen deprem sonrası artçı şoklar sebebiyle her an göçme tehlikesiyle karşı karşıyadır. Eğer, binanın tekrar kullanılması gerekiyorsa mutlaka geniş kapsamlı bir güçlendirme yapılmalıdır. Genellikle, bu derece hasarlı binaların, gerek teknik gerekse ekonomik açıdan güçlendirilmesi uygun bir karar değildir. Ancak istisnai durumlarda güçlendirme yoluna gidilir. Bu performans seviyesinde toptan göçme tehlikesi kesin olarak engellenememiştir. Bununla birlikte taşıyıcı

olmayan performans seviyesi NP-E normal olarak SP-5 ile eşleşmek durumundadır. Diğer olasılıklar yapı zarar görse de içerisindeki eşyaların zarar görmemesinin gerektiği durumlarda geçerlidir. Özet olarak, bu seviye maksimum yer hareketine karşı yapının toptan göçmeye maruz kalmayacağı nihai noktadır. Bu seviyenin, yeni binalarda maksimum deprem etkisi altında sağlanması tavsiye edilir. Diğer bir önemli husus da, bu seviye ne kadar gerçeğe yakın görünse ve işlemleri uygun deneylerle açıklanabilse de henüz analitik bir yöntemle formüle edilebilmiş değildir.

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

2.2.2 Yapısal olmayan performans seviyeleri

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

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

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

Can Güvenliği Performans Seviyesi NP-C: Yapısal olmayan elemanlarda önemli zararların meydana geldiği ama bina içi ve dışında herhangi bir göçmenin olmadığı performans seviyesidir. Yapısal olmayan sistemler, makineler ekipmanlar ve araç

gereçler onarılıp yerlerine yerleştirilmeden çalıştırılmaz ve kullanılamazlar. Deprem süresince yapısal olmayan elemanların can güvenliği tehdit etme riski çok azdır.

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

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

2.2.3 Yapı performans seviyeleri

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

Kullanıma Devam Performans Seviyesi 1-A (B): Binanın yapısal olan ve yapısal olmayan elemanlarındaki hasar, kullanıma devamı etkilemeyecek seviyededir. Binanın yedek sistemlerinin devreye girmesiyle kullanıma devam edilebilir. Binada hasar sınırlandırılmış olduğu için, can güvenliği problem değildir, hiçbir onarıma ihtiyaç yoktur ve hiçbir tereddüde kapılmadan bina kullanılabilir.

Hemen Kullanım Performans Seviyesi 1-B (10): Bu seviye, önemli binalar için öngörülen seviye olup, binanın bütün hacimleri ve sistemleri kullanılabilecek durumdadır. Buralarda küçük onarımlara ihtiyaç duyulabilir.

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

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

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

2.3 Yer Hareketi

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

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

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

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

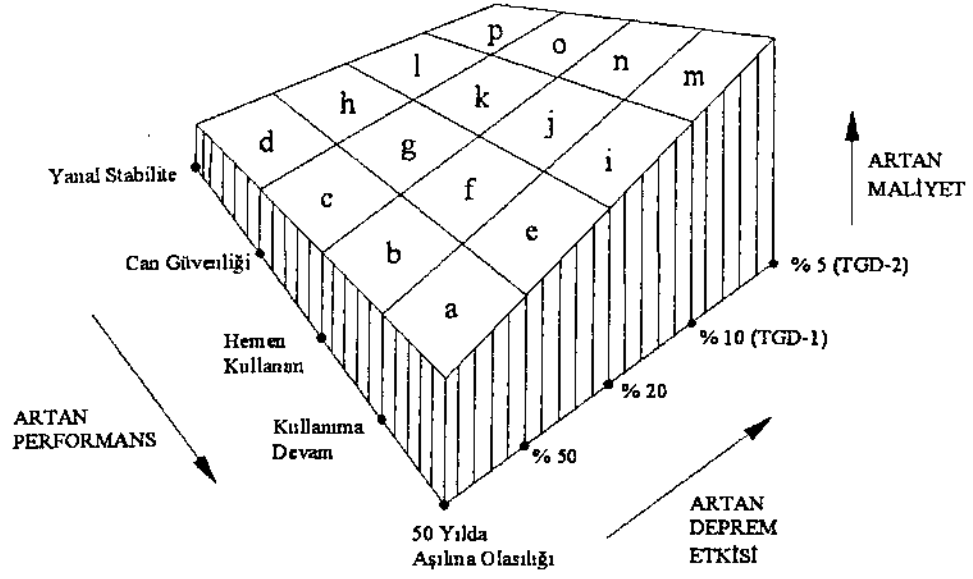
2.4. Performans Amaçları

2.4.1. Performans amaçlarının sınıflandırılması

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

Tablo 2.2: Performans amaçlarının sınıflandırılması**Performans Amacının Saptanması**

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



Şekil 2.1 Bina performans seviyeleri

2.4 Performans Amaçlarının Kararlaştırılması

2.4.1 Başlangıç performans amacı

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

2.4.2 Son performans amacı

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

3. DOĞRUSAL OLMAYAN STATİK ANALİZ

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 doğrusal olmayan analiz için basitleştirme yöntemleri, kapasiteyi ve karşılığı (yer değiştirme) 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. Doğrusal analiz yöntemlerinde malzeme bakımından doğrusal olmayan (nonlinear) davranış göz önüne alınmadığı için mevcut olan ek kapasite kullanılmamış olur. Doğrusal olmayan birçok temel analiz metodu tamamıyla doğrusal olmayan time history analizidir. Bu analiz genelde kullanılamayacak kadar karmaşıktır. Kullanılan basitleştirilmiş doğrusal olmayan analiz metodlarında ise maksimum yer değiştirmeyi tahmin etmek için kapasite eğrisi ile indirgenmiş talep spektrumunun kesişim noktası olarak uygulanan “Kapasite Spektrum Metodu” (CSM) ile doğrusal olmayan analiz işlemleri yapılır. Bu bölümde genel olarak kapasite spektrumu metodu ile doğrusal olmayan statik analiz işlemlerinin uygulanmasına yer verilecektir

Bir doğrusal 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 (doğrusal olmayan) analiz yapıların göçme anına kadar davranışını ve göçme durumundaki mod şeklinin gerçekten nasıl olacağını çok büyük bir yaklaşıklıkla gösterir.

Doğrusal 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 Doğrusal 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.

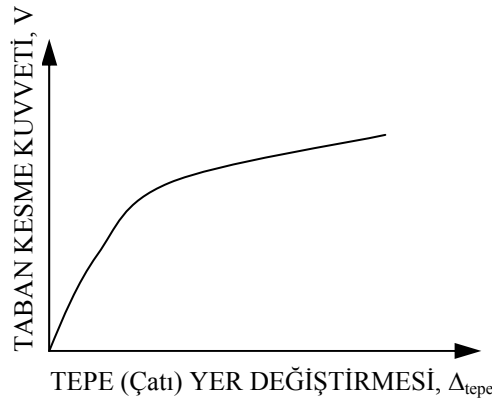
Kapasite spektrumu yöntemi ve deplasman katsayılar yöntemi gibi pushover yöntemleri kullanılarak basitleştirilmiş doğrusal olmayan analiz işlemlerini yapabilmek için öncelikle aşağıda açıklanan üç şeye ihtiyaç vardır: Kapasite, Talep (Talep yer değiştirmeleri) ve performans. Bunlar kısaca açıklanmıştır:

- **Kapasite:** Yapının tüm kapasitesi taşıma gücüne ve herbir yapı bileşenlerinin deformasyon yapabilme kapasitesine bağlıdır. Elastik sınıra kadar olan bölümdeki deformasyon yapabilme kapasitesi doğrusal analiz yöntemleri ile hesaplanabilir fakat elastik sınırın ötesindeki deformasyon yapabilme kapasitesini belirlemek için doğrusal 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 doğrusal olmayan davranış ve kapasite eğrisi bilgisayar programları tarafından direk olarak yapılabilmektedir.
- **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 (zaman tanım alanı hesap yöntemi) 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 Kapasitenin belirlenmesinde izlenen yol

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 değiştirme

SAP2000 gibi bazı doğrusal olmayan analiz programları statik itme analizini doğrudan yapabilmektedir. Eğer bu programlar kullanılmayacaksa aşağıdaki adımlar uygulanmalıdır. Kapasite 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 etkitilir (Analiz aynı zamanda düşey yükü de içermelidir).
2. Yatay ve düşey yükün gerekli kombinasyonları için elemanlarda oluşan iç kuvvetler 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 rijitlik sıfır veya çok küçük alınarak 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 işleme devam edilir.
8. P-Δ etkileri birbirinden çok fazla farklılık gösteren düzenli olmayan bir duruma geldiğinde yapı elemanları veya eleman grupları tamamıyla göçmeye başlıyor demektir. Bu durumda yapı düşey yük taşıma kapasitesini de kaybediyor anlamındadır. Bu nokta statik itme analizinin son noktasıdır.

3.2.2 Talep spektrumunun belirlenmesinde izlenen yol

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.

Performans seviyesini belirleyebilmek için kapasite eğrisi ile birlikte sismik talebin de belirlenmesi gerekir. Bu talep yer değiştirmelerini belirlemek için Kapasite Spektrumu Yöntemi 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 itibariyle üç yöntem de aynıdır ama matematik ifadeleri farklılıklar gösterir.

- **Kapasite Spektrum Yönteminin Kavramsal İfadesi:** Bu bölüm kapasite spektrum yönteminin teorik temellerini, gerekli formülasyonları ve hesabını içerir. Bu bölüm adım adım performans noktasını bulmayı anlatmaz, bunun için A,B,C yöntemlerini incelemek gerekir.
- **Yöntem A:** Bu yöntem kavramın en direkt uygulamasıdır. Tamamıyla iteratif bir yöntemdir; fakat formüllendirilmiş esaslar kolaylıkla bilgisayar programlarına adapte edilebilir. Bu grafikten çok analitik bir yöntemdir. 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 yöntemdir. El ile analiz için en uygun yöntemdir. Fakat anlaşılması zordur ve bilgisayara uyarlaması tam değildir.

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 (ADRS) formatındadır. Dönüşümü yapabilmek için gerekli formüller:

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

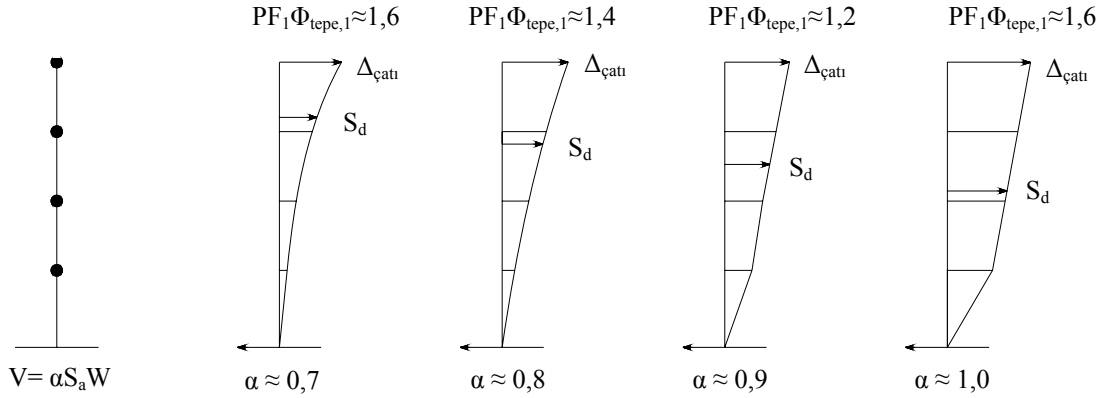
$$M_1^* = \left[\frac{\left(\sum_{i=1}^N m_i * \phi_{i1} \right)^2}{\sum_{i=1}^N m_i * \phi_{i1}^2} \right] \quad (3.2)$$

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

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

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

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

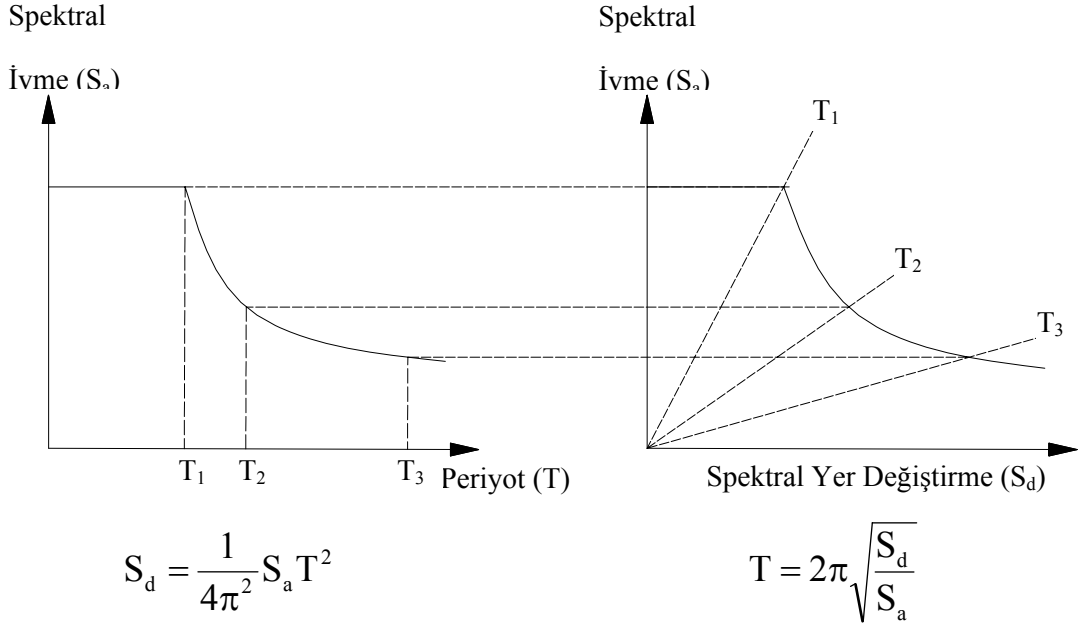


Şekil 3.2: Modal Katılma Katsayıları ve Modal Kütle Katsayıları için bir örnek

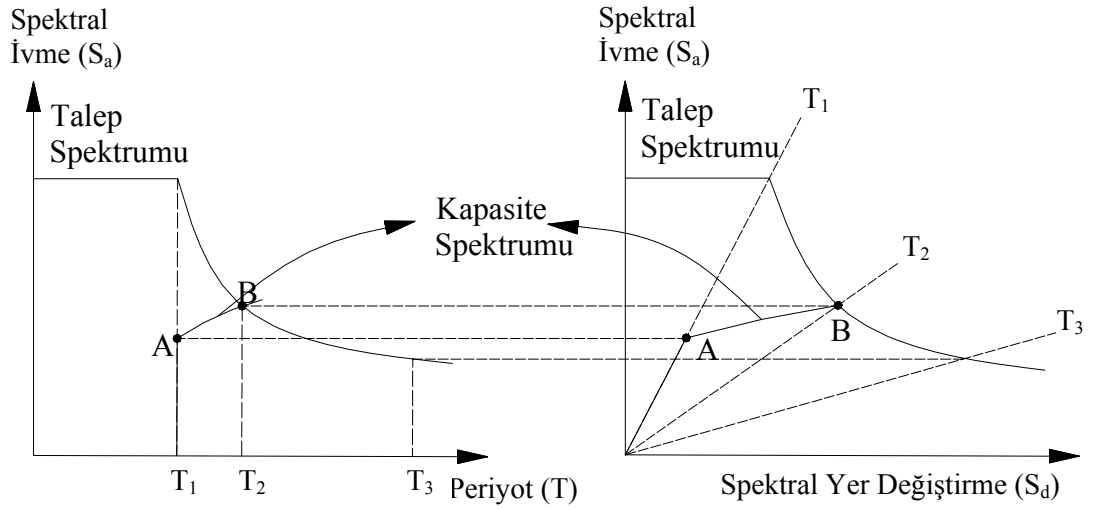
- Γ_1 = Birinci doğal titreşim modu için Modal Katılma Katsayısı
- α_1 = Birinci doğal titreşim modu için Modal Kütle Katsayısı
- w_i/g = i. Kattaki toplanmış kütle
- Φ_{1i} = i. Kattaki modun şekli
- N = Yapıdaki kat sayısı
- V_b = Taban kesme kuvveti
- W = Zati yük + n*Hareketli yük
- Δ_{tepe} = Tepe yer değiştirmesi (V ve Δ_{tepe} kapasite Eğrisini oluşturur)
- S_a = Spektral ivme
- ϕ_{N1} = Yapının en üst katına ait yanal yer değiştirme
- S_d = Spektral yer değiştirme (S_a ve S_d kapasite Spektrumunu oluşturur.)

Kapasite 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.



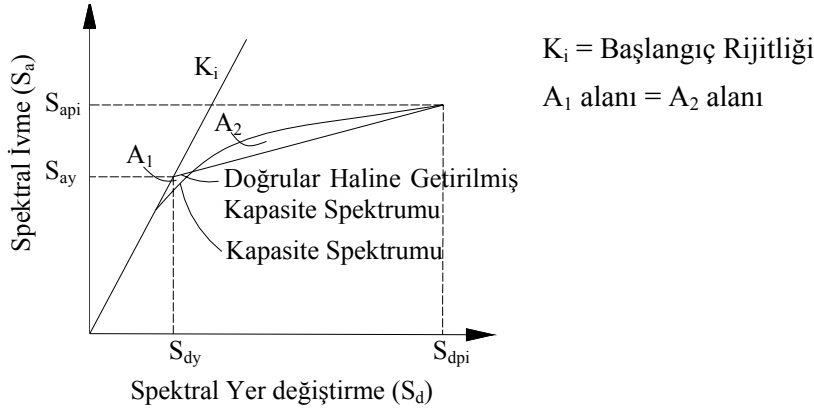
Şekil 3.3: Geleneksel ve ADRS formatlarında talep spektrumları



Şekil 3.4: Kapasite spektrumu ile talep spektrumunun üst üste çizilmiş şekli

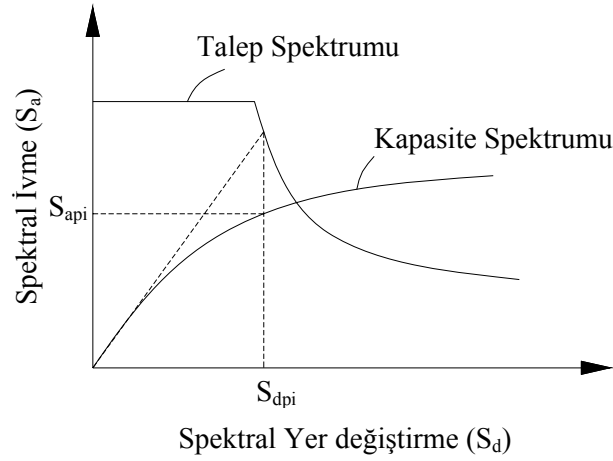
Şekil 3.4'te görüldüğü gibi kapasite spektrumu T_1 periyodunda A noktasına kadar sabittir. B noktasına ulaşıldığında periyod T_2 'dir. Bu durum yapı elastik olmayan davranış göstermeye başladığı zaman periyodunun arttığını ifade eder. Periyodun artması geleneksel spektrum üzerinde açıkça görülmektedir;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

3.2.3.2 Kapasite spektrum eğrisinin lineerleştirilmesi



Şekil 3.5: Kapasite spektrumu metodu için kapasite spektrumunu doğrular (bilineer) 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} koordinatlarının da 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 3.6'da gösterildiği gibi aynı grafik ortamda çizilir. Kapasite eğrisinin lineer kısmı uzatılarak %5 sönümlü talep spektrumu ile kesiştirilir. Bu kesişim noktasının kapasite eğrisi üzerindeki izdüşümü alınarak başlangıç performans noktasının koordinatları olan S_{api} ve S_{dpi} bulunur. Şekil 3.5'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 sönümlemesini sağlamaktır ve doğrular şeklinde kapasite spektrumu elde edilmiş olur. Talep spektrumu ile kapasite spektrumu bu tahmin edilen S_{api} ve S_{dpi} noktasında kesişiyorsa bu nokta Performans Noktasıdır. İlk tahmin edilen nokta S_{ap1} , S_{dp1} , ikincisi S_{ap2} , S_{dp2} ve böyle devam eder. Performans noktasının üç ayrı yöntemle de adım adım bulunması ileride anlatılacaktır.



Şekil 3.6: Kapasite spektrum eğrisi ile %5 sönümlü talep spektrum eğrisinin aynı grafik ortamda çizilmesi

3.2.3.3 %5 Sönümlü talep spektrum eğrisinin oluşturulması

%5 sönümlü talep spektrum eğrisi sismik katsayılara bağlı olarak tanımlanır. Bu sismik katsayılar C_A ve C_V dir. C_A ve C_V yapının bulunduğu deprem bölgesine, deprem kaynağına olan mesafeye, hesaplamalarda kullanılacak olan deprem türüne ve yapının bulunduğu zeminin sınıfına bağlı olarak hesaplanır. Yapının bulunduğu deprem bölgesine göre Deprem Bölge Katsayısı Z Tablo 3.1’den okunur.

Tablo 3.1 Deprem Bölge Katsayısı

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

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

Tablo 3.2: Kaynağa Mesafe Katsayısı

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

Yapının bulunduğu zeminin türüne göre Tablo 3.3'den zemin sınıfı belirlenir.

Tablo 3.3: Zemin Sınıfı Tablosu

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

Hesaplarda kullanılacak olan deprem etkisi belirlenir. Bu deprem 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;
 - o 4. Bölge için $E = 1.25$
 - o 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 3.4 ve Tablo 3.5'den C_A , C_V sismik katsayıları belirlenir.

Tablo 3.4: 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					

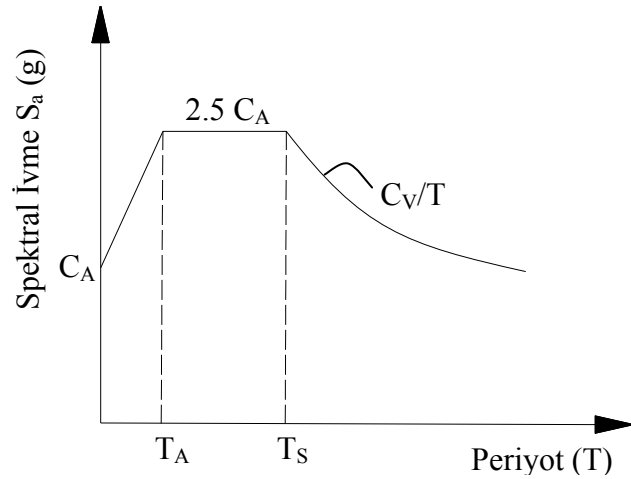
Tablo 3.5: Deprem Katsayısı C_V
Deprem Katsayısı ZEN1

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 3.7’de gösterildiği gibi çizilir.

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

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

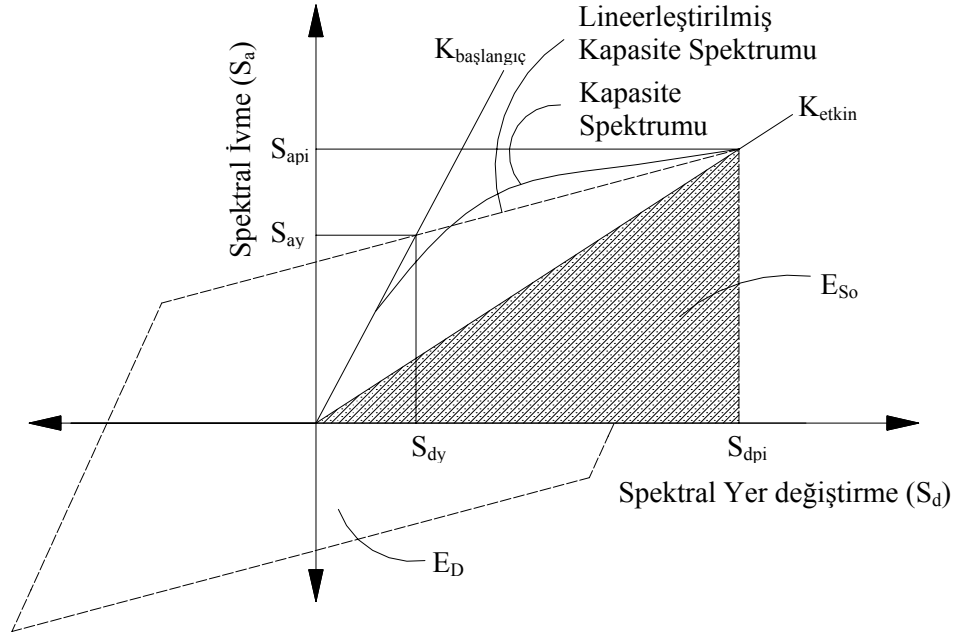


Şekil 3.7: %5 Sönümlü elastik deprem spektrumu

3.2.3.4 Sönümün tahmini ve %5 sönümlü talep spektrumunun indirgenmesi

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 3.7’de görüldüğü gibi elastik sınır aşıldığında bir çevrimsel değışim gösterir.



Şekil 3.7: Spektral indirgeme için sönümün ifadesi

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

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

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

olarak bulunabilir. Burada E_D bir çevrimde sönümle tüketilen enerji olup çevrim içinde kalan alana ve E_{S_0} aynı yük seviyesi altındaki maksimum şekil değıştirme enerjisine (Şekil 3.8’da taranan alana) karşılık gelir. Geometrik bağıntılar kullanılarak

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

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 değerlerini göstermektedir. Çevrimsel sönümün belirlenmesinde kullanılan paralel kenarın gerçek yapıda farklı olabileceği düşünülerek bir κ düzeltme katsayısı

öngörülmüştür. Çevrimsel davranışın tam olarak oluşmadığı yapıların kalitesi düşük yapılarda bu katsayı daha küçük seçilir. Yeni yapılarda sönüm 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 3.6'den, düzeltme katsayısı Tablo 3.7'den alınabilir.

Tablo 3.6: 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 3.7: Sönüm düzeltme katsayısı

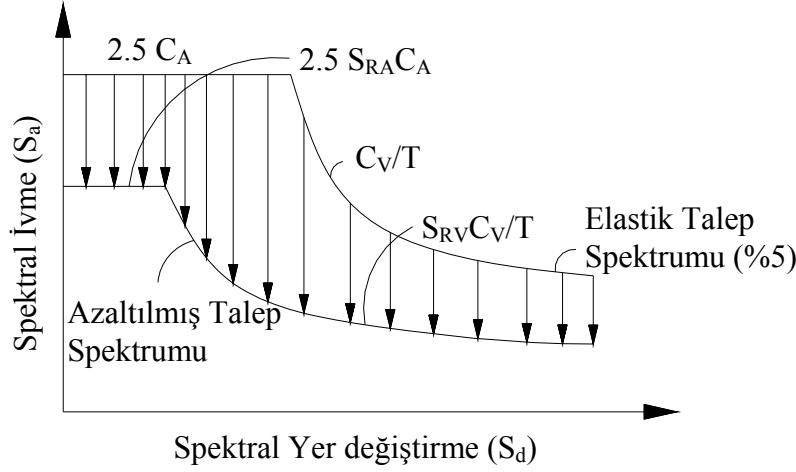
Yapı Davranış Türü	A	B	C
K	1.00	0.67	0.33

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 3.8). Bu katsayılar yapıda deprem etkisine bağlı olarak çıkacak sönüme ve yapı davranış türüne bağlı olup, Tablo 3.8'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 3.9'de verilen minimum değerlerden büyük olması gerekir.



Şekil 3.8: Talep spektrumunun azaltılması

Tablo 3.8: 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 3.9: Spektral azaltma katsayıları S_{RA} ve S_{RV} 'nin minimum değeri

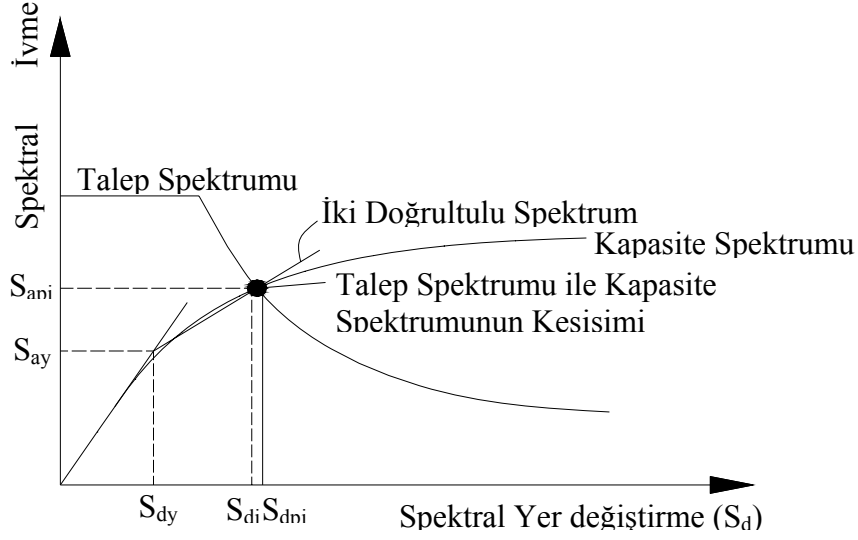
	Yapı davranış türü A	Yapı davranış türü B	Yapı davranış türü C
S_{RA}	0.33	0.44	0.56
S_{RV}	0.50	0.56	0.67

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

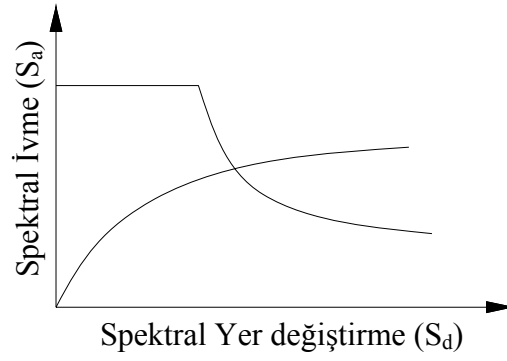


Şekil 3.9: Talep spektrumu ve kapasite spektrumlarının kabul edilebilir toleranslar içindeki kesişim noktası

3.2.4.2 Yöntem A'yı kullanarak performans noktasını hesaplama

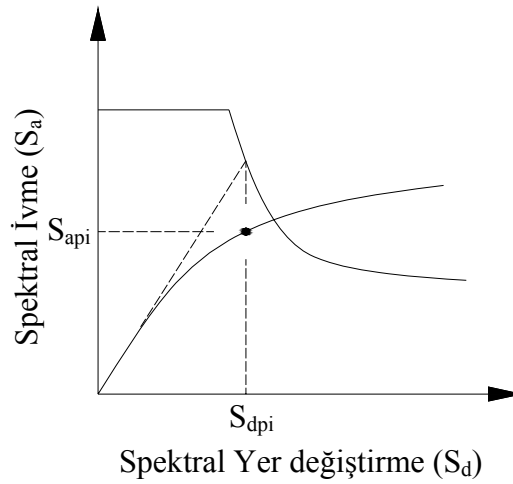
Bu yöntemde performans noktasını bulmak için yapılacak iterasyonlar el ile veya bilgisayarla yapılabilir. Bu yöntem daha önce bahsedilen prensiplerin en sade biçimde uygulamasıdır. İşlemler aşağıda gösterilen sırayla yapılır.

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 3.10'deki gibi aynı grafikte gösterilir.



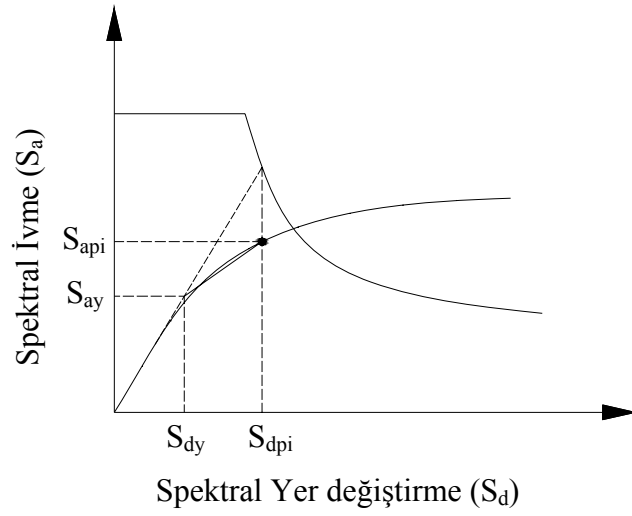
Şekil 3.10: Yöntem A, ikinci adım

3. Şekil 3.11'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.



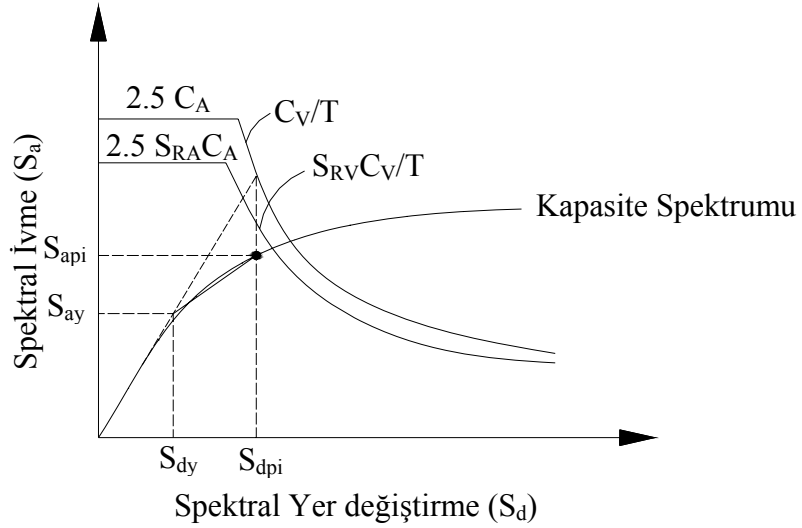
Şekil 3.11: Yöntem A, üçüncü adım

4. Bölüm 3.2.3.2'de anlatıldığı gibi kapasite spektrumu Şekil 3.12'teki gibi doğru şeklinde kapasite spektrumuna dönüştürülür.



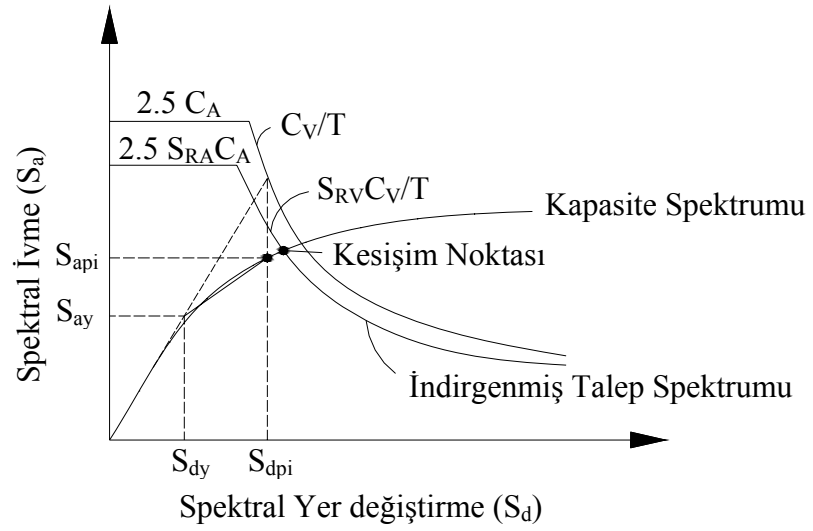
Şekil 3.12: Yöntem A, dördüncü adım

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 3.13’te gösterildiği gibi kapasite spektrumu ile indirgenmiş talep spektrumu aynı grafikte çizilir.



Şekil 3.13: 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 3.14)

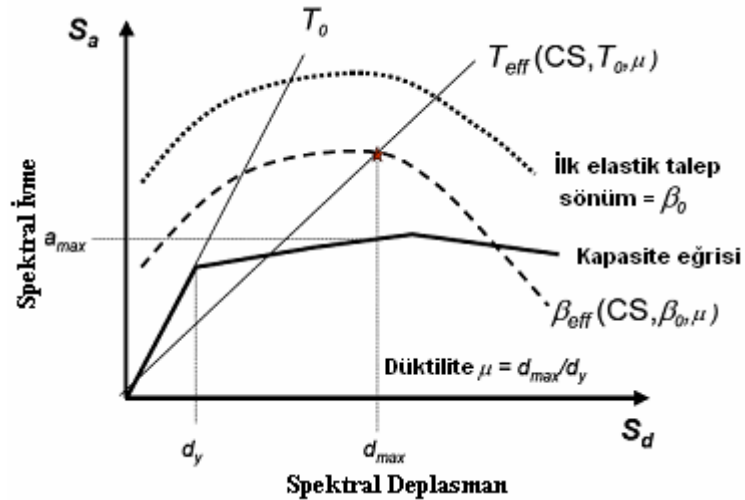


şekil 3.14: Yöntem A, altıncı adım

7. Eğer S_{ap} , S_{dp} noktası yeterli, kabul edilebilir yakınlıkta değilse dördüncü adıma dönölür 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. EŞDEĞER LINEERLEŞTİRME İÇİN GELİŞTİRİLMİŞ İŞLEMLER

Bu bölümde FEMA440'ta (2005) yer alan Kapasite Spektrum Metodunun (CSM) bir modifikasyonu olan geliştirilmiş eşdeğer lineerleştirme işlemi sunulmuştur. Eşdeğer lineerleştirme, doğrusal olmayan statik işlemin bir parçası olarak kullanıldığı zaman, tek serbestlik dereceli salınımı (SDOF osilatörü) ile bir binanın doğrusal olmayan tepkisini modeller, amaç efektif periyot, T_{eff} , ve efektif sönüm, β_{eff} , kullanan bir eşdeğer doğrusal sistem ile doğrusal olmayan sistemin maksimum deplasman tepkisini tahmin etmektir. Kapasite eğrisi olarak tanımlanan ivme-deplasman tepki spektrumu formatındaki SDOF (single degree of freedom, tek serbestlik dereceli) osilatörü için global-kuvvet şekil değiştirme ilişkisi Şekil 4.1 'de gösterilmiştir. Şekil 4.1 'de gösterilen kapasite eğrisi, klasik işlemler kullanılarak geliştirilmiştir. Efektif lineer parametreler olan ilk periyot, ilk sönüm ve süneklik talebi, μ , kapasite eğrisinin karakteristik fonksiyonlarıdır.



Şekil 4.1: Eşdeğer Lineer Sistemin Efektif Periyot ve Efektif Sönüm Parametrelerini Gösteren İvme-Deplasman Tepki Spektrumu (ADRS)

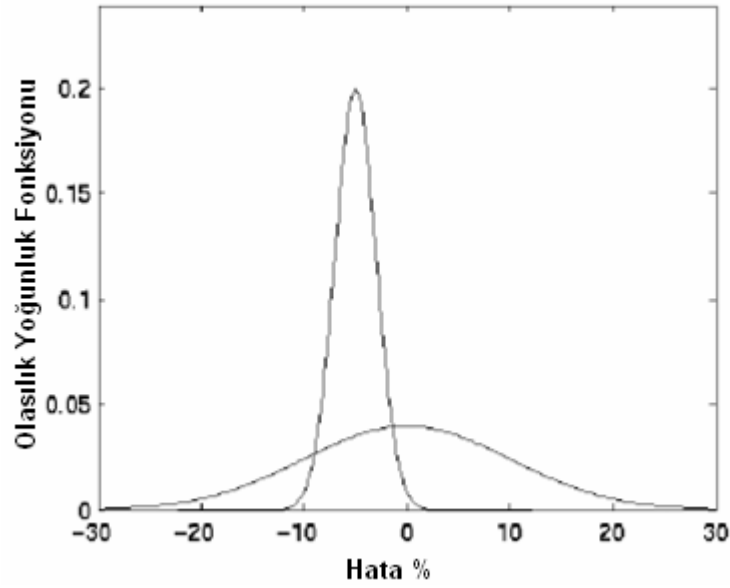
Geliştirilmiş eşdeğer lineerleştirme işlemleri için FEMA440'da verilen öneriler ATC-40 'ta (2005) bulunan daha önceki işlemlere dayanır ve işlemleri çoğu değişmeden kalmıştır. Bu bölüm FEMA440'da değişen parçalara odaklanmıştır.

İlerleyen bölümlerde efektif sönümün ve efektif periyodun belirlenişi sunulmuştur. Bu bölüm, bilinen Kapasite Spektrum Metoduyla (CSM) örtüşen modifiye talep spektrumunun oluşturulması ve yapısal modelin performans noktasının belirlenmesi tekniklerini içermektedir. Birinci talep spektrumunda efektif sönümden dolayı meydana gelen azaltma, Bölüm 4.3’de verilen klasik tekniklerle hesaplanabilir. Efektif sönüm ile ilgili daha önceki limitler FEMA440’da ki bu yeni işlemlerde uygulanmamalıdır. Ancak uygulayıcı, sonuçların ortalama tepkinin bir değerlendirmesi olduğunu ve düşük performans sergileyen ve/veya davranışlarında büyük kararsızlık gösteren yapı için bir güvenlik faktörünün olmadığını bilmelidir. Eşdeğer lineerleştirme için efektif parametreler sünekliğin fonksiyonlarıdır. Süneklik (maksimum deplasmanın, akma deplasmanına oranı) analizlerin amacı olduğunda çözüm tekrarlı veya grafiksel tekniklerle bulunmalıdır. Bu tekniklerden 3 tanesi Bölüm 4.4 ‘de sunulmuştur.

Son olarak belirtilmelidir ki bu işlemler aşırı derecede yüksek süneklik için güvenilir değildirler. (örneğin 10-12 ‘den daha büyük değerler için)

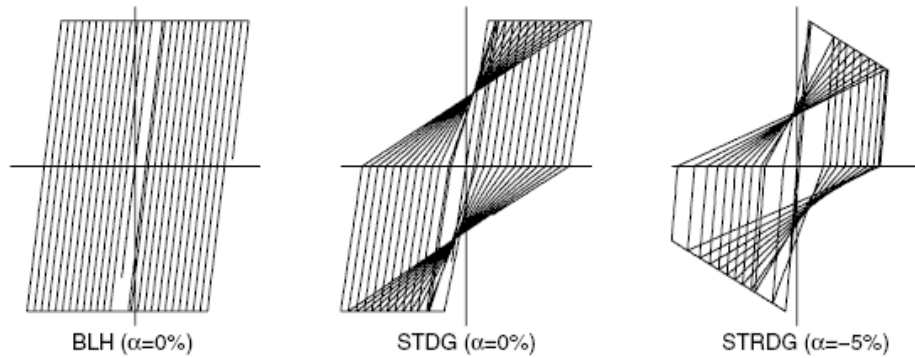
4.1. Temel Eşdeğer Lineerleştirme Parametreleri

Optimum eşdeğer lineer parametreler, (ör; efektif periyot, T_{eff} , ve efektif sönüm, β_{eff}), gerçek inelastik sistemin maksimum tepkisi ile onun eşdeğer lineer karşılığı arasındaki farkların maksimum oluşunu (ör; hata) minimize edecek şekilde, istatistiksel bir analizle belirlenir. Klasik olarak, hatanın ölçüsü deplasmanlar arasındaki mutlak farkın ortalamasıdır. Bu Şekil 4-2 ’de örneklendirilmiştir. Düzgün bir dağılım olduğu durumda ortalama hatanın sıfır olduğu lineer parametreleri seçmek mümkündür, daha dar bir eğri eşdeğer lineer parametreleri betimler. Bunun nedeni daha küçük standart sapmaya sahip olmasıdır.



Şekil 4.2: Bir Gauss dağılımı için deplasman hatasının olasılık yoğunluk fonksiyonunun örnek gösterimi

Şekil 4.3’de görüldüğü gibi bilineer histeritik (BLH), rijitlik-azaltma (stiffness-degrading, STDG) ve dayanım azaltma (strength-degrading) davranışları içeren farklı inelastik histeritik sistemlerin bir çeşidi çalışılmıştır. Farklı inelastik sistemler Bilineer modelin (BLH), elastik mükemmel plastik (EPP) ile aynı olduğunu dikkate alınmalıdır. Benzer şekilde rijitlik azaltma modeli (STDG), SD modeli ile aynıdır. Buna karşılık kuvvet azaltıcı model (STRDG) ile SSD modeli farklılık gösterir. Post-elastik rijitlik oranının, α , negatif bir değeri çevirimin azaltma göstergesidir. Aynı zamanda her tip davranış için optimize edilmiş parametreler mevcuttur.



Şekil 4.3: İnelastik davranış tipleri. BLH: Bilineer Histeritik, STDG: Rijitlik İndirgeme, STRDG: Kuvvet İndirgeme

4.1.1. Efektif sönüm

Efektif viskoz sönüm değerleri, kritik sönüm yüzdesi olarak ifade edilebilir. Bütün hysteretik model tipleri ve alfa değerleri için aşağıda gösterildiği gibidir:

$1.0 < \mu < 4.0$ için:

$$\beta_{eff} = A(\mu - 1)^2 + B(\mu - 1)^3 + \beta_0 \quad (4.1)$$

$4.0 \leq \mu \leq 6.5$ için:

$$\beta_{eff} = C + D(\mu - 1) + \beta_0 \quad (4.2)$$

$6.5 > \mu$ için:

$$\beta_{eff} = E \left[\frac{F(\mu - 1) - 1}{[F(\mu - 1)]^2} \right] \left(\frac{T_{eff}}{T_0} \right) + \beta_0 \quad (4.3)$$

Denklemlerdeki, model osilatörlerin efektif sönümü için kullanılan katsayıların değerleri Tablo 4.1 'de gösterilmiştir. Bunlar osilatör için, temel hysteretik tip ve post-elastik rijitlik (α) cinsinden, kapasite eğrisinin karakteristik bir fonksiyonudur.

Tablo 6.1'de verilen katsayılar, amprik sonuçları idealize edilmiş model osilatörlere uyarlamak için optimize edilmiştir. Bu idealize edilmiş model osilatörler için Elastik Mükemmel Plastik (elastic perfectly plastic, EPP), Rijitlik Azaltma (stiffness degrading SD), ve Dayanım ve Rijitlik Azaltma (strength and stiffness degrading, SDD) gibi hysteretik davranışlar tanımlanmıştır. Gerçek binalar birçok elemanın kombinasyonundan oluşmaktadırlar. Bu elemanların her birinin değişik rijitlik ve dayanım karakteristikleri olabilir. Bu nedenle gerçek binalar tam olarak bu osilatördekilere uyan hysteretik davranışları nadiren sergilerler. Bu katsayılar birçok bileşeni olan bina modellerine uyarlanırken dikkatli olunmalıdır. Ancak bütün bileşenler benzer davranış özellikleri gösteriyorlarsa (ör: pekleşmeli ve rijitlik indirgemeli beton eğilme kontrolü), tüm binanın hysteretik davranışı ile basitçe idealize edilmiş osilatörlerin davranışının aynı olduğu sonucu kabul edilebilir. Bileşenleri, farklı kuvvet- deformasyon davranışı sergileyen bina modelleri için hangi katsayıların kullanılacağı çok net değildir. Uygulayıcı şüpheye düştüğünde bir sonraki paragrafta sunulan daha genel optimize eşitlikleri kullanılmalıdır.

Tablo 4.1: Efektif Sönüm İçin Denklemlerde Kullanılan Katsayılar

Model	α (%)	A	B	C	D	E	F
Bilineer Histeritik	0	3,2	-0,66	11	0,12	19	0,73
Bilineer Histeritik	2	3,3	-0,64	9,4	1,1	19	0,42
Bilineer Histeritik	5	4,2	-0,83	10	1,6	22	0,4
Bilineer Histeritik	10	5,1	-1,1	12	1,6	24	0,36
Bilineer Histeritik	20	4,6	-0,99	12	1,1	25	0,37
Rijitlik İndirgeme	0	5,1	-1,1	12	1,4	20	0,62
Rijitlik İndirgeme	2	5,3	-1,2	11	1,6	20	0,51
Rijitlik İndirgeme	5	5,6	-1,3	10	1,8	20	0,38
Rijitlik İndirgeme	10	5,3	-1,2	9,2	1,9	21	0,37
Rijitlik İndirgeme	20	4,6	-1	9,6	1,3	23	0,34
Rijitlik İndirgeme	-3	5,3	-1,2	14	0,69	24	0,9
Rijitlik İndirgeme	-5	5,6	-1,3	14	0,61	22	0,9

a. Post-elastik rijitliğin negatif değerleri α_e^1 ile sınırlandırılmalıdır.

Efektif sönüm değeri için aşağıda verilen yaklaşım denklemleri, çalışmada kullanılan histeritik model tipi ve alfa değerinden bağımsız olarak herhangi bir kapasite eğrisine uygulamak için optimize edilmiştir.

$1,0 < \mu < 4,0$ için:

$$\beta_{eff} = 4,9(\mu - 1)^2 + 1,1(\mu - 1)^3 + \beta_0 \quad (4.4)$$

$4,0 \leq \mu \leq 6,5$ için:

$$\beta_{eff} = 14,0 + 0,32(\mu - 1) + \beta_0 \quad (4.5)$$

$6,5 > \mu$ için:

$$\beta_{eff} = 19 \left[\frac{0,64(\mu - 1) - 1}{[0,64(\mu - 1)]^2} \right] \left(\frac{T_{eff}}{T_0} \right) + \beta_0 \quad (4.6)$$

4.1.2. Efektif periyot

Efektif periyot değerleri, bütün histeritik model tipleri ve alfa değerleri için aşağıdaki gibidir:

1. α_e : FEMA440 Bölüm 4.3'de verilen efektif post-elastik rijitlik

1,0 < μ < 4,0 için:

$$T_{eff} = [G(\mu - 1)^2 + H(\mu - 1)^3 + 1]T_0 \quad (4.7)$$

4,0 ≤ μ ≤ 6,5 için:

$$T_{eff} = [I + J(\mu - 1) + 1]T_0 \quad (4.8)$$

6,5 > μ için:

$$T_{eff} = \left\{ K \left[\sqrt{\frac{(\mu - 1)}{1 + L(\mu - 2)}} - 1 \right] \right\} T_0 \quad (4.9)$$

Model osilatörlerin efektif periyodu için denklemlerde kullanılan katsayıların değerleri Tablo 4.1 'de verilmiştir. Bunlar osilatör için, temel histeritik tip ve post-elastik rijitlik (α) cinsinden, kapasite eğrisinin karakteristik bir fonksiyonudur.

Tablo 4.2: Efektif Periyot İçin Denklemlerde Kullanılan Katsayılar

Model	α (%)	G	H	I	J	K	L
Bilineer Histeritik	0	0,11	-0,017	0,27	0,09	0,57	0,00
Bilineer Histeritik	2	0,10	-0,014	0,17	0,12	0,67	0,02
Bilineer Histeritik	5	0,11	-0,018	0,09	0,14	0,77	0,05
Bilineer Histeritik	10	0,13	-0,022	0,27	0,1	0,87	0,10
Bilineer Histeritik	20	0,10	-0,015	0,17	0,094	0,98	0,20
Rijitlik İndirgeme	0	0,17	-0,032	0,10	0,19	0,85	0,00
Rijitlik İndirgeme	2	0,18	-0,034	0,22	0,16	0,88	0,02
Rijitlik İndirgeme	5	0,18	-0,037	0,15	0,16	0,92	0,05
Rijitlik İndirgeme	10	0,17	-0,034	0,26	0,12	0,97	0,10
Rijitlik İndirgeme	20	0,13	-0,027	0,11	0,11	1,00	0,20
Rijitlik İndirgeme	-3	0,18	-0,033	0,17	0,18	0,76	-0,03
Rijitlik İndirgeme	-5	0,20	-0,038	0,25	0,17	0,71	-0,05

a. Post-elastik rijitliğin negatif değerleri α_e^2 ile sınırlandırılmalıdır.

Tablo 4.2 'deki kullanılan katsayılar, gerçek binalar için Bölüm 4.2.1'deki efektif sönümle aynı kısıtlamalara tabidir. Şüpheye düşüldüğünde, uygulayıcı tarafından herhangi bir kapasite spektrumuna uygulanan optimize edilmiş efektif periyot değerleri için, alfa değerinden veya histerik model tipinden bağımsız olan aşağıdaki denklemler kullanılmalıdır.

2. α_e : FEMA440 Bölüm 4.3'de verilen efektif post-elastik rijitlik

1,0 < μ < 4,0 için:

$$T_{eff} = [0,2(\mu - 1)^2 + 0,038(\mu - 1)^3 + 1]T_0 \quad (4.10)$$

4,0 ≤ μ ≤ 6,5 için:

$$T_{eff} = [0,28 + 0,13(\mu - 1) + 1]T_0 \quad (4.11)$$

6,5 > μ için:

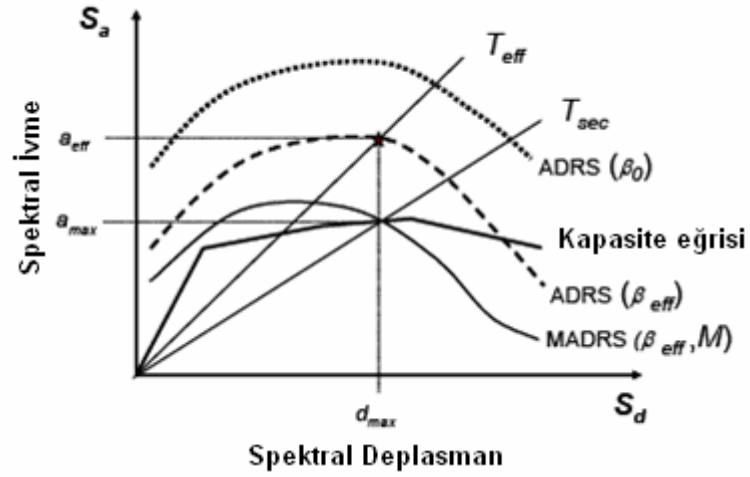
$$T_{eff} = \left\{ 0,89 \left[\sqrt{\frac{(\mu - 1)}{1 + 0,05(\mu - 2)}} - 1 \right] \right\} T_0 \quad (4.12)$$

Bu ifadeler sadece $T_0 = 0.2 - 2.0$ aralığında geçerlidir.

4.1.3. Sekant periyotlu kullanım için MADRS

Klasik Kapasite-Spektrum Metodu, maksimum deplasmanı belirleyen (performans noktasını) efektif lineer periyot gibi, sekant periyodunu kullanır. Bu varsayımdan elde edilen sonuçlara göre ADRS formatındaki efektif sönümün talep eğrisi ve yapının kapasite eğrisinin kesişiminde maksimum deplasman oluşur. Bu özellik iki nedenden dolayı kullanışlıdır. Birincisi, kapasite ve talebin doğrudan grafiksel karşılaştırması mühendise kolaylık bir sağlar. İkincisi, maksimum deplasmanda kapasite eğrisiyle kesişen modifiye edilmiş ADRS talep eğrisine (MADRS) dayanan eşdeğer lineerleştirme için çok efektif çözüm stratejileri vardır.

Bölüm 4.1.1 ve 4.1.2 'deki efektif periyot ve sönüm eşitliklerinin kullanımı, radyal efektif periyot çizgisi ve efektif sönüm için ADRS talebinin kesişimi ile çıkan maksimum deplasmanı verir (Şekil 4.4'de görüldüğü gibi). Geliştirilmiş işlemin efektif periyodu, (T_{eff}), kapasite eğrisi üzerinde maksimum deplasmana, (d_{max}), karşılık gelen noktadan geçen sekant periyodundan, (T_{sec}), genellikle daha kısadır. Gerçek maksimum ivme (a_{max}) kapasite eğrisi üzerinde uzandığı ve maksimum deplasmana karşılık gelen noktayla kesiştiğinde, efektif ivme (a_{eff}) anlamlı değildir.



Şekil 4.4: Sekant periyotlu kullanım için modifiye edilmiş ivme-deplasman tepki spektrumu (MADRS)

Efektif sönüm olan β_{eff} değerine karşılık gelen ADRS talebi ile modifikasyon faktörü çarpılarak modifiye ADRS talebi (MADRS) elde edilir. MADRS eğrisi ile kapasite eğrisinin kesiştiği nokta performans noktasıdır.

$$M = \frac{a_{max}}{a_{eff}} \quad (4.13)$$

İvme değerleri doğrudan bunlara karşılık gelen periyotlarla bağlantı olduğunda modifikasyon faktörü aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$M = \left(\frac{T_{eff}}{T_{sec}} \right)^2 = \left(\frac{T_{eff}}{T_0} \right)^2 \left(\frac{T_0}{T_{sec}} \right)^2 \quad (4.14)$$

Bölüm 4.2 'deki efektif periyot için olan denklemleri kullanarak aşağıdaki denklem yazılabilir.

$$\left(\frac{T_0}{T_{sec}} \right)^2 = \frac{1 + \alpha(\mu - 1)}{\mu} \quad (4.15)$$

α , Denklem 4.18 'de verilen post-elastik rijitliktir.

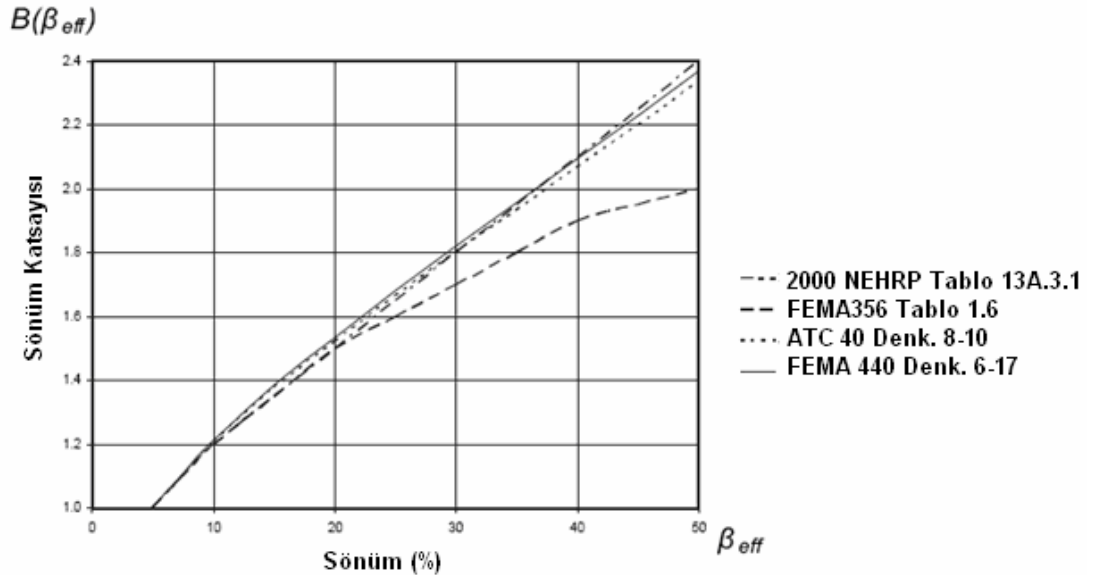
4.2. Efektif Sönüm İçin Spektral İndirgeme

Eşdeğer lineerleştirme işlemlerinin uygulamasında, normal olarak ilk tepki spektrumunu, efektif sönümün (β_{eff}) uygun seviyesine uyarlamak için bir spektral azaltım faktörü kullanılmasına ihtiyaç vardır. Bunlar aynı zamanda Bölüm 5 'de verilen temel sönümü için uyarlamada pratik bir yoldur. Temel sönümü olduğu durumda ilk sönüm değeri (β_0), esnek temel yapı modeli için sabit temel (ankastre) yapı modelinin lineer değerinden (β_i) (ör; %5) modifiye edilerek elde edilir. Bu indirgeme faktörleri, efektif sönümün fonksiyonudur ve sönüm katsayıları olarak tanımlanmışlardır ve $B(\beta_{eff})$ ile simgelenmektedir. Bu faktörler spektral ivme ordinatlarına aşağıdaki gibi uygulanır:

$$(S_a)_\beta = \frac{(S_a)_0}{B(\beta_{eff})} \quad (4.16)$$

Geçerli işlemlerde $B(\beta_{eff})$ belirlenmesi için çeşitli seçenekler vardır. Bunlardan bazıları Şekil 4.5 'de verilmiştir. Aynı zamanda aşağıdaki ifade de şekilde gösterilmiştir.

$$B = \frac{4}{5,6 - \ln \beta_{eff}(\%)} \quad (4.17)$$



Şekil 4.5: Çeşitli Kaynak Dokümanlarda Yer Alan, Sönümün (β_{eff}) bir Fonksiyonu Olan Sönüm Katsayısı B (FEMA440, 2005)

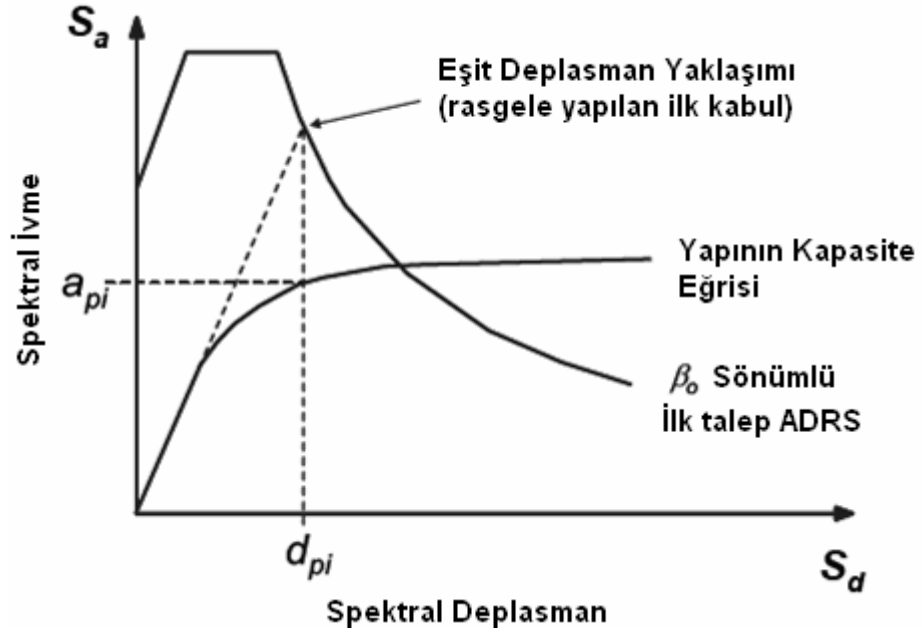
Bu basit ifade, NEHRP (2000) ve ATC-40 'da verilen eşitliklere çok yakın bir ifadedir. Geçerli şartnameler değiştirilerek Denklem 4.17'nin konulması önerilmiştir.

4.3. Çözüm İşlemleri

Efektif periyot T_{eff} ve efektif sönüm β_{eff} , süreklilik talebinin fonksiyonları olduğunda, maksimum deplasman hesaplamalarında eşdeğer lineerleştirme kullanımı iterasyon veya grafiksel bir çözüm işlemi gerektirmez. Bu bölümde FEMA440'da sadece üç alternatif işlem sunulmuştur. Diğer işlemleri de uygulamak mümkündür.

Burada sunulan bütün işlemlerde aşağıdaki başlangıç adımları gereklidir:

1. Başlangıç sönümü olan β_i (genellikle %5) ile ilgili olan yer hareketinin bir spektral formu seçilmelidir. Yönetmeliklerde yer alan tasarım spektrumu, bir yere özgü belirleyici bir spektrum veya bir eşit afet olasılık spektrumu olabilir.
2. Seçilen spektrum, işlemlere uygun olarak, yapı-zemin etkileşiminden dolayı uygun bir şekilde modifiye edilmelidir. Bu modifikasyon, kinematik etkilerden dolayı spektral ordinatlarda potansiyel indirgeme ve temel sönümünden dolayı sistemin sönümünde başlangıç sönümü β_i 'nin β_0 'a dönüştürülmesidir. Eğer temel sönümü göz ardı edilirse $\beta_0 = \beta_i$ alınır.
3. Seçilen spektrum ivme-deplasman spektrumu formatına dönüştürülmelidir. Bu spektrum başlangıç talep ADRS'dir. (Şekil 4.6 verilmiştir.)
4. Yapı için yapılan analiz sonucu bir kapasite eğrisi elde edilir. Bu yapının bir SDOF modeli için spektral ivme ve spektral deplasman arasındaki temel ilişkidir (Şekil 4.6'de görüldüğü gibi). Bununla ilgili ayrıntılı işlemler çoğu yönetmelikte bulunmaktadır. Ancak bazı yönetmeliklerdeki işlemler sonucu taban kesme ve tepe deplasman arasında bir ilişki bulunmaktadır. Bu ilişki eşdeğer lineerleştirme için ADRS formatına çevrilmelidir.



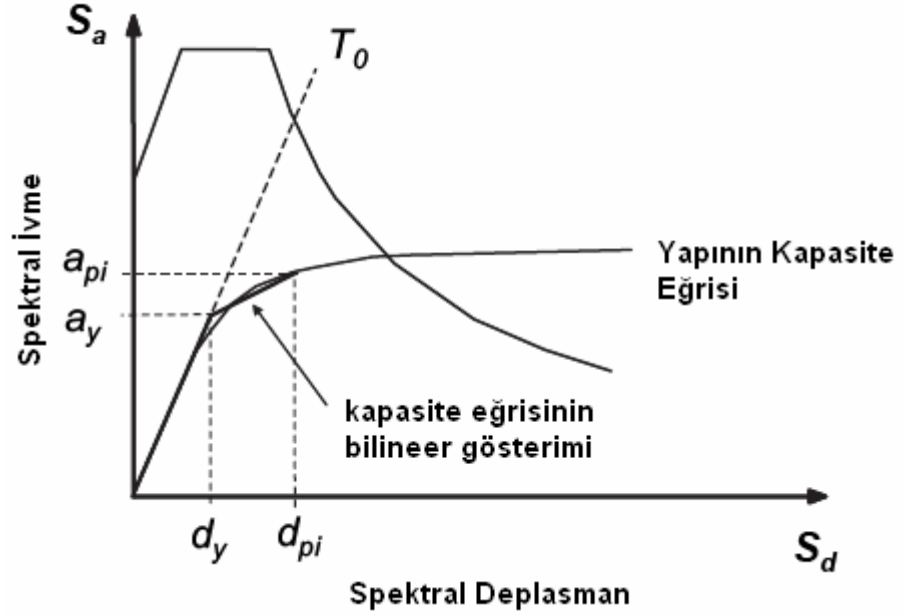
Şekil 4.6 : İlk Talep ADRS ve Kapasite spektrumu

5. Birincil bir performans noktası seçilir. (maksimum ivme, a_{pi} , ve deplasman, d_{pi}). Bu nokta eşit deplasman yaklaşım yöntemiyle seçilebilir veya mühendisin bakış açısına göre başka herhangi bir nokta da seçilebilir.
6. Bilinen klasik işlemler doğrultusunda kapasite spektrumunun bilineer formu oluşturulur. Bu bilineer gösterim birincil periyot T_0 , akma deplasmanı d_y ve akma ivmesi a_y 'yi tanımlar. (Şekil 4.7 de görüldüğü gibi) Bu parametreler, a_{pi} ve d_{pi} noktasının kabulüne göre değişebilir.
7. 6. adımda oluşturulan bilineer gösterimden, post-elastik rijitlik α , ve süneklik μ , değerleri aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$\alpha = \frac{\left(\frac{a_{pi} - a_y}{d_{pi} - d_y} \right)}{\left(\frac{a_y}{d_y} \right)} \quad (4.18)$$

$$\mu = \frac{d_{pi}}{d_y} \quad (4.19)$$

8. 7. adımda hesaplanan post-elastik rijitlik α ve sönümlilik μ değerleri ile bu değerlere karşılık gelen efektif sönüm β_{eff} hesaplanır. (Bölüm 4.1.1’de verilen formüller yardımıyla) Benzer şekilde bu değerlere karşılık gelen efektif periyot T_{eff} hesaplanır. (Bölüm 4.1.2’de verilen formüller yardımıyla)

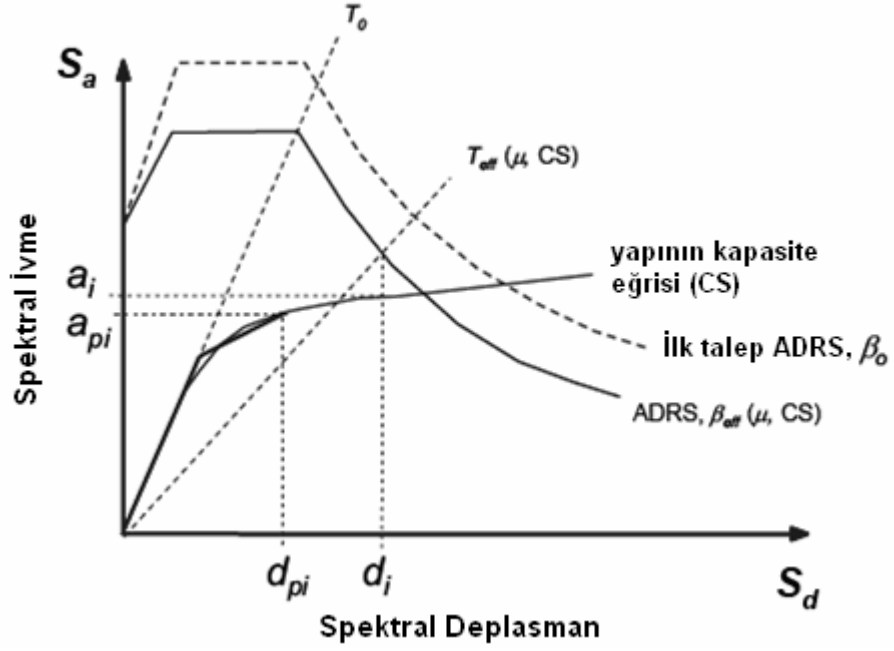


Şekil 4.7: Kapasite Eğrisinin Bilineer Gösterimi

İşlem A (Doğrudan iterasyon) : Bu işlemde performans noktasına doğrudan yaklaşan bir iterasyon yapılır. Bölüm 4.1.3’de verilen modifikasyonlar yapılmadan, efektif sönümün çeşitli değerleri için ADRS talep spektrumu oluşturulur.

- A9. 8. adımda hesaplanan efektif sönüm değeri kullanılarak, birincil ADRS Bölüm 4.2 de verilen formüller doğrultusunda β_{eff} değerine uyarlanır.
- A10. Radyal efektif periyot T_{eff} ile ADRS’nin kesişiminden muhtemel maksimum deplasman d_i bulunur. Muhtemel maksimum ivme a_i ise d_i ile kapasite eğrisi üzerinde kesişen değerdir. (Şekil 4.8 ‘de görüldüğü gibi)

A11. Muhtemel maksimum deplasman d_i , birinci yapılan kabul ile (veya bir önceki ile) karşılaştırılır. Eğer kabul edilebilir bir tolerans aralığında ise performans noktası a_i ile d_i 'nin kesişimidir. Eğer kabul edilebilir toleransın dışında ise işlemler adım 5 başlangıç noktası alınıp, a_i ve d_i kullanılarak ve ya bazı diğer seçilmiş kabuller (Bölüm 4.5'de verilen) kullanılarak tekrarlanır.

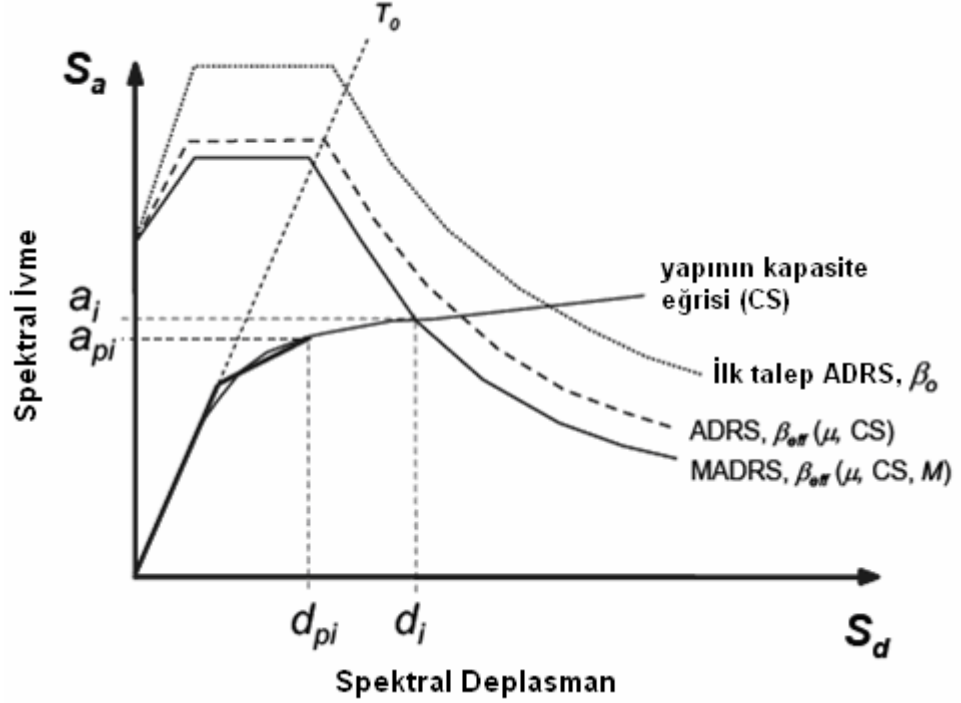


Şekil 4.8: Doğudan İterasyon Kullanarak Muhtemel Maksimum Deplasmanın Belirlenmesi (İşlem A)

İşlem B (MADRS ile Kesişim): Bu işlemde, performans noktası modifiye edilmiş ADRS (MADRS) ile kapasite eğrisinin kesişim noktası olarak tanımlanmıştır. MADRS talep spektrumu, çeşitli efektif sönüm değerleri için ADRS 'den Bölüm 4.1.3'de verilen modifikasyonlar yapılarak elde edilir.

- B9. 8. adımda hesaplanan efektif sönüm değeri kullanılarak, birincil ADRS Bölüm 4.2 de verilen formüller doğrultusunda β_{eff} değerine uyarlanır.
- B10. β_{eff} 'e uyarlanmış ADRS 'nin yalnızca ivme ordinatları, hesaplanan T_{eff} değeri kullanılarak, Bölüm 4.1.3'de verilen formüllerle hesaplanan M modifikasyon faktörü ile çarpılarak modifiye edilmiş ivme deplasman tepki spektrumu (MADRS) elde edilir.

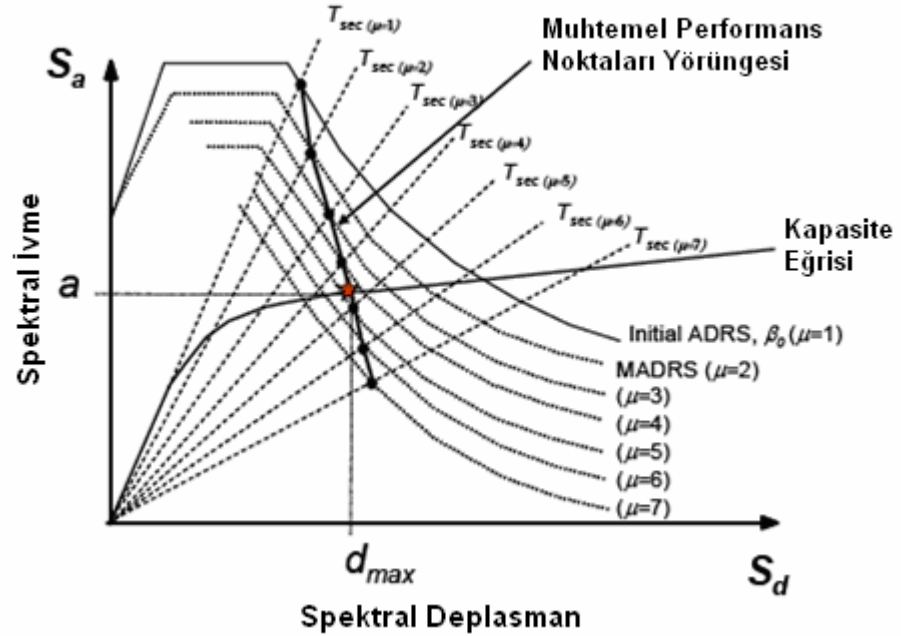
- B11. Kapasite eğrisi ile MADRS 'nin kesiştiği nokta olan, muhtemel maksimum ivme a_i ve deplasman d_i belirlenir. (şekil 4.9'de görüldüğü gibi)
- B12. Muhtemel maksimum deplasman d_i , birinci yapılan kabul ile (veya bir önceki ile) karşılaştırılır. Eğer kabul edilebilir bir tolerans aralığında ise performans noktası a_i ile d_i 'nin kesişimidir. Eğer kabul edilebilir toleransın dışında ise işlemler adım 5'ten itibaren a_i ve d_i kullanılarak ve ya bazı diğer seçilmiş kabuller (Bölüm 4.5'de verilen) kullanarak tekrarlanır.



Şekil 4.9: Kapasite Spektrumu ile MADRS 'nin Kesişimini Kullanarak Muhtemel Maksimum Deplasman Noktasının Belirlenmesi

İşlem C (Muhtemel Performans Noktalarının MADRS Yörüngesi): Bu yaklaşım muhtemel performans noktalarının yörüngesini oluşturmada ilgili sünellikler ve çoklu varsayılan çözümleri (a_{pi} , d_{pi}) için modifiye edilmiş ivme-deplasman tepki spektrumunu kullanır. Gerçek performans noktası, yörünge ile kapasite spektrumunun kesiştiği noktada yer almaktadır.

- C9. 8. adımda hesaplanan efektif sönüm değeri kullanılarak, birincil ADRS Bölüm 4.2 de verilen formüller doğrultusunda β_{eff} değerine uyarlanır.
- C10. β_{eff} 'e uyarlanmış ADRS 'nin yalnızca ivme ordinatları, hesaplanan T_{eff} değeri kullanılarak, Bölüm 4.1.3'de verilen formüllerle hesaplanan M modifikasyon faktörü ile çarpılarak modifiye edilmiş ivme deplasman tepki spektrumu (MADRS) elde edilir.
- C11. Muhtemel performans noktalarından bir tanesi radyal secant periyot T_{sec} ile MADRS'nin kesiştiği noktada yer almaktadır. (Şekil 4.10'da görüldüğü gibi)
- C12. Varsayılan performans noktası azaltılarak veya artırılarak muhtemel bir performans noktaları serisi elde edilir.

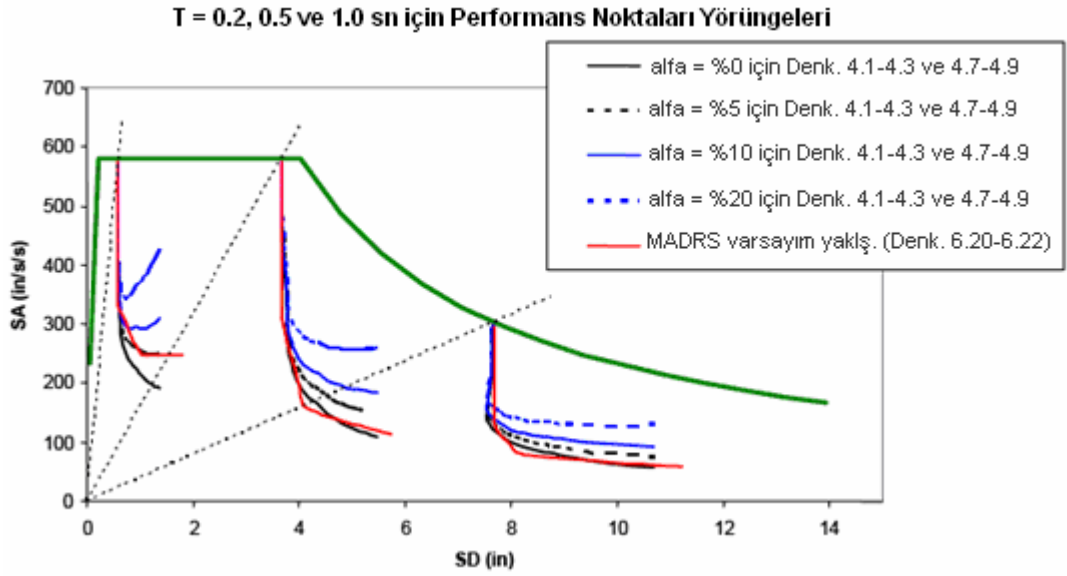


Şekil 4.10: MADRS Kullanarak Muhtemel Performans Noktalarının Belirlenmesi

- C13. Gerçek performans noktası 12. adımda tanımlanan bu noktalar yörüngesi ile kapasite spektrumunun kesiştiği noktadır.

4.4. Yaklaşık Çözüm İşlemü

Bu işlem, Bölüm 4.1’de verilen denklemlerin yaklaşımlarını baz alan, basitleştirilmiş MADRS yaklaşımıdır. Bölüm 4.3’te verilen işlemlere benzer bir MADRS çözüm işlemi kullanır. Yaklaşımlar EPP (elastik mükemmel plastik) tek serbestlik dereceli sistem üzerine temellendirilmiştir. Yaklaşım işleminin sonuçları, Şekil 4.11’de çeşitli histeritik davranış tipleri için, daha titiz olan işlemlerle karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.11 : Yaklaşık Çözüm İşlemü ile Daha Detaylı İşlemlerin Karşılaştırması
(FEMA440, 2005)

İlk 7 adım Bölüm 4.3’de yer alan işlemlerdeki adımlarla aynıdır. Daha sonraki adımlar aşağıda verilmiştir.

- D8. 7. adımda süneklik μ ’nün hesaplanan değerlerini kullanarak, bunlara karşılık gelen spektral tepki-indirgeme faktörleri hesaplanır.

$1,0 \leq \mu \leq 4,0$ için:

$$\left[\frac{6}{\mu + 5} \right] \quad (4.20)$$

$\mu > 4$ için:

$$\left[\frac{75}{\mu + 110} \right] \quad (4.21)$$

- D9. Varsayılan süneklik μ 'ye karşılık gelen indirgenmiş ADRS 'yi elde etmek için, 8. adımda hesaplanan spektral tepki-indirgeme faktörleri ile spektral ivmeler ve bunlara karşılık gelen spektral deplasmanlar çarpılır.
- D10. İndirgenmiş ADRS'nin yalnızca spektral ivme ordinatları basitleştirilmiş modifikasyon faktörüyle çarpılarak yaklaşık modifiye ivme-deplasman tepki spektrumu (MADRS) elde edilir. Bu basamağın, snekliğın 1,6'dan büyük değeri için 0,64'e yaklaşma limiti kontrol eder.

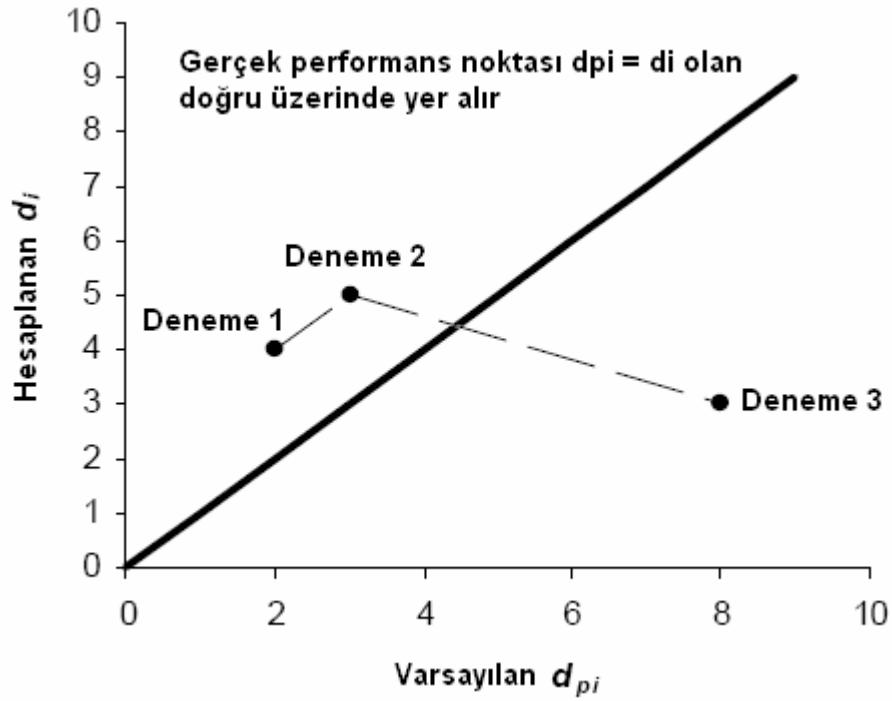
$$M = \frac{1}{\mu} \geq 0,64 \quad (4.22)$$

- D11. Muhtemel performans noktası, radyal efektif periyot T_{eff} ve MADRS'nin keşitirilmesiyle elde edilir.
- D12. Kabul edilen performans noktası arttırılarak veya azaltılarak ve işlemler tekrarlanarak muhtemel performans noktaları serisi elde edilir. (şekil 4.9)
- D13. Gerçek performans noktası, 12. adımda elde edilen muhtemel performans noktaları yörüngesi ile kapasite eğrisinin keşişiminden elde edilir. Bu yaklaşım işleminde, hesaplanan hedef deplasman, elastik hedef deplasmanına eşit veya ondan daha büyük olmalıdır.

4.5. İterasyon Stratejisi

Performans noktası için sonraki kabuller, ilk d_{pi} varsayımının önceki değeri ve hesap sonucu elde edilen d_i nin ortalaması alınarak hesaplanabilir. Daha sonra buna karşılık gelen ivme değeri, kapasite eğrisi üzerinden seçilir. Bu gerekli olmamasına

rağmen, bazı eğitimli tahminler ve yargılamalar çözüm süresini iyileştirir. Örneğin ilk varsayım d_{pi} , ve hesap sonucu maksimum deplasman d_i , Şekil 4.12'deki gibi gösterilebilir. Gerçek performans noktasının bu iki değerin birbirine eşit olduğu çizgi üzerinde olacağı bilinmelidir. Bu tip bir grafikte sonraki deneme noktasını izleyerek çözüm eğilimlerini görmek kolaydır. Üç iterasyonlu bir örnek Şekil 4.12'de verilmiştir. İkinci denemeden sonra, deneme noktalarının izi eşit deplasman çizgisi üzerinden geçmediğinden dolayı performans noktasının tahminden daha büyük olacağı açıktır. Üçüncü deneme oldukça büyük bir deplasman varsaymıştır. Üç denemenin sonuçları, Deneme 2 ve Deneme 3 varsayımları arasında bir çözümü gösterir.



Şekil 4.12: Eşdeğer Lineerleştirme İçin Varsayılan Deplasman ile Hesaplanan Deplasman Karşılaştırması Yapılarak İzleyen İterasyon

5. ZEMİN-YAPI ETKİLEŞİM ETKİLERİNİ İÇEREN İŞLEMLER

Bu bölümde, yapısal modelde doğrusal olmayan statik analiz işlemleri için, yapı ve onu destekleyen zemin arasındaki etkileşim etkilerini içeren basitleştirilmiş işlemler sunulmuştur. Zemin-yapı etkileşiminin (SSI) üç adet temel kategorisi bulunmaktadır. Bunlar:

- Zemin-temel sistemlerinde esneklik (Esnek temel etkileri)
- Yapıya aktarılan yer hareketinin filtrelenmesi (Kinematik etkiler)
- Zemin-yapı sistemindeki enerjiyi radyasyon ve histeritik zemin sönümüyle dağıtma (Temel sönüm etkisi)

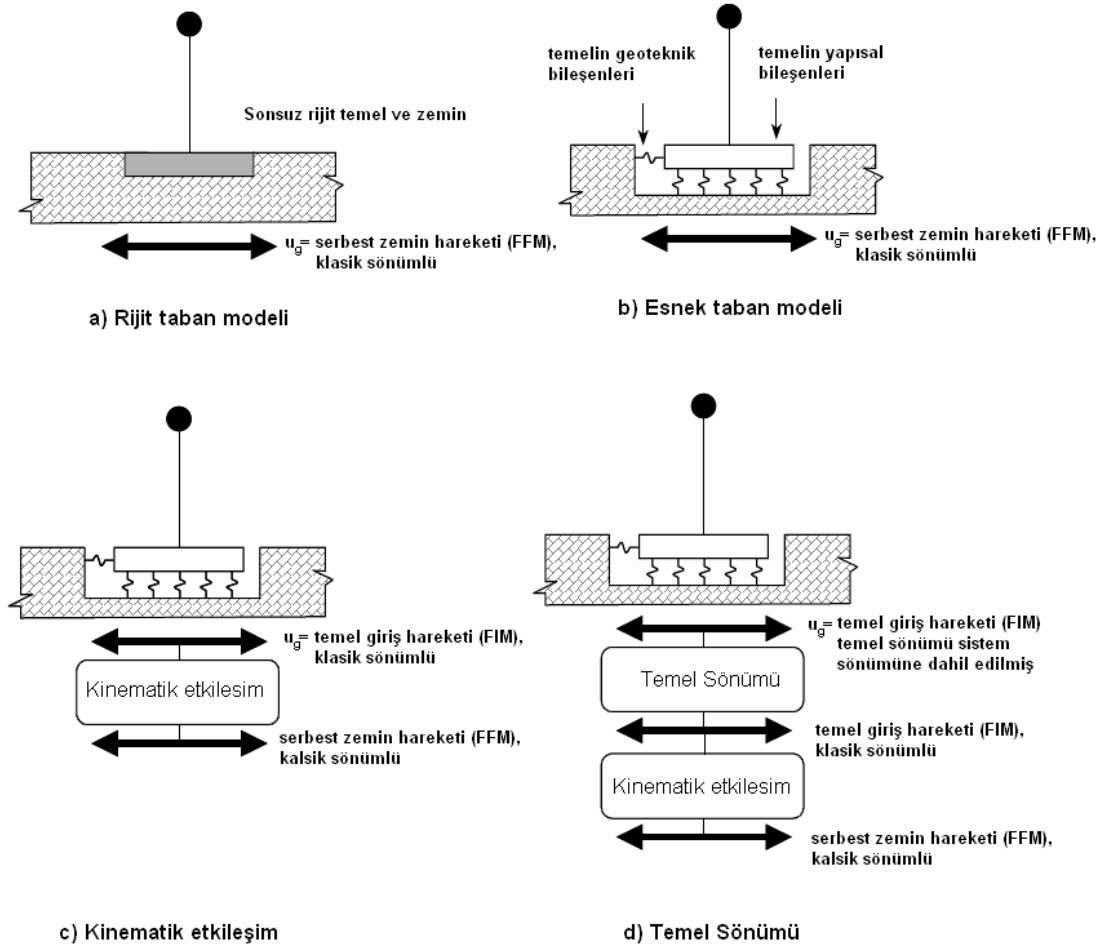
FEMA356 (2005) ve ATC-40 'da yer alan analiz işlemleri, FEMA440 kadar kapsamlı olmasa da, kısmi olarak yapısal analiz modelindeki temelin geoteknik bileşenleri rijitlik ve dayanım aracılığıyla, esnek temel etkilerinin bulunmasında yol gösterir. Ancak bu işlemler, kinematik etkileşim ve ya temel sönüm etkisinden kaynaklanan bir indirgemeyi içermezler. Bu bölümde FEMA440' da (2005) yer alan, bu etkileri içeren doğrusal olmayan statik işlem sunulmuştur.

Serbest zemin hareketi ile harekete geçen yapısal modelin rijit temele oturduğu varsayımı Şekil 5.1a 'da gösterilmiştir. Serbest zemin hareketi, etrafında hiçbir yapı olmadığı varsayılan, yüzeydeki tek bir noktanın teorik hareketidir. Ankastre model kabulü birçok yapı için uygun değildir. Yanal direnci sağlamak için kullanılan rijit dikey elemanlar (perdeler vs.) içeren yapısal sistemler, ankastre sistem kabulü ile ihmal edilen tabandaki küçük dönmelere ve çökmelere kısmen hassas olabilirler. Nispeten esnek olan elemanlar (moment çubukları) genellikle SSI 'dan önemli ölçüde etkilenmezler.

Şekil 5.1b 'de yapısal modelle doğrudan birleşen esnek temel gösterilmiştir. ATC-40 ve FEMA356'da, yapısal modelin inelastik analizinde temelin esneklik ve

dayanımının belirlenmesi hakkında koşullar yer almaktadır.(örneğin; Şekil 1b’de yer alan yayların özelliklerinin tanımlanması gibi). Bu koşullarda serbest zemin hareketi olarak, klasik ilk değer olan %5 sönümlü sismik talebi kullanılır. Bu kabul temelin yapı ve zemin bileşenlerinin her ikisinin de modellenmesi açısından uygundur. Bütün yapısal sistemin tepkisi, temel sisteminin yapısal ve geoteknik parçalarında deformasyonlar içerir (elastik ve elastik olmayan). Bu deformasyonlar bazen bir eylemsiz SSI etkisi olarak adlandırılır. Modellemedeki bu gelişmeler ankastre model sonuçlarıyla kayda değer farklılıklar gösterebilir ve yapının olası tepkisinin gösterimi için daha uygundur. Ankastre temel modelleme yaklaşımıyla karşılaştırıldığında, yapı uzamalarının tahmin edilen periyodu, çeşitli elemanların değişimlerdeki kuvvetlerin dağılımı, inelastiklik sırası ve inelastik davranışın modları değişebilir ve temel mekanizmaları (örneğin, titreşim, zemin taşıma kapasitesinin aşılması, kazık sıyrılması (pier/pile slip)) doğrudan değerlendirilir ve dikkate alınır. Bütün bu etkiler, olası yapısal davranışın ve performansın çok daha gerçekçi bir değerlendirmesiyle sonuçlanır.

Şekil 5.1c’deki şekilde zemin-yapı etkileşimi, yapıya etki eden yer hareketinin karakterinde ve şiddetinde bir filtrelemeye neden olur. Kinematik etkileşim sonucu, zeminin üzerinde veya içinde yer alan nispeten rijit temel elemanları, temel hareketinin serbest zemin hareketinden ayrılmasına neden olur. Bu etkiler yaygın olarak, taban alan ortalaması ve zemine gömülü olma etkileri olarak tanımlanır. Taban alan ortalaması, yapı içinde veya temel ayağının altında her noktada ani hareketin aynı olmadığı kabulüne dayanır. Bu uzaysal çeşitli hareketler karşısında, yapı ve temelin yerleşimi, serbest zemin hareketinden dolayı oluşan bütün hareketlerin yerel maksimumundan daha küçük olan bir ortalama etki üretir. Gömülü olma etkisi, zemin içindeki derinlikten dolayı yer hareketindeki indirgemedir. Taban alan ortalaması ve zemine gömülü olma etkisi, temel seviyesindeki hareketin karakteridirler (genellikle temel giriş hareketi veya FIM olarak adlandırılır). Bu etkiler serbest zemin hareketinin yüksek frekanslı (kısa periyotlu) bileşenlerine uygulanan bir filtrelemedir. Bu etkilerin kısa periyotlu binalar için süper yapı tepkisi üzerindeki etkisi büyük olacaktır. Serbest zemin hareketinde spektral bir indirgeme yaparak FIM spektrumunu oluşturmak için verilen bu ilkelerin uygulanması olarak basitleştirilmiş bir işlem Bölüm 5.1’de verilmiştir. Temel giriş hareketi ankastre modele veya 5.1c ‘de tanımlanan bileşik esnek temel modeline uygulanabilir.



Şekil 5.1: Temel Modeli Kabulleri

Şekil 5.1d 'de temel esnekliğine ek olarak yapı zemin etkileşim ataletinin bir başka sonucu olan temel sönüm etkileri gösterilmiştir. Temel sönümü, temel ve zeminin göreceli hareketi sonucu ortaya çıkar. Bu zeminin histeritik sönümü ve temelden uzaklaşan enerji radyasyonu ile alakalıdır. Sonuç olarak yer hareketinin spektral ordinatlarında efektif bir düşüş meydana gelmektedir. Nadiren de olsa NEHRP (2000) ve ASCE (2002) işlemleri, doğrusal analiz işlemlerini kullanırken bu etkileri dikkate almışlardır. FEMA440 (2005) bu işlemler birleştirmiş ve yenilenerek NSP için sunmuştur. Bölüm 5.2'de FEMA440'da yer alan bu prosedurler anlatılmıştır. İşlemden temel sönümü, esnek temelli sistemin birinci periyotunun ankastre mesnetli sistemin birinci periyotuna oranı olarak ilişkilendirilmiştir. Temel sönümüne etki eden diğer faktörler ise temel boyutu ve gömülü olma oranıdır. Temel sönümü, yapı, temel ve zemini içeren tüm sistemin değiştirilmiş sönüm oranını elde edebilmek için, klasik ilk yapı sönümü ile birleştirilir. Bu sistem sönüm oranıyla daha sonra temel giriş hareketi modifiye edilir ve sistem modeline sismik talep olarak uygulanır.

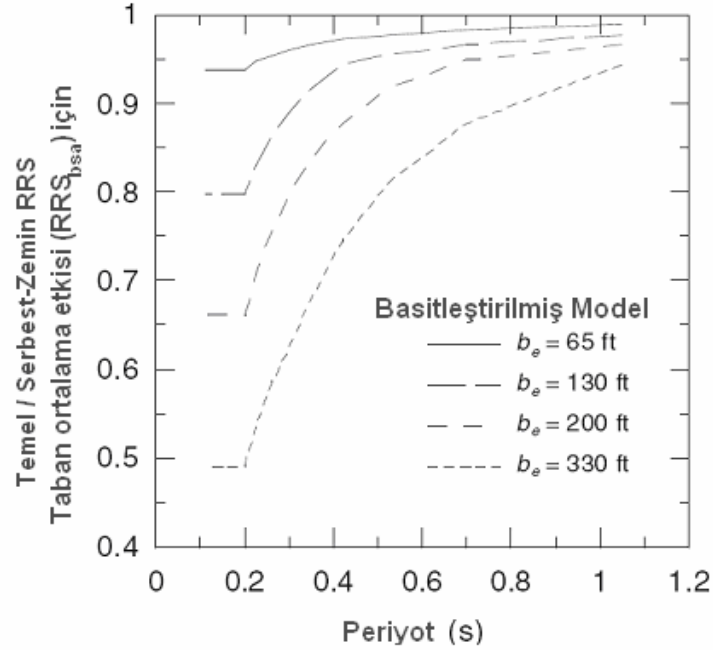
5.1 Kinematik Etkiler İçin İşlemler

Yapı temelının maruz kaldığı yer hareketi, temel tabanındaki çeşitli yer hareketlerinin ortalaması, dalga yayılımı ve zemine gömülme etkilerinden dolayı serbest zemininkinden farklı olabilir. Bu etkiler burada kinematik etki olarak verilmiştir ve kısa periyotlu (periyot $< \sim 0,5\text{sn}$), plan boyutları büyük olan ve ya zemine 3m veya daha fazla gömülü olan binalar için önemlidir. Bu işlemde yapılar üzerindeki kinematik etkiler anlatılmıştır.

Tepki spektrum faktörlerinin bir oranı (RRS, ratio of response spectra) kinematik etkileşim etkilerini anlatmak için kullanılabilir. RRS basitçe temeldeki serbest tepki spektrum ordinatlarının, serbest zemin ordinatlarına oranıdır. RRS'nin değerlendirmesinde her iki olguda göz önünde bulundurulmalıdır (bir önceki bölümde tanımlanan temel taban ortalaması ve gömülü temel). Neredeyse bütün binalarda, temel taban ortalaması, bazı büyüklüklerde bulunur. Taban ortalama etkisi, radye temel veya birbirine büyük kirişlerle veya betonarme plaklarla bağlanmış tekil temellerde, temel seviyesinde oluşur. Eğer yanal rijit bir temel sistemi yoksa taban ortalama etkisi ilk rijit diyafram seviyesinde oluşabilir. Sadece, temel sisteminde yatay bağlantılar olmayan ve esnek döşemeli binalarda, temel taban etkisi ihmal edilmelidir. Temel gömülme etkisi bodrumlu binalarda uygulanmalıdır. Eğer temel ayakları gömülü değilse, bodrumsuz binalara uygulanmamalıdır. Temel derinliğinin 3m geçtiği değerlerde gömülme etkisi önemlidir. FEMA440 (2005), yapısal modelde bu iki kinematik etkileşim etkileri için aşağıdaki periyotun bir fonksiyonu olan basitleştirilmiş işlemler önermiştir:

1. Efektif temel boyutu $b_e = \sqrt{ab}$ belirlenir. (a ve b değerleri fit cinsinden temelin plan görünüşündeki boyutlarıdır.)
2. Periyotun bir fonksiyonu olarak temel taban ortalaması RRS_{bsa} belirlenir (Şekil 5.2'de görüldüğü gibi). Şekil 5.2'deki eğrilerin fonksiyonu aşağıdaki verildiği gibidir:

$$RRS_{bsa} = 1 - \frac{1}{14,100} \left(\frac{b_e}{T} \right)^{1.2} \geq T = 0.2\text{sn için olan değerler} \quad (5.1)$$



Şekil 5.2 : Periyotun ve efektif temel büyüklüğü b_e 'nin bir fonksiyonu olan ortalama taban etkisi (RRS_{bsa}) (FEMA440, 2005)

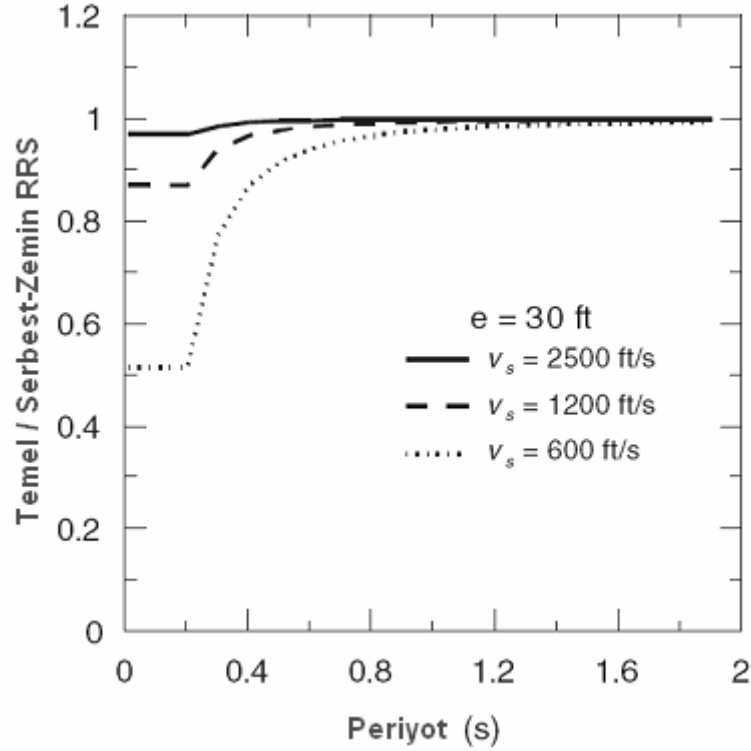
3. Eğer temel, zemin yüzeyinden e kadar bir derinliğe gömülü ise periyotun bir fonksiyonu olan RRS_e hesaplanır (Şekil 5.3'de görüldüğü gibi). Şekil 5.3'deki eğrilerin fonksiyonu aşağıdaki verildiği gibidir:

$$RRS_e = \cos\left(\frac{2\pi e}{Tn v_s}\right) \geq 0,453 \text{ veya } T = 0.2 \text{sn için olan } RRS_e \text{ değerleri} \quad (5.1)$$

e = temel derinliği (fit cinsinden)

v_s = yerel zemin sınıfı için dalga hızı, temel altındaki (b_e derinliğinde ki) hızın ortalama değeri

n = Beklenen PGA (pik yer ivmesi, peak ground acceleration) için dalga hızı indirgeme faktörü (Tablo 5.1'de verilmiştir)



Şekil 5.3: Gömülme derinliği $e=30$ ft, periyot T ve kayma dalgası hızı v_s 'nin bir fonksiyonu olan gömülme etkisi (RRS_e) için tepki spektrum oranı (FEMA440, 2005).

Tablo 5.1: Dalga hızı indirgeme faktörünün (n) yaklaşık değerleri

	Zemin Pik İvmesi (PGA, peak ground acceleration)			
	0,10g	0,15g	0,20g	0,30g
n	0,9	0,8	0,7	0,65

4. Her periyot için hesaplanan RRS_{bsa} ve RRS_e değerleri birbiriyle çarpılarak toplam RRS elde edilir. Her periyot için temel giriş hareketinin spektral ordinatı, serbest zemin hareket spektrumu ile RRS çarpılarak elde edilir.
5. Temel giriş hareketinin(FIM) bütün spektrum değerlerini oluşturmak için adım 2-4 diğer periyot değerleri içinde uygulanır.

Bu yaklaşımın uygulanmasıyla ilgili kısıtlamalar aşağıda verilmiştir:

- Kinematik etkileşim etkileri, yumuşak zemin sınıfı olan E sınıfı zeminlerde ihmal edilebilir.
- Gömülü olma etkisi A ve B sınıfı gibi olan kaya zemine gömülü temelerde ihmal edilebilir.

- Taban döşeme ortalama modeli:
 - a. temelde, sert kayadan oluşan zeminlerde yer hareketinin indirgenmesi tahmin edilenden daha fazla olabilir.
 - b. büyük plan rijitliğine (radye temel, birbirine büyük kirişlerle bağlı tekil temeller vs.) sahip olmayan yapılar için çok dikkatli ve detaylı bir çalışma yapılmamıştır, ancak bütün yapılar için uygulamayı genişletmek mantıklıdır.
 - c. plan boyutu 60m'den büyük yapılar için çok dikkatli ve detaylı bir çalışma yapılmamıştır ancak temel elemanları yatay olarak bağlı olduğu takdirde bu uygulamayı genişletmek makuldür.
 - d. kazıkla desteklenen temeller için çok dikkatli ve detaylı bir çalışma yapılmamıştır ancak başlık ile zeminin birbirine temas ettiği veya başlıklar birbirine yatay olarak büyük kirişlerle bağlandığı durumlarda uygulamayı genişletmek makuldür.

5.2 Temel Sönümü için İşlemler

Temel-zemin etkileşimi ile ilgili olan sönüm, yapı bileşenlerinin elastik olmayan davranışından dolayı oluşan sönümün önemli bir tamamlayıcısı olabilir. Temel zemin etkileşiminden dolayı oluşan sönüm, zeminin histeritik davranışının (yapısal bileşenlerin histeritik davranışıyla karıştırılmamalıdır) yanı sıra temelden zemine enerji yayılımı ile ilgilidir (ör.; radyasyon sönümü). Bu temel sönüm etkileri, zemin sınıfı nispeten yumuşak olduğunda (zemin sınıfı D, E) rijit yapı sistemlerinde (ör.; perde duvarlı sistemler) oldukça önemlidir. Temel sönümünün etkileri, bir modifiye sistem sönüm oranı olarak sunulmuştur. Temel sönümü göz ardı edilen yapının ilk sönümü β_i olarak adlandırılır ve genellikle %5 alınır. Yalnızca temel-zemin etkileşiminden oluşan sönümü simgeleyen ifade ise β_f 'dir. Sonuç olarak temel sönümünü ve yapının sönümünü içine alan tüm yapının sönüm oranı β_0 olarak tanımlanmıştır. Sönüm oranının β_i 'den β_0 dönüşmesinden dolayı elastik tepki spektrumunda değişiklik meydana gelir. Eğer $\beta_0 > \beta_i$ ise spektrum ordinatlarında indirgeme yapılır. Aşağıda verilen basitleştirilmiş işlemleri kullanarak β_f belirlenir ve tüm yapının sönüm oranı β_0 'dan dolayı spektral ordinatlarda değişiklik yapılabilir.

1. Sabit temel ve esnek temel kabulü yapılan yapısal modelin lineer periyotları belirlenir ($T, \tilde{T}$).

2. Ankastre temel durumu için SDOF salınımının efektif yapısal rijitliği belirlenir. M^* birinci mod için toplam kütle ile efektif kütle katsayısının çarpılmasıyla elde edilen efektif kütledir. (ATC-40 Denk. 8.21)

$$K_{fixed}^* = M^* \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 \quad (5.3)$$

3. Öteleme için eşdeğer temel yarıçapı belirlenir. A_f temel alanıdır.

$$r_x = \sqrt{\frac{A_f}{\pi}} \quad (5.4)$$

4. Temelin ötelenme rijitliği K_x belirlenir.

$$K_x = \frac{8}{2-\nu} Gr_x \quad (5.5)$$

G = Efektif zemin kayma modülü (FEMA 356, Tablo 4.7)

ν = Zemin poison oranı (kum için ~0,3 , kil için ~0,45)

5. Birinci efektif dönme rijitliği, K_θ belirlenir.

$$K_\theta = \frac{K_{fixed}^* (h^*)}{\left(\frac{\tilde{T}}{T} \right)^2 - 1 - \frac{K_{fixed}^*}{K_x}} \quad (5.6)$$

h^* efektif yapı yüksekliğidir. Tak katlı yapılarda toplam yükseklik olarak alınabilir. Çok katlı yapılarda ise temelden birinci mod şeklinin merkezine olan dikey uzaklık alınır. h^* 'ı toplam yüksekliğin %70'i olarak almak oldukça iyi bir kabuldür.

Dönme için eşdeğer temel yarıçapı, r_θ aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$r_\theta = \left(\frac{3(1-\nu)K_\theta}{8G} \right)^{1/3} \quad (5.7)$$

Zemin kayma modülü, G ve zemin poison oranı ν temelde kullanılan yayların rijitliğinin belirlenmesinde kullanılmalıdır.

6. Temel derinliği, e belirlenir.

7. Efektif periyot uzunluk oranı, $\frac{\tilde{T}_{eff}}{T_{eff}}$, statik itme analizi için oluşturulan yapı modeli kullanılarak belirlenir. Bu oran için eşitlik aşağıda verilmiştir:

$$\frac{\tilde{T}_{eff}}{T_{eff}} = \left\{ 1 + \frac{1}{\mu} \left[\left(\frac{\tilde{T}}{T} \right) - 1 \right] \right\}^{0.5} \quad (5.8)$$

μ , sistemin beklenen süneklik talebidir (yapı zenim etkilerini içeren). Çözümünden önce süneklik belirlenmeli ve daha sonra kontrol edilmelidir.

8. Yapının, sabit temelli sisteminin birinci sönüm oranı (β_i) belirlenir. Genellikle bu değer %5 olarak alınır.
9. Radyasyon sönümünden dolayı oluşan temel sönümü, β_f , $\frac{\tilde{T}_{eff}}{T_{eff}}$, e/r_x , ve h/r_θ

kullanılarak belirlenir. Şekil 5.4 ve Şekil 5.5’de bu büyüklüklerin temel sönümü üzerindeki etkileri grafiksel olarak verilmiştir. Bu grafiklerde verilen eğrinin denklemi aşağıdaki gibidir:

$$\beta_f = a_1 \left(\frac{\tilde{T}_{eff}}{T_{eff}} - 1 \right) + a_2 \left(\frac{\tilde{T}_{eff}}{T_{eff}} - 1 \right)^2 \quad (5.9)$$

$$a_1 = c_e \exp(4.7 - 1.6h / r_\theta) \quad (5.9a)$$

$$a_2 = c_e [25 \ln(h / r_\theta) - 16] \quad (5.9b)$$

$$c_e = 1.5(e / r_x) + 1 \quad (5.9c)$$

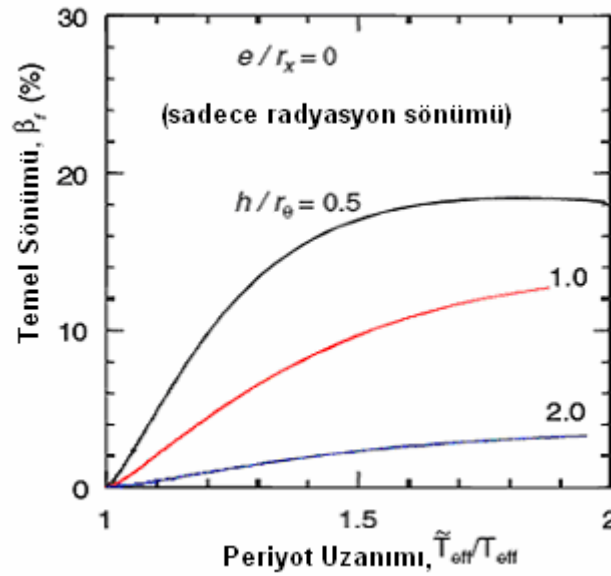
Yukarda verilen eşitlikler $\frac{\tilde{T}_{eff}}{T_{eff}} < 1,5$ için çok daha iyi uygulanabilir ve

$\frac{\tilde{T}_{eff}}{T_{eff}}$ ’nin düşük değerleri için yüksek değerlerine göre daha iyi sonuçlar vermektedir.

10. Esnek temel sönüm oranı (β_0), β_i , β_f ve $\frac{\tilde{T}_{eff}}{T_{eff}}$ kullanılarak aşağıdaki gibi belirlenir:

$$\beta_0 = \beta_f + \frac{\beta_i}{\left(\frac{\tilde{T}_{eff}}{T_{eff}} \right)^3} \quad (5.10)$$

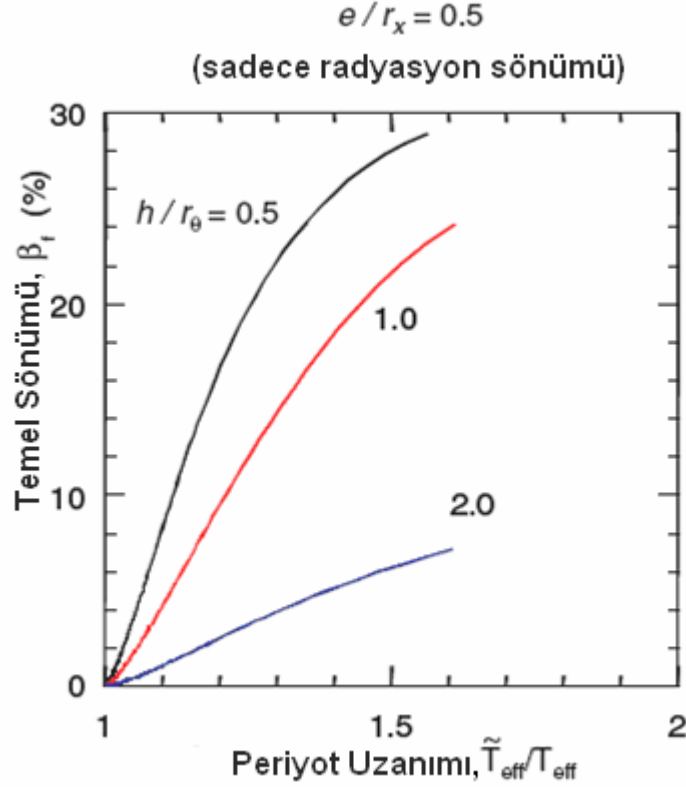
11. β_i 'nin β_0 'a dönüşmesinin spektral ordinatlar üzerindeki etkisi belirlenir ve daha sonra temel giriş hareket spektrumu modifiye edilir (eğer kinematik etkiler göz ardı edilirse temel giriş hareketi ile serbest zemin hareketi birbirine eşit olur).



Şekil 5.4: Sabit gömülme oranı $e/r_x=0$ iken, temel rijitlik rotasyonel rijitlik

h/r_0 'nın çeşitli değerleri için efektif periyot uzanım oranı $\tilde{T}_{eff}/T_{eff}$ 'nin bir fonksiyonu olan, temel sönümü β_f için bir örnek. (FEMA440)

Bu noktada doğrusal olmayan tek serbestlik dereceli modelin beklenen maksimum deplasmanı FEMA356'da yer alan deplasman modifikasyon işlemleriyle veya ATC-40 yer alan eşdeğer lineerleştirme işlemleri kullanılabilir. 7. adımda kabul edilen süneklik talebi kontrol edilmelidir.



Şekil 5.5: Sabit gömülme oranı $e/r_x=0.5$ iken, temel rijitlik rotasyonel rijitlik h/r_0 'nın çeşitli değerleri için efektif periyot uzanım oranı $\tilde{T}_{eff}/T_{eff}$ 'nin bir fonksiyonu olan, temel sönümü β_f için bir örnek. (FEMA440)

Sönüm oranları, bu bölümde sadece radyasyon sönüm etkileri ile ilişkilendirilmiştir. Zemin yaylarının sünekliği, statik-itme analizinde yapının bir parçası olarak alındığından histeritik zemin sönüm etkileri göz ardı edilmiştir.

Sönüm analizlerindeki kısıtlamalar aşağıda verilmiştir:

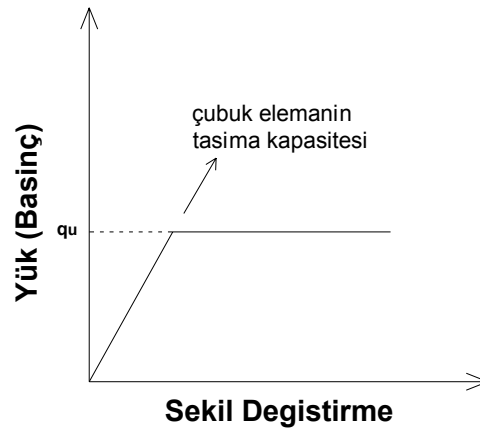
- Yukarıda verilen işlemler, perde duvarlar yeteri derecede aralıklarla yerleştirilmediğinde uygulanmamalıdır aksi taktirde temel elemanlarından yayılan dalgalar ilgili periyot aralığı boyunca birbirleri ile yıkım yaratacak biçimde etkileşime girebilirler. Bu durum enerjinin dağılmasını önemli ölçüde engellemekte ve yukarıdaki formülasyonlarla yapılan hesaplamalarda ilgili sönüm değerinin gerçek değerinin altında bulunmasına neden olmaktadır. Ancak bu etki için detaylı bir araştırma yapılmadığından dolayı bir sınır limiti konamamaktadır.

- Temelin boyutunun en boy oranı 2/1 'den büyük olduđu zaman, analizler gerçek deęerlerden daha dűřűk sonuçlar verebilir (bulunan sűnűm deęeri geek sűnűmden daha dűřűk olmaktadır).
- Temel çok fazla derine gűműlű olduęunda ($e/r_x < 0.5$) analizler gerçek deęerlerden daha dűřűk sonuçlar verebilir.
- Eęer $v_s T/r_x > 2\pi$ ($v_s = r_x$ derinlięi civarındaki ortalama dalga hızı) ve temel zemininde derinlik arttıkça kayma rijitlięi űnemli, űlűde artıyorsa, analizler gerçek deęerlerden daha yűksek sonuçlar verebilir (bulunan sűnűm gerçek deęerinden daha dűřűk olamaktadır.).
- Eęer temel zemin profili, çok rijit bir materyel űzerinde bulunan bir zemin katmanından oluřuyorsa (zemin profilinde belirgin bir empedans zıtlıęı var ise) ve sistem periyotu katmanın birinci mod periyotundan daha bűyűk ise, analizler gerçek deęerlerden daha yűksek sonuçlar verebilir.

6. ZEMİN-YAPI ETKİLEŞİMİ DİKKATE ALINARAK GÜÇLENDİRİLMİŞ BİR BİNANIN PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

Bu bölümde, analizlerde kullanılan matematik model anlatılmış ve performans değerlendirmeleri detaylı bir şekilde verilmiştir. Statik zemin-yapı etkileşimini içeren performans analizi için çekme almayan elasto-plastik Winkler zemin modeli üzerinde yer alan radye temelli, değişik tiplerde sürekli temelli ve tekil temelli güçlendirilmiş binaların doğrusal olmayan analizleri kullanılmıştır. Doğrusal olmayan statik-itme analizleri ve performans değerlendirmeleri SAP2000, (2004) paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalar iki büyük deprem doğrultusu X ve Y için yapılmıştır.

Elasto-plastik Winkler zemin davranışı, sadece eksenel kuvveti alan ve eşdeğer eksenel rijitlikleri tanımlanmış, eşdeğer çubuk elemanlar tarafından sergilenmektedir. Statik itme analizinde, eşdeğer çubuk elemanların çekme limitleri sıfır alınmış ve basınç limitleri q_u maksimum zemin taşıma kapasitesinden hesaplanmıştır. Bu çubuk elemanlar, tanımlanan q_u basınç kapasitelerine kadar yük almakta, bu basınç kapasitesi aşıldığında ise basınç yükü sabit kalıp deformasyon sonsuza gitmektedir (Şekil 6.1’de görüldüğü gibi).



Şekil 6.1 : Elasto-Plastik Winkler Zemin Modelinde Kullanılan Çubuk Elemanın Yük-Şekil Değiştirme Grafiği

Zemin- yapı etkileşimini içeren yapısal analiz modeli Şekil 6.2 ‘de verilmiştir.

Bununla birlikte doğrusal olmayan sistem davranışları ile ilişkili olan katsayılar binaların statik itme eğrileri dikkate alınarak akma sonrası rijitlik oranı (α) değerlerine bağlı olarak Bölüm 4'te yer alan Tablo 4-1 ve Tablo 4-2'den alınmıştır.

Sonraki bölümde, var olan güçlendirilmiş bir binanın altı farklı temel tipinde (ankastre, radye temel, farklı tiplerde sürekli temeller ve tekil temel) ve Türk Deprem Yönetmeliği'nde verilen değişik zemin sınıflarında (Z1, Z2, Z3, Z4) performans değerlendirmesi yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

6.1. Sayısal Örnek

Bu bölümde, gerçekte var olan güçlendirilmiş bir bina altı farklı temel tipi ile modellenmiş, zemin-yapı etkileşimi dikkate alınarak FEMA 440'da yer alan eşdeğer lineerleştirme işlemlerinden işlem C kullanılarak performans değerlendirmesi yapılmış ve elde edilen sonuçlar verilmiştir. Yapısal modelde, radye temel, sürekli temeller ve tekil temel kalın sonlu “shell” eleman olarak idealize edilmiştir. Çekme almayan Winkler zemin modeli ise sonlu plak elemanların birleşim noktalarına sadece eksenel yük taşıyan ve eksenel rijitlikleri olan eşdeğer çubuk elemanlar ile modellenmiştir. Bu çubuk elemanların çekme limitleri, zemin çekme çekmediğinden dolayı sıfır alınmıştır. Basınç limitleri ise maksimum zemin taşıma gücünden hesaplanarak tanımlanmıştır. Analizlerde kullanılan zemin özellikleri olan düşey zemin yatak katsayısı k_s , zemin taşıma kapasitesi q_u , ve sismik katsayılar C_a ve C_v (Bknz. Bölüm 3.2.3.3) Tablo 6.1'de verilmiştir.

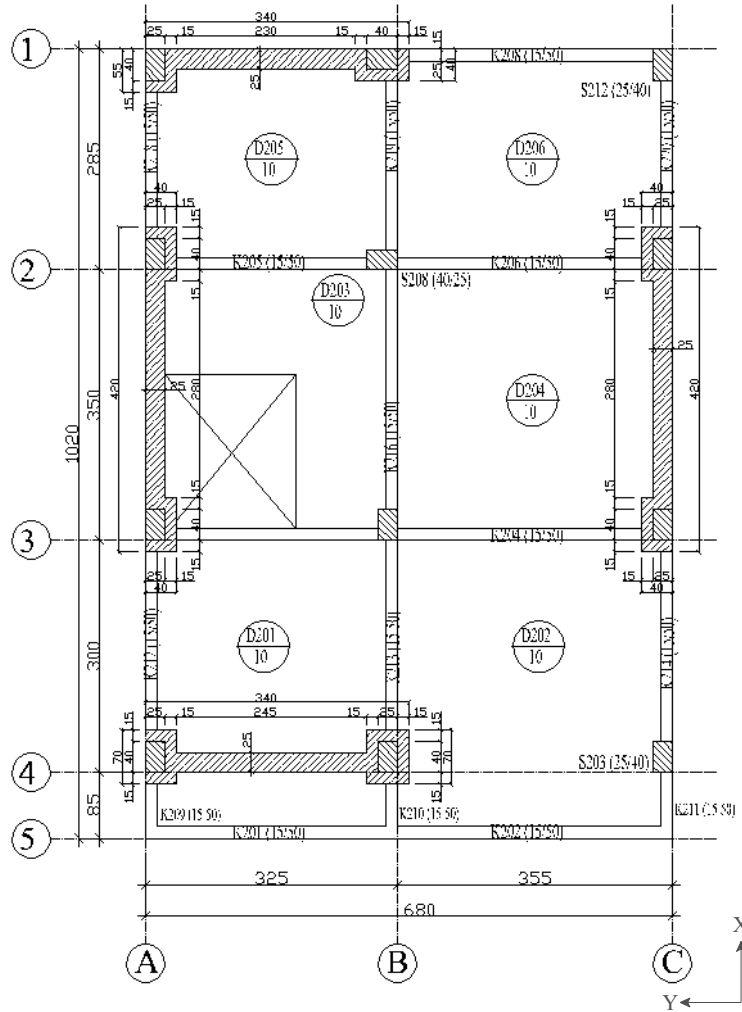
Tablo 6.1 : Zemin Sınıflarının Mekanik Özellikleri

	Z1	Z2	Z3	Z4
k_s (kN /m ³)	200000	100000	30000	16000
q_u (kN /m ²)	900	600	375	210
C_a	0.4	0.4	0.44	0.36
C_v	0.4	0.56	0.64	0.96

Güçlendirilmiş bina modeli Avrupa Birliği LessLoss Projesi'nden alınmıştır. Avrupa Birliği LessLoss Projesi üç yıl sürmüş ve 2007 yılında Deliverable-106, (2007) raporuyla sonuçlanmıştır. Bu çalışmada değerlendirilen güçlendirilmiş bina LessLoss projesindeki sayısal örneklerden biridir. LessLoss projesinin sonuçları, bu çalışma ile

elde edilen ilave sonuçlar ile değişik temel tipleri ve değişik zemin sınıfları için genişletilmiştir.

Beş katlı güçlendirilmiş bina İstanbul'un Zeytinburnu Bölgesinde yer almaktadır. Bina 1 zemin kat, üç normal kat ve bir adet teras kattan oluşmaktadır. Zemin kat yüksekliği 3,15 m, normal kat yüksekliği 2,75m ve teras kat yüksekliği 2,5m'dir. Yapının plan boyutları 10,20 m uzunluğunda ve 6,80m genişliğindedir. Tipik normal kat planı Şekil 6.3'de verilmiştir.



Şekil 6.3 :Güçlendirilmiş Binanın Normal Kat Planı

Değişik temel sistemi tiplerine sahip binaların serbest titreşim analizleri SAP2000 paket programı ile gerçekleştirilmiş ve performans değerlendirmesi için birinci doğal titreşim periyotları elde edilmiştir. SAP2000'de yapılan analizler sonucu değişik

temel tipleri ve zemin sınıfları için elde edilen birinci doğal titreşim periyotları Tablo 6.2’de verilmiştir.

Tablo 6.2 : Değişik Zemin Sınıfları için Güçlendirilmiş Binanın Birinci Doğal Periyotları

	Z1		Z2		Z3		Z4	
	T_x (sec)	T_y (sec)	T_x (sec)	T_y (sec)	T_x (sec)	T_y (sec)	T_x (sec)	T_y (sec)
Ankastre Temel	0.343	0.41	0.343	0.41	0.343	0.41	0.343	0.41
Radye Temel	0.367	0.447	0.377	0.464	0.413	0.518	0.49	0.621
Sürekli Temel, Tip 1	0.385	0.46	0.4021	0.485	0.453	0.561	0.503	0.63
Sürekli Temel, Tip 2	0.387	0.521	0.4085	0.586	0.476	0.743	0.541	0.843
Sürekli Temel, Tip 3	0.423	0.522	0.463	0.588	0.562	0.754	0.637	0.862
Tekil Temel	0.452	0.574	0.511	0.66	0.647	0.847	0.741	0.966

Örnek bina modelinde radye temelden tekil temele doğru aşama aşama gidildiğinde yapının 1. doğal titreşim periyodunun giderek arttığı görülmektedir (Bknz. Tablo 6.2). Ayrıca modelde kullanılan elasto-plastik zemin modeli sayesinde zemin etkisinde bina modeline dahil edildiğinde, yapı periyotunun zemin sınıfına bağlı olarak önemli ölçüde bir değişim göstermektedir. Örneğin Z1 sınıfı zemin üzerinde olduğu varsayılan tekil temelli bina modelinin x doğrultusundaki periyodu $T=0.452$ sn iken aynı modelin Z4 zemin sınıfı için periyodu $T=0.741$ ’dir. 1. doğal titreşim periyodunda %60’lık bir artış oluşmaktadır.

Zayıf zemin sınıflarında ankastre temel kabulü yapılan binanın 1. doğal titreşim periyodu, elasto-plastik Winkler zemin modeli ile oluşturulan tekil temelli bina modelinin periyodundan oldukça farklıdır. Bütün temel tipleri ve zemin sınıfları için Türk Deprem Yönetmeliği’ne (DBYBHY2007) göre eşdeğer deprem yükleri hesaplanmıştır. Hesaplanan eşdeğer deprem yükleri Tablo 6.3 ~ Tablo 6.14’de verilmiştir.

Tablo 6.3: Radye Temelli Güçlendirilmiş Binanın X Yönündeki Eşdeğer Deprem Yükleri (DBYBHY2007)

Eşdeğer Deprem Yüğü (kN) (X Doğrultusu)				
Kat No	Z1	Z2	Z3	Z4
4	159.07	186.91	186.91	186.91
3	255.59	300.33	300.33	300.33
2	193.94	227.88	227.88	227.88
1	132.28	155.43	155.43	155.43
Zemin	70.90	83.32	83.32	83.32
Toplam	811.80	953.86	953.86	953.86

Tablo 6.4: Radye Temelli Güçlendirilmiş Binanın Y Yönündeki Eşdeğer Deprem Yükleri (DBYBHY2007)

Eşdeğer Deprem Yükü (kN) (Y Doğrultusu)				
Kat No	Z1	Z2	Z3	Z4
4	135.85	165.98	186.90	186.90
3	218.29	266.70	300.32	300.32
2	165.63	202.36	227.87	227.87
1	112.97	138.03	155.43	155.43
Zemin	60.55	73.98	83.317	83.31
Toplam	693.32	847.07	953.86	953.86

Tablo 6.5: Sürekli Temelli Güçlendirilmiş Binanın X Yönündeki Eşdeğer Deprem Yükleri, Tip 1, (DBYBHY2007)

Eşdeğer Deprem Yükü (kN) (X Doğrultusu)				
Kat No	Z1	Z2	Z3	Z4
4	153,09	186,12	186,91	186,91
3	245,99	299,06	300,33	300,33
2	186,65	226,92	227,88	227,88
1	127,31	154,78	155,43	155,43
Zemin	68,24	82,97	83,32	83,32
Toplam	781,29	949,86	953,86	953,86

Tablo 6.6: Sürekli Temelli Güçlendirilmiş Binanın Y Yönündeki Eşdeğer Deprem Yükleri, Tip 1, (DBYBHY2007)

Eşdeğer Deprem Yükü (kN) (Y Doğrultusu)				
Kat No	Z1	Z2	Z3	Z4
4	132,78	160,21	186,91	186,91
3	213,35	257,42	300,33	300,33
2	161,88	195,33	227,88	227,88
1	110,42	133,23	155,43	155,43
Zemin	59,19	71,41	83,32	83,32
Toplam	677,60	817,60	953,86	953,86

Tablo 6.7: Sürekli Temelli Güçlendirilmiş Binanın X Yönündeki Eşdeğer Deprem Yükleri, Tip 2, (DBYBHY2007)

Eşdeğer Deprem Yükü (kN) (X Doğrultusu)				
Kat No	Z1	Z2	Z3	Z4
4	152,46	183,79	186,91	186,91
3	244,97	295,32	300,33	300,33
2	185,88	224,08	227,88	227,88
1	126,79	152,84	155,43	155,43
Zemin	67,96	81,93	83,32	83,32
Toplam	778,06	937,95	953,86	953,86

Binanın oturduğu zemin sınıfı değiştiğinde zemin sınıfına bağlı olarak yapının birinci doğal titreşim periyodu ve eşdeğer deprem yükü hesaplamada kullanılan Türk

Deprem Yönetmeliği'ndeki tasarım deprem spektrumu değişmektedir. Buna bağlı olarak da binaya etkiyen eşdeğer deprem yüklerinde değişimler olmaktadır. Aynı zamanda bilgisayar modelinde zemin-yapı etkileşimi elasto-plastik Winkler zemin modeli kullanılarak hesaplara katıldığından dolayı temel tiplerinin değişmesi sonucu yapının 1. doğal titreşim periyotlarında önemli ölçüde değişimler oluşmaktadır. Bu sebeplerden dolayı her zemin sınıfı için ve her temel tipi için ayrı ayrı eşdeğer deprem yükü hesaplanmıştır.

Tablo 6.8: Sürekli Temelli Güçlendirilmiş Binanın Y Yönündeki Eşdeğer Deprem Yükleri, Tip 2, (DBYBHY2007)

Eşdeğer Deprem Yüğü (kN) (Y Doğrultusu)				
Kat No	Z1	Z2	Z3	Z4
4	120,19	137,71	157,53	186,91
3	193,12	221,27	253,12	300,33
2	146,53	167,89	192,06	227,88
1	99,95	114,52	131,00	155,43
Zemin	53,57	61,38	70,22	83,32
Toplam	613,36	702,77	803,92	953,86

Tablo 6.9: Sürekli Temelli Güçlendirilmiş Binanın X Yönündeki Eşdeğer Deprem Yükleri, Tip 3, (DBYBHY2007)

Eşdeğer Deprem Yüğü (kN) (X Doğrultusu)				
Kat No	Z1	Z2	Z3	Z4
4	141,99	166,27	186,91	186,91
3	228,15	267,16	300,33	300,33
2	173,11	202,72	227,88	227,88
1	118,08	138,27	155,43	155,43
Zemin	63,29	74,12	83,32	83,32
Toplam	724,62	848,53	953,86	953,86

Tablo 6.10: Sürekli Temelli Güçlendirilmiş Binanın Y Yönündeki Eşdeğer Deprem Yükleri, Tip 3, (DBYBHY2007)

Eşdeğer Deprem Yüğü (kN) (Y Doğrultusu)				
Kat No	Z1	Z2	Z3	Z4
4	120,00	137,33	155,69	186,91
3	192,82	220,67	250,16	300,33
2	146,31	167,44	189,81	227,88
1	99,79	114,21	129,47	155,43
Zemin	53,49	61,22	69,40	83,32
Toplam	612,42	700,86	794,53	953,86

Tablo 6.11: Tekil Temelli Güçlendirilmiş Binanın X Yönündeki Eşdeğer Deprem Yükleri, (DBYBHY2007)

Eşdeğer Deprem Yükü (kN) (X Doğrultusu)				
Kat No	Z1	Z2	Z3	Z4
4	134,65	153,65	175,97	186,91
3	216,36	246,89	282,74	300,33
2	164,17	187,33	214,54	227,88
1	111,98	127,78	146,33	155,43
Zemin	60,02	68,49	78,44	83,32
Toplam	687,18	784,15	898,01	953,86

Tablo 6.12: Tekil Temelli Güçlendirilmiş Binanın Y Yönündeki Eşdeğer Deprem Yükleri, (DBYBHY2007)

Eşdeğer Deprem Yükü (kN) (Y Doğrultusu)				
Kat No	Z1	Z2	Z3	Z4
4	111,22	125,21	141,86	176,62
3	178,71	201,19	227,93	283,80
2	135,60	152,66	172,95	215,34
1	92,49	104,12	117,97	146,88
Zemin	49,58	55,81	63,23	78,73
Toplam	567,61	639,00	723,94	901,36

Tablo 6.13: Ankastre Temelli Güçlendirilmiş Binanın X Yönündeki Eşdeğer Deprem Yükleri, (DBYBHY2007)

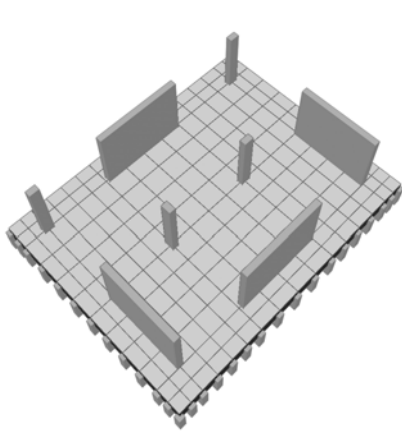
Eşdeğer Deprem Yükü (kN) (X Doğrultusu)				
Kat No	Z1	Z2	Z3	Z4
4	167,92	186,91	186,91	186,91
3	269,81	300,33	300,33	300,33
2	204,72	227,88	227,88	227,88
1	139,64	155,43	155,43	155,43
Zemin	74,85	83,32	83,32	83,32
Toplam	856,93	953,86	953,86	953,86

Tablo 6.14: Ankastre Temelli Güçlendirilmiş Binanın Y Yönündeki Eşdeğer Deprem Yükleri, (DBYBHY2007)

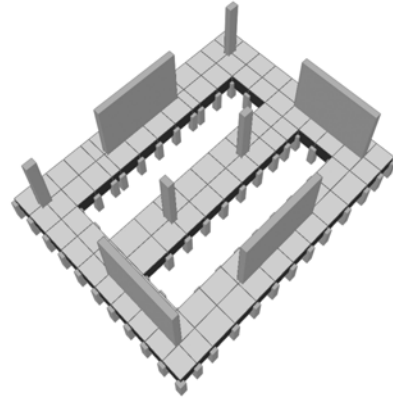
Eşdeğer Deprem Yükü (kN) (Y Doğrultusu)				
Kat No	Z1	Z2	Z3	Z4
4	145,58	183,25	186,91	186,91
3	233,92	294,45	300,33	300,33
2	177,49	223,42	227,88	227,88
1	121,06	152,39	155,43	155,43
Zemin	64,89	81,69	83,32	83,32
Toplam	742,94	935,20	953,86	953,86

Binanın doğrusal olmayan statik analizi ve performans değerlendirmeleri, altı değişik temel sistemi ve dört farklı zemin sınıfı için SAP2000 paket programında

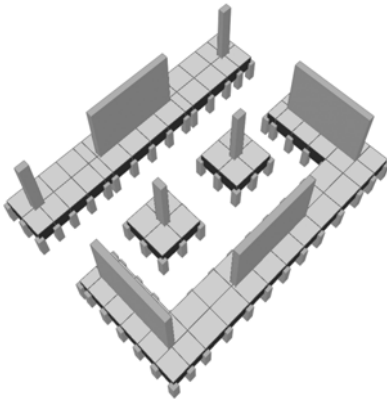
gerçekleştirilmiştir. Analizlerde kullanılan farklı temel tipleri Şekil 4’de gösterilmiştir.



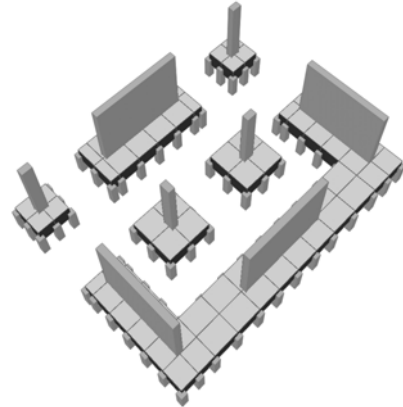
a. Radye Temel



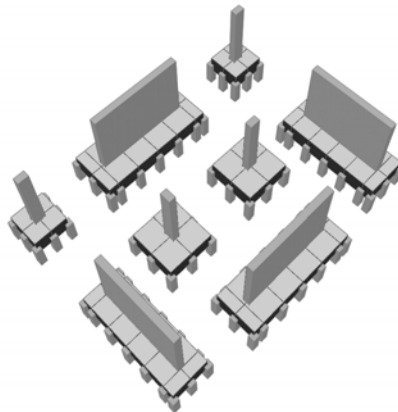
b. Sürekli temel, tip 1



c. Sürekli temel, tip 2



d. Sürekli temel, tip 3



e. Tekil Temel

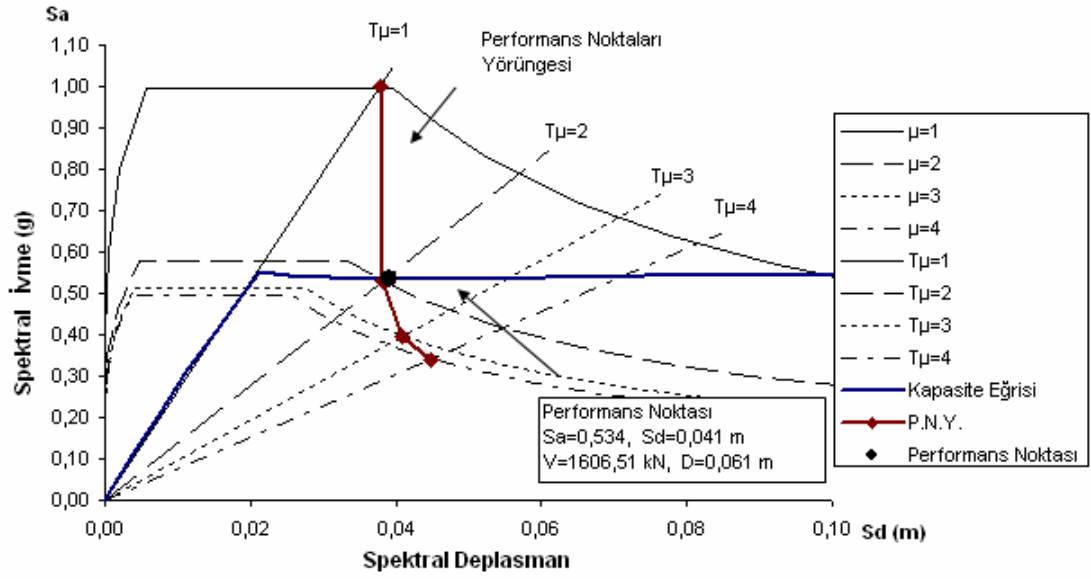
Şekil 6.4: Analizlerde Kullanılan Farklı Temel Tipleri

Farklı temel sistemlerine sahip binaların statik itme analizleri tamamlandıktan sonra Bölüm 4’de yer alan eşdeğer lineerleştirme işlemlerinden İşlem C doğrultusunda, performans noktasının grafik gösterimleri hazırlanmıştır. Aynı zamanda Bölüm 5’de anlatılan zemin-yapı etkileşimi ile ilgili işlemlerde hesaplamalara dahil edilmiştir.

Zemin yapı etkileşiminden dolayı, yapı başlıca iki temel etkiye maruz kalmaktadır. Bunlardan birincisi kinematik etkilerdir. Bu kinematik etkiler, taban alan ortalaması ve zemine gömülü olma etkileri olarak tanımlanır. Analizlerde kullandığımız örnek binanın hesaplamalarında yalnızca taban alan ortalama etkisi (RRS_{bsa}) dikkate alınmış ve bu doğrultuda tepki spektrumunda bir indirgeme yapılmıştır. Güçlendirilmiş binanın temeli yüzeysel temel olduğu için temel gömülme etkisi (RRS_e) göz ardı edilmiştir.

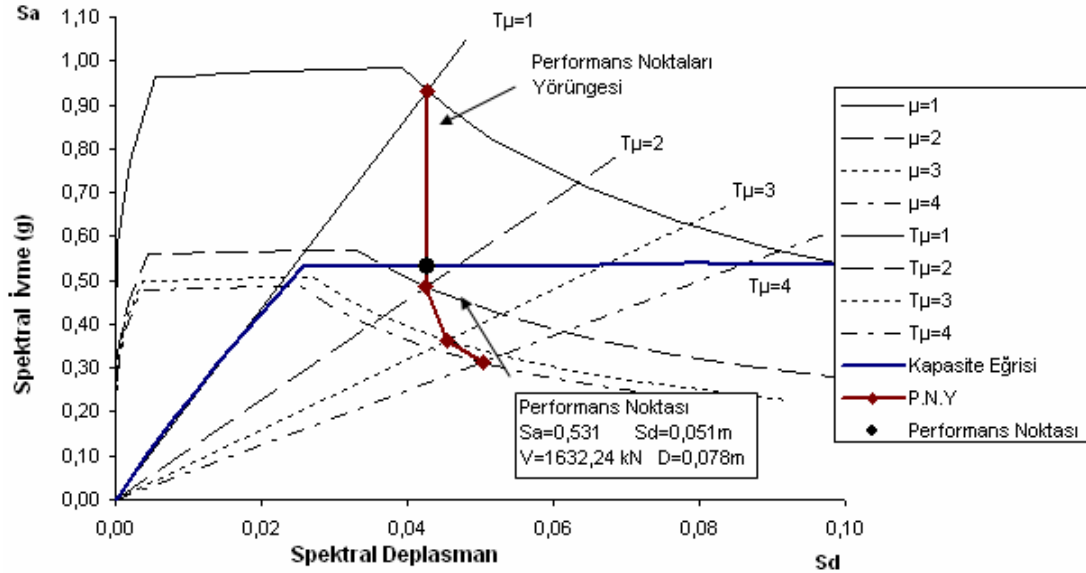
Yapı Zemin etkileşiminden dolayı oluşan diğer bir etki ise temel sönüm etkisidir. Temel sönüm etkisi efektif yapı yüksekliğine ve temelin eşdeğer dönme yarıçapına bağlıdır. Temel sönümünün etkin olması için kat kütlelerinin ve yapının oturum alanının yeterince büyük olması gerekmektedir. Analizlerde kullanılan binanın temel oturum alanı, yüksekliği ve kat kütleleri oldukça küçüktür. Bu nedenle ilk sönüm oranında bir artırma yapılmamış ve $\beta_i = \beta_0 = 0.05$ olarak alınmıştır.

Güçlendirilmiş binanın farklı temel tiplerine ait modellemelerinin performans noktası grafikleri Şekil 6.5 ~ Şekil 6.10’da gösterilmiştir. Ancak, burada sadece Z2 sınıfı zemine ve X doğrultusuna ait sonuçlar verilmiştir. Analizlerin diğer sonuçları Ek A’da verilmiştir.



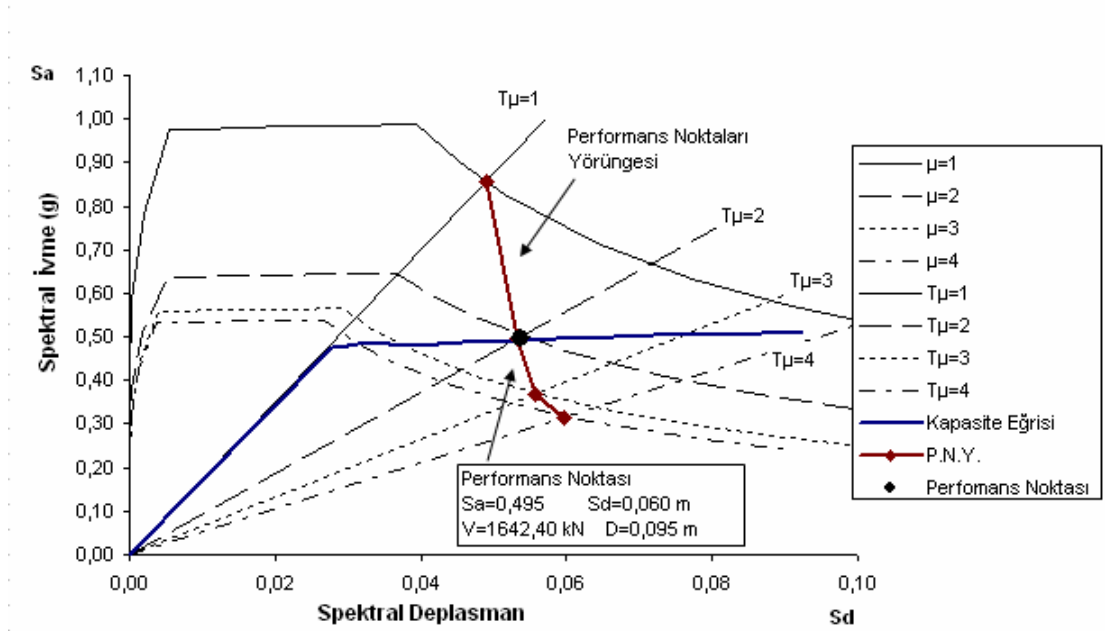
Şekil 6.5: Ankastre Temelli Güçlendirilmiş Binanın Performans Grafiği

FEMA440 işlem C doğrultusunda hazırlanan grafiklerde, performans noktası çeşitli süneklik düzeyleri için oluşturulan MADRS'ler ile secant periyotlarının kesiştirilmesiyle oluşan muhtemel performans noktaları yörüngesi üzerinde yer almaktadır. Bu yörünge ile kapasite eğrisinin kesiştiği nokta yapının performans noktasıdır.

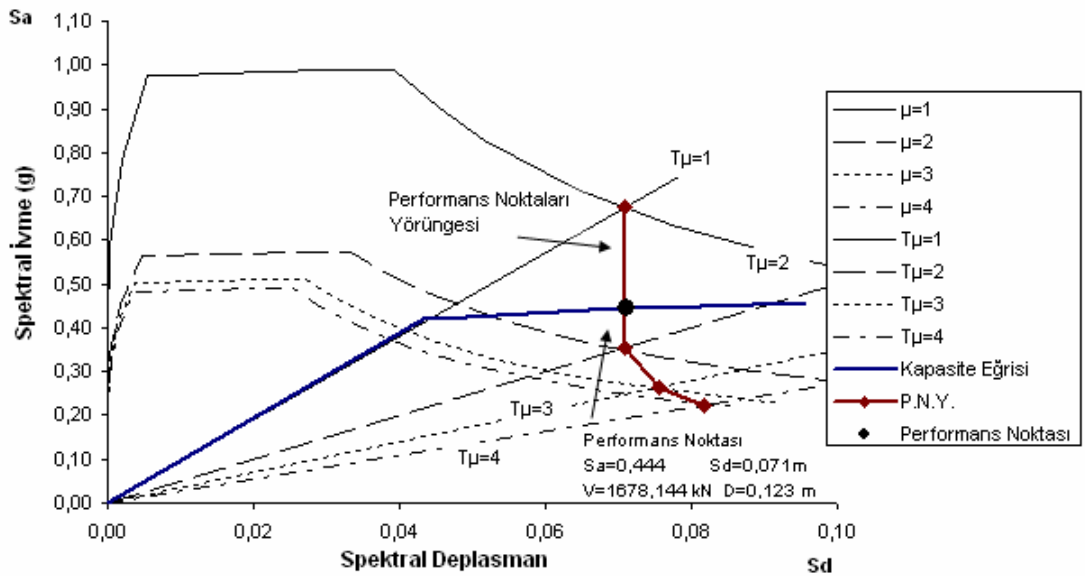


Şekil 6.6 : Radye Temelli Güçlendirilmiş Binanın Performans Grafiği

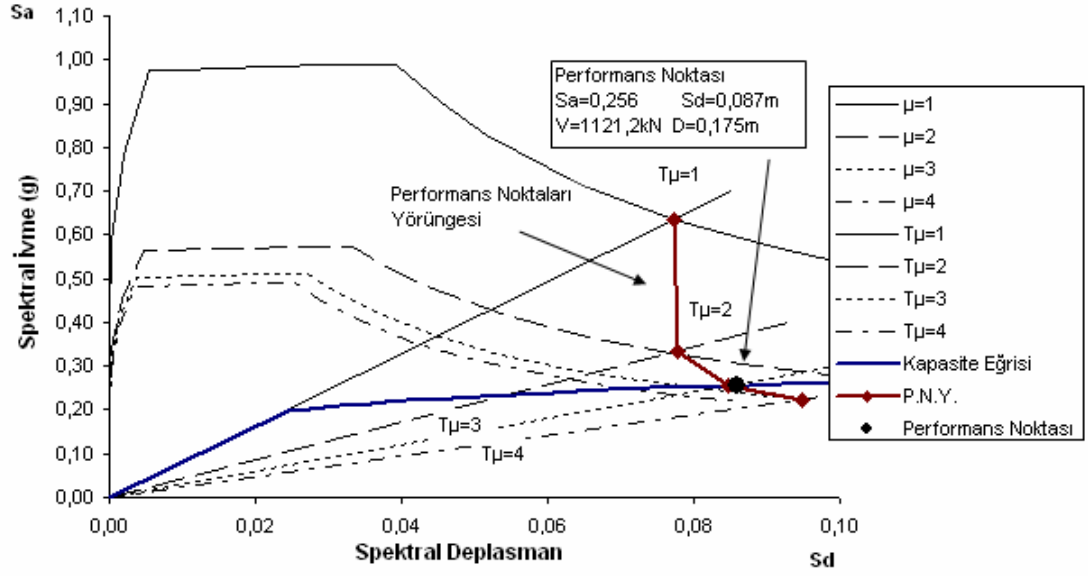
Kinematik etkileşimden dolayı spektrum eğrisinde bir indirgeme yapılmaktadır. Ancak bu çalışmada kullanılan bina küçük temel alanına sahip olduğu ve temeli de yüzeysel temel olduğu için kinematik etkileşimden dolayı oluşan indirgeme çok küçük mertebelerdedir.



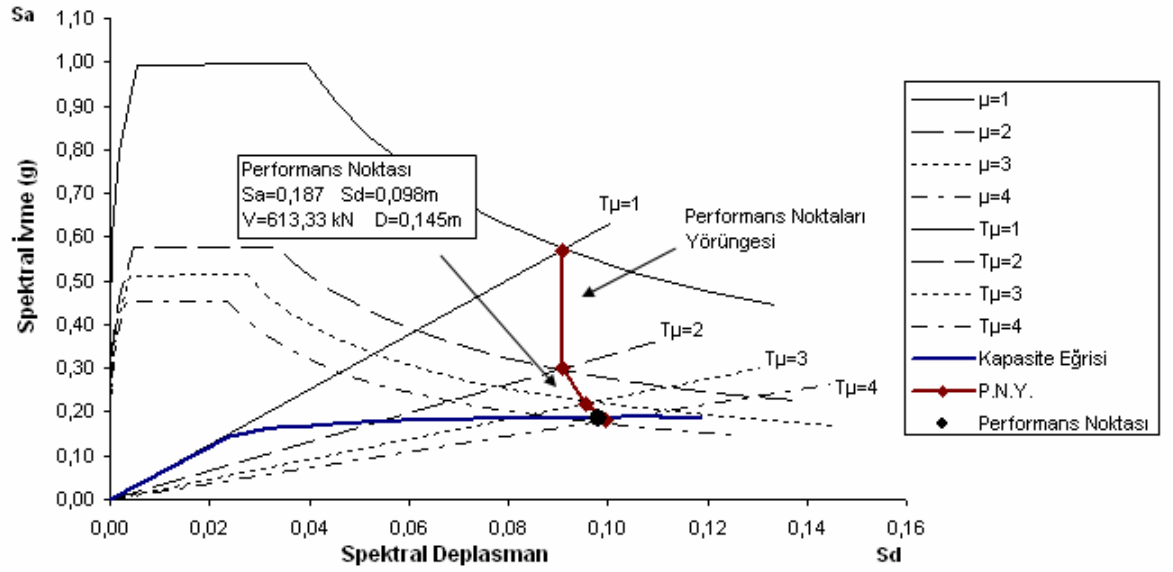
Şekil 6.7 : Sürekli Temelli Güçlendirilmiş Binanın Performans Grafiği, (Tip 1)



Şekil 6.8 : Sürekli Temelli Güçlendirilmiş Binanın Performans Grafiği, (Tip 2)



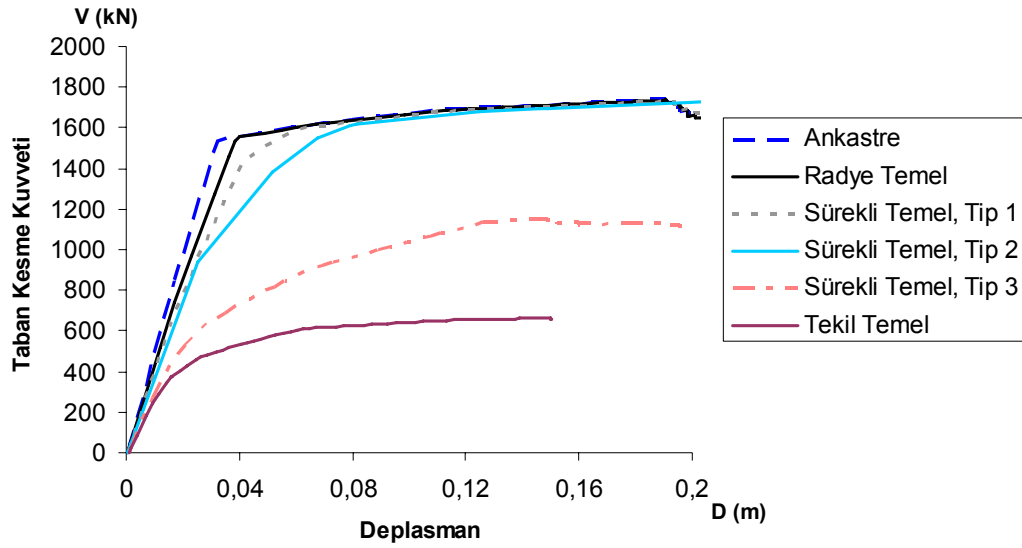
Şekil 6.9 : Sürekli Temelli Güçlendirilmiş Binanın Performans Grafiği, (Tip 3)



Şekil 6.10 : Tekil Temelli Güçlendirilmiş Binanın Performans Grafiği

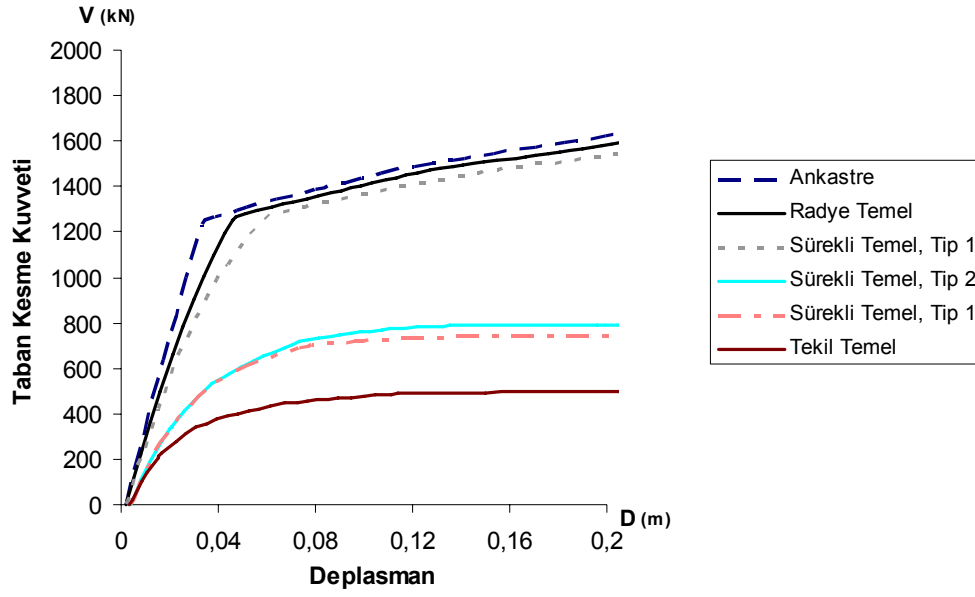
6.2 Güçlendirilmiş Binanın Elde Edilen Performans Değerlerinin Karşılaştırılması

Performans hesaplamalarının sonunda, farklı temel tiplerine sahip binaların doğrusal olmayan davranışlarını karşılaştırmak için farklı temel tipleri için elde edilen statik itme eğrileri aynı grafikte gösterilir. Bütün zemin sınıfları için farklı temel sistemlerine sahip güçlendirilmiş binanın performans eğrileri X ve Y doğrultuları için Şekil 6.11 ve Şekil 6.18’de verilmiştir.



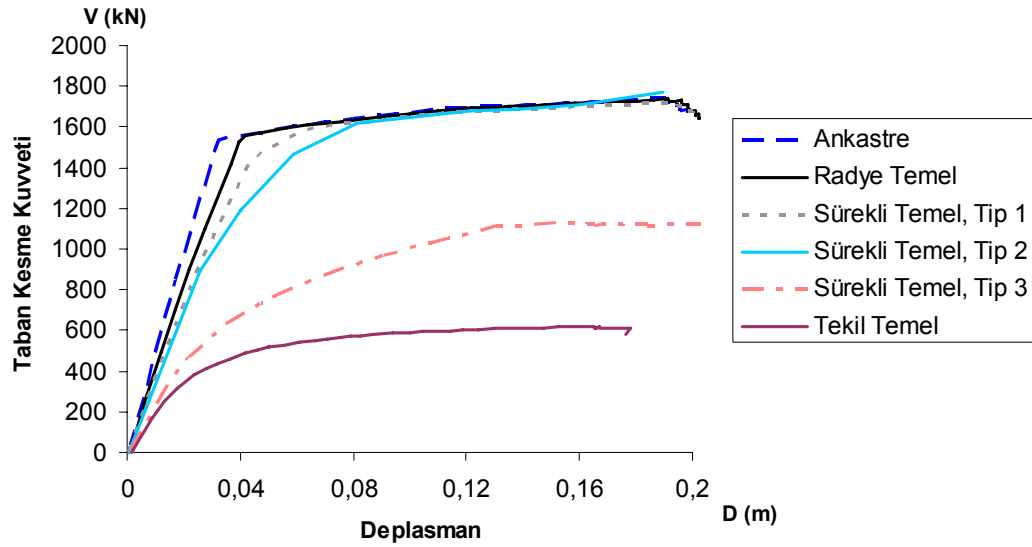
Şekil 6.11 : Z1 Sınıfı Zemin için Farklı Temel Sistemlerine Sahip Güçlendirilmiş Binaların Performans Eğrilerinin Karşılaştırması (X Doğrultusu)

Şekil 6.11’deki grafikte görüldüğü gibi Z1 sınıfı zemin profilinde, ankastre temelli modelin taban kesme kuvveti istemi ile radye temelli modelin ve her iki doğrultuda sürekli olan temel modelinin taban kesme kuvveti istemi hemen hemen aynıdır. Ancak temelde oluşan dönmeden dolayı deplasman istemleri ankastre temelli modele göre daha fazladır. Tekil temelli modelde ise taban kesme kuvveti talebi diğer modellere göre oldukça düşüktür.

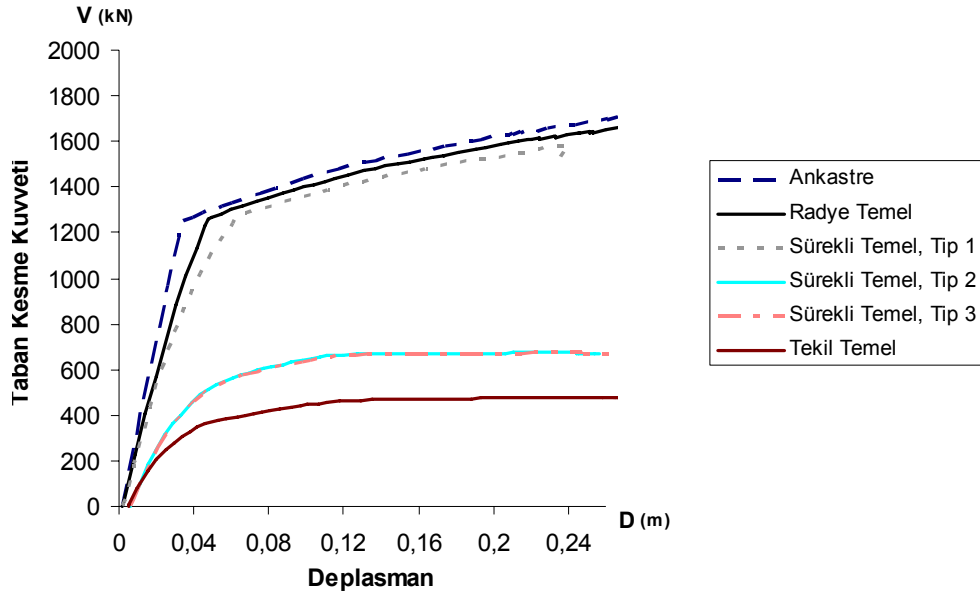


Şekil 6.12 : Z1 Sınıfı Zemin için Farklı Temel Sistemlerine Sahip Güçlendirilmiş Binaların Performans Eğrilerinin Karşılaştırması (Y Doğrultusu)

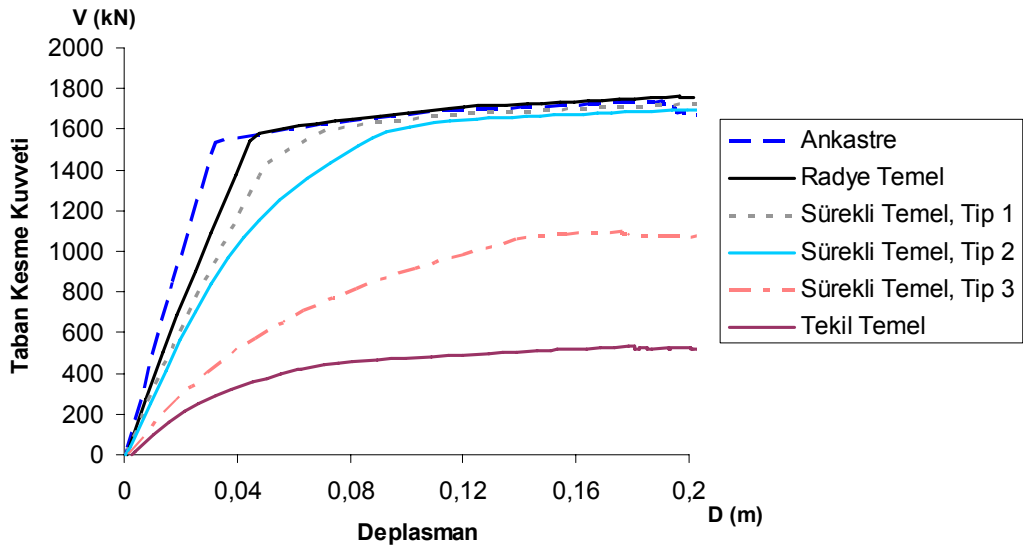
Şekil 6.12’de de görüldüğü gibi tek doğrultuda sürekli temelde (x doğrultusunda sürekli) diğer doğrultuda oldukça zayıf taban kesme kuvveti istemi ortaya çıkmıştır.



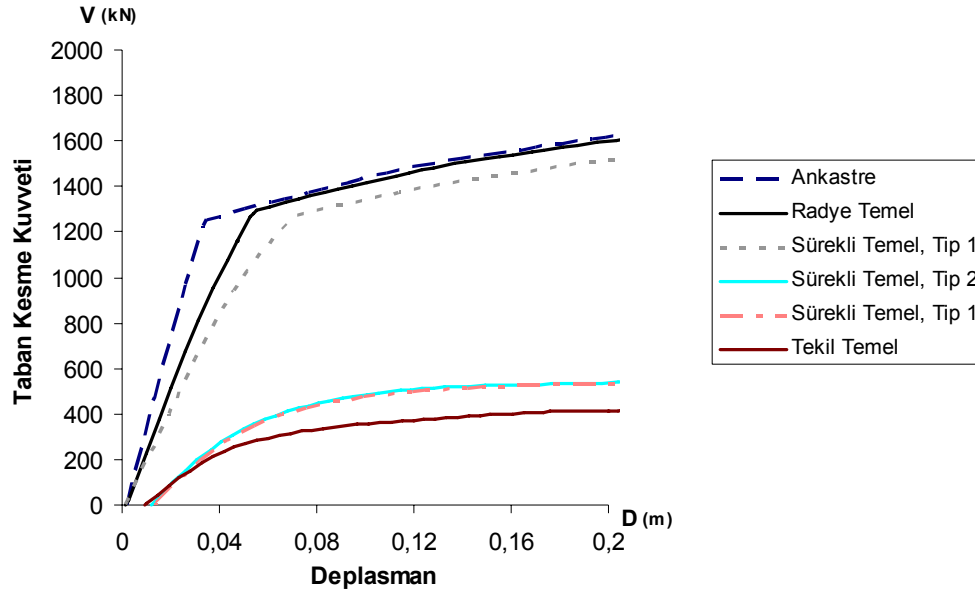
Şekil 6.13 : Z2 Sınıfı Zemin için Farklı Temel Sistemlerine Sahip Güçlendirilmiş Binaların Performans Eğrilerinin Karşılaştırması (X Doğrultusu)



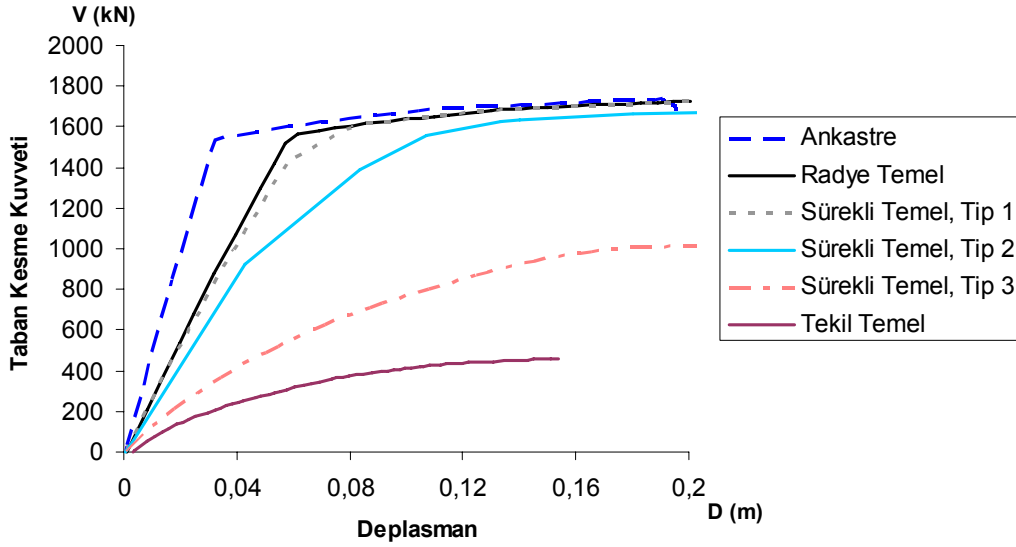
Şekil 6.14 : Z2 Sınıfı Zemin için Farklı Temel Sistemlerine Sahip Güçlendirilmiş Binaların Performans Eğrilerinin Karşılaştırması (Y Doğrultusu)



Şekil 6.15 : Z3 Sınıfı Zemin için Farklı Temel Sistemlerine Sahip Güçlendirilmiş Binaların Performans Eğrilerinin Karşılaştırması (X Doğrultusu)

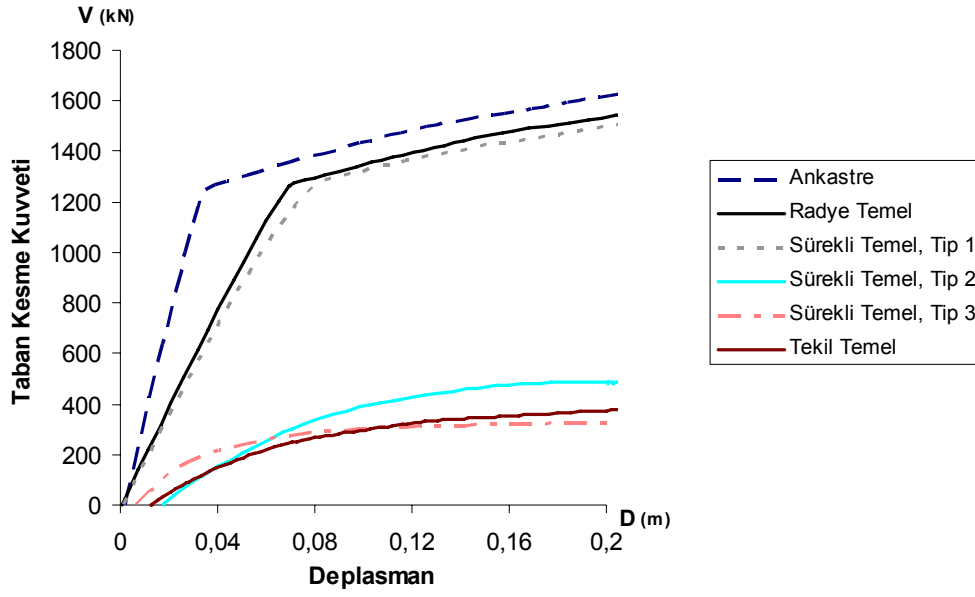


Şekil 6.16 : Z3 Sınıfı Zemin için Farklı Temel Sistemlerine Sahip Güçlendirilmiş Binaların Performans Eğrilerinin Karşılaştırması (Y Doğrultusu)



Şekil 6.17 : Z4 Sınıfı Zemin için Farklı Temel Sistemlerine Sahip Güçlendirilmiş Binaların Performans Eğrilerinin Karşılaştırması (X Doğrultusu)

Şekil 6.17 'de görüldüğü gibi zayıf zemin profilinde yapıdaki deplasman istemi büyük ölçüde artmaktadır. Z1 sınıfı zemin profilinde ankastre temelli modelin deplasman istemi radye ve iki doğrultuda sürekli temel modelinin deplasman istemini oldukça yakın bir değerdeyken, Z4 sınıfı zayıf zemin profilinde radye temelli ve ankastre temelli modelin deplasman istemleri birbirinden oldukça farklıdır.



Şekil 6.18 : Z4 Sınıfı Zemin için Farklı Temel Sistemlerine Sahip Güçlendirilmiş Binaların Performans Eğrilerinin Karşılaştırması (Y Doğrultusu)

Altı değişik temel tipi ve dört farklı zemin sınıfı için zemin etkilerini de dikkate alarak yapılan performans hesaplamaları sonucunda elde edilen değerler, temel tiplerinin ve zemin sınıflarının sismik performans üzerindeki etkilerini göstermek amacıyla Tablo 6.15 ve Tablo 6.16’da toplu olarak verilmiştir.

Tablo 6.15 ve Tablo 6.16’da verilen performans noktalarının ordinatları doğrultusunda ankastre temelli modeller ile radye temelli modellerin taban kesme kuvvetine hemen hemen aynıdır ancak radye temelli binanın deplasman istemi, temelin dönmesinden dolayı ankastre mesnetli sistemin deplasman isteminden daha fazladır. Özellikle zayıf zemin sınıfı olan Z4 sınıfı zeminde deplasman isteminin önemli ölçüde arttığı görülmektedir. Her iki yönde sürekli temel modeli de ankastre ve radye temel modeliyle hemen hemen aynı davranışı sergiler. Ancak sürekli temel yalnızca bir doğrultuda teşkil edildiği zaman diğer doğrultuda taban kesme kuvveti istemi çok zayıf kalmakta ve var olan kolonlar ile ilave perdeler arasındaki kirişlerde önemli ölçüde hasarlar meydana gelmesinden dolayı yapısal göçme meydana gelmektedir. Tekil temel modelinde ise taban kesme kuvveti her iki yönde de aşırı derecede düşüş göstermektedir. Zayıf zemin koşullarında tekil temelde ve bir doğrultuda sürekli temellerde performans noktası elde edilememiştir. Bunun nedeni zayıf zemin koşullarında temel tabanında ayrılmalar meydana gelmekte, zeminde

plastik deformasyonlar oluşmaktadır ve oluşan aşırı deplasmanlar sonucu yapı göçme durumuna gelmektedir.

Tablo 6.15 : Radye temelli, sürekli temelli ve tekil temelli güçlendirilmiş binanın performans noktası ordinatları (X Doğrultusunda)

	Z1		Z2		Z3		Z4	
	V (kN)	D (m)	V (kN)	D (m)	V (kN)	D (m)	V (kN)	D (m)
Ankastre Temel	1577.2	0.048	1606.5	0.061	1638.1	0.079	1583.8	0.051
Radye Temel	1589.1	0.054	1632.2	0.078	1645.3	0.098	1641.1	0.102
Sürekli Temel, Tip 1	1603.1	0.065	1642.4	0.095	1670.8	0.116	1674.2	0.125
Sürekli Temel, Tip 2	1616.5	0.082	1678.1	0.123	1668.1	0.152	1670.7	0.203
Sürekli Temel, Tip 3	1071.2	0.109	1121.2	0.175	1079.1	0.222	-	-
Tekil Temel	630,88	0.086	613.3	0.145	517.4	0.223	-	-

Tablo 6.16 : Radye temelli, sürekli temelli ve tekil temelli güçlendirilmiş binanın performans noktası ordinatları (Y Doğrultusunda)

	Z1		Z2		Z3		Z4	
	V (kN)	D (m)	V (kN)	D (m)	V (kN)	D (m)	V (kN)	D (m)
Ankastre Temel	1317.7	0.055	1393.3	0.083	1461.2	0.109	1390.1	0.082
Radye Temel	1317.2	0.065	1393.9	0.097	1441.9	0.123	1543.3	0.205
Sürekli Temel, Tip 1	1310.1	0.076	1389.1	0.112	1412.1	0.134	1554.4	0.242
Sürekli Temel, Tip 2	763.7	0.102	669.3	0.152	530.9	0.226	-	-
Sürekli Temel, Tip 3	720.6	0.099	669.16	0.154	532.7	0.233	-	-
Tekil Temel	490.36	0.116	472.54	0.184	-	-	-	-

7. SONUÇLAR

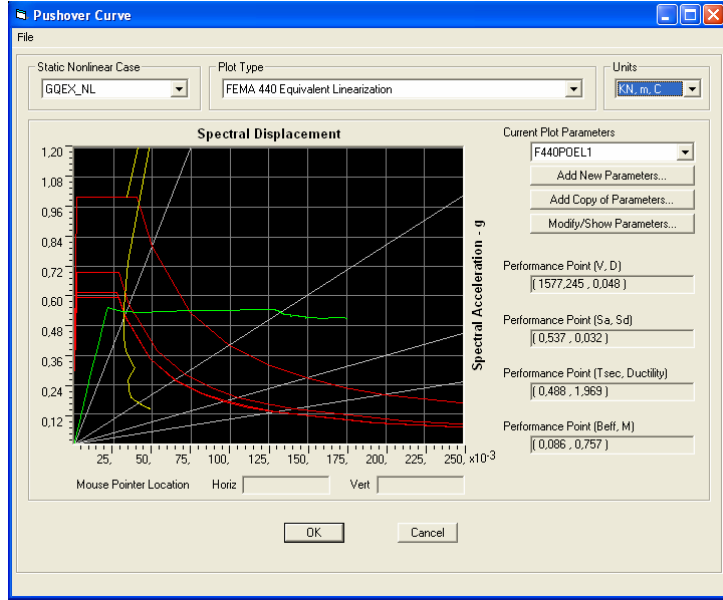
Bu çalışmada, güçlendirilmiş üç boyutlu mevcut bir binada temel tiplerinin sismik performans üzerindeki etkileri irdelenmiştir. Zemin-yapı etkileşimi çekme gerilmesi almayan çubuk elemanlar aracılığıyla statik itme analizlerine dahil edilmiştir. Yapılan çalışmanın ışığında temel tasarımı ve inşasının sismik performans açısından çok önemli olduğu görülmüştür. Temel sistemi göz ardı edilerek ankastre temel varsayımı ile yapılan performans değerlendirmeleri sonucunda güvenli çıkan yapıların yapısal sisteminde beklenmeyen hasarlar, hatta göçmeler olabilir. Bu nedenle temel sistemi performans hesaplamalarında mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır. Yapının istenen performans düzeyini sağlaması için temel sistemi her iki yönde sürekli ve mümkünse radye temel olarak inşa edilmelidir. Özellikle performans seviyesini artırmak amacıyla güçlendirme yapılan binalarda var olan kolonlar ile ilave perdelerin birbirlerine uyum sağlayarak birlikte çalışmaları için temelde de güçlendirme yapmak gerekmektedir. Aksi taktirde yapılan güçlendirme doğrultusunda performans seviyesindeki artış beklendiği gibi olmayabilir. Bütün bu nedenlerden dolayı 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nin, sismik analiz ve performans değerlendirmeleri ile ilgili bölümleri, zemin-yapı etkileşimini de göz önünde alacak şekilde güncellenmelidir.

KAYNAKLAR

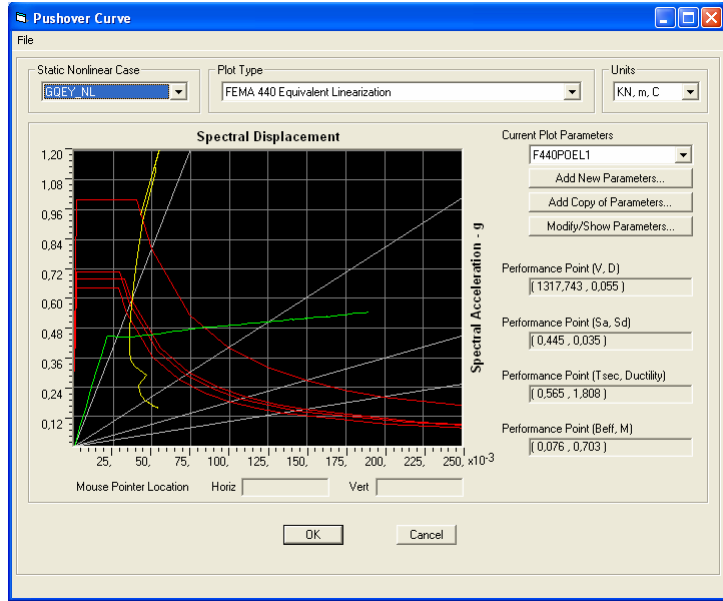
- ATC-40**, 2000, Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, *Applied Technology Council*, California.
- ASCE**, 2002, Standard for Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, *American Society of Civil Engineers*, Reston, VA.
- Bayat, M.R. and Ghannad, M. A.**, 2006, Incorporation of soil-structure interaction into seismic soil-structure interaction effects, *Proceedings of the 8th U.S. National Conference on Earthquake Engineering*, paper no. 1174, San Francisco, California, USA.
- B'arcena, A. and Esteva, L.**, 2006, Influence of dynamic soil-structure interaction on the nonlinear response and seismic reliability of multistory systems, *Earthquake Engineering And Structural Dynamics*, **36**, 327-346.
- Celep, Z. Ve Kumbasar, N.**, 2004, Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta Dağıtım, İstanbul.
- Celep, Z.**, 2001, Deprem Etkisinde Binaların Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesinde Performans Kavramı, Meslek içi Eğitim Semineri, İMO Bursa Şubesi.
- DBYBHY**, 2007, Deprem Bölgesinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı*, Ankara.
- FEMA-356**, 2000, Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings, ASCE, Reston, VA, USA.
- FEMA-440**, 2005, Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures, FEMA, (ATC-55 Project), Washington, D.C. USA.
- Hutchinson, T.C., Raychowdhury, P. and Chang, B.**, 2006, Nonlinear structure and foundation response during seismic loading: dual lateral load resisting systems, *Proceedings of the 8th U.S. National Conference on Earthquake Engineering*, paper no. 320, San Francisco, California, USA.
- Jafarieh, A. H. and Ghannad, M. A.**, 2006, Displacement-based design considering soil-structure interaction effects, *Proceedings of the 8th U.S. National Conference on Earthquake Engineering*, paper no. 1328, San Francisco, California, USA.

- Kesim, B.**, 2005, Statik itme analizi yöntemi ile mevcut bir betonarme yapının incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Deliverable-106**, 2007, Risk Mitigation for Earthquakes and Landslides Integrated Project, *Sixth Framework Programme, LessLoss*, ITU, İstanbul, Türkiye.
- NEHRP**, 2000, Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures, Washington, D.C., USA.
- SAP2000**, 2004, Structural Analysis Software, Computers and Structures Inc., Berkeley, CA, USA.
- Xuezhang,W. and Nobuo, F.**, 2006, Effects of spread foundation type and its shape on dynamic soil structure interaction, *Journal of Structural Engineering. B*, **Vol. 52**, Japan, pp:23-31.

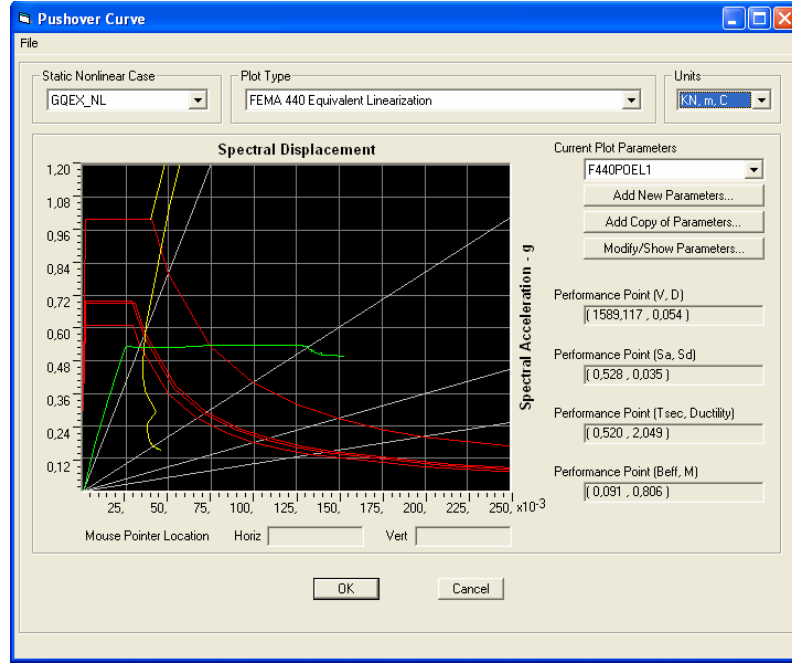
EK A



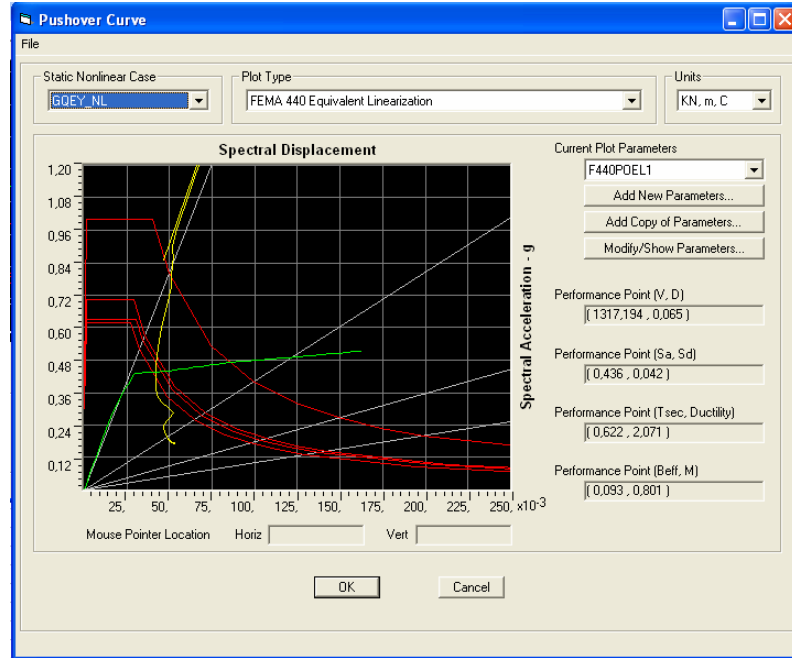
Şekil A.1: Z1 Sınıfı Zemin için Ankastre Temelli Güçlendirilmiş Binanın Performans Grafiği (Xdoğrultusu)



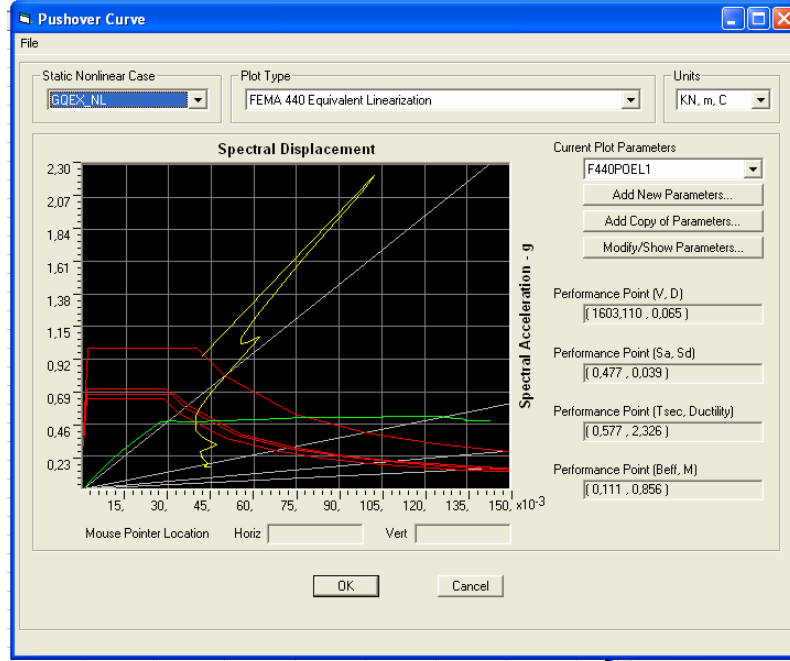
Şekil A.2: Z1 Sınıfı Zemin için Ankastre Temelli Güçlendirilmiş Binanın Performans Grafiği (Y Doğrultusu)



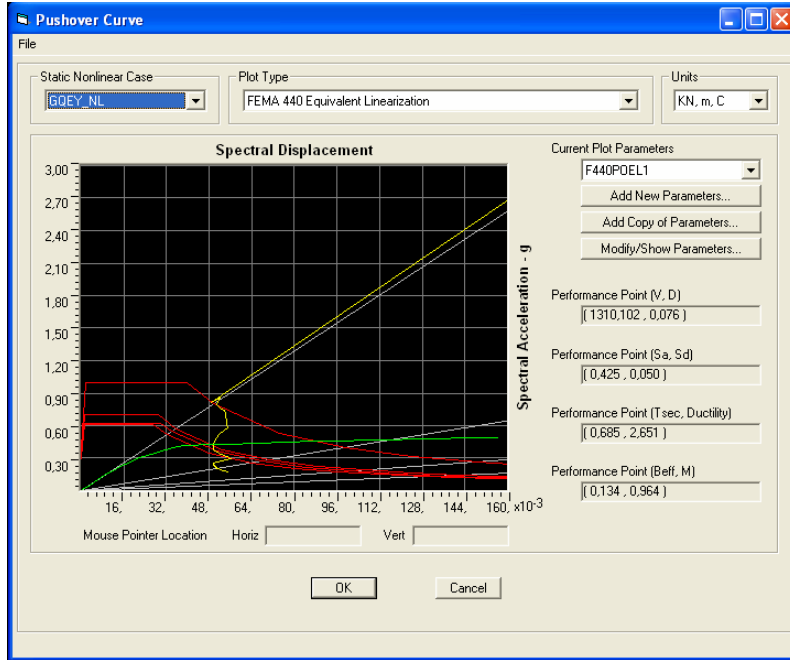
Şekil A.3: Z1 Sınıfı Zemin için Radye Temelli Güçlendirilmiş Binanın Performans Grafiği (X Doğrultusu)



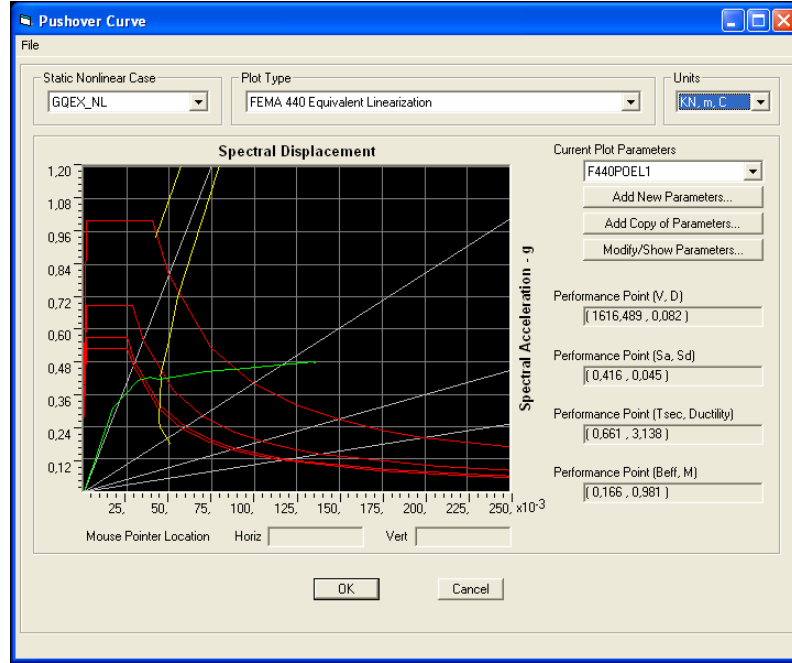
Şekil A.4: Z1 Sınıfı Zemin için Radye Temelli Güçlendirilmiş Binanın Performans Grafiği (Y Doğrultusu)



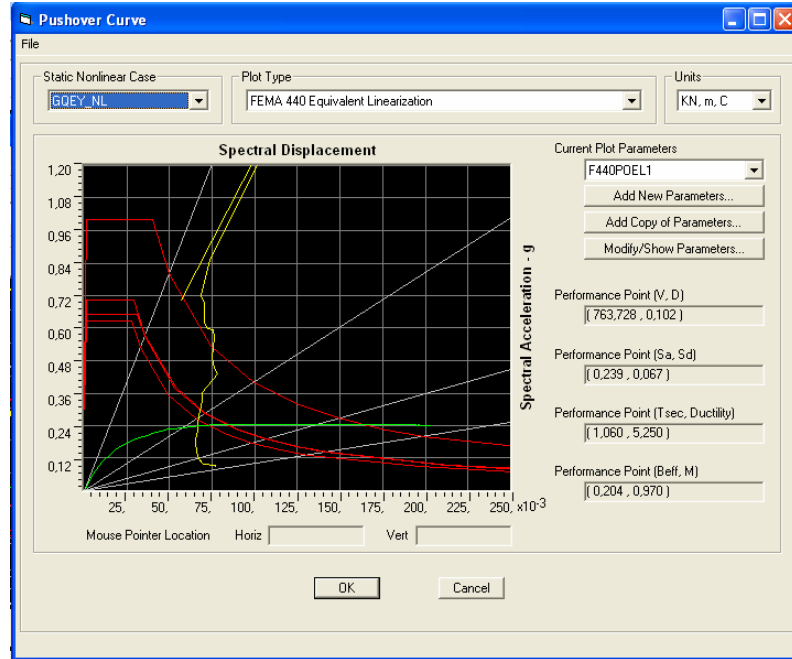
Şekil A.5: Z1 Sınıfı Zemin için Sürekli Temelli Güçlendirilmiş Binanın Performans Grafiği, Tip 1, (X Doğrultusu)



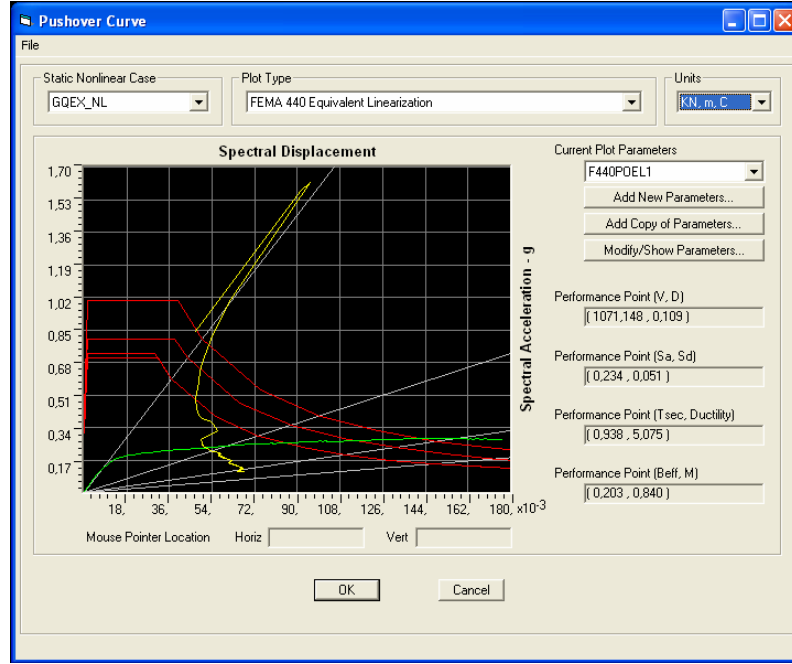
Şekil A.6: Z1 Sınıfı Zemin için Sürekli Temelli Güçlendirilmiş Binanın Performans Grafiği, Tip 1, (Y Doğrultusu)



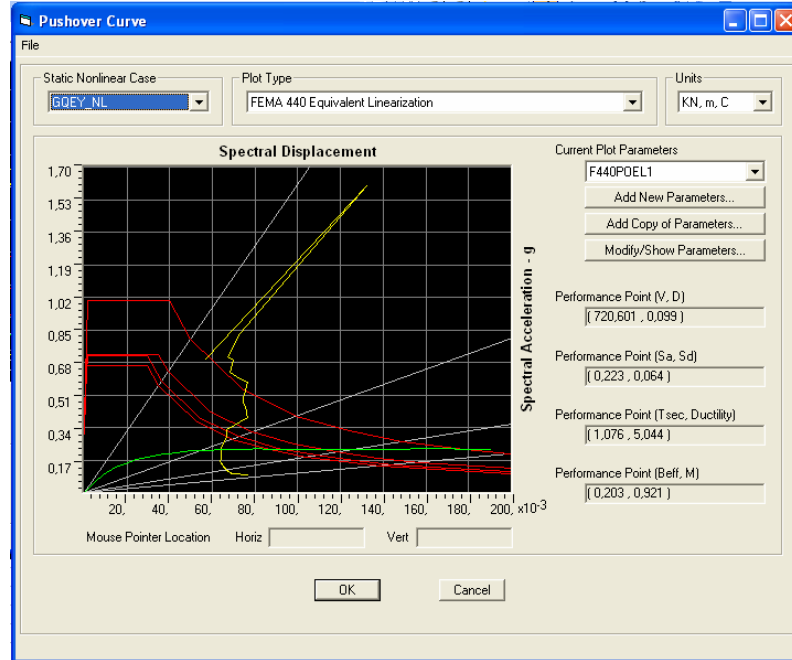
Şekil A.7: Z1 Sınıfı Zemin için Sürekli Temelli Güçlendirilmiş Binanın Performans Grafiği, Tip 2, (X Doğrultusu)



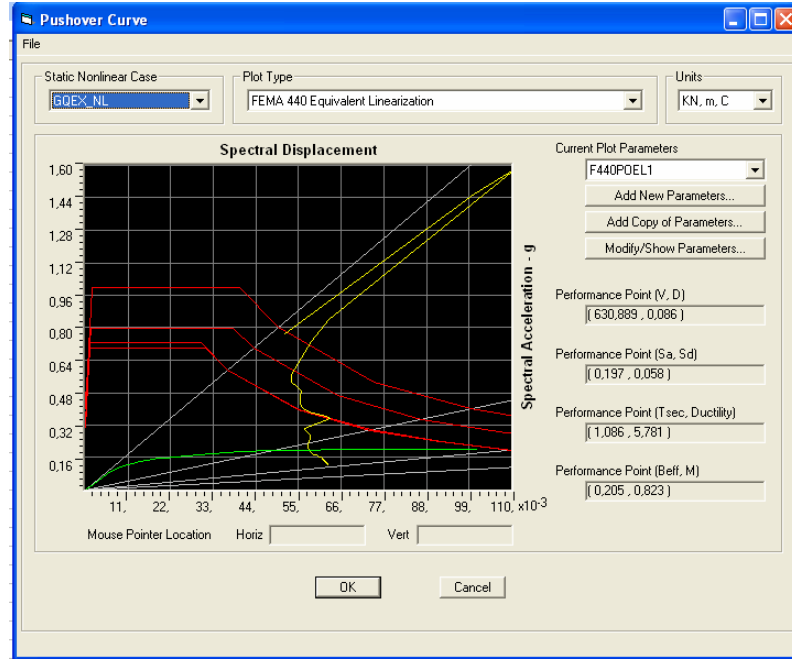
Şekil A.8: Z1 Sınıfı Zemin için Sürekli Temelli Güçlendirilmiş Binanın Performans Grafiği, Tip 2, (Y Doğrultusu)



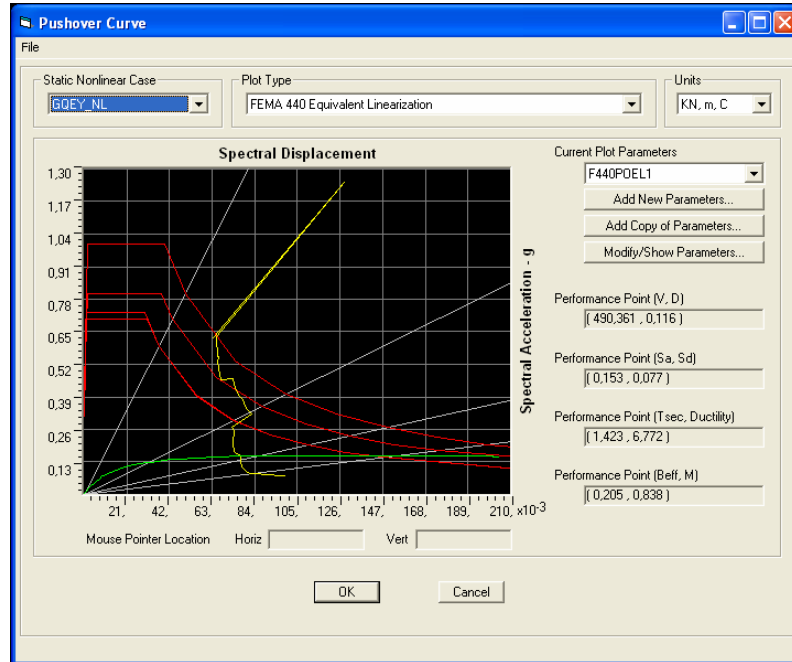
Şekil A.9: Z1 Sınıfı Zemin için Sürekli Temelli Güçlendirilmiş Binanın Performans Grafiği, Tip 3, (X Doğrultusu)



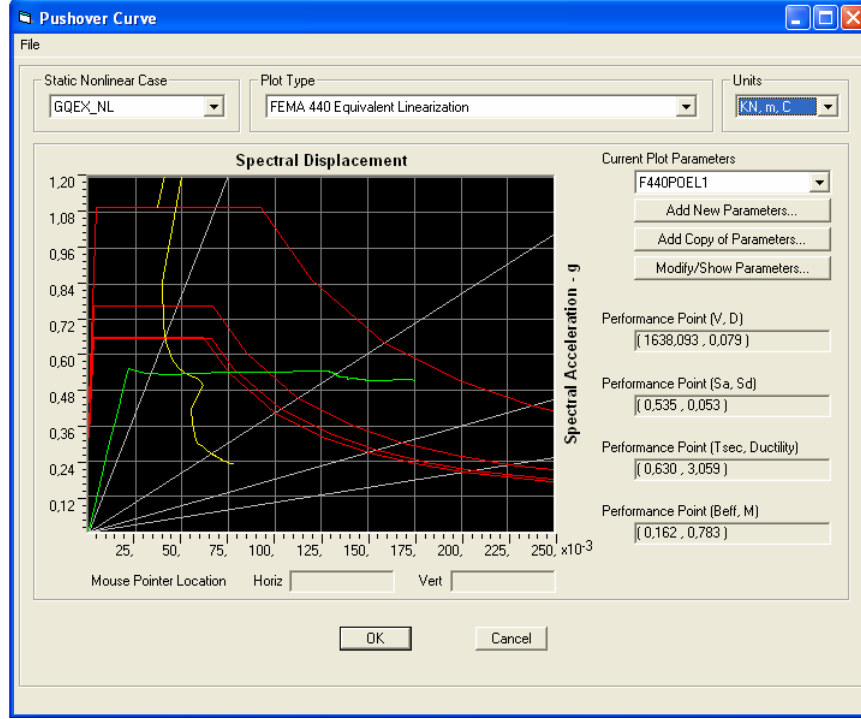
Şekil A.10: Z1 Sınıfı Zemin için Sürekli Temelli Güçlendirilmiş Binanın Performans Grafiği, Tip 3, (Y Doğrultusu)



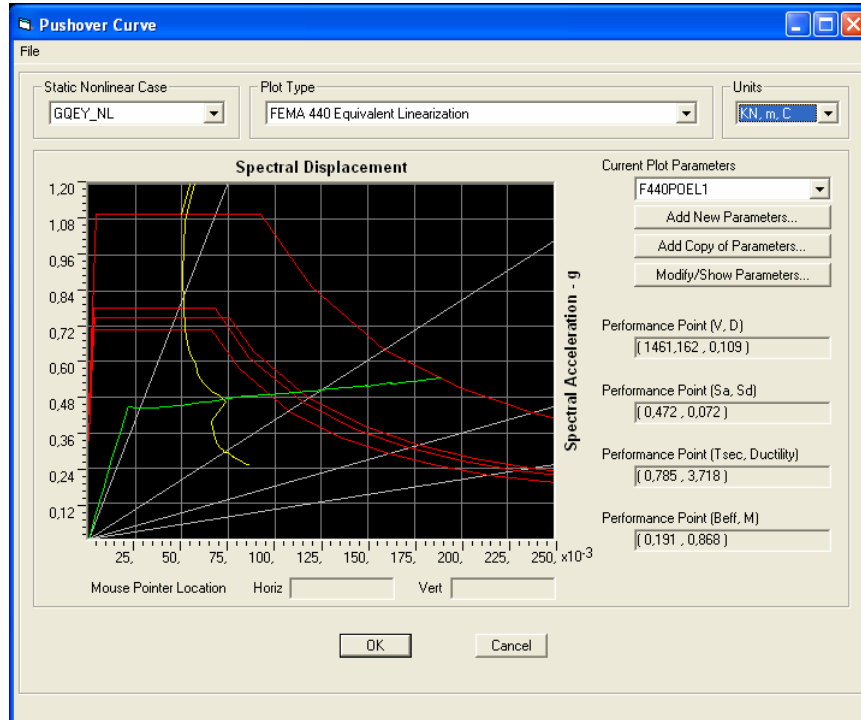
Şekil A.11: Z1 Sınıfı Zemin için Tekil Temelli Güçlendirilmiş Binanın Performans Grafiği, (X Doğrultusu)



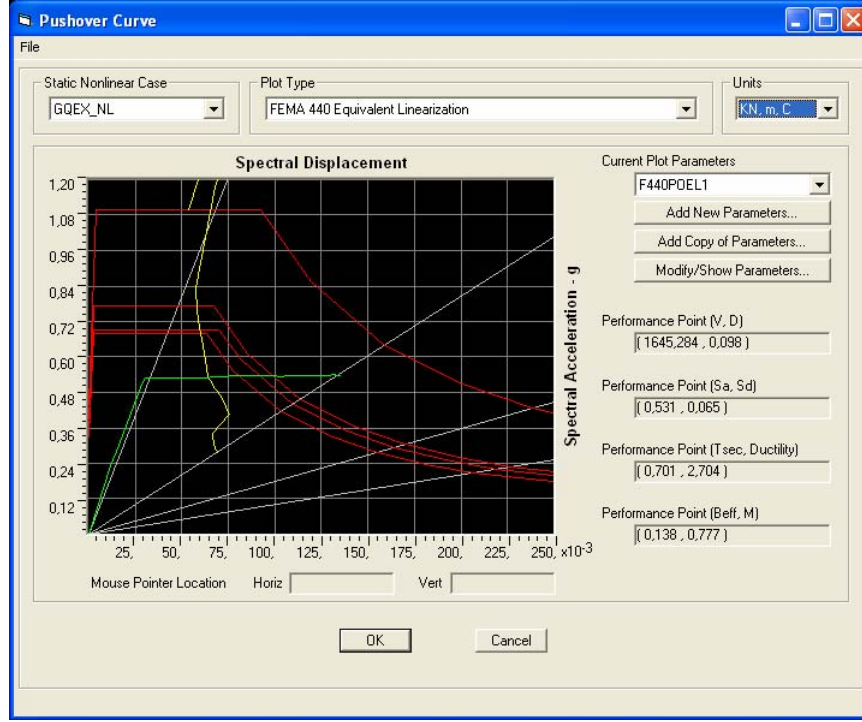
Şekil A.12: Z1 Sınıfı Zemin için Tekil Temelli Güçlendirilmiş Binanın Performans Grafiği, (Y Doğrultusu)



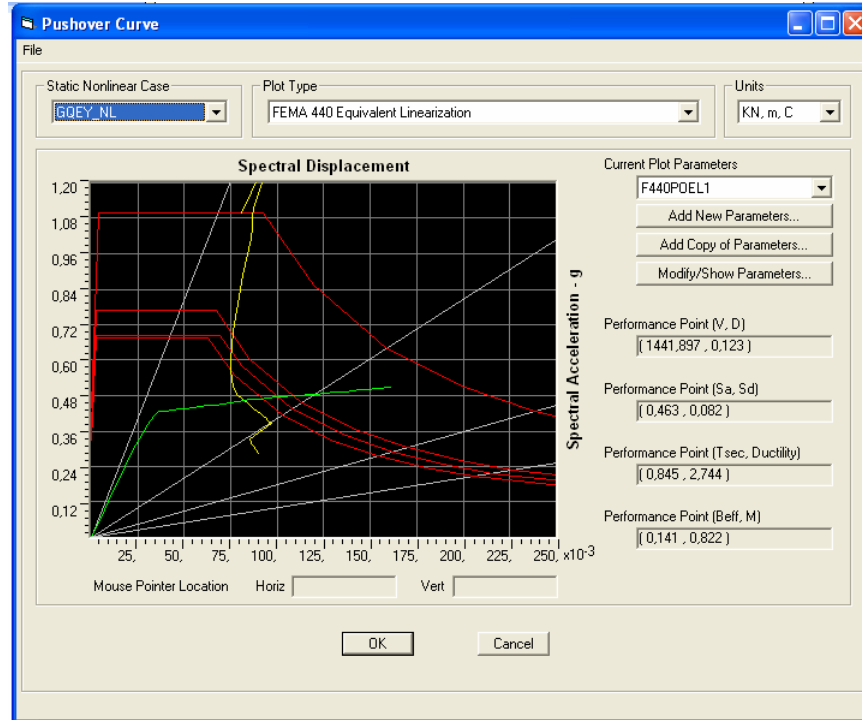
Şekil A.13: Z3 Sınıfı Zemin için Ankastre Temelli Güçlendirilmiş Binanın Performans Grafiği (Xdoğrultusu)



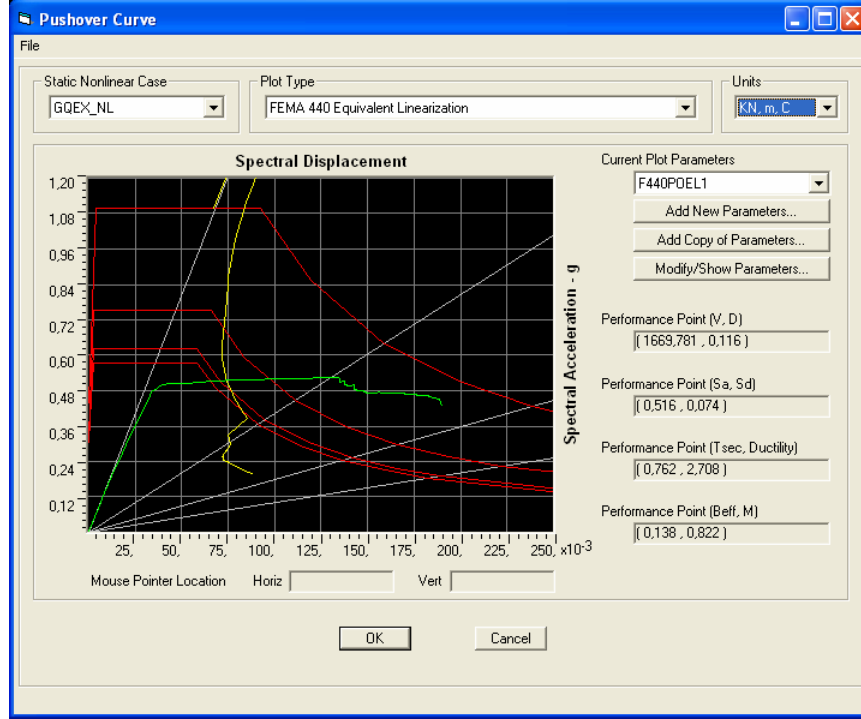
Şekil A.14: Z3 Sınıfı Zemin için Ankastre Temelli Güçlendirilmiş Binanın Performans Grafiği (Y Doğrultusu)



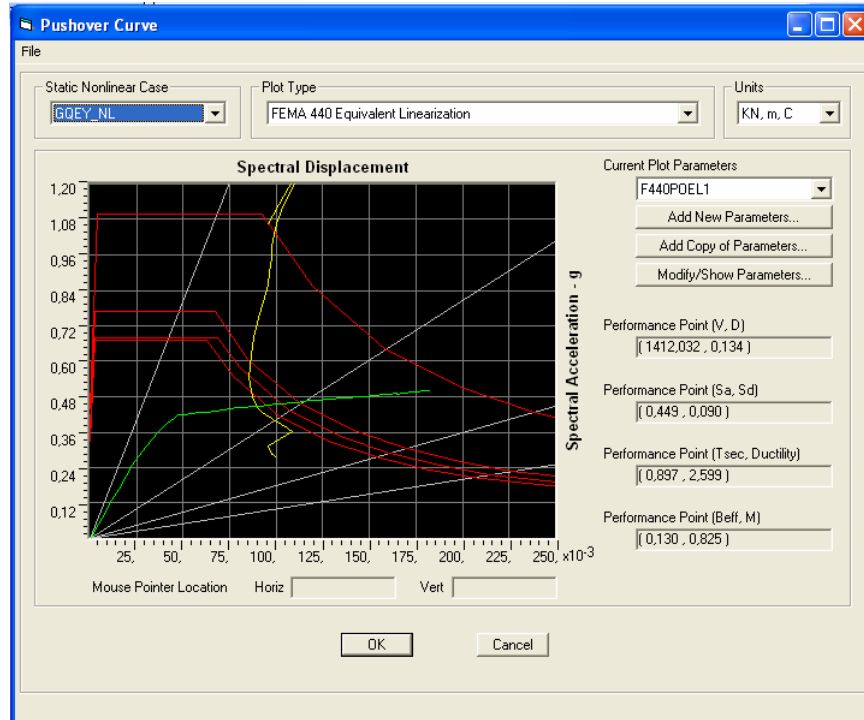
Şekil A.15: Z3 Sınıfı Zemin için Radye Temelli Güçlendirilmiş Binanın Performans Grafiği (X Doğrultusu)



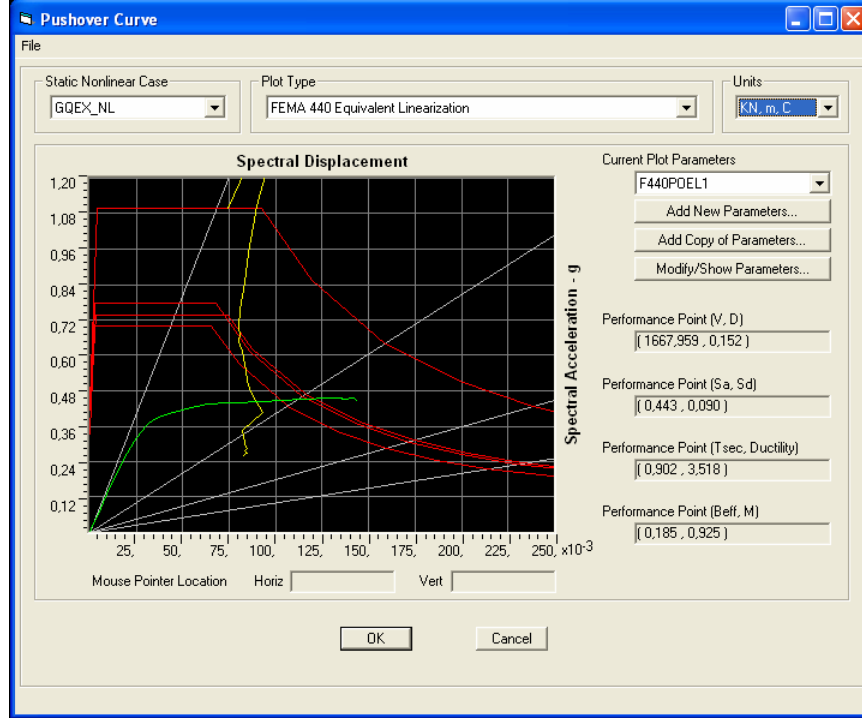
Şekil A.16: Z3 Sınıfı Zemin için Radye Temelli Güçlendirilmiş Binanın Performans Grafiği (Y Doğrultusu)



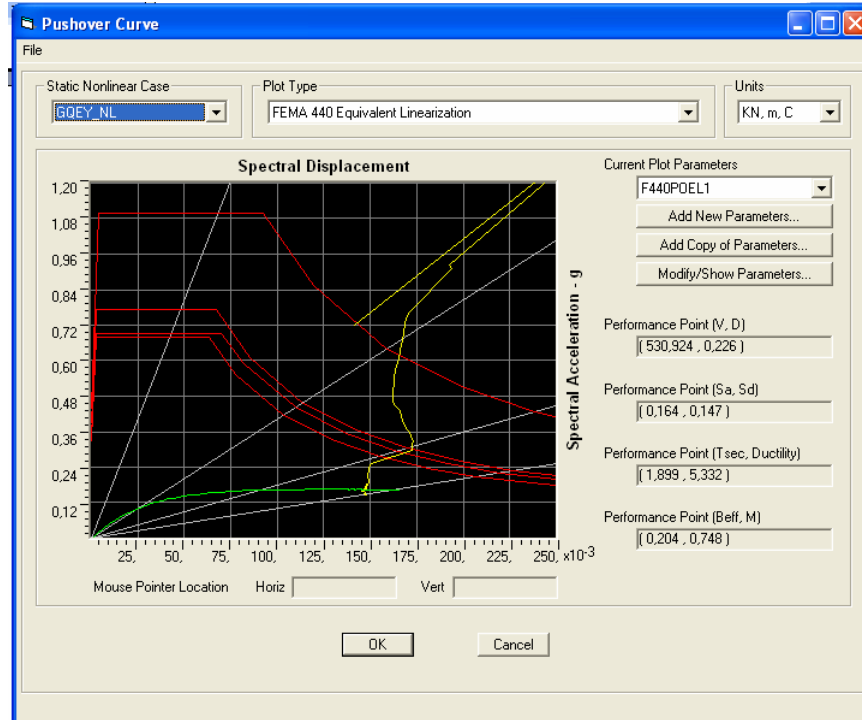
Şekil A.17: Z3 Sınıfı Zemin için Sürekli Temelli Güçlendirilmiş Binanın Performans Grafiği, Tip 1, (X Doğrultusu)



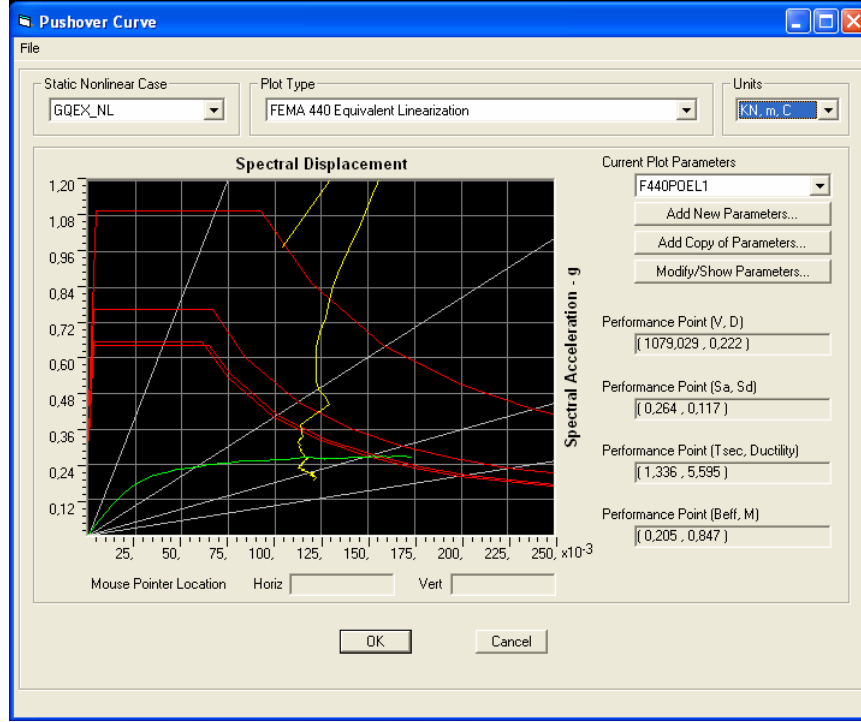
Şekil A.18: Z3 Sınıfı Zemin için Sürekli Temelli Güçlendirilmiş Binanın Performans Grafiği, Tip 1, (Y Doğrultusu)



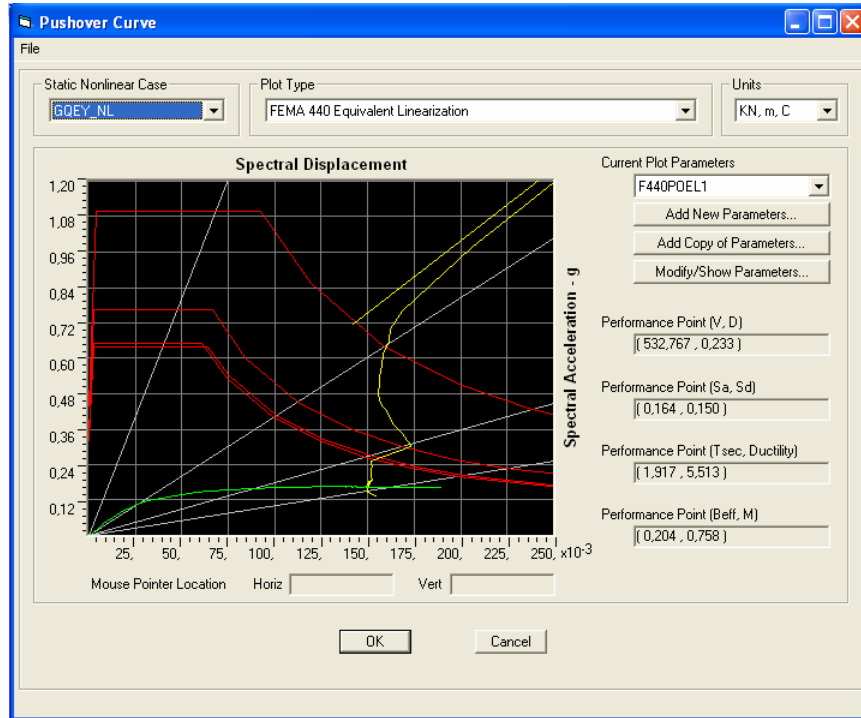
Şekil A.19: Z3 Sınıfı Zemin için Sürekli Temelli Güçlendirilmiş Binanın Performans Grafiği, Tip 2, (X Doğrultusu)



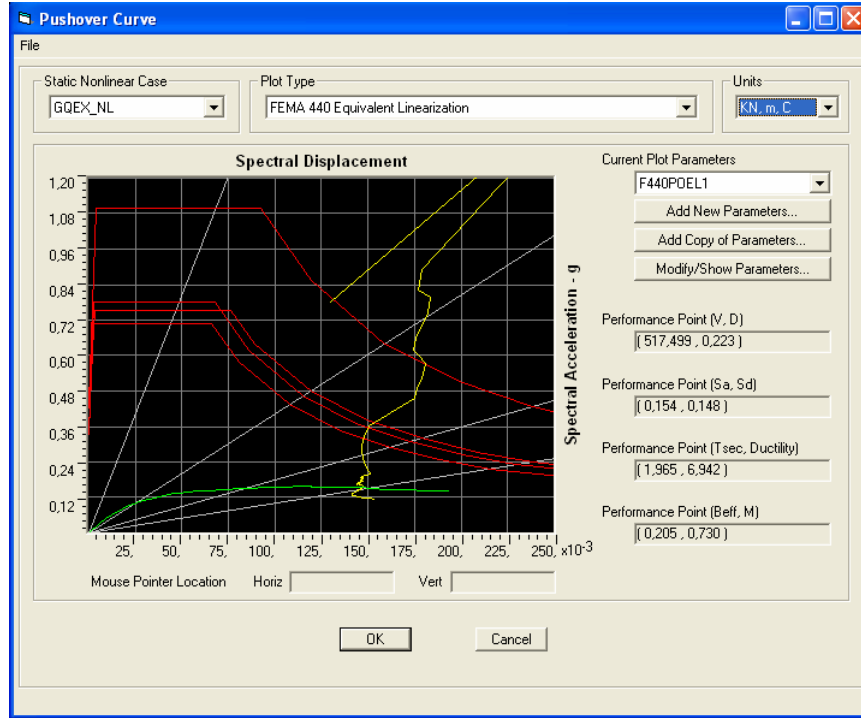
Şekil A.20: Z3 Sınıfı Zemin için Sürekli Temelli Güçlendirilmiş Binanın Performans Grafiği, Tip 2, (Y Doğrultusu)



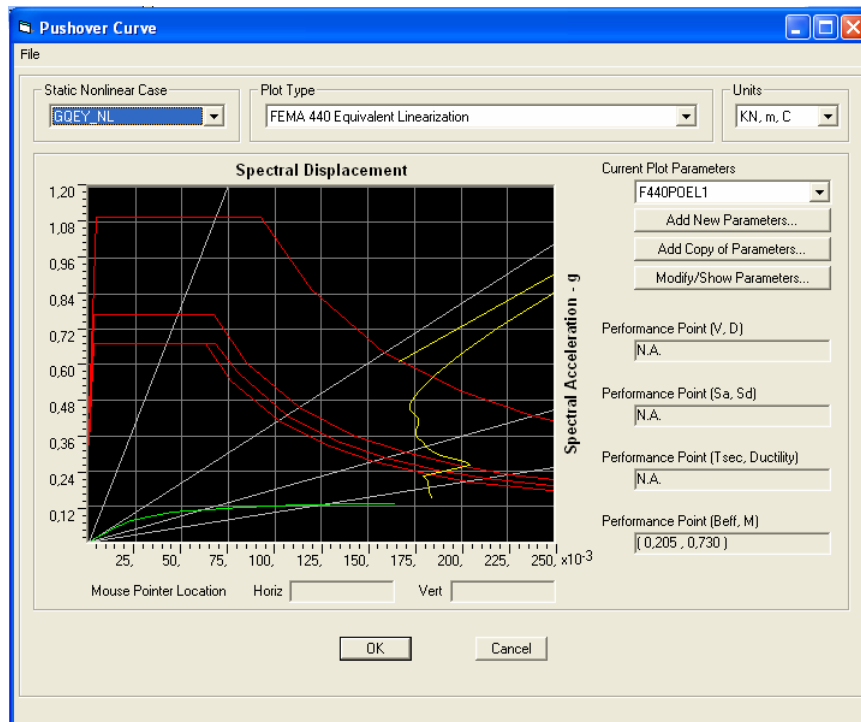
Şekil A.21: Z3 Sınıfı Zemin için Sürekli Temelli Güçlendirilmiş Binanın Performans Grafiği, Tip 3, (X Doğrultusu)



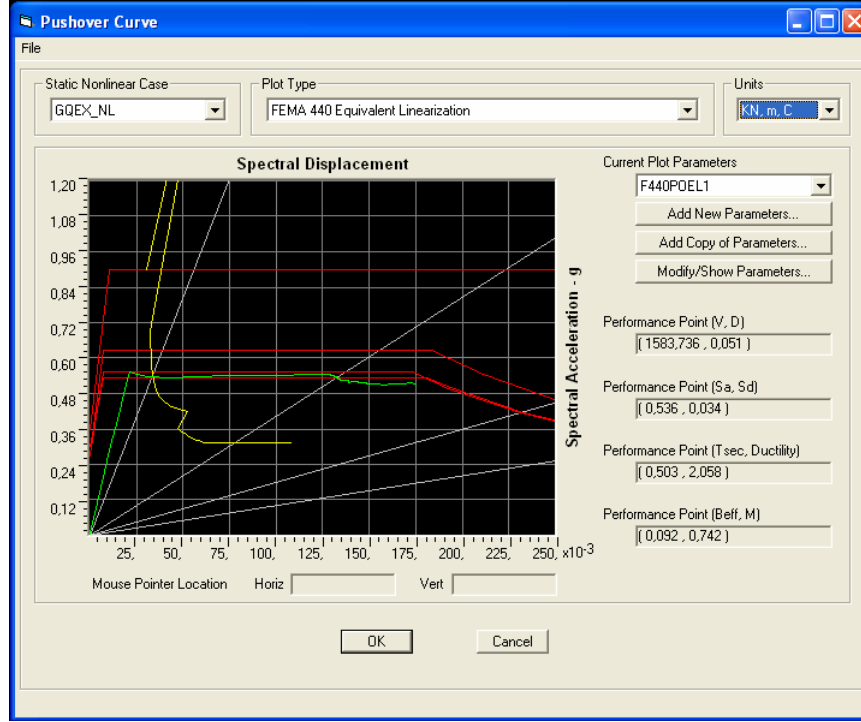
Şekil A.22: Z3 Sınıfı Zemin için Sürekli Temelli Güçlendirilmiş Binanın Performans Grafiği, Tip 3, (Y Doğrultusu)



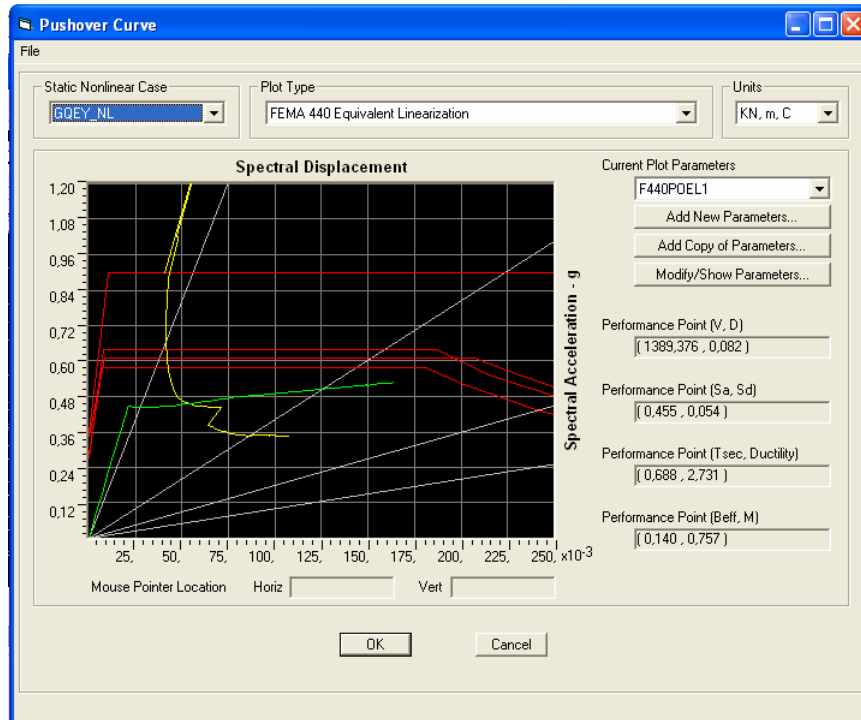
Şekil A.23: Z3 Sınıfı Zemin için Tekil Temelli Güçlendirilmiş Binanın Performans Grafiği, (X Doğrultusu)



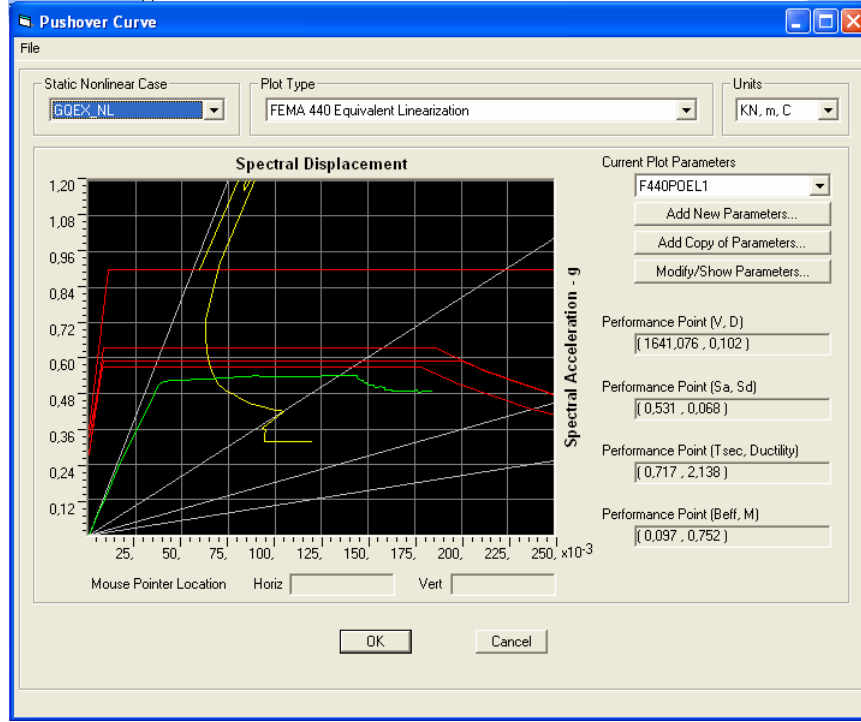
Şekil A.24: Z3 Sınıfı Zemin için Tekil Temelli Güçlendirilmiş Binanın Performans Grafiği, (Y Doğrultusu)



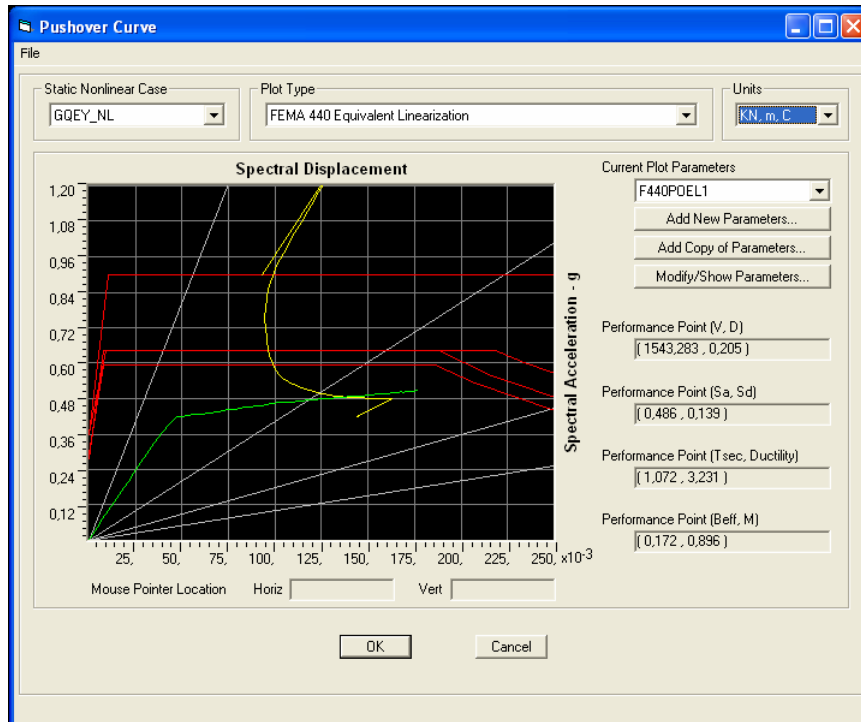
Şekil A.25: Z4 Sınıfı Zemin için Ankastre Temelli Güçlendirilmiş Binanın Performans Grafiği (Xdoğrultusu)



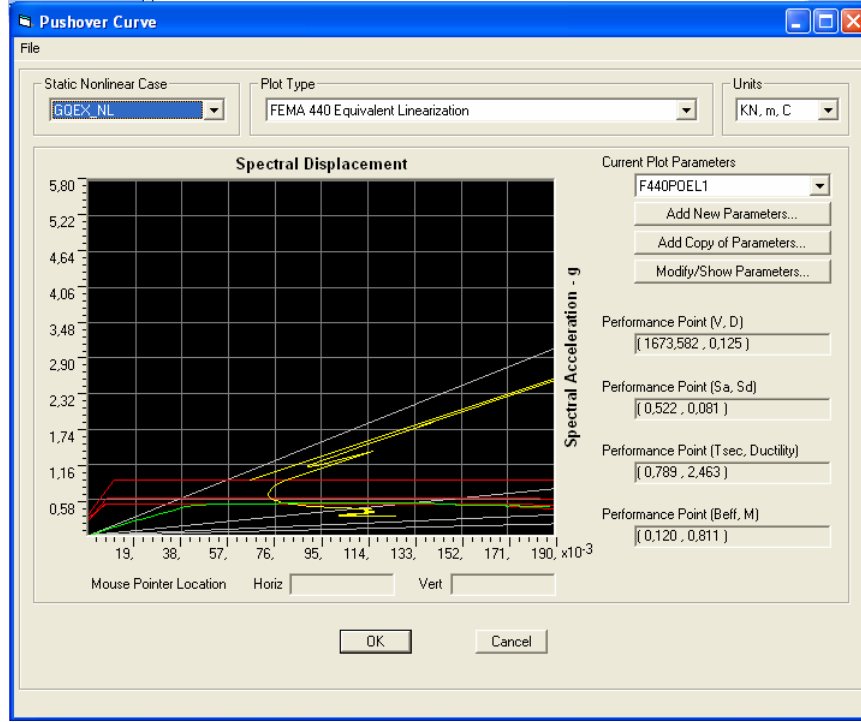
Şekil A.26: Z4 Sınıfı Zemin için Ankastre Temelli Güçlendirilmiş Binanın Performans Grafiği (Y Doğrultusu)



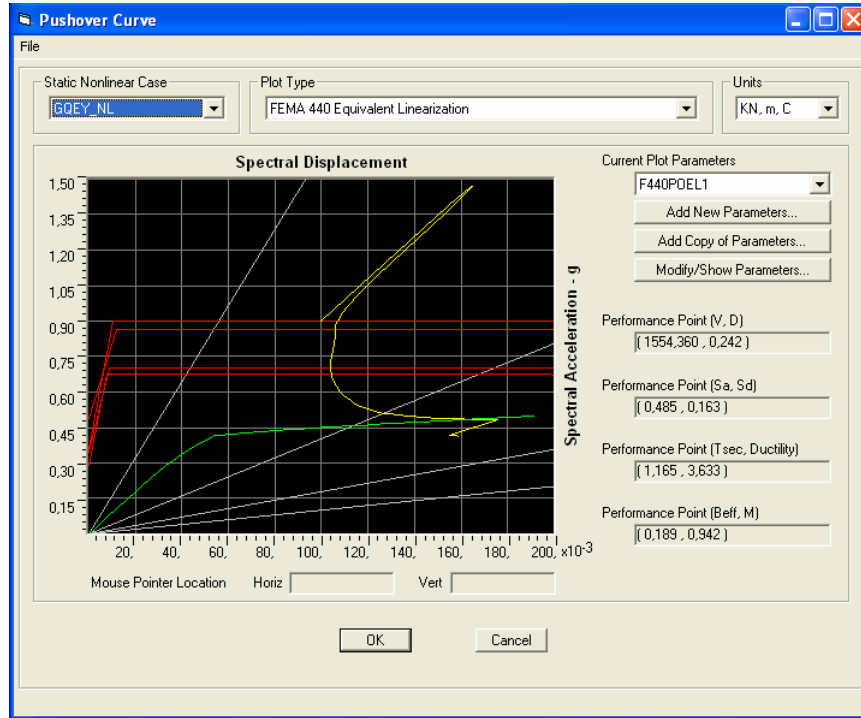
Şekil A.27: Z4 Sınıfı Zemin için Radye Temelli Güçlendirilmiş Binanın Performans Grafiği (X Doğrultusu)



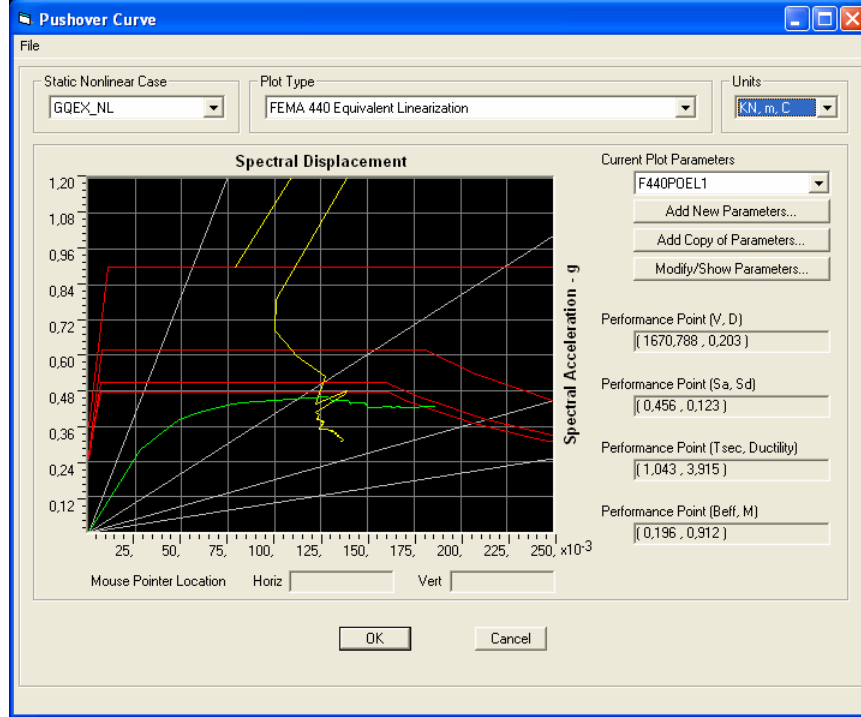
Şekil A.28: Z4 Sınıfı Zemin için Radye Temelli Güçlendirilmiş Binanın Performans Grafiği (Y Doğrultusu)



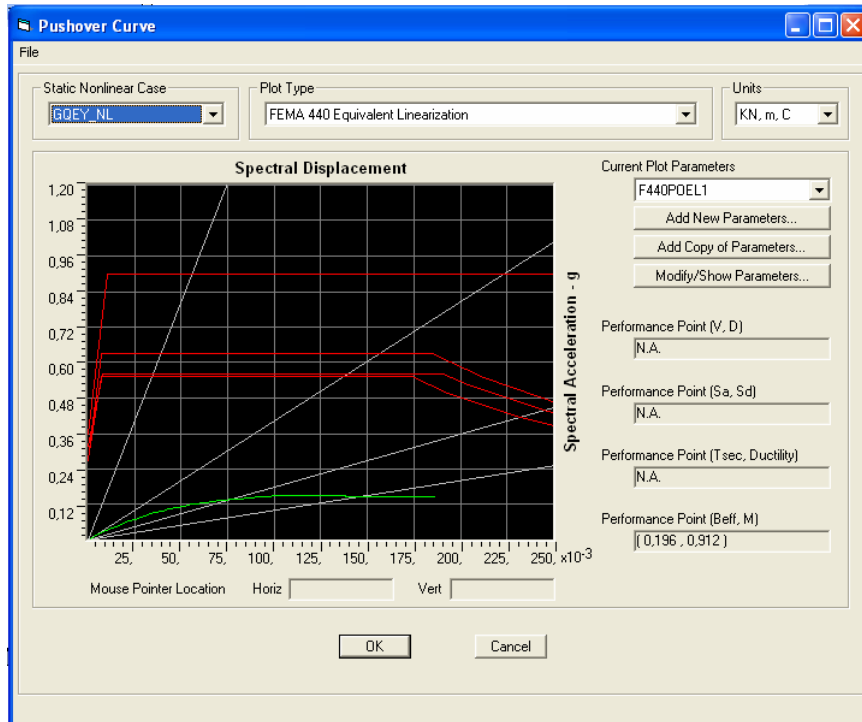
Şekil A.29: Z4 Sınıfı Zemin için Sürekli Temelli Güçlendirilmiş Binanın Performans Grafiği, Tip 1, (X Doğrultusu)



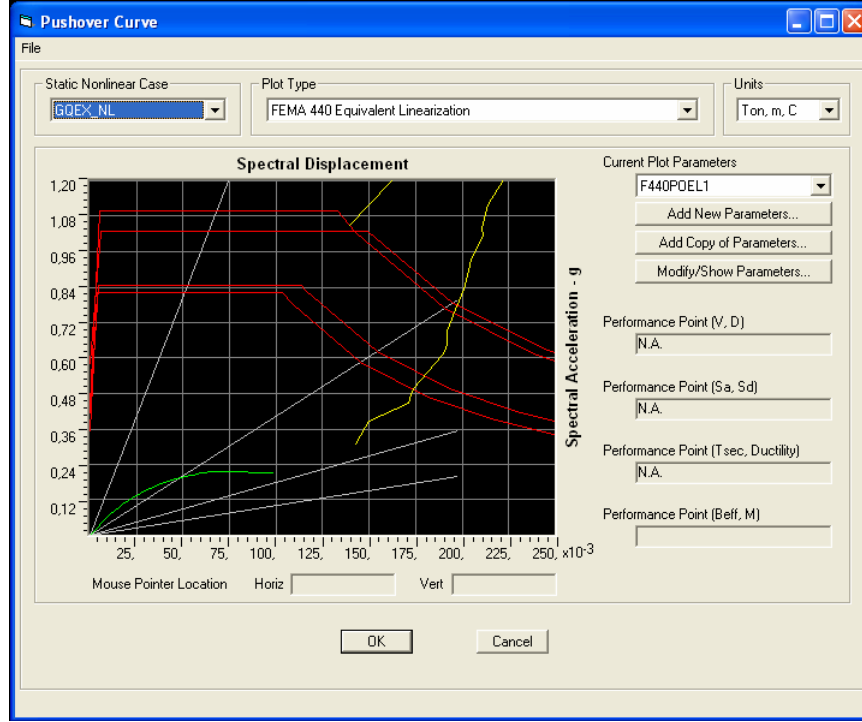
Şekil A.30: Z4 Sınıfı Zemin için Sürekli Temelli Güçlendirilmiş Binanın Performans Grafiği, Tip 1, (Y Doğrultusu)



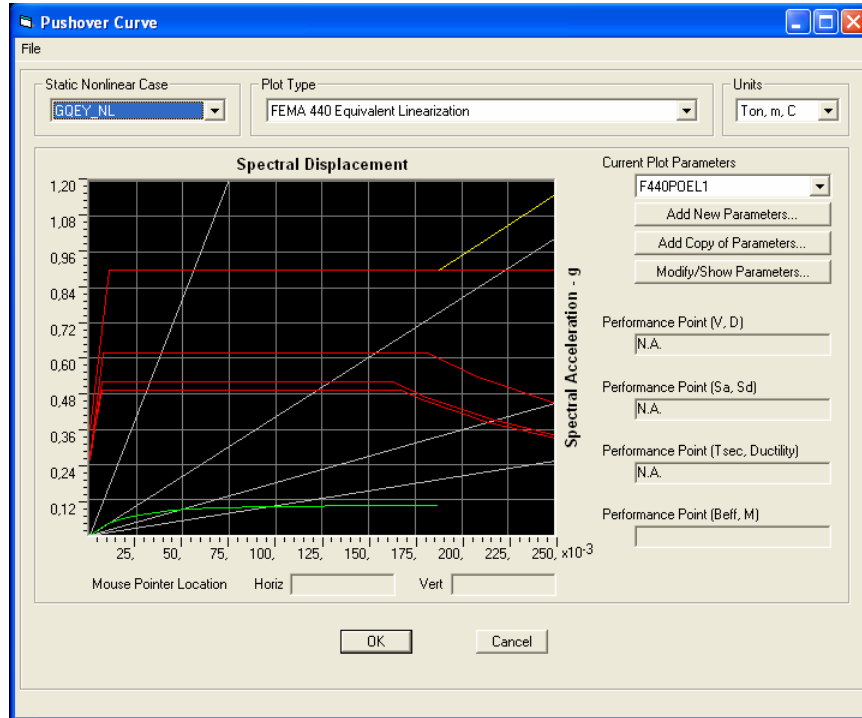
Şekil A.31: Z4 Sınıfı Zemin için Sürekli Temelli Güçlendirilmiş Binanın Performans Grafiği, Tip 2, (X Doğrultusu)



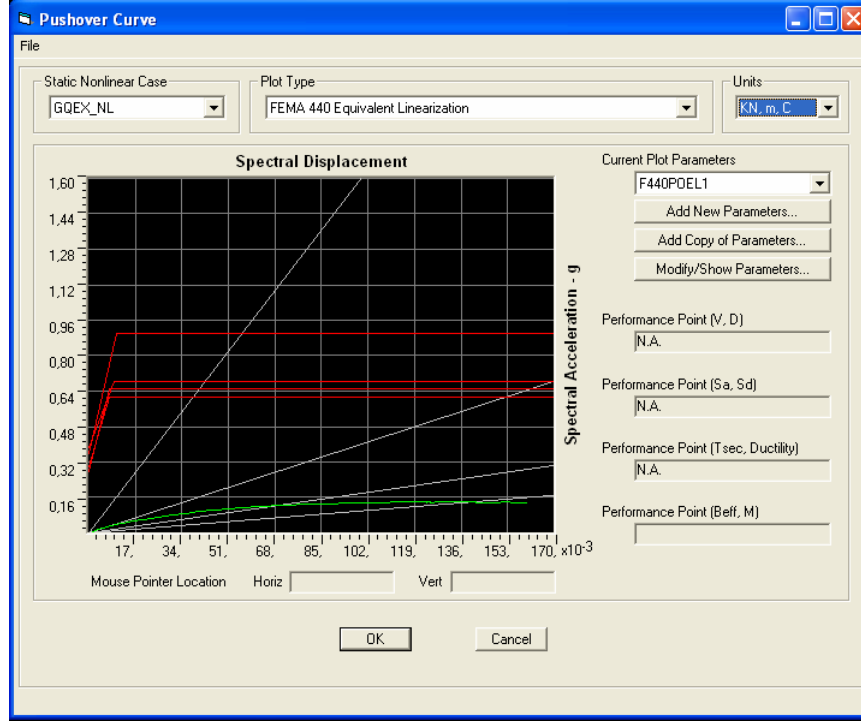
Şekil A.32: Z4 Sınıfı Zemin için Sürekli Temelli Güçlendirilmiş Binanın Performans Grafiği, Tip 2, (Y Doğrultusu)



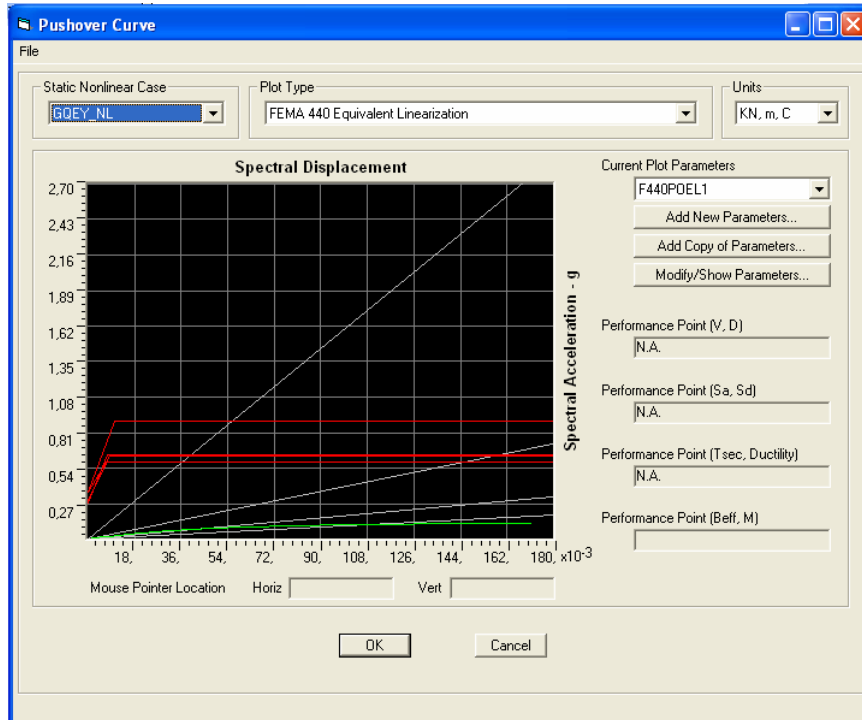
Şekil A.33: Z4 Sınıfı Zemin için Sürekli Temelli Güçlendirilmiş Binanın Performans Grafiği, Tip 3, (X Doğrultusu)



Şekil A.34: Z4 Sınıfı Zemin için Sürekli Temelli Güçlendirilmiş Binanın Performans Grafiği, Tip 3, (Y Doğrultusu)



Şekil A.35: Z4 Sınıfı Zemin için Tekil Temelli Güçlendirilmiş Binanın Performans Grafiği, (X Doğrultusu)



Şekil A.36: Z4 Sınıfı Zemin için Tekil Temelli Güçlendirilmiş Binanın Performans Grafiği, (Y Doğrultusu)

ÖZGEÇMİŞ

23 Temmuz 1983 tarihinde Amasya’da doğdu. İlk,orta ve lise eğitimini Samsun’da tamamladı. 2001 yılında Samsun Milli Piyango Anadolu Lisesi’nden mezun oldu. Aynı yıl Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği lisans eğitimine başladı. 2005 yılında lisans eğitimini tamamlayarak İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Mühendisliği Bölümü’nde Yüksek Lisans eğitimine başladı.