

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KAT ADETLERİ FARKLI BİNALARIN DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZ
YÖNTEMLERİ İLE İRDELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Abdurrahman MORAL

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

MAYIS 2014

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KAT ADETLERİ FARKLI BİNALARIN DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZ
YÖNTEMLERİ İLE İRDELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Abdurrahman MORAL
(501111002)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Kadir GÜLER

MAYIS 2014

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501111002 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Abdurrahman MORAL**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**KAT ADETLERİ FARKLI BİNALARIN DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZ YÖNTEMLERİ İLE İRDELENMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Kadir GÜLER**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Yrd. Doç. Dr. Burcu GÜNEŞ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Kemal BEYEN
Kocaeli Üniversitesi

Teslim Tarihi : **5 Mayıs 2014**
Savunma Tarihi : **28 Mayıs 2014**

ÖNSÖZ

Yüksek lisans öğrenimim sırasında kendisinden almış olduğum dersler sayesinde bana bir mühendislik bakış açısı kazandıran danışman hocam Sayın Prof. Dr. Kadir Güler'e ve tez çalışmam süresince bana değerli vaktini ayıran ve her konuda yardımını esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Zekai Celep'e teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca hep yanımda olan ve her konuda yardımcı olup beni bugünlere getiren anneme, babama ve kardeşlerime,

Tez çalışmam esnasında, bana zamanını ayırıp yardımcı olan ve manevi desteklerini eksik etmeyen arkadaşlarım İnş. Müh. Şeyhmus Altundağ'a, İnş. Müh. Abdullah Çiftçi'ye, İnş. Müh. Rıdvan Dağ'a ve İnş. Müh. Ahmet Karaca'ya teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Mayıs 2014

Abdurrahman MORAL
(İnşaat Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
SEMBOL LİSTESİ	xix
ÖZET.....	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Çalışmasının Amacı	2
1.2 Konu İle İlgili Çalışmalar.....	2
2. BETONARME BİNALARIN PERFORMANSA DAYALI DEĞERLENDİRMESİ.....	5
2.1 Betonarme Malzeme Modelleri.....	5
2.1.1 Beton malzeme modeli.....	5
2.1.2 Çelik malzeme modeli	7
2.2 Süneklik.....	8
2.2.1 Kesit sünekliği.....	8
2.2.2 Taşıyıcı sistem sünekliği	12
2.3 Plastik Mafsal Hipotezi	13
3. DEPREM PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİNDE DBYBHY 2007 YAKLAŞIMI	15
3.1 Giriş	15
3.2 Binalardan Bilgi Toplanması	15
3.3 Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları ve Hasar bölgeleri	16
3.3.1 Kesit hasar sınırları	16
3.3.2 Kesit hasar bölgeleri.....	16
3.3.3 Kesit ve eleman hasarlarının tanımlanması	16
3.4 Deprem Hesabına İlişkin Genel İlke Ve Kurallar	17
3.5 Depremde Bina Performansının Doğrusal Elastik Hesap Yöntemleri İle Belirlenmesi	19
3.6 Depremde Bina Performansının Doğrusal Elastik Olmayan Hesap Yöntemleri İle Belirlenmesi	22
3.6.1 Tanım	22
3.6.2 Kapsam.....	22
3.6.3 Artımsal itme analizi ile performans değerlendirmesinde izlenecek yol..	22
3.6.4 Doğrusal elastik olmayan davranışın idealleştirilmesi.....	23
3.6.5 Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile itme analizi.....	25
3.6.6 Artımsal mod birleştirme yöntemi ile itme analizi	32
3.6.7 Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi	32
3.6.8 Birim şekildeğiştirme istemlerinin belirlenmesi	32

3.6.9 Betonarme elemanların kesit birim şekildeğiştirme kapasiteleri	33
3.6.10 Güçlendirilen dolgu duvarlarının şekildeğiştirme kapasiteleri	34
3.6.11 Betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının kesme kuvveti kapasiteleri	34
3.7 Bina Deprem Performansının Belirlenmesi.....	34
3.7.1 Betonarme binaların deprem performansı.....	34
3.7.2 Hemen kullanım performans düzeyi	35
3.7.3 Can güvenliği performans düzeyi	35
3.7.4 Göçme öncesi performans düzeyi	35
3.7.5 Göçme durumu.....	36
3.8 Binalar İçin Hedeflenen Performans Düzeyleri	36
4. KAT ADETİ FARKLI ÜÇ BİNANIN DBYBHY 2007 YÖNETMELİĞİNE GÖRE DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞLARININ İRDELENMESİ VE DEPREM PERFORMANSLARININ BELİRLENMESİ	39
4.1 Tasarımı Yapılacak Binaların Geometrilere	39
4.2 Malzeme Özellikleri	40
4.3 Deprem Karakteristikleri	41
4.4 Boyutlandırmada Esas Alınan Yükler	41
4.5 Taşıyıcı Sistemlerin Boyutlandırılması	41
4.6 Binaların Modal Analiz Sonuçları.....	44
4.7 Doğrusal Olmayan Yöntemler Kullanılarak Performans Analizi Yapılacak Olan Üç Boyutlu Modellerinin Oluşturulması	45
4.7.1 Çatlamış kesite ait eğilme rijitliklerinin tanımlanması	46
4.7.2 Kiriş ve kolonlarda yığılı plastik davranışın tanımlanması.....	48
4.7.2.1 Plastik mafsal momenti hesabında kullanılacak mevcut malzeme dayanımları ve birim şekildeğiştirme değerleri.....	48
4.7.2.2 Kirişler için plastik kesit tanımlanması	48
4.7.2.3 Kolonlar için plastik kesit tanımlanması	49
4.8 Üç Tip Bina İçin Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemine Göre Performanslarının Değerlendirilmesi	51
4.8.1 Artımsal itme analizlerinin sonucunda tepe yerdeğiştirmesi-taban kesme kuvveti eğrilerinin elde edilmesi	53
4.8.2 Bina performans noktalarının belirlenmesi	60
4.8.3 Eleman kesitlerinde oluşan toplam eğrilik istemlerinin ve oluşan hasar seviyesinin belirlenmesi	67
4.8.3.1 Kirişler için birim şekil değiştirme istemleri ve oluşan hasarlar.....	67
4.8.3.2 Kolonlar için birim şekildeğiştirme istemlerinin hesabı ve oluşan hasarlar	70
4.9 DBYBHY 2007 Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi İle Deprem Performansının Belirlenmesi	74
4.9.1 Analizde kullanılacak deprem kayıtlarının seçilmesi.....	75
4.9.2 Analizde elde edilen taban kesme kuvveti ve tepe yer değiştirmeleri	79
4.9.3 Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi sonucu 7 katlı binada oluşan hasarın belirlenmesi	80
4.9.3.1 Kirişlerde oluşan hasarın belirlenmesi	82
4.9.3.2 Kolonlarda oluşan hasarın belirlenmesi	86
4.10 Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi Ve Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi İle Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması.....	89
4.10.1 Üç tip bina için taban kesme kuvveti ve tepe yerdeğiştirme istemi karşılaştırılması	89

4.10.2 Üç tip bina için ZTADOA ve AEDYY sonucu elde edilen taban kesme kuvveti – tepe yer değıştirmesi eğrilerinin karşılaştırılması	90
4.10.3 Yedi katlı bina için ZTADOA ve AEDYY sonucu elde edilen bina performanslarının karşılaştırılması	92
5. SONUÇLAR	95
KAYNAKLAR	97
EKLER.....	99
ÖZGEÇMİŞ.....	119

KISALTMALAR

DBYBHY	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
TS-500	: Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları
SAP 2000	: Structural Analysis Program 2000
XTRACT	: Cross-sectional X Structural Analysis of Components
AEDYY	: Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi
ZTADOA	: Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Binalar için bilgi düzeyi katsayıları	15
Çizelge 3.2 : Betonarme kirişler için hasar sınırları (r)	20
Çizelge 3.3 : Betonarme kolonlar için hasar sınırları (r)	21
Çizelge 3.4 : Betonarme perdeler için hasar sınırları (r)	21
Çizelge 3.5 : Göreli Kat Ötelemesi Kontrolü	21
Çizelge 3.6 : Performans değerlendirmesinde kullanılan depremlem	36
Çizelge 3.7 : Binalar için öngörülen minimum performans hedefleri	37
Çizelge 4.1 : Kolon kesit tipleri	42
Çizelge 4.2 : 3 Katlı binada kullanılan kiriş tipleri	43
Çizelge 4.3 : 5 Katlı binada kullanılan kiriş tipleri	43
Çizelge 4.4 : 7 Katlı binada kullanılan kiriş tipleri	44
Çizelge 4.5 : Modal analiz sonuçları	45
Çizelge 4.6 : Binaların birinci titreşim modalına ait etkin kütle oranları	51
Çizelge 4.7 : 3 Katlı bina için artımsal itme analizinde kullanılacak eşdeğer deprem yükü dağılımı	52
Çizelge 4.8 : 5 Katlı bina için artımsal itme analizinde kullanılacak eşdeğer deprem yükü dağılımı	52
Çizelge 4.9 : 7 Katlı bina için artımsal itme analizinde kullanılacak eşdeğer deprem yükü dağılımı	53
Çizelge 4.10 : 7 Katlı bina için birinci kat kolonların kesme kuvveti kapasiteleri....	58
Çizelge 4.11 : 5 Katlı bina için birinci kat kolonların kesme kuvveti kapasiteleri....	58
Çizelge 4.12 : 3 Katlı bina için birinci kat kolonların kesme kuvveti kapasiteleri....	58
Çizelge 4.13 : Üç bina için M_{x1} , M_{y1} ve Γ_{x1} , Γ_{y1} değerleri	61
Çizelge 4.14 : 3 Katlı bina X, Y doğrultusu modal kapasite eğrisi verilerinin hesaplanması	62
Çizelge 4.15 : 5 Katlı bina X,Y doğrultusu modal kapasite eğrisi verilerinin hesaplanması	62
Çizelge 4.16: 7 Katlı bina X,Y doğrultusu modal kapasite eğrisi verilerinin hesaplanması	62
Çizelge 4.17 : Üç bina için x ve y doğrultularındaki tepe yerdeğiştirmesi istemi....	65
Çizelge 4.18 : Beton ve çelik için birim şekil değiştirme sınır değerleri	67
Çizelge 4.19 : K101 (25/50) Kirişi pozitif ve negatif eğilme altında dönme hasar sınır değerleri	69
Çizelge 4.20 : 3 Katlı bina tasarım depremi için eleman hasar durumları	73
Çizelge 4.21 : 5 Katlı bina tasarım depremi için eleman hasar durumları	73
Çizelge 4.22 : 7 Katlı bina tasarım depremi için eleman hasar durumları	75
Çizelge 4.23 : Ham ve benzeştirilmiş deprem ivme kayıtları	76
Çizelge 4.24 : Birinci şartın kontrol edilmesi.....	77
Çizelge 4.25 : İkinci şartın kontrol edilmesi	77

Çizelge 4.26 : Üç bina için ZTADOA sonucu x doğrultusunda oluşan taban kesme kuvveti ve tepe yer değiştirmesi istemleri	80
Çizelge 4.27 : 7 katlı binada yer alan K101 kirişi sol mesnet kesiti plastik dönme değerleri (ZTADOA).....	82
Çizelge 4.28 : Beton ve çelik için birim şekil değiştirme sınır değerleri	83
Çizelge 4.29 : K101 (25/50) Kirişi pozitif ve negatif eğilme altında dönme hasar sınır değerleri	84
Çizelge 4.30 : 7 Katlı bina ZTADOA sonucu kiriş hasar dağılımları	86
Çizelge 4.31 : 7 Katlı binada yer alan S102 kolonu plastik dönme değerleri.....	86
Çizelge 4.32 : 7 Katlı bina ZTADOA sonucu kolon hasar dağılımları	89
Çizelge 4.33 : ZTADOA ve AEDYY sonucu elde edilen taban kesme kuvveti değerlerinin karşılaştırılması	89
Çizelge 4.34 : ZTADOA ve AEDYY sonucu elde edilen tepe yer değiştirme istemlerinin karşılaştırılması.....	90
Çizelge B.1 : AEDYY Sonucu 7 katlı binada X doğrultusundaki kirişlerde oluşan hasar durumları	101
Çizelge B.2 : AEDYY Sonucu 7 katlı binada Y doğrultusundaki kirişlerde oluşan hasar durumları	104
Çizelge B.3 : AEDYY Sonucu 5 katlı binada X doğrultusundaki kirişlerde oluşan hasar durumları	108
Çizelge B.4 : AEDYY Sonucu 5 katlı binada Y doğrultusundaki kirişlerde oluşan hasar durumları	109
Çizelge B.5 : AEDYY Sonucu 3 katlı binada X doğrultusundaki kirişlerde oluşan hasar durumları	111
Çizelge B.6 : AEDYY Sonucu 3 katlı binada Y doğrultusundaki kirişlerde oluşan hasar durumları	113

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Betonun gerilme-şekil değiştirme ilişkisi.....	5
Şekil 2.2 : (a) Enine etriye arlığının betonun sarılmasına etkisi ve (b) dikdörtgen ve dairesel.....	6
Şekil 2.3 : Betonun gerilme-şekil değiştirme ilişkisi.....	7
Şekil 2.4 : İdealize elastik ötesi davranış – kesit	8
Şekil 2.5 : Sargı donatısının moment eğrilik ilişkisine etkisi	9
Şekil 2.6 : Sargı donatılı kolon	9
Şekil 2.7 : Kolonda eksenel yük değişiminin dayanım ve sünekliğe etkisi.....	10
Şekil 2.8 : Çekme donatısının oranının moment eğrilik ilişkisine etkisi.....	11
Şekil 2.9 : Basınç donatısının oranının moment eğrilik ilişkisine etkisi	11
Şekil 2.10 : Moment eğrilik ilişkisi (ρ/ρ' sabit, ρ değişken).....	12
Şekil 2.11 : Eşdeğer deprem yükleri altında oluşan plastic mafsallar ve kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi	12
Şekil 2.12 : Eğilme moment – eğrilik diyagramı.....	14
Şekil 2.13 : Konsol elemanda plastik şekil değiştirmelerin mesnet bölgesinde bir L_p bölgesinde yoğunlaşması	14
Şekil 3.1 : Kesit hasar bölgeleri.....	18
Şekil 3.2 : Moment-eğrilik diyagramının idealleştirilmesi (DBYBHY, 2007)	25
Şekil 3.3 : Doğrusal olamayan statik itme analizi.	27
Şekil 3.4 : Statik itme eğrisi ve modal kapasite eğrisi.	27
Şekil 3.5 : İskelet eğrisi.	28
Şekil 3.6 : $T_1^{(1)}$ Başlangıç periyodunun T_B ’ den uzun olması durumu.....	30
Şekil 3.7 : $T_1^{(1)}$ Başlangıç periyodunun T_B ’ den kısa olması durumu	31
Şekil 4.1 : Betonarme binaların düşey kesitteki düzenleri	39
Şekil 4.2 : Tipik normal kat kalıp planı ve 3D analiz modelleri.....	40
Şekil 4.3 : Örnek giriş donatı düzeni	42
Şekil 4.4 : Plastik moment – plastik dönme ilişkisi.....	48
Şekil 4.5 : 7 Katlı binaya ait K101 (25/50) girişi kesiti.....	49
Şekil 4.6 : 7 Katlı binaya ait S102 (40/40) kolon kesiti	60
Şekil 4.7 : S102 (7 Katlı) kolonu için düşey (90°) eksen etrafında eğilme için doğrusallaştırılmış etkileşim diyagramları	60
Şekil 4.8 : 3 Katlı bina için +X doğrultusu itme eğrisi.....	54
Şekil 4.9 : 3 Katlı bina için +Y doğrultusu itme eğrisi.....	54
Şekil 4.10 : 5 Katlı bina için +X doğrultusu itme eğrisi.....	55
Şekil 4.11 : 5 Katlı bina için +Y doğrultusu itme eğrisi.....	55
Şekil 4.12 : 7 Katlı bina için +X doğrultusu itme eğrisi.....	56
Şekil 4.13 : 7 Katlı bina için +Y doğrultusu itme eğrisi.....	56
Şekil 4.14 : Üç binanın +X doğrultusu için itme eğrileri	57

Şekil 4.15 : 7 Katlı bina X doğrultusu birinci kat kolonların toplam kesme kuvveti kapasitesi ve itme eğrisi	59
Şekil 4.16 : 5 Katlı bina X doğrultusu birinci kat kolonların toplam kesme kuvveti kapasitesi ve itme eğrisi	60
Şekil 4.17 : 3 Katlı bina X doğrultusu birinci kat kolonların toplam kesme kuvveti kapasitesi ve itme eğrisi	60
Şekil 4.18 : 3 Katlı bina +X doğrultusu için kapasite ve talep eğrilerinin kesiştirilmesi.....	63
Şekil 4.19 : 3 Katlı bina +Y doğrultusu için kapasite ve talep eğrilerinin kesiştirilmesi.....	63
Şekil 4.20 : 5 Katlı bina +X doğrultusu için kapasite ve talep eğrilerinin kesiştirilmesi.....	64
Şekil 4.21 : 5 Katlı bina +Y doğrultusu için kapasite ve talep eğrilerinin kesiştirilmesi.....	64
Şekil 4.22 : 7 Katlı bina +X doğrultusu için kapasite ve talep eğrilerinin kesiştirilmesi.....	64
Şekil 4.23 : 7 Katlı bina +Y doğrultusu için kapasite ve talep eğrilerinin kesiştirilmesi.....	65
Şekil 4.24 : 3 Katlı binada performans noktasında oluşan plastik mafsallar	66
Şekil 4.25 : 5 Katlı binada performans noktasında oluşan plastik mafsallar	66
Şekil 4.26 : 7 Katlı binada performans noktasında oluşan plastik mafsallar	66
Şekil 4.27 : K101 (25/50) kirişi SAP2000 <i>Section Designer</i> modeli. (şekil değiştirme güvenlik sınırına (GV) karşılık gelen eğrilik değeri)	68
Şekil 4.28 : S102 (40/40) kolonu (Tip-2) XTRACT modeli	71
Şekil 4.29 : S102 kolonu normal kuvvet – toplam eğrilik grafiği	72
Şekil 4.30 : Elastik spektral ivme spektrumu $S_{ae}(T)$	75
Şekil 4.31 : 3 adet depremin spektrumları ve Z3 elastik spektral ivme spektrumu ..	76
Şekil 4.32 : 3 Katlı bina için üçüncü şartın kontrol edilmesi.....	78
Şekil 4.33 : 5 Katlı bina için üçüncü şartın kontrol edilmesi.....	78
Şekil 4.34 : 7 Katlı bina için üçüncü şartın kontrol edilmesi.....	79
Şekil 4.35 : 7 Katlı bina x doğrultusu zamana bağlı taban kesme kuvveti değişimi .	79
Şekil 4.36 : 7 Katlı bina x doğrultusu zamana bağlı tepe yerdeğiştirmesi.....	80
Şekil 4.37 : Northridge kaydı'nın etkitilmesi sonucu 7 katlı binada X yönünde oluşan plastik mafsallar	81
Şekil 4.38 : Northridge kaydı'nın etkitilmesi sonucu 7 katlı binada Y yönünde oluşan plastik mafsallar	81
Şekil 4.39 : 7 katlı binada yer alan K101 kirişi sol menset kesiti plastik dönme – moment ilişkisi	82
Şekil 4.40 : K101 (25/50) kirişi SAP2000 <i>Section Designer</i> modeli. (şekil değiştirme güvenlik sınırına (GV) karşılık gelen eğrilik değeri)	84
Şekil 4.41 : 7 katlı binada yer alan S102 kolonunda oluşan plastik dönme – moment ilişkisi	87
Şekil 4.42 : S102 (40/40) kolonu (Tip-2) XTRACT modeli	87
Şekil 4.43 : S102 kolonu normal kuvvet – toplam eğrilik grafiği	88
Şekil 4.44 : 3 Katlı bina için ZTADOA ve AEDYY sonucu elde edilen taban kesme kuvveti – tepe yer değiştirmesi eğrilerinin karşılaştırılması	90
Şekil 4.45 : 5 Katlı bina için ZTADOA ve AEDYY sonucu elde edilen taban kesme kuvveti – tepe yer değiştirmesi eğrilerinin karşılaştırılması	91

Şekil 4.46 : 7 Katlı bina için ZTADOA ve AEDYY sonucu elde edilen taban kesme kuvveti – tepe yer değiştirmesi eğrilerinin karşılaştırılması	91
Şekil 4.47 : 7 Katlı bina için ZTADOA ve AEDYY sonucu X doğrultusu kiriş hasar dağılımları	92
Şekil 4.48 : 7 Katlı bina için ZTADOA ve AEDYY sonucu Y doğrultusu kiriş hasar dağılımları	93
Şekil 4.49 : 7 Katlı bina için ZTADOA ve AEDYY sonucu X doğrultusu kolon hasar dağılımları	93
Şekil 4.50 : 7 Katlı bina için ZTADOA ve AEDYY sonucu y doğrultusu kolon hasar dağılımları	94
Şekil A.1 : Kocaeli, Kobe, Northridge depremleri ivme – zaman grafikleri.....	100
Şekil B.1 : AEDYY sonucu oluşan 7 katlı bina 1. kat kolonları normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile hasar bölgesi belirleme.....	115
Şekil B.2 : AEDYY sonucu oluşan 5 katlı bina 1. kat kolonları normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile hasar bölgesi belirleme.....	116
Şekil B.3 : AEDYY sonucu oluşan 3 katlı bina 1. kat kolonları normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile hasar bölgesi belirleme.....	117

SEMBOL LİSTESİ

a_1	: Modal ivme
b_w	: Kesit genişliği
d_1	: Modal yer değiştirme
$(EI)_0$	: Brüt kesit atalet momenti
$(EI)_e$	: Çatlamış kesit atalet momenti
f_{cm}	: Mevcut beton dayanımı
h	: Kesit yüksekliği
L_p	: Plastik mafsallık boyu
M_1	: Modal kütle
M_y	: Kesit akma momenti
N_D	: Deprem hesabında esas alınan toplam kütlelerle uyumlu düşey yükler altında kolon ve perdelerde oluşan normal kuvvet
Γ_1	: Modal kütle faktörü
ϵ_c	: Beton birim kısalma değeri
ϵ_s	: Donatı birim uzama değeri
η_{bi}	: Burulma düzensizliği katsayısı
η_{ci}	: Komşu katlar arası dayanım düzensizliği katsayısı
η_{ki}	: Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği katsayısı
Θ_p	: Plastik dönme
ϕ_p	: Plastik eğrilik
ϕ_t	: Toplam eğrilik
ϕ_y	: Kesit akma eğriliği

KAT ADETLERİ FARKLI BETONARME BİNALARIN DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZ YÖNTEMLERİYLE İRDELENMESİ

ÖZET

Son yirmi yıl içinde dünyada meydana gelen büyük depremlerden alınan dersler sonucunda, yeni inşa edilecek binaların depreme dayanıklı tasarımı, mevcut binalarda deprem etkisinde oluşması beklenen hasar mertebesinin belirlenmesi ve deprem güvenliği yetersiz binalarda uygulanacak güçlendirme tekniklerinin neler olması gerektiği ile ilgili konular yeniden gözden geçirilmiştir. Bu çalışmaların sonucu olarak performans dayalı tasarım ve değerlendirmeyi esas alan bir çalışma alanı doğmuş ve hızla gelişmeye başlamıştır.

DBYBHY 2007 de yeni yapılacak binalar için bir hesap esasları ve mevcut binaların deprem davranışlarının değerlendirilmesi için ise, doğrusal olan ve doğrusal olmayan değerlendirme yöntemleri bulunmaktadır. Mevcut binaların değerlendirilmesinde kullanılan yöntemlerin birbiri ile uyumu ve bunların her ikisinin yeni bina tasarımında kullanılan yöntemle uyumu, DBYBHY 2007'nin uygulanmasında önemli bir hususu oluşturmaktadır. Bu çalışmada DBYBHY 2007 Bölüm 2 ve 3'e göre yeni olarak tasarlanan binaların, mevcut bina kabul ederek DBYBHY 2007 de mevcut binalar için tanımlanan performans hedefleri, kat parametresinin etkisi ve sonuçlar arasındaki uyum üzerinde durulmuştur.

Bu çalışmada DBYBHY 2007'e göre tasarımı yeni ofis binası olarak tasarlanmış 3 katlı, 5 katlı ve 7 katlı olmak üzere seçilen üç bina esas alınarak, yeni tasarımın beklenen performans hedefini sağlama durumu ve bina kat adedinin bina performans hedefi üzerine olan etkisi ve Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemlerinin birbirleri ile uyumu söz konusu edilmiştir. Bu binaların deprem yükleri altındaki taşıyıcı sistem performanslarını belirleyebilmek için yönetmelikte bulunan doğrusal olmayan çözüm yöntemleri kullanılmıştır. Doğrusal olmayan çözümde Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi seçilmiştir. DBYBHY 2007'e göre tasarımı yapılan bu binaların sağladıkları performans hedefleri aralarında ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Ayrıca, bu karşılaştırmada binaların sağladıkları performans hedefleri kat adedinin farklı olması açısından da değerlendirilmiştir.

AN INVESTIGATION OF RC BUILDINGS HAVING VARIOUS STORIES BY USING NONLINEAR ANALYSIS

SUMMARY

During the past two decades, many large-scale earthquakes have occurred consecutively around the world. These earthquakes resulted in hundreds of thousands of casualties and in significant economic damage. Based on the lessons learned from the earthquakes, seismic codes need to be upgraded. In the upgrading of the seismic codes, there are some topics as follows:

- i) earthquake-resistant design of new reinforced concrete (RC) structures
- ii) evaluation of existing RC structures
- iii) developing new strengthening techniques for existing RC structures with insufficient earthquake resistance.

For this purpose, performance based design and seismic evaluation techniques of existing RC structures become urgent thus they have been developed rapidly.

In the present days, many linear or nonlinear analysis methods are available for the performance based design and seismic evaluation of the existing structures. Since material and geometric nonlinearity are not considered in the linear analysis methods, these methods are easy to employ in the seismic evaluation of the structures but their results are not so reliable. There are two types of nonlinear analysis methods which are known as nonlinear static and dynamic analysis. The more realistic results can be obtained by employing the nonlinear static analysis methods if they are compared with linear analyses ones. On the other hand, nonlinear dynamic analysis method is the advanced method since it can be possible to monitor the real behaviour of the structures during earthquakes.

The codes of earthquake is the most significant resource that can be used to build an earthquake – resistant building. According to their geographical location, their geological and seismic characteristics that apply within the territory and local ground conditions, countries prepare regulations that includes the rules which must be followed during building design. For this purpose, The Ministry of Public works and settlement in Turkey prepare The Regulations of Buildings that will be built in Seismic Zone 2007.

Seismic loads generate the most inconvenient internal forces of the structural elements. There are different methods of calculating the force of earthquakes affecting on buildings. These are called seismic load calculation methods. After determining the essential one of the methods for our system, the force of earthquakes and its distribution over structural elements must be calculated in the way the chosen method requires.

Determining the suitable methods for structures are given in Turkish Earthquake Code 2007 (TEC2007) . Three alternative seismic load calculation methods are

presented by the seismic code. “Equivalent Seismic Load Method”, “Modal Superposition Method”, and Time Increment Methods” are indicated for seismic load calculations in our seismic code.

Equivalent Seismic Load Method is a widespread seismic load calculation method and it can be found in many seismic codes in the world.

In Mode Superposition Method, the maximum internal forces and displacements are obtained by the calculation of the maximum contributions of each adequate vibration modes that combined statistically.

In Time Increment Methods, in order to investigate the structural behavior of the building under seismic loading, an earthquake is assigned to the building as lateral load and the time history analysis is carried out.

TEC2007 which establishes rules about buildings to be built in disaster areas includes chapter 2 and 3 where methods are given for reinforced concrete buildings to be designed. The Code also has a new chapter (Chapter 7) where the linear and the non-linear evaluation methods are given for seismic safety evaluation of existing buildings. Consistency between the results of the methods used for seismic evaluation of existing buildings is important for technical as well as legal decision. Also it is important to design a building according to the rules given for new buildings and later to consider the same building as an existing one and apply evaluation procedure and check whether it satisfies the performance goal designed for. The harmony of the results is also important for practical purposes.

In this study, three RC buildings of 3, 5 and 7 stories are considered are designed in accordance with the provisions of TEC2007 and general requirements for design and construction of RC structures. Then, three buildings are assumed to be current buildings and are analyzed by employing the two nonlinear static analysis methods for existing buildings. These methods are Incremental Equivalent Earthquake Load Method which is an application of Static Pushover Analysis and Nonlinear Time History Analysis Method mentioned in TEC2007. The static pushover analysis is becoming a popular methods for seismic performance evaluation of existing and new structures. The expectation is that the pushover analysis will provide adequate information on seismic demands imposed by the design ground motion on the structural system. Time history analysis is another seismic calculation method for existing and new structures in our seismic code. The method makes use of earthquakes acceleration – time records that occurred previously or similar artificial records which constituted. In the thesis, three earthquake records which will be used in time history analysis simulated to design spectrum as taking notice of related soil class.

In present study, their performance are evaluated by considering the buildings as existing ones. It is expected that all of the buildings, which have been designed with linear elastic methods, achieve the Life Security performance level whose exceeding possibility is predicted for offices building as 10% in 50 years according to the Seismic Regulation. Besides Incremental Equivalent Earthquake Load Method and Nonlinear Time History Analysis Method results are compared. The results are given comparatively and is paid to the effect of the number of stories of the buildings on their performance goals.

According to the study, in the performance evaluation which is the consequence of all buildings’s Incremental Equivalent Earthquake Load Method, it is observed that

all buildings achieve the Life Security performance level whose exceeding possibility is predicted for residences as 10% in 50 years according to the TEC2007. And it is clearly seen that, The Nonlinear Time History Analysis Method results is reaching greater value than Incremental Equivalent Earthquake Load Method results in terms of base shear force and roof displacement. And It is observed that the biggest base shear force (time-dependent) and roof displacement value, which have been calculated in consequence of time history analysis, yield the most proximate results with pushover curves in 3 stories building.

In the future it is expected that these methods would be also commonly used for new structure designs besides performance evaluation of existing structures. According to this fact the regulations would be improved. And for the improvement of these new regulations, it could be recommended that the damage limits to be determined not according to unit displacements occurred in concrete and steel, but according to directly plastic rotations occurred in section (as in FEMA 356). So that the analyses could be performed more practical and controlled.

1. GİRİŞ

Son 25 yılda ülkemizin doğusu ve batısında meydana gelen, maddi ve manevi kayıplara sebep olan depremlerden alınan dersler, gerek mevcut yapıların ne derece güvenli olduğunun belirlenmesi, gerekse depreme dayanıklı yapı tasarımı konularının önem kazanmasına sebep olmuştur. Bunun sonucu olarak Afet Bölgelerinde Yapılan Yapılar Hakkında Yönetmelik 1998 üzerinde bazı değişiklikler yapılarak, 2007 yılında Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY 2007) yürürlüğe girmiştir. Yönetmeliğin 7. bölümünde mevcut yapıların deprem performanslarının nasıl belirlenmesi gerektiği ve yapının kullanım amacına göre farklılık gösteren performans seviyeleri tanımlanmıştır.

Binaların performansa dayalı değerlendirilmesinde “Doğrusal Elastik Hesap Yöntemleri” ve “Doğrusal Elastik Olmayan Yöntemler” olmak üzere iki ayrı hesap yöntemi önerilmektedir. Doğrusal elastik hesap yöntemleri kuvvet esaslı yöntemler olup, binaya etkimesi gereken deprem kuvvetinin elmanlar tarafından karşılanıp karşılanmadığı sorgulanmaktadır. Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri ise deplasman esaslı olup, depremin binadan talep ettiği yer değiştirme hesaplanarak, elemanlarda meydana gelen elastik ötesi şekil değiştirmelerin, kesit ve elemanlarda mevcut plastik şekil değiştirme kapasitesinin yeterli olup olmadığı belirlenir.

Yönetmelikte gerek kuvvet esaslı doğrusal elastik değerlendirme yönteminde, gerekse kuvvet esaslı yeni bina tasarımında taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan davranışı göz önüne alınmıştır. Yeni tasarımı yapılacak binalarda, doğrusal olmayan davranışla oluşacak yatay yük kapasite artırımı tüm bina için ön görülen Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R) ve ona bağlı kullanılan Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı (R_a) ile göz önüne alınmaktadır. Mevcut binaların değerlendirilmesinde kullanılan doğrusal elastik değerlendirme yönteminde ise her eleman için göz önüne alınan Etki/Kapasite oranı (r) katsayısı ile doğrusal olmayan davranışla oluşacak yatay yük kapasite artırımı göz önüne alınmaktadır.

1.1 Tezin Çalışmasının Amacı

DBYBHY'07 de yeni binalar için tasarım yöntemleri, mevcut binalar için ise doğrusal ve doğrusal olmayan değerlendirme yöntemleri sunulmuştur. Bu tez çalışmasında DBYBHY'07 Bölüm 2 ve 3'e göre tasarlanan 3 katlı, 5 katlı ve 7 katlı bina mevcut bina kabul edilerek DBYBHY'07 Bölüm 7'de mevcut binalar için tanımlanan performans hedefleri ile uyuşumu ve doğrusal olmayan değerlendirme yöntemlerinin birbiri ile uyuşumu irdelenmiştir.

Bu amaçla DBYBHY'07 e göre tasarımı yeni bina olarak yapılmış 3 katlı, 5 katlı ve 7 katlı olmak üzere seçilen üç bina esas alınarak, yeni tasarımın beklenen performans hedefini sağlama durumu ve bina kat adedinin bina performans hedefi üzerine olan etkisi söz konusu edilmiştir. Bu binaların deprem yükleri altındaki taşıyıcı sistem performanslarını belirleyebilmek için yönetmelikte bulunan doğrusal olmayan çözüm yöntemleri kullanılmıştır. Doğrusal olmayan çözümde Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi seçilmiştir. DBYBHY'07 e göre tasarımı yapılan bu binaların sağladıkları performans hedefleri aralarında ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Ayrıca, bu karşılaştırmada binaların sağladıkları performans hedefleri kat adedinin farklı olması açısından da değerlendirilmiştir.

1.2 Konu İle İlgili Çalışmalar

Şekil değiştirme bazlı tasarım ilkesi, son yıllarda Amerika Birleşik Devletleri başta olmak üzere tüm dünyada takip edilen önemli konular arasında kendine yer edinmiştir. Doğrusal elastik yöntemler kullanılarak inşa edilen mevcut binaların deprem güvenliklerinin daha gerçekçi olarak belirlenmesi ve yeterli güvenlikte bulunmayan binaların güçlendirilmesi düşüncesi, yer değiştirmeye bağlı tasarım ilkesinin ortaya çıkmasına katkıda bulunmuştur.

Amerika Birleşik Devletleri'nin California eyaletinde, 17 Ekim 1989 yılında meydana gelen Loma Prieta ve 17 Ocak 1994 yılında meydana gelen Northridge depremlerinde can ve mal kaybının yaşanması o dönemde kullanılan dayanım bazlı tasarım ilkesinin sorgulanıp, şekil değiştirmeye bağlı performans kriterlerini esas alan ve taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan davranışının daha gerçekçi bir biçimde ele alındığı yöntemlerin geliştirilmesi gereksinimini ortaya çıkarmıştır.

Bu ihtiyacı karşılamak amacıyla, performansa dayalı tasarım düşüncesinin gelişmesinde kilometre taşı olarak adlandırılabilcek bir takım gelişmeler yaşandı. İlk olarak 1995 yılında Structural Engineering Association of California (SEAOC) tarafından Vision 2000 dokümanı yayımlandı. 1996 yılında Applied Technology Council (ATC) tarafından Guidelines and Commentary for Seismic Rehabilitation of Buildings – ATC40 ve 1997 yılında Federal Emergency Management Agency tarafından FEMA 273-274 yayınları hazırlanmıştır. 2000 yılında FEMA 356 adı altında ön standart haline getirilen bu gelişmeler son olarak 2006 yılında ASCE 41-06 standardında yer almıştır. Diğer yandan 2005 yılında yayımlanan ve Avrupa Birliği standartları arasında bulunan Eurocode 8.3 standardında da mevcut yapıların performanslarının değerlendirilmesi konusuna yönelik çalışmalar bulunmaktadır. Tez çalışma konusuna yakın iki çalışma aşağıda belirtilmiştir.

Fatih SEZER, Mustafa GENÇOĞLU ve Zekai CELEP (2007) [20] , kat adetleri farkı, aynı kalıp planına sahip, DBYBHY'07 yönetmeliğine göre tasarımı yapılmış hastane binaları ele alınarak DBYBHY'07 deki değerlendirme yöntemleri sonucunda elde edilen performanslar ve bu yöntemlerin arasında ki uyum araştırılmıştır.

Kasım A.Korkmaz, Mustafa DÜZGÜN (2006) [19], betonarme binaların değerlendirilmesinde kullanılan artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi sonuçları, kat parametresi göz önüne alınarak karşılaştırılmıştır.

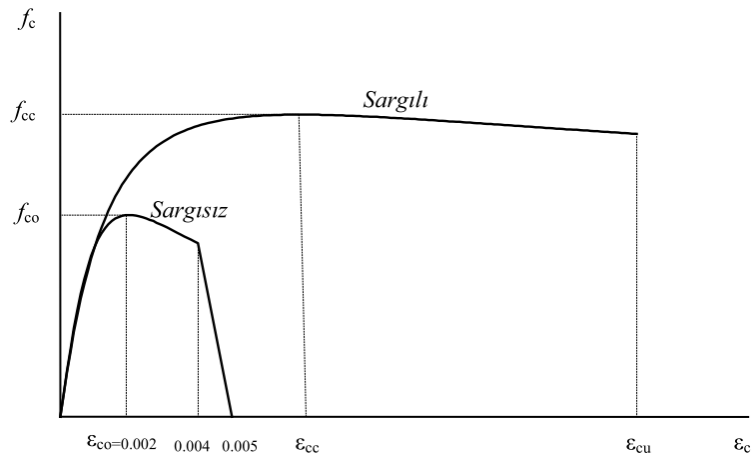
Bu çalışmaların sonucunda artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi sonuçları karşılaştırıldığında kat adeti az olan binalarda daha yakın sonuçlar verdiği, kat adeti arttıkça sonuçların birbirinden uzaklaştığı görülmektedir. Ancak kat adeti gözetmeksizin tüm binalarda zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi sonuçlarının artımsal eşdeğer deprem yükü sonuçlarından daha büyük değere sahip olduğu görülmektedir. Hastane binası olarak tasarımı yapılan binaların artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ne göre tasarım depremi altında hedeflenen hemen kullanım performans düzeyini sağlamadığı görülmüştür. Yukarıda verilen çalışmalar hakkında ayrıntılı bilgi referanslar bölümünde verilen çalışmalardan elde edilebilir.

2. BETONARME BİNALARIN PERFORMANSA DAYALI DEĞERLENDİRMESİ

2.1 Betonarme Malzeme Modelleri

2.1.1 Beton malzeme modeli

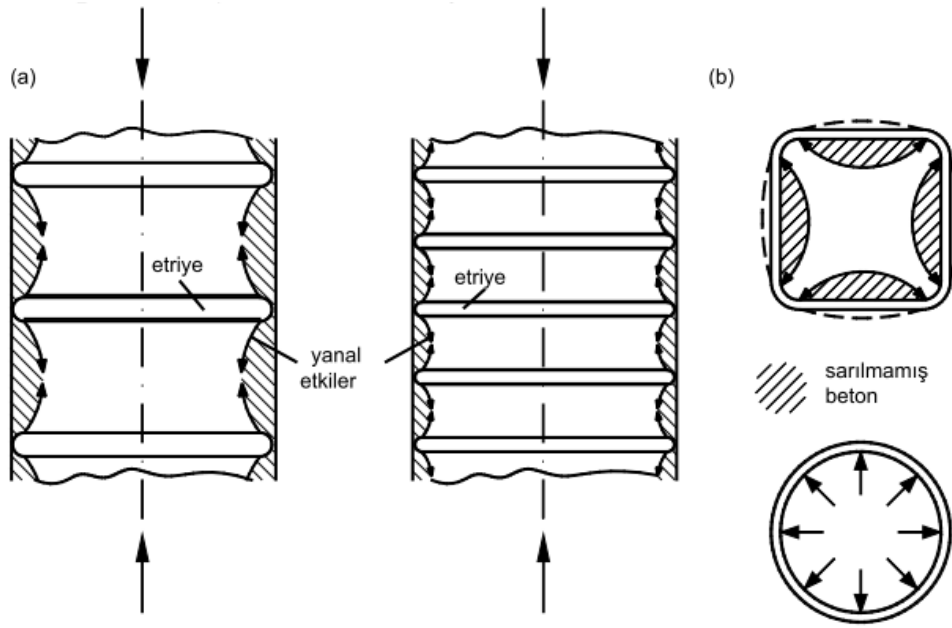
DBYBHY'07 de “sargısız” ve “sargılı” olmak üzere iki beton modeli tanımlanmıştır. Sargılı betonun davranışı ; enine donatının hacimsel oranı, aralığı, dağılımı çap ve dayanımı, boyuna donatının oranı ve kesit içindeki dağılımı, betonun basınç dayanımı ve cinsi, yükleme hızı ve biçimi, eğilme etkisindeki elemanlarda eksenel kuvvetin seviyesi gibi pekçok değişkenden etkilenmektedir [8]. Şekil 2.1’de DBYBHY'07 de sargılı ve sargısız betonların gerilme ve şekil değiştirme grafiği verilmiştir. Burada ϵ_{co} , ϵ_{cc} , ϵ_{cu} , f_{co} , f_{cc} , 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 şekil değiştirmesi, sargısız betonun basınç dayanımı sargılı betonun basınç dayanımı tanımlarına karşılık gelmektedir. Mander beton modeli için yukarıda bahsedilen gerilme ve şekil değiştirme değeri DBYBHY'07 [1] verilmiştir.



Şekil 2.1 : Betonun gerilme-şekil değiştirme ilişkisi

- Sargı donatısının betonun birim kısalma oranına etkisi

Betonarme kesitinde sargı donatısı bulunması, sargı donatısı içindeki çekirdek betonun maksimum birim kısalma oranını önemli ölçüde artırır. Boyuna gerilmelerin artmasıyla beton enine genişlemeye çalışacağı için sargı donatısında açılmaya zorlar. Betonun bir eksenli güç tükenme yüküne ulaşıldığında, ilerleyen çatlaklardan ötürü betonun enine şekil değiştirmeleri büyür ve beton sargı şeklinde bulunan enine donatıyı zorlar. Sargı donatısı çekirdek betonun yanal şekil değiştirmesini önleyerek çekirdekteki betonun en büyük birim kısalma kapasitesini artırır [5].



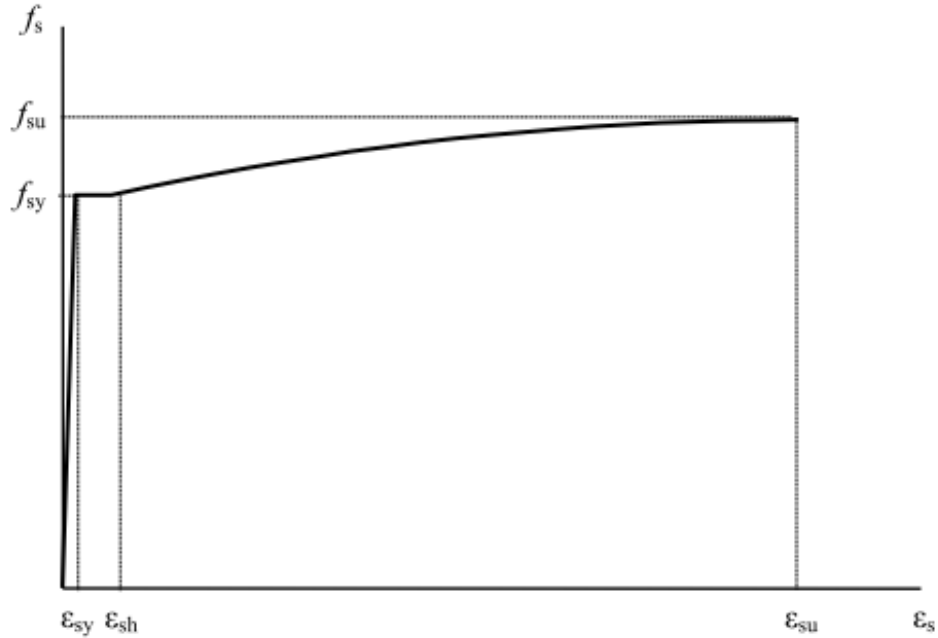
Şekil 2.2 : (a) Enine etriye aralığının betonun sarılmasına etkisi ve (b) dikdörtgen ve dairesel

Şekil 2.2 de sargıdan etkilenecek yanal şekil değiştirmesi etkilenecek hacmin, etriye aralığı ve kesit şekli ile olan değişimi gösterilmiştir. Etriye aralığı arttıkça iki etriye arasında kalan bölgede yanal şekil değiştirmenin sınırlanması zayıflar. Bunun gibi dairesel spiral enine donatı durumunda yanal etki çevre boyunca sürekli olarak ortaya çıkar. Sık dairesel donatı enine etkiyen hidrostatik basınca benzer bir etki oluşturur. Dikdörtgen kesitte etriyelerle beton arasında ise, köşelerde önemli yanal basınç etkileşimi ortaya çıkar. Buna karşılık kesit iç bölgelerinde de iç kemerlenme etkisiyle bir ölçüde betonun yanal şekil değiştirmesi sınırlandırılır. Kenar ortalarında ise, betonun yanal şekil değiştirmesi kolayca etriyenin de yanal şekil değiştirmesine sebep olmaktadır. Bu durumda da kare veya dikdörtgen etriye betonun yanal şekil

değiştirmesini, dairesele göre büyük oranda önler. Enine donatının dışında bulunan betonun yanal şekil değiştirmesine bir sınır konulmadığı için, beton tek eksenli dayanımına eriştiği zaman kabuk şeklinde dökülür. Bu nedenle yanal etki göz önüne alındığında, kesitin etriye içinde kalan çekirdek beton alanının hesaba katılması uygundur.

2.1.2 Çelik malzeme modeli

Şekil 2.3 te doğal sertlikte işlem görmüş bir donatı çeliğinin eksenel gerilme şekil değiştirme ilişkisi verilmiştir. DBYBHY'07 de donatı çeliğinin gerilme - şekil değiştirme ilişkisi üç parçaya bölünmüştür. Bu parçalar elastik bölge plastik plato bölgesi olarak tanımlanabilir [9]. Burada ϵ_{sy} , ϵ_{sh} , ϵ_{su} , f_{sy} ve f_{su} , sırasıyla donatı çeliğinin akma birim şekil değiştirmesi donatı çeliğinin kopma birim şekil değiştirmesi, donatı çeliğinin pekleşmeye başladığı andaki birim şekil değitirmesi, donatı çeliğinin kopma birim şekil değiştirmesi, donatı çeliğinin akma dayanımı, donatı çeliğinin kopma gerilmesi tanımlarına karşılık gelmektedir. Donatı çeliği için yukarıda bahsedilen gerilme ve şekil değiştirme değerleri DBYBHY'07 de verilmiştir [1].



Şekil 2.3 : Betonun gerilme-şekil değiştirme ilişkisi

2.2 Süneklik

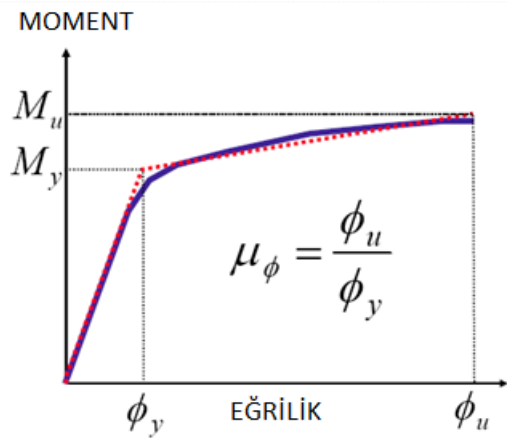
Süneklik, bir kesitin veya bir elemanın veya bir taşıyıcı sistemin dış yükte önemli bir değişme olmaksızın, elastik sınırın ötesinde şekil değiştirme, dolayısı ile yer değiştirme yeteneği olarak tanımlanabilir. Sayısal tanımı güç tükenme durumu ile elastik sınır şekil değiştirme (veya yer değiştirme)'nin oranı olarak tanımlanır.

$$\mu = \delta_u / \delta_y \quad (2.1)$$

Süneklik herhangi bir etki ve karşı gelen şekil değiştirme olarak tanımlanabilir [5]. Süneklik kavramı malzeme, kesit, eleman ve taşıyıcı sistem baz alınarak incelenebilir.

2.2.1 Kesit sünekliği

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

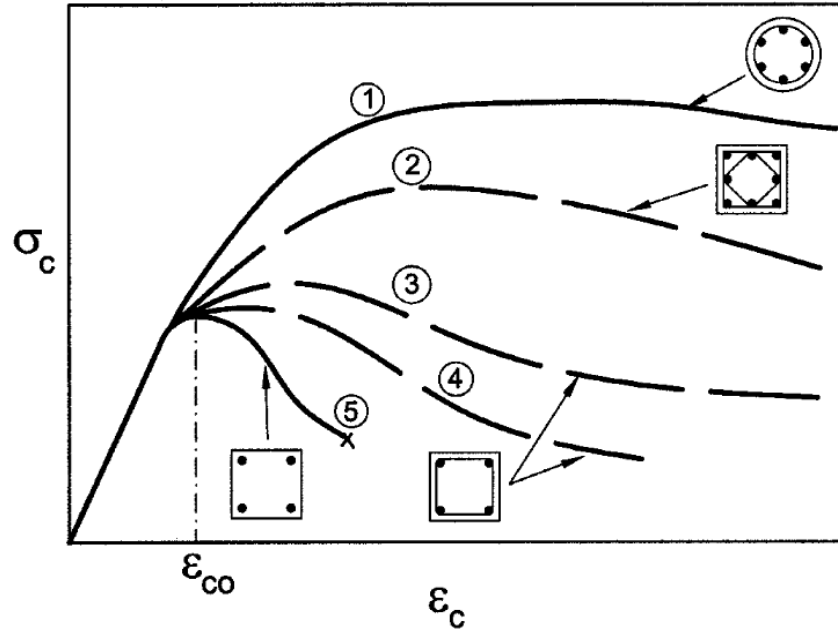


Şekil 2.4 : İdealize elastik ötesi davranış – kesit

- Sargı donatısının süneklik üzerinde etkisi

Kolonda basınç gerilmeleri etkin olduğu için, betonun yanal şekil değiştirmesinin sınırlandırılması ile beton basınç dayanımında ve süneklikte önemli artış sağlamak mümkündür. Bu amaçla bu bölgelerde sargı donatısı kullanılır. Bu donatı ile özellikle deprem etkisinin artmasıyla plastik mafsallarda meydana gelebileceği bu bölgelerde normal kuvvetin etkisiyle kesitte dönme meydana gelirken erişilen eğilme momenti

değerinde önemli bir değişiklik meydana gelmeden sünek kesit davranışının oluşması amaçlanır. Kolonlarda güç tükenmesine genellikle betonun davranışı etkili olur. Sarılma bölgelerinde yanal şekil değiştirmelerin sınırlandırılması kolonun hem dayanımını hem de sünekliğini artırır. (Şekil 2.5)



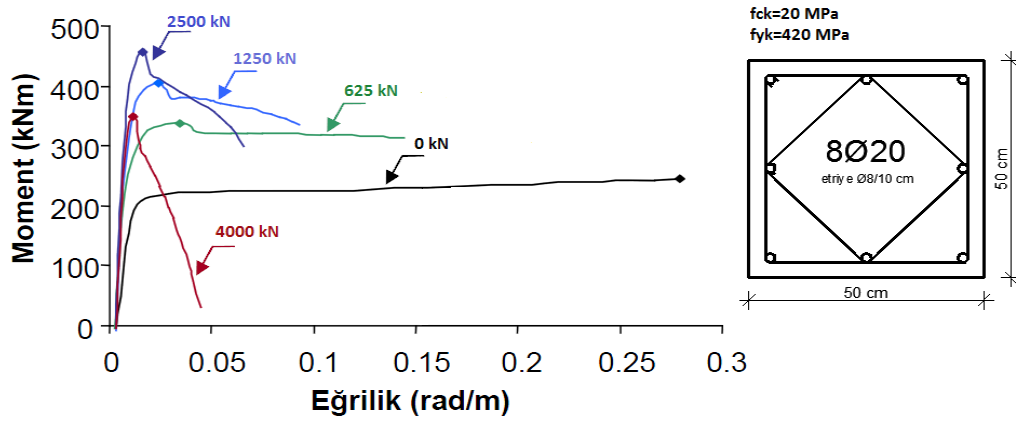
Şekil 2.5 : Sargı donatısının moment eğrilik ilişkisine etkisi



Şekil 2.6 : Sargı donatılı kolon

- Eksenel kuvvet düzeyinin süneklik üzerinde etkisi

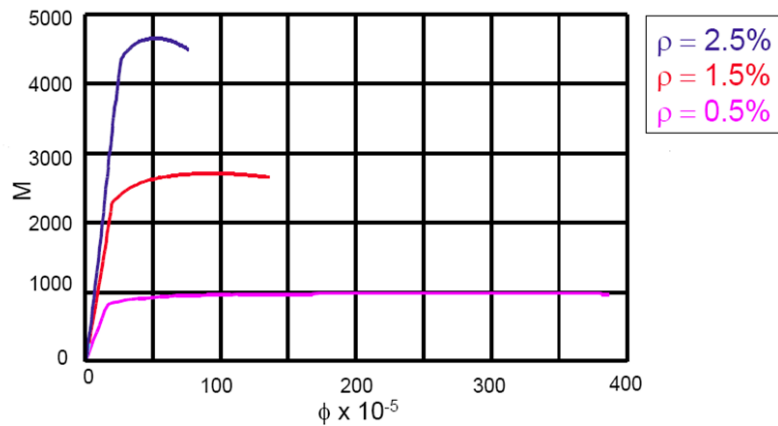
Kesite etkiyen eksenel yük değeri artarken elemanın süneklik düzeyinde azalma meydana gelir. Şekil 2.7’de görüleceği gibi eksenel kuvvet düzeyindeki artışa paralel olarak kesitin sünekliğinde belirgin azalmalar görülmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken diğer bir nokta ise sargı donatısı olmasına rağmen eksenel yük deki artış, davranışın çok kırılğan bir nitelik kazanmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle DBYBHY’07 de kolonlar için eksenel yüke sınırlama getirilmiştir [12].



Şekil 2.7 : Kolonda eksenel yük değişiminin dayanım ve sünekliğe etkisi

- Çekme donatısı oranının süneklik üzerindeki etkisi

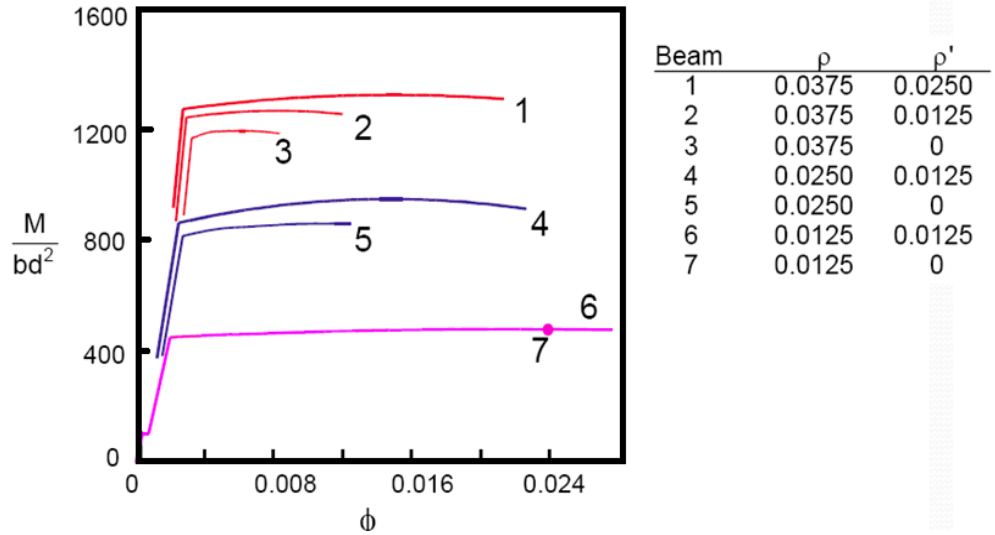
Betonarme elemanların sünekliği, kesitteki birim deformasyon dağılımının eğiliminin artışına ve tarafsız eksen derinliğinin azalmasına paralel olarak artış gösterir. Kesitte çekme donatı oranının artmasıyla tarafsız eksen derinliği artar, dolayısı ile kesit sünekliği Şekil 2.8’de görüleceği üzere azalır [4, 12].



Şekil 2.8 : Çekme donatısının oranının moment eğrilik ilişkisine etkisi

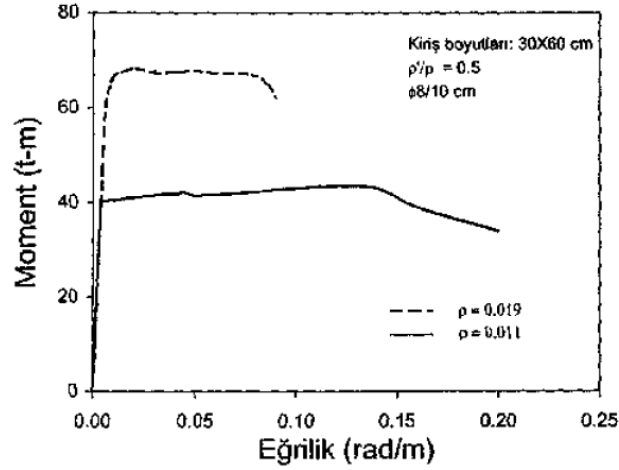
- Basınç donatısı oranının süneklik üzerindeki etkisi

Deprem yönetmelikleri, kirişlerin plastik mafsall oluşması beklenen bölgelerinde basınç donatısı bulundurulması zorunluluğu getirirler ve bu donatıyı kesitteki çekme donatısının bir fonksiyonu olarak tanımlarlar. Bu zorunluluğun temel amacı, kirişlerin sünekliğini arttırmaktır. Basınç donatısının sünekliği arttırması son derece doğaldır. Zira zorlanmanın çok yüksek olduğu bu bölgelerde basınç kuvvetinin bir bölümünün beton gibi çok gevrek bir malzeme yerine çok sünek bir davranışı olan donatıyla karşılanması, sünekliğin artmasına sebep olacaktır. Basınç donatısı artışı ile tarafsız eksenin azalması sünekliğin artması anlamına gelmektedir (Şekil 2.9) [4, 12].



Şekil 2.9 : Basınç donatısının oranının moment eğrilik ilişkisine etkisi

Kirişlerde ρ/ρ' oranı sünekliğe etkisi tek parametre olarak kabul edilemez. Şekil 2.9 da ρ/ρ' oranları aynı, fakat çekme donatısı oranları farklı iki kiriş için moment-eğrilik ilişkileri gösterilmektedir. Şekilden görüldüğü gibi her iki kirişin ρ/ρ' oranları 0.5 olmasına rağmen, çekme donatısı oranı $\rho=0.011$ olan kiriş, yaklaşık %70 daha fazla çekme donatısı olan diğer kirişe ($\rho=0.019$) göre daha sünek bir davranış sergilemektedir. Bu nedenle yönetmeliklerde çekme donatısı oranına sınır getirilmektedir.



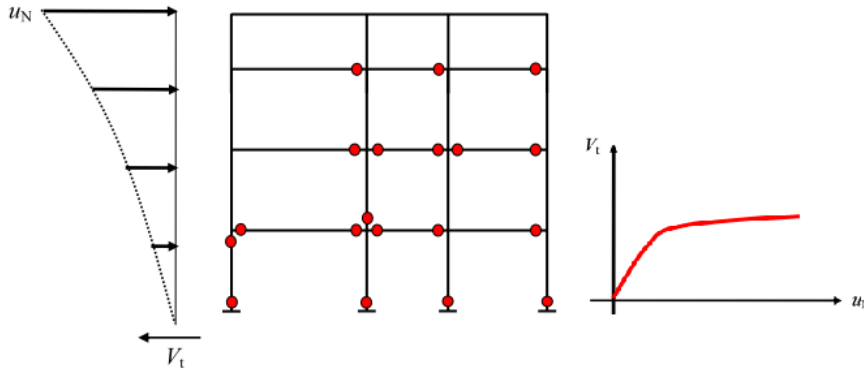
Şekil 2.10 : Moment eğrilik ilişkisi (ρ/ρ' sabit, ρ değişken)

2.2.2 Taşıyıcı sistem sünekliği

Betonarme binalarda sistem sünekliği yer değiştirme sünekliği olarak ifade edilir. Binanın, belirli bir noktasında (genellikle son kat döşemesi hizasında), limit durumdaki maksimum yanal ötelenmenin taşıyıcı sistem akmaya başladığı andaki yanal ötelenmesine oranı sistem sünekliği olarak tanımlanır. Matematiksel olarak

$$\mu_{\Delta} = \Delta_u / \Delta_y \quad (2.2)$$

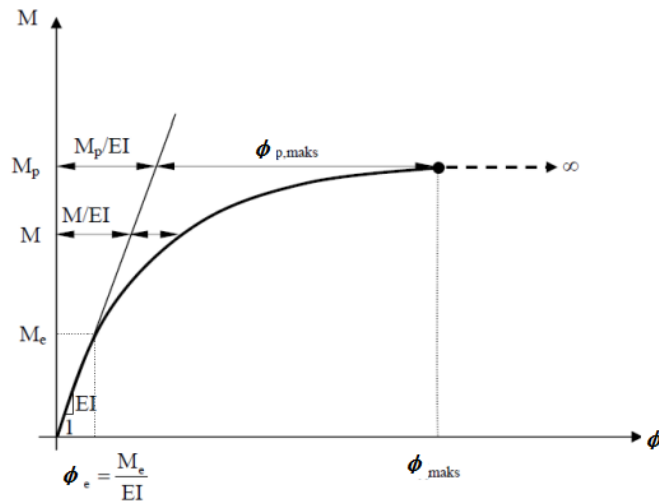
şeklinde yazılabilir. Taşıyıcı sistemin sünek olması ile deprem enerjisi sönmülenebilir ve elemanlar arasındaki yardımlaşma sayesinde daha büyük deprem etkileri karşılanabilir. Sünekliğin sebebi olan plastik hasar bölgelerinin meydana gelebilmesi için yapının hiperstatiklik derecesinin büyük olması gerekmektedir. Bu sayede yapı göçmeye ulaşana kadar hedeflenen performans seviyesine ulaşabilir [3].



Şekil 2.11 : Eşdeğer deprem yükleri altında oluşan plastik mafsallar ve kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi

2.3 Plastik Mafsal Hipotezi

Doğrusal olmayan malzemeden yapılmış sistemlerde, artan dış yüklerle birlikte iç kuvvetlerde artarak bazı kesitlerde doğrusal-elastik sınırı aşmakta ve bu kesitlerde doğrusal olmayan (plastik) şekil değiştirmeler meydana gelmektedir. Yeterli sünekliğe sahip betonarme kesitlerin eğilme momenti-eğrilik ($M-\phi$) ilişkileri incelendiğinde, eğilme momenti-eğrilik bağıntılarının esas olarak iki farklı bölgeden oluştuğu gözlenmektedir. Birinci bölgede, eğilme momentinin düşük değerleri için, betonarme kesitlerin eğilme momenti-eğrilik bağıntılarının doğrusal-elastik olarak değiştiği kabul edilebilir. Bu bölgede, kesitteki beton ve donatı çeliği de doğrusal davranış bölgesinde kalmaktadır. Eğilme momentinin artan değerleri için, sırasıyla kesitte çatlama ve donatıda akma meydana gelmektedir. Kesitteki gerilmelerin artmasıyla birlikte, betonda ve donatıda doğrusal olmayan gerilme-şekildeğiştirme ilişkilerinin kesitin davranışında hakim olmaya başlaması, kesitin eğilme momenti-eğrilik bağıntısının doğrusal davranışı terk etmesine neden olmaktadır. Eğilme momenti-eğrilik bağıntısının ikinci bölgesinde, eğri yataya yakın olmaktadır. Plastik davranışın hakim olduğu bu bölgede, kesite etkiyen eğilme momentinde çok küçük artımlar meydana gelirken kesit dönmeleri ve eğrilik hızlı bir şekilde artmakta ve eğriliğin sınır değerine erişmesi ile kesitte güç tükenmesi meydana gelmektedir (Şekil2.12) [10].



Şekil 2.12 : Eğilme moment – eğrilik diyagramı

Plastik mafsal hipotezinde, eğilme momenti-eğrilik bağıntısını oluşturan bu iki bölge, biri yatay olmak üzere iki doğru parçası ile idealleştirilmektedir. Bu iki nokta kesin bir nokta ile birbirinden ayrılmamasına rağmen, çekme donatısının akmaya erişmesi

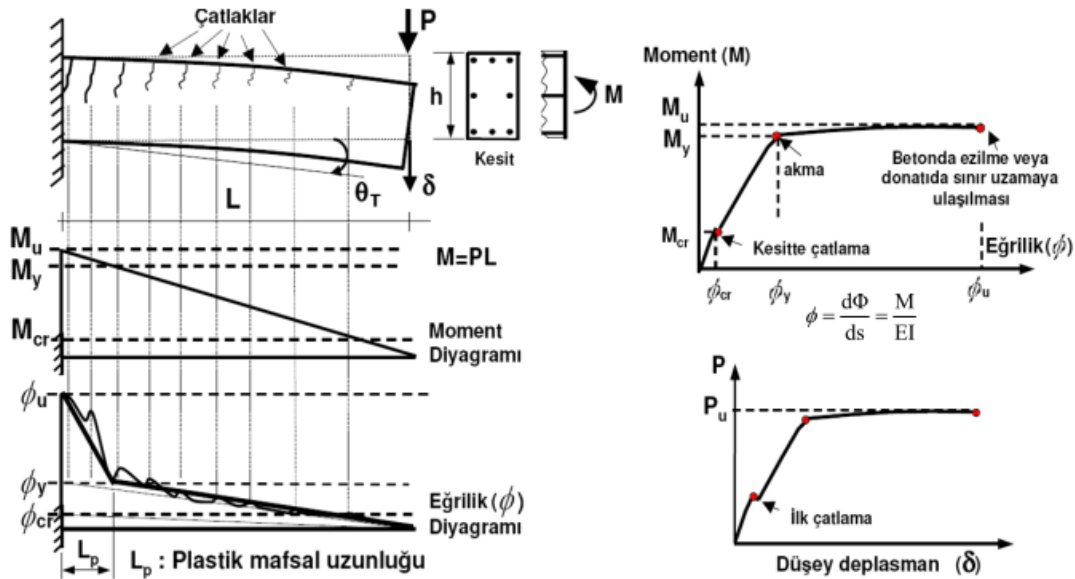
ve betondaki birim kısalmanın ϵ_{co} sınır değerine ulaşması, bu iki doğrusal davranışı birbirinden ayıran nokta olarak kabul edilebilmektedir [11].

Toplam şekil değiştirmelerin doğrusal şekil değiştirmelere oranı olarak tanımlanan süneklik oranının büyük olduğu ve doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin küçük bir bölgeye yayıldığı sistemlerde, doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin plastik mafsallara (plastik kesit) adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, bunun dışındaki bölgelerde sistemin doğrusal elastik davrandığı varsayılabilir. Plastik dönmelerin bu şekilde L_p uzunluğundaki bir bölgede toplanması plastik mafsallara (plastik kesit) olarak adlandırılmaktadır (Şekil 2.13). Plastik mafsalları diğer mafsallardan ayıran en önemli özellik, plastik mafsallarda kesitin moment artışı olmaksızın dönmeye devam etmesidir.

Burada L_p plastik bölge uzunluğunu (plastik mafsalları boyunu) göstermekte ve DBYBHY'07 de yaklaşık olarak

$$L_p \approx 0.5h \quad (2.3)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Yukarıdaki ifadede, h enkesit yüksekliğine eşittir. Plastik mafsalları bölgesi uzunluğu, moment-eğrilik diyagramına, eleman boyunca eğilme momentinin değişimine, kesit yüksekliğine ve kesitteki normal kuvvete bağlıdır.



Şekil 2.13 : Konsol elemanda plastik şekil değiştirmelerin mesnet bölgesinde bir L_p bölgesinde yoğunlaşması

3. DEPREM PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİNDE DBYBHY 2007 YAKLAŞIMI

3.1 Giriş

Performansa dayalı tasarım ve değerlendirme özellikle son yıllarda yaşanan depremler sonrasında ülkemizde inşaat mühendisliğinde en güncel konular arasında yer almaktadır. Performansa dayalı tasarımın amacı yapının deprem performansını, güvenliğini, göçme şeklini (sünek, gevrek), yapı içerisindeki en kritik kesitleri ve hasar durumunu, oluşan plastik mafsalların şekil değiştirme yeteneğini belirlemek ve iç kuvvet dağılımını gözlemektir.

3.2 Binalardan Bilgi Toplanması

Binanın deprem güvenliğinin değerlendirilmesinde taşıyıcı sistem elemanlarının boyutlarının belirlenmesi için binanın taşıyıcı sistemi konusunda bilgi toplanması gerekir. Taşıyıcı sistem elemanlarının kapasitelerinin belirlenmesinde ve deprem dayanımlarının değerlendirilmesinde kullanılacak eleman detayları ve boyutları, taşıyıcı sistem geometrisine ve malzeme özelliklerine ait bilgiler, binaların projelerinden ve raporlarından, binada yapılacak ölçüm ve gözlemlerden, binalardan alınacak malzeme örneklerine uygulanacak deneylerden elde edilir.

Binanın incelenmesinden elde edilecek mevcut durum bilgilerinin kapsamına göre her bina için Bilgi Düzeyi ve buna bağlı olarak Bilgi Düzeyi Katsayısı tanımlanır. Çizelge 3.1 de yönetmelik de belirtilen bilgi düzeylerine karşılık gelen bilgi düzeyi katsayıları gösterilmiştir.[5]

Çizelge 3.1 : Binalar için bilgi düzeyi katsayıları

Bilgi Düzeyi	Bilgi Düzeyi Katsayısı
Sınırlı	0.75
Orta	0.90
Kapsamlı	1.00

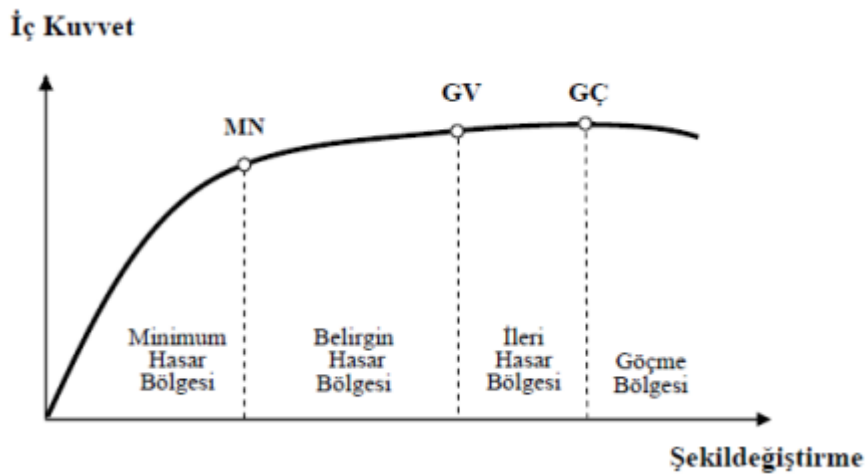
3.3 Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları ve Hasar bölgeleri

3.3.1 Kesit hasar sınırları

Sünek elemanlar için kesit düzeyinde üç sınır durum tanımlanmıştır. Bunlar Minimum Hasar Sınırı (MN), Güvenlik Sınırı (GV) ve Göçme Sınırı (GÇ)'dir. Minimum hasar sınırı ilgili kesitte elastik ötesi davranışın başlangıcını, güvenlik sınırı kesitin dayanımını güvenli olarak sağlayabileceği elastik ötesi davranışın sınırını, göçme sınırı ise kesitin göçme öncesi davranışının sınırını tanımlamaktadır.

3.3.2 Kesit hasar bölgeleri

Kritik kesitlerinin 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. Gevrek olarak hasar gören elemanlarda bu sınıflandırma geçerli değildir. (Şekil 3.1)



Şekil 3.1 : Kesit hasar bölgeleri

3.3.3 Kesit ve eleman hasarlarının tanımlanması

Doğrusal veya doğrusal olmayan yöntemlerle hesaplanan iç kuvvetlerin ve/veya şekil değiştirmelerin, 3.2.1'deki kesit hasar sınırlarına karşı gelmek üzere tanımlanan sayısal değerler ile karşılaştırılması sonucunda, kesitlerin hangi hasar bölgelerinde olduğuna karar verilecektir. Eleman hasarı, elemanın en fazla hasar gören kesitine göre belirlenecektir.

3.4 Deprem Hesabına İlişkin Genel İlke Ve Kurallar

Aşağıda, DBYBHY'07 de kapsamında mevcut veya güçlendirilmiş binaların doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinin her ikisi içinde kullanılacak genel ilke ve kurallar tariflenmiştir:

- Deprem etkisinin tanımında, elastik (azaltılmamış) ivme spektrumu kullanılacak, ancak farklı aşılma olasılıkları için bu spektrum üzerinde 3.7'ye göre yapılan değişiklikler göz önüne alınacaktır. Deprem hesabında “Bina Önem Katsayısı” uygulanmayacaktır ($I = 1.0$).
- Deprem Performansı, yönetmeliğin ikinci bölümünde tariflenen deprem yüklerinin hesabında göz önüne alının kütlelere göre belirlenecektir.
- Deprem kuvvetleri binaya her iki doğrultuda ve her iki yönde ayrı ayrı etki ettirilecektir.
- Deprem hesabında kullanılacak zemin parametreleri temel zemini ve temeller için depreme dayanıklı tasarım kurallarına göre belirlenecektir.
- Binanın taşıyıcı sistem modeli, deprem etkileri ile düşey yüklerin ortak etkileri altında yapı elemanlarında oluşacak iç kuvvet, yer değiştirme ve şekil değiştirmeleri hesaplamak için yeterli doğrulukta hazırlanacaktır.
- Deprem hesabında göz önüne alınacak kat ağırlıkları DBYBHY-07 Bölüm 2.7.1.2'ye göre hesaplanacak, kat kütleleri kat ağırlıkları ile uyumlu olarak tanımlanacaktır.
- Döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, her katta iki yatay yer değiştirme ile düşey eksen etrafında dönme serbestlik dereceleri göz önüne alınacaktır. Kat serbestlik dereceleri her katın kütle merkezinde tanımlanacak, ayrıca ek dışmerkezlik uygulanmayacaktır.
- Mevcut binaların taşıyıcı sistemlerindeki belirsizlikler, binadan derlenen verilerin kapsamına göre 3.2'de tanımlanan bilgi düzeyi katsayıları aracılığı ile hesap yöntemlerine yansıtılacaktır.
- DBYBHY'07 ne göre kısa kolon olarak tanımlanan kolonlar, taşıyıcı sistem modelinde gerçek serbest boyları ile tanımlanacaktır.

- Bir veya iki eksenli eğilme ve eksenel kuvvet etkisindeki betonarme kesitlerin etkileşim diyagramlarının tanımlanmasına ilişkin koşullar aşağıda verilmiştir:
 - Analizde beton ve donatı çeliğinin 3.2’de tanımlanan bilgi düzeyine göre belirlenen mevcut dayanımları esas alınacaktır.
 - Betonun maksimum basınç birim şekil değiştirmesi 0.003, donatı çeliğinin maksimum birim şekil değiştirmesi ise 0.01 alınabilir.
 - Etkileşim diyagramları uygun biçimde doğrusallaştırılarak çok doğrulu veya çok düzlemlili diyagramlar olarak modellenenebilir.
- Betonarme sistemlerin eleman boyutlarının tanımında birleşim bölgeleri sonsuz rijit uç bölgeleri olarak göz önüne alınabilir.
- Eğilme etkisindeki betonarme elemanlarda çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitlikleri (EI)_e kullanılacaktır. Daha kesin bir hesap yapılmadıkça, etkin eğilme rijitlikleri için aşağıda verilen değerler kullanılacaktır:

$$\text{Kirişlerde: } (EI)_e = 0.40(EI)_o$$

Kolon ve perdelerde:

$$N_D / (A_c f_{cm}) \leq 0.10 \text{ olması durumunda } (EI)_e = 0.40(EI)_o$$

$$N_D / (A_c f_{cm}) \leq 0.40 \text{ olması durumunda } (EI)_e = 0.80(EI)_o$$

Eksenel basınç kuvveti N_D ’nin ara değerleri için doğrusal enterpolasyon yapılabilir. N_D , deprem hesabında esas alınan toplam kütlelerle uyumlu yüklerin göz önüne alındığı ve çatlamamış kesitlere ait $(EI)_o$ eğilme rijitliklerinin kullanıldığı bir ön düşey yük hesabı ile belirlenecektir. Deprem hesabı için başlangıç durumunu oluşturan düşey yük hesabı ise, yukarıda belirtildiği şekilde elde edilen etkin eğilme rijitliği $(EI)_e$ kullanılarak, deprem hesabında esas alınan kütlelerle uyumlu yüklere göre yeniden yapılacaktır. Deprem hesabında da aynı rijitlikler kullanılacaktır.

- Betonarme tablalı kirişlerin pozitif ve negatif plastik momentlerinin hesabında tabla betonu ve içindeki donatı hesaba katılabilir.
- Betonarme elemanlarda kenetlenme veya bindirme boyunun yetersiz olması durumunda, kesit kapasite momentinin hesabında ilgili donatının akma

gerilmesi kenetlenme veya bindirme boyundaki eksikliği oranında azaltılabilir.

- Zemindeki şekil değiştirmelerin yapı davranışını etkileyebileceği durumlarda zemin özellikleri analiz modeline yansıtılacaktır.

DBYBHY-07 Bölüm 2’de modelleme ile ilgili olarak verilen diğer esaslar geçerlidir.

3.5 Depremde Bina Performansının Doğrusal Elastik Hesap Yöntemleri İle Belirlenmesi

Binaların deprem performansının doğrusal elastik yöntem ile hesaplanmasında eşdeğer deprem yükü yöntemi ve mod birleştirme yöntemi olmak üzere iki tip yükleme biçimi kullanılabilir. Aşağıda belirtilenler DBYBHY’te tariflenen bu yöntemlere uygulanacak ek kurallardır.

Eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabilmesi için yapının bodrum üzerindeki toplam yüksekliği 25 metreyi ve toplam kat sayısı 8’i aşmaması gereklidir. Ayrıca yapının burulma düzensizliği katsayısı $\eta_{bi} < 1.4$ şartının sağlamalıdır. Yapıya eşdeğer deprem yükü Denklem (3.1)’te tanımlanmıştır. Burada λ katsayısı bodrum hariç bir ve iki katlı binalarda 1.0, diğer binalarda 0.85 alınacaktır.

$$V_t = W \times A(T) \times \lambda \quad (3.1)$$

Mod birleştirme yönteminin uygulanması için yönetmelikte herhangi bir kısıtlama bulunmamaktadır. Mod birleştirme yönteminde kullanılacak olan elastik spektral ivme Denklem (3.2)’de tanımlanmıştır.

$$S_{aR}(T_n) = S_{ae}(T_n) \quad (3.2)$$

Yapı elemanlarının hasar sınırlarının belirlenmesi için doğrusal elastik hesap yöntemleri kullanıldığında hasar miktarı kiriş, kolon ve perde elemanları kritik kesitlerinin etki/kapasite oranları (r) cinsinden ifade edilmektedir. Kırılma türü eğilme olan sünek kiriş, kolon ve perde kesitlerinin eğilme etki/kapasite oranı, Denklem (3.3)’e göre sadece deprem etkisi altında hesaplanan kesit momentinin kesit artık moment kapasitesine bölünmesi ile elde edilmektedir. Kesit artık moment

kapasitesi, kesitin eğilme momenti kapasitesi ile düşey yükler altında kesitte hesaplanan moment etkisinin farkı olarak hesaplanmaktadır.

$$r = \frac{M_e}{M_r - M_{g+q}} \quad (3.3)$$

Kolon, kiriş ve perdelerin sünek eleman sayılabilmesi için kritik eğilme kapasitesi ile uyumlu hesaplanan kesme kuvveti V_e 'nin bilgi düzeyi katsayısı kullanılarak (gerekirse azaltma yapılarak) TS500'e göre hesaplanan V_r kesme kapasitesini aşmaması gerekir. V_e 'nin hesabında pekleşmeli taşıma gücü momenti yerine taşıma gücü momenti kullanılacaktır. Deprem performansı değerlendirilmesinde kolon, kiriş ve perdeler (3.4) için kullanılacak V_e değeri aşağıda tanımlanmıştır.

$$\begin{aligned} \text{Kolonlarda} \quad V_e &= (M_a + M_{\bar{u}}) / l_n \\ \text{Kirişlerde} \quad V_e &= V_{dy} \pm (M_{pi} + M_{pj}) / l_n \\ \text{Perdelerde} \quad V_e &= [M_{pi} + M_{pj}] V_d \quad (H_w / l_w > 2.0) \end{aligned} \quad (3.4)$$

Hesaplanan kiriş, kolon ve perde kesitlerinin etki/kapasite oranları, Çizelge 3.2-3.4'de verilen sınır değerler ile karşılaştırılarak elemanların hangi hasar bölgesinde olduğuna karar verilir. Çizelge 3.2-3.4'deki ara değerler için doğrusal enterpolasyon uygulanacaktır. Betonarme binalarda kolon ve perdelerin aksel yükleri, düşey yükler ve söz konusu eleman için hesaplanan (r) katsayısı ile azaltılmış deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanacaktır.

Çizelge 3.2 : Betonarme kirişler için hasar sınırları (r)

Sünek Kirişler			Hasar Sınırı		
$\frac{\rho - \rho'}{\rho_b}$	Sargılama	$\frac{V}{b_w d f_{ct}} \quad (1)$	MN	GV	GÇ
≤ 0.0	Var	≤ 0.65	3	7	10
≤ 0.0	Var	≥ 1.30	2.5	5	8
≥ 0.5	Var	≤ 0.65	3	5	7
≥ 0.5	Var	≥ 1.30	2.5	4	5
≤ 0.0	Yok	≤ 0.65	2.5	4	6
≤ 0.0	Yok	≥ 1.30	2	3	5
≥ 0.5	Yok	≤ 0.65	2	3	5
≥ 0.5	Yok	≥ 1.30	1.5	2.5	4

Çizelge 3.3 : Betonarme kolonlar için hasar sınırları (r)

Sünek Kolonlar			Hasar Sınırı		
$\frac{N}{A_c f_c}$	Sargılama	$\frac{V}{b_w d f_{ct}}^{(1)}$	MN	GV	GÇ
≤ 0.1	Var	≤ 0.65	3	6	8
≤ 0.1	Var	≥ 1.30	2.5	5	6
≥ 0.4 ve ≤ 0.7	Var	≤ 0.65	2	4	6
≥ 0.4 ve ≤ 0.7	Var	≥ 1.30	1.5	2.5	3.5
≤ 0.1	Yok	≤ 0.65	2	3.5	5
≤ 0.1	Yok	≥ 1.30	1.5	2.5	3.5
≥ 0.4 ve ≤ 0.7	Yok	≤ 0.65	1.5	2	3
≥ 0.4 ve ≤ 0.7	Yok	≥ 1.30	1	1.5	2
≥ 0.7	-	-	1	1	1

Çizelge 3.4 : Betonarme perdeler için hasar sınırları (r)

Sünek Perdeler	Hasar Sınırı		
Sargılama	MN	GV	GÇ
Var	3	6	8
Yok	2	4	6

Doğrusal elastik yöntemlerle yapılan hesapta her bir deprem doğrultusunda, binanın herhangi bir katında kolon veya perdelerin görelî kat ötelemeleri, her bir hasar sınırı için Çizelge 3.5’de verilen sınır değerler ile karşılaştırılarak elemanların hasar bölgelerine karar verilecektir. Bu karşılaştırmanın daha elverişsiz sonuç vermesi durumunda r katsayıları ile belirlenen hasar yerine bu daha olumsuz olan hasar bölgesi kullanılacaktır.

Çizelge 3.5 : Görelî Kat Ötelemesi Kontrolü

Görelî Kat Ötelemesi Oranı	Hasar Sınırı		
	MN	GV	GÇ
δ_{ji} / h_{ij}	0.01	0.03	0.04

Doğrusal elastik yöntemlerle yapılan hesapta her bir deprem doğrultusunda, binanın herhangi bir katındaki kolon veya perdelerin görelî kat ötelemeleri, her bir hasar sınırı için Çizelge 3.5’de verilen değeri aşmayacaktır. Çizelge 3.5’de δ_{ji} i’inci katta j’inci kolon veya perdenin alt ve üst uçları arasında yer değiştirme farkı olarak hesaplanan görelî kat öteleme değerini, h_{ji} ise ilgili elemanın yüksekliğini göstermektedir.

3.6 Depremde Bina Performansının Doğrusal Elastik Olmayan Hesap Yöntemleri İle Belirlenmesi

3.6.1 Tanım

Deprem etkisi altında mevcut binaların yapısal performanslarının belirlenmesi ve güçlendirme analizleri için kullanılacak doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinin amacı, verilen bir deprem için sünek davranışa ilişkin plastik şekil değiştirme istemleri ile gevrek davranışa ilişkin iç kuvvet istemlerinin hesaplanmasıdır. Daha sonra bu istem büyüklükleri, bu bölümde tanımlanmış bulunan şekil değiştirme ve iç kuvvet kapasiteleri ile karşılaştırılarak, kesit ve bina düzeyinde yapısal performans değerlendirmesi yapılacaktır.

3.6.2 Kapsam

DBYBHY-07 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, bu Yönetmelikte doğrusal olmayan deprem performansının belirlenmesi ve güçlendirme hesapları için temel alınan Artımsal İtme Analizi'nde kullanılacak olan yöntemlerdir.

3.6.3 Artımsal itme analizi ile performans değerlendirmesinde izlenecek yol

Artımsal İtme Analizi kullanılarak yapılacak doğrusal elastik olmayan performans değerlendirmesinde izlenecek adımlar aşağıda özetlenmiştir. 3.4'de tanımlanan genel ilke ve kurallara ek olarak, taşıyıcı sistem elemanlarında doğrusal olmayan davranışın idealleştirilmesi ve analiz modelinin oluşturulması için 3.6.4'de tanımlanan kurallara uyulacaktır.

Artımsal itme analizinden önce, kütlelerle uyumlu düşey yüklerin göz önüne alındığı bir doğrusal olmayan statik analiz yapılacaktır. Bu analizin sonuçları, artımsal itme analizinin başlangıç koşulları olarak dikkate alınacaktır.

Artımsal itme analizinin 3.6.5'de tanımlanan Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile yapılması durumunda, koordinatları “modal yer değiştirme-modal ivme” olarak tanımlanan birinci (hakim) moda ait “modal kapasite diyagramı” elde edilecektir. Bu diyagram ile birlikte, DBYBHY 2007 Bölüm 2.4'de tanımlanan elastik davranış spektrumu ve farklı aşılma olasılıkları için bu spektrum üzerinde

3.8’de yapılan değişiklikler göz önüne alınarak, birinci (hakim) moda ait modal yer değiştirme istemi belirlenecektir. Son aşamada, modal yer değiştirme istemine karşı gelen yer değiştirme, plastik şekil değiştirme (plastik dönmeler) ve i kuvvet istemleri hesaplanacaktır.

Artımsal itme analizinin 3.6.6’da tanımlanan 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 i kuvvet istemleri hesaplanacaktır.

Plastikleşen (sünek) kesitlerde hesaplanmış bulunan plastik dönme istemlerinden plastik eğrilik istemleri ve 3.6.8’e göre toplam eğrilik istemleri elde edilecektir. Daha sonra bunlara bağlı olarak betonarme kesitlerde betonda ve donatıeliğinde meydana gelen birim şekil değiştirme istemleri hesaplanacaktır. Bu istem değerleri, kesit düzeyinde çeşitli hasar sınırları için 3.6.9’da tanımlanan ilgili birim şekil değiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılarak kesit düzeyinde sünek davranışa ilişkin performans değerlendirmesi yapılacaktır. Ayrıca, güçlendirilen dolgu duvarlarında göreli kat ötelemeleri cinsinden hesaplanan şekil değiştirme istemleri, 3.6.10’da tanımlanan şekil değiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılacaktır. Analiz sonucunda elde edilen kesme kuvveti istemleri ise, 3.6.11’de tanımlanan kapasitelerle karşılaştırılarak kesit düzeyinde gevrek davranışa ilişkin performans değerlendirmesi yapılacaktır.

3.6.4 Doğrusal elastik olmayan davranışın idealleştirilmesi

Malzeme bakımından doğrusal elastik olmayan davranışın idealleştirilmesi için, literatürde geçerliliği kanıtlanmış modeller kullanılabilir. Ancak, mühendislik uygulamalarındaki yaygınlığı ve pratikliği nedeni ile aşağıdaki kısımlarda doğrusal elastik olmayan analiz için yığılı plastik davranış modeli esas alınmıştır. Basit eğilme durumunda plastik mafsals hipotez’ine karşı gelen bu modelde, çubuk eleman olarak idealleştirilen kiriş, kolon ve perde türü taşıyıcı sistem elemanlarındaki iç kuvvetlerin plastik kapasitelerine eriştiği sonlu uzunluktaki bölgeler boyunca, plastik şekil değiştirmelerin düzgün yayılı biçimde olduğu varsayılmaktadır. Plastik mafsals boyu olarak adlandırılan plastik şekil değiştirme bölgesinin uzunluğu (L_p), çalışan doğrultudaki kesit boyutu (h)’nin yarısına eşit alınacaktır ($L_p=0.5h$).

$H_w / \ell_w \leq 2.0$ olan perdelerde, eğilme etkisi altında plastik şekil değiştirmeler göz önüne alınmayacaktır.

Sadece eksenel kuvvet altında plastik şekil değiştirme yapan elemanların plastik şekil değiştirme bölgelerinin uzunluğu, ilgili elemanın serbest boyuna eşit olarak alınacaktır.

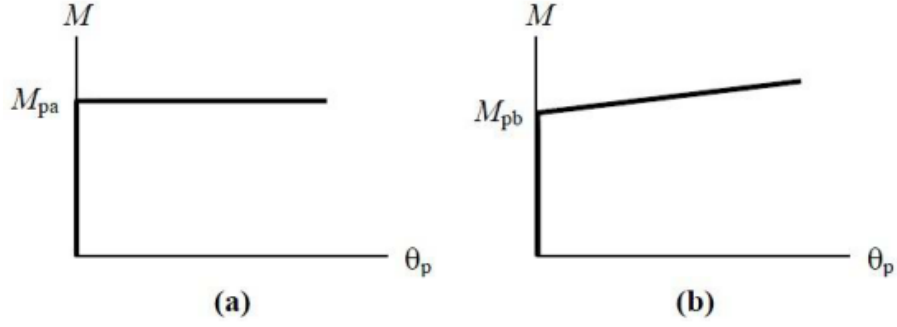
Yığılı plastik şekil değiştirmeyi temsil eden plastik kesit'in, teorik olarak 3.6.4.(a)'de tanımlanan plastik şekil değiştirme bölgesinin tam ortasına yerleştirilmesi gerekir. Ancak pratik uygulamalarda aşağıda belirtilen yaklaşık idealleştirmelere izin verilebilir:

- (1) Kolon ve kirişlerde plastik kesitler, kolon-kiriş birleşim bölgesinin hemen dışına, diğer deyişle kolon veya kirişlerin net açıklıklarının uçlarına konulabilir. Ancak, düşey yüklerin etkisinden ötürü kiriş açıklıklarında da plastik mafsalların oluşabileceği göz önüne alınması gereken diğer bir noktadır.
- (2) Betonarme perdelerde, plastik kesitlerin her katta perde kesiminin alt ucuna konulmasına izin verilebilir. U, T, L veya kutu kesitli perdeler, bütün kolları birlikte çalışan tek perde olarak idealleştirilmelidir. Binaların bodrum katlarında rijit çevre perdelerinin bulunması durumunda, bu perdelerden üst katlara doğru devam eden perdelerin plastik kesitleri bodrum üstünden başlamak üzere konulmalıdır.

Bir veya iki eksenli eğilme ve eksenel kuvvet etkisinde plastikleşen betonarme kesitlerin akma yüzeyleri olarak 3.4. de tanımlanan koşullara göre belirlenen etkileşim diyagramları kullanılacaktır. Akma yüzeyleri, 3.4.'ye göre uygun biçimde doğrusallaştırılarak iki boyutlu davranış durumunda akma çizgileri, üç boyutlu davranış durumunda ise akma düzlemleri olarak modellenenebilir.

İtme analizi modelinde kullanılacak plastik kesitlerin iç kuvvet-plastik şekil değiştirme bağıntıları ile ilgili olarak aşağıdaki paragraflar dikkate alınacaktır:

- (1) İç kuvvet-plastik şekil değiştirme bağıntılarında pekleşme etkisi (plastik dönme artışına bağlı olarak plastik momentin artışı) yaklaşık olarak terk edilebilir (Şekil 3.2 a)



Şekil 3.2 : Moment-eğrilik diyagramının idealleştirilmesi (DBYBHY, 2007)

Bu durumda, bir veya iki eksenli eğilme ve eksenel kuvvet etkisindeki kesitlerde plastikleşmeyi izleyen itme adımlarında, iç kuvvetlerin akma yüzeyinin üzerinde kalması koşulu ile plastik şekil değiştirme vektörünün akma yüzeyine yaklaşık olarak dik olması koşulu göz önüne alınacaktır.

- (2) Pekleşme etkisinin göz önüne alınması durumunda (Şekil 3.2b), bir veya iki eksenli eğilme ve eksenel kuvvet etkisindeki kesitlerde plastikleşmeyi izleyen itme adımlarında iç kuvvetlerin ve plastik şekil değiştirme vektörünün sağlaması gereken koşullar, ilgili literatürden alınan uygun bir pekleşme modeline göre tanımlanacaktır.

3.6.5 Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile itme analizi

Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi'nin amacı, birinci (deprem doğrultusunda 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 analiz'inin yapılmasıdır. Düşey yük analizini izleyen itme analizinin her bir adımında taşıyıcı sistemde meydana gelen yer değiştirme, plastik şekil değiştirme ve iç kuvvet artımları ile bunlara ait birikimli (kümülatif) değerler ve son adımda deprem istemine karşı gelen maksimum değerler hesaplanacaktır.

Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi'nin kullanılabilmesi için, binanın kat sayısının bodrum hariç 8'den fazla olmaması ve herhangi bir katta ek dışmerkezlilik göz önüne alınmaksızın doğrusal elastik davranışa göre hesaplanan burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} < 1.4$ koşulunu sağlaması gereklidir. Ayrıca göz önüne alınan deprem doğrultusunda, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hakim) titreşim moduna ait etkin kütlenin toplam bina kütesine

(rijit perdelerle çevrelenen bodrum katlarının kütleleri hariç) oranının en az 0.70 olması zorunludur.

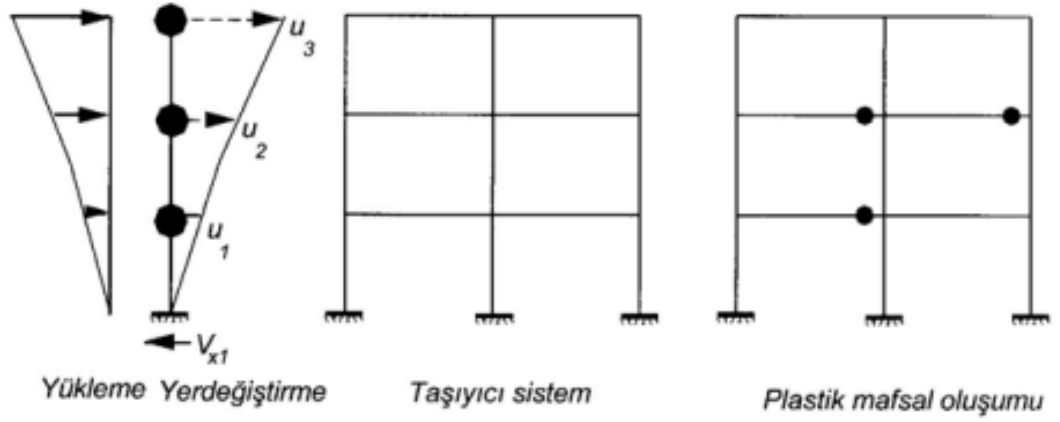
Artımsal itme analizi sırasında, eşdeğer deprem yükü dağılımının, taşıyıcı istemdeki plastik kesit oluşumlarından bağımsız biçimde sabit kaldığı varsayımı yapılabilir. Bu durumda yük dağılımı, analizin başlangıç adımında doğrusal elastik davranış için hesaplanan birinci (deprem doğrultusundaki hakim) doğal titreşim mod şekli genliği ile ilgili kütlenin 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 göz önüne alınacaktır.

Statik İtme analizinde yapılan kabuller aşağıda sıralanmaktadır.

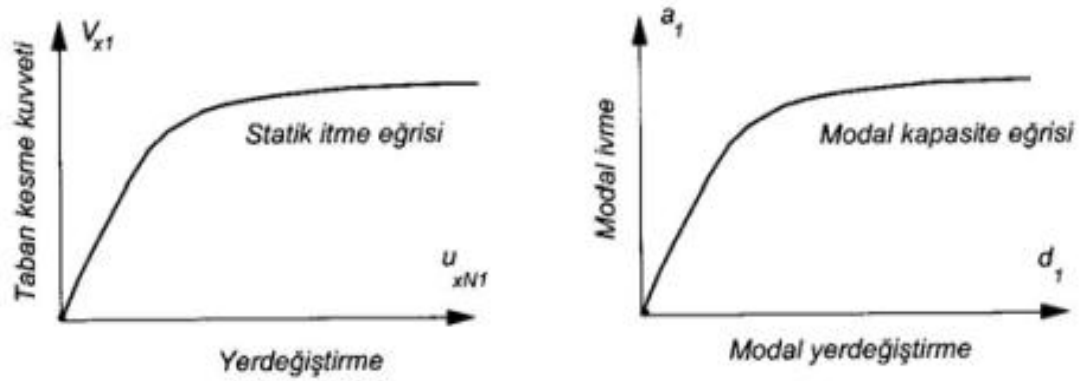
- a. Plastik Şekil Değiştirmenin belirli kesitlerde toplandığı kabul edilerek plastik mafsallık kabulü yapılır.
- b. Plastik mafsallık boyu kesit yüksekliğinin yarısı olarak kabul edilir ($L_p = 0.5h$)
- c. Plastik mafsallar deprem etkisinde en çok zorlanan kolon ve kirişlerin uçlarına, perdelerde ise alt ucuna tanımlanır.
- d. Eğilme momenti yanında normal kuvvet etkisinin de olduğu kolon kesitlerinde plastik mafsallık kesitlerinin güç tükenmesi, mevcut malzeme dayanımları kullanılarak elde edilen akma yüzeyleri yardımıyla belirlenir. Betonarme elemanlarda daha gerçekçi olması sebebiyle çatlamış kesit rijitlikleri kullanılır.

Yukarıda tanımlanan sabit yük dağılımına göre yapılan itme analizi ile, koordinatları “tepe yer değiştirmesi – taban kesme kuvveti” olan itme eğrisi elde edilecektir. Tepe yer değiştirmesi, binanın en üst katındaki kütle merkezinde, göz önüne alınan x deprem doğrultusunda her itme adımında hesaplanan yer değiştirmedir. Taban kesme kuvveti ise, her adımda eşdeğer deprem yüklerinin x deprem doğrultusundaki toplamıdır. İtme eğrisine uygulanan koordinat dönüşümü ile, koordinatları “modal yer değiştirme – modal ivme” olan modal kapasite diyagramı aşağıdaki şekilde elde edilebilir. İtme analizi sonucunda eksenleri taban kesme kuvveti - tepe yer değiştirmesi olan itme eğrisi elde edilir.

Şekil 3.3 ve Şekil 3.4 'da itme analizinin adımları ve sonuçları temsili olarak gösterilmektedir.



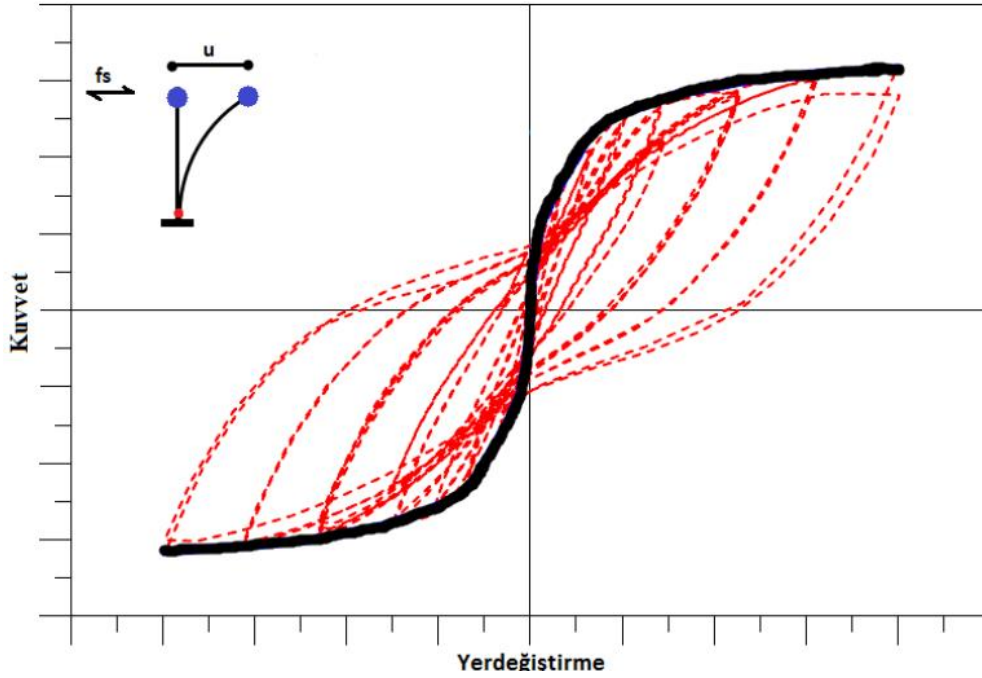
Şekil 3.3 : Doğrusal olmayan statik itme analizi.



Şekil 3.4 : Statik itme eğrisi ve modal kapasite eğrisi.

Bu eğri binanın elastik ötesi davranışını ve dinamik elasto - plastik davranışta oluşan kuvvet – yer değiştirme eğrisinin ana iskelet eğrisini temsil eder. Örnek bir iskelet eğrisi Şekil 3.5’de gösterilmektedir. Şekil 3.5’de kolonun alt ucunda bulunan kırmızı nokta statik çevrimsel yükleme sonucu oluşan kalıcı şekil değiştirmelerin yığıldığı plastik mafsallı temsil etmektedir. İtme eğrisinde yatay yükün artmasıyla elastik davranıştan ayrılarak elastik ötesi davranışa geçişin sağlandığı kıvrılma bölgesi plastik mafsalların oluşmaya başladığına işaret eder ve bu noktadan sonra eğer bina yeterli süneklığe sahip ise yük artımındaki küçük artışlar binada büyük yer değiştirme ve şekil değiştirmelere neden olur. Ve nihai olarak plastik mafsalların

artmasıyla birlikte sistem yumuşamaya başlar ve belirli bir süre sonunda yük taşıyamaz hale gelir.



Şekil 3.5 : İskelet eğrisi.

İtme eğrisine uygulanan koordinat dönüşümü ile, koordinatları “modal yer değiştirme – modal ivme” olan modal kapasite diyagramını nasıl elde edildiği aşağıda anlatılmıştır;

(a) (i)'inci itme adımında birinci (deprem doğrultusunda hakim) moda ait modal ivme $a_1^{(i)}$ aşağıdaki şekilde elde edilir:

$$a_1^{(i)} = \frac{V_{x1}^{(i)}}{M_{x1}} \quad (3.5)$$

(b) (i)'inci itme adımında birinci (deprem doğrultusunda hakim) moda ait modal yer değiştirme $d(i)$ 'nin hesabı için ise, aşağıdaki bağıntıdan yararlanılabilir:

$$d_1^{(i)} = \frac{u_{Nx}^{(i)}}{\Phi_{xN1} \Gamma_{x1}} \quad (3.6)$$

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 M_1 'den yararlanılarak aşağıdaki şekilde elde edilir:

$$\Gamma_{x1} = \frac{L_{x1}}{M_1} \quad (3.7)$$

Alternatif olarak, artımsal itme analizi sırasında eşdeğer deprem yükü dağılımı, her bir itme adımında öncekilere göre değişken 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. Kat döşemeleri rijit diyafram olarak idealleştirilen binalarda, birinci (hakim) doğal titreşim mod şeklinin genlikleri 3.6.5.'deki gibi tanımlanacaktır.

İtme analizi sonucunda 3.6.5'e göre elde edilen modal kapasite diyagramı ile birlikte, DBYBHY-07 Bölüm 2.4'de tanımlanan elastik davranış spektrumu ve farklı aşılma olasılıkları için bu spektrum üzerinde 3.7'e göre yapılan değişiklikler 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 (nonlinear) spektral yer değiştirme S_{di1} 'e eşittir:

$$d_1^{(p)} = S_{di1} \quad (3.8)$$

Doğrusal elastik olmayan (nonlinear) spektral yer değiştirme, 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 (linear) spektral yer değiştirme S_{de1} 'e bağlı olarak elde edilir:

$$S_{di1} = C_{R1} S_{de1} \quad (3.9)$$

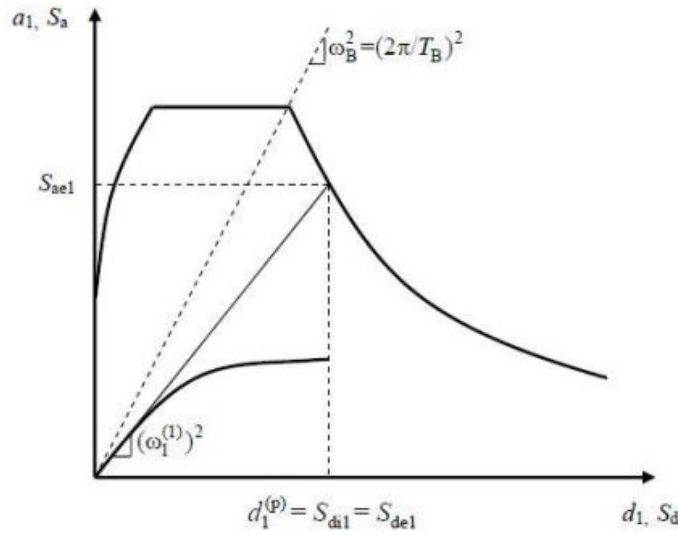
Doğrusal elastik (linear) spektral yer değiştirme S_{de1} , itme analizinin ilk adımında birinci moda ait elastik spektral ivme S_{ae1} 'den hesaplanır:

$$S_{de1} = \frac{S_{ae1}}{(w_1^{(1)})^2} \quad (3.10)$$

$T1(1)$ başlangıç periyodunun ivme spektrumundaki karakteristik periyodun T_B ' ye eşit veya daha uzun olması durumunda ($T1 \geq T_B$ veya $(\omega_1^{(1)})^2 \leq \omega_B^2$)

Spektral yer değıştirme oranı: $C_{R1}=1$

Nonlinear spektral yer değıştirme S_{di1} eşit yer değıştirme kuralı uyarınca doğal periyodu $T_1^{(1)}$ olan eşlenik doğrusal elastik sistem'e ait lineer elastik spektral yer değıştirme S_{de1} eşit alınır. Denklem (3.6) ile modal yer değıştirme istemi $d_1^{(p)}$ hesaplanır.



Şekil 3.6 : $T_1^{(1)}$ Başlangıç periyodunun T_B ’ den uzun olması durumu

$T_1^{(1)}$ başlangıç periyodunun ivme spektrumundaki karakteristik periyodun T_B den kısa olması durumunda ($T_1 \leq T_B$ veya $(w_1^{(1)})^2 \geq w_B^2$)

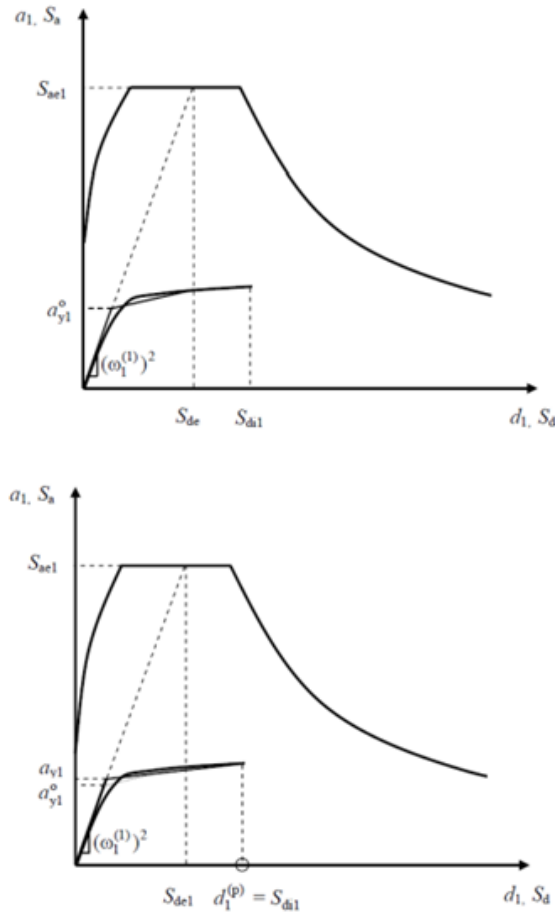
Spektral yer değıştirme oranı C_{R1} ardışık yaklaşımla belirlenir.

$$C_{R1} = \frac{1 + (R_y - 1)T_B / T_1^{(1)}}{R_{y1}} \quad (3.11)$$

Bu bağıntıda R_{y1} birinci moda ait dayanım azaltma katsayısını göstermektedir.

$$R_{y1} = \frac{S_{ae1}}{a_{y1}} \quad (3.12)$$

C_{R1} kullanılarak hesaplanan S_{di1} esas alınarak eşdeğer akma noktasının koordinatları, Şekil 3.6.’de gösterildiği üzere, eşit alanlar kuralı ile yeniden belirlenir ve bunlara göre a_{y1} , R_{y1} ve C_{R1} tekrar hesaplanır. Ardışık iki adımda elde edilen sonuçların kabul edilebilir ölçüde birbirlerine yaklaştıkları adımda ardışık yaklaşıma son verilir.



Şekil 3.7 : $T_1^{(1)}$ Başlangıç periyodunun T_B ’ den kısa olması durumu

Denklem (3.9) ve Denklem (3.8) kullanılarak modal yer değiştirme istemi belirlenebilir.

Son itme adımı $i=p$ için Denklem (3.8)’e göre belirlenen modal yer değiştirme istemi $d_1^{(p)}$ ‘nin Denklem (3.6) da yerine konulması ile x deprem doğrultusundaki tepe yer değiştirmesi istemi $u_{xN1}^{(p)}$ elde edilecektir.

$$u_{xN1} = \Phi_{xN1} \Gamma_{x1} d_1^{(p)} \quad (3.13)$$

Performans noktasında yapının tepe yer değiştirmesi bulunduktan sonra kesitte oluşan normal kuvvet ve moment değerleri dikkate alınarak betondaki kısıalma ve donatıdaki uzama şekil değiştirmeleri hesaplanır. Bulunan şekil değiştirmeler hasar sınırlarına karşı gelen şekil değiştirme değerleri ile karşılaştırılarak kesitin hasar bölgesi belirlenir. Kesitlerden elemanlara, elemanlardan da katlara geçilerek binanın deprem performansı bulunur. Ve hedeflenen performans düzeyinde olup olmadığı sorgulanır.

3.6.6 Artımsal mod birleştirme yöntemi ile itme analizi

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 bu tür bir itme analizi yöntemi, DBYBHY 2007 Bilgilendirme Eki 7D’de açıklanmıştır.

3.6.7 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.

Zaman tanım alanında yapılacak analizde kullanılacak yapay, kaydedilmiş veya benzeştirilmiş yer hareketleri DBYBHY-07 Bölüm 2.9.1 ve Bölüm 2.9.2’ye göre belirlenecek ve analizde DBYBHY-07 Bölüm 2.9.3 göz önüne alınacaktır.

3.6.8 Birim şekildeğiştirme istemlerinin belirlenmesi

3.6.5 veya 3.6.6’ya göre yapılan itme analizi veya zaman tanım alanında 3.6.7’ye göre yapılan hesap sonucunda çıkış bilgisi olarak herhangi bir kesitte elde edilen θ_p plastik dönme istemine bağlı olarak plastik eğrilik istemi, aşağıdaki bağıntı ile hesaplanacaktır:

$$\phi_p = \frac{\theta_p}{L_p} \quad (3.14)$$

Amaca uygun olarak seçilen bir beton modeli ile pekleşmeyi de göz önüne alan donatı çeliği modeli kullanılarak, kesitteki aksenal kuvvet istemi altında yapılan analizden elde edilen iki doğrulu moment-eğrilik ilişkisi ile tanımlanan Φ_y eşdeğer akma eğriliği, Denk.(3.14) ile tanımlanan Φ_p plastik eğrilik istemine eklenerek, kesitteki Φ_t toplam eğrilik istemi elde edilecektir:

Betonarme sistemlerde betonun basınç birim şekil değiştirmesi istemi ile donatı çeliğindeki birim şekil değiştirme istemi, Denk.(3.15) ile tanımlanan toplam eğrilik istemine göre moment-eğrilik analizi ile hesaplanacaktır.

$$\phi_t = \phi_p + \phi_y \quad (3.15)$$

Sargılı veya sargısız beton ve donatı çeliği modelleri için, başkaca bir seçim yapılmadığı durumlarda, DBYBHY-07 Bilgilendirme Eki 7B'den yararlanılabilir.

3.6.9 Betonarme elemanların kesit birim şekildeğiştirme kapasiteleri

Beton ve donatı çeliğinin birim şekil değiştirmeleri cinsinden 3.6.8'e göre elde edilen deprem istemleri, aşağıda tanımlanan birim şekil değiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılarak, kesit düzeyinde taşıyıcı sistem performansı belirlenecektir.

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:

$$(\epsilon_{cu})_{MN}=0.0035 ; \quad (\epsilon_s)_{MN}=0.01 \quad (3.16)$$

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

$$(\epsilon_{cu})_{GV}=0.0035+0.01(\rho_s/\rho_{sm})\leq 0.0135 ; \quad (\epsilon_s)_{GV}=0.040 \quad (3.17)$$

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

$$(\epsilon_{cu})_{GC}=0.004+0.014(\rho_s/\rho_{sm})\leq 0.0180 ; \quad (\epsilon_s)_{GC}=0.060 \quad (3.18)$$

Göz önüne alınan enine donatıların DBYBHY-07 Bölüm 3.2.8'e göre "özel deprem etriyeleri ve çirozları" olarak düzenlenmiş olması zorunludur.

3.6.10 Güçlendirilen dolgu duvarlarının şekildeğiştirme kapasiteleri

DBYBHY-07 Bölüm 7.10.4 ve Bilgilendirme Eki 7F'e göre güçlendirilen dolgu duvarlarının, kendilerini çevreleyen kolon ve kirişlerle birlikte DBYBHY-07 Bölüm 7.6.4.2'e göre modellenerek yapılan itme analizi sonucunda elde edilen görelı kat ötelemeleri için izin verilen sınır değerler (kapasiteler) Çizelge 3.5'in ikinci satırında tanımlanmıştır.

3.6.11 Betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının kesme kuvveti kapasiteleri

Kolon-kiriş birleşim bölgeleri dışında tüm betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının gevrek kırılma kontrollerinde kullanılacak kesme kuvveti dayanımları TS-500'e göre belirlenecektir. Kesme kuvveti dayanımı hesabında, 3.2'de belirlenen bilgi düzeylerine göre tanımlanan mevcut dayanım değerleri kullanılacaktır. Kesme kuvveti dayanımının kesme kuvveti isteminden daha küçük olduğu elemanlar, gevrek olarak hasar gören elemanlar olarak tanımlanacaktır. Betonarme kolon-kiriş birleşimleri için DBYBHY-07 Denk.(3.11)'den hesaplanacak kesme kuvveti isteminin DBYBHY-07 Bölüm 3.5.2.2'de verilen kesme dayanımını aşmaması gerekir. Ancak DBYBHY-07 Denk.(3.11)'de V_{kol} yerine doğrusal olmayan analizde ilgili kolon için hesaplanan kesme kuvveti istemi kullanılacak, DBYBHY-07 Denk.(3.12) veya DBYBHY-07 Denk.(3.13)'deki dayanım hesabında ise f_{cd} yerine 3.2'de tanımlanan bilgi düzeyine göre belirlenen mevcut beton dayanımı esas alınacaktır. Kesme kuvveti isteminin kesme dayanımını aşması durumunda, kolon-kiriş birleşim bölgesi gevrek olarak hasar gören eleman olarak tanımlanacaktır.

3.7 Bina Deprem Performansının Belirlenmesi

3.7.1 Betonarme binaların deprem performansı

Binaların deprem performansı, uygulanan deprem etkisi altında binada oluşması beklenen hasarların durumu ile ilişkilidir ve dört farklı hasar durumu esas alınarak tanımlanmıştır. 3.5 ve 3.6'da tanımlanan hesap yöntemlerinin uygulanması ve eleman hasar bölgelerine karar verilmesi ile bina deprem performans düzeyi belirlenir. Binaların deprem performansının belirlenmesi için uygulanacak kurallar aşağıda verilmiştir. Burada verilen kurallar betonarme ve prefabrike betonarme binalar için geçerlidir. Yığma binalarda uygulanacak kurallar DBYBHY-07 Bölüm 7.7.6'da verilmiştir.

3.7.2 Hemen kullanım performans düzeyi

Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla %10'u Belirgin Hasar Bölgesi'ne geçebilir, ancak diğer taşıyıcı elemanlarının tümü Minimum Hasar Bölgesi'ndedir. Eğer varsa, gevrek olarak hasar gören elemanların güçlendirilmeleri kaydı ile, bu durumdaki binaların Hemen Kullanım Performans Düzeyi'nde olduğu kabul edilir.

3.7.3 Can güvenliği performans düzeyi

Eğer varsa, gevrek olarak hasar gören elemanların güçlendirilmeleri kaydı ile, aşağıdaki koşulları sağlayan binaların Can Güvenliği Performans Düzeyi'nde olduğu kabul edilir:

- a. Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda, ikincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla %30'u ve kolonların aşağıdaki (b) paragrafında tanımlanan kadarı İleri Hasar Bölgesi'ne geçebilir.
- b. İleri Hasar Bölgesi'ndeki kolonların, her bir katta kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı %20'nin altında olmalıdır. En üst katta İleri Hasar Bölgesi'ndeki kolonların kesme kuvvetleri toplamının, o kattaki tüm kolonların kesme kuvvetlerinin toplamına oranı en fazla %40 olabilir.
- c. Diğer taşıyıcı elemanların tümü Minimum Hasar Bölgesi veya Belirgin Hasar Bölgesi'ndedir. Ancak, herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden Minimum Hasar Sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir (Doğrusal elastik yöntemle hesapta, alt ve üst düğüm noktalarının ikisinde birden DBYBHY-07 Denk.(3.3)'ün sağlandığı kolonlar bu hesaba dahil edilmezler).

3.7.4 Göçme öncesi performans düzeyi

Gevrek olarak hasar gören tüm elemanların Göçme Bölgesi'nde olduğunun göz önüne alınması kaydı ile, aşağıdaki koşulları sağlayan binaların Göçme Öncesi Performans Düzeyi'nde olduğu kabul edilir:

- a. Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda, ikincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla %20'si Göçme Bölgesi'ne geçebilir.
- b. Diğer taşıyıcı elemanların tümü Minimum Hasar Bölgesi, Belirgin Hasar Bölgesi veya İleri Hasar Bölgesi'ndedir. Ancak, herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden Minimum Hasar Sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir (Doğrusal elastik yöntemle hesapta, alt ve üst uçlarının ikisinde birden Denk.(3.3)'ün sağlandığı kolonlar bu hesaba dahil edilmezler). Binanın mevcut durumunda kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır.

3.7.5 Göçme durumu

Bina Göçme Öncesi Performans Düzeyi'ni sağlayamıyorsa Göçme Durumu'ndadır. Binanın kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır.

3.8 Binalar İçin Hedeflenen Performans Düzeyleri

Yeni yapılacak binalar için DBYBHY-07 Bölüm 2.4'de tanımlanan ivme spektrumu, göre 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremi esas almaktadır. Ek olarak, mevcut binaların değerlendirilmesinde ve güçlendirme tasarımında kullanılmak üzere ayrıca aşağıda belirtilen iki farklı deprem düzeyi tanımlanmıştır.

Çizelge 3.6 : Performans değerlendirmesinde kullanılan depremler

Deprem Törü	Deprem Etki Katsayısı	50 Yılda Aşılma Olasılığı	Ortalama Dönüş Periyodu
Kullanım Depremi	0.50	50%	72 yıl
Tasarım Depremi	1.00	10%	474 yıl
En Büyük Deprem	1.50	2%	2475 yıl

Mevcut veya güçlendirilecek binaların deprem performanslarının belirlenmesinde esas alınacak deprem düzeyleri ve bu deprem düzeylerinde binalar için öngörülen minimum performans hedefleri Çizelge 3.7'de verilmiştir.

Çizelge 3.7 : Binalar için öngörülen minimum performans hedefleri

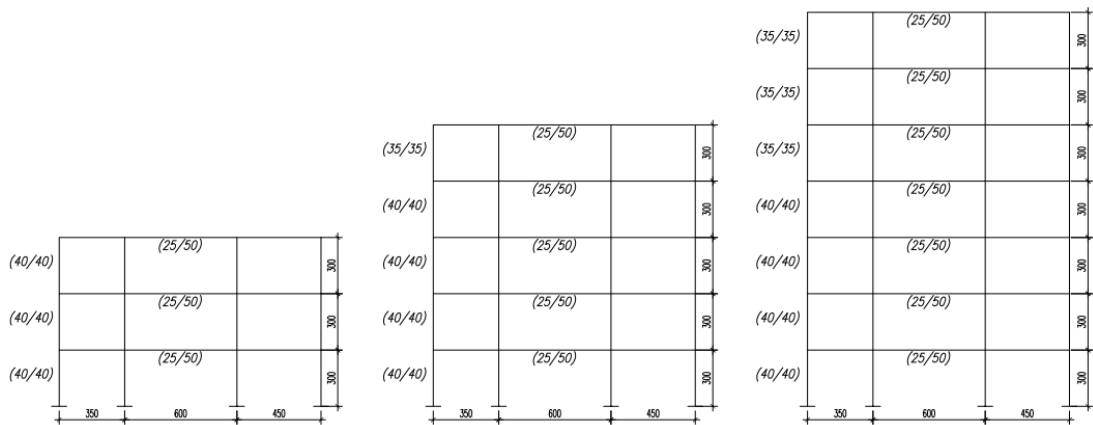
<i>Binanın Kullanım Amacı ve Türü</i>	<i>Deprem Aşılma Olasılığı</i>		
	<i>50 yılda %50</i>	<i>50 yılda %10</i>	<i>50 yılda %2</i>
Deprem Sonrası Kullanımı Gereken Binalar: Hastaneler, sağlık tesisleri, itfaiye binaları, haberleşme ve enerji tesisleri, ulaşım istasyonları, vilayet, kaymakamlık ve belediye 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	-

4. KAT ADETİ FARKLI ÜÇ BİNANIN DBYBHY 2007 YÖNETMELİĞİNE GÖRE DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞLARININ İRDELENMESİ VE DEPREM PERFORMANSLARININ BELİRLENMESİ

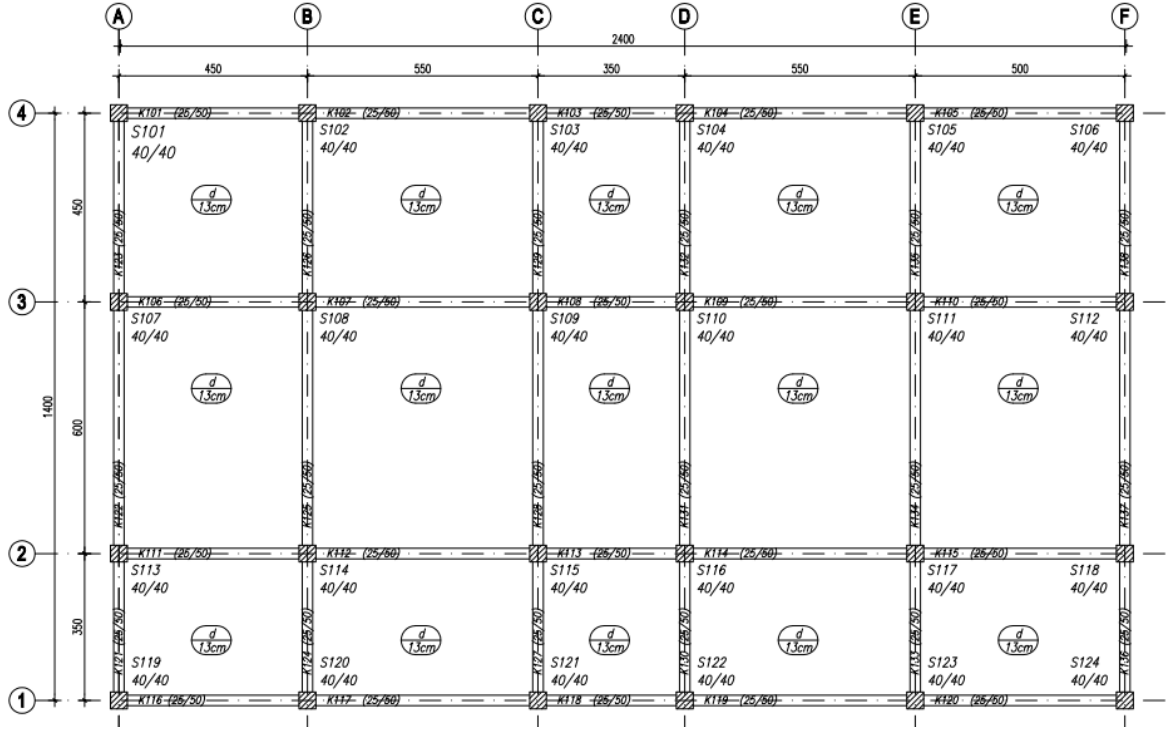
4.1 Tasarımı Yapılacak Binaların Geometrileri

Bu çalışmada 3, 5, 7 katlı üç adet betonarme ofis türü bina üzerinde çalışılmıştır. Şekil4.1 'de binalar için düşey kesitler ve Şekil4.2 'de tipik kat planı verilmiştir.

Her üç binada kat planları aynı olup x doğrultusunda 7 aksa (A-F) , y doğrultusunda ise 4 (1-4) aksa sahiptir. Aks açıklıkları x doğrultusu için sırasıyla 4.5m, 5.5m, 3.5m, 5.5m, 4.5m olmak üzere toplam 23.5m , y doğrultusu ise sırasıyla 3.5m, 6m, 4.5m olmak üzere toplam 14m dır. Kat yükseklikleri her bina için aynıdır ve bütün katlar için 3m'dir. Kolonlar 3 katlı bina için 0.40m×0.40m, 5 katlı bina için; ilk dört kat 0.40m×0.40m ve son kat için 0.35m×0.35m ve 7 katlı bina için ilk dört kat için 0.40m×0.40m, son üç kat için 0.35m×0.35m dır. 3, 5 ve 7 katlı binalarda tüm kirişler 0.25m×0.50m boyuta sahiptir. Bütün katlarda döşeme kalınlığı 130mm kabul edilmiştir. Binalar ofis binası olarak kabul edilmiştir.



Şekil 4.1 : Betonarme binaların düşey kesitteki düzenleri



Şekil 4.2 : Tipik normal kat kalıp planı ve 3D analiz modelleri

4.2 Malzeme Özellikleri

Beton:

Üst Yapı: C25, $f_{ck} = 25\text{Mpa}$, $E=30000\text{Mpa}$

f_{ck} : 150×300 mm silindir numunelerin karakteristik basınç dayanımı.

Donatı:

S420a, $f_{yk} = 420\text{ MPa}$ kalitesinde olacaktır.

f_{yk} = Donatı karakteristik akma dayanımı

4.3 Deprem Karakteristikleri

DBYBHY'07 ve TS500'e göre boyutlandırılan 3 katlı, 5 katlı ve 7 katlı taşıyıcı sistem modellerinde esas alınan deprem karakteristikleri aşağıda verilmiştir.

Bina önem katsayısı : $I = 1.0$ (Ofis)

Hareketli yük katılım katsayısı : $n = 0.30$

Etkin yer ivmesi katsayısı : $A_0 = 0.40$

Taşıyıcı sistem davranış katsayısı : $R = 8$

Yerel zemin sınıfı : Z3

Spektrum karakteristik periyotları : $T_A = 0.15$ s , $T_B = 0.60$ s

4.4 Boyutlandırmada Esas Alınan Yükler

Tüm taşıyıcı sistem modellerinin boyutlandırılmasında aşağıda verilen düşey yükler kullanılmıştır. Bu yüklere ilave olarak, elemanların kendi ağırlıklarından gelen zati yükler analiz sırasında göz önüne alınmıştır. Donatılı betonarme betonun birim hacim ağırlığı 25 kN/m^3 kabul edilmiştir.

Dış duvar yükü (13 cm panel duvar) : 3.35 kN/m

İç duvar yükü (9 cm panel duvar) : 2 kN/m

Sıva + kaplama : 1.7 kN/m^2

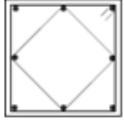
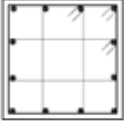
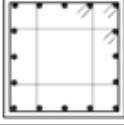
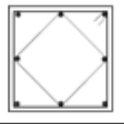
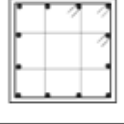
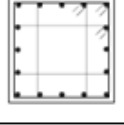
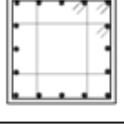
Hareketli yük : 2 kN/m^2

4.5 Taşıyıcı Sistemlerin Boyutlandırılması

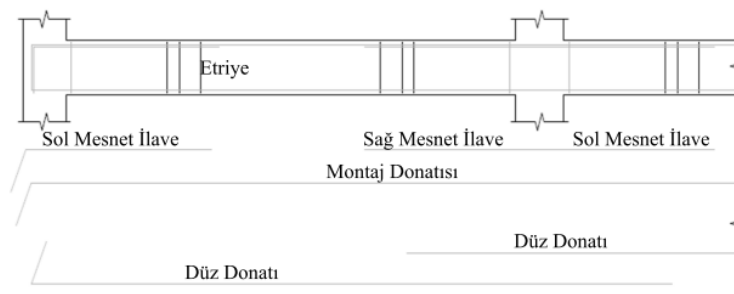
Taşıyıcı sistemler, yukarıda verilen özelliklere göre SAP2000 v15.1 [21] paket programı ile boyutlandırılmıştır. Bu boyutlandırma, DBYBHY'07 ve TS500'e uygun olarak yapılmıştır. Sonuç olarak taşıyıcı sistem elemanlarının kesit özellikleri ve çizimleri elde edilmiştir.

Analizler sonucunda 7 tip farklı kolon kesiti elde edilmiştir, bu 7 tip kolon kesiti bütün binalarda kullanılan ortak kesitlerdir. Çizelge 4.1'de, 3 tip bina için bulunan, 7 tip kolonun kesit özellikleri verilmektedir

Çizelge 4.1 : Kolon kesit tipleri..

TİP No	Kolon Kesitleri	B-H (m)	Düşey Donatı	Yatay Donatı	Düşey Donatı Porsantajı
TİP 1		0.4	8Φ16	Φ10/20/10	0.01005
TİP 2		0.4	12Φ16	Φ8/20/10	0.01507
TİP 3		0.4	16Φ16	Φ8/20/10	0.0201
TİP 4		0.35	8Φ14	Φ10/20/10	0.01
TİP 5		0.35	12Φ14	Φ8/20/10	0.01508
TİP 6		0.35	16Φ14	Φ8/20/10	0.02
TİP 7		0.35	16Φ16	Φ8/20/10	0.0262

Kiriş kesitlerindeki donatı düzenleri ve miktarları bina tipine göre değişmektedir. 3 Katlı, 5 Katlı ve 7 Katlı için sırası ile Çizelge 4.2, Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4’de kiriş kesit özellikleri verilmiştir. Kiriş kesitindeki donatıların örnek yerleşim düzeni Şekil 4.3’de gösterilmiştir.



Şekil 4.3 : Örnek kiriş donatı düzeni

Çizelge 4.2 : 3 Katlı binada kullanılan kiriş tipleri

Tip No	Montaj	Alt Açıklık	Sol mesnet ila.	Sağ mesnet ila.	3 KATLI BİNA
KRS 7	3Φ12	3Φ14	2Φ16	2Φ16	K106, K107, K108, K109, K110, K111, K112, K113, K114, K115, K124, K125, K126, K127, K128, K129, K130, K131, K132, K133, K134, K135, K206, K207, K208, K209, K210, K211, K212, K213, K214, K215, K224, K225, K226, K227, K228, K229, K230, K231, K232, K233, K234, K235
KRS 8	3Φ12	3Φ14	2Φ14	2Φ14	K101, K102, K103, K104, K105, K116, K117, K118, K119, K120, K121, K122, K123, K136, K137, K138, K201, K202, K203, K204, K205, K216, K217, K218, K219, K220, K221, K222, K223, K236, K237, K238, K325, K328, K331, K334
KRS 9	2Φ12	3Φ12	2Φ14	2Φ14	K306, K307, K308, K309, K310, K311, K312, K313, K314, K315, K324, K326, K327, K329, K330, K332, K333, K335
KRS 10	3Φ14	3Φ12	---	---	K301, K302, K303, K304, K305, K316, K317, K318, K319, K320, K321, K322, K323, K336, K337, K338

Çizelge 4.3 : 5 Katlı binada kullanılan kiriş tipleri

Tip No	Montaj	Alt Açıklık	Sol mesnet ila.	Sağ mesnet ila.	5 KATLI BİNA
KRS 4	3Φ12	3Φ16	2Φ18	2Φ18	K101, K103, K105, K106, K108, K110, K111, K113, K115 K124K127, K130, K133, K201, K205, K206, K208, K210 K211,K213,K215, K224, K227, K230, K233
KRS 5	3Φ12	3Φ14	2Φ18	2Φ18	K102, K104, K107, K109, K112, K114, K125, K126, K128, K129, K131, K132, K134, K135, K202, K204, K207, 209, K212, K214, K225, K226, K228, K229, K231, K232, K234,
KRS 6	3Φ12	3Φ16	2Φ16	2Φ16	K116, K118, K120, K136, K216, K218, K220, K221, K236
KRS 7	3Φ12	3Φ14	2Φ16	2Φ16	K117,K 119, K122 K123, K137, K138, K217, K219, K222, K223, K237, K238,K306, K307, K308, K309, K310, K311, K312, K313, K314, K315, K324, K325, K326, K327, K328, K329, K330, K331, K332, K334, K335, K424, K425, K426, K427, K428, K429, K430, K431, K432, K433, K434 ,K435
KRS 8	3Φ12	3Φ14	2Φ14	2Φ14	K301, K302, K303, K304, K305, K316, K317, K318, K319, K320, K321, K322, K323, K336, K337, K338, K406, K407, K408, K409, K410, K411, K412, K413, K414, K415
KRS 9	2Φ12	3Φ12	2Φ14	2Φ14	K401, K402, K403, K404, K405, K416, K417, K417, K418, K419, K420 ,K421, K422, K423, K436, K437, K438, K506, K507, K508, K509, K510, K511, K512, K513, K514, K515, K524, K525, K526, K527, K528, K529, K530, K531, K532, K533, K534 ,K535
KRS 10	3Φ14	3Φ12	--	--	K501, K502, K503, K504, K505, K516, K517, K518, K519, K520, K521, K522, K523, K536, K537, K538

Çizelge 4.4 : 7 Katlı binada kullanılan kiriş tipleri

Tip No	Montaj	Alt Açıklık	Sol mesnet ila.	Sağ mesnet ila.	7 KATLI BİNA
KRS 1	3Φ12	3Φ18	2Φ20	2Φ20	K121, K124, K127, K130, K133, K136, K221, K224, K227 K230, K233, K236
KRS 2	3Φ12	3Φ16	2Φ20	2Φ20	K106, K108, K110, K111, K113, K115, K123, K126, K129 K132, K135, K138, K206, K208, K210, K211, K213, K215 K223, K226, K229, K229, K232, K235, K238
KRS 3	3Φ12	3Φ14	2Φ20	2Φ20	K107, K109, K112, K114, K125, K128, K131, K134, K137 K207, K212, K214, K222, K225, K228, K231, K234, K237
KRS 4	3Φ12	3Φ16	2Φ18	2Φ18	K101, K103, K105, K116, K118, K120, K120, K201, K203 K205, K216, K218, K220, K301, K303, K305, K306, K308 K310, K311, K313, K315, K316, K318, K320, K327, K324 K327, K330, K330, K333, K336, K424, K427, K430, K433 K524, K527, K530, K533
KRS 5	3Φ12	3Φ14	2Φ18	2Φ18	K102, K104, K117, K119, K202, K204, K219, K302, K304 K307, K309, K312, K314, K317, K319, K322, K323, K325 K326, K328, K329, K331, K332, K337, K338, K406, K407 K408, K409, K410, K411, K412, K414, K415, K425, K426 K429, K431, K432, K434, K435, K525, K526, K528, K529 K531, K532, K534, K535
KRS 6	3Φ12	3Φ16	2Φ16	2Φ16	K421, 436, K521, K536
KRS 7	3Φ12	3Φ14	2Φ16	2Φ16	K401, K402, K403, K404, K405, K416, K417, K418, K419 K420, K422
KRS 8	3Φ12	3Φ14	2Φ14	2Φ14	K501, K502, K504, K505, K516, K517, K518, K519, K520
KRS 9	2Φ12	3Φ12	2Φ14	2Φ14	K606, K607, K608, K609, K610, K611, K613, K614, K615 K624, K625, K626, K627, K628, K629, K630, K631, K632 K634, K635
KRS 10	3Φ14	3Φ12	--	--	K603, K604, K605, K617, K618, K619, K620, K621, K622 K623, K636, K637, K638, K706, K707, K708, K709, K710 K711, K712, K713, K714, K715, K724, K725, K726, K727 K728, K729, K730, K731, K732, K733, K734, K735
KRS 11	3Φ12	2Φ12	--	--	K703, K704, K705, K716, K717, K718, K719, K720, K721 K722, K723, K736, K737, K738

4.6 Binaların Modal Analiz Sonuçları

SAP2000 [15.1] programında hesaplanan binaların modal analiz sonuçları Çizelge 4.5’de verilmiştir. Bina mod şekillerinin hesaplanmasında kat seviyelerinde rijit diyaframlar tanımlanarak, x ve y doğrultularında ötelenme ve düşey eksen etrafında dönme serbestlikleri göz önünde bulundurulmuştur. Çizelge 4.5’de sadece ilk 6 moda yer verilmiştir. Ayrıca etkin eğilme rijitliklerinin göz önüne alınması ve alınmaması durumları ayrı ayrı gösterilmiştir.

Çizelge 4.5 : Modal analiz sonuçları

Bina Tipi	Et. Eğ. Rij. Çatlamamış/ Çatlamış	Mod No	Periyot (s)	Modal Kütle Oranları					
				UX	UY	RZ	Küm. UX	Küm. UY	Küm. RZ
3 Katlı	Yok	1	0,413	0	0,863	0,455	0	0,863	0,455
		2	0,404	0,862	0	0,187	0,862	0,863	0,641
		3	0,366	0,005	0	0,223	0,867	0,863	0,865
		4	0,131	0	0,110	0,058	0,867	0,973	0,922
		5	0,129	0,106	0,000	0,023	0,973	0,973	0,945
		6	0,117	0,001	0	0,027	0,974	0,973	0,973
	Var	1	0,633	0	0,858	0,452	0	0,858	0,452
		2	0,622	0,856	0	0,185	0,856	0,858	0,637
		3	0,560	0,004	0	0,224	0,861	0,858	0,861
		4	0,200	0	0,111	0,059	0,861	0,970	0,920
		5	0,198	0,109	0	0,024	0,970	0,970	0,943
		6	0,179	0,001	0	0,028	0,970	0,970	0,971
5 Katlı	Yok	1	0,692	0	0,830	0,437	0	0,830	0,437
		2	0,673	0,829	0	0,180	0,829	0,830	0,617
		3	0,610	0,005	0	0,214	0,834	0,830	0,831
		4	0,230	0	0,103	0,055	0,834	0,933	0,886
		5	0,225	0,100	0	0,021	0,934	0,933	0,907
		6	0,197	0,001	0	0,025	0,934	0,933	0,932
	Var	1	1,043	0	0,819	0,432	0	0,819	0,432
		2	1,019	0,818	0	0,173	0,818	0,819	0,605
		3	0,911	0,003	0	0,216	0,822	0,819	0,821
		4	0,349	0	0,104	0,055	0,822	0,924	0,876
		5	0,343	0,102	0	0,021	0,924	0,924	0,897
		6	0,290	0,001	0	0,025	0,925	0,924	0,922
7 Katlı	Yok	1	0,993	0	0,804	0,424	0	0,804	0,424
		2	0,959	0,805	0	0,175	0,805	0,804	0,599
		3	0,871	0,005	0	0,208	0,809	0,804	0,806
		4	0,341	0	0,114	0,060	0,809	0,918	0,866
		5	0,333	0,110	0	0,023	0,919	0,918	0,889
		6	0,279	0,001	0	0,027	0,920	0,918	0,916
	Var	1	1,457	0	0,798	0,420	0	0,798	0,420
		2	1,417	0,799	0	0,162	0,799	0,798	0,582
		3	1,286	0,001	0	0,219	0,800	0,798	0,801
		4	0,506	0	0,112	0,059	0,800	0,909	0,860
		5	0,495	0,110	0	0,019	0,910	0,909	0,879
		6	0,304	0,012	0	0,004	0,922	0,909	0,884

4.7 Doğrusal Olmayan Yöntemler Kullanılarak Performans Analizi Yapılacak Olan Üç Boyutlu Modellerinin Oluşturulması

Önceki bölümde ayrıntılı olarak yükleri, kesit boyutları ve donatıları verilen binaların deprem performanslarını tayin edebilmek için SAP2000 v.15.1.0 analiz programı kullanılmıştır. Taşıyıcı sistem modellerinin oluşturulmasında yapılan bazı kabuller şunlardır:

- Modelde kiriş ve kolonlar çubuk elemanlar kullanılarak idealize edilmiştir.
- Her katta döşemelerin kendi düzlemleri içinde rijit diyafram olarak çalıştığı kabul edilmiştir.

- Düşey yükler döşemelerden kirişlere üçgen ya da trapez yayılı yük şeklinde aktarılmıştır.
- Düğüm noktaları rijit olarak alınmış, taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının temele ankastre olarak mesnetlendikleri kabul edilmiştir.
- Betonarme elemanların bütün kesitlerinde çatlamış kesite ait eğilme rijitlikleri dikkate alınmıştır
- Yapısal elemanlardaki plastik şekil değiştirmeleri hesaplayabilmek için yapısal elemanların doğrusal olmayan davranışları yığılı plastik davranış modeli ile modellenmiştir
- Performans analizi yapılırken güvenlik katsayıları kullanılmayıp malzemelerin karakteristik dayanımları dikkate alınmıştır.

Performans değerlendirmesinde doğrusal olmayan davranışı dikkate alan artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi kullanılmıştır.

4.7.1 Çatlamış kesite ait eğilme rijitliklerinin tanımlanması

Yönetmelik 7.4.13'e göre eğilme etkisindeki betonarme elemanların akma öncesi doğrusal davranışları için çatlamış kesite ait eğilme rijitlikleri kullanılacaktır. Böylece eğilme etkisindeki betonarme elemanların eğilme rijitlikleri çatlamış kesite ait eğilme rijitliklerine dönüştürülmüş olunur. DBYBHY'07' e göre etkin eğilme rijitlik oranları aşağıdaki gibi hesaplanır;

- Kirişlerde: $(EI)_e = 0.40 (EI)_o$

- Kolon ve perdelerde,

$$N_D / (A_c f_{cm}) \leq 0.10 \text{ olması durumunda: } (EI)_e = 0.40(EI)_o$$

$$N_D / (A_c f_{cm}) \geq 0.40 \text{ olması durumunda: } (EI)_e = 0.80(EI)_o$$

Elemanlarda oluşan eksenel basınç kuvveti N_D 'nin ara değerleri için doğrusal enterpolasyon yapılabilir. Bu eksenel basınç kuvveti, deprem hesabında esas alınan toplam kütlelerle uyumlu yüklerin göz önüne alındığı ve çatlamamış kesitlere ait $(EI)_o$ eğilme rijitliklerinin kullanıldığı bir ön düşey yük ($G+nQ$ ön yükleme) hesabı ile belirlenir. Deprem hesabı için başlangıç durumunu oluşturan bu düşey yükleme

etkin eğilme rijitlikleri kullanılarak, deprem hesabında esas alınan kütlelerle uyumlu yüklere göre yeniden yapılır.

Bu duruma uygun olarak, aşağıda 7 katlı binaya ait K101 kirişi ve S102 kolonu için örnek hesaplar gösterilmiştir.

Kirişler için örnek hesap

K101 kirişi (7 Katlı Bina) ;

Kesit boyutları $h=50\text{cm}$, $b=25\text{cm}$

$I_o=2.604\text{E-}03\text{ m}^4$, $E=30000\text{Mpa}$, $(EI)_o=78120\text{ kNm}^2$

DBYBHY 2007, Madde 7.4.13'e göre; $(EI)_e = 0.40 \times (EI)_o$

$(EI)_e = 31248\text{ kNm}^2$

Kolonlar için örnek hesap

S102 Kolonu (7 Katlı Bina) ;

Kesit boyutları $h=40\text{cm}$, $b=40\text{cm}$

$A_c = 160000\text{ mm}^2$ (En kesit alanı)

$f_{cm} = 25\text{ MPa}$ (Beton basınç dayanımı)

Yönetmelik 7.4.13 (b)'ye göre:

Kolon ve perdelerde, $N_D / (A_c f_{cm}) \leq 0.10$ olması durumunda: $(EI)_e = 0.40(EI)_o$

$N_D / (A_c f_{cm}) \geq 0.40$ olması durumunda: $(EI)_e = 0.80(EI)_o$

$N_D = 713.58\text{ kN}$ (Düşey yükten oluşan eksenel kuvvet)

$A_c f_{cm} = 4000\text{ kN}$

$N_D / (A_c f_{cm}) = 0.178 > 0.1$

$N_D / (A_c f_{cm})$ 'nin ara değeri için yapılan doğrusal enterpolasyon sonucu bulunan eğilme rijitliği $0.504EI_o$ 'dır. Buna göre kolonun çatlamış kesite ait eğilme rijitliği aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$I_o=2.133\text{E-}03\text{ m}^4$, $E=30000\text{MPa}$, $(EI)_o=6399\text{ kNm}^2$

$0.504(EI)_o = 0.504 \times 6399 = 3225\text{ kNm}^2$

4.7.2 Kiriş ve kolonlarda yığılı plastik davranışın tanımlanması

4.7.2.1 Plastik mafsal momenti hesabında kullanılacak mevcut malzeme dayanımları ve birim şekildeğiştirme değerleri

Kat sayıları farklı 3 betonarme yapı SAP2000 programında oluşturulduktan sonra önceden belirlenen donatılar ve malzeme özellikleri ilgili elemanlara atanmıştır. Malzeme özelliklerini tanımlarken donatı çeliği için DBYBHY'07 de belirtilen S420a sınıfı donatı çeliğine ait bilgiler, sargılı beton için bölüm 3.2.2'de belirtilen Mander beton modeli kullanılmıştır. Çerçeveleri oluşturan kolon ve kiriş elemanlarına ait kesitler grafiksel olarak SAP2000 programında “Section Designer” özelliği kullanılarak tanımlanmıştır. Section Designer’da enine donatının sarmadığı kabuk betonu için sargısız beton modeli, enine donatı içerisinde kalan çekirdek betonu için mander sargılı beton modeli kullanılmıştır.

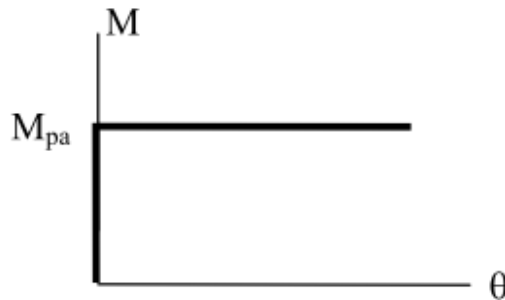
Kiriş ve kolonlarda, elemanların uçlarında tanımlanan plastik kesitlerin modellenmesi esnasında mevcut malzeme dayanımları ve en büyük birim şekil değiştirme değerleri aşağıdaki gibi dikkate alınmıştır:

Beton için : $f_{cm} = 25 \text{ MPa}$ ve $\epsilon_{cu} = 0.003$

Çelik için : $f_{ym} = 420 \text{ MPa}$ ve $\epsilon_{su} = 0.01$

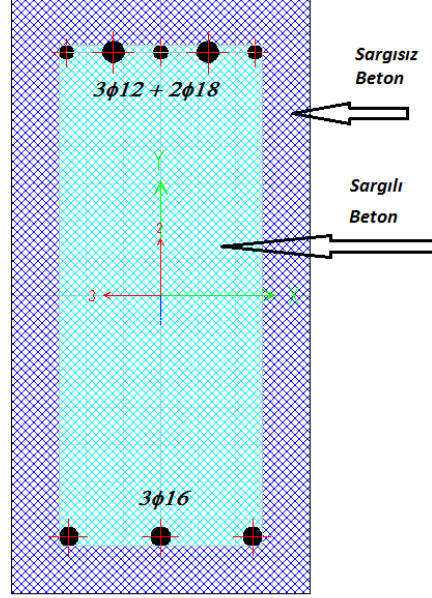
4.7.2.2 Kirişler için plastik kesit tanımlanması

Kirişler için iç kuvvet-plastik şekil değiştirme bağıntıları tanımlamak amacıyla bir eksenli eğilme analizi yapıp kesitlere ait plastik moment (M_{pa}) değerleri hesaplanmıştır. Yönetmelik 7.6.4.5.(a)’ya dayanarak pekleşme etkisi göz önüne alınmamış ve iç kuvvet-plastik şekil değiştirme bağıntısı aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi dikkate alınmıştır. Kirişler için iç kuvvet - şekil değiştirme sınırları SAP2000 programının “Section Designer” bölümü kullanarak tanımlanmıştır.



Şekil 4.4 : Plastik moment – plastik dönme ilişkisi

Örneğin, Şekil 4.5’de K101 (7 katlı) için betonarme detay gösterilmektedir. Kirişin sağ ve sol ucundaki kesitlerin donatı konfigürasyonları aynıdır. Yapılan analiz sonucunda kesitin sağ ve sol uçlarındaki plastik moment değerleri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.



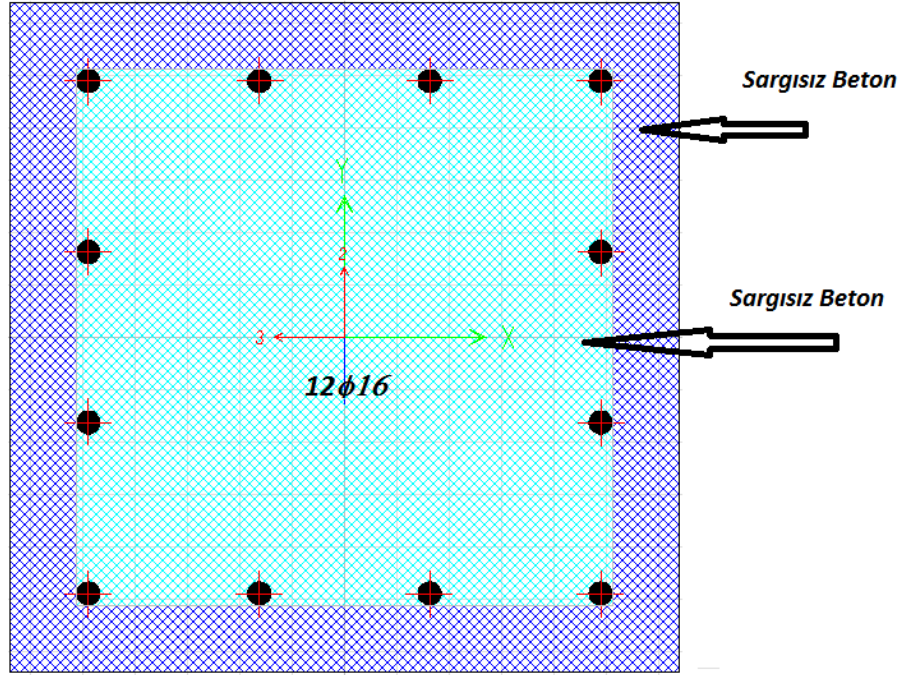
Şekil 4.5 : 7 Katlı binaya ait K101 (25/50) kirişi kesiti

(+) Mpa = 118.11 MPa

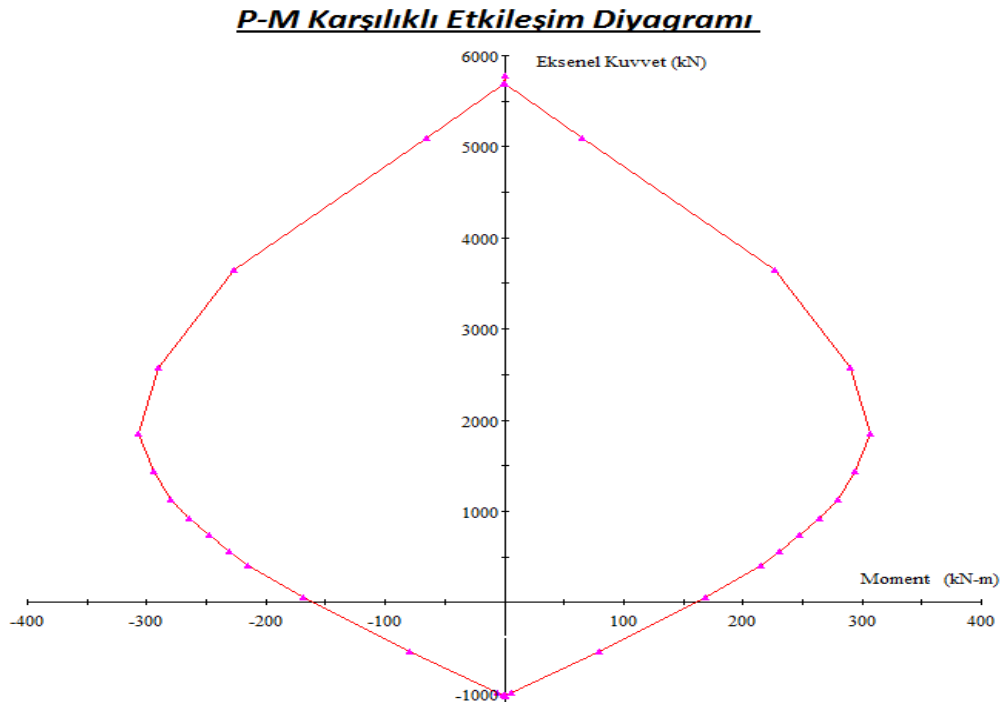
(-) Mpa = 166.83 MPa

4.7.2.3 Kolonlar için plastik kesit tanımlanması

Kolonlar için iç kuvvet - şekil değiştirme sınırları SAP2000 [21] programının “Section Designer” bölümü kullanılarak tanımlanmıştır. Kolonlarda enine donatı ile çevrelenen beton için sargılı ve kabuk betonu için ise sargısız beton modelleri kullanılmıştır. Kolon kesitlerinin simetrik olmasından dolayı akma yüzeyinin tanımlanmasında kesitin sadece düşey eksen etrafındaki eğilme için etkileşim diyagramları analizi yapmak yeterli olacaktır. Örneğin, Şekil 4.6’de S102 kolonunun donatı bilgisi, x yönü için moment – aksenal kuvvet karşılıklı etkileşim diyagramı ve de DBYBHY 2007’ye göre aksenal kuvvetin üst limiti gösterilmiştir: Diğer kolonlar içinde akma yüzeyleri bu şekilde tanımlanacaktır.



Şekil 4.6 : 7 Katlı binaya ait S102 (40/40) kolon kesiti



Şekil 4.7 : S102 (7 Katlı) kolonu için düşey (90°) ekseninde eğilme için doğrusallaştırılmış etkileşim diyagramları

4.8 Üç Tip Bina İçin Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yötemine Göre Performanslarının Değerlendirilmesi

Bölüm 3.6.5’de uygulama esasları verilen artımsal eşdeğer deprem yüğü yöntemi (statik itme analizi) taşıyıcı sistemlere birinci mod şekli ve kat kütleleriyle uyumlu olacak şekilde yatay yüğü etkilerek uygulanmıştır. Kat seviyelerine etkiyen yatay yüğüler arasındaki oranın sabit olduğı bu yöntemde çözümün başlangıç adımını düşey yüğülere göre hesap oluşturmaktadır. Artımsal eşdeğer deprem yüğü yönteminin başlangıç adımında $G+0.3Q$ yükleme dikkate alınmıştır.

Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi’nin kullanılabilmesi için,

- Binanın kat sayısının bodrum hariç 8’den fazla olmaması
- Herhangi bir katta ek dışmerkezlilik göz önüne alınmaksızın doğrusal elastik davranışa göre hesaplanan *burulma düzensizliğı katsayısının* $\eta_{bi} < 1.4$ koşulunu sağlaması gereklidir.
- Ayrıca göz önüne 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.

Çizelge 4.6 : Binaların birinci titreşim modalarına ait etkin kütle oranları

Bina Tipi	Mod No	Periyot (s)	Etkin Kütle Oranları	
			UX	UY
3 Katlı	1	0.41	0	0.863
	2	0.40	0.862	0
5 Katlı	1	0.69	0	0.829
	2	0.67	0.829	0
7 Katlı	1	0.99	0	0.803
	2	0.95	0.805	0

Çizelge 4.6 da görüldüğü gibi birinci titreşim moduna ait etkin kütlelerin toplam bina kütlelerine oranı 0.70 den fazladır. Binaların kat sayıları bodrum kat hariç 8 den fazla değildir ve planda simetrik olduğundan ötürü burulma düzensizliğı yoktur ($\eta_{bi} < 1.4$). Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi kullanılarak itme analizinin uygulanabilmesi için sağlanması gereken bütün şartlar bu çalışmada bahsi geçen binalar için sağlanamamaktadır.

Binaların hakim mod şekillerine ve kat ağırlıklarına (dolayısıyla kütlelerine) bağlı olarak artımsal itme analizinde kullanılacak eşdeğer deprem yükü dağılımları sırası ile Çizelge 4.7, Çizelge 4.8, Çizelge 4.9’de verilmiştir.

Eşdeğer deprem yükü dağılımları kat hizalarında ve kat kütle merkezlerine ek dış merkezlik uygulanmadan bina hesap modellerinde tanımlanmıştır.

Çizelge 4.7 : 3 Katlı bina için artımsal itme analizinde kullanılacak eşdeğer deprem yükü dağılımı

	Kat No	ϕ_{i1}	W_i (kN)	m_i (kNs ² /m)	Eşdeğer Deprem Yükü Dağılımı ($m_i\phi_{i1}$)	($m_i\phi_{i1}^2$)
X YÖNÜ	3	0.0481	2596.51	264.68	12.73	0.612366
	2	0.0359	2707.56	276.00	9.91	0.355712
	1	0.0159	2896.40	295.25	4.69	0.074642
			$\Sigma=$	835.93	27.33	1.0427
Y YÖNÜ	3	0.0474	2596.51	264.68	12.55	0.594672
	2	0.0351	2707.56	276.00	9.69	0.340035
	1	0.0154	2896.40	295.25	4.55	0.070021
			$\Sigma=$	835.93	26.78	1.0047

Çizelge 4.8 : 5 Katlı bina için artımsal itme analizinde kullanılacak eşdeğer deprem yükü dağılımı

	Kat No	ϕ_{i1}	W_i (kN)	m_i (kNs ² /m)	Eşdeğer Deprem Yükü Dağılımı ($m_i\phi_{i1}$)	($m_i\phi_{i1}^2$)
X YÖNÜ	5	0.0407	2596.50	264.68	10.77	0.4384
	4	0.0355	2707.56	276.00	9.80	0.3478
	3	0.0281	2707.56	276.00	7.76	0.2179
	2	0.0181	2707.56	276.00	5.00	0.0904
	1	0.0073	2896.40	295.25	2.16	0.0157
			$\Sigma=$	1387.93	35.48	1.1104
Y YÖNÜ	5	0.0388	2596.50	264.68	10.27	0.3985
	4	0.0339	2707.56	276.00	9.36	0.3172
	3	0.0267	2707.56	276.00	7.37	0.1968
	2	0.0171	2707.56	276.00	4.72	0.0807
	1	0.0068	2896.40	295.25	2.01	0.0137
			$\Sigma=$	1387.93	33.72	1.0068

Çizelge 4.9 : 7 Katlı bina için artımsal itme analizinde kullanılacak eşdeğer deprem yükü dağılımı

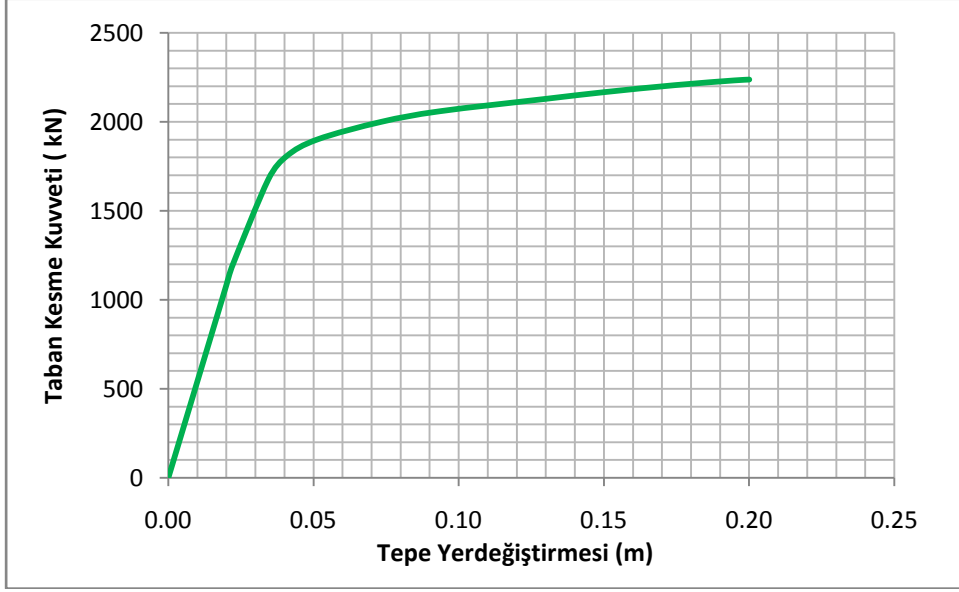
	Kat No	ϕ_{i1}	W_i	m_i	Eşdeğer Deprem	
			(kN)	(kNs ² /m)	Yükü Dağılımı ($m_i\phi_{i1}$)	($m_i\phi_{i1}^2$)
X YÖNÜ	7	0.0313	2596.50	264.68	8.28	0.2593
	6	0.0293	2707.56	276.00	8.09	0.2369
	5	0.0256	2707.56	276.00	7.07	0.1809
	4	0.0205	2707.56	276.00	5.66	0.1160
	3	0.0155	2707.56	276.00	4.28	0.0663
	2	0.01	2707.56	276.00	2.76	0.0276
	1	0.0041	2896.40	295.25	1.21	0.0050
			$\Sigma=$	1939.93	37.34	0.8920
Y YÖNÜ	7	0.033	2596.50	264.68	8.73	0.2882
	6	0.0314	2707.56	276.00	8.67	0.2721
	5	0.0271	2707.56	276.00	7.48	0.2027
	4	0.0218	2707.56	276.00	6.02	0.1312
	3	0.0162	2707.56	276.00	4.47	0.0724
	2	0.0101	2707.56	276.00	2.79	0.0282
	1	0.0041	2896.40	295.25	1.21	0.0050
			$\Sigma=$	1939.93	39.37	0.9998

4.8.1 Artımsal itme analizlerinin sonucunda tepe yerdeğiştirmesi-tabankesme kuvveti eğrilerinin elde edilmesi

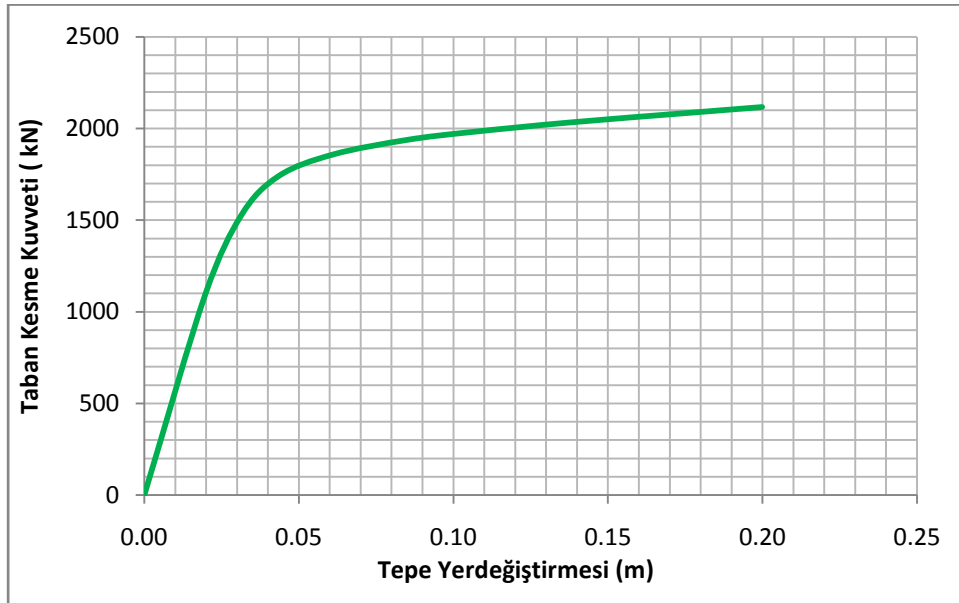
Kat seviyelerine etkiyen yatay yükler aralarındaki oran sabit olacak şekilde adım adım artırılır. Yatay yükün artımına bağlı olarak elemanlarda kalıcı şekil değiştirmelerin toplandığı plastik mafsallar oluşmaktadır. Plastik mafsalların oluşması sonucunda taşıyıcı sistemin yatay yüke karşı direnci yani yanal rijitliği azalır. Statik itme eğrisinin yataylaşmasına neden olan bu durum sistemin güç tükenmesine erişmesi ile son bulur. Kat seviyelerine etkiyen yatay yüklerin aralarındaki oran sabit olacak şekilde adım adım artırılması sonucu her bir adımda taşıyıcı sistemde oluşan taban kesme kuvveti ve tepe yer değiştirmesi değerlerinin eksen takımına yerleştirilmesi ile statik itme eğrisi elde edilmiş olur. Statik itme eğrisi incelendiğinde; yük değerinin küçük olduğu başlangıç durumunda taşıyıcı sistemin elastik bir davranış gösterdiği, yük artımına bağlı olarak plastik mafsalların oluşmasıyla doğrusal olmayan davranışa geçildiği görülebilir. Statik itme eğrisi oluşturularak taşıyıcı sistemin dayanımını kaybetmeden yapacağı plastik şekil

değiştirme miktarı elde edilir. Bu sayede binaların sünekliği hakkında fikir sahibi olunmuş olur.

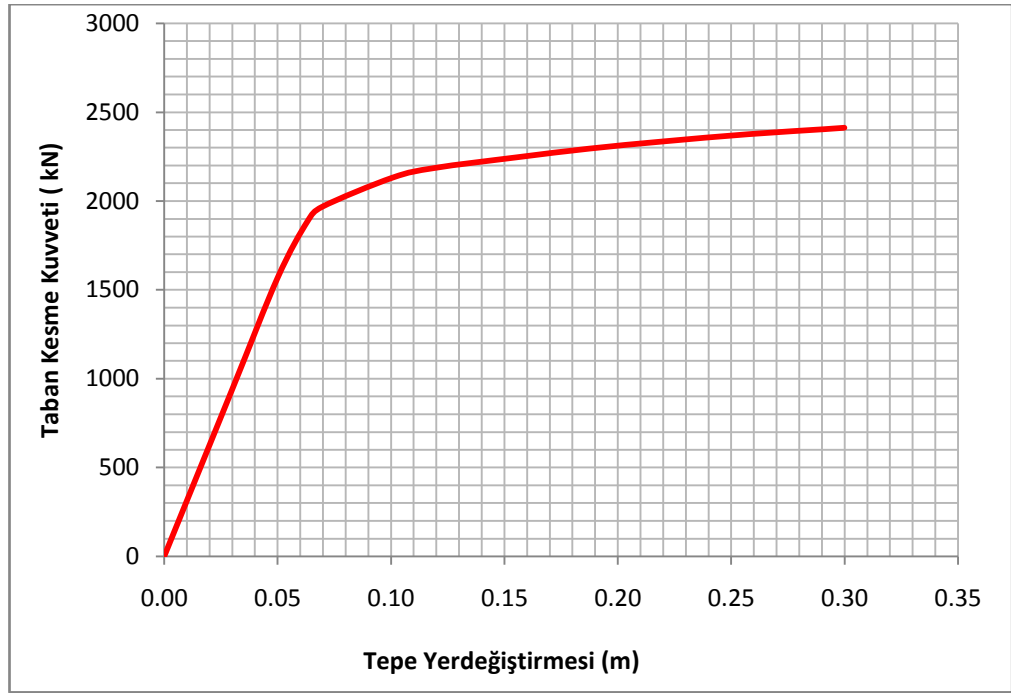
Gerçekleştirilen analizler sonucunda binaların, itme eğrisi veya kapasite eğrisi olarak da adlandırılan tepe yer değiştirmesi-taban kesme kuvveti eğrileri elde edilmiştir. 3 katlı, 5 katlı ve 7 katlı binalar için elde edilen bu eğriler sırası ile Şekil 4.8, Şekil 4.9, Şekil 4.10, Şekil 4.11, Şekil 4.12 Şekil 4.13’da gösterilmiştir.



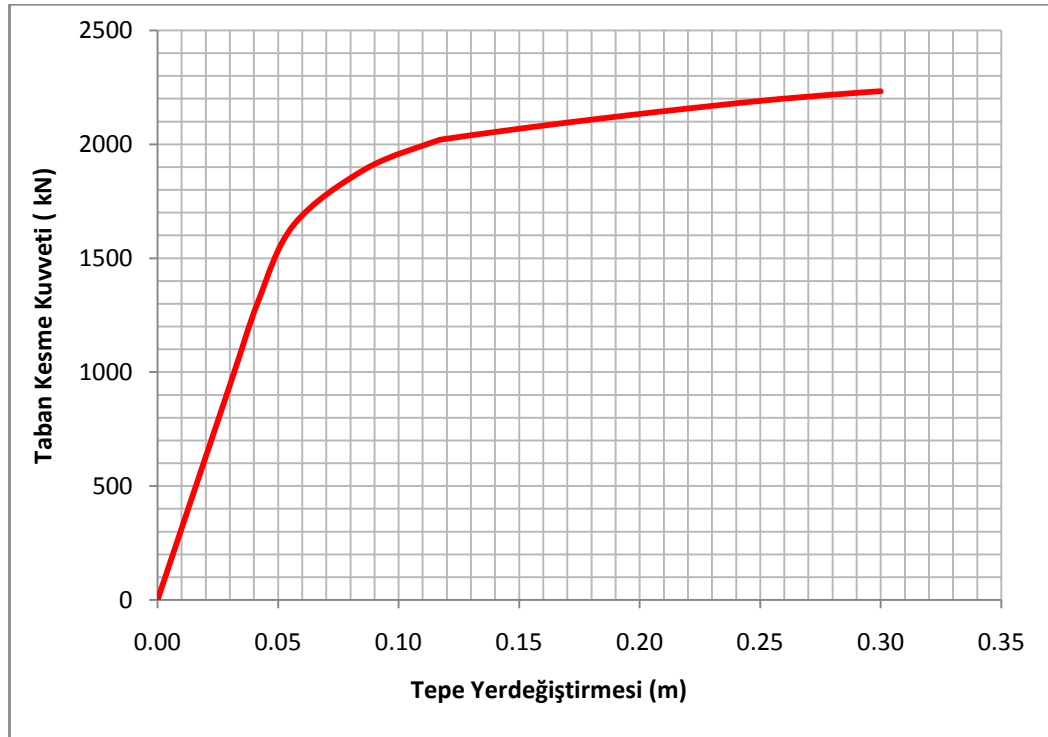
Şekil 4.8 : 3 Katlı bina için +X doğrultusu itme eğrisi



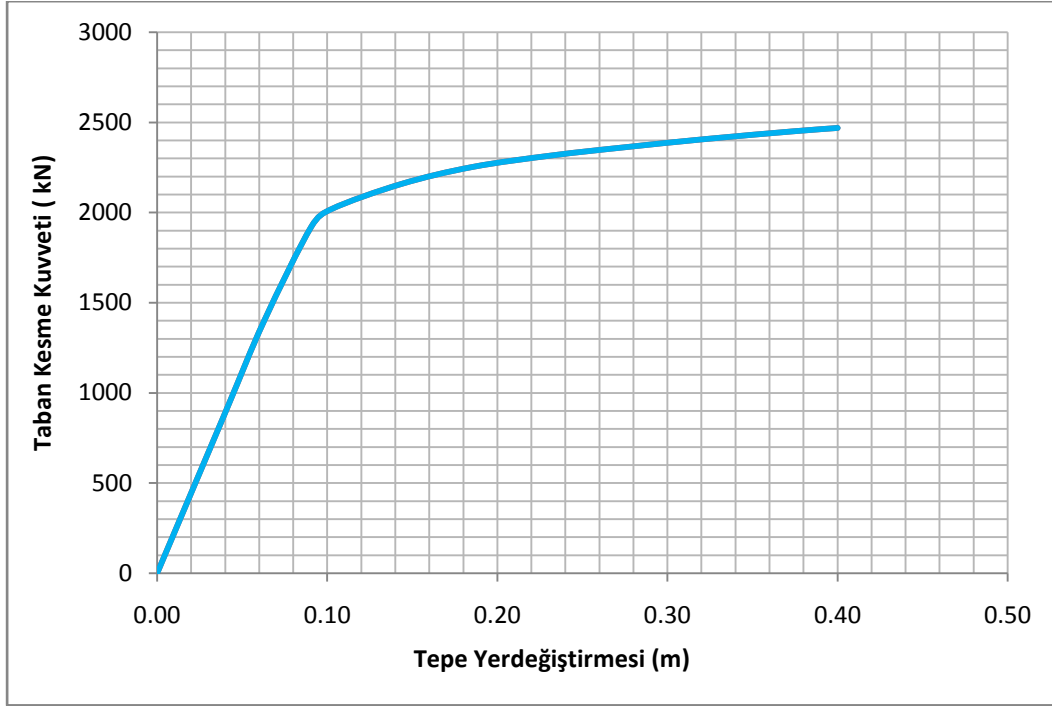
Şekil 4.9 : 3 Katlı bina için +Y doğrultusu itme eğrisi



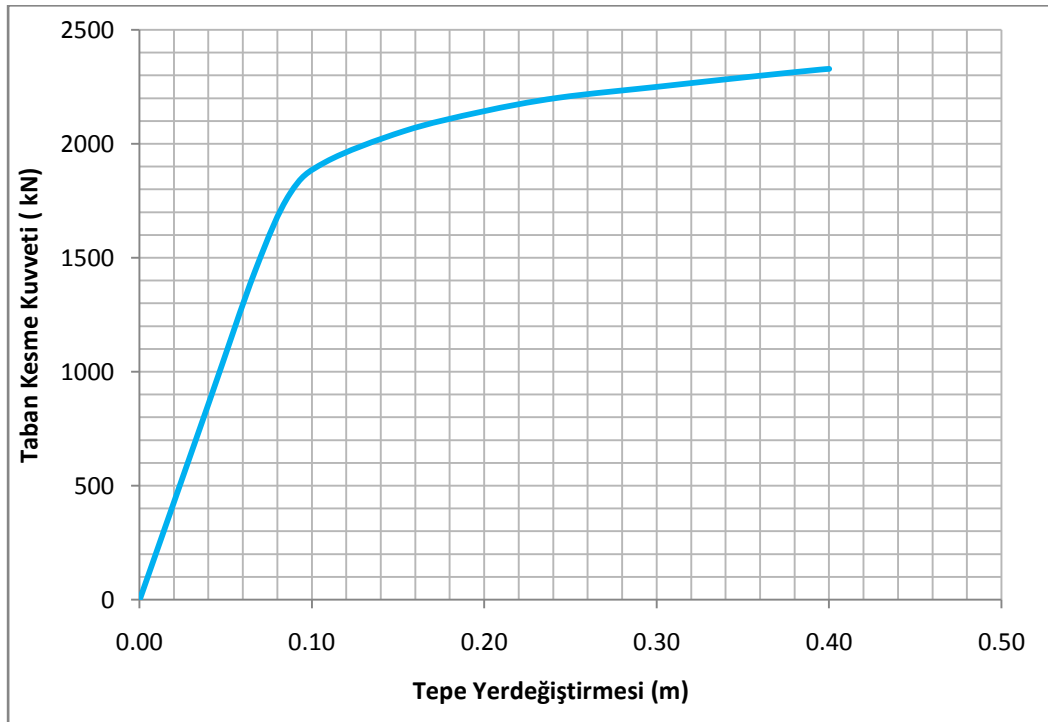
şekil 4.10 : 5 Katlı bina için +X doğrultusu itme eğrisi



şekil 4.11 : 5 Katlı bina için +Y doğrultusu itme eğrisi

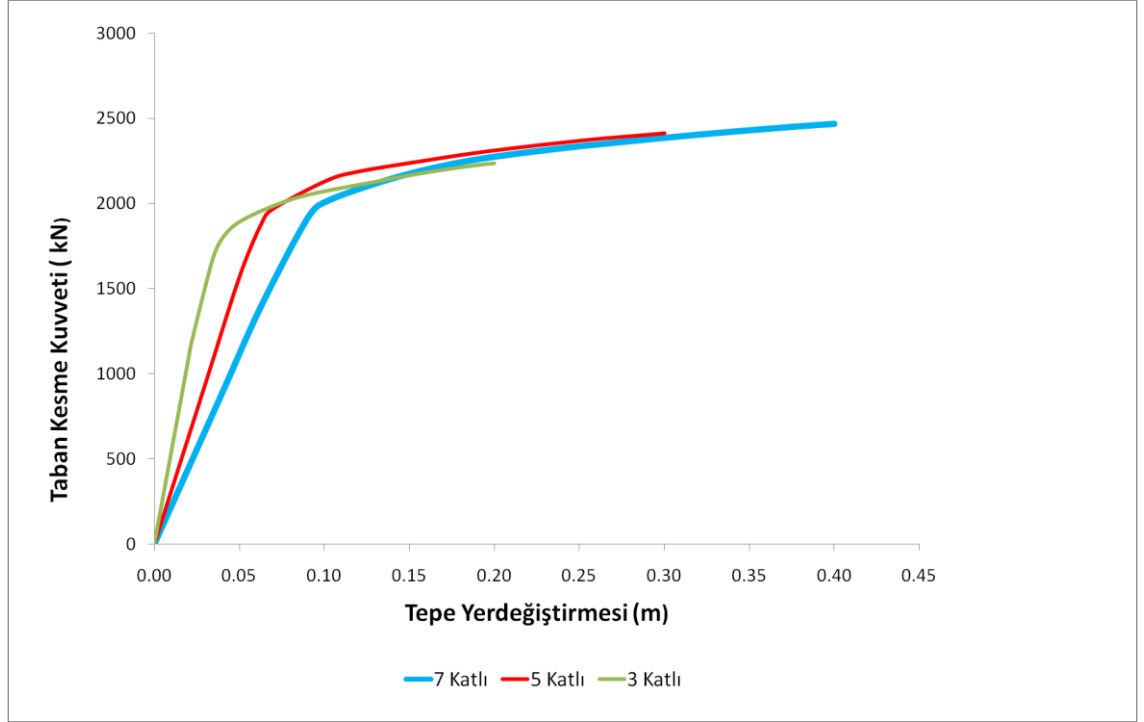


Şekil 4.12 : 7 Katlı bina için +X doğruştusu itme eğrişi



Şekil 4.13 : 7 Katlı bina için +Y doğruştusu itme eğrişi

Şekil 4.14’de ise 3 bina için elde edilen itme eğrileri aynı grafik üzerinde gösterilmiştir. Katsayısı azaldıkça taşıyıcı sistemin sergilediği rijit davranışın arttığı görülmektedir.



Şekil 4.14 : Üç binanın +X doğrultusu için itme eğrileri

Bir binada göçme durumu zemin katta kolon uçlarının mafsallaşması ile ortaya çıkıyorsa, tek katın kolonlarının kesme kapasiteleri toplamı binanın taban kesme kuvvetini belirleyebilir ve bu durumda binanın kat sayısı ve diğer kat kolonlarının kapasiteleri ekili olmayabilir. Bu sonuç da plastik mafsalların olabildiğince yaygın olmasına (bir katta yoğunlaşmamasına) özen gösterilmesinin önemine işaret eder.

Üç tip bina için birinci kat kolonlarının taban kesme kuvveti üzerindeki etkisini gözlemlemek için kolonların kesme kuvveti kapasitesi düşey yükler (G+nQ) altında

$$V_b = (M_{alt} + M_{üst}) / h$$

şeklinde hesap edilmiştir. Ayrıca bu değerler kolondaki etriyeler gözönüne alarak kolon kesme kuvveti kapasitesinden büyük olup olmadığı da kontrol edilmiştir. 3 katlı, 5 katlı ve 7 katlı yapıların birinci kat kolonlarının kesme kapasitelerinin hesabı sırasıyla Çizelge 4.10, Çizelge 4.11, Çizelge 4.12’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.10 : 7 Katlı bina için birinci kat kolonların kesme kuvveti kapasiteleri

Kat	Kolon	Kolon Tipi	Kombinasyon	P (kN)	M _{alt-üst} (kN×m)	Kat Yüksekliği (h)	Vkapasite= (M _{alt} +M _{üst})/h (kN)
1. Kat	S101	TİP 2	G+n*Q	330.0	200	3	133.33
	S102	TİP 2	G+n*Q	622.6	233.6	3	155.73
	S103	TİP 2	G+n*Q	569.6	228	3	152.00
	S104	TİP 2	G+n*Q	569.6	228	3	152.00
	S105	TİP 2	G+n*Q	622.6	233.6	3	155.73
	S106	TİP 2	G+n*Q	330.0	200	3	133.33
	S107	TİP 2	G+n*Q	665.5	237.9	3	158.60
	S108	TİP 3	G+n*Q	1211.6	285	3	190.00
	S109	TİP 3	G+n*Q	1128.1	280.1	3	186.73
	S110	TİP 3	G+n*Q	1128.1	280.1	3	186.73
	S111	TİP 3	G+n*Q	1211.6	285	3	190.00
	S112	TİP 2	G+n*Q	665.5	237.9	3	158.60
	S113	TİP 2	G+n*Q	729.0	243.8	3	162.53
	S114	TİP 3	G+n*Q	1323.2	292	3	194.67
	S115	TİP 3	G+n*Q	1134.8	281	3	187.33
	S116	TİP 3	G+n*Q	1134.8	281	3	187.33
	S117	TİP 3	G+n*Q	1323.2	292	3	194.67
	S118	TİP 2	G+n*Q	729.0	243.8	3	162.53
	S119	TİP 2	G+n*Q	383.2	210	3	140.00
	S120	TİP 2	G+n*Q	709.6	242.2	3	161.47
	S121	TİP 2	G+n*Q	650.2	236.6	3	157.73
	S122	TİP 2	G+n*Q	650.2	236.6	3	157.73
	S123	TİP 2	G+n*Q	709.6	242.2	3	161.47
	S124	TİP 2	G+n*Q	383.2	210	3	140.00
Σ=							3960.27

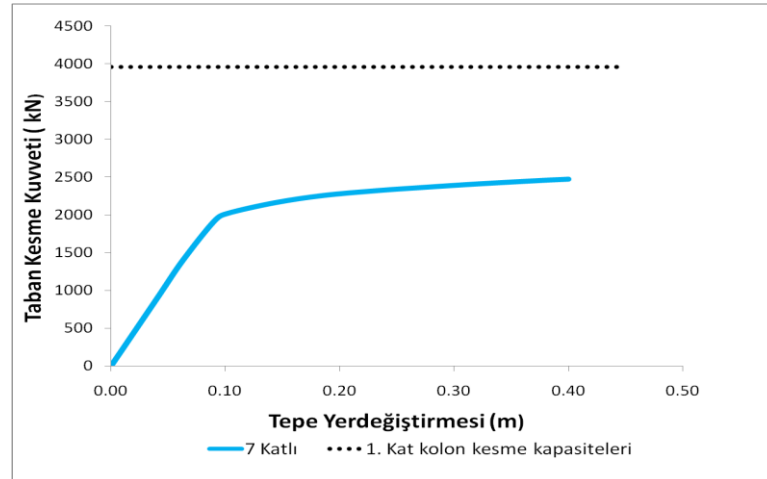
Çizelge 4.11 : 5 Katlı bina için birinci kat kolonların kesme kuvveti kapasiteleri

Kat	Kolon	Kolon Tipi	Kombinasyon	P (kN)	M _{alt-üst} (kN×m)	Kat Yüksekliği (h)	Vkapasite= (M _{alt} +M _{üst})/h (kN)
1. Kat	S101	TİP 2	G+n*Q	231.4	189	3	126.00
	S102	TİP 1	G+n*Q	440.3	173.3	3	115.53
	S103	TİP 2	G+n*Q	398.7	211	3	140.67
	S104	TİP 2	G+n*Q	398.7	211	3	140.67
	S105	TİP 1	G+n*Q	440.3	173.3	3	115.53
	S106	TİP 2	G+n*Q	231.4	189	3	126.00
	S107	TİP 2	G+n*Q	478.0	219	3	146.00
	S108	TİP 2	G+n*Q	887.4	258	3	172.00
	S109	TİP 2	G+n*Q	819.2	252	3	168.00
	S110	TİP 2	G+n*Q	819.2	252	3	168.00
	S111	TİP 2	G+n*Q	887.4	258	3	172.00
	S112	TİP 2	G+n*Q	478.0	219	3	146.00
	S113	TİP 1	G+n*Q	517.7	182	3	121.33
	S114	TİP 2	G+n*Q	963.5	265	3	176.67
	S115	TİP 2	G+n*Q	814.9	251	3	167.33
	S116	TİP 2	G+n*Q	814.9	251	3	167.33
	S117	TİP 2	G+n*Q	963.5	265	3	176.67
	S118	TİP 1	G+n*Q	517.7	182	3	121.33
	S119	TİP 2	G+n*Q	270.3	196	3	130.67
	S120	TİP 1	G+n*Q	504.1	181	3	120.67
	S121	TİP 1	G+n*Q	458.2	175	3	116.67
	S122	TİP 1	G+n*Q	458.2	175	3	116.67
	S123	TİP 1	G+n*Q	504.1	181	3	120.67
	S124	TİP 2	G+n*Q	270.3	196	3	130.67
Σ=							3403.07

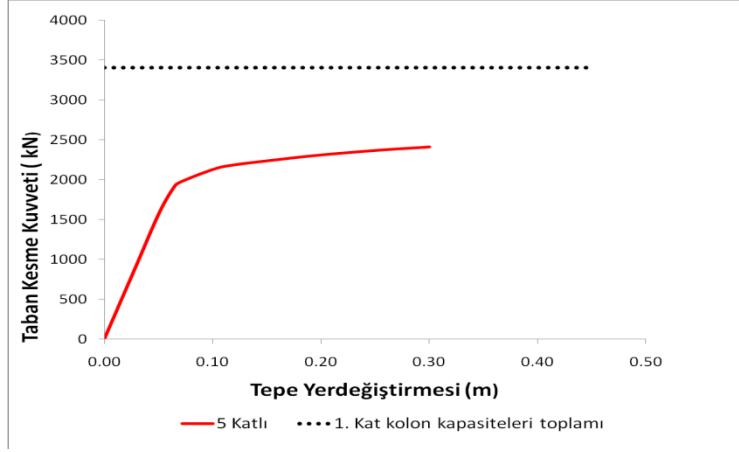
Çizelge 4.12 : 3 Katlı bina için birinci kat kolonların kesme kuvveti kapasiteleri

Kat	Kolon	Kolon Tipi	Kombinasyon	P (kN)	M _{alt-üst} (kN×m)	Kat Yüksekliği (h)	V _{kapasite} = (M _{alt} +M _{üst})/h (kN)
1. Kat	S101	TİP 1	G+n*Q	136.9	130	3	86.67
	S102	TİP 1	G+n*Q	263.0	150	3	100.00
	S103	TİP 1	G+n*Q	236.4	143	3	95.33
	S104	TİP 1	G+n*Q	236.4	143	3	95.33
	S105	TİP 1	G+n*Q	263.0	150	3	100.00
	S106	TİP 1	G+n*Q	136.9	130	3	86.67
	S107	TİP 1	G+n*Q	288.4	152	3	101.33
	S108	TİP 1	G+n*Q	541.8	186	3	124.00
	S109	TİP 1	G+n*Q	497.2	180	3	120.00
	S110	TİP 1	G+n*Q	497.2	180	3	120.00
	S111	TİP 1	G+n*Q	541.8	186	3	124.00
	S112	TİP 1	G+n*Q	288.4	152	3	101.33
	S113	TİP 1	G+n*Q	311.2	157	3	104.67
	S114	TİP 1	G+n*Q	586.6	191.8	3	127.87
	S115	TİP 1	G+n*Q	491.8	179	3	119.33
	S116	TİP 1	G+n*Q	491.8	179	3	119.33
	S117	TİP 1	G+n*Q	586.6	191.8	3	127.87
	S118	TİP 1	G+n*Q	311.2	157	3	104.67
	S119	TİP 1	G+n*Q	160.5	134.5	3	89.67
	S120	TİP 1	G+n*Q	302.8	155	3	103.33
	S121	TİP 1	G+n*Q	273.8	151	3	100.67
	S122	TİP 1	G+n*Q	273.8	151	3	100.67
	S123	TİP 1	G+n*Q	302.8	155	3	103.33
	S124	TİP 1	G+n*Q	160.5	134.5	3	89.67
Σ=							2545.73

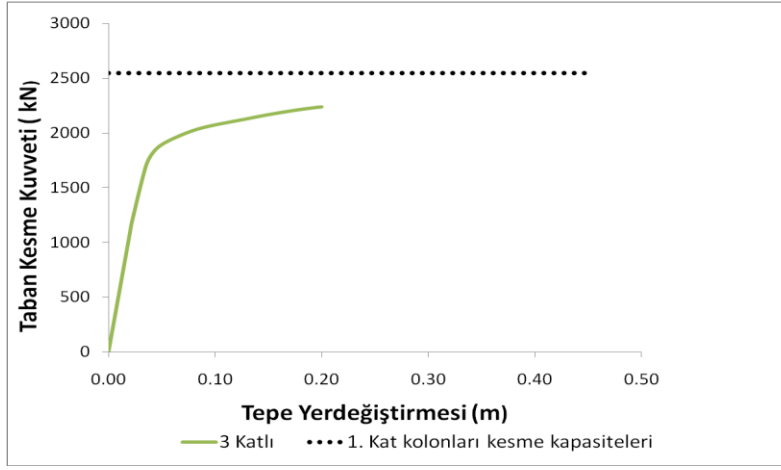
Üç tip bina için birinci kat kolonları kesme kuvveti kapasiteleri ve itme eğrileri aynı grafik üzerinde Şekil 4.15, Şekil 4.16, Şekil 4.17’de gösterilmiştir.



Şekil 4.15 : 7 Katlı bina X doğrultusu birinci kat kolonların toplam kesme kuvveti kapasitesi ve itme eğrisi



Şekil 4.16 : 5 Katlı bina X doğrultusu birinci kat kolonların toplam kesme kuvveti kapasitesi ve itme eğrisi



Şekil 4.17 : 3 Katlı bina X doğrultusu birinci kat kolonların toplam kesme kuvveti kapasitesi ve itme eğrisi

Şekillerde de görüldüğü üzere itme eğrisi ve kolon kesme kapasiteleri toplamı ile elde edilen V_b kuvvetleri arasındaki farkın en az olduğu sistem 3 katlı binadır. Bu durumda göçme durumunun diğer binalara nazaran 3 katlı binada birinci kat kolonlarında plastikleşmenin yoğunlaşması ile ortaya çıktığı söylenebilir.

4.8.2 Bina performans noktalarının belirlenmesi

3 tip bina için taban kesme kuvveti – tepe yer değıştirmesi grafikleri elde edildikten sonra performans noktasının bulunması için gerekli olan koordinat dönüşümlerinin yapılması gerekmektedir. Elastik spektrum eğrisi ve statik itme eğrisinde gerekli dönüşümler yapıldıktan sonra iki eğri kesiştirilerek depremin çerçevelerden talep ettiği yer değıştirme değeri elde edilecektir. Elde edilen bu itme eğrilerine aşğıdaki formüller kullanılarak koordinat dönüşümü yapılmıştır ve “*Modal Kapasite Diyagramları (Modal yer değıştirme – modal ivme)*” elde edilmiştir.

$$a_1^{(i)} = \frac{V_{xi}^{(i)}}{M_{x1}} \quad , \quad d_1^{(i)} = \frac{u_{xNi}^{(i)}}{\Phi_{xN1} \Gamma_{x1}} \quad (4.1)$$

$a_1^{(i)}$ = i. İtme adımında elde edilen birinci moda ait modal ivme

$V_{x1}^{(i)}$ = X deprem doğrultusunda i. İtme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait taban kesme kuvveti

M_{x1} = X deprem doğrultusunda doğrusal elastik davranış için tanımlanan birinci moda ait etkin kütle (Denklem 4.2)

$d_1^{(i)}$ = i. İtme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait modal yer değiştirme

$u_{xN1}^{(i)}$ = Binanın tepesinde i. İtme adımı sonunda elde edilen yer değiştirme

Φ_{xN1} = Binanın tepesinde X deprem doğrultusunda birinci moda ait mod genliği

Γ_{x1} = Katkı çarpanı (Denklem 4.2)

$$M_{x1} = \frac{\left[\sum_{i=1}^3 m_i \Phi_{i1} \right]^2}{\sum_{i=1}^3 m_i \Phi_{i1}^2} \quad , \quad \Gamma_{x1} = \frac{\sum_{i=1}^3 m_i \Phi_{i1}}{\sum_{i=1}^3 m_i \Phi_{i1}^2} \quad (4.2)$$

Çizelge 4.10’da binalara ait M_{x1} , M_{y1} ve Γ_{x1} , Γ_{y1} değerleri hesaplanmıştır.

Çizelge 4.13 : Üç bina için M_{x1} , M_{y1} ve Γ_{x1} , Γ_{y1} değerleri

	X Doğrultusu		Y Doğrultusu	
	M_{x1} (kNs ² /m)	Γ_{x1} (kNs ²)	M_{y1} (kNs ² /m)	Γ_{y1} (kNs ²)
3 Katlı	714.48	25.91	711.88	26.34
5 Katlı	1135.18	31.76	1131.56	33.30
7 Katlı	1562.73	41.67	1549.85	39.20

Çizelge 4.14, Çizelge 4.15 ve Çizelge 4.16’de 3 katlı, 5 katlı ve 7 katlı binalar için eksenleri taban kesme kuvveti - tepe yer değiştirmesi olan kapasite eğrilerinin, spektral ivme (S_a) - spektral yer değiştirme (S_d) eksen takımına sahip model kapasite eğrilerine dönüştürülmesinde ve bina performans noktasının hesaplanmasında kullanılan terimler hesaplanmıştır.

Çizelge 4.14 : 3 Katlı bina X, Y yönü modal kapasite eğrisi verilerinin hesaplanması

X Doğrultusu					Y Doğrultusu				
u_{xi} (m)	V_{xi} (kN)	d_i (m)	a_i (m/s ²)	a_i/g	u_{yi} (m)	V_{yi} (kN)	d_i (m)	a_i (m/s ²)	a_i/g
0,000	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,000	0,000	0,000
0,020	1083,79	0,016	1,517	0,155	0,020	1095,25	0,016	1,539	0,157
0,022	1180,57	0,017	1,652	0,168	0,031	1526,03	0,025	2,144	0,219
0,034	1675,89	0,028	2,346	0,239	0,043	1740,07	0,035	2,444	0,249
0,041	1807,56	0,033	2,530	0,258	0,061	1857,96	0,049	2,610	0,266
0,051	1901,47	0,041	2,661	0,271	0,085	1937,55	0,068	2,722	0,277
0,073	1999,83	0,059	2,799	0,285	0,106	1980,65	0,085	2,782	0,284
0,094	2059,77	0,075	2,883	0,294	0,138	2032,88	0,110	2,856	0,291
0,130	2128,78	0,104	2,979	0,304	0,176	2084,07	0,141	2,928	0,298
0,150	2166,69	0,120	3,033	0,309	0,200	2116,70	0,160	2,973	0,303
0,174	2206,29	0,140	3,088	0,315					
0,195	2232,86	0,156	3,125	0,319					
0,200	2237,68	0,160	3,132	0,319					

Çizelge 4.15 : 5 Katlı bina X,Y yönü modal kapasite eğrisi verilerinin hesaplanması

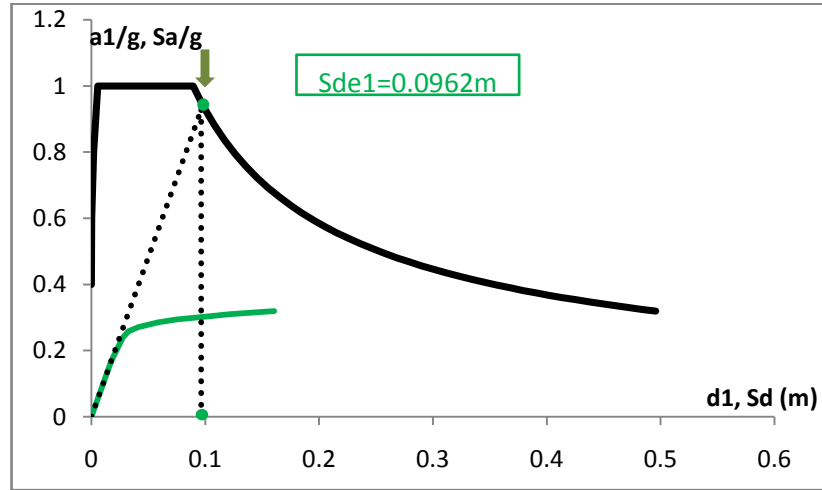
X Doğrultusu					Y Doğrultusu				
u_{xi} (m)	V_{xi} (kN)	d_i (m)	a_i (m/sn ²)	a_i/g	u_{yi} (m)	V_{yi} (kN)	d_i (m)	a_i (m/sn ²)	a_i/g
0,000	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,000	0,000	0,000
0,030	939,92	0,023	0,828	0,084	0,030	940,03	0,023	0,831	0,085
0,050	1568,55	0,039	1,382	0,141	0,042	1308,50	0,032	1,156	0,118
0,063	1886,02	0,049	1,661	0,169	0,057	1646,69	0,044	1,455	0,148
0,070	1967,41	0,054	1,733	0,177	0,086	1890,68	0,067	1,671	0,170
0,101	2130,89	0,078	1,877	0,191	0,116	2015,12	0,090	1,781	0,182
0,119	2185,91	0,092	1,926	0,196	0,119	2023,08	0,092	1,788	0,182
0,156	2245,54	0,120	1,978	0,202	0,152	2070,26	0,117	1,830	0,187
0,187	2294,42	0,145	2,021	0,206	0,188	2117,80	0,145	1,872	0,191
0,220	2334,86	0,170	2,057	0,210	0,225	2162,93	0,174	1,911	0,195
0,258	2375,67	0,199	2,093	0,213	0,258	2198,81	0,200	1,943	0,198
0,291	2404,11	0,225	2,118	0,216	0,292	2226,96	0,226	1,968	0,201
0,300	2411,92	0,232	2,125	0,217	0,300	2232,58	0,232	1,973	0,201

Çizelge 4.16 : 7 Katlı bina X,Y yönü modal kapasite eğrisi verilerinin hesaplanması

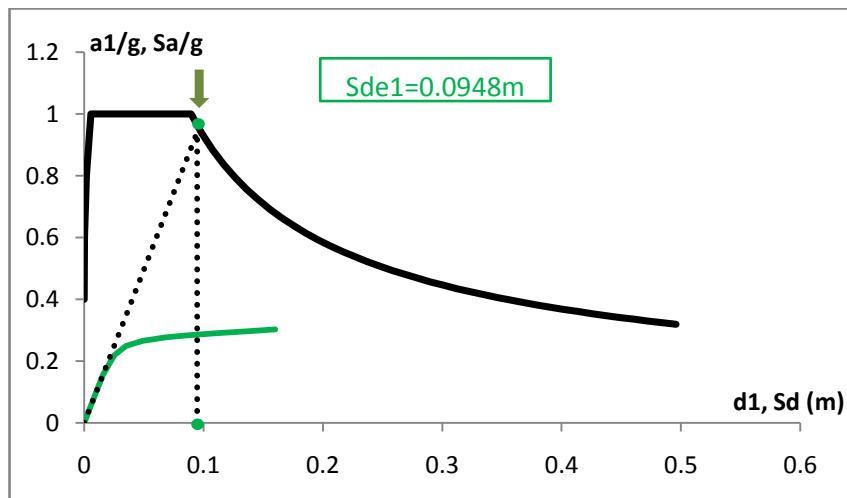
X Doğrultusu					X Doğrultusu				
u_{xi} (m)	V_{xi} (kN)	d_i (m)	a_i (m/s ²)	a_i/g	u_{xi} (m)	V_{xi} (kN)	d_i (m)	a_i (m/s ²)	a_i/g
0,000	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,000	0,000	0,000
0,040	890,14	0,031	0,570	0,058	0,040	861,87	0,031	0,556	0,057
0,063	1398,48	0,048	0,895	0,091	0,067	1443,73	0,052	0,932	0,095
0,091	1921,09	0,069	1,229	0,125	0,087	1780,82	0,067	1,149	0,117
0,103	2019,63	0,079	1,292	0,132	0,108	1920,17	0,083	1,239	0,126
0,144	2159,20	0,110	1,382	0,141	0,153	2055,43	0,119	1,326	0,135
0,186	2253,28	0,142	1,442	0,147	0,198	2140,65	0,153	1,381	0,141
0,232	2316,95	0,178	1,483	0,151	0,243	2202,04	0,188	1,421	0,145
0,274	2361,33	0,210	1,511	0,154	0,302	2251,91	0,234	1,453	0,148
0,322	2407,26	0,247	1,540	0,157	0,351	2292,08	0,272	1,479	0,151
0,373	2449,97	0,286	1,568	0,160	0,395	2325,51	0,305	1,500	0,153
0,400	2469,13	0,307	1,580	0,161	0,400	2328,78	0,309	1,503	0,153

Deprem etkisini temsil eden ve talep eğrisi olarak adlandırılan, eksenleri spektral ivme (S_a) – periyot (sn) olan elastik ivme spektrumu eğrisine de 2. Bölümde bahsedildiği gibi eksen dönüşümü uygulanarak, spektral ivme (S_a) – spektral yer değiştirme (S_d) eksen takımlarında çizilmesi sağlanmıştır.

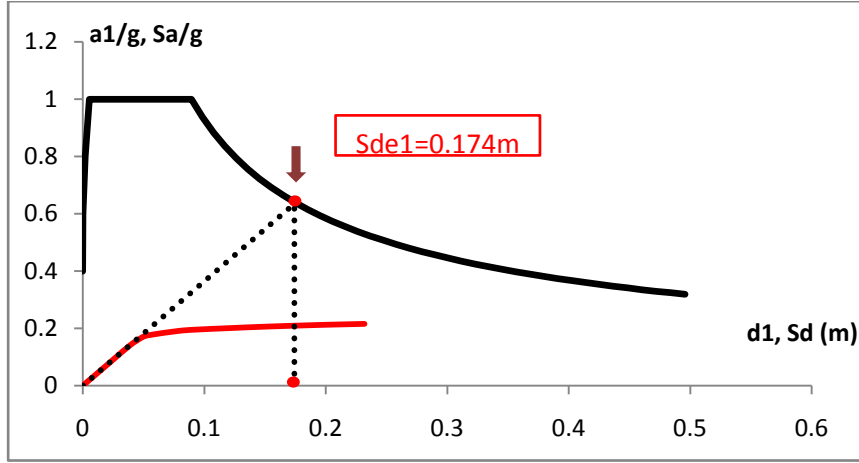
Her bina için kapasite ve talep eğrileri ile aynı grafik üzerinde çizilerek, DBYBHY'07 deki bina performans noktası belirleme işlemi uygulanmıştır. Şekil 4.18, Şekil 4.19, Şekil 4.20, Şekil 4.21, Şekil 4.22 ve Şekil 4.23'da sırası ile her üç binanın x ve y yönleri performans noktalarındaki tepe yer değiştirme istemlerinin bulunabilmesi için gerekli olan itme analizinin ilk adımında birinci moda ait doğrusal elastik spektral yer değiştirme S_{de1} belirlenmiştir.



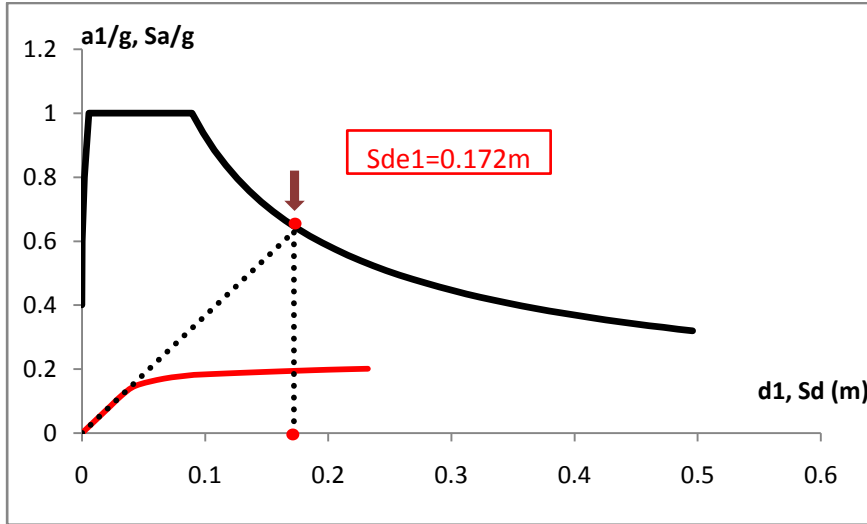
Şekil 4.18 : 3 Katlı bina +X doğrultusu için kapasite ve talep eğrilerinin kesiştirilmesi.



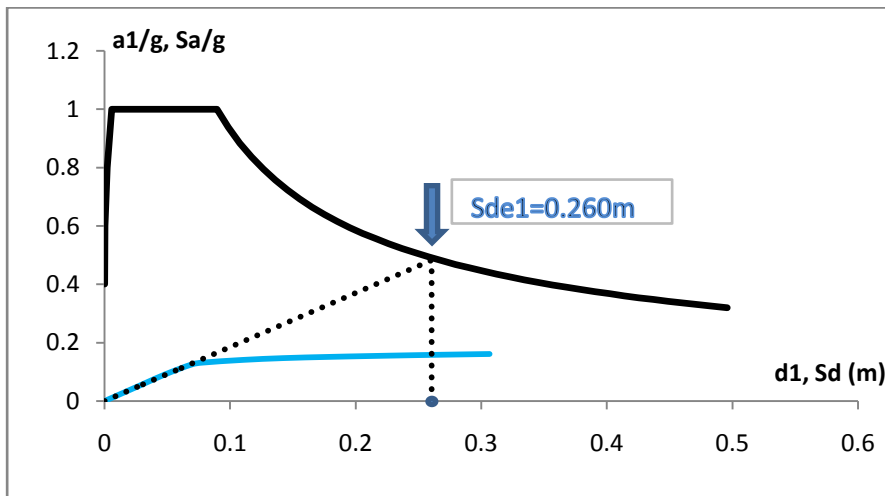
Şekil 4.19 : 3 Katlı bina +Y doğrultusu için kapasite ve talep eğrilerinin kesiştirilmesi.



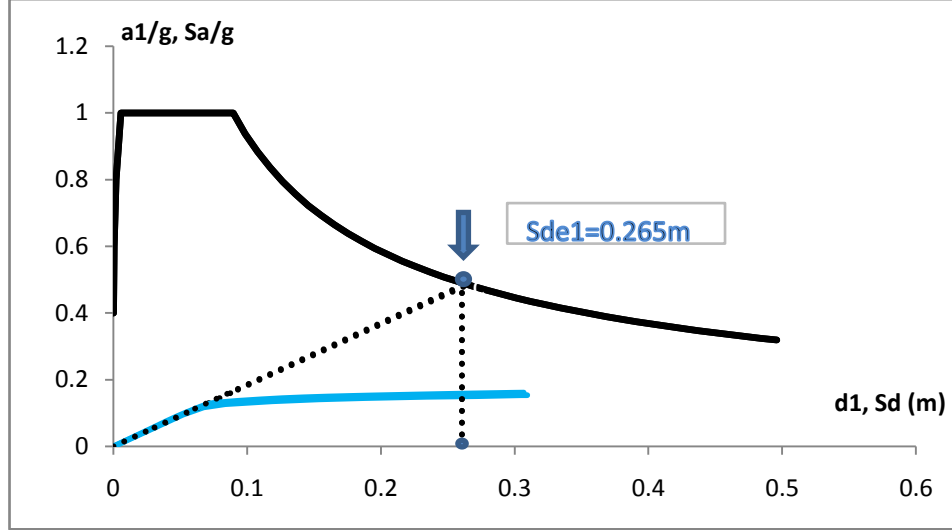
Şekil 4.20 : 5 Katlı bina +X doğrultusu için kapasite ve talep eğrilerinin kesiştirilmesi.



Şekil 4.21 : 5 Katlı bina +Y doğrultusu için kapasite ve talep eğrilerinin kesiştirilmesi.



Şekil 4.22 : 7 Katlı bina +X doğrultusu için kapasite ve talep eğrilerinin kesiştirilmesi.



Şekil 4.23 : 7 Katlı bina +Y doğrultusu için kapasite ve talep eğrilerinin eesiştirilmesi.

Görüldüğü gibi kapasite eğrisinin başlangıç teğeti ile talep eğrisinin kesişim noktaları üç durum içinde talep eğrisinin azalan koluna denk gelmektedir. DBYBHY'07 e göre S_a S_d eksen takımında, kapasite eğrisinin başlangıç teğeti ile talep eğrisinin kesişim noktası talep eğrisinin azalan koluna denk geldiğinde, doğrusal elastik olmayan spektral yer değiştirme S_{di1} , eşit yer değiştirme kuralı uyarınca doğal periyodu $T_{1(1)}$ olan eşlenik doğrusal elastik sisteme ait lineer elastik spektral yer değiştirme S_{de1} 'e eşit alınır. Buna göre Denk.(4.3)'teki spektral yer değiştirme oranı $CR1=1$ alınır.

$$d_1^{(p)} = S_{di1} = C_{R1} \times S_{de1} \quad (4.3)$$

$d_1^{(p)}$, birinci moda ait modal yer değiştirme istemlerine, Denk.(4.4) aracılığı ile ters dönüşüm uygulanır ve ; x deprem doğrultusundaki tepe yer değiştirmesi istemi, $u_{xN1}^{(p)}$ elde edilir.

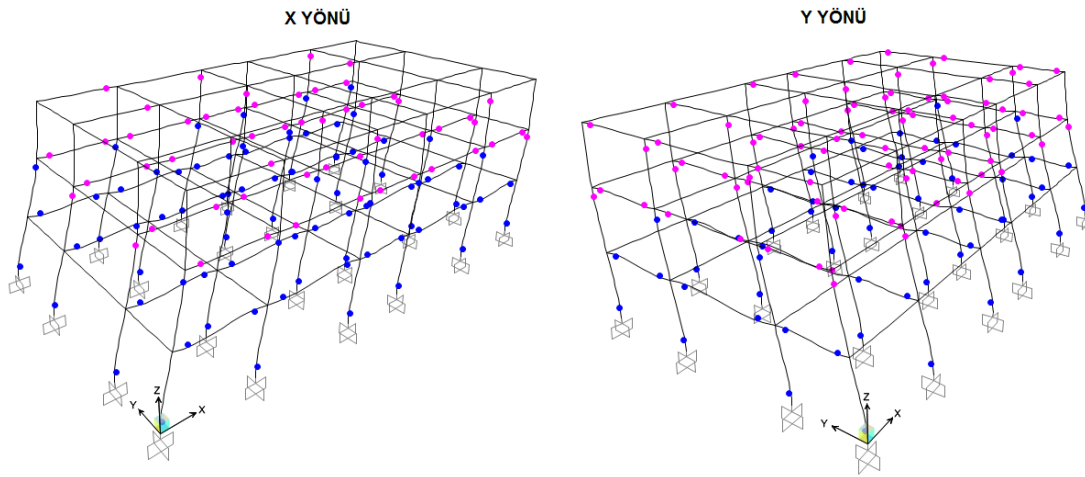
$$u_{xN1}^{(p)} = \Phi_{xN1} \times \Gamma_{x1} \times d_1^{(p)} \quad (4.4)$$

Çizelge 4.17'de, her üç bina için x ve y deprem doğrultusundaki tepe yer değiştirmesi istemi $u_{xN1}^{(p)}$ ve $u_{yN1}^{(p)}$ 'nin hesaplanması gösterilmiştir.

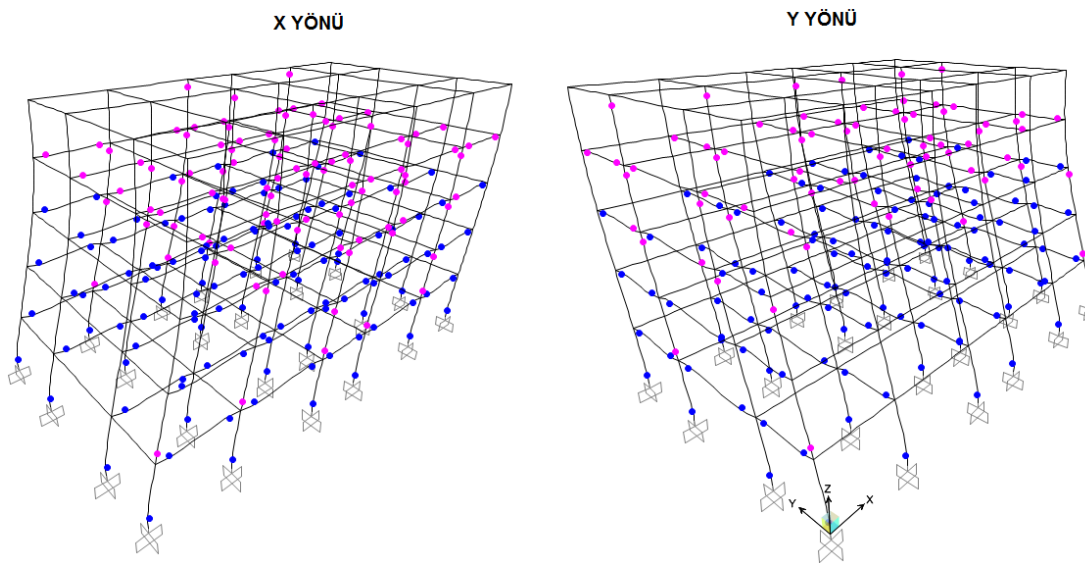
Çizelge 4.17 : Üç bina için x ve y doğrultularındaki tepe yerdeğiştirmesi istemi

	3 katlı	5 katlı	7 katlı
$u_{xN1}^{(p)}-(m)$	0.12	0.222	0.334
$u_{yN1}^{(p)}-(m)$	0.118	0.221	0.33

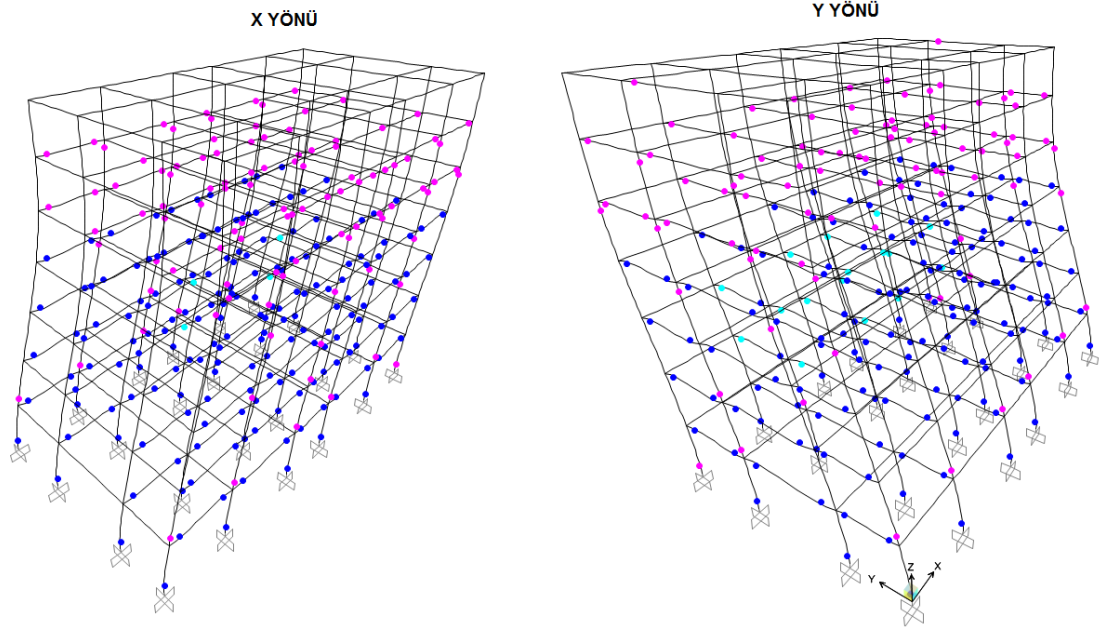
$u_{xN_1}^{(p)}$ ve $u_{yN_1}^{(p)}$ tepe yer değiştirmesi istemi büyüklüklerine binaların performans noktası denir. Bu noktaya karşı gelen diğer tüm istemler (yer değiştirme, şekil değiştirme ve i  kuvvet istemleri) itme analizinde performans noktasına denk gelen hesap adımındaki değerlerdir. Binaların performans değerlendirmesi bu tepe yer değiştirmesine göre yapılır. Tepe yer değiştirmesine kadar itilen binalarda oluşan plastik mafsallar şekil 4.24, şekil 4.25 ve şekil 4.26’de gösterilmiştir.



şekil 4.24 : 3 Katlı binada performans noktasında oluşan plastik mafsallar



şekil 4.25 : 5 Katlı binada performans noktasında oluşan plastik mafsallar



Şekil 4.26 : 7 Katlı binada performans noktasında oluşan plastik mafsallar

4.8.3 Eleman kesitlerinde oluşan toplam eğrilik istemlerinin ve oluşan hasar seviyesinin belirlenmesi

Kolon ve kirişlerin, her iki doğrultuda yapılan doğrusal olmayan analizleri sonucunda kesitlerin hasar seviyelerinin belirlenmesi için, DBYBHY 2007’de verilen kesitlerin hasar seviyelerine karşı gelen plastik dönme istemleri ve eğrilik değerleri bu bölümde hesaplanmıştır.

4.8.3.1 Kirişler için birim şekil değiştirme istemleri ve oluşan hasarlar

Kesit hasar bölgelerine ait dönme hasar sınır değerlerinin belirlenebilmesi için SAP2000-Section Designer programı kullanılmıştır. Section designer özelliği ile kesitlerde Çizelge 4.18’de belirtilen beton ve çelik için birim şekil değiştirme sınır değerlerine karşılık gelen toplam eğrilik değerleri bulunabilmektedir.

Çizelge 4.18 : Beton ve çelik için birim şekil değiştirme sınır değerleri

Şekil Değiştirme Sınırı	Hasar Sınırı	
	Betonda Birim Kısılma	Donatıda Birim Kısılma ve Uzama ϵ_{su}
Minimum Hasar Sınırı	$\epsilon_{cu}=0.0035$	0.010
Güvenlik Sınırı	$(\epsilon_{cu})_{GV}=0.0035+0.01(\epsilon_s/\epsilon_{sm})\leq 0.0135$	0.040
Göçme Sınırı	$(\epsilon_{cu})_{GC}=0.0035+0.01(\epsilon_s/\epsilon_{sm})\leq 0.0180$	0.060

Elde edilen eğrilik değerleri sınır toplam eğrilik değerleridir. Sınır eğrilik değerlerinden akma eğrilik değeri çıkarılarak plastik eğrilik değerleri bulunabilir.

$$\phi_p = \phi_t - \phi_y \quad (4.5)$$

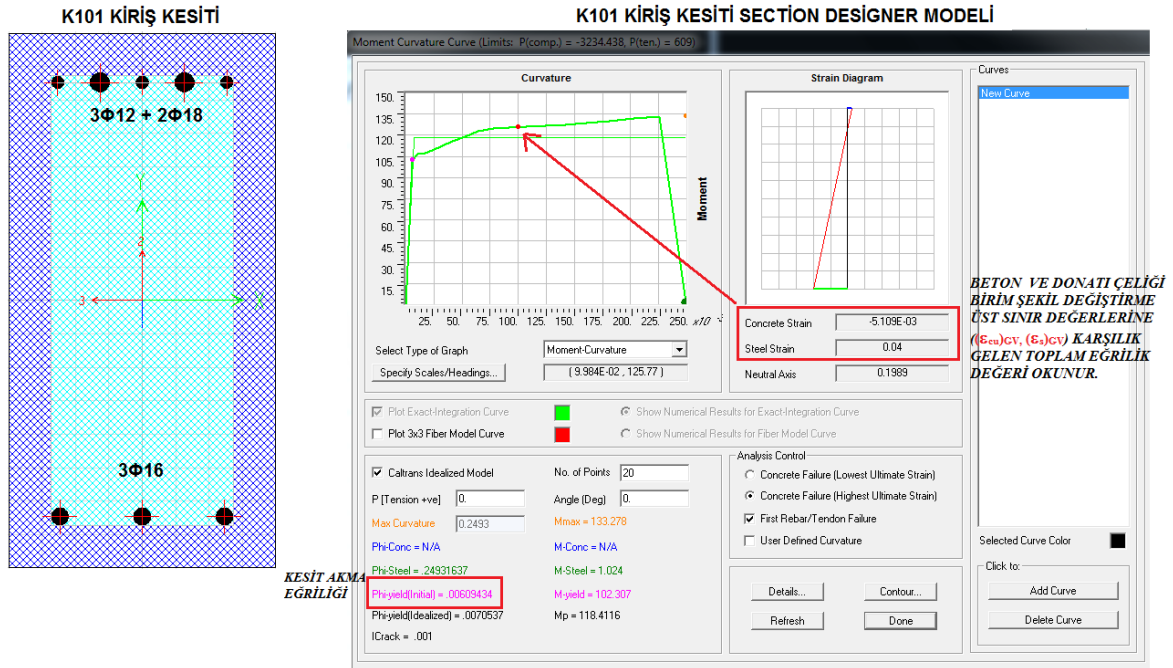
Plastik eğrilik değerleri plastik mafsallık boyu ile çarpılarak plastik dönme hasar sınır değerleri elde edilebilir.

$$\theta_p = \phi_p \times L_p \quad (4.6)$$

Analizi yapılan binalarda bütün kirişler 50cm yüksekliğindedir, bu nedenle L_p boyu $0.50/2 = 0.25m$ olarak alınmıştır. Kesitler için itme analizleri sonucu elde edilen plastik dönme istemleri, plastik dönme hasar sınırları ile karşılaştırılarak kesitin hasar durumu belirlenebilir.

- K101 kirişi (7 katlı) için örnek hesap

Örneğin K101 kirişi için pozitif eğilme altında donatı ve çelikte şekil değiştirme güvenlik sınırına (GV) karşılık gelen eğrilik değeri Şekil 4.27’de gösterilmiştir.



Şekil 4.27 : K101 (25/50) kirişi SAP2000 Section Designer modeli. (şekil değiştirme güvenlik sınırına (GV) karşılık gelen eğrilik değeri)

K101 kirişinin pozitif ve negatif eğilme altında dönme hasar sınır değerlerinin hesaplanması Çizelge 4.19’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.19 : K101 (25/50) Kirişi pozitif ve negatif eğilme altında dönme hasar sınır değerleri

K101 (+) , Kesit Hasar Bölgeleri	ϵ_s	ϵ_{cu}	ϕ_t (rad/m)	ϕ_y (rad/m)	$\phi_p = (\phi_t - \phi_y)$ (rad/m)	h (m)	$L_p=0.5*h$ (m)	θ_p (Dönme Hasar Sınırları, rad)
Minimum Hasar Sınırı (MN)	0,01	0.0015	0,0259	0,00609	0,0198	0,50	0,25	0,00495
Güvenlik Sınırı (GV)	0,04	0.0051	0,0998	0,00609	0,0937	0,50	0,25	0,02343
Göçme Sınırı (GÇ)	0,06	0.0080	0,1500	0,00609	0,1439	0,50	0,25	0,03598

K101 (-) , Kesit Hasar Bölgeleri	ϵ_s	ϵ_{cu}	ϕ_t (rad/m)	ϕ_y (rad/m)	$\phi_p = (\phi_t - \phi_y)$ (rad/m)	h (m)	$L_p=0.5*h$ (m)	θ_p (Dönme Hasar Sınırları, rad)
Minimum Hasar Sınırı (MN)	0,01	0.00191	-0,0266	-0,0063	-0,0203	0,50	0,25	-0,00508
Güvenlik Sınırı (GV)	0,04	0.0068	-0,1032	-0,0063	-0,0969	0,50	0,25	-0,02423
Göçme Sınırı (GÇ)	0,06	0.0140	-0,162	-0,0063	-0,1557	0,50	0,25	-0,03893

K101 kirişi için bütün hasar sınırlarına öncelikle çelik donatı ulaşmıştır. Aksi takdirde bu kirişin gevrek olarak kırılacağı yani dengeli donatı miktarından daha fazla donatıya sahip olduğu söylenebilirdi.

+X yönünde itme analizi sonucu elde edilen plastik dönme istemi:

Sol uç , $\theta_{p_{sol}} = 0.014672$ rad

Sağ uç , $\theta_{p_{sağ}} = -0.012197$ rad

Elde edilen plastik dönme istemlerini, dönme hasar sınır değerleri ile karşılaştırarak elemanın hasar durumu belirlenebilir.

Sol uç için plastik dönme istemi, minimum dönme hasar sınırı ile güvenlik dönme hasar sınırı arasında bir değere sahip olduğu için Belirgin Hasar Seviyesinde yer almaktadır.

$$\theta_{p_{MN}}=0.00495 < 0.014672 < 0.02343= \theta_{p_{GV}} , (BH)$$

Sağ uç için plastik dönme istemi, minimum dönme hasar sınırı ile güvenlik dönme hasar sınırı arasında bir değere sahip olduğu için Belirgin Hasar Seviyesinde yer almaktadır.

$$\theta_{p_{MN}}=-0.00508 < -0.012197 < 0.02423= \theta_{p_{GV}} , (BH)$$

K101 kirişinde kesme kapasitesi kontrolü;

Kesme kuvveti kapasitesi hesabında betonun ve çeliğin katkısı aşağıdaki hesapla dikkate alınmıştır.

Betonun katkısı ;

$$f_{ctm} = 0.35 \times \sqrt{f_{cm}}$$

$$V_c = 0.8 \times 0.65 \times f_{ctm} b_w d = 0.8 \times 0.65 \times 0.35 \times \sqrt{25} \times 250 \times 500 = 113.750 kN$$

Enine donatının katkısı;

Enine donatı 2Φ8/15

$$V_s = A_s \cdot f_{ys} \left(\frac{d}{s} \right) = 100.5 \times 420 \times \left(\frac{500 - 40}{150} \right) = 194.17 kN$$

Kesme kuvveti istemi $V = 83.526 kN$

$$V_r = V_c + V_s = 113.750 + 194.17 = 307.92 kN$$

Kesit kesme kuvveti kapasitesi açısından yeterlidir.

4.8.3.2 Kolonlar için birim sekildeğiştirme istemlerinin hesabı ve oluşan hasarlar

Her iki doğrultuda yapılan itme analizi sonucunda kolonlarda oluşan plastik kesitlere ait plastik dönme istemleri ve bunlara karşılık gelen plastik eğrilik istemleri aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$\phi_p = \frac{\theta_p}{L_p} \quad (4.7)$$

L_p boyu olarak, ilgili kolonun itme analizi doğrultusundaki boyutunun yarısı alınmıştır. Kesitteki plastik eğrilik istemi, plastik dönme istemlerinin plastik mafsal boyuna bölünmesiyle elde edilmiştir. Kesitte eşdeğer akma eğriliği, eksenel kuvvet istemi altında yapılan kesit analizi sonucunda elde edilen iki doğrulu moment - eğrilik ilişkisi yardımıyla bulunmuştur. Akma eğriliği plastik eğrilik istemi ile toplanarak toplam eğrilik istemi elde edilmiştir.

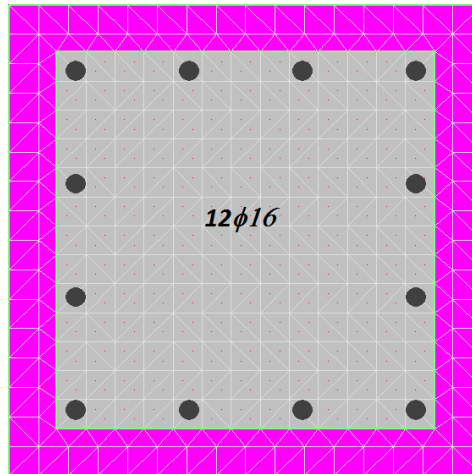
$$\phi_t = \phi_p + \phi_y \quad (4.8)$$

Kesitte hasar durumunun pratik bir yolla belirlenmesi için Yönetmelik 7.6.9'da tanımlanan kesit birim şekil değiştirme kapasitelerine karşı gelen normal kuvvet toplam eğrilik diyagramları kullanılmıştır.

Normal kuvvet–toplam eğrilik diyagramları aşağıda açıklandığı şekilde elde edilmiştir. Her normal kuvvet seviyesi için yukarıda belirtilen malzeme modelleri kullanılarak moment-eğrilik ilişkileri elde edilmiştir. Bu şekilde belirli bir hasar seviyesi için her bir normal kuvvete karşı gelen toplam eğrilik değerleri elde edilmiştir. İlgili kesite ait toplam eğrilik istemi ile normal kuvvet istemi bu diyagramın içine konulduğunda bu kesitin hangi hasar sınırları arasında kaldığı açık ve seçik olarak görülebilir.

- S102 kolonu (7 katlı) için örnek hesap

Hasar bölgesi belirlenecek kolona ait normal kuvvet – toplam eğrilik diyagramı Deprem Yönetmeliği 2007’de verilen sınır birim şekil değiştirme değerlerine göre çizildikten sonra ilgili kolonun performans noktasındaki normal kuvvet ve toplam eğrilik değeri grafik içinde işaretlenir. İşaretli noktanın Minimum Hasar Sınırı, Güvenlik Sınırı ve Göçme Sınırı’nı temsil eden eğrilere göre konumu değerlendirilerek hasar bölgesi belirlenmiş olur. XTRACT [22] kesit analiz programı kullanılarak 7 katlı binada yer alan S102 kolonu hasar bölgesi grafiksel olarak belirlenmiştir. S102 kolonu boyuna ve enine donatı detayları dikkate alınarak XTRACT programında modellenmiştir.



Şekil 4.28 : S102 (40/40) kolonu (Tip-2) XTRACT modeli

Minimum hasar sınırına ait normal kuvvet – toplam eğrilik ilişkisini belirleyebilmek için;

$(\epsilon_{cu})_{MN}=0.0035$; $(\epsilon_{su})=0.01$ sınır birim şekil değiştirmeleri,

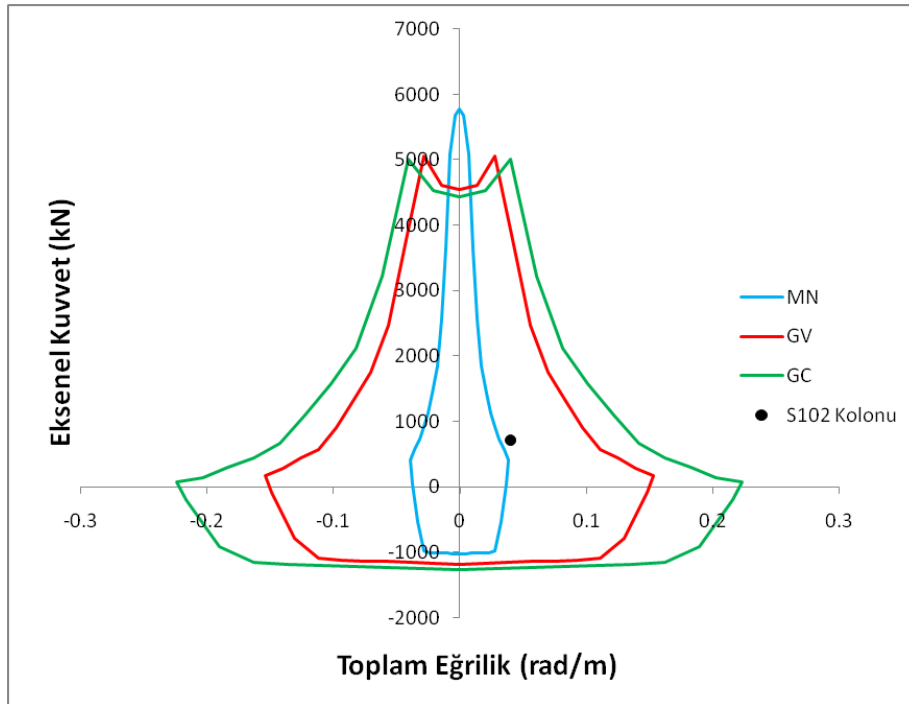
Güvenlik sınırına ait normal kuvvet – toplam eğrilik ilişkisini belirleyebilmek için;

$(\epsilon_{cu})_{GV}\leq 0.0135$; $(\epsilon_{su})=0.04$ sınır birim şekil değiştirmeleri,

Göçme sınırına ait normal kuvvet – toplam eğrilik ilişkisini belirleyebilmek için;

$(\epsilon_{cu})_{GV}\leq 0.018$; $(\epsilon_{su})=0.06$ sınır birim şekil değiştirmeleri kullanılmıştır.

Hasar sınırları için elde edilen normal kuvvet – toplam eğrilik diyagramları çizildikten sonra performans noktasında S102 kolonuna etkiyen 709.55 kN eksenel kuvvet ve 0.04016 rad/m toplam eğrilik değerleri grafiğe işlenmiştir.



Şekil 4.29 : S102 kolonu normal kuvvet – toplam eğrilik grafiği

Yukarıdaki eksenel kuvvet – toplam eğrilik grafiğinde mavi, kırmızı ve yeşil eğriler sırasıyla kesitin “Minimum Hasar Sınırı” nı, Güvenlik Sınırı”nı ve “Göçme Sınırı” nı göstermektedir. Mavi renk ile çizilen eğri içinde kalan normal kuvvet – toplam eğrilik değeri kesitin “Minimum Hasar Bölgesi” nde, mavi ve kırmızı renk ile çizilen eğriler arasında kalan normal kuvvet–toplam eğrilik değeri kesitin “Belirgin Hasar Bölgesi” nde, kırmızı ve yeşil renk ile çizilen eğriler arasında kalan normal kuvvet – toplam eğrilik değeri kesitin “İleri Hasar Bölgesi” nde, yeşil eğri dışında kalan

normal kuvvet – toplam eğrilik değeri ise kesitin “Göçme Bölgesi” nde olduğunu gösterir. Grafikte görüldüğü üzere S102 kolonu Belirgin Hasar Bölgesindedir.

Üç tip bina için X ve Y doğrultularında artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi sonucunda kat bazında kolon ve kirişlerdeki hasar dağılımı Çizelge 4.20, 4.21 ve 4.22’da özetlenmiştir.

Çizelge 4.20 : 3 Katlı bina tasarım depremi için eleman hasar durumları

			Hasarsız	MHB	BHB	İHB	GB
X Doğrultusu	Kirişler	1. Kat			100%		
		2. Kat		15%	85%		
		3. Kat	88%	22%			
	Kolonlar	1. Kat			100%		
		2. Kat		34%	66%		
		3. Kat	75%	25%			
Y Doğrultusu	Kirişler	1. Kat			100%		
		2. Kat			100%		
		3. Kat	33%	77%			
	Kolonlar	1. Kat			100%		
		2. Kat		92%	8%		
		3. Kat	66%	34%			

Çizelge 4.21 : 5 Katlı bina tasarım depremi için eleman hasar durumları

			Hasarsız	MHB	BHB	İHB	GB
X Doğrultusu	Kirişler	1. Kat			100%	-	
		2. Kat			100%		
		3. Kat			100%		
		4. Kat		15%	85%		
		5. Kat	100.0%				
	Kolonlar	1. Kat			100.0%		
		2. Kat	62%	38%			
		3. Kat	62%	38%			
		4. Kat	34%	66%			
		5. Kat	79%	21%			
Y Doğrultusu	Kirişler	1. Kat			100%		
		2. Kat			100%		
		3. Kat			100%		
		4. Kat		44%	56%		
		5. Kat	100%				
	Kolonlar	1. Kat			100%		
		2. Kat	84%	16%			
		3. Kat	33%	67%			
		4. Kat	50%	50%			
		5. Kat	75%	25%			

Çizelge 4.22 : 7 Katlı bina tasarım depremi için eleman hasar durumları

			Hasarsız	MHB	BHB	İHB	GB
X Doğrultusu	Kirişler	1. Kat			100%		
		2. Kat			100%		
		3. Kat			100%		
		4. Kat			100%		
		5. Kat		15%	85%		
		6. Kat		100%			
		7. Kat	100%				
	Kolonlar	1. Kat		12%	88%		
		2. Kat	50%	50%			
		3. Kat	92%	8%			
		4. Kat	66%	34%			
		5. Kat	71%	29%			
		6. Kat	62%	38%			
		7. Kat	100%				
Y Doğrultusu	Kirişler	1. Kat			100%		
		2. Kat			100%		
		3. Kat			100%		
		4. Kat			100%		
		5. Kat		11%	89%		
		6. Kat		100%			
		7. Kat	90%	10%			
	Kolonlar	1. Kat		12%	88%		
		2. Kat	33%	67%			
		3. Kat	92%	8%			
		4. Kat	75%	25%			
		5. Kat	67%	33%			
		6. Kat	84%	16%			
		7. Kat	100%				

4.9 DBYBHY 2007 Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi İle Deprem Performansının Belirlenmesi

Bu çalışmada 3, 5 ve 7 katlı binalar DBYBHY'07 de belirtilen koşulları sağlayacak şekilde zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Binalarda zaman tanım alanında hesap yöntemi kullanılarak deprem performanslarının değerlendirilmesi için üç adet deprem kaydı kullanılmıştır. DBYBHY 2007'de belirtildiği üzere üç adet yer hareketi kullanıldığı için sonuçların maksimumu dikkate alınmıştır.

Bu bölümde ilk olarak, hesapta kullanılacak deprem kayıtlarının yönetmelik şartlarına uygunluğu denetlenmiştir. Seçilen 3 adet deprem ivme kayıtları DBYBHY'07 [6]'ye göre benzeştirilmiştir. Daha sonra zaman tanım alanında

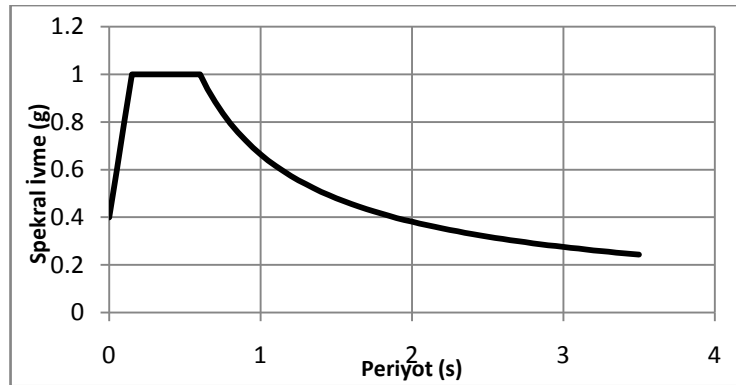
doğrusal olmayan hesap yöntemi için kullanılan programın çözüm ve malzeme kabullerinden bahsedilip, kesit hasarları ışığında yapının 7 katlı yapı için performans düzeyi belirlenmiştir. Ve artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Son olarak 3, 5 ve 7 katlı binalar için artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi ile elde edilen tepe yer değiştirmesi-taban kesme grafikleri karşılaştırılmıştır.

4.9.1 Analizde kullanılacak deprem kayıtlarının seçilmesi

Analizde kullanılacak, en az üç adet depremin, ivme kayıtlarının uyması gereken koşullar DBYBHY'07 nin 2.9.1 bölümünde verilmiştir.

- Kuvvetli yer hareketi kısmının süresi, binanın doğal titreşim periyodunun 5 katından ve 15 saniyeden daha kısa olmayacaktır.
- Deprem yer hareketlerinin sıfır periyoda karşı gelen spektral ivme değerlerinin ortalaması A_{0g} 'den daha küçük olmayacaktır.
- Her bir ivme kaydına göre %5 sönüm oranı için bulunan spektral ivme değerlerinin ortalaması, göz önüne alınan deprem doğrultusundaki birinci (hakim) periyot T_1 'e göre $0.2T_1$ ile $2T_1$ arasındaki periyotlar için, yönetmelikte tasarım için bölüm 2.4'te tanımlanan spektrumun $S_{ae}(t)$ elastik spektral ivmelerinin %90'ından daha az olmayacaktır.

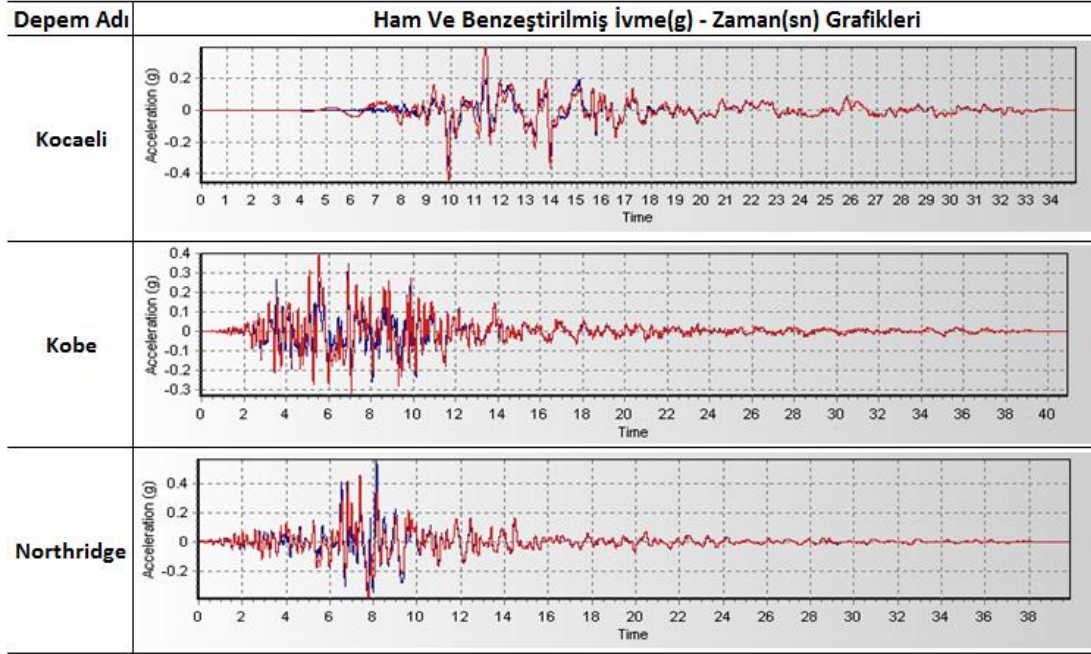
Zaman tanım alanında hesap yönteminde kullanılacak olan üç adet yer hareketi, 1994 yılında meydana gelen Northridge depremi, 1995 yılında oluşan Kobe depremi ve 1999 yılında meydana gelen Kocaeli depremi dikkate alınarak Seismomatch programı yardımıyla 1.derece deprem bölgesi ve Z3 zemin sınıfına ait elastik tasarım ivme spektrumuna göre benzeştirilmiştir. Bu İvme Spektrumu Şekil 4.30 gösterilmiştir.



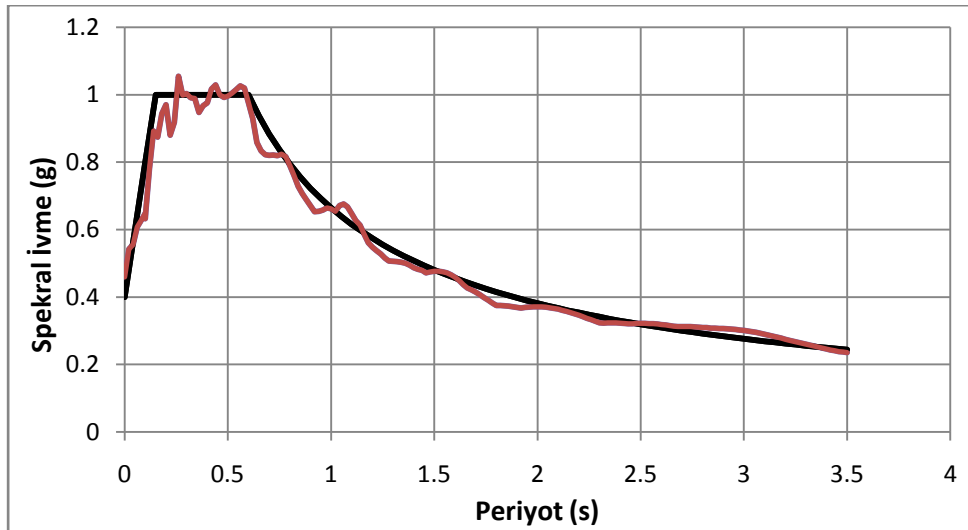
Şekil 4.30 : Elastik spektral ivme spektrumu $S_{ae}(T)$

Northridge, Kobe ve Kocaeli deprem kayıtları kullanılarak oluşturulan benzeştirilmiş deprem kayıtlarının pik ivme değerlerini içine alan bölümleri kullanılmıştır. Deprem ivme kayıtlarının ham halleri ve benzeştirilmiş halleri Çizelge 4.23’de verilmiştir.

Çizelge 4.23 : Ham ve benzeştirilmiş deprem ivme kayıtları



Benzeştirilmiş ivme kayıtlarının ortalama ivme spektrumu ve Z3 tipi zemin sınıfına ait ivme spektrumu eğrileri Şekil 4.28’de gösterilmektedir. Z3 tipi zemin sınıfına ait ivme spektrumu eğrisi siyah renkli eğri ile gösterilmiştir. Şekil 4.31’den de anlaşıldığı gibi benzeştirme sonucunda türetilen yeni ivme kayıtlarının ivme spektrumu eğrileri, Z3 zemin sınıfına ait ivme spektrumu eğrisi ile uyum içindedir.



Şekil 4.31 : Depremlerin ortalama spektrumu ve Z3 elastik spektral ivme spektrumu.

Daha öncede bahsedildiği gibi benzeştirilmiş ivme kayıtlarının ve spektrum eğrilerinin sağlaması gereken üç şart vardır. Aşağıda sırası ile bu şartlar irdelenmiş ve sonuçta benzeştirilen yeni ivme kayıtlarının ZTADOA' lerde kullanılabilir olduğu kanıtlanmıştır.

- Birinci şart; kuvvetli yer hareketi kısmının süresi, binanın birinci doğal titreşim periyodunun 5 katından ve 15 saniyeden daha kısa olmayacaktır.

Çizelge 4.24'de benzeştirilmiş ivme kayıtlarının kuvvetli yer hareketi kısımlarının süresinin birinci şartları sağladığı gösterilmiştir.

Çizelge 4.24 : Birinci şartın kontrol edilmesi

No	Deprem Adı	Kuvvetli Yer Hareketi Kısmı (s)	Hakim Mod Peryodu/ Beş katı			Şart
			3 Katlı	5 Katlı	7 Katlı	
1	Kocaeli	18				uygun
2	Kobe	19	0.63/3.16	1.04/5.21	1.45/7.28	uygun
3	Northridge	18				uygun

- İkinci Şart; üretilen deprem yer hareketinin sıfır periyoda karşı gelen spektral ivme değerlerinin ortalaması A_{0g} 'den daha küçük olmayacaktır.

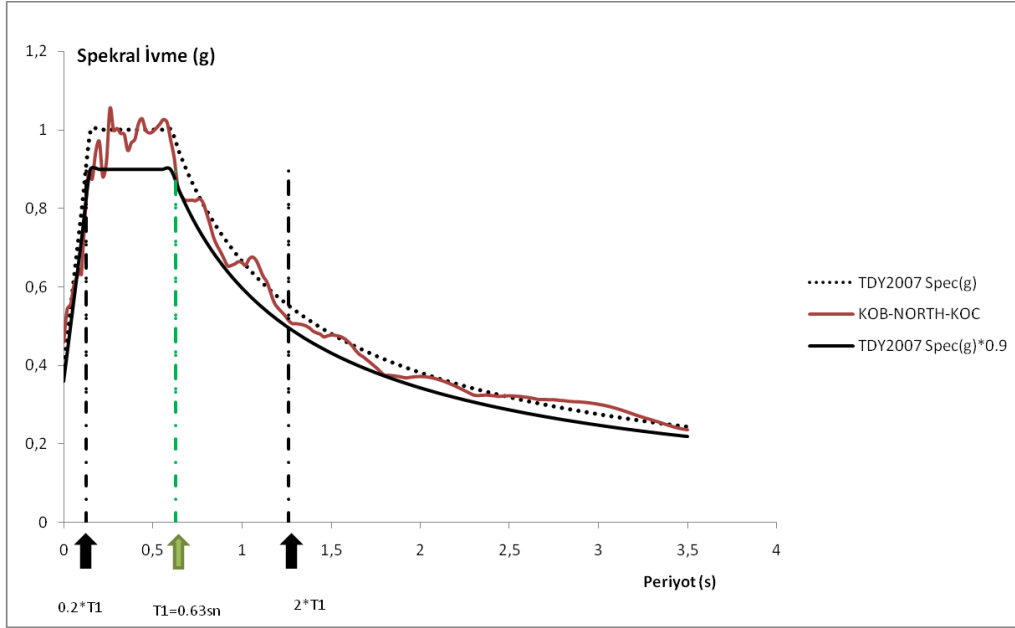
Çizelge 4.25'de benzeştirilmiş ivme kayıtlarının %5 sönüm oranına göre çizilmiş spektrum eğrisinde, $T=0$ periyoduna denk gelen spektral ivme değeri ve ortalamaları verilmiştir.

Çizelge 4.25 : İkinci şartın kontrol edilmesi

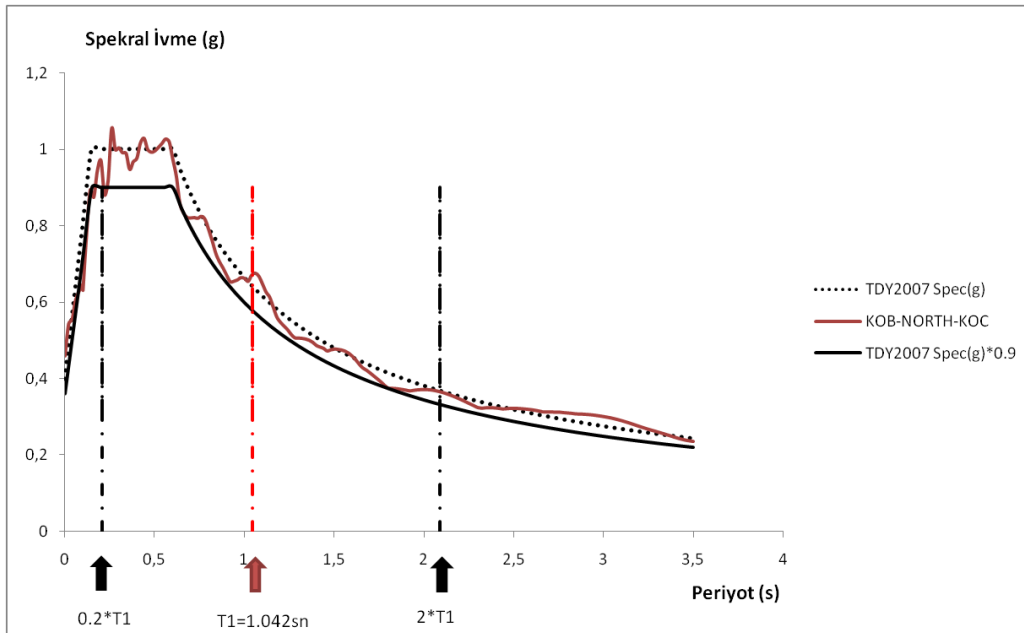
ivme No	ivme adı	Parametre (g)	Ortalama (g)
1	Kacaeli	0.435	
2	Kobe	0.393	0.429 > $A_{0g}=0.4g$
3	Northridge	0.459	

Çizelge 4.25'de geçen "PARAMETRE" sütununda, benzeştirilmiş ivme kayıtlarının %5 sönüm oranına göre çizilmiş spektrum eğrilerinde, $T=0$ periyoduna karşı gelen spektral ivme değeri yerçekimi ivmesi (g) cinsinden verilmiştir. Üretilen deprem yer hareketinin sıfır periyoda karşı gelen spektral ivme değerlerinin ortalamasının ikinci şartı sağladığı gösterilmiştir .

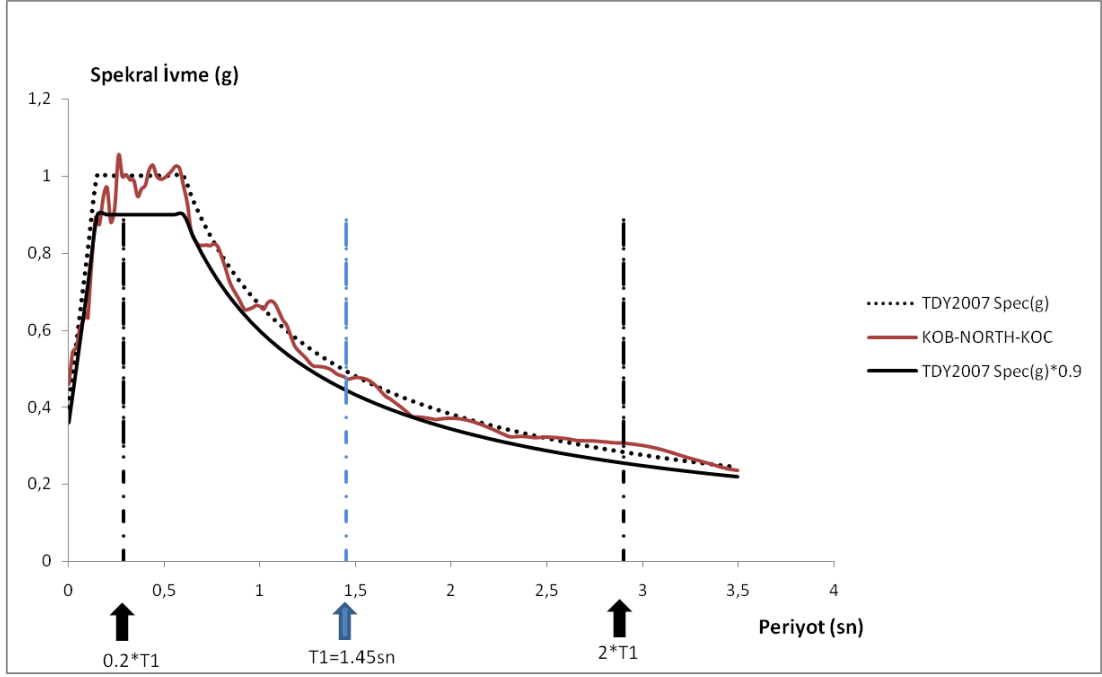
- Üçüncü şart; yapay olarak üretilen her bir ivme kaydına göre %5 sönüm oranı için yeniden bulunacak spektral ivme değerlerinin ortalaması, göz önüne alınan deprem doğrultusundaki birinci (hakim) periyot T_1 'e göre $0.2T_1$ ile $2T_1$ arasındaki periyotlar için, $S_{ae}(T)$ elastik spektral ivmelerinin %90'ından daha az olmayacaktır. Bu şart binalar için Şekil4.32, Şekil4.33, Şekil4.34' de gösterilmiştir.



Şekil 4.32 : 3 Katlı bina için üçüncü şartın kontrol edilmesi



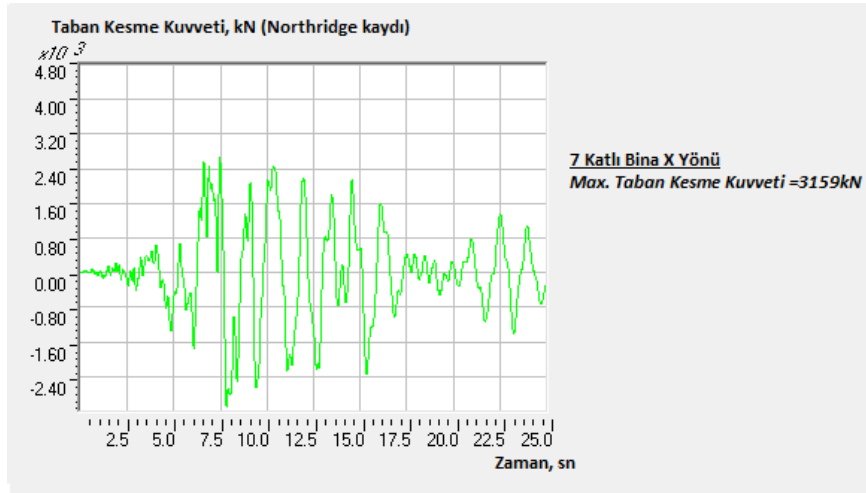
Şekil 4.33 : 5 Katlı bina için üçüncü şartın kontrol edilmesi



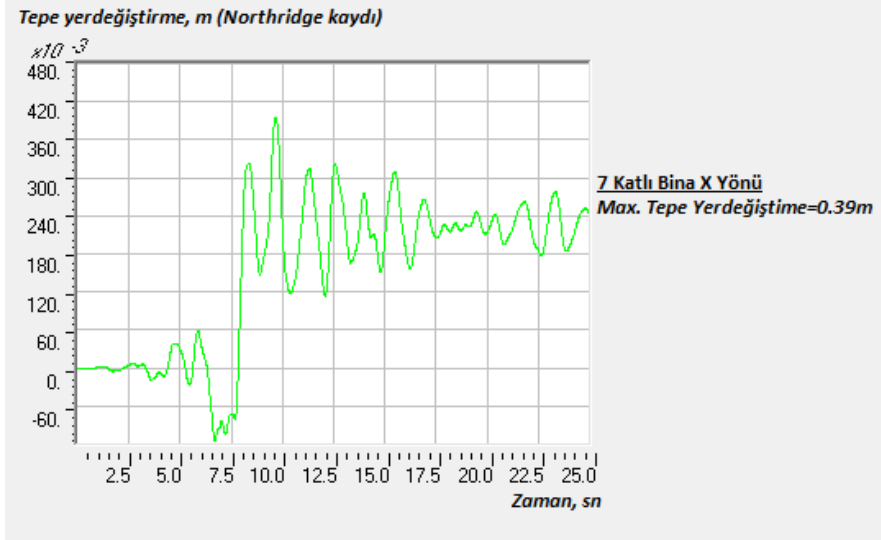
Şekil 4.34 : 7 Katlı bina için üçüncü şartın kontrol edilmesi

4.9.2 Analizde elde edilen taban kesme kuvveti ve tepe yer değiştirmeleri

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi ile tepe yerdeğiştirmeleri ve taban kesme kuvvetleri üç bina için ve her bir kayıt için elde edilmiştir. Örnek olarak 7 katlı binanın x doğrultusu için taban kesme kuvveti-zaman ve yerdeğiştirme-zaman grafikleri aşağıdaki Şekil 4.35 ve Şekil 4.36 da görülmektedir. Analizlerde üç yer hareketi kullanıldığı için değerlendirmede sonuçların maksimumu esas alınmıştır.



Şekil 4.35 : 7 Katlı bina x doğrultusu zamana bağlı taban kesme kuvveti değişimi



Şekil 4.36 : 7 Katlı bina x doğrultusu zamana bağlı tepe yerdeğiştirmesi

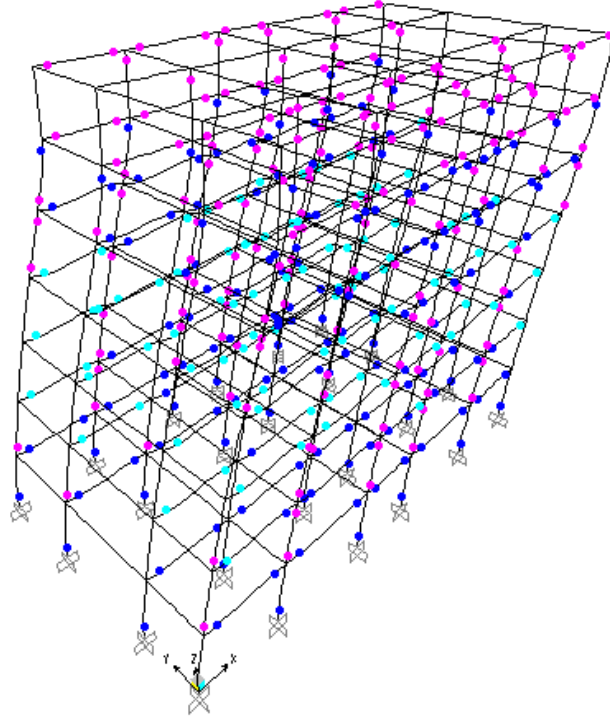
Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonucunda 3 tip binada x doğrultusunda oluşan taban kesme kuvveti ve tepe yer değıştirmesi sonuçları Çizelge 4.26’de toplu olarak verilmiştir.

Çizelge 4.26 : Üç bina için ZTADOA sonucu X doğrultusunda oluşan taban kesme kuvveti ve tepe yer değıştirmesi istemleri

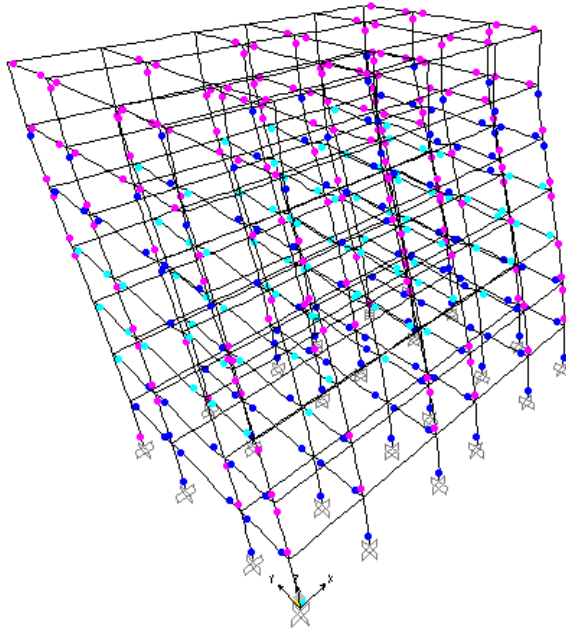
Bina Tipi	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Tepe Yer değıştirme İstemi (m)
3 Katlı	2537	0.14
5 Katlı	2922	0.26
7 Katlı	3092	0.39

4.9.3 Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi sonucu 7 katlı binada oluşan hasarın belirlenmesi

Bina modelinin oluşturulması işlemi Bölüm 4.7’de bahsedildiği şekilde yapılmıştır. Kolon ve kiriş elemanlarda çatlamış kesit etkin eğilme rijitliği hesabı ve plastik mafsalların tanımlanıp ilgili elemanlara atanması işlemi artımsal eşdeğer deprem yükü yönteminde anlatıldığı şekilde uygulanmıştır. Northridge yer hareketinin 7 katlı binayı etkilmesi sonucu binada x ve y doğrultularında oluşan plastik mafsalların görüntüsü Şekil 4.37 ve 4.38’de verilmiştir. Kolon ve kirişlerde oluşan plastik dönme değerleri belirlendikten sonra DBYBHY 2007 ‘e göre zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz kapsamında üç adet yer hareketi kullanıldığı için elde edilen plastik dönme değerlerinin maksimumu dikkate alınarak işlem yapılacaktır.



Şekil 4.37 : Northridge kaydı'nın etkitilmesi sonucu 7 katlı binada X doğrultusunda oluşan plastik mafsallar



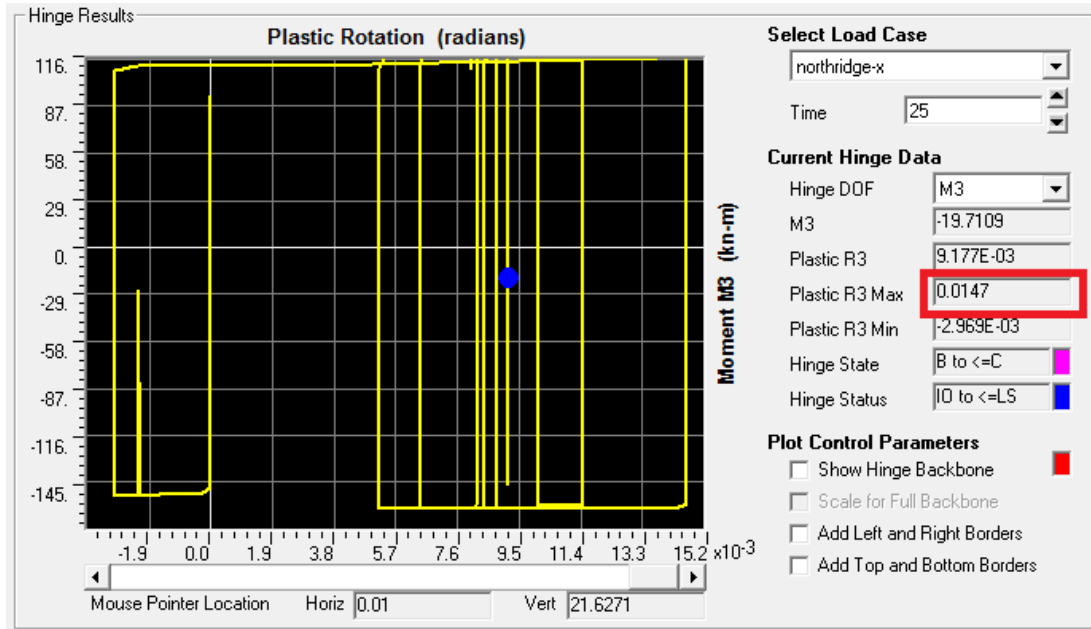
Şekil 4.38 : Northridge kaydı'nın etkitilmesi sonucu 7 katlı binada Y doğrultusunda oluşan plastik mafsallar

4.9.3.1 Kirişlerde oluşan hasarın belirlenmesi

Seçilen deprem kayıtlarının 7 katlı binaya uygulanması sonucu kirişlerde oluşan plastik dönme değerleri belirlendikten sonra zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz kapsamında üç adet yer hareketi kullanıldığı için elde edilen plastik dönme değerlerinin maksimumu dikkate alınacaktır. 7 katlı binada yer alan K101 kirişi için artımsal eşdeğer deprem yükü yönteminde olduğu gibi bu bölümde de ayrıntılı hasar durumu incelemesi yapılacaktır. Öncelikle hasar durumu belirlenecek kirişte seçilen üç kaydın etkisiyle oluşan en büyük plastik dönme değerinin bilinmesi gerekmektedir. 7 katlı binada yer alan K101 kirişi sol mesnet kesitinde seçilen üç deprem kaydı etkisinde oluşan plastik dönme değerleri Çizelge 4.27’de, Northridge kaydı etkisinde oluşan en büyük plastik dönme değeri ve plastik mafsalsın davranışını temsil eden plastik dönme – moment grafiği Şekil 4.39’de verilmiştir.

Çizelge 4.27 : 7 katlı binada yer alan K101 kirişi sol mesnet kesiti plastik dönme değerleri (ZTADOA)

K101 Kirişi Sol Mesnet Kesiti	Kocaeli	Kobe	Northridge
Oluşan plastik dönme	0.008475	0.008412	0.014657
Hesapta dikkate alınacak plastik dönme değeri (rad)	0.014657		



Şekil 4.39 : 7 katlı binada yer alan K101 kirişi sol menset kesiti plastik dönme – moment ilişkisi

Kesit hasar bölgelerine ait dönme hasar sınır değerlerinin belirlenebilmesi için *SAP2000-Section Designer* programı kullanılmıştır. Section designer özelliği ile kesitlerde Çizelge 4.28’de belirtilen beton ve çelik için birim şekil değiştirme sınır değerlerine karşılık gelen toplam eğrilik değerleri bulunabilmektedir.

Çizelge 4.28 : Beton ve çelik için birim şekil değiştirme sınır değerleri

Şekil Değiştirme Sınırı	Hasar Sınırı	
	Betonda Birim Kısılma	Donatıda Birim Kısılma ve Uzama ϵ_{su}
Minimum Hasar Sınırı	$\epsilon_{cu}=0.0035$	0.010
Güvenlik Sınırı	$(\epsilon_{cu})_{GV}=0.0035+0.01(\epsilon_s/\epsilon_{sm})\leq 0.0135$	0.040
Göçme Sınırı	$(\epsilon_{cu})_{GC}=0.0035+0.01(\epsilon_s/\epsilon_{sm})\leq 0.0180$	0.060

Elde edilen eğrilik değerleri sınır toplam eğrilik değerleridir. Sınır eğrilik değerlerinden akma eğrilik değeri çıkarılarak plastik eğrilik değerleri bulunabilir.

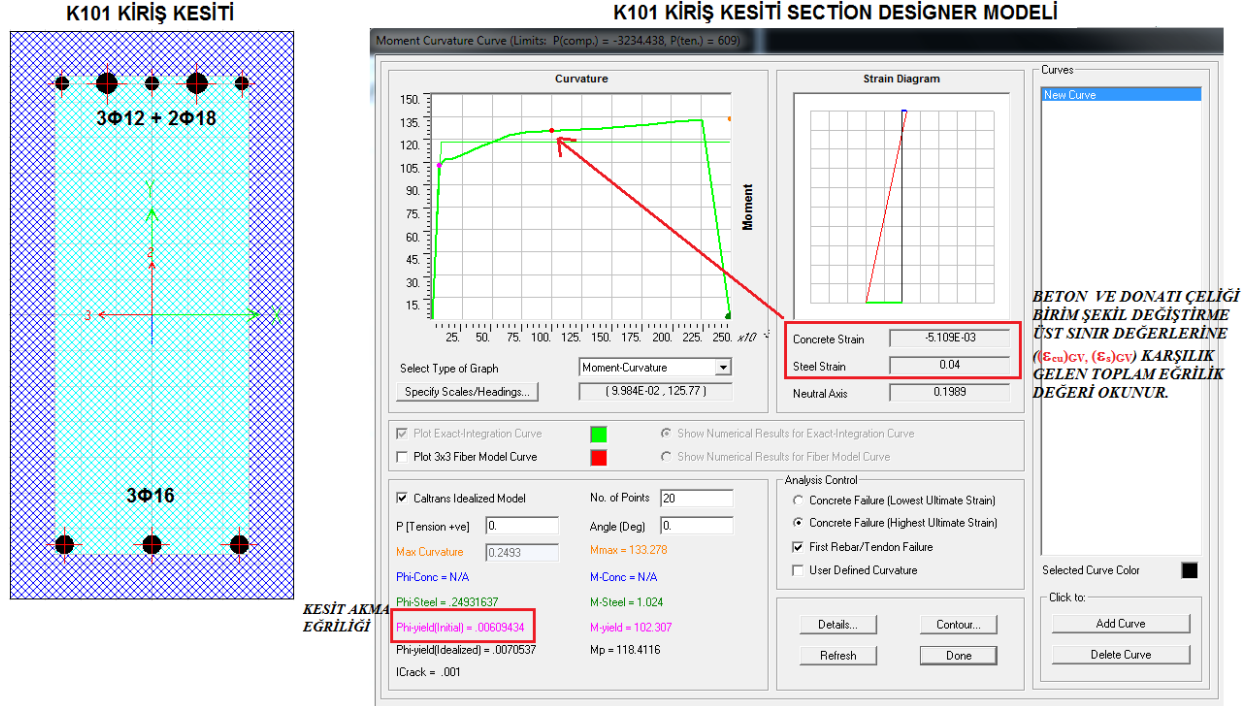
$$\phi_p = \phi_t - \phi_y \quad (4.9)$$

Plastik eğrilik değerleri plastik mafsallık boyu ile çarpılarak plastik dönme hasar sınır değerleri elde edilebilir.

$$\theta_p = \phi_p \times L_p \quad (4.10)$$

Analizi yapılan binalarda bütün kirişler 50cm yüksekliğindedir, bu nedenle L_p boyu $0.50/2= 0.25m$ olarak alınmıştır. Kesitler için itme analizleri sonucu elde edilen plastik dönme istemleri, plastik dönme hasar sınırları ile karşılaştırılarak kesitin hasar durumu belirlenebilir.

K101 kirişi için pozitif eğilme altında beton ve donatı çeliğinde şekil değiştirme güvenlik sınırına (GV) karşılık gelen eğrilik değeri Şekil 4.40’da gösterilmiştir. Şekil 4.40’da görüldüğü gibi şekil değiştirme güvenlik sınırına ilk donatı çeliği ulaşmakta ve güvenlik sınırına karşılık gelen toplam eğrilik değeri okunmaktadır. Çizelge 4.29’da görüldüğü gibi K101 kirişi için bütün hasar sınırlarına öncelikle donatı çeliği ulaşmıştır. Aksi takdirde bu kirişin gevrek olarak kırılacağı yani dengeli donatı miktarından daha fazla donatıya sahip olduğu söylenebilirdi.



Şekil 4.40 : K101 (25/50) kirişi SAP2000 *Section Designer* modeli. (şekil değiştirme güvenlik sınırına (GV) karşılık gelen eğrilik değeri)

K101 kirişinin pozitif ve negatif eğilme altında dönme hasar sınır değerlerinin hesaplanması Çizelge 4.29’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.29 : K101 (25/50) Kirişi pozitif ve negatif eğilme altında dönme hasar sınır değerleri

K101 (+) , Kesit Hasar Bölgeleri	ϵ_s	ϵ_{cu}	ϕ_t (rad/m)	ϕ_y (rad/m)	$\phi_p = (\phi_t - \phi_y)$ (rad/m)	h (m)	$L_p = 0.5 * h$ (m)	θ_p (Dönme Hasar Sınırları , rad)
Minimum Hasar Sınırı (MN)	0,01	0.0015	0,0259	0,00609	0,0198	0,50	0,25	0,00495
Güvenlik Sınırı (GV)	0,04	0.0051	0,0998	0,00609	0,0937	0,50	0,25	0,02343
Göçme Sınırı (GÇ)	0,06	0.0080	0,1500	0,00609	0,1439	0,50	0,25	0,03598

K101 (-) , Kesit Hasar Bölgeleri	ϵ_s	ϵ_{cu}	ϕ_t (rad/m)	ϕ_y (rad/m)	$\phi_p = (\phi_t - \phi_y)$ (rad/m)	h (m)	$L_p = 0.5 * h$ (m)	θ_p (Dönme Hasar Sınırları , rad)
Minimum Hasar Sınırı (MN)	0,01	0.0019	-0,0266	-0,0063	-0,0203	0,50	0,25	-0,00508
Güvenlik Sınırı (GV)	0,04	0.0068	-0,1032	-0,0063	-0,0969	0,50	0,25	-0,02423
Göçme Sınırı (GÇ)	0,06	0.0140	-0,162	-0,0063	-0,1557	0,50	0,25	-0,03893

+X yönünde itme analizi sonucu elde edilen plastik dönme istemi:

Sol uç , $\theta_{p_{sol}} = 0.014657 \text{ rad}$

Sağ uç , $\theta_{p_{sağ}} = -0.012871 \text{ rad}$

Elde edilen plastik dönme istemlerini, dönme hasar sınır değerleri ile karşılaştırarak elemanın hasar durumu belirlenebilir.

Sol uç için plastik dönme istemi, minimum dönme hasar sınırı ile güvenlik dönme hasar sınırı arasında bir değere sahip olduğu için Belirgin Hasar Seviyesinde yer almaktadır.

$$\theta_{p_{MN}}=0.00495 < 0.014657 < 0.02343= \theta_{p_{GV}} , (BH)$$

Sağ uç için plastik dönme istemi, minimum dönme hasar sınırı ile güvenlik dönme hasar sınırı arasında bir değere sahip olduğu için Belirgin Hasar Seviyesinde yer almaktadır.

$$\theta_{p_{MN}}=-0.00508 < - 0.012871 < 0.02423= \theta_{p_{GV}} , (BH)$$

K101 kirişinde kesme kapasitesi kontrolü;

Kesme kuvveti kapasitesi hesabında betonun ve çeliğin katkısı aşağıdaki hesapla dikkate alınmıştır.

Betonun katkısı;

$$f_{ctm} = 0.35 \times \sqrt{f_{cm}}$$
$$V_c = 0.8 \times 0.65 \times f_{ctm} b_w d = 0.8 \times 0.65 \times 0.35 \times \sqrt{25} \times 250 \times 500 = 113.750 kN$$

Enine donatının katkısı;

Enine donatı 2Φ8/15

$$V_s = A_s \cdot f_{ys} \left(\frac{d}{s} \right) = 100.5 \times 420 \times \left(\frac{500 - 40}{150} \right)$$
$$V_s = 194.17 kN$$

Kesme kuvveti istemi $V = 84.018 kN$

$$V_r = V_c + V_s = 113.750 + 194.17 = 307.92 kN$$

Kesit kesme kuvveti kapasitesi açısından yeterlidir.

Çizelge 4.30’da kirişlerin katlardaki hasar dağılımları verilmiştir.

Çizelge 4.30 : 7 Katlı bina ZTADOA sonucu kiriş hasar dağılımları

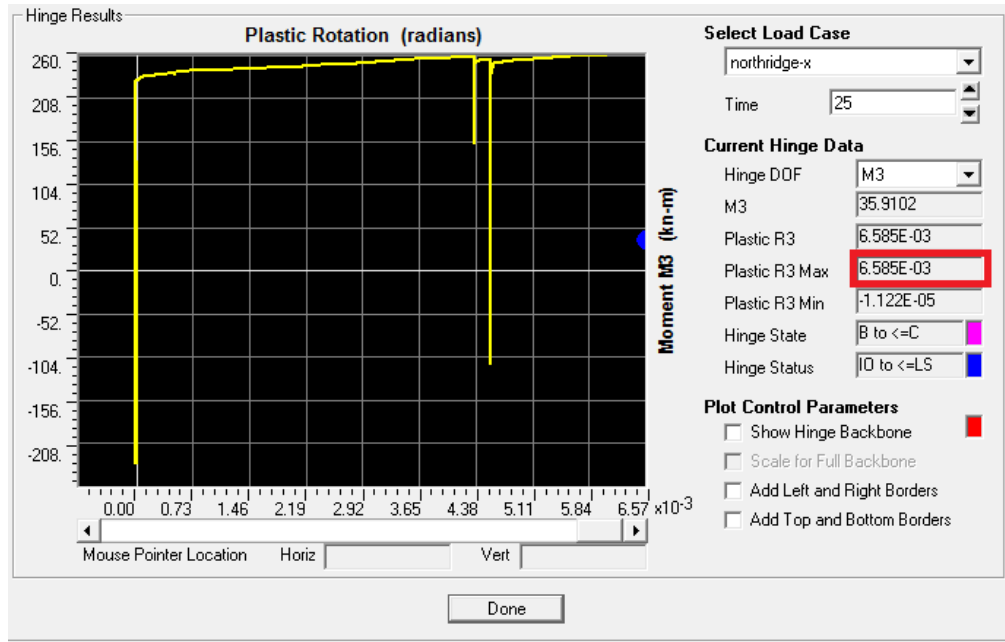
			Hasarsız	MHB	BHB	İHB	GB
X Doğrultusu	Kirişler	1. Kat			100%		
		2. Kat			90%	10%	
		3. Kat			85%	15%	
		4. Kat			90%	10%	
		5. Kat			100%		
		6. Kat		50%	50%		
		7. Kat	40%	60%			
Y Doğrultusu	Kirişler	1. Kat			100%		
		2. Kat			100%		
		3. Kat			78%	22%	
		4. Kat			89%	11%	
		5. Kat			100%		
		6. Kat		11%	89%		
		7. Kat	17%	83%			

4.9.3.2 Kolonlarda oluşan hasarın belirlenmesi

Seçilen deprem kayıtlarının 7 katlı binaya uygulanması sonucu kolonlarda oluşan plastik dönme değerleri belirlendikten sonra zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz kapsamında üç adet yer hareketi kullanıldığı için elde edilen plastik dönme değerlerinin maksimumu dikkate alınmalıdır. 7 katlı binada yer alan S102 kolonu için artımsal eşdeğer deprem yükü yönteminde olduğu gibi bu bölümde de ayrıntılı hasar durumu incelemesi yapılacaktır. Öncelikle hasar durumu belirlenecek kolonda seçilen üç kaydın etkisiyle oluşan en büyük plastik dönme değerinin bilinmesi gerekmektedir. 7 katlı binada yer alan S102 kolonu alt ucunda seçilen üç deprem kaydı etkisinde oluşan plastik dönme değerleri Çizelge 4.31’de, Northridge kaydı etkisinde oluşan en büyük plastik dönme değeri ve plastik mafsalsın davranışını temsil eden plastik dönme – moment grafiği Şekil 4.41’da verilmiştir. S102 kolonunda oluşan maksimum plastik dönme değerinin Northridge yer hareketi sonucu oluştuğu görülmüştür.

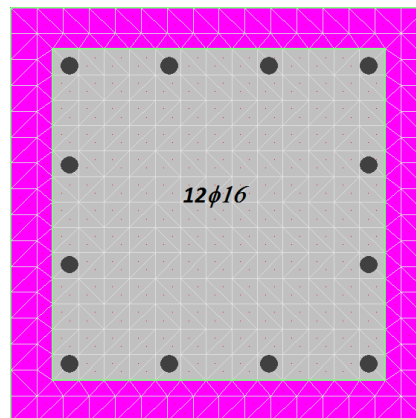
Çizelge 4.31 : 7 Katlı binada yer alan S102 kolonu plastik dönme değerleri

S102 Kolonu	Kocaeli	Kobe	Northridge
Oluşan plastik dönme	0.001287	0.002665	0.006585
Hesapta dikkate alınacak plastik dönme değeri (rad)	0.006585		



Şekil 4.41 : 7 katlı binada yer alan S102 kolonunda oluşan plastik dönme – moment ilişkisi

Hasar bölgesi belirlenecek kolona ait normal kuvvet – toplam eğrilik diyagramı Deprem Yönetmeliği 2007’de verilen sınır birim şekil değiştirme değerlerine göre çizildikten sonra ilgili kolonun performans noktasındaki normal kuvvet ve toplam eğrilik değeri grafik içinde işaretlenir. İşaretli noktanın Minimum Hasar Sınırı, Güvenlik Sınırı ve Göçme Sınır’ını temsil eden eğrilere göre konumu değerlendirilerek hasar bölgesi belirlenmiş olur. XTRACT kesit analiz programı kullanılarak 7 katlı binada yer alan S102 kolonu hasar bölgesi grafiksel olarak belirlenmiştir. S102 kolonu boyuna ve enine donatı detayları dikkate alınarak XTRACT programında modellenmiştir.



Şekil 4.42 : S102 (40/40) kolonu (Tip-2) XTRACT modeli

Minimum hasar sınırına ait normal kuvvet – toplam eğrilik ilişkisini belirlemek için;

$(\epsilon_{cu})_{MN} = 0.0035$; $(\epsilon_{su}) = 0.01$ sınır birim şekil değiştirmeleri,

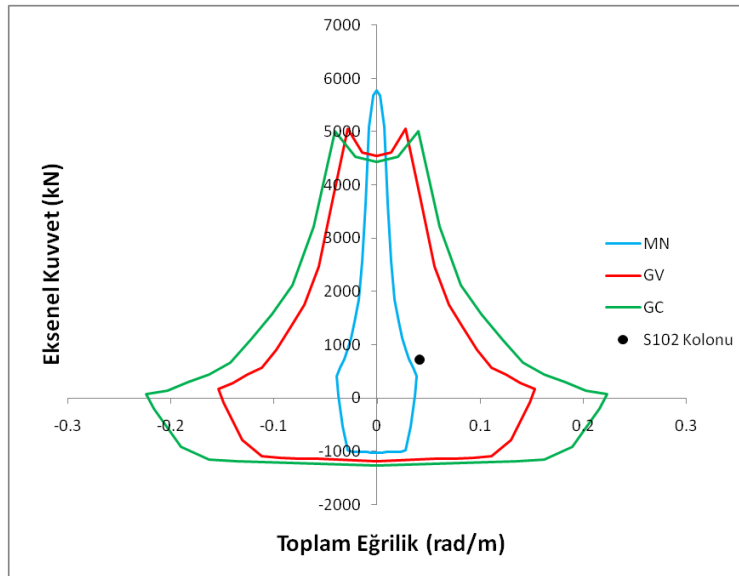
Güvenlik sınırına ait normal kuvvet – toplam eğrilik ilişkisini belirleyebilmek için;

$(\epsilon_{cu})_{GV} \leq 0.0135$; $(\epsilon_{su}) = 0.04$ sınır birim şekil değiştirmeleri,

Göçme sınırına ait normal kuvvet – toplam eğrilik ilişkisini belirleyebilmek için;

$(\epsilon_{cu})_{GV} \leq 0.018$; $(\epsilon_{su}) = 0.06$ sınır birim şekil değiştirmeleri kullanılmıştır.

Hasar sınırları için elde edilen normal kuvvet – toplam eğrilik diyagramları çizildikten sonra performans noktasında S102 kolonuna etkiyen 724.98 kN eksenel kuvvet ve 0.04155 rad/m toplam eğrilik değerleri grafiğe işlenmiştir.



Şekil 4.43 : S102 kolonu normal kuvvet – toplam eğrilik grafiği

Yukarıdaki eksenel kuvvet – toplam eğrilik grafiğinde mavi, kırmızı ve yeşil eğriler sırasıyla kesitin “Minimum Hasar Sınırı” nı, Güvenlik Sınırı”nı ve “Göçme Sınırı” nı göstermektedir. Mavi renk ile çizilen eğri içinde kalan normal kuvvet – toplam eğrilik değeri kesitin “Minimum Hasar Bölgesi” nde, mavi ve kırmızı renk ile çizilen eğriler arasında kalan normal kuvvet–toplam eğrilik değeri kesitin “Belirgin Hasar Bölgesi” nde, kırmızı ve yeşil renk ile çizilen eğriler arasında kalan normal kuvvet – toplam eğrilik değeri kesitin “İleri Hasar Bölgesi” nde, yeşil eğri dışında kalan normal kuvvet – toplam eğrilik değeri ise kesitin “Göçme Bölgesi” nde olduğunu gösterir. Grafikte görüldüğü üzere S102 kolonu Belirgin Hasar Bölgesindedir. Çizelge 4.32’de kolonların katlardaki hasar dağılımları verilmiştir.

Çizelge 4.32 : 7 Katlı bina ZTADOA sonucu kolon hasar dağılımları

			Hasarsız	MHB	BHB	İHB	GB
X Doğrultusu	Kolonlar	1. Kat		8%	92%		
		2. Kat	25%	75%			
		3. Kat	50%	50%			
		4. Kat	62%	38%			
		5. Kat	34%	58%	8%		
		6. Kat	25%	29%	46%		
		7. Kat	46%	54%			
Y Doğrultusu	Kolonlar	1. Kat		4%	96%		
		2. Kat	33%	67%			
		3. Kat	50%	50%			
		4. Kat	16%	84%			
		5. Kat	16%	84%			
		6. Kat	37%	13%	50.0%		
		7. Kat	34%	66%			

4.10 Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi Ve Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi İle Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması

4.10.1 Üç tip bina için taban kesme kuvveti ve tepe yerdeğiştirme istemi karşılaştırılması

Artımsal eşdeğer deprem yüğü yöntemi ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi sonucu elde edilen taban kesme kuvveti değerleri karşılaştırılırsa;

Binalarda ZTADOA elde edilen taban kesme kuvveti değerlerinin AEDYY sonucu elde edilen taban kesme kuvveti değerlerinden daha büyük olduğu görülmektedir. Ayrıca 7 katlı binada, elde edilen sonuçlar arasındaki fark daha belirgin durumdadır. Elde edilen sonuçların arasındaki farkın en az olduğu sistem 3 katlı binadır. Binalar için her iki yöntemle elde edilen taban kesme kuvveti değerleri Çizelge 4.33'da verilmiştir.

Çizelge 4.33 : ZTADOA ve AEDYY sonucu elde edilen taban kesme kuvveti değerlerinin karşılaştırılması

Analiz Yöntemi	Taşıyıcı Sistem		
	3 Katlı	5 Katlı	7 Katlı
AEDYY	2105kN	2334kN	2400kN
ZTADOA	2537kN	2933kN	3159kN
AEDYY/ZTADOA	0.8297	0.7987	0.7597

Artımsal eşdeğer deprem yüğü yöntemi ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi sonucu elde edilen tepe yer değıştirmesi değerleri karşılaştırılırsa;

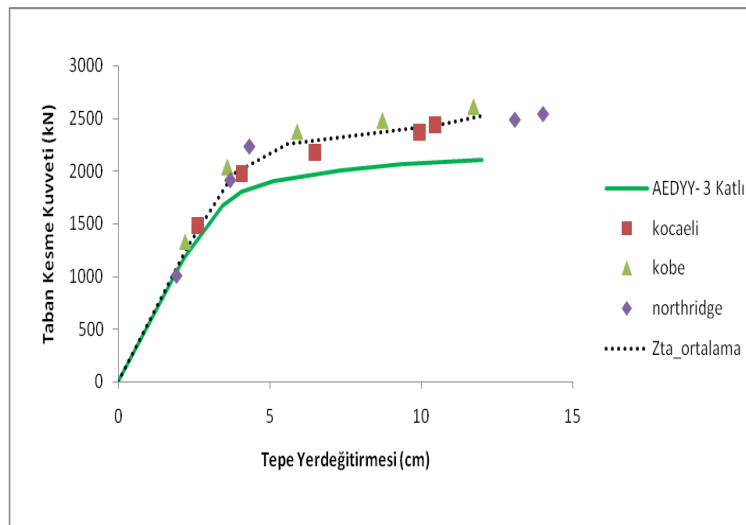
Üç tip binada ZTADOA sonucunda elde edilen tepe yer değiştirmesi istemlerinin AEDYY sonucu elde edilen Tepe yer değiştirme istemlerinden daha büyük olduğu görülmektedir. Ayrıca 7 katlı binada, elde edilen sonuçlar arasındaki fark daha belirgin durumdadır. Elde edilen sonuçların arasındaki farkın en az olduğu sistem 3 katlı binadır. Üç tip bina için her iki yöntemle elde edilen tepe yer değiştirme istemleri Çizelge 4.34’de verilmiştir.

Çizelge 4.34 : ZTADOA ve AEDYY sonucu elde edilen tepe yerdeğiştirme istemlerinin karşılaştırılması

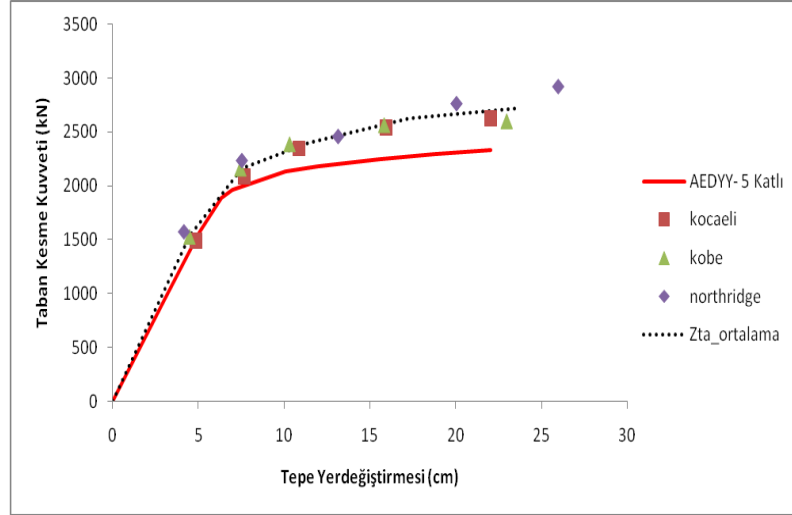
Analiz Yöntemi	Taşıyıcı Sistem		
	3 Katlı	5 Katlı	7 Katlı
AEDYY	0.12m	0.22m	0.33m
ZTADOA	0.14m	0.259m	0.3972m
AEDYY/ZTADOA	0.857	0.849	0.830

4.10.2 Üç tip bina için ZTADOA ve AEDYY sonucu elde edilen taban kesme kuvveti – tepe yer değiştirmesi eğrilerinin karşılaştırılması

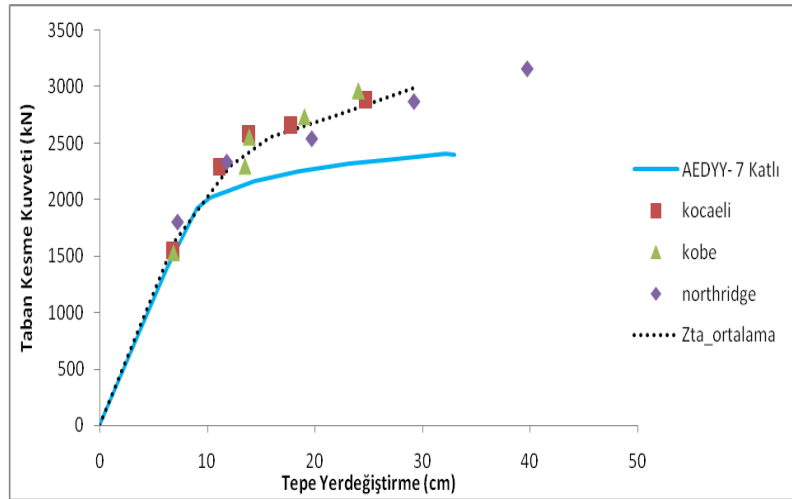
ZTADOA için kullanılan yapay deprem kayıtlarının sıfır periyoda karşı gelen spektral ivme değerleri, A_{0g} ’nin 0.2 ile 1 arasında 0.2 artım ile katları olacak şekilde tekrar ölçeklenmiştir. Daha sonra elde edilen tüm kayıtlar 3 katlı, 5 katlı ve 7 katlı binalara uygulanarak her bir kayıta sistemde oluşan maksimum taban kesme kuvveti ve maksimum tepe yer değiştirmesi değerleri elde edilmiştir. Şekil4.44, Şekil4.45 ve Şekil 4.46’de binalar için ZTADOA ve AEDYY sonucu elde edilen taban kesme kuvveti–tepe yer değiştirmesi eğrileri aynı eksen takımında karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.44 : 3 Katlı bina için ZTADOA ve AEDYY sonucu elde edilen taban kesme kuvveti – tepe yer değiştirmesi eğrilerinin karşılaştırılması



Şekil 4.45 : 5 Katlı bina için ZTADOA ve AEDYY sonucu elde edilen taban kesme kuvveti – tepe yer değiştirmesi eğrilerinin karşılaştırılması



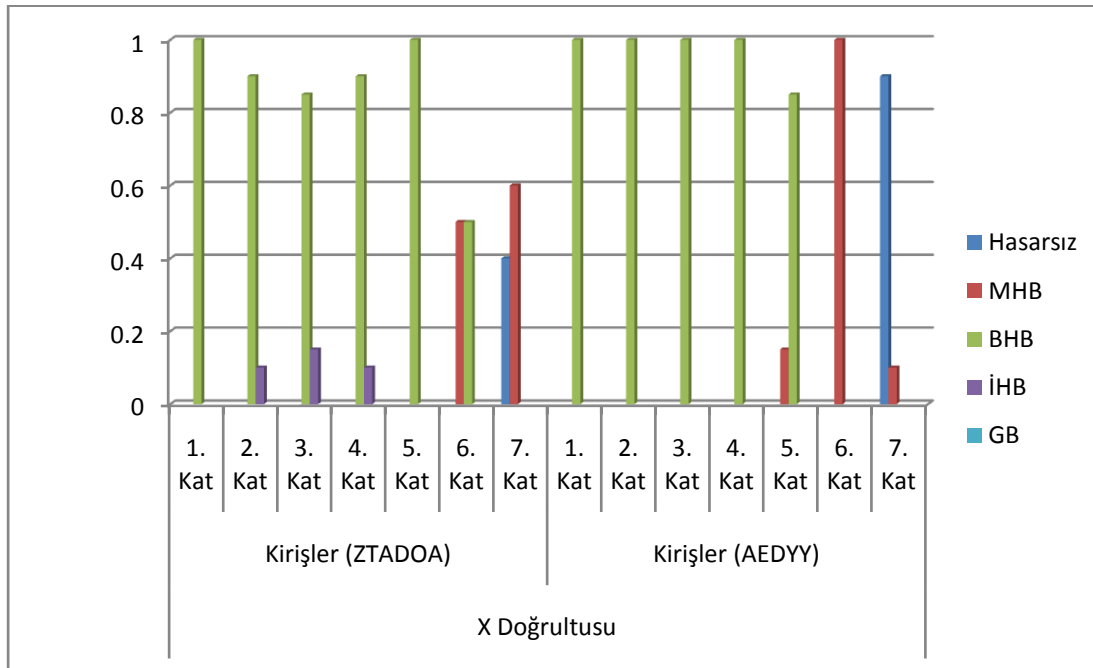
Şekil 4.46 : 7 Katlı bina için ZTADOA ve AEDYY sonucu elde edilen taban kesme kuvveti – tepe yer değiştirmesi eğrilerinin karşılaştırılması

Yukarıda verilen şekillere göre binaların tümü için elastik davranış gösterdiği başlangıç bölümünde AEDYY ve ZTADOA sonucu elde edilen eğriler birbirine yakın iken doğrusal olmayan davranışın başladığı noktadan itibaren farkın açılarak AEDYY sonucu elde edilen taban kesme kuvveti – tepe yer değiştirmesi eğrilerinin düşük kaldığı görülmektedir. Ayrıca 7 katlı binada, elde edilen sonuçlar arasındaki fark daha belirgin durumdadır. Elde edilen sonuçların arasındaki farkın en az olduğu sistem 3 katlı binadır.

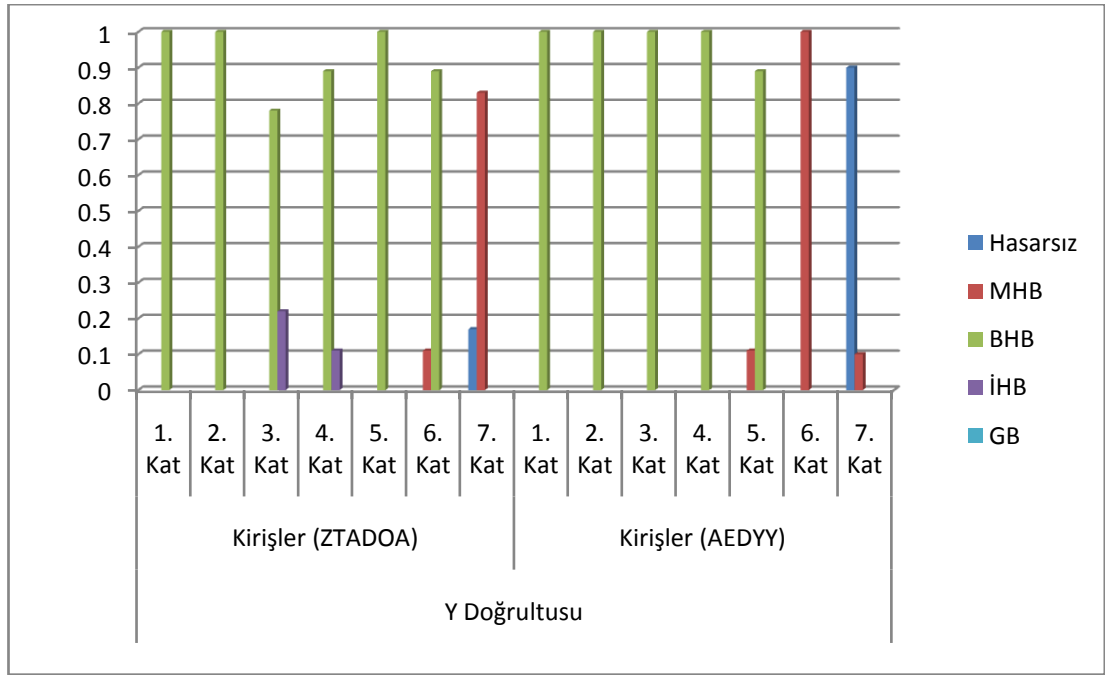
4.10.3 Yedi katlı bina için ZTADOA ve AEDYY sonucu elde edilen bina performanslarının karşılaştırılması

Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi sonucunda 7 katlı bina için kolon ve kirişleri hasar bölgelerine göre değerlendirilerek şekil üzerinde karşılaştırılmıştır. 4.10.1 ve 4.10.2 de üç tip bina için ZTADOA ve AEDYY ile elde edilen gerek taban kesme kuvveti ve tepe yer değiştirme istemleri, gerekse her iki yöntem için taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirme eğrileri çizdirilerek yapılan karşılaştırmada 7 katlı binada, elde edilen sonuçlar arasındaki farkın daha belirgin durumda olduğu görülmektedir. Bu sebeple burada sadece 7 katlı binada kolon ve kirişleri hasar bölgelerine göre değerlendirilerek grafik üzerinde karşılaştırılmıştır. İlgili grafikler sırasıyla kirişler ve kolonlar için Şekil 4.47, 4.48, 4.49 ve 4.50’de verilmiştir.

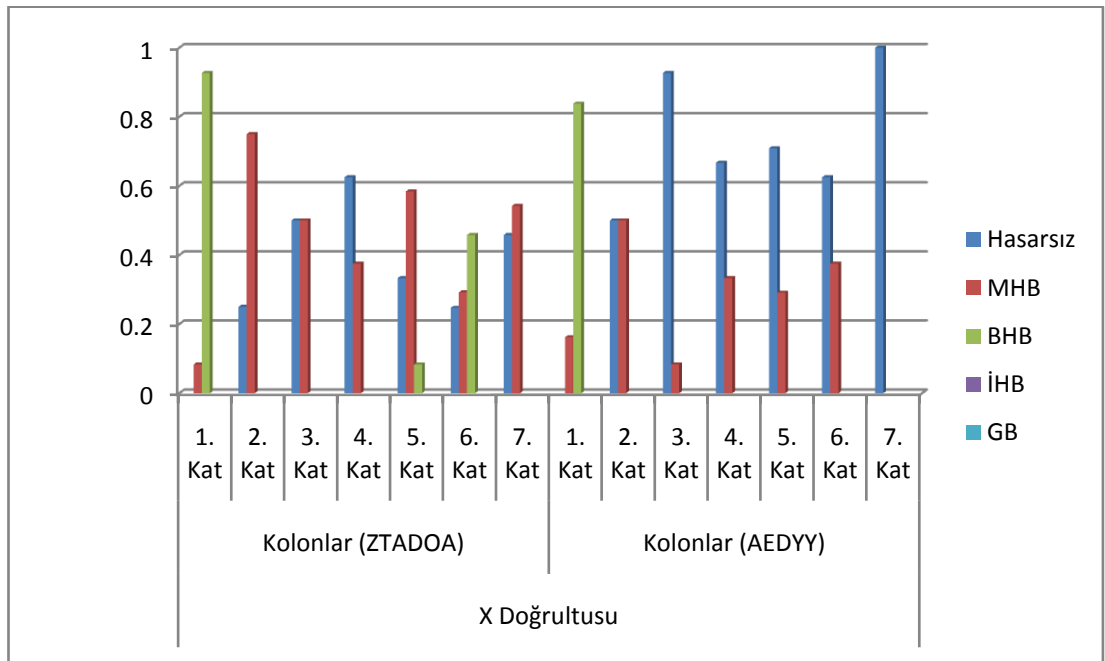
Şekillerden de görüleceği gibi zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi sonucu 7 katlı binada kolon ve kiriş hasarları en çok bir hasar bölgesi değişerek artış göstermiştir.



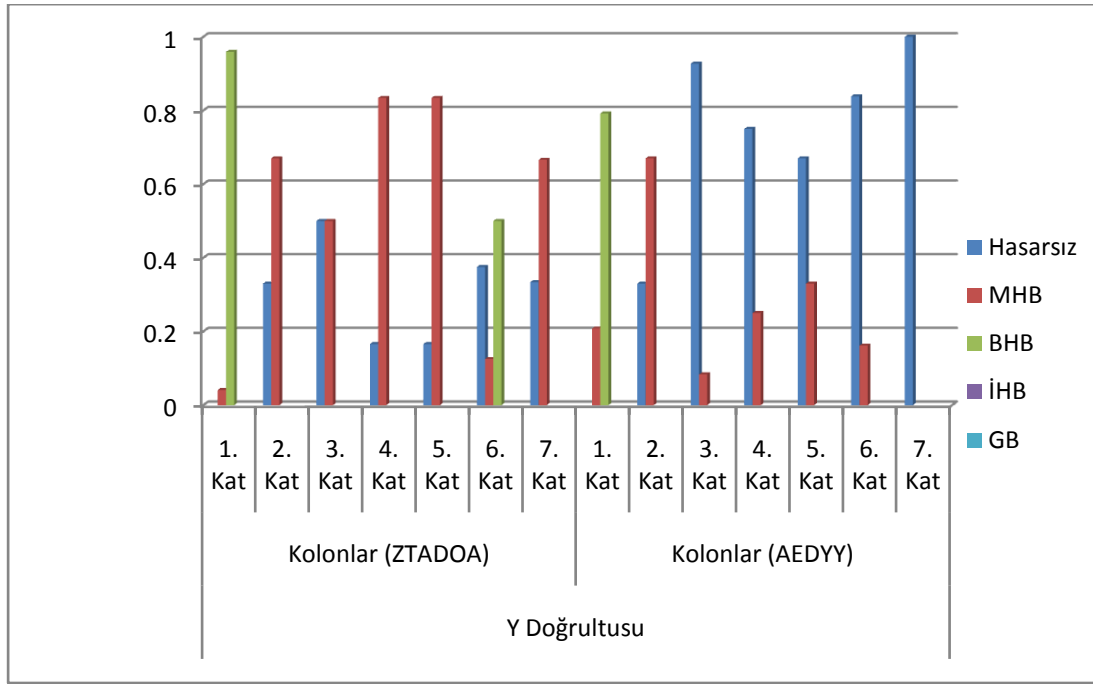
Şekil 4.47 : 7 Katlı bina için ZTADOA ve AEDYY sonucu X doğrultusu kiriş hasar dağılımları



Şekil 4.48 : 7 Katlı bina için ZTADOA ve AEDYY sonucu Y doğrultusu kiriş hasar dağılımları



Şekil 4.49 : 7 Katlı bina için ZTADOA ve AEDYY sonucu X doğrultusu kolon hasar dağılımları



Şekil 4.50 : 7 Katlı bina için ZTADOA ve AEDYY sonucu Y doğrultusu kolon hasar dağılımları

5. SONUÇLAR

Yapılan uygulamalarda binaların türleri sebebiyle tasarım depremi altında can güvenliği performans seviyesi doğrusal olmayan yöntemlerle karşılaştırılmıştır. DBYBHY'07 ne göre yeni bina olarak tasarımı yapılmış 3 katlı, 5 katlı ve 7 katlı olmak üzere seçilen üç bina esas alınarak, yeni tasarımın beklenen performans hedefini sağlama durumu ve bina kat adedinin bina performans hedefi üzerine olan etkisi söz konusu edilmiştir. Bu binaların deprem yükleri altındaki taşıyıcı sistem performanslarını belirleyebilmek için yönetmelikte bulunan doğrusal olmayan çözüm yöntemleri kullanılmıştır. Doğrusal olmayan çözümde Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi seçilmiştir. DBYBHY'07 ne göre tasarımı yapılan bu binaların sağladıkları performans hedefleri aralarında ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Ayrıca, bu karşılaştırmada binaların sağladıkları performans hedefleri kat adedinin farklı olması açısından da değerlendirilmiştir. Bu çalışmada elde edilen sayısal değerleri inceleyerek varılan bazı sonuçlar aşağıda sıralanabilir:

- Ofis yapısı olarak DBYBHY'07 de Bölüm 2 ve Bölüm 3'e göre tasarımı yapılan ve mevcut yapı olarak kabul edilen bu binaların, Bölüm 7'e göre sağlaması gereken Can Güvenliği Performansı hedefini, artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemine göre değerlendirildiğinde, sağladıkları görülmüştür.
- 3 katlı yapıda statik artımsal itme eğrilerinin, dinamik analiz sonucu elde edilen eğrilere daha yakın sonuç verdiği söylenebilir. Az kat adedi olan yapılarda statik artımsal itme analizi sonuçlarının daha gerçekçi olduğu ancak yapıların kat adedi arttıkça, zaman tanım alanında dinamik analiz sonuçlarından uzaklaştığı görülmektedir.
- Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi sonucunda elde edilen taban kesme kuvveti ve tepe yer değiştirmesi değerlerinin 3 katlı yapıda daha yakın sonuçlar verdiği görülmüştür.

- 7 katlı bina için yapılan zaman tanım alanında doğrusal olmayan performans değerlendirmesi sonucunda Can güvenliği performans hedefini sağladığı görülmüştür.
- Ancak 7 katlı bina için zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi ve artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi sonucunda kolon ve kiriş hasarları en çok bir hasar bölgesi değişerek artış göstermiştir. Ayrıca artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi sonucunda kirişlerin ileri hasar bölgesine geçtiği gözlenmezken, zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi sonucunda ileri hasar bölgesine geçen kirişler mevcuttur.
- DBYBHY'07 de kullanım amacı ve türü esas alınarak farklı deprem düzeyleri için farklı performans hedefleri belirtilmektedir. Kullanım amacı farklı olan yapılar için de aynı çalışma yapılarak, yeni tasarımı yapılan binaların beklenen performans hedefini sağlama durumu incelenebilir.
- Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi ile elde edilen sonuçların tez kapsamında incelenen taşıyıcı sistem için geçerli olduğu ve bu sisteme etkiyen düşey yükler, kolon ve kiriş elemanlarda bulunan donatı miktarları v.b nedenlerin sonuçlara etkisinin olduğu unutulmamalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] **Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik**, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, 2007
- [2] **TS500**, (2000). Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- [3] **Aydınoğlu, M.N., Celep, Z., Özer, E., Sucuoğlu, H.** (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (2007) Açıklamalar Ve Örnekler El Kitabı, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı
- [4] **Performansa Bağlı Yapısal Tasarım Kursu Notları**, 2012. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi
- [5] **Celep, Z.**, (2014). Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış ve Çözümleme, Beta Dağıtım, İstanbul.
- [6] **Celep, Z.**, (2013). Betonarme Yapılar, Beta Dağıtım, İstanbul
- [7] **Y. M. Fahjan**, DBYBHY 2007 Tasarım İvme Spektrumuna Uygun Gerçek Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklenmesi
- [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] **Çakıroğlu, A., Özer, E.**, (1980). Malzeme ve Geometri Bakımından Lineer Olmayan Sistemler, Cilt 1, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul
- [11] **Özer E.**, (2004). Yapı Sistemlerinin Lineer Olmayan Analizi Ders Notları, İstanbul.
- [12] **Ersoy U., Özcebe G.**, (1998). Sarılmış Betonarme Kesitlerde Moment-Eğrilik İlişkisi Analitik Bir İnceleme, İMO Teknik Dergi

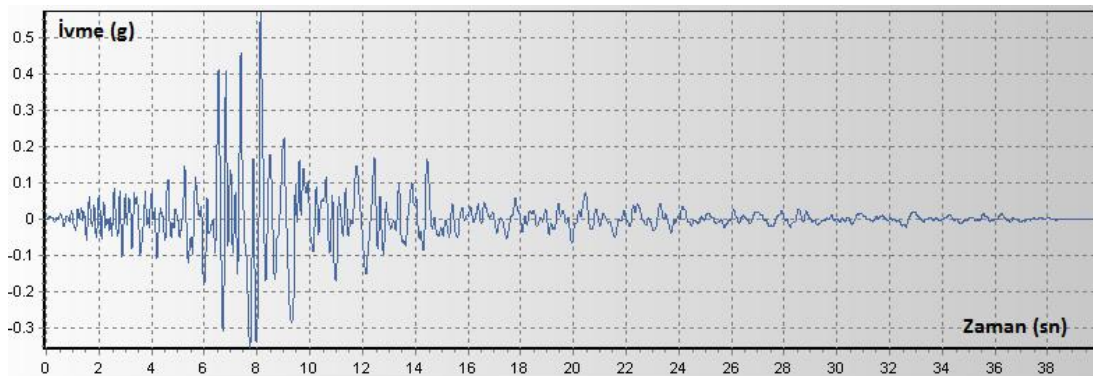
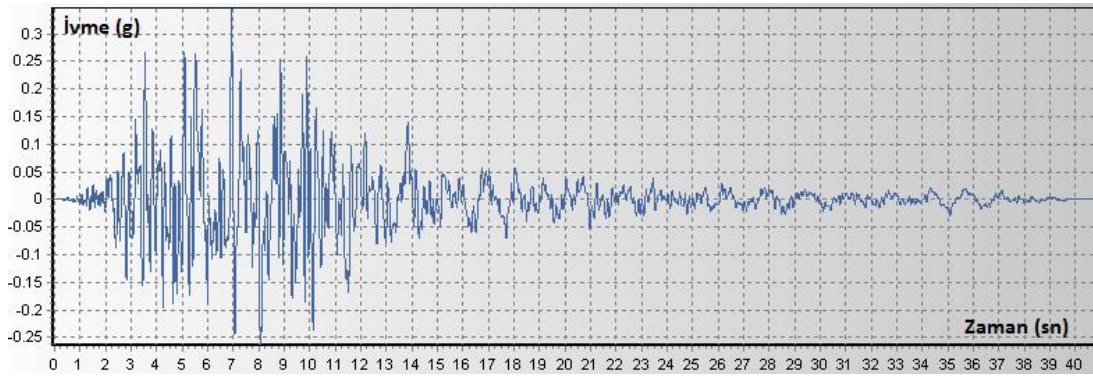
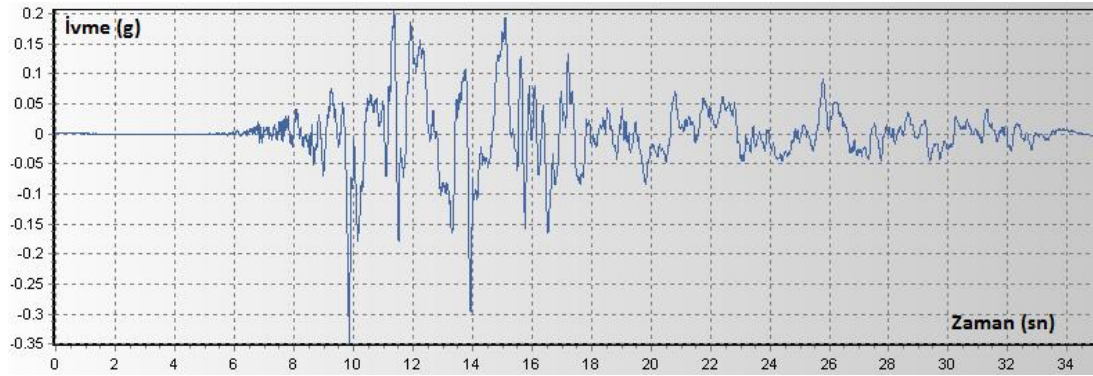
- [14] **Yılmaz, M.B.** (2008). Betonarme Bir Taşıyıcı Sistemin Deprem Performansının Karşılaştırılmalı Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü
- [15] **Kıran, F.** (2010). Binaların Performans Analizi İçin Kullanılan Doğrusal Ve Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemlerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- [16] **Toker, H.** (2013). Konsola Mesnetli Kolonun Taşıyıcı Sistemin Deprem Davranışına Olan Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü
- [17] **Karabulut, A.** (2011). TDY2007 Yönetmeliği Ve FEMA 440 Raporunda Tanımlanandoğrusal Olmayan Analiz Yöntemlerinin Mevcut Betonarme Binalar İçin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü
- [18] **Keski, İ.** (2013). Deprem Yönetmeliği'nde Öngörülen Taşıyıcı Sistem Güvenlik Düzeyi Konusunda karşılaştırmalı sayısal İnceleme, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü
- [19] **Korkmaz, A.K., Düzgün, M.** (2006). Statik Artımsal İtme Analizinde Kullanılan Yük Dağılımlarının Değerlendirilmesi, İMO Teknik Dergi
- [20] **Sezer, F., Gençoğlu, M., Celep, Z.** (2007). Betonarme Binaların Deprem Güvenliğinin Değerlendirilmesinde Deprem Yönetmeliği 2007'de Kurallarına Örnekle Kıyaslamalı Bir Bakış, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı
- [21] **SAP2000 v.15.1.0**, Computers and Structures Inc., Berkeley, USA
- [22] **XTRACT**. Cross Sectional X Analysis of Structural Components, Imbsen Software, CA, USA
- [23] **SEISMOMATCH v. 2.0.0**. Seismo Soft, Pavia, Italy.

EKLER

EK A: Kocaeli, Kobe, Northridge Depremleri İvme – Zaman Grafikleri

EK B: Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi İle Belirlenen Hasar Durumları

EK A



Şekil A.1: Kocaeli, Kobe, Northridge depremleri ivme – zaman grafikleri

EK B**Çizelge B.1:** AEDYY Sonucu 7 katlı binada X doğrultusundaki kirişlerde oluşan hasar durumları

KAT	KİRİŞ	UÇ	θ_p (rad)	HASAR	KAT	KİRİŞ	UÇ	θ_p (rad)	HASAR
1.KAT	K101	Sol	0.01468	BH	2.KAT	K201	Sol	0.018785	BH
		Sağ	-0.01292	BH			Sağ	-0.01702	BH
	K102	Sol	0.01353	BH		K202	Sol	0.017988	BH
		Sağ	-0.01095	BH			Sağ	-0.01645	BH
	K103	Sol	0.01292	BH		K203	Sol	0.018266	BH
		Sağ	-0.01343	BH			Sağ	-0.01747	BH
	K104	Sol	0.01368	BH		K204	Sol	0.01788	BH
		Sağ	-0.01147	BH			Sağ	-0.01659	BH
	K105	Sol	0.01249	BH		K205	Sol	0.017601	BH
		Sağ	-0.01408	BH			Sağ	-0.0176	BH
	K106	Sol	0.0145	BH		K206	Sol	0.018494	BH
		Sağ	-0.01256	BH			Sağ	-0.01654	BH
	K107	Sol	0.01305	BH		K207	Sol	0.017246	BH
		Sağ	-0.01258	BH			Sağ	-0.01696	BH
	K108	Sol	0.01498	BH		K208	Sol	0.019433	BH
		Sağ	-0.0126	BH			Sağ	-0.01644	BH
	K109	Sol	0.01306	BH		K209	Sol	0.017029	BH
		Sağ	-0.01273	BH			Sağ	-0.01683	BH
	K110	Sol	0.01363	BH		K210	Sol	0.017796	BH
		Sağ	-0.01342	BH			Sağ	-0.01723	BH
	K111	Sol	0.01442	BH		K211	Sol	0.018296	BH
		Sağ	-0.01224	BH			Sağ	-0.0163	BH
	K112	Sol	0.0127	BH		K212	Sol	0.017012	BH
		Sağ	-0.01194	BH			Sağ	-0.01652	BH
	K113	Sol	0.01401	BH		K213	Sol	0.018617	BH
		Sağ	-0.01268	BH			Sağ	-0.01668	BH
	K114	Sol	0.0128	BH		K214	Sol	0.016911	BH
		Sağ	-0.01206	BH			Sağ	-0.01656	BH
	K115	Sol	0.01302	BH		K215	Sol	0.017511	BH
		Sağ	-0.01303	BH			Sağ	-0.01684	BH
	K116	Sol	0.01324	BH		K216	Sol	0.018031	BH
		Sağ	-0.01158	BH			Sağ	-0.01632	BH
	K117	Sol	0.01227	BH		K217	Sol	0.017332	BH
		Sağ	-0.0097	BH			Sağ	-0.01558	BH
	K118	Sol	0.01169	BH		K218	Sol	0.017457	BH
		Sağ	-0.01232	BH			Sağ	-0.01673	BH
	K119	Sol	0.01259	BH		K219	Sol	0.017182	BH
		Sağ	-0.01033	BH			Sağ	-0.01589	BH
	K120	Sol	0.01139	BH		K220	Sol	0.016828	BH
		Sağ	-0.01313	BH			Sağ	-0.01698	BH

Çizelge B1'in devamı

KAT	KİRİŞ	UÇ	θ_p (rad)	HASAR
3.KAT	K301	Sol	0.017983	BH
		Sağ	-0.01623	BH
	K302	Sol	0.017239	BH
		Sağ	-0.01523	BH
	K303	Sol	0.016975	BH
		Sağ	-0.01658	BH
	K304	Sol	0.017141	BH
		Sağ	-0.01561	BH
	K305	Sol	0.016586	BH
		Sağ	-0.01707	BH
	K306	Sol	0.017247	BH
		Sağ	-0.01684	BH
	K307	Sol	0.016098	BH
		Sağ	-0.01756	BH
	K308	Sol	0.018285	BH
		Sağ	-0.01676	BH
	K309	Sol	0.015955	BH
		Sağ	-0.0175	BH
	K310	Sol	0.016819	BH
		Sağ	-0.01778	BH
	K311	Sol	0.017043	BH
		Sağ	-0.01669	BH
	K312	Sol	0.016015	BH
		Sağ	-0.0171	BH
	K313	Sol	0.017538	BH
		Sağ	-0.01697	BH
	K314	Sol	0.015883	BH
		Sağ	-0.0171	BH
	K315	Sol	0.016444	BH
		Sağ	-0.01746	BH
	K316	Sol	0.017469	BH
		Sağ	-0.01555	BH
	K317	Sol	0.016609	BH
		Sağ	-0.01457	BH
	K318	Sol	0.016324	BH
		Sağ	-0.01591	BH
	K319	Sol	0.016521	BH
		Sağ	-0.01492	BH
	K320	Sol	0.015872	BH
		Sağ	-0.01641	BH
4.KAT	K401	Sol	0.015231	BH
		Sağ	-0.01239	BH
	K402	Sol	0.012592	BH
		Sağ	-0.01297	BH
	K403	Sol	0.014047	BH
		Sağ	-0.01266	BH
	K404	Sol	0.012564	BH
		Sağ	-0.01303	BH
	K405	Sol	0.013654	BH
		Sağ	-0.01351	BH
	K406	Sol	0.014602	BH
		Sağ	-0.01205	BH
	K407	Sol	0.011863	BH
		Sağ	-0.01376	BH
	K408	Sol	0.015335	BH
		Sağ	-0.01201	BH
	K409	Sol	0.011668	BH
		Sağ	-0.01364	BH
	K410	Sol	0.014066	BH
		Sağ	-0.01307	BH
	K411	Sol	0.014759	BH
		Sağ	-0.01182	BH
	K412	Sol	0.011612	BH
		Sağ	-0.0132	BH
	K413	Sol	0.014467	BH
		Sağ	-0.01223	BH
	K414	Sol	0.011629	BH
		Sağ	-0.01315	BH
	K415	Sol	0.013713	BH
		Sağ	-0.01275	BH
	K416	Sol	0.014894	BH
		Sağ	-0.01125	BH
	K417	Sol	0.011492	BH
		Sağ	-0.0115	BH
	K418	Sol	0.012559	BH
		Sağ	-0.0116	BH
	K419	Sol	0.011498	BH
		Sağ	-0.01178	BH
	K420	Sol	0.012337	BH
		Sağ	-0.01307	BH

Çizelge B1'in devamı

KAT	KİRİŞ	UÇ	θ_p (rad)	HASAR	KAT	KİRİŞ	UÇ	θ_p (rad)	HASAR
5.KAT	K501	Sol	0.00722	BH	6.KAT	K601	Sol	0.001275	MN
		Sağ	-0.00662	BH			Sağ	-0.00047	MN
	K502	Sol	0.0056	BH		K602	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	-0.00782	BH			Sağ	-0.00056	MN
	K503	Sol	0.00755	BH		K603	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	-0.00668	BH			Sağ	-0.00017	MN
	K504	Sol	0.00543	BH		K604	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	-0.00761	BH			Sağ	-0.00076	MN
	K505	Sol	0.00676	BH		K605	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	-0.00691	BH			Sağ	-0.00184	MN
	K506	Sol	0.00762	BH		K606	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	-0.00564	BH			Sağ	-0.00054	MN
	K507	Sol	0.00409	MN		K607	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	-0.00785	BH			Sağ	-0.00085	MN
	K508	Sol	0.00785	BH		K608	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	-0.00543	BH			Sağ	-0.00022	MN
	K509	Sol	0.00383	MN		K609	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	-0.00761	BH			Sağ	-0.00102	MN
	K510	Sol	0.00641	BH		K610	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	-0.00765	BH			Sağ	-0.00161	MN
	K511	Sol	0.00649	BH		K611	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	-0.00378	MN			Sağ	-0.00074	MN
	K512	Sol	0.00222	MN		K612	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	-0.00562	BH			Sağ	-0.00103	MN
	K513	Sol	0.0053	BH		K613	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	-0.00395	MN			Sağ	-0.00068	MN
	K514	Sol	0.00205	MN		K614	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	-0.00555	BH			Sağ	-0.0012	MN
	K515	Sol	0.00438	MN		K615	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	-0.00613	BH			Sağ	-0.00154	MN
	K516	Sol	0.00638	BH		K616	Sol	0.000863	MN
		Sağ	-0.00334	MN			Sağ	-0.00041	MN
	K517	Sol	0.00231	MN		K617	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	-0.00416	MN			Sağ	-0.00056	MN
	K518	Sol	0.00376	MN		K618	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	-0.00325	MN			Sağ	0	Hasarsız
	K519	Sol	0.00209	MN		K619	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	-0.00421	MN			Sağ	-0.0006	MN
	K520	Sol	0.00329	MN		K620	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	-0.00596	BH			Sağ	-0.00112	MN

Yedi katlı binada X doğrultusunda 7. katta girişlerde plastik dönme meydana gelmediği için Çizelge B1'e eklenmemiştir.

Çizelge B.2: AEDYY Sonucu 7 katlı binada Y doğrultusundaki kirişlerde oluşan hasar durumları

KAT	KİRİŞ	UÇ	θ_p (rad)	HASAR	KAT	KİRİŞ	UÇ	θ_p (rad)	HASAR
1.KAT	K121	Sol	0.011985	BH	2.KAT	K221	Sol	0.017946	BH
		Sağ	-0.012056	BH			Sağ	-0.01665	BH
	K122	Sol	0.012757	BH		K222	Sol	0.017722	BH
		Sağ	-0.009271	BH			Sağ	-0.01516	BH
	K123	Sol	0.011756	BH		K223	Sol	0.017536	BH
		Sağ	-0.012359	BH			Sağ	-0.01643	BH
	K124	Sol	0.012809	BH		K224	Sol	0.018052	BH
		Sağ	-0.012708	BH			Sağ	-0.01719	BH
	K125	Sol	0.011222	BH		K225	Sol	0.016153	BH
		Sağ	-0.012882	BH			Sağ	-0.01762	BH
	K126	Sol	0.012885	BH		K226	Sol	0.017887	BH
		Sağ	-0.013294	BH			Sağ	-0.01754	BH
	K127	Sol	0.01253	BH		K227	Sol	0.01802	BH
		Sağ	-0.012987	BH			Sağ	-0.01712	BH
	K128	Sol	0.011598	BH		K228	Sol	0.016061	BH
		Sağ	-0.012945	BH			Sağ	-0.01768	BH
	K129	Sol	0.013045	BH		K229	Sol	0.017868	BH
		Sağ	-0.013232	BH			Sağ	-0.01755	BH
	K130	Sol	0.01253	BH		K230	Sol	0.01802	BH
		Sağ	-0.012987	BH			Sağ	-0.01712	BH
	K131	Sol	0.011598	BH		K231	Sol	0.016061	BH
		Sağ	-0.012945	BH			Sağ	-0.01768	BH
	K132	Sol	0.013045	BH		K232	Sol	0.017868	BH
		Sağ	-0.013232	BH			Sağ	-0.01755	BH
	K133	Sol	0.012809	BH		K233	Sol	0.018052	BH
		Sağ	-0.012708	BH			Sağ	-0.01719	BH
	K134	Sol	0.011222	BH		K234	Sol	0.016153	BH
		Sağ	-0.012882	BH			Sağ	-0.01762	BH
	K135	Sol	0.012885	BH		K235	Sol	0.017887	BH
		Sağ	-0.013294	BH			Sağ	-0.01754	BH
	K136	Sol	0.011985	BH		K236	Sol	0.017946	BH
		Sağ	-0.012056	BH			Sağ	-0.01665	BH
	K137	Sol	0.012757	BH		K237	Sol	0.017722	BH
		Sağ	-0.009271	BH			Sağ	-0.01516	BH
	K138	Sol	0.011756	BH		K238	Sol	0.017536	BH
		Sağ	-0.012359	BH			Sağ	-0.01643	BH

Çizelge B2'in devamı

KAT	KİRİŞ	UÇ	θ_p (rad)	HASAR
3.KAT	K321	Sol	0.019406	BH
		Sağ	-0.016741	BH
	K322	Sol	0.017185	BH
		Sağ	-0.017144	BH
	K323	Sol	0.019018	BH
		Sağ	-0.017274	BH
	K324	Sol	0.019269	BH
		Sağ	-0.017374	BH
	K325	Sol	0.015536	BH
		Sağ	-0.019421	BH
	K326	Sol	0.019071	BH
		Sağ	-0.018222	BH
	K327	Sol	0.01927	BH
		Sağ	-0.017403	BH
	K328	Sol	0.015687	BH
		Sağ	-0.019329	BH
	K329	Sol	0.019114	BH
		Sağ	-0.01814	BH
	K330	Sol	0.01927	BH
		Sağ	-0.017403	BH
	K331	Sol	0.015687	BH
		Sağ	-0.019329	BH
	K332	Sol	0.019114	BH
		Sağ	-0.01814	BH
	K333	Sol	0.019269	BH
		Sağ	-0.017374	BH
	K334	Sol	0.015536	BH
		Sağ	-0.019421	BH
	K335	Sol	0.019071	BH
		Sağ	-0.018222	BH
	K336	Sol	0.019406	BH
		Sağ	-0.016741	BH
	K337	Sol	0.017185	BH
		Sağ	-0.017143	BH
	K338	Sol	0.019018	BH
		Sağ	-0.017274	BH
4.KAT	K421	Sol	0.014023	BH
		Sağ	-0.01247	BH
	K422	Sol	0.011657	BH
		Sağ	-0.01369	BH
	K423	Sol	0.013929	BH
		Sağ	-0.01413	BH
	K424	Sol	0.014706	BH
		Sağ	-0.01286	BH
	K425	Sol	0.011049	BH
		Sağ	-0.01515	BH
	K426	Sol	0.014657	BH
		Sağ	-0.01388	BH
	K427	Sol	0.014739	BH
		Sağ	-0.01292	BH
	K428	Sol	0.011263	BH
		Sağ	-0.015	BH
	K429	Sol	0.01464	BH
		Sağ	-0.01377	BH
	K430	Sol	0.014739	BH
		Sağ	-0.01292	BH
	K431	Sol	0.011263	BH
		Sağ	-0.015	BH
	K432	Sol	0.01464	BH
		Sağ	-0.01377	BH
	K433	Sol	0.014706	BH
		Sağ	-0.01286	BH
	K434	Sol	0.011049	BH
		Sağ	-0.01515	BH
	K435	Sol	0.014657	BH
		Sağ	-0.01388	BH
	K436	Sol	0.014023	BH
		Sağ	-0.01247	BH
	K437	Sol	0.011657	BH
		Sağ	-0.01368	BH
	K438	Sol	0.013929	BH
		Sağ	-0.01413	BH

Çizelge B2'in devamı

KAT	KİRİŞ	UÇ	θ_p (rad)	HASAR
5.KAT	K521	Sol	0.004794	MN
		Sağ	-0.002081	MN
	K522	Sol	0.001335	MN
		Sağ	-0.006147	BH
	K523	Sol	0.006228	BH
		Sağ	-0.005014	BH
	K524	Sol	0.005766	BH
		Sağ	-0.002185	MN
	K525	Sol	0.000432	MN
		Sağ	-0.006875	BH
	K526	Sol	0.006225	BH
		Sağ	-0.006363	BH
	K527	Sol	0.005876	BH
		Sağ	-0.002273	MN
	K528	Sol	0.0006	MN
		Sağ	-0.006812	BH
	K529	Sol	0.006133	BH
		Sağ	-0.006499	BH
	K530	Sol	0.005876	BH
		Sağ	-0.002273	MN
	K531	Sol	0.0006	MN
		Sağ	-0.006812	BH
	K532	Sol	0.006133	BH
		Sağ	-0.006499	BH
	K533	Sol	0.005766	BH
		Sağ	-0.002185	MN
	K534	Sol	0.000432	MN
		Sağ	-0.006875	BH
	K535	Sol	0.006225	BH
		Sağ	-0.006363	BH
	K536	Sol	0.004794	MN
		Sağ	-0.002081	MN
	K537	Sol	0.001336	MN
		Sağ	-0.006147	BH
	K538	Sol	0.006228	BH
		Sağ	-0.005014	BH
6.KAT	K621	Sol	0.001726	MN
		Sağ	-0.00027	MN
	K622	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	-0.00137	MN
	K623	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	-0.00197	MN
	K624	Sol	0.000037	MN
		Sağ	-0.0007	MN
	K625	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	-0.00204	MN
	K626	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	-0.00188	MN
	K627	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	-0.00074	MN
	K628	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	-0.00202	MN
	K629	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	-0.0017	MN
	K630	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	-0.00074	MN
	K631	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	-0.00202	MN
	K632	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	-0.0017	MN
	K633	Sol	0.000037	MN
		Sağ	-0.0007	MN
	K634	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	-0.00204	MN
	K635	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	-0.00188	MN
	K636	Sol	0.001726	MN
		Sağ	-0.00027	MN
	K637	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	-0.00137	MN
	K638	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	-0.00197	MN

Yedi katlı binada Y doğrultusunda 7. katta kirişlerde plastik dönme meydana gelmediği için Çizelge B2'e eklenmemiştir.

Çizelge B.3: AEDYY Sonucu 5 katlı binada X doğrultusundaki kirişlerde oluşan hasar durumları

KAT	KİRİŞ	UÇ	θ_p (rad)	HASAR	KAT	KİRİŞ	UÇ	θ_p (rad)	HASAR
1.KAT	K101	Sol	0.01458	BH	2.KAT	K201	Sol	0.015579	BH
		Sağ	-0.012609	BH			Sağ	-0.01337	BH
	K102	Sol	0.013216	BH		K202	Sol	0.014163	BH
		Sağ	-0.010874	BH			Sağ	-0.01204	BH
	K103	Sol	0.012859	BH		K203	Sol	0.013759	BH
		Sağ	-0.01283	BH			Sağ	-0.01373	BH
	K104	Sol	0.013082	BH		K204	Sol	0.014176	BH
		Sağ	-0.011161	BH			Sağ	-0.01252	BH
	K105	Sol	0.012126	BH		K205	Sol	0.013356	BH
		Sağ	-0.013636	BH			Sağ	-0.01424	BH
	K106	Sol	0.013226	BH		K206	Sol	0.014526	BH
		Sağ	-0.012878	BH			Sağ	-0.01365	BH
	K107	Sol	0.011743	BH		K207	Sol	0.01259	BH
		Sağ	-0.013231	BH			Sağ	-0.01412	BH
	K108	Sol	0.014078	BH		K208	Sol	0.014897	BH
		Sağ	-0.012557	BH			Sağ	-0.01338	BH
	K109	Sol	0.011656	BH		K209	Sol	0.01258	BH
		Sağ	-0.013256	BH			Sağ	-0.0141	BH
	K110	Sol	0.012499	BH		K210	Sol	0.013304	BH
		Sağ	-0.013949	BH			Sağ	-0.01489	BH
	K111	Sol	0.012975	BH		K211	Sol	0.014194	BH
		Sağ	-0.012303	BH			Sağ	-0.01338	BH
	K112	Sol	0.011185	BH		K212	Sol	0.012361	BH
		Sağ	-0.012547	BH			Sağ	-0.01364	BH
	K113	Sol	0.013037	BH		K213	Sol	0.014063	BH
		Sağ	-0.012419	BH			Sağ	-0.01356	BH
	K114	Sol	0.011185	BH		K214	Sol	0.01234	BH
		Sağ	-0.012479	BH			Sağ	-0.01361	BH
	K115	Sol	0.011821	BH		K215	Sol	0.012901	BH
		Sağ	-0.013384	BH			Sağ	-0.01447	BH
	K116	Sol	0.012656	BH		K216	Sol	0.014331	BH
		Sağ	-0.012005	BH			Sağ	-0.01372	BH
	K117	Sol	0.01118	BH		K217	Sol	0.012955	BH
		Sağ	-0.010942	BH			Sağ	-0.01264	BH
	K118	Sol	0.011661	BH		K218	Sol	0.013127	BH
		Sağ	-0.012448	BH			Sağ	-0.01372	BH
	K119	Sol	0.011578	BH		K219	Sol	0.01305	BH
		Sağ	-0.011003	BH			Sağ	-0.01305	BH
	K120	Sol	0.010387	BH		K220	Sol	0.012464	BH
		Sağ	-0.013337	BH			Sağ	-0.01449	BH

Çizelge B3'in devamı

KAT	KİRİŞ	UÇ	θ_p (rad)	HASAR
3.KAT	K301	Sol	0.011774	BH
		Sağ	-0.00952	BH
	K302	Sol	0.008217	BH
		Sağ	-0.00982	BH
	K303	Sol	0.009736	BH
		Sağ	-0.00941	BH
	K304	Sol	0.008091	BH
		Sağ	-0.01022	BH
	K305	Sol	0.009322	BH
		Sağ	-0.01124	BH
	K306	Sol	0.011086	BH
		Sağ	-0.00943	BH
	K307	Sol	0.007594	BH
		Sağ	-0.01051	BH
	K308	Sol	0.010571	BH
		Sağ	-0.0091	BH
	K309	Sol	0.007531	BH
		Sağ	-0.01101	BH
	K310	Sol	0.009934	BH
		Sağ	-0.01098	BH
	K311	Sol	0.010868	BH
		Sağ	-0.00923	BH
	K312	Sol	0.007461	BH
		Sağ	-0.00997	BH
	K313	Sol	0.009816	BH
		Sağ	-0.0092	BH
	K314	Sol	0.007318	BH
		Sağ	-0.01019	BH
	K315	Sol	0.009091	BH
		Sağ	-0.01064	BH
	K316	Sol	0.011161	BH
		Sağ	-0.00886	BH
	K317	Sol	0.0075	BH
		Sağ	-0.00897	BH
	K318	Sol	0.008982	BH
		Sağ	-0.00875	BH
	K319	Sol	0.007495	BH
		Sağ	-0.00939	BH
	K320	Sol	0.008421	BH
		Sağ	-0.01054	BH
KAT	KİRİŞ	UÇ	θ_p (rad)	HASAR
4.KAT	K401	Sol	0.004852	BH
		Sağ	-0.00281	MN
	K402	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	-0.00331	MN
	K403	Sol	0.001552	MN
		Sağ	-0.00237	MN
	K404	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	-0.00355	MN
	K405	Sol	0.000968	MN
		Sağ	-0.00527	BH
	K406	Sol	0.00343	MN
		Sağ	-0.00234	MN
	K407	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	-0.00324	MN
	K408	Sol	0.002216	MN
		Sağ	-0.00169	MN
	K409	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	-0.00346	MN
	K410	Sol	0.001338	MN
		Sağ	-0.00482	BH
	K411	Sol	0.003333	MN
		Sağ	-0.00226	MN
	K412	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	-0.00278	MN
	K413	Sol	0.001548	MN
		Sağ	-0.002	MN
	K414	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	-0.00288	MN
	K415	Sol	0.000796	MN
		Sağ	-0.00449	MN
	K416	Sol	0.003596	MN
		Sağ	-0.00261	MN
	K417	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	-0.00261	MN
	K418	Sol	0.001107	MN
		Sağ	-0.00207	MN
	K419	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	-0.00293	MN
	K420	Sol	0.000434	MN
		Sağ	-0.00471	MN

Beş katlı binada X doğrultusunda 5. katta kirişlerde plastik dönme meydana gelmediği için Çizelge B3'e eklenmemiştir.

Çizelge B.4: AEDYY Sonucu 5 katlı binada Y doğrultusundaki kirişlerde oluşan hasar durumları

KAT	KİRİŞ	UÇ	θ_p (rad)	HASAR	KAT	KİRİŞ	UÇ	θ_p (rad)	HASAR
1.KAT	K121	Sol	0.015662	BH	2.KAT	K221	Sol	0.016913	BH
		Sağ	-0.014761	BH			Sağ	-0.01545	BH
	K122	Sol	0.013171	BH		K222	Sol	0.01399	BH
		Sağ	-0.014397	BH			Sağ	-0.01559	BH
	K123	Sol	0.014773	BH		K223	Sol	0.015922	BH
		Sağ	-0.015007	BH			Sağ	-0.01587	BH
	K124	Sol	0.015556	BH		K224	Sol	0.016944	BH
		Sağ	-0.014062	BH			Sağ	-0.01472	BH
	K125	Sol	0.011674	BH		K225	Sol	0.012504	BH
		Sağ	-0.015407	BH			Sağ	-0.01623	BH
	K126	Sol	0.015133	BH		K226	Sol	0.015983	BH
		Sağ	-0.014718	BH			Sağ	-0.01565	BH
	K127	Sol	0.015878	BH		K227	Sol	0.016938	BH
		Sağ	-0.014102	BH			Sağ	-0.01475	BH
	K128	Sol	0.011703	BH		K228	Sol	0.012533	BH
		Sağ	-0.015466	BH			Sağ	-0.01622	BH
	K129	Sol	0.015076	BH		K229	Sol	0.015861	BH
		Sağ	-0.014626	BH			Sağ	-0.01561	BH
	K130	Sol	0.015878	BH		K230	Sol	0.016938	BH
		Sağ	-0.014102	BH			Sağ	-0.01475	BH
	K131	Sol	0.011703	BH		K231	Sol	0.012533	BH
		Sağ	-0.015466	BH			Sağ	-0.01622	BH
	K132	Sol	0.015076	BH		K232	Sol	0.015861	BH
		Sağ	-0.014626	BH			Sağ	-0.01561	BH
	K133	Sol	0.015556	BH		K233	Sol	0.016944	BH
		Sağ	-0.014062	BH			Sağ	-0.01472	BH
	K134	Sol	0.011674	BH		K234	Sol	0.012504	BH
		Sağ	-0.015407	BH			Sağ	-0.01623	BH
	K135	Sol	0.015133	BH		K235	Sol	0.015983	BH
		Sağ	-0.014718	BH			Sağ	-0.01565	BH
	K136	Sol	0.015662	BH		K236	Sol	0.016913	BH
		Sağ	-0.014761	BH			Sağ	-0.01545	BH
	K137	Sol	0.013171	BH		K237	Sol	0.01399	BH
		Sağ	-0.014397	BH			Sağ	-0.01559	BH
	K138	Sol	0.014773	BH		K238	Sol	0.015922	BH
		Sağ	-0.015007	BH			Sağ	-0.01587	BH

Çizelge B4'in devamı

KAT	KİRİŞ	UÇ	θ_p (rad)	HASAR
3.KAT	K321	Sol	0.013001	BH
		Sağ	-0.01027	BH
	K322	Sol	0.008136	BH
		Sağ	-0.01102	BH
	K323	Sol	0.009813	BH
		Sağ	-0.01204	BH
	K324	Sol	0.01295	BH
		Sağ	-0.01018	BH
	K325	Sol	0.007191	BH
		Sağ	-0.01253	BH
	K326	Sol	0.01052	BH
		Sağ	-0.01212	BH
	K327	Sol	0.013037	BH
		Sağ	-0.01019	BH
	K328	Sol	0.007268	BH
		Sağ	-0.01225	BH
	K329	Sol	0.01014	BH
		Sağ	-0.01198	BH
	K330	Sol	0.013037	BH
		Sağ	-0.01019	BH
	K331	Sol	0.007268	BH
		Sağ	-0.01225	BH
	K332	Sol	0.01014	BH
		Sağ	-0.01198	BH
	K333	Sol	0.01295	BH
		Sağ	-0.01018	BH
	K334	Sol	0.007191	BH
		Sağ	-0.01253	BH
	K335	Sol	0.01052	BH
		Sağ	-0.01212	BH
	K336	Sol	0.013001	BH
		Sağ	-0.01027	BH
	K337	Sol	0.008136	BH
		Sağ	-0.01102	BH
	K338	Sol	0.009813	BH
		Sağ	-0.01204	BH

KAT	KİRİŞ	UÇ	θ_p (rad)	HASAR
4.KAT	K421	Sol	0.005488	BH
		Sağ	-0.00316	MN
	K422	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	-0.00417	MN
	K423	Sol	0.001172	MN
		Sağ	-0.00584	BH
	K424	Sol	0.005572	BH
		Sağ	-0.00165	MN
	K425	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	-0.00296	MN
	K426	Sol	0.001399	MN
		Sağ	-0.00465	MN
	K427	Sol	0.005599	BH
		Sağ	-0.00161	MN
	K428	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	-0.00244	MN
	K429	Sol	0.000767	MN
		Sağ	-0.00435	MN
	K430	Sol	0.005599	BH
		Sağ	-0.00161	MN
	K431	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	-0.00244	MN
	K432	Sol	0.000767	MN
		Sağ	-0.00435	MN
	K433	Sol	0.005572	BH
		Sağ	-0.00165	MN
	K434	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	-0.00296	MN
	K435	Sol	0.001399	MN
		Sağ	-0.00465	MN
	K436	Sol	0.005488	BH
		Sağ	-0.00316	MN
	K437	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	-0.00417	MN
	K438	Sol	0.001172	MN
		Sağ	-0.00584	BH

Beş katlı binada Y doğrultusunda 5. katta kirişlerde plastik dönme meydana gelmediği için Çizelge B4'e eklenmemiştir.

Çizelge B.5: AEDYY Sonucu 3 katlı binada X doğrultusundaki kirişlerde oluşan hasar durumları

KAT	KİRİŞ	UÇ	θ_p (rad)	HASAR
1.KAT	K101	Sol	0.015202	BH
		Sağ	-0.013612	BH
	K102	Sol	0.012197	BH
		Sağ	-0.013892	BH
	K103	Sol	0.014211	BH
		Sağ	-0.013841	BH
	K104	Sol	0.012196	BH
		Sağ	-0.014055	BH
	K105	Sol	0.013612	BH
		Sağ	-0.015068	BH
	K106	Sol	0.014677	BH
		Sağ	-0.012983	BH
	K107	Sol	0.010922	BH
		Sağ	-0.014206	BH
	K108	Sol	0.014641	BH
		Sağ	-0.012613	BH
	K109	Sol	0.010984	BH
		Sağ	-0.014369	BH
	K110	Sol	0.013273	BH
		Sağ	-0.014343	BH
	K111	Sol	0.013949	BH
		Sağ	-0.012324	BH
	K112	Sol	0.010307	BH
		Sağ	-0.013266	BH
	K113	Sol	0.01336	BH
		Sağ	-0.012359	BH
	K114	Sol	0.010263	BH
		Sağ	-0.01328	BH
	K115	Sol	0.012312	BH
		Sağ	-0.013434	BH
	K116	Sol	0.013279	BH
		Sağ	-0.011729	BH
	K117	Sol	0.010364	BH
		Sağ	-0.011996	BH
	K118	Sol	0.01239	BH
		Sağ	-0.011997	BH
	K119	Sol	0.010305	BH
		Sağ	-0.012229	BH
	K120	Sol	0.011731	BH
		Sağ	-0.013391	BH
2.KAT	K201	Sol	0.004938	BH
		Sağ	-0.00267	MN
	K202	Sol	0.001195	MN
		Sağ	-0.00293	MN
	K203	Sol	0.003032	MN
		Sağ	-0.00278	MN
	K204	Sol	0.001158	MN
		Sağ	-0.00313	MN
	K205	Sol	0.002423	MN
		Sağ	-0.00483	BH
	K206	Sol	0.00475	MN
		Sağ	-0.00241	MN
	K207	Sol	0.000139	MN
		Sağ	-0.00363	MN
	K208	Sol	0.003737	MN
		Sağ	-0.00177	MN
	K209	Sol	0.00003	MN
		Sağ	-0.00392	MN
	K210	Sol	0.002584	MN
		Sağ	-0.00451	MN
	K211	Sol	0.004888	BH
		Sağ	-0.00218	MN
	K212	Sol	0.000144	MN
		Sağ	-0.00319	MN
	K213	Sol	0.003067	MN
		Sağ	-0.00205	MN
	K214	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	-0.0033	MN
	K215	Sol	0.002146	MN
		Sağ	-0.00396	MN
	K216	Sol	0.004298	MN
		Sağ	-0.00189	MN
	K217	Sol	0.000408	MN
		Sağ	-0.00234	MN
	K218	Sol	0.0025	MN
		Sağ	-0.00204	MN
	K219	Sol	0.000384	MN
		Sağ	-0.00254	MN
	K220	Sol	0.001827	MN
		Sağ	-0.0042	MN

Çizelge B5'in devamı

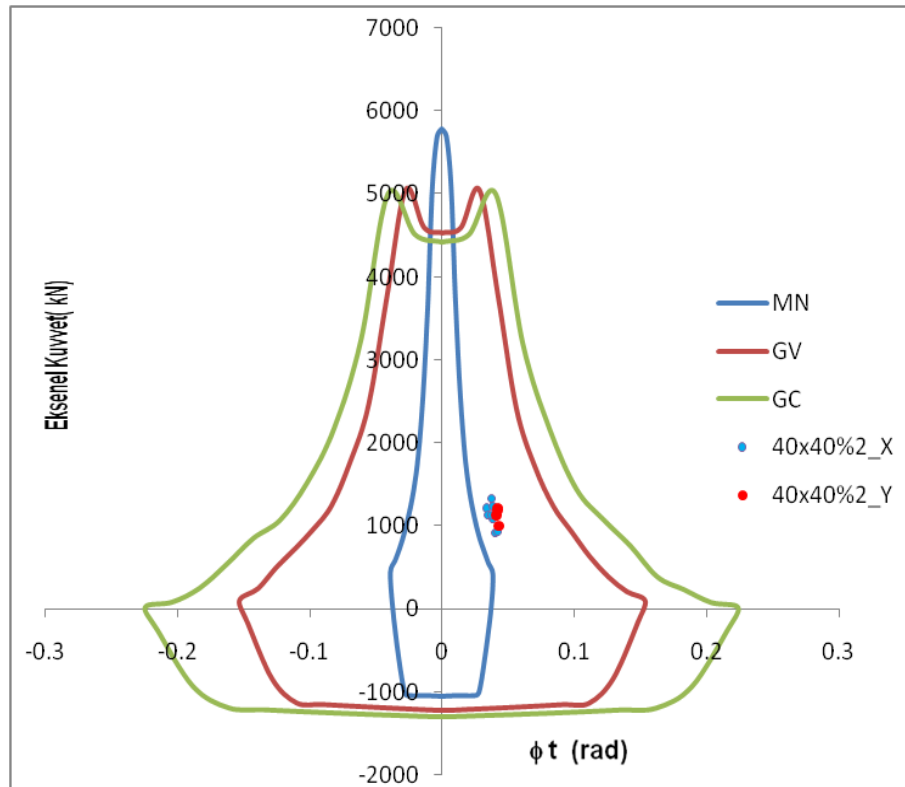
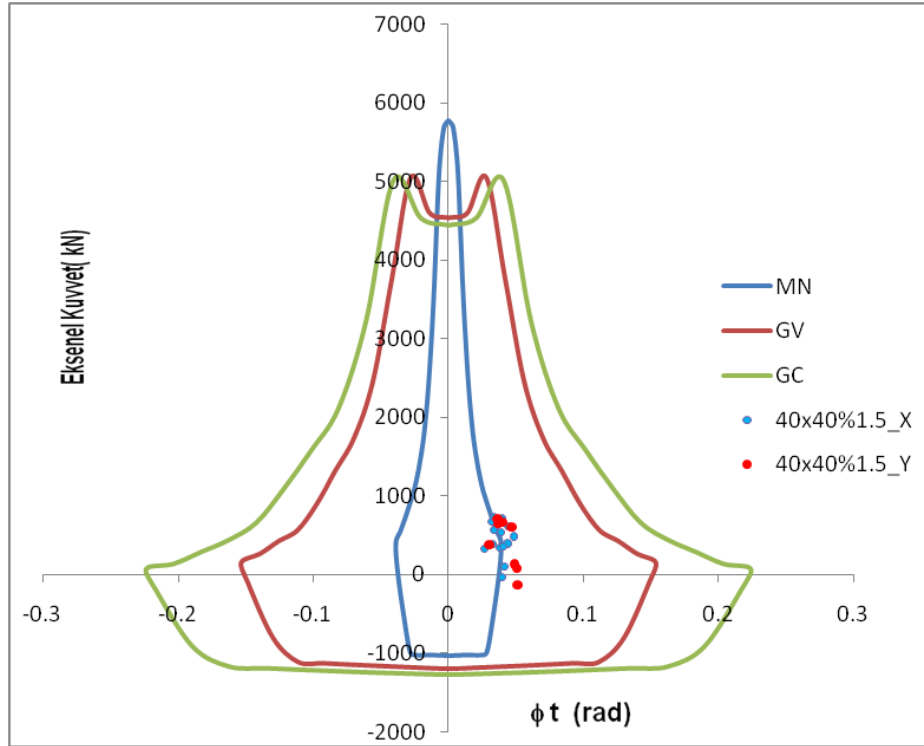
KAT	KİRİŞ	UÇ	θ_p (rad)	HASAR
3.KAT	K301	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	-0.00033	MN
	K302	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	0	Hasarsız
	K303	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	0	Hasarsız
	K304	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	0	Hasarsız
	K305	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	0	Hasarsız
	K306	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	-5.9E-05	MN
	K307	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	0	Hasarsız
	K308	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	0	Hasarsız
	K309	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	-8.8E-06	MN
	K310	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	0	Hasarsız
	K311	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	0	Hasarsız
	K312	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	0	Hasarsız
	K313	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	0	Hasarsız
	K314	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	0	Hasarsız
	K315	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	0	Hasarsız
	K316	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	-1.2E-05	MN
	K317	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	0	Hasarsız
	K318	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	0	Hasarsız
	K319	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	0	Hasarsız
	K320	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	0	Hasarsız

Çizelge B.6: AEDYY Sonucu 3 katlı binada Y doğrultusundaki kirişlerde oluşan hasar durumları

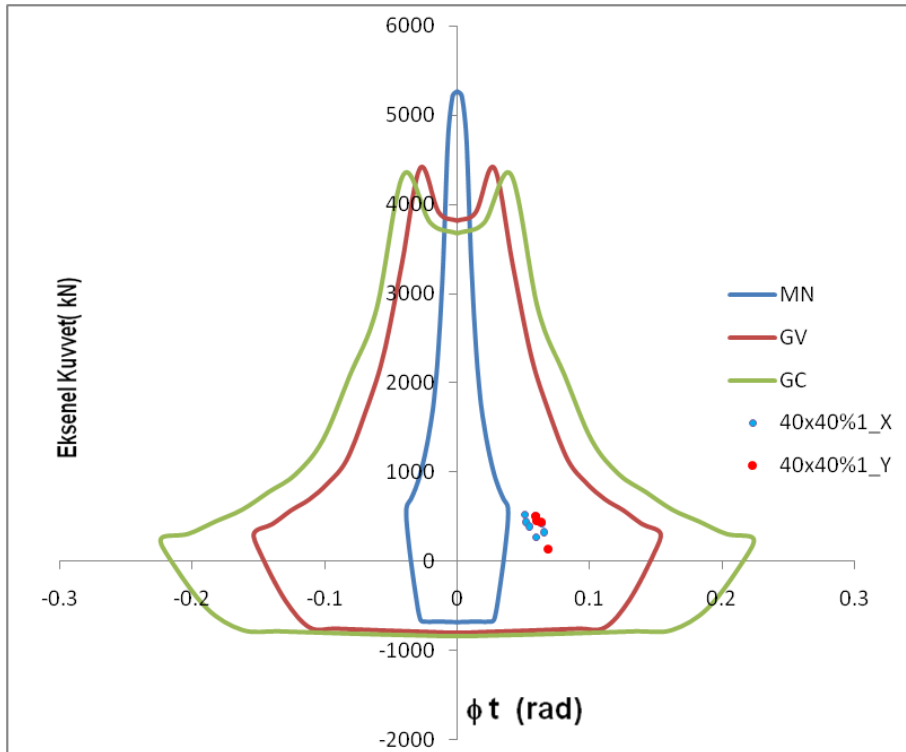
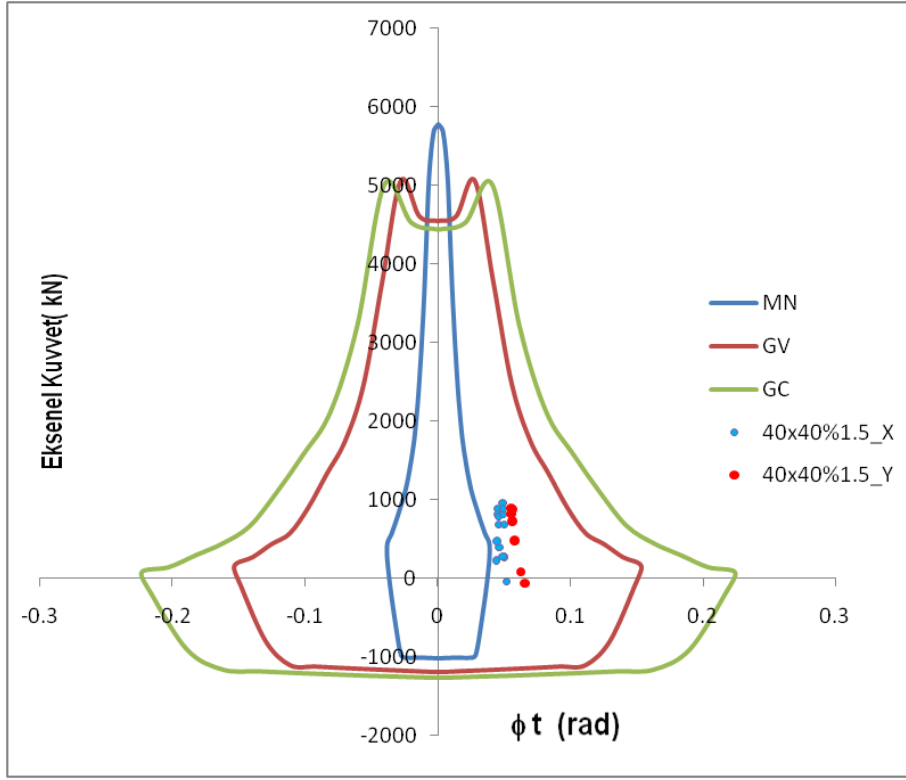
KAT	KİRİŞ	UÇ	θ_p (rad)	HASAR
1.KAT	K121	Sol	0.015029	BH
		Sağ	-0.012806	BH
	K122	Sol	0.010393	BH
		Sağ	-0.013384	BH
	K123	Sol	0.012454	BH
		Sağ	-0.014245	BH
	K124	Sol	0.015216	BH
		Sağ	-0.012561	BH
	K125	Sol	0.009178	BH
		Sağ	-0.014816	BH
	K126	Sol	0.012727	BH
		Sağ	-0.014228	BH
	K127	Sol	0.015314	BH
		Sağ	-0.012506	BH
	K128	Sol	0.009201	BH
		Sağ	-0.014646	BH
	K129	Sol	0.012592	BH
		Sağ	-0.01419	BH
	K130	Sol	0.015314	BH
		Sağ	-0.012506	BH
	K131	Sol	0.009201	BH
		Sağ	-0.014646	BH
	K132	Sol	0.012592	BH
		Sağ	-0.01419	BH
	K133	Sol	0.015216	BH
		Sağ	-0.012561	BH
	K134	Sol	0.009178	BH
		Sağ	-0.014816	BH
	K135	Sol	0.012727	BH
		Sağ	-0.014228	BH
	K136	Sol	0.015029	BH
		Sağ	-0.012806	BH
	K137	Sol	0.010393	BH
		Sağ	-0.013384	BH
	K138	Sol	0.012454	BH
		Sağ	-0.014245	BH
2.KAT	K221	Sol	0.007563	BH
		Sağ	-0.00462	MN
	K222	Sol	0.002223	MN
		Sağ	-0.00543	BH
	K223	Sol	0.004262	MN
		Sağ	-0.00687	BH
	K224	Sol	0.007996	BH
		Sağ	-0.00452	MN
	K225	Sol	0.000998	MN
		Sağ	-0.0069	BH
	K226	Sol	0.00448	MN
		Sağ	-0.0068	BH
	K227	Sol	0.00808	BH
		Sağ	-0.00441	MN
	K228	Sol	0.001123	MN
		Sağ	-0.00625	BH
	K229	Sol	0.003987	MN
		Sağ	-0.00677	BH
	K230	Sol	0.00808	BH
		Sağ	-0.00441	MN
	K231	Sol	0.001123	MN
		Sağ	-0.00625	BH
	K232	Sol	0.003987	MN
		Sağ	-0.00677	BH
	K233	Sol	0.007996	BH
		Sağ	-0.00452	MN
	K234	Sol	0.000998	MN
		Sağ	-0.0069	BH
	K235	Sol	0.00448	MN
		Sağ	-0.0068	BH
	K236	Sol	0.007563	BH
		Sağ	-0.00462	MN
	K237	Sol	0.002223	MN
		Sağ	-0.00543	BH
	K238	Sol	0.004262	MN
		Sağ	-0.00687	BH

Çizelge B6'in devamı

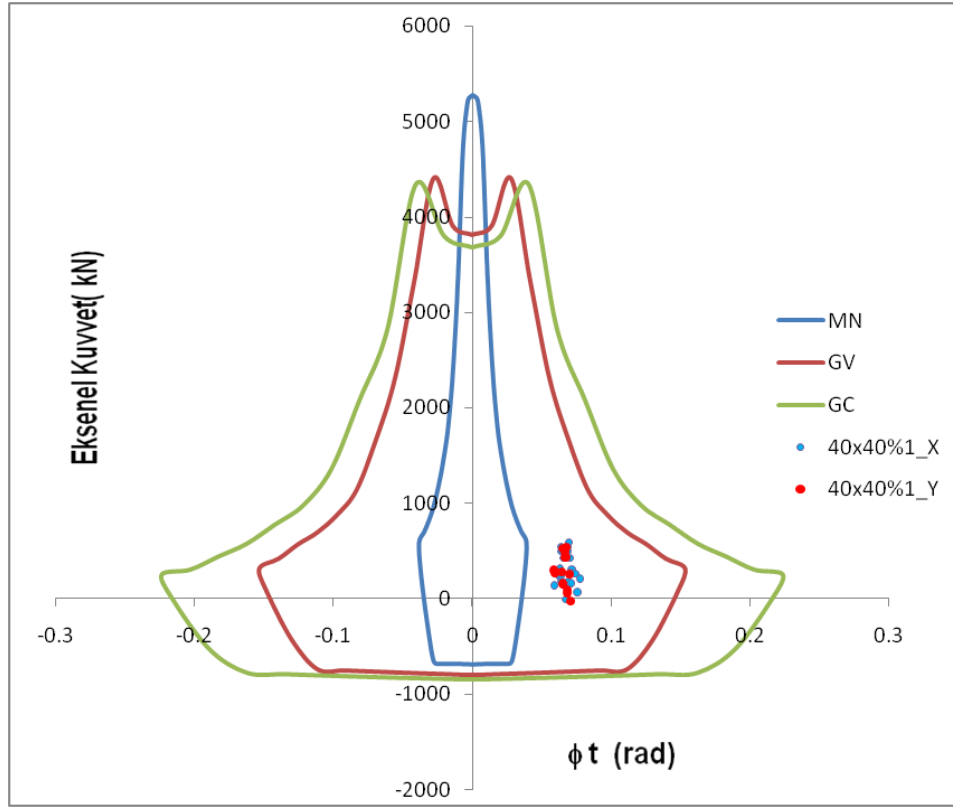
KAT	KİRİŞ	UÇ	θ_p (rad)	HASAR
3.KAT	K321	Sol	0.002393	MN
		Sağ	-0.00125	MN
	K322	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	-0.00038	MN
	K323	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	-0.00118	MN
	K324	Sol	0.00078	MN
		Sağ	-0.00153	MN
	K325	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	0	Hasarsız
	K326	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	-0.00069	MN
	K327	Sol	0.000719	MN
		Sağ	-0.00161	MN
	K328	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	0	Hasarsız
	K329	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	-0.00048	MN
	K330	Sol	0.000719	MN
		Sağ	-0.00161	MN
	K331	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	0	Hasarsız
	K332	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	-0.00048	MN
	K333	Sol	0.00078	MN
		Sağ	-0.00153	MN
	K334	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	0	Hasarsız
	K335	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	-0.00069	MN
	K336	Sol	0.002393	MN
		Sağ	-0.00125	MN
	K337	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	-0.00038	MN
	K338	Sol	0	Hasarsız
		Sağ	-0.00118	MN



Şekil B.1 : AEDYY sonucu oluşan 7 katlı bina 1. kat kolonları normal kuvvet – toplam eğrilik grafiği ile hasar bölgesi belirleme



Şekil B.2 : AEDYY sonucu oluşan 5 katlı bina 1. kat kolonları normal kuvvet – toplam eğrilik grafiği ile hasar bölgesi belirleme



Şekil B.3 : AEDYY sonucu oluşan 3 katlı bina 1. kat kolonları normal kuvvet – toplam eğrilik grafiği ile hasar bölgesi belirleme

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Abdurrahman MORAL

Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul - 22.10.1987

E-Posta: moral.abdurrahman@gmail.com

Lisans: Kocaeli Üniversitesi (2011)