

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KOLON SÜREKSİZLİĞİNİN TAŞIYICI SİSTEM DEPREM DAVRANIŞINA
ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ali Osman ATEŞ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2013

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KOLON SÜREKSİZLİĞİNİN TAŞIYICI SİSTEM DEPREM DAVRANIŞINA
ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Ali Osman ATEŞ
(501101089)**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yapı Mühendisliği Programı**

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Zekai CELEP

HAZİRAN 2013

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501101089 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Ali Osman ATEŞ**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**KOLON SÜREKSİZLİĞİNİN TAŞIYICI SİSTEM DEPREM DAVRANIŞINA ETKİSİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Zekai CELEP**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Mustafa GENÇOĞLU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Abdurrahman GÜNER
İstanbul Üniversitesi

Teslim Tarihi : **2 Mayıs 2013**

Savunma Tarihi : **4 Haziran 2013**

Babaannemin aziz hatırasına,

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyuncaengin bilgi ve deneyimleri ile bana her konuda destek olan, açtığı derslerle ufkumu ve mühendislik mesleğine bakış açımı genişleten saygıdeğer danışman hocam sayın Prof. Dr. Zekai CELEP'e,

Çalışma sürecindeki değerli katkıları için; Yük. İnş. Müh. Hakan SARUHAN'a, Yük. İnş. Müh. Ergün BİNBİR'e ve Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı personeline,

Tez çalışmalarımızı beraber yürüttüğümüz, her türlü sorunda görüş alışverişi yaptığımız ve çözümleri beraber ürettiğimiz İnş. Müh. Hakan TOKER'e,

Bütün hayatım boyunca karşılıksız desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen annem F.Nejla ATEŞ'e, babam İnş. Müh. Ali ATEŞ'e, kardeşim Biyolog Behiye ATEŞ'e ve şu anda İstanbul Tıp Fakültesi'nde öğrenci olan Mehmet ATEŞ'e teşekkürü borç bilirim.

Haziran 2013

Ali Osman ATEŞ
(İnşaat Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
KISALTMALAR.....	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
SEMBOL LİSTESİ.....	xxiii
ÖZET.....	xxv
SUMMARY.....	xxvii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Tezin Amacı ve Konusu.....	2
1.2 Deprem.....	2
1.2.1 Deprem oluşumu ve deprem çeşitleri.....	2
1.2.2 Deprem parametreleri.....	3
1.3 Ülkemizin Depremselliği.....	3
1.4 Tez Çalışması İle İlgili Yapılmış Çalışmalar.....	6
2. YAPISAL DÜZENSİZLİKLER.....	13
2.1 DBYBHY’ deki Düzensizlikler.....	13
2.1.1 Planda düzensizlik durumları.....	13
2.1.1.1 A1- Burulma düzensizliği.....	13
2.1.1.2 A2 - Döşeme süreksizlikleri.....	14
2.1.1.3 A3 - Planda çıkıntılar bulunması.....	15
2.1.2 Düşey Doğrultuda Düzensizlik Durumları.....	16
2.1.2.1 B1 - Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat).....	16
2.1.2.2 B2 - Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat).....	17
2.1.2.3 B3 - Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği.....	18
3. PERFORMANSA DAYALI TASARIM KAVRAMI VE YAPILARIN DEPREM PERFORMANSLARININ DBYBHY 2007’ YE, EUROCODE 8’ E VE FEMA 356’YA GÖRE DEĞERLENDİRİLMESİ.....	21
3.1 Malzeme Matematik Modelleri.....	21
3.1.1 Pekleşmeli donatı çeliği modeli.....	21
3.1.2 Beton modelleri.....	22
3.1.2.1 Geliştirilmiş Kent ve Park modeli.....	23
3.1.2.2 Sheikh ve Uzumeri modeli.....	25
3.1.2.3 Saatcioglu ve Razvi modeli.....	26
3.1.2.4 Mander modeli.....	30
3.2 Süneklilik Kavramı.....	32
3.3 Plastik Mafsal Hipotezi.....	33
3.4 DBYBHY (2007)’ye Göre Değerlendirme.....	34
3.4.1 Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi (Statik İtme Analizi).....	35
3.4.2 Zaman tanım alanında hesap yöntemi.....	40

3.4.3 Kesit hasar sınırları ve hasar bölgeleri.....	40
3.4.4 Birim şekil değiştirme istemlerinin belirlenmesi.....	42
3.4.5 Bina performans düzeyleri.....	42
3.4.5.1 Hemen kullanım performans düzeyi.....	42
3.4.5.2 Can güvenliği performans düzeyi.....	43
3.4.5.3 Göçme öncesi performans düzeyi.....	43
3.4.5.4 Göçme durumu.....	43
3.4.6 Binalar için hedeflenen performans düzeyleri.....	43
3.5 Eurocode 8 (EN 1998)(2005)' e Göre Değerlendirme.....	45
3.5.1 Hedeflenen Performans Düzeyleri.....	45
3.5.1.1 Minimum Hasar Bölgesi (Limit State of Damage Limitation).....	45
3.5.1.2 Belirgin Hasar Bölgesi (Limit State of Significant Damage).....	45
3.5.1.3 Göçme Öncesi Hasar Bölgesi (Limit State of Near Collapse).....	46
3.5.2 Kesit hasar sınırları ve hasar bölgeleri.....	46
3.5.2.1 Minimum hasar sınırı.....	47
3.5.2.2 Belirgin Hasar Sınırı.....	48
3.5.2.3 Göçme Öncesi Hasar Sınırı.....	48
3.6 FEMA 356 (2000)' e Göre Değerlendirme.....	49
3.6.1 Yapısal elemanlar için hedeflenen performans düzeyleri.....	50
3.6.1.1 Hemen kullanım performans düzeyi (S-1).....	51
3.6.1.2 Hasar kontrolü performans düzeyi (S-2).....	52
3.6.1.3 Can güvenliği performans düzeyi (S-3).....	52
3.6.1.4 Güvenliğin sınırlı olduğu performans düzeyi (S-4).....	52
3.6.1.5 Göçmenin önlenmesi performans düzeyi (S-5).....	52
3.6.2 Yapısal olmayan elemanlar için performans düzeyleri.....	52
3.6.2.1 Kullanıma devam performans düzeyi (N-A).....	52
3.6.2.2 Hemen kullanım performans düzeyi (N-B).....	53
3.6.2.3 Can güvenliği performans düzeyi (N-C).....	53
3.6.2.4 Hasarın azaltıldığı performans düzeyi (N-D).....	53
3.6.2.5 Yapısal performansın hesaplanmadığı durum.....	53
3.6.3 Bina performans düzeyleri.....	53
3.6.4 Binalar için hedeflenen performans düzeyleri.....	54
3.6.5 Betonarme elemanlar için dönme sınırları.....	55
4. B3 DÜZENSİZLİĞİNİN VE BU DÜZENSİZLİĞE KARŞI DEPREM YÖNETMELİĞİ'NİN YAKLAŞIMININ İNCELENMESİ.....	59
4.1 B3 Düzensizliğinin İncelendiği Çerçevesel Hakkında Genel Bilgiler.....	59
4.1.1 Boyutlandırmada ve donatılandırmada kullanılan parametreler.....	60
4.1.2 Kolon ve kirişlerin donatıları.....	61
4.2 Performans Analizi İçin Yapıların Bilgisayar Ortamında Modellerinin Oluşturulması.....	66
4.2.1 Çerçevesel SAP2000 programında modellenmesi.....	66
4.3 Sistemin Performansının Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemine Göre Belirlenmesi.....	76
4.3.1 Performans noktasında elemanlarda oluşan hasarlar.....	85
4.3.1.1 Kirişlerde oluşan hasarların değerlendirilmesi.....	87
4.3.1.2 Kolonlarda oluşan hasarların belirlenmesi.....	90
4.4 Sistemlerin Performanslarının Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemine Göre Belirlenmesi.....	94
4.4.1 Kullanılacak ivme kayıtları ve bu kayıtların benzeştirilmesi.....	94
4.4.2 Tepe yatay yer değiştirmeleri.....	97

4.4.3 Taban kesme kuvvetleri.....	98
4.4.4 Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi ile eleman performanslarının belirlenmesi.....	100
4.4.4.1 Kirişlerde oluşan hasarın değerlendirilmesi.....	102
4.4.4.2 Kolonlarda oluşan hasarların belirlenmesi.....	104
4.5 Sonuçlara İlişkin Genel Değerlendirmeler.....	109
4.5.1 Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi sonuçlarına ait değerlendirmeler...	109
4.5.2 Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi sonuçlarına ait değerlendirmeler.....	110
4.5.3 Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonuçlarının karşılaştırılması.....	112
5. SONUÇLAR.....	115
KAYNAKLAR.....	119
EK – A.....	123
ÖZGEÇMİŞ.....	157

KISALTMALAR

AEDDY	: Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi
DBYBHY 2007	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
EUROCODE	: Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance, Part:3 Assessment and Retrofitting of Buildings
FEMA 356	: Prestandard and Commentary For the Seismic Rehabilitation of Buildings
GÇ	: Göçme Sınırı
GV	: Güvenlik Sınırı
MN	: Minimum Hasar Sınırı
SAP 2000	: Structural Analysis Programme
ZTADOA	: Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1: 1971-2004 yılları arasında ülkemizde meydana gelen bazı önemli depremler [2]	4
Çizelge 3.1: S220 ve S420 donatı çelikleri için gerilme ve şekil değiştirme değerleri	22
Çizelge 3.2: Farklı türdeki binalar için öngörülen minimum performans düzeyleri [12].	44
Çizelge 3.3: DBYBHY 2007' ye göre tasarımda göz önüne alınan depremler	44
Çizelge 3.4: Eurocode 8 (2005)' e göre hasar sınırları için öngörülen depremler [23]	46
Çizelge 3.5: Eurocode 8' e göre hasar kriterleri [23].....	49
Çizelge 3.6: FEMA 356 (2000)' e göre etkin rijitlikler [26]	51
Çizelge 3.7 : FEMA 356 (2000)' e göre yapısal performansın elde edilmesi [25]	54
Çizelge 3.8: FEMA 356 (2000)' de performans hedeflenen depremler [26].....	54
Çizelge 3.9: FEMA 356 (2000)' de çeşitli depremler için hedeflenen bina performansları [26].....	55
Çizelge 3.10 : Eğilme etkilerine bağlı olarak hasar gören betonarme kolonlar için FEMA 356 (2000)'de verilen kesit dönmesi sınırları [26]	56
Çizelge 3.11 : Eğilme etkilerine bağlı olarak hasar gören betonarme kirişler için FEMA 356 (2000)'de verilen kesit dönmesi sınırları [26]	57
Çizelge 3.12 : Eğilme etkilerine bağlı olarak hasar gören betonarme perdeler için FEMA 356 (2000)'de verilen kesit dönmesi sınırları [26]	58
Çizelge 4.1 : Düzenli sistemde kolon donatıları	61
Çizelge 4.2: Düzensiz sistemde kolon donatıları	62
Çizelge 4.3: Düzensiz ve ilgili elemanlarda iç kuvvetlerin %50 arttırıldığı sistemde kolon donatıları	62
Çizelge 4.4: Düzenli sistemde kiriş donatıları	63
Çizelge 4.5: Düzensiz sistemde kiriş donatıları	64
Çizelge 4.6: Düzensiz ve ilgili elemanlarda iç kuvvetlerin %50 arttırıldığı sistemde kiriş donatıları	65
Çizelge 4.7: Düzenli sisteme ait kolonlar için çatlamış kesit etkin eğilme rijitlikleri	74
Çizelge 4.8: Düzensiz sistemlere ait kolonlar için çatlamış kesit etkin eğilme rijitlikleri	75
Çizelge 4.9: Düzenli sistem için birinci modal kütle ve modal kütle faktörü hesabı.....	79
Çizelge 4.10 : Düzensiz sistemler için birinci modal kütle ve modal kütle faktörü hesabı	79
Çizelge 4.11 : K101 kirişi sol uç kesiti için hasar bölgesin belirlenmesi.....	88
Çizelge 4.12 : Üç sistem için artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi sonucu bulunan kiriş hasar bölgeleri	89
Çizelge 4.13: Düzenli çerçevede S102 kolonu için hasar bölgesinin belirlenmesi	91
Çizelge 4.14 : Üç sistem için artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi sonucu bulunan kolon hasar bölgeleri.....	93
Çizelge 4.15 : Kullanılan ivme kayıtları için sıfır periyoda karşı gelen spektral ivme değerleri	96
Çizelge 4.16 : Üç sistem için ZTADOA analiz sonucu bulunan maksimum tepe yer değiştirmeleri	97

Çizelge 4.17	: Düzenli çerçeve için K101 kirişi sol uç kesitinde oluşan plastik dönmeler	102
Çizelge 4.18	: K101 kirişi sol uç kesiti için hasar bölgesinin belirlenmesi	103
Çizelge 4.19	: Üç sistem için ZTADOA sonucu bulunan kiriş hasar bölgeleri	104
Çizelge 4.20	: Düzenli çerçeve için S102 kolonunda oluşan plastik dönmeler	105
Çizelge 4.21	: Düzenli çerçevede için S102 kolonunda hasar bölgesinin belirlenmesi	106
Çizelge 4.22	: Üç sistem için ZTADOA sonucu bulunan kolon hasar bölgeleri	108
Çizelge 4.23	: Üç sistemde birinci kat kolonları için AEDYY sonucu bulunan plastik dönme değerlerinin karşılaştırılması	110
Çizelge 4.24	: Üç sistemde birinci kat kolonları için ZTADOA sonucu bulunan plastik dönme değerlerinin karşılaştırılması	112
Çizelge 4.25	: Üç sistem için AEDYY ve ZTADOA yöntemleri sonucu bulunan tepe yer değiştirmesi karşılaştırması	112
Çizelge 4.26	: Üç sistem için AEDYY ve ZTADOA yöntemleri sonucu bulunan taban kesme kuvveti karşılaştırması	113
Çizelge A.1	: Düzenli sistemde AEDYY sonucu bulunan eleman hasarları	145
Çizelge A.2	: Düzensiz sistemde AEDYY sonucu bulunan eleman hasarları	147
Çizelge A.3	: Düzensiz ve ilgili elemanlarda iç kuvvetlerin %50 arttırıldığı sistemde AEDYY sonucu bulunan eleman hasarları	149
Çizelge A.4	: Düzenli sistemde ZTADOA sonucu bulunan eleman hasarları	150
Çizelge A.5	: Düzensiz sistemde ZTADOA sonucu bulunan eleman hasarları	152
Çizelge A.6	: Düzensiz ve ilgili elemanlarda iç kuvvetlerin %50 arttırıldığı sistemde ZTADOA sonucu bulunan eleman hasarları	154

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Yer kabuğunun hareketi [1]	3
Şekil 1.2 : Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası [3]	5
Şekil 2.1 : Burulma düzensizliği durumu [12]	14
Şekil 2.2 : Döşeme süreksizliği [12].....	15
Şekil 2.3 : A3 düzensizliği [12].....	16
Şekil 2.4 : Zayıf kat düzensizliği sebebiyle hasar görmüş bir bina[14]	17
Şekil 2.5 : Kolonların guselere ve konsol kirişlere oturması durumu [12]	19
Şekil 2.6 : Kolonların iki ucundan mesnetli kirişe oturması durumu [12]	19
Şekil 2.7 : Perdenin kolonlara oturtulması durumu [12]	19
Şekil 2.8 : Perdenin açıklık ortasında kirişe oturması durumu [12].....	20
Şekil 3.1 : DBYBHY 2007’ de verilen pekleşmeli donatı çeliği modeli [12].....	21
Şekil 3.2 : Geliştirilmiş Kent ve Park modeli σ - ϵ grafiği [16].....	23
Şekil 3.3 : Sheikh ve Uzumeri modeli σ - ϵ grafiği [19]	25
Şekil 3.4 : Saatcioglu ve Razvi modeli σ - ϵ grafiği [20].....	27
Şekil 3.5 : Etriye tarafından betona uygulanan sargı basıncının değişimi [20].....	28
Şekil 3.6 : Mander modeli σ - ϵ grafiği [20]	30
Şekil 3.7 : İdealize edilmiş moment-eğrilik eğrisi.....	33
Şekil 3.8 : Birinci titreşim modu ve kat kütlesi ile orantılı dağılımın olduğu sistemde taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirmesi grafiği	36
Şekil 3.9 : Statik itme eğrisi – modal kapasite eğrisi	37
Şekil 3.10 : S_a - S_d eğrisi ile a-d eğrilerinin kesiştirilmesi	39
Şekil 3.11 : DBYBHY 2007’ ye göre kesit hasar bölgeleri [12].....	41
Şekil 3.12 : Çerçeve elemanlar için kord dönmesi [24]	46
Şekil 4.1 : B3 düzensizliğinin incelenmesi için tasarlanan çerçeveler	60
Şekil 4.2 : Hesapta göz önüne alınan yük değerleri	61
Şekil 4.3 : Mander sargısız beton modeli	66
Şekil 4.4 : Mander sargılı beton modeli	67
Şekil 4.5 : S420a donatı çeliği gerilme-şekil değiştirme grafiği	67
Şekil 4.6 : Düzenli sisteme ait S101 kolonu kesiti	68
Şekil 4.7 : Düzenli sisteme ait K101 kirişi sol mesnet kesiti	68
Şekil 4.8 : K101 kirişi sol mesnet kesiti için çekme donatısının akma anında oluşan şekil değiştirme durumu	69
Şekil 4.9 : Düzenli sistem ve düzensiz sistemler için atanan plastik mafsallar.....	71
Şekil 4.10 : İdealize edilmiş iç kuvvet-plastik şekil değiştirme bağıntıları [12]	71
Şekil 4.11 : Düzenli sisteme ait K101 kirişi sol mesnet kesiti moment-eğrilik diyagramı.....	72
Şekil 4.12 : Düzenli sistem ve düzensiz sistemlere ait 1. mod genlikleri	76
Şekil 4.13 : Düzenli sisteme ait taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirmesi grafiği	77
Şekil 4.14 : Düzensiz sisteme ait taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirmesi grafiği.....	77
Şekil 4.15 : Düzensiz ve ilgili elemanlarda iç kuvvetlerin %50 arttırıldığı sisteme ait taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirmesi grafiği	78
Şekil 4.16 : Düzenli sisteme ait taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirmesi ve modal ivme-modal yer değiştirme eğrileri	80

Şekil 4.17 : Düzensiz sisteme ait taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirmesi ve modal ivme-modal yer değiştirme eğrileri	80
Şekil 4.18 : Düzensiz ve ilgili elemanlarda iç kuvvetlerin %50 arttırıldığı sisteme ait taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirmesi ve modal ivme-modal yer değiştirme eğrileri	80
Şekil 4.19 : Üç sistem için statik itme eğrilerinin karşılaştırılması	81
Şekil 4.20 : Üç sistem için modal ivme-modal yer değiştirme eğrilerinin karşılaştırılması	81
Şekil 4.21 : (a) Düzenli (b) düzensiz (c) düzensiz ve iç kuvvetleri %50 arttırılmış sistemler için performans noktası bulunuşu	83
Şekil 4.22 : Düzenli sistem için performans noktasında oluşan plastik mafsallar	85
Şekil 4.23 : Düzensiz sistem için performans noktasında oluşan plastik mafsallar	86
Şekil 4.24 : Düzensiz ve ilgili elemanlarda iç kuvvetlerin %50 arttırıldığı sistem için performans noktasında oluşan plastik mafsallar	86
Şekil 4.25 : Düzenli çerçeve için K101 kirişi sol uç kesitine ait örnek plastik dönme grafiği	87
Şekil 4.26 : Düzenli çerçeve için S102 kolonuna ait örnek plastik dönme grafiği	90
Şekil 4.27 : Düzenli sistem için S102 kolonu normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği	92
Şekil 4.28 : Kocaeli Depremi'ne ait orijinal ve benzeştirilmiş ivme-zaman (Kayıt1) grafikleri	94
Şekil 4.29 : Kobe Depremi'ne ait orijinal ve benzeştirilmiş ivme-zaman (Kayıt2) grafikleri	95
Şekil 4.30 : Northridge Depremi'ne ait orijinal ve benzeştirilmiş ivme-zaman (Kayıt3) grafikleri	95
Şekil 4.31 : Kullanılan deprem kayıtlarının ortalama spektrumu ve elastik ivme spektrumu karşılaştırması	97
Şekil 4.32 : Düzenli çerçeve için zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonucu bulunan taban kesme kuvveti-zaman grafiği	98
Şekil 4.33 : Düzensiz çerçeve için zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonucu bulunan taban kesme kuvveti-zaman grafiği	99
Şekil 4.34 : Düzensiz ve ilgili elemanlarda iç kuvvetlerin %50 arttırıldığı çerçeve için zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonucu bulunan taban kesme kuvveti-zaman grafiği	99
Şekil 4.35 : Düzenli sistem için 1 nolu kaydın etkitilmesi sonucu oluşan plastik mafsallar	100
Şekil 4.36 : Düzensiz sistem için 1 nolu kaydın etkitilmesi sonucu oluşan plastik mafsallar	101
Şekil 4.37 : Düzensiz ve ilgili elemanlarda iç kuvvetlerin %50 arttırıldığı sistem için 1 nolu kaydın etkitilmesi sonucu oluşan plastik mafsallar	101
Şekil 4.38 : Düzenli çerçeve için 3 nolu kaydın etkitilmesi sonucu oluşan K101 kirişi sol uç kesitine ait örnek plastik dönme-moment grafiği	102
Şekil 4.39 : Düzenli çerçeve için 3 nolu kaydın etkitilmesi sonucu oluşan S102 kolonuna ait örnek plastik dönme-moment grafiği	105
Şekil 4.40 : Düzenli sistem için 3 nolu kaydın etkitilmesi sonucu oluşan S102 kolonuna ait normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği	107
Şekil 4.41 : Düzenli sistem için AEDYY ve ZTADOA analiz sonucu elde edilen taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirmesi eğrilerinin karşılaştırılması	113
Şekil 4.42 : Düzensiz sistem için AEDYY ve ZTADOA analiz sonucu elde edilen taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirmesi eğrilerinin karşılaştırılması	114

Şekil 4.43 : Düzensiz ve ilgili elemanlarda iç kuvvetlerin %50 arttırıldığı sistem için AEDYY ve ZTADOA analiz sonucu elde edilen taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirmesi eğrilerinin karşılaştırılması	114
Şekil A.1 : Düzenli sistemde 2 nolu kaydın etkitilmesi sonucu oluşan plastik mafsallar	123
Şekil A.2 : Düzenli sistemde 3 nolu kaydın etkitilmesi sonucu oluşan plastik mafsallar	123
Şekil A.3 : Düzensiz sistemde 2 nolu kaydın etkitilmesi sonucu oluşan plastik mafsallar	124
Şekil A.4 : Düzensiz sistemde 3 nolu kaydın etkitilmesi sonucu oluşan plastik mafsallar	124
Şekil A.5 : Düzensiz ve ilgili elemanlarda iç kuvvetlerin %50 arttırıldığı sistemde 2 nolu kaydın etkitilmesi sonucu oluşan plastik mafsallar	125
Şekil A.6 : Düzensiz ve ilgili elemanlarda iç kuvvetlerin %50 arttırıldığı sistemde 3 nolu kaydın etkitilmesi sonucu oluşan plastik mafsallar	125
Şekil A.7 : Düzenli ve düzensiz sistemlerde düzensizliğin bulunduğu eksenin sağ ve sol eksenlerinde yer alan kolonlarda normal kuvvet değişimi ($G+0.3Q$ yüklemesi).....	126
Şekil A.8 : Düzenli ve düzensiz sistemlerde düzensizliğin bulunduğu ekseninde yer alan kolonlarda normal kuvvet değişimi ($G+0.3Q$ yüklemesi)	126
Şekil A.9 : Düzenli sistemde AEDYY sonucunda S101 kolonu için hasar bölgesinin normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile tespiti.....	127
Şekil A.10 : Düzenli sistemde AEDYY sonucunda S102 kolonu için hasar bölgesinin normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile tespiti.....	127
Şekil A.11 : Düzenli sistemde AEDYY sonucunda S103 kolonu için hasar bölgesinin normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile tespiti.....	128
Şekil A.12 : Düzenli sistemde AEDYY sonucunda S104 kolonu için hasar bölgesinin normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile tespiti.....	128
Şekil A.13 : Düzensiz sistemde AEDYY sonucunda S101 kolonu için hasar bölgesinin normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile tespiti.....	129
Şekil A.14 : Düzensiz sistemde AEDYY sonucunda S102 kolonu için hasar bölgesinin normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile tespiti.....	129
Şekil A.15 : Düzensiz sistemde AEDYY sonucunda S104 kolonu için hasar bölgesinin normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile tespiti.....	130
Şekil A.16 : Düzensiz sistemde AEDYY sonucunda S105 kolonu için hasar bölgesinin normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile tespiti.....	130
Şekil A.17 : Düzensiz sistemde AEDYY sonucunda S203 kolonu için hasar bölgesinin normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile tespiti.....	131
Şekil A.18 : Düzensiz sistemde AEDYY sonucunda S204 kolonu için hasar bölgesinin normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile tespiti.....	131
Şekil A.19 : Düzensiz ve ilgili elemanlarda iç kuvvetlerin %50 arttırıldığı sistemde AEDYY sonucunda S101 kolonu için hasar bölgesinin normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile tespiti	132
Şekil A.20 : Düzensiz ve ilgili elemanlarda iç kuvvetlerin %50 arttırıldığı sistemde AEDYY sonucunda S203 kolonu için hasar bölgesinin normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile tespiti	132
Şekil A.21 : Düzenli sistemde ZTADOA sonucunda S101 kolonu için hasar bölgesinin normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile tespiti.....	133
Şekil A.22 : Düzenli sistemde ZTADOA sonucunda S103 kolonu için hasar bölgesinin normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile tespiti.....	133

Şekil A.23 : Düzenli sistemde ZTADOA sonucunda S104 kolonu için hasar bölgesinin normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile tespiti.....	134
Şekil A.24 : Düzenli sistemde ZTADOA sonucunda S105 kolonu için hasar bölgesinin normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile tespiti.....	134
Şekil A.25 : Düzensiz sistemde ZTADOA sonucunda S101 kolonu için hasar bölgesinin normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile tespiti.....	135
Şekil A.26 : Düzensiz sistemde ZTADOA sonucunda S102 kolonu için hasar bölgesinin normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile tespiti.....	135
Şekil A.27 : Düzensiz sistemde ZTADOA sonucunda S104 kolonu için hasar bölgesinin normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile tespiti.....	136
Şekil A.28 : Düzensiz sistemde ZTADOA sonucunda S105 kolonu için hasar bölgesinin normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile tespiti.....	136
Şekil A.29 : Düzensiz sistemde ZTADOA sonucunda S202 kolonu için hasar bölgesinin normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile tespiti.....	137
Şekil A.30 : Düzensiz sistemde ZTADOA sonucunda S203 kolonu için hasar bölgesinin normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile tespiti.....	137
Şekil A.31 : Düzensiz sistemde ZTADOA sonucunda S204 kolonu için hasar bölgesinin normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile tespiti.....	138
Şekil A.32 : Düzensiz ve ilgili elemanlarda iç kuvvetlerin %50 arttırıldığı sistemde ZTADOA sonucunda S101 kolonu için hasar bölgesinin normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile tespiti	138
Şekil A.33 : Düzensiz ve ilgili elemanlarda iç kuvvetlerin %50 arttırıldığı sistemde ZTADOA sonucunda S102 kolonu için hasar bölgesinin normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile tespiti	139
Şekil A.34 : Düzensiz ve ilgili elemanlarda iç kuvvetlerin %50 arttırıldığı sistemde ZTADOA sonucunda S104 kolonu için hasar bölgesinin normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile tespiti	139
Şekil A.35 : Düzensiz ve ilgili elemanlarda iç kuvvetlerin %50 arttırıldığı sistemde ZTADOA sonucunda S105 kolonu için hasar bölgesinin normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile tespiti	140
Şekil A.36 : Düzensiz ve ilgili elemanlarda iç kuvvetlerin %50 arttırıldığı sistemde ZTADOA sonucunda S202 kolonu için hasar bölgesinin normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile tespiti	140
Şekil A.37 : Düzensiz ve ilgili elemanlarda iç kuvvetlerin %50 arttırıldığı sistemde ZTADOA sonucunda S203 kolonu için hasar bölgesinin normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile tespiti	141
Şekil A.38 : Düzensiz ve ilgili elemanlarda iç kuvvetlerin %50 arttırıldığı sistemde ZTADOA sonucunda S204 kolonu için hasar bölgesinin normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile tespiti	141
Şekil A.39 : Düzensiz ve ilgili elemanlarda iç kuvvetlerin %50 arttırıldığı sistemde ZTADOA sonucunda S302 kolonu için hasar bölgesinin normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile tespiti	142
Şekil A.40 : Düzensiz ve ilgili elemanlarda iç kuvvetlerin %50 arttırıldığı sistemde ZTADOA sonucunda S303 kolonu için hasar bölgesinin normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile tespiti	142
Şekil A.41 : Düzensiz ve ilgili elemanlarda iç kuvvetlerin %50 arttırıldığı sistemde ZTADOA sonucunda S402 kolonu için hasar bölgesinin normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile tespiti	143

Şekil A.42 : Düzensiz ve ilgili elemanlarda iç kuvvetlerin %50 arttırıldığı sistemde ZTADOA sonucunda S403 kolonu için hasar bölgesinin normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile tespiti	143
Şekil A.43 : Düzensiz ve ilgili elemanlarda iç kuvvetlerin %50 arttırıldığı sistemde ZTADOA sonucunda S404 kolonu için hasar bölgesinin normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile tespiti	144
Şekil A.44 : AEDYY yöntemi sonuçlarına göre birinci kat kolonlarındaki plastik dönme değişimleri	156
Şekil A.45 : ZTADOA yöntemi sonuçlarına göre birinci kat kolonlarındaki plastik dönme değişimleri	156

SEMBOL LİSTESİ

a_1	: Modal ivme
A_s	: Çekme donatısı alanı
A_s'	: Basınç donatısı alanı
b_w	: Kesit gövde genişliği
d_1	: Modal yer değiştirme
DBYBHY	: Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik
$(EI)_0$	: Brüt kesit atalet momenti
$(EI)_e$	: Çatlamış kesit atalet momenti
f_{cm}	: Mevcut beton dayanımı
h	: Kesit yüksekliği
L_p	: Plastik mafsalsal boyu
M_1	: Birinci 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	: Birinci 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
ρ	: Çekme donatısı oranı
ρ'	: Basınç donatısı oranı
ϕ_p	: Plastik eğrilik
ϕ_t	: Toplam eğrilik
ϕ_y	: Kesit akma eğriliği

KOLON SÜREKSİZLİĞİNİN TAŞIYICI SİSTEM DEPREM DAVRANIŞINA ETKİSİ

ÖZET

Düzenli taşıyıcı sistemler çok fazla varsayıma gerek olmadan analiz edilebilir ve bu sistemlerin deprem davranışları kolayca tahmin edilebilir. Bu tip sistemlerde yükler en üst kattan temele kadar en kısa yoldan, birtakım ek zorlamalara sebep olmadan aktarılır. Genellikle düzenli sistemler sünek bir davranış sergilerler ve bu nedenle deprem bölgelerinde tercih edilirler. Diğer taraftan taşıyıcı sistemler mimari veya estetik kaygılar gibi birtakım zorlayıcı sebeplerle çoğu zaman düzensizdir. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (2007)' de bu düzensizlikler planda ve düşey doğrultuda düzensizlikler olmak üzere iki kısımda incelenmiş ve düzensiz sistemlere yapıların sismik kapasitesinin artırılmasına yönelik birtakım ek yaptırımlar getirilmiştir. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (2007)' nin izin verdiği düşeyde düzensizlik durumu sadece kolonların iki ucundan mesnetli bir kirişe oturması halidir ve bu durumda mesnet kiriş ve bu kirişin birleştiği düğüm noktalarına birleşen diğer kiriş ve kolonlarda, deprem ve düşey yüklerin ortak etkisinden bulunacak tüm iç kuvvetlerin %50 oranında artırılması şart koşulmaktadır.

Bu çalışmada Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (2007)' de tanımlanan düzensizlik durumlarından birisi olan kolonların iki ucundan mesnetli bir kirişe oturması hali ve bu düzensizliğin taşıyıcı sistem deprem davranışına olan etkisi detaylı bir biçimde incelenmiştir. İnceleme için üç tip çerçeve tasarımı yapılmıştır. İlk çerçeve hiçbir düzensizlik içermeyecek şekilde tasarlanmış ve referans çerçevesi olarak kabul edilmiştir. İkinci çerçevede birinci katta kolon süreksizliği bulunmakta olup ikinci kat kolonu birinci kat kirişine açıklık ortasında oturmaktadır. Üçüncü çerçeve ikinci çerçeve ile aynı özellikleri taşımakta olup mesnet kiriş ve bu kirişin birleştiği düğüm noktalarına birleşen diğer kiriş ve kolonlarda deprem ve düşey yüklerin ortak etkisinden bulunan tüm iç kuvvet değerleri %50 oranında artırılmıştır. Bütün çerçeveler 4 açıklıklı ve 7 katlı olup aynı yük ve açıklık değerlerine sahiptir. Analizde eşdeğer deprem yükü yöntemi ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi kullanılmıştır. Zaman tanım alanında analizde 3 adet deprem kaydı kullanılmış, kayıtlar Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (2007)' de verilen tasarım spektrumuna benzeştirilmiştir. Sonuçlar taban kesme kuvvetleri, deprem talep deplasmanları ve eleman şekil değiştirme talepleri üzerinden çeşitli grafik ve tablolar yardımı ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

EFFECT OF COLUMN DISCONTINUITY ON THE SEISMIC PERFORMANCE OF STRUCTURAL SYSTEMS

SUMMARY

Earthquakes are undoubtedly one of the most important natural disasters in the world. During past years, many earthquakes have occurred around the world and Turkey in particular. Turkey is located at one of the most active zones in the world and has faced lots of earthquakes. These earthquakes have caused thousands of life loss and significant economic loss. To prevent these losses structures must be designed regarding the earthquake resistance.

Regular structural systems can be analyzed straightforwardly without requiring much assumption and their behavior can be predicted easily. In these systems loads are transferred in the shortest to the foundation without causing additional stresses. Generally the lateral load capacity of these structural systems is high and they display ductile behavior, when they are subjected to the ultimate capacity. That is why, these kinds of structural system is preferred in earthquake prone regions. On the other hand structural systems are often designed having various irregularities due to architectural requirements and esthetic necessities. In seismic codes, structural irregularities are commonly classified as planar and vertical irregularities as it is the case in the Turkish Seismic Code and irregular structural systems are penalized. This is done by increasing seismic demand and by requiring additional reinforcement detailing. The Turkish Seismic Code only allows the structural configuration where a column rests on a beam which is supported at both ends. However, the code requires an increase of 50% in all internal forces and moments at all the cross sections of the beam which supports the column and those of the beams and the columns connecting to the supporting beam.

In this study, one of the vertical irregularities defined by the Turkish Seismic Code, i.e., column discontinuity is considered and its effect on the seismic behavior of the structural system is investigated in detail. To investigate this type of irregularity and the approach of the Turkish Seismic Code, three types of planar frames having this specific irregularity are designed. First type of the frame has no irregularity and is considered as the reference frame. It assumed that the second frame has vertical irregularity due to column discontinuity at the first story but internal forces and moments are not increased to investigate the effect of irregularity on the earthquake performance of the frame. Finally, the third frame is designed the same as the second frame but all the internal forces and moments are increased of %50 at the supporting beam and at the beams and the columns which connect to the supporting beam as the Turkish Seismic Code requires. All the frames have four bays, seven stories and same gravity loads. Investigation is carried out by using the static pushover and the time history analysis considering three different earthquake records scaled to the spectrum given by the Turkish Seismic Code. Effects of

the column discontinuity on the earthquake performance of the structural system are obtained by adopting the nonlinear static pushover analysis and the nonlinear time history analysis. The results are displayed in various figures and discussed comparatively. Emphasize is put on nonlinear strain demands at the structural elements and the approach of the Turkish Seismic Code are investigated and discussed.

The thesis consists of five chapters. First chapter includes introduction, basic concepts about earthquake motion, some of the important earthquakes happened in Turkey and review of previous studies.

Second chapter covers brief information about irregularities defined by Turkish Seismic Code 2007.

In the third chapter, concrete models such as Mander, Modified Kent and Park, Sheikh and Uzumeri, Saatcioglu and Razvi Models, the concept of ductility, basic principles of plastic hinge, performance based design concept, fundamentals of nonlinear static pushover and nonlinear dynamic time history analysis, structural performance levels and ranges given in Turkish Sesimic Code (2007), Eurocode 8 (2005) and FEMA 356 (2000) are investigated.

Fourth chapter contains a numerical study about vertical irregularity which is produced by column discontinuity. To investigate this type of irregularity three types of planar frames are designed as mentioned above. This chapter also includes defining the cross sections using Section Designer option in SAP 2000. Evaluation of structural strain demands and determination of performance levels for structural elements using nonlinear static pushover and nonlinear dynamic time history analysis are explained in detail. Detailed and comparative results in terms of base shear, top displacement and strain demands obtained by using both methods are given in this chapter as well.

Fifth chapter covers general results and suggestions.

The results obtained by using nonlinear static pushover and nonlinear time history analysis can be summarized as following:

- i) Column discontinuity changes the load path in irregular systems. Axial force at columns which are placed on the left and right axes where the discontinuity exists, increases significantly when compared to regular system. On the other hand axial force at the middle columns decreases because the support beam does not support the columns properly due to column discontinuity. Column which rests on a beam can be assumed to have an elastic support.
- ii) Although there are small differences for some elements, nonlinear strain demands obtained with nonlinear static pushover and nonlinear time history analysis can be regarded as consistent for the regular and irregular system where all internal forces are increased of 50% as Turkish Seismic Code requires. These differences are more noticable for the beams which are joining to the columns at the middle axes where irregularity takes place in irregular system where internal forces are not increased.
- iii) When the evaluation is carried out in terms of top displacements, it is seemed that both results obtained by using nonlinear static pushover analysis and nonlinear time history analysis are in good consistency.

iv) Increasing of 50% in all internal forces and moments at all the cross sections of the beam which supports the column and those of the beams and the columns connecting to the supporting beam is found to have a positive effect on the seismic behavior of the irregular frames.

v) In pushover analysis where the lateral load pattern is assumed to be proportional to first mode amplitude, base shear values are found to be smaller than the base shear values obtained by using time history analysis. Adaptive pushover analysis can be used for better comparison.

vi) When all internal forces are not increased in irregular system, earthquake damage accumulates on the beams which are joining to the columns on the irregular axes. For that reason the frame does not ensure the life safety performance level which is the target performance level recommend by Turkish Seismic Code for residential buildings. With increasing all the internal forces, irregular frame ensures the life safety performance level.

1. GİRİŞ

Tarih boyunca insanlık sürekli olarak doğal afetlere maruz kalmıştır. Bu afetlerin oluşumunun engellenmesi mümkün olmayıp zararlarının azaltılmasına hatta tamamen ortadan kaldırılmasına yönelik çalışmalar her zaman var olmuştur. Bu afetlerin en önemlilerinden biri de şüphesiz olarak depremdir. Türkiye dünyanın sismik olarak en aktif bölgelerinin birisinin üzerinde bulunmaktadır ve pek çok deprem yaşamıştır. Bu depremlerden dolayı pek çok can ve mal kaybı meydana gelmiştir. Gelecekte de ülkemizde bu tip depremlerin meydana geleceği muhakkaktır. Geçmişte meydana gelen acı tabloların tekrarlanmaması için yapı ve deprem mühendislerine büyük görev düşmektedir.

Yapı mühendisliğinde düzenli bir taşıyıcı sistem her zaman arzu edilse de, mimari kaygılar gibi taşıyıcı sistemi doğrudan etkileyen bazı sebepler nedeniyle her yönüyle düzenli bir taşıyıcı sistemin pratikte elde edilmesi çok zordur. Yapılara etkiyen yüklerin temele ve temelden de zemine aktarılması hususunda mümkün olan en kısa yol tercih edilmeli ve taşıyıcı sistem açısından en basit düzenleme tercih edilmelidir. Ancak bu ilke her zaman uygulanamayabilir. Bu gibi durumlarda taşıyıcı sistem düzensizlikleri mühendisin karşısına çıkmaktadır.

Düzensiz binalar; deprem davranışındaki olumsuzluklar sebebiyle tasarımından ve yapımından kaçınılması gereken binalar olarak 2007 yılında resmi gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY-2007)'te tariflenmiştir. Yönetmelikte bu tip yapıların yapılması tamamen yasaklanmayıp, taşıyıcı sistem düzensizlikleri ayrıntılı olarak açıklanmış ve bu durumlarda alınacak önlemler tasarım yapan mühendislere belirtilmiştir. Bu önlemler; yönetmeliğin amaçladığı depreme dayanıklı yapı tasarımının ana ilkesi olan taşıyıcı sistemin ekonomik ömrü boyunca maruz kalma olasılığının yüksek olduğu hafif şiddetli depremlerde binadaki yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda herhangi bir hasar meydana gelmemesi, orta şiddetteki depremlerde yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda taşıyıcı sistem güvenliğini

tehlikeye düşürmeyecek onarılabilir düzeyde hasar oluşması, şiddetli depremlerde ise hasar oluşması ancak can güvenliğinin sağlanmasına yönelik olarak alınmıştır.

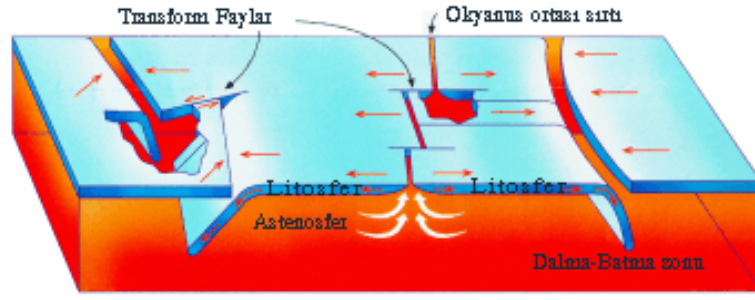
1.1 Tezin Amacı ve Konusu

Bu tez kapsamında DBYBHY’ de tanımlanan düzensizlik durumlarından birisi olan “B3 - Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği” nin bir kısmı olan kolonlarının iki ucundan mesnetli bir kirişe oturması hali bir parametrik çalışma ile incelenmiştir. Bunun için, herhangi bir düzensizlik içermeyen bir çerçeve ve orta ekseninde ikinci kat kolonunun birinci katta kirişe oturduğu düzensiz bir çerçeve tasarımı yapılmış, üçüncü çerçevede ise DBYBHY (2007)’ de belirtildiği gibi ilgili elemanlarda tüm iç kuvvet değerleri %50 oranında arttırılarak donatılar yeniden hesaplanmıştır. Referans olarak herhangi bir düzensizlik içermeyen, tamamen düzenli bir bina alınmış, parametre olarak ise yönetmelikte belirtildiği gibi içi kuvvetlerin %50 oranında arttırılıp arttırılmaması kabul edilmiştir. Bu durumun yapının yatay yükler altındaki davranışında oluşturduğu etkiyi anlamak için lineer olmayan analiz yöntemleri kullanılmıştır.

1.2 Deprem

1.2.1 Deprem oluşumu ve deprem çeşitleri

Depremler yer kabuğunu oluşturan plakaların hareket etmesi sonucunda oluşan şekil değiştirme enerjinin birikip, plaka yüzeyleri arasındaki kritik sürtünme değerine ulaştıktan sonra ani olarak titreşimler meydana getirerek yer yüzüne yayılması sonucu oluşurlar. Deprem dalgaları ortaya çıktıktan sonra merkezden uzaklaştıkça sönümlenerek yayılırlar. Bu hareket esnasında yer kabuğunu oluşturan plakalar fay düzlemleri boyunca hareket ederler. Bu tip depremlere tektonik depremler adı verilir. Depremlerin bu tür açıklamasına “Elastik Geri Sekme Teorisi” adı verilir ve ilk kez 1910 yılında Amerikalı profesör Henry Fielding Reid tarafından ortaya konmuştur. Tektonik depremler haricinde volkanik hareketlerden meydana gelen volkanik depremler ve yer kabuğundaki çöküntülere bağlı oluşan çöküntü depremleri mevcut ise de bu depremler tektonik depremler kadar sık görülmezler ve yer yüzündeki etkileri tektonik depremlere nazaran daha sınırlıdır. Depremlere neden olan yer kabuğunun hareketi şematik olarak Şekil (1.1)’de görülmektedir.



Şekil 1.1 : Yer kabuğunun hareketi [1]

1.2.2 Deprem parametreleri

Odak Noktası (Hiposantr): Odak noktası, deprem hareketinin yer kabuğunun içinde ortaya çıktığı noktadır.

Odak Derinliği: Odak noktasının yeryüzüne olan en kısa uzaklığına odak derinliği denilmektedir. Depremler odak derinliğine göre sığ deprem, orta derinlikte deprem ve derin depremler olmak üzere üçe ayrılırlar.

Merkez Üssü(Episantr): Odak noktasına en yakın olan yertzündeki bölgedir. Depremin en çok hasar verdiği bölge olup, deprem dalgaları en şiddetli olarak bu bölgede hissedilir.

Büyüklik (Magnitüd): Depremin büyüklüğü; deprem sırasında ortaya çıkan enerjinin bir ölçüsü olarak ifade edilir ve aletsel olarak Richter Ölçeği ile ölçülür.

Şiddet: Şiddet; depremin insanlar ve çevre üzerindeki etkisinin bir ölçüsüdür ve depremin merkezine olan uzaklık gibi çeşitli nedenlerle bölgeden bölgeye değişiklik gösterir. Depremin şiddeti Mercalli Şiddet Cetveli' ne göre değerlendirilir.

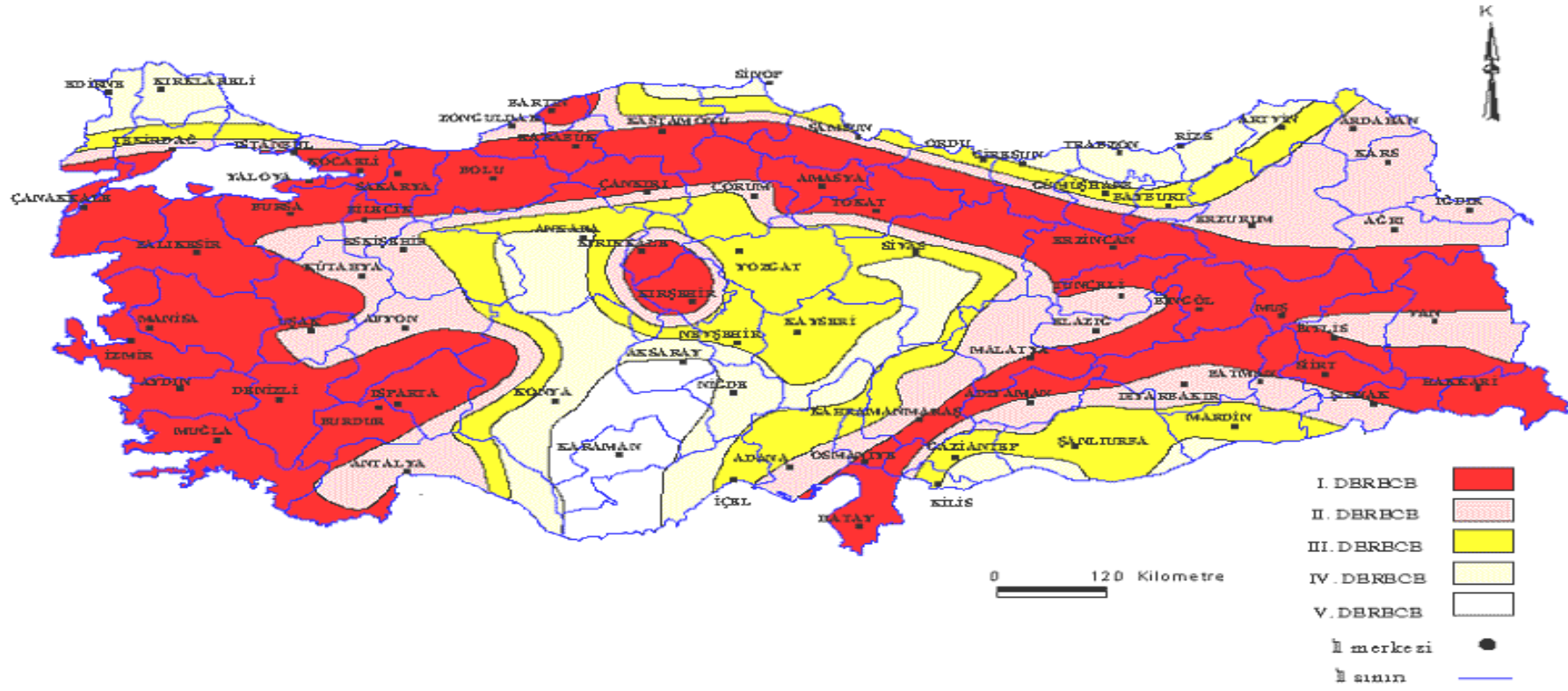
1.3 Ülkemizin Depremselliği

Türkiye sismik aktivite bakımından dünyanın en aktif bölgelerinin birisinde bulunmaktadır. Geçmişte bu coğrafyada çok büyük depremler olduğu gibi gelecekte de büyük depremlerin olacağı açıktır. Deprem hareketinin günümüz teknolojisi ile önceden tahmin edilmesi mümkün olmadığından ülkemizde depreme karşı önceden tedbir alarak yapıları depreme dayanıklı yapmak büyük önem arz etmektedir. Ancak yapıların depremde gösterdiği performanslara ve mevcut yapı stoğuna bakarak bu konuda çok iyi bir durumda olmadığımız aşikardır. Bu olumsuz durumun nedenleri arasında kullanılan malzemenin yetersiz olması, işçilik düzeyinin iyi olmaması,

yapım ve projelendirme aşamasında yapılan hatalar ve ihmaller sayılabilir. Buna mukabil ülkemizde deprem mühendisliği ve zayıf yapı stoğunun güçlendirilmesi alanında ciddi çalışmalar yapılmaktadır. Yurdumuzun deprem haritası Şekil (1.2)' de, yakın zamanda meydana gelen önemli depremler ise Çizelge (1.1)' de verilmiştir.

Çizelge 1.1 : 1971-2004 yılları arasında ülkemizde meydana gelen bazı önemli depremler [2]

Tarih	Yer	Şiddet	Magnitüd Ms	Can Kaybı	Hasarlı Bina
12.05.1971	BURDUR	VIII	5.9	57	3227
22.05.1971	BİNGÖL	VIII	6.8	878	9111
06.09.1975	Lice (DİYARBAKIR)	VIII	6.6	2385	8149
24.11.1976	Muradiye (VAN)	IX	7.5	3840	9232
05.07.1983	Biga (ÇANAKKALE)	VIII	6.1	3	85
30.10.1983	ERZURUM – KARS	VIII	6.9	1155	3241
18.09.1984	Balkaya (ERZURUM)	VIII	6.4	3	570
05.05.1986	Doğanşehir(MALATYA)	VIII	5.9	7	824
06.06.1986	Doğanşehir(MALATYA)	VIII	5.6	1	1174
07.12.1988	Kars – ERMENİSTAN	X	6.9	4	546
13.03.1992	ERZİNCAN	VIII	6.8	653	8057
15.03.1992	Pülümür (TUNCELİ)	VII	5.8	-	439
06.11.1992	Doğanbey (İZMİR)	VII	6	-	55
28.01.1994	MANİSA	VI	5.1	-	44
01.10.1995	Dinar (AFYON)	VIII	6.1	90	14156
05.12.1995	Kığı (TUNCELİ)	VI+	5.7	1	-
14.08.1996	Mecitözü (AMASYA)	VI+	5.6	1	2606
22.01.1997	ANTAKYA	VI+	5.4	1	1841
13.04.1998	Karlıova (BİNGÖL)	VI	5	-	148
27.06.1998	Ceyhan (ADANA)	VIII	6.2	146	31463
17.08.1999	Gölcük (KOCAELİ)	X	7.8	17480	73342
12.11.1999	DÜZCE	IX	7.5	763	35519
06.06.2000	Orta (ÇANKIRI)	VII	6.1	1	1766
15.12.2000	Sultandağı (AFYON)	VII	5.8	6	547
25.06.2001	OSMANİYE	VII	5.5	-	66
03.02.2002	Çay - Sultandağı (AFYON)	VII	6.4	44	622
27.01.2003	Pülümür (TUNCELİ)	VII	6.2	1	50
01.05.2003	BİNGÖL	VIII	6.4	176	6000
25.03.2004	Kandilli-Aşkale(ERZURUM)	VII	5.6	9	1280
02.07.2004	Doğubayazıt (AĞRI)	VII	5.1	17	1000



Şekil 1.2 : Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası [3]

1.4 Düşeyde Düzensiz Yapılar İle İlgili Yapılmış Çalışmalar

Öztunç (1996), taşıyıcı sistemde kolonların konsol kirişlere oturduğu bir binayı statik ve dinamik etkiler altında incelemiş, bazı kritik elemanlar için betonarme hesaplarını yapmıştır. Çalışma sonucunda; i) kolonları aynı düşey doğrultuda devam etmeyen sistemlerde deprem kuvvetinin karşılanması açısından kritik olan çerçeve sistem davranışının oluşmadığı, ii) kolonları düşeyde devam etmeyen sistemlerin depreme karşı dayanıklı olarak inşa edilebileceği ancak bunun düzenli bir yapıya nazaran ekonomik olamayabileceği, iii) rijit olmayan zeminlerin serbest titreşim periyodunda atarmaya neden olabileceği sebebiyle düzensiz binaların rijit zeminler üzerine inşasının daha uygun olacağı sonuçlarına varılmıştır [4].

Yaver (1997), birinci kat dış aks kolonlarının zemin kat kolonlarıyla akslarının çakışmadığı, birinci kat ve üzerindeki katların dış aks kolonları aynı düşey doğrultuda olan ve zemin kat kolonlarına güseler yardımıyla mesnetlendiği, üst kat kolonlarının zemin kat kolonlarından daha dışarıda olduğu düşeyde düzensiz bir binayı incelemiştir. Konsol boyunun 1.25m ve 1.50m olduğu iki durum için değişen zemin koşullarında statik ve dinamik analizler yapılmıştır. Binalara deprem hareketi olarak 1992 Erzincan ve 1995 Dinar depremlerinin kayıtları etkiltilmiştir. Çalışma sonucunda; i) taşıyıcı sistem elemanlarının düşeyde süreksizlik göstermesi durumunda deprem kuvvetlerinin karşılanması için gerekli olan çerçeve davranışının gerçekleşmediği, dolayısıyla bu tür uygulamalardan olabildiğince kaçınılması gerektiği, ii) bilgisayar programlarıyla yapılan analizlerde sistemin tüm detayları ile algılanamadığı, iii) kısa konsola birleşen iç kirişlerin boyutlarının konsol kirişlerle eşit olarak alınması veya guse yapılması aksi taktirde bu bölgelerde süreksizlik ve rijitlik farklarından gerçek kesit tesirlerinin hesap edilenden daha büyük olacağı, iv) temellerin elastik zeminlere oturduğunun kabulü ile yatak katsayındaki değişikliklere göre kısa konsollarda oluşan iç kuvvet değerlerinin değişiklik gösterdiği, yapı titreşim periyotunun arttığı ve taban kesme kuvvetinin azaldığı, v) bu tip yapıların yapılmadan önce uygulamada karşılaşılabilecek problemlerin ve ekonomik analizlerinin iyi bir şekilde yapılması gerektiği vurgulanmıştır [5].

Güney (1997), zemin kat kolonlarının üst kat kolonlarından daha içeride olduğu ve üst kat kolonlarının konsol kirişlere oturduğu bir yapının dinamik analizlerini yaptıktan sonra; i) kolonlarının aynı düşey ekseninde bulunmadığı sistemlerde iki doğrultuda alışılmalı ve deprem hareketlerinin karşılanması için önem arzeden çerçeve davranışının oluşmadığı, bu tip sistemlerin tasarım ve uygulanmasından kaçınılması gerektiği, ii) bu tür sistemlerde analizde kullanılan bilgisayar programlarının sistemin tüm detaylarını göz önüne alamadığı, bu tip sistemler için yönetmelikte belirtilen kolonların oturduğu kirişlerin ve bu kirişin birleştiği düğüm noktalarına birleşen diğer kolon ve kirişlerin bütün kesitlerinde düşey yükler ve depremin ortak etkisinden oluşan iç kuvvet değerlerinin %50 arttırılması şartının yerinde olduğu, iii) bu tip uygulamalarda çözüm önerisi olarak en iyi sonucu veren “Konsol Ucundan Kolona Diyagonaller İndirilmesi Durumu” nun konsolda yüksek çıkan moment ve kesme kuvveti değerlerini makul düzeylere indirmesi dolayısıyla ideal bir çözüm olarak görüldüğü, iv) konsol kirişlerde donatılandırmanın özenle yapılması, beton kalitesinin yüksek tutulması ve etriye sıklaştırmasının mutlaka yapılması ve uygulamada oluşabilecek işçilik hatalarına karşı azami dikkat gösterilmesi sonuçlarını belirtmiştir [6].

Bayhan (2003), A1-Burulma Düzensizliği, A4-Taşıyıcı Eleman Eksenlerinin Paralel Olmaması, B3-Düşey Taşıyıcı Sistem Elemanlarının Süreksizliği durumlarına sahip 8 katlı bir yapının tasarımını ve deprem yükleri altındaki tasarımını incelemiştir. Çalışmada, B3- Düşey Taşıyıcı Sistem Elemanlarının Süreksizliği durumu açısından yönetmelikte belirtildiği üzere depremin ve düşey yüklerin ortak etkisinden bulunan tüm iç kuvvet değerlerinin % 50 oranında arttırılması şartının yerinde olduğu, buna müteakip kesitlerde arttırılan etkiler altında büyük çapta ve miktarda donatı çıktığı ve enine donatılar ile ilgili koşulların caydırıcı olması bakımından yerinde olduğu sonuçlarına varılmıştır [7].

Kartal (2006), Taşıyıcı sistem elemanlarının düşeyde düzensiz olduğu, üst kat kolonlarının zemin katta konsol kirişlere oturduğu iki tip yapıyı performans yaklaşımıyla incelemiş, statik itme analizi yöntemini kullanarak bu yapıların deprem güvenliklerini araştırmıştır. Yapıların deprem güvenliklerinin zayıf olmasından dolayı bu tip yapılara uygulanabilecek bir güçlendirme çalışması yapmıştır. Elde

edilen bulgularla taşıyıcı sistem ne kadar basit düzenlenmişse depreme dayanıklılığının o derece yüksek olduğu belirtilmiştir [8].

Turhan (2007), 2 bodrum ve 5 normal kata sahip, düşeyde düzensiz 7 katlı bir betonarme binanın deprem yükleri etkisi altındaki davranışını incelemiştir. Binada üst kat kolonları aynı ekseninde olup zemin katta yapılan guseler üzerine oturmaktadır. Çalışma sonucunda: i) kolonların ötelenmesine neden olacak uygulamalardan kaçınılması gerektiği, eğer kaçınılamıyorsa kolon, kiriş ve kısa konsolun birleştiği düğüm noktasının analiz ve tasarımının özenle yapılması gerektiği, ii) bu tip yapılarda yapı modellerinin bilgisayar ortamına tam olarak aktarılamaması nedeniyle statik ve dinamik analiz sonuçlarının dikkatle incelenmesinin, öncelikli olarak eşdeğer statik çözümleme sonuçlarının göz önüne alınması gerektiği, iii) sismik hareketin düşey bileşeninin analizde daha fazla modun katkısını göz önüne alınacağını sağladığı için hesaba dahil edilmesi gerektiği sonuçları vurgulanmıştır [9].

Bakkaloğlu (2007), 1975 yönetmeliğine göre tasarlanmış, burulma düzensizliğine ve düşeyde taşıyıcı eleman süreksizliğine sahip, betonarme perde çerçeve taşıyıcı sistemden oluşan 7 katlı bir yapıyı eşdeğer deprem yükü, mod birleştirme, zaman tanım alanında hesap ve doğrusal olmayan statik itme analizi yöntemleriyle ayrıntılı olarak incelemiş ve sonuç olarak yapının güçlendirilmesi gerektiğini belirtmiştir. Bu çalışmada da üst kat kolonları zemin katta guseler üzerine oturmaktadır. Yapıda, göz önüne alınan deprem doğrultusunda birinci hâkim modun kütle katılımına etkisinin %70'ten az olmasına rağmen artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi (statik itme analizi) uygulanmış olup sonuç olarak statik itme analizinin böyle bir yapıda dinamik yöntemlerle iyi bir yaklaşıklıkta sonuç verdiği belirtilmiştir [10].

Üner (2009), DBYYHY (2007) esaslarına göre tasarlanmış taşıyıcı sistemi düzenli mevcut 5 katlı bir binayı düşeyde düzensiz hale getirmek ve malzeme dayanımını değiştirmek suretiyle 3 tip bina elde etmiştir. Üner, elde ettiği binaların doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan analiz yöntemleriyle analizlerini gerçekleştirip karşılaştırmalı olarak sonuçlarını incelemiştir. İncelemeler neticesinde: i) doğrusal elastik analiz sonuçlarına göre düzenli durumda hemen kullanım olan bina performansının düzensiz halde can güvenliği, malzeme dayanımının düşürülmesi ve sargısız donatı düzeni kabulü ile göçmenin önlenmesine geçtiği, ii) doğrusal elastik olmayan analiz yöntemleri sonuçlarına göre can güvenliği olan performansın

düzensiz hal için değişmediği fakat aynı performans noktası için ilgili doğrultudaki elemanların daha fazla zorlandığı, malzeme dayanımının düşürülüp sargısız donatı düzeni kabul edildiği hal içinse binanın göçme durumunda bulunduğu tespitlerine yer verilmiştir [11].

Mertol vd. (2001), 4,5,6,7, 8 katlı çerçeve ve 3 boyutlu sistemlerde zemin ve çeşitli katlarda kolon kaldırmak suretiyle düzensizlik oluşturmuş ve bu sistemleri lineer olarak analiz etmişlerdir. Kolon kaldırılan sistemlerde, düzenli sistemlere göre kolon ve kiriş momentlerinde artışlar tespit etmişlerdir. Sonuç olarak, çerçeve sistemlerde düşey kesitte kolonda ani rijitlik değişimlerinin yapılmasının çerçeve davranışını değiştireceği, çerçevede bir katta kirişlerin benzer rijitlikte seçilmemesinin yapı davranışını değiştireceği, kolonu kaldırılan katta büyük boyuttaki kirişlerin duktilitesinin nasıl sağlanacağı probleminin çözülmesi gerektiği, özellikle kolon kaldırılan katta kuvvetli kolon-zayıf kiriş prensibinin mutlaka gerçekleştirilmesi gerektiği, B3 türü düzensiz yapıların elastik olmayan analizlerinin yapılması gerektiği, kolonu kaldırılan katta tam bir kapasite tasarımının yapılmasının önemli olduğu, yönetmelikte belirtilen iç kuvvetlerin %50 arttırılması şartının uygun olduğu, B3 türü düzensiz yapılardan tüm önlemler alınmadıkça kaçınılması gerektiği vurgulanmıştır [31].

Kara ve Celep (2012), 2 açıklıklı 8 katlı bir çerçeve orta ekseninde kolon kaldırılması ile düzensiz sistem oluşturmuş ve kolon süreksizliğinin katlara göre değişiminin çerçeve davranışına etkisini lineer ve lineer olmayan analiz yöntemleri ile incelemişlerdir. Sonuç olarak, kolon süreksizliğine sahip bir çerçevenin lineer ve lineer olmayan davranışlarının birbirinden oldukça farklı olduğunu, özellikle kolon sayısının az olduğu sistemlerde kolon kaldırılmasının yumuşak kat düzensizliğine sebep olduğunu, bu düzensizliğe sahip yapıların lineer olmayan davranışının tahminin zor olduğunu belirtmişlerdir [32].

Soni ve Mistry (2006), bazı deprem yönetmelikleri için düşey düzensizlik kriterlerini belirtmiş ve düşeyde düzenlikler ile ilgili yapılan çalışmaları detaylı bir biçimde özetlemiştir. İncelenen çalışmalardan; çoğu çalışmanın yumuşak ve/veya zayıf kat düzensizliği ve üst katların alt katlardan daha içeri ekseninde olduğu geri çekme düzensizliği üzerine yoğunlaştığı, geri çekme düzensizliğine sahip yapılar için birbiriyle zıt tespitlerin yer aldığı fakat yapıda geri çekme düzensizliğinin bulunduğu kısım için ötelenme talebi değerinin arttırılması konusunda görüş birliğinin

bulunduğu, zayıf kat, yumuşak kat ve kütle düzensizliğinin bulunduğu yapılar için yumuşak kat düzensizliğinin zayıf kat düzensizliğine göre yapı davranışına daha olumsuz etkisinin olduğu, en olumsuz durumun ise yumuşak ve zayıf kat düzensizliğinin birlikte bulunduğu durum için ortaya çıktığı, yönetmeliklerde belirtilen ötelenme, dayanım ve rijitlik sınırlarına uygun tasarım yapıldığında deprem kuvvetlerinin eşdeğer deprem yükü yöntemi ile elde edilse bile düşeyde düzensiz yapıların depremde kabul edilebilir davranış sergilediğı sonuçlarına varılmıştır [34].

Güler K. vd. (2007), taşıyıcı sistemi düzensiz betonarme bir binanın deprem performansının incelemesini yapmışlardır. Düzensizlik, zemin kattan itibaren bina çevre kolonlarının kısa konsol uçlarına ötelenmesi ile oluşturulmuştur. Yapının deprem performansının yeterli olmaması nedeni ile güçlendirme önerisi sunmuşlardır. Çalışmada ulaşılan sonuçlar; i) çıkmaların bulunduğu binalarda deprem performansının yeterli olamayabileceğı nedeni ile güçlendirmelerin gerekebileceğı, bu amaçla konsol altlarına kolon veya perdeler eklenmesine izin veren düzenlemelerin imar planlarında yer almasının uygun olabileceğı, ii) kısa konsolların modellenmesinde bilgisayarın algıladığı modeller ile gerçek durum arasında farklılıklar bulunabileceğı, iii) kısa konsollarda eğilme mafsallarının yanında kesme mafsallarının da tanımlanması gerektiğidir [35].

Aranda (1984), geri çekme düzensizliği olan ve düzenli yapılarda süneklik talebi açısından bir karşılaştırma yapmış ve geri çekme düzensizliği olan yapılarda daha yüksek süneklik talebi olduğunu belirlenmiştir [36].

Das ve Nau (2003), yapısal olmayan dolgu duvarların bulunup bulunmamasına göre rijitlik, dayanım ve kütle düzensizliği olan 78 adet 5,10 ve 20 katlı binayı lineer ve lineer olmayan zaman tanım alanında hesap yöntemleri ile incelemişlerdir. Taşıyıcı sistemler eşdeğer deprem yükü yöntemi ile ACI 318-99 (1999) ve UBC (1997)' de tanımlanan güçlü kolon-zayıf kiriş kuralına uygun olarak tasarlanmıştır. Analiz sonucunda düzensiz yapıların çoğunun deprem davranışının iyi olduğunu ve eşdeğer deprem yükü yönteminin bu tip düşeyde düzensiz yapılara uygulanmasındaki kısıtlamaların gereksiz olarak konservatif olduğu sonuçlarına ulaşmışlardır [37].

Chintanapakdee ve Chopra (2004) kuvvetli kolon-zayıf kiriş prensibine göre tasarlanmış 12 katlı 48 adet rijitlik, dayanım ve rijitlik-dayanım düzensizliğe sahip binayı incelemişlerdir. Chintanapakdee ve Chopra çalışma sonucunda; i) kat

ötenmeleri açısından en az etki rijitlik düzensizliğinde, daha sonra dayanım düzensizliğinde ve en fazla etki rijitlik-dayanım düzensizliğinde görölmek üzere üç tip düzensizliğin de benzer etkiye sahip olduğunu, ii) yumuşak veya zayıf kat oluşumunun ilgili kat ve komşu katlarda kat ötenme taleplerini arttırıp diğer katlarda azalttığını, güçlü veya rijit kat oluşumunun ilgili ve komşu katlarda kat ötenme taleplerini azaltıp komşu katlarda arttırdığını, iii) üst katlardaki düzensizliğin kat ötenmelerine etkisinin az olduğunu, iv) tepe deplasmanının düşey düzensizlikten çok az etkilendiğini ve alt katlardaki düzensizliğin bina boyunca oluşacak kat deplasmanlarına etkisinin önemli olduğunu belirtmişlerdir [38].

2. YAPISAL DÜZENSİZLİKLER

Düzensiz yapılar, DBYBHY (2007)' de depreme karşı davranışlarındaki olumsuzluk nedeniyle tasarımından ve yapımından kaçınılması gereken binalar olarak tanımlanmaktadır. Düzensiz yapılar ve düzensiz yapıların tasarımında göz önüne alınacak bazı ek koşullar sadece Türk Deprem Yönetmeliği'nde mevcut olmayıp, çeşitli ülke yönetmeliklerinde de kendine yer bulmaktadır. Düzensiz binalarda kütle, rijitlik veya dayanım açısından homojen dağılımın olduğu çerçeve modeli tam olarak tertip edilemediğinden düzensizliğin oluşturduğu olumsuz durumun yapının deprem davranışını etkilememesi için bazı önlemlerin alınması gerekmektedir. Bu önlemler alınmadığı takdirde kesit, eleman veya kat bazında zayıflıklar oluşabilecek bunlar ise tasarımda öngörülmemeyen bazı yapısal hasarlara neden olabilecektir. Aşağıda DBYBHY (2007)' de yer alan düzensizlik sınıfları ve bunlara karşı alınması gereken önlemler verilmiştir.

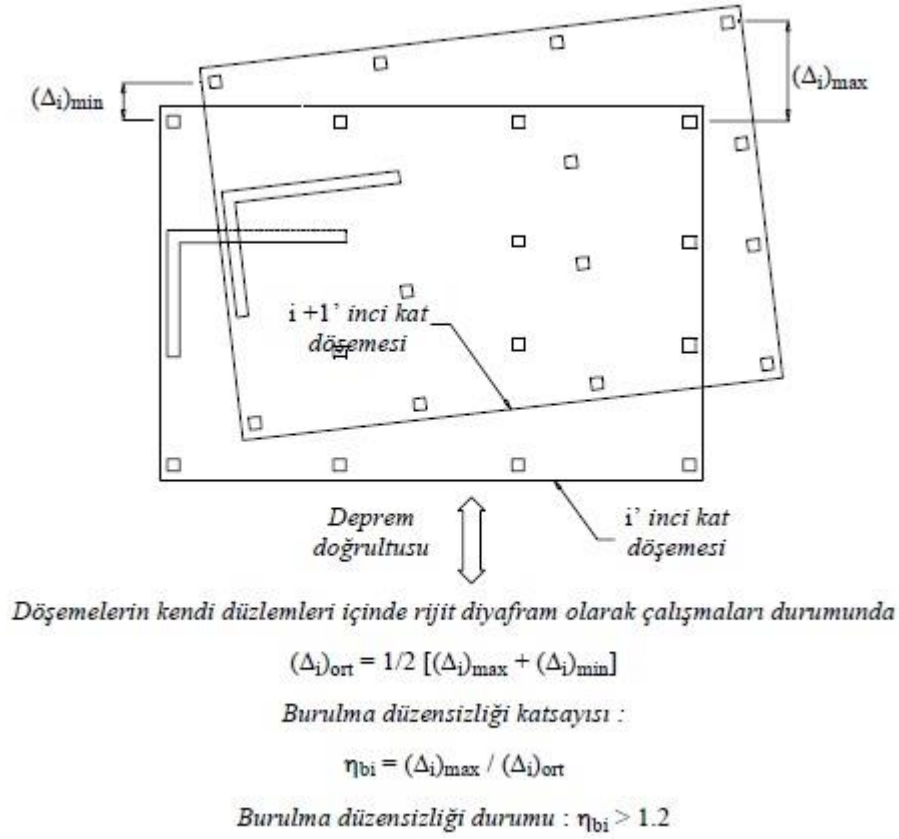
2.1 DBYBHY' deki Düzensizlikler

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (2007)'te yapısal düzensizlikler planda ve düşey doğrultuda olmak üzere iki kısımda incelenmiştir.

2.1.1 Planda düzensizlik durumları

2.1.1.1 A1- Burulma düzensizliği

Türk Deprem Yönetmeliği' de *“birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük görelî kat ötelemesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama görelî ötelemeye oranını ifade eden Burulma Düzensizliği Katsayısı η_{bi} 'nin 1.2 den büyük olması durumu”* burulma düzensizliği olarak tanımlanmaktadır. Bu durumda kat ötelenmelerinin hesabında $\pm$ %5 ek dış merkezlik etkilerinin de göz önüne alınması gerektiği belirtilmektedir [12]. Burulma düzensizliği hesap yöntemini etkileyen bir parametredir.



Şekil 2.1 : Burulma düzensizliği durumu [12]

Burulma düzensizliğinin bulunduğu binalarda $1.2 < \eta_{bi} \leq 2.0$ olması şartı ile ilgili katta uygulanan $\pm 5\%$ ek dış merkezlik Denklem (2.1)' de verilen D_i katsayısı ile çarpılarak büyütülmelidir. Yapı sistemlerinin hesabında burulma düzensizliği katsayısının 2.0' dan büyük olması durumunda Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi kullanılmayıp, Mod Birleştirme veya Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemlerinden biri kullanılacaktır.

$$D_i = \left(\frac{\eta_{bi}}{1.2} \right)^2 \quad (2.1)$$

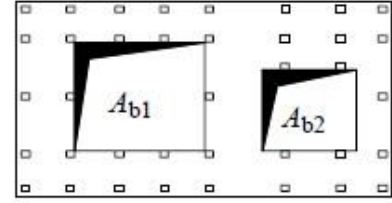
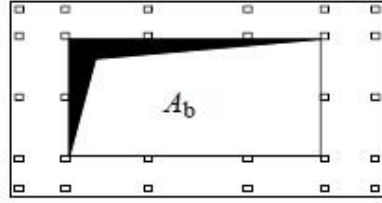
2.1.1.2 A2 - Döşeme süreksizlikleri

Herhangi bir kattaki döşemede;

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

II- Deprem yüklerinin düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarılabilmesini güçleştiren yerel döşeme boşluklarının bulunması durumu,

III- Döşemenin düzlem içi rijitlik ve dayanımında ani azalmalar olması durumlarında, birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde, kat döşemelerinin kendi düzlemleri içinde deprem yüklerini düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarabildiği hesapla gösterilecektir [12].



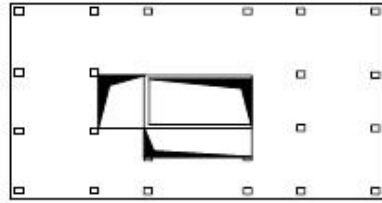
$$A_b = A_{b1} + A_{b2}$$

A2 türü düzensizlik durumu – I

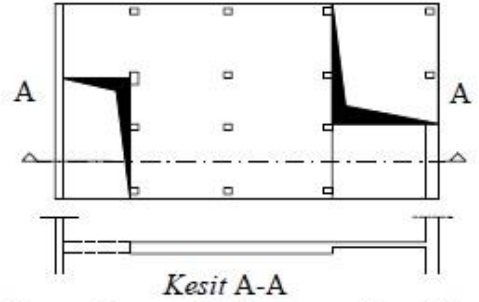
$$A_b / A > 1/3$$

A_b : Boşluk alanları toplamı

A : Brüt kat alanı



A2 türü düzensizlik durumu – II

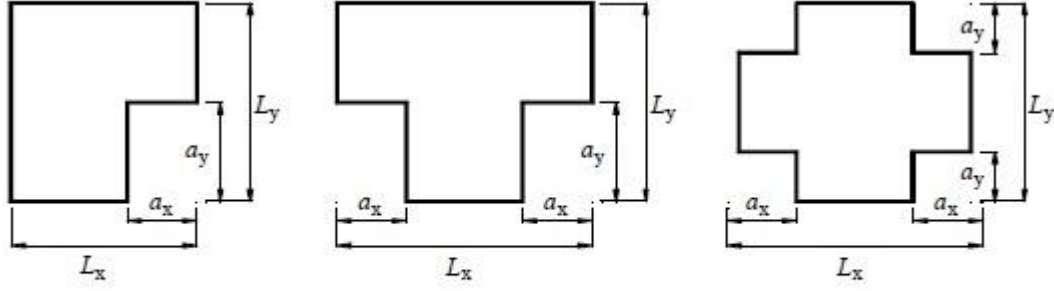


A2 türü düzensizlik durumu – II ve III

Şekil 2.2 : Döşeme süreksizliği [12]

2.1.1.3 A3 – Planda çıkıntılar bulunması

Bina plan düzleminde her iki doğrultu için çıkıntı yapan kısımların boyutunun ilgili doğrultudaki bina boyutunun %20 sinden büyük olması durumunda bu tip düzensizlik ortaya çıkmaktadır. Birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde A3 türü düzensizliğin olduğu binalarda A2 düzensizliğinin olduğu binalar gibi döşemelerin yatay deprem yüklerini düşey taşıyıcı elemanlara güvenle aktardığı hesapla gösterilecektir. Ayrıca çıkıntı kısımlarının büyük olduğu durumlarda dilatasyon uygulaması da yapılabilir. Birtakım ek zorlamaların ortaya çıkmasını engellemek için binalar planda mümkün olduğunca basit ve düzenli olarak seçilmeli, yatay kuvvet aktarımını zorlaştıracak şekiller olan T,L,U,Y gibi geometrik şekle sahip planlardan kaçınılmalıdır. Bu gibi şekillerde geometri değişim bölgelerinde aşırı gerilmeler meydana gelebilmektedir [13].



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

Şekil 2.3 : A3 düzensizliği [12]

2.1.2 Düşey Doğrultuda Düzensizlik Durumları

2.1.2.1 B1 – Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat)

“Betonarme binalarda birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için herhangi bir kattaki etkili kesme alanının, bir üst kattaki etkili kesme alanına oranı olarak tanımlanan η_{ci} nin 0.8 den küçük olması durumu” [12] nda komşu katlar arasında dayanım düzensizliği ortaya çıkmaktadır.

$$\eta_{ci} = \frac{(\sum A_e)_i}{(\sum A_e)_{i+1}} < 0.8 \quad (2.2)$$

$$\sum A_e = \sum A_w + \sum A_g + 0.15 \sum A_k \quad (2.3)$$

Burada;

$\sum A_e$: Göz önüne alınan herhangi bir deprem doğrultusu için etkili kesme alanını,

$\sum A_w$: Herhangi bir katta, kolon enkesiti gövde alanlarının toplamını,

$\sum A_g$: Herhangi bir katta, göz önüne alınan deprem doğrultusuna paralel doğrultuda perde olarak çalışacak düşey taşıyıcı sistem elemanlarının enkesit alanlarının toplamını,

$\sum A_k$: Herhangi bir katta, göz önüne alınan deprem doğrultusunda kargir dolgu duvarlarının net alanını (kapı ve pencere boşlukları hariç) göstermektedir.

Bu tip düzensizliğin olduğu binalarda göz önüne alınan kattaki dolgu duvarlarının alanı bir üst kata göre fazla ise η_{ci} nin hesabında dolgu duvarları göz önüne alınmayacaktır. $0.60 \leq (\eta_{ci})_{\min} \leq 0.80$ aralığında DHYBHY Tablo 2.5’ te verilen taşıyıcı sistem davranış katsayısı $1.25(\eta_{ci})_{\min}$ değeri ile çarpılarak binaya

uygulanacaktır. (η_{ci}) 0.60' tan küçük olmayacak, 0.60'tan küçük olması durumunda ise zayıf katın dayanım ve rijitliği artırılarak tasarım yinelenecektir[12].

Ülkemizde, özellikle zemin katlardaki dolgu duvarların yapılmaması (binaların zemi katlarının ticari amaçlarla kullanılması) sebebiyle zayıf kat düzensizliği sık olarak görülmekte ve bu tip binalar depremlerde hasar görmektedir. Zayıf katların deplasmanlara karşı koyma kapasiteleri diğer katlara göre daha az olduğundan hasar oluşumu bu katlarda yoğunlaşmaktadır. Zayıf kat düzensizliği oluşan binalarda, dolgu duvarları, moment taşımayan eşdeğer basınç veya çekme çubukları ile modellenerek binanın gerçek davranışı hakkında bir fikir edinilebilir. Şekil 2.4' te zayıf kat dolayısıyla hasar görmüş bir bina görülmektedir.



Şekil 2.4 : Zayıf kat düzensizliği sebebiyle hasar görmüş bir bina[14]

2.1.2.2 B2 – Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat)

“Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir i'inci kattaki ortalama görelî kat ötelenmesinin bir üst veya bir alt kattaki ortalama görelî kat ötelenmesi oranı ile tanımlanan rijitlik düzensizliği katsayısı η_{ki} 'nin 2.0' dan büyük olması durumu[12]” nda komşu katlar arası rijitlik düzensizliği ortaya çıkmaktadır.

$$\eta_{ki} = (\Delta_i/h_i)_{ort} / (\Delta_{i+1}/h_{i+1})_{ort} > 2.0 \quad (2.4)$$

veya

$$\eta_{ki} = (\Delta_i/h_i)_{ort} / (\Delta_{i-1}/h_{i-1})_{ort} > 2.0 \quad (2.5)$$

Burada;

Δ_i : i' inci kattaki ortalama görelî kat ötelemesini,

Δ_{i+1} : i+1' inci kattaki ortalama görelî kat ötelemesini,

Δ_{i-1} : i-1' inci kattaki ortalama görelî kat ötelemesini,

h_i : i' inci katın kat yüksekliğini,

h_{i+1} : i+1' inci katın kat yüksekliğini,

h_{i-1} : i-1' inci katın kat yüksekliğini ifade etmektedir.

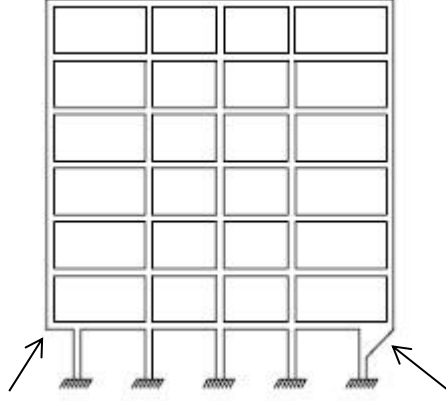
Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği, burulma düzensizliği gibi hesap yönteminin seçimini etkileyen bir parametredir. DBYBHY 2007 birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde burulma düzensizliği katsayısı olan η_{bi} ' nin 2.0 dan küçük olduğu ve ayrıca B2 türü düzensizliğin olmadı binalarda toplam yapı yüksekliğinin 40 m. ye kadar olması koşulu ile eşdeğer deprem yükü yönteminin kullanımına izin vermekte, aksi takdirde mod birleştirme ya da zaman tanım alanında hesap yöntemlerinin kullanılmasını şart koştırmaktadır.

2.1.2.3 B3 – Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği

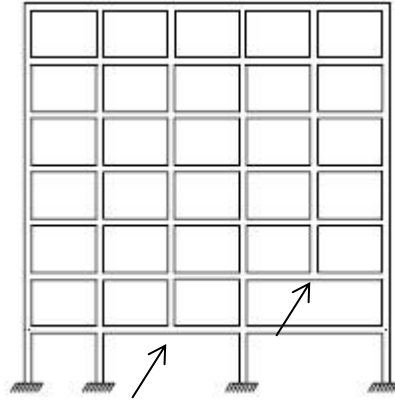
Taşıyıcı sistem düşey elemanlarının süreksizliği DBYYHY 2007' de 4 kısımda incelenmiştir.

a) *“Kolonların herhangi bir katta konsol kirişlere veya alt kattaki kolonlarda oluşturulan guselere oturtulmasına hiçbir zaman izin verilmez[12].”* Bu durum Şekil (2.5)' te görülmektedir.

b) *“Kolonun iki ucundan mesnetli bir kirişe oturması durumunda, kirişin bütün kesitlerinde ve ayrıca göz önüne alınan deprem doğrultusunda bu kirişin bağlandığı düğüm noktalarına birleşen diğer kiriş ve kolonların bütün kesitlerinde düşey yükler ve depremin ortak etkisinden elde edilen tüm üç kuvvetler %50 oranında arttırılacaktır [12]”.* Bu durum Şekil (2.6)' da görülmektedir.

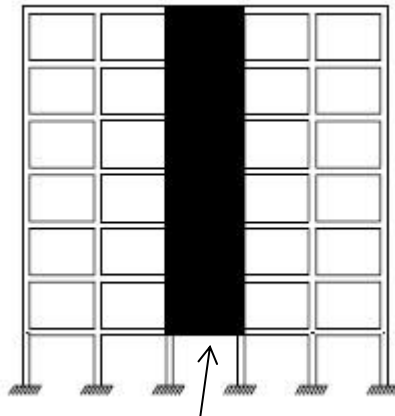


Şekil 2.5 : Kolonların guselere ve konsol kirişlere oturması durumu [12]



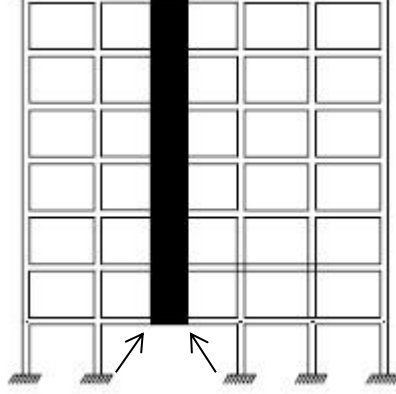
Şekil 2.6 : Kolonların iki ucundan mesnetli kirişe oturması durumu [12]

c) “Üst katlardaki perdenin alt katlarda kolonlara oturtulmasına hiçbir zaman izin verilmez”[12]. Bu durum Şekil (2.7)’ de gösterilmiştir.



Şekil 2.7 : Perdenin kolonlara oturtulması durumu [12]

d) “Perdelerin binanın herhangi bir katında, kendi düzlemleri içinde kirişlerin üstüne açıklık ortasında oturtulmasına hiçbir zaman izin verilmez”[12]. İlgili durum Şekil (2.8)’ de verilmiştir.



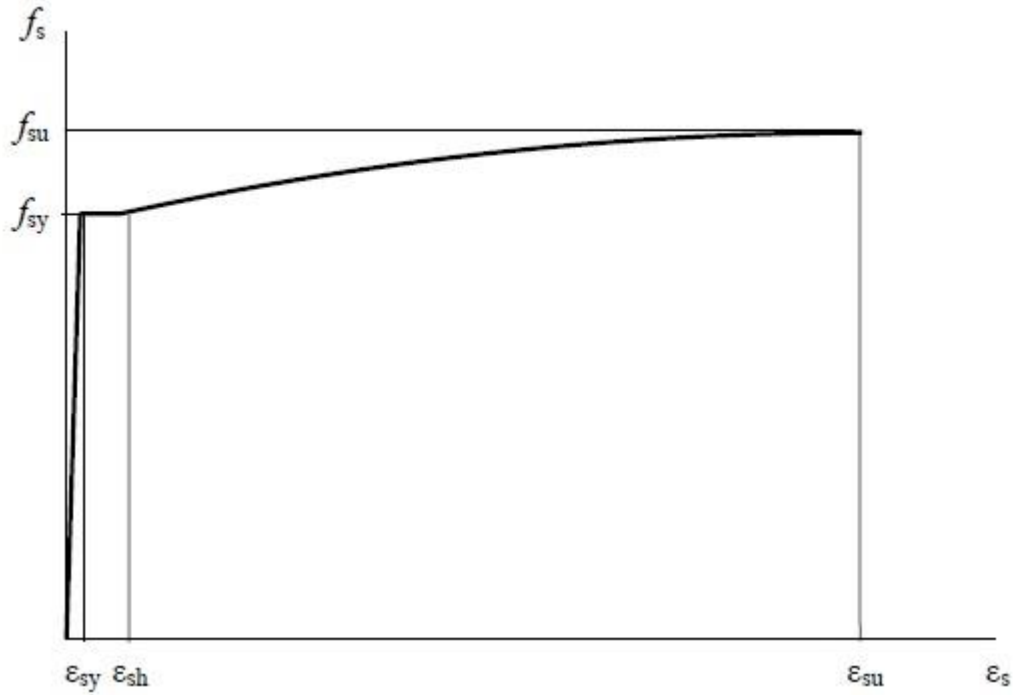
Şekil 2.8 : Perdenin açıklık ortasında kirişe oturması durumu [12]

3. PERFORMANSA DAYALI TASARIM KAVRAMI VE BİNALARIN DEPREM PERFORMANSLARININ DBYBHY 2007' YE, EUROCODE 8' E VE FEMA 356'YA GÖRE DEĞERLENDİRİLMESİ

3.1 Malzeme Matematik Modelleri

3.1.1 Pekleşmeli donatı çeliği modeli

Doğrusal elastik olmayan yöntemler ile performans değerlendirmesinde DBYBHY 2007' de verilmiş olan aşağıdaki donatı çeliği modeli kullanılabilir.



Şekil 3.1 : DBYBHY 2007' de verilen pekleşmeli donatı çeliği modeli [12]

Yukarıdaki modele göre, akmanın başladığı ana kadar donatının doğrusal elastik davranacağı varsayımı ile donatı çeliğinde oluşacak gerilme değerleri (3.1) formülünden, akma sahanlığı boyunca gerilme değerleri (3.2) formülünden, pekleşmenin başlayıp kopmanın gerçekleştiği ana kadar olan gerilmeler ise (3.3) formülünden bulunabilir. Donatı çeliğinin elastisite modülü $E_s = 2.10^5$ MPa olarak alınabilir.

$$f_s = E_s \epsilon_s \quad \epsilon_s \leq \epsilon_{sy} \quad (3.1)$$

$$f_s = f_{sy} \quad \epsilon_{sy} < \epsilon_s \leq \epsilon_{sh} \quad (3.2)$$

$$f_s = f_{su} - (f_{su} - f_{sy}) \frac{(\epsilon_{su} - \epsilon_s)^2}{(\epsilon_{su} - \epsilon_{sh})^2} \quad \epsilon_{sh} < \epsilon_s \leq \epsilon_{su} \quad (3.3)$$

Çizelge 3.1 : S220 ve S420 donatı çelikleri için gerilme ve şekil değiştirme değerleri

Donatı Sınıfı	f_{sy} (MPa)	ϵ_{sy}	ϵ_{sh}	ϵ_{su}	f_{su} (MPa)
S220	220	0.0011	0.011	0.16	275
S420	420	0.0021	0.008	0.10	550

3.1.2 Beton modelleri

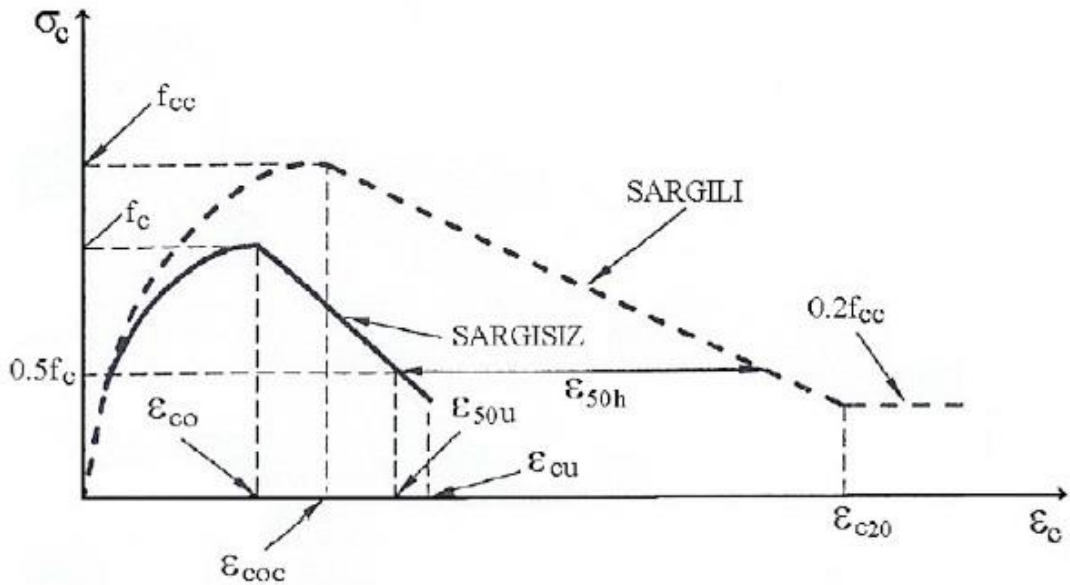
Bir mühendislik probleminde gerilme veya kuvvet cinsinden ifade edilen denge denklemleri ile deformasyon cinsinden ifade edilen uygunluk denklemleri arasındaki ilişki, kullanılan malzemenin gerilme-şekil değiştirme ilişkisinden yararlanılarak kurulur. Denge ve uygunluk denklemlerinin malzeme özelliklerinden bağımsız olması sebebi ile çözümdeki hata malzeme davranışının matematiksel kabulüne bağlı olarak değişir. Malzemelerin deneyler ile elde edilen gerilme-şekil değiştirme eğrileri çözümleri kolaylaştırmak amacıyla idealleştirilir. İdealleştirilen bu eğrilere matematik model adı verilir [16].

Betonarme yapılar, günümüz modern yönetmeliklere göre şiddetli depremlerde büyük elastik ötesi şekil değiştirmeler yapabilecek şekilde boyutlandırılır. Çünkü bu tip yapıları şiddetli depremlerde elastik kalacak şekilde boyutlandırmak ekonomik değildir. Büyük elastik ötesi şekil değiştirmeler sayesinde deprem enerjisinin sönmülenmesi sağlanır. Betonarmede elastik ötesi şekil değiştirmelerin oluşabilmesi, yani kesitin sünek davranabilmesi için kesitte yeterli oranda enine donatı bulunmalıdır. Sargılı betonun davranışını doğru olarak tespit etmek, deprem esnasında yapının davranışını belirlemek konusunda ilk adım olarak göze çarpmaktadır. Enine donatının beton davranışına etkisini doğru bir biçimde ortaya

koyabilmek için pek çok araştırma yapılmış ve bu araştırmalar neticesinde literatüre birtakım sargılı beton modelleri kazandırılmıştır. Aşağıda bu tezde sargılı ve sargısız beton davranışını temsil etmek üzere kullanılan Mander Modeli'nin yanısıra literatürde yer alan bazı beton modelleri hakkında bilgi verilecektir.

3.1.2.1 Geliştirilmiş Kent ve Park modeli

Geliştirilmiş Kent ve Park modeli Roy ve Sözen'in 1964 yılında önerdikleri sargılı beton için gerilme-şekil değiştirme ilişkisinden esinlenilerek geliştirilmiştir. Sargı dolayısıyla betonun dayanım ve şekil değiştirme değerlerinde artış olduğu kabul edilmektedir. Sargılı ve sargısız betonlar için önerilen eğrinin ilk kısımları 2. dereceden parabol olarak kabul edilmekte, dayanımın azaldığı ikinci kısımlar ise lineer olarak göz önüne alınmaktadır. Sargılı betonda maksimum birim kısalma değeri kabul edilirken, sargısız beton için böyle bir kabul söz konusu olmamıştır. Sargılı beton sargı ile çevrelenen çekirdek beton hacmi için söz konusudur ve çekirdek dışında kalan beton sargısız olarak dikkate alınır. Bu modelde sargılı beton hacmi için sargı içinde kalan alan dikkate alınmaktadır [16]. Geliştirilmiş Kent ve Park modeli için beton σ - ϵ grafiği Şekil (3.2)'de verilmektedir.



Şekil 3.2 : Geliştirilmiş Kent ve Park modeli σ - ϵ grafiği [16]

Bu modelde ilk eğri olan parabolik kısım sargılı beton için Denklem (3.4) ile, sargılı beton için ise Denklem (3.5) ile tanımlanmıştır. ϵ_{co} normal dayanımlı betonlarda yaklaşık olarak 0.002 alınabilir.

$$\sigma_c = f_c \left[\frac{2\varepsilon_c}{\varepsilon_{co}} - \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{co}} \right)^2 \right] \quad (3.4)$$

$$\sigma_c = f_{cc} \left[\frac{2\varepsilon_c}{\varepsilon_{coc}} - \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{coc}} \right)^2 \right] \quad (3.5)$$

ε_{coc} değeri ε_{co} değerinin bir “K” katsayısı ile arttırılması ile elde edilir.

$$\varepsilon_{coc} = K\varepsilon_{co} \quad (3.6)$$

“K” katsayısı enine donatıya bağlı olarak (3.7) formülü ile hesaplanır.

$$K = 1 + \frac{\rho_s f_{ywk}}{f_c} \quad (3.7)$$

Beton dayanımının düştüğü doğrusal kısımlarda, sargısız betonlar için Denklem (3.8), Denklem (3.9) ve Denklem (3.10) ile verilen formüller, sargılı betonlar için ise Denklem (3.11), Denklem (3.12) ve Denklem (3.13) ile verilen formüller önerilmektedir.

$$\sigma_c = f_c \left[1 - Z_u (\varepsilon_c - \varepsilon_{co}) \right] \quad (3.8)$$

$$Z_u = \frac{0.5}{\varepsilon_{50u} - \varepsilon_{co}} \quad (3.9)$$

$$\varepsilon_{50u} = \frac{3 + 0.285 f_c}{142 f_c - 1000} \geq \varepsilon_{co} \quad (3.10)$$

$$\sigma_c = f_{cc} \left[1 - Z_c (\varepsilon_c - \varepsilon_{coc}) \right] \geq 0.2 f_{cc} \quad (3.11)$$

$$Z_c = \frac{0.5}{\varepsilon_{50u} + \varepsilon_{50h} - \varepsilon_{coc}} \quad (3.12)$$

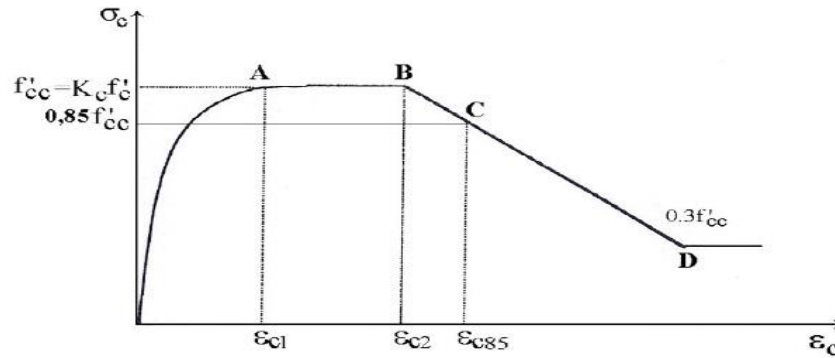
$$\varepsilon_{50h} = 0.75 \rho_s \left(\frac{b_k}{s} \right)^{1/2} \quad (3.13)$$

Formüllerde geçen terimler ve birimleri aşağıda özetlenmiştir.

- f_c : Sargısız beton basınç dayanımı (MPa),
- f_{cc} : Sargılı beton basınç dayanımı (MPa),
- ϵ_{coc} : Sargılı betonda maksimum gerilme altındaki birim kısalma,
- ϵ_{co} : Sargısız betonda maksimum gerilme altında birim kısalma (Genellikle 0.002 alınabilir),
- Z_u, Z_c : Sargısız ve sargılı beton için gerilme-şekil değiştirme eğrilerinin doğrusal kısmının eğimi ile ilgili parametreler,
- b_k : Sargı içinde kalan çekirdek beton alanının küçük boyutu (mm),
- f_{ywk} : Sargı donatısının akma dayanımı (MPa),
- s : Sargı donatısı aralığı (mm) dir.

3.1.2.2 Sheikh ve Uzumeri modeli

Sheikh ve Uzumeri tarafından önerilen bu modelde, kare kesitli 305x305x1960 mm boyutlarındaki sargı donatılı dikdörtgen kolon numuneler aksel basınç altında denenmiştir [17]. Bu modelde sargılı kesitlerde sargı etkisiyle dayanım ve şekil değiştirme değerlerinde artış olacağı varsayılmaktadır. Modelde tepe noktasına ulaşıldıktan sonra gerilmenin sabit kaldığı ve şekil değiştirmelerin arttığı, iniş kısmının ise doğrusal olduğu kabul edilmiştir. Ayrıca sargı donatısının konumu ve düzeni de modelde göz önüne alınmaktadır [16]. Sheikh (1982), o güne kadar önerilmiş beton modelleri üzerinde yaptığı çalışmalarla enine donatı konfigürasyonunu göz önüne alan Sheikh ve Uzumeri modelinin deneysel sonuçlara daha yakın sonuçlar verdiğini belirlemiştir [18].



Şekil 3.3 : Sheikh ve Uzumeri modeli σ - ϵ grafiği [19]

Sheikh ve Uzumeri tarafından önerilen denklemler aşağıda yer almaktadır.

$$\varepsilon_{c1}=80K_0f_c \times 10^{-6} \quad (3.14)$$

$$f_{cc}=0.85f_c K_0 \quad (3.15)$$

$$\varepsilon_{c2}=\varepsilon_{c0} \left[1 + \frac{248}{a} \left(1 - 5 \left(\frac{s}{b_k} \right)^2 \right) \frac{\rho_s f_{ywk}}{\sqrt{f_c}} \right] \quad (3.16)$$

$$\varepsilon_{c85}=0.225\rho_s \sqrt{\frac{b_k}{s}} + \varepsilon_{c2} \quad (3.17)$$

$$K_0=1+\frac{b_k^2}{140N_{oc}} \left[\left(1 - \frac{na^2}{5.5b_k^2} \right) \left(1 - \frac{s}{2b_k} \right)^2 \right] \sqrt{\rho_s f_{ywk}} \quad (3.18)$$

$$N_{oc}=0.85f_c (A_{ck}-A_{st})$$

(3.19)

Bu denklemlerde;

a : İki komşu boyuna donatı merkezleri arasındaki uzaklığı (mm),

A_{ck} : Çekirdek betonu alanını (mm²),

A_{st} :Toplam boyuna donatı alanını (mm²),

b_k : Çekirdek betonunun küçük boyutunu (mm),

n : Boyuna donatı sayısını,

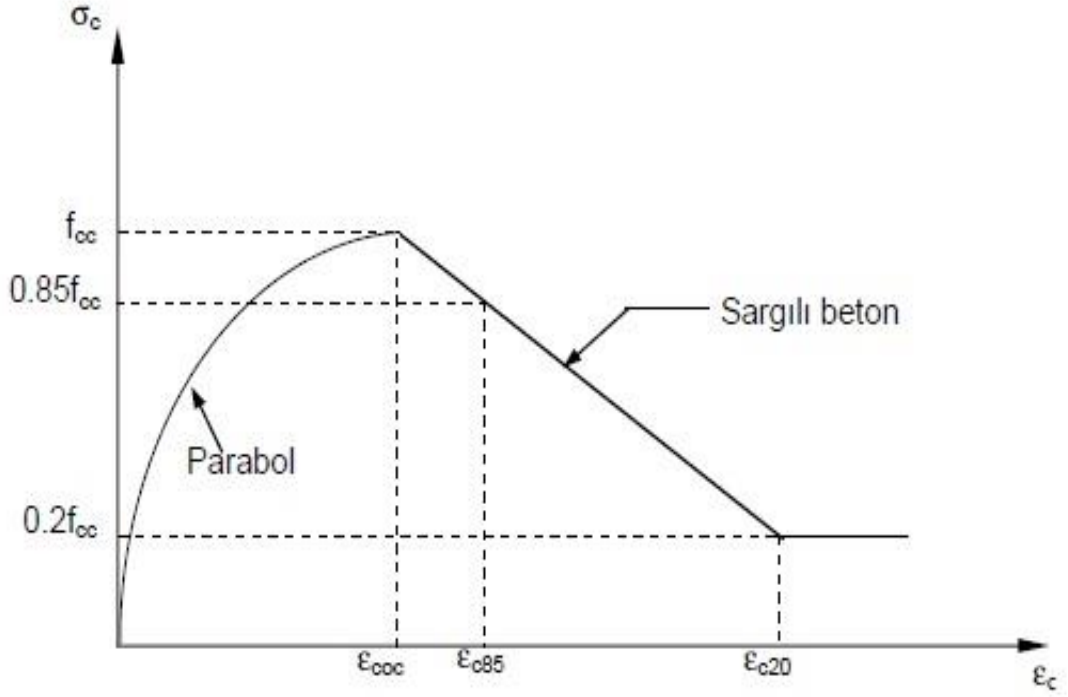
ρ_s : Sargı donatısının hacimsel oranını,

f_{ywk} : Sargı donatısı akma dayanımını (MPa),

f_c : Beton basınç dayanımını (MPa) göstermektedir.

3.1.2.3 Saatcioglu ve Razvi modeli

Saatcioglu ve Razvi (1992), dairesel ve dikdörtgen kesitli elemanlar için bir model önermişlerdir[19][21]. Saatcioglu ve Razvi modelinde sargı donatısı ve düzeninin yanında kesit geometrisi de dikkate alınmaktadır. Modelde, başlangıçtan maksimum dayanıma kadar olan kısım yükselen bir parabol şeklinde, maksimum dayanımdan maksimum dayanımın %20' sine kadar olan kısım doğrusal düşen bir kol şeklinde, dayanımın %20'sinden sonraki kısım ise yatay bir doğru şeklinde varsayılmaktadır.



Şekil 3.4 : Saatcioglu ve Razvi modeli σ - ϵ grafiği [20]

Saatçioğlu ve Razvi tarafından sargılı beton için önerilen denklemler;

$$f_{cc} = k_3 f_c + k_1 \sigma_2 \quad (3.20)$$

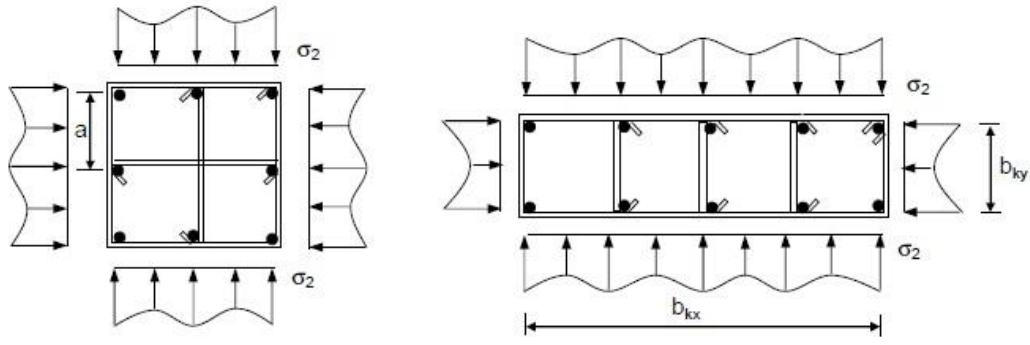
olup, burada sargılı beton basınç dayanımını hesaplamak için yanıl basınç σ_2 nin etkisi dikkate alınmaktadır. k_3 katsayısı standart silindir numuneler ile gerçık boyutlu betonarme numuneler arasındaki dayanım farkını yansıtmak üzere alınır ve 0.85 ile 1 arasında değışir. k_1 katsayısı için ise aşğıdaki formül verilmektedir:

$$k_1 = \frac{6.7}{\sigma_2^{0.17}} \quad (3.21)$$

Burada σ_2 [MPa] cinsinden yazılmalıdır.

$$\sigma_2 = \frac{2A_0}{Ds} f_{ywk} \quad (3.22)$$

Kesitte dikdörtgen sargı olduğı zaman sargı etkisi en fazla köşelerde belirginken, orta bölgelere gittikçe bu etki azalmaktadır. Yani dikdörtgen sargı söz konusu olduğunda betona uygulanan basınç düzgün olarak yayılmamaktadır [16]. Bu durum Şekil (3.5)' te görölmektedir.



Şekil 3.5 : Etriye tarafından betona uygulanan sargı basıncının değişimi [20]

Sargı basıncının değişimini dikkate alabilmek için Saatcioglu ve Razvi tarafından σ_2 yerine σ_{2e} kullanılması önerilmektedir.

$$f_{cc} = k_3 f_c + k_1 \sigma_{2e} \quad (3.23)$$

$$k_1 = \frac{6.7}{(\sigma_{2e})^{0.17}} \quad (3.24)$$

Kare kesitler için;

$$\sigma_{2e} = \beta \sigma_2 \quad (3.25)$$

$$\sigma_2 = \frac{\sum A_0 f_{yw} \sin \alpha}{s b_k} \quad (3.26)$$

$$\beta = 0.26 \sqrt{\left(\frac{b_k}{a}\right) \left(\frac{b_k}{s}\right) \left(\frac{1}{\sigma_2}\right)} \leq 1.0 \quad (3.27)$$

Dikdörtgen kesitler için;

$$\sigma_{2e} = \frac{(\sigma_{2ex} b_{kx} + \sigma_{2ey} b_{ky})}{(b_{kx} + b_{ky})} \quad (3.28)$$

$$\sigma_{2x} = \frac{\sum A_{0x} f_{yw} \sin \alpha}{s b_{kx}} \quad (3.29)$$

$$\sigma_{2y} = \frac{\sum A_{0x} f_{ywk} \sin \alpha}{sb_{ky}} \quad (3.30)$$

$$\beta_x = 0.26 \sqrt{\left(\frac{b_{kx}}{a_x}\right) \left(\frac{b_{kx}}{s}\right) \left(\frac{1}{\sigma_{2x}}\right)} \leq 1.0 \quad (3.31)$$

$$\beta_y = 0.26 \sqrt{\left(\frac{b_{ky}}{a_y}\right) \left(\frac{b_{ky}}{s}\right) \left(\frac{1}{\sigma_{2y}}\right)} \leq 1.0 \quad (3.32)$$

$$\sigma_{2ex} = \beta_x \sigma_{2x} \quad (3.33)$$

$$\sigma_{2ey} = \beta_y \sigma_{2y}$$

(3.34)

Sargılı betonda maksimum gerilmeye karşı gelen birim kısalma değerin hesabı için (3.35) ve (3.36) formülleri önerilmektedir:

$$\varepsilon_{coc} = \varepsilon_{co} [1 + 5\lambda] \quad (3.35)$$

$$\lambda = \frac{k_1 \sigma_{2e}}{k_3 f_c} \quad (3.36)$$

Denklem (3.35)'te ε_{co} 0.002 olarak alınabilir. Gerilme-şekil değiştirme eğrisinin lineer olarak azalan ikinci kısmı ise aşağıdaki denklemler kullanılmaktadır:

$$\varepsilon_{c85} = 260 \rho \varepsilon_{coc} + \varepsilon_{u85} \quad (3.37)$$

$$\rho = \frac{\sum A_{0xy} \sin \alpha}{s(b_{kx} + b_{ky})} \quad (3.38)$$

$$\sigma_c = f_{cc} \left[\left(\frac{2\varepsilon_c}{\varepsilon_{coc}} \right) - \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{coc}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{1+2\lambda}} \leq f_{cc} \quad (3.39)$$

Yukarıdaki denklemlerde;

ΣA_{0x} : x doğrultusunda kesitte yer alan sargı donatısının toplam kesit alanını (mm^2),

ΣA_{0y} : y doğrultusunda kesitte yer alan sargı donatısının toplam kesit alanını (mm^2),

a_x , a_y : Boyuna donatılar arasındaki uzaklığı (Boyuna donatının etriyelere mesnetlik yapması gerekmektedir) (mm),

b_k : Çekirdek alanı boyutunu (mm),

b_{kx} , b_{ky} : Dikdörtgen kesitte sırası ile x ve y yönlerindeki çekirdek alanı boyutlarını

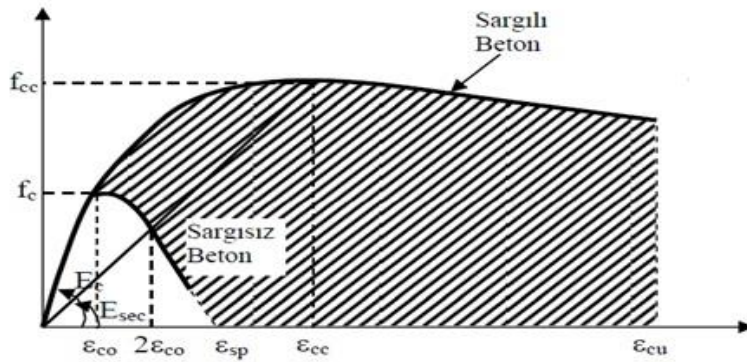
f_{ywk} : Sargı donatısı akma dayanımını (MPa),

s : Sargı donatısı aralığını (mm),

α : Sargı donatısının çekirdek betonu ile yaptığı açığı göstermektedir.

3.1.2.4 Mander modeli

Mander vd. 1988 yılında 40 adet kolon deneyi yaparak dikdörtgen ve daire kesitli kolonlara uygulabilen bir model önermişlerdir [21]. Modelin esası sargılı beton alanının hesaplanmasına dayanmaktadır. Mander modeline ait gerilme-şekil değiştirme eğrileri Şekil (3.6)'da görülmektedir.



Şekil 3.6 : Mander modeli σ - ϵ grafiği [20]

Mander vd. 'nin önerdiği denklemler aşağıda verilmiştir:

$$\sigma_c = \frac{f_{cc} \cdot X^r}{r-1+X^r} \quad \epsilon_c \leq \epsilon_{cu}$$

(3.40)

$$\sigma_c = 0 \quad \epsilon_c > \epsilon_{cu} \quad (3.41)$$

$$f_{cc} = f_c \left[2.254 \sqrt{1 + \frac{7.94 f_1}{f_c}} - 2 \frac{f_1}{f_c} - 1.254 \right] \quad (3.42)$$

$$x = \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{cc}} \quad (3.43)$$

$$\epsilon_{cc} = \epsilon_{co} \left(1 + \frac{5f_{cc}}{f_c} \right) \quad (3.44)$$

$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}} \quad (3.45)$$

$$E_{sec} = \frac{f_{cc}}{\epsilon_c} \quad (3.46)$$

$$E_c = 5000 \sqrt{f_c} \quad (3.47)$$

$$f_1 = \frac{f_{1x} + f_{1y}}{2} \quad (3.48)$$

$$f_{1x} = k_o \frac{A_{shx} f_{sy}}{sb} \quad (3.49)$$

$$f_{1y} = k_o \frac{A_{shy} f_{sy}}{sh} \quad (3.50)$$

$$k_o = \frac{\left(1 - \sum_{i=1}^n \frac{w_i^2}{6bh} \right) \left(1 - \frac{s'}{2b} \right) \left(1 - \frac{s'}{2h} \right)}{1 - \rho_{cc}} \quad (3.51)$$

$$\epsilon_{cu} = 0.004 + 1.4 \frac{\rho_s f_{sy} \epsilon_{su}}{f_{cc}} \quad (3.52)$$

Mander vd. tarafından önerilen denklemlerdeki terimler;

f_i : Ortalama yanıl sargı basıncı,

f_{ix} : X doğrultusunda oluşın sargı basıncı,

f_{iy} : Y doğrultusunda oluşın sargı basıncı,

k_e : Sargılamanın etkinliğı katsayısı,

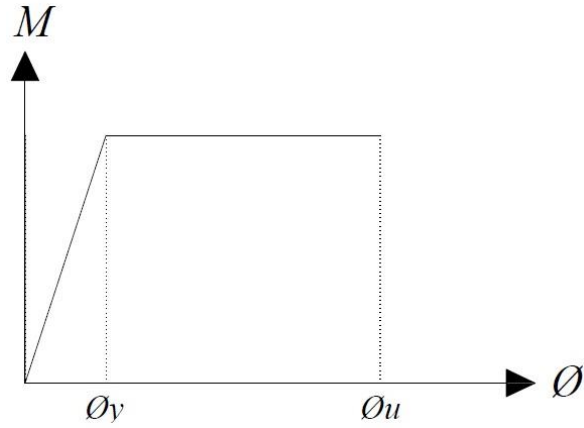
A_{shx} : X doğrultusunda toplam enine donatı kesit alanı,

A_{shy} : Y doğrultusunda toplam enine donatı kesit alanı,
b: Enine donatı merkezlerinden ölçülen çekirdek betonu X'e paralel boyutu,
h: Enine donatı merkezlerinden ölçülen çekirdek betonu Y'ye paralel boyutu,
s: Enine donatı merkezinden merkezine ölçülen etriye aralığı,
s': Enine donatı net aralığı,
n: Boyuna donatı sayısı,
 w_i : Boyuna donatılar arası i'nci net açıklık,
 ρ_{cc} : Boyuna donatı kesit alınının beton çekirdek alanına oranı,
 ϵ_{cu} : Beton nihai basınç birim şekil değiştirme değeri,
 ϵ_{cc} : Maksimum gerilmeye karşılık gelen birim şekil değiştirme değeri,
 ϵ_{su} : Enine donatı nihai çekme birim şekil değiştirme şeklindedir.

3.2 Süneklik Kavramı

Bir kesit, elaman veya sistemin taşıma kapastinde önemli bir azalma olmadan elastik ötesi şekil değiştirme ve enerji yutabilme kapasitesi olarak tanımlanabilecek olan süneklik kavramı, depreme dayanıklı yapı tasarımının en önemli konularından birisini oluşturmaktadır. Yapının ekonomik ömrü boyunca karşılaşma olasılığı düşük olan şiddetli deprem etkisinde, deprem enerjisinin süneklik sayesinde büyük genlikli titreşimlerle sönmülenmesi hedeflenir. Ancak süneklik demek yapının hasar görmesi demek olduğundan hasar oluşumun kontrollü bir şekilde meydana gelmesi gereklidir. Süneklik kavramı sayısal olarak Şekil (3.7)' de görüldüğü üzere, kesit bazında, kesitin toplam eğriliğinin akma eğriliğine oranı olarak tanımlanabilir.

Kirişlerde süneklik çekme donatısı oranı arttıkça azalırken sargı donatısı ve basınç donatısı arttıkça artmaktadır. Kolonlarda ise boyuna donatı oranı ve sargı donatısı ile kesit sünekliği doğru orantılı iken eksenel kuvvet düzeyi ile ters orantılıdır. Betonarme yapılarda malzeme sünekliği, kesit sünekliği, eleman sünekliği ve sistem sünekliklerinden söz edilebilir.



Şekil 3.7 : İdealize edilmiş moment-eğrilik eğrisi

$$\mu = \frac{\phi_u}{\phi_y} \quad (3.53)$$

Sünekliğin ortaya çıkabilmesi için bir taşıyıcı sistemin hiperstatik olması gereklidir. İzostatik sistemlerde oluşacak plastikleşmeler sonucu sistem doğrudan güç tükenmesine erişirken, hiperstatik sistemlerde plastikleşme bölgeleri oluştuğça sistemin hiperstatiklik derecesi düşer ve güç tükenmesine erişen kesite komşu olan daha az zorlanan kesitler yardımcı olur. Böylelikle betonarmede gerilme uyumu sağlanmış olur.

3.3 Plastik Mafsal Hipotezi

Betonarme elemanların moment-eğrilik bağıntılarının esas olarak iki kısımdan oluştuğu varsayılabilir. İlk kısımda beton ve çelik doğrusal elastik olarak davrandığı için eğilme momentinin artan değerleri için eğrilik de paralel olarak artmaktadır. Kesitteki eğilme momenti artışına mukabil, beton ve çeliğin bünyesinde oluşan gerilmeler de artar ve artık malzemelerde plastik şekil değiştirmeler başlar. Böylelikle eğrinin doğrusal olmayan ve eğimi gittikçe azalan ikinci kısmı ortaya çıkar. Doğrusal olmayan davranışın hakim olduğu bu bölümde eğilme momentindeki çok küçük artışlar eğrilik değerinde belirgin artışlara neden olur. Çubuk gibi elemanlarda şekil değiştirmeler esasında eleman üzerine yayılı olarak, iki nokta arasında meydana gelir. Şekil değiştirmelerin A ve B noktaları arasında meydana geleceği varsayılarak bu iki noktanın birbirine göre rölatif dönmesi

$$\theta_{BA} = \int_A^B \phi_t dx = \int_A^B (\theta_{elastik} + \theta_{plastik}) dx = \int_A^B \theta_{elastik} dx + \int_A^B \theta_{plastik} dx \quad (3.54)$$

olarak hesaplanabilir. Genellikle plastik eğrilik elastik eğrilığe göre daha büyük olduğundan elastik eğrilik ihmal edilip sadece plastik eğrilik göz önüne alınabilir. A ve B noktaları arasındaki eşdeğer plastik mafsalsal boyu ise plastik eğrilüğün toplam dönmeye oranlanmasıyla

$$L_P = \frac{1}{\theta_{P_{max}}} \int_A^B \theta_{plastik} dx \quad (3.55)$$

bulunabilir. Plastik mafsalsal boyunun Denklem (3.55) ile belirlenmesi plastik mafsalsal kabulü ile ortaya çıkan kolaylığı ortadan kaldırır. Bu durum sebebi ile Deprem Yönetmeliği'nde plastik mafsalsal boyu olarak kesit yüksekliğinin yarısı olarak alınması şeklinde basitleştirici bir yaklaşım benimsenmiştir. Plastik mafsalların oluşup deprem enerjisinin plastik mafsallar vasıtası ile tüketilmesi kesitlerin sünek davranış sergilemesi ile mümkün olmaktadır. Plastik mafsalsal hipotezinin esasları aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

- 1- Bir kesitte eğilme momenti değeri artıp kesit akma momentine eşit olduğunda plastik mafsalsal oluşur ve momentte artış meydana gelmeden kesit serbestçe dönmeye başlar.
- 2- Plastik mafsallar arasında kesit doğrusal elastik olarak davranır.
- 3- Eğilme momenti yanında normal kuvvetin de etkili olduğu elemanlarda kesitin plastik momenti yerine normal kuvvet-moment etkileşiminden bulunacak olan genişletilmiş plastik moment kullanılır [22].

3.4 DBYBHY (2007)'ye Göre Değerlendirme

Yapıların deprem performanslarının değerlendirilmesi kavramı ülkemizde mühendislik hayatına ilk kez 2007 yılında yayımlanan deprem yönetmeliği ile girmiş olup 2007 Deprem Yönetmeliği'nde bu konu Bölüm 7' de bağımsız olarak incelenmektedir. Deprem Yönetmeliği'nde yapı performansının belirlenmesinde şekil değiştirme bazlı değerlendirme yöntemi esas alınmıştır. Kesit hasarından eleman hasarına, eleman hasarından kat hasarına, kat hasarından ise yapı hasarına

geçiş şeklinde hiyerarşik bir yapı izlenebilir. Deprem performansı değerlendirmesi işlemi için;

- Bina projelerinin varsa edinilmesi ve uygulamanın kontrolü, yoksa yerinde yapılacak rölöve ile taşıyıcı sistemin belirlenmesi,
- Yerinde yapılacak incelemeler ile (beton ve donatı sınıfları tespiti) taşıyıcı sistem bilgisi edinilmesi,
- Yapının bilgisayar ortamında modellenmesi ve göz önüne alınacak deprem için gerekli şekil değiştirme taleplerinin belirlenmesi,
- Eleman kapasitelerinin bulunup, deprem talepleri ile karşılaştırılması,
- Eleman hasar bölgelerinin kapasite ve talepler karşılaştırılarak belirlenmesi,
- Eleman hasar sınırlarından hareketle yapı deprem güvenliğinin belirlenmesi işlemleri yapılır.

Deprem Yönetmeliği'ne göre bina deprem performansı değerlendirilmesi işleminde gerekli şartları sağlamak koşulu ile doğrusal yöntemler (eşdeğer deprem yükü yöntemi ve mod birleştirme yöntemi) ve doğrusal olmayan yöntemler (artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi, artımsal mod birleştirme yöntemi, zaman tanım alanında hesap yöntemi) kullanılabilir. Bu bölümde doğrusal olmayan yöntemlerden artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi (statik itme analizi) ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz hakkında kısa bilgi verilecektir.

3.4.1 Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi (Statik İtme Analizi)

Yapıların performans analizlerinde doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemler kullanılabilir. Doğrusal yöntemlerde malzeme davranışı doğrusal kabul edildiği için gerçekte var olan doğrusal olmayan kapasiteden yararlanılamaz ve sistem davranışı gerçekçi olarak belirlenemez. Doğrusal olmayan yöntemler –özellikle zaman tanım alanında hesap yöntemi- ise doğrusal yöntemlere nazaran daha karmaşık olup, hem analiz süresinin uzunluğu hem de sonuçları yorumlama bakımından birtakım zorluklar içerir. Bu noktada statik itme analizi yöntemi pratik olması ve zaman tanım alanında hesap yöntemine göre daha az karmaşık olması sebebiyle uygulamada daha çok kullanılan bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak bu yöntemin yeterli yaklaşımı sağlaması için Deprem Yönetmeliği'nde de belirtildiği üzere birtakım şartların sağlanması gereklidir. Bu şartlar i) toplam kat adedinin 8' i aşmaması, ii)

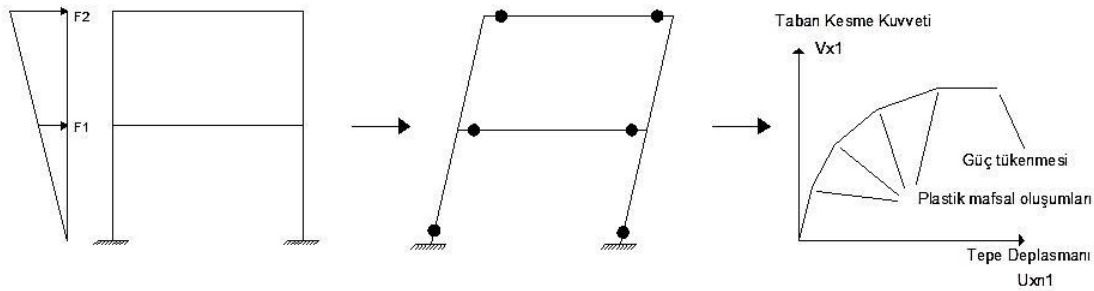
burulma düzensizliği katsayısı η_{bi} 'nin 1.4 ten küçük olması ve iii) binanın birinci titreşim moduna ait kütle katılım oranının 0.70' ten büyük olmasıdır.

Statik İtme Analizi'nde deprem yükü olarak literatürde pek çok yatay yük değişimi mevcuttur. Genellikle az katlı ve düzenli (birinci modun etkinliğinin fazla olduğu) yapılarda deprem yükünün birinci titreşim modu ve kat kütlesi ile orantılı olarak değişeceği kabulü yapılabilir. Yapı tipine ve özelliklerine göre yatay yük dağılımının doğru olarak belirlenmesi sonuçları doğrudan etkilemektedir. Şekil (3.8)'de birinci titreşim modu ve kat kütlesi ile orantılı dağılım görülmektedir.

Statik İtme Analizi'nde şekil değiştirmelerin bir noktada toplandığı plastik mafsallık hipotezi kullanılabilir. Plastik mafsallık hipotezinde yapılan kabule göre; kesitte elastik dönme sınırına ulaşıldığı ve plastik dönmelerin başladığı zaman momentte bir artış meydana gelmez ve kesit serbestçe dönmeye başlar. Plastik mafsallık bölgeleri dışında sistemin doğrusal elastik davrandığı varsayılır. Plastik mafsallık boyu Deprem Yönetmeliği'ne göre kesit yüksekliğinin yarısı olarak kabul edilebilir. Plastik mafsallık hipotezi hakkında daha geniş bilgi Bölüm (3.2.4) Plastik Mafsallık Hipotezi başlığı altında verilmiştir.

$$L_p = 0.5h \quad (3.56)$$

Statik İtme Analizi sonucunda sistemin yatay yükler etkisinde yatay yer değiştirme – taban kesme kuvveti grafiği elde edilir. Sistemin performans noktasının bulunması için bu eğri tek başına bir şey ifade etmemekte olup, eğrinin modal ivme – modal yer değiştirme grafiğine dönüştürülmesi gerekmektedir.



Şekil 3.8 : Birinci titreşim modu ve kat kütlesi ile orantılı dağılımın olduğu sistemde taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirmesi grafiği

Taban kesme kuvveti – tepe yer değiştirmesi grafiği modal ivme – modal yer değiştirme grafiğine dönüştürülürken;

$$a_1 = \frac{V_1}{M_1} \quad (3.57)$$

$$d_1 = \frac{u_{n1}}{\phi_{n1} \Gamma_1} \quad (3.58)$$

eşitliklerinden yararlanılır. Bu eşitliklerde;

a_1 : modal ivme değeri,

d_1 : modal yer değiştirme değeri,

V_1 : taban kesme kuvveti değeri,

u_{n1} : tepe yer değiştirmesi değeri,

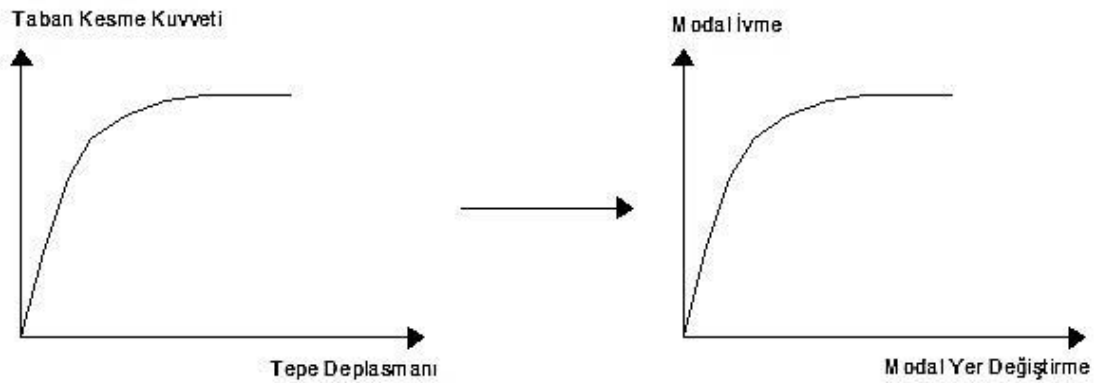
ϕ_{n1} : birinci mod vektör elemanları

olup, ilgili deprem doğrultusu için hakim moda ait etkin kütle değeri olan M_1 ve yine ilgili deprem doğrultusunda hakim moda ait modal katkı çarpanı olan Γ_1 aşağıdaki denklemlerden elde edilir:

$$M_1 = \frac{\left[\sum_{n=1}^N m_n \phi_{n1} \right]^2}{\sum_{n=1}^N m_n \phi_{n1}^2} \quad (3.59)$$

$$\Gamma_1 = \frac{\sum_{n=1}^N m_n \phi_{n1}}{\sum_{n=1}^N m_n \phi_{n1}^2} \quad (3.60)$$

Bu denklemlerde m_n ilgili katın kütle değeridir.



Şekil 3.9 : Statik itme eğrisi – modal kapasite eğrisi

Statik ivme eğrisi modal ivme modal-yer değiştirme eğrisine dönüştürüldükten sonra sistemin performans noktasının bulunması için modal ivme modal-yer değiştirme eğrisi ile spektral ivme - spektral yer değiştirme eğrisinin kesiştirilmesi gerekmektedir. Spektral ivme - Spektral yer değiştirme eğrisi tasarım için esas alınan ve yönetmelikte verilen spektrum eğrisinden aşağıdaki dönüşümler yapılarak kolayca türetilir:

$$S_d = \frac{S_a}{\omega^2} \quad (3.61)$$

$$\omega^2 = \frac{4\pi^2}{T^2} \quad (3.62)$$

dir. Spektral ivme değeri olan S_a yönetmelikte verilen (3.63) formülünden aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$S_{ae}(T) = A(T)g \quad (3.63)$$

$$A(T) = A_0 I S(T) \quad (3.64)$$

$$S_{ae}(T) = A_0 I S(T)g \quad (3.65)$$

Son olarak elde edilen spektral ivme değerleri denklem (3.61)' de verildiği üzere açısal hız değerinin karesine bölünerek spektral yer değiştirme değerleri bulunur. Modal ivme – modal yer değiştirme eğrisi ile spektral ivme – spektral yer değiştirme eğrisi kesiştirilirken birimlerin birbiri ile uyumlu olmasına dikkat edilmelidir. Eğriler kesiştirilirken modal ivme – modal yer değiştirme (a-d) eğrisi, spektral ivme – spektral yer değiştirme (S_a - S_d) eğrisi ile aynı eksen takımında çizilir. Modal ivme – modal yer değiştirme (a-d) eğrisinin başlangıç teğeti çizilerek başlangıç teğetinin spektral ivme – spektral yer değiştirme eğrisini kestiği nokta bulunur. Periyodu küçük ($T < T_B$) sistemlerde “x” eksenine dik inilerek bulunacak yer değiştirme değeri C_R adı verilen bir dönüştürme katsayısı yardımı ile büyütülürken periyodu büyük olan sistemler ($T > T_B$) için, eşit yer değiştirme kuralı uyarınca; yapının elastik ve elastik olmayan durumlarda yapacağı yer değiştirmelerin yaklaşık eşit olduğu kabul edilir ve $C_R = 1$ değerini alır. C_R katsayısının hesabı için Denklem (3.66) ve (3.67) kullanılır. Eğrilerin kesiştirilmesi işlemi Şekil (3.10)' da görülmektedir.

$$C_R = \frac{1 + (R_Y - 1) \frac{T_B}{T}}{R_Y} \quad T_1 < T_B \quad (3.66)$$

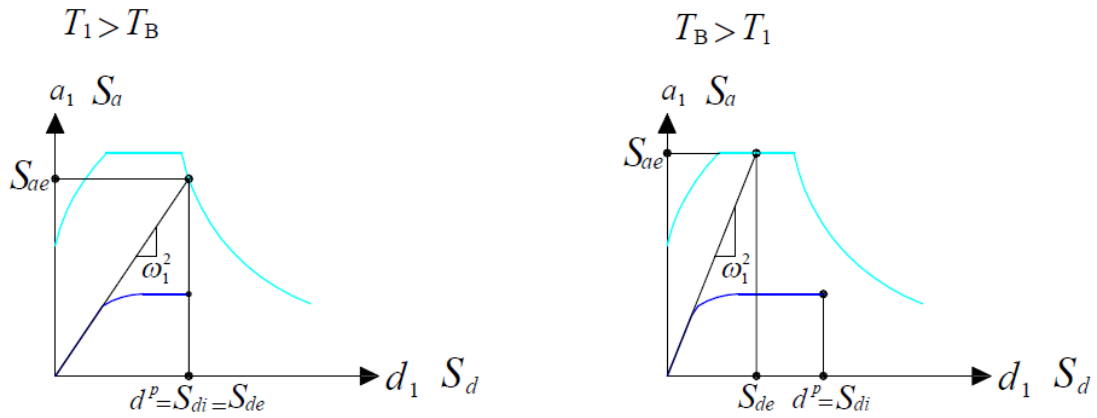
$$C_R = 1 \quad T_1 > T_B \quad (3.67)$$

$$S_{di} = C_R S_{de} \quad (3.68)$$

Bu denklemlerde;

R_Y : İlgili moda ait dayanım azaltma katsayısını

T_B : Yerel zemin sınıfına göre spektrum karakteristik periyotlarından büyük olanını ifade etmektedir.



Şekil 3.10 : S_a - S_d eğrisi ile a - d eğrilerinin kesiştirilmesi

Sistem performans noktası hesabı için son olarak Denklem (3.69)' da verilen formülle geri dönüştürme işlemi uygulanır. Burada yapılan işlem Denklem (3.68) ile bulunan modal yer değiştirme yardımı ile tepe yer değiştirmesinin bulunmasıdır. Geri dönüştürme işleminden sonra sistemin yer değiştirme, şekil değiştirme, iç kuvvet istemleri hesaplanır.

$$u_{xN1}^p = \phi_{xN1} \Gamma_{x1} d^p \quad (3.69)$$

Bu formülde;

u_{xN1}^p : Sistemin plastik yer değiştirme istemini,

ϕ_{xN1} : Tepe noktasının 1. moda ait yatay yer değiştirme miktarını,

Γ_{x1} : 1. moda ait modal katılım faktörünü göstermektedir.

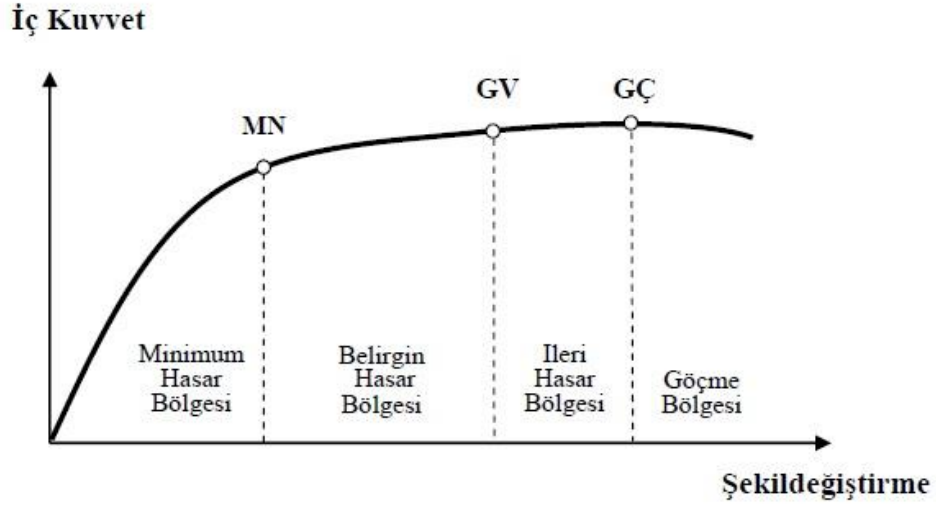
3.4.2 Zaman tanım alanında hesap yöntemi

Zaman tanım alanında hesap yönteminde, bir deprem kaydı için taşıyıcı sistemin hareket denklemi sayısal olarak çözülerek, sistemin bütün elastik ve plastik şekil değiştirmeleri, iç kuvvetleri, yer değiştirmeleri zamana bağlı olarak bulunur. Çözümünün kapsamlı olması analiz sonuçlarının yorumlanmasını zorlaştırırken aynı zamanda uzun analiz süreleri gerektirir. Seçilen deprem kaydının, yönetmelikte verilen spektrum eğrisi ile uyumlu olması ve çözümde kullanılacak kayıt sayısının olabildiğince fazla olması önerilir [15]. Zaman tanım alanında analiz yönteminde benzeştirilmiş ve yapay olarak üretilmiş deprem kayıtları kullanılabilir. En az 3 adet deprem kaydı için hesap yapılacak olup, 3 kayıt kullanıldığında sonuçların maksimum, 7 kayıt kullanılması halinde ise sonuçların ortalaması alınacaktır. Kullanılacak deprem kayıtları DBYYHY 2007' ye göre aşağıdaki şartları sağlamalıdır.

- 1- Yer hareketinin süresi 15 saniyeden ve yapının birinci serbest titreşim periyodunun 5 katından küçük olmayacaktır.
- 2- Deprem yer hareketlerinin sıfır periyoda karşılık gelen spektral ivme değerlerinin aritmetik ortalaması, tasarımda spektrumundaki A_{0g} değerinden daha küçük olmayacaktır.
- 3- Her bir ivme kaydı için %5 sönüm oranı için hesaplanacak spektral ivme değerlerinin ortalaması $0.2T_1$ ve $2T_1$ aralığında, tasarım spektrumundaki $S_{ae}(T)$ elastik spektral ivme değerlerinin %90' ının altına düşmeyecektir.

3.4.3 Kesit hasar sınırları ve hasar bölgeleri

DBYBHY 2007' de kesit seviyesinde 3 adet hasar sınırı tanımlanmaktadır. Bunlar Minimum hasar sınırı (MN), Güvenlik Sınırı (GV) ve Göçme Sınırı (GÇ)' dir. Minimum hasar sınırı plastik şekil değiştirmelerin başladığı noktayı temsil etmekte olup, minimum hasar sınırına kadar şekil değiştirmeler geri dönebilir niteliktedir. Güvenlik hasar sınırı kesitin güvenli yapabileceği elastik ötesi şekil değiştirmelere karşı gelirken göçme sınırı kesitin göçme öncesi davranışının sınırıdır. Bu hasar sınırlarına göre elemanlar için hasar bölgeleri tanımlanmaktadır. Örneğin; şekil değiştirme değeri (MN) ile (GV) arasında olan bir eleman Belirgin Hasar Bölgesi'nde yer alır. DBYBHY 2007' ye göre tanımlanan hasar bölgeleri Şekil (3.11)' de görülmektedir.



Şekil 3.11 : DBYBHY 2007' ye göre kesit hasar bölgeleri [12]

Yukarıda tanımlanan kesit hasar sınırlarının matematiksel ifadelerine bakıldığında;

- a) Kesit Minimum Hasar Sınırı (MN): Kesitin en dış lifindeki beton basınç birim şekil değiştirmesi ile donatı çeliği uzama üst sınırları:

$$(\epsilon_{cu})_{MN} = 0.0035 \quad (\epsilon_s)_{MN} = 0.010 \quad (3.70)$$

- b) Kesit Güvenlik Hasar Sınırı (GV): Etriye içindeki sargılı betonun en dış lifindeki beton basınç birim şekil değiştirmesi ile donatı çeliği birim uzama miktarları:

$$(\epsilon_{cg})_{GV} = 0.0035 + 0.01 \left(\frac{\rho_s}{\rho_{sm}} \right) \leq 0.0135 \quad (\epsilon_s)_{GV} = 0.040 \quad (3.71)$$

- c) Kesit Göçme Sınırı (GÇ): Etriye içindeki sargılı betonun en dış lifindeki beton basınç birim şekil değiştirmesi ile donatı çeliği birim uzama miktarları:

$$(\epsilon_{cg})_{GV} = 0.004 + 0.014 \left(\frac{\rho_s}{\rho_{sm}} \right) \leq 0.018 \quad (\epsilon_s)_{GV} = 0.060 \quad (3.72)$$

olarak verilmektedir. Kesit hasar sınırının belirlenmesinde beton ve donatının ikisinin de ilgili hasar bölgesi için verilmiş şekil değiştirme değerlerine ulaşması gerekmeyip, sadece birinin ilgili değere ulaşması yeterlidir. Yukarıdaki denklemlerde;

ρ_s : Kesitte mevcut bulunan ve özel deprem etriyesi veya çiroz olarak düzenlenen enine donatının hacimsel oranını,

ρ_{sm} : Deprem Yönetmeliği'ne göre kesitte bulunması gereken enine donatının hacimsel oranını ifade etmektedir.

3.4.4 Birim şekil değiştirme istemlerinin belirlenmesi

Yapılan yapısal analiz sonucu elde edilen plastik dönme istemi kullanılarak plastik eğrilik istemi Denklem (3.73) kullanılarak hesaplanabilir.

$$\phi_p = \frac{\theta_p}{L_p} \quad (3.73)$$

Yukarıdaki denklemde;

ϕ_p : Plastik eğriliği,

θ_p : Plastik dönmeyi,

L_p : Plastik mafsalsal boyunu ifade etmektedir. Plastik mafsalsal boyunun hesabı Denklem (3.56)' ya göre yapılabilir.

Kesitteki toplam eğrilik istemi için, plastik eğrilik talebine, moment eğrilik bağıntısı ile bulunan akma eğriliği eklenerek toplam eğrilik istemi elde edilir. Moment eğrilik ilişkileri belirlenirken seçilecek bir beton modeli ve pekleşmeyi de göz önüne alan bir donatı çeliği modeli kullanılır. Denklem (3.74) kesitteki toplam eğrilik istemini göstermektedir.

$$\phi_t = \phi_y + \phi_p \quad (3.74)$$

3.4.5 Bina performans düzeyleri

Deprem etkisinde kesitlerde oluşması beklenen hasar durumları tahmininden yola çıkılarak binanın deprem performansı belirlenir. Türk Deprem Yönetmeliği (2007)' de binalar için dört hasar sınırı belirlenmiştir. Kesit hasar durumlarına göre belirlenen bu düzeyler aşağıda verilmektedir.

3.4.5.1 Hemen kullanım performans düzeyi

Herhangi bir katta kirişlerin en fazla %10'u Belirgin Hasar Bölgesi' ne geçebilir. Diğer elemanların hepsi minimum hasar bölgesindedir. Eğer gevrek olarak hasar

gören elemanlar varsa güçlendirilmeleri kaydı ile bu tip binaların Hemen Kullanım Performans Düzeyi'nde olduğu kabul edilebilir.

3.4.5.2 Can güvenliği performans düzeyi

Herhangi bir katta ikincil kirişler hariç, kirişlerin en fazla %30' u İleri Hasar Bölgesi'ne geçebilir. Eğer varsa, İleri Hasar Bölgesi'ne geçen kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetinin bina toplam kesme kuvvetine oranı en fazla %20 olabilir. Binanın en üst katı için bu oran kolonlarda %40' a çıkabilir. Diğer tüm elemanlar Minimum veya Belirgin Hasar Bölgesi'ndedir. Eğer herhangi bir katta her iki ucunda birden Minimum Hasar Sınırı aşılmış kolon veya kolonlar varsa, bu kolonların taşıdığı kesme kuvveti o kattaki tüm kolonların taşıdığı kesme kuvvetinin en fazla %30' u olabilir. Gevrek olarak hasar gören elemanlar varsa güçlendirilmelidir.

3.4.5.3 Göçme öncesi performans düzeyi

Herhangi bir katta ikincil kirişler hariç, kirişlerin en fazla %20' si Göçme Bölgesi'ne geçebilir. Diğer tüm elemanlar Minimum Hasar Bölgesi, Belirgin Hasar Bölgesi veya İleri Hasar Bölgesi'ndedir. Eğer herhangi bir katta her iki ucunda birden Minimum Hasar Sınırı aşılmış kolon veya kolonlar varsa, bu kolonların taşıdığı kesme kuvveti o kattaki tüm kolonların taşıdığı kesme kuvvetinin en fazla %30' u olabilir.

3.4.5.4 Göçme durumu

Bina göçme öncesi performans düzeyini sağlamıyorsa göçme durumundadır.

3.4.6 Binalar için hedeflenen performans düzeyleri

DBYBHY 2007' de performans analizi için üç adet deprem düzeyi tanımlanmaktadır. Bu depremler 50 yılda aşılma olasılığı %50 olan kullanım depremi, 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan tasarım depremi ve %2 olan büyük depremdir. Binaların kullanım amacı ve türüne göre bu depremler için hedeflenen performans düzeyleri Çizelge (3.2)' de verilmiştir.

Çizelge 3.2 : Farklı türdeki binalar için öngörülen minimum performans düzeyleri
[12]

Binanın Kullanım Amacı ve Türü	Deprem 50 yılda Aşılma Olasılığı		
	%50	%10	%2
Deprem Sonrası Kullanımı Gereken Binalar			
Hastaneler, sağlık tesisleri, itfaiye binaları, haberleşme ve endüstri tesisleri, ulaşım istasyonları, vilayet, kaymakamlıklar, belediye yönetim binaları, afet yönetim merkezleri vb.	-	HK	CG
İnsanların Uzun Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar			
Okullar, yatakhaneler, yurtlar, pansiyonlar,müzeler vb.	-	HK	CG
İnsanların Kısa Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar			
Sinema, tiyato, konser salonları, kültür merkezleri vb.	HK	HK	CG
Tehlikeli Madde İçeren Binalar			
Toksik, parlayıcı ve patlayıcı özellikleri olan maddelerin bulunduğu ve depolandığı binalar	-	HK	GÖ
Diğer Binalar			
Toksik, parlayıcı ve patlayıcı özellikleri olan maddelerin bulunduğu ve depolandığı binalar	-	CG	-

Çizelge 3.3 : DBYBHY 2007' ye göre tasarımda göz önüne alınan depremler

Deprem	50 Yılda Aşılma Olasılığı	Tekerrür Periyodu
Kullanım Depremi	%50	72 yıl
Tasarım Depremi	%10	475 yıl
Büyük Deprem	%2	2475 yıl

3.5 Eurocode 8 (EN 1998)(2005)' e Göre Değerlendirme

European Committee for Standardization tarafından yayımlanan ve depreme dayanıklı betonarme yapılan hesap ve tasarımlarına ait esasları içeren Eurocode 8 (2005)' in üçüncü bölümü binaların deprem performanslarının değerlendirilmesi, binaların güçlendirilmesi ve tamir edilmesi konularına ayrılmıştır. Eurocode 8 Bölüm 3' te yapıların deprem hesaplarında kullanılabilecek yöntemler;

1- Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi

2- Mod Birleştirme Yöntemi

3- Artımsal İtme Analizi

4- Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi olarak verilmektedir. Burada hesap yöntemleri hakkında ayrıntılı bilgi verilmeyip, kesit hasar sınırları ve kesit performansları üzerine yoğunlaşılacaktır.

3.5.1 Hedeflenen Performans Düzeyleri

Eurocode 8 (2005)' de taşıyıcı sistem elemanları için üç adet hasar sınırı tanımlanmıştır. Bu hasar sınırları; Minimum Hasar Bölgesi (Limit State of Damage Limitation), Belirgin Hasar Bölgesi (Limit State of Significant Damage) ve Göçme Öncesi Hasar Bölgesi (Limit State of Near Collapse) dir.

3.5.1.1 Minimum Hasar Bölgesi (Limit State of Damage Limitation)

Taşıyıcı elemanlarda belirgin bir plastikleşme söz konusu değildir ve bu elemanlar rijitlikleri ve dayanımlarını muhafaza etmektedir. Bölücü duvar gibi taşıyıcı olmayan elemanlarda çatlaklar görülebilir ancak bu çatlaklar ekonomik olarak tamir edilebilir düzeydedir. Yapıda kalıcı ötelenmeler oluşmamıştır ve yapı herhangi bir onarıma ihtiyaç duymaz.

3.5.1.2 Belirgin Hasar Bölgesi (Limit State of Significant Damage)

Yapıda belirgin bir hasar söz konusu olmasına rağmen hala bir miktar rijitlik ve dayanım söz konusudur ve düşey taşıyıcı elemanlar düşey yükleri taşıyabilecek durumdadır. Taşıyıcı olmayan elemanlar hasar görmüşlerdir fakat bölücü duvarlar düzlemleri dışında yıkılmamıştır. Orta dereceli ötelenmeler vardır ve binanın tamiri ekonomik olmayabilir.

3.5.1.3 Göçme Öncesi Hasar Bölgesi (Limit State of Near Collapse)

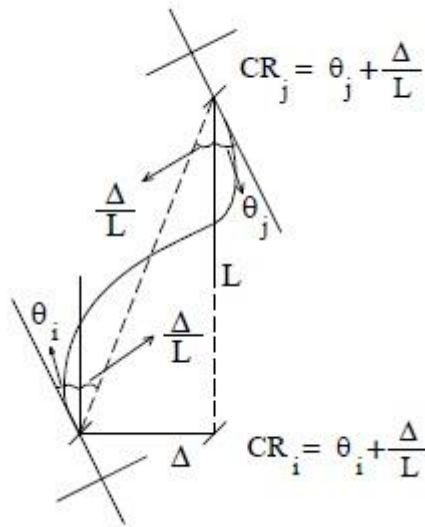
Binada ağır derecede hasar olmasına rağmen hala az miktarda rijitlik ve dayanım söz konusudur ve düşey taşıyıcı elemanlar düşey yükleri taşıyacak durumdadır. Taşıyıcı olmayan elemanların çoğu göçmüş, yapıda büyük miktarda kalıcı ötelenmeler meydana gelmiştir. Bina göçmeye yakın bir durumdadır ve orta büyüklükte bir depremde yıkılabilir.

Çizelge 3.4 : Eurocode 8 (2005)' e göre hasar sınırları için öngörülen depremler[23]

Hasar Bölgesi	50 Yılda Aşılma Olasılığı	Tekerrür Periyodu
Minimum Hasar Bölgesi	%20	225 yıl
Belirgin Hasar Bölgesi	%10	475 yıl
Göçme Öncesi Hasar Bölgesi	%2	2475 yıl

3.5.2 Kesit hasar sınırları ve hasar bölgeleri

Eurocode 8 (2005)'te DBYBHY 2007' den farklı olarak eksen dönmesi (chord rotation) esaslı performans değerlendirmesi benimsenmiştir. Kesit hasar sınırları, deney sonuçlarından elde edilen ampirik formüllere dayandığı için çok fazla terim içermektedir. Eksen dönmesi (chord rotation)' nin tanımı Şekil (3.12)' de verilmiştir.



Şekil 3.12 : Çerçeve elemanlar için kord dönmesi [24]

3.5.2.1 Minimum hasar sınırı

Bu hasar durumu için, eksen dönmeleri değerlerinin eksenel yüklerin tasarım değerleri altındaki akma değerlerinden küçük olması ($\Theta_{DL} < \Theta_y$) gereklidir. Kolon ve kirişler için birbirinin alternatifi olan iki adet denklem önerilmiş olup, bu denklemler (3.75) ve (3.76) de görülmektedir. Perdeler için de 2 adet denklem önerilmiş olup, bu denklemler (3.77) ve (3.78) te verilmiştir.

$$\theta_y = \phi_y \frac{L_v + \alpha_v z}{3} + 0.0014 \left(1 + 1.5 \frac{h}{L_v} \right) + \frac{\varepsilon_y}{d - d'} \frac{d_{bL} f_y}{6 \sqrt{f_c}} \quad (3.75)$$

$$\theta_y = \phi_y \frac{L_v + \alpha_v z}{3} + 0.0014 \left(1 + 1.5 \frac{h}{L_v} \right) + \phi_y \frac{d_{bL} f_y}{8 \sqrt{f_c}} \quad (3.76)$$

$$\theta_y = \phi_y \frac{L_v + \alpha_v z}{3} + 0.0013 + \frac{\varepsilon_y}{d - d'} \frac{d_{bL} f_y}{6 \sqrt{f_c}} \quad (3.77)$$

$$\theta_y = \phi_y \frac{L_v + \alpha_v z}{3} + 0.0013 + \phi_y \frac{d_{bL} f_y}{8 \sqrt{f_c}} \quad (3.78)$$

Burada;

Φ_y : Kesitin akma eğriliği,

$\alpha_v z$: Moment diyagramı düzeltilmesi (detaylı bilgi için : EN 1992-1-1:2004)(Eğer kesme hasarı meydana geliyorsa $\alpha_v=1$, aksi halde $\alpha_v=0$),

z : Kuvvet kolu (Kolon, kiriş ve dikdörtgen kesit hariç perdeler için $z=d-d'$, dikdörtgen perdeler için $0.8h$ alınabilir.),

f_y ve f_c : Sırası ile donatı akma gerilmesi ve beton dayanımı (MPa),

d ve d' : Sırası ile çekme ve basınç donatıları derinliği,

d_{bL} : Çekme donatısı çapıdır.

(3.75) ve (3.76) denklemlerindeki ilk terim eğilme katkısını, ikinci terim kesme deformasyonlarının katkısını, üçüncü terim ise donatıların sıyrılmasını temsil etmektedir.

3.5.2.2 Belirgin Hasar Sınırı

Belirgin Hasar Sınırı için eksen dönmesi değeri Göçme Öncesi Hasar Sınırı için belirtilen eksen dönmesi değerinin en fazla %75'i kadar olabilir.

3.5.2.3 Göçme Öncesi Hasar Sınırı

Göçme Öncesi Hasar Sınırı için eksen dönmesi değeri (elastik+plastik dönme) Denklem (3.79) ile verilen Θ_{um} değerinden daha büyük olmamalıdır ($\Theta_u < \Theta_{um}$).

$$\theta_{um} = \frac{1}{\gamma_{el}} 0.016(0.3^v) \left[\frac{\max(0.01; \omega')}{\max(0.01; \omega)} f_c \right]^{0.225} \left(\min \left(9; \frac{L_v}{h} \right) \right)^{0.35} 25^{\left(\alpha \rho_{sx} \frac{f_{yw}}{f_c} \right)} \left(1.25^{100 \rho_d} \right) \quad (3.79)$$

Burada;

γ_{el} : Birincil öneme sahip elemanlar için 1.5, ikincil öneme sahip elemanlar için 1,

h : Kesit derinliği

L_v : $L_v = M / V$ (Moment/kesme oranı)

$v = N / bh f_{cd}$

ω ve ω' : Sırası ile çekme ve basınç donatısı oranları,

ρ_d : Diyagonal donatı oranı,

ρ_{sx} : Yükleme doğrultusuna paralel doğrultuda enine donatı oranıdır.

α : Sargı etkinliği katsayısı olup aşağıdaki denklemle hesaplanır.

$$\alpha = \left(1 - \frac{s_h}{2b_0} \right) \left(1 - \frac{s_h}{2h_0} \right) \left(1 - \frac{\sum b_i^2}{6h_0 b_0} \right) \quad (3.80)$$

Denklem (3.80)' de b_0 ve h_0 etriye merkezinden etriye merkezine hesaplanan çekirdek betonunun boyutlarını, b_i etriye tarafından tutulan boyuna donatılar arası merkezden merkeze uzaklığı, s_h ise enine donatı aralığını ifade etmektedir.

Denklem (3.79)' da verilen toplam eksen dönmesi değerleri perde elemanlar için 0.58 ile çarpılacak, eğer soğukta işlem görmüş gevrek çelik kullanıldıysa 1.60' a, elemanlar depreme dayanıklı şekilde detaylandırılmamışsa 1.2' ye bölünecektir.

Çevrimsel yüklemeler altında eksen dönmesi değerinin plastik dönme kısmı Denklem (3.81) kullanılarak hesaplanabilir.

$$\theta_{um}^{pl} = \theta_{um} - \theta_y = \frac{1}{\gamma_{el}} 0.0145 (0.25^v) \left[\frac{\max(0.01; \omega')}{\max(0.01; \omega)} \right]^{0.3} \quad (3.81)$$

$$f_c^{0.2} \left(\min \left(9; \frac{L_v}{h} \right) \right)^{0.35} 25^{a_{ps} \frac{f_{yw}}{f_c}} (1.275^{100\rho_d})$$

Yukarıdaki (3.81) denkleminde γ_{el} , birincil öneme sahip elemanlar için 1.80, ikincil öneme sahip elemanlar için 1 olarak alınacaktır. Diğer bütün terimler Denklem (3.79)' da olduğu gibidir. Perde elemanlar için yukarıdaki denklem 0.6 ile çarpılacaktır. Eğer soğukta işlem görmüş çelik kullanılmışsa eksen dönmesi değerinin plastik kısmı 2' ye, elemanlar depreme dayanıklı şekilde detaylandırılmamışsa 1.2' ye bölünecektir. Hasar sınırları hakkında daha detaylı bilgi Eurocode 8 (EN 1998)(2005)' ten alınabilir.

Çizelge 3.5 : Eurocode 8' e göre hasar kriterleri [23]

Minimum Hasar Bölgesi	Belirgin Hasar Bölgesi	Göçme Öncesi Hasar Bölgesi
$\Theta_{DL} < \Theta_y$	$\Theta_{SD} \leq 0.75 \Theta_{um}$	$\Theta_{NC} \leq \Theta_{um}$

3.6 FEMA 356 (2000)' e Göre Değerlendirme

Amerika İnşaat Mühendisleri Odası (American Society of Civil Engineers, ASCE) ve Amerika Acil Durum Yönetim Merkezi (Federal Emergency Management Agency, FEMA) ortaklığı ile 2000 yılında hazırlanan FEMA 356 (2000) dökümanı, mevcut yapıların deprem performanslarının belirlenmesi ve mevcut yapıların güçlendirilmesi için hesap esasları ve değerlendirme kurallarını içermektedir. Dokümanda, 11 adet alt başlık olup, 6. bölüm betonarme yapıların değerlendirilmesine ayrılmıştır. FEMA 356 (2000)' e göre yapıların performanslarının değerlendirilmesinde kullanılabilecek yöntemler;

1- Doğrusal Statik Yöntem

2- Doğrusal Dinamik Yöntem

3- Doğrusal Olmayan Statik Yöntem

4- Doğrusal Olmayan Dinamik Yöntem olarak verilmektedir. İlgili yöntemlerin kullanımları ile ilgili kısıtlamalar FEMA 356 (2000) Bölüm 2' de tanımlanmıştır. Lineer yöntemlerin kullanılabilmesi için binanın lineer olmayan kapasitesinin az olması (talep/kapasite oranının 2' den az olması) gerekliliği belirtilmekte birlikte, statik yöntemlerin yüksek mod etkilerinin düşük olduğu (genellikle az katlı, düzenli yapılarda yüksek mod etkileri düşüktür) binalara uygulanması tavsiye edilmektedir. Analiz yöntemleri üzerinde daha detaylı bilgi FEMA 356 (2000)' den edinilebilir. Bu kısımda kesit hasar sınırları ve bina performansı hakkında bilgi verilecektir. Kesit rijitlikleri olarak kolon, kiriş ve perdelerde etkin rijitliklerin kullanılması gereklidir. Kesit etkin rijitlikleri Çizelge (3.6)' da verilmiştir.

3.6.1 Yapısal elemanlar için hedeflenen performans düzeyleri

FEMA 356 (2000)' de yapı performansı yapısal ve yapısal olmayan elemanların performanslarının kombine edilmesi suretiyle belirlenmektedir. Yapılar için temel olarak 4 farklı performans seviyesi tanımlanmaktadır. Bunlar;

1- Hemen Kullanım Performans Düzeyi (S-1)

2- Can Güvenliği Performans Düzeyi (S-3)

3- Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi (S-5)

4- Bina Performansının Hesaplanamadığı Durum (S-6)' dur.

Çizelge 3.6 : FEMA 356 (2000)' e göre etkin rijitlikler [26]

Eleman	Etkin Eğilme Rijitlikleri		
	Eğilme	Kesme	Eksenel
Kiriş (Öngermeli)	$0.5E_cI_g$	$0.4E_cA_w$	-
Kiriş (Öngermesiz)	E_cI_g	$0.4E_cA_w$	-
Kolon ($N_d \geq 0.5A_gf'_c$)	$0.7E_cI_g$	$0.4E_cA_w$	E_cA_g
Kolon ($N_d \leq 0.3A_gf'_c$)	$0.5E_cI_g$	$0.4E_cA_w$	E_cA_s
Perde	$0.8E_cI_g$	$0.4E_cA_w$	E_cA_g
Perde(çatlamış)	$0.5E_cI_g$	$0.4E_cA_w$	E_cA_g

Burada;

E_c : Beton elastisite modülü,

I_g : Brüt kesit atalet momenti,

A_w : Gövde enkesit alanı ($A_w=b_wd$),

E_s : Donatı elastisite modülü,

A_s : Çekme donatısı alanıdır.

Ayrıca yukarıdaki 4 temel performans düzeyi haricinde, Hemen Kullanım Performans Düzeyi ve Can Güvenliği Performans Düzeyi arasında kalan Hasar Kontrolü Performans Düzeyi ve Can Güvenliği ve Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi arasında kalan Güvenliğin Sınırlı Olduğu Performans Düzeyleri de performans seviyeleri arasında verilmektedir.

3.6.1.1 Hemen kullanım performans düzeyi (S-1)

Depremde yapıda çok sınırlı düzeyde hasar oluşmuştur. Yapının yatay ve düşey yüklere karşı rijitliği hemen hemen yapının deprem öncesi durumu ile aynıdır. Yapısal olmayan elemanlarda çok küçük tamirler gerekli olabilmekle beraber, yapısal ve yapısal olmayan elemanlardaki hasarın minimal düzeyde olması ile yaşamı tehdit eden hiçbir unsur ortaya çıkmaz.

3.6.1.2 Hasar kontrolü performans düzeyi (S-2)

Hasar kontrolü performans düzeyi, kıymetli veya tarihi özelliğe sahip malzemelerin muhafaza edildiği binalar gibi yapılarda, hemen kullanım performans düzeyi için tasarımın aşırı pahalı olması durumunda, deprem sonrası tamir süresini kısaltmak istenilen durumlarda bu performans seviyesi hedeflenebilir.

3.6.1.3 Can güvenliği performans düzeyi (S-3)

Taşıyıcı sistem elemanlarında önemli bir biçimde hasar meydana gelmiştir. Ancak yapıda kısmi veya toptan göçmeye karşı hala dayanım söz konusudur. İnsanlarda deprem esnasında yaralanmalar olabilmekle birlikte, bunlar yaşamı tehdit edici boyutta değildir. Yapının tamiri mümkün olsa da ekonomik olmayabilir.

3.6.1.4 Güvenliğin sınırlı olduğu performans düzeyi (S-4)

Can Güvenliği ile Göçmenin Önlenmesi performans düzeyleri arasında yer alır.

3.6.1.5 Göçmenin önlenmesi performans düzeyi (S-5)

Bu performans seviyesinde deprem sırasında oluşacak hasar toptan veya kısmi göçme seviyesindedir. Kalıcı yatay ötelemelere ve yanal rijitlik azalmasına bağlı olarak yapının yatay yük taşıma kapasitesinde çok büyük miktarda azalma vardır. Bu duruma rağmen bina düşey yükleri taşımaya devam etmektedir. Yapı, artçı depremler esnasında tamamen göçebilir. Binanın onarımı teknik açıdan mümkün olmayabilir.

3.6.2 Yapısal olmayan elemanlar için performans düzeyleri

FEMA 356 (2000)' e göre performans değerlendirmesinde göz önüne alınacak yapısal olmayan elemanlar; bölme duvarları, dış cephe kaplamaları, mekanik ve elektrik tesisatı elemanları, tesisat ve yangın sistemleri ve aydınlatma sistemleri olarak sayılabilir. FEMA dökümanında yapısal olmayan elemanlar için aşağıdaki gibi 5 adet performans düzeyi öngörülmüştür.

3.6.2.1 Kullanıma devam performans düzeyi (N-A)

Bazı elemanlar için küçük çaplı tamir gerekebilirse de binanın normal kullanımı için gerekli olan elemanlar normal işlevlerini sürdürmektedir.

3.6.2.2 Hemen kullanım performans düzeyi (N-B)

Yapısal olmayan elemanlarda çok küçük hasar oluşabilirken, asansörler, kapılar, yangın alarmları, acil durum ışıklandırmaları gibi sistemler genellikle kullanılabilir durumdadır. Küçük çaplı cam kırılmaları meydana gelebilir. Yapısal olmayan hasarlardan dolayı oluşabilecek yaşamı tehdit edecek düzeydeki riskler oldukça düşüktür.

3.6.2.3 Can güvenliği performans düzeyi (N-C)

Deprem sonrası, yapısal olmayan elemanlarda hasar meydana gelmiştir ancak bu elemanlarda herhangi bir göçme, yerinden çıkma gibi bir durum oluşmamıştır ve bu hasarlar dolayısıyla yaşamı tehdit edecek düzeyde yaralanma riski yoktur. Yangın ve tesisat sistemlerinde hasarlar ve fonksiyon kayıpları oluşabilir. Yapısal olmayan elemanların deprem sonrası yeniden eski fonksiyonlarına döndürülme işleri önemli bir çaba gerektirebilir.

3.6.2.4 Hasarın azaltıldığı performans düzeyi (N-D)

Parapetler, cephe kaplama sistemleri, alçı tavan sistemleri gibi ağır ve büyük elemanlarda önemli ölçüde hasar oluşmasına rağmen, bu elemanların can güvenliğini tehdit edecek şekilde devrilmeleri önlenmiştir. Küçük boyutlu ve hafif yapısal olmayan elemanlarda devrilme oluşabilmekle birlikte bu elemanlarda oluşan hasarlar dolayısıyla ciddi yaralanmalar oluşmamalıdır.

3.6.2.5 Yapısal performansın hesaplanamadığı durum

Bu durumda binanın rehabilitasyonu işleminde yapısal olmayan elemanların performansları göz önüne alınmaz.

3.6.3 Bina performans düzeyleri

Bina performans düzeyi yapısal ve yapısal olmayan elemanların performanslarının birlikte değerlendirilmesi suretiyle Çizelge (3.7)' de verildiği üzere elde edilir.

Çizelge 3.7 : FEMA 356 (2000)' e göre yapısal performansın elde edilmesi [25]

Yapısal Olmayan Elemanların Performans Düzeyleri	Yapısal Elemanların Performans Düzeyleri ve Aralıkları					
	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5	S-6
N-A	1-A (Kullanıma Devam)	2-A	Tavsiye edilmiyor	Tavsiye edilmiyor	Tavsiye edilmiyor	Tavsiye edilmiyor
N-B	1-B (Hemen Kullanım)	2-B	3-B	Tavsiye edilmiyor	Tavsiye edilmiyor	Tavsiye edilmiyor
N-C	1-C	2-C	3-C (Can Güvenliği)	4-C	5-C	6-C
N-D	Tavsiye edilmiyor	2-D	3-D	4-D	5-D	6-D
N-E	Tavsiye edilmiyor	Tavsiye edilmiyor	Tavsiye edilmiyor	4-E	5-E (Göçmenin önlenmesi)	Yapı göçer

3.6.4 Binalar için hedeflenen performans düzeyleri

Binaların performanslarının belirlenmesi işlemi için FEMA 356 (2000)' de 4 deprem belirlenmiştir. Bu depremler ve ortalama tekerrür periyotları Çizelge (3.8)' de verilmiştir. Burada BSE-1 depremi tasarım depremine karşılık gelmekte ve 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremi ifade etmektedir. Bu yönüyle bakıldığında FEMA 356 (2000) ve DBYBHY (2007) de yeni binaların tasarımında kullanılan depremin istatistiksel olasılığının aynı olduğu görülmektedir. Binaların performans değerlendirmesinde göz önüne alınacak şiddetli depremin ise 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan deprem olarak belirlendiği ve bu depremin aşılma olasılığının DBYBHY (2007) ile aynı olduğu göze çarpmaktadır.

Çizelge 3.8 : FEMA 356 (2000)' de performans hedeflenen depremler [26]

50 Yılda Aşılma Olasılığı	Tekerrür Periyodu
%50	72 yıl
%20	225 yıl
%10	474 yıl
%2	2475 yıl

FEMA 356 (2000)' de binalar için yukarıda tanımlanan deprem etkileri altında performans seviyeleri Çizelge (3.9)' da verilmiştir. Bu çizelgede a,f,k,p normal öneme sahip binaları (konut vb.), o,j,e önemli binaları, m ve n ise çok önemli binaları temsil etmektedir[27]. Hedeflenen performans düzeyleri arttıkça maliyette aynı oranda artmaktadır. Çizelgede Deprem kısmında yer alan ilk sayı aşılma olasılığı hesabında göz önüne alınan yıl sayısını, ikinci sayı ise yıl sayısı için depremin aşılma olasılığını ifade etmektedir. Örneğin (50 - %50); 50 yıl için aşılma olasılığı %50 olan depremi göstermektedir.

Çizelge 3.9 : FEMA 356 (2000)' de çeşitli depremler için hedeflenen bina performansları [26]

Deprem	Kullanıma	Hemen	Can	Göçmenin
	Devam	Kullanım	Güvenliği	Önlenmesi
	Performans	Performans	Performans	Performans
	Düzeyi	Düzeyi	Düzeyi	Düzeyi
(50 - %50)	a	b	c	d
(50 - %20)	e	f	g	h
(50 - %10)	i	j	k	l
(50 - %2)	m	n	o	p

3.6.5 Betonarme elemanlar için dönme sınırları

Betonarme sistemlerde eleman bazında performans değerlendirmesi için FEMA 356 (2000)' de plastik mafsa dönmesi esaslı değerlendirme yaklaşımı benimsenmiştir. Betonarme kolonlar, kirişler, perdeler gibi elemanlar için ayrı ayrı değerlendirme tabloları bulunmakta ve her eleman tipi için analiz metodu (lineer-lineer olmayan) ve eleman hasar görme tipine (eğilme-kesme) göre farklı tablolar verilmektedir. Bu kısımda lineer olmayan analiz yönteminin kullanılması durumunda kullanılacak kesit dönme sınır değerleri sadece hasar mekanizmasında eğilmenin etkili olduğu kolon, kiriş ve perde elemanlar için verilecektir. Kolonlar için performans sınır değerleri belirlenirken; kesite etkiyen normal kuvvet değeri, sargı durumu ve kesme kuvveti değeri, kirişlerde; donatı oranı, sargı etkisi ve kesme kuvveti değeri, perdelerde ise; kesme kuvveti, normal kuvvet ve başlık bölgesi bulunup bulunmaması parametre olarak belirlenmiştir.

Çizelge 3.10 : Eğilme etkilerine bağlı olarak hasar gören betonarme kolonlar için FEMA 356 (2000)'de verilen plastik mafsal dönmesi sınırları [26]

Kesit Durumu				Plastik Dönme Sınırları (radyan)			
				Birincil Elemanlar		İkincil Elemanlar	
$P/A_g f'_c$	Sargı	$V/b_w d \sqrt{f'_c}$	H.K.	C.G.	G.Ö.	C.G.	G.Ö.
≤ 0.1	C	≤ 3	0.005	0.015	0.02	0.02	0.03
≤ 0.1	C	≥ 6	0.005	0.012	0.016	0.016	0.024
≥ 0.4	C	≤ 3	0.003	0.012	0.015	0.018	0.025
≥ 0.4	C	≥ 6	0.003	0.01	0.012	0.013	0.02
≤ 0.1	NC	≤ 3	0.005	0.005	0.006	0.01	0.015
≤ 0.1	NC	≥ 6	0.005	0.004	0.005	0.008	0.012
≥ 0.4	NC	≤ 3	0.002	0.002	0.003	0.006	0.01
≥ 0.4	NC	≥ 6	0.002	0.002	0.002	0.005	0.008

Yukarıdaki tabloda;

P : Kesite etkiyen normal kuvveti,

A_g : Brüt kesit alanını,

C : Uygun sargı durumunu (Etriye aralığı $\leq d/3$),

f'_c : Beton basınç dayanımını,

V : Kesite etkiyen kesme kuvvetini,

b_w : Kesit genişliğini,

d : Kesit derinliğini,

NC : Uygun olmayan sargı durumunu (Etriye aralığı $> d/3$) ,

H.K. : Hemen Kullanım Performans Düzeyini,

C.G. : Can Güvenliği Performans Düzeyini,

G.Ö. : Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyini ifade etmektedir.

Çizelge 3.11 : Eğilme etkilerine bağlı olarak hasar gören betonarme kirişler için FEMA 356 (2000)'de verilen plastik mafsal dönmesi sınırları [26]

Kesit Durumu				Plastik Dönme Sınırları (radyan)			
				Birincil Elemanlar		İkincil Elemanlar	
$(\rho - \rho')/\rho_{bal}$	Sargı	$V/b_w d \sqrt{f'_c}$	H.K.	C.G.	G.Ö.	C.G.	G.Ö.
≤ 0.0	C	≤ 3	0.010	0.02	0.025	0.02	0.05
≤ 0.0	C	≥ 6	0.005	0.01	0.02	0.02	0.04
≥ 0.5	C	≤ 3	0.005	0.01	0.02	0.02	0.03
≥ 0.5	C	≥ 6	0.005	0.005	0.015	0.015	0.02
≤ 0.0	NC	≤ 3	0.005	0.01	0.02	0.02	0.03
≤ 0.0	NC	≥ 6	0.0015	0.005	0.01	0.01	0.015
≥ 0.5	NC	≤ 3	0.005	0.01	0.01	0.01	0.015
≥ 0.5	NC	≥ 6	0.0015	0.005	0.005	0.005	0.01

Yukarıdaki tabloda;

ρ : Kesitteki çekme donatısı oranını,

ρ' : Kesitteki basınç donatısı oranını,

ρ_{bal} : Kesit için dengeli donatı oranını,

C : Uygun sargı durumunu (Etriye aralığı $\leq d/3$),

f'_c : Beton basınç dayanımını,

V : Kesite etkiyen kesme kuvvetini,

b_w : Kesit genişliğini,

d : Kesit etkili derinliğini,

NC : Uygun olmayan sargı durumunu (Etriye aralığı $> d/3$),

H.K. : Hemen Kullanım Performans Düzeyini,

C.G. : Can Güvenliği Performans Düzeyini,

G.Ö. : Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyini ifade etmektedir.

Çizelge 3.12 : Eğilme etkilerine bağlı olarak hasar gören betonarme perdeler için FEMA 356 (2000)'de verilen plastik mafsal dönmesi sınırları [26]

Plastik Dönme Sınırları (radyan)							
Kesit Durumu				Birincil Elemanlar		İkincil Elemanlar	
$\frac{(A_s - A_s')f_y + P}{t_w l_w f'_c}$	$\frac{\text{KESME KUV.}}{t_w l_w \sqrt{f'_c}}$	Başlık Bölgesi	H.K.	C.G.	G.Ö.	C.G.	G.Ö.
≤ 0.1	≤ 3	Var	0.005	0.010	0.015	0.015	0.020
≤ 0.1	≥ 6	Var	0.004	0.008	0.010	0.010	0.015
≥ 0.25	≤ 3	Var	0.003	0.006	0.009	0.009	0.012
≥ 0.25	≥ 6	Var	0.0015	0.003	0.005	0.005	0.010
≤ 0.1	≤ 3	Yok	0.002	0.004	0.008	0.008	0.015
≤ 0.1	≥ 6	Yok	0.002	0.004	0.006	0.006	0.010
≥ 0.25	≤ 3	Yok	0.001	0.002	0.003	0.003	0.005
≥ 0.25	≥ 6	Yok	0.001	0.001	0.002	0.002	0.004

Yukarıdaki tabloda;

A_s : Çekme donatısı alanı

A_s' : Basınç donatısı alanı

P: Kesite etkiyen eksenel kuvvet

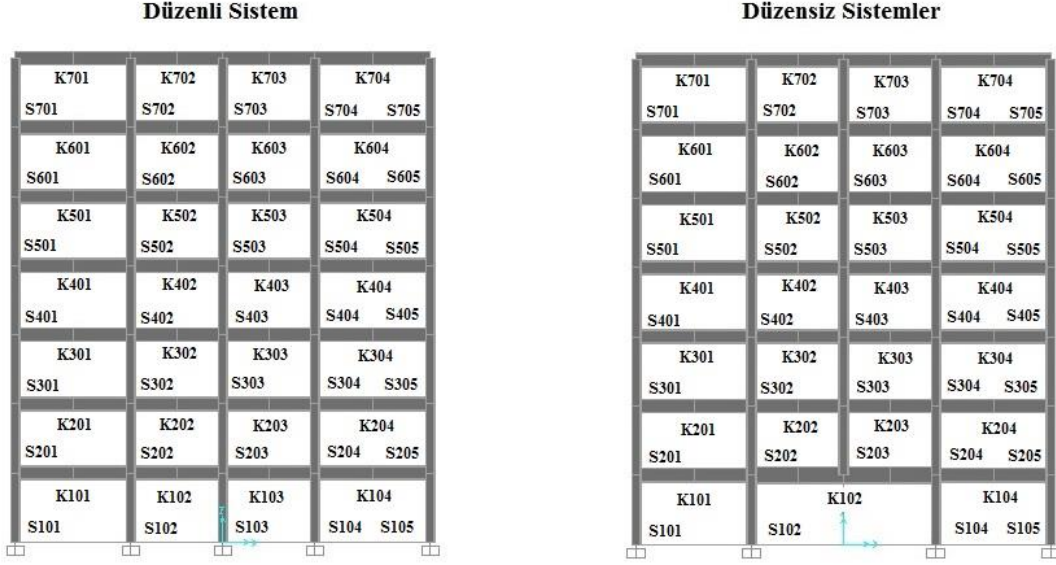
t_w : Perde gövde kalınlığı

l_w : Kesme doğrultusunda toplam perde uzunluğunu temsil etmektedir.

4. B3 DÜZENSİZLİĞİNİN VE BU DÜZENSİZLİĞE KARŞI DEPREM YÖNETMELİĞİ’NİN YAKLAŞIMININ İNCELENMESİ

4.1 B3 Düzensizliğinin İncelendiği Çerçeveler Hakkında Genel Bilgiler

Kolonların kirişlere oturması durumu; 7 katlı, 4 açıklıklı bir çerçevede incelenmiştir. Bunun için kenar açıklıkları 5’er m, orta açıklıkları 4’er m. olan iki çerçeve ETABS 9.7.3 [28] ve İDECAD Statik 7 [33] programları kullanılarak boyutlandırılmıştır. İlk çerçeve düzenli sistemleri temsil etmek üzere hiçbir düzensizlik içermemekte olup ikinci çerçevede ise birinci katta orta eksende kolon kaldırılmış ve ikinci kattaki orta eksen kolonu birinci kat kirişine açıklık ortasında oturmaktadır. Bu iki sistem bu tip düzensizliğin bina deprem performansına etkisinin anlaşılması için seçilmiştir. Bunların yanında ikinci çerçeve ile aynı düzensizliğe ve eleman boyutlarına sahip üçüncü bir çerçeve de tasarlanmış olup, Deprem Yönetmeliği’nin gerektirdiği üzere kolonun oturduğu kirişte ve bu kirişin birleştiği düğüm noktalarına birleşen diğer kiriş ve kolonların tüm kesitlerinde deprem etkileri ve düşey yüklerden bulunan tüm üç kuvvet değerleri %50 oranında arttırılarak yeniden donatı hesabı yapılmıştır. Bu üçüncü çerçeve ile de DBYBHY 2007’ nin bu düzensizliğe yaklaşımı incelenmiştir. Her üç sistemde kolon boyuları 0.40x0.40 m, kiriş boyutları kolonun oturduğu mesnet kirişi hariç olmak üzere 0.25x0.60 m olarak seçilmiştir. İkinci ve üçüncü sistemde birinci katta kolon süreksizliği olması dolayısıyla, düşey yüklerin aktarılabilmesi için, mesnet kirişi 0.40x0.75 m olarak boyutlandırılmıştır. Kirişlere etkileyen yük değerleri bütün çerçevelerde aynıdır. Kat yüksekliği 3m dir. Kolon boyutları analiz sonuçlarına etkileyen parametre sayısını azaltmak amacıyla bütün katlarda aynı kabul edilmiştir. Kolon ve kiriş donatıları ise sistemlere göre farklılık göstermektedir. Bu kısımda göz önüne alınan sistemler hakkında kısa bilgi verilmiş olup, tasarımda göz önüne alınan deprem etkisi, malzeme bilgileri, yük değerleri, eleman boyut ve donatıları ilerleyen bölümlerde detaylı olarak incelenecektir. İnceleme için tasarlanan sistemler Şekil (4.1)’ de görülmektedir.



Şekil 4.1 : B3 düzensizliğinin incelenmesi için tasarlanan çerçeveler

4.1.1 Boyutlandırmada ve donatılandırmada kullanılan parametreler

Boyutlandırma ve donatı hesabı için dikkate alınan parametreler aşağıda verilmiştir.

Yerel Zemin Sınıfı : Z_2 (T_A : 0.15, T_B : 0.40)

Bina Önem Katsayısı : 1

Hareketli Yük Katılım Katsayısı : $n = 0.30$

Etkin Yer İvme Katsayısı : $A_0 = 0.40$

Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı : $R = 8$

Beton Sınıfı : C20 ($f_{ck} = 20$ MPa)

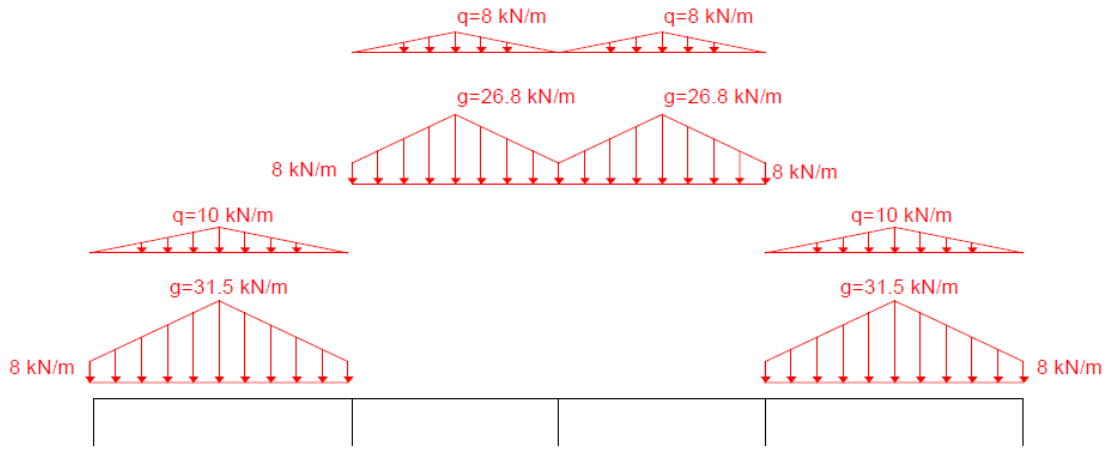
Beton Elastisite Modülü : $E_c = 28000$ MPa

Donatı Sınıfı : S420a ($f_{yk} = 420$ MPa)

Donatı Elastisite Modülü : $E_s = 28000$ MPa

Betonarme Birim Hacim Ağırlığı : $\gamma_b = 25$ kN / m³

Kirişlerde eleman ağırlıklarına ek olarak etkidiği kabul edilen yükler ise kenar açıklıklar ve orta açıklıklar için Şekil (4.2)' de bir kat için sembolik olarak gösterilmektedir. Yük değerleri her kat için ortaktır ve iki kenar ve iki orta açıklıkta kirişlere etkiyen yükler birbirinin simetridir.

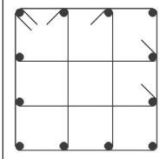


Şekil 4.2 : Hesapta göz önüne alınan yük değerleri

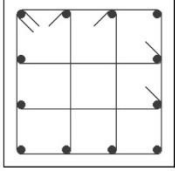
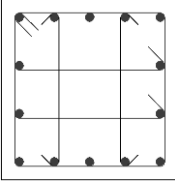
4.1.2 Kolon ve kirişlerin donatıları

ETABS 9.7.3 programı kullanılarak lineer-elastik hesap sonucu bulunan kolon donatıları bütün sistemler için Çizelge (4.1), (4.2) ve (4.3)' te verilmiştir. Çizelgeden de anlaşılacağı gibi düzensiz sistemde bütün kolonlarda minimum donatı oranında ($12\text{Ø}14$ $\rho=0.01$) donatı bulunmaktadır. Düzensiz sistem için donatılar; mesnet kirişin düğüm noktasına birleşen kolonlar için $14\text{Ø}14$ ($\rho=0.0134$), diğer kolonlar için ise $12\text{Ø}14$ ($\rho=0.01$) olarak hesaplanmıştır. Düzensiz ve ilgili elemanlarda iç kuvvetlerin %50 oranında arttırıldığı sistemde ise kolon donatılarında büyük oranda artış mevcuttur. İlgili elemanların iç kuvvetleri Deprem Yönetmeliği'nde belirtildiği oranda arttırıldığında mesnet kirişin düğüm noktasına birleşen birinci kat kolonları kolonlar için $30\text{Ø}14$ ($\rho=0.0287$), ikinci kat kolonları için ise $28\text{Ø}14$ ($\rho=0.0268$) donatı bulunmuştur. Diğer kolonların donatıları $12\text{Ø}14$ ' tür.

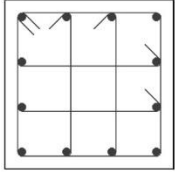
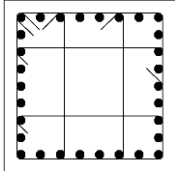
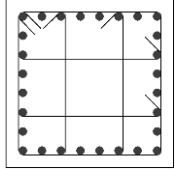
Çizelge 4.1 : Düzenli sistemde kolon donatıları

Eleman Adı	Eleman Kesiti	Eleman Boyutu (bxh)(m)	Boyuna Donatı
S101-...-S705 (Tüm kolonlar)		0.40x0.40	$12\text{Ø}14$

Çizelge 4.2 : Düzensiz sistemde kolon donatıları

Eleman Adı	Eleman Kesiti	Eleman Boyutu (bxh)(m)	Boyuna Donatı
S101-...-S705 (S102-S104- S202-S204 hariç tüm kolonlar)		0.40x0.40	12Ø14
S102-S104- S202-S204		0.40x0.40	14Ø14

Çizelge 4.3 : Düzensiz ve ilgili elemanlarda iç kuvvetlerin %50 arttırıldığı sistemde kolon donatıları

Eleman Adı	Eleman Kesiti	Eleman Boyutu (bXh)(m)	Boyuna Donatı
S101-...-S705 (S102-S104- S202-S204 hariç tüm kolonlar)		0.40x0.40	12Ø14
S102-S104		0.40x0.40	30Ø14
S202-S204		0.40x0.40	28Ø14

Çizelge 4.4 : Düzenli sistemde giriş donatıları

Eleman Adı	Eleman Boyutları (bxh)(m)	Sağ Mesnet		Sol Mesnet	
		Üst	Alt	Üst	Alt
K101	0.25x0.60	5Ø12	3Ø12	5Ø12	3Ø12
K102	0.25x0.60	4Ø12	3Ø12	5Ø12	3Ø12
K103	0.25x0.60	5Ø12	3Ø12	4Ø12	3Ø12
K104	0.25x0.60	5Ø12	3Ø12	5Ø12	3Ø12
K201	0.25x0.60	4Ø12	3Ø12	5Ø12	3Ø12
K202	0.25x0.60	4Ø12	3Ø12	4Ø12	3Ø12
K203	0.25x0.60	4Ø12	3Ø12	4Ø12	3Ø12
K204	0.25x0.60	5Ø12	3Ø12	4Ø12	3Ø12
K301	0.25x0.60	4Ø12	3Ø12	5Ø12	3Ø12
K302	0.25x0.60	4Ø12	3Ø12	4Ø12	3Ø12
K303	0.25x0.60	4Ø12	3Ø12	4Ø12	3Ø12
K304	0.25x0.60	5Ø12	3Ø12	4Ø12	3Ø12
K401	0.25x0.60	4Ø12	3Ø12	4Ø12	3Ø12
K402	0.25x0.60	4Ø12	3Ø12	4Ø12	3Ø12
K403	0.25x0.60	4Ø12	3Ø12	4Ø12	3Ø12
K404	0.25x0.60	4Ø12	3Ø12	4Ø12	3Ø12
K501	0.25x0.60	4Ø12	2Ø12	4Ø12	3Ø12
K502	0.25x0.60	4Ø12	2Ø12	4Ø12	2Ø12
K503	0.25x0.60	4Ø12	2Ø12	4Ø12	2Ø12
K504	0.25x0.60	4Ø12	3Ø12	4Ø12	2Ø12
K601	0.25x0.60	3Ø12	2Ø12	4Ø12	2Ø12
K602	0.25x0.60	3Ø12	2Ø12	3Ø12	2Ø12
K603	0.25x0.60	3Ø12	2Ø12	3Ø12	2Ø12
K604	0.25x0.60	4Ø12	4Ø12	3Ø12	2Ø12
K701	0.25x0.60	3Ø12	2Ø12	3Ø12	2Ø12
K702	0.25x0.60	3Ø12	2Ø12	3Ø12	2Ø12
K703	0.25x0.60	3Ø12	2Ø12	3Ø12	2Ø12
K704	0.25x0.60	3Ø12	2Ø12	3Ø12	2Ø12

Çizelge 4.5 : Düzensiz sistemde kiriş donatıları

Eleman Adı	Eleman Boyutları (b _x h)(m)	Sağ Mesnet		Sol Mesnet	
		Üst	Alt	Üst	Alt
K101	0.25x0.60	7Ø12	4Ø12	4Ø12	4Ø12
K102	0.40x0.75	9Ø12	14Ø12	9Ø12	14Ø12
K104	0.25x0.60	4Ø12	4Ø12	7Ø12	4Ø12
K201	0.25x0.60	8Ø12	4Ø12	5Ø12	3Ø12
K202	0.25x0.60	3Ø12	6Ø12	8Ø12	4Ø12
K203	0.25x0.60	8Ø12	4Ø12	3Ø12	6Ø12
K204	0.25x0.60	5Ø12	3Ø12	8Ø12	4Ø12
K301	0.25x0.60	6Ø12	4Ø12	5Ø12	3Ø12
K302	0.25x0.60	3Ø12	5Ø12	6Ø12	4Ø12
K303	0.25x0.60	6Ø12	4Ø12	3Ø12	5Ø12
K304	0.25x0.60	5Ø12	3Ø12	6Ø12	4Ø12
K401	0.25x0.60	6Ø12	4Ø12	4Ø12	3Ø12
K402	0.25x0.60	3Ø12	4Ø12	6Ø12	4Ø12
K403	0.25x0.60	6Ø12	4Ø12	3Ø12	4Ø12
K404	0.25x0.60	4Ø12	3Ø12	6Ø12	4Ø12
K501	0.25x0.60	5Ø12	3Ø12	4Ø12	3Ø12
K502	0.25x0.60	3Ø12	4Ø12	5Ø12	3Ø12
K503	0.25x0.60	5Ø12	3Ø12	3Ø12	4Ø12
K504	0.25x0.60	4Ø12	3Ø12	5Ø12	3Ø12
K601	0.25x0.60	5Ø12	3Ø12	4Ø12	3Ø12
K602	0.25x0.60	3Ø12	3Ø12	5Ø12	3Ø12
K603	0.25x0.60	5Ø12	3Ø12	3Ø12	3Ø12
K604	0.25x0.60	4Ø12	3Ø12	5Ø12	3Ø12
K701	0.25x0.60	4Ø12	3Ø12	3Ø12	2Ø12
K702	0.25x0.60	3Ø12	3Ø12	4Ø12	3Ø12
K703	0.25x0.60	4Ø12	3Ø12	3Ø12	3Ø12
K704	0.25x0.60	3Ø12	2Ø12	4Ø12	3Ø12

Çizelge 4.6 : Düzensiz ve ilgili elemanlarda iç kuvvetlerin %50 arttırıldığı sistemde kiriş donatıları

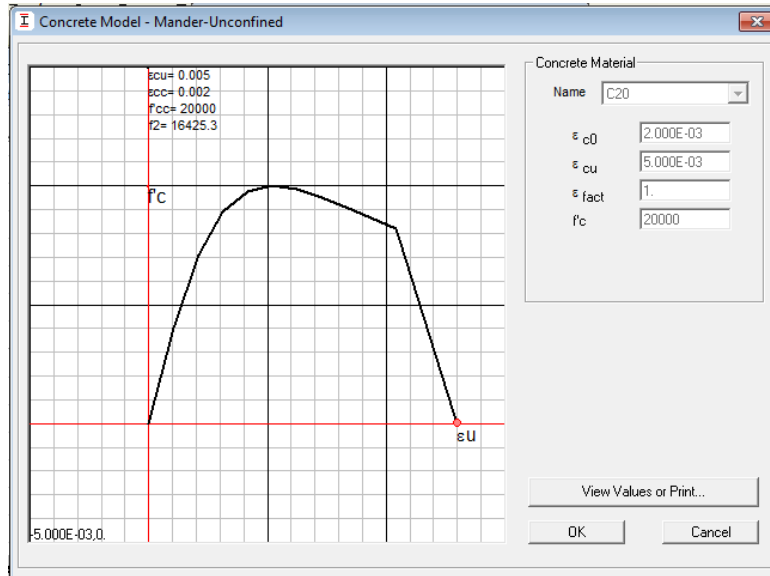
Eleman Adı	Eleman Boyutları (bxh)(m)	Sağ Mesnet		Sol Mesnet	
		Üst	Alt	Üst	Alt
K101	0.25x0.60	6Ø16	6Ø12	6Ø12	6Ø12
K102	0.40x0.75	10Ø14	12Ø16	10Ø14	12Ø16
K104	0.25x0.60	6Ø12	6Ø12	6Ø16	6Ø12
K201	0.25x0.60	8Ø12	4Ø12	5Ø12	3Ø12
K202	0.25x0.60	3Ø12	6Ø12	8Ø12	4Ø12
K203	0.25x0.60	8Ø12	4Ø12	3Ø12	6Ø12
K204	0.25x0.60	5Ø12	3Ø12	8Ø12	4Ø12
K301	0.25x0.60	6Ø12	4Ø12	5Ø12	3Ø12
K302	0.25x0.60	3Ø12	5Ø12	6Ø12	4Ø12
K303	0.25x0.60	6Ø12	4Ø12	3Ø12	5Ø12
K304	0.25x0.60	5Ø12	3Ø12	6Ø12	4Ø12
K401	0.25x0.60	6Ø12	4Ø12	4Ø12	3Ø12
K402	0.25x0.60	3Ø12	4Ø12	6Ø12	4Ø12
K403	0.25x0.60	6Ø12	4Ø12	3Ø12	4Ø12
K404	0.25x0.60	4Ø12	3Ø12	6Ø12	4Ø12
K501	0.25x0.60	5Ø12	3Ø12	4Ø12	3Ø12
K502	0.25x0.60	3Ø12	4Ø12	5Ø12	3Ø12
K503	0.25x0.60	5Ø12	3Ø12	3Ø12	4Ø12
K504	0.25x0.60	4Ø12	3Ø12	5Ø12	3Ø12
K601	0.25x0.60	5Ø12	3Ø12	4Ø12	3Ø12
K602	0.25x0.60	3Ø12	3Ø12	5Ø12	3Ø12
K603	0.25x0.60	5Ø12	3Ø12	3Ø12	3Ø12
K604	0.25x0.60	4Ø12	3Ø12	5Ø12	3Ø12
K701	0.25x0.60	4Ø12	3Ø12	3Ø12	2Ø12
K702	0.25x0.60	3Ø12	3Ø12	4Ø12	3Ø12
K703	0.25x0.60	4Ø12	3Ø12	3Ø12	3Ø12
K704	0.25x0.60	3Ø12	2Ø12	4Ø12	3Ø12

4.2 Performans Analizi İçin Yapıların Bilgisayar Ortamında Modellerinin Oluşturulması

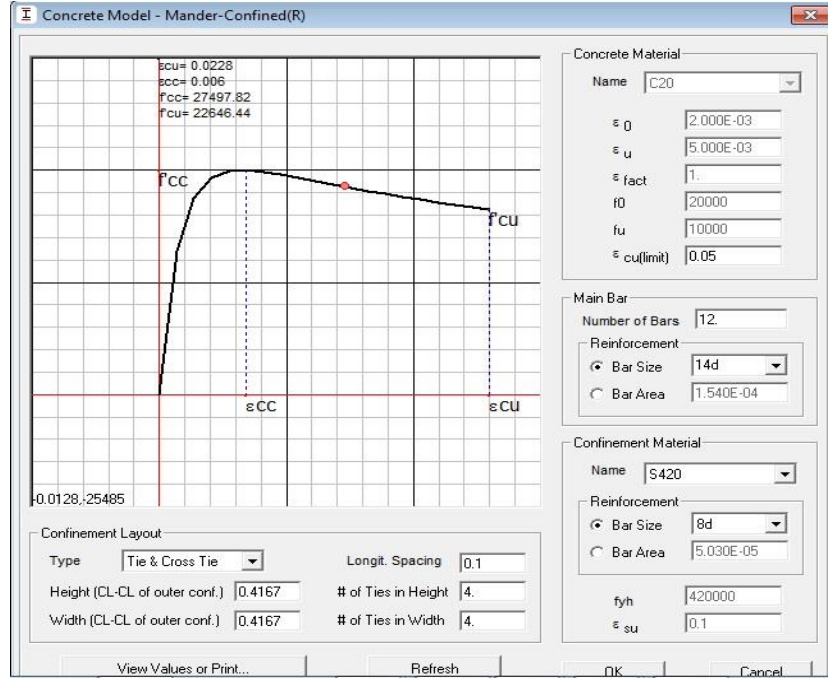
Bölüm (4.1)' de detayları verilen çerçevelerin deprem performanslarının analizi için SAP2000 v.14.2.2 [29] yapısal analiz programı kullanılmıştır. Performans analizi yapılırken malzemelerin karakteristik dayanımları esas alınmış, güvenlik katsayıları kullanılmamıştır. Analizler için artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemleri tercih edilmiştir. Bu kısımda yapıların SAP2000 programında malzemenin doğrusal olmayan davranışı da dikkate alınarak modellenmesi hakkında bilgi verilecektir.

4.2.1 Çerçevelerin SAP2000 programında modellenmesi

Çerçeveleri oluşturan elemanlar modellendikten sonra tanımlanan kesitler ve malzeme özellikleri elemanlara atanmıştır. Malzeme özellikleri tanımlanırken sargılı beton için Mander beton modeli, donatı çeliği için ise DBYBHY (2007)' de S420 sınıfı donatı çelikleri için verilen model kullanılmıştır. Kesit özellikleri tanımlanırken SAP2000' in "Section Designer" özelliğinden faydalanılmış, kesitin çekirdek kısmına mander sargılı beton modeli, paspayı kısmına ise sargısız beton modeli atanmıştır. Aşağıda sargılı ve sargısız beton modelleri, S420 donatı modeli, "Section Designer" özelliği ile tanımlanan, düzenli sisteme ait S101 kolonuna ve K101 kirişinin sol ucuna ait kesitler görülmektedir.

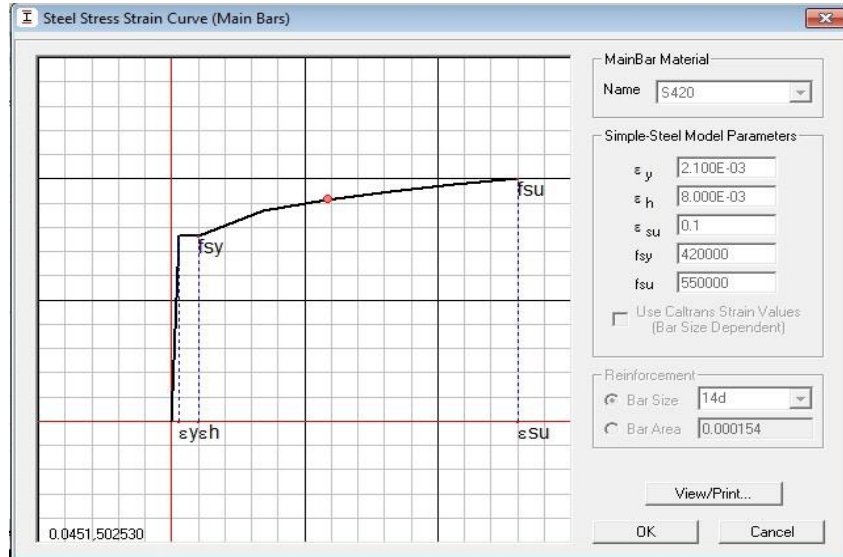


Şekil 4.3 : Mander sargısız beton modeli

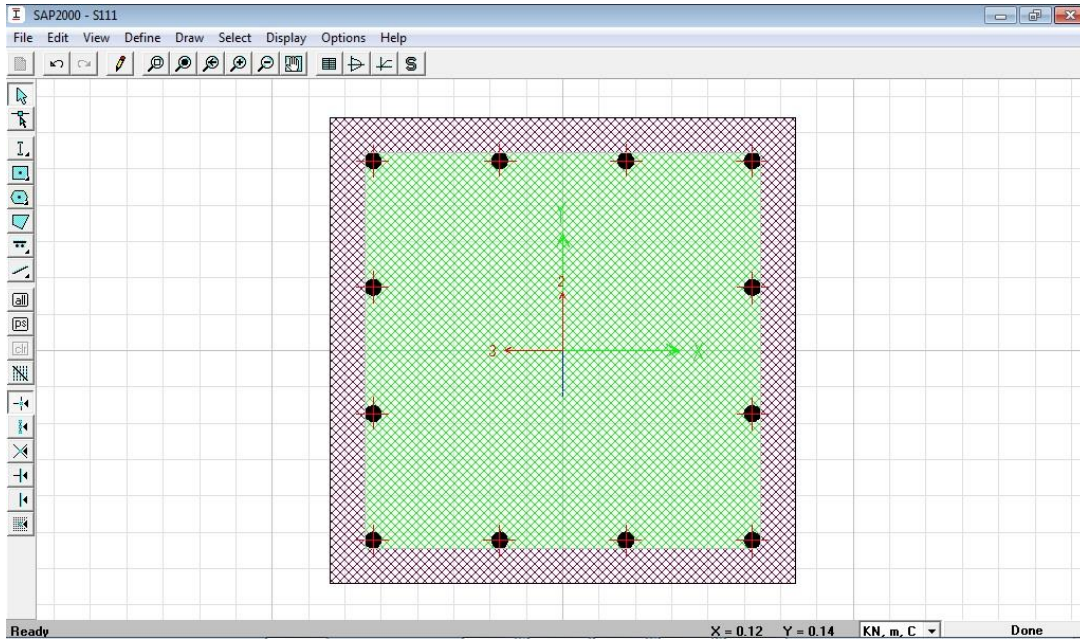


Şekil 4.4 : Mander sargılı beton modeli

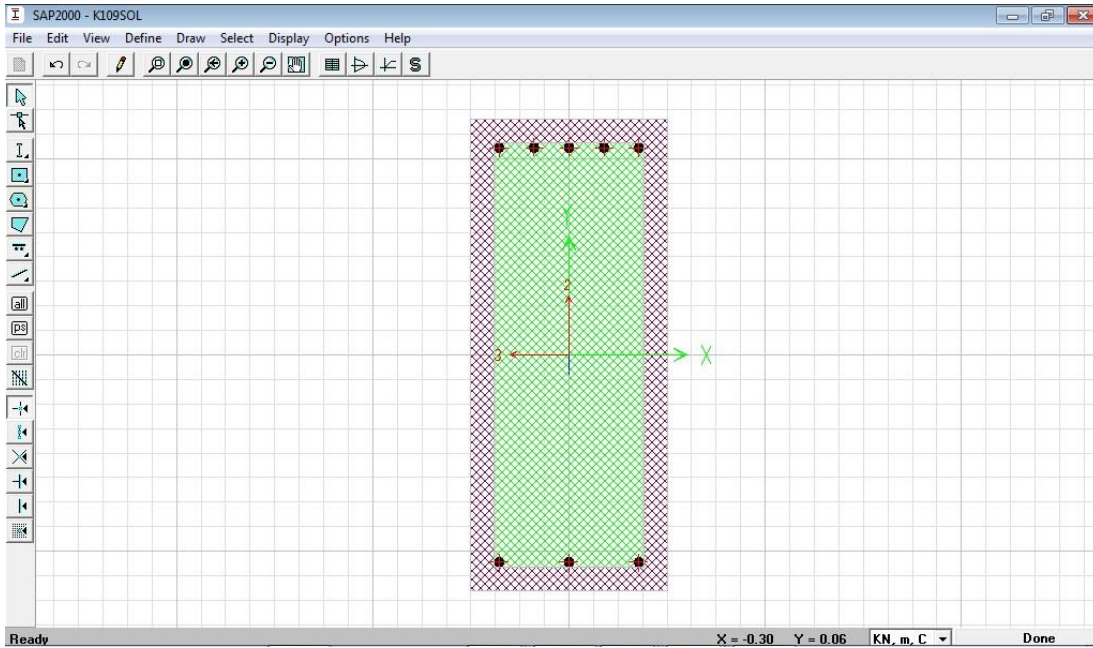
Sargısız beton modelinde betonda maksimum gerilmeye karşı gelen birim şekil değiştirme değeri 0.002, maksimum birim şekil değiştirmesi ise 0.005 olarak alınmıştır. Sargı etkisine bağlı olarak betonun dayanım ve şekil değiştirme değerlerinde önemli artışlar meydana gelmektedir. Şekil (4.3) ve (4.4)' te de görüldüğü üzere; S101 kolonunda sargı etkisi nedeniyle betonun maksimum gerilme değeri 20 MPa' dan 27.4 MPa' a yükselmiştir.



Şekil 4.5 : S420a donatı çeliği gerilme-şekil değiştirme grafiği



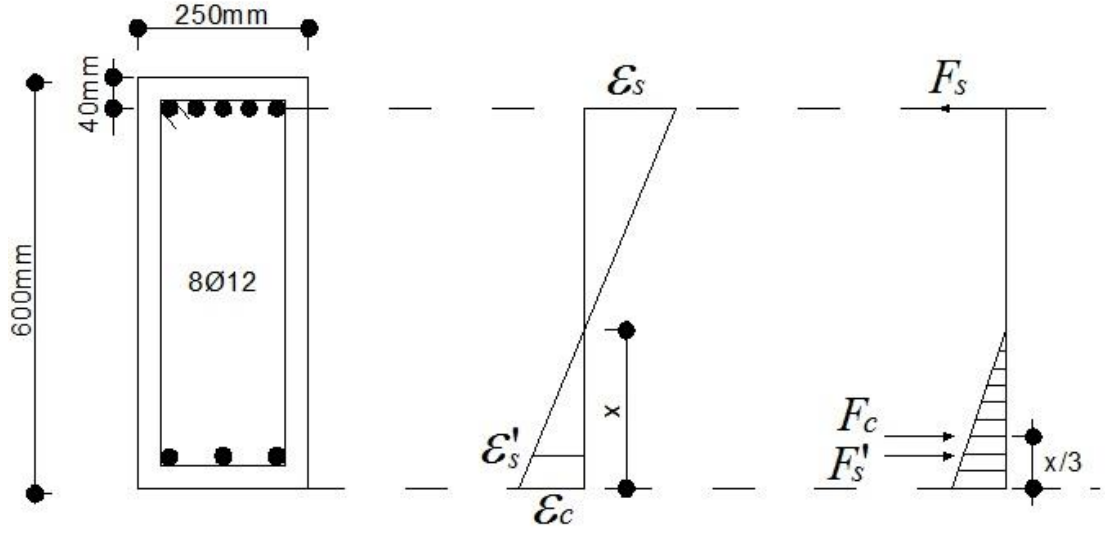
Şekil 4.6 : Düzenli sisteme ait S101 kolonu kesiti



Şekil 4.7 : Düzenli sisteme ait K101 kirişi sol mesnet kesiti

SAP2000 programı, “Section Designer” ile tanımlanan kesitlerde moment-eğrilik ve moment-normal kuvvet diyagramlarını otomatik olarak oluşturmaktadır. Bu ise plastik mafsallarda tanımlamalarında büyük kolaylık sağlamaktadır. Her kesite ait moment-eğrilik ve moment-normal kuvvet diyagramlarını tek tek programa tanıtmak yerine bu seçenek kullanıldığında program ilgili elemana ait değerleri otomatik olarak kesit özelliklerinden çekmektedir.

Örnek olarak; kesiti yularıda verilen, düzenli sisteme ait K101 kirişi sol mesnet kesitinin akma eğriliği ve akma momenti değerleri aşağıdaki gibi hesaplanabilir.



Şekil 4.8 : K101 kirişi sol mesnet kesiti için çekme donatısının akma anında oluşan şekil değiştirme durumu

Negatif Moment Durumu (Üstte çekme, altta basınç)

$$b_w=250 \text{ mm} \quad h=600 \text{ mm} \quad d'=40 \text{ mm} \quad d=600-40=560 \text{ mm}$$

$$A_s=565 \text{ mm}^2 \quad \rho=565/(250 \times 560)=0.004$$

$$A_s'=339 \text{ mm}^2 \quad \rho'=339/(250 \times 560)=0.0024$$

Akma eğriliği hesabı;

$$n=\frac{E_s}{E_c}=\frac{2.10^5}{28000}=7.14$$

$$\varepsilon_y=\frac{\sigma_y}{E_y}=\frac{420}{2.10^5}=0.0021$$

$$k_x=\sqrt{(\rho+\rho')^2 n^2+2\left(\rho+\rho'\frac{d'}{d}\right)n-(\rho+\rho')n}$$

$$=\sqrt{(0.004+0.0024)^2 7.14^2+2\left(0.004+0.0024\frac{40}{560}\right)7.14-(0.004+0.0024)7.14}$$

$$=0.203$$

$$x=k_x d=0.203 \times 560=113 \text{ mm}$$

$$\phi_y = \frac{\epsilon_y}{d-x} = \frac{0.0021}{560-113.49} = 0.0047 \text{ rad/m}$$

Akma momenti hesabı;

$$\epsilon'_s = \epsilon_y \frac{x-d'}{d-x} = 0.0021 \frac{113.49-40}{560-113.49} = 0.000346$$

$$\sigma'_s = E_s \epsilon_s = 2.10^5 \times 0.000346 = 69.2 \text{ MPa}$$

$$\epsilon_c = \epsilon_y \frac{k_x}{1-k_x} = 0.0021 \frac{0.203}{1-0.203} = 0.000535$$

$$\sigma_c = E_c \epsilon_c = 28000 \times 0.000535 = 14.98 \text{ MPa}$$

$$F_c = 0.5 \sigma_c b x = 0.5 \times 14.98 \times 250 \times 113.49 = 212.51 \times 10^3 \text{ N}$$

$$F'_s = \sigma'_s A_s = 69.2 \times 339 = 23.459 \times 10^3 \text{ N}$$

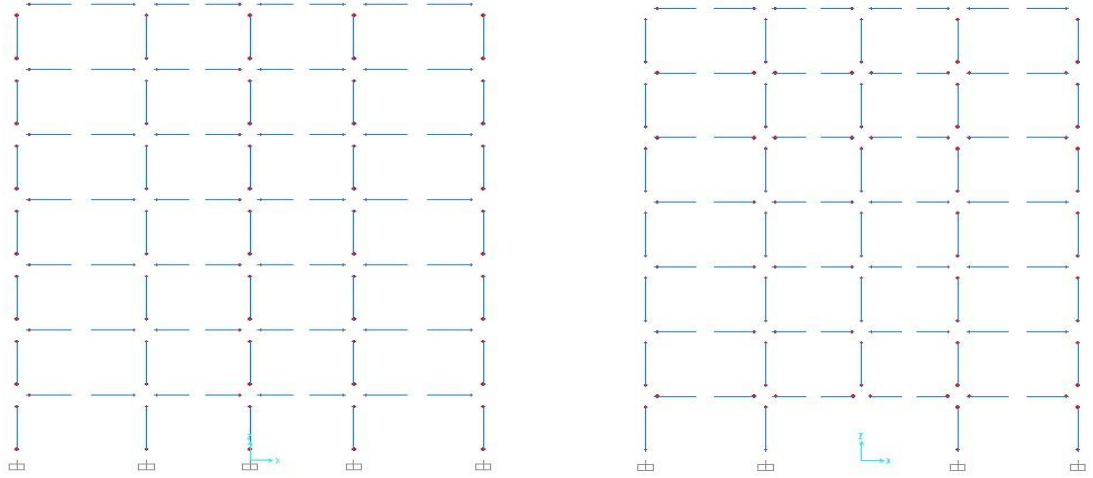
$$F_s = \sigma_s A_s = 420 \times 565 = 237.3 \times 10^3 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} M_y &= F_c \left(d - \frac{x}{3} \right) + F'_s (d - d') \\ &= 212.51 \times 10^3 \left(560 - \frac{113}{3} \right) + 23.459 \times 10^3 (560 - 40) = 123 \text{ kNm} \end{aligned}$$

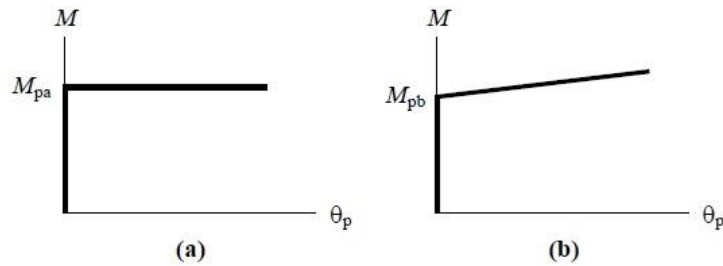
Şekil (4.11)' de K101 kirişi sol mesnet kesiti için “Section Designer” programı ile bulunan akma momenti-akma eğriliği değerleri kırmızı kutu içerisinde gösterilmektedir. Elle yapılan hesap sonucu akma eğriliği $\phi_y = 0.0047 \text{ rad/m}$ bulunurken Caltrans İdealizasyonu kullanılarak program tarafından bu değer $\phi_y = 0.0048 \text{ rad/m}$, akma momenti değerleri elle yapılan ve program ile yapılan hesaplarda sırasıyla $M_y = 123 \text{ kNm}$ ve $M_y = 119 \text{ kNm}$ olarak bulunmuştur. Görüldüğü gibi değerler hemen hemen birbirinin aynısıdır.

Çerçevelere ait kesitler tanımlandıktan sonra plastik mafsallar oluşturulmuş ve plastik mafsallar plastikleşme bölgelerinin orta noktalarına atanmıştır. Olası plastik mafsal bölgeleri olarak kirişlerin sağ ve sol uçları, kolonların alt ve üst uçları kabul edilmiştir. Buradaki tek istisna düzensiz sistemlerde ikinci kat kolonun oturduğu K102 kirişidir. Bu elemanda açıklık ortasında eğilme momenti değerinin büyük olması ve deprem etkisinde bu değer daha da artacağı varsayılarak açıklık ortasına

da plastik mafsalları atanmıştır. Analiz sonuçlarına bakıldığında gerçekten de bu elemanın açıklık kesitinde plastik şekil değiştirmelerin meydana geldiği görülmüştür. Düzenli sistem ve düzensiz sistemler için atanan plastik mafsallar Şekil (4.9)'da gösterilmiştir. “Section Designer” özelliği kullanılarak elemanlar tanımlandığı ve kirişlerde sağ ve sol mesnetlerde donatılar farklı olabildiği için kirişler iki parçalı olarak tanımlanmış ve ilgili kesit ilgili tarafa atanmıştır. Bu sebeple şekilde kirişler iki parçalı olarak görünmektedir. Plastik mafsalları özellikleri belirlenirken kesitlerin iç kuvvet-plastik şekil değiştirme bağıntılarında donatıdaki pekleşmenin etkisi dikkate alınmamış, plastik dönme artışına bağlı olarak plastik momentteki artış ihmal edilmiştir. Kesit iç kuvvet-plastik şekil değiştirme diyagramları iki doğrusal olarak idealize edilmiştir. Plastik mafsalları boyu, DBYBHY (2007)'de önerildiği gibi kesit yüksekliğinin yarısı olarak alınmış ve plastik mafsallar plastik mafsalları bölgesinin ortasına atanmıştır. Şekil (4.10)a'da pekleşmenin ihmal edildiği, Şekil (4.10)b'de ise pekleşmenin göz önüne alındığı iç kuvvet-plastik şekil değiştirme bağıntıları verilmiştir.

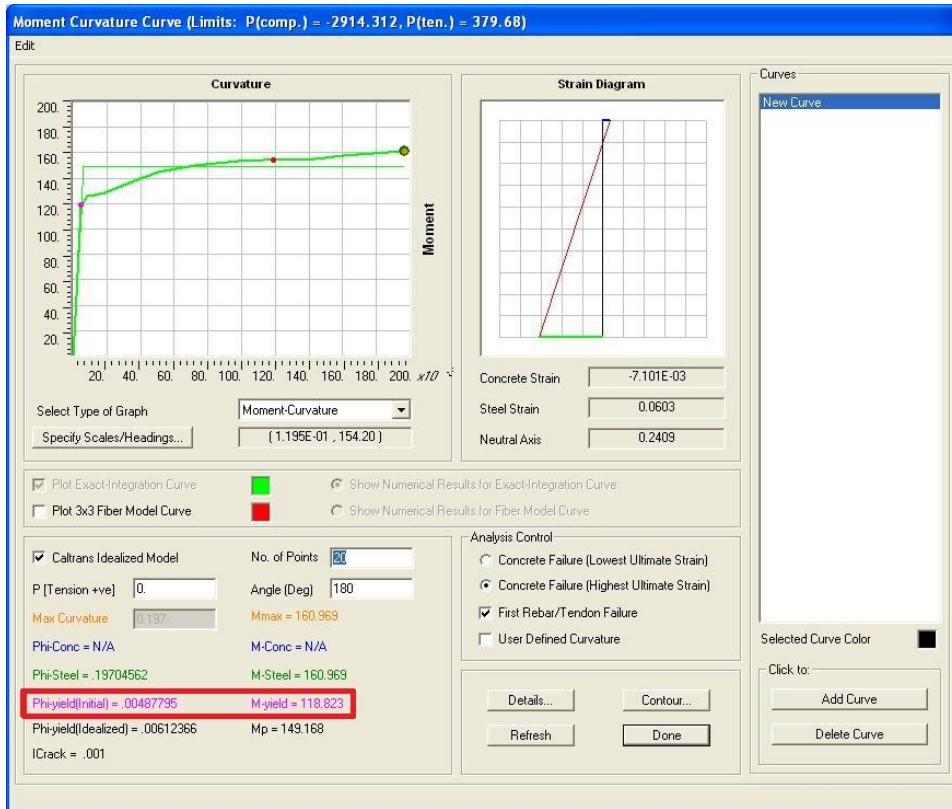


Şekil 4.9 : Düzenli sistem ve düzensiz sistemler için atanan plastik mafsallar



Şekil 4.10 : İdealize edilmiş iç kuvvet-plastik şekil değiştirme bağıntıları [12]

Kirişlerde normal kuvvet etkisi bulunmadığından akma eğriliği tektir ve plastik mafsall oluşturulması işlemi için kesitin iç kuvvet-plastik şekil değiştirme bağıntısının idealleştirilerek SAP2000 programına tanıtılması yeterlidir. Kolonlar bileşik eğilme etkisine maruz oldukları için kesitin davranışında eksenel kuvvet etkisi de söz konusudur. Kolon kesitlerinde eğilme momenti ve normal kuvvet değerleri karşılıklı etki diyagramını oluşturan sınır değerlere eriştikten sonra kesitte moment ve normal kuvvet değerleri sabit kalabileceği gibi, eğri üzerinde hareket de edebilir. Böylece kesitte plastik şekil değiştirmeler meydana gelir. Böylelikle bileşik eğilme etkisindeki elemanlar için karşılıklı etki diyagramı aynı zamanda akma eğrisi olarak görülebilir [15]. SAP2000 programında, kolon kesitleri için akma momenti değeri belli bir normal kuvveti değeri için eğilme momenti-normal kuvvet diyagramından doğrudan çekilmektedir. Kesitte eğilme momenti değeri akma momentine eriştikten sonra plastik şekil değiştirmeler başlamakta ve kesit serbestçe dönmektedir.



Şekil 4.11 : Düzenli sisteme ait K101 kirişi sol mesnet kesiti moment-eğrilik diyagramı

Doğrusal olmayan analizde, kesitlerde deformasyonlar ve çatlamlar meydana geleceği için çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitliği kullanmak daha uygun olmaktadır. Bir kesitin çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitliği, çatlamamış kesite ait

etkin eğilme rijitliğinin bir katsayı ile azaltılması yolu ile elde edilir. Kirişlerde bu katsayı DBYBHY (2007)' de 0.40 olarak verilmekte iken kolon ve perde elemanlarda eleman üzerindeki eksenel kuvvet seviyesine bağlı olarak değişmektedir. Eleman üzerindeki eksenel kuvvet seviyesi arttıkça, eksenel kuvvetin kesitteki çatlamları azaltması sebebiyle, çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitlikleri çatlamamış kesite ait etkin eğilme rijitliğine yaklaşmaktadır. DBYBHY (2007)' de kolonlar ve kirişler için önerilen çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitlikleri aşağıda verilmiştir. Kolon ve perdeler için eksenel kuvvetin ara değerleri için doğrusal enterpolasyon yapılır.

Kirişlerde : $(EI)_e = 0.40 (EI)_0$

Kolon ve perdelerde : $N_D/A_c f_{cm} \leq 0.10$ olması durumunda: $(EI)_e = 0.40 (EI)_0$

$N_D/A_c f_{cm} \geq 0.40$ olması durumunda: $(EI)_e = 0.80 (EI)_0$

Burada;

$(EI)_e$: Çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitliği,

$(EI)_0$: Çatlama kesite ait etkin eğilme rijitliği,

N_D : Deprem hesabında esas alınan toplam kütlelerle uyumlu düşey yükler altında kolon ve perdelerde oluşan normal kuvvet,

f_{cm} : Mevcut beton dayanımıdır.

Çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitliklerinin hesabı için, eksenel kuvvet seviyesinin hesabında deprem hesabı için başlangıç durumunu oluşturan yükleme kombinasyonu esas alınmalıdır. Tez kapsamında incelenen çerçeveler konut binası olarak tasarlandığı için hareketli yük katılım katsayısı Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (2007) - Tablo 2.7' de verildiği üzere 0.3 olarak alınmış, N_D 'nin hesabında $G+0.3Q$ yükleme kombinasyonu kullanılmıştır. Çatlamış kesit etkin eğilme rijitlikleri Çizelge (4.7) ve (4.8)' de verilmiştir. Çizelgelerde, mevcut beton dayanımı olan f_{cm} değeri bütün sistemler için 20 MPa' dır. Kolonlar için eksenel kuvvet oranının 0.40 ile 0.80 olması durumunda, ara değerler için doğrusal enterpolasyon yapılarak çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitlikleri belirlenmiştir.

Çizelge 4.7 : Düzenli sisteme ait kolonlar için çatlamış kesit etkin eğilme rijitlikleri

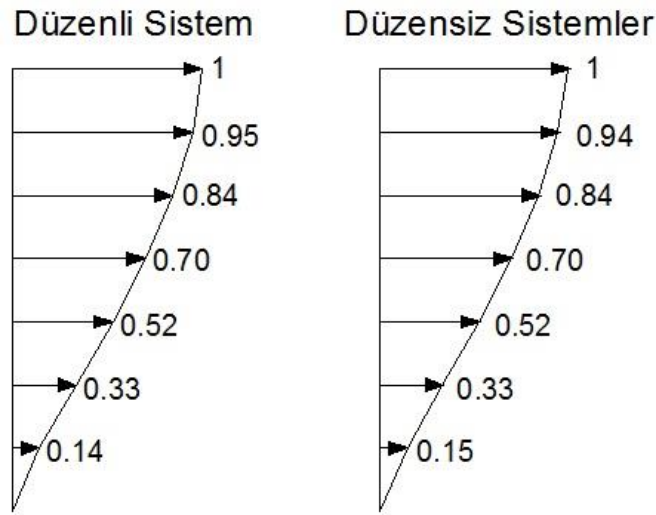
Eleman	Ac(cm ²)	N _D (kN)	N _D / Ac f _{cm}	(EI) _e
S101-S105	1600	499.048	0.16	0.47
S102-S104	1600	826.738	0.26	0.61
S113	1600	679.28	0.21	0.55
S201-S205	1600	427.81	0.13	0.44
S202-204	1600	706.15	0.22	0.56
S203	1600	583.87	0.18	0.51
S301-S305	1600	357.09	0.11	0.42
S302-S304	1600	587.52	0.18	0.51
S303	1600	487.29	0.15	0.47
S401-S405	1600	285.97	0.09	0.40
S402-S404	1600	469.70	0.15	0.46
S403	1600	389.85	0.12	0.43
S501-S505	1600	214.31	0.07	0.40
S502-S504	1600	352.76	0.11	0.41
S503	1600	291.05	0.09	0.40
S601-S605	1600	142.29	0.04	0.40
S602-S604	1600	236.26	0.07	0.40
S603	1600	193.52	0.06	0.40
S701-S705	1600	69.36	0.02	0.40
S702-S704	1600	121.30	0.04	0.40
S703	1600	93.98	0.03	0.40

Çizelge 4.8 : Düzensiz sistemlere ait kolonlar için çatlamış kesit etkin eğilme rijitlikleri

Eleman	Ac(cm²)	N_D(kN)	N_D/ Ac f_{cm}	(EI)_e
S101-S105	1600	469.08	0.15	0.46
S102-S104	1600	1201.54	0.38	0.77
S201-S205	1600	410.37	0.13	0.44
S202-204	1600	950.69	0.30	0.66
S203	1600	129.69	0.04	0.40
S301-S305	1600	342.36	0.11	0.42
S302-S304	1600	782.64	0.24	0.59
S303	1600	126.51	0.04	0.40
S401-S405	1600	274.20	0.09	0.40
S402-S404	1600	620.87	0.19	0.53
S403	1600	111.05	0.03	0.40
S501-S505	1600	205.22	0.06	0.40
S502-S504	1600	462.91	0.14	0.46
S503	1600	89.63	0.03	0.40
S601-S605	1600	135.80	0.04	0.40
S602-S604	1600	307.91	0.10	0.40
S603	1600	63.19	0.02	0.40
S701-S705	1600	65.21	0.02	0.40
S702-S704	1600	155.53	0.05	0.40
S703	1600	33.84	0.01	0.40

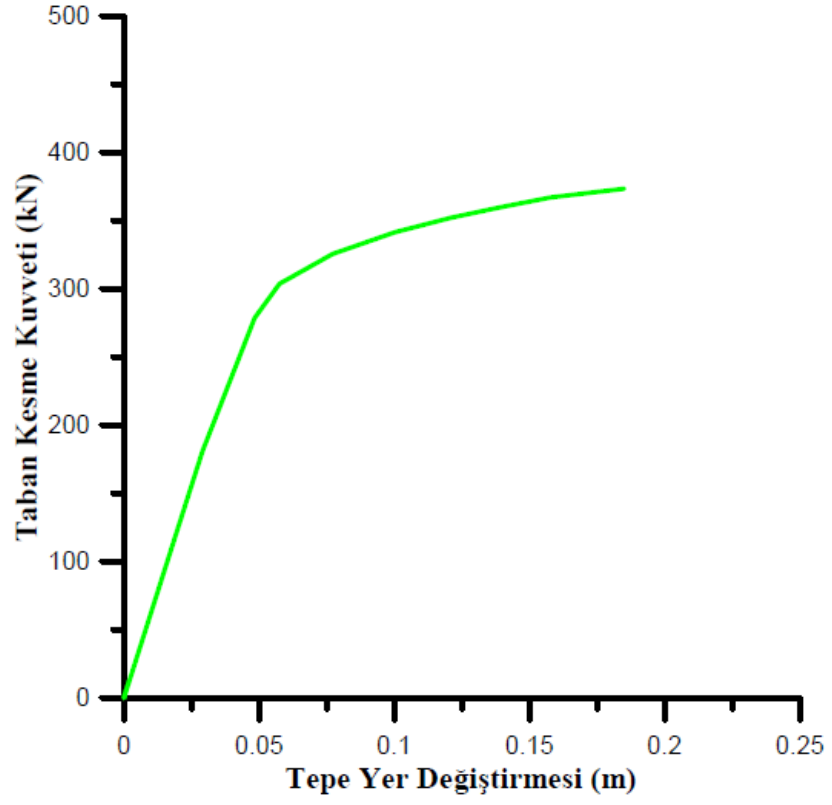
4.3 Sistemin Performansının Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemine Göre Belirlenmesi

Uygulama esasları Bölüm (3.4.1)' de verilmiş olan artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi (statik itme analizi-pushover analizi), yük dağılımı birinci mod genlikleri ve kat kütleleriyle orantılı olacak şekilde çerçevelere uygulanmıştır. Eşdeğer deprem yükünün dağılımının taşıyıcı sistemde oluşacak plastik mafsallardan bağımsız olduğu varsayılmaktadır. Yükler, aralarındaki oran sabit kalacak şekilde artımsal olarak arttırılmaktadır. Artımsal eşdeğer deprem yükü yönteminin başlangıcında çerçeve üzerinde $G+0.3Q$ yüklemesi uygulanmıştır. Düzenli sisteme ve düzensiz sistemlere ait 1. mod şekli genlikleri ve yük dağılımı Şekil (4.12)' de görülmektedir.

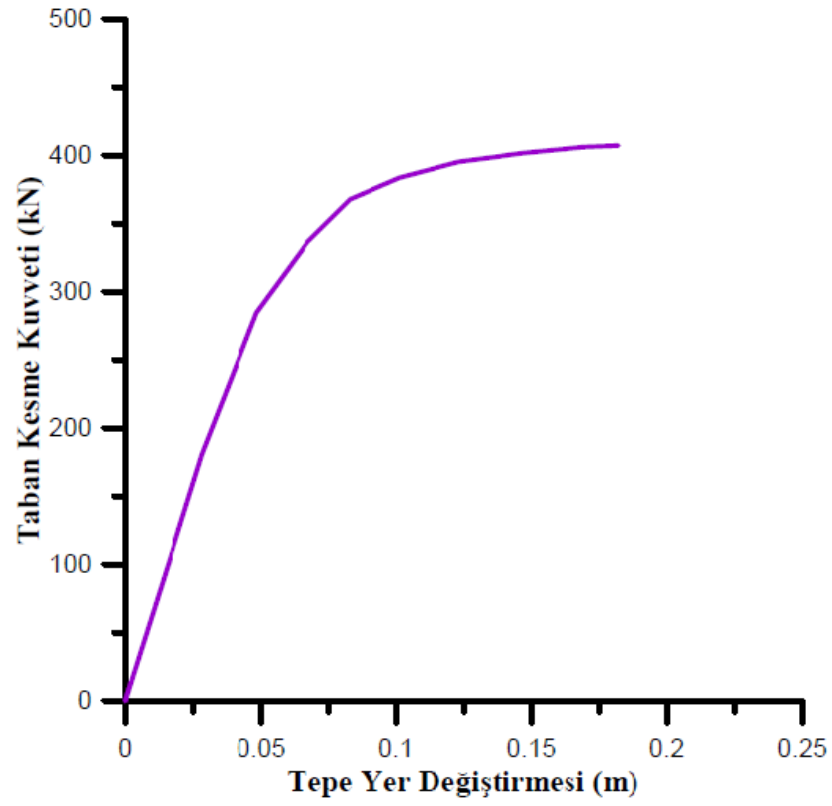


Şekil 4.12 : Düzenli sistem ve düzensiz sistemlere ait 1. mod genlikleri

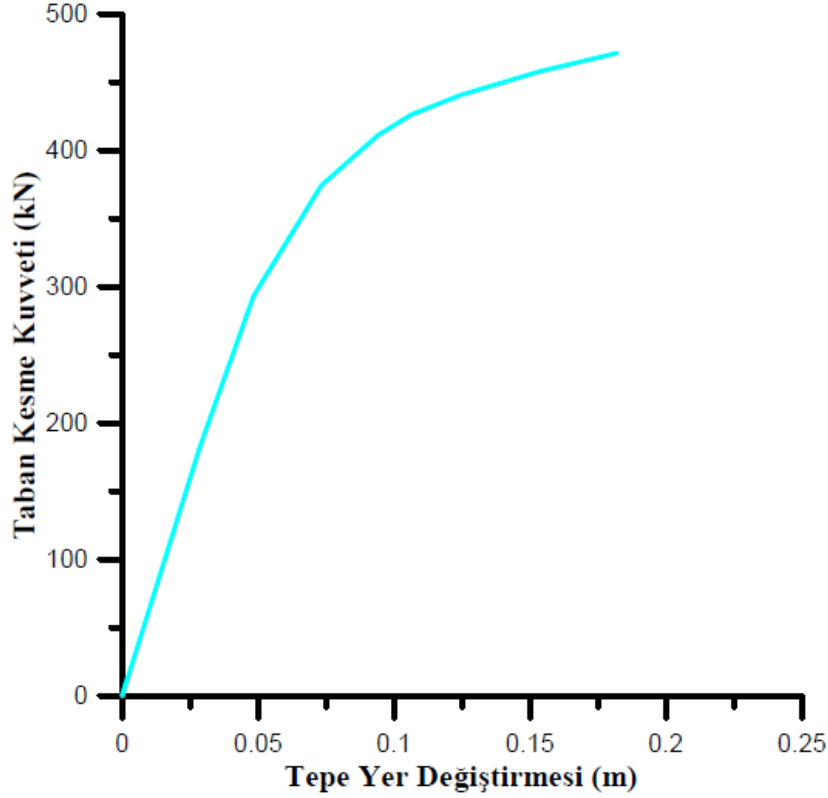
Statik itme analizi sonucunda çerçevelere ait taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirmesi grafikleri elde edilmiştir. Sistemlerde yatay kuvvet arttıkça elemanlarda plastik mafsallar oluşmakta ve sistemin yanal rijitliği gittikçe azalmaktadır. Bu durum taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirmesi eğrisinde eğrinin gittikçe yatıklaşması şeklinde görünmektedir. Sistemde plastik mafsal sayıları arttıkça eğri yatay hale gelmektedir ve yükleme sistem güç tükenmesi durumuna erişinceye kadar devam etmektedir. Düzenli, düzensiz ve ilgili elemanlarda iç kuvvet değerlerinin %50 arttırıldığı sistemlere ait taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirmesi grafikleri Şekil (4.13),(4.14) ve (4.15)' te gösterilmektedir.



Şekil 4.13 : Düzenli sisteme ait taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirmesi grafiği



Şekil 4.14 : Düzensiz sisteme ait taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirmesi grafiği



şekil 4.15 : Düzensiz ve ilgili elemanlarda iç kuvvetlerin %50 arttırıldığı sisteme ait taban kesme kuvveti-tepe yer değıştirmesi grafiği

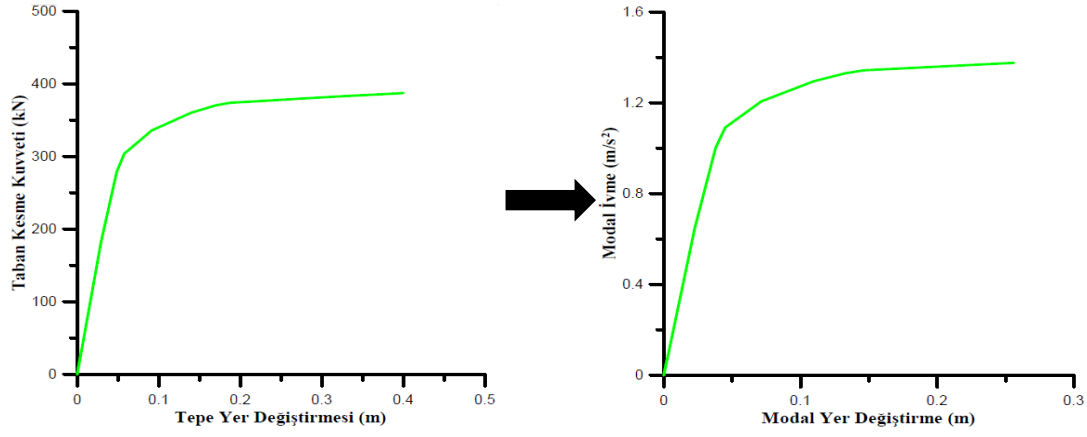
Taban kesme kuvveti-tepe yer değıştirmesi grafikleri elde edildikten sonra gerekli koordinat dönüşümü yapılarak modal ivme-modal yer değıştirme grafikleri elde edilmiştir. Bu işlem detaylı olarak Bölüm (3.4.1)' de anlatılmış olup burada sadece sayısal değerler verilmekle yetinilecektir. Modal ivme-modal yer değıştirme eğrisi elde edilirken birinci (hakim) moda ait etkin kütle ve modal katkı çarpanının hesaplanması gerekmektedir. Birinci moda ait etkin kütle ve modal katkı çarpanının hesaplanması Çizelge (4.9) ve (4.10)' da gösterilmiştir. Daha sonra bu değerler kullanılarak sistemin taban kesme kuvvet-tepe deplasmanı eğrisi, eksen dönüşümü yapılması ile modal ivme-modal yer değıştirme eğrisine çevrilmiştir. Bu dönüşüm sistemin performans noktasının bulunması için gereklidir. Çünkü depremin talebi elastik spektrum eğrisi ile tanımlı iken, bulunan taban kesme kuvveti-tepe yer değıştirmesi grafiği doğrusal olmayan davranış göze alınarak elde edilmiştir. Bu iki eğrinin kesiştirilebilmesi için DBYBHY (2007)' nin yaklaşımı kapasite eğrisini elastik duruma çevirmek şeklindedir. 3 çerçeveye ait modal ivme-modal yer değıştirme grafikleri şekil (4.16), (4.17) ve (4.18)' de verilmiştir.

Çizelge 4.9 : Düzenli sistem için birinci modal kütle ve modal kütle faktörü hesabı

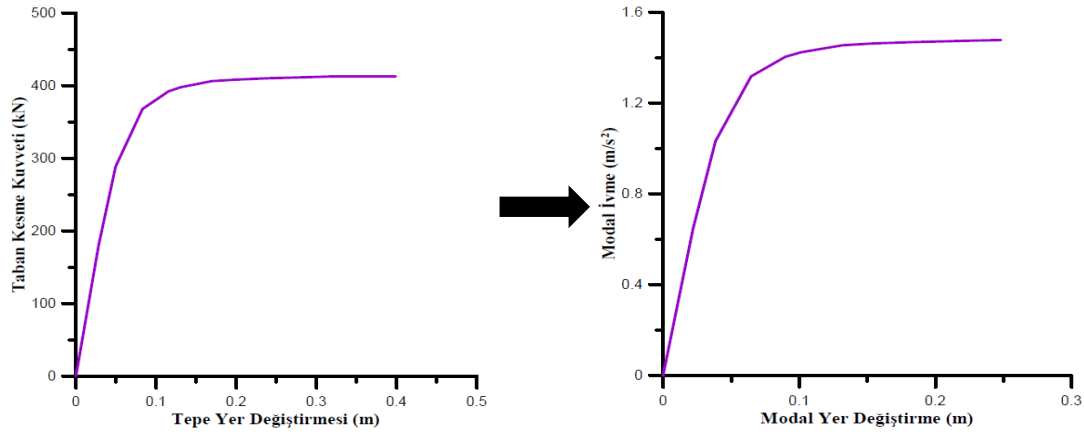
Kat No	Kat Kütlesi (kNs ² /m)	Birinci mod genliği	$m_n \phi_{n1}$	$m_n \phi_{n1}^2$	$M_1 = \frac{\left[\sum_{n=1}^N m_n \phi_{n1} \right]^2}{\sum_{n=1}^N m_n \phi_{n1}^2}$	$\Gamma_1 = \frac{\sum_{n=1}^N m_n \phi_{n1}}{\sum_{n=1}^N m_n \phi_{n1}^2}$
1	48.45	0.0107	0.52	0.0056	-	-
2	48.45	0.0258	1.25	0.0323	-	-
3	48.45	0.0406	1.97	0.0800	-	-
4	48.45	0.0541	2.62	0.1420	-	-
5	48.45	0.0654	3.17	0.2071	-	-
6	48.45	0.0733	3.55	0.2603	-	-
7	48.45	0.0774	3.75	0.2907	-	-
					278.38	16.54

Çizelge 4.10 : Düzensiz sistemler için birinci modal kütle ve modal kütle faktörü hesabı

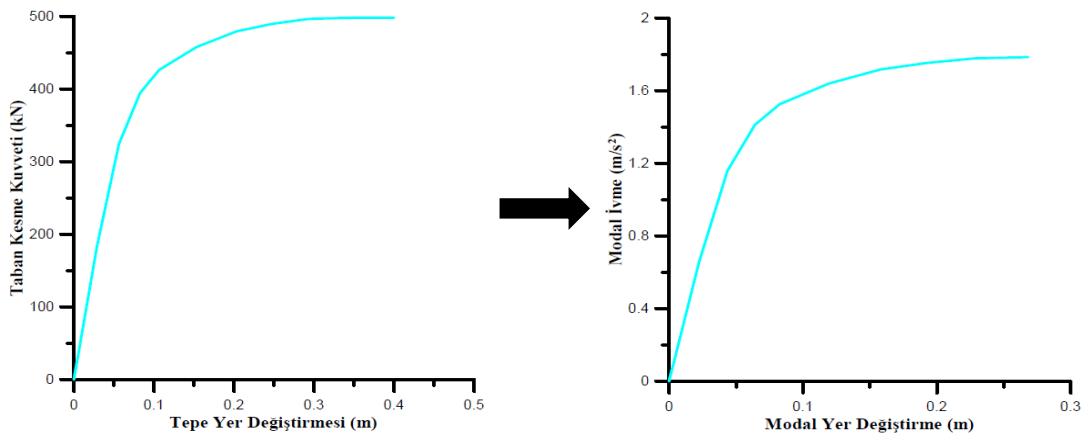
Kat No	Kat Kütlesi (kNs ² /m)	Birinci mod genliği	$m_n \phi_{n1}$	$m_n \phi_{n1}^2$	$M_1 = \frac{\left[\sum_{n=1}^N m_n \phi_{n1} \right]^2}{\sum_{n=1}^N m_n \phi_{n1}^2}$	$\Gamma_1 = \frac{\sum_{n=1}^N m_n \phi_{n1}}{\sum_{n=1}^N m_n \phi_{n1}^2}$
1	48.45	0.0115	0.56	0.0064	-	-
2	48.45	0.0257	1.25	0.0321	-	-
3	48.45	0.0406	1.97	0.0799	-	-
4	48.45	0.0541	2.62	0.1415	-	-
5	48.45	0.0652	3.17	0.2060	-	-
6	48.45	0.0733	3.55	0.2603	-	-
7	48.45	0.0776	3.76	0.2914	-	-
					279.28	16.57



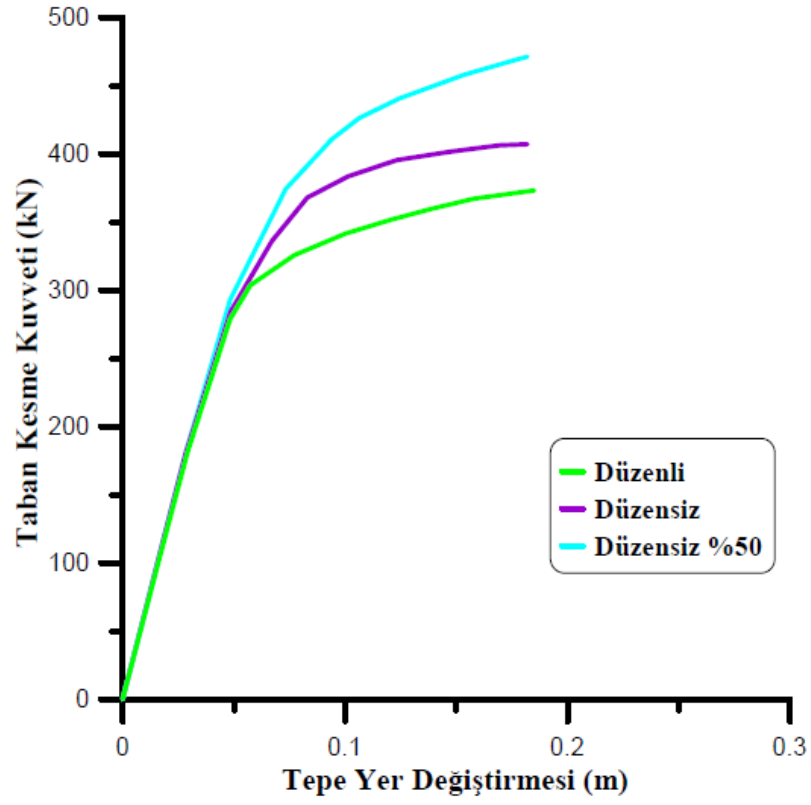
Şekil 4.16 : Düzenli sisteme ait taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirmesi ve modal ivme-modal yer değiştirme eğrileri



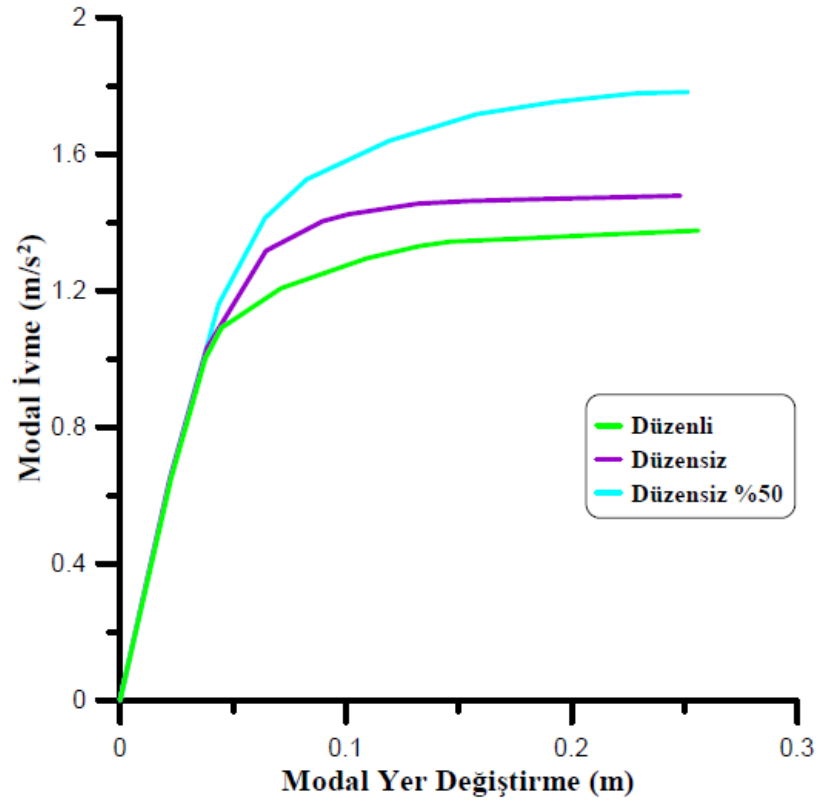
Şekil 4.17 : Düzensiz sisteme ait taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirmesi ve modal ivme-modal yer değiştirme eğrileri



Şekil 4.18 : Düzensiz ve ilgili elemanlarda iç kuvvetlerin %50 arttırıldığı sisteme ait taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirmesi ve modal ivme-modal yer değiştirme eğrileri

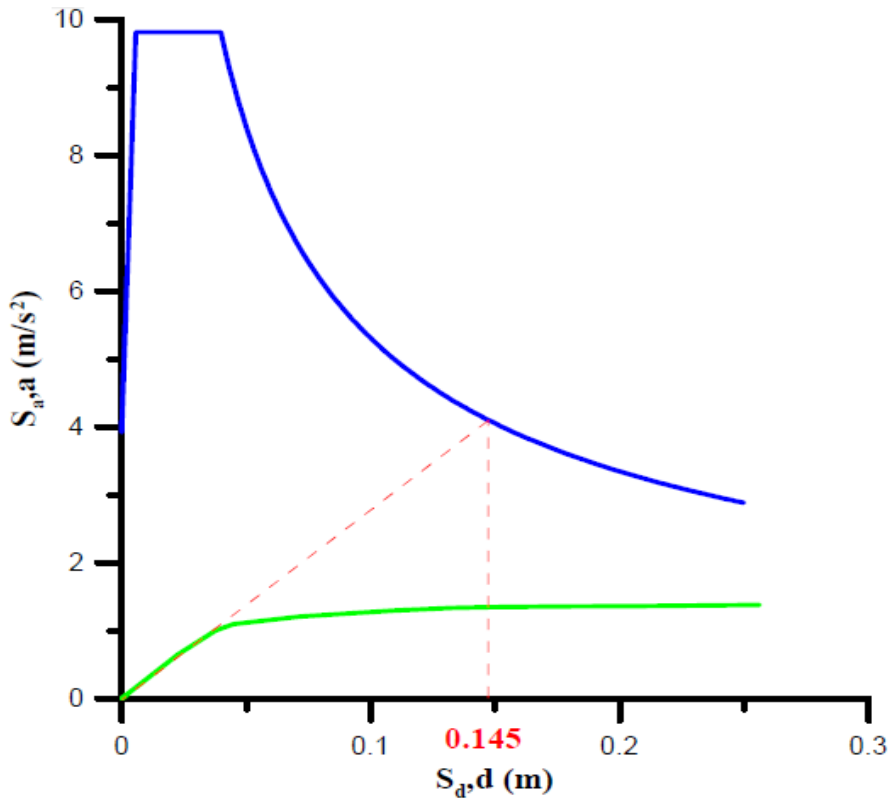


Şekil 4.19 : Üç sistem için statik itme eğrilerinin karşılaştırılması

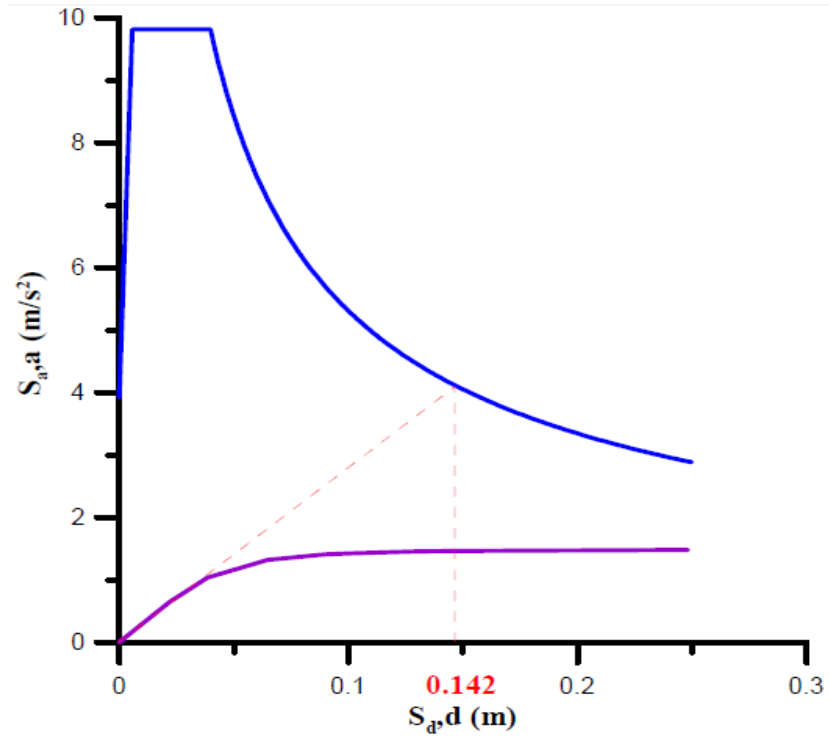


Şekil 4.20 : Üç sistem için modal ivme-modal yer değiştirme eğrilerinin karşılaştırılması

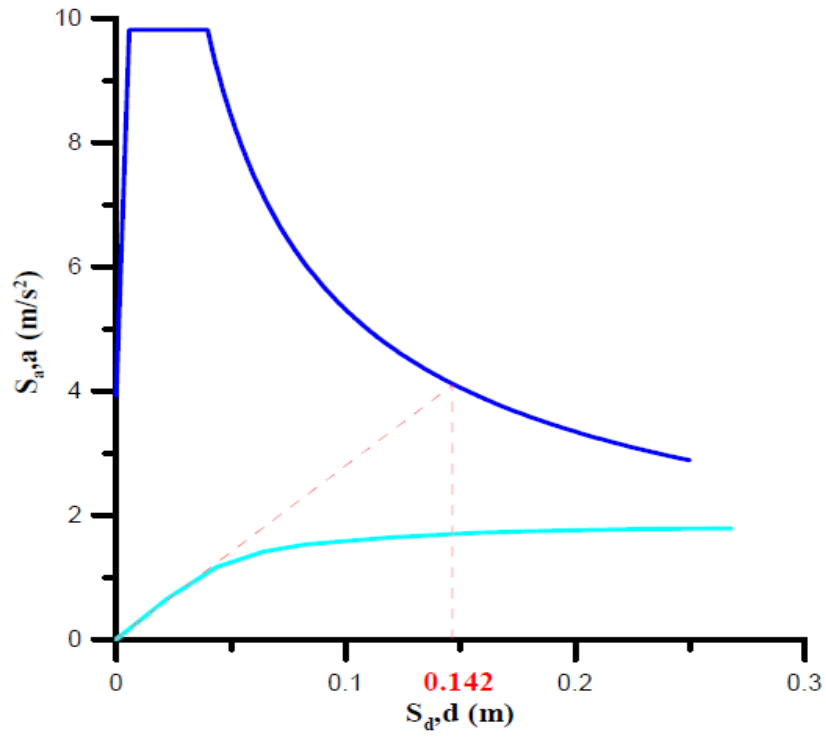
Eksen dönüşümü yapıldıktan sonra spektral ivme-spektral yer değiştirme grafiği ile modal ivme-modal yer değiştirme grafikleri aynı eksen takımı üzerinde çizilebilir. Modal kapasite eğrisinin başlangıç teğeti çizilip elastik talep eğrisi (spektral ivme-spektral yer değiştirme eğrisi) ile kesişim yapılarak sistemin birinci moda ait modal talep yer değiştirmesi elde edilir. Eşit yer değiştirme kuralı uyarınca, periyodu büyük yapılar için elastik ve elasto-plastik davranışta talep yer değiştirme değerleri hemen hemen aynı olacağından doğrudan modal elasto-plastik yer değiştirme talebi elde edilmiş olur. Periyodu küçük yapılarda ise elastik yer değiştirme talebi Denklem (3.66) ve (3.67)' de verilen C_R katsayısı kullanılarak büyütülür ve modal elasto-plastik yer değiştirme talebi bulunur. Tez konusu olan çerçevelerde modal kapasite eğrisinin teğeti spektral kapasite eğrisini düşen kolda kestiği için $C_R = 1$ olmuş ve büyütme işlemine gerek duyulmamıştır. Son olarak modal yer değiştirme istemi, $u^p_{xN1} = \phi_{xN1} \Gamma_{x1} d^p$ formülünde yerine konularak tepe yer değiştirmesi istemi bulunur. Düzenli ve düzensiz sistemlere ait performans noktası bulunması işlemleri Şekil (4.21a), (4.21b) ve (4.21c) ' de gösterilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.21 : (a) Düzenli (b) düzensiz (c) düzensiz ve iç kuvvetleri %50 arttırılmış sistemler için performans noktası bulunuşu

Bulunan modal yer değiştirme istemleri $u^p_{xN1} = \phi_{xN1} \Gamma_{x1} d^p$ formülü kullanılarak tepe yer değiştirme istemine çevrilmelidir. Tepe yer değiştirmesi değerleri:

$$\text{Düzenli sistem için: } u^p_{xN1} = \phi_{xN1} \Gamma_{x1} d^p = 0.0774 \times 16.54 \times 0.145 = 0.185\text{m}$$

$$\text{Düzensiz sistemler için: } u^p_{xN1} = \phi_{xN1} \Gamma_{x1} d^p = 0.0776 \times 16.57 \times 0.142 = 0.183\text{m}$$

olarak hesaplanmıştır. Depremın yapıdan talebi böylece bulunmuştur. şimdi yapılması gereken işlem böyle bir depremde elemanların göreceği hasarların bulunmasıdır. Bunun için depremin yapılardan talebi hedef yer değiştirme olarak tanımlanmış, bu yerdeğiştirme değerine kadar yapı tekrar itilmiştir ve performans noktasında elemanlarda meydana gelen plastik dönmelerden yola çıkılarak beton ve donatının şekil değiştirme istemleri hesaplanmıştır. Performans noktasının bulunuşu işlemi yukarıdaki gibi grafik olarak gösterilebileceği gibi analitik olarak aşağıda açıklanan şekilde de yapılabilir.

Düzenli Sistem İçin Hesap:

$$\phi_{xN1} = 0.0774\text{m}$$

$$\Gamma_{x1} = 16.54$$

$$T = 1.166\text{sn}$$

$$S_{ae1} = A_0 IS(T)g = 0.4 \times 1 \times 2.5 \times \left(\frac{0.4}{1.166} \right)^{0.8} \times 9.81 = 4.168$$

$$S_{de1} = \frac{S_{ae1}}{\left(\omega_1^{(1)} \right)^2} = \frac{S_{ae1} T^2}{4\pi^2} = \frac{4.168 \times 1.166^2}{4 \times \pi^2} = 0.145\text{m}$$

$$u^p_{xN1} = \phi_{xN1} \Gamma_{x1} d^p = 0.0774 \times 16.54 \times 0.145 = 0.185\text{m}$$

Düzenli Sistemler İçin Hesap:

$$\phi_{xN1} = 0.0776\text{m}$$

$$\Gamma_{x1} = 16.57$$

$$T = 1.153\text{sn}$$

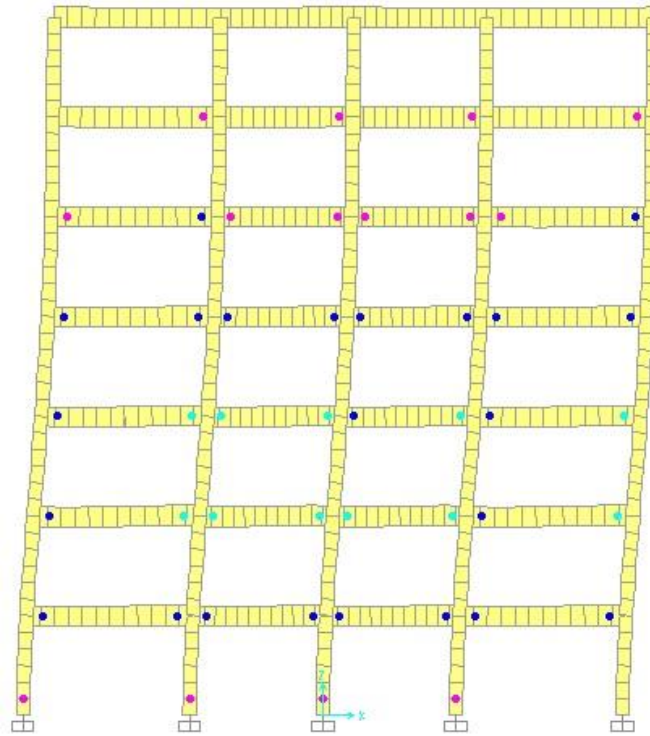
$$S_{ae1} = A_0 IS(T)g = 0.4 \times 1 \times 2.5 \times \left(\frac{0.4}{1.153} \right)^{0.8} \times 9.81 = 4.206$$

$$S_{de1} = \frac{S_{ae1}}{(\omega_1^{(1)})^2} = \frac{S_{ae1} T^2}{4\pi^2} = \frac{4.206 \times 1.153^2}{4 \times \pi^2} = 0.142m$$

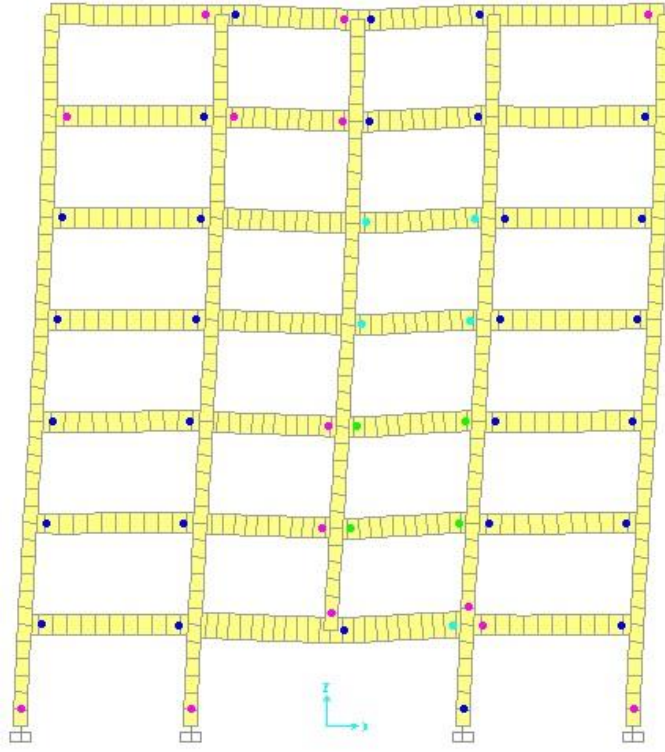
$$u_{xN1}^p = \phi_{xN1} \Gamma_{x1} d^p = 0.0776 \times 16.54 \times 0.142 = 0.183m$$

4.3.1 Performans noktasında elemanlarda oluşan hasarlar

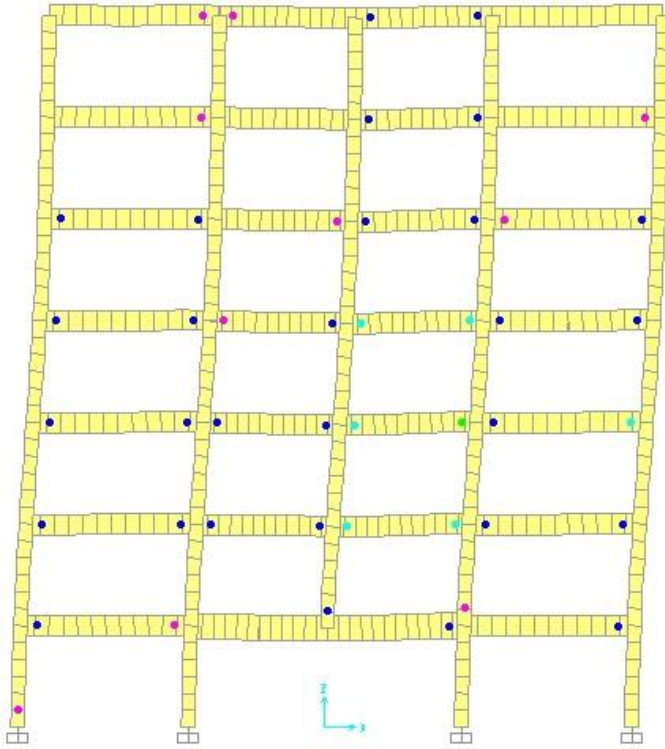
Bölüm (4.3.1)' de belirtildiği şekilde çerçevesler için performans noktası bulunduktan sonra, çerçeveler performans noktası için bulunan yer değiştirme değerine kadar itilmiştir. Bu yer değiştirme değeri için elemanlarda oluşan plastik dönme değerlerinden yola çıkılarak beton ve donatının birim şekil değiştirme istemleri bulunmuş, bulunan değerler DBYBHY (2007)' de verilen sınır değerler ile karşılaştırılarak elemanların hasar bölgeleri belirlenmiştir. Kiriş ve kolonlar için değerlendirme işleminin ayrıntıları Bölüm (4.3.2.1) ve (4.3.2.2)' de verilmiştir. Şekil (4.22),(4.23) ve (4.24)' te düzenli, düzensiz ve ilgili elemanlarda iç kuvvetlerin %50 artırıldığı çerçevelerde performans noktasında oluşan plastik mafsallar görülmektedir.



Şekil 4.22 : Düzenli sistem için performans noktasında oluşan plastik mafsallar



Şekil 4.23 : Düzensiz sistem için performans noktasında oluşan plastik mafsallar

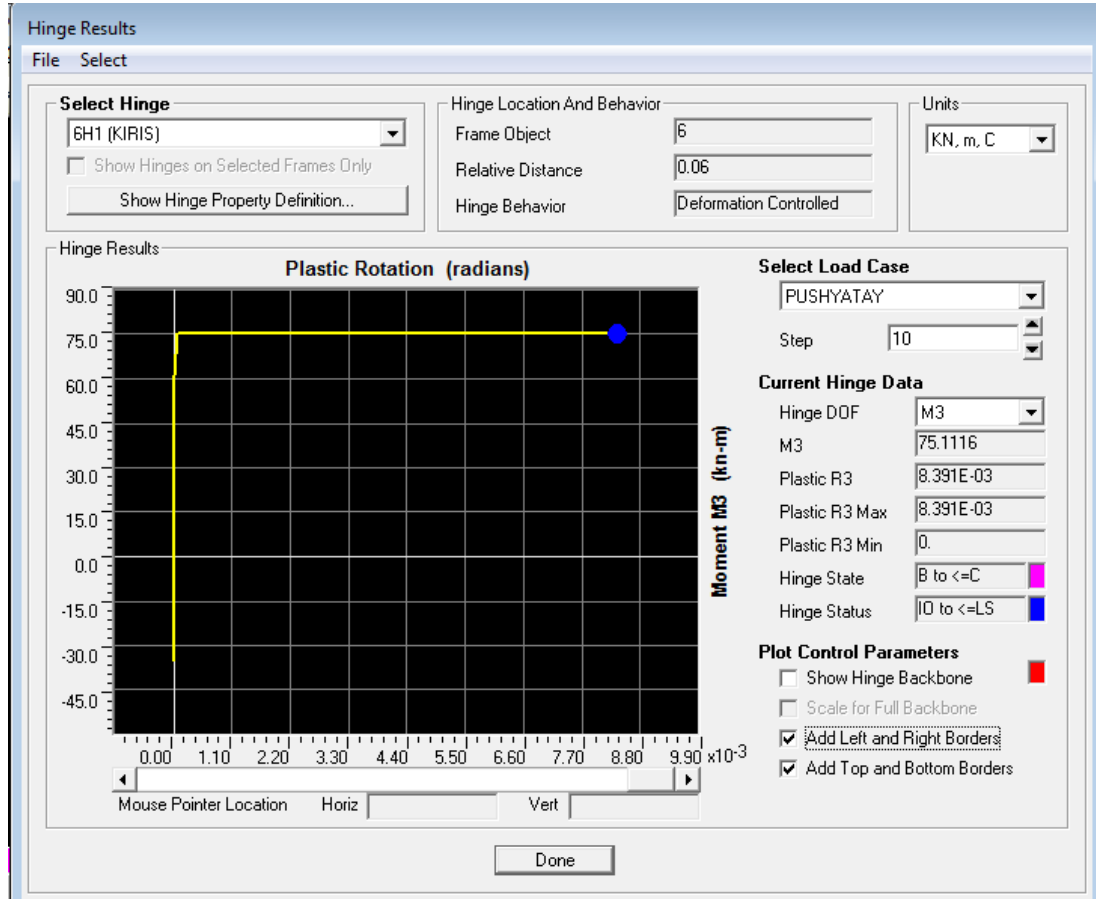


Şekil 4.24 : Düzensiz ve ilgili elemanlarda iç kuvvetlerin %50 arttırıldığı sistem için performans noktasında oluşan plastik mafsallar

4.3.1.1 Kirişlerde oluşan hasarların değerlendirilmesi

Kiriş kesitlerinde hasar değerlendirmesi işlemi adım adım aşağıda verildiği gibi yapılabilir.

- 1- Yapı performans noktasına kadar itilerek depremin elemanlardan talep ettiği plastik dönme değerleri bulunur. Şekil (4.25)' te düzenli çerçeve için K101 kirişi sol uç kesitine ait örnek plastik dönme grafiği verilmiştir.



Şekil 4.25 : Düzenli çerçeve için K101 kirişi sol uç kesitine ait örnek plastik dönme grafiği

- 2- Plastik dönme değeri plastik mafsalsal boyuna bölünerek plastik eğrilik talebi bulunur. Düzenli sistemde K101 kirişinde örnek hesap yapılırsa;

$$\theta_p = 0.0084 \text{ rad}$$

$$L_p = 0.5h = 0.5 \times 0.6 = 0.3 \text{ m}$$

$$\phi_p = \frac{0.0084}{0.3} = 0.028 \text{ 1/m}$$

3- Plastik eğrilik değerine akma eğriliği ilave edilerek toplam eğrilik istemi bulunur. Düzenli sistemde negatif moment durumu için K101 kirişi sol uç kesitinin akma eğriliği 0.0061 1/m' dir.

$$\phi_t = \phi_y + \phi_p = 0.028 + 0.0061 = 0.0341 \text{ 1/m}$$

4- Kiriş için çizilen moment-eğrilik diyagramında toplam eğrilik istemi için beton ve donatının birim şekil değiştirme değerleri bulunur. Bu değerler yönetmelikte verilen sınır değerler ile karşılaştırılarak ilgili elemanın hasar bölgesi belirlenir. K101 kirişi sol uç kesitinde 0.0341 1/m toplam eğrilik değeri için betonda meydana gelen birim kısalma değeri $\epsilon_c = 0.002$, donatıda oluşan uzama değeri ise $\epsilon_s = 0.0174$ olarak bulunmuştur. Bu değer yönetmelikte verilen sınır değerler ile karşılaştırıldığında;

$$\epsilon_c = 0.002 < (\epsilon_c)_{MN} = 0.0035$$

$$(\epsilon_s)_{MN} = 0.010 < \epsilon_s = 0.0174 < (\epsilon_s)_{GV} = 0.040$$

olmaktadır. Böylece kesit hasar bölgesi “Belirgin Hasar Bölgesi” olarak belirlenir. Yukarıda yapılan işlemler K101 kirişi sol uç kesiti için Çizelge (4.11)’ de özetlenmiştir.

Çizelge 4.11 : K101 kirişi sol uç kesiti için hasar bölgesinin belirlenmesi

Θ_p (rad)	L_p (m)	Φ_p (1/m)	Φ_y (1/m)	Φ_t (1/m)	ϵ_c	ϵ_s	Hasar Bölgesi
0.0084	0.3	0.028	0.0061	0.0341	0.002	0.0174	BHB

Yukarıda bütün adımları belirtilen işlemler 3 sistemde bütün kirişler için tekrarlanmış ve kirişler için birim şekil değiştirme (beton için birim kısalma-donatı için birim uzama) değerlerinden hareketle kesit hasar bölgeleri bulunmuştur. Kesit hasar bölgeleri bulunurken kiriş elemanlarının her iki ucuna ait hasar bölgelerinden tüm elemanın hasar bölgesi belirlenmiştir. Örneğin artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile düzensiz sistemde K101 kirişi sağ ve sol uç kesitlerinin hasar bölgesi Belirgin Hasar Bölgesi olarak belirlenmiş ve K101 kirişinin Belirgin Hasar Bölgesi’nde olduğu tespit edilmiştir. 3 sistemde bütün kirişler için bulunan hasar bölgeleri Çizelge (4.12)’ de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

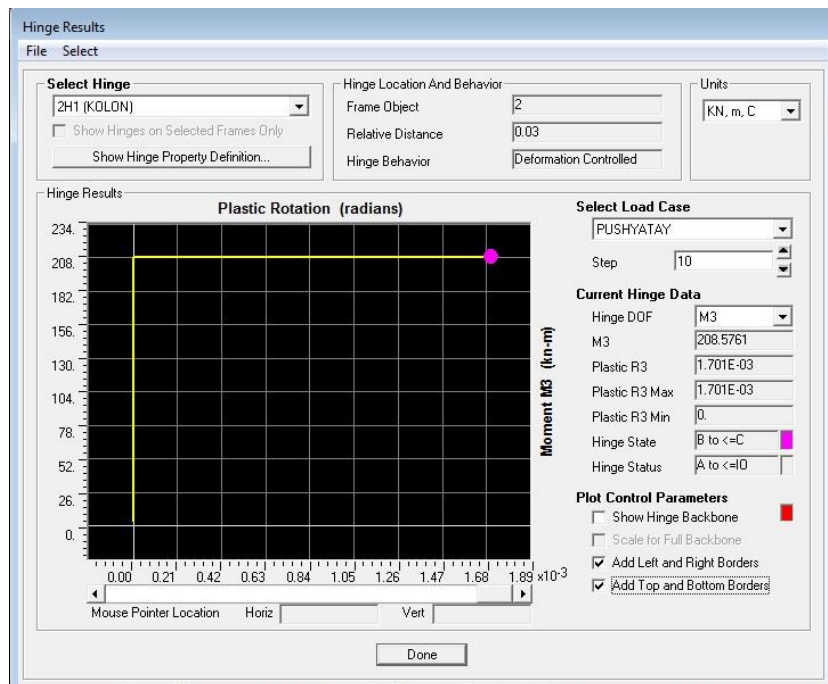
Çizelge 4.12 : Üç sistem için artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi sonucu bulunan kiriş hasar bölgeleri

Eleman Adı	Çerçeve Türü		
	Düzenli	Düzensiz	Düzensiz %50
K101	BH	BH	MH
K102	BH	BH	BH
K103	BH	-	-
K104	BH	BH	BH
K201	BH	BH	BH
K202	BH	MH	BH
K203	BH	BH	BH
K204	BH	BH	BH
K301	BH	BH	BH
K302	BH	MH	BH
K303	BH	BH	BH
K304	BH	BH	BH
K401	BH	BH	BH
K402	BH	MH	BH
K403	BH	BH	BH
K404	BH	BH	BH
K501	MH	BH	BH
K502	MH	MH	MH
K503	MH	BH	BH
K504	MH	BH	BH
K601	MH	MH	MH
K602	MH	MH	MH
K603	MH	BH	BH
K604	MH	BH	MH
K701	MH	MH	MH
K702	MH	MH	MH
K703	MH	BH	MH
K704	MH	MH	MH

4.3.1.2 Kolonlarda oluşan hasarların belirlenmesi

Kolon kesitlerinde hasar değerlendirmesi işlemi, kirişler için hasar değerlendirme işlemine benzer olarak yapılır. Ancak buradaki tek fark, kolonların normal kuvvet etkisi altında olmaları sebebiyle normal kuvvetin moment-eğrilik ilişkisine etkisinin göz önüne alınmasıdır. Bunun için yapı performans noktasına kadar itildikten sonra performans noktasında kolon üzerindeki normal kuvvet değeri tespit edilir. Tespit edilen normal kuvvet değeri için moment-eğrilik grafiği çizdirilir ve bu grafik üzerinden beton ve donatının birim şekil değiştirmeleri bulunur. Değerlendirme işlemi adım adım aşağıdaki gibi tarif edilebilir:

- 1- Yapı performans noktasına kadar itilerek depremin elemanlardan talep ettiği plastik dönme değerleri bulunur. Şekil (4.26)' da düzenli çerçeve için S102 kolonuna ait örnek plastik dönme grafiği verilmiştir.



Şekil 4.26 : Düzenli çerçeve için S102 kolonuna ait örnek plastik dönme grafiği

- 2- Plastik dönme değeri plastik mafsal boyuna bölünerek plastik eğrilik talebi bulunur. Düzenli sistemde S102 kolonunda örnek hesap yapılırsa;

$$\theta_p = 0.0017 \text{ rad}$$

$$L_p = 0.5h = 0.5 \times 0.4 = 0.2 \text{ m}$$

$$\phi_p = \frac{0.0017}{0.2} = 0.0085 \text{ 1/m}$$

- 3- Plastik eğrilik değerine akma eğriliği ilave edilerek toplam eğrilik istemi bulunur. Kolonlarda akma eğriliği normal kuvvetle değişeceği için performans noktasında kolon üzerindeki normal kuvvete göre akma eğriliği hesaplanmalıdır. Düzenli sistemde S102 kolonu için akma eğriliği 0.0118 1/m' dir.

$$\phi_t = \phi_y + \phi_p = 0.0085 + 0.0118 = 0.0203 \text{ 1/m}$$

- 4- Kolon için üzerindeki normal kuvvet değerine göre çizilen moment-eğrilik diyagramında toplam eğrilik istemi için beton ve donatının birim şekil değiştirme istemleri bulunur. Bu değerler yönetmelikte verilen sınır değerler ile karşılaştırılarak ilgili elemanın hasar bölgesi belirlenir. S102 kolonunda 0.0203 1/m toplam eğrilik değeri için betonda meydana gelen birim kısalma değeri $\epsilon_c = 0.003$, donatıda oluşan uzama değeri ise $\epsilon_s = 0.0045$ olarak bulunmuştur. Bu değer yönetmelikte verilen sınır değerler ile karşılaştırıldığında;

$$\epsilon_c = 0.003 < (\epsilon_c)_{MN} = 0.0035$$

$$\epsilon_s = 0.0045 < (\epsilon_s)_{MN} = 0.010$$

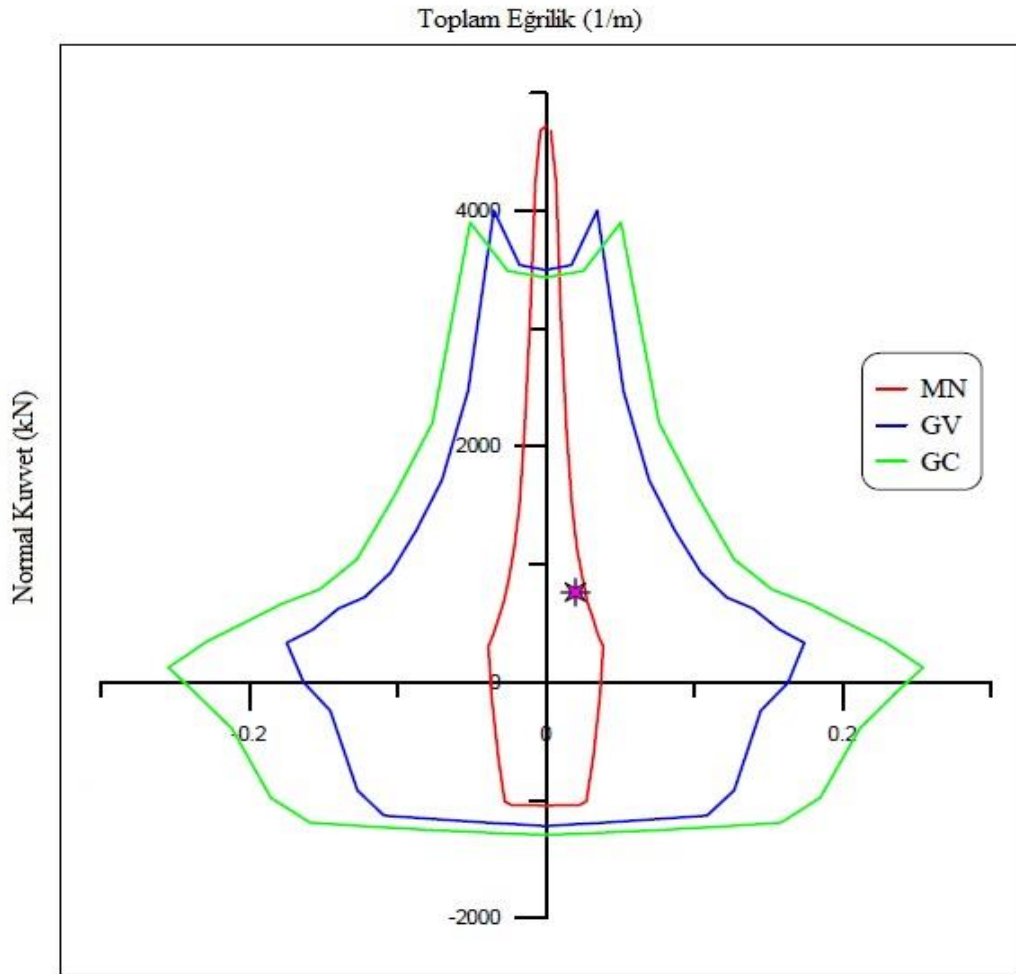
olmaktadır. Böylece kesit hasar bölgesi “Minimum Hasar Bölgesi” olarak belirlenir. Yukarıda yapılan işlemler S102 kolonu için Çizelge (4.13)’ te özetlenmiştir.

Çizelge 4.13 : Düzenli çerçevede S102 kolonu için hasar bölgesinin belirlenmesi

Θ_p (rad)	L_p (m)	Φ_p (1/m)	Φ_y (1/m)	Φ_t (1/m)	ϵ_c	ϵ_s	Hasar Bölgesi
0.0017	0.2	0.0085	0.0118	0.0203	0.003	0.0045	MHB

Kolonlarda hasar bölgesinin belirlenmesi yukarıda anlatılan şekilde yapılabileceği gibi, kesit için çizilecek eğrilik-normal kuvvet diyagramları kullanılarak grafiksel olarak da bulunabilir. Bunun için hasar bölgelerini belirleyen sınır birim şekil değiştirme değerleri göz önüne alınarak, bu sınır değerlere karşı gelen normal kuvvet-eğrilik grafiği çizilir. Daha sonra eleman üzerindeki normal kuvvet ve elemanın toplam eğrilik değeri bu grafik üzerinde nokta olarak işaretlenir. Bu noktanın hangi bölgede olduğuna bakılarak kesit hasar bölgesi belirlenir. Şekil (4.27)’ de düzenli sistemde S102 kolonu için XTRACT [30] kesit analiz programı

kullanılarak çizilen normal kuvvet-eğrilik grafiği ve hasar bölgesinin belirlenmesi işlemi verilmiştir. Düzenli sistemde S102 kolonu için belirlenen normal kuvvet-toplam eğrilik değer çifti minimum hasar bölgesi sınırları içerisinde kaldığı için kolonun hasar bölgesi minimum hasar bölgesi olarak belirlenmiş olur. Grafik üzerinde kırmızı ile çizilmiş alan kesitin “Minimum Hasar Sınırı” nı, mavi ile işaretli alan “Güvenlik Hasar Sınırı” nı, yeşil ile işaretli alan ise “Göçme Sınırı” nı göstermektedir. Kırmızı çizgi içerisinde kesit “Minimum Hasar Bölgesi” nde, kırmızı ile mavi çizgi arasında “Belirgin Hasar Bölgesi” nde, mavi ile yeşil çizgiler arasında “İleri Hasar Bölgesi” nde, yeşil çizginin dışında ise “Göçme Bölgesi” ndedir. Bütün sistemlerde diğer kolonlar için elde edilen benzer grafikler tezin sonunda yer alan ekler kısmında yer almaktadır.



Şekil 4.27 : Düzenli sistem için S102 kolonu normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği

Çizelge 4.14 : Üç sistem için artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi sonucu bulunan kolon hasar bölgeleri

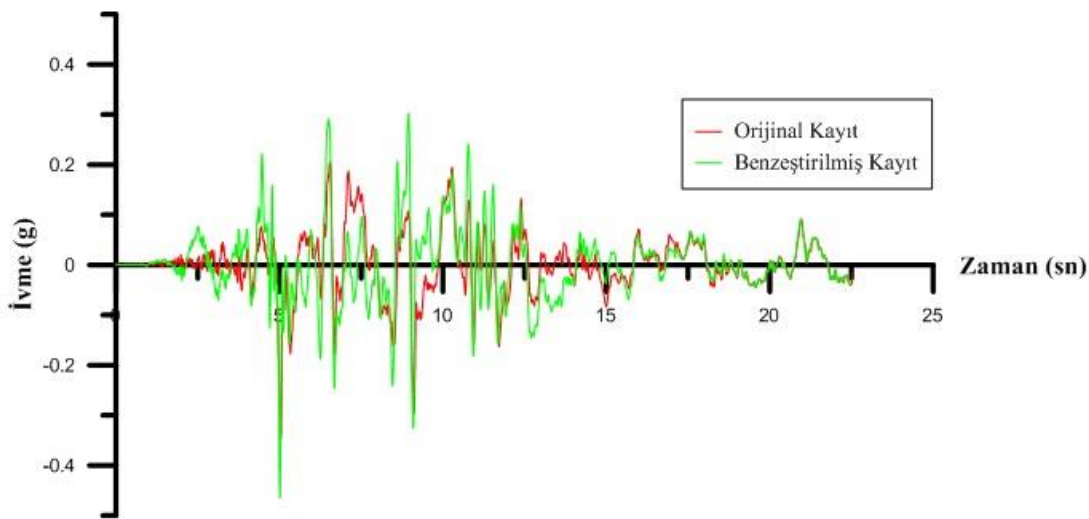
Eleman Adı	Çerçeve Türü		
	Düzenli	Düzensiz	Düzensiz %50
S101	MH	MH	MH
S102	MH	BH	MH
S103	MH	-	-
S104	MH	BH	MH
S105	MH	MH	MH
S201	MH	MH	MH
S202	MH	MH	MH
S203	MH	MH	BH
S204	MH	MH	MH
S205	MH	MH	MH
S301	MH	MH	MH
S302	MH	MH	MH
S303	MH	MH	MH
S304	MH	MH	MH
S305	MH	MH	MH
S401	MH	MH	MH
S402	MH	MH	MH
S403	MH	MH	MH
S404	MH	MH	MH
S405	MH	MH	MH
S501	MH	MH	MH
S502	MH	MH	MH
S503	MH	MH	MH
S504	MH	MH	MH
S505	MH	MH	MH
S601	MH	MH	MH
S602	MH	MH	MH
S603	MH	MH	MH
S604	MH	MH	MH
S605	MH	MH	MH
S701	MH	MH	MH
S702	MH	MH	MH
S703	MH	MH	MH
S704	MH	MH	MH
S705	MH	MH	MH

4.4 Sistemlerin Performanslarının Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemine Göre Belirlenmesi

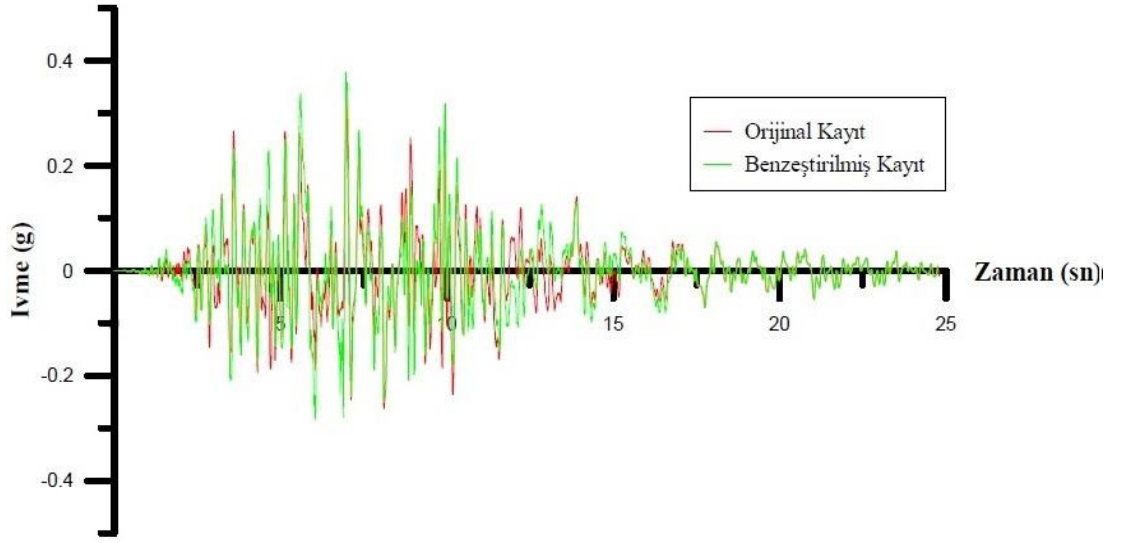
İncelenen çerçevelerin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi ile performans değerlendirilmesi işlemi için 3 adet deprem kaydı kullanılmış ve DBHBHY (2007)' de öngörüldüğü üzere sonuçların maksimumu alınmıştır. Kesit hasarlarının değerlendirilmesi, artımsal eşdeğer deprem yükü yönteminde olduğu gibi düzenli sistem için K101 kirişi sol uç kesiti ve S102 kolonu üzerinden anlatılmış, diğer elemanların hasarları ekte yer alan tablolarda verilmiştir.

4.4.1 Kullanılacak ivme kayıtları ve bu kayıtların benzeştirilmesi

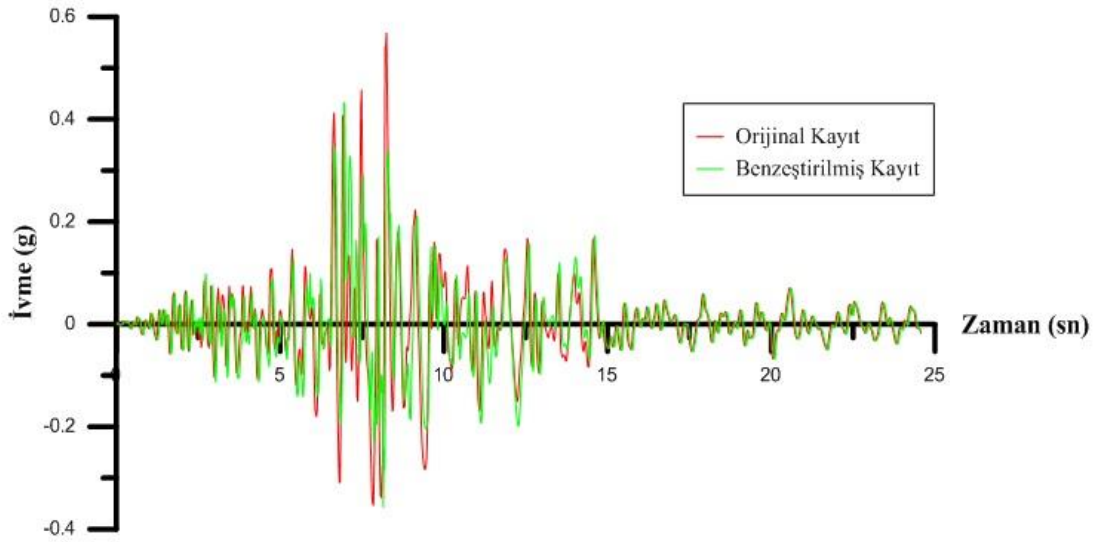
Zaman tanım alanında analizde Kocaeli (1999), Kobe (1995) ve Northridge (1994) depremlerine ait kayıtlar Seismomatch[31] programı kullanılarak DBYBHY (2007)' de Z2 türü zeminler için verilen elastik tasarım ivme spektrumuna benzeştirilmiştir. Benzeştirme işleminden sonra deprem kayıtları orijinal kayıtlar ile aynı özellikleri taşımayacağından ileriki aşamalarda sırası ile Kayıt 1, Kayıt 2 ve Kayıt 3 şeklinde bir gösterim kullanılacaktır. Orijinal ve benzeştirilmiş ivme kayıtları Şekil (4.28), (4.29) ve (4.30)' da gösterilmiştir. Kocaeli, Kobe ve Northridge depremlerine ait kayıtlar aslında daha uzun olmasına rağmen hesap süresini kısaltmak için kayıtların pik ivme değerlerini de içine alacak şekilde kayıtların bir bölümü kullanılmıştır.



Şekil 4.28 : Kocaeli Depremi'ne ait orijinal ve benzeştirilmiş ivme-zaman (Kayıt1) grafikleri



Şekil 4.29 : Kobe Depremi'ne ait orijinal ve benzeştirilmiş ivme-zaman (Kayıt2) grafikleri



Şekil 4.30 : Northridge Depremi'ne ait orijinal ve benzeştirilmiş ivme-zaman (Kayıt3) grafikleri

Yapay yollarla üretilmiş veya benzeştirilmiş deprem ivme kayıtları için sağlanması gereken 3 adet şart DBYBHY (2007)' de aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

a) Kuvvetli yer hareketi kısmının süresi, binanın birinci doğal titreşim periyodunun 5 katından ve 15 sn' den kısa olmayacaktır. Çerçevelerin en büyük birinci doğal titreşim periyodu değeri 1.166 sn' dir.

Kullanılan benzeştirilmiş kayıtlara bakıldığı zaman en kısa süreli kuvvetli yer hareketinin 22.520 sn olduğu ve birinci şartın sağlandığı görülmektedir.

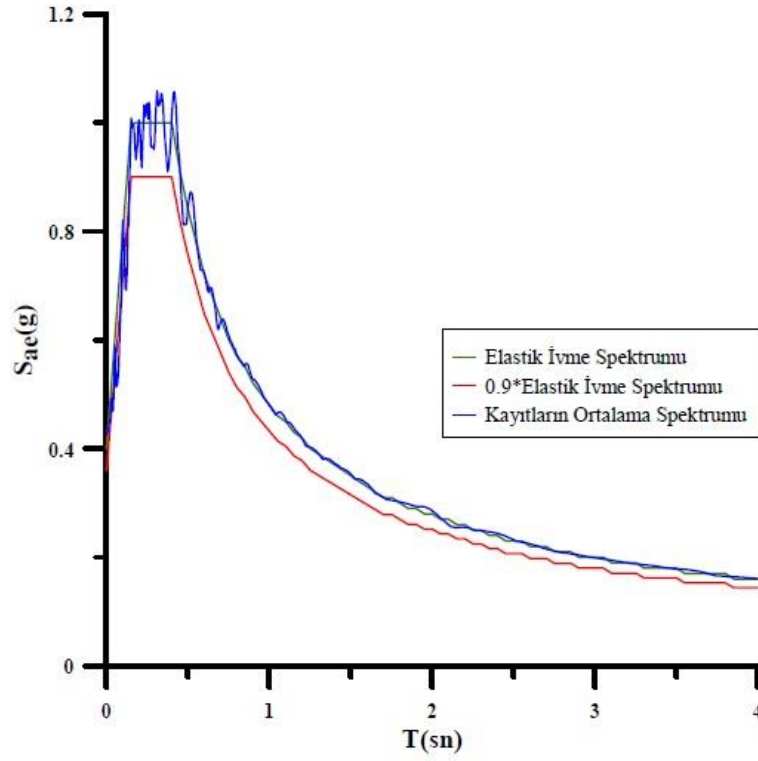
b) Deprem yer hareketinin sıfır periyoda karşılık gelen spektral ivme değerlerinin ortalaması A_{0g} ' den daha küçük olmayacaktır.

Çizelge 4.15 : Kullanılan ivme kayıtları için sıfır periyoda karşı gelen spektral ivme değerleri

İvme Kaydı	Sıfır Periyot İçin Spektral İvme (g)	Ortalama(g)
Kayıt 1	0.467	-
Kayıt 2	0.378	-
Kayıt 3	0.433	-
-	-	0.426

Çizelge (4.15)' te gösterildiği üzere, üç kaydın sıfır periyoda karşı gelen spektral ivme değerlerinin ortalaması 0.426g olmaktadır. Böylece ikinci şart da sağlanmaktadır.

c) Her bir ivme kaydının %5 sönüm oranı için hesaplanacak spektral ivme değerlerinin ortalaması, göz önüne alınan deprem doğrultusundaki birinci (hakim) periyot (T_1) değerine göre $0.2 T_1$ ve $2 T_1$ aralığında $S_{ae}(T)=A_0IS(T)g$ formülü ile tanımlanacak olan elastik spektral ivmelerin %90' ından daha az olmayacaktır. Hesaplarda kullanılan deprem kayıtları için %5 sönüm oranı için hesaplanan elastik spektral ivme değerlerinin ortalaması Şekil (4.31)' de görüldüğü üzere hemen hemen tasarım spektrumu civarındadır $0.2 T_1$ ve $2 T_1$ aralığında elastik spektral ivmelerin %90' ının altına düşmemektedir. Bu şartın sağlandığı Şekil (4.31)' de gösterilmektedir. .



Şekil 4.31 : Kullanılan deprem kayıtlarının ortalama spektrumu ve elastik ivme spektrumu karşılaştırması

4.4.2 Tepe yatay yer değiştirmeleri

Düzenli çerçeve için zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonucu bulunan en büyük yatay tepe yer değiştirmesi 0.187 m dir.

Düzensiz çerçeve için zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonucu bulunan en büyük yatay tepe yer değiştirmesi 0.193 m dir.

Düzensiz ve ilgili elemanlarda iç kuvvetlerin %50 artırıldığı çerçeve için zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonucu bulunan en büyük yatay tepe yer değiştirmesi 0.186 m dir.

Bütün çerçeveler için maksimum tepe yer değiştirmesi değerleri Çizelge (4.16)' da özetlenmiştir.

Çizelge 4.16 : Üç sistem için ZTADOA analiz sonucu bulunan maksimum tepe yer değiştirmeleri

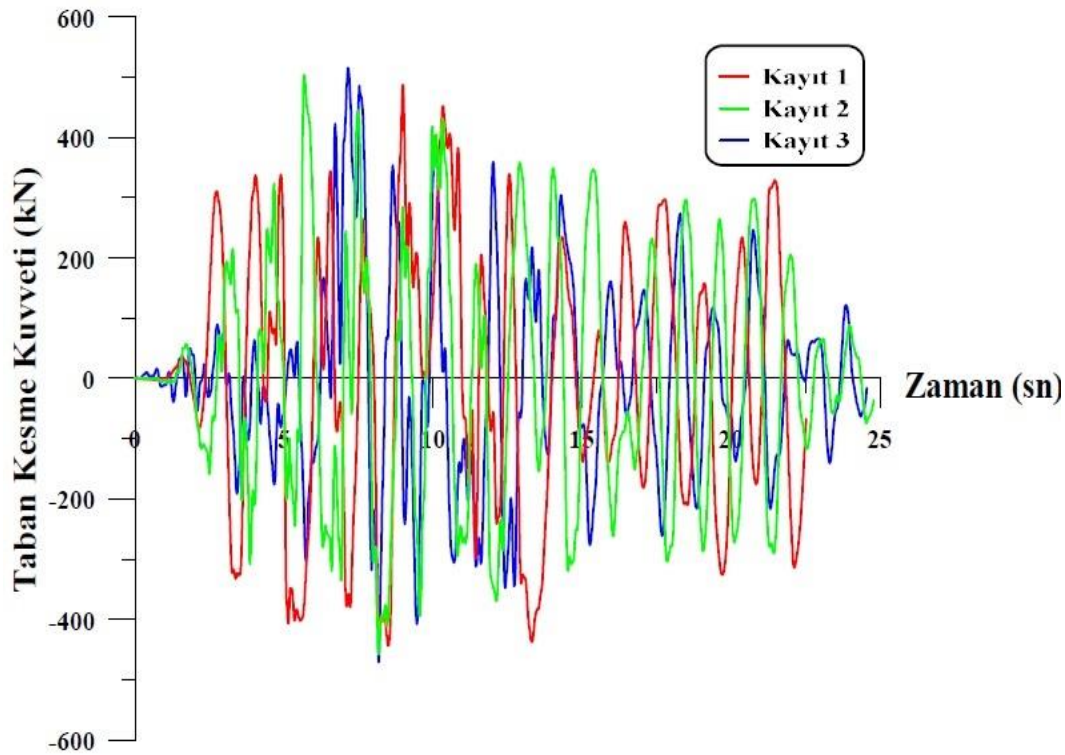
Çerçeve	Maksimum tepe yer değiştirmesi (m)
Düzenli	0.187
Düzensiz	0.193
Düzensiz %50	0.186

4.4.3 Taban kesme kuvvetleri

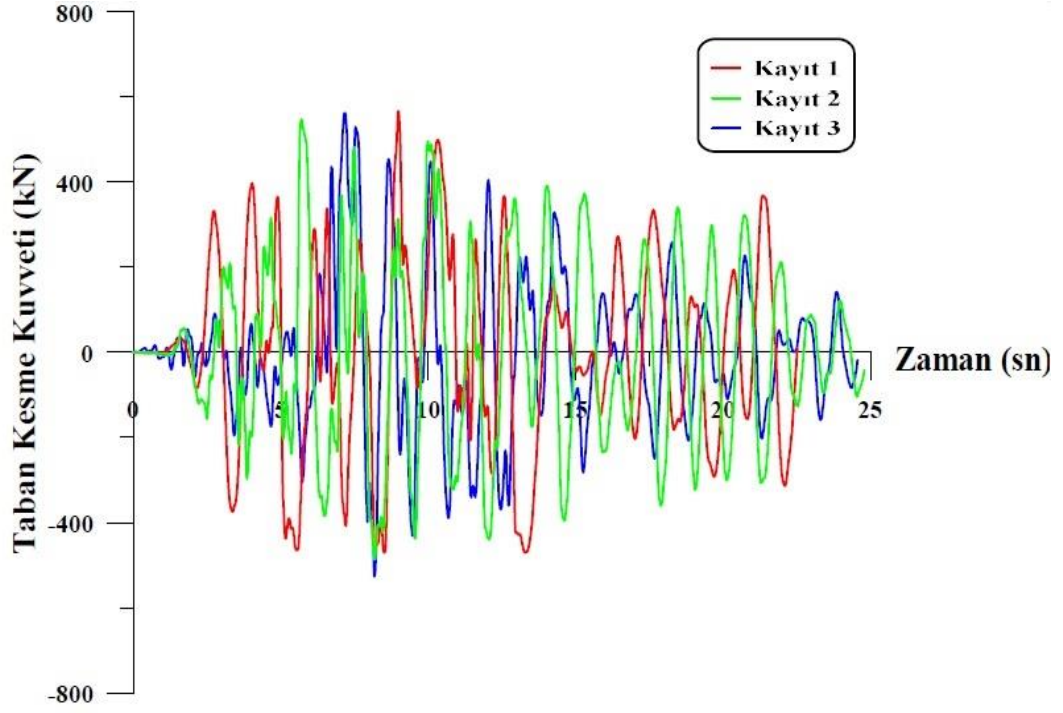
Düzenli çerçeve için zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonucu bulunan taban kesme kuvveti değerleri Şekil (4.32)' de verilmiştir. Buna göre en büyük taban kesme kuvveti 515 kN' dur.

Düzensiz çerçeve için zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonucu bulunan taban kesme kuvveti değerleri Şekil (4.33)' de verilmiştir. Buna göre en büyük taban kesme kuvveti 566 kN' dur.

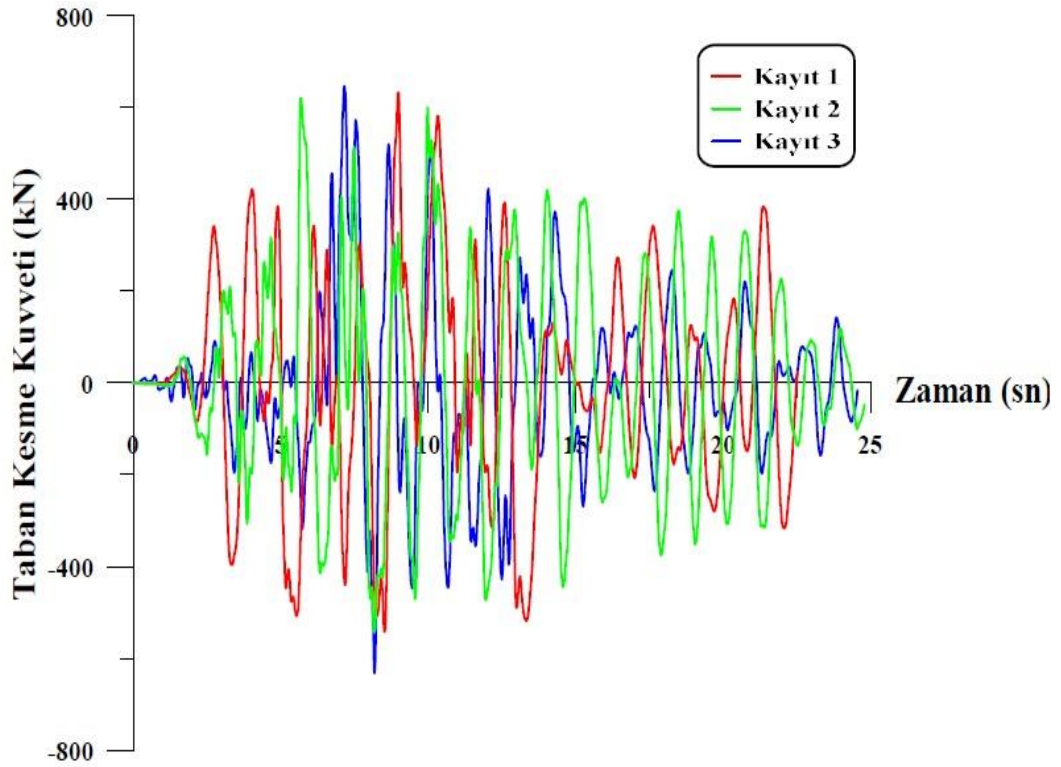
Düzensiz ve ilgili elemanlarda iç kuvvet değerlerinin %50 arttırıldığı çerçeve için zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonucu bulunan taban kesme kuvveti değerleri Şekil (4.34)' te verilmiştir. Buna göre en büyük taban kesme kuvveti 646 kN' dur.



Şekil 4.32 : Düzenli çerçeve için zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonucu bulunan taban kesme kuvveti-zaman grafiği



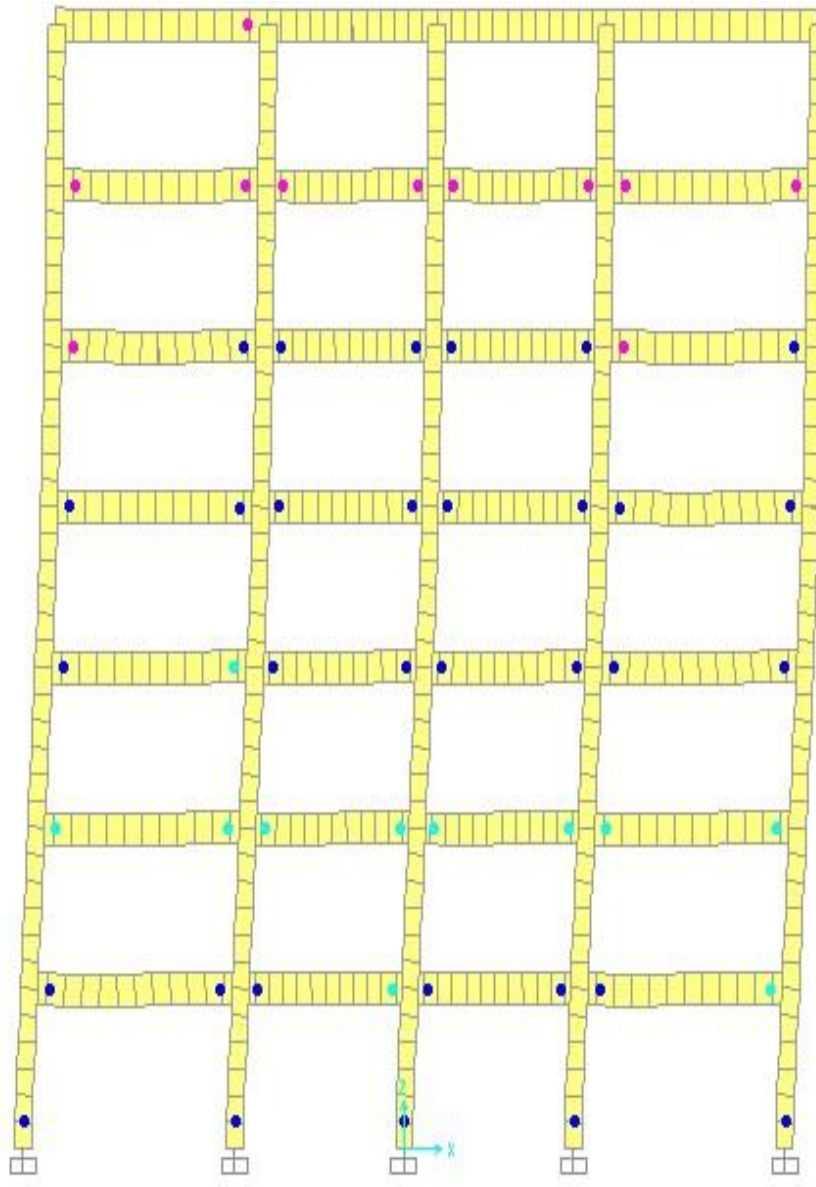
Şekil 4.33 : Düzensiz çerçeve için zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonucu bulunan taban kesme kuvveti-zaman grafiği



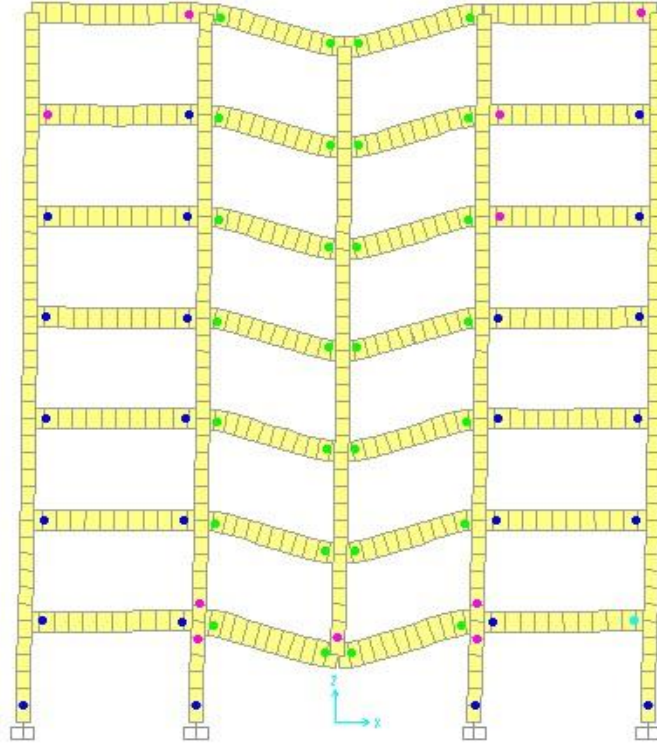
Şekil 4.34 : Düzensiz ve ilgili elemanlarda iç kuvvetlerin %50 arttırıldığı çerçeve için zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonucu bulunan taban kesme kuvveti-zaman grafiği

4.4.4 Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi ile eleman performanslarının belirlenmesi

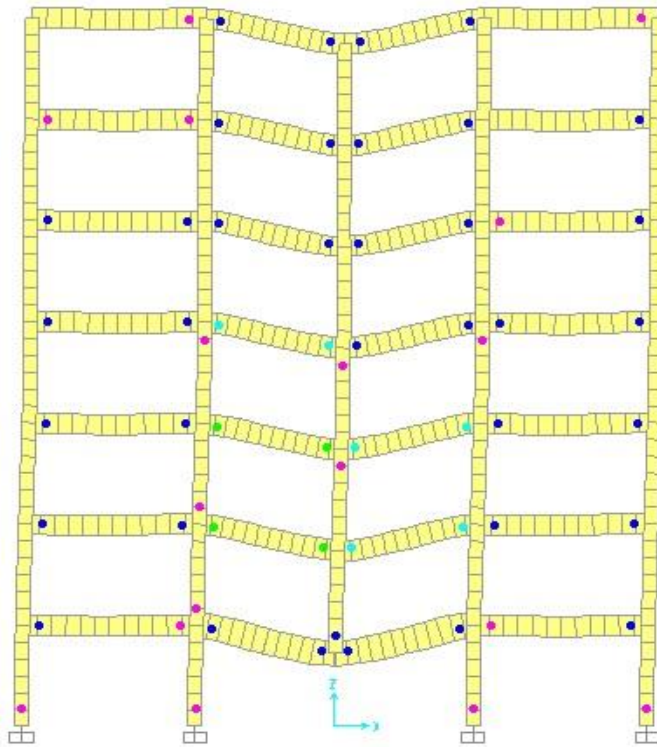
Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonucu sistemlerde 1 nolu kaydın etkitilmesi sonucu oluşan plastik mafsallar Şekil (4.35), (4.36) ve (4.37)' de verilmiştir. Diğer kayıtlara ait plastik mafsallar ise ekte görülebilir. Sistem modelinin oluşturulması Bölüm (4.2)' de anlatılmıştır. Çatlamış kesit kabulü ve plastik mafsalları tanımları artımsal eşdeğer deprem yükü yönteminde olduğu gibi aynen geçerlidir.



Şekil 4.35 : Düzenli sistem için 1 nolu kaydın etkitilmesi sonucu oluşan plastik mafsallar



Şekil 4.36 : Düzensiz sistem için 1 nolu kaydın etkilmesi sonucu oluşan plastik mafsallar

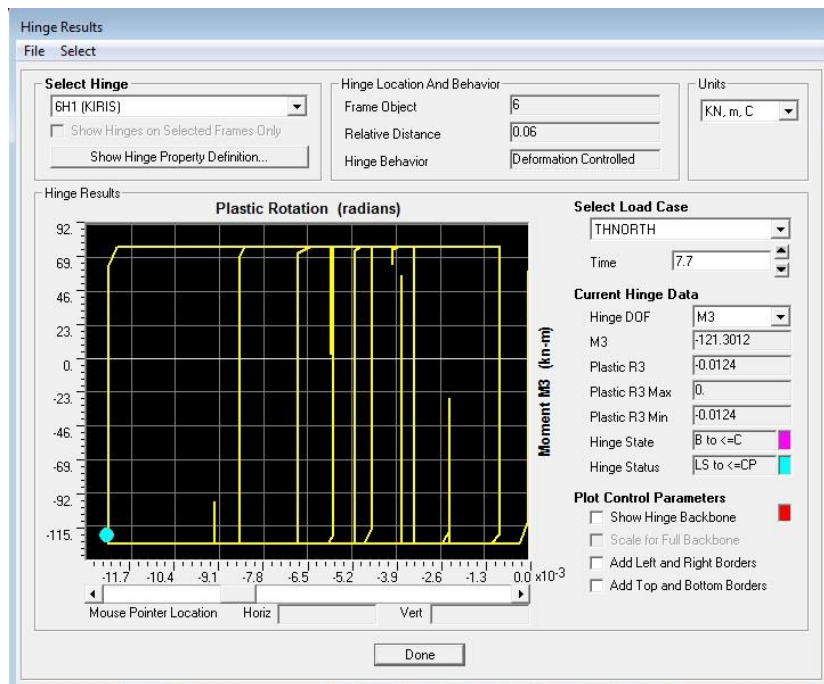


Şekil 4.37 : Düzensiz ve ilgili elemanlarda iç kuvvetlerin %50 arttırıldığı sistem için 1 nolu kaydın etkilmesi sonucu oluşan plastik mafsallar

4.4.4.1 Kirişlerde oluşan hasarın değerlendirilmesi

Kirişlerde oluşan plastik mafsallar 3 deprem kaydının uygulanması sonucu oluşan plastik dönme değerlerinin tek tek değerlendirilmesi ve içlerinden maksimumunun alınması ile elde edilir. Değerlendirme işlemi adım adım aşağıdaki gibi yapılabilir.

1- K101 kirişi sol uç kesitinde maksimum plastik dönme değeri 3 nolu kaydın sisteme etkitilmesi sonucu oluşmuş ve $\Theta_p = -0.0124$ rad. değerini almıştır. K101 kirişi sol uç kesitinde 3 nolu kaydın etkitilmesi sonucu oluşan plastik dönme-moment grafiği Şekil (4.38)' de gösterilmiştir. Diğer ivme kayıtlarının uygulanması sonucu oluşan maksimum plastik dönmeler Çizelge (4.17)' de görülebilir.



Şekil 4.38 : Düzenli çerçeve için 3 nolu kaydın etkitilmesi sonucu oluşan K101 kirişi sol uç kesitine ait örnek plastik dönme-moment grafiği

Çizelge 4.17 : Düzenli çerçeve için K101 kirişi sol uç kesitinde oluşan plastik dönmeler

Eleman Adı-Kesiti	Plastik Dönme Değerleri (rad)			Hesap Dönme Değeri (rad)
	Kayıt 1	Kayıt 2	Kayıt 3	
K101-Sol Uç	-0.0057	-0.0093	-0.0124	-0.0124

2- Plastik dönme değeri plastik mafsallara boyuna bölünerek plastik eğrilik talebi bulunur. Düzenli sistemde K101 kirişinde örnek hesap yapılırsa;

$$\theta_p = 0.0124 \text{ rad}$$

$$L_p = 0.5h = 0.5 \times 0.6 = 0.3 \text{ m}$$

$$\phi_p = \frac{0.0124}{0.3} = 0.0413 \text{ 1/m}$$

3- Plastik eğrilik değerine akma eğriliği ilave edilerek toplam eğrilik istemi bulunur. Düzenli sistemde negatif moment durumu için K101 kirişi sol uç kesitinin akma eğriliği 0.0061 1/m' dir.

$$\phi_t = \phi_y + \phi_p = 0.0413 + 0.0061 = 0.0474 \text{ 1/m}$$

4- Kiriş için çizilen moment-eğrilik diyagramında toplam eğrilik istemi için beton ve donatının birim şekil değiştirme istemleri bulunur. Bu değerler yönetmelikte verilen sınır değerler ile karşılaştırılarak ilgili elemanın hasar bölgesi belirlenir. K101 kirişi sol uç kesitinde 0.0474 1/m toplam eğrilik değeri için betonda meydana gelen birim kısalma değeri $\epsilon_c = 0.0026$, donatıda oluşan uzama değeri ise $\epsilon_s = 0.0241$ olarak bulunmuştur. Bu değer yönetmelikte verilen sınır değerler ile karşılaştırıldığında;

$$\epsilon_c = 0.0026 < (\epsilon_c)_{MN} = 0.0035$$

$$(\epsilon_s)_{MN} = 0.010 < \epsilon_s = 0.0241 < (\epsilon_s)_{GV} = 0.040$$

olmaktadır. Böylece kesit hasar bölgesi “Belirgin Hasar Bölgesi” olarak belirlenir. Yukarıda anlatılan işlemler her bir kiriş uç kesiti için tekrarlanmış, kirişler için iki uç kesitinin hasar bölgelerinin birlikte değerlendirilmesi ile kiriş elemanının hasar bölgesi tespit edilmiştir. Yukarıda yapılan işlemler K101 kirişi sol uç kesiti için Çizelge (4.18)’ de özetlenmiştir. Çizelge (4.19)’ da 3 sistem için ZTADOA sonucu bulunan kiriş hasar bölgeleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Çizelge 4.18 : K101 kirişi sol uç kesiti için hasar bölgesinin belirlenmesi

θ_p (rad)	L_p (m)	Φ_p (1/m)	Φ_y (1/m)	Φ_t (1/m)	ϵ_c	ϵ_s	Hasar Bölgesi
0.0124	0.3	0.0413	0.0061	0.0474	0.0026	0.0241	BHB

Çizelge 4.19 : Üç sistem için ZTADOA sonucu bulunan kiriş hasar bölgeleri

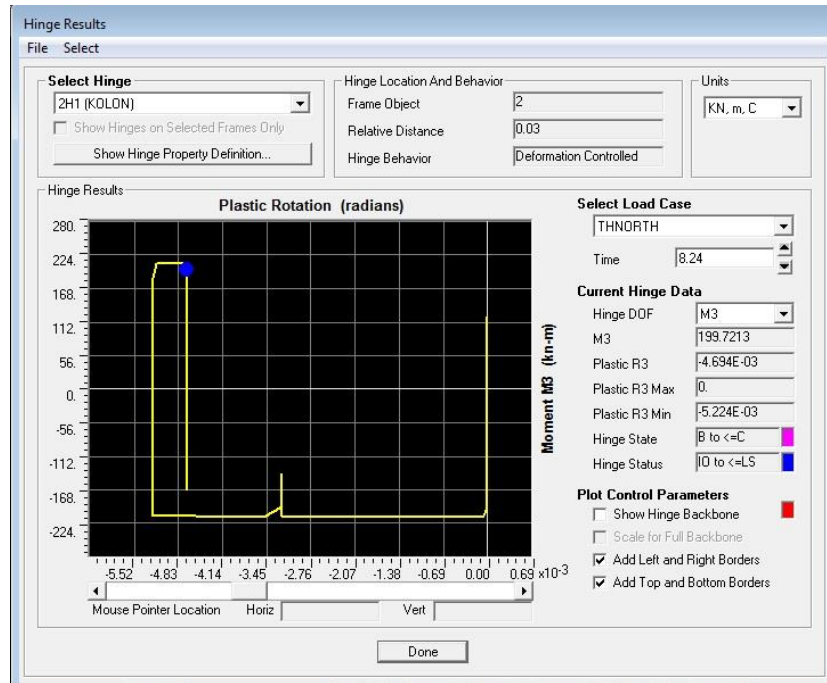
Eleman Adı	Çerçeve Türü		
	Düzenli	Düzensiz	Düzensiz %50
K101	BH	BH	BH
K102	BH	GB	BH
K103	BH	-	-
K104	BH	BH	BH
K201	BH	BH	BH
K202	BH	GB	BH
K203	BH	İH	BH
K204	BH	BH	BH
K301	BH	BH	BH
K302	BH	GB	BH
K303	BH	GB	BH
K304	BH	BH	BH
K401	BH	BH	BH
K402	BH	GB	BH
K403	BH	GB	BH
K404	BH	BH	BH
K501	BH	BH	BH
K502	BH	GB	BH
K503	BH	İH	BH
K504	BH	BH	BH
K601	MH	BH	BH
K602	MH	GB	BH
K603	MH	GB	BH
K604	MH	BH	MH
K701	MH	MH	MH
K702	MH	GB	BH
K703	MH	İH	BH
K704	MH	MH	MH

4.4.4.2 Kolonlarda oluşan hasarların belirlenmesi

Kolon kesitlerinde hasar değerlendirmesi işlemi, kirişler için hasar değerlendirme işlemine benzer olarak yapılır. Ancak buradaki tek fark, kolonların normal kuvvet etkisi altında olmaları sebebiyle normal kuvvetin moment-eğrilik ilişkisine etkisinin göz önüne alınmasıdır. Bunun için kolonda maksimum dönme değeri olduğu zaman kolon üzerindeki normal kuvvet değeri gereklidir. Maksimum dönme değerinin olduğu zaman aralığında kolon üzerindeki maksimum normal kuvvet değeri için

moment-eğrilik grafiği çizdirilir ve bu grafik üzerinden beton ve donatının birim şekil değiştirmeleri bulunur. En büyük dönme değeri 3 kaydın uygulanması neticesinde elde edilen dönme değerlerinin en büyüğünün alınması ile elde edilmiştir. Değerlendirme işlemi adım adım aşağıdaki gibi tarif edilebilir:

1- Yapıya deprem kaydı etkililerek depremin elemanlardan talep ettiği plastik dönme değerleri bulunur. Düzenli çerçevede S102 kolonunda maksimum plastik dönme 3 nolu kaydın uygulanması sonucu oluşmuş, oluşan plastik dönme-moment grafiği Şekil (4.39)' da verilmiştir.



Şekil 4.39 : Düzenli çerçeve için 3 nolu kaydın etkililmesi sonucu oluşan S102 kolonuna ait örnek plastik dönme-moment grafiği

Çizelge 4.20 : Düzenli çerçeve için S102 kolonunda oluşan plastik dönmeler

Eleman Adı	Plastik Dönme Değerleri (rad)			Hesap Dönme Değeri (rad)
	Kayıt 1	Kayıt 2	Kayıt 3	
S102	0.0052	-0.0015	-0.00522	-0.00522

2- Plastik dönme değeri plastik mafsallara boyuna bölünerek plastik eğrilik talebi bulunur. Düzenli sistemde S102 kolonunda örnek hesap yapılırsa;

$$\theta_p = 0.00522 \text{ rad}$$

$$L_p = 0.5h = 0.5 \times 0.4 = 0.2 \text{ m}$$

$$\phi_p = \frac{0.00522}{0.2} = 0.0261 \text{ 1/m}$$

3- Plastik eğrilik değerine akma eğriliği ilave edilerek toplam eğrilik istemi bulunur. Kolonlarda akma eğriliği normal kuvvetle değişeceği için performans noktasında kolon üzerindeki normal kuvvete göre akma eğriliği hesaplanmalıdır. Düzenli sistemde S102 kolonu için akma eğriliği 0.0121 1/m' dir.

$$\phi_t = \phi_y + \phi_p = 0.0261 + 0.0121 = 0.0382 \text{ 1/m}$$

4- Kolon üzerindeki normal kuvvet değerine göre çizilen moment-eğrilik diyagramında toplam eğrilik istemi için beton ve donatının birim şekil değiştirme değerleri bulunur. Bu değerler yönetmelikte verilen sınır değerler ile karşılaştırılarak ilgili elemanın hasar bölgesi belirlenir. S102 kolonunda 0.0382 1/m toplam eğrilik değeri için betonda meydana gelen birim kısalma değeri $\epsilon_c = 0.0059$, donatıda oluşan uzama değeri ise $\epsilon_s = 0.008$ olarak bulunmuştur. Bu değer yönetmelikte verilen sınır değerler ile karşılaştırıldığında;

$$(\epsilon_c)_{MN} = 0.0035 < \epsilon_c = 0.0059 \quad (\epsilon_c)_{GV} = 0.0135$$

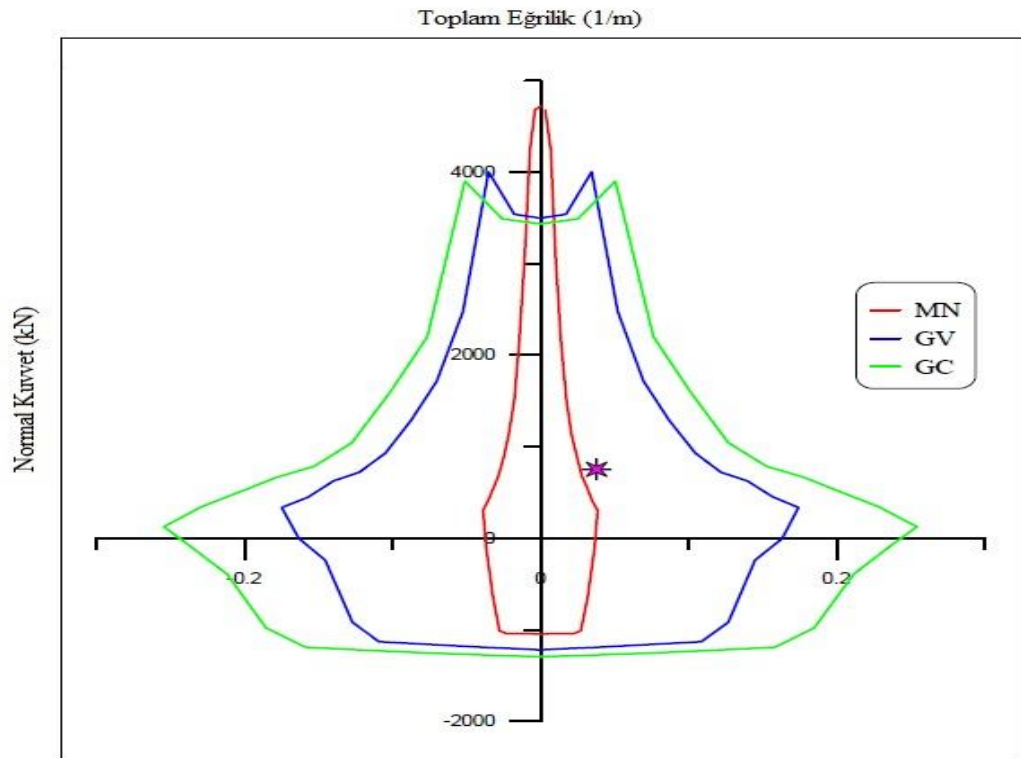
$$\epsilon_s = 0.008 < (\epsilon_s)_{MN} = 0.010$$

olmaktadır. Böylece kesit hasar bölgesi “Belirgin Hasar Bölgesi” olarak belirlenir. Yukarıda yapılan işlemler S102 kolonu için Çizelge (4.21)’ de özetlenmiştir. Hasar bölgesi belirleme için anlatılan adımlar üç sistemde her bir kolon elemanında tek tek tekrarlanmış ve hasar bölgeleri tespit edilmiştir.

Çizelge 4.21 : Düzenli çerçevede için S102 kolonunda hasar bölgesinin belirlenmesi

θ_p (rad)	L_p (m)	Φ_p (1/m)	Φ_y (1/m)	Φ_t (1/m)	ϵ_c	ϵ_s	Hasar Bölgesi
0.00522	0.2	0.0261	0.0121	0.0382	0.0059	0.008	BHB

Kolonlarda hasar bölgesinin belirlenmesi yukarıda anlatılan şekilde yapılabileceği gibi, kesit için çizilecek eğrilik-normal kuvvet diyagramları kullanılarak grafiksel olarak da bulunabilir. Bunun için hasar bölgelerini belirleyen sınır birim şekil değiştirme değerleri göz önüne alınarak, bu sınır değerlere karşı gelen normal kuvvet-eğrilik grafiği çizilir. Daha sonra eleman üzerindeki normal kuvvet ve elemanın toplam eğrilik değeri bu grafik üzerinde nokta olarak işaretlenir. Bu noktanın hangi bölgede olduğuna bakılarak kesit hasar bölgesi belirlenir. Şekil (4.40)' ta S102 kolonu için XTRACT [30] kesit analiz programı kullanılarak çizilen normal kuvvet-eğrilik grafiği ve hasar bölgesinin belirlenmesi işlemi verilmiştir. Şekil (4.40)' ta kırmızı ile çizilen eğri içerisinde kalan alan minimum hasar bölgesini, kırmızı ile çizilen eğri ile mavi ile çizilen eğrilerin arası belirgin hasar bölgesini, mavi ile çizilen eğri ile yeşil ile çizilen eğrilerin arası ileri hasar bölgesini, yeşil eğrinin dışı ise göçme bölgesini göstermektedir. S102 kolonu için eleman üzerindeki normal kuvvet ve toplam eğrilik değer çifti minimum hasar sınırı ve kesit güvenlik hasar sınırları arasında kaldığı için kesitin belirgin hasar bölgesinde olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.40 : Düzenli sistem için 3 nolu kaydın etkililmesi sonucu oluşan S102 kolonuna ait normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği

Çizelge 4.22 : Üç sistem için ZTADOA sonucu bulunan kolon hasar bölgeleri

Eleman Adı	Çerçeve Türü		
	Düzenli	Düzensiz	Düzensiz %50
S101	MH	BH	MH
S102	BH	BH	BH
S103	BH	-	-
S104	BH	BH	BH
S105	BH	MH	MH
S201	MH	MH	MH
S202	MH	BH	MH
S203	MH	BH	BH
S204	MH	BH	MH
S205	MH	MH	MH
S301	MH	MH	MH
S302	MH	MH	MH
S303	MH	MH	MH
S304	MH	MH	MH
S305	MH	MH	MH
S401	MH	MH	MH
S402	MH	MH	MH
S403	MH	MH	MH
S404	MH	MH	MH
S405	MH	MH	MH
S501	MH	MH	MH
S502	MH	MH	MH
S503	MH	MH	MH
S504	MH	MH	MH
S505	MH	MH	MH
S601	MH	MH	MH
S602	MH	MH	MH
S603	MH	MH	MH
S604	MH	MH	MH
S605	MH	MH	MH
S701	MH	MH	MH
S702	MH	MH	MH
S703	MH	MH	MH
S704	MH	MH	MH
S705	MH	MH	MH

4.5 Sonuçlara İlişkin Genel Değerlendirmeler

4.5.1 Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi sonuçlarına ait değerlendirmeler

Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi sonuçlarına bakıldığında;

Kolon kaldırılması sonucu oluşturulan düzensiz sistemler ile düzenli sistemin performans noktaları hemen hemen aynı çıkmıştır. Bunun sebebi üst kat kolonuna mesnetlik edebilmesi için eklenen rijit kirişin etkisi ve ayrıca kaldırılan kolon sebebiyle kaldırılan kolonun her iki yanında bulunan kolonlarının düşey yüklerinin artması ve bu artmaya bağlı olarak çatlamış kesit rijitliklerinin 0.8 EI' ya yaklaşmasıdır.

Taban kesme kuvveti açısından değerlendirme yapıldığında; düzenli ve düzensiz sistemlerde taban kesme kuvvetleri hemen hemen aynı olmakla birlikte düzensiz sistemde elde edilen taban kesme kuvveti biraz daha fazla çıktığı görülmüştür. Bunun nedeni rijit kirişin etkisi ve lineer elastik analiz sonucu bulunan donatı miktarlarının düzenli sisteme göre daha fazla olmasıdır. İç kuvvetlerin % 50 oranında arttırılması ile taban kesme kuvvetinde düzensiz sisteme göre yaklaşık %16 oranında artış meydana gelmiştir.

Kesit hasarları ve hasar dağılımları açısından değerlendirme yapıldığında; düzenli sistemde tüm kolonlar minimum hasar sınırında iken, düzensiz sistemde rijit kirişin mesnetlendiği kolonların belirgin hasar bölgesine geçtiği görülmüştür. İlgili elemanlarda iç kuvvetlerin %50 oranında arttırıldığı sistemde ise rijit kirişin mesnetlendiği bir kolon belirgin hasar bölgesindedir. Düzenli sistemde beş adet olan birinci kat kolonlarının dört adedinde, düzensiz sistemde dört adet birinci kat kolonunun hepsinde, düzensiz ve ilgili elemanlarda iç kuvvetlerin %50 oranında arttırıldığı sistemde ise dört adet birinci kat kolonunun bir adedinde ve ikinci kat kolonlarının bir adedinde plastikleşme meydana gelmiştir. İç kuvvetlerin arttırılmasının plastikleşen kolon kesiti bakımından pozitif etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Kiriş hasarlarına bakıldığında düzenli sistemde 28 adet kirişin 16'sı belirgin 12'si minimum hasar bölgesinde, düzensiz sistemde 27 adet kirişin 18'i belirgin 9'u minimum hasar bölgesinde, iç kuvvetleri arttırılmış sistemde ise 27 adet kirişin 17'si belirgin 10'u minimum hasar bölgesindedir. Düzenli sistemde kirişlerde hasar dağılımı homojen olarak meydana gelmekte, düzensiz sistemde ise itme

yönüne bağlı olarak iç eksenlerden birisine toplanmaktadır. İç kuvvetlerin arttırılması, hasar dağılımını düzensiz sisteme göre daha homojen hale getirmiştir.

Düzenli sistem referans olarak kabul edilip, birinci kat kolonlarında meydana gelen plastik dönmeler açısından karşılaştırma yapıldığında düzensiz sistemin kolonlarında büyük oranda plastik dönme artışı tespit edilmiştir. Bu artış oranları S101,S102,S104 kolonları için sırasıyla 3.25, 1.71, 2.63 kat olarak belirlenmiştir. Düzenli sistemde S105 kolonunda plastik mafsall oluşmadığından S105 kolonu için karşılaştırma yapılamamıştır. Düzensiz ve ilgili elemanlarda iç kuvvetlerin %50 arttırıldığı sistemde ise sadece S101 kolonunda plastik mafsall oluşmuş, plastik dönme değeri düzenli sistemdeki S101 kolonunun yarısı olarak gerçekleşmiştir. Üç sistemde birinci kat kolonları için AEDYY sonucu bulunan plastik dönme değerlerinin karşılaştırılması Çizelge (4.23)'te verilmiştir.

Çizelge 4.23 : Üç sistemde birinci kat kolonları için AEDYY sonucu bulunan plastik dönme değerlerinin karşılaştırılması

Eleman Adı	Plastik Dönme Değerleri (rad)			Plastik Dönme Oranları		
	Düzenli (1)	Düzensiz (2)	Düzensiz%50 (3)	(2)/(1)	(3)/(1)	(3)/(2)
S101	0.0008	0.0026	0.0004	3.25	0.5	0.15
S102	0.0017	0.0029	-	1.71	-	-
S104	0.0016	0.0042	-	2.63	-	-
S105	-	0.0008	-	-	-	-

4.5.2 Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi sonuçlarına ait değerlendirmeler

Düzenli sistem ile düzensiz sistemler tepe yer değiştirmesi açısından karşılaştırıldığında; 3 sistem arasında belirgin bir fark bulunmamaktadır. Kolonun kaldırılması, sisteme rijit giriş eklenmesi ve çatlamış kesit rijitliklerindeki değişimler gibi nedenlerle tepe yer değiştirmesi değerine etki etmemiştir.

Düzenli sistem ile düzensiz sistemler taban kesme kuvveti açısından karşılaştırıldığında; düzenli ve düzensiz sistemlerde elde edilen taban kesme kuvvetleri hemen hemen aynı olmakla birlikte düzensiz sistemin taban kesme kuvvetinin biraz daha fazla olduğu görülmüştür. Bunun sebebi artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemine ait sonuçlarda da açıklandığı üzere rijit girişin etkisi ve düzensiz sistemde bulunan donatıların düzenli sisteme göre daha fazla olmasıdır.

İlgili elemanlarda iç kuvvet değerlerinin artırılması taban kesme kuvvetinde düzensiz sisteme göre %14 oranında artışa sebep olmuştur.

Kesit hasarları ve hasar dağılımları açısından değerlendirme yapıldığında; düzenli sistemde birinci katta bulunan 5 adet kolondan 4'ünün belirgin hasar bölgesinde diğer bütün kolonların ise minimum hasar bölgesinde olduğu tespit edilmiştir. Düzensiz sistemde 4 adet olan birinci kat kolonlarından 3 adedi, 5 adet ikinci kat kolonlarından ise 1 adedi belirgin hasar bölgesine geçmiştir. İkinci katta belirgin hasar bölgesine geçen kolon rijit kirişe oturan orta ekseninde yer alan S203 kolonudur. Düzensiz ve ilgili elemanlarda iç kuvvetlerin %50 oranında artırıldığı sistemde ise dört adet birinci kat kolonlarından iki adedi, beş adet ikinci kat kolonlarından ise 1 adedi belirgin hasar bölgesine geçmiştir. Birinci katta belirgin hasar bölgesinde bulunan kolonlar rijit kirişin mesnetlendiği S102 ve S104 kolonları, ikinci katta ise rijit kirişe oturan S203 kolonudur. Diğer bütün kolonlar minimum hasar bölgesinde yer almaktadır. İç kuvvetlerin artırılması, belirgin hasar bölgesinde yer alan eleman sayısını azaltmış fakat sistem genelinde plastikleşen kolon kesiti sayısını arttırmıştır. Kiriş hasarlarına bakıldığında düzenli sistemde 28 adet kirişten 20 adedinin belirgin hasar bölgesinde, 8 adedinin ise minimum hasar bölgesinde olduğu görülmektedir. Düzensiz sistemde 27 adet kirişten 12 si belirgin hasar bölgesinde, 12 si göçme bölgesinde, 3 adedi minimum hasar bölgesinde bulunmaktadır. Göçme bölgesinde yer alan kirişler düşeyde düzensizliğin bulunduğu orta eksenindeki kolonlara mesnetlenen kirişlerdir. Düzensiz ve ilgili elemanlarda iç kuvvetlerin %50 oranında artırıldığı sistemde ise 27 adet kirişten 24 adedi belirgin hasar bölgesinde, 3 adedi minimum hasar bölgesinde bulunmaktadır. İç kuvvetlerin artırılması, düzensizliğin bulunduğu ekseninde yer alan kolonlara mesnetlenen kirişlerde hasarın toplanmasını önlemiş, homojen olarak yayılmasını sağlamıştır.

Düzenli sistem referans olarak kabul edilip, birinci kat kolonlarında meydana gelen plastik dönmeler açısından karşılaştırma yapıldığında düzensiz sistemin kolonları için plastik dönmelerde artış tespit edilmiştir. Bu artış oranları S101,S102,S104,S105 kolonları için sırasıyla 1.27, 1.23, 1.38 ve 1.12 kat olarak belirlenmiştir. Düzensiz ve ilgili elemanlarda iç kuvvetlerin %50 artırıldığı sistemde ise düzenli sisteme göre birinci kat kolonlarının tümü için plastik dönme değerlerinde azalma mevcuttur. Üç sistemde birinci kat kolonları için ZTADOA sonucu bulunan plastik dönme değerlerinin karşılaştırılması Çizelge (4.24)'te verilmiştir.

Çizelge 4.24 : Üç sistemde birinci kat kolonları için ZTADOA sonucu bulunan plastik dönme değerlerinin karşılaştırılması

Eleman Adı	Plastik Dönme Değerleri (rad)			Plastik Dönme Oranları	
	Düzenli (1)	Düzensiz (2)	Düzensiz%50 (3)	(2)/(1)	(3)/(1)
S101	0.0041	0.0052	0.0008	1.27	0.20
S102	0.0052	0.0064	0.0020	1.23	0.38
S104	0.0053	0.0073	0.0008	1.38	0.15
S105	0.0042	0.0047	0.0021	1.12	0.50

4.5.3 Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonuçlarının karşılaştırılması

Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonuçları tepe yer değiştirmesi açısından karşılaştırıldığında iki yönteminde oldukça yakın sonuç verdiği görülmüştür. Her iki yönteme ve üç sisteme ait tepe yer değiştirmesi değerleri karşılaştırmalı olarak Çizelge (4.22)' de verilmektedir.

Çizelge 4.25 : Üç sistem için AEDYY ve ZTADOA yöntemleri sonucu bulunan tepe yer değiştirmesi karşılaştırması

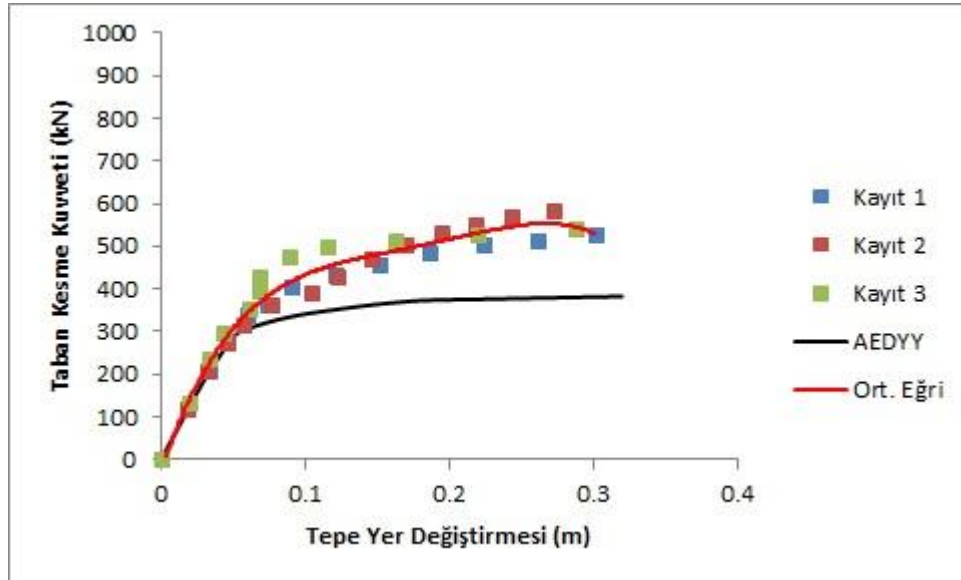
Çerçeve Türü	Tepe Yer Değiştirmesi (m)		
	AEDYY	ZTADOA	AEDYY / ZTADOA
Düzenli	0.185	0.1869	0.99
Düzensiz	0.182	0.193	0.94
Düzensiz %50	0.182	0.186	0.98

Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonuçları taban kesme kuvvetleri açısından karşılaştırıldığında artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi sonucu bulunan taban kesme kuvvetinin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonucu bulunan taban kesme kuvvetine oranla daha küçük kaldığı görülmüştür. Her iki yönteme ve üç sisteme ait taban kesme kuvvetleri değerleri karşılaştırmalı olarak Çizelge (4.23)' te verilmektedir.

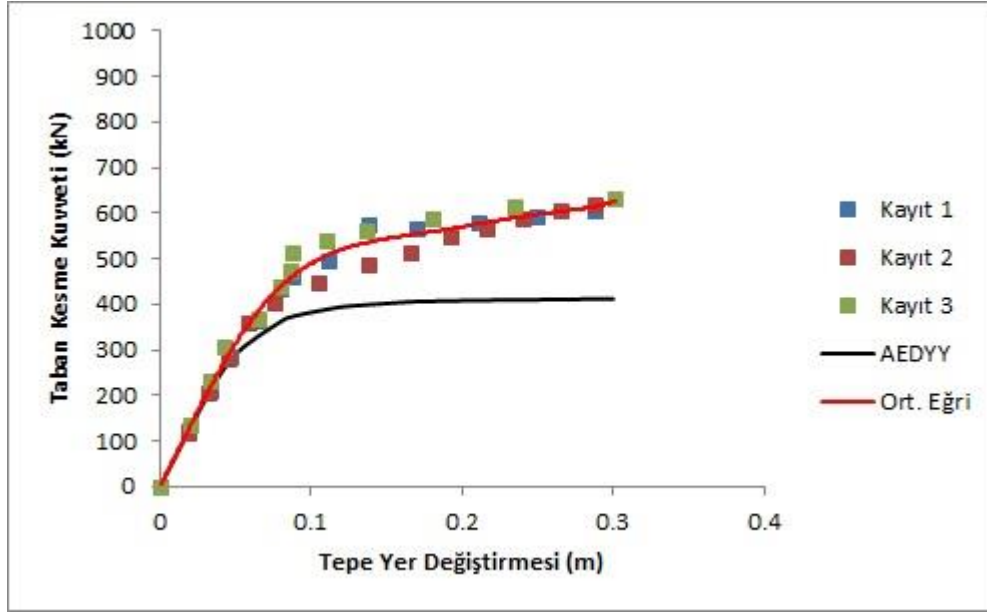
Çizelge 4.26 : Üç sistem için AEDYY ve ZTADOA yöntemleri sonucu bulunan taban kesme kuvveti karşılaştırması

Çerçeve Türü	Taban Kesme Kuvveti (kN)		
	AEDYY	ZTADOA	AEDYY / ZTADOA
Düzenli	373	515	0.72
Düzensiz	407	567	0.72
Düzensiz %50	471	646	0.73

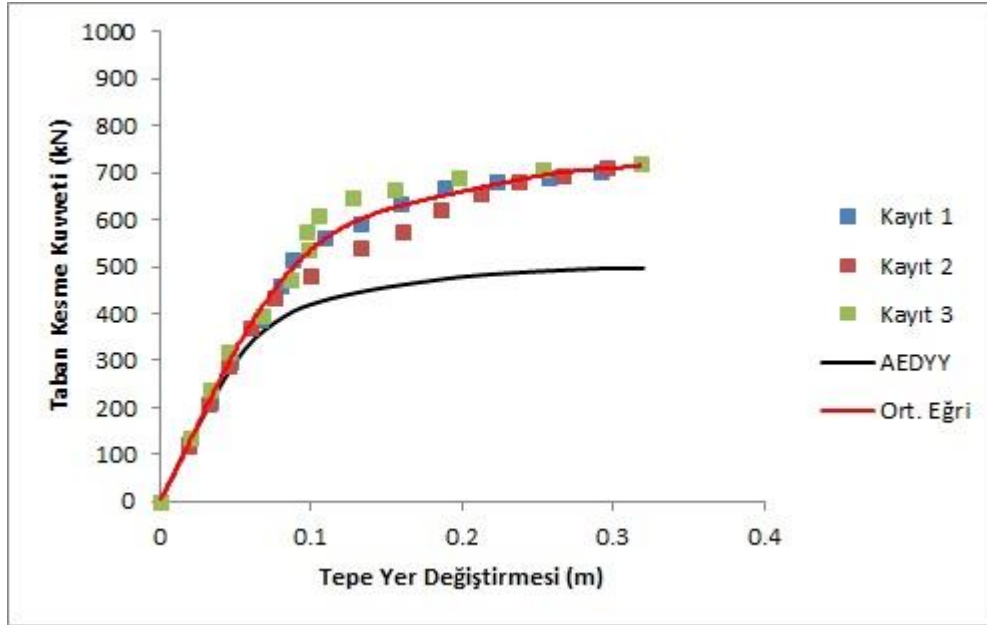
Ayrıca zaman tanım alanında analizde kullanılan 3 adet deprem kaydı $[\ddot{u}(t)_{\max}/g]$ değerleri 0.04' den başlamak üzere 0.6 değerine kadar 13 farklı değer için yeniden ölçeklenmiş, bu işlem sonucu oluşturulan kayıtlar kullanılarak elde edilen taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirmesi değerleri aşağıdaki grafikler üzerine işaretlenmiştir. Daha sonra bu noktalar dikkate alınarak uygun bir eğri türetilmiş olup AEDYY ile bulunan taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirmesi eğrisi de aynı grafik üzerine çizdirilmiştir. Bu grafiklerden de anlaşılabileceği gibi AEDYY ile bulunan taban kesme kuvveti ZTADOA sonucu bulunan taban kesme kuvveti değerine nazaran düşük kalmaktadır.



Şekil 4.41 : Düzenli sistem için AEDYY ve ZTADOA analiz sonucu elde edilen taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirmesi eğrilerinin karşılaştırılması



Şekil 4.42 : Düzensiz sistem için AEDYY ve ZTADOA analiz sonucu elde edilen taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirmesi eğrilerinin karşılaştırılması



Şekil 4.43 : Düzensiz ve ilgili elemanlarda iç kuvvetlerin %50 arttırıldığı sistem için AEDYY ve ZTADOA analiz sonucu elde edilen taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirmesi eğrilerinin karşılaştırılması

5. SONUÇLAR

Bu tezde, DBYBHY (2007)' de izin verilen düzensizliklerden birisi olan, kolonun iki ucundan mesnetli bir kirişe oturması hali incelenmiştir. Yönetmelikte, bu duruma kolonun oturduğu kiriş ve bu kirişin birleştiği düğüm noktalarına birleşen diğer kiriş ve kolonlarda deprem ve düşey yüklerin ortak etkisinden bulunan tüm iç kuvvet değerlerinin % 50 oranında arttırılması şartı ile müsaade edilmektedir. Yapılan çalışma ile bu tip düzensizliğin yapının deprem performansına etkisi ve yönetmeliğin bu konudaki yaklaşımı, artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ve zaman tanım alanında hesap yöntemi kullanılarak çerçeve düzleminde, kesit hasar sınırları açısından irdelenmiştir. İnceleme için hiçbir düzensizlik içermeyen 7 katlı, 5 açıklıklı bir çerçeve referans olarak alınmış, bu çerçevede orta açıklıkta birinci kattaki kolon kaldırılarak düzensiz çerçeve oluşturulmuştur. Son olarak ise yönetmeliğin yaklaşımının yeterliliğini incelemek üzere ilgili elemanlarda iç kuvvetlerin %50 oranında arttırılarak donatı hesabının yapıldığı üçüncü bir çerçeve tasarlanmıştır. Her iki analiz yönteminde elde edilen kesit hasarları, taban kesme kuvvetleri ve tepe yer değiştirmeleri esas alınarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- 1- Kolonun kirişe oturması durumunda zemin katta bulunan mesnet kirişindeki çökme nedeniyle, yükün üst katlardan temele aktarım yolu değişmektedir. Bu durumda, süreksizliğin olduğu eksenin yanındaki eksende yer alan kolonların normal kuvvetleri düzenli sisteme göre artış göstermiş, süreksizliğin bulunduğu eksendeki kolonların normal kuvvetleri azalmıştır. Bu değişimler Ekler kısmında bulunan Şekil (A.7) ve (A.8)' de gösterilmiştir.
- 2- Göz önüne alınan düzenli ve iç kuvvetlerin arttırıldığı sistemlerde, zaman tanım alanında hesap yöntemi ve artımsal eşdeğer deprem yükü yönteminin kesit hasar sınırları açısından bazı elemanlarda farklılıklar olabilmekle beraber benzer sonuçlar verdiği söylenebilir. Farklılık en çok bir hasar bölgesi kadardır. Düzensiz sistem göz önüne alındığında, yukarıda bahsedilen farklılık daha da belirginleşmiştir. Zaman tanım alanında analiz sonucu ortaya çıkan düzensizliğin bulunduğu eksendeki kolonlara birleşen kirişlerde

hasar yoğunlaşması artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanıldığında ortaya çıkmamıştır. Bu elemanlarda iki yöntemin sonuçları arasındaki farklılık iki hasar bölgesi kadardır.

- 3- Tepe yer değiştirmeleri bakımından değerlendirme yapıldığında iki yöntemin kullanılması sonucu elde edilen tepe yer değiştirme değerlerinin bütün sistemler için hemen hemen aynı olduğu tespit edilmiştir.
- 4- Yatay yük dağılımının birinci mod genliği ve ilgili katın kütle değerinin çarpımıyla orantılı kabul edildiği artımsal eşdeğer deprem yükü yönteminde tepe yer değiştirmesi değerinin doğru olarak tahmin edilmesine rağmen bulunan taban kesme kuvveti zaman tanım alanında hesap yöntemi ile bulunan taban kesme kuvvetine nazaran daha küçük kalmıştır. Daha doğru bir karşılaştırma yapılabilmesi için, her itme adımında sistemde oluşan plastikleşmeleri de dikkate alan yatay yük dağılımları uygulanabilir.
- 5- Düzensizliğin neden olabileceği birtakım ek kesit zorlarının olumsuz etkilerini önlemeye yönelik olarak yönetmelik tarafından önerilen tüm iç kuvvet değerlerinin tasarım aşamasında %50 oranında arttırılmasının çerçeve davranışına etkisinin olumlu olduğu görülmüştür.
- 6- Düzensiz sistem ile düzenli sistemde birinci kat kolonlarında meydana gelen plastik dönmeler karşılaştırıldığında düzensiz sistemdeki kolonlarda düzenli sistemdeki kolonlara göre plastik dönmelerin büyük oranda arttığı tespit edilmiştir. Düzensiz ve ilgili elemanlarda iç kuvvetlerin %50 oranında arttırıldığı sistemde ise birinci kat kolonlarındaki plastik dönmeler düzenli sisteme göre daha küçük olarak meydana gelmiştir.
- 7- Bu tip hassas düzensiz sistemler tasarlandıktan sonra performans analizlerinin yapılması, tasarımda gözden kaçan bir kusurun olup olmadığının ve yapının depremde davranışının anlaşılabilmesi için yararlı olabilir.
- 8- Deprem analizi sırasında plastik mafsallar düzensizliğin bulunduğu eksenlerdeki kolonlara birleşen kirişlerde başlamakta ve bu elemanlar üzerinde deformasyonlar yoğunlaşmaktadır. Bu elemanların tasarımları depreme dayanıklılık açısından dikkatle yapılmalıdır.
- 9- Yurdumuzun büyük bölümünün deprem bölgesi olduğu düşünüldüğünde gerekli önlemler tümüyle alınmadan bu tip hassas düzensiz sistemlerin yapımından mümkün olabildiğince kaçınılmalıdır.

Bu tezde B3 düzensizliği en temel manada, çerçeve düzleminde incelenmiş olup çalışmanın sonuçları incelenen sistemler için geçerlidir. Benzer çalışmaların üç boyutlu uzaysal sistemleri içerecek veya daha değişik yapı sistemlerini de içerecek şekilde yapılması bu tip düzensizliğin taşıyıcı sistem deprem davranışına olan etkisinin daha iyi olarak anlaşılması için yararlı olacaktır.

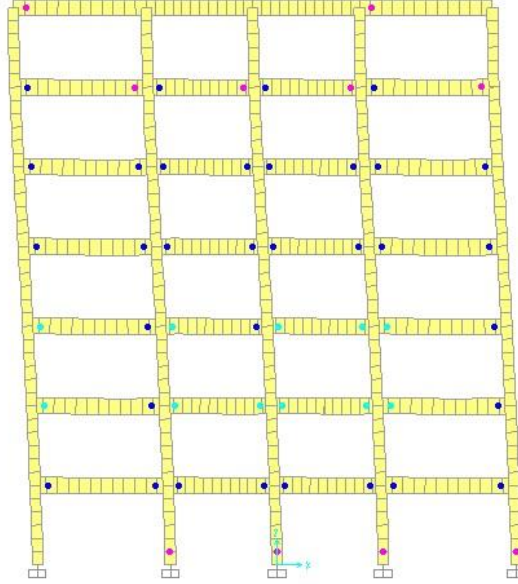
KAYNAKLAR

- [1] <<http://www.deprem.gov.tr/sarbis/Deprem/DepremNedir.aspx#KONU2>>
Alındığı Tarih:31/01/13
- [2] <<http://www.deprem.gov.tr/sarbis/Deprem/DepremNedir.aspx#KONU2>>
Alındığı Tarih:31/01/13
- [3] < <http://www.deprem.gov.tr/sarbis/Shared/DepremHaritalari.aspx>>Alındığı
Tarih: 31/01/13
- [4] **Öztunç, M.** (1996). Taşıyıcı Sistemi Düşeyde Düzensiz Bir Binanın Statik ve Dinamik Davranışının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [5] **Yaver, Ö.** (1997). Düşeyde Düzensiz Taşıyıcı Sistemli Çok Katlı Betonarme Bir Binanın Deprem Davranışının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [6] **Güney, D.** (1997). Taşıyıcı Sistemi Düşeyde Düzensiz , Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [7] **Bayhan, B.** (2003). Düzensiz Betonarme Bir Binanın Boyutlandırılması ve Kolon Eksenindeki Ötelenmenin Etkisi , Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [8] **Kartal, İ., Ö.** (2005). Düşeyde Düzensiz Binaların Performans Yaklaşımıyla İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [9] **Turhan, E.** (2007). Düşeyde Düzenliğe Sahip Betonarme Bir Konut Binasının Sismik Performansının İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [10] **Bakkaloğlu, E.** (2007). Düşeyde Düzensiz Bir Yapının Depreme Dayanıklılığının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [11] **Üner, E.** (2009). Düşeyde Düzensiz Bir Binanın Deprem Etkisi Altındaki Yapısal Performansının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [12] **Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik**, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, 2007
- [13] **Ulucan, Z. C., Alyamaç K. E.** (2008). A3 Düzensizliğine Sahip Yapıların Doğrusal Olmayan Kat Kesme Kuvvetlerinin İncelenmesi, Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bil. Dergisi, 20(1): 145-155.
- [14] <<http://world-housing.net/wherereport1view.php?id=100031>>, Alındığı Tarih: 21/02/2013
- [15] **Celep, Z.** (2008). Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış ve Çözümleme, Beta Dağıtım, İstanbul.

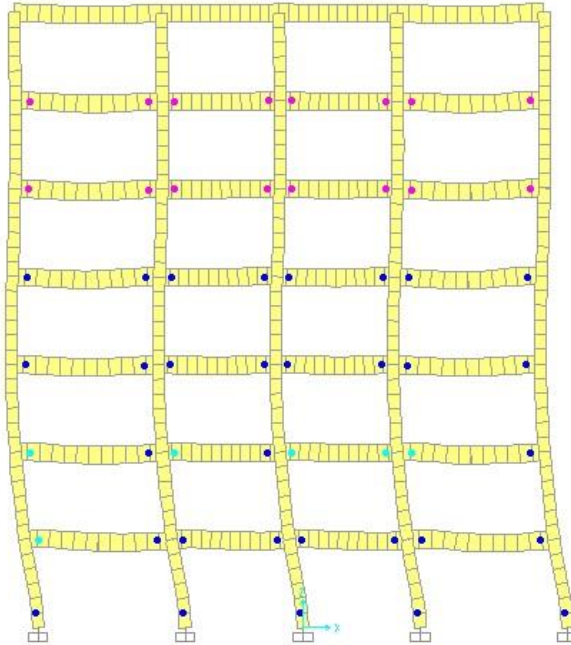
- [16] **Ersoy, U., Özcebe, G.** (2012). Betonarme, Evrim Yayınevi ve Bilgisayar San. Tic. Ltd. Şti, İstanbul.
- [17] **Sheikh S.A., Uzumeri, S.M.** (1982). Analytical Model for Concrete Confinement in Tied Columns, ASCE Journal of the Structural Division, V. 108, No. St12, 2703-2722.
- [18] **İlki A.** (1999). Sargılı Beton Gerilme Şekil Değiştirme Modelleri Üzerine Bir Derleme, Teknik Rapor, Türkiye Deprem Vakfı, İstanbul.
- [19] **Kaltakçı, M. Y., Köken, A., Yılmaz Ü.** (2006). Eksenel Yük Altındaki Çelik Lifli ve Lifsiz Etriyeli Betonarme Kolonların Davranışının Deneysel ve Analitik İncelenmesi, DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt:8, Sayı:1, S: 65-85.
- [20] **Tokgöz, S.** (2006). Öngerilmeli ve Betonarme Elemanların İki Eksenli Eğilme ve Eksenel Yük Etkisi Altında Davranışı, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Adana.
- [21] **Saatcioglu, M., Razvi, S.R.** (1992). Strength and Ductility of Confined Concrete, ASCE Journal of Structural Division, V.118, No. 6., 1590-1607.
- [22] **Özer, E.** Yapı Sistemlerinin Lineer Olmayan Hesabı ders notları, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi, İstanbul
- [23] **Eurocode 8.** (2005). Design of Structures for Earthquake Resistance, Part:3 Strengthening and Repair of Buildings, European Committee for Standardization, Brussels.
- [24] **Acun, B., Sucuoğlu H.** Betonarme Kolonların Şekil Değiştirme Performans Sınırlarının Deneysel Gözlemlerle Değerlendirilmesi, İMO Teknik Dergi, 2011, 5523-5541, Yazı 356
- [25] **İşıltan, Ö.** (2010). Betonarme kolonlar için DBYBHY 2007, EUROCODE 8 ve FEMA 356 ile yapılan performans değerlendirmelerinin deney sonuçlarıyla karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü
- [26] **Fema 356.** (2000). Prestandard and Commentary For the Seismic Rehabilitation of Buildings, Federal Emergency Management Agency, Washington D.C.
- [27] **Celep, Z.** (2011). Betonarme Yapılar, Beta Dağıtım, İstanbul.
- [28] **ETABS v. 9.7.3.** Computers and Structures Inc., Berkeley, USA
- [29] **SAP2000 v. 14.2.2.** Computers and Structures Inc., Berkeley, USA
- [30] **XTRACT.** Cross Sectional X Analysis of Structural Components, Imbsen Software, CA, USA
- [31] **Mertol, A., Kılınçarslan, Ş., Çandar, C.O.** (2001). Taşıyıcı Sistemlerde Düşey Elemanların Süreksizliğinin İncelenmesi ve Yönetmeliğin İrdelenmesi, XVI. Türkiye İnşaat Mühendisliği Teknik Kongre ve Sergisi, Ankara.

- [32] **Kara, N., Celep, Z.** (2012). Nonlinear Sesimic Response of Structural Systems Having Vertical Irregularities Due to Discontinuities in Columns, 15 WCEE, Lisboa.
- [33] **İdecad Statik v7**, İdeyapı, İstanbul, Türkiye
- [34] **Soni, D. P., Mistry, B. B.** (2006). Qualitative Review of Seismic Review of Response of Vertically Irregular Building Frames, ISET Journal of Earthquake Technology, Technical Note, Vol. 43, No. 4, pp. 121-132
- [35] **Güler, K., Güler, M. G., Taşkın, B., Altan, M.** (2007). Taşıyıcı Sistemi Düşeyde Düzensiz Betonarme Bir Binanın Deprem Performansının Belirlenmesi, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 517-528, İstanbul, Türkiye,
- [36] **Aranda, G.R.** (1984) Ductility Demands for R/C Frames Irregular in Elevation, Proceedings of Eighth World Conference on Earthquake Engineering, Vol. 4. pp. 559-566, San Francisco, USA
- [37] **Das, S., Nau, J.M.** Seismic Design Aspects of Vertically Irregular Reinforced Concrete Buildings, Earthquake Spectra, Vol. 19, No. 3, pp. 455-477.
- [38] **Chintanapakdee, C., Chopra, A.,K.** (2004) Seismic Response of Vertically Irregular Frames: Response History and Modal Pushover Analyses, Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 130, No. 8, pp. 1177-1185

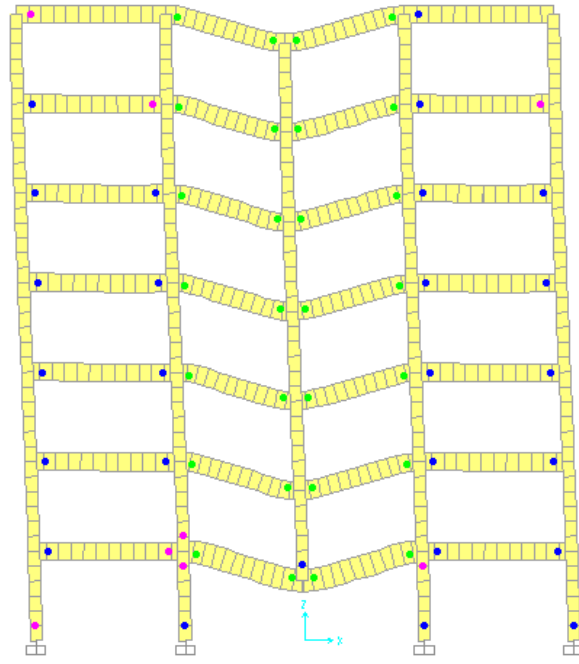
EK – A



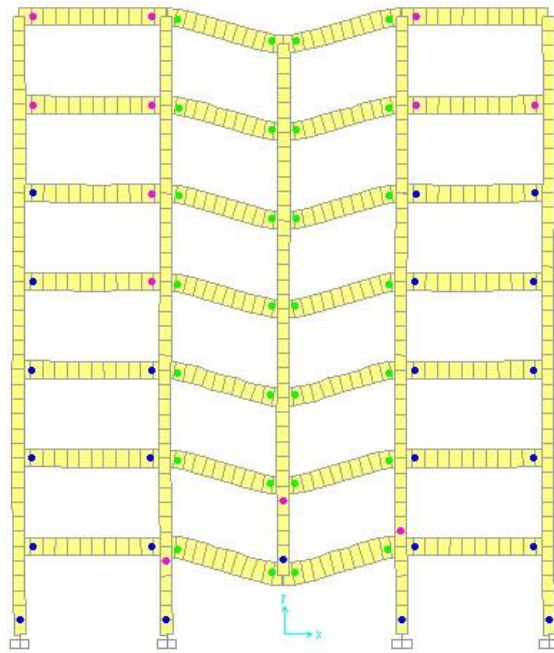
Şekil A.1 : Düzenli sistemde 2 nolu kaydın etkililmesi sonucu oluşan plastik mafsallar



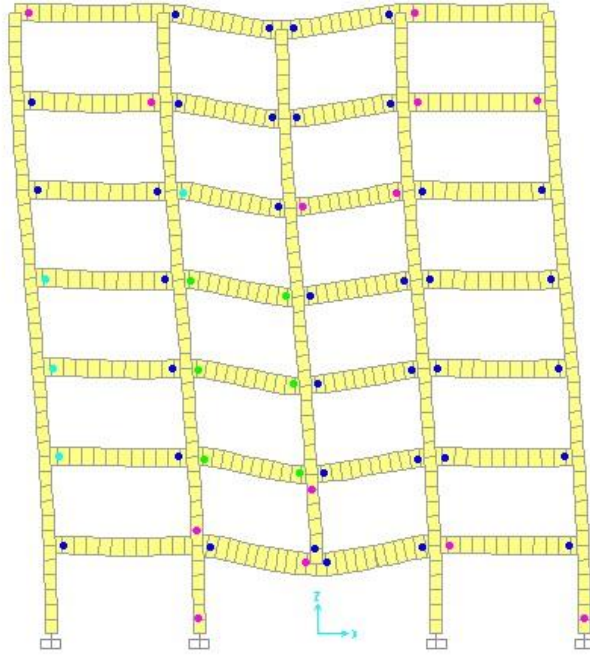
Şekil A.2 : Düzenli sistemde 3 nolu kaydın etkililmesi sonucu oluşan plastik mafsallar



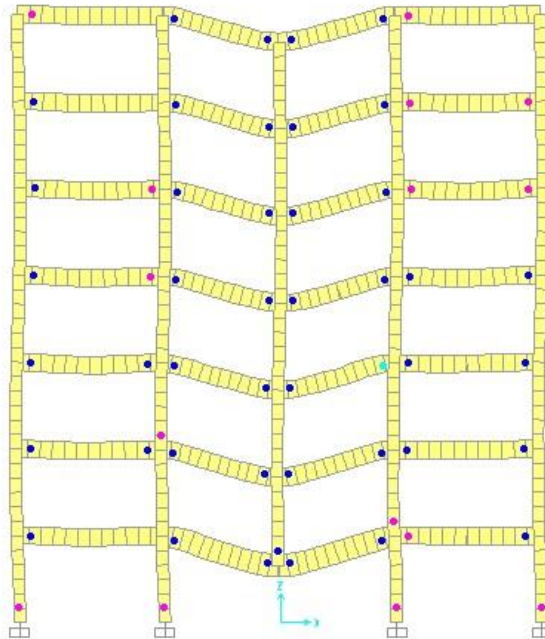
Şekil A.3 : Düzensiz sistemde 2 nolu kaydın etkitilmesi sonucu oluşan plastik mafsallar



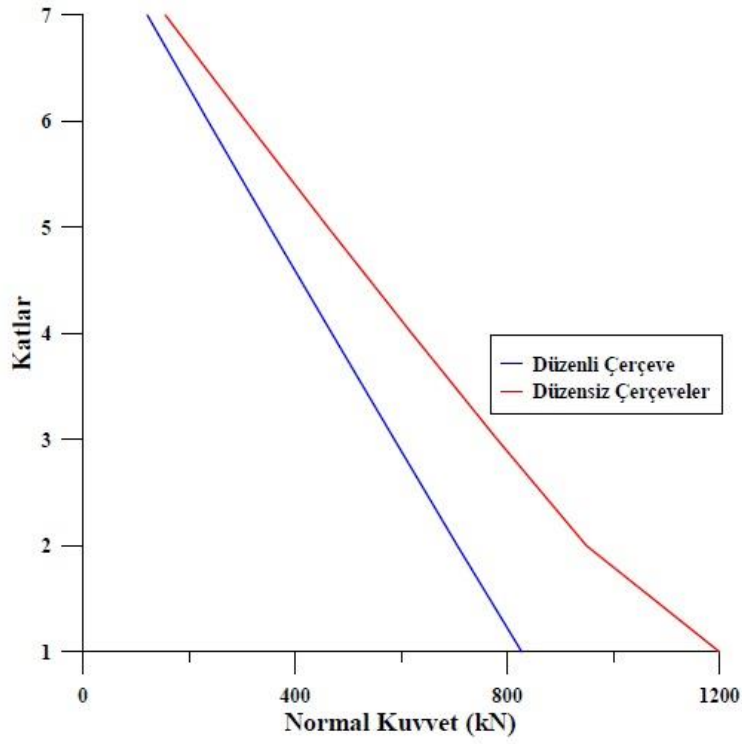
Şekil A.4 : Düzensiz sistemde 3 nolu kaydın etkitilmesi sonucu oluşan plastik mafsallar



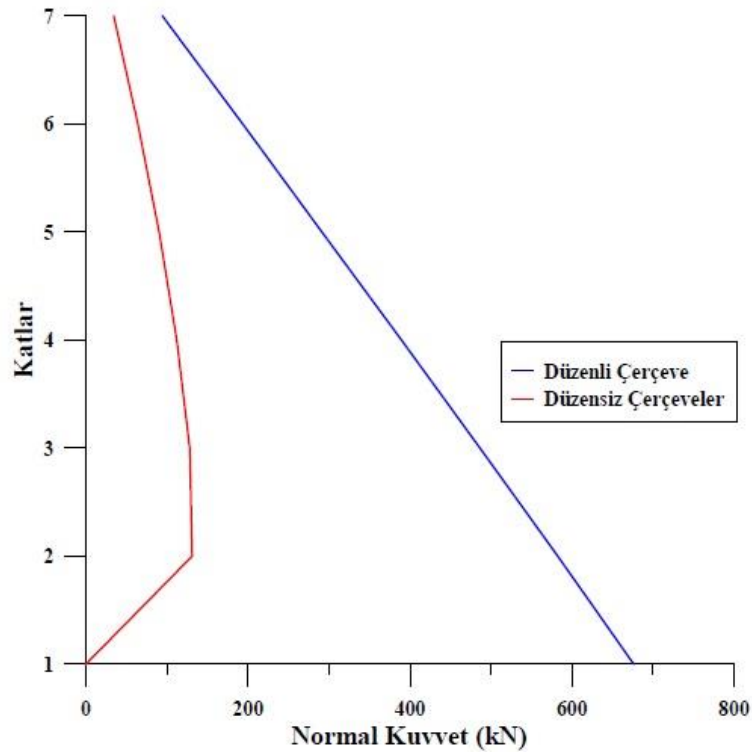
Şekil A.5 : Düzensiz ve ilgili elemanlarda iç kuvvetlerin %50 arttırıldığı sistemde 2 nolu kaydın etkililmesi sonucu oluşan plastik mafsallar



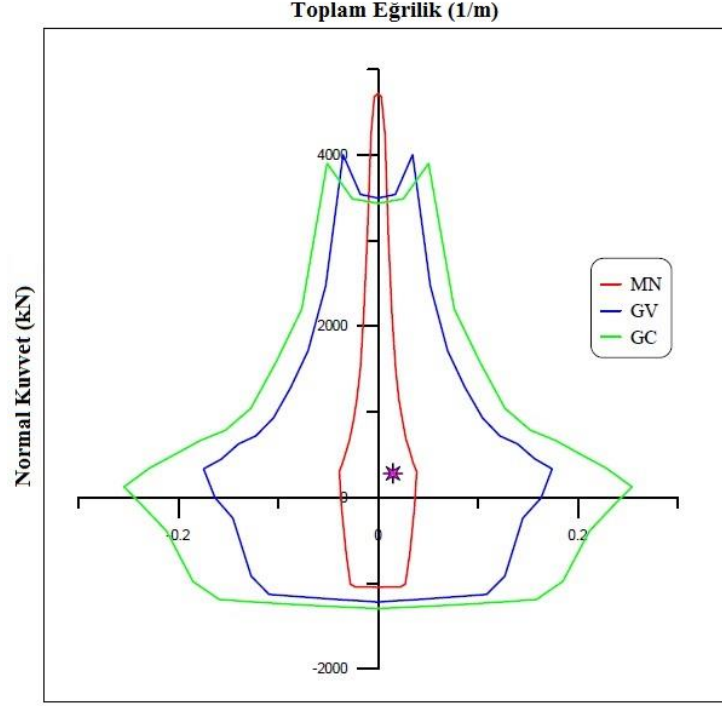
Şekil A.6 : Düzensiz ve ilgili elemanlarda iç kuvvetlerin %50 arttırıldığı sistemde 3 nolu kaydın etkililmesi sonucu oluşan plastik mafsallar



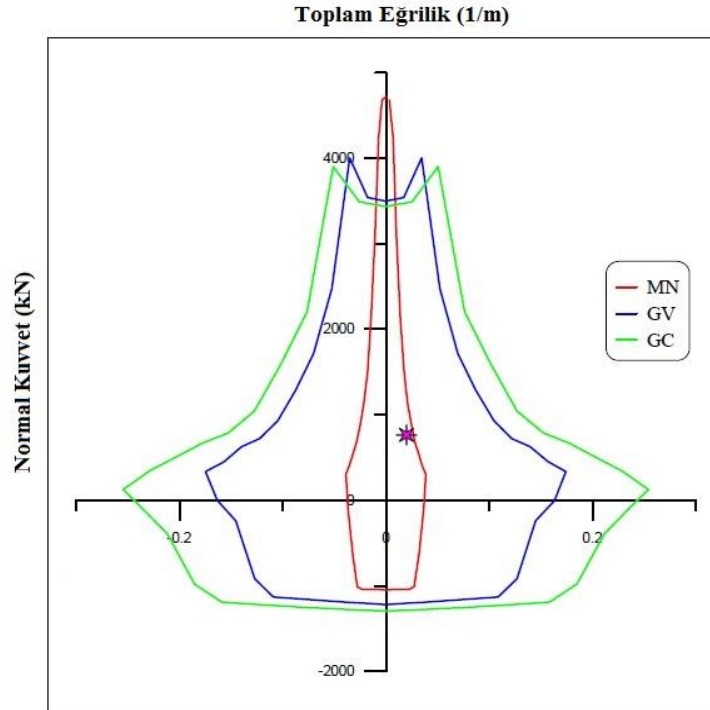
Şekil A.7 : Düzenli ve düzensiz sistemlerde düzensizliğin bulunduğu eksenin sağ ve sol eksenlerinde yer alan kolonlarda normal kuvvet değişimi (G+0.3Q yüklemesi)



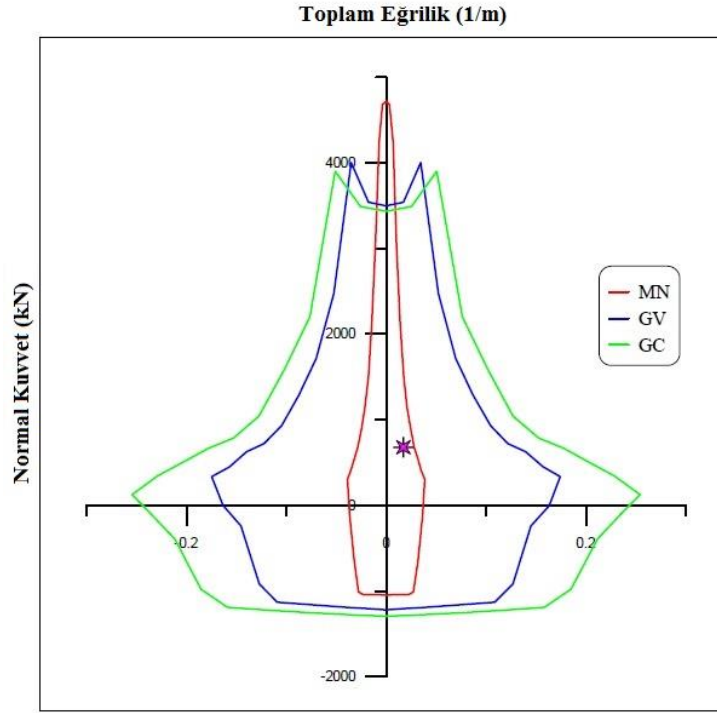
Şekil A.8 : Düzenli ve düzensiz sistemlerde düzensizliğin bulunduğu ekseninde yer alan kolonlarda normal kuvvet değişimi (G+0.3Q yüklemesi)



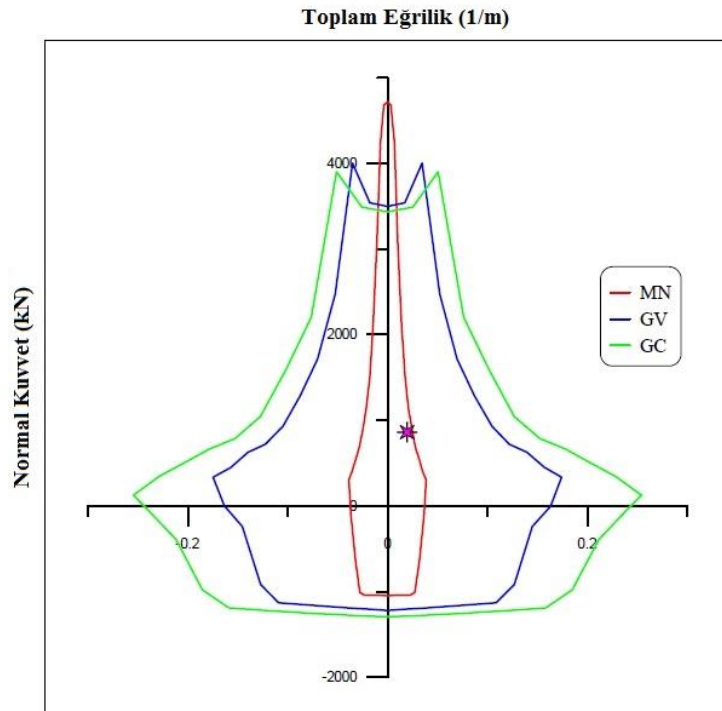
Şekil A.9 : Düzenli sistemde AEDYY sonucunda S101 kolonu için hasar bölgesinin normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile tespiti



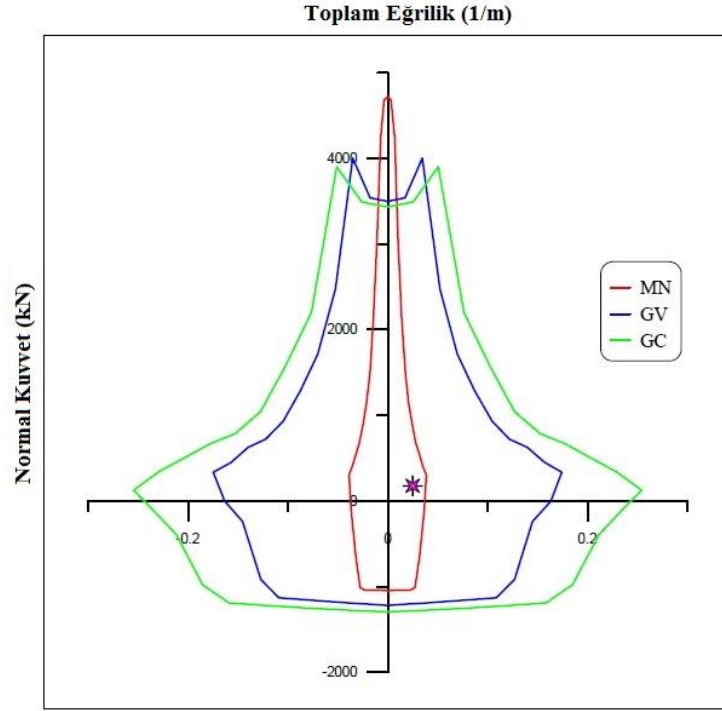
Şekil A.10 : Düzenli sistemde AEDYY sonucunda S102 kolonu için hasar bölgesinin normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile tespiti



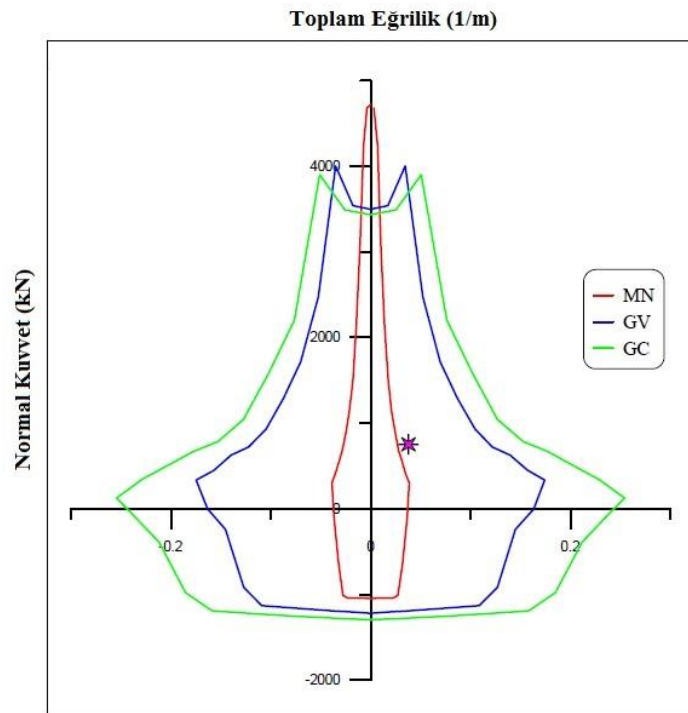
Şekil A.11 : Düzenli sistemde AEDYY sonucunda S103 kolonu için hasar bölgesinin normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile tespiti



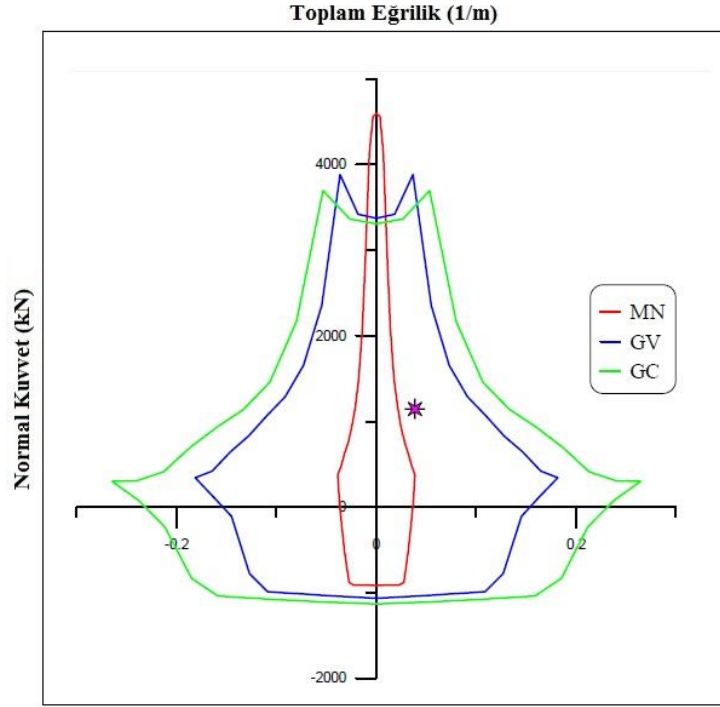
Şekil A.12 : Düzenli sistemde AEDYY sonucunda S104 kolonu için hasar bölgesinin normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile tespiti



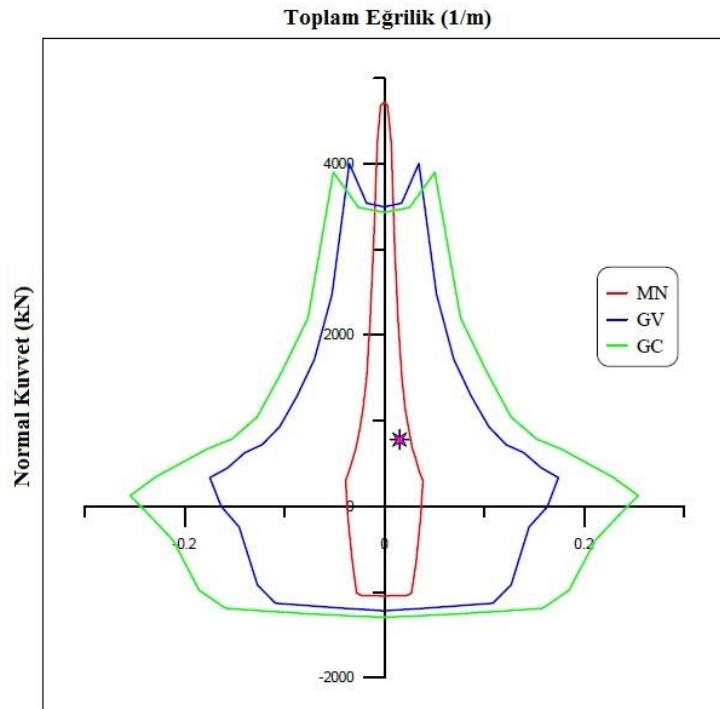
Şekil A.13 : Düzensiz sistemde AEDYY sonucunda S101 kolonu için hasar bölgesinin normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile tespiti



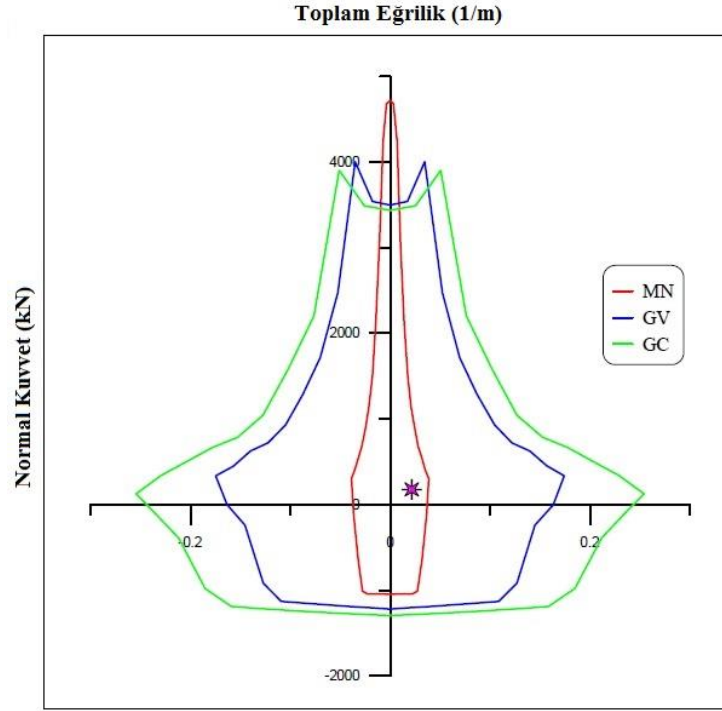
Şekil A.14 : Düzensiz sistemde AEDYY sonucunda S102 kolonu için hasar bölgesinin normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile tespiti



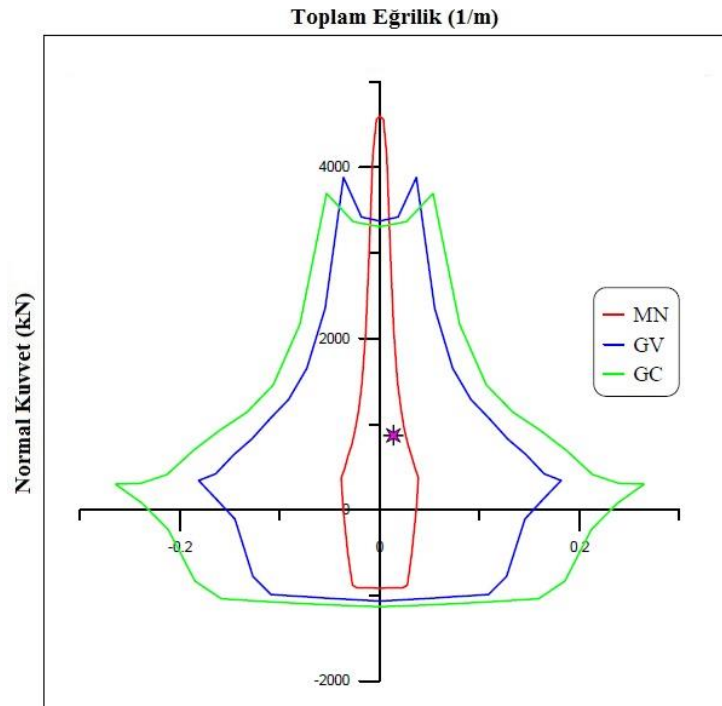
Şekil A.15 : Düzensiz sistemde AEDYY sonucunda S104 kolonu için hasar bölgesinin normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile tespiti



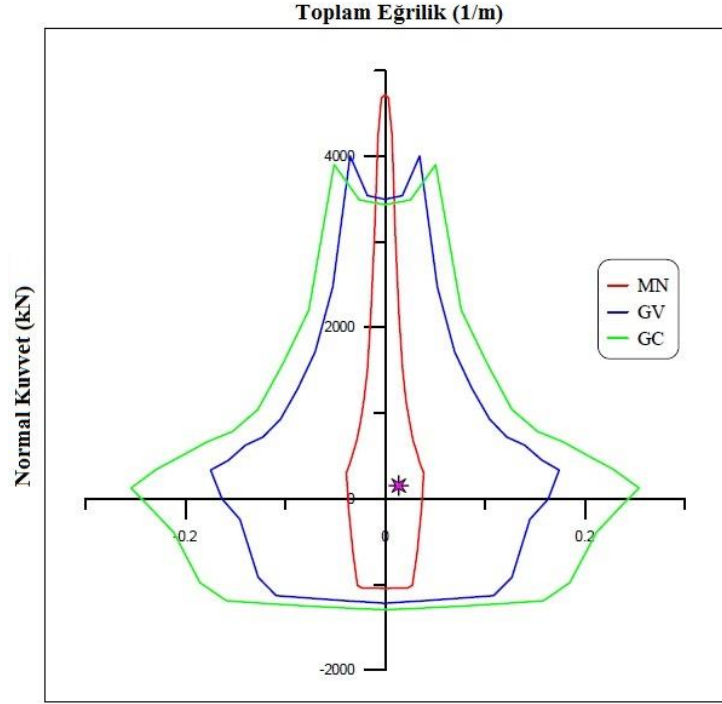
Şekil A.16 : Düzensiz sistemde AEDYY sonucunda S105 kolonu için hasar bölgesinin normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile tespiti



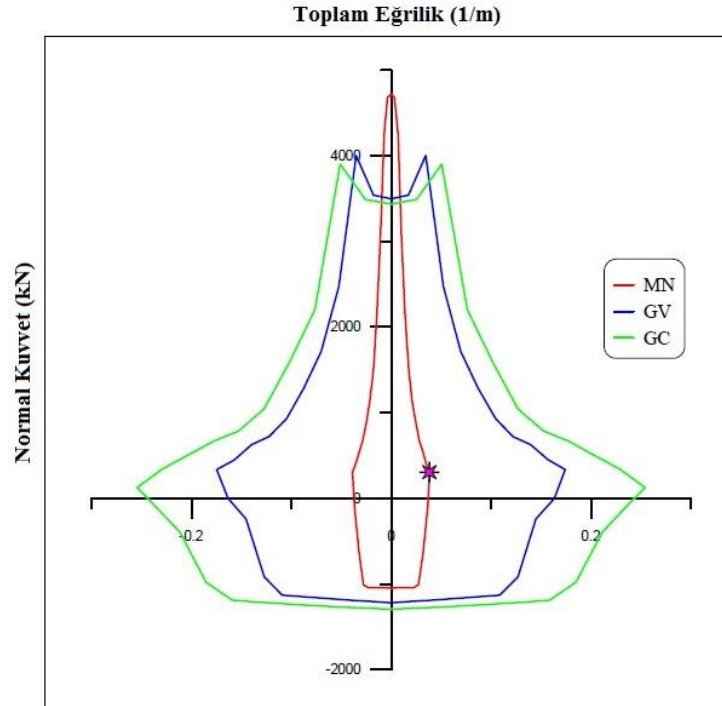
Şekil A.17 : Düzensiz sistemde AEDYY sonucunda S203 kolonu için hasar bölgesinin normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile tespiti



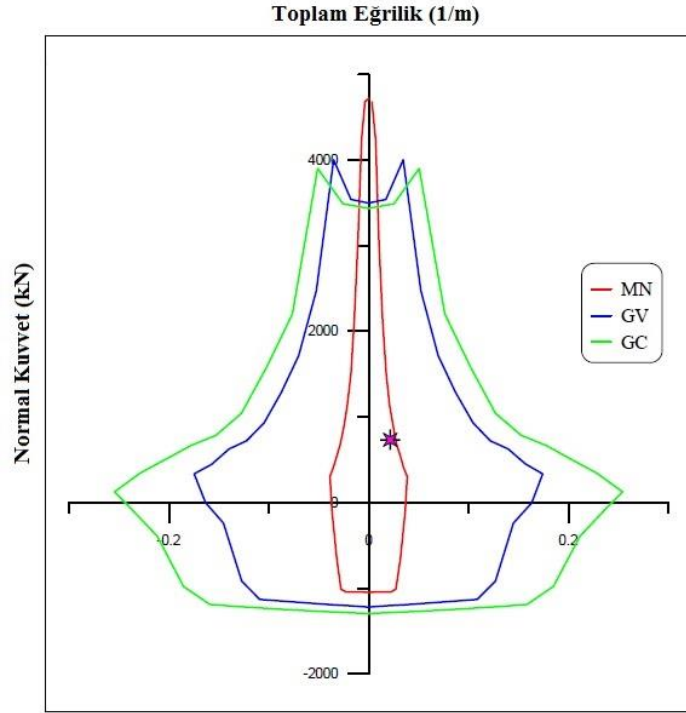
Şekil A.18 : Düzensiz sistemde AEDYY sonucunda S204 kolonu için hasar bölgesinin normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile tespiti



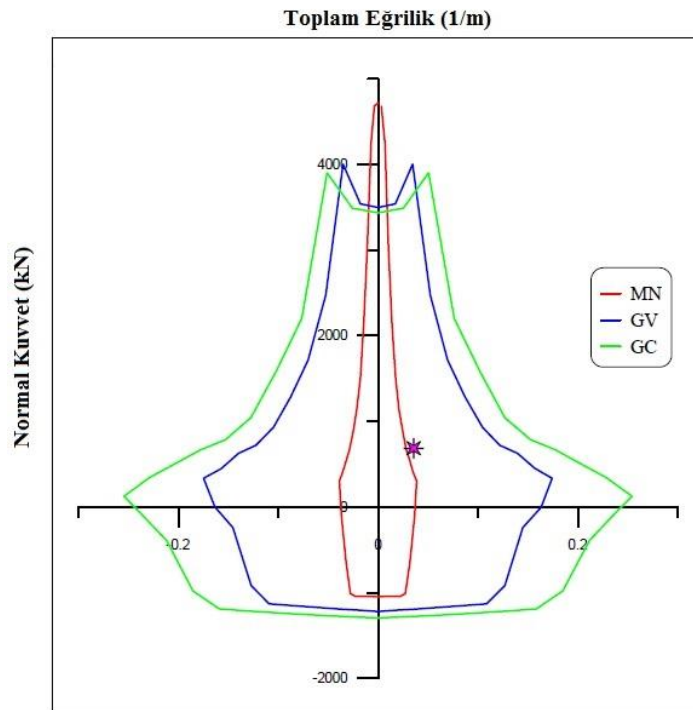
Şekil A.19 : Düzensiz ve ilgili elemanlarda iç kuvvetlerin %50 arttırıldığı sistemde AEDYY sonucunda S101 kolonu için hasar bölgesinin normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile tespiti



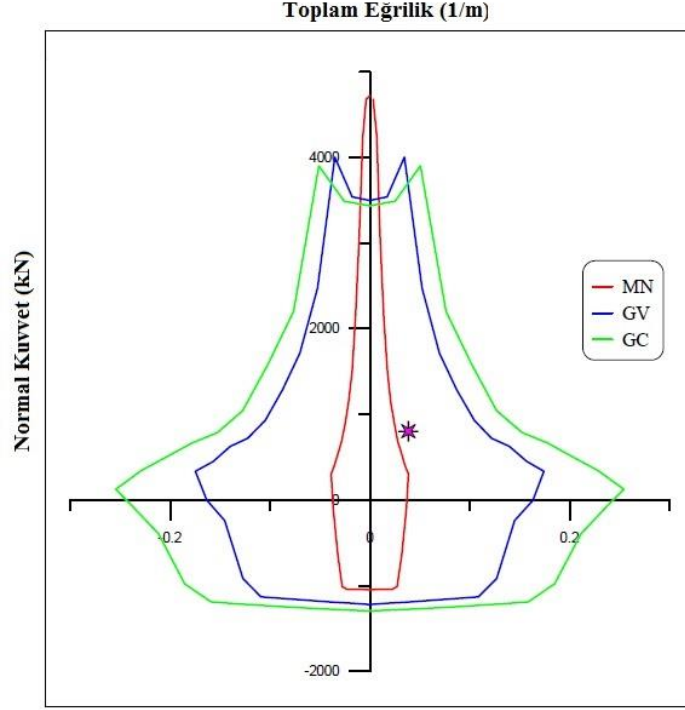
Şekil A.20 : Düzensiz ve ilgili elemanlarda iç kuvvetlerin %50 arttırıldığı sistemde AEDYY sonucunda S203 kolonu için hasar bölgesinin normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile tespiti



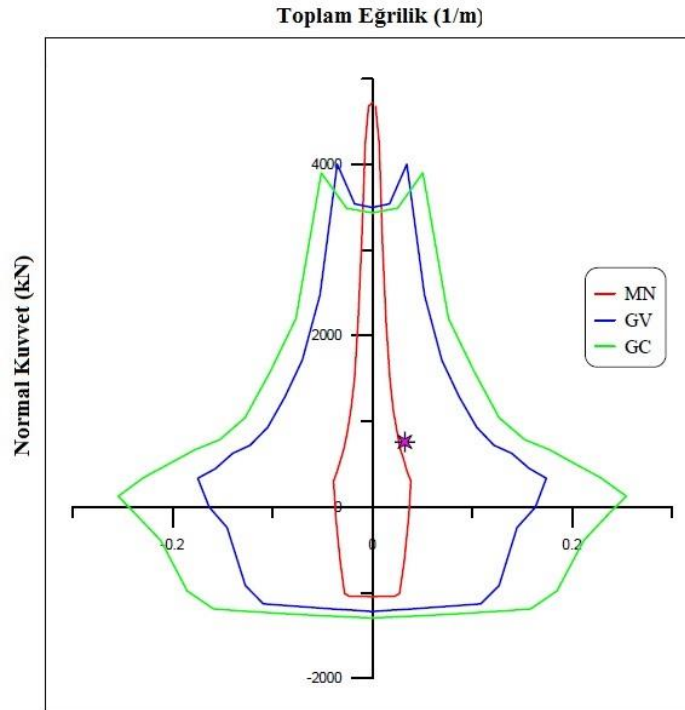
Şekil A.21 : Düzenli sistemde ZTADOA sonucunda S101 kolonu için hasar bölgesinin normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile tespiti



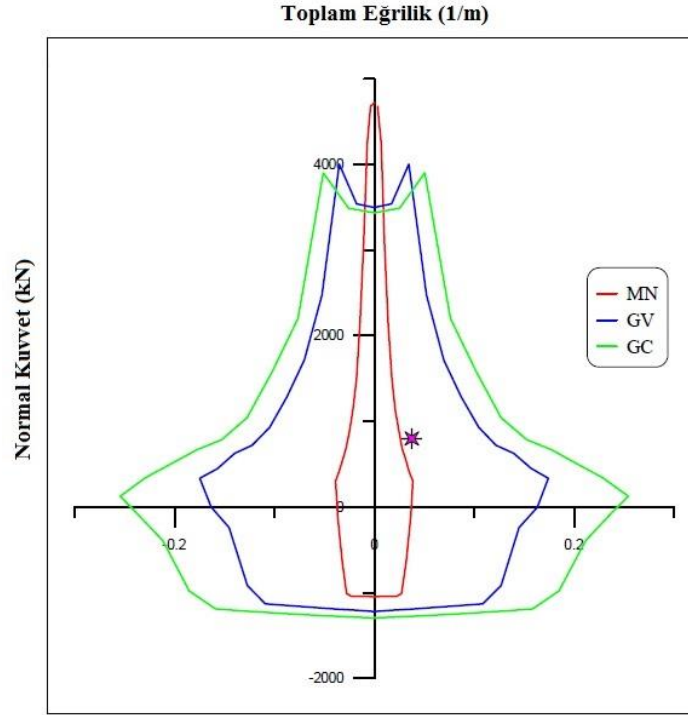
Şekil A.22 : Düzenli sistemde ZTADOA sonucunda S103 kolonu için hasar bölgesinin normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile tespiti



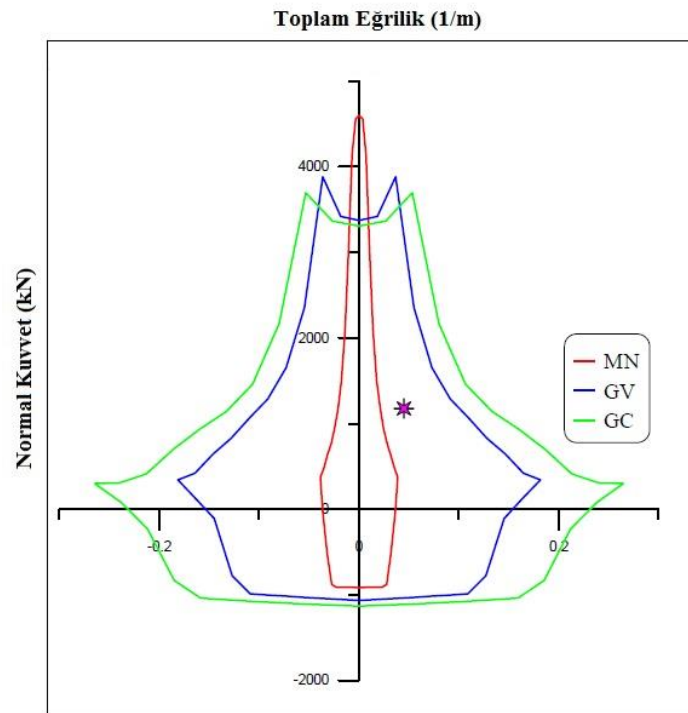
Şekil A.23 : Düzenli sistemde ZTADOA sonucunda S104 kolonu için hasar bölgesinin normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile tespiti



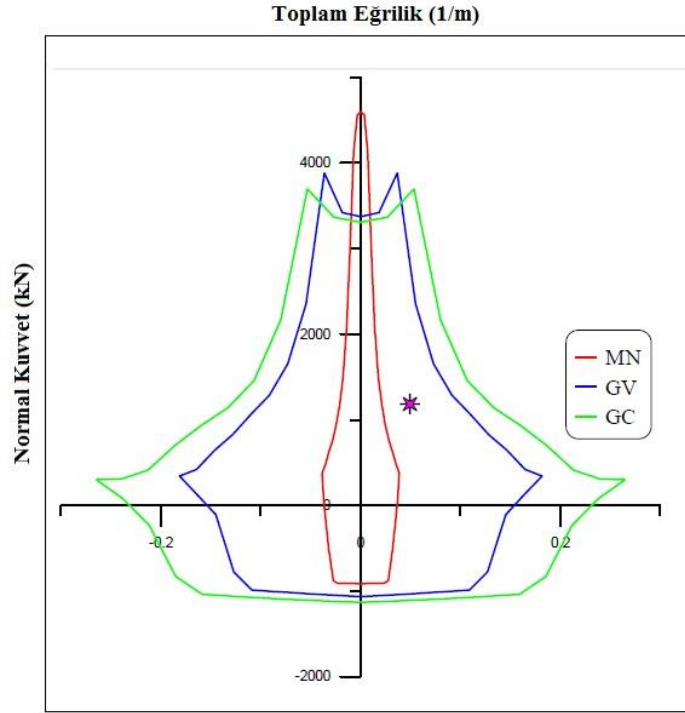
Şekil A.24 : Düzenli sistemde ZTADOA sonucunda S105 kolonu için hasar bölgesinin normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile tespiti



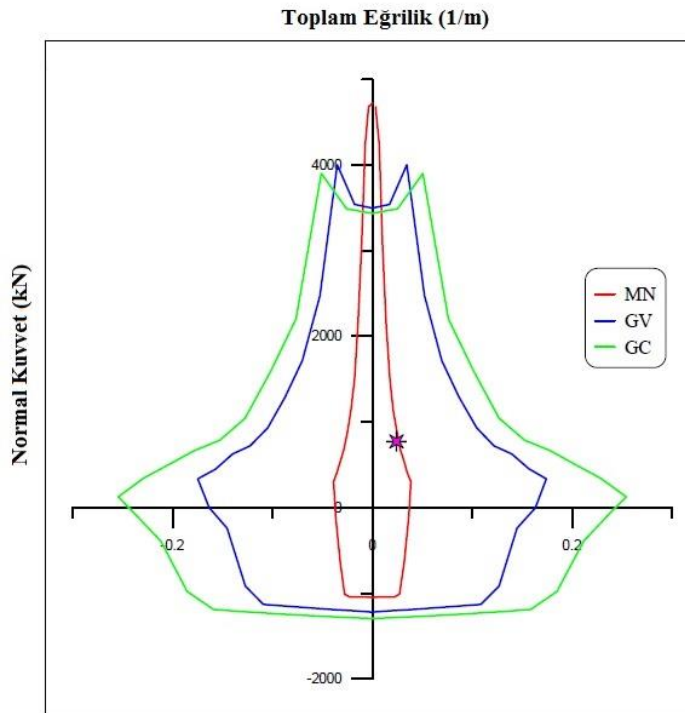
Şekil A.25 : Düzensiz sistemde ZTADOA sonucunda S101 kolonu için hasar bölgesinin normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile tespiti



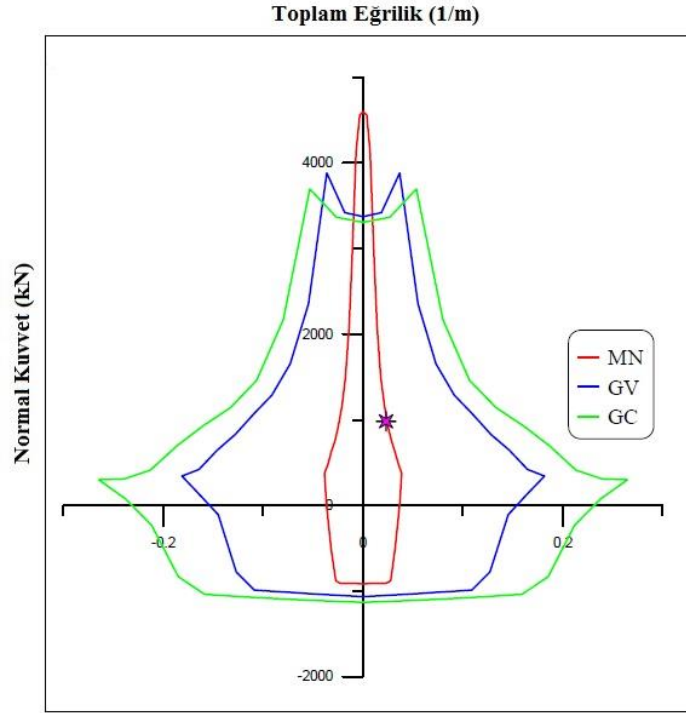
Şekil A.26 : Düzensiz sistemde ZTADOA sonucunda S102 kolonu için hasar bölgesinin normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile tespiti



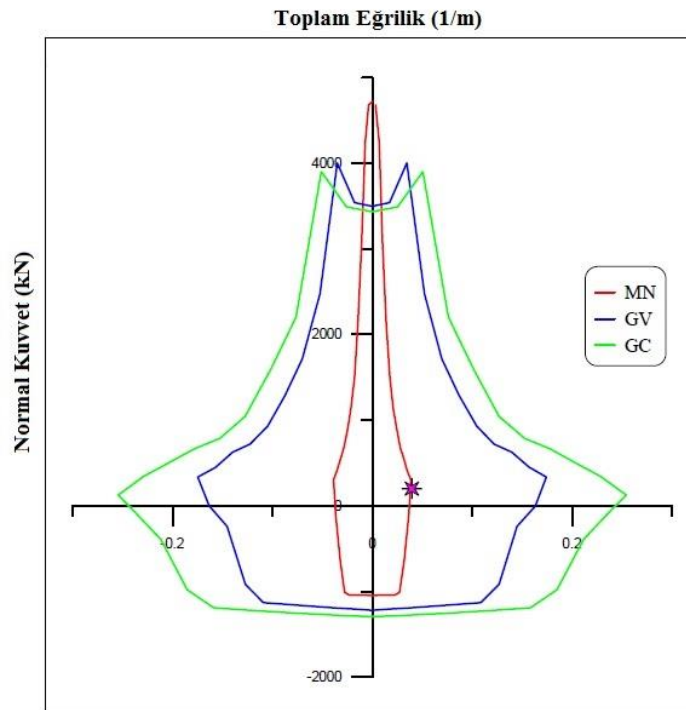
Şekil A.27 : Düzensiz sistemde ZTADOA sonucunda S104 kolonu için hasar bölgesinin normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile tespiti



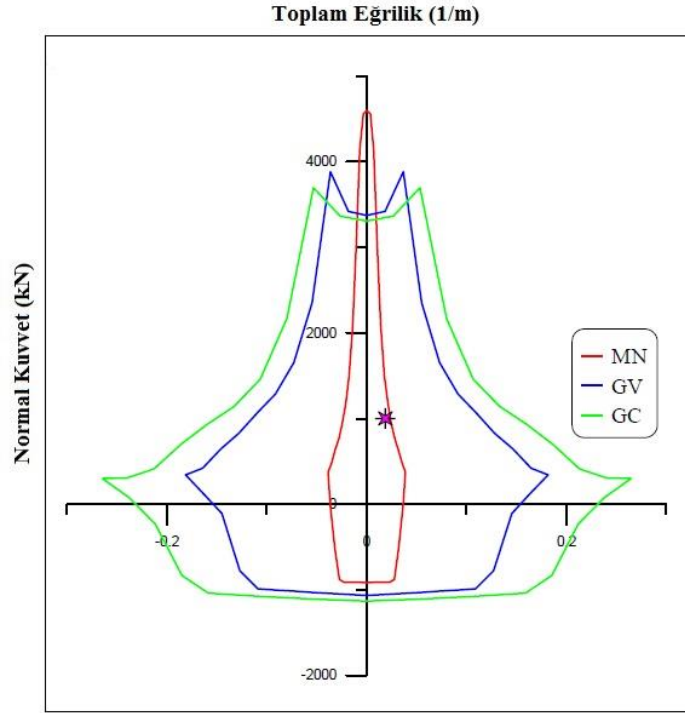
Şekil A.28 : Düzensiz sistemde ZTADOA sonucunda S105 kolonu için hasar bölgesinin normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile tespiti



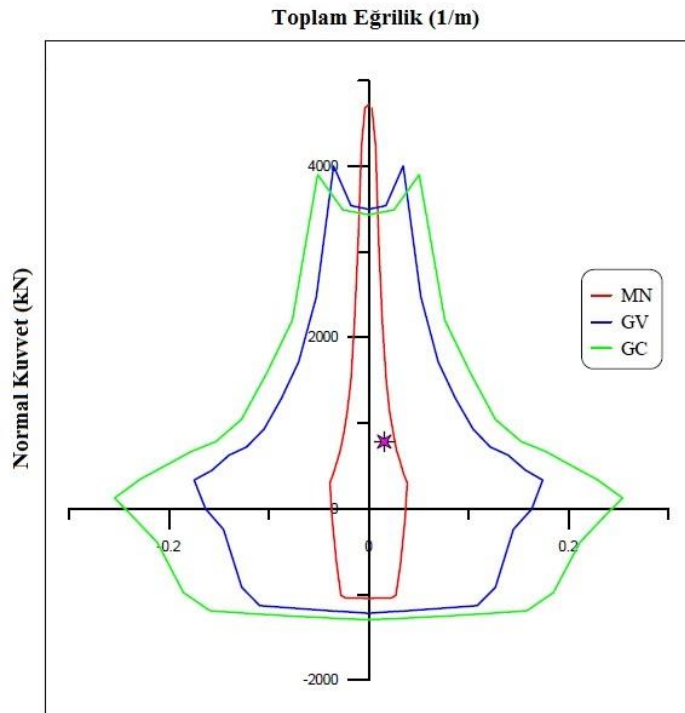
Şekil A.29 : Düzensiz sistemde ZTADOA sonucunda S202 kolonu için hasar bölgesinin normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile tespiti



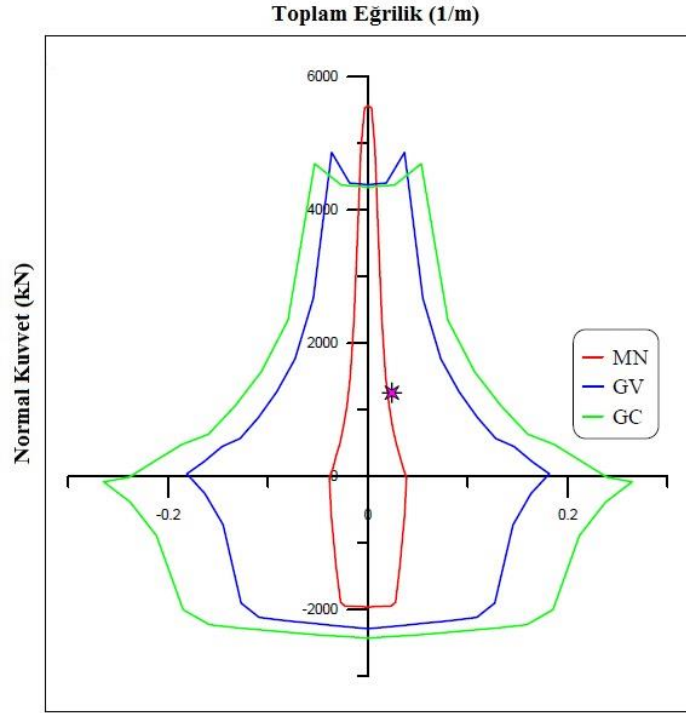
Şekil A.30 : Düzensiz sistemde ZTADOA sonucunda S203 kolonu için hasar bölgesinin normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile tespiti



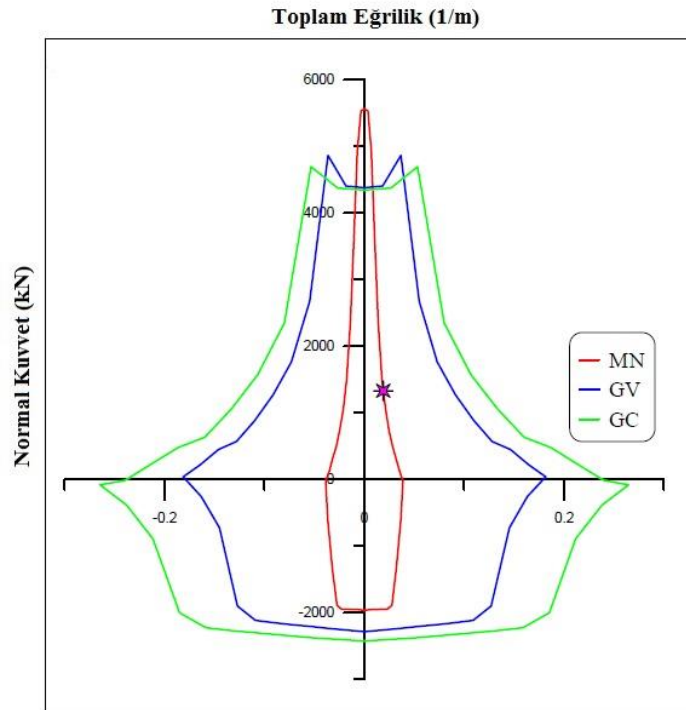
Şekil A.31 : Düzensiz sistemde ZTADOA sonucunda S204 kolonu için hasar bölgesinin normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile tespiti



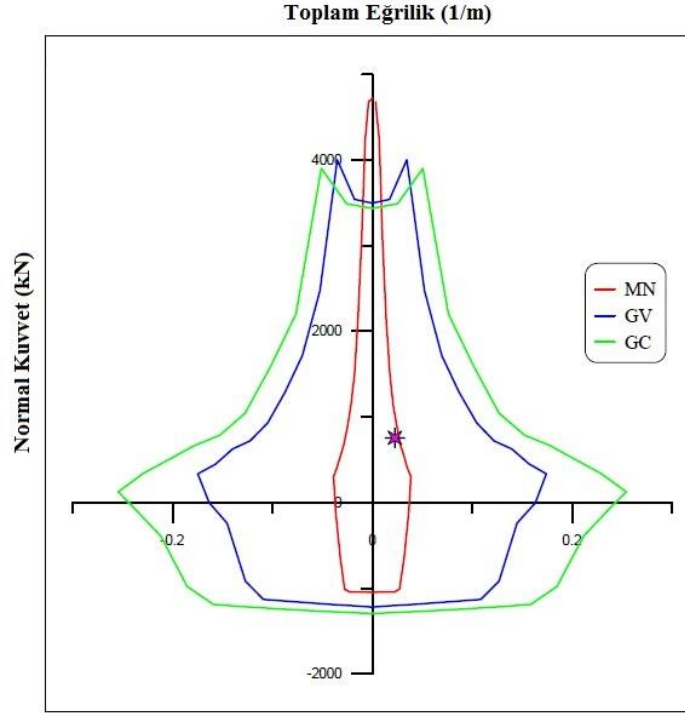
Şekil A.32 : Düzensiz ve ilgili elemanlarda iç kuvvetlerin %50 arttırıldığı sistemde ZTADOA sonucunda S101 kolonu için hasar bölgesinin normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile tespiti



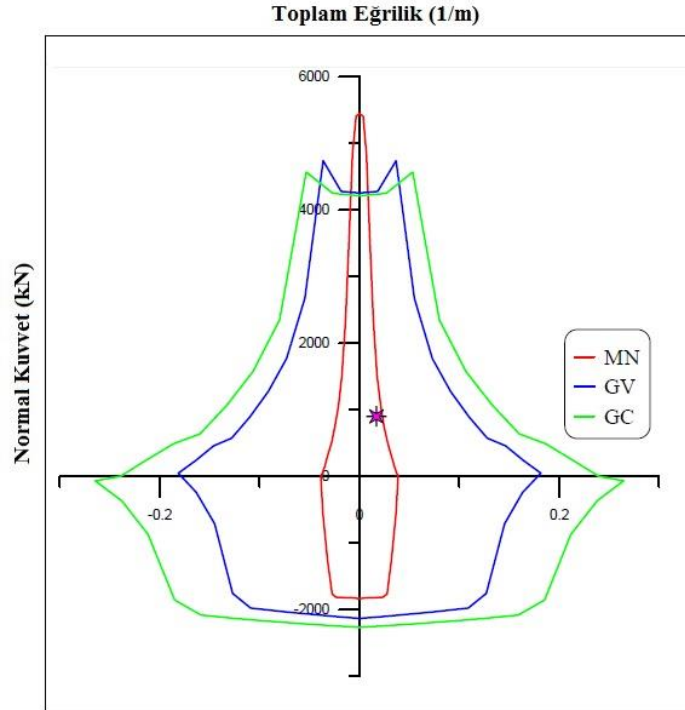
Şekil A.33 : Düzensiz ve ilgili elemanlarda iç kuvvetlerin %50 arttırıldığı sistemde ZTADOA sonucunda S102 kolonu için hasar bölgesinin normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile tespiti



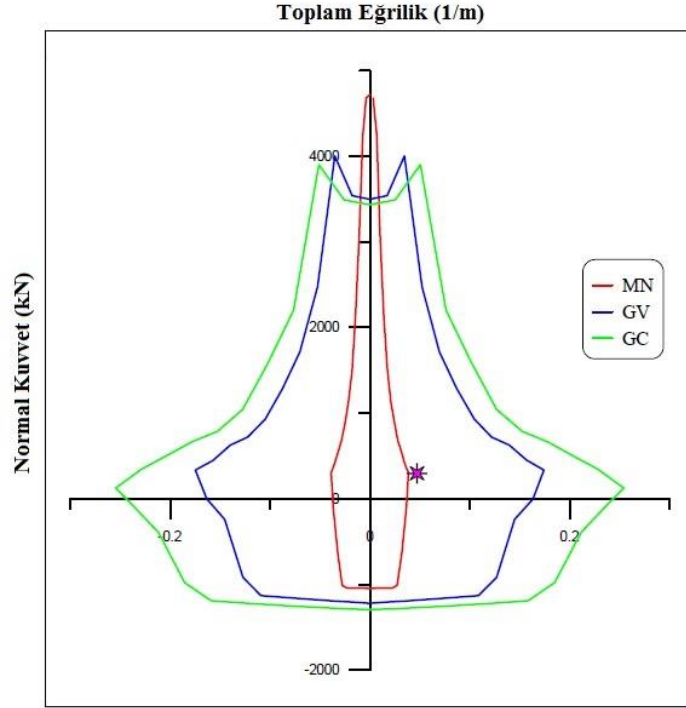
Şekil A.34 : Düzensiz ve ilgili elemanlarda iç kuvvetlerin %50 arttırıldığı sistemde ZTADOA sonucunda S104 kolonu için hasar bölgesinin normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile tespiti



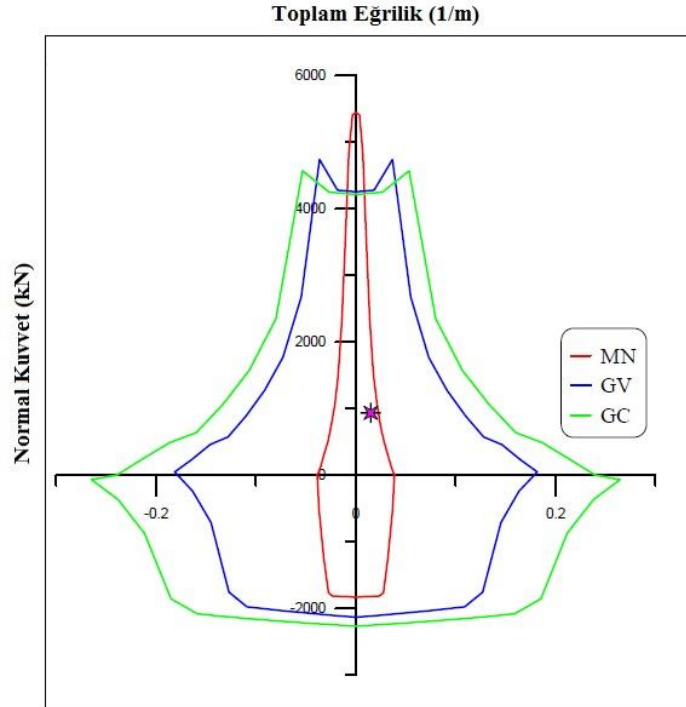
Şekil A.35 : Düzensiz ve ilgili elemanlarda iç kuvvetlerin %50 arttırıldığı sistemde ZTADOA sonucunda S105 kolonu için hasar bölgesinin normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile tespiti



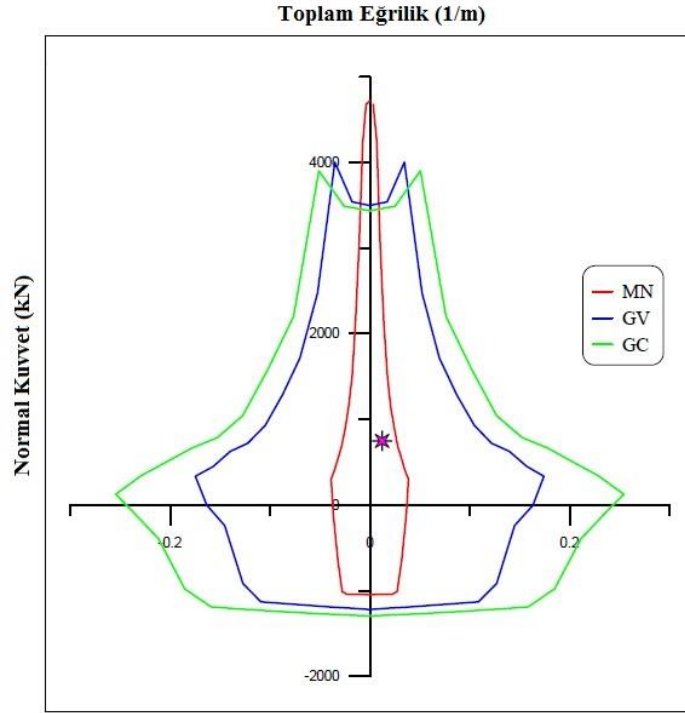
Şekil A.36 : Düzensiz ve ilgili elemanlarda iç kuvvetlerin %50 arttırıldığı sistemde ZTADOA sonucunda S202 kolonu için hasar bölgesinin normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile tespiti



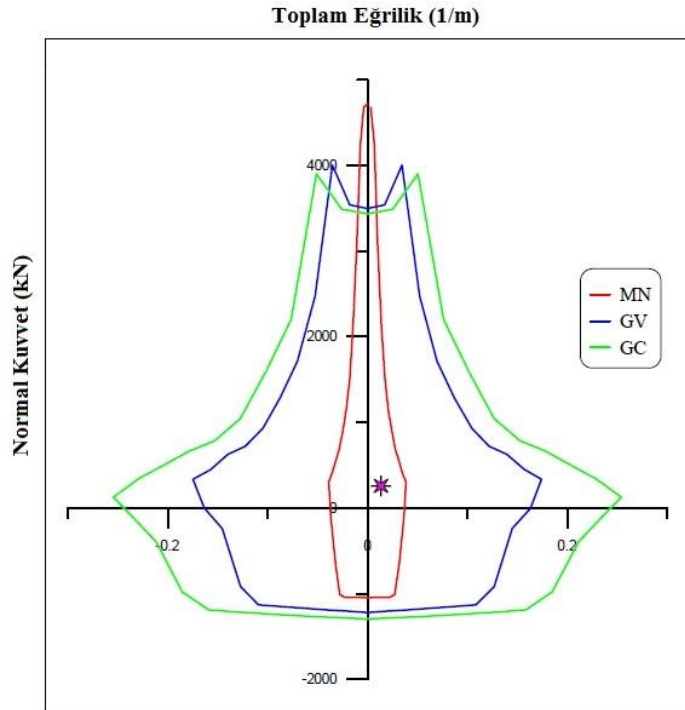
Şekil A.37 : Düzensiz ve ilgili elemanlarda iç kuvvetlerin %50 arttırıldığı sistemde ZTADOA sonucunda S203 kolonu için hasar bölgesinin normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile tespiti



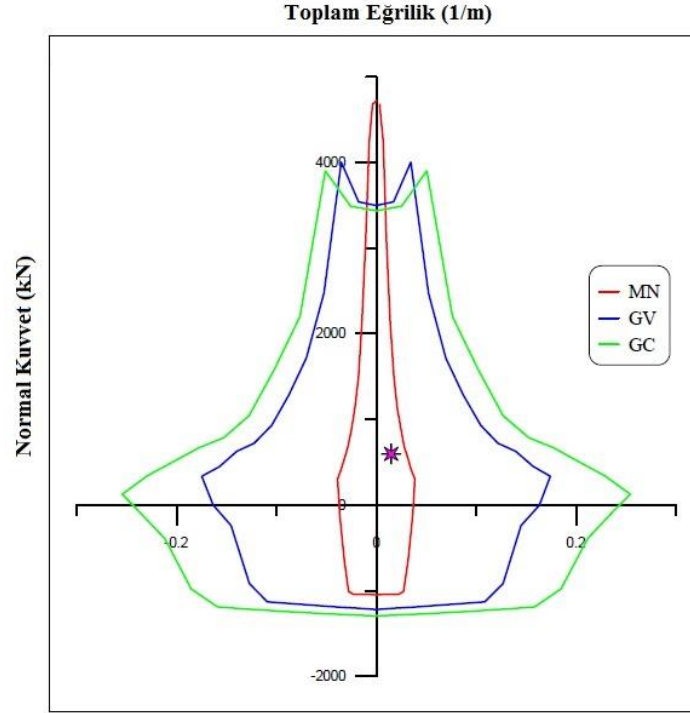
Şekil A.38 : Düzensiz ve ilgili elemanlarda iç kuvvetlerin %50 arttırıldığı sistemde ZTADOA sonucunda S204 kolonu için hasar bölgesinin normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile tespiti



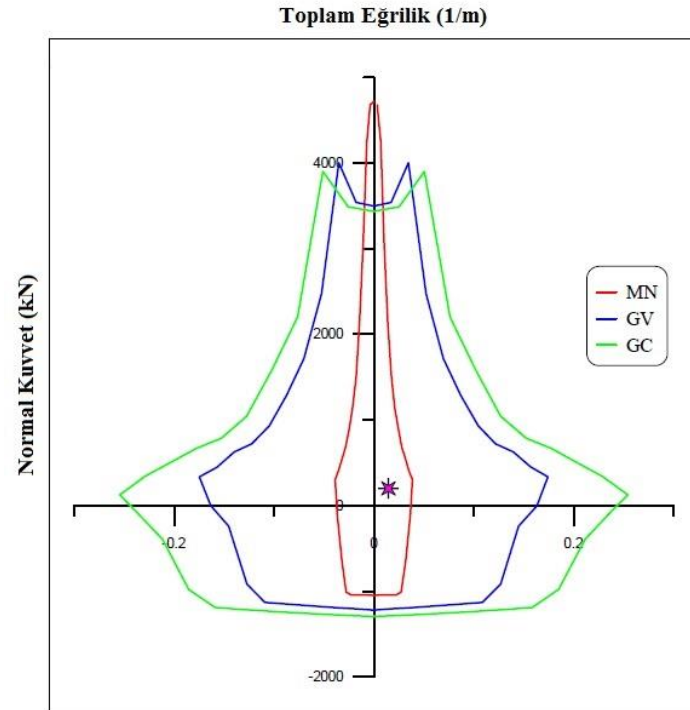
Şekil A.39 : Düzensiz ve ilgili elemanlarda iç kuvvetlerin %50 arttırıldığı sistemde ZTADOA sonucunda S302 kolonu için hasar bölgesinin normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile tespiti



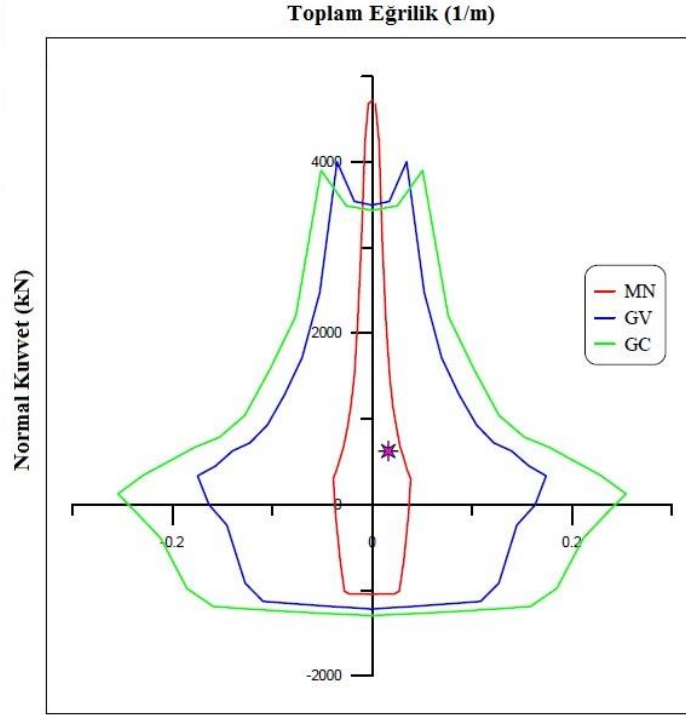
Şekil A.40 : Düzensiz ve ilgili elemanlarda iç kuvvetlerin %50 arttırıldığı sistemde ZTADOA sonucunda S303 kolonu için hasar bölgesinin normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile tespiti



Şekil A.41 : Düzensiz ve ilgili elemanlarda iç kuvvetlerin %50 arttırıldığı sistemde ZTADOA sonucunda S402 kolonu için hasar bölgesinin normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile tespiti



Şekil A.42 : Düzensiz ve ilgili elemanlarda iç kuvvetlerin %50 arttırıldığı sistemde ZTADOA sonucunda S403 kolonu için hasar bölgesinin normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile tespiti



Şekil A.43 : Düzensiz ve ilgili elemanlarda iç kuvvetlerin %50 arttırıldığı sistemde ZTADOA sonucunda S404 kolonu için hasar bölgesinin normal kuvvet-toplam eğrilik grafiği ile tespiti

Çizelge A.1 : Düzenli sistemde AEDYY sonucu bulunan eleman hasarları

Kesit	Plastik Dönme (rad)	Plastik mafsal boyu(m)	Plastik Eğrilik (rad/m)	Akma Eğriliği (rad/m)	Toplam Eğrilik (rad/m)	Beton Kısalma sı	Donatı Uzaması	Hasar Bölgesi
S101	0.0008	0.2	0.004	0.011	0.015	0.0017	0.0038	M.H
S102	0.0017	0.2	0.009	0.012	0.02	0.003	0.0045	M.H
S103	0.0012	0.2	0.006	0.012	0.018	0.0025	0.0039	M.H
S104	0.0016	0.2	0.008	0.012	0.02	0.0031	0.0042	M.H
K101SAG	-0.0092	0.3	0.031	0.006	0.037	0.0022	0.0187	B.H
K101SOL	0.0084	0.3	0.028	0.006	0.034	0.002	0.0174	
K102SAG	-0.0096	0.3	0.032	0.006	0.038	0.0019	0.0193	B.H
K102SOL	0.0082	0.3	0.027	0.006	0.033	0.002	0.017	
K103SAG	-0.0086	0.3	0.029	0.006	0.035	0.002	0.0177	B.H
K103SOL	0.0088	0.3	0.029	0.006	0.035	0.0018	0.018	
K104SAG	-0.0101	0.3	0.034	0.006	0.04	0.0023	0.0204	B.H
K104SOL	0.007	0.3	0.023	0.006	0.029	0.0018	0.015	
K201SAG	-0.0149	0.3	0.05	0.006	0.055	0.0026	0.0285	B.H
K201SOL	0.012	0.3	0.04	0.006	0.046	0.0025	0.0234	
K202SAG	-0.0141	0.3	0.047	0.006	0.053	0.0025	0.0272	B.H
K202SOL	0.0132	0.3	0.044	0.006	0.05	0.0024	0.0258	
K203SAG	-0.0142	0.3	0.047	0.006	0.053	0.0025	0.0275	B.H
K203SOL	0.0129	0.3	0.043	0.006	0.049	0.0024	0.0251	
K204SAG	-0.0142	0.3	0.047	0.006	0.053	0.0029	0.0275	B.H
K204SOL	0.0119	0.3	0.04	0.006	0.045	0.0022	0.0234	
K301SAG	-0.0137	0.3	0.046	0.006	0.051	0.0025	0.0265	B.H
K301SOL	0.0111	0.3	0.037	0.006	0.043	0.0025	0.0224	
K302SAG	-0.0131	0.3	0.044	0.006	0.049	0.0024	0.0254	B.H
K302SOL	0.0121	0.3	0.04	0.006	0.046	0.0023	0.0237	
K303SAG	-0.0131	0.3	0.044	0.006	0.049	0.0024	0.0254	B.H
K303SOL	0.0119	0.3	0.04	0.006	0.045	0.0022	0.0234	
K304SAG	-0.0132	0.3	0.044	0.006	0.05	0.0028	0.0258	B.H
K304SOL	0.0108	0.3	0.036	0.006	0.042	0.002	0.0214	
K401SAG	-0.0089	0.3	0.03	0.006	0.035	0.0018	0.0183	B.H
K401SOL	0.0065	0.3	0.022	0.006	0.027	0.0015	0.014	
K402SAG	-0.0082	0.3	0.027	0.006	0.033	0.0017	0.0169	B.H
K402SOL	0.0073	0.3	0.024	0.006	0.03	0.0016	0.0152	
K403SAG	-0.0082	0.3	0.027	0.006	0.033	0.0017	0.0169	B.H
K403SOL	0.007	0.3	0.023	0.006	0.029	0.0016	0.0149	
K404SAG	-0.0099	0.3	0.033	0.006	0.039	0.002	0.02	B.H
K404SOL	0.0057	0.3	0.019	0.006	0.025	0.0014	0.0125	

Çizelge (A.1)'in devamı

Kesit	Plastik Dönme (rad)	Plastik mafsal boyu(m)	Plastik Eğrilik (rad/m)	Akma Eğriliği (rad/m)	Toplam Eğrilik (rad/m)	Beton Kısalma sı	Donatı Uzaması	Hasar Bölgesi
K501SAG	-0.0036	0.3	0.012	0.006	0.018	0.0012	0.009	M.H
K501SOL	0.0009	0.3	0.003	0.006	0.008	0.0008	0.004	
K502SAG	-0.0026	0.3	0.009	0.006	0.015	0.001	0.007	M.H
K502SOL	0.0026	0.3	0.009	0.006	0.015	0.001	0.007	
K503SAG	-0.0024	0.3	0.008	0.006	0.014	0.001	0.007	M.H
K503SOL	0.0024	0.3	0.008	0.006	0.014	0.001	0.007	
K504SAG	-0.0041	0.3	0.014	0.006	0.019	0.0012	0.0098	M.H
K504SOL	0.0012	0.3	0.004	0.006	0.01	0.0009	0.005	
K601SAG	-0.0007	0.3	0.002	0.006	0.008	0.0007	0.0037	M.H
K602SAG	-0.0003	0.3	0.001	0.006	0.007	0.0006	0.003	M.H
K603SAG	-0.0002	0.3	0.001	0.006	0.006	0.0006	0.003	M.H

Çizelge A.2 : Düzensiz sistemde AEDYY sonucu bulunan eleman hasarları

Kesit	Plastik Dönme (rad)	Plastik mafsallık boyu (m)	Plastik Eğrilik (rad/m)	Akma Eğrilik (rad/m)	Toplam Eğrilik (rad/m)	Beton Kısılması	Donatı Uzaması	Hasar Bölgesi
S101	0.0026	0.2	0.0130	0.0121	0.0251	0.0022	0.0069	M.H
S102	0.0029	0.2	0.0145	0.0132	0.0277	0.0053	0.0048	B.H
S104	0.0042	0.2	0.0210	0.0128	0.0338	0.0062	0.0061	B.H
S105	0.0008	0.2	0.0038	0.0119	0.0157	0.0024	0.0032	M.H
K101SAG	-0.0076	0.3	0.0253	0.0070	0.0323	0.0023	0.0160	B.H
K101SOL	0.0064	0.3	0.0213	0.0059	0.0272	0.0015	0.0139	
K102SAG	-0.0148	0.375	0.0493	0.0044	0.0537	0.0027	0.0363	B.H
K102AÇIKLIK	0.0082	0.375	0.0273	0.0052	0.0335	0.0038	0.0251	
K104SAG	-0.0107	0.3	0.0357	0.0059	0.0416	0.0020	0.0218	B.H
K104SOL	0.0028	0.3	0.0093	0.0070	0.0163	0.0015	0.0080	
K201SAG	-0.0097	0.3	0.0323	0.0061	0.0461	0.0025	0.0234	B.H
K201SOL	0.0092	0.3	0.0307	0.0055	0.0552	0.0026	0.0285	
K202SAG	-0.0012	0.3	0.0040	0.0055	0.0095	0.0007	0.0048	M.H
K203SAG	-0.0159	0.3	0.0530	0.0067	0.0597	0.0041	0.0300	B.H
K203SOL	0.0152	0.3	0.0507	0.0055	0.0562	0.0022	0.0296	
K204SAG	-0.0102	0.3	0.0340	0.0061	0.0401	0.0024	0.0211	B.H
K204SOL	0.0063	0.3	0.0210	0.0067	0.0277	0.0023	0.0134	
K301SAG	-0.0082	0.3	0.0273	0.0066	0.0339	0.0022	0.0172	B.H
K301SOL	0.0082	0.3	0.0273	0.0061	0.0334	0.0020	0.0170	
K302SAG	-0.0016	0.3	0.0053	0.0061	0.0114	0.0010	0.0056	M.H
K303SAG	-0.0167	0.3	0.0557	0.0055	0.0612	0.0027	0.0321	B.H
K303SOL	0.0153	0.3	0.0510	0.0061	0.0571	0.0031	0.0292	
K304SAG	-0.0103	0.3	0.0343	0.0061	0.0404	0.0023	0.0207	B.H
K304SOL	0.0062	0.3	0.0207	0.0066	0.0273	0.0019	0.0139	
K401SAG	-0.0067	0.3	0.0223	0.0066	0.0289	0.0019	0.0145	B.H
K401SOL	0.0066	0.3	0.0220	0.0056	0.0276	0.0015	0.0142	
K403SAG	-0.0144	0.3	0.0480	0.0066	0.0546	0.0031	0.0276	B.H
K403SOL	0.0146	0.3	0.0487	0.0053	0.0540	0.0022	0.0286	
K404SAG	-0.0101	0.3	0.0337	0.0056	0.0393	0.0020	0.0203	B.H
K404SOL	0.0040	0.3	0.0133	0.0066	0.0199	0.0015	0.0098	
K501SAG	-0.0063	0.3	0.0210	0.0052	0.0262	0.0012	0.0138	B.H
K501SOL	0.0041	0.3	0.0137	0.0053	0.0190	0.0010	0.0099	
K503SAG	-0.0133	0.3	0.0443	0.0061	0.0504	0.0028	0.0258	M.H
K503SOL	0.0130	0.3	0.0433	0.0053	0.0486	0.0020	0.0255	
K504SAG	-0.0074	0.3	0.0247	0.0056	0.0303	0.0016	0.0156	M.H
K504SOL	0.0031	0.3	0.0103	0.0061	0.0164	0.0012	0.0083	
K601SAG	-0.0041	0.3	0.0137	0.0061	0.0198	0.0014	0.0099	M.H
K601SOL	0.0007	0.3	0.0024	0.0056	0.0080	0.0008	0.0040	
K602SAG	0.0004	0.3	0.0014	0.0053	0.0067	0.0006	0.0031	M.H
K602SOL	-0.0006	0.3	0.0019	0.0061	0.0080	0.0009	0.0039	
K603SAG	-0.0095	0.3	0.0317	0.0053	0.0370	0.0016	0.0193	B.H
K603SOL	0.012	0.3	0.0400	0.0053	0.0453	0.0019	0.0237	
K604SAG	-0.0044	0.3	0.0147	0.0053	0.0200	0.0010	0.0103	B.H

Çizelge (A.2)'nin devamı

Kesit	Plastik Dönme (rad)	Plastik mafsal boyu (m)	Plastik Eğrilik (rad/m)	Akma Eğriliği (rad/m)	Toplam Eğrilik (rad/m)	Beton Kısalması	Donatı Uzaması	Hasar Bölgesi
K701SOL	-0.0019	0.3	0.0063	0.0052	0.0115	0.0007	0.0055	M.H
K702SAG	0.0027	0.3	0.0090	0.0053	0.0143	0.0009	0.0072	M.H
K702SOL	-0.004	0.3	0.0133	0.0053	0.0186	0.0010	0.0096	
K703SAG	-0.0081	0.3	0.0270	0.0053	0.0323	0.0014	0.0169	B.H
K703SOL	0.0091	0.3	0.0303	0.0053	0.0356	0.0016	0.0186	
K704SAG	-0.0007	0.3	0.0023	0.0056	0.0079	0.0007	0.0041	M.H

Çizelge A.3 : Düzensiz ve ilgili elemanlarda iç kuvvetlerin %50 arttırıldığı sistemde AEDYY sonucu bulunan eleman hasarları

Kesit	Plastik Dönme (rad)	Plastik mafsalsal boyu (m)	Plastik Eğrilik (rad/m)	Akma Eğriliği (rad/m)	Toplam Eğrilik (rad/m)	Beton Kısılması	Donatı Uzaması	Hasar Bölgesi
S101	0.0004	0.2	0.0018	0.0121	0.0139	0.0015	0.0037	M.H
S203	0.0055	0.2	0.0275	0.0112	0.0387	0.0035	0.0106	B.H
K101SAG	-0.0025	0.3	0.0083	0.0067	0.0150	0.0017	0.0068	M.H
K101SOL	0.0031	0.3	0.0103	0.0063	0.0166	0.0012	0.0082	
K102SAG	-0.0069	0.375	0.0184	0.0050	0.0280	0.0019	0.0183	B.H
K104SAG	-0.0058	0.3	0.0193	0.0064	0.0257	0.0017	0.0130	B.H
K201SAG	-0.0073	0.3	0.0243	0.0067	0.0310	0.0025	0.0151	B.H
K201SOL	0.0039	0.3	0.0130	0.0067	0.0197	0.0018	0.0095	
K202SAG	-0.0070	0.3	0.0233	0.0055	0.0288	0.0013	0.0159	B.H
K202SOL	0.0039	0.3	0.0130	0.0067	0.0197	0.0018	0.0095	
K203SAG	-0.0132	0.3	0.0440	0.0067	0.0507	0.0035	0.0250	B.H
K203SOL	0.0123	0.3	0.0410	0.0055	0.0465	0.0019	0.0245	
K204SAG	-0.0117	0.3	0.0390	0.0061	0.0451	0.0025	0.0231	B.H
K204SOL	0.0078	0.3	0.0260	0.0067	0.0327	0.0025	0.0159	
K301SAG	-0.0112	0.3	0.0373	0.0066	0.0439	0.0027	0.0222	B.H
K301SOL	-0.0101	0.3	0.0337	0.0061	0.0398	0.0023	0.0204	
K302SAG	-0.0088	0.3	0.0293	0.0052	0.0345	0.0015	0.0183	B.H
K302SOL	0.0063	0.3	0.0210	0.0066	0.0276	0.0019	0.0139	
K303SAG	-0.0155	0.3	0.0517	0.0066	0.0583	0.0033	0.0296	B.H
K303SOL	0.0141	0.3	0.0470	0.0052	0.0522	0.0021	0.0276	
K304SAG	-0.0132	0.3	0.0440	0.0061	0.0501	0.0028	0.0258	B.H
K304SOL	0.0091	0.3	0.0303	0.0066	0.0369	0.0023	0.0186	
K401SAG	-0.0077	0.3	0.0257	0.0066	0.0323	0.0020	0.0162	B.H
K401SOL	0.0083	0.3	0.0222	0.0056	0.0278	0.0015	0.0142	
K402SAG	-0.0066	0.3	0.0220	0.0053	0.0273	0.0013	0.0141	B.H
K402SOL	0.0124	0.3	0.0413	0.0053	0.0466	0.0019	0.0244	
K403SAG	-0.0121	0.3	0.0403	0.0066	0.0469	0.0028	0.0239	B.H
K403SOL	0.0124	0.3	0.0413	0.0053	0.0466	0.0019	0.0244	
K404SAG	-0.0117	0.3	0.0390	0.0056	0.0446	0.0022	0.0231	B.H
K404SOL	0.0057	0.3	0.0190	0.0066	0.0256	0.0018	0.0129	
K501SAG	-0.0045	0.3	0.0150	0.0061	0.0211	0.0014	0.0106	B.H
K501SOL	0.0034	0.3	0.0113	0.0056	0.0169	0.0011	0.0087	
K502SAG	0.0010	0.3	0.0033	0.0056	0.0089	0.0008	0.0043	M.H
K503SAG	-0.0084	0.3	0.0280	0.0061	0.0341	0.0020	0.0258	B.H
K503SOL	0.0070	0.3	0.0230	0.0056	0.0289	0.0174	0.0151	
K504SAG	-0.0067	0.3	0.0223	0.0056	0.0279	0.0016	0.0145	B.H
K504SOL	0.0024	0.3	0.0080	0.0061	0.0141	0.0012	0.0069	
K601SAG	0.0019	0.3	0.0063	0.0056	0.0119	0.0009	0.0060	M.H
K603SAG	-0.0045	0.3	0.0150	0.0061	0.0211	0.0015	0.0106	B.H
K603SOL	0.0057	0.3	0.0190	0.0053	0.0243	0.0012	0.0127	
K604SAG	-0.0028	0.3	0.0093	0.0056	0.0149	0.0010	0.0074	M.H
K701SAG	-0.0015	0.3	0.0050	0.0056	0.0106	0.0009	0.0053	M.H
K702SOL	-0.000012	0.3	0.00004	0.0056	0.0056	0.0006	0.0027	M.H
K703SAG	-0.0035	0.3	0.0117	0.0056	0.0173	0.0011	0.0087	M.H
K703SOL	0.0041	0.3	0.0137	0.0053	0.0190	0.0010	0.0099	

Çizelge A.4 : Düzenli sistemde ZTADOA sonucu bulunan eleman hasarları

Kesit	Plastik Dönme (rad)	Plastik mafsal boyu(m)	Plastik Eğrilik (rad/m)	Akma Eğriliği (rad/m)	Toplam Eğrilik (rad/m)	Beton Kısalması	Donatı Uzaması	Hasar Bölgesi
S101	0.0041	0.2	0.0206	0.0012	0.0218	0.0031	0.0042	M.H
S102	-0.0052	0.2	0.0261	0.0121	0.0382	0.0059	0.0080	B.H
S103	-0.0048	0.2	0.0241	0.0117	0.0358	0.0029	0.0085	B.H
S104	-0.0053	0.2	0.0266	0.0121	0.0387	0.0041	0.0081	B.H
S105	-0.0042	0.2	0.0211	0.0117	0.0328	0.0029	0.0074	B.H
K101SAG	-0.0118	0.3	0.0393	0.0061	0.0454	0.0025	0.0231	B.H
K101SOL	-0.0124	0.3	0.0412	0.0061	0.0473	0.0026	0.0241	
K102SAG	-0.0123	0.3	0.0410	0.0055	0.0465	0.0022	0.0241	B.H
K102SOL	0.0110	0.3	0.0366	0.0052	0.0418	0.0017	0.0217	
K103SAG	-0.0113	0.3	0.0376	0.0061	0.0437	0.0024	0.0221	B.H
K103SOL	-0.0119	0.3	0.0396	0.0055	0.0451	0.0022	0.0234	
K104SAG	-0.0128	0.3	0.0426	0.0061	0.0487	0.0027	0.0248	B.H
K104SOL	-0.0114	0.3	0.0380	0.0061	0.0441	0.0025	0.0224	
K201SAG	-0.0150	0.3	0.0500	0.0055	0.0555	0.0026	0.0289	B.H
K201SOL	-0.0134	0.3	0.0447	0.0061	0.0508	0.0028	0.0258	
K202SAG	-0.0142	0.3	0.0475	0.0060	0.0530	0.0025	0.0272	B.H
K202SOL	-0.0135	0.3	0.0449	0.0055	0.0504	0.0024	0.0261	
K203SAG	-0.0143	0.3	0.0478	0.0055	0.0533	0.0025	0.0275	B.H
K203SOL	-0.0133	0.3	0.0443	0.0055	0.0498	0.0024	0.0258	
K204SAG	-0.0143	0.3	0.0477	0.0061	0.0538	0.0021	0.0282	B.H
K204SOL	-0.0141	0.3	0.0471	0.0055	0.0526	0.0026	0.0285	
K301SAG	-0.0123	0.3	0.0411	0.0055	0.0466	0.0023	0.0024	B.H
K301SOL	-0.0133	0.3	0.0444	0.0061	0.0505	0.0028	0.0258	
K302SAG	0.0120	0.3	0.0399	0.0052	0.0451	0.0019	0.0234	B.H
K302SOL	-0.0132	0.3	0.0439	0.0055	0.0494	0.0024	0.0254	
K303SAG	0.0122	0.3	0.0407	0.0052	0.0459	0.0019	0.0238	B.H
K303SOL	-0.0132	0.3	0.0438	0.0055	0.0493	0.0024	0.0254	
K304SAG	-0.0118	0.3	0.0395	0.0061	0.0456	0.0025	0.0231	B.H
K304SOL	-0.0138	0.3	0.0460	0.0055	0.0515	0.0025	0.0265	
K401SAG	-0.0082	0.3	0.0274	0.0055	0.0329	0.0015	0.0172	B.H
K401SOL	-0.0098	0.3	0.0328	0.0055	0.0383	0.0020	0.0200	
K402SAG	-0.0075	0.3	0.0250	0.0055	0.0305	0.0016	0.0156	B.H
K402SOL	-0.0081	0.3	0.0271	0.0055	0.0326	0.0017	0.0169	
K403SAG	-0.0075	0.3	0.0249	0.0055	0.0304	0.0016	0.0152	B.H
K403SOL	-0.0081	0.3	0.0270	0.0055	0.0325	0.0017	0.0169	
K404SAG	-0.0092	0.3	0.0308	0.0055	0.0363	0.0019	0.0186	B.H
K404SOL	-0.0088	0.3	0.0295	0.0055	0.0350	0.0018	0.0183	
K501SAG	0.0046	0.3	0.0153	0.0052	0.0205	0.0086	0.0105	B.H
K501SOL	-0.0074	0.3	0.0247	0.0055	0.0302	0.0016	0.0156	
K502SAG	0.0058	0.3	0.0193	0.0052	0.0245	0.0010	0.0129	B.H
K502SOL	-0.0059	0.3	0.0198	0.0059	0.0257	0.0015	0.0128	
K503SAG	0.0060	0.3	0.0199	0.0052	0.0251	0.0010	0.0133	B.H
K503SOL	-0.0060	0.3	0.0201	0.0059	0.0260	0.0015	0.0131	

Çizelge (A.4)'ün devamı

Kesit	Plastik Dönme (rad)	Plastik mafsal boyu(m)	Plastik Eğrilik (rad/m)	Akma Eğriliği (rad/m)	Toplam Eğrilik (rad/m)	Beton Kısalması	Donatı Uzaması	Hasar Bölgesi
K504SAG	-0.0049	0.3	0.0165	0.0055	0.0220	0.0013	0.0111	B.H
K504SOL	-0.0069	0.3	0.0229	0.0059	0.0288	0.0016	0.0145	
K601SAG	-0.0028	0.3	0.0093	0.0055	0.0148	0.0009	0.0075	B.H
K601SOL	-0.0040	0.3	0.0133	0.0059	0.0192	0.0013	0.0101	
K602SAG	0.0023	0.3	0.0076	0.0052	0.0128	0.0007	0.0066	M.H
K602SOL	-0.0033	0.3	0.0109	0.0059	0.0168	0.0008	0.0058	
K603SAG	0.0025	0.3	0.0084	0.0052	0.0136	0.0007	0.0070	M.H
K603SOL	-0.0035	0.3	0.0118	0.0059	0.0177	0.0010	0.0088	
K604SAG	-0.0026	0.3	0.0087	0.0055	0.0142	0.0010	0.0073	M.H
K604SOL	-0.0043	0.3	0.0142	0.0059	0.0201	0.0010	0.0100	
K701SAG	-0.0001	0.3	0.0005	0.0055	0.0060	0.0006	0.0027	M.H
K701SOL	-0.0001	0.3	0.0004	0.0055	0.0059	0.0006	0.0027	
K704SOL	-0.0003	0.3	0.0011	0.0055	0.0066	0.0005	0.0035	M.H

ÇizelgeA.5 : Düzensiz sistemde ZTADOA sonucu bulunan eleman hasarları

Kesit	Plastik Dönme (rad)	Plastik mafsal boyu(m)	Plastik Eğrilik (rad/m)	Akma Eğriliği (rad/m)	Toplam Eğrilik (rad/m)	Beton Kısalması	Donatı Uzaması	Hasar Bölgesi
S101	0.0052	0.2	0.0261	0.0119	0.0380	0.0037	0.0082	B.H
S102	-0.0064	0.2	0.0322	0.0130	0.0452	0.0060	0.0083	B.H
S104	0.0073	0.2	0.0366	0.0130	0.0496	0.0065	0.0093	B.H
S105	-0.0047	0.2	0.0234	0.0012	0.0246	0.0034	0.0055	M.H
S202	-0.0028	0.2	0.0140	0.0126	0.0266	0.0031	0.0053	M.H
S203	-0.0055	0.2	0.0275	0.0120	0.0395	0.0032	0.0112	B.H
S204	0.0012	0.2	0.0062	0.0125	0.0187	0.0031	0.0037	M.H
K101SAG	-0.0088	0.3	0.0293	0.0070	0.0363	0.0025	0.0180	B.H
K101SOL	0.0087	0.3	0.0290	0.0059	0.0349	0.0017	0.0180	
K102SAG	-0.0368	0.375	0.0980	0.0044	0.1024	0.0049	0.0730	G.B
K102AÇIKLIK	0.0347	0.375	0.0925	0.0052	0.0977	0.0133	0.0610	
K102SOL	-0.0350	0.375	0.0933	0.0044	0.0977	0.0046	0.0694	B.H
K104SAG	-0.0131	0.3	0.0435	0.0059	0.0494	0.0024	0.0259	
K104SOL	-0.0066	0.3	0.0220	0.0070	0.0290	0.0021	0.0143	B.H
K201SAG	-0.0075	0.3	0.0250	0.0048	0.0298	0.0024	0.0144	
K201SOL	-0.0116	0.3	0.0386	0.0061	0.0447	0.0022	0.0187	G.B
K202SAG	0.0367	0.3	0.1225	0.0068	0.1293	0.0103	0.0625	
K202SOL	-0.0374	0.3	0.1247	0.0067	0.1314	0.0129	0.0600	İ.H
K203SAG	-0.0354	0.3	0.1181	0.0067	0.1248	0.0121	0.0529	
K203SOL	0.0349	0.3	0.1164	0.0068	0.1232	0.0098	0.0598	B.H
K204SAG	-0.0110	0.3	0.0368	0.0061	0.0429	0.0024	0.0218	
K204SOL	-0.0072	0.3	0.0241	0.0067	0.0308	0.0024	0.0149	B.H
K301SAG	0.0076	0.3	0.0254	0.0055	0.0309	0.0015	0.0160	
K301SOL	-0.0115	0.3	0.0384	0.0061	0.0445	0.0025	0.0228	G.B
K302SAG	0.0370	0.3	0.1233	0.0061	0.1294	0.0084	0.0645	
K302SOL	-0.0384	0.3	0.1280	0.0047	0.1327	0.0093	0.0658	G.B
K303SAG	-0.0350	0.3	0.1167	0.0066	0.1233	0.0084	0.0612	
K303SOL	0.0337	0.3	0.1123	0.0061	0.1184	0.0070	0.0600	B.H
K304SAG	0.0095	0.3	0.0317	0.0052	0.0369	0.0015	0.0190	
K304SOL	-0.0093	0.3	0.0309	0.0066	0.0375	0.0023	0.0186	B.H
K401SAG	-0.0057	0.3	0.0190	0.0066	0.0256	0.0014	0.0133	
K401SOL	-0.0113	0.3	0.0376	0.0056	0.0432	0.0021	0.0224	G.B
K402SAG	0.0372	0.3	0.1241	0.0045	0.1286	0.0061	0.0664	
K402SOL	-0.0372	0.3	0.1240	0.0067	0.1308	0.0090	0.0646	G.B
K403SAG	-0.0329	0.3	0.1095	0.0066	0.1161	0.0075	0.0580	
K403SOL	0.0334	0.3	0.1112	0.0056	0.1168	0.0055	0.0608	B.H
K404SAG	-0.0091	0.3	0.0303	0.0056	0.0359	0.0018	0.0183	
K404SOL	-0.0079	0.3	0.0265	0.0066	0.0331	0.0021	0.0165	B.H
K501SAG	-0.0052	0.3	0.0173	0.0061	0.0234	0.0016	0.0116	
K501SOL	-0.0085	0.3	0.0284	0.0056	0.0340	0.0018	0.0176	G.B
K502SAG	0.0358	0.3	0.1194	0.0045	0.1239	0.0062	0.0667	
K502SOL	-0.0367	0.3	0.1224	0.0056	0.1280	0.0082	0.0635	İ.H
K503SAG	-0.0333	0.3	0.1109	0.0061	0.1170	0.0067	0.0592	
K503SOL	0.0328	0.3	0.1093	0.0056	0.1149	0.0053	0.0592	

Çizelge (A.5)'in devamı

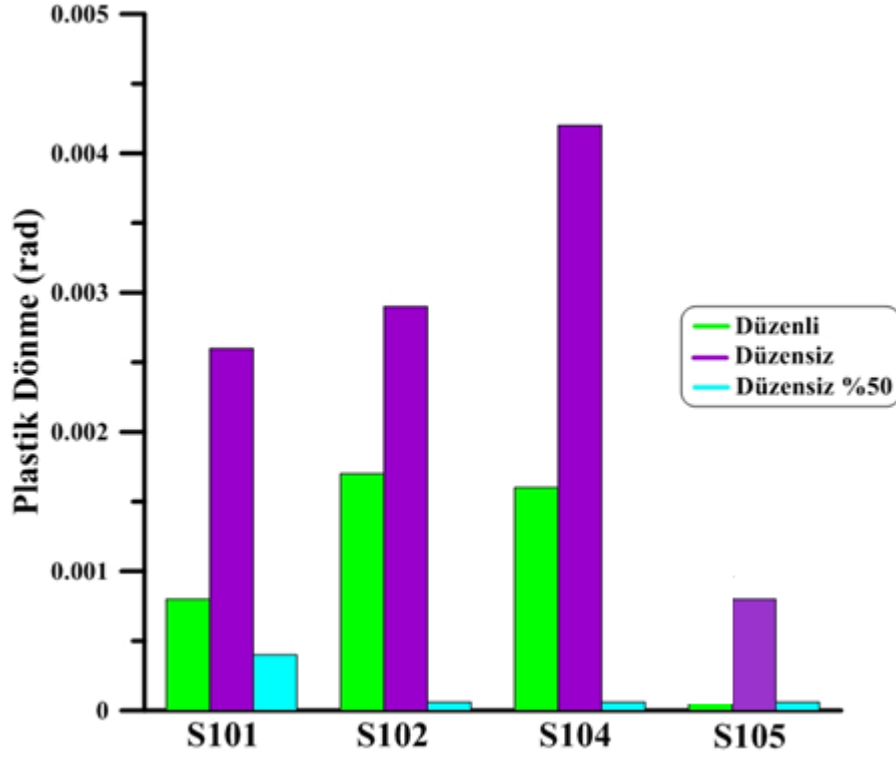
Kesit	Plastik Dönme (rad)	Plastik mafsal boyu(m)	Plastik Eğrilik (rad/m)	Akma Eğriliği (rad/m)	Toplam Eğrilik (rad/m)	Beton Kısalma sı	Donatı Uzaması	Hasar Bölgesi
K504SAG	-0.0070	0.3	0.0233	0.0056	0.0289	0.0016	0.0149	B.H
K504SOL	-0.0077	0.3	0.0258	0.0061	0.0319	0.0019	0.0160	
K601SAG	-0.0038	0.3	0.0127	0.0061	0.0188	0.0013	0.0090	B.H
K601SOL	-0.0057	0.3	0.0191	0.0056	0.0247	0.0014	0.0125	
K602SAG	0.0343	0.3	0.1143	0.0053	0.1196	0.0047	0.0626	G.B
K602SOL	-0.0333	0.3	0.1110	0.0061	0.1171	0.0068	0.0595	
K603SAG	-0.0325	0.3	0.1084	0.0061	0.1145	0.0063	0.0581	G.B
K603SOL	0.0336	0.3	0.1120	0.0053	0.1173	0.0046	0.0616	
K604SAG	-0.0042	0.3	0.0141	0.0053	0.0194	0.0010	0.0100	B.H
K604SOL	-0.0046	0.3	0.0155	0.0061	0.0216	0.0014	0.0106	
K701SAG	-0.0027	0.3	0.0090	0.0061	0.0151	0.0010	0.0077	M.H
K701SOL	-0.0018	0.3	0.0060	0.0056	0.0116	0.0008	0.0054	
K702SAG	0.0324	0.3	0.1081	0.0053	0.1134	0.0044	0.0594	G.B
K702SOL	-0.0319	0.3	0.1063	0.0056	0.1119	0.0056	0.0624	
K703SAG	-0.0324	0.3	0.1078	0.0056	0.1134	0.0052	0.0588	İ.H
K703SOL	0.0323	0.3	0.1076	0.0053	0.1129	0.0044	0.0590	
K704SAG	-0.0008	0.3	0.0027	0.0061	0.0088	0.0007	0.0044	M.H
K704SOL	-0.0032	0.3	0.0108	0.0061	0.0169	0.0011	0.0084	

Çizelge A.6 : Düzensiz ve ilgili elemanlarda iç kuvvetlerin %50 arttırıldığı sistemde ZTADOA sonucu bulunan eleman hasarları

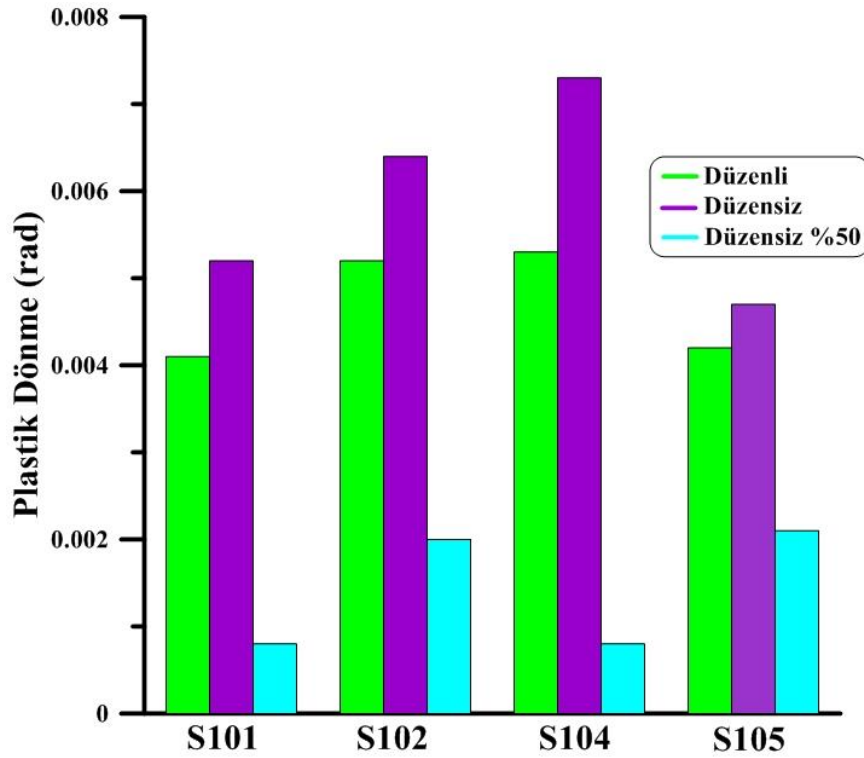
Kesit	Plastik Dönme (rad)	Plastik mafsal boyu(m)	Plastik Eğrilik (rad/m)	Akma Eğriliği (rad/m)	Toplam Eğrilik (rad/m)	Beton Kısalması	Donatı Uzaması	Hasar Bölgesi
S101	0.0008	0.2	0.0041	0.0119	0.0160	0.0025	0.0034	M.H
S102	-0.0020	0.2	0.0098	0.0141	0.0239	0.0036	0.0040	B.H
S104	0.0008	0.2	0.0038	0.0142	0.0180	0.0035	0.0030	B.H
S105	-0.0021	0.2	0.0106	0.0117	0.0223	0.0031	0.0049	M.H
S212	-0.0007	0.2	0.0037	0.0133	0.0170	0.0029	0.0032	M.H
S213	-0.0072	0.2	0.0362	0.0114	0.0476	0.0023	0.0127	B.H
S214	0.0004	0.2	0.0018	0.0133	0.0151	0.0027	0.0027	M.H
S312	0.0002	0.2	0.0011	0.0116	0.0127	0.0015	0.0031	M.H
S313	0.0004	0.2	0.0021	0.0118	0.0139	0.0021	0.0026	M.H
S412	0.0007	0.2	0.0034	0.0118	0.0152	0.0022	0.0034	M.H
S413	0.0006	0.2	0.0028	0.0120	0.0148	0.0015	0.0037	M.H
S414	0.0009	0.2	0.0047	0.0118	0.0165	0.0024	0.0038	M.H
K101SAG	-0.0025	0.3	0.0082	0.0067	0.0149	0.0017	0.0068	B.H
K101SOL	-0.0064	0.3	0.0214	0.0063	0.0277	0.0017	0.0136	
K102SAG	-0.0119	0.375	0.0316	0.0050	0.0366	0.0026	0.0294	B.H
K102AÇIKLIK	0.0061	0.375	0.0162	0.0056	0.0218	0.0026	0.0160	
K102SOL	-0.0104	0.375	0.0278	0.0050	0.0328	0.0024	0.0261	B.H
K104SAG	-0.0061	0.3	0.0204	0.0064	0.0268	0.0017	0.0130	
K104SOL	-0.0021	0.3	0.0070	0.0057	0.0127	0.0015	0.0056	B.H
K201SAG	0.0088	0.3	0.0293	0.0054	0.0347	0.0016	0.0181	
K201SOL	-0.0127	0.3	0.0423	0.0061	0.0484	0.0027	0.0248	B.H
K202SAG	0.0163	0.3	0.0545	0.0068	0.0613	0.0036	0.0311	
K202SOL	-0.0173	0.3	0.0578	0.0067	0.0645	0.0043	0.0322	B.H
K203SAG	-0.0137	0.3	0.0458	0.0067	0.0525	0.0035	0.0260	
K203SOL	0.0132	0.3	0.0438	0.0068	0.0506	0.0031	0.0254	B.H
K204SAG	0.0117	0.3	0.0390	0.0052	0.0442	0.0018	0.0234	
K204SOL	-0.0085	0.3	0.0285	0.0067	0.0352	0.0026	0.0169	B.H
K301SAG	0.0098	0.3	0.0328	0.0054	0.0382	0.0018	0.0198	
K301SOL	-0.0138	0.3	0.0460	0.0061	0.0521	0.0029	0.0268	B.H
K302SAG	0.0180	0.3	0.0599	0.0061	0.0660	0.0034	0.0339	
K302SOL	-0.0194	0.3	0.0646	0.0066	0.0712	0.0039	0.0364	B.H
K303SAG	-0.0141	0.3	0.0468	0.0066	0.0534	0.0030	0.0269	
K303SOL	0.0126	0.3	0.0419	0.0061	0.0480	0.0027	0.0244	B.H
K304SAG	0.0118	0.3	0.0394	0.0052	0.0446	0.0018	0.0231	
K304SOL	-0.0118	0.3	0.0394	0.0066	0.0460	0.0027	0.0233	B.H
K401SAG	-0.0063	0.3	0.0210	0.0066	0.0276	0.0019	0.0139	
K401SOL	-0.0120	0.3	0.0222	0.0056	0.0278	0.0015	0.0142	B.H
K402SAG	0.0155	0.3	0.0516	0.0056	0.0572	0.0027	0.0295	
K402SOL	-0.0151	0.3	0.0505	0.0066	0.0571	0.0033	0.0290	B.H
K403SAG	-0.0115	0.3	0.0382	0.0066	0.0448	0.0027	0.0226	
K403SOL	0.0118	0.3	0.0392	0.0056	0.0448	0.0022	0.0227	B.H
K404SAG	-0.0103	0.3	0.0344	0.0056	0.0400	0.0020	0.0207	
K404SOL	-0.0080	0.3	0.0268	0.0066	0.0334	0.0016	0.0174	B.H
K501SAG	-0.0048	0.3	0.0159	0.0061	0.0220	0.0014	0.0106	
K501SOL	-0.0081	0.3	0.0270	0.0056	0.0326	0.0017	0.0166	B.H

Çizelge (A.6)'nın devamı

Kesit	Plastik Dönme (rad)	Plastik mafsal boyu(m)	Plastik Eğrilik (rad/m)	Akma Eğriliği (rad/m)	Toplam Eğrilik (rad/m)	Beton Kısalması	Donatı Uzaması	Hasar Bölgesi
K502SAG	0.0114	0.3	0.0378	0.0056	0.0434	0.0021	0.0224	B.H
K502SOL	-0.0126	0.3	0.0420	0.0056	0.0476	0.0027	0.0244	
K503SAG	-0.0099	0.3	0.0331	0.0061	0.0392	0.0023	0.0201	B.H
K503SOL	0.0088	0.3	0.0293	0.0056	0.0349	0.0018	0.0183	
K504SAG	-0.0071	0.3	0.0236	0.0056	0.0292	0.0015	0.0149	B.H
K504SOL	-0.0056	0.3	0.0186	0.0061	0.0247	0.0015	0.0120	
K601SAG	-0.0021	0.3	0.0071	0.0056	0.0127	0.0001	0.0059	B.H
K601SOL	-0.0052	0.3	0.0175	0.0056	0.0231	0.0014	0.0118	
K602SAG	0.0097	0.3	0.0324	0.0052	0.0376	0.0017	0.0196	B.H
K602SOL	-0.0087	0.3	0.0289	0.0056	0.0345	0.0015	0.0179	
K603SAG	-0.0096	0.3	0.0321	0.0061	0.0382	0.0022	0.0194	B.H
K603SOL	0.0100	0.3	0.0334	0.0053	0.0387	0.0017	0.0203	
K604SAG	-0.0037	0.3	0.0124	0.0061	0.0185	0.0012	0.0094	M.H
K604SOL	-0.0027	0.3	0.0090	0.0061	0.0151	0.0012	0.0072	
K701SAG	-0.0012	0.3	0.0040	0.0061	0.0101	0.0009	0.0050	M.H
K701SOL	-0.0012	0.3	0.0040	0.0056	0.0096	0.0007	0.0048	
K702SAG	0.0076	0.3	0.0255	0.0053	0.0308	0.0014	0.0161	B.H
K702SOL	-0.0080	0.3	0.0268	0.0056	0.0324	0.0017	0.0166	
K703SAG	-0.0093	0.3	0.0310	0.0056	0.0366	0.0019	0.0190	B.H
K703SOL	0.0093	0.3	0.0311	0.0053	0.0364	0.0016	0.0189	
K704SAG	-0.0003	0.3	0.0010	0.0061	0.0071	0.0006	0.0034	M.H
K704SOL	-0.0017	0.3	0.0058	0.0061	0.0119	0.0009	0.0060	



Şekil A.44 : AEDYY yöntemi sonuçlarına göre birinci kat kolonlarındaki plastik dönme değişimleri



Şekil A.45 : ZTADOA yöntemi sonuçlarına göre birinci kat kolonlarındaki plastik dönme değişimleri

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Ali Osman ATEŞ

Doğum Yeri ve Tarihi: Kayseri-1987

Adres: İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı 34469
Maslak / İSTANBUL

E-Posta: aliates@itu.edu.tr

Lisans: Erciyes Üniversitesi