

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DÜZENSİZ BETONARME YAPILARDA GELİŞTİRİLMİŞ N2  
METODUNUN UYGULANMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Yiğit İNCÜCÜK**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Yapı Mühendisliği Programı**

**NİSAN 2017**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DÜZENSİZ BETONARME YAPILARDA GELİŞTİRİLMİŞ N2  
METODUNUN UYGULANMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Yiğit İNCÜCÜK  
(501101063)**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Yapı Mühendisliği Programı**

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

**NİSAN 2017**



İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501101063 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Yiğit İNCÜCÜK, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “DÜZENSİZ BETONARME YAPILARDA GELİŞTİRİLMİŞ 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. Turgut ÖZTÜRK** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Doç. Dr. Murat Serdar KIRÇIL** .....  
Yıldız Teknik Üniversitesi

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





*Aileme,*





## ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezimi hazırlama sürecinde benden bilgi birikimini ve deneyimini esirgemeyerek beni sürekli motive eden danışman hocam Öğr. Gör. Dr. Reşat Atalay OYGUÇ'a sonsuz teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim. Hayatım boyunca her türlü desteği bana sunan aileme ve dayım Opr. Dr. Mehmet DURAN'a sevgi ve saygılarımı sunarım. Ayrıca tezimi hazırlama sürecinde bana yardımcı olan Sertaç ERSOY, Mert ÇAĞLAR ve meslektaşlarım Kıvan İPEKAR ile Çağatay TOROS'a teşekkür ederim. Son olarak tezim kapsamında gerekli analizleri yapmam için bilgisayar laboratuvarlarını kullanmama izin veren başta Işık Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölüm Başkanı Doç. Dr. Olcay Taner YILDIZ ve Yar. Doç. Dr. Emine EKİN olmak üzere bütün Işık Üniversitesi personeline şükranlarımı sunarım.

Mart 2017

Yiğit İNCÜCÜK  
(İnşaat Mühendisi)



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖNSÖZ .....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
KISALTMALAR .....	xi
SEMBOLLER.....	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xvii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xix
ÖZET .....	xxvii
SUMMARY.....	xxxii
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1 Düzensiz Yapılar .....	3
1.1.1 DBYBHY 20007’de düzensiz yapılar .....	3
1.1.1.1 Planda düzensizlik durumları .....	3
1.1.1.2 Düşey doğrultuda düzensizlik durumları .....	5
1.1.2 Eurocode 8’de yapısal düzensizlikler .....	8
1.1.2.1 Planda düzensizlik .....	8
1.1.2.2 Düşeyde düzensizlik .....	9
1.2 Tezin Amacı.....	10
<b>2. YAZIN TARAMA.....</b>	<b>11</b>
2.1 Doğrusal Olmayan Statik Analiz Yöntemleri .....	11
2.1.1 Planda simetrik yapılar için doğrusal olmayan statik analiz yöntemleri ...	12
2.1.1.1 Sabit tek kuvvet vektörüne dayanan doğrusal olmayan statik analizi	12
2.1.1.2 Sabit çok modlu kuvvet vektörüne dayanan doğrusal olmayan statik analiz.....	13
2.1.1.3 Uyarlanmış kuvvet vektörüne dayanan itme analizi.....	14
2.1.2 Planda simetrik olmayan yapılar için doğrusal olmayan statik analiz yöntemleri.....	16
2.2 ATC 40 ve ASCE-41’de Doğrusal Olmayan Statik İtme Metodu.....	17
2.3 N2 Metodu .....	23
2.3.1 Eurocode elastik tepki spektrumu .....	28
2.4 Geliştirilmiş N2 ve Mod Birleştirme Metotları.....	30
2.4.1 Mod birleştirme metodu.....	30
2.4.2 Geliştirilmiş N2 metodu.....	31
2.5 Klasik Artımsal İtme Analizi Yöntemlerinin Kıyaslanması.....	32
<b>3. DEPREM KAYDI SEÇİMİ.....</b>	<b>55</b>
<b>4. MODELLEME.....</b>	<b>59</b>
4.1 Kullanılan Analiz Programları .....	59
4.1.1 Elamanların analitik modellenmesi .....	59
4.1.2 Malzeme modelleri.....	61
4.1.2.1 Sargısız ve sargılı beton modeli .....	61
4.1.2.2 Donatı çeliği modeli.....	62

4.2 İncelenen Yapılar .....	63
4.2.1 SPEAR yapısı .....	63
4.2.2 ICON çerçevesi.....	66
4.2.3 Okul Binası .....	70
<b>5. ANALİZ SONUÇLARI.....</b>	<b>75</b>
5.1 Özdeğer Analizi Sonuçları ve Mod Şekilleri.....	75
5.2 İtme Analizi Sonuçları .....	78
5.2.1 SPEAR yapısı itme analizi sonuçları .....	78
5.2.1.1 SPEAR yapısı X yönü için N2 metodunun uygulanması.....	79
5.2.1.2 SPEAR yapısı Y yönü için N2 metodunun uygulanması.....	83
5.2.1.3 SPEAR yapısı itme analizi sonucu oluşan plastik mafsallar .....	84
5.2.1.4 SPEAR yapısı için geliştirilmiş N2 metodunun uygulanması.....	85
5.2.2 ICON çerçevesi itme analizi sonuçları.....	89
5.2.2.1 ICON çerçevesi için N2 metodunun uygulanması.....	90
5.2.2.2 ICON çerçevesi itme analizi sonucu oluşan plastik mafsallar .....	93
5.2.2.3 ICON çerçevesi için geliştirilmiş N2 metodunun uygulanması.....	94
5.2.3 Okul binası itme analizi sonuçları.....	95
5.2.3.1 Okul binası X yönü için N2 metodunun uygulanması .....	96
5.2.3.2 Okul binası Y yönü için N2 metodunun uygulanması .....	98
5.2.3.3 Okul binası itme analizi sonucu oluşan plastik mafsallar.....	101
5.2.3.4 Okul binası için geliştirilmiş N2 metodunun uygulanması .....	104
5.3 Zaman tanım alanında yapılan dinamik hesaplar .....	107
5.3.1 SPEAR yapısı için ZTA sonuçları .....	108
5.3.2 ICON çerçevesi için ZTA sonuçları.....	116
5.3.3 Okul binası için ZTA sonuçları .....	122
<b>6. SONUÇLARIN İRDELENMESİ.....</b>	<b>131</b>
6.1 SPEAR İçin Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması.....	131
6.2 ICON Çerçevesi İçin Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması.....	134
6.3 Okul Binası İçin Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması .....	135
6.3.1 Okul binasının bodrum kat perdeleri olmayan halinin incelenmesi .....	137
6.4 Geliştirilmiş N2 Metodunu Baz Alan Yöntem Önerisi.....	140
6.5 Plastik Mafsallar .....	143
<b>7. SONUÇLAR .....</b>	<b>149</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>151</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>157</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>163</b>

## KISALTMALAR

<b>AD</b>	: İvme-Yer değiştirme
<b>ASCE-41</b>	: American Society of Civil Engineers-41
<b>ATC-40</b>	: Applied Technology Council-40
<b>ÇSDS</b>	: Çok Serbestlik Dereceli Sistem
<b>DBYBHY</b>	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007
<b>Eurocode 2</b>	: Betonarme Yapıların Tasarımı Avrupa Şartnamesi
<b>Eurocode 8</b>	: Eurocode 8
<b>ELSA</b>	: European Laboratory for Structural Assesment
<b>MMPA</b>	: Çok Modlu İtme Analizi
<b>MPA</b>	: Modal İtme Analizi
<b>FEMA</b>	: Federal Emergency Management Agency
<b>PEER</b>	: Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi
<b>RSA</b>	: Elastik Tepki Spektrumu Analizi (Response Spectrum Analysis)
<b>IDA</b>	: Artımsal Dinamik Analiz
<b>ICONS</b>	: Innovative Concepts for Seismic Design of New and Existing Structures
<b>SAP</b>	: Integrated Software for Structural Analysis and Design
<b>SPEAR</b>	: Seismic Performance Assessment and Rehabilitation
<b>TSDS</b>	: Tek Serbestlik Dereceli Sistem
<b>UMRHA</b>	: Ayrık Modal Tepki Analizi
<b>YKY</b>	: Yer değiştirme katsayıları yöntemi
<b>ZTA</b>	: Zaman Tanım Alanında Analiz



## SEMBOLLER

<b>A(T)</b>	: Spektral ivme katsayısı
<b>A<sub>0</sub></b>	: Etkin yer ivmesi katsayısı
<b>ΣA<sub>e</sub></b>	: Herhangi bir katta, göz önüne alınan deprem doğrultusunda etkili kesme alanı
<b>ΣA<sub>g</sub></b>	: Herhangi bir katta, gözönüne alınan deprem doğrultusuna paralel doğrultuda perde olarak çalışan taşıyıcı sistem elemanlarının en kesit alanlarının toplamı
<b>ΣA<sub>k</sub></b>	: Herhangi bir katta, göz önüne alınan deprem doğrultusuna paralel kargir dolgu duvar alanlarının (kapı ve pencere boşlukları hariç) toplamı
<b>ΣA<sub>w</sub></b>	: Herhangi bir katta, kolon enkesiti etkin gövde alanlarının toplamı
<b>b</b>	: T kesitin gerçek tabla genişliği
<b>b<sub>eff</sub></b>	: Efektif tabla genişliği
<b>b<sub>w</sub></b>	: Kirişin gövde genişliği
<b>c<sub>E</sub></b>	: Düşey düzensizlik düzeltme katsayısı
<b>c<sub>NORM</sub></b>	: Normalizasyon katsayısı
<b>c<sub>T</sub></b>	: Burulma için düzeltme katsayısı
<b>C<sub>0</sub></b>	: Eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemin spektral yerdeğiştirmesini, çok serbestlik dereceli bir sistemin tepe yerdeğiştirmesi ile ilişkilendiren katsayıdır.
<b>C<sub>1</sub></b>	: Doğrusal elastik davranış için hesaplanmış yerdeğiştirmeler ile beklenen maksimum elastik olmayan yer değiştirmeleri ilişkilendiren katsayı
<b>C<sub>2</sub></b>	: Tekrarlı yükler altında çevrimsel yer değiştirme davranışı üzerinde rijitlik azalması, dayanım kaybı ve pinching etkisini (dinamik yükler altında çatlakların açılıp kapanmasının ve donatı sıyrılmasının iç kuvvet-şekildeğiştirme bağıntısına olan etkisi) temsil eden değişiklik katsayısı
<b>C<sub>3</sub></b>	: II. Mertebe etkileri nedeniyle arttırılmış yer değiştirmeleri temsil eden değişiklik katsayıdır.
<b>D<sub>t</sub></b>	: ÇSDS'in tepe yer değiştirmesi
<b>D*</b>	: TSDS'in yer değiştirmesi
<b>D<sub>y</sub>*</b>	: İndirgenmiş eşdeğer TSDS'in akma deplasmanı
<b>e<sub>0x,y</sub></b>	: eksantrisite
<b>E</b>	: Elastisite modülü
<b>F</b>	: Yanal dış yük
<b>F<sub>y</sub>*</b>	: İndirgenmiş eşdeğer TSDS'in akma dayanımı
<b>f<sub>c</sub></b>	: Sargılı beton dayanımı
<b>f<sub>t</sub></b>	: Sargılı beton çekme dayanımı
<b>g</b>	: Yerçekimi İvmesi
<b>G</b>	: Binanın toplam sabit yükü
<b>l<sub>s</sub></b>	: atalet yarı çapı

$l_0$	: Momentin sıfır olduğu noktalar arasındaki mesafe
$K$	: Sargılama faktörü
$k^*$	: İndirgenmiş eşdeğer TSDS'in rijitliği
$K$	: Sargılama faktörü
$K_b$	: Başlangıç rijitliği
$K_e$	: Etkili yatay rijitlik
$K_i$	: Yapının başlangıç yatay rijitliği
$K_s$	: Yapının akma sonrası rijitliği
$L$	: Kiriş uzunluğu
$M$	: Kütle matrisi
$M_n^*$	: Genelleştirilmiş kütle
$N$	: Yapıdaki kat sayısı
$P$	: Binaya etkiyen kesme kuvveti
$Q$	: Binaya etkiyen toplam hareketli yük
$r_{x,y}$	: kat burulma yarı çapı
$R$	: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
$R_\mu$	: İndirgeme katsayısı
$S$	: Zemin faktörü
$S(T)$	: Spektrum katsayısı
$S_{ac}(T)$	: Elastik spektral ivme
$S_{de}(T)$	: Elastik yer değiştirme
$t$	: Zaman
$T$	: Bina doğal titreşim periyodu
$T_i$	: Elemanların gerçek (çatlamış) rijitlikleri kullanılarak hesaplanan birinci doğal titreşim periyodunu
$T^*$	: İndirgenmiş eşdeğer TSDS'in periyodu
$T_1$	: Binanın birinci doğal titreşim periyodu
$T_e$	: Efektik periyot
$T_B$	: 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
$V_{bn}$	: n'inci mod taban kesme kuvveti.
$W$	: Binanın toplam ağırlığı
$\Delta_i$	: Binanın i'inci katındaki azaltılmış görelî kat ötelemesi
$(\Delta_i)_{maks}$	: Binanın i'inci katındaki maksimum azaltılmış görelî kat ötelemesi
$(\Delta_i)_{ort}$	: Binanın i'inci katındaki ortalama azaltılmış görelî kat ötelemesi
$\delta_t$	: Hedef tepe yer değiştirme
$\delta_i$	: Binanın i'inci katındaki etkin görelî kat ötelemesi
$\epsilon_{cu}$	: Sargılı betonun maksimum gerilmeye ulaştığı birim şekil değiştirme değeri
$\epsilon_{su}$	: Donatı çeliğinin kopma birim şekil değiştirme
$\epsilon_{sy}$	: Donatı çeliğinin akma birim şekil değiştirme
$\phi_{rn}$	: n'inci mod genliği
$\mu$	: Sönüme bağlı faktör
$\mu E$	: Donatı çeliğinin pekleşme katsayısı
$\eta$	: %5 viskoz sönüm oranı için 1 olan sönüm düzeltme katsayısı
$\eta_{bi}$	: i'inci katta tanımlanan burulma düzensizliği katsayısı
$\eta_{ci}$	: i'inci katta tanımlanan dayanım düzensizliği katsayısı
$\eta_{ki}$	: i'inci katta tanımlanan rijitlik düzensizliği katsayısı
$\Gamma$	: Modal katılım katsayısı



$\sigma_{xy}$  : Çeliğin akma dayanımı  
{ $\Phi$ } : Zamandan bağımsız yer değiştirme şekli  
{1} : Birim matris





## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

Çizelge 1.1	: Analiz yöntemlerinin uygulama alanları [6].	2
Çizelge 1.2	: Doğrusal olmayan yöntemlerin karşılaştırılması [6].	3
Çizelge 2.1	: $C_0$ katsayıları [31].	21
Çizelge 2.2	: $C_m$ katsayıları [31].	22
Çizelge 2.3	: $C_2$ katsayıları [31].	22
Çizelge 2.4	: Elastik tepki spektrumu için zemin sınıflarına göre parametreler [3].	30
Çizelge 4.1	: Yapısal modellerin beton modelleri ile ilgili parametreler.	61
Çizelge 4.2	: Yapısal modellerde kullanılan donatı çubuğu parametreleri.	62
Çizelge 4.3	: SPEAR yapısına ait düzensizlik parametreleri [52].	64
Çizelge 4.4	: Okul binası düzensizlik katsayıları.	70
Çizelge 5.1	: SPEAR yapısı özdeğer analizi sonuçları.	75
Çizelge 5.2	: ICON çerçevesi özdeğer analizi sonuçları.	75
Çizelge 5.3	: Okul binası özdeğer analizi sonuçları.	76
Çizelge 5.4	: SPEAR yapısı X yönü yatay yük dağılımı.	78
Çizelge 5.5	: SPEAR yapısı Y yönü yatay yük dağılımı.	79
Çizelge 5.6	: SPEAR yapısı -X yönü N2 analizi sonuçları.	82
Çizelge 5.7	: SPEAR yapısı Y yönü N2 metodu değerleri.	84
Çizelge 5.8	: SPEAR yapısı itme analizi (N2) sonucu oluşan plastik mafsalsayıları.	85
Çizelge 5.9	: N2 metodu ve RSA için SPEAR yapısına ait X yönü yer değiştirme ve görel kat ötelemesi değerleri.	86
Çizelge 5.10	: SPEAR yapısı için X yönü düzeltme katsayıları.	86
Çizelge 5.11	: N2 metodu ve RSA için SPEAR yapısına ait Y yönü yer değiştirme ve görel kat ötelemesi değerleri.	88
Çizelge 5.12	: SPEAR yapısı için Y yönü düzeltme katsayıları.	89
Çizelge 5.13	: ICON çerçevesine ait yatay yük dağılımı.	89
Çizelge 5.14	: ICON çerçevesi -X yönü N2 analizi sonuçları.	92
Çizelge 5.15	: ICON çerçevesi itme analizi (N2) sonucu oluşan plastik mafsalsayıları.	93
Çizelge 5.16	: N2 metodu ve RSA için ICON çerçevesine ait X yönü yer değiştirme ve görel kat ötelemesi değerleri.	94
Çizelge 5.17	: ICON çerçevesi için X yönü düzeltme katsayıları.	95
Çizelge 5.18	: Okul binası X yönü yatay yük dağılımı.	95
Çizelge 5.19	: Okul binası Y yönü yatay yük dağılımı.	95
Çizelge 5.20	: Okul binası -X yönü N2 analizi sonuçları.	98
Çizelge 5.21	: Okul binası -Y doğrultusu için N2 analizi sonuçları.	101
Çizelge 5.22	: Okul binası itme analizi (N2) sonucu oluşan plastik mafsalsayıları.	101

<b>Çizelge 5.23</b> : N2 metodu ve RSA için okul binasına ait X yönü yer değiştirme ve görelî kat ötelemesi değerleri. ....	<b>104</b>
<b>Çizelge 5.24</b> : Okul binası için X yönü düzeltme katsayıları. ....	<b>104</b>
<b>Çizelge 5.25</b> : N2 metodu ve RSA için okul binasına ait Y yönü yer değiştirme ve görelî kat ötelemesi değerleri. ....	<b>106</b>
<b>Çizelge 5.26</b> : Okul binası için Y yönü düzeltme katsayıları. ....	<b>106</b>
<b>Çizelge 5.27</b> : SPEAR yapısı için ZTA sonucu oluşan plastik mafsal sayıları. ....	<b>115</b>
<b>Çizelge 5.28</b> : ICON çerçevesi için ZTA sonucu oluşan plastik mafsal sayıları.....	<b>120</b>
<b>Çizelge 5.29</b> : Okul binası için ZTA sonucu oluşan plastik mafsal sayıları. ....	<b>127</b>
<b>Çizelge 6.1</b> : Okul binasında X yönü için önerilen yeni katsayılar.....	<b>141</b>



## ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1	: Burulma düzensizliği durumu [7]..... 4
Şekil 1.2	: Döşeme süreksizliği durumu [7]. ..... 5
Şekil 1.3	: Planda çıkıntılar bulunması durumu [7]. ..... 5
Şekil 1.4	: Komşu katlar arası dayanım düzensizliği durumu [8]. ..... 6
Şekil 1.5	: Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği durumu [9]. ..... 7
Şekil 1.6	: Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği durumu [7]. ..... 7
Şekil 1.7	: Eurocode 8’de yer alan düşeyde düzensizlik durumları [3]. ..... 9
Şekil 2.1	: Doğrusal olmayan statik analiz adımları [4]..... 12
Şekil 2.2	: ÇSDS analizinde Q modeli [14]. ..... 13
Şekil 2.3	: Modal itme analizinin konsepti [18]. ..... 14
Şekil 2.4	: İtme eğrisinden TSDS’in hesaplanması [18]..... 14
Şekil 2.5	: Klasik ve uyarlamalı artımsal itme analizi eğrilerinin düzenli ve düzensiz yapılar için kıyaslanması [6]..... 16
Şekil 2.6	:Kapasite eğrisinden kapasite spektrumuna geçiş ve talep spektrumunun kapasite spektrumu ile kesiştirilmesi [1]. ..... 18
Şekil 2.7	: Kapasite eğrisinin iki doğru parçası ile idealleştirilmesi için önerilen 4 metot [32]..... 19
Şekil 2.8	: Kapasite eğrisinin iki doğru parçası ile idealleştirilmesi [31]. ..... 20
Şekil 2.9	: İdealize edilmiş kuvvet-deplasman eğrisi [33]. ..... 22
Şekil 2.10	: Tipik elastik ivme-zaman ve elastik ivme-yerdeğiştirme spektrumları [36]. ..... 23
Şekil 2.11	: 1,0 g maksimum yerçekimi ivmesi için sabit sönümlerdeki AD formatında talep spektrumu [36]..... 24
Şekil 2.12	: $R_{\mu}$ için yaklaşık spektrum [37]..... 25
Şekil 2.13	: FEMA-356’da itme analizi için önerilen yatay yük modelleri (uniform kütle dağılımı olduğu varsayılmıştır) [31]. ..... 25
Şekil 2.14	: Elastik ve elastik olmayan talep spektrumları ile kapasite diyagramının orta ve uzun periyot aralığı için kesiştirilmesi [36]..... 27
Şekil 2.15	: Elastik ve elastik olmayan talep spektrumları ile kapasite diyagramının kısa periyot aralığı için kesiştirilmesi [36]. ..... 28
Şekil 2.16	: Eurocode 8’de yer alan elastik tepki spektrumu [3]..... 29
Şekil 2.17	: B zemin sınıfı ve $a_g=0,4$ için elastik spektrum. .... 30
Şekil 2.18	: 2, 4 ve 8 katlı yapılar için bulunan hedef tepe noktası yer değiştirmelerinin hesaplanması [42]. ..... 32
Şekil 2.19	: 2 katlı yapının zaman tanım alanında analiz sonuçları ile ASCE 41 yer değiştirme katsayıları yöntemi sonuçlarının tepe noktası yer değiştirmeleri açısından kıyaslanması [42]..... 33
Şekil 2.20	: 2 katlı yapının zaman tanım alanında analiz sonuçları ile ASCE 41 yer değiştirme katsayıları yöntemi sonuçlarının kat ötelemeleri oranı açısından kıyaslanması [42]..... 33

<b>Şekil 2.21</b>	: 4 katlı yapının zaman tanım alanında analiz sonuçları ile ASCE 41 yer değiştirme katsayıları yöntemi sonuçlarının tepe noktası yer değiştirmeleri açısından kıyaslanması [42].	<b>33</b>
<b>Şekil 2.22</b>	: 4 katlı yapının zaman tanım alanında analiz sonuçları ile ASCE 41 yer değiştirme katsayıları yöntemi sonuçlarının kat ötelemeleri oranı açısından kıyaslanması [42].	<b>34</b>
<b>Şekil 2.23</b>	: 8 katlı yapının zaman tanım alanında analiz sonuçları ile ASCE 41 yer değiştirme katsayıları yöntemi sonuçlarının tepe noktası yer değiştirmeleri açısından kıyaslanması [42].	<b>34</b>
<b>Şekil 2.24</b>	: 8 katlı yapının zaman tanım alanında analiz sonuçları ile ASCE 41 yer değiştirme katsayıları yöntemi sonuçlarının kat ötelemeleri oranı açısından kıyaslanması [42].	<b>34</b>
<b>Şekil 2.25</b>	: İncelenen düzenli ve düzensiz betonarme yapılar [43].	<b>35</b>
<b>Şekil 2.26</b>	: İncelenen yapıların boy kesitleri [43].	<b>35</b>
<b>Şekil 2.27</b>	: 3 katlı düzenli bir betonarme yapıda İtme analizi yöntemlerinin artımsal dinamik analiz sonuçlarıyla tepe noktası ötelemeleri açısından kıyaslanması [43].	<b>36</b>
<b>Şekil 2.28</b>	: 3 katlı düzenli bir betonarme yapıda İtme analizi yöntemlerinin maksimum görelî kat ötelemeleri ve tepe noktası ötelemeleri açısından kıyaslanması[43].	<b>36</b>
<b>Şekil 2.29</b>	: 3 katlı düzensiz bir betonarme yapıda İtme analizi yöntemlerinin maksimum görelî kat ötelemeleri ve tepe noktası ötelemeleri açısından kıyaslanması[43].	<b>36</b>
<b>Şekil 2.30</b>	: 6 katlı düzenli bir betonarme yapıda İtme analizi yöntemlerinin maksimum görelî kat ötelemeleri ve tepe noktası ötelemeleri açısından kıyaslanması [43].	<b>37</b>
<b>Şekil 2.31</b>	: 6 katlı düzensiz bir betonarme yapıda İtme analizi yöntemlerinin maksimum görelî kat ötelemeleri ve tepe noktası ötelemeleri açısından kıyaslanması [43].	<b>37</b>
<b>Şekil 2.32</b>	: İncelenen yapının plan ve boy kesit görünümü [36].	<b>38</b>
<b>Şekil 2.33</b>	: İki serbestlik dereceli sistemin grafiksel dönüşümü ve itme eğrisinin iki doğrulu hale getirilmesi [36].	<b>39</b>
<b>Şekil 2.34</b>	: Kapasite eğrisinin ölçeklendirilmiş elastik tepki spektrumuyla çakıştırılarak TSDS'in hedef tepe yer değiştirmesinin bulunması [36].	<b>39</b>
<b>Şekil 2.35</b>	: Yer değiştirme, kat ötelemesi ve dönme değerleri [36].	<b>40</b>
<b>Şekil 2.36</b>	: Kullanılan kayıtların frekans tanım alanında ölçeklendirilmesi [41].	<b>41</b>
<b>Şekil 2.37</b>	: İtme analizi eğrileri ve bunların iki doğrultulu hale getirilmesi [41].	<b>42</b>
<b>Şekil 2.38</b>	: İtme analizi eğrilerinin elastik ve elastik olmayan talep spektrumlarıyla çakıştırılması [41].	<b>42</b>
<b>Şekil 2.39</b>	: N2 metodu, modal analiz ve zaman tanım alanında analiz sonuçlarının burulma etkileri açısından karşılaştırılması [41].	<b>42</b>
<b>Şekil 2.40</b>	: Analiz sonuçlarından elde edilen en üst katta yer alan plandaki yer değiştirmelerin kıyaslanması [41].	<b>43</b>
<b>Şekil 2.41</b>	: SPEAR için bulunan sonuçlar [41].	<b>43</b>
<b>Şekil 2.42</b>	: 3 katlı yapı, 9 katlı yapı ve 20 katlı yapının boy kesitleri [35].	<b>44</b>
<b>Şekil 2.43</b>	: Seçilen ivme kayıtlarının $S_{ae}=0.5g$ spektral ivmeye göre ölçeklendirilmiş ivme spektrumu [35].	<b>45</b>
<b>Şekil 2.44</b>	: Seçilen yapılar için farklı yer hareketi şiddeti için birinci moddaki spektral ivme $S_{ae}(g)$ ve maksimum yer ivmesi değerleri [35].	<b>45</b>

<b>Şekil 2.45</b>	: İncelenen yapıların itme eğrisi ve zaman tanım alanında analizden elde edilen tepe noktası yer değiştirmesi değerleri [35].	46
<b>Şekil 2.46</b>	: Çeşitli analiz yöntemlerinin zaman tanım alanındaki analizlere göre hata payları [35].	46
<b>Şekil 2.47</b>	: Yapıda bulunan kat sayısının ve yer hareketi şiddetinin, doğrusal olmayan yöntemlerden elde edilen alt, orta ve üst katlarda oluşan kat ötelemesine olan etkisi [35].	47
<b>Şekil 2.48</b>	: 3, 9, 20 katlı LA yapısı için farklı yer ivmeleri altında analiz yöntemlerinin kat ötelemeleri açısından kıyaslanması [35].	48
<b>Şekil 2.49</b>	: İncelenen 8 katlı yapı [40].	49
<b>Şekil 2.50</b>	: Yapının hakim mod şekli [40].	49
<b>Şekil 2.51</b>	: İtme eğrisi [40].	50
<b>Şekil 2.52</b>	: İtme eğrisinin elasto-plastik iki doğrultulu hale getirilmesi [40].	50
<b>Şekil 2.53</b>	: Yükseklik boyunca oluşan yer değiştirme düzeltme katsayıları [40].	51
<b>Şekil 2.54</b>	: Yükseklik boyunca oluşan kat ötelemesi düzeltme katsayıları [40].	51
<b>Şekil 2.55</b>	: Planda oluşan düzeltme katsayıları [40].	52
<b>Şekil 2.56</b>	: N2, geliştirilmiş N2 ve doğrusal olmayan zaman tanım alanındaki analiz sonuçları [40].	52
<b>Şekil 2.57</b>	: N2, geliştirilmiş N2 ve doğrusal olmayan zaman tanım alanındaki analizlerden elde edilen planda farklı noktalarda yer alan noktaların yükseklik boyunca oluşan yer değiştirme ve kat ötelemesi sonuçları [40].	53
<b>Şekil 2.58</b>	: N2, geliştirilmiş N2 ve zaman tanım alanında analiz sonucu oluşan tepe yer değiştirmelerinin planda karşılaştırılması [40].	53
<b>Şekil 2.59</b>	: Esnek kenardaki deplasman ve kat öteleme grafiği [40].	54
<b>Şekil 3.1</b>	: $R_{jb}$ ve $R_{rup}$ değerlerinin şematik anlatımı [45].	56
<b>Şekil 3.2</b>	: Seçilen deprem kayıtlarının 0.2g maksimum yer ivmesi için $S_a$ -periyot grafiği.	57
<b>Şekil 3.3</b>	: Seçilen deprem kayıtlarının 0.4g maksimum yer ivmesi için $S_a$ -periyot grafiği.	57
<b>Şekil 4.1</b>	: Betonarme kesitlerin fiber modeli [49].	59
<b>Şekil 4.2</b>	: Etkin tabla genişliği parametreleri [50].	60
<b>Şekil 4.3</b>	: $l_0$ parametresinin hesabı [50].	60
<b>Şekil 4.4</b>	: Perde ve kolonların kirişlere rijit çubuklarla bağlanması.	61
<b>Şekil 4.5</b>	: Zeus NL'de beton gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi [48].	62
<b>Şekil 4.6</b>	: Zeus NL'de donatı çeliği şekil değiştirme ilişkisi [48].	62
<b>Şekil 4.7</b>	: Spear yapısına ait ELSA, İspra laboratuvarında test edilen model [10].	64
<b>Şekil 4.8</b>	: SPEAR yapısı plan görünümü [53].	65
<b>Şekil 4.9</b>	: Spear Yapısına ait giriş detayı [53].	65
<b>Şekil 4.10</b>	: SPEAR yapısına ait giriş ve kolon kesitleri [53].	66
<b>Şekil 4.11</b>	: SPEAR yapısı ZeusNL analiz program modeli.	66
<b>Şekil 4.12</b>	: ELSA laboratuvarında test edilen ICON çerçeveleri [54].	67
<b>Şekil 4.13</b>	: ICON çerçeve planı [55].	68
<b>Şekil 4.14</b>	: ICON çerçevesi yandan görünüş [55].	68
<b>Şekil 4.15</b>	: ICON çerçevesi Zeus NL modeli.	69
<b>Şekil 4.16</b>	: ICON çerçevesi tipik kesitleri [55].	69
<b>Şekil 4.17</b>	: Okul binasına ait tipik kesitler [56].	70
<b>Şekil 4.18</b>	: Okul binası tipik plan görünümü.	71
<b>Şekil 4.19</b>	: Okul binasına ait Zeus NL modeli.	72

<b>Şekil 4.20</b>	: Van bölgesinde hasar gören yapıların istatistiksel incelemesi [57]....	72
<b>Şekil 5.1</b>	: SPEAR yapısı Zeus NL analiz programı özdeğer analizi sonuçları ve mod şekilleri. ....	76
<b>Şekil 5.2</b>	: ICON çerçevesi Zeus NL analiz programı özdeğer analizi sonuçları ve mod şekilleri. ....	77
<b>Şekil 5.3</b>	: Okul binası Zeus NL analiz programı özdeğer analizi sonuçları ve mod şekilleri. ....	78
<b>Şekil 5.4</b>	: SPEAR yapısı itme analizi sonuçları. ....	79
<b>Şekil 5.5</b>	: SPEAR yapısı için +X yönünde eşdeğer TSDS'in taban kesme kuvveti-tepe noktası yer değiştirmesi eğrisinin iki doğrultulu hale getirilmesi. ....	80
<b>Şekil 5.6</b>	: $R_{\mu}$ ve $\mu$ için hesaplanan değerler. ....	81
<b>Şekil 5.7</b>	: Eşdeğer TSDS'in hedef tepe deplasmanının +X yönü için hesaplanması. ....	81
<b>Şekil 5.8</b>	: SPEAR yapısı için -X yönünde eşdeğer TSDS'in taban kesme kuvveti-tepe noktası yer değiştirmesi eğrisinin iki doğrultulu hale getirilmesi. ....	82
<b>Şekil 5.9</b>	: SPEAR yapısı için +Y yönünde eşdeğer TSDS'in taban kesme kuvveti-tepe noktası yer değiştirmesi eğrisinin iki doğrultulu hale getirilmesi. ....	83
<b>Şekil 5.10</b>	: SPEAR yapısı için -Y yönünde eşdeğer TSDS'in taban kesme kuvveti-tepe noktası yer değiştirmesi eğrisinin iki doğrultulu hale getirilmesi. ....	84
<b>Şekil 5.11</b>	: SPEAR yapısı hedef tepe deplasmana göre kapasite eğrileri. ....	84
<b>Şekil 5.12</b>	: SPEAR yapısında X yönünde itme analizi (N2 metodu) sonucu oluşan plastik mafsallar. ....	85
<b>Şekil 5.13</b>	: SPEAR yapısında X yönünde itme analizi (N2 metodu) sonucu oluşan plastik mafsallar. ....	85
<b>Şekil 5.14</b>	: Düşeydeki yer değiştirmelerin karşılaştırılması ve düzeltme katsayıları. ....	86
<b>Şekil 5.15</b>	: Düşeydeki görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması ve düzeltme katsayıları. ....	87
<b>Şekil 5.16</b>	: Plandaki düzensizlikler için düzeltme katsayısı ( $C_T$ ). ....	87
<b>Şekil 5.17</b>	: Düşeydeki yer değiştirmelerin karşılaştırılması ve düzeltme katsayıları. ....	88
<b>Şekil 5.18</b>	: Düşeydeki görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması ve düzeltme katsayıları. ....	88
<b>Şekil 5.19</b>	: Plandaki düzensizlikler için düzeltme katsayısı ( $C_T$ ). ....	89
<b>Şekil 5.20</b>	: ICON çerçevesi itme analizi sonuçları. ....	89
<b>Şekil 5.21</b>	: ICON çerçevesi için +X yönünde eşdeğer TSDS'in taban kesme kuvveti-tepe noktası yer değiştirmesi eğrisinin iki doğrultulu hale getirilmesi. ....	90
<b>Şekil 5.22</b>	: Eşdeğer TSDS'in hedef tepe deplasmanının +X yönü için hesaplanması. ....	91
<b>Şekil 5.23</b>	: ICON çerçevesi için -X yönünde eşdeğer TSDS'in taban kesme kuvveti-tepe noktası yer değiştirmesi eğrisinin iki doğrultulu hale getirilmesi. ....	92
<b>Şekil 5.24</b>	: ICON çerçevesi hedef tepe deplasmana göre kapasite eğrileri. ....	93
<b>Şekil 5.25</b>	: ICON çerçevesi itme analizi (N2 metodu) sonucu oluşan plastik mafsallar. ....	93



<b>Şekil 5.26</b>	: Düşeydeki yer değiştirmelerin karşılaştırılması ve düzeltme katsayıları.....	<b>94</b>
<b>Şekil 5.27</b>	: Düşeydeki görel kat ötelemelerinin karşılaştırılması ve düzeltme katsayıları.....	<b>95</b>
<b>Şekil 5.28</b>	: Okul binası itme analizi sonuçları.....	<b>96</b>
<b>Şekil 5.29</b>	: Okul binası için +X yönünde eşdeğer TSDS'in taban kesme kuvveti-tepe noktası yer değiştirmesi eğrisinin iki doğrultulu hale getirilmesi.	<b>97</b>
<b>Şekil 5.30</b>	: Okul binası için -X yönünde eşdeğer TSDS'in taban kesme kuvveti-tepe noktası yer değiştirmesi eğrisinin iki doğrultulu hale getirilmesi.	<b>98</b>
<b>Şekil 5.31</b>	: Okul binası için +Y yönünde eşdeğer TSDS'in taban kesme kuvveti-tepe noktası yer değiştirmesi eğrisinin iki doğrultulu hale getirilmesi.	<b>99</b>
<b>Şekil 5.32</b>	: Okul binası için -Y yönünde eşdeğer TSDS'in taban kesme kuvveti-tepe noktası yer değiştirmesi eğrisinin iki doğrultulu hale getirilmesi. .....	<b>100</b>
<b>Şekil 5.33</b>	: Okul binası için hedef tepe deplasmana göre kapasite eğrileri.....	<b>101</b>
<b>Şekil 5.34</b>	: Okul binasında X yönünde itme analizi (N2 metodu) sonucu oluşan plastik mafsallar. ....	<b>102</b>
<b>Şekil 5.35</b>	: Okul binasında Y yönünde itme analizi (N2 metodu) sonucu oluşan plastik mafsallar. ....	<b>103</b>
<b>Şekil 5.36</b>	: Düşeydeki yer değiştirmelerin karşılaştırılması ve düzeltme katsayıları.....	<b>104</b>
<b>Şekil 5.37</b>	: Düşeydeki görel kat ötelemelerinin karşılaştırılması ve düzeltme katsayıları.....	<b>105</b>
<b>Şekil 5.38</b>	: Plandaki düzensizlikler için düzeltme katsayısı ( $C_T$ ).....	<b>105</b>
<b>Şekil 5.39</b>	: Düşeydeki yer değiştirmelerin karşılaştırılması ve düzeltme katsayıları.....	<b>106</b>
<b>Şekil 5.40</b>	: Düşeydeki görel kat ötelemelerinin karşılaştırılması ve düzeltme katsayıları.....	<b>107</b>
<b>Şekil 5.41</b>	: Plandaki düzensizlikler için düzeltme katsayısı ( $C_T$ ).....	<b>107</b>
<b>Şekil 5.42</b>	: SPEAR yapısı San Fernando kaydı taban kesme-zaman ve yer değiştirme zaman grafikleri. ....	<b>108</b>
<b>Şekil 5.43</b>	: SPEAR yapısı Coalinga kaydı taban kesme-zaman ve yer değiştirme zaman grafikleri.....	<b>109</b>
<b>Şekil 5.44</b>	: SPEAR yapısı Loma Prieta kaydı taban kesme-zaman ve yer değiştirme zaman grafikleri. ....	<b>109</b>
<b>Şekil 5.45</b>	: SPEAR yapısı Cape Mendocino kaydı taban kesme-zaman ve yer değiştirme zaman grafikleri. ....	<b>109</b>
<b>Şekil 5.46</b>	: SPEAR yapısı Niigata kaydı taban kesme-zaman ve yer değiştirme zaman grafikleri.....	<b>109</b>
<b>Şekil 5.47</b>	: SPEAR yapısı Chuetsu kaydı taban kesme-zaman ve yer değiştirme zaman grafikleri.....	<b>110</b>
<b>Şekil 5.48</b>	: SPEAR yapısı Iwate kaydı taban kesme-zaman ve yer değiştirme zaman grafikleri.....	<b>110</b>
<b>Şekil 5.49</b>	: SPEAR yapısı San Fernando kaydı görel kat ötelemesi grafikleri. .	<b>110</b>
<b>Şekil 5.50</b>	: SPEAR yapısı Coalinga kaydı görel kat ötelemesi grafikleri.....	<b>111</b>
<b>Şekil 5.51</b>	: SPEAR yapısı Loma Prieta kaydı görel kat ötelemesi grafikleri.....	<b>111</b>
<b>Şekil 5.52</b>	: SPEAR yapısı Cape Mendocino kaydı görel kat ötelemesi grafikleri. .....	<b>112</b>
<b>Şekil 5.53</b>	: SPEAR yapısı Niigata kaydı görel kat ötelemesi grafikleri. ....	<b>112</b>
<b>Şekil 5.54</b>	: SPEAR yapısı Chuetsu kaydı görel kat ötelemesi grafikleri. ....	<b>113</b>

<b>Şekil 5.55</b>	: SPEAR yapısı Iwate kaydı görelî kat ötelemesi grafikleri.....	<b>113</b>
<b>Şekil 5.56</b>	: SPEAR yapısı ZTA sonucu oluşan plastik mafsallar. ....	<b>114</b>
<b>Şekil 5.57</b>	: ICON çerçevesi San Fernando kaydı taban kesme-zaman ve yer değiştirme zaman grafikleri. ....	<b>116</b>
<b>Şekil 5.58</b>	: ICON çerçevesi Coalinga kaydı taban kesme-zaman ve yer değiştirme zaman grafikleri. ....	<b>116</b>
<b>Şekil 5.59</b>	: ICON çerçevesi Loma Prieta kaydı taban kesme-zaman ve yer değiştirme zaman grafikleri. ....	<b>116</b>
<b>Şekil 5.60</b>	: ICON çerçevesi Cape Mendocino kaydı taban kesme-zaman ve yer değiştirme zaman grafikleri. ....	<b>117</b>
<b>Şekil 5.61</b>	: ICON çerçevesi Niigata kaydı taban kesme-zaman ve yer değiştirme zaman grafikleri. ....	<b>117</b>
<b>Şekil 5.62</b>	: ICON çerçevesi Chuetsu kaydı taban kesme-zaman ve yer değiştirme zaman grafikleri. ....	<b>117</b>
<b>Şekil 5.63</b>	: ICON çerçevesi Iwate kaydı taban kesme-zaman ve yer değiştirme zaman grafikleri. ....	<b>117</b>
<b>Şekil 5.64</b>	: ICON çerçevesi San Fernando kaydı görelî kat ötelemesi grafikleri. ....	<b>118</b>
<b>Şekil 5.65</b>	: ICON çerçevesi Coalinga kaydı görelî kat ötelemesi grafikleri.....	<b>118</b>
<b>Şekil 5.66</b>	: ICON çerçevesi Loma Prieta kaydı görelî kat ötelemesi grafikleri..	<b>118</b>
<b>Şekil 5.67</b>	: ICON çerçevesi Cape Mendocino kaydı görelî kat ötelemesi grafikleri. ....	<b>119</b>
<b>Şekil 5.68</b>	: ICON çerçevesi Niigata kaydı görelî kat ötelemesi grafikleri. ....	<b>119</b>
<b>Şekil 5.69</b>	: ICON çerçevesi Chuetsu kaydı görelî kat ötelemesi grafikleri. ....	<b>119</b>
<b>Şekil 5.70</b>	: ICON çerçevesi Iwate kaydı taban kesme-zaman ve yer değiştirme zaman grafikleri. ....	<b>120</b>
<b>Şekil 5.71</b>	: ICON çerçevesi için ZTA hesapları sonucu oluşan plastik mafsallar. ....	<b>121</b>
<b>Şekil 5.72</b>	: Okul binası San Fernando kaydı taban kesme-zaman ve yer değiştirme zaman grafikleri. ....	<b>122</b>
<b>Şekil 5.73</b>	: Okul binası Coalinga kaydı taban kesme-zaman ve yer değiştirme zaman grafikleri. ....	<b>122</b>
<b>Şekil 5.74</b>	: Okul binası Loma Prieta kaydı taban kesme-zaman ve yer değiştirme zaman grafikleri. ....	<b>122</b>
<b>Şekil 5.75</b>	: Okul binası Cape Mendocino kaydı taban kesme-zaman ve yer değiştirme zaman grafikleri. ....	<b>123</b>
<b>Şekil 5.76</b>	: Okul binası Niigata kaydı taban kesme-zaman ve yer değiştirme zaman grafikleri. ....	<b>123</b>
<b>Şekil 5.77</b>	: Okul binası Chuetsu kaydı taban kesme-zaman ve yer değiştirme zaman grafikleri. ....	<b>123</b>
<b>Şekil 5.78</b>	: Okul binası Iwate kaydı taban kesme-zaman ve yer değiştirme zaman grafikleri. ....	<b>123</b>
<b>Şekil 5.79</b>	: Okul binası San Fernando kaydı görelî kat ötelemesi grafikleri. ....	<b>124</b>
<b>Şekil 5.80</b>	: Okul binası Coalinga kaydı görelî kat ötelemesi grafikleri. ....	<b>124</b>
<b>Şekil 5.81</b>	: Okul binası Loma Prieta kaydı görelî kat ötelemesi grafikleri. ....	<b>125</b>
<b>Şekil 5.82</b>	: Okul binası Cape Mendocino kaydı görelî kat ötelemesi grafikleri. ....	<b>125</b>
<b>Şekil 5.83</b>	: Okul binası Niigata kaydı görelî kat ötelemesi grafikleri. ....	<b>126</b>
<b>Şekil 5.84</b>	: Okul binası Chuetsu kaydı görelî kat ötelemesi grafikleri.....	<b>126</b>
<b>Şekil 5.85</b>	: Okul binası Iwate kaydı görelî kat ötelemesi grafikleri.....	<b>127</b>

<b>Şekil 5.86</b>	: Okul binası için ZTA hesaplamaları sonucu oluşan plastik mafsallar. .....	<b>128</b>
<b>Şekil 6.1</b>	: SPEAR yapısı için taban kesme kuvveti tepe noktası yer değiştirme grafiği.....	<b>131</b>
<b>Şekil 6.2</b>	: SPEAR yapısı için rijit uçta görel kat ötelemelerinin kıyaslanması (6 nolu kolon). ....	<b>132</b>
<b>Şekil 6.3</b>	: SPEAR yapısı için kütle merkezinde görel kat ötelemelerinin kıyaslanması (3 nolu kolon).....	<b>132</b>
<b>Şekil 6.4</b>	: SPEAR yapısı için esnek uçta görel kat ötelemelerinin kıyaslanması (1 nolu kolon). ....	<b>133</b>
<b>Şekil 6.5</b>	: ICON çerçevesi için taban kesme kuvveti tepe noktası yer değiştirme grafiği.....	<b>134</b>
<b>Şekil 6.6</b>	: ICON çerçevesi için görel kat ötelemelerinin kıyaslanması. ....	<b>135</b>
<b>Şekil 6.7</b>	: Okul binası için taban kesme kuvveti tepe noktası yer değiştirme grafiği. ....	<b>135</b>
<b>Şekil 6.8</b>	: Okul binası için görel kat ötelemelerinin rijit uçta kıyaslanması (P30 perdesi). ....	<b>136</b>
<b>Şekil 6.9</b>	: Okul binası için görel kat ötelemelerinin kütle merkezinde kıyaslanması (S27 kolonu).....	<b>136</b>
<b>Şekil 6.10</b>	: Okul binası için görel kat ötelemelerinin esnek uçta kıyaslanması (P29 perdesi). ....	<b>137</b>
<b>Şekil 6.11</b>	: Okul binasının bodrum kat perdeleri olmayan hali için taban kesme kuvveti tepe noktası yer değiştirme grafiği.....	<b>138</b>
<b>Şekil 6.12</b>	: Okul binasının bodrum kat perdeleri olmayan hali için görel kat ötelemelerinin rijit uçta (P30 perdesi) karşılaştırılması.....	<b>138</b>
<b>Şekil 6.13</b>	: Okul binasının bodrum kat perdeleri olmayan hali için görel kat ötelemelerinin kütle merkezinde (S27 kolonu) karşılaştırılması. ....	<b>139</b>
<b>Şekil 6.14</b>	: Okul binasının bodrum kat perdeleri olmayan hali için görel kat ötelemelerinin esnek uçta (P29 perdesi) karşılaştırılması. ....	<b>139</b>
<b>Şekil 6.15</b>	: Önerilen N2 metodu için düşeydeki yer değiştirmelerin karşılaştırılması ve düzeltme katsayıları.....	<b>140</b>
<b>Şekil 6.16</b>	: Önerilen N2 metodu için düşeydeki görel kat ötelemelerinin karşılaştırılması ve düzeltme katsayıları.....	<b>141</b>
<b>Şekil 6.17</b>	: Önerilen N2 metodu için plandaki düzensizlik katsayısı ( $C_T$ ). ....	<b>141</b>
<b>Şekil 6.18</b>	: Okul binasının görel kat ötelemelerinin rijit uçta (P30 perdesi) karşılaştırılması. ....	<b>142</b>
<b>Şekil 6.19</b>	: -Okul binasının görel kat ötelemelerinin kütle merkezinde (S27 kolonu) karşılaştırılması. ....	<b>142</b>
<b>Şekil 6.20</b>	: Okul binasının görel kat ötelemelerinin esnek uçta (P29 perdesi) karşılaştırılması. ....	<b>143</b>
<b>Şekil 6.21</b>	: SPEAR için plastik mafsalları sayılarının karşılaştırılması.....	<b>144</b>
<b>Şekil 6.22</b>	: ICON için plastik mafsalları sayılarının karşılaştırılması. ....	<b>145</b>
<b>Şekil 6.23</b>	: Okul binası için plastik mafsalları sayılarının karşılaştırılması.....	<b>146</b>
<b>Şekil A.1</b>	: San Fernando kaydı [44]. ....	<b>158</b>
<b>Şekil A.2</b>	: Coalinga kaydı [44]. ....	<b>158</b>
<b>Şekil A.3</b>	: Loma Prieta kaydı [44]. ....	<b>159</b>
<b>Şekil A.4</b>	: Cape Mendocino kaydı [44]. ....	<b>159</b>
<b>Şekil A.5</b>	: Niigata kaydı [44]. ....	<b>160</b>
<b>Şekil A.6</b>	: Chuetsu kaydı [44]. ....	<b>160</b>
<b>Şekil A.7</b>	: Iwate kaydı [44]. ....	<b>161</b>



## DÜZENSİZ BETONARME YAPILARDA GELİŞTİRİLMİŞ N2 METODUNUN UYGULANMASI

### ÖZET

Dünyada ve ülkemizde yaşanan birçok sarsıcı deprem felaketleri depreme dayanıklı yapı analizi ve tasarımı konusunda yapılan çalışmaları yoğunlaştırmıştır. Eşdeğer deprem yükü gibi yöntemlerin özellikle düzensiz yapılarda yetersiz kalması mühendisleri doğrusal olmayan analiz yöntemlerinin uygulanmasına itmiştir. Bu yöntemlerden en sık uygulananı statik itme analizi; zaman içinde Applied Technology Council tarafından hazırlanan “Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings” (ATC-40)’da kapasite spektrumunu yöntemi ile, American Society of Civil Engineers tarafından yayınlanan ASCE-41 ‘de ise yer değiştirme katsayıları yöntemi (YKY) ile ve Eurocode 8’de N2 yöntemi ile yer almaktadır.

Statik yöntemler yapı düzensizliği, modların tersinir etkileri gibi birtakım konularda yetersiz kalmasına rağmen yapının incelenmesinde en doğru sonucu veren dinamik zaman tanım alanında yapılan hesaplamalardan daha sık kullanılmaktadır. Bunun esas sebebi statik yöntemlerin daha az bilgi ve tecrübe gerektirmesi, daha az zaman ve de emek istemesidir.

Bu tez kapsamında kullanılan N2 yöntemi hakkında ki çalışmalar 1980’lerin ortalarında başlamış olup temel fikir Saidii ve Sözen’in geliştirdiği Q-model’den alınmıştır. Metod son haline 1996 yılına kadar süren çalışmalar sonucunda Fajfar ve Gaspersic tarafından getirilmiştir. Yöntem Fajfar tarafından geliştirilerek yapıdaki düzensizlikleri göz önüne alacak şekilde düzenlenerek geliştirilmiş N2 yöntemi oluşturulmuştur. Bu yöntemin isminde yer alan N, non-linear yani lineer olmayan anlamına gelip 2 ise iki matematiksel modelin kurulmasını temsil etmektedir ve yöntem Eurocode 8’de yer almaktadır.

Yapılan çalışma kapsamında üç adet bina N2 metodu kullanılarak hedef tepe yerdeğiştirmeleri hesaplanmak suretiyle statik itme analizine tabi tutulmuş ardından ise geliştirilmiş N2 metodu uygulanarak elde edilen sonuçlar dinamik zaman tanım alanında yapılan hesaplarla karşılaştırılmıştır.

Bu binalardan ikisi (ICON ve SPEAR) çeşitli araştırmalar için Güney Avrupa’da sıkça rastlanan deprem dayanımından yoksun düşey yükler baz alınarak 1970’lerin başlarında ki bilgi, tecrübe ve malzeme ile yapılmış binaları temsil edecek şekilde laboratuvar ortamında inşa edilmiş test yapılarıdır. SPEAR binası İspanya’da bulunan ELSA laboratuvarlarında sismik performans değerlendirmesi ve iyileştirme projesi (Seismic Performance Assessment and Rehabilitation) kapsamı altında inşaa edilerek sözde-dinamik teste tabii tutulmuştur. Aynı şekilde ICON binası da yeni ve mevcut yapıların sismik tasarımı için yenilikçi yaklaşımlar projesi kapsamında (Innovative Concepts for Seismic Design of New and Existing Structures) 1999 yılında tasarlanıp inşa edilerek sözde-dinamik test uygulanmıştır. Binalardan ICON düzlem çerçeve olup 3 açıklıklı vede 4 katlı bir çerçevedir. SPEAR ise 3 katlıdır ve

Eurocode'a göre planda düzensiz, düşeyde ise düzenli bir yapıdır. Binalardan diğeri ise Van ilinde yapılmış olup 2011 Van depreminde hasar almış okul olarak inşa edilmiş bir yapıdır. Okul binası bir bodrum kattan oluşmak üzere 3 katlıdır ve Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007'ye göre planda düzenli düşeyde düzensiz bir yapıdır.

Binaların modellenmesinde 3 boyutlu sonlu elemanlar analiz programı Zeus NL kullanılmıştır. Bu program İllinois Üniversitesi Urbana Champaign'de geliştirilmiş bir yazılım olup elastik olmayan davranışı eleman kesiti ve uzunluğu boyunca yayan bir fiber plastisite yaklaşımı analiz programıdır. Ayrıca incelenen yapılar "Computers and Structures" firması tarafından geliştirilen SAP2000 programında modellenerek Zeus NL programında oluşturulan modellerin doğruluğu kontrol edilmiştir.

Yedi bölümden oluşan yüksek lisans tezinin birinci bölümünde giriş, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007'ye göre ve Eurocode 8'e göre binalarda bulunan düzensizliklerden bahsedilmiş ayrıca tezin amacı belirtilmiştir.

İkinci bölümde ise doğrusal olmayan itme analizi yöntemleri özetlenmiş, tezin kapsamında kullanılan N2 ve geliştirilmiş N2 metotları detaylı bir şekilde anlatılmış ayrıca daha önce tezin konusunda yapılmış olan önemli çalışmalara yer verilmiştir.

Üçüncü bölümde; dinamik zaman tanım alanında analizlerde kullanılan deprem kayıtlarının seçimine ait kriterler ile seçilen kayıtlara ve bu kayıtların ölçeklendirilmesine yer verilmiştir. Bu kapsamda seçilen kayıtlarda yakın fay etkisinden kaçınmak için depremin merkez üssüyle ölçüm istasyonu arasında en az 15 km'lik bir mesafe olması aranmış ve seçilen kayıtların Eurocode 8'de yer alan B sınıfı zemin özelliklerine sahip olması istenmiştir. Daha sonra seçilen kayıtlar SPEAR yapısı ve ICON çerçevesi için frekans tanım alanında 0,2 g maksimum yer ivmesine göre, okul binası için ise 0,4 g maksimum yer ivmesine göre Eurocode 8 de yer alan elastik tepki spektrumuna göre ölçeklendirilmiştir.

Dördüncü bölümünde kullanılan analiz programının özellikleri ve analizde kullanılan malzeme modellerinin özelliklerine değinilmiştir. İlerleyen alt bölümlerinde üç binaya ait proje bilgileri, binalarda kullanılan malzemelerin özellikleri, betonarme detayları, düzensizlikler gibi yapılar hakkında detaylı bilgilere yer verilmiştir. Bu kapsamda oluşturulan modellerde beton için Mander modeli ve donatı çeliği için standart iki doğru çelik modeli kullanılmıştır.

Tezin beşinci bölümü analiz sonuçlarına ayrılmıştır. İlk alt bölümde yapıların ana titreşim periyotları hem Zeus-NL hem de SAP2000 programları kullanılarak bulunmuştur. Modellerin doğruluğunun kontrol etmek için sonuçlar karşılaştırılmıştır. İkinci alt bölümde ise statik itme yöntemi kullanılarak her bir yapı için kapasite eğrileri elde edilmiş olup N2 yöntemi kullanılarak yapıların hedef yerdeğiştirme talepleri hesaplanmıştır. Daha önceki bölümlerde düzensizlik durumu belirlenmiş olan binalara geliştirilmiş N2 metodu uygulanmıştır. Üçüncü alt bölümde ise dinamik zaman tanım alanında yapılan hesaplamalara yer verilmiştir.

Altıncı bölümde; beşinci bölümde elde edilen sonuçlar mukayese edilmiştir. N2, geliştirilmiş N2 ve dinamik zaman tanım alanında yapılan hesapların karşılaştırılması sonucu N2 ve geliştirilmiş N2 metotlarının bodrum kat perdeleriyle çevrili yapılar için uygun olmadığı görülmüş ve bu tip yapılar için geliştirilmiş N2 metodunu baz alan yeni bir yaklaşım önerilmiştir.

Önerilen yeni yaklaşımın geliştirilmiş N2 metodundan temel farkı; düzeltme katsayılarının bulunması için yapının en üst kat planında yer alan kütle merkezindeki

doğrusal olmayan statik analiz sonuçlarının elastik modal analiz sonuçlarına bölünmesiyle bulunan normalizasyon katsayısının yapının düşey kesitinin ortasında yer alan kata gelecek şekilde bulunmasıdır. Ayrıca bu önerimin diğer bir unsuru da düzeltme katsayılarının birden küçük çıkması durumunda bire eşit alınması yerine çıkan değerin doğrudan kullanılmasıdır.

Yedinci bölümde ise tez çalışması kapsamında elde edilen sonuçlar genel olarak özetlenmiştir.







## **APPLICATION OF EXTENDED N2 METHOD TO IRREGULAR REINFORCED CONCRETE STRUCTURES**

### **SUMMARY**

Many shocking earthquakes have been occurred in the world and our country which intensified the studies on earthquake resistant structural analysis and design. Since methods such as equivalent static lateral force method are not sufficient for irregular structures; engineers have begun to apply nonlinear analysis methods. Static pushover analysis which is most commonly used nonlinear method is implemented by Applied Technology Council to “Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings” (ATC-40) as capacity spectrum method. Also static pushover analysis is implemented as Displacement Coefficient Method to ASCE-41 by American Society of Civil Engineers and as N2 method to Eurocode 8.

Although static methods are not sufficient for many cases such as structural irregularities, reversible effects of modes; still being used more often than dynamic time-history method which gives the most accurate result. The reason behind is, static methods are easy to use, and require less knowledge, experience, time and effort.

The studies about the N2 method, which used in this thesis started in the middle of 1980's. The basic idea was taken from the Q-model developed by Saidii and Sözen. Also, N2 method has an improved version named as extended N2 method which takes structural irregularities to account. N in N2 stands for non-linear, where 2 corresponds to setting up 2 mathematical models.

In this study; firstly, static pushover analysis has been applied to the three buildings by calculating the target displacements using N2 method. Then, the extended N2 method has been applied to the same buildings. The results obtained were compared using the dynamic time-history analysis.

The two of these buildings, ICON and SPEAR, are test structures built in the laboratory environment to be used in various researches. They are aimed to represent the buildings which are built with the knowledge, experience and materials in the early 1970's. These models represents the buildings which are commonly constructed at Southern Europe by lack of earthquake resistance.

ICON is a frame with 3 spans and 4 floors. SPEAR which has 3 floors is a irregular structure at plan and regular at elevation according to Eurocode 8.

The last building has been built as a school building at Van provience of Turkey and damaged during 2011 Van earthquakes. School building has 3 floors and one of these floors is basement. This structure has a regular plan while it has soft and weak story irregularities according to Turkish Earthquake Code 2007.

To construct the models of the buildings, Zeus NL software has been used, which is a 3D finite elements analysis software developed at University of Illinois, Urbana

Champaign. This software is a fiber analysis program applies non-elastic behavior to across the element section and length. Also, three buildings modeled by using SAP2000 structural analysis program to check the accuracy of the models which are created by using Zeus NL.

This graduate study has seven chapters. The first chapter introduces the topic, explains structural irregularities according to Turkish Earthquake Code 2007 and Eurocode 8. Also the aim of the study have been explained in this section.

In Chapter 2, first nonlinear static analysis methods have been described. Then, N2 and extended N2 methods which are the core topics of discussions existing in this study are explained. In last phase, main studies which are conducted about N2 and extended N2 methods are summarized.

In Chapter 3, the criteria for selecting earthquake records used in analyzes in the dynamic time history are described. There are two main requirements satisfied in this study:

(1) to avoid the near fault effect, distance between the center of earthquake and the metering station should be at least 15 km in selected record.

(2) the selected records should satisfy Class B soil properties in Eurocode 8.

Selected records have been processed by using quadratic base line correction with Seismosignal software. Then the records have been scaled in the frequency domain by using Seismomatch software. For SPEAR structure and ICON frame, selected records have been scaled to the maximum ground acceleration of 0.2 g and for the school building to the maximum ground acceleration of 0.4 g, proper to the elastic response spectra at Eurocode 8 for soil class B.

Chapter 4 explains the software used for analysis. Properties of the material models used in the analysis are also mentioned. In the subsections, the details of the projects of the three buildings, the properties of the materials used in the buildings, reinforced concrete details and irregularities are given. Mander model for concrete and bilinear model for reinforcement steel were used in the models defined in this context.

The Chapter 5 is devoted to the analysis results. In the first sub-section, the main vibration periods of the structures were found using both Zeus-NL and SAP2000 programs. The results have been compared to check the accuracy of the models. In the second subsection, capacity curves were obtained for each structure by using the static pushover method and target displacement requirements of structures were calculated by using N2 method. The extended N2 method was applied to the building where the irregularity condition was determined in previous sections. In the third sub-section, the calculations made in the dynamic time-history analyses are given.

At Chapter 6, the analysis results gained from N2, extended N2 and dynamic time history results are compared by base shear-displacement curves, interstory drifts and plastik hinges.

Comparing N2, extended N2, and dynamic time history analyses, it is concluded that N2 and extended N2 methods are not appropriate for structures surrounded by basement shear walls. As a result, a new approach based on the extended N2 method has been proposed for such structures.

This proposement is based on the normalization of the pushover results with response spectrum results not at the top of building but at the lower stroies for center

of the mass. Also according to this proposition if the correction factors for elevation are less than one, they should be directly used instead equalling them to one.

The thesis completes with the conclusions drawn particularly from Chapter 5 and 6, in Chapter 7





## 1. GİRİŞ

Dünyada ve önemli bir bölümü deprem kuşağında yer almakta olan ülkemizde geçmişten günümüze can ve mal kaybına yol açan birçok deprem yaşanmıştır. Meydana gelen sarsıcı kayıplara yol açan deprem felaketleri depreme dayanıklı yapı analizi ve tasarımı konusu üzerine yapılan çalışmaları yoğunlaştırmıştır. Eşdeğer deprem yükü yöntemi gibi metotların özellikle düzensiz ve yüksek mod etkileri altındaki yapılarda birçok konuda yetersiz kalması mühendisleri doğrusal olmayan analiz yöntemlerinin uygulanmasına itmiştir.

Bu amaçla doğrusal olmayan statik analiz yöntemleri son yıllarda mühendisler tarafından sıkça kullanılmaya başlanmıştır. Bu yöntemlerden en sık uygulananı statik itme analizi yöntemi zaman içinde çeşitli yönetmeliklerde yer almaya başlamıştır. Bunlardan başlıcaları; Applied Technology Council tarafından hazırlanan “Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings” (ATC-40)’da yer alan kapasite spektrumu yöntemi, American Society of Civil Engineers tarafından yayınlanan ASCE-41’de ise yer değiştirme katsayıları yöntemi (YKY) ve Eurocode 8’de yer alan N2 yöntemleridir [1-3].

Dinamik zaman tanım alanında hesap (ZTA) yöntemleri yapının incelenmesinde en doğru sonuçları vermekle birlikte, statik itme analizi gibi geleneksel yöntemler mühendisler tarafından daha çok tercih edilmektedir. Bunun sebebi ise geleneksel yöntemlerin daha az zaman ve emek harcanarak uygulanabilmesiyle birlikte daha az bilgi ve tecrübeye gereksinim duymasıdır. Ancak geleneksel metotlar yapı düzensizlikleri ve modların tersinir etkileri gibi birtakım husuları ihmal etmekte olduğundan bazı eksikliklere sahiptir [4]. Bunlar;

a) Doğrusal olmayan statik metotlar kesin bir teorik altyapıdan yoksundurlar. Bu metotlar çok serbestlik dereceli sistemin (ÇSDS) davranışının tek serbestlik dereceli sistemden (TSDS) elde edilebileceği varsayımına dayanmaktadırlar. Bu da, elastik olmayan bölgede yapısal davranışın aynı kaldığı varsayımıyla tahmini yapı

davranışının tek bir mod tarafından kontrol edilmesi demek olup eksik bir varsayımdır [4].

b) Geleneksel statik metotlar sadece ilk mod baskın özellik gösterdiğinde doğru sonuç vermektedir [4].

c) Geleneksel metotlar planda yer alan düzensizliklerden kaynaklanan burulma etkilerini ve buna bağlı olarak dayanım ve rijitlik değişimlerini yansıtmakta eksik kalmaktadır [4].

d) Geleneksel metotlar modal özellikler ve yüksek mod etkilerinde ki değişimleri ihmal etmektedir [4].

e) Geleneksel yöntemler yapı kapasitesi ile deprem talebi karşısında bir bağıntı görmemekle beraber son zamanlarda ki araştırmalar bu iki durum arasında bir bağıntı olduğunu tespit etmiştir [4].

f) Geleneksel yöntemler dinamik etkileri ihmal ettiklerinden yanal itme etkisi altında kinematik ve viskoz enerji sönümlenmeleri ihmal edilmektedir [4].

g) Ayrıca devam eden araştırmalar göstermiştir ki geleneksel yöntemler 3 boyutlu düzensiz yapılarda monotonik artan yükler altında burulma ve düzensizlik etkileri ihmal edildiği için yeterli yakınsaklıkta sonuç vermemektedir [5].

Çizelge 1.1’de analiz yöntemlerinin uygulama alanları, Çizelge 1.2’de ise doğrusal olmayan yöntemlerin karşılaştırılması yer almaktadır [6].

**Çizelge 1.1 : Analiz yöntemlerinin uygulama alanları [6].**

Method	Analiz tipi	Temsil	Uygulama alanı
	Çok modlu spektral	Spektrum	Düzensiz yapılar
Dinamik	ZTA	Deprem kaydı	Düzensiz, elastik olmayan ve önemli yapılar
	Artrımsal dinamik	Deprem kaydı	Düzensiz, elastik olmayan ve önemli yapılar
Statik	Eşdeğer statik	Sabit	Düzenli ve sıradan yapılar
	Geleneksel itme	Sabit	Düzenli ve önemli yapılar
	Uyarlamalı itme	Spektrum	Düzensiz ve önemli yapılar

Çizelge 1.2’de görüldüğü üzere ZTA; yapı malzemesinin elastik olmayan davranışını ve doğrusal olmayan geometrik davranışını baz alarak en net sonuçları vermektedir.

**Çizelge 1.2:** Doğrusal olmayan yöntemlerin karşılaştırılması [6].

Analiz tipi	Doğrusallık Tipi	Girdi	Mekanik	Geometrik	Doğruluk
Eş değer statik	Statik	Yatay kuvvet dağılımı		√	*
Geleneksel itme	Statik	Yatay kuvvet/yer değiştirme dağılımı	√	√	**
Modal	Dinamik	Uygulanabilir değil		√	**
Spektral	Dinamik	Spektrum		√	**
ZTA	Dinamik	Deprem	√	√	***
Uyarlamalı	Dinamik	Spektrum	√	√	**
Artımsal	Dinamik	Deprem	√	√	**

## 1.1 Düzensiz Yapılar

Yapı tasarımında ilk olarak ele alınan konu kullanım amacı olup farklı amaçlar için tasarlanan yapılarda özellikle mimari kaygılar sebebiyle birçok yapısal düzensizlik ortaya çıkmaktadır. Bu düzensizlikler yapının deprem performansını olumsuz yönde ciddi bir şekilde etkilemektedir. Bu bölümde Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007 (DBYBHY 2007) ve Eurocode 8’de yer alan yapısal düzensizliklere yer verilecektir [7,3].

### 1.1.1 DBYBHY 2007’de düzensiz yapılar

Bu bölümde DBYBHY 2007’de yer alan ve depreme karşı yapısal davranışı olumsuz yönde etkilediği için tasarımından ve yapımından kaçınılması gereken planda ve düşey doğrultuda düzensizlik meydana getiren durumlara değinilmiştir.

#### 1.1.1.1 Planda düzensizlik durumları

DBYBHY 2007 plandaki düzensizlikleri üç guruba ayırmış olup bunlar; A1-burulma düzensizliği, A2-döşeme süreksizlikleri ve A3-planda çıkıntılar bulunmasıdır. Bunlardan A1-burulma düzensizliği aşağıdaki denklemle hesaplanabilir [7].

$$\eta_{bi} = (\Delta_i)_{maks} / (\Delta_i)_{ort} \geq 1,2 \quad (1.1)$$

Bu denklemde yer alan  $\eta_{bi}$  burulma düzensizliği katsayısıdır. Burulma düzensizliği birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük görelî kat ötelemesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama görelî ötelemeye oranıdır. Burulma tipi düzensizlik depremin etkilediği kat kütle merkezi ile rijitlik merkezlerinin

birbirinden farklı konumlarda olmasıyla meydana gelir. Şekil 1.1’de burulma düzensizliği görsel olarak ifade edilmektedir [7].

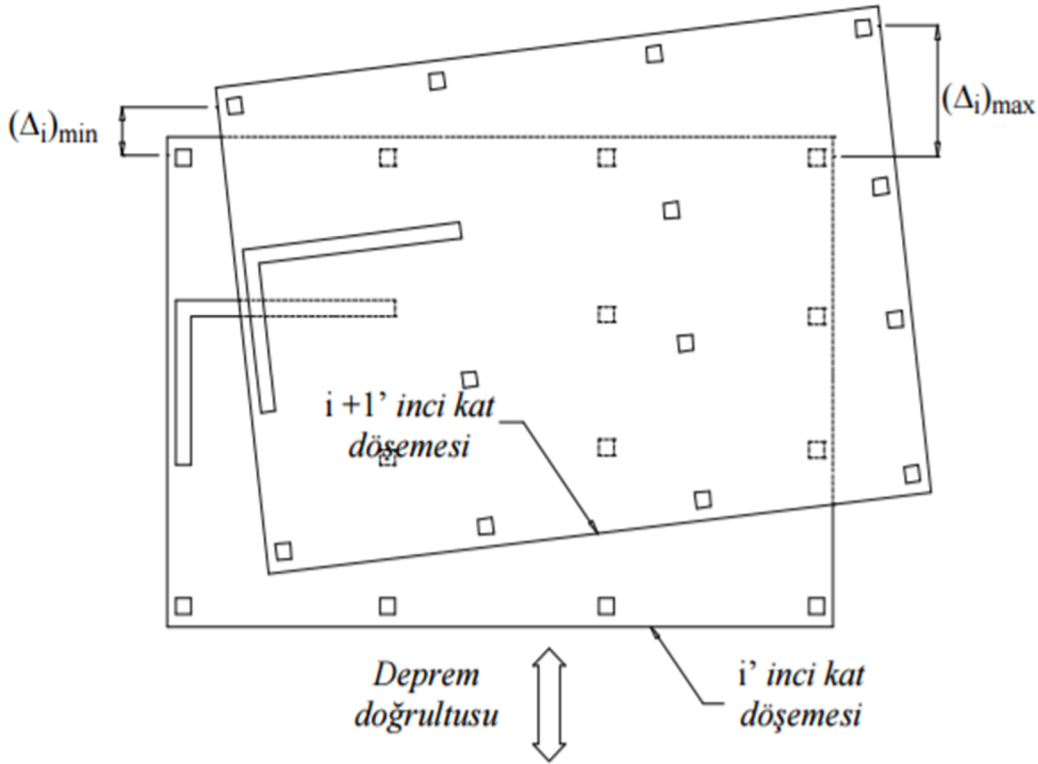
A2 döşeme süreksizlikleri ise herhangi bir kattaki döşemede;

a) Merdiven ve asansör boşlukları dahil olmak üzere, boşluk alanları toplamının kat brüt alanının 1/3’ünden fazla olması durumunda,

b) Deprem yüklerinin düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarılabilmesini engelleyen yerel döşeme boşluklarının bulunması durumunda,

c) Döşemenin düzlem içi rijitlik durumunda ve dayanımında ani azalmaların olması durumunda,

oluşmakta olup Şekil 1.2’de görsel olarak ifade edilmiştir [7].



Şekil 1.1 : Burulma düzensizliği durumu [7].

A3 planda çıkıntılar bulunması durumu ise; bina kat planlarında çıkıntı yapan kısımların birbirine dik iki doğrultudaki boyutlarının her ikisinin de, binanın o katının aynı doğrultulardaki toplam plan boyutlarının %20’sinden daha büyük olması durumu olup Şekil 1.3’de ifade edilmiştir [7].



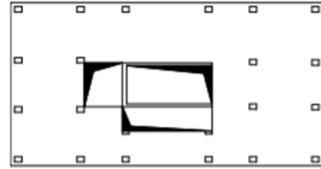


**A2 türü düzensizlik durumu – I**

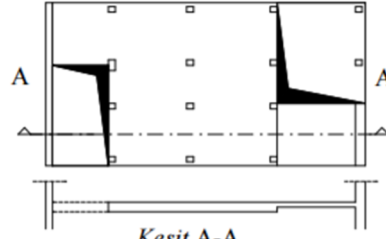
$$A_b / A > 1/3$$

$A_b$  : Boşluk alanları toplamı

$A$  : Brüt kat alanı



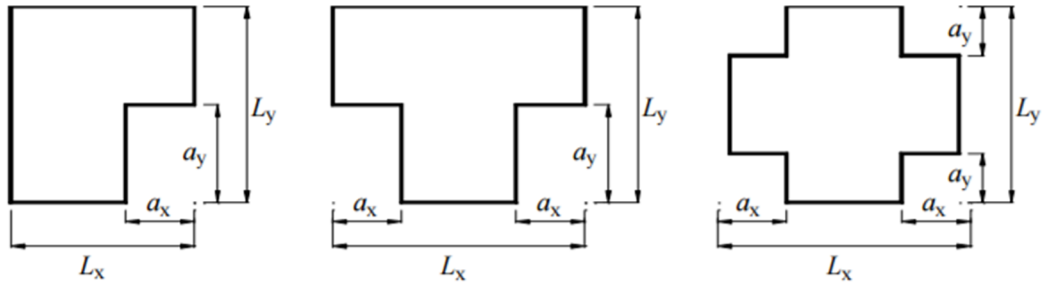
**A2 türü düzensizlik durumu – II**



Kesit A-A

**A2 türü düzensizlik durumu – II ve III**

**Şekil 1.2 : Döşeme süreksizliği durumu [7].**



**A3 türü düzensizlik durumu:**

$$a_x > 0.2 L_x \text{ ve aynı zamanda } a_y > 0.2 L_y$$

**Şekil 1.3 : Planda çıkıntılar bulunması durumu [7].**

### 1.1.1.2 Düşey doğrultuda düzensizlik durumları

DBYBHY 2007’de yer alan düşey doğrultudaki düzensizlikler 3 guruba ayrılmış olup bunlar B1-komşu katlar arası dayanım düzensizliği (zayıf kat), B2-komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (yumuşak kat) ve B3-taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliğidir [7].

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  $\eta_{ci}$ ’nin 0.80’ den küçük olması durumu komşu katlar arası dayanım düzensizliği olarak tanımlanır ve denklem 1.2 ile hesaplanır [7].

$$\eta_{ci} = (\sum A_e)_i / (\sum A_e)_{i+1} < 0,80 \quad (1.2)$$

Herhangi bir katta etkili kesme alanının tanımı ise;

$$\sum A_e = \sum A_w + \sum A_g + 0.15 \sum A_k \quad (1.3)$$

denklemleri ile hesaplanır.

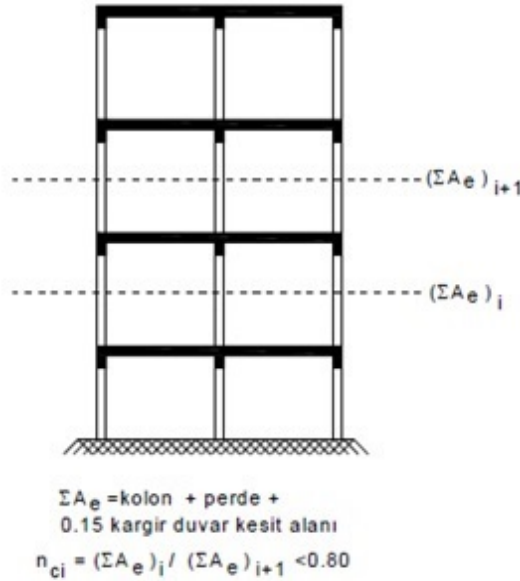
Bu denklemlerde;

$\sum A_e$ : Herhangi bir katta, göz önüne alınan deprem doğrultusunda etkili kesme alanı

$\sum A_w$ : Herhangi bir katta, kolon enkesiti etkin gövde alanları  $A_w$ 'lerin toplamı

$\sum A_g$ : Herhangi bir katta, gözönüne alınan deprem doğrultusuna paralel doğrultuda perde olarak çalışan taşıyıcı sistem elemanlarının enkesit elemanlarının toplamı

$\sum A_k$ : Herhangi bir katta, gözönüne alınan deprem doğrultusuna paralel kargir dolgu duvar alanlarının (kapı ve pencere boşlukları hariç) toplamıdır. Şekil 1.4'de komşu katlar arası dayanım düzensizliği görülmektedir [7].

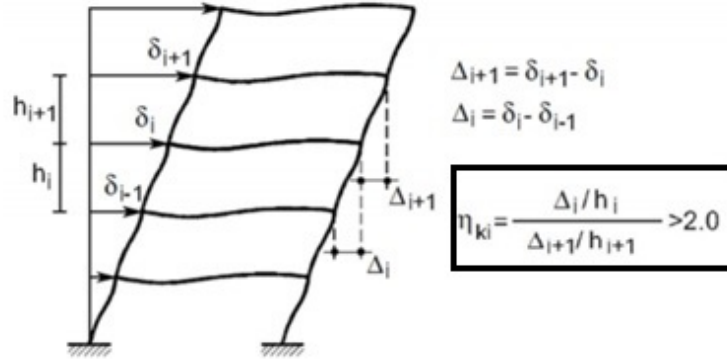


**Şekil 1.4** : Komşu katlar arası dayanım düzensizliği durumu [8].

B2-komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (yumuşak kat) ise birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir i'inci kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranının bir üst veya bir alt kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranına bölünmesi ile tanımlanan rijitlik düzensizliği katsayısı  $\eta_{ki}$ 'nin 2'den fazla olması

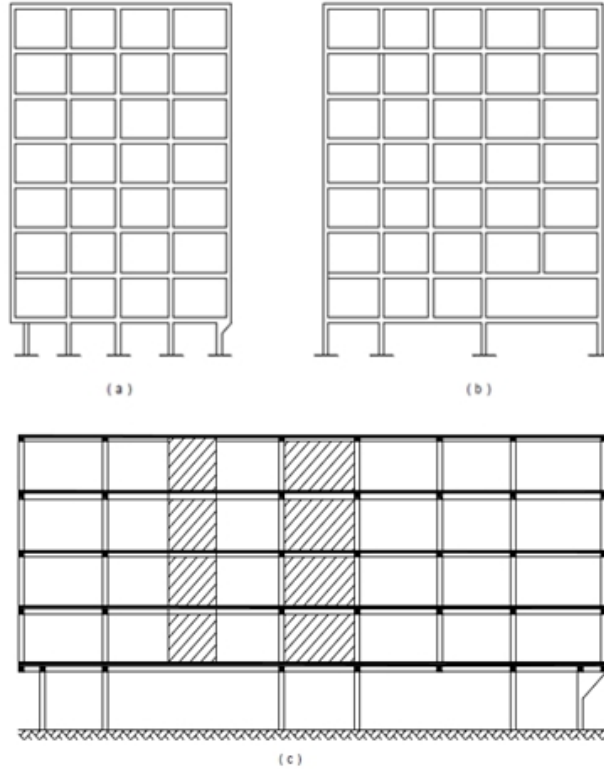
durumudur ve denklem 1.4 ile hesaplanır. Şekil 1.5’de komşu katlar arası rijitlik düzensizliği anlatılmaktadır.

$$\eta_{ki} = (\Delta_i / h_i)_{ort} / (\Delta_{i-1} / h_{i-1})_{ort} \geq 2,0 \quad (1.4)$$



Şekil 1.5 : Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği durumu [9].

Taşıyıcı sistemin kolon ve perde gibi düşey elemanlarının bazı katlarda kaldırılarak kirişlerin veya guseli kolonların üstüne veya ucuna oturtulması, ya da üst kattaki perdelerin altta kolonlara oturtulması durumu ise B3-taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği olarak isimlendirilmiş olup Şekil 1.6’da görülmektedir [7].



Şekil 1.6 : Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği durumu [7].

DBYBHY 2007’de bu tip düzensizlikler ya tamamen yasaklanmış ya da deprem yükünün arttırılması yoluna gidilmiştir. Bununla ilgili olarak;

a) Kolonların binanın herhangi bir katında konsol kirişlerin veya alttaki kolonlarda oluşturulan guselerin üstüne veya ucuna oturtulmasına hiçbir zaman izin verilmez.

b) Kolonun iki ucundan mesnetli bir kirişe oturması durumunda, kirişin bütün kesitlerinde ve incelenen deprem doğrultusunda bu kirişin bağlandığı düğüm noktalarına bağlanan diğer kiriş ve kolonların bütün kesitlerinde, düşey yükler ve deprem kuvvetinden oluşan bütün iç kuvvetler %50 oranında arttırılır.

c) Üst katlarda yer alan perdeler hiçbir zaman alt katlarda kolonlara oturamaz.

d) Perdeler binanın herhangi bir katında, kendi düzlemleri içinde kirişlerin üstüne asla oturtulamaz [7].

### **1.1.2 Eurocode 8’de yapısal düzensizlikler**

Eurocode-8’de yer almakta olan yapısal düzensizlikler büyük ölçüde DBYBHY 2007’de yer almakta olan yapısal düzensizliklerle paralellik göstermekte olup; genel olarak yapının, olabildiğince basit olmasını, her iki yatay doğrultuda rijitliğinin yeterli, planda düzenli ve simetrik olması gerektiğini anlatmaktadır [3].

#### **1.1.2.1 Planda düzensizlik**

Eurocode-8’e göre bir yapının planda düzenli sayılabilmesi için aşağıda belirtilen hususlara dikkat edilmelidir [3].

a) Yapıda planda eğer girinti ve çıkıntılar varsa bu girinti ve çıkıntıların alanı kat alanının %5’ini geçmemelidir.

b) Yapıda L, C, I, X, H gibi plan şekilleri varsa kat diyaframlarının düzlem içerisindeki rijitliği incelenmelidir.

c) Yapı planında uzun doğrultu kısa doğrultunun 4 katından fazla olmamalıdır.

d) Yapıda tüm katlarda her iki doğrultuda da planda, kütle ve rijitlik merkezleri arasındaki mesafe, kat burulma yarıçapının 0,3 katından denklem 1.5’de görüldüğü üzere küçük olmalı ve kat burulma yarıçapı kat dönme yarıçapından denklem 1.6 da görüldüğü üzere küçük olmamalıdır.

$$e_{0,x} \leq 0,3r_x \quad e_{0,y} \leq 0,3r_y \quad (1.5)$$

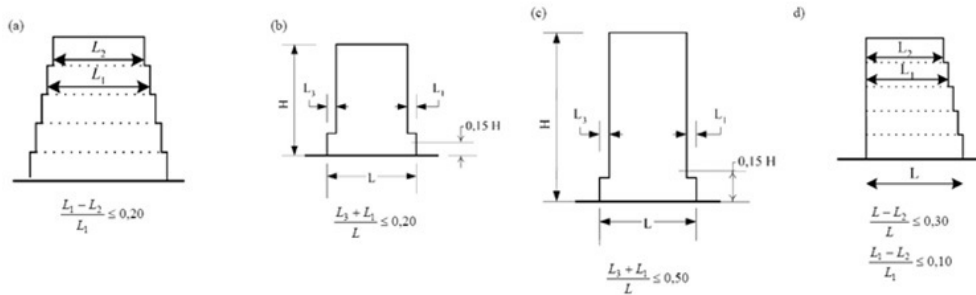
$$r_x \geq l_s \quad r_y \geq l_s \quad (1.6)$$

Bu denklemlerde yer alan  $e_0$  eksantrisite yani kütle ve rijitlik merkezleri arasındaki mesafe,  $r$  burulma yarı çapı ve  $l_s$  atalet yarı çapıdır.

### 1.1.2.2 Düşeyde düzensizlik

Eurocode-8'e göre bir yapının düşeyde düzenli sayılabilmesi için aşağıda belirtilen hususlara dikkat edilmelidir [3].

- Yapıda bulunan tüm taşıyıcı elemanlar temelden itibaren en üst kata kadar sürekli bir şekilde devam etmelidir. Kat çekilmesinin mevcut olduğu durumlarda ise çekilmenin olduğu kata kadar taşıyıcı elemanlar düzenli bir şekilde devam ettirilmelidir.
- Yapıda temelden yukarıya çıkıldıkça katlarda ani yatay rijitlik değişimi ve kat kütlesi değişimi olmamalıdır.
- Yapıda aksel simetrisinin korunuyorsa kat daralması bir alt katın boyutunun %20'sini aşmamalı (Şekil 1.7a), yapı yüksekliğinin temelden itibaren %15'inin üzerinde kalan kısımda sabit bir çekilme uygulandığında bu çekilme önceki plan boyutunun %20'sini geçmemeli (Şekil 1.7b), sabit çekilme yapı yüksekliğinin %15'inin altında başlıyorsa daralma önceki plan boyutunun %50'sini geçmemeli (Şekil 1.7c) ve de eğer kat çekilmesi simetrik olarak uygulanmıyorsa en büyük kat daralması zemin kat boyutunun %30'unu aşmamalı ayrıca iki kat arasındaki daralma alt kat boyutunun %10'unu aşmamalıdır (Şekil 1.7d).



Şekil 1.7 : Eurocode 8'de yer alan düşeyde düzensizlik durumları [3].

## 1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmanın amacı düzensiz betonarme yapılarda geliştirilmiş N2 metodunun incelenmesidir. Bu amaçla statik itme analizi ve dinamik zaman tanım alanında analiz yöntemleri kullanılmıştır. Bunun için Avrupa Yapısal Değerlendirme Laboratuvarı (ELSA) tarafından Avrupa Birliği Sismik Değerlendirme ve rehabilitasyon projesi (SPEAR) kapsamında test edilen düzensiz 3 boyutlu bir yapı ve Yeni ve Mevcut Yapıların Sismik Tasarımı için Yenilikçi Konseptler projesi (ICON) kapsamında test edilen düzenli 2 boyutlu bir çerçeve ELSA laboratuvarında kullanılan modellere uygun olarak “Computers and Structures” firması tarafından geliştirilen SAP2000 ile Elnashai ve diğ. tarafından geliştirilen ZeusNL analiz programlarında modellenmiştir [10-13]. Özdeğer analizi sonuçlarının yeterli yakınsaklıkta olduğu anlaşıldıktan sonra ZeusNL analiz programında binalara statik itme analizi ve dinamik zaman tanım alanında (ZTA) analiz yapılarak sonuçlar kıyaslanmıştır.

Ayrıca 2011 Van depreminde hasar görmüş bir okul yapısı projesine uygun olarak modellenerek statik itme analizine ve dinamik zaman tanım alanında analize tabi tutulmuştur. Bu yapı bir bodrum kat ve iki normal kattan oluşmaktadır. Bodrum katının 3 tarafı betonarme toprak perdeleriyle çevrilidir.

## 2. YAZIN TARAMA

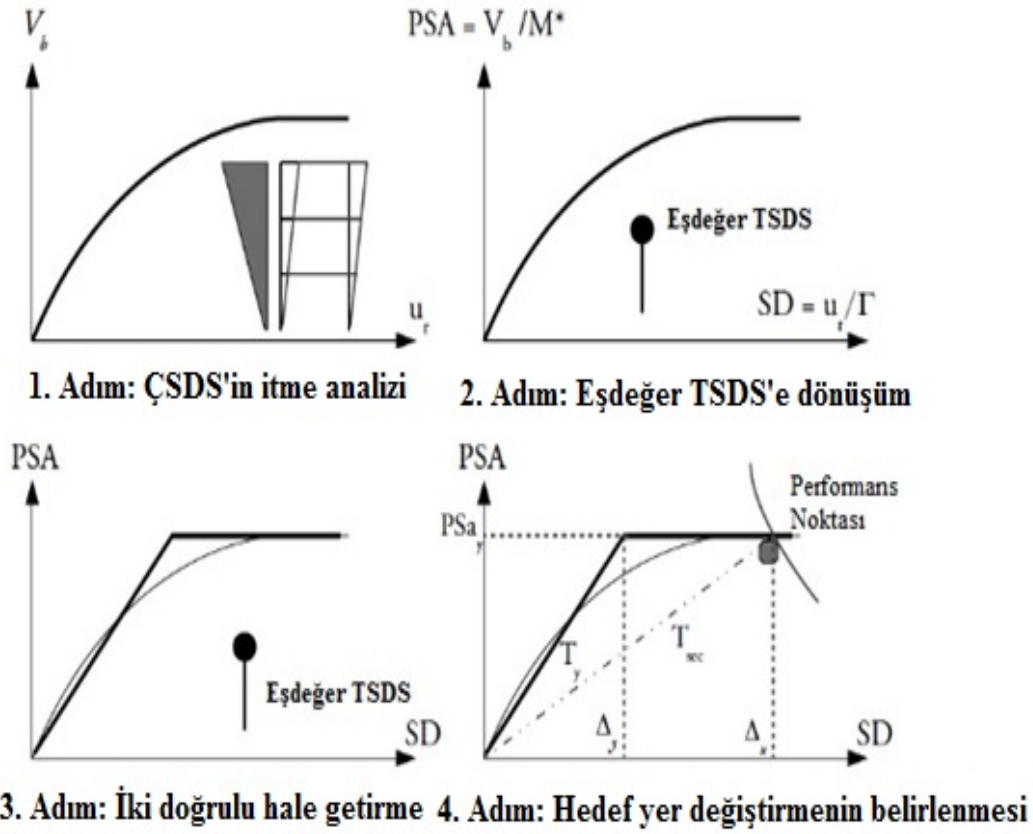
### 2.1 Doğrusal Olmayan Statik Analiz Yöntemleri

Deprem değerlendirmelerinin daha gerçekçi yapılabilmesi için birçok doğrusal olmayan statik analiz yöntemi geliştirilmiş olup konuyla ilgili çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır. Doğrusal olmayan statik analiz metotları birçok eksikliğe rağmen zaman tanım alanında dinamik analiz metodunun uygulamadaki zorlukları sebebiyle sıkça kullanılmaktadır [4].

Doğrusal olmayan statik analizler genel olarak aşağıda belirtilen 4 ana adımdan oluşmaktadır;

- a) Yapı davranışını temsil eden itme eğrisi; sistemin doğrusal olmayan geometrisi ve elastik olmayan davranışı dikkate alınarak adım adım artan yanal yükleme ile elde edilir [4].
- b) İncelenen yapının itme eğrisi yapının dinamik özelliklerine uygun bir şekilde eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemin (TSDS) itme eğrisine dönüştürülür [4].
- c) Eşdeğer TSDS'in dinamik özelliklerinin elde edilebilmesi için elde edilmiş olan itme eğrisi iki doğrulu hale getirilir [4].
- d) Hedef tepe noktası yer değiştirmesinin (performans noktası) bulunabilmesi için TSDS'den yararlanılarak tasarım/tepki spektrumundan tanımlanmış olan hasar bölgesine uygun bir şekilde bulunur [4].

Şekil 2.1'de yukarıda verilen adımlar görülmektedir. Bu adımları takiben performans noktasına bağlı olarak yapının davranış özellikleri (görelî kat ötelemesi, plastik mafsallarda oluşan dönme, plastik mafsallarda yerleri, gevrek elemanlardaki kuvvet talebi, vs.) ilgili yönetmeliklerde verilen kısıtlamalarla karşılaştırılır [4].



Şekil 2.1 : Doğrusal olmayan statik analiz adımları [4].

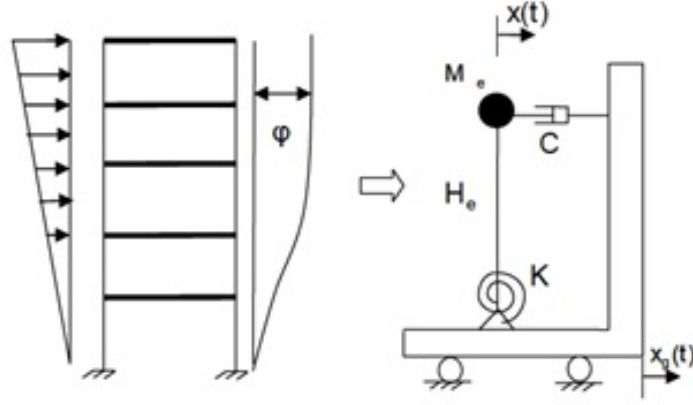
## 2.1.1 Planda simetrik yapılar için doğrusal olmayan statik analiz yöntemleri

### 2.1.1.1 Sabit tek kuvvet vektörüne dayanan doğrusal olmayan statik analizi

1981 yılında Saiidi ve Sozen, çok serbestlik dereceli sistemin (ÇSDS) doğrusal olmayan dinamik özelliklerinin tek serbestlik dereceli sisteme (TSDS) aktarılmasına dayanan Q modeli ortaya atmıştır. Q model'de iki varsayımda bulunulmuş olup bunlardan ilki sadece birinci titreşim modunun etkin mod olduğu varsayımdır. İkincisi ise; yapının değişen rijitliğinin, doğrusal olmayan yay ile gösterilmesidir. Şekil 2.2'de bu yaklaşım ifade edilmiştir [14].

Fajfar ve Fishinger tarafından 1987-1988 yıllarında ortaya konulan N2 metodu ise bu yaklaşımın devamı niteliğindedir. N2 metodunda, tepe noktası yer değiştirmesine göre normalize edilen yer değiştirme şekli sabit yatay yük modelinin oluşturulmasında kullanılarak, itme eğrisi oluşturulmaktadır [15].





Şekil 2.2 : ÇSDS analizinde Q modeli [14].

### 2.1.1.2 Sabit çok modlu kuvvet vektörüne dayanan doğrusal olmayan statik analiz

Uzun periyotlu çok katlı yapıların orta ve üst katlarında oluşan yüksek mod etkisinin sabit tek kuvvet vektörüne dayanan statik analiz yöntemlerinde hesaba yansıtılamaması sebebi ile Paret 1996 ve Sasaki 1998 yıllarında çok modlu itme analizini (MMP) iki farklı yapıda incelemiştir [16,17]

Çok modlu artımsal itme analizleri için birçok yaklaşım sözkonusu olup en önemlilerinden biri modal itme analizi (MPA) olarak adlandırılan 2001 yılında Chopra ve Goel tarafından öne sürülen yaklaşımdır. Bu yöntemin konsepti Şekil 2.3’de verilmiş olup tepki spektrumu analizine benzemektedir. Şekil 2.4’de ise, itme analizinden elde edilen taban kesme kuvveti-tepe noktası yer değiştirme eğrisi ( $F_{sn}/L_n-D_n$ ) kullanılarak, iki doğru ile ifade edilerek TSDS’ye ait kuvvet-yer değiştirme ilişkisinin ( $V_{bn}-U_{rn}$ ) belirlenmesi görülmektedir [18].

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

$M_n^*$  : Genelleştirilmiş kütle.

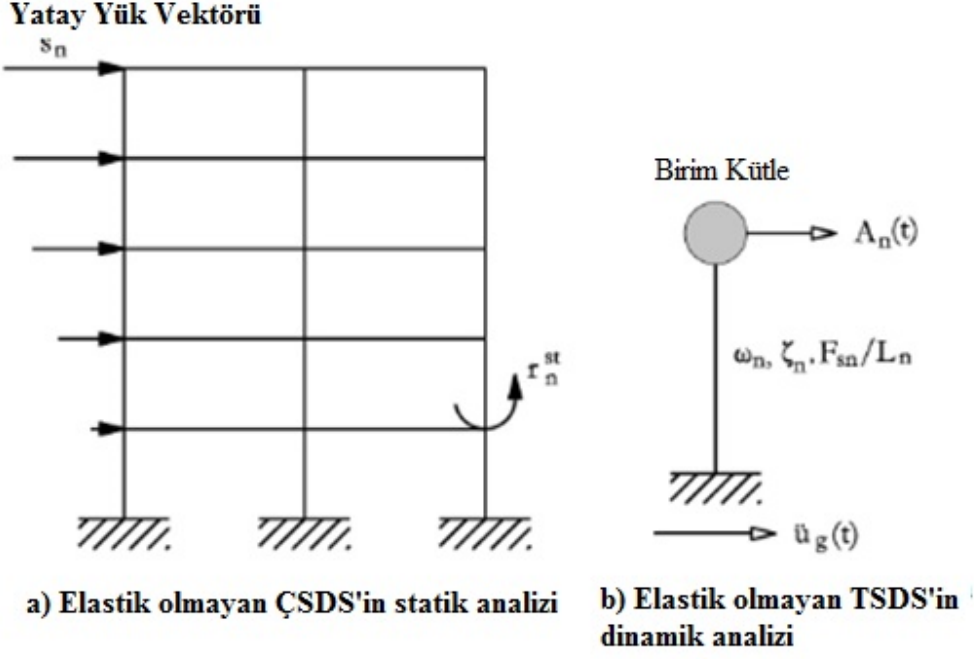
$F_{sn}$  : n’inci mod kat kesme kuvveti.

$D_n$  : n’inci mod deformasyon talebi.

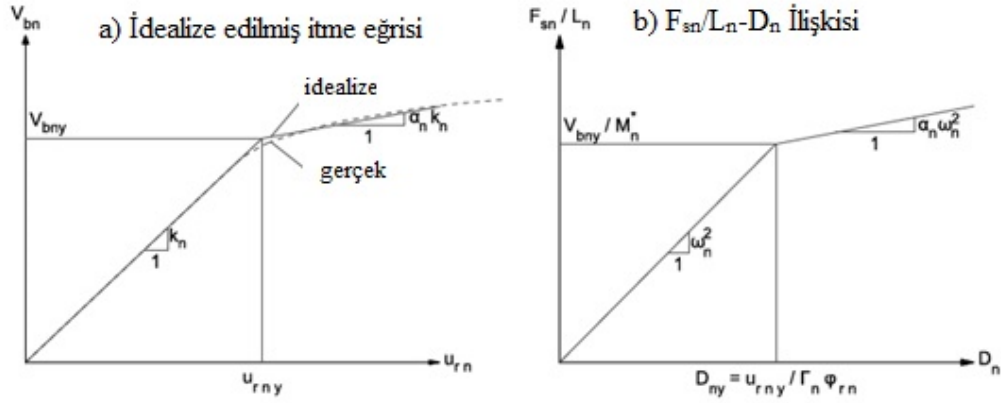
$U_{rn}$  : n’inci mod hedef deplasmanı.

$\Gamma_n$  : n’inci mod katılım faktörü.

$\phi_{rn}$  : n’inci mod genliği.



Şekil 2.3 : Modal itme analizinin konsepti [18].



Şekil 2.4 : İtme eğrisinden TSDS'in hesaplanması [18].

Çok modlu analiz yöntemlerinde her ardışık adımda modal analiz yapılarak mod şekilleri ve modal katılım oranları bulunur ve yeni yük dağılımları belirlenerek yapı adım adım artan yanal yüklere maruz bırakılır [19].

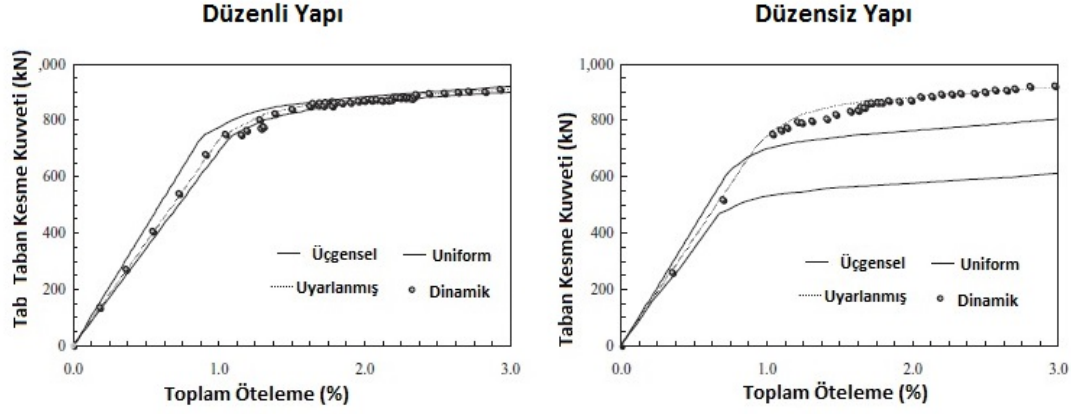
### 2.1.1.3 Uyarlanmış kuvvet vektörüne dayanan itme analizi

Uyarlanmış artımsal itme analizi yöntemlerinde yapının titreşim özelliklerindeki değişim ve yapının esnekliğinden kaynaklanan atalet kuvvetinin yeniden dağıtılması gözönüne alınır. 2004 yılında Antoniou ve Pinho Uyarlamalı İtme Analizi yöntemini geliştirmiştir. Bu yöntemde yanal yük dağılımı sürekli olarak değişmektedir [20,21].

Uyarlamalı itme analizi Şekil 2.4’de görüldüğü üzere iç kuvvetlerdeki değişimi statik analiz süreci boyunca hesaba katan bir metoddur. Bu sayede geleneksel itme analizlerinin sabit yükleme fonksiyonu kullanmasından kaynaklı eksikliği gidermektedir. Bir yapıyı uyarlamalı itme analizi kullanarak incelemek için aşağıdaki adımlar izlenmektedir [6].

- a) Düşey yükler tek bir seferde yapıya etkililir.
- b) Özdeğer analizi yapılarak öz değerler ve öz vektörler hesaplanır. İlk adımda kullanılacak elastik rijitlik bulunur.
- c) Modal katılım katsayısı hesaplanır.
- d) Her kat seviyesine denk gelen modal kat kuvvetleri hesap edilir. Bu hesaplama sırasında kullanılan mod sayısının, toplam kütle için en az %85-90’ının hesaba dahil edilmesini sağlayacak şekilde seçilmiş olmasına özen gösterilir.
- e) Bir önceki adımda hesaplanan kat kuvvetleri her modda birbirinden bağımsız olarak yapıya etkililerek statik itme analizi gerçekleştirilir.
- f) Eleman veya yapının tümü bazındaki kuvvet ve yer değiştirmeler kareler toplamının karekökü (SRSS) kuralı uygulanarak, analizin her adımına bir önceki adımda bulunan değerlerle toplanarak etkililir.

Elastik olmayan davranışa kuvvet dağılımını uyarlıyabilmek adına bazı çalışmalar yapılmıştır. Bunlardan biri; Gupta ve Kunnath tarafından, 2000 yılında sistemin anlık dinamik etkilerini bağlı olarak geliştirilmiş kuvvet modeli kullanılan Uyarlanabilir Spektraya Dayalı İtme Analizidir [22]. 2006 yılında Kalkan ve Kunnath, tekil modal itme analiz taleplerinin birleştirilmesi ile yüksek mod etkisini dikkate alan ve elastik olmayan bölgede dinamik karakterlerin değişim etkisini içeren Uyarlanabilir Modal Kombinasyon yöntemini ortaya koymuşlardır [23]. Özellikle yapılarda düzensizlik olması veya yapı yüksekliğinin fazla olması durumunda uyarlanmış artımsal itme analizleri klasik artımsal itme analizlerine göre daha gerçekçi sonuçlar vermektedir [19]. Şekil 2.5’de klasik ve uyarlamalı artımsal itme analizi eğrilerinin düzenli ve düzensiz yapılar için kıyaslanması yer almaktadır. Geleneksel itme analizleri için uniform ve üçgen yükleme ayrı ayrı ele alınmıştır. Şekilde düzenli yapılarda geleneksel itme analizi sonucunun zaman tanım alanında yapılan dinamik analizlere yakın sonuçlar verdiği; düzensiz yapılarda ise geleneksel yöntemin genellikle yapının dinamik davranışını incelemede yetersiz sonuç verdiği görülmektedir [6].



**Şekil 2.5 :** Klasik ve uyarlamalı artımsal itme analizi eğrilerinin düzenli ve düzensiz yapılar için kıyaslanması [6].

Günümüzde enerji parametrelerini de dikkate alan yöntemlerin geliştirilmesi için çalışmalar yapılmaktadır. İlk olarak Montes ve diğerleri, 2004 yılında bu yöntemi ortaya atmıştır. Bu yöntemde, kapasite eğrisinin elde edilmesi esnasında yer değiştirme ekseninde yapı tarafından tüketilen enerjiden elde edilen yer değiştirme kullanılır [24]. Bu yöntemin diğer yöntemlerden üstünlüğü enerji tüketiminden kaynaklanan etkileri göz önüne almasıdır [19].

### 2.1.2 Planda simetrik olmayan yapılar için doğrusal olmayan statik analiz yöntemleri

Kilar ve Fajfar 1997 yılında simetrik ve simetrik olmayan versiyonları için 7 ve 21 katlı betonarme iki yapıyı incelemiştir. Bu çalışmada kütle merkezine etkitilen yatay yük modeli üçgen bir şekle dönüştürülmüştür. Çok basit bir algoritmaya sahip olmasına rağmen çalışmanın sonucunda taban kesme kuvveti-yer değiştirme eğrisinin dinamik analiz sonuçlarıyla oldukça örtüştüğü görülmüştür. Bu çalışmanın ilk önemli değindiği nokta, planda simetrik olmayan yapıların simetrik olanlara nazaran aynı dayanımı yakalayabilmesi için özellikle yapının esnek yani zayıf tarafında daha büyük yer değiştirmelere ihtiyaç duyduğudur. İkincisi ise düşey elemanların kapasitelerinin, burulma dönmelerine ve burulma mekanizmasının formasyonuna önemli bir etkisi olduğudur [25].

Fajfar 2002 yılında N2 metodunu genişleterek geliştirilmiş N2 metodunu ortaya atmıştır. Bu çalışmada birbirine dik iki doğrultuda üçgen yanal yük modeli kullanılarak, hakim modda titreşen binalar için analizler yapılmıştır [26].

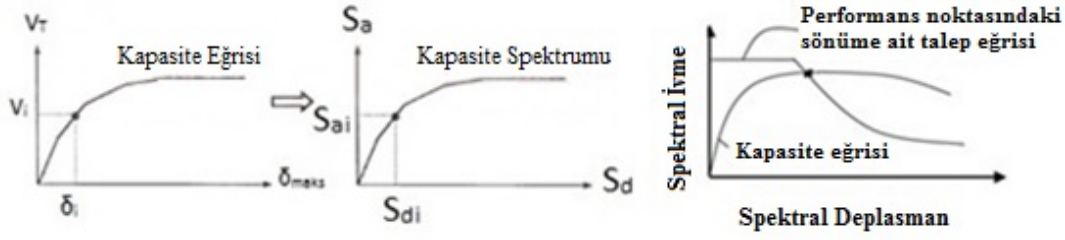
Bonevv ve Strashimirov 2005 yılında yaptığı çalışmalarında modal itme analizi yöntemini kullanarak kat esnekliğinin itme analizi üzerine etkisini incelemiştir. Yazarlar benzer boyutlardaki katlar için esnekliğin itme analizi sonuçlarını etkilemediğini gözlemlemiştir [27].

2006 yılında Forootan ve Moghadam, FEMA yönetmeliklerinde hedef tepe noktasının bulunması için yer alan formülasyona burulma etkilerinin katılması için yeni bir katsayı önermişlerdir [28].

2007 ve 2008 yıllarında yaptıkları çalışmalarla Lin ve Tsai; yapı özellikle elastik olmayan büyük şekil değiştirmeler altındayken modal itme analizinde bulunan tepe noktası ötelemesi ve dönmelerinin zaman tanım alanında analizlerle orantılı olmadığına değinmiş ve Ayrık Modal Tepki Analizini (UMRHA) ortaya atmıştır [29,30].

## **2.2 ATC 40 ve ASCE-41’de Doğrusal Olmayan Statik İtme Metodu**

Freeman tarafından geliştirilen kapasite spektrumu yöntemi Applied Technology Council tarafından hazırlanan “Seismic Evalation and Retrofit of Concrete Buildigs” (ATC-40)’da yer almakta olup yapının yatay yüklere dayanım kapasitesini tepki spektrumundan elde edilen taleple kıyaslamaya dayanmaktadır. Burada itme analizi eğrisi yapının mevcut dayanım kapasitesini temsil ederken tepki spektrumu yapıya etkiyen talebe denk gelmektedir. Bu yöntemde öncelikle itme analizi uygulanarak kapasite eğrisi çizdirilir. Daha sonra taban kesme kuvveti-tepe noktası yer değiştirmesi şeklinde elde edilen eğri ivme-yer değiştirme (AD) formatına eşdeğer Tek Serbestlik Dereceli Sistem (TSDS) kullanılarak getirilir. Çok Serbestlik Dereceli Sistemden (ÇSDS)’den TSDS’e geçerken birinci mod şekli esas alınır. Daha sonra kapasite eğrisi elastik tepki spektrumunun AD formatındaki haliyle aynı grafik üzerine yerleştirilir. Bu yerleştirme işlemi Şekil 2.6’da görüldüğü gibi yapılmakta olup, daha sonra ilk adımda sönüm %5 kabul edilerek yeterli yakınsaklığa ulaşılan kadar iterasyon yapılarak TSDS’in hedef yer değiştirmesi bulunur. Takiben bu değer birinci mod katılım katsayısıyla çarpılarak ÇSDS’in hedef tepe deplasmanı bulunur [1].



**Şekil 2.6 :** Kapasite eğrisinden kapasite spektrumuna geçiş ve talep spektrumunun kapasite spektrumu ile kesiştirilmesi [1].

American Society of Civil Engineers tarafından yayınlanan ASCE-41 'de ise yer değiştirme katsayıları yöntemi (YKY) kullanılmıştır [2]. Bu yöntem yapının yük taşıma kapasitesi ile belirli bir deprem yer hareketi için binaya yüklenen yer değiştirme talebinin birbirine bağımlı olduğu görüşüne dayanmaktadır. Ancak bu yöntemde yer değiştirme talebi grafiksel olarak değil direk sayısal bir yöntemle hesaplanmaktadır. Bunun için taşıyıcı sistemin özelliklerine bağlı olarak belirlenen, yapının periyodunu çevrimsel davranışını ve ikinci merteye etkilerini temsil eden katsayılar kullanılmaktadır. Denklem 2.1'de bahsedilen formülasyon görülmektedir [2].

$$\delta_T = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} \quad (2.1)$$

Bu denklemde  $C_0$  eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemin spektral yerdeğiştirmesini, çok serbestlik dereceli bir sistemin tepe yerdeğiştirmesi ile ilişkilendiren katsayıdır.  $C_1$  ise doğrusal elastik davranış için hesaplanmış yerdeğiştirmeler ile beklenen maksimum elastik olmayan yerdeğiştirmeleri ilişkilendiren katsayıdır.  $C_2$  ise tekrarlı yükler altında çevrimsel yerdeğiştirme davranışı üzerinde rijitlik azalması, dayanım kaybı ve pinching etkisini (dinamik yükler altında çatlakların açılıp kapanmasının ve donatı sıyrılmasının iç kuvvet-şekildeğiştirme bağıntısına olan etkisi) temsil eden değişiklik katsayısıdır.  $C_3$  ise II. Mertebe etkileri nedeniyle arttırılmış yer değiştirmeleri temsil eden değişiklik katsayısıdır.  $T_e$  yapının etkin birinci periyodudur. [31].

Yer değiştirme katsayıları yönteminde önce taban kesme kuvveti ( $V_T$ ) ile yapının tepe noktası yer değiştirmesi ( $\delta_{maks}$ ) arasındaki ilişkiyi belirleyen kapasite eğrisi elde edilir. Kapasite eğrisinin çizilmesinde, etkin olan modlara bağlı olarak ve yapının birinci doğal titreşim periyoduna uygun bir eşdeğer deprem yükü dağılımı seçilir.

Sabit düşey yükler altında ve monotonik artan yatay yükler altında, malzeme ve geometri değişimi bakımından doğrusal olmayan teoriye göre analiz yapılarak kapasite eğrisi elde edilir [31].

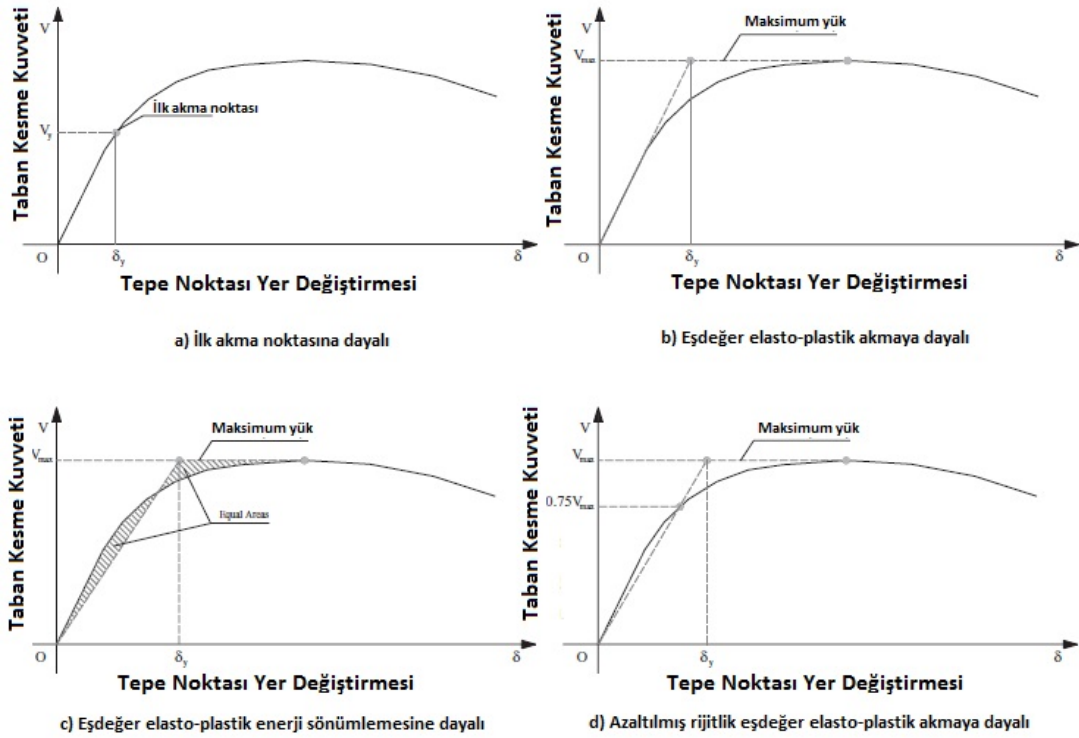
Park'ın 1988'de yaptığı çalışmaya göre kapasite eğrisinin iki doğru parçası ile idealleştirilmesi için Şekil 2.7'de görüldüğü gibi dört farklı method vardır [32]. Bunlar;

a) ilk akma noktasındaki yer değiştirmeye dayalı method [32].

b) Gerçek sistem ile aynı elastik rijitliğe ve nihai (maksimum) yüklemeye sahip eşdeğer elasto-plastik sistemin akma noktasındaki yer değiştirmeye dayalı metod [32].

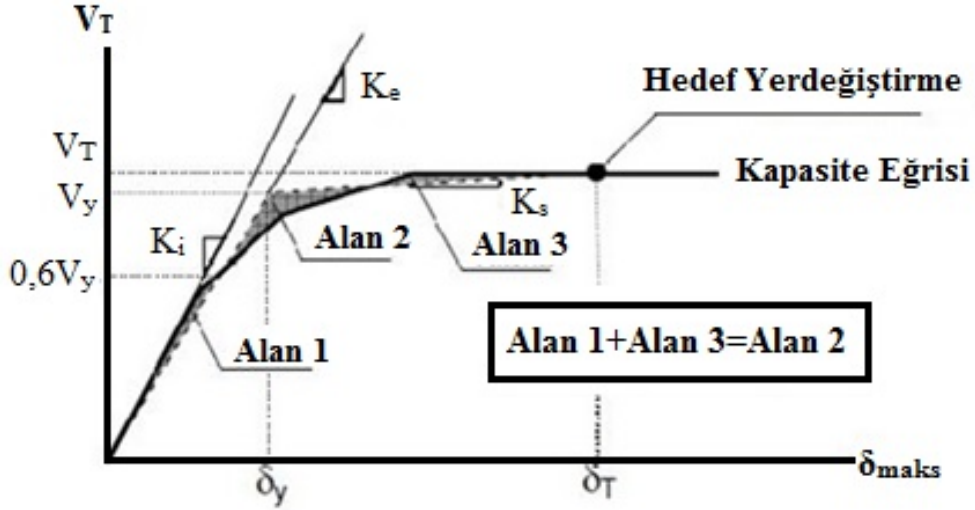
c) Gerçek sistem ile aynı enerji sönümlemesine sahip eşdeğer elasto-plastik sistemin akma noktasındaki yer değiştirmeye dayalı metod [32].

d) Gerçek sistemin nihai (maksimum) yüklemesinin %75'indeki elastik rijitliğe sahip eşdeğer elasto-plastik sistemin akma noktasındaki yer değiştirmeye dayalı metodur [32]. Bu metod FEMA-356'da %60 koşulu ile ele alınmaktadır [31].



Şekil 2.7 : Kapasite eğrisinin iki doğru parçası ile idealleştirilmesi için önerilen 4 metod [32].

$T_e$ 'nin hesabı için; kapasite eğrisi elde edildikten sonra bu eğri, elastik rijitliği ifade eden ( $K_e$ ) ve elastik sonrası rijitliği ifade eden ( $K_s$ ) doğru parçaları ile idealleştirilir. Bu idealleştirme yapılırken  $K_e$  doğrusunun kapasite eğrisini kestiği noktanın ordinatının,  $K_e$  ve  $K_s$  doğrularının kesim noktasının ordinatı için verilen %60 ( $0,60V_y$ ) koşulunun gerçekleşmesi Şekil 2.8'de görüldüğü gibi yapılır.



**Şekil 2.8 :** Kapasite eğrisinin iki doğru parçası ile idealleştirilmesi [31].

Buna göre; kapasite eğrisi üzerinde bir hedef yer değıştirme ( $\delta_T$ ) öngürölür ve  $K_e$  doğrusu seçilir. Buna bağılı olarak da  $V_y$  değeri (iki doğru parçası ile idealleştirilen kapasite eğrisinin akma dayanımı) belirlenir.  $K_e$  doğrusunun kapasite eğrisini kestiği noktanın ordinatı kontrol edilerek, bu değeri  $0,60V_y$ ' ye eşit değilde  $K_e$  için yeni bir değeri öngörölerek işlem tekrarlanır. İlgili koşulu sağılayan idealleştirme gerçekleştirildikten sonra 2.2 bağıntısı ile  $T_e$  etkin periyot değeri hesaplanır [31].

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \quad (2.2)$$

Burada,

$T_i$ : Elemanların gerçek (çatlamış) rijitlikleri kullanılarak deprem kuvveti doğrultusunda yapının serbest titreşim analizi ile hesaplanan birinci doğal titreşim periyodunu,

$K_i$ : Yapının elastik yanal rijitliğini,



$K_e$ : Yapının elastik etkin rijitliğini,

$\delta_y$ : İki doğru parçası ile idealleştirilen kapasite eğrisinin akma yerdeğiştirmesini;  $V_y$ : İki doğru parçası ile idealleştirilen kapasite eğrisinin akma dayanımını; tanımlamaktadır [31].

Hedef yerdeğiştirmenin belirlenebilmesi için yerdeğiştirme katsayılarının hesaplanması gerekmektedir. Bunlardan  $C_0$ ;

- Yer değiştirme kontrol noktası seviyesindeki birinci modal katılım çarpanı değeri
- Hedef yerdeğiştirmesine ulaşan binanın, deforme olmuş şekli kullanılarak belirlenmiş modal katılım çarpanı değeri
- $C_0$  binanın taşıyıcı sisteminin özelliğine ve kat adedine bağlı olarak çizelge 2.1'den belirlenmektedir [31].

**Çizelge 2.1** :  $C_0$  katsayıları [31].

Kat	Kayma Binaları		Diğer Binalar
	Üçgen Yük	Uniform Yük	
1	1,0	1,0	1,0
2	1,2	1,15	1,2
3	1,2	1,20	1,3
5	1,3	1,20	1,4
>10	1,3	1,20	1,5

$C_1$  katsayısı ise denklem 2.3 ve 2.4 ile hesaplanabilir.

$$T_e \geq T_B \text{ ise } C_1 = 1 \quad (2.3)$$

$$T_e \leq T_B \text{ ise } C_1 = \left[ 1 + (R-1) \frac{T_B}{T_e} \right] / R \quad (2.4)$$

$T_B$  ( $T_0$ ) : Davranış spektrumunda, sabit ivme kısmından sabit hız kısmına geçiş noktasındaki karakteristik periyot

$R$  : elastik olmayan dayanım talebinin akma dayanımına oranıdır (Denklem 2.5).

$$R = \frac{S_a}{V_y / W} \times C_m \quad (2.5)$$

$W$  yapı kütlesi olup,  $C_m$  değerleri Çizelge 2.2'de belirtilmiştir.

**Çizelge 2.2 :**  $C_m$  katsayıları [31].

Kat sayısı	Betonarme çerçeve	Betonarme perde	Betonarme destek-payanda	Çelik çerçeve	Çelik dış merkezli çaprazlı	Çelik eş merkezli çaprazlı	Diğerleri
1-2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
3<	0,9	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	1,0

Not: 1. Doğal titreşim periyodu 1.00'den büyük olan binalarda  $C_m=1$  alınır.

$C_2$  değeri ise Çizelge 2.3'den belirlenir.

**Çizelge 2.3 :**  $C_2$  katsayıları [31].

Performans seviyesi	$T \leq 0.10$ sn		$T \geq T_0$	
	Çerçeve tipi-1	Çerçeve tipi-2	Çerçeve tipi-1	Çerçeve tipi-2
Hemen kullanım	1,00	1,00	1,00	1,00
Can güvenliği	1,30	1,00	1,10	1,00
Göçme öncesi	1,50	1,00	1,20	1,10

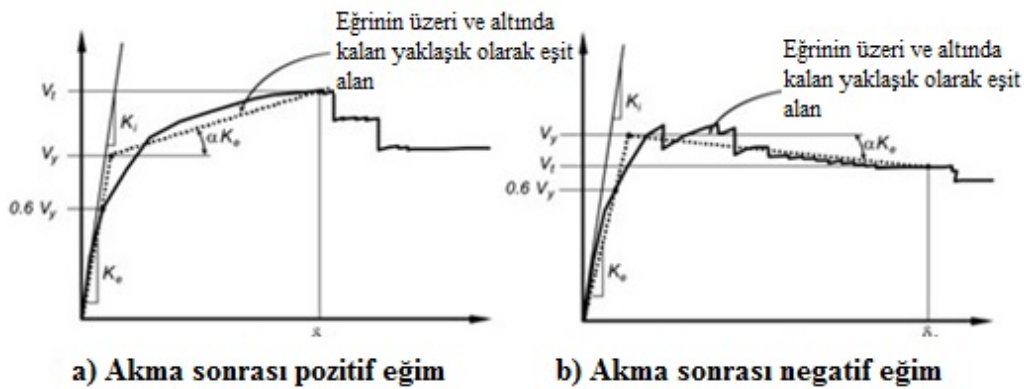
Çerçeve tipi-1: Herhangi bir kat seviyesindeki kat kesme kuvvetlerinin %30 undan daha fazlasını bileşenleri, elemanları veya çerçevelerin kombinasyonu ile karşılayan yapılardır.

Çerçeve tipi-2: Çerçeve tipi-1 dışında kalan çerçevelerdir.

$C_3$  katsayısı ise; Akma sonrası rijitliğin pozitif olduğu yapılarda 1, negatif olduğu yapılarda Denklem 2.6 yardımıyla hesaplanır.

$$C_3 = 1 + \frac{|\infty|(R-1)^{2/3}}{T_e} \quad (2.6)$$

$\alpha$  : Akma sonrası idealize edilmiş eğrinin eğimidir (Şekil 2.9).



**Şekil 2.9 :** İdealize edilmiş kuvvet-deplasman eğrisi [33]

### 2.3 N2 Metodu

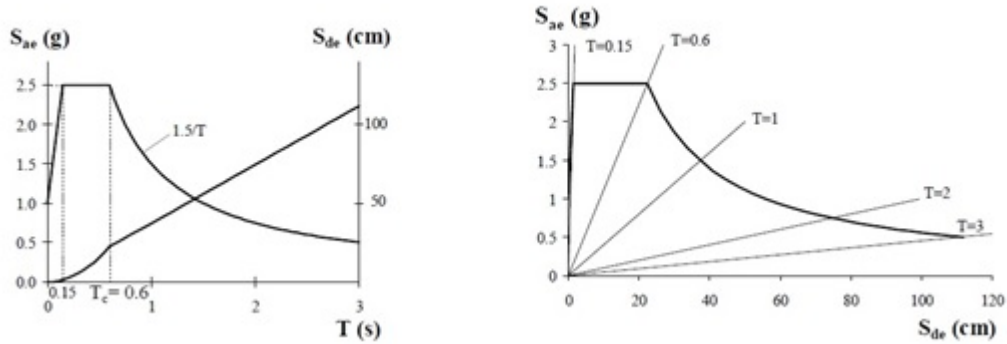
N2 yöntemi hakkındaki gelişmeler 1980'lerin ortalarında başlamış olup temel fikir Saidii ve Sözen'in geliştirdiği Q-model'den alınmıştır [14]. Metod ilk olarak 1996 yılında Fajfar ve Gaspersic tarafından ortaya atılmıştır [34]. Yöntem yapılarıdaki düzensizlikleri göz önüne alıcak şekilde yenilenerek geliştirilmiş N2 metodu ortaya atılmıştır [35]. Bu yöntemin isminde yer alan N, non-linear yani lineer olmayan anlamına gelip 2 ise yapının hedef yer değiştirmesinin bulunması için iki ayrı matematiksel modelin kurulmasını temsil etmektedir [34]. Bu modeller çok serbestlik dereceli sistem (ÇSDS) ve tek serbestlik dereceli sistemdir (TSDS). N2 yöntemi aşağıdaki adımlar izlenerek uygulanır [36].

a) Yapıya ait ÇSDS modeli oluşturulur.

b) İvme spektrumundan ivme-yerdeğiştirme (AD) formatındaki elastik olmayan spektruma geçiş yapılır. Elastik bir TSDS için;

$$S_{de} = \frac{T^2}{4\pi^2} S_{ae} \quad (2.7)$$

denklemini uygulanır. Burada;  $S_{ae}$  ve  $S_{de}$  sırasıyla elastik ivme ve yer değiştirmeye spektrumundaki belirli bir viskoz sönüm oranı  $\zeta$  için T periyoduna denk gelen ivme ve yer değiştirme değerleridir. Şekil 2.10'da %5 sönüm ve 1,0 g maksimum yer ivmesi için tipik bir elastik ivme-yer değiştirme spektrumu verilmiştir.



**Şekil 2.10 :** Tipik elastik ivme-zaman ve elastik ivme-yerdeğiştirme spektrumları [36].

Elastik olmayan TSDS bilinear kuvvet-deformasyon bağıntısı ivme ( $S_a$ ) ve yer değiştirme ( $S_d$ ) spektrumundan Denklem 2.8 ve Denklem 2.9'daki gibi elde edilir.

$$S_a = \frac{S_{ae}}{R_\mu} \quad (2.8)$$

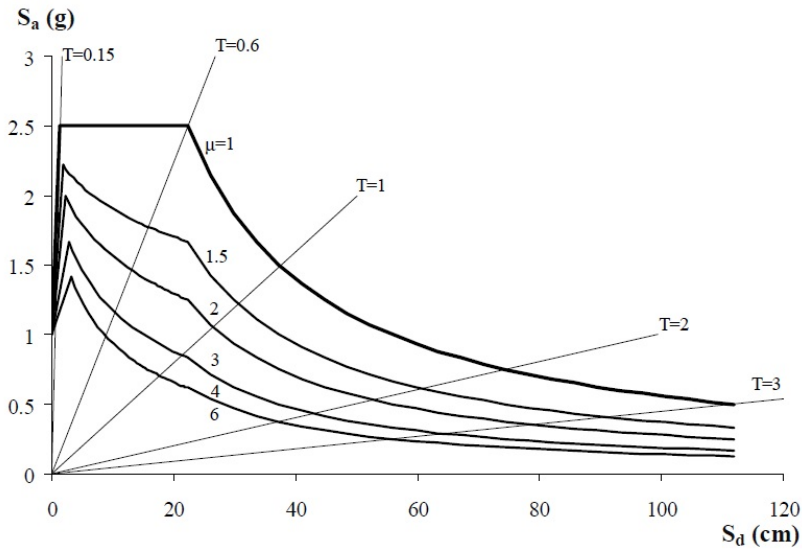
$$S_d = \frac{\mu}{R_\mu} S_{de} = \frac{\mu}{R_\mu} \frac{T^2}{4\pi^2} S_{ae} = \mu \frac{T^2}{4\pi^2} S_a \quad (2.9)$$

Burada  $\mu$  maksimum yer değiştirme ile akma yerdeğiştirmesinin oranı olan sönüm oranıdır. İndirgeme faktörü  $R_\mu$  için birçok öneri yapılmış olup N2 yönteminin basit versiyonunda bu faktörün iki doğrulu spektrumu kullanılarak Denklem 2.10 ve Denklem 2.11 ile hesaplanabilir;

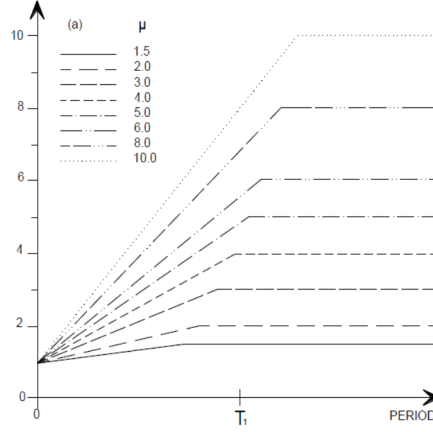
$$R_\mu = (\mu - 1) \frac{T}{T_C} + 1 \quad T < T_C \quad (2.10)$$

$$R_\mu = \mu \quad T \geq T_C \quad (2.11)$$

Burada  $T_C$  yer hareketine bağlı karakteristik periyot olup tepki spektrumunda sabit ivme segmenti (kısa periyot aralığı) ile sabit hız segmentinin (orta periyot aralığı) keşişimindeki geçiş periyodudur. Elastik tasarım spektrumundan AD formatındaki talep spektrumu Denklem 2.8 - Denklem 2.11 kullanılarak sabit sönüm faktörleri için Şekil 2.11'de görüldüğü gibi elde edilir.



**Şekil 2.11** : 1,0 g maksimum yerçekimi ivmesi için sabit sönümlerdeki AD formatında talep spektrumu [36].



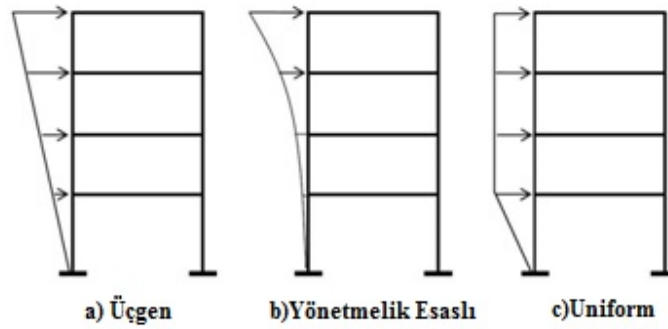
**Şekil 2.12** :  $R_{\mu}$  için yaklaşık spektrum [37].

Şekil 2.12’de spektrumun sabit ivme bölgesi ile sabit hız bölgesinin keştiği yer  $T_1$  geçiş periyoduna karşılık gelir. Eğer tek serbestlik dereceli sistemin periyodu ( $T$ ), köşe periyodundan ( $T_1$ ) büyük ise eşit deplasman kuralına göre  $R_{\mu}=\mu$ ’ dir [37].

c) İtme analizi yapıya; yapının yer sarsıntısına maruz bırakılmasıyla tecrübe edilen iç kuvvetleri temsil eden adım adım arttırılan yatay yüklerin etkilmesiyle yapılır. Artan yükler altında birçok yapı elemanı sırasıyla akma kapasitesine ulaşmaktadır. Sonuç olarak her akma kapasitesine ulaşan yapı elemanı sonrasında yapı rijitlik kaybına uğramaktadır.

İtme analizi uygulanarak N2 yönteminde kullanılacak olan ÇSDS’in taban kesme kuvveti ve tepe noktasına ait yerdeğiştirme grafiği elde edilir.

İtme analizlerinde yapıya yatay yükler birçok farklı dağılımda etkitilebileceği gibi bu birbirinden farklı dağılımlar çok yakın sonuçlar vermektedirler. Şekil 2.13’de yapıya etkitilebilecek yatay yük dağılımları gösterilmektedir.



**Şekil 2.13** : FEMA-356’da itme analizi için önerilen yatay yük modelleri (uniform kütle dağılımı olduğu varsayılmıştır) [31].

Denklem 2.12 ve Denklem 2.13'den yatay yüklerin yapı yüksekliği boyunca olan dağılımı elde edilir.

$$\{P\} = [M]\{\Phi\} \quad (2.12)$$

$$P_i = m_i \Phi_i \quad (2.13)$$

Burada [M] kütle matrisini,  $\{\Phi\}$  ise zamandan bağımsız yer değiştirme şeklini ifade etmektedir. Yaklaşık şekil en üst kat yerdeğiştirmesinin 1'e normalize edilmesiyle bulunur ( $\Phi_n=1$ ).

d) Bu adımdan sonra ÇSDS parametrelerinin TSDS parametrelerine dönüştürülmesiyle ikinci bir matematiksel model oluşturulur. Bunun için modal katılım katsayısı olarak adlandırılan  $\Gamma$  katsayısı kullanılır.

$$\Gamma = \frac{\{\Phi\}^T [M] \{1\}}{\{\Phi\}^T [M] \{\Phi\}} \quad (2.14)$$

Burada 1 birim matrisi temsil etmektedir. Bu denklemin alt satırı ilgili moda ait genelleştirilmiş kütlesi olarak isimlendirilmektedir. Tek serbestlik dereceli sistemin eşdeğer kütlesi  $m^*$  ise denklem 2.15 ile elde edilir.

$$m^* = \Phi^T M 1 \quad (2.15)$$

$D^*$  ve  $F^*$  sırasıyla eşdeğer TSDS'in yer değiştirme ve kuvvet değerleri olmak üzere;

$$D^* = \frac{D_t}{\Gamma} \quad (2.16)$$

$$F^* = \frac{V}{\Gamma} \quad (2.17)$$

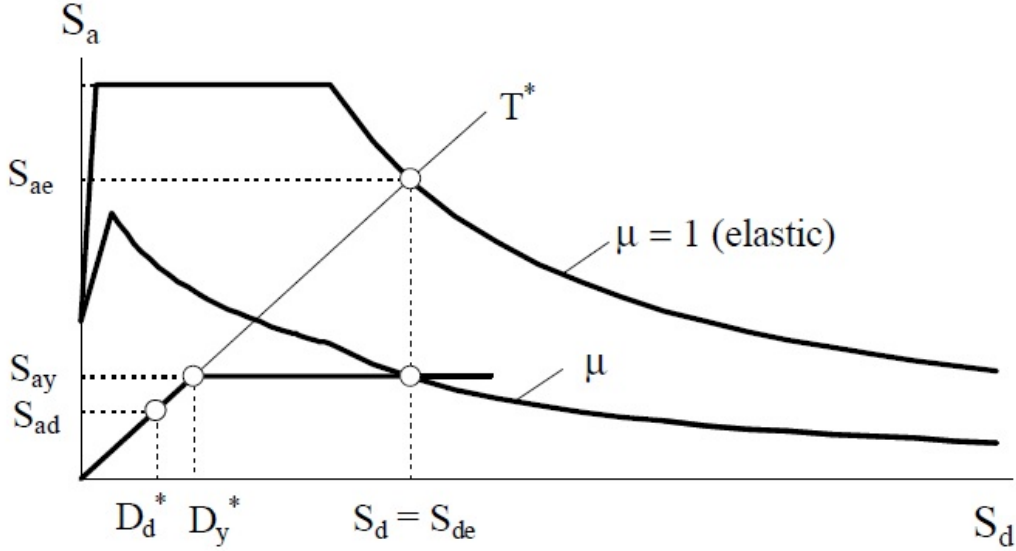
Burada  $D_t$  ÇSDS'in tepe noktası deplasmanı olup  $V$  ise ÇSDS'in taban kesme kuvvetidir. Daha sonra elde edilen eğri iki doğrulu hale getirilerek TSDS'in akma dayanımı ( $F_y^*$ ) ve akma yerdeğiştirmesi ( $D_y^*$ ) elde edilir. İdealize edilmiş iki doğrulu sistemin elastik periyodu  $T^*$  Denklem 2.18'deki bağıntıyla hesaplanabilir.

$$T^* = 2\pi \sqrt{\frac{m^* D_y^*}{F_y^*}} \quad (2.18)$$

Son olarak AD formatındaki kapasite diyagramı TSDS'in taban kesme kuvveti-yer değiştirme diyagramındaki değerlerin eşdeğer kütle  $m^*$ 'a bölünmesi ile elde edilir.

$$S_a = \frac{F^*}{m^*} \quad (2.19)$$

e) TSDS'e ait sismik talep grafiksel olarak orta ve uzun periyot aralığı için Şekil 2.14 kısa periyot aralığı içinse Şekil 2.15'deki gibi elde edilir.



**Şekil 2.14 :** Elastik ve elastik olmayan talep spektrumları ile kapasite diyagramının orta ve uzun periyot aralığı için keşiştirilmesi [36].

Talep spektrumu ve kapasite diyagramları aynı grafik üzerine yansıtılarak; idealize edilmiş TSDS'in elastik periyodu  $T^*$ 'ın elastik talep spektrumu  $S_{ae}$  ile keşişimi olan nokta elastik yerdeğiştirme talebine karşılık gelmektedir. Akma ivmesi  $S_{ay}$  ivme talebini ve elastik olmayan sistemin kapasitesini temsil etmektedir. İndirgeme katsayısı  $R_\mu$  elastik ve elastik olmayan sistemlere ait ivmelerin oranıdır.

$$R_\mu = \frac{S_{ae}(T^*)}{S_{ay}} \quad (2.20)$$

Eğer elastik periyot  $T^*$ ,  $T_c$ 'ye eşit veya daha büyükse elastik olmayan yer değiştirme talebi  $S_d$  elastik yer değiştirme talebi  $S_{de}$ 'ye eşit olur.

$$S_d = S_{de}(T^*) \quad T^* \geq T_c \quad (2.21)$$

$$\mu = R_\mu \quad (2.22)$$

Eğer sistemin elastik periyodu  $T^*$   $T_C$ 'den küçükse sönüme bağlı faktör  $\mu$  aşağıdaki eşitlikten hesaplanır.

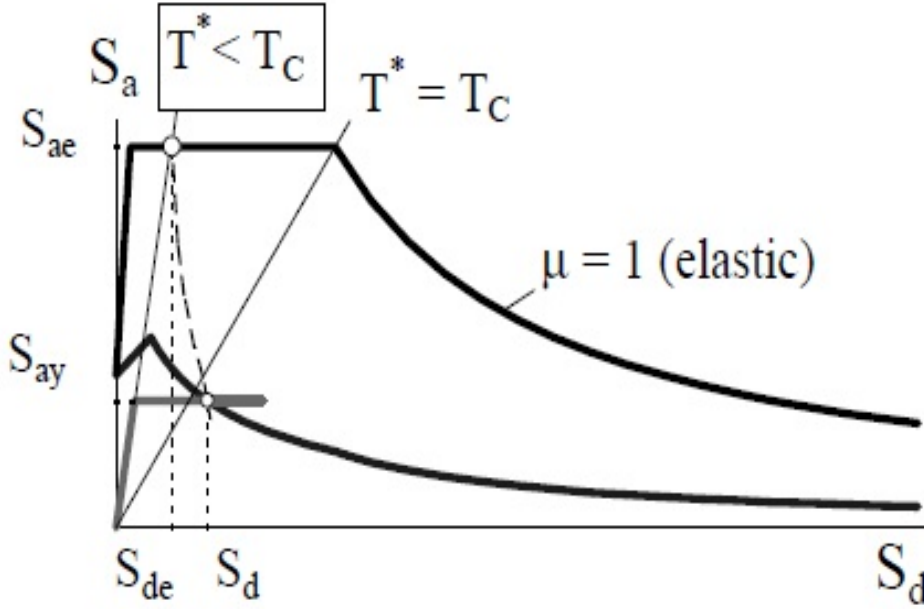
$$\mu = (R_\mu - 1) \frac{T_C}{T^*} + 1 \quad T^* < T_C \quad (2.23)$$

Yer değiştirme talebi ise;

$$S_d = \mu D_y^* = \frac{S_{de}}{R_\mu} \left[ 1 + (R_\mu - 1) \frac{T_C}{T^*} \right] \quad (2.24)$$

ile hesaplanabilir.

f) TSDS'in yer değiştirme talebi  $S_d$ , Denklem 2.16 kullanılarak ÇSDS'in hedef tepe noktası deplasmanına çevrilir.

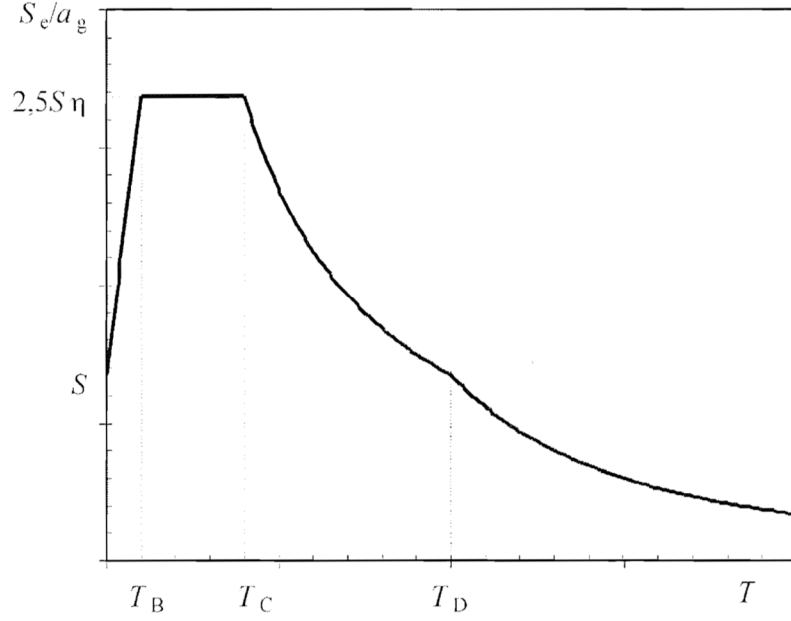


**Şekil 2.15 :** Elastik ve elastik olmayan talep spektrumları ile kapasite diyagramının kısa periyot aralığı için kesiştirilmesi [36].

### 2.3.1 Eurocode elastik tepki spektrumu

N2 yönteminin uygulanması amacıyla Eurocode 8'de yer alan ve Şekil 2.16'da belirtilen elastik tepki spektrumu kullanılmaktadır. Sismik hareketin yatay bileşenleri için elastik tepki spektrumu  $S_e(T)$  aşağıdaki Denklem 2.25-2.28 kullanılarak hesaplanabilir [3];





**Şekil 2.16 :** Eurocode 8’de yer alan elastik tepki spektrumu [3].

$$0 \leq T \leq T_B \Rightarrow S_e(T) = a_g \times S \times \left[ 1 + \frac{T}{T_B} \times (\eta \times 2,5 - 1) \right] \quad (2.25)$$

$$T_B \leq T \leq T_C \Rightarrow S_e(T) = a_g \times S \times \eta \times 2,5 \quad (2.26)$$

$$T_C \leq T \leq T_D \Rightarrow S_e(T) = a_g \times S \times \eta \times 2,5 \times \left[ \frac{T_C}{T} \right] \quad (2.27)$$

$$T_C \leq T \leq T_D \Rightarrow S_e(T) = a_g \times S \times \eta \times 2,5 \times \left[ \frac{T_C}{T} \right] \quad (2.28)$$

Bu denklemlerde yer alan;

$S_e(T)$ : elastik yanıt spektrumudur.

T: TSDS’in titreşim periyodudur.

$a_g$ : tasarım yer ivmesidir.

$T_B$ : spektrumun sabit ivme kısmının alt limiti

$T_C$ : spektrumun sabit ivme kısmının üst limiti

$T_D$ : spektrumun sabit yerdeğiştirme aralığının başlangıcı

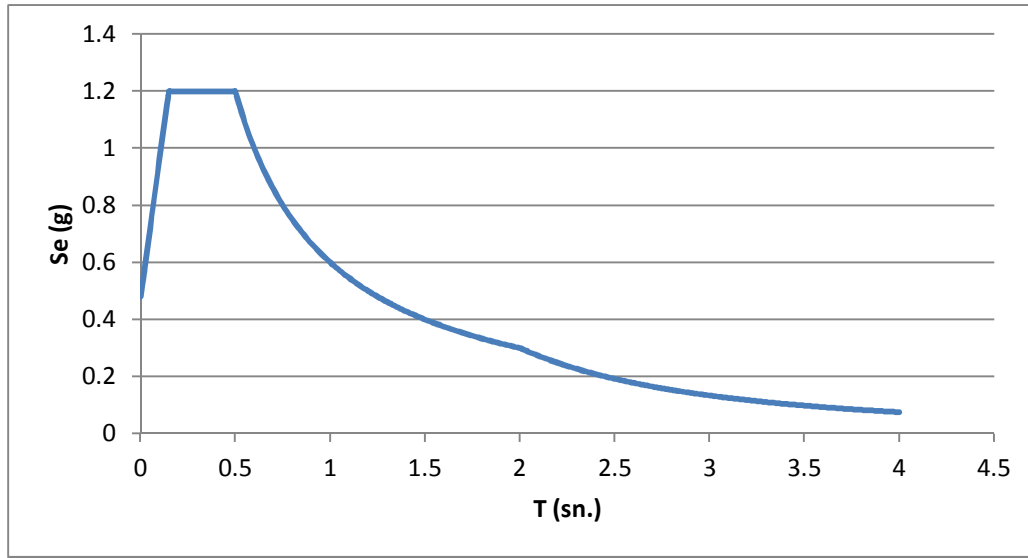
S: zemin faktörü

$\eta$ : %5 viskoz sönüm için bire eşit olan sönüm düzeltme katsayısıdır.

Çizelge 2.4’de elastik yanıt spektrumu için zemin sınıflarına göre parametreler ve Şekil 2.17’de ise B zemin sınıfı ve  $a_g=0,4$  için elastik spektrum görülmektedir.

**Çizelge 2.4 :** Elastik tepki spektrumu için zemin sınıflarına göre parametreler [3].

Zemin Sınıfı	S	$T_B$ (sn.)	$T_C$ (sn.)	$T_D$ (sn.)
A	1,0	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 2.17 :** B zemin sınıfı ve  $a_g=0,4$  için elastik spektrum.

## 2.4 Geliştirilmiş N2 ve Mod Birleştirme Metotları

### 2.4.1 Mod birleştirme metodu

Mod birleştirme yönteminde etkiyen kuvvet vektörünün hesaplanabilmesi için; mod şekillerini kullanarak sonuç tepkilerini elde edebilmek adına modların katılımlarını birleştiren kareler toplamının karekökü (SRSS) ve tam karesel birleştirme yöntemleri kullanılır (CQC). Bu kuralı uygulayan yöntemler mod birleştirme kuralı uygulanan itme analizi olarak adlandırılır [4].

İlk defa Wilson 1981 yılında, elastik modal tepkilerin birleştirilmesi ile yapılan bu mod birleştirme yöntemini ortaya atmıştır. 2002 yılında Chopra ve Goel tekil modal tepkilerin birleştirilmesine dair çalışmalarını yayınlamışlar ve yöntemleri Adhikari ve Pinho ayrıca Penelis ve Kappos tarafından ise kat kuvveti gibi modal tepki hareketlerinin birleştirilmesi gibi geliştirmelerle güçlendirilmiştir. [4,38].

## 2.4.2 Geliştirilmiş N2 metodu

2002 yılında Fajfar 12. Avrupa Deprem Mühendisliği Konferansı'nda "Deprem Mühendisliğinde Yapısal Analiz- Basitleştirilmiş Doğrusal Olmayan Yöntemlerin Dönüm Noktası" (Structural Analysis in Earthquake Engineering – A Breakthrough of Simplified Non-Linear Methods) adlı makalesinde yapısal düzensizlikler bulunan ve simetrik olmayan yapılara uygulanabilir olan geliştirilmiş N2 metodundan bahsetmiştir. [39].

N2 yöntemi plan ve yapı yüksekliği boyunca olan yapısal düzensizlikleri hesaba katmakta yetersiz kalmaktadır. Bu sebeple, N2 yönteminin basit versiyonu plan ve yapı yüksekliği boyunca yer alan düzensizlikleri hesaba katacak şekilde genişletilerek geliştirilmiş N2 metodu oluşturulmuştur [40].

Yapısal düzensizliklerden kaynaklanan burulma etkisi N2 yönteminin basit versiyonuyla elastik modal analizlerin kombine edilmesiyle hesaba katılmaktadır.

Yükseklik ve plandaki düzensizliklerin hesaba katılması için iki farklı düzeltme faktörü kullanılmaktadır. Bunun için;

$$C_{NORM} = \frac{d_{t,push}}{d_{t,RSA}} \quad (2.29)$$

denklemini ile bir normalizasyon katsayısı bulunur. Burada  $C_{Norm}$  normalizasyon katsayısını,  $d_{t,push}$  itme analizinden elde edilen en üst kata ait yer değiştirme değerini,  $d_{t,RSA}$  ise elastik modal analizden elde edilen en üst kata ait yer değiştirme değerini ifade etmektedir.

Normalize edilmiş itme analizi sonuçlarının elastik modal analiz sonuçlarına kütle merkezindeki oranı yükseklik boyunca yer alan düzensizlik etkileri için düzeltme katsayısı  $C_E$ 'ye tabii olarak kabul etmektedir. Plandaki düzensizlik etkileri içinse düzeltme katsayısı  $C_T$ 'ye tekabül etmektedir. Eğer düzeltme katsayıları birden küçük çıkarsa 1 olarak alınır.

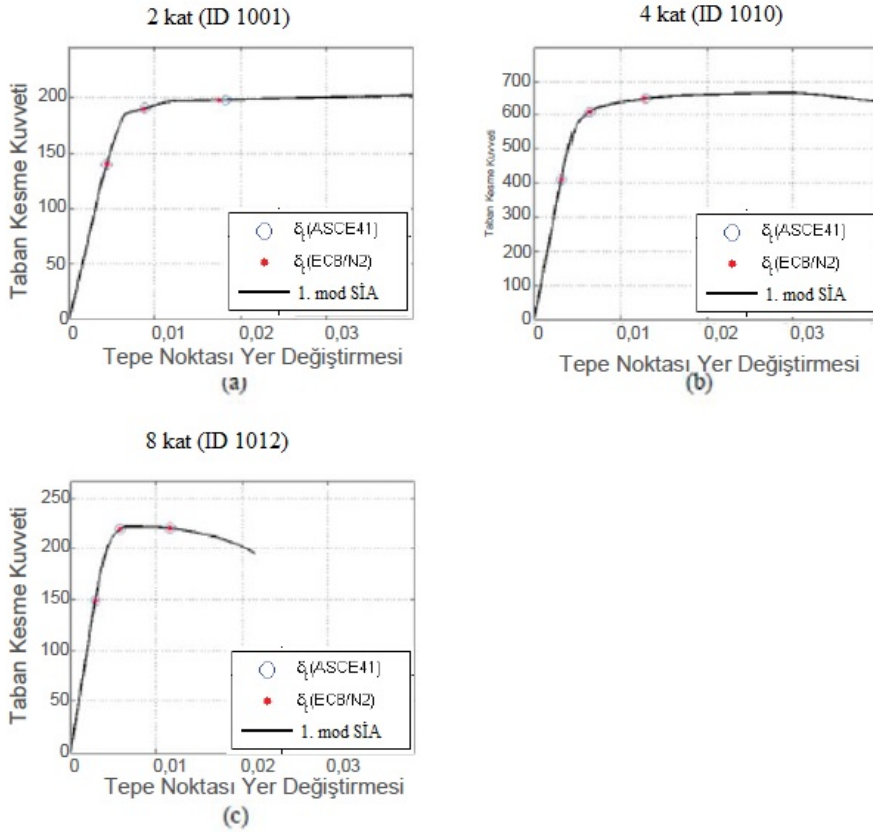
Plandaki düzensizlik etkileri  $C_E$  için sabit kabul edilirken  $C_T$  için plandaki yerleşime göre değişiklik göstermektedir. Ayrıca  $C_T$  katsayıları yükseklikten bağımsız olup herhangi bir kat için aynı değerler kullanılabilir.

Yapının incelenmesi bütün noktaların N2 yönteminden gelen değerlerinin düzeltme katsayılarıyla çarpılması sonucu bulunur [40].

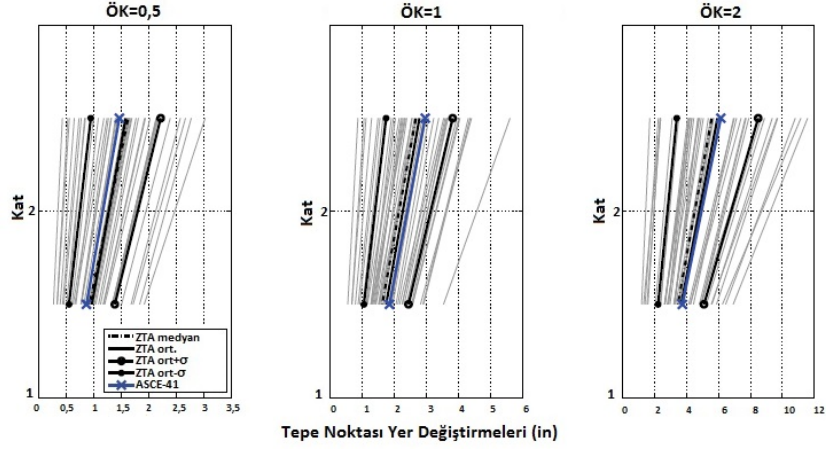
Geliştirilmiş N2 metodundan elde edilen sonuçlar, hem statik itme analizinden hemde elastik modal analiz sonuçlarından etkilenmekte olup talepteki burulma etkilerine bağlı artış elastik modal analizlerle hesaba katılırken, düşüş göz ardı edilmektedir [41].

## 2.5 Klasik Artımsal İtme Analizi Yöntemlerinin Kıyaslanması

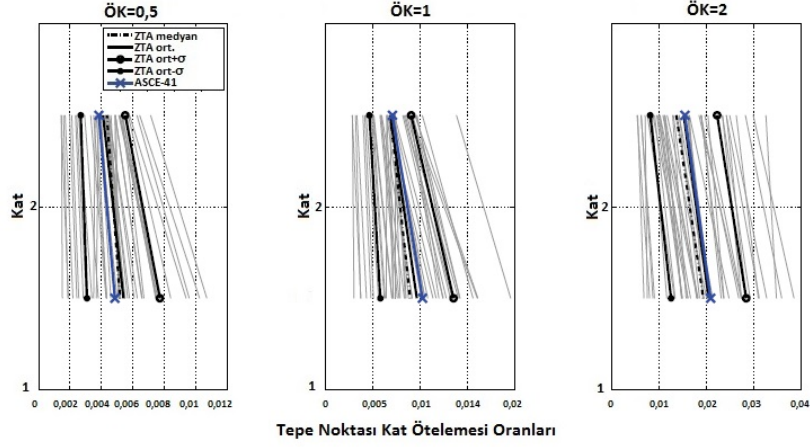
N2 yönteminde bulunan hedef tepe noktası deplasmanları Amerikan Ulusal Standartlar ve Teknoloji enstitüsü tarafından ASCE-41'de yer alan yer değiştirme katsayıları yöntemiyle bulunan hedef tepe noktası deplasmanlarıyla 2, 4 ve 8 katlı betonarme yapılar için 2010 raporunda kıyaslanmış olup Şekil 2.18-Şekil 2.24'deki sonuçlar elde edilmiştir. Bu kıyaslama işlemi için yer ivmeleri farklı katsayılarla ölçeklendirilmiştir (ÖK=0,5, 1, 2). Çalışma kapsamında bulunan sonuçlara göre N2 metodu ve YDK metotları tepe noktası yer değiştirmesinde birbirine yakın sonuçlar verdiği için çalışmaya YDK metoduyla devam edilmiştir [42].



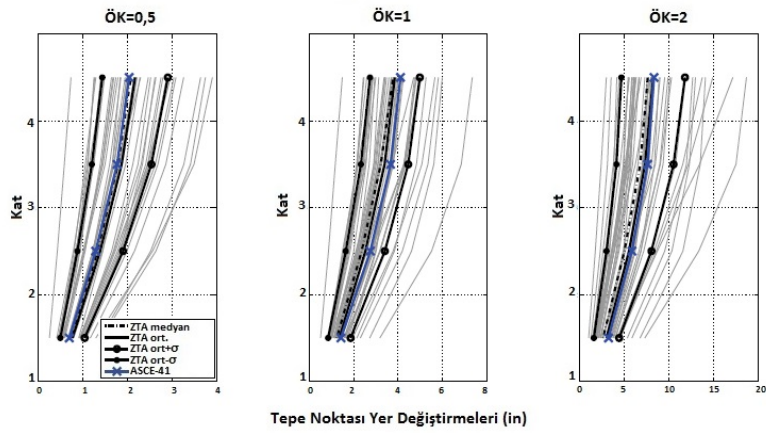
Şekil 2.18 : 2, 4 ve 8 katlı yapılar için bulunan hedef tepe noktası yer değiştirmelerinin hesaplanması [42].



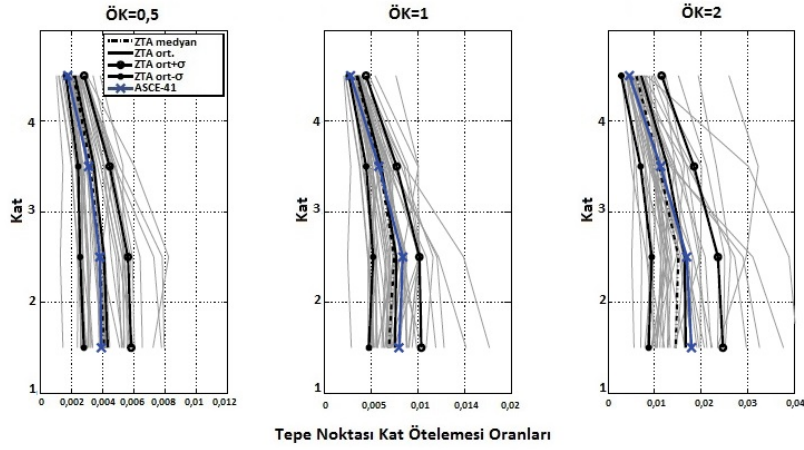
Şekil 2.19 : 2 katlı yapının zaman tanım alanında analiz sonuçları ile ASCE 41 yer değiştirme katsayıları yöntemi sonuçlarının tepe noktası yer değiştirmeleri açısından kıyaslanması [42].



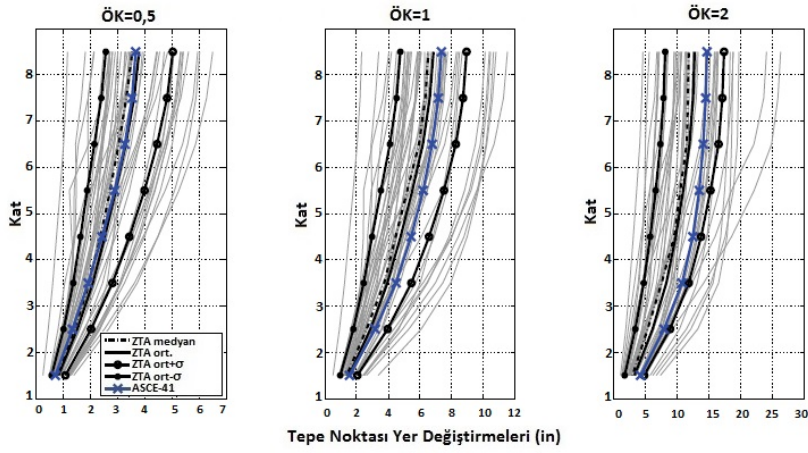
Şekil 2.20 : 2 katlı yapının zaman tanım alanında analiz sonuçları ile ASCE 41 yer değiştirme katsayıları yöntemi sonuçlarının kat ötelemeleri oranı açısından kıyaslanması [42].



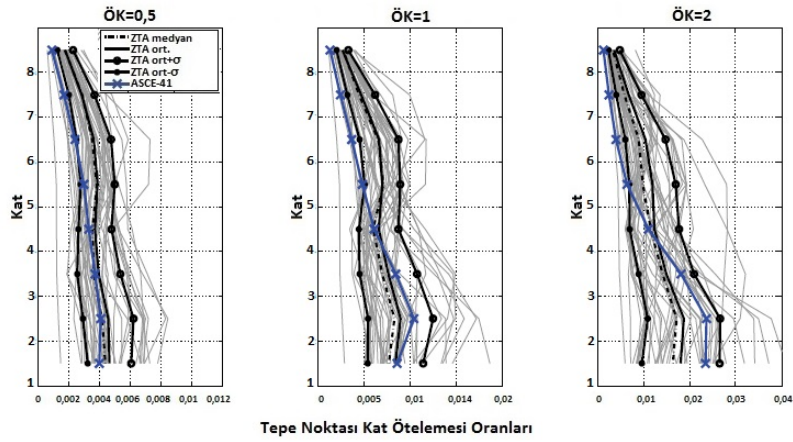
Şekil 2.21 : 4 katlı yapının zaman tanım alanında analiz sonuçları ile ASCE 41 yer değiştirme katsayıları yöntemi sonuçlarının tepe noktası yer değiştirmeleri açısından kıyaslanması [42].



Şekil 2.22 : 4 katlı yapının zaman tanım alanında analiz sonuçları ile ASCE 41 yer değiştirme katsayıları yöntemi sonuçlarının kat ötelemeleri oranı açısından kıyaslanması [42].

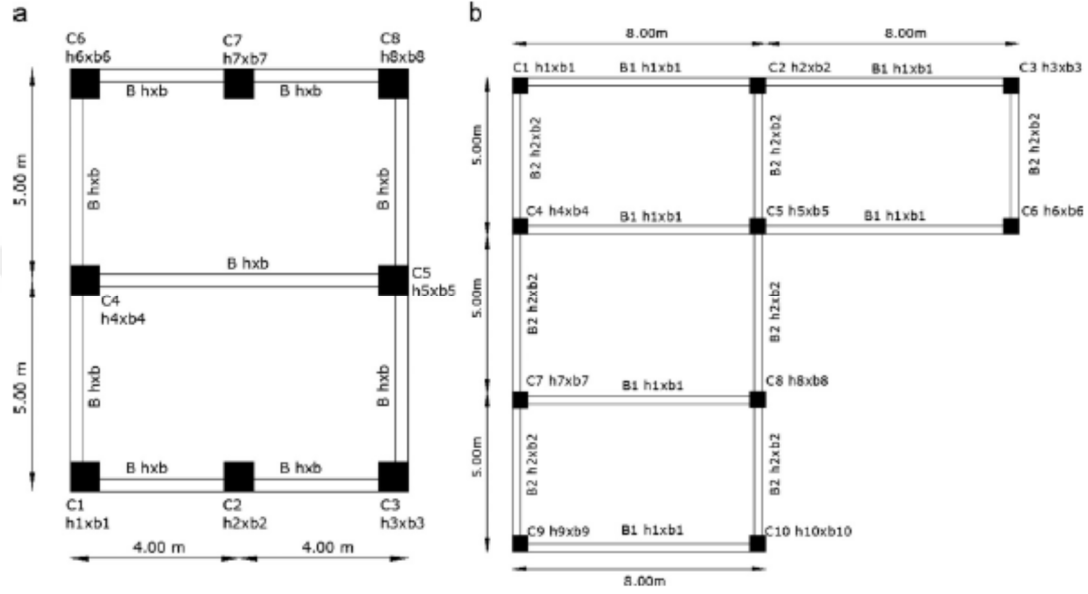


Şekil 2.23 : 8 katlı yapının zaman tanım alanında analiz sonuçları ile ASCE 41 yer değiştirme katsayıları yöntemi sonuçlarının tepesi noktası yer değiştirmeleri açısından kıyaslanması [42].

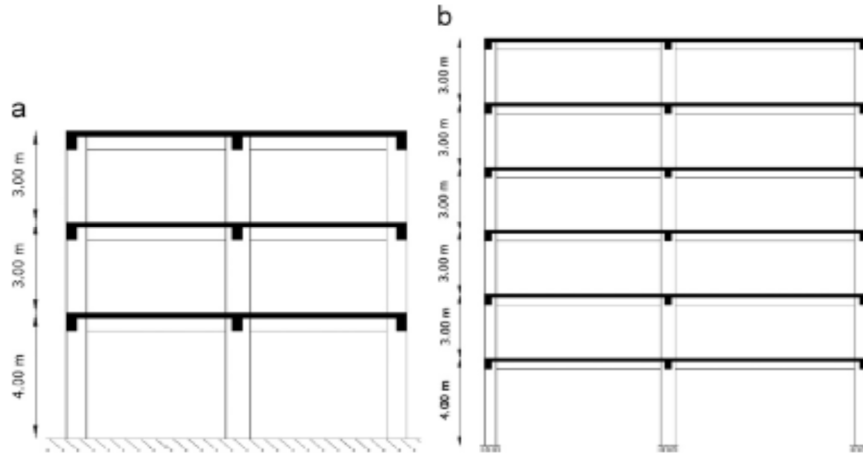


Şekil 2.24 : 8 katlı yapının zaman tanım alanında analiz sonuçları ile ASCE 41 yer değiştirme katsayıları yöntemi sonuçlarının kat ötelemeleri oranı açısından kıyaslanması [42].

Lagaros ve Fragiadakis'in çalışmasında ASCE-41'de yer alan yerdeğiştirme katsayıları yöntemi, ATC-40'da yer alan kapasite spektrumu yöntemi ve Eurocode-8'de yer alan N2 yöntemleri düzenli ve düzensiz 3 ve 6 katlı yapılar için Artımsal Dinamik Analiz (IDA) sonuçları referans alınarak kıyaslanmıştır. Şekil 2.25a'da incelenen düzenli yapının, şekil 2.25b'de ise düzensiz yapının planları görülmektedir. Şekil 2.26'da ise bu yapılara ait boy kesitleri verilmiştir [43].

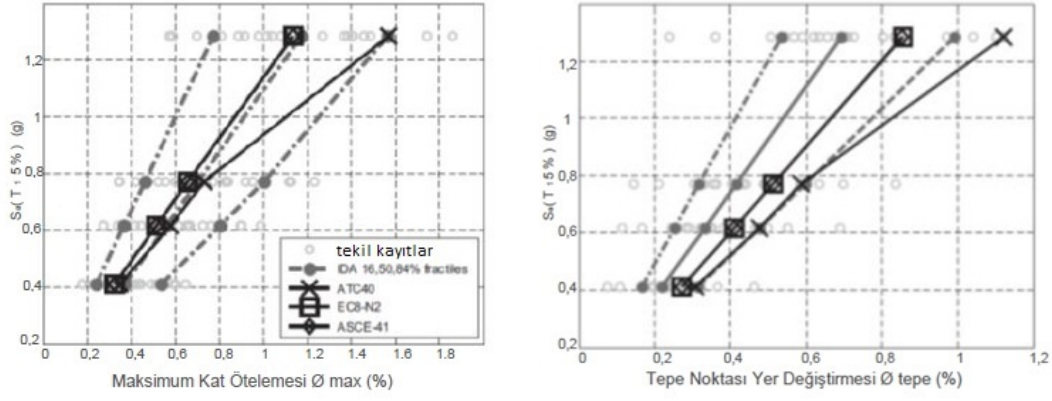


Şekil 2.25 : İncelenen düzenli ve düzensiz betonarme yapılar [43].

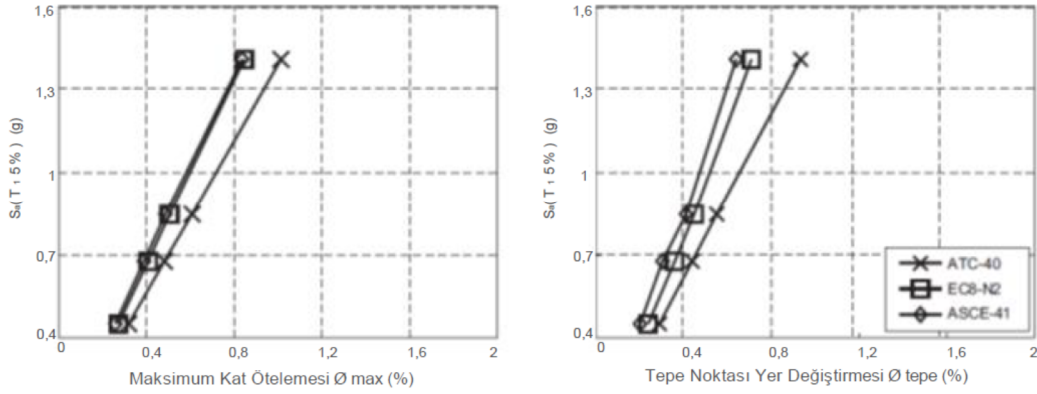


Şekil 2.26 : İncelenen yapıların boy kesitleri [43].

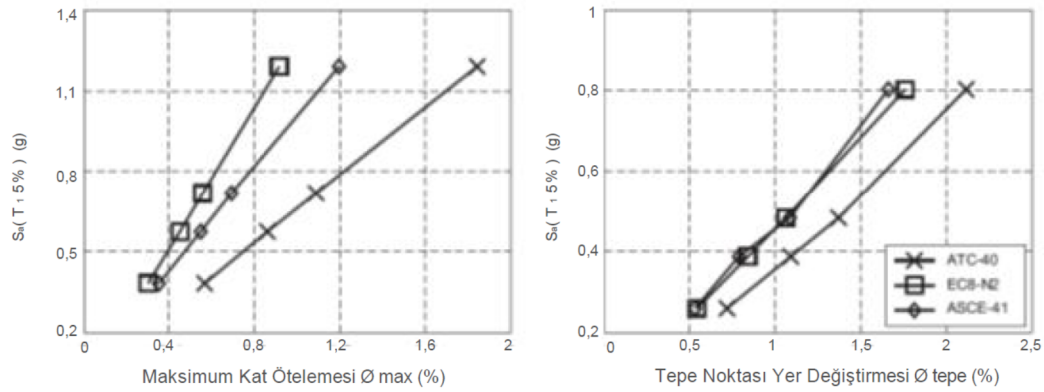
Çalışma kapsamında B tipi zemin sınıfı için olan elastik tepki spektrumu kullanılmıştır. İtme analizlerinde kullanılan spektrum ve IDA'da kullanılan kayıtlar maksimum yer ivmesi olarak 0,16, 0,24, 0,30, 0,50 g ile ölçeklendirilmiştir. Şekil 2.27-2.31'de elde edilen sonuçlar görülmektedir.



**Şekil 2.27 :** 3 katlı düzenli bir betonarme yapıda İtme analizi yöntemlerinin artımsal dinamik analiz sonuçlarıyla tepe noktası ötelemeleri açısından kıyaslanması [43].

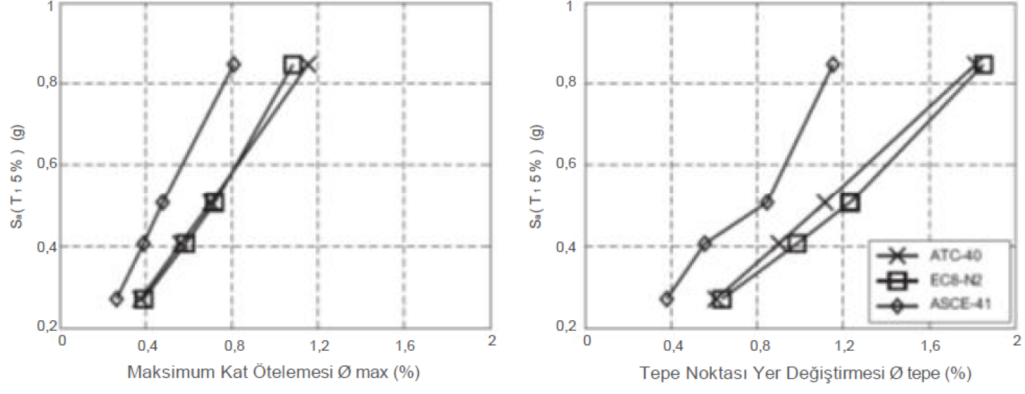


**Şekil 2.28 :** 3 katlı düzenli bir betonarme yapıda İtme analizi yöntemlerinin maksimum görece kat ötelemeleri ve tepe noktası ötelemeleri açısından kıyaslanması[43].

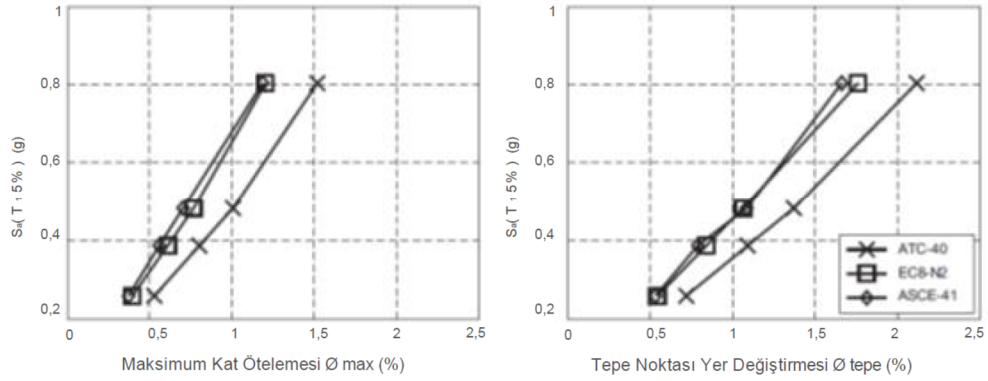


**Şekil 2.29 :** 3 katlı düzensiz bir betonarme yapıda İtme analizi yöntemlerinin maksimum görece kat ötelemeleri ve tepe noktası ötelemeleri açısından kıyaslanması[43].





**Şekil 2.30 :** 6 katlı düzenli bir betonarme yapıda İtme analizi yöntemlerinin maksimum görelî kat ötelemeleri ve tepe noktası ötelemeleri açısından kıyaslanması [43].

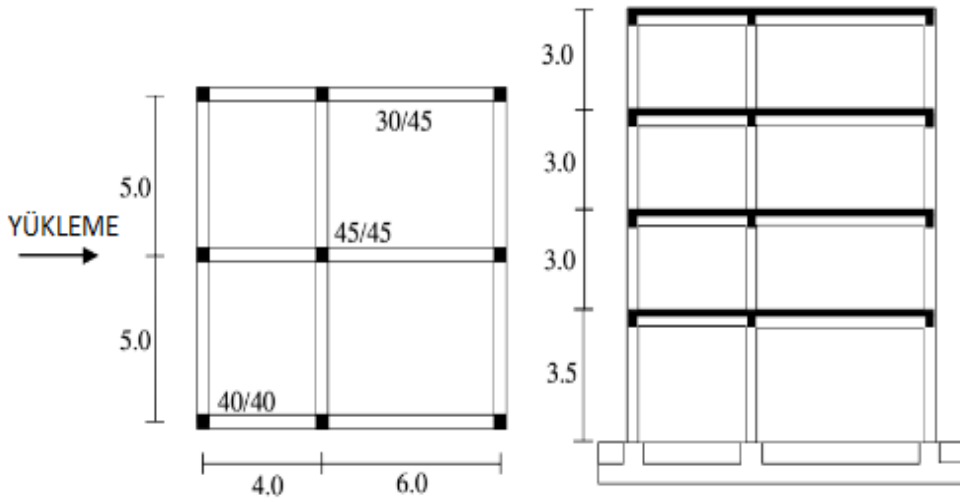


**Şekil 2.31 :** 6 katlı düzensiz bir betonarme yapıda İtme analizi yöntemlerinin maksimum görelî kat ötelemeleri ve tepe noktası ötelemeleri açısından kıyaslanması [43].

Çalışmanın sonucunda 3 katlı düzenli betonarme yapı için ATC-40 yönteminin diğer iki yönteme nazaran daha güvenli tarafta kaldığı, YKY ve N2 metotlarının ise birbirine oldukça yakın sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. 6 katlı düzenli betonarme yapıda ise kat ötelemesi ve tepe noktası yer değiştirmesi açısından ATC-40 yönteminin gene diğer iki yönteme nazaran daha güvenli tarafta kaldığı ve de diğer iki yöntemle arasındaki farkın arttığı görülmüştür. İncelenen 6 katlı düzenli ve düzensiz yapıların her ikisinde de ASCE-41 yönetmeliğinin, 3 yönetmelik içerisinde en küçük ötelemelere yol açtığı gözlemlenmiştir. N2 metodunun ise diğer yöntemlerin arasında kaldığı ortaya çıkmaktadır. Genel olarak; ATC-40'da yer alan yöntemin talebi aştığı gözlemlenirken, Eurocode-8'de yer alan N2 yönteminin ve ASCE-41'de yer alan yöntemin birbirine yakın sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir [43].

Performans Tabanlı Sismik Tasarım İçin Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemi adıyla (Fajfar, Eeri-2000) yayınlanan çalışmada, sismik davranışın daha kolay ve görsel olarak yorumlanabilmesi için, N2 yöntemi ivme-deplasman formatında ifade edilmiştir [36].

Çalışma kapsamında planı ve düşey kesiti Şekil 2.32’de yer alan dört katlı betonarme bir yapı incelenmiştir. Yapı tam ölçekli olarak ELSA bünyesinde test edilmiş olup, test sonuçları kurulan matematik modelin doğrulanmasında kullanılmıştır. Yapı 0,3g yer ivmesine göre yüksek süneklilikte tasarlanmıştır [36].



Şekil 2.32 : İncelenen yapının plan ve boy kesit görünümü [36].

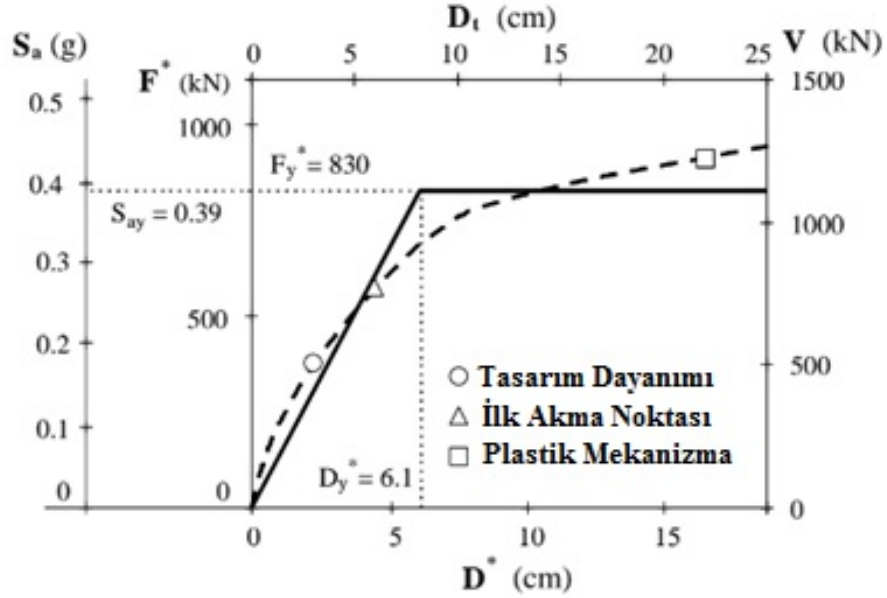
Yapının itme analizlerinde kullanılan elastik tepki spektrumu 0,6g 0,3g (tasarım ivmesi) ve 0,15g olarak; farklı performans seviyelerinin etkilerinin görülmesi için ölçeklendirilmiştir [36].

İlk olarak yatay kuvvet dağılımı elde edilmiştir bu sırada tepe mod şekli “1” olacak şekilde normalize edilmiştir. Bu kuvvet şekli kullanılarak Şekil 2.33’de görüldüğü gibi taban kesme kuvveti-tepe noktası yer değiştirmesi ilişkisi verilmiştir [36].

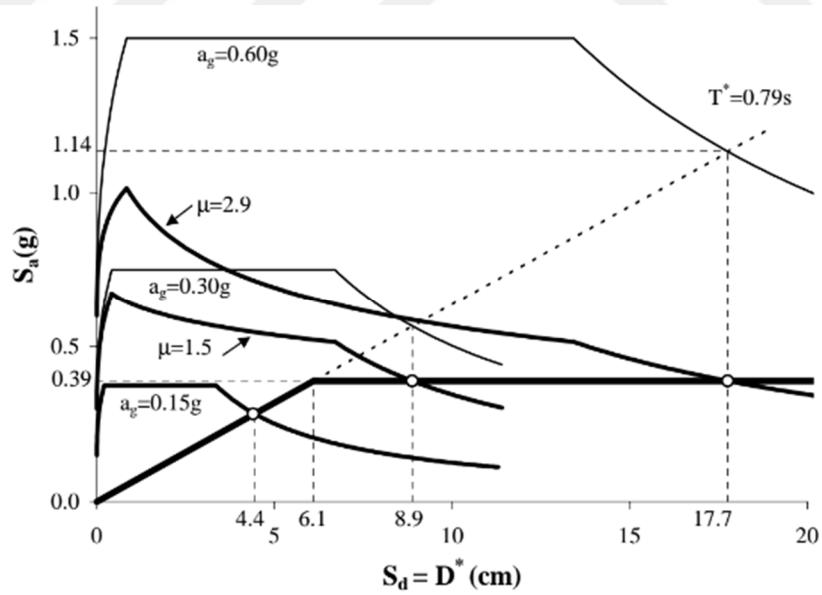
Daha sonra çok serbestlik dereceli sistem eşdeğer tek serbestlik dereceli sisteme dönüştürülerek eşdeğer kütle ( $m^*$ ) ve modal katılım katsayısı ( $\Gamma$ ) bulunmuştur. Daha sonra ÇSDS’den TSDS’e modal katılım katsayısı kullanılarak geçiş yapılmıştır [36].

İtme eğrisinin iki doğrultu hale getirilerek idealize edilmiş hali Şekil 2.33’de görülmektedir. 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  $S_{ay}$  hesaplanmıştır. Şekil 2.34’de ise kapasite eğrisinin ölçeklendirilmiş elastik tepki spektrumuyla çakıştırılarak TSDS’in hedef tepe yer değiştirmesinin bulunması görülmektedir [36].

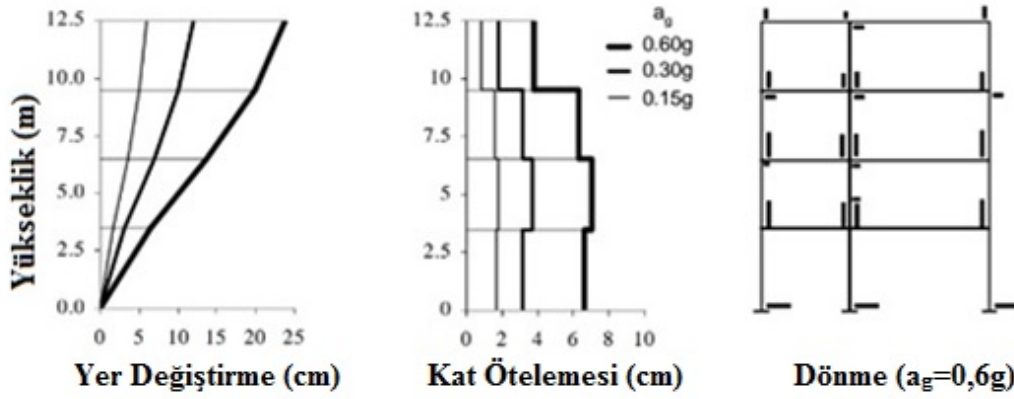


Şekil 2.33 : İki serbestlik dereceli sistemin grafiksel dönüşümü ve itme eğrisinin iki doğrulu hale getirilmesi [36].



Şekil 2.34 : Kapasite eğrisinin ölçeklendirilmiş elastik tepki spektrumuyla çakıştırılarak TSDS’in hedef tepe yer değiştirmesinin bulunması [36].

Son olarak da TSDS’den ÇSDS’e geçiş yapılarak; Şekil 2.35’de bulunan yer değiştirme, kat ötelemesi ve dönmeler bulunmuştur [36].



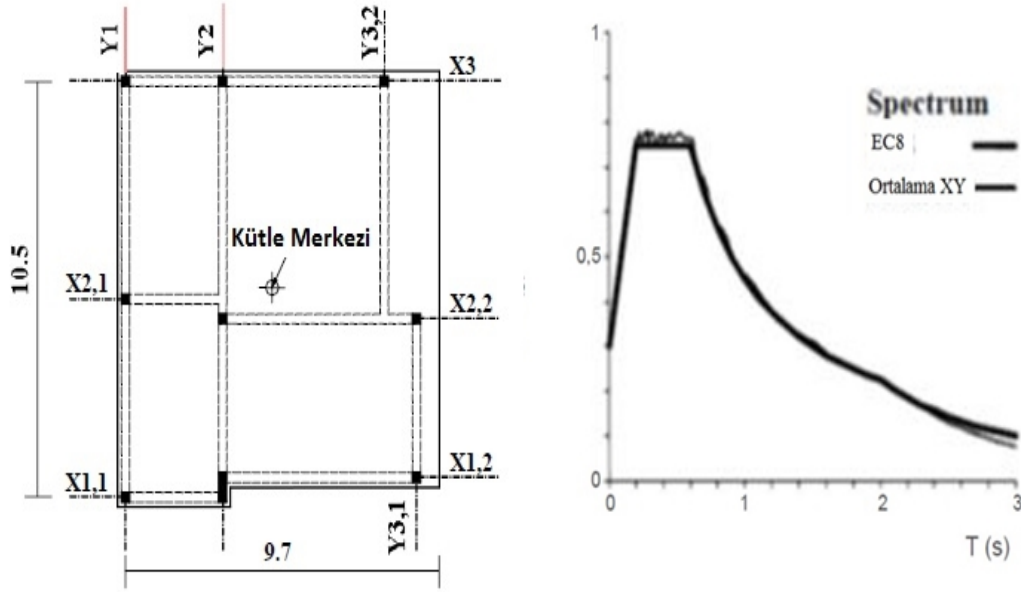
**Şekil 2.35 :** Yer değiştirme, kat ötelemesi ve dönme değerleri [36].

Sonuç olarak makalede N2 metodunun, yapıların birçok performans noktası için pratik şekilde değerlendirilmesini sağlayan ve tepki spektrumu yaklaşımı ile itme analizini birleştiren bir metot olduğu, talep değerlerinin iterasyona gerek duyulmadan bulunabildiği belirtilmiştir. N2 metodunun sonuçları ile FEMA 273 de verilen doğrusal olmayan statik prosedür sonuçlarının birbirine çok yakın olduğuna hatta birebir aynı çıkabileceğine değinilmiştir. ATC 40 yönetmeliğinde ise ÇSDS'in TSDS'ye dönüştürmesi diğer iki yöntem ile karşılaştırılabilir olsa da; ATC 40'da elastik mod şekline karşılık gelen yer değiştirme şekline izin verilmez. Bundan dolayı, ATC 40'da yapılan dönüşümler sadece belirli durumlarda FEMA 273 ve N2 metotlarındaki dönüşümlere eşit olabilir [36].

Yapılan çalışmada, uygulanan deprem yüklemeleri için oluşan ortalama değerlerin bulunması amaçlanmakta olup; hedef yer değiştirmenin arttırılması yoluyla N2 metodunun tasarım ivmesini aşan aşırı yüklemelerde de etkili olduğu anlaşılmaktadır [36].

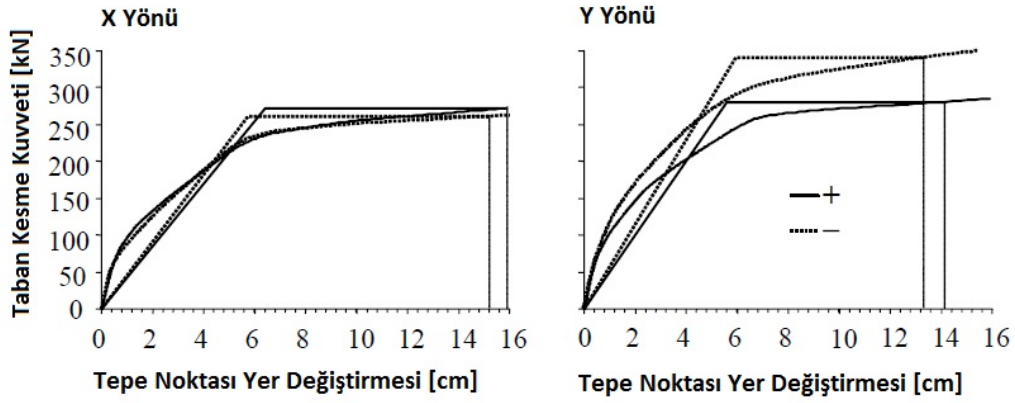
Fajfar ve diğ.'lerinin 2005 yılında yaptığı çalışmada ise seçtiği deprem kayıtlarını Eurocode-8'de yer alan 1.tip elastik spektruma C tipi zemin için ve 0,3g maksimum yer ivmesine göre frekans tanım alanında ölçekleme yaparak "Seismic Performance Assessment and Rehabilitation" (SPEAR) projesi kapsamında yapılan 3 katlı düzensiz bir betonarme yapıyı incelemiştir. Bu çalışma kapsamında CANNY analiz programı kullanılmıştır. Yapının ilk üç hakim periyodu sırasıyla 0,63 sn, 0,58 sn ve 0,45 sn bulunmaktadır. İlk periyot X yönünde, ikinci periyot Y yönünde, üçüncü periyot ise burulma etkisi açısından hakim çıkmıştır. Bütün analizlerde %5 sönüm oranı dikkate alınmış ve zaman tanım alanında yapılan analizlerde Rayleigh sönüm

oranı kullanılmıştır. P- $\Delta$  etkileri göz önüne alınmamıştır. Şekil 2.36’da Fajfar’ın çalışma kapsamında kullandığı yapının planı ve Fajfar’ın kullandığı frekans tanım alanında ölçekleme yapılarak kullanılan kayıtların Eurocode-8 spektrumuyla karşılaştırılması görülmektedir [41].

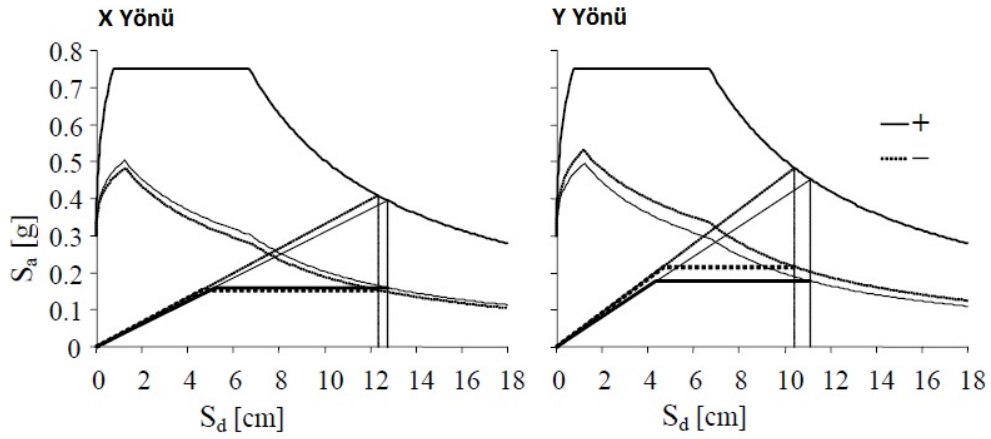


**Şekil 2.36 :** Kullanılan kayıtların frekans tanım alanında ölçeklendirilmesi [41].

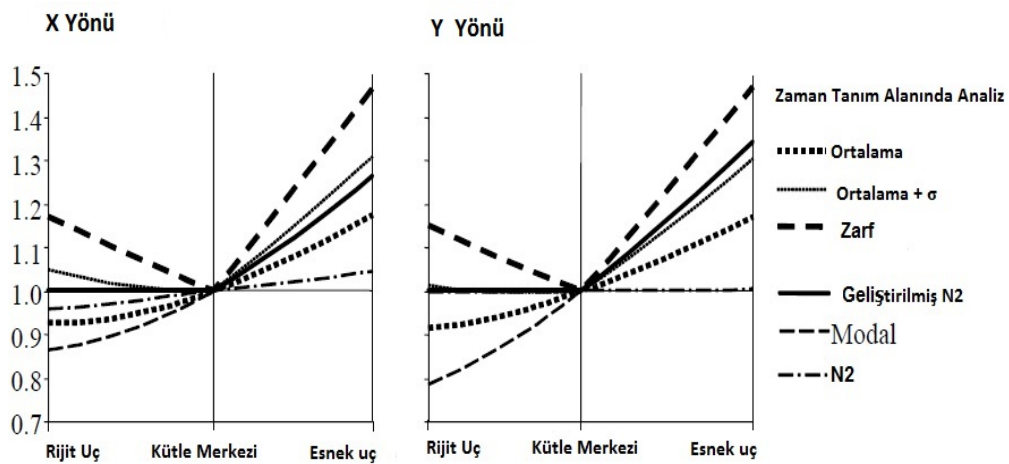
Analizler düşey yükler altında yapısal elemanlarda daha önceden çatlaklar (doğrusal olmayan deformasyon) oluştuğu varsayımıyla yapılmıştır. Modal analizler kapsamında farklı modların birleştirilmesi için CQC kuralı uygulanmış ve bütün doğrultularda elde edilen sonuçlar SRSS kombinasyonu ile birleştirilmiştir. Şekil 2.37’de elde edilen itme eğrileri ve bunların iki doğrultulu hale getirilmesi görülmektedir. Şekil 2.38’de ise elde edilen eğrilerin elastik ve elastik olmayan talep spektrumlarıyla karşılaştırılması görülmektedir. Şekil 2.39’da N2 metodundan, modal analizden ve zaman tanım alanında analizden elde edilen burulma etkilerinin normalize edilmiş tepe noktası yer değiştirmeleriyle kıyaslanmasına yer verilmiştir. Şekil 2.40’da analiz sonuçlarından elde edilen en üst katta yer alan plandaki yer değiştirmelerin kıyaslanması yer almaktadır. Şekil 2.41’de ise geliştirilmiş N2 metodu ile zaman tanım alanında yapılan analizlerde bulunan kat ötelemeleri değerleri verilmiştir [41].



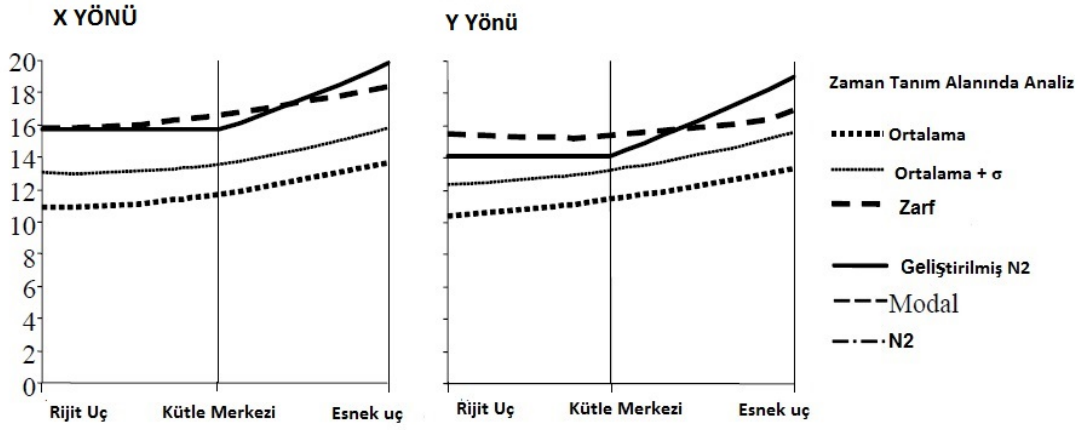
Şekil 2.37 : İtme analizi eğrileri ve bunların iki doğrultulu hale getirilmesi [41].



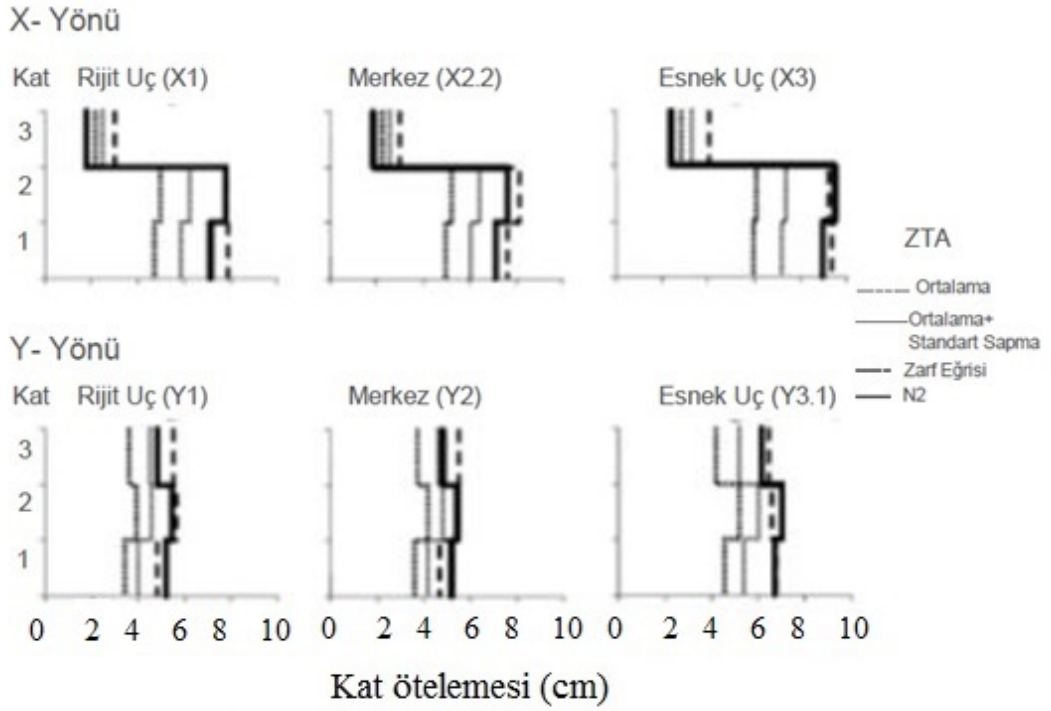
Şekil 2.38 : İtme analizi eğrilerinin elastik ve elastik olmayan talep spektrumlarıyla karşılaştırılması [41].



Şekil 2.39 : N2 metodu, modal analiz ve zaman tanım alanında analiz sonuçlarının burulma etkileri açısından karşılaştırılması [41].



**Şekil 2.40 :** Analiz sonuçlarından elde edilen en üst katta yer alan plandaki yer değiştirmelerin kıyaslanması [41].

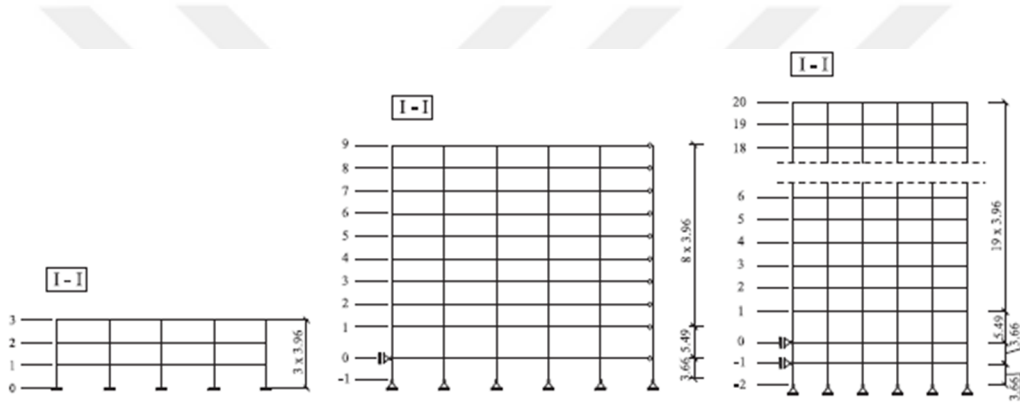


**Şekil 2.41 :** SPEAR için bulunan sonuçlar [41].

Çalışmanın sonucunda geliştirilmiş N2 metodundan elde edilen sonuçların hem statik itme analizinden hemde elastik dinamik analiz sonuçlarından etkilendiği belirtilmiştir. Kütle merkezindeki yer değiştirme talebi statik itme analizine dayalı N2 metoduyla bulunmuştur. Talepteki burulma etkilerine bağlı artış elastik dinamik analizlerle hesaba katılırken, düşüş göz ardı edilmiştir. Böylece, burulma etkileri bir çok durumda tutucu yani güvenli tarafta kalacak bir şekilde hesaba dahil

edilmektedir. Çalışma kapsamında incelenen Spear yapısında da geliştirilmiş N2 metodu dinamik analizlere nazaran daha güvenli tarafta kalmaktadır [41].

Fajfar ve Kreslin'in 2011 yılında, geliştirilmiş N2 metodunun yapı yüksekliğinin yüksek mod etkisi ile dikkate alınması adıyla yayınlanan çalışmasında Los Angeles (LA), Seattle (SE) ve Boston (BO) adlı üç farklı çelik yapı 3,9 ve 20 katlı olarak ele alınmış ve yer değiştirmeler ile kat ötelemeleri farklı yer ivmeleri ve analiz yöntemleri için kıyaslanmıştır. Bu farklı analiz yöntemleri modal itme analizi (MPA), çok modlu itme analizi (MMPA) ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizdir (ZTA). Ayrıca ZTA analizlerinin ortalaması ve standart sapması belirlenerek hesaba dahil edilmiştir. Bu amaçla incelenen yapıların boy kesitleri Şekil 2.42'de verilmektedir [35].

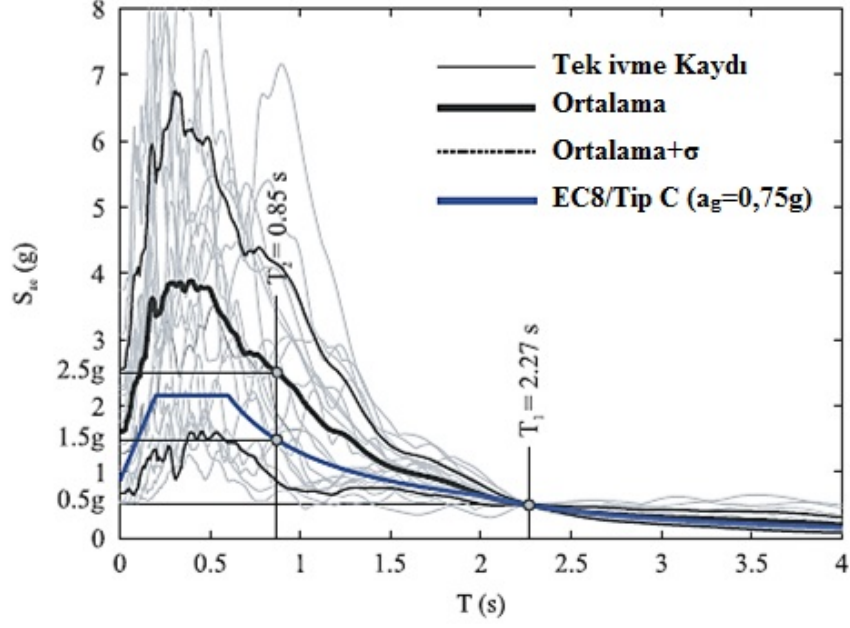


**Şekil 2.42 :** 3 katlı yapı, 9 katlı yapı ve 20 katlı yapının boy kesitleri [35].

Çalışmada, itme analizi sonuçlarının elde edilmesi için 4 farklı grupta spektral ivme değerleri kullanılmıştır. Bu gruplar oluşturulurken; etkin yer ivmeleri Eurocode 8'de yer alan C sınıfı zemin için elastik tepki spektrumunun ölçeklendirmesiyle oluşturulmuştur. Bunun için 0,1 g, 0,5 g, 0,75g, 1 g'lik tasarım ivmeleri sırasıyla I1, I2, I3 ve I4 e tekabül edecek şekilde kullanılmıştır [35].

Bu çalışmada kullanılan ivme kayıtları 2 gruba ayrılmıştır. İlk grupta 44 adet PEER veri tabanından seçilen kayıt bulunurken, ikinci grupta ise Avrupa veri tabanından seçilen 20 adet deprem kaydı bulunmaktadır. Seçilen ivme kayıtları spektral ivmelere uygun bir şekilde ölçeklendirilmiştir. Seçilen ivme kayıtlarının  $S_{ae} = 0.5g$  tasarım ivmesine sahip elastik tepki spektrumuna göre ölçeklendirilmiş elastik ivme spektrumu % 5 sönüm ile Şekil 2.43'de verilmiştir. Şekil 2.44'de ise seçilen yapılara göre farklı yer hareketi şiddetleri için spektral ivme  $S_{ae}$  (g) ve ortalama maksimum yer ivmesi değerleri verilmiştir [35].



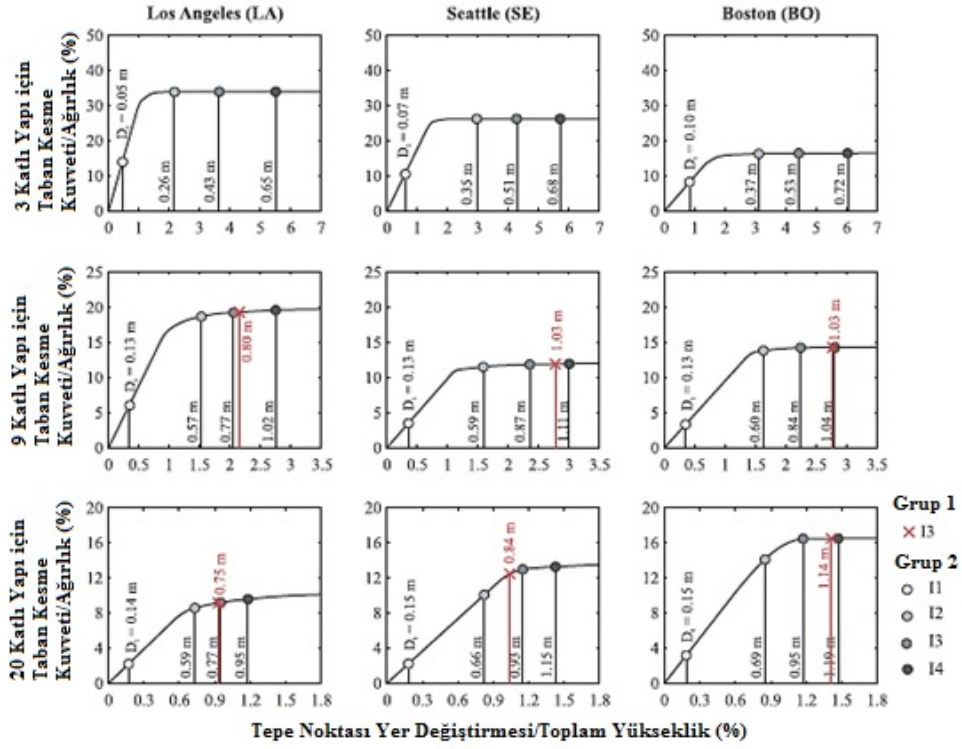


Şekil 2.43 : Seçilen ivme kayıtlarının  $S_{ae}=0.5g$  spektral ivmeye göre ölçeklendirilmiş ivme spektrumu [35].

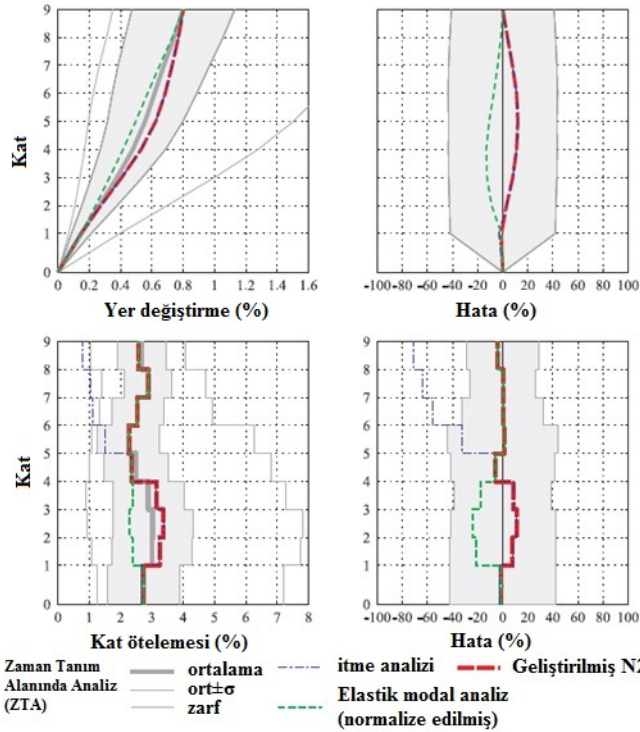
	3 Kat			9 Kat			20 Kat		
	LA	SE	BO	LA	SE	BO	LA	SE	BO
<b>Spektral İvme</b>									
I1	0.17	0.13	0.10	0.07	0.04	0.04	0.02	0.02	0.04
I2	0.85	0.65	0.48	0.34	0.19	0.18	0.12	0.12	0.18
I3	1.28	0.98	0.72	0.50	0.29	0.27	0.18	0.18	0.27
I4	1.71	1.30	0.96	0.67	0.39	0.36	0.24	0.24	0.36
<b>Ortalama maksimum yer ivmesi</b>									
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 2.44 : Seçilen yapılar için farklı yer hareketi şiddeti için birinci moddaki spektral ivme  $S_{ae}$  (g) ve maksimum yer ivmesi değerleri [35].

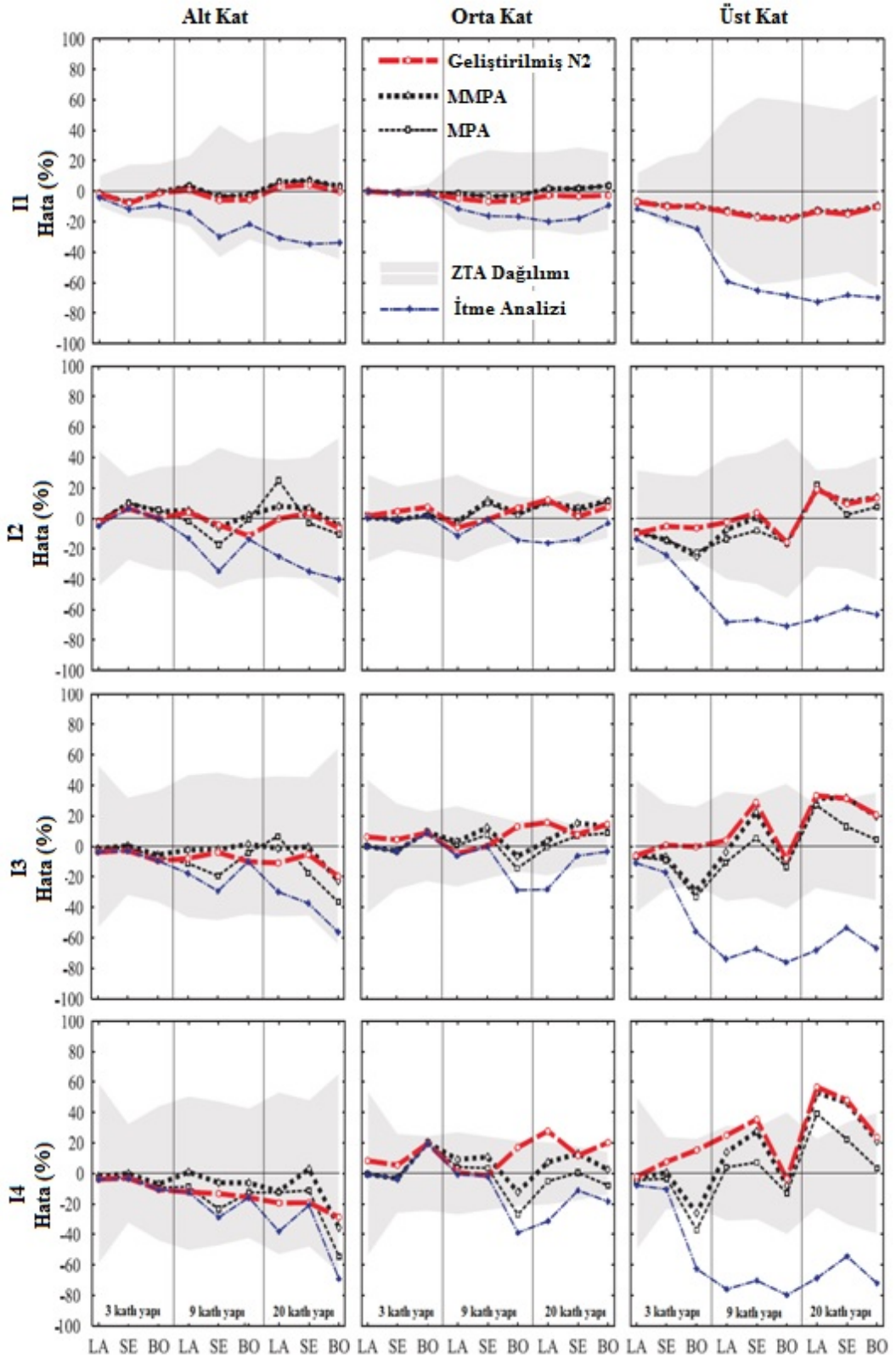
Şekil 2.45’de incelenen yapıların ivme eğrisi ve zaman tanım alanında analizden elde edilen tepe deplasman değerleri karşılaştırılmıştır. Çeşitli analiz yöntemlerinin zaman tanım alanındaki analizlere göre hata payları grup 1 için 9 katlı yapıda, kat ötelemeleri ve yer değiştirmeler bazında Şekil 2.46’da verilmiştir. Yapıda bulunan kat sayısının ve yer hareketi şiddetinin, doğrusal olmayan yöntemlerden elde edilen alt, orta ve üst katlarda oluşan kat ötelemesine olan etkisi ise Şekil 2.47 ’de verilmiştir. I1, I2, I3 ve I4 için zaman tanım alanına oranla en büyük hata katlı LA yapısında bulunmuştur. Şekil 2.48’de ise 3, 9, 20 katlı LA yapısı için farklı yer ivmeleri altında analiz yöntemlerinin kat ötelemeleri açısından kıyaslanması yer almaktadır [35].



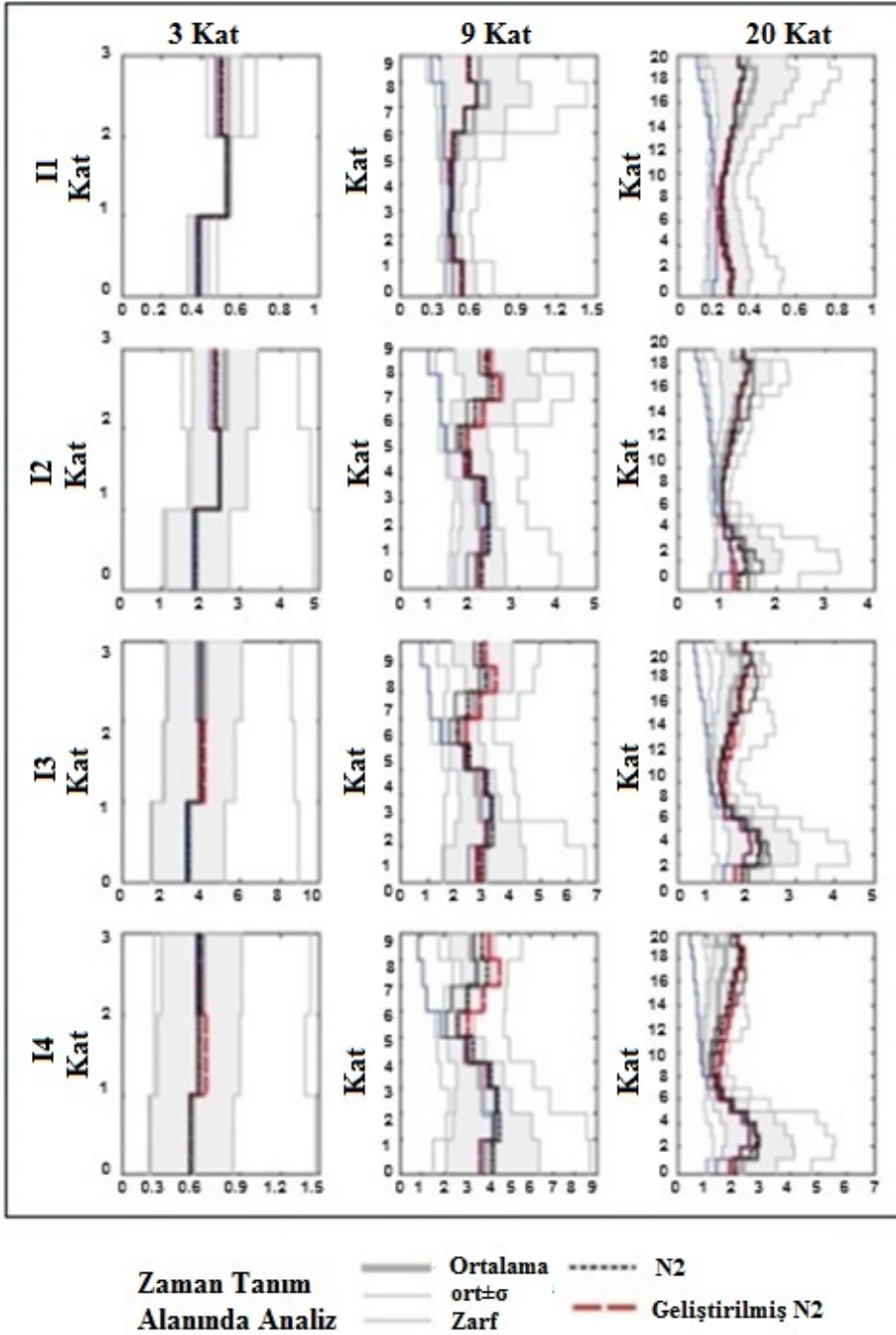
Şekil 2.45 : İncelenen yapıların itme eğrisi ve zaman tanım alanında analizden elde edilen tepe noktası yer değiştirmesi değerleri[35].



Şekil 2.46 : Çeşitli analiz yöntemlerinin zaman tanım alanındaki analizlere göre hata payları [35].



**Şekil 2.47 :** Yapıda bulunan kat sayısının ve yer hareketi şiddetinin, doğrusal olmayan yöntemlerden elde edilen alt, orta ve üst katlarda oluşan kat ötelemesine olan etkisi [35].

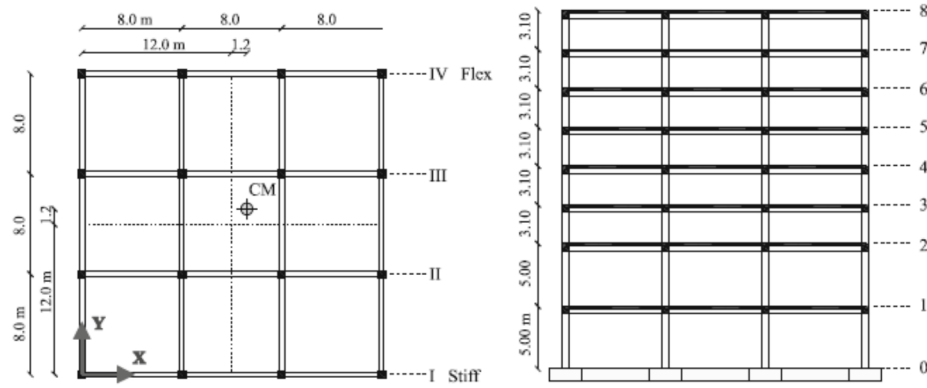


**Şekil 2.48** : 3, 9, 20 katlı LA yapısı için farklı yer ivmeleri altında analiz yöntemlerinin kat ötelemeleri açısından kıyaslanması [35].

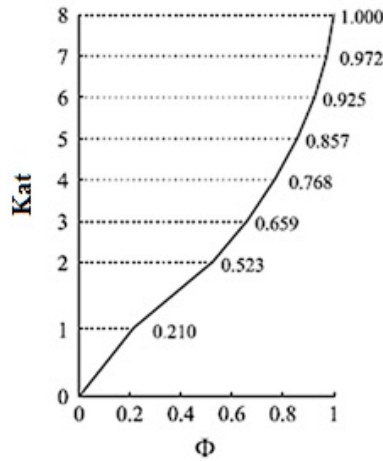
Çalışmanın sonucunda orta yükseklikteki ve yüksek yapılarda üst katlarda yüksek mod etkilerinin etkinliğinin arttığı gözlemlenmiştir. Geliştirilmiş N2 yönteminin elde edilen sonuçlarda yüksek mod etkilerini göze alma hususunda ciddi bir katkı yaptığı gözlemlenmiştir. Bu katkı yapı yüksekliğinin, yer ivmesinin, ve ikinci moddaki periyot ile birinci moddaki periyot oranının artmasıyla azalmaktadır. Ancak üç yapı

için de bütün yapı yüksekliği mertebelerinde elde edilen sonuçların ZTA ortalamasının standart sapmayla toplanması veya çıkarılması ile ZTA ortalaması arasında kaldığı gözlemlenmiştir [35].

Fajfar ve Kreslin'in planda ve düşeyde yüksek mod etkilerini inceleyen bir başka çalışmada ise plan ve düşey kesitleri Şekil 2.49'da görülen 8 katlı yapı ele alınmıştır. Yapının düşey kesitinden de anlaşılacağı gibi yapının alt katlarının yüksekliği üst katlara nazaran daha fazla olup bu durum düşeyde düzensizliğe yol açmaktadır. Ayrıca yapıya planda düzensizlik ve buna bağlı burulma etkisi katabilmek adına %5 dış merkezlik uygulanmıştır. Şekil 2.50'de yapının hakim mod şekli belirtilmiştir [40].



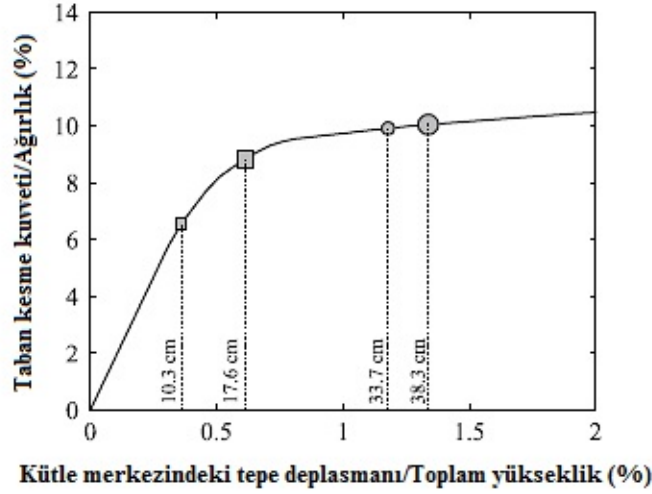
Şekil 2.49 : İncelenen 8 katlı yapı [40].



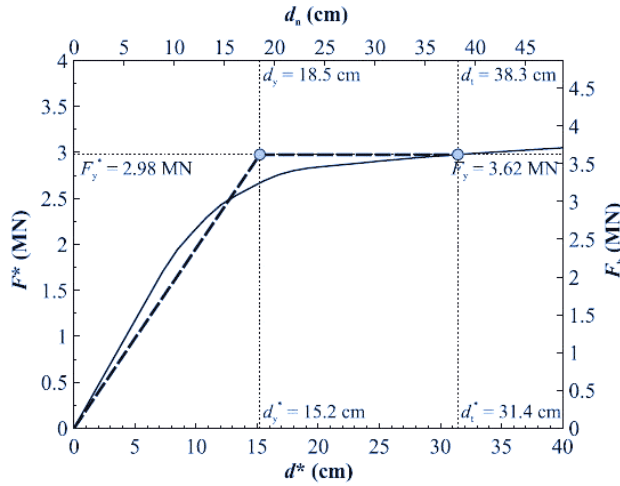
Şekil 2.50 : Yapının hakim mod şekli [40].

Öncelikle yapıya itme analizi uygulanarak Şekil 2.51'de bulunan itme eğrisi elde edilmiştir. Bunun için öncelikle doğrusal olmayan statik itme analizi uygulanmış ardından ÇSDS TSDS'e dönüştürülmüştür. Şekil 2.52'de itme eğrisinin elasto-plastik

iki doğrultulu hale getirilmesi görülmektedir. Ardından TSDS'in akma dayanımı ( $F_y^*$ ), kütlesi ( $m^*$ ) ve periyodu ( $T^*$ ) bulunmuştur. Bulunan periyot değeri, geçiş periyodu ( $T_c$ ) ile karşılaştırılarak sönüm katsayısı ( $\mu$ ) ve buna karşılık gelen hedef tepe noktası yer değiştirmesi ( $d_t^*$ ) bulunmuştur. Daha sonra modal katılım katsayısı ( $\Gamma$ ) kullanılarak ÇSDS'e ait hedef tepe yer değiştirmesi bulunmuştur [40].



Şekil 2.51 : İtme eğrisi [40].

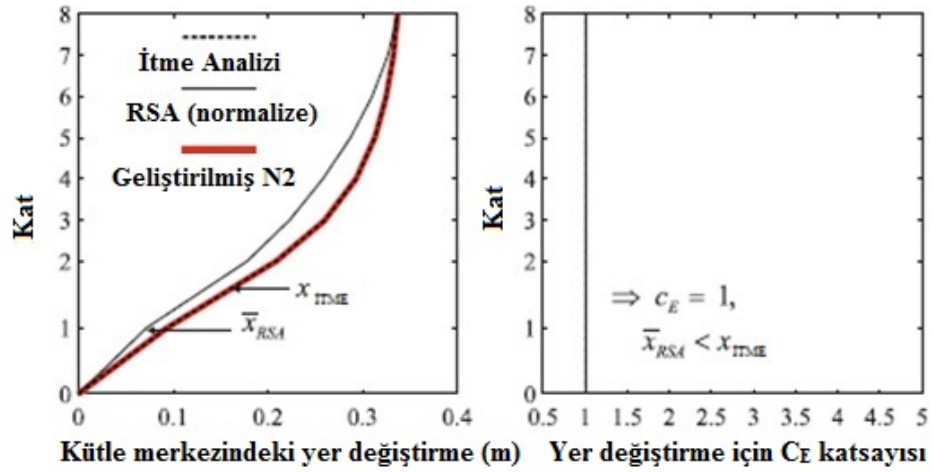


Şekil 2.52 : İtme eğrisinin elasto-plastik iki doğrultulu hale getirilmesi [40].

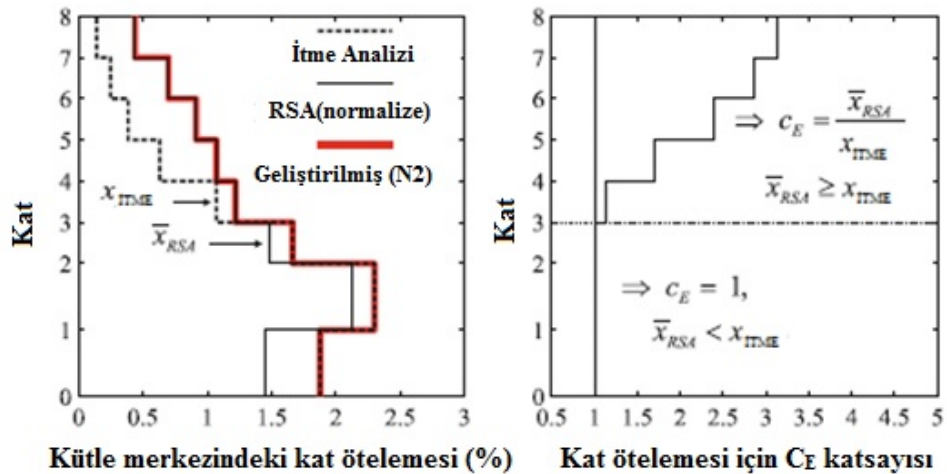
Daha sonra, elastik modal analiz sonuçlarının SRSS kuralına göre toplanması yoluyla yapılmıştır. Bütün katlar için kütle merkezindeki yer değiştirmeler ve görel kat ötelemesi değerleri belirlenmiştir. Elde edilen değerler, kütle merkezi için yapının en üst katına göre; standart elastik modal analizden bulunan tepe yer değiştirmesi, itme analizinden bulunan, hedef yer değiştirmeye eşit olacak şekilde normalize edilmiştir. Düşeyde ve planda yer alan düzensizlikleri elde edilen sonuçlara entegre etmek için

geliştirilmiş N2 metodu kullanılmış ve ortaya çıkan sonuçlar zaman tanım alanında yapılan analiz sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Doğrusal olmayan itme analizi ve standart modal analiz uygulanarak bulunan sismik talep, yükseklik boyunca etki eden düzensizlik etkisi (görelî kat ötelemesi katsayısı- $c_E$ ) ve planın sebep olduğu düzensizlik etkisi (burulma katsayısı- $c_T$ ) için iki ayrı düzeltme katsayısı kullanılarak hesaplanmıştır. Bu katsayılar rijit ve esnek uçlara uygulanırken birbirleriyle çarpılmıştır. Daha sonra ise doğrusal olmayan itme analizinden bulunan sonuçlar bu düzeltme katsayıları ile çarpılarak nihai sonuçlar bulunmuştur [40].

Çalışmada yükseklik için bulunan yer değiştirme düzeltme katsayıları Şekil 2.53’de, kat ötelemesi için Şekil 2.54’de verilmiştir.

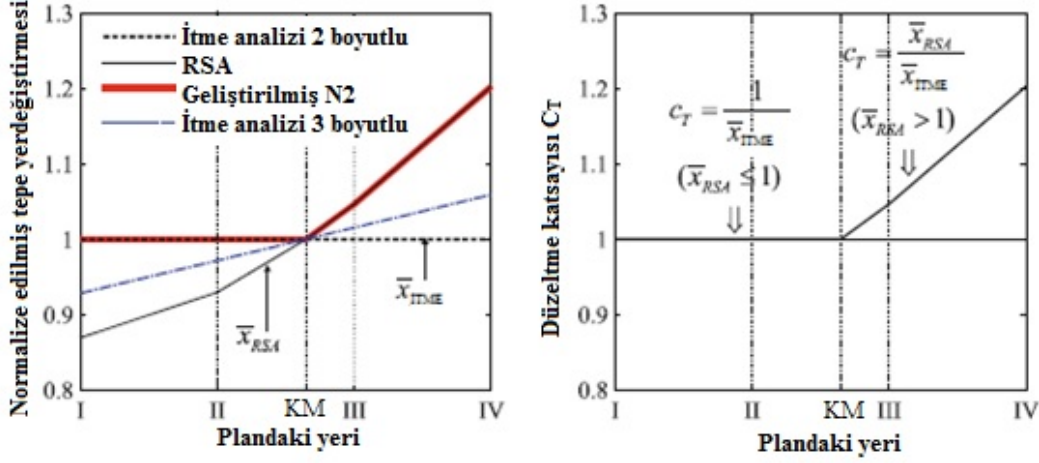


Şekil 2.53 : Yükseklik boyunca oluşan yer değiştirme düzeltme katsayıları [40].

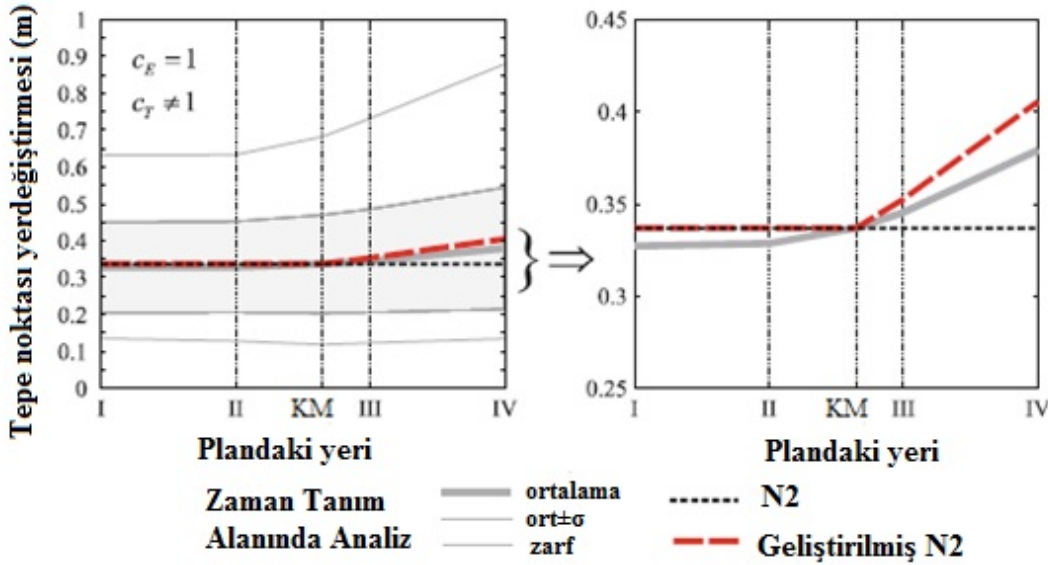


Şekil 2.54 : Yükseklik boyunca oluşan kat ötelemesi düzeltme katsayıları [40].

Planda oluşan düzeltme katsayıları Şekil 2.55’de; N2, geliştirilmiş N2 ve doğrusal olmayan zaman tanım alanındaki analiz sonucu ortaya çıkan plandaki tepe noktası yer değiştirmeleri kıyaslanması ise Şekil 2.56’da verilmiştir.



Şekil 2.55 : Planda oluşan düzeltme katsayıları [40].

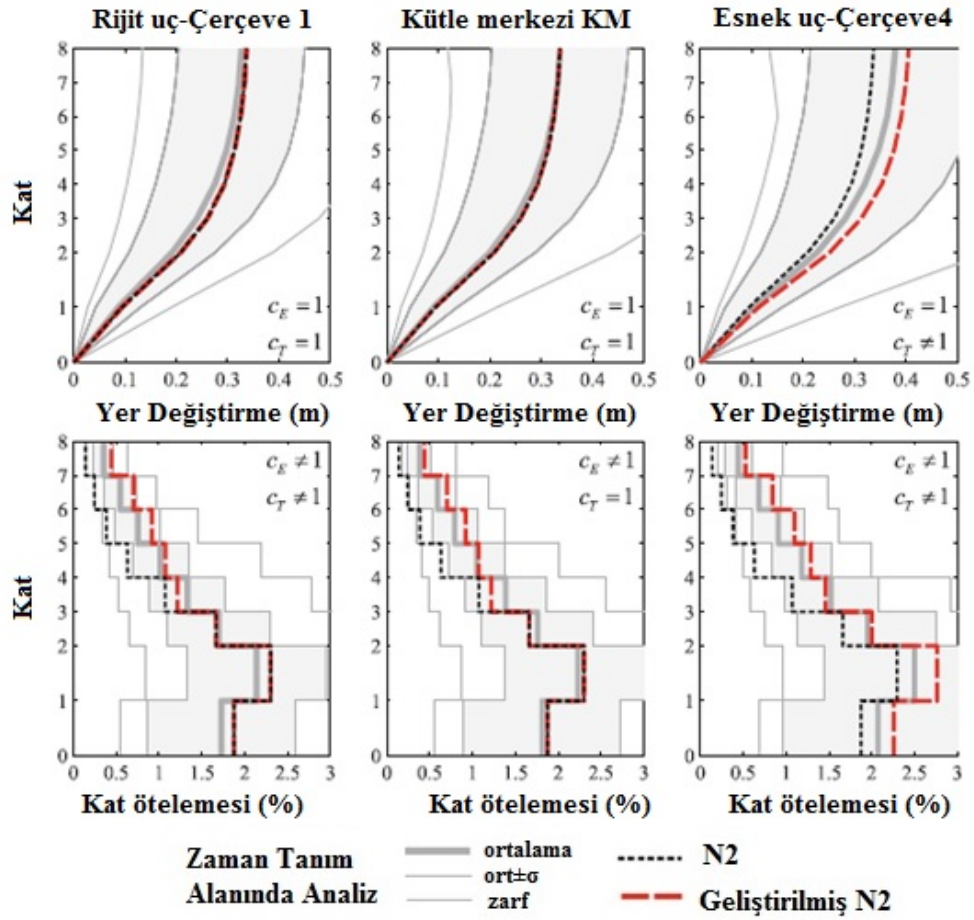


Şekil 2.56 : N2, geliştirilmiş N2 ve doğrusal olmayan zaman tanım alanındaki analiz sonuçları [40].

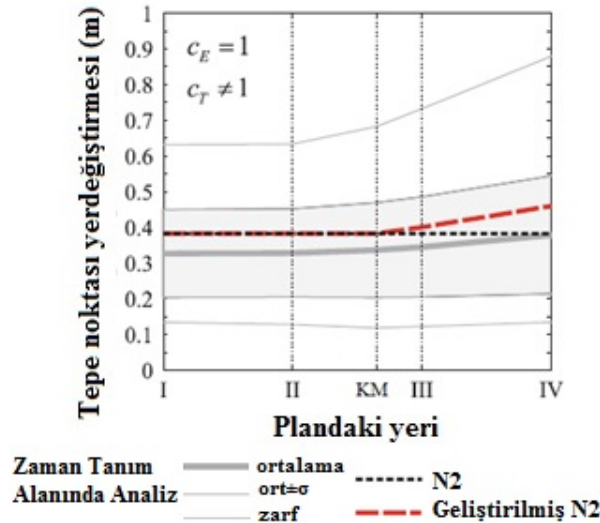
N2, geliştirilmiş N2 ve doğrusal olmayan zaman tanım alanındaki analizlerden elde edilen planda farklı noktalarda yer alan noktaların yükseklik boyunca oluşan yer değiştirme ve kat ötelemesi sonuçları Şekil 2.57’de verilmiştir.

Çalışmada uygulanan N2, geliştirilmiş N2 ve zaman tanım alanında analiz sonucu oluşan tepe yer değiştirmelerinin planda karşılaştırılması Şekil 2.58’deki gibi verilmiştir. Esnek kenarda oluşan sonuçlar ise Şekil 2.59’da bulunmaktadır.

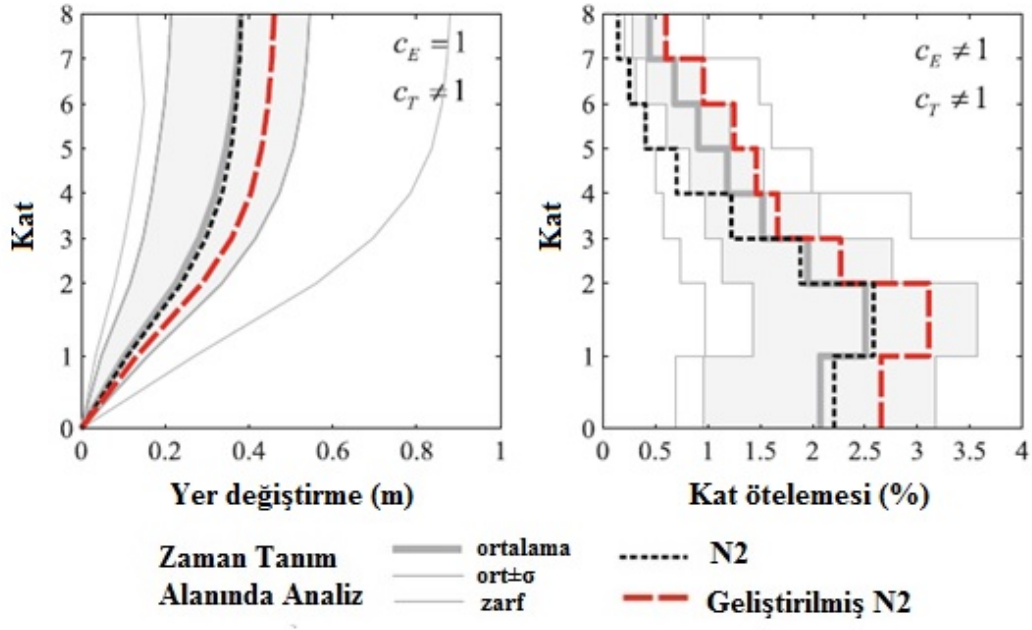




Şekil 2.57 : N2, geliştirilmiş N2 ve doğrusal olmayan zaman tanım alanındaki analizlerden elde edilen planda farklı noktalarda yer alan noktaların yükseklik boyunca oluşan yer değiştirme ve kat ötelemesi sonuçları [40].



Şekil 2.58 : N2, geliştirilmiş N2 ve zaman tanım alanında analiz sonucu oluşan tepe yer değiştirmelerinin planda karşılaştırılması [40].



şekil 2.59 : Esnek kenardaki deplasman ve kat öteleme grafiği [40].

### 3. DEPREM KAYDI SEÇİMİ

Deprem kaydı seçimi zaman tanım alanında yapılan analizlerden doğru sonuç alabilmek adına önemli bir yer tutmaktadır. Seçim yapılırken ölçüm yapılan istasyonun zemin karakteristikleri ve depremin merkez üssünün ölçüm yapılan istasyona uzaklığı gibi birçok parametre göz önünde bulundurulur [4].

Depremin merkez üssüyle ölçüm istasyonuna olan uzaklığının yer ivmesi üzerine olan etkisi düşünüldüğünde yakın fay etkisinden kaçınmak için bu tez kapsamında bu mesafe en az 15 km olacak şekilde alınmıştır.

Ayrıca yerin en üst 30 m.lik kısmı için kesme dalgası hızı Eurocode-8’de B sınıfı zemine uygun olarak  $V_{s,30}=360-800$  m/sn aralığında alınmıştır. Çizelge 3.1’de Eurocode-8’de yer alan farklı zemin tiplerindeki değerler verilmiştir [3].

**Çizelge 3.1 :** Eurocode-8’de yer alan kesme dalgası hızı değerleri [3].

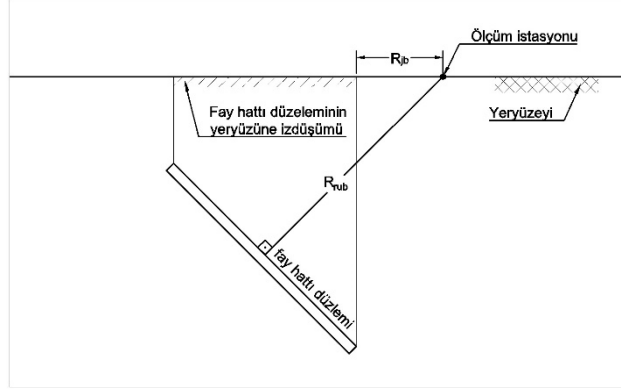
Zemin Tipi	A	B	C	D	E
$V_{s,30}$ (m/s)	>800	800-360	360-180	<180	-

Deprem kayıtlarının seçimi için Berkeley Üniversitesi Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi (PEER) veritabanı kullanılmış olup seçilen kayıtların ve kayıtların alındığı ölçüm istasyonlarının genel özellikleri Çizelge 3.2’de verilmiştir [44].

**Çizelge 3.2 :** Kullanılan kayıtlar ve kayıtların alındığı ölçüm istasyonları [44].

Deprem İsmi	İstasyon İsmi	Yıl	Rjb(km)	Rrup(km)	$V_{s,30}$ (m/s)
San Fernando	Castaic-Old Ridge Route	1971	19,33	22,63	450,28
Coalinga	Parkfield-Vineyard Cany 1E	1983	24,83	26,38	381,27
Loma Prieta	Coyote Lake Dam Soutwest Abutment	1989	19,97	20,34	561,43
Cape Mendocino	Ferndale Fire Station	1992	16,64	19,32	387,95
Niigata, Japan	NIG 023	2004	25,33	25,82	654,76
Chuetsu Oki, Japan	Joetsu Oshimaku Oka	2007	15,62	22,48	610,05
Iwate, Japan	Tamati Ono	2008	28,9	28,91	561,59

Çizelge 3.2’de yer alan  $R_{jb}$  Joyner-Boore mesafesi olarak adlandırılıp fay hattının kırılma düzleminin yüzeyine olan izdüşümüne en yakın yatay mesafedir.  $R_{rup}$  ise fayın kırılma düzlemine en yakın mesafedir. Şekil 3.1’de  $R_{jb}$  ve  $R_{rup}$  değerlerinin şematik anlatımı yer almaktadır.



**Şekil 3.1 :**  $R_{jb}$  ve  $R_{rup}$  değerlerinin şematik anlatımı [45].

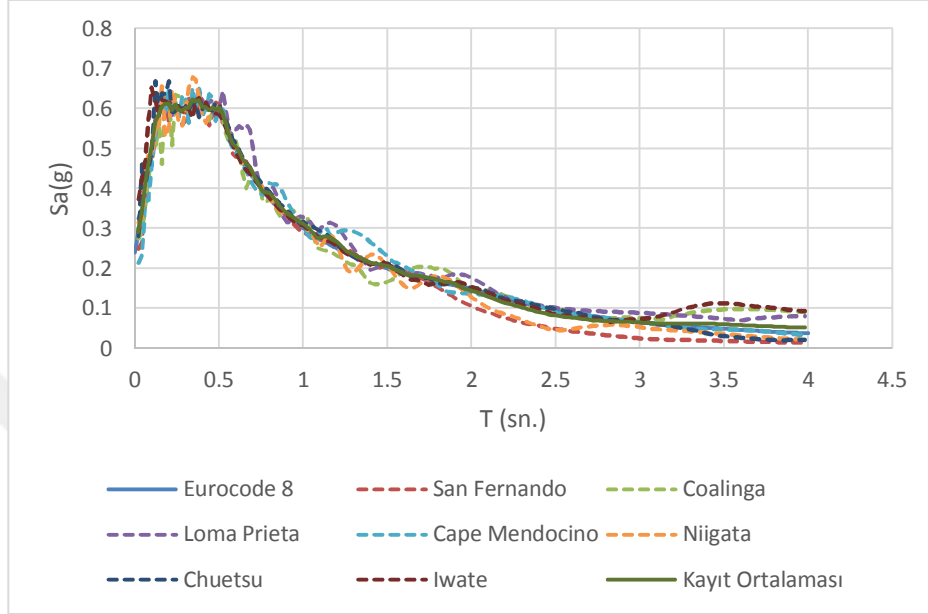
Seçilen kayıtların şiddetsel özellikleri ise Çizelge 3.3’de yer almaktadır.

**Çizelge 3.3 :** Seçilen kayıtların şiddetsel özellikleri [44].

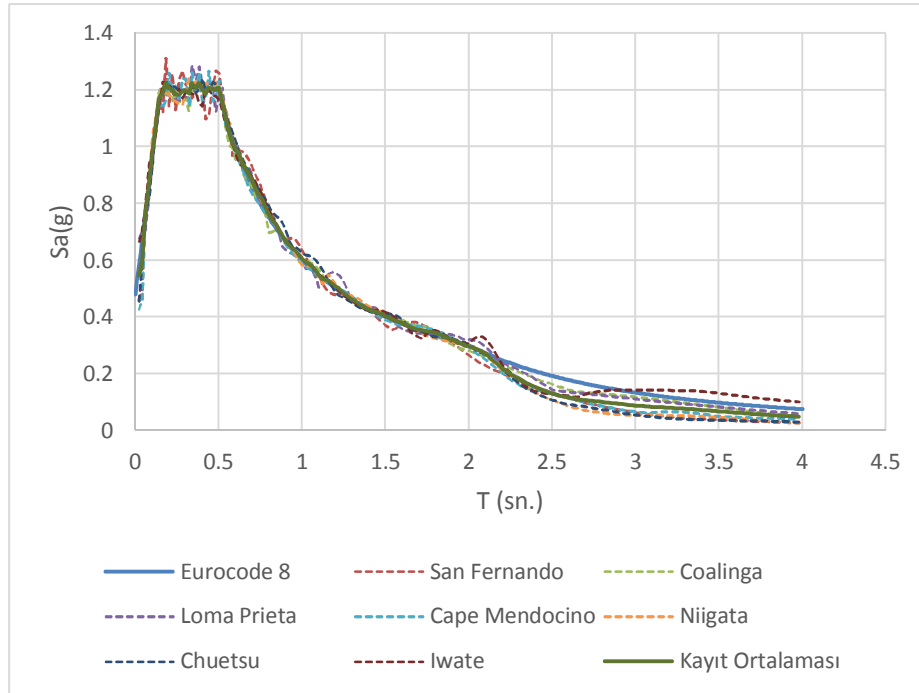
Deprem İsmi	Şiddet	$a_{maks}(g)$
San Fernando	6,61	0,32
Coalinga	6,36	0,23
Loma Prieta	6,93	0,49
Cape Mendocino	7,01	0,27
Niigata, Japan	6,63	0,41
Chuetsu Oki, Japan	6,8	0,61
Iwate, Japan	6,9	0,25

Çizelge 3.2 ve 3.3’de yer alan kayıtlar PEER veritabanından alındıktan sonra, Seismosoft firması tarafından hazırlanan SeismoSignal programı yardımıyla okunmuştur. İvme-zaman kayıtlarına karesel taban çizgisi düzeltmesi (quadratic-baseline correction) uygulanarak deplasman kayıtlarının sıfır çizgisinde bitmesi sağlanmıştır [46]. Daha sonra seçilen kayıtlar frekans tanım alanında ICON ve SPEAR binaları için 0,2 g maksimum yer ivmesine göre, Van okul binası içinse 0,4g maksimum yer ivmesine göre Eurocode 8’de yer alan 1. tip elastik tepki spektrumuna uygun olarak B zemin sınıfı için Şekil 3.2 ve Şekil 3.3’de görüldüğü gibi ölçeklendirilmiştir. Ölçeklendirme işlemi esnasında %5 sönüm oranı kullanılmıştır. Bu ölçeklendirme işlemi için Seismosoft firması tarafından hazırlanan Seismomatch programı kullanılmıştır [47]. Ölçeklendirme yani benzeştirilme işlemi yapılırken; kuvvetli yer hareketinin bulunduğu kısmın süresi yapı hakim periyodunun

5 katından az ve 15 saniyeden kısa olmamasına, benzeştirilmiş kayıtların kullanılmasında yerel zemin koşullarının dikkate alınmasına, üretilen deprem kayıtlarının sıfır periyoduna karşılık gelen spektral ivme değeri ortalamasının etkin yer ivmesi katsayısından daha küçük olmamasına, DBYBHY 2007 uyarınca dikkat edilmiştir [7].



Şekil 3.2 : Seçilen deprem kayıtlarının 0.2g maksimum yer ivmesi için  $S_a$ -periyot grafiği.



Şekil 3.3 : Seçilen deprem kayıtlarının 0.4g maksimum yer ivmesi için  $S_a$ -periyot grafiği.



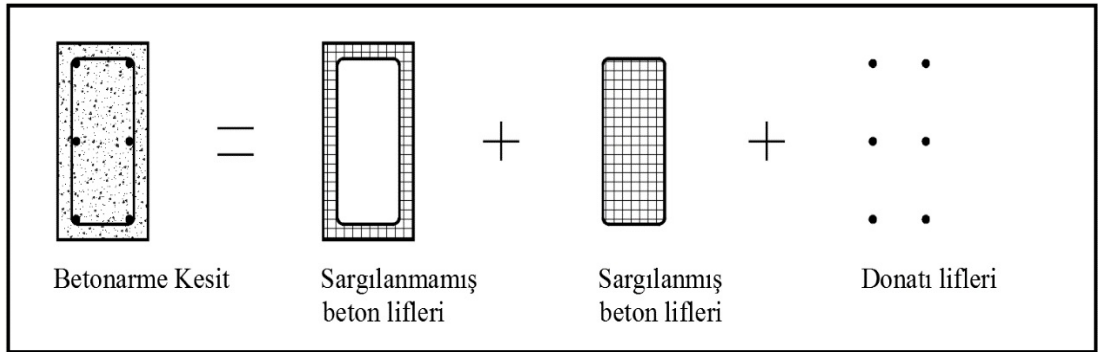
## 4. MODELLEME

### 4.1 Kullanılan Analiz Programları

Bu çalışma kapsamında SAP2000 ve Zeus NL 3 boyutlu sonlu elemanlar analiz programları kullanılmıştır. SAP2000 yapı analiz programı, yapı sistemi modellerinin geliştirilmesi, analizi ve boyutlandırılması için kullanılan Computers and Structures firması tarafından geliştirilen bir yazılımdır [13]. Sonlu elemanlar yöntemi analiz programı olan ZeusNL ise İllinois Üniversitesi Urbana Champaign’de Elnashai ve diğ. tarafından geliştirilmiş bir yazılım olup elastik olmayan davranışı eleman kesiti ve uzunluğu boyunca yayan bir fiber analiz programıdır. ZeusNL statik ve dinamik yükler altında çerçevelerin doğrusal olmayan geometrik ve malzeme davranışlarını hesaba katabilen bir programdır [48].

#### 4.1.1 Elamanların analitik modellenmesi

Fiber modellerde kiriş ve kolonların bölgesel gerilme-deformasyon durumu, kesitin oluşturulduğu her bir fiberin tek eksenli gerilme-deformasyon bağıntılarının birleştirilmesiyle oluşturulur. Eğer yeterli sayıda fiber tanımlanırsa elastik aralıkta bile kesit alanı boyunca malzemenin doğrusal olmayan davranışı düzgün bir şekilde modele yansıtılmış olur. Şekil 4.1’de betonarme kesitlerin fiber modeli görülmektedir [49].



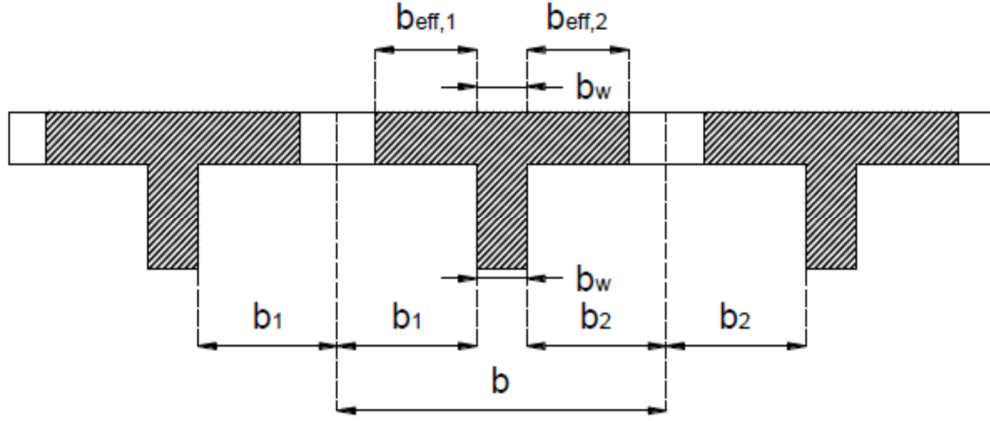
Şekil 4.1 : Betonarme kesitlerin fiber modeli [49].

Modellerde girilen elemanlar kolon kiriş birleşim bölgelerindeki yüksek elastik olmayan davranışın modele yansıtılabilmesi adına küçük parçalara bölünmüştür. Modelleme esnasında döşemeler sisteme dahil edilmemiş ancak kiriş rijitliklerine etkileri tablalı kesitlerle sağlanmıştır. Bunun için Eurocode 2 de yer alan tabla genişlikleri kullanılmıştır [50]. Etkin tabla genişliği  $b_{eff}$ , denklem 4.1 ile hesaplanmıştır.

$$b_{eff} = \sum b_{eff,i} + b_w \leq b \quad (4.1)$$

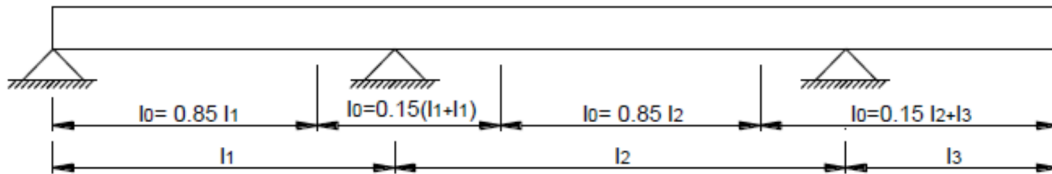
Burada  $b_w$  kiriş genişliğidir.  $b_{eff,i}$  denklem 4.2 ile belirtilmiş olup, etkin tabla genişliği parametreleri şekil 4.2’de yer almaktadır.

$$b_{eff,i} = 0,2b_i + 0,1l_0 \leq 0,2l \quad (4.2)$$



Şekil 4.2 : Etkin tabla genişliği parametreleri [50].

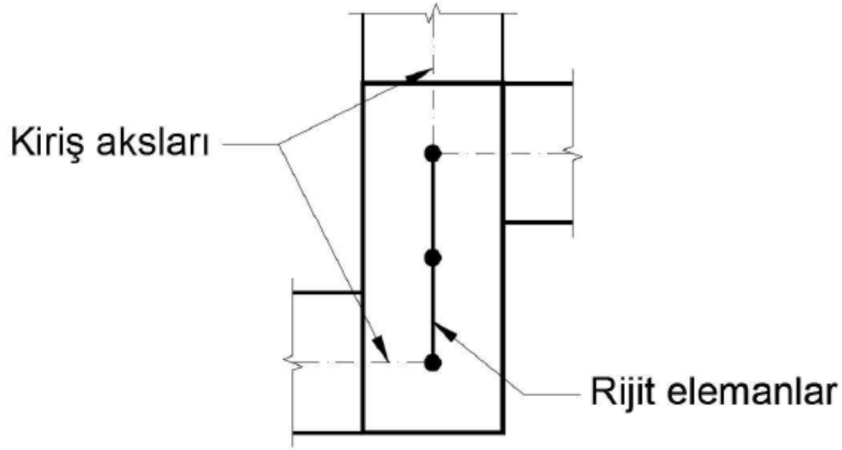
Burada  $l_0$ , sıfır moment noktaları arasındaki mesafe olup Şekil 4.3’den elde edilmektedir.



Şekil 4.3 :  $l_0$  parametresinin hesabı [50].



Perde veya kiriş akslarına nazaran eksantrisite yaratabilecek kolonlar, kirişlere Şekil 4.4’de görüldüğü gibi rijit elemanlarla bağlanmıştır. Bu rijit elemanlar dairesel kesite sahiptirler. Kat hizalarındaki rijit diyafram etkilerinin sisteme yansıtılabilmesi için, gerekli yatay rijitliği sağlayacak ancak düşeyde rijitlik bakımından etkisiz kalacak şekilde 100 cm genişliğinde 15 cm kalınlığında dikdörtgen kesitli çapraz elemanlar kullanılmıştır. Ayrıca döşemelerden gelen yükler kirişlere dağıtılmıştır.



Şekil 4.4 : Perde ve kolonların kirişlere rijit çubuklarla bağlanması.

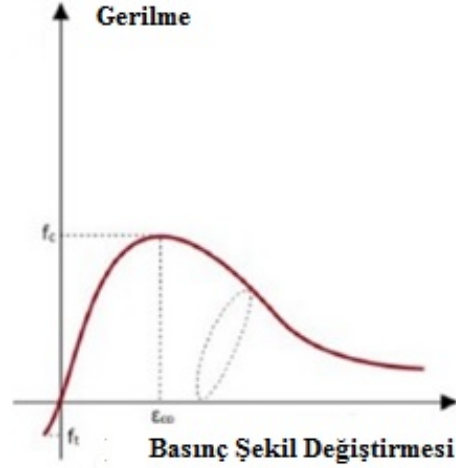
#### 4.1.2 Malzeme modelleri

##### 4.1.2.1 Sargısız ve sargılı beton modeli

Yapıların Zeus NL analiz programında modellenmesi sırasında kullanılan beton malzeme modelinde beton basınç dayanımı  $f_c$ , çekme dayanımı  $f_t$ , betonun ezilme anındaki birim şekil değiştirmesi  $\epsilon_{cu}$  ve sargılama katsayısı  $K$ 'ya bağlı olarak değiştirilmiş Mander modeline dayanan Şekil 4.5’de görülen bir beton modeli oluşturulur [48]. Bu şekilde  $\epsilon_{co}$  betonun maksimum gerilmeye karşılık gelen birim kısalması olup program tarafından hesaplanmaktadır. Çizelge 4.1’de kullanılan yapısal modellerin parametreleri verilmiştir. Sargısız beton modellerinde  $K=1$  alınmıştır.

Çizelge 4.1 : Yapısal modellerin beton modelleri ile ilgili parametreler.

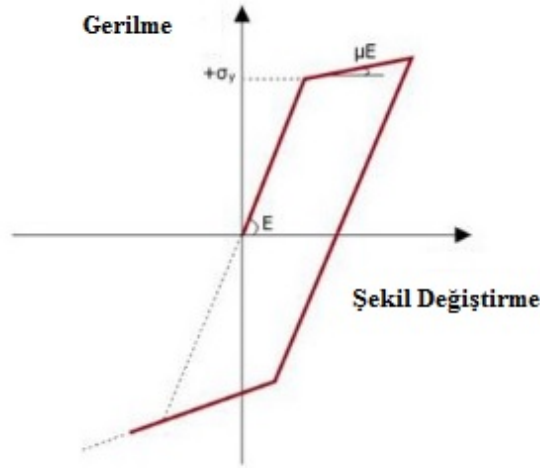
Yapı İsmi	$f_c(N/mm^2)$	$f_t(N/mm^2)$	$\epsilon_{cu} (mm)$	K
SPEAR	25	2,6	0,003	1,01
ICON	16,3	1,9	0,002	1,1
Okul Binası	20	1,6	0,002	1,2



Şekil 4.5 : Zeus NL’de beton gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi [48].

#### 4.1.2.2 Donatı çeliği modeli

Donatı çeliği için, iki doğrultulu kinematik pekleşmenin olduğu Şekil 4.6’da görülen elastoplastik model tipi kullanılmıştır. Burada  $\mu E$  donatı çeliğinin pekleşme katsayısı,  $\sigma_y$  donatının akma dayanımı olup kullanılan parametreler Çizelge 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.6 : Zeus NL’de donatı çeliği şekil değiştirme ilişkisi [48].

Çizelge 4.2 : Yapısal modellerde kullanılan donatı çubuğu parametreleri.

Yapı İsmi	E (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\mu E$
SPEAR	206000	400	0,00264
ICON	200000	343	0,00264
Okul Binası	200000	420	0,00660

## 4.2 İncelenen Yapılar

Bu tez kapsamında Fardis tarafından 2002 yılında tasarlanan SPEAR yapısı, Carvalho tarafından tasarlanan ICON çerçevesi ve bir okul binası incelenmiştir [10,11].

Bu modellerden SPEAR yapısı, düzensiz ve 3 katlı bir yapı olup Yunanistan'da 1954 ve 1995 arası geçerli olan yönetmeliğe göre tasarlanmış deprem dayanımından yoksun, düşey yükler baz alınarak 1970'lerin başlarında ki bilgi, tecrübe ve malzeme ile yapılmış binaların bir örneğidir [10].

Icon modeli ise 4 katlı 3 açıklıklı ve 2 boyutlu olup Güney Avrupa'da sıkça rastlanan yapıları temsil eden deneysel bir modeldir [11].

Bu iki yapının genel özelliği 1930 ve 1970 arasında düşük ve orta derece deprem riski olan bölgelerde yapılan betonarme binalarda olduğu gibi depremlerin oluşturduğu sismik yüklere karşı değil, düşey yüklere göre tasarlanmış olmalarıdır.

Sadece düşey yüklere göre tasarlanan binalar kötü detaylandırılmış, dayanım kapasitesinden yoksun olup genelde aşağıda belirtilen özelliklere sahiptir [51,52].

- a) Kirişler kolonlardan daha güçlüdür.
- b) Kolon ve kirişlerde bulunan kesme ve sargılama için kullanılan enine donatılar özellikle plastik mafsallarda yetersiz kalmaktadır.
- c) Kolon ve kiriş birleşim bölgelerinde kesme göçmesine yol açacak kadar az enine donatı bulunur veya hiç bulunmaz.
- d) Donatı bindirme ekleri genellikle kat döşemeleri hizasının üzerinde potansiyel plastik mafsallarda bulunmaktadır.
- e) Boyuna donatılar için genellikle düz donatı kullanılmıştır.

Okul binası ise birçok perde içeren rijit bir bina olup diğer iki yapının aksine yatay deprem kuvvetleri baz alınarak tasarlanmıştır.

### 4.2.1 SPEAR yapısı

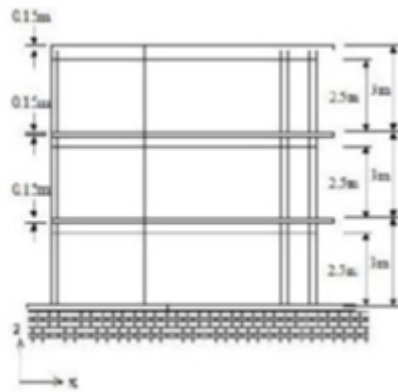
Bu yapıda kat yüksekliği döşeme yüzeyinden döşeme yüzeyine 3 m olup yapı düzensiz ve 3 boyutludur. SPEAR yapısına ait düzensizlik parametreleri Çizelge 4.3'de verilmiştir.

**Çizelge 4.3** : SPEAR yapısına ait düzensizlik parametreleri [52].

Kat No	$e_{0,x}(m)$	$e_{0,y}(m)$	$r_x(m)$	$r_y(m)$	$l_s(m)$	$0,3 r_x$	$0,3r_y$
1 ve 2	1,302	1,037	1,44	2,57	4,38	0,43	0,77
3	1,338	1,081	1,44	2,57	4,32	0,43	0,77

Çizelge 4.3’de verilen değerlere bakıldığında yapının Eurocode 8’e göre planda düzensiz olduğu anlaşılmaktadır.

Yapı, Avrupa Birliği Sismik Değerlendirme ve rehabilitasyon projesi kapsamında tasarlanmış olup yapıya ait Pseudo dinamik testler İtalya Ispra’da ki ELSA laboratuvarlarında yapılmıştır. Şekil 4.7’de yapının test modeli görülmektedir [10].

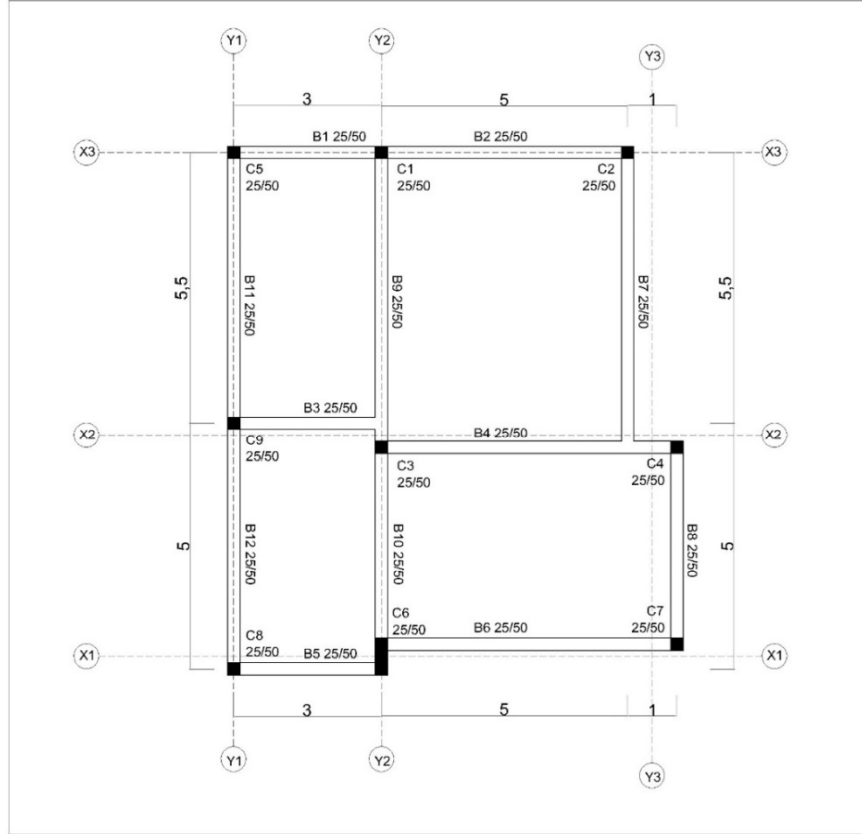


**Şekil 4.7** : Spear yapısına ait ELSA, Ispra laboratuvarında test edilen model [10].

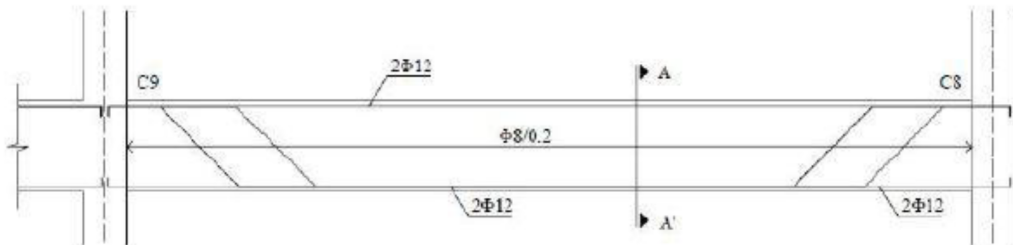
Spear yapısına ait döşemeler 8 mm çapında ve 200 mm aralıkla donatılandırılmıştır. Tasarım yükleri ise betonarme elemanların kendi ağırlıkları haricinde yüzey kaplaması olarak  $0,5 \text{ kN/m}^2$  ve hareketli yük olarak ise  $2 \text{ kN/m}^2$  dir. Yapıda kullanılan beton ise C25 kalitesindedir. Yapıda donatı olarak İtalyan marketinden FeB32K sınıfında malzeme kullanılmıştır. Bu donatı sınıfı minimum 315 MPa akma dayanımına, ortalama olarak ise 360 MPa dayanıma ayrıca 450 MPa kopma dayanımına sahiptir. Ancak ELSA laboratuvarındaki test sonuçları kullanılan donatının 360 MPa akma dayanımından daha iyi özellikte olduğunu göstermektedir. Oluşturulan modelde betonun basınç dayanımı  $25 \text{ N/mm}^2$  çeliğin akma dayanımı ise  $400 \text{ N/mm}^2$  olarak alınmıştır.

Şekil 4.9 ve 4.10’da kolon ve kiriş kesitleri görülmektedir. Kolonların boyuna donatıları 12 mm çapında olup enine donatıları ise 90 derece kancalı 250 mm arayla 8 mm çapındadır. Enine donatılar kolon kiriş birleşimlerinde mevcut değildir. Kiriş boyuna donatıları ise üstte ve altta 2 adet 12 mm çapında olup kolonlara 180

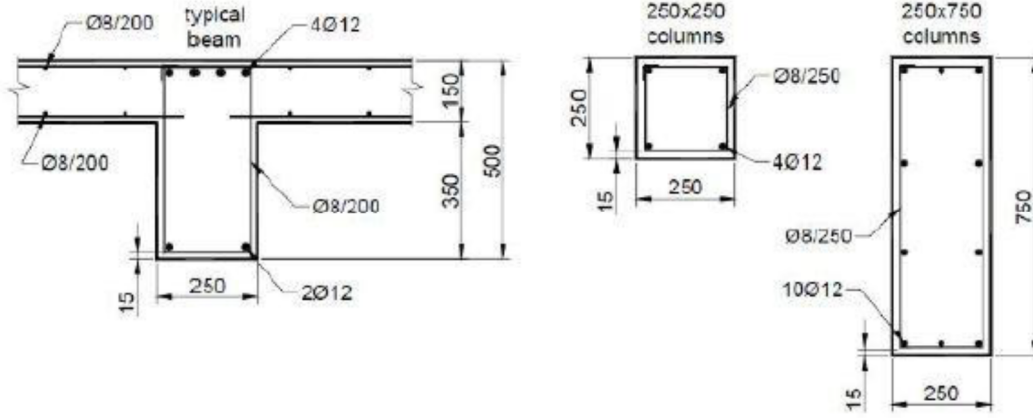
derecelik kancalarla bağlanmıştır. Şekil 4.8’de görüldüğü gibi C6 kolonu 750x250 mm boyutunda olup diğer tüm kolonlar 250x250 mm boyutlarındadır. Yapının temel sistemi ise şerit şeklinde sürekli temel olup kolon boyuna donatıları ilk kat kolonları da dahil olmak üzere kat hizalarından itibaren 400 mm bindirme yapılacak şekilde uzatılmıştır [51,53]. Şekil 4.11’de ise SPEAR yapısına ait ZeusNL analiz programı modeli görülmektedir.



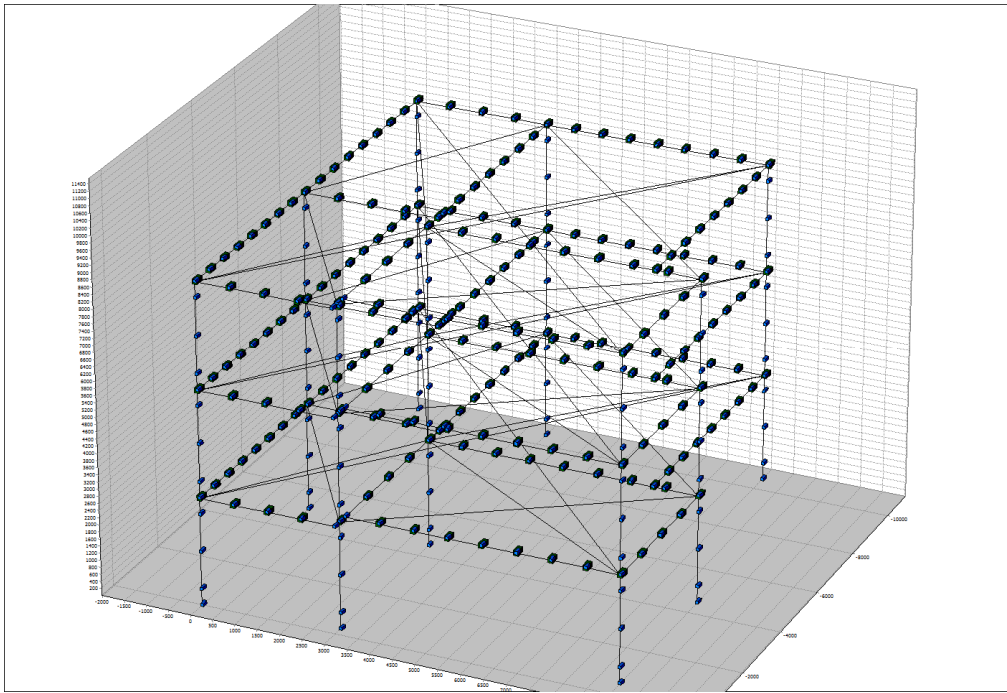
Şekil 4.8 : SPEAR yapısı plan görünümü [53].



Şekil 4.9 : Spear Yapısına ait kiriş detayı [53].



Şekil 4.10 : SPEAR yapısına ait kiriş ve kolon kesitleri [53].



Şekil 4.11 : SPEAR yapısı ZeusNL analiz program modeli.

#### 4.2.2 ICON çerçevesi

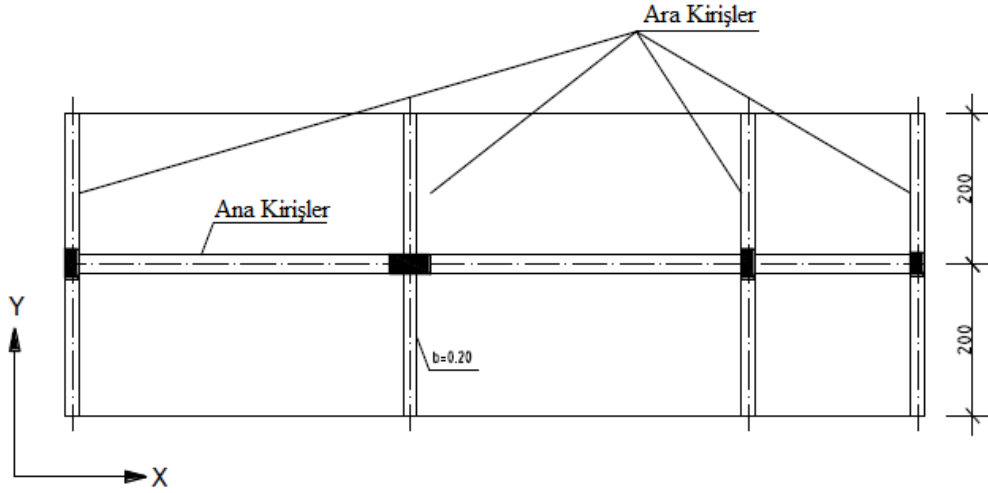
ICON, Avrupa Birliği projesi olan Yeni ve Mevcut Yapıların Sismik Tasarımı için Yenilikçi Konseptler projesi kapsamında ELSA, Ispra laboratuvarlarında pseudo dinamik testleri yapılan test çerçevesidir. Çerçevenin özelliklerinden kaynaklı olarak herhangi bir düzensizlik hesaplanamamıştır. ICON çerçevesi döşeme yüzeyinden döşeme yüzeyine 2,7 m kat yüksekliğine sahip olup ilk ikisi 5m sonuncusu ise 2,5 m uzunluğunda 3 açıklıklı 2 boyutlu bir çerçevedir. Döşeme kalınlığı 150 mm olmakla beraber kirişler 250 mm eninde 500 mm derinliğindedir. Kolon enine donatıları 6 mm çapında olup 150 mm aralığa ve 90 derece kancalara sahiptir. Kirişler ise 200

mm aralıklı 8 mm çapında 90 derece kancalı enine donatılara sahiptir. Enine donatılar kolon kiriş birleşim bölgelerinde mevcut değildir [11]. Şekil 4.12’de çerçeveye ait test modeli görülmektedir.

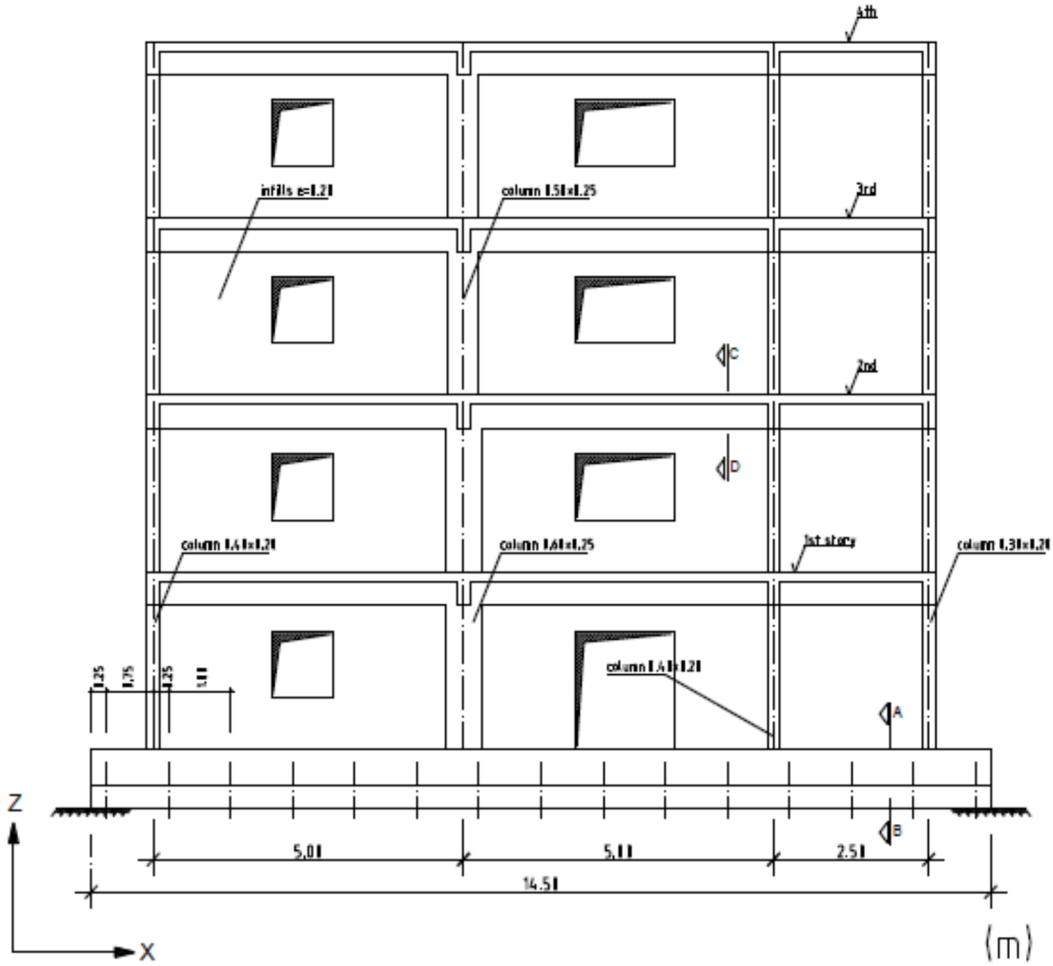
Malzeme dayanımı olarak betonun basınç dayanımı  $f_c=16.3$  MPa alınmıştır. Çerçevede donatı olarak FeB22K sınıfı italyan donatısı kullanılmış olup bu donatı 235 MPa akma dayanımına ve 365 MPa kopma dayanımına sahiptir. Donatının akma dayanımı ELSA laboratuvarlarındaki testlere uygun şekilde 343 MPa olarak alınmıştır. Çerçevede taşıyıcı sistemin ve döşemelerin zati ağırlığı dışında  $0.75$  kN/m<sup>2</sup> kaplama yükü,  $1.1$  kN/m<sup>2</sup> duvar yükü ve  $1$  kN/m<sup>2</sup> hareketli yük alınmıştır. Ayrıca sistemde ana kirişlere dik doğrultuda ara kirişler mevcut olup bu kirişler 200 mm eninde ve 500 mm derinliğindedir [11]. Bu kirişler analiz programında modellenmemiş olup ağırlıkları kolon başlıklarına etkilmiştir. Çerçeve planı Şekil 4.13’de, çerçevenin yandan görünüşü Şekil 4.14’de, Zeus NL analiz programında yapılan model Şekil 4.15’de, tipik kesitler ise Şekil 4.16’da görülmektedir.



**Şekil 4.12** : ELSA laboratuvarında test edilen ICON çerçeveleri [54].

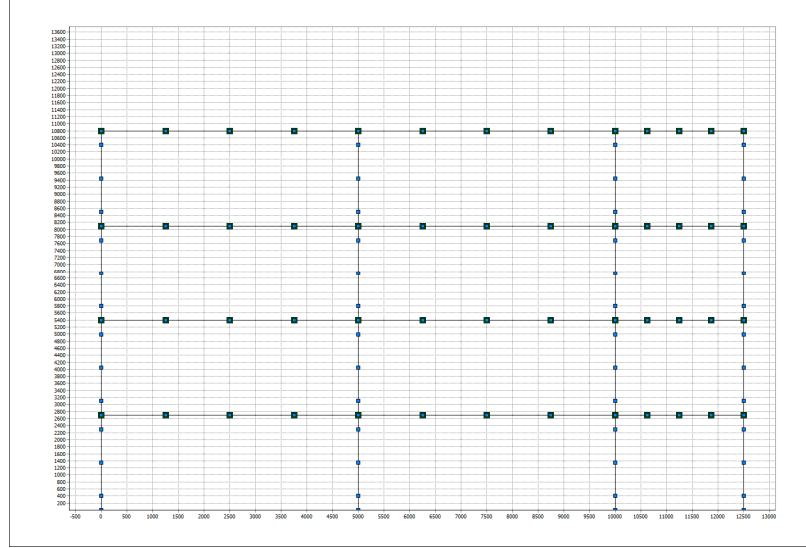


Şekil 4.13 : ICON çerçeve planı [55].



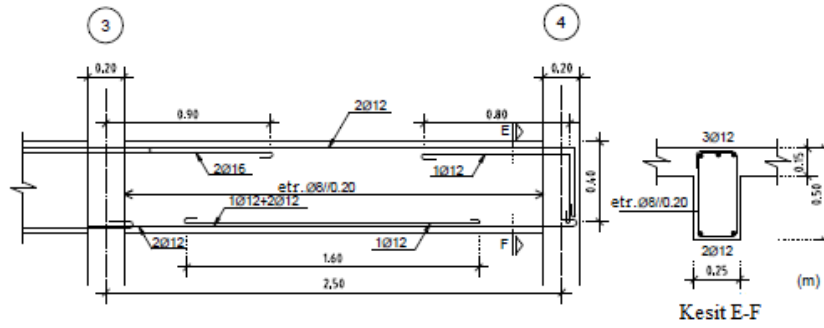
Şekil 4.14 : ICON çerçevesi yandan görünüş [55].





Şekil 4.15 : ICON çerçevesi Zeus NL modeli.

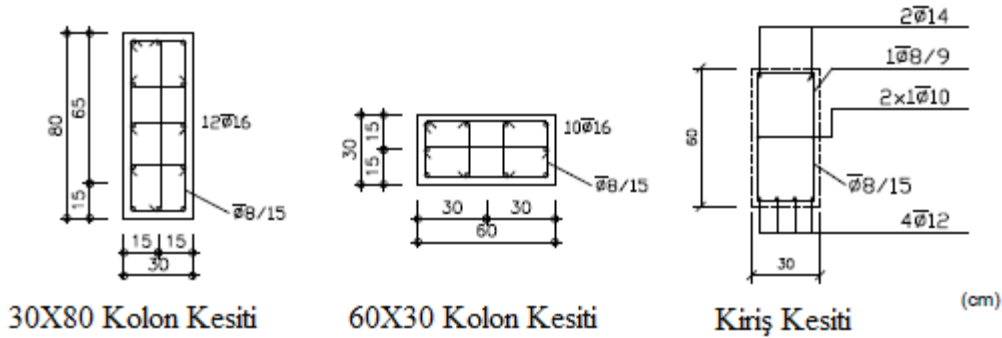
Kat	1	2	3	4
4				
2				
0				



Şekil 4.16 : ICON çerçevesi tipik kesitleri [55].

### 4.2.3 Okul Binası

2011 Van depreminde hasar gören yapılardan biri olan okul binası da bu tez kapsamında incelenmiştir. Bu yapıda C20 sınıfı beton ve S420 sınıfı donatı kullanılmıştır. Ölü yük olarak taşıyıcı sistem dışında  $2.1 \text{ kN/m}^2$  kaplama yükü ve  $3 \text{ kN/m}^2$  duvar yükü alınmıştır. Ayrıca dersliklerde  $3,5 \text{ kN/m}^2$  koridor ve ortak kullanım alanlarında ise  $5 \text{ kN/m}^2$  hareketli yük alınmıştır. Yapının bodrum kat yüksekliği 3.5 m olup bodrum perdelerinin oluşturduğu rijitliğin modele aktarılması için düşey taşıyıcılar birbirlerine rijit çaprazlarla bağlanmıştır. Bodrum kat betonarme perdelerinin modellenmesi, rijitliği yüksek dairesel kesitli elemanlarla yapılmıştır. Yapı kat yüksekliği ise 3,15 m olarak tasarlanmıştır. Yapıdaki kirişler 300 mm eninde ve 600 mm yüksekliğindedir. Kolon kiriş birleşim bölgelerinde enine donatılar mevcut olup etriye sıklaştırılması yapılmıştır. Enine donatılar  $135^\circ$  kancaya sahiptirler. Şekil 4.18’de yapının tipik kat planı görülmekte olup yapıda bulunan bodrum kat perdeleri plana işlenmiştir. Şekil 4.17’de tipik kesitler Şekil 4.19’da ise yapının ZeusNL analiz programında oluşturulan modeli görülmektedir.



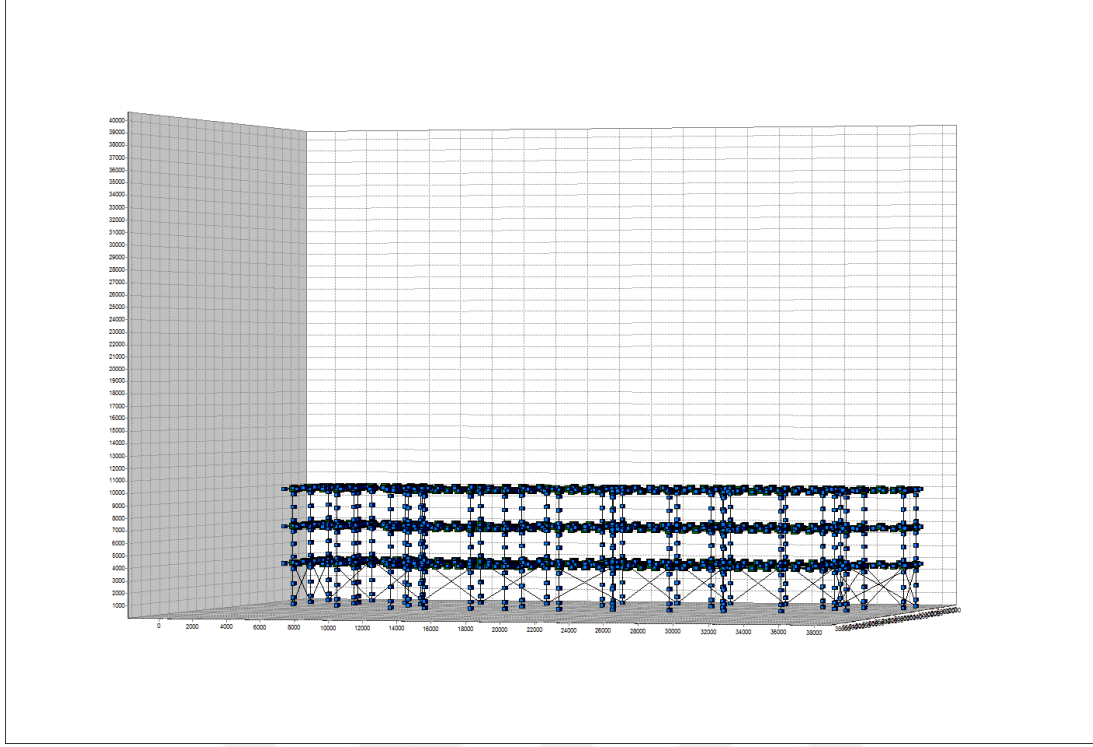
Şekil 4.17 : Okul binasına ait tipik kesitler [56].

Yapı DBYBHY 2007’ye göre düzensizlik açısından incelendiğinde Çizelge 4.4’deki değerler bulunmaktadır. Bu değerlere göre yapının en alt katı olan bodrum katıyla bir üst katı olan zemin kat arasında zayıf ve yumuşak kat düzensizlikleri vardır. Bina planda ise düzenli bir yapıya sahiptir.

Çizelge 4.4 : Okul binası düzensizlik katsayıları.

Plan ( $\eta_{bi}$ )	Düşey ( $\eta_{ki}$ )	Düşey ( $\eta_{ci}$ )
1,08	2,91	0,54





**Şekil 4.19** : Okul binasına ait Zeus NL modeli.

Oyguç'un 2016 yılında "Seismic performance of RC school buildings after 2011 Van earthquakes" isimli yaptığı çalışmada bölgede yer alan 164 okul yapısı incelenmiştir. Bu yapıların 24 tanesi yığma yapı olup 140 tanesi betonarme taşıyıcı sisteme sahiptir. Bu 140 binanın ise 67 tanesinin yıkılması gerekliliği ortaya çıkmışken 73 tanesinin ise güçlendirilmesi gerekliliği Şekil 4.20'de görüldüğü gibi ortaya çıkmıştır. Ayrıca bu çalışma kapsamında betonarme okul binalarının %52'sinin orta derecede hasar gördüğü, %47'sinin ağır hasar gördüğü %1'inin ise tamamen yıkıldığı belirtilmiştir [57].



**Şekil 4.20** : Van bölgesinde hasar gören yapıların istatistiksel incelemesi [57].

Yazgan, Oyguç ve diğ.'inin yaptığı 2016 yılındaki çalışmada ise Van bölgesinde 2011 yılı Ekim depreminde hasar gören binaların birçoğunun zayıf ve yumuşak kat düzensizliklerine sahip olduğu belirtilmiştir [58]. Oyguç ve Güley'in 2016 yılında

yaptığı çalışmada ise bölgedeki okul binalarının depremden zarar görmesi 6 ana sebebe bağlanmıştır. Bu sebepler düşük beton dayanımı, sargı donatılarının eksikliği, korozyon, kısa kolon etkisi, perdelerin ve yapısal olmayan elemanların gördüğü hasardır [59]. Oyuç'un 2013 yılında yaptığı çalışmada ise 2011 yılında meydana gelen depremlerin maksimum ivmelerinin yönetmelikte belirtilen tasarım ivmesinden düşük olduğu ancak, okul yapılarında hazır beton kullanılmaması sebebiyle, kullanılan beton kalitesinin tasarımda belirtilen beton dayanımdan düşük kaldığı ve bunun da hasara yol açtığı belirtilmiştir [60].





## 5. ANALİZ SONUÇLARI

Bu çalışma kapsamında incelenen yapılarda önce tüm doğrultular için itme analizi uygulanmış ardından N2 metodu ile hedef tepe deplasmanları hesaplanmıştır. Daha sonra ise yapısal düzensizliklere uygun olarak görel kat ötelemelerinin yeniden hesaplanabilmesi için geliştirilmiş N2 metodu ile planda ve düşeyde düzeltme katsayıları hesaplanmıştır. Son olarak da hasar görme riski daha yüksek olan zayıf doğrultuda her üç yapı içinde zaman tanım alanında analiz yapılmıştır.

### 5.1 Özdeğer Analizi Sonuçları ve Mod Şekilleri

Öz değer analizi sonuçlarından elde edilen periyotlar ve mod şekilleri bu bölümde yer almaktadır. Döşemelerden gelen yükler kirişlere etkililmiş ve yapı kütlelerinin hesabında ölü ve hareketli yükler kullanılmıştır. Hareketli yükler hareketli yük katılım katsayılarına göre azaltılarak yapıya etkilmiştir. Hareketli yük katılım katsayıları SPEAR yapısı ve ICON çerçevesinde Eurocode 2’de konut tipindeki yapılarda belirtilen değere uygun olarak 0,3 okul binasında ise DBYBHY 2007’ye uygun olarak 0,6 alınmıştır [50,7].

Mod şekilleri hem ZeusNL hem de Sap2000 programından elde edilmiş ve Zeus NL modellerinin doğruluğu kontrol edilmiştir. Çizelge 5.1-5.3’de yapıların her iki analiz programından da elde edilen periyot değerleri verilmiştir.

**Çizelge 5.1 : SPEAR yapısı özdeğer analizi sonuçları.**

Program	1. Mod	2. Mod	3. Mod	4. Mod	5. Mod	6. Mod
Sap 2000	0,59	0,54	0,45	0,21	0,18	0,14
Zeus NL	0,62	0,57	0,46	0,21	0,19	0,15

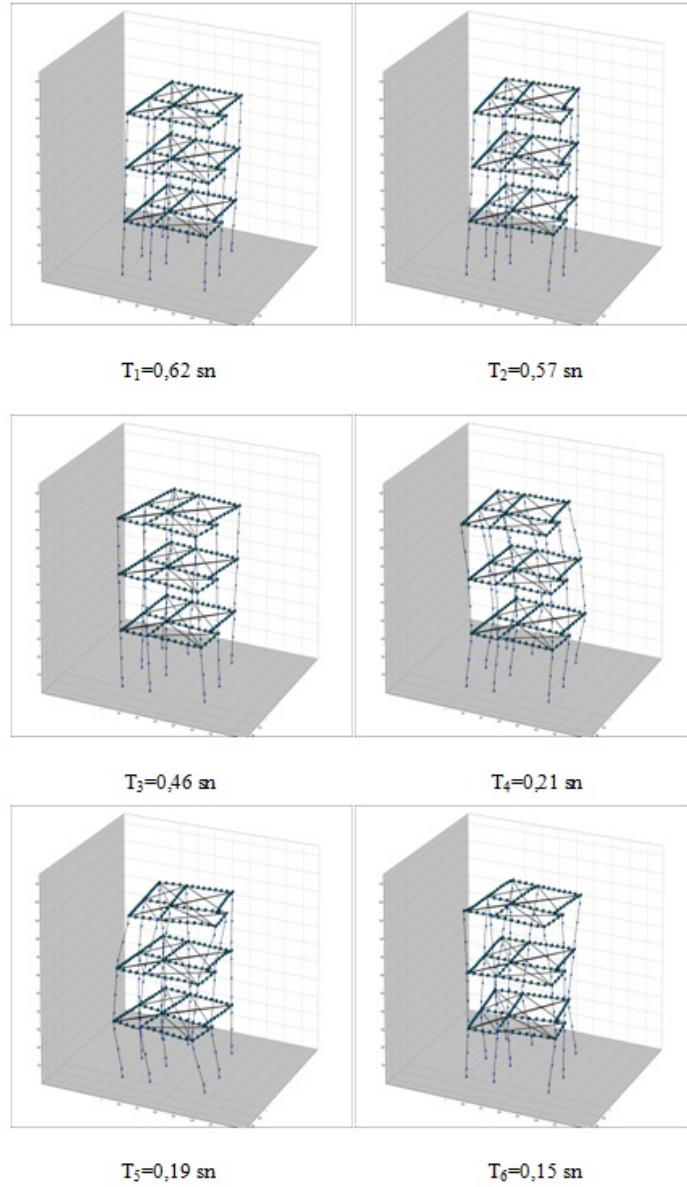
**Çizelge 5.2 : ICON çerçevesi özdeğer analizi sonuçları.**

Program	1. Mod	2. Mod	3. Mod	4. Mod	5. Mod	6. Mod
Sap 2000	0,63	0,22	0,14	0,10	0,07	0,06
Zeus NL	0,62	0,21	0,13	0,09	0,07	0,06

**Çizelge 5.3 : Okul binası özdeğer analizi sonuçları.**

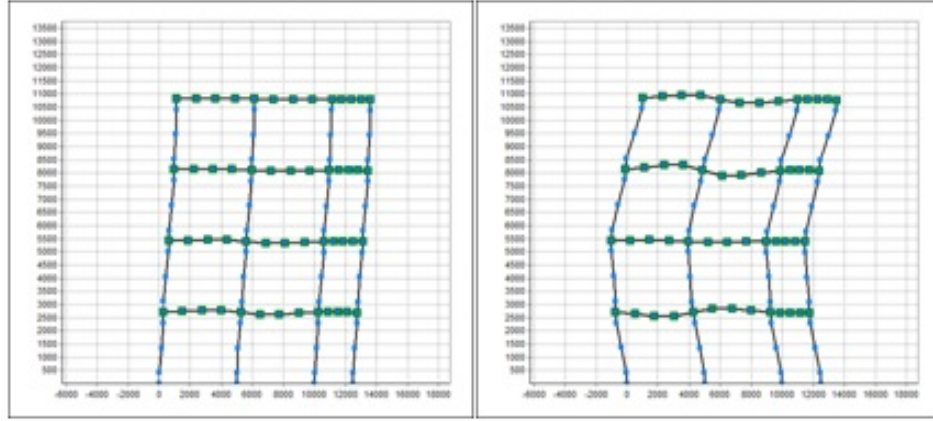
Program	1. Mod	2. Mod	3. Mod	4. Mod	5. Mod	6. Mod
Sap 2000	0,24	0,16	0,14	0,11	0,09	0,08
Zeus NL	0,25	0,16	0,14	0,09	0,08	0,08

Şekil 5.1’de SPEAR yapısına Şekil 5.2’de ICON yapısına Şekil 5.3’de ise okul binasına ait Zeus NL analiz programından elde edilen mod şekilleri ve periyot değerleri verilmiştir.



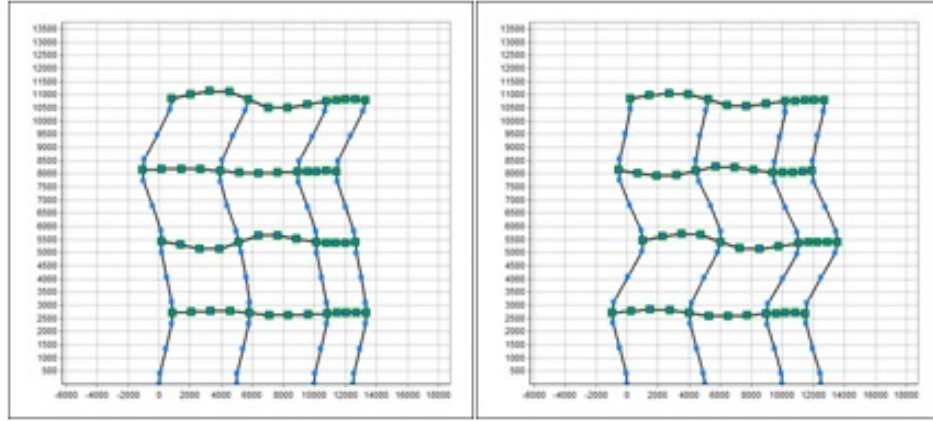
**Şekil 5.1 : SPEAR yapısı Zeus NL analiz programı özdeğer analizi sonuçları ve mod şekilleri.**





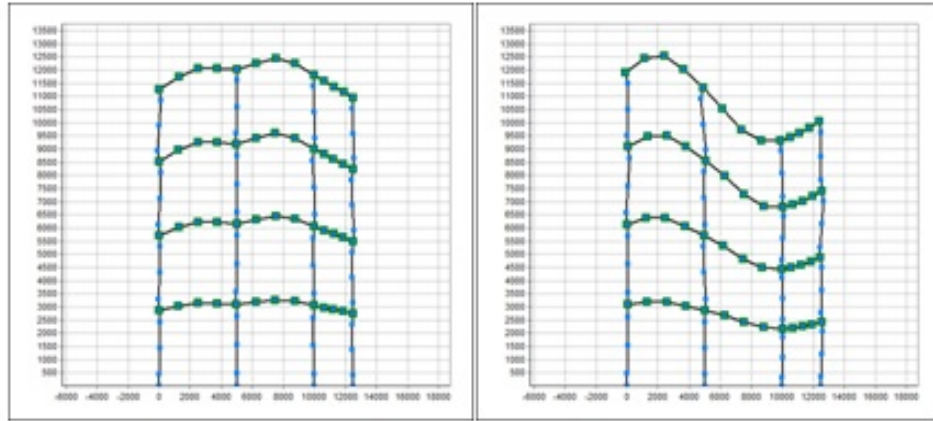
$T_1=0,62$  sn

$T_2=0,21$  sn



$T_3=0,13$  sn

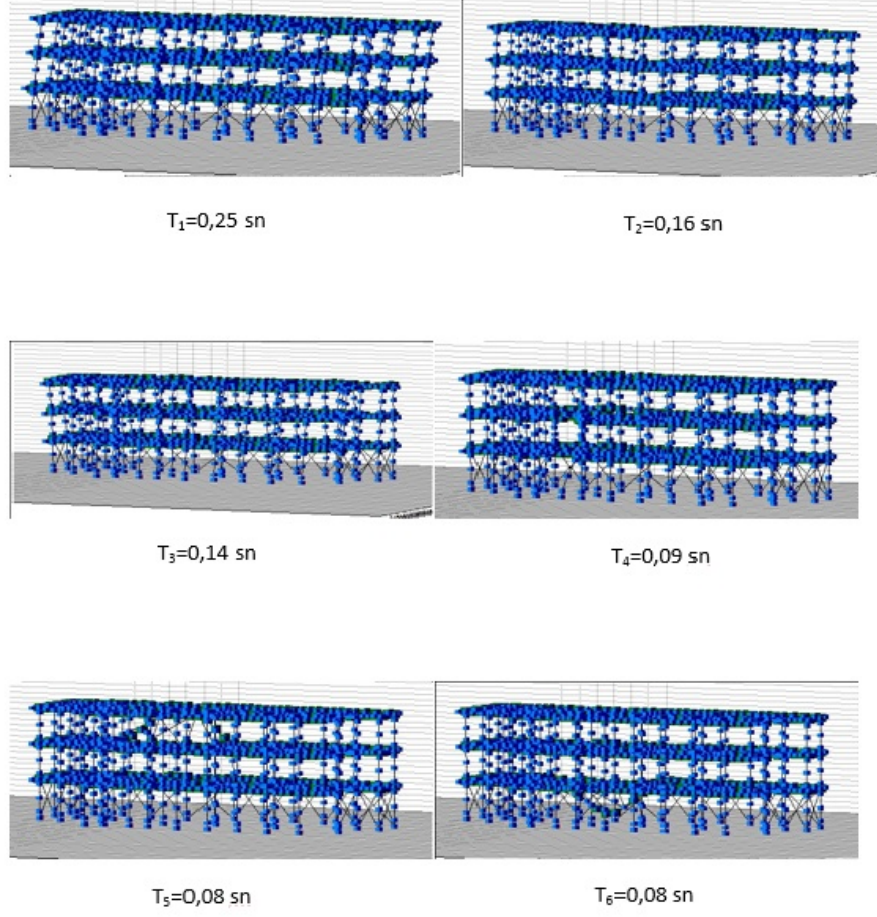
$T_4=0,09$  sn



$T_5=0,07$  sn

$T_6=0,06$  sn

Şekil 5.2 : ICON çerçevesi Zeus NL analiz programı özdeğer analizi sonuçları ve mod şekilleri.



**Şekil 5.3 :** Okul binası Zeus NL analiz programı özdeğer analizi sonuçları ve mod şekilleri.

## 5.2 İtme Analizi Sonuçları

### 5.2.1 SPEAR yapısı itme analizi sonuçları

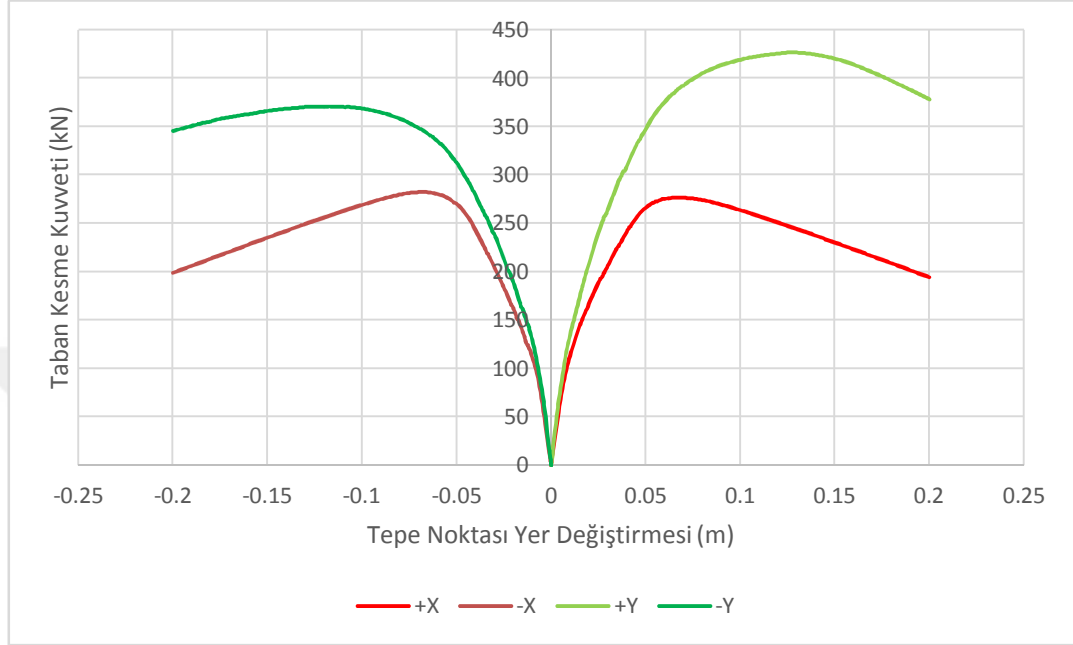
SPEAR yapısı ilk olarak dört doğrultu içinde itme analizine tabi tutulmuş daha sonra ise N2 metodu uygulanarak hedef tepe deplasmanları bulunmuştur. Çizelge 5.4 ve 5.5’de X ve Y yönlerine ait yatay yük dağılımları ve Şekil 5.4’de itme analizlerine ait sonuçlar verilmiştir.

**Çizelge 5.4 :** SPEAR yapısı X yönü yatay yük dağılımı.

Kat	Mod Şekli	Normalize Edilmiş Mod Şekli	Kütle (t)	Yatay yük (kN)
1	0,0356	0,404	64,67	256,51
2	0,0689	0,783	64,67	496,71
3	0,880	1	63,59	623,78

**Çizelge 5.5 : SPEAR yapısı Y yönü yatay yük dağılımı.**

Kat	Mod Şekli	Normalize Edilmiş Mod Şekli	Kütle (t)	Yatay yük (kN)
1	0,023	0,31	64,67	196,17
2	0,053	0,72	64,67	454,16
3	0,074	1	63,59	623,78



**Şekil 5.4 : SPEAR yapısı itme analizi sonuçları.**

Şekil 5.4'den anlaşıldığı üzere yapının Y yönü kapasitesi X yönü kapasitesinden yüksek olup yapının +Y doğrultusu güçlü doğrultudur.

### 5.2.1.1 SPEAR yapısı X yönü için N2 metodunun uygulanması

Bu yöne yapının birinci modu tekabül etmekte olup ilgili modun genelleştirilmiş kütle ve TSDS'in eş değer kütle  $m^*$  aşağıda verilmiştir.

$$\Phi^T M \Phi = 113,80$$

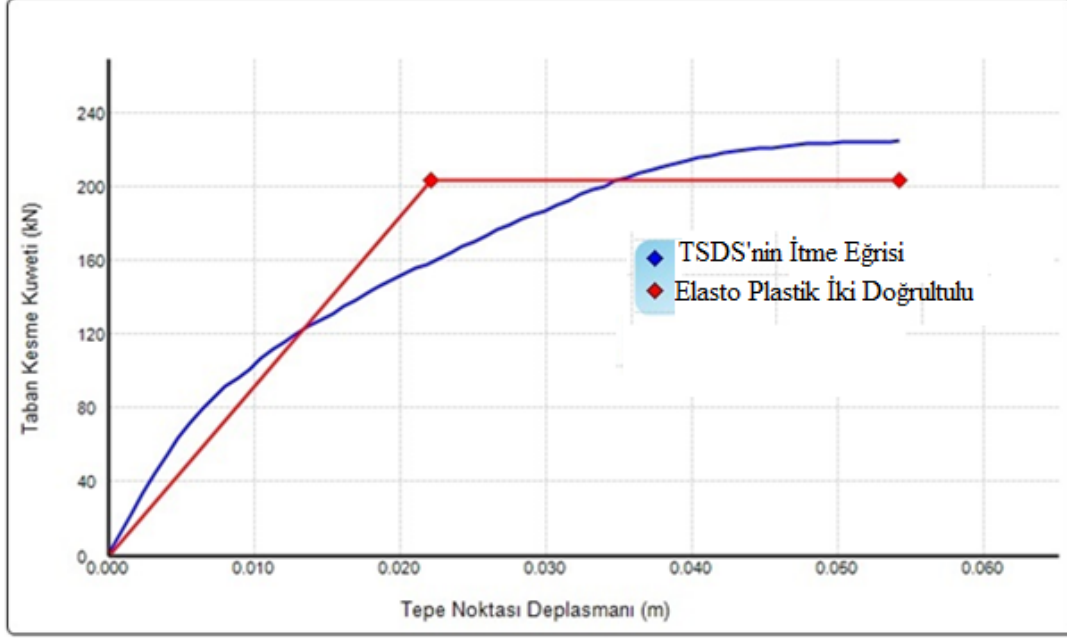
$$m^* = \Phi^T M 1 = 140,37$$

Buradan modal katılım katsayısı;

$$\Gamma = \frac{140,37}{113,80} = 1,23$$

olarak hesaplanır.

Şekil 5.5’de SPEAR yapısının +X yönü için eşdeğer TSDS’in taban kesme kuvveti-tepe noktası yer değiştirmesi eğrisinin elasto-plastik biçimde iki doğrultulu hale getirilmesi görülmektedir.



**Şekil 5.5 :** SPEAR yapısı için +X yönünde eşdeğer TSDS’in taban kesme kuvveti-tepe noktası yer değiştirmesi eğrisinin iki doğrultulu hale getirilmesi.

Buradan eşdeğer TSDS’nin akma dayanımı, yer değiştirmesi ve periyodu sırasıyla;

$$F_y^* = 203,32 \text{ kN}$$

$$D_y^* = 0,0222 \text{ m}$$

$$T^* = 2\pi \sqrt{\frac{140,37 \times 0,0222}{203,32}} = 0,78 \text{ sn}$$

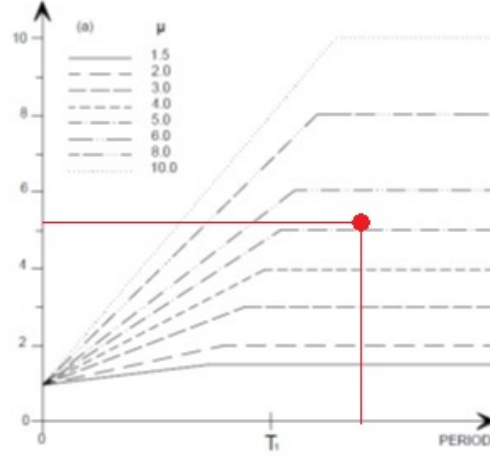
olarak bulunur.

Eurocode 8’de yer alan B sınıfı zemin ve 0,4 maksimum yer ivmesi için elastik tepki spektrumundan ivme değeri 0,77 g olarak okunur. Buradan;

$$R_\mu = \frac{140,37 \times 0,769 \times 9,81}{203,32} = 5,21$$

olarak bulunur.

Bu değer eşdeğer TSDS’in periyodu uzun periyot aralığında kaldığı için  $\mu$ ’ye eşit olur (Şekil 5.6).



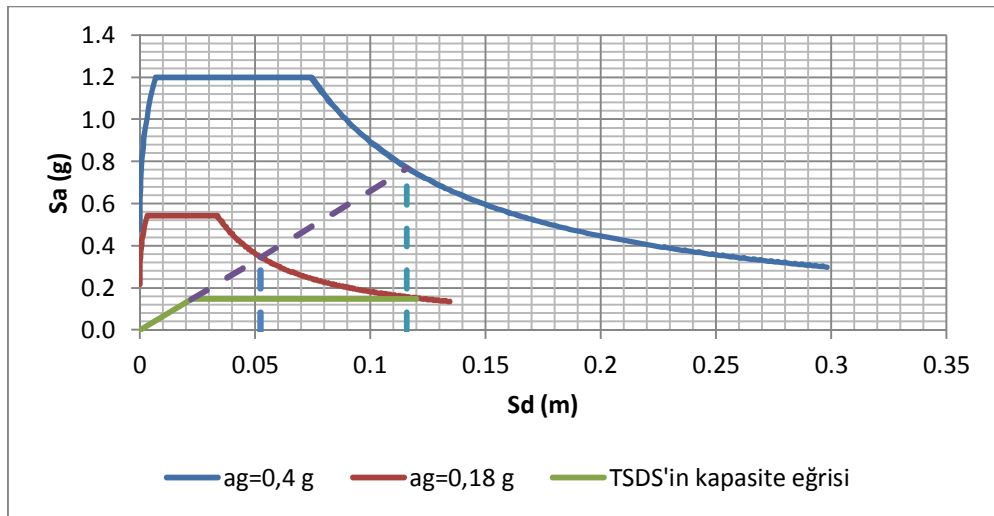
Şekil 5.6 :  $R_\mu$  ve  $\mu$  için hesaplanan değerler.

Dolayısıyla eşdeğer TSDS'in hedef tepe deplasmanı ve sistemin hedef tepe deplasmanları;

$$D^* = 0,0222 \times 5,21 = 0,116 \text{ m}$$

$$D = 0,116 \times 5,21 = 0,143 \text{ m}$$

olarak bulunur. Ancak bu değer yapının itme analizi sonucunda bulunan maksimum taban kesme değerine karşılık gelen tepe deplasmanından büyüktür. Bunun sebebi yapının Bölüm 4'de belirtildiği gibi yatay yüklere göre tasarlanmamış olmasıdır. Bu sebeple yapının her dört doğrultuda en elverişsiz durumu incelenerek Eurocode 8'de yer alan spektrumun maksimum yer ivmesi 0,18g'ye sonuçların tutarlılığı açısından indirgenmiştir. Şekil 5.7'de ilgili işlem grafiksel olarak detaylandırılmıştır.



Şekil 5.7 : Eşdeğer TSDS'in hedef tepe deplasmanının +X yönü için hesaplanması.

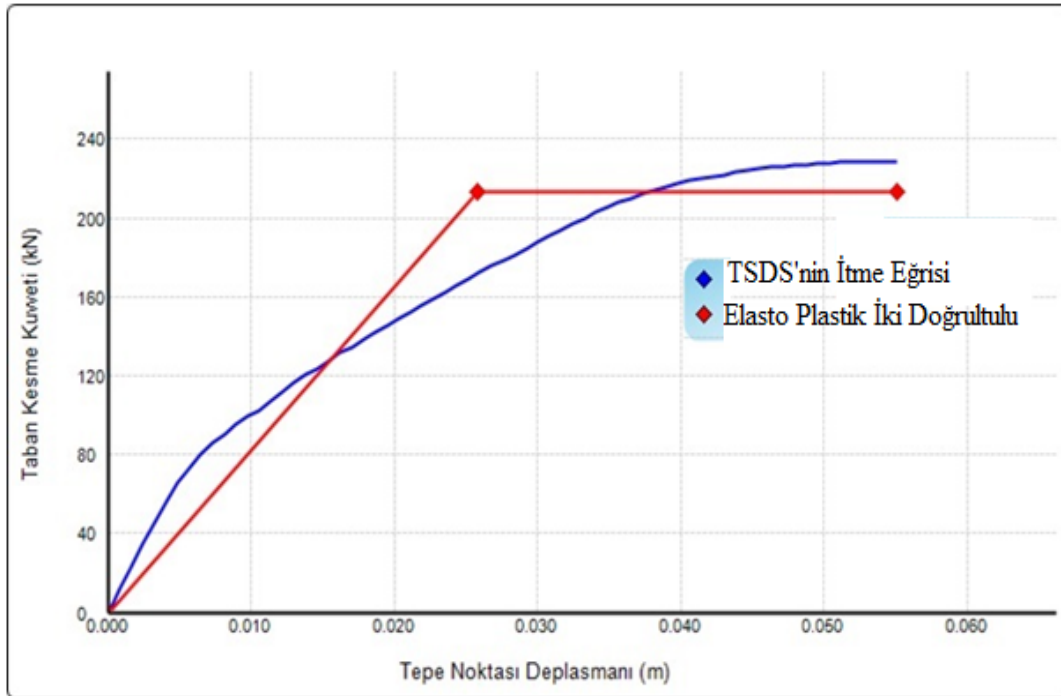
Yukarıda belirtilen işlemler 0,18 g maksimum yer ivmesine göre tekrarlandığında Şekil 6.6'da da görüldüğü gibi eşdeğer TSDS'in ve buna bağlı olarak ÇSDS'in hedef tepe deplesmanları;

$$D^*=0,052 \text{ m}$$

$$D=0,064 \text{ m}$$

olarak bulunur.

Şekil 5.8'de SPEAR yapısının -X yönü için eşdeğer TSDS'in taban kesme kuvveti-tepe noktası yer değiştirmesi eğrisinin elasto-plastik biçimde iki doğrultulu hale getirilmesi görülmektedir.



**Şekil 5.8 :** SPEAR yapısı için -X yönünde eşdeğer TSDS'in taban kesme kuvveti-tepe noktası yer değiştirmesi eğrisinin iki doğrultulu hale getirilmesi.

-X yönünde ise 0,4g ve 0,18g maksimum yer ivmesi için bulunan değerler Çizelge 5.6'da verilmiştir.

**Çizelge 5.6 :** SPEAR yapısı -X yönü N2 analizi sonuçları.

Maksimum Yer İvmesi	$F_y^*$ (kN)	$D_y^*$ (m)	$T^*$ (sn)	$S_{ae}$ (g)	$R_{\mu}=\mu$	$D^*$ (m)	$D$ (m)
0,4g				0,73	4,74	0,122	0,151
0,18g	212,87	0,026	0,82	0,33	2,14	0,055	0,068

### 5.2.1.2 SPEAR yapısı Y yönü için N2 metodunun uygulanması

Bu yöne yapının ikinci modu tekabül etmekte olup ilgili modun genelleştirilmiş kütle ve TSDS'in eş değer kütle  $m^*$  aşağıda verilmiştir.

$$\Phi^T M \Phi = 102,91$$

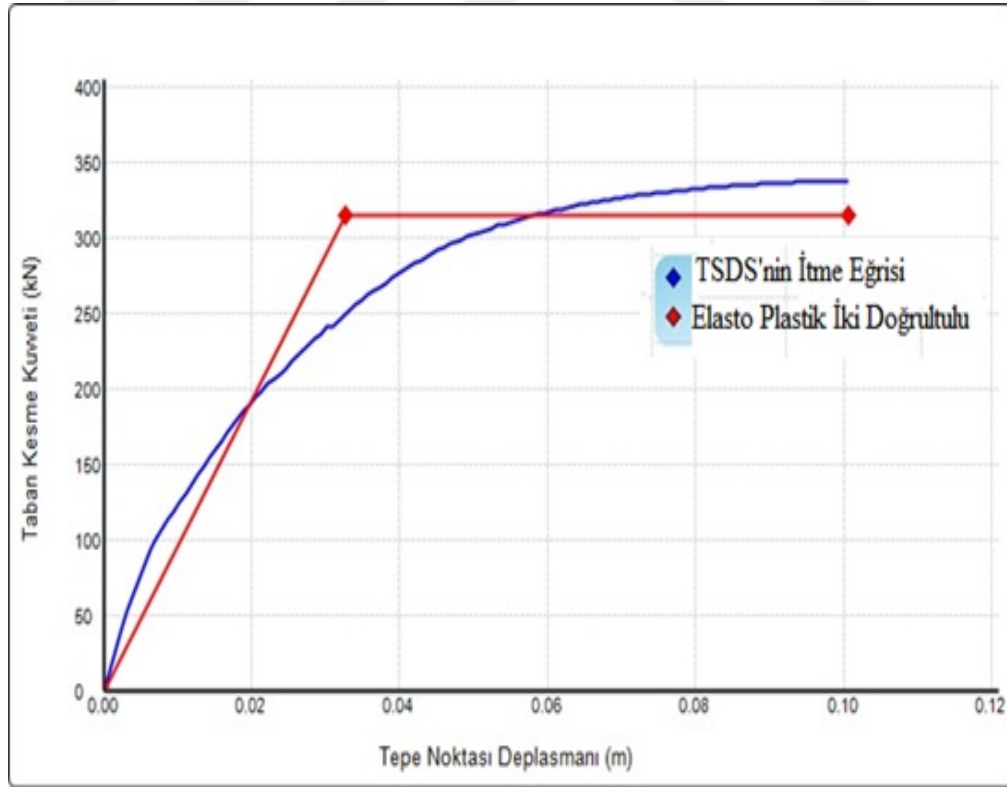
$$m^* = \Phi^T M 1 = 129,88$$

Buradan modal katılım katsayısı;

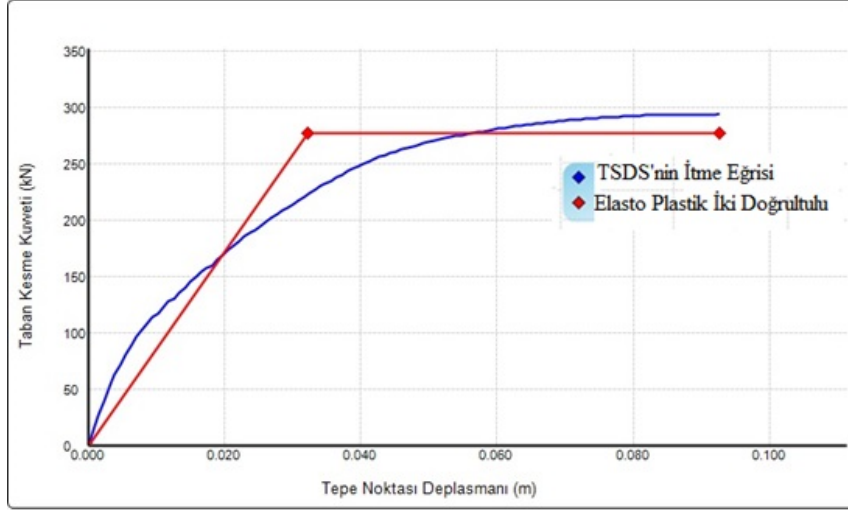
$$\Gamma = \frac{129,88}{102,91} = 1,26$$

olarak hesaplanır.

Şekil 5.9'da +Y yönü için Şekil 5.10'da ise -Y yönü için eşdeğer TSDS'in taban kesme kuvveti-tepe noktası yer değiştirmesi eğrilerinin elasto-plastik biçimde iki doğrultulu hale getirilmesi görülmektedir. Çizelge 5.7'de +Y ve -Y doğrultuları için hesaplanan 0,18 g maksimum yer ivmesine göre olan N2 metodu değerleri verilmiştir.



Şekil 5.9 : SPEAR yapısı için +Y yönünde eşdeğer TSDS'in taban kesme kuvveti-tepe noktası yer değiştirmesi eğrisinin iki doğrultulu hale getirilmesi.

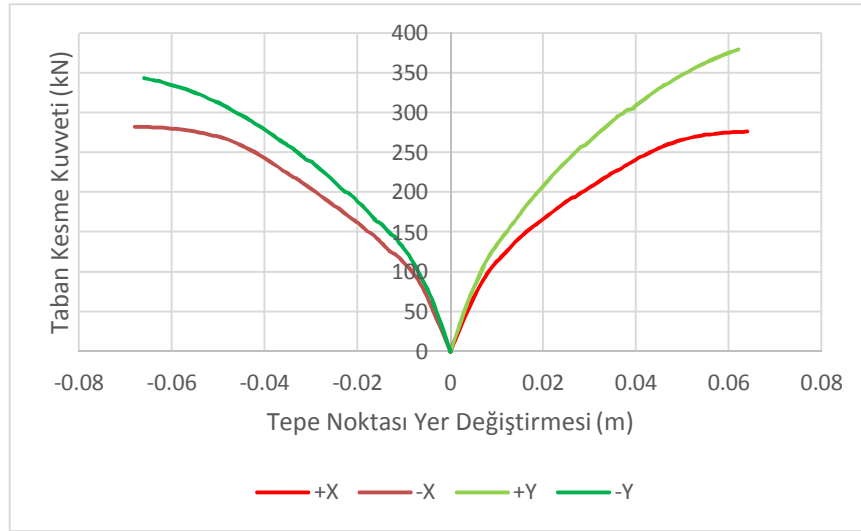


**Şekil 5.10 :** SPEAR yapısı için -Y yönünde eşdeğer TSDS'in taban kesme kuvveti-tepe noktası yer değiştirmesi eğrisinin iki doğrultulu hale getirilmesi.

**Çizelge 5.7 :** SPEAR yapısı Y yönü N2 metodu değerleri.

Doğrultu	$F_y^*$ (kN)	$D_y^*$ (m)	$T^*$ (sn)	$S_a$ (g)	$R\mu=\mu$	$D^*$ (m)	$D$ (m)
+Y	314,39	0,032	0,73	0,37	1,50	0,049	0,062
-Y	276,96	0,032	0,77	0,35	1,62	0,052	0,066

SPEAR yapısında N2 metoduna göre bulunan hedef tepe deplasmanlarına göre itme analizleri yenilendiğinde Şekil 5.11'deki kapasite eğrileri elde edilmiştir.



**Şekil 5.11 :** SPEAR yapısı hedef tepe deplasmana göre kapasite eğrileri.

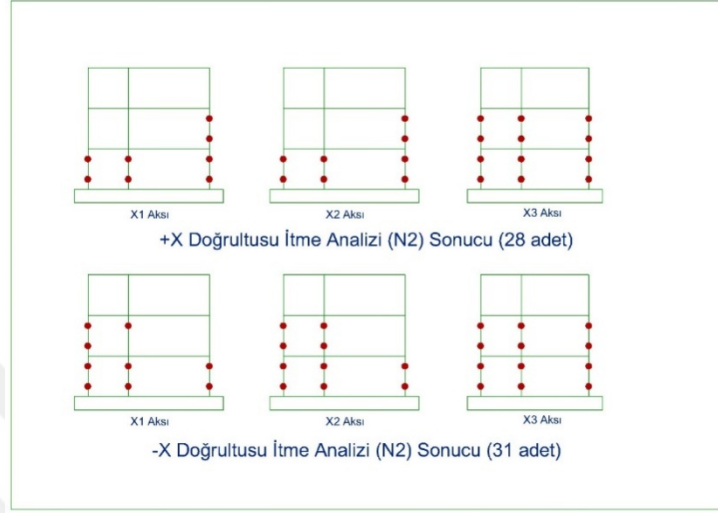
### 5.2.1.3 SPEAR yapısı itme analizi sonucu oluşan plastik mafsallar

SPEAR yapısı bulunan hedef yerdeğiştirmelere kadar itildiğinde oluşan plastik mafsallar X yönü için Şekil 5.12'de Y yönü içinse Şekil 5.13'de verilmiştir. Çizelge 5.8'de ise bütün doğrultularda oluşan plastik mafsalların adetleri verilmiştir.

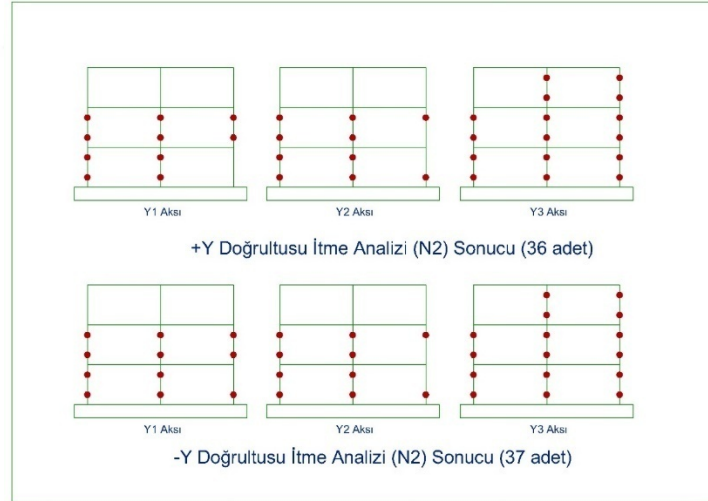


**Çizelge 5.8 :** SPEAR yapısı itme analizi (N2) sonucu oluşan plastik mafsal sayıları.

Doğrultu	Oluşan Plastik Mafsal Sayısı
+X	28
-X	31
+Y	36
-Y	37



**Şekil 5.12 :** SPEAR yapısında X yönünde itme analizi (N2 metodu) sonucu oluşan plastik mafsallar.



**Şekil 5.13 :** SPEAR yapısında Y yönünde itme analizi (N2 metodu) sonucu oluşan plastik mafsallar.

#### 5.2.1.4 SPEAR yapısı için geliştirilmiş N2 metodunun uygulaması

SPEAR yapısı planda düzensiz bir yapı olduğundan bu düzensizlikleri N2 yöntemine adapte edebilmek adına geliştirilmiş N2 metodu uygulanmıştır. Yapının kütle merkezindeki (3 nolu kolona denk gelmektedir) yer ve şekil değiştirmeleri

hesaplayabilmek için elastik modal tepki analizi (RSA) gerçekleştirilmiştir. Normalizasyon katsayısı

$$C_{NORM,x} = \frac{0,064}{0,106} = 0,60$$

olarak hesaplanmıştır. Çizelge 5.9'da X yönü için N2 metodu ve RSA sonuçları verilmiştir. Çizelge 5.10'da ise bulunan düzeltme katsayıları belirtilmiştir. Bu değerler Y2 ekseninden alınmış olup katsayılar da bu eksene göre hesaplanmıştır.

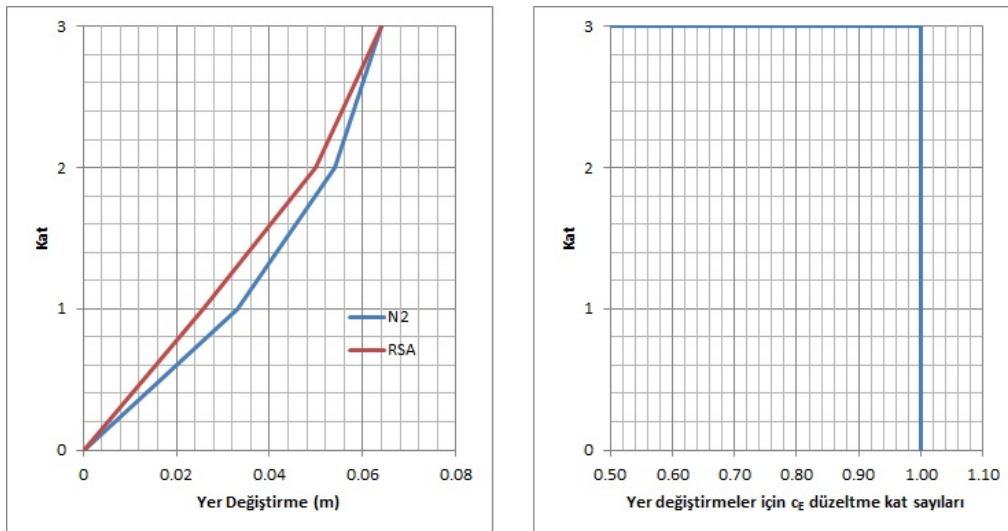
**Çizelge 5.9 :** N2 metodu ve RSA için SPEAR yapısına ait X yönü yer değiştirme ve görel kat ötelemesi değerleri.

N2 metodu		RSA	
Yer değiştirme (m)	Görel kat ötelemesi	Yer değiştirme (m)	Görel kat ötelemesi
0,033	0,011	0,043	0,014
0,054	0,007	0,083	0,013
0,064	0,003	0,106	0,008

**Çizelge 5.10 :** SPEAR yapısı için X yönü düzeltme katsayıları.

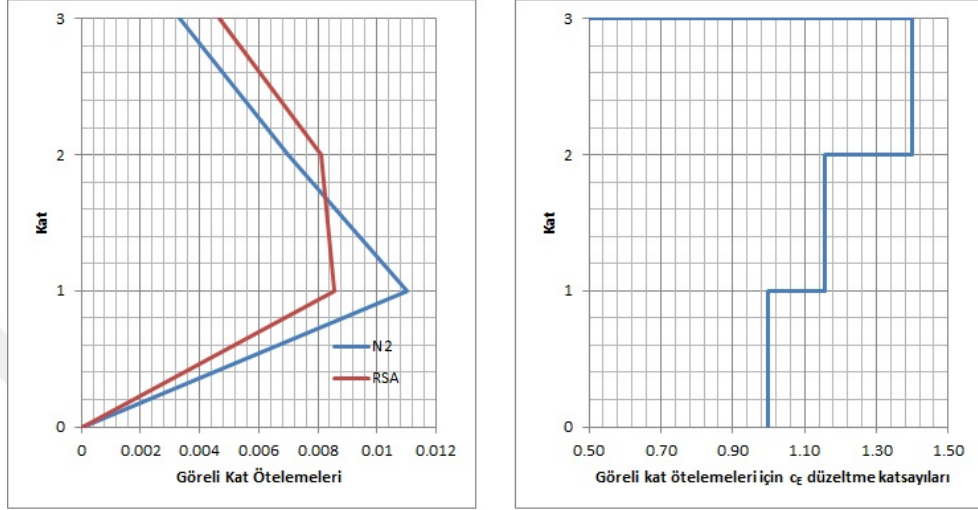
$C_E$			$C_T$	
Kat No	Yer değiştirme	Görel kat ötelemesi	Kolon No	Görel kat ötelemesi
1	1,00	1,00	6	1,00
2	1,00	1,16	3	1,00
3	1,00	1,40	1	1,13

Şekil 5.14'de düşeydeki yer değiştirmeler N2 metodu ve RSA için karşılaştırılmış olup yer değiştirmeler için düzeltme katsayıları belirtilmiştir.

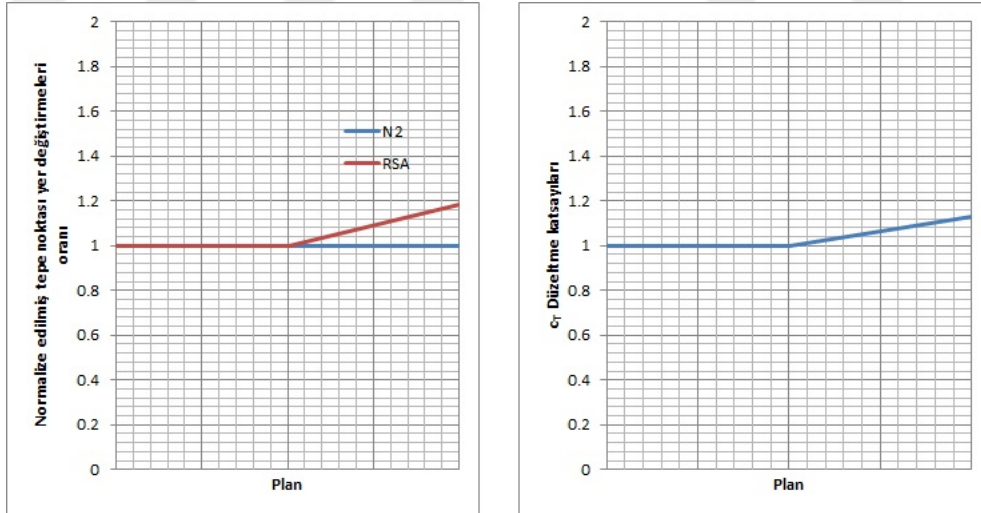


**Şekil 5.14 :** Düşeydeki yer değiştirmelerin karşılaştırılması ve düzeltme katsayıları.

Şekil 5.15’de ise düşeydeki görel kat ötelemeleri N2 metodu ve RSA için karşılaştırılmış olup görel kat ötelemeleri için düzeltme katsayıları belirtilmiştir. Şekil 5.16’da ise plandaki görel kat ötelemeleri N2 metodu ve RSA için karşılaştırılmış olup plandaki görel kat ötelemeleri için düzeltme katsayıları belirtilmiştir.



Şekil 5.15 : Düşeydeki görel kat ötelemelerinin karşılaştırılması ve düzeltme katsayıları.



Şekil 5.16 : Plandaki düzensizlikler için düzeltme katsayısı (C<sub>T</sub>).

Yapıya Y yönünde geliştirilmiş N2 uygulandığında 6 nolu kolon için en üst katta normalizasyon katsayısı aşağıdaki şekilde belirlenmiştir.

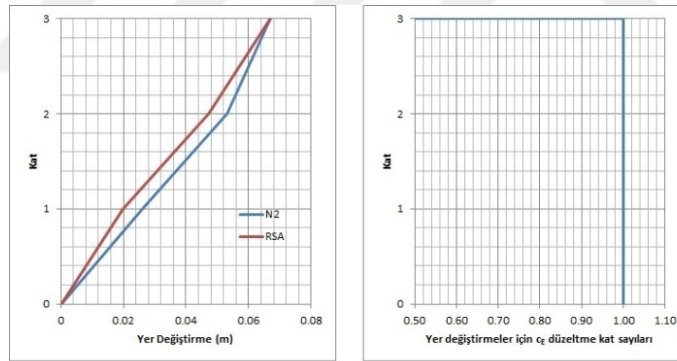
$$C_{NORM,y} = \frac{0,067}{0,073} = 0,92$$

olarak hesaplanmıştır. Çizelge 5.11’de Y yönü için N2 metodu ve RSA sonuçları verilmiştir. Çizelge 5.12’de ise bulunan düzeltme katsayıları belirtilmiştir. Bu değerler X1 ekseninden alınmış olup katsayılar da bu eksene göre hesaplanmıştır.

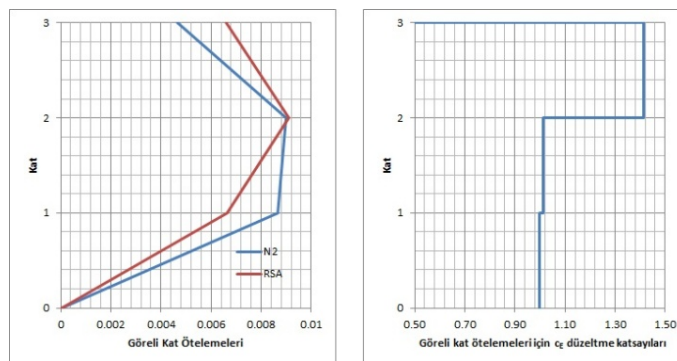
**Çizelge 5.11 :** N2 metodu ve RSA için SPEAR yapısına ait Y yönü yer değiştirme ve görel kat ötelemesi değerleri.

N2 metodu		RSA	
Yer değiştirme (m)	Görel kat ötelemesi	Yer değiştirme (m)	Görel kat ötelemesi
0,026	0,009	0,022	0,007
0,053	0,009	0,052	0,010
0,067	0,005	0,073	0,007

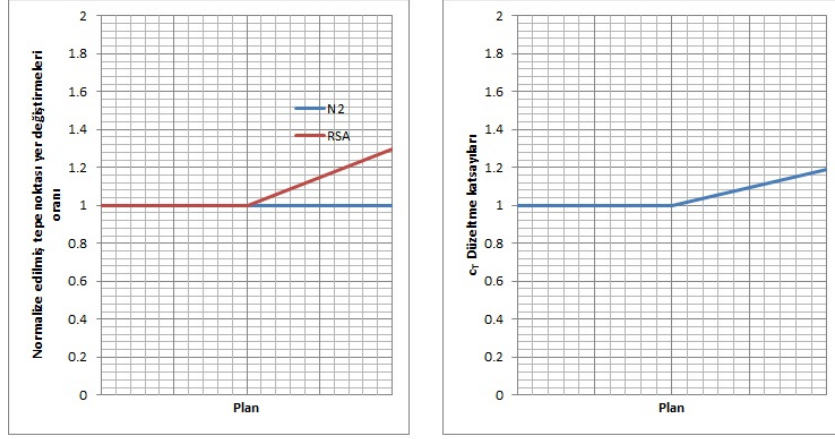
Şekil 5.16’da düşeydeki yer değiştirmeler N2 metodu ve RSA için karşılaştırılmış olup yer değiştirmeler için düzeltme katsayıları belirtilmiştir. Şekil 5.17’de ise düşeydeki görel kat ötelemeleri N2 metodu ve RSA için karşılaştırılmış olup görel kat ötelemeleri için düzeltme katsayıları belirtilmiştir. Şekil 5.18’de ise plandaki görel kat ötelemeleri N2 metodu ve RSA için karşılaştırılmış olup plandaki görel kat ötelemeleri için düzeltme katsayıları belirtilmiştir.



**Şekil 5.17 :** Düşeydeki yer değiştirmelerin karşılaştırılması ve düzeltme katsayıları.



**Şekil 5.18 :** Düşeydeki görel kat ötelemelerinin karşılaştırılması ve düzeltme katsayıları.



Şekil 5.19 : Plandaki düzensizlikler için düzeltme katsayısı ( $C_T$ ).

Çizelge 5.12 : SPEAR yapısı için Y yönü düzeltme katsayıları.

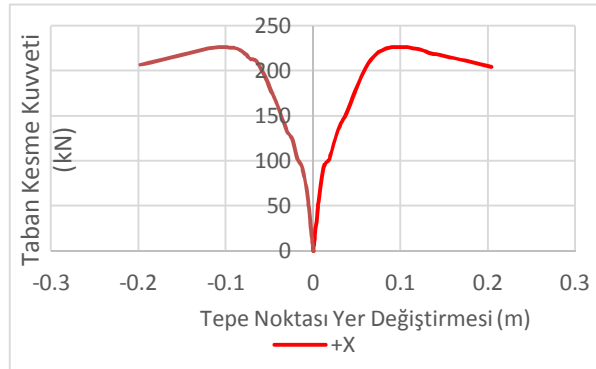
$C_E$			$C_T$	
Kat No	Yer değiştirme	Görelî kat ötelemesi	Kolon No	Görelî kat ötelemesi
1	1,00	1,00	7	1,00
2	1,00	1,01	6	1,00
3	1,00	1,41	8	1,19

### 5.2.2 ICON çerçevesi itme analizi sonuçları

ICON ilk olarak itme analizine tabi tutulmuş daha sonra ise N2 metodu uygulanarak hedef tepe yer değiştirmeleri hesaplanmıştır. Çizelge 5.13'de çerçeveye ait yatay yük dağılımları ve Şekil 5.20'de itme analizlerine ait sonuçlara yer verilmiştir.

Çizelge 5.13 : ICON çerçevesine ait yatay yük dağılımı.

Kat	Mod Şekli	Normalize Edilmiş Mod Şekli	Kütle (t)	Yatay yük (kN)
1	0,0269	0,2351	40,85	94,22
2	0,0635	0,5548	40,85	222,35
3	0,0970	0,8471	40,68	338,07
4	0,1145	1	33,34	327,09



Şekil 5.20 : ICON çerçevesi itme analizi sonuçları.

### 5.2.2.1 ICON çerçevesi için N2 metodunun uygulanması

Çerçeve tek yönlü olduğu için birinci mod X yönüne tekabül etmekte olup ilgili modun genelleştirilmiş kütlesi ve TSDS'in eş değer kütlesi  $m^*$  aşağıda verilmiştir.

$$\Phi^T M \Phi = 77,37$$

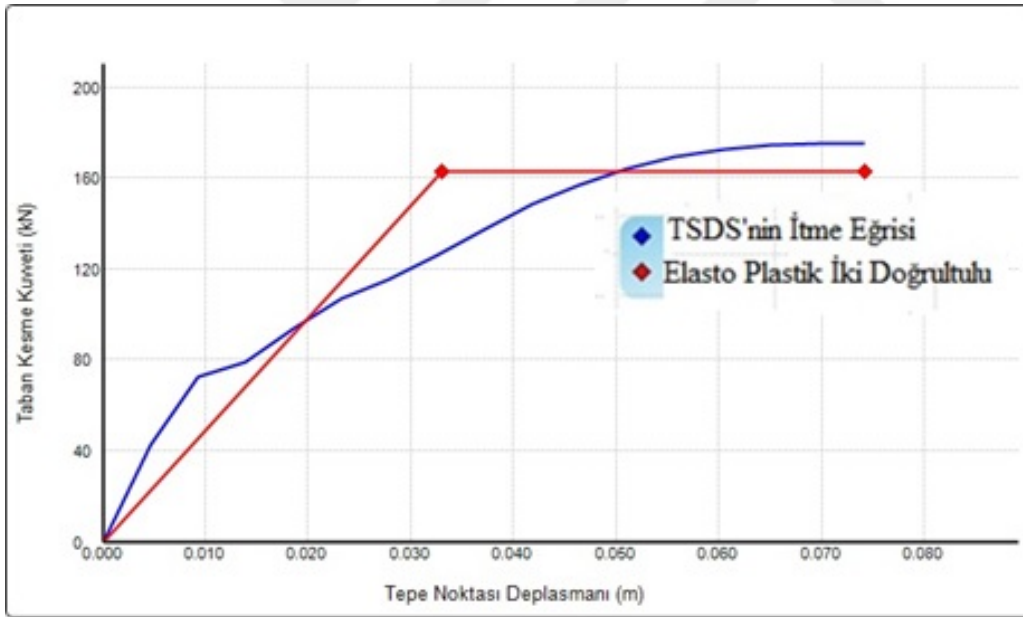
$$m^* = \Phi^T M 1 = 100,07$$

Buradan modal katılım katsayısı;

$$\Gamma = \frac{100,07}{77,37} = 1,29$$

olarak hesaplanır.

Şekil 5.21'de +X yönü için eşdeğer TSDS'in taban kesme kuvveti-tepe noktası yer değiştirmesi eğrisinin elasto-plastik biçimde iki doğrultulu hale getirilmesi görülmektedir.



**Şekil 5.21 :** ICON çerçevesi için +X yönünde eşdeğer TSDS'in taban kesme kuvveti-tepe noktası yer değiştirmesi eğrisinin iki doğrultulu hale getirilmesi.

Buradan eşdeğer TSDS'nin akma dayanımı, yer değiştirmesi ve periyodu sırasıyla;

$$F_y^* = 203,32 \text{ kN}$$

$$D_y^* = 0,0222 \text{ m}$$

$$T^* = 2\pi \sqrt{\frac{100,07 \times 0,033}{162,38}} = 0,90 \text{ sn olarak hesaplanır.}$$

Eurocode 8'de yer alan B sınıfı zemin ve 0,4g maksimum yer ivmesi için elastik tepki spektrumundan ivme değeri 0,67 g olarak okunur. Buradan;

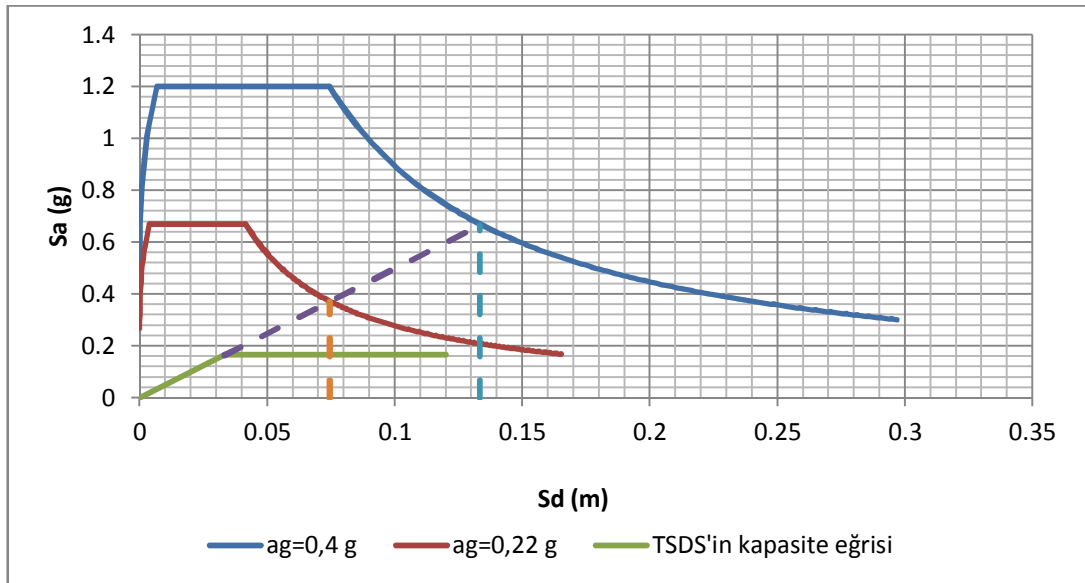
$$R_\mu = \frac{100,07 \times 0,67 \times 9,81}{162,38} = 4,03$$

olarak bulunur. Bu değer eşdeğer TSDS'in periyodu uzun periyot aralığında kaldığı için  $\mu$ 'ye eşit olur dolayısıyla eşdeğer TSDS'in hedef tepe deplasmanı ve sistemin hedef tepe deplasmanları;

$$D^* = 0,0330 \times 4,03 = 0,133 \text{ m}$$

$$D = 0,133 \times 1,29 = 0,172 \text{ m}$$

olarak bulunur. Ancak bu değer yapının itme analizi sonucunda bulunan maksimum taban kesme değerine karşılık gelen tepe deplasmanından büyüktür. Bunun sebebi yapının Bölüm 4'de belirtildiği gibi yatay yüklere göre tasarlanmamış olmasıdır. Bu sebeple yapının her iki doğrultuda en elverişsiz durumu incelenerek Eurocode 8'de yer alan spektrumun maksimum yer ivmesi 0,22g'ye sonuçların tutarlılığı açısından indirgenmiştir. Şekil 5.22'de ilgili işlem grafiksel olarak detaylandırılmıştır.



**Şekil 5.22 :** Eşdeğer TSDS'in hedef tepe deplasmanının +X yönü için hesaplanması.

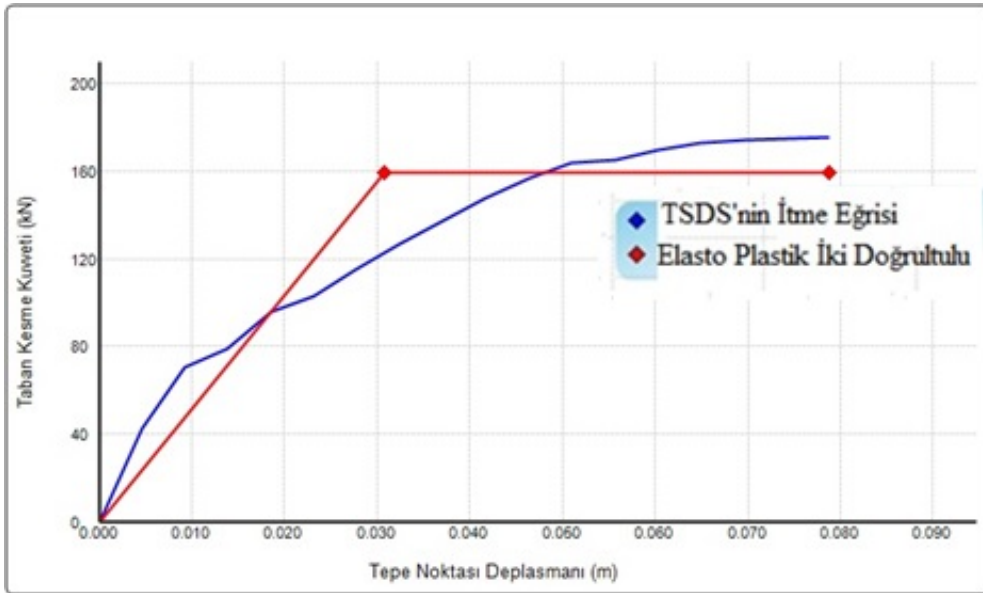
Yukarıda belirtilen işlemler 0,22 g maksimum yer ivmesine göre tekrarlandığında Şekil 6.22’de de görüldüğü gibi eşdeğer TSDS’in ve buna bağlı olarak ÇSDS’in hedef tepe deplesmanları;

$$D^*=0,074 \text{ m}$$

$$D=0,096 \text{ m}$$

olarak bulunur.

Şekil 5.23’de ICON çerçevesinin -X yönü için eşdeğer TSDS’in taban kesme kuvveti-tepe noktası yer değiştirmesi eğrisinin elasto-plastik biçimde iki doğrultulu hale getirilmesi görülmektedir.



**Şekil 5.23 :** ICON çerçevesi için -X yönünde eşdeğer TSDS’in taban kesme kuvveti-tepe noktası yer değiştirmesi eğrisinin iki doğrultulu hale getirilmesi.

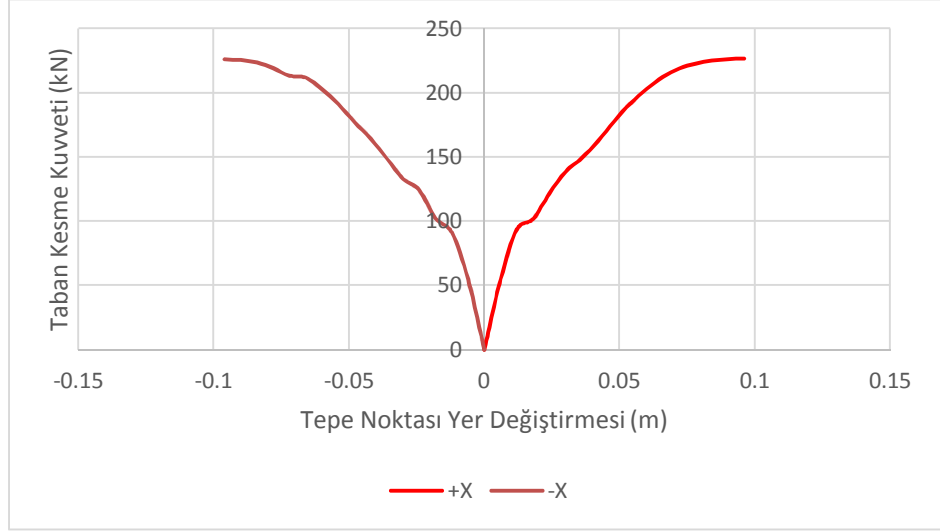
-X yönünde ise 0,4g ve 0,18g maksimum yer ivmesi için bulunan değerler Çizelge 5.14’de verilmiştir.

**Çizelge 5.14 :** ICON çerçevesi –X yönü N2 analizi sonuçları.

Maksimum Yer İvmesi	$F_y^*$ (kN)	$D_y^*$ (m)	$T^*$ (sn)	$S_{ac}$ (g)	$R_{\mu}=\mu$	$D^*$ (m)	D (m)
0,4g				0,73	4,74	0,131	0,169
0,22g	159,50	0,031	0,87	0,33	2,14	0,073	0,094

ICON çerçevesinde N2 metoduna göre bulunan hedef tepe deplasmanlarına göre itme analizleri yenilendiğinde Şekil 5.24’deki kapasite eğrileri elde edilmiştir.

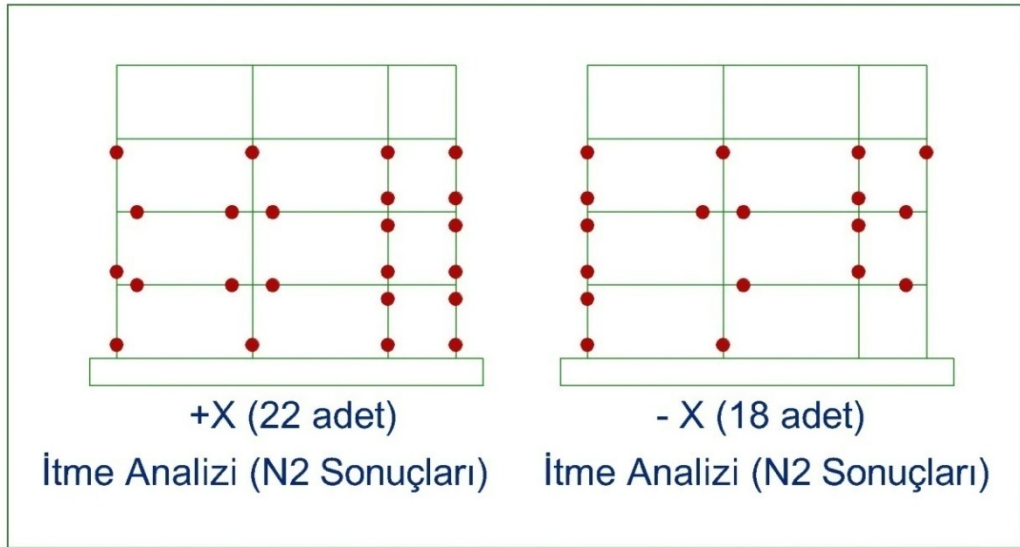




**Şekil 5.24 :** ICON çerçevesi hedef tepe deplasmana göre kapasite eğrileri.

### 5.2.2.2 ICON çerçevesi itme analizi sonucu oluşan plastik mafsallar

ICON çerçevesi bulunan hedef yerdeğiştirmelere kadar itildiğinde oluşan plastik mafsallar Şekil 5.25’de verilmiştir. Çizelge 5.15’de ise her iki doğrultuda oluşan plastik mafsalları verilmiştir.



**Şekil 5.25 :** ICON çerçevesi itme analizi (N2 metodu) sonucu oluşan plastik mafsallar.

**Çizelge 5.15 :** ICON çerçevesi itme analizi (N2) sonucu oluşan plastik mafsalları.

Doğrultu	Oluşan Plastik Mafsalları Sayısı
+X	22
-X	18

### 5.2.2.3 ICON çerçevesi için geliştirilmiş N2 metodunun uygulanması

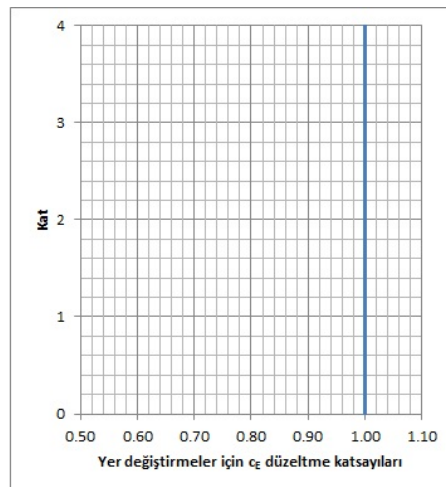
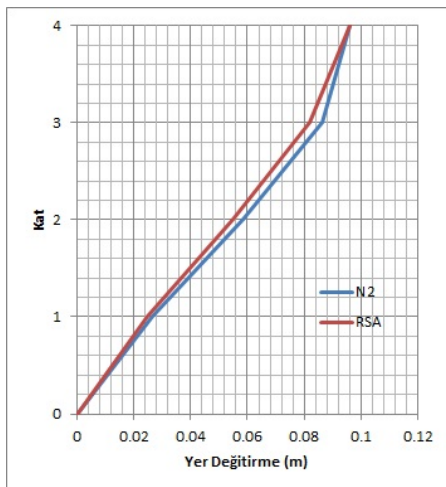
ICON çerçevesinin geometrik özelliğinden dolayı herhangi bir düzensizlik hesaplanamamasına rağmen yapılan çalışma kapsamında geliştirilmiş N2 metodu uygulanmıştır. Çerçeve için planda herhangi bir düzeltme katsayısı hesaplanamamış olup düşeyde hesaplanan katsayılar bu bölümde yer almaktadır. Çerçeveye ait normalizasyon katsayısı;

$$C_{NORM,x} = \frac{0,096}{0,127} = 0,76$$

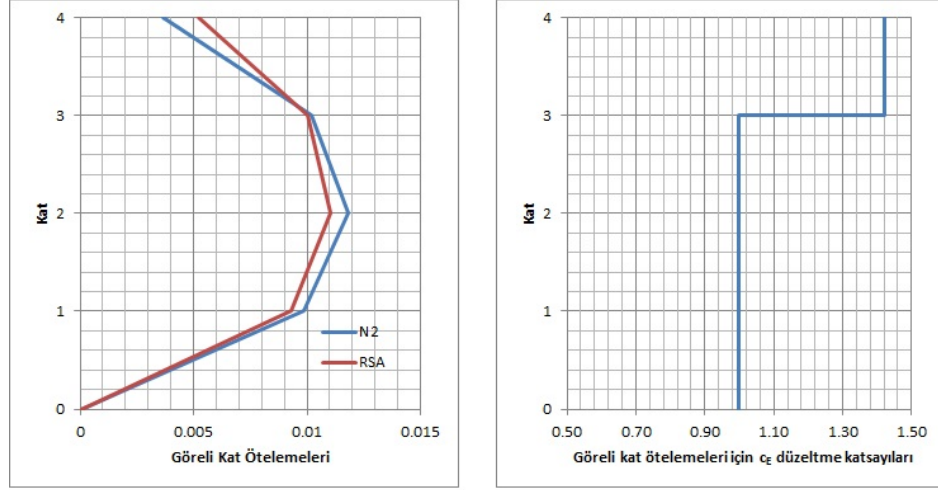
olarak hesaplanmıştır. Çizelge 5.16'da X yönü için N2 metodu ve RSA sonuçları verilmiştir. Çizelge 5.17'de ise bulunan düzeltme katsayıları belirtilmiştir. Şekil 5.26'da düşeydeki yer değiştirmeler N2 metodu ve RSA için karşılaştırılmış olup yer değiştirmeler için düzeltme katsayıları belirtilmiştir. Şekil 5.27'de ise düşeydeki görel kat ötelemeleri N2 metodu ve RSA için karşılaştırılmış olup görel kat ötelemeleri için düzeltme katsayıları belirtilmiştir.

**Çizelge 5.16 :** N2 metodu ve RSA için ICON çerçevesine ait X yönü yer değiştirme ve görel kat ötelemesi değerleri.

N2 metodu		RSA	
Yer değiştirme (m)	Görel kat ötelemesi	Yer değiştirme (m)	Görel kat ötelemesi
0,027	0,010	0,033	0,012
0,059	0,012	0,073	0,015
0,086	0,010	0,108	0,013
0,096	0,004	0,127	0,007



**Şekil 5.26 :** Düşeydeki yer değiştirmelerin karşılaştırılması ve düzeltme katsayıları.



Şekil 5.27 : Düşeydeki görel kat ötelemelerinin karşılaştırılması ve düzeltme katsayıları.

Çizelge 5.17 : ICON çerçevesi için X yönü düzeltme katsayıları.

C <sub>E</sub>		
Kat No	Yer değiştirme	Görel kat ötelemesi
1	1,00	1,00
2	1,00	1,00
3	1,00	1,00
4	1,00	1,42

### 5.2.3 Okul binası itme analizi sonuçları

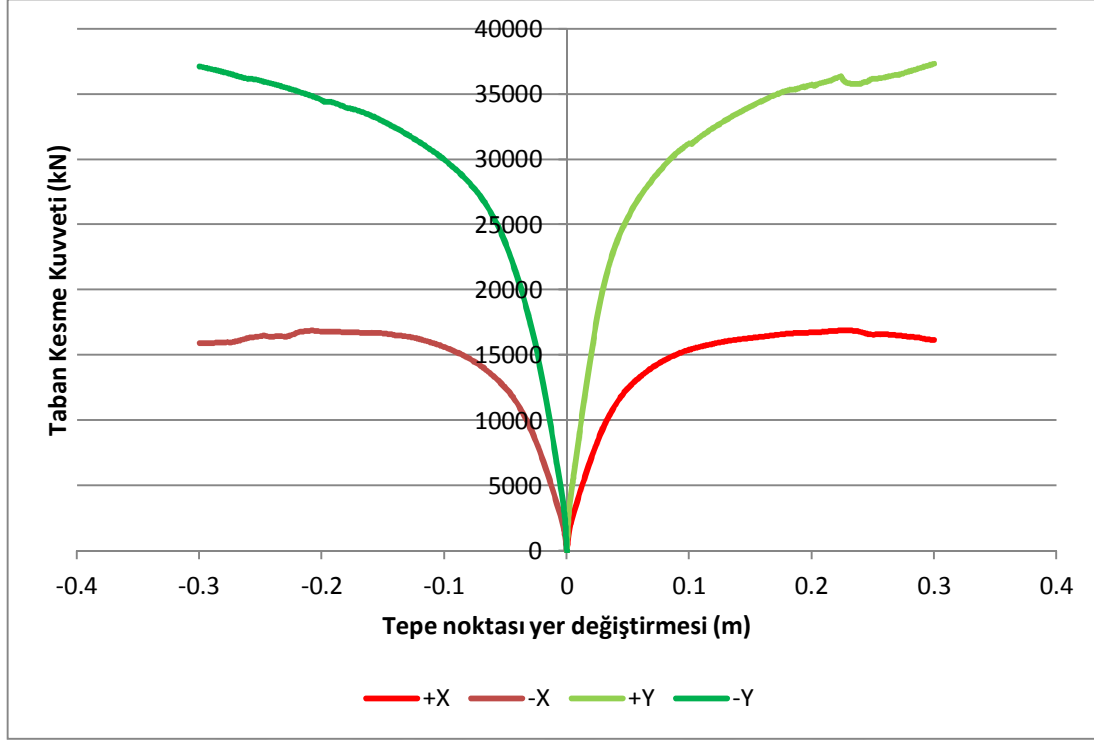
Okul binası ilk olarak dört doğrultu içinde itme analizine tabi tutulmuş daha sonra ise N2 metodu uygulanarak hedef tepe yer değiştirmeleri bulunmuştur. Çizelge 5.18 ve 5.19'da X ve Y yönlerine ait yatay yük dağılımları ve Şekil 5.28'de itme analizlerine ait sonuçlar verilmiştir.

Çizelge 5.18 : Okul binası X yönü yatay yük dağılımı.

Kat	Mod Şekli	Normalize Edilmiş Mod Şekli	Kütle (t)	Yatay yük (kN)
1	0,0037	0,11	823,94	893,16
2	0,0190	0,57	808,34	4527,03
3	0,0333	1	621,54	6097,26

Çizelge 5.19 : Okul binası Y yönü yatay yük dağılımı.

Kat	Mod Şekli	Normalize Edilmiş Mod Şekli	Kütle (t)	Yatay yük (kN)
1	0,0058	0,18	823,94	1427,09
2	0,0190	0,58	808,34	4593,91
3	0,0328	1	621,54	6097,26



Şekil 5.28 : Okul binası itme analizi sonuçları.

Şekil 5.28'de görüldüğü üzere bina Y yönünde, X yönüne nazaran daha yüksek bir kapasiteye sahiptir yani başka bir deyişle, binanın güçlü doğrultusu Y yönüdür.

### 5.2.3.1 Okul binası X yönü için N2 metodunun uygulanması

Bu yöne yapının birinci modu tekabül etmekte olup ilgili modun genelleştirilmiş kütlesi ve TSDS'in eş değer kütlesi  $m^*$  aşağıda verilmiştir.

$$\Phi^T M \Phi = 895,04$$

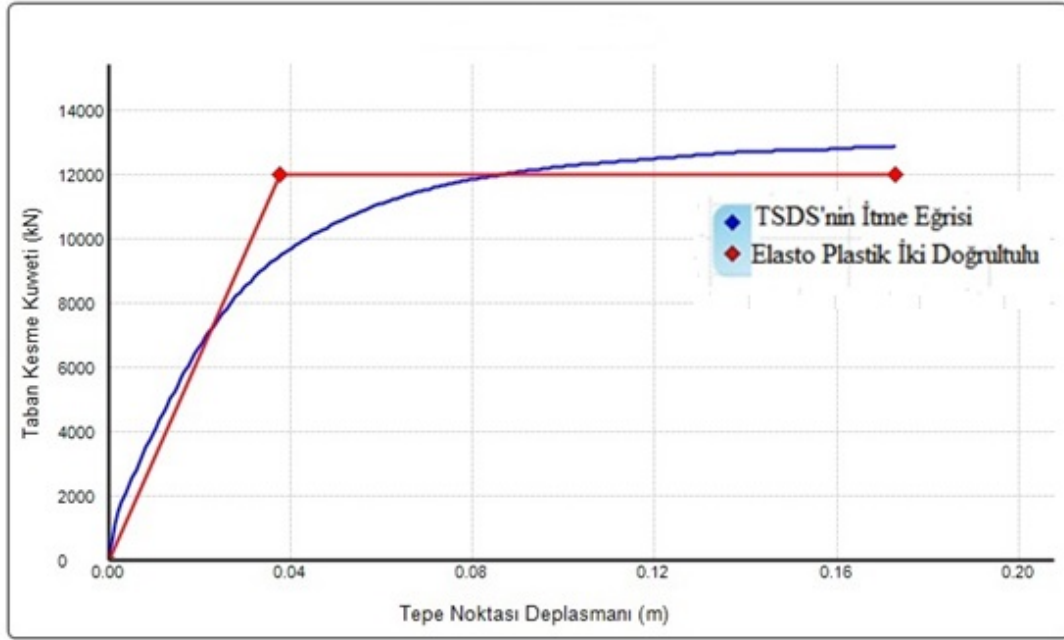
$$m^* = \Phi^T M 1 = 1174,05$$

Buradan modal katılım katsayısı;

$$\Gamma = \frac{1174,05}{895,04} = 1,31$$

olarak hesaplanır.

Şekil 5.29'da okul binasının +X yönü için eşdeğer TSDS'in taban kesme kuvveti-tepe noktası yer değiştirmesi eğrisinin elastoplastik biçimde iki doğrultulu hale getirilmesi görülmektedir.



**Şekil 5.29** : Okul binası için +X yönünde eşdeğer TSDS'in taban kesme kuvveti-tepe noktası yer değiştirmesi eğrisinin iki doğrultulu hale getirilmesi.

Buradan eşdeğer TSDS'nin akma dayanımı, yer değiştirmesi ve periyodu sırasıyla;

$$F_y^* = 11989,86 \text{ kN}$$

$$D_y^* = 0,0377 \text{ m}$$

$$T^* = 2\pi \sqrt{\frac{1174,05 \times 0,038}{11989,86}} = 0,38 \text{ sn} \text{ olarak bulunur.}$$

Eurocode 8'de yer alan B sınıfı zemin ve 0,4 maksimum yer ivmesi için elastik tepki spektrumundan ivme değeri 1,2 g olarak okunur. Buradan;

$$R_\mu = \frac{1174,05 \times 1,2 \times 9,81}{11989,86} = 1,15$$

olarak bulunur. Bu değer eşdeğer TSDS'in periyodu kısa periyot aralığında kaldığı için  $\mu$ 'ye eşit olmaz dolayısıyla;

$$\mu = (1,15 - 1) \frac{0,5}{0,38} + 1 = 1,20$$

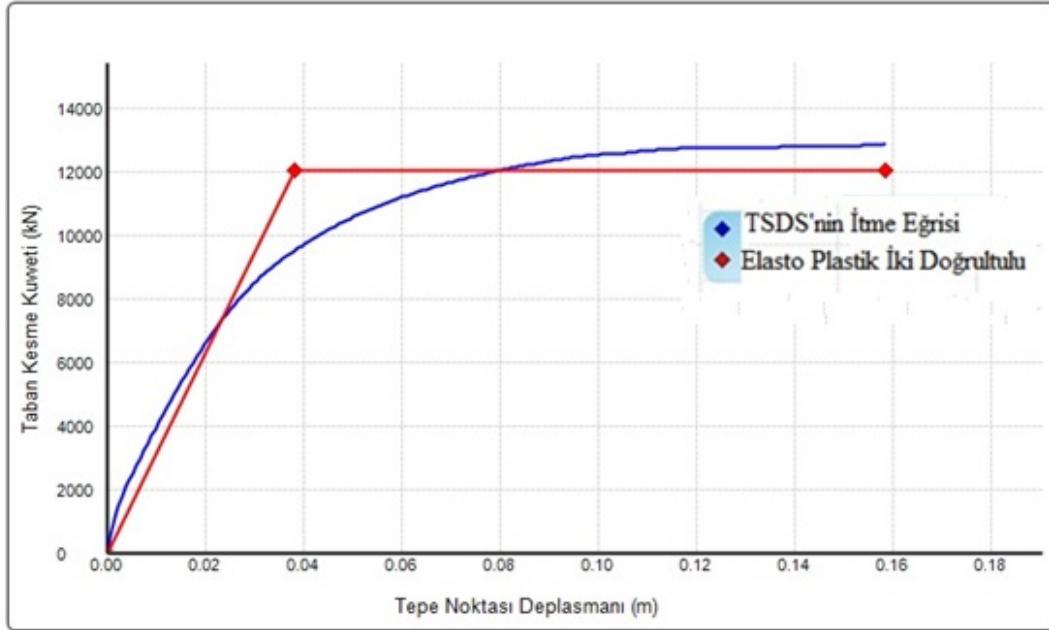
olarak hesaplanır vede eşdeğer TSDS'in hedef tepe deplasmanı ve sistemin hedef tepe deplasmanları;

$$D^* = 0,0377 \times 1,20 = 0,045 \text{ m}$$

$$D = 0,045 \times 1,31 = 0,059 \text{ m}$$

olarak bulunur.

Şekil 5.30'da okul binasının -X yönü için eşdeğer TSDS'in taban kesme kuvveti-tepe noktası yer değiştirmesi eğrisinin elastoplastik biçimde iki doğrultulu hale getirilmesi görülmektedir.



**Şekil 5.30 :** Okul binası için -X yönünde eşdeğer TSDS'in taban kesme kuvveti-tepe noktası yer değiştirmesi eğrisinin iki doğrultulu hale getirilmesi.

-X yönünde ise 0,4g maksimum yer ivmesi için bulunan değerler Çizelge 5.20'de verilmiştir.

**Çizelge 5.20 :** Okul binası -X yönü N2 analizi sonuçları.

Maksimum Yer İvmesi	$F_y^*$ (kN)	$D_y^*$ (m)	$T^*$ (sn)	$S_{ae}$ (g)	$R\mu$	$\mu$	$D^*$ (m)	$D$ (m)
0,4g	12046,15	0,038	0,38	1,2	1,15	1,19	0,046	0,060

### 5.2.3.2 Okul binası Y yönü için N2 metodunun uygulanması

Bu yöne yapının ikinci modu tekabül etmekte olup ilgili modun genelleştirilmiş kütlesi ve TSDS'in eş değeri kütlesi  $m^*$  aşağıda verilmiştir.

$$\Phi^T M \Phi = 918,51$$

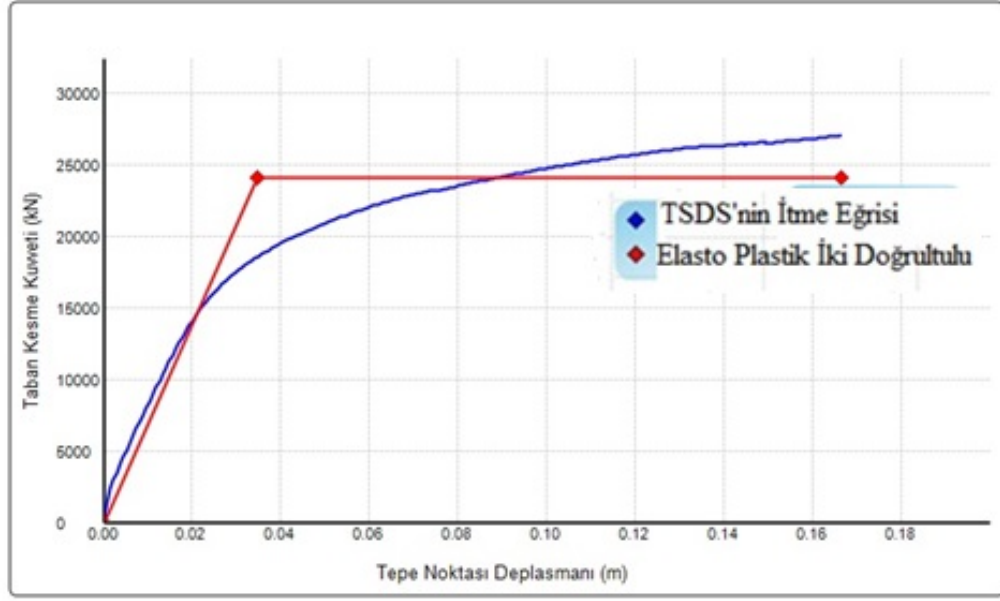
$$m^* = \Phi^T M 1 = 1235,30$$

Buradan modal katılım katsayısı;

$$\Gamma = \frac{1235,30}{918,51} = 1,35$$

olarak hesaplanır.

Şekil 5.31'de +Y yönü için eşdeğer TSDS'in taban kesme kuvveti-tepe noktası yer değiştirmesi eğrilerinin elastoplastik biçimde iki doğrultulu hale getirilmesi görülmektedir.



**Şekil 5.31** : Okul binası için +Y yönünde eşdeğer TSDS'in taban kesme kuvveti-tepe noktası yer değiştirmesi eğrisinin iki doğrultulu hale getirilmesi.

$$F_y^* = 24127,02 \text{ kN}$$

$$D_y^* = 0,0348 \text{ m}$$

$$T^* = 2\pi \sqrt{\frac{1235,30 \times 0,035}{24127,02}} = 0,27 \text{ sn}$$

olarak bulunur.

Eurocode 8'de yer alan B sınıfı zemin ve 0,4 maksimum yer ivmesi için elastik tepki spektrumundan ivme değeri 1,2 g olarak okunur. Buradan;

$$R_\mu = \frac{1235,30 \times 1,2 \times 9,81}{24127,02} = 0,60$$

olarak bulunur.

Ancak Şekil 3.3’de görüldüğü üzere  $R_{\mu}$  1’den küçük olamayacağı üzere  $R_{\mu}=1$  olarak alınır. Buradan;

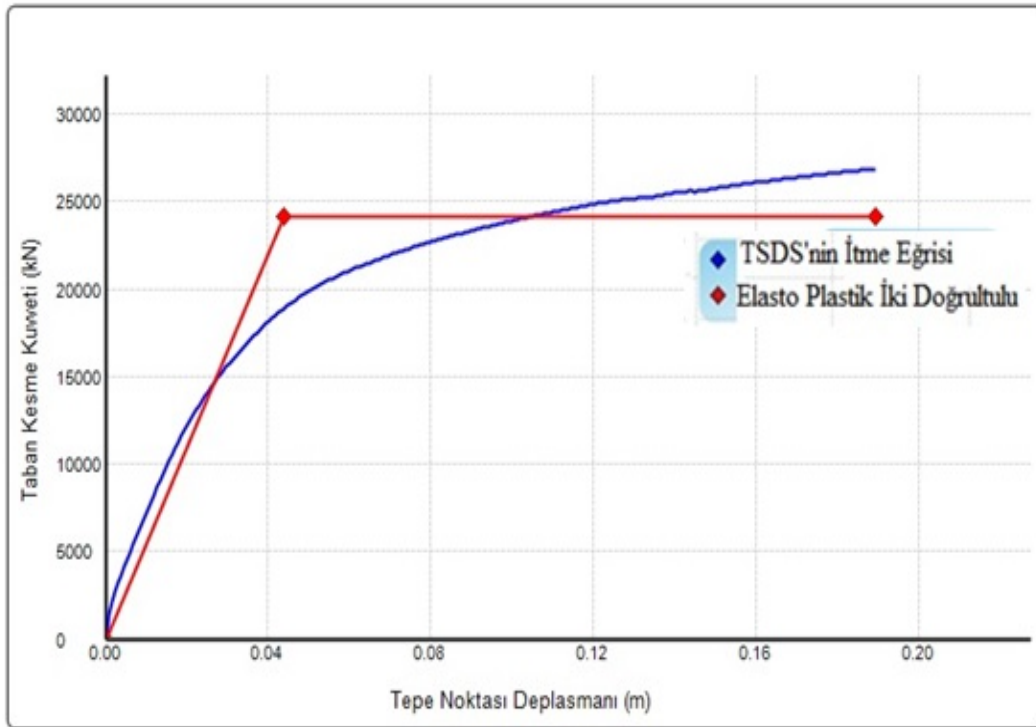
$$\mu = (1-1) \frac{0,5}{0,27} + 1 = 1$$

olarak bulunur ve eşdeğer TSDS’in hedef tepe deplasmanı ve sistemin hedef tepe deplasmanları;

$$D^* = 0,0348 \times 1 = 0,0348 \text{ m}$$

$$D = 0,0348 \times 1,35 = 0,047 \text{ m}$$

olarak hesaplanır. Şekil 5.32’de okul binası -Y yönü için eşdeğer TSDS’in taban kesme kuvveti-tepe noktası yer değiştirmesi eğrisinin elasto-plastik biçimde iki doğrultulu hale getirilmesi, Çizelge 5.21’de ise -Y doğrultusu için N2 metodu sonuçları görülmektedir.



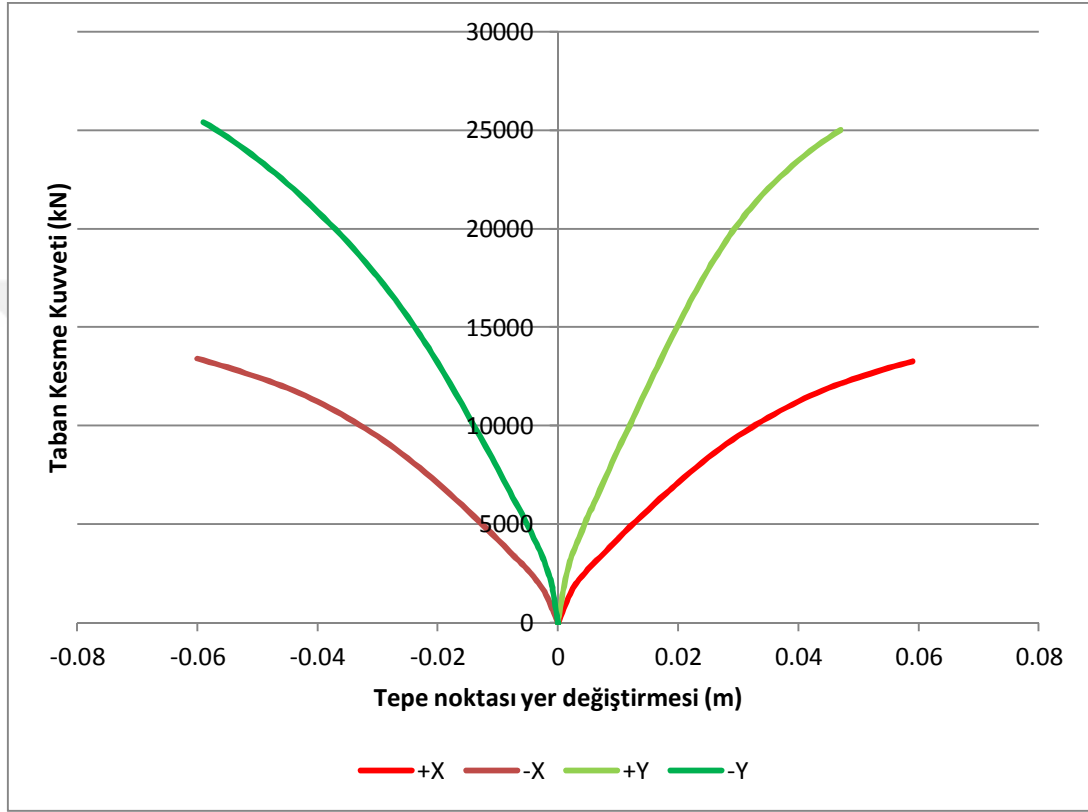
Şekil 5.32 : Okul binası için -Y yönünde eşdeğer TSDS’in taban kesme kuvveti-tepe noktası yer değiştirmesi eğrisinin iki doğrultulu hale getirilmesi.



**Çizelge 5.21 :** Okul binası –Y doğrultusu için N2 analizi sonuçları.

Maksimum Yer İvmesi	$F_y^*$ (kN)	$D_y^*$ (m)	$T^*$ (sn)	$S_{ac}$ (g)	$R\mu$	$\mu$	$D^*$ (m)	$D$ (m)
0,4g	24100,94	0,044	0,30	1,2	1	1	0,044	0,059

Okul binasında N2 metoduna göre bulunan hedef tepe deplasmanlarına göre itme analizleri yenilendiğinde Şekil 5.33'deki kapasite eğrileri elde edilmiştir.



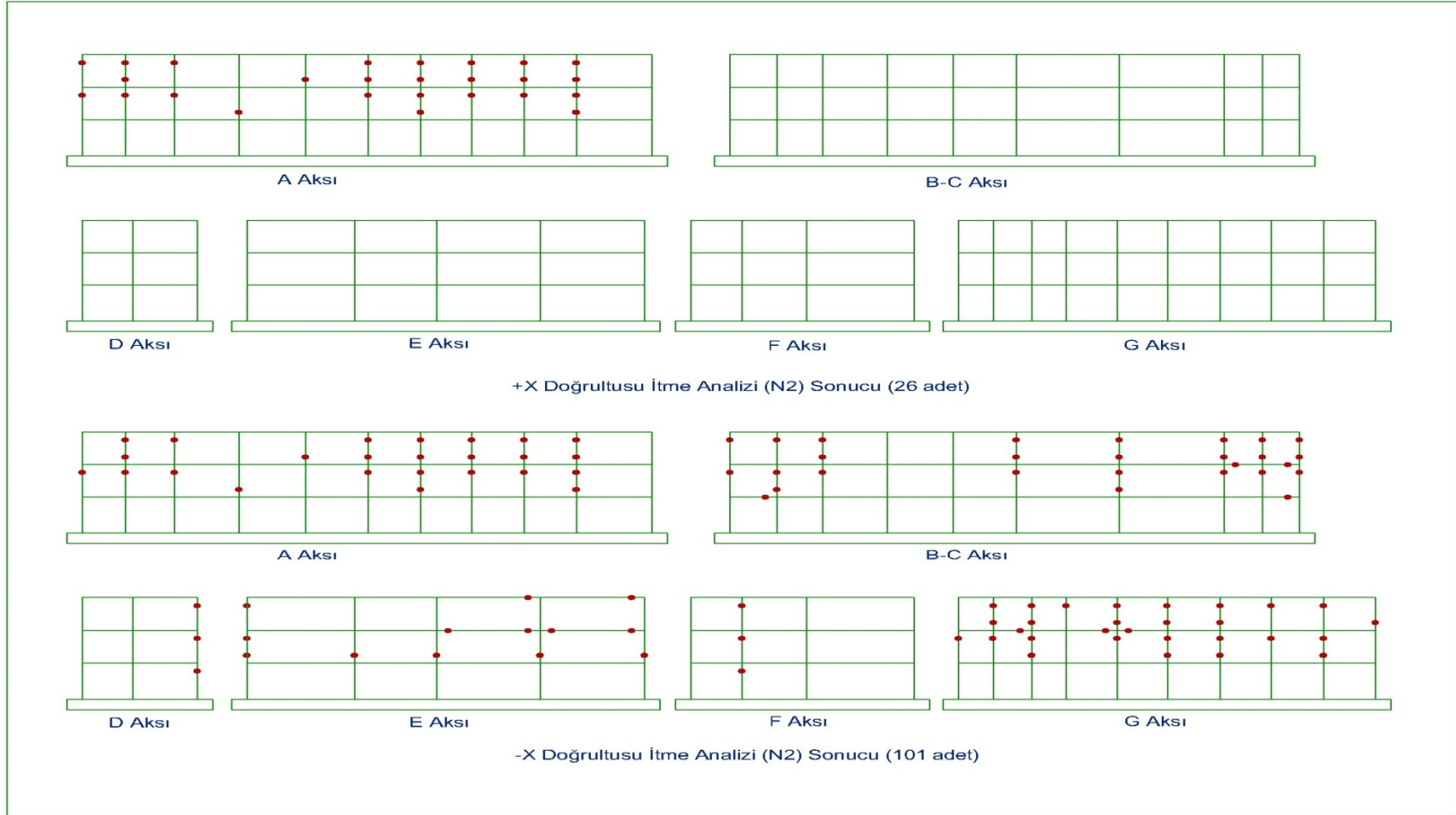
**Şekil 5.33 :** Okul binası için hedef tepe deplasmana göre kapasite eğrileri.

### 5.2.3.3 Okul binası itme analizi sonucu oluşan plastik mafsallar

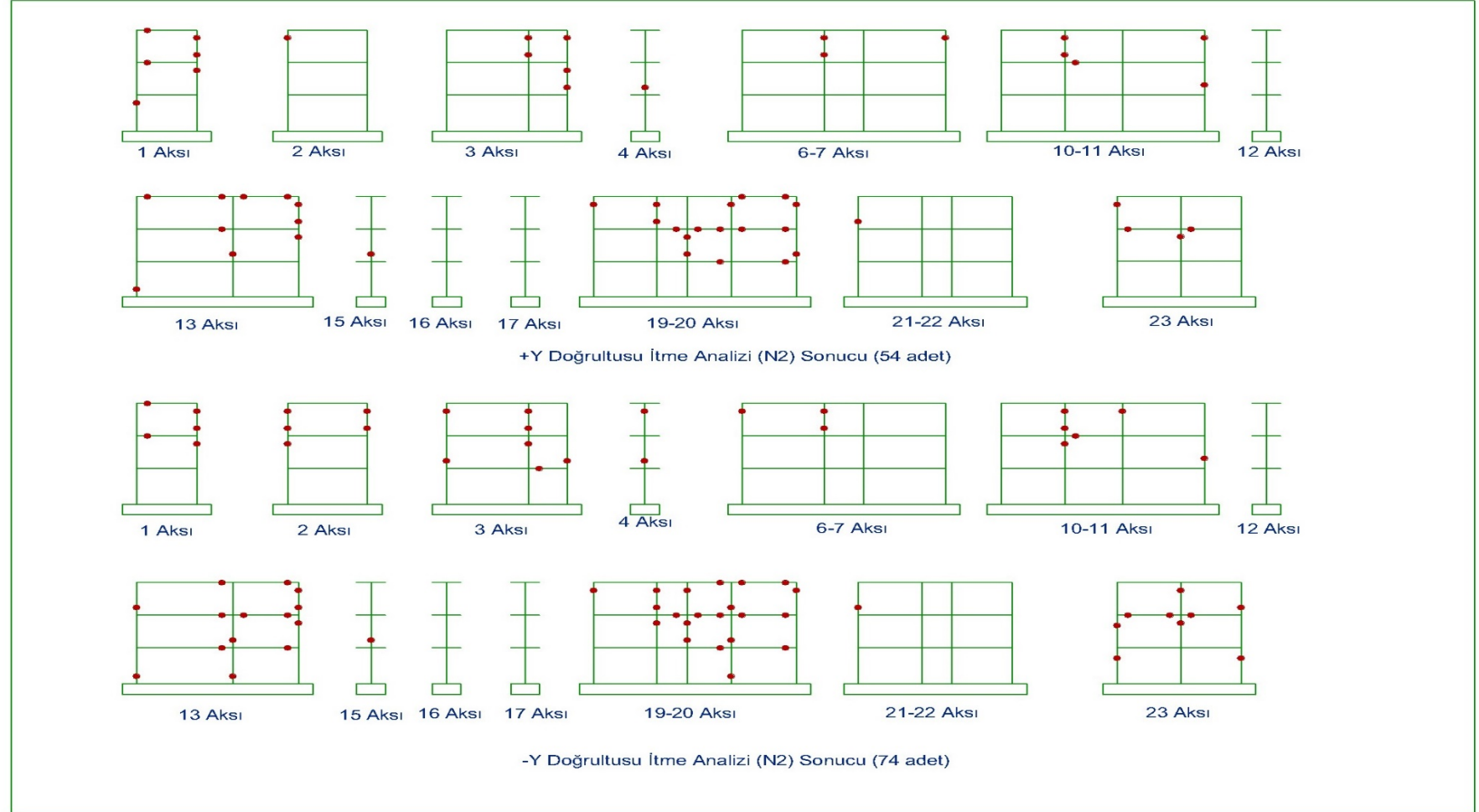
Okul binası bulunan hedef yerdeğiştirmelere kadar itildiğinde oluşan plastik mafsallar X yönü için Şekil 5.34'de Y yönü içinse Şekil 5.35'de verilmiştir. 4 doğrultu için oluşan plastik mafsal adetleri ise Çizelge 5.22'de verilmiştir.

**Çizelge 5.22 :** Okul binası itme analizi (N2) sonucu oluşan plastik mafsal sayıları.

Doğrultu	Oluşan Plastik Mafsal Sayısı
+X	26
-X	101
+Y	54
-Y	74



Şekil 5.34 : Okul binasında X yönünde itme analizi (N2 metodu) sonucu oluşan plastik mafsallar.



Şekil 5.35 : Okul binasında Y yönünde itme analizi (N2 metodu) sonucu oluşan plastik mafsallar.

#### 5.2.3.4 Okul binası için geliştirilmiş N2 metodunun uygulanması

Okul binası düşeyde düzensiz bir yapı olduğundan bu düzensizlikleri N2 yöntemine adapte edebilmek adına geliştirilmiş N2 metodu uygulanmıştır. Yapının kütle merkezindeki yer ve şekil değiştirmeleri hesaplayabilmek için elastik modal tepki analizi (RSA) gerçekleştirilmiştir. Normalizasyon katsayısı x yönü için,

$$C_{NORM,x} = \frac{0,059}{0,022} = 2,68$$

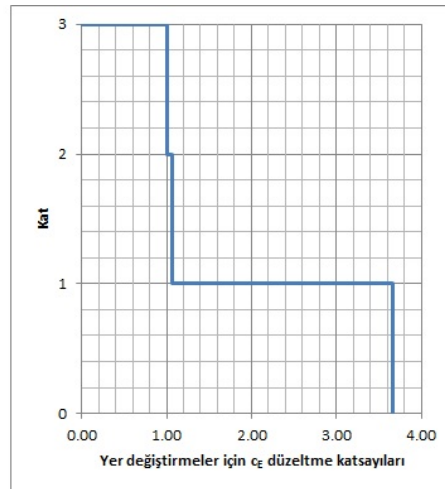
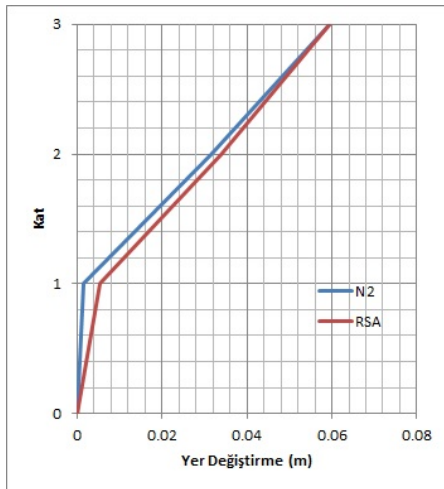
olarak hesaplanmıştır. Çizelge 5.23'de X yönü için N2 metodu ve RSA sonuçları verilmiştir. Çizelge 5.24'de ise bulunan düzeltme katsayıları belirtilmiştir. Bu değerler 1-2 eksenlerinden alınmış olup katsayılar da bu eksene göre hesaplanmıştır.

**Çizelge 5.23 :** N2 metodu ve RSA için okul binasına ait X yönü yer değiştirme ve görel kat ötelemesi değerleri.

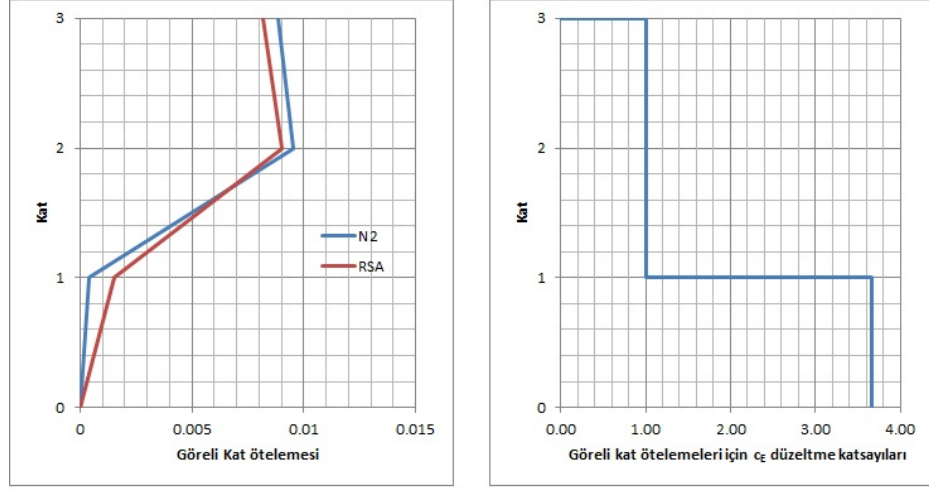
N2 metodu		RSA	
Yer değiştirme (m)	Görel kat ötelemesi	Yer değiştirme (m)	Görel kat ötelemesi
0,001	0,0004	0,002	0,0006
0,032	0,0096	0,013	0,0034
0,059	0,0088	0,022	0,0030

**Çizelge 5.24 :** Okul binası için X yönü düzeltme katsayıları.

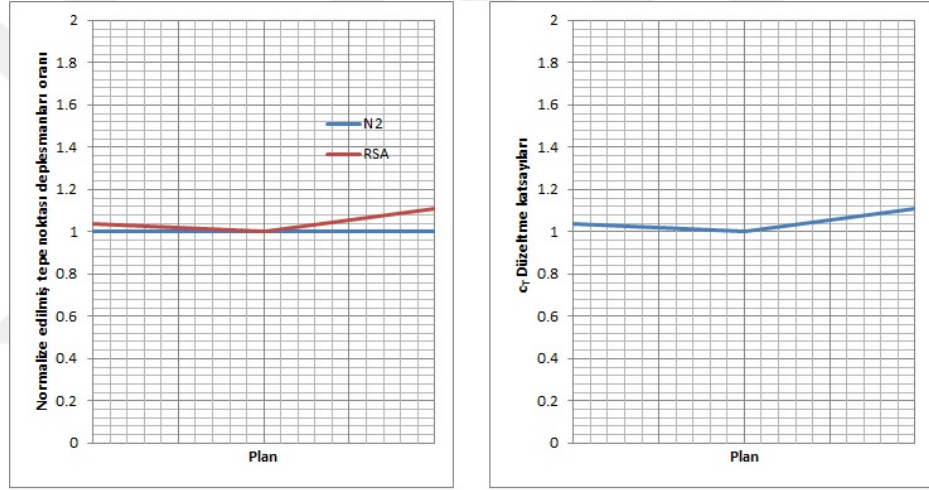
Kat No	C <sub>E</sub>		Kolon No	C <sub>T</sub>	
	Yer değiştirme	Görel kat ötelemesi		Görel kat ötelemesi	
1	3,67	3,67	P30	1,04	
2	1,07	1	S27	1,00	
3	1,00	1	P29	1,11	



**Şekil 5.36 :** Düşeydeki yer değiştirmelerin karşılaştırılması ve düzeltme katsayıları.



**Şekil 5.37 :** Düşeydeki görel kat ötelemelerinin karşılaştırılması ve düzeltme katsayıları.



**Şekil 5.38 :** Plandaki düzensizlikler için düzeltme katsayısı ( $C_T$ ).

Şekil 5.36'da düşeydeki yer değiştirmeler N2 metodu ve RSA için karşılaştırılmış olup yer değiştirmeler için düzeltme katsayıları belirtilmiştir. Şekil 5.37'de ise düşeydeki görel kat ötelemeleri N2 metodu ve RSA için karşılaştırılmış olup görel kat ötelemeleri için düzeltme katsayıları belirtilmiştir. Şekil 5.38'de ise plandaki görel kat ötelemeleri N2 metodu ve RSA için karşılaştırılmış olup plandaki görel kat ötelemeleri için düzeltme katsayıları belirtilmiştir.

Yapıya Y yönünde geliştirilmiş N2 uygulandığında 6 nolu kolon için en üst katta normalizasyon katsayısı aşağıdaki şekilde belirlenmiştir.

$$C_{NORM,y} = \frac{0,047}{0,011} = 4,31$$

olarak hesaplanmıştır. Çizelge 5.25’de Y yönü için N2 metodu ve RSA sonuçları verilmiştir. Çizelge 5.26’da ise bulunan düzeltme katsayıları belirtilmiştir. Bu değerler X1 ekseninden alınmış olup katsayılar da bu eksene göre hesaplanmıştır.

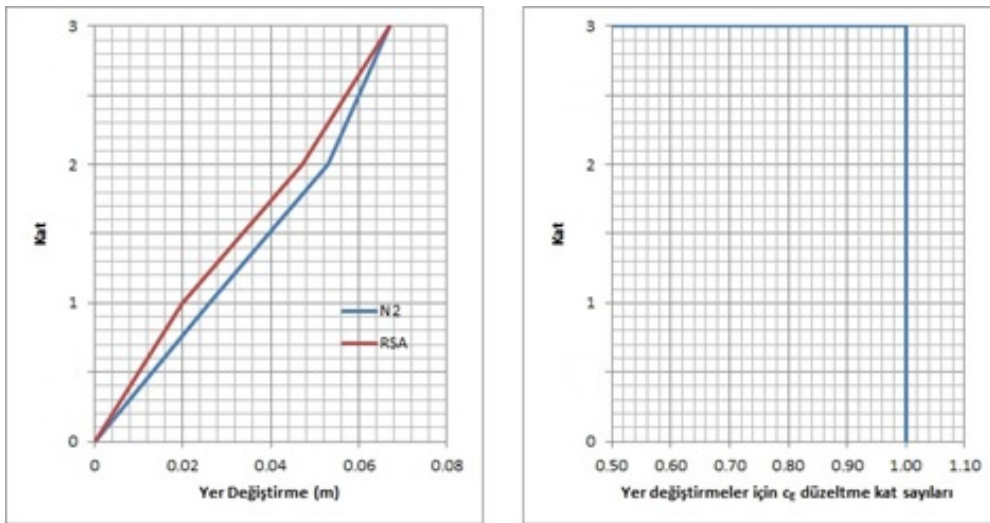
**Çizelge 5.25 :** N2 metodu ve RSA için okul binasına ait Y yönü yer değiştirme ve görel kat ötelemesi değerleri.

N2 metodu		RSA	
Yer değiştirme (m)	Görel kat ötelemesi	Yer değiştirme (m)	Görel kat ötelemesi
0,007	0,011	0,0025	0,0007
0,026	0,029	0,0068	0,0014
0,047	0,047	0,0109	0,0013

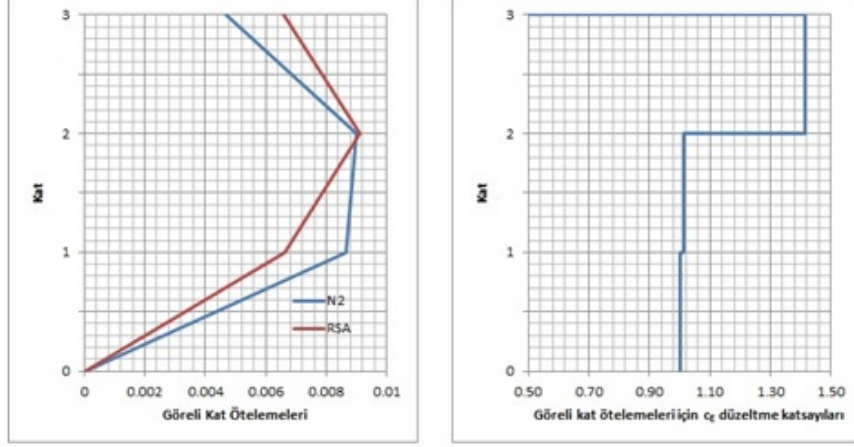
**Çizelge 5.26 :** Okul binası için Y yönü düzeltme katsayıları.

$C_E$			$C_T$	
Kat No	Yer değiştirme	Görel kat ötelemesi	Kolon No	Görel kat ötelemesi
1	1,54	1,54	P29	1,00
2	1,13	1,00	S25	1,00
3	1,00	1,00	S12	1,00

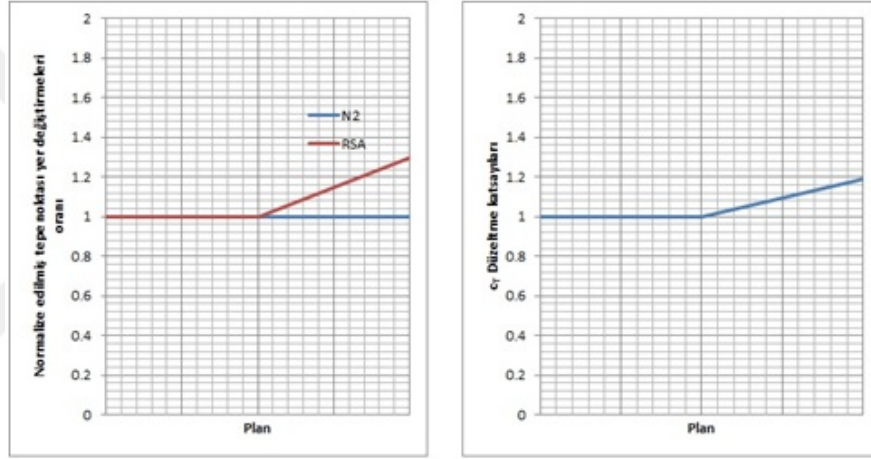
Şekil 5.39’da düşeydeki yer değiştirmeler N2 metodu ve RSA için karşılaştırılmış olup yer değiştirmeler için düzeltme katsayıları belirtilmiştir. Şekil 5.40’da ise düşeydeki görel kat ötelemeleri N2 metodu ve RSA için karşılaştırılmış olup görel kat ötelemeleri için düzeltme katsayıları belirtilmiştir. Şekil 5.41’de ise plandaki görel kat ötelemeleri N2 metodu ve RSA için karşılaştırılmış olup plandaki görel kat ötelemeleri için düzeltme katsayıları belirtilmiştir.



**Şekil 5.39 :** Düşeydeki yer değiştirmelerin karşılaştırılması ve düzeltme katsayıları.



Şekil 5.40 : Düşeydeki görel kat ötelemelerinin karşılaştırılması ve düzeltme katsayıları.



Şekil 5.41 : Plandaki düzensizlikler için düzeltme katsayısı ( $C_T$ ).

### 5.3 Zaman tanım alanında yapılan dinamik hesaplar

Bu bölümde zaman tanım alanında yapılan dinamik hesaplamalara (ZTA) yer verilmiştir. ZTA hesapları tüm binalar için, deprem etkisi altında daha çok hasar oluşması beklendiğinden zayıf doğrultularda yapılmıştır.

Görel kat ötelemeleri-zaman grafiklerinde yer alan zaman eksenine paralel çizgiler Micheal ve Fardis tarafından yazılan “Seismic Design, Assesment and Retrofitting of Concrete Buildings Based on EN-Eurocode 8” isimli kitapta belirtilen hasar sınırlamalarıdır. Bu hasar sınırlamaları yapının görel kat ötelemelerini, taşıyıcı olmayan elemanlar da dahil olmak üzere yapısal bütünlüğün bozulmasını engellemek

üzere belirtilmiştir. Göreli kat ötelemeleri herhangi bir katın yatay deplasmanının kat yüksekliğine bölünmesiyle elde edilen değerlerin yüzdesel ifadesidir [61]. Buna göre;

a) Yapı duvarları boşluklu tuğla gibi gevrek malzemeden yapılmışsa göreli kat ötelemeleri %0.5;

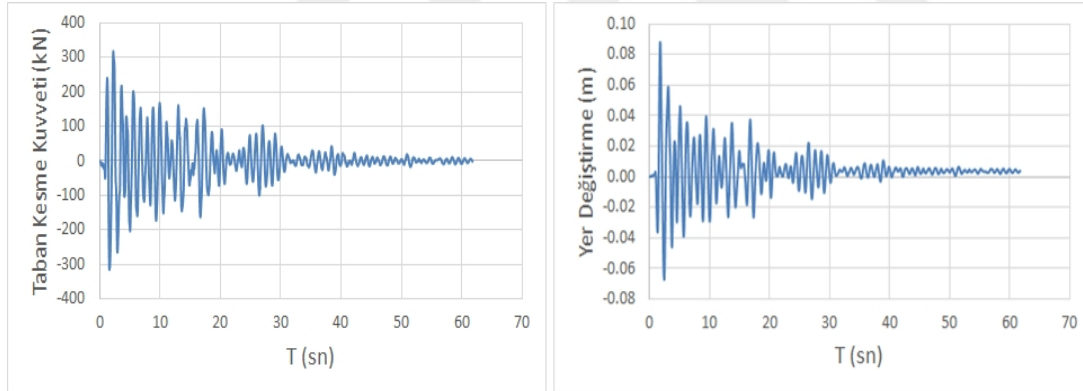
b) Yapı duvarları sünek malzemeden yapılmışsa %0,75

c) Yapı duvarı yoksa %1

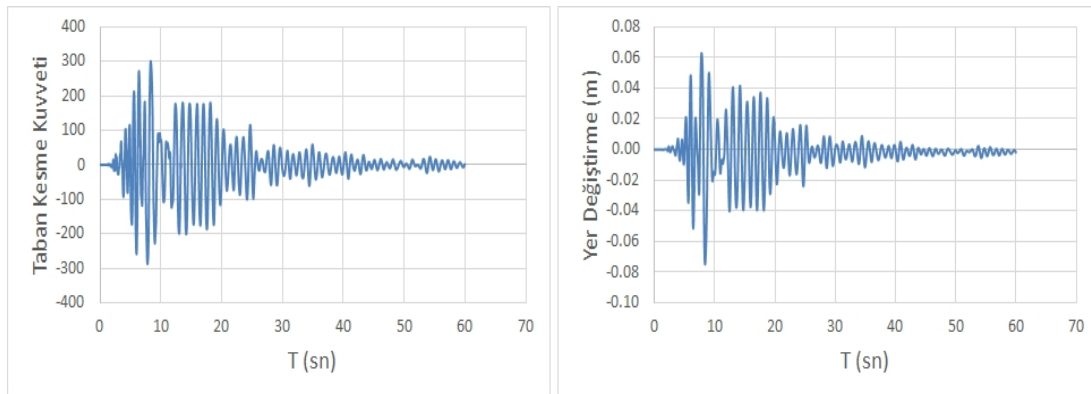
ile sınırlandırılmıştır [61].

### 5.3.1 SPEAR yapısı için ZTA sonuçları

SPEAR yapısına en zayıf doğrultusu olan +X doğrultusunda ZTA yapıldığında ortaya çıkan taban kesme kuvveti-zaman ve tepe deplasmanı-zaman grafikleri Şekil 5.42-5.48'de yer almaktadır.

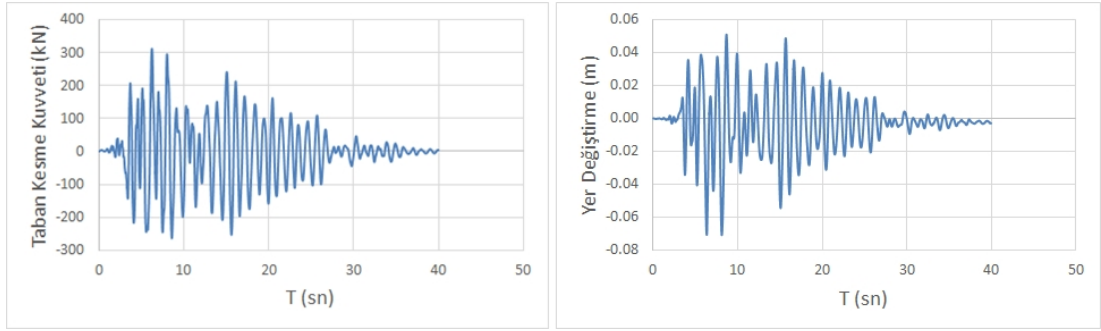


Şekil 5.42 : SPEAR yapısı San Fernando kaydı taban kesme-zaman ve yer değiştirme zaman grafikleri.

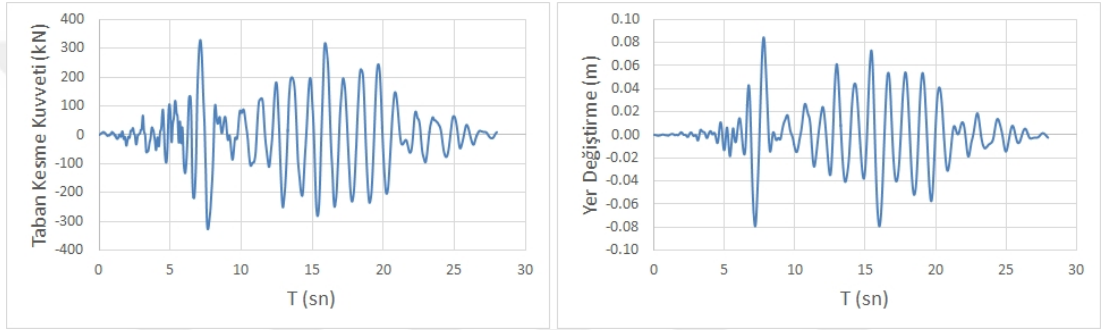




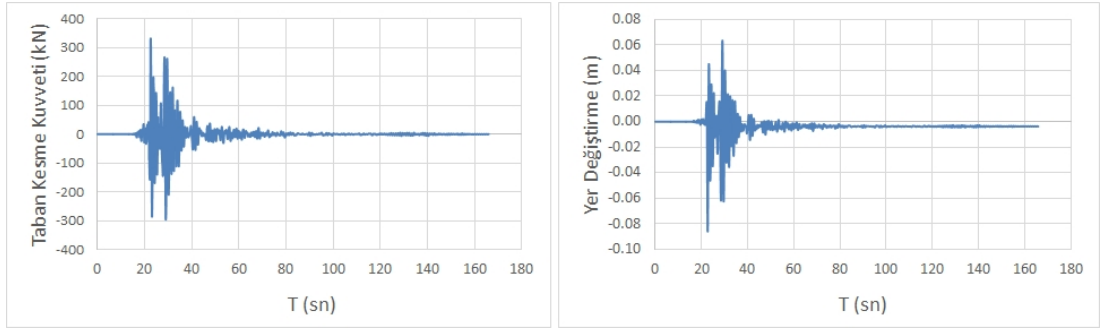
**Şekil 5.43** : SPEAR yapısı Coalinga kaydı taban kesme-zaman ve yer değiştirme zaman grafikleri.



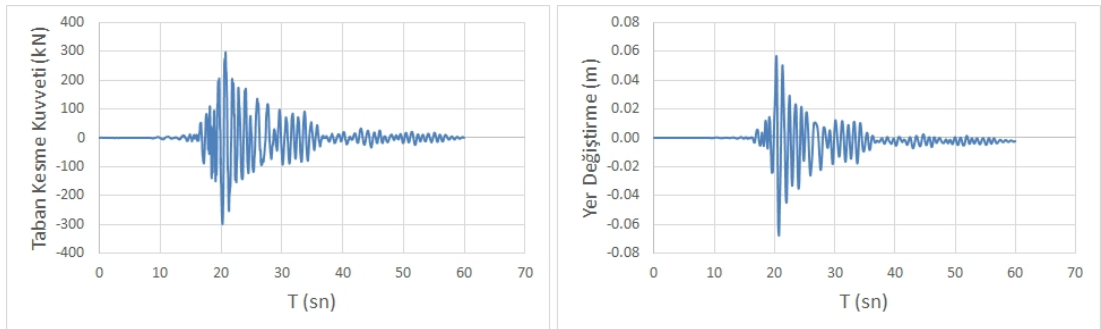
**Şekil 5.44** : SPEAR yapısı Loma Prieta kaydı taban kesme-zaman ve yer değiştirme zaman grafikleri.



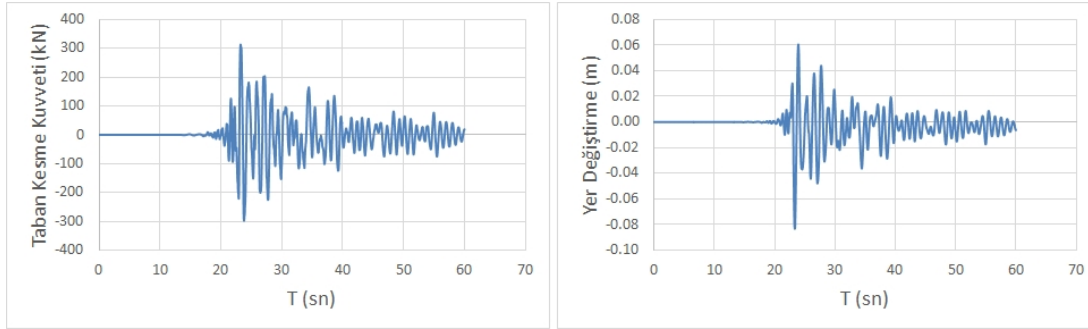
**Şekil 5.45** : SPEAR yapısı Cape Mendocino kaydı taban kesme-zaman ve yer değiştirme zaman grafikleri.



**Şekil 5.46** : SPEAR yapısı Niigata kaydı taban kesme-zaman ve yer değiştirme zaman grafikleri.

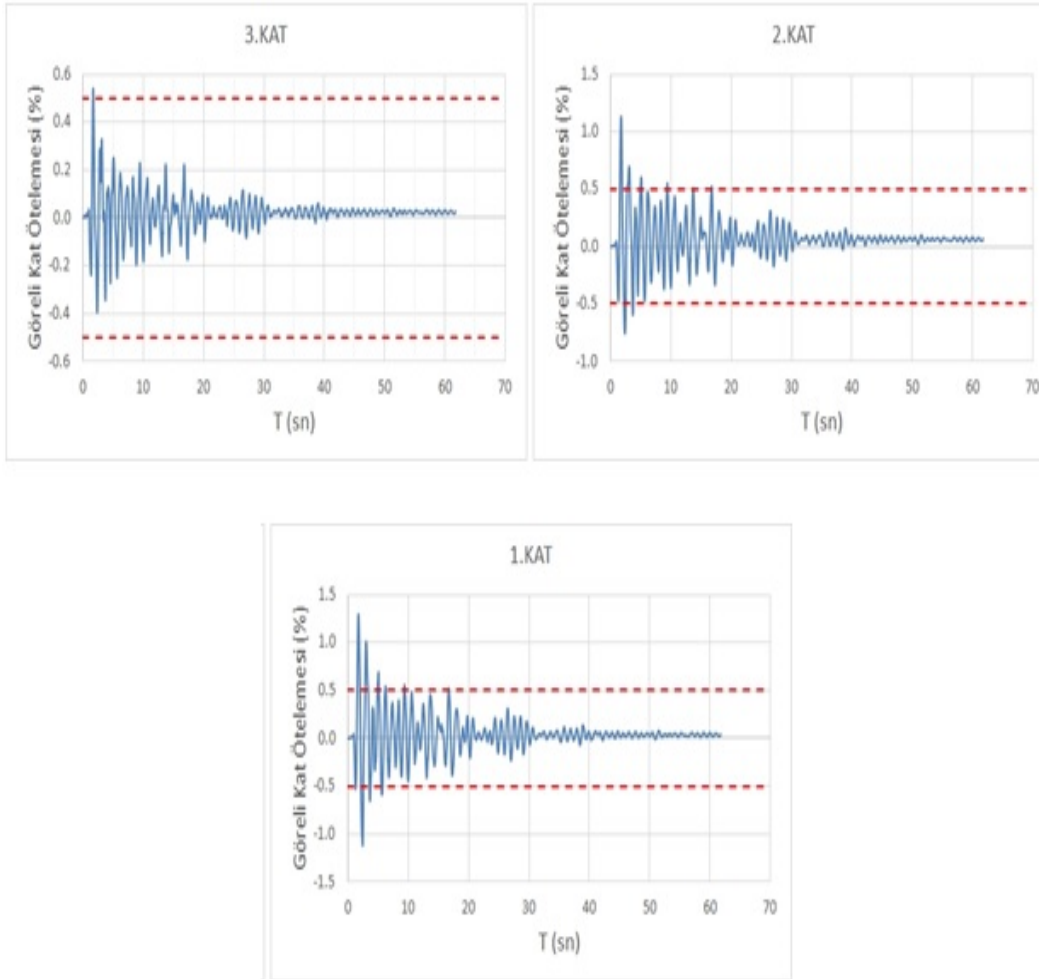


**Şekil 5.47 :** SPEAR yapısı Chuetsu kaydı taban kesme-zaman ve yer değiştirme zaman grafikleri.

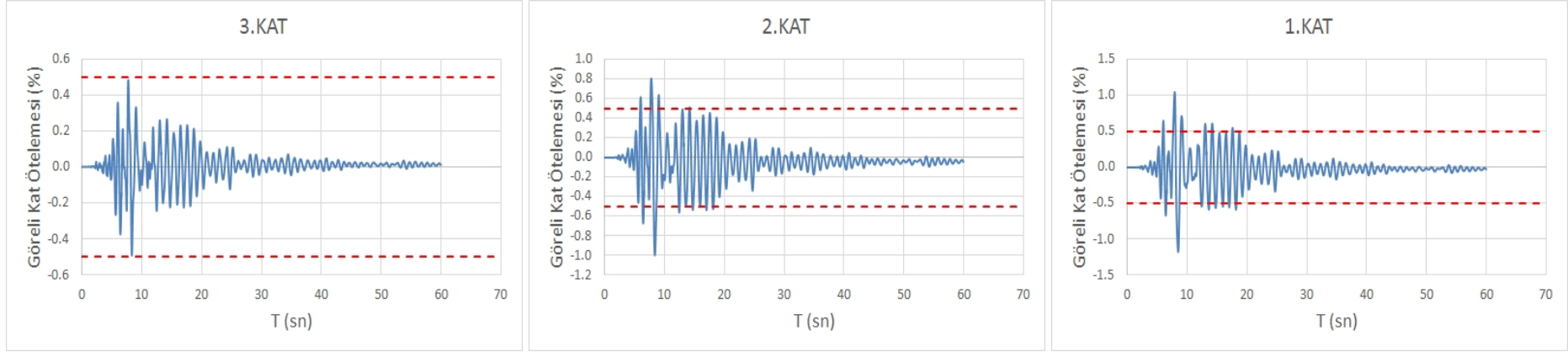


**Şekil 5.48 :** SPEAR yapısı Iwate kaydı taban kesme-zaman ve yer değiştirme zaman grafikleri.

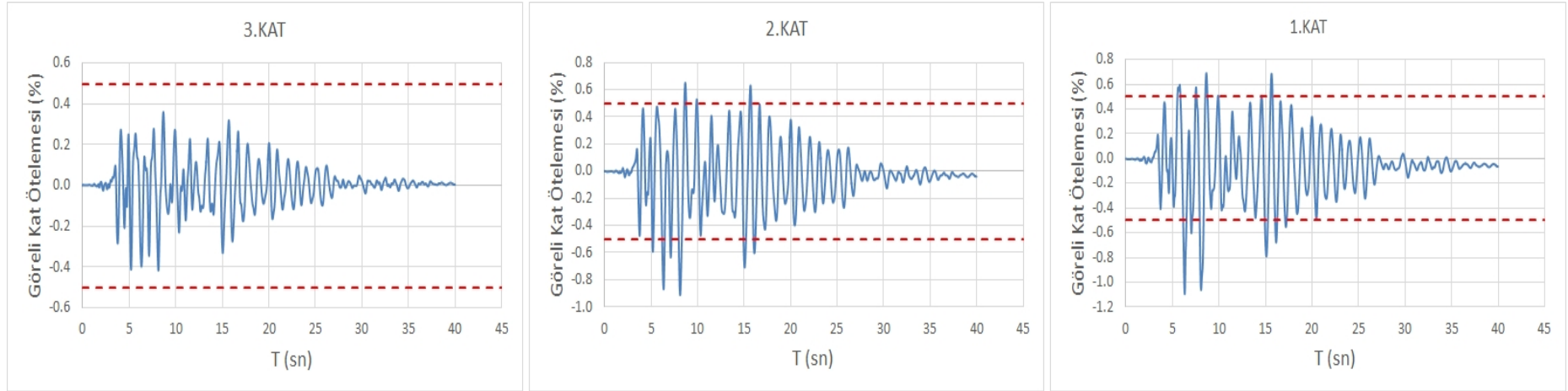
Şekil 5.49-5.55’de ise sırasıyla San Fernando, Coalinga, Loma Prieta, Cape Mendocino, Niigata, Chuetsu, Iwate kayıtları için ZTA sonucu oluşan görel kat ötelemeleri ve ötelemelerin %0.5 hasar sınırına olan yaklaşımı görülmektedir.



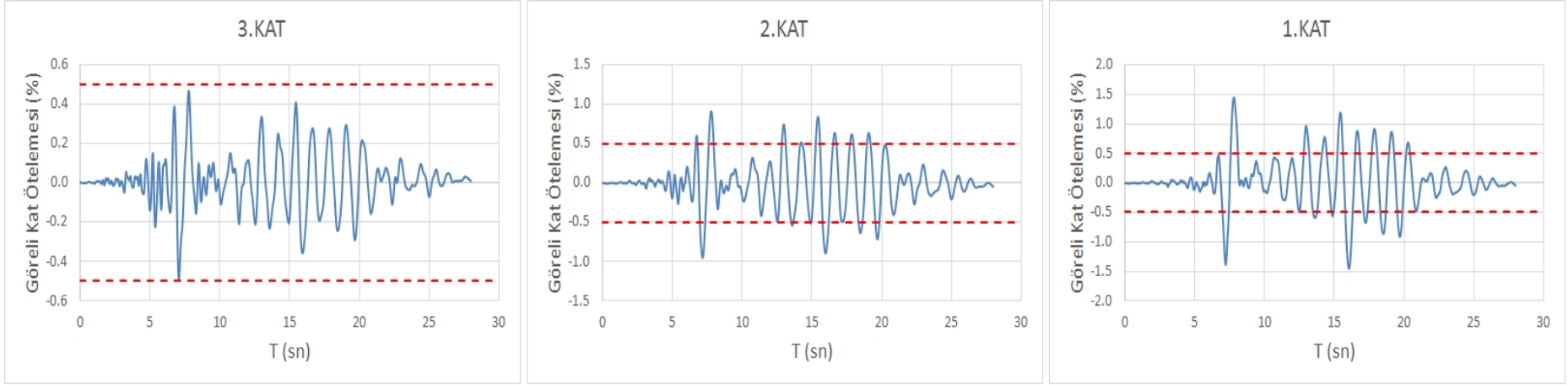
**Şekil 5.49 :** SPEAR yapısı San Fernando kaydı görel kat ötelemesi grafikleri.



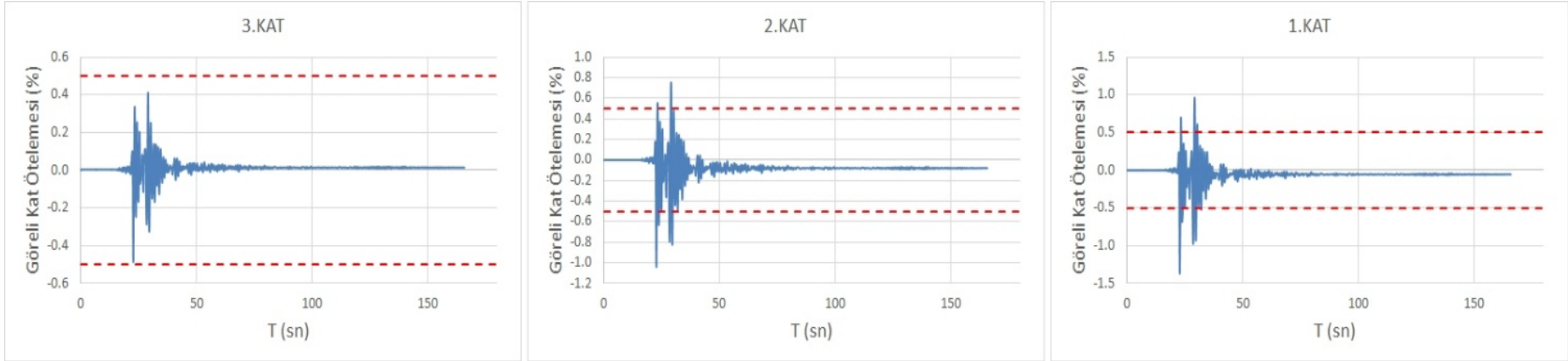
Şekil 5.50 : SPEAR yapısı Coalinga kaydı görelî kat ötelemesi grafikleri.



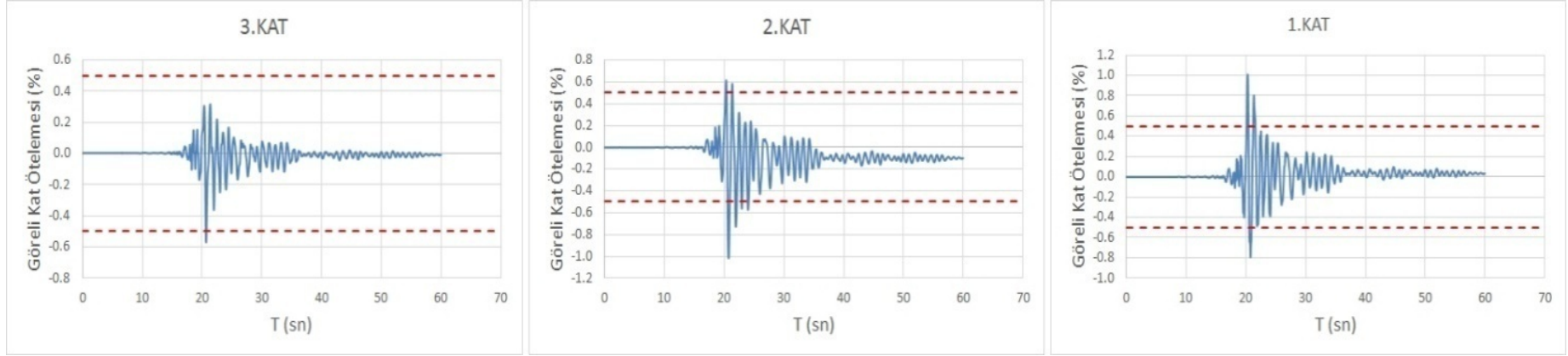
Şekil 5.51 : SPEAR yapısı Loma Prieta kaydı görelî kat ötelemesi grafikleri.



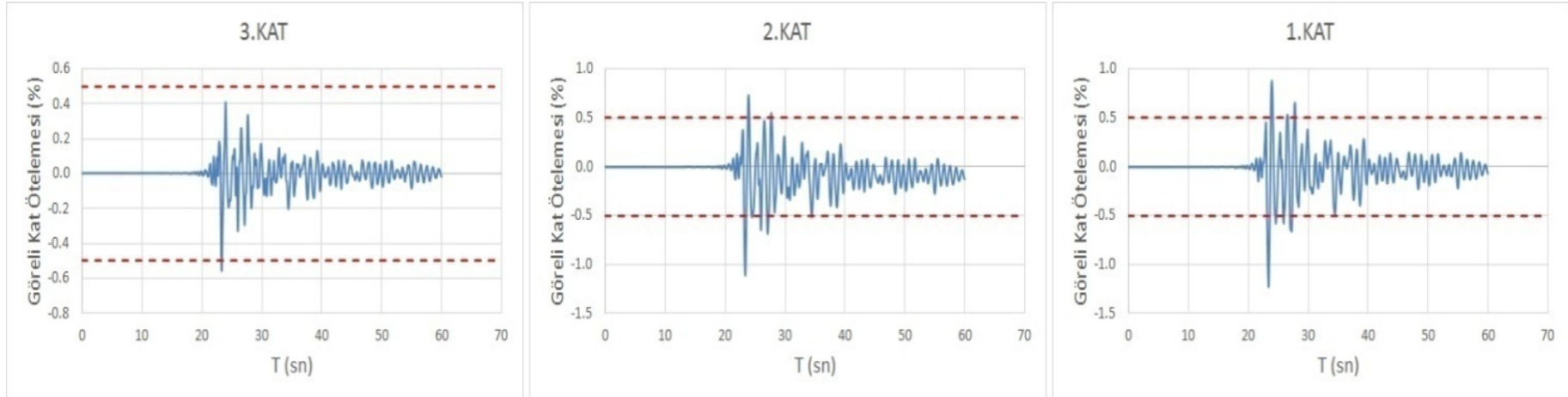
Şekil 5.52 : SPEAR yapısı Cape Mendocino kaydı görel kat ötelemesi grafikleri.



Şekil 5.53 : SPEAR yapısı Niigata kaydı görel kat ötelemesi grafikleri.

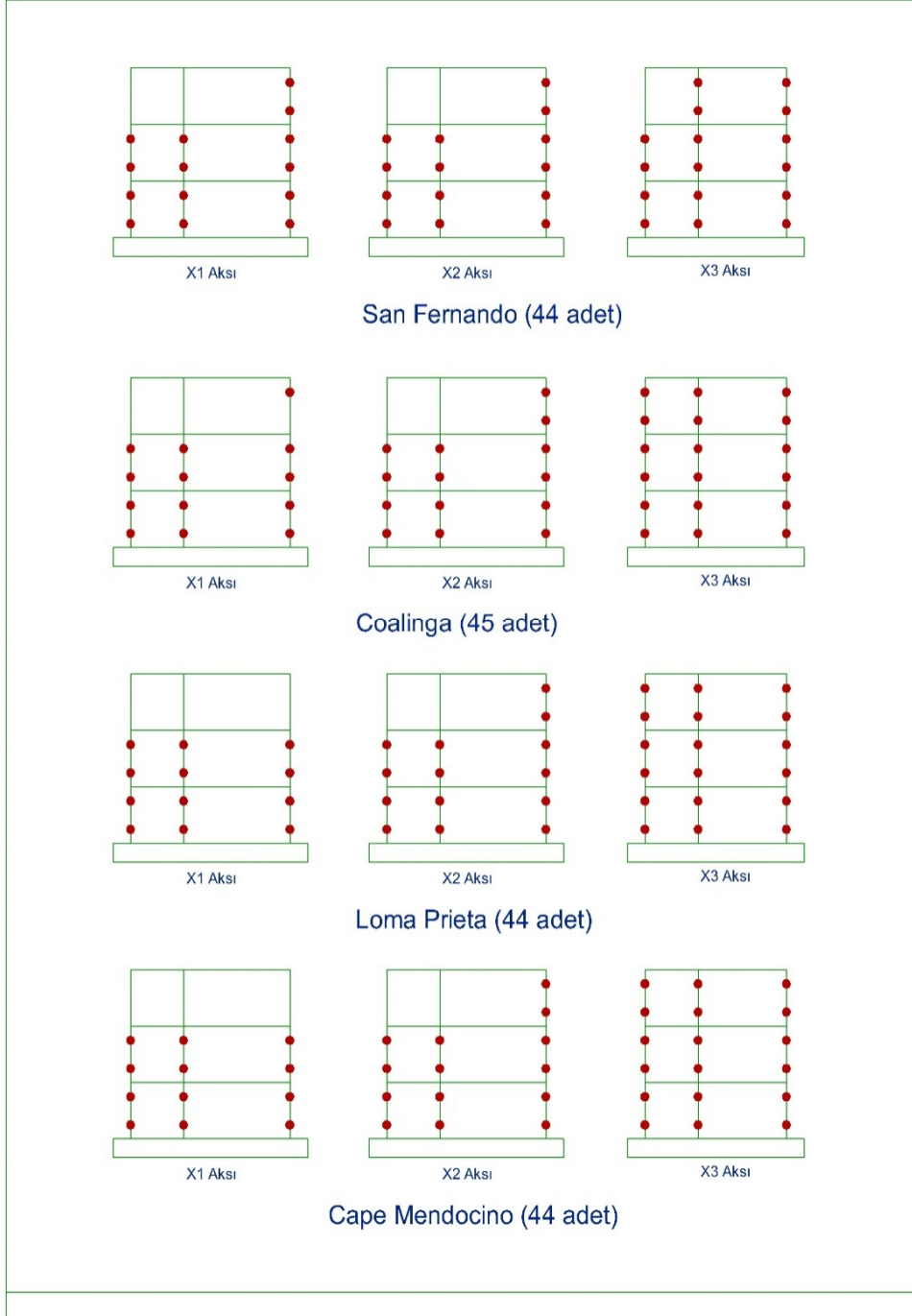


Şekil 5.54 : SPEAR yapısı Chuetsu kaydı görel kat ötelemesi grafikleri.

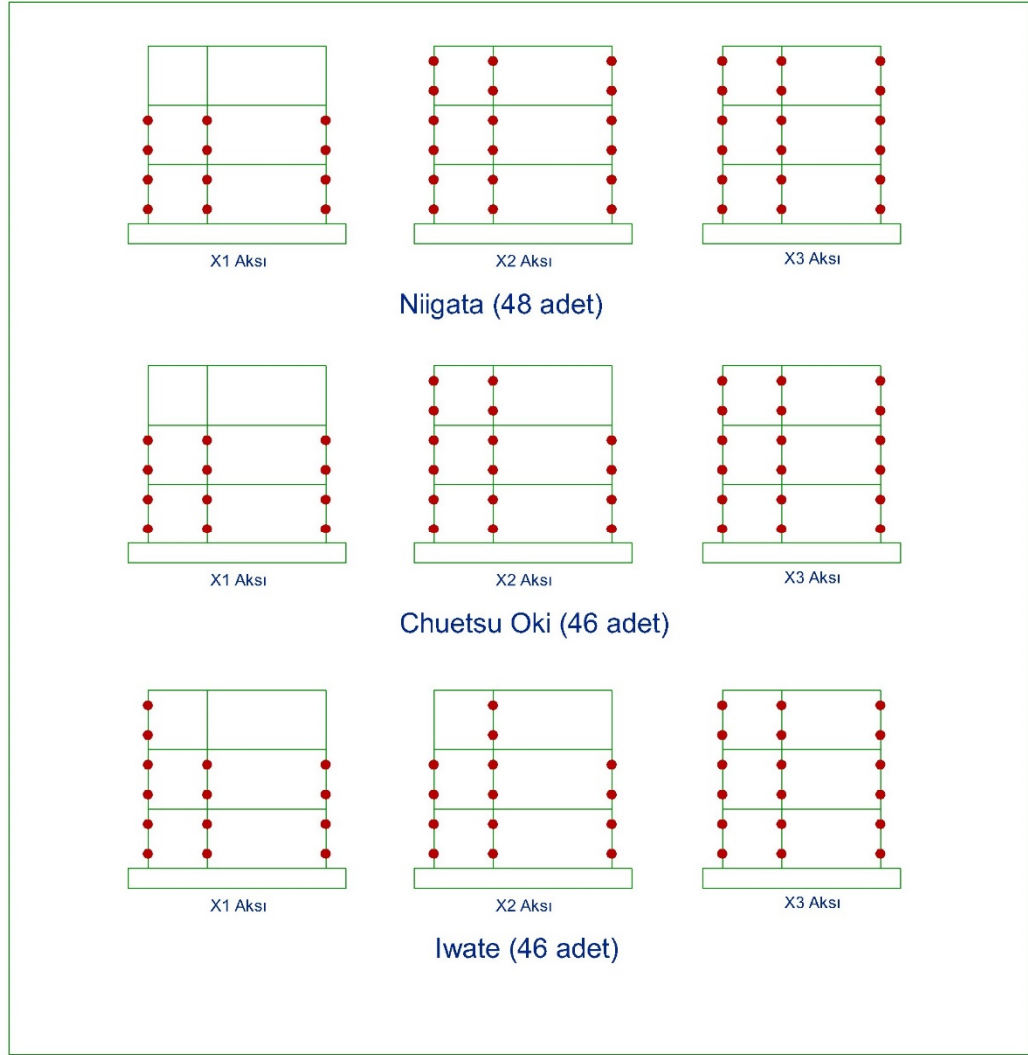


Şekil 5.55 : SPEAR yapısı Iwate kaydı görel kat ötelemesi grafikleri.

Şekil 5.56’da ise sırasıyla San Fernando, Coalinga, Loma Prieta, Cape Mendocino, Niigata, Chuetsu, Iwate kayıtları altında zaman tanım alanında analizler sonucu oluşan plastik mafsallar görülmektedir.



Şekil 5.56 : SPEAR yapısı ZTA sonucu oluşan plastik mafsallar.



**Şekil 5.56 (devam):** SPEAR yapısı ZTA sonucu oluşan plastik mafsallar.

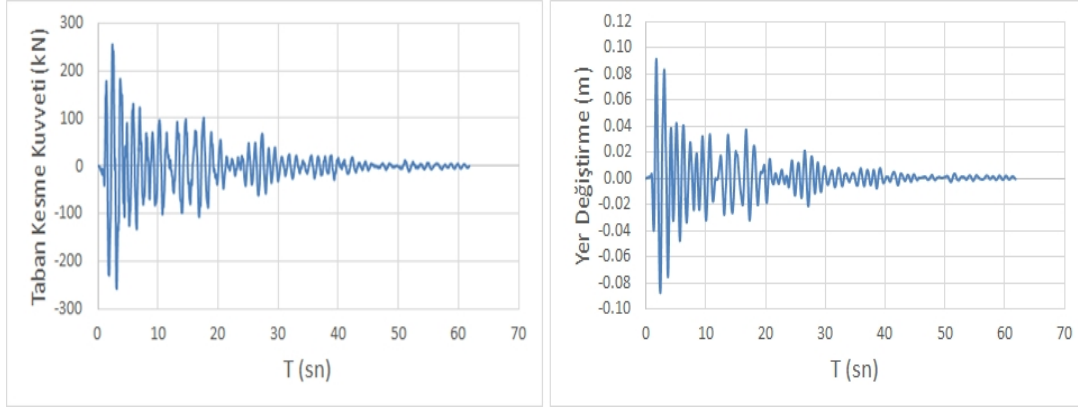
Çizelge 5.27’de oluşan plastik mafsalların sayılarına ait tablo yer almaktadır.

**Çizelge 5.27 :** SPEAR yapısı için ZTA sonucu oluşan plastik mafsal sayıları.

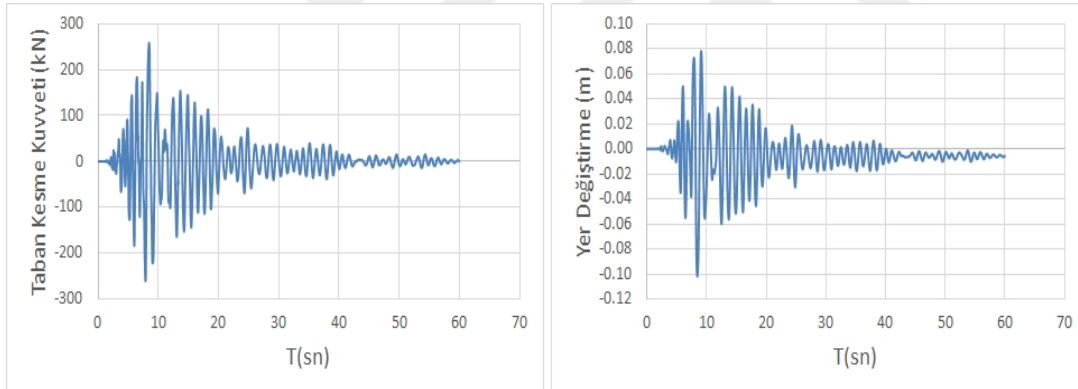
Kayıt İsmi	Oluşan Plastik Mafsal Sayısı
+X (N2)	28
San Fernando	44
Coalinga	45
Loma Prieta	44
Cape Mendocino	44
Niigata	48
Chuetsu	46
Iwate	46

### 5.3.2 ICON çerçevesi için ZTA sonuçları

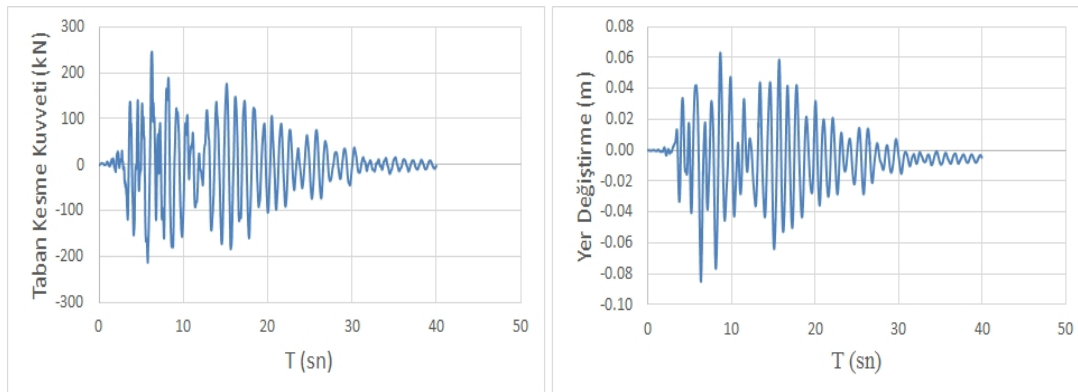
Icon çerçevesine en zayıf doğrultusu olan +X doğrultusunda ZTA yapıldığında ortaya çıkan taban kesme kuvveti-zaman ve tepe deplasmanı-zaman grafikleri Şekil 5.57-Şekil 5.63'de yer almaktadır.



Şekil 5.57 : ICON çerçevesi San Fernando kaydı taban kesme-zaman ve yer değiştirme zaman grafikleri.

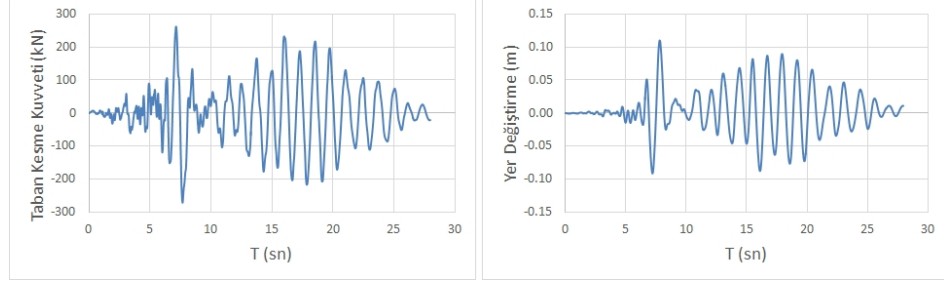


Şekil 5.58 : ICON çerçevesi Coalinga kaydı taban kesme-zaman ve yer değiştirme zaman grafikleri.

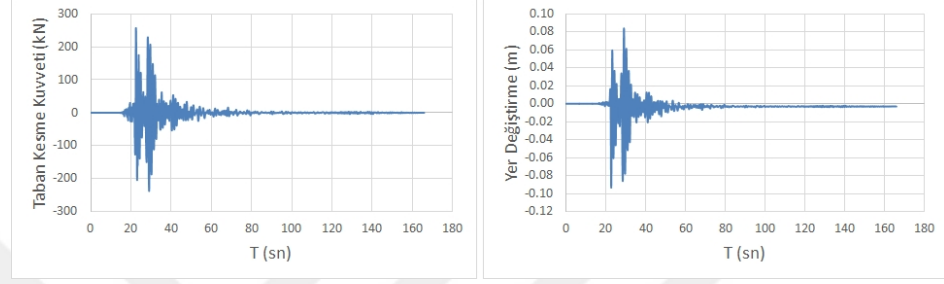


Şekil 5.59 : ICON çerçevesi Loma Prieta kaydı taban kesme-zaman ve yer değiştirme zaman grafikleri.

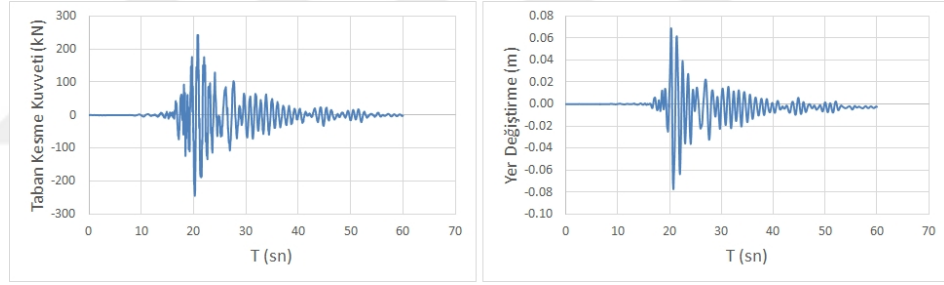




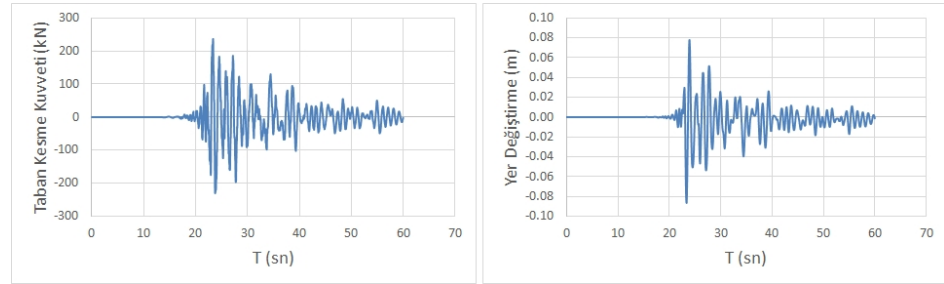
**Şekil 5.60 :** ICON çerçevesi Cape Mendocino kaydı taban kesme-zaman ve yer değiştirme zaman grafikleri.



**Şekil 5.61 :** ICON çerçevesi Niigata kaydı taban kesme-zaman ve yer değiştirme zaman grafikleri.

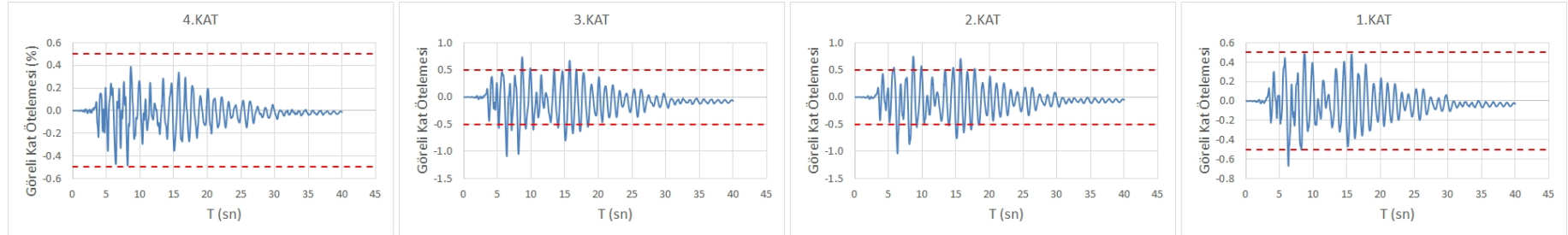
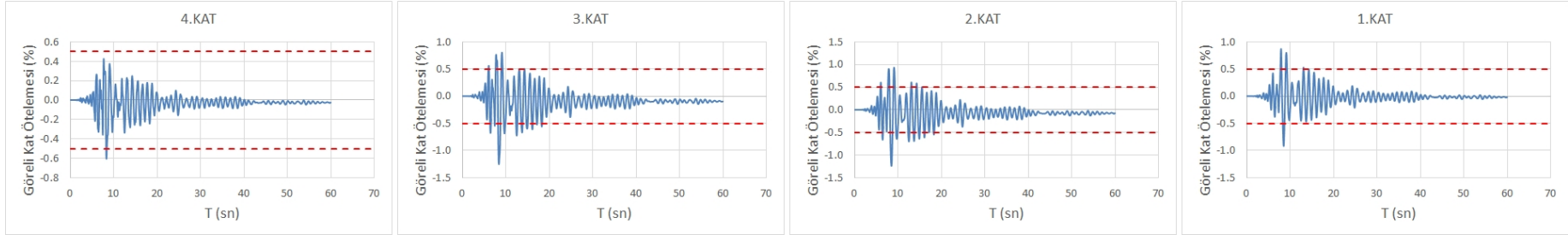
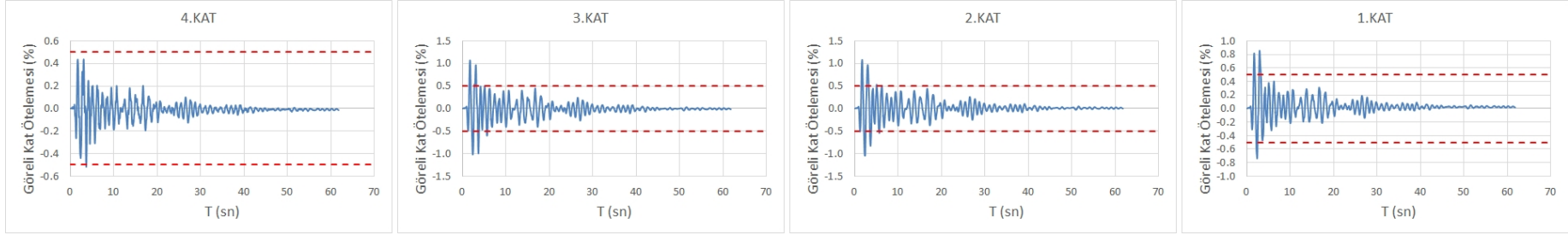


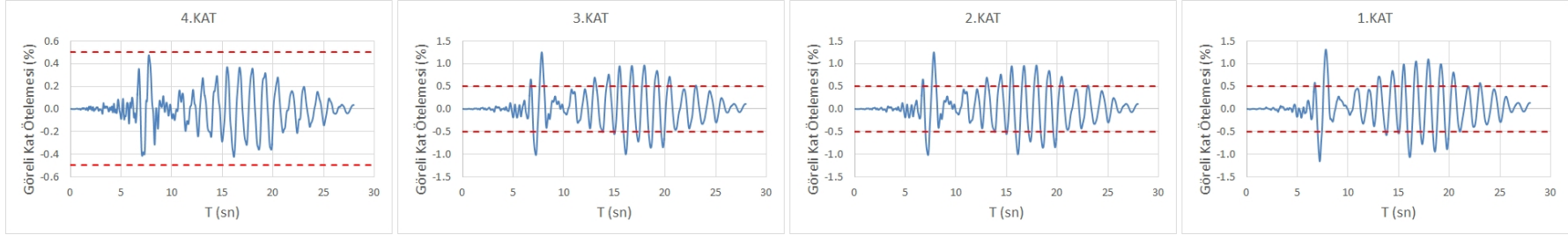
**Şekil 5.62 :** ICON çerçevesi Chuetsu kaydı taban kesme-zaman ve yer değiştirme zaman grafikleri.



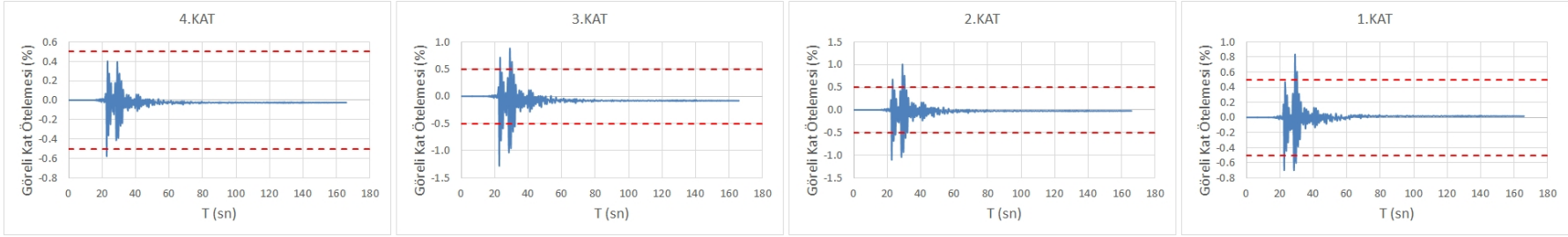
**Şekil 5.63 :** ICON çerçevesi Iwate kaydı taban kesme-zaman ve yer değiştirme zaman grafikleri.

Şekil 5.64-5.70'de ise sırasıyla San Fernando, Coalinga, Loma Prieta, Cape Mendocino, Niigata, Chuetsu, Iwate kayıtları için ZTA sonucu oluşan görelî kat ötelemeleri ve ötelemelerin %0.5 hasar sınırına olan yaklaşımı görülmektedir.

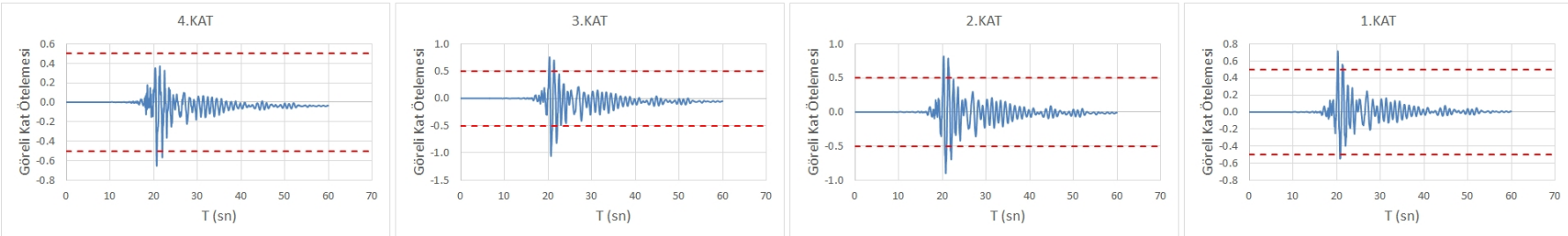




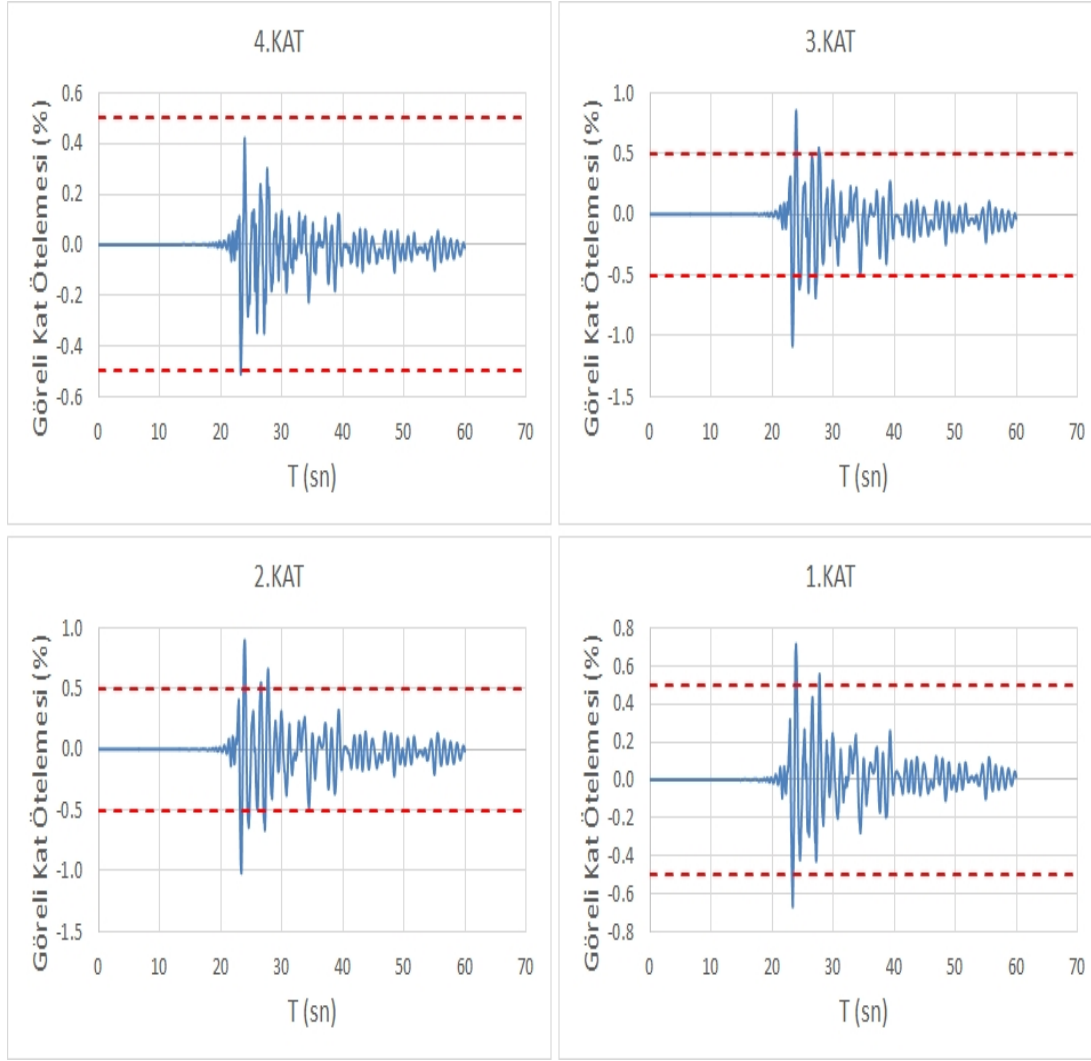
Şekil 5.67 : ICON çerçevesi Cape Mendocino kaydı görelil kat ötelemesi grafikleri.



Şekil 5.68 : ICON çerçevesi Niigata kaydı görelil kat ötelemesi grafikleri.



Şekil 5.69 : ICON çerçevesi Chuetsu kaydı görelil kat ötelemesi grafikleri.

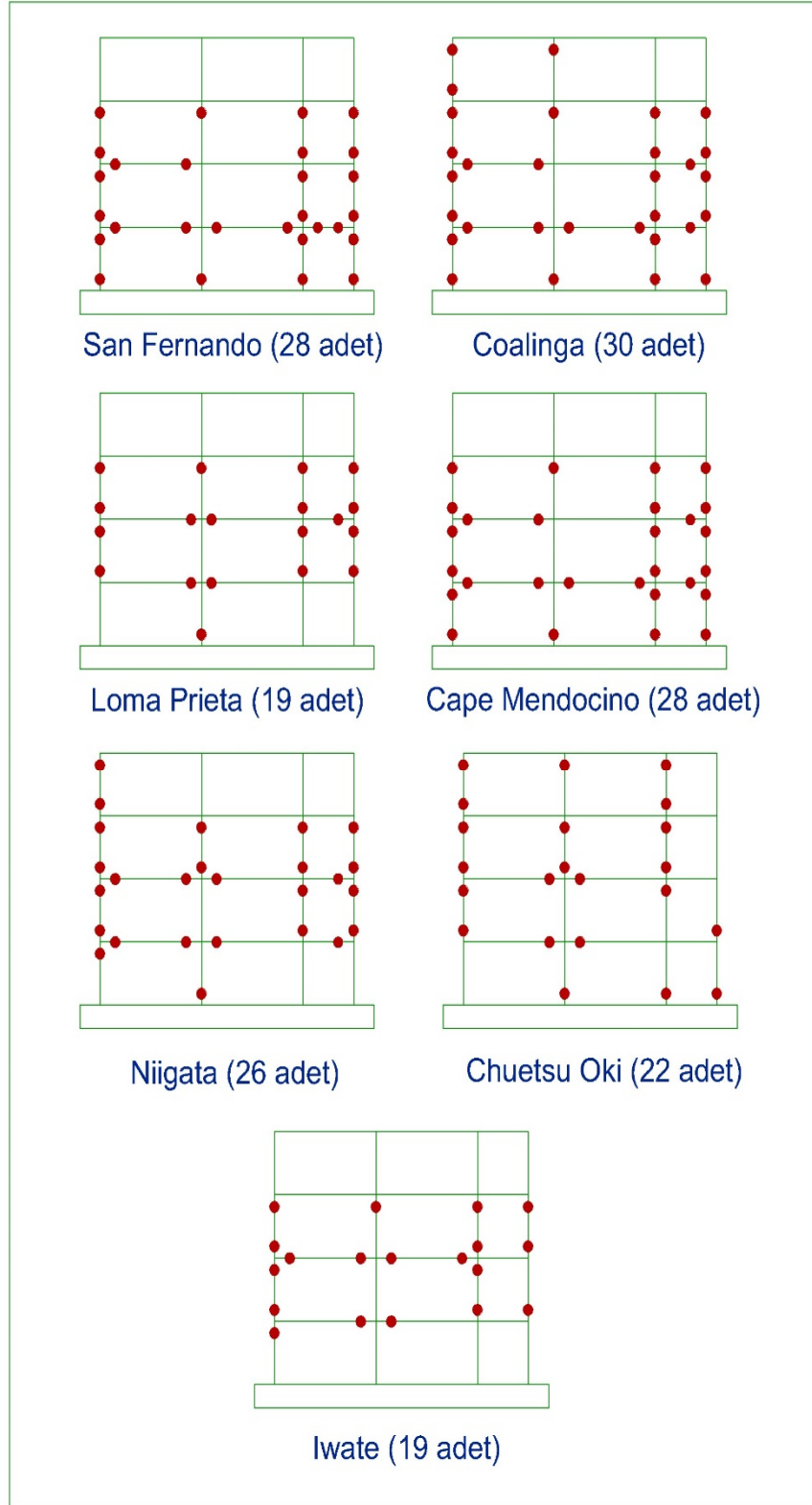


**Şekil 5.70 :** ICON çerçevesi Iwate kaydı taban kesme-zaman ve yer değiştirme zaman grafikleri.

Şekil 5.71’de ise ZTA hesaplarında ortaya çıkan plastik mafsallar görülmekte olup, Çizelge 5.28’de oluşan plastik mafsalların sayılarına yer verilmiştir.

**Çizelge 5.28 :** ICON çerçevesi için ZTA sonucu oluşan plastik mafsal sayıları.

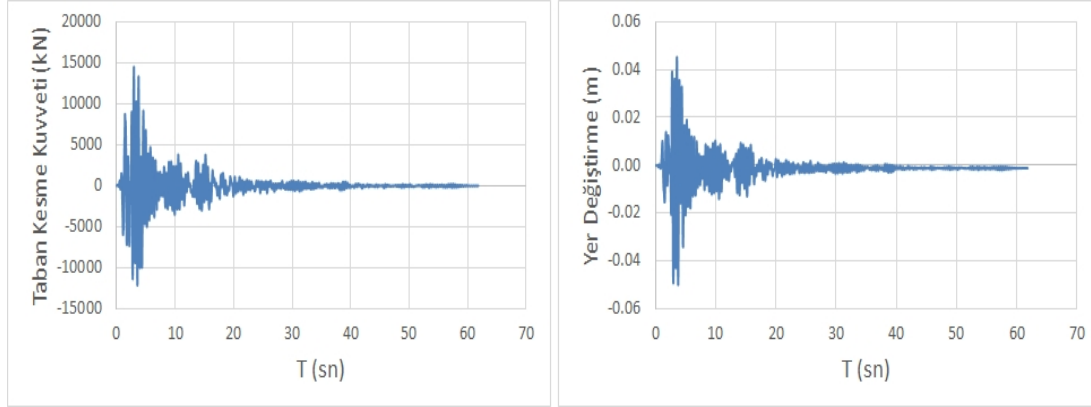
Kayıt İsmi	Oluşan Plastik Mafsal Sayısı
+X (N2)	22
San Fernando	28
Coalinga	30
Loma Prieta	19
Cape Mendocino	28
Niigata	26
Chuetsu	22
Iwate	19



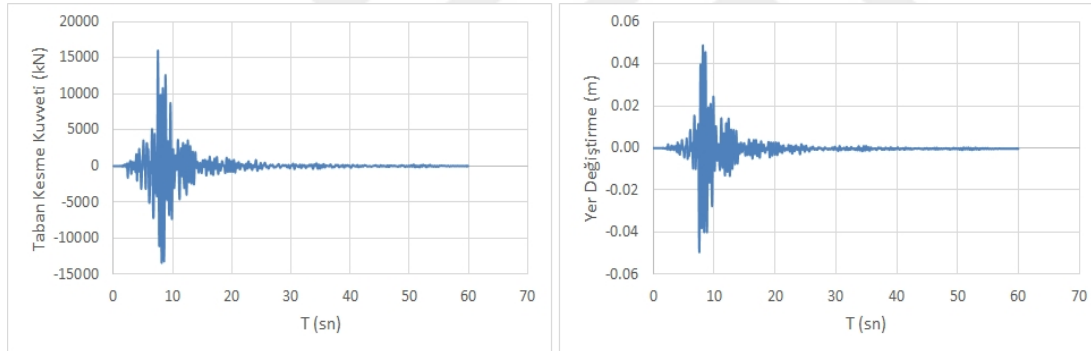
Şekil 5.71 : ICON çerçevesi için ZTA hesapları sonucu oluşan plastik mafsallar.

### 5.3.3 Okul binası için ZTA sonuçları

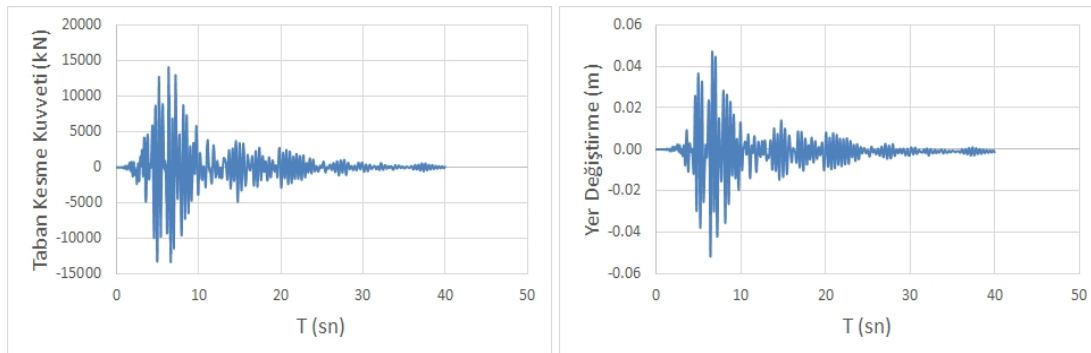
Okul binası en zayıf doğrultusu olan +X doğrultusunda ZTA yapıldığında ortaya çıkan taban kesme kuvveti-zaman ve tepe deplasmanı-zaman grafikleri Şekil 5.72-5.78'de yer almaktadır.



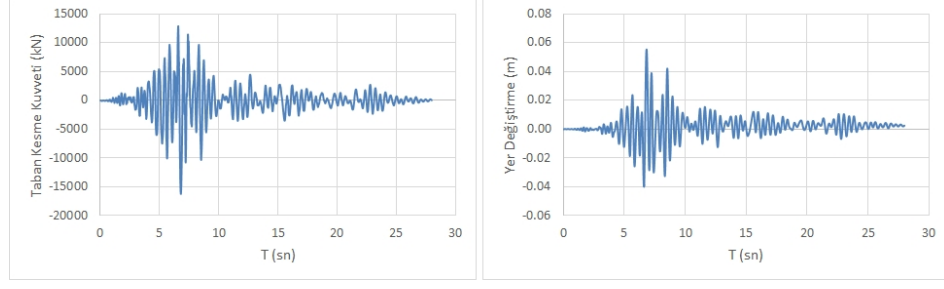
Şekil 5.72 : Okul binası San Fernando kaydı taban kesme-zaman ve yer değiştirme zaman grafikleri.



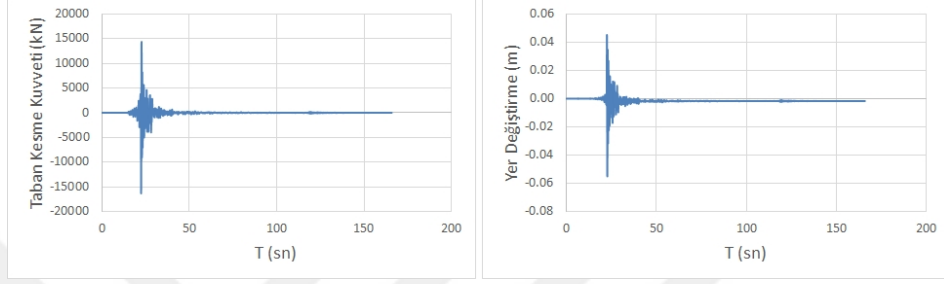
Şekil 5.73 : Okul binası Coalinga kaydı taban kesme-zaman ve yer değiştirme zaman grafikleri.



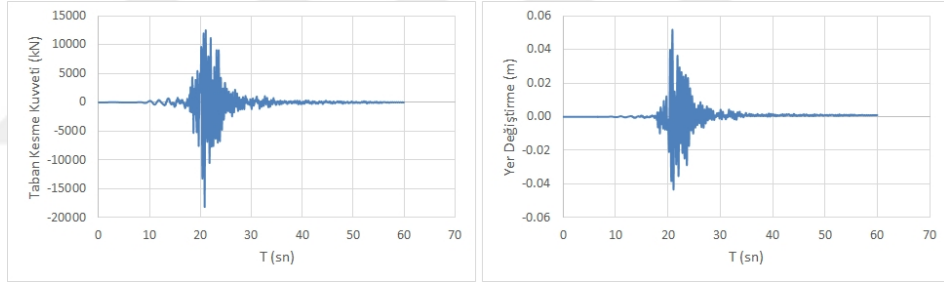
Şekil 5.74 : Okul binası Loma Prieta kaydı taban kesme-zaman ve yer değiştirme zaman grafikleri.



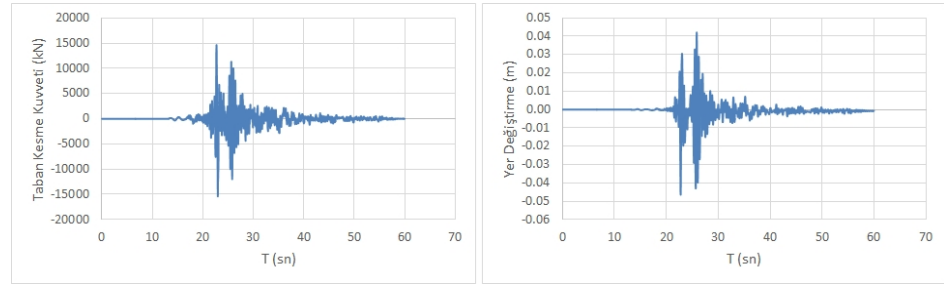
**Şekil 5.75 :** Okul binası Cape Mendocino kaydı taban kesme-zaman ve yer değiştirme zaman grafikleri.



**Şekil 5.76 :** Okul binası Niigata kaydı taban kesme-zaman ve yer değiştirme zaman grafikleri.

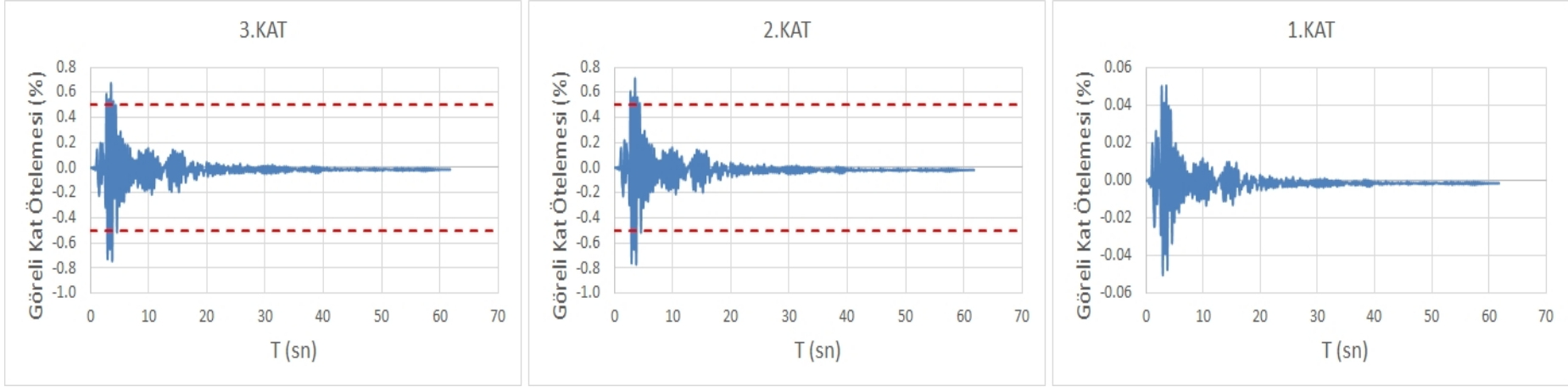


**Şekil 5.77 :** Okul binası Chuetsu kaydı taban kesme-zaman ve yer değiştirme zaman grafikleri.

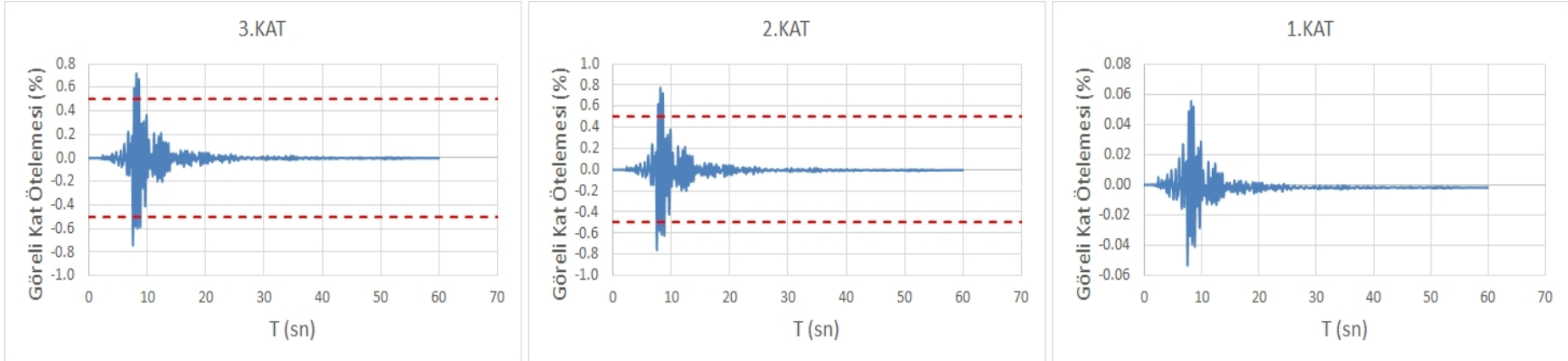


**Şekil 5.78 :** Okul binası Iwate kaydı taban kesme-zaman ve yer değiştirme zaman grafikleri.

Şekil 5.79-5.85’de ise sırasıyla San Fernando, Coalinga, Loma Prieta, Cape Mendocino, Niigata, Chuetsu, Iwate kayıtları için ZTA sonucu oluşan görelî kat ötelemeleri ve ötelemelerin %0.5 hasar sınırına olan yaklaşımı görülmektedir.

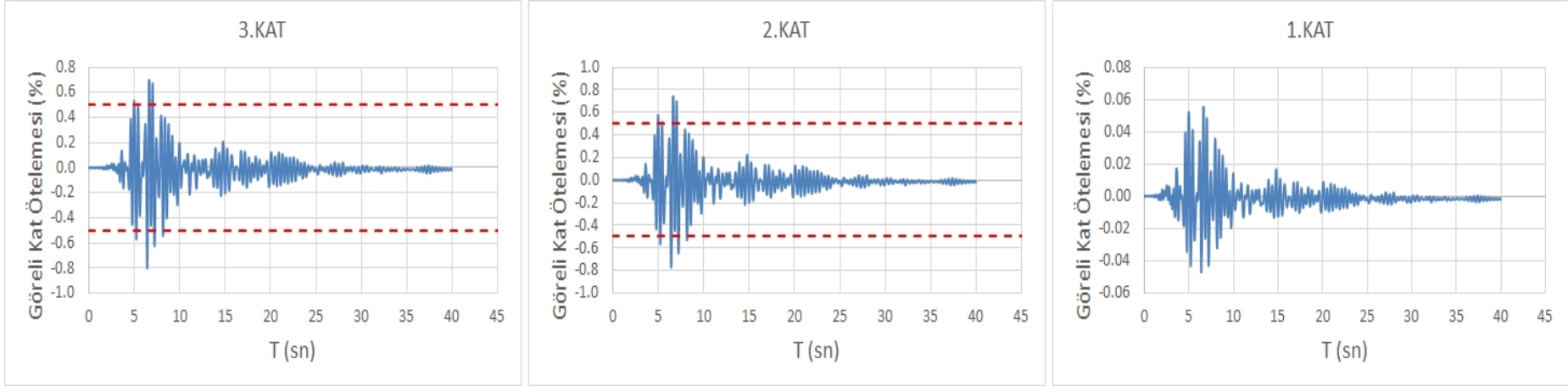


Şekil 5.79 : Okul binası San Fernando kaydı görel kat ötelemesi grafikleri.

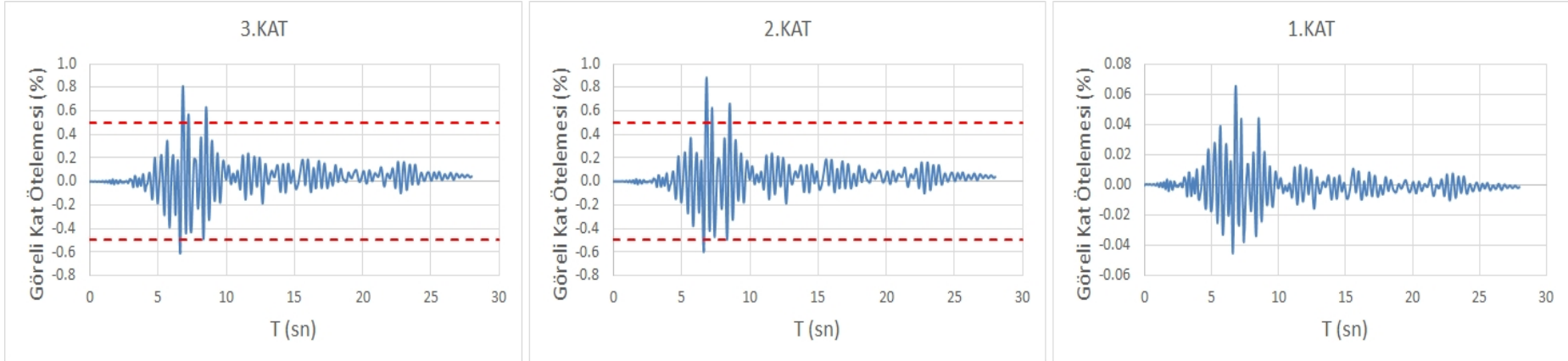


Şekil 5.80 : Okul binası Coalinga kaydı görel kat ötelemesi grafikleri.

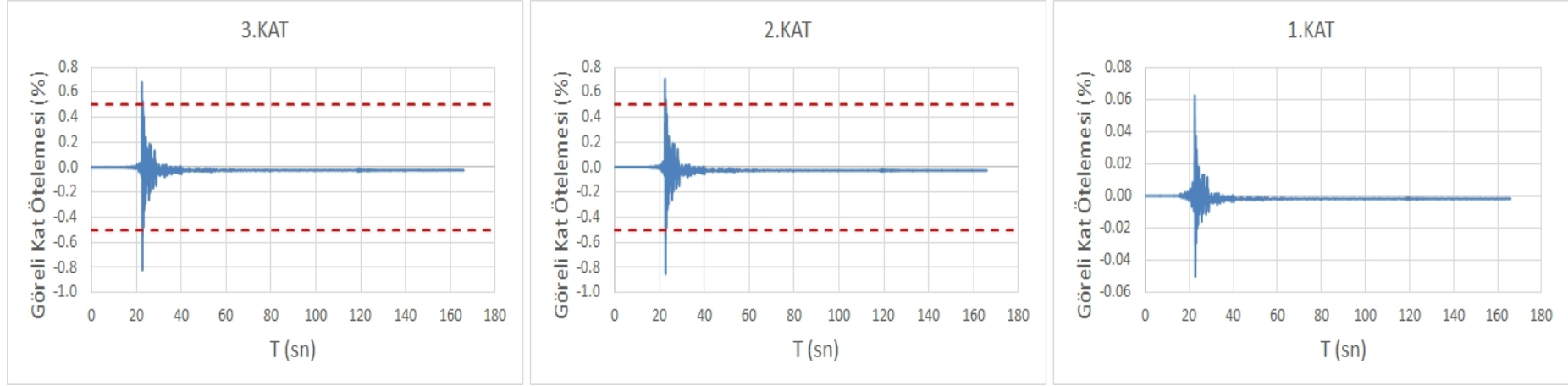




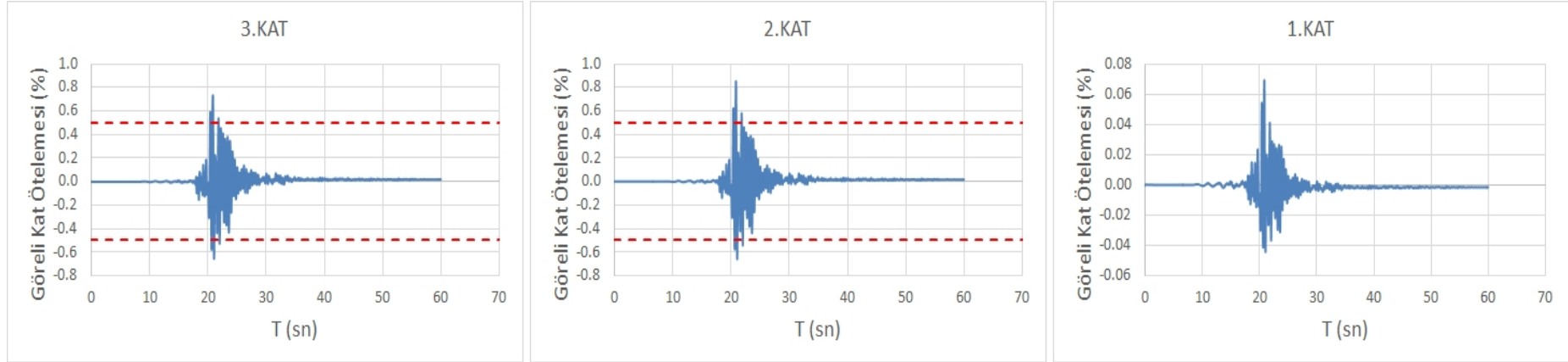
Şekil 5.81 : Okul binası Loma Prieta kaydı görelî kat ötelemesi grafikleri.



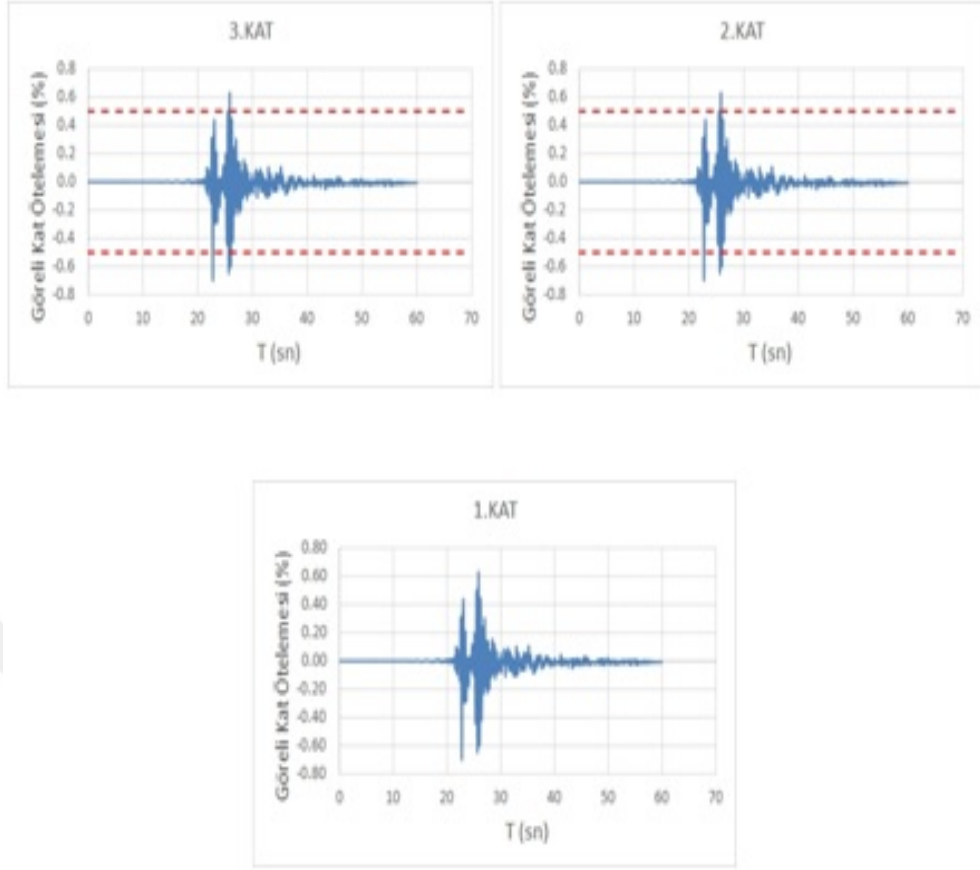
Şekil 5.82 : Okul binası Cape Mendocino kaydı görelî kat ötelemesi grafikleri.



Şekil 5.83 : Okul binası Niigata kaydı görelî kat ötelemesi grafikleri.



Şekil 5.84 : Okul binası Chuetsu kaydı görelî kat ötelemesi grafikleri.



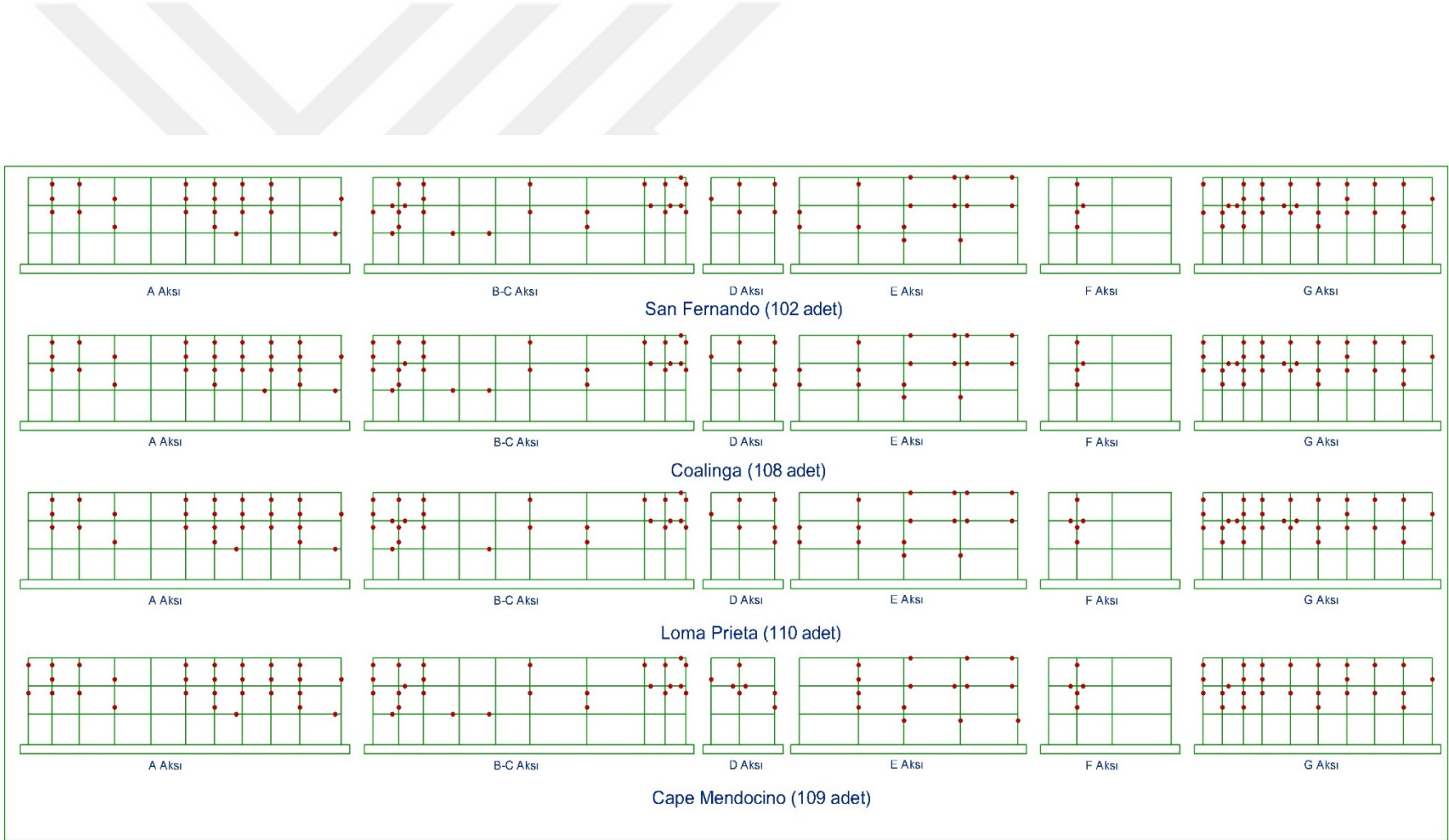
**Şekil 5.85 :** Okul binası Iwate kaydı görelî kat ötelemesi grafikleri.

Okul binasında sırasıyla San Fernando, Coalinga, Loma Prieta, Cape Mendocino, Niigata, Chuetsu, Iwate kayıtları ZTA hesaplamaları sonucunda ortaya çıkan plastik mafsâl sayıları Çizelge 5.29’da verilmiştir.

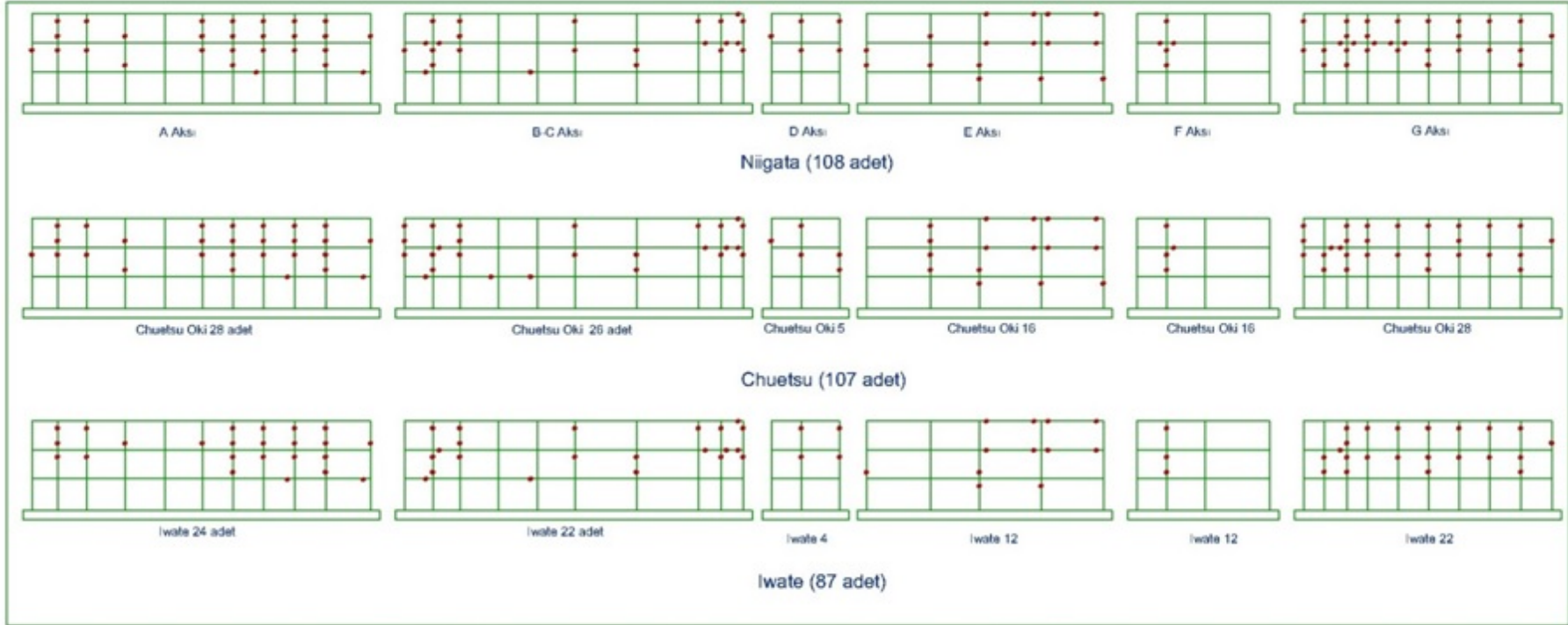
**Çizelge 5.29 :** Okul binası için ZTA sonucu oluşan plastik mafsâl sayıları.

Kayıt İsmi	Oluşan Plastik Mafsâl Sayısı
-X (N2)	101
San Fernando	28
Coalinga	30
Loma Prieta	19
Cape Mendocino	28
Niigata	26
Chuetsu	22
Iwate	19

Şekil 5.86’da ise sırasıyla San Fernando, Coalinga, Loma Prieta, Cape Mendocino, Niigata, Chuetsu, Iwate kayıtları altında zaman tanım alanında analiz sonucu oluşan plastik mafsâlların yerleri belirtilmiştir.



Şekil 5.86 : Okul binası için ZTA hesaplamaları sonucu oluşan plastik mafsallar.



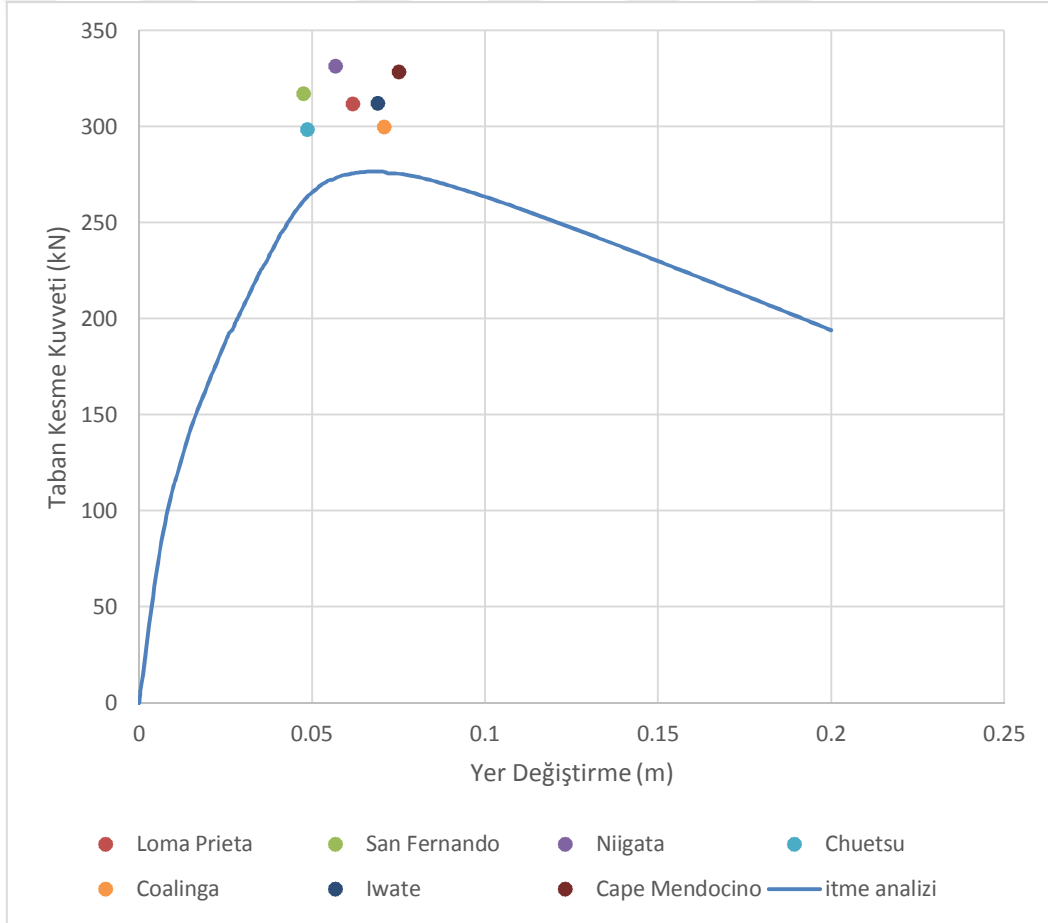
Şekil 5.86 (devam) : Okul binası için ZTA hesaplamaları sonucu oluşan plastik mafsallar.



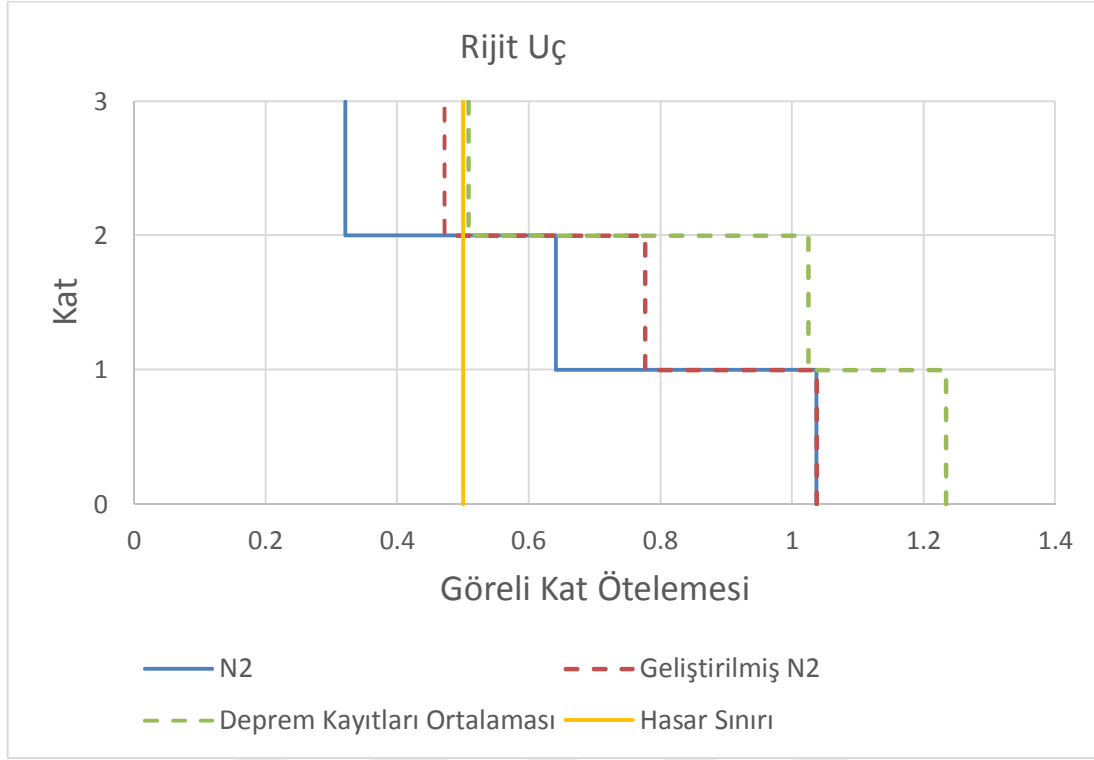
## 6. SONUÇLARIN İRDELENMESİ

### 6.1 SPEAR İçin Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması

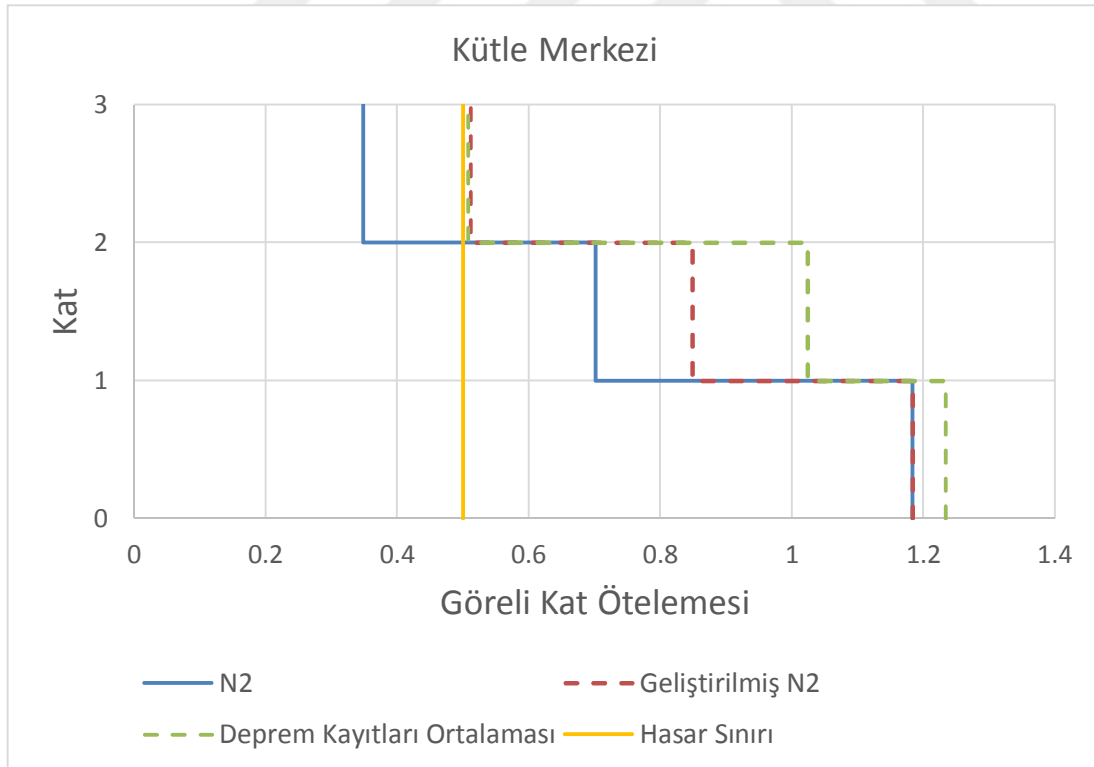
SPEAR yapısında elde edilen taban kesme noktası-tepe noktası yer değiştirme grafiği Şekil 6.1’de; görelî kat ötelemelerinin N2, geliştirilmiş N2 metotları ve seçilen deprem kayıtları için rijit uçta, esnek uçta, ve kütle merkezinde karşılaştırılması; +X doğrultusu için X-2 aksında Şekil 6.2-6.4’de verilmiştir.



Şekil 6.1 : SPEAR yapısı için taban kesme kuvveti tepe noktası yer değiştirme grafiği.

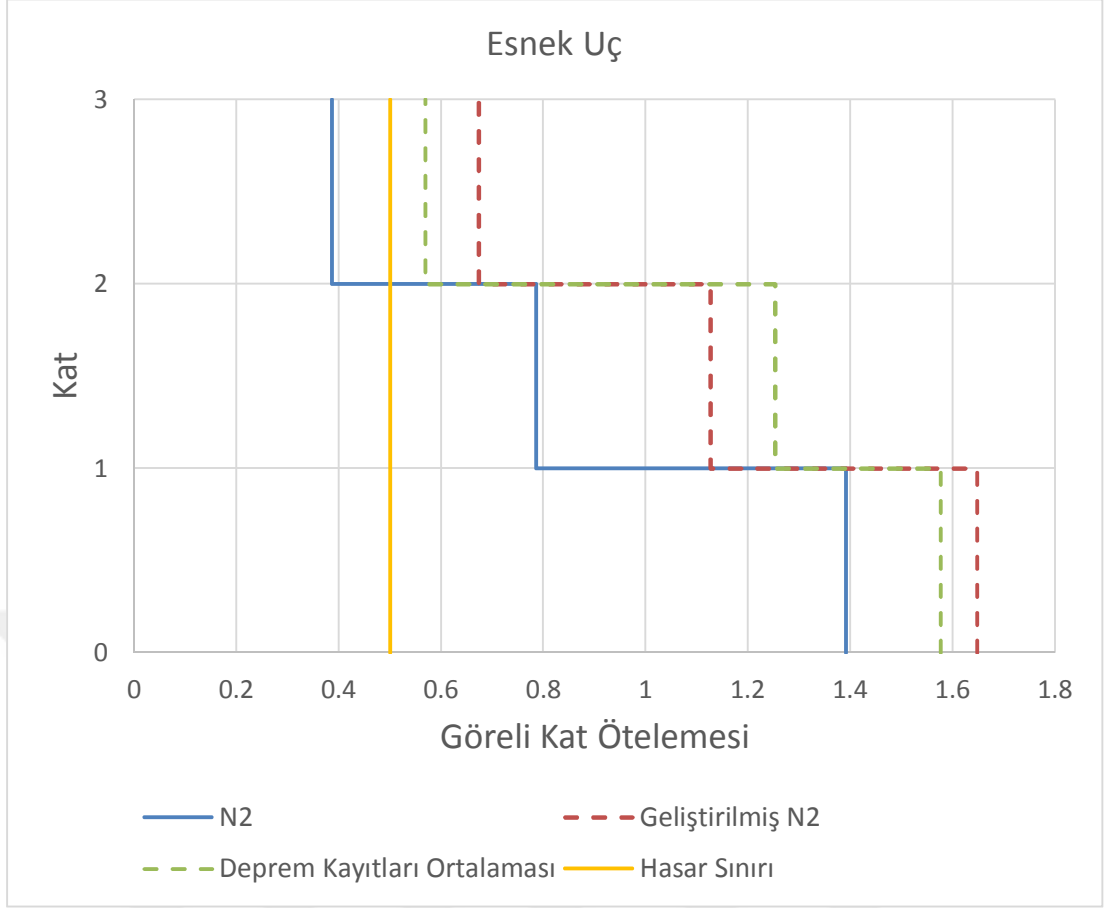


**Şekil 6.2 :** SPEAR yapısı için rijit uçta görel kat ötelemelerinin kıyaslanması (6 nolu kolon).



**Şekil 6.3 :** SPEAR yapısı için kütle merkezinde görel kat ötelemelerinin kıyaslanması (3 nolu kolon).





**Şekil 6.4 :** SPEAR yapısı için esnek uçta görel kat ötelemelerinin kıyaslanması (1 nolu kolon).

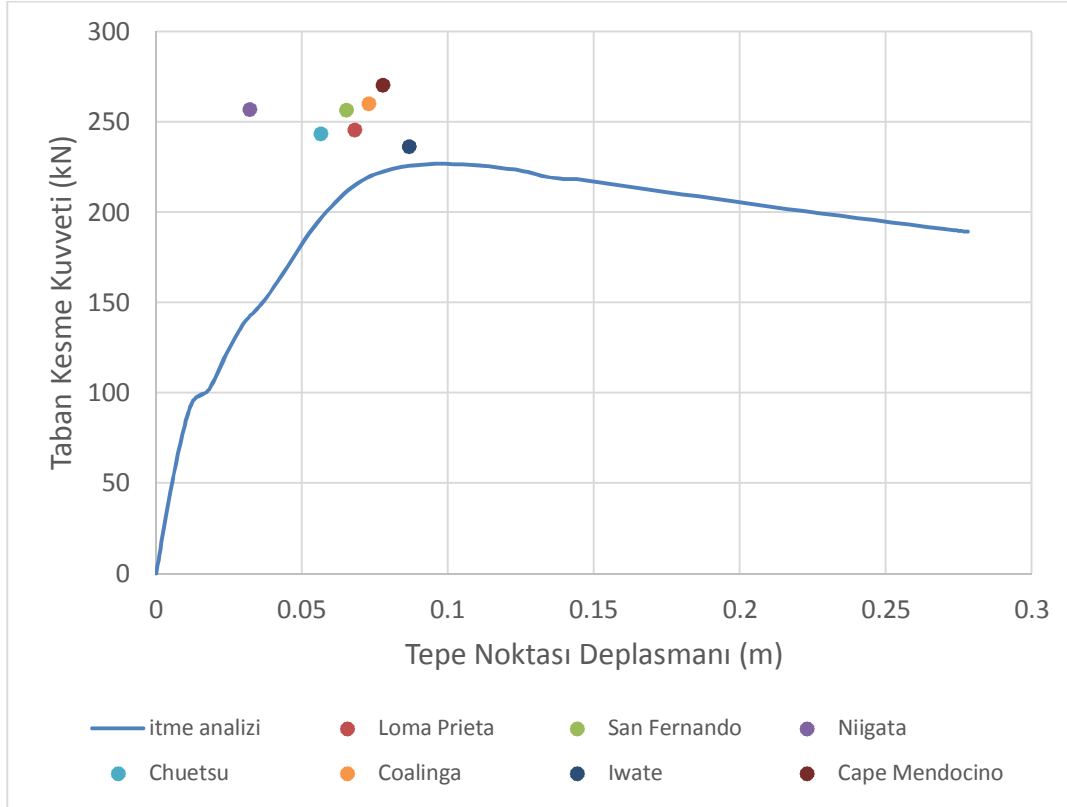
Şekil 6.2 incelendiğinde geliştirilmiş N2 metodu sonucunun N2 metodunun basit haline göre rijit uçta en üst ve orta katlarda ZTA ortalamasına göre daha yakın sonuçlar verdiği görülmektedir.

Şekil 6.3 incelendiğinde ise geliştirilmiş N2 metodu sonucunun N2 metodunun basit haline göre kütle merkezinde en üst ve orta katlarda ZTA ortalamasına göre daha yakın sonuçlar verdiği hatta en üst katta neredeyse ZTA ortalamasıyla çakıştığı görülmektedir.

Şekil 6.4 incelendiğinde ise geliştirilmiş N2 metodu sonucunun N2 metodunun basit haline göre esnek uçta tüm katlarda ZTA ortalamasına göre daha yakın sonuçlar verdiği gözlemlenmekte olup ZTA ortalamasına göre ilk ve son katlarda daha güvenli tarafta kaldığı ortaya çıkmaktadır.

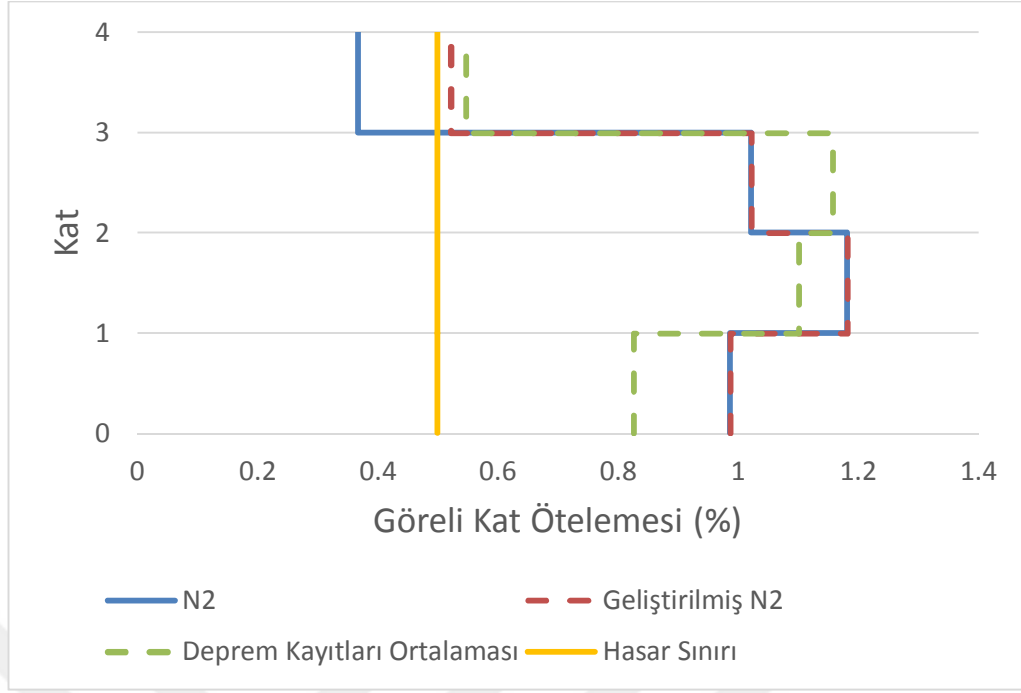
## 6.2 ICON Çerçevesi İçin Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması

ICON çerçevesinde elde edilen taban kesme noktası-tepe noktası yer değiştirme grafiği Şekil 6.5’de; görelî kat ötelemelerinin N2, geliştirilmiş N2 meodları ve seçilen deprem kayıtları için rijit uçta, esnek uçta, ve kütle merkezinde karşılaştırılması; +X doğrultusu için Şekil 6.6’da verilmiştir.



**Şekil 6.5 :** ICON çerçevesi için taban kesme kuvveti tepe noktası yer değiştirme grafiği.

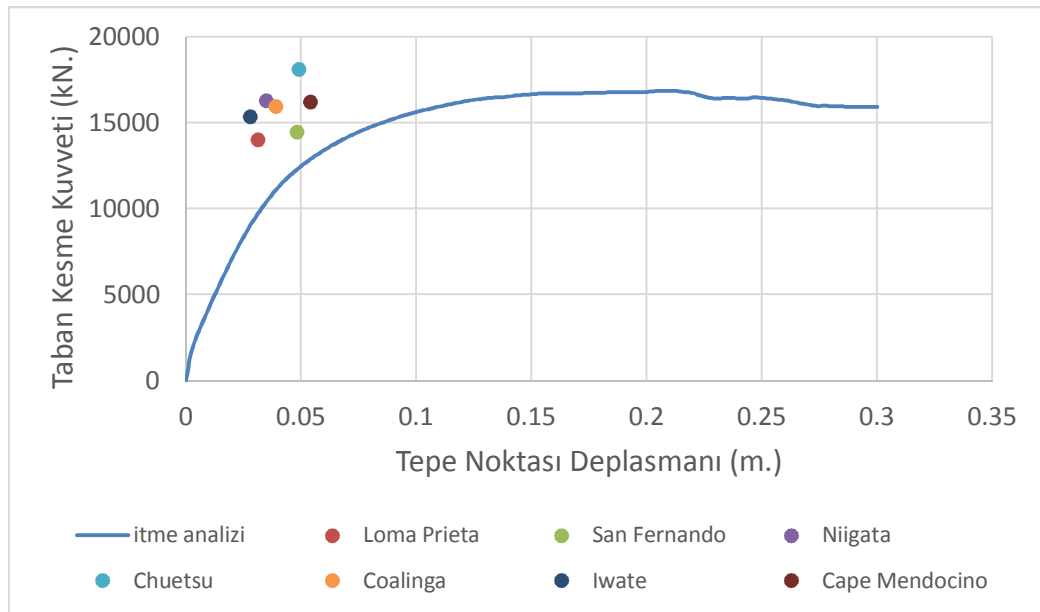
ICON çerçevesi 2 boyutlu olduğundan planda herhangi bir karşılaştırma yapılamamıştır. Şekil 6.6 incelendiğinde geliştirilmiş N2 metodunun, N2 metodu ile ilk üç katta aynı sonuçları verdiği görülmüştür. En üst kat olan dördüncü katta ise geliştirilmiş N2 metodunun, N2 metoduna göre ZTA ortalamasına daha yakın sonuç verdiği görülmüştür. Bu çerçevenin düzenli bir çerçeve olduğu göz önüne alınırsa N2 metodunun düzenli yapılarda yeterli sonuçlar verdiği anlaşılmaktadır.



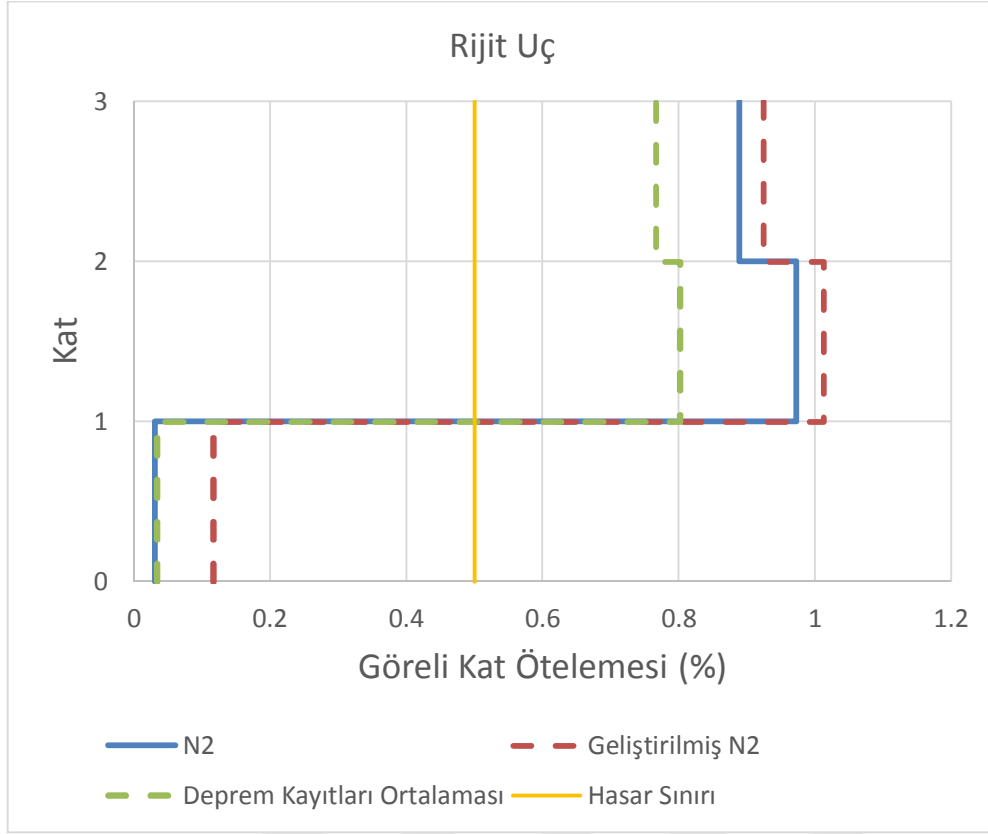
Şekil 6.6 : ICON çerçevesi için görelî kat ötelemelerinin kıyaslanması.

### 6.3 Okul Binası İçin Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması

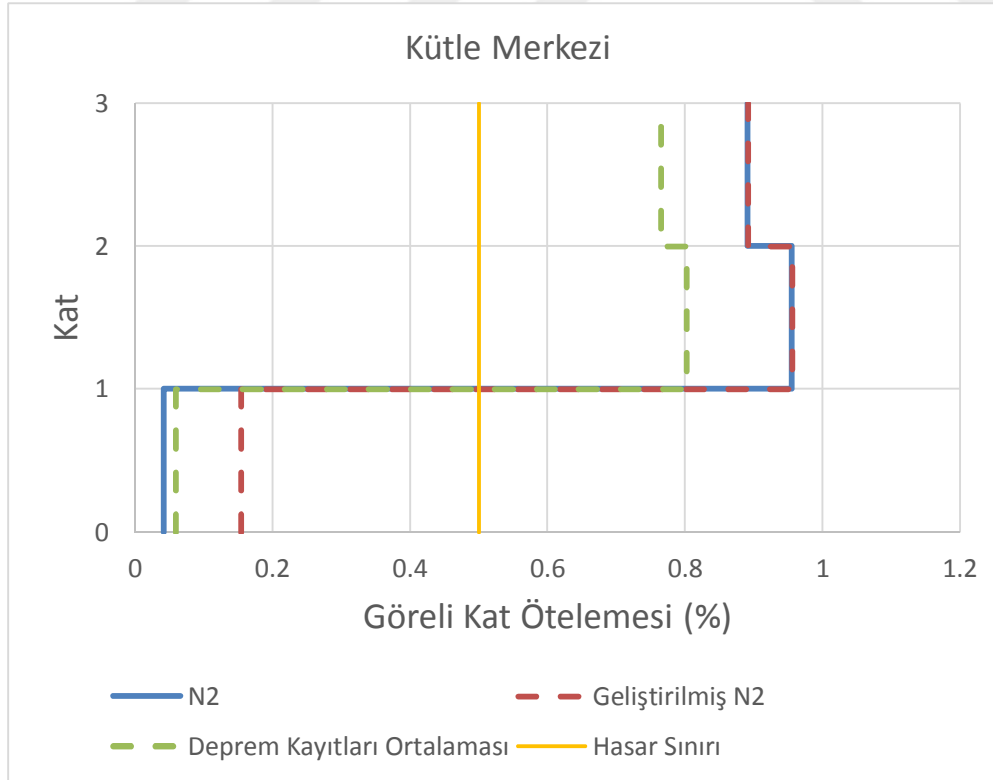
Okul binasında elde edilen taban kesme noktası-tepe noktası yer değıştirme grafiği Şekil 6.7'de; görelî kat ötelemelerinin N2, geliştirilmiş N2 metotları ve seçilen deprem kayıtları için rijit uçta, esnek uçta, ve kütle merkezinde karşılaştırılması; -X doğrultusu için 1 ve 2 akslarında Şekil 6.8-6.10'da verilmiştir.



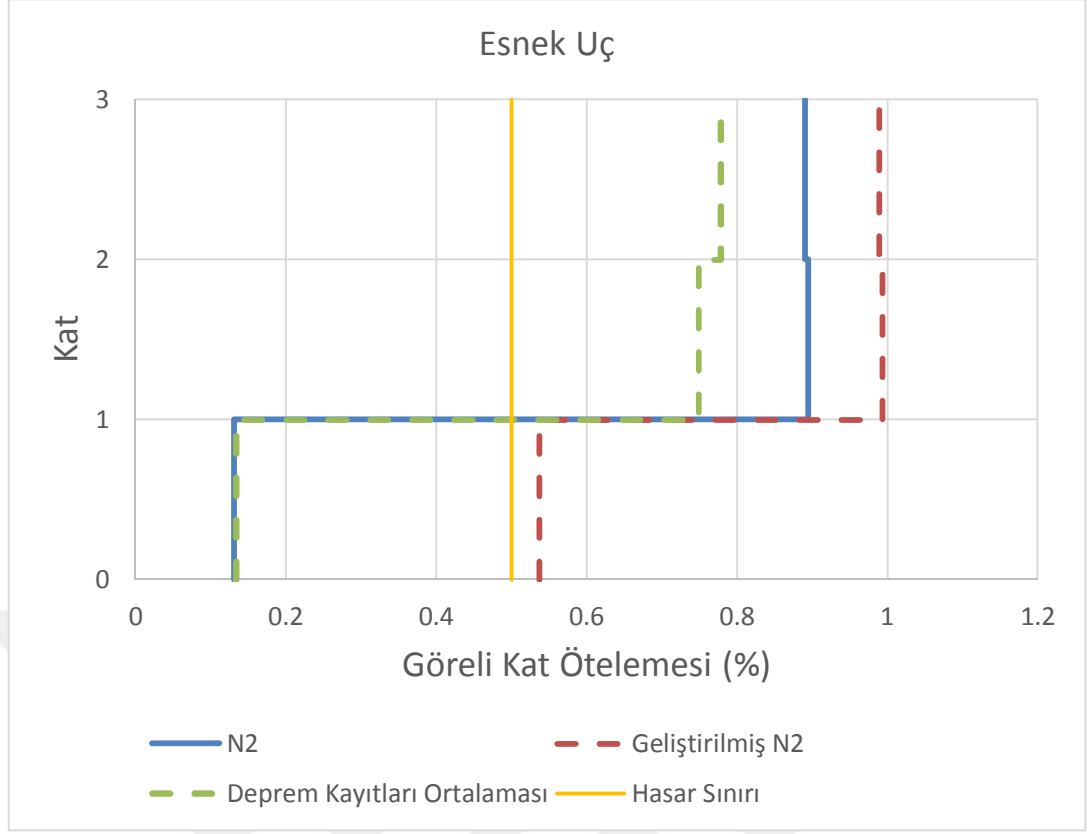
Şekil 6.7 : Okul binası için taban kesme kuvveti tepe noktası yer değıştirme grafiği.



**Şekil 6.8** : Okul binası için görelî kat ötelemelerinin rijit uçta kıyaslanması (P30 perdesi).



**Şekil 6.9** : Okul binası için görelî kat ötelemelerinin kütle merkezinde kıyaslanması (S27 kolonu).

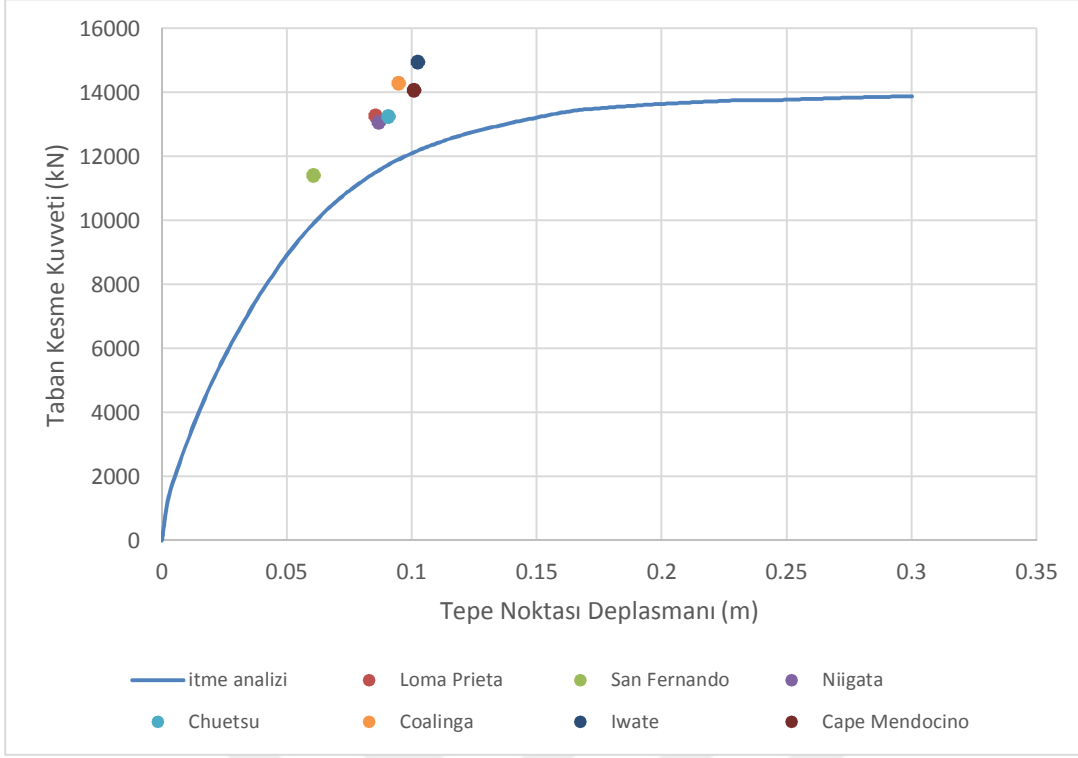


**Şekil 6.10 :** Okul binası için görel kat ötelemelerinin esnek uçta kıyaslanması (P29 perdesi).

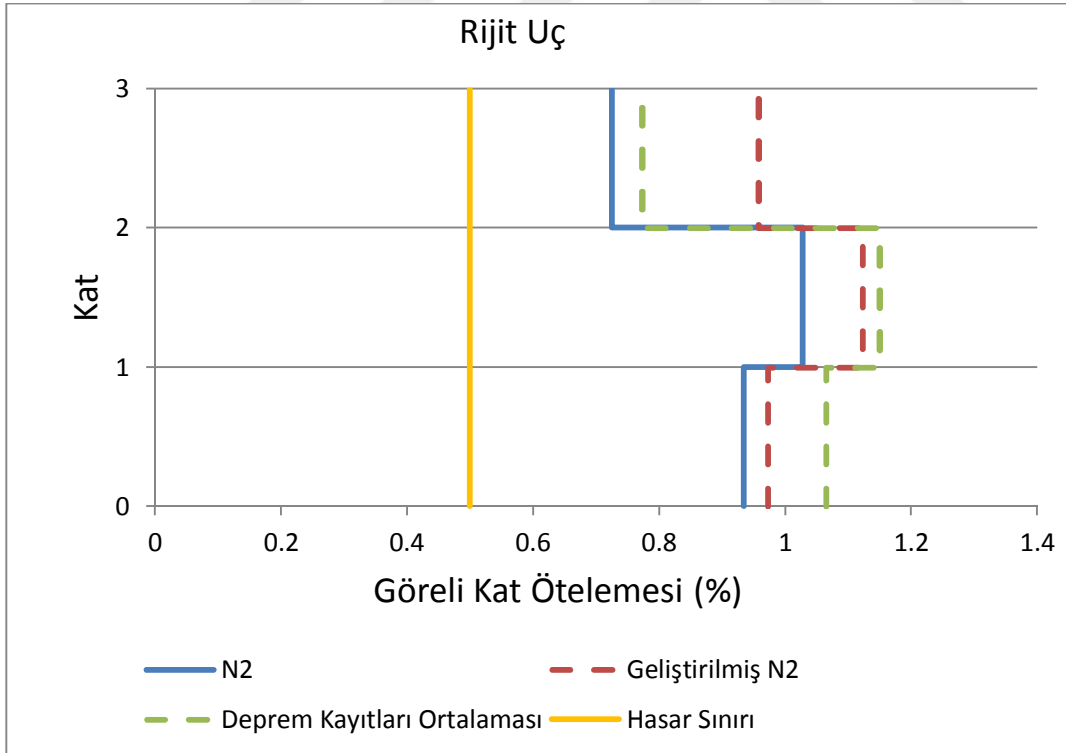
Şekil 6.8-6.10 incelendiğinde geliştirilmiş N2 ve N2 metodlarının rijit uçta, kütle merkezinde ve esnek uçta ZTA ortalamasına bodrum katlar hariç çok uzak kaldığı görülmektedir. Hatta geliştirilmiş N2 metodunun beklenenin aksine N2 metodundan ZTA ortalamasına göre daha uzak sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Bunun sebebinin bodrum kat perdeleri olduğu düşünüldüğünden bir sonraki alt bölümde bodrum kat perdeleri kaldırılmış ve N2, geliştirilmiş N2 ve ZTA prosedürleri yenilenmiştir.

### 6.3.1 Okul binasının bodrum kat perdeleri olmayan halinin incelenmesi

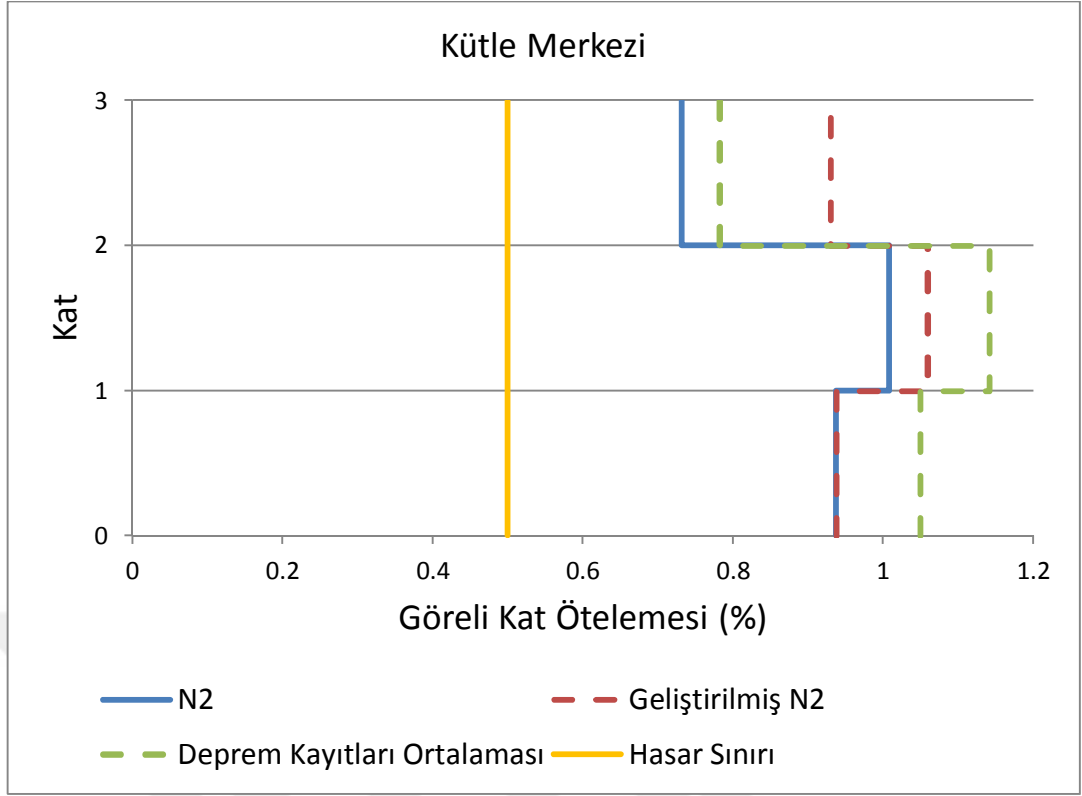
Yapıda bulunan ve Şekil 4.18’de yerleri belirtilen bodrum kat perdeleri yapı modellerinden çıkartılmış ve özdeğer analizi, N2 metodu kullanılarak yapılan itme analizi, geliştirilmiş N2 metodu ve zaman tanım alanında yapılan analizler yapının yeni haline uygun bir şekilde tekrarlanarak Şekil 6.11-Şekil 6.14’de verilen sonuçlar bulunmuştur.



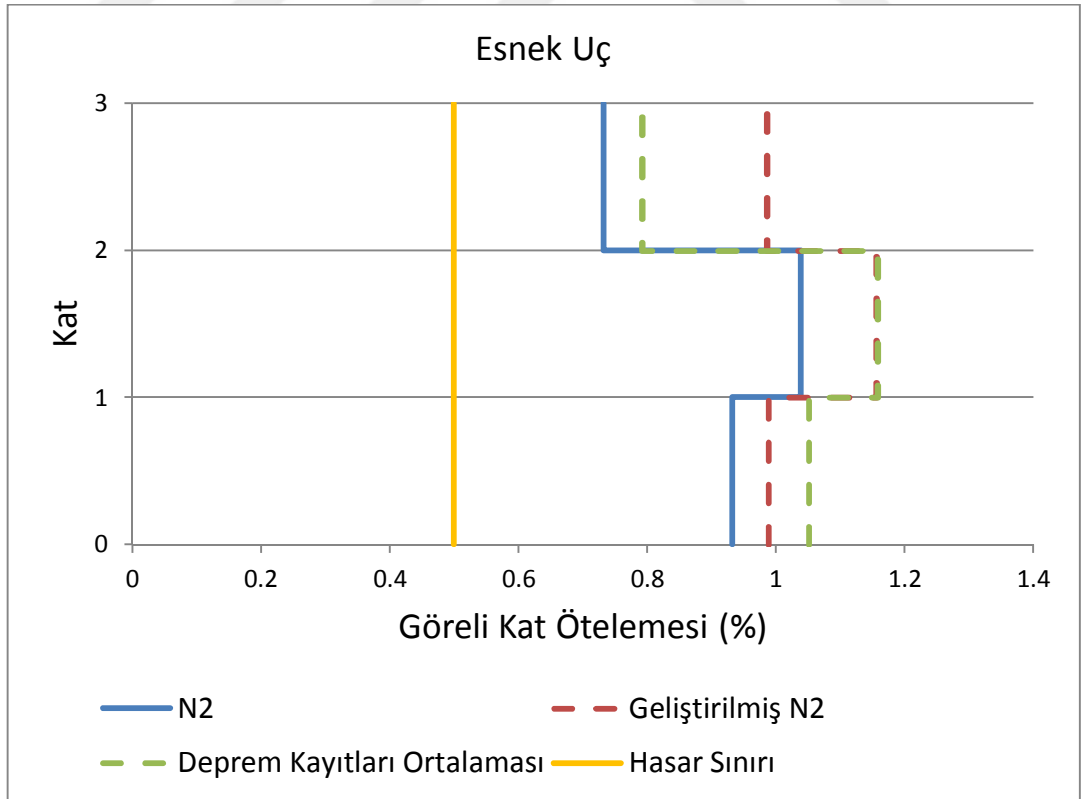
Şekil 6.11 : Okul binasının bodrum kat perdeleri olmayan hali için taban kesme kuvveti tepe noktası yer değiştirme grafiği.



Şekil 6.12 : Okul binasının bodrum kat perdeleri olmayan hali için görece kat ötelemelerinin rijit uçta (P30 perdesi) karşılaştırılması.



**Şekil 6.13 :** Okul binasının bodrum kat perdeleri olmayan hali için görel kat ötelemelerinin kütle merkezinde (S27 kolonu) karşılaştırılması.



**Şekil 6.14 :** Okul binasının bodrum kat perdeleri olmayan hali için görel kat ötelemelerinin esnek uçta (P29 perdesi) karşılaştırılması.

Görüldüğü üzere N2 ve geliştirilmiş N2 metotları bodrum katları rijit perdelerle çevrili yapılarda doğru sonuç vermemektedir.

Bundan dolayı geliştirilmiş N2 metodundaki katsayıları baz alan bodrum kat rijitliği olan yapılar için yeni bir N2 yaklaşımı bir alt bölümde önerilmiştir.

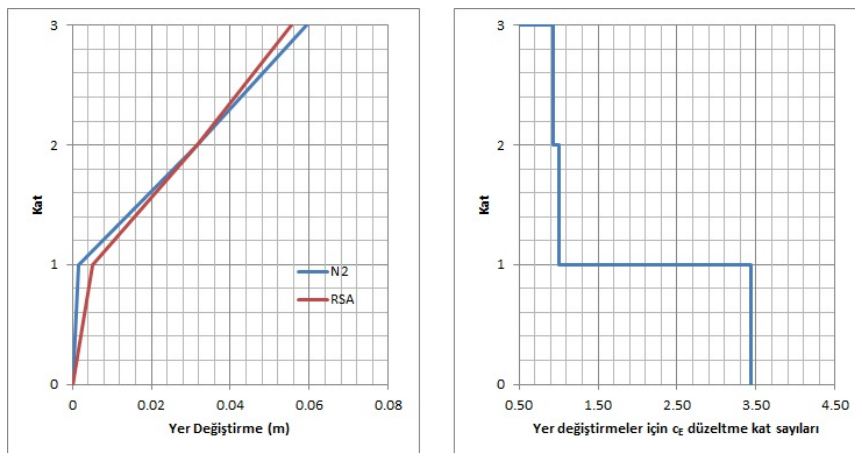
#### 6.4 Geliştirilmiş N2 Metodu Baz Alan Yöntem Önerisi

Bodrum katları rijit perdelerle çevrili yapılarda geliştirilmiş N2 yöntemini baz alan yeni yaklaşım önerisi bu bölümde açıklanmıştır. Bu öneri, geliştirilmiş N2 metodunda en üst kattaki yer değiştirmeler esas alınarak bulunan normalizasyon katsayısının, yapı yüksekliğinin ortasına gelen katta bulunan yer değiştirmeler esas alınarak hesaplanmasını ve bulunan düzeltme katsayılarının birden küçük çıkması durumunda bire eşit olması yerine bulunan değer aynen kullanılmasına dayalıdır. Önerilen bu metodun ispatı ve kalibrasyonu için daha çok çalışma yapılması, özellikle binadaki kat adedine bağlı olarak normalizasyon kat sayısının hesaplanacağı katın seçiminin irdelenmesi gerekmektedir.

Bu amaçla bulunan yeni normalizasyon katsayısı;

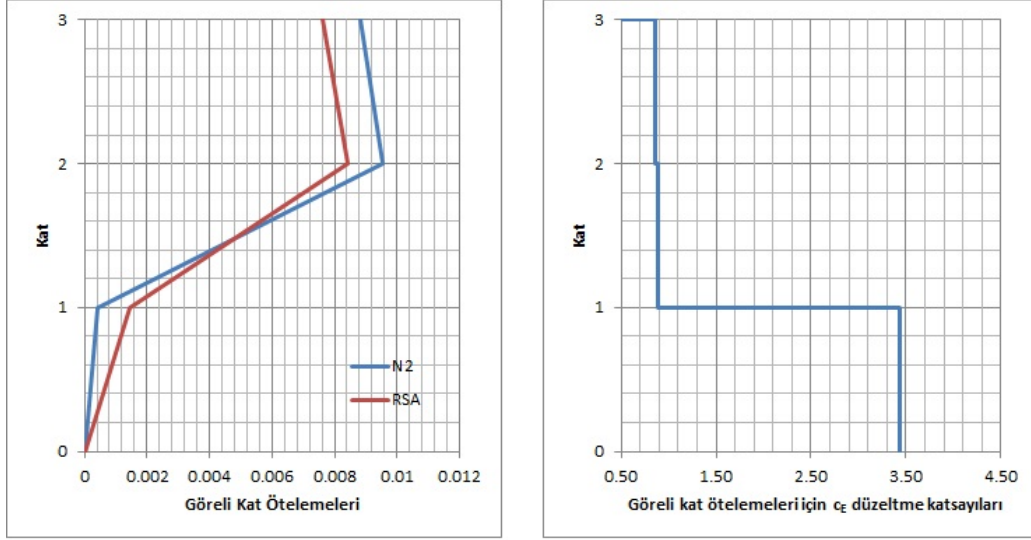
$$C_{NORM,x} = \frac{0,032}{0,0126} = 2,5$$

Olmakta ve yeni sonuçlar Şekil 6.15-6.17'de verilmektedir.

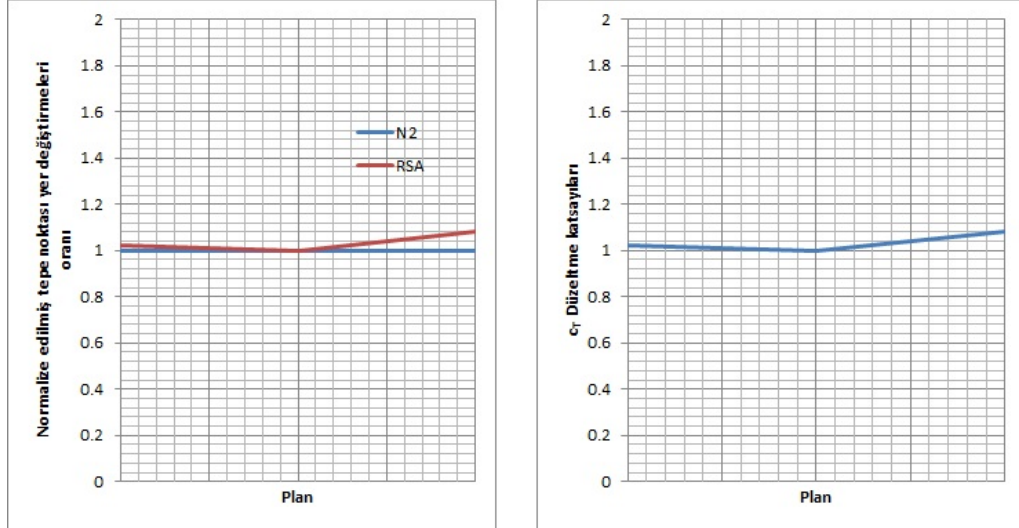


Şekil 6.15 : Önerilen N2 metodu için düşeydeki yer değiştirmelerin karşılaştırılması ve düzeltme katsayıları.





**Şekil 6.16 :** Önerilen N2 metodu için düşeydeki görel kat ötelemelerinin karşılaştırılması ve düzeltme katsayıları.



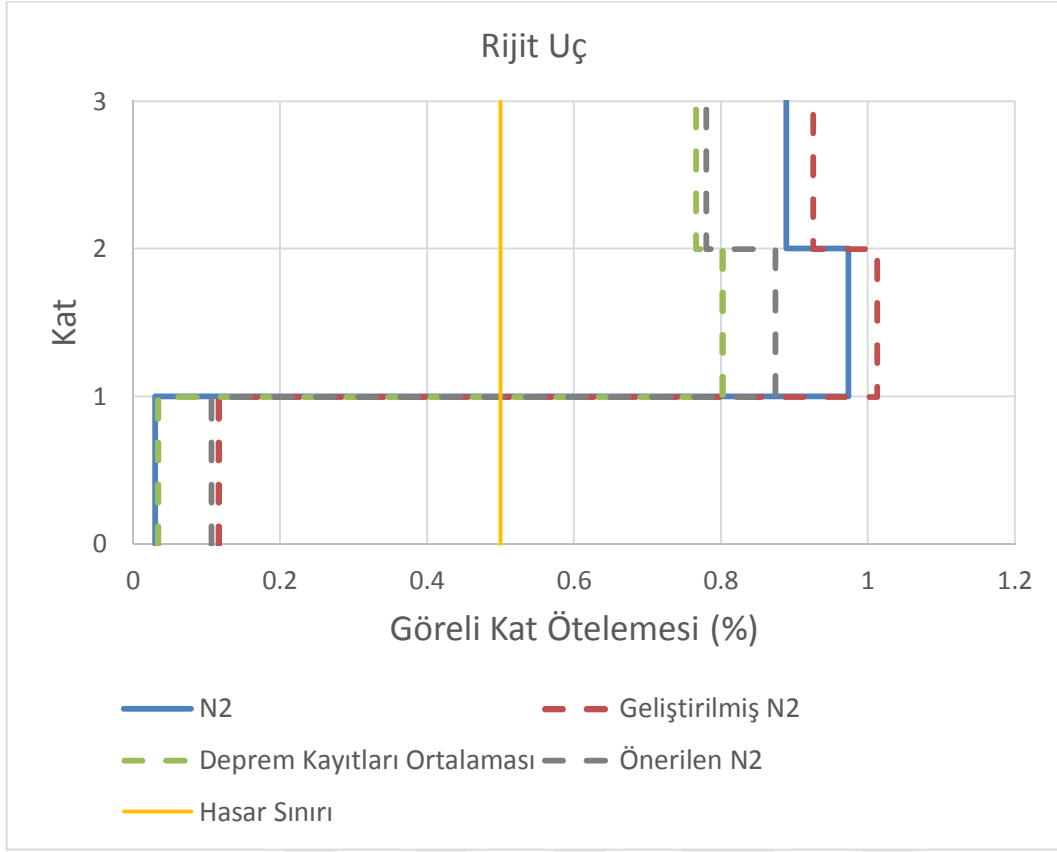
**Şekil 6.17 :** Önerilen N2 metodu için plandaki düzensizlik katsayısı ( $C_T$ ).

Elde edilen yeni düzeltme katsayıları aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

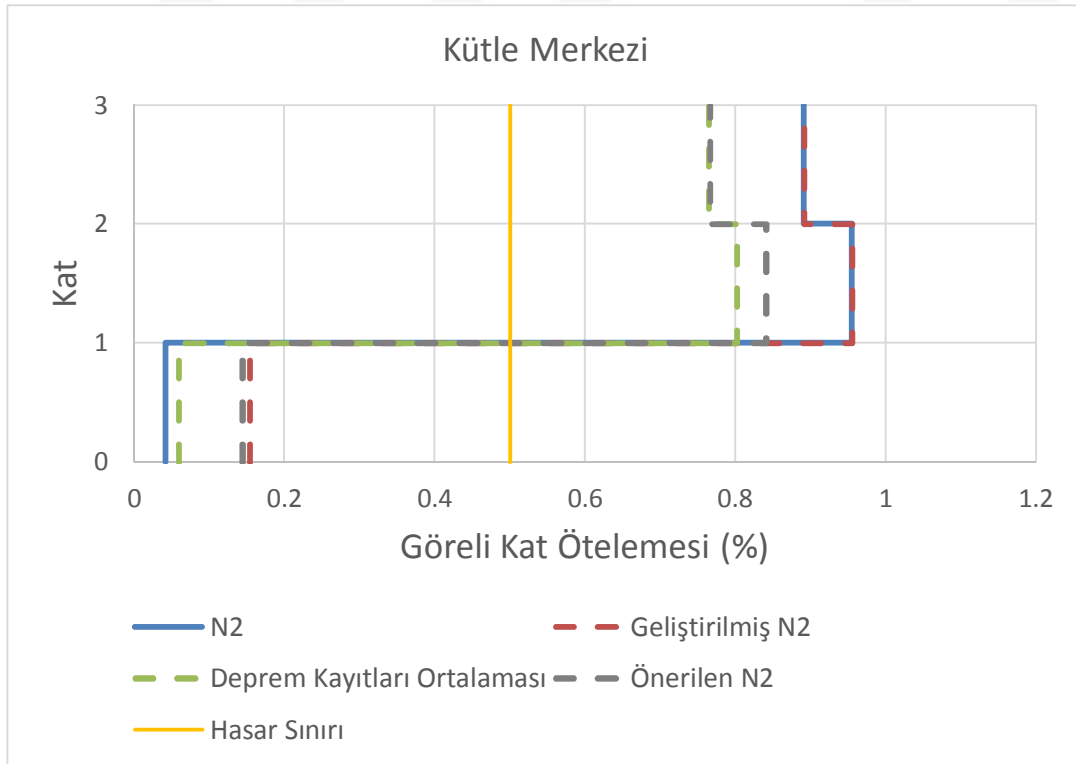
**Çizelge 6.1 :** Okul binasında X yönü için önerilen yeni katsayılar.

$C_E$		$C_T$		
Kat No	Yer değiştirme	Görel kat ötelemesi	Kolon No	Görel kat ötelemesi
1	3,43	3,43	P30	1,02
2	1,00	0,88	S27	1,00
3	0,94	0,86	P29	1,08

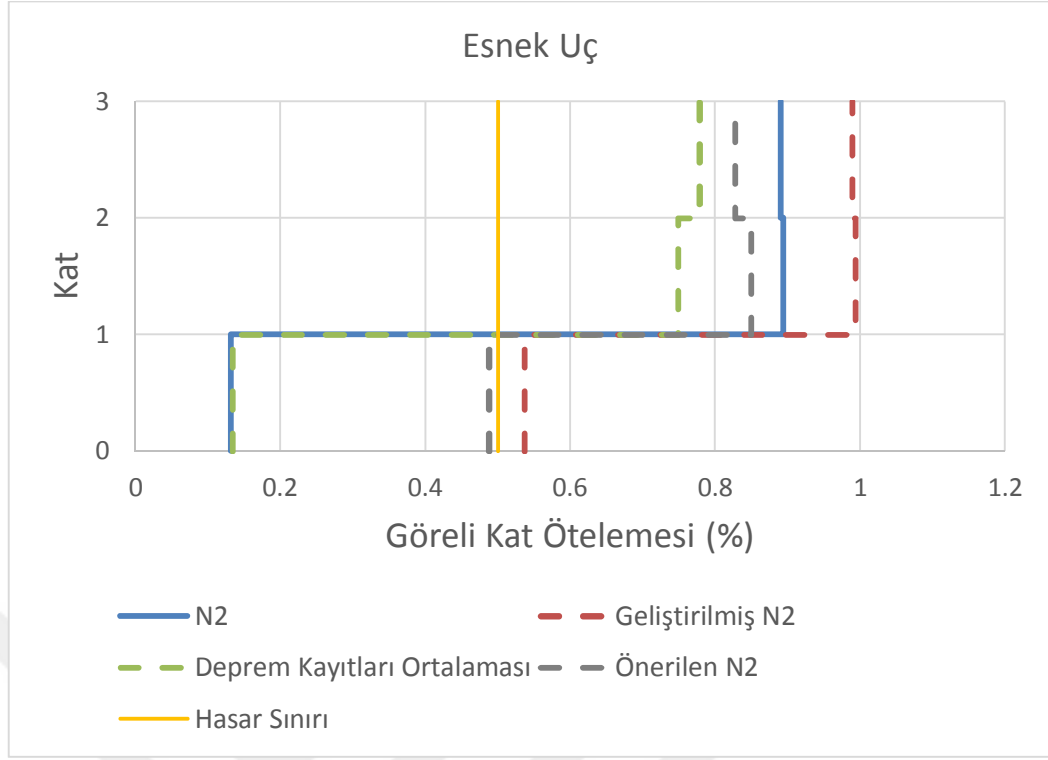
Bu katsayılarla oluşturulan önerilen N2 yaklaşımı, geliştirilmiş N2, N2 ve ZTA sonuçlarıyla 6.18-6.20'de kıyaslanmıştır.



**Şekil 6.18 :** Okul binasının görelî kat ötelemelerinin rijit uçta (P30 perdesi) karşılaştırılması.



**Şekil 6.19 :** Okul binasının görelî kat ötelemelerinin kütle merkezinde (S27 kolonu) karşılaştırılması.

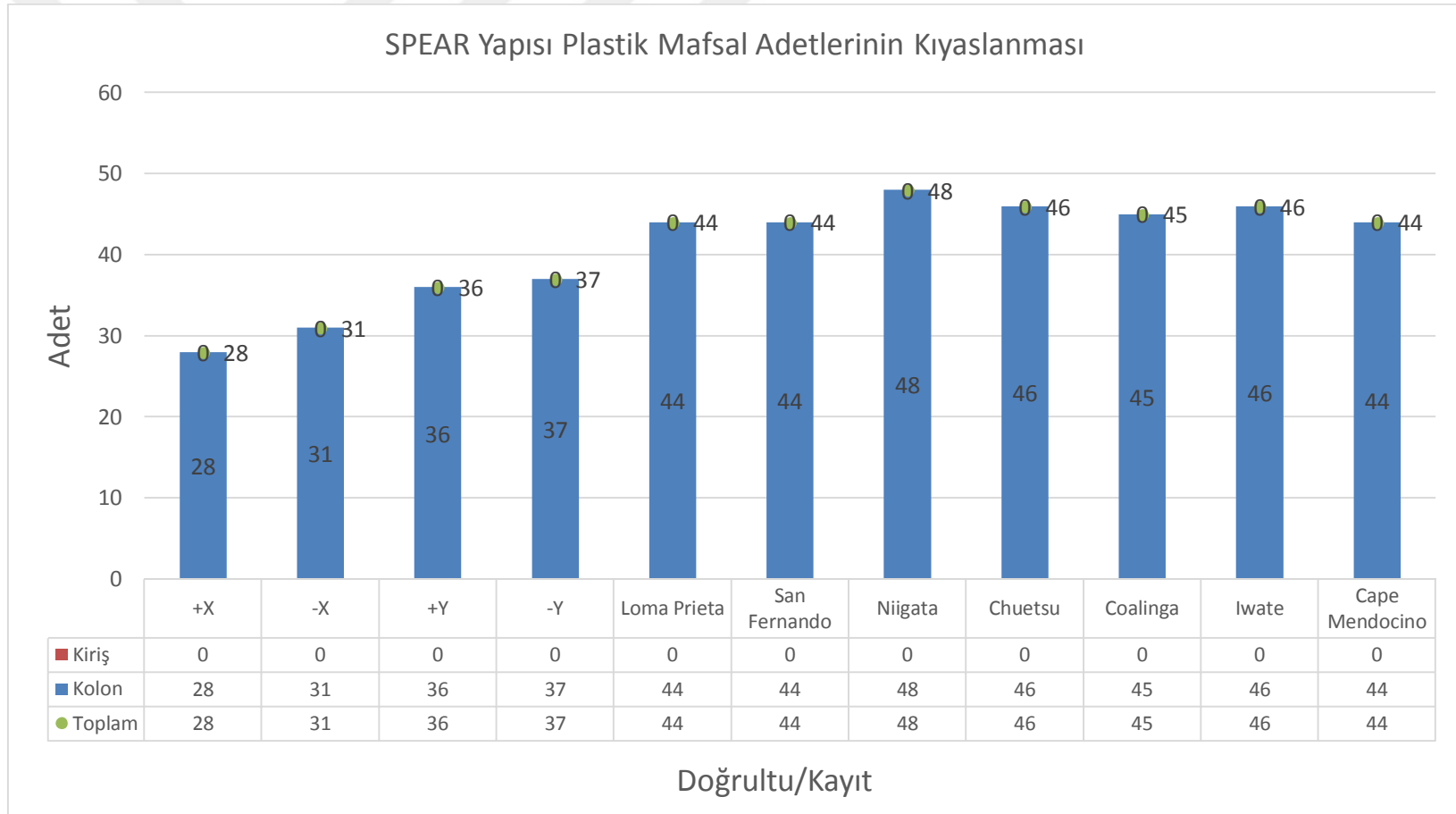


**Şekil 6.20 :** Okul binasının görelî kat ötelemelerinin esnek uçta (P29 perdesi) karşılaştırılması.

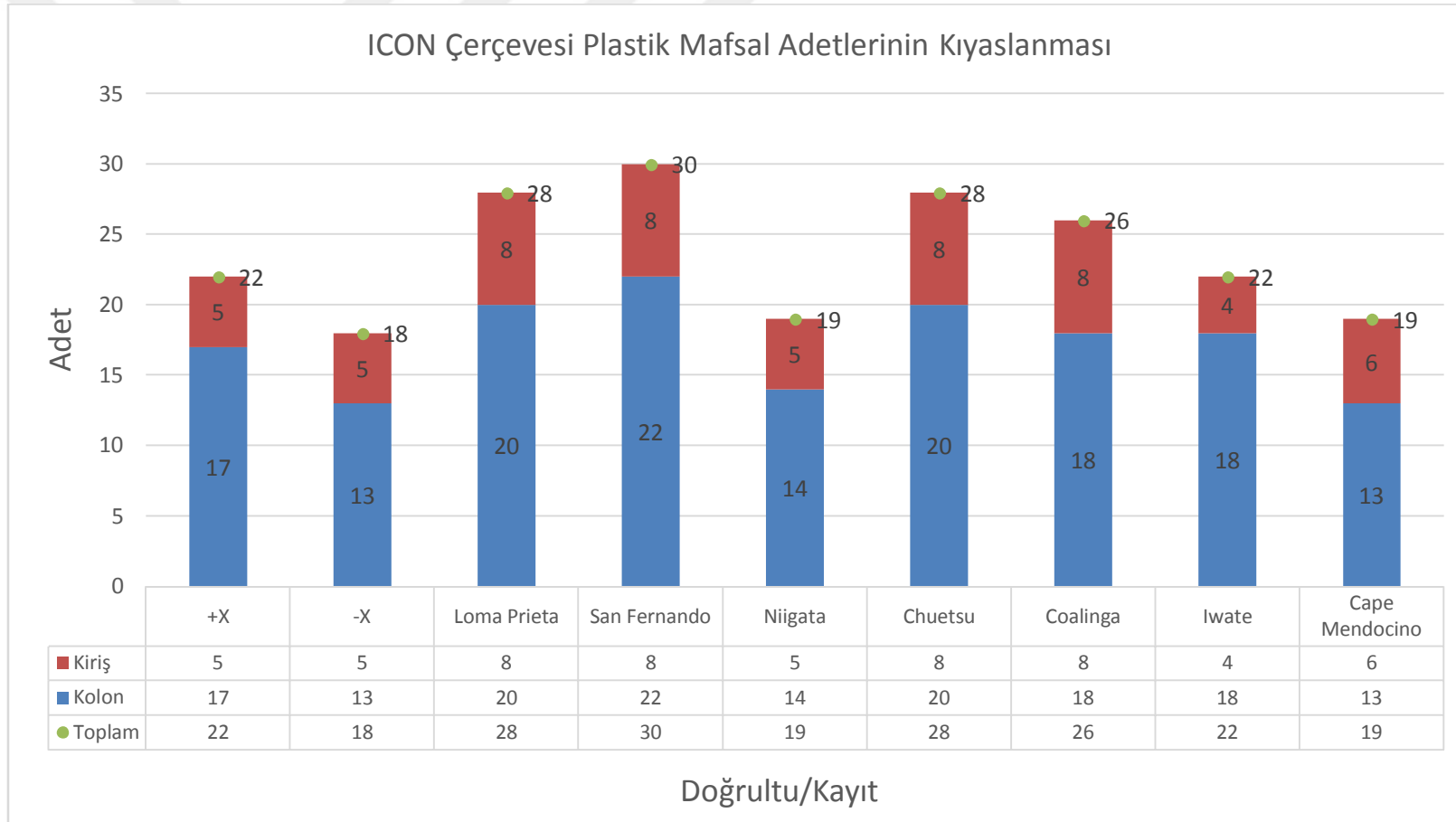
### 6.5 Plastik Mafsallar

SPEAR, ICON ve okul binası için yapılan N2 metoduna dayalı itme analizi ve zaman tanım alanında analiz sonuçları ortaya çıkan plastik mafsallar bu bölümde karşılaştırılmıştır. Şekil 6.21-6.23'de sırasıyla SPEAR, ICON ve okul binasına ait plastik mafsalların karşılaştırılması görülmektedir.

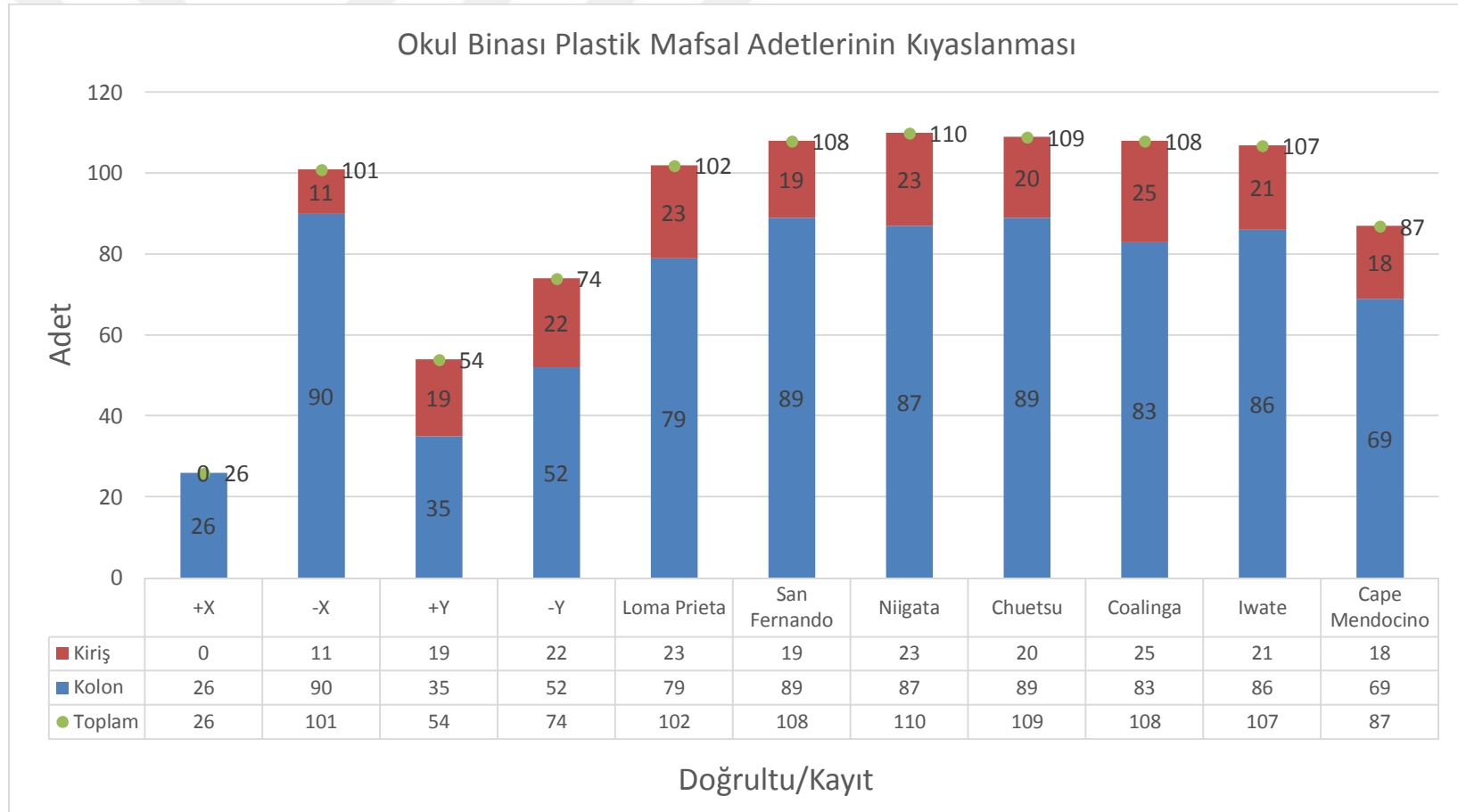
Şekil 6.21 incelendiğinde SPEAR yapısında oluşan plastik mafsalların tümünün kolonlarda oluştuğu görülmektedir. Şekil 6.22 incelendiğinde ise ICON çerçevesinde oluşan plastik mafsalların çoğunun kolonlarda oluştuğu gözlemlenmiştir. Bunun esas sebebi bölüm 4 'de belirtildiği gibi bu test modellerinin deprem dayanımından yoksun bir şekilde sadece düşey yükler için tasarlanmış olmasıdır ve bu tip yapılarda kirişler kolonlara nazaran daha güçlüdür. Deprem kayıtları altında plastik mafsallara sayısının yakın çıkmasının sebebi ise, seçilen kayıtların frekans tanım alanında Eurocode 8'de yer alan elastik tepki spektrumuna uygun olarak ve 0,2 g maksimum yer ivmesi baz alınarak frekans tanım alanında ölçeklendirilmesidir.



**Şekil 6.21** : SPEAR için plastik mafsal sayılarının karşılaştırılması.



**Şekil 6.22** : ICON için plastik mafsal sayılarının karşılaştırılması.



**Şekil 6.23** : Okul binası için plastik mafsal sayılarının karşılaştırılması.

Şekil 6.23 incelendiğinde okul binasında oluşan plastik mafsalların büyük bölümünde kolonlarda oluştuğu ancak kolonlarda oluşan plastik mafsal oranının göreceli olarak SPEAR'a nazaran azaldığı ICON'a göre arttığı görülmektedir. Deprem kayıtları altında plastik mafsal sayısının yakın çıkmasının sebebi ise yine, seçilen kayıtların frekans tanım alanında Eurocode 8'de yer alan elastik tepki spektrumuna uygun olarak ve 0,4 g maksimum yer ivmesi baz alınarak frekans tanım alanında ölçeklendirilmesidir.







## 7. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında düzensiz yapıların incelenmesi için; N2, geliştirilmiş N2 ve ZTA sonuçları üç farklı yapı üzerinde incelenmiştir. Bu amaçla yapıların düzensizlikleri belirlenmiş, Zeus NL analiz programında yapılar modellenerek statik itme analizine tabi tutulmuş, N2 metoduyla hedef tepe yer değiştirmeleri hesaplanmıştır. Yedi farklı deprem kaydı ICON ve SPEAR binaları için 0,2 g maksimum yer ivmesine göre, okul binası içinse 0,4g maksimum yer ivmesine göre frekans tanım alanında ölçeklendirilerek dinamik zaman tanım alanında analizler gerçekleştirilmiş ve üç yöntemden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

- Eurocode 8’de yer alan toptan göçme sınırı göz önüne alındığında ICON çerçevesi, SPEAR yapısı ve okul binasının statik itme analizi ve zaman tanım alanında yedi farklı yer hareketi kullanılarak yapılan incelemelerinde birçok kayıt altında bu hasar sınırını aştığı gözlemlenmiştir. Yalnızca okul binasının bodrum katı rijit perdelerle çevrili olduğu için bulunan görelî kat ötelemeleri bu değerin altında kalmıştır.
- N2 ve geliştirilmiş N2 metotları düzenli yapılarda yeterli doğrulukta sonuçlar vermektedir.
- Geliştirilmiş N2 metodu planda düzensiz yapılarda örneğin SPEAR yapısında olduğu gibi yeterli yakınsaklıkta sonuçlar vermektedir.
- Düşeyde yer alan düzensizliklerde ise geliştirilmiş N2 metodunun ZTA’ye göre yeterli yakınsaklıkta sonuçlar verdiği yazın tarama bölümünde değinilen çalışmalardan anlaşılmaktadır.
- Ancak bodrum katları rijit betonarme perdelerle çevrili yapılarda N2 ve geliştirilmiş N2 metotlarının yetersiz olduğu ortaya çıkmaktadır.

- Geliştirilmiş N2 metodu düşeyde ve yatayda yer alan düzensizlikleri incelerken bu düzensizliklerden dolayı oluşan burulmalara bağlı etkilerin sonuçlar üzerindeki artışlarını düzeltme katsayıları ile hesaba dahil ederken, azalmaları göz önüne almamaktadır. Halbuki bodrum katları rijit betonarme perdelerle çevrili yapılarda bu durum; normal katların analiz sonucu elde görelî kat ötelemesi gibi değerlerinin zaman tanım alanında yapılan analizlerden elde edilen değerleri fazlasıyla aşmasına neden olmaktadır.
- Bu sebeple geliştirilmiş N2 yöntemi baz alınarak, katların en üst kata göre değilde orta kata göre normalize edilmesine ve de bulunan düzeltme katsayılarının birden küçük olması durumunda bire eşit alınması yerine bulunan değerî doğrudan kullanılmasına dayalı bir yaklaşım önerilmiştir. Bu sayede üst kat sonuçları ZTA sonuçlarına yaklaşmaktadır. Önerilen bu metodun ispatı ve kalibrasyonu için daha çok çalışma yapılması, özellikle binadaki kat adedine bağlı olarak normalizasyon kat sayısının hesaplanacağı katın seçiminin irdelenmesi gerekmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] **ATC-40.** (1996). Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings, *Applied Technology Council*, California, ABD.
- [2] **ASCE-41.** (1996). Seismic rehabilitation of existing buildings, *American society of civil engineers*, ABD.
- [3] **Eurocode-8.** (2004). Design of structures for earthquake for earthquake resistance, Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings. European Standart EN 1998-1, European Committee for Standardization, Brüksel.
- [4] **Adhikari, G. ve Pinho, R.** (2010). *Development and application of nonlinear static procedures for plan-asymmetric buildings*, Research Report Rose, 2010/01, IUSS Press.
- [5] **Barros, R. C., ve Almeida, R.,** (2005). Pushover Analysis of Asymmetric Three Dimensional Building Frames. *Journal of Civil Engineering and Management*. Vol. 11, no. 1, pp. 3-12.
- [6] **Elnashai, A.S. ve Di Sarno, L.** (2008). *Fundamental of earthquake engineering*. Wiley, New York
- [7] **DBYBHY** (2007). Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik, *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı*, Ankara.
- [8] **Celep, Z.** (2017). Deprem mühendisliğine giriş ve depreme dayanıklı yapı tasarımı, Beta Yayınevi, 5.baskı, İstanbul.
- [9] **Köroğlu, M.A.** (b.t.) *TDY 2007 Taşıyıcı Sistem Düzesizlikleri*. Ders Notu. Necmettin Erbakan Üniversitesi, Konya.
- [10] **Jeong, S. H., ve Elnashai, A. S.,** (2004). Analytical Assessment of an Irregular RC Full Scale 3D Test Structure, *Mid-America Earthquake Center Technical Report*, **EEC-9701785**, Urbana, Illinois.
- [11] **Elnashai, A. S., Pinho, R.** (2000). Dynamic Collapse Testing of A Full-Scale Four Storey RC Frame. *ISET Journal of Earthquake Technology*, Paper No. 406, Vol. 37, No. 4, Sf 143-163.
- [12] **SAP2000** (2000). *Structural Analysis Program*, Computers and Structures Inc., Berkeley, California.
- [13] **Zeus NL** (2002). *A System for Inelastic Analysis of Structures*. Mid-America Earthquake Center, University of Illinois at Urbana Champaign
- [14] **Saidii, M. ve M. Sozen.** (1981). Simple Nonlinear Seismic Analysis of R/C Structures. *Journal of the Structural Division, ASCE*, Vol. 107, sf. 937-952.

- [15] **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)
- [16] **Paret, T.F., Sasaki, K.K, Eilbeck, D., ve Freeman, S.A.** (1996). *Approximate inelastic procedures to identify failure mechanisms from higher mode effects*. 11<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering, 966. Acapulco, Meksika.
- [17] **Sasaki, K.K., Freman, S.A., ve Paret, T.F.,** [1998] *Multimode pushover procedure (MMP) – a method to identify the effects of higher modes in pushover analysis*. 6<sup>th</sup> US National Conference on Earthquake Engineering. Seattle, USA.
- [18] **Chopra, A. K. ve Goel, R. K.,** (2001). Capacity-Demand-Diagram Methods Based on Inelastic Design Spectrum, *Earthquake Spectra*, 15, 4.
- [19] **Korkmaz A ve Düzgün M.;** (2007). Doğrusal olmayan yapısal analiz yöntemlerinin değerlendirilmesi, *itüdergisi/d mühendislik* Cilt:6, Sayı:3, 11-23 İstanbul, Türkiye
- [20] **Antoniou, S. ve Pinho, R.** (2004). Advantages and Limitations of Adaptive and Non-adaptive force-based pushover procedures. *Journal of Earthquake Engineering*, Vol.8 No. 4 pp.497-522
- [21] **Antoniou, S. ve Pinho, R.** (2004). Development and verification of a displacement-based adaptive pushover procedure. *Journal of Earthquake Engineering*, Vol. 8, No. 4 pp. 497-522
- [22] **Gupta, B. ve Kunnath, S.** (2000). Adaptive spectra-based pushover procedure for seismic evaluation of structures, Rapor no:132, *John A. Blume Earthquake Engineering Center*, Stanford Üniversitesi, Stanford, ABD.
- [23] **Kalkan, E. ve Kunnath, S.** (2006). Adaptive modal combination procedure for nonlinear static analysis of building structures, *Journal of Structural Engineering*, Vol. 132, No. 11 sf.1721–1731.
- [24] **Montes H., Kwon, O., Aschheim, M.,** (2004). An Energy-Based Formulation For First-And Multiple-Mode Nonlinear Static (Pushover) Analyses, *Journal of Earthquake Engineering*, 8.
- [25] **Kilar, V. ve Fajfar, P.** (1997). “Simple push-over analysis of asymmetric buildings.” *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 26, No. 2 pp. 233–249.
- [26] **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.
- [27] **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.
- [28] **Forootan, F. ve Moghadam, A.S.** (2006). Comparison of 2D and 3D pushover analysis with time history analysis in asymmetric buildigs. 1<sup>st</sup>

European Conference on Earthquake Engineering and Seismology,  
447. Geneva, Switzerland.

- [29] **Lin, J.L. ve Tsai, K.C.** (2007). “Simplified seismic analysis of asymmetric building systems.” *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 36, No. 4 pp. 459–479.
- [30] **Lin, J.L. ve Tsai, K.C.** (2007). “Seismic analysis of two-way asymmetric building systems under bi-directional seismic ground motions.” *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 37, No. 2 pp. 305-328.
- [31] **FEMA 356.** (2000). Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings, *Federal Emergency Management Agency*, Washington, D.C.
- [32] **Park, R.** (1988). Ductility evaluation from laboratory and analytical testing. 9<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering, Tokyo-Kyoto, Japan, Vol VIII, pp 605-616.
- [33] **FEMA 440.** (2005). Improvement of nonlinear static seismic analysis procedures, *Federal Emergency Management Agency*, Washington, D.C.
- [34] **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
- [35] **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
- [36] **Fajfar, P. ve Eeri, M.** (2000). A Nonlinear Analysis Method for Performance Based Seismic Design, *Earthquake Spektra*, Vol:16, No:3, sf:573-592
- [37] **Tomaz, V., Peter, F. ve Matej, F.** (1994). Consistent Inelastic Design Spectra: Strength and Displacement, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 23, 507-521
- [38] **Chopra, A.K. ve 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.
- [39] **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.
- [40] **Kreslin, M. ve 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
- [41] **Fajfar P, Marušić. ve D. Peruš, I.** (2005) The extension of the N2 method to asymmetric buildings. *Journal of Earthquake Engineering* 2005; 9(6):831–854.
- [42] **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

- [43] **Lagaros N.D. ve Frigiadakis M.** (2011). Evaluation of ASCE-41, ATC-40 and N2 Static Pushover methods based on optimally designed buildings., *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol 31, sf:77-90
- [44] **PEER Ground Motion Database**, (1996). NGA-West2 Shallow Crustal Earthquakes in Active Tectonic Regimes <http://ngawest2.berkeley.edu>
- [45] **Kaklamanos J., Eeri S. M., Baise L. G.**, (2011) Boore D.M., Estimating Unknown Input Parameters when Implementing the NGA Ground-Motion Prediction Equations in Engineering Practice, *Earthquake Spectra* DOI: 10.1193/1.3650372
- [46] **SeismoSignal** (2016). SeismoSoft, *Earthquake Engineering Software Solutions*, Versiyon 2016.
- [47] **SeismoMatch** (2016). SeismoSoft, *Earthquake Engineering Software Solutions*, Versiyon 2016.
- [48] **Elnashai, A. S., Papanikolaou, V. ve Lee, D-H.** (2002) “Zeus-NL User Manual”, Mid-America Earthquake Center (MAE) Report
- [49] **Menjivar, M. A. L.** (2003). 3D Pushover of Irregular Reinforced Concrete Buildings. Universita degli Studi di Pavia, Italy
- [50] **Eurocode 2** (2004). Design of Structures for Earthquake Resistance, Part 1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings. European Standard EN 1998-1, European Committee for Standardization, Brussels,
- [51] **Ludovico, M.D.**, (2006). Comparative Assessment Of Seismic Rehabilitation Techniques On The Full Scale Spear Structure, *PhD Thesis*, University Of Naples Federico II
- [52] **Elnashai, A. S., Pantazopoulou S. J. ve Thermou, G. E.** (2007) Design Methodology for Seismic Upgrading of Substandard Reinforced Concrete Structures, *Journal of Earthquake Engineering*, 11:4, 582-606, DOI: 10.1080/13632460601031573.
- [53] **Stratan, A., ve Fajfar, P.**, (2003). Seismic Assessment Of The Spear Test Structure, *IKPIR Laboratory Technical Report*, Ljubljana.
- [54] **Arede, A., Costa, A., Fernandes, C., Rodrigues, H. ve Varum, H.** Seismic Behaviour and Strengthening of Existing Reinforced Concrete Structures
- [55] **Pinto, A., Varum, H. ve Molina, J.** Experimental Assessment and Retrofit of Full-Scale Models of Existing RC Frames, European Laboratory for Structural Assessment, Joint Research Centre, Ispra, Italy, March
- [56] **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.
- [57] **Oyguç, R.** (2016). *Seismic performance of RC school buildings after 2011 Van earthquakes*. *Bull Earthquake Engineering* 14:821-847
- [58] **Yazgan, U. Oyguç, R. Ergüven, E. Celep, Z.** (2016). *Earthq Eng & Eng Vib* (2016) 15: 591-606

- [59] **Oyguç, R. Güley, E.** (2016). *Performance Assesment of Two Aseismically Designed RC School Buildings After the October 23, 2011, Van Turkey Earthquake* American Society of Civil Engineers
- [60] **Oyguç, R. A.** (2013). *Capacity assesment of damaged School Buildings After 2011 Van Earthquake*. Research and Applications in Structural Engineering, Mechanism and Computation. Londra.
- [61] **Fardis, M. N.** (2009). *Seismic Design Assessment and Retrofitting of Concrete Buildings* Springer. Hollanda.





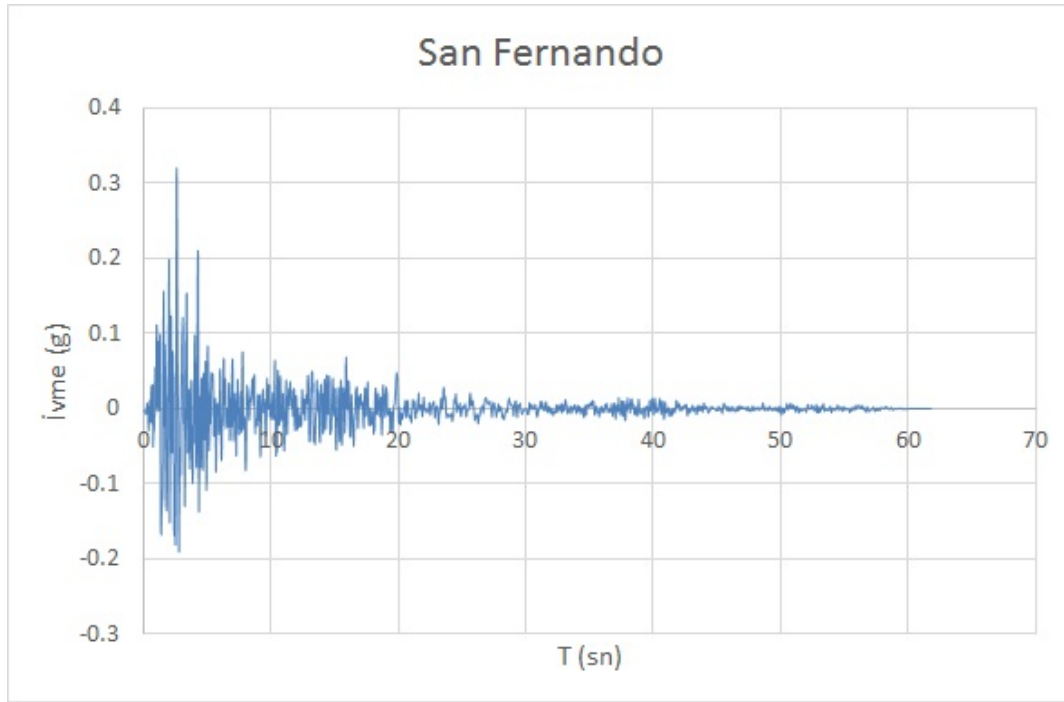


## **EKLER**

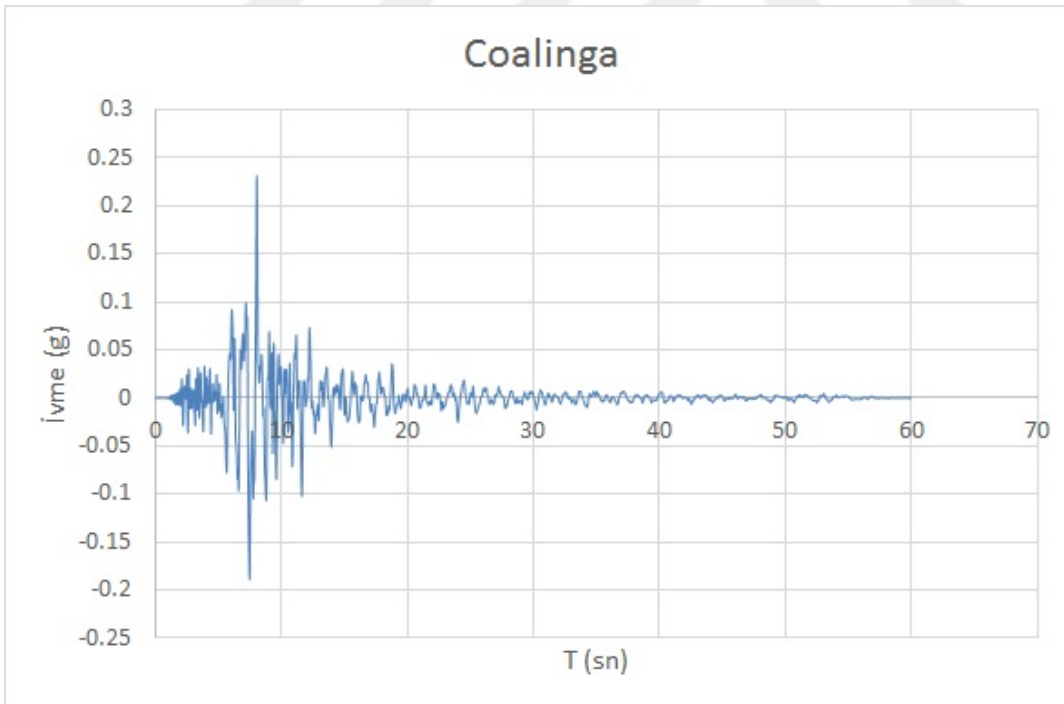
**EK A:** PEER'dan indirilen işlenmemiş deprem kayıtları



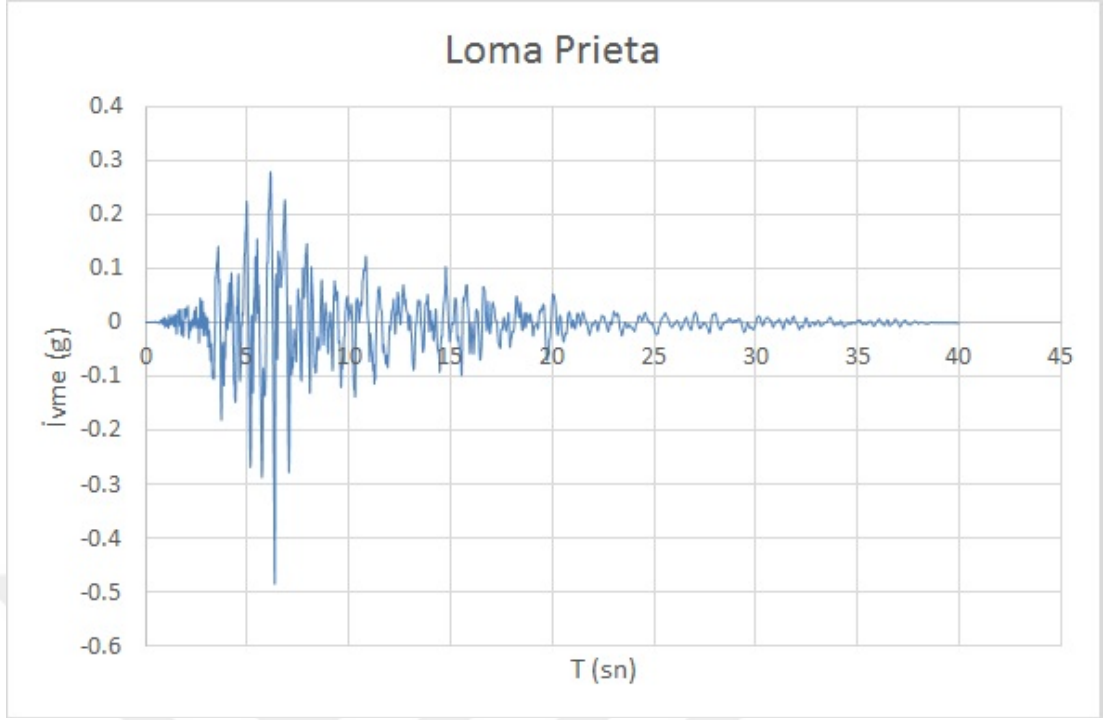
## EK A



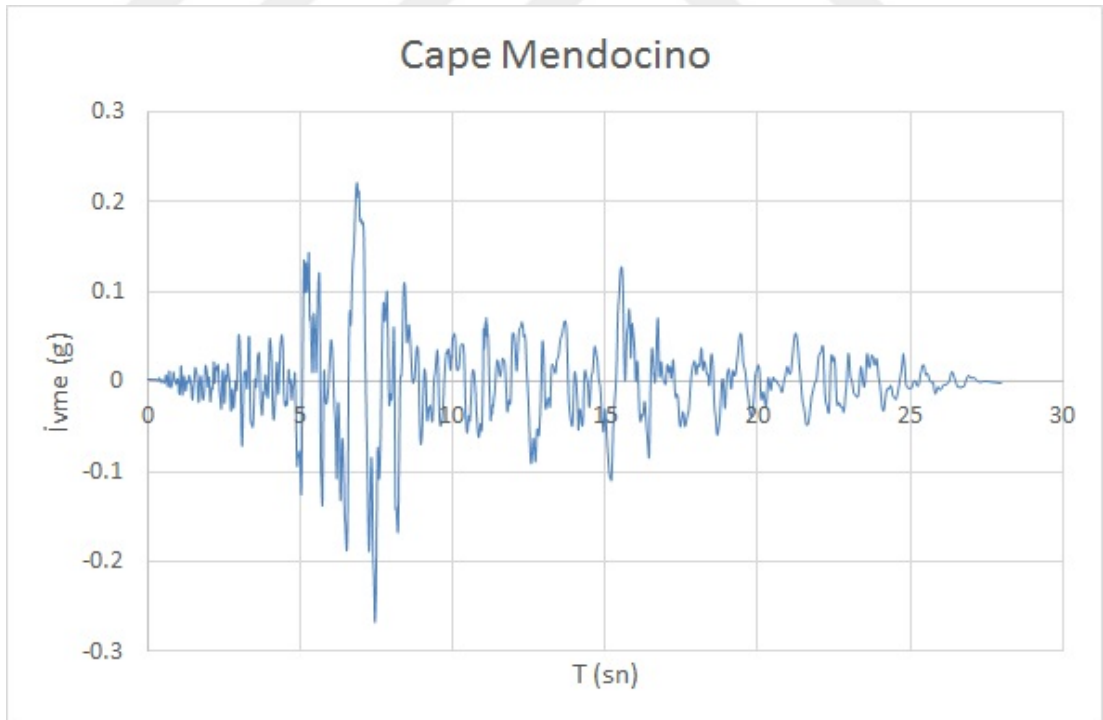
Şekil A.1 : San Fernando kaydı [44].



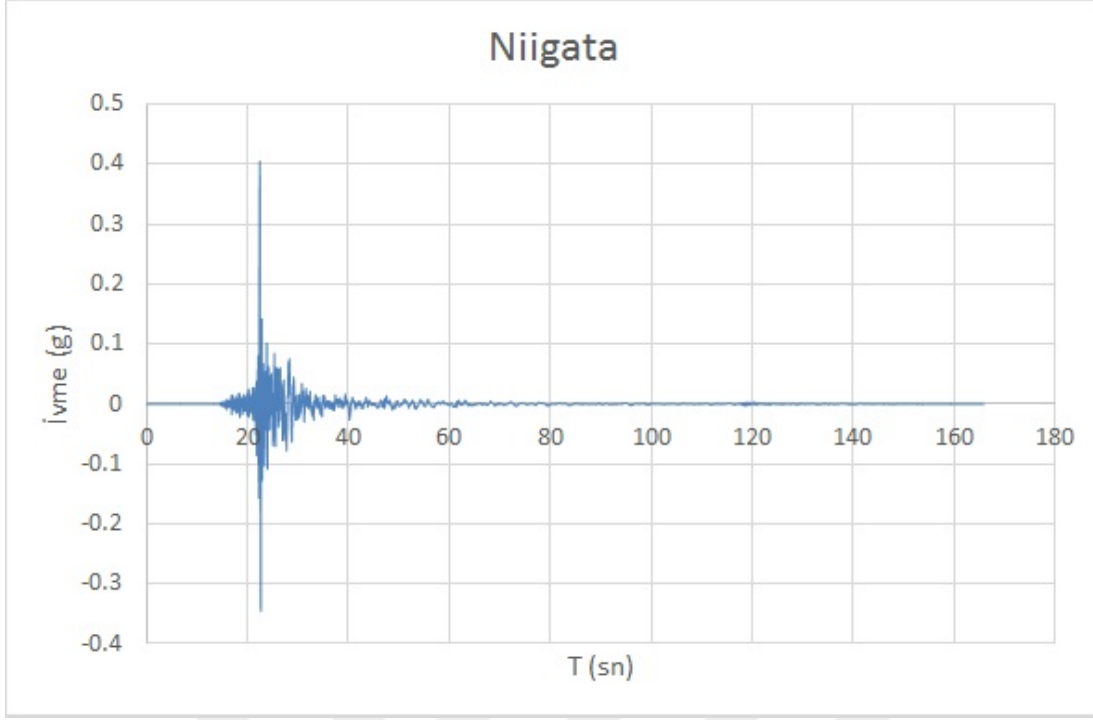
Şekil A.2 : Coalinga kaydı [44].



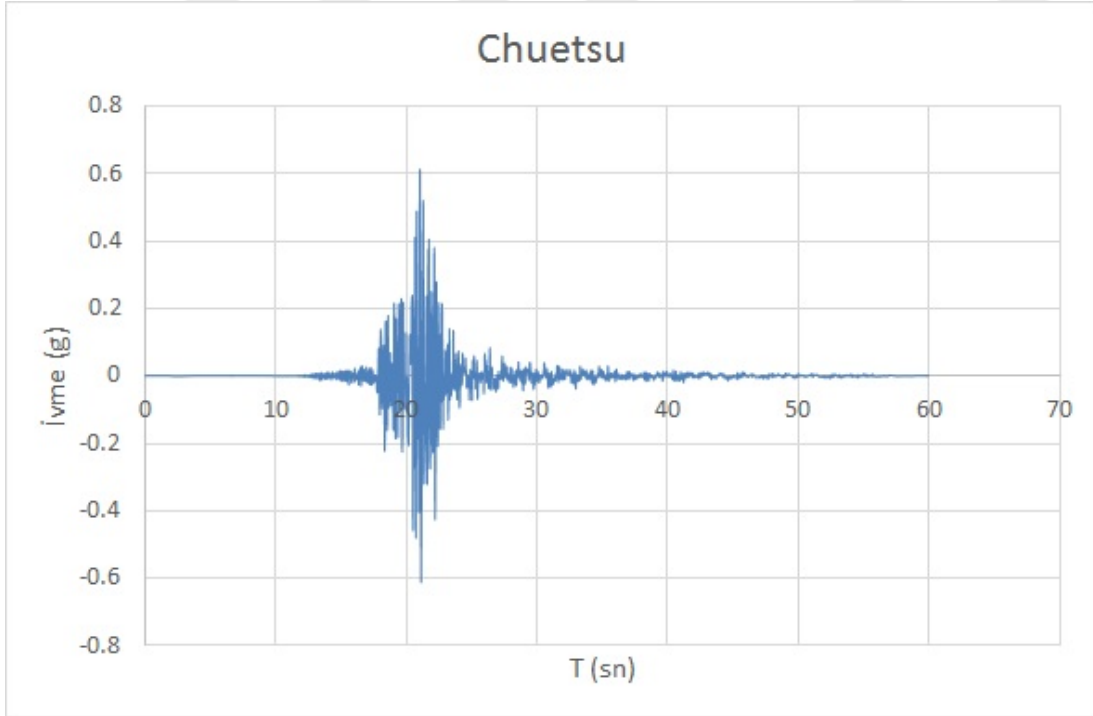
Şekil A.3 : Loma Prieta kaydı [44].



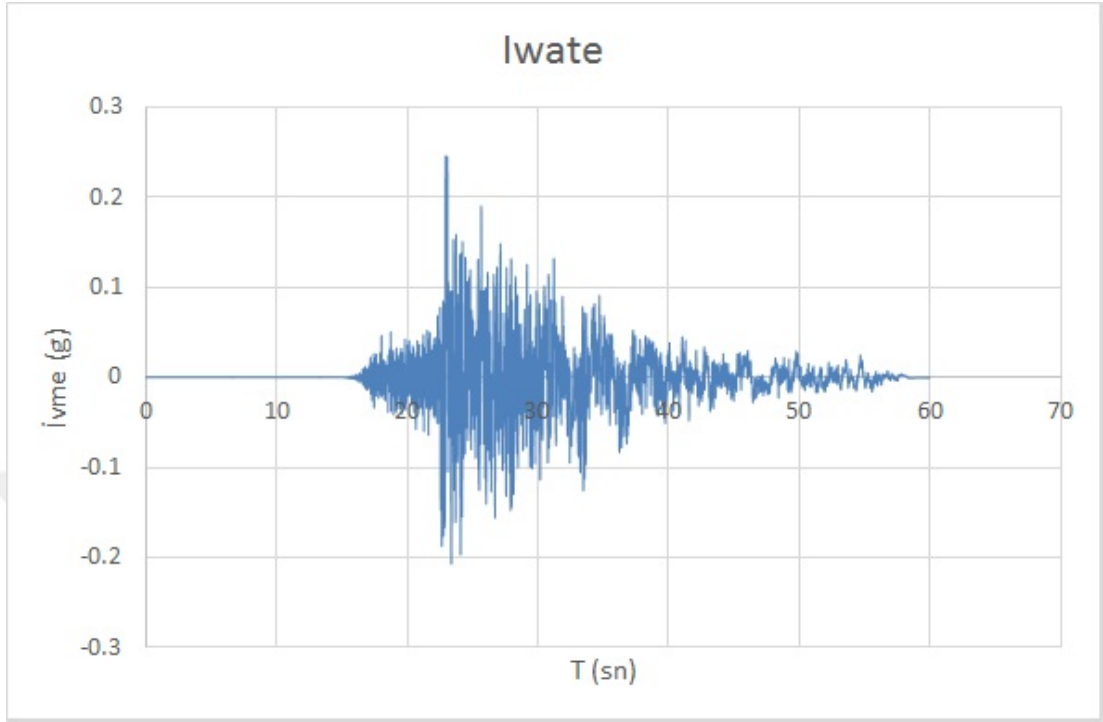
Şekil A.4 : Cape Mendocino kaydı [44].



Şekil A.5 : Niigata kaydı [44].



Şekil A.6 : Chuetsu kaydı [44].



Şekil A.7 : Iwate kaydı [44].



## ÖZGEÇMİŞ



**Ad-Soyad** : Yiğit İncüçük  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 28.04.1986 Denizli  
**E-posta** : yigitincucuk@yahoo.com.tr

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2010, *İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği*

### MESLEKİ DENEYİM:

- 2011-2012 yılları arasında bir yapı denetim firmasında çalıştı.
- 2013 yılından beri bir statik ofis firmasında çalışmaktadır.