İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ DEPREM MÜHENDİSLİĞİ VE AFET YÖNETİMİ ENSTİTÜSÜ

DÜZENSİZ BETONARME PERDELİ BİR YAPIDA N2 METODUNUN UYGULANMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gökhan GÜNGÖR

Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı

Deprem Mühendisliği Programı

NİSAN 2017

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ DEPREM MÜHENDİSLİĞİ VE AFET YÖNETİMİ ENSTİTÜSÜ

DÜZENSİZ BETONARME PERDELİ BİR YAPIDA N2 METODUNUN UYGULANMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gökhan GÜNGÖR
(802131213)

Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı

Deprem Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Öğr.Gör.Dr. Reşat Atalay OYGUÇ

NİSAN 2017

İTÜ, Deprem Mühendisliği ve Afet Yönetimi Enstitüsü'nün 802131213 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Gökhan GÜNGÖR, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "DÜZENSİZ BETONARME PERDELİ BİR YAPIDA N2 METODUNUN UYGULANMASI" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Öğr.Gör.Dr. Reşat Atalay OYGUÇ** .....
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Kadir GÜLER** .....
İstanbul Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Z.Fırat ALEMDAR .....
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 28 Mart 2017
Savunma Tarihi : 27 Nisan 2017

Aileme,

ÖNSÖZ

Yüksek lisans öğrenimim boyunca her türlü desteğini ve değerli bilgilerini benden esirgemeyen saygıdeğer danışman hocam Öğr.Gör.Dr. Reşat Atalay OYGUÇ'a teşekkür ederim. Tüm eğitim ve öğretim hayatım boyunca benden desteklerini bir an olsun esirgemeyen aileme sevgi, sabır ve anlayışları için sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım. Yüksek lisans öğrenimim boyunca her türlü zorlukta yanımda olan ve değerli bilgilerini benimle paylaşarak destekte bulunan sevgili arkadaşım, İnşaat Yüksek Mühendisi Elif BAŞARAN'a teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca her daim çalışma azmi ve kararlılığıyla bana ilham veren amcam Yrd.Doç.Dr. Celalettin GÜNGÖR'e sonsuz saygı ve sevgilerimi sunarım.

Mart 2017

Gökhan GÜNGÖR
(İnşaat Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **vii**
İÇİNDEKİLER ..... **ix**
KISALTMALAR ..... **xiii**
SEMBOLLER ..... **xv**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xvii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xxi**
ÖZET ..... **xxix**
SUMMARY ..... **xxxi**
1. GİRİŞ **1**
2. YAZIN TARAMA **3**
2.1 Düzensiz Yapılar 3
2.1.1 Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007 (DBYBHY-07)'de düzensiz yapılar 4
2.1.1.1 Planda düzensizlik durumları 4
2.1.1.2 Düşey doğrultuda düzensizlik durumları 6
2.1.2 Eurocode 8'de yapısal düzensizlikler 9
2.1.2.1 Planda düzensizlik 9
2.1.2.2 Düşeyde düzensizlik 10
2.2 Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi 12
2.2.1 Sabit tek kuvvet vektörüne dayanan doğrusal olmayan statik analiz 13
2.2.2 Sabit çok modlu kuvvet vektörüne dayanan doğrusal olmayan statik analiz 14
2.2.3 Uyarlanmış kuvvet vektörüne dayanan itme analizi 16
2.2.4 ATC 40 ve FEMA 356'da doğrusal olmayan statik itme metodu 19
2.2.4.1 Kapasite Spektrum Metodu (ATC 40) 20
2.2.4.2 Deplasman Katsayıları Yöntemi ile Talep Hesaplanması (FEMA Yöntemi) 23
2.3 Anılan Yöntemlerde Mod Birleştirme Yönteminin Uygulanması 27
2.4 N2 Metodu 28
2.5 Planda Simetrik Olmayan Yapılar İçin Doğrusal Olmayan Statik Analiz 45
2.6 Geliştirilmiş N2 Metodu 46
3. İNCELEME KONUSU BİNAYA AİT VERİLER **67**
3.1 Bina Özellikleri 67
3.2 Bina Modelinin SAP2000 Programında Kurulması 70
4. ZAMAN TANIM ALANI ANALİZLERİ İÇİN DEPREM KAYITLARININ SEÇİLMESİ VE BENZEŞTİRİLMESİ **79**
4.1 Deprem Kayıtlarının Seçilmesi 79
4.2 Deprem Kayıtlarının Benzeştirilmesi 83
5. ANALİZ VE HESAPLAMALAR **89**
5.1 Planda Düzensizlik Durumları 90

5.1.1 Bodrum kat betonarme perdeli durum için planda düzensizlik kontrolü .. 90
5.1.2 Bodrum kat perdesiz durum için planda düzensizlik kontrolü 91
5.2 Düşeyde Düzensizlik Durumları 92
5.2.1 Bodrum kat betonarme perdeli durum için düşeyde düzensizlik kontrolü 92
5.2.2 Bodrum kat perdesiz durum için düşeyde düzensizlik kontrolü 93
5.3 Özdeğer Analiz 94
5.4 Eurocode 8'e Göre Elastik Tepki Spektrumu Analizi (ETSA) 96
5.5 Göreli Kat Ötelemelerinin Sınırlandırılması 99
5.6 N2 ve Geliştirilmiş N2 Analizi 100
5.6.1 Bodrum kat betonarme perdeli durum için N2 ve geliştirilmiş N2 analizi 100
5.6.2 Bodrum kat perdesiz durum için N2 ve geliştirilmiş N2 analizi 111
5.6.3 Statik itme analizleri sonucunda oluşan plastik mafsal dağılımları 121
6. ZAMAN TANIM ALANINDA ANALİZ 125
6.1 Zaman Tanım Alanında Analiz Sonuçlarının Seçilen Kayıt Bazında Gösterimi 125
6.1.1 Seçilen depremlerin taban kesme kuvveti – zaman grafikleri 126
6.1.2 Bodrum kat betonarme perdeli yapıda zaman tanım alanında analiz sonucunda oluşan deplasman ve göreli kat ötelemeleri 135
6.1.3 Bodrum kat betonarme perdesiz yapıda zaman tanım alanında analiz sonucunda oluşan deplasman ve göreli kat ötelemeleri 142
6.1.4 Zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilen plastik mafsal dağılımları 149
6.1.4.1 Bodrum kat betonarme perdeli yapının x doğrultusu için plastik mafsal dağılımları 150
6.1.4.2 Bodrum kat betonarme perdeli yapının y doğrultusu için plastik mafsal dağılımları 155
6.1.4.3 Bodrum kat betonarme perdesiz yapının x doğrultusu için plastik mafsal dağılımları 160
6.1.4.4 Bodrum kat betonarme perdesiz yapının y doğrultusu için plastik mafsal dağılımları 165
6.2 Benzeştirilmiş Deprem Kayıtlarının Göreli Kat Ötelemesi Cinsinden Gösterimi 170
6.2.1 Bodrum kat betonarme perdeli durum x ve y doğrultusu 170
6.2.2 Bodrum kat betonarme perdesiz durum x ve y doğrultusu 171
6.3 Zaman Tanım Alanında Analiz Sonuçlarının Kütle Merkezi, Rijit ve Esnek Kenar İçin Karşılaştırılması 172
7. UYGULANAN YÖNTEMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI 175
7.1 Bodrum Kat Betonarme Perdeli Yapıda X Doğrultusu İçin Kullanılan Yöntemlerin Karşılaştırılması 175
7.2 Bodrum Kat Betonarme Perdeli Yapıda Y Doğrultusu İçin Kullanılan Yöntemlerin Karşılaştırılması 177
7.3 Bodrum Kat Betonarme Perdesiz Yapıda X Doğrultusu İçin Kullanılan Yöntemlerin Karşılaştırılması 179
7.4 Bodrum Kat Betonarme Perdesiz Yapıda Y Doğrultusu İçin Kullanılan Yöntemlerin Karşılaştırılması 180
8. DEĞERLENDİRME 183
9. SONUÇLAR 187
KAYNAKLAR 189

EKLER 193
ÖZGEÇMİŞ 213

KISALTMALAR

AMC : Adaptive Modal Combination
ASCE : American Society of Civil Engineers
ATC 40 : Applied Technology Council
BSSC : Building Seismic Safety Council
CQC : Complete Quadratic Combination
ÇSDS : Çok Serbestlik Dereceli Sistemler
DAP : Displacement-based Adaptive Pushover
DBYBHY-07 : Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007
DOSA : Doğrusal Olmayan Statik Analiz
ELSA : European Labarotory For Structural Assessment
ETSA : Elastik Tepki Spektrum Analizi
Eurocode 2 : Betonarme Yapıların Tasarımı Avrupa Şartnamesi
Eurocode 8 : Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı Avrupa Şartnamesi
FEMA : Federal Emergency Management Agency
İYTS : İvme-Yer Değiştirme Tepki Spektrumu
MAD : Modal Adaptive Distribution
MMP : Multi Mode Procedure
MMPA : Modified Modal Pushover Analysis
MPA : Modal Pushover Analysis
NEHRP : National Institute of Standards and Technology
NIST : National Institute of Standards and Technology
PEER : The Pacific Earthquake Engineering Research Center
PGA : Peak Ground Acceleration
RSA : Response Spectrum Analysis
SRSS : Square Root of The Sum of The Squares
TS 500 : Türk Standardı
TSDS : Tek Serbestlik Dereceli Sistemler
UBPA : Upper Bound Pushover Analysis
ZTA : Zaman Tanım Alanında Analiz

SEMBOLLER

$A(T)$: Spektral ivme katsayısı
A_0 : Etkin yer ivmesi katsayısı
a_g : A zemin sınıfı için tasarım yer ivmesi
b : T kesitin gerçek tabla genişliği
b_{eff} : Efektif tabla genişliği
b_w : Kirişin gövde genişliği
C_A : Zemin etkili maksimum ivme katsayısı
C_V : Periyodu 1sn. olan %5 sönümlü sistemin spektrum değeri
c : Modal katılım faktörü
c_E : Düşey düzensizlik düzeltme katsayısı
c_{NORM} : Normalizasyon katsayısı
c_T : Burulma için düzeltme katsayısı
D_t : ÇSDS'in tepe yer değiştirmesi
D^* : TSDS'in yer değiştirmesi
D_n : n'inci mod deformasyon talebi
D_y^* : İndirgenmiş eşdeğer TSDS'in akma deplasmanı
E_c : Betonun elastisite modülü
E_s : Donatı çeliğinin elastisite modülü
F : Yanal dış yük
F_{sn} : n'inci mod kat kesme kuvveti
F_y^* : İndirgenmiş eşdeğer TSDS'in akma dayanımı
f_c : Sargılı betonda beton basınç gerilmesi
f_{cc} : Sargılı beton dayanımı
f_{ck} : Betonun karakteristik silindir basınç dayanımı
f_s : Donatı çeliğindeki gerilme
f_{su} : Donatı çeliğinin kopma dayanımı
f_{sy} : Donatı çeliğinin akma dayanımı
f_{yk} : Boyuna donatının tasarım akma dayanımı
g : Yerçekimi İvmesi
G : Binanın toplam sabit yükü
H_N : Toplam bina yüksekliği
l_0 : Momentin sıfır olduğu noktalar arasındaki mesefe
k^* : İndirgenmiş eşdeğer TSDS'in rijitliği
K_b : Başlangıç rijitliği
K_e : Etkin yatay rijitlik
K_i : Elastik yatay rijitlik
K_s : Elastoplastik rijitlik
L : Kiriş uzunluğu
M : Kütle matrisi
M_n^* : Genelleştirilmiş kütle
N : Yapıdaki kat sayısı
n : Hareketli yük katılım katsayısı

P : Binaya etkiyen kesme kuvveti
Q : Binaya etkiyen toplam hareketli yük
R : Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
R* : Eşdeğer tek serbestlik dereceli sistem parametresi
R : Çok serbestlik dereceli sistem parametresi
$\mathbf{R_a(T)}$: Deprem yükü azaltma katsayısı
$\mathbf{R\mu}$: Sünekliliğe bağlı azaltma katsayısı
S(T) : Spektrum katsayısı
$\mathbf{S_{ae}(T)}$: Elastik spektral ivme
T : Bina doğal titreşim periyodu
T* : İndirgenmiş eşdeğer TSDS'in periyodu
$\mathbf{T_1}$: Binanın birinci doğal titreşim periyodu
$\mathbf{T_e}$: Efektik periyot
$\mathbf{T_B}$: Sabit spektral ivme bölgesinin alt limit değeri
$\mathbf{T_C}$: Sabit spektral ivme bölgesinin üst limit değeri
$\mathbf{T_D}$: Spektrumun sabit deplasman tepki bölgesinin başlangıç değeri
u : Yer Değiştirme değeri
$\mathbf{U_{rn}}$: n'inci mod hedef deplasmanı
$\mathbf{V_{bn}}$: n'inci mod taban kesme kuvveti
W : Binanın toplam ağırlığı
Z : Deprem bölge katsayısı
$\mathbf{\Delta_i}$: Binanın i'inci katındaki azaltılmış göreli kat ötelemesi
$\mathbf{\Delta F_N}$: Binanın N'inci katına (tepesine) etkiyen ek eşdeğer deprem yükü
$\mathbf{\delta_i}$: Binanın i'inci katındaki etkin göreli kat ötelemesi
ε_{cc} : Sargılı betonun maksimum gerilmeye ulaştığı birim şekildeğiştirme değeri
ε_{cu} : Sargılı betondaki maksimum basınç birim şekildeğiştirmesi
ε_{sh} : Donatı çeliğinin pekleşme başlangıcındaki birim şekildeğiştirmesi
ε_{su} : Donatı çeliğinin kopma birim şekildeğiştirmesi
ε_{sy} : Donatı çeliğinin akma birim şekildeğiştirmesi
ϕ_{rn} : n'inci mod genliği
μ : Süneklilik katsayısı
η : %5 viskoz sönüm oranı için 1 olan sönüm düzeltme katsayısı
η_{bi} : i'inci katta tanımlanan burulma düzensizliği katsayısı
η_{ci} : i'inci katta tanımlanan dayanım düzensizliği katsayısı
η_{ki} : i'inci katta tanımlanan rijitlik düzensizliği katsayısı
Γ_n : n'inci mod katılım faktörü

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi'nin uygulanabileceği binalar. **8**
Çizelge 2.2 : C_0 Düzeltme katsayısı. **26**
Çizelge 2.3 : C_2 Düzeltme Katsayısı. **26**
Çizelge 2.4 : Deprem kayıtları ifadesi **36**
Çizelge 2.5 : Analiz sonucu verileri **37**
Çizelge 2.6 : Seçilen yapılar için farklı yer hareketi şiddeti için birinci moddaki spektral ivme S_{ae} (g) ve ortalama maksimum yer ivmesi PGA (g) değerleri **54**
Çizelge 2.7 : İki yatay yöndeki etkin kütle katılımı ve elastik periyotlar **58**
Çizelge 3.1 : 30/60 kiriş kesiti için sargılı beton özellikleri. **73**
Çizelge 3.2 : Donatı çeliğine ait karakteristik özellikler **73**
Çizelge 4.1 : Seçilen deprem kayıtlarının özellikleri. **79**
Çizelge 4.2 : Eurocode 8'de yer alan kesme dalgası hızı değerleri **80**
Çizelge 5.1 : Bodrum kat betonarme perdeli yapı için x doğrultusunda burulma tahkiki. **90**
Çizelge 5.2 : Bodrum kat betonarme perdeli yapı için y doğrultusunda burulma tahkiki. **91**
Çizelge 5.3 : Bodrum kat perdesiz yapı için x doğrultusunda burulma tahkiki. **91**
Çizelge 5.4 : Bodrum kat perdesiz yapı için y doğrultusunda burulma tahkiki. **91**
Çizelge 5.5 : Bodrum kat betonarme perdeli yapı için x doğrultusunda yumuşak kat tahkiki. **92**
Çizelge 5.6 : Bodrum kat betonarme perdeli yapı için y doğrultusunda yumuşak kat tahkiki. **92**
Çizelge 5.7 : Bodrum kat perdesiz yapı için x doğrultusunda yumuşak kat tahkiki. **93**
Çizelge 5.8 : Bodrum kat perdesiz yapı için y doğrultusunda yumuşak kat tahkiki. **93**
Çizelge 5.9 : Bodrum kat betonarme perdeli durum için bina periyotları. **94**
Çizelge 5.10 : Bodrum kat perdesiz durum için bina periyotları. **95**
Çizelge 5.11 : Tip 1 için verilen parametreler **97**
Çizelge 5.12 : ETSA sonucu deplasman değerleri. **99**
Çizelge 5.13 : Normalize edilmiş mod şekli ve yatay yük dağılımı. **100**
Çizelge 5.14 : İtme analizi ve normalize edilmiş ETSA sonuçları. **104**
Çizelge 5.15 : Düşey doğrultuda bulunan düzeltme katsayıları (c_E). **104**
Çizelge 5.16 : Normalize edilmiş mod şekli ve yatay yük dağılımı. **106**
Çizelge 5.17 : İtme analizi ve normalize edilmiş ETSA sonuçları. **109**
Çizelge 5.18 : Düşey doğrultuda bulunan düzeltme katsayıları (c_E). **110**
Çizelge 5.19 : Normalize edilmiş mod şekli ve yatay yük dağılımı. **111**
Çizelge 5.20 : İtme analizi ve normalize edilmiş ETSA sonuçları. **114**
Çizelge 5.21 : Düşey doğrultuda bulunan düzeltme katsayıları (c_E). **114**

Çizelge 5.22 : Normalize edilmiş mod şekli ve yatay yük dağılımı. **116**
Çizelge 5.23 : İtme analizi ve normalize edilmiş ETSA sonuçları. **119**
Çizelge 5.24 : Düşey doğrultuda bulunan düzeltme katsayıları (c_E). **119**
Çizelge 5.25 : Bodrum kat betonarme perdeli durum için x doğrultusundaki plastik mafsal dağılımı. **122**
Çizelge 5.26 : Bodrum kat betonarme perdeli durum için y doğrultusundaki plastik mafsal dağılımı. **122**
Çizelge 5.27 : Bodrum kat betonarme perdesiz durum için x doğrultusundaki plastik mafsal dağılımı. **123**
Çizelge 5.28 : Bodrum kat betonarme perdesiz durum için y doğrultusundaki plastik mafsal dağılımı. **124**
Çizelge 6.1 : San Fernando depremi için x doğrultusunda betonarme bodrum perdeli durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı. **150**
Çizelge 6.2 : Imperial Valley depremi için x doğrultusunda betonarme bodrum perdeli durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı. **151**
Çizelge 6.3 : Coalinga depremi için x doğrultusunda betonarme bodrum perdeli durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı. **151**
Çizelge 6.4 : Loma Prieta depremi için x doğrultusunda betonarme bodrum perdeli durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı. **152**
Çizelge 6.5 : Northridge depremi için x doğrultusunda betonarme bodrum perdeli durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı. **153**
Çizelge 6.6 : Cape Mendocino depremi için x doğrultusunda betonarme bodrum perdeli durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı. **153**
Çizelge 6.7 : Chuetsu Oki depremi için x doğrultusunda betonarme bodrum perdeli durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı. **154**
Çizelge 6.8 : San Fernando depremi için y doğrultusunda betonarme bodrum perdeli durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı. **155**
Çizelge 6.9 : Imperial Valley depremi için y doğrultusunda betonarme bodrum perdeli durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı. **156**
Çizelge 6.10 : Coalinga depremi için y doğrultusunda betonarme bodrum perdeli durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı. **156**
Çizelge 6.11 : Loma Prieta depremi için y doğrultusunda betonarme bodrum perdeli durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı. **157**
Çizelge 6.12 : Northridge depremi için y doğrultusunda betonarme bodrum perdeli durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı. **158**
Çizelge 6.13 : Cape Mendocino depremi için y doğrultusunda betonarme bodrum perdeli durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı. **158**

Çizelge 6.14 : Chuetsu Oki depremi için y doğrultusunda betonarme bodrum perdeli durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı. **159**
Çizelge 6.15 : San Fernando depremi için x doğrultusunda bodrum perdesiz durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı. **160**
Çizelge 6.16 : Imperial Valley depremi için x doğrultusunda bodrum perdesiz durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı. **161**
Çizelge 6.17 : Coalinga depremi için x doğrultusunda bodrum perdesiz durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı. **161**
Çizelge 6.18 : Loma Prieta depremi için x doğrultusunda bodrum perdesiz durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı. **162**
Çizelge 6.19 : Northridge depremi için x doğrultusunda bodrum perdesiz durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı. **163**
Çizelge 6.20 : Cape Mendocino depremi için x doğrultusunda bodrum perdesiz durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı. **163**
Çizelge 6.21 : Chuetsu Oki depremi için x doğrultusunda bodrum perdesiz durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı. **164**
Çizelge 6.22 : San Fernando depremi için y doğrultusunda bodrum perdesiz durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı. **165**
Çizelge 6.23 : Imperial Valley depremi için y doğrultusunda bodrum perdesiz durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı. **166**
Çizelge 6.24 : Coalinga depremi için y doğrultusunda bodrum perdesiz durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı. **166**
Çizelge 6.25 : Loma Prieta depremi için y doğrultusunda bodrum perdesiz durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı. **167**
Çizelge 6.26 : Northridge depremi için y doğrultusunda bodrum perdesiz durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı. **168**
Çizelge 6.27 : Cape Mendocino depremi için y doğrultusunda bodrum perdesiz durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı. **168**
Çizelge 6.28 : Chuetsu Oki depremi için y doğrultusunda bodrum perdesiz durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı. **169**

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Burulma düzensizliği durumu [ηbi= (Δi)max / (Δi)ort > 1.2] **4**
Şekil 2.2 : Döşemede süreksizlik düzensizliği durumu **5**
Şekil 2.3 : Planda çıkıntı düzensizliği **6**
Şekil 2.4 : Komşu katlar arası dayanım düzensizliği **6**
Şekil 2.5 : Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği **7**
Şekil 2.6 : Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarındaki süreksizlik düzensizliği **8**
Şekil 2.7 : Geri çekme düzensizliği için kriterler **11**
Şekil 2.8 : Planda simetrik yapılar için doğrusal olmayan statik yöntemler **12**
Şekil 2.9 : Çok serbestlik dereceli sistemin analizinde Q modeli **13**
Şekil 2.10 : İtme eğrisinden hesaplanan TSDS'in özellikleri **15**
Şekil 2.11 : ÇSDS doğrusal olmayan modal itme analizi konsepti **15**
Şekil 2.12 : n'inci moddaki ÇSDS'in kapasite eğrisinin enerjiye dayalı sistem ile gösterilişi. **18**
Şekil 2.13 : Doğrusal olmayan statik yöntemlerin göreli kat öteleme cinsinden karşılaştırılması **18**
Şekil 2.14 : Solda düzenli, sağda düzensiz yapılar için geleneksel, uyarlanmış ve dinamik itme analizinden elde edilen itme eğrileri **19**
Şekil 2.15 : Doğrusal olmayan statik itme analizi yöntemlerinin uygulama adımları (ATC 40, FEMA 356 , N2) **20**
Şekil 2.16 : Eşdeğer viskoz sönümün tespiti **21**
Şekil 2.17 : Yapının çevrimsel davranışına bağlı olan sönüm düzeltme katsayısının bulunması. **21**
Şekil 2.18 : Talep spektrumunun kapasite spektrumu ile kesiştirilmesi **22**
Şekil 2.19 : Akma deformasyonunun tanımı. **24**
Şekil 2.20 : Deplasman katsayıları yöntemi ile performans noktasının belirlenmesi. **25**
Şekil 2.21 : İdealize edilmiş kuvvet-deplasman eğrisi. **27**
Şekil 2.22 : MPA yöntemi ile hesaplanan plastik mafsaldaki eğilme moment oranı ve kat ötelemesi oranı **28**
Şekil 2.23 : Çok serbestlik dereceli sistemin matematik modeli **30**
Şekil 2.24 : Taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirmesi **32**
Şekil 2.25 : Yapı ve moment-dönme ilişkisi **33**
Şekil 2.26 : Elastik ivme spektrumu **33**
Şekil 2.27 : Yer değiştirme şekli ve yanal yüklemenin düşey dağılımı grafiği **33**
Şekil 2.28 : Kuvvet-yer değiştirme ilişkisinin iki doğru ile ifadesi **34**
Şekil 2.29 : Yer değiştirme süneklilik talebi (μ) azaltma katsayısı (R_μ) ilişki grafiği **34**
Şekil 2.30 : Taban kesme kuvveti-tepe deplasman grafiği ve idealizasyon **36**
Şekil 2.31 : Normalize edilen tepe deplasman grafiği **38**
Şekil 2.32 : Kat öteleme grafiği **38**

Şekil 2.33 : Taban kesme kuvveti-tepe deplasman ilişkisi ve eşdeğer TSDS parametreleri kuvvet ve deplasman **39**
Şekil 2.34 : Kat deplasman (cm) ve öteleme (cm) değerleri **40**
Şekil 2.35 : Test yapısı **41**
Şekil 2.36 : İki serbestlik dereceli sistemin grafiksel dönüşümü ve iki doğru ile itme eğrisinin idealize edilmesi **42**
Şekil 2.37 : Test yapısı için kapasite diyagramı ve yer hareketinin üç seviyesi için talep spektrumu **43**
Şekil 2.38 : Deplasman, kat ötelemesi ve dönme grafikleri **44**
Şekil 2.39 : Kapasite eğrisi **46**
Şekil 2.40 : Zayıf ve kuvvetli doğrultuda DAP ve zaman tanım alanında analiz sonuçlarının göreli kat ötelemesi cinsinden karşılaştırılması **46**
Şekil 2.41 : 2 katlı yapı için N2 metodu ve ASCE/SEI 41-06 deplasman katsayılar yöntemine göre hedef deplasman grafiği **48**
Şekil 2.42 : 4 katlı yapı için N2 metodu ve ASCE/SEI 41-06 deplasman katsayılar yöntemine göre hedef deplasman grafiği **49**
Şekil 2.43 : 8 katlı yapı için N2 metodu ve ASCE/SEI 41-06 deplasman katsayılar yöntemine göre hedef deplasman grafiği **49**
Şekil 2.44 : 2 katlı yapının zaman tanım alanı analiz sonuçları ile ASCE/SEI 41-06 deplasman katsayıları yöntemi sonuçlarının tepe deplasmanı cinsinden karşılaştırılması **50**
Şekil 2.45 : 2 katlı yapının zaman tanım alanı analiz sonuçları ile ASCE/SEI 41-06 deplasman katsayıları yöntemi sonuçlarının tepe noktası kat ötelemesi oranı cinsinden karşılaştırılması **50**
Şekil 2.46 : 4 katlı yapının zaman tanım alanı analiz sonuçları ile ASCE/SEI 41-06 deplasman katsayıları yöntemi sonuçlarının tepe deplasmanı cinsinden karşılaştırılması **51**
Şekil 2.47 : 4 katlı yapının zaman tanım alanı analiz sonuçları ile ASCE/SEI 41-06 deplasman katsayıları yöntemi sonuçlarının tepe noktası kat ötelemesi oranı cinsinden karşılaştırılması **51**
Şekil 2.48 : 8 katlı yapının zaman tanım alanı analiz sonuçları ile ASCE/SEI 41-06 deplasman katsayıları yöntemi sonuçlarının tepe deplasmanı cinsinden karşılaştırılması **52**
Şekil 2.49 : 8 katlı yapının zaman tanım alanı analiz sonuçları ile ASCE/SEI 41-06 deplasman katsayıları yöntemi sonuçlarının tepe noktası kat ötelemesi cinsinden karşılaştırılması **52**
Şekil 2.50 : 3 katlı yapı, 9 katlı yapı ve 20 katlı yapının boy kesitleri **53**
Şekil 2.51 : Seçilen yapıların itme eğrisi ve zaman tanım alanında analizden elde edilen tepe deplasman değerleri **54**
Şekil 2.52 : Seçilen ivme kayıtlarının S_{ae}= 0.5g spektral ivmeye göre ölçeklendirilmiş % 5 sönümlü elastik ivme spektrumu **55**
Şekil 2.53 : Grup 2 için yapı kat adedinin ve yer hareketi şiddetinin, doğrusal **56**
Şekil 2.54 : Grup 1 için 9 katlı yapının farklı analiz sonuçlarından elde edilen kat ötelemesi (%) ve deplasman değerleri, analiz yöntemlerinin zaman tanım alanındaki analiz yöntemine göre hata oranı **57**
Şekil 2.55 : Fajfar ve Kreslin'in makalesindeki 8 katlı örnek yapı **58**
Şekil 2.56 : Hakim mod şekli **58**
Şekil 2.57 : Test yapısının itme eğrisi **59**
Şekil 2.58 : İtme eğrisi ve ÇSDS ve TSDS için iki doğru ile gösterilmesi **60**

Şekil 2.59 : c_E düzeltme faktörünün kütle merkezindeki deplasmanlara uygulanması **61**
Şekil 2.60 : c_E düzeltme faktörünün kütle merkezindeki göreli kat ötelemesi için uygulanması **62**
Şekil 2.61 : c_T katsayısının belirlenmesi **62**
Şekil 2.62 : Yatay düzlemdeki tepe deplasmanlarının karşılaştırılması **63**
Şekil 2.63 : Plandaki farklı noktalarda yükseklik boyunca deplasman ve kat ötelemelerinin karşılaştırılması **64**
Şekil 2.64 : Tepe deplasmanlarının yatay düzlemde karşılaştırılması **64**
Şekil 2.65 : Çerçeve 4-esnek kenardaki deplasman ve kat öteleme grafiği **65**
Şekil 3.1 : Betonarme bodrum perdeli binanın üç boyutlu modeli. **68**
Şekil 3.2 : Betonarme bodrum perdesiz binanın üç boyutlu modeli. **68**
Şekil 3.3 : Kalıp planı. **69**
Şekil 3.4 : Binaya ait örnek kesitler. **71**
Şekil 3.5 : Kesit tasarlama (Section Designer) örnek kolon kesiti (60/60 cm) **71**
Şekil 3.6 : Kesit tasarlama (Section Designer) örnek kiriş kesiti (60/30 cm) **71**
Şekil 3.7 : Kesit tasarlama (Section Designer) nervür kiriş kesiti (15/32 cm). **72**
Şekil 3.8 : Kullanılan Mander modeli ile kesite enine-boyuna donatıların tanımlanması. **72**
Şekil 3.9 : Donatı çeliği özellikleri-S420 ..... **73**
Şekil 3.10 : Program tarafından hesaplanan P-M-M karşılıklı etki diyagram değerleri. **74**
Şekil 3.11 : Program tarafından hesaplanan moment-eğrilik değerleri. **75**
Şekil 3.12 : Efektif tabla genişliği parametreleri **75**
Şekil 3.13 : Efektif tabla genişliği için kullanılan I_0 'ın tanımı. **75**
Şekil 3.14 : P3 asansör perdesinin donatı detayı ve malzeme bilgisinin girilmesi. **76**
Şekil 4.1 : Rjb ve Rrup değerlerinin şematik anlatımı **80**
Şekil 4.2 : San Fernando depremi ivme-zaman grafiği. **81**
Şekil 4.3 : Imperial Valley depremi ivme-zaman grafiği. **81**
Şekil 4.4 : Coalinga depremi ivme-zaman grafiği. **81**
Şekil 4.5 : Loma Prieta depremi ivme-zaman grafiği. **82**
Şekil 4.6 : Northridge depremi ivme-zaman grafiği. **82**
Şekil 4.7 : Cape Mendocino depremi ivme-zaman grafiği. **82**
Şekil 4.8 : Cheutsu Oki depremi ivme-zaman grafiği. **83**
Şekil 4.9 : Seçilen deprem kayıtlarının ve EC 8 spektrum karşılaştırması. **83**
Şekil 4.10 : San Fernando depremi benzeştirilmiş ivme-zaman grafiği. **84**
Şekil 4.11 : Imperial Valley depremi benzeştirilmiş ivme-zaman grafiği. **85**
Şekil 4.12 : Coalinga depremi benzeştirilmiş ivme-zaman grafiği. **85**
Şekil 4.13 : Loma Prieta depremi benzeştirilmiş ivme-zaman grafiği. **85**
Şekil 4.14 : Northridge depremi benzeştirilmiş ivme-zaman grafiği. **86**
Şekil 4.15 : Cape Mendocino depremi benzeştirilmiş ivme-zaman grafiği. **86**
Şekil 4.16 : Chuetsu Oki depremi benzeştirilmiş ivme-zaman grafiği. **86**
Şekil 4.17 : Seçilen deprem kayıtlarının 0.4g maksimum yer ivmesi için S_a-periyot grafiği. **87**
Şekil 5.1 : Elastik tasarım ivme spektrumu **90**
Şekil 5.2 : Bodrum perdeli durum 1. mod şekli. **94**
Şekil 5.3 : Bodrum perdeli durum 2. mod şekli. **94**
Şekil 5.4 : Bodrum perdeli durum 3. mod şekli. **95**
Şekil 5.5 : Bodrum kat perdesiz durum 1. mod şekli. **95**
Şekil 5.6 : Bodrum kat perdesiz durum 2. mod şekli. **96**

Şekil 5.7 : Bodrum kat perdesiz durum 3. mod şekli. **96**
Şekil 5.8 : Eurocode 8' de tanımlanan elastik tepki spektrumu. **98**
Şekil 5.9 : EC 8 B sınıfı zemin için elastik tepki spektrumu. **98**
Şekil 5.10 : X doğrultusu taban kesme kuvveti - tepe deplasman grafiği. **101**
Şekil 5.11 : Yaklaşık R faktörü spektrumu. **102**
Şekil 5.12 : X doğrultusu kapasite eğrisi. **103**
Şekil 5.13 : Deplasman için düşey düzensizlik düzeltme katsayısı (c_E). **105**
Şekil 5.14 : Kat ötelemesi için düşey düzensizlik düzeltme katsayısı (c_E). **105**
Şekil 5.15 : Planda düzensizlik için düzeltme katsayısı (c_T). **106**
Şekil 5.16 : Y doğrultusu taban kesme kuvveti – tepe deplasmanı grafiği. **107**
Şekil 5.17 : Yaklaşık R faktörü spektrumu. **108**
Şekil 5.18 : Y doğrultusu kapasite eğrisi. **108**
Şekil 5.19 : Deplasman için düşey düzensizlik düzeltme katsayısı (c_E). **110**
Şekil 5.20 : Kat ötelemesi için düşey düzensizlik düzeltme katsayısı (c_E). **110**
Şekil 5.21 : Planda düzensizlik için düzeltme katsayısı (c_T). **111**
Şekil 5.22 : X doğrultusu taban kesme kuvveti – tepe deplasmanı grafiği. **112**
Şekil 5.23 : Yaklaşık R faktörü spektrumu. **113**
Şekil 5.24 : X doğrultusu kapasite eğrisi. **113**
Şekil 5.25 : Deplasman için düşey düzensizlik düzeltme katsayısı (c_E). **115**
Şekil 5.26 : Kat ötelemesi için düşey düzensizlik düzeltme katsayısı (c_E). **115**
Şekil 5.27 : Planda düzensizlik için düzeltme katsayısı (c_T). **116**
Şekil 5.28 : Y doğrultusu taban kesme kuvveti – tepe deplasmanı grafiği. **117**
Şekil 5.29 : Yaklaşık R faktörü spektrumu. **118**
Şekil 5.30 : Y doğrultusu kapasite eğrisi. **118**
Şekil 5.31 : Deplasman için düşeyde düzensizlik düzeltme katsayısı (c_E). **120**
Şekil 5.32 : Kat ötelemesi için düşeyde düzensizlik düzeltme katsayısı (c_E). **120**
Şekil 5.33 : Planda düzensizlik için düzeltme katsayısı (c_T). **121**
Şekil 5.34 : Bodrum kat betonarme perdeli durum için x doğrultusundaki statik itme analizi sonucu oluşan plastik mafsal dağılımı. **122**
Şekil 5.35 : Bodrum kat betonarme perdeli durum için x doğrultusundaki statik itme analizi sonucu oluşan plastik mafsal dağılımı. **123**
Şekil 5.36 : Bodrum kat betonarme perdesiz durum için x doğrultusundaki statik itme analizi sonucu oluşan plastik mafsal dağılımı. **123**
Şekil 5.37 : Bodrum kat betonarme perdesiz durum için y doğrultusundaki statik itme analizi sonucu oluşan plastik mafsal dağılımı. **124**
Şekil 6.1 : San Fernando depremi için betonarme perdeli durum x doğrultusu taban kesme kuvveti – zaman grafiği. **126**
Şekil 6.2 : Imperial Valley depremi için betonarme perdeli durum x doğrultusu taban kesme kuvveti – zaman grafiği. **126**
Şekil 6.3 : Coalinga depremi için betonarme perdeli durum x doğrultusu taban kesme kuvveti – zaman grafiği. **127**
Şekil 6.4 : Loma Prieta depremi için betonarme perdeli durum x doğrultusu taban kesme kuvveti – zaman grafiği. **127**
Şekil 6.5 : Northridge depremi için betonarme perdeli durum x doğrultusu taban kesme kuvveti – zaman grafiği. **127**
Şekil 6.6 : Cape Mendocino depremi için betonarme perdeli durum x doğrultusu taban kesme kuvveti – zaman grafiği. **128**
Şekil 6.7 : Chuetsu Oki depremi için betonarme perdeli durum x doğrultusu taban kesme kuvveti – zaman grafiği. **128**

Şekil 6.8 : San Fernando depremi için betonarme perdeli durum y doğrultusu taban kesme kuvveti – zaman grafiği. **128**
Şekil 6.9 : Imperial Valley depremi için betonarme perdeli durum y doğrultusu taban kesme kuvveti – zaman grafiği. **129**
Şekil 6.10 : Coalinga depremi için betonarme perdeli durum y doğrultusu taban kesme kuvveti – zaman grafiği..... **129**
Şekil 6.11 : Loma Prieta depremi için betonarme perdeli durum y doğrultusu taban kesme kuvveti – zaman grafiği. **129**
Şekil 6.12 : Northridge depremi için betonarme perdeli durum y doğrultusu taban kesme kuvveti – zaman grafiği. **130**
Şekil 6.13 : Cape Mendocino depremi için betonarme perdeli durum y doğrultusu taban kesme kuvveti – zaman grafiği. **130**
Şekil 6.14 : Chuetsu Oki depremi için betonarme perdeli durum y doğrultusu taban kesme kuvveti – zaman grafiği. **130**
Şekil 6.15 : San Fernando depremi için betonarme perdesiz durum x doğrultusu taban kesme kuvveti – zaman grafiği. **131**
Şekil 6.16 : Imperial Valley depremi için betonarme perdesiz durum x doğrultusu taban kesme kuvveti – zaman grafiği. **131**
Şekil 6.17 : Coalinga depremi için betonarme perdesiz durum x doğrultusu taban kesme kuvveti – zaman grafiği..... **131**
Şekil 6.18 : Loma Prieta depremi için betonarme perdesiz durum x doğrultusu taban kesme kuvveti – zaman grafiği. **132**
Şekil 6.19 : Northridge depremi için betonarme perdesiz durum x doğrultusu taban kesme kuvveti – zaman grafiği. **132**
Şekil 6.20 : Cape Mendocino depremi için betonarme perdesiz durum x doğrultusu taban kesme kuvveti – zaman grafiği. **132**
Şekil 6.21 : Chuetsu Oki depremi için betonarme perdesiz durum x doğrultusu taban kesme kuvveti – zaman grafiği. **133**
Şekil 6.22 : San Fernando depremi için betonarme perdesiz durum y doğrultusu taban kesme kuvveti – zaman grafiği. **133**
Şekil 6.23 : Imperial Valley depremi için betonarme perdesiz durum y doğrultusu taban kesme kuvveti – zaman grafiği. **133**
Şekil 6.24 : Coalinga depremi için betonarme perdesiz durum y doğrultusu taban kesme kuvveti – zaman grafiği..... **134**
Şekil 6.25 : Loma Prieta depremi için betonarme perdesiz durum y doğrultusu taban kesme kuvveti – zaman grafiği. **134**
Şekil 6.26 : Northridge depremi için betonarme perdesiz durum y doğrultusu taban kesme kuvveti – zaman grafiği. **134**
Şekil 6.27 : Cape Mendocino depremi için betonarme perdesiz durum y doğrultusu taban kesme kuvveti – zaman grafiği. **135**
Şekil 6.28 : Chuetsu Oki depremi için betonarme perdesiz durum y doğrultusu taban kesme kuvveti – zaman grafiği. **135**
Şekil 6.29 : San Fernando depremi deplasman ve göreli kat ötelemesi sonuçları... **136**
Şekil 6.30 : Imperial Valley depremi deplasman ve göreli kat ötelemesi sonuçları. **136**
Şekil 6.31 : Coalinga depremi deplasman ve göreli kat ötelemesi sonuçları. **137**
Şekil 6.32 : Loma Prieta depremi deplasman ve göreli kat ötelemesi sonuçları. **137**
Şekil 6.33 : Northridge depremi deplasman ve göreli kat ötelemesi sonuçları. **138**
Şekil 6.34 : Cape Mendocino depremi deplasman ve göreli kat ötelemesi sonuçları. **138**

Şekil 6.35 : Chuetsu Oki depremi deplasman ve göreli kat ötelemesi sonuçları. **139**
Şekil 6.36 : San Fernando depremi deplasman ve göreli kat ötelemesi sonuçları... **139**
Şekil 6.37 : Imperial Valley depremi deplasman ve göreli kat ötelemesi sonuçları. **140**
Şekil 6.38 : Coalinga depremi deplasman ve göreli kat ötelemesi sonuçları. **140**
Şekil 6.39 : Loma Prieta depremi deplasman ve göreli kat ötelemesi sonuçları. **141**
Şekil 6.40 : Northridge depremi deplasman ve göreli kat ötelemesi sonuçları. **141**
Şekil 6.41 : Cape Mendocino depremi deplasman ve göreli kat ötelemesi sonuçları. **142**
Şekil 6.42 : Chuetsu Oki depremi deplasman ve göreli kat ötelemesi sonuçları. **142**
Şekil 6.43 : San Fernando depremi deplasman ve göreli kat ötelemesi sonuçları... **143**
Şekil 6.44 : Imperial Valley depremi deplasman ve göreli kat ötelemesi sonuçları. **143**
Şekil 6.45 : Coalinga depremi deplasman ve göreli kat ötelemesi sonuçları. **144**
Şekil 6.46 : Loma Prieta depremi deplasman ve göreli kat ötelemesi sonuçları. **144**
Şekil 6.47 : Northridge depremi deplasman ve göreli kat ötelemesi sonuçları. **145**
Şekil 6.48 : Cape Mendocino depremi deplasman ve göreli kat ötelemesi sonuçları. **145**
Şekil 6.49 : Chuetsu Oki depremi deplasman ve göreli kat ötelemesi sonuçları. **146**
Şekil 6.50 : San Fernando depremi deplasman ve göreli kat ötelemesi sonuçları... **146**
Şekil 6.51 : Imperial Valley depremi deplasman ve göreli kat ötelemesi sonuçları. **147**
Şekil 6.52 : Coalinga depremi deplasman ve göreli kat ötelemesi sonuçları. **147**
Şekil 6.53 : Loma Prieta depremi deplasman ve göreli kat ötelemesi sonuçları. **148**
Şekil 6.54 : Northridge depremi deplasman ve göreli kat ötelemesi sonuçları. **148**
Şekil 6.55 : Cape Mendocino depremi deplasman ve göreli kat ötelemesi sonuçları. **149**
Şekil 6.56 : Chuetsu Oki depremi deplasman ve göreli kat ötelemesi sonuçları. **149**
Şekil 6.57 : Bodrum kat betonarme perdeli binada San Fernando depremi x doğrultusunda ZTA sonucu oluşan plastik mafsal dağılımı. **150**
Şekil 6.58 : Bodrum kat betonarme perdeli binada Imperial Valley depremi x doğrultusunda ZTA sonucu oluşan plastik mafsal dağılımı. **151**
Şekil 6.59 : Bodrum kat betonarme perdeli binada Coalinga depremi x doğrultusunda ZTA sonucu oluşan plastik mafsal dağılımı. **152**
Şekil 6.60 : Bodrum kat betonarme perdeli binada Loma Prieta depremi x doğrultusunda ZTA sonucu oluşan plastik mafsal dağılımı. **152**
Şekil 6.61 : Bodrum kat betonarme perdeli binada Northridge depremi x doğrultusunda ZTA sonucu oluşan plastik mafsal dağılımı. **153**
Şekil 6.62 : Bodrum kat betonarme perdeli binada Cape Mendocino depremi x doğrultusunda ZTA sonucu oluşan plastik mafsal dağılımı. **154**
Şekil 6.63 : Bodrum kat betonarme perdeli binada Chuetsu Oki depremi x doğrultusunda ZTA sonucu oluşan plastik mafsal dağılımı. **154**
Şekil 6.64 : Bodrum kat betonarme perdeli binada San Fernando depremi y doğrultusunda ZTA sonucu oluşan plastik mafsal dağılımı. **155**
Şekil 6.65 : Bodrum kat betonarme perdeli binada Imperial Valley depremi y doğrultusunda ZTA sonucu oluşan plastik mafsal dağılımı. **156**
Şekil 6.66 : Bodrum kat betonarme perdeli binada Coalinga depremi y doğrultusunda ZTA sonucu oluşan plastik mafsal dağılımı. **157**
Şekil 6.67 : Bodrum kat betonarme perdeli binada Loma Prieta depremi y doğrultusunda ZTA sonucu oluşan plastik mafsal dağılımı. **157**

Şekil 6.68 : Bodrum kat betonarme perdeli binada Northridge depremi y doğrultusunda ZTA sonucu oluşan plastik mafsal dağılımı. **158**
Şekil 6.69 : Bodrum kat betonarme perdeli binada Cape Mendocino depremi y doğrultusunda ZTA sonucu oluşan plastik mafsal dağılımı. **159**
Şekil 6.70 : Bodrum kat betonarme perdeli binada Chuetsu Oki depremi y doğrultusunda ZTA sonucu oluşan plastik mafsal dağılımı. **159**
Şekil 6.71 : Bodrum kat betonarme perdesiz binada San Fernando depremi x doğrultusunda ZTA sonucu oluşan plastik mafsal dağılımı. **160**
Şekil 6.72 : Bodrum kat betonarme perdesiz binada Imperial Valley depremi x doğrultusunda ZTA sonucu oluşan plastik mafsal dağılımı. **161**
Şekil 6.73 : Bodrum kat betonarme perdesiz binada Coalinga depremi x doğrultusunda ZTA sonucu oluşan plastik mafsal dağılımı. **162**
Şekil 6.74 : Bodrum kat betonarme perdesiz binada Loma Prieta depremi x doğrultusunda ZTA sonucu oluşan plastik mafsal dağılımı. **162**
Şekil 6.75 : Bodrum kat betonarme perdesiz binada Northridge depremi x doğrultusunda ZTA sonucu oluşan plastik mafsal dağılımı. **163**
Şekil 6.76 : Bodrum kat betonarme perdesiz binada Cape Mendocino depremi x doğrultusunda ZTA sonucu oluşan plastik mafsal dağılımı. **164**
Şekil 6.77 : Bodrum kat betonarme perdesiz binada Chuetsu Oki depremi x doğrultusunda ZTA sonucu oluşan plastik mafsal dağılımı. **164**
Şekil 6.78 : Bodrum kat betonarme perdesiz binada San Fernando depremi y doğrultusunda ZTA sonucu oluşan plastik mafsal dağılımı. **165**
Şekil 6.79 : Bodrum kat betonarme perdesiz binada Imperial Valley depremi y doğrultusunda ZTA sonucu oluşan plastik mafsal dağılımı. **166**
Şekil 6.80 : Bodrum kat betonarme perdesiz binada Coalinga depremi y doğrultusunda ZTA sonucu oluşan plastik mafsal dağılımı. **167**
Şekil 6.81 : Bodrum kat betonarme perdesiz binada Loma Prieta depremi y doğrultusunda ZTA sonucu oluşan plastik mafsal dağılımı. **167**
Şekil 6.82 : Bodrum kat betonarme perdesiz binada Northridge depremi y doğrultusunda ZTA sonucu oluşan plastik mafsal dağılımı. **168**
Şekil 6.83 : Bodrum kat betonarme perdesiz binada Cape Mendocino depremi y doğrultusunda ZTA sonucu oluşan plastik mafsal dağılımı. **169**
Şekil 6.84 : Bodrum kat betonarme perdesiz binada Chuetsu Oki depremi y doğrultusunda ZTA sonucu oluşan plastik mafsal dağılımı. **169**
Şekil 6.85 : Benzeştirilmiş deprem kayıtları bodrum kat betonarme perdeli durum x doğrultusu. **170**
Şekil 6.86 : Benzeştirilmiş deprem kayıtları bodrum kat betonarme perdeli durum y doğrultusu **171**
Şekil 6.87 : Benzeştirilmiş deprem kayıtları bodrum kat betonarme perdesiz durum x doğrultusu. **171**
Şekil 6.88 : Benzeştirilmiş deprem kayıtları bodrum kat betonarme perdesiz durum y doğrultusu. **172**
Şekil 6.89 : Bodrum kat betonarme perdeli yapının x doğrultusundaki ZTA sonuçlarının karşılaştırılması. **172**
Şekil 6.90 : Bodrum kat betonarme perdeli yapının y doğrultusundaki ZTA sonuçlarının karşılaştırılması. **173**
Şekil 6.91 : Bodrum kat perdesiz yapının x doğrultusundaki ZTA sonuçlarının karşılaştırılması. **174**
Şekil 6.92 : Bodrum kat perdesiz yapının y doğrultusundaki ZTA sonuçlarının karşılaştırılması. **174**

Şekil 7.1 : Bodrum kat betonarme perdeli yapıda kütle merkezinde x doğrultusu için kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması. **175**
Şekil 7.2 : Bodrum kat betonarme perdeli yapıda rijit kenarda x doğrultusu için kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması. **176**
Şekil 7.3 : Bodrum kat betonarme perdeli yapıda esnek kenarda x doğrultusu için kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması. **176**
Şekil 7.4 : Bodrum kat betonarme perdeli yapıda kütle merkezinde y doğrultusu için kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması. **177**
Şekil 7.5 : Bodrum kat betonarme perdeli yapıda rijit kenarda y doğrultusu için kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması. **178**
Şekil 7.6 : Bodrum kat betonarme perdeli yapıda esnek kenarda y doğrultusu için kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması. **178**
Şekil 7.7 : Bodrum kat betonarme perdesiz yapıda kütle merkezinde x doğrultusu için kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması. **179**
Şekil 7.8 : Bodrum kat betonarme perdesiz yapıda rijit kenarda x doğrultusu için kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması. **179**
Şekil 7.9 : Bodrum kat betonarme perdesiz yapıda esnek kenarda x doğrultusu için kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması. **180**
Şekil 7.10 : Bodrum kat betonarme perdesiz yapıda kütle merkezinde y doğrultusu için kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması. **180**
Şekil 7.11 : Bodrum kat betonarme perdesiz yapıda rijit kenarda y doğrultusu için kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması. **181**
Şekil 7.12 : Bodrum kat betonarme perdesiz yapıda esnek kenarda y doğrultusu için kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması. **181**
Şekil 8.1 : Bodrum kat betonarme perdeli yapıda kütle merkezi için x doğrultusundaki sonuçların karşılaştırılması. **184**
Şekil 8.2 : Bodrum kat betonarme perdeli yapıda kütle merkezi için y doğrultusundaki sonuçların karşılaştırılması. **184**
Şekil 8.3 : Bodrum kat perdesiz yapıda kütle merkezi için x doğrultusundaki sonuçların karşılaştırılması. **185**
Şekil 8.4 : Bodrum kat perdesiz yapıda kütle merkezi için y doğrultusundaki sonuçların karşılaştırılması. **185**

DÜZENSİZ BETONARME PERDELİ BİR YAPIDA N2 METODUNUN UYGULANMASI

ÖZET

Depreme dayanıklı yapı tasarımı konusu özellikle ülkemizde son yıllarda önemini giderek artırmaktadır. Gerek ülkemizin bir deprem coğrafyasında konumlanması, gerekse son 20 yıl içerisinde yüksek can kayıplarının yaşandığı depremlerin meydana gelmesi bu konu üzerinde çalışanların sayısının gün geçtikçe artmasına neden olmuştur.

Genel olarak yapı kapasitelerinin belirlenmesinde doğrusal olmayan statik analiz yöntemleri kullanılmaktadır. Ancak yapıların çok serbestlik dereceli sistemler oluşu, hesaplamada belli zorluklar getirmektedir. Bu zorluklar sonucunda, basitleştirici bazı yaklaşımlar ortaya çıkmıştır. Bu tezin de konusunu oluşturan N2 metodu çok serbestlik dereceli sistemlerin, tek serbestlik dereceli sistemlere indirgenerek problemin çözümünde pratik yaklaşımlar sunmaktadır. İlk olarak 1980'lerin ortalarına doğru Fajfar ve Fischinger tarafından ortaya atılan bu yaklaşım sonraki süreçte Eurocode 8'e uyarlanmış ve doğrusal olmayan dinamik analiz ile yakın sonuçlar elde edilmiştir. N2 metodu temel olarak doğrusal olmayan analiz ve iki matematik modelden (Saiidi and Sozen Q-Model, 1981) oluşmaktadır.

N2 metodunun uygulamasında öncelikli olarak modal analiz yapılarak yapının hakim periyodundaki mod şekli belirlenir. Hakim mod için deplasman matrisi, tepe noktasındaki deplasman "1" olacak şekilde normalize edilir. Sistemin kütle matrisi ve normalize edilmiş mod şekli kullanılarak, itme analizinde kullanılacak olan yük matrisi elde edilir. Sistem, bu yük matrisinin en üst kata denk gelen değeri "1" olacak şekilde normalize edilmiş hali ile itilerek taban kesme kuvveti – tepe deplasmanı grafiği elde edilir. Bu grafik iki doğru ile idealize edilir ve sistem modal katılım faktörü ile tek serbestlik dereceli sisteme indirgenir. Elde edilen grafik kullanılarak tek serbestik dereceli sistemin hedef deplasman değeri bulunur. Hedef deplasman değerinin bulunmasının ardından sistem tekrar modal katılım faktörü ile çok serbestlik dereceli hale dönüştürülür. Bu işlemin ardından binanın hedef deplasman değeri bulunmuş olur.

Yapıda düzensizliğin olduğu durumlarda bu yöntem yapı davranışını ifade etmekte yetersiz kalmaktadır. Özellikle tek hakim mod dikkate alınarak analizin gerçekleştirilmesi, bazı düzeltme katsayılarının kullanılması ihtiyacını doğurmaktadır. Bu sebeple yöntem bazı eklemelerle geliştirilmiştir. Geliştirilmiş N2 metodunun farkı, doğrusal olmayan itme analizi sonucuyla, tepki spektrumu analizi sonucu arasında bir oran bularak, bu katsayının normalizasyon faktörü olarak kullanılmasıdır.

Bu tez kapsamında bodrum katını çevreleyen betonarme perdeler ile oluşturulmuş düzensizlik durumları incelenmiştir. Bu niyetle, öncelikle seçilen düzensiz binanın kapasitesi N2 ve geliştirilmiş N2 yöntemleri ile bulunmuştur. Takip eden bölümlerde, Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi (PEER) veritabanı kullanılarak seçilen 7 deprem kaydı için söz konusu yapı doğrusal olmayan dinamik analize tabi tutulmuştur. Ayrıca analizler bodrum kat betonarme perdelerinin kaldırıldığı durum için de tekrarlanmıştır. Zaman tanım alanında hesap yöntemiyle yapılan analizlerde seçilen kayıtlar, yerel zemin koşulları dikkate alınarak Eurocode 8'de yer alan elastik tasarım ivme spektrumu ile benzeştirilmiştir.

Sonuç bölümünde itme analizi ve dinamik analiz yöntemlerine göre deplasman ve göreli kat ötelemeleri belirlenmiştir. Çıkan sonuçlar karşılaştırılmış ve uygulanan yöntemin düzensiz yapılarda ve betonarme perdelerle çevrili bodrum katlarında uygunluğu irdelenmiştir.

THE N2 METHOD FOR THE BUILDING CONSIDERING THE EFFECT OF RIGID PERIPHERAL BASEMENT WALLS WITH THE PLAN AND ELEVATION IRREGULARITY

SUMMARY

Nonlinear static pushover analysis is commonly used to determine structural capacity demand. In general, nonlinear static analysis allows us to understand structure's nonlinear behavior and progression of damage with increasing ground motion intensity. The calculation of multi degree of freedom system structure have some difficulities. These methods are intended to achieve a satisfactory balance between required reliability and applicability for everyday design use. It is simple to perform and does not require selection and scaling of ground motion however, it can not directly consider dynamic structural behavior.

In this thesis, N2 method which is the nonlinear static pushover analysis method was used and the background of this study was explained. The basic idea of N2 method base on the Q-model developed by Saiidi and Sozen (1981) and based on nonlinear analysis. This method is proposed by Fajfar and Fishenger at first.

In this method, eigenvalue analysis is conducted to get the mode shape corresponding to predominant period of structure at first. The displacement shape is normalized-the value at the top is equal to 1. The vector of lateral load is determined using the mass matrix and normalized mod shape of the system. Using pushover analysis, base shear and roof (top) displacement relationship of the MDOF system is determined. Firstly, the bilinear idealization of the pushover curve is made. The MDOF system is transformed to the equivalent SDOF system with the modal participation factor. Using the idelized bilinear pushover curve, the target displacement of the system is determined. The displacement demand for the SDOF model is transformed into the maximum top displacement of the MDOF system. It means that the target displacement of the structure is determined.

In the case of the asymmetric structure, this method is insuffient to represent the structural behavior. So that, the extension of N2 method take into consideration the

irregularities of the structure. Some correction factor is needed to consider this effects. The correction factor is determined by dividing the results of nonlinear pushover analyses and the result of response spectrum analysis for each horizontal direction. Afterwards, the correction factor is multiplied with obtained pushover results.

In this thesis, existing moment resisting frame building (the building with rigid peripheral basement walls) was modeled as a 3-D model in SAP2000 software. Eleven-story building is surrounded by rigid basement walls. The results of N2 and extended N2 method in the structure is irregular in plan and elevation. The irregularities in elevation is caused by rigid basement walls and higher bottom stories. In this thesis, the capacity of the structure was assessed using N2 method and extended N2 method. The steps of calculation for N2 method and extended N2 method for irregular buildings was presented. The capacity curves of the buildings determined with N2 method. Extended N2 method was applied to test building using correction factor taking into consideration irregularities in plan and elevation, which were determined to be irregular according to Turkish Earthquake Code.

The test building was grouped into two according to having or not the rigid peripheral basement walls. The steps required for N2, extended N2 and time history analysis were repeated for two groups. The seven earthquake record were taken from PEER database according to distance of the fault to site and soil types to conduct the dynamic nonlinear time history analysis. The earthquake records were matched with the spectrum given in Eurocode 8 for ground type B. Then, the results were compared with the time history analysis result considering the displacement and story drift. Additionally, compatibility of N2 and extended N2 method was checked for the structure was irregular in plan and elevation.

1. GİRİŞ

Yapılaşma insanların barınma ihtiyaçlarından ortaya çıkmış bir olgudur. Zamanla bu yapılaşma kültürü çeşitlenmiş ve gelişmiştir. Bununla beraber yapıların planları farklılaşmış, yükseklikleri artmıştır. Planda ve kesitte yaşanan bu değişim, Türkiye ve benzeri deprem kuşağında yer alan ülkelerde, yapıların tasarımında belli kaidelerin uygulanma zorunluluğunu beraberinde getirmiştir. Yapı tasarımı üzerine uzun yıllardır süregelen çalışmalar neticesinde, bazı yönetmelikler ve standartlar oluşturularak yayınlanmıştır.

Mevcut standartlar, depreme dayanıklı yapı tasarımı ve yapının kapasite tayini için bir çok yöntem ortaya koymaktadır. En basit hali ile doğrusal elastik yöntem kullanımı pratik olmakla beraber, yapı davranışını tam olarak ifade edememektedir. Diğer bir yandan doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemleri de her zaman uygulanabilir pratiklikte ve zaman açısından ekonomik olmamaktadır. Bu ihtiyaca binaen 1980'lerin ortalarından bu yana Fajfar tarafından önerilen ve geliştirilen pratik bir yaklaşım olan N2 yöntemi, üzerinde önemle durulması ve değer verilmesi gereken yaklaşımlar ortaya koymaktadır.

Eurocode 8'de N2 yöntemi kullanımı ile ilgili belirli yaklaşımlar ortaya konulmaktadır. Yöntemin uygulanmasında bodrum katındaki betonarme perdelerin etkisi henüz net bir çalışmayla ortaya konulmuş değildir. Bununla beraber, planda ve düşeyde düzensizlik durumları da hesaba katıldığı vakit N2 ve geliştirilmiş N2 yöntemleri üzerinde daha ciddi araştırmalar yapılması gerekliliği ortadadır.

Yapılan bu çalışmada, planda ve düşeyde düzensiz olarak seçilmiş betonarme perdeli bina N2 ve geliştirilmiş N2 yöntemleri ile itme analizine tabi tutulmuştur. Daha sonra, Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi (PEER) veritabanı kullanılarak seçilmiş ve zemin koşulları dikkate alınarak Eurocode 8'de yer alan elastik tasarım ivme spektrumu ile benzeştirilmiş 7 deprem kayıdı kullanılarak dinamik analiz yapılmış, deplasman ve göreli kat ötelemeleri bulunmuştur. Ayrıca yapılan analizler bodrum kat betonarme perdelerin kaldırıldığı durum için de tekrarlanmıştır. Yapılan analizler neticesinde N2, geliştirilmiş N2 ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında

hesap yöntemlerinin sonuçları karşılaştırılmıştır. Yapılan doğrusal zaman tanım alanında analizden elde edilen göreli kat ötelemeleri, Eurocode 8'de verilen %0.5 hasar görebilirlik sınırına göre değerlendirilmiştir. Doğrusal olmayan statik itme analizi ve doğrusal olmayan dinamik analiz sonucunda seçilen örnek yapıya ait plastik mafsal dağılımlarına yer verilmiştir.

Yapılan bu çalışmada, N2 yönteminin uygulanmasında yeni bir öneri getirilmiştir. Bu öneri kullanıldığında göreli kat ötelemelerinin doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonuçlarına daha yakın çıktığı tespit edilmiş ve geliştirilmiş N2 metodunun farklı yapı durumları için güncellenmesi gerektiği anlaşılmıştır.

2. YAZIN TARAMA

Bu bölümde, yapıda düzensizlik durumlarından ve doğrusal olmayan statik analiz yöntemlerinden bahsedilecektir.

2.1 Düzensiz Yapılar

Yapının tasarımında en önemli faktör kuşkusuz kullanım amacıdır. Farklı amaçlar için inşa edilen yapılar (altyapı, karayolu vs.) dışında veya daha da özele indirgenirse konut tipi yapılarda, özellikle mimari kaygılar sebebiyle planda ve kesitte bir çok düzensizlik ortaya çıkmaktadır. Ancak yapılan araştırmalar bize göstermektedir ki yapı ne kadar basit tasarlanırsa, planda ve düşeyde düzensizlik yoksa, deprem esnasında performansı o denli iyi olmaktadır. Celep ve Kumbasar tarafından belirtildiği üzere, bir yapıda bütün kolon ve perdeler temelden çatıya kadar sürekli olmalı ve elemanların birbirine dışmerkez mesnetlenmelerinden kaçınılmalıdır. Kolon ve ona mesnetlenen kirişlerin eksenleri arasındaki dışmerkezlik de mümkün olduğu kadar önlenmelidir. Taşıyıcı sistemde süreklilik ile elemanların birbirine yardım etmesi sağlanırken, elastik davranışın ötesindeki kapasitesi de artırılmış olur.

Yapının basit olarak tasarlanması aynı zamanda imalatı da kolaylaştıran bir faktördür. Planda düzensiz olarak tasarlanan yapılarda genellikle burulma etkileri de ortaya çıkmaktadır. Yapını her iki yönde de düzenli olması istenmektedir. Böyle bir durumda simetrik olan yapının deprem etkisi altında oluşan gerçek davranışı, hesaptaki ile yakın sonuçlar vermektedir. Bu simetrilik yalnız planda değil düşey doğrultuda da sağlanmalıdır. Genel olarak yapıda mevcut olan planda ve düşeyde düzensizlik durumu deprem etkisi altında ekstra burulma yükleri ile ikinci mertebe etkilerine sebebiyet vermektedir.

2.1.1 Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007 (DBYBHY-07)'de düzensiz yapılar

Ülkemizde yürürlükte olan deprem yönetmeliğinde, yapının taşıyıcı sisteminde ve bu taşıyıcı sistemi oluşturan elemanlarında, deprem yüklerinin temel düzeyine ve buradan zemine aktarımı için yeterli rijitlik, kararlılık ve dayanım bulunması gerektiği belirtilmektedir. 2.1.1.1 ve 2.1.1.2'de tanımlanan düzensizlik durumlarına sahip binaların tasarımından ve yapımından kaçınılması gerektiği, taşıyıcı sistemin planda simetrik veya simetriğe en yakın şekilde tasarlanması, binada olabildiğince az burulma etkisine izin verilmesi gerektiği özellikle bildirilmektedir.

2.1.1.1 Planda düzensizlik durumları

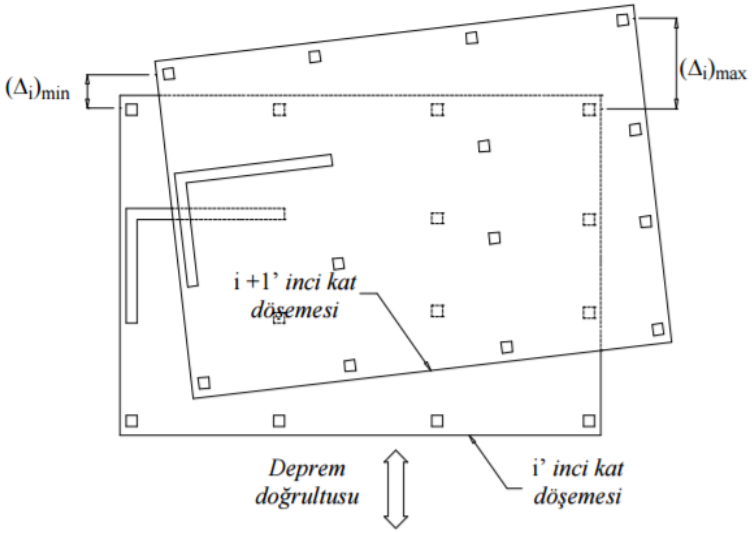
Bu bölümde, yönetmelikte konu edilen planda düzensizlik durumları kısaca anlatılacaktır.

- **A1. Burulma düzensizliği:**

Yapının birbirine dik iki deprem doğrultusundan herhangi biri için, herhangi bir kattaki en büyük rölatif yatay kat ötelemesinin ortalama rölatif kat ötelemesine oranı olarak tanımlanan Burulma Düzenlik Katsayısı η_{bi}'nin denklem 2.1'de

$$\eta_{bi} = (\Delta_i)\text{max} / (\Delta_i)\text{ort} > 1.2 \qquad (2.1)$$

olması durumu burulma düzensizliği olarak tanımlanır (Şekil 2.1). Burulma türü düzensizlik deprem kuvvetinin etkidiği kat kütle merkezi ile kat rijitlik merkezinin birbirinden ayrık olması ile belirgin duruma gelir (DBYBHY, 2007).



Şekil 2.1 : Burulma düzensizliği durumu [η_{bi}= (Δ_i)max / (Δ_i)ort > 1.2] (DBYBHY, 2007).

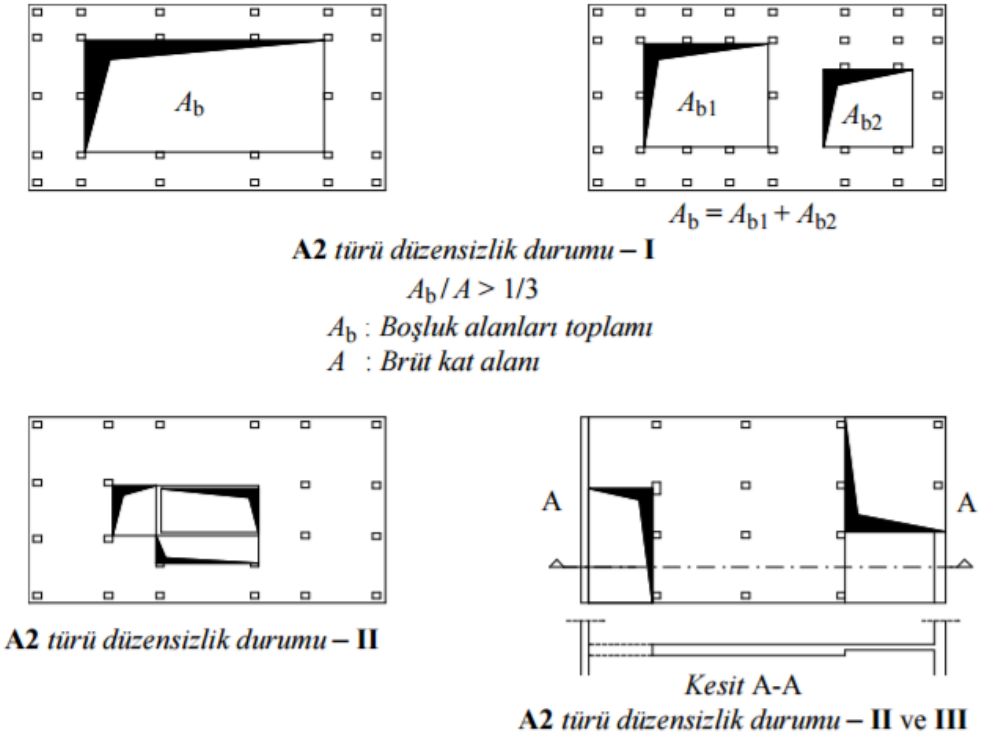
- **A2. Döşeme süreksizlik düzensizliği:**

Herhangi bir kattaki döşemede;

I-Merdiven ve asansör boşlukları dahil, boşluk alanları toplamının kat brüt alanının 1/3' ünden fazla olması durumu,

II- Deprem yüklerinin kolon ve perde gibi düşey taşıyıcı elemanlarla aktarılabilmesini güçleştiren yerel döşeme boşluklarının bulunması,

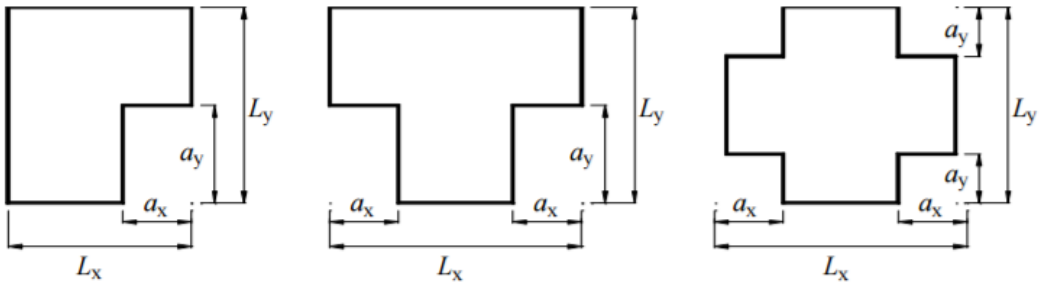
III- Döşemenin düzlem içi rijitlik ve dayanımında ani değişikliklerin bulunması döşeme süreksizlik düzensizliği olarak tanımlanır (Şekil 2.2), (DBYBHY, 2007).



Şekil 2.2 : Döşemede süreksizlik düzensizliği durumu (DBYBHY, 2007).

- **A3. Planda çıkıntılar bulunması:**

Bina kat planlarında çıkıntı yapan kısımların birbirine dik iki doğrultudaki boyutlarının her ikisinin de binanın göz önüne alınan katının aynı doğrultudaki toplam plan boyutlarının %20' sinden daha büyük olması durumu planda çıkıntı düzensizliği olarak tanımlanır (Şekil 2.3).



A3 *türü düzensizlik durumu:*
$a_x > 0.2\ L_x$ *ve aynı zamanda* $a_y > 0.2\ L_y$

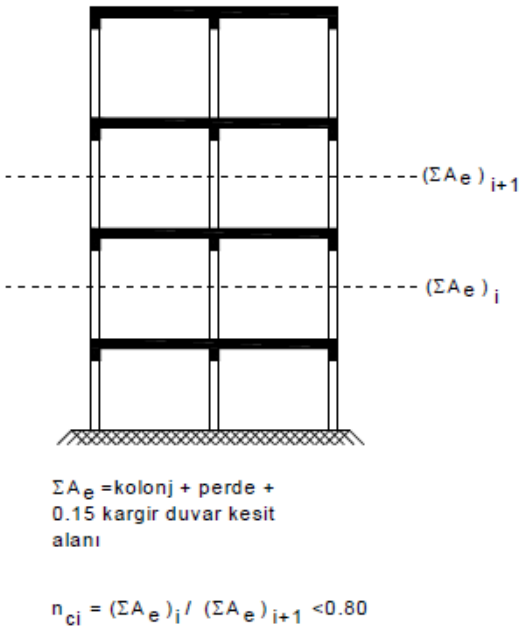
Şekil 2.3 : Planda çıkıntı düzensizliği (DBYBHY, 2007).

2.1.1.2 Düşey doğrultuda düzensizlik durumları

Bu bölümde, yapılarda düşey doğrultuda mevcut düzensizlik durumları tarif edilecektir.

- **B1 Komşu katlar arası dayanım düzensizliği (zayıf kat):**

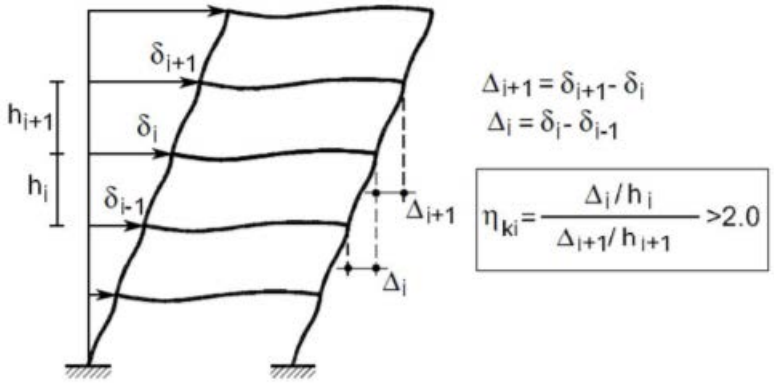
Betonarme binalarda, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi birinde, herhangi bir kattaki etkili kesme alanının, bir üst kattaki etkili kesme alanına oranı olarak tanımlanan dayanım düzensizliği katsayısı η_{ci}'nin 0.80' den küçük olması durumu komşu katlar arası dayanım düzensizliği olarak tanımlanır (Şekil 2.4) (DBYBHY, 2007).



Şekil 2.4 : Komşu katlar arası dayanım düzensizliği ((Köroğlu, b.t.).

- **B2 Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (yumuşak kat):**

Betonarme binalarda, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için herhangi bir i. kattaki ortalama rölatif kat yer değiştirmesinin bir üst kattaki rölatif kat yer değiştirmesine oranı olarak tarif edilen rijitlik düzensizliği katsayısı η_{ki}'nin 2' den fazla olması durumu, komşu katlar arası rijitlik düzensizliği olarak tarif edilir (Şekil 2.5) (DBYBHY, 2007).



Şekil 2.5 : Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (Köroğlu, b.t.).

- **B3 Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarındaki süreksizlik düzensizliği:**

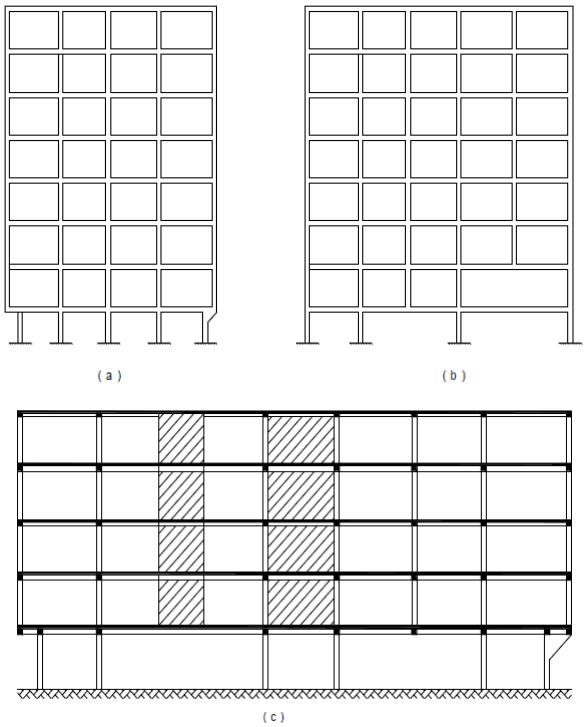
Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının (kolon ve perdelerin) bazı katlarda kaldırılarak kirişlerin veya guseli kolonların üstüne veya ucuna oturtulması, ya da üst kattaki perdelerin alt katta kolonlara veya kirişlere oturtulması bu düzensizliği oluşturur (Şekil 2.6). Deprem etkilerinin karşılanmasında, taşıyıcı sistemde düzgün çerçeve sisteminin sağlanması, kolon ve perdelerden oluşan düşey taşıyıcı elemanların bina yüksekliği boyunca sürekli olarak devam etmesi, yapının davranışını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu yatay yük taşıyıcı elemanlardaki süreksizlik, taşıyıcı sistemde çerçeve oluşumunu önlemektedir. Bu elemanlardaki süreksizlikler, depremin düşey bileşeninden dolayı kirişlerde önemli etkiler meydana getirir. Deprem yönetmeliği bu tür düzensizliği ya yasaklamış ya da deprem yüklerini artırmıştır (DBYBHY, 2007).

a) Bütün deprem bölgelerinde, bir kolonun binanın herhangi bir katında konsol kirişlerin veya alt kattaki kolonlarla oluşturulan guselerin üstüne veya ucuna oturtulmasına hiçbir zaman izin verilmez (Şekil 2.6a).

b) Bir kolonun iki ucundan mesnetli bir kirişe oturması durumunda, kirişin bütün kesitlerde ve ayrıca göz önüne alınan deprem doğrultusunda bu kirişin bağlandığı düğüm noktalarında birleşen diğer kiriş ve kolonların bütün kesitlerinde, düşey yükler ve depremin ortak etkisinden oluşan iç kuvvetler %50 oranında artırılacaktır (Şekil 2.6b).

c) Üst katlardaki perdenin alt katlarda kolonlara oturmasına asla izin verilmez.

d) Perdelerin binanın herhangi bir katında kendi düzlemleri içinde kirişlerin üstüne açıklık ortasında oturtulmasına hiçbir zaman izin verilmez (Şekil 2.6c) (DBYBHY, 2007).



Şekil 2.6 : Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarındaki süreksizlik düzensizliği (DBYBHY, 2007).

DBYBHY-07'de tanımlanan bu düzensizlik durumları için, bina ve bina türü yapıların deprem hesabında kullanılacak yöntemler verilmiştir.

Çizelge 2.1 : Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi'nin uygulanabileceği binalar.

Deprem Bölgesi	**Bina Türü**	**Toplam Yükseklik Sınırı**
1, 2	Her bir katta burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} \leq 2.0$ koşulunu sağladığı binalar	$H_N \leq 25\ m$
1, 2	Her bir katta burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} \leq 2.0$ koşulunu sağladığı binalar ve ayrıca B2 türü düzensizliğin olmadığı binalar	$H_N \leq 40\ m$
3, 4	Tüm binalar	$H_N \leq 40\ m$

Bu yöntemlerden *Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi*'nin kullanımı için yönetmelik tarafından belirli sınırlamalar getirilmiştir (Çizelge 2.1). DBYBHY-07'ye göre, Çizelge 2.1'in kapsamına girmeyen binaların deprem hesabında *Mod Birleştirme Yöntemi* ve *Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemleri* kullanılmaktadır.

2.1.2 Eurocode 8'de yapısal düzensizlikler

Deprem bölgelerinde yapılacak yapılar da uyulması gerekli kurallar Eurocode 8'de verilmiştir. Bu yönetmelik ülkemizde kullanılan DBYBHY-07 ile paralellik teşkil etmektedir. Yönetmelik genel olarak yapının, olabildiğince basit olmasını, her iki yatay doğrultuda rijitliğinin yeterli, planda düzenli ve simetrik olması gerektiğini anlatmaktadır. Aynı zamanda taşıyıcı elemanlar arasında yük paylaşımının sağlıklı olması gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu yönetmeliğe göre sismik tehlike bakımından durum, yapı tasarımının ilk değerlendirme aşaması dahilinde ele alınır. Taşıyıcı sistemin plandaki ve düşey kesitteki durumu incelenerek düzensizlik durumuna karar verilir.

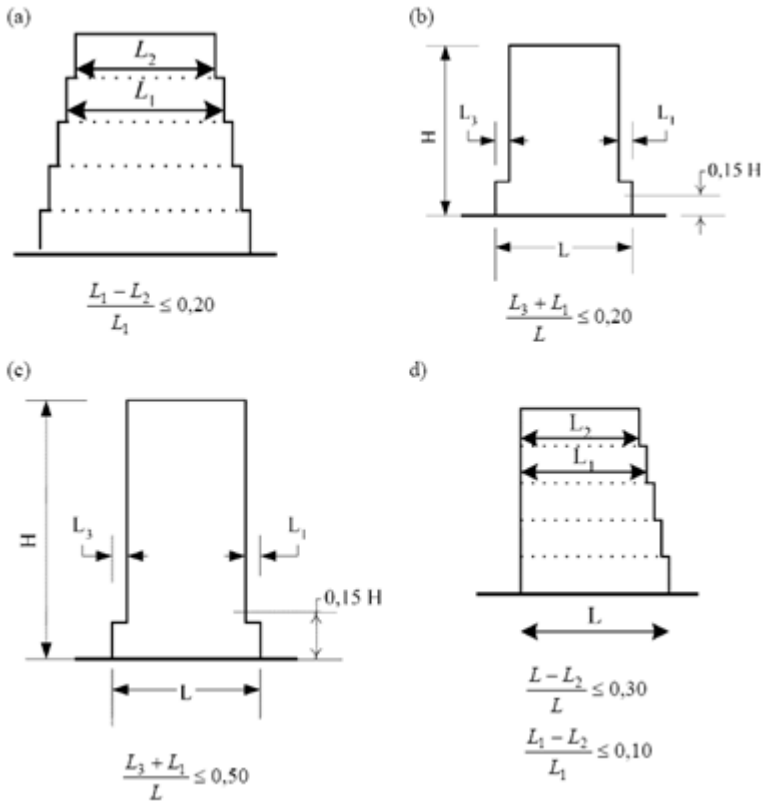
2.1.2.1 Planda düzensizlik

- **Taşıyıcı sistem düzensizliği:** Taşıyıcı sistem planında, kütle ve rijitlik merkezlerinin çakıştığı kabulü yapılabilecek her iki doğrultuda yer alan eksen takımları olmadığı durumdur.
- **Planda girinti ve çıkıntı düzensizliği**: Yapıda planda girinti ve çıkıntılar varsa, bu girinti veya çıkıntıların alanları planda toplam kapalı alanın %5'ini geçtiği durumdur.
- **Plan şekli düzensizliği**: L, C, I, X, H gibi farklı plan şekli mevcut ise kat diyaframlarının düzlem içerisindeki rijitliği ayrıntılı olarak değerlendirilmelidir. Kat diyaframlarının düzlem içerisinde rijitlik değişimlerini dikkate alacak şekilde bir modelleme ve analiz yapılmalıdır. Döşeme rijitliğinin yeterli ve düzenli olduğu durumda, kat kesme kuvvetlerinin kolon ve perdelere dağılımında döşemenin düzlem içi şekil değiştirmesinden kaynaklı etkiler ihmal edilebilir. Elastik kabul edilen döşeme sistemlerinde deprem etkilerinden meydana gelen deplasman değeri, rijit diyafram kabulü yapıldığı durumdaki değerlerin %10'unu geçmiyorsa rijit diyafram kabulünün yeterli olduğu anlaşılır.

- **İki doğrultuda plan boyutları düzensizliği:** Yapının planında uzun doğrultudaki boyu kısa doğrultudaki boyumun 4 katından fazla olduğu durumdur.
- **Burulma düzensizliği:** Yapıda her iki doğrultuda planda, kütle ve rijitlik merkezleri arasındaki mesafe, kat burulma yarıçapının 0,3 katını aşmamalı ve kat burulma yarıçapı kat dönme yarıçapından küçük olmamalıdır. Eğer bu şartlar sağlanamazsa burulma düzensizliği vardır demektir.

2.1.2.2 Düşeyde düzensizlik

- **Süreksizlik düzensizliği**: Yapıdaki tüm taşıyıcı elemanlar temel seviyesinden en üst kata kadar sürekli olarak devam etmelidir. Eğer kat çekilmesi mevcut ise ilgili kata kadar aynı şekilde taşıyıcı eleman sürekliliği devam ettirilmelidir. Bu taşıyıcı eleman sürekliliğinin sağlanamadığı yapılarda süreksizlik düzensizliği mevcuttur.
- **Rijitlik düzensizliği:** Yapı temelden yukarı doğru çıkıldıkça kat yanal rijitliği ve kütlesinde ani azalmaların olduğu durumdur.
- **Dayanım düzensizliği:** Çerçeveli yapılarda, kat dayanımlarının, komşu katlara oranla çok değişmesi durumudur.
- **Geri çekme düzensizliği:** Yapıda eksenel simetrinin korunduğu durumda kat daralması bir alt katın plan boyutunun %20'sini aşıyorsa (Şekil 2.7a), yapı yüksekliğinin tabandan itibaren %15'inin üzerinde sabit bir çekilme uygulandığı durumda, daralma önceki plan boyutunun %20'sini geçiyorsa (Şekil 2.7b), sabit çekilme yapı yüksekliğinin %15'inin altında başlıyorsa daralma önceki plan boyutunun %50'sini geçtiği durumda (Şekil 2.7c), simetrik bir kat daralması yoksa hesaplanan en büyük kat daralması zemin katın plan boutunun %30'undan büyük olduğu durumda, ayrıca herhangi iki kat arasındaki kat daralması, alt katın daralmasına göre %10'dan büyükse (Şekil 2.7d) düzensizlikten söz edilmektedir.



Şekil 2.7 : Geri çekme düzensizliği için kriterler (EC 8, CEN 2006).

Yönetmelik düzensiz yapıları yasaklamak yerine, düzenli yapılar için daha kolay uygulama kuralları ve ekonomik çözümlemeler öngörür. Planda meydana gelen düzensizlik durumlarında, yapının analizinde düzlem çerçeve modeli yerine üç boyutlu çerçeve modeli öngörülmektedir. Düzensizlik durumlarında taşıyıcı sistem davranış katsayısı (q) azaltılarak deprem etkisi büyütülmektedir. Düşeyde düzensizlik durumlarında ise yönetmelik ilk modun bina davranışını temsilde yeterli olmayacağını kabul eder. *Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi* yerine *Mod Birleştirme Yöntemi*'nin uygulanmasını öngörmektedir. Bu tür düzensizlik durumları yapıda elastik ötesi şekil değiştirmelerin düzgün dağılmamasına ve yerel olarak elastik ötesi şekil değiştirmelerin bazı kesitlerde yoğunlaşmasına sebep olmaktadır. Bu durumda yönetmelik davranış katsayısının %20 azaltılmasını öngörür (Celep, 2017).

2.2 Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi

Zaman tanım alanında analizlerin, yapı taleplerinin belirlenmesinde doğru sonuçlar verdiği kabul edilmesine rağmen bu analizlerin yapılmasının zaman alması doğrusal olmayan statik yöntemlerin uygulamada daha çok tercih edilmesine sebep olmuştur (Oyguç, 2016).

Doğrusal olmayan statik analiz yöntemleri dört ana adımdan oluşur, bunlar:

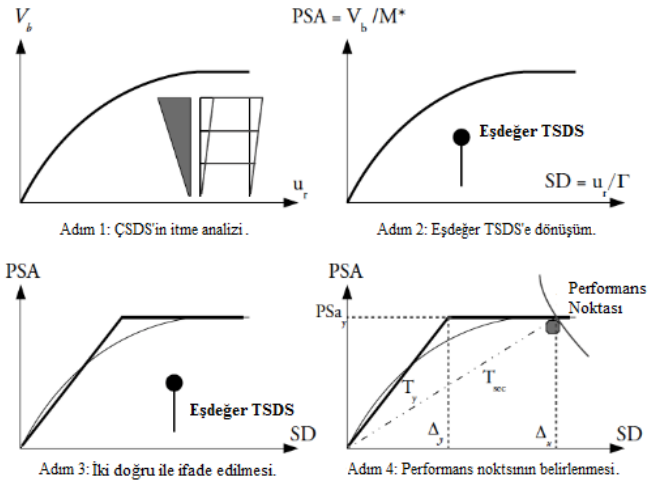
a) Sistemin doğrusal olmayan geometrisi ve elastik ötesi davranışı dikkate alınarak adım adım artan yanal yükleme yapılır ve yapı davranışını gösteren itme eğrisi elde edilir.

b) Verilen yapının uygun dinamik özellikleri dikkate alınarak elde edilen itme eğrisi eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemin kapasite eğrisine dönüştürülür.

c) Tek serbestlik dereceli sistemin dinamik özelliklerini belirlemek için elde edilen kapasite eğrisi iki doğru ile ifade edilir.

d) Tek serbestlik dereceli sistemin hesaplanan dinamik özelliklerine dayanarak, tasarım/tepki spektrumundan tanımlanmış olan hasar bölgesine karşılık gelen performans noktası olarak da bilinen hedef deplasman talebi bulunur.

Yapısal tepki parametreleri performans noktasına ait itme analizi verilerinden elde edilir ve tasarım standartları ve yönetmeliklerde izin verilen değerler ile karşılaştırılır. Eğer tepki parametreleri izin verilen değerlerin altında ise yapının güvenli olduğunu gösterir aksi durumda ise yanal yük taşıma kapasitesini artıracak uygun iyileştirme yöntemleri uygulanır. Şekil 2.8 doğrusal olmayan statik analiz yöntemlerinin görsel sunumudur.



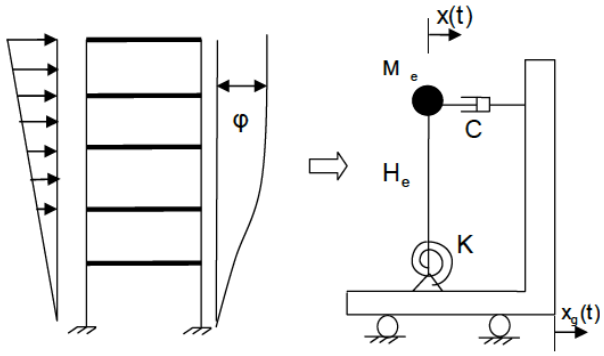
Şekil 2.8 : Planda simetrik yapılar için doğrusal olmayan statik yöntemler (Adhikari ve Pinho, 2010).

2.2.1 Sabit tek kuvvet vektörüne dayanan doğrusal olmayan statik analiz

1970'lerin başında kapasite spektrum başlaması ile beraber sabit tek kuvvet vektörüne dayanan doğrusal olmayan statik analizinden faydalanarak sismik değerlendirme ve tasarım yöntemleri geliştirilmeye başlanmıştır.

1981 yılında Saiidi ve Sozen, iki varsayım kullanarak çok serbestlik dereceli sistemin doğrusal olmayan dinamik taleplerini eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemin dinamik özelliklerinden yaralanarak bulunabileceğini tarif eden Q modeli sunmuşlardır.

Bu varsayımlardan ilki; serbest titreşim periyodunun sadece hakim periyot olduğu ve diğeri ise tüm yapının artarak değişen rijitliğinin, ilerleyen rijitlik azalması ve sıkışma hareketi ile birlikte doğrusal olmayan yay ile gösterilmesidir. Bu yaklaşımı ifade eden model Şekil 2.9'da verilmiştir. Bu yöntem daha sonraları örnek olarak 9 katlı düşeyde düzensiz bir yapı için uygulanmış ve geliştirilmiştir, geliştirilen metodun bir önceki metotla benzer sonuçlar verdiği görülmüştür. Bundan bir sene sonra ise 8 katlı bir yapı için analiz yapılıp El Centro kaydı ile yapılmış zaman tanım alanındaki analiz sonuçları ile karşılaştırıldığında Q modelin tasarım için fazla değerler verdiği görülmüştür (Saiidi ve Sozen, 1981).



Şekil 2.9 : Çok serbestlik dereceli sistemin analizinde Q modeli (Saiidi ve Sozen, 1981).

Q model konseptini devam ettirecek nitelikteki N2 metodu ilk kez Fajfar ve Fishinger tarafından 1987-1988 yıllarında ortaya konulmuştur. Daha sonraki yıllarda ise N2 metodunun geliştirilmesi ile bu metot Eurocode 8 yönetmeliğine girmiştir. Bu metot, tepe deplasmanına göre normalize edilen yer değiştirme sekli ile orantılı olacak şekilde sabit yatay yük modeli kullanılarak elde edilen itme analizinden kapasite spektrumunu hesaplamaktadır. Bu metoda ait detaylı çalışmalar ilgili bölümde kapsam dahilinde yer verilmektedir (Fajfar ve Fishinger, 1988).

2.2.2 Sabit çok modlu kuvvet vektörüne dayanan doğrusal olmayan statik analiz

Sabit tek kuvvet vektörüne dayanan statik analiz yöntemlerinin titreşimdeki özellikle uzun periyotlu çok katlı yapıların orta ve üst katlarında meydana gelen yüksek mod etkisini dikkate almaması sebebi ile Paret 1996 ve Sasaki 1998 yılında basit ama etkili bir yöntem olan çok modlu itme analizini (MMP-Multi-Mode Procedure) biri zayıf kiriş-güçlü kolon diğeri ise güçlü kiriş-zayıf kolon felsefesine dayanan dinamik karakteristikleri farklı olan iki farklı yapıda incelemiştir (Paret, 1996; Sasaki, 1998). Bu yöntem, yapılarda mod şekli ile orantılı ve tasarım spektrum grafiği ile karşılaştırılarak elde edilen yatay kuvvet modeli ile yapılan itme analizi ile geliştirilmiştir. Yüksek mod etkisi, tekil modal kapasite ve kapasite spektrumunun karşılaştırılması ile belirlenmiştir. Fakat bu metodun sistem tepkisini gösteren göreli kat ötelemesi ve plastik dönme gibi değerlerin hesaplanmasına dair eksiklikler ilerideki çalışmalarda, örneğin Moghadam'ın 2002'de yayınladığı yöntemle giderilmeye çalışılmıştır (Moghadam, 2002).

Chopra ve Goel (2001, 2002) bu yöntemden daha karışık fakat Şekil 2.10'de verildiği gibi konsept olarak tepki spektrum analizine benzeyen Modal İtme Analizi'ni (MPA) geliştirmiştir (Chopra ve Goel, 2001). İtme analizinden elde edilen taban kesme kuvveti-tepe deplasman eğrisi, tek serbestlik dereceli sisteme karşılık gelen iki doğru ile ifade edilen kuvvet-deplasman ilişkisi ile Şekil 2.11'deki gibi idealize edilir.

Tek serbestlik dereceli sistemin taban kesme kuvveti-tepe deplasman eğrisi (V_{bn}- U_{rn}), itme analizinin kuvvet-deformasyon ilişkisi (F_{sn}/L_n-D_n) kullanılarak iki doğru ile ifadesi ile elde edilmiştir.

V_{bn} : n'inci mod taban kesme kuvveti.

M_n^* : Genelleştirilmiş kütle.

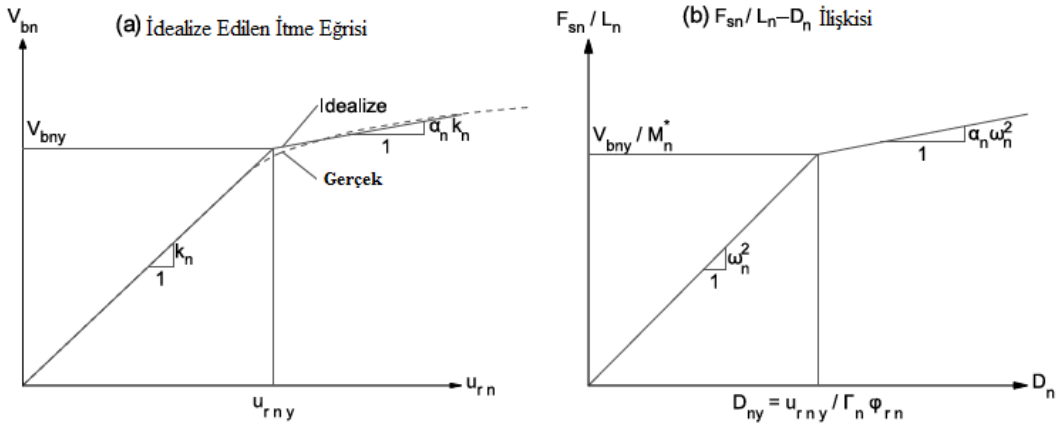
F_{sn} : n'inci mod kat kesme kuvveti.

D_n : n'inci mod deformasyon talebi.

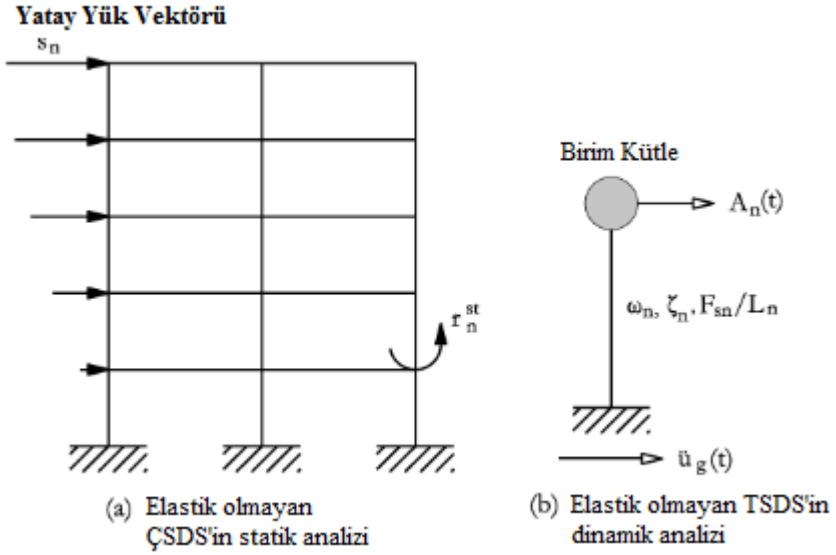
U_{rn} : n'inci mod hedef deplasmanı.

Γ_n : n'inci mod katılım faktörü.

ϕ_{rn} : n'inci mod genliği.



Şekil 2.10 : İtme eğrisinden hesaplanan TSDS'in özellikleri (Chopra ve Goel, 2001).



Şekil 2.11 : ÇSDS doğrusal olmayan modal itme analizi konsepti (Chopra ve Goel, 2001).

Chopra ve Goel bu yöntemi 2002 yılında 9 ve 20 katlı SAC çelik binası modelleri için uygulamıştır. Yapılan analizler sonucunda özellikle yüksek mod etkisindeki yapılarda MPA yönteminin FEMA 273 ile karşılaştırıldığında daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir (Chopra ve Goel, 2002).

Chopra ve Chintanapakdee ise 2003-2004 yıllarında MPA yönteminin doğruluğunu daha iyi analiz edebilmek için 3 ten 18 kata kadar düşeyde düzenli 6 ayrı yapı ve rijitlik düzensizliği, dayanım düzensizliği ve rijitlik-dayanım düzensizliği olarak üç ayrı düşeyde düzensiz yapıyı incelemişlerdir (Chopra ve Chintanapakdee, 2004).

Chopra yine 2003 yılında çok katlı yapının tepe deplasmanlarının eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemin dönüştürülmesi ile elde edileceği yönünde çalışmalar yapmıştır. Sonuçlar yüksek süneklik talebine karşılık gelen tepe deplasmanları için

fazla değerler verir iken düşük süneklik talebi (μ) için olduğundan az değerler vermiştir.

Goel ve Chopra 2004 yılında P-Δ etkisini, plastik mafsal dönmelerinin kat ötelemesinden bulunabileceğine ve herhangi bir moddaki itme eğrisinin o moddaki elastik olmayan tek serbestlik dereceli sistemin hedef deplasman talebi ile idealleştirilebileceğine dair çalışmalar yapmıştır.

Chopra 2004 yılında MPA yönteminden daha pratik olan, birinci moddaki itme sonuçlarını diğer elastik titreşim modlarındaki tepkilerin birleştirilmesi ile hesaplayan Değiştirilmiş Modal İtme Analizini (MMPA) geliştirmiştir.

Goel ve Chopra 2005 yılındaki yapıya uyguladıkları itme analizinin yüksek modlardaki etkisini araştırırken yüksek mod itme eğrisinden plastik mafsal mekanizmasını ortaya çıkarmışlardır.

2007 ve 2008 yıllarında Bobadilla ve Chopra çevrimsel deformasyonlar altında dayanım ve rijitlik azalması ile nitelenen özel moment direnci gösteren betonarme yapılar için MPA yönteminin uygunluğunu incelemişlerdir.

2.2.3 Uyarlanmış kuvvet vektörüne dayanan itme analizi

Önceki bölümlerde bahsedilmiş olan değişmeyen kuvvet dağılımına dayalı yöntemler, yapısal esneklik ve yapının titreşim özeliklerindeki değişimlerden kaynaklanan atalet kuvvetlerinin dağılımını dikkate almazken, uyarlanmış kuvvet dağılımlarına dayalı yöntemler atalet kuvvetlerinin zamana bağlı değişimlerini dikkate almıştır.

Bu analiz yöntemi ilk olarak Valles (1997) tarafından yüksek mod etkisi ile beraber, elastik olmayan bölgede yapının rijitliğindeki azalmadan dolayı kuvvet dağılımı değişimlerini dikkate alan, yatay kuvvetlerin Uyarlanmış Modal Dağılım (Modal Adaptive Distribution) yöntemi önerilmiştir. Bu yöntemde, etkin mod şekli ($\emptyset_n$) her adımda, denklem 2.2'de gösterilen modların her birinin modal katılım faktörlerine eşit olan ölçeklendirme faktörü ile SRSS kuralı kullanılarak ilgili mod şekillerinin birleşimi ile hesaplanmıştır. Yatay kuvvet vektörü etkin mod şekli ile orantılı olacak şekilde yapıya artan kuvvetler altında uygulanmıştır.

$$\{\emptyset_{eff}\} = \sqrt{\sum_{n=1}^{J} (\Gamma_n \{\phi_n\})^2} \qquad (2.2)$$

Bracci 1997 yılında çoğunlukla yüksek modlarda meydana gelen potansiyel orta kat mekanizma etkilerini birleştirmek için artan kat taleplerinden kaynaklanan rijitliğe bağlı yatay kuvvet dağılımını dikkate alan uyarlanmış itme analizini önermiştir. Her analizin ilk aşamasında üçgen kuvvet dağılımı kabulü yapılarak ve her adımında denklem 2.3 kullanılarak yatay kuvvet vektörü uygulanmıştır.

$$\{\Delta f^{i+1}\} = V^j \left(\frac{\{f^i\}}{V_B^i} - \frac{\{f^{i-1}\}}{V_B^{i-1}} \right) + \Delta V^{i+1} \frac{\{f^i\}}{V_B^i} \qquad (2.3)$$

Δf^{i+1} : (i+1)'inci adımda artan kat kuvveti.

V^i : i'inci adımdaki taban kesme kuvveti.

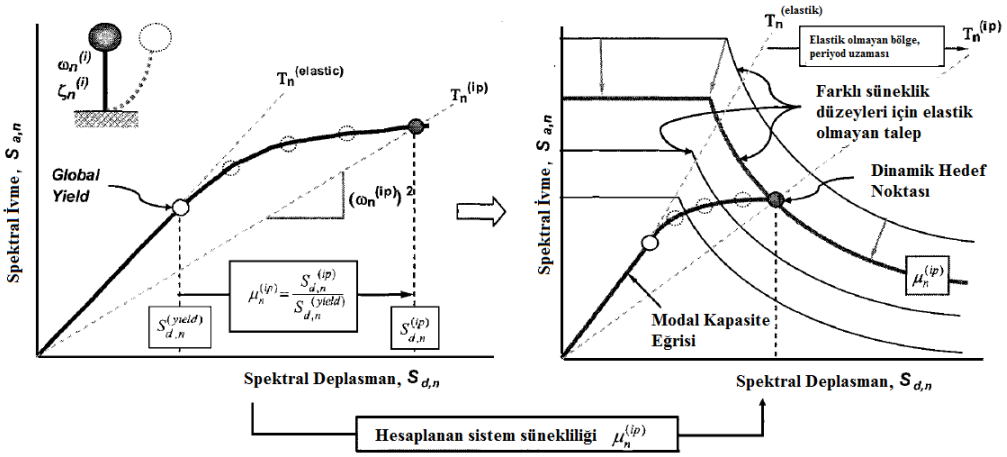
f^i : i'nci adımdaki kat kuvveti.

ΔV^{i+1}: (i+1)'inci adımda taban kesme kuvveti.

İtme eğrisi, eksenlerde taban kesme kuvveti- en üst kat ötelemesinin aksine kat kesme kuvveti – kat ötelemesi olacak şekilde gösterilmiştir. Kat talepleri belirlenen dört tepki aşaması için elastik tepki spektrumu kullanılarak elde edilmiştir. Daha sonra itme eğrisinden bulunan kat kapasiteleri kat talepleri ile karşılaştırılarak yapının performansı değerlendirilmiştir.

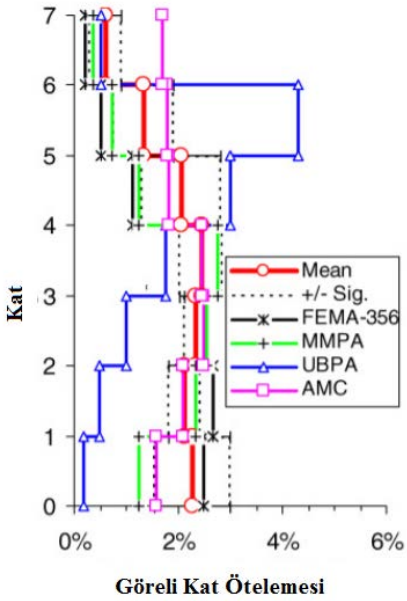
Bu metodunun geliştirilmiş versiyonu ise Gupta ve Kunnath (2000) sistemin anlık dinamik etkilerine bağlı olarak geliştirilmiş kuvvet modeline dayanan Spektruma Dayalı Uyarlanmış İtme Analizi (ASP-Adaptive Spectra-Based Pushover) önermişlerdir.

Kalkan ve Kunnath (2006) ATC 1996'da tanımlanan kapasite spektrumu, Gupta ve Kunnath (2000) tarafından önerilen spektruma dayalı uyarlanmış analiz yöntemi ve Chopra ve Goel (2002) tarafından önerilen uyarlanmış modal itme analiz yöntemindeki temel unsurları da dahil ederek, Uyarlanmış Modal Kombinasyon (AMC-Adaptive Modal Combination) yöntemini önermişlerdir. Bu yöntem, tekil modal itme analiz tepkilerini birleştirerek yüksek mod etkisini dikkate almış ve elastik olmayan bölgede değişen dinamik karakterlerin değişim etkilerini de değerlendirmiştir (Şekil 2.12).



Şekil 2.12 : n'inci moddaki ÇSDS'in kapasite eğrisinin enerjiye dayalı sistem ile gösterilişi.

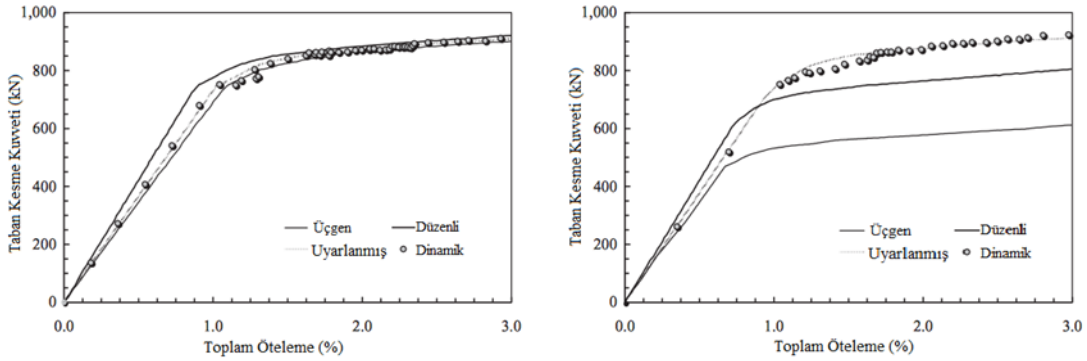
2007 yılında ise Kalkan ve Kunnath, AMC yönteminin doğruluğunu test etmek için 7 ve 20 katli betonarme bina ile 6 ve 13 katli çelik yapıyı MMPA (Chopra ve Chintanapakdee, 2004), Üst Sınır Artımsal İtme Analizi (Upper-Bound Pushover) (Jan, 2004) ve FEMA 356 (BBSC, 2000) yatay kuvvet dağılımı ile analiz etmiş ve sonuçlarını karşılaştırmıştır. (Adhikari ve Pinho, 2010) MMPA yönteminde kat ötelemeleri için iyi tahminlerde bulunduğu gözlenirken, plastik dönme talepleri için ortalama dinamik özelliklerinde sapmalar görülmüştür. AMC yöntemi dinamik tepki ortalamaları ile kıyaslandığında performans olarak en iyisi bulunmuştur (Şekil 2.13).



Şekil 2.13 : Doğrusal olmayan statik yöntemlerin göreli kat öteleme cinsinden karşılaştırılması (Kalkan ve Kunnath, 2007).

Deprem Mühendisliği'nin Temelleri (Elnashai ve Di Sarno, 2008) adlı yayında düzenli ve düzensiz yapılar için geleneksel ve uyarlanmış itme analizleri ve dinamik analiz yöntemi sonuçlarından elde edilen itme eğrileri Şekil 2.14'de görüldüğü gibi karşılaştırılmıştır. Uyarlanmış itmeler ivme spektrumlarının ölçeklendirilmesi ile yapılmıştır. Geleneksel yöntem için düzenli ve üçgen olarak iki yük modeli kullanılmıştır. Karşılastırma için zaman tanım alanında tepki analizi sonuçları da grafiklere dahil edilmiştir.

Sadece düzenli yapılar için, elastik olmayan bölgede yatay kapasitenin üst sınırını düzenli yük kabulü yapılan geleneksel yöntem oluşturmuştur. Düzensiz yapılarda ise, geleneksel itme analizi dinamik davranışı dikkate almakta çok yetersizdir, bu da sabit modelin nasıl yanıltıcı olduğunu göstermektedir. Bu çalışmada uyarlanmış itme yönteminin geleneksel yöntemlere göre çok daha iyi sonuçlar verdiği gösterilmiştir (Elnashai ve Di Sarno, 2008).



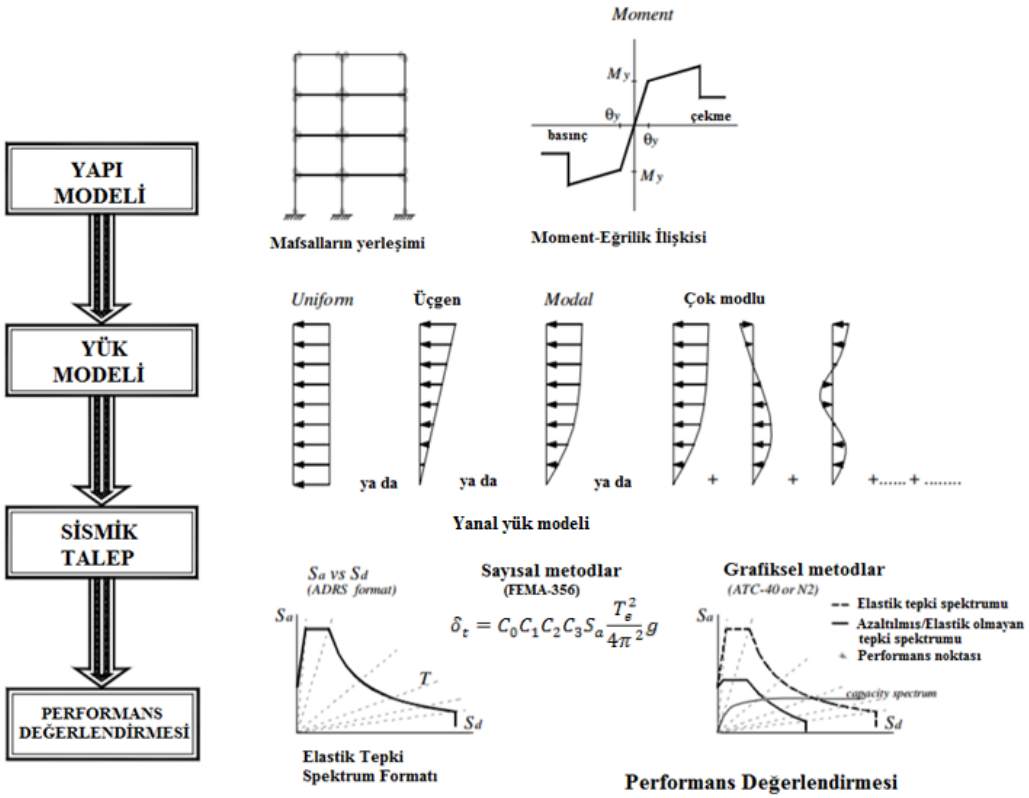
Şekil 2.14 : Solda düzenli, sağda düzensiz yapılar için geleneksel, uyarlanmış ve dinamik itme analizinden elde edilen itme eğrileri (Elnashai ve Di Sarno, 2008).

2.2.4 ATC 40 ve FEMA 356'da doğrusal olmayan statik itme metodu

Bu bölümde, ATC 40 ve FEMA 356'da yer alan statik itme analizi yöntemlerine yer verilmiştir. ATC 40 ve FEMA 356'da verilen hesap yöntemleri, plastik mafsal dönmelerinin hesabı açısından düzenli yapılarda makul sonuçlar verirken düzensiz yapılarda uygulandığında sonuçların daha iyi irdelenmesi gerekmektedir. ATC 40, FEMA 356 ve N2 yöntemindeki uygulama adımları Şekil 2.15'de gösterilmiştir.

- Plastik mafsal tanımı ve moment eğrilik ilişkisine dikkat edilerek yapı modellenmesi,
- Burulma ve düzensizliklerden kaynaklanan etkileri göz önünde bulundurularak yatay yük modeli belirlenmesi,

- Kapasite spektrum metodu ile sismik talebin hesaplanması,
- Performans değerlendirmesi.



Şekil 2.15 : Doğrusal olmayan statik itme analizi yöntemlerinin uygulama adımları (ATC 40, FEMA 356 , N2) (Bento ve diğ., 2004).

2.2.4.1 Kapasite Spektrum Metodu (ATC 40)

ATC 40 yöntemleri, elastik ötesi bir yapı sisteminin deprem etkisindeki deformasyonunu tahmin etmeye yönelik işlemleri içermektedir. Yöntemde yapıların deprem sonrası deformasyon talebini tahmin etmek için üç ayrı yaklasım getirilmektedir (Öncü ve Calayır, 2007).

Kapasite spektrum metodunun kullanımı için taban kesme kuvveti ve tepe deplasmanı olarak ifade edilen kapasite eğrisinin, ivme-deplasman tepki spektrum formatı (ADRS) ile ifade şekli olan kapasite spektrumuna dönüştürülmesi gereklidir.

Yöntem A:

1. % 5 sönüme karşı gelen bölgeye uygun elastik tepki spektrumu çizilir.
2. Kapasite eğrisi ivme-deplasman (A-D) formatında yeniden çizilerek kapasite spektrumuna dönüştürülür. Aynı grafikte %5 sönümlü tepki spektrumu da çizilir.
3. Maksimum deplasman, D_i, tahmini olarak seçilir. D_i ye karşılık gelen A_i spektral ivme değeri belirlenir.

4. Periyot ve sönüm oranı maksimum deplasman talebinin tahmininde başlangıç değeri D_i=D (T_n , ζ = %5) alınabilir.
5. En büyük deplasman talebi, kapasite eğrisinde akma anındaki deplasmana bölünerek süneklilik hesaplanır (μ= D_i / u_y).
6. Elastik olmayan sistemin eşdeğer sönüm oranı hesaplanır (denklem 2.4 ve 2.5).

$$\beta_{eff} = 0.05 + \kappa.\beta_0 \qquad \text{(Chopra, 1995)} \qquad (2.4)$$

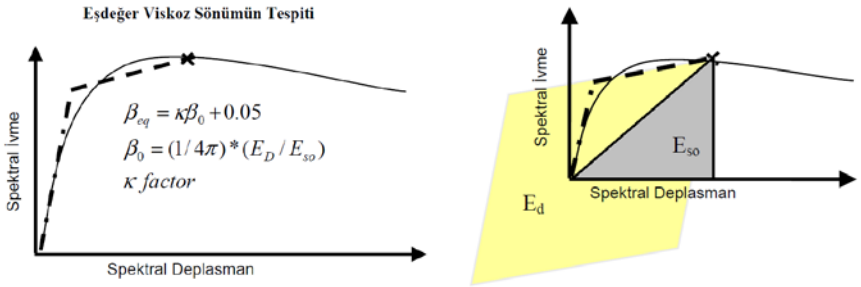
$$\beta_0 = \frac{1}{4\pi} * \frac{E_D}{E_{S0}} \qquad (2.5)$$

E_D : Bir çevrimde kaybolan toplam enerji.

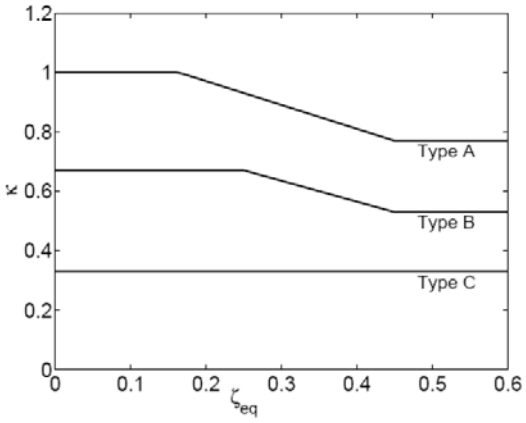
E_{S0} : Maksimum şekil değiştirme enerjisi.

β_0 : Eşdeğer viskoz sönümü gösteren çevrimsel sönüm (Şekil 2.16).

κ : Yapının çevrimsel davranışına bağlı olan sönüm düzeltme katsayısı (Öncü ve Calayır, 2007) (Şekil 2.17).



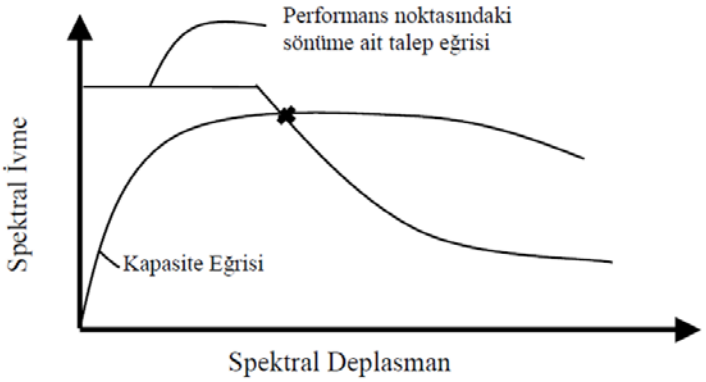
Şekil 2.16 : Eşdeğer viskoz sönümün tespiti (Erkan).



Şekil 2.17 : Yapının çevrimsel davranışına bağlı olan sönüm düzeltme katsayısının bulunması.

7. β_{eff} için elastik talep spektrumu çizilir.
8. Kapasite spektrumu ile aynı grafiğe talep spektrumu çizilir.

9. Seçilen performans noktasında talep spektrumunun kapasite spektrumunu kesişimi sağlanır. İki spektrumun birbirini kestiği D_j deplasmanı okunur (Şekil 2.18).
10. $(D_j-D_i)/Dj \leq 0.05$ ise deplasman talebi $D=D_j$ olur. Aksi durumda $D_i=D_j$ ile yeni performans noktası seçilir ve iterasyona devam edilir.



Şekil 2.18 : Talep spektrumunun kapasite spektrumu ile kesiştirilmesi.

Yöntem B:

1. Kapasite diyagramı çizilir.
2. Maksimum deplasman, D_i, tahmini olarak seçilir.
3. Periyot ve sönüm oranı maksimum deplasman talebinin tahmininde başlangıç değeri $D_i=D$ (T_n , ζ = %5) alınabilir.
4. En büyük deplasman talebi, kapasite eğrisinde akma anındaki deplasmana bölünerek süneklilik hesaplanır ($\mu= D_i / u_y$).
5. Denklem 2.4 ve 2.5'den β_{eq} hesaplanır.
6. Eşdeğer periyot T_{eq} hesaplanır (denklem 2.6).

$$T_{eq} = T_n \sqrt{\frac{\mu}{1+\alpha.\mu-\alpha}} \qquad (2.6)$$

7. Titreşim parametreleri T_{eq} ve β_{eq} olan TSDS'in süneklilik oranı $\mu= D_i / u_y$ hesaplanır.
8. D (T_{eq} , β_{eq}) maksimum deplasman ve A (T_{eq} , β_{eq}) ivme değeri hesaplanır.
9. Bulunan D ve A değerlerine ait koordinatlı nokta işaretlenir.
10. Bir önceki adımda bulunan nokta, daha önceden belirlenmis benzer noktalarla birlestirilerek olusturulan talep egrisinin kapasite diyagramını kesip kesmedigi kontrol edilir.
11. Eğer kesmiyorsa yeni bir deplasman değeri seçilerek iterasyona devam edilir.

12. Sistemin deplasman talebi her iki diyagramın kesişim noktası D değeridir (Öncü ve Calayır, 2007).

Yöntem C:

C yaklaşımı grafiksel çözüme dayanır. Bilgisayar uygulamalarına uygun ve analitik olan A ve B yöntemlerinin aksine elle çözüm için daha uygundur (Öncü ve Calayır, 2007).

2.2.4.2 Deplasman Katsayıları Yöntemi ile Talep Hesaplanması (FEMA Yöntemi)

Bu yöntem, kapasite ve talebin birbirine bağlı olması esasına dayanmaktadır. Ancak bu yöntemde, deplasman talebi grafik olarak değil, sayısal olarak belirlenmektedir.

Kapasite eğrisi belirlendikten sonra bu eğri idealize edilir. İdealize edilen bu eğri iki doğru ile ifade edilir, ilk doğrunun eğimi olan K_e elastik rijitliği gösterirken, ikinci doğrunun eğimi olan K_s elastoplastik rijitliği göstermektedir (Şekil 2.20).

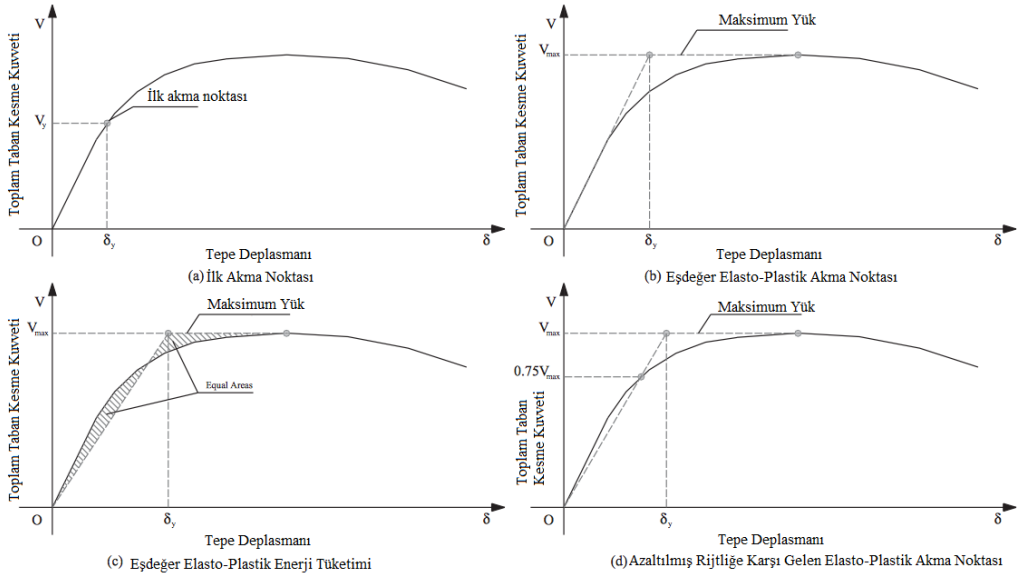
Bu eğri idealize edilirken, kapasite eğrisi ile bu eğriyi kesen iki doğrunun altında kalan alan ile üzerinde kalan alanın eşit olması gerekmektedir. Bununla ilgili olarak farklı kabuller yapılmıştır. Deprem Mühendisliği'nin Temelleri (Elnashai ve Di Sarno, 2008) adlı yayında FEMA 356'da bahsedilen akma noktasındaki deformasyonun elde edilmesi ile ilgili olarak farklı bir kabulden (Park, 1988) bahsedilmiştir. Bu kabule ihtiyaç duyulmasının sebebi, kuvvet-deformasyon ilişkisinden elde edilen deformasyon miktarını gösteren δ_u ve δ_y'nin her zaman açık olmaması; kiriş, kolon ve birleşim yerlerindeki plastik mafsal oluşumu ve doğrusal olmayan davranıştan dolayı, akma noktaları tam olarak tanımlanamamasıdır. Betonarme yapılarda, betonun çatlaması ve donatıların akmasından dolayı böyle bir kabule gerek duyulmuştur. Akma noktasına karşılık gelen akma deformasyonu ise şu şekilde tanımlanmıştır (Park, 1988).

a) İlk akmaya karşılık gelen deformasyon bulunur.

b) Gerçek sistemin maksimum kuvveti ve aynı elastik rijitlige sahip eşdeğer elasto-plastik sistemin akma noktasının birleştiği noktaya karşılık gelen deformasyon bulunur.

c) Gerçek sistemin aynı enerji tüketimine sahip eşdeğer elasto-plastik sistemin akma noktasına karşılık gelen deformasyon bulunur.

d) Azaltılmış rijitlik ile eşdeğer elasto-plastik sistemin akma noktasına karşılık gelen deformasyon, gerçek sistemin maksimum yatay kuvvetinin %75'inde oluşan ikincil rijitlik ile hesaplanır (Şekil 2.19) (Park, 1988).

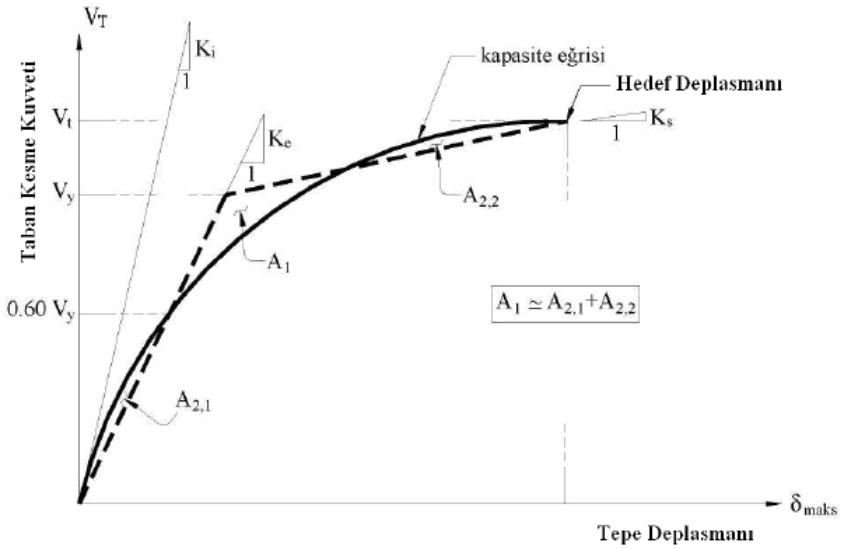


Şekil 2.19 : Akma deformasyonunun tanımı.

FEMA 356'da betonun çatlaması ve donatının akmasına bağlı olarak rijitlikteki azalış ise akma noktasındaki deformasyonun gerçek sistemde oluşan maksimum yatay kuvvetin %60'ında oluştuğu kabulune dayanmaktadır.

K_e etkili yatay rijitlik, kesme kuvvetinin yapının etkili akma dayanımının %60'ına eşit olduğu durumda hesaplanan ikincil rijitlik olarak alınabilir. Akma sonrası eğimi, α, hesaplanan hedef deplasmanda bilineerleştirilmiş doğru ile eğrinin keşistiği doğru parçasından hesaplanabilir. Etkili akma dayanımı eğrinin herhangi bir noktasındaki maksimum taban kesme kuvvetinden büyük alınamaz.

İdealleştirilen doğrular kullanılarak denklem 2.7 ile efektif periyot T_e ve ilgili düzeltme katsayıları kullanılarak denklem 2.8 ile deplasman talebi δ_{maks} (hedef deplasmanı) hesaplanır. Bu deplasman değerine kadar itilmiş yapının performansının değerlendirilmesi kapasite spektrum yönteminde olduğu gibidir (FEMA 356).



Şekil 2.20 : Deplasman katsayıları yöntemi ile performans noktasının belirlenmesi.

Bu yöntemde kullanılan işlem sıralaması aşağıdaki gibidir.

1- İki doğru ile ifade edilen kapasite eğrisi çizilir.

2- Etkin periyot, T_e hesaplanır (denklem 2.7).

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_I}{K_e}} \tag{2.7}$$

Burada;

T_i: Doğrusal dinamik analizden elde edilen yapı periyodu.

T_e : İki doğru ile temsil edilen kapasite eğrisinden hesaplanan etkin periyot.

K_i: Elastik yatay rijitlik.

K_s : Elastoplastik rijitlik.

K_e: Etkin yatay rijitliğidir.

3- Hedef yerdeğiştirme hesaplanır (denklem 2.8).

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g \tag{2.8}$$

Burada;

C_0: Eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemin spektral yerdeğiştirmesi ile çok serbestlik dereceli sistemin tepe noktası deplasmanı arası ilişkiyi kuran katsayıdır (Çizelge 2.2).

C_1 : Binanın doğrusal ve doğrusal olmayan davranışları sırasında ortaya çıkan yer değiştirmeler arasındaki farkla alakalıdır (denklem 2.9 ve denklem 2.10).

$$T_e \geq T_B \text{ ise } C_1 = 1 \tag{2.9}$$

$$T_e \leq T_B \text{ ise } C_1 = \left[1 + (R-1)\frac{T_B}{T_e}\right]/R \tag{2.10}$$

T_B (T_o) : Davranış spektrumunda, sabit ivme kısmından sabit hız kısmına geçiş noktasındaki karakteristik periyot.

R : Dayanım azaltma katsayısıdır (denklem 2.11).

$$R = \frac{S_a}{V_y/W}\frac{1}{C_0} \tag{2.11}$$

C_2 : Histerik çevrimdeki kuvvet artımsız yer değiştirme (pinching) etkisini dikkate alınır. Kuvvet artımsız yer değiştirme etkisinin fazla olması yapının enerji yutma kapasitesini düşürmektedir (Çizelge 2.3).

C_3 : İkinci mertebe etkilerin dikkate alındığı katsayıdır.Akma sonrası rijitliğin pozitif olduğu yapılarda 1, negatif olduğu yapılarda denklem 2.12 yardımıyla hesaplanır.

$$C_3 = 1 + \frac{|\propto|(R-1)^{2/3}}{T_e} \tag{2.12}$$

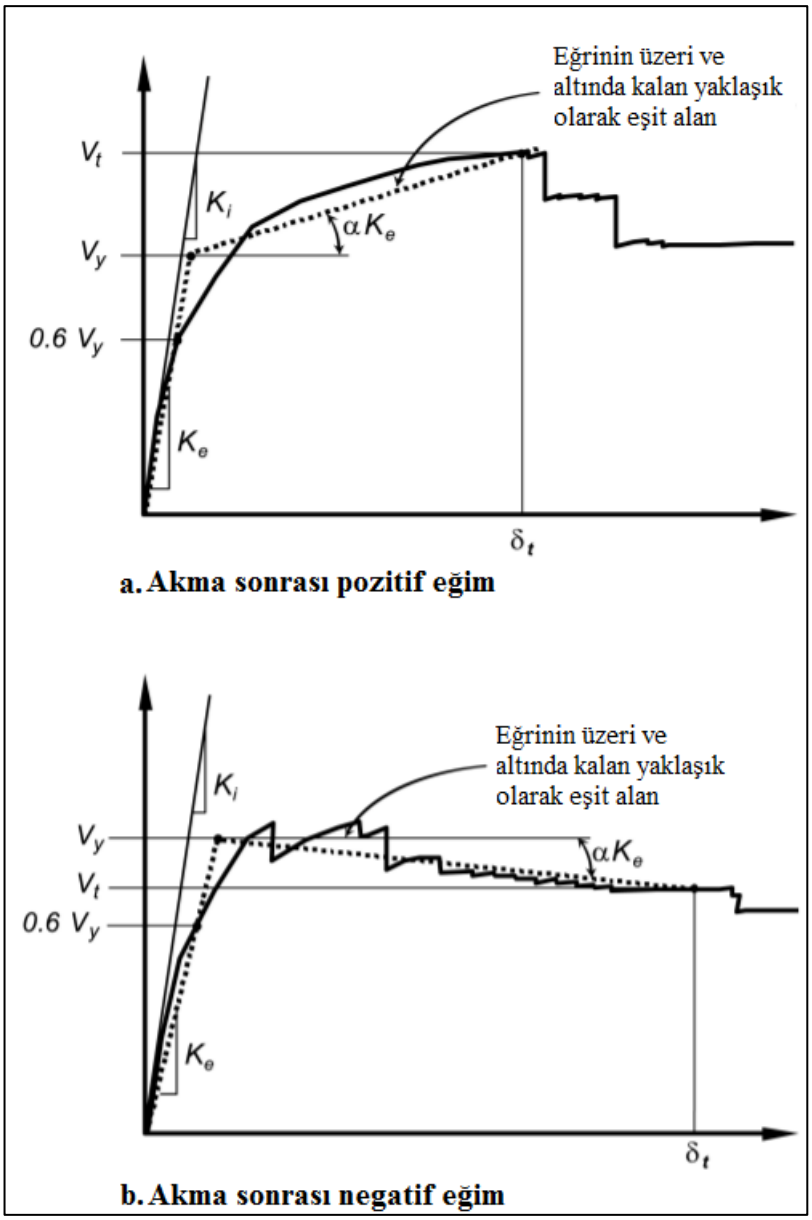
α : Akma sonrası idealize edilen eğrinin eğimi (Şekil 2.21).

Çizelge 2.2 : C_0 Düzeltme katsayısı.

C_0 Düzeltme Katsayısı			
Kat Sayısı	**Perdeli Yapılar**		**Diğer Yapılar**
	Üçgen Yük Modeli	**Üniform Yük Modeli**	**Tüm Yük Modelleri**
1	1.0	1.0	1.0
2	1.2	1.15	1.2
3	1.2	1.2	1.3
5	1.3	1.2	1.4
10+	1.3	1.2	1.5

Çizelge 2.3 : C_2 Düzeltme Katsayısı.

C_2 Düzeltme Katsayısı				
Yapısal Performans Seviyesi	**$T \leq 0.1$**		**$T \geq T_s$**	
	Tip 1 Çerçeve	**Tip 2 Çerçeve**	**Tip 1 Çerçeve**	**Tip 2 Çerçeve**
Hemen Kullanım	1.0	1.0	1.0	1.0
Can Güvenliği	1.3	1.0	1.1	1.0
Göçmenin Önlenmesi	1.5	1.0	1.2	1.0



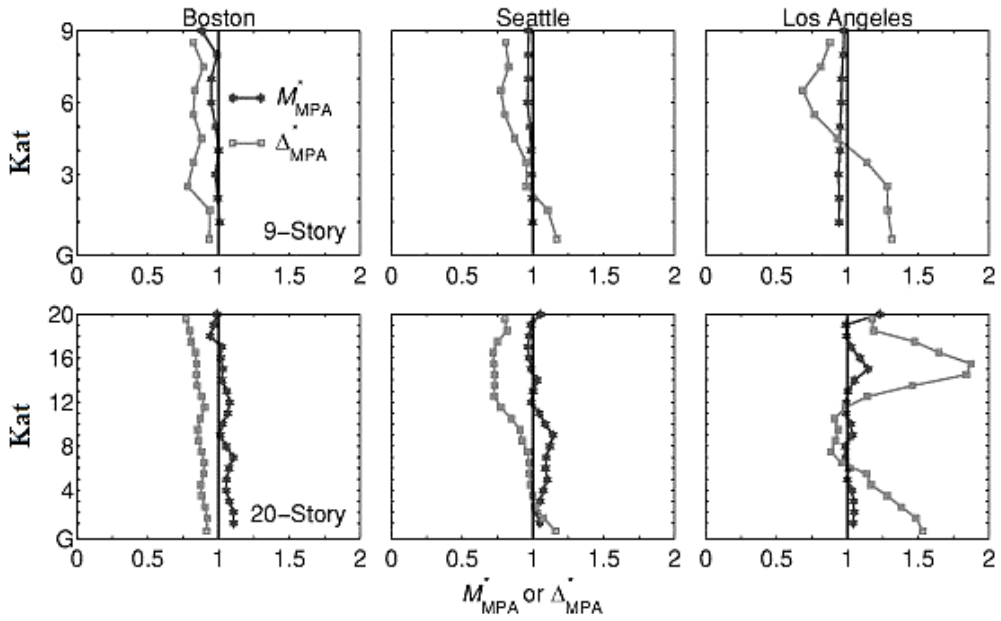
Şekil 2.21 : İdealize edilmiş kuvvet-deplasman eğrisi.

2.3 Anılan Yöntemlerde Mod Birleştirme Yönteminin Uygulanması

İtme analizi algoritması, etkiyen kuvvet vektörünü hesaplamak için mod şekillerini kullanan ve final tepkilerini elde etmek için modların katılımlarını birleştirilen SRSS ve CQC kuralını kullanır. Bu kuralı uygulayan yöntemler mod birleştirme kuralı uygulanan itme analizi olarak adlandırılır.

Elastik modal tepkilerin birleştirilmesi ile yapılan bu mod birleştirme yöntemi ilk olarak 1981 yılında Wilson tarafından savunulmuştur. Daha sonraları ise Chopra ve Goel 2002 yılında tekil modal tepkilerin birleştirilmesini ve yöntemleri Antoniou ve

Pinho tarafından, Penelis ve Kappos tarafından ise kat kuvveti gibi modal tepki hareketlerinin birleştirilmesi gibi geliştirmeler yapmıştır (Adhikari ve Pinho, 2010).
Son olarak da Goel ve Chopra 2005 yılında MPA yöntemine kat öteleme profilinden yerel tepkileri hesaplayan ek adımlar ekleyerek Şekil 2.22'de görülüğü gibi değişikliğe gitmiştir (Goel ve Chopra, 2005).



Şekil 2.22 : MPA yöntemi ile hesaplanan plastik mafsaldaki eğilme moment oranı ve kat ötelemesi oranı (Goel ve Chopra, 2005).

Kalkan ve Kunnath 2006 yılında tepe deplasmanı yerine enerjiye dayalı deplasman artışını ve özgün sabit modelin yerine uyarlanmış yük modelini dikkate alarak MPA yöntemini daha da ileri götürmüşlerdir. Bu geliştirilmiş yöntem kısıtlı durumlar için de olsa hala yaklaşık ve geçerli sonuçlar vermektedir. Dönme hareketinden kaynaklı ötelenmenin olduğu planda simetrik olmayan durumları da içine alabilmesi için bu yöntemin geliştirilmesi gereklidir (Kalkan ve Kunnath, 2006).

2.4 N2 Metodu

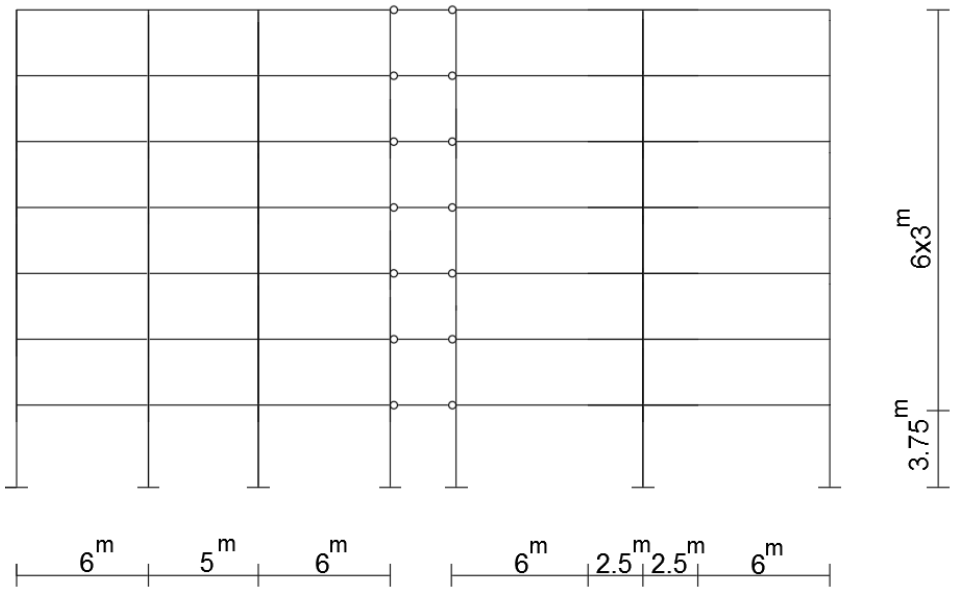
Bu tez kapsamında uygulanan N2 ve geliştirilmiş N2 metodları ile ilgili bugüne kadar yapılan çalışmalar şu şekildedir;
Yöntem 1980'lerin ortalarında geliştirilmeye başlanmıştır. İlk olarak 1987 ve 1989 yılları arasında Fajfar ve Fischinger tarafından ortaya atılmıştır.
Düzenli Yapıların N2 Metodu ile Doğrusal Olmayan Sismik Analizi (Fajfar ve Fischinger, 1988) adlı makalede N2 metodu anlatılmaktadır. Makalede yöntemin

temel amacı, düzenli binalarda doğrusal olmayan davranışı dikkate alan analiz yöntemlerinin tatbik edilmesinin diğer yöntemlere görece olarak kolay bir yöntemini sunmak olarak açıklanmaktadır. Yöntemde yapının hakim periyodu dikkate alınarak değerlendirme yapılmaktadır.

Yapıların geleneksel tasarımında kullanılan yöntemlerde, yapının rijitliği, dayanımı, sünekliği ve maruz kalınması beklenen tasarım depreminin kapasite talebi temel parametreler olarak ortaya çıkmaktadır. Bu yöntemler geniş olarak deprem yönetmeliklerinde kullanılmaktadır. Bu analiz yöntemlerinde (eşdeğer yanal yük uygulaması ve spektral modal analizler) temel varsayım yapının doğrusal elastik davranış gösterdiği şeklindedir. Ancak bu varsayım yapı davranışlarını çözümlemede yetersiz kalmaktadır. Bu ihtiyacı karşılamak üzere kullanılan, doğrusal olmayan davranışı dikkate alan çözümlemeler de çok serbestlik dereceli sistemlerde, zaman ve matematik modelin kurulması bakımından pratiklikten uzaktır.

Makalede N2 metodu uygulanırken iki değişik matematik model (ÇSDS ve TSDS) ve üç adımda tatbik edilen bir analiz yöntemi uygulanmaktadır. Bu yöntem, ilk defa Saiidi ve Sozen tarafından 1981 yılında geliştirilen Q modelden etkilenerek başlatılmıştır (Saiidi ve Sozen, 1981). Analizin birinci adımında çok serbestlik dereceli sistemin monoton artan yanal yük etkisi altında rijitliği, dayanımı ve sünekliği belirlenir. İkinci adımda çok serbestlik dereceli sistem eşdeğer tek serbestlik dereceli sisteme indirgenir. Bu indirgenme işleminde en önemli varsayım, deformasyon şeklinin deprem etkisi altında sabit kaldığıdır. Eşdeğer sistemin doğrusal olmayan karakteristiği ilk adımda yapılan doğrusal olmayan analizden elde edilen taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirme ilişkisine dayanmaktadır. N2 metodunun üçüncü adımında maksimum yer değiştirme (süneklilik talebine bağlı olarak) eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemin doğrusal olmayan dinamik analizi ile bulunur.

Yine bu çalışmada yer alan örnek uygulamada yedi katlı betonarme bina kullanılmıştır. Yapının çok serbestlik dereceli matematik modeli Şekil 2.23'de gösterilmektedir.



Şekil 2.23 : Çok serbestlik dereceli sistemin matematik modeli
(Fajfar ve Fischinger, 1988)

İlk olarak Şekil 2.23'de matematik modeli verilen yapı üzerinde DRAIN-2D (Kanaan ve Powell, 1973) programı kullanılarak doğrusal olmayan statik analiz yöntemi uygulanmıştır. Bu analiz sonucunda, çok önemli olan taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirme grafiği elde edilmiştir. Buradan hareketle üç önemli yapısal parametre olan rijitlik, dayanım ve yer değiştirmesi tahmin edilebilmektedir. Analizde kullanılan yük dağılımı ters üçgen olarak seçilmiştir.

İkinci adım olarak sistem tek serbestlik dereceli sisteme indirgenmiştir. Bu işlem için sistemin yerdeğiştime şekli {Φ} tahmin edilmiş, deformasyon şekli {Ψ} deprem esnasında sabit kabul edilmiştir. Aşağıda verilen denklemler uygulanarak tek serbestlik dereceli sistemin taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirme ilişkisi bulunmuş olur.

$$m^* \ddot{u}^* + Q^* = -m^* \ddot{u}_g \tag{2.13}$$

$$m^* = \sum m_i \, \Phi_i \tag{2.14}$$

$$Q^* = \frac{\sum \Psi_i \Phi_i}{\sum \Psi_i} Q \tag{2.15}$$

$$u^* = \frac{\sum m_i \Phi_i^2}{\sum m_i \, \Phi_i} u \tag{2.16}$$

Burada;

m_i : i'nci katın kütlesi.

m* : Genelleştirilmiş kütle.

Q : Taban kesme kuvveti.

u : Tepe deplasmanı.

u* : TSDS'in maksimum göreli deplasmanı.

$ü_g$: Yer hareketi ivmesi.

Uygulamanın devamında eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemin, adım adım integrasyon yapılarak, doğrusal olmayan zaman tanım alanında dinamik analizi yapılmıştır. Bu analiz sonucunda eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemin taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirme ilişkisinden geriye dönülerek bu sefer çok serbestlik dereceli sistemin grafiği elde edilmiştir. Bu analizde iki yükleme yapılmış (Test yükü ve El Centro deprem kaydı) ve bu yüklemelere karşılık gelen tepe deplasman değerleri bulunmuştur.

Tepki spektrum analizinde hakim periyodu orta periyot aralığına denk düşen tek serbestlik dereceli sistemin maksimum göreli yer değiştirmesi bulunmuştur. Daha sonra tek serbestlik derecesi için bulunan değer gerekli büyütme katsayısı göz önüne alınarak çok serbestlik dereceli sistemin maksimum yerdeğiştirmesi elde edilmiştir.

$$u^* = 0.17 v_g t_D^{0.25} T \tag{2.17}$$

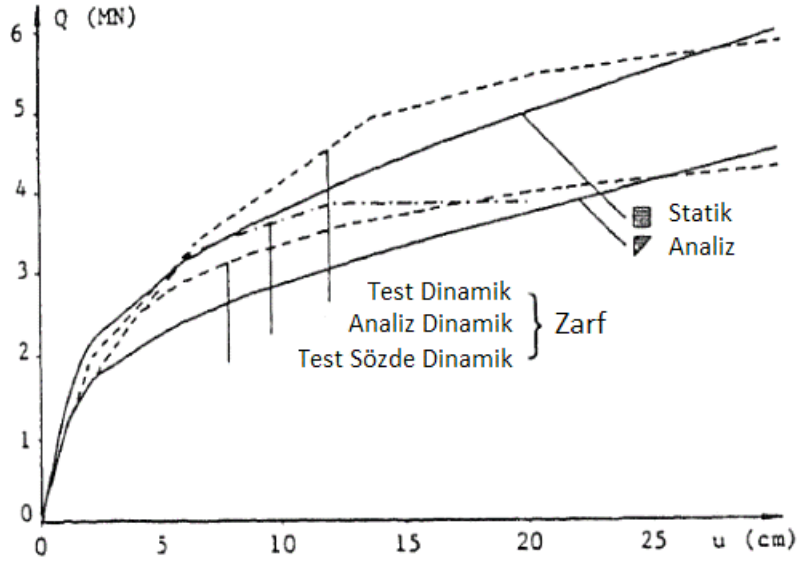
T : Yapının doğal periyodu (s)

v_g : Yer hareketinin maksimum hızı (cm/s)

u* : TSDS'in maksimum göreli deplasmanı (cm)

t_D : Kuvvetli yer sarsıntısının süresi (s)

Sonuçlar karşılaştırılarak, taban kesme kuvveti - tepe deplasman (Q - u) grafiği olarak gösterilmiştir. Yüksek mod etkisinin tepe deplasmanından daha çok taban kesme kuvveti için kritik olduğu gözlenmiştir (Şekil 2.24). N2 metodunun, tek serbestlik dereceli sisteme indirgenebilen düzenli yapıların geleneksel tasarımında kullanılan doğrusal olmayan analiz yöntemleri için uygulanabilir olduğu görülmüştür.



Şekil 2.24 : Taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirmesi (Fajfar ve Fischinger, 1988).

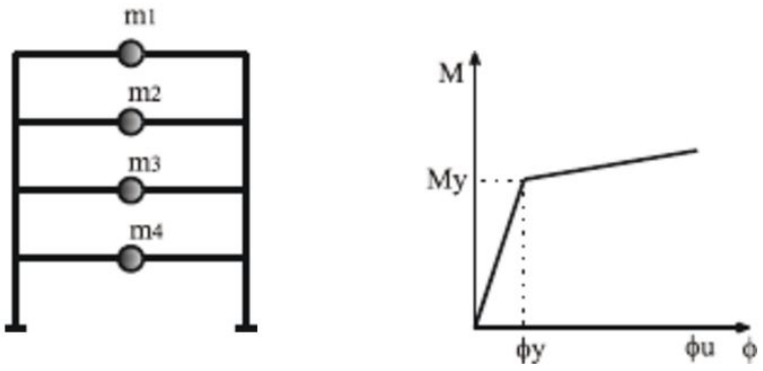
Betonarme Yapıların Sismik Analizinde N2 Metodu (Fajfar ve Gaspersic, 1996) adlı makalede N2 metodu daha kapsamlı olarak ele alınmaktadır. Doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz yöntemi, çok serbestlik dereceli sistemler (ÇSDS) için günlük tasarımda kullanılabilecek pratiklikte değildir. Geleneksel tasarımda kullanılan yöntemlerde ve uygulanan yönetmeliklerde de dayanılan temel varsayım yapının doğrusal elastik davranış gösterdiği şeklindedir. Bu yaklaşım da yapı davranışını tam olarak ifade etmekte eksik kalmaktadır.

N2 metodunun amacı, olabildiğince pratik bir yaklaşımda bulunarak güvenilir sonuçlar elde etmektir. Temel kabul olarak tepki spektrumu analizi ve doğrusal olmayan statik analiz yöntemlerinde iki farklı matematik model uygulanarak kümülatif hasarın dahil olduğu bir hasar modeli seçmektir. Yöntem yaptının hakim periyodu dikkate alındığında güvenilir sonuçlar vermektedir.

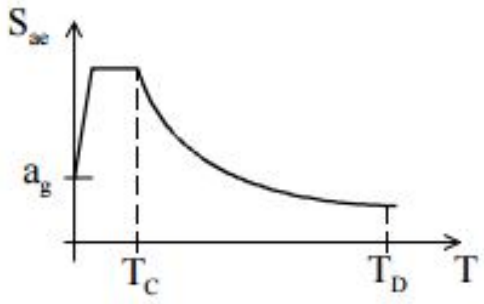
Örnek uygulamada yedi katlı kolon ve perdelerden oluşan çerçeve sistemli betonarme test yapısı kullanılmış, bu yapıdan perdelerin çıkarılması ve ilk katın zayıf olarak tasarlanması sonucu toplamda üç farklı model elde edilmiştir.

Metodun uygulanmasındaki temel adımlar aşağıdaki gibi özetlenmektedir;

1. Veri
    a) Yapı (Moment-Eğrilik ilişkisi dahil) (Şekil 2.25).
    b) Elastik ivme spektrumu (Şekil 2.26).

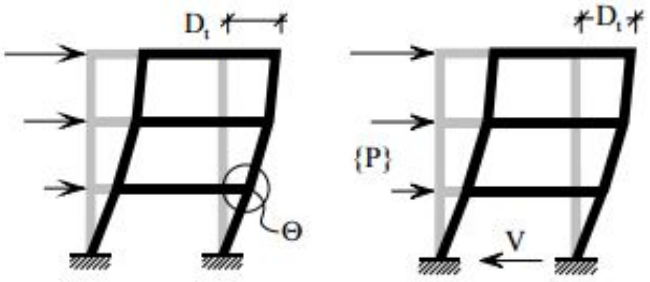


Şekil 2.25 : Yapı ve moment-dönme ilişkisi (Fajfar ve Gaspersic, 1996).



Şekil 2.26 : Elastik ivme spektrumu (Fajfar ve Gaspersic, 1996).

2. Sabit artan yük altında ÇSDS'in doğrusal olmayan statik ("İtme") analizi
   a) Yer değiştirme şeklinin {Φ} tahmini (Şekil 2.27).
   b) Yanal yüklemenin düşey dağılımının belirlenmesi {P}=[M]{Φ}(Şekil 2.27).
   c) İtme analizi sonucunda taban kesme kuvveti (V) - tepe yer değiştirmesi (D_t) ilişkisinin belirlenmesi.



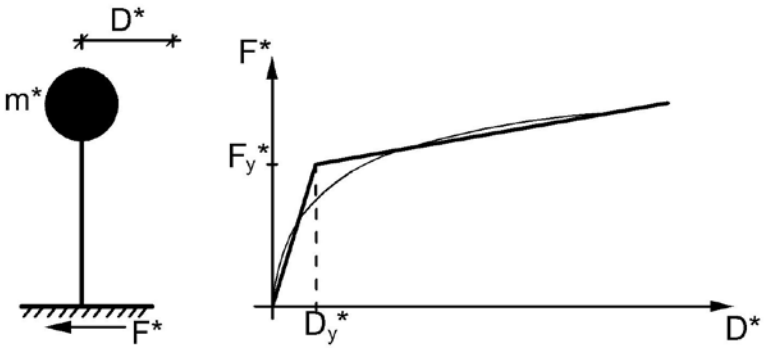
Şekil 2.27 : Yer değiştirme şekli ve yanal yüklemenin düşey dağılımı grafiği (Fajfar ve Gaspersic, 1996).

3. Eşdeğer TSDS indirgenmesi
   a) ÇSDS parametrelerinin TSDS parametrelerine dönüşümü.
   b) Kuvvet-yer değiştirme ilişkisinin iki doğru ile ifadesinin tahmini (Şekil 2.28).

c) Kuvvet – yerdeğiştirme eğrisinin iki doğru ile ifade edilmesinden elde edilen F_y^*, ve buna karşılık gelen yer değişimi D_y^* ve periyodunun T^* bulunması (Şekil 2.28).

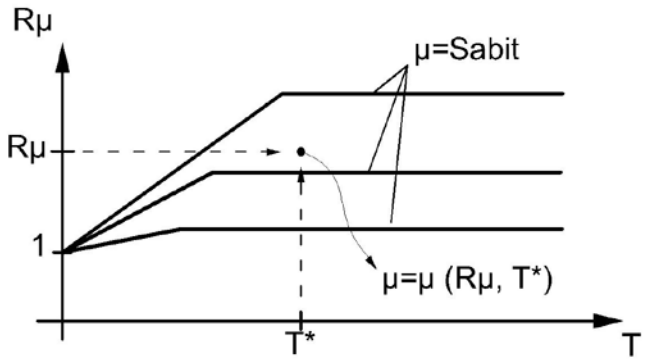
$$k^* = \frac{F_y^*}{D_y^*} \tag{2.18}$$

$$T^* = 2\pi\sqrt{m^*/k^*} \tag{2.19}$$



Şekil 2.28 : Kuvvet-yer değiştirme ilişkisinin iki doğru ile ifadesi (Fajfar ve Gaspersic, 1996).

4. Eşdeğer TSDS'in sismik talebinin bulunması
   a) Sünekliliğe bağlı azaltma katsayısı (R_μ) belirlenir.
   b) Yer değiştirme süneklilik talebi (μ) azaltma katsayısı (R_μ) spektrumuna göre bulunur (Şekil 2.29).
   c) D_y^* yerdeğiştirmesi ile Şekil 2.29'daki spektrumdan elde edilen R_μ azaltma katsayısı çarpılarak, yer değiştirme talebi (D^*) belirlenir.



Şekil 2.29 : Yer değiştirme süneklilik talebi (μ) azaltma katsayısı (R_μ) ilişki grafiği (Fajfar ve Gaspersic, 1996).

5. ÇSDS'in global sismik talebi bulunur
   a) TSDS'in yer değiştimesi ÇSDS'in tepe yer değiştirmesine dönüştürülür.

$$D_t = \frac{D^*}{c} \tag{2.20}$$

$$c = \frac{\{\Phi\}^T[M]\{\Phi\}}{\{\Phi\}^T[M]\{1\}} \tag{2.21}$$

$$R^* = cR \tag{2.22}$$

R*: Eşdeğer tek serbestlik dereceli sistem parametresi.

R : Çok serbestlik dereceli sistem parametresi.

D_t : ÇSDS'in tepe yer değiştirmesi.

D^* : TSDS'in yer değiştirmesi.

c : Modal katılım faktörü.

6. Yerel sismik talebin bulunması (ikinci adımdan faydalanarak bulunur)
   a) Bulunan tepe deplasmanına göre ÇSDS itme analizi uygulanır.
   b) Tüm yerel nicelikler belirlenir (dönme ve göreli kat ötelemeleri).

Yukarıda özetlenen adımlar içerisinde görülmektedir ki, N2 metodun uygulaması sırasında en temel varsayım zamandan bağımsız yanal deplasman şeklinin kabulüdür. Hakim olan tek modun çözümde kullanılması ile birlikte metodun uygulamasında belirli limitler gelmektedir. Yumuşak kat veya planda düzensizlik durumları için bu standart N2 metodu sağlıklı sonuçlar verememektedir (Fajfar, 1996).

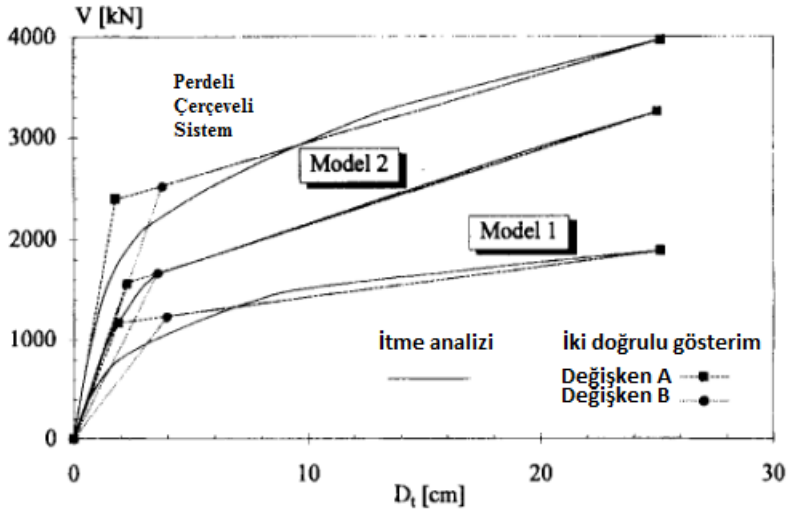
Fajfar ve Gaspersic makalesinde kullanılan deprem kayıtları Çizelge 2.4'de gösterilmektedir. Örnek uygulamada 4 tip analiz yönteminden bahsedilmektedir. İlk olarak N2 metod seviye 1 olarak adlandırılmakta ve yapılacak olan diğer çözümler bu metodun doğruluğunu ortaya koymak için uygulanmaktadır. Eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemin, doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizi sonucu bulunan deplasman ve çevrimsel enerji talebinin çok serbestlik dereceli sistemin parametrelerine çevrilmesi seviye 2 olarak adlandırılmaktadır. Doğrusal olmayan statik (itme) analizi seviye 3 olarak adlandırılmaktadır. Sabit artan yanal yük altında hedef tepe deplasmanına kadar (seviye 4 olarak geçen doğrusal olmayan zaman tanım alanında çözüm yönteminde de bulunan tepe deplasmanı) itilmesiyle yapılmaktadır.

Çizelge 2.4 : Deprem kayıtları ifadesi (Fajfar ve Gaspersic, 1996).

İvme kaydı	a_g (cm/s²)	v_g (cm/s)	d_g (cm)	t_D (s)	$\int \ddot{u}_g^2 dt$ (cm²/s³)	Ölçeklendirme katsayısı	
						Perdeli Çerçeveli Sistem	Çerçeveli Sistem
El Centro S00E	342	33·5	10·9	24·0	111000	1·95	1·50
Bar EW	353	52·0	15·1	15·2	174200	0·92	0·72
Llolleo N10E	640	41·1	14·2	34·7	940000	1·60	1·30

Yukarıda özeti verilen adımların uygulanması sonucu kesin çözümler Çizelge 2.4'de verilen kayıtlar kullanılarak yapılan doğrusal olmayan zaman tanım alanında çözüm ile bulunur.

Yapıların taban kesme kuvveti-tepe deplasman eğrileri ve idealizasyonları Şekil 2.30'da verilmiştir.



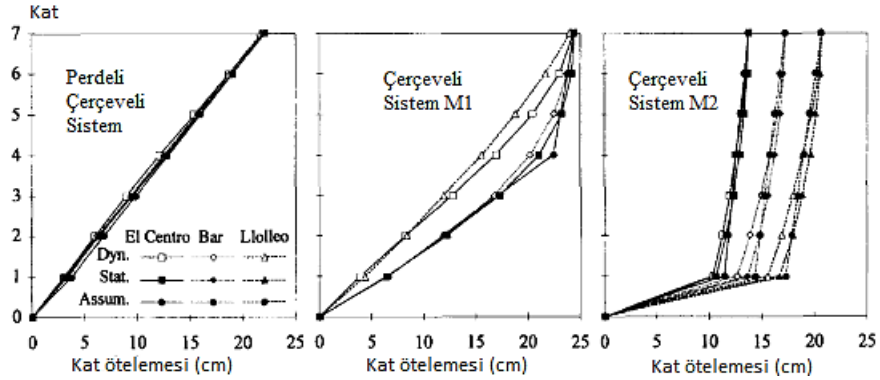
Şekil 2.30 : Taban kesme kuvveti-tepe deplasman grafiği ve idealizasyon (Fajfar ve Gaspersic, 1996).

Analiz sonucunda elde edilen veriler Çizelge 2.5, Şekil 2.31 ve Şekil 2.32'de gösterilmektedir.

Genel sismik talep (tepe deplasman D_t, taban kesme kuvveti V, çevrimsel enerji E_H), N2 metodu seviye 1 olarak ifade edilir. A ve B değişik başlangıç (elastik) rijitlik tahminleridir (Çizelge 2.5).

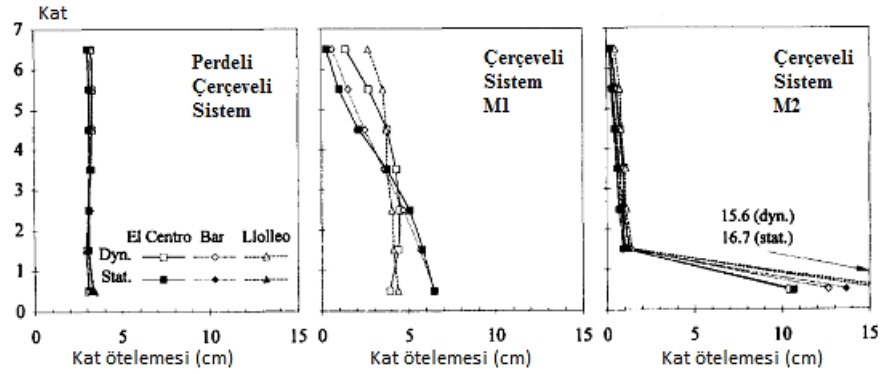
Çizelge 2.5 : Analiz sonucu verileri (Fajfar ve Gaspersic, 1996).

Yapı	Yer Hareketi	Analiz seviyesi değişken	D_t (cm)	V (kN)	E_H (kN m)
Perdeli Çerçeveli Sistem	1·95 El Centro	4	21·9	5010	1451
		3	21·9	3790	1451
		2-A	23·6	3870	1433
		2-B	25·4	3990	1446
		1-A	16·8	3410	1454
		1-B	19·9	3620	1223
	0·92 Bar	4	22·0	3910	1033
		3	22·0	3790	1033
		2-A	20·7	3660	1121
		2-B	24·8	3950	1212
		1-A	11·9	3080	1040
		1-B	16·0	3360	1024
	1·60 Llolleo	4	21·7	5570	4512
		3	21·7	3780	4512
		2-A	23·0	3830	2539
		2-B	28·0	4160	2554
		1-A	25·9	4020	5970
		1-B	27·8	4150	4936
Çerçeveli Sistem-Model 1	1·50 El Centro	4	24·4	1550	698
		3	24·4	1870	698
		2-A	19·6	1630	576
		2-B	21·8	1780	573
		1-A	15·3	1580	574
		1-B	21·6	1780	642
	0·72 Bar	4	24·3	1930	475
		3	24·3	1870	475
		2-A	21·7	1780	423
		2-B	26·2	1920	439
		1-A	15·3	1580	615
		1-B	18·5	1680	440
	1·30 Llolleo	4	24·0	1930	1996
		3	24·0	1870	1996
		2-A	18·3	1610	887
		2-B	21·3	1740	858
		1-A	22·6	1810	2340
		1-B	31·9	2090	2463
Çerçeveli Sistem-Model 2	1·50 El Centro	4	13·7	2390	857
		3	13·7	2440	857
		2-A	14·1	2440	811
		2-B	15·0	2510	746
		1-A	14·6	2480	734
		1-B	17·9	2730	793
	0·72 Bar	4	17·2	2600	659
		3	17·2	2700	659
		2-A	18·6	2780	647
		2-B	20·1	2890	605
		1-A	12·9	2360	648
		1-B	15·3	2540	585
	1·30 Llolleo	4	20·6	2850	1925
		3	20·6	2960	1925
		2-A	21·2	2970	1647
		2-B	21·8	3020	1573
		1-A	21·6	3000	3009
		1-B	26·4	3360	3166



Şekil 2.31 : Normalize edilen tepe deplasman grafiği (Fajfar ve Gaspersic, 1996).

Şekil 2.31'deki deplasmanlar dinamik (seviye 4) ve itme (seviye 3) analizleri ile tahmin edilen deplasman şekline göre maksimum statik tepe deplasmanının normalize edilmesiyle bulunmuştur.



Şekil 2.32 : Kat öteleme grafiği (Fajfar ve Gaspersic, 1996).

Şekil 2.32'de verilen kat ötelemeleri dinamik (seviye 4) ve itme (seviye 3) analizlerinden elde edilmiştir.

Çizelge 2.5'de gösterilen değerlere göre, N2 metodu yapının sismik talebini belirlemede başarılı olmuştur. Çizelgeye bakıldığında, açık bir şekilde zayıf katı etkisi 2. modelde kendisini göstermiştir. Ayrıca yapıların düzenli olduğunda N2 metodunun daha sağlıklı sonuçlar verdiği görülmektedir.

Sismik Hasarın Değerlendirilmesinde Kolaylaştırılmış Doğrusal Olmayan Yöntem (Fajfar, 1997) adlı makalesiyle N2 metodu üzerine çalışmalarını sürdürmüştür. Makalede o tarihlerde meydana gelen 1995 Kobe, 1994 Northridge ve 1989 Loma Prieta depremlerine atıfta bulunarak yapıların depreme dayanıklı olarak tasarımının kabul edilemez şekilde yetersiz olduğunu, bunun sonucunda büyük ekonomik kayıpların meydana geldiği, iş hayatının kesintiye uğradığını ifade edilmektedir. Tasarımda yerdeğiştirme talebinin ve elastik olmayan davranışın birleşiminden yola

çıkılarak belirli deprem yükleri altında yapı davranışının daha net ortaya konulması üzerine çalışmaların yoğunlaştığından bahsedilmiştir.

Fajfar (1997) incelenen N2 yönteminin hakim periyot dikkate alınarak uygulandığından ve varsayımlarından bahsederek sonrasında test örneği çözümünü paylaşarak sonuçları değerlendirmiştir.

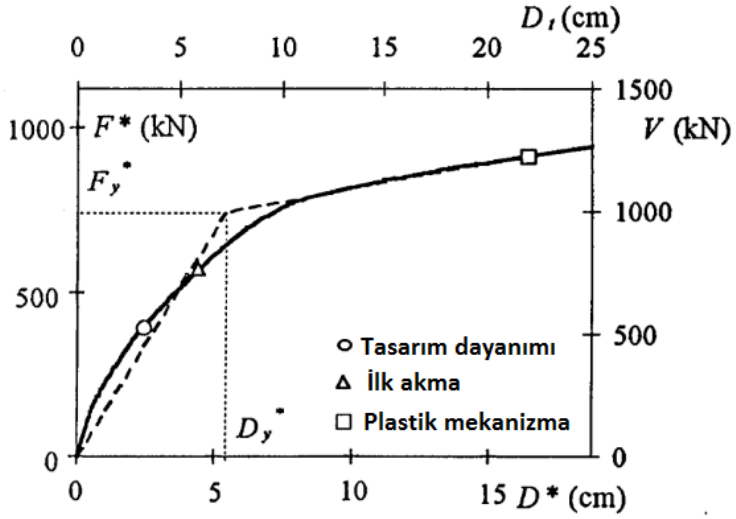
Analizinde kullandığı yapı dört katlı betonarme çerçeve sistemdir. Yapının tam ölçekli sözde dinamik testi Yapısal Değerlendirme için Avrupa Laboratuarı (European Labarotory For Structural Assessment) bünyesinde yapılmıştır. Yapının tasarımı sönüm oranı %5, maksimum yer ivmesi 0.6g ve orta zemin durumu (medium soil conditions) için yapılmıştır.

Analiz aşamasında yapının öncelikle kütle matrisi [M] çıkarılır ve deplasman şekli {Φ} tahmin edilir. Sonraki adımda {P}=[M]{Φ} denklemi ile yük matrisi {P} bulunur. Burada bulunan yük matrisi en üst katta "1" olacak şekilde normalize edilir.

$$\Phi^T = [0.28 , 0.52 , 0.76 , 1.00]$$

$$P^T = [0.293 , 0.539 , 0.787 , 1.00]$$

Bulunan yük matrisi kullanılarak çok serbestlik dereceli sistem (ÇSDS) doğrusal olmayan statik (itme) yöntemiyle analiz edilir. Bu analiz sonucunda yapının taban kesme kuvveti-tepe deplasman grafiği bulunur (Şekil 2.33). Bu grafiğin iki doğrulu ifadesiyle eşdeğer tek serbestlik dereceli sisteme geçilir.



Şekil 2.33 : Taban kesme kuvveti-tepe deplasman ilişkisi ve eşdeğer TSDS parametreleri kuvvet ve deplasman (Fajfar, 1997).

Eurocode 8'e göre zemin sınıfı B için köşe periyot T_c bulunur. Denklem 2.23 ve denklem 2.24 ile T^*, indirgenmiş TSDS'in periyodu, bulunduktan sonra T^* ve T_c

değerleri karşılaştırılır. Bu $T^*>T_c$ koşulu sağlandığı için denklem 2.25 ile bulunan sünekliliğe bağlı azaltma katsayısı (Rμ) ile yer değiştirme süneklilik talebi (μ) eşit alınır.

$$k^* = \frac{F_y^*}{D_y^*} \tag{2.23}$$

$$T^* = 2\pi\sqrt{m^*/k^*} \tag{2.24}$$

$$R\mu = \frac{m^* A_e}{F_y^*} \tag{2.25}$$

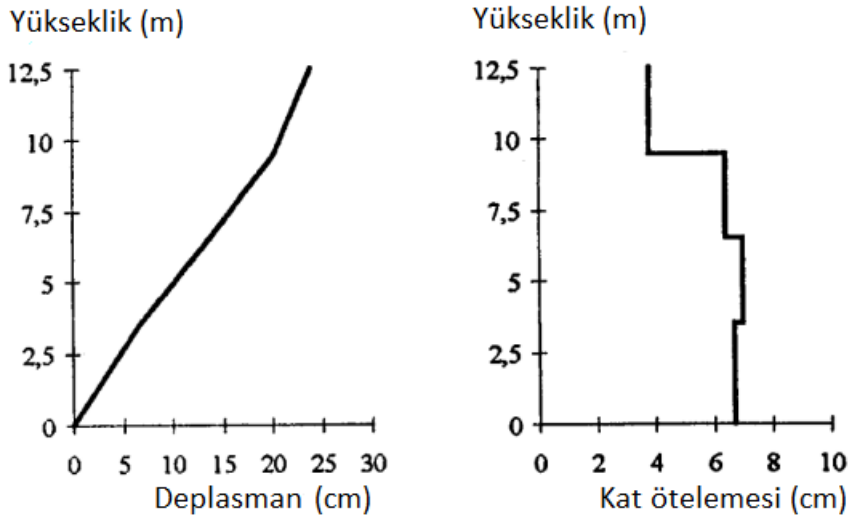
A_e : Elastik ivme spektrumu.

Bütün bu işlemlerin sonucunda, TSDS'in hedef deplasman değeri ($D^*=\mu D_y^*$) elde edilmiş olur (denklem 2.26).

$$c = \frac{\{\Phi\}^T[M]\{\Phi\}}{\{\Phi\}^T[M]\{1\}} \tag{2.26}$$

c : Modal katılım faktörü.

En son ÇSDS'in hedef deplasman değeri ($D_t=\frac{1}{c}D^*$) bulunmuş olur. Deplasman ve kat öteleme değerleri aşağıdaki grafiklerde gösterilmektedir (Şekil 2.34).



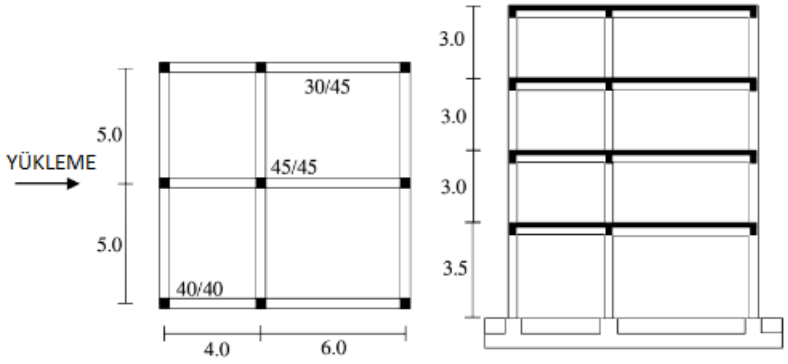
Şekil 2.34 : Kat deplasman (cm) ve öteleme (cm) değerleri (Fajfar, 1997).

Sonuç olarak görülmektedir ki tek modu (hakim periyot) dikkate alınan düzenli yapılarda, geleneksel olarak kullanılan itme analizleri yerine yapının daha pratik olarak değerlendirilmesi N2 metodu ile mümkün olmaktadır. Test yapısında yapılan deneyler ile N2 metodundan elde edilen sonuçlar oldukça tatmin edicidir.

Konu ile ilgili yapılan bir başka çalışma da Performans Tabanlı Sismik Tasarım İçin Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemi (Fajfar ve Eeri, 2000) adıyla yayınlanan makaledir. Bu makalede sismik davranışın parametrelerinin daha kolay ve görsel olarak yorumlanmasını sağlaması açısından, N2 yöntemi ivme-deplasman formatında ifade edilmektedir. Yeni nesil tasarımda performans tabanlı mühendislik kavramının yer almaya başladığından bahsedilmekte, doğrusal olmayan analiz ve tepki spektrum yaklaşımının yönetmeliklerde yer almaya başladığı anlatılmıştır. Örnek olarak ATC 40'ta yer alan kapasite spektrum metodu gösterilmiştir. Ayrıca makale kapsamında metodun, FEMA 273 ve ATC 40 doğrusal olmayan statik analiz yöntemleriyle benzerlikleri ve farklılıkları irdelenmiştir.

Genel olarak, azaltma katsayısının bulunuşunda yaklaşımların FEMA 273'te bahsedilen doğrusal olmayan yöntem ile benzer sonuçlar ortaya koyduğu anlatılmaktadır. Ancak Reinhorn (1997) tarafından ortaya konan yaklaşımın N2 metoduna göre çok daha genel ve az kısıtlayıcı olduğu, N2 metodunda belirli basitleştirmelerle birlikte sınırlandırma getirildiği ortaya konmaktadır.

Kullanılan yapı dört katlı betonarme çerçeve sistemdir. Üç farklı yer hareketine maruz bırakılarak tam ölçekli olarak Avrupa Komisyonu Ortak Araştırma Merkezi Yapısal Değerlendirme Avrupa Laboratuarı bünyesinde test edilmiştir. Test sonuçları kurulan matematik modelin doğrulanmasında kullanılmıştır. Test yapısının tasarımı eski Eurocode 8 (CEN, 1994) standartına göre yapılmıştır.Yapı yer ivmesine göre yüksek süneklilikte tasarlanmıştır. Test yapısı, Şekil 2.35'de verilmiştir.



Şekil 2.35 : Test yapısı (Fajfar ve Eeri, 2000).

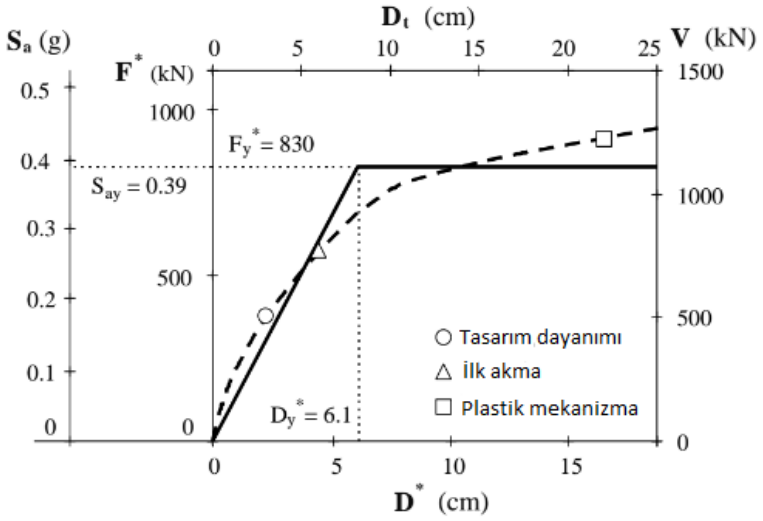
Bu analizler farklı performans noktalarını kontrol etmek için üç farklı yer hareketiyle tekrarlanmıştır. Yer hareketleri maksimum yer ivmesi (a_g) ile normalize edilen elastik tepki spektrumu ivmeleridir.

İlk olarak doğrusal deplasman şekli $\{\Phi^T\}$ varsayılarak yatay kuvvet dağılımı {P} elde edilmiş ve tepe kuvveti "1" olacak şekilde normalize edilmiştir. Bu kuvvet şekli kullanılarak Şekil 2.36' da görüldüğü gibi taban kesme kuvveti-tepe deplasman ilişkisi verilmiştir.

Denklem 2.22 ile çok serbestlik dereceli sistem eşdeğer tek serbestlik dereceli sisteme indirgenmiştir. Daha sonra denklem 2.14 ile eşdeğer kütle (m^*) ve denklem 2.26 ile dönüşüm katsayısı (Γ) bulunmuştur. Çok serbestlik dereceli sistemin taban kesme kuvveti-tepe deplasman ilişkisini gösteren eğri aynı zamanda eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemin kuvvet (F^*)-deplasman (D^*) ilişkisini göstermektedir. Tek serbestlik dereceli sisteme ait eğrinin aks aralıkları ile çok serbestlik dereceli sistemin eğrisi arasındaki ilişki bu dönüşüm katsayısı (Γ) ile belirlenir.

İtme eğrisinin iki doğru ile idealize edilmiş hali Şekil 2.36'daki eğride gösterilmiştir. İdealize edilen bu doğrulardan akma dayanımı (F_y^*) ve buna karşılık gelen deplasman (D_y^*), elastik periyot (T^*) bulunmuştur. Aynı zamanda akma noktasındaki ivme değeri S_{ay}, denklem 2.27 kullanılarak elde edilir.

$$S_{ay} = F_y^*/m^* \tag{2.27}$$



Şekil 2.36 : İki serbestlik dereceli sistemin grafiksel dönüşümü ve iki doğru ile itme eğrisinin idealize edilmesi (Fajfar ve Eeri, 2000).

Şekil 2.37'de kapasite diyagramı ve talep spektrumu karşılaştırılmış; denklem 2.28 ile denklem 2.29'da verilen denklemler kullanılarak doğrusal olmayan talep spektrumu elde edilmiştir.

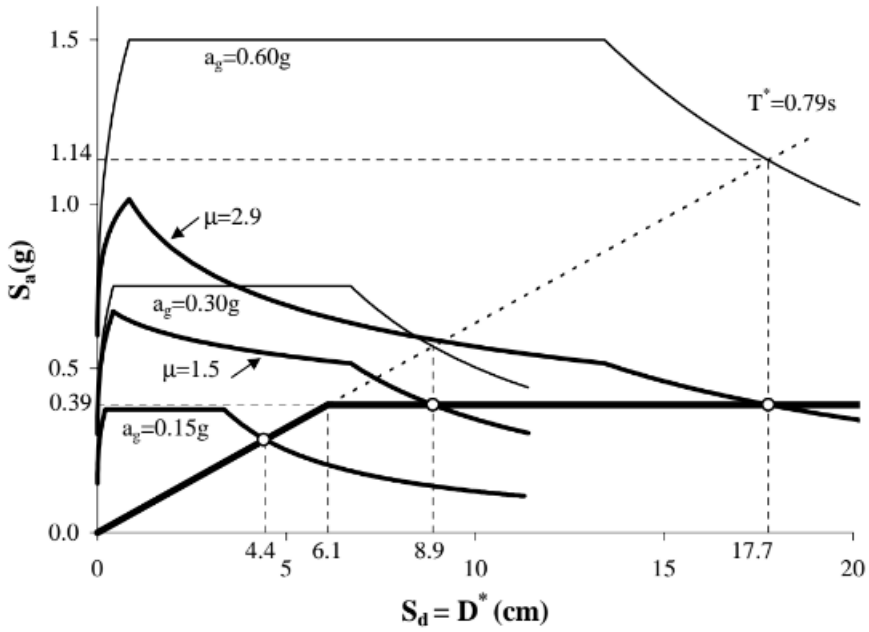
$$S_{de} = \frac{T^2}{4\pi^2} S_{ae} \tag{2.28}$$

$$S_a = \frac{S_{ae}}{R_\mu} \tag{2.29}$$

$$S_d = \mu \frac{T^2}{4\pi^2} S_a \tag{2.30}$$

$$R_\mu = (\mu - 1)\frac{T}{T_c} + 1 \qquad T < T_c \tag{2.31}$$

$$R_\mu = \mu \qquad T \geq T_c \tag{2.32}$$



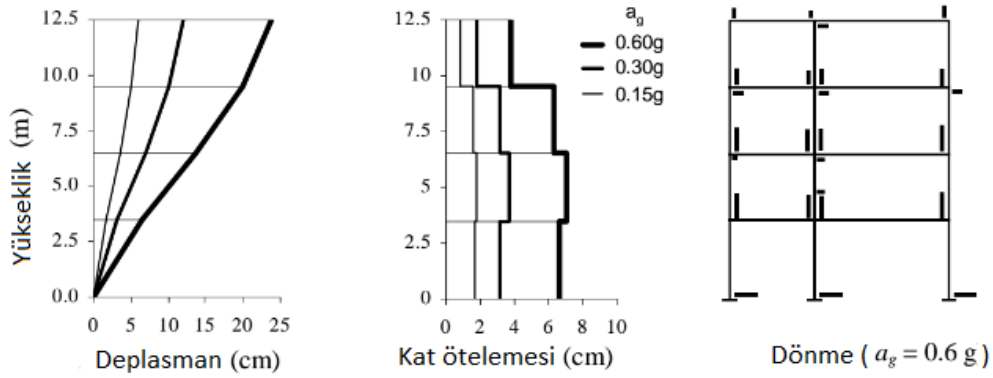
Şekil 2.37 : Test yapısı için kapasite diyagramı ve yer hareketinin üç seviyesi için talep spektrumu (Fajfar ve Eeri, 2000).

Yapının sınırsız elastik davranışı durumunda, sismik talep elastik talep spektrumu ve eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemin elastik periyoduna karşılık gelen doğrunun kesişimi ile ifade edilir. Bu kesişim noktasına karşılık gelen elastik spektral ivmenin, idealize edilmiş itme eğrisinin akma noktasındaki spektral ivmeye bölünmesi ile azaltma katsayısı (R_μ) elde edilir. Sistem periodu (T^*), köşe periyodundan (T_c) büyük ise eşit deplasman kuralı gereği; yer değiştirme süneklilik talebi azaltma katsayısına eşit alınır. Eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemin sismik talebi, yer değiştirme süneklilik talebi için bulunan talep spektrumu ve kapasite eğrisinin kesişimi ile bulunur. Bir sonraki adımda, eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemin talep deplasmanı

denklem 2.33 kullanılarak çok serbestlik dereceli sistemin tepe deplasmanına dönüştürülür.

$$D^* = \frac{D_t}{\Gamma} \tag{2.33}$$

Çok serbestlik dereceli sistemin tepe deplasmanı D_t ye ulaşacak şekilde itme analizi yapıldığında oluşan deplasman şekli, kat ötelemesi ve dönmeler Şekil 2.38'de verilmiştir.



Şekil 2.38 : Deplasman, kat ötelemesi ve dönme grafikleri (Fajfar ve Eeri, 2000).

N2 metodu, birçok performans noktasına sahip yapıların pratik şekilde değerlendirilmesini sağlayan ve tepki spektrumu yaklaşımı ile itme analizini birleştiren bir çalışmadır. Bu yöntem sayesinde, çok serbestlik dereceli sistemden tek serbestlik dereceli sisteme dönüşüm açık bir şekilde ifade edilmiş ve talep nicelikleri iterasyona gerek olmadan bulunabilmektedir. Çalışmada N2 metodunun sonuçları, FEMA 273 de verilen doğrusal olmayan statik yöntemin sonuçları ile çok yakın olduğu gösterilmiştir. Deplasman şekli ve yatay yük dağılımı aynı kabul edilirse N2 metodu sonuçları ile FEMA 273 de verilen doğrusal olmayan statik yöntem sonuçlarının birebir aynı çıkabileceğinden bahsedilmiştir. ATC 40'da, çok serbestlik dereceli sistemin tek serbestlik dereceli sisteme dönüştürülmesi diğer iki yöntem ile karşılaştırılabilir fakat ATC 40'da elastik mod şekline karşılık gelen deplasman şekli varsayımına izin verilmez. Sonuç olarak, ATC 40 da yapılan dönüşümler sadece belirli durumlarda FEMA 273 ve N2 metotlarındaki dönüşümlere eşittir. N2 metodunda, deplasman şekli ile yatay yük dağılımı birbirileri ile ilişkilidir. Bu metodun sonuçları uygulanan deprem yüklemesi için oluşan ortalama değerlerin bulunmasını amaçlamaktadır. Sonuç olarak, bu yöntem tasarım değerlerini aşan aşırı yükleme altındaki yapı performansının değerlendirilmesi için uygundur.

2.5 Planda Simetrik Olmayan Yapılar İçin Doğrusal Olmayan Statik Analiz

1997'de Kilar ve Fajfar tarafından önerilen itme analizi algoritması sabit yatay yükleme vektörünü her katın kütle merkezine uygular. Yazarlar bu konuda 7 katlı ve 21 katlı farklı betonarme örnek yapılar için, üç boyutlu sözde modelini kullanarak çalışmalar yapmış ve basit bir algoritma olmasına rağmen dinamik analiz sonuçları ile karşılaştırıldığında taban kesme kuvveti - tepe deplasman ve taban dönme momenti-tepe dönmesi gibi parametrelerde uygun sonuçlar vermiştir. Bununla beraber planda simetrik olmayan yapılarda, simetrik yapılardaki aynı dayanımı sağlayabilmek için özellikle yapının zayıf ve esnek kenarlarında büyük deplasman ve süneklik gerektiği, burulma dönmesi ve burulma mekanizmasının oluşumu daha çok birbirine dik yapısal elemanların kapasitesinden etkilendiğine dair bulgular elde etmiştir (Kilar ve Fajfar, 1997).

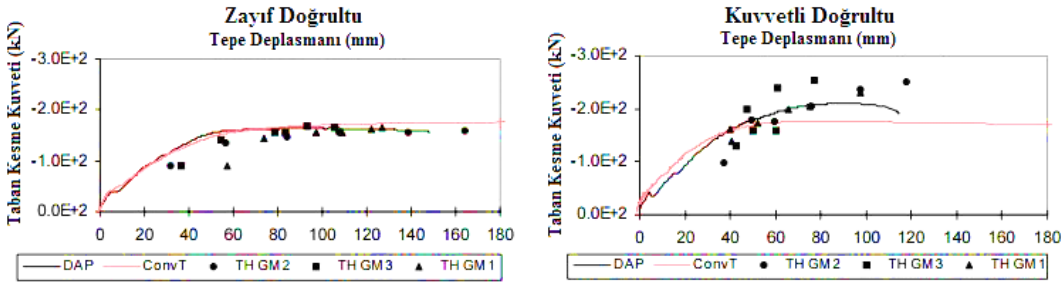
Faella ve Kilar 1998 yılında aynı yatay yüklemeyi üç farklı dış merkezlik noktası için inceleyerek bu yöntemi geliştirmiştir (Faella ve Kilar, 1998). Moghadam ve Tso 2000 yılında burulma etkisini, eşit deplasman kuralından yararlanarak elastik tepki spektrum metodu ile hedef deplasman hesaplamasına dahil etmiştir (Moghadam ve Tso, 2000).

2002 yılında Fajfar geliştirilmiş N2 metodunu burulma etkisindeki, çoğunlukla hakim periyotta titreşen yapılar için önermiştir (Fajfar, 2002). Fajfar'ın çalışmasında bahsedilen bu yöntem Fajfar ve diğerleri tarafından birçok yapı için test edilmiş ve geliştirilmiştir.

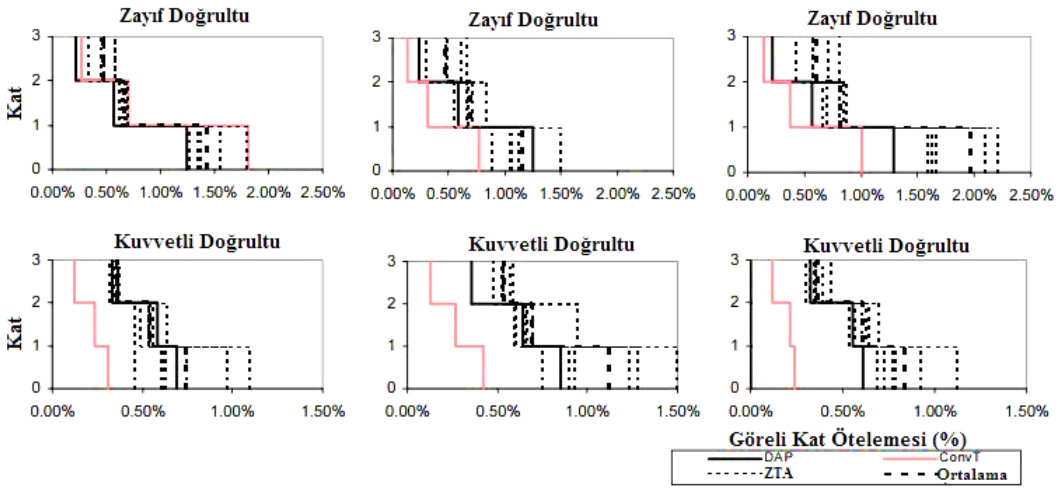
Benov ve Strashimirov 2005 yılında MPA yöntemini kullanarak itme analizindeki kat esnekliği etkisini incelemiştir. Benzer boyutlardaki ve açıklığı olmayan katlar değerlendirildiğinde kat esnekliğinin itme analizi için önemli olmadığını gözlemlemiştir (Benov ve Strashimirov, 2005).

Barros ve Almeida 2005 yılında yapının elastik tepkisindeki her modun titreşim katılımlarına dayanan çok modlu kuvvet modelini önermiştir (Barros ve Almeida, 2005). Fakat bu yöntemin çok az sayıda basit yapılar için geçerli olduğu anlaşılmıştır.

2006 yılında Meireles, Deplasmana Dayalı Uyarlanmış İtme Analizi'ni (DAP) (Antoniou ve Pinho, 2004) birbirine dik iki ötelenme bileşenlerine sahip deplasman vektörü ile uygulanan kapasite eğrisini dahil ederek geliştirmiştir (Şekil 2.39 ve Şekil 2.40).



Şekil 2.39 : Kapasite eğrisi (Meireles ve diğ., 2006).



Şekil 2.40 : Zayıf ve kuvvetli doğrultuda DAP ve zaman tanım alanında analiz sonuçlarının göreli kat ötelemesi cinsinden karşılaştırılması (Meireles ve diğ., 2006).

Lin ve Tsai 2007 yılında, MPA yönteminin aksine, tepe ötelenmesi ve dönmesinin tepki geçmişi ile orantılı olmadığını ortaya koymuşlardır (Lin ve Tsai, 2007). Kütle merkezine uygulanan yatay kuvvet vektörünü kullanan diğer itme analiz algoritmalarının aksine bu yöntem kütlenin yığılı olduğu kolon-kiriş gibi her birleşim yerine deplasman uygulamaktadır. Bu yöntem İtalya ve Türkiye'de bulunan birçok yapıların değerlendirmesi için kullanılmıştır (Bento ve Bhatt, 2010).

2.6 Geliştirilmiş N2 Metodu

12. Avrupa Deprem Mühendisliği Konferansı'nda Deprem Mühendisliğinde Yapısal Analiz - Basitleştirilmiş Doğrusal Olmayan Yöntemlerin Dönüm Noktası (Fajfar, 2002) adlı makale yayınlanmıştır. İlk kez bu makale kapsamında simetrik olmayan yapılara uygulanabilir olan geliştirilmiş N2 metodundan teorik olarak bahsedilmiştir. Genellikle, ilk mod etkisindeki yapılarda sonuçlar, basitleştirilmiş yöntemler ile bulunmaktadır. Bu yöntemlerin uygulabilirliği, hakim olan tek mod etkisindeki,

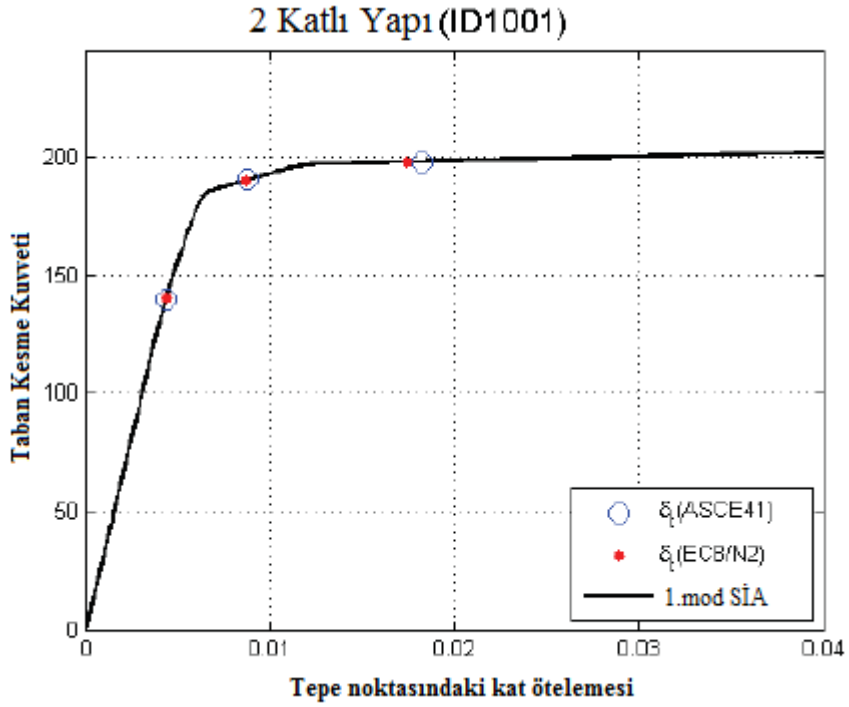
burulma etkisinin olmadığı plan asimetrik yapılar için kolaylıkla geliştirilebilirdir. Düşey doğrultuda düzensizlik etkisi, yaklaşık olarak her iki doğrultuda dış merkezliğin dikkate alınmasıyla uygulanacak olan yatay yükleme ile ifade edilebilmektedir. Bu yaklaşım aynı zamanda burulma modlarının etkisinin dikkate alınmasını da kapsamaktadır. Bu makalede, farklı metotların yakın sonuçlar vermesine rağmen, teorik altyapılarındaki basitlik, açıklık ve anlaşılırlık farkı bakımından birbirlerinden ayrılmaktadırlar. Yöntemler arasındaki en önemli farklılık, deplasman talebinin belirlenmesiyle ilgilidir. Elastik olmayan spektrumun kullanımı, yüksek sönümlü eşdeğer elastik spektrumun kullanılmasından daha uygundur. Elastik olmayan spektrum daha güvenilir bir teorik geçmişe sahiptir ve iterasyona ihtiyaç duymamaktadır.

Planda Simetrik Olmayan Yapılar için Geliştirilmiş N2 Metodu (Fajfar, Marusic ve Perus, 2005) adlı makalede N2 metodundan kısaca bahsedilmiş ve ilk olarak bu makalede 3 boyutlu modellenen simetrik olmayan yapı için N2 metodu kullanılmış, sonuçlar doğrusal olmayan dinamik zaman tanım alanında analiz sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Aynı zamanda, 3 boyutllu çok serbestlik dereceli sistemin eşdeğer tek serbestlik dereceli sisteme dönüştürülmesine dair teorik altyapıya değinilmiştir.

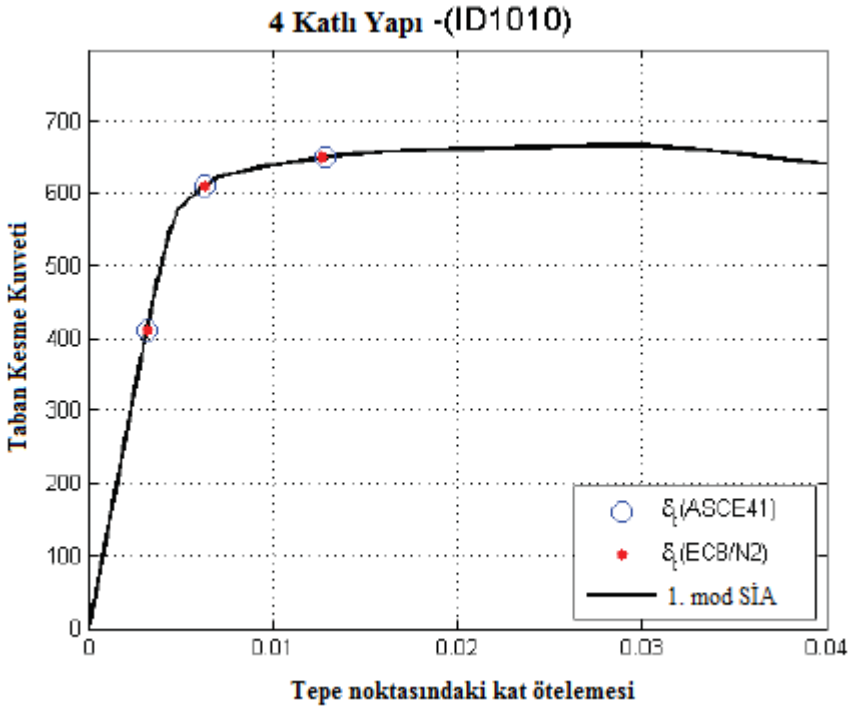
Daha sonra sunulan geliştirilmiş N2 metodu özetlenmiş, simetrik olmayan üç katlı betonarme yapı (“SPEAR”) ile örneklendirilmiştir. Çıkan sonuçlar doğrusal olmayan dinamik zaman tanım alanında analiz sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Çok serbestlik dereceli sistemin eşdeğer tek serbestlik dereceli sisteme dönüşümü diğer yapılarda olduğu gibi uygulanır. Sunulan yöntemden elde edilen sonuçlar elastik dinamik analiz ve doğrusal olmayan statik itme analizinden etkilenilir. Kütle merkezindeki deplasman talebi, itme analizine dayanan N2 metot ile elde edilmiştir. Burulmadan dolayı oluşan büyütme, elastik dinamik analizden elde edilirken talepteki azalma dikkate alınmamıştır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar dinamik analiz sonuçları ile karşılaştırıldığında konservatif olduğu görülmüştür. Bu konservatiflik hedef deplasmanın kütle merkezinde hesaplanması ve burulma etkilerinin dikkate alınmasından kaynaklanmıştır. Tahmin edilen hedef deplasmanın doğruluğu, idealize edilen eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemin hakim periyodunu kontrol eden itme eğrisinin iki doğru ile gösterilmesine bağlı olduğu vurgulanmıştır.

N2 metodu, Amerika Birleşik Devletleri federal devletinin standart enstitüsü olan Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü (NIST) ve Ulusal Deprem Tehlike Azaltma Programı (NEHRP) ortak girişimi ile yayınlanmış olan Tasarımda Doğrusal Olmayan

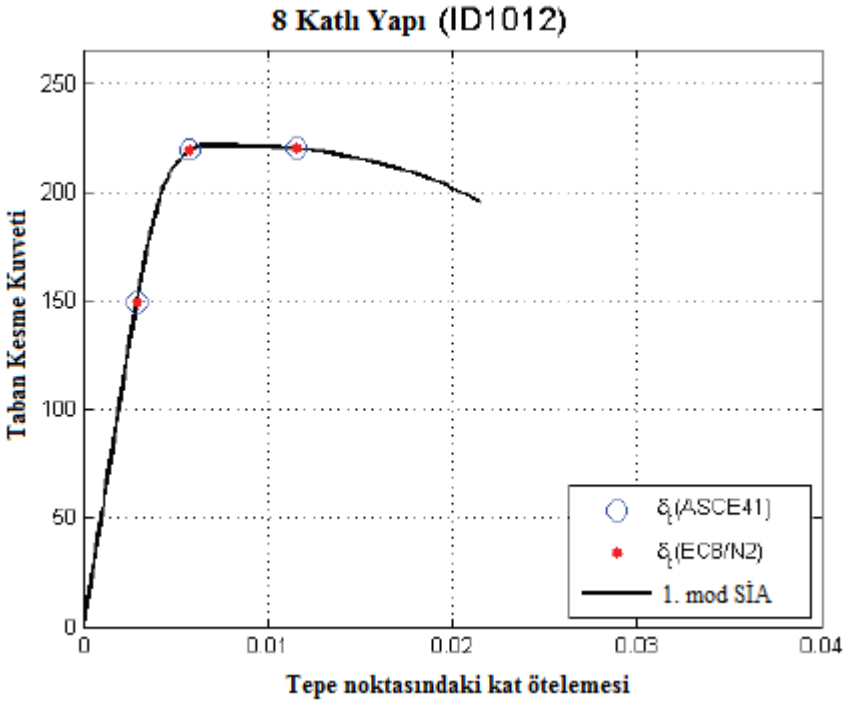
Çok Serbestlik Dereceli Sistemin Uygulanabirliği (ATC 76-6, 2010) adlı raporda bahsedilmiştir. Bu raporda iki, dört ve altı katlı üç farklı betonarme çerçeveli yapı için hedef deplasman tahmini ASCE 41'de verilen katsayı yöntemi ve Eurocode 8'de bahsedilen N2 metodu ile yapılmıştır. Uygulanan bu iki yöntem Şekil 2.41-Şekil 2.43'de görüldüğü gibi benzer tepe deplasman sonuçları verdiğinden, ASCE 41 deplasman katsayılar yöntemi ile hesaplanan sonuçlar ile zaman tanım alanında hesaplanan sonuçlar tepe deplasmanı ve kat ötelemesi oranı cinsinden 2, 4 ve 8 katlı yapılar için Şekil 2.44 - Şekil 2.49'daki gibi karşılaştırılmıştır.



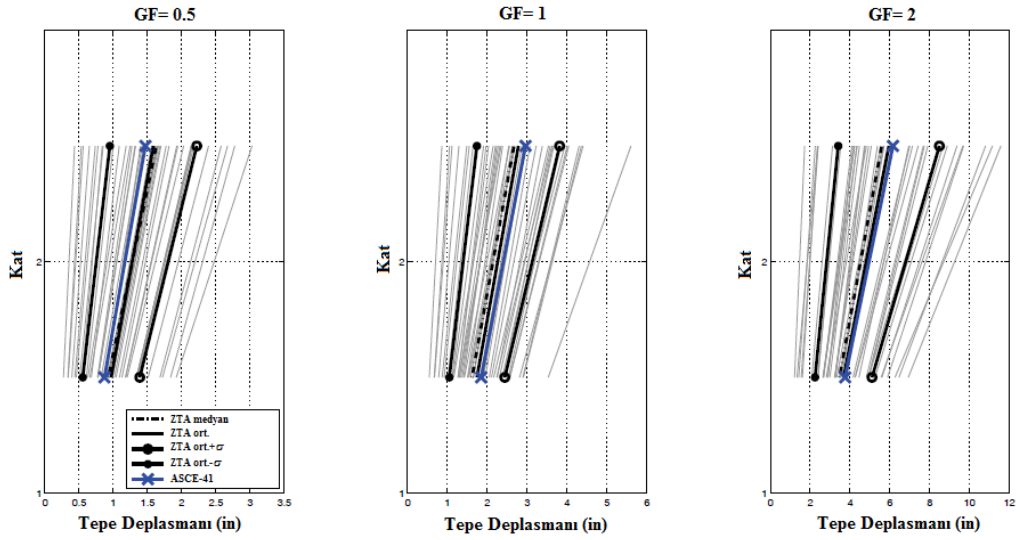
Şekil 2.41 : 2 katlı yapı için N2 metodu ve ASCE/SEI 41-06 deplasman katsayılar yöntemine göre hedef deplasman grafiği (ATC 76-6, 2010).



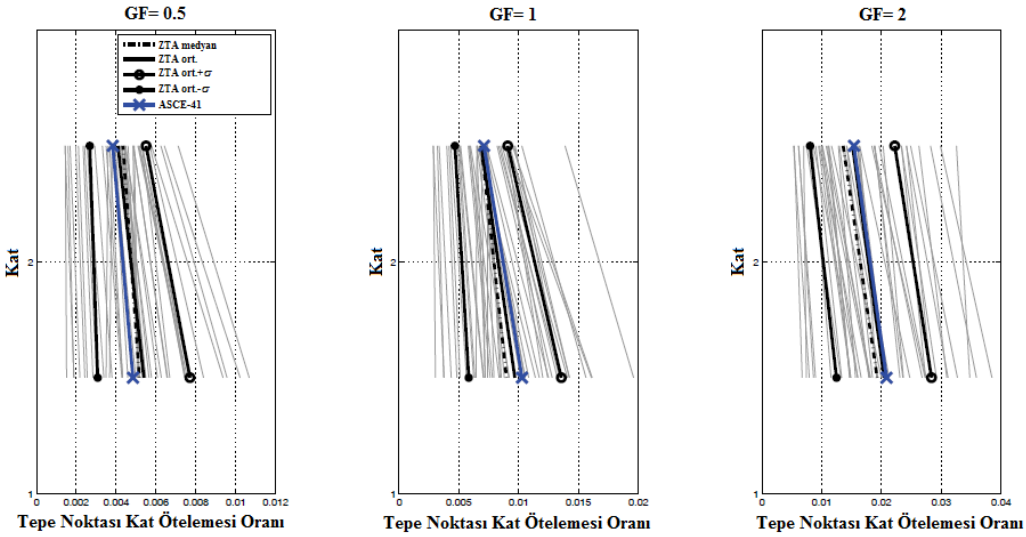
Şekil 2.42 : 4 katlı yapı için N2 metodu ve ASCE/SEI 41-06 deplasman katsayılar yöntemine göre hedef deplasman grafiği (ATC 76-6, 2010).



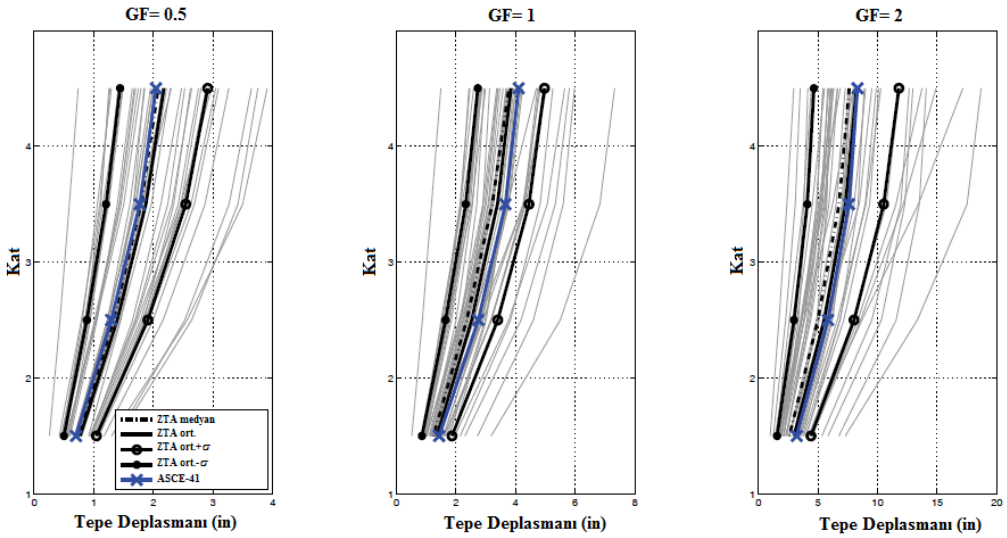
Şekil 2.43 : 8 katlı yapı için N2 metodu ve ASCE/SEI 41-06 deplasman katsayılar yöntemine göre hedef deplasman grafiği (ATC 76-6, 2010).



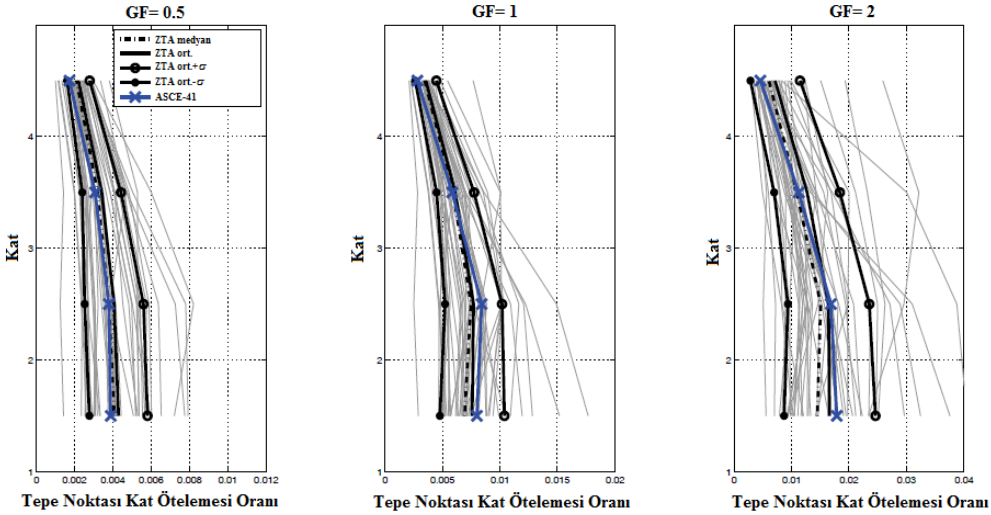
Şekil 2.44 : 2 katlı yapının zaman tanım alanı analiz sonuçları ile ASCE/SEI 41-06 deplasman katsayıları yöntemi sonuçlarının tepe deplasmanı cinsinden karşılaştırılması (ATC 76-6, 2010).



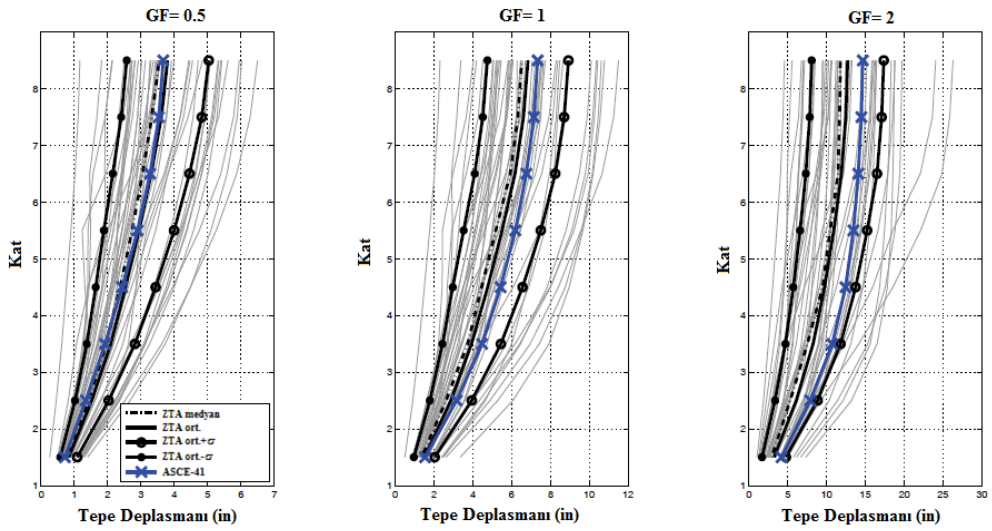
Şekil 2.45 : 2 katlı yapının zaman tanım alanı analiz sonuçları ile ASCE/SEI 41-06 deplasman katsayıları yöntemi sonuçlarının tepe noktası kat ötelemesi oranı cinsinden karşılaştırılması (ATC 76-6, 2010).



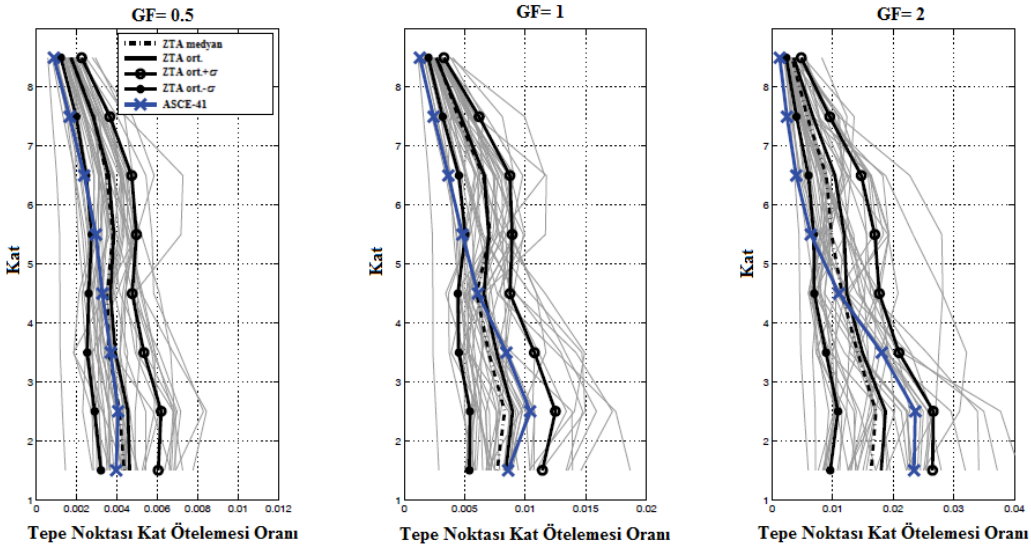
Şekil 2.46 : 4 katlı yapının zaman tanım alanı analiz sonuçları ile ASCE/SEI 41-06 deplasman katsayıları yöntemi sonuçlarının tepe deplasmanı cinsinden karşılaştırılması (ATC 76-6, 2010).



Şekil 2.47 : 4 katlı yapının zaman tanım alanı analiz sonuçları ile ASCE/SEI 41-06 deplasman katsayıları yöntemi sonuçlarının tepe noktası kat ötelemesi oranı cinsinden karşılaştırılması (ATC 76-6, 2010).



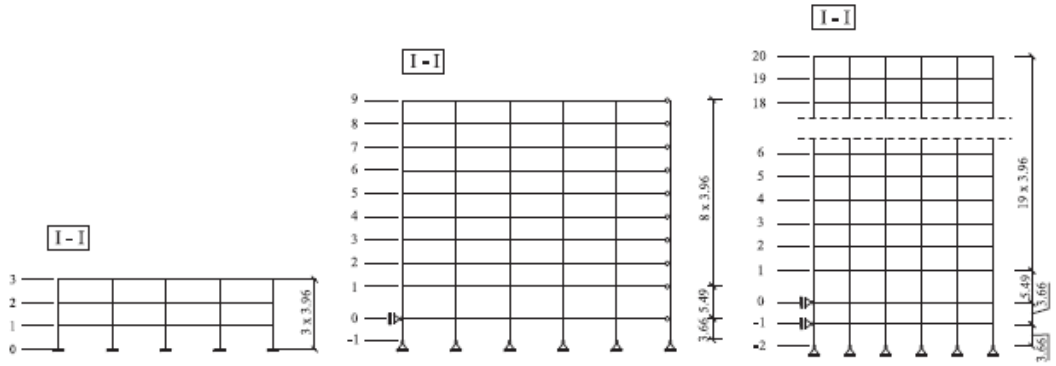
Şekil 2.48 : 8 katlı yapının zaman tanım alanı analiz sonuçları ile ASCE/SEI 41-06 deplasman katsayıları yöntemi sonuçlarının tepe deplasmanı cinsinden karşılaştırılması (ATC 76-6, 2010).



Şekil 2.49 : 8 katlı yapının zaman tanım alanı analiz sonuçları ile ASCE/SEI 41-06 deplasman katsayıları yöntemi sonuçlarının tepe noktası kat ötelemesi cinsinden karşılaştırılması (ATC 76-6, 2010).

Geliştirilmiş N2 Metodunun Yapı Yüksekliğinin Yüksek Mod Etkisi ile Dikkate Alınması (Fajfar ve Kreslin, 2011) adlı makalesinde geliştirilmiş N2 metodu yüksek mod etkisi için incelenmiştir. Bu çalışmada, üç farklı sismik tehlike bölgesine ait üç, dokuz ve yirmi katlı olmak üzere Şekil 2.50'deki gibi üç farklı yükseklikteki çelik çerçeveler kullanılmıştır. Bu çalışmada 2 grup yer ivme kayıdı kullanılmıştır. Bunlardan ilki 44 adet deprem kaydından oluşmaktadır. Seçilen ivme kayıtları maksimum yer hızı ile normalize edilmiş ve daha sonra tüm kayılar yapının birinci

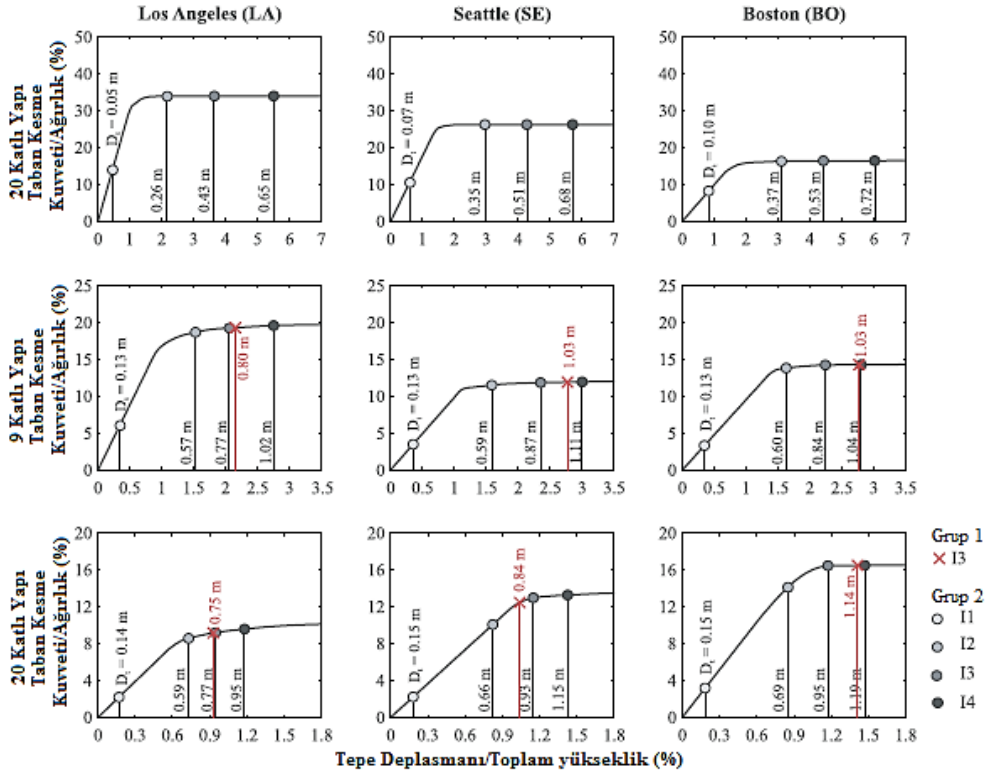
modunda, I3 olarak tanımlanan yer hareketi şiddetine karşılık gelen spektral ivmeden elde edilen tek bir ölçeklendirme katsayısı ile ölçeklendirilmiştir.



Şekil 2.50 : 3 katlı yapı, 9 katlı yapı ve 20 katlı yapının boy kesitleri (Fajfar ve Kreslin, 2011).

Çalışmada, deprem şiddetinin etkisini göz önüne almak için EC 8'de tanımlanan C tip zemin sınıfına ait büyüklükleri 5.5 ve 6.5 arasında değişen 20 adet yer hareketi ivmesi ikinci grup olarak seçilmiştir. Her bir yer hareketi ivmesi yapının birinci moduna karşılık gelen değere eşit olacak şekilde normalize edilmiştir. Normalize edilen kayıtlar I1, I2, I3 ve I4 kısaltması ile ifade edilen dört yer hareketi şiddetine göre ölçeklendirilmiştir. Bu yer hareketi şiddetleri sırasıyla 0.10, 0.50, 0.75 ve 1.0g yer ivmesi ile tanımlanmıştır. EC 8 tip C zemin sınıfına ait spektrum kullanılarak seçilen yapıların her biri için birinci modlarındaki S_{ae} değerleri elde edilmiştir. Farklı yapı ve faarklı yer hereketi şiddetleri için bulunan S_{ae} değerleri ivme kayıtlarının normalizasyonunda kullanılmıştır. Tüm yapılar ve dört yer hareketi şiddeti için S_{ae} değerleri Çizelge 2.6'da , grup 1 ve grup 2 için maksimum tepe deplasmanları Şekil 2.51'de verilmiştir. I1 yer hareketi şiddeti için yapı tepkisinin elastik olduğuna dikkat çekilmiştir.

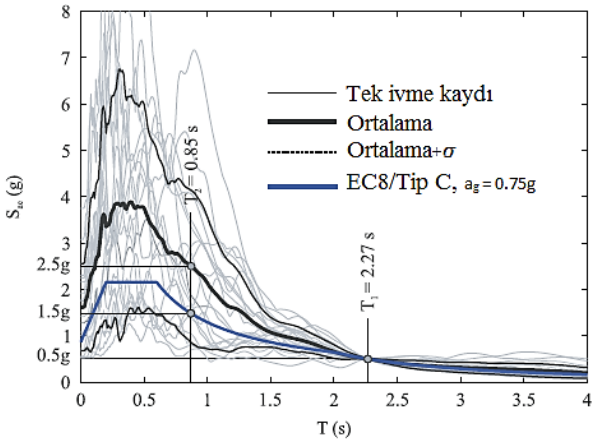
Seçilen ivme kayıtlarının S_{ae}= 0.5g spektral ivmeye göre ölçeklendirilmiş % 5 sönümlü elastik ivme spektrumu Şekil 2.52'de verilmiştir.



Şekil 2.51 : Seçilen yapıların itme eğrisi ve zaman tanım alanında analizden elde edilen tepe deplasman değerleri (Fajfar ve Kreslin, 2011).

Çizelge 2.6 : Seçilen yapılar için farklı yer hareketi şiddeti için birinci moddaki spektral ivme S_{ae} (g) ve ortalama maksimum yer ivmesi PGA (g) değerleri (Fajfar ve Kreslin, 2011).

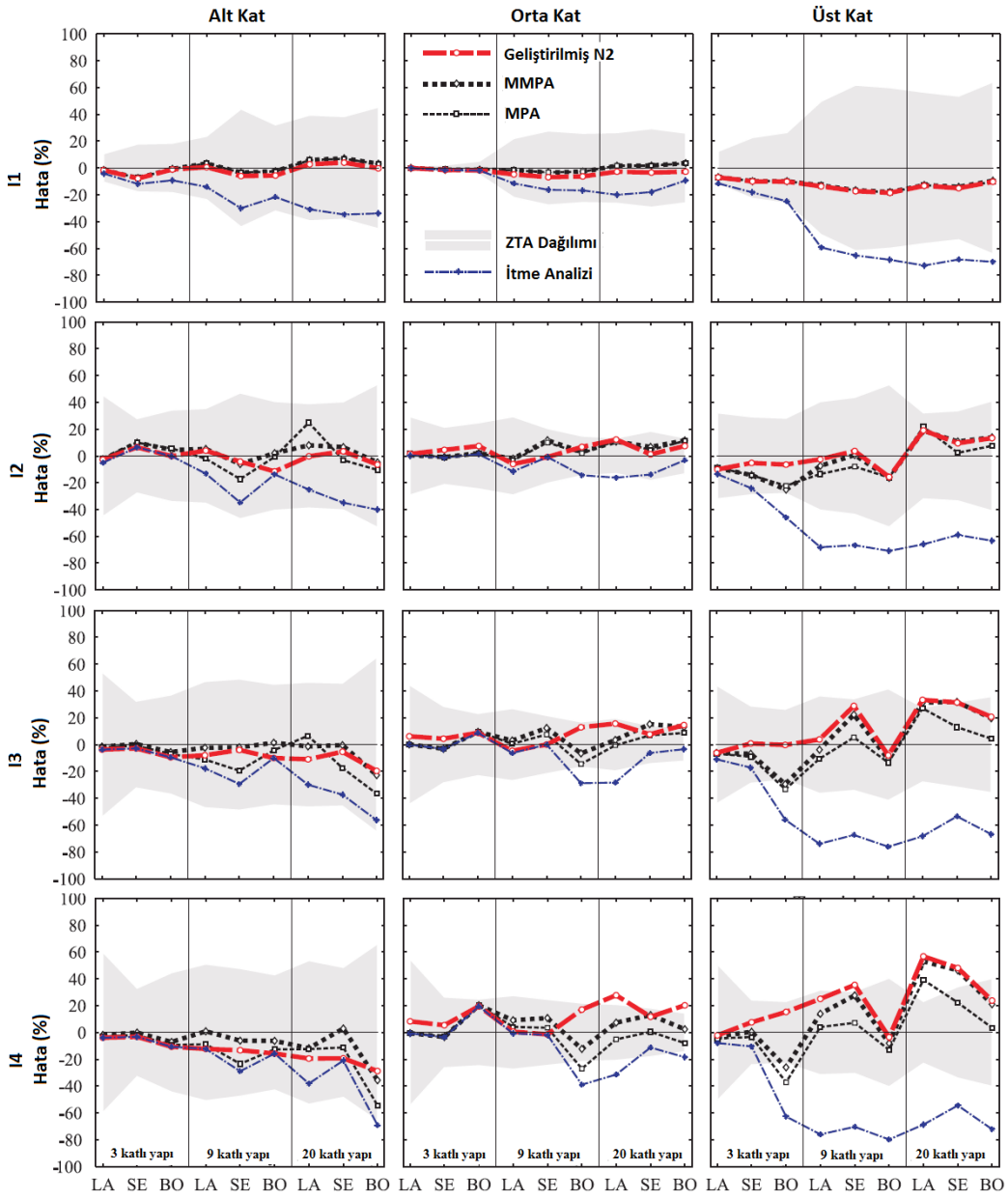
	3 katlı yapı			9 katlı yapı			20 katlı yapı		
	LA	SE	BO	LA	SE	BO	LA	SE	BO
Spektral ivme S_{ae} (g)									
I1	0.17	0.13	0.10	0.07	0.04	0.04	0.02	0.02	0.04
I2	0.85	0.65	0.48	0.34	0.19	0.18	0.12	0.12	0.18
I3	1.28	0.98	0.72	0.50	0.29	0.27	0.18	0.18	0.27
I4	1.71	1.30	0.96	0.67	0.39	0.36	0.24	0.24	0.36
Ortalama pik yer ivmesi PGA (g)									
I1	0.14	0.15	0.18	0.22	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21
I2	0.70	0.74	0.90	1.08	1.07	1.04	1.04	1.04	1.04
I3	1.06	1.11	1.35	1.62	1.60	1.55	1.57	1.56	1.56
I4	1.41	1.49	1.80	2.16	2.14	2.07	2.09	2.08	2.07



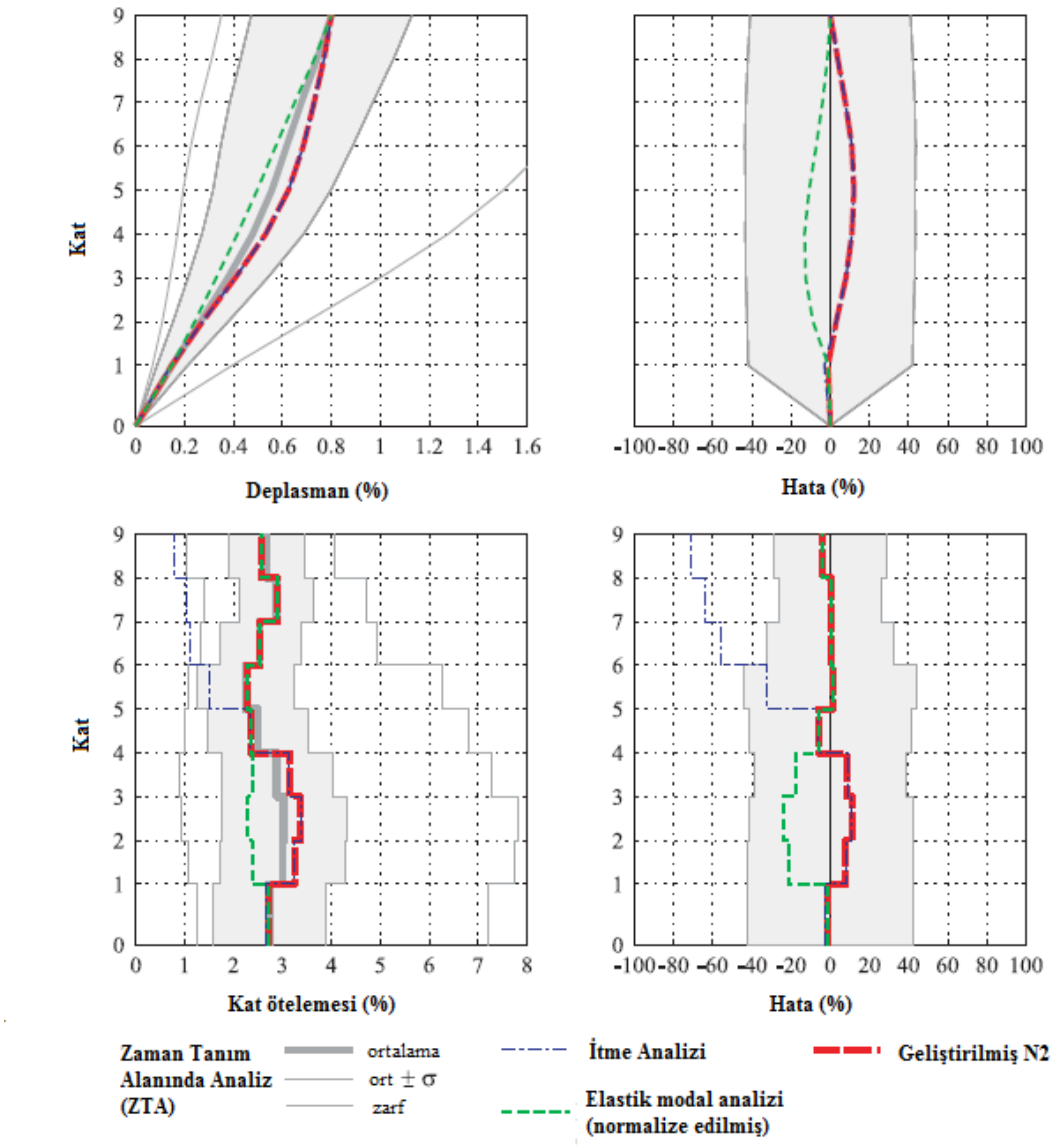
Şekil 2.52 : Seçilen ivme kayıtlarının S_{ae}= 0.5g spektral ivmeye göre ölçeklendirilmiş % 5 sönümlü elastik ivme spektrumu (Fajfar ve Kreslin, 2011).

N2 metodu ile bulunan sonuçlar doğrusal olmayan zaman tanım alanı analizi, modal itme analizi, modifiye edilmiş modal itme analizi ve yüksek mod etkisini dikkate almayan itme analizi sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Grup 1 için 9 katlı yapının farklı analiz sonuçlarından elde edilen kat ötelemesi (%) ve deplasman değerleri, analiz yöntemlerinin zaman tanım alanındaki analiz yöntemine göre hata oranı Şekil 2.54'de verilmiştir. Sonuçlar, yüksek mod etkisinin yüksek katlı yapılar ve orta katlı yapıların yüksek katların göreli kat ötelemelerinde etkili olduğunu fakat deplasman değerlerindeki değişimlerin göz ardı edilebileceğini göstermiştir.

Grup 2 için yapı kat adedinin ve yer hareketi şiddetinin, doğrusal olmayan yöntemlerden elde edilen alt, orta ve üst katlarda oluşan kat ötelemesine olan etkisi ise Şekil 2.53'de verilmiştir. I1, I2, I3 ve I4 için zaman tanım alanına oranla en büyük hata katlı LA yapısında bulunmuştur.



Şekil 2.53 : Grup 2 için yapı kat adedinin ve yer hareketi şiddetinin, doğrusal olmayan yöntemlerden elde edilen alt, orta ve üst katlarda oluşan kat ötelemesine olan etkisi (Fajfar ve Kreslin, 2011).

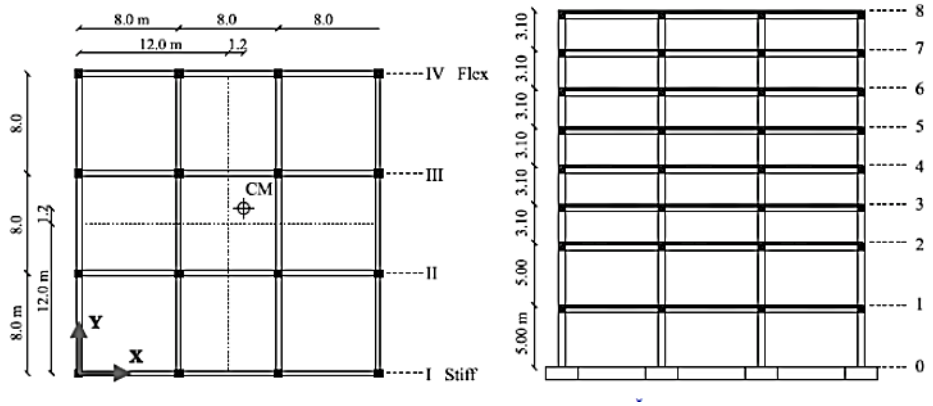


Şekil 2.54 : Grup 1 için 9 katlı yapının farklı analiz sonuçlarından elde edilen kat ötelemesi (%) ve deplasman değerleri, analiz yöntemlerinin zaman tanım alanındaki analiz yöntemine göre hata oranı (Fajfar ve Kreslin, 2011).

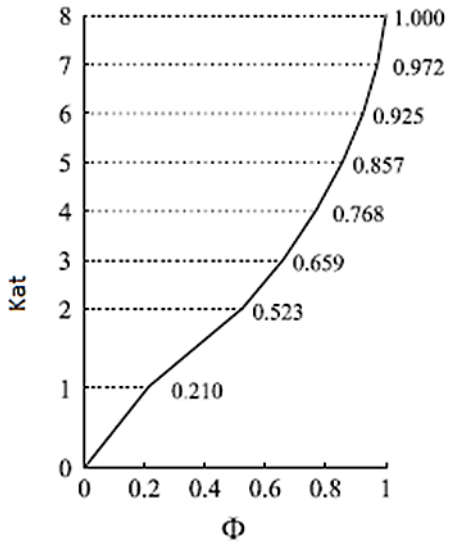
Geliştirilmiş N2 Metodunun Planda ve Düşeyde Yüksek Mod Etkisinin Dikkate Alınması adlı makalede geliştirilmiş N2 metodunun planda ve düşeyde düzensizlik etkisi incelenmiştir. Çalışmada, alt katların kat yükseklikleri fazla olan, düşeyde düzensiz üç açıklıklı, 8 katlı bir yapı kullanılmıştır. İki yönde simetrik olan yapıyı planda düzensiz hale getirmek için %5 dışmerkezlik uygulanmıştır. Çizelge 2.7'de, verilen yapı moduna karşılık gelen kütle katılım oranları verilmiştir. Bu yapıda burulmanın üçüncü modda olduğu görülmüştür. Analiz iki yatay yönde ayrı ayrı yapılmış, iki yatay yöndeki sonuçlar ve farklı modlar SRSS kuralına göre birleştirilmiştir (Şekil 2.55 ve Şekil 2.56).

Çizelge 2.7 : İki yatay yöndeki etkin kütle katılımı ve elastik periyotlar (Kreslin ve Fajfar, 2012).

Mod	T (s)	$M_{eff,UX}$ (%)	$M_{eff,UY}$ (%)	$\Sigma M_{eff,UX}$ (%)	$\Sigma M_{eff,UY}$ (%)
1	2.18	42	42	42	42
2	2.13	45	45	87	87
3	1.62	2	2	89	89
4	0.63	3	3	92	92
5	0.61	3	3	95	95
6	0.47	0	0	95	95



Şekil 2.55 : Fajfar ve Kreslin'in makalesindeki 8 katlı örnek yapı (Kreslin ve Fajfar, 2012).

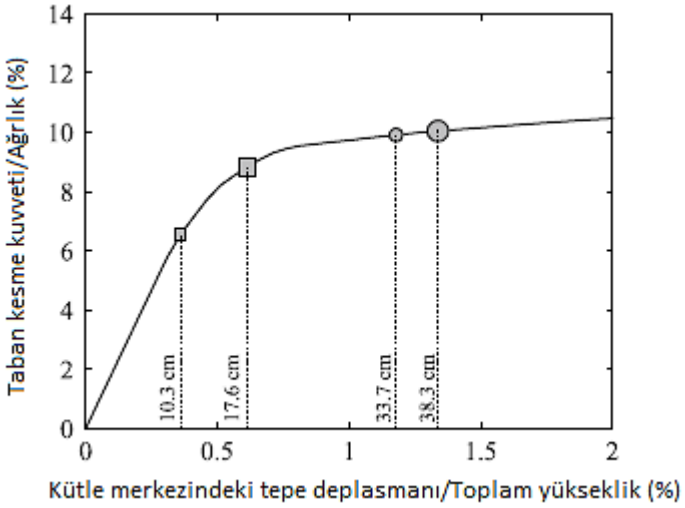


Şekil 2.56 : Hakim mod şekli (Fajfar ve Kreslin, 2012).

Bu çalışmada aşağıda tarif edilen yöntem uygulanmış ve sonuçlar verilmiştir.

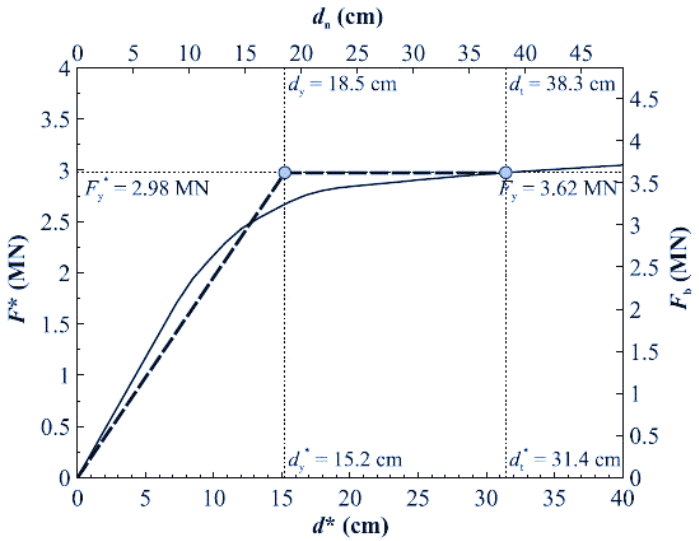
1. N2 metodunun uygulanması;
   - Doğrusal olmayan statik itme analizi uygulanmıştır (Şekil 2.57).
   - Statik itme analizi kullanılarak hedef deplasman bulunmuştur.

- Çok serbestlik dereceli sistem eşdeğer tek serbestlik dereceli sisteme indirgenmiştir.
- İtme eğrisi iki doğru ile ifade edilmiştir (Şekil 2.58).
- Kapasite eğrisi, idealize edilen tek serbestlik dereceli sisteme karşılık gelen kuvvetin eşdeğer kütleye bölünmesi ile elde edilmiştir.
- Eşdeğer TSDS'in sistemin akma dayanımı (F_y*) ve kütlesi (m*) bulunarak, bu parametrelere karşılık gelen periyot (T*) bulunmuş, bulunan periyot değeri geçiş periyodu (T_c) ile ilişkilendirilerek süneklilik talebi (μ) ve buna karşılık gelen deplasman talebi (d_t*) bulunmuştur.
- TSDS'in hedef deplasmanı, dönüşüm katsayısı (Γ) kullanılarak ÇSDS'in hedef deplasmanına (d_t) dönüştürülmüştür.



Şekil 2.57 : Test yapısının itme eğrisi (Fajfar ve Kreslin, 2012).

Şekil 2.58'de çok serbestlik dereceli sistemin ve tek serbestlik dereceli sistemin hedef deplasmanı, akma deplasmanı ve akma dayanımı gösterilmiştir.



Şekil 2.58 : İtme eğrisi ve ÇSDS ve TSDS için iki doğru ile gösterilmesi (Fajfar ve Kreslin, 2012).

2. Standart elastik modal analiz yapılmış, iki yöndeki sonuçlar SRSS kuralına göre toplanmış ve her bir kat için kütle merkezindeki deplasman ve göreli kat ötelemesi değerleri belirlenmiştir. Bulunan değerler, standart elastik modal analizden bulunan tepe deplasmanı, itme analizinden bulunan, kütle merkezindeki hedef deplasmana eşit olacak şekilde normalize edilmiştir.
3. Düşeyde ve plandaki düzensizlik etkisini dikkate almak için geliştirilmiş N2 metodu kullanılarak sonuçlar zaman tanım alanında yapılan analiz sonuçları ile karşılaştırılmıştır.
4. İtme analizi ve standart modal analiz sonucunda sismik talep bulunmuştur. Sismik talep bulunurken, yükseklik boyunca etki eden düşey düzensizlik etkisi (göreli kat ötelemesi katsayısı-c_E) ve planda düzensizlik etkisi (burulma katsayısı-c_T) için iki ayrı düzeltme katsayısı kullanılır. Sonuç olarak son düzeltme katsayısı, bulunan iki katsayının çarpılması ile bulunur. Daha sonra ise itme analizinden elde edilen sonuçlara bu düzeltme katsayısı uygulanır.

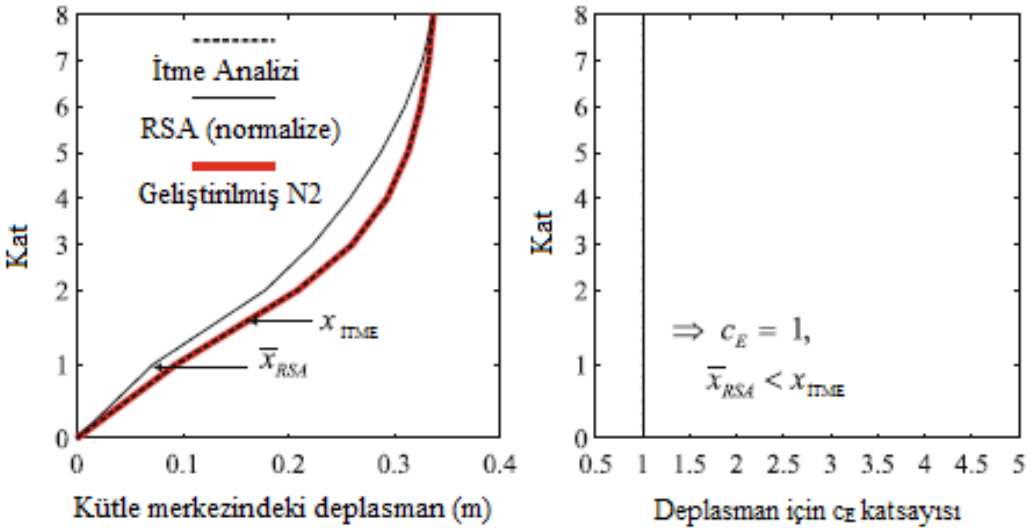
İtme analizden elde edilen hedef deplasman değeri (d_t) kütle merkezindeki elastik tepki spektrumunun kütle merkezinde tepe deplasman değerine bölümü c_{norm} katsayısı ile ifade edilir. Bu katsayısı ile elastik tepki spektrumundan elde edilen sonuçlar çarpılır. Elastik tepki spektrumu analizinden gelen sonuçlar, kütle merkezindeki tepe deplasmanı itme analizinden gelen hedef deplasman değerine eşit olacak şekilde normalize edilmiş olur.

$$c_{NORM} = \frac{d_t}{d_{t,RSA}} \tag{2.34}$$

a. Düşeydeki düzensizlik etkisini ifade eden c_E, elastik modal analizden elde edilen normalize edilmiş sonuçların itme analizinden elde edilen değerlere bölünmesi ile bulunur. Bulunan kat sayı Şekil 2.59 ve Şekil 2.60'da görüldüğü gibi deplasman ve göreli kat ötelemesi için uygulanır.

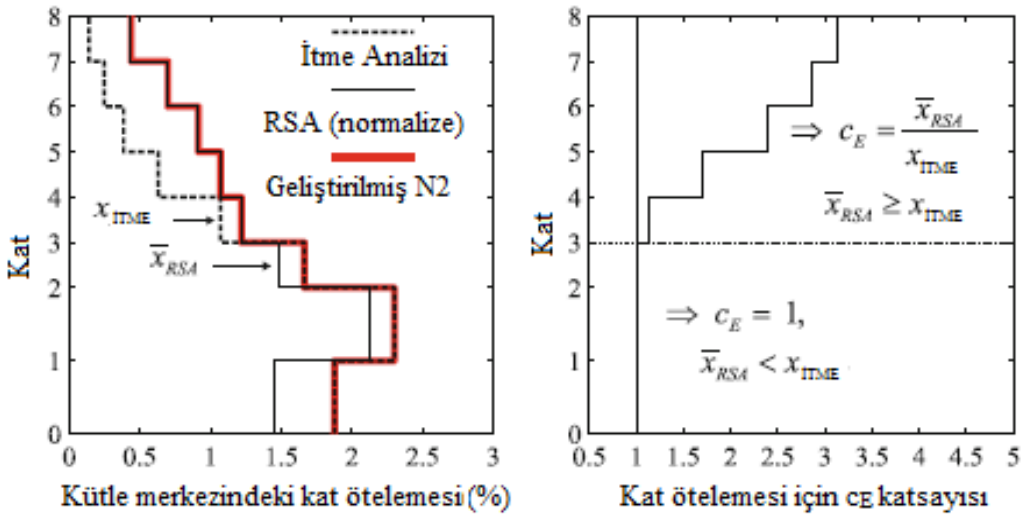
$$c_E = \frac{\bar{x}_{RSA}}{x_{itme}} \tag{2.35}$$

Fajfar ve Kreslin (2012) çalışmalarında deplasman için bulunan c_E düzeltme katsayısının gösteren grafik Şekil 2.59'da verilmiştir.



Şekil 2.59 : c_E düzeltme faktörünün kütle merkezindeki deplasmanlara uygulanması (Fajfar ve Kreslin, 2012).

Fajfar ve Kreslin (2012) çalışmalarında seçilen yapı için bulunan c_E düzeltme faktörünün kütle merkezindeki göreli kat ötelemesi için uygulanması Şekil 2.60'da verilmiştir.

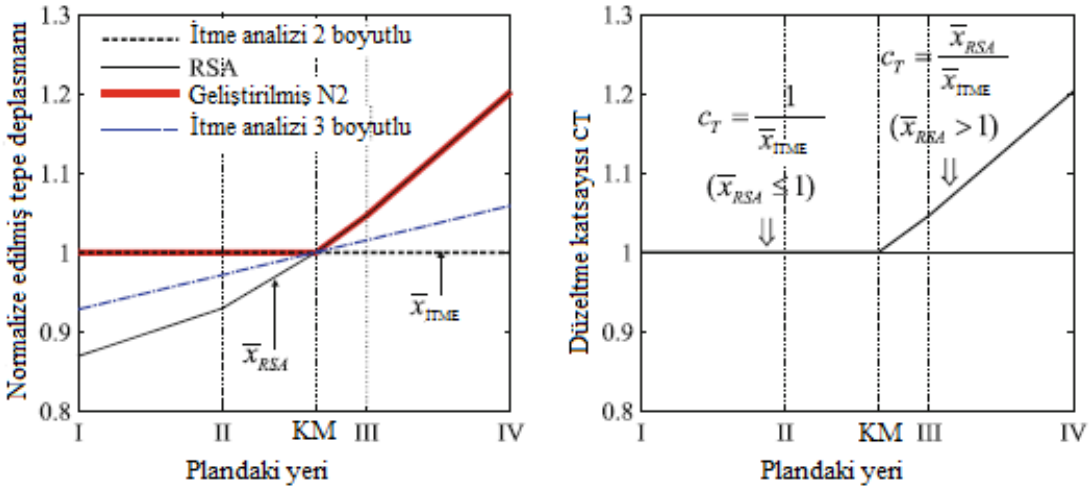


Şekil 2.60 : c_E düzeltme faktörünün kütle merkezindeki göreli kat ötelemesi için uygulanması (Fajfar ve Kreslin, 2012).

b. Planda burulma etkisini dikkate alan düzeltme katsayısını ifade eden (c_T), planda farklı noktalar için, normalize edilmiş elastik tepki spektrumu (RSA) ve statik itme analizi yöntemleriyle hesaplanan hedef deplasman değerlerinin oranıyla ifade edilir. c_T düzeltme katsayısı, deplasman ve kat ötelemesi için uygulanır. c_T faktörü hesabı denklem 2.36'da verilmiştir.

$$c_T = \frac{\bar{x}_{RSA}}{\bar{x}_{itme}} \tag{2.36}$$

Fajfar ve Kreslin (2012) çalışmalarında seçilen yapı için bulunan c_T katsayısını gösteren grafik Şekil 2.61'de verilmiştir.

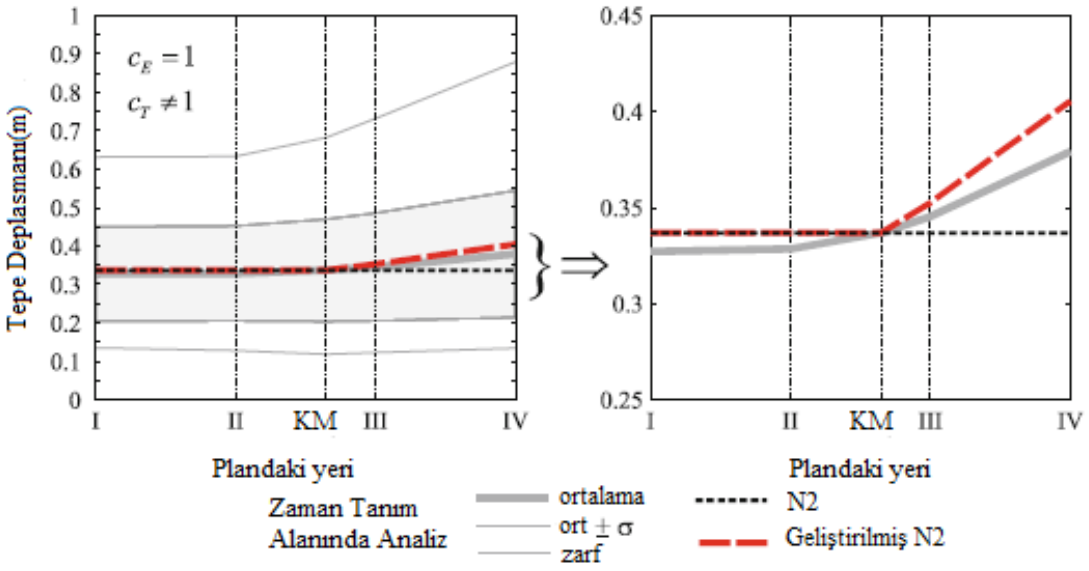


Şekil 2.61 : c_T katsayısının belirlenmesi (Fajfar ve Kreslin, 2012).

Göreli kat ötelemesi için kullanılan son düzeltme katsayısı (iki katsayının çarpımı ile bulunan) bütün yerel deformasyon parametrelerine (örneğin, elastik ve plastik bölümden oluşan toplam birleşim dönmeleri) uygulanır. Deplasman ve kat ötelemesi cinsinden sismik talep, itme eğrisinden elde edilen değerler ve buna karşılık gelen hedef deplasmanı c_T ve c_E ile uygun değerlerin çarpılmasından elde edilir.

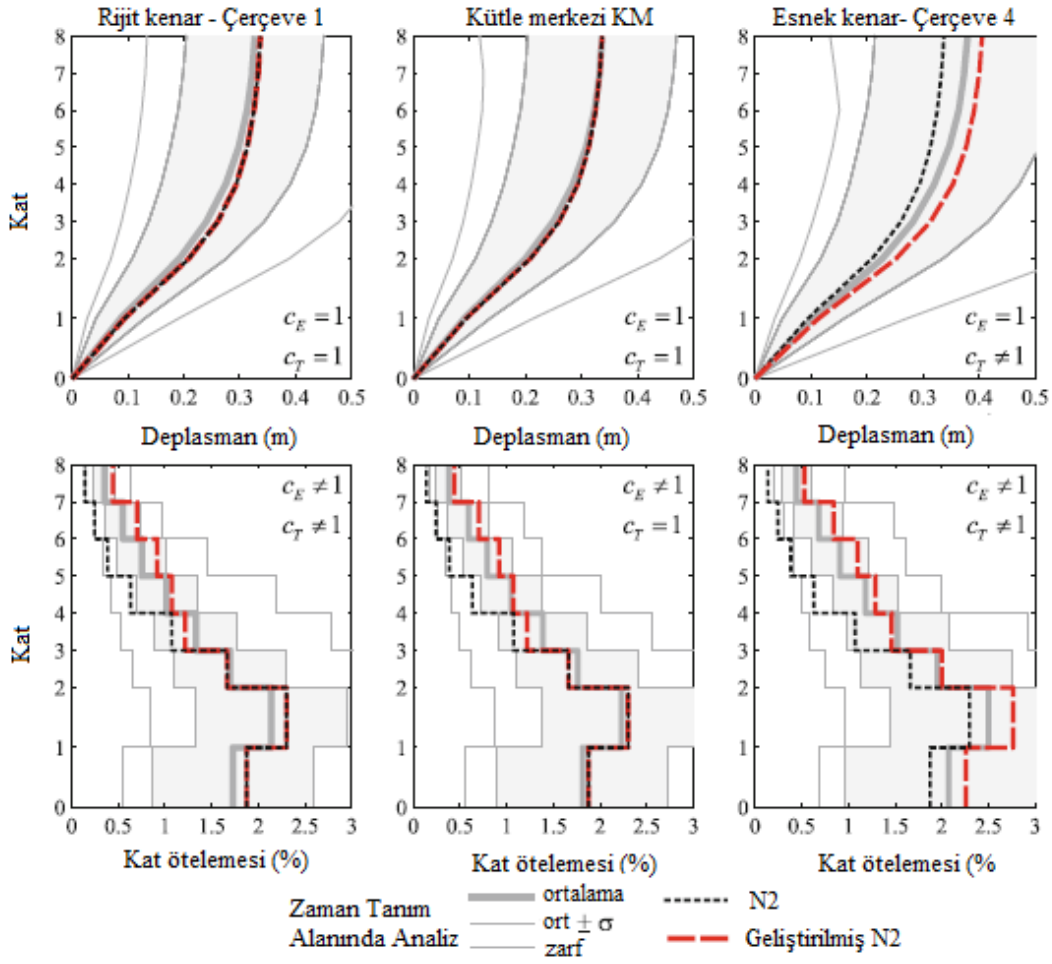
Geliştirilmiş N2 metodundan elde edilen sonuçlar; plandaki tepe deplasmanları ile esnek ve rijit kenarlardaki, kütle merkezinde yükseklik boyunca kat öteleme ve deplasman değerleri cinsinden ifade edilmiştir.

N2, geliştirilmiş N2 ve doğrusal olmayan zaman tanım alanındaki analiz sonuçlarının yatay düzlemdeki tepe deplasmanları Şekil 2.62'de verilmiştir.



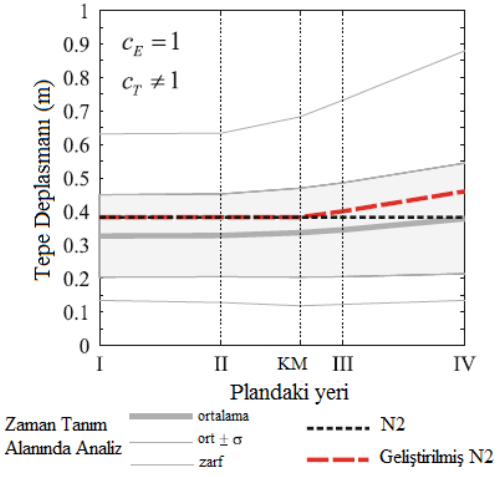
Şekil 2.62 : Yatay düzlemdeki tepe deplasmanlarının karşılaştırılması (Fajfar ve Kreslin, 2012).

N2, geliştirilmiş N2 ve doğrusal olmayan zaman tanım alanındaki analiz sonuçlarının plandaki farklı noktalarda yükseklik boyunca deplasman ve kat ötelemeleri Şekil 2.63'de verilmiştir.



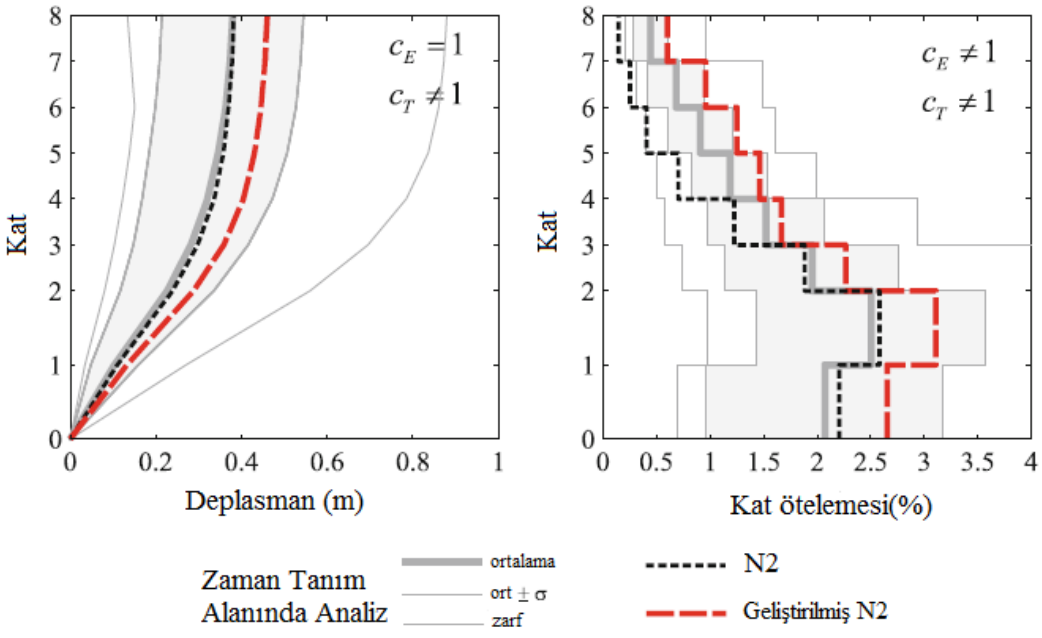
Şekil 2.63 : Plandaki farklı noktalarda yükseklik boyunca deplasman ve kat ötelemelerinin karşılaştırılması (Fajfar ve Kreslin, 2012).

Fajfar ve Kreslin, (2012) çalışmasında N2, gelitirilmiş N2 ve zaman tanım alanında analiz sonuçlarından elde edilen tepe deplasmanlarının yatay düzlemde karşılaştırılması Şekil 2.64'deki gibi verilmiştir.



Şekil 2.64 : Tepe deplasmanlarının yatay düzlemde karşılaştırılması (Fajfar ve Kreslin, 2012).

Şekil 2.64'de verilen, esnek kenardaki (çerçeve 4) yükseklik boyunca N2 metodu, geliştirilmiş N2 ve zaman tanım alanında analizinden elde edilen deplasman ve kat öteleme gafiği Şekil 2.65'de verilmiştir.



Şekil 2.65 : Çerçeve 4-esnek kenardaki deplasman ve kat öteleme grafiği (Fajfar ve Kreslin, 2012).

Bu çalışmada N2 metodunun ve diğer basitleştirilmiş temelde itme analizine dayanan yöntemlerin doğruluğunu belirlemek için iki farklı yaklaşım kullanılmıştır. Bunlardan ilki hedef deplasmanın bulunması diğeri ise yapı boyunca sismik talep dağılımıdır. Bu iki yaklaşım birbirinden bağımsızdır bu sebeple ayrı değerlendirilmiştir. Geliştirilmiş N2 metodunun amacı, geliştirilmiş sismik talep dağılımıdır.

Daha önce yapılan çalışmalar planda ve düşeydeki düzensizlik etkisinin yer hareketinin büyüklüğüne bağlı olduğu ve düzensizliğin en çok olduğu (örneğin orta ve yüksek katlı yapıların yukarı kısımlarında, planda simetrik olmayan yapıların esnek kenarları, ve burulmaya karşı esnek planda simetrik olmayan yapıların rijit kenarları) yapının üst katlarında yüksek değerler veren elastik analiz ile belirlenebileceğini göstermiştir. Bu yüzden, sunulan N2 metodu düzensizlik etkilerinin tahminlerinde makul sonuçlar vermektedir.

3. İNCELEME KONUSU BİNAYA AİT VERİLER

Bu bölümde, inceleme konusu olan binaya ait özelliklerinden ve SAP2000 programında bina modelinin kurulmasından bahsedilecektir.

3.1 Bina Özellikleri

Tez çalışması kapsamında, Van bölgesinde inşa edilmiş olan 1B+Z+9N kat ile toplam 11 katlı konut binası üzerinde çalışılmış, binanın kat planı ve kesitleri değiştirilerek test binası olarak kullanılmıştır. Analizlerde kullanılan bina temel olarak x doğrultusunda 7, y doğrultusunda 4 açıklığa sahiptir. Bodrum kat betonarme perdeleri mevcut binada N2 ve geliştirilmiş N2 yöntemlerinin incelenebilmesi için, inceleme konusu bina bodrum kat betonarme perdeli ve perdesiz olarak SAP2000 programında modellenmiştir. Bodrum kat betonarme perdelerinin modellemesi, rijitliği yüksek dairesel kesitli elemanların, bodrum katı çevreleyen kolonları birbirlerine bağlayacak şekilde çapraz olarak yerleştirilmesi ile yapılmıştır. Betonarme perdeli ve perdesiz binanın üç boyutlu görünümü Şekil 3.1 ve Şekil 3.2'de verilmiştir. Binada 15x32 cm boyutlarında nervür kirişleri mevcuttur. Bu sebeple nervürler arasında kalan tablaların ağırlıkları TS 500'e göre hesaplanarak kirişler üzerine etkitilmiştir. İnceleme konusu binanın kalıp planı Şekil 3.3'de gösterilmiştir. Bina ile ilgili genel bilgiler başlıklar altında özetlenmiştir.

Bina bilgileri:

Kat adedi: 11 (tek bodrum katlı)

Bodrum kat yüksekliği: 3.5 m

Normal kat yükseklikleri: 2.5 m

Toplam bina yüksekliği: 28.5 m

Bina oturma alanı: 590 m^2

Malzeme bilgileri:

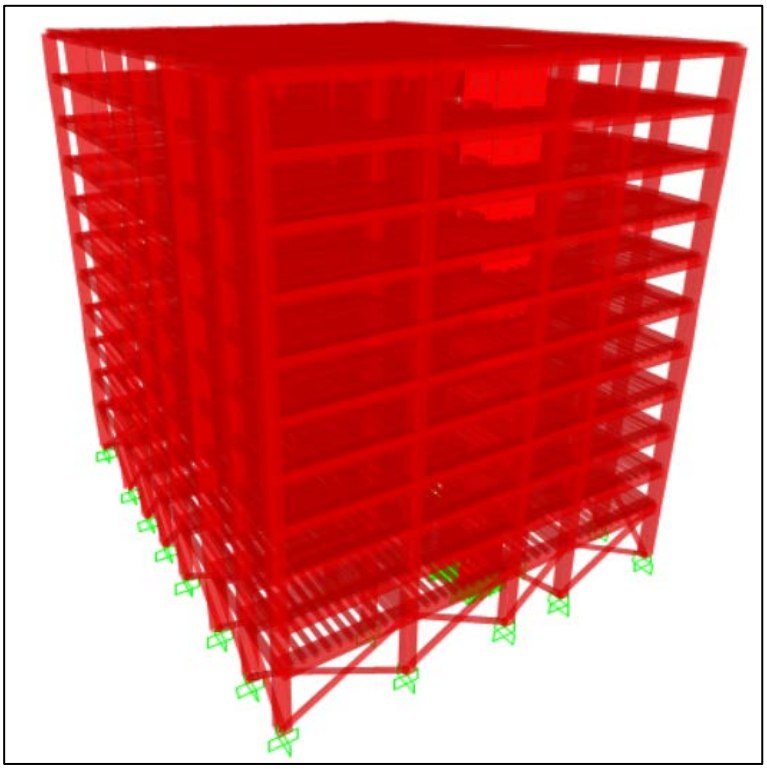
Beton sınıfı: C25 (f_{ck} = 25 MPa)

Donatı çeliği: S420 (f_{yk} = 420 MPa)

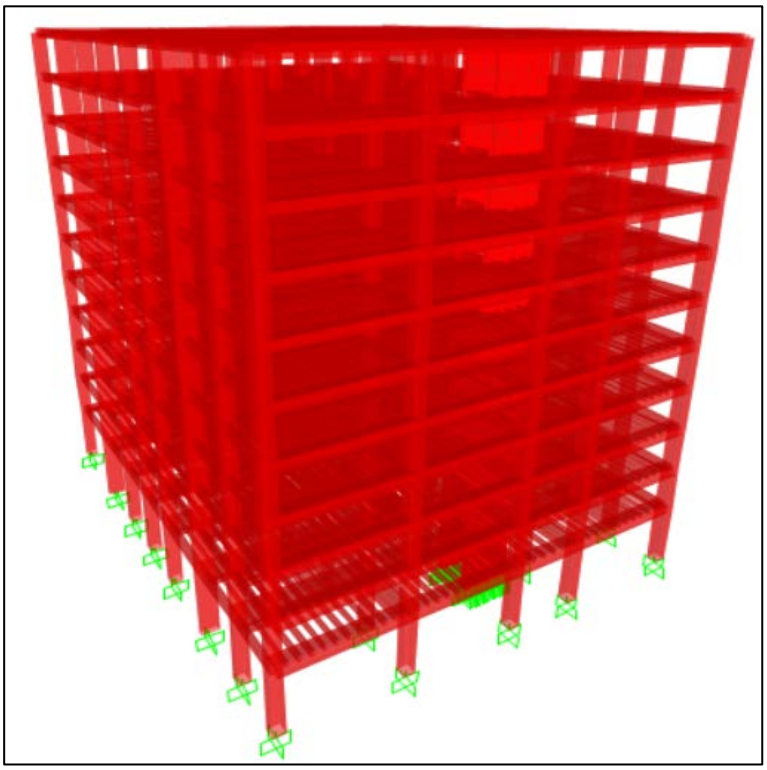
Beton elastisite modülü, [E_c] = 30000 MPa

Rijit elemanlar, [E_c] = 35000 MPa (bodrum kat perdelerini temsilen kullanılmıştır)

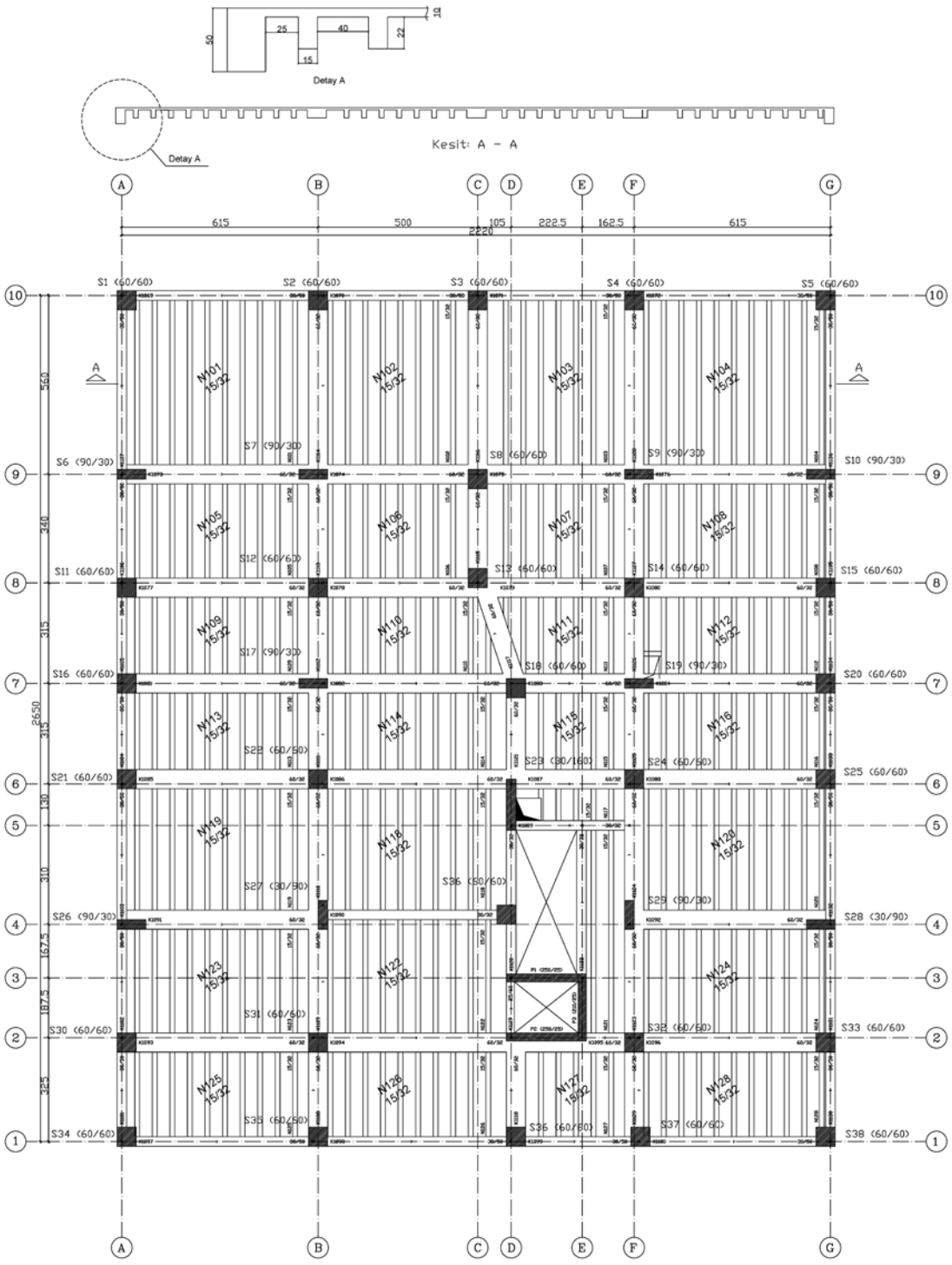
Donatı çeliği elastisite modülü, [E_s] = 200000 MPa



Şekil 3.1 : Betonarme bodrum perdeli binanın üç boyutlu modeli.



Şekil 3.2 : Betonarme bodrum perdesiz binanın üç boyutlu modeli.



Şekil 3.3 : Kalıp planı.

İnceleme konusu binanın deprem parametreleri, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007 (DBYBHY-07) için verilmiştir.

Deprem parametreleri (DBYBHY-07):

Deprem bölgesi: 1

Etkin yer ivme katsayısı (A_0): 0.4

Yerel zemin sınıfı: Z2

Taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R): 7

Yükler:

Beton yoğunluğu: 25 kN/m^3

Hareketli yük: 2 kN/m^2

Döşeme yükleri:

TS 500'e göre düzgün yayılı yük taşıyan ve uzun kenarının kısa kenarına oranı 2'den büyük olan betonarme döşemelerde yük aktarımı tek doğrultuda olmaktadır. Bu plaklar tek doğrultuda çalışan plaklar olarak adlandırılırlar. Ele aldığımız sistemde de nervür kirişlerinin arasında kalan plakların yükleri, kirişlere etkitilmiştir.

Döşeme kalınlığı (h): 0.10 m

Döşeme zati yükü: 3 kN/m^2

Deprem yüklemesine esas olacak bina ağırlığı:

Yapılacak olan analizlere esas olacak bina ağırlığı denklem 3.1'e göre hesaplanmıştır.

$$W = G + n.Q \tag{3.1}$$

$$W = 58073 + 0.3 \cdot 16288$$

$$W = 62960\ kN$$

denklem 3.1'de;

W : Binanın, hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak bulunan toplam ağırlığı.

G : Binanın toplam sabit yükü.

Q : Binaya etkiyen toplam hareketli yük.

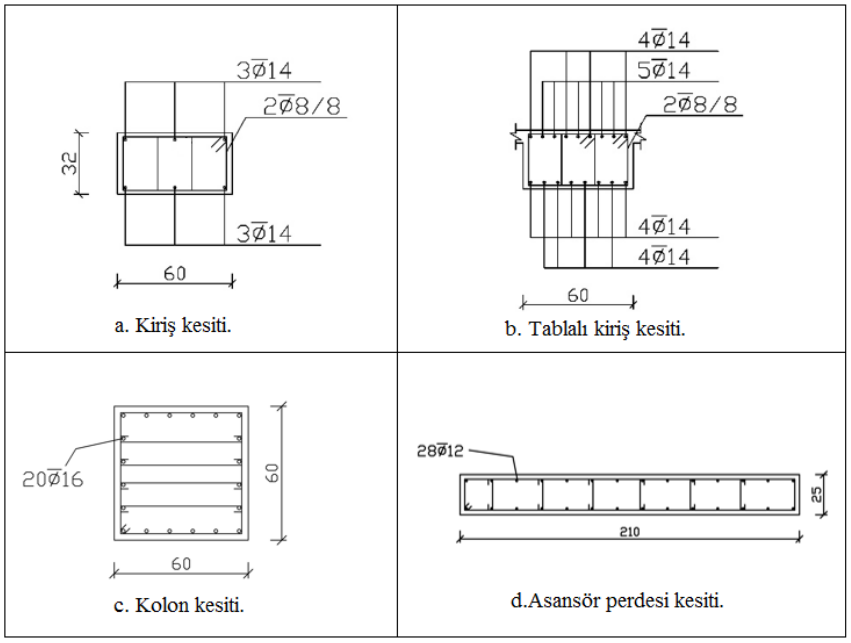
n : Hareketli yük katılım katsayısı (konut tipi binalarda bu katsayı "0.3" olarak alınmaktadır (DBYBHY-07)).

3.2 Bina Modelinin SAP2000 Programında Kurulması

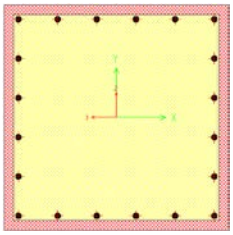
Binanın modellenmesinde kolon ve kiriş kesitleri, SAP2000 v19.0.0 programında yer alan "Section Designer" menüsü kullanılarak oluşturulmuştur. Bu menüde kolon ve kiriş kesitleri enine ve boyuna donatıları ile birlikte oluşturulabilmektedir. Özellikle

bu menünün kullanılmasındaki amaç, girilen kesitlerin P-M-M ve Moment – Eğrilik grafiklerinin elde edilmesindeki kolaylıktır.

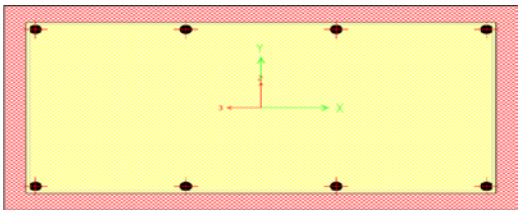
Binaya ait örnek kiriş, tablalı kiriş, kolon ve asansör perde kesitleri Şekil 3.4'de verilmiştir. Şekil 3.5-Şekil 3.7'de görüldüğü gibi kesit tasarlama bölümünde kesite ait detaylar SAP2000 programına girilmiştir. Kesit açılımları EK B'de gösterilmiştir.



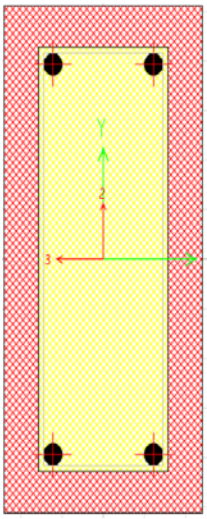
Şekil 3.4 : Binaya ait örnek kesitler.



Şekil 3.5 : Kesit tasarlama (Section Designer) örnek kolon kesiti (60/60 cm).



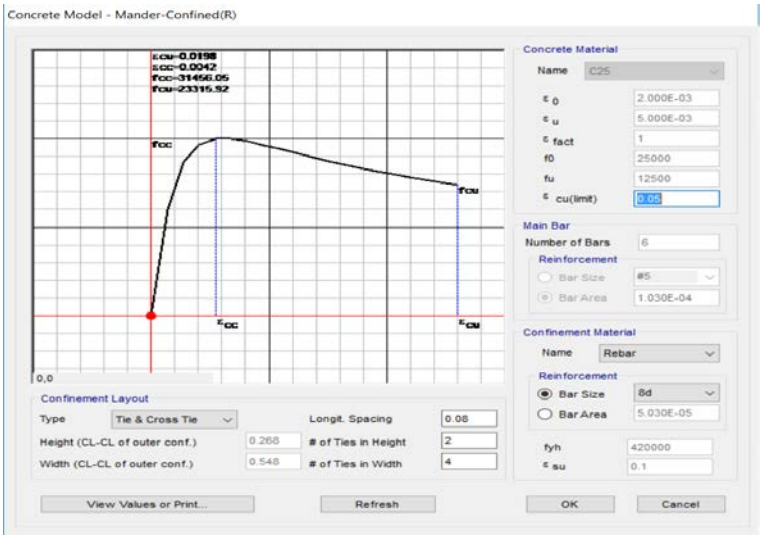
Şekil 3.6 : Kesit tasarlama (Section Designer) örnek kiriş kesiti (60/30 cm).



Şekil 3.7 : Kesit tasarlama (Section Designer) nervür kiriş kesiti (15/32 cm).

Beton modeli:

Bu binada doğrusal olmayan Mander beton modeli kullanılmıştır. Bu model tek eksenli, sabit sargı modeli olup ilk olarak Madas (1993) tarafından Mander ve diğ. (1988) konstitütif ilişkisi baz alınarak kodlanmıştır. Yatay sargı donatısı tarafından sabit bir sargı etkisi sağlanır ve Mander ve diğerleri tarafından 1988'de belirlenen kurallara göre hesaplanan bu gerilmenin bütün gerilme-birim şekil değiştirme boyunca aynı olduğu kabul edilir. SAP2000 programında sargı etkisi altındaki kiriş kesitinde enine ve boyuna donatının tanımlanması ile ilgili arayüz Şekil 3.8'de gösterilmiştir.



Şekil 3.8 : Kullanılan Mander modeli ile kesite enine-boyuna donatıların tanımlanması.

İnceleme konusu binada kullanılan 30/60 kiriş kesiti için sargılı beton özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 : 30/60 kiriş kesiti için sargılı beton özellikleri.

Beton Sınıfı	f_{cc} (kN/m^2)	f_{cu} (kN/m^2)	ε_{cc}	ε_{cu}
C25	31456.05	23315.92	0.0042	0.0198

Burada;

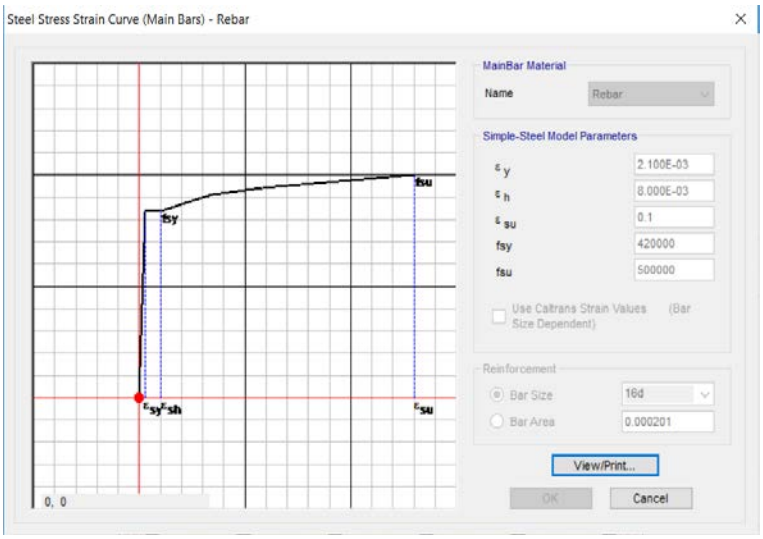
f_{cc} : Sargılı beton dayanımı.

f_{cu} : Sargılı betonun maksimum basınç birim şekildeğiştirmeye karşılık gelen dayanımı.

ε_{cc} : Sargılı betonun maksimum gerilmeye ulaştığı birim şekildeğiştirme değeri.

ε_{cu} : Sargılı betondaki maksimum basınç birim şekildeğiştirmesini temsil etmektedir.

SAP2000 programından elde edilen, taşıyıcı elemanlarda kullanılan donatıların karakteristik özellikleriyle ilgili grafik Şekil 3.9'da gösterilmiştir.



Şekil 3.9 : Donatı çeliği özellikleri-S420

Binada kulanılan donatı sınıfına ait karakteristik özellikler Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2 : Donatı çeliğine ait karakteristik özellikler

Donatı Çeliği	f_{sy} (kN/m^2)	f_{su} (kN/m^2)	ε_{sy}	ε_{sh}	ε_{su}
S420	420000	500000	0.0021	0.008	0.1

Burada;

f_{sy} : Donatı çeliğinin akma dayanımı.

f_{su} : Donatı çeliğinin kopma dayanımı.

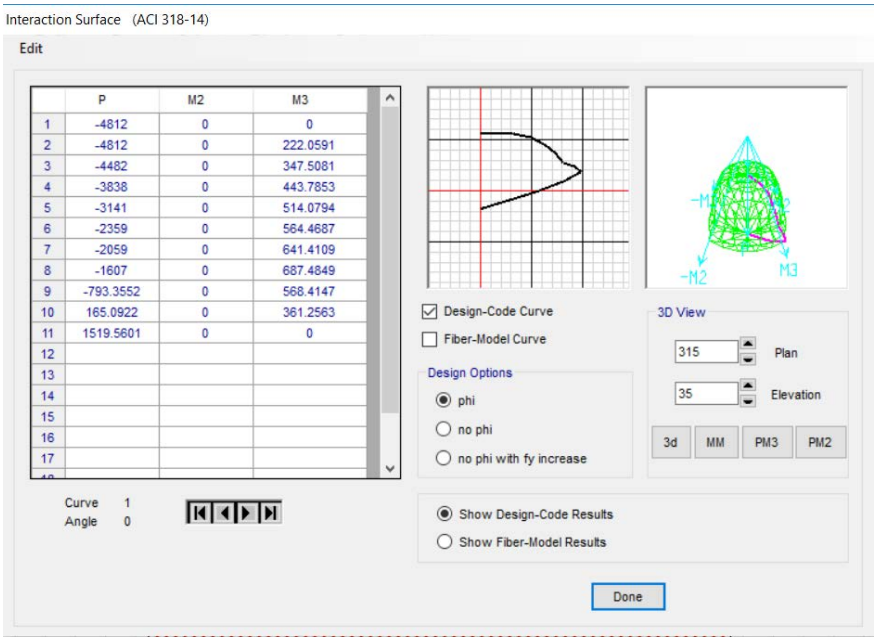
ε_{sy} : Donatı çeliğinin akma birim şekildeğiştirmesi.

ε_{sh} : Donatı çeliğinin pekleşme başlangıcındaki birim şekildeğiştirmesi.

ε_{su} : Donatı çeliğinin kopma birim şekildeğiştirmesini temsil etmektedir.

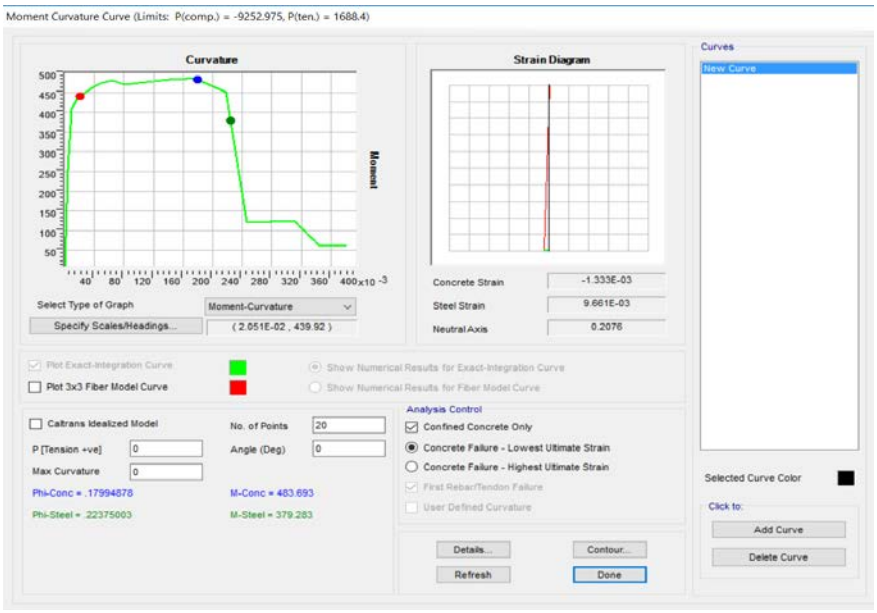
Plastik mafsal tanımı:

SAP2000 programında kesit kapasitelerinin hesaplanabilmesi için modellemede kullanılan bütün kesitler (kolon, kiriş vs.), program içerisineki kesit tasarımı bölümü kullanılarak donatılar da dahil olmak üzere oluşturulmuştur. İtme analizi yapılmadan önce kesit kapasitesilerinin hesaplanabilmesi için alınacak yük durumu (G+nQ) programa girilir. Böylelikle, doğrusal olmayan analizlerde plastik mafsal durumları program tarafından belirlenebilmektedir. Yapılan hesaplamalarda plastik mafsal atamaları program tarafından otomatik olarak yapılmıştır. Şekil 3.10'da program tarafından hesaplanan P-M-M değerleri gösterilmiştir.



Şekil 3.10 : Program tarafından hesaplanan P-M-M karşılıklı etki diyagram değerleri.

SAP2000 programı kullanılarak doğrusal olmayan statik itme analizi ve zaman tanım alanında yapılan analiz yöntemlerinde programda tanımlanan plastik mafsalların moment-eğrilik değerleri hesaplanmaktadır. Program tarafından hesaplanan moment eğrilik değeri görseli Şekil 3.11'de verilmiştir.

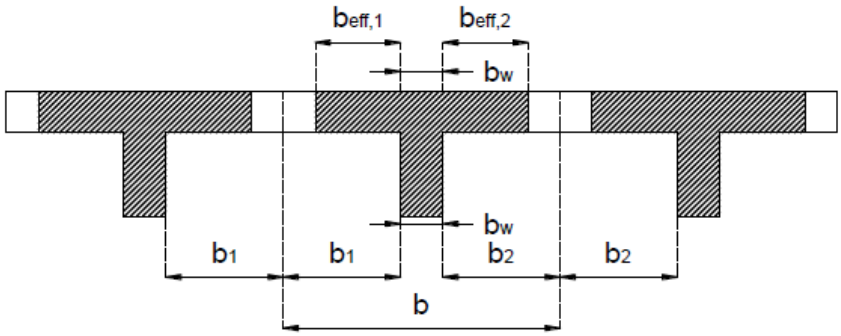


Şekil 3.11 : Program tarafından hesaplanan moment-eğrilik değerleri.

Kirişlerde efektif tabla genişliğinin belirlenmesi:

Tablalı kirişlerde efektif tabla genişliğinin belirlenmesinde Eurocode 2'de yer alan yaklaşım kullanılmıştır (denklem 3.2) (Şekil 3.12).

$$b_{eff,i} = 0.2\, b_i + 0.1 l_0 \leq 0.21 \qquad (3.2)$$



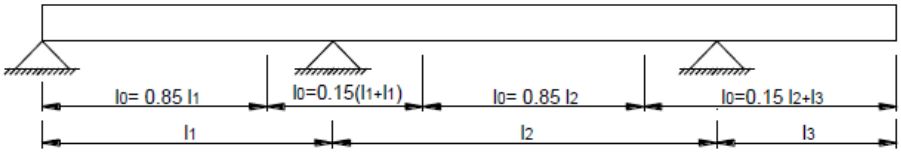
Şekil 3.12 : Efektif tabla genişliği parametreleri (EC 2, BSI 2008).

b_{eff} : Efektif tabla genişliği.

b : T kesitin gerçek tabla genişliği.

b_w : Kirişin gövde genişliği.

l_0 : Momentin sıfır olduğu noktalar arasındaki mesefedir (Şekil 3.13).



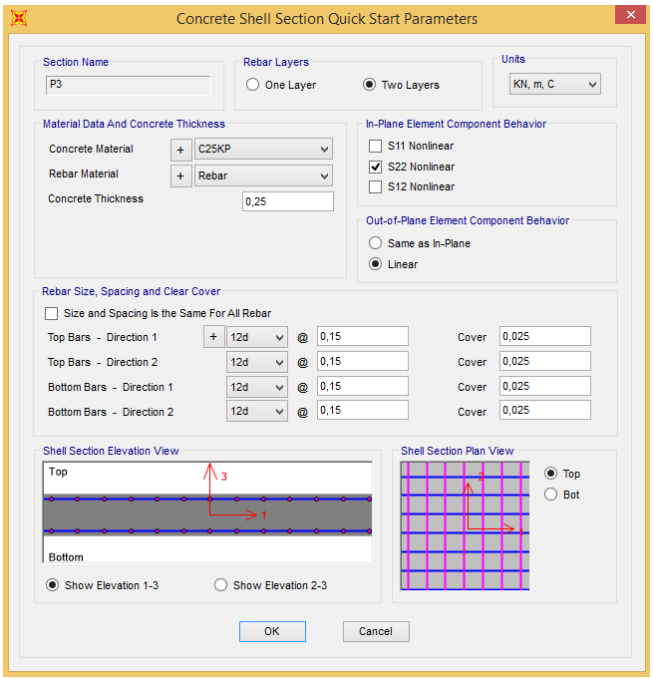
Şekil 3.13 : Efektif tabla genişliği için kullanılan I_0 'ın tanımı.

denklem 3.2' de verilen formül uygulandığında sınır şartları göz önüne alarak ideal bir efektif genişlik b_{eff} = 0.40 m bulunarak tüm çerçeve kirişlerinde uygulanmıştır.

Asansör perdelerinin tanımı:

Binada kullanılan asansör perdeleri, doğrusal olmayan kabuk eleman olarak SAP2000 programında modellenmiştir. SAP2000 programında doğrusal olmayan kabuk eleman modellemesinde, perde elemanı donatı, beton gibi katmanlara ayrılarak tanımlanabilmektedir.

Modellemede öncelikle beton için iki katman tanımlaması yapılmıştır. Donatı ile etkileşimde olmayan bir beton tabakası olduğu düşünülerek bir katman ve perde kesitinin çekirdeğini oluşturacak beton bölgesi için ayrı bir katman tanımlaması yapılmıştır. Boyuna donatılar için de perdenin her iki yüzünde olacak şekilde farklı iki katman tanımlanmıştır.



Şekil 3.14 : P3 asansör perdesinin donatı detayı ve malzeme bilgisinin girilmesi.

Katmanların belirlenmesinin ardından, her katman için kullanılcak olan malzeme tipi (beton için C25, donatı çeliği için S420 seçilmiştir) ve bu katmanın etkili olacağı doğrultu seçilmiştir.

Kesitteki donatı oranı, girilen donatı çapı ve aralık bilgisine göre program tarafından hesaplanmaktadır. Ayrıca program tanımlanan malzemelerin hangi açı ile yerleştirileceği bilgisini de istemektedir. Bu sebeple donatıların açısı 90 derece olarak girilmiştir. Şekil 3.14'de gösterildiği üzere programın ilgili arayüzü kullanılarak donatı

seçimi, donatı aralıkları ve pas payı gibi değerler girilmiştir. Düzlem içi davranışın S22 doğrultusunda doğrusal olmayan şekilde olacağı kabul edilmiştir. Boyuna donatı 12 mm alınmış ve 15 cm aralıklarla konulmuştur. P3 perdesinin açılımı EK B'de gösterilmiştir. P1 ve P2 perdeleri de P3 perdesiyle aynı şekilde ayrı ayrı tasarlanmış olup, SAP2000 programında tanıtılmıştır. Asansör perdeleri, doğrusal olmayan eleman olarak ayrı ayrı tanıtıldığı için "U" perde olarak tasarlanmamıştır.

4. ZAMAN TANIM ALANI ANALİZLERİ İÇİN DEPREM KAYITLARININ SEÇİLMESİ VE BENZEŞTİRİLMESİ

Yapılan bu çalışmada benzeştrilmiş deprem kayıtları kullanılarak zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan deprem hesabı kullanılmıştır.

Zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan analiz yöntemi, yapının doğrusal olayan davranışını da dikkate alarak sistemin hareket denkleminin adım adım entegre edilmesidir.

Zaman tanım alanında analizde kullanılan deprem kayıdındaki her adım aralığında oluşan yer ivmesi kullanılarak, o zaman aralığındaki yer değiştirme, plastik şekildeğiştirme ve iç kuvvetler gibi sistem parametreleri ile bu büyüklüklerin deprem istemine karşı gelen maksimum değerlerini bulunmasını sağlar. Yapılan çalışmalarda bu yöntemin, kullanılan diğer tüm doğrusal olmayan yöntemlere kıyasla çok daha doğru sonuçlar verdiği gösterilmiştir.

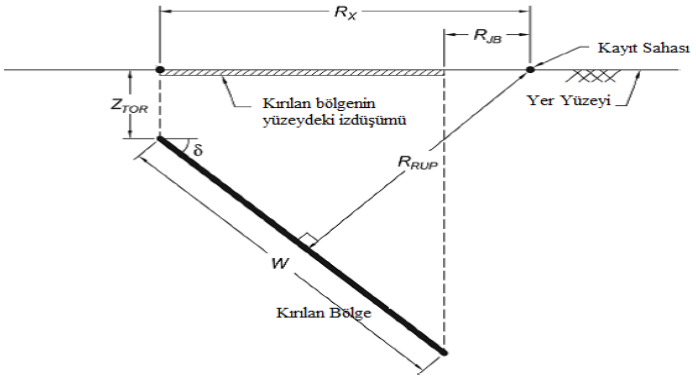
4.1 Deprem Kayıtlarının Seçilmesi

Kayıt seçiminde veritabanı olarak, Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi (PEER) veritabanı kullanılmıştır ve kayıtların ölçüm istasyonlarında alınan değerleri Çizelge 4.1'de verilmiştir (Peer veritabanı).

Çizelge 4.1 : Seçilen deprem kayıtlarının özellikleri.

Deprem İsmi	İstasyon İsmi	Büyüklük	Yıl	Rjb(km)	Rrup(km)	Vs,30(m/s)
San Fernando	Castaic-Old Ridge Route	6,61	1971	19,33	22,63	450,28
Coalinga	Parkfield-Vineyard Cany 1E	6,36	1983	24,83	26,38	381,27
Loma Prieta	Coyote Lake Dam Soutwest Abutment	6,93	1989	19,97	20,34	561,43
Cape Mendocino	Ferndale Fire Station	7,01	1992	16,64	19,32	387,95
Imperial Valley, California	Superstition Mtn Camera	6,53	1979	24,61	24,61	362,38
Chuetsu Oki, Japan	Joetsu Oshimaku Oka	6,8	2007	15,62	22,48	610,05
Northridge	Castaic - Old Ridge Route	6,69	1994	20,11	20,72	450,28

Çizelgede değerleri verilen R_{jb} (Joyner-Boore uzaklığı) Joyner ve Boore (1993) tarafından, ivme ölçerin fayın yeryüzündeki izdüşümüne uzaklığı olarak Şekil 4.1'deki gibi tanımlanmıştır. R_{rup} ise fayın kırılma düzlemine en yakın mesafedir. Şekil 4.1'de R_{jb} ve R_{rup} değerlerinin şematik anlatımı yer almaktadır.



Şekil 4.1 : Rjb ve Rrup değerlerinin şematik anlatımı.

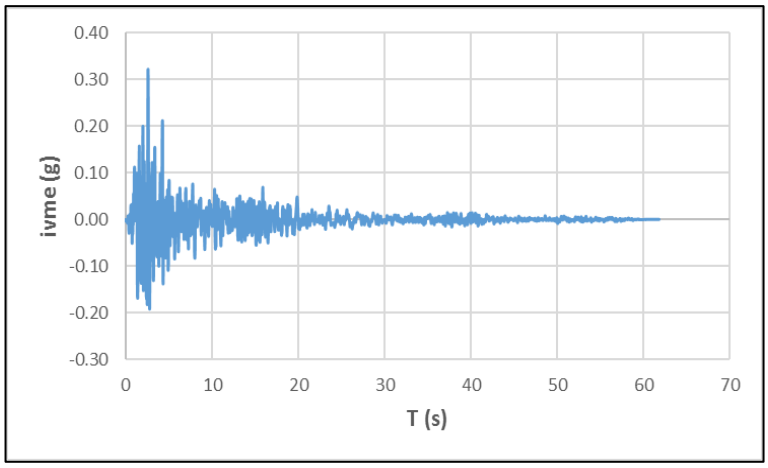
Seçilen kayıtlarda yakın fay etkisinden kaçınılarak darbe etkisi (pulse effect) olan kayıtlar tercih edilmemiştir. Ayrıca yerin en üst 30 metrelik kısmı için kesme dalgası hızı Eurocode 8'de B sınıfı zemine uygun olarak $V_{S,30}$=360-800 m/s aralığında alınmıştır. Çizelge 4.2'de Eurocode 8'de yer alan farklı zemin tiplerindeki değerler verilmiştir (EC 8, CEN 2006).

Çizelge 4.2 : Eurocode 8'de yer alan kesme dalgası hızı değerleri (EC 8, CEN 2006).

Zemin Tipi	A	B	C	D	E
$V_{S,30}$(m/s)	>800	800-360	360-180	<180	-

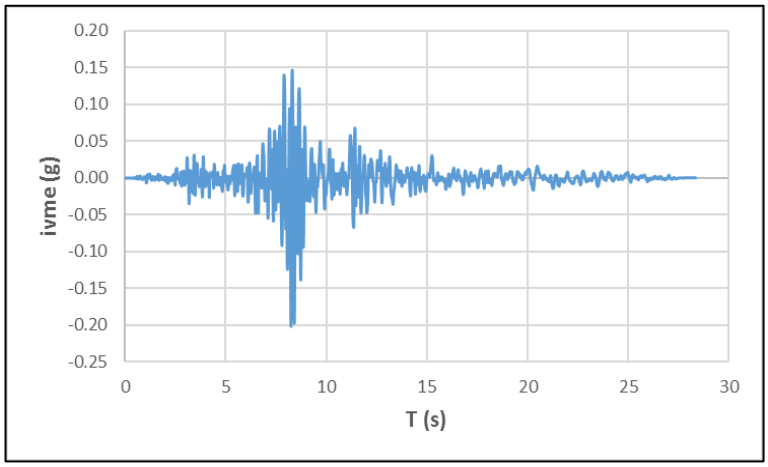
Seçilen yedi kaydın verileri PEER veritabanından alındıktan sonra SeismoSignal programı kullanılarak kayıtlar okunmuştur. İvme-zaman grafiklerinin elde edilmesinde, karesel taban çizgisi düzeltmesi (quadratic-baseline correction) yapılarak deplasman kayıtlarının sıfır çizgisinde bitmesi sağlanmıştır. Seçilen deprem kayıtlarına ait ivme – zaman grafikleri verilmiştir.

San Fernando depremine ait ivme-zaman grafiği Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



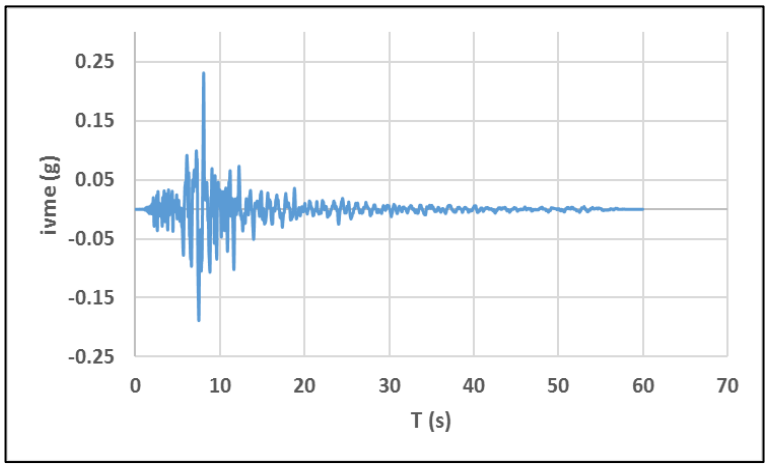
Şekil 4.2 : San Fernando depremi ivme-zaman grafiği.

Imperial Valley depremine ait ivme-zaman grafiği Şekil 4.3'de gösterilmiştir.



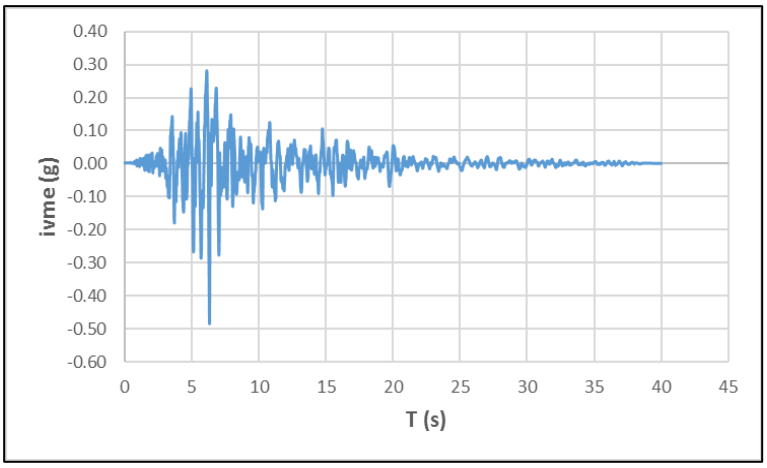
Şekil 4.3 : Imperial Valley depremi ivme-zaman grafiği.

Coalinga depremine ait ivme-zaman grafiği Şekil 4.4'de gösterilmiştir.



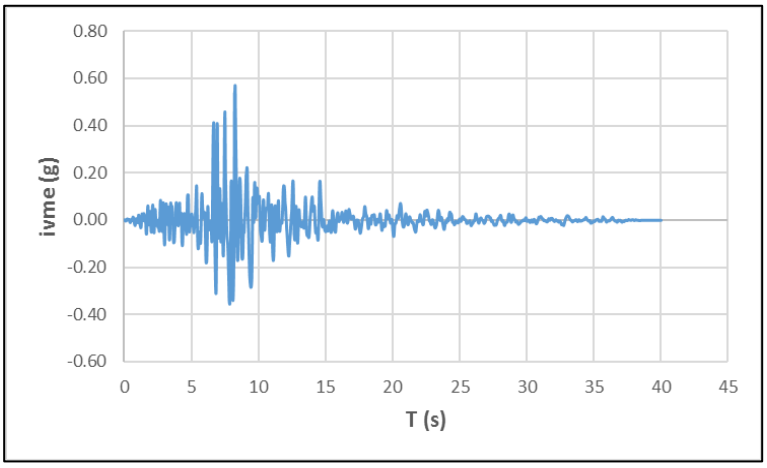
Şekil 4.4 : Coalinga depremi ivme-zaman grafiği.

Loma Prieta depremine ait ivme-zaman grafiği Şekil 4.5'de gösterilmiştir.



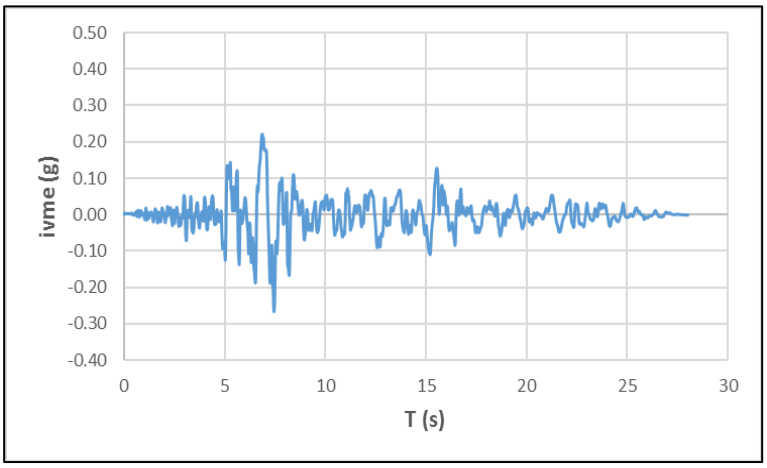
Şekil 4.5 : Loma Prieta depremi ivme-zaman grafiği.

Northridge depremine ait ivme-zaman grafiği Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



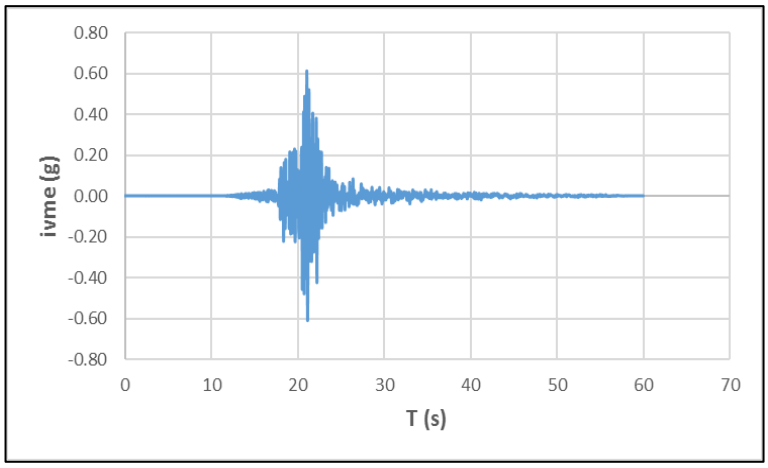
Şekil 4.6 : Northridge depremi ivme-zaman grafiği.

Cape Mendocino depremine ait ivme-zaman grafiği Şekil 4.7'de gösterilmiştir.



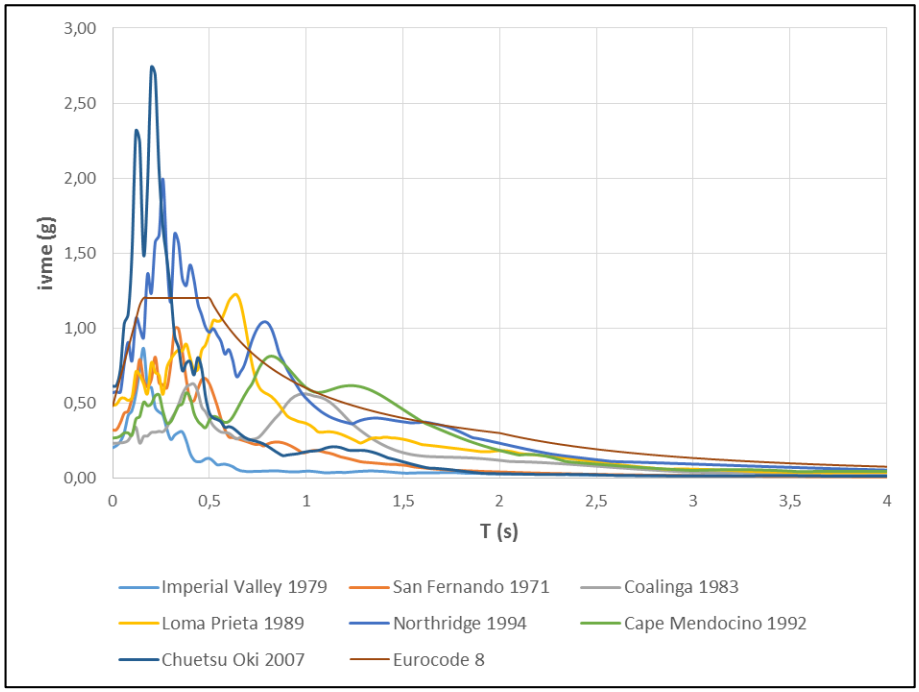
Şekil 4.7 : Cape Mendocino depremi ivme-zaman grafiği.

Chuetsu Oki depremine ait ivme-zaman grafiği Şekil 4.8'de gösterilmiştir.



Şekil 4.8 : Cheutsu Oki depremi ivme-zaman grafiği.

Seçilen deprem kayıtlarının SeismoMatch'de elde edilen elastik tepki spektrumlarının ve B zemin sınıfı için Eurocode 8'de yer alan 1. tip elastik tepki spekturumunun karşılaştırması Şekil 4.9'da verilmiştir.



Şekil 4.9 : Seçilen deprem kayıtlarının ve EC 8 spektrum karşılaştırması.

4.2 Deprem Kayıtlarının Benzeştirilmesi

Zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan deprem hesabı için Depreme Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007 ilgili bölümünde yer alan madde 2.9.1, 2.9.2 ve 2.9.3'de gerekli şartlara yer verilmiştir. Bu maddelerde, bina ve

bina türü yapıların ilgili yöntemle analizinde yapay yollarla üretilmiş, daha önce kaydedilmiş ve benzeştirilmiş deprem hareketlerinin kullanımına izin verilmektedir.

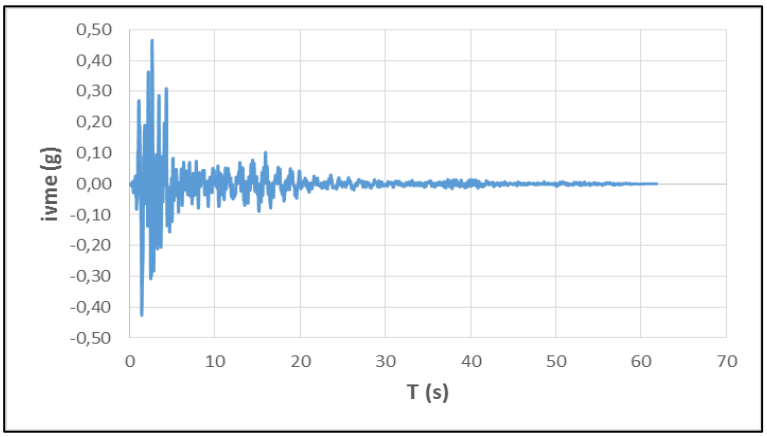
Yapay yer hareketi oluşturulduğu durumda en az üç deprem kaydı kullanılması istenmektedir. Kuvvetli yer hareketinin bulunduğu kısmın süresi yapı hakim periyodunun 5 katından az ve 15 saniyeden kısa olmasına izin verilmemektedir. Üretilen deprem kaydının sıfır periyoduna karşılık gelen spektral ivme değeri ortalaması A_{0g}'den daha küçük olmamalıdır.

Benzeştirilmiş kayıtların kullanıldığı durumda, yerel zemin koşullarının dikkate alınması özellikle belirtilmektedir. Benzeştirilmiş kayıtların kullanılması durumunda en az üç deprem kaydı oluşturulacaktır.

Üç yer hareketi dikkate alınarak yapılan analizlerde sonuçların maksimumu, en az yedi yer hareketinin alındığı durumlarda sonuçların ortalaması dikkate alınacaktır (DBYBHY, 2007).

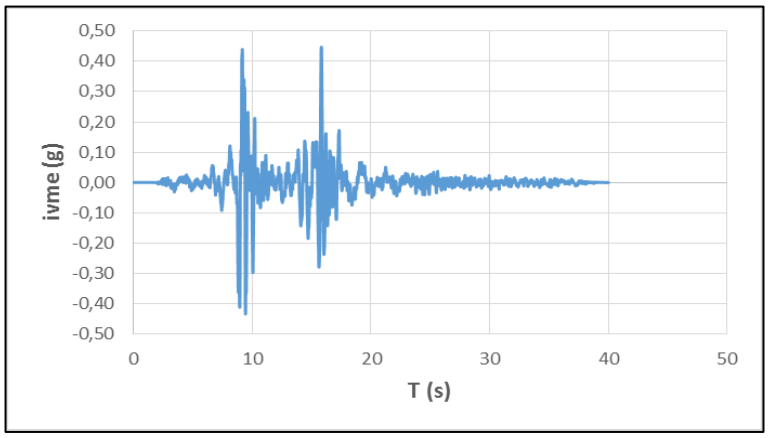
Deprem yönetmeliğindeki bu kurallar göz önüne alınarak, SeismoMatch programında seçilen deprem kayıtları Eurocode 8'de yer alan elastik ivme spektrumuna benzeştirilmiştir. Bu benzeştirme işlemi yapılırken kayıtların bozulmaması için ivme değerlerinin adım sayısı aynı olanlar gruplanarak işleme tabi tutulmuştur. Sönüm oranı %5 olarak alınmış, PGA (maksimum yer ivmesi) değeri 0.4 girilmiştir. Benzeştirme işlemi yapılırken ölçeklendirme kullanılmamıştır. Tolerans değeri de 0.3 olarak alınmıştır. Bu değerin daha düşük alınması, kayıtların Eurocode 8 tepki spektrumuna çok yakın değerler almasına sebep olmaktadır. Periyot aralıkları 0.05s ile 2s arasında alınmıştır. Benzeştirilmiş kayıtların ivme-zaman grafikleri verilmiştir.

San Fernando depremine ait benzeştirilmiş ivme-zaman grafiği Şekil 4.10'da gösterilmiştir.



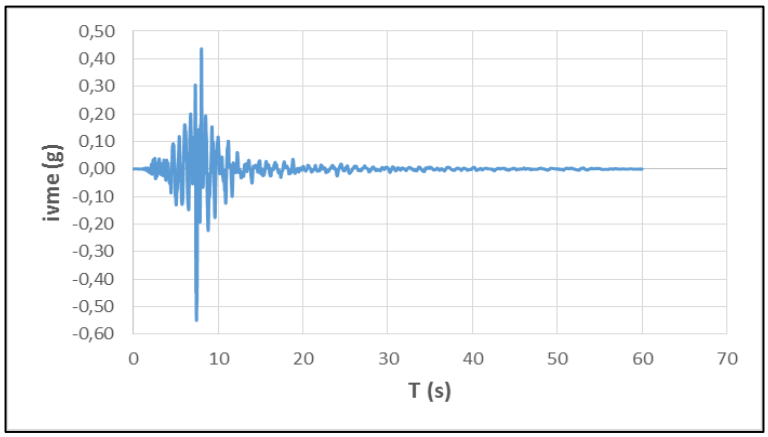
Şekil 4.10 : San Fernando depremi benzeştirilmiş ivme-zaman grafiği.

Imperial Valley depremine ait benzeştirilmiş ivme-zaman grafiği Şekil 4.11'de gösterilmiştir.



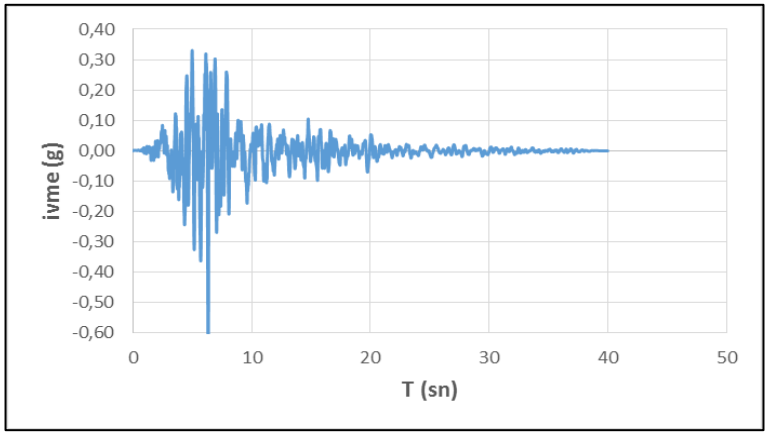
Şekil 4.11 : Imperial Valley depremi benzeştirilmiş ivme-zaman grafiği.

Coalinga depremine ait benzeştirilmiş ivme-zaman grafiği Şekil 4.12'de gösterilmiştir.



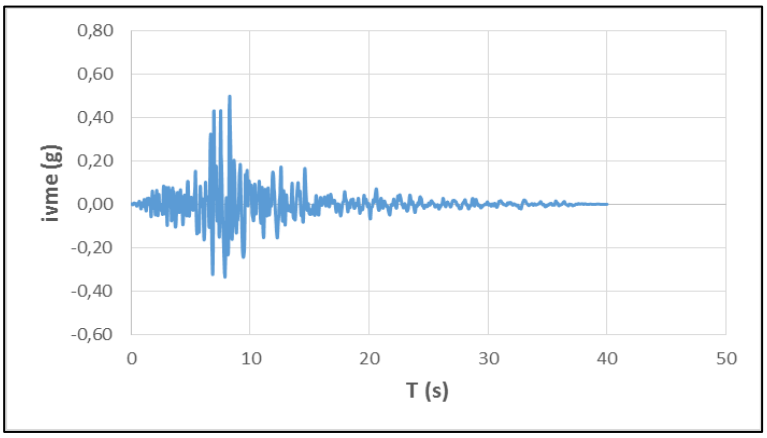
Şekil 4.12 : Coalinga depremi benzeştirilmiş ivme-zaman grafiği.

Loma Prieta depremine ait benzeştirilmiş ivme-zaman grafiği Şekil 4.13'de gösterilmiştir.



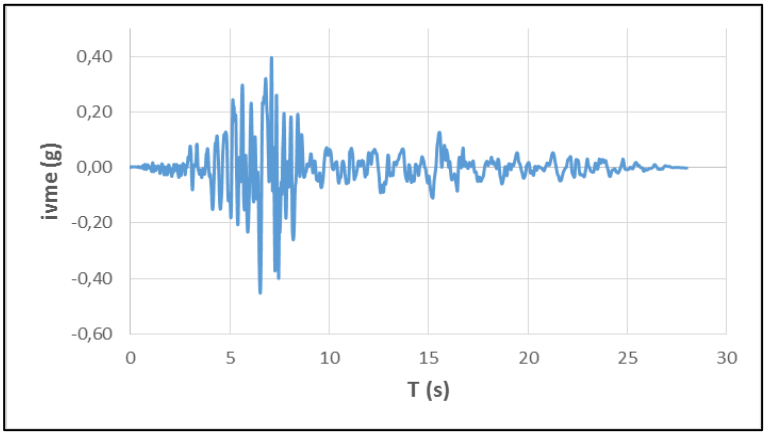
Şekil 4.13 : Loma Prieta depremi benzeştirilmiş ivme-zaman grafiği.

Northridge depremine ait benzeştirilmiş ivme-zaman grafiği Şekil 4.14'de gösterilmiştir.



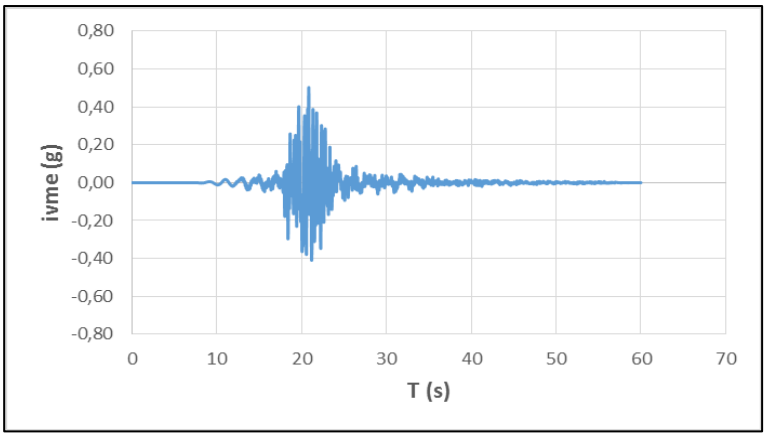
Şekil 4.14 : Northridge depremi benzeştirilmiş ivme-zaman grafiği.

Cape Mendocino depremine ait benzeştirilmiş ivme-zaman grafiği Şekil 4.15'de gösterilmiştir.



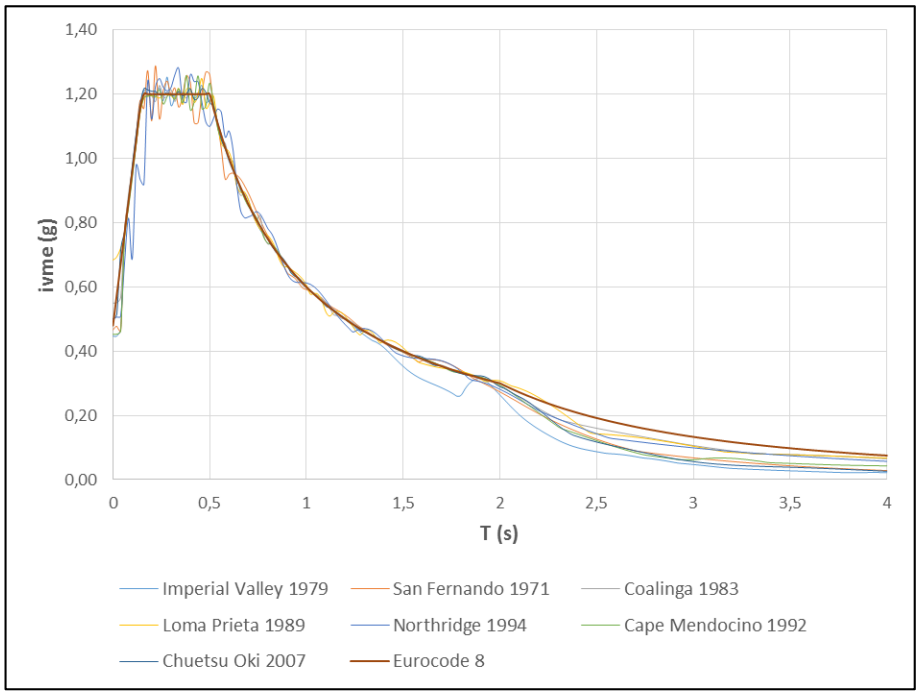
Şekil 4.15 : Cape Mendocino depremi benzeştirilmiş ivme-zaman grafiği.

Chuetsu Oki depremine ait benzeştirilmiş ivme-zaman grafiği Şekil 4.16'da gösterilmiştir.



Şekil 4.16 : Chuetsu Oki depremi benzeştirilmiş ivme-zaman grafiği.

Çizelge 4.2'deki yer alan kayıtlar frekans tanım alanında seçilen yapı için 0,4 g maksimum yer ivmesine göre, Eurocode 8'de yer alan 1. tip elastik tepki spekturumuna uygun olarak B zemin sınıfı için Şekil 4.17'de görüldüğü gibi benzeştirilmiştir.



Şekil 4.17 : Seçilen deprem kayıtlarının 0.4g maksimum yer ivmesi için S_a-periyot grafiği.

5. ANALİZ VE HESAPLAMALAR

Bina modelinin SAP2000 programında kurulmasının ardından ilk adım olarak DBYBHY-07'ye göre düzensizlik kontrolleri yapılmıştır. DBYBHY-07, binanın toplam yüksekliği 25 m den fazla olduğu ve B2 yumuşak kat düzensizliğinin bulunduğu yapılarda eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanımına izin vermemektedir (Çizelge 2.1). Bu tez kapsamında analizlerde kullanılan binanın toplam yüksekliği 28.5 m olduğu için planda ve düşeyde düzensizlik kontrolleri, DBYBHY-07 bölüm 2.8'de yer alan mod birleştirme yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Hesap yönteminde yönetmelikte yer alan tasarım ivme spektrumu kullanılmıştır. Binada herhangi bir n'inci titreşim moduna denk gelen azaltılmış ivme spektrum değeri denklem 5.1'den hesaplanmıştır.

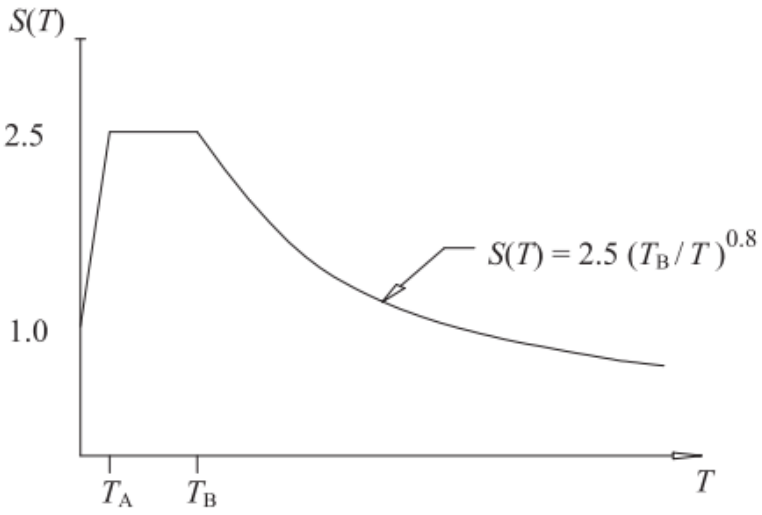
$$S_{aR}(T_n) = \frac{S_{ae}(T_n)}{R_a(T_n)} \tag{5.1}$$

$S_{aR}(T_n)$: Azaltılmış ivme spektrumu.

$S_{ae}(T_n)$: Elastik spectral ivme.

$R_a(T_n)$: Deprem yükü azaltma katsayısı.

Analizde her kat için iki öteleme ve bir dönme olmak üzere toplamda 33 mod dikkate alınmıştır. Kütle katılım oranının %90'dan fazla olduğu kontrol edilmiştir. Değişik yük kombinasyonları uygulanmış, dış merkezlilik ±%5 olarak uygulanmıştır. En elverişsiz duruma göre sınır şart olan $\eta_{bi} > 1.2$ ve $\eta_{ki} > 2.0$ kontrol edilmiştir. Tasarım ivme spektrumu Şekil 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5.1 : Elastik tasarım ivme spektrumu (DBYBHY, 2007).

5.1 Planda Düzensizlik Durumları

Seçilen binada A2 (döşeme süreksizliği) ve A3 (planda çıkıntılar bulunması) düzensizlikleri mevcut değildir.

5.1.1 Bodrum kat betonarme perdeli durum için planda düzensizlik kontrolü

X doğrultusunda betonarme perdeli yapı için burulma kontrolü Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1 : Bodrum kat betonarme perdeli yapı için x doğrultusunda burulma tahkiki.

Kat	ΔA1	ΔB1	ΔC1	ΔD1	Max	Min	Ort	ηbi
11	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	1.03
10	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	1.09
9	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	1.17
8	0.04	0.04	0.02	0.02	0.04	0.02	0.03	1.24
7	0.04	0.04	0.02	0.02	0.04	0.02	0.03	1.29
6	0.05	0.05	0.02	0.02	0.05	0.02	0.03	1.33
5	0.05	0.05	0.02	0.02	0.05	0.02	0.04	1.37
4	0.05	0.05	0.02	0.02	0.05	0.02	0.04	1.41
3	0.05	0.05	0.02	0.02	0.05	0.02	0.03	1.44
2	0.03	0.03	0.01	0.01	0.03	0.01	0.02	1.43
1	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	1.09

Y doğrultusunda betonarme perdeli yapı için burulma kontrolü Çizelge 5.2'de verilmiştir.

Çizelge 5.2 : Bodrum kat betonarme perdeli yapı için y doğrultusunda burulma tahkiki.

Kat	ΔA2	ΔB2	ΔC2	ΔD2	Max	Min	Ort	ηbi
11	0.16	0.21	0.21	0.16	0.21	0.16	0.19	1.14
10	0.15	0.21	0.21	0.15	0.21	0.15	0.18	1.15
9	0.14	0.19	0.19	0.14	0.19	0.14	0.17	1.15
8	0.13	0.18	0.18	0.13	0.18	0.13	0.15	1.16
7	0.11	0.16	0.16	0.11	0.16	0.11	0.13	1.17
6	0.09	0.13	0.13	0.09	0.13	0.09	0.11	1.18
5	0.07	0.11	0.11	0.07	0.11	0.07	0.09	1.18
4	0.05	0.08	0.08	0.05	0.08	0.05	0.07	1.19
3	0.03	0.05	0.05	0.03	0.05	0.03	0.04	1.18
2	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	1.17
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.07

Görüldüğü üzere $\eta_{bi} > 1.2$ şartı x doğrultusunda sağlanırken y doğrultusunda sağlanmamışıtr.Bu sebeple, bodrum kat betonarme perdeli yapıda x doğrultusunda burulma düzensizliği mevcuttur.

5.1.2 Bodrum kat perdesiz durum için planda düzensizlik kontrolü

X doğrultusunda perdesiz yapı için burulma kontrolü Çizelge 5.3'de verilmiştir.

Çizelge 5.3 : Bodrum kat perdesiz yapı için x doğrultusunda burulma tahkiki.

Kat	ΔA1	ΔB1	ΔC1	ΔD1	Max	Min	Ort	ηbi
11	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	1.07
10	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	1.04
9	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	1.13
8	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03	1.19
7	0.04	0.04	0.02	0.02	0.04	0.02	0.03	1.24
6	0.04	0.04	0.02	0.02	0.04	0.02	0.03	1.28
5	0.05	0.05	0.02	0.02	0.05	0.02	0.03	1.32
4	0.05	0.05	0.02	0.02	0.05	0.02	0.04	1.37
3	0.05	0.05	0.02	0.02	0.05	0.02	0.04	1.42
2	0.05	0.05	0.02	0.02	0.05	0.02	0.03	1.47
1	0.04	0.04	0.01	0.01	0.04	0.01	0.02	1.54

Y doğrultusunda perdesiz yapı için burulma kontrolü Çizelge 5.4'de verilmiştir.

Çizelge 5.4 : Bodrum kat perdesiz yapı için y doğrultusunda burulma tahkiki.

Kat	ΔA2	ΔB2	ΔC2	ΔD2	Max	Min	Ort	ηbi
11	0.02	0.02	0.02	0.29	0.29	0.02	0.15	1.89
10	0.02	0.02	0.02	0.27	0.27	0.02	0.14	1.86
9	0.02	0.02	0.02	0.25	0.25	0.02	0.14	1.83
8	0.03	0.03	0.03	0.22	0.22	0.03	0.13	1.79
7	0.03	0.03	0.03	0.20	0.20	0.03	0.11	1.74
6	0.03	0.03	0.03	0.17	0.17	0.03	0.10	1.69
5	0.03	0.03	0.03	0.14	0.14	0.03	0.08	1.63
4	0.03	0.04	0.04	0.11	0.11	0.03	0.07	1.54
3	0.03	0.03	0.03	0.07	0.07	0.03	0.05	1.43
2	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.03	0.04	1.27
1	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	1.09

Görüldüğü üzere $\eta_{bi} > 1.2$ şartı her iki doğrultuda ve bodrum kat perdesiz durum için sağlanmaktadır. Dolayısıyla yapıda burulma düzensizliği mevcuttur.

5.2 Düşeyde Düzensizlik Durumları

5.2.1 Bodrum kat betonarme perdeli durum için düşeyde düzensizlik kontrolü

X doğrultusunda betonarme perdeli yapıda yumuşak kat kontrolü Çizelge 5.5'de verilmiştir.

Çizelge 5.5 : Bodrum kat betonarme perdeli yapı için x doğrultusunda yumuşak kat tahkiki.

Kat	ΔA1/h	ΔB1/h	ΔC1/h	ΔD1/h	Max	Min	Ort	h(m)	η_{ki} (i/(i-1))	η_{ki} (i/(i+1))
11	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	2.50	0.84	-
10	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	2.50	0.85	1.19
9	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	2.50	0.87	1.18
8	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	2.50	0.90	1.15
7	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	2.50	0.92	1.12
6	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	2.50	0.95	1.09
5	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	2.50	1.00	1.05
4	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	2.50	1.10	1.00
3	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	2.50	1.42	0.91
2	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	2.50	4.78	0.70
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.50	-	0.21

Y doğrultusunda betonarme perdeli yapıda yumuşak kat kontrolü Çizelge 5.6'da verilmiştir.

Çizelge 5.6 : Bodrum kat betonarme perdeli yapı için y doğrultusunda yumuşak kat tahkiki.

Kat	ΔA2/h	ΔB2/h	ΔC2/h	ΔD2/h	Max	Min	Ort	h(m)	η_{ki} (i/(i-1))	η_{ki} (i/(i+1))
11	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	2.50	0.86	-
10	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	2.50	0.88	1.16
9	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	2.50	0.90	1.14
8	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	2.50	0.91	1.12
7	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	2.50	0.94	1.09
6	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	2.50	0.97	1.06
5	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	2.50	1.02	1.03
4	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	2.50	1.11	0.98
3	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	2.50	1.44	0.90
2	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	2.50	5.18	0.70
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.50	-	0.19

Çizelge 5.5 ve Çizelge 5.6'da görüldüğü üzere yapıda bodrum kat betonarme perdeli durumda her iki doğrultuda $\eta_{ki} > 2.0$ şartı sağlanmaktadır. Dolayısı yapıda bodrum perdeleri yumuşak kata sebep olmaktadır.

5.2.2 Bodrum kat perdesiz durum için düşeyde düzensizlik kontrolü

X doğrultusunda perdesiz yapıda yumuşak kat kontrolü Çizelge 5.7'de verilmiştir.

Çizelge 5.7 : Bodrum kat perdesiz yapı için x doğrultusunda yumuşak kat tahkiki.

Kat	ΔA1/h	ΔB1/h	ΔC1/h	ΔD1/h	Max	Min	Ort	h(m)	η_{ki} (i/(i-1))	η_{ki} (i/(i+1))
11	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	2.50	0.84	-
10	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	2.50	0.85	1.19
9	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	2.50	0.87	1.18
8	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	2.50	0.89	1.15
7	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	2.50	0.91	1.12
6	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	2.50	0.94	1.09
5	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	2.50	0.97	1.07
4	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	2.50	1.02	1.03
3	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	2.50	1.12	0.98
2	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	2.50	1.80	0.90
1	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	3.50	-	0.55

Y doğrultusunda perdesiz yapı yumuşak kat kontrolü Çizelge 5.8'de verilmiştir.

Çizelge 5.8 : Bodrum kat perdesiz yapı için y doğrultusunda yumuşak kat tahkiki.

Kat	ΔA2/h	ΔB2/h	ΔC2/h	ΔD2/h	Max	Min	Ort	h(m)	η_{ki} (i/(i-1))	η_{ki} (i/(i+1))
11	0.01	0.01	0.01	0.12	0.12	0.01	0.06	2.50	1.06	-
10	0.01	0.01	0.01	0.11	0.11	0.01	0.06	2.50	1.07	0.95
9	0.01	0.01	0.01	0.10	0.10	0.01	0.05	2.50	1.08	0.94
8	0.01	0.01	0.01	0.09	0.09	0.01	0.05	2.50	1.11	0.92
7	0.01	0.01	0.01	0.08	0.08	0.01	0.05	2.50	1.14	0.90
6	0.01	0.01	0.01	0.07	0.07	0.01	0.04	2.50	1.18	0.88
5	0.01	0.01	0.01	0.05	0.05	0.01	0.03	2.50	1.23	0.85
4	0.01	0.01	0.01	0.04	0.04	0.01	0.03	2.50	1.32	0.81
3	0.01	0.01	0.01	0.03	0.03	0.01	0.02	2.50	1.48	0.76
2	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	2.50	2.32	0.68
1	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	3.50	-	0.43

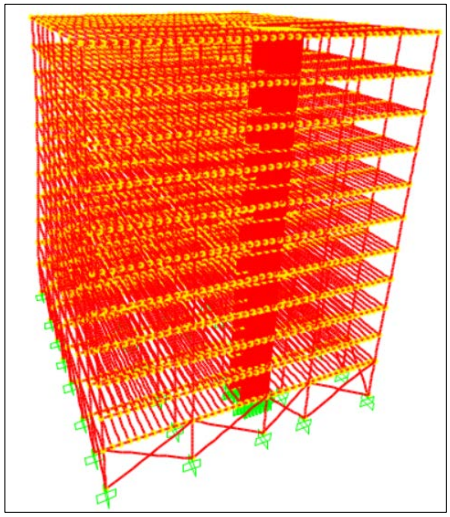
Çizelge 5.7' de görüldüğü üzere, x doğrultusunda betonarme perdesiz yapıda yumuşak kat düzensizliği bulunmazken, Çizelge 5.8'de y doğrultusunda yumuşak kat düzensizliğinin olduğu ($\eta_{ki} > 2.0$) görülmektedir.

5.3 Özdeğer Analiz

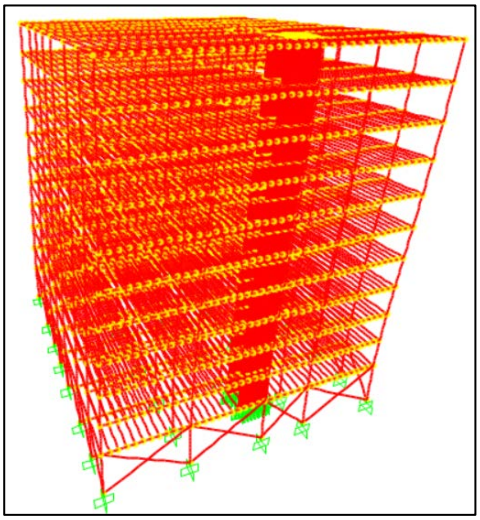
Bodrum kat betonarme perdeli durum için özdeğer analiz yapılmış ve çatlamamış kesit dikkate alınarak her moda karşılık gelen periyot ve yerdeğiştirme değerleri elde edilmiştir. Binanın ilk üç moduna ait periyot değerleri Çizelge 5.9 ve mod şekilleri Şekil 5.2 - Şekil 5.4'de verilmiştir.

Çizelge 5.9 : Bodrum kat betonarme perdeli durum için bina periyotları.

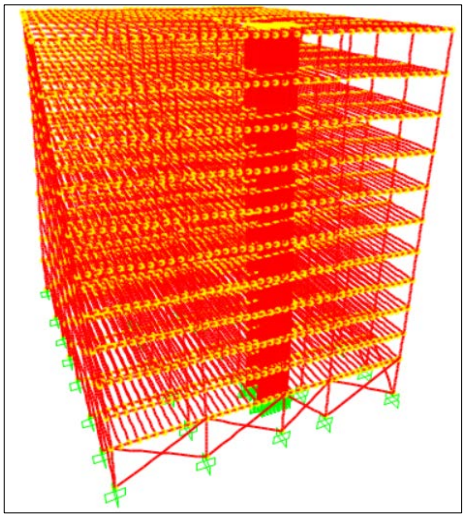
T_1=1,37s	T_2=1,24s	T_3=1,00s



Şekil 5.2 : Bodrum perdeli durum 1. mod şekli.



Şekil 5.3 : Bodrum perdeli durum 2. mod şekli.

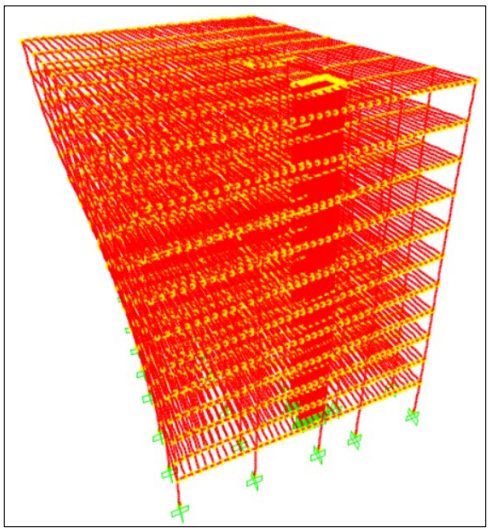


Şekil 5.4 : Bodrum perdeli durum 3. mod şekli.

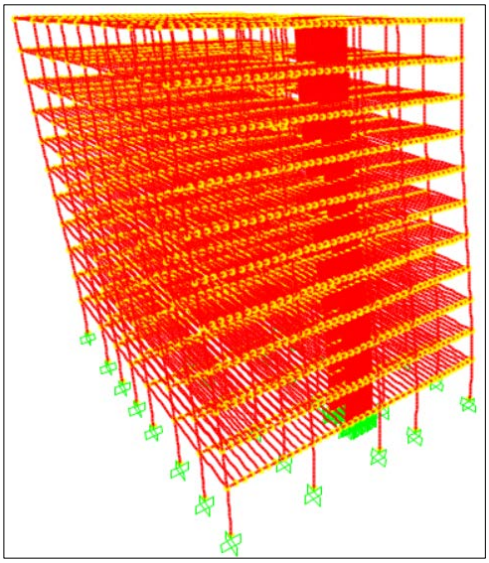
Bodrum perdesiz durum için özdeğer analiz yapılmış ve çatlamamış kesit dikkate alınarak her moda karşılık gelen periyot ve yerdeğiştirme değerleri elde edilmiştir. Binanın ilk üç moduna ait periyot değerleri Çizelge 5.10 ve mod şekilleri Şekil 5.5-Şekil 5.7'de verilmiştir.

Çizelge 5.10 : Bodrum kat perdesiz durum için bina periyotları.

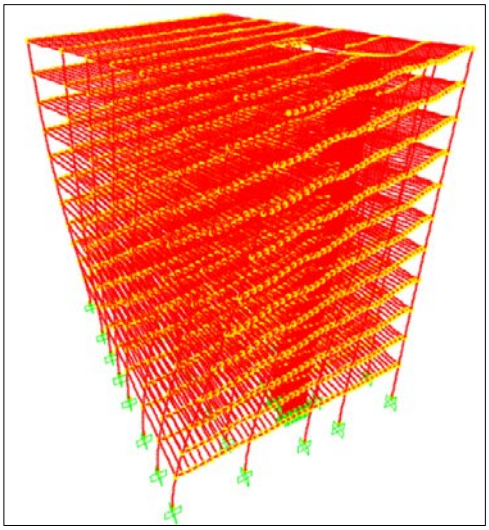
T_1=1,49s	T_2=1,33s	T_3=1,08s



Şekil 5.5 : Bodrum kat perdesiz durum 1. mod şekli.



Şekil 5.6 : Bodrum kat perdesiz durum 2. mod şekli.



Şekil 5.7 : Bodrum kat perdesiz durum 3. mod şekli.

5.4 Eurocode 8'e Göre Elastik Tepki Spektrumu Analizi (ETSA)

Elastik tepki spektrumu analizi ilerideki bölümlerde anlatılacak olan geliştirilmiş N2 metodunun uygulamasında ve düzensizlik durumları için düzeltme katsayılarının bulunmasında kullanılmıştır. Bu analiz yöntemi Eurocode 8 yönetmeliğine göre uygulanmıştır. Bu analiz yöntemi ile ilgili olarak Eurocode 8'de bahsedilen formülasyonlar aşağıdaki gibidir.

$0 \leq T \leq T_B$: $$S_e(T) = a_g.S.\left[1 + \frac{T}{T_B}(\eta.2{,}5 - 1)\right] \quad (5.2)$$

$T_B \leq T \leq T_C$: $$S_e(T) = a_g.S.\eta.2{,}5 \quad (5.3)$$

$T_C \leq T \leq T_D$: $$S_e(T) = a_g.S.\eta.2{,}5\left[\frac{T_C}{T}\right] \quad (5.4)$$

$T_D \leq T \leq 4s$: $$S_e(T) = a_g.S.\eta.2{,}5.\left[\frac{T_C T_D}{T^2}\right] \quad (5.5)$$

a_g : A zemin sınıfı için tasarım yer ivmesi

$S_e(T)$: Elastik tepki spektrumu

T : Tek serbestlik dereceli sistemin titreşim periyodu

T_B : Sabit spektral ivme bölgesinin alt limit değeri

T_C : Sabit spektral ivme bölgesinin üst limit değeri

T_D : Spektrumun sabit deplasman tepki bölgesinin başlangıç değeri

S : Zemin faktörü

η : %5 viskoz sönüm oranı için 1 olan sönüm düzeltme katsayısı

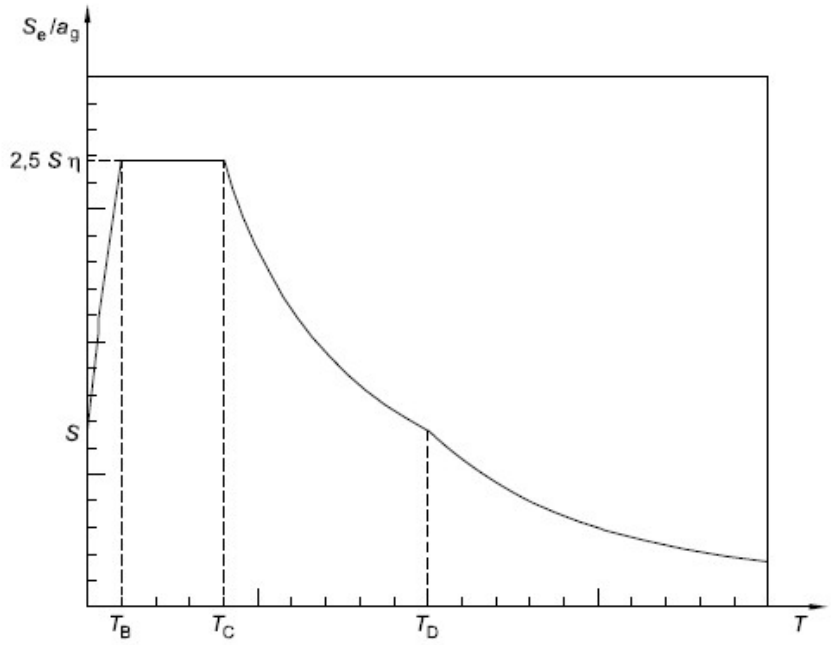
Eurocode 8'de tanımlanan elastik tepki spektrumu Şekil 5.8'de verilmiştir (EC 8, CEN 2006).

Eurocode 8'e göre yüzey dalga büyüklüğü 5,5 den büyük olan sismik bölgelerde Tip 1 tepki spektrum değerleri için önerilen parametreler Çizelge 5.11'de verilmiştir.

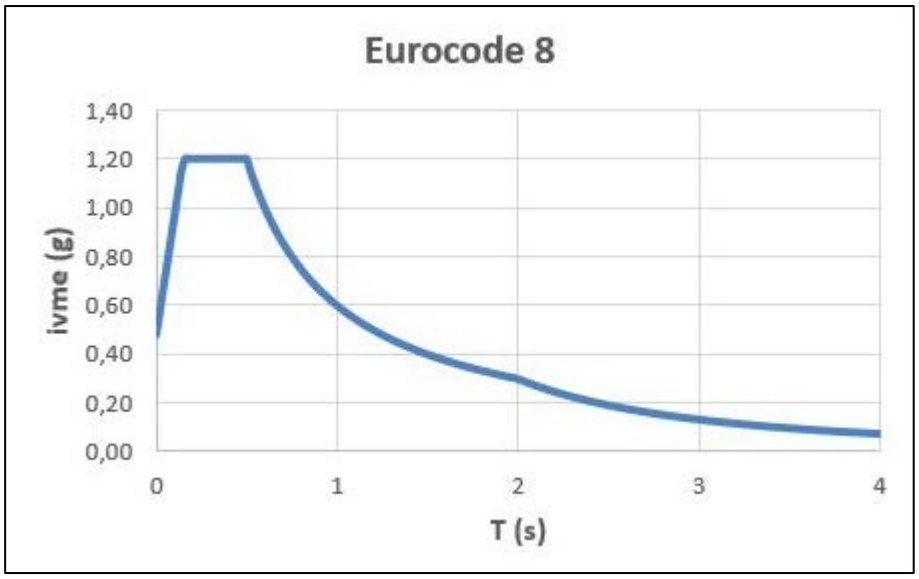
Yapının zemin sınıfı, sönüm oranı ve titreşim periyodu gibi parametreler dikkate alınarak gerekli hesaplar yapılır ve elastik tepki spektrumu elde edilir. Bodrum kat betonarme perdeli seçilen yapıya ait B sınıfı zemin için elde edilen elastik tepki spektrumu Şekil 5.9'daki gibidir.

Çizelge 5.11: Tip 1 için verilen parametreler (EC 8, CEN 2006).

Zemin sınıfı	S	T_B(s)	T_C(s)	T_D(s)
A	1	0,15	0,4	2,0
B	1,2	0,15	0,5	2,0
C	1,15	0,20	0,6	2,0
D	1,35	0,20	0,8	2,0
E	1,4	0,15	0,5	2,0



Şekil 5.8 : Eurocode 8' de tanımlanan elastik tepki spektrumu (EC 8, CEN 2006).



Şekil 5.9 : EC 8 B sınıfı zemin için elastik tepki spektrumu.

Eurocode 8 B sınıfı zemin için elastik tepki spektrumu kullanarak, bodrum katı betonarme perdelerle çevrilmiş yapı için elastik tepki spektrum analizi (ETSA) yapılmıştır. Söz konusu perdelerin kaldırıldığı durum için de analiz tekrarlanmış, Çizelge 5.12'de kütle merkezindeki deplasman değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.12 : ETSA sonucu deplasman değerleri.

Kütle Merkezindeki Deplasman Değerleri				
Kat	**Betonarme Perdeli**		**Betonarme Perdesiz**	
	ETSA-X	**ETSA-Y**	**ETSA-X**	**ETSA-Y**
1	0.01	0.01	0.02	0.02
2	0.02	0.02	0.04	0.04
3	0.05	0.05	0.06	0.07
4	0.07	0.07	0.08	0.09
5	0.10	0.10	0.11	0.12
6	0.12	0.13	0.13	0.15
7	0.15	0.16	0.15	0.18
8	0.17	0.18	0.17	0.20
9	0.19	0.21	0.19	0.22
10	0.20	0.22	0.20	0.24
11	0.22	0.24	0.22	0.26

5.5 Göreli Kat Ötelemelerinin Sınırlandırılması

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik-2007'de tasarlanan binalarda deprem yükleri altında kolon ve perde uçlarında meydana gelen yerdeğiştirmelerden kaynaklı etkin göreli kat ötelemelerinin sınırlandırılmasıyla ilgili koşul bulunmaktadır. Bu koşula göre herhangi bir i'inci kattaki kolon veya perdelerde, denklem 5.6 ile hesaplanan etkin göreli kat öteleme değerlerinin (δ_i), kat içerisindeki en büyük değeri $(\delta_i)_{max}$ denklem 5.7 ile verilen değerden büyük olamaz. Bu sınır koşulunun aşıldığı durumlarda taşıyıcı sistemin rijitliği artırılarak deprem hesabı tekrarlanmalıdır.

$$\delta_i = R\Delta_i \tag{5.6}$$

$$\frac{(\delta_i)_{max}}{h_i} \leq 0.02 \tag{5.7}$$

δ_i : i'inci kattaki etkin göreli kat ötelemesi.

R : Taşıyıcı sistem davranış katsayısı.

Δ_i : Binanın i'inci katındaki azaltılmış göreli kat ötelemesi.

h_i : i'inci kat yüksekliği.

İnceleme konusu binanın, elastik tepki spektrumu analizine tabi tutulması sonucu, binanın orta katında (6. kat) en büyük azaltılmış göreli kat öteleme değeri Δ_{max} = 0.83 cm olarak bulunmuştur. Denklem 5.6 kullanılarak etkin göreli kat ötelemesi δ = 5.80 cm olarak hesaplanmıştır. Denklem 5.7 dikkate alınarak yapılan hesaplama sonucu sınır koşulunun aşıldı görülmüştür.

$$\frac{5.80}{2.50} = 0.023$$

$$0.023 \geq 0.02$$

Bu sebeple, DBYBHY-07'ye göre binanın taşıyıcı sisteminin rijitliği artırılarak deprem hesabının tekrarlanması gerekmektedir.

5.6 N2 ve Geliştirilmiş N2 Analizi

Seçilen betonarme perdeli bina önce x ve y doğrultusunda analiz edilmiş, ardından bodrum katı çevreleyen perdeler kaldırılarak analizler tekrarlanmıştır.

5.6.1 Bodrum kat betonarme perdeli durum için N2 ve geliştirilmiş N2 analizi

- X doğrultusu için N2 analizi:

Yapılan modal analiz sonucu yapının hakim periyodunun x doğrultusunda olduğu anlaşılmıştır. Yapının ilk mod şekli, en üst kat "1" olacak şekilde normalize edilmiş ve denklem 5.8 kullanılarak itme analizinde kullanılacak olan yatay yükler bulunmuştur. Normalize edilmiş mod şekli ve yatay yük dağılımı Çizelge 5.13'de verilmiştir.

Çizelge 5.13 : Normalize edilmiş mod şekli ve yatay yük dağılımı.

Kat	Normalize Edilmiş Mod Şekli	Fx (kN)
11	1.000	5706.771
10	0.937	5349.528
9	0.863	4927.331
8	0.776	4429.234
7	0.676	3856.696
6	0.564	3220.664
5	0.445	2539.384
4	0.323	1840.588
3	0.204	1161.862
2	0.099	562.321
1	0.025	145.184

$$\{P\} = [M]\ \{\Phi\} \qquad (5.8)$$

Eşdeğer tek serbetlik dereceli sistemin parametreleri aşağıda verilmiştir.

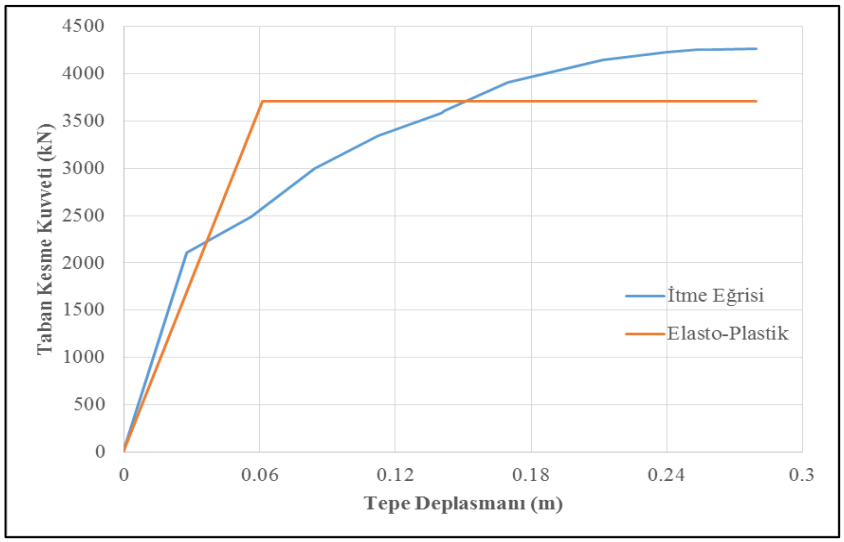
$$\{\Phi\}^T [M]\{\Phi\} = 2533.80 \text{ kNs}^2/\text{m}$$

$$\{\Phi\}^T[M]\{1\} = m^* = 3439.30\ kNs^2/m$$

Hesaplanan değerlerden hareketle modal katılım faktörü aşağıda gösterilmiştir.

$$c = \frac{\{\Phi\}^T[M]\{\Phi\}}{\{\Phi\}^T[M]\{1\}} = 0.737$$

Bulunan yatay yük dağılımda en üst kata denk gelen kuvvet "1" olacak normalizasyon yapılmış ve elde edilen yük mastrisine göre doğrusal olmayan statik itme analizi yapılmıştır. Kütle merkezine göre yapılan itme analzinden elde edilen taban kesme kuvveti ve tepe deplasman değerleri modal katılım çarpanı (c) ile çarpılarak çok serbestlik dereceli sistem, eşdeğer tek serbestlik dereceli sisteme indirgenmiştir. Eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemin itme analizi sonucu taban kesme kuvveti – tepe deplasman grafiği ve bu eğrinin iki doğru ile ifadesi Şekil 5.10'da gösterilmiştir.



Şekil 5.10 : X doğrultusu taban kesme kuvveti - tepe deplasman grafiği.

$$F_y^* = 3710\ kN$$

$$D_y^* = 0.061\ m$$

$$k^* = \frac{F_y^*}{D_y^*}$$

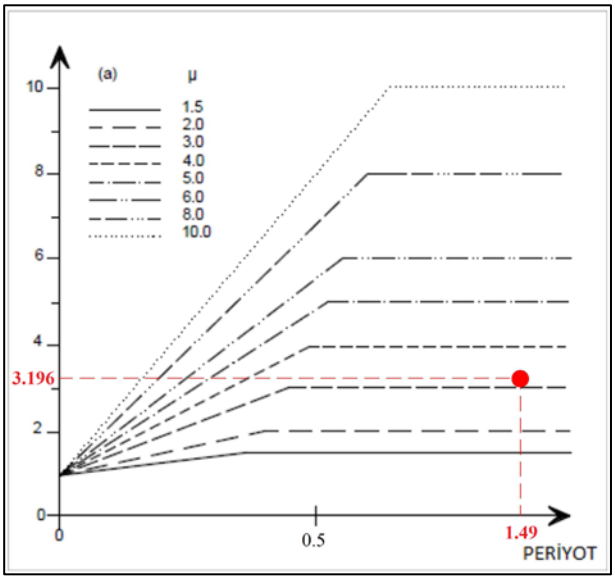
$$k^* = \frac{3710}{0.061} = 60783\ kN/m$$

$$T^* = 2\pi\sqrt{m^*/k^*} = 1.49\ s$$

Eurocode 8'de zemin sınıfı B için bulunan T* değerine karşılık gelen elastik ivme değeri 0.351 g olarak belirlenmiştir. Yine Eurocode 8'de B sınıfı zemin için geçiş periyodu T_c = 0.5 olarak verilmektedir. Görüldüğü üzere $T^* > T_c$ olduğu durum için

eşit deplasman kuralına göre süneklilik katsayısı (μ) değeri azaltma faktörü (R_μ) ile aynı alınmaktadır. R faktörü için yaklaşık spektrum grafiği Şekil 5.11'de verilmiştir.

$$R_\mu = \frac{3439.30 \cdot 0.351 \cdot 9.81}{3710} = 3.196$$



Şekil 5.11 : Yaklaşık R faktörü spektrumu.

Süneklik katsayısı (μ) denklem 5.9, denklem 5.10'da verilen bağıntılar ile azaltma faktörü (Rμ) kullanılarak bulunmaktadır.

$T^* < T_c$

$$\mu = (R_\mu - 1)\frac{T_c}{T^*} + 1 \qquad (5.9)$$

$T^* > T_c$

$$R_\mu = \mu \qquad (5.10)$$

Spektrumun sabit ivme bölgesi ile sabit hız bölgesinin keşistiği yer T_c geçiş periyoduna karşılık gelir. Eğer tek serbestlik dereceli sistemin periyodu (T^*), köşe periyodundan (T_c) büyük ise eşit deplasman kuralına göre R_μ=μ' dür

$$D^* = 3.196 \cdot 0.061 = 0.195\ m$$

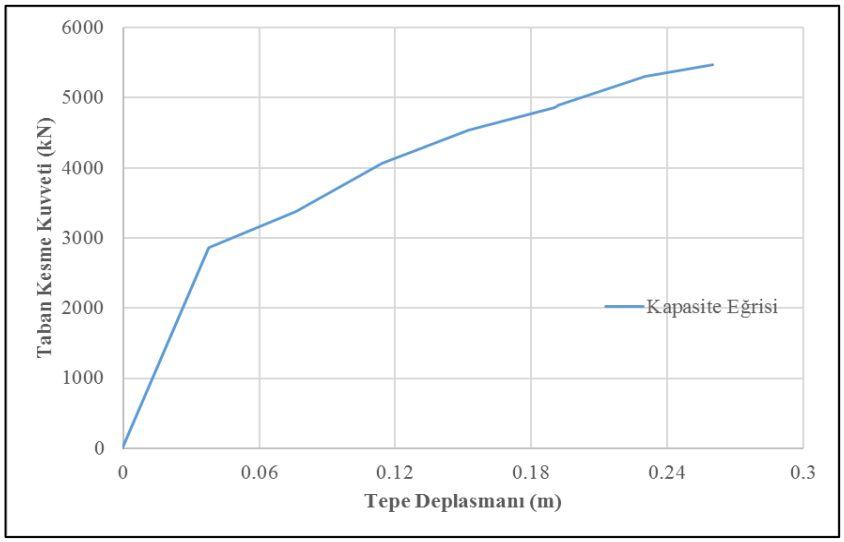
Son olarak hedef deplasman değeri denklem 5.11 ile hesaplanmıştır.

$$D_t = \frac{D^*}{c} \qquad (5.11)$$

$$D_t = \frac{0.195}{0.737} = 0.26\ m$$

Tek serbestlik dereceli sistemin hedef deplasman değeri bulunduktan sonra bu değer modal katılım çarpanına (c) bölünerek çok serbestlik dereceli sistemin hedef

deplasman değeri bulunmuştur. Bulunan hedef deplasman değerine göre doğrusal olmayan statik itme analizi yapılarak yapının x doğrultusundaki kapasite eğrisi bulunmuştur. X doğrultusundaki kapasite eğrisi Şekil 5.12'de gösterilmiştir.



Şekil 5.12 : X doğrultusu kapasite eğrisi.

- X doğrultusu için geliştirilmiş N2 analizi:

Bina x doğrultusunda hem planda hem de düşeyde düzensizdir. Düzensizlik etkilerinin dikkate alınması amacıyla geliştirilmiş N2 analizi yapılarak düzeltme katsayıları elde edilmiştir. Planda ve düşeydeki bu düzensizlik katsayılarının elde edilebilmesi için, bina elastik tepki spektrum analizine (ETSA) tabi tutularak kütle merkezine denk gelen deplasman değerleri elde edilmiştir. Öncelikle bulunan değerler tepe deplasman değeri itme analizinden bulunan hedef deplasmana eşit olacak şekilde normalize edilmesi gerekmektedir. Bu normalizasyon işlemi için c_{NORM} katsayısı kullanılmıştır. Bu katsayı, itme analizinden bulunan hedef deplasmanın, ETSA'dan bulunan kütle merkezindeki tepe deplasmana oranıdır (denklem 5.12).

$$c_{NORM} = \frac{0.26}{0.216} = 1.20 \tag{5.12}$$

İtme analizi ve normalize edilmiş ETSA sonuçları Çizelge 5.14'de verilmiştir.

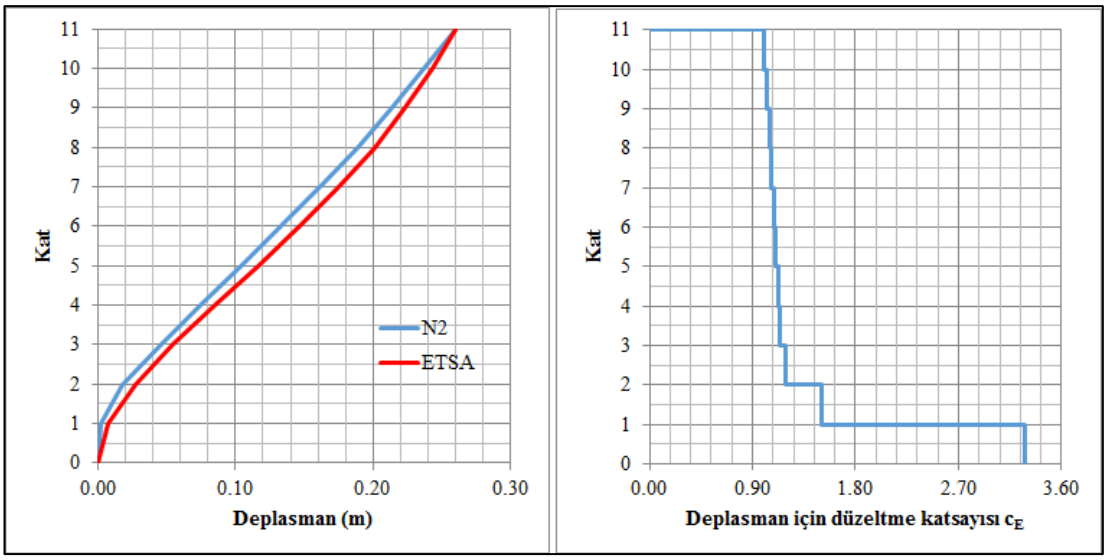
Çizelge 5.14 : İtme analizi ve normalize edilmiş ETSA sonuçları.

İtme Analizi		Normalize ETSA	
Deplasman (m)	**Göreli Kat Ötelemesi (%)**	**Deplasman (m)**	**Göreli Kat Ötelemesi (%)**
0.002	0.062	0.007	0.202
0.018	0.622	0.027	0.782
0.046	1.123	0.054	1.110
0.075	1.161	0.085	1.235
0.104	1.167	0.117	1.255
0.133	1.164	0.147	1.213
0.162	1.149	0.175	1.132
0.189	1.087	0.201	1.027
0.214	0.989	0.224	0.907
0.237	0.928	0.243	0.783
0.260	0.924	0.260	0.673

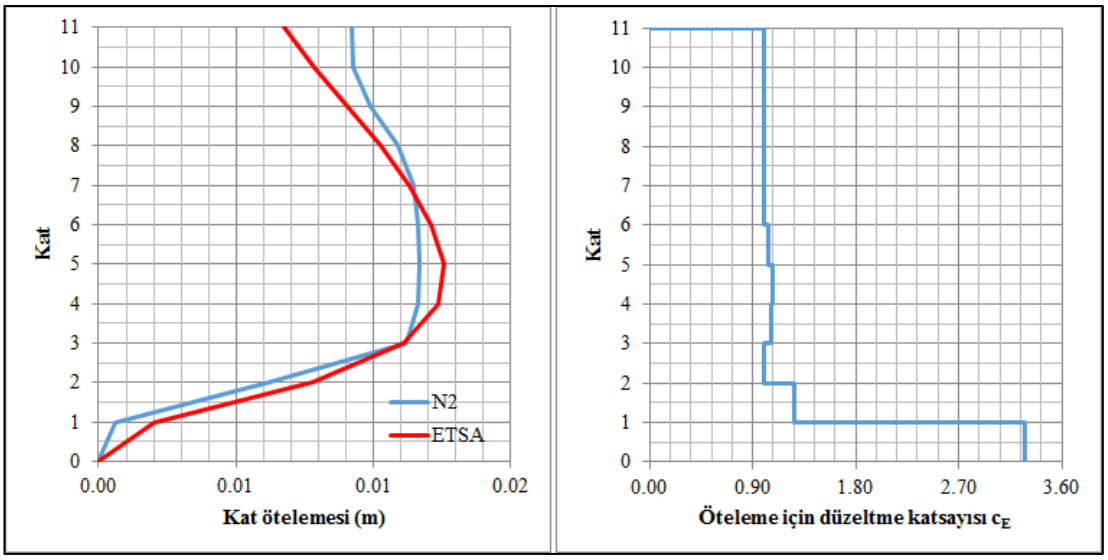
Düşeydeki düzensizlik için gerekli olan düzeltme katsayıları hesabında, normalize edilmiş ETSA deplasmanları, itme analizinden bununan deplasman değerlerine bölünmüştür. Bir diğer düzeltme katsayısı da göreli kat ötelemelerinde bulunmaktadır. Bu katsayıların hesabında da normalize edilmiş ETSA göreli kat ötelemeleri, itme analizinden gelen göreli kat ötelelemelerine bölünmüştür. Düşey doğrultuda bulunan düzeltme katsayıları Çizelge 5.15'de verilmiş olup, grafiksel olarak Şekil 5.13 ve Şekil 5.14'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.15 : Düşey doğrultuda bulunan düzeltme katsayıları (c_E).

Kat	Deplasman Düzeltme Katsayıları	Dikkate Alınan Deplasman Düzeltme Katsayısı (c_E)	Kat Ötelemesi Düzeltme Katsayıları	Dikkate Alınan Kat Ötelemesi Düzeltme Katsayısı (c_E)
1	3.28	3.28	3.28	3.28
2	1.50	1.50	1.26	1.26
3	1.19	1.19	0.99	0.99
4	1.14	1.14	1.06	1.06
5	1.12	1.12	1.08	1.08
6	1.10	1.10	1.04	1.04
7	1.08	1.08	0.99	1.00
8	1.06	1.06	0.94	1.00
9	1.05	1.05	0.92	1.00
10	1.03	1.03	0.84	1.00
11	1.00	1.00	0.73	1.00

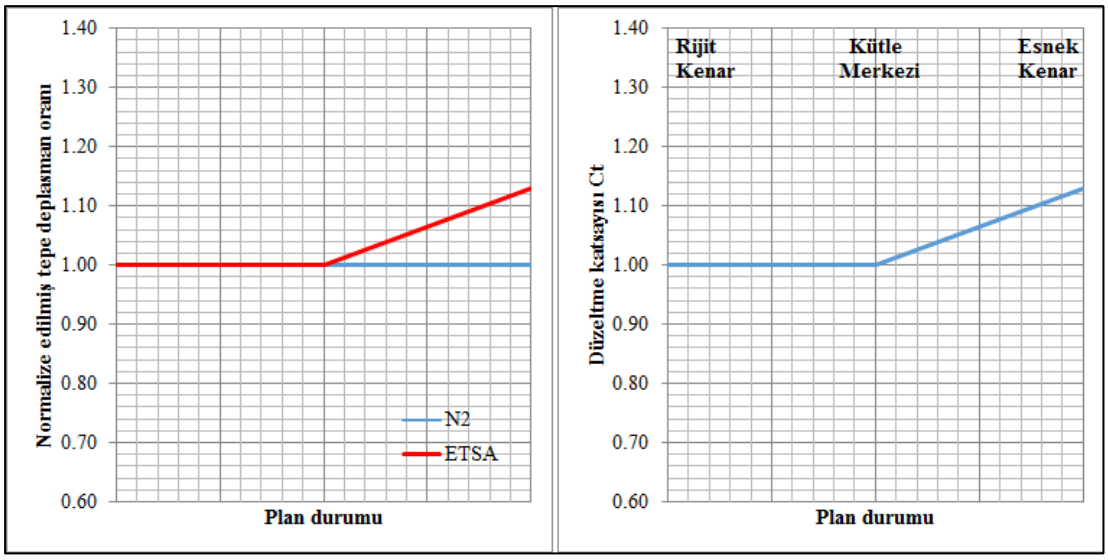


Şekil 5.13 : Deplasman için düşey düzensizlik düzeltme katsayısı (c_E).



Şekil 5.14 : Kat ötelemesi için düşey düzensizlik düzeltme katsayısı (c_E).

Plandaki düzensizlik durumu için bulunan düzeltme katsayısı (c_T) Şekil 5.15'de gösterilmiştir. Rijit kenar yapının 10-10 aksını, esnek kenar da 1-1 aksını göstermektedir.



Şekil 5.15 : Planda düzensizlik için düzeltme katsayısı (c_T).

- Y doğrultusu için N2 analizi:

Y doğrultusundaki hakim periyot ikinci modda kendini göstermektedir. Bu nedenle hesaplamalar ikinci mod dikkate alınarak yapılmıştır. Normalize edilmiş mod şekli ve yatay yük dağılımı Çizelge 5.16'da verilmiştir.

Çizelge 5.16 : Normalize edilmiş mod şekli ve yatay yük dağılımı.

Kat	Normalize Edilmiş Mod Şekli	Fy (kN)
11	1.000	5706.771
10	0.929	5299.444
9	0.846	4829.865
8	0.753	4295.641
7	0.649	3701.261
6	0.536	3056.600
5	0.418	2383.508
4	0.299	1706.225
3	0.186	1064.258
2	0.088	500.704
1	0.020	116.292

Eşdeğer tek serbetlik dereceli sistemin parametreleri aşağıda verilmiştir.

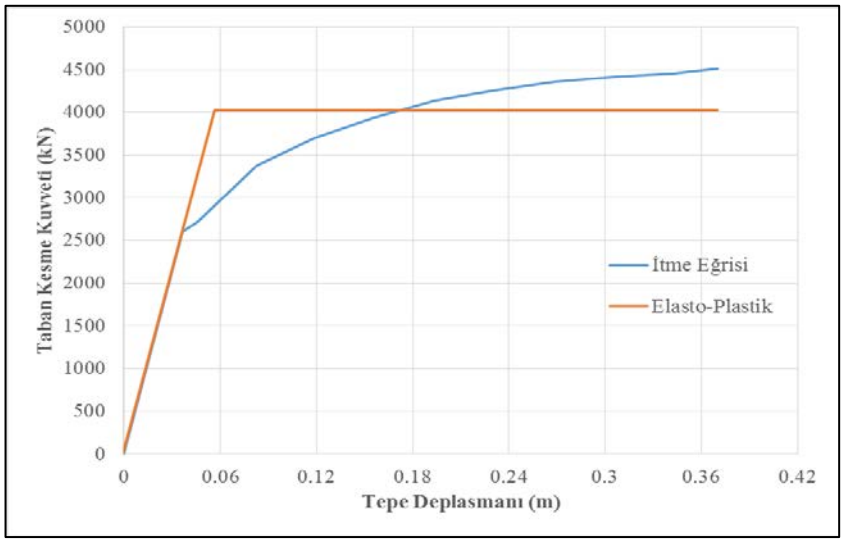
$$\{\Phi\}^T[M]\{\Phi\} = \ 2419.69\ kNs^2/m$$

$$\{\Phi\}^T[M]\{1\} = 3329.31\ kNs^2/m$$

Hesaplanan değerlerden hareketle modal katılım faktörü aşağıda gösterilmiştir.

$$c = \frac{\{\Phi\}^T[M]\{\Phi\}}{\{\Phi\}^T[M]\{1\}} = \ 0.727$$

Bulunan yatay yük dağılımda en üst kata denk gelen kuvvet “1” olacak normalizasyon yapılmış ve elde edilen yük mastrisine göre doğrusal olmayan statik itme analizi yapılmıştır.



Şekil 5.16 : Y doğrultusu taban kesme kuvveti – tepe deplasmanı grafiği.

Kütle merkezine göre yapılan itme analzinden elde edilen taban kesme kuvveti ve tepe deplasman değerleri modal katılım çarpanı (c) ile çarpılarak çok serbestlik dereceli sistem, eşdeğer tek serbestlik dereceli sisteme indirgenmiştir. Eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemin itme analizi sonucu taban kesme kuvveti – tepe deplasman grafiği ve bu eğrinin iki doğru ile ifadesi Şekil 5.16’da gösterilmiştir.

$$F_y^* = 4021.85\ kN$$

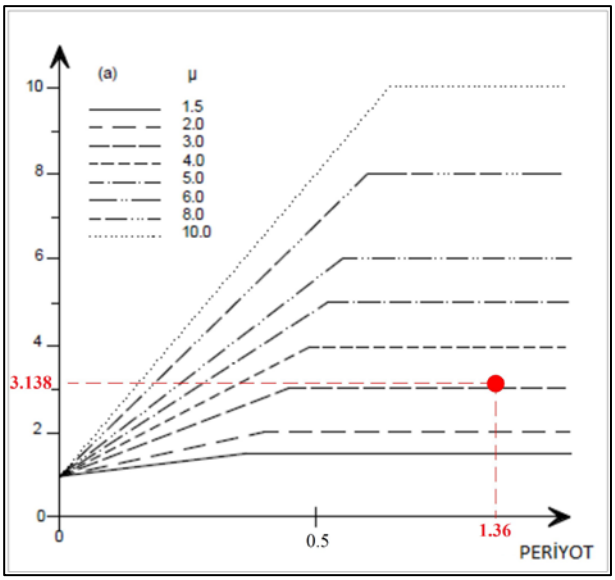
$$D_y^* = 0.057m$$

$$k^* = \frac{4021.85}{0.057} = 71145\ kN/m$$

$$T^* = 2\pi\sqrt{m^*/k^*} = 1.36\ s$$

Eurocode 8’de zemin sınıfı B için bulunan T* değerine karşılık gelen elastik ivme değeri 0.386 g olarak belirlenmiştir. Yine Eurocode 8’de B sınıfı zemin için geçiş periyodu T_c = 0.5 olarak verilmiştir. Görüldüğü üzere $T^* > T_c$ olduğu durum için eşit deplasman kuralına göre süneklilik katsayısı (μ) değeri azaltma faktörü (R_μ) ile aynı alınmaktadır. R faktörü için yaklaşık spektrum grafiği Şekil 5.17’de verilmiştir.

$$R\mu = \frac{3329.31 \cdot 0.386 \cdot 9.81}{4021.85} = 3.138$$

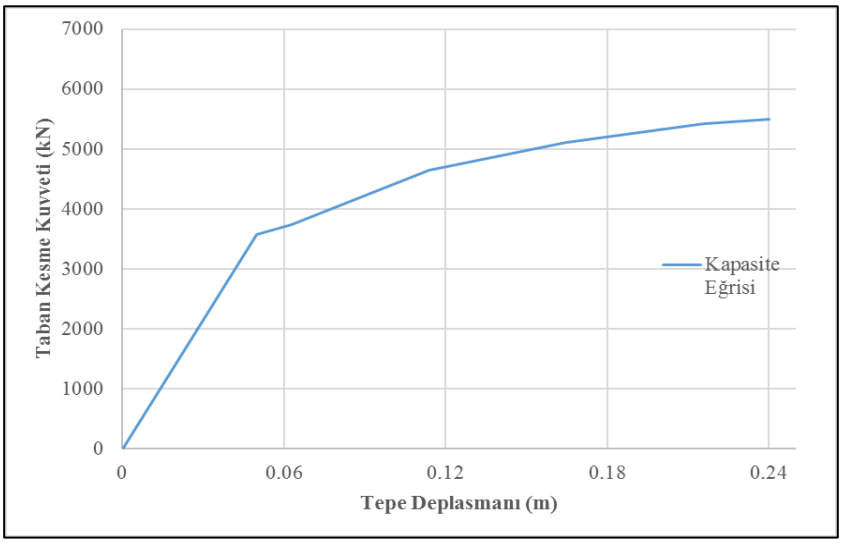


Şekil 5.17 : Yaklaşık R faktörü spektrumu.

$$D^* = 3.138 \cdot 0.057 = 0.177\ m$$

$$D_t = \frac{0.177}{0.727} = 0.24\ m$$

Tek serbestlik dereceli sistemin hedef deplasman değeri bulunduktan sonra bu değer modal katılım çarpanına (c) bölünerek çok serbestlik dereceli sistemin hedef deplasman değeri bulunmuştur. Bulunan hedef deplasman değerine göre doğrusal olmayan statik itme analizi yapılarak yapının y doğrultusundaki kapasite eğrisi bulunmuştur. Y doğrultusu için kapasite eğrisi Şekil 5.18'de gösterilmiştir.



Şekil 5.18 : Y doğrultusu kapasite eğrisi.

- Y doğrultusu için geliştirilmiş N2 analizi:

Y doğrultusu için planda ve düşeyde düzensizlikler için düzeltme katsayıları bulunmuştur. İtme analizi ve normalize edilmiş ETSA sonuçları Çizelge 5.17'de verilmiştir.

$$c_{NORM} = \frac{0.24}{0.242} = 0.99$$

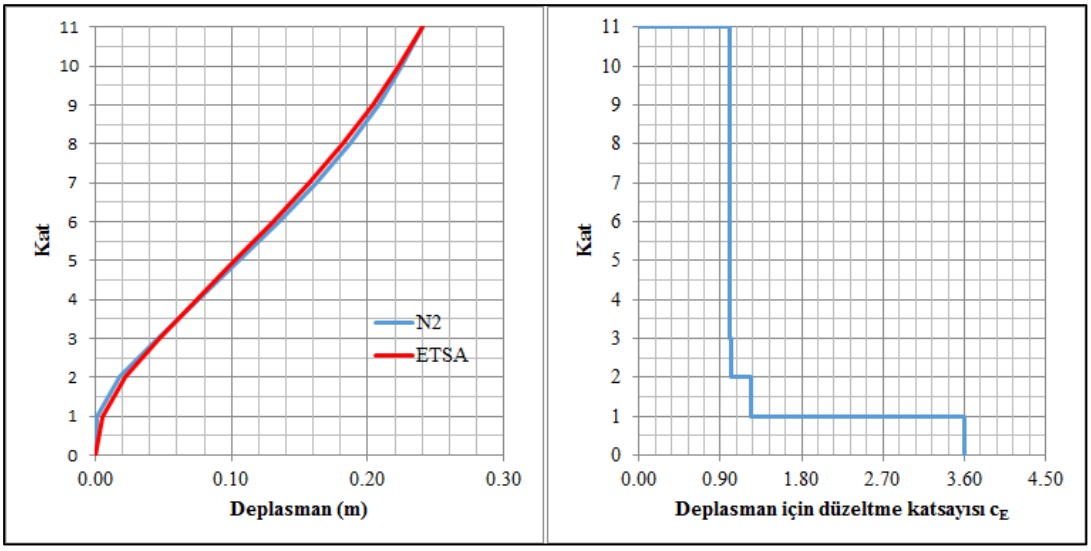
Çizelge 5.17 : İtme analizi ve normalize edilmiş ETSA sonuçları.

İtme Analizi		**Normalize ETSA**	
Deplasman (m)	**Göreli Kat Ötelemesi (%)**	**Deplasman (m)**	**Göreli Kat Ötelemesi (%)**
0.001	0.039	0.005	0.142
0.018	0.657	0.022	0.685
0.046	1.118	0.047	0.984
0.075	1.188	0.074	1.098
0.105	1.200	0.103	1.136
0.135	1.162	0.130	1.114
0.162	1.095	0.157	1.060
0.187	0.993	0.181	0.978
0.208	0.833	0.203	0.883
0.224	0.675	0.223	0.782
0.240	0.623	0.240	0.682

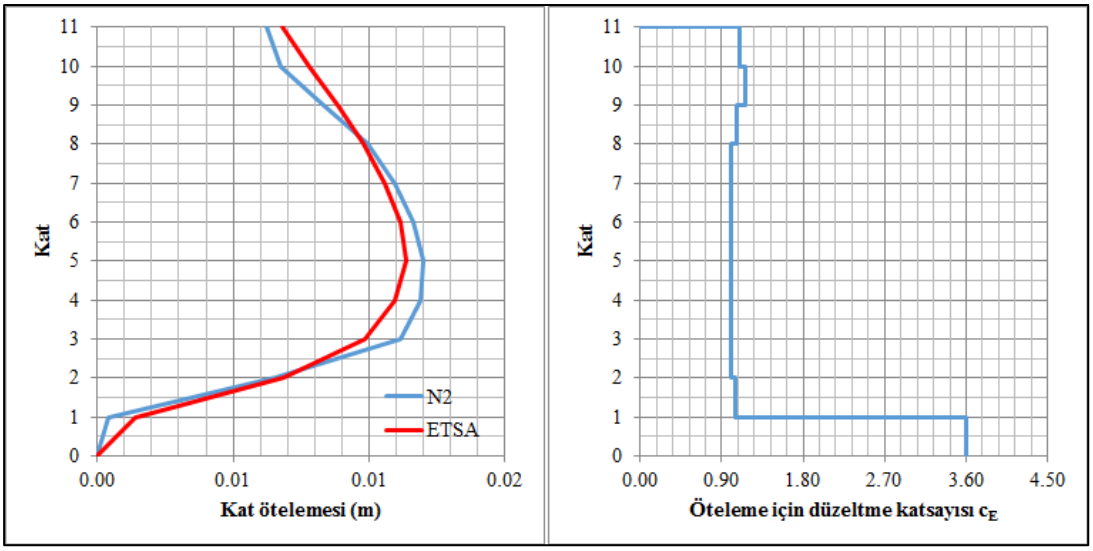
Düşeydeki düzensizlik için gerekli olan düzeltme katsayıları hesabında, normalize edilmiş ETSA deplasmanları, itme analizinden bununan deplasman değerlerine bölünmüştür. Bir diğer düzeltme katsayısı da göreli kat ötelemelerinde bulunmaktadır. Bu katsayıların hesabında da normalize edilmiş ETSA göreli kat ötelemeleri, itme analizinden gelen göreli kat ötelelemelerine bölünmüştür. Düşey doğrultuda deplasman ve göreli kat ötelemelerinden elde edilen düzeltme katsayıları Çizelge 5.18'de verilmiş olup, grafiksel olarak Şekil 5.19 ve Şekil 5.20'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.18 : Düşey doğrultuda bulunan düzeltme katsayıları (c_E).

Kat	Deplasman Düzeltme Katsayıları	Dikkate Alınan Deplasman Düzeltme Katsayısı (c_E)	Kat Ötelemesi Düzeltme Katsayıları	Dikkate Alınan Kat Ötelemesi Düzeltme Katsayısı (c_E)
1	3.61	3.61	3.61	3.61
2	1.24	1.24	1.04	1.04
3	1.02	1.02	0.88	1.00
4	0.98	1.00	0.92	1.00
5	0.97	1.00	0.95	1.00
6	0.97	1.00	0.96	1.00
7	0.97	1.00	0.97	1.00
8	0.97	1.00	0.98	1.00
9	0.98	1.00	1.06	1.06
10	0.99	1.00	1.16	1.16
11	1.00	1.00	1.09	1.09

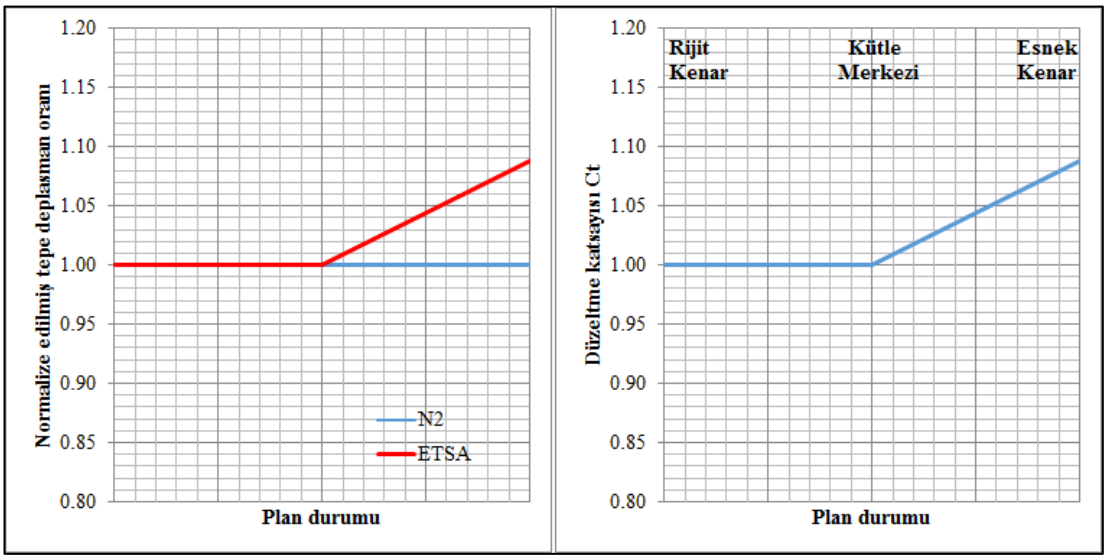


Şekil 5.19 : Deplasman için düşey düzensizlik düzeltme katsayısı (c_E).



Şekil 5.20 : Kat ötelemesi için düşey düzensizlik düzeltme katsayısı (c_E).

Planda düzensizlik için düzeltme katsayısı Şekil 5.21'de gösterilmiştir. Rijit kenar yapının G-G aksını, esnek kenar da A-A aksını gösermektedir.



Şekil 5.21 : Planda düzensizlik için düzeltme katsayısı (c_T).

5.6.2 Bodrum kat perdesiz durum için N2 ve geliştirilmiş N2 analizi

- X doğrultusu için N2 analizi:

Seçilen inceleme konusu binanın bodrum katını çevreleyen betonarme perdeleri kaldırıldığı durum için yapılan analiz sonucunda yapıda ilk mod x doğrultusunda çıkmıştır. İlk mod dikkate alınarak itme analizinde kullanılacak olan yatay yükler hesaplanmıştır. Normalize edilmiş mod şekli ve yatay yük dağılımı Çizelge 5.19'da verilmiştir.

Çizelge 5.19 : Normalize edilmiş mod şekli ve yatay yük dağılımı.

Kat	Normalize Edilmiş Mod Şekli	Fx (kN)
11	1.000	5706.771
10	0.950	5419.380
9	0.885	5049.877
8	0.791	4516.150
7	0.712	4064.535
6	0.612	3489.752
5	0.504	2873.914
4	0.388	2217.019
3	0.273	1560.125
2	0.165	944.286
1	0.072	424.279

Eşdeğer tek serbetlik dereceli sistemin parametreleri aşağıda verilmiştir.

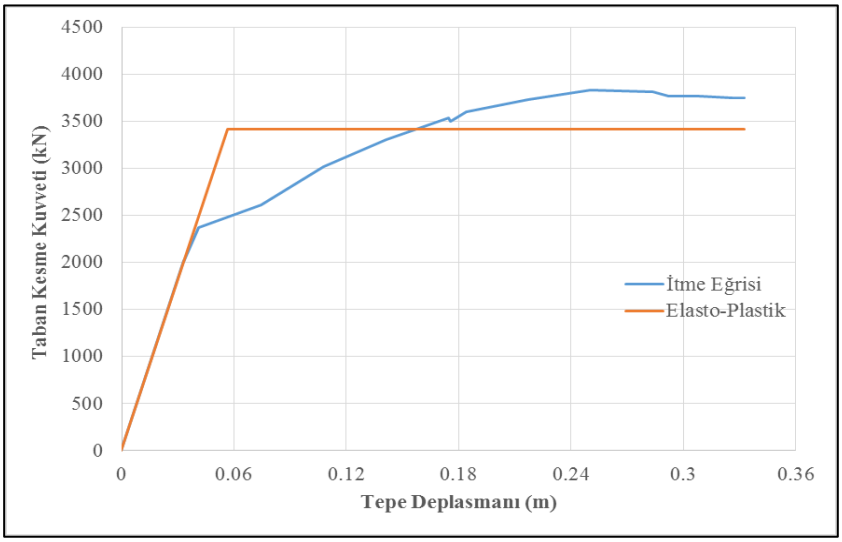
$$\{\Phi\}^T[M]\{\Phi\} = 2736.65\ kNs^2/m$$

$$\{\Phi\}^T[M]\{1\} = 3696.85\ kNs^2/m$$

Hesaplanan değerlerden hareketle modal katılım faktörü aşağıda gösterilmiştir.

$$c = \frac{\{\Phi\}^T[M]\{\Phi\}}{\{\Phi\}^T[M]\{1\}} = 0.740$$

Bulunan yatay yük dağılımda en üst kata denk gelen kuvvet "1" olacak normalizasyon yapılmış ve elde edilen yük mastrisine göre doğrusal olmayan statik itme analizi yapılmıştır.



Şekil 5.22 : X doğrultusu taban kesme kuvveti – tepe deplasmanı grafiği.

Kütle merkezine göre yapılan itme analzinden elde edilen taban kesme kuvveti ve tepe deplasman değerleri modal katılım çarpanı (c) ile çarpılarak çok serbestlik dereceli sistem, eşdeğer tek serbestlik dereceli sisteme indirgenmiştir. Eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemin itme analizi sonucu taban kesme kuvveti – tepe deplasman grafiği ve bu eğrinin iki doğru ile ifadesi Şekil 5.22'de gösterilmiştir.

$$F_y^* = 3414.66\ kN$$

$$D_y^* = 0.0566\ m$$

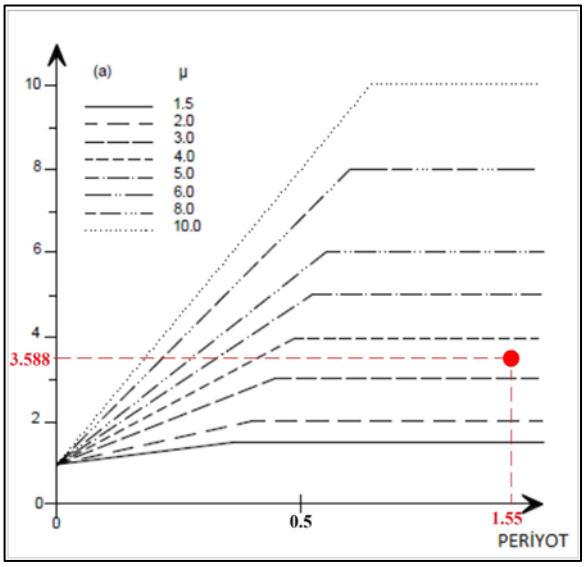
$$k^* = \frac{3414.66}{0.0566} = 60377.10\ kN/m$$

$$T^* = 2\pi\sqrt{m^*/k^*} = 1.55\ s$$

Eurocode 8'de zemin sınıfı B için bulunan T* değerine karşılık gelen elastik ivme değeri 0.338 g olarak belirlenmiştir. Yine Eurocode 8'de B sınıfı zemin için geçiş

periyodu T_c = 0.5 olarak verilmektedir. Görüldüğü üzere T* > T_c olduğu durum için eşit deplasman kuralına göre süneklilik katsayısı (μ) değeri azaltma faktörü (Rμ) ile aynı alınmaktadır. R faktörü için yaklaşık spektrum grafiği Şekil 5.23'de verilmiştir.

$$R\mu = \frac{3696.85 \cdot 0.338 \cdot 9.81}{3414.66} = 3.588$$

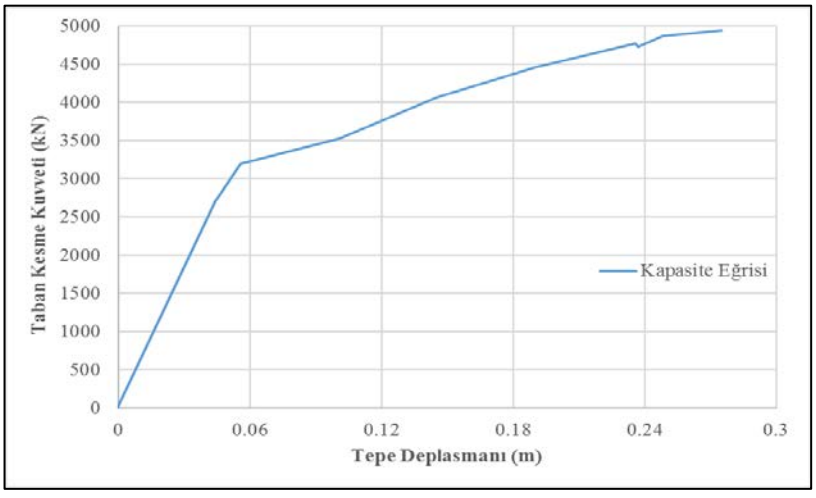


Şekil 5.23 : Yaklaşık R faktörü spektrumu.

$$D^* = 3.588 \cdot 0.0566 = 0.203\ m$$

$$D_t = \frac{0.203}{0.740} = 0.274\ m$$

Tek serbestlik dereceli sistemin hedef deplasman değeri bulunduktan sonra bu değer modal katılım çarpanına (c) bölünerek çok serbestlik dereceli sistemin hedef deplasman değeri bulunmuştur. Bulunan hedef deplasman değerine göre doğrusal olmayan statik itme analizi yapılarak yapının x doğrultusundaki kapasite eğrisi bulunmuştur. X doğrultusu için kapasite eğrisi Şekil 5.24'de gösterilmiştir.



Şekil 5.24 : X doğrultusu kapasite eğrisi.

- X doğrultusu için geliştirilmiş N2 analizi:

X doğrultusu için planda ve düşeyde düzensizlikler için düzeltme katsayıları bulunmuştur.

$$c_{NORM} = \frac{0.274}{0.216} = 1.27$$

İtme analizi ve normalize edilmiş ETSA sonuçları Çizelge 5.20'de verilmiştir.

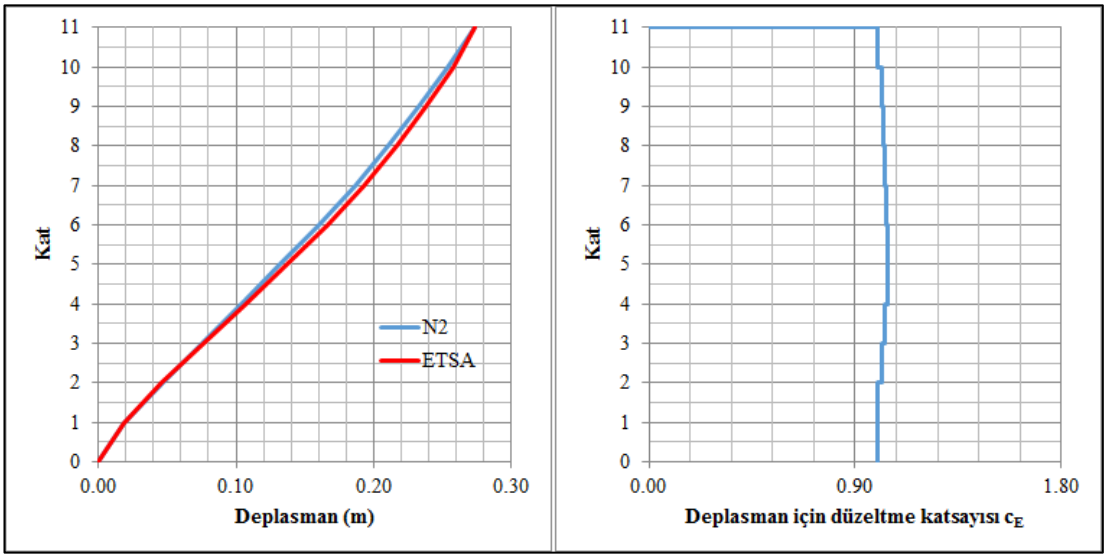
Çizelge 5.20 : İtme analizi ve normalize edilmiş ETSA sonuçları.

İtme Analizi		**Normalize ETSA**	
Deplasman (m)	**Göreli Kat Ötelemesi (%)**	**Deplasman (m)**	**Göreli Kat Ötelemesi (%)**
0.019	0.544	0.019	0.544
0.046	1.097	0.046	1.066
0.075	1.131	0.076	1.218
0.103	1.140	0.107	1.218
0.132	1.139	0.137	1.218
0.160	1.124	0.166	1.167
0.186	1.058	0.193	1.066
0.211	0.983	0.217	0.964
0.233	0.896	0.238	0.863
0.254	0.816	0.258	0.761
0.274	0.814	0.274	0.660

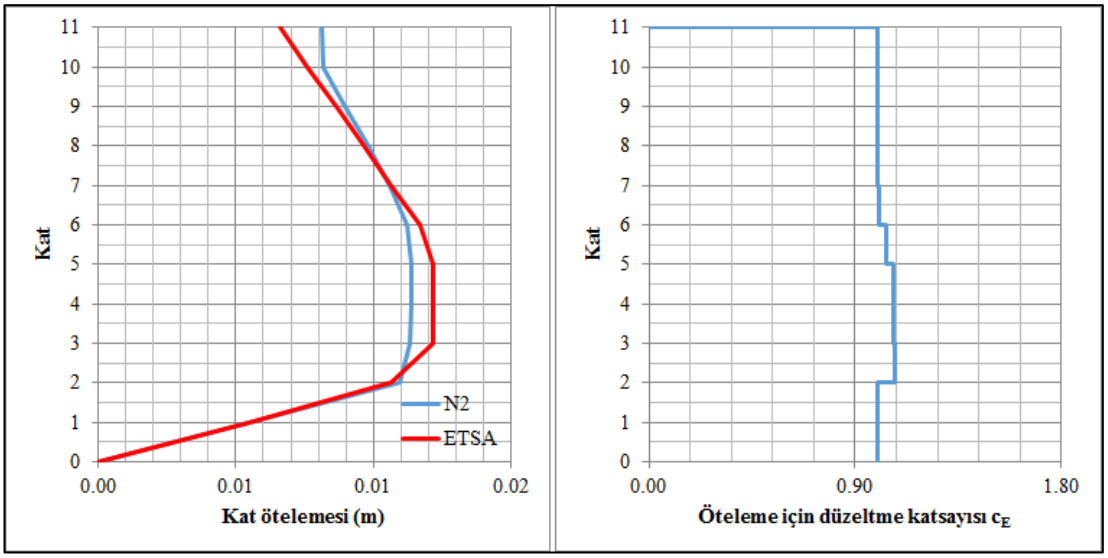
Düşeydeki düzensizlik için gerekli olan düzeltme katsayıları hesabında, normalize edilmiş ETSA deplasmanları, itme analizinden bununan deplasman değerlerine bölünmüştür. Bir diğer düzeltme katsayısı da göreli kat ötelemelerinde bulunmaktadır. Bu katsayıların hesabında da normalize edilmiş ETSA göreli kat ötelemeleri, itme analizinden gelen göreli kat ötelelemelerine bölünmüştür. Düşey doğrultuda deplasman ve göreli kat ötelemelerinden elde edilen düzeltme katsayıları Çizelge 5.21'de verilmiş olup, grafiksel olarak Şekil 5.25 ve Şekil 5.26'da gösterilmiştir.

Çizelge 5.21 : Düşey doğrultuda bulunan düzeltme katsayıları (c_E).

Kat	**Deplasman Düzeltme Katsayıları**	**Dikkate Alınan Deplasman Düzeltme Katsayısı (c_E)**	**Kat Ötelemesi Düzeltme Katsayıları**	**Dikkate Alınan Kat Ötelemesi Düzeltme Katsayısı (c_E)**
1	1.00	1.00	1.00	1.00
2	0.98	1.00	0.97	1.00
3	1.02	1.02	1.08	1.08
4	1.03	1.03	1.07	1.07
5	1.04	1.04	1.07	1.07
6	1.04	1.04	1.04	1.04
7	1.04	1.04	1.01	1.01
8	1.03	1.03	0.98	1.00
9	1.02	1.02	0.96	1.00
10	1.02	1.02	0.93	1.00
11	1.00	1.00	0.81	1.00

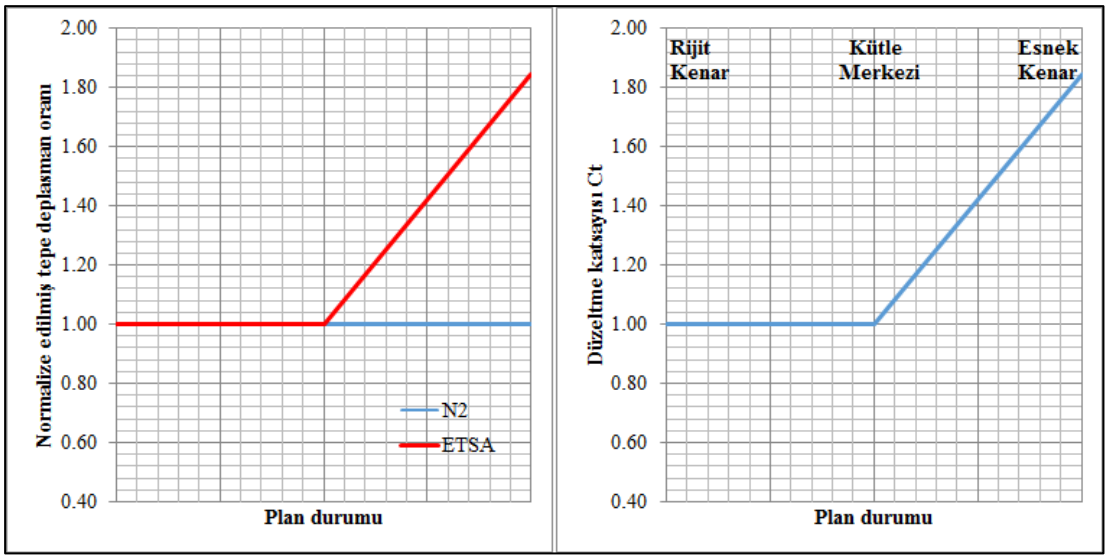


Şekil 5.25 : Deplasman için düşey düzensizlik düzeltme katsayısı (c_E).



Şekil 5.26 : Kat ötelemesi için düşey düzensizlik düzeltme katsayısı (c_E).

Planda düzensizlik için düzeltme katsayısı Şekil 5.27'de gösterilmiştir. Rijit kenar yapının 10-10 aksını, esnek kenar da 1-1 aksını gösermektedir.



Şekil 5.27 : Planda düzensizlik için düzeltme katsayısı (c_T).

- Y doğrultusu için N2 analizi:

Bina, bodrum katını çevreleyen betonarme perdeler kaldırılarak analiz edildiğinde y doğrultusunda hakim periyodun ikinci modda kendisini gösterdiği belirlenmiştir. Bu nedenle ikinci mod dikkate alınarak itme analizinde kullanılacak olan yatay yükler hesaplanmıştır. Normalize edilmiş mod şekli ve yatay yük dağılımı Çizelge 5.22'de verilmiştir.

Çizelge 5.22 : Normalize edilmiş mod şekli ve yatay yük dağılımı.

Kat	Normalize Edilmiş Mod Şekli	Fy (kN)
11	1.000	5706.771
10	0.942	5375.944
9	0.884	5045.117
8	0.797	4548.876
7	0.710	4052.635
6	0.609	3473.687
5	0.507	2894.739
4	0.391	2233.084
3	0.275	1571.430
2	0.174	992.482
1	0.072	427.353

Eşdeğer tek serbetlik dereceli sistemin parametreleri aşağıda verilmiştir.

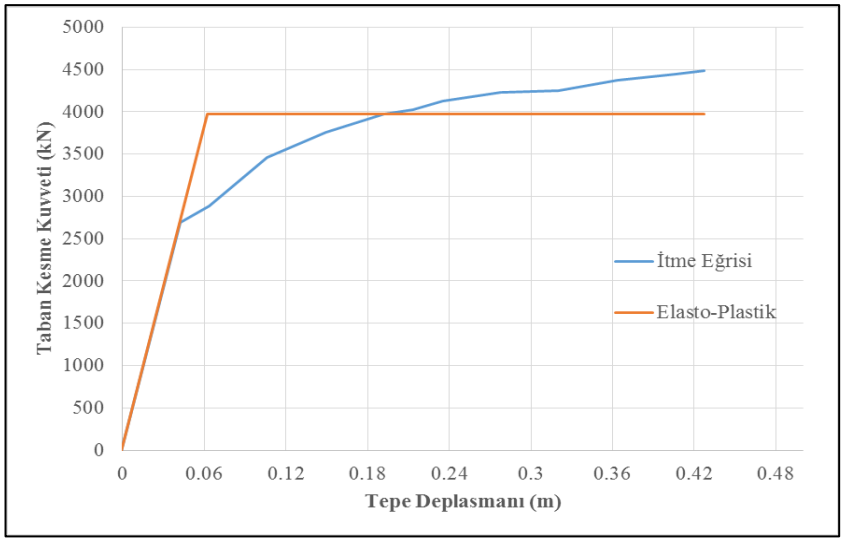
$$\{\Phi\}^T[M]\{\Phi\} = 2734.76\ kNs^2/m$$

$$\{\Phi\}^T[M]\{1\} = 3702.56\ kNs^2/m$$

Hesaplanan değerlerden hareketle modal katılım faktörü aşağıda gösterilmiştir.

$$c = \frac{\{\Phi\}^T[M]\{\Phi\}}{\{\Phi\}^T[M]\{1\}} = 0.739$$

Bulunan yatay yük dağılımda en üst kata denk gelen kuvvet "1" olacak normalizasyon yapılmış ve elde edilen yük mastrisine göre doğrusal olmayan statik itme analizi yapılmıştır.



Şekil 5.28 : Y doğrultusu taban kesme kuvveti – tepe deplasmanı grafiği.

Kütle merkezine göre yapılan itme analzinden elde edilen taban kesme kuvveti ve tepe deplasman değerleri modal katılım çarpanı (c) ile çarpılarak çok serbestlik dereceli sistem, eşdeğer tek serbestlik dereceli sisteme indirgenmiştir. Eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemin itme analizi sonucu taban kesme kuvveti – tepe deplasman grafiği ve bu eğrinin iki doğru ile ifadesi Şekil 5.28'de gösterilmiştir.

$$F_y^* = 3974.53\ kN$$

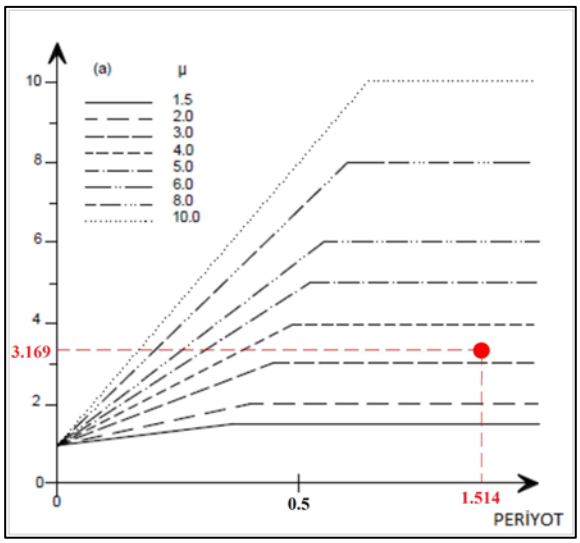
$$D_y^* = 0.062\ m$$

$$k^* = \frac{3974.53}{0.062} = 63721.63\ kN/m$$

$$T^* = 2\pi\sqrt{m^*/k^*} = 1.514\ s$$

Eurocode 8'de zemin sınıfı B için bulunan T* değerine karşılık gelen elastik ivme değeri 0.347 g olarak belirlenmiştir. Yine Eurocode 8'de B sınıfı zemin için geçiş periyodu T_c = 0.5 olarak verilmektedir. Görüldüğü üzere T* > T_c olduğu durum için eşit deplasman kuralına göre süneklilik katsayısı (μ) değeri azaltma faktörü (Rμ) ile aynı alınmaktadır. R faktörü için yaklaşık spektrum grafiği Şekil 5.29'da verilmiştir.

$$R\mu = \frac{3702.56 \cdot 0.347 \cdot 9.81}{3974.53} = 3.169$$

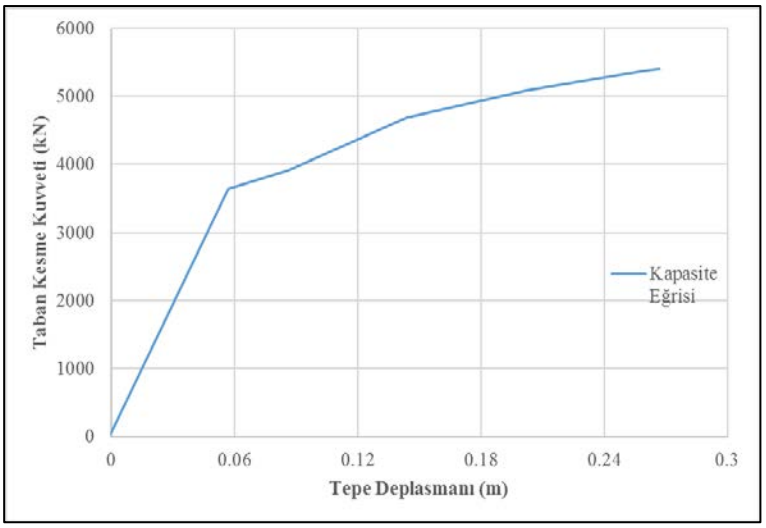


Şekil 5.29 : Yaklaşık R faktörü spektrumu.

$$D^* = 3.169 \cdot 0.062 = 0.198\, m$$

$$D_t = \frac{0.198}{0.739} = 0.267\, m$$

Tek serbestlik dereceli sistemin hedef deplasman değeri bulunduktan sonra bu değer modal katılım çarpanına (c) bölünerek çok serbestlik dereceli sistemin hedef deplasman değeri bulunmuştur. Bulunan hedef deplasman değerine göre doğrusal olmayan statik itme analizi yapılarak yapının y doğrultusundaki kapasite eğrisi bulunmuştur. Y doğrultusu için kapasite eğrisi Şekil 5.30'da gösterilmiştir.



Şekil 5.30 : Y doğrultusu kapasite eğrisi.

- Y doğrultusu için geliştirilmiş N2 analizi:

Y doğrultusu için planda ve düşeyde düzensizlikler için düzeltme katsayıları bulunmuştur.

$$c_{NORM} = \frac{0.267}{0.256} = 1.27$$

İtme analizi ve normalize edilmiş ETSA sonuçları Çizelge 5.23'de verilmiştir.

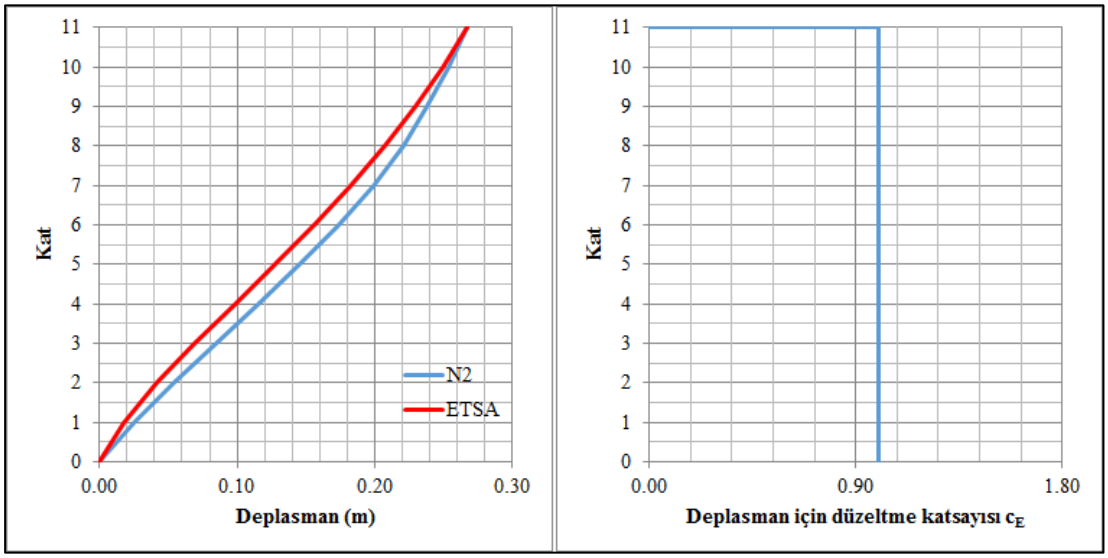
Çizelge 5.23 : İtme analizi ve normalize edilmiş ETSA sonuçları.

İtme Analizi		**Normalize ETSA**	
Deplasman (m)	**Göreli Kat Ötelemesi (%)**	**Deplasman (m)**	**Göreli Kat Ötelemesi (%)**
0.025	0.716	0.018	0.507
0.054	1.164	0.042	0.960
0.085	1.220	0.069	1.085
0.116	1.235	0.098	1.168
0.145	1.193	0.127	1.168
0.174	1.132	0.156	1.168
0.199	1.027	0.183	1.043
0.221	0.868	0.208	1.001
0.238	0.698	0.229	0.876
0.253	0.589	0.249	0.793
0.267	0.551	0.267	0.709

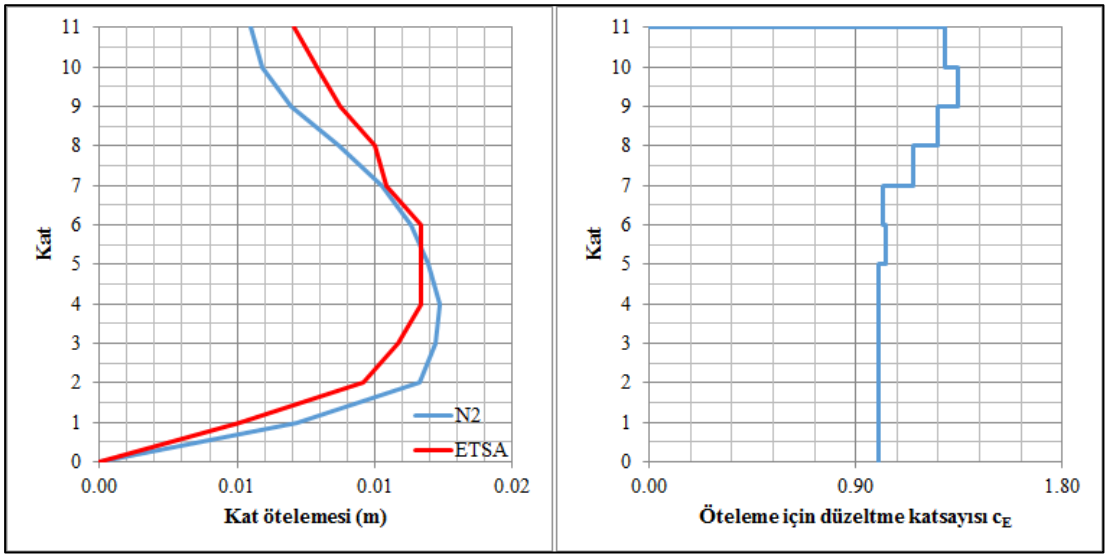
Düşeydeki düzensizlik için gerekli olan düzeltme katsayıları hesabında, normalize edilmiş ETSA deplasmanları, itme analizinden bununan deplasman değerlerine bölünmüştür. Bir diğer düzeltme katsayısı da göreli kat ötelemelerinde bulunmaktadır. Bu katsayıların hesabında da normalize edilmiş ETSA göreli kat ötelemeleri, itme analizinden gelen göreli kat ötelelemelerine bölünmüştür. Düşey doğrultuda deplasman ve göreli kat ötelemelerinden elde edilen düzeltme katsayıları Çizelge 5.24'de verilmiş olup, grafiksel olarak Şekil 5.31 ve Şekil 5.32'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.24 : Düşey doğrultuda bulunan düzeltme katsayıları (c_E).

Kat	**Deplasman Düzeltme Katsayıları**	**Dikkate Alınan Deplasman Düzeltme Katsayısı (c_E)**	**Kat Ötelemesi Düzeltme Katsayıları**	**Dikkate Alınan Kat Ötelemesi Düzeltme Katsayısı (c_E)**
1	0.71	1.00	0.71	1.00
2	0.77	1.00	0.82	1.00
3	0.81	1.00	0.89	1.00
4	0.85	1.00	0.95	1.00
5	0.88	1.00	0.98	1.00
6	0.90	1.00	1.03	1.03
7	0.92	1.00	1.02	1.02
8	0.94	1.00	1.15	1.15
9	0.96	1.00	1.25	1.25
10	0.98	1.00	1.34	1.34
11	1.00	1.00	1.29	1.29

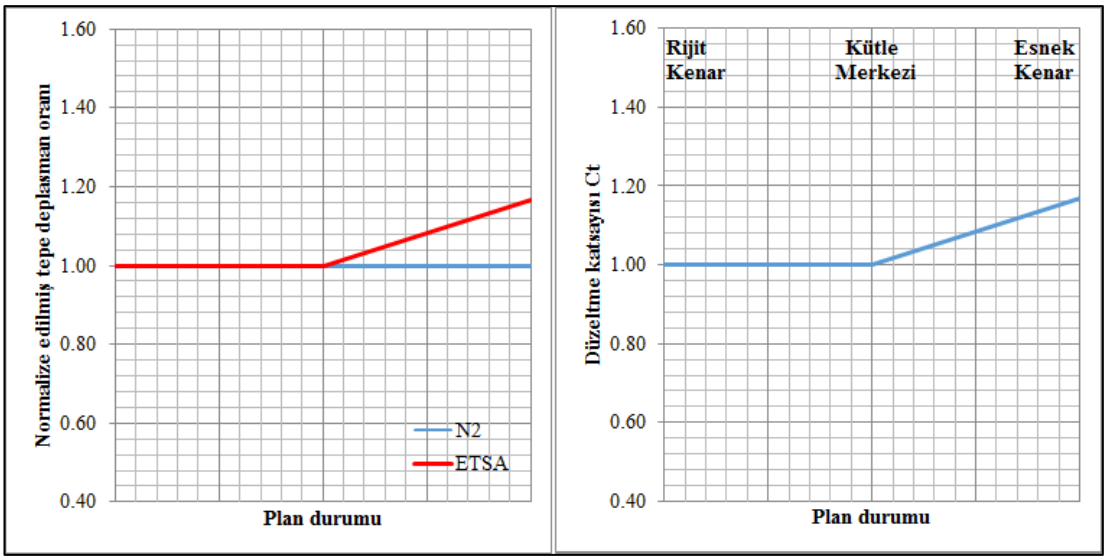


Şekil 5.31 : Deplasman için düşeyde düzensizlik düzeltme katsayısı (c_E).



Şekil 5.32 : Kat ötelemesi için düşeyde düzensizlik düzeltme katsayısı (c_E).

Planda düzensizlik için düzeltme katsayısı Şekil 5.33'de gösterilmiştir. Rijit kenar yapının G-G aksını, esnek kenar da A-A aksını gösermektedir.



Şekil 5.33 : Planda düzensizlik için düzeltme katsayısı (c_T).

5.6.3 Statik itme analizleri sonucunda oluşan plastik mafsal dağılımları

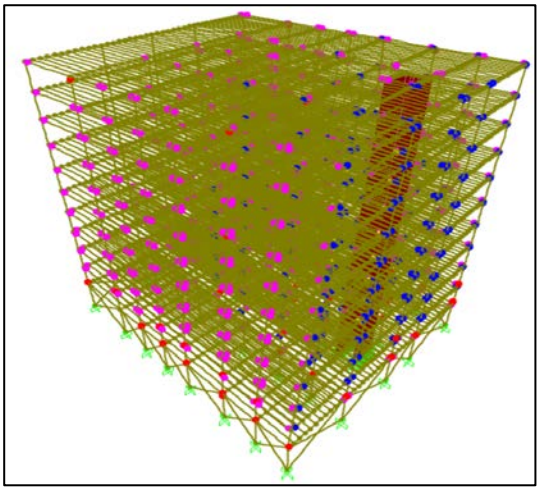
İnceleme konusu olan örnek bina için bodrum katı çevreleyen betonarme perdelerin bulunduğu ve bu perdelerin kaldırıldığı kaldırıldığı durum için yapılan analizler sonucunda her iki doğrultu için (x ve y) hedef deplasman değerleri bulunmuştur. Bu bölümde, bulunan hedef deplasman değerlerine göre yapılan itme analizleri sonucunda, binada oluşan plastik mafsalların çizelgeleri ve üç boyutlu model üzerinde gösterimi verilmiştir. Çizelgelerde, analiz sonucu elde edilen performans değerleri gösterilmiş olup, can güvenliği performans seviyesi için belirlenen aralıkta değerler elde edilmemiştir. Hemen kullanım performans seviyesi IO, göçmenin önlenmesi performans seviyesi CP ve göçme sınırı CL, olarak gösterilmiştir. İtme analizinden elde edilen mafsal dağılımlarının aks bazlı olarak gösterimi EK A'da verilmiştir.

- Bodrum kat betonarme perdeli durum için x doğrultusundaki plastik mafsal dağılımı:

Üzerinde çalışılan bina için, bodrum kat betonarme perdeli durum dikkate alınarak x doğrultusunda yapılan statik itme analizi sonucuda oluşan plastik mafsalların dağılımı Şekil 5.34'de gösterilmiştir. Çizelge 5.25'deki dağılım, analiz doğrultusundaki akslara göre verilmiştir.

Çizelge 5.25 : Bodrum kat betonarme perdeli durum için x doğrultusundaki plastik mafsal dağılımı.

		Plastik Mafsal Sayısı								
		1-1 Aksı	2-2 Aksı	4-4 Aksı	5-5 Aksı	6-6 Aksı	7-7 Aksı	8-8 Aksı	9-9 Aksı	10-10 Aksı
Kolon	CL	7	6	16		5	7	2	3	2
Kiriş	IO	6	22	31	7	28	46	54	41	18
	CP	80	49	30		30	14			



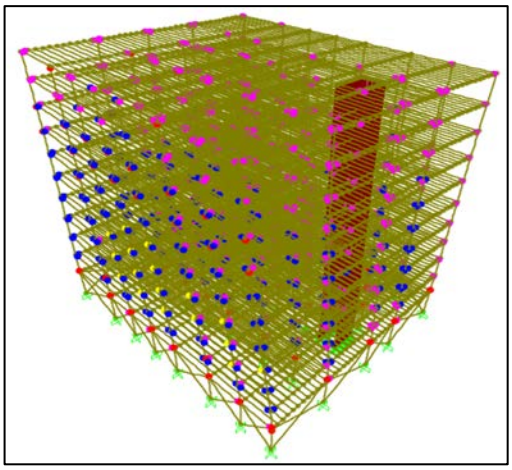
Şekil 5.34 : Bodrum kat betonarme perdeli durum için x doğrultusundaki statik itme analizi sonucu oluşan plastik mafsal dağılımı.

- Bodrum kat betonarme perdeli durum için y doğrultusundaki plastik mafsal dağılımı:

Üzerinde çalışılan bina için, bodrum kat betonarme perdeli durum dikkate alınarak y doğrultusunda yapılan statik itme analizi sonucuda oluşan plastik mafsalların dağılımı Şekil 5.35'de gösterilmiştir. Çizelge 5.26'daki dağılım, analiz doğrultusundaki akslara göre verilmiştir.

Çizelge 5.26 : Bodrum kat betonarme perdeli durum için y doğrultusundaki plastik mafsal dağılımı.

		Plastik Mafsal Sayısı						
		A-A Aksı	B-B Aksı	C-C Aksı	D-D Aksı	E-E Aksı	F-F Aksı	G-G Aksı
Kolon	CL	30	10	3	4		9	3
Kiriş	IO	21	49	29	56		78	
	CP	121	83	8	13		11	



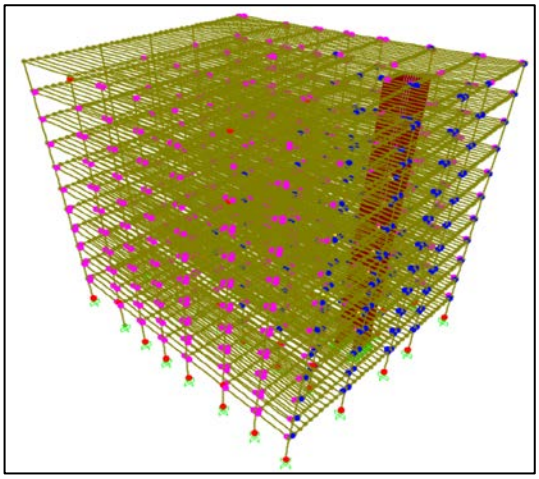
Şekil 5.35 : Bodrum kat betonarme perdeli durum için x doğrultusundaki statik itme analizi sonucu oluşan plastik mafsal dağılımı.

- Bodrum kat betonarme perdesiz durum için x doğrultusundaki plastik mafsal dağılımı:

Üzerinde çalışılan bina için, bodrum katı çevreleyen betonarme perdelerin kaldırıldığı durum dikkate alınarak x doğrultusunda yapılan statik itme analizi sonucuda oluşan plastik mafsalların dağılımı Şekil 5.36'da gösterilmiştir. Çizelge 5.27'deki dağılım, analiz doğrultusundaki akslara göre verilmiştir.

Çizelge 5.27 : Bodrum kat betonarme perdesiz durum için x doğrultusundaki plastik mafsal dağılımı.

		Plastik Mafsal Sayısı								
		1-1 Aksı	2-2 Aksı	4-4 Aksı	5-5 Aksı	6-6 Aksı	7-7 Aksı	8-8 Aksı	9-9 Aksı	10-10 Aksı
Kolon	CL	5	6	13		4	6	2	3	2
Kiriş	IO	1	22	28	7	30	53	56	44	19
	CP	87	55	32		29	7			



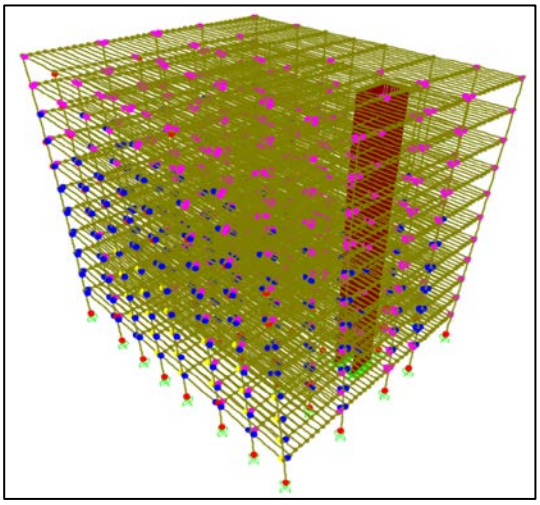
Şekil 5.36 : Bodrum kat betonarme perdesiz durum için x doğrultusundaki statik itme analizi sonucu oluşan plastik mafsal dağılımı.

- Bodrum kat betonarme perdesiz durum için y doğrultusundaki plastik mafsal dağılımı:

Üzerinde çalışılan bina için, bodrum katı çevreleyen betonarme perdelerin kaldırıldığı durum dikkate alınarak y doğrultusunda yapılan statik itme analizi sonucuda oluşan plastik mafsalların dağılımı Şekil 5.37'de gösterilmiştir. Çizelge 5.28'deki dağılım, analiz doğrultusundaki akslara göre verilmiştir.

Çizelge 5.28 : Bodrum kat betonarme perdesiz durum için y doğrultusundaki plastik mafsal dağılımı.

		Plastik Mafsal Sayısı						
		A-A Aksı	B-B Aksı	C-C Aksı	D-D Aksı	E-E Aksı	F-F Aksı	G-G Aksı
Kolon	CL	30	15	5	6		11	6
Kiriş	IO	26	61	30	58		93	
	CP	124	92	10	15		9	



Şekil 5.37 : Bodrum kat betonarme perdesiz durum için y doğrultusundaki statik itme analizi sonucu oluşan plastik mafsal dağılımı.

6. ZAMAN TANIM ALANINDA ANALİZ

Bu çalışma kapsamında zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan analiz yönteminin uygulanmasında SAP2000 programı kullanılmıştır. Benzeştirilmiş deprem yer hareketlerinin kullanımıyla ilgili olarak DBYBHY-07 en az üç deprem yer hareketinin üretilmesi gerektiğini belirtmektedir (DBYBHY, 2007). Daha doğru sonuçlar bulmak adına çalışma kapsamında yapılan analizlerde yedi deprem kaydı kullanılmıştır. Kayıtların SeismoSignal programında düzeltme işlemi yapıldıktan sonra, SeismoMatch programında Eurocode 8'de verilen B zemin sınıfı ve 1. tip elastik tepki spektrumuna göre, seçilen kayıtlar benzeştirilmiştir. Benzeştirilmiş deprem kayıtları SAP2000 programına tanımlanmıştır. Programda doğrusal olmayan yöntemle çözüm yapabilmek adına gerekli seçenekler seçilmiş, ivme kayıtlarının adım sayıları da programa girilerek analizler yapılmıştır.

6.1 Zaman Tanım Alanında Analiz Sonuçlarının Seçilen Kayıt Bazında Gösterimi

Bu bölümde, benzeştirilen deprem kayıtlarına göre yapılan doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilen taban kesme kuvveti-zaman grafikleri verilmiştir. Ayrıca, Eurocode 8'de verilen elastik tasarım ivme spektrumuna, yer ivmesi değeri 0.4g olacak şekilde benzeştirilen yedi deprem kaydı kullanılarak yapılan zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan analiz sonucu, x ve y doğrultularında bodrum kat betonarme perdeli ve perdesiz binanın kütle merkezine göre hesaplanmış olan göreli kat öteleme grafikleri verilmiştir. Seçilen deprem kayıtları altında yapılan doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler sonucu, göreli kat ötelemeleri için Eurocode 8'de hasar görebilirlik sınırı olarak verilen %0.5 değerinin (EC8, CEN 2006) aşıldığı grafiklerde gösterilmiştir.

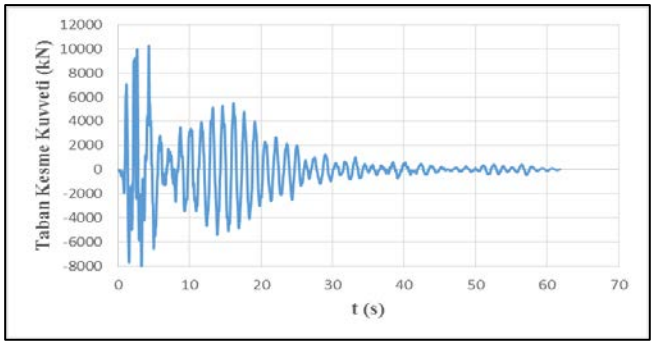
Van bölgesinde yapılmış olan daha önceki bir çalışmada, yapıda oluşan göreli kat ötelemeleri Eurocode 8'de verilen hasar görebilirlik sınırı (%0.5) ile kontrol edilmiştir (Di Sarno ve diğ., 2013).

6.1.1 Seçilen depremlerin taban kesme kuvveti – zaman grafikleri

Bu bölümde, doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz için benzeştirilen deprem kayıtlarının yapıya uygulandığı durumda oluşan taban kesme kuvveti – zaman grafikleri, yapıya etkitilen deprem bazlı olarak her iki doğrultuda betonarme perdeli ve perdesiz durum dikkate alınarak verilmiştir.

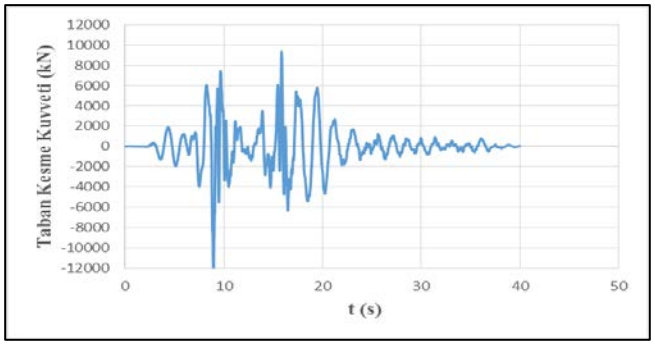
Betonarme bodrum kat perdeli durum x doğrultusu:

San Fernando depremi için bodrum kat perdeli binada yapılan ZTA sonucunda x doğrultusu için elde edilen taban kesme kuvveti – zaman grafiği Şekil 6.1'de gösterilmiştir.



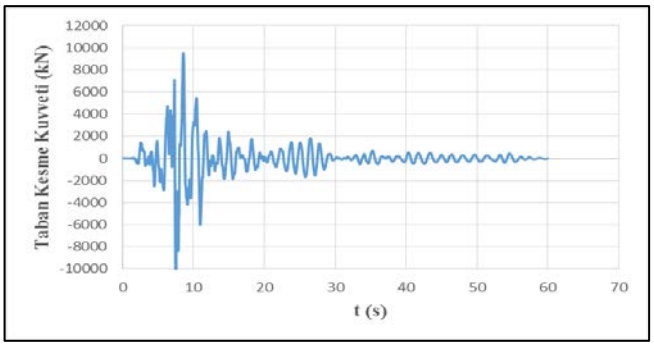
Şekil 6.1 : San Fernando depremi için betonarme perdeli durum x doğrultusu taban kesme kuvveti – zaman grafiği.

Imperial Valley depremi için bodrum kat perdeli binada yapılan ZTA sonucunda x doğrultusu için elde edilen taban kesme kuvveti – zaman grafiği Şekil 6.2'de gösterilmiştir.



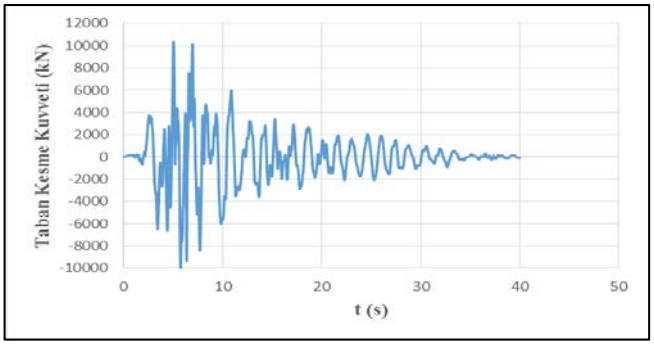
Şekil 6.2 : Imperial Valley depremi için betonarme perdeli durum x doğrultusu taban kesme kuvveti – zaman grafiği.

Coalinga depremi için bodrum kat perdeli binada yapılan ZTA sonucunda x doğrultusu için elde edilen taban kesme kuvveti – zaman grafiği Şekil 6.3'de gösterilmiştir.



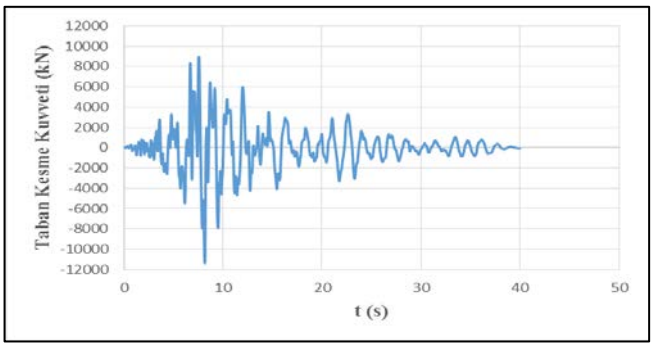
Şekil 6.3 : Coalinga depremi için betonarme perdeli durum x doğrultusu taban kesme kuvveti – zaman grafiği.

Loma Prieta depremi için bodrum kat perdeli binada yapılan ZTA sonucunda x doğrultusu için elde edilen taban kesme kuvveti – zaman grafiği Şekil 6.4'de gösterilmiştir.



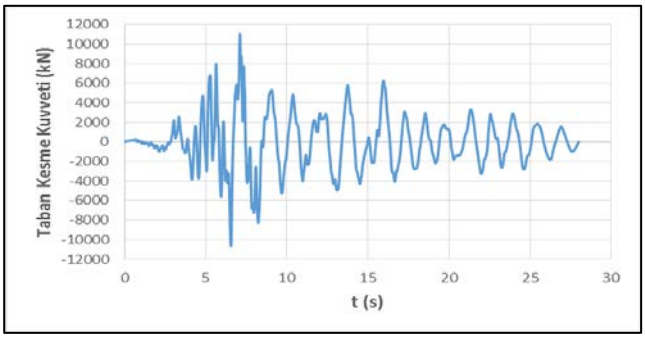
Şekil 6.4 : Loma Prieta depremi için betonarme perdeli durum x doğrultusu taban kesme kuvveti – zaman grafiği.

Northridge depremi için bodrum kat perdeli binada yapılan ZTA sonucunda x doğrultusu için elde edilen taban kesme kuvveti – zaman grafiği Şekil 6.5'de gösterilmiştir.



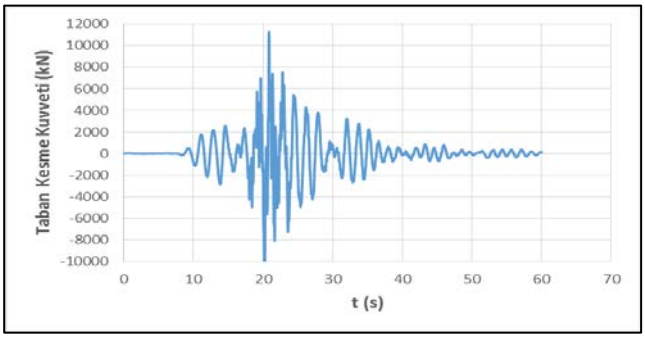
Şekil 6.5 : Northridge depremi için betonarme perdeli durum x doğrultusu taban kesme kuvveti – zaman grafiği.

Cape Mendocino depremi için bodrum kat perdeli binada yapılan ZTA sonucunda x doğrultusu için elde edilen taban kesme kuvveti – zaman grafiği Şekil 6.6'da gösterilmiştir.



Şekil 6.6 : Cape Mendocino depremi için betonarme perdeli durum x doğrultusu taban kesme kuvveti – zaman grafiği.

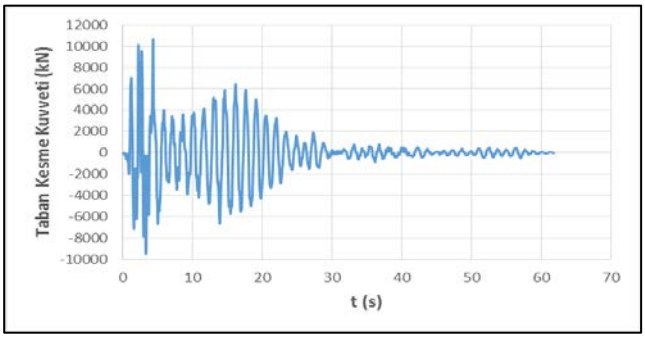
Chuetsu Oki depremi için bodrum kat perdeli binada yapılan ZTA sonucunda x doğrultusu için elde edilen taban kesme kuvveti – zaman grafiği Şekil 6.7'de gösterilmiştir.



Şekil 6.7 : Chuetsu Oki depremi için betonarme perdeli durum x doğrultusu taban kesme kuvveti – zaman grafiği.

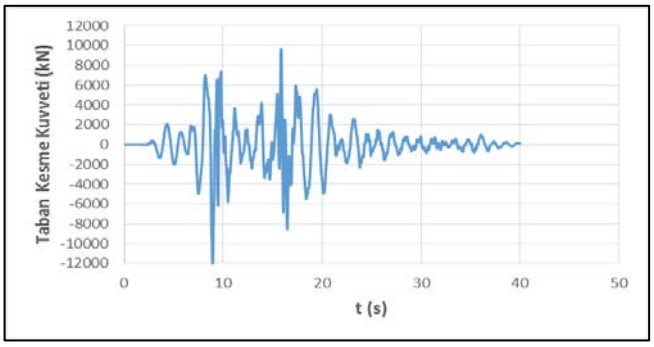
<u>Betonarme bodrum kat perdeli durum y doğrultusu:</u>

San Fernando depremi için bodrum kat perdeli binada yapılan ZTA sonucunda y doğrultusu için elde edilen taban kesme kuvveti – zaman grafiği Şekil 6.8'de gösterilmiştir.



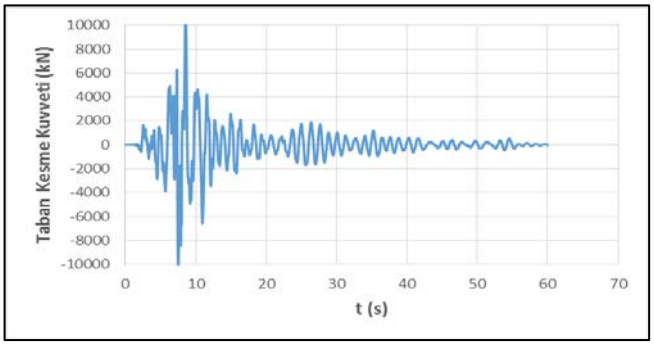
Şekil 6.8 : San Fernando depremi için betonarme perdeli durum y doğrultusu taban kesme kuvveti – zaman grafiği.

Imperial Valley depremi için bodrum kat perdeli binada yapılan ZTA sonucunda y doğrultusu için elde edilen taban kesme kuvveti – zaman grafiği Şekil 6.9'da gösterilmiştir.



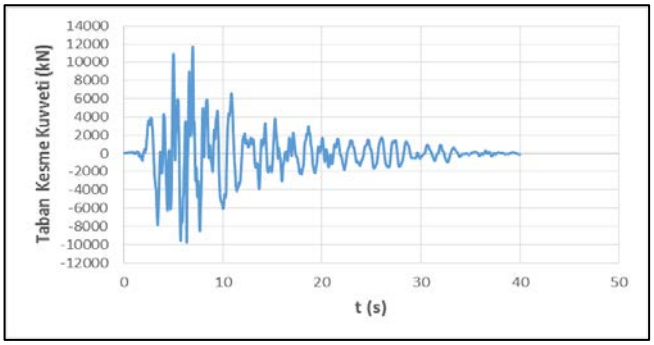
Şekil 6.9 : Imperial Valley depremi için betonarme perdeli durum y doğrultusu taban kesme kuvveti – zaman grafiği.

Coalinga depremi için bodrum kat perdeli binada yapılan ZTA sonucunda y doğrultusu için elde edilen taban kesme kuvveti – zaman grafiği Şekil 6.10'da gösterilmiştir.



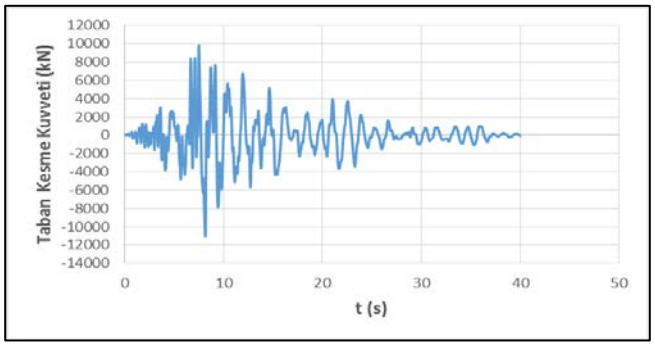
Şekil 6.10 : Coalinga depremi için betonarme perdeli durum y doğrultusu taban kesme kuvveti – zaman grafiği.

Loma Prieta depremi için bodrum kat perdeli binada yapılan ZTA sonucunda y doğrultusu için elde edilen taban kesme kuvveti – zaman grafiği Şekil 6.11'de gösterilmiştir.



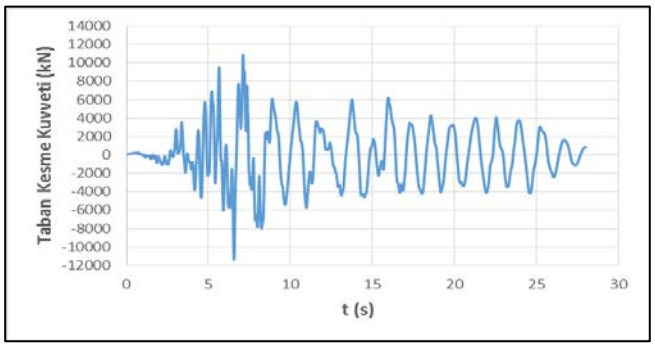
Şekil 6.11 : Loma Prieta depremi için betonarme perdeli durum y doğrultusu taban kesme kuvveti – zaman grafiği.

Northridge depremi için bodrum kat perdeli binada yapılan ZTA sonucunda y doğrultusu için elde edilen taban kesme kuvveti – zaman grafiği Şekil 6.12'de gösterilmiştir.



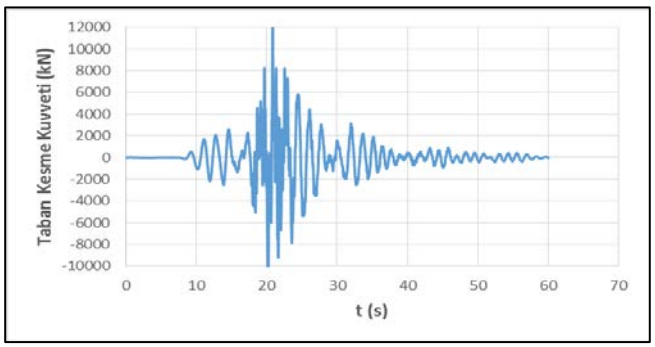
Şekil 6.12 : Northridge depremi için betonarme perdeli durum y doğrultusu taban kesme kuvveti – zaman grafiği.

Cape Mendocino depremi için bodrum kat perdeli binada yapılan ZTA sonucunda y doğrultusu için elde edilen taban kesme kuvveti – zaman grafiği Şekil 6.13'de gösterilmiştir.



Şekil 6.13 : Cape Mendocino depremi için betonarme perdeli durum y doğrultusu taban kesme kuvveti – zaman grafiği.

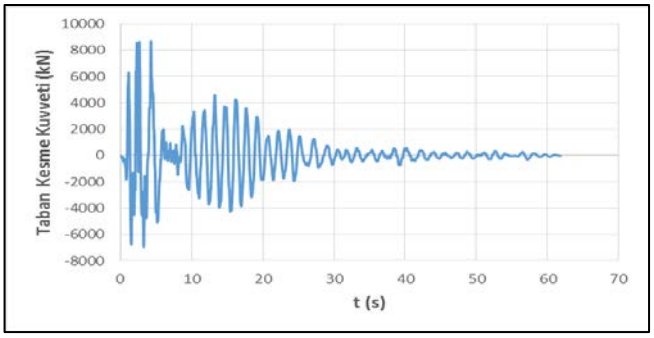
Chuetsu Oki depremi için bodrum kat perdeli binada yapılan ZTA sonucunda y doğrultusu için elde edilen taban kesme kuvveti – zaman grafiği Şekil 6.14'de gösterilmiştir.



Şekil 6.14 : Chuetsu Oki depremi için betonarme perdeli durum y doğrultusu taban kesme kuvveti – zaman grafiği.

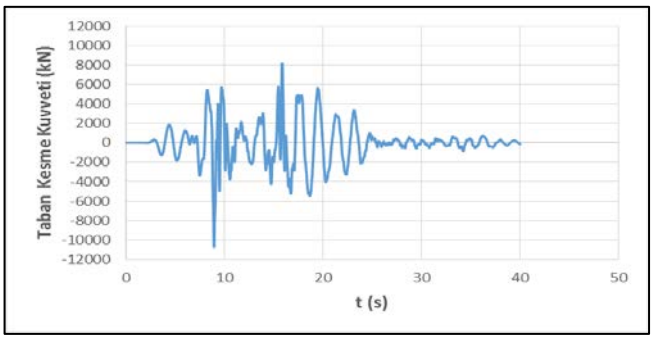
Betonarme bodrum kat perdesiz durum x doğrultusu:

San Fernando depremi için bodrum kat perdesiz binada yapılan ZTA sonucunda x doğrultusu için elde edilen taban kesme kuvveti – zaman grafiği Şekil 6.15'de gösterilmiştir.



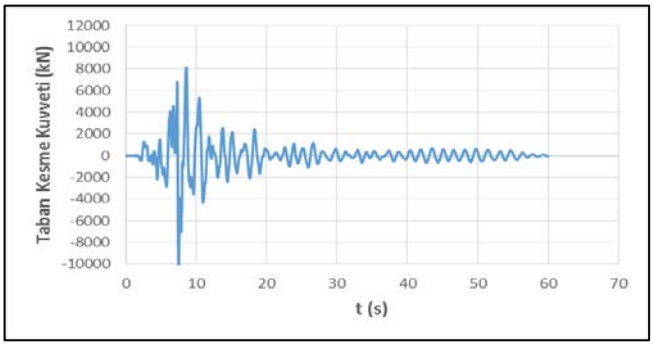
Şekil 6.15 : San Fernando depremi için betonarme perdesiz durum x doğrultusu taban kesme kuvveti – zaman grafiği.

Imperial Valley depremi için bodrum kat perdesiz binada yapılan ZTA sonucunda x doğrultusu için elde edilen taban kesme kuvveti – zaman grafiği Şekil 6.16'da gösterilmiştir.



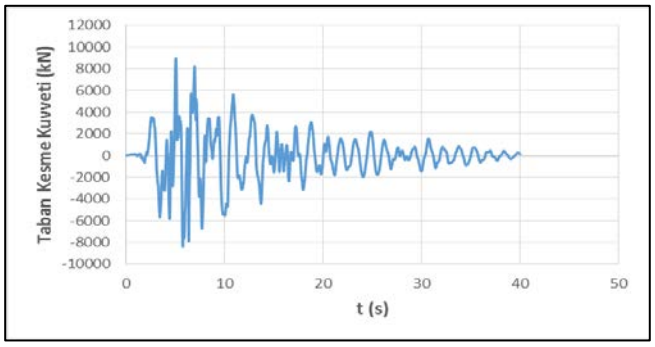
Şekil 6.16 : Imperial Valley depremi için betonarme perdesiz durum x doğrultusu taban kesme kuvveti – zaman grafiği.

Coalinga depremi için bodrum kat perdesiz binada yapılan ZTA sonucunda x doğrultusu için elde edilen taban kesme kuvveti – zaman grafiği Şekil 6.17'de gösterilmiştir.



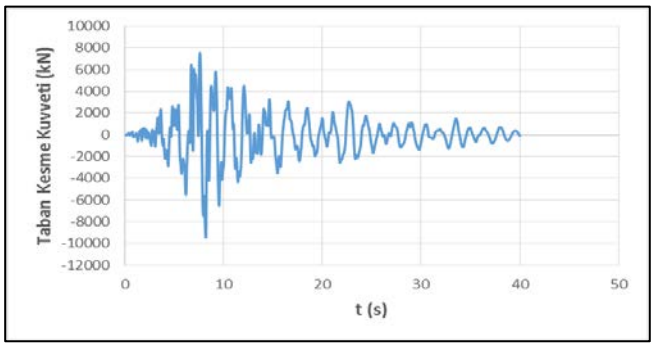
Şekil 6.17 : Coalinga depremi için betonarme perdesiz durum x doğrultusu taban kesme kuvveti – zaman grafiği.

Loma Prieta depremi için bodrum kat perdesiz binada yapılan ZTA sonucunda x doğrultusu için elde edilen taban kesme kuvveti – zaman grafiği Şekil 6.18'de gösterilmiştir.



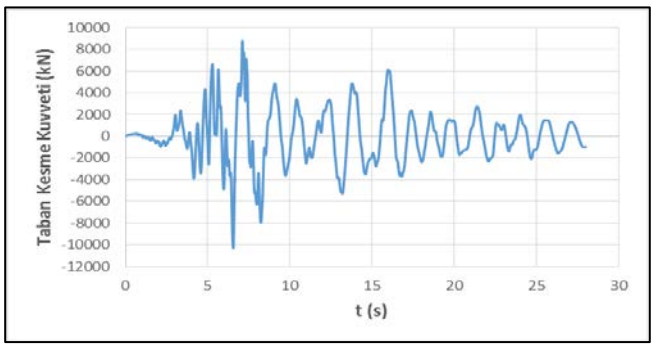
Şekil 6.18 : Loma Prieta depremi için betonarme perdesiz durum x doğrultusu taban kesme kuvveti – zaman grafiği.

Northridge depremi için bodrum kat perdesiz binada yapılan ZTA sonucunda x doğrultusu için elde edilen taban kesme kuvveti – zaman grafiği Şekil 6.19'da gösterilmiştir.



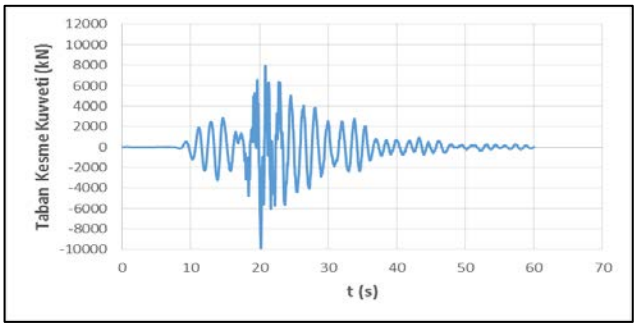
Şekil 6.19 : Northridge depremi için betonarme perdesiz durum x doğrultusu taban kesme kuvveti – zaman grafiği.

Cape Mendocino depremi için bodrum kat perdesiz binada yapılan ZTA sonucunda x doğrultusu için elde edilen taban kesme kuvveti – zaman grafiği Şekil 6.20'de gösterilmiştir.



Şekil 6.20 : Cape Mendocino depremi için betonarme perdesiz durum x doğrultusu taban kesme kuvveti – zaman grafiği.

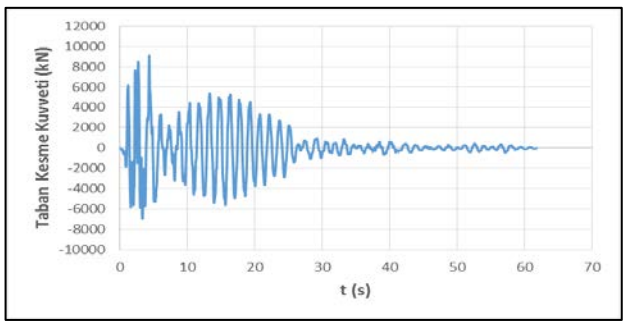
Chuetsu Oki depremi için bodrum kat perdesiz binada yapılan ZTA sonucunda x doğrultusu için elde edilen taban kesme kuvveti – zaman grafiği Şekil 6.21'de gösterilmiştir.



Şekil 6.21 : Chuetsu Oki depremi için betonarme perdesiz durum x doğrultusu taban kesme kuvveti – zaman grafiği.

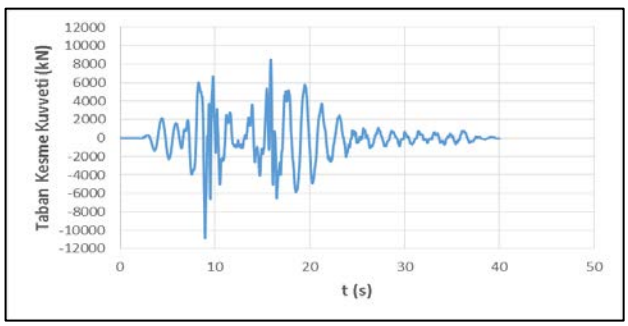
Betonarme bodrum kat perdesiz durum y doğrultusu:

San Fernando depremi için bodrum kat perdesiz binada yapılan ZTA sonucunda y doğrultusu için elde edilen taban kesme kuvveti – zaman grafiği Şekil 6.22'de gösterilmiştir.



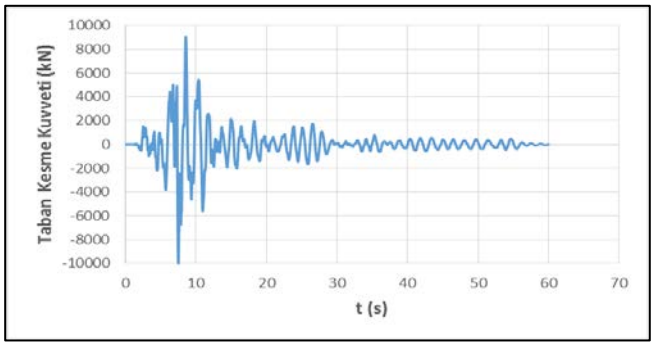
Şekil 6.22 : San Fernando depremi için betonarme perdesiz durum y doğrultusu taban kesme kuvveti – zaman grafiği.

Imperial Valley depremi için bodrum kat perdesiz binada yapılan ZTA sonucunda y doğrultusu için elde edilen taban kesme kuvveti–zaman grafiği Şekil 6.23'de gösterilmiştir.



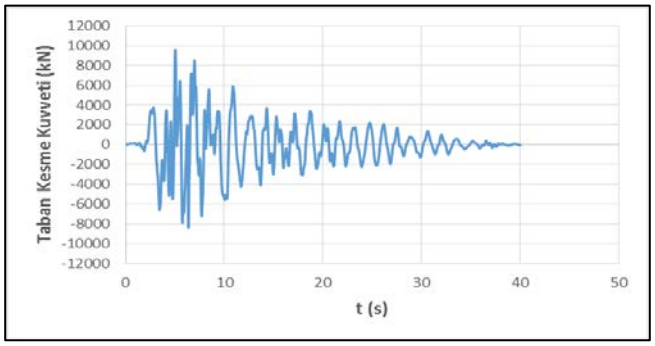
Şekil 6.23 : Imperial Valley depremi için betonarme perdesiz durum y doğrultusu taban kesme kuvveti – zaman grafiği.

Coalinga depremi için bodrum kat perdesiz binada yapılan ZTA sonucunda y doğrultusu için elde edilen taban kesme kuvveti–zaman grafiği Şekil 6.24'de gösterilmiştir.



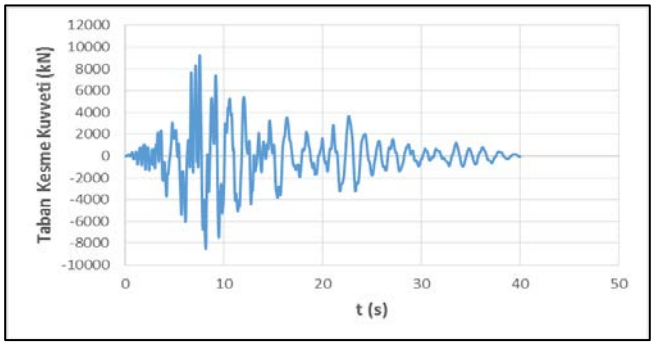
Şekil 6.24 : Coalinga depremi için betonarme perdesiz durum y doğrultusu taban kesme kuvveti – zaman grafiği.

Loma Prieta depremi için bodrum kat perdesiz binada yapılan ZTA sonucunda y doğrultusu için elde edilen taban kesme kuvveti–zaman grafiği Şekil 6.25'de gösterilmiştir.



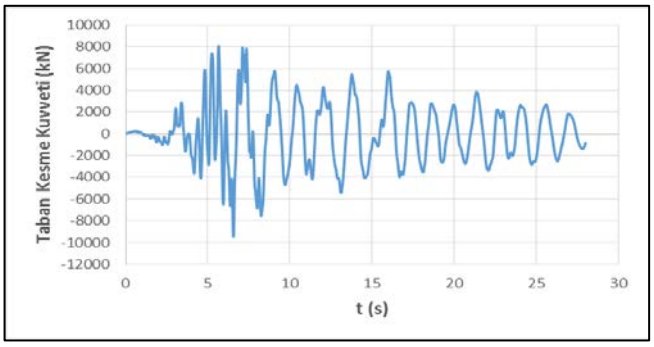
Şekil 6.25 : Loma Prieta depremi için betonarme perdesiz durum y doğrultusu taban kesme kuvveti – zaman grafiği.

Northridge depremi için bodrum kat perdesiz binada yapılan ZTA sonucunda y doğrultusu için elde edilen taban kesme kuvveti – zaman grafiği Şekil 6.26'da gösterilmiştir.



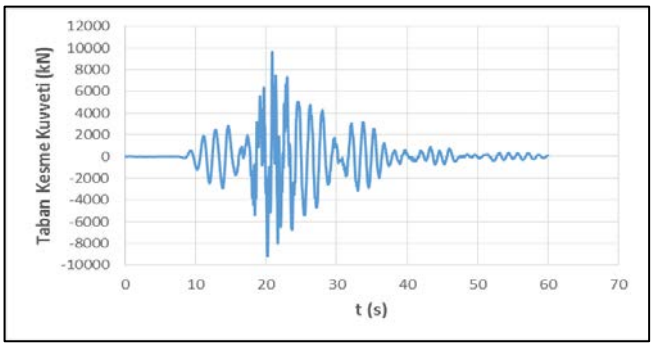
Şekil 6.26 : Northridge depremi için betonarme perdesiz durum y doğrultusu taban kesme kuvveti – zaman grafiği.

Cape Mendocino depremi için bodrum kat perdesiz binada yapılan ZTA sonucunda y doğrultusu için elde edilen taban kesme kuvveti – zaman grafiği Şekil 6.27'de gösterilmiştir.



Şekil 6.27 : Cape Mendocino depremi için betonarme perdesiz durum y doğrultusu taban kesme kuvveti – zaman grafiği.

Chuetsu Oki depremi için bodrum kat perdesiz binada yapılan ZTA sonucunda y doğrultusu için elde edilen taban kesme kuvveti – zaman grafiği Şekil 6.28'de gösterilmiştir.



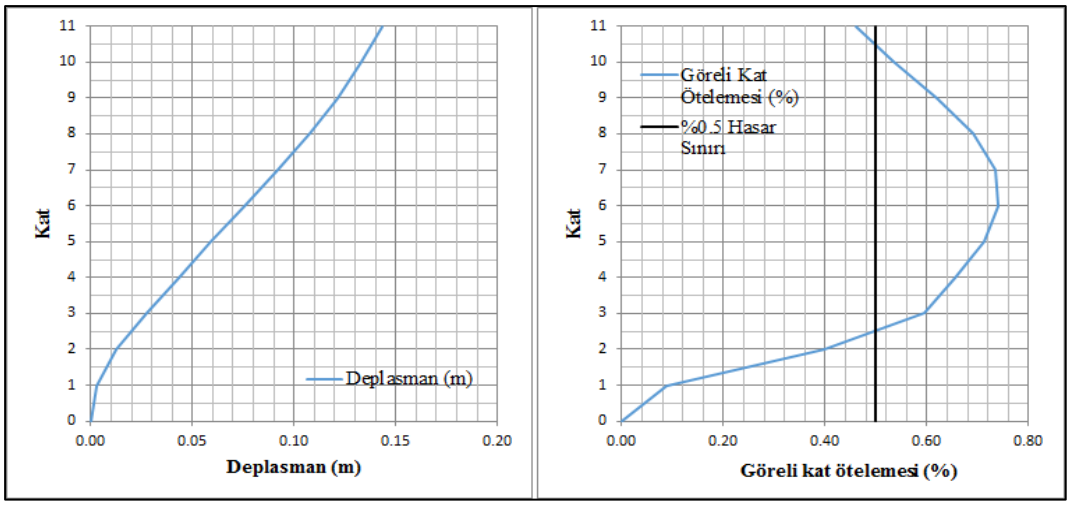
Şekil 6.28 : Chuetsu Oki depremi için betonarme perdesiz durum y doğrultusu taban kesme kuvveti – zaman grafiği.

6.1.2 Bodrum kat betonarme perdeli yapıda zaman tanım alanında analiz sonucunda oluşan deplasman ve göreli kat ötelemeleri

Bodrum kat betonarme perdeli inceleme konusu binada yapılan, zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan analiz sonucu, seçilen deprem kayıtları için yapının kütle merkezindeki deplasman ve göreli kat öteleme değerleri grafiklerde gösterilmiştir.

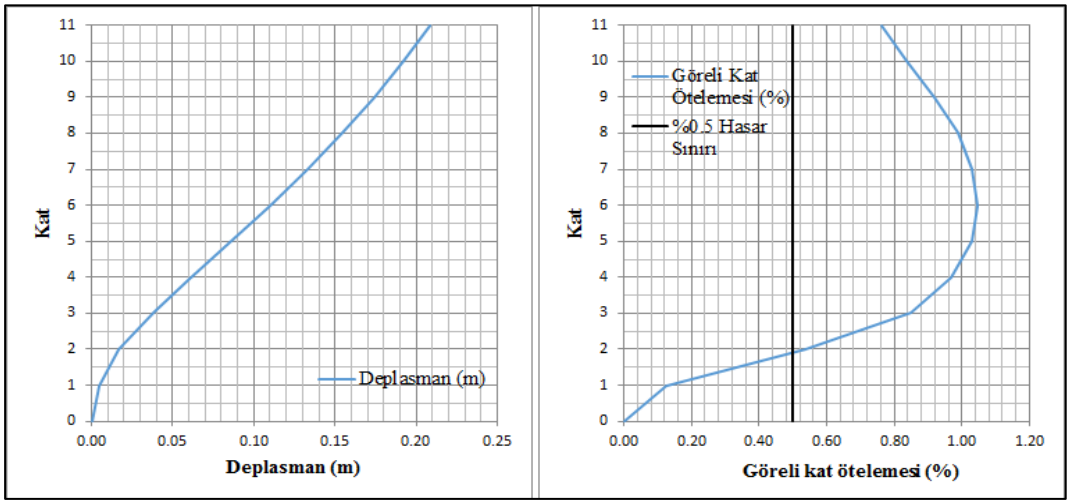
- X doğrultusunda betonarme perdeli durum için sonuçlar (kütle merkezi):

San Fernando depremi için yapılan ZTA sonucunda kütle merkezinde elde edilen deplasman ve göreli kat ötelemeleri Şekil 6.29'da gösterilmiştir.



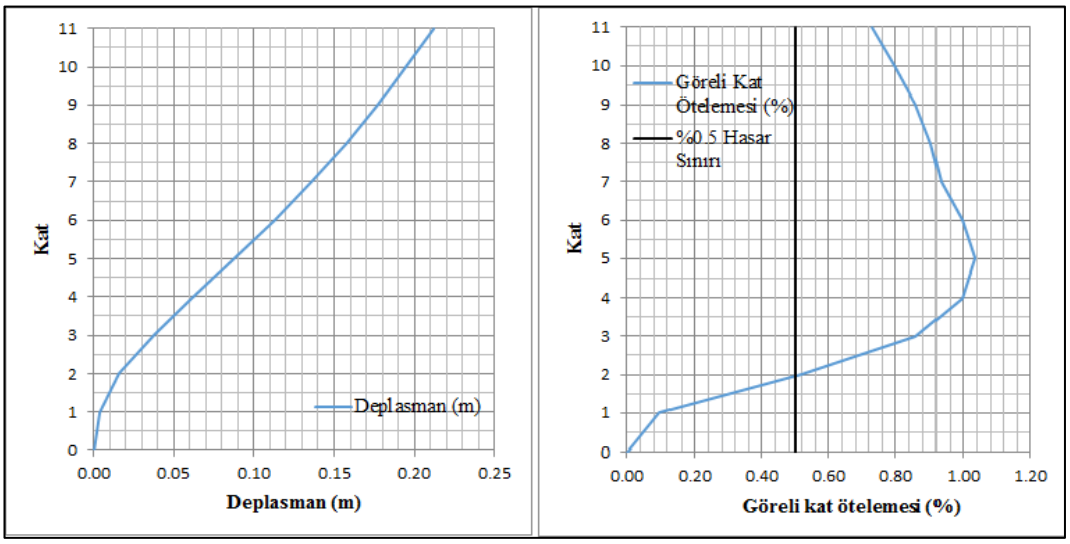
Şekil 6.29 : San Fernando depremi deplasman ve göreli kat ötelemesi sonuçları.

Imperial Valley depremi için yapılan ZTA sonucunda kütle merkezinde elde edilen deplasman ve göreli kat ötelemeleri Şekil 6.30'da gösterilmiştir.



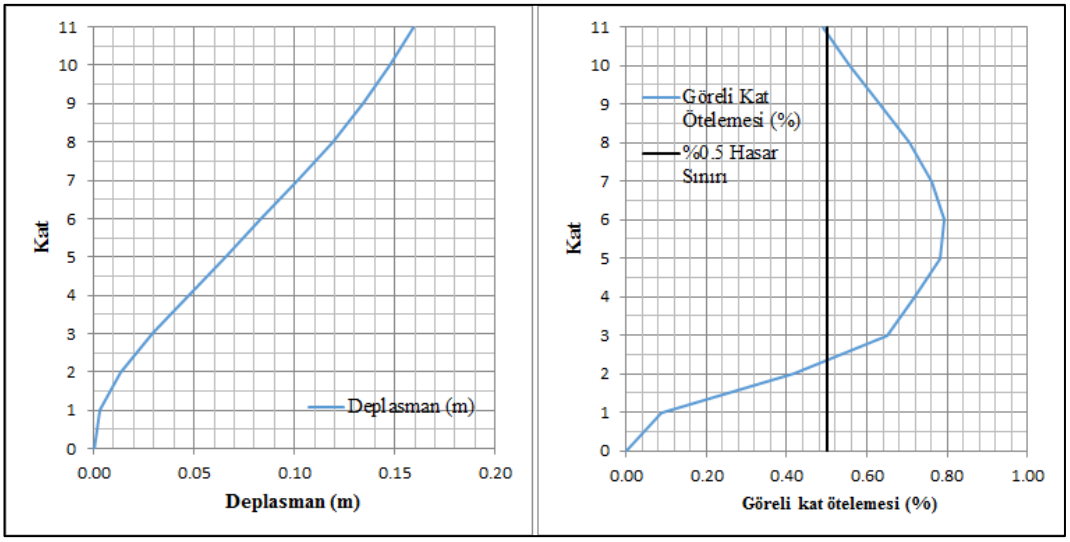
Şekil 6.30 : Imperial Valley depremi deplasman ve göreli kat ötelemesi sonuçları.

Coalinga depremi için yapılan ZTA sonucunda kütle merkezinde elde edilen deplasman ve göreli kat ötelemeleri Şekil 6.31'de gösterilmiştir.



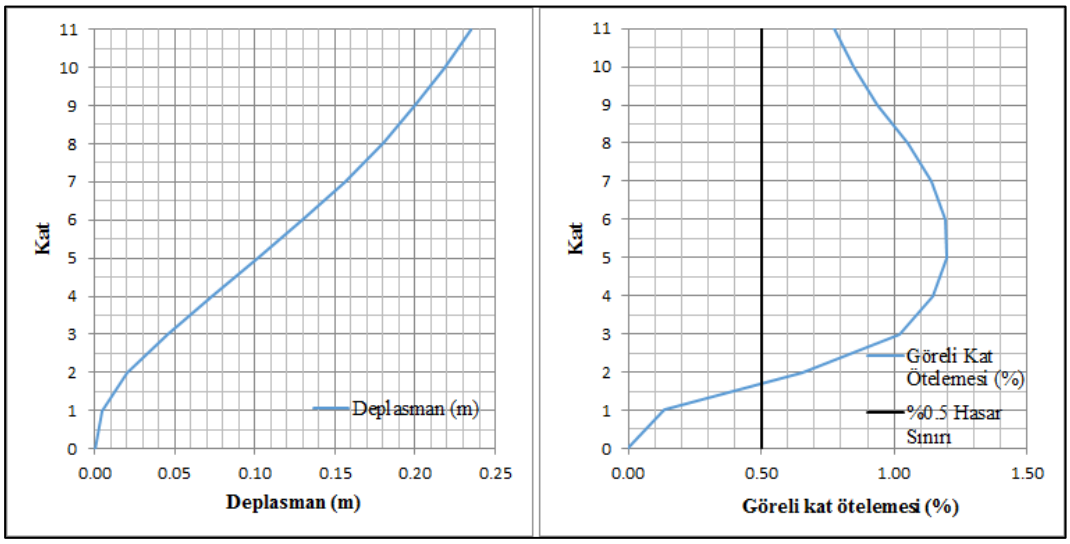
Şekil 6.31 : Coalinga depremi deplasman ve göreli kat ötelemesi sonuçları.

Loma Prieta depremi için yapılan ZTA sonucunda kütle merkezinde elde edilen deplasman ve göreli kat ötelemeleri Şekil 6.32'de gösterilmiştir.



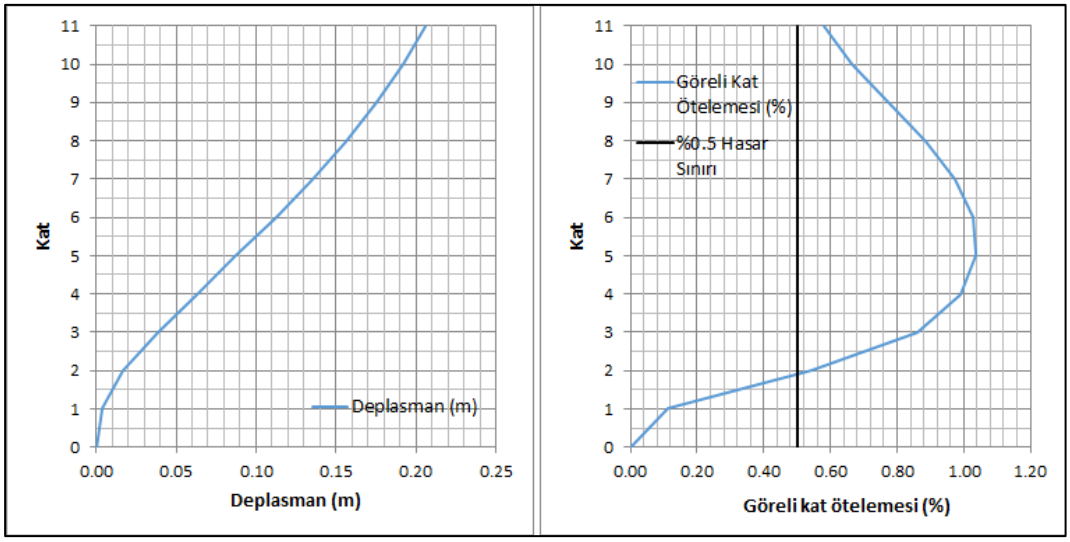
Şekil 6.32 : Loma Prieta depremi deplasman ve göreli kat ötelemesi sonuçları.

Northridge depremi için yapılan ZTA sonucunda kütle merkezinde elde edilen deplasman ve göreli kat ötelemeleri Şekil 6.33'de gösterilmiştir.



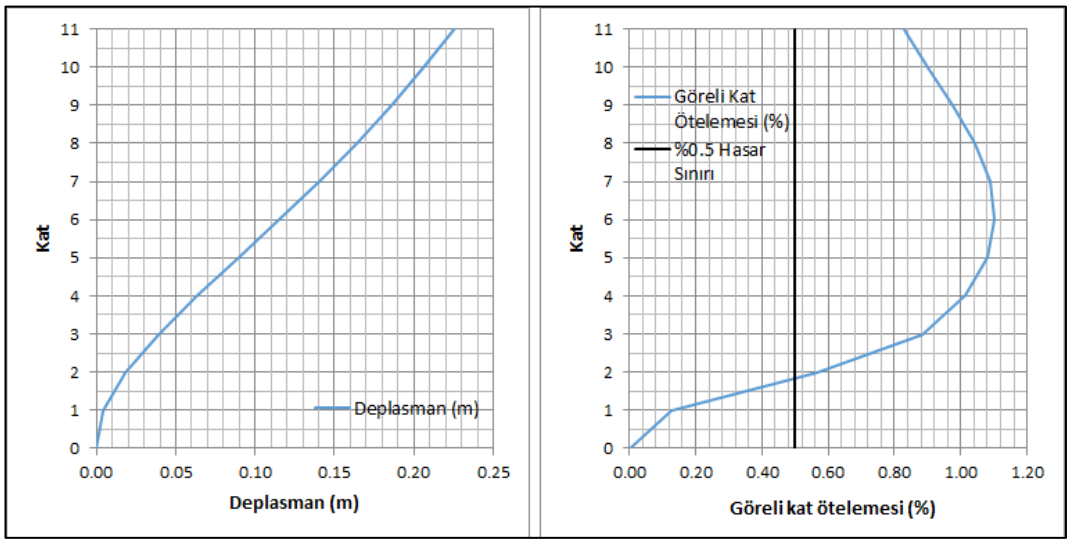
Şekil 6.33 : Northridge depremi deplasman ve göreli kat ötelemesi sonuçları.

Cape Mendocino depremi için yapılan ZTA sonucunda kütle merkezinde elde edilen deplasman ve göreli kat ötelemeleri Şekil 6.34'de gösterilmiştir.



Şekil 6.34 : Cape Mendocino depremi deplasman ve göreli kat ötelemesi sonuçları.

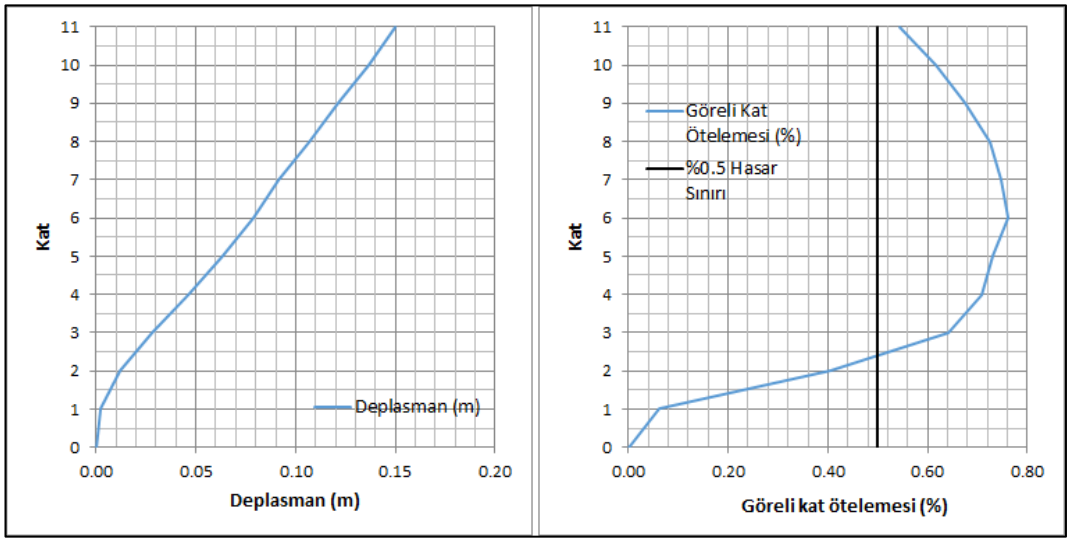
Chuetsu Oki depremi için yapılan ZTA sonucunda kütle merkezinde elde edilen deplasman ve göreli kat ötelemeleri Şekil 6.35'de gösterilmiştir.



Şekil 6.35 : Chuetsu Oki depremi deplasman ve göreli kat ötelemesi sonuçları.

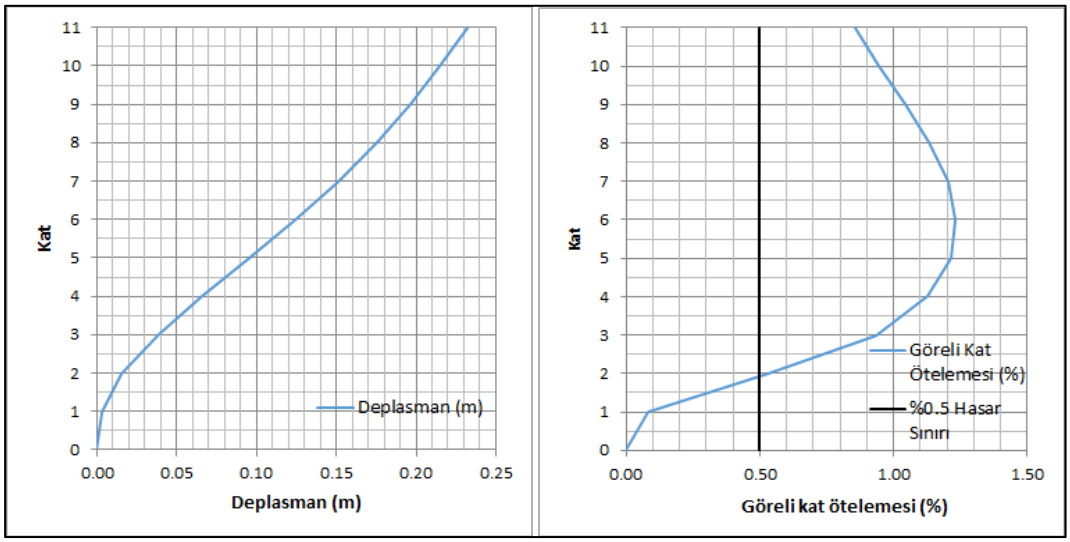
- Y doğrultusu betonarme perdeli durum için sonuçlar (kütle merkezi):

San Fernando depremi için yapılan ZTA sonucunda kütle merkezinde elde edilen deplasman ve göreli kat ötelemeleri Şekil 6.36'da gösterilmiştir.



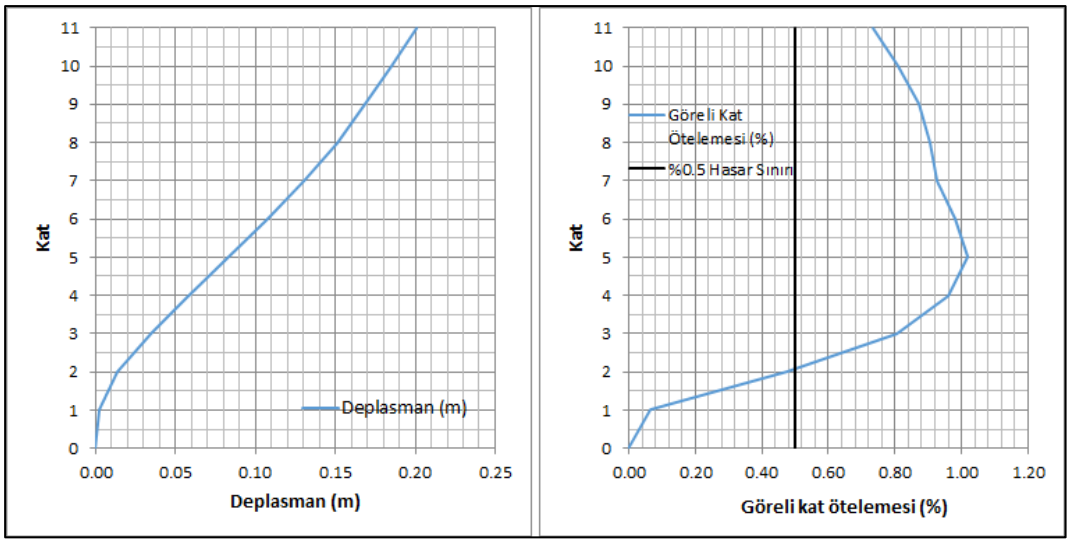
Şekil 6.36 : San Fernando depremi deplasman ve göreli kat ötelemesi sonuçları.

Imperial Valley depremi için yapılan ZTA sonucunda kütle merkezinde elde edilen deplasman ve göreli kat ötelemeleri Şekil 6.37'de gösterilmiştir.



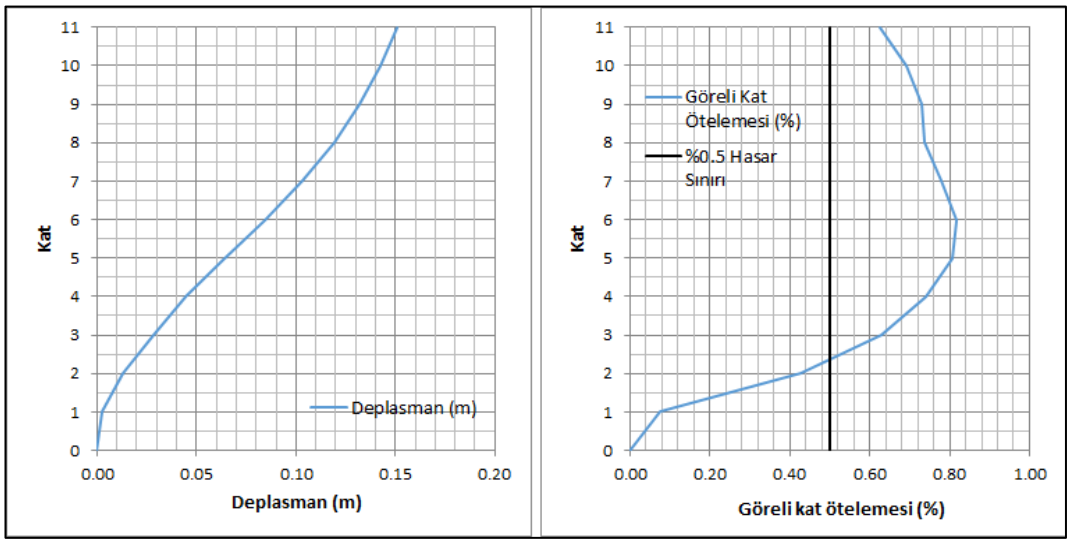
Şekil 6.37 : Imperial Valley depremi deplasman ve göreli kat ötelemesi sonuçları.

Coalinga depremi için yapılan ZTA sonucunda kütle merkezinde elde edilen deplasman ve göreli kat ötelemeleri Şekil 6.38'de gösterilmiştir.



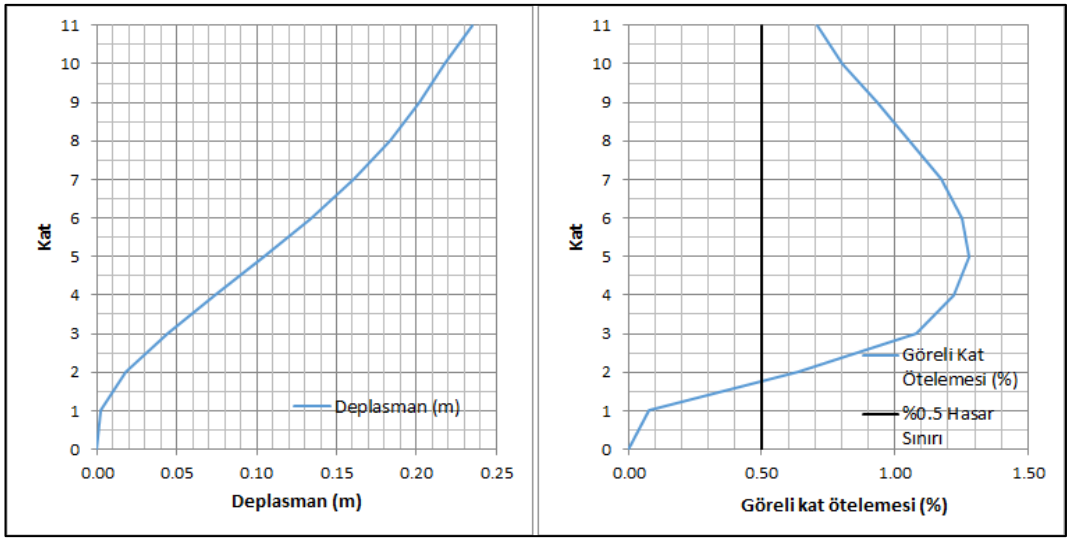
Şekil 6.38 : Coalinga depremi deplasman ve göreli kat ötelemesi sonuçları.

Loma Prieta depremi için yapılan ZTA sonucunda elde edilen deplasman ve göreli kat ötelemeleri Şekil 6.39'da gösterilmiştir.



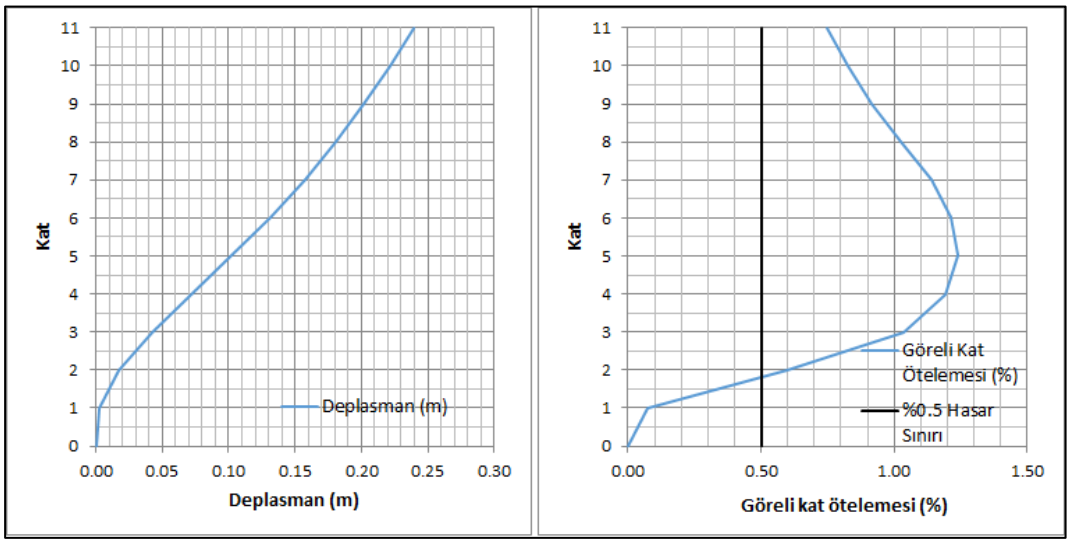
Şekil 6.39 : Loma Prieta depremi deplasman ve göreli kat ötelemesi sonuçları.

Northridge depremi için yapılan ZTA sonucunda kütle merkezinde elde edilen deplasman ve göreli kat ötelemeleri Şekil 6.40'da gösterilmiştir.



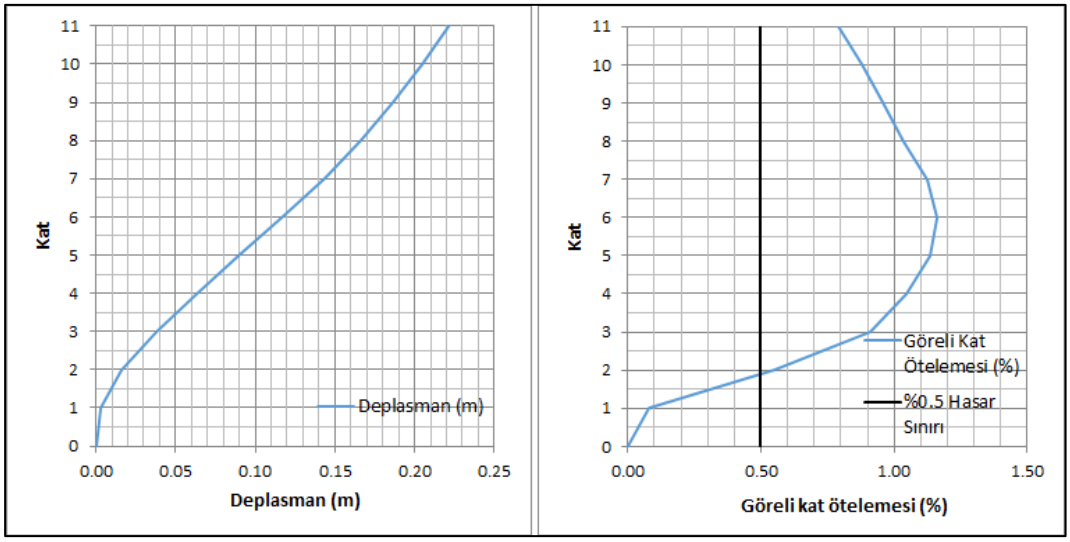
Şekil 6.40 : Northridge depremi deplasman ve göreli kat ötelemesi sonuçları.

Cape Mendocino depremi için yapılan ZTA sonucunda kütle merkezinde elde edilen deplasman ve göreli kat ötelemeleri Şekil 6.41'de gösterilmiştir.



Şekil 6.41 : Cape Mendocino depremi deplasman ve göreli kat ötelemesi sonuçları.

Chuetsu Oki depremi için yapılan ZTA sonucunda kütle merkezinde elde edilen deplasman ve göreli kat ötelemeleri Şekil 6.42'de gösterilmiştir.



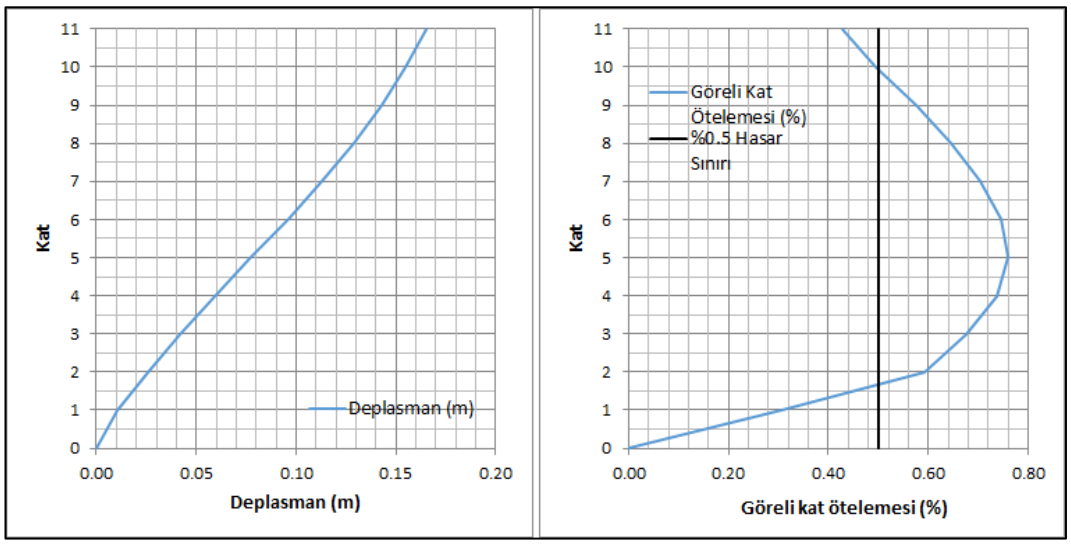
Şekil 6.42 : Chuetsu Oki depremi deplasman ve göreli kat ötelemesi sonuçları.

6.1.3 Bodrum kat betonarme perdesiz yapıda zaman tanım alanında analiz sonucunda oluşan deplasman ve göreli kat ötelemeleri

Bodrum katı çevreleyen betonarme perdelerin kaldırıldığı durum için inceleme konusu binada yapılan, zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan analiz sonucu, seçilen deprem kayıtları için yapının kütle merkezindeki deplasman ve göreli kat öteleme değerleri grafiklerde gösterilmiştir.

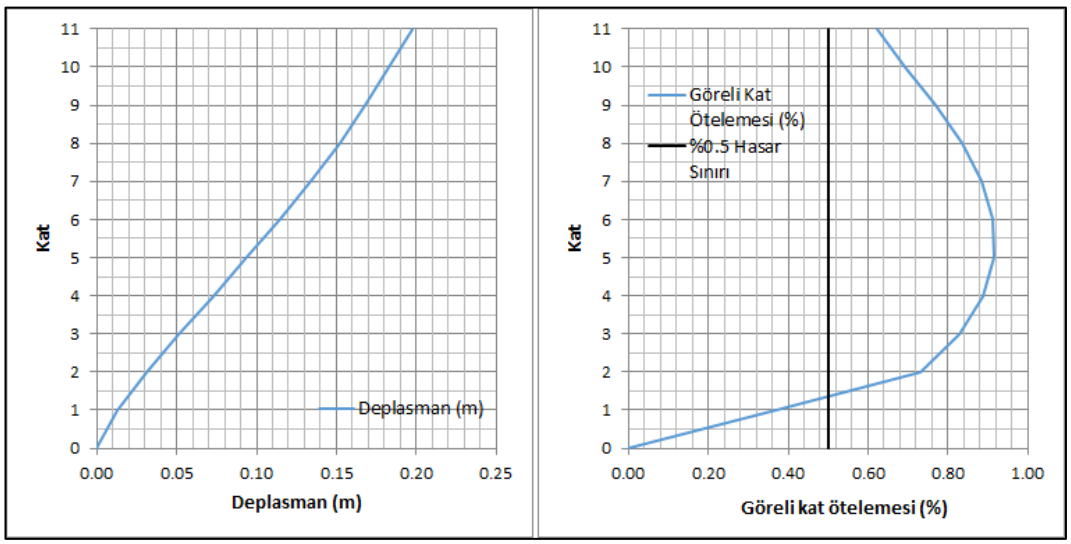
- X doğrultusunda bodrum kat betonarme perdesiz durum için sonuçlar (kütle merkezi):

San Fernando depremi için yapılan ZTA sonucunda kütle merkezinde elde edilen deplasman ve göreli kat ötelemeleri Şekil 6.43'de gösterilmiştir.



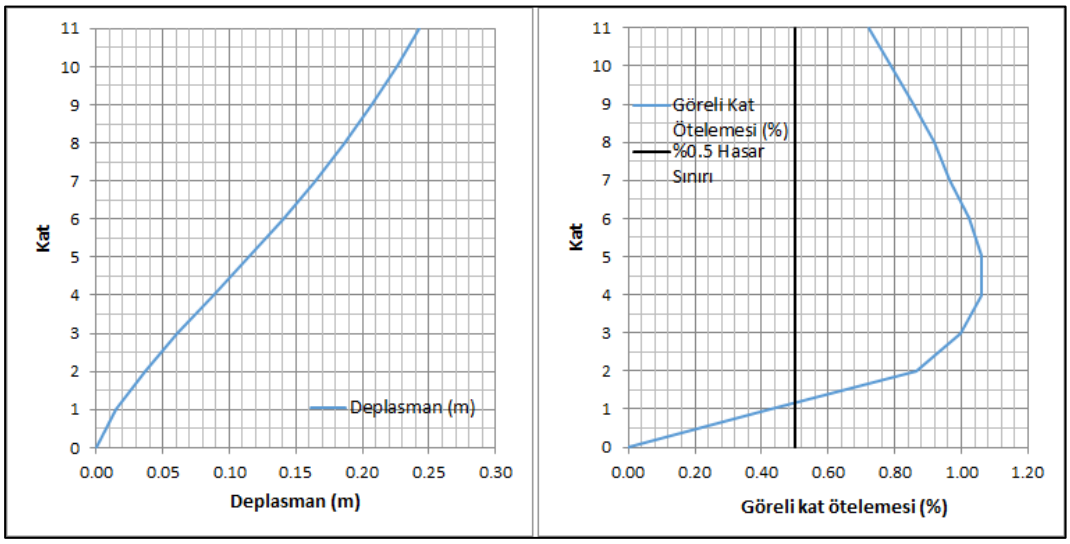
Şekil 6.43 : San Fernando depremi deplasman ve göreli kat ötelemesi sonuçları.

Imperial Valley depremi için yapılan ZTA sonucunda kütle merkezinde elde edilen deplasman ve göreli kat ötelemeleri Şekil 6.44'de gösterilmiştir.



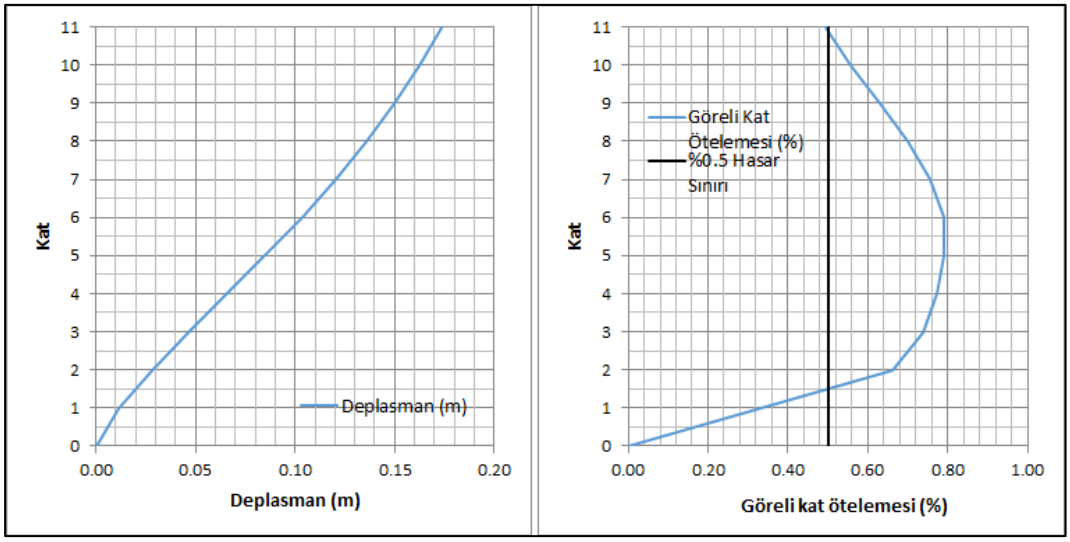
Şekil 6.44 : Imperial Valley depremi deplasman ve göreli kat ötelemesi sonuçları.

Coalinga depremi için yapılan ZTA sonucunda kütle merkezinde elde edilen deplasman ve göreli kat ötelemeleri Şekil 6.45'de gösterilmiştir.



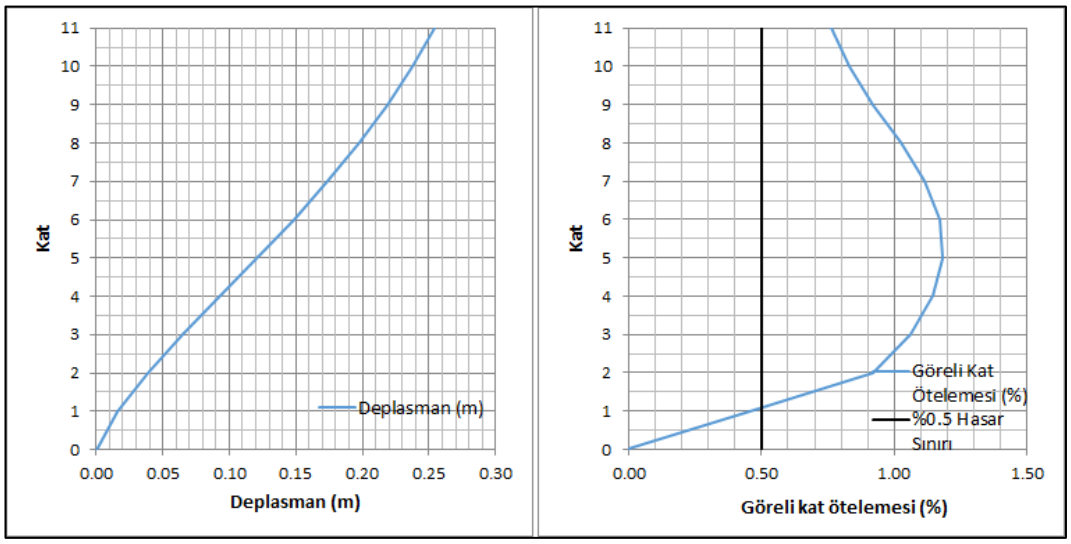
Şekil 6.45 : Coalinga depremi deplasman ve göreli kat ötelemesi sonuçları.

Loma Prieta depremi için yapılan ZTA sonucunda kütle merkezinde elde edilen deplasman ve göreli kat ötelemeleri Şekil 6.46'da gösterilmiştir.



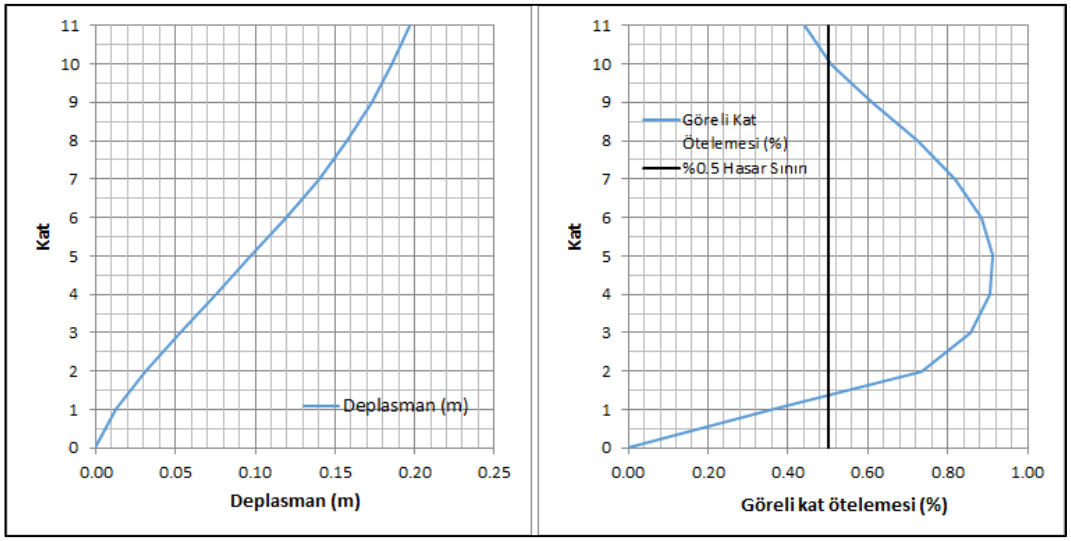
Şekil 6.46 : Loma Prieta depremi deplasman ve göreli kat ötelemesi sonuçları.

Northridge depremi için yapılan ZTA sonucunda kütle merkezinde elde edilen deplasman ve göreli kat ötelemeleri Şekil 6.47'de gösterilmiştir.



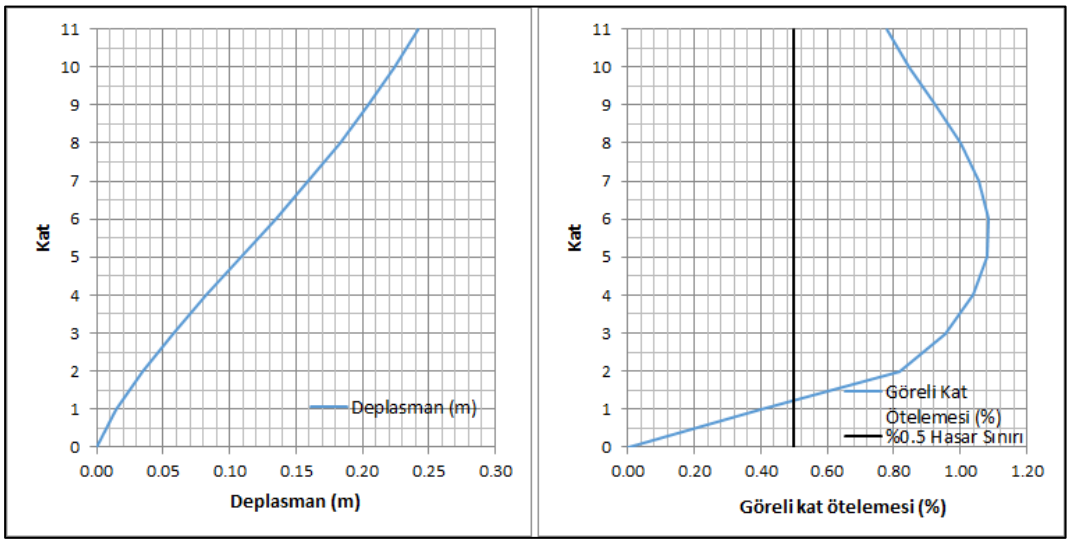
Şekil 6.47 : Northridge depremi deplasman ve göreli kat ötelemesi sonuçları.

Cape Mendocino depremi için yapılan ZTA sonucunda kütle merkezinde elde edilen deplasman ve göreli kat ötelemeleri Şekil 6.48'de gösterilmiştir.



Şekil 6.48 : Cape Mendocino depremi deplasman ve göreli kat ötelemesi sonuçları.

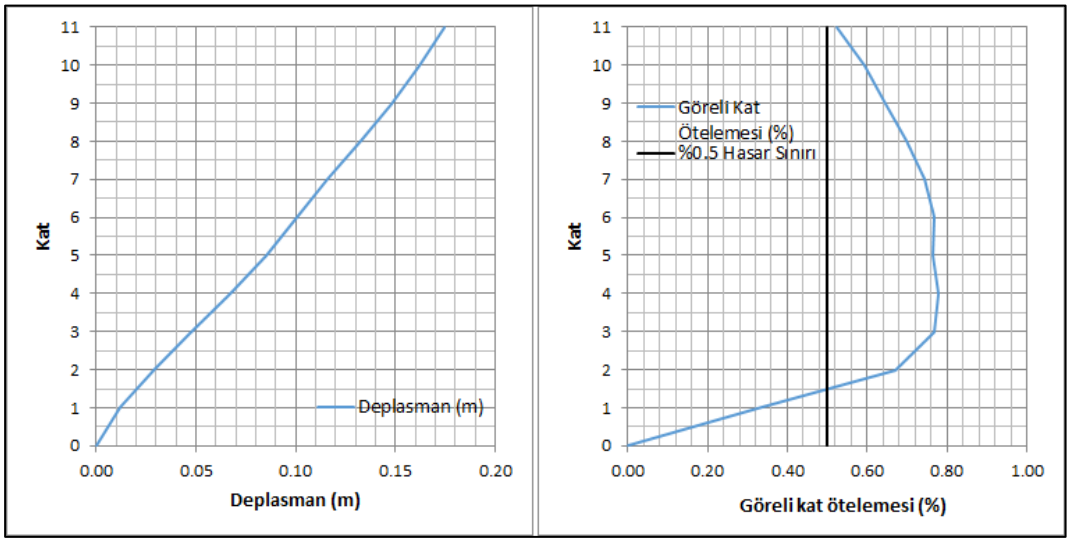
Chuetsu Oki depremi için yapılan ZTA sonucunda kütle merkezinde elde edilen deplasman ve göreli kat ötelemeleri Şekil 6.49'da gösterilmiştir.



Şekil 6.49 : Chuetsu Oki depremi deplasman ve göreli kat ötelemesi sonuçları.

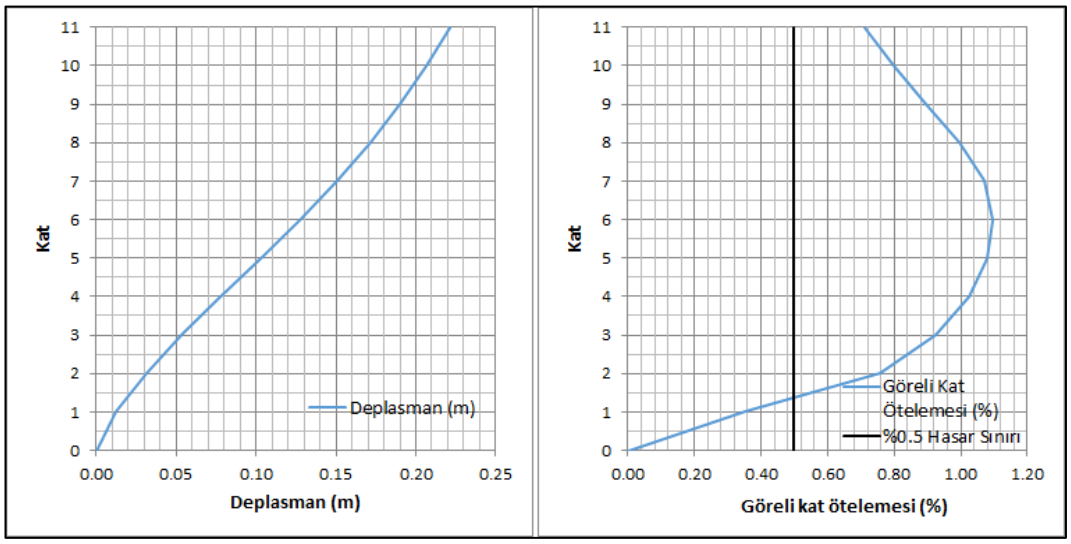
- Y doğrultusunda bodrum kat betonarme perdesiz durum için sonuçlar (kütle merkezi):

San Fernando depremi için yapılan ZTA sonucunda kütle merkezinde elde edilen deplasman ve göreli kat ötelemeleri Şekil 6.50'de gösterilmiştir.



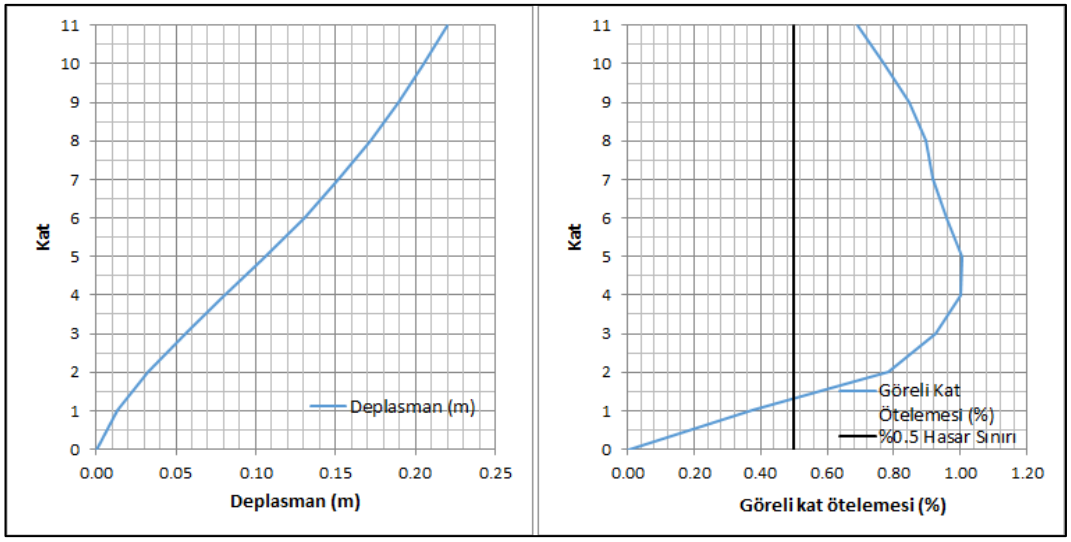
Şekil 6.50 : San Fernando depremi deplasman ve göreli kat ötelemesi sonuçları.

Imperial Valley depremi için yapılan ZTA sonucunda kütle merkezinde elde edilen deplasman ve göreli kat ötelemeleri Şekil 6.51'de gösterilmiştir.



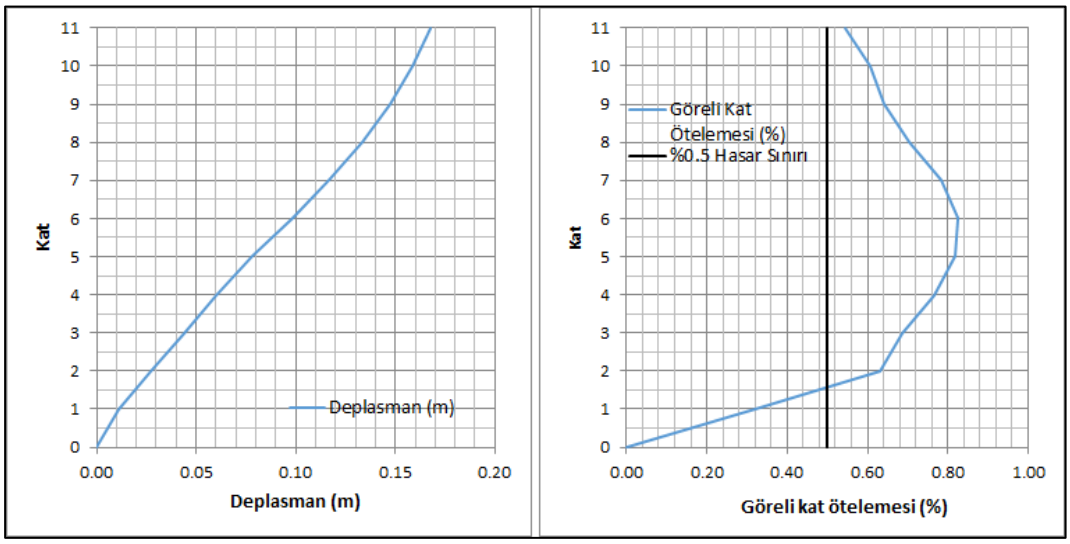
Şekil 6.51 : Imperial Valley depremi deplasman ve göreli kat ötelemesi sonuçları.

Coalinga depremi için yapılan ZTA sonucunda kütle merkezinde elde edilen deplasman ve göreli kat ötelemeleri Şekil 6.52'de gösterilmiştir.



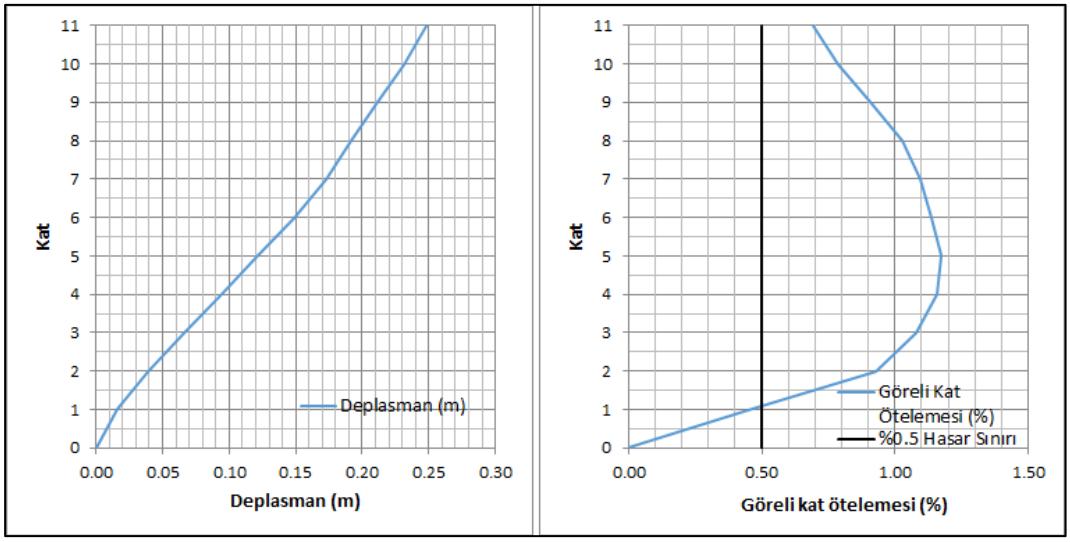
Şekil 6.52 : Coalinga depremi deplasman ve göreli kat ötelemesi sonuçları.

Loma Prieta depremi için yapılan ZTA sonucunda kütle merkezinde elde edilen deplasman ve göreli kat ötelemeleri Şekil 6.53'de gösterilmiştir.



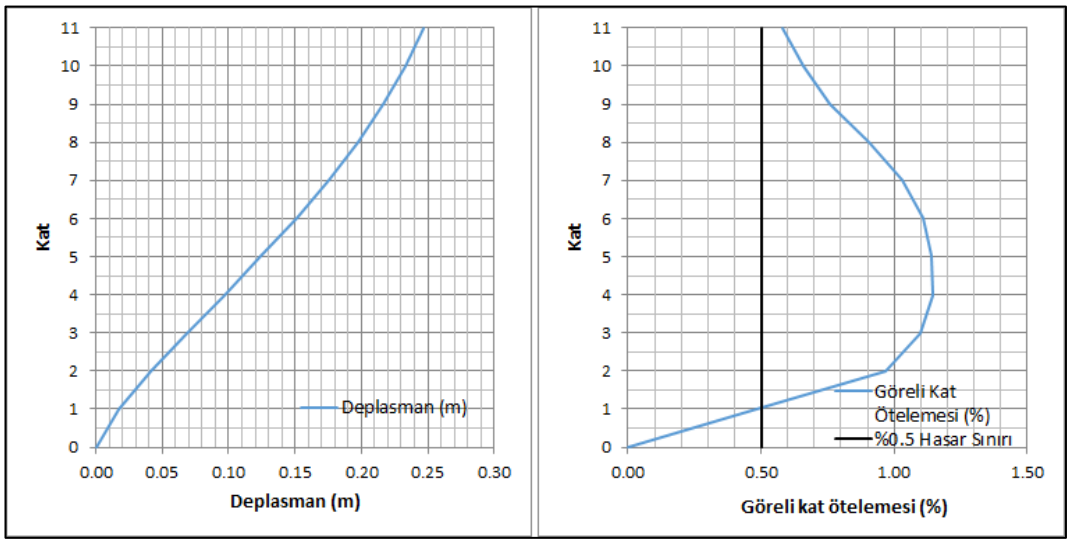
Şekil 6.53 : Loma Prieta depremi deplasman ve göreli kat ötelemesi sonuçları.

Northridge depremi için yapılan ZTA sonucunda kütle merkezinde elde edilen deplasman ve göreli kat ötelemeleri Şekil 6.54'de gösterilmiştir.



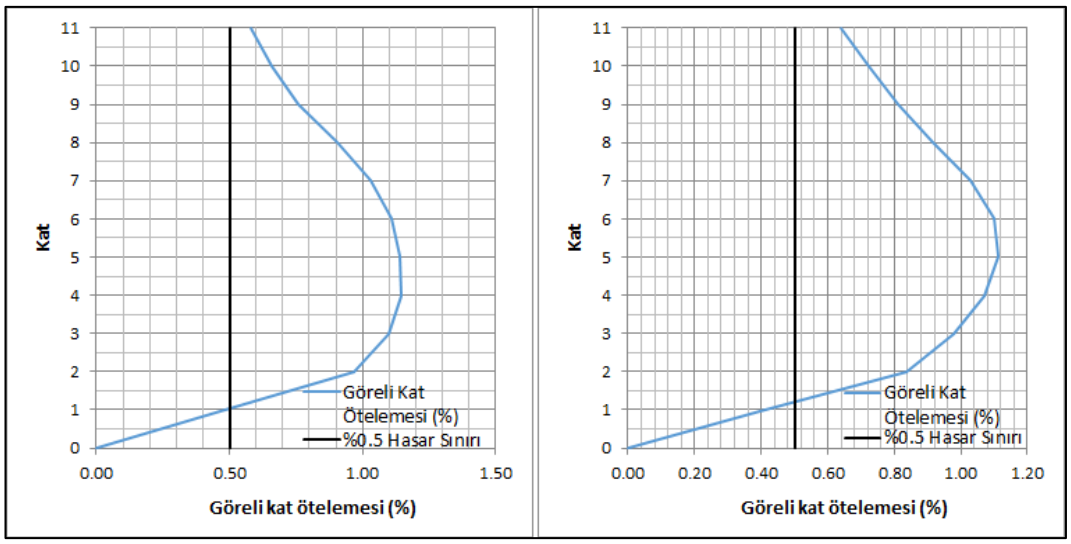
Şekil 6.54 : Northridge depremi deplasman ve göreli kat ötelemesi sonuçları.

Cape Mendocino depremi için yapılan ZTA sonucunda kütle merkezinde elde edilen deplasman ve göreli kat ötelemeleri Şekil 6.55'de gösterilmiştir.



Şekil 6.55 : Cape Mendocino depremi deplasman ve göreli kat ötelemesi sonuçları.

Chuetsu Oki depremi için yapılan ZTA sonucunda kütle merkezinde elde edilen deplasman ve göreli kat ötelemeleri Şekil 6.56'da gösterilmiştir.



Şekil 6.56 : Chuetsu Oki depremi deplasman ve göreli kat ötelemesi sonuçları.

6.1.4 Zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilen plastik mafsal dağılımları

Bu bölümde, zaman tanım alanında seçilen deprem kayıtlarına göre yapılan analiz sonucu, SAP2000 programından elde edilen plastik mafsal dağılmı ile ilgili çizelge ve şekiller verilmiştir.

Zaman tanım alanında analizler, seçilen örnek binanın bodrum kat betonarme perdeli ve perdesiz durumu dikkate alınarak her iki deprem doğrultusu (x ve y) için

yapılmıştır. Bu bölümde, seçilen deprem kayıtları için yapılan analizlerde yapıda oluşan plastik mafsalların adedi ve durumu verilmiştir. Çizelgelerde, analiz sonucu elde edilen performans değerleri gösterilmiş olup, can güvenliği performans seviyesi için belirlenen aralıkta değerler elde edilmemiştir. Hemen kullanım performans seviyesi IO, göçmenin önlenmesi performans seviyesi CP ve göçme sınırı CL olarak gösterilmiştir.

6.1.4.1 Bodrum kat betonarme perdeli yapının x doğrultusu için plastik mafsal dağılımları

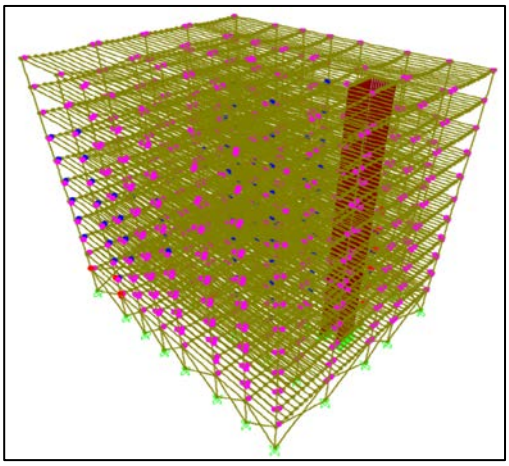
İnceleme konusu olan örnek bina için, bodrum kat betonarme perdeli durum dikkate alınarak x doğrultusunda yapılan zaman tanım alanında analiz sonucu oluşan plastik mafsallar, seçilen deprem kaydı bazında verilmiştir. Çizelgeler analiz doğrultusundaki akslara göre verilmiştir.

San Fernando depremi için x doğrultusunda betonarme bodrum perdeli durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı Çizelge 6.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.1 : San Fernando depremi için x doğrultusunda betonarme bodrum perdeli durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı.

		San Fernando Depremi								
		1-1 Aksı	2-2 Aksı	4-4 Aksı	5-5 Aksı	6-6 Aksı	7-7 Aksı	8-8 Aksı	9-9 Aksı	10-10 Aksı
Kolon	CL		10				2		12	1
Kiriş	IO	88	74	46		63	88	82	63	71
	CP		3	20		16		6	25	17

San Fernando depremi için yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı, üç boyutlu model üzerinde Şekil 6.57'de gösterilmiştir.



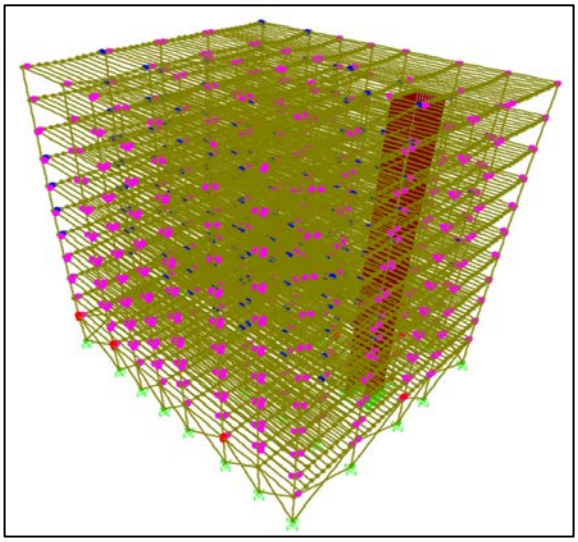
Şekil 6.57 : Bodrum kat betonarme perdeli binada San Fernando depremi x doğrultusunda ZTA sonucu oluşan plastik mafsal dağılımı.

Imperial Valley depremi için x doğrultusunda betonarme bodrum perdeli durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı Çizelge 6.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.2 : Imperial Valley depremi için x doğrultusunda betonarme bodrum perdeli durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı.

		Imperial Valley								
		1-1 Aksı	2-2 Aksı	4-4 Aksı	5-5 Aksı	6-6 Aksı	7-7 Aksı	8-8 Aksı	9-9 Aksı	10-10 Aksı
Kolon	CL	1	3	6			2		7	2
Kiriş	IO	88	56	42	7	46	62	57	53	34
	CP		19	24		29	27	29	35	54

Imperial Valley depremi için yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı, üç boyutlu model üzerinde Şekil 6.58'de gösterilmiştir.



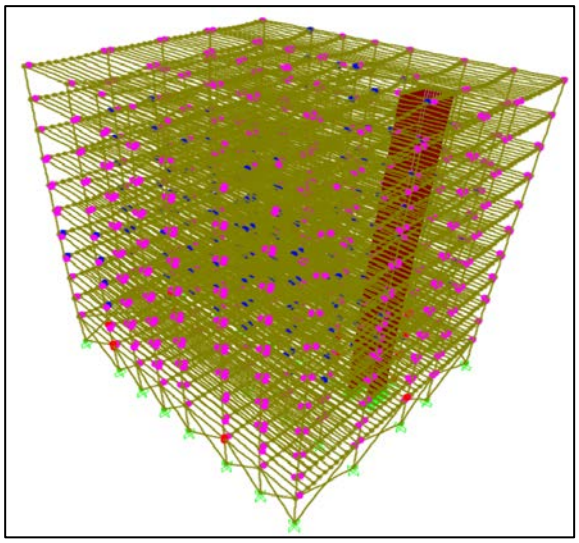
Şekil 6.58 : Bodrum kat betonarme perdeli binada Imperial Valley depremi x doğrultusunda ZTA sonucu oluşan plastik mafsal dağılımı.

Coalinga depremi için x doğrultusunda betonarme bodrum perdeli durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı Çizelge 6.3'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.3 : Coalinga depremi için x doğrultusunda betonarme bodrum perdeli durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı.

		Coalinga Depremi								
		1-1 Aksı	2-2 Aksı	4-4 Aksı	5-5 Aksı	6-6 Aksı	7-7 Aksı	8-8 Aksı	9-9 Aksı	10-10 Aksı
Kolon	CL	1	6	6			4		12	
Kiriş	IO	88	56	36	8	48	67	66	48	54
	CP		21	30		32	21	25	40	34

Coalinga depremi için yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı, üç boyutlu model üzerinde Şekil 6.59'da gösterilmiştir.



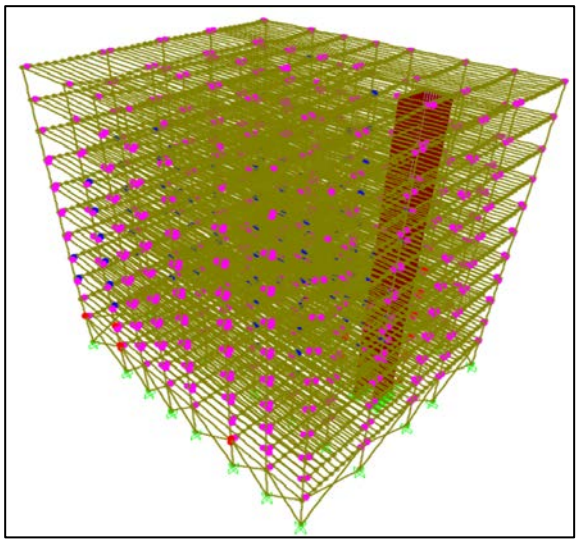
Şekil 6.59 : Bodrum kat betonarme perdeli binada Coalinga depremi x doğrultusunda ZTA sonucu oluşan plastik mafsal dağılımı.

Loma Prieta depremi için x doğrultusunda betonarme bodrum perdeli durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı Çizelge 6.4'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.4 : Loma Prieta depremi için x doğrultusunda betonarme bodrum perdeli durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı.

		Loma Prieta Depremi								
		1-1 Aksı	2-2 Aksı	4-4 Aksı	5-5 Aksı	6-6 Aksı	7-7 Aksı	8-8 Aksı	9-9 Aksı	10-10 Aksı
Kolon	CL		10	5			2		9	1
Kiriş	IO	88	70	45	4	57	82	78	48	61
	CP		7	21		24	6	10	35	27

Loma Prieta depremi için yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı, üç boyutlu model üzerinde Şekil 6.60'da gösterilmiştir.



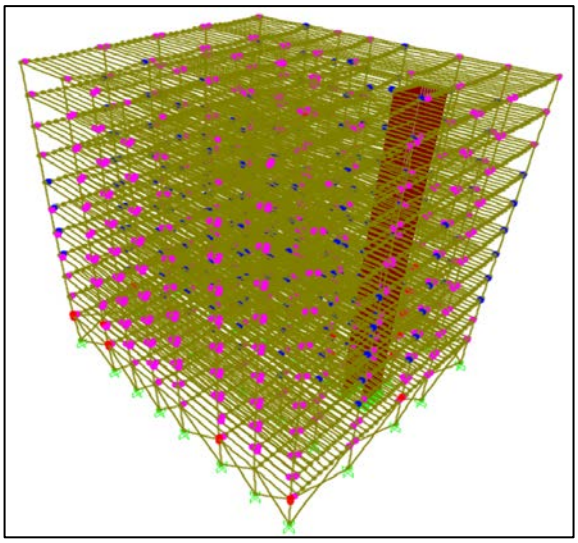
Şekil 6.60 : Bodrum kat betonarme perdeli binada Loma Prieta depremi x doğrultusunda ZTA sonucu oluşan plastik mafsal dağılımı.

Northridge depremi için x doğrultusunda betonarme bodrum perdeli durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı Çizelge 6.5'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.5 : Northridge depremi için x doğrultusunda betonarme bodrum perdeli durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı.

		Northridge Depremi								
		1-1 Aksı	2-2 Aksı	4-4 Aksı	5-5 Aksı	6-6 Aksı	7-7 Aksı	8-8 Aksı	9-9 Aksı	10-10 Aksı
Kolon	CL	3	6	7			2	1	7	4
Kiriş	IO	71	50	39	8	46	59	55	51	37
	CP	17	25	27		29	29	31	37	51

Northridge depremi için yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı, üç boyutlu model üzerinde Şekil 6.61'de gösterilmiştir.



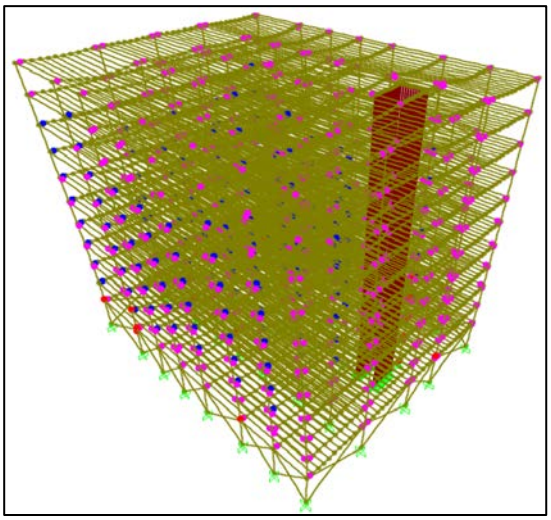
Şekil 6.61 : Bodrum kat betonarme perdeli binada Northridge depremi x doğrultusunda ZTA sonucu oluşan plastik mafsal dağılımı.

Cape Mendocino depremi için x doğrultusunda betonarme bodrum perdeli durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı Çizelge 6.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 6.6 : Cape Mendocino depremi için x doğrultusunda betonarme bodrum perdeli durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı.

		Cape Mendocino Depremi								
		1-1 Aksı	2-2 Aksı	4-4 Aksı	5-5 Aksı	6-6 Aksı	7-7 Aksı	8-8 Aksı	9-9 Aksı	10-10 Aksı
Kolon	CL	1	6	3			2		12	3
Kiriş	IO	88	58	35		54	68	65	56	49
	CP		19	30		27	20	23	33	39

Cape Mendocino depremi için yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı, üç boyutlu model üzerinde Şekil 6.62'de gösterilmiştir.



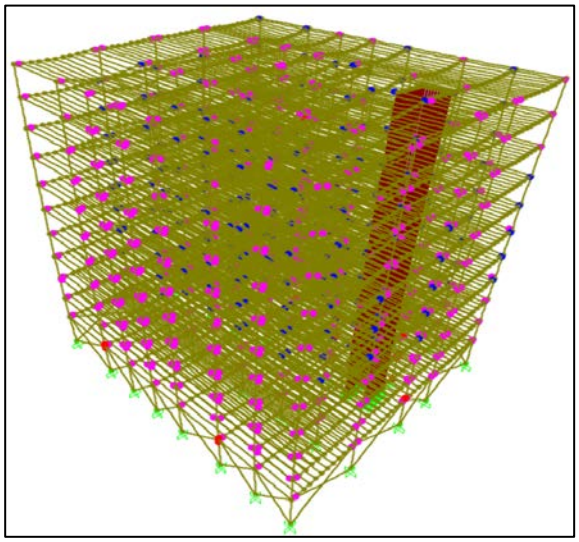
Şekil 6.62 : Bodrum kat betonarme perdeli binada Cape Mendocino depremi x doğrultusunda ZTA sonucu oluşan plastik mafsal dağılımı.

Chuetsu Oki depremi için x doğrultusunda betonarme bodrum perdeli durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı Çizelge 6.7'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.7 : Chuetsu Oki depremi için x doğrultusunda betonarme bodrum perdeli durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı.

		Chuetsu Oki Depremi								
		1-1 Aksı	2-2 Aksı	4-4 Aksı	5-5 Aksı	6-6 Aksı	7-7 Aksı	8-8 Aksı	9-9 Aksı	10-10 Aksı
Kolon	CL		6	8			2		6	
Kiriş	IO	75	50	37	9	47	60	59	53	45
	CP	13	26	29		33	28	28	35	43

Chuetsu Oki depremi için yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı, üç boyutlu model üzerinde Şekil 6.63'de gösterilmiştir.



Şekil 6.63 : Bodrum kat betonarme perdeli binada Chuetsu Oki depremi x doğrultusunda ZTA sonucu oluşan plastik mafsal dağılımı.

6.1.4.2 Bodrum kat betonarme perdeli yapının y doğrultusu için plastik mafsal dağılımları

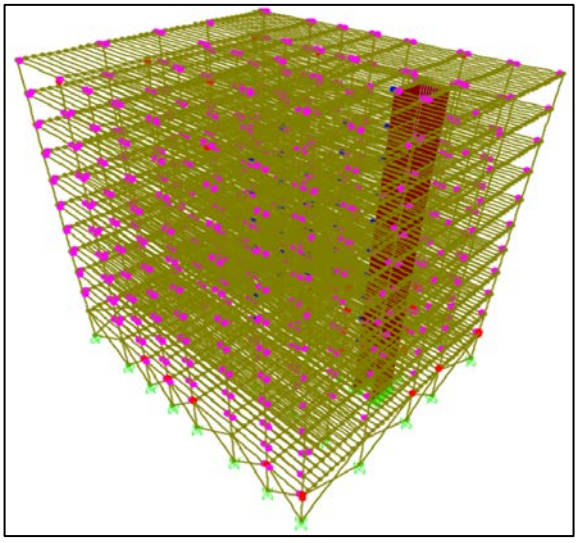
İnceleme konusu olan örnek bina için, bodrum kat betonarme perdeli durum dikkate alınarak y doğrultusunda yapılan zaman tanım alanında analiz sonucu oluşan plastik mafsallar, seçilen deprem kaydı bazında verilmiştir. Çizelgeler analiz doğrultusundaki akslara göre verilmiştir.

San Fernando depremi için y doğrultusunda betonarme bodrum perdeli durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı Çizelge 6.8'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.8 : San Fernando depremi için y doğrultusunda betonarme bodrum perdeli durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı.

		San Fernando Depremi						
		A-A Aksı	B-B Aksı	C-C Aksı	D-D Aksı	E-E Aksı	F-F Aksı	G-G Aksı
Kolon	CL	8	2		11		8	4
Kiriş	IO	147	136	42	41	10	138	146
	CP				24			

San Fernando depremi için yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı, üç boyutlu model üzerinde Şekil 6.64'de gösterilmiştir.



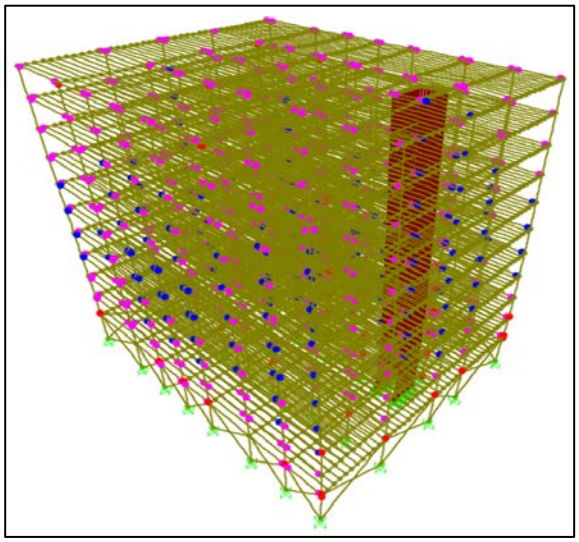
Şekil 6.64 : Bodrum kat betonarme perdeli binada San Fernando depremi y doğrultusunda ZTA sonucu oluşan plastik mafsal dağılımı.

Imperial Valley depremi için y doğrultusunda betonarme bodrum perdeli durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı Çizelge 6.9'da gösterilmiştir.

Çizelge 6.9 : Imperial Valley depremi için y doğrultusunda betonarme bodrum perdeli durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı.

		Imperial Valley						
		A-A Aksı	B-B Aksı	C-C Aksı	D-D Aksı	E-E Aksı	F-F Aksı	G-G Aksı
Kolon	CL	10	6	1	11		18	10
Kiriş	IO	92	114	33	25	8	120	116
	CP	54	15	8	35		20	31

Imperial Valley depremi için yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı, üç boyutlu model üzerinde Şekil 6.65'de gösterilmiştir.



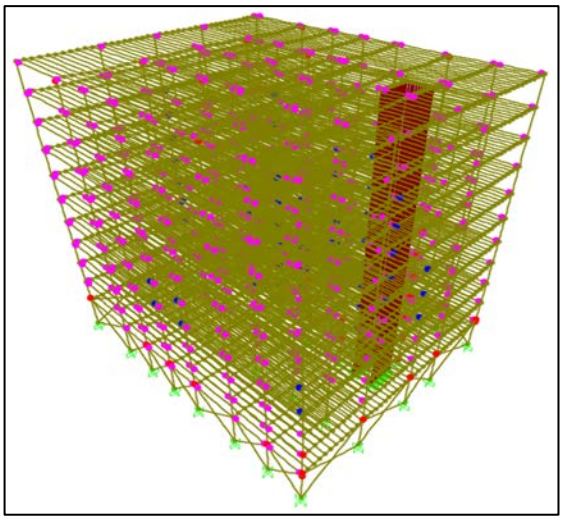
Şekil 6.65 : Bodrum kat betonarme perdeli binada Imperial Valley depremi y doğrultusunda ZTA sonucu oluşan plastik mafsal dağılımı.

Coalinga depremi için y doğrultusunda betonarme bodrum perdeli durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı Çizelge 6.10'da gösterilmiştir.

Çizelge 6.10 : Coalinga depremi için y doğrultusunda betonarme bodrum perdeli durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı.

		Coalinga Depremi						
		A-A Aksı	B-B Aksı	C-C Aksı	D-D Aksı	E-E Aksı	F-F Aksı	G-G Aksı
Kolon	CL	10	3		8		12	8
Kiriş	IO	143	139	35	34	9	135	145
	CP	6		7	30		3	

Coalinga depremi için yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı, üç boyutlu model üzerinde Şekil 6.66'da gösterilmiştir.



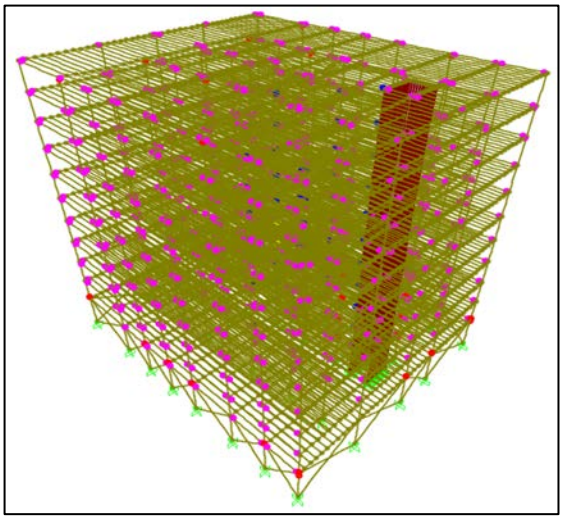
Şekil 6.66 : Bodrum kat betonarme perdeli binada Coalinga depremi y doğrultusunda ZTA sonucu oluşan plastik mafsal dağılımı.

Loma Prieta depremi için y doğrultusunda betonarme bodrum perdeli durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı Çizelge 6.11'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.11 : Loma Prieta depremi için y doğrultusunda betonarme bodrum perdeli durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı.

		Loma Prieta Depremi						
		A-A Aksı	B-B Aksı	C-C Aksı	D-D Aksı	E-E Aksı	F-F Aksı	G-G Aksı
Kolon	CL	9	2		10		8	4
Kiriş	IO	150	136	41	40	10	137	144
	CP				5			

Loma Prieta depremi için yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı, üç boyutlu model üzerinde Şekil 6.67'de gösterilmiştir.



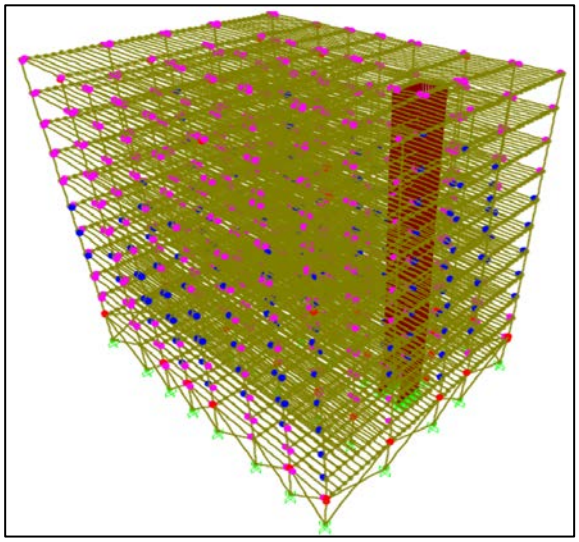
Şekil 6.67 : Bodrum kat betonarme perdeli binada Loma Prieta depremi y doğrultusunda ZTA sonucu oluşan plastik mafsal dağılımı.

Northridge depremi için y doğrultusunda betonarme bodrum perdeli durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı Çizelge 6.12'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.12 : Northridge depremi için y doğrultusunda betonarme bodrum perdeli durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı.

		Northridge Depremi						
		A-A Aksı	B-B Aksı	C-C Aksı	D-D Aksı	E-E Aksı	F-F Aksı	G-G Aksı
Kolon	CL	10	8	3	10		16	9
Kiriş	IO	100	122	31	25	7	111	119
	CP	48	18	10	41		25	47

Northridge depremi için yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı, üç boyutlu model üzerinde Şekil 6.68'de gösterilmiştir.



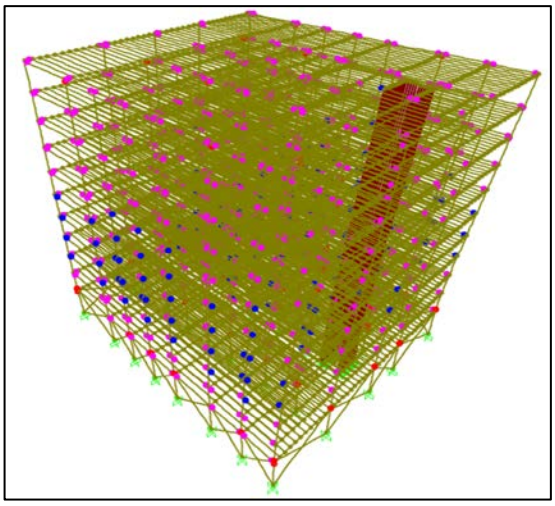
Şekil 6.68 : Bodrum kat betonarme perdeli binada Northridge depremi y doğrultusunda ZTA sonucu oluşan plastik mafsal dağılımı.

Cape Mendocino depremi için y doğrultusunda betonarme bodrum perdeli durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı Çizelge 6.13'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.13 : Cape Mendocino depremi için y doğrultusunda betonarme bodrum perdeli durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı.

		Cape Mendocino Depremi						
		A-A Aksı	B-B Aksı	C-C Aksı	D-D Aksı	E-E Aksı	F-F Aksı	G-G Aksı
Kolon	CL	10	8	3	17		12	8
Kiriş	IO	112	127	32	45	7	135	111
	CP	39	12	9	20	3	4	39

Cape Mendocino depremi için yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı, üç boyutlu model üzerinde Şekil 6.69'da gösterilmiştir.



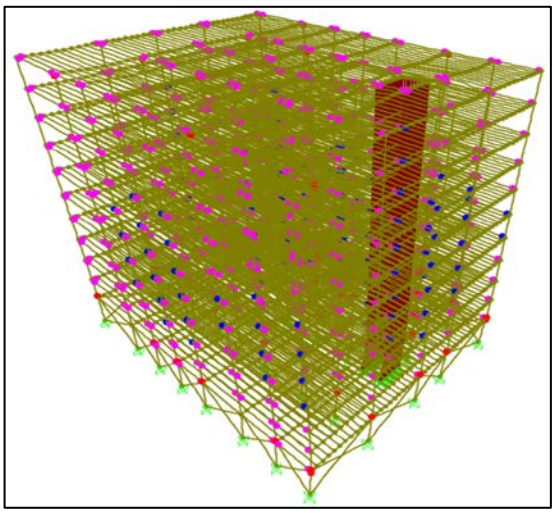
Şekil 6.69 : Bodrum kat betonarme perdeli binada Cape Mendocino depremi y doğrultusunda ZTA sonucu oluşan plastik mafsal dağılımı.

Chuetsu Oki depremi için y doğrultusunda betonarme bodrum perdeli durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı Çizelge 6.14'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.14 : Chuetsu Oki depremi için y doğrultusunda betonarme bodrum perdeli durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı.

		Chuetsu Oki Depremi						
		A-A Aksı	B-B Aksı	C-C Aksı	D-D Aksı	E-E Aksı	F-F Aksı	G-G Aksı
Kolon	CL	9	7	2	12		18	9
Kiriş	IO	121	140	34	33	7	125	130
	CP	26		7	38		15	16

Chuetsu Oki depremi için yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı, üç boyutlu model üzerinde Şekil 6.70'de gösterilmiştir.



Şekil 6.70 : Bodrum kat betonarme perdeli binada Chuetsu Oki depremi y doğrultusunda ZTA sonucu oluşan plastik mafsal dağılımı.

6.1.4.3 Bodrum kat betonarme perdesiz yapının x doğrultusu için plastik mafsal dağılımları

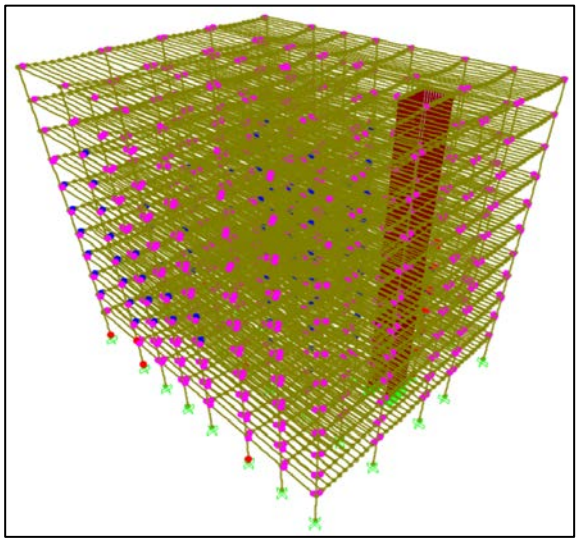
İnceleme konusu olan örnek bina için, bodrum katı çevreleyen betonarme perdelerin kaldırıldığı durum dikkate alınarak x doğrultusunda yapılan zaman tanım alanında analiz sonucu oluşan plastik mafsallar, seçilen deprem kaydı bazında verilmiştir. Çizelgeler analiz doğrultusundaki akslara göre verilmiştir.

San Fernando depremi için x doğrultusunda betonarme bodrum perdelerinin kaldırıldığı durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı Çizelge 6.15'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.15 : San Fernando depremi için x doğrultusunda bodrum perdesiz durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı.

		San Fernando Depremi								
		1-1 Aksı	2-2 Aksı	4-4 Aksı	5-5 Aksı	6-6 Aksı	7-7 Aksı	8-8 Aksı	9-9 Aksı	10-10 Aksı
Kolon	CL		11	2		2	5		5	4
Kiriş	IO	88	72	47		62	84	80	63	67
	CP		5	19		20	4	8	25	21

San Fernando depremi için yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı, üç boyutlu model üzerinde Şekil 6.71'de gösterilmiştir.



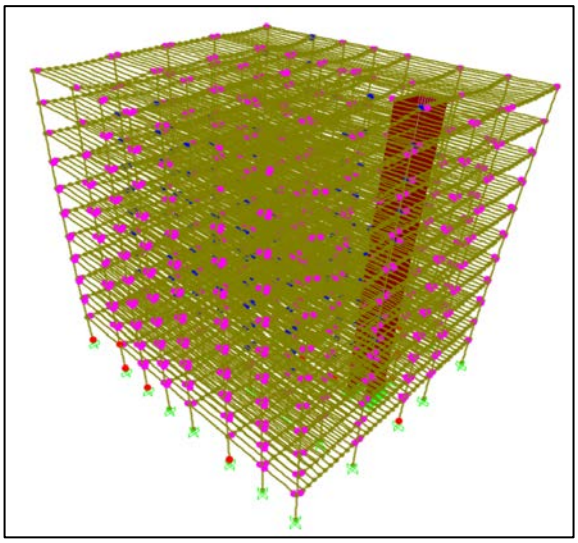
Şekil 6.71 : Bodrum kat betonarme perdesiz binada San Fernando depremi x doğrultusunda ZTA sonucu oluşan plastik mafsal dağılımı.

Imperial Valley depremi için x doğrultusunda betonarme bodrum perdelerinin kaldırıldığı durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı Çizelge 6.16'da gösterilmiştir.

Çizelge 6.16 : Imperial Valley depremi için x doğrultusunda bodrum perdesiz durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı.

		Imperial Valley								
		1-1 Aksı	2-2 Aksı	4-4 Aksı	5-5 Aksı	6-6 Aksı	7-7 Aksı	8-8 Aksı	9-9 Aksı	10-10 Aksı
Kolon	CL	1	3	3			4	1	7	3
Kiriş	IO	88	65	42	6	51	70	68	55	51
	CP		11	24		27	18	20	33	37

Imperial Valley depremi için yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı, üç boyutlu model üzerinde Şekil 6.72'de gösterilmiştir.



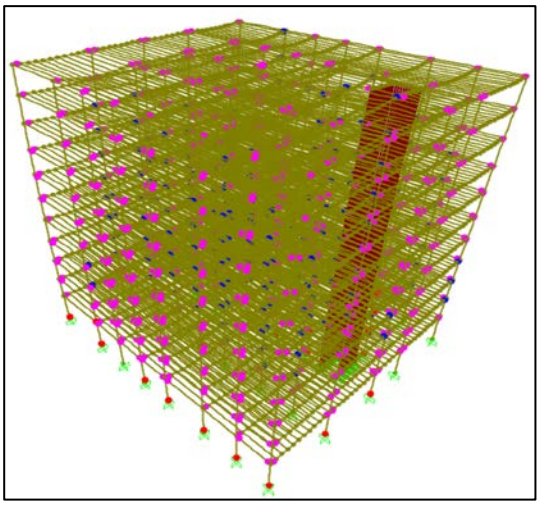
Şekil 6.72 : Bodrum kat betonarme perdesiz binada Imperial Valley depremi x doğrultusunda ZTA sonucu oluşan plastik mafsal dağılımı.

Coalinga depremi için x doğrultusunda betonarme bodrum perdelerinin kaldırıldığı durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı Çizelge 6.17'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.17 : Coalinga depremi için x doğrultusunda bodrum perdesiz durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı.

		Coalinga Depremi								
		1-1 Aksı	2-2 Aksı	4-4 Aksı	5-5 Aksı	6-6 Aksı	7-7 Aksı	8-8 Aksı	9-9 Aksı	10-10 Aksı
Kolon	CL	3	7	4		1	5		8	2
Kiriş	IO	72	51	34	9	48	63	61	50	38
	CP	5	26	32		34	25	27	40	47

Coalinga depremi için yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı, üç boyutlu model üzerinde Şekil 6.73'de gösterilmiştir.



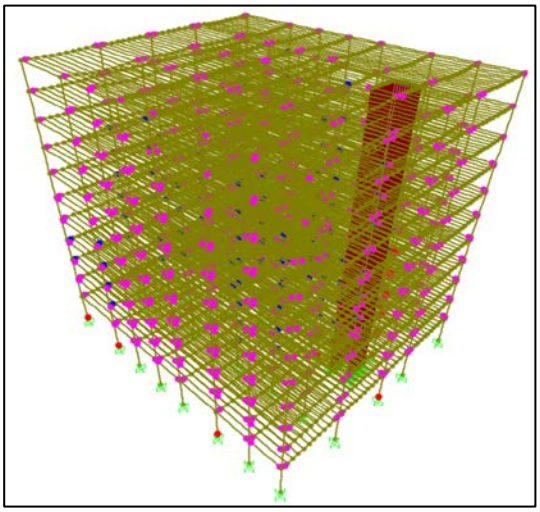
Şekil 6.73 : Bodrum kat betonarme perdesiz binada Coalinga depremi x doğrultusunda ZTA sonucu oluşan plastik mafsal dağılımı.

Loma Prieta depremi için x doğrultusunda betonarme bodrum perdelerinin kaldırıldığı durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı Çizelge 6.18'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.18 : Loma Prieta depremi için x doğrultusunda bodrum perdesiz durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı.

		Loma Prieta Depremi								
		1-1 Aksı	2-2 Aksı	4-4 Aksı	5-5 Aksı	6-6 Aksı	7-7 Aksı	8-8 Aksı	9-9 Aksı	10-10 Aksı
Kolon	CL	1	11	4			2		4	2
Kiriş	IO	88	68	44	4	55	82	78	57	64
	CP		9	22		26	6	10	31	24

Loma Prieta depremi için yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı, üç boyutlu model üzerinde Şekil 6.74'de gösterilmiştir.



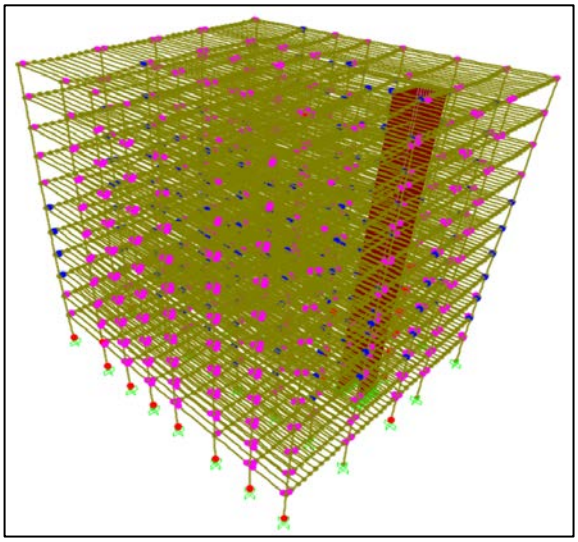
Şekil 6.74 : Bodrum kat betonarme perdesiz binada Loma Prieta depremi x doğrultusunda ZTA sonucu oluşan plastik mafsal dağılımı.

Northridge depremi için x doğrultusunda betonarme bodrum perdelerinin kaldırıldığı durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı Çizelge 6.19'da gösterilmiştir.

Çizelge 6.19 : Northridge depremi için x doğrultusunda bodrum perdesiz durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı.

		Northridge Depremi								
		1-1 Aksı	2-2 Aksı	4-4 Aksı	5-5 Aksı	6-6 Aksı	7-7 Aksı	8-8 Aksı	9-9 Aksı	10-10 Aksı
Kolon	CL	2	12	6		1	5	2	8	3
Kiriş	IO	74	49	37	9	46	58	57	51	37
	CP	14	18	29		30	30	31	36	51

Northridge depremi için yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı, üç boyutlu model üzerinde Şekil 6.75'de gösterilmiştir.



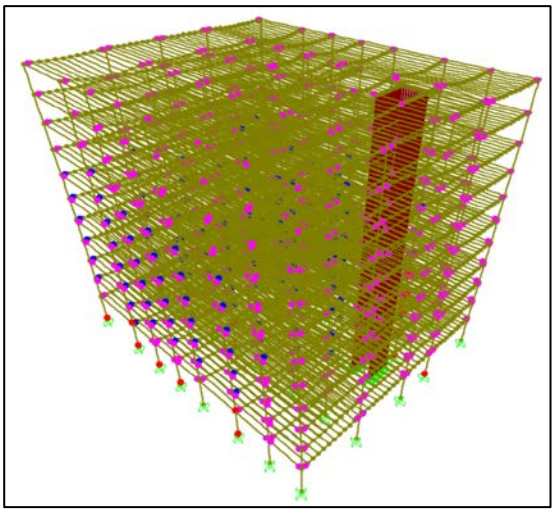
Şekil 6.75 : Bodrum kat betonarme perdesiz binada Northridge depremi x doğrultusunda ZTA sonucu oluşan plastik mafsal dağılımı.

Cape Mendocino depremi için x doğrultusunda betonarme bodrum perdelerinin kaldırıldığı durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı Çizelge 6.20'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.20 : Cape Mendocino depremi için x doğrultusunda bodrum perdesiz durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı.

		Cape Mendocino Depremi								
		1-1 Aksı	2-2 Aksı	4-4 Aksı	5-5 Aksı	6-6 Aksı	7-7 Aksı	8-8 Aksı	9-9 Aksı	10-10 Aksı
Kolon	CL	1	6	3			6	2	7	5
Kiriş	IO	88	66	37		54	81	72	50	56
	CP		11	30		28	17	16	38	32

Cape Mendocino depremi için yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı, üç boyutlu model üzerinde Şekil 6.76'da gösterilmiştir.



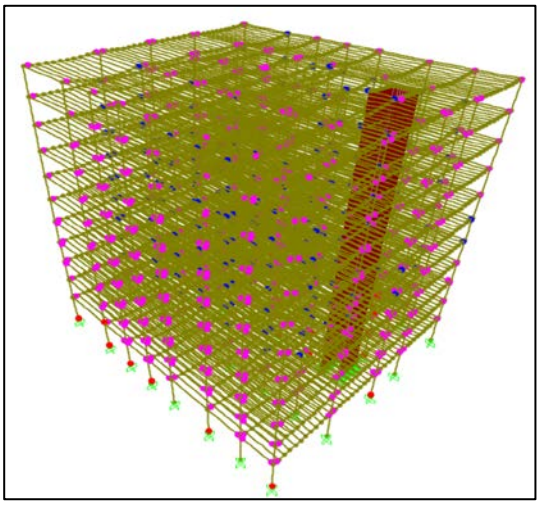
Şekil 6.76 : Bodrum kat betonarme perdesiz binada Cape Mendocino depremi x doğrultusunda ZTA sonucu oluşan plastik mafsal dağılımı.

Chuetsu Oki depremi için x doğrultusunda betonarme bodrum perdelerinin kaldırıldığı durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı Çizelge 6.21'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.21 : Chuetsu Oki depremi için x doğrultusunda bodrum perdesiz durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı.

		Chuetsu Oki Depremi								
		1-1 Aksı	2-2 Aksı	4-4 Aksı	5-5 Aksı	6-6 Aksı	7-7 Aksı	8-8 Aksı	9-9 Aksı	10-10 Aksı
Kolon	CL	2	7	4			5	1	8	2
Kiriş	IO	84	51	37	8	48	60	59	49	43
	CP	4	25	29		33	28	29	39	45

Chuetsu Oki depremi için yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı, üç boyutlu model üzerinde Şekil 6.77'de gösterilmiştir.



Şekil 6.77 : Bodrum kat betonarme perdesiz binada Chuetsu Oki depremi x doğrultusunda ZTA sonucu oluşan plastik mafsal dağılımı.

6.1.4.4 Bodrum kat betonarme perdesiz yapının y doğrultusu için plastik mafsal dağılımları

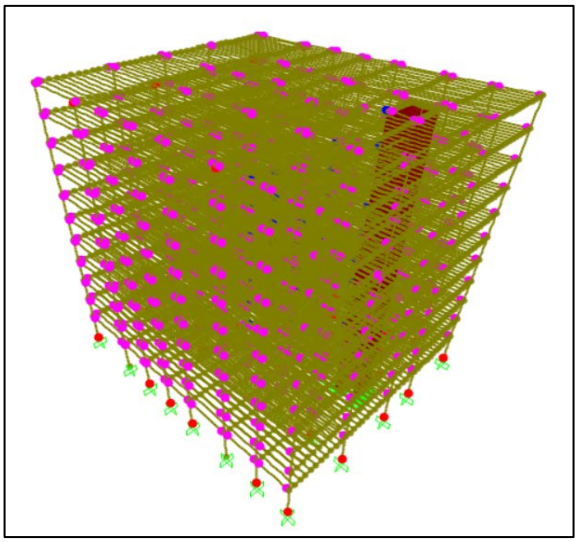
İnceleme konusu olan örnek bina için, bodrum katı çevreleyen betonarme perdelerin kaldırıldığı durum dikkate alınarak y doğrultusunda yapılan zaman tanım alanında analiz sonucu oluşan plastik mafsallar, seçilen deprem kaydı bazında verilmiştir. Çizelgeler analiz doğrultusundaki akslara göre verilmiştir.

San Fernando depremi için y doğrultusunda betonarme bodrum perdelerinin kaldırıldığı durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı Çizelge 6.22'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.22 : San Fernando depremi için y doğrultusunda bodrum perdesiz durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı.

		San Fernando Depremi						
		A-A Aksı	B-B Aksı	C-C Aksı	D-D Aksı	E-E Aksı	F-F Aksı	G-G Aksı
Kolon	CL	8	5	3	9		10	8
Kiriş	IO	153	149	44	45	11	150	153
	CP				24			

San Fernando depremi için yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı, üç boyutlu model üzerinde Şekil 6.78'de gösterilmiştir.



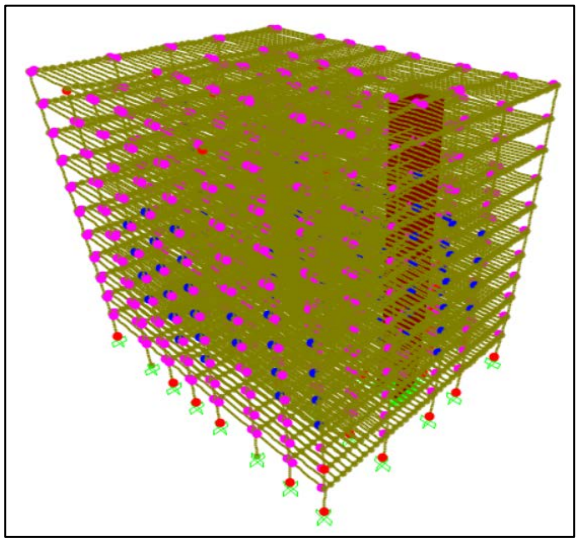
Şekil 6.78 : Bodrum kat betonarme perdesiz binada San Fernando depremi y doğrultusunda ZTA sonucu oluşan plastik mafsal dağılımı.

Imperial Valley depremi için y doğrultusunda betonarme bodrum perdelerinin kaldırıldığı durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı Çizelge 6.23'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.23 : Imperial Valley depremi için y doğrultusunda bodrum perdesiz durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı.

		Imperial Valley						
		A-A Aksı	B-B Aksı	C-C Aksı	D-D Aksı	E-E Aksı	F-F Aksı	G-G Aksı
Kolon	CL	9	7	2	8		14	8
Kiriş	IO	125	141	36	39	9	131	153
	CP	26		8	34		13	

Imperial Valley depremi için yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı, üç boyutlu model üzerinde Şekil 6.79'da gösterilmiştir.



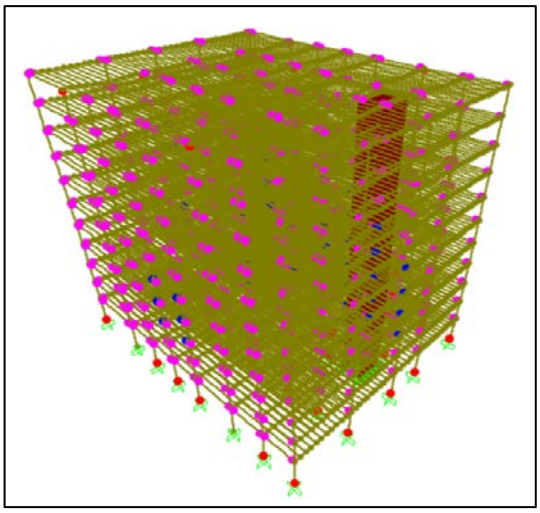
Şekil 6.79 : Bodrum kat betonarme perdesiz binada Imperial Valley depremi y doğrultusunda ZTA sonucu oluşan plastik mafsal dağılımı.

Coalinga depremi için y doğrultusunda betonarme bodrum perdelerinin kaldırıldığı durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı Çizelge 6.24'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.24 : Coalinga depremi için y doğrultusunda bodrum perdesiz durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı.

		Coalinga Depremi						
		A-A Aksı	B-B Aksı	C-C Aksı	D-D Aksı	E-E Aksı	F-F Aksı	G-G Aksı
Kolon	CL	8	8	3	7		16	8
Kiriş	IO	145	153	37	36	9	149	151
	CP	6		7	33		3	

Coalinga depremi için yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı, üç boyutlu model üzerinde Şekil 6.80'de gösterilmiştir.



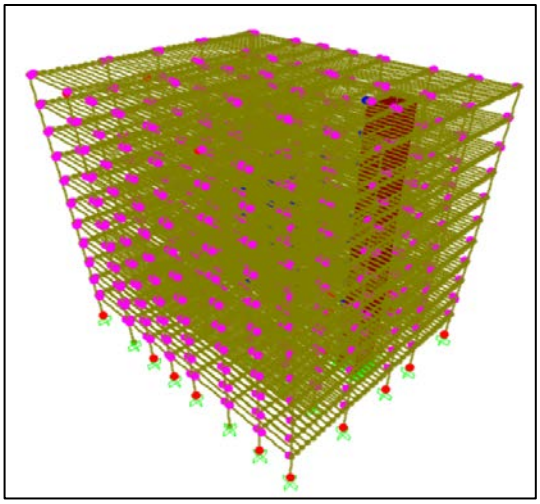
Şekil 6.80 : Bodrum kat betonarme perdesiz binada Coalinga depremi y doğrultusunda ZTA sonucu oluşan plastik mafsal dağılımı.

Loma Prieta depremi için y doğrultusunda betonarme bodrum perdelerinin kaldırıldığı durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı Çizelge 6.25'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.25 : Loma Prieta depremi için y doğrultusunda bodrum perdesiz durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı.

		Loma Prieta Depremi						
		A-A Aksı	B-B Aksı	C-C Aksı	D-D Aksı	E-E Aksı	F-F Aksı	G-G Aksı
Kolon	CL	8	4	2	10		11	8
Kiriş	IO	152	149	44	38	11	139	152
	CP				27			

Loma Prieta depremi için yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı, üç boyutlu model üzerinde Şekil 6.81'de gösterilmiştir.



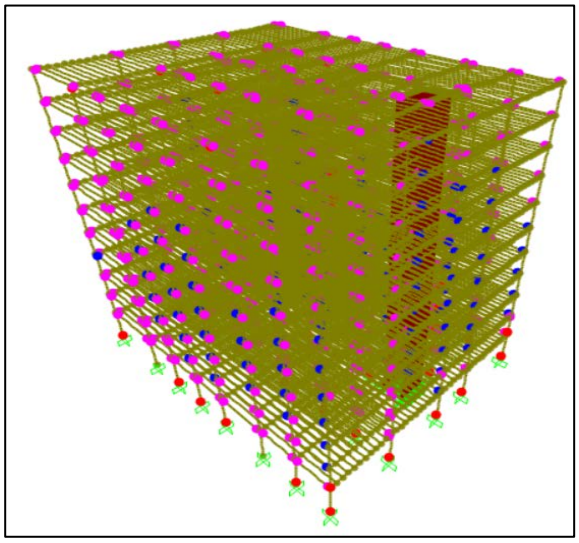
Şekil 6.81 : Bodrum kat betonarme perdesiz binada Loma Prieta depremi y doğrultusunda ZTA sonucu oluşan plastik mafsal dağılımı.

Northridge depremi için y doğrultusunda betonarme bodrum perdelerinin kaldırıldığı durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı Çizelge 6.26'da gösterilmiştir.

Çizelge 6.26 : Northridge depremi için y doğrultusunda bodrum perdesiz durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı.

		Northridge Depremi						
		A-A Aksı	B-B Aksı	C-C Aksı	D-D Aksı	E-E Aksı	F-F Aksı	G-G Aksı
Kolon	CL	9	8	3	10		16	9
Kiriş	IO	118	148	36	22	9	131	116
	CP	35	5	8	43		21	27

Northridge depremi için yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı, üç boyutlu model üzerinde Şekil 6.82'de gösterilmiştir.



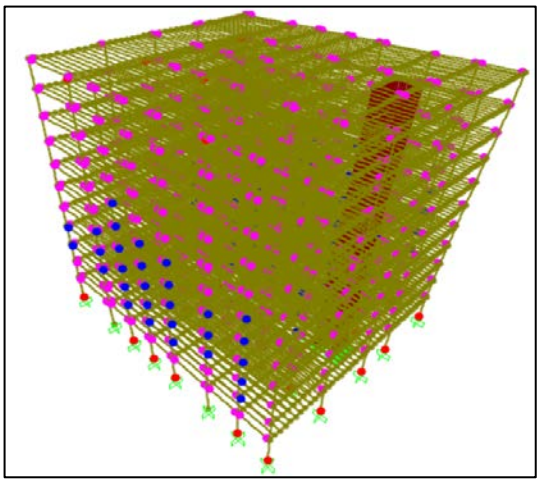
Şekil 6.82 : Bodrum kat betonarme perdesiz binada Northridge depremi y doğrultusunda ZTA sonucu oluşan plastik mafsal dağılımı.

Cape Mendocino depremi için y doğrultusunda betonarme bodrum perdelerinin kaldırıldığı durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı Çizelge 6.27'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.27 : Cape Mendocino depremi için y doğrultusunda bodrum perdesiz durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı.

		Cape Mendocino Depremi						
		A-A Aksı	B-B Aksı	C-C Aksı	D-D Aksı	E-E Aksı	F-F Aksı	G-G Aksı
Kolon	CL	8	8	3	13		13	8
Kiriş	IO	124	155	38	46	9	146	139
	CP	29	3	6	19	2	3	14

Cape Mendocino depremi için yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı, üç boyutlu model üzerinde Şekil 6.83'de gösterilmiştir.



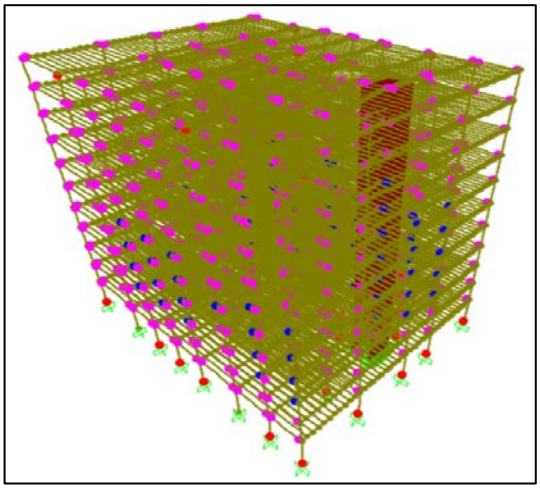
Şekil 6.83 : Bodrum kat betonarme perdesiz binada Cape Mendocino depremi y doğrultusunda ZTA sonucu oluşan plastik mafsal dağılımı.

Chuetsu Oki depremi için y doğrultusunda bodrum perdesiz durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı Çizelge 6.28'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.28 : Chuetsu Oki depremi için y doğrultusunda bodrum perdesiz durumda yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı.

		Chuetsu Oki Depremi						
		A-A Aksı	B-B Aksı	C-C Aksı	D-D Aksı	E-E Aksı	F-F Aksı	G-G Aksı
Kolon	CL	8	7	3	10		13	8
Kiriş	IO	130	152	37	37	10	137	145
	CP	21		7	32		13	6

Chuetsu Oki depremi için yapılan ZTA sonucunda elde edilen plastik mafsal dağılımı, üç boyutlu model üzerinde Şekil 6.84'de gösterilmiştir.



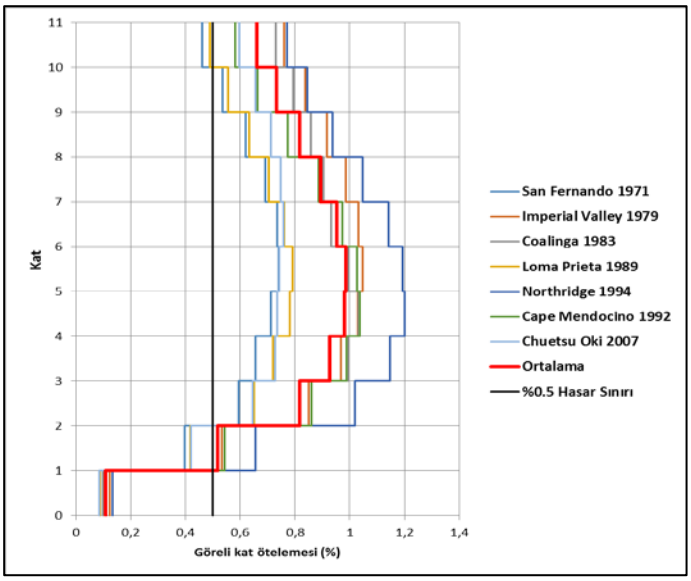
Şekil 6.84 : Bodrum kat betonarme perdesiz binada Chuetsu Oki depremi y doğrultusunda ZTA sonucu oluşan plastik mafsal dağılımı.

6.2 Benzeştirilmiş Deprem Kayıtlarının Göreli Kat Ötelemesi Cinsinden Gösterimi

Eurocode 8'de verilen elastik tasarım ivme spektrumuna, yer ivmesi değeri 0.4g için benzeştirilen deprem kayıtlarının kullanılmasıyla yapılan zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan analiz sonucunda, x ve y doğrultularında bodrum kat betonarme perdeli ve perdesiz durum için binanın kütle merkezine göre hesaplanan göreli kat ötelemelerinin grafikleri çıkarılmış ve yedi kaydın ortalaması, N2 ve geliştirilmiş N2 değerleriyle karşılaştırılmak üzere grafiklerde gösterilmiştir. Ortalama değerin standart sapması hesaplanarak kesikli çizgi ile grafiklerde gösterilmiştir. Ayrıca deprem kayıtlarının binaya uygulanması sonucu elde edilen taban kesme kuvveti – zaman grafikleri de bu bölümde verilmiştir.

6.2.1 Bodrum kat betonarme perdeli durum x ve y doğrultusu

Benzeştirilmiş deprem kayıtlarının bodrum kat betonarme perdeli durum için x doğrultusundaki göreli kat ötelemesi değerleri Şekil 6.85'de gösterilmiştir.



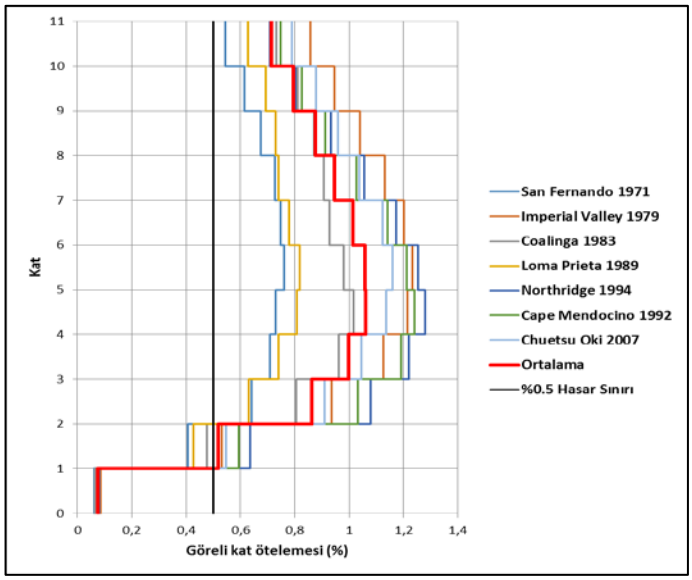
Şekil 6.85 : Benzeştirilmiş deprem kayıtları bodrum kat betonarme perdeli durum x doğrultusu.

N2 yöntemi uygulanarak elde edilen sonuçlarla paralel olarak, betonarme bodrum perdeli durum için y doğrultusunda yapılan zaman tanım alanında analizden elde edilen göreli kat ötelemesi değerleri, x doğrultusunda elde edilen sonuçlardan daha büyük olduğu gözlenmiştir.

Zaman tanım analizleri sonucunda, bodrum kat betonarme perdeli yapının her iki doğrultusunda en büyük göreli kat ötelemesi değerleri Northridge depreminden elde

edilmiştir. Şekil 6.85 ve Şekil 6.86'da görüldüğü üzere göreli kat ötelemesi üçüncü ile beşinci katlar arasında en yüksek değere ulaşmıştır.

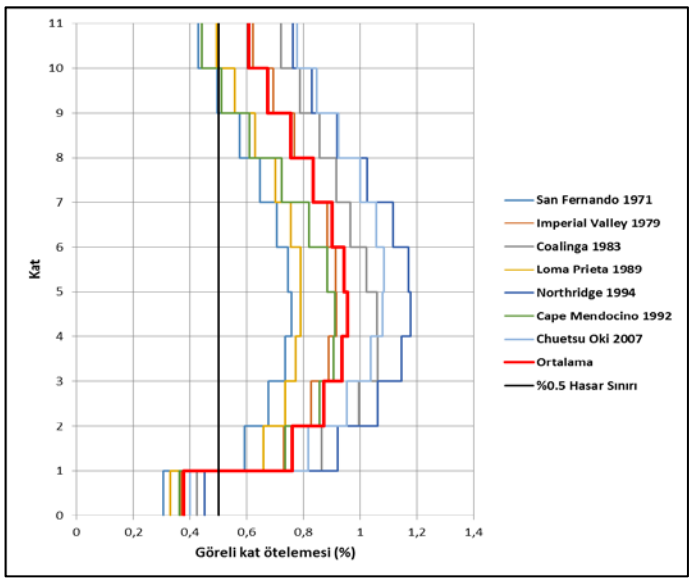
Benzeştirilmiş deprem kayıtlarının bodrum kat betonarme perdeli durum için y doğrultusundaki göreli kat ötelemesi değerleri Şekil 6.86'da gösterilmiştir.



Şekil 6.86 : Benzeştirilmiş deprem kayıtları bodrum kat betonarme perdeli durum y doğrultusu

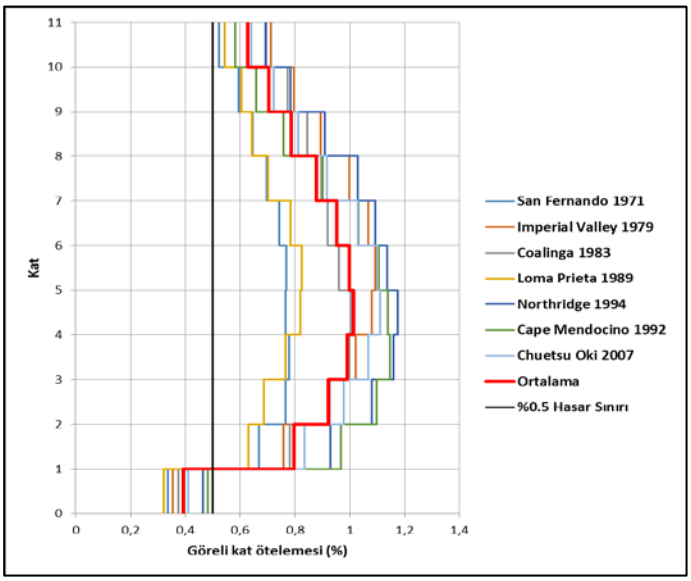
6.2.2 Bodrum kat betonarme perdesiz durum x ve y doğrultusu

Benzeştirilmiş deprem kayıtlarının bodrum kat betonarme perdesiz durum için x doğrultusundaki göreli kat ötelemesi değerleri Şekil 6.87'de gösterilmiştir.



Şekil 6.87 : Benzeştirilmiş deprem kayıtları bodrum kat betonarme perdesiz durum x doğrultusu.

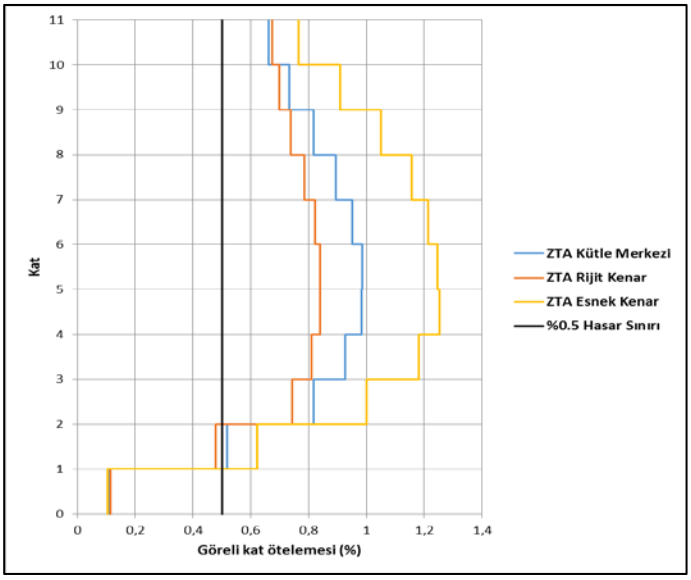
Benzeştirilmiş deprem kayıtlarının bodrum kat betonarme perdesiz durum için y doğrultusundaki göreli kat ötelemesi değerleri Şekil 6.88'de gösterilmiştir.



Şekil 6.88 : Benzeştirilmiş deprem kayıtları bodrum kat betonarme perdesiz durum y doğrultusu.

6.3 Zaman Tanım Alanında Analiz Sonuçlarının Kütle Merkezi, Rijit ve Esnek Kenar İçin Karşılaştırılması

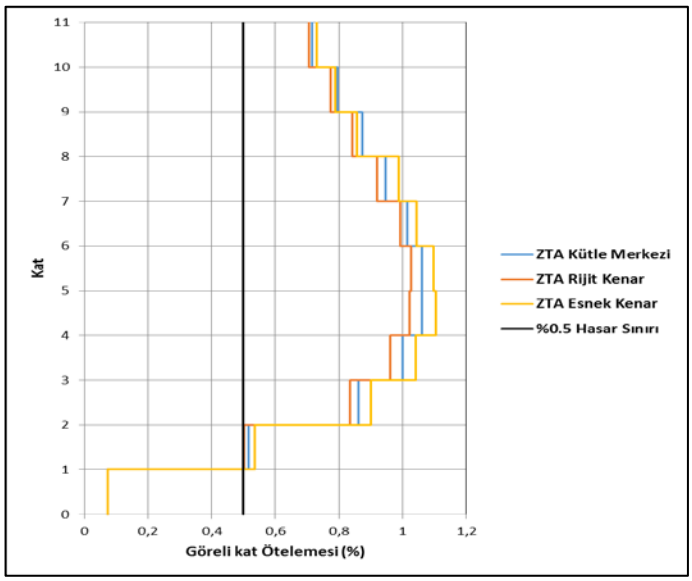
Bodrum katı çevreleyen betonarme perdelerin bulunduğu durumda, x doğrultusu için ZTA sonuçlarının rijit, esnek kenar ve kütle merkezindeki göreli kat ötelemeleri cinsinden karşılaştırması Şekil 6.89'da verilmiştir.



Şekil 6.89 : Bodrum kat betonarme perdeli yapının x doğrultusundaki ZTA sonuçlarının karşılaştırılması.

Düzenli yapılarda, yapının kenarlarındaki göreli kat ötelemelerinin kütle merkezindeki göreli kat ötelemelerine yakın değerler vermesi beklenir. Analizlerde kullanılan yapıda planda ve düşeyde düzensizlik durumları bulunduğu için Şekil 6.89'da görüldüğü üzere yapının esnek kenarındaki göreli kat ötelemeleri özellikle orta katlarda kütle merkezindeki göreli kat ötelemelerinden %30 mertebesinde daha büyüktür. Bu durum yapının deprem yükü altında daha büyük hasar alması anlamına gelmektedir. Bölüm 5.1'de yapılan düzensizlik tahkiklerinde betonarme perdeli durum için x doğrultusunda yapıda hem burulma düzenizliğinin hem de yumuşak katın bulunduğu hesapla gösterilmiştir.

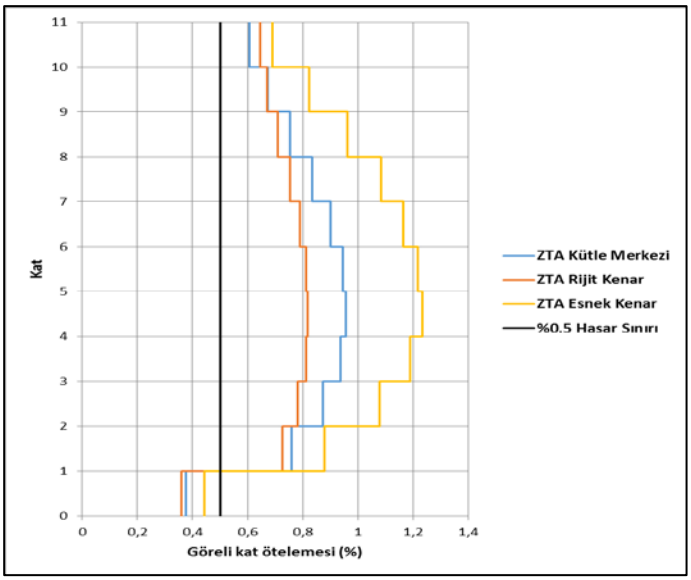
Bodrum katı çevreleyen betonarme perdelerin bulunduğu durumda, y doğrultusu için ZTA sonuçlarının rijit, esnek kenar ve kütle merkezindeki göreli kat ötelemeleri cinsinden karşılaştırması Şekil 6.90'da verilmiştir.



Şekil 6.90 : Bodrum kat betonarme perdeli yapının y doğrultusundaki ZTA sonuçlarının karşılaştırılması.

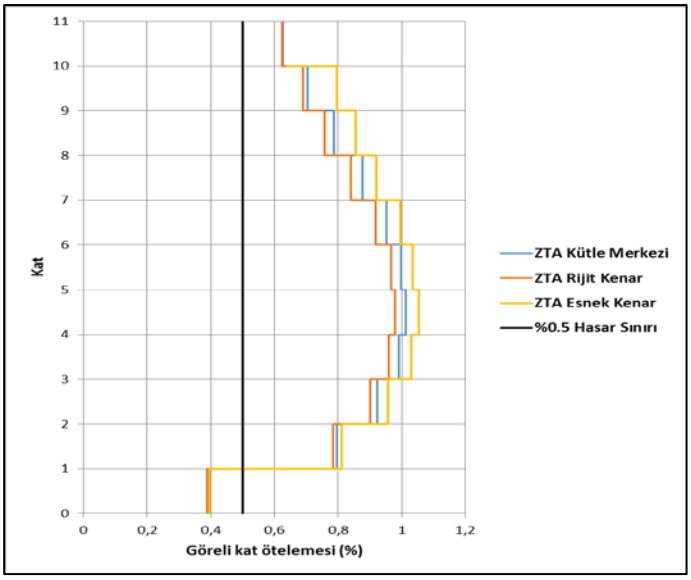
Seçilen bodrum kat betonarme perdeli yapının y doğrultusundaki zaman tanım alanındaki analiz sonuçları karşılaştırıldığında, rijit ve esnek kenarlardaki göreli kat ötelemelerinin kütle merkezine oldukça yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu durumun sebebi ise bodrum kat betonarme perdeli yapıda y doğrultusunda planda düzensizliğinin olmamasıdır.

Bodrum katı çevreleyen betonarme perdelerin kaldırıldığı durumda, x doğrultusu için ZTA sonuçlarının rijit, esnek kenar ve kütle merkezindeki göreli kat ötelemeleri cinsinden karşılaştırması Şekil 6.91'de verilmiştir.



Şekil 6.91 : Bodrum kat perdesiz yapının x doğrultusundaki ZTA sonuçlarının karşılaştırılması.

Bodrum katı çevreleyen betonarme perdelerin kaldırıldığı durumda, y doğrultusu için ZTA sonuçlarının rijit, esnek kenar ve kütle merkezindeki göreli kat ötelemeleri cinsinden karşılaştırması Şekil 6.92'de verilmiştir.



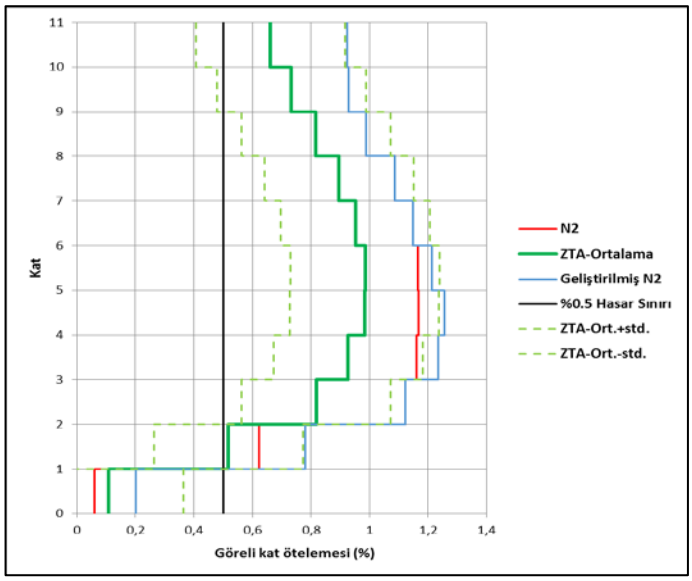
Şekil 6.92 : Bodrum kat perdesiz yapının y doğrultusundaki ZTA sonuçlarının karşılaştırılması.

7. UYGULANAN YÖNTEMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

İnceleme konusu binada kullanılan analiz yöntemlerinden elde edilen göreli kat ötelemesi sonuçları bodrum kat betonarme perdeli ve perdesiz yapıda x ve y doğrultularında verilmiştir.

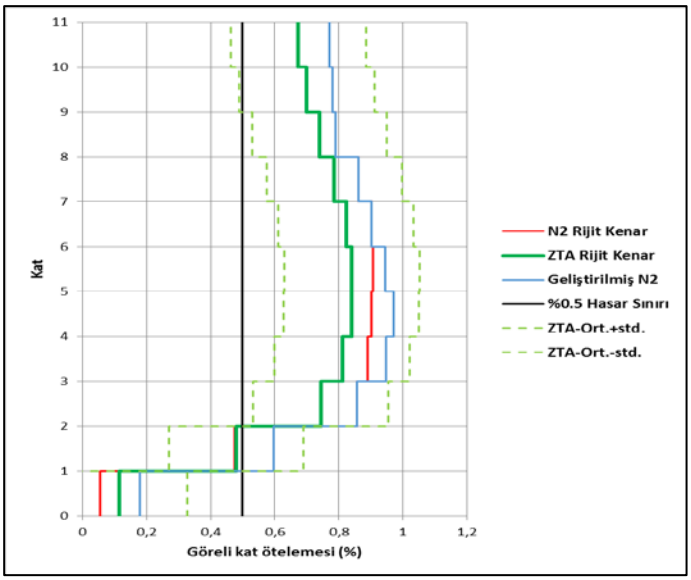
7.1 Bodrum Kat Betonarme Perdeli Yapıda X Doğrultusu İçin Kullanılan Yöntemlerin Karşılaştırılması

Bodrum katı çevreleyen betonarme perdelerin bulunduğu durumda, yapının kütle merkezi dikkate alınarak, x doğrultusu için analizde kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması Şekil 7.1'de göreli kat ötelemesi cinsinden verilmiştir.



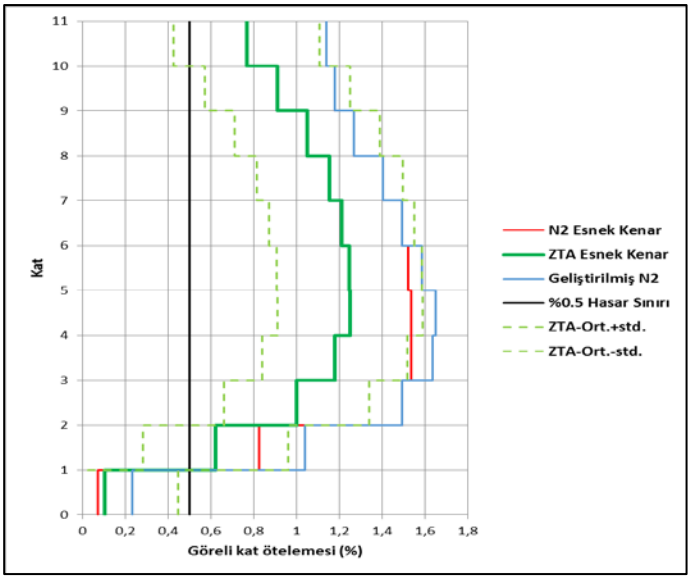
Şekil 7.1 : Bodrum kat betonarme perdeli yapıda kütle merkezinde x doğrultusu için kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması.

Bodrum katı çevreleyen betonarme perdelerin bulunduğu durumda, yapının rijit kenarı dikkate alınarak, x doğrultusu için analizde kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması Şekil 7.2'de göreli kat ötelemesi cinsinden verilmiştir.



Şekil 7.2 : Bodrum kat betonarme perdeli yapıda rijit kenarda x doğrultusu için kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması.

Bodrum katı çevreleyen betonarme perdelerin bulunduğu durumda, yapının esnek kenarı dikkate alınarak, x doğrultusu için analizde kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması Şekil 7.3'de göreli kat ötelemesi cinsinden verilmiştir.

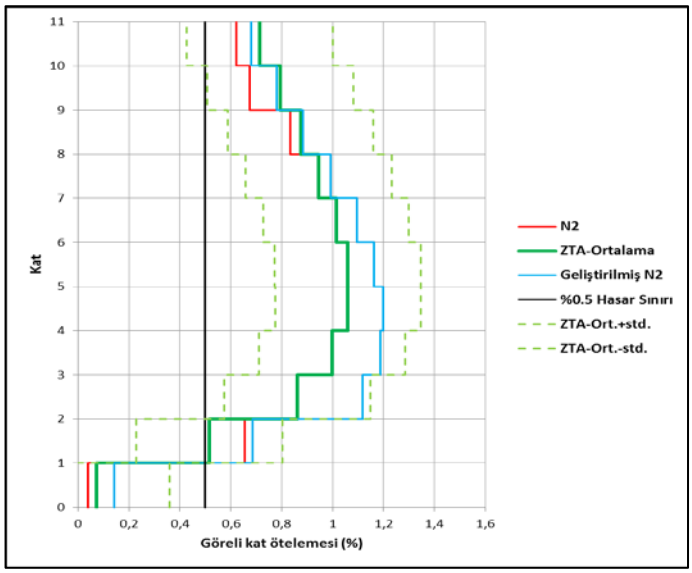


Şekil 7.3 : Bodrum kat betonarme perdeli yapıda esnek kenarda x doğrultusu için kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması.

Şekil 7.1, Şekil 7.2 ve Şekil 7.3'de görüldüğü üzere, N2 ve geliştirilmiş N2 değerleri için esnek kenarda göreli kat öteleme değerleri büyümekte ve doğrusal olamayan zaman tanım alanında analiz değerleri için verilen standart sapma bölgesinin dışına çıkmaktadır.

7.2 Bodrum Kat Betonarme Perdeli Yapıda Y Doğrultusu İçin Kullanılan Yöntemlerin Karşılaştırılması

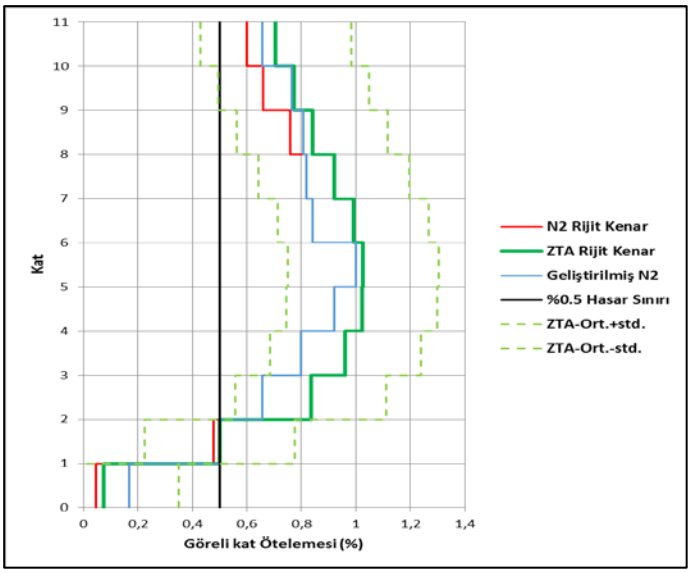
Bodrum katı çevreleyen betonarme perdelerin bulunduğu durumda, yapının kütle erkezi dikkate alınarak, y doğrultusu için analizde kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması Şekil 7.4'de göreli kat ötelemesi cinsinden verilmiştir.



Şekil 7.4 : Bodrum kat betonarme perdeli yapıda kütle merkezinde y doğrultusu için kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması.

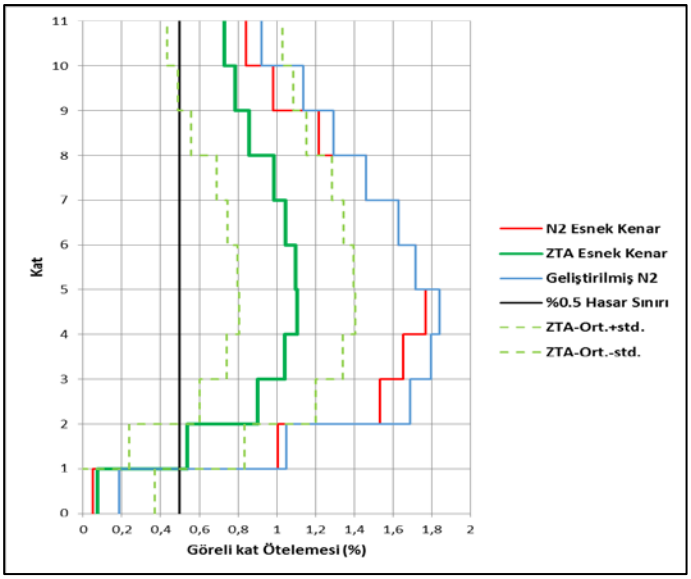
Şekil 7.4 - Şekil 7.6'da verilen grafiklerde görüldüğü üzere bodrum kat betonarme perdeli yapıda, N2 ve geliştirilmiş N2 yöntemlerinden elde edilen göreli kat ötelemesi değerleri özellikle yapının alt ve üst katlarında yaklaşık sonuçlar vermiştir. Orta katlar için ise rijit kenar ve kütle merkezi dikkate alındığında, N2 ve geliştirilmiş N2 değerleri doğrusal olmayan analizin standart sapmasının sınırladığı alan içerisinde kalmaktadır.

Bodrum katı çevreleyen betonarme perdelerin bulunduğu durumda, yapının rijit kenarı dikkate alınarak, y doğrultusu için analizde kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması Şekil 7.5'de göreli kat ötelemesi cinsinden verilmiştir.



Şekil 7.5 : Bodrum kat betonarme perdeli yapıda rijit kenarda y doğrultusu için kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması.

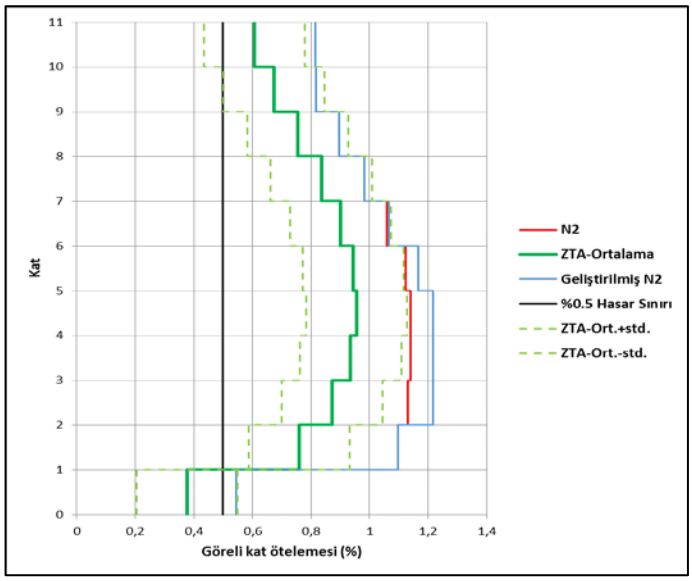
Bodrum katı çevreleyen betonarme perdelerin bulunduğu durumda, yapının esnek kenarı dikkate alınarak, y doğrultusu için analizde kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması Şekil 7.6'da göreli kat ötelemesi cinsinden verilmiştir.



Şekil 7.6 : Bodrum kat betonarme perdeli yapıda esnek kenarda y doğrultusu için kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması.

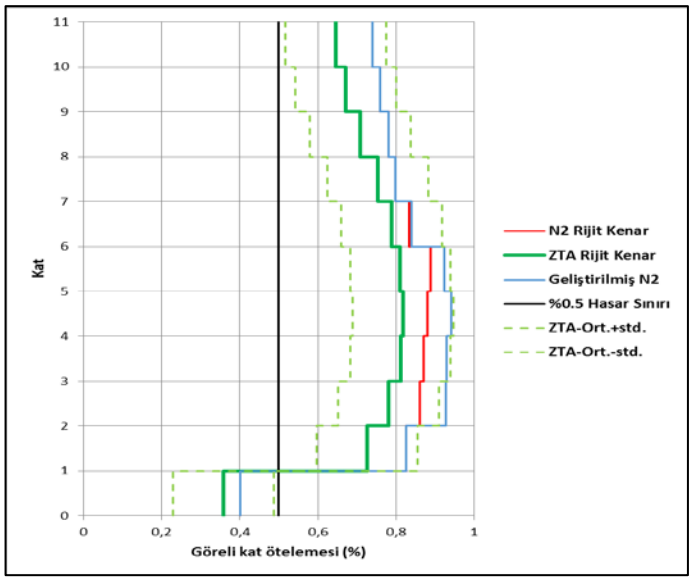
7.3 Bodrum Kat Betonarme Perdesiz Yapıda X Doğrultusu İçin Kullanılan Yöntemlerin Karşılaştırılması

Bodrum katı çevreleyen betonarme perdelerin kaldırıldığı durumda, yapının kütle merkezi dikkate alınarak, x doğrultusu için analizde kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması Şekil 7.7'de göreli kat ötelemesi cinsinden verilmiştir.



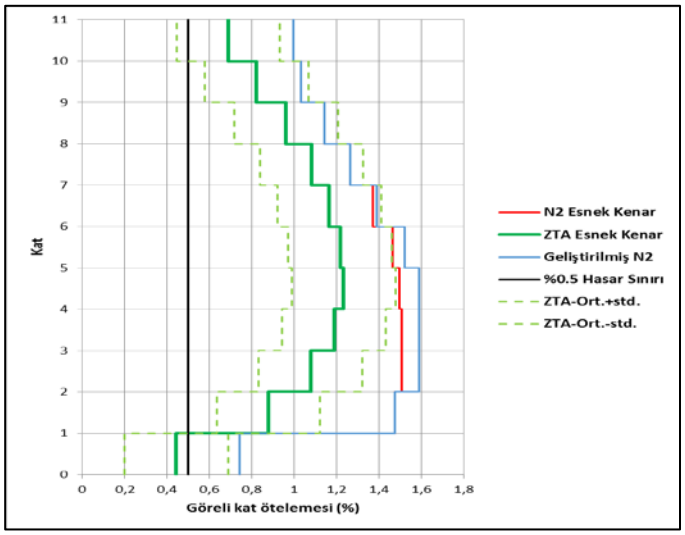
Şekil 7.7 : Bodrum kat betonarme perdesiz yapıda kütle merkezinde x doğrultusu için kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması.

Bodrum katı çevreleyen betonarme perdelerin kaldırıldığı durumda, yapının rijit kenarı dikkate alınarak, x doğrultusu için analizde kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması Şekil 7.8'de göreli kat ötelemesi cinsinden verilmiştir.



Şekil 7.8 : Bodrum kat betonarme perdesiz yapıda rijit kenarda x doğrultusu için kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması.

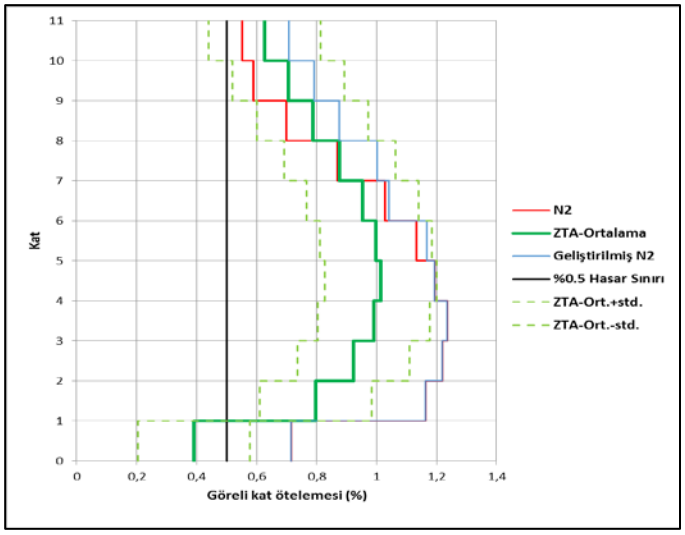
Bodrum katı çevreleyen betonarme perdelerin kaldırıldığı durumda, yapının esnek kenarı dikkate alınarak, x doğrultusu için analizde kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması Şekil 7.9'da göreli kat ötelemesi cinsinden verilmiştir.



Şekil 7.9 : Bodrum kat betonarme perdesiz yapıda esnek kenarda x doğrultusu için kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması.

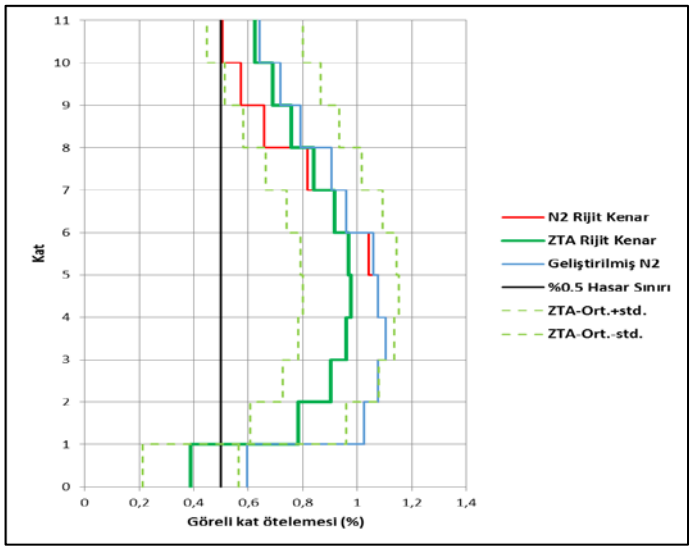
7.4 Bodrum Kat Betonarme Perdesiz Yapıda Y Doğrultusu İçin Kullanılan Yöntemlerin Karşılaştırılması

Bodrum katı çevreleyen betonarme perdelerin kaldırıldığı durumda, yapının kütle merkezi dikkate alınarak, y doğrultusu için analizde kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması Şekil 7.10'da göreli kat ötelemesi cinsinden verilmiştir.



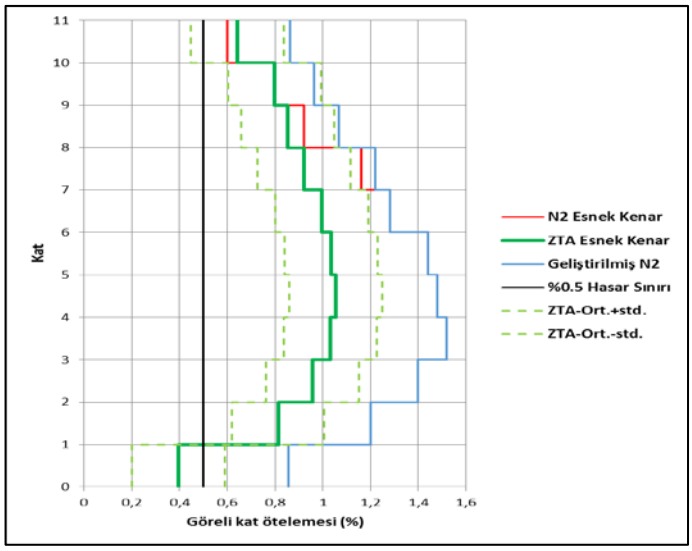
Şekil 7.10 : Bodrum kat betonarme perdesiz yapıda kütle merkezinde y doğrultusu için kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması.

Bodrum katı çevreleyen betonarme perdelerin kaldırıldığı durumda, yapının rijit kenarı dikkate alınarak, y doğrultusu için analizde kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması Şekil 7.11'de göreli kat ötelemesi cinsinden verilmiştir.



Şekil 7.11 : Bodrum kat betonarme perdesiz yapıda rijit kenarda y doğrultusu için kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması.

Bodrum katı çevreleyen betonarme perdelerin kaldırıldığı durumda, yapının esnek kenarı dikkate alınarak, y doğrultusu için analizde kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması Şekil 7.12'de göreli kat ötelemesi cinsinden verilmiştir.



Şekil 7.12 : Bodrum kat betonarme perdesiz yapıda esnek kenarda y doğrultusu için kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması.

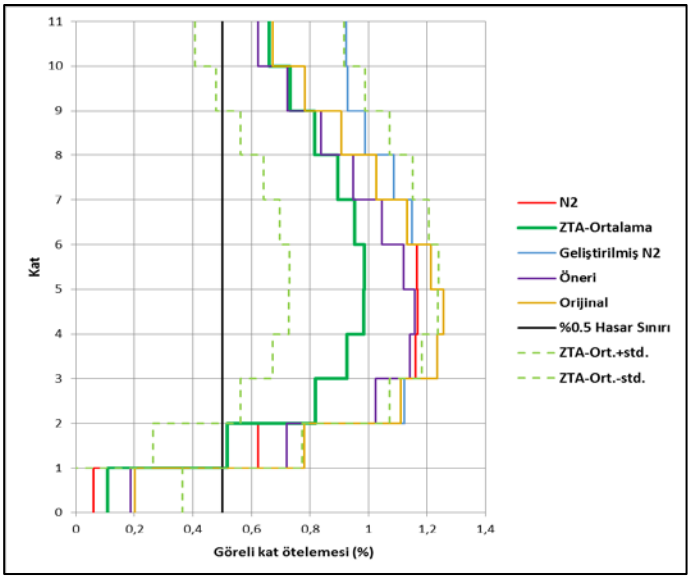
8. DEĞERLENDİRME

Seçilen 11 katlı betonarme binanın her iki doğrultusu için, bölüm 5.5'de detaylı bir şekilde anlatıldığı gibi, N2 ve geliştirilmiş N2 yöntemleri kullanılarak yapı kapasitesi belirlenmiştir. Doğrusal olmayan statik itme analizi kullanılarak yapının kapasitesinin belirlenmesinden sonra söz konusu yapı, bölüm 4'de anlatıldığı üzere seçilen deprem kayıtlarının benzeştirilmesiyle elde edilen kayıtlar kullanılarak doğrusal olmayan dinamik analize tabi tutulmuştur. Yapılan analizler bodrum katı çevreleyen betonarme perdeler kaldırılarak tekrarlanmıştır. Bu bölümde, dinamik analizlerden elde edilen göreli kat öteleme değerleri, doğrusal olmayan statik itme analizine dayanan N2 ve geliştirilmiş N2 yöntemlerinden bulunan, göreli kat öteleme değerleriyle karşılaştırılmıştır.

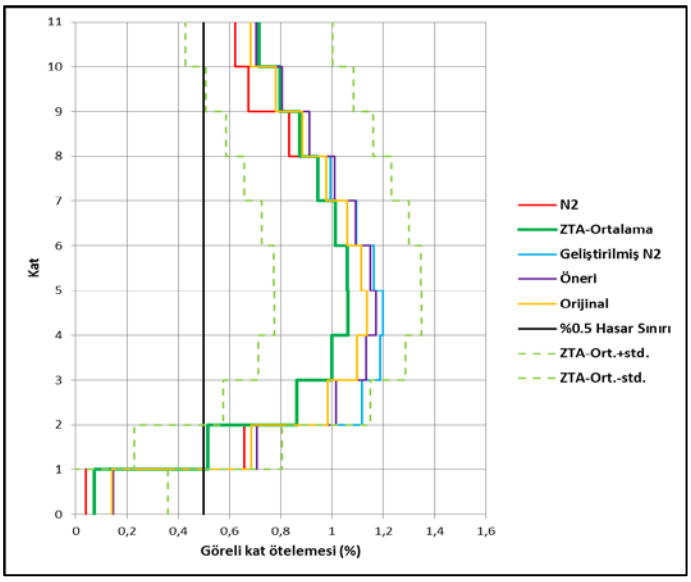
Şekil 8.1-Şekil 8.4'de grafikler üzerinde, geliştirilmiş N2 analizinde kullanılan düzeltme katsayısı c_E'nin birden küçük olduğu durumlarda bire yuvarlanmadan kendi değerinin kullanılmasıyla elde edilen sonuçlar "Orijinal" adıyla gösterilmiştir. Aynı zamanda farklı bir yaklaşım daha geliştirilerek katsayının yuvarlanmadan alınmasının yanında yapı yüksekliği ve betonarme perdelerle çevrili bodrum kat faktörü de düşünülerek, normalizasyon katsayısı olan c_{NORM}'un orta kata karşılık gelen küte merkezindeki deplasman değerlerine göre belirlenmesi sonucu elde edilen göreli kat ötelemesi değerleri de "Öneri" olarak grafiklerde gösterilmiştir.

Eurocode 8'de hasar görebilirlik sınırı olarak bildirilen % 0.5 oranı mukayese grafiklerinde işlenmiş olup, yapının seçilen depremler altında davranışı incelenmiştir. Bölüm 2'de de tartışıldığı üzere N2 ve geliştirilmiş N2 yöntemleri bodrum katı rijit betonarme perdelerle çevrelenmiş yapılarda kalibre edilmemiştir. Şekil 8.1 ve Şekil 8.2'nin incelenmesinden de görüldüğü üzere, bodrum kat tamamen betonarme perdelerle çevrelendiği zaman kütle merkezi esas alınarak göreli kat ötelemeleri karşılaştırıldığında, her iki doğrultuda alt katlarda N2 ve geliştirilmiş N2 yöntemleri doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz değerleriyle yakın sonuç vermektedir. Üst katlarda y doğrultusunda N2 ve geliştirilmiş N2 değerlerinin doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz değerlerine oldukça yakın sonuçlar verdiği, x

doğrultusunda ise yapılan N2 ve geliştirilmiş N2 sonuçlarının, doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizden elde edilen değerlerin standart sapması aralığında kaldığı görülmüştür. Orta katlarda x doğrultusunda analiz sonuçlarında % 20'ye varan farklar tespit edilirken, y doğrultusunda bu oran % 14 mertebelerindedir.



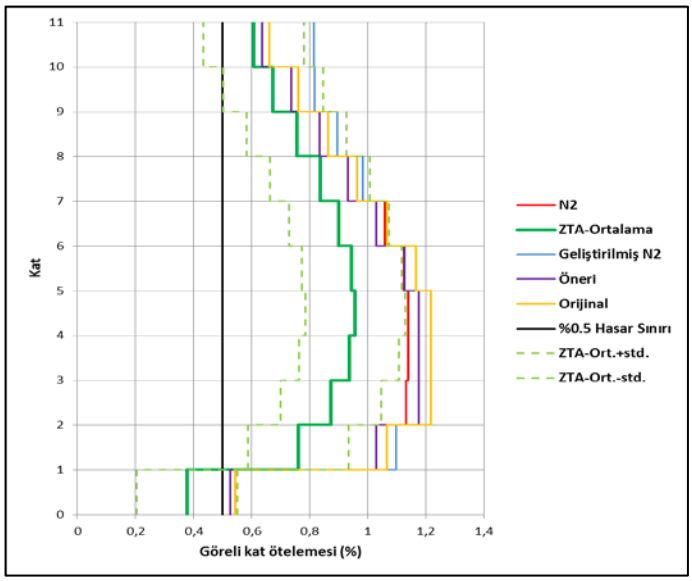
Şekil 8.1 : Bodrum kat betonarme perdeli yapıda kütle merkezi için x doğrultusundaki sonuçların karşılaştırılması.



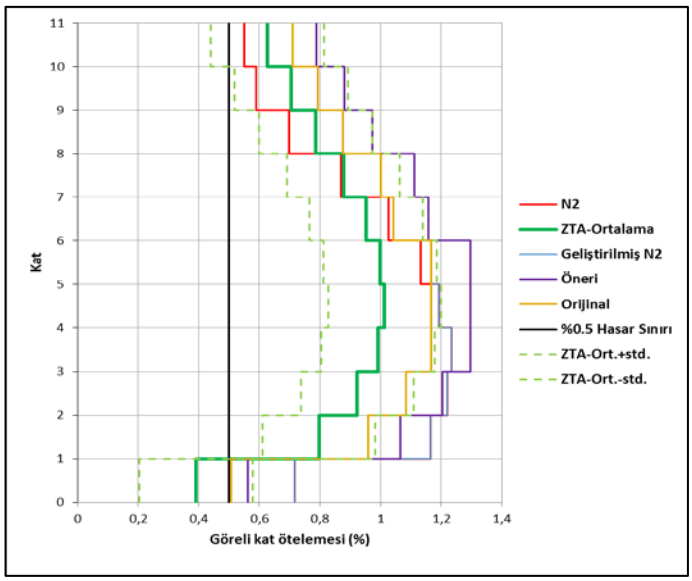
Şekil 8.2 : Bodrum kat betonarme perdeli yapıda kütle merkezi için y doğrultusundaki sonuçların karşılaştırılması.

Bu bilgi çerçevesinde, N2 ve geliştirilmiş N2 yöntemlerinde önerilen tepe deplasmanına göre normalizasyon yerine, yapının orta kat deplasmanı dikkate alınarak ve bulunan düzeltme katsayılarının birden küçük çıktığı durumlarda bire yuvarlanmadan kullanılmasıyla, anılan yöntemlerin diğer adımları uygulanmış ve her

iki doğrultu için perdeli ve perdesiz hallerine ait göreli kat öteleme değişimleri Şekil 8.1-Şekil 8.4'de gösterildiği gibi grafiklere işlenmiştir.



Şekil 8.3 : Bodrum kat perdesiz yapıda kütle merkezi için x doğrultusundaki sonuçların karşılaştırılması.



Şekil 8.4 : Bodrum kat perdesiz yapıda kütle merkezi için y doğrultusundaki sonuçların karşılaştırılması.

Şekil 8.1 ve Şekil 8.2'den de anlaşılabileceği üzere perdeli durum için önerilen yöntem her iki doğrultuda da alt ve üst katlarda doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonuçlarına çok yakın değerler verirken yine orta katlarda, N2 ve geliştirilmiş N2 yöntemlerine göre doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz değerlerine daha yakın sonuçlar vermiştir.

Perdesiz yapı durumunda ise x doğrultusunda alt ve üst katlarda bulunan sonuçlar doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz değerlerine oldukça yakındır (Şekil 8.3). Öneri değerleri normalizasyonu yapılan kata (6. kat) kadar N2 ve geliştirilmiş N2 arasında kalmış, üst katlara çıkıldıkça doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonuçlarına yaklaşmıştır. Y doğrultusunda ise önerilen yöntem alt katlarda doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz değerlerine daha yakın sonuçlar verirken üst katlarda N2 ve geliştirilmiş N2 yöntemlerinden daha uzak sonuçlar verdiği gözlenmiştir (Şekil 8.4).

Bölüm 6'da verilen benzeştirilmiş deprem kayıtlarıyla doğrusal olmayan dinamik analiz sonucunda bulunan taban kesme kuvveti-zaman grafikleri ve bölüm 5'de doğrusal olmayan statik analiz yöntemlerinden bulunan kapasite eğrileri karşılaştırıldığında, inceleme konusu binanın kapasite değerinin aşıldığı görülmüş ve bu sebeple yapının hasar alması beklenmektedir. Yine bölüm 6'da deprem bazlı olarak verilen plastik mafsal durumlarına bakıldığında bu görüş deteklenmektedir. Ayrıca göreli kat öteleme grafiklerinde işlenmiş olan Eurocode 8'de verilen hasar görebilirlik sınırının aşıldığı da grafiklerde belirtilmiştir. Bununla beraber, bölüm 5.5'de, DBYBHY-07'de yer alan göreli kat ötelemelerinin sınırlandırılması ile ilgili olarak verilen 0.02 değerinin aşıldığı gösterilmiştir. Dolayısıyla incelenen binada bulunan perdelerin ve diğer taşıyıcı elemanların yeterli rijitliği sağlayamaması sebebiyle binanın güçlendirilmesi gerekmektedir.

9. SONUÇLAR

Bu tezin amacı, planda ve düşeyde düzensiz, 11 katlı betonarme perdelerle çevrili binada N2 ve geliştirilmiş N2 yöntemlerinin uygulanması ve sonuçlarının değerlendirilmesidir. Yapılan doğrusal olmayan statik itme analizleri, zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan analiz yöntemiyle karşılaştırılmıştır. Yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

1. İnceleme konusu bina için yapılan düzensizlik tahkikleri sonucu yapıda burulma ve yumuşak kat düzensizliği bulunduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle yapının esnek kenarı için bulunan göreli kat ötelemeleri, hem Eurocode 8'de verilen hasar görebilirlik sınırından hem de DBYBHY-07'de verilen göreli kat ötelemelerinin sınırlandırılmasıyla ilgili 0.02 değerinden daha büyük çıkmış ve bu bölgede beklenen hasarın daha büyük olduğu görülmüştür.
2. Yapılan analizler sonucu binada oluşan plastik mafsalların dağılımı belirlenmiş, binada kullanılan perdelerin yapıya istenen rijitliği sağlayamadığı görülmüştür. Bu sebeple binanın güçlendirilmesi gerekmektedir.
3. N2 yönteminin uygulanmasında yeni bir öneri getirilmiştir. Bu yeni yaklaşım çalışma kapsamında "Öneri" olarak adlandırılmıştır. Betonarme perdeli yapıda, özellikle kütle merkezi dikkate alındığında, yeni yaklaşımın geliştirilmiş N2 yaklaşımına göre zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan analiz yöntemine daha yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Normalizasyon katsayısı, orta katın kütle merkezinden alındığında ve bulunan düzeltme katsayılarının birden küçük olduğu durumda, bire yuvarlanmadan kullanıldığında göreli kat ötelemelerinin doğrusal olamayan zaman tanım alanında analiz sonuçlarına daha yakın çıktığı tespit edilmiştir.
4. Bodrum katı betonarme perdeyle çevrili binalar için N2 ve geliştirilmiş N2 sonuçlarının doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonuçlarından farklı değerler verdiği ve literatürde yöntemlerin bu tarz binalar için kalibrasyonu yapılmadığı görülmüştür.

5. Yapılan analizler neticesinde geliştirilmiş N2 metodunun farklı yapı durumları için güncellenmesi gerektiği anlaşılmaktadır.
6. Orta kata göre normalizasyon tekniğinin genelleştirilebilir hale gelmesi için daha fazla örnek bina seçilerek yöntem kalibrasyonunu yapılması gerektiği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Adhikari, G. and Pinho, R. (2010). *Development and application of nonlinear static procedures for plan-asymmetric buildings*, Research Report Rose, 2010/01, IUSS Press.

ATC-40 . (1996) . Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings, *Applied Technology Council*, California, ABD.

ATC-76-6 . (2010) . Applicability of nonlinear multiple-degree-of-freedom modeling for design, Supporting Documentation, *National Institute of Standards and Technology*,NIST GCR 10-917-9.Appendix B-15.

Barros, R. ve Almeida, R. (2005). "Pushover analysis of asymmetric three-dimensional building frames." *Journal of Civil Engineering and Management*, Vol. IX, No. 1 pp. 3–12.

Bento, R. Falcão, S. Rodrigues, F. (2004) Non-linear static procedures in performance based seismic design. 13th World Conference on Earthquake Engineering Vancouver, B.C., Canada August 1-6, Paper No. 2522.

BSSC. (2000). Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings. *FEMA 356*, Building Seismic Safety Council, Washington, D.C., USA.

Bhatt, C., Bento, R., and Pinho, R. (2010). "Assessing a real 3D turkish RC building using Nonlinear Static Procedures." In *Proceedings of the 9th US National and 19th Canadian Conference on Earthquake Engineering.* Toronto, Canada.

Bonev, Z. ve Strashimirov, A. (2005). "Modal pushover analysis considering structures with flexible in-plane floor diaphragms." *In Proceedings of the 4th European Workshop on the Seismic Behaviour of Irregular and Complex Structures*, 23. Thessaloniki, Greece.

British Standards Institution. (2008). *Eurocode 2 : design of concrete structures: British standard.* London: BSI.

Bozan, A. (2008). *Mevcut çok katlı yapının statik itme (pushover) yöntemi ile analizi*, Yüksek Lisans Tezi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,Sakarya.

Celep, Z. (2007). "Betonarme sistemlerde doğrusal olmayan davranış: plastik mafsal kabulü ve çözümleme." *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*. İstanbul, Türkiye.

Celep, Z. ve Kumbasar, N. (2000). Deprem mühendisliğine giriş ve depreme dayanıklı yapı tasarımı, *Beta Dağıtım*, İstanbul.

Celep, Z. (2017). Deprem mühendisliğine giriş ve depreme dayanıklı yapı tasarımı, Beta Yayınevi, 5.baskı, İstanbul.

CEN. (2006). Eurocode 8: design of structures for earthquake resistance. Part 1: general rules seismic actions and rules for buildings. *EN 1998-1*, CEN, Brussels, December 2004.

Chopra, A.K. and Goel, R.K. (2001). "A modal pushover analysis procedure to estimate seismic demands for buildings: Theory and Preliminary

Evaluation." *PEER* 2001/03, Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, USA.

Chopra, A.K. and Goel, R.K. (2002). "A modal pushover analysis procedure for estimating seismic demands buildings." *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 31, No. 3 pp.561–582.

Chopra, A.K. and Chintanapakdee, C. (2004). "Evaluation of modal and FEMA pushover analyses:vertically "regular " and irregular generic frames." Earthquake Spectra, Vol. 20, No. 1 pp.255–271.

DBYBHY (2007). Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik, *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı,* Ankara.

Di Sarno, L. ve diğ. (2013). Field evidence and numerical investigation of the Mw = 7.1 October 23 Van, Tabanlı and the MW > 5.7 November earthquakes of 2011. *Bull Earthquake Eng*. 11:313–346.

Dolsek, M. ve Fajfar, P. (2007).Simplified probabilistic seismic performance assessment of plan-asymmetric buildings. *Earthquake Engineering Structural Dyn*amics. 36:2021–2041.

Elnashai, A.S. ve Di Sarno, L. (2008). Fundamental of earthquake engineering. Wiley, New York, pp.186-188; 233-238.

Erkan, M. (b.t.). Performans bazlı tasarım itme (pushover) analizi - temel kavramlar ve metot.

Fajfar, P. ve Gaspersic, P., (1996).The ,N2 method for the seismic damage analysis of RC buildings, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 25, 31-46

Fajfar, P. ve Fischinger, M.(1988).N2-A method for non-linear seismic analysis of regular buildings, *Proceeding of Ninth World Conference On Earthquake Engineering*, August 2-9, Tokyo-Kyoto, Japan(Vol. V)

Fajfar, P. (1999). Capacity spectrum method based on inelastic demand spectra. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* 1999; 28(3):979–993.

Fajfar, P., Eeri, M. (2000). A nonlinear analysis method for performance-based seismic design. *Earthquake Spectra 2000*; 16(3):573–592.

Fajfar, P. (2002). Structural analysis in earthquake engineering—a breakthrough of simplified non-linear methods.*Proceedings of the 12th European Conference on Earthquake Engineering*, London, Keynote Lecture.

Fajfar, P, Maruˇsi´c, D. Peruˇs, I. (2005). The extension of the N2 method to asymmetrıc buildings. *Journal of Earthquake Engineering* 2005; 9(6):831–854.

Faella, G. and Kilar, V. (1998) "Asymmetric multistory R/C frame structures: push-over versus nonlinear dynamic analysis." *In Proceedings of 11th European Conference on Earthquake Engineering.* Balkema, Rotterdam.

Goel, R.K. ve Chopra, A.K. (2005). "Extension of modal pushover analysis to compute member forces." Earthquake Spectra, Vol. 21, No. 1 pp. 125–139.

Gök, S.G. (2013).A3 Düzensizliği olan çok katlı betonarme bir yapının Türk, Eurocode ve ACI318 yöneteliğine göre tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul,Türkiye.

Kanaan, A.E. ve Powell, G.H. (1973). DRAIN 2D-General purpose computer program for inelastic dynamic response of plane structures,

UCB/EERC-73/06, Berkeley: Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, CA.

Kalkan, E. and Kunnath, S. (2006). Adaptive modal combination procedure for nonlinear static analysis of building structures, Journal of Structural Engineering, Vol. 132, No. 11 pp.1721–1731.

Kalkan, E. and Kunnath, S. (2007) "Assessment of current nonlinear static procedures for seismic evaluation of buildings." Engineering Structures, Vol. 29 pp. 305–316.

Kilar, V. and Fajfar, P. (1997). "Simple push-over analysis of asymmetric buildings." *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 26, No. 2 pp. 233–249.

Köroğlu, M.A. (b.t.) *TDY 2007 Taşıyıcı Sistem Düzesizlikleri*. Ders Notu. Necmettin Erbakan Üniversitesi, Konya.

Kreslin, M. ve Fajfar, P. (2011). The extended N2 method taking into account higher mode effects in elevation. *Earthquake Engineerig Struct. Dyn*.; 40:1571–1589

Kreslin, M. and Fajfar, P. (2012). The Extended N2 Method Considering Higher Mode Effects in Both Plan and Elevation, *Bulletin of Earthquake Engineering*, Vol 10, pp.695-715.

Lin, J.L. and Tsai, K.C. (2007). "Simplified seismic analysis of asymmetric building systems." *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 36, No. 4 pp. 459–479.

Japan Meteorological Agency
http://www.jma.go.jp/jma/en/2011_Earthquake/chart/2011_Earthquake_CMT.pdf, date revived 16.11.2015.

Meireles, H., Pinho, R., Bento, R., and Antoniou, S. (2006). Verification of an adaptive pushover technique for the 3D case. *In Proceedings of 13th European Conference on Earthquake Engineering, 619.* Geneva, Switzerland

Moghadam, A.S. and Tso,W.K. (2000). "Pushover analysis for asymmetric and set-back multi-story buildings." *In Proceedings of 12th World Conference on Earthquake Engineering*, 1093.Auckland, New Zealand.

Moghadam, A.S. (2002). "A pushover procedure for tall buildings." *In Proceedings of 12th European Conference on Earthquake Engineering*, 395. London, UK.

Mwafy, A.M. ve Elnashai, A.S. (2001). Static Pushover Versus Dynamic Collapse Analysis of RC Buildings. Engineering Structures 23 Sf. 407–424.

Naeim, F. (2003). Pushover Analysis Presentations. J. A. Martin & Associates Inc., California.

Oyguç, R. (2016). Seismic Performance of RC School Buildings after 2011 Van Earthquakes, *Bulletin of Earthquake Engineering*, Vol. 3, No. 14.

Öncü, M.E. ve Calayır, Y. (2005). Betonarme yapıların deprem performansının değerlendirilmesi. *Deprem Sempozyumu*, Kocaeli.

Öncü, M.E. ve Calayır, Y. (2007). *Tek serbestlik dereceli yapıların elastik ötesi deprem taleplerinin spektral yöntemlerle belirlenmesi.* Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Elazığ.

Park, R. (1988). Ductility evaluation from laboratory and analytical testing. *Proceedings of the 9th World Conference on Earthquake Engineering*, Tokyo-Kyoto, Japan, Vol. VIII, pp. 605–616.

PEER Ground Motion Database, (1996). NGA-West2 Shallow Crustal Earthquakes in Active Tectonic Regimes http://ngawest2.berkeley.edu .

Saiidi, Sozen (1981). Simple nonlinear seismic analysis of R/C structures. J.Struct. Div.ASCE 107,pp.937-952

Sasaki, K.K., Freeman, S.A., and Paret, T.F. (1988) "Multimode pushover procedure (MMP) – a method to identify the effects of higher modes in a pushover analysis*." In Proceedings of 6th US National Conference on Earthquake Engineering.* Seattle, USA.

SAP2000, Computers and Structures Inc., integrated finite element analysis and design of structures, software, Berkeley, CA

Seifi, M., Noorzaei, J., Jaafar, M. S., Panah, E. Y. (2008). Nonlinear Static Pushover Analysis in Earthquake Engineering: State of Development. International Conference on Construction and Building Technology ICCBT 2008 - C - (06) – Sf. 69-80.

SeismoSignal (2016). SeismoSoft, *Earthquake Engineering Software Solutions,* Versiyon 2016.

SeismoMatch (2016). SeismoSoft, *Earthquake Engineering Software Solutions,* Versiyon 2016.

Tomaz, V., Peter, F. and Matej, F. (1994). Consistent Inelastic Design Spectra: Strength and Displacement, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 23, 507-521

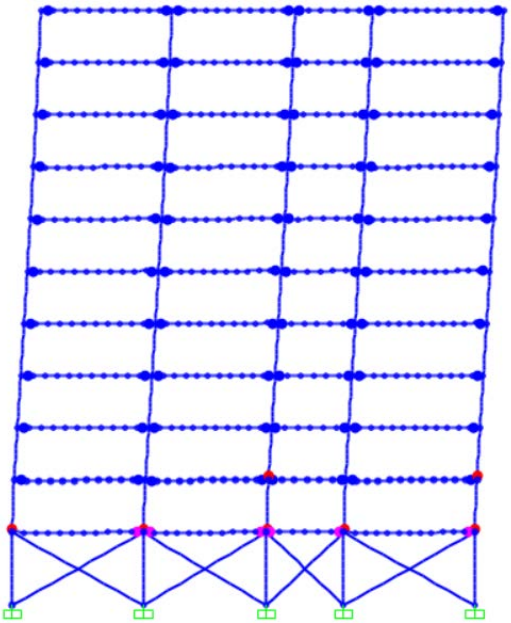
Toros, Ç. (2016). *Seismic behavior of three dimensional reinforced concrete structures under multiple earthquake excitations,* M.S.c. Thesis, Department of Earthquake Engineering and Disaster Management.

EKLER

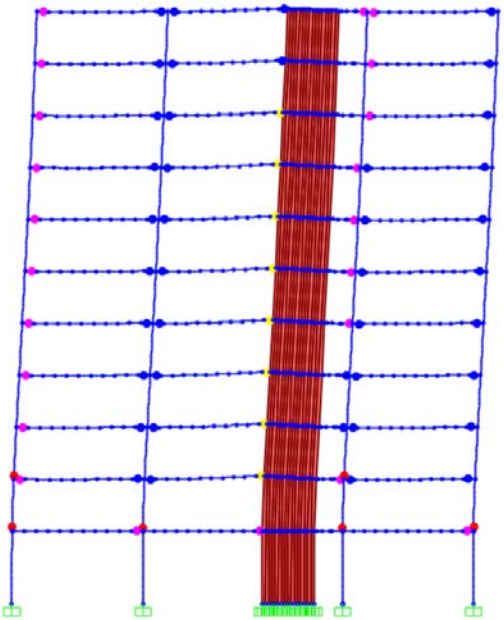
EK A: İtme analizinde oluşan aks bazlı plastik mafsal dağılımları.

EK B: Kesit açılımları.

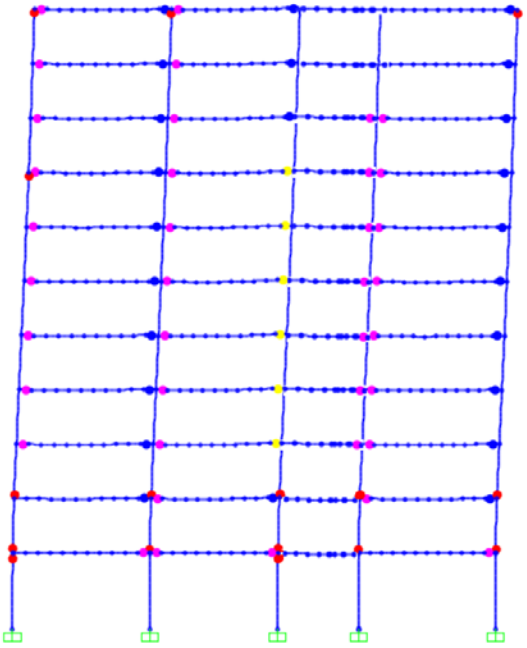
EK A



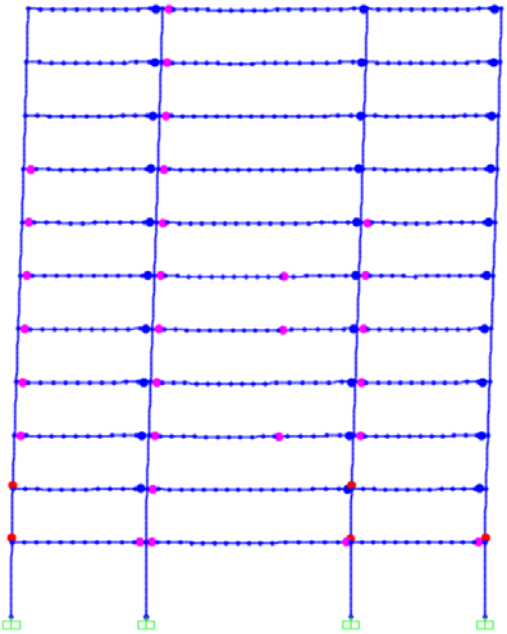
Şekil A.1 : Bodrum kat betonarme perdeli durum için 1-1 aksı plastik mafsal dağılımı.



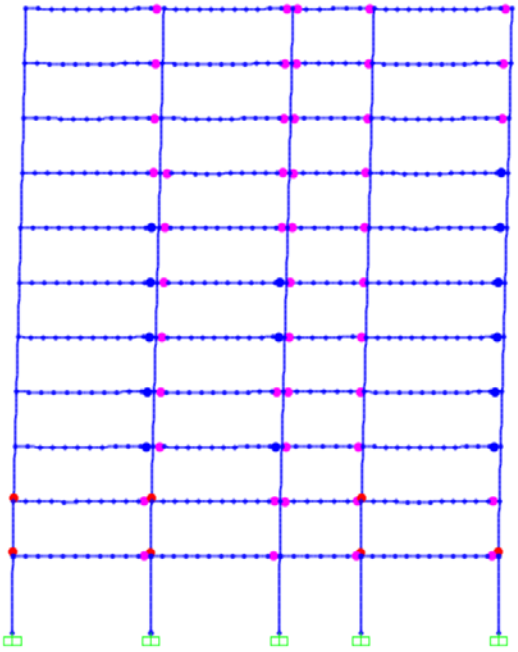
Şekil A.2 : Bodrum kat betonarme perdeli durum için 2-2 aksı plastik mafsal dağılımı.



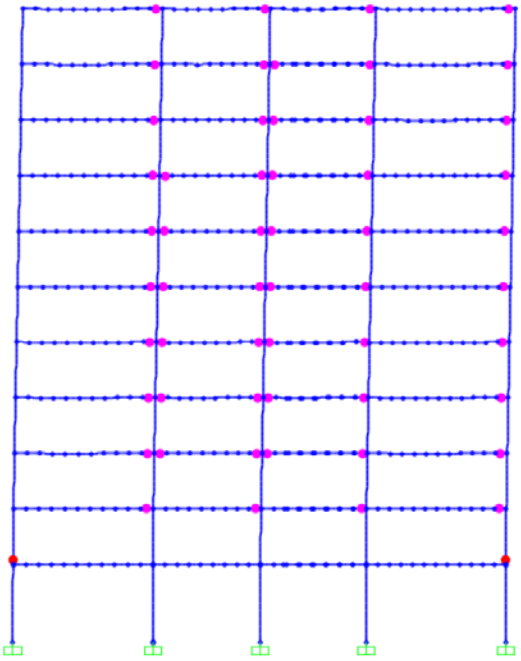
Şekil A.3 : Bodrum kat betonarme perdeli durum için 4-4 aksı plastik mafsal dağılımı.



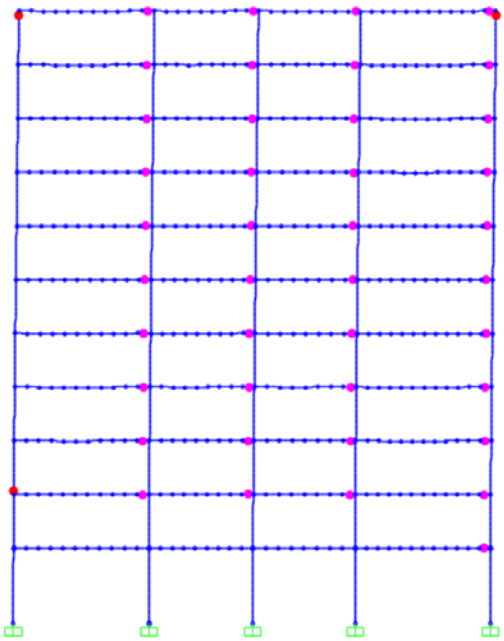
Şekil A.4 : Bodrum kat betonarme perdeli durum için 6-6 aksı plastik mafsal dağılımı.



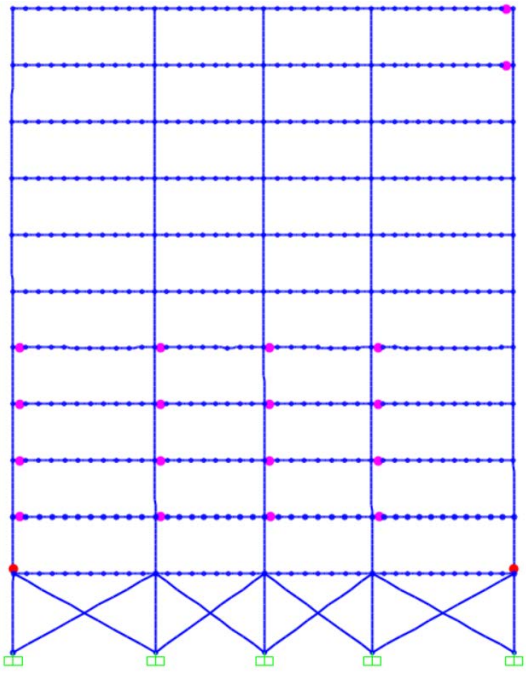
Şekil A.5 : Bodrum kat betonarme perdeli durum için 7-7 aksı plastik mafsal dağılımı.



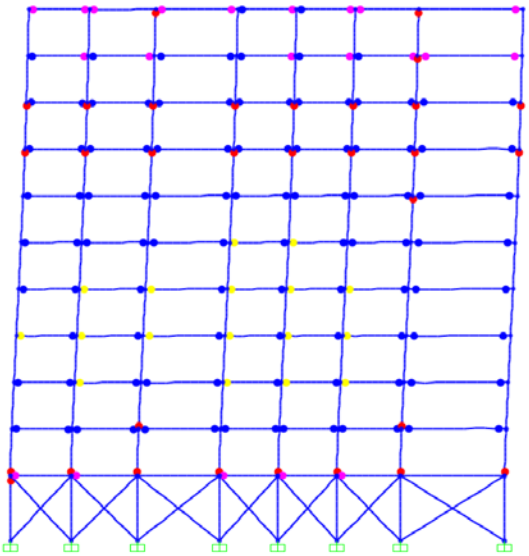
Şekil A.6 : Bodrum kat betonarme perdeli durum için 8-8 aksı plastik mafsal dağılımı.



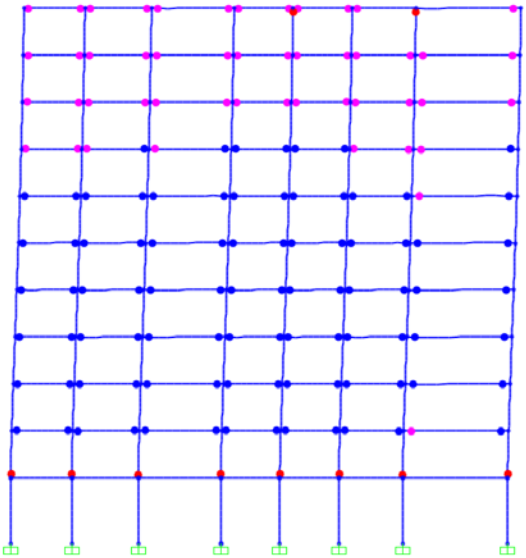
Şekil A.7 : Bodrum kat betonarme perdeli durum için 9-9 aksı plastik mafsal dağılımı.



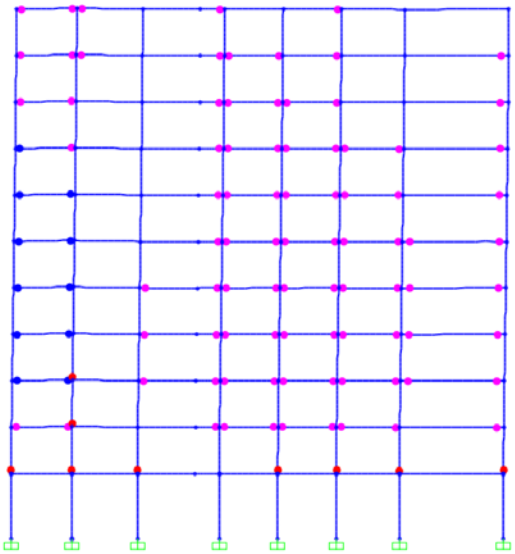
Şekil A.8 : Bodrum kat betonarme perdeli durum için 10-10 aksı plastik mafsal dağılımı.



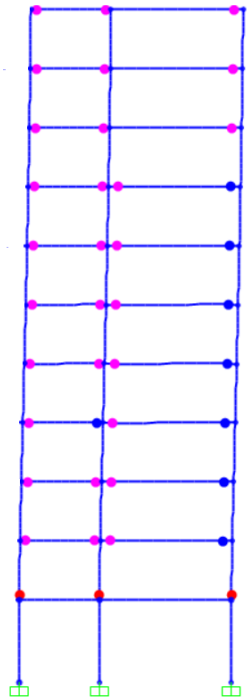
Şekil A.9 : Bodrum kat betonarme perdeli durum için A-A aksı plastik mafsal dağılımı.



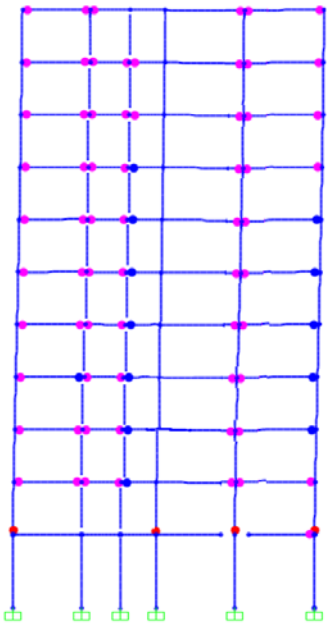
Şekil A.10 : Bodrum kat betonarme perdeli durum için B-B aksı plastik mafsal dağılımı.



Şekil A.11 : Bodrum kat betonarme perdeli durum için C-C aksı plastik mafsal dağılımı.

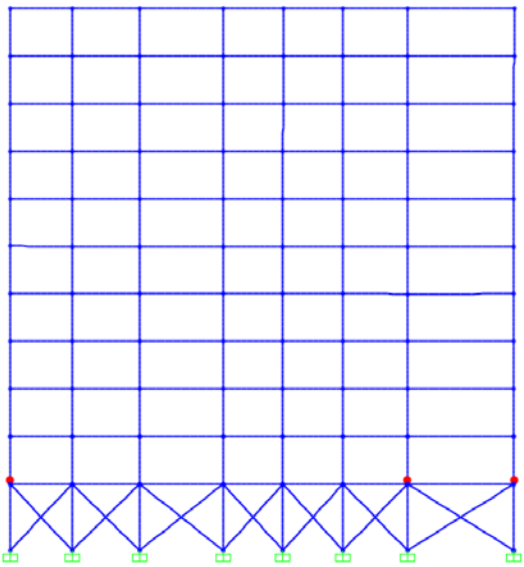


Şekil A.12 : Bodrum kat betonarme perdeli durum için D-D aksı plastik mafsal dağılımı.

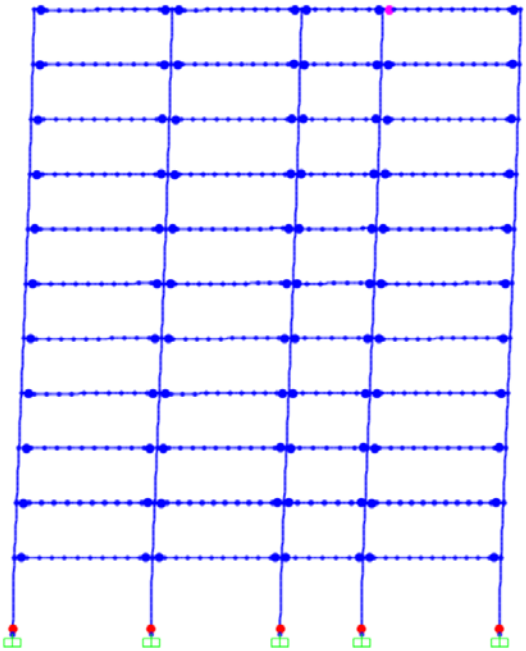


Şekil A.13 : Bodrum kat betonarme perdeli durum için F-F aksı plastik mafsal dağılımı.

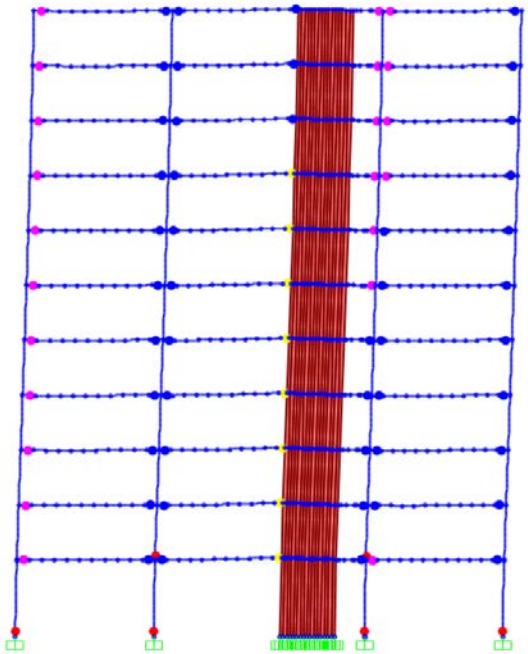
.



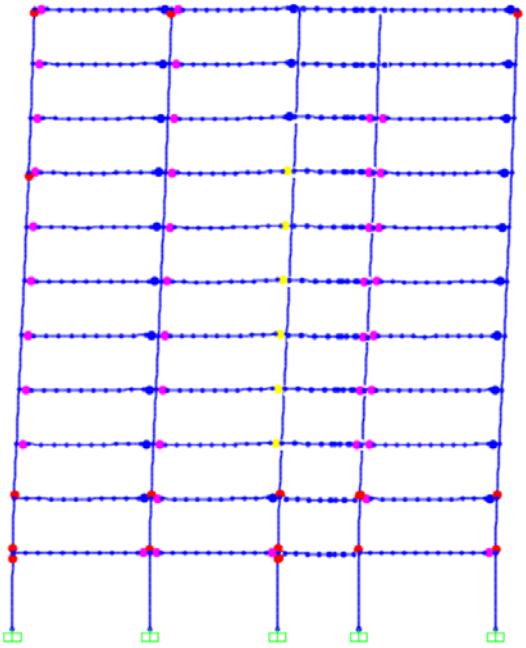
Şekil A.14 : Bodrum kat betonarme perdeli durum için G-G aksı plastik mafsal dağılımı.



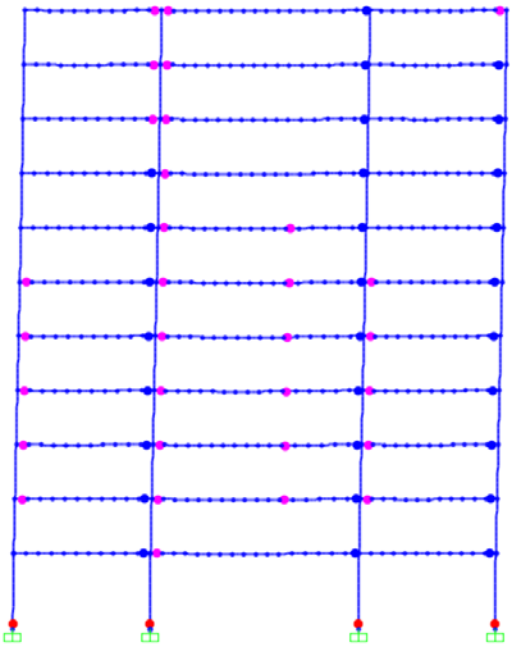
Şekil A.15 : Bodrum kat betonarme perdesiz durum için 1-1 aksı plastik mafsal dağılımı.



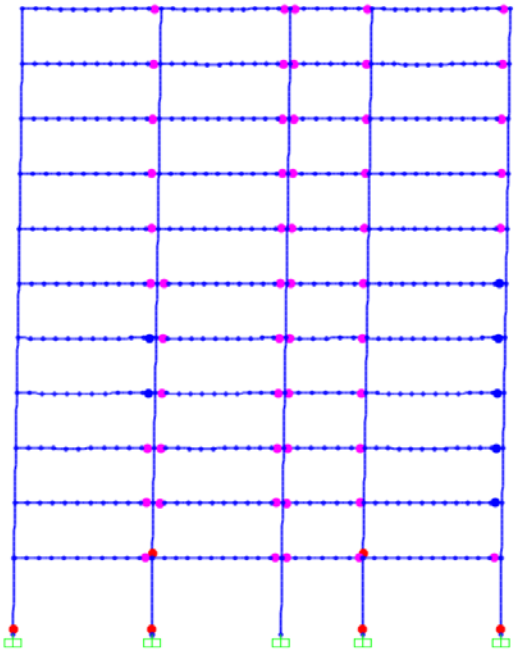
Şekil A.16 : Bodrum kat betonarme perdesiz durum için 2-2 aksı plastik mafsal dağılımı.



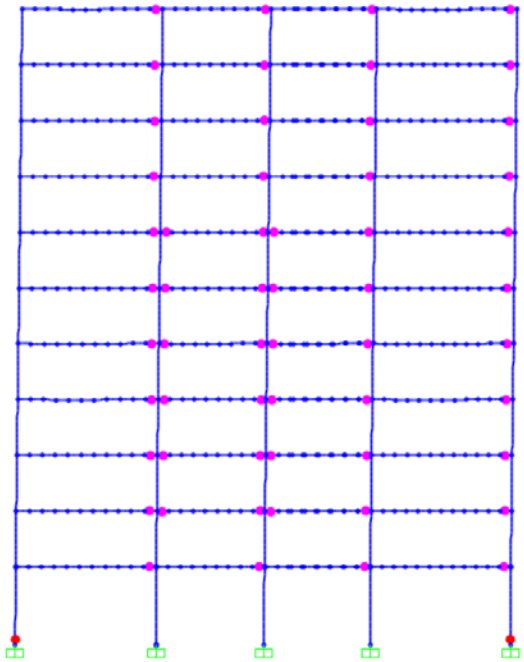
Şekil A.17 : Bodrum kat betonarme perdesiz durum için 4-4 aksı plastik mafsal dağılımı.



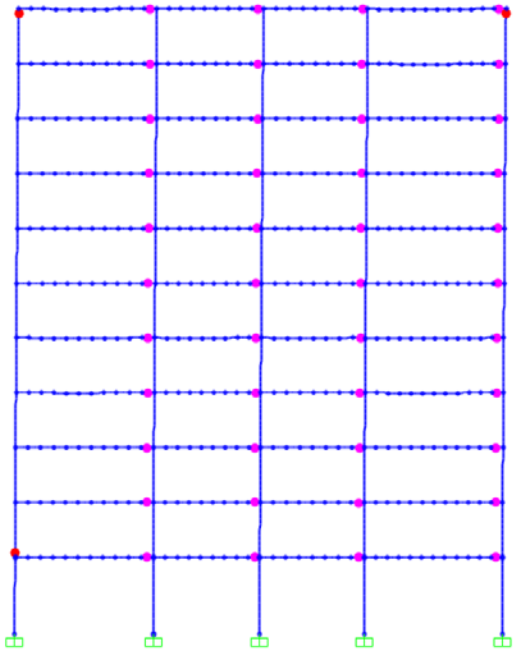
Şekil A.18 : Bodrum kat betonarme perdesiz durum için 6-6 aksı plastik mafsal dağılımı.



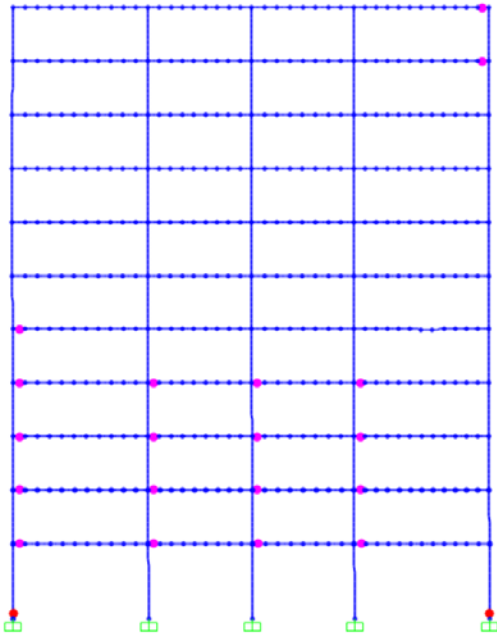
Şekil A.19 : Bodrum kat betonarme perdesiz durum için 7-7 aksı plastik mafsal dağılımı.



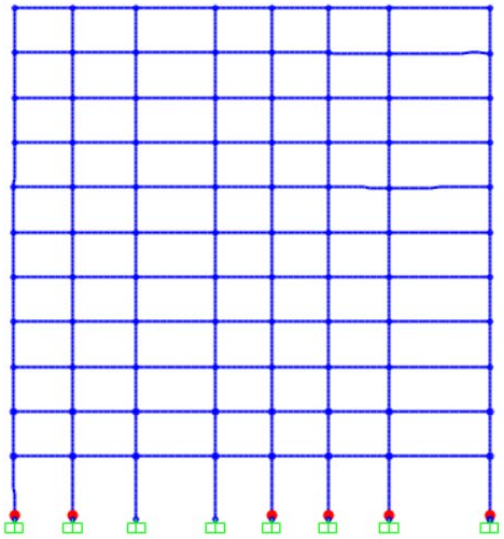
Şekil A.20 : Bodrum kat betonarme perdesiz durum için 8-8 aksı plastik mafsal dağılımı.



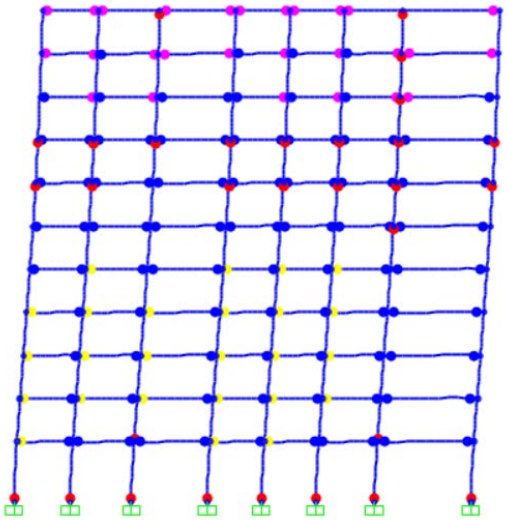
Şekil A.21 : Bodrum kat betonarme perdesiz durum için 9-9 aksı plastik mafsal dağılımı.



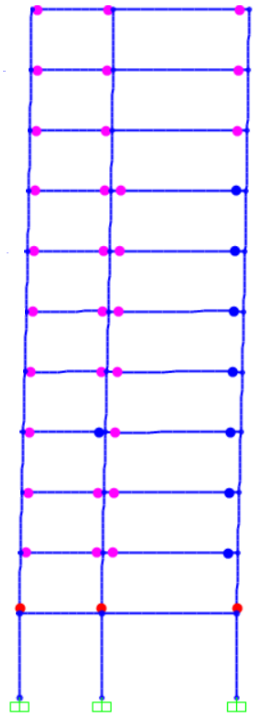
Şekil A.22 : Bodrum kat betonarme perdesiz durum için 10-10 aksı plastik mafsal dağılımı.



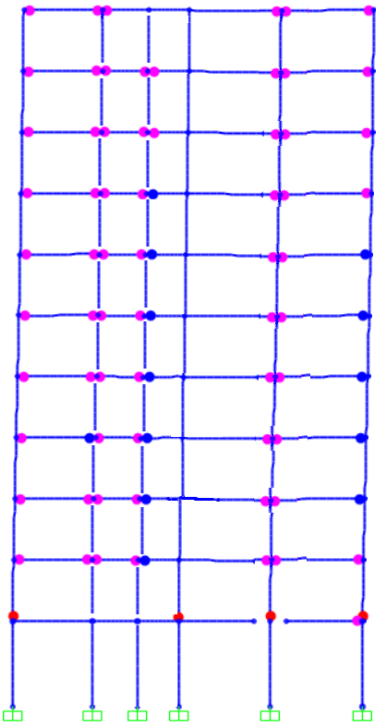
Şekil A.23 : Bodrum kat betonarme perdesiz durum için A-A aksı plastik mafsal dağılımı.



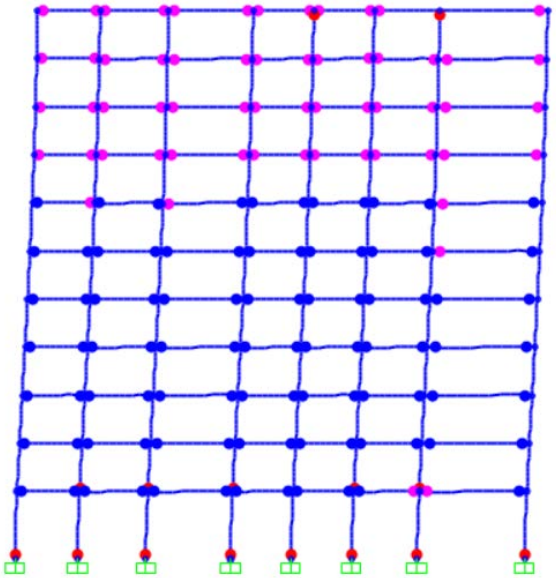
Şekil A.24 : Bodrum kat betonarme perdesiz durum için B-B aksı plastik mafsal dağılımı.



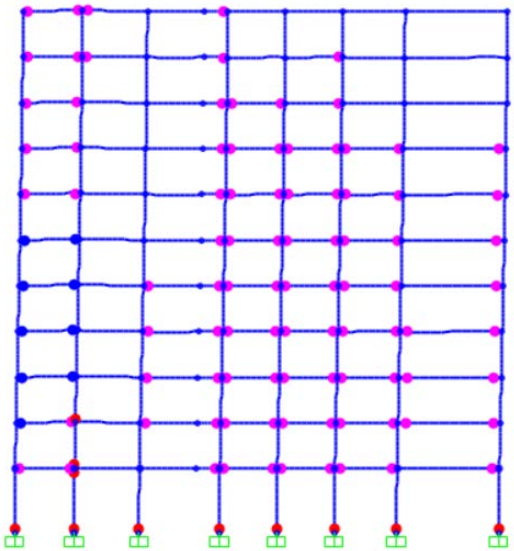
Şekil A.25 : Bodrum kat betonarme perdesiz durum için C-C aksı plastik mafsal dağılımı.



Şekil A.26 : Bodrum kat betonarme perdesiz durum için D-D aksı plastik mafsal dağılımı.

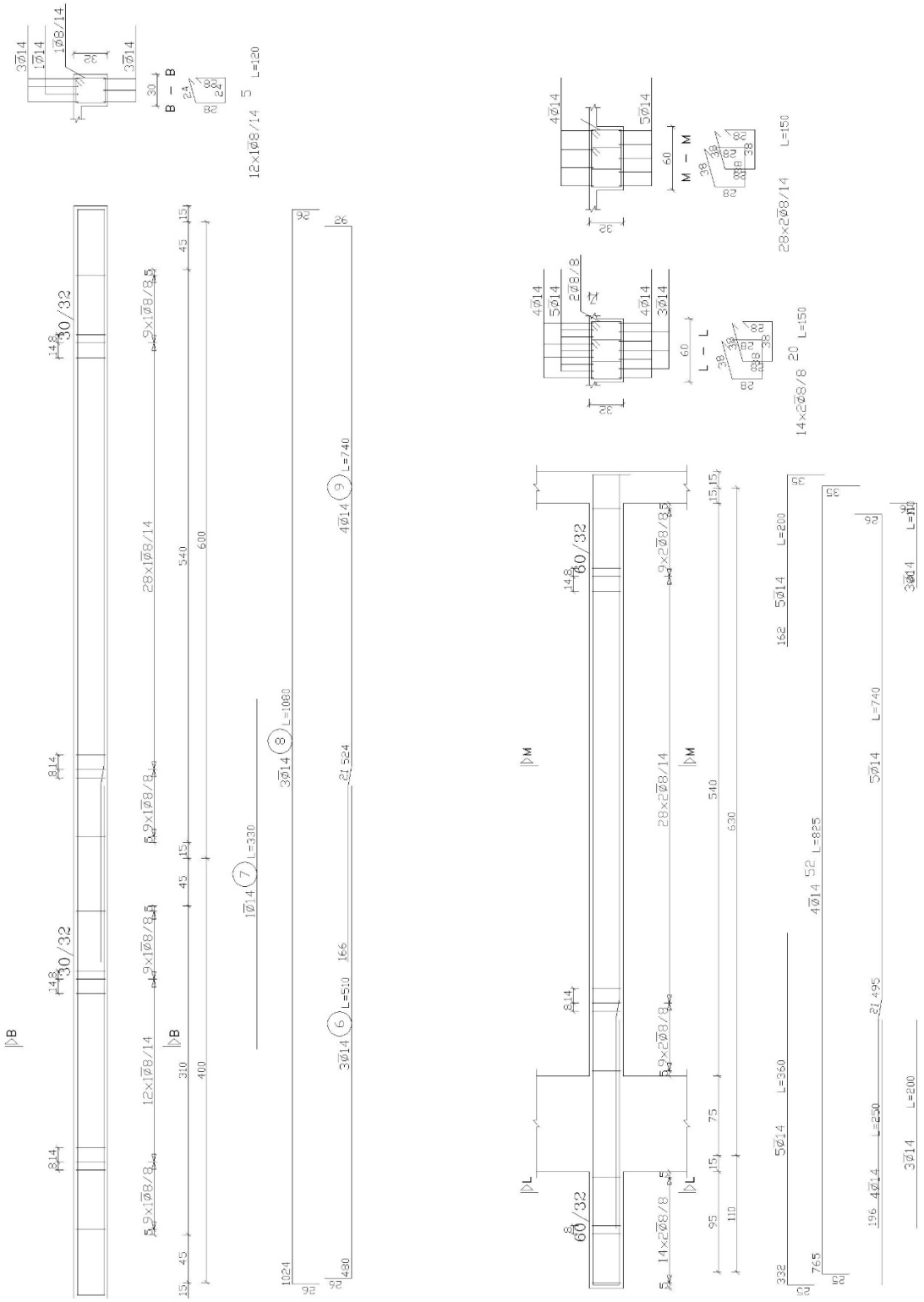


Şekil A.27 : Bodrum kat betonarme perdesiz durum için F-F aksı plastik mafsal dağılımı.

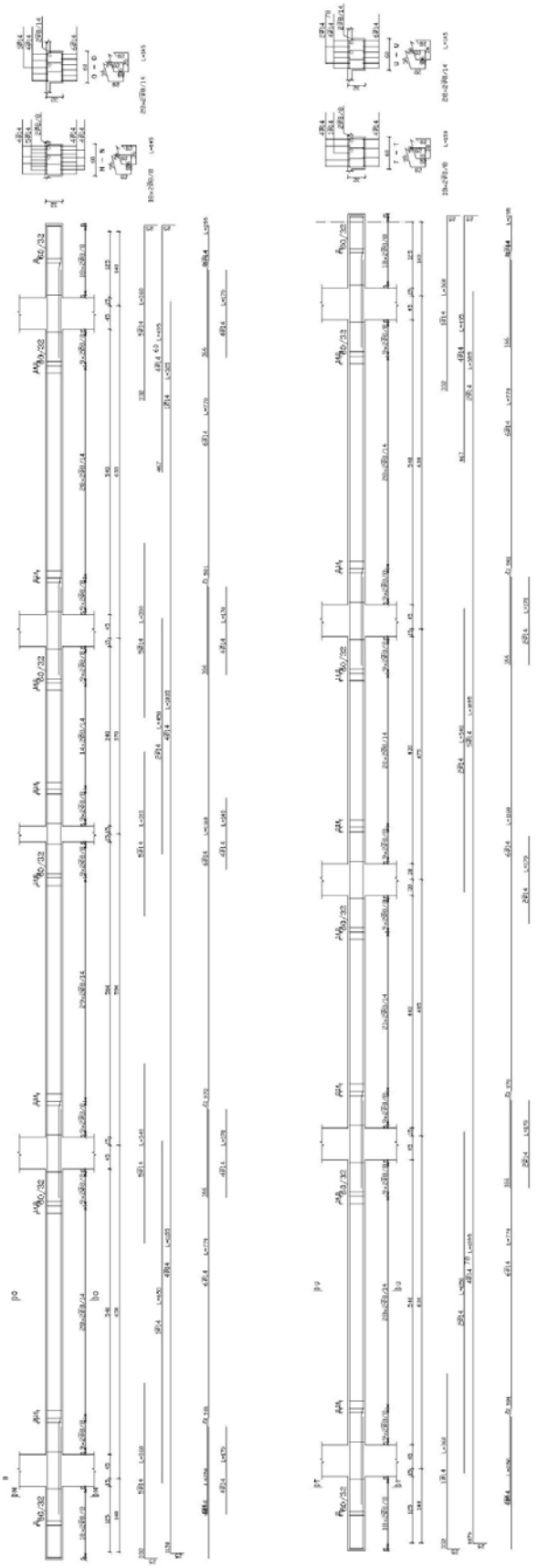


Şekil A.28 : Bodrum kat betonarme perdesiz durum için G-G aksı plastik mafsal dağılımı.

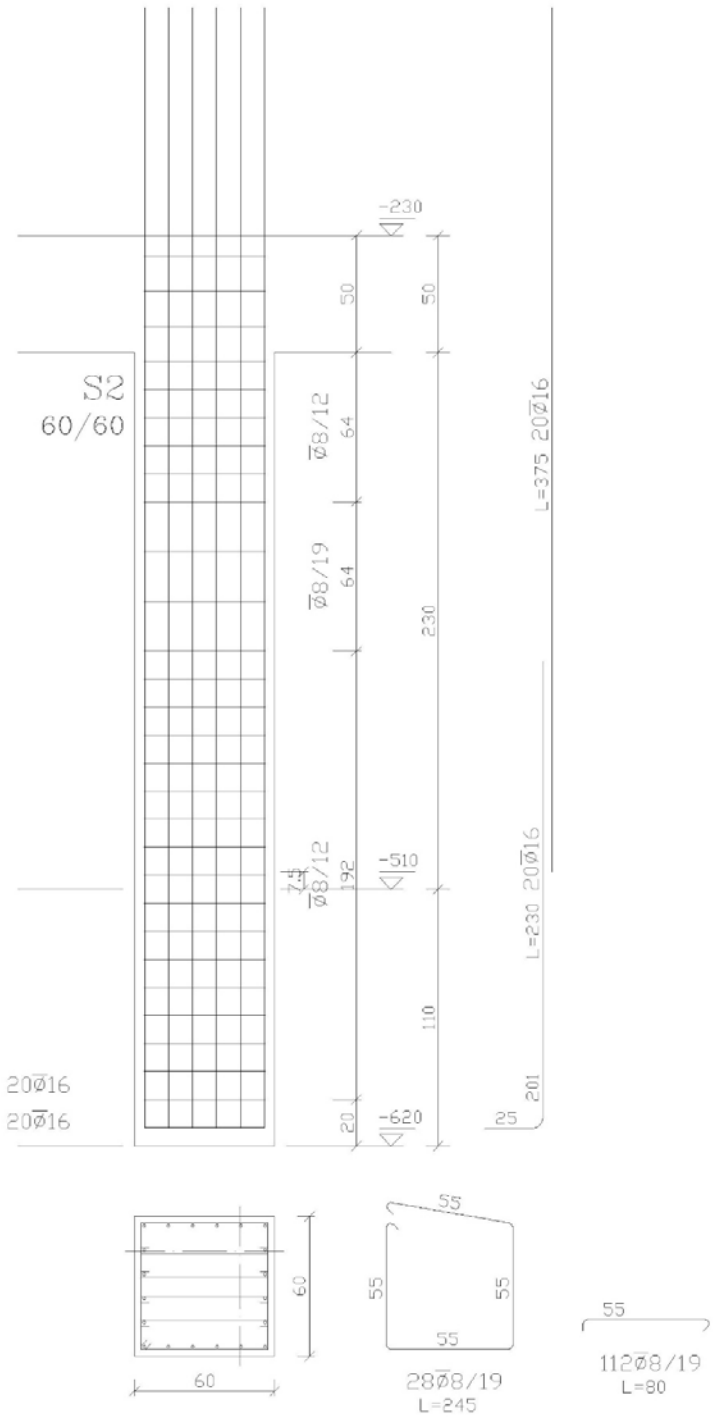
EK B



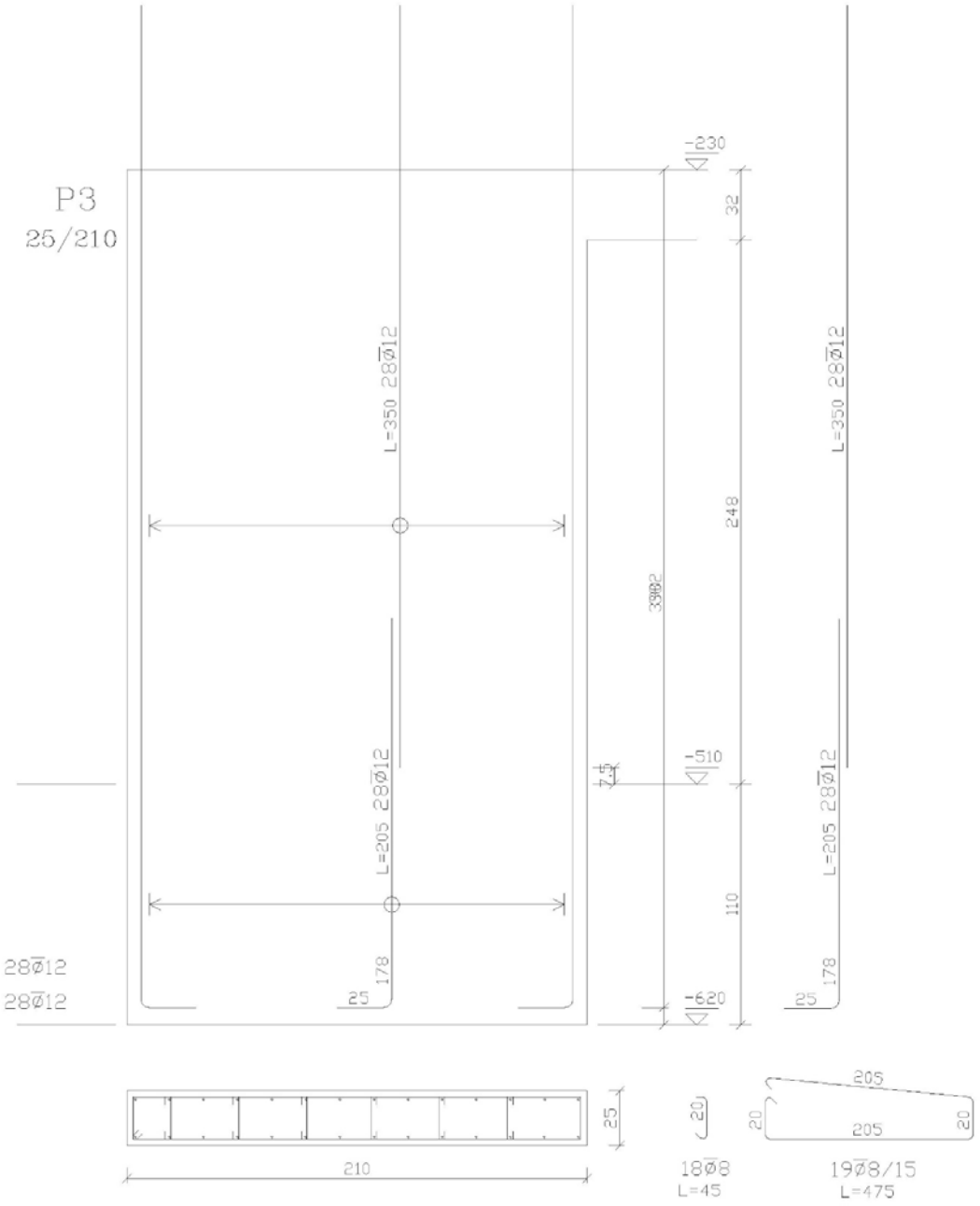
Şekil B.1: Kiriş kesit açılımı.



Şekil B.2 : Kiriş kesit açılımı.



Şekil B.3 : Kolon kesit açılımı.



Şekil B.4 : Asansör perdesi kesit açılımı.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad **:** Gökhan GÜNGÖR

Doğum Tarihi ve Yeri **:** 1990/Düzce

E-posta **:** gokhangungor1923@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** **:** 2013, Dokuz Eylül Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM :

- 2015 den beri ETG firmasında proje yöneticisi ve ERP yazılım danışmanı olarak çalışmaktayım.