

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇİFT YÖNLÜ ÇOK MODLU DOĞRUSAL OLMAYAN
İTME ANALİZİNİN BETONARME BİR BİNADA
KARŞILAŞTIRMALI İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hakan MACUN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

EYLÜL 2014

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇİFT YÖNLÜ ÇOK MODLU DOĞRUSAL OLMAYAN
İTME ANALİZİNİN BETONARME BİR BİNADA
KARŞILAŞTIRMALI İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Hakan MACUN
501111083**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Beyza TAŞKIN

EYLÜL 2014

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501111083 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **HAKAN MACUN**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**ÇİFT YÖNLÜ ÇOK MODLU DOĞRUSAL OLMAYAN İTME ANALİZİNİN BETONARME BİR BİNADA KARŞILAŞTIRMALI İNCELENMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Beyza TAŞKIN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Ercan YÜKSEL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Murat Serdar KIRÇIL
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **08 Eylül 2014**
Savunma Tarihi : **24 Eylül 2014**

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında, performansa dayalı tasarım ilkelerinin dayandığı doğrusal olmayan yöntemlerden, çok modlu itme analizinin betonarme bir bina üzerinde deprem kayıtlarından elde edilen zaman tanım alanında analizle karşılaştırılması ele alınmaktadır.

Lisans ve yüksek lisans öğrenimim sırasında ve tez çalışmam süresince benden her konuda bilgi, tecrübe ve yardımlarını hiç bir zaman esirgemeyen tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Beyza TAŞKIN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Sadece tez çalışmam süresince değil, tüm hayatım boyunca benden her türlü desteklerini esirgemeyen, maddi ve manevi imkanlarıyla hiç bir fedakarlıktan kaçınmayan aileme şükran ve saygılarımı sunarım.

Eylül, 2014

Hakan MACUN
(İnşaat Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
SEMBOL LİSTESİ	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
2. DEPREM YÜKLERİ ETKİSİNDE YAPISAL DAVRANIŞ	5
2.1 Betonarmede Genel Kavramlar ve Malzeme Davranışları.....	5
2.1.1 Beton için malzeme modeli.....	5
2.1.2 Çelik için malzeme modeli	6
2.2 Plastik Mafsallı Hipotezi	7
2.3 Süneklik.....	8
2.3.1 Kesit düzeyinde süneklik	8
2.3.2 Sistem düzeyinde süneklik.....	9
2.4 Yönetmelikte (2007) Deprem Etkileri Yaklaşımı	9
2.4.1 Deprem hareketi	9
2.4.2 Deprem hesabına ilişkin genel ilke ve kurallar	10
2.4.3 Kapasite tasarımı.....	11
2.4.4 Yapısal performansın belirlenmesi	13
2.4.4.1 Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi	15
2.4.4.2 Artımsal mod birleştirme yöntemi	19
2.4.4.3 Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi	22
2.4.5 Bina deprem performansının belirlenmesi.....	24
3. ÇİFT YÖNLÜ ÇOK MODLU DOĞRUSAL OLMAYAN İTME ANALİZİNİN BETONARME BİR BİNADA KARŞILAŞTIRMALI İNCELENMESİ	27
3.1 Genel Yapı Bilgileri	27
3.1.1 Binanın sistem ve geometrik özellikleri.....	27
3.1.2 Tasarım ve performans değerlendirmesi için parametreler.....	28
3.1.3 Yapının matematik modelinin oluşturulması.....	31
3.1.4 Performans değerlendirmesinde kullanılacak eleman rijitlikleri	34
3.1.5 Performans değerlendirmesinde dinamik özellikler	35
3.2 Doğrusal Olmayan İtme Analizi Hesap Yöntemi İle Deprem Performansının Belirlenmesi	36
3.2.1 Kesitlerin plastik özelliklerinin tanımlanması	40
3.2.2 Binanın statik itme eğrilerinin elde edilmesi	46
3.2.3 Statik itme eğrilerinin idealize edilmesi.....	64
3.2.4 Modal İvme – Modal Yerdeğiştirme ilişkisinin elde edilmesi.....	70

3.3 Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi İle Deprem Performansının Belirlenmesi	82
3.3.1 Yüklerin tanımlanması	85
3.3.2 Zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analiz sonuçlarının elde edilmesi	86
3.3.3 Doğrusal olmayan hesap yöntemlerinden elde edilen sonuçların karşılaştırılması	95
4. SONUÇLAR	109
KAYNAKLAR.....	113
ÖZGEÇMİŞ	115

KISALTMALAR

BHB	: Belirgin Hasar Bölgesi
CG	: Can Güvenliği
CQC (TKB)	: Tam Karesel Birleştirme
ÇKK	: Çapraz Korelasyon Katsayıları
ÇSD	: Çok Serbestlik Dereceli
DBYBHY	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
ETABS	: Integrated Building Design Software
GB	: Göçme Bölgesi
GÖ	: Göçmenin Önlenmesi
HK	: Hemen Kullanım
İHB	: İleri Hasar Bölgesi
MHB	: Minimum Hasar Bölgesi
SRSS	: Karelerinin Toplamının Karekökü
TSD	: Tek Serbestlik Dereceli
XTRACT	: Cross-Sectional X Structural Analysis of Components

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Binalar İçin Performans Şartları	25
Çizelge 2.2 : Binalar İçin Hedeflenen Çok Seviyeli Performans Düzeyleri	25
Çizelge 3.1 : Bina Modlarının Eleman Rijitliklerinin Azaltılmış Durumuna Karşılık Gelen Periyotları ve Etkin Kütle Oranları	35
Çizelge 3.2 : 1. Mod Şekli ve Statik İtme Değerleri	36
Çizelge 3.3 : 2. Mod Şekli ve Statik İtme Değerleri	38
Çizelge 3.4 : 3. Mod Şekli ve Statik İtme Değerleri	39
Çizelge 3.5 : 4. Mod Şekli ve Statik İtme Değerleri	40
Çizelge 3.6 : Mod 1, X Doğrultusu Statik İtme Analizi Değerleri	46
Çizelge 3.7 : Mod 1, Y Doğrultusu Statik İtme Analizi Değerleri	49
Çizelge 3.8 : Mod 2, X Doğrultusu Statik İtme Analizi Değerleri	50
Çizelge 3.9 : Mod 2, Y Doğrultusu Statik İtme Analizi Değerleri	54
Çizelge 3.10 : Mod 3, X Doğrultusu Statik İtme Analizi Değerleri	55
Çizelge 3.11 : Mod 3, Y Doğrultusu Statik İtme Analizi Değerleri	57
Çizelge 3.12 : Mod 4, X Doğrultusu Statik İtme Analizi Değerleri	58
Çizelge 3.13 : Mod 4, Y Doğrultusu Statik İtme Analizi Değerleri	63
Çizelge 3.14 : Tam Karesel Birleştirme Yöntemi β_{ij} (Frekans Oranları) Çizelgesi ...	95
Çizelge 3.15 : Tam Karesel Birleştirme Yöntemi ρ_{ij} (ÇKK) Çizelgesi.....	96
Çizelge 3.16 : Yerdeğiştirme / Bina Yüksekliği Değişim Değerleri	97
Çizelge 3.17 : Görelî Kat Ötelenmesi (Drift) Oranları Değişim Değerleri	98
Çizelge 3.18 : Kirişlerde Oluşan Maksimum Plastik Mafsallarda Dönmesi Değerleri	99
Çizelge 3.19 : İlk Kat Kolonlarındaki Maksimum Plastikleşme Değerleri	100

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Betonun Gerilme – Şekil Değiştirme İlişkisi.	6
Şekil 2.2 : Çeliğin Gerilme – Şekil Değiştirme İlişkisi	6
Şekil 2.3 : Kirişlerde Kapasite Hesabı	12
Şekil 2.4 : Kesit Hasar Bölgeleri	14
Şekil 2.5 : Modal Kapasite Diyagramı-1	18
Şekil 2.6 : Modal Kapasite Diyagramı-2	19
Şekil 2.7 : Pushover Eğrisinden Elde Edilen “n. Mod” İnelastik Tek Serbestlik Dereceli Sistem Özellikleri.....	20
Şekil 3.1 : Binaya Ait Tavan Kalıp Planı	29
Şekil 3.2 : S3 Perdesine Ait Teçhizatlı Enkesit Detayı	30
Şekil 3.3 : S1(110/70) ve S2(130/70) Kolonlarına Ait Teçhizatlı Detayları	30
Şekil 3.4 : B1(30/60), B2(100/45) ve B3(110/45) Kirişlerine Ait Teçhizatlı Enkesit Detayları	30
Şekil 3.5 : Yapının 3 Boyutlu Bilgisayar Modeli	32
Şekil 3.6 : Bilgisayar Modeli Kiriş İsim Anahtar Kat Planı	33
Şekil 3.7 : Bilgisayar Modeli Kiriş Kesitleri Anahtar Kat Planı	33
Şekil 3.8 : Bilgisayar Modeli Kolon İsimleri Anahtar Görünüşü	34
Şekil 3.9 : Bilgisayar Modeli Kolon Kesitleri Anahtar Görünüşü	34
Şekil 3.10 : Binaya Ait 1. Mod Şekilleri	37
Şekil 3.11 : Binaya Ait 2. Mod Şekilleri	37
Şekil 3.12 : Binaya Ait 3. Mod Şekilleri	38
Şekil 3.13 : Binaya Ait 4. Mod Şekilleri	39
Şekil 3.14 : 70/130 Kolon Donatılı Xtract Programı Kesit Detayı ve 3 Boyutlu Akma Yüzeyi	41
Şekil 3.15 : 70/130 Kolonu, 0° ve 45° Yükleme Açıları İçin Hazırlanmış Karşılıklı Etki Diyagramı	41
Şekil 3.16 : Kolonlar İçin ETABS Programında Plastik Mafsal Tanımlanması	42
Şekil 3.17 : ETABS2013 P-M2-M3 Mafsalı İçin Veri Girişi.....	42
Şekil 3.18 : P-M2-M3 Mafsalı İçin Normal Kuvvet ve Açı Değerleri Veri Girişi ...	43
Şekil 3.19 : P-M2-M3 Mafsalı İçin Moment – Eğrilik Veri Girişi.....	43
Şekil 3.20 : Karşılıklı Etki Diyagramı Değerlerinin Alınmasında Kullanılan Yöntemin Seçilmesi	44
Şekil 3.21: Kirişler İçin ETABS Programında Plastik Mafsal Tanımlanması	44
Şekil 3.22 : M3 Mafsalı İçin Moment – Eğrilik Veri Girişi	45
Şekil 3.23 : ETABS Programında Doğrusal Olmayan Davranışa Sahip Perde Modellenmesi	45

Şekil 3.24 : ETABS Programında Doğrusal Olmayan Davranışa Sahip Perdeye Ait Katman Özelliklerinin Tanımlanması	46
Şekil 3.25 : Mod 1, X Yönü Statik İtme Eğrisi.....	48
Şekil 3.26 : Mod 1, Y Yönü Statik İtme Eğrisi.....	49
Şekil 3.27 : Mod 2, X Yönü Statik İtme Eğrisi.....	53
Şekil 3.28 : Mod 2, Y Yönü Statik İtme Eğrisi.....	54
Şekil 3.29 : Mod 3, X Yönü Statik İtme Eğrisi.....	57
Şekil 3.30 : Mod 3, Y Yönü Statik İtme Eğrisi.....	58
Şekil 3.31 : Mod 4, Y Yönü Statik İtme Eğrisi.....	62
Şekil 3.32 : Mod 4, Y Yönü Statik İtme Eğrisi.....	63
Şekil 3.33 : “n.” Mod Statik İtme Eğrisinin İdealize Edilmesi.....	64
Şekil 3.34 : Mod 1, X Yönü İdealleştirilmiş Statik İtme Eğrisi.....	66
Şekil 3.35 : Mod 1, Y Yönü İdealleştirilmiş Statik İtme Eğrisi.....	67
Şekil 3.36 : Mod 2, X Yönü İdealleştirilmiş Statik İtme Eğrisi.....	67
Şekil 3.37 : Mod 2, Y Yönü İdealleştirilmiş Statik İtme Eğrisi.....	68
Şekil 3.38 : Mod 3, X Yönü İdealleştirilmiş Statik İtme Eğrisi.....	68
Şekil 3.39 : Mod 3, Y Yönü İdealleştirilmiş Statik İtme Eğrisi	69
Şekil 3.40 : Mod 4, X Yönü İdealleştirilmiş Statik İtme Eğrisi.....	69
Şekil 3.41 : Mod 4, Y Yönü İdealleştirilmiş Statik İtme Eğrisi.....	70
Şekil 3.42 : Mod 1, X Yönü Kapasite Eğrisi	73
Şekil 3.43 : Mod 1, Y Yönü Kapasite Eğrisi	73
Şekil 3.44 : Mod 2, X Yönü Kapasite Eğrisi	74
Şekil 3.45 : Mod 2, Y Yönü Kapasite Eğrisi	74
Şekil 3.46 : Mod 3, X Yönü Kapasite Eğrisi	75
Şekil 3.47 : Mod 3, Y Yönü Kapasite Eğrisi	75
Şekil 3.48 : Mod 4, X Yönü Kapasite Eğrisi	76
Şekil 3.49 : Mod 4, Y Yönü Kapasite Eğrisi	76
Şekil 3.50 : Mod 1, X Doğrultusu İtme Analizi Sonucu Elemanlarda Oluşan Plastik Mafsal – Hasar Dereceleri	77
Şekil 3.51 : Mod 2, X Doğrultusu İtme Analizi Sonucu Elemanlarda Oluşan Plastik Mafsal – Hasar Dereceleri	78
Şekil 3.52 : Mod 3, X Doğrultusu İtme Analizi Sonucu Elemanlarda Oluşan Plastik Mafsal – Hasar Dereceleri	78
Şekil 3.53 : Mod 4, X Doğrultusu İtme Analizi Sonucu Elemanlarda Oluşan Plastik Mafsal – Hasar Dereceleri	79
Şekil 3.54 : Mod 1, Y Doğrultusu İtme Analizi Sonucu Elemanlarda Oluşan Plastik Mafsal – Hasar Dereceleri	79
Şekil 3.55 : Mod 2, Y Doğrultusu İtme Analizi Sonucu Elemanlarda Oluşan Plastik Mafsal – Hasar Dereceleri	80
Şekil 3.56 : Mod 3, Y Doğrultusu İtme Analizi Sonucu Elemanlarda Oluşan Plastik Mafsal – Hasar Dereceleri	80
Şekil 3.57 : Mod 4, X Doğrultusu İtme Analizi Sonucu Elemanlarda Oluşan Plastik Mafsal – Hasar Dereceleri	81

Şekil 3.58 : Mod 4, Y Doğrultusu İtme Analizi Sonucu Elemanlarda Oluşan Plastik Mafsall – Hasar Dereceleri.....	81
Şekil 3.59 : Eğilme Davranışının Modellendiği Takeda Çevrim İskeleti.....	83
Şekil 3.60 : Z2 Zemin Grubu ve 1. Deprem Bölgesi Değerlerine Benzeştirilmiş Yer Hareketi Kaydı	84
Şekil 3.61 : Z2 Zemin Grubu ve 1. Deprem Bölgesi Değerlerine Benzeştirilmiş Yer Hareketi Kaydının İvme Spektrumu Üzerinde Gösterimi.....	84
Şekil 3.62 : ETABS2013 Zaman Tanım Alanında Hesap Parametreleri.....	86
Şekil 3.63 : X Doğrultusunda Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Dinamik Analiz Tepe Yerdeğiştirmesi – Zaman Grafiğı	87
Şekil 3.64 : X Doğrultusunda Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Dinamik Analiz Taban Kesme Kuvveti – Zaman Grafiğı.....	87
Şekil 3.65 : X Doğrultusunda Yapılan Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Dinamik Analiz Sonucu Elemanlarda Oluşan Plastik Mafsall – Hasar Dereceleri	88
Şekil 3.66 : Mod 1, X Doğrultusu İtme Analizi Tepe Yerdeğiştirme Değerinin 55 cm İle Sınırlandırıldığı Durumda Elemanlarda Oluşan Plastik Mafsall – Hasar Dereceleri	88
Şekil 3.67 : Mod 2, X Doğrultusu İtme Analizi Tepe Yerdeğiştirme Değerinin 55 cm İle Sınırlandırıldığı Durumda Elemanlarda Oluşan Plastik Mafsall – Hasar Dereceleri	89
Şekil 3.68 : Mod 3, X Doğrultusu İtme Analizi Tepe Yerdeğiştirme Değerinin 55 cm İle Sınırlandırıldığı Durumda Elemanlarda Oluşan Plastik Mafsall – Hasar Dereceleri	89
Şekil 3.69 : Mod 4, X Doğrultusu İtme Analizi Tepe Yerdeğiştirme Değerinin 55 cm İle Sınırlandırıldığı Durumda Elemanlarda Oluşan Plastik Mafsall – Hasar Dereceleri	90
Şekil 3.70 : Y Doğrultusunda Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Dinamik Analiz Tepe Yer Değiştirmesi – Zaman Grafiğı	90
Şekil 3.71 : Y Doğrultusunda Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Dinamik Analiz Taban Kesme Kuvveti – Zaman Grafiğı.....	91
Şekil 3.72 : Y Doğrultusunda Yapılan Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Dinamik Analiz Sonucu Elemanlarda Oluşan Plastik Mafsall – Hasar Dereceleri	91
Şekil 3.73 : Mod 1, Y Doğrultusu İtme Analizi Tepe Yerdeğiştirme Değerinin 54 cm İle Sınırlandırıldığı Durumda Elemanlarda Oluşan Plastik Mafsall – Hasar Dereceleri	92
Şekil 3.74 : Mod 2, Y Doğrultusu İtme Analizi Tepe Yerdeğiştirme Değerinin 54 cm İle Sınırlandırıldığı Durumda Elemanlarda Oluşan Plastik Mafsall – Hasar Dereceleri	92
Şekil 3.75 : Mod 3, Y Doğrultusu İtme Analizi Tepe Yerdeğiştirme Değerinin 54 cm İle Sınırlandırıldığı Durumda Elemanlarda Oluşan Plastik Mafsall – Hasar Dereceleri	93

Şekil 3.76 : Mod 4, Y Doğrultusu İtme Analizi Tepe Yerdeğiştirme Değerinin 54 cm İle Sınırlandırıldığı Durumda Elemanlarda Oluşan Plastik Mafsallarda – Hasar Dereceleri	93
Şekil 3.77 : Analizler Sonucu En Fazla Plastikleşmeye Maruz Kalan Kirişler ve Etkilendikleri Doğrultular	94
Şekil 3.78 : Analizler Sonucu İlk Katta Plastikleşmeye Maruz Kalan Kolonlar ve Etkilendikleri Doğrultular	94
Şekil 3.79 : X Doğrultusunda Doğrusal Olmayan Çok Modlu Statik İtme Analizi Sonucu Elde Edilen Kat Yerdeğiştirme Oranları	101
Şekil 3.80 : Y Doğrultusunda Doğrusal Olmayan Çok Modlu Statik İtme Analizi Sonucu Elde Edilen Kat Yerdeğiştirme Oranları	101
Şekil 3.81 : X Doğrultusunda Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi ve Zaman Tanım Alanında Dinamik Analiz Sonucu Elde Edilen Kat Yerdeğiştirme Oranları.....	102
Şekil 3.82 : Y Doğrultusunda Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi ve Zaman Tanım Alanında Dinamik Analiz Sonucu Elde Edilen Kat Yerdeğiştirme Oranları.....	102
Şekil 3.83 : X ve Y Doğrultusunda Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi ve Zaman Tanım Alanında Dinamik Analiz Sonuçlarının Birleştirilmiş Olarak Elde Edilen Kat Yerdeğiştirme Oranları.....	103
Şekil 3.84 : X Doğrultusunda Doğrusal Olmayan Çok Modlu Statik İtme Analizi Sonucu Elde Edilen Göreli Kat Ötelenmesi (Drift) Oranları	103
Şekil 3.85 : Y Doğrultusunda Doğrusal Olmayan Çok Modlu Statik İtme Analizi Sonucu Elde Edilen Göreli Kat Ötelenmesi (Drift) Oranları	104
Şekil 3.86 : X Doğrultusunda Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi ve Zaman Tanım Alanında Dinamik Analiz Sonucu Elde Edilen Drift Oranları .	104
Şekil 3.87 : Y Doğrultusunda Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi ve Zaman Tanım Alanında Dinamik Analiz Sonucu Elde Edilen Drift Oranları .	105
Şekil 3.88 : X ve Y Doğrultusunda Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi ve Zaman Tanım Alanında Dinamik Analiz Sonuçlarının Birleştirilmiş Olarak Elde Edilen Göreli Kat Ötelenmesi Oranları	105
Şekil 3.89 : X Doğrultusunda Doğrusal Olmayan Çok Modlu Statik İtme Analizi Sonucu Elde Edilen Plastik Mafsallarda Dönme Değerleri	106
Şekil 3.90 : Y Doğrultusunda Doğrusal Olmayan Çok Modlu Statik İtme Analizi Sonucu Elde Edilen Plastik Mafsallarda Dönme Değerleri	106
Şekil 3.91 : X Doğrultusunda Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi ve Zaman Tanım Alanında Dinamik Analiz Sonucu Elde Edilen Plastik Mafsallarda Dönme Değerleri	107
Şekil 3.92 : Y Doğrultusunda Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi ve Zaman Tanım Alanında Dinamik Analiz Sonucu Elde Edilen Kirişlerdeki Maksimum Plastik Mafsallarda Dönme Değerleri	107
Şekil 3.93 : X ve Y Doğrultusunda Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi ve Zaman Tanım Alanında Dinamik Analiz Sonuçlarının Birleştirilmiş Olarak Elde Edilen Kirişlerdeki Maksimum Plastik Mafsallarda Dönme Değerleri	108

SEMBOL LİSTESİ

ϵ_{co}	: Sargısız betonun taşıyabileceği en büyük basınç gerilmesi anındaki şekil değiştirme
ϵ_{cc}	: Sargısız betonun taşıyabileceği en büyük basınç gerilmesi anındaki şekil değiştirme
ϵ_{cu}	: Sargılı betondaki en büyük basınç birim şekil değiştirmesi
$\sigma_{co}(f_{co})$	: Sargısız betonun basınç dayanımı
$\sigma_{cc}(f_{cc})$	: Sargılı betonun basınç dayanımı
ϵ_{sy}	: Donatı çeliğinin akma birim şekil değiştirmesi
ϵ_{sh}	: Donatı çeliğinin pekleşmeye başladığı andaki birim şekil değiştirmesi
ϵ_{su}	: Donatı çeliğinin kopma birim şekil değiştirmesi
σ_{sy}	: Donatı çeliğinin akma dayanımı
σ_{su}	: Donatı çeliğinin kopma gerilmesi
θ_p	: Plastik dönme istemi
Φ_p	: Plastik eğrilik istemi
L_p	: Plastik mafsallık boyu
μ	: Süneklik oranı
σ_u	: Kopma gerilmesi
σ_y	: Akma gerilmesi
d	: Betonarme kesitte faydalı yükseklik
x_y	: Donatının akması durumunda tarafsız eksen yüksekliği
x_u	: Betonda en büyük birim kısalmanın olduğu güç tükenmesi durumunda tarafsız eksen yüksekliği
g_i	: Binanın i'inci katındaki toplam sabit yük
q_i	: Binanın i'inci katındaki toplam hareketli yük
$(EI)_e$	: Çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitliği
$(EI)_o$	: Çatlamamış kesite ait eğilme rijitliği
N_D	: Düşey yükler altında kolonda oluşan eksenel kuvvet
A_c	: Kolon veya perdenin brüt kesit alanı
f_{cm}	: Mevcut beton dayanımı
M_{pi}	: Kirişin sol ucu i'deki kolon yüzünde f_{ck} , f_{yk} ve çeliğin pekleşmesi göz önüne alınarak hesaplanan pozitif veya negatif moment
M_{pj}	: Kirişin sağ ucu j'deki kolon yüzünde f_{ck} , f_{yk} ve çeliğin pekleşmesi göz önüne alınarak hesaplanan pozitif veya negatif moment
V_e	: Kolon, kiriş ve perdede enine donatı hesabında esas alınan kesme kuvveti
V_{dy}	: Kirişin herhangi bir kesitinde düşey yüklerden meydana gelen basit kiriş kesme kuvveti

- I_n : Kolonun kirişler arasında kalan serbest yüksekliği, kirişin kolon veya perde yüzleri arasında kalan serbest açıklığı
- Φ_y : Eşdeğer akma eğriliği
- Φ_n : n'inci mod şekli genliği
- u_{rg} : Düşey yüklemelerden elde edilen kat yatay deplasmanı
- V_{bn} : Taban kesme kuvveti
- V_{bn}^y : Akma durumuna karşılık gelen taban kesme kuvveti
- M_n^* : Deprem doğrultusunda doğrusal elastik davranış için tanımlanan hakim moda ait etkin kütle
- D_n : n'inci itme adımında deprem doğrultusunda hakim moda ait modal yer değiştirme
- Γ_n : Deprem doğrultusunda etkin moda ait katkı çarpanı

ÇİFT YÖNLÜ ÇOK MODLU DOĞRUSAL OLMAYAN İTME ANALİZİNİN BETONARME BİR BİNADA KARŞILAŞTIRMALI İNCELENMESİ

ÖZET

Bu tez çalışması kapsamında literatürde son yıllarda yer almış çift yönlü, çok modlu, doğrusal olmayan itme analizinin, tek yönlü uygulamalara göre yapısal davranışı ne ölçüde temsil ettiği araştırılmıştır. Bu amaçla ele alınan betonarme çok katlı bir bina, ilk aşamada tek yönlü ve çok modlu itme analizine tabi tutularak her iki bina doğrultusu için ayrı ayrı incelenmiştir. Daha sonra aynı binada, aynı sayıda mod bileşeni dikkate alınmak suretiyle iki yönlü modal itme analizi uygulanmıştır. Sonuçlar gerçek çözüm olarak kabul edilen doğrusal olmayan dinamik analiz bulgularıyla karşılaştırılmış ve tartışmaya açılmıştır.

Dört bölümden oluşan bu çalışmanın birinci bölümünde; konuya giriş yapılmış ve binaların deprem performansının değerlendirilmesi konusunun hangi koşullardan ötürü ortaya çıktığı açıklanmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde; betonarme yapı sistemlerinin deprem performansına göre belirlenmesinde betonarmeyi oluşturan malzeme özellikleri, tasarım ve modelleri, plastik mafsallı hipotezi ve süneklik kavramları irdelenmiştir. Günümüzde yürürlükte olan “2007 Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik” içeriğinde olan mevcut binaların değerlendirilmesi ile ilgili genel kurallar da bu bölümde özetlenmiştir.

Üçüncü bölümde; 20 katlı betonarme bir binaya ait tasarım boyutları üzerinden tek ve çift yönlü olmak üzere çok modlu itme analizi uygulamaları yapılmıştır. Doğrusal olmayan bu çok modlu sistem yapının deprem yükleri altındaki iç kuvvet ve şekildeğiştirme isteminin ve dolayısıyla kesit hasarlarının bulunmasında kullanılabilir. Bu verilerin karşılaştırılması amacıyla bir deprem kaydı kullanılarak zaman tanım alanında hesap yöntemiyle iç kuvvet ve şekildeğiştirme talepleri doğrusal olmayan dinamik analizle hesaplanmıştır.

Bulgular tezin dördüncü bölümünü oluşturan sonuçlar kısmında tartışılmıştır.

A COMPARATIVE STUDY OF BI-DIRECTIONAL MULTI-MODE NONLINEAR PUSHOVER ANALYSIS IN A REINFORCED CONCRETE BUILDING

SUMMARY

In this investigation; structural responses of bi-directional, multi-modal, non-linear pushover analysis procedure which has taken place in the literature in the recent years are compared with the structural responses of uni-directional ones. For this purpose, a reinforced concrete multi-storey building is subjected to uni-directional and multi-modal non-linear pushover analysis in first phase and examined separately for each direction of the building. Later, considering the same number of mode components is performed bi-directional non-linear modal pushover analysis for the same building. Results are comparatively evaluated with the non-linear dynamic analysis findings, which is accepted as exact solution and discussions are carried out.

Nonlinear behaviours of the structural materials in the buildings, which are designed with the current force-based code method are specifically described in the current seismic codes. Structures that are designed with the linear “Capacity Design” methods can also demonstrate the expected nonlinear behaviours. In general; in these methods which are used in structures that exhibit linear-elastic characteristics under seismic effects, seismic load reduction factor is used in order to take into account the structural material behaviours beyond the elastic limits. Elastic earthquake forces are decreased with this reduction factor. Therefore, the behaviour of the structure depends on that coefficient which is calculated during the linear elastic analysis. In the nonlinear analysis methods, different behaviour factors are concerned for each element represent inelastic attitude rather than a single coefficient. Performance based evaluation methods are especially needed in the evaluation of existing structures.

Performance based evaluation studies have been accelerated with Vision 2000 (1995), ATC-40 (1996) and FEMA 273,274 (1997). The objective of Vision 2000 has been defined as creating the necessary procedures for the determination of predictive seismic performance of structures. FEMA 273 and FEMA 274 documents that were published by Building Seismic Safety Council were followed by the publishing of ATC-40 in 1996 by Applied Technology Council.

In Turkey, seismic performance of structures can be determined with two different approaches described in the “Specification For Buildings To Be Built In Seismic Zones” (2007) (Turkish Seismic Code). The first approach is determining the seismic performance of building with linear elastic analysis methods. Equivalent seismic load

or mode superposition methods can be used for calculating the earthquake loads. The second approach is determining the seismic performance of building with deformation-based nonlinear analysis methods. Defined in Turkish Seismic Code; any of the incremental pushover analysis, modal pushover analysis or nonlinear dynamic time history analysis methods can be used for performance evaluation with certain conditions.

Nonlinear behaviour of the structure must be determined in performance-based design and evaluation of the structure under the seismic loads. The methods used for this purpose; nonlinear static pushover analysis and nonlinear dynamic analysis are specified in two classification of the methods. Nonlinear behaviour of structure under the seismic loads can be obtained in a manner very close to actual values with the nonlinear dynamic analysis methods. This dynamic analysis method which is also described as time history analysis, has several disadvantages in practical usage about being highly complex and time-consuming. Because of this case, the nonlinear static pushover analysis methods become even more important. In this method; lateral loads which represent the strength of the structure under seismic loads act on the structure at floor levels. Lateral loads are increased with a certain rate and the base shear force and the top displacement relationship is determined until it reaches a certain displacement or collapsing status.

In general, nonlinear pushover analysis methods are simpler than the other ones about acquisition and evaluation of the base shear and displacement relationship. This method also creates an intermediate section between deficiencies of linear elastic analysis methods and complexities of the nonlinear dynamic analysis methods. In this thesis, both of the methods are investigated and comparatively evaluated. Based on structural dynamics theory, the modal pushover analysis procedure (MPA) retains the conceptual simplicity of current procedures with invariant force distribution, now common in structural engineering practice. The MPA procedure for estimating seismic demands is extended to unsymmetric-plan buildings. In the MPA procedure, the seismic demand due to individual terms in the modal expansion of the effective earthquake forces is determined by nonlinear static analysis using the inertia force distribution for each mode, which for unsymmetric buildings includes two lateral forces and torque at each floor level. These “modal” demands due to the first few terms of the modal expansion are then combined by the CQC rule to obtain an estimate of the total seismic demand for inelastic systems.

In the first section of this four chaptered thesis; the topic has been started with the introduction and proceeded with the explanation for what purpose the idea of assessment of the buildings’ earthquake performance has emerged.

In the second part of this study; characteristics, design and models of the structural materials, plastic hinge hypothesis and ductility concept subjects have been investigated in the evaluation of reinforced concrete building systems according to their expected earthquake performances. General rules and code conditions related to the consideration of existing structures, which take place in the operative code

“Specification For Buildings To Be Built In Seismic Zones” (2007) also has been summarized in the second section.

At the third chapter; uni-directional and bi-directional multi-mode non-linear pushover analysis have been applied to the 20-storey building which has been designed according to the 2007 Turkish Seismic Code. This multi-modal non-linear system can be used in the determination of the internal forces, deformation demands and damage in the structure under the earthquake loads. In order to compare these datas, an earthquake record has been used for the nonlinear dynamic analysis in terms of obtaining the internal forces which are assumed to be the ‘exact’ responses of the structure.

The numerical findings obtained by nonlinear static and dynamic analysis are comparatively discussed in the fourth chapter. It is shown in this chapter that results of nonlinear modal pushover analysis and nonlinear dynamic analysis are approximately the same. However, with the usage of the combination rules, final numerical values are diverging. Therefore, modal pushover analysis method results does not coincide with exact values completely.

1. GİRİŞ

Son yıllarda ülkemizde ve diğer çeşitli fay kuşaklarında bulunan bölgelerde meydana gelen yıkıcı depremler, akademik ve sosyal çevrelerde bu konuda eskiye oranla bir farkındalık oluşmasını sağlamıştır. Özellikle ülkemizde endüstri ve yerleşimin en yoğun olduğu Marmara Bölgesi'nde 1999 yılının Ağustos ayında Kuzey Anadolu Fay Hattı'nda meydana gelen kırılmalardan ötürü oluşan deprem ve sonrasında yaşanan acılar ülkemiz için hem maddi hem manevi anlamda büyük sıkıntılar meydana getirmiştir. Çeşitli çalışmalar, bu bölgede 1999 sonrası beklenen depremin, 30 yıl içerisinde %60 (± 15) olasılıkla 7 büyüklüğünde veya daha büyük bir deprem meydana geleceğini ifade etmektedir [1]. Bu veriler doğrultusunda depreme karşı hazırlıklı olmak amacıyla çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Akademik olarak yapılan çalışmalar dahilinde de deprem yüklerinin binalar üzerinde yaratacağı hasarların en doğru şekilde bulunmaya çalışılması ve tasarımın bu öngörülerle yapılması amaçlanmaktadır.

Günümüzdeki kuvvet esaslı yöntemlerle tasarlanmış yapıların malzeme açısından doğrusal olmayan davranış sergilemesi fikri güncel yönetmeliklerce özellikle tariflenen bir durumdur. "Kapasite Tasarımı" olarak bilinen ilkeler sayesinde doğrusal yöntemlerle tasarlanmış yapılar istenilen doğrusal olmayan davranışları da gösterebilmektedirler. Genel olarak yapıların deprem etkileri altında doğrusal elastik davranış göstereceği esasına dayanan bu yöntemlerde; malzemenin doğrusal elastik sınır ötesindeki davranışını dikkate almak üzere taşıyıcı sistem davranış katsayısı kullanılmakta ve elastik deprem yükleri bu katsayıya bağlı olarak bir deprem yükü azaltma katsayısı ile küçültülmektedir. Bu sebeplerden ötürü yapının elastik ötesi kapasitesinin hesaplara dahil edilmesi konusunda yetersiz kalınmaktadır. Doğrusal olmayan yöntemde, boyutlamada olduğu gibi elastik ötesi davranış temsil eden tek bir katsayı yerine her eleman için farklı davranış katsayısı söz konusu olmaktadır. Özellikle mevcut yapıların değerlendirilmesinde kullanılmakta olan performans dayalı değerlendirme olarak nitelendirilen yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır.

Performansa dayalı değerlendirme alışmaları Vision 2000 (1995), ATC-40 (1996) ve FEMA 273,274 (1997) ile ivme kazanmıştır [2-4]. Vision 2000'in hedefi yapıların tahmin edilebilir sismik performansının belirlenmesi için gerekli prosedürü oluşturmak olarak tanımlanmıştır [2]. Applied Technology Council tarafından 1996 yılında ATC-40'ın yayınlanmasını Building Seismic Safety Council tarafından yayınlanan FEMA 273 ve FEMA 274 dökümanları takip etmiştir [5].

Ülkemizde DBYBHY 2007 dökümanında tariflenen 2 farklı yaklaşımla yapıların deprem performansı belirlenebilmektedir [6]. İlk yaklaşım depremde bina performansının doğrusal elastik hesap yöntemleriyle belirlenmesidir. Deprem yüklerinin etkiltilmesinde eşdeğer deprem yükü yöntemi veya mod birleştirme yönteminin şartları kullanılabilir. İkinci yaklaşım ise şekildeğiştirme esaslı olan bina performansının doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleriyle belirlenmesidir. Yönetmelikte tanımlanan; artımsal itme analizi, artımsal mod birleştirme analizi veya zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik hesap yöntemi belirli şartlar ile performans değerlendirilmesinde kullanılabilir.

Yapı sistemlerinin deprem etkileri altında performansa dayalı tasarımı ve değerlendirilmesinde, yapının doğrusal olmayan davranışının belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla kullanılan yöntemler; doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yöntemleri ve doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemleri olarak ikiye ayrılmaktadır.

Doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemleri ile yapının deprem etkileri altındaki doğrusal olmayan davranışı gerçeğe oldukça yakın bir şekilde elde edilebilmektedir. Zaman tanım alanında analiz yöntemi olarak da nitelendirilen bu dinamik çözüm oldukça karmaşık ve zaman gerektirmesi sebebiyle pratik uygulama açısından çeşitli dezavantajlara sahiptir. Bu durumdan ötürü doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yöntemleri önem kazanmaktadır. Bu yöntemde; yapının deprem yükleri altındaki dayanımını temsil eden ve kat seviyelerine etki eden yatay yükler yapıyı zorlamaktadır. Yöntemin uygulanmasında, yatay yükler belirli bir oranda sabit kalacak şekilde artırılmakta ve belirli bir yerdeğiştirme veya göçme durumuna erişilinceye kadar yapıya ait taban kesme kuvveti – tepe yerdeğiştirmesi ilişkisi belirlenmektedir.

Kapasite eğrisi olarak adlandırılan taban kesme kuvveti – tepe yerdeğiştirmesi ilişkisine bağlı olarak elemanlarda, yapıda oluşabilecek hasar, göçme durumları elde edilebilmekte, yapının zayıf olduğu bölümler ve oluşma noktaları, göçme durumuna ait limit değeri, göçme durumundaki yer değiştirme miktarı ve elemanların deformasyon talepleri belirlenebilmektedir.

Genel olarak, doğrusal olmayan artımsal itme analizi yöntemleri yapının taban kesme kuvveti ve tepe noktası yerdeğiştirmesi arasındaki bağlantının elde edilmesi ve değerlendirilmesi konusunda diğer yöntemlere nazaran basit bir yöntem olup, doğrusal elastik analiz yöntemlerdeki yetersizlikler ile doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemlerinin karmaşıklıkları ve uygulamadaki zorlukları açısından ara bir kesit oluşurmaktadır [7].

Bu tez çalışması kapsamında literatürde son yıllarda yer almış çift yönlü, çok modlu, doğrusal olmayan itme analizinin, tek yönlü uygulamalara göre yapısal davranışı ne lde temsil ettiği araştırılmıştır. Bu amaçla ele alınan 20 katlı betonarme bir bina, ilk aşamada tek yönlü ve çok modlu itme analizine tabi tutularak her iki bina doğrultusu için ayrı ayrı incelenmiştir. Daha sonra aynı binada, aynı sayıda mod bileşeni dikkate alınmak suretiyle iki yönlü modal itme analizi uygulanmıştır. Elde edilen verilerden binaya ait taban kesme kuvveti – yerdeğiştirme ilişkileri elde edilmiş ve kapasite eğrileri oluşturulmuştur. Sonuçlar gerçek çözüm olarak kabul edilen zemin ve deprem blęesi koşullarıyla tam uyumlu deprem kaydı ile oluşturulmuş zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analiz bulgularıyla karşılaştırılmış ve tartışmaya açılmıştır.

2. DEPREM YÜKLERİ ETKİSİNDE YAPISAL DAVRANIŞ

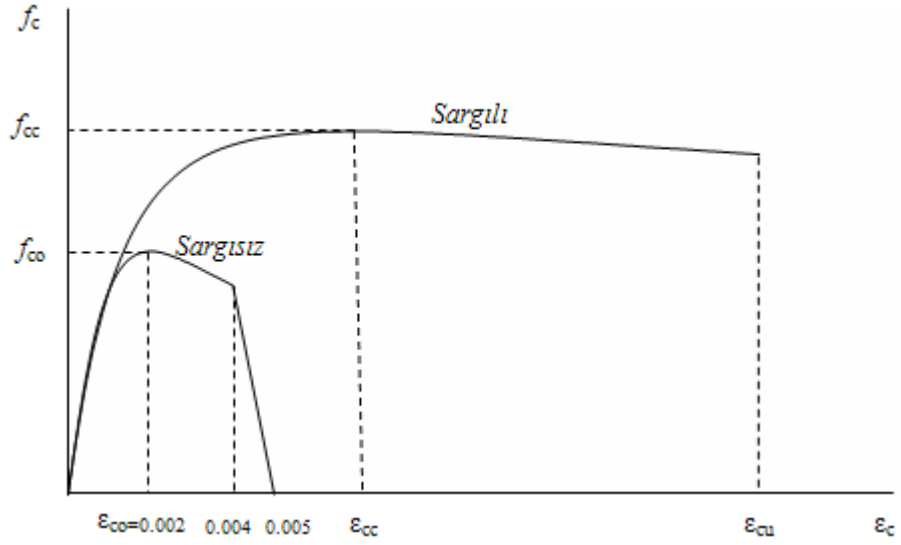
2.1 Betonarmede Genel Kavramlar ve Malzeme Davranışları

Agrega, su ve çimentodan oluşan beton malzemesi içerisine donatıların yerleştirilmesiyle betonarme eleman oluşturulur. Yeterli bir basınç dayanımına sahip olan betonun zayıf yönü, düşük çekme dayanımıdır. Çekme dayanımı yüksek ince çelik çubukların (donatı) zayıf tarafı ise, basınç altında burkulmalarıdır. Betonarme yapı malzemesi, ince çelik çubukların beton ve enine çelik çubuklar sayesinde burkulma boyunun azaltılması ve betonun alacağı çekme yükünü boyuna çelik çubukların alması sayesinde mekanik özellikler bakımından çok daha üstün bir malzeme haline gelmektedir. Ayrıca, beton içinde kalan çelik çubukların sarılması ve sıyrılmasının önlenmesi, bunun yanında yangından ve korozyondan beton içinde kalarak korunması büyük bir avantajdır. Beton ve çeliğe ait malzeme davranış modelleri bu başlık altında incelenmiştir.

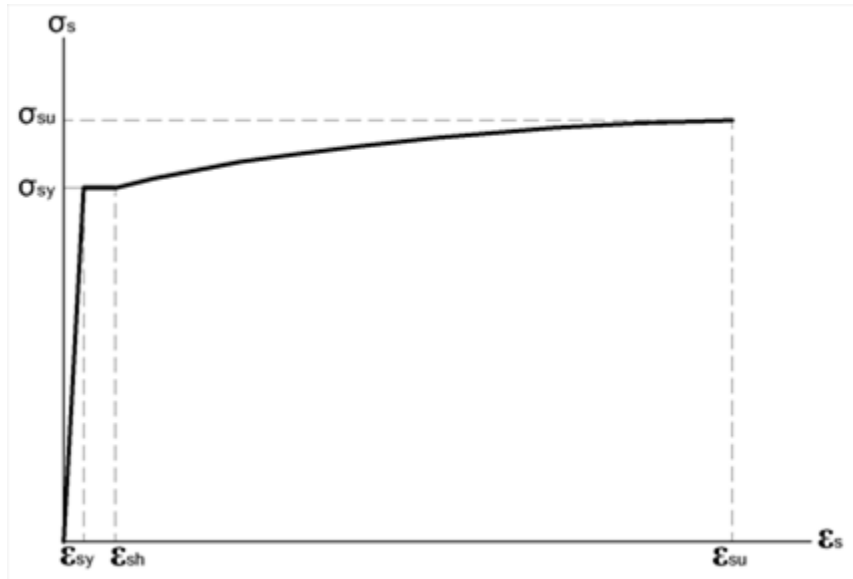
2.1.1 Beton için malzeme modeli

Betonda sargılamanın eksenel yükleme durumunda davranışa olumlu etkisi olduğu daha 1903 yılında belirlenmiştir ve sargı etkisi üzerinde çalışmalar günümüzde de devam etmektedir [8]. Halihazırda yürürlükte olan 2007 Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik'te [6] “Sargısız” ve “Sargılı” olmak üzere iki ayrı beton modeli tanımlanmıştır. Sargılı betonun davranışı; enine donatının hacimsel oranı, aralığı, dağılımı, çap ve dayanımı, boyuna donatının oranı ve kesit içinde dağılımı, betonun basınç dayanımı ve cinsi, yükleme hızı ve biçimi, eğilme etkisindeki elemanlarda eksenel kuvvetin seviyesi gibi pek çok değişkenden etkilenmektedir [8]. Şekil 2.1’de Deprem yönetmeliğindeki sargılı ve sargısız betonların gerilme - şekildeğiştirme grafiği verilmiştir. Burada ϵ_{co} , ϵ_{cc} , ϵ_{cu} , σ_{co} , σ_{cc} , sırasıyla sargısız betonun taşıyacağı en büyük basınç gerilmesi anındaki şekil değiştirme, sargılı betonun taşıyacağı en büyük basınç gerilmesi anındaki şekil değiştirme, sargılı betondaki en büyük basınç birim şekildeğiştirmesi, sargısız betonun basınç dayanımı, sargılı betonun basınç dayanımı tanımlarına karşılık

gelmektedir. Mander Beton Modeli için yukarıda bahsedilen gerilme ve şekil değiştirme değerleri deprem yönetmeliğinde verilmiştir [6].



Şekil 2.1 Betonun Gerilme – Şekil Değiştirme İlişkisi.



Şekil 2.2 Çeliğin Gerilme – Şekil Değiştirme İlişkisi

2.1.2 Çelik için malzeme modeli

Deprem yönetmeliğinde tanımlanan birimler ile donatı çeliği için eksenel gerilme şekil değiştirme ilişkisi Şekil 2.2'de verilmiştir. Deprem yönetmeliği donatı çeliğinin gerilme-şekil değiştirme ilişkisini üç parçaya bölmektedir. Bu parçalar; elastik bölge, plastik plato bölgesi ve pekleşme bölgesi olarak tanımlanabilir [9]. Burada ϵ_{sy} , ϵ_{sh} , ϵ_{su} , σ_{sy} , σ_{su} , sırasıyla donatı çeliğinin akma birim şekil değiştirmesi, donatı çeliğinin

pekleşmeye başladığı andaki birim şekil değiştirmesi, donatı çeliğinin kopma birim şekildeğiştirmesi, donatı çeliğinin akma dayanımı, donatı çeliğinin kopma gerilmesi tanımlarına karşılık gelmektedir. Donatı Çeliği Modeli için yukarıda bahsedilen gerilme ve şekil değiştirme değerleri deprem yönetmeliğinde verilmiştir.

2.2 Plastik Mafsal Hipotezi

Çubuk elemanlarda moment etkisinden dolayı eğilme rijitliği ile ters orantılı bir eğrilik meydana gelir. Bu eğriliğin, moment değerinin çelikte akma oluşturacak şekil değiştirme değerlerine ulaşıncaya kadar yukarıdaki değişkenlerle orantılı olduğu kabul edilebilir. Bu değerden sonra betonarme kesit ulaşabileceği, malzemenin izin verdiği, en büyük eğriliğe kadar momentteki küçük artımlarla serbestçe dönebilir. Bir çubuk için bu akma momenti değerinin tek bir noktada değil, belirli bir uzunluk boyunca oluşacağı açıktır. Bu ise aslında plastikleşme olarak tanımlanan bu davranışın çubuktaki herhangi bir A ve B noktaları arasında yayılı olduğunu gösterir. Bu iki noktanın birbirlerine göre dönmesi toplam eğriliğin giriş boyunca integrasyonu ile Denklem (2.1)'deki gibi hesaplanabilir.

$$\theta_{BA} = \int_A^B \phi dx = \int_A^B (\phi_{elastik} + \phi_{plastik}) dx = \int_A^B \phi_{elastik} dx + \int_A^B \phi_{plastik} dx \quad (2.1)$$

Çoğu durumda plastik eğrilik, elastik eğriliğe oranla büyük olduğu için yalnızca plastik eğrilik durumu göz önüne alınabilir. Plastikleşen bölgedeki eşdeğer plastik mafsal boyu, hesaplanan en büyük plastik eğrilik değerinin toplam dönmeye bölünmesiyle, Denklem (2.2)'de verildiği gibi, elde edilebilir.

$$L_p = \frac{\theta_{BAplastik}}{\phi_{p \max}} = \frac{1}{\phi_{p \max}} \int_A^B \phi_{plastik} dx \quad (2.2)$$

Plastik mafsal boyunun (2.2) ile belirlenmesi, plastik mafsal kabulünün oluşturduğu kolaylığı ortadan kaldırmaz [8]. Deprem yönetmeliği plastik mafsal boyu olarak adlandırılan plastik şekil değiştirme bölgesinin uzunluğunu, çalışan doğrultudaki kesit boyutunun yarısına eşit olarak tanımlamıştır [6].

2.3 Süneklik

Yapılar servis ömürleri boyunca az bir olasılıkla şiddetli bir depreme maruz kalırlar. Depreme dayanıklı yapı tasarımında tüm dünyada kabul görmüş düşünce dahilinde, şiddetli depremde yapının elastik olmayan davranışı önem kazanır. Süneklik olarak tanımlanabilen bu elastik olmayan davranış sayesinde yapılarda deprem etkilerinin meydana getirdiği enerji, büyük genlikli titreşimlerle yutulur. Sünekliğin sayısal tanımı, güç tükenmesi durumu ile elastik sınır şekil değiştirmenin (veya yerdeğiştirmenin) oranı olarak yapılabilir (Denklem 2.3) [5].

$$\mu = \frac{\sigma_u}{\sigma_y} \quad (2.3)$$

Süneklik herhangi bir etki ve karşı gelen şekil değiştirme için tanımlanabilir [10]. Kesit eğrilik sünekliği; kesit düzeyinde süneklik, taşıyıcı sisteme ait yatay etkilerde yer değiştirme sünekliği sistem düzeyinde süneklik alt başlığıyla detaylandırılmıştır.

2.3.1 Kesit düzeyinde süneklik

Eğilme etkisindeki bir betonarme kesitte, kesitin dayanımında önemli bir azalma meydana gelmeden oluşan en büyük eğriliğin akma eğriliğine oranı eğrilik sünekliği olarak tanımlanır.

$$\mu = \frac{\phi_u}{\phi_y} = \frac{\epsilon_{cu} / x_u}{\epsilon_y / (d - x_y)} = \frac{\epsilon_{cu} / (d - x_y)}{\epsilon_y x_u} \quad (2.4)$$

Denklem (2.4)'de tanımlanan eğrilik sünekliği için ϵ_{cu} , ϵ_y , d , x_y , x_u sırasıyla sargılı betondaki en büyük basınç birim şekil değiştirmesi, çeliğin akma birim şekil değiştirmesi, betonarme kesitte faydalı yükseklik, donatının akması durumunda tarafsız eksen yüksekliği, betonda en büyük birim kısalmasının olduğu güç tükenmesi durumunda tarafsız eksen yüksekliğidir [10].

Denklem (2.4)'den çıkarımla aynı kesit için ϵ_{cu} , ϵ_y , d değerleri değişmeyecektir. Basıncın artmasıyla x_y ve x_u değerleri büyüyecek dolayısıyla süneklik azalacaktır. Ayrıca kesitteki çekme donatısı oranına bir üst limit koyulup betonun basınç altında kırılmasından önce donatının akması sağlanarak süneklik sağlanmış olur [11].

Kesit eğrilik sünekliği farklı normal kuvvetler altında değişen moment değerlerine karşı gelen eğrilikler yardımı ile bulunabilir.

2.3.2 Sistem düzeyinde süneklik

Yapı, depremin yapıdan olan deplasman talebine belirli bir hasara uğrayarak cevap vermek durumundadır. Bu talep edilen deplasmana kesitlerin yaptığı plastik dönmeler sayesinde ulaşılır. Bu durum taşıyıcı sistem yatay yer değiştirme sünekliği olarak adlandırılır. Süneklik sayesinde kesitler arası yardımlaşma meydana gelecek ve yerdeğiştirmenin ilerleyen kademelerinde doğrusal sınırı geçen kesitler plastik şekil değiştirmeler ile enerji sönümlerken, iç kuvvetler daha az zorlanan kesitlere aktarılacaktır. Yapı sünek davranış gösterirken yapıda yeni mafsallar oluşacağı için yapının hiperstatiklik derecesinin yüksek olması gerekir. Bu sayede yapı göçmeye ulaşana kadar hedeflenen sünek davranışı gösterebilecektir. Yapıdan istenen performansın elde edilebilmesi için yapı talep edilen yerdeğiştirmeye ulaşana kadar elemanlarda ve taşıyıcı sistemde oluşacak güç tükenmesinin sünek olarak meydana gelmesi gerekmektedir [5].

2.4 Yönetmelikte (2007) Deprem Etkileri Yaklaşımı

2.4.1 Deprem hareketi

Performansa dayalı değerlendirme ve tasarımda göz önüne alınmak üzere, farklı düzeyde üç deprem hareketi tanımlanmıştır. Bu deprem hareketleri genel olarak, 50 yıllık bir süreç içinde aşılma olasılıkları ve benzer depremlerin oluşumu arasındaki zaman aralığı ile ifade edilirler.

- **Servis (Kullanım) Depremi (D1):** 50 yılda aşılma olasılığı %50 olan yer hareketleridir. Yaklaşık dönüş periyodu 72 yıldır. Bu deprem etkisi, aşağıda tanımlanan tasarım depreminin yarısı kadardır.
- **Tasarım Depremi (D2):** 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan yer hareketleridir. Yaklaşık dönüş periyodu 475 yıldır. Bu deprem 1998 ve 2007 Türk Deprem Yönetmeliklerinde esas alınmaktadır.
- **En Büyük Deprem (D3):** 50 yılda aşılma olasılığı %2, yaklaşık dönüş periyodu 2475 yıl olan bir depremdir. Bu depremin etkisi tasarım depreminin yaklaşık olarak 1.5 katıdır.

2.4.2 Deprem hesabına ilişkin genel ilke ve kurallar

Deprem yönetmeliği kapsamında mevcut veya güçlendirilmiş binaların doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinin her ikisi için de kullanılacak genel ilke ve kurallar şu şekilde tariflenmiştir:

- Deprem etkisinin tanımında, elastik (azaltılmamış) ivme spektrumu kullanılır, fakat farklı aşılma olasılıkları için yönetmelikte belirtilen kriterlere göre değişiklikler yapılabilir. Bina önem katsayısı uygulanmaz ($I=1.0$ alınır).
- Binalarda deprem performansı, yapıya etkiyen düşey yüklerin ve deprem kuvvetlerinin birleşik etkileri altında değerlendirilir. Bina ağırlığı hesaplanırken sabit yükler direk hesaba katılırken hareketli yükler yapı kullanım amacına göre azaltılarak hesaba katılır.

$$W = \sum_{i=1}^N w_i, \quad w_i = g_i + n(q_i)$$

- Deprem kuvvetleri binaya her iki doğrultuda ve her iki yönde ayrı ayrı etki ettirilecektir.
- Deprem hesabında kullanılacak zemin özellikleri; Yönetmeliğin 6. Bölümüne (Temel Zemini ve Temeller İçin Depreme Dayanıklı Tasarım Kuralları) göre belirlenecektir.
- Döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, her katta iki yatay yer değiştirme ve düşey eksen etrafında bir dönme serbestlik derecesi göz önüne alınacaktır. Kat serbestlik dereceleri her katın kütle merkezinde tanımlanacak, ayrıca ek dışmerkezlilik uygulanmayacaktır.
- Binanın taşıyıcı sistem modeli, yapı için elde edilecek iç kuvvet, yer değiştirme ve şekil değiştirmeleri doğru olarak verebilecek şekilde hazırlanmalıdır.
- Yönetmeliğin 3. bölümüne göre tariflenen kısa kolon durumuna düşürülmüş olan kolonlar, taşıyıcı sistem modelinde gerçek serbest boyları ile tanımlanacaktır.

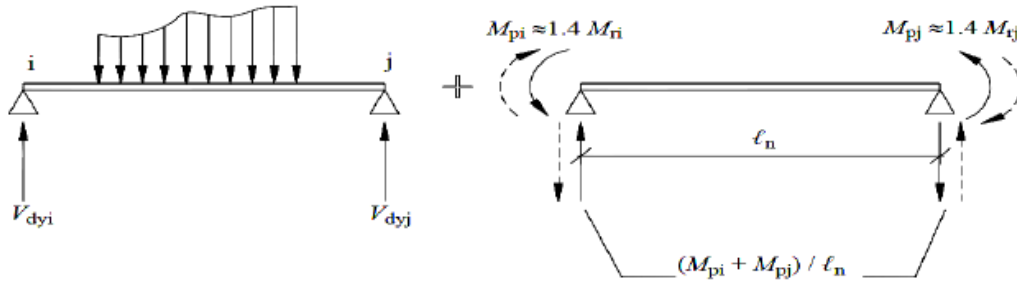
- Mevcut binada saptanan düzensizlikler bilgi düzeyi katsayıları ile hesaplara yansıtılmalıdır.
- Betonarme kesitlerin etkileşim diyagramları bu bilgiler doğrultusunda tanımlanır. Beton ve donatı çeliği için, yönetmelikteki binalardan bilgi toplanması bahsinde tanımlanan mevcut dayanımları kullanılır. Betonun en büyük basınç birim şekildeğiştirilmesi 0.003, donatı çeliğinin en büyük birim şekil değiştirmesi ise 0.01 alınabilir. Etkileşim diyagramları uygun biçimde doğrusallaştırılabilir.
- Betonarme sistemlerin eleman boyutlarının tanımında birleşim bölgeleri sonsuz rijit uç bölgeleri olarak göz önüne alınabilir.
- Çatlamış kesit etkin eğilme rijitlikleri yönetmelikte şu şekilde tariflenmiştir. N_D 'nin ara değerleri için doğrusal enterpolasyon yapılabilir:
Kirişlerde; $(EI)_e = 0.40 (EI)_0$
Kolon ve Perdelerde; $N_D/(A_c f_{cm}) \leq 0.10$ olması durumunda: $(EI)_e = 0.40 (EI)_0$
 $N_D/(A_c f_{cm}) \geq 0.40$ olması durumunda: $(EI)_e = 0.80 (EI)_0$
- Betonarme tablalı kirişlerde pozitif ve negatif momentler bulunurken tabla betonu ve içindeki donatı hesaba katılmalıdır.
- Betonarme elemanlarda kenetlenme veya bindirme boyunun yetersiz olması durumunda, kesit kapasite momentinin hesabında ilgili donatı akma gerilmesi, kenetlenme veya bindirme boyundaki eksikliği oranında azaltılabilir.
- Zemindeki şekil değiştirmelerin yapı davranışını etkileyebileceği durumlarda zeminin şekil değiştirme özellikleri yapı modeline yansıtılacaktır.
- Yönetmeliğin 2. Bölümündeki (Depreme Dayanıklı Binalar İçin Hesap Kuralları) modelleme ile ilgili diğer esaslar geçerlidir.

2.4.3 Kapasite tasarımı

Kuvvetli yer hareketlerinde yapı sistemlerinde bazı elemanlar mevcut dayanım kapasitelerine ulaşp, elastik ötesi davranışa geçerek plastik duruma ulaşacaklardır. Böylelikle bu elemanlarda kalıcı hasar meydana gelmiş olmaktadır. Kapasite tasarımında amaç, yapı elemanlarında meydana gelebilecek bu olası hasarları kontrollü bir şekilde yapının diğer elemanlarına yaymaktır.

Mevcut bir yapının elemanlarında meydana gelen hasarı incelemek için doğrusal olmayan hesap yöntemlerinden faydalanmak gereklidir. Çünkü yapı elemanlarını oluşturan beton ve donatı çeliğinin gerçek davranışları doğrusal değildir. Dolayısıyla bu elemanlar için hasar kontrolü ve kapasite hesabında doğrusal olmayan yöntemler kullanılmalıdır. Fakat bu yöntemler kullanım açısından bazı zorlukları barındırır. Yani bu yöntemleri kullanabilmek için yüksek donanımlı bilgisayarlara ve yeterli mühendislik bilgisine sahip olmak gerekir. Aynı zamanda bu konuda ileri düzey olan ve doğruluk anlamında güvenilir olan bilgisayar programlarına ihtiyaç duyulur.

Günümüzde doğrusal olmayan analizler, zorlukları ve kullanımları yeterli olgunluk seviyesine ulaşmamış olması nedeniyle akademik çalışmalar dışında pek kullanılmaz. Bunun yerine elastik hesap yöntemleri geçerlidir. Doğrusal elastik yöntemde yapıya etkiyen deprem kuvvetleri, yapının süneklik özellikleri doğrultusunda normalize edilir. Yalnız bu değer mevcut yapıların değerlendirilmesinde '1' alınır.



Şekil 2.3 Kirişlerde Kapasite Hesabı

Kapasite tasarımında yapıdaki elemanların belirli bir düzen içerisinde eğilme kırılması şeklinde güç tükenmesine maruz kalması istenir. Bu kırılma türü sünek kırılma türüdür. Yapı elemanlarının sünek kırılmaları için kesme kuvveti kapasitelerinin deprem etkisinden gelen kesme kuvvetlerinden küçük olması gerekir. Betonarme yapı elemanlarında kesme kuvveti kapasiteleri, eğilme kapasitelerine göre hesaplanır. Bu durum kirişler için Şekil 2.3'te gösterilmiştir. Burada V_{dyi} ve V_{dyj} kiriş uçlarında düşey yüklerden meydana gelen tasarım kesme kuvvetleridir. Şeklin sağ tarafında deprem etkisinden dolayı oluşan kesme etkisi hesaplanmaktadır. Burada M_{pi} ve M_{pj} deprem etkisi altında kiriş uçlarında meydana gelen pekleşmeli eğilme

momenti kapasitelerini göstermektedir. Bir kiriş için mevcut kesme kuvveti kapasitesinin hesabı ise Denklem 2.4'te gösterilmiştir.

$$V_e = V_{dy} \pm \frac{(M_{pi} + M_{pj})}{l_n} \quad (2.5)$$

2.4.4 Yapısal performansın belirlenmesi

Deprem etkisi altında mevcut binaların yapısal performanslarının belirlenmesi ve güçlendirme analizleri için kullanılacak doğrulsa elastik olmayan hesap yöntemlerinin amacı, verilen bir deprem için sünek davranışa ilişkin plastik şekil değiştirme istemleri ile gevrek davranışa ilişkin iç kuvvet istemlerinin hesaplanmasıdır. Deprem yönetmeliğinde bu istem büyüklükleri 7. Bölümde tanımlanmış olan şekil değiştirme ve iç kuvvet kapasiteleri ile karşılaştırılarak, kesit ve bina düzeyinde yapısal performans değerlendirmesi yapılmaktadır. [6]

Deprem yönetmeliği kapsamında yer alan doğrusal elastik olmayan analiz yöntemleri; *Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi*, *Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi*, ve *Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi*'dir. İlk iki yöntem, yönetmelikte deprem performansının belirlenmesi için temel alınan *Artımsal İtme Analizi*'nde kullanılacak olan yöntemlerdir.

Artımsal itme analizi veya zaman tanım alanında hesap sonucunda çıkış bilgisi olarak herhangi bir kesitte elde edilen θ_p plastik dönme istemine bağlı olarak plastik eğrilik istemi, aşağıdaki bağıntı ile hesaplanacaktır:

$$\phi_p = \frac{\theta_p}{L_p} \quad (2.6)$$

Amaca uygun olarak seçilen bir beton modeli ile pekleşmeyi de göz önüne alan donatı çeliği modeli kullanılarak, kesitteki eksenel kuvvet istemi altında yapılan analizden elde edilen iki doğrulu moment-eğrilik ilişkisi ile tanımlanan ϕ_y eşdeğer akma eğriliği, Denklem (2.5) ile tanımlanan ϕ_p plastik eğrilik istemine eklenerek, kesitteki ϕ_t toplam eğrilik istemi elde edilecektir:

$$\phi_t = \phi_y + \phi_p \quad (2.7)$$

Betonarme sistemlerde betonun basınç birim şekil değiştirmesi istemi ile donatı çeliğindeki birim şekil değiştirme istemi, Denklem (2.6) ile tanımlanan toplam eğrilik istemine göre moment-eğrilik analizi ile hesaplanacaktır.

Deprem yönetmeliğinde plastik şekil değiştirmelerin meydana geldiği betonarme sünek taşıyıcı sistem elemanlarında, çeşitli kesit hasar sınırlarına göre izin verilen şekil değiştirme üst sınırları (kapasiteleri) aşağıda tanımlanmıştır:

(a) **Kesit Minimum Hasar Sınırı (MN)** için kesitin en dış lifindeki beton basınç birim şekil değiştirmesi ile donatı çeliği birim şekil değiştirmesi üst sınırları:

$$(\epsilon_{cu})_{MN} = 0.004, \quad (\epsilon_s)_{MN} = 0.010 \quad (2.8)$$

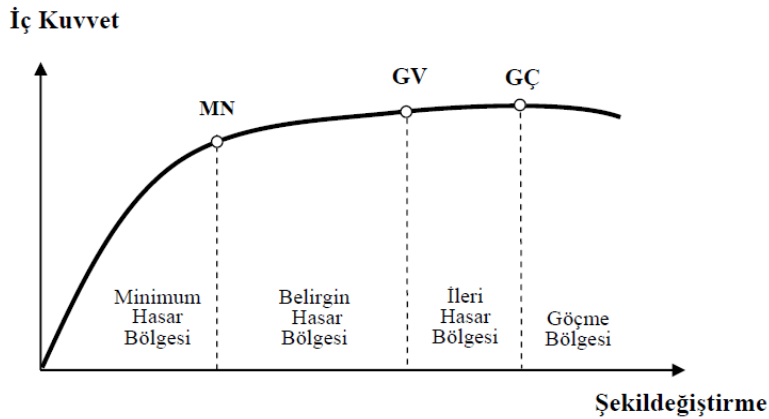
(b) **Kesit Güvenlik Sınırı (GV)** için sargılı bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekil değiştirmesi ile donatı çeliği birim şekil değiştirmesi üst sınırları:

$$(\epsilon_{cg})_{GV} = 0.004 + 0.0095 (\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0.0135, \quad (\epsilon_s)_{GV} = 0.040 \quad (2.9)$$

(c) **Kesit Göçme Sınırı (GÇ)** için sargılı bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekil değiştirmesi ile donatı çeliği birim şekil değiştirmesi üst sınırları:

$$(\epsilon_{cg})_{GC} = 0.004 + 0.013 (\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0.018, \quad (\epsilon_s)_{GC} = 0.060 \quad (2.10)$$

Kritik kesitlerin hasarı MN'ye ulaşmayan elemanlar Minimum Hasar Bölgesi'nde, MN ile GV arasında kalan elemanlar Belirgin Hasar Bölgesi'nde, GV ve GÇ arasında kalan elemanlar İleri Hasar Bölgesi'nde, GÇ'yi aşan elemanlar ise Göçme Bölgesi'nde yer alırlar. (Şekil 2.4)



Şekil 2.4 Kesit Hasar Bölgeleri

2.4.4.1 Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi

Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi'nin amacı, birinci (deprem doğrultusundaki hakim) titreşim mod şekli ile orantılı olacak şekilde, deprem istem sınırına kadar monotonik olarak adım adım arttırılan eşdeğer deprem yüklerinin etkisi altında doğrusal olmayan itme analizinin yapılmasıdır. Düşey yük analizini izleyen itme analizinin her bir adımında taşıyıcı sistemde meydana gelen yerdeğiştirme, plastik şekil değiştirme ve iç kuvvet artımları ile bunlara ait birikimli (kümülatif) değerler ve son adımda deprem istemine karşı gelen maksimum değerler hesaplanır.

Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi'nin kullanılabilmesi için, binanın kat sayısının bodrum hariç 8'den fazla olmaması ve herhangi bir katta ek dışmerkezlilik gözönüne alınmaksızın doğrusal elastik davranışa göre hesaplanan burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} < 1.4$ koşulunu sağlaması gereklidir. Ayrıca gözönüne alınan deprem doğrultusunda, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hakim) titreşim moduna ait etkin kütlelerin toplam bina kütlelerine (rijit perdelerle çevrelenen bodrum katlarının kütleleri hariç) oranının en az 0.70 olması zorunludur.

Artımsal itme analizi sırasında, eşdeğer deprem yükü dağılımının, taşıyıcı sistemdeki plastik kesit oluşumlarından bağımsız biçimde sabit kaldığı varsayımı yapılabilir. Bu durumda yük dağılımı, analizin başlangıç adımında doğrusal elastik davranış için hesaplanan birinci (deprem doğrultusundaki hakim) doğal titreşim mod şekli genliği ile ilgili kütlelerin çarpımından elde edilen değerle orantılı olacak şekilde tanımlanacaktır. Kat döşemeleri rijit diyafram olarak idealleştirilen binalarda, birinci (hakim) doğal titreşim mod şeklinin genlikleri olarak her katın kütle merkezindeki birbirine dik iki yatay öteleme ile kütle merkezinden geçen düşey eksen etrafındaki dönme gözönüne alınacaktır.

Sabit yük dağılımına göre yapılan itme analizi ile, koordinatları “tepe yerdeğiştirmesi – taban kesme kuvveti” olan itme eğrisi elde edilir. Tepe yerdeğiştirmesi, binanın en üst katındaki kütle merkezinde, göz önüne alınan x deprem doğrultusunda, her itme adımında hesaplanan yerdeğiştirmedir. Taban kesme kuvveti ise, her adımda eşdeğer deprem yüklerinin x deprem doğrultusundaki toplamıdır. İtme eğrisine uygulanan

koordinat dönüşümüyle, koordinatları “modal yerdeğiştirme – modal ivme” olan modal kapasite diyagramı aşağıdaki şekilde elde edilebilir:

(a) (i)’inci itme adımında birinci (deprem doğrultusunda hakim) moda ait modal ivme $\alpha_1^{(i)}$ aşağıdaki şekilde elde edilir:

$$\alpha_1^{(i)} = \frac{V_{x1}^{(i)}}{M_{x1}} \quad (2.11)$$

Denklem (2.17)’de $V_{x1}^{(i)}$ deprem doğrultusunda birinci (hakim) moda ait (i)’inci itme adımı sonunda elde edilen taban kesme kuvvetini, M_{x1} deprem doğrultusunda doğrusal elastik davranış için tanımlanan birinci (hakim) moda ait etkin kütle göstermektedir.

(b) (i)’inci itme adımında birinci (deprem doğrultusunda hakim) moda ait modal yer değiştirme $d_1^{(i)}$ ’nin hesabı için ise, aşağıdaki bağıntıdan yararlanılabilir:

$$d_1^{(i)} = \frac{u_{xN1}^{(i)}}{\Phi_{xN1} \Gamma_{x1}} \quad (2.12)$$

Birinci (deprem doğrultusunda hakim) moda ait modal katkı çarpanı Γ_{x1} , x deprem doğrultusunda taşıyıcı sistemin başlangıç adımıdaki doğrusal elastik davranışı için tanımlanan L_{x1} ve birinci doğal titreşim moduna ait modal kütle M_1 ’den yararlanılarak aşağıdaki şekilde elde edilir:

$$\Gamma_{x1} = \frac{L_{x1}}{M_1} \quad (2.13)$$

Yukarıda tanımlandığı üzere sabit bir yük dağılımı ile yapıyı itmeye alternatif olarak, artımsal itme analizi sırasında eşdeğer deprem yükü dağılımı, her bir itme adımında öncekilere göre değişken (single mode adaptive pushover) olarak göz önüne alınabilir. Bu durumda yük dağılımı, her bir itme adımı öncesinde taşıyıcı sistemde oluşmuş bulunan tüm plastik kesitler göz önüne alınarak hesaplanan birinci (deprem doğrultusundaki hakim) titreşim mod şeklinin genliği ile ilgili kütlenin çarpımından elde edilen değerle orantılı olarak tanımlanacaktır.

İtme analizi sonucunda elde edilen modal kapasite diyagramı ile farklı aşılma olasılıkları için tanımlanan elastik davranış spektrumu göz önüne alınarak, birinci (hakim) moda ait maksimum modal yer değiştirme, diğer deyişle modal yer değiştirme istemi hesaplanacaktır. Tanım olarak modal yer değiştirme istemi, $d_1^{(p)}$, doğrusal olmayan spektral yerdeğiştirme S_{di1} ’e eşittir:

$$d_1^{(p)} = S_{di1} \quad (2.14)$$

Doğrusal elastik olmayan spektral yerdeğiştirme, S_{di1} , itme analizinin ilk adımında, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hakim) moda ait $T_1^{(1)}$ başlangıç periyoduna karşı gelen doğrusal elastik (lineer) spektral yerdeğiştirme S_{de1} ’e bağlı olarak Denklem (2.21) ile elde edilir:

$$S_{di1} = C_{R1} S_{de1} \quad (2.15)$$

Doğrusal elastik (lineer) spektral yerdeğiştirme, S_{di1} , itme analizinin ilk adımında birinci moda ait elastik spektral ivme S_{ae1} ’den hesaplanır:

$$S_{de1} = \frac{S_{ae1}}{\omega_1^{(1)2}} \quad (2.16)$$

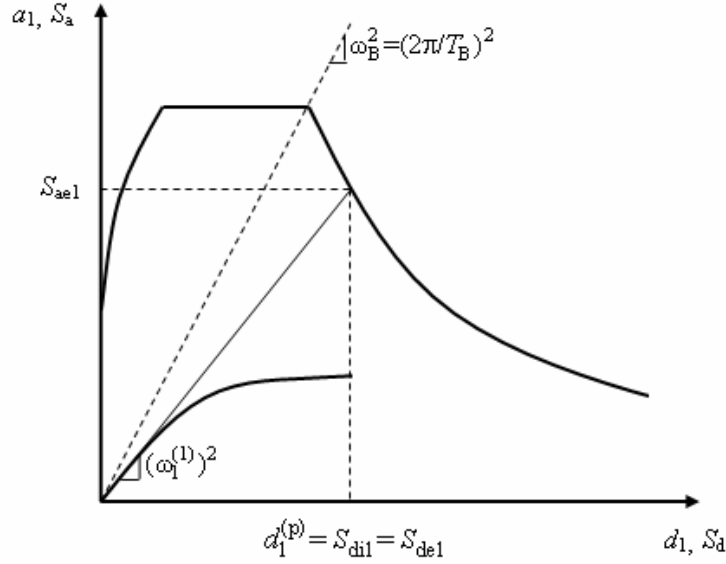
Denklem (2.21)’de bulunan C_{R1} 1. moda ait spektral yerdeğiştirme oranıdır. Herhangi bir doğrultu için doğrusal elastik davranan binanın etkin rijitlik kullanılarak hesaplanan hakim periyodu zeminin T_B periyodundan Şekil 2.6’da gösterildiği gibi büyük ise C_{R1} değeri Denklem (2.23)’de verilmiştir. Eğer yukarıdaki şart sağlanmaz ise Şekil 2.7’de görülen α_{y1} esas alınarak C_{R1} aşağıda Denklem (2.24)’de verildiği şekilde tanımlanır. C_{R1} ardışık yaklaşım yapılarak bulunacaktır. Ardışık yaklaşımın ilk adımında $C_{R1}=1$ kabulü yapılır.

$$C_{R1} = 1 \quad (2.17)$$

$$C_{R1} = \frac{1 + (R_{y1} - 1)T_B / T_1^{(1)}}{R_{y1}} \geq 1 \quad (2.18)$$

Bu bağıntıda R_{y1} Denklem (2.25)’de verilen birinci moda ait *dayanım azaltma katsayısı*’nı göstermektedir.

$$R_{y1} = \frac{S_{ae1}}{\alpha_{y1}} \quad (2.19)$$

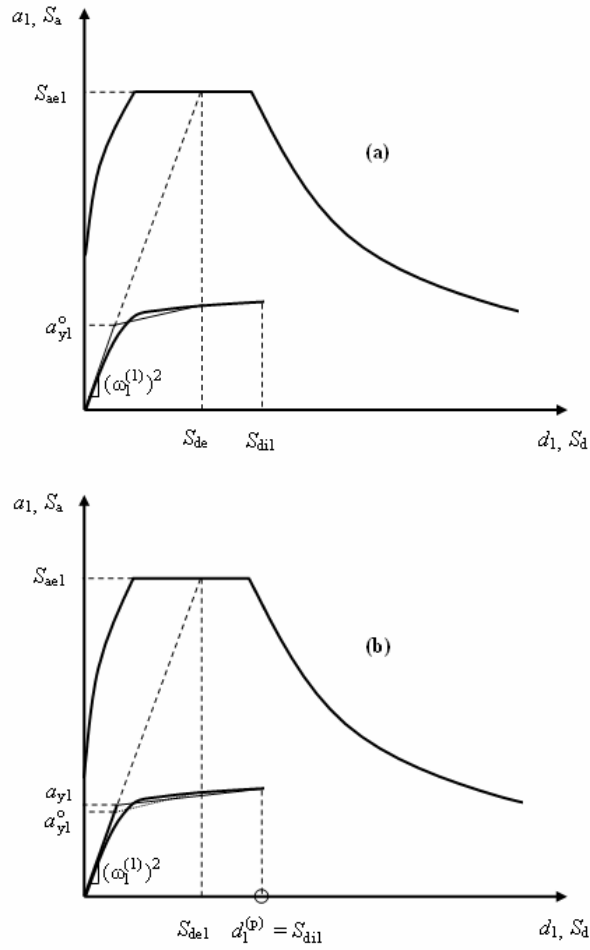


Şekil 2.5 Modal Kapasite Diyagramı-1

Son itme adımı $i = p$ için Denklem (2.20)'ye göre belirlenen modal yer değiştirme istemi $d_1^{(p)}$ 'nin Denklem (2.18)'de yerine konulması ile, x deprem doğrultusundaki tepe yer değiştirmesi istemi $u_{xN1}^{(p)}$ elde edilir:

$$u_{xN1}^{(p)} = \Phi_{xN1} \Gamma_{x1} d_1^{(p)} \quad (2.20)$$

Buna karşı gelen diğer tüm istem büyüklükleri (yer değiştirme, şekil değiştirme ve iç kuvvet istemleri) mevcut itme analizi dosyasından elde edilecek veya tepe yer değiştirmesi istemine ulaşıncaya kadar yapılacak yeni bir itme analizi ile hesaplanacaktır.



Şekil 2.6 Modal Kapasite Diyagramı-2

2.4.4.2 Artımsal mod birleştirme yöntemi

Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi'nin amacı, taşıyıcı sistemin davranışını temsil eden yeteri sayıda doğal titreşim mod şekli ile orantılı olacak şekilde monotonik olarak adım adım arttırılan ve birbirleri ile uygun biçimde ölçeklendirilen modal yer değiştirmeler veya onlarla uyumlu modal deprem yükleri esas alınarak Mod Birleştirme Yöntemi'nin artımsal olarak uygulanmasıdır. Ardışık iki plastik kesit oluşumu arasındaki her bir itme adımında, taşıyıcı sistemde “adım adım doğrusal elastik” davranışın esas alındığı bir tür itme analizi yöntemidir.

Doğrusal olmayan statik analizde yapıya etkiyecek olan sismik etkiler, monoton olarak artan yatay kuvvetlerin yükseklik ile dağılımının belirli bir hedef deplasmana ulaşması prensibi ile hesaplanır. Kuvvet dağılımı ve hedef deplasman, temel mod ve

bu mod şekillerine karşı gelen tepkilerin yapının akma durumu sonrası değişmeyeceği varsayımına dayanmaktadır [12].

Modal İtme Analizi Yöntemi ile bir yapının deprem hareketinden dolayı vereceği maksimum tepkinin Chopra ve Gael'in anlatmış olduğu yöntemle bulunması aşağıdaki maddelerde özetlenmiştir [13]:

Artımsal itme analizinden önce, kütlelerle uyumlu, düşey yüklerin gözönüne alındığı bir doğrusal olmayan statik analiz yapılacaktır. Bu analizin sonuçları artımsal itme analizinin başlangıç koşulları olarak kabul edilecektir.

Yapının doğrusal-elastik titreşimine ait doğal frekansları, ω_n ve modları ϕ_n hesaplanmalıdır.

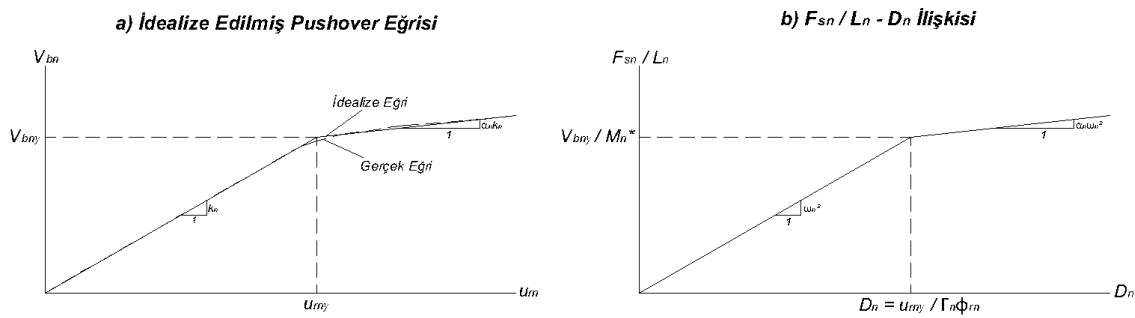
- n'inci mod için, Taban Kesme Kuvveti – Tepe Deplasmanı ($V_{bn} - u_m$) itme analizi eğrisi yük dağılımına (s_n^*) göre elde edilmelidir.

$$s_n^* = m \phi_n \quad (2.21)$$

İki yanal doğrultuda karşılık gelen (x,y) itme eğrilerinden mod hareketinin baskın bulunduğu yöndeki itme eğrisi seçilmelidir. İtme analizinden önce yapılan düşey yüklemelerden elde edilecek kat yatay deplasmanları not edilmelidir (urg).

İtme analizi eğrisi iki doğrudan oluşan bir eğriye idealize edilmelidir. (Şekil 2.5a)

İtme eğrisi negatif akma sonrası rijitlik değerleri verirse, ikincil rijitlik (akma sonrası rijitlik) iki doğrulu egride de negatif olabilir.



Şekil 2.7: Pushover Eğrisinden Elde Edilen “n. Mod” İnelastik Tek Serbestlik Dereceli Sistem Özellikleri

- İdealize edilmiş $V_{bn} - u_m$ itme analizi eğrisi aşağıdaki denklem kullanılarak Kuvvet – Yer Değiştirme ($F_{sn}/L_n - D_n$) ilişkisine dönüştürülmelidir.

$$\frac{F_{sn}^y}{L_n} = \frac{V_{bn}^y}{M_n^*} \quad (2.22)$$

$$D_n^y = \frac{u_{rn}^y}{\Gamma_n \phi_{rn}} \quad (2.23)$$

Bu denklemlerde; ϕ_{rn} seçilmiş itme eğrisindeki tepe noktası ϕ_n değerini belirtmekte ve zemin hareketi doğrultusunda ele alınan M_n^* ve Γ_n değerleri ile belirlenmektedir.

- n'inci moda ait elastik olmayan tek serbestlik dereceli sistemin kuvvet-deplasman ilişkisine ait Tepe deplasmanı $D_n(t)$ (4.8) denkleminin çözülmesiyle veya elastik olmayan tepki (veya tasarım) spektrumuyla bulunmalıdır.

$$\ddot{D}_n + 2\xi_n \omega_n \dot{D}_n + \frac{F_{sn}}{L_n} = -\ddot{u}_g(t) \quad (2.24)$$

- n'inci moda ait elastik olmayan tek serbestlik dereceli sistemin (2.25) denklemi ile pik tepe deplasmanı u_{rno} hesaplanmalıdır.

$$u_{rno} = \Gamma_n \phi_{rn} D_n \pi \quad (2.25)$$

- u_{rno} noktasına ulaşıldığında itme analizi verilerinden diğer beklenen tepki değerleri r_{no} çıkarılmalıdır.
- 3. Adım ile 8. Adım arasında yapılan uygulamalar, yeterli doğruluk seviyesini elde edebilmek için birçok mod için tekrarlanmalıdır. Genel olarak ilk iki veya üç mod yeterli olacaktır.
- “Modal” pik tepkilerin SRSS (Karelerin Toplamının Karekökü) yöntemi (2.14) kullanılarak birleştirilmesiyle toplam tepki elde edilmelidir. Mafsalın plastik dönme değerini belirlemek için mafsal dönmesinin akma değeri plastik mafsalın toplam dönme değerinden belirlenmelidir.

$$r_o \approx \left(\sum_{n=1}^N r_{no}^2 \right)^{1/2} \quad (2.26)$$

Toplam tepki aynı şekilde CQC (Tam Karesel Birleştirme) yöntemi ile de elde edilebilir.

$$r \approx maks \left[r_g \pm \left(\sum_{i=1}^J \sum_{n=1}^J \rho_{in} r_i r_n \right)^{1/2} \right] \quad (2.27)$$

Korelasyon katsayısı ρ_{in} aşağıdaki denklem ile elde edilmektedir.

$$\rho_{in} = \frac{8\sqrt{\xi_i \xi_n} \beta_{in} \xi_i + \xi_n \beta_{in}^{3/2}}{1 - \beta_{in}^2 + 4\xi_i \xi_n \beta_{in} + 1 + \beta_{in}^2 + 4\xi_i^2 + \xi_n^2 \beta_{in}^2} \quad (2.28)$$

- Artımsal itme analizinin deprem yönetmeliğinde tanımlanmış olan *Artımsal Eşdeğer Deprem Yüklü Yöntemi* ile yapılması durumunda, koordinatları “modal yer değiştirme – modal ivme” olarak tanımlanan birinci moda ait “modal kapasite diyagramı” elde edilecektir. Bu diyagram ile birlikte tanımlanmış olan elastik davranış spektrumu ve farklı aşılma olasılıkları için bu spektrum üzerinde deprem performansının belirlenmesi kuralları göz önüne alınarak, birinci moda ait modal yerdeğiştirme istemi belirlenecektir. Son aşamada, modal yer değiştirme istemine karşı gelen yerdeğiştirme, plastik şekil değiştirme (plastik dönmeler) ve iç kuvvet istemleri hesaplanacaktır.
- Artımsal itme analizinin Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi ile yapılması durumunda, göz önüne alınan bütün modlara ait “modal kapasite diyagramları” ile birlikte modal yer değiştirme istemleri de elde edilecek, bunlara bağlı olarak taşıyıcı sistemde meydana gelen yer değiştirme, plastik şekil değiştirme (plastik dönmeler) ve iç kuvvet istemleri hesaplanacaktır.
- Yöntemlerin genel işleyişi bakımından ortak özelliği; ilk aşamada etkitilen artımsal yatay kuvvetlerin etkisinde yerdeğiştirme istemlerinin belirlenmesidir. Elde edilen yerdeğiştirme istemlerinin ardından iç kuvvet istemlerinin hesaplanmasına geçilmektedir.

2.4.4.3 Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi

Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi'nin amacı, taşıyıcı sistemdeki doğrusal olmayan davranış göz önüne alınarak sistemin hareket denkleminin adım adım entegre edilmesidir. Analiz sırasında her bir zaman artımında

sistemde meydana gelen yer değiştirme, plastik şekil değiştirme ve iç kuvvetler ile bu büyüklüklerin deprem istemine karşı gelen maksimum değerleri hesaplanır.

Bina ve bina türü yapıların zaman tanım alanında doğrusal elastik ya da doğrusal elastik olmayan deprem hesabı için, yapay yollarla üretilen, daha önce kaydedilmiş veya benzeştirilmiş deprem yer hareketleri kullanılabilir.

Yapay yer hareketlerinin kullanılması durumunda, aşağıdaki özellikleri taşıyan en az üç deprem yer hareketi üretilecektir.

(a) Kuvvetli yer hareketi kısmının süresi, binanın birinci doğal titreşim periyodunun 5 katından ve 15 saniyeden daha kısa olmayacaktır.

(b) retilen deprem yer hareketinin sıfır periyoda karşı gelen spektral ivme değerlerinin ortalaması A_{0g} 'den daha küçük olmayacaktır.

(c) Yapay olarak üretilen her bir ivme kaydına göre %5 sönüm oranı için yeniden bulunacak spektral ivme değerlerinin ortalaması, göz önüne alınan deprem doğrultusundaki birinci (hakim) periyod T_1 'e göre $0.2 T_1$ ile $2 T_1$ arasındaki periyodlar için $S_{ae}(T)$ elastik spektral ivmelerinin %90'ından daha az olmayacaktır.

Zaman tanım alanında yapılacak deprem hesabı için kaydedilmiş depremler veya kaynak ve dalga yayılımı özellikleri fiziksel olarak benzeştirilmiş yer hareketleri kullanılabilir. Bu tür yer hareketleri üretilirken yerel zemin koşulları da uygun biçimde göz önüne alınmalıdır. Kaydedilmiş veya benzeştirilmiş yer hareketlerinin kullanılması durumunda en az üç deprem yer hareketi üretilecek ve yukarıdaki tüm koşulları sağlayacaktır.

Zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan hesap yapılması durumunda, taşıyıcı sistem elemanlarının tekrarlı yükler altındaki dinamik davranışını temsil eden i kuvvet – şekil değiştirme bağıntıları, teorik ve deneysel geçerlilikleri kanıtlanmış olmak kaydı ile, ilgili literatürden yararlanılarak tanımlanacaktır. Doğrusal veya doğrusal olmayan hesapta,  yer hareketi kullanılması durumunda sonuçların maksimumu, en az yedi yer hareketi kullanılması durumunda ise sonuçların ortalaması tasarım için esas alınacaktır. [6]

2.4.5 Bina deprem performansının belirlenmesi

Binaların deprem güvenliği, uygulanan deprem etkisi altında yapıda oluşması beklenen hasarların durumu ile ilişkilidir ve dört farklı hasar durumu için istenen performans şartları Çizelge 2.1’de tanımlanmıştır. Doğrusal veya doğrusal olmayan hesap yöntemlerinin uygulanması ve eleman hasar bölgelerine karar verilmesi ile bina deprem performans düzeyi belirlenir. Bunun sonucuna göre gerekiyorsa bina için güçlendirme stratejileri oluşturulur.

Yönetmelikte yeni bina tasarımı için tanımlanan ivme spektrumu 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremi esas almaktadır. Mevcut binaların değerlendirilmesinde ve güçlendirme tasarımında 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depreme ek olarak aşağıda iki farklı deprem tanımlanmıştır: [6]

- 50 yılda aşılma olasılığı %50 olan depremin ivme spektrumunun ordinatları, 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan 50 olan depremin ivme spektrumunun ordinatlarının yaklaşık olarak 0.5 katı alınacaktır.
- 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan depremin ivme spektrumunun ordinatları, 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremin ivme spektrumunun ordinatlarının yaklaşık olarak 1.5 katı alınacaktır.

Mevcut veya güçlendirilecek binaların deprem performanslarının belirlenmesinde esas alınacak deprem düzeyleri ve bu deprem düzeylerinde binalar için öngörülen minimum performans hedefleri Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1: Binalar İçin Performans Şartları

Performans Düzeyi	Performans Şartları
<i>Hemen Kullanım</i>	1) Herhangi bir katta kirişlerin en fazla %10'u BHB'ne geçebilir. 2) Hiç bir katta düşey taşıyıcı elemanlar BHB'ne geçmemelidir. 3) Gevrek hasar gören eleman varsa güçlendirilmelidir.
<i>Can Güvenliği</i>	1) Herhangi bir katta kirişlerin en fazla %30'u İHB'ne geçebilir. 2) Her bir katta İHB'ne geçen düşey taşıyıcılar tarafından taşınan kesme kuvvetinin o kattaki toplam kesme kuvvetine oranı % 20'yi aşmamalıdır. Bu oran çatı katında %40'ı geçmemelidir. 3) Her iki ucu MN'yi geçmiş düşey taşıyıcı elemanların taşıdığı kesme kuvveti, kat kesmesinin %30'unu aşmamalıdır. 4) Gevrek hasar gören eleman varsa güçlendirilmelidir.
<i>Göçme Öncesi</i>	*Tüm gevrek elemanlar göçme bölgesindedir varsayımı yapılır. 1) Kirişlerin en fazla % 20'si GB'ne geçebilir. 2) Her iki ucu MN'yi geçmiş düşey taşıyıcı elemanların taşıdığı kesme kuvveti, kat kesmesinin %30'unu aşmamalıdır. 3) Diğer tüm elemanlar MHB, BHB veya İHB'ndedir
<i>Göçme Durumu</i>	Göçmenin önlenmesi durumu sağlanmıyorsa, göçme durumundadır.

Çizelge 2.2: Binalar İçin Hedeflenen Çok Seviyeli Performans Düzeyleri

<i>Binanın Kullanım Amacı Ve Türü</i>	<i>Deprem Aşılma Olasılığı</i>		
	50 yılda %50	50 yılda %10	50 yılda %2
Deprem Sonrası Kullanımı Gereken Binalar: Hastaneler, sağlık tesisleri, itfaiye binaları, haberleşme ve enerji tesisleri, ulaşım istasyonları, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, afet yönetim merkezleri, vb.	-	HK	CG
İnsanların Uzun Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar: Okullar, yatakhaneler, yurtlar, pansiyonlar, askeri kışlalar, cezaevleri, müzeler, vb.	-	HK	CG
İnsanların Kısa Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar: Sinema, tiyatro, konser salonları, kültür merkezleri, spor tesisleri	HK	CG	-
Tehlikeli Madde İçeren Binalar: Toksik, parlayıcı ve patlayıcı özellikleri olan maddelerin bulunduğu ve depolandığı binalar	-	HK	GÖ
Diğer Binalar: Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (konutlar, işyerleri, oteller, turistik tesisler, endüstri yapıları, vb.)	-	CG	-

3. ÇİFT YÖNLÜ ÇOK MODLU DOĞRUSAL OLMAYAN İTME ANALİZİNİN BETONARME BİR BİNADA KARŞILAŞTIRMALI İNCELENMESİ

Bu bölümde, İstanbul ilinde 2007 yılı Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik kurallarına göre inşa edilecek olan 20 katlı bir konut binasının deprem yükleri altındaki yapısal davranışı, çok modlu doğrusal olmayan itme analizi yöntemleri uygulanarak incelenmiştir. Bina planının simetrik olmamasından ötürü itme analizi çift doğrultuda uygulanmış ve doğrusal olmayan zaman tanım alanındaki analiz verileriyle karşılaştırılmıştır. Yapıya ait matematik model ETABS 2013 paket programı kullanılarak oluşturulmuştur. İncelemeye esas olmuş yapı, Chopra ve Goel'in Modal İtme Analizi teknikleri [13] ve Reyes ile geliştirdikleri üç boyutlu birleştirme yöntemleri [14] uygulanarak performans değerlendirmesine tabi tutulmuştur. Elde edilen veriler, değerlendirme ve karşılaştırma sonuçları aşağıdaki bölümlerde sunulmuştur.

3.1 Genel Yapı Bilgileri

Tasarım ve farklı deprem performansı belirleme yöntemleri için ortak bilgi ve ön hesaplamalar içeren yapının; tasarım ve performans değerlendirme parametreleri, performans değerlendirme için bilgisayar modeli, performans değerlendirme için eleman rijitlikleri ve performans değerlendirme için dinamik özellikleri bu kısımda aktarılmıştır.

3.1.1 Binanın sistem ve geometrik özellikleri

Bina 1 zemin kat ve 19 normal kat olarak toplam 20 kattan oluşmaktadır. X doğrultusunda 29.7 m, Y doğrultusunda 24.7 m uzunluğunda ve X doğrultusunda 9, Y doğrultusunda 7 aks ile tanımlanabilmektedir. Kat yükseklikleri zemin katta 4.2 m, normal katlarda ise 4 m'dir. Bina toplam yüksekliği 80.2 metredir. Bina yerinde dökme betonarme elemanlardan oluşturulacaktır. Düşey taşıyıcılar olarak kolon ve

perdeler, yatay taşıyıcı olarak da plak döşemelerden aktarılan yükleri kolonlara aktararak çerçeve oluşturan kirişler kullanılmıştır. Binada bulunan kolonlar; 70 cm / 110 cm, 70 cm / 130 cm dikdörtgen kesitlidir. Çekirdeği oluşturan betonarme perde kalınlığı 30 cm olarak tasarlanmıştır. Binada bulunan kiriş boyutları; 110/45, 100/45 ve 30/60 ölçülerindedir. Plak döşemeler 15 cm kalınlığında olmakla beraber sistemde konsol döşeme bulunmamaktadır.

3.1.2 Tasarım ve performans değerlendirmesi için parametreler

15 cm kalınlığında bulunan tüm döşemeler çift doğrultuda çalışan plak döşemelerdir. Binaya ait temeller boyutlandırılmamış olup, kolonların temellere bağlandığı düğüm noktalarının uzayda 6 serbestliği de tutulmuştur.

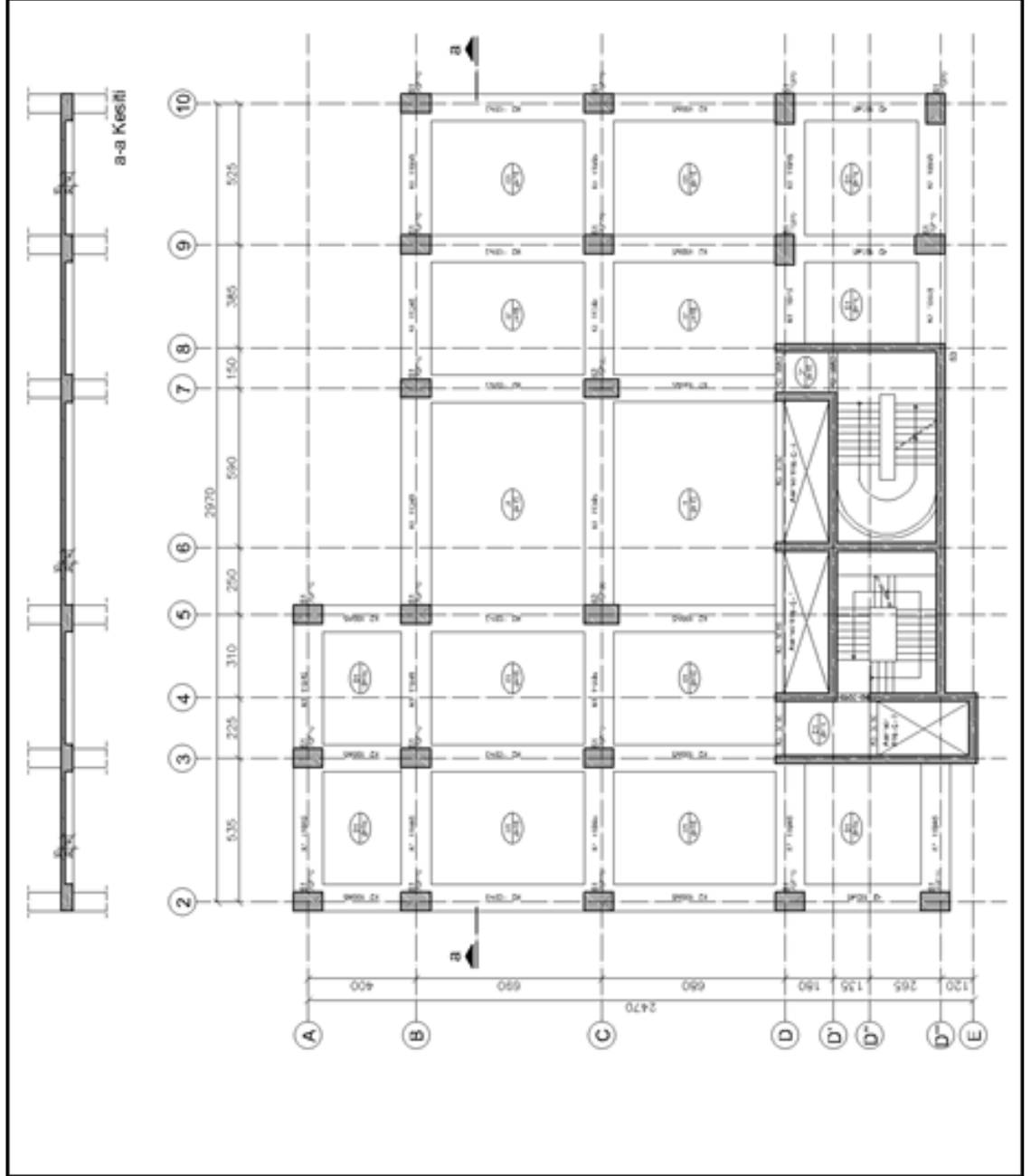
Yapının deprem yükleri altında davranışını belirleyebilmek için 3 boyutlu model hazırlanmış, taşıyıcı sistem üzerine her iki doğrultuda da çok modlu doğrusal olmayan itme analizi ve zaman tanım alanında analiz prosedürleri uygulanmıştır.

70/110 dikdörtgen kesitli kolonlarda 26 Φ 20 boyuna donatı bulunmakta ve kesitin yaklaşık %1.06'sına denk gelmektedir. 70/130 dikdörtgen kesitli kolonlarda ise kesitin %1.04'üne denk gelen 30 Φ 20 boyuna donatı bulunmaktadır. Kolonlardaki boyuna donatılar tüm katlarda aynı olarak devam ettirilmiştir. Etriye düzeni olarak Φ 10/100 kullanılmış, gövde bölgelerinde de etriyelerde sıklaştırma uygulaması yapılmıştır.

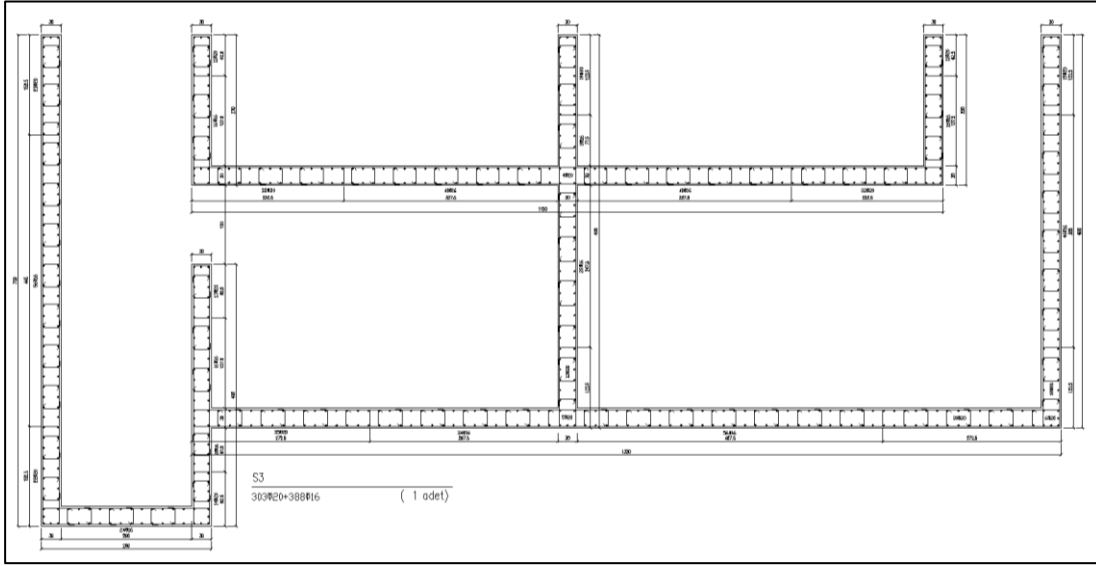
Çekirdeği oluşturan perde programa shell (kabuk) eleman olarak tanımlanmıştır. Bundan ötürü başlık bölgeleri ve gövde bölgelerinde ayrı donatı düzeni uygulaması yapılabilmektedir. Deprem yönetmeliğinin öngördüğü kritik kat yüksekliği (4 kat) boyunca perdelerde başlık bölgesi uygulaması yapılmıştır. Başlık bölgesindeki boyuna donatıları da kritik kat yüksekliği boyunca sabit, kritik kat üzerinden en üst kata kadar da kendi içerisinde aynı tutulmuştur.

Yapının bulunduğu yerel zemin sınıfı “Z2” olarak göz önünde bulundurulmuştur. Tasarım ve performans değerlendirmesine Yapı – Zemin etkileşimi dikkate

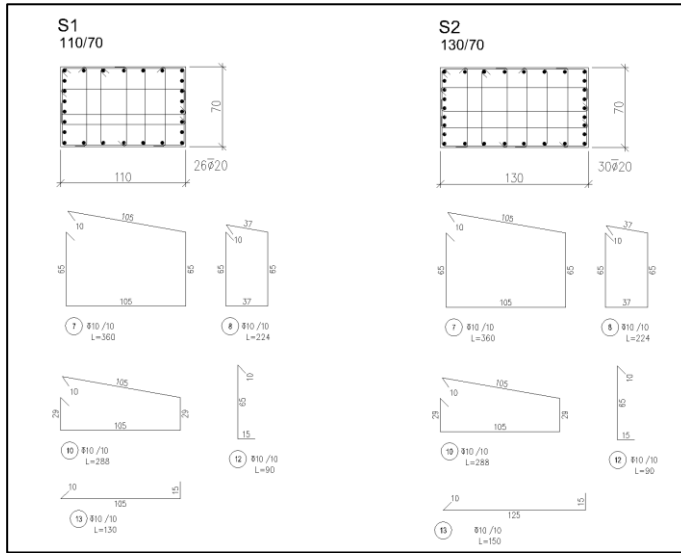
alınmamıştır. Zaman tanım alanında analiz uygulamasında söz konusu zemin özellikleri ve deprem spektrumu ile uyumlu yapay deprem kayıtları kullanılmıştır.



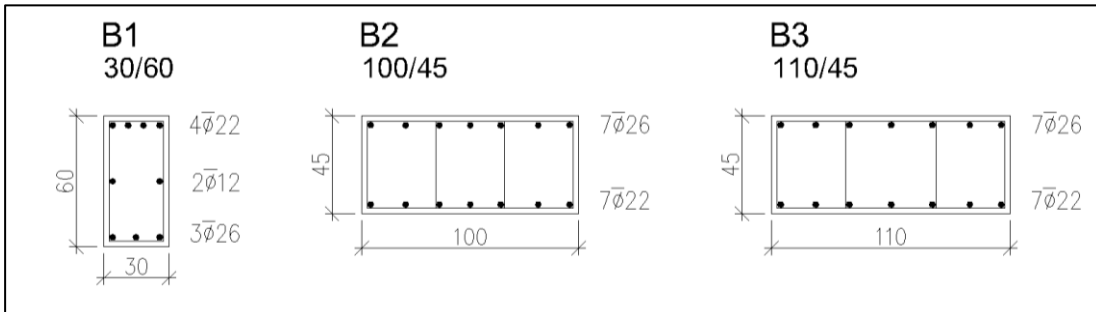
Şekil 3.1: Binaya Ait Tavan Kalıp Planı



Şekil 3.2: S3 Perdesine Ait Teçhizatlı Enkesit Detayı



Şekil 3.3: S1(110/70) ve S2(130/70) Kolonlarına Ait Teçhizatlı Enkesit Detayları



Şekil 3.4: B1(30/60), B2(100/45) ve B3(110/45) Kirişlerine Ait Teçhizatlı Enkesit Detayları

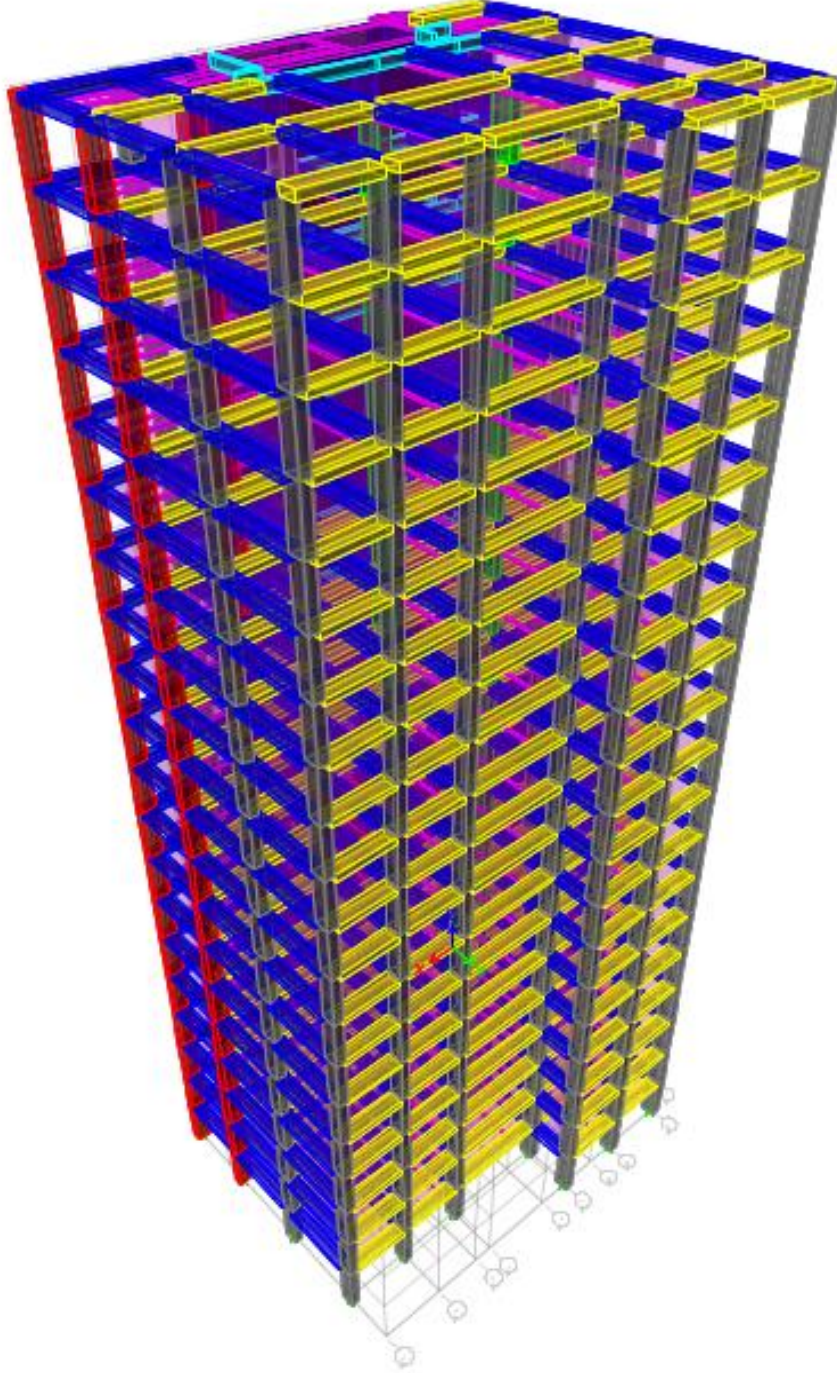
Yukarıda bahsedilen bilgiler ve bunlara ek olarak diğer yapı bilgileri aşağıda özetlenmiştir:

Yapı Analizinde Kullanılan Birimler	: kN, m
Kat Sayısı	: 20 (Zemin + 19 Normal Kat)
Kat Yüksekliği	: Zemin: 4.2 m, Normal Katlar: 4 m
Döşeme Tipi	: Kirişli Plak Döşeme
Döşeme Kalınlığı	: 15 cm
Hareketli Yük Katılım Katsayısı	: 0.30
Deprem Bölgesi	: 1. Derece Deprem Bölgesi
Etkin Yer İvmesi Katsayısı (A_0)	: 0.40
Zemin Sınıfı	: Z2
Spektrum Karakteristik Periyotları	: $T_A = 0.15$ s, $T_B = 0.40$ s
Beton Sınıfı	: C40
Donatı Çeliği Sınıfı	: S420
Binanın Kullanım Amacı	: Konut
Binada Kullanılan Kaplama Ağırlığı	: 3 kN/m^2
Binada Kullanılan Duvar Tipi ve Ağırlığı	: 19 cm Tuğla, 12 kN/m (4 m kat yük.)

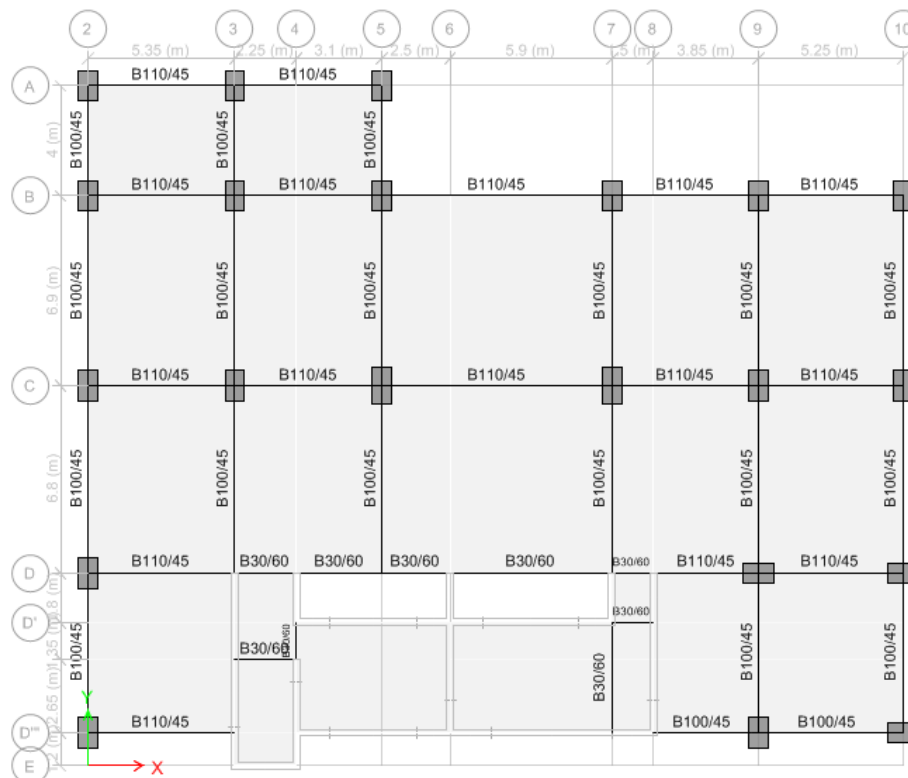
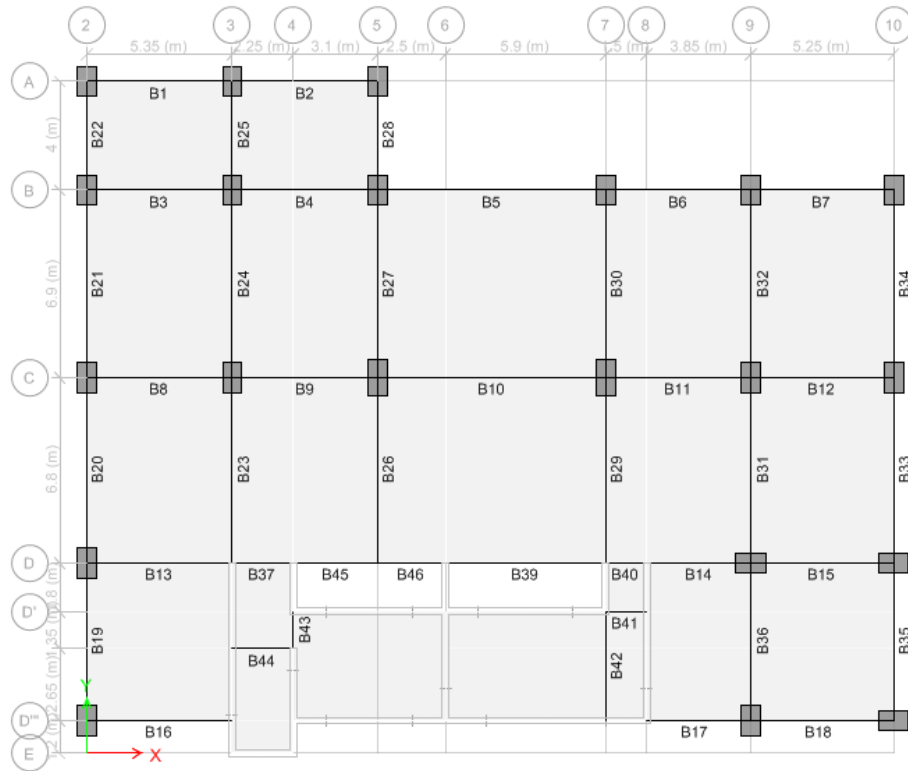
3.1.3 Yapının bilgisayar modeli

Yapı çubuk (frame) ve kabuk (shell) elemanlar kullanılarak modellenmiştir. Kalıp planında 2 ve E akslarının kesiştiği nokta; X ve Y koordinatlarının başlangıç noktasıdır. Kirişler için i ucu; kiriş X doğrultusunda uzanıyorsa 2 aksına yakın olan, Y doğrultusunda uzanıyorsa E aksına yakın olan uçtur. Diğer uç da j olarak isimlendirilmiştir. Kolon ve perdelerde ise zemine yakın olan uç i ucu, diğer uç da j ucu olarak nitelendirilmiştir. Döşeme yükleri membrane eleman olarak tanımlanan plak döşemelerden kirişlere program vasıtasıyla otomatik olarak aktarılmıştır. Kat

döşemeleri bina için rijit diyafram oluşturacak şekilde tanımlanmıştır. Binanın 3 boyutlu bilgisayar modelinin görüntüsü Şekil 3.5’te sunulmuştur.

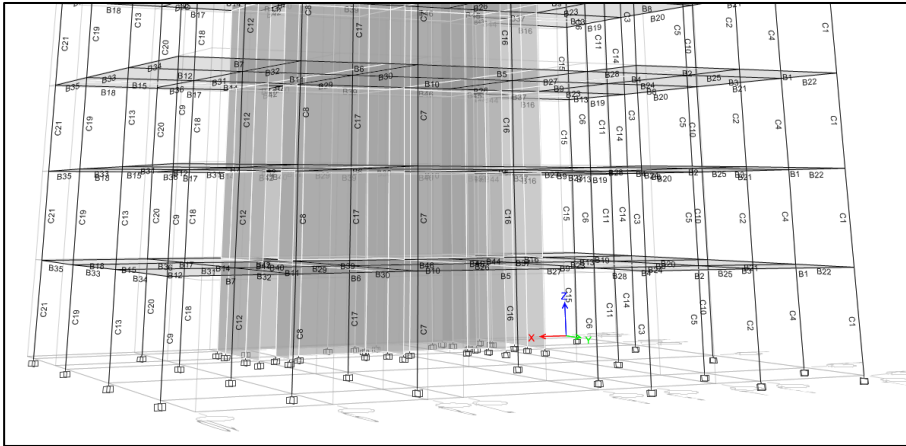


Şekil 3.5: Yapının 3 Boyutlu Bilgisayar Modeli

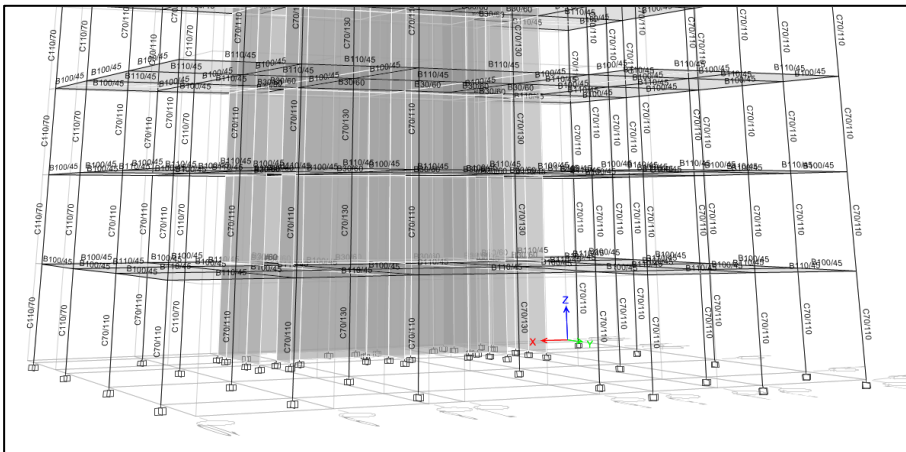


3.1.4 Performans değerlendirmesinde kullanılacak eleman rijitlikleri

Deprem yönetmeliğinde, betonarme elemanların çatladıktan sonraki yaklaşık eğilme rijitliklerini hesaba katmak için verilen, kesitteki eksenel kuvvet seviyesine göre, çatlamış kesite ait eğilme rijitlikleri bu çalışmanın 2.2.2 bölümünde tariflenmiştir. Burada bahsi geçen eksenel kuvvet, deprem hesabında esas alınan toplam kütlelerle uyumlu düşey yükler altında kolon ve perdede oluşan eksenel kuvvettir. Kolonlar üzerine gelen düşey yüklemelerin sonucunda $N_D/(A_c f_{cm})$ değeri 0.10 - 0.40 aralığında bulunmakta ve yaklaşık olarak 0.55(EI) değerine karşılık gelmektedir. Sonuç olarak, tüm elemanların çatlamış kesit rijitliklerinin çatlamamış kesit rijitliklerine oranı 0.55 alınmıştır. Kirişler için yönetmelikte de belirtildiği gibi 0.40(EI) değeri kullanılmıştır. Deprem yüklerinin etkililmesi ile düşey taşıyıcılarda meydana gelecek eksenel kuvvet değişimlerinin eğilme rijitliğinde meydana getireceği değişim göz önüne alınmamıştır.



Şekil 3.8: Bilgisayar Modeli Kolon İsimleri Anahtar Görünüşü



Şekil 3.9: Bilgisayar Modeli Kolon Kesitleri Anahtar Görünüşü

3.1.5 Performans değerlendirmesi için dinamik özellikler

Çatlamış kesit rijitliklerine göre düzenlenmiş yapı matematik modeli periyotları izelge 3.1’de sunulmuştur. Söz konusu periyotların bina çatlamamış kesit rijitliğine sahip çözümüne göre büyük olduğu söylenebilir. Eleman rijitliklerinin %40-55 azaltılması ve periyodun rijitliğin karekökünün tersi ile orantılı olması sebebiyle yaklaşık %60’lık bir artış söz konusudur.

Çizelge 3.1: Bina Modlarının Eleman Rijitliklerinin Azaltılmış Durumuna Karşılık Gelen Periyotları ve Etkin Ktle Oranları

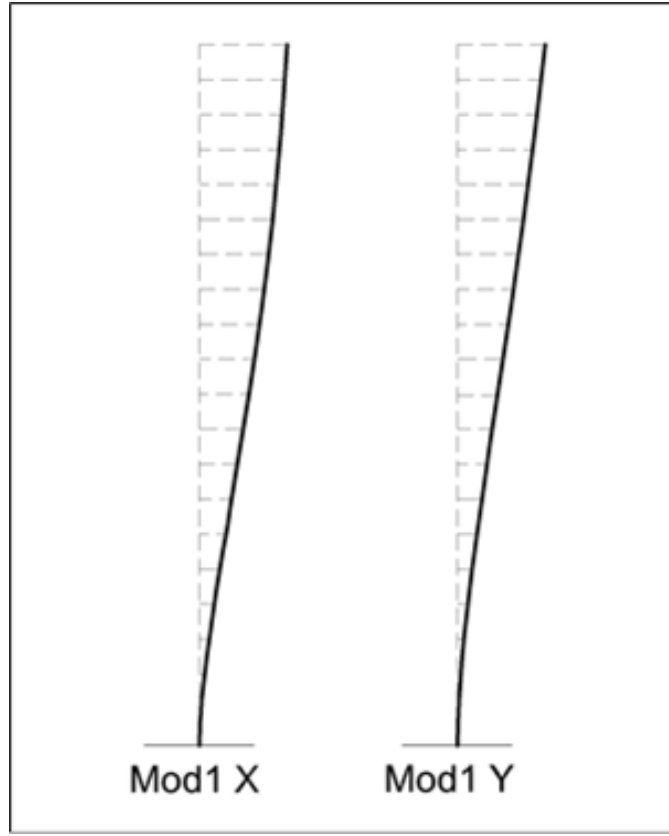
		Ktle Katılım Oranları		
Mod	Periyot (s)	X Yönü	Y Yönü	Açısal
1	4.048	0.159	0.730	0.111
2	3.670	0.390	0.269	0.341
3	1.438	0.487	0.003	0.510
4	1.133	0.433	0.043	0.524
5	0.857	0.018	0.954	0.028
6	0.608	0.460	0.024	0.517
7	0.386	0.448	0.024	0.528
8	0.359	0.011	0.972	0.017
9	0.330	0.505	0.004	0.492
10	0.272	0.441	0.023	0.536
11	0.207	0.019	0.957	0.024
12	0.205	0.428	0.044	0.528
13	0.162	0.437	0.025	0.534
14	0.152	0.533	0.001	0.466
15	0.139	0.012	0.976	0.013
16	0.133	0.436	0.026	0.538
17	0.112	0.437	0.026	0.537
18	0.102	0.014	0.974	0.012
19	0.096	0.530	0.005	0.464
20	0.096	0.452	0.022	0.525
21	0.084	0.443	0.026	0.531
22	0.080	0.016	0.974	0.011
23	0.074	0.447	0.026	0.528
24	0.070	0.547	0.003	0.451

3.2 Doğrusal Olmayan İtme Analizi Hesap Yöntemi İle Deprem Performansının Belirlenmesi

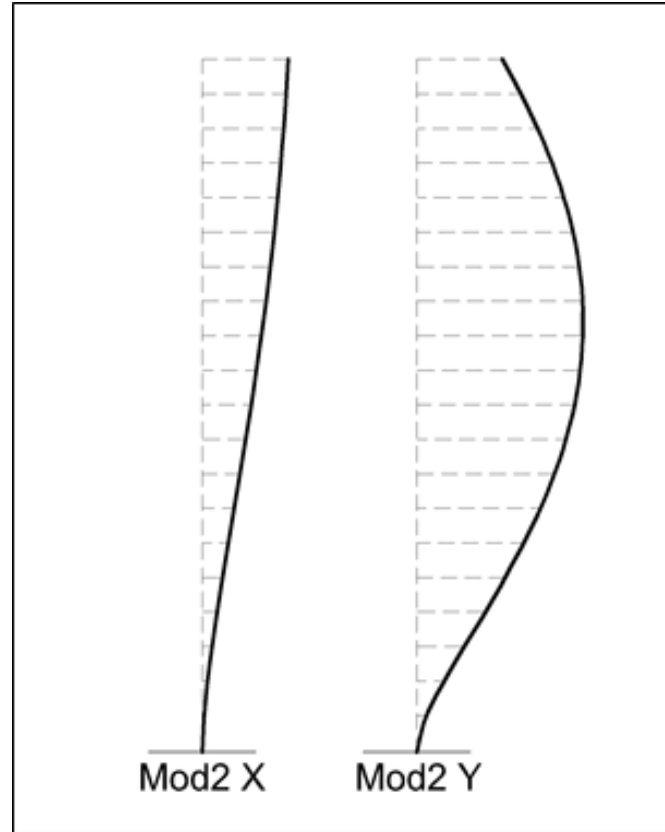
Ele alınan binaya ait doğrusal olmayan itme analizi uygulaması, Chopra ve Goel'in [2001] tariflemiş oldukları itme analizi teknikleri ile gerçekleştirilmiştir. 2.2.4.2. Bölümde de tarif edildiği üzere çok modlu çözüm tekniği kullanılacaktır. İtme analizinde sismik etkileri oluşturacak yüklemeler bu mod davranışlarına göre belirlenmektedir. Binaya ait itme analizi sistemin simetrik olmamasından ötürü iki doğrultuda yapılmıştır. Yeterli veriyi elde edebilmek amacıyla 4 mod hesaba katılmakta olup, dolayısıyla 8 mod şekli elde edilmiştir. Söz konusu mod şekilleri ve kat kütlelerinin çarpılmasıyla elde edilen itme değerleri aşağıda sunulmuştur:

Çizelge 3.2: 1. Mod Şekli ve Statik İtme Değerleri (kN)

Mod1	Φ_{1x}	Φ_{1y}	Mod1-X $W_i \times \Phi_i$	Mod1-Y $W_i \times \Phi_i$
Kat 20	1.000	1.000	14049.54	14049.54
Kat 19	0.975	0.955	13412.99	13142.51
Kat 18	0.947	0.908	13020.3	12493.34
Kat 17	0.914	0.859	12574.18	11814.78
Kat 16	0.877	0.808	12063.94	11108.05
Kat 15	0.836	0.754	11494.94	10369.47
Kat 14	0.789	0.698	10859.15	9601.501
Kat 13	0.739	0.640	10167.26	8807.806
Kat 12	0.685	0.581	9416.607	7993.289
Kat 11	0.626	0.521	8615.194	7162.849
Kat 10	0.565	0.460	7771.038	6325.061
Kat 9	0.501	0.399	6889.484	5486.047
Kat 8	0.435	0.339	5983.886	4656.832
Kat 7	0.368	0.280	5062.261	3847.214
Kat 6	0.301	0.223	4140.636	3068.218
Kat 5	0.235	0.170	3235.039	2332.09
Kat 4	0.172	0.120	2366.841	1657.205
Kat 3	0.113	0.077	1557.413	1055.81
Kat 2	0.062	0.040	849.4982	554.8514
Kat 1	0.021	0.013	290.6014	183.052



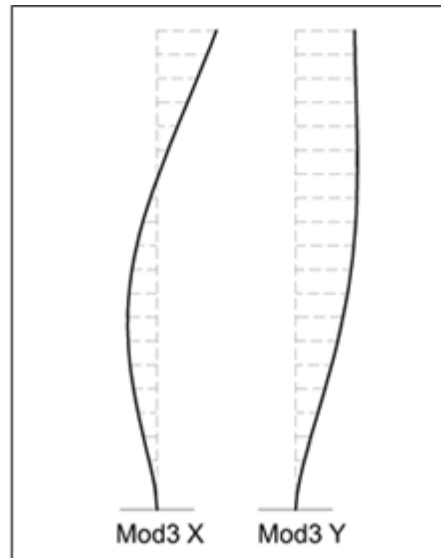
Şekil 3.10: Binaya Ait 1. Mod Şekilleri



Şekil 3.11: Binaya Ait 2. Mod Şekilleri

Çizelge 3.3: 2. Mod Şekli ve Statik İtme Değerleri (kN)

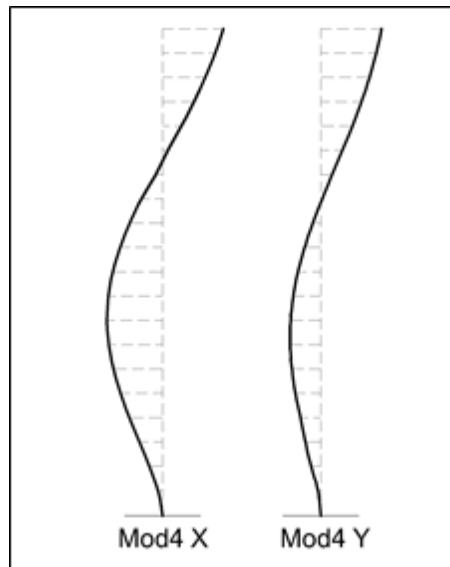
Mod2	$\Phi 2x$	$\Phi 2y$	Mod2-X $W_i \times \Phi_i$	Mod2-Y $W_i \times \Phi_i$
Kat 20	1.000	1.000	14049.54	14049.54
Kat 19	0.976	1.215	13419.6	16717.29
Kat 18	0.948	1.409	13035.2	19381.94
Kat 17	0.916	1.577	12600.09	21689.31
Kat 16	0.880	1.715	12102.83	23594.76
Kat 15	0.839	1.823	11541.77	25068.5
Kat 14	0.794	1.895	10915.28	26065.88
Kat 13	0.744	1.934	10228.27	26601.79
Kat 12	0.689	1.937	9482.376	26646.44
Kat 11	0.631	1.906	8682.5	26214.74
Kat 10	0.570	1.840	7836.823	25306.68
Kat 9	0.505	1.739	6951.888	23922.26
Kat 8	0.439	1.606	6039.146	22091.24
Kat 7	0.371	1.442	5108.411	19828.53
Kat 6	0.304	1.249	4176.04	17178.77
Kat 5	0.237	1.031	3256.755	14186.63
Kat 4	0.173	0.798	2376.728	10971.19
Kat 3	0.113	0.554	1558.859	7621.776
Kat 2	0.061	0.319	845.6768	4391.453
Kat 1	0.021	0.114	289.3621	1589.111



Şekil 3.12: Binaya Ait 3. Mod Şekilleri

Çizelge 3.4: 3. Mod Şekli ve Statik İtme Değerleri (kN)

Mod3	Φ_{3x}	Φ_{3y}	Mod3-X $W_i \times \Phi_i$	Mod3-Y $W_i \times \Phi_i$
Kat 20	1.000	1.000	14049.54	14049.54
Kat 19	0.845	1.006	11625.37	13841.64
Kat 18	0.682	1.016	9383.735	13975.23
Kat 17	0.516	1.027	7092.286	14125.22
Kat 16	0.348	1.037	4785.269	14263.5
Kat 15	0.184	1.044	2534.293	14357.24
Kat 14	0.029	1.045	392.2862	14368.96
Kat 13	-0.114	1.037	-1572.26	14261.15
Kat 12	-0.240	1.018	-3297.07	14005.7
Kat 11	-0.343	0.986	-4723	13565.09
Kat 10	-0.422	0.940	-5809.57	12932.3
Kat 9	-0.474	0.879	-6519.42	12088.58
Kat 8	-0.497	0.803	-6840.1	11038.63
Kat 7	-0.492	0.712	-6762.27	9789.456
Kat 6	-0.459	0.609	-6310.83	8373.887
Kat 5	-0.401	0.496	-5516.91	6822.386
Kat 4	-0.324	0.378	-4452.14	5202.919
Kat 3	-0.232	0.260	-3194.33	3571.734
Kat 2	-0.136	0.149	-1874.26	2046.013
Kat 1	-0.048	0.054	-677.368	752.939



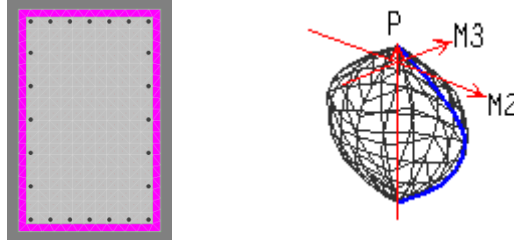
Şekil 3.13: Binaya Ait 4. Mod Şekilleri

Çizelge 3.5: 4. Mod Şekli ve Statik İtme Değerleri (kN)

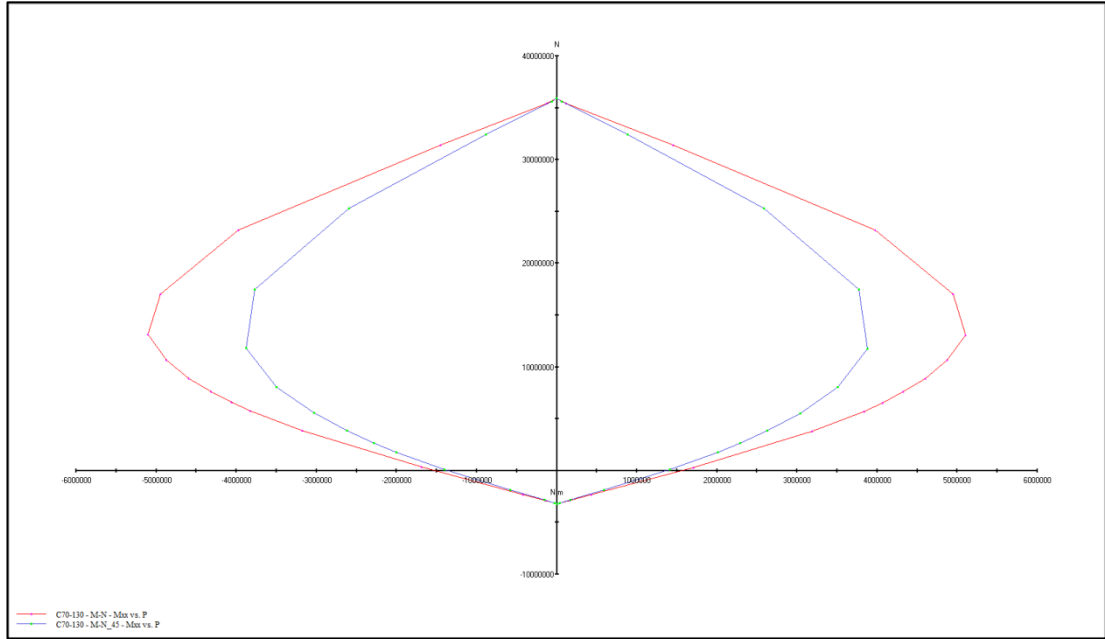
Mod4	Φ4x	Φ4y	Mod4-X W_i x Φ_i	Mod4-Y W_i x Φ_i
Kat 20	1.000	1.000	14049.54	14049.54
Kat 19	0.866	0.911	11905.24	12536.11
Kat 18	0.703	0.801	9670.842	11017.06
Kat 17	0.516	0.669	7095.471	9207.727
Kat 16	0.307	0.519	4221.375	7135.939
Kat 15	0.086	0.356	1184.339	4895.147
Kat 14	-0.111	0.187	-1520.78	2572.835
Kat 13	-0.350	0.022	-4812.79	298.2421
Kat 12	-0.542	-0.132	-7453.04	-1809.34
Kat 11	-0.702	-0.267	-9651.23	-3678.32
Kat 10	-0.821	-0.376	-11297.2	-5167.54
Kat 9	-0.893	-0.453	-12288.5	-6227.29
Kat 8	-0.916	-0.496	-12594.7	-6817.81
Kat 7	-0.887	-0.503	-12196.4	-6913.25
Kat 6	-0.811	-0.476	-11153.9	-6543.43
Kat 5	-0.694	-0.418	-9541.09	-5748.12
Kat 4	-0.547	-0.336	-7520.93	-4626.73
Kat 3	-0.382	-0.239	-5254.84	-3288.62
Kat 2	-0.219	-0.186	-3017.42	-1185.02
Kat 1	-0.078	-0.049	-1084.44	-685.261

3.2.1 Kesitlerin plastik özelliklerinin tanımlanması

Yapı mevcut kalıp planına uygun olarak ETABS2013 paket programında kiriş ve kolonlar çubuk eleman olacak şekilde, perdeler shell (kabuk) eleman olacak şekilde tanımlanmıştır. Plastik mafsallı değerlerinin elde edilmesi için ilk aşamada XTRACT paket programı kullanılmış, ETABS2013'ün FEMA-273 özelliklerine göre hazırlanmış olduğu değerler ile karşılaştırması yapılmıştır. [4] Bu değerlerin birbirine uyum sağladığının görülmesi üzerine plastik mafsallı tanımlamalarında programın otomatik atamış olduğu değerler kullanılmıştır.



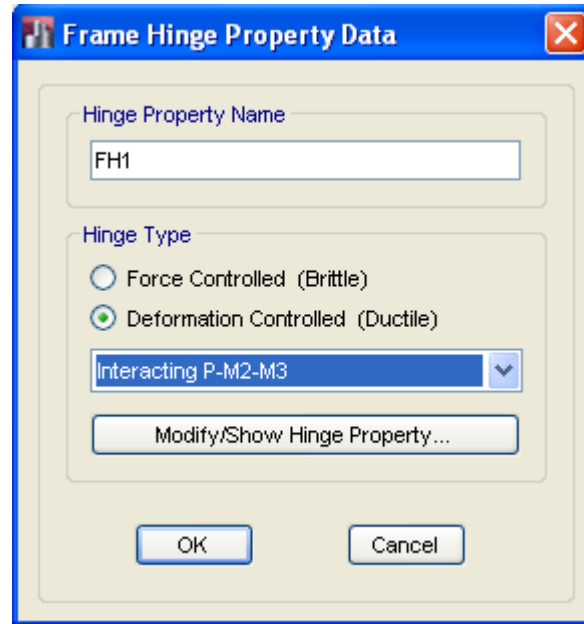
Şekil 3.14: 70/130 Kolon Donatılı Xtract Programı Kesit Detayı ve 3 Boyutlu Akma Yüzeyi



Şekil 3.15: 70/130 Kolonu, 0° ve 45° Yükleme Açıları İçin Hazırlanmış Karşılıklı Etki Diyagramı

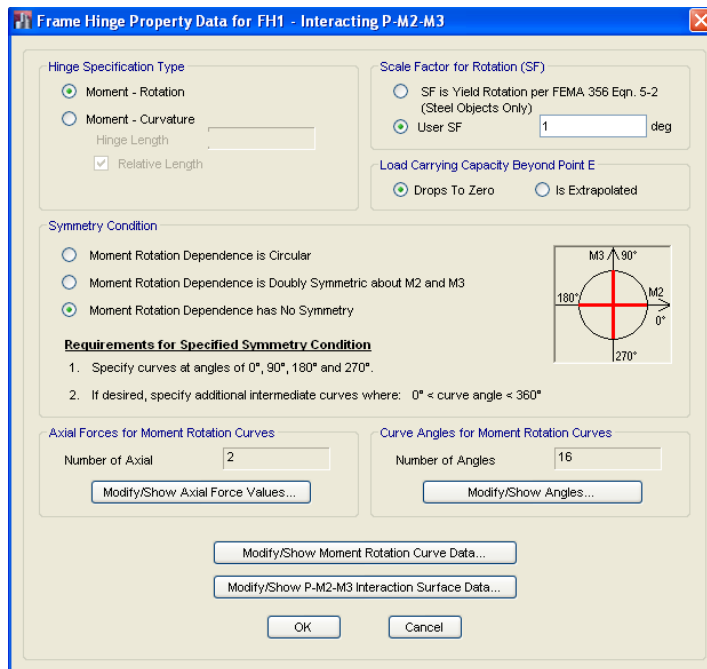
Eleman şekildegıştirmelerinin düşey taşıyıcılarda çubuk uç bölgelerinde yoğunlaşması sebebiyle, plastik mafsallar bu bölgelerde kolonlar için Normal Kuvvet ve iki yönlü eğilmeyi niteleyen P-M2-M3 mafsalı, kirişler içinse eğilmeye çalışan eleman olmaları sebebiyle M3 mafsalı tanımı yapılmıştır.

Şekil 3.16’da gösterilen kolonlar için plastik mafsal tanımlanması bölümünde ‘Modify/Show Hinge Property’ kısmından mafsal tanımlamalarında kullanılacak kabullere ulaşılmaktadır. Bu bölümde mafsal değerlendirme verisi olarak ‘Moment-Dönme’ ilişkisi tercih edilmiştir. Kolonlar kesit olarak simetrik olmadığından ötürü Şekil 3.17’de de görülebileceği üzere simetri özelliği olarak Moment-Dönme ilişkisinde simetriklikten faydalanılmayan koşul seçilmiştir.



Şekil 3.16: Kolonlar İçin ETABS Programında Plastik Mafsal Tanımlanması

P-M2-M3 mafsalı tanımının yapılmış olduğu ‘Frame-Hinge Property Data’ kısmında “Modify/Show Axial Force Values” penceresi Şekil 3.18’de gösterildiği üzere ilgili kesit üzerine etkiyen eksenel yük değeridir. Yüklemeler program tarafından G+nQ kombinasyonundan alınacak şekilde hazırlanmıştır. “Modify/Show Angles” seçeneği ile açılan pencerede Moment-Dönme ilişkisinin hangi açı değerlerinde kontrol edildiğini göstermektedir. Program 22.5°’de bir bu verileri kullanmaktadır.



Şekil 3.17: ETABS2013 P-M2-M3 Mafsalı İçin Veri Girişi

Axial Forces for FH1 - Interacting P-M2-M3

This Number of Axial Force Values Is Specified

Number of Axial Forces:

Axial Force Data

	Force kN
1	-12320
2	-3080

Order Rows

OK Cancel

Angles for FH1 - Interacting P-M2-M3

This Number of Angles Is Specified

Number of Angles:

Angle Data

	Angle deg
1	0
2	22.5
3	45
4	67.5
5	90
6	112.5
7	135
8	157.5
9	180
10	202.5
11	225
12	247.5
13	270
14	292.5
15	315

Order Rows

OK Cancel

Şekil 3.18: P-M2-M3 Mafsalı İçin Normal Kuvvet ve Açı Değerleri Veri Girişi

Moment Rotation Data for FH1 - Interacting P-M2-M3

Select Curve

Axial Force: Angle: Curve #1: ◀ ▶ 🔍

Moment Rotation Data for Selected Curve

Point	Moment/Yield Mom	Rotation/SF
A	0	0
B	1	0
C	1.1	0.015
D	0.2	0.015
E	0.2	0.025

Note: Yield moment is defined by interaction surface

Copy Curve Data Paste Curve Data

Acceptance Criteria (Plastic Deformation / SF)

☐ Immediate Occupancy:

☐ Life Safety:

☐ Collapse Prevention:

☐ Show Acceptance Points on Current Curve

3D View

Plan: deg Axial Force: kN

Elevation: deg

Aperture: deg

☐ Hide Backbone Lines

☐ Show Acceptance Criteria

☐ Show Thickened Lines

☒ Highlight Current Curve

3D RR MR3 MR2

Moment Rotation Information

Symmetry Condition:

Number of Axial Force Values:

Number of Angles:

Total Number of Curves:

Angle Is Moment About

0 degrees = About Positive M2 Axis

90 degrees = About Positive M3 Axis

180 degrees = About Negative M2 Axis

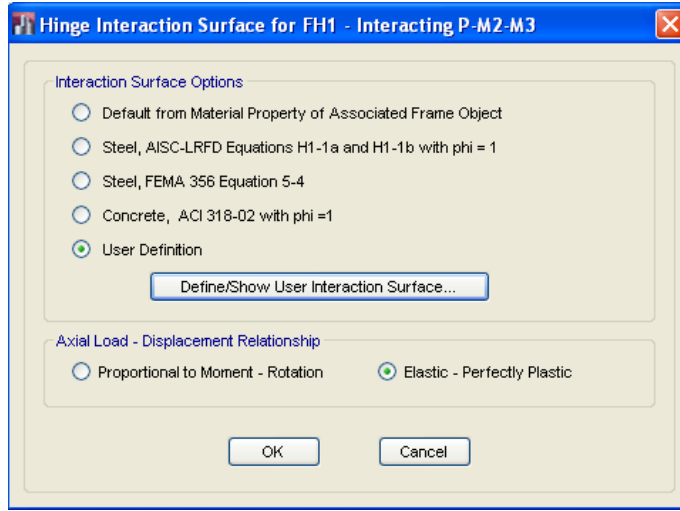
270 degrees = About Negative M3 Axis

OK Cancel

Şekil 3.19: P-M2-M3 Mafsalı İçin Moment – Eğrilik Veri Girişi

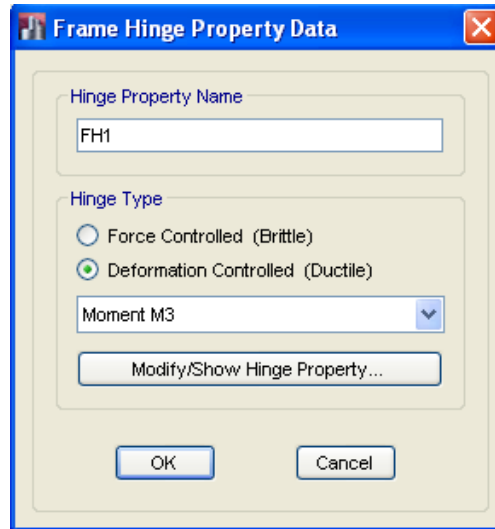
Şekil 3.19’da gösterilen pencereye “Modify/Show Moment Rotation Curve Data” sekmesinden ulaşılabilir. Bu bölümde Moment/Akma Momenti – Dönme değerlerine bağlı olarak hasar sınırları oluşturulmaktadır. Akma momenti değeri karşılıklı etki diyagramından elde edilmektedir. Karşılıklı etki diyagramı

özelliklerinin atandığı Şekil 3.20’deki pencerede yönetmelik ilkesince normal kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi ‘Elastic-Perfectly Plastic’ kabulüyle uygulanmıştır.



Şekil 3.20: Karşılıklı Etki Diyagramı Değerlerinin Alınmasında Kullanılan Yöntemin Seçilmesi

Kirişlerde kullanılacak olan M3 mafsalının programda tanımını ile ilgili görsel Şekil 3.21’de verilmiştir. M3 mafsalı için veri girişini sağlayan bu bölümde de kolonlarda olduğu gibi Moment-Dönme ilişkisi ve hasar sınır oranları tanımlanabilmektedir.



Şekil 3.21: Kirişler İçin ETABS Programında Plastik Mafsal Tanımlanması

Perde elemanlar shell (kabuk) olarak tanımlandığından ötürü doğrusal olmayan özellikleri tanımlama sürecinde gerçekleştirilmektedir. Shell eleman tanımında katmanlı yapı (layered) seçilip, sargılı ve sargısız beton özellikleri aktarılmaktadır. (Şekil 3.23) Perdede oluşturulacak olan başlık ve gövde bölgeleri donatı özelliklerine

göre kritik kat yüksekliğine kadar ayrı olarak tanımlanmış, kritik kattan yukarı olan bölümde gövde bölgesi özelliklerine sahip perde detayı kullanılmıştır.

Frame Hinge Property Data for FH1 - Moment M3

Displacement Control Parameters

Point	Moment/SF	Rotation/SF
E-	-0.2	-0.03
D-	-0.2	-0.02
C-	-1.1	-0.02
B-	-1	0
A	0	0
B	1	0
C	1.1	0.02
D	0.2	0.02
E	0.2	0.03

☐ Symmetric

Type

☒ Moment - Rotation

☐ Moment - Curvature

Hinge Length:

☒ Relative Length

Hysteresis Type and Parameters

Hysteresis:

No Parameters Are Required For This Hysteresis Type

Load Carrying Capacity Beyond Point E

☒ Drops To Zero

☐ Is Extrapolated

Scaling for Moment and Rotation

☐ Use Yield Moment

Moment SF: Positive: 379.1307, Negative: 506.2928 kN-m

☐ Use Yield Rotation (Steel Objects Only)

Rotation SF: Positive: 1, Negative: 1

Acceptance Criteria (Plastic Rotation/SF)

☒ Immediate Occupancy

Positive: 0.005, Negative: -0.005

☐ Life Safety

Positive: 0.015, Negative: -0.015

☐ Collapse Prevention

Positive: 0.02, Negative: -0.02

☐ Show Acceptance Criteria on Plot

OK Cancel

Şekil 3.22: M3 Mafsalı İçin Moment – Eğrilik Veri Girişi

Wall Property Data

General Data

Property Name: P1B

Property Type: Specified

Wall Material: Not Applicable

Modeling Type: Layered

Modifiers (Currently Default): Modify/Show...

Display Color: Change...

Property Notes: Modify/Show...

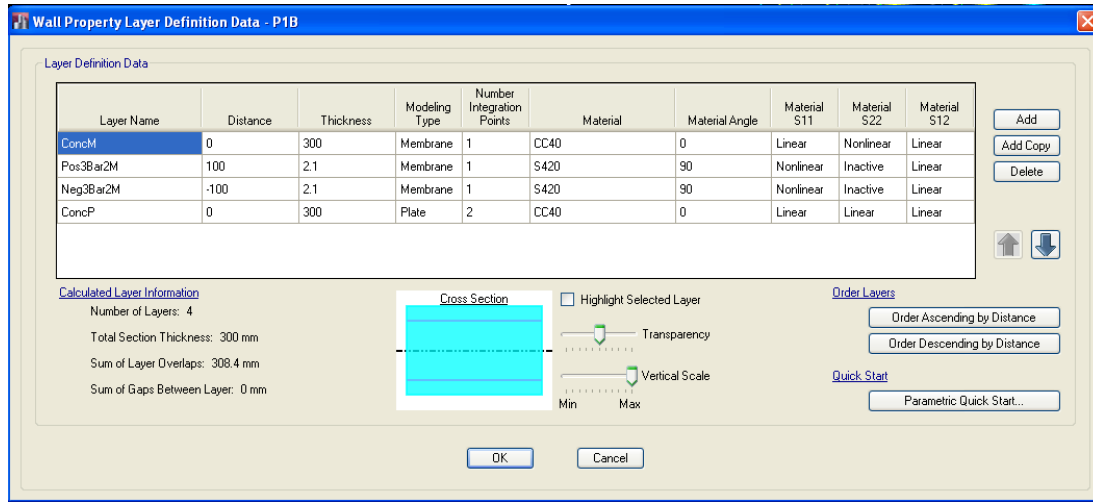
Property Data

Modify/Show Layered Wall Data...

Current Number of Layers: 4

OK Cancel

Şekil 3.23: ETABS Programında Doğrusal Olmayan Davranışa Sahip Perde Modellenmesi



Şekil 3.24: ETABS Programında Doğrusal Olmayan Davranışa Sahip Perdeye Ait Katman Özelliklerinin Tanımlanması

3.2.2 Binanın statik itme eğrilerinin elde edilmesi

Binaya ait statik itme eğrilerinin elde edilmesi sürecinde, 2 doğrultuda 4 mod için hesaplamalar yapılacağından ötürü 8 adet itme eğrisi oluşturulacaktır. İlk moda ait X doğrultusu statik itme analizinin değerleri (Bkz: Çizelge 3.6) model üzerine etkilendiğinde aşağıdaki Taban Kesme Kuvveti - Yerdeğiştirme değerleri ortaya çıkmaktadır. Maksimum tepe yerdeğiştirme değeri FEMA440'ta belirtilmiş olan bina yüksekliğinin %2'sine karşılık gelen 160 cm ile sınırlandırılmıştır. [15]

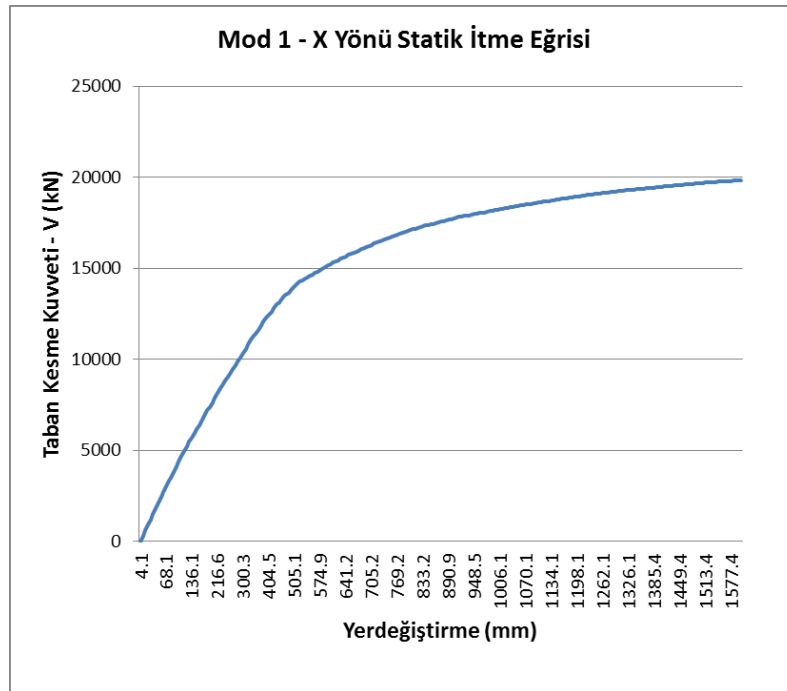
Çizelge 3.6: Mod 1 - X Doğrultusu Statik İtme Analizi Değerleri

Adım	Yerdeğiştirme (mm)	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Adım	Yerdeğiştirme (mm)	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Adım	Yerdeğiştirme (mm)	Taban Kesme Kuvveti (kN)
1	4.10	0.00	15	91.70	4113.99	29	197.60	7603.20
2	10.50	302.88	16	98.20	4372.27	30	207.30	7893.33
3	16.90	605.64	17	105.90	4672.87	31	216.60	8150.88
4	23.30	908.34	18	113.30	4943.90	32	225.20	8393.53
5	29.70	1210.99	19	120.40	5198.75	33	232.30	8590.68
6	36.10	1513.64	20	129.00	5481.17	34	241.50	8842.77
7	42.50	1816.26	21	136.10	5713.51	35	247.90	9016.84
8	48.90	2118.79	22	143.10	5940.25	36	254.30	9190.21
9	55.30	2421.29	23	150.40	6172.32	37	263.70	9440.46
10	61.70	2723.77	24	157.20	6383.90	38	273.00	9673.52
11	68.10	3026.09	25	166.80	6690.01	39	280.30	9855.51
12	74.50	3327.56	26	174.30	6913.19	40	288.80	10063.94
13	77.40	3469.86	27	183.60	7188.96	41	300.30	10340.80
14	84.90	3813.26	28	190.00	7379.86	42	309.70	10563.22

Adım	Yerdeğiştirme (mm)	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Adım	Yerdeğiştirme (mm)	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Adım	Yerdeğiştirme (mm)	Taban Kesme Kuvveti (kN)
43	320.90	10817.59	87	679.60	16047.43	131	948.50	17975.55
44	332.00	11059.04	88	686.00	16109.50	132	954.90	18006.62
45	342.20	11273.76	89	692.40	16170.82	133	961.30	18037.23
46	348.60	11404.33	90	698.80	16231.59	134	964.50	18059.80
47	359.70	11626.72	91	705.20	16291.27	135	967.70	18067.30
48	371.50	11853.10	92	711.60	16350.39	136	974.10	18097.15
49	383.50	12072.76	93	718.00	16409.01	137	980.50	18126.77
50	394.30	12276.05	94	724.40	16466.94	138	986.90	18155.83
51	404.50	12444.73	95	730.80	16522.51	139	993.30	18182.37
52	414.40	12614.10	96	737.20	16576.39	140	999.70	18209.44
53	426.30	12810.98	97	743.60	16629.76	141	1006.10	18236.46
54	438.20	13005.83	98	750.00	16681.92	142	1012.50	18263.41
55	444.60	13108.19	99	756.40	16732.61	143	1018.90	18290.37
56	456.30	13288.68	100	762.80	16782.48	144	1025.30	18316.62
57	468.80	13476.19	101	769.20	16831.78	145	1031.70	18342.45
58	475.20	13572.17	102	775.60	16882.77	146	1038.10	18368.14
59	481.60	13666.96	103	782.00	16933.89	147	1044.50	18393.48
60	493.10	13833.81	104	788.40	16984.81	148	1050.90	18418.45
61	505.10	14002.25	105	794.80	17034.63	149	1057.30	18443.28
62	517.30	14167.11	106	801.20	17083.58	150	1063.70	18467.63
63	523.70	14252.05	107	807.60	17130.38	151	1070.10	18491.70
64	530.10	14336.21	108	814.00	17176.49	152	1076.50	18515.40
65	536.50	14419.54	109	820.40	17222.06	153	1082.90	18539.37
66	542.90	14501.01	110	826.80	17266.44	154	1089.30	18562.64
67	549.30	14581.70	111	833.20	17309.65	155	1095.70	18585.61
68	555.70	14662.15	112	839.60	17352.19	156	1102.10	18608.30
69	562.10	14741.56	113	839.70	17352.41	157	1108.50	18630.70
70	568.50	14820.39	114	846.10	17393.84	158	1114.90	18653.54
71	574.90	14898.57	115	852.50	17435.05	159	1121.30	18676.36
72	583.60	15003.70	116	858.90	17475.57	160	1127.70	18698.79
73	590.00	15079.67	117	865.30	17514.82	161	1134.10	18721.19
74	596.40	15154.62	118	871.70	17553.89	162	1140.50	18743.03
75	602.80	15228.46	119	878.10	17593.32	163	1146.90	18764.75
76	609.20	15301.69	120	884.50	17631.51	164	1153.30	18786.29
77	615.60	15373.38	121	890.90	17669.23	165	1159.70	18807.50
78	622.00	15444.13	122	897.30	17705.93	166	1166.10	18828.90
79	628.40	15514.57	123	903.70	17742.30	167	1172.50	18850.21
80	634.80	15584.08	124	910.10	17778.23	168	1178.90	18871.58
81	641.20	15652.98	125	916.50	17813.38	169	1185.30	18892.71
82	647.60	15721.00	126	922.90	17847.63	170	1191.70	18913.70
83	654.00	15788.42	127	929.30	17880.95	171	1198.10	18934.60
84	660.40	15855.41	128	929.30	17880.95	172	1204.50	18955.08
85	666.80	15921.47	129	935.70	17911.78	173	1210.90	18975.22
86	670.00	15960.60	130	942.10	17943.93	174	1217.30	18995.16

Adım	Yerdeğiştirme (mm)	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Adım	Yerdeğiştirme (mm)	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Adım	Yerdeğiştirme (mm)	Taban Kesme Kuvveti (kN)
175	1223.70	19015.14	195	1351.70	19356.34	215	1475.00	19624.42
176	1230.10	19035.14	196	1353.40	19363.95	216	1481.40	19636.88
177	1236.50	19054.86	197	1359.80	19374.72	217	1487.80	19649.59
178	1242.90	19074.39	198	1366.20	19389.51	218	1494.20	19662.10
179	1249.30	19093.75	199	1372.60	19404.29	219	1500.60	19674.07
180	1255.70	19112.95	200	1379.00	19418.83	220	1507.00	19685.98
181	1262.10	19131.90	201	1385.40	19433.33	221	1513.40	19697.78
182	1268.50	19150.05	202	1391.80	19447.67	222	1519.80	19708.98
183	1274.90	19167.69	203	1398.20	19461.77	223	1526.20	19719.83
184	1281.30	19185.06	204	1404.60	19475.72	224	1532.60	19730.33
185	1287.70	19202.04	205	1411.00	19489.62	225	1539.00	19740.57
186	1294.10	19218.45	206	1417.40	19503.69	226	1545.40	19750.61
187	1300.50	19234.45	207	1423.80	19517.39	227	1551.80	19760.60
188	1306.90	19250.36	208	1430.20	19531.07	228	1558.20	19770.37
189	1313.30	19266.17	209	1436.60	19544.70	229	1564.60	19780.01
190	1319.70	19281.82	210	1443.00	19558.26	230	1571.00	19789.49
191	1326.10	19297.07	211	1449.40	19571.88	231	1577.40	19798.75
192	1332.50	19312.00	212	1455.80	19585.38	232	1583.80	19807.88
193	1338.90	19326.90	213	1462.20	19598.68	233	1590.20	19816.92
194	1345.30	19341.92	214	1468.60	19611.85	234	1596.60	19825.53

234. adım sonunda ulaşılmış olan maksimum yerdeğiştirme değeri 160 cm için oluşturulmuş statik itme eğrisi Şekil: 3.25'te gösterilmiştir.



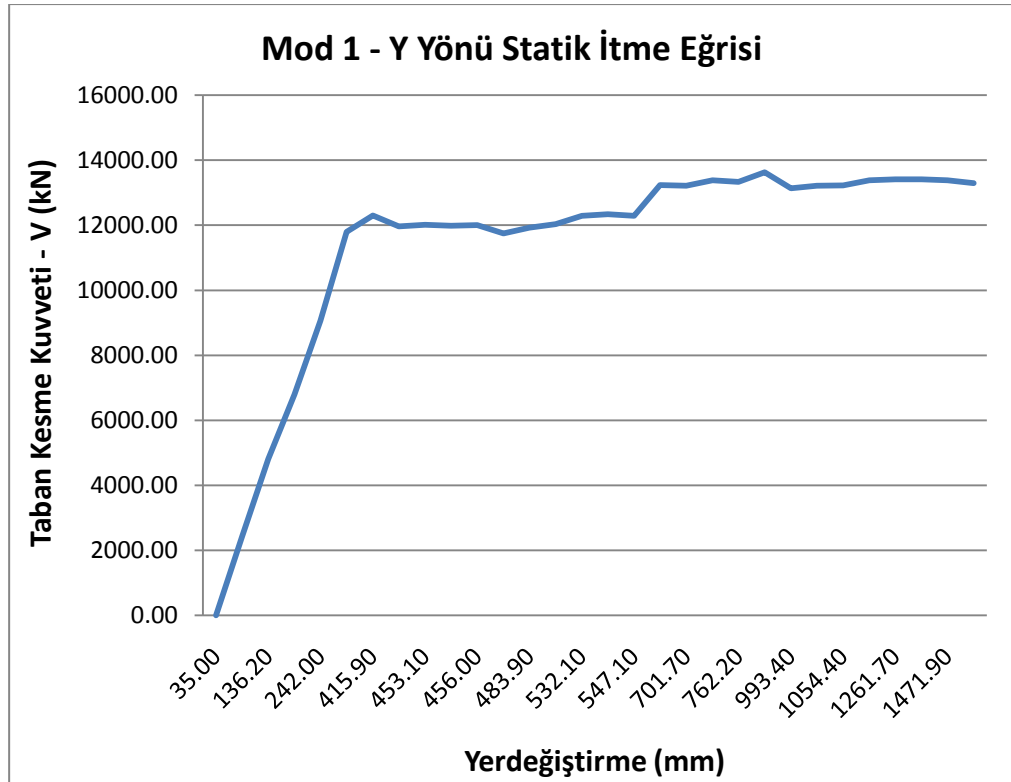
Şekil 3.25: Mod 1 – X Yönü Statik İtme Eğrisi

İlk moda ait Y yönü itme analizi sonucunda elde edilen veriler de Çizelge 3.7’de sunulmuştur. Aynı şekilde maksimum yerdeğiştirme 160 cm olma kabulü ile devam edilmiştir.

Çizelge 3.7: Mod 1 - Y Doğrultusu Statik İtme Analizi Değerleri

Adım	Yerdeğiştirme (mm)	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Adım	Yerdeğiştirme (mm)	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Adım	Yerdeğiştirme (mm)	Taban Kesme Kuvveti (kN)
1	35.00	0.01	11	456.00	12000.57	21	762.20	13337.60
2	85.10	2412.44	12	460.70	11747.80	22	856.20	13626.56
3	136.20	4804.72	13	483.90	11922.83	23	993.40	13131.86
4	186.70	6796.76	14	495.60	12031.88	24	1036.90	13211.47
5	242.00	9057.85	15	532.10	12293.46	25	1054.40	13223.33
6	382.90	11795.51	16	538.80	12336.30	26	1215.60	13385.81
7	415.90	12296.98	17	547.10	12288.37	27	1261.70	13409.41
8	448.90	11966.65	18	691.80	13235.45	28	1268.40	13410.59
9	453.10	12010.54	19	701.70	13215.02	29	1471.90	13385.73
10	453.30	11988.86	20	749.50	13384.86	30	1604.40	13295.50

30. adım sonunda ulaşılmış olan maksimum yerdeğiştirme değeri 160 cm için oluşturulmuş statik itme eğrisi Şekil: 3.26’da gösterilmiştir.



Şekil 3.26: Mod 1 – Y Yönü Statik İtme Eğrisi

İkinci mod X yönüne ait yüklemelerin ardından elde edilen Taban Kesme Kuvveti – Yerdeğiştirme verileri Çizelge 3.8’de sunulmuştur.

Adım	Yerdeğiştirme (mm)	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Adım	Yerdeğiştirme (mm)	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Adım	Yerdeğiştirme (mm)	Taban Kesme Kuvveti (kN)
1	4.10	0.00	42	168.10	6731.68	83	332.10	10907.71
2	8.10	197.70	43	172.10	6857.32	84	336.10	10986.03
3	12.10	395.41	44	176.10	6981.25	85	340.10	11063.18
4	16.10	593.04	45	180.10	7104.72	86	344.10	11139.90
5	20.10	790.68	46	184.10	7227.09	87	348.10	11216.34
6	24.10	988.26	47	188.10	7348.94	88	352.10	11292.24
7	28.10	1185.84	48	192.10	7470.47	89	356.10	11366.38
8	32.10	1383.42	49	196.10	7590.98	90	360.10	11439.85
9	36.10	1581.00	50	200.10	7710.97	91	364.10	11512.84
10	40.10	1778.58	51	204.10	7830.34	92	368.10	11584.71
11	44.10	1976.14	52	208.10	7948.18	93	372.10	11656.24
12	48.10	2173.65	53	212.10	8064.01	94	376.10	11726.96
13	52.10	2371.16	54	216.10	8177.84	95	380.10	11796.96
14	56.10	2568.66	55	220.10	8290.71	96	384.10	11866.21
15	60.10	2766.17	56	224.10	8402.65	97	388.10	11932.87
16	64.10	2963.65	57	228.10	8513.92	98	392.10	11998.70
17	68.10	3156.90	58	232.10	8622.08	99	396.10	12064.12
18	72.10	3342.23	59	236.10	8729.25	100	400.10	12129.18
19	76.10	3522.48	60	240.10	8835.37	101	404.10	12193.57
20	80.10	3696.03	61	244.10	8940.38	102	408.10	12256.78
21	84.10	3862.22	62	248.10	9044.09	103	412.10	12319.70
22	88.10	4021.89	63	252.10	9146.47	104	416.10	12382.20
23	92.10	4176.59	64	256.10	9246.62	105	420.10	12444.04
24	96.10	4327.72	65	260.10	9345.16	106	424.10	12505.58
25	100.10	4475.40	66	264.10	9442.96	107	428.10	12566.83
26	104.10	4619.20	67	268.10	9540.29	108	432.10	12627.67
27	108.10	4760.80	68	272.10	9633.29	109	436.10	12688.05
28	112.10	4900.58	69	276.10	9723.01	110	440.10	12748.17
29	116.10	5037.60	70	280.10	9812.57	111	444.10	12807.75
30	120.10	5174.07	71	284.10	9901.53	112	448.10	12866.72
31	124.10	5308.88	72	288.10	9989.52	113	452.10	12925.20
32	128.10	5442.92	73	292.10	10077.03	114	456.10	12983.26
33	132.10	5575.34	74	296.10	10163.71	115	460.10	13040.94
34	136.10	5706.62	75	300.10	10249.58	116	464.10	13098.60
35	140.10	5837.16	76	304.10	10335.23	117	468.10	13154.92
36	144.10	5967.19	77	308.10	10419.55	118	472.10	13211.02
37	148.10	6095.98	78	312.10	10503.51	119	476.10	13266.62
38	152.10	6223.92	79	316.10	10585.89	120	480.10	13321.54
39	156.10	6351.84	80	320.10	10667.77	121	484.10	13375.87
40	160.10	6479.05	81	324.10	10748.70	122	488.10	13429.97
41	164.10	6605.58	82	328.10	10828.70	123	492.10	13483.93

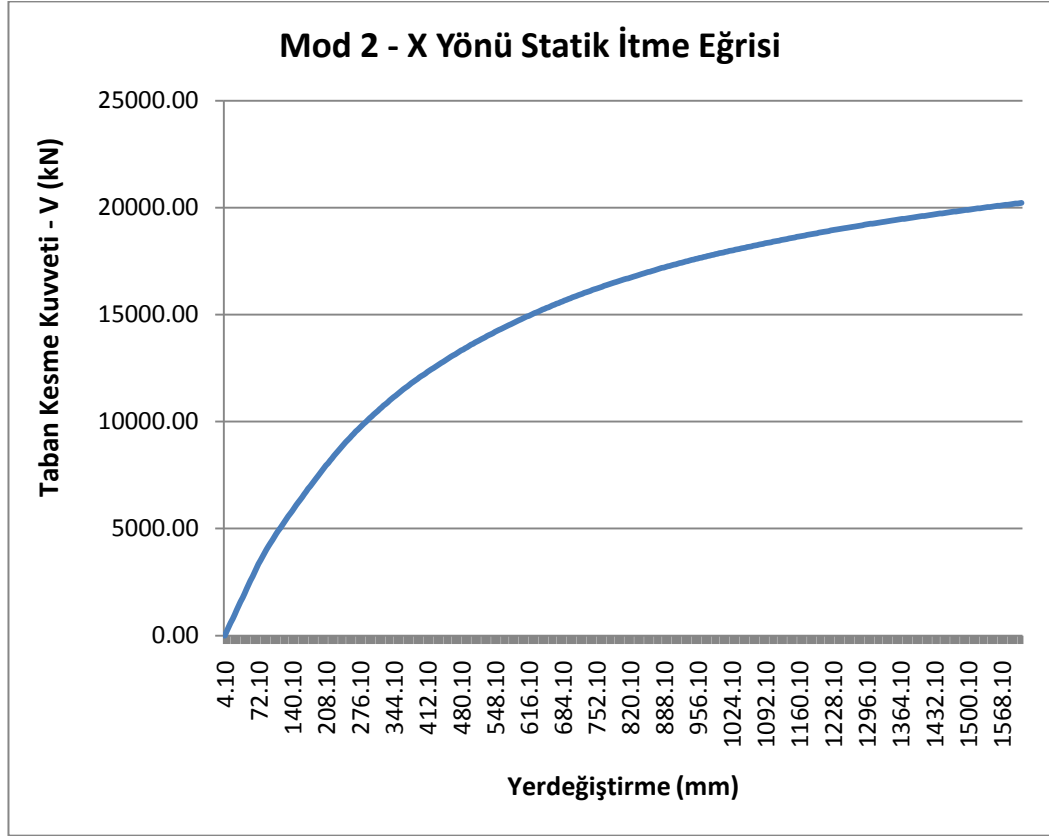
Adım	Yerdeğiştirme (mm)	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Adım	Yerdeğiştirme (mm)	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Adım	Yerdeğiştirme (mm)	Taban Kesme Kuvveti (kN)
123	492.10	13483.93	167	668.10	15469.74	211	844.10	16900.88
124	496.10	13536.70	168	672.10	15508.04	212	848.10	16929.57
125	500.10	13590.10	169	676.10	15546.11	213	852.10	16958.20
126	504.10	13642.90	170	680.10	15583.94	214	856.10	16986.64
127	508.10	13694.81	171	684.10	15621.43	215	860.10	17014.98
128	512.10	13746.47	172	688.10	15659.03	216	864.10	17043.21
129	516.10	13797.26	173	692.10	15696.41	217	868.10	17071.03
130	520.10	13847.57	174	696.10	15733.45	218	872.10	17098.73
131	524.10	13897.50	175	700.10	15770.33	219	876.10	17126.40
132	528.10	13946.92	176	704.10	15806.92	220	880.10	17154.10
133	532.10	13996.13	177	708.10	15841.55	221	884.10	17181.67
134	536.10	14045.00	178	712.10	15876.52	222	888.10	17208.07
135	540.10	14093.03	179	716.10	15911.34	223	892.10	17233.80
136	544.10	14141.01	180	720.10	15945.70	224	896.10	17259.42
137	548.10	14188.82	181	724.10	15979.75	225	900.10	17284.63
138	552.10	14236.07	182	728.10	16013.61	226	904.10	17309.77
139	556.10	14283.05	183	732.10	16047.37	227	908.10	17334.70
140	560.10	14329.71	184	736.10	16081.14	228	912.10	17359.67
141	564.10	14375.99	185	740.10	16114.74	229	916.10	17384.53
142	568.10	14422.29	186	744.10	16148.17	230	920.10	17409.27
143	572.10	14468.39	187	748.10	16181.43	231	924.10	17433.95
144	576.10	14514.12	188	752.10	16214.31	232	928.10	17458.30
145	580.10	14559.56	189	756.10	16247.09	233	932.10	17482.63
146	584.10	14604.61	190	760.10	16279.75	234	936.10	17506.89
147	588.10	14649.02	191	764.10	16312.31	235	940.10	17531.34
148	592.10	14692.99	192	768.10	16344.73	236	944.10	17555.17
149	596.10	14736.62	193	772.10	16375.79	237	948.10	17578.72
150	600.10	14779.78	194	776.10	16406.55	238	952.10	17602.12
151	604.10	14822.58	195	780.10	16437.15	239	956.10	17625.35
152	608.10	14864.98	196	784.10	16467.52	240	960.10	17648.48
153	612.10	14907.01	197	788.10	16497.87	241	964.10	17671.46
154	616.10	14948.83	198	792.10	16527.92	242	968.10	17694.40
155	620.10	14990.54	199	796.10	16557.75	243	972.10	17717.21
156	624.10	15032.00	200	800.10	16586.89	244	976.10	17739.31
157	628.10	15073.25	201	804.10	16615.71	245	980.10	17761.39
158	632.10	15114.20	202	808.10	16644.43	246	984.10	17783.60
159	636.10	15154.98	203	812.10	16672.88	247	988.10	17804.77
160	640.10	15195.30	204	816.10	16701.10	248	992.10	17826.18
161	644.10	15235.48	205	820.10	16729.20	249	996.10	17848.27
162	648.10	15275.40	206	824.10	16756.94	250	1000.10	17869.91
163	652.10	15314.83	207	828.10	16785.72	251	1004.10	17891.41
164	656.10	15354.03	208	832.10	16814.27	252	1008.10	17912.85
165	660.10	15392.76	209	836.10	16843.19	253	1012.10	17934.26
166	664.10	15431.35	210	840.10	16872.09	254	1016.10	17955.27

Adım	Yerdeğiştirme (mm)	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Adım	Yerdeğiştirme (mm)	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Adım	Yerdeğiştirme (mm)	Taban Kesme Kuvveti (kN)
255	1020.10	17976.17	299	1196.10	18811.26	343	1372.10	19483.64
256	1024.10	17997.04	300	1200.10	18828.70	344	1376.10	19497.32
257	1028.10	18017.48	301	1204.10	18846.10	345	1380.10	19510.98
258	1032.10	18037.72	302	1208.10	18863.38	346	1384.10	19524.56
259	1036.10	18057.85	303	1212.10	18880.65	347	1388.10	19538.11
260	1040.10	18077.97	304	1216.10	18897.89	348	1392.10	19551.63
261	1044.10	18097.97	305	1220.10	18914.80	349	1396.10	19565.12
262	1048.10	18117.87	306	1224.10	18931.69	350	1400.10	19578.76
263	1052.10	18137.74	307	1228.10	18948.55	351	1404.10	19592.37
264	1056.10	18157.77	308	1232.10	18965.19	352	1408.10	19605.96
265	1060.10	18177.78	309	1236.10	18981.71	353	1412.10	19619.53
266	1064.10	18197.34	310	1240.10	18997.85	354	1416.10	19633.07
267	1068.10	18216.82	311	1244.10	19014.07	355	1420.10	19646.49
268	1072.10	18236.86	312	1248.10	19030.25	356	1424.10	19659.88
269	1076.10	18256.81	313	1252.10	19046.10	357	1428.10	19673.23
270	1080.10	18276.68	314	1256.10	19061.93	358	1432.10	19686.56
271	1084.10	18296.32	315	1260.10	19077.74	359	1436.10	19699.88
272	1088.10	18315.69	316	1264.10	19093.34	360	1440.10	19713.15
273	1092.10	18334.87	317	1268.10	19108.89	361	1444.10	19726.34
274	1096.10	18353.64	318	1272.10	19124.27	362	1448.10	19739.03
275	1100.10	18372.39	319	1276.10	19139.59	363	1452.10	19751.73
276	1104.10	18391.13	320	1280.10	19154.92	364	1456.10	19764.87
277	1108.10	18410.22	321	1284.10	19170.20	365	1460.10	19777.70
278	1112.10	18429.19	322	1288.10	19185.46	366	1464.10	19790.48
279	1116.10	18448.01	323	1292.10	19200.63	367	1468.10	19803.12
280	1120.10	18466.94	324	1296.10	19215.68	368	1472.10	19815.72
281	1124.10	18485.68	325	1300.10	19230.67	369	1476.10	19828.50
282	1128.10	18504.36	326	1304.10	19245.52	370	1480.10	19841.24
283	1132.10	18522.99	327	1308.10	19260.40	371	1484.10	19853.77
284	1136.10	18541.55	328	1312.10	19274.74	372	1488.10	19866.27
285	1140.10	18560.11	329	1316.10	19288.80	373	1492.10	19878.76
286	1144.10	18578.65	330	1320.10	19303.17	374	1496.10	19891.23
287	1148.10	18597.01	331	1324.10	19317.43	375	1500.10	19903.68
288	1152.10	18615.28	332	1328.10	19331.62	376	1504.10	19916.12
289	1156.10	18633.55	333	1332.10	19345.75	377	1508.10	19928.56
290	1160.10	18651.77	334	1336.10	19359.66	378	1512.10	19940.81
291	1164.10	18670.01	335	1340.10	19373.53	379	1516.10	19952.83
292	1168.10	18688.16	336	1344.10	19387.38	380	1520.10	19964.86
293	1172.10	18706.27	337	1348.10	19401.16	381	1524.10	19976.85
294	1176.10	18724.27	338	1352.10	19414.99	382	1528.10	19988.83
295	1180.10	18741.96	339	1356.10	19428.81	383	1532.10	20000.77
296	1184.10	18759.31	340	1360.10	19442.64	384	1536.10	20012.67
297	1188.10	18776.67	341	1364.10	19456.18	385	1540.10	20024.49
298	1192.10	18793.98	342	1368.10	19469.94	386	1544.10	20036.60

Adım	Yerdeğiştirme (mm)	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Adım	Yerdeğiştirme (mm)	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Adım	Yerdeğiştirme (mm)	Taban Kesme Kuvveti (kN)
387	1548.10	20048.70	392	1568.10	20107.97	398	1592.10	20177.92
388	1552.10	20060.63	393	1572.10	20119.77	399	1596.10	20189.39
389	1556.10	20072.37	394	1576.10	20131.53	400	1600.10	20200.83
390	1560.10	20084.26	395	1580.10	20143.26	401	1604.10	20212.17
391	1564.10	20096.13	396	1584.10	20154.92	402	1608.10	20223.56

Çizelge 3.8: Mod 2, X Doğrultusu Statik İtme Analizi Değerleri

402. adım sonunda elde edilmiş olan 160 cm yerdeğiştirme değeri için oluşturulmuş statik itme eğrisi Şekil 3.27’de sunulmuştur.



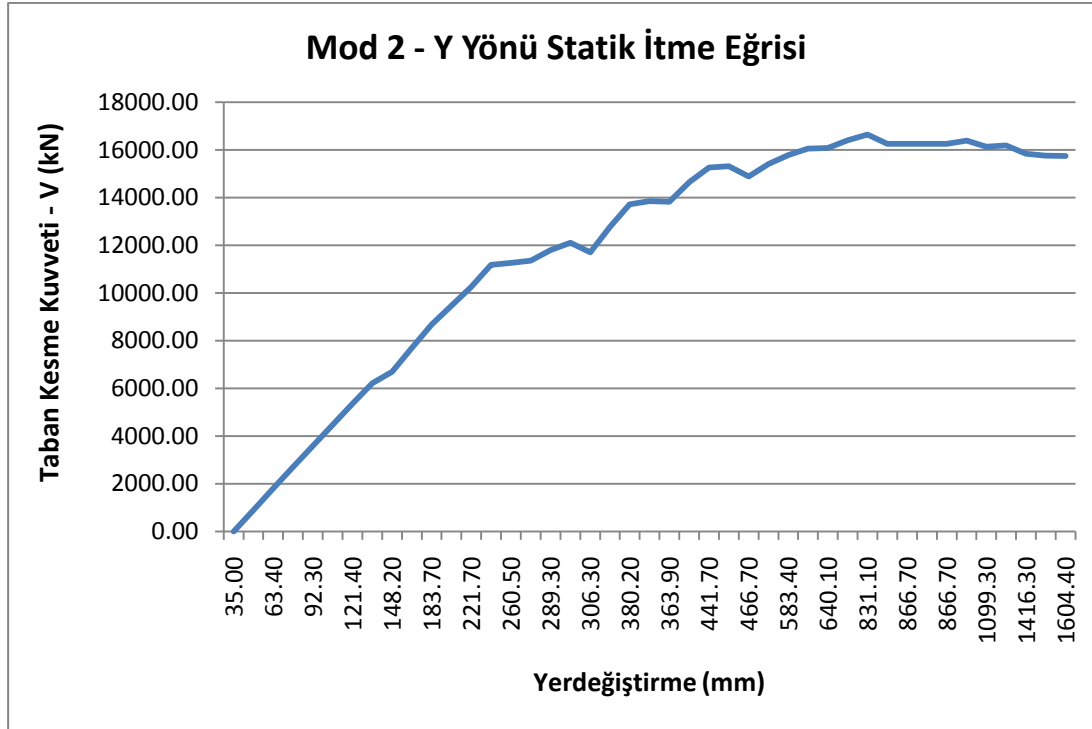
Şekil 3.27: Mod 2, X Yönü Statik İtme Eğrisi

İkinci moda ait Y doğrultusunda yapılan yüklemelerin ardından elde edilmiş Taban Kesme Kuvveti ve Yerdeğiştirme değeri aşağıda sunulmuştur.

Çizelge 3.9: Mod 2, Y Doğrultusu Statik İtme Analizi Değerleri

Adım	Yerdeğiştirme (mm)	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Adım	Yerdeğiştirme (mm)	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Adım	Yerdeğiştirme (mm)	Taban Kesme Kuvveti (kN)
1	35.00	0.01	16	267.30	11354.20	31	640.10	16076.00
2	49.20	898.73	17	289.30	11793.85	32	721.90	16407.95
3	63.40	1796.27	18	300.30	12103.89	33	831.10	16645.31
4	77.80	2691.04	19	306.30	11710.08	34	864.50	16254.17
5	92.30	3586.17	20	338.90	12777.88	35	866.70	16249.33
6	106.90	4471.27	21	380.20	13715.16	36	866.60	16248.61
7	121.40	5348.94	22	389.10	13847.31	37	866.70	16252.73
8	135.90	6213.55	23	363.90	13818.90	38	875.70	16383.27
9	148.20	6694.31	24	398.80	14647.87	39	1099.30	16129.70
10	166.00	7700.47	25	441.70	15262.13	40	1309.00	16182.23
11	183.70	8682.59	26	445.30	15309.14	41	1416.30	15835.75
12	200.30	9464.99	27	466.70	14883.46	42	1590.80	15761.32
13	221.70	10250.10	28	524.50	15403.76	43	1604.40	15746.78
14	255.50	11173.38	29	583.40	15789.39			
15	260.50	11261.18	30	633.60	16053.04			

43 adımda ulaşılmış olan 160 cm ötelenme değeri için elde edilen statik itme eğrisi Şekil 3.28’de sunulmuştur.



Şekil 3.28: Mod 2, Y Yönü Statik İtme Eğrisi

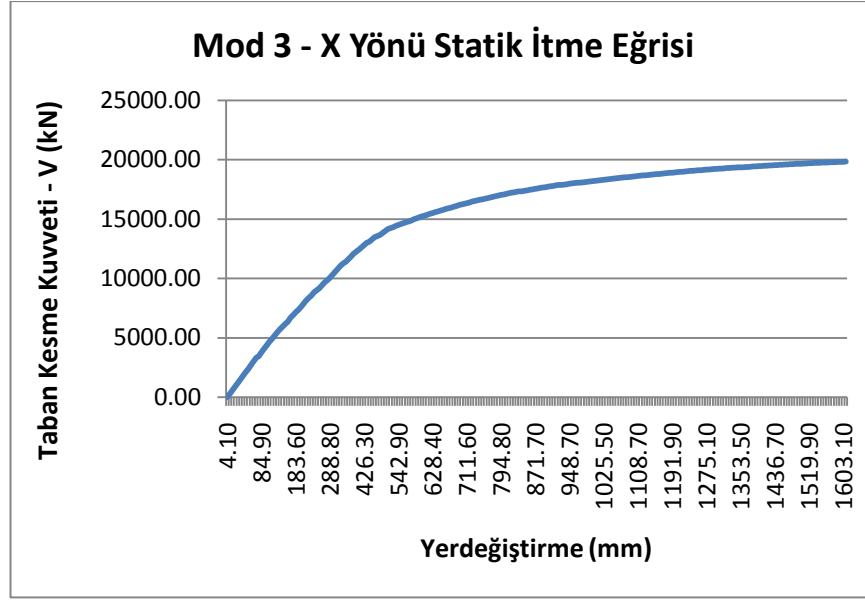
3. mod X doğrultusu itme analizine ait hesaplanmış veriler Çizelge 3.10’da gösterilmiştir.

Çizelge 3.10: Mod 3, X Doğrultusu Statik İtme Analizi Değerleri

Adım	Yerdeğiştirme (mm)	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Adım	Yerdeğiştirme (mm)	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Adım	Yerdeğiştirme (mm)	Taban Kesme Kuvveti (kN)
1	4.10	0.00	40	288.80	10063.94	79	628.40	15514.57
2	10.50	302.88	41	300.30	10340.80	80	634.80	15584.08
3	16.90	605.64	42	309.70	10563.22	81	641.20	15652.98
4	23.30	908.34	43	320.90	10817.59	82	647.60	15721.00
5	29.70	1210.99	44	332.00	11059.04	83	654.00	15788.42
6	36.10	1513.64	45	342.20	11273.76	84	660.40	15855.41
7	42.50	1816.26	46	348.60	11404.33	85	666.80	15921.47
8	48.90	2118.79	47	359.70	11626.72	86	670.00	15960.60
9	55.30	2421.29	48	371.50	11853.10	87	679.60	16047.43
10	61.70	2723.77	49	383.50	12072.76	88	686.00	16109.50
11	68.10	3026.09	50	394.30	12276.05	89	692.40	16170.82
12	74.50	3327.56	51	404.50	12444.73	90	698.80	16231.59
13	77.40	3469.86	52	414.40	12614.10	91	705.20	16291.27
14	84.90	3813.26	53	426.30	12810.98	92	711.60	16350.39
15	91.70	4113.99	54	438.20	13005.83	93	718.00	16409.01
16	98.20	4372.27	55	444.60	13108.19	94	724.40	16466.94
17	105.90	4672.87	56	456.30	13288.68	95	730.80	16522.51
18	113.30	4943.90	57	468.80	13476.19	96	737.20	16576.39
19	120.40	5198.75	58	475.20	13572.17	97	743.60	16629.76
20	129.00	5481.17	59	481.60	13666.96	98	750.00	16681.92
21	136.10	5713.51	60	493.10	13833.81	99	756.40	16732.61
22	143.10	5940.25	61	505.10	14002.25	100	762.80	16782.48
23	150.40	6172.32	62	517.30	14167.11	101	769.20	16831.78
24	157.20	6383.90	63	523.70	14252.05	102	775.60	16882.77
25	166.80	6690.01	64	530.10	14336.21	103	782.00	16933.89
26	174.30	6913.19	65	536.50	14419.54	104	788.40	16984.81
27	183.60	7188.96	66	542.90	14501.01	105	794.80	17034.63
28	190.00	7379.86	67	549.30	14581.70	106	801.20	17083.58
29	197.60	7603.20	68	555.70	14662.15	107	807.60	17130.38
30	207.30	7893.33	69	562.10	14741.56	108	814.00	17176.49
31	216.60	8150.88	70	568.50	14820.39	109	820.40	17222.06
32	225.20	8393.53	71	574.90	14898.57	110	826.80	17266.44
33	232.30	8590.68	72	583.60	15003.70	111	833.20	17309.65
34	241.50	8842.77	73	590.00	15079.67	112	839.60	17352.19
35	247.90	9016.84	74	596.40	15154.62	113	839.70	17352.41
36	254.30	9190.21	75	602.80	15228.46	114	846.10	17393.84
37	263.70	9440.46	76	609.20	15301.69	115	852.50	17435.05
38	273.00	9673.52	77	615.60	15373.38	116	858.90	17475.57
39	280.30	9855.51	78	622.00	15444.13	117	865.30	17514.82

Adım	Yerdeğiştirme (mm)	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Adım	Yerdeğiştirme (mm)	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Adım	Yerdeğiştirme (mm)	Taban Kesme Kuvveti (kN)
118	871.70	17553.89	158	1115.10	18654.39	198	1366.30	19389.68
119	878.10	17593.32	159	1121.50	18677.19	199	1372.70	19404.44
120	884.50	17631.51	160	1127.90	18699.60	200	1379.10	19418.99
121	890.90	17669.23	161	1134.30	18722.00	201	1385.50	19433.48
122	897.30	17705.93	162	1140.70	18743.82	202	1391.90	19447.82
123	903.70	17742.30	163	1147.10	18765.53	203	1398.30	19461.91
124	910.10	17778.23	164	1153.50	18787.06	204	1404.70	19475.86
125	916.50	17813.38	165	1159.90	18808.25	205	1411.10	19489.69
126	922.90	17847.63	166	1166.30	18829.68	206	1417.50	19503.66
127	929.30	17880.95	167	1172.70	18851.00	207	1423.90	19517.36
128	929.50	17882.55	168	1179.10	18872.37	208	1430.30	19531.03
129	935.90	17913.14	169	1185.50	18893.47	209	1436.70	19544.67
130	942.30	17945.17	170	1191.90	18914.47	210	1443.10	19558.23
131	948.70	17976.64	171	1198.30	18935.37	211	1449.50	19571.85
132	955.10	18007.70	172	1204.70	18955.84	212	1455.90	19585.35
133	961.50	18038.31	173	1211.10	18975.97	213	1462.30	19598.65
134	964.70	18060.89	174	1217.50	18995.89	214	1468.70	19611.75
135	967.90	18068.36	175	1223.90	19015.87	215	1475.10	19624.31
136	974.30	18098.21	176	1230.30	19035.72	216	1481.50	19636.79
137	980.70	18127.83	177	1236.70	19055.46	217	1487.90	19649.50
138	987.10	18156.88	178	1243.10	19074.98	218	1494.30	19662.01
139	993.50	18183.38	179	1249.50	19094.34	219	1500.70	19673.98
140	999.90	18210.46	180	1255.90	19113.53	220	1507.10	19685.90
141	1006.30	18237.47	181	1262.30	19132.47	221	1513.50	19697.66
142	1012.70	18264.39	182	1268.70	19150.48	222	1519.90	19708.79
143	1019.10	18291.35	183	1275.10	19168.08	223	1526.30	19719.65
144	1025.50	18317.61	184	1281.50	19185.46	224	1532.70	19730.15
145	1031.90	18343.44	185	1287.90	19202.40	225	1539.10	19740.38
146	1038.30	18369.07	186	1294.30	19218.74	226	1545.50	19750.39
147	1044.70	18394.40	187	1300.70	19234.74	227	1551.90	19760.38
148	1051.10	18419.33	188	1307.10	19250.67	228	1558.30	19770.15
149	1057.50	18444.16	189	1313.50	19266.47	229	1564.70	19779.80
150	1063.90	18468.51	190	1319.90	19282.13	230	1571.10	19789.26
151	1070.30	18492.54	191	1326.30	19297.35	231	1577.50	19798.52
152	1076.70	18516.23	192	1332.70	19312.28	232	1583.90	19807.65
153	1083.10	18540.24	193	1339.10	19327.19	233	1590.30	19816.68
154	1089.50	18563.46	194	1345.50	19342.19	234	1596.70	19825.28
155	1095.90	18586.44	195	1351.90	19356.60	235	1603.10	19833.70
156	1102.30	18609.13	196	1353.50	19363.94	236	1609.50	19841.98
157	1108.70	18631.54	197	1359.90	19374.88			

3. Mod, X yönüne ait söz konusu verilerle hazırlanmış olan statik itme eğrisi Şekil 3.29’da sunulmuştur.



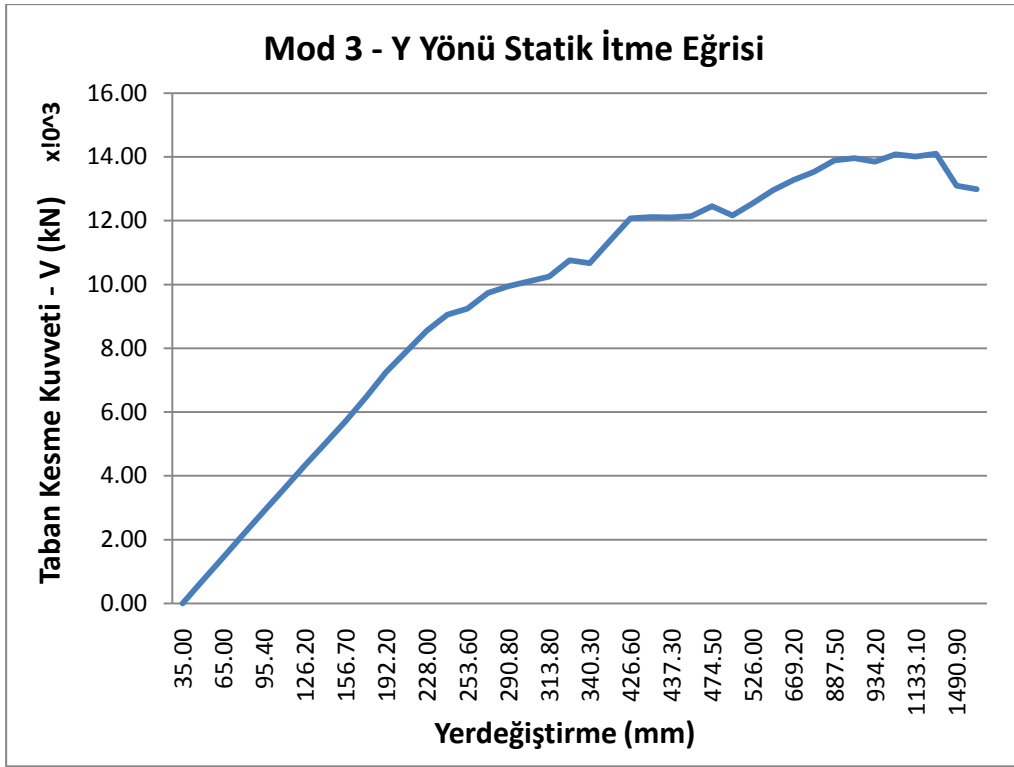
Şekil 3.29: Mod 3, X Yönü Statik İtme Eğrisi

3. moda ait Y doğrultusu statik itme analizinin değerleri model üzerine etkitildiğinde aşağıdaki Taban Kesme Kuvveti - Yerdeğiştirme değerleri ortaya çıkmaktadır. Maksimum tepe yerdeğiştirme değeri diğer itme analizlerinde olduğu gibi 160 cm ile sınırlandırılmıştır.

Çizelge 3.11: Mod 3 – Y Doğrultusu Statik İtme Analizi Değerleri

Adım	Yerdeğiştirme (mm)	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Adım	Yerdeğiştirme (mm)	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Adım	Yerdeğiştirme (mm)	Taban Kesme Kuvveti (kN)
1	35.00	0.01	15	253.60	9244.52	29	526.00	12542.55
2	50.00	723.75	16	276.40	9737.95	30	594.10	12951.51
3	65.00	1446.65	17	290.80	9942.16	31	669.20	13278.19
4	80.20	2167.38	18	304.50	10093.14	32	748.30	13528.43
5	95.40	2884.66	19	313.80	10249.75	33	887.50	13890.69
6	110.70	3599.04	20	335.40	10754.64	34	925.20	13964.67
7	126.20	4310.35	21	340.30	10667.36	35	934.20	13852.91
8	141.40	5009.82	22	373.30	11383.34	36	1118.90	14078.52
9	156.70	5709.26	23	426.60	12072.72	37	1133.10	14008.23
10	173.60	6455.52	24	431.90	12113.28	38	1288.00	14098.72
11	192.20	7256.34	25	437.30	12099.32	39	1490.90	13096.70
12	209.00	7907.25	26	448.10	12140.83	40	1600.40	12991.01
13	228.00	8553.17	27	474.50	12455.32			
14	245.90	9054.04	28	478.50	12167.43			

40. adım sonunda ulaşılmış olan maksimum ötelenme değeri 160 cm için oluşturulmuş statik itme eğrisi Şekil: 3.30’da gösterilmiştir.



Şekil 3.30: Mod 3, Y Yönü Statik İtme Eğrisi

İncelemeye konu olan son mod şekli Mod 4'ün X doğrultusuna ait itme analizi değerleri Çizelge 3.12'de sunulmuştur.

Çizelge 3.12: Mod 4, X Doğrultusu Statik İtme Analizi Değerleri

Adım	Yerdeğiştirme (mm)	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Adım	Yerdeğiştirme (mm)	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Adım	Yerdeğiştirme (mm)	Taban Kesme Kuvveti (kN)
1	4.10	0.00	15	50.80	2302.97	29	97.40	4479.44
2	7.40	164.58	16	54.10	2467.39	30	100.80	4610.69
3	10.80	329.17	17	57.40	2631.81	31	104.10	4738.91
4	14.10	493.70	18	60.80	2796.21	32	107.40	4865.35
5	17.40	658.23	19	64.10	2960.60	33	110.80	4988.34
6	20.80	822.76	20	67.40	3124.90	34	114.10	5108.57
7	24.10	987.24	21	70.80	3289.06	35	117.40	5227.37
8	27.40	1151.72	22	74.10	3451.21	36	120.80	5345.25
9	30.80	1316.21	23	77.40	3610.71	37	124.10	5461.47
10	34.10	1480.69	24	80.80	3764.87	38	127.40	5577.15
11	37.40	1645.17	25	84.10	3917.89	39	130.80	5691.55
12	40.80	1809.66	26	87.40	4064.15	40	134.10	5805.19
13	44.10	1974.12	27	90.80	4206.24	41	137.40	5917.74
14	47.40	2138.55	28	94.10	4345.22	42	140.80	6029.75

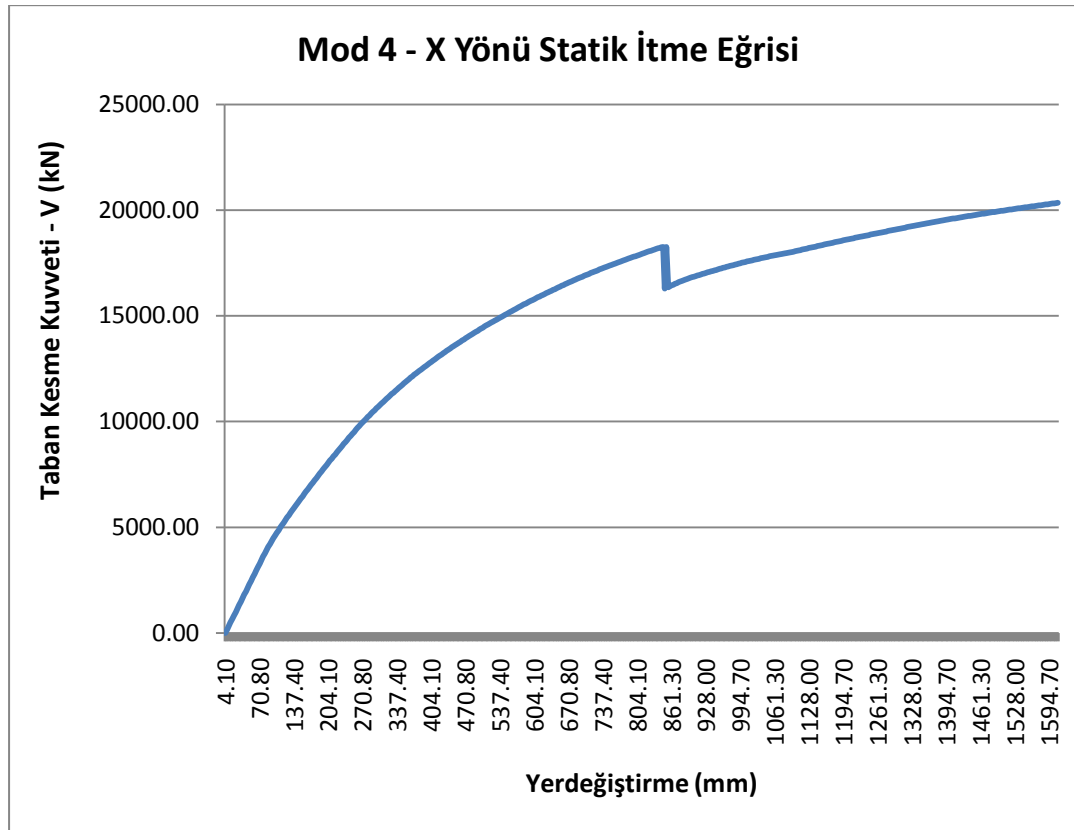
Adım	Yerdeğiştirme (mm)	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Adım	Yerdeğiştirme (mm)	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Adım	Yerdeğiştirme (mm)	Taban Kesme Kuvveti (kN)
43	144.10	6141.06	87	290.80	10464.20	131	437.40	13405.04
44	147.40	6251.73	88	294.10	10543.47	132	440.80	13460.66
45	150.80	6361.43	89	297.40	10622.17	133	444.10	13516.16
46	154.10	6470.98	90	300.80	10699.88	134	447.40	13570.41
47	157.40	6579.61	91	304.10	10777.31	135	450.80	13624.21
48	160.80	6687.78	92	307.40	10854.00	136	454.10	13677.75
49	164.10	6795.62	93	310.80	10930.10	137	457.40	13731.15
50	167.40	6902.50	94	314.10	11005.56	138	460.80	13784.33
51	170.80	7008.98	95	317.40	11080.40	139	464.10	13837.29
52	174.10	7115.14	96	320.80	11154.76	140	467.40	13889.67
53	177.40	7221.08	97	324.10	11228.72	141	470.80	13941.71
54	180.80	7326.66	98	327.40	11302.50	142	474.10	13993.38
55	184.10	7432.22	99	330.80	11376.19	143	477.40	14044.73
56	187.40	7537.08	100	334.10	11449.15	144	480.80	14095.65
57	190.80	7641.88	101	337.40	11521.30	145	484.10	14147.07
58	194.10	7746.31	102	340.80	11593.29	146	487.40	14198.13
59	197.40	7848.92	103	344.10	11664.39	147	490.80	14248.78
60	200.80	7951.21	104	347.40	11735.01	148	494.10	14299.12
61	204.10	8053.25	105	350.80	11805.57	149	497.40	14349.07
62	207.40	8153.94	106	354.10	11875.77	150	500.80	14398.95
63	210.80	8253.75	107	357.40	11943.70	151	504.10	14448.69
64	214.10	8353.56	108	360.80	12011.21	152	507.40	14498.24
65	217.40	8453.26	109	364.10	12078.49	153	510.80	14547.10
66	220.80	8552.20	110	367.40	12145.04	154	514.10	14595.00
67	224.10	8651.13	111	370.80	12211.21	155	517.40	14642.20
68	227.40	8748.87	112	374.10	12277.09	156	520.80	14689.02
69	230.80	8846.24	113	377.40	12340.22	157	524.10	14735.67
70	234.10	8943.43	114	380.80	12402.79	158	527.40	14782.39
71	237.40	9039.94	115	384.10	12464.99	159	530.80	14828.66
72	240.80	9136.32	116	387.40	12526.53	160	534.10	14874.68
73	244.10	9232.41	117	390.80	12587.66	161	537.40	14920.55
74	247.40	9327.47	118	394.10	12648.44	162	540.80	14966.14
75	250.80	9421.63	119	397.40	12708.62	163	544.10	15011.62
76	254.10	9515.15	120	400.80	12768.50	164	547.40	15057.05
77	257.40	9608.41	121	404.10	12828.02	165	550.80	15102.31
78	260.80	9700.37	122	407.40	12886.99	166	554.10	15147.42
79	264.10	9790.51	123	410.80	12945.77	167	557.40	15192.45
80	267.40	9879.74	124	414.10	13004.31	168	560.80	15237.19
81	270.80	9965.85	125	417.40	13062.53	169	564.10	15281.77
82	274.10	10050.79	126	420.80	13120.50	170	567.40	15326.16
83	277.40	10134.94	127	424.10	13178.22	171	570.80	15370.14
84	280.80	10218.65	128	427.40	13235.25	172	574.10	15413.93
85	284.10	10301.77	129	430.80	13292.25	173	577.40	15457.45
86	287.40	10383.69	130	434.10	13348.94	174	580.80	15500.80

Adım	Yerdeğiştirme (mm)	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Adım	Yerdeğiştirme (mm)	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Adım	Yerdeğiştirme (mm)	Taban Kesme Kuvveti (kN)
175	584.10	15543.97	219	730.80	17194.47	263	868.00	16518.81
176	587.40	15586.56	220	734.10	17226.75	264	871.30	16554.63
177	590.80	15628.87	221	737.40	17258.78	265	874.70	16589.06
178	594.10	15670.84	222	740.80	17290.70	266	878.00	16621.89
179	597.40	15712.26	223	744.10	17322.59	267	881.30	16654.17
180	600.80	15753.50	224	747.40	17354.27	268	884.70	16685.80
181	604.10	15794.54	225	750.80	17385.09	269	888.00	16716.50
182	607.40	15835.38	226	754.10	17415.83	270	891.30	16746.33
183	610.80	15875.90	227	757.40	17446.42	271	894.70	16775.42
184	614.10	15915.87	228	760.80	17476.86	272	898.00	16803.22
185	617.40	15955.87	229	764.10	17506.99	273	901.30	16830.18
186	620.80	15995.44	230	767.40	17537.01	274	904.70	16856.84
187	624.10	16034.89	231	770.80	17566.81	275	908.00	16883.33
188	627.40	16074.42	232	774.10	17596.40	276	911.30	16909.18
189	630.80	16113.61	233	777.40	17625.85	277	914.70	16934.44
190	634.10	16152.69	234	780.80	17655.13	278	918.00	16959.56
191	637.40	16191.66	235	784.10	17684.33	279	921.30	16984.51
192	640.80	16230.48	236	787.40	17713.40	280	924.70	17009.23
193	644.10	16269.03	237	790.80	17742.27	281	928.00	17033.89
194	647.40	16307.30	238	794.10	17771.03	282	931.30	17057.66
195	650.80	16345.70	239	797.40	17799.26	283	934.70	17081.72
196	654.10	16383.99	240	800.80	17827.39	284	938.00	17105.91
197	657.40	16422.08	241	804.10	17856.43	285	941.30	17130.05
198	660.80	16459.98	242	807.40	17885.25	286	944.70	17153.13
199	664.10	16497.77	243	810.80	17914.33	287	948.00	17176.74
200	667.40	16535.33	244	814.10	17943.03	288	951.30	17200.12
201	670.80	16572.45	245	817.40	17971.63	289	954.70	17223.31
202	674.10	16609.33	246	820.80	18000.17	290	958.00	17246.46
203	677.40	16646.00	247	824.10	18028.65	291	961.30	17269.50
204	680.80	16682.52	248	827.40	18056.59	292	964.70	17292.31
205	684.10	16718.89	249	830.80	18084.27	293	968.00	17315.04
206	687.40	16755.13	250	834.10	18111.90	294	971.30	17337.61
207	690.80	16789.65	251	837.40	18139.50	295	974.70	17360.13
208	694.10	16824.59	252	840.80	18166.99	296	978.00	17382.30
209	697.40	16859.37	253	844.10	18194.26	297	981.30	17404.03
210	700.80	16893.70	254	847.40	18221.19	298	984.70	17425.69
211	704.10	16927.77	255	850.80	18248.18	299	988.00	17447.22
212	707.40	16961.62	256	851.20	18254.43	300	991.30	17468.45
213	710.80	16995.30	257	851.30	16292.49	301	994.70	17489.63
214	714.10	17028.83	258	851.30	18256.41	302	998.00	17510.91
215	717.40	17062.33	259	854.70	16347.59	303	1001.30	17531.80
216	720.80	17095.72	260	858.00	16395.10	304	1004.70	17552.62
217	724.10	17128.77	261	861.30	16439.25	305	1008.00	17572.56
218	727.40	17161.72	262	864.70	16480.84	306	1011.30	17592.32

Adım	Yerdeğiştirme (mm)	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Adım	Yerdeğiştirme (mm)	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Adım	Yerdeğiştirme (mm)	Taban Kesme Kuvveti (kN)
307	1014.70	17611.31	351	1161.30	18392.56	395	1308.00	19143.41
308	1018.00	17630.26	352	1164.70	18410.69	396	1311.30	19159.84
309	1021.30	17649.13	353	1168.00	18428.79	397	1314.70	19176.16
310	1024.70	17667.99	354	1171.30	18446.88	398	1318.00	19192.38
311	1028.00	17686.81	355	1174.70	18464.72	399	1321.30	19208.58
312	1031.30	17705.42	356	1178.00	18482.49	400	1324.70	19224.78
313	1034.70	17724.01	357	1181.30	18500.57	401	1328.00	19240.66
314	1038.00	17742.54	358	1184.70	18518.56	402	1331.30	19256.33
315	1041.30	17761.00	359	1188.00	18536.30	403	1334.70	19272.49
316	1044.70	17779.41	360	1191.30	18553.84	404	1338.00	19288.37
317	1048.00	17797.81	361	1194.70	18571.33	405	1341.30	19304.21
318	1051.30	17814.36	362	1198.00	18588.91	406	1344.70	19319.95
319	1054.70	17830.85	363	1201.30	18606.38	407	1348.00	19335.59
320	1058.00	17847.24	364	1204.70	18623.77	408	1351.30	19351.23
321	1061.30	17863.59	365	1208.00	18641.15	409	1354.70	19366.82
322	1064.70	17879.74	366	1211.30	18658.41	410	1358.00	19382.22
323	1068.00	17894.42	367	1214.70	18675.65	411	1361.30	19397.59
324	1071.30	17909.21	368	1218.00	18692.87	412	1364.70	19412.83
325	1074.70	17923.72	369	1221.30	18709.84	413	1368.00	19428.06
326	1078.00	17938.16	370	1224.70	18726.76	414	1371.30	19443.21
327	1081.30	17952.36	371	1228.00	18743.57	415	1374.70	19458.27
328	1084.70	17969.03	372	1231.30	18760.36	416	1378.00	19473.27
329	1088.00	17985.68	373	1234.70	18777.14	417	1381.30	19487.83
330	1091.30	18003.00	374	1238.00	18793.87	418	1384.70	19502.33
331	1094.70	18020.61	375	1241.30	18810.57	419	1388.00	19516.73
332	1098.00	18039.32	376	1244.70	18827.23	420	1391.30	19530.96
333	1101.30	18058.00	377	1248.00	18843.83	421	1394.70	19545.25
334	1104.70	18076.68	378	1251.30	18860.39	422	1398.00	19559.47
335	1108.00	18095.36	379	1254.70	18876.94	423	1401.30	19573.38
336	1111.30	18113.99	380	1258.00	18893.55	424	1404.70	19587.20
337	1114.70	18132.91	381	1261.30	18910.14	425	1408.00	19600.98
338	1118.00	18151.79	382	1264.70	18926.90	426	1411.30	19614.66
339	1121.30	18170.55	383	1268.00	18943.62	427	1414.70	19628.46
340	1124.70	18189.32	384	1271.30	18960.39	428	1418.00	19642.27
341	1128.00	18208.13	385	1274.70	18977.03	429	1421.30	19655.85
342	1131.30	18226.93	386	1278.00	18993.78	430	1424.70	19669.36
343	1134.70	18245.70	387	1281.30	19010.52	431	1428.00	19682.85
344	1138.00	18264.40	388	1284.70	19027.24	432	1431.30	19696.26
345	1141.30	18283.01	389	1288.00	19043.97	433	1434.70	19709.75
346	1144.70	18301.39	390	1291.30	19060.62	434	1438.00	19723.23
347	1148.00	18319.69	391	1294.70	19077.25	435	1441.30	19736.68
348	1151.30	18337.89	392	1298.00	19093.84	436	1444.70	19750.06
349	1154.70	18356.06	393	1301.30	19110.37	437	1448.00	19763.25
350	1158.00	18374.32	394	1304.70	19126.90	438	1451.30	19776.36

Adım	Yerdeğiştirme (mm)	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Adım	Yerdeğiştirme (mm)	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Adım	Yerdeğiştirme (mm)	Taban Kesme Kuvveti (kN)
439	1454.70	19789.40	455	1508.00	19991.17	471	1561.30	20177.50
440	1458.00	19802.42	456	1511.30	20003.12	472	1564.70	20189.02
441	1461.30	19815.43	457	1514.70	20015.05	473	1568.00	20200.53
442	1464.70	19828.37	458	1518.00	20026.90	474	1571.30	20212.02
443	1468.00	19841.04	459	1521.30	20038.61	475	1574.70	20223.48
444	1471.30	19853.64	460	1524.70	20050.28	476	1578.00	20234.91
445	1474.70	19866.36	461	1528.00	20061.95	477	1581.30	20246.33
446	1478.00	19879.06	462	1531.30	20073.60	478	1584.70	20257.74
447	1481.30	19891.71	463	1534.70	20085.28	479	1588.00	20269.15
448	1484.70	19904.36	464	1538.00	20096.90	480	1591.30	20280.29
449	1488.00	19916.92	465	1541.30	20108.50	481	1594.70	20291.40
450	1491.30	19929.43	466	1544.70	20120.15	482	1598.00	20302.34
451	1494.70	19941.94	467	1548.00	20131.72	483	1601.30	20313.18
452	1498.00	19954.44	468	1551.30	20143.28	484	1604.70	20324.03
453	1501.30	19966.78	469	1554.70	20154.75	485	1608.00	20334.85
454	1504.70	19979.01	470	1558.00	20166.18	486	1611.30	20345.66

483. adım sonunda ulaşılmış olan maksimum yerdeğiştirme değeri 160 cm için oluşturulmuş statik itme eğrisi Şekil 3.31’de gösterilmiştir.



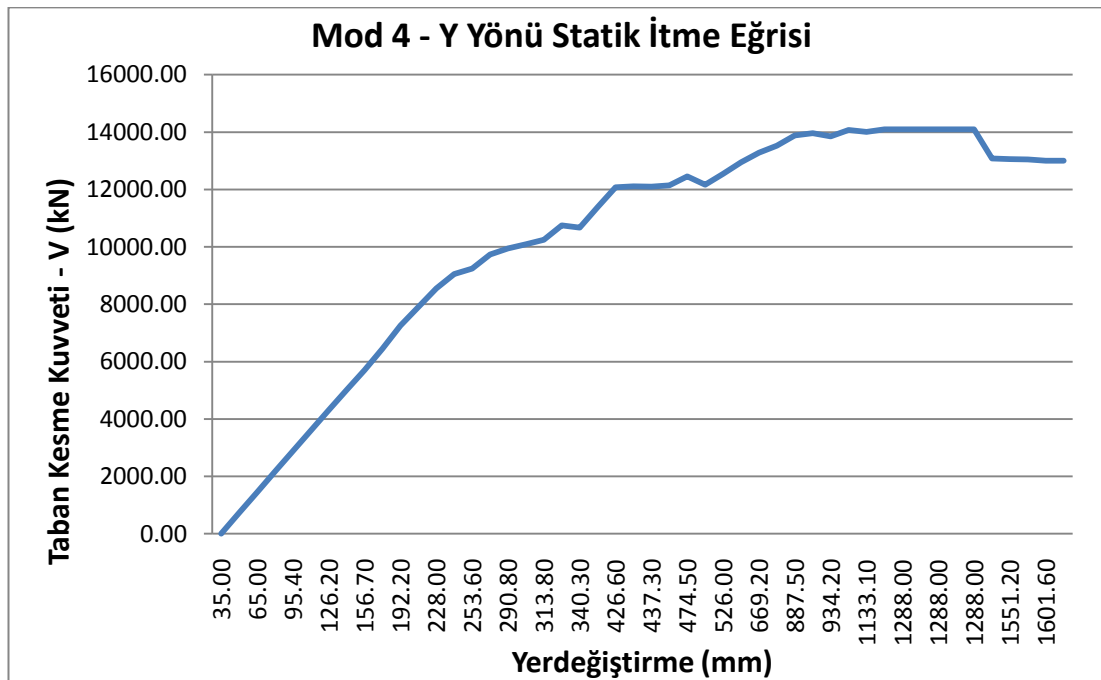
Şekil 3.31: Mod 4, X Yönü Statik İtme Eğrisi

Dördüncü moda ait Y yönü itme analizi sonucunda elde edilen veriler Çizelge 3.13'te sunulmuştur. Bu veriler ile birlikte ele alınan itme analizleri tamamlanmaktadır.

Çizelge 3.13: Mod 4, Y Doğrultusu Statik İtme Değerleri

Adım	Yerdeğiştirme (mm)	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Adım	Yerdeğiştirme (mm)	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Adım	Yerdeğiştirme (mm)	Taban Kesme Kuvveti (kN)
1	35.00	0.01	17	290.80	9942.16	33	887.50	13890.69
2	50.00	723.75	18	304.50	10093.14	34	925.20	13964.67
3	65.00	1446.65	19	313.80	10249.75	35	934.20	13852.91
4	80.20	2167.38	20	335.40	10754.64	36	1118.90	14078.52
5	95.40	2884.66	21	340.30	10667.36	37	1133.10	14008.23
6	110.70	3599.04	22	373.30	11383.34	38	1288.00	14098.72
7	126.20	4310.35	23	426.60	12072.72	39	1288.00	14098.72
8	141.40	5009.82	24	431.90	12113.28	40	1288.00	14098.72
9	156.70	5709.26	25	437.30	12099.32	41	1288.00	14098.72
10	173.60	6455.52	26	448.10	12140.83	42	1288.00	14098.72
11	192.20	7256.34	27	474.50	12455.32	43	1288.00	14098.72
12	209.00	7907.25	28	478.50	12167.43	44	1510.60	13081.35
13	228.00	8553.17	29	526.00	12542.55	45	1551.20	13064.59
14	245.90	9054.04	30	594.10	12951.51	46	1564.30	13051.25
15	253.60	9244.52	31	669.20	13278.19	47	1601.60	13006.31
16	276.40	9737.95	32	748.30	13528.43			

47. adım sonunda ulaşılmış olan maksimum yerdeğiştirme değeri 160 cm için oluşturulmuş statik itme eğrisi Şekil 3.32'de gösterilmiştir.



Şekil 3.32: Mod 4, Y Yönü Statik İtme Eğrisi

- İdealize edilmiş çift doğrulu eğrinin başlangıç eğimi, k_n^i , başlangıç noktası ile gerçek itme eğrisinde akma noktası taban kesme kuvvetinin %60'ına denk gelen nokta arasında bir çizgi oluşturularak elde edilir.
- Statik İtme Eğrisi verilerinden $0.6 \times V_{bny}^i$ taban kesme kuvveti değerine karşı gelen tepe yerdeğiştirmesi, $u_{rn,0.6}^i$, elde edilir.
- Eğim şu formülle hesaplanır: $k_n^i = (0.6 \times V_{bny}^i) / u_{rn,0.6}^i$. (3.1)
- Akma yerdeğiştirmesi, $u_{rny}^i = V_{bny}^i / k_n^i$ (3.2) formülüyle hesaplanır. Akma noktası taban kesme kuvveti değeri V_{bny}^i ve akma noktası tepe yerdeğiştirme değeri u_{rny}^i 'nin kesiştiği nokta A olarak isimlendirilir.
- OAB eğrisi bu üç noktanın doğrusal olarak birleştirilmesiyle çizilir.
- Akma sonrası pekleşme oranı hesaplanır:
$$\alpha_n^i = \left[V_{bno} / V_{bny}^i - 1 \right] / \left[u_{rno} / u_{rny}^i - 1 \right] \quad (3.3)$$
- İdealize edilmiş olan çift doğrulu eğrinin (OAB) altındaki alan, A_{bn}^i hesaplanır.
- Hata oranı hesaplanır: $100 \times (A_{bn}^i - A_{pn}) / A_{pn}$. Hata değeri tolerans dahilinde değilse iterasyonlar gerekli hale gelecektir.

1. Mod, X Doğrultusu Statik İtme Eğrisinin İdealleştirilmesi

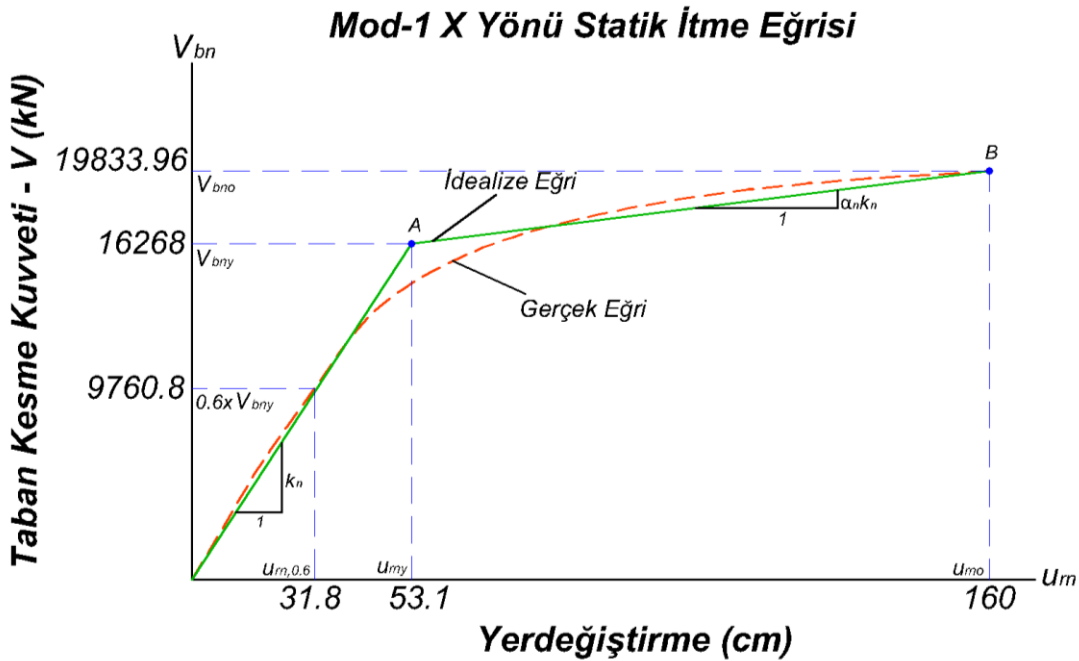
- Tepe Yerdeğiştirme Değeri, $u_{rno} = 160$ cm.
- Hedef Taban Kesme Kuvveti Değeri, $V_{bno} = 19833.96$ kN (B Noktası)
- Asıl İtme Eğrisi Altında Kalan Alan, $A_{pn} = 590149063.03$ birim
- Tahmin Edilen Akma Taban Kesme Kuvveti, $V_{bny} = 16268$ kN
- Akma Taban Kesme Kuvveti Değerinin %60'ı, $0.6 \times V_{bny}^i = 9760.8$ kN
- İtme Eğrisinden Elde Edilen %60 Akma Deplasman Değeri, $u_{rn,0.6}^i = 31.8$ cm

- İdealize Edilmiş Eğriye Ait Başlangıç Eğimi, $k_n = 306.36 \text{ kN/cm}$
- Akma Durumu Yerdğiştirme Değeri, $u_{my} = 53.1 \text{ cm}$ (A Noktası)
- İdealize Edilmiş İtme Eğrisi Altında Kalan Alan, $A_{bn} = 590578661.16$ birim
- Akma Sonrası Pekleşme Oranı, α_n

$$\alpha_n = \left[\frac{19833.96}{16268} - 1 \right] / \left[\frac{160}{53.1} - 1 \right] = 0.109$$

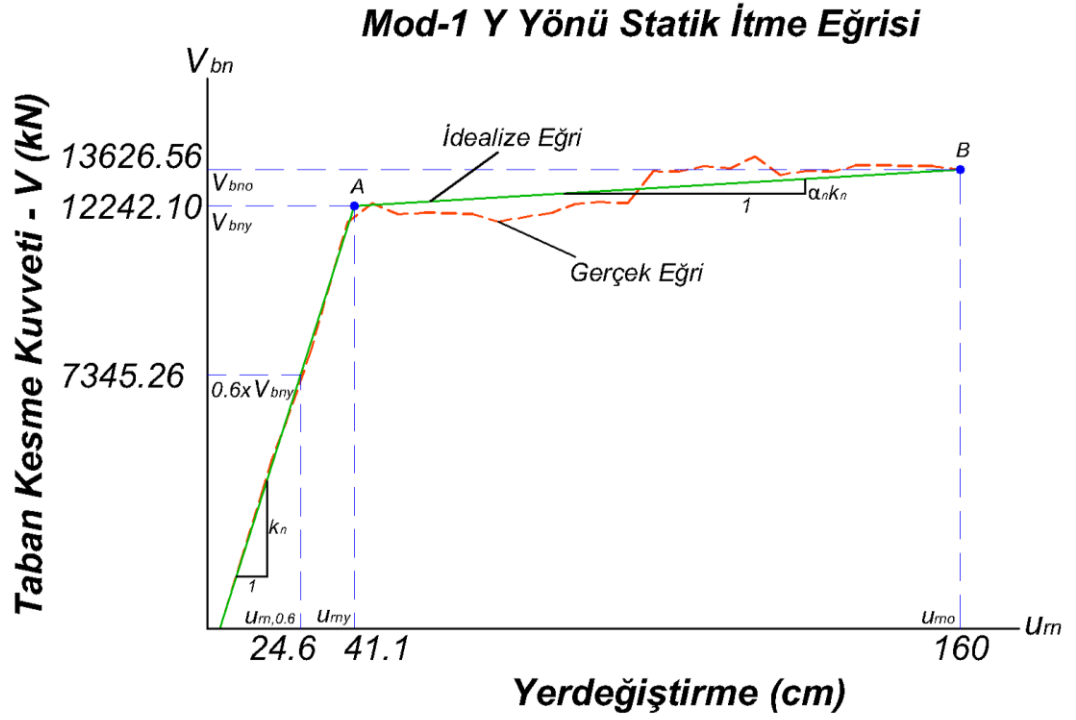
$$\text{Hata Oranı} = 100 \times (590578661.16 - 590149063.03) / 590149063.03 = 0.073 \ll 1$$

Hata oranı %1 tolerans değerini aşmadığı için iterasyon yapılmasına gerek kalmamıştır.

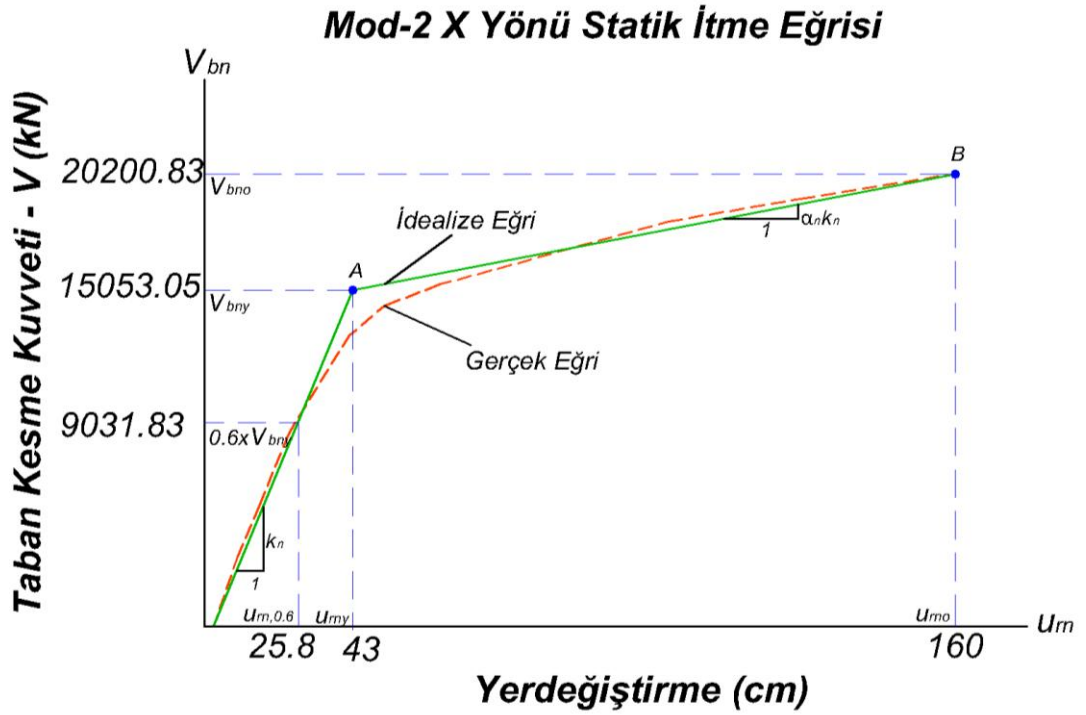


Şekil 3.34: Mod 1, X Yönü İdealleştirilmiş Statik İtme Eğrisi

Aynı hesaplamalar diğer mod şekilleri ve doğrultuları için de tekrarlanmış, bu veriler ile birlikte Şekil 3.35 – 3.41’de sunulan idealize eğriler elde edilmiştir.

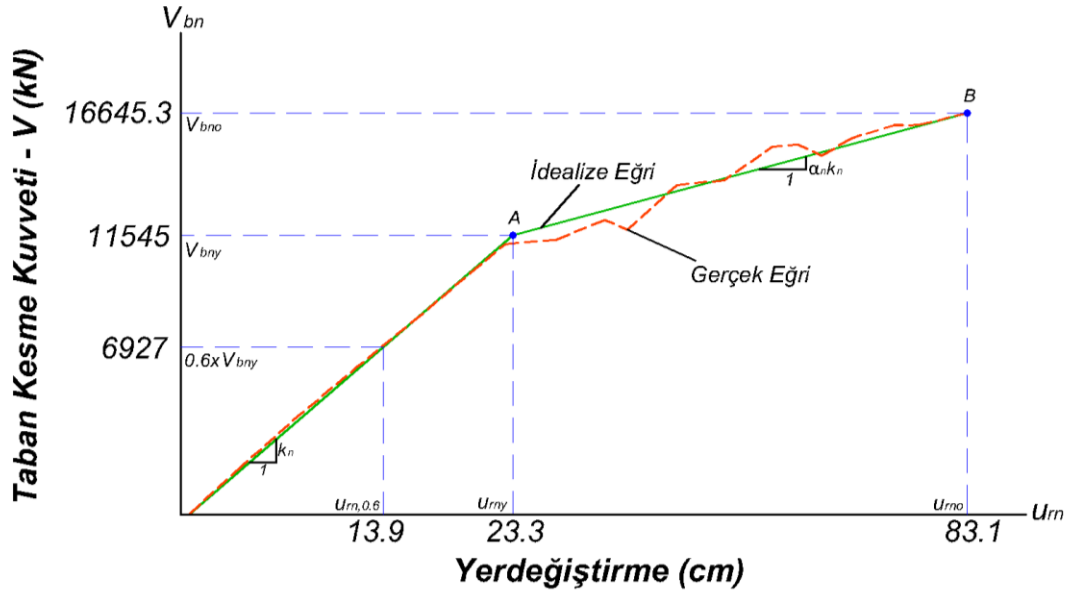


Şekil 3.35: Mod 1, Y Yönü İdealleştirilmiş Statik İtme Eğrisi



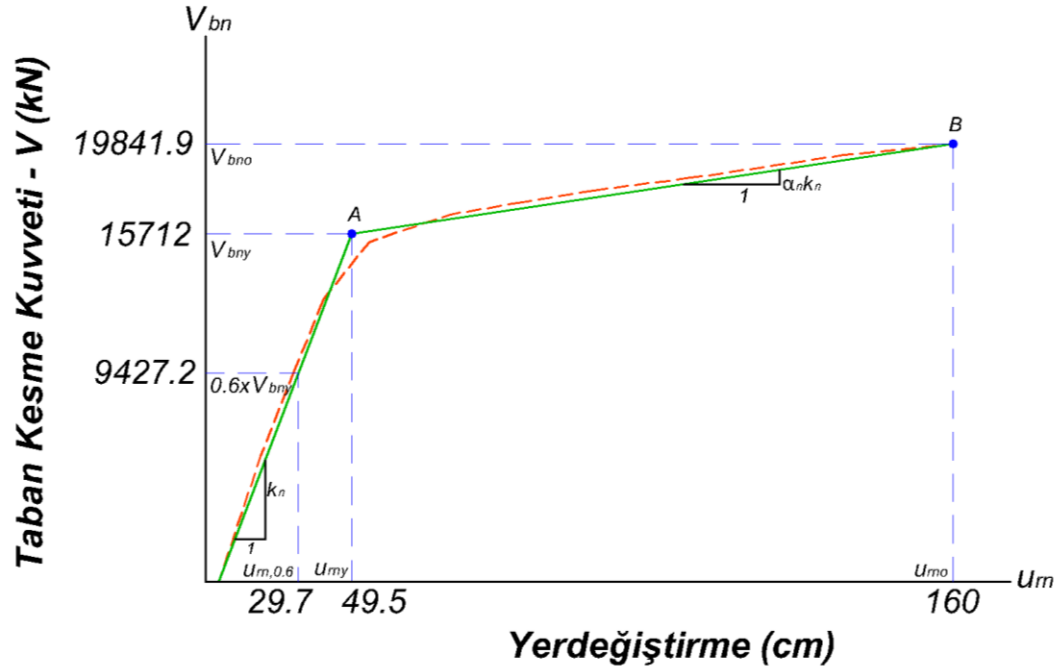
Şekil 3.36: Mod 2, X Yönü İdealleştirilmiş Statik İtme Eğrisi

Mod-2 Y Yönü Statik İtme Eğrisi



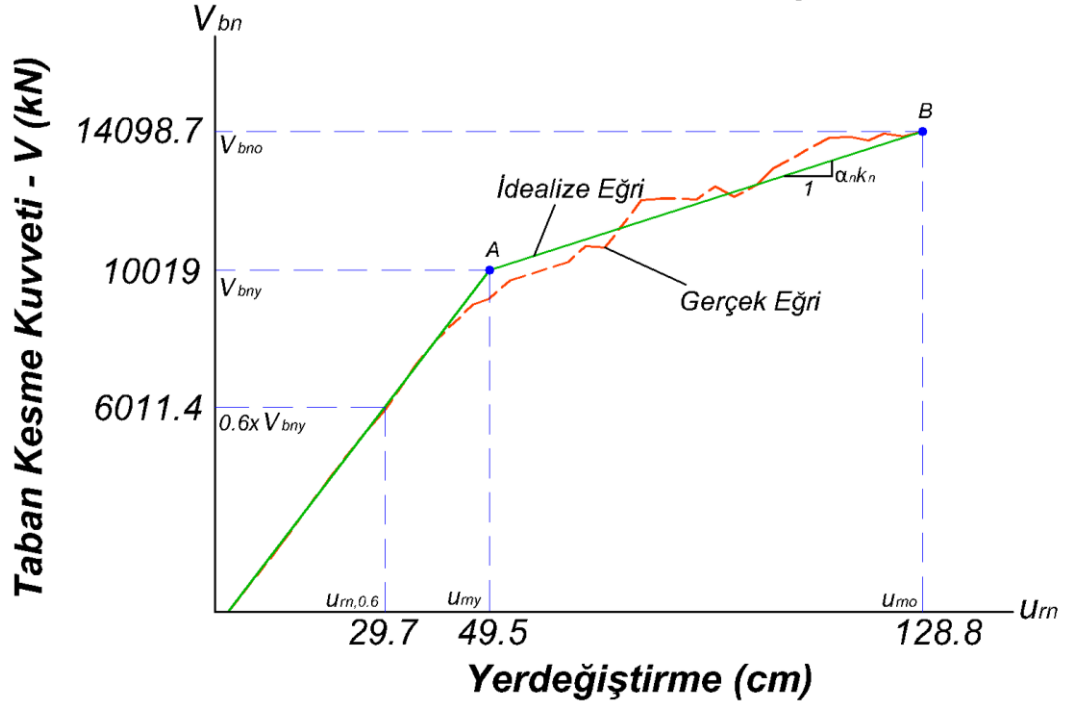
Şekil 3.37: Mod 2, Y Yönü İdealleştirilmiş Statik İtme Eğrisi

Mod-3 X Yönü Statik İtme Eğrisi



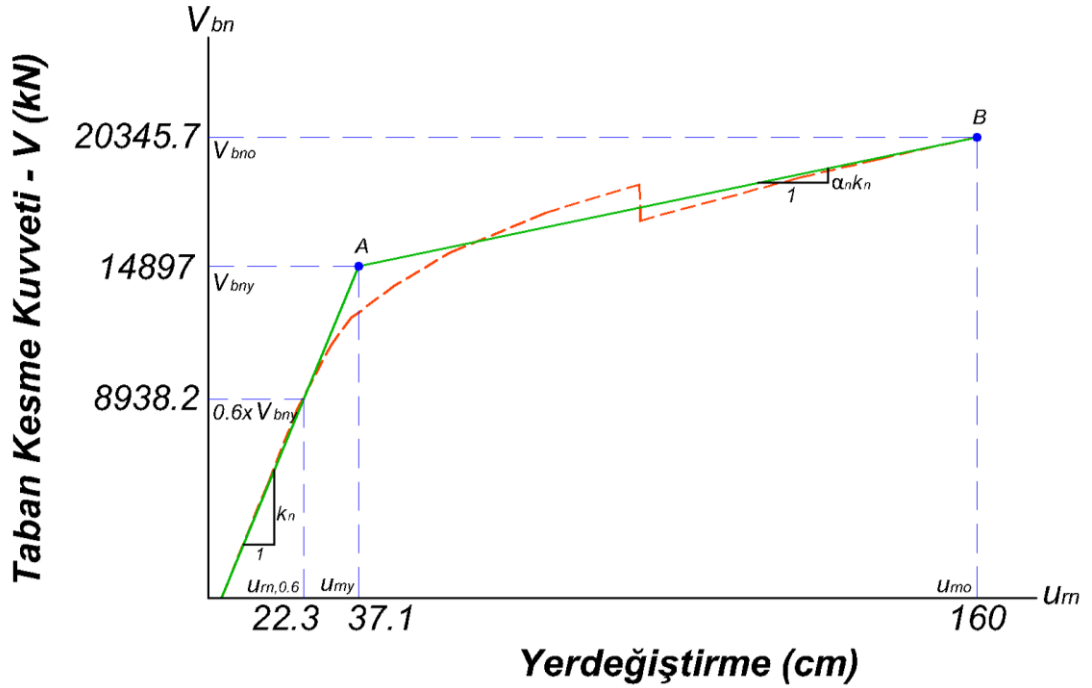
Şekil 3.38: Mod 3, X Yönü İdealleştirilmiş Statik İtme Eğrisi

Mod-3 Y Yönü Statik İtme Eğrisi

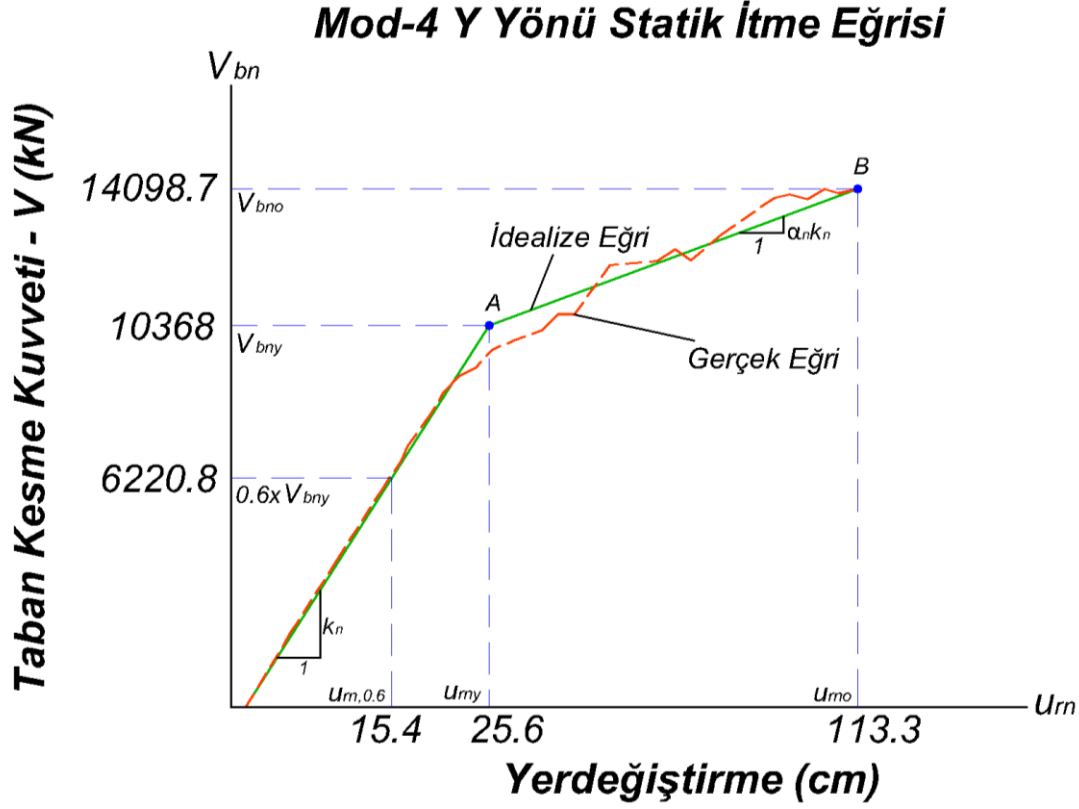


Şekil 3.39: Mod 3, Y Yönü İdealleştirilmiş Statik İtme Eğrisi

Mod-4 X Yönü Statik İtme Eğrisi



Şekil 3.40: Mod 4, X Yönü İdealleştirilmiş Statik İtme Eğrisi



Şekil 3.41: Mod 4, Y Yönü İdealleştirilmiş Statik İtme Eğrisi

3.2.4 Modal İvme – Modal Yerdeğiştirme ilişkisinin elde edilmesi

Modal İvme – Modal Yerdeğiştirme (Modal Kapasite) ilişkisi; çok serbestlik dereceli sisteme göre bulunan kapasite eğrisine (statik itme eğrisi) uygulanan koordinat dönüşümü sayesinde elde edilebilir. Koordinatları “Modal Yerdeğiştirme ve Modal İvme” olan tek serbestlik dereceli sisteme ait modal kapasite diyagramı aşağıdaki verilerle hesaplanır:

$$F_{sn} / L_n a_n = V_{bn} / M_n^*$$

$F_{sn}/L_n(a_n)$ = n’inci itme adımında deprem doğrultusunda hakim moda ait modal ivme

V_{bn} = n’inci itme adımının sonunda elde edilen hakim moda ait taban kesme kuvveti

M_n^* = Deprem doğrultusunda hakim moda ait etkin kütle

$$D_n = u_{rn} / \Gamma_n \phi_{rn}$$

D_n = n'inci itme adımında deprem doğrultusunda hakim moda ait modal yer değiştirme

u_{rn} = Binanın tepesinde n'inci itme adımında deprem doğrultusunda hakim moda ait elde edilen yer değiştirme

Γ_n = Deprem doğrultusunda etkin moda ait katkı çarpanı

ϕ_{rn} = Binanın tepesinde deprem doğrultusunda etkin moda ait mod şekli genliği

Mod 1, X Yönü bileşeni için elde edilen veriler:

$$M_1 = \phi_1^T \bullet m \bullet \phi_1 = 11592.25 \text{ kNs}^2/\text{m}, \quad L_1 = \phi_1^T \bullet m \bullet 1 = 15621.82 \text{ kNs}^2/\text{m},$$

$$\Gamma_1 = \frac{L_1}{M_1} = 1.3476, \quad M_1^* = L_1 \bullet \Gamma_1 = 21052.10 \text{ kNs}^2/\text{m}.$$

Mod 1, Y Yönü bileşeni için elde edilen veriler:

$$M_1 = \phi_1^T \bullet m \bullet \phi_1 = 9627.63 \text{ kNs}^2/\text{m}, \quad L_1 = \phi_1^T \bullet m \bullet 1 = 13804.28 \text{ kNs}^2/\text{m},$$

$$\Gamma_1 = \frac{L_1}{M_1} = 1.4338, \quad M_1^* = L_1 \bullet \Gamma_1 = 19792.85 \text{ kNs}^2/\text{m}.$$

Mod 2, X Yönü bileşeni için elde edilen veriler:

$$M_1 = \phi_1^T \bullet m \bullet \phi_1 = 11681.96 \text{ kNs}^2/\text{m}, \quad L_1 = \phi_1^T \bullet m \bullet 1 = 15719.67 \text{ kNs}^2/\text{m},$$

$$\Gamma_1 = \frac{L_1}{M_1} = 1.3456, \quad M_1^* = L_1 \bullet \Gamma_1 = 21152.98 \text{ kNs}^2/\text{m}.$$

Mod 2, Y Yönü bileşeni için elde edilen veriler:

$$M_1 = \phi_1^T \bullet m \bullet \phi_1 = 59841 \text{ kNs}^2/\text{m},$$

$$L_1 = \phi_1^T \bullet m \bullet 1 = 38002.04 \text{ kNs}^2/\text{m},$$

$$\Gamma_1 = \frac{L_1}{M_1} = 0.6350,$$

$$M_1^* = L_1 \bullet \Gamma_1 = 24132.80 \text{ kNs}^2/\text{m}.$$

Mod 3, X Yönü bileşeni için elde edilen veriler:

$$M_1 = \phi_1^T \bullet m \bullet \phi_1 = 15579.17 \text{ kNs}^2/\text{m},$$

$$L_1 = \phi_1^T \bullet m \bullet 1 = 19056.44 \text{ kNs}^2/\text{m},$$

$$\Gamma_1 = \frac{L_1}{M_1} = 1.2232,$$

$$M_1^* = L_1 \bullet \Gamma_1 = 23309.84 \text{ kNs}^2/\text{m}.$$

Mod 3, Y Yönü bileşeni için elde edilen veriler:

$$M_1 = \phi_1^T \bullet m \bullet \phi_1 = 19770.64 \text{ kNs}^2/\text{m},$$

$$L_1 = \phi_1^T \bullet m \bullet 1 = 21727.83 \text{ kNs}^2/\text{m},$$

$$\Gamma_1 = \frac{L_1}{M_1} = 1.0990,$$

$$M_1^* = L_1 \bullet \Gamma_1 = 23878.77 \text{ kNs}^2/\text{m}.$$

Mod 4, X Yönü bileşeni için elde edilen veriler:

$$M_1 = \phi_1^T \bullet m \bullet \phi_1 = 47166.72 \text{ kNs}^2/\text{m},$$

$$L_1 = \phi_1^T \bullet m \bullet 1 = 34634.52 \text{ kNs}^2/\text{m},$$

$$\Gamma_1 = \frac{L_1}{M_1} = 0.7343,$$

$$M_1^* = L_1 \bullet \Gamma_1 = 25432.13 \text{ kNs}^2/\text{m}.$$

Mod 4, Y Yönü bileşeni için elde edilen veriler:

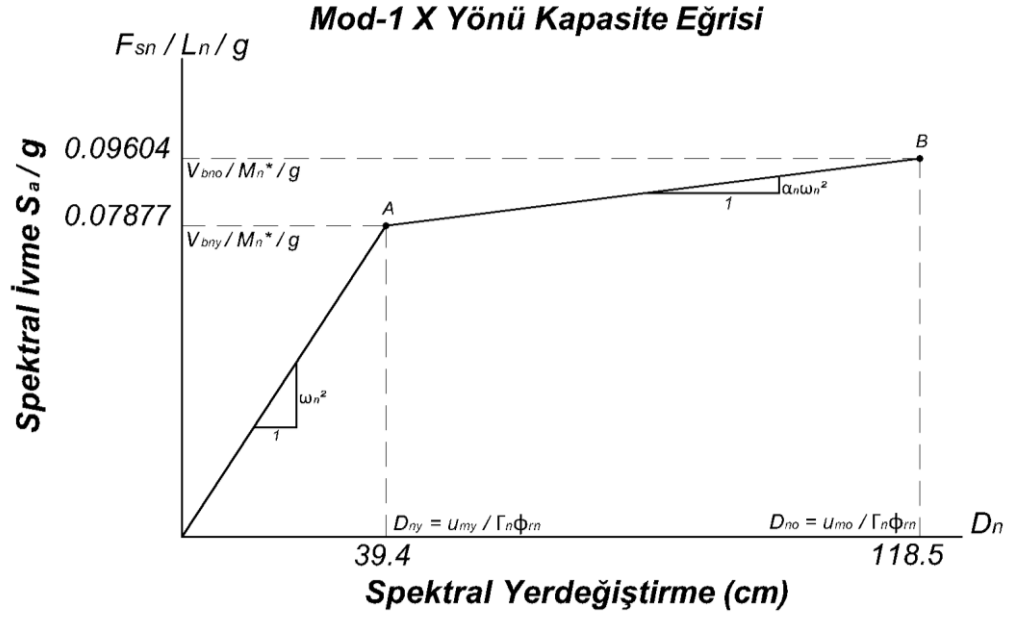
$$M_1 = \phi_1^T \bullet m \bullet \phi_1 = 42027.05 \text{ kNs}^2/\text{m},$$

$$L_1 = \phi_1^T \bullet m \bullet 1 = 34756.37 \text{ kNs}^2/\text{m},$$

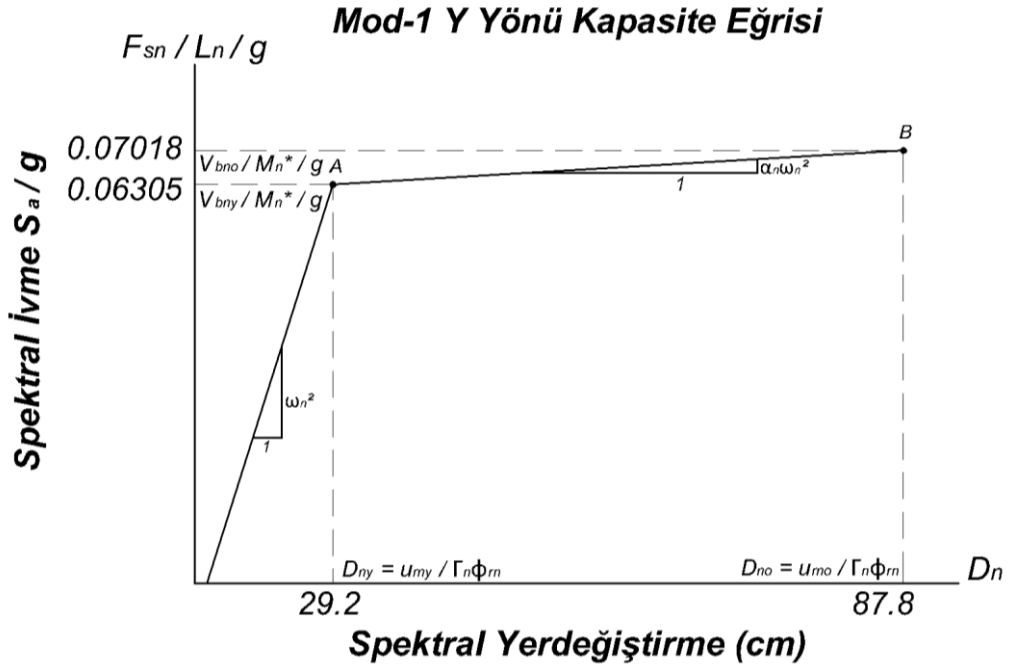
$$\Gamma_1 = \frac{L_1}{M_1} = 0.827,$$

$$M_1^* = L_1 \bullet \Gamma_1 = 28743.52 \text{ kNs}^2/\text{m}.$$

İncelemeye alınan bina için ilk 4 moda her iki doğrultuda karşılık gelen Modal İvme - Modal Yerdeğiştirme diyagramları aşağıda sunulmuştur:

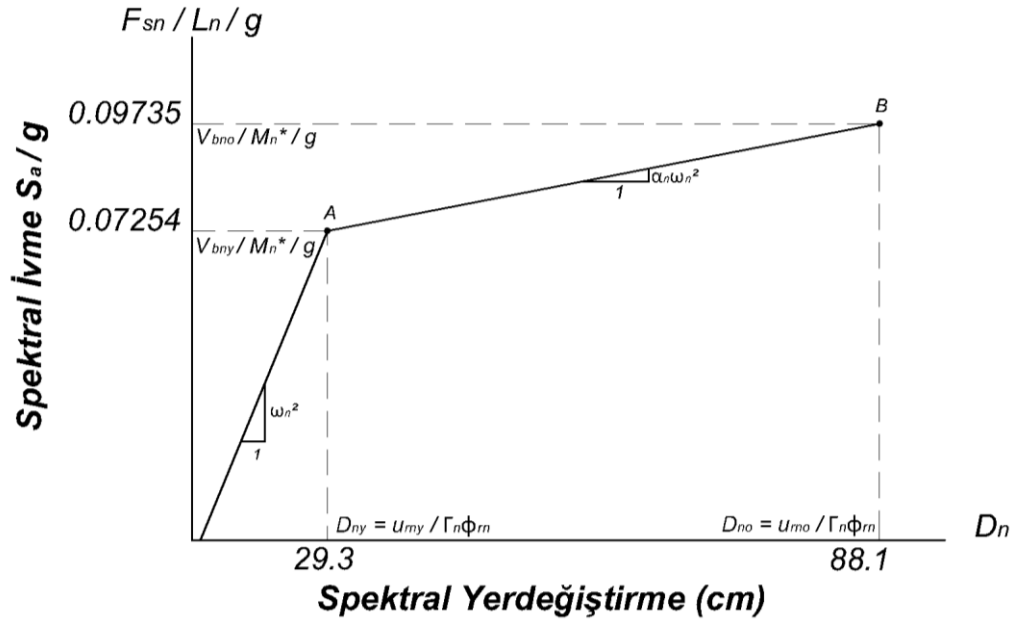


Şekil 3.42: Mod 1, X Yönü Kapasite Eğrisi



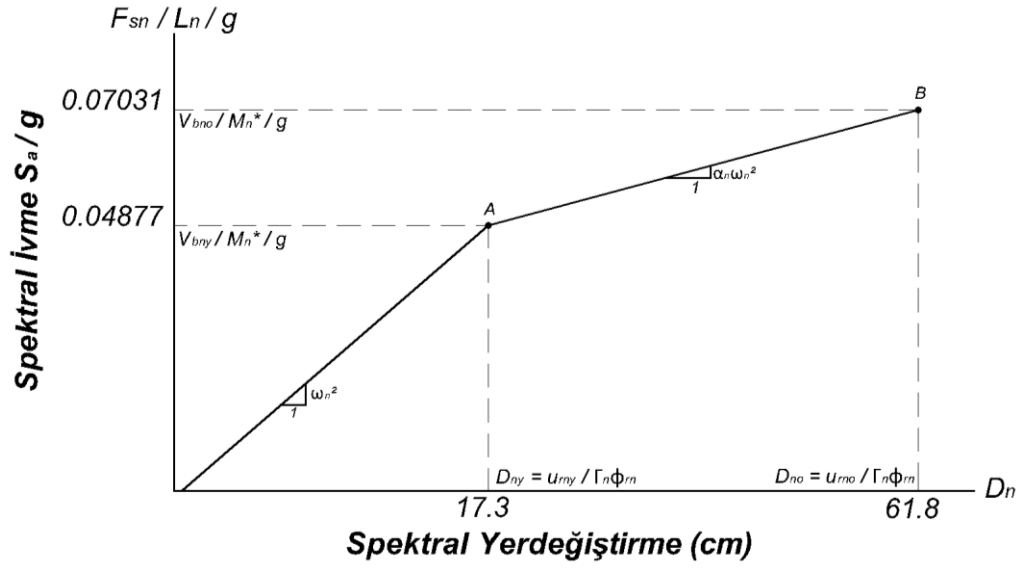
Şekil 3.43: Mod 1, Y Yönü Kapasite Eğrisi

Mod-2 X Yönü Kapasite Eğrisi



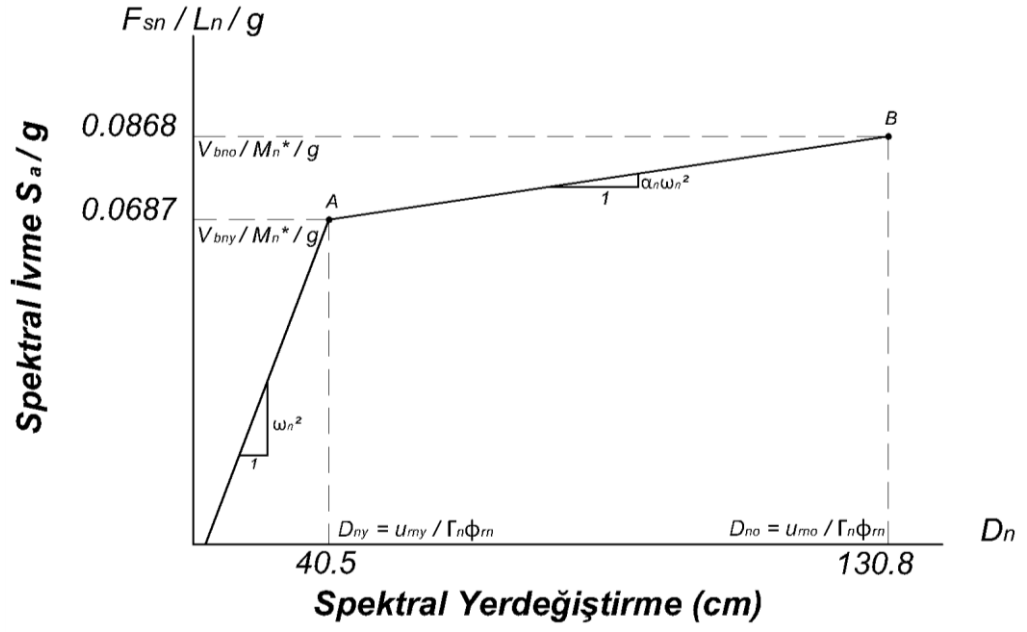
Şekil 3.44: Mod 2, X Yönü Kapasite Eğrisi

Mod-2 Y Yönü Kapasite Eğrisi



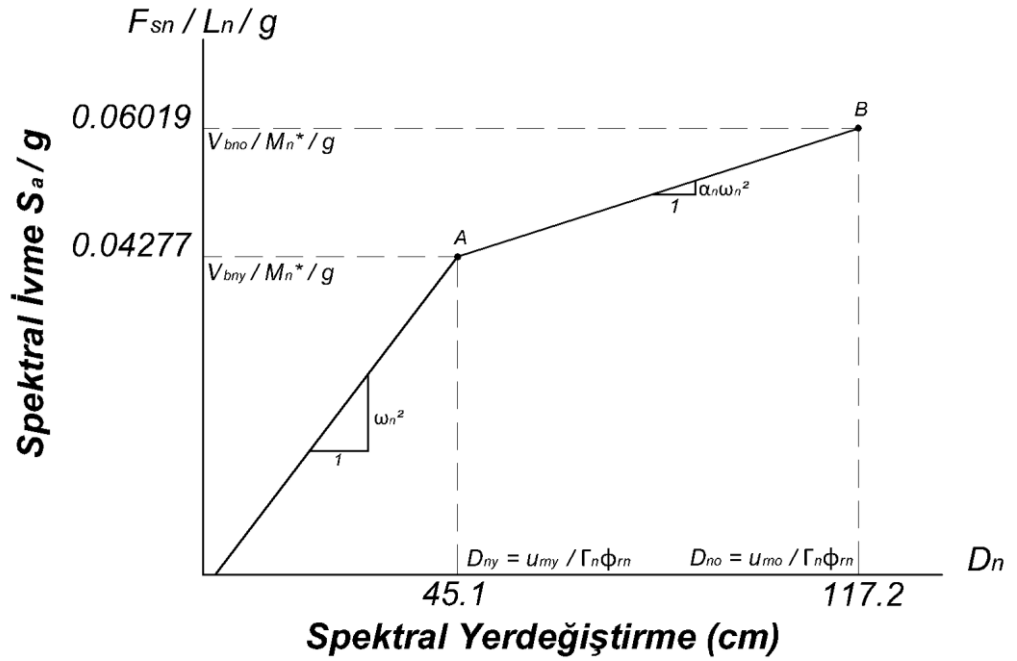
Şekil 3.45: Mod 2, Y Yönü Kapasite Eğrisi

Mod-3 X Yönü Kapasite Eğrisi

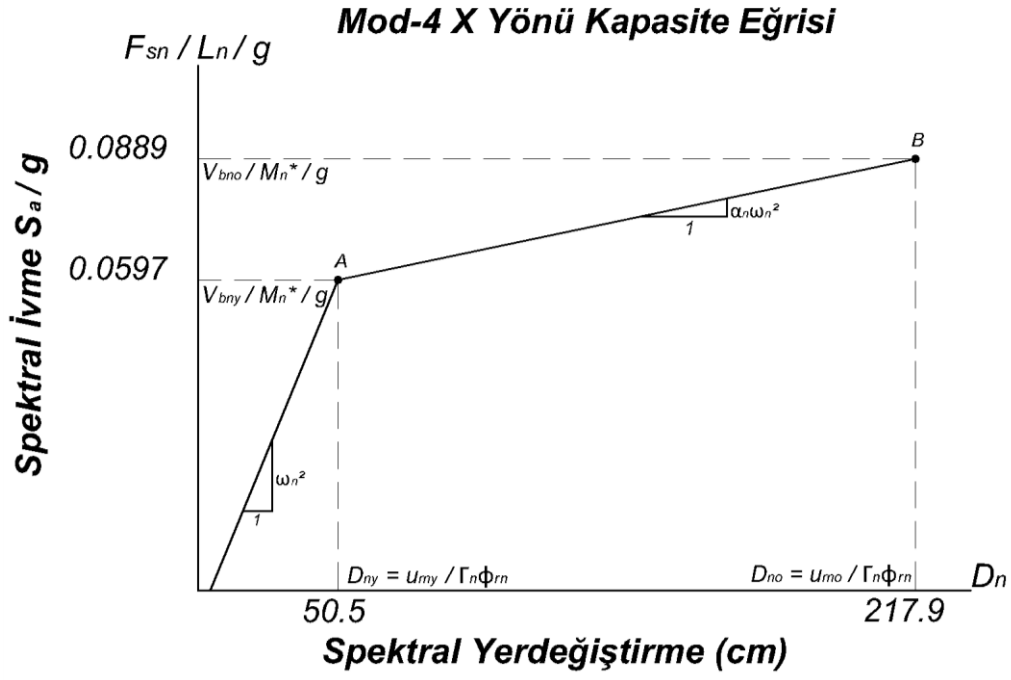


Şekil 3.46: Mod 3, X Yönü Kapasite Eğrisi

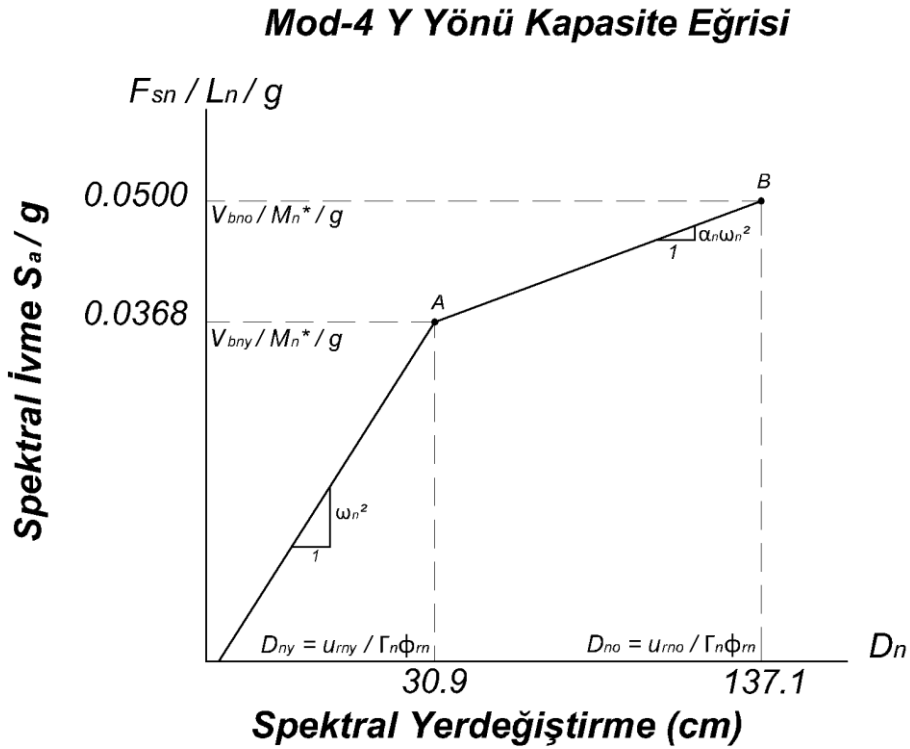
Mod-3 Y Yönü Kapasite Eğrisi



Şekil 3.47: Mod 3, Y Yönü Kapasite Eğrisi



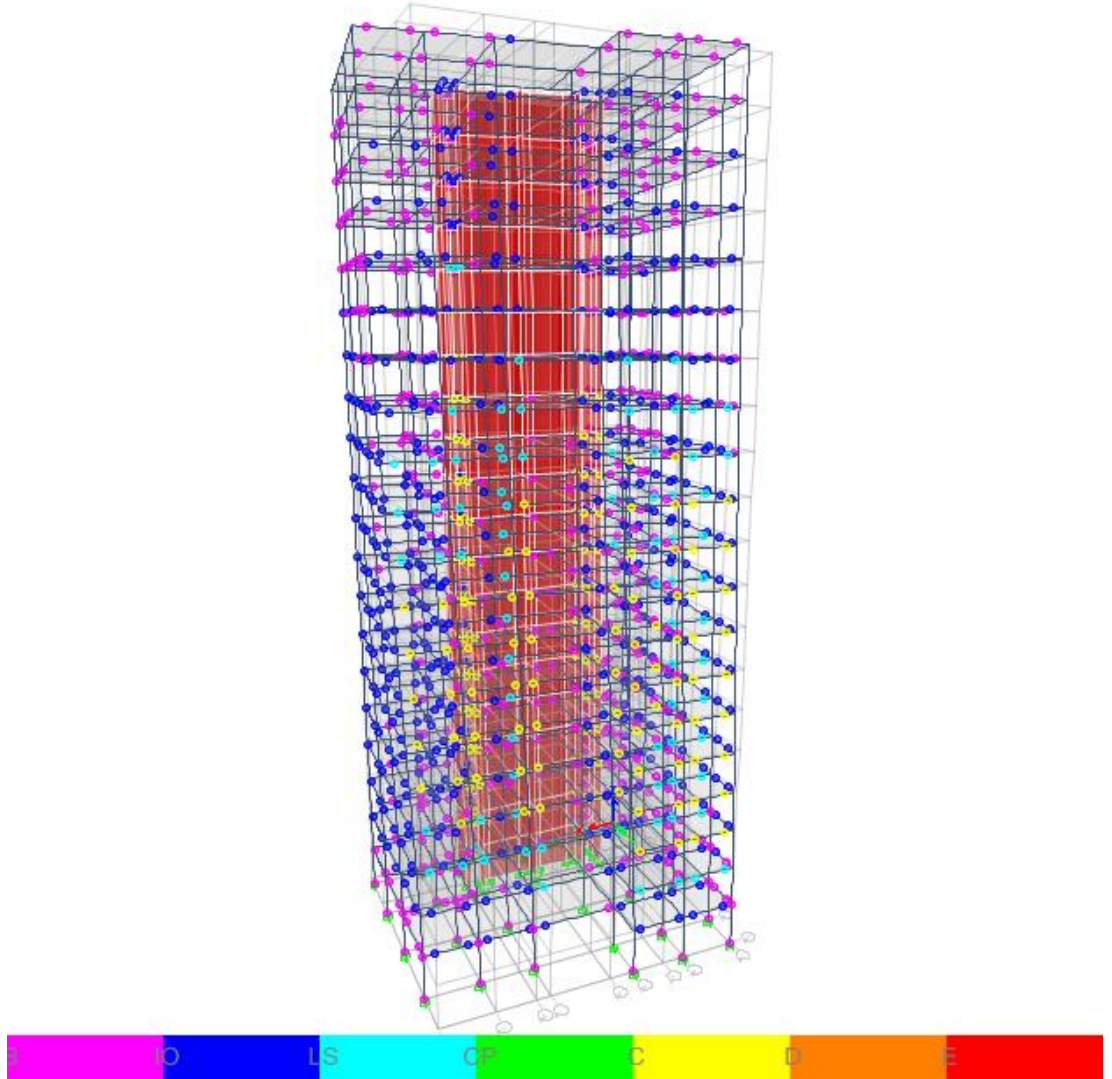
Şekil 3.48: Mod 4, X Yönü Kapasite Eğrisi



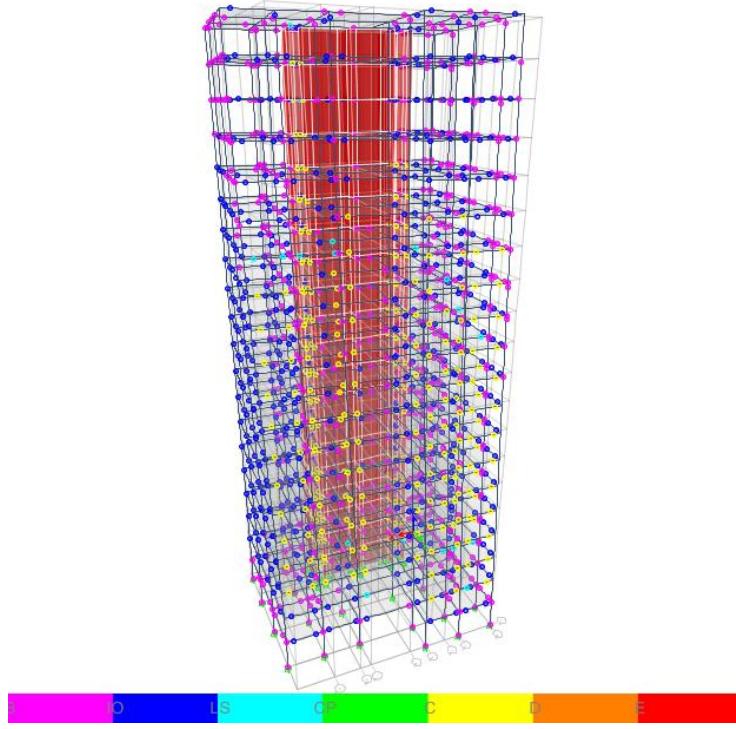
Şekil 3.49: Mod 4, Y Yönü Kapasite Eğrisi

Statik itme analizleri sonucu yatay ve düşey elemanlarda oluşan mafsallaşma durumlarına ait görseller aşağıda sunulmuştur. Bina yüksekliğinin %2'sine denk gelen 160 cm tepe ötelenme adımına kadar yapılan itme analizlerinde “Akma Durumu”ndan başlayıp, “Göçme Durumu”na ulaşan çeşitli elemanlar bulunmaktadır.

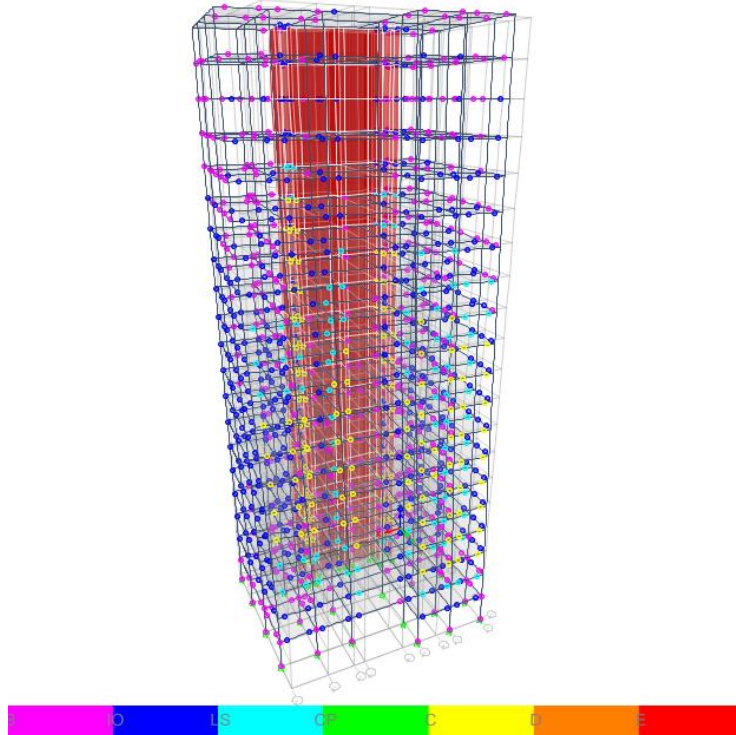
- **X Doğrultusu İtme Analizi Sonuçlarına Göre Ortaya Çıkan Plastik Mafsal Görünümleri:**



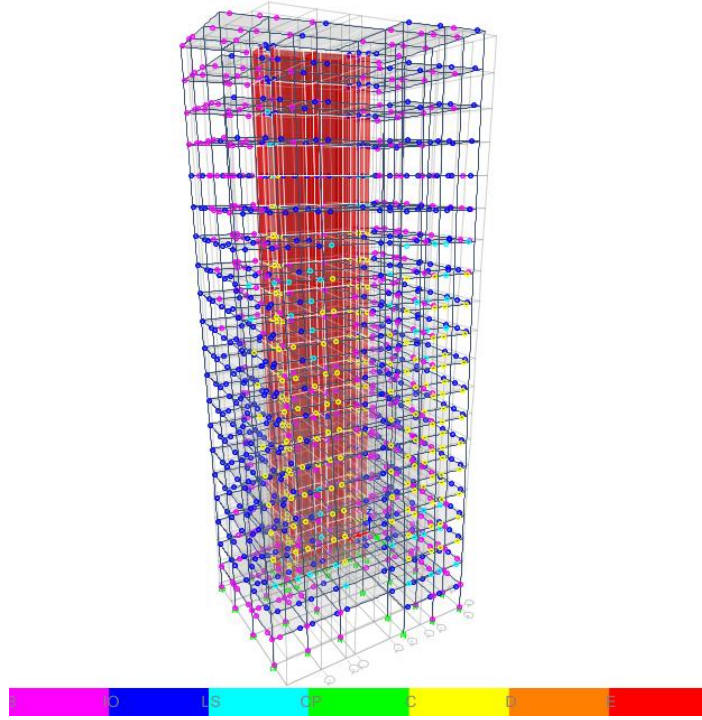
Şekil 3.50: Mod 1, X Doğrultusu İtme Analizi Sonucu Elemanlarda Oluşan Plastik Mafsal – Hasar Dereceleri



Şekil 3.51: Mod 2, X Doğrultusu İtme Analizi Sonucu Elemanlarda Oluşan Plastik Mafsal – Hasar Dereceleri

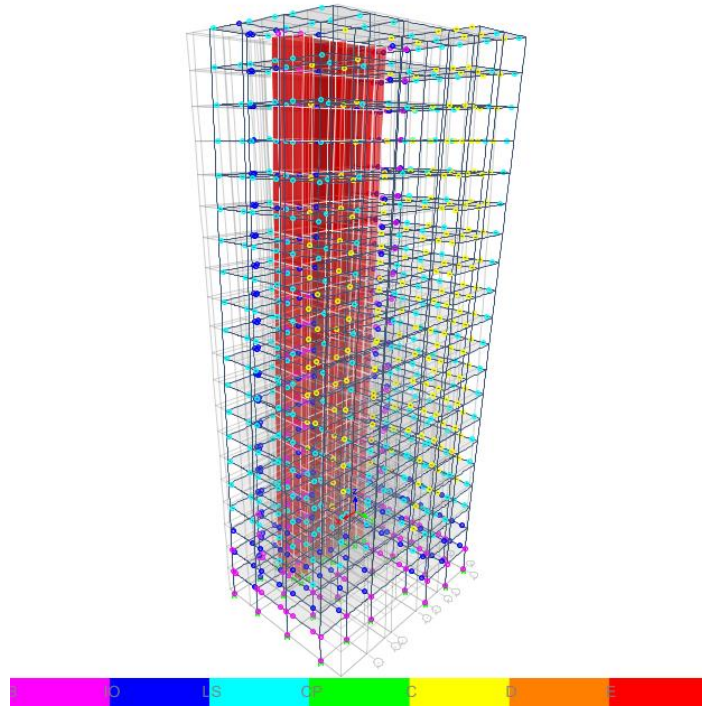


Şekil 3.52: Mod 3, X Doğrultusu İtme Analizi Sonucu Elemanlarda Oluşan Plastik Mafsal – Hasar Dereceleri

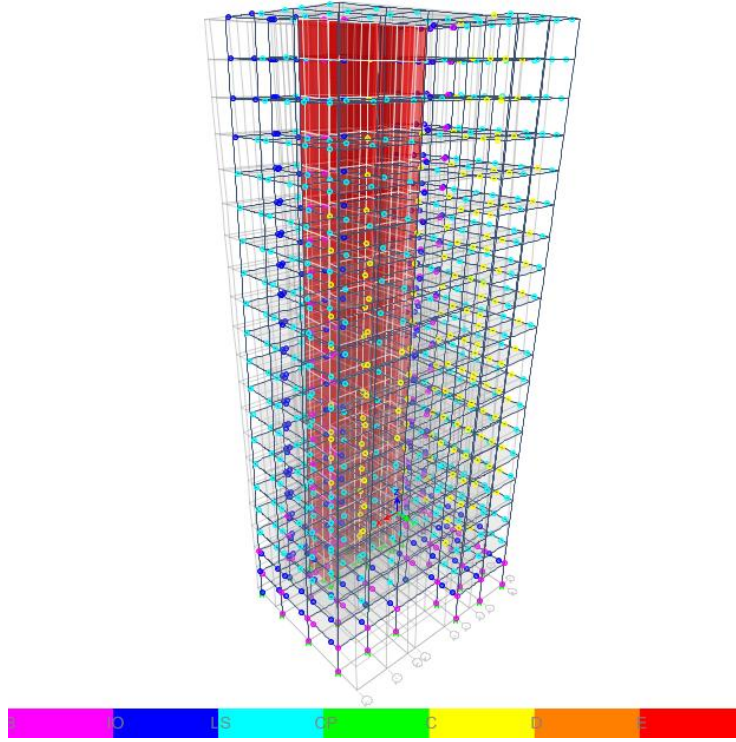


Şekil 3.53: Mod 4, X Doğrultusu İtme Analizi Sonucu Elemanlarda Oluşan Plastik Mafsal – Hasar Dereceleri

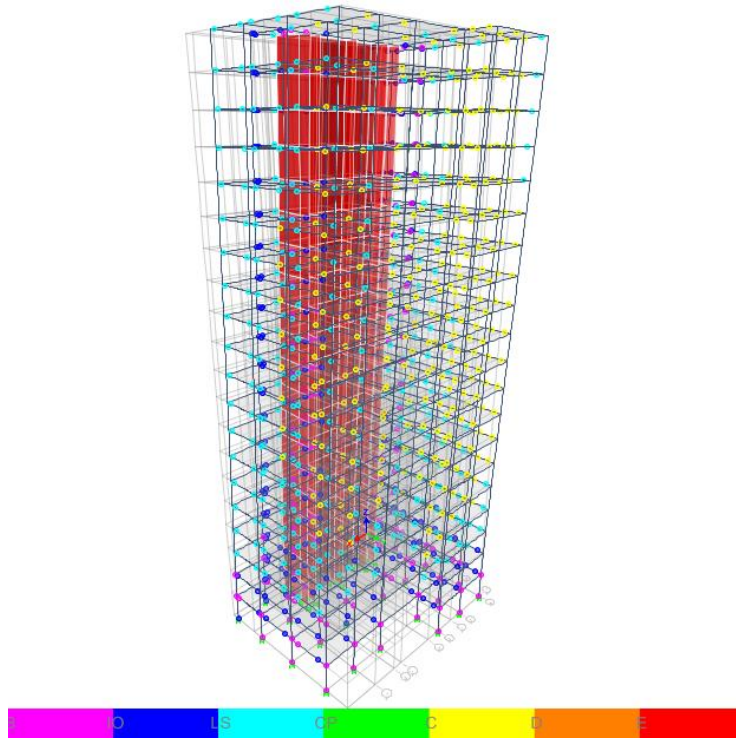
- **Y Doğrultusu İtme Analizi Sonuçlarına Göre Ortaya Çıkan Plastik Mafsal Görünümleri:**



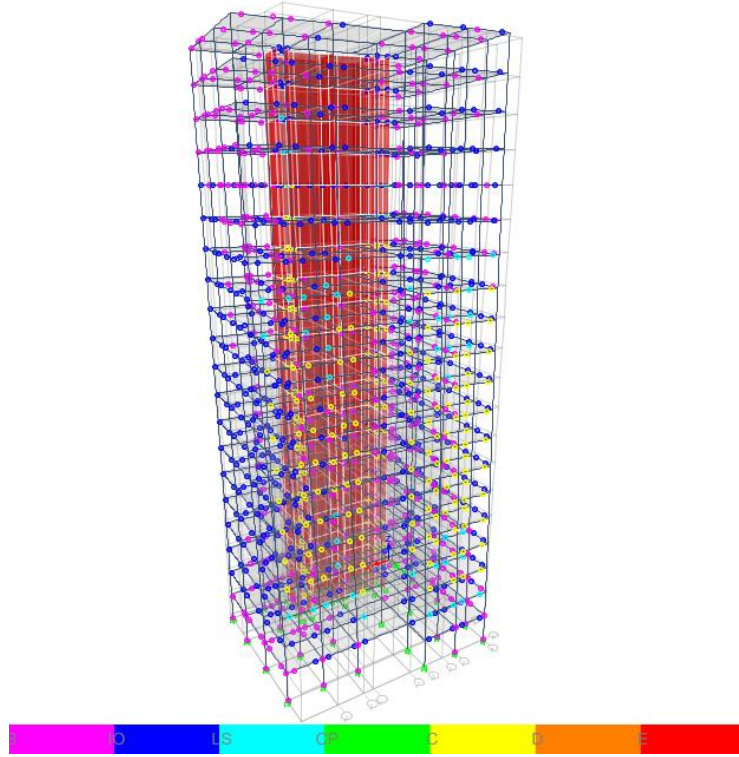
Şekil 3.54: Mod 1, Y Doğrultusu İtme Analizi Sonucu Elemanlarda Oluşan Plastik Mafsal – Hasar Dereceleri



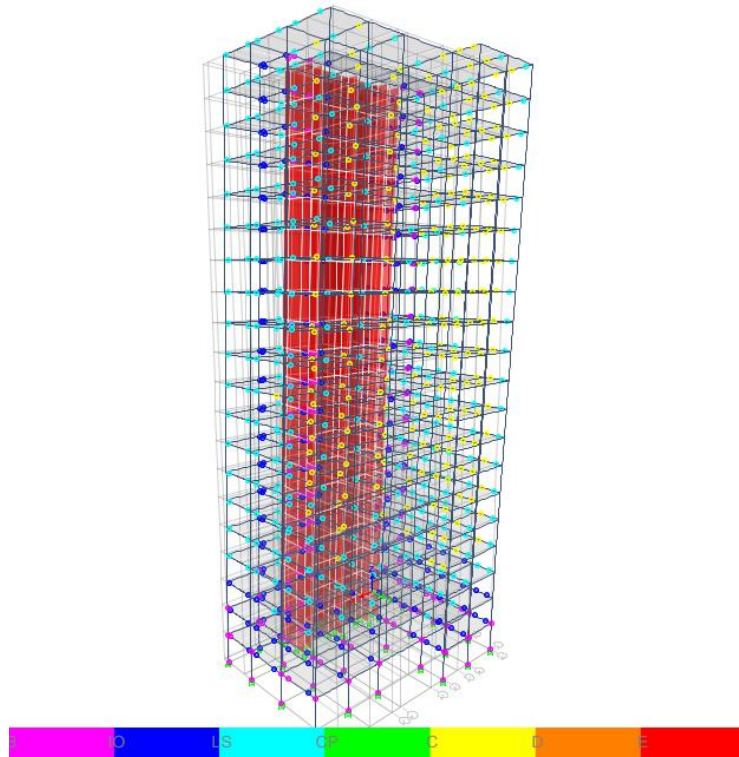
Şekil 3.55: Mod 2, Y Doğrultusu İtme Analizi Sonucu Elemanlarda Oluşan Plastik Mafsal – Hasar Dereceleri



Şekil 3.56: Mod 3, Y Doğrultusu İtme Analizi Sonucu Elemanlarda Oluşan Plastik Mafsal – Hasar Dereceleri



Şekil 3.57: Mod 4, X Doğrultusu İtme Analizi Sonucu Elemanlarda Oluşan Plastik Mafsal – Hasar Dereceleri



Şekil 3.58: Mod 4, Y Doğrultusu İtme Analizi Sonucu Elemanlarda Oluşan Plastik Mafsal – Hasar Dereceleri

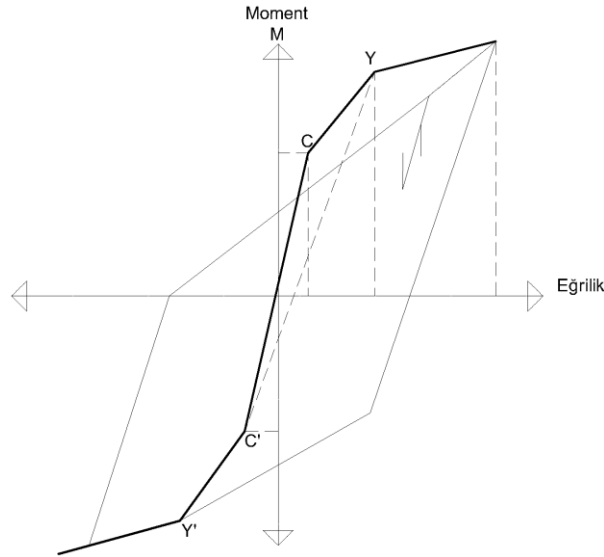
3.3 Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanında Analiz Yöntemi İle Deprem Performansının Belirlenmesi

Doğrusal olmayan zaman tanım alanında hesap yöntemi; itme analizinden farklı olarak dinamik bir yöntemdir. Bu yöntem sistemin ve elemanların doğrusal olmayan davranışını göz önüne alarak sistemin hareket denkleminin adım adım entegre edilmesiyle uygulanmaktadır. Diğer yöntemlerde de olduğu gibi bu yöntemde de sistemin bütün elastik ve plastik şekil değiştirme, yerdeğiştirme ve kesit tesirleri zamana bağlı olarak bulunur. Daha sonra sistemde plastik mafsallarda oluşan dönme değerleri, beton ve donatının uzama – kısalma talepleri belirlenir. [16]

Bu yöntemde ele alınan deprem itkisi, deprem kayıtları kullanılarak ivme değerleriyle binaya etkitilir. Türk Deprem Yönetmeliği bu kayıtların kullanımı ile ilgili olarak iki seçenek sunmuştur. İlk yöntemde, gerçek deprem kayıtlarının kullanıldığı durumda en az üç tanesi hesaba katılmalıdır. Hesaplar sonucu elde edilen verilerden en olumsuz değerlere ulaşılan ivme kaydı dikkate alınmalıdır. İkinci yöntemde ise, kaynak ve dalga yayılım özellikleri fiziksel olarak benzeştirilmiş en az yedi yer hareketi kullanılmalıdır. Sonuçların ortalaması alınarak yorumlamaya geçilir. Benzeştirilmiş ve gerçek deprem kaydının kullanılması durumunda öncelikle yapının bulunduğu konumun deprem ve zemin özellikleri dikkate alınmalıdır. Kayıtların deprem yönetmeliğindeki tasarım spektrumlarıyla uyumlu olması gerekmektedir.

Çevrim modelleri (histeretik modeller) için birçok araştırmacının teorik veya deneysel esaslı modelleri mevcuttur. Genellikle oldukça sık kullanılan çevrim modelleri; elastoplastik model, çift doğrulu (bilinear), üç doğrulu (trilinear), rijitliği azalan (stiffness degradating-Clough hysteresis), başlangıca yönelik (Origin-Oriented), Takeda, Roufaiel-Meyer vb. çok parçalı doğrular ile oluşturulan ana iskelet eğrileri kullanılarak temsil edilen histeretik modeller ile, ampirik matematiksel fonksiyonlar yardımıyla oluşturulan Bouc-Wen türündeki yumuşak (smooth) histeretik modellerdir. Bu çalışmada Takeda çevrim modeli kullanılmıştır. Takeda modelinde eğri çatlamamış, çatlamış ve akma sonrası durumu ifade eden üç doğrusal kısımdan oluşur. Doğrusal olmayan yerdeğiştirmeler kesitin çatlamasıyla başlar. Yük boşalması ve ters yükleme durumlarındaki rijitlikler akma durumundaki

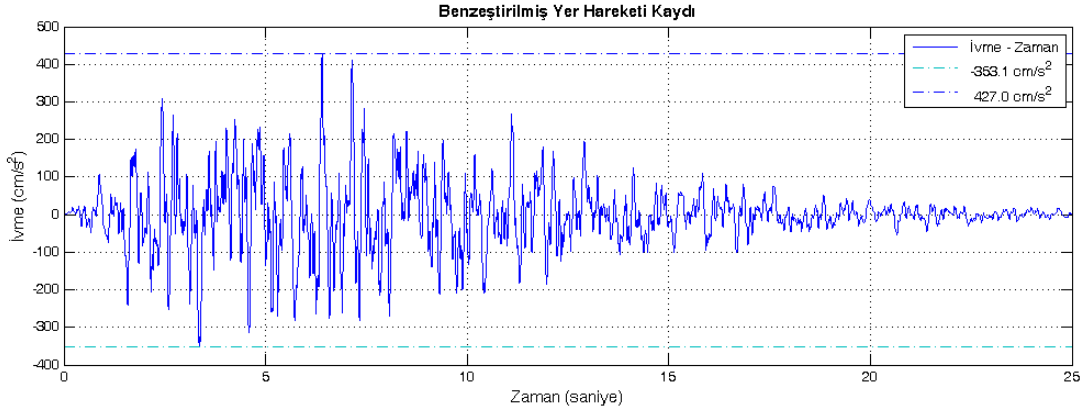
rijitlikten ve birbirlerinden farklıdır. Betonarme bir elemanda artan yükler altında oluşacak deformasyonlar ilk olarak kesitin çatlamasıyla ortaya çıkar. Kesitin akmasından sonra ise hızla artarak kesitin taşıma kapasitesine erişmesine neden olur. Çatlamadan ve akmadan sonra oluşacak yük boşalmaları kesitin rijitliğinde azalmaya neden olacaktır. Bu azalmalar doğal olarak akma sınırını aşmış kesitlerde daha fazladır. Geri yükleme durumunda ise kesit başlangıç durumuna göre daha zayıf olacağından rijitliği de daha az olacaktır. Bu şekilde bir rijitlik azalımı durumunu uygun olarak ifade eden bir model, davranışı en gerçekçi şekilde temsil eden model olacaktır. Takeda modeli betonarme elemanların bu davranışın en uygun şekilde ifade eden modellerden birisidir. Buna karşın karmaşıktır ve uygulamada zorluklar ortaya çıkarır. [21] Eğilme davranışının modellendiği Takeda çevrim iskelet eğrisi Şekil 3.59’da gösterilmiştir.



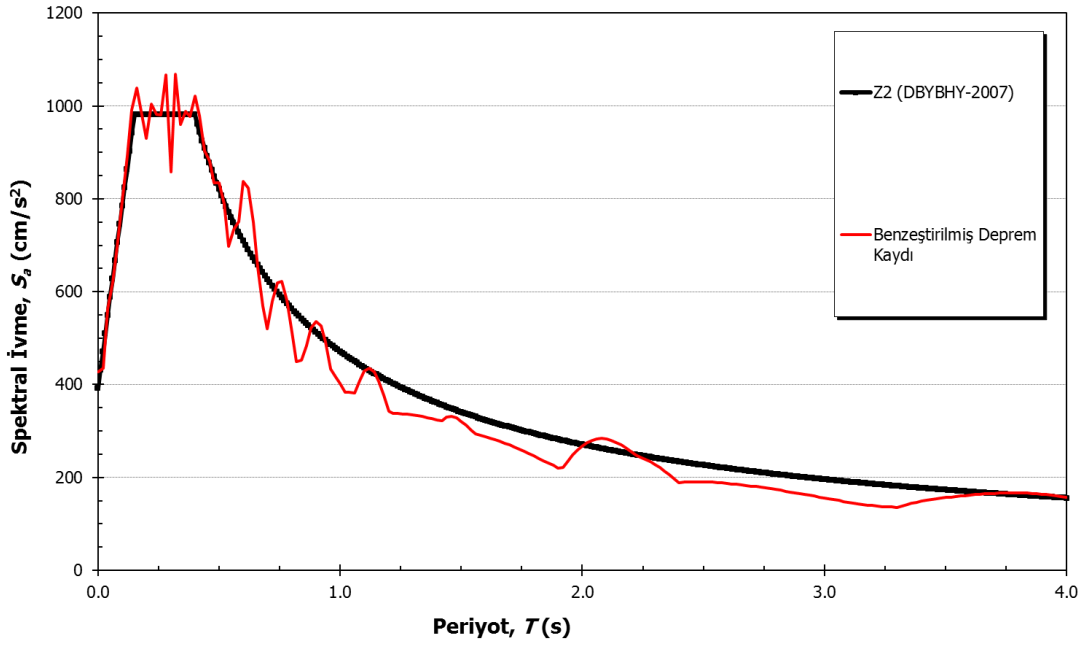
Şekil 3.59: Eğilme Davranışının Modellendiği Takeda Çevrim İskeleti

Bu çalışmada Tuğsal & Taşkın (2012) benzeştirilmiş ivme kaydı kullanılmıştır. [17] Birinci Deprem Bölgesi ve Z2 Zemin Sınıfında bulunan binaya ait uygulanan bu ivme kaydı yönetmelikçe belirtilmiş değerlerle benzeştirilmiştir. Üretilen deprem yer hareketinin sıfır periyoda karşı gelen spektral ivme değeri yönetmeliğin 2.9.1.b bölümünde belirtildiği üzere A_{0g} 'den küçük olmamalıdır. [6] Dolayısıyla 1. Deprem Bölgesinde bulunan bu bina için sıfır periyoda karşı gelen ivme değeri 0.4g olarak alınmaktadır. Şekil 3.60'ta zaman tanım alanında hesap yöntemi için kullanılacak olan ivme kaydının değerleri gösterilmektedir. Her ne kadar yönetmelik en az üç

deprem kaydının kullanılmasını zorunlu kılıyor olsa da, bu çalışmada doğrusal itme analizlerinde Z2 yerel zemin sınıfı için seçilen istem spektrumu kullanılmış olduğundan, doğrusal olmayan dinamik analizde de Şekil 3.61’de verildiği gibi Z2 spektrumu ile tam örtüşen bir yapay kayıt kullanılması yeterli görülmüştür.



Şekil 3.60: Z2 Zemin Grubu ve 1. Deprem Bölgesi Değerlerine Benzeştirilmiş Yer Hareketi Kaydı



Şekil 3.61: Z2 Zemin Grubu ve 1. Deprem Bölgesi Değerlerine Benzeştirilmiş Yer Hareketi Kaydının İvme Spektrumu Üzerinde Gösterimi

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan çözüm için yapılan hesap adımları da itme analiziyle aynıdır. Sırasıyla uygulanan adımları tekrarlırsak;

- Kolon ve kirişlerde çatlamış kesite ait eğilme rijitlikleri bulunarak gerekli düzenlemeler yapılır.

- Plastik kesitlere ait akma yüzeylerinin tanımlanmasında itme analizinde uygulandığı gibi programın FEMA356 değerlerine göre otomatik atadığı değerler kullanılarak tanımlama yapılmaktadır. [18] Akma özellikleri tanımlanmış plastik mafsallar kolon ve kiriş uçlarına mafsal boylarıyla beraber tanımlanmaktadır.
- Zaman tanım alanında yapılan analizde önce kütlelerle uyumlu düşey yüklerin (G+nQ) göz önüne alındığı bir doğrusal olmayan statik analiz yapılır. Bu analizin sonuçları zaman tanım alanında yapılan analizin başlangıç koşulları olarak dikkate alınır.
- Düşey yükler altında yapılan doğrusal olmayan statik analizin ardından taşıyıcı sistemin ele alınan yapay deprem hareketleri altında zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizi yapılır.
- Zaman tanım alanında yapılan dinamik analiz sonucunda söz konusu deprem hareketi için plastik mafsal dönmeleri elde edilir.

3.3.1 Yüklerin tanımlanması

Doğrusal olmayan çözümlemeye ait ETABS2013 paket programı ile hazırlanmış olan yüklemeye ait verim girişi ve tanımlamaların görseli Şekil 3.62’de verilmiştir. Burada X yönünde yapılan tanımlamaya ait veriler bulunmaktadır. U1 yönü X yönünde yapılan yüklemeyi, Z2-0.4 fonksiyonu da benzeştirilmiş ivme kaydından kullanılan ivme değerlerini tanımlamaktadır. Düşey yükler altında sistemin başlangıç koşulu doğrusal olmayan G+nQ yüklemesinden gelen DUSEYPO tanımıdır. Analiz tipi “Nonlinear Time History” olarak belirlenmiş ve “P-Delta” yüklerinin de dahil edilebilmesi amacıyla “Nonlinear Direct Integration” analiz seçeneği tercih edilmiştir. İvme kaydında birim cm/s^2 iken programın ‘Metric SI’ birimlerinde kullandığı ivme birimi mm/s^2 ’dir. Dolayısıyla “Scale Factor” olarak 10 alınmıştır. 25 saniyelik ivme kaydının tamamından sonuçları alabilmek amacıyla çıktı adımları 0.1 saniye aralıklarla 250 basamak olarak belirlenmiştir. Zaman tanım alanında hesap yapılırken Hilber-Hughes-Taylor sayısal integrasyon yöntemi tercih edilmiştir.

Load Case Data

General

Load Case Name: Design...

Load Case Type/Subtype: Time History Nonlinear Direct Integration Notes...

Exclude Objects in this Group: Not Applicable

Initial Conditions

☐ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

☒ Continue from State at End of Nonlinear Case (Loads at End of Case ARE Included)

Nonlinear Case: DUSEYPO

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	Func2	10

Add Delete

☐ Advanced

Other Parameters

Geometric Nonlinearity Option: P-Delta

Number of Output Time Steps: 250

Output Time Step Size: 0.1 sec

Proportional Damping: Mass: 0.0992; Stiff: 0.009 Modify/Show...

Time Integration: Hilber-Hughes-Taylor Modify/Show...

Nonlinear Parameters: Default Modify/Show...

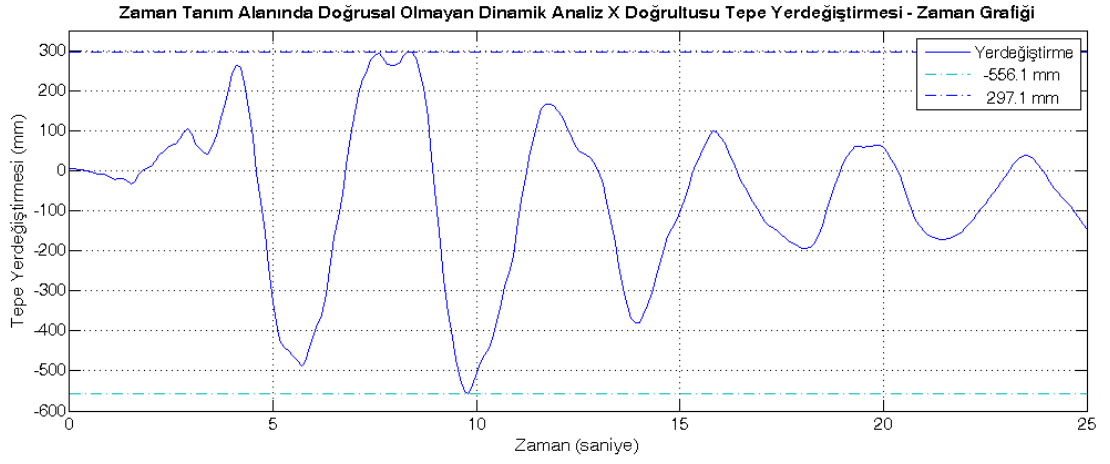
OK Cancel

Şekil 3.62: ETABS2013 Zaman Tanım Alanında Hesap Parametreleri

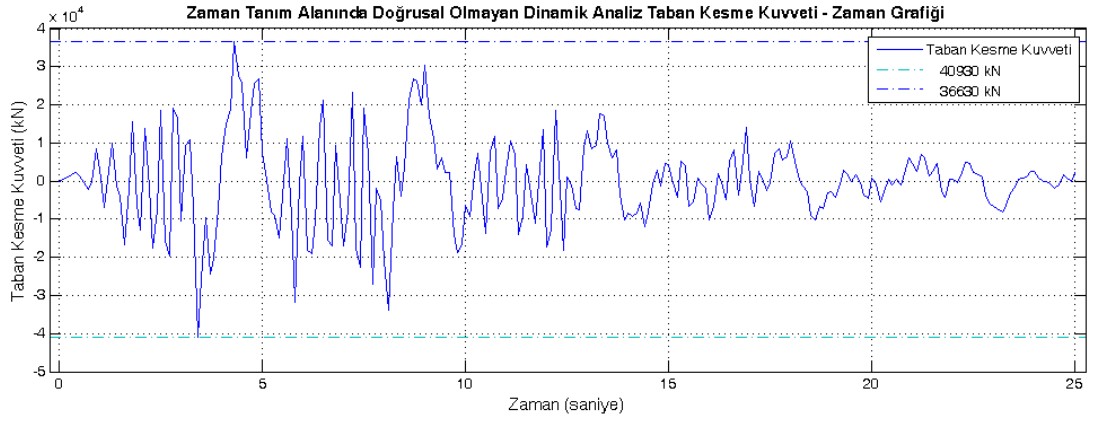
3.3.2 Zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analiz sonuçlarının elde edilmesi

İncelemeye tabi tutulan binanın bulunduğu zemin koşulu olan Z2 zemin sınıfı ve 1. Derece Deprem Bölgesi özelliklerine göre yönetmelikte bulunan spektruma tam uyumlu olan yapay deprem kaydı bina simetrik yapıya sahip olmadığından ötürü iki yönde de uygulanacaktır. X doğrultusunda bu ivme kaydı uygulandığında binadaki maksimum tepe yerdeğiştirmesinin 55.61 cm olduğu görülmüştür. İvme kaydına bağlı olarak en üst katta oluşan yerdeğiştirmenin zamana bağlı değişimini gösteren grafik Şekil 3.63'te sunulmuştur.

25 saniyelik deprem etkisi süresince oluşan taban kesme kuvveti değerleri de aynı şekilde hesaplanmış olup Şekil 3.64'te sunulmuştur. Bu etkileşim sırasında oluşan maksimum taban kesme kuvveti değeri 40930 kN olarak hesaplanmıştır. Düşey ve deprem yükleri altında betonarme elemanlarda oluşan plastik mafsallık değerleri ve hasar durumları da Şekil 3.65'te gösterilmiştir. Söz konusu yüklemeler altında binada can güvenliğini sağlamayan eleman bulunmamaktadır.



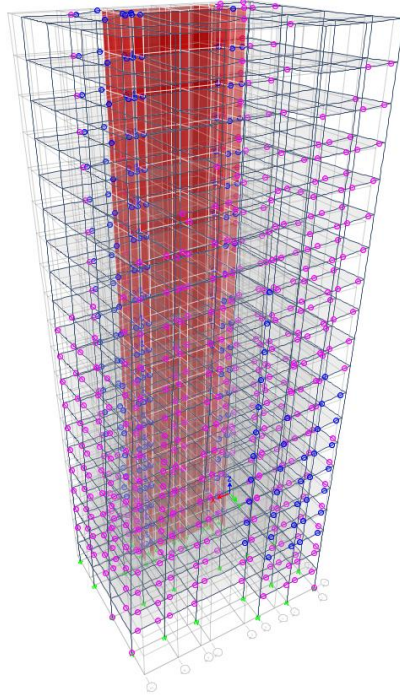
Şekil 3.63: X Doğrultusunda Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Dinamik Analiz Tepe Yerdeğiştirmesi – Zaman Grafiği



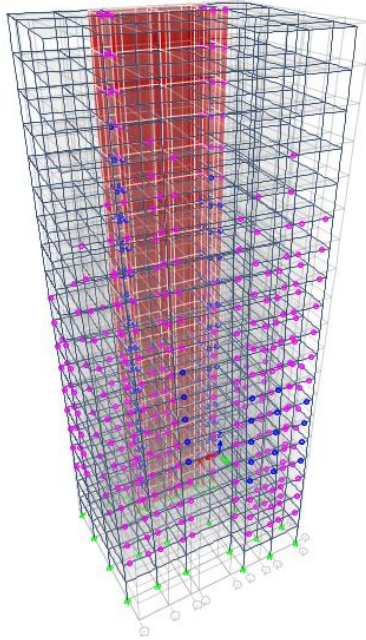
Şekil 3.64: X Doğrultusunda Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Dinamik Analiz Taban Kesme Kuvveti – Zaman Grafiği

X doğrultusunda uygulanan ivme kaydı sonuçlarından elde edilen 55.61 cm maksimum tepe yerdeğiştirmesi değeri gerçek (baz) değeri olarak kabul edilmiş ve 3.2.2. bölümde detaylandırılan itme analizlerinde maksimum 55.61 cm tepe yer değiştirmesi sonucu bulunan adımdaki sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Modal itme analizi yöntemi ayrı olarak çalıştığı için bütün modlar için hazırlanan modeller 55 cm tepe yerdeğiştirmesine ulaşacak şekilde itme analizi uygulanmıştır. Yöntemin prensipleri ve eşit yerdeğiştirme kuralı doğrultusunda iç kuvvetler ve performans seviyeleri birleştirilmiş verilerden elde edilir.

1. mod, X doğrultusunda yapılan itme analizinde 55 cm'e ulaşılan 68. Adımda oluşan plastik mafsalları ve hasar durumları Şekil 3.66'da gösterilmiştir.

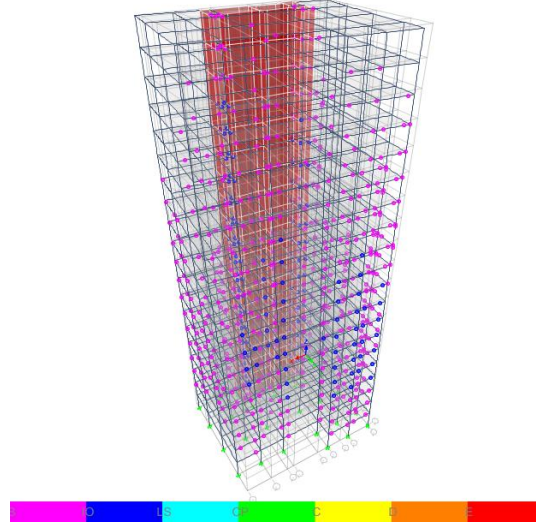


Şekil 3.65: X Doğrultusunda Yapılan Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Dinamik Analiz Sonucu Elemanlarda Oluşan Plastik Mafsal – Hasar Dereceleri



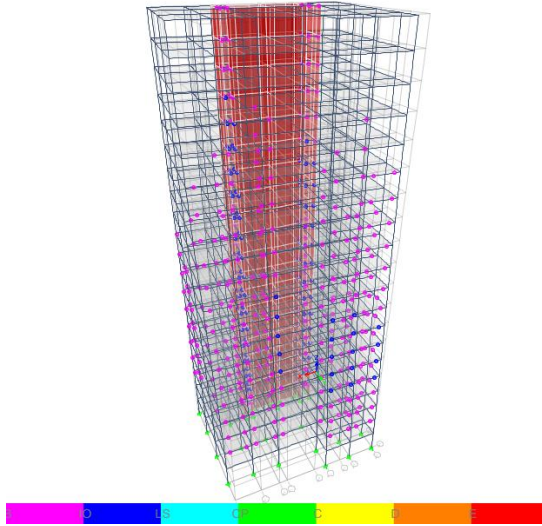
Şekil 3.66: Mod 1, X Doğrultusu İtme Analizi Tepe Yerdeğiştirme Değerinin 55 cm İle Sınırlandırıldığı Durumda Elemanlarda Oluşan Plastik Mafsal – Hasar Dereceleri

2. mod, X doğrultusunda yapılan itme analizinde 55 cm tepe yerdeşiştirme değerine ulaşılan 139. Adımda oluşan plastik mafsall ve hasar durumları şekil 3.67’de gösterilmiştir.



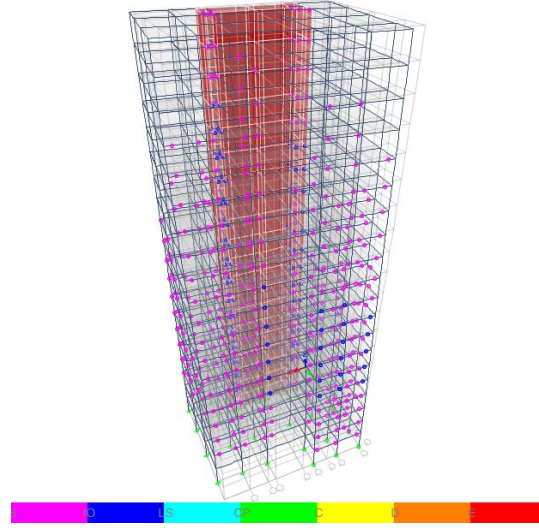
şekil 3.67: Mod 2, X Doğrultusu İtme Analizi Tepe Yerdeğiştirme Değerinin 55 cm İle Sınırlandırıldığı Durumda Elemanlarda Oluşan Plastik Mafsall – Hasar Dereceleri

3. mod, X doğrultusunda yapılan itme analizinde 55 cm tepe yerdeğiştirme değerine ulaşılan 68. Adımda oluşan plastik mafsall ve hasar durumları şekil 3.68’de gösterilmiştir.



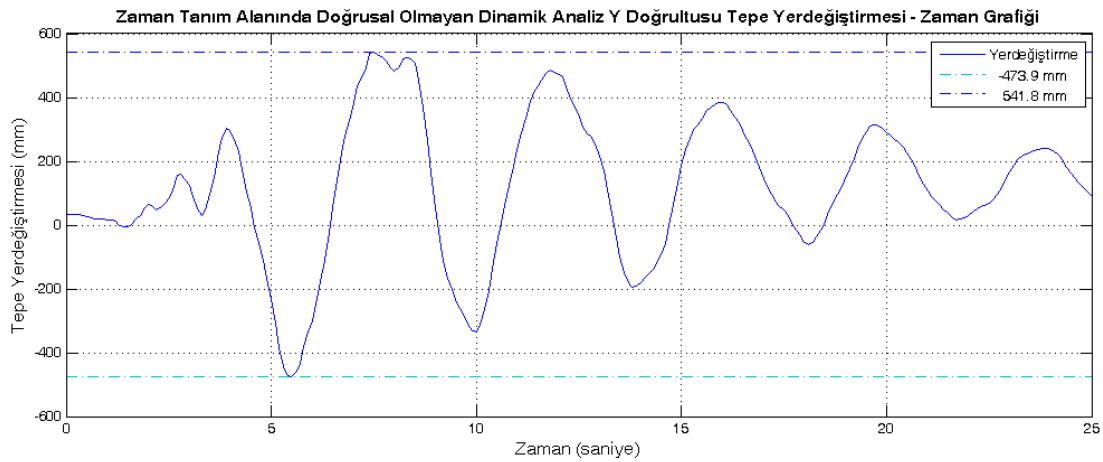
şekil 3.68: Mod 3, X Doğrultusu İtme Analizi Tepe Yerdeğiştirme Değerinin 55 cm İle Sınırlandırıldığı Durumda Elemanlarda Oluşan Plastik Mafsall – Hasar Dereceleri

4. mod, X doğrultusunda yapılan itme analizinde 55 cm tepe yerdeğiştirme değerine ulaşılan 167. Adımda oluşan plastik mafsalları ve hasar durumları şekil 3.69’da gösterilmiştir. Bu adımda da diğer modlara karşılık gelen verilerde olduğu gibi binada can güvenliği seviyesini aşan bir eleman bulunmamaktadır.



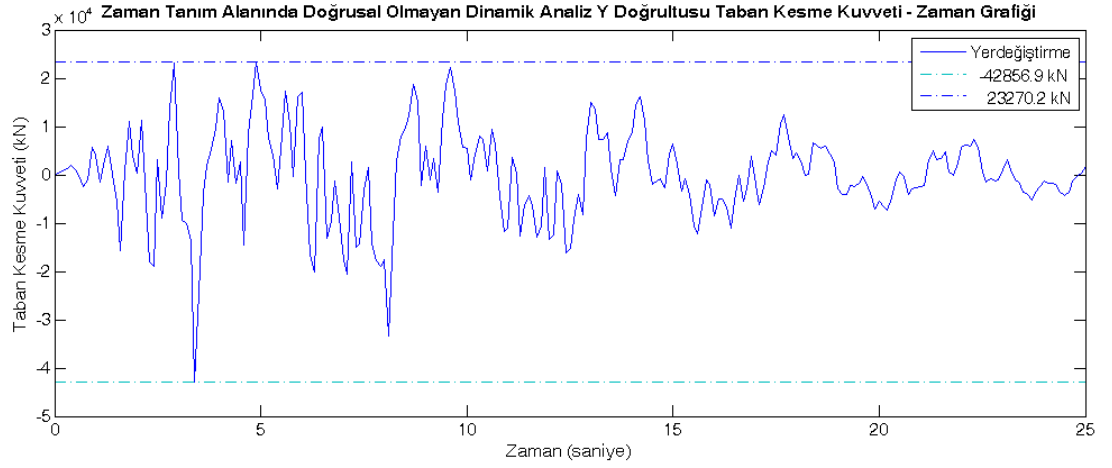
şekil 3.69: Mod 4, X Doğrultusu İtme Analizi Tepe Yerdeğiştirme Değerinin 55 cm İle Sınırlandırıldığı Durumda Elemanlarda Oluşan Plastik Mafsalları – Hasar Dereceleri

Y doğrultusunda ivme kaydı uygulandığında binadaki maksimum tepe yerdeğiştirmesinin 54.18 cm olduğu grlmüştür. İvme kaydına bağlı olarak en üç katta oluşan yerdeğiştirmenin zamana bağlı değişimini gösteren grafik şekil 3.70’te sunulmuştur.

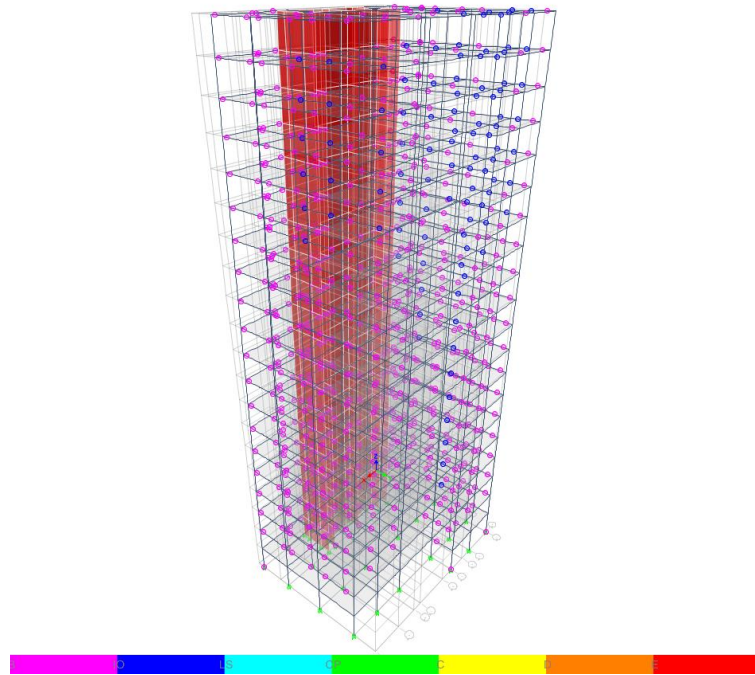


şekil 3.70: Y Doğrultusunda Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Dinamik Analiz Tepe Yer Değiştirmesi – Zaman Grafiği

25 saniyelik deprem etkisi süresince oluşan taban kesme kuvveti değerleri de aynı şekilde hesaplanmış olup Şekil 3.71’de sunulmuştur. Bu etkileşim sırasında oluşan maksimum taban kesme kuvveti değeri 42856.94 kN olarak hesaplanmıştır. Düşey ve deprem yükleri altında betonarme elemanlarda oluşan plastik mafsallık değerleri ve hasar durumları da Şekil 3.72’de gösterilmiştir. Söz konusu yüklemeler altında binada can güvenliğini sağlamayan eleman bulunmamaktadır.

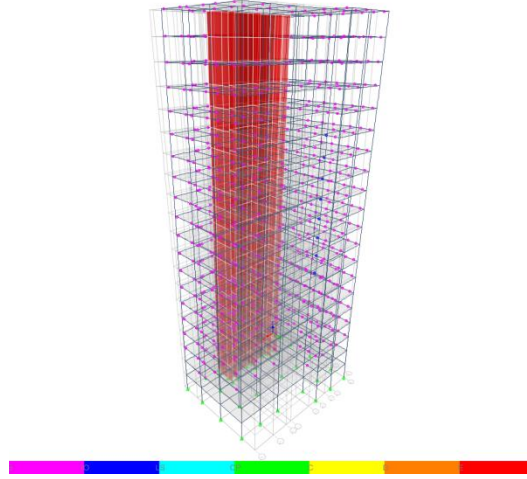


Şekil 3.71: Y Doğrultusunda Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Dinamik Analiz Taban Kesme Kuvveti – Zaman Grafiği



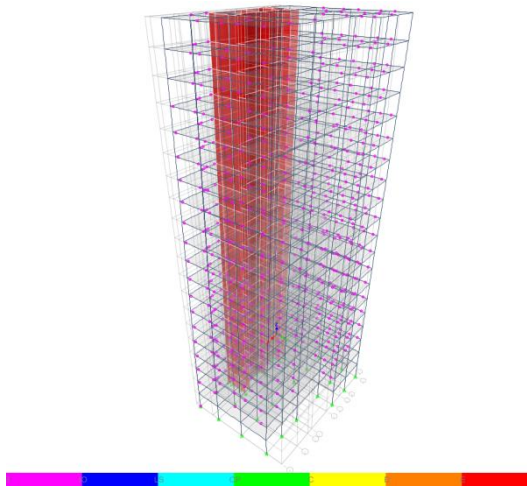
Şekil 3.72: Y Doğrultusunda Yapılan Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Dinamik Analiz Sonucu Elemanlarda Oluşan Plastik Mafsallık – Hasar Dereceleri

Y doğrultusunda uygulanan ivme kaydı sonuçlarından elde edilen 54.18 cm maksimum tepe yerdeğiştirmesi değeri gerçek (baz) değeri olarak kabul edilmiş ve 3.2.2. bölümde detaylandırılan itme analizlerinde maksimum 54.18 cm tepe yer değiştirmesi sonucu bulunan adımdaki sonuçlarla karşılaştırılmıştır. 1. mod, Y doğrultusunda yapılan itme analizinde 54 cm'e ulaşılan 17. Adımda oluşan plastik mafsalları ve hasar durumları şekil 3.73'te gösterilmiştir.



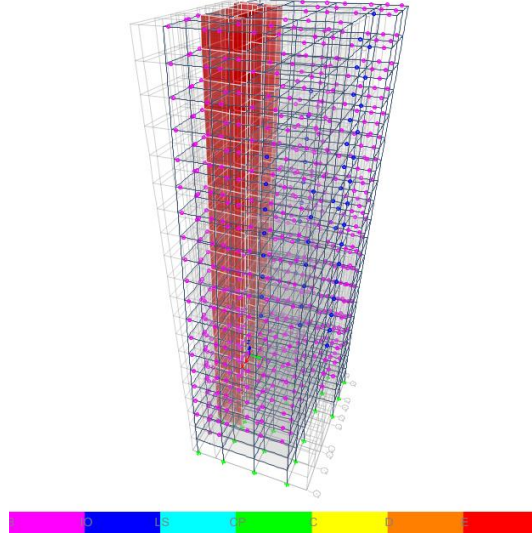
şekil 3.73: Mod 1, Y Doğrultusu İtme Analizi Tepe Yerdeğiştirme Değerinin 54 cm İle Sınırlandırıldığı Durumda Elemanlarda Oluşan Plastik Mafsalları – Hasar Dereceleri

2. mod, Y doğrultusunda yapılan itme analizinde 54 cm'e ulaşılan 29. Adımda oluşan plastik mafsalları ve hasar durumları şekil 3.74'te gösterilmiştir.



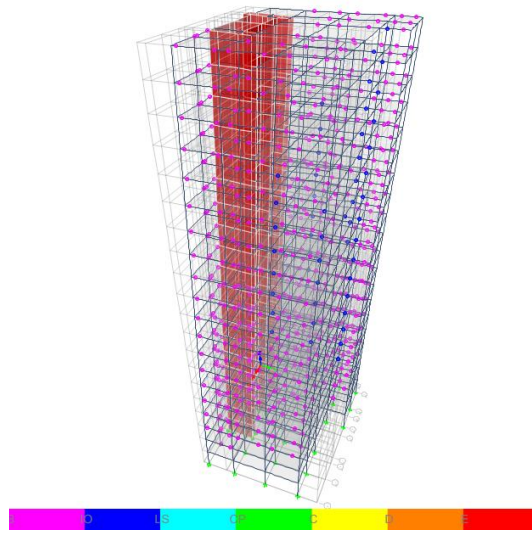
şekil 3.74: Mod 2, Y Doğrultusu İtme Analizi Tepe Yerdeğiştirme Değerinin 54 cm İle Sınırlandırıldığı Durumda Elemanlarda Oluşan Plastik Mafsalları – Hasar Dereceleri

3. mod, Y doğrultusunda yapılan itme analizinde 54 cm'e ulaşılan 30. Adımda oluşan plastik mafsalları ve hasar durumları Şekil 3.75'te gösterilmiştir.



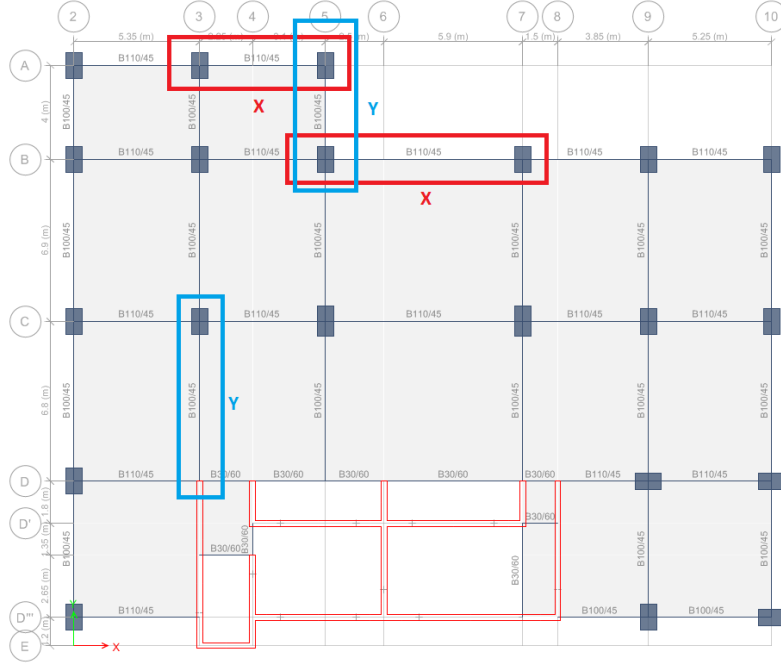
Şekil 3.75: Mod 3, Y Doğrultusu İtme Analizi Tepe Yerdeğiştirme Değerinin 54 cm İle Sınırlandırıldığı Durumda Elemanlarda Oluşan Plastik Mafsalları – Hasar Dereceleri

4. mod, Y doğrultusunda yapılan itme analizinde 54 cm'e ulaşılan 30. Adımda oluşan plastik mafsalları ve hasar durumları Şekil 3.76'da gösterilmiştir. Bu adımda da diğer modlara karşılık gelen verilerde olduğu gibi binada can güvenliği seviyesini aşan bir eleman bulunmamaktadır.

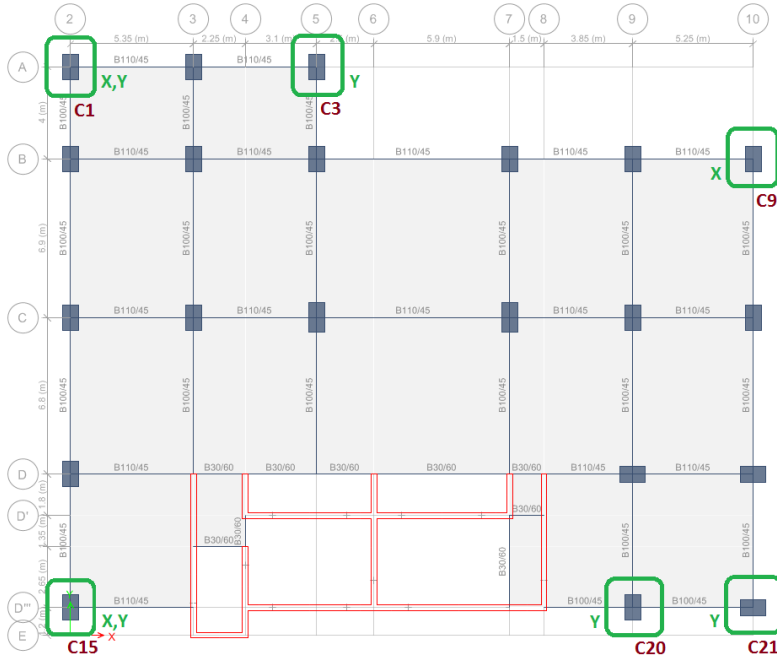


Şekil 3.76: Mod 4, Y Doğrultusu İtme Analizi Tepe Yerdeğiştirme Değerinin 54 cm İle Sınırlandırıldığı Durumda Elemanlarda Oluşan Plastik Mafsalları – Hasar Dereceleri

Doğrusal olmayan statik itme analizleri ve zaman tanım alanında dinamik analizler sonucunda katlarda plastikleşmenin en fazla olduğu elemanlar Şekil 3.77 ve 3.78’de tariflenmiştir.



Şekil 3.77: Analizler Sonucu En Fazla Plastikleşmeye Maruz Kalan Kirişler ve Etkilendikleri Doğrultular



Şekil 3.78: Analizler Sonucu İlk Katta Plastikleşmeye Maruz Kalan Kolonlar ve Etkilendikleri Doğrultular

3.3.3 Doğrusal olmayan hesap yöntemlerinden elde edilen sonuçların karşılaştırılması

Bu çalışmada irdelenen simetrik olmayan bir sisteme ait çift yönlü çok modlu doğrusal olmayan itme analizi sonuçları, gerçek sonuçlar olarak kabul edilen zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analiz sonuçları ile aynı tepe yerdeğiştirmesi değerine göre farklı noktalardan karşılaştırılmıştır. Chopra ve Reyes (2011)'de tariflenen şekilde analizlerde öncelikle kat hizalarındaki yerdeğiştirme, görel kat ötelenme ve yatay ve düşey elemanlardaki plastikleşme verileri karşılaştırılmıştır. Toplamda dört modun her iki yönden ele alındığı statik itme analizlerinin sonuçları Tam Karesel Birleştirme Yöntemi (CQC) ile birleştirilmiş, gerçek sonuç olarak kabul edilen dinamik analiz değerleriyle karşılaştırılmış ve hata oranları elde edilmiştir. [19] Ayrıca iki yönden elde edilen veriler Karelerinin Toplamının Karekökü (SRSS) yöntemiyle birleştirilerek 3 boyutlu bir karşılaştırma da yapılmıştır. İlgili karşılaştırmalar, Çizelge 3.16, 3.17, 3.18 ve 3.19'da sunulmuştur. Modlardan elde edilen katkı bileşenlerine ait Tam Karesel Birleştirme yönteminde kullanılacak olan frekans oranları ve çapraz korelasyon katsayıları Çizelge 3.14 ve Çizelge 3.15'te verilmiştir.

Çizelge 3.14: Tam Karesel Birleştirme Yöntemi β_{ij} (Frekans Oranları) Çizelgesi

$\beta_{ij} = \omega_i / \omega_j$	$j=1$	$j=2$	$j=3$	$j=4$
$i=1$	1.000	0.907	0.355	0.280
$i=2$	1.103	1.000	0.392	0.309
$i=3$	2.816	2.553	1.000	0.788
$i=4$	3.573	3.239	1.269	1.000

Çapraz korelasyon katsayısı ρ_{ij} Denklem 3.4 ile hesaplanmaktadır.

$$\rho_{ij} = \frac{8\xi^2(1+\beta_{ij})\beta_{ij}^{3/2}}{(1-\beta_{ij}^2)^2 + 4\xi\beta_{ij}(1+\beta_{ij})^2} \quad (3.4)$$

Çizelge 3.15: Tam Karesel Birleştirme Yöntemi ρ_{ij} (Çapraz Korelasyon Katsayıları)
Çizelgesi

$\rho_{ij} (\xi=0.03)$	$j=1$	$j=2$	$j=3$	$j=4$
$i=1$	1.0000	0.2374	0.0027	0.0016
$i=2$	0.2374	1.0000	0.0034	0.0020
$i=3$	0.0027	0.0034	1.000	0.0590
$i=4$	0.0016	0.0020	0.0590	1.0000

Çizelge 3.16: Yerdeğiştirme / Bina Yüksekliği Değişim Değerleri

Kat No	Yerdeğiştirme / Bina Yüksekliği (%)																				Hata (%)														
	Modal Tepki								Birleştirilmiş Veri (MPa) - CQC												Zaman			1. Mod					(1+2). Modlar		(1+2+3). Modlar		(1+2+3+4). Modlar		X+Y
	"Mod 1"		"Mod 2"		"Mod 3"		"Mod 4"		1. Mod			(1+2). Modlar			(1+2+3). Modlar			(1+2+3+4). Modlar		X+Y (SRSS)	Tanım Alanında Doğrusal Olmayan														
	X Yönü	Y Yönü	X Yönü	Y Yönü	X Yönü	Y Yönü	X Yönü	Y Yönü	X Yönü	Y Yönü	X+Y	X Yönü	Y Yönü	X+Y	X Yönü	Y Yönü	X+Y	X Yönü	Y Yönü	X+Y	X Yönü	Y Yönü	X+Y	X Yönü	Y Yönü	X Yönü	Y Yönü	X Yönü	Y Yönü	X+Y					
1	0.013	0.007	0.012	0.011	0.013	0.008	0.013	0.008	0.013	0.007	0.015	0.020	0.014	0.025	0.024	0.016	0.029	0.028	0.018	0.033	0.012	0.006	0.014	10.4	7.7	68.8	115.9	102.1	149.6	132.0	181.5	144.1			
2	0.041	0.024	0.039	0.033	0.041	0.025	0.040	0.025	0.041	0.024	0.047	0.063	0.045	0.077	0.075	0.052	0.091	0.086	0.058	0.104	0.039	0.023	0.045	5.1	6.6	60.9	100.1	92.5	130.1	120.9	158.5	130.9			
3	0.076	0.049	0.072	0.060	0.076	0.049	0.074	0.049	0.076	0.049	0.091	0.117	0.086	0.145	0.140	0.099	0.171	0.160	0.112	0.196	0.075	0.044	0.087	2.3	10.1	56.7	93.6	87.5	123.6	115.1	152.0	125.3			
4	0.117	0.079	0.111	0.091	0.117	0.079	0.114	0.077	0.117	0.079	0.141	0.180	0.134	0.224	0.215	0.155	0.265	0.247	0.176	0.303	0.116	0.069	0.135	1.5	13.5	55.7	92.5	86.2	123.7	113.5	153.1	124.7			
5	0.162	0.111	0.154	0.124	0.162	0.111	0.157	0.109	0.162	0.111	0.196	0.249	0.185	0.310	0.297	0.216	0.367	0.341	0.245	0.419	0.160	0.098	0.188	1.0	13.9	55.2	89.5	85.5	121.2	112.6	150.9	123.6			
6	0.209	0.145	0.200	0.158	0.209	0.144	0.202	0.142	0.209	0.145	0.254	0.321	0.238	0.400	0.384	0.279	0.474	0.440	0.317	0.542	0.207	0.128	0.243	1.0	13.0	55.4	85.8	85.7	117.4	112.8	147.0	122.8			
7	0.257	0.180	0.246	0.193	0.257	0.179	0.249	0.176	0.257	0.180	0.314	0.395	0.294	0.493	0.472	0.345	0.585	0.541	0.392	0.668	0.254	0.162	0.301	1.2	11.5	55.9	81.8	86.3	113.2	113.4	142.5	122.2			
8	0.304	0.217	0.293	0.230	0.304	0.215	0.296	0.211	0.304	0.217	0.374	0.470	0.351	0.587	0.561	0.413	0.696	0.643	0.470	0.796	0.300	0.197	0.359	1.6	9.9	56.8	78.1	87.2	109.1	114.5	138.1	121.9			
9	0.352	0.254	0.340	0.267	0.352	0.252	0.342	0.248	0.352	0.254	0.434	0.544	0.410	0.681	0.649	0.482	0.808	0.744	0.549	0.925	0.344	0.235	0.417	2.1	8.3	58.0	74.7	88.5	105.4	116.1	134.0	121.9			
10	0.397	0.292	0.385	0.305	0.397	0.290	0.387	0.285	0.397	0.292	0.493	0.615	0.470	0.774	0.734	0.553	0.919	0.841	0.630	1.051	0.387	0.273	0.473	2.7	7.0	59.2	71.9	89.8	102.3	117.5	130.6	122.0			
11	0.441	0.331	0.429	0.343	0.441	0.328	0.430	0.322	0.441	0.331	0.551	0.684	0.530	0.865	0.815	0.624	1.027	0.934	0.712	1.175	0.427	0.313	0.529	3.3	5.9	60.3	69.5	91.0	99.7	119.0	127.7	122.1			
12	0.482	0.370	0.470	0.381	0.481	0.355	0.471	0.360	0.482	0.370	0.607	0.749	0.590	0.953	0.892	0.690	1.127	1.022	0.789	1.291	0.465	0.352	0.583	3.7	5.0	61.1	67.5	91.9	95.8	120.1	123.7	121.4			
13	0.519	0.409	0.509	0.418	0.520	0.405	0.509	0.398	0.519	0.409	0.661	0.809	0.651	1.038	0.963	0.768	1.232	1.105	0.877	1.410	0.500	0.393	0.636	3.8	4.3	61.6	65.8	92.4	95.7	120.7	123.4	121.7			
14	0.554	0.449	0.544	0.456	0.566	0.444	0.545	0.437	0.554	0.449	0.713	0.864	0.712	1.119	1.035	0.840	1.333	1.186	0.960	1.525	0.534	0.433	0.688	3.7	3.6	61.7	64.4	93.7	94.1	121.9	121.6	121.8			
15	0.586	0.488	0.577	0.494	0.592	0.483	0.577	0.475	0.586	0.488	0.762	0.914	0.772	1.197	1.091	0.912	1.422	1.251	1.042	1.629	0.566	0.474	0.738	3.5	3.0	61.6	63.0	92.9	92.6	121.2	120.1	120.7			
16	0.614	0.527	0.606	0.531	0.617	0.522	0.606	0.513	0.614	0.527	0.809	0.960	0.832	1.270	1.143	0.984	1.508	1.312	1.125	1.728	0.595	0.514	0.787	3.1	2.5	61.2	61.8	92.0	91.3	120.3	118.7	119.6			
17	0.639	0.566	0.633	0.568	0.640	0.560	0.632	0.551	0.639	0.566	0.854	1.000	0.892	1.340	1.190	1.055	1.591	1.366	1.207	1.823	0.623	0.555	0.834	2.6	2.0	60.6	60.7	91.1	90.2	119.3	117.4	118.5			
18	0.662	0.605	0.657	0.605	0.667	0.599	0.655	0.589	0.662	0.605	0.897	1.037	0.951	1.407	1.235	1.126	1.672	1.418	1.288	1.915	0.648	0.595	0.880	2.0	1.6	59.9	59.8	90.5	89.2	118.6	116.4	117.6			
19	0.682	0.644	0.679	0.641	0.674	0.637	0.676	0.627	0.682	0.644	0.938	1.070	1.010	1.472	1.267	1.197	1.743	1.456	1.369	1.999	0.672	0.636	0.925	1.5	1.3	59.3	59.0	88.5	88.3	116.6	115.4	116.1			
20	0.701	0.682	0.698	0.677	0.693	0.676	0.695	0.676	0.701	0.682	0.978	1.101	1.069	1.534	1.303	1.267	1.817	1.497	1.456	2.088	0.693	0.676	0.968	1.1	1.0	58.7	58.3	87.9	87.5	115.9	115.5	115.7			

Çizelge 3.17: Göreli Kat Ötelenmesi (Drift) Oranları Değişim Değerleri

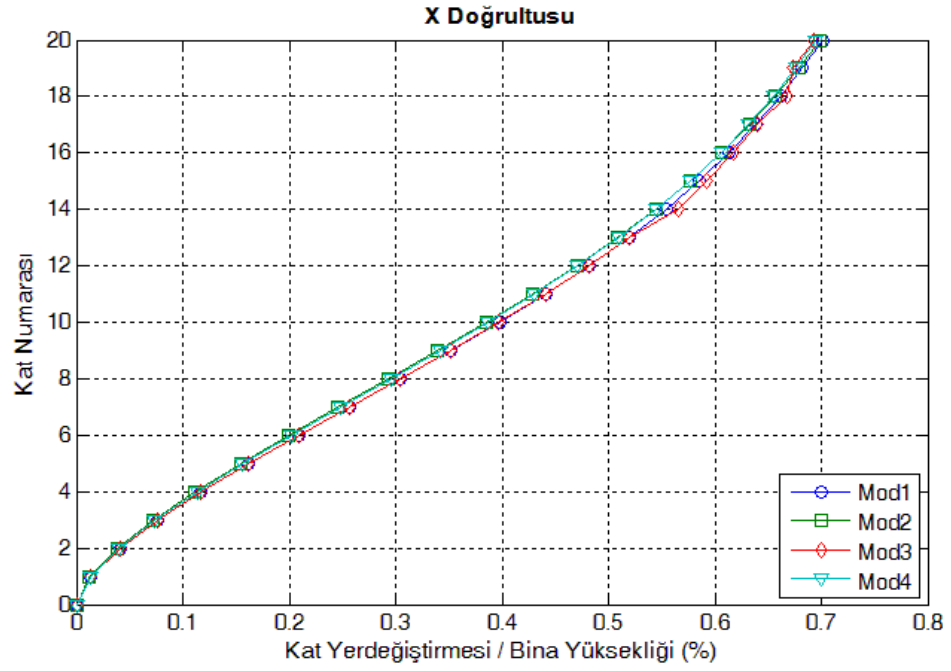
Kat No	Görel Kat Ötelenmesi (Drift) Oranları (%)																				Zaman			Hata (%)									
	Modal Tepki								Birleştirilmiş Veri (MPa) - CQC																								
	"Mod 1"		"Mod 2"		"Mod 3"		"Mod 4"		1. Mod			(1+2). Modlar			(1+2+3). Modlar			(1+2+3+4). Modlar			X+Y (SRSS)	Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Dinamik Analiz			1. Mod		(1+2). Modlar		(1+2+3). Modlar		(1+2+3+4). Modlar		X+Y
	X Yönü	Y Yönü	X Yönü	Y Yönü	X Yönü	Y Yönü	X Yönü	Y Yönü	X Yönü	Y Yönü	X+Y	X Yönü	Y Yönü	X+Y	X Yönü	Y Yönü	X+Y	X Yönü	Y Yönü	X+Y		X Yönü	Y Yönü	X+Y	X Yönü	Y Yönü	X Yönü	Y Yönü	X Yönü	Y Yönü	X+Y		
1	0.0025	0.0013	0.0024	0.0020	0.0025	0.0015	0.0025	0.0015	0.00252	0.00133	0.00285	0.00386	0.00267	0.00469	0.00462	0.00309	0.00556	0.00530	0.00348	0.00635	0.0023	0.0012	0.00260	10.4	7.7	68.8	115.9	102.1	149.6	132.0	181.5	144.1	
2	0.0056	0.0034	0.0053	0.0045	0.0056	0.0035	0.0054	0.0034	0.00555	0.00343	0.00652	0.00850	0.00625	0.01055	0.01017	0.00717	0.01244	0.01166	0.00804	0.01417	0.0054	0.0032	0.00629	2.8	6.2	57.4	93.8	88.3	122.3	115.9	149.4	125.2	
3	0.0071	0.0050	0.0067	0.0054	0.0071	0.0048	0.0069	0.0047	0.00710	0.00498	0.00867	0.01088	0.00819	0.01362	0.01301	0.00951	0.01611	0.01492	0.01074	0.01839	0.0072	0.0044	0.00838	0.7	13.7	52.1	87.3	82.0	117.3	108.7	145.5	119.3	
4	0.0082	0.0060	0.0079	0.0062	0.0082	0.0059	0.0080	0.0058	0.00823	0.00600	0.01018	0.01267	0.00959	0.01588	0.01513	0.01127	0.01886	0.01733	0.01283	0.02156	0.0082	0.0050	0.00964	0.0	19.4	54.0	90.8	83.9	124.2	110.7	155.4	123.7	
5	0.0089	0.0065	0.0086	0.0066	0.0090	0.0064	0.0086	0.0063	0.00893	0.00648	0.01103	0.01377	0.01026	0.01717	0.01645	0.01211	0.02043	0.01883	0.01382	0.02336	0.0090	0.0056	0.01057	0.3	15.1	53.8	82.5	83.8	115.3	110.4	145.7	121.0	
6	0.0094	0.0068	0.0091	0.0069	0.0094	0.0067	0.0091	0.0066	0.00940	0.00680	0.01160	0.01453	0.01074	0.01807	0.01731	0.01269	0.02146	0.01984	0.01449	0.02457	0.0093	0.0062	0.01116	1.1	10.1	56.3	74.0	86.1	105.4	113.3	134.6	120.1	
7	0.0096	0.0071	0.0094	0.0071	0.0097	0.0070	0.0094	0.0069	0.00960	0.00708	0.01193	0.01491	0.01116	0.01862	0.01780	0.01320	0.02216	0.02039	0.01509	0.02536	0.0094	0.0067	0.01156	1.9	5.6	58.2	66.6	88.9	97.0	116.3	125.2	119.3	
8	0.0096	0.0073	0.0094	0.0073	0.0096	0.0072	0.0094	0.0071	0.00960	0.00733	0.01208	0.01496	0.01150	0.01887	0.01778	0.01360	0.02239	0.02040	0.01554	0.02565	0.0093	0.0071	0.01168	3.8	2.8	61.8	61.4	92.3	90.8	120.6	118.1	119.7	
9	0.0094	0.0075	0.0094	0.0075	0.0095	0.0074	0.0093	0.0073	0.00945	0.00750	0.01206	0.01479	0.01176	0.01890	0.01762	0.01393	0.02246	0.02020	0.01593	0.02573	0.0089	0.0075	0.01166	5.9	0.0	65.7	56.8	97.4	85.7	126.3	112.4	120.7	
10	0.0092	0.0077	0.0091	0.0076	0.0090	0.0076	0.0090	0.0074	0.00915	0.00765	0.01193	0.01436	0.01196	0.01869	0.01699	0.01418	0.02213	0.01951	0.01623	0.02538	0.0085	0.0077	0.01149	7.6	1.0	68.9	54.8	99.8	83.6	129.5	110.1	121.0	
11	0.0087	0.0078	0.0087	0.0076	0.0088	0.0077	0.0087	0.0075	0.00870	0.00775	0.01165	0.01371	0.01208	0.01827	0.01630	0.01433	0.02171	0.01871	0.01641	0.02489	0.0080	0.0079	0.01126	8.4	1.9	70.8	52.9	103.2	81.4	133.2	107.7	121.0	
12	0.0082	0.0078	0.0083	0.0076	0.0082	0.0054	0.0082	0.0076	0.00820	0.00783	0.01133	0.01298	0.01214	0.01777	0.01535	0.01333	0.02033	0.01764	0.01551	0.02349	0.0076	0.0080	0.01103	7.9	2.2	70.8	51.8	102.0	66.6	132.2	93.9	112.9	
13	0.0076	0.0079	0.0077	0.0076	0.0077	0.0101	0.0077	0.0077	0.00760	0.00788	0.01094	0.01205	0.01218	0.01714	0.01434	0.01584	0.02137	0.01648	0.01787	0.02431	0.0072	0.0081	0.01080	5.6	2.2	67.4	51.3	99.2	96.8	128.9	121.9	125.1	
14	0.0070	0.0079	0.0072	0.0076	0.0092	0.0078	0.0071	0.0077	0.00695	0.00788	0.01050	0.01109	0.01216	0.01646	0.01447	0.01447	0.02046	0.01634	0.01660	0.02330	0.0068	0.0081	0.01056	2.6	2.8	63.7	50.1	113.6	78.7	141.2	105.0	120.6	
15	0.0063	0.0079	0.0065	0.0075	0.0053	0.0078	0.0064	0.0077	0.00630	0.00790	0.01010	0.01009	0.01212	0.01577	0.01139	0.01444	0.01839	0.01324	0.01657	0.02121	0.0063	0.0082	0.01032	0.4	3.1	59.5	48.7	80.1	77.1	109.3	103.4	105.6	
16	0.0057	0.0079	0.0059	0.0075	0.0050	0.0078	0.0058	0.0077	0.00565	0.00785	0.00967	0.00911	0.01206	0.01511	0.01041	0.01439	0.01776	0.01207	0.01653	0.02047	0.0059	0.0082	0.01006	4.2	3.7	54.3	48.0	76.4	76.5	104.5	102.8	103.4	
17	0.0051	0.0078	0.0053	0.0074	0.0046	0.0078	0.0052	0.0076	0.00508	0.00782	0.00933	0.00818	0.01198	0.01451	0.00941	0.01429	0.01712	0.01091	0.01643	0.01972	0.0055	0.0082	0.00985	8.1	4.0	48.1	47.0	70.4	75.4	97.4	101.5	100.3	
18	0.0045	0.0078	0.0048	0.0073	0.0054	0.0077	0.0047	0.0076	0.00453	0.00778	0.00900	0.00732	0.01188	0.01395	0.00911	0.01420	0.01687	0.01039	0.01633	0.01936	0.0051	0.0081	0.00959	11.7	4.0	42.8	46.7	77.8	75.3	102.8	101.6	101.9	
19	0.0041	0.0077	0.0044	0.0073	0.0014	0.0077	0.0043	0.0076	0.00413	0.00775	0.00878	0.00669	0.01184	0.01360	0.00683	0.01414	0.01570	0.00811	0.01626	0.01817	0.0048	0.0081	0.00937	13.2	4.0	40.8	46.6	43.7	75.1	70.7	101.3	93.9	
20	0.0038	0.0077	0.0040	0.0072	0.0038	0.0077	0.0038	0.0098	0.00375	0.00773	0.00859	0.00608	0.01178	0.01326	0.00718	0.01408	0.01580	0.00821	0.01745	0.01928	0.0043	0.0080	0.00907	12.3	3.4	42.2	47.3	68.0	76.0	92.1	118.1	112.6	

Çizelge 3.18: Kirişlerde Oluşan Maksimum Plastik Mafsal Dönmesi Değerleri

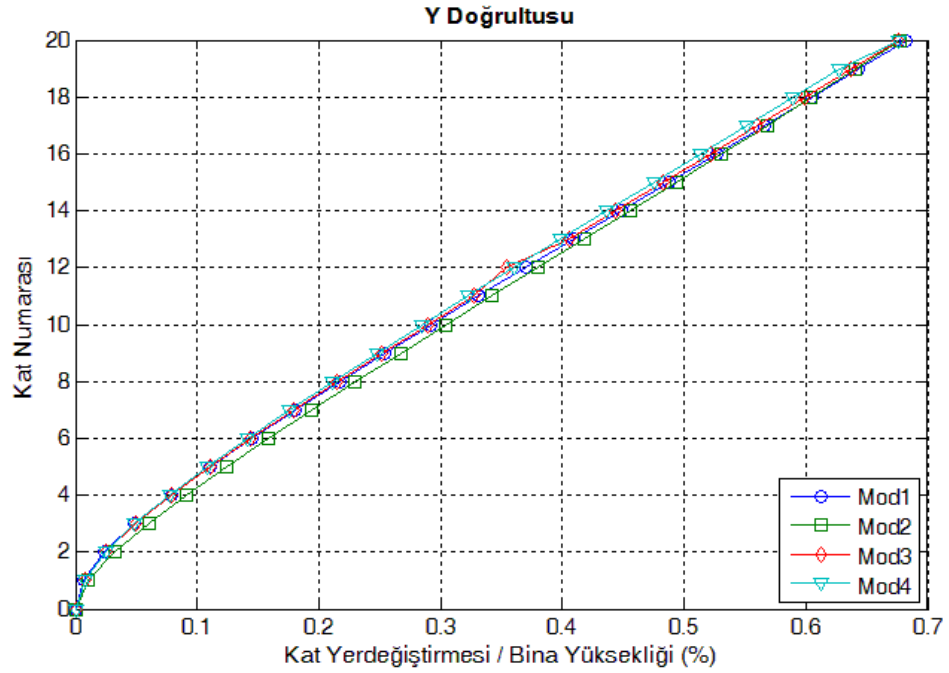
Kat No		Kirişlerde Maksimum Plastik Mafsıl Dönme Değerleri (rad)																							Hata (%)									
		Modal Tepki								Birleştirilmiş Veri (MPa) - CQC															Zaman									
		"Mod 1"		"Mod 2"		"Mod 3"		"Mod 4"		1. Mod			(1+2). Modlar			(1+2+3). Modlar			X+Y (SRSS)	Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Dinamik Analiz			1. Mod		(1+2). Modlar		(1+2+3). Modlar		(1+2+3+4). Modlar		X+Y			
										X Yönü	Y Yönü	X+Y	X Yönü	Y Yönü	X+Y	X Yönü	Y Yönü	X+Y		X Yönü	Y Yönü	X+Y	X Yönü	Y Yönü	X+Y	X Yönü	Y Yönü	X+Y	X Yönü	Y Yönü		X Yönü	Y Yönü	X Yönü
1	0.00000	0.00000	0.00095	0.00000	0.00000	0.00000	0.00043	0.00031	0.00000	0.00000	0.00000	0.00095	0.00000	0.00095	0.00095	0.00000	0.00095	0.00105	0.00031	0.00109	0.00090	0.00062	0.00110	100.0	100.0	5.5	100.0	5.5	100.0	15.8	49.7	0.3		
2	0.00212	0.00131	0.00307	0.00242	0.00228	0.00171	0.00263	0.00171	0.00212	0.00131	0.00249	0.00413	0.00302	0.00511	0.00472	0.00347	0.00586	0.00548	0.00392	0.00673	0.00403	0.00365	0.00544	47.4	64.1	2.4	17.3	17.2	4.8	35.8	7.4	23.8		
3	0.00356	0.00301	0.00435	0.00344	0.00360	0.00352	0.00385	0.00352	0.00356	0.00301	0.00466	0.00624	0.00508	0.00805	0.00722	0.00619	0.00951	0.00829	0.00723	0.01100	0.00527	0.00475	0.00710	32.5	36.7	18.4	6.9	36.9	30.3	57.2	52.1	54.9		
4	0.00455	0.00389	0.00579	0.00422	0.00455	0.00460	0.00485	0.00460	0.00455	0.00389	0.00598	0.00817	0.00638	0.01037	0.00937	0.00788	0.01224	0.01068	0.00927	0.01414	0.00569	0.00520	0.00771	20.0	25.2	43.6	22.8	64.6	51.7	87.7	78.4	83.5		
5	0.00516	0.00432	0.00659	0.00457	0.00516	0.00506	0.00561	0.00506	0.00516	0.00432	0.00673	0.00928	0.00700	0.01162	0.01063	0.00865	0.01371	0.01217	0.01017	0.01587	0.00643	0.00544	0.00842	19.8	20.5	44.4	28.7	65.5	59.1	89.4	87.1	88.5		
6	0.00553	0.00460	0.00713	0.00481	0.00537	0.00546	0.00613	0.00546	0.00553	0.00460	0.00719	0.01001	0.00740	0.01245	0.01138	0.00922	0.01464	0.01308	0.01088	0.01702	0.00683	0.00555	0.00880	19.0	17.1	46.6	33.4	66.6	66.1	91.6	96.1	93.4		
7	0.00564	0.00485	0.00747	0.00502	0.00565	0.00567	0.00639	0.00567	0.00564	0.00485	0.00744	0.01037	0.00776	0.01295	0.01183	0.00963	0.01525	0.01361	0.01135	0.01772	0.00685	0.00559	0.00884	17.7	13.3	51.3	38.9	72.6	72.3	98.7	103.0	100.4		
8	0.00546	0.00504	0.00748	0.00516	0.00561	0.00589	0.00644	0.00589	0.00546	0.00504	0.00743	0.01025	0.00802	0.01302	0.01171	0.00997	0.01538	0.01353	0.01177	0.01793	0.00660	0.00565	0.00868	17.2	10.7	55.5	42.1	77.5	76.6	105.2	108.4	106.5		
9	0.00517	0.00522	0.00739	0.00515	0.00537	0.00605	0.00627	0.00605	0.00517	0.00522	0.00735	0.00997	0.00816	0.01289	0.01134	0.01017	0.01524	0.01313	0.01202	0.01780	0.00608	0.00579	0.00839	14.9	9.8	64.0	41.0	86.6	75.8	115.9	107.8	112.1		
10	0.00484	0.00525	0.00701	0.00512	0.00505	0.00619	0.00594	0.00619	0.00484	0.00525	0.00714	0.00941	0.00816	0.01246	0.01070	0.01026	0.01482	0.01239	0.01218	0.01738	0.00535	0.00596	0.00801	9.6	11.8	75.9	37.0	99.9	72.3	131.6	104.5	117.0		
11	0.00418	0.00527	0.00654	0.00510	0.00445	0.00626	0.00547	0.00626	0.00418	0.00527	0.00673	0.00856	0.00816	0.01182	0.00966	0.01030	0.01412	0.01124	0.01226	0.01663	0.00558	0.00605	0.00823	25.2	12.8	53.2	34.9	73.0	70.4	101.3	102.7	102.0		
12	0.00353	0.00529	0.00607	0.00498	0.00384	0.00619	0.00487	0.00619	0.00353	0.00529	0.00635	0.00771	0.00808	0.01117	0.00863	0.01019	0.01336	0.01003	0.01212	0.01573	0.00570	0.00603	0.00829	38.1	12.3	35.4	34.1	51.5	69.2	76.1	101.1	89.8		
13	0.00283	0.00520	0.00535	0.00481	0.00315	0.00613	0.00422	0.00613	0.00283	0.00520	0.00593	0.00662	0.00788	0.01029	0.00734	0.01000	0.01241	0.00857	0.01193	0.01469	0.00544	0.00633	0.00834	47.9	17.7	21.7	24.6	34.9	58.1	57.5	88.6	76.0		
14	0.00205	0.00513	0.00467	0.00463	0.00235	0.00606	0.00349	0.00606	0.00205	0.00513	0.00553	0.00553	0.00768	0.00946	0.00601	0.00980	0.01150	0.00703	0.01172	0.01366	0.00493	0.00680	0.00840	58.3	24.5	12.1	13.0	21.9	44.1	42.5	72.3	62.7		
15	0.00130	0.00507	0.00391	0.00444	0.00163	0.00599	0.00274	0.00599	0.00130	0.00507	0.00523	0.00440	0.00748	0.00868	0.00470	0.00960	0.01069	0.00549	0.01151	0.01276	0.00410	0.00714	0.00823	68.2	29.0	7.5	4.9	14.8	34.6	34.2	61.3	55.0		
16	0.00063	0.00492	0.00315	0.00426	0.00086	0.00583	0.00203	0.00583	0.00063	0.00492	0.00496	0.00335	0.00723	0.00797	0.00346	0.00931	0.00993	0.00404	0.01117	0.01188	0.00309	0.00733	0.00795	79.7	32.8	8.4	1.3	12.0	27.0	30.8	52.4	49.4		
17	0.00008	0.00478	0.00250	0.00413	0.00063	0.00578	0.00136	0.00578	0.00008	0.00478	0.00478	0.00252	0.00702	0.00746	0.00260	0.00911	0.00947	0.00295	0.01098	0.01137	0.00228	0.00740	0.00775	96.6	35.4	10.3	5.1	13.7	23.1	29.2	48.4	46.8		
18	0.00000	0.00465	0.00186	0.00395	0.00000	0.00558	0.00077	0.00558	0.00000	0.00465	0.00465	0.00186	0.00678	0.00703	0.00186	0.00880	0.00899	0.00201	0.01060	0.01079	0.00164	0.00736	0.00754	100.0	36.8	13.7	7.9	13.7	19.5	23.0	44.0	43.1		
19	0.00000	0.00464	0.00158	0.00392	0.00000	0.00556	0.00049	0.00556	0.00000	0.00464	0.00464	0.00158	0.00674	0.00692	0.00158	0.00875	0.00890	0.00166	0.01055	0.01068	0.00140	0.00733	0.00746	100.0	36.8	13.2	8.1	13.2	19.4	18.5	43.9	43.1		
20	0.00000	0.00412	0.00014	0.00342	0.00000	0.00503	0.00000	0.00503	0.00000	0.00412	0.00412	0.00014	0.00595	0.00595	0.00014	0.00781	0.00781	0.00014	0.00946	0.00946	0.00007	0.00678	0.00678	100.0	39.2	101.5	12.3	101.5	15.1	101.5	39.4	39.4		

Çizelge 3.19: İlk Kat Kolonlarındaki Maksimum Plastikleşme Değerleri

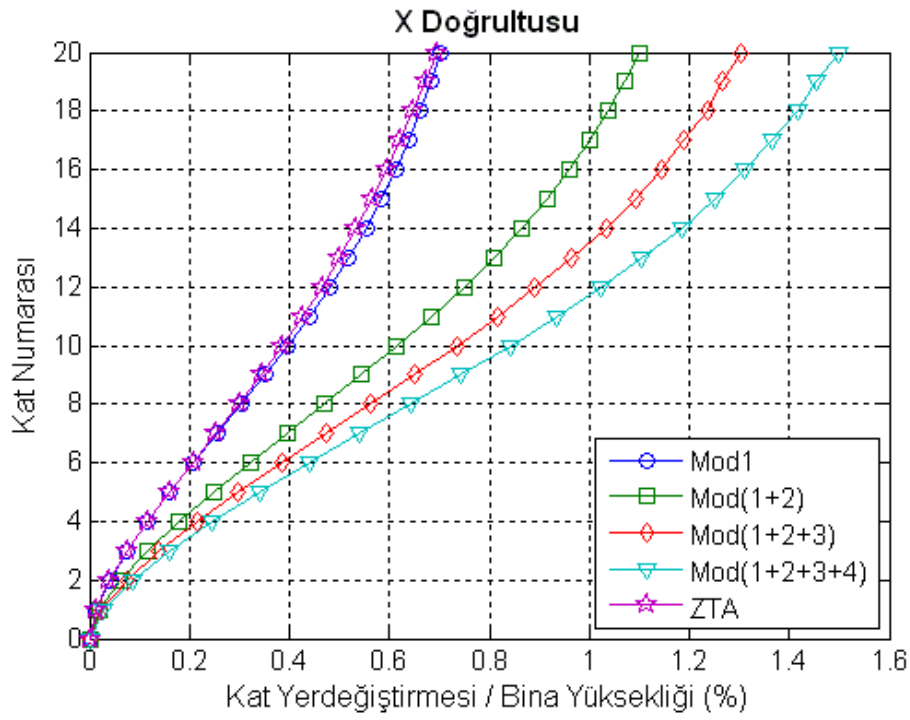
Kolon İsmi ve Etki Grubu		İlk Kat Kolonlarındaki Maksimum Plastikleşme Değerleri [P - Plastik Yerdeğiştirme (mm), M2,M3 - Plastik Dönme (rad)]																Hata (%)													
		Modal Tepki								Birleştirilmiş Veri (MPa) - CQC								Zaman													
		"Mod 1"		"Mod 2"		"Mod 3"		"Mod 4"		1. Mod		(1+2). Modlar		(1+2+3). Modlar		(1+2+3+4). Modlar		X+Y (SRSS)	Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Dinamik Analiz			1. Mod		(1+2). Modlar		(1+2+3). Modlar		(1+2+3+4). Modlar		X+Y	
																			X Yönü	Y Yönü	X Yönü										Y Yönü
		X Yönü	Y Yönü	X Yönü	Y Yönü	X Yönü	Y Yönü	X Yönü	Y Yönü	X Yönü	Y Yönü	X Yönü	Y Yönü	X Yönü	Y Yönü	X Yönü	Y Yönü	X+Y	X Yönü	Y Yönü	X Yönü	Y Yönü	X Yönü	Y Yönü	X Yönü	Y Yönü	X Yönü	Y Yönü			
C1	P	0.00000	0.00000	0.10000	0.00000	0.01396	0.00000	0.03269	0.00000	0.00000	0.00000	0.10000	0.00000	0.10102	0.00000	0.10649	0.00000	0.10649	0.02914	0.10000	0.10416	100.0	100.0	243.2	100.0	246.7	100.0	265.4	100.0	2.2	
	M2	0.00000	0.00000	0.00022	0.00000	0.00003	0.00000	0.00011	0.00000	0.00000	0.00000	0.00022	0.00000	0.00022	0.00000	0.00025	0.00000	0.00025	0.00010	0.00022	0.00024	100.0	100.0	122.4	100.0	124.9	100.0	152.4	100.0	1.9	
	M3	0.00000	0.00000	0.00026	0.00000	0.00003	0.00000	0.00012	0.00000	0.00000	0.00000	0.00026	0.00000	0.00026	0.00000	0.00029	0.00000	0.00029	0.00011	0.00006	0.00013	100.0	100.0	129.7	100.0	131.5	100.0	158.0	100.0	126.1	
C3	P	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.01699	0.01699	0.0	100.0	0.0	100.0	0.0	100.0	0.0	100.0	0.0	100.0	
	M2	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00004	0.00004	0.0	100.0	0.0	100.0	0.0	100.0	0.0	100.0	0.0	100.0
	M3	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00001	0.00001	0.0	100.0	0.0	100.0	0.0	100.0	0.0	100.0	0.0	100.0
C9	P	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.10000	0.00000	0.10000	100.0	0.0	100.0	0.0	100.0	0.0	100.0	0.0	100.0	0.0	100.0
	M2	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00029	0.00000	0.00029	100.0	0.0	100.0	0.0	100.0	0.0	100.0	0.0	100.0	0.0	100.0
	M3	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00033	0.00000	0.00033	100.0	0.0	100.0	0.0	100.0	0.0	100.0	0.0	100.0	0.0	100.0
C13	P	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.04033	0.00000	0.04033	100.0	0.0	100.0	0.0	100.0	0.0	100.0	0.0	100.0	0.0	100.0
	M2	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00017	0.00000	0.00017	100.0	0.0	100.0	0.0	100.0	0.0	100.0	0.0	100.0	0.0	100.0
	M3	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00007	0.00000	0.00007	100.0	0.0	100.0	0.0	100.0	0.0	100.0	0.0	100.0	0.0	100.0
C15	P	0.00000	0.40000	0.10000	0.70000	0.01042	0.50000	0.10000	0.50000	0.00000	0.40000	0.10000	0.88484	0.10058	1.01804	0.14240	1.14802	1.15682	0.00000	0.50000	0.50000	0.0	20.0	0.0	77.0	0.0	0.0	0.0	129.6	131.4	
	M2	0.00000	0.00115	0.00056	0.00147	0.00002	0.00111	0.00024	0.00111	0.00000	0.00115	0.00056	0.00208	0.00056	0.00236	0.00061	0.00263	0.00270	0.00000	0.00105	0.00105	0.0	9.6	0.0	97.1	0.0	123.7	0.0	150.0	156.7	
	M3	0.00000	0.00001	0.00027	0.00003	0.00001	0.00001	0.00010	0.00001	0.00000	0.00001	0.00027	0.00004	0.00027	0.00004	0.00029	0.00004	0.00029	0.00000	0.00001	0.00001	0.0	160.0	0.0	645.8	0.0	672.9	0.0	701.7	5770.1	
C20	P	0.00000	0.40000	0.00000	0.80000	0.00000	0.50000	0.00000	0.50000	0.00000	0.40000	0.00000	0.97567	0.00000	1.09806	0.00000	1.21962	1.21962	0.00000	0.50000	0.50000	0.0	20.0	0.0	95.1	0.0	119.6	0.0	143.9	143.9	
	M2	0.00000	0.00104	0.00000	0.00165	0.00000	0.00108	0.00000	0.00108	0.00000	0.00104	0.00000	0.00215	0.00000	0.00241	0.00000	0.00267	0.00267	0.00000	0.00118	0.00118	0.0	12.0	0.0	82.0	0.0	103.8	0.0	125.6	125.6	
	M3	0.00000	0.00013	0.00000	0.00019	0.00000	0.00009	0.00000	0.00010	0.00000	0.00013	0.00000	0.00025	0.00000	0.00027	0.00000	0.00029	0.00029	0.00000	0.00020	0.00020	0.0	34.2	0.0	27.7	0.0	36.6	0.0	46.0	46.0	
C21	P	0.00000	0.00000	0.00000	0.07510	0.00000	0.02023	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.07510	0.00000	0.07784	0.00000	0.07784	0.07784	0.00000	0.01461	0.01461	0.0	100.0	0.0	414.0	0.0	432.8	0.0	432.8	432.8	
	M2	0.00000	0.00000	0.00000	0.00030	0.00000	0.00006	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00030	0.00000	0.00031	0.00000	0.00031	0.00031	0.00000	0.00005	0.00005	0.0	100.0	0.0	471.7	0.0	483.2	0.0	483.2	483.2	
	M3	0.00000	0.00000	0.00000	0.00001	0.00000	0.00003	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00001	0.00000	0.00003	0.00000	0.00003	0.00003	0.00000	0.00001	0.00001	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	410.2	0.0	410.2	410.2	



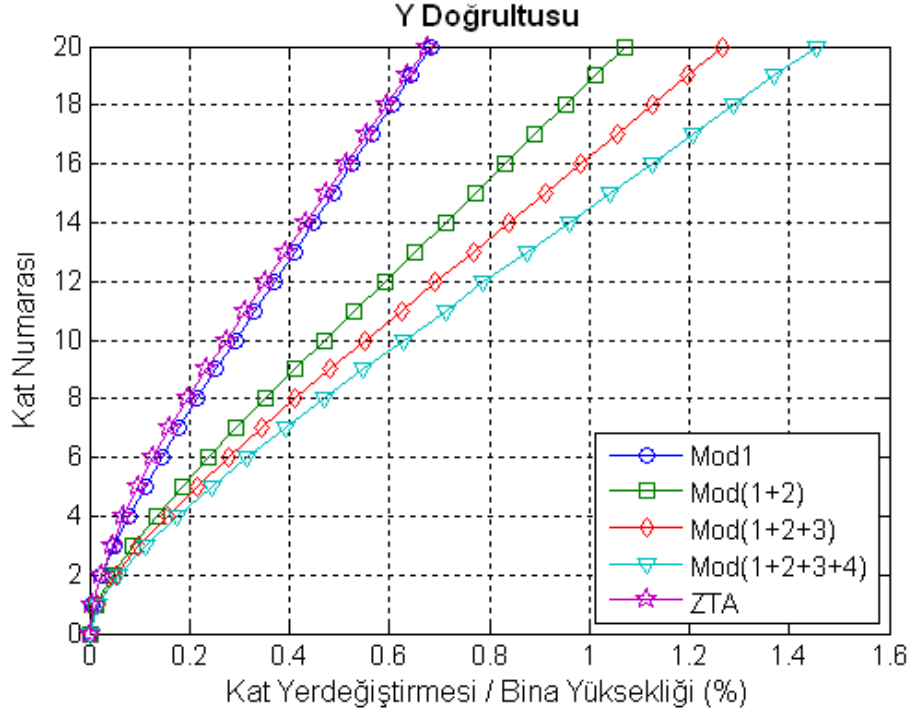
Şekil 3.79: X Doğrultusunda Doğrusal Olmayan Çok Modlu Statik İtme Analizi Sonucu Elde Edilen Kat Yerdeğiştirme Oranları



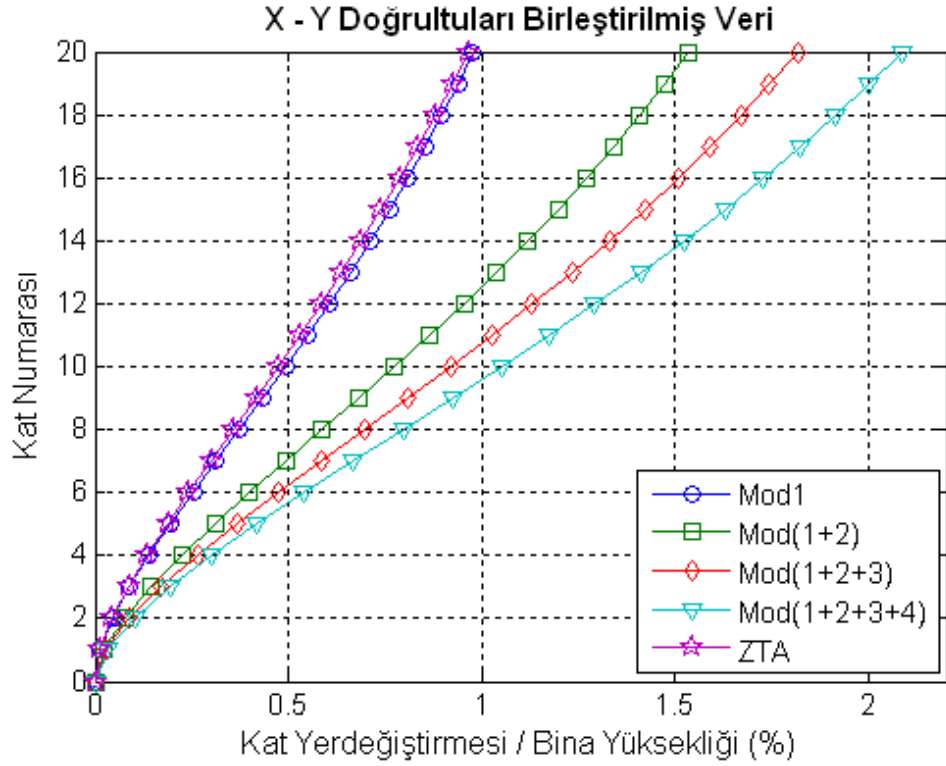
Şekil 3.80: Y Doğrultusunda Doğrusal Olmayan Çok Modlu Statik İtme Analizi Sonucu Elde Edilen Kat Yerdeğiştirme Oranları



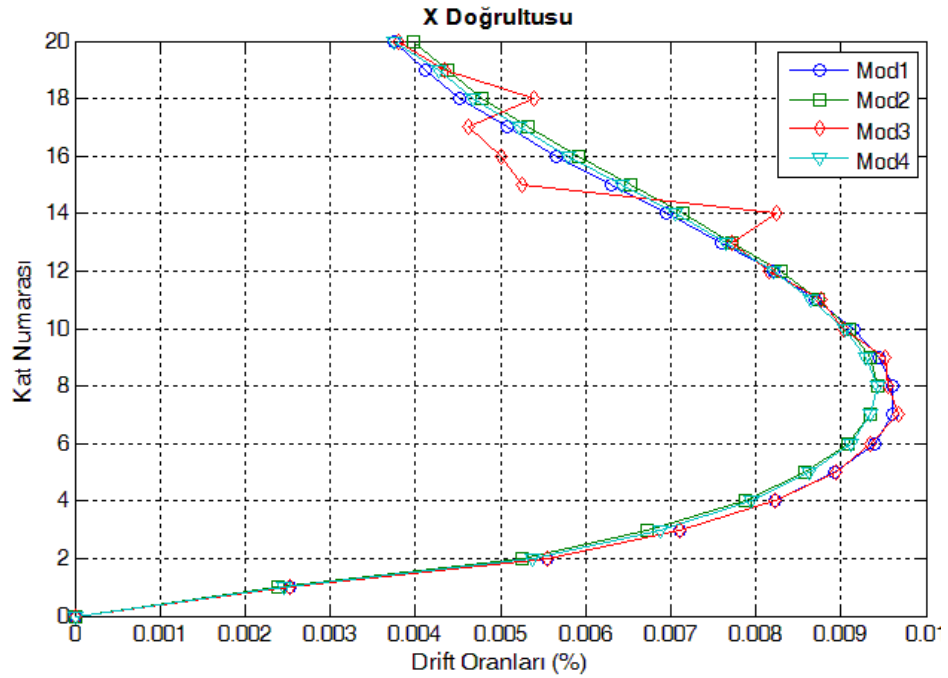
Şekil 3.81: X Doğrultusunda Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi ve Zaman Tanım Alanında Dinamik Analiz Sonucu Elde Edilen Kat Yerdeğiştirme Oranları



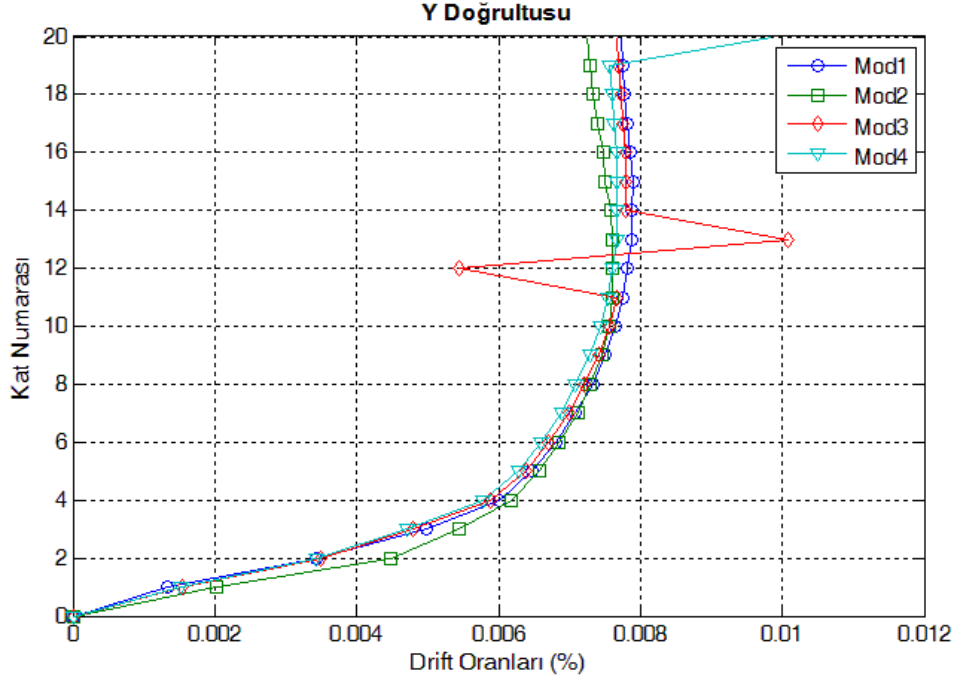
Şekil 3.82: Y Doğrultusunda Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi ve Zaman Tanım Alanında Dinamik Analiz Sonucu Elde Edilen Kat Yerdeğiştirme Oranları



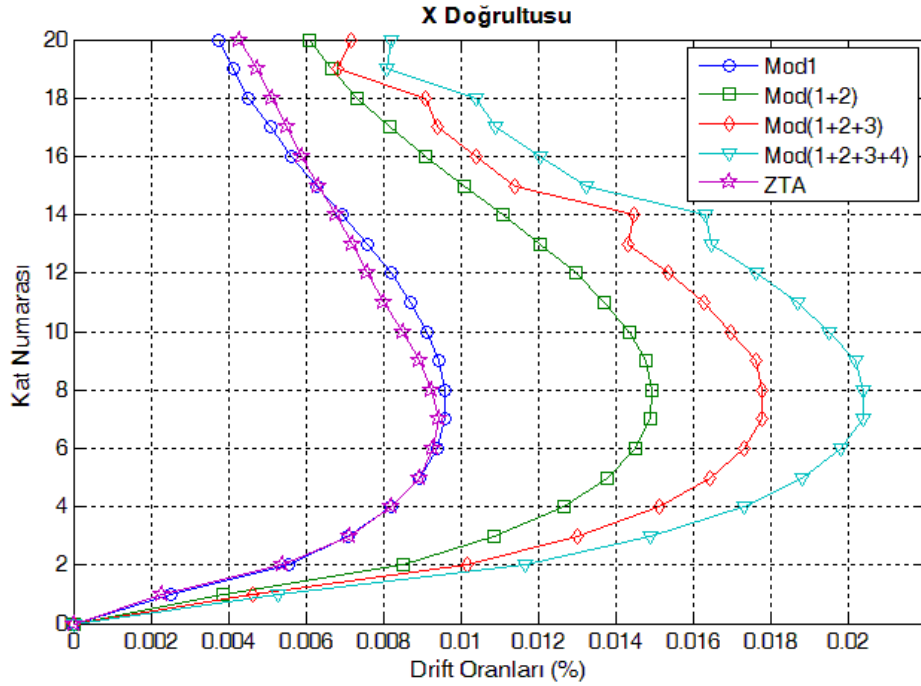
Şekil 3.83: X ve Y Doğrultusunda Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi ve Zaman Tanım Alanında Dinamik Analiz Sonuçlarının Birleştirilmiş Olarak Elde Edilen Kat Yerdeğiştirme Oranları



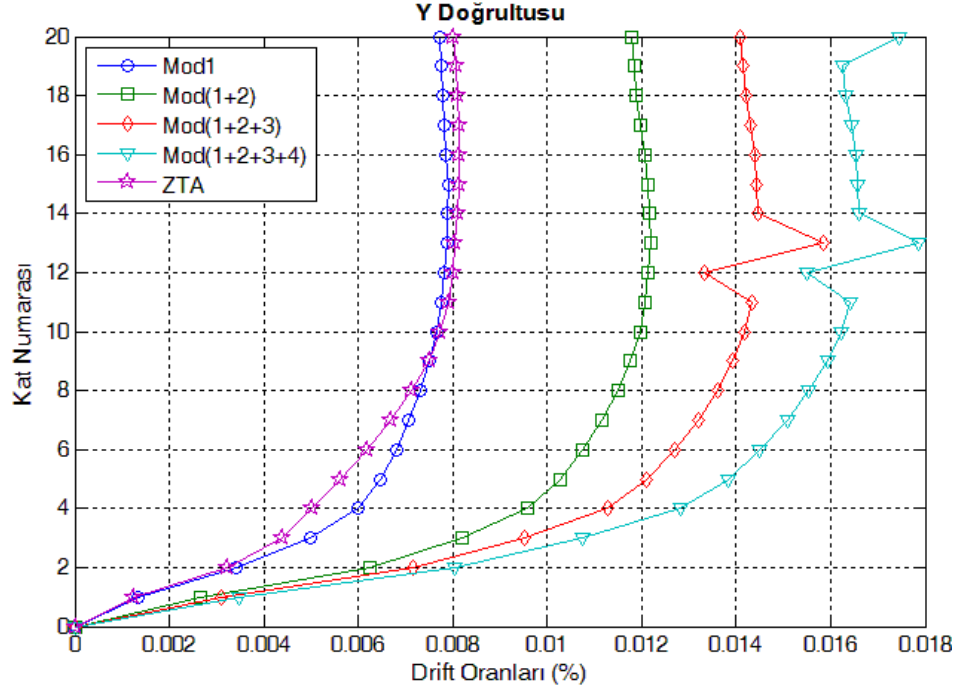
Şekil 3.84: X Doğrultusunda Doğrusal Olmayan Çok Modlu Statik İtme Analizi Sonucu Elde Edilen Görelî Kat Ötelenmesi (Drift) Oranları



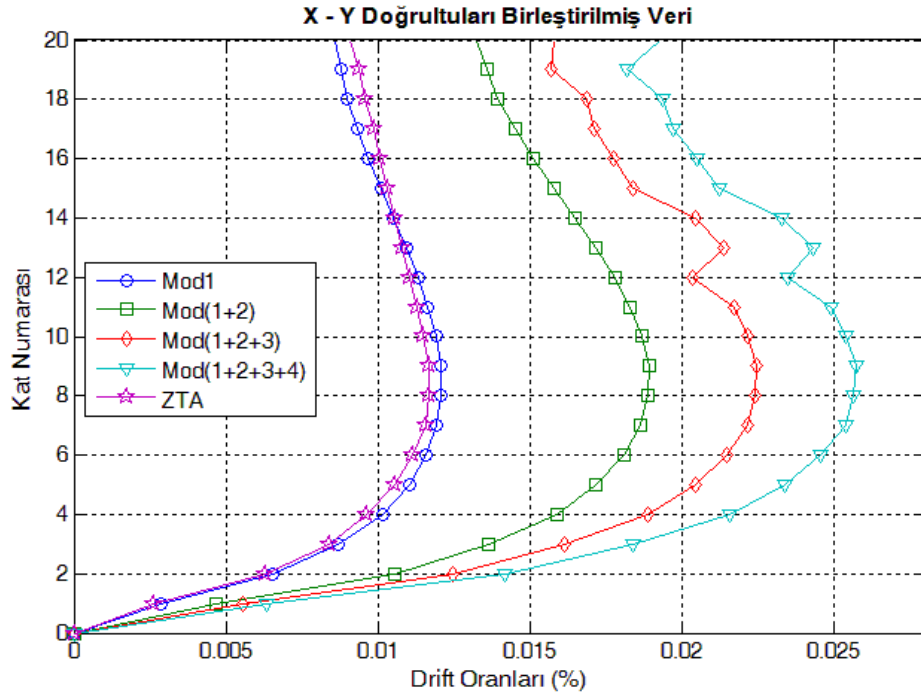
Şekil 3.85: Y Doğrultusunda Doğrusal Olmayan Çok Modlu Statik İtme Analizi Sonucu Elde Edilen Göreli Kat Ötelenmesi (Drift) Oranları



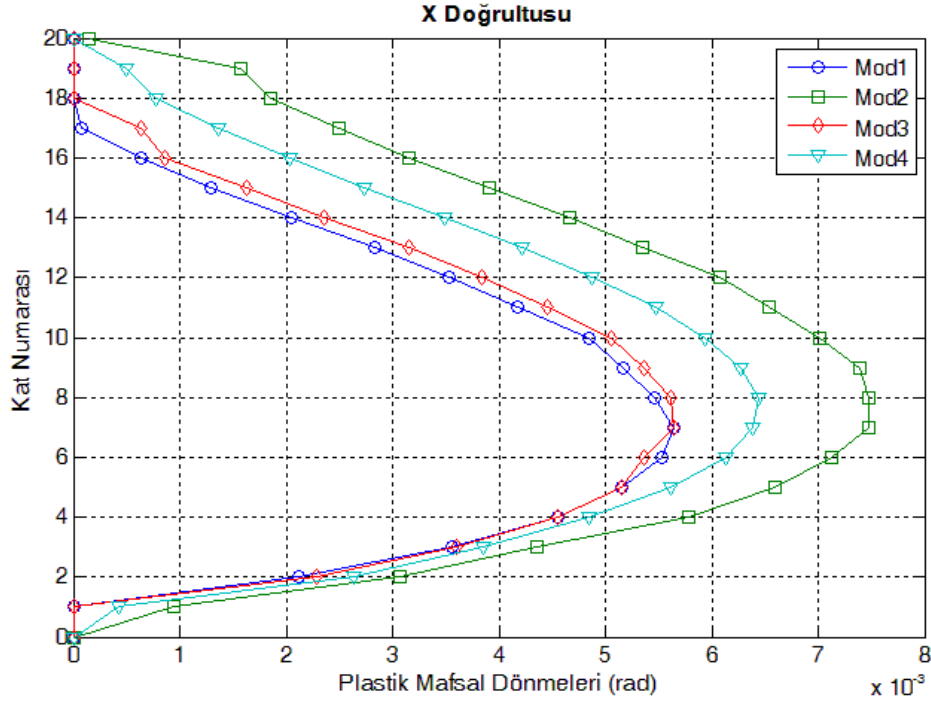
Şekil 3.86: X Doğrultusunda Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi ve Zaman Tanım Alanında Dinamik Analiz Sonucu Elde Edilen Drift Oranları



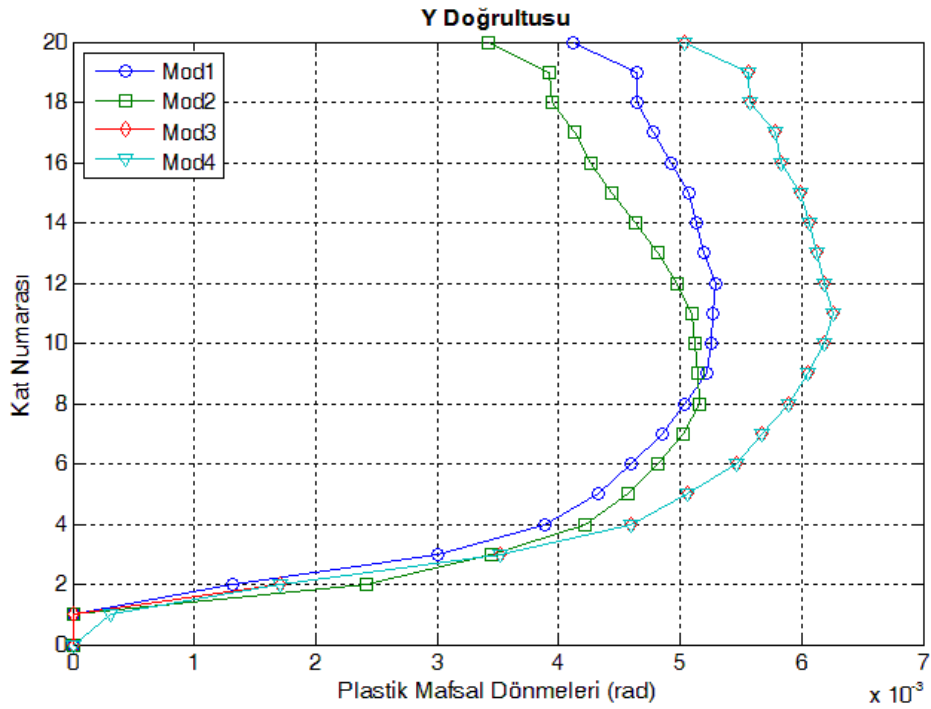
Şekil 3.87: Y Doğrultusunda Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi ve Zaman Tanım Alanında Dinamik Analiz Sonucu Elde Edilen Drift Oranları



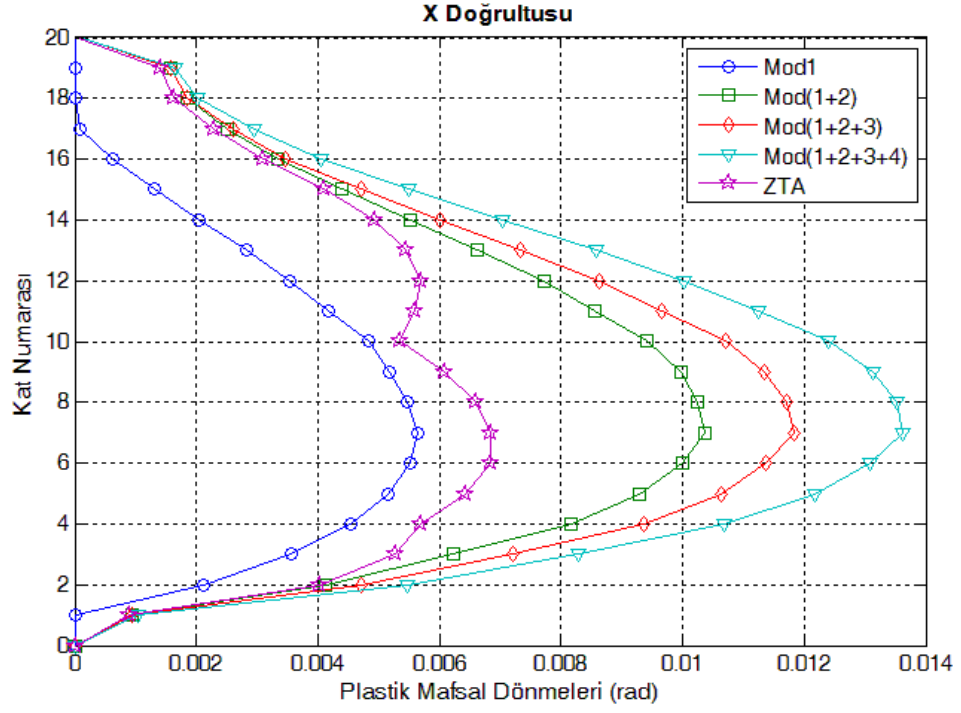
Şekil 3.88: X ve Y Doğrultusunda Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi ve Zaman Tanım Alanında Dinamik Analiz Sonuçlarının Birleştirilmiş Olarak Elde Edilen Görelî Kat Ötelenmesi Oranları



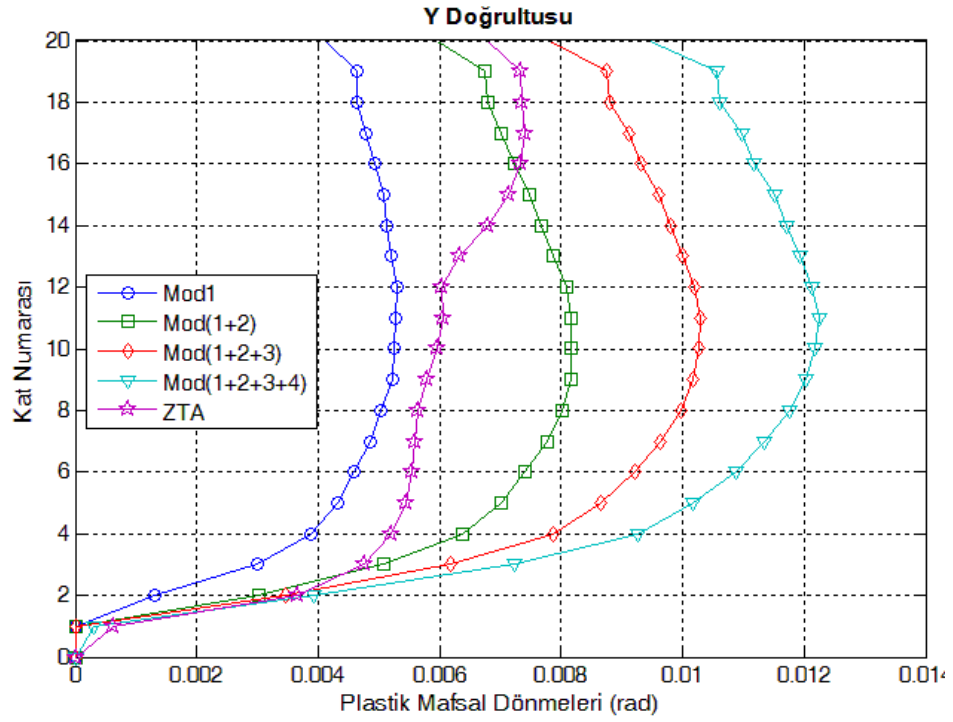
Şekil 3.89: X Doğrultusunda Doğrusal Olmayan Çok Modlu Statik İtme Analizi
Sonucu Elde Edilen Plastik Mafsall Dönme Değerleri



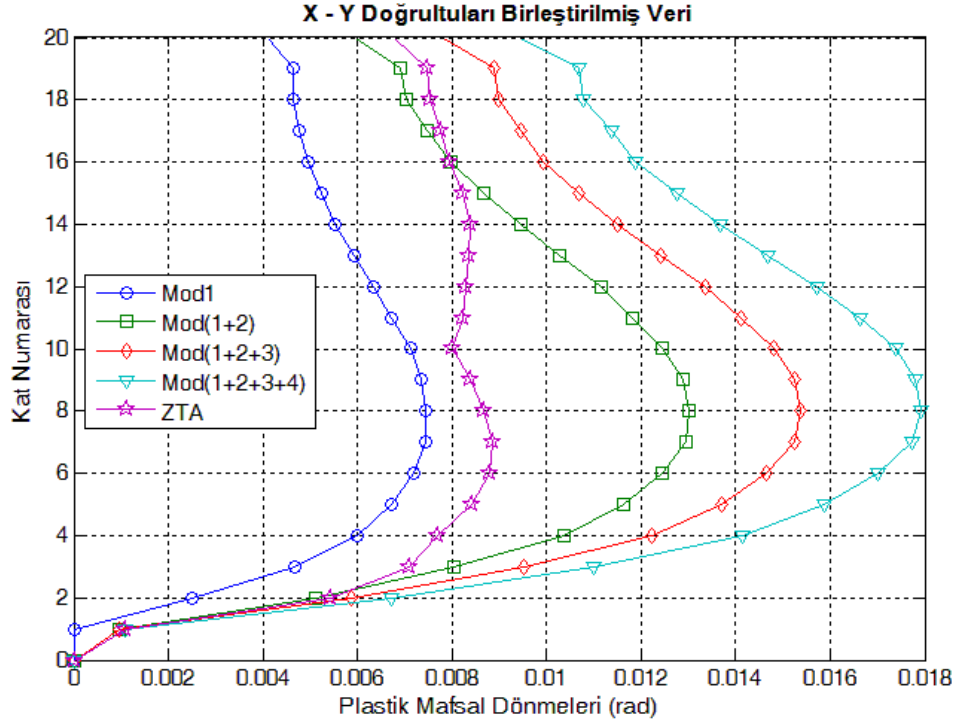
Şekil 3.90: Y Doğrultusunda Doğrusal Olmayan Çok Modlu Statik İtme Analizi
Sonucu Elde Edilen Plastik Mafsall Dönme Değerleri



Şekil 3.91: X Doğrultusunda Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi ve Zaman Tanım Alanında Dinamik Analiz Sonucu Elde Edilen Plastik Mafsal Dönme Değerleri



Şekil 3.92: Y Doğrultusunda Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi ve Zaman Tanım Alanında Dinamik Analiz Sonucu Elde Edilen Kirişlerdeki Maksimum Plastik Mafsal Dönme Değerleri



Şekil 3.93: X ve Y Doğrultusunda Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi ve Zaman Tanım Alanında Dinamik Analiz Sonuçlarının Birleştirilmiş Olarak Elde Edilen Kirişlerdeki Maksimum Plastik Mafsall Dönme Değerleri

4. SONUÇLAR

Çift yönlü, çok modlu, doğrusal olmayan itme analizinin betonarme bir binada karşılaştırmalı incelenmesi başlıklı yüksek lisans tez çalışması dahilinde; ele alınan 2007 Deprem Yönetmeliği'ne uygun olarak tasarlanmış 20 katlı betonarme bir bina üzerinde söz konusu yöntemlerin yapısal davranışı hangi ölçüde temsil ettiği ele alınmıştır. Bu amaçla ele alınan betonarme çok katlı bina ilk aşamada tek yönlü, çok modlu itme analizine tabi tutulmuştur. Binanın simetrik bir plana sahip olmamasından ötürü her iki doğrultuda da bu analizler gerçekleştirilmiştir. Sonraki aşamada yeterli verinin elde edilmesi amacıyla ilk 4 mod bileşenine ait çift yönlü modal itme analizi gerçekleştirilmiştir. Her mod ve doğrultu için elde edilen veriler Reyes ve Chopra (2011)'de belirtildiği üzere tam karesel birleştime yöntemi (CQC) ile birleştirilmiş ve gerçek çözüm olarak kabul edilen zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analiz sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Her iki yöndeki bileşenler karelerinin toplamının karekökü (SRSS) yöntemiyle birleştirilmiş ve ayrı bir karşılaştırmaya tabi tutulmuştur.

Bu çalışmada yapının tasarımı ve analizlerinin tamamı ETABS paket programı vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir. Kesitlerin akma eğrilikleri, karşılıklı etki diyagramları gibi veriler XTRACT programı ile kontrollü bir şekilde ETABS programında oluşturulmuştur. Verilerin grafik haline dönüştürülmesinde Excel ve Matlab programları kullanılmıştır. Vurgulanması gereken önemli bir husus da doğrusal olmayan çözümlemelerin yapıldığı bu bilgisayar programlarının karşılaşılan sayısal stabilite problemleridir. Bu çalışmada yer alan; Şekil 3.26, 3.30'daki statik itme eğrilerindeki veya Şekil 3.85'teki yerdeğiştirme değerlerindeki ani saçılmalar bu problemlere örnek olarak gösterilebilir.

Kullanılan yöntemlerden modal itme analizi statik bir yöntem olmasına rağmen doğrusal olmayan bir yaklaşım olduğu için yapının deprem yükleri altındaki iç kuvvet ve şekildeğiştirme istemi ve dolayısıyla kesit hasarları belirlenebilmektedir. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yönteminde ise birinci derece deprem

bölgesi ve Z2 zemin sınıfı spektrum verileriyle tam ilişkilendirilmiş yapay deprem kaydının yapıya etkitilmesi sonucunda, yapının iç kuvvet ve şekildeğiştirme istemleri dinamik analizle hesaplanmıştır. Bu çalışma sonucunda elde edilen başlıca sonuçlar binanın performans değerlendirmesi ve kullanılan yöntemin irdelenmesi açısından iki başlıkta açıklanmıştır:

Binaya Ait Performans Değerlendirmesi:

- 1- FEMA 356’da tanımlanmış olan maksimum tepe yerdeğiştirmesi miktarı toplam bina yüksekliğinin yüzde 2’sine denk gelebilir ifadesine göre yapılan modal itme analizleri ilk aşamada 160 cm tepe ötelenmesi ile sınırlandırılmıştır. Ötelenmelerin 160 cm değerine ulaştığı noktalarda kirişlerde göçme duruma geçen elemanlar bulunmakla birlikte düşey taşıyıcı olan kolonlarda belirgin hasar durumuna ulaşan bir eleman görülmektedir. 160 cm ötelenme adımında durdurulan artımsal itme analizleri sonucunda oluşturulan statik itme eğrilerinde görülebileceği üzere kesme kuvveti taşıma kapasitesinde bir azalma söz konusu olmamaktadır. Dolayısıyla incelenen yapının yatay yüklere karşı FEMA 356 sınırlarından daha fazla bir kapasiteye sahip olduğu yorumu yapılabilir.
- 2- Zaman tanım alanında yapılan doğrusal olmayan dinamik analiz sonuçlarına göre bina X doğrultusunda maksimum 55.61 cm, Y doğrultusunda 54.18 cm tepe yerdeğiştirmesi yapmaktadır. Söz konusu deprem kaydının tamamlanması durumunda yapıda minimum hasar durumundan can güvenliği seviyesine geçen herhangi bir eleman bulunmamaktadır. Göreli kat ötelemeleri değerleri de DBYBHY kapsamında belirtilen %2 sınırını aşmamaktadır. Dolayısıyla genel olarak yorumlandığında binanın can güvenliği performans düzeyini sağlayacağı söylenebilir.
- 3- Yönetmeliğe uygun olarak tasarlanmış incelemeye konu olan bina çok fazla elastik ötesi davranış göstermemektedir. Özellikle doğrusal olmayan dinamik analiz sonucu elde edilen yerdeğiştirmeler bakımından, FEMA’nın %2’lik sınırının altında maksimum yerdeğiştirme değerlerine ulaşılan itme analizi

bulguları çoğunlukla kuvvete dayalı tasarım kuralları nedeniyle girişlerdeki plastikleşme ile sınırlı kalmıştır.

- 4- Yeni tasarlanan bina üzerinde yapılan incelemelerin ve elde edilen bulguların, ülkemizdeki mevcut yapı stoğunu temsil etmeyeceği açıktır. Bu nedenle ileriki çalışmalarda, mevcut binalar üzerinde aynı yöntemler kullanılarak elastik ötesi davranışların daha net bir şekilde ortaya konulduğu örnekler elde edilebilir.

Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçlarının Değerlendirmesi:

- 1- Zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilen verilerin karşılaştırmada gerçek değerler olarak kabul edileceğinden ötürü modal itme analizleri zaman tanım alanında hesap ile elde edilen maksimum tepe yerdeğiştirmeleriyle sınırlandırılarak tekrarlanmıştır. Modal itme analizi yöntemi farklı modlar için ayrı ayrı yüklemelerin birbirinden bağımsız olarak yapılıyor olması dolayısıyla bütün mod şekillerine göre yapısal modelde hazırlanan yükleme biçimleri üzerinde X doğrultusunda 55, Y doğrultusunda 54 cm tepe yerdeğiştirmesine ulaşacak şekilde itme analizi uygulanmıştır. Yöntemin prensipleri ve eşit yerdeğiştirme kuralı doğrultusunda iç kuvvetler ve performans seviyeleri birleştirilmiş verilerden elde edilir. Tüm modların itme analizi uygulaması aynı yerdeğiştirme değerine ulaşınca sınırlanmaktadır. Ancak dikkat edilmesi gereken önemli bir husus bu durumun gerçek yapısal davranış ile tam olarak örtüşmeyeceğidir. Normal koşullarda beklenen durum ilk moddan sonraki mod şekillerinde ulaşılacak yerdeğiştirme ve taban kesme kuvveti değerlerinin daha az olmasıdır. Dolayısıyla birleştirilmiş değerlerden elde edilen sonuçların yöntemde uygulanan birleştirme tekniğinden daha düşük sonuçlar vermesi gerekmektedir.
- 2- Analizler sonucu elde edilen veriler çizelgelerde karşılaştırılmıştır. Modlara göre elde edilen yapısal karşılık (tepe yerdeğiştirmeleri, görelî kat ötelenme değerleri, taban kesme kuvvetleri, plastik mafsâl hasar durumları) değerleriyle zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilen tepkiler benzerlik taşımaktadır. Hasar durumları da göz önüne alındığında binanın

itme analizi sonuçlarına göre de can güvenliği performans düzeyini sağlayacağı söylenebilir. Modal itme analizleri ve zaman tanım alanında dinamik analiz sonuçlarına göre yerdeğiştirme ve görelı kat ötelenme değęrleri için özellikle 1. Mod şekline göre günümüz yönetmeliklerine uygun olarak tasarlanmış söz konusu yapıyı itmenin genel olarak iyi bir yaklaşım olduğu anlaşılmıştır. Ancak plastik mafsall dönmleri karşılaştırıldığında geręek değęrlerin 1-3. Modlar arasında karşılık bulunduğu görölmüştür.

- 3- Karşılaştırmalarda temel alınan Reyes ve Chopra (2011) ęalıřmasında da belirtildiği üzere modların birleşimi CQC metoduyla yapılmıştır. Karşılaştırma grafiklerinde de görölebileceği gibi birleştirmeler yapıldıkça modal tepki değęrleri artmakta, dolayısıyla geręek değęerden yöntemin yaklaşık olmasından kaynaklanan ve 1. Maddede açıklanan nedenlerden ötürü uzaklaşılmaktadır. Modlara ilişkin yapısal karşılıklar birleştirilmeden karşılaştırıldığında ise değęrlerin genel olarak uyumlu olduğu yorumu yapılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Eyidoğan, H.** (2003). Tektonik ve Deprem Tehlikesi, *Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İTÜ, İstanbul, 26-30 Mayıs.
- [2] **VISION 2000.** (1995). *Performance Based Seismic Engineering of Buildings*, Structural Engineers Association of California, California.
- [3] **ATC-40.** (1996). *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*, Applied Technology Council, California.
- [4] **FEMA 273/274.** (2000). *Guidelines and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings*, Federal Emergency Management Agency, Washington.
- [5] **Yılmaz, M. B.** (2008), *Betonarme Bir Taşıyıcı Sistemin Deprem Performansının Değişik Yöntemlerle Karşılaştırılmalı Değerlendirilmesi Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ, İstanbul.
- [6] **DBYBHY.** (2007). *Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı*, Ankara.
- [7] **Sezer, F.** (2007). *Betonarme Bir Yapının Doğrusal Olmayan Yöntemle Deprem Güvenliğinin İncelenmesi Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ, İstanbul.
- [8] **İlki, A.** (1999). *Sargılı Beton Gerilme-Şekil Değiştirme Modelleri Üzerine Bir Derleme*, Türkiye Deprem Vakfı, İstanbul.
- [9] **Bruneau, M., Uang, C. ve Whittaker, A.** (1998). *Ductile Design of Steel Structures*, McGraw-Hill, New York.
- [10] **Celep, Z.** (2007). *Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış ve Çözümleme*, Beta Dağıtım, İstanbul.
- [11] **Celep, Z.** (2009). *Betonarme Yapılar*, Beta Dağıtım, İstanbul.
- [12] **Aydinoğlu, M.N.** (2004), *An Improved Pushover Procedure For Engineering Practice: Incremental Response Spectrum Analysis (IRSA)*, *International Workshop on "Performance-based Seismic Design: Concepts and Implementation"*, Bled, Slovenya, PEER 2004/05.
- [13] **Chopra, A.K., Goel R.K.** (2001), *A Modal Pushover Analysis Procedure to Estimate Seismic Demands for Buildings*, University of California Berkeley, California, PEER 2001/03.
- [14] **Reyes, J.C., Chopra, A.K.** (2011), *Three-Dimensional Modal Pushover Analysis of Buildings Subjected to Two Components of Ground Motion, Including its Evaluation for Tall Buildings*, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*; 40:789-806
- [15] **FEMA 440.** (2005), *Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures*, Applied Technology Council, California.

- [16] **Arıcı, Y.** (2010), *Betonarme Çerçeveseli Bir Yapının Deprem Performansının Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Analiz Metodları ile Belirlenmesi Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ, İstanbul.
- [17] **Tuğsal, U.M., Taşkın, B.** (2012), Proposed Vulnerability Functions to Estimate The Real Damage State of RC Buildings After Major Turkish Earthquakes, 15th WCEE, Lizbon.
- [18] **FEMA 356.** (2000), Prestandard and Commentary for The Seismic Rehabilitation of Buildings, ASCE, Washington.
- [19] **Celep, Z., Kumbasar, N.** (2004), Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta Dağıtım, İstanbul.
- [20] **Başot, T.** (2010), *Betonarme Yüksek Bir Binada DBYBHY ile İYBDY İlkelerinin Doğrusal Olmayan Dinamik Çözümleme ile Karşılaştırılması Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ, İstanbul.
- [21] **Saiidi, M.** (1982), Hysteresis Models for Reinforced Concrete, *Journal of the Structural Division*, 108, pp. 1077-1087.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad : Hakan MACUN

Doğum Yeri ve Tarihi : İstanbul / 29.10.1989

Öğrenim Durumu :

- **Lisans** : 2012, İTÜ, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği