İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BURULMA DÜZENSİZLİKLERİ FARKLI BETONARME BİNALARIN HASAR BÖLGELERİNİN BELİRLENMESİNDE DOĞRUSAL OLMAYAN YÖNTEMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI ÜZERİNE SAYISAL İNCELEME

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sabahattin KULU

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

Programı : Yapı Mühendisliği

HAZİRAN 2009

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BURULMA DÜZENSİZLİKLERİ FARKLI BETONARME BİNALARIN HASAR BÖLGELERİNİN BELİRLENMESİNDE DOĞRUSAL OLMAYAN YÖNTEMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI ÜZERİNE SAYISAL İNCELEME

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sabahattin KULU
(501071096)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 04 Mayıs 2009
Tezin Savunulduğu Tarih : 04 Haziran 2009

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Erkan ÖZER (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Nuray AYDINOĞLU (BÜ)
Doç. Dr. Konuralp GİRGİN (İTÜ)

HAZİRAN 2009

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, burulma düzensizliği kontrollü olarak değiştirilen taşıyıcı sistem modellerinin doğrusal olmayan davranışı parametrik olarak incelenmiş, 2007 Türk Deprem Yönetmeliği kapsamında yer alan *Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi*'nin uygulama sınırları, *Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemi* kullanılarak irdelenmiştir.

Yüksek lisans tezi sırasında bilgi ve düşüncelerinden yararlandığım danışman hocam sayın Prof. Dr. Erkan ÖZER'e teşekkür ederim.

Gerek tez çalışmalarım sırasındaki, gerekse tez dışındaki çalışmalarımdaki yardımlarından dolayı Dr. Kerem PEKER'e teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2009

Sabahattin Kulu

(İnşaat Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ... **iii**
İÇİNDEKİLER ... **v**
KISALTMALAR ... **ix**
ÇİZELGE LİSTESİ ... **xi**
ŞEKİL LİSTESİ ... **xiii**
SEMBOL LİSTESİ ... **xv**
ÖZET ... **xxi**
SUMMARY ... **xxiii**
1. GİRİŞ ... **1**
1.1 Konu ... 1
1.2 Konu İle İlgili Çalışmalar ... 2
1.3 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı ... 5
2. YAPI SİSTEMLERİNİN DOĞRUSAL OLMAYAN TEORİYE GÖRE STATİK VE DİNAMİK HESABI ... **7**
2.1 Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmayan Davranışı ... 7
2.1.1 Çözümün sağlaması gereken koşullar ... 8
2.1.2 Yapı sistemlerinin doğrusal olmama nedenleri ... 8
2.1.3 Yapı sistemlerinin dış yükler altındaki doğrusal olmayan davranışı ... 10
2.2 İç Kuvvet – Şekildeğiştirme Bağıntıları ve Akma (Kırılma) Koşulları ... 12
2.2.1 Malzemelerin şekildeğiştirme özellikleri ... 12
2.2.1.1 İdeal malzemeler ... 13
2.2.1.2 Bazı yapı malzemeleri için gerilme-şekildeğiştirme bağıntıları ... 13
2.2.2 Düzlem çubuk elemanlarda iç kuvvet-şekildeğiştirme bağıntıları ve akma (kırılma) koşulları ... 15
2.2.2.1 Betonarme çubuklar ... 18
2.3 Malzeme Bakımından Doğrusal Olmayan Betonarme Sistemlerin Hesabı ... 21
2.3.1 Doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin sistem üzerinde yayılı olması hali ... 21
2.3.2 Doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin belirli kesitlerde toplanması hali 22
2.3.2.1 Plastik mafsal hipotezi ... 22
2.3.2.2 Yük artımı yöntemi ... 27
2.4 Binaların Deprem Davranışı ... 29
2.4.1 Denge denklemleri ve kontrol eden parametreler ... 29
2.4.2 Denge denklemlerinin çözümünde kullanılan sayısal yöntemler ... 30
2.4.2.1 Newmark yöntemi ... 31
2.4.3 Yapı sistemlerinde sönüm ... 33
2.4.4 Yapı sistemlerinde süneklik ... 37
2.4.5 Sargı etkisi ve önemi ... 41
2.4.6 Mander beton modeli ... 46
2.5 Deprem İvme Kayıtlarının Belirlenmesi ve Ölçeklenmesi ... 49

2.5.1 Deprem yer hareketleri için genel kurallar 49
2.5.2 Tasarım ivme spektrumuna uygun yapay kayıtlar 50
2.5.3 Simüle edilmiş (benzeştirilmiş) kayıtlar 51
2.5.3.1 Deterministik yaklaşım 51
2.5.3.2 Probabilistik yaklaşım 52
2.5.4 Gerçek depremlerden elde edilen kayıtlar 53
2.5.4.1 Frekans tanım alanında ölçeklendirme 53
2.5.4.2 Zaman tanım alanında ölçeklendirme 56
2.5.4.3 Zaman tanım alanında ve frekans tanım alanında ölçeklendirme yöntemlerinin karşılaştırılması 57
2.5.4.4 Zaman tanım alanında ölçekleme katsayıları ile ilgili sınırlamalar 57
3. PERFORMANSA DAYALI TASARIM VE DEĞERLENDİRME 59
3.1 Binalardan Bilgi Toplanması 60
3.2 Yapı elemanlarında hasar sınırları ve hasar bölgeleri 60
3.2.1 Kesit hasar sınırları 61
3.2.2 Kesit hasar bölgeleri 61
3.3 Bina Deprem Performans Düzeyleri 62
3.3.1 Hemen kullanım performans düzeyi 62
3.3.2 Can güvenliği performans düzeyi 63
3.3.3 Göçme öncesi performans düzeyi 63
3.3.4 Göçme durumu 64
3.4 Performans Belirlemede Esas Alınacak Deprem Hareketleri 64
3.5 Performans Hedefi ve Çok Seviyeli Performans Hedefleri 65
3.6 Performans Belirlenmesi ve Kullanılan Analiz Yöntemleri 65
3.6.1 Doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri için genel ilke ve kurallar 66
3.6.2 Doğrusal elastik hesap yöntemleri 68
3.6.2.1 Yöntemin esasları 68
3.6.2.2 Eşdeğer deprem yükü yöntemi 68
3.6.2.3 Mod birleştirme yöntemi 68
3.6.3 Yapı elemanlarının hasar düzeylerinin belirlenmesi 69
3.6.4 Doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri 71
3.6.4.1 Tanım 71
3.6.4.2 Artımsal itme analizi ile performans değerlendirmesinde izlenecek hesap adımları 71
3.6.4.3 Doğrusal elastik olmayan davranışın idealleştirilmesi 72
3.6.4.4 Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile itme analizi 74
3.6.4.5 Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi 79
3.6.4.6 Kesitteki birim şekildeğiştirme istemlerinin belirlenmesi 80
4. SAYISAL İNCELEMELER 83
4.1 İncelenen Taşıyıcı Sistem Modelleri 83
4.2 Taşıyıcı Sistem Modellerinin Boyutlandırılması 84
4.2.1 Modellemede ve tasarımda yapılan varsayımlar 84
4.2.2 Eşdeğer deprem yüklerinin belirlenmesi 84
4.2.3 Binanın burulma düzensizliğinin belirlenmesi 87
4.2.4 Boyutlandırmada esas alınan yükleme kombinasyonları 88
4.2.5 Taşıyıcı sistem modellerinin boyutlandırılması 88
4.3 Boyutlandırılan Taşıyıcı Sistem Modellerinin Eleman Hasar Bölgelerinin Belirlenmesi 89
4.4 TSM-2 İçin Ayrıntılı İnceleme 89

4.4.1 Sistemin boyutlandırılması 89
4.4.1.1 Bina genel özellikleri 89
4.4.1.2 Düşey yüklerin hesabı 90
4.4.1.3 Deprem yükü hesabında kullanılacak olan bina ağırlığının hesabı 91
4.4.1.4 Deprem yüklerinin hesabı 91
4.4.1.5 Bina burulma düzensizliği katsayısının hesabı 92
4.4.1.6 Taşıyıcı sistem elemanlarının boyutlandırılması ve betonarme hesap sonuçları 94
4.4.2 Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile kesit hasar bölgelerinin belirlenmesi 97
4.4.3 Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemine göre sistemin eleman hasar bölgelerinin belirlenmesi 117
4.4.4 Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ve zaman tanım alanında hesap yöntemi ile bulunan sonuçların karşılaştırılması 131
4.4.4.1 Eleman hasar bölgelerinin karşılaştırılması 131
4.4.4.2 Tepe noktası yatay yerdeğiştirmelerinin karşılaştırılması 134
4.4.4.3 Taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması 134
4.5 TSM-1 İçin Performans Değerlendirmesi ve Karşılaştırmalar 136
4.5.1 Eleman hasar bölgelerinin karşılaştırılması 136
4.5.2 Tepe noktası yatay yerdeğiştirmelerinin karşılaştırılması 138
4.5.3 Taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması 138
4.6 TSM-3 İçin Performans Değerlendirmesi ve Karşılaştırmalar 140
4.6.1 Eleman hasar bölgelerinin karşılaştırılması 140
4.6.2 Tepe noktası yatay yerdeğiştirmelerinin karşılaştırılması 142
4.6.3 Taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması 142
4.7 Sayısal İncelemelere İlişkin Değerlendirmeler 144
5. SONUÇ VE ÖNERİLER 155
KAYNAKLAR 159

KISALTMALAR

ATC : Applied Technology Council
BSSC : Building Seismic Safety Council
BHB : Belirgin Hasar Bölgesi
CG : Can Güvenliği
DBYBHY : Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
EERC-UCB : Earthquake Engineering Research Center of University of California at Berkeley
FEMA : Federal Emergeny Management Agency
GB : Göçme Bölgesi
GC : Göçme Sınırı
GÖ : Göçme Öncesi
GV : Güvenlik Sınırı
HK : Hemen Kullanım
İHB : İleri Hasar Bölgesi
MHB : Minimum Hasar Bölgesi
MN : Minimum Hasar Sınırı
NEHRP : National Earthquake Hazard Reduction Program
TDY : Türk Deprem Yönetmeliği
TS : Türk Standardı
TSM : Taşıyıcı Sistem Modeli
TÜBİTAK : Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Kurumu

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Yapı sistemlerinin doğrusal olmama nedenleri. 9
Çizelge 2.2 : Newmark Yöntemi'nde ortalama ivme ve lineer ivme özel durumları.32
Çizelge 2.3 : Doğrusal olmayan sistemler için ortalama ivme yöntemi. 33
Çizelge 3.1 : Binalar için bilgi düzeyi katsayıları. 60
Çizelge 3.2 : Binalar için öngörülen minimum performans hedefleri. 65
Çizelge 3.3 : Betonarme kirişler için etki/kapasite oranlarının sınır değerleri (r_s). ...70
Çizelge 3.4 : Betonarme kolonlar için etki/kapasite oranlarının sınır değerleri (r_s). .70
Çizelge 3.5 : Betonarme perdeler için etki/kapasite oranlarının sınır değerleri (r_s)...70
Çizelge 4.1 : Etkin yer ivmesi katsayısı (A_o). 85
Çizelge 4.2 : Bina önem katsayısı (I). 85
Çizelge 4.3 : Taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R). 86
Çizelge 4.4 : Spektrum karakteristik periyodları. 86
Çizelge 4.5 : Hareketli yük katılım katsayıları 87
Çizelge 4.6 : Bina genel özellikleri. 90
Çizelge 4.7 : Döşeme yük analizi. 90
Çizelge 4.8 : Kat ağırlıkları ve bina ağırlığının hesabı. 91
Çizelge 4.9 : Katlara gelen eşdeğer deprem yüklerinin hesabı. 92
Çizelge 4.10 : Burulma düzensizliği hesabı. 93
Çizelge 4.11 : Kolon ve kirişler için seçilen donatılar. 96
Çizelge 4.12 : Deprem doğrultusundaki bina doğal titreşim modları 101
Çizelge 4.13 : Taban kesme kuvveti – tepe noktası yerdeğiştirmesi değerleri. 102
Çizelge 4.14 : Etkin kütle ve modal katkı çarpanı hesap çizelgesi. 102
Çizelge 4.15 : Modal yerdeğiştirme ve modal ivme değerleri. 103
Çizelge 4.16 : Modal yerdeğiştirme isteminin hesabı. 104
Çizelge 4.17 : Tepe noktası yatay yerdeğiştirmesi isteminin hesabı. 104
Çizelge 4.18 : TSM-2'de kirişler için toplam eğrilik istem değerleri. 106
Çizelge 4.19 : TSM-2'de kirişlerin eleman hasar bölgeleri. 111
Çizelge 4.20 : TSM-2'de 1. kat kolonları için toplam eğrilik istemleri. 112
Çizelge 4.21 : TSM-2'de kolonlar için eleman hasar bölgeleri. 116
Çizelge 4.22 : İncelenen deprem kayıtlarının bilgileri. 117
Çizelge 4.23 : Seçilen deprem kayıtları ve ölçeklendirme katsayıları. 119
Çizelge 4.24 : Kirişler için toplam eğrilik istemlerinin elde edilmesi. 121
Çizelge 4.25 : TSM-2'de kirişlerin eleman hasar bölgeleri. 125
Çizelge 4.26 : TSM-2'de 1. kat kolonları için toplam eğrilik istemleri. 126
Çizelge 4.27 : TSM-2'de kolonlar için eleman hasar bölgeleri 131
Çizelge 4.28 : TSM-2'de kirişlerin eleman hasar bölgelerinin karşılaştırılması. 132
Çizelge 4.29 : TSM-2'de kolonların eleman hasar bölgelerinin karşılaştırılması. ..133
Çizelge 4.30 : TSM-2'de maksimum tepe noktası yerdeğiştirmeleri ve ortalaması. 134

Çizelge 4.31 : TSM-2'de maksimum taban kesme kuvveti değerleri ve ortalaması. 135
Çizelge 4.32 : TSM-1'de kirişlerin eleman hasar bölgelerinin karşılaştırılması. 136
Çizelge 4.33 : TSM-1'de kolonların eleman hasar bölgelerinin karşılaştırılması. .. 137
Çizelge 4.34 : TSM-1'de maksimum tepe noktası yerdeğiştirmeleri ve ortalaması. 138
Çizelge 4.35 : TSM-1'de maksimum taban kesme kuvveti değerleri ve ortalaması. 139
Çizelge 4.36 : TSM-3'de kirişlerin eleman hasar bölgelerinin karşılaştırılması. 140
Çizelge 4.37 : TSM-3'de kolonların eleman hasar bölgelerinin karşılaştırılması. .. 141
Çizelge 4.38 : TSM-3'de maksimum tepe noktası yerdeğiştirmeleri ve ortalaması. 142
Çizelge 4.39 : TSM-3'de maksimum taban kesme kuvveti değerleri ve ortalaması. 143
Çizelge 4.40 : Kirişler için karşılaştırma özet tablosu. 151
Çizelge 4.41 : Kolonların deprem doğrultusundaki karşılaştırma tablosu. 152
Çizelge 4.42 : Kolonların deprem doğrultusuna dik doğrultudaki karşılaştırması.. 152
Çizelge 4.43 : Sistemlerin deprem doğrultusundaki kütle katılım oranları..... 152

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Çeşitli teorilere göre yük parametresi -yerdeğiştirme bağıntıları. 10
Şekil 2.2 : Dış kuvvetler etkisindeki katı cisim. 12
Şekil 2.3 : Şematik yük parametresi – şekildeğiştirme diyagramı. 12
Şekil 2.4 : Beton çeliğinde σ-ε diyagramı. 13
Şekil 2.5 : Yapı ve beton çeliklerinin σ-ε diyagramlarının idealleştirilmesi. 14
Şekil 2.6 : Betonarme çubuğun eğilmesinde dış basınç lifindeki σ-ε diyagramı. 14
Şekil 2.7 : Düzlem çubuk elemanda iç kuvvetler ve şekildeğiştirmeler....15
Şekil 2.8 : Akma eğrisi (karşılıklı etki diyagramı). 17
Şekil 2.9 : Basit eğilme halinde eğilme momenti – eğrilik diyagramı. 18
Şekil 2.10 : Betonarme kesitlerde (M-χ) bağıntısı. 19
Şekil 2.11 : Betonarme kesitlerde karşılıklı etki diyagramı (akma eğrisi). 21
Şekil 2.12 : Eğilme momenti - eğrilik diyagramı. 22
Şekil 2.13 : Doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler. 23
Şekil 2.14 : İdealleştirilmiş bünye bağıntısı. 24
Şekil 2.15 : Plastik mafsal boyu. 25
Şekil 2.16 : Basit bir yapı sisteminin artan yükler altındaki davranışı. 27
Şekil 2.17 : Dinamik denge. 29
Şekil 2.18 : Kütle ve rijitlikle orantılı sönümün fiziksel anlamı [40]....34
Şekil 2.19 : Modal sönüm oranlarının frekansla değişimi. 36
Şekil 2.20 : Rayleigh sönümü. 36
Şekil 2.21 : Dayanım ve süneklik arasındaki ilişki [42]. 37
Şekil 2.22 : Sünekliğin genel tanımı. 38
Şekil 2.23 : Çeşitli süneklik tanımları. 39
Şekil 2.24 : Betonarme bir perdenin histeretik davranışı ve iskelet eğrisi. 40
Şekil 2.25 : Eğilme momenti-eğrilik diyagramı. 41
Şekil 2.26 : Plastik dönme kapasitesinin eksenel kuvvet ile değişimi. 42
Şekil 2.27 : Eğrilik sünekliğinin eksenel kuvvet ile değişimi. 42
Şekil 2.28 : Betonarme kesitte sargı etkisinden kaynaklanan yanal basınçlar....43
Şekil 2.29 : Enkesitte ve boyuna doğrultuda sargı etkisi. 44
Şekil 2.30 : Çeşitli donatı düzenleri için sargının etkinliği [42]. 44
Şekil 2.31 : Sargı etkisi. 45
Şekil 2.32 : Mander beton modeli. 47
Şekil 2.33 : Kesitte ve boyuna doğrultuda etkin sargı alanının hesaplanması. 47
Şekil 2.34 : Kuvvetli yer hareketi minimum süresi. 49
Şekil 2.35 : Deprem kaydı tepki spektrumu ile tasarım ivme spektrumu. 50
Şekil 2.36 : Tasarım spektrumuna uygun olarak üretilmiş bir deprem kaydı....50
Şekil 2.37 : Sismolojik kaynak modelleme prosedürü şematik gösterimi. 51
Şekil 2.38 : Frekans tanım alanında ölçeklendirme prosedürü. 54
Şekil 2.39 : Zaman tanım alanında ölçeklendirme prosedürü....56
Şekil 3.1 : Kesit hasar bölgeleri. 62

Şekil 3.2 : Eğilme momenti – plastik dönme bağıntıları. 74
Şekil 3.3 : Performans noktasının belirlenmesi ($T_1^{(1)} \geq T_B$). 77
Şekil 3.4 : Performans noktasının belirlenmesi ($T_1^{(1)} < T_B$). 78
Şekil 3.5 : Performans noktasının belirlenmesi ($T_1^{(1)} < T_B$). 79
Şekil 4.1 : Burulma düzensizliği katsayısının hesabı. 88
Şekil 4.2 : 1, 2, 3 ve 4. katların kalıp planı. 94
Şekil 4.3 : 5, 6, 7 ve 8. katların kalıp planı. 95
Şekil 4.4 : Ayrıntılı olarak incelenen kolon ve kiriş elemanları 97
Şekil 4.5 : S113 kolonunun donatı detayı. 99
Şekil 4.6 : S113 kolonu için karşılıklı etki diyagramları. 99
Şekil 4.7 : K214 kirişi için sol mesnet bölgesi donatı detayı. 100
Şekil 4.8 : K214 kirişi sol mesnedi için eğilme momenti - dönme grafiği. 100
Şekil 4.9 : TSM-2 için statik itme eğrisi. 102
Şekil 4.10 : Spektral ivme – spektral yerdeğiştirme diyagramı. 104
Şekil 4.11 : Yerdeğiştime isteminde sistemde oluşan plastik mafsallar. 105
Şekil 4.12 : Kesit analizinde kullanılan beton modeli. 108
Şekil 4.13 : Kesit analizinde kullanılan donatı çeliği modeli. 109
Şekil 4.14 : S113 kolonu kesit analiz modeli 113
Şekil 4.15 : S113 kolonunun güçlü eksende kesit hasar bölgesinin belirlenmesi. 114
Şekil 4.16 : S113 kolonunun zayıf eksende kesit hasar bölgesinin belirlenmesi. 115
Şekil 4.17 : Seçilen deprem kayıtlarının ölçeklenmemiş tepki spektrumları. 118
Şekil 4.18 : Ölçeklendirilmiş tepki spektrumlarının ortalaması ve tasarım spektrumu. 119
Şekil 4.19 : K214 kirişi histeretik eğilme momenti – plastik dönme modeli 120
Şekil 4.20 : K214 kirişi sol ucunda plastik dönme - zaman grafiği. 123
Şekil 4.21 : K114 kirişi sol ucunda eğilme momenti - plastik dönme çevrimi. 123
Şekil 4.22 : S113 kolonu alt ucu plastik dönme - zaman grafiği. 127
Şekil 4.23 : S113 kolonu alt ucu eğilme momenti – plastik dönme grafiği. 127
Şekil 4.24 : S113 kolonunun güçlü eksendeki kesit hasar bölgesinin belirlenmesi. 129
Şekil 4.25 : S113 Kolonunun zayıf eksende kesit hasar bölgesinin belirlenmesi. 130
Şekil 4.26 : TSM-2'de tepe noktası yatay yerdeğiştirmeleri. 134
Şekil 4.27 : TSM-2'de taban kesme kuvveti değerleri. 135
Şekil 4.28 : TSM-2 statik itme eğrisi. 135
Şekil 4.29 : TSM-1'de tepe noktası yatay yerdeğiştirmeleri. 138
Şekil 4.30 : TSM-1'de taban kesme kuvveti değerleri. 139
Şekil 4.31 : TSM-1 statik itme eğrisi. 139
Şekil 4.32 : TSM-3'de tepe noktası yatay yerdeğiştirmeleri. 142
Şekil 4.33 : TSM-3'de taban kesme kuvveti değerleri. 143
Şekil 4.34 : TSM-3 statik itme eğrisi. 143

SEMBOL LİSTESİ

A_o : Etkin yer ivmesi katsayısı
A_c : Kolon veya perdenin brüt enkesit alanı
A_s : Boyuna donatı alanı
a : İvme
a_o : Kütle orantılı sönüm katsayısı
a_1 : Rijitlik orantılı sönüm katsayısı
$a_1^{(i)}$: (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait modal ivme
a_i : Kesit çevresindeki boyuna donatıların eksenleri arasındaki uzaklık
a_{y1} : Birinci moda ait eşdeğer akma ivmesi
b_o, h_o : Göbek betonunu sargılayan etriyelerin eksenleri arasında kalan kesit boyutları
b_w : Kirişin gövde genişliği
C_{R1} : Birinci moda ait spektral yerdeğiştirme oranı
c : Yapı sönüm katsayısı
d : Kirişin ve kolonun faydalı yüksekliği
$d_1^{(i)}$: (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait modal yerdeğiştirme
$d_1^{(p)}$: Birinci moda ait modal yerdeğiştirme istemi
$(EI)_o$: Çatlamamış kesite ait eğilme rijitliği
$(EI)_e$: Çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitliği
E_c : Beton elastisite modülü
E_s : Donatı çeliğinin elastisite modülü
E_{sec} : Sekant elastisite modülü
e : Güvenlik katsayısı
F : Dinamik dış etkiler altında oluşan eylemsizlik kuvveti
F_1, F_2, F_3 : Malzeme karakteristiklerine ve enkesit özelliklerine bağlı olarak belirlenen doğrusal olmayan fonksiyonlar
$F^{gerçek}(\omega)$: Kaydedilmiş deprem kaydının Fourier spektrum genliği
$F^{filtrelenmiş}(\omega)$: Kaydedilmiş deprem kaydının filtrelenmiş Fourier spektrum genliği
f_c : Sargılı betonda beton basınç gerilmesi
f_{cc} : Sargılı beton basınç dayanımı
f_{ck} : Betonun karakteristik silindir basınç dayanımı
f_{cm} : Mevcut beton dayanımı
f_{co} : Sargısız beton basınç dayanımı
f_{ctm} : Mevcut betonun çekme dayanımı
f_e : Etkili sargılama basıncı
f_{ex}, f_{ey} : İlgili doğrultulardaki etkili sargılama basınçları
f_s : Doğrusal elastik sistemde harekete karşı koyan kuvvet (yay kuvveti)
$f_s(\dot{u}, \ddot{u})$: Doğrusal elastik olmayan sistemde harekete karşı koyan kuvvetin ifadesi
f_{yw} : Enine donatı akma dayanımı
g : Yerçekimi ivmesi

H_i : Binanın i'inci katının temel üstünden itibaren ölçülen yüksekliği (Bodrum katlarında rijit çevre perdelerinin bulunduğu binalarda i'inci katın zemin kat döşemesi üstünden itibaren ölçülen yüksekliği)

H_N : Binanın temel üstünden itibaren ölçülen toplam yüksekliği (Bodrum katlarında rijit çevre perdelerinin bulunduğu binalarda i'inci katın zemin kat döşemesi üstünden itibaren ölçülen yüksekliği)

H_w : Temel üstünden veya zemin kat döşemesinden itibaren ölçülen toplam perde yüksekliği

h_i : Binanın i'inci katının kat yüksekliği

I : Bina önem katsayısı

ι : Etki vektörü

$K_1(M,N,T)$: Kesit zorları cinsinden akma (kırılma) koşulu

$K_2(\chi, \varepsilon, \gamma)$: Şekildeğiştirmeler cinsinden akma (kırılma) koşulu

k : Yapı rijitliği

k_e : Sargılama etkinlik katsayısı

L_0 : Beton kesitinin dış çekme lifinde çatlakların başladığı sınır durum

L_1 : Betonda plastik şekildeğiştirmelerin başladığı sınır durum

L_2 : Eğilme momentinin artarak betonarme kesitin taşıma gücüne eriştiği durumd

l : Bir cisim üzerindeki herhangi iki nokta arasındaki uzaklık

l_p : Plastik mafsal boyu

ℓ_w : Perdenin veya bağ kirişli perde parçasının plandaki uzunluğu

M_{L1} : L_1 durumuna karşı gelen eğilme momenti değeri

M_{L2} : L_2 durumuna karşı gelen eğilme momenti değeri ($=M_p$)

M_{Lo} : L_0 durumuna karşı gelen eğilme momenti değeri

M_p : Kesitin taşıyabileceği maksimum eğilme momenti

M_{x1} : x deprem doğrultusunda doğrusal elastik davranış için tanımlanan birinci (hâkim) moda ait etkin kütle

m : Kütle

N_D : Deprem hesabında esas alınan toplam kütlelerle uyumlu düşey yükler altında kolonda veya perdede oluşan eksenel kuvvet

N_{ob} : Eğilme momenti sıfır iken kesitin taşıyabileği maksimum basınç kuvveti

$N_{oç}$: Eğilme momenti sıfır iken kesitin taşıyabileği maksimum çekme kuvveti

P-Δ : Yük parametresi – yerdeğiştirme bağıntısı

P : P_i dış kuvvetlerinin büyüklüğünü tanımlayan yük parametresi

P_B : Burkulma yükü

P_{cr} : Kritik yük

P_G : Göçme yükü

P_i : Orantılı şekilde artan dış yükler

P_L : Limit yük

P_{L1} : Birinci mertebe limit yük

P_{L2} : İkinci mertebe limit yük

$p(t)$: Dinamik yük

R : Taşıyıcı sistem davranış katsayısı

$R_a(T)$: Deprem yükü azaltma katsayısı

R_{y1} : Birinci moda ait dayanım azaltma katsayısı

r : Etki/kapasite oranı

r_s : Etki/kapasite oranının sınır değeri

$S_a^{hedef}(T)$: Ölçeklendirme işleminde hedef alınan tasarım spektrumu
$S_a^{gerçek}(T)$: Kaydedilmiş deprem ivme kaydının tek serbestlik dereceli sistem için tepki spektrumu
$S_{ae}(T)$: Elastik spektral ivme
$S_{ae1}^{(1)}$: İtme analizinin ilk adımında birinci moda ait elastik spektral ivme
$S_{de1}^{(1)}$: İtme analizinin ilk adımında birinci moda ait doğrusal elastik spektral yerdeğiştirme
S_{di1} : Birinci moda ait doğrusal elastik olmayan spektral yerdeğişme
s : Etriye aralığı
T_1 : Binanın birinci doğal titreşim periyodu
$T_1^{(1)}$: Başlangıçtaki (i=1) birinci (deprem doğrultusunda hakim) titreşim moduna ait doğal titreşim periyodu
T_A, T_B : Spektrum karakteristik periyodları
$TH^{gerçek}(t)$: Kaydedilmiş deprem ivme kaydı
$TH(t)$: Ölçeklendirme sonucunda elde edilen yeni deprem ivme kaydı
t : Kesite etkiyen düzgün sıcaklık değişmesi
u : Kesitin çubuk ekseni doğrultusunda (boyuna) şekildeğiştirmesi
u : Yerdeğiştirme
$\dot{u}$: Hız
$\ddot{u}$: İvme
u_i : i zaman adımında bilinen yerdeğiştirme
$\dot{u}_i$: i zaman adımında bilinen hız
$\ddot{u}_i$: i zaman adımında bilinen ivme
u_{i+1} : $i+1$ zaman adımında elde edilen yerdeğiştirme
$\dot{u}_{i+1}$: $i+1$ zaman adımında elde edilen hız
$\ddot{u}_{i+1}$: $i+1$ zaman adımında elde edilen ivme
$\ddot{u}_g(t)$: Yerçekimi ivmesi
$u_{xN1}^{(i)}$: Binanın tepesinde (N'inci katında) x deprem doğrultusunda (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait yerdeğiştirme
$u_{xN1}^{(p)}$: Binanın tepesinde (N'inci katında) x deprem doğrultusunda tepe yerdeğiştirme istemi
$u(t)$: Yerdeğiştirme vektörü
V_e : Kolon, kiriş, perdede esas alınan tasarım kesme kuvveti
V_i : Gözönüne alınan deprem doğrultusunda binanın i'inci katına etkiyen kat kesme kuvveti
V_r : Kolon, kiriş, perdede kesitin kesme dayanımı
V_t : Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi'nde gözönüne alınan deprem doğrultusunda binaya etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti)
$V_{x1}^{(i)}$: x deprem doğrultusunda (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda (hâkim moda) ait taban kesme kuvveti
v : Kesitin çubuk eksenine dik doğrultuda (kayma) şekildeğiştirmesi
W : Binanın hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak bulunan toplam ağırlığı
w_i : Binanın i'inci katının, hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak hesaplanan ağırlığı
$\alpha_{ölçek}$: Zaman tanım alanında ölçeklendirme katsayısı
α_t : Sıcaklık genleşme katsayısı

β_v : Perdede kesme kuvveti dinamik büyütme katsayısı
Γ_{x1} : x deprem doğrultusunda birinci moda ait katkı çarpanı
γ : Birim kayma şekildeğiştirmesi
γ, β : Newmark Yöntemi'nde çözümün stabilitesini sağlayan parametreler
Δl : l uzaklığının uygulanan dış yüklerden dolayı değişimi
Δl_{P1}, Δl_{P2} : Yükleme-boşaltma eğrileri arasında kalan doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler
Δt : Kesite etkiyen farklı sıcaklık değişmesi
Δt : Zaman aralığı
ε : Birim boydeğişmesi
ε_{co} : Betonda plastik şekildeğiştimelerin başladığı şekildeğiştirme sınırı
ε_{cu} : Sargılı betondaki maksimum basınç birim şekildeğiştirmesi
ε_e : Beton çeliğinin akma şekildeğiştirmesi
ε_{su} : Donatı çeliğinin kopma birim şekildeğiştirmesi
η_{bi} : Burulma düzensizliği katsayısı
θ : Etkin sargılanma alanının belirlenmesi için gerekli olan açı
θ_p : Plastik dönme istemi
$\theta^{gerçek}(\omega)$: Kaydedilmiş deprem kaydının Fourier spektrum fazı
λ : Eşdeğer deprem yükü azaltma katsayısı
λ_c : Sargılı beton basınç dayanımı ile sargısız beton basınç dayanımı arsındaki ilişkiyi kuran bir katsayı
μ : Süneklik katsayısı
μ_Δ : Yerdeğiştirme sünekliği
μ_ε : Şekildeğiştirme sünekliği
μ_θ : Dönme sünekliği
μ_Φ : Eğrilik sünekliği
ξ_i : i. moda ait modal sönüm oranı
ξ_j : j. moda ait modal sönüm oranı
ρ_s : Toplam enine donatı hacimsel oranı
ρ_x, ρ_y : İlgili doğrultulardaki enine donatı hacimsel oranı
σ_e : Beton çeliğinin akma gerilmesi
σ_k : Beton çeliğinin kopma gerilmesi
σ_p : Beton çeliğinin orantılılık sınırı gerilmesi
Φ_p : Plastik eğrilik istemi
$\Phi_{p,mak}$: Plastik dönme kapasitesi
Φ_t : Toplam eğrilik istemi
Φ_{xN1} : Binanın tepesinde (N'inci katında) x deprem doğrultusunda birinci moda ait mod şekli genliği
Φ_y : Eşdeğer akma eğriliği
φ : Kesitinin dönmesi
χ : Birim dönme (eğrilik)
χ_{Lo} : L_0 durumuna karşı gelen birim dönme değeri
χ_{L1} : L_1 durumuna karşı gelen birim dönme değeri
χ_{L2} : L_2 durumuna karşı gelen birim dönme değeri
χ_p : M_p eğilme momentine karşılık gelen birim dönme
χ_u : Güç tükenmesine karşı gelen toplam eğrilik
χ_y : Çekme donatısının akmaya başlaması veya betondaki birim kısalmanın ε_{co} sınınr değerine ulaşması durumundaki eğrilik
$\omega_1^{(1)}$: Başlangıçtaki (i=1) birinci (deprem doğrultusunda hâkim) titreşim moduna ait doğal açısal frekans

ω_i : i. moda ait moda ait doğal frekans
ω_j : j. moda ait moda ait doğal frekans

BURULMA DÜZENSİZLİKLERİ FARKLI BETONARME BİNALARIN HASAR BÖLGELERİNİN BELİRLENMESİNDE DOĞRUSAL OLMAYAN YÖNTEMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI ÜZERİNE SAYISAL İNCELEME

ÖZET

Yapıların performansa dayalı tasarımı ve mevcut bina taşıyıcı sistemlerinin deprem performanslarının değerlendirilmesi günümüzde giderek önem kazanmaktadır. Buna paralel olarak, yapı sistemlerinin doğrusal olmayan statik ve dinamik analizi için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden başlıcaları arasında *Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi* ve *Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemi* yer almaktadır.

Yüksek lisans tezi olarak sunulan bu çalışmada, burulma düzensizliği kontrollü olarak değiştirilen taşıyıcı sistem modellerinin doğrusal olmayan davranışı, 2007 Türk Deprem Yönetmeliği kapsamında açıklanan *Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi* ve *Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemi* kullanılarak karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Beş bölümden oluşan çalışmanın birinci bölümünde konunun tanıtılması, konu ile ilgili çalışmaların gözden geçirilmesi, çalışmanın amacı ve kapsamı yer almaktadır.

İkinci bölüm yapı sistemlerinin doğrusal olmayan teori çerçevesinde, statik ve dinamik davranışlar ile analiz yöntemlerinin incelenmesine ayrılmıştır. Bu bölümde, bina taşıyıcı sistemlerinin doğrusal olmayan davranışı incelenmiş ve bu davranışa etkiyen faktörler açıklanmıştır. Bunun yanında, dinamik analizde kullanılacak olan deprem kayıtlarının seçimi ve ölçeklenmesi prosedürü hakkında bilgi verilmiştir.

Üçüncü bölümde, yapıların performansa dayalı tasarımı ve değerlendirilmesi yer almaktadır. 2007 Türk Deprem Yönetmeliğinde belirtilen kesit hasar düzeyleri, performans seviyeleri ve çoklu performans hedefleri kısaca özetlenmiştir. Ayrıca doğrusal olmayan analiz yöntemlerinden ikisi olan ve bu çalışmada kullanılan *Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi* ve *Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemi* açıklanmıştır.

Dördüncü bölümde, farklı burulma düzensizliklerine sahip olan 3 taşıyıcı sistem modelinin düşey yükler ve deprem etkileri altındaki doğrusal olmayan davranışları ve kesit hasar bölgeleri, artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi ile sayısal olarak incelenmiştir. Bu üç taşıyıcı sistem modelinden biri için gerçekleştirilen sayısal işlemler ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır. Diğer iki taşıyıcı sistem modelinin analizi ile elde edilen sonuçlar ise tablolar halinde özetlenmiştir. İki farklı yöntem uygulanarak elde edilen tüm sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Beşinci bölümde, bu çalışmada elde edilen sonuçlar açıklanmıştır. Çalışmanın başlıca özellikleri, sayısal sonuçların değerlendirilmesi ve araştırma konusunun olası genişleme alanları bu bölümde yer almaktadır.

Çalışmanın sayısal incelemelerinde elde edilen başlıca sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

a) İncelenen taşıyıcı sistem modelleri eleman hasar bölgeleri açısından değerlendirildiğinde, burulma düzensizliği katsayısı artımsal eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanması için yönetmelikte izin verilen sınıra eşit veya büyük olan sistemlerde, her iki farklı yöntem ile elde edilen sonuçlar arasında farklılıklar olduğu saptanmıştır.

b) Burulma düzensizliği katsayısı yönetmelikte izin verilen sınırın altında olan taşıyıcı sistem modelinde ise, eleman hasar düzeylerinin karşılaştırılması sonucunda, iki yöntemin birbirine yakın sonuçlar verdiği görülmektedir.

c) Tepe noktası yatay yerdeğiştirmeleri açısından yapılan karşılaştırmada, tüm sistemlerde iki yöntem ile elde edilen sonuçlar arasındaki farkların terk edilebilir düzeyde olduğu belirlenmiştir.

d) Buna karşılık, taban kesme kuvvetleri karşılaştırıldığında, artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile elde edilen taban kesme kuvveti değerlerinin, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz ile elde edilen taban kesme kuvveti değerlerinin %85'i dolaylarında olduğu görülmektedir.

A NUMERICAL STUDY ON COMPARISON OF NONLINEAR ANALYSIS METHODS USED FOR DETERMINATION OF DAMAGE STATES OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURAL SYSTEMS THAT HAVE DIFFERENT TORSIONAL IRREGULARITIES

SUMMARY

The importance of performance based design of new structures and seismic performance assessment of existing structural systems is increasing nowadays. As a result, several methods are developed for the nonlinear static and dynamic analysis of structural systems. Among these methods, there are mainly two of them, such as, *Incremental Equivalent Earthquake Load Method* and *Nonlinear Analysis Method in the Time Domain* are in common use.

In this study, nonlinear behaviors of structural systems that have different torsional irregularities are assessed comparatively by using the two methods, *Incremental Equivalent Earthquake Load Method* and *Nonlinear Analysis Method in the Time Domain* as stated in the 2007 Turkish Earthquake Code.

The study is composed of five chapters and the first chapter covers the introduction, literature survey, the target of the thesis and the scope.

At the second chapter, static and dynamic nonlinear behaviors of structural systems and analysis methods for each case are explained. Factors that affect the nonlinear behavior of structural systems are examined. Furthermore, selection and scaling procedures for real earthquake ground motion records are explained briefly.

The third chapter gives the information on the performance based design and the assessment of structures. Section damage limits, performance levels and multiple performance objectives, which are stated and explained in the 2007 Turkish Earthquake Code are summarized. Additionally the two methods, *Incremental Equivalent Earthquake Load Method* and *Nonlinear Analysis Method in the Time Domain* which are also utilized for the numerical study introduced during this thesis, are explained.

In the fourth chapter, three structural system models that have different torsional irregularities are numerically analyzed under gravity and earthquake loads in order to examine the nonlinear behaviors of systems and to find the damage states for structural members numerically by using the incremental earthquake load method and nonlinear analysis method in the time domain. The numerical solution of one of the structural system models are explained in detail and the results for other numerical solutions are summarized by using tables and graphs. Finally, the numerical results of the two different analysis methods are examined comparatively.

The fifth chapter is devoted to the results of the study. Main findings of the study, the examination of the numerical results and the possible extensions of this study are explained in his last chapter.

Main results of the numerical study are summarized below..

a) When structural member damage states are considered, the results obtained by two different analysis methods for structural system models that have torsional irregularity coefficients equal to or higher than the limit that stated in the code for the application of incremental equivalent earthquake load method, have significant differences.

b) For the structural system model that has a torsional irregularity coefficient which is smaller than the limit that stated in the code, the two methods have given similar results for structural member damage states.

c) When the top level displacement demands are considered, two methods have given results that have comparable differences.

d) When the base shear forces are considered, the results obtained through the incremental earthquake load method are about 85% of those obtained by the nonlinear analysis method in the time domain.

1. GİRİŞ

1.1 Konu

Yapıların performansa dayalı tasarımı ve değerlendirilmesi, özellikle son yıllarda araştırmacıların üzerinde yoğunlaştıkları oldukça popüler bir konu haline gelmiştir. Bu kavram temelde, hedef yerdeğiştirme olarak tanımlanan ve yapı sisteminin deprem etkileri altındaki davranışını temsil eden yerdeğiştirme ve şekildeğiştirme durumunun, geçerliliği uluslararası düzeyde kabul görmüş ve yapının doğrusal olmayan davranışını esas alan çeşitli yaklaşık yöntemler ile elde edilmesi esasına dayanır. Belirlenen bu yerdeğiştirme ve şekildeğiştirme durumuna dayanarak, yapıların çeşitli performans düzeylerine göre tasarım ve performans değerlendirmeleri yapılabilir. Diğer taraftan, son yıllarda yaşanan depremlerden sonra özellikle sanayileşmiş ülkelerde, yapıların can güvenliği ve göçme güvenliği koşullarını sağlamaları yanında depremlerden sonra kullanılabilirliklerinin de devam etmesinin gerekliliği ortaya çıkmıştır. Depremde oluşan hasardan dolayı bina kullanımının kesintiye uğramasından ve bu hasarın onarımı ve/veya binanın güçlendirilmesinden doğan maliyetlerin oldukça yüksek olabildiği görülmüştür. Bu durum da, yapıların farklı deprem etkileri altında farklı performans düzeylerine, başka bir deyişle, farklı sınır durumlarına göre tasarımının ve değerlendirilmesinin gerekliliğini ortaya çıkarmıştır [1,2].

Binanın deprem performansının belirlenmesinde ana etken elemanlarının hasar durumlarıdır. Hasar durumlarının gerçekçi bir şekilde ifade edilmesinde ise yerdeğiştirmeler ve şekildeğiştirmeler esas alınmaktadır. Bu durumda, hangi şekildeğiştirme ve yerdeğiştirme bazlı hesap yönteminin kullanılacağı ve bu yöntem uygulanırken hangi analiz araçlarının kullanılacağı önem kazanmaktadır. Bilindiği gibi doğrusal olmayan teoriyi esas alarak yapılan analizler ile yerdeğiştirme ve şekildeğiştirmelerin değişimi daha yakından izlenebilmekte ve binaların deprem performansları da daha gerçekçi bir şekilde belirlenebilmektedir.

Performansa dayalı yapı tasarımı için uygun hesap yönteminin seçilmesi güncel bir konu olup, son yıllarda doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri oldukça yaygınlaşmıştır. Doğrusal olmayan analiz için önerilen başlıca yöntemler arasında, statik itme analizi ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analiz yer almaktadır.

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analiz, yapıların deprem yükleri altında analizi için en güvenilir yöntem olarak kabul edilmektedir. Ancak bu yöntem, gerek uygulanışındaki hesap yükünün fazlalığı, gerekse yeterli düzeyde olan ve yaygın olarak kabul gören bilgisayar programlarının henüz gelişmekte olması nedeniyle, yönetmeliklerde ve mühendislik uygulamalarında yerini genellikle doğrusal olmayan statik çözümleme yöntemlerine bırakmaktadır. Ancak son yıllarda, özellikle analiz araçlarının yeterli güvenilirliğe ve hıza erişmekte olmasından dolayı doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemi de giderek daha yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Doğrusal olmayan statik itme analizi, yapı sistemlerinin yerdeğiştirme istemlerinin ve buna paralel olarak bina kapasitesinin belirlenmesi için basit bir yaklaşım teşkil eder. Bu yöntemde, sisteme etkiyen yatay deprem kuvvetleri yapı yüksekliği boyunca çeşitli esaslara göre dağıtılmakta ve her bir analiz adımının sonunda monoton olarak artırılmaktadır. Bu arttırma, yapının deprem yerdeğiştirme istemine ulaşılıncaya kadar devam eder. Daha sonra, taşıyıcı sisteme ait '*Taban Kesme Kuvveti – En Üst Kat Yatay Yerdeğiştirmesi*' eğrisinden yola çıkılarak elde edilen kapasite eğrisi ile yapının bulunduğu yörenin yerel zemin koşulları, sismik karakteristikleri ve öngörülen deprem düzeyine göre elde edilen istem eğrisi birlikte değerlendirilmek suretiyle yapısal performans elde edilmektedir. Ancak, bu yöntemin bir takım yetersizlikleri de bulunmaktadır. Örneğin, bu yöntem ile yüksek modların etkisi ve yapının rijitliğinin değişimine bağlı olarak değişen dinamik tepkileri yeterli düzeyde gözönüne alınamamaktadır.

1.2 Konu İle İlgili Çalışmalar

Yapı sistemlerinin malzeme bakımından doğrusal olmayan kurama göre hesabını amaçlayan yöntemler üzerindeki çalışmalar uzun bir geçmişe dayanmaktadır. Bu amaçla geliştirilen analiz yöntemleri, temel varsayımları bakımından iki grupta incelenebilirler:

a) Doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin sistem üzerine sürekli olarak yayıldığının gözönüne alındığı çalışmalar ve yöntemler [3-7],

b) Plastik mafsal hipotezine dayanan yöntemler [8-11].

Bu yöntemlerin geliştirilmesine paralel olarak, doğrusal olmayan kurama dayanan pratik ve etkin bilgisayar programları da giderek gelişmekte ve yaygın olarak kullanılmaktadır [12,13].

Yerdeğiştirme ve şekildeğiştirmelere bağlı performans kriterlerini esas alan yapısal değerlendirme ve tasarım kavramı, özellikle son yıllarda Amerika Birleşik Devletleri'nin deprem bölgelerindeki mevcut yapıların deprem güvenliklerinin daha gerçekçi olarak belirlenmesi ve yeterli güvenlikte olmayan yapıların güçlendirilmeleri çalışmaları sırasında ortaya konulmuş ve geliştirilmiştir.

Amerika Birleşik Devletleri'nin California eyaletinde, 1989 Loma Prieta ve 1994 Northridge depremlerinin neden olduğu büyük hasar ve kayıplar, deprem etkileri altında yeterli bir dayanımı öngören performans kriterlerine alternatif olarak, yerdeğiştirme ve şekildeğiştirmeye bağlı daha gerçekçi performans kriterlerini esas alan yöntemlerin geliştirilmesi gereksinimini ortaya çıkarmıştır.

Bu kapsamda, Applied Technology Council (ATC) tarafından Guidelines and Commentary for Seismic Rehabilitation of Buildings - ATC 40 projesi [14] ve Federal Emergency Management Agency (FEMA) tarafından NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings - FEMA 273, 356 [15,16] yayınları gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, bu çalışmaların sonuçlarının irdelenerek geliştirilmesi amacıyla ATC 55 projesi yürütülmüş ve projenin bulgularını içeren FEMA 440 taslak raporu [17] hazırlanmıştır. En son olarak da 2007 yılında, daha önceden bu konu ile ilgili olarak yayınlanmış FEMA ve ATC raporlarını kapsayan ASCE 41–06 [18] standardı hazırlanmış ve yayınlanmıştır. Bu organizasyonların yanında, Building Seismic Safety Council (BSSC) ve Earthquake Engineering Research Center of University of California at Berkeley (EERC-UCB) tarafından yürütülen diğer projeler de bu alandaki araştırmalara katkı sağlamaktadır. Bu projelerin sonuçlarından ve ilgili yayınlardan yararlanarak, deprem bölgelerinde yer alan mevcut yapıların deprem performans ve güvenliklerinin belirlenmesi, ayrıca yeni inşa edilecek binaların performansa dayalı tasarımı mümkün olmaktadır.

Diğer taraftan, Avrupa Birliği yönetmelikleri arasında bulunan Eurocode 8.3 standardında da [19], mevcut yapıların deprem performanslarının belirlenmesine yönelik araştırmaların sonuçlarını içeren yaklaşımlar yer almaktadır.

Mevcut yapıların deprem güvenliklerinin belirlenmesi, son yıllarda ülkemizde meydana gelen depremler sonrasında giderek önem kazanmış ve bir gereksinim haline gelmiştir. Nitekim, bu gereksinime cevap vermek amacıyla, yürürlükte olan 1998 Türk Deprem Yönetmeliği'ne, mevcut binaların deprem güvenliklerinin belirlenmesi ve gerekli olan durumlarda güçlendirilmesi ile ilgili bir bölüm eklenmesi çalışmaları yürütülmüş ve bu çalışmaların sonucunda 2007 Türk Deprem Yönetmeliği [20] hazırlanmıştır.

Bina performansının belirlenmesi için yukarıda sözü edilen rapor ve standartlarda önerilen yöntemlerin (kapasite spektrumu, yerdeğiştirme katsayıları yöntemi vb.) güvenilirliği akademik çevrelerde geniş bir araştırma konusu oluşturmuştur. Bu kapsamda yapılan araştırmalar sonucunda geliştirilen raporlarda önerilen yöntemlerin irdelenmesi ve birbirleri ile karşılaştırılması, kesin sonuç verdiği kabul edilen zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi ile yapılmıştır.

Zaman tanım alanında yapılan hesapta dinamik denge (hareket) denklemleri adım adım entegre edilmektedir. Bu amaçlar geliştirilen ve özellikle doğrusal olmayan yapı sistemlerinin çözümünde kullanılan başlıca sayısal integrasyon yöntemleri, sabit ortalama ivme ve doğrusal ivme değişimlerini gözönüne alan, Newmark ve Wilson yöntemleridir. Ayrıca, son yıllarda araştırmacılar, akma dayanımı, süneklik, pekleşme oranı, yapısal güvenlik düzeyi, *vb*. parametreleri ve bunların değişimini dikkate alarak belirli periyod aralığında bulunan tek serbestlik dereceli sistemleri deprem kayıtları etkisinde incelemişlerdir. Bu incelemelerin ardından, özellikle betonarme yapılar için rijitlik azalmasının ve bunu dikkate alan modellerin önemi ortaya çıkmıştır [21].

Zaman tanım alanında doğusal olmayan analiz yöntemini kullanarak statik itme analizinin sonuçlarının karşılaştırılmasını amaçlayan sayısal bir çalışmada [22], her iki analiz yönteminin sonuçları, bina kat sayısına, beton kalitesine ve sargılama durumuna göre karşılaştırılmıştır. Düzlem çerçeveler üzerinde yapılan bu parametrik incelemede, 6, 8 ve 10 katlı düzlem çerçevelerde, çeşitli beton kalitelerine ve

sargılama durumlarına göre, artımsal eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulama sınırları irdelenmiştir.

Yapı sistemlerinin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizi, deprem yer hareketi ivme kayıtlarının esas alındığı bir yöntemdir. Dolayısıyla doğru ve gerçekçi deprem ivme kayıtlarının kullanılması, elde edilen sonuçların doğruluğu açısından önemlidir. Ayrıca yine bu tip bir analizde kullanılacak olan malzemenin histeretik özelliğinin uygun bir şekilde tanımlanması da sonuçlara doğrudan etki etmektedir.

Deprem yer hareketlerinin seçilmesi ve ölçeklenmesi ile ilgili olarak, üzerinde uzlaşılmış kesin bir prosedür veya yöntem bulunmamaktadır [23]. Ancak, Uniform Building Code-1994 [24], Eurocode 8.1 [25], American Society of Civil Engineers 7-05 [26], An Alternative Procedure For Seismic Analysis And Design of Tall Buildings Located In The Los Angeles Region [27] ve NEHRP Recommended Provisions For Seismic Regulations For New Buildings and Other Structures – FEMA 222A, 223A, 302, 303 [28,29,30,31] yönetmelik ve yönergelerinde deprem yer hareketlerinin seçilmesi ve analizlerde kullanılmasına ilişkin esasları ve kuralları içeren maddeler bulunmaktadır.

1.3 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmanın amacı, ülkemizdeki orta yükseklikteki ve farklı burulma düzensizliklerine sahip olan mevcut betonarme binaları temsil eden bir grup yapı sistemi üzerinde, mevcut betonarme binaların deprem performanslarının belirlenmesi için 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nde tanımlanan doğrusal olmayan hesap yöntemlerinden *Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi* ve *Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi*'nin uygulanması ve elde edilen sayısal sonuçların değerlendirilmesi suretiyle :

a) Ülkemizdeki betonarme bina stokunu belirli ölçüde temsil eden söz konusu yapı sistemlerinin deprem performans ve güvenliklerinin belirlenmesi

b) Burulma düzensizliği parametresine bağlı olarak, yönetmelikte öngörülen artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yönteminin karşılaştırılmasıdır.

Bu amaçla, ülkemizdeki mevcut betonarme binaların bir bölümünü temsil etmek üzere seçilen ve 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'ne göre tasarımları yapılan farklı

burulma düzensizliklerine sahip olan bina taşıyıcı sistemlerinin çalışma kapsamında yer alan doğrusal elastik olmayan değerlendirme yöntemlerinden *Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi* ve *Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi*'nin sonuçlarının karşılaştırılmasına yönelik olarak, bir parametrik sayısal inceleme gerçekleştirilmiştir.

Bu incelemeler yapılırken, aynı zamanda, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizde kullanılacak olan deprem kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklenmesi konusunda da bilgiler verilmiştir. Bu konu tezin amacı ile doğrudan ilişkili olmamakla beraber, hesapların güvenli ve gerçekçi olarak yapılabilmesi için üzerinde durulması gereken bir husustur. Bu nedenle, ayrıntıya girilmeksizin, konu ile ilgili literatür araştırması yapılmış ve çalışmanın gerekli görülen yerlerinde açıklayıcı bilgiler verilmiştir.

Çalışmada izlenen yol aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır.

a) Malzeme bakımından doğrusal olmayan betonarme yapı sistemlerinin statik ve dinamik davranışları ile ilgili hesap yöntemlerinin incelenmesi ve yapısal davranışa etkisi olan parametrelerin gözden geçirilmesi

b) Performansa dayalı tasarım ve değerlendirme yöntemlerinin gözden geçirilmesi

c) Zaman tanım alanında hesaba esas oluşturacak deprem kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklendirilmesi

d) Sayısal incelemelere konu olan ve burulma düzensizliği katsayıları sistematik olarak değiştirilen taşıyıcı sistem modellerinin belirlenmesi

e) Taşıyıcı sistem modellerinin 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'ne göre boyutlandırılması

f) Bu sistemlerin, deprem performanslarının belirlenmesine esas oluşturan eleman hasar düzeylerinin 2007 Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik'te yer alan doğrusal olmayan hesap yöntemlerinden *Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi* ve *Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi* ile incelenerek sayısal sonuçların elde edilmesi

g) Her iki yaklaşım ile elde edilen sayısal sonuçların değerlendirilmesi ve karşılaştırılması

h) Çalışmada varılan sonuçların açıklanması.

2. YAPI SİSTEMLERİNİN DOĞRUSAL OLMAYAN TEORİYE GÖRE STATİK VE DİNAMİK HESABI

2.1 Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmayan Davranışı

Bazı özel durumların dışında, yapı sistemleri işletme yükleri altında genellikle doğrusal veya doğrusala yakın davranış gösterirler. İşletme yükleri altında doğrusal olmayan yapı sistemleri arasında ikinci mertebe etkilerinin önem kazandığı narin yapılar ve elastik zemine oturan sistemler ile bölgesel stabilite yetersizlikleri içeren yapılar sayılabilir.

Doğrusal sistem davranışını esas alan analiz yöntemlerinde, malzemenin gerilme-şekildeğiştirme bağıntıları (bünye denklemleri) doğrusal-elastik olarak alınmakta ve yerdeğiştirmelerin çok küçük olduğu varsayılmaktadır.

Buna karşılık, dış etkiler işletme yüklerini aşarak yapı sisteminin taşıma gücüne yaklaştıkça, gerilmeler doğrusal-elastik sınırı aşmakta ve narin yapılarda yerdeğiştirmeler çok küçük varsayılamayacak değerler almaktadır.

Günümüzde yapı mühendisliğinde genellikle uygulanmakta olan ve sistem analizi bakımından doğrusal teoriye dayanan tasarım yaklaşımlarında (çelik yapıların güvenlik gerilmeleri esasına göre tasarımı ve betonarme yapıların taşıma gücü yöntemine göre tasarımı), yapı sisteminin doğrusal olmayan davranışı çeşitli şekillerde gözönüne alınmaya çalışılmaktadır. Örneğin, ikinci mertebe etkilerinin hesaba katılması ve burkulmaya karşı yeterli bir güvenlik sağlanması amacıyla moment büyütme yönteminden ve burkulma katsayılarından yararlanılmakta, yapı sisteminin doğrusal olmayan şekildeğiştirmeleri nedeniyle iç kuvvet dağılımının değişmesi yeniden dağılım ilkesi yardımı ile gözönüne alınmaya çalışılmaktadır. Diğer taraftan, deprem etkilerine göre hesapta, malzemenin doğrusal-elastik sınır ötesindeki davranışını ve deprem enerjisinin söndürülmesini hesaba katmak üzere, taşıyıcı sistem davranış katsayısı tanımlanmakta ve elastik deprem yükleri bu katsayıya bağlı bir deprem yükü azaltma katsayısı ile bölünerek küçültülmektedir.

Yapı malzemelerinin doğrusal-elastik sınır ötesindeki taşıma kapasitelerini gözönüne almak, çok küçük olmayan yerdeğiştirmelerin denge denklemlerine ve gerekli olduğu hallerde geometrik uygunluk koşullarına etkilerini hesaba katmak suretiyle, yapı sistemlerinin dış etkiler altındaki davranışlarının daha yakından izlenebilmesi ve bunun sonucunda daha gerçekçi ve ekonomik çözümler elde edilmesi mümkün olabilmektedir.

Doğrusal olmayan sistem davranışını esas alan hesap yöntemlerinin geliştirilmesinde ve uygulanmasında genel olarak iki durumla karşılaşılmaktadır. Bunlardan birincisi, yapı sisteminin doğrusal olmamasına neden olan etkenlerin belirlenerek, sistem davranışını gerçeğe yakın bir biçimde temsil eden bir hesap modelinin oluşturulması, diğeri ise bu hesap modelinin doğrusal olmayan teoriye göre analizidir.

2.1.1 Çözümün sağlaması gereken koşullar

Bir yapı sisteminin dış etkiler altında analizi ile elde edilen iç kuvvetler, şekildeğiştirmeler ve yerdeğiştirmelerin çözüm olabilmeleri için aşağıdaki üç koşulu aynı anda sağlamaları gerekmektedir [3,4] :

1- Bünye denklemleri : Malzemenin cinsine ve özelliklerine bağlı olan gerilme-şekildeğiştirme ve iç kuvvet-şekildeğiştirme bağlantılarına *bünye denklemleri* denilmektedir.

2- Denge koşulları (denklemleri) : Sistemi oluşturan elemanların ve bu elemanların birleştiği düğüm noktalarının denge denklemlerinden oluşmaktadır.

3- Geometrik uygunluk koşulları : Elemanların ve düğüm noktalarının geometrik süreklilik denklemleri ile mesnetlerdeki geometrik sınır koşullardır.

2.1.2 Yapı sistemlerinin doğrusal olmama nedenleri

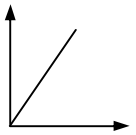
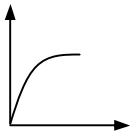
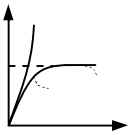
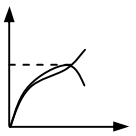
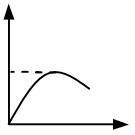
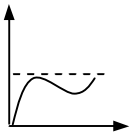
Bir yapı sisteminin dış etkiler altındaki davranışının doğrusal olmaması genel olarak iki temel nedenden kaynaklanmaktadır [32] :

1- Malzemenin doğrusal-elastik olmaması nedeniyle iç kuvvet-şekildeğiştirme bağıntılarının (bünye denklemlerinin) doğrusal olmaması

2- Geometri değişimlerinin yeter derecede küçük olmaması nedeniyle denge denklemlerinin (ve bazı hallerde geometrik süreklilik denklemlerinin) doğrusal olmaması.

Yapı sistemlerinin doğrusal olmamasına neden olan etkenler ve bu etkenleri göz önüne alan teoriler Çizelge 2.1'de topluca özetlenmiştir.

Çizelge 2.1 : Yapı sistemlerinin doğrusal olmama nedenleri.

Çözümün Sağlaması Gereken Koşullar	Doğrusal Sistemler	Doğrusal Olmayan Sistemler				
		Malzeme Bakımından	Geometri Değişimleri Bakımından		Her İki Bakımdan	
			İkinci Mertebe Teorisi	Sonlu Deplasman Teorisi	İkinci Mertebe Teorisi	Sonlu Deplasman Teorisi
Bünye Denklemleri (Gerilme-Şekildeğiştirme Bağıntıları)	Doğrusal-elastik	Doğrusal-elastik **DEĞİL**	Doğrusal-elastik	Doğrusal-elastik	Doğrusal-elastik **DEĞİL**	Doğrusal-elastik **DEĞİL**
Denge Denklemlerinde Yerdeğiştirmeler	Küçük	Küçük	Küçük **DEĞİL**	Küçük **DEĞİL**	Küçük **DEĞİL**	Küçük **DEĞİL**
Geometrik Uygunluk Koşullarında Yerdeğiştirmeler	Küçük	Küçük	Küçük	Küçük **DEĞİL**	Küçük	Küçük **DEĞİL**
P-Δ Bağıntıları						

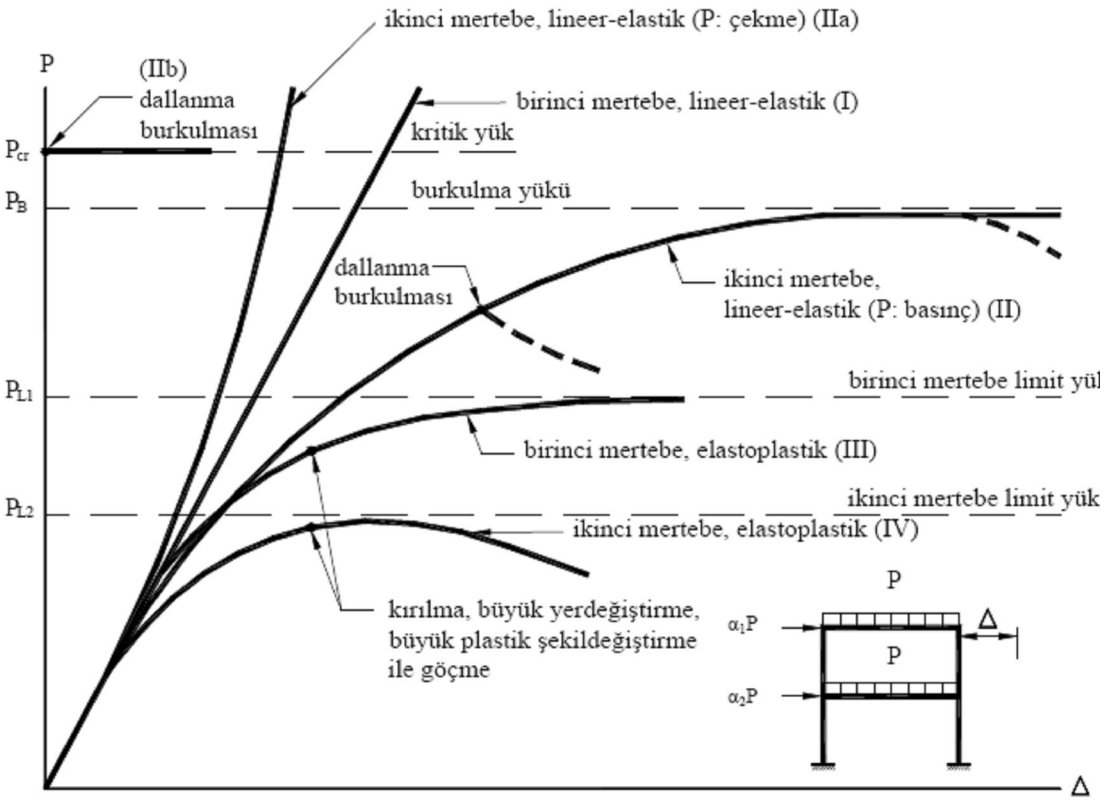
Denge denklemlerinde yerdeğiştirmelerin küçük olmadığı sistemlerde, denge denklemleri şekildeğiştirmiş eksen üzerinde yazılmaktadır.

Geometrik uygunluk koşullarında yerdeğiştirmelerin küçük olmadığı sistemlerde ise, geometrik süreklilik denklemlerinin de şekildeğiştirmiş eksen üzerinde yazılması gerekmektedir.

Bazı yapı sistemlerinde, sistemin özelliklerinden kaynaklanan nedenlerle, geometrik uygunluk koşulları sağlanmayabilir. Bu durumda, sistemde geometrik süreksizlikler meydana gelir. Özellikle sistemi oluşturan elemanların sınır koşullarındaki bu süreksizlikler nedeniyle, sistemin davranışı doğrusal olmaz. Bu tür sistemlere, geometrik süreksizlikler bakımından doğrusal olmayan sistemler denir ve bu sistemler malzeme bakımından doğrusal olmayan sistemler gibi incelenebilir. Kayıcı bulonlu düğüm noktaları içeren çelik yapı sistemleri, geometrik süreksizlikler bakımından doğrusal olmayan sistemlere bir örnek oluşturmaktadır.

2.1.3 Yapı sistemlerinin dış yükler altındaki doğrusal olmayan davranışı

Düşey ve yatay yükler etkisindeki bir yapı sisteminin doğrusal ve doğrusal olmayan teorilere göre hesabı ile elde edilen yük parametresi – yerdeğiştirme (P-Δ) bağıntıları Şekil 2.1'de şematik olarak gösterilmişlerdir.



Şekil 2.1 : Çeşitli teorilere göre yük parametresi -yerdeğiştirme bağıntıları.

Malzemenin sınırsız olarak doğrusal-elastik varsayıldığı bir yapı sisteminin, artan dış yükler altında, birinci mertebe teorisine göre elde edilen davranışı (I) doğrusu ile ifade edilmektedir. Geometri değişimlerinin denge denklemlerine etkisinin, diğer bir deyişle, eksenel kuvvetlerin şekildeğiştirmiş sistem üzerinde oluşturduğu ikinci mertebe etkilerinin (*P*-Δ etkilerinin) hesaba katıldığı ikinci mertebe teorisinde ise, eksenel kuvvetin basınç veya çekme olmasına göre iki farklı sistem davranışı ile karşılaşılabilmektedir.

Örneğin eksenel kuvvetin basınç olması halinde, (II) eğrisinden görüldüğü gibi, artan dış yüklere daha hızla artan yerdeğiştirmeler karşı gelmektedir. Aralarındaki oran sabit kalacak şekilde değişen dış kuvvetlerin büyüklüğünü ifade eden yük parametresi artarak *doğrusal-elastik burkulma yükü* adı verilen bir P_B değerine eşit olduğu zaman, yerdeğiştirmeler artarak sonsuza erişir ve sistem burkularak göçer.

Bazı özel durumlarda, burkulmadan sonra artan yerdeğiştirmelere azalan yük parametresi karşı gelebilir. Örneğin asma sistemler gibi eksenel kuvvetin çekme olduğu durumlarda ise, şekilde (IIa) ile gösterilen P-Δ diyagramı pekleşen özellik gösterir. Yanal yük etkisinde olmayan ve bu nedenle burkulmadan önce şekildeğiştirmeyen sistemlerde, yük parametresinin bir P_{cr} değerinde dallanma burkulması oluşur ve şekildeki (IIb) diyagramından görüldüğü gibi, yerdeğiştirmeler birden artarak sonsuza gider. Dallanma burkulmasına neden olan bu yüke *kritik yük* denilmektedir. Kritik yük genellikle burkulma yükünden biraz daha büyük veya ona eşittir. Dallanma burkulması, bazı hallerde burkulmadan önce şekildeğiştiren sistemlerde de oluşabilir, (II eğrisi).

Doğrusal olmayan malzemeden yapılmış sistemlerde, artan dış yüklerle birlikte iç kuvvetler de artarak bazı kesitlerde doğrusal-elastik sınırı aşmakta ve bu kesitler dolayında doğrusal olmayan (plastik) şekildeğiştirmeler meydana gelmektedir. Doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler genel olarak sistem üzerinde sürekli olarak yayılmaktadır. Buna karşılık, taşıma kapasitesine karşı gelen toplam şekildeğiştirmelerin doğrusal şekildeğiştirmelere oranının büyük olduğu sünek malzemeden yapılmış sistemlerde, doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin plastik mafsal (veya genel anlamda plastik kesit) adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, bu kesitlerin dışındaki bölgelerde ise sistemin doğrusal-elastik davrandığı varsayılabilir. Bu varsayım plastik mafsal (plastik kesit) hipotezi olarak isimlendirilmektedir. Plastik mafsal hipotezinin esas alındığı bir yapı sisteminin birinci mertebe teorisine göre hesabında (III eğrisi), oluşan plastik mafsallar nedeniyle sistemin tümünün veya bir bölümünün mekanizma durumuna gelmesi taşıma kapasitesine erişildiğini gösterir. Bu yük *birinci mertebe limit yük* adını alır.

Doğrusallığı bozan her iki etkinin birlikte gözönüne alınması halinde, diğer bir deyişle, yapı sisteminin ikinci mertebe elastoplastik teoriye göre hesabı ile elde edilen P-Δ diyagramı şekilde (IV) eğrisi ile gösterilmiştir. Bu diyagram ilk kritik kesitte doğrusal-elastik sınırın aşılmasına kadar (II) eğrisini izlemekte, daha sonra oluşan doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler nedeniyle yerdeğiştirmeler daha hızlı olarak artmaktadır. Plastik mafsal hipotezinin esas alındığı yapı sistemlerinde, dış yükler artarak bir P_{L2} sınır değerine eşit olunca, meydana gelen plastik mafsallar nedeniyle rijitliği azalan sistemin burkulma yükü dış yük parametresinin altına düşer, yani P-Δ diyagramında artan yerdeğiştirmelere azalan yükler karşı gelir. Sistemin

stabilite yetersizliği nedeniyle taşıma gücünü yitirmesine sebep olan bu yük parametresine *ikinci mertebe limit yük* denilmektedir.

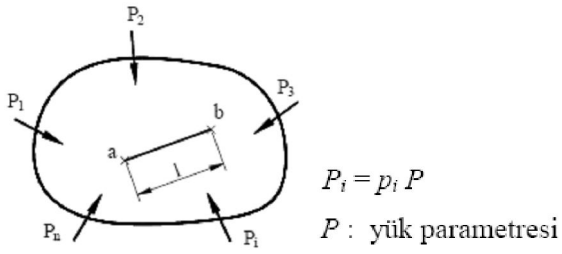
Bazı hallerde, dış yükler limit yüke erişmeden önce, meydana gelen büyük yerdeğiştirmeler, büyük plastik şekildeğiştirmeler ile betonarme sistemlerde oluşan büyük çatlaklar ve kırılma yapının göçmesine neden olabilmektedir.

2.2 İç Kuvvet – Şekildeğiştirme Bağıntıları ve Akma (Kırılma) Koşulları

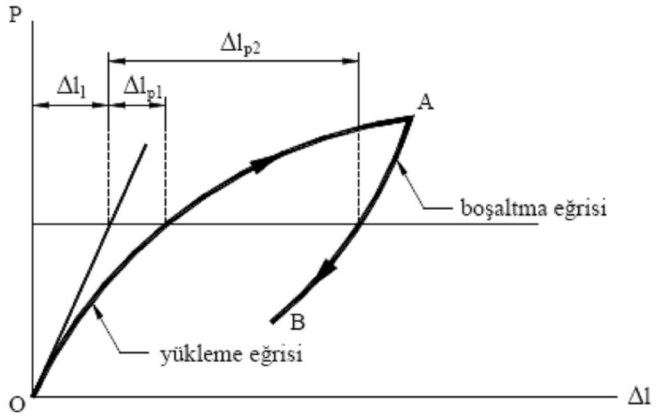
Aşağıda, çeşitli yapı malzemelerinin gerilme-şekildeğiştirme bağıntıları ile düzlem çubuk elemanlarda ve özellikle betonarme çubuklarda iç kuvvet-şekildeğiştirme bağıntıları ve akma (kırılma) koşulları incelenecektir.

2.2.1 Malzemelerin şekildeğiştirme özellikleri

(Şekil 2.2)'de verilen katı cisim, aralarındaki oran sabit kalacak şekilde artan P_i dış kuvvetlerinin etkisi altındadır. Bu dış kuvvetlerin büyüklüğünü tanımlayan P yük parametresi ordinata, bu kuvvetlerden dolayı katı cismin a ve b noktaları arasındaki l uzunluğunun Δl değişimi absise taşınarak çizilen P-Δl diyagramı Şekil 2.3'te şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.2 : Dış kuvvetler etkisindeki katı cisim.



Şekil 2.3 : Şematik yük parametresi – şekildeğiştirme diyagramı.

Bu diyagramın, artan yük parametresi için elde edilen *OA* bölümüne yükleme eğrisi, yüklerin kaldırılması durumuna karşı gelen *AB* bölümüne de boşaltma eğrisi denir. Eğrinin başlangıç teğeti ile ordinat ekseni arasındaki Δl_l şekildeğiştirmeleri doğrusal şekildeğiştirmeler, başlangıç teğeti ile yükleme ve boşaltma eğrileri arasında kalan Δl_{p1} ve Δl_{p2} şekildeğiştirmeleri ise doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler olarak tanımlanır.

2.2.1.1 İdeal malzemeler

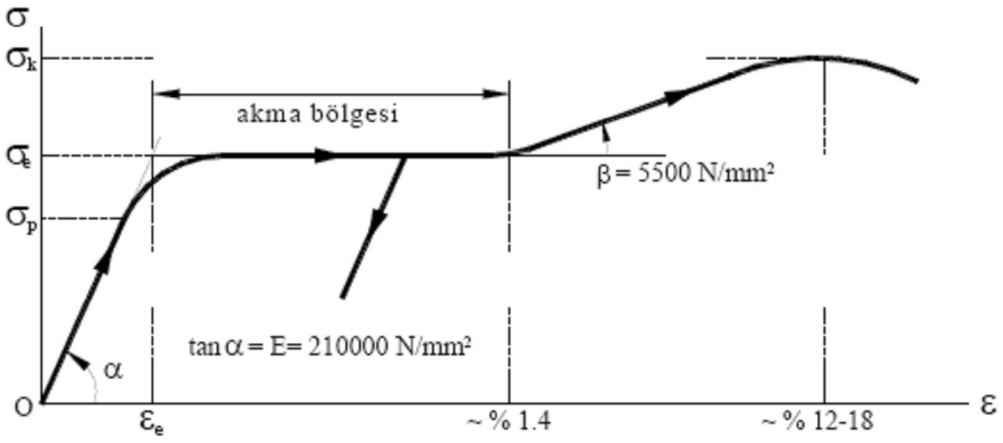
Yapı sistemlerinde kullanılan gerçek yapı malzemelerinin şekildeğiştirme özellikleri ile, yukarıda açıklanmış olan *P*-Δl bağıntısı ancak bir bölgede yaklaşık olarak birbirine benzeyebilir. Bu nedenle, kullanılacak malzemeler üzerinde bazı idealleştirmeler yapılarak yapı sistemlerinin hesabı gerçekleştirilir.

2.2.1.2 Bazı yapı malzemeleri için gerilme-şekildeğiştirme bağıntıları

Betonarme yapı elemanlarını oluşturan beton çeliği ve betonun gerilme-şekildeğiştirme σ-ε diyagramları ve bu diyagramlara ait bazı sayısal değerler aşağıda verilmiştir.

a) Beton Çeliği

Beton çeliğinin gerilme-şekildeğiştirme diyagramı (Şekil 2.4)'te gösterilmiştir.

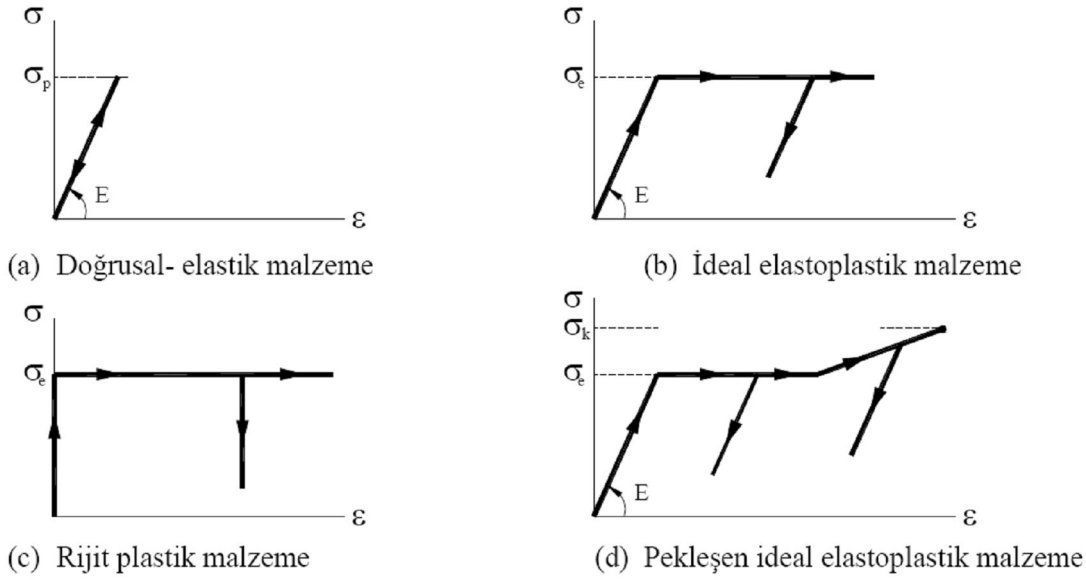


Şekil 2.4 : Beton çeliğinde σ-ε diyagramı.

Bu diyagramı tanımlayan σ_k kopma gerilmesi, σ_e akma gerilmesi ve ε_e akma şekildeğiştirmesinin S420 beton çeliği için aldığı değerler aşağıda verilmiştir :

S420 Beton Çeliği : $\sigma_k = 500$ N/mm^2 $\sigma_e = 420$ N/mm^2 ($\varepsilon_e \cong 0.002$)

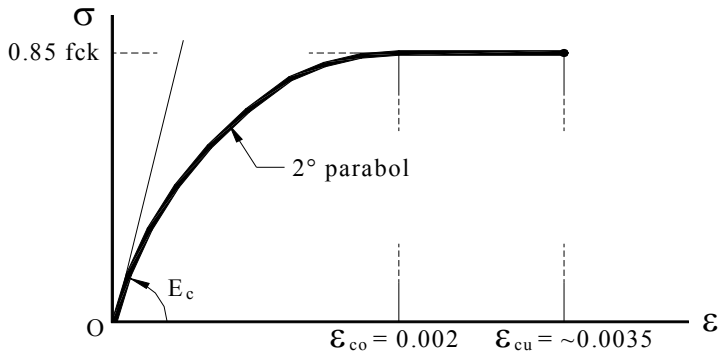
Beton çeliğinin σ-ε diyagramının bir bölümü veya tümü Şekil 2.5'te verilen modellerden birine uygun olarak idealleştirilebilirler. Bu idealleştirmelerden hangisinin uygulanacağının belirlenmesinde, kullanılacak olan analiz ve tasarım yaklaşımının etkisi büyüktür.



Şekil 2.5 : Yapı ve beton çeliklerinin σ-ε diyagramlarının idealleştirilmesi.

b) Beton

Betonarme bir çubuk elemanın eğilmesinde, dış basınç lifindeki betonun σ-ε bağıntısı Şekil 2.6'da görülmektedir.



Şekil 2.6 : Betonarme çubuğun eğilmesinde dış basınç lifindeki σ-ε diyagramı.

Şekil 2.6' da f_{ck} karakteristik basınç dayanımını, E_c ise :

$$E_c = 14000 + 3250\sqrt{f_{ck}} \quad (N/mm^2) \qquad \textbf{(2.1)}$$

formülü ile hesaplanabilen beton elastisite modülünü göstermektedir [33].

Betonun ezilerek kırılmasına neden olan ε_{cu} birim kısalması sargısız betonda yaklaşık olarak 0.003-0.0035 iken, sargılı betonda sargı donatısı (etriye) miktarına bağlı olarak önemli oranda artabilmektedir.

Günümüzde, yapı sistemlerinin doğrusal olmayan analizinde, sargılı beton için birçok model kullanılmaktadır. Bunlar arasında en yaygın olarak kullanılanları, Geliştirilmiş Kent-Park, Mander ve Saatçioğlu-Ravzi modelleridir. Her üç model de, sargılı beton davranışı için yükleme ve boşaltma eğrilerini içeren çeşitli gerilme-şekildeğiştirme bağıntıları önermişlerdir. Sözü edilen bu malzeme modelleri yapıların sismik analizlerinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [34].

2007 Türk Deprem Yönetmeliği, başkaca bir seçim yapılmadığı durumlarda, sargılı veya sargısız beton modelleri için Mander beton modelinin kullanılmasını önermektedir [20]. Mander sargılı beton modelinde, sargı etkisiyle artan beton basınç dayanımı ve ε_{cu} birim kısalması, malzeme dayanımlarının yanında elemanda enine ve boyuna donatı yerleşimi gözönüne alınarak hesaplanır. Mander modeli ile ilgili ayrıntılı bilgi Bölüm 2.4.6'da verilmiştir.

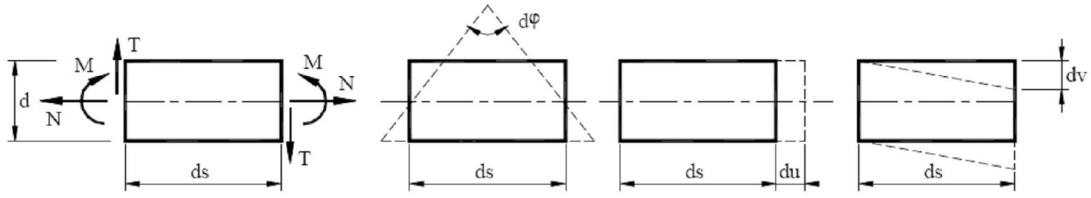
2.2.2 Düzlem çubuk elemanlarda iç kuvvet-şekildeğiştirme bağıntıları ve akma (kırılma) koşulları

Düzlemi içindeki kuvvetlerin etkisi altında bulunan düzlem çubuk elemanlarda iç kuvvetler, *M* eğilme momenti, *N* normal kuvveti ve *T* kesme kuvvetidir. *ds* boyundaki bir çubuk elemanın bir yüzünün diğer yüzüne göre göreli (rölatif) yerdeğiştirmelerinin kesit zorları doğrultularındaki bileşenleri *ds* elemanın birim şekildeğiştirmeleri olarak tanımlanır, Şekil 2.7. Bunlar φ kesitin dönmesini, *u* ve *v* kesitin çubuk ekseni ve ona dik doğrultudaki yerdeğiştirmelerini göstermek üzere

$\chi = d\varphi / ds$: birim dönme (eğrilik)

$\varepsilon = du / ds$: birim boy değişmesi

$\gamma = dv / ds$: birim kayma



Şekil 2.7 : Düzlem çubuk elemanda iç kuvvetler ve şekildeğiştirmeler.

Düzlem çubuk sistemlerde iç kuvvetler ile şekildeğiştirmeler arasındaki bağıntılar (bünye denklemleri), genel olarak

$$\chi = \frac{d\varphi}{ds} = F_1(M,N,T) + \frac{\alpha_t \Delta t}{d} \qquad \textbf{(2.2)}$$

$$\varepsilon = \frac{du}{ds} = F_2(M,N,T) + \alpha_t t \qquad \textbf{(2.3)}$$

$$\gamma = \frac{dv}{ds} = F_3(M,N,T) \qquad \textbf{(2.4)}$$

şeklindedir. Burada F_1, F_2, F_3 malzeme karakteristiklerine ve enkesit özelliklerine bağlı olarak belirlenen doğrusal olmayan fonksiyonları, t ve Δt kesite etkiyen düzgün ve farklı sıcaklık değişmelerini, α_t sıcaklık genleşme katsayısını göstermektedir.

İç kuvvetlerin artarak, belirli bir sınır duruma erişmesi halinde kırılma veya akma nedeniyle kesitin taşıma gücü sona erer. Kesitin daha büyük kesit zorlarını taşıyamayacağını ifade eden bu sınır durum kısaca akma veya kırılma olarak tanımlanır. Bu duruma karşı gelen iç kuvvetlere de kesitin taşıma gücü adı verilir. Akma (kırılma) durumunu kesit zorlarına veya şekildeğiştirmelere bağlı olarak ifade eden :

$$K_1(M,N,T) = 0 \qquad \textbf{(2.5)}$$

veya

$$K_2(\chi,\varepsilon,\gamma) = 0 \qquad \textbf{(2.6)}$$

bağıntılarına akma (kırılma) koşulları denilmektedir.

Uygulamada, genellikle olduğu gibi, kayma şekildeğiştirmeleri eğilme ve uzama şekildeğiştirmeleri yanında terk edilir ve kesme kuvvetinin birim dönme ve birim boy değişmesine etkileri ihmal edilirse, iç kuvvet şekildeğiştirme bağıntıları (bünye denklemleri)

$$\chi = \frac{d\varphi}{ds} = F_1(M,N) + \frac{\alpha_t \Delta t}{d} \qquad \textbf{(2.2a)}$$

$$\varepsilon = \frac{du}{ds} = F_2(M,N) + \alpha_t t \qquad \textbf{(2.3a)}$$

ve akma (kırılma) koşulu da

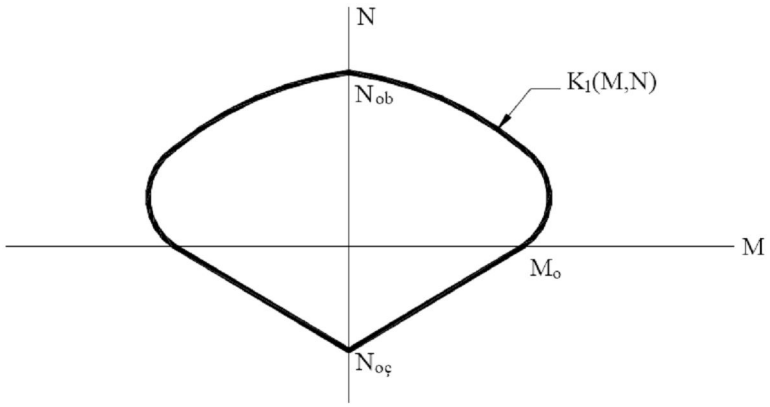
$$K_1(M,N) = 0 \qquad \textbf{(2.5a)}$$

veya

$$K_2(\chi,\varepsilon) = 0 \qquad \textbf{(2.6a)}$$

şeklini alır.

Akma koşulunu kesit zorları cinsinden ifade eden $K_1(M,N) = 0$ denkleminin belirlediği kapalı eğri, akma (kırılma) eğrisi veya karşılıklı etki diyagramı adını almaktadır, Şekil 2.8 .



Şekil 2.8 : Akma eğrisi (karşılıklı etki diyagramı).

Özel Hal: N=0 hali

Normal kuvvetin sıfır veya terk edilebilecek kadar küçük olması ve kesite sıcaklık değişmesi etkimemesi halinde, iç kuvvet – şekildeğiştirme (eğilme momenti - eğrilik) bağıntısı

$$\chi = \frac{d\varphi}{ds} = F_1(M) \qquad \textbf{(2.7)}$$

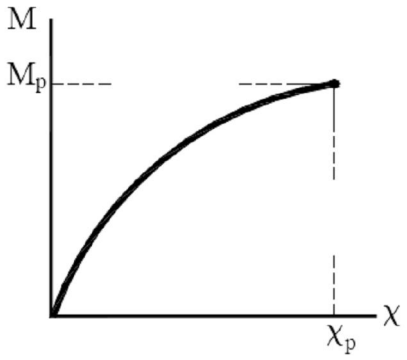
şeklinde yazılabilir. Akma koşulu ise

$$M - M_p = 0 \qquad \textbf{(2.8)}$$

veya

$$\chi - \chi_p = 0 \qquad \textbf{(2.9)}$$

bağıntıları ile ifade edilir. Burada M_p kesitin eğilme momenti taşıma gücünü, χ_p ise buna karşı gelen birim dönmeyi göstermektedir, Şekil 2.9 .



Şekil 2.9 : Basit eğilme halinde eğilme momenti – eğrilik diyagramı.

2.2.2.1 Betonarme çubuklar

Eğilme momenti ve normal kuvvet (bileşik eğilme) etkisindeki betonarme çubuk elemanlarda iç kuvvet–şekildeğiştirme bağıntıları ve akma (kırılma) koşulları incelenecektir. Ayrıca, bu bağıntı ve koşulların nasıl idealleştirilebileceği açıklanacaktır. Basit eğilme $(M \neq 0, N = 0)$ etkisindeki çubuklar, incelenen durumun özel bir halini oluşturmaktadır.

a) Varsayımlar ve Esaslar

Betonarme çubuk elemanların iç kuvvet–şekildeğiştirme bağıntılarının elde edilmesinde şu temel varsayımlar ve esaslar gözönünde tutulmaktadır.

1- Dik kesit şekildeğiştirdikten sonra da düzlem kalmaktadır.

2- Beton ve donatı arasında tam aderans bulunmaktadır.

3- Çatlamış betonun çekme dayanımı terk edilmektedir.

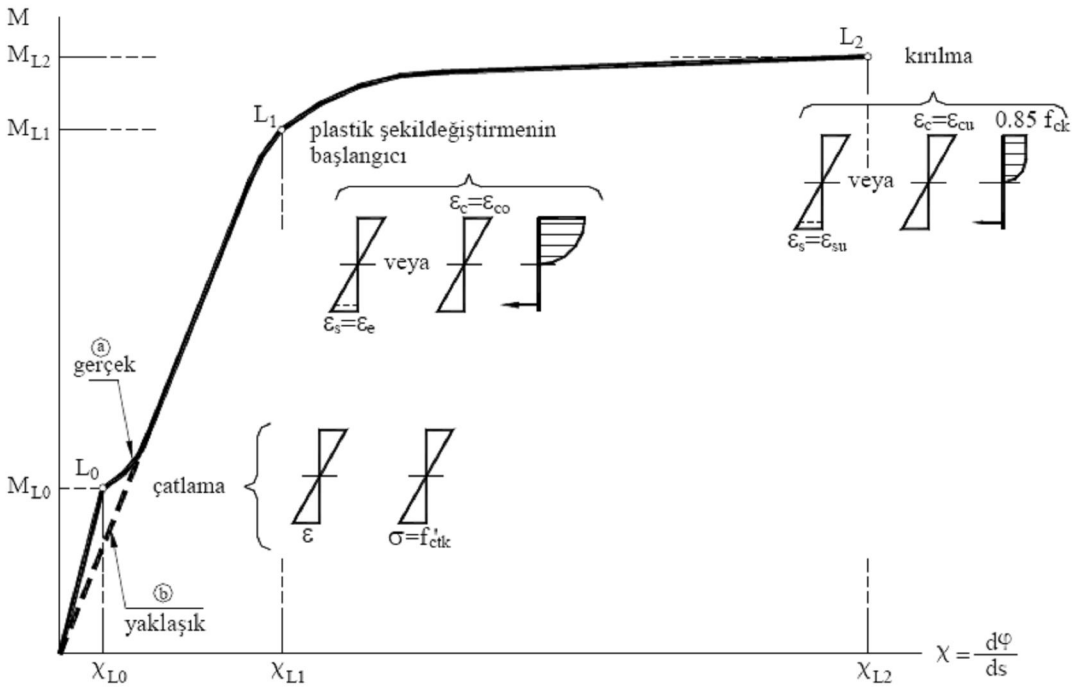
4- Betonun σ-ε diyagramı için Şekil 2.6'da verilen parabol ve dikdörtgen modeli veya benzeri bir beton modeli, örneğin Mander modeli esas alınmaktadır.

5- Beton çeliğinin σ-ε diyagramı için ideal elastoplastik malzeme varsayımı yapılmaktadır, Şekil 2.4 ve Şekil 2.5 (b) .

b) Eğilme Momenti ve Normal Kuvvet Etkisindeki Çubuklar

b1) Eğilme Momenti – Birim Dönme (M-χ) Bağıntısı

Sabit normal kuvvet (N=N_o) altında, artan eğilme momenti ile zorlanan betonarme bir kesitte M eğilme momenti ile χ birim dönmesi (eğriliği) arasındaki bağıntı üç bölgeden oluşmaktadır, Şekil 2.10 .



Şekil 2.10 : Betonarme kesitlerde (M-χ) bağıntısı.

Bu bölgeleri sınırlayan L_o, L_1 ve L_2 noktalarına karşı gelen durumlar aşağıda açıklanmıştır [35].

L_o : Beton kesitin dış çekme lifinde çatlakların başladığı durumdur. Dış çekme lifindeki normal gerilme, eğilmedeki betonun çekme dayanımına eşit olunca betonda çatlakların meydana geldiği varsayılmaktadır. Eğilmedeki betonun çekme dayanımı ise

$$f_{ctk} = 0.70\sqrt{f_{ck}} \quad (N/mm^2) \qquad \textbf{(2.10)}$$

bağıntısı ile hesaplanabilir.

L_o : Çatlama noktasına karşı gelen M_{Lo} momentinin hesabında, beton kesitin homojen olduğu varsayılmakta ve betonun σ-ε bağıntısı doğrusal-elastik olarak alınmaktadır.

L_1: Betonun dış basınç lifinde veya çekme donatısında plastik şekildeğiştirmelerin başlamasına karşı gelen durumdur. Plastik şekildeğiştirmelerin betonda ε_{co}=0.002 birim kısalmasında, çelikte ise ε_e akma sınırında başladığı gözönünde tutulmaktadır. M_{L1} eğilme momentinin hesabında betonun çekme dayanımı gözönüne alınmaz.

L_2: Eğilme momenti artarak betonarme kesitin taşıma gücü adı verilen $M_{L2} = M_P$ değerine eşit olunca basınç bölgesindeki beton ezilerek kırılır veya çekme donatısı kopar. Betonun ezilerek kırılması birim kısalmanın ε_{cu} sınır değerine erişmesi suretiyle meydana gelir. Sargısız betonda kısa süreli yükler için $\varepsilon_{cu} = 0.0030 - 0.0035$ olan bu sınır değer sargı donatısına bağlı olarak artmaktadır. Betonarme kesitlerin boyutlandırılmasında, çekme donatısının kopması yerine, genellikle çelikteki birim uzamanın $\varepsilon_{su} = 0.01$ değeri ile sınırlandırılması esas alınır.

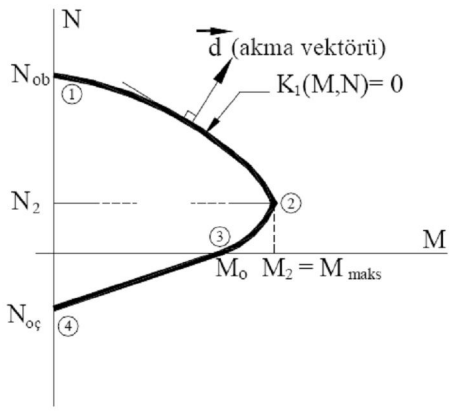
Betonunun çekme dayanımının terk edildiği durumlarda, M-χ bağıntısının çatlamadan önceki bölümü yaklaşık olarak (b) eğrisi ile temsil edilmektedir.

Betonarme kesitlerin taşıma gücü esasına göre boyutlandırılmasında, betonarme betonu ve beton çeliğinin karakteristik dayanımları malzeme güvenlik katsayılarına bölünerek küçültülür. Buna karşılık, betonarme sistemlerin dış yükler altındaki davranışlarının incelenmesinde, örneğin kapasite diyagramlarının elde edilmesinde, malzeme güvenlik katsayılarının kullanılmasına ve çelikteki birim uzamanın $\varepsilon_{su} = 0.01$ değeri ile sınırlandırılmasına gerek olmamaktadır.

b2) Akma Koşulu (Karşılıklı Etki Diyagramı)

Eğilme momenti ve normal kuvvet etkisindeki betonarme bir kesitte taşıma gücünü ifade eden karşılıklı etki diyagramı Şekil 2.11'de şematik olarak gösterilmiştir.

Doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin, plastik kesit adı verilen belirli kesitlerde toplandığı varsayılan betonarme sistemlerde, iç kuvvet durumunun bu eğri üzerinde bulunması bir plastik kesitin oluştuğunu ve bu kesitte sonlu plastik şekildeğiştirmelerin meydana geldiğini (yani kesitin aktığı) ifade etmektedir. Bu nedenle, karşılıklı etki diyagramına akma eğrisi de denilmektedir. Denklem 2.5a'daki bağıntı ile tanımlanan akma eğrisi N normal kuvvetinin çeşitli değerleri için hesaplanan $M_{L2} = M_P$ eğilme momentleri yardımı ile elde edilebilir.



Şekil 2.11 : Betonarme kesitlerde karşılıklı etki diyagramı (akma eğrisi).

Akma eğrisi dört karakteristik noktası ile tanımlanmaktadır. Akma eğrisinin idealleştirilmesinde de yararlanılabilecek olan bu noktalar eksenel basınç, basit eğilme ve eksenel çekme hallerine karşı gelen (1), (3) ve (4) noktaları ile kesitin en büyük eğilme momenti taşıma gücüne sahip olduğu dengeli duruma karşı gelen (2) noktasıdır.

Bileşik eğilme etkisindeki betonarme kesitlerde, plastik şekildeğiştirme bileşenlerini içeren akma vektörünün bazı koşullar altında ve yaklaşık olarak akma eğrisine dik olduğu bilinmektedir [36].

2.3 Malzeme Bakımından Doğrusal Olmayan Betonarme Sistemlerin Hesabı

Malzeme bakımından doğrusal olmayan betonarme sistemlerin hesabı, doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin sistem üzerinde yayılı olması ve plastik kesit adı verilen belirli kesitlerde toplandığının varsayılması halleri için ayrı ayrı incelenecektir. Doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin sistem üzerinde yayılı olması hali hakkında kısa ön bilgi verildikten sonra, bu çalışmanın kapsamı içinde olan plastik mafsal hipotezi ve bu hipoteze dayanan hesap yöntemi ayrıntılı olarak incelenecektir.

2.3.1 Doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin sistem üzerinde yayılı olması hali

Malzeme bakımından doğrusal olmayan yapı sistemlerinde, doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin sistem üzerinde sürekli olarak yayıldığının gözönüne alınması halinde, yük parametresi-yerdeğiştirme bağıntılarının (kapasite eğrilerinin) belirlenmesi ve göçme yüklerinin hesabı için, ardışık yaklaşım yöntemlerinden veya yük artımı yöntemlerinden yararlanılabilir [7, 32, 37].

2.3.2 Doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin belirli kesitlerde toplanması hali

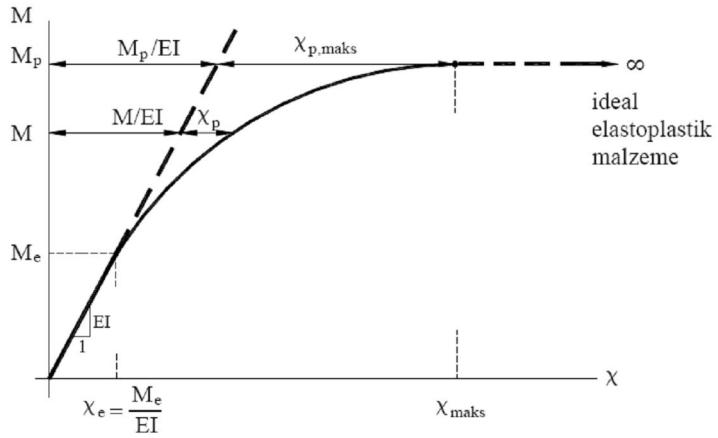
Malzeme bakımından doğrusal olmayan ve yeterli düzeyde sünek davranış gösteren yapı sistemlerinde, doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin plastik mafsal (veya genel anlamda plastik kesit) adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, sistemin diğer bölümlerinin ise doğrusal-elastik davrandığı varsayımı yapılabilir [32].

2.3.2.1 Plastik mafsal hipotezi

Toplam şekildeğiştirmelerin doğrusal şekildeğiştirmelere oranı olarak tanımlanan süneklik oranının büyük olduğu ve doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin küçük bir bölgeye yayıldığı sistemlerde, doğrusal olmayan eğilme şekildeğiştirmelerinin plastik mafsal adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, bunun dışındaki bölgelerde ise sistemin doğrusal-elastik davrandığı kabul edilebilir. Bu hipoteze, *plastik mafsal (plastik kesit) hipotezi* adı verilir.

Yeterli düzeyde sünek davranış gösteren sistemlerde (çelik yapılar ve bazı koşullar altında betonarme yapılar), plastik mafsal hipotezi yapılarak sistem hesapları önemli ölçüde kısaltılabilmektedir.

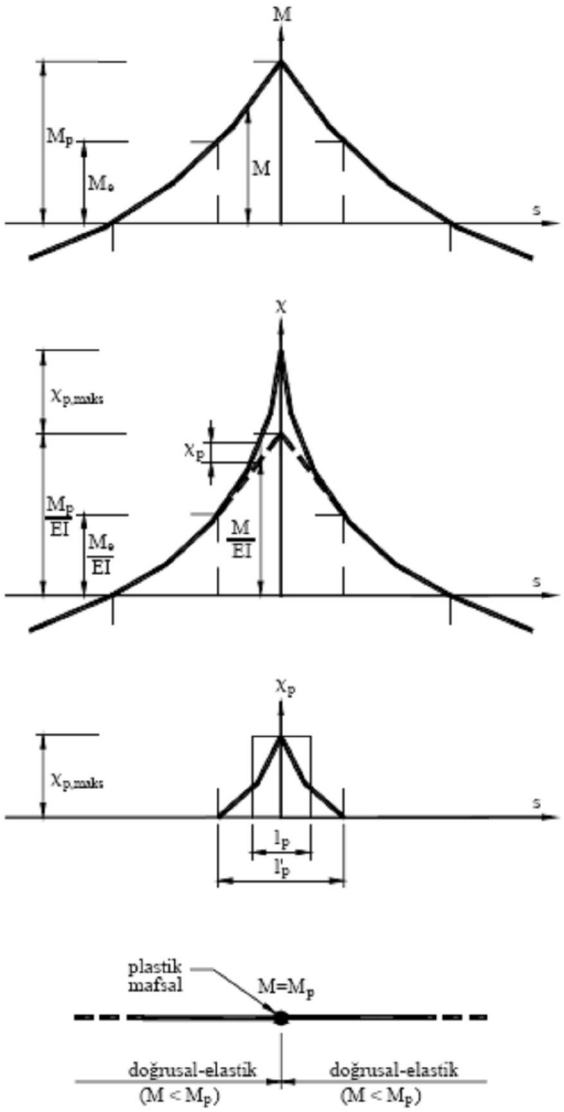
Doğrusal olmayan malzemeden yapılan ve gerçek eğilme momenti-eğrilik bağıntısı Şekil 2.12'de verilen bir düzlem çubuk elemanın bir bölgesine ait eğilme momenti diyagramı, toplam eğilme şekildeğiştirmeleri ve doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler Şekil 2.13'te gösterilmişlerdir.



Şekil 2.12 : Eğilme momenti - eğrilik diyagramı.

Çelik kesitlerin ve yeterli sünekliğe sahip olan betonarme kesitlerin eğilme momenti-eğrilik bağıntıları incelendiğinde, bu bağıntıların esas olarak iki farklı bölgeden oluştuğu gözlenir. Birinci bölgede, eğilme momentinin küçük değerleri için eğilme

momenti-eğrilik ilişkisi yaklaşık olarak doğrusal-elastik varsayılabilir. Betonarme kesitlerde, bu bölgede beton ve beton çeliği doğrusal davranış bölgesinde kaldığı için, eğilme momenti-eğrilik bağıntısında da benzer özellik ortaya çıkar. Ancak beton ve çelik gerilmelerinin artmasına paralel olarak, doğrusal olmayan gerilme-şekildeğiştirme ilişkisinin kesitin davranışında etkili olmaya başlaması, eğilme momenti-eğrilik bağıntısının da doğrusal davranıştan ayrılmasına neden olur. Eğilme momenti-eğrilik bağıntısının ikinci bölgesinde eğrinin eğimi giderek azalır. Bu bölgede elastik ötesi, elastoplastik davranış etkilidir. Kesite etkiyen eğilme momentinde çok küçük bir artım meydana gelirken, eğrilik belirgin bir şekilde artar ve eğriliğin sınır değerine erişmesi ile kesitte güç tükenmesi meydana gelir. Plastik mafsal hipotezinde, eğilme momenti-eğrilik bağıntısını oluşturan bu iki bölge, biri yatay olan iki doğru parçası ile temsil edilir, Şekil 2.14.



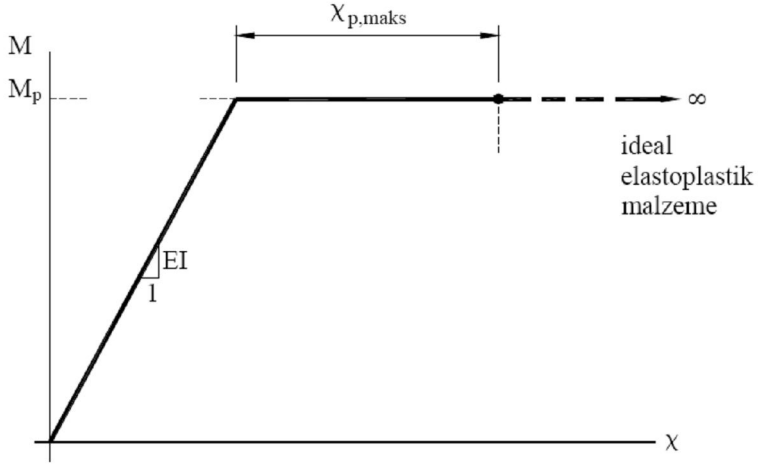
Şekil 2.13 : Doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler.

Plastik mafsal hipotezi uyarınca, idealleştirilmiş eğilme moment-eğrilik diyagramını tanımlayan bağıntılar

$$M \le M_P \text{ için} \qquad \chi = \frac{M}{EI} \tag{2.11}$$

$$M = M_P \text{ için} \qquad \chi = \chi_{p,maks} \tag{2.12}$$

şeklindedir.



Şekil 2.14 : İdealleştirilmiş bünye bağıntısı.

İdealleştirilmiş bünye bağıntısının her iki bölümü birbirinden kesin bir nokta ile ayrılamaz. Ancak, çekme donatısının akmaya başlaması veya betondaki birim kısalmanın ε_{co} sınır değerine erişmesi bu iki bölgeyi ayıran nokta olarak varsayılabilir ve bu duruma karşı gelen eğrilik χ_y olarak gösterilir.

Güç tükenmesine karşı gelen toplam eğrilik χ_u ile gösterilirse, kesitin eğilme sünekliği

$$\mu = \frac{\chi_u}{\chi_y} \tag{2.13}$$

şeklinde tanımlanır.

Artan dış yükler altında, plastik mafsalın dönmesi artarak *dönme kapasitesi* adı verilen bir sınır değere ulaşınca, meydana gelen büyük plastik şekildeğiştirmeler nedeniyle kesit kullanılamaz hale gelebilir. Yapı sisteminin bir veya daha çok kesitindeki plastik mafsal dönmelerinin kendilerine ait dönme kapasitelerine ulaşması halinde ise, yapı sisteminin kullanım dışı kaldığı varsayılır.

Şekil 2.13'ten görüldüğü gibi, doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler çubuk üzerindeki l_p uzunluğundaki bir bölgede yoğunlaşmakta ve en büyük plastik eğrilik $\chi_{p,maks}$ değerine eşit olmaktadır. Bu hipotezde doğrusal olmayan (plastik) şekildeğiştirmelerin çubuk elemanı üzerinde l_p uzunluğunda bir bölgede sürekli olarak düzgün yayıldığı varsayılmaktadır. Buna göre plastikleşen bölgedeki toplam plastik şekildeğiştirme :

$$\varphi_p = \int_{l_p'} \chi_p \, ds \qquad \textbf{(2.14)}$$

şeklinde hesaplanabilir ve plastik mafsal dönmesi olarak isimlendirilir.

Plastik mafsalın *dönme kapasitesi* ise

$$\text{maks}\varphi_p = \int_{l_p'} \chi_p \, ds \qquad (\chi \rightarrow \chi_{p,maks}) \qquad \textbf{(2.15)}$$

şeklinde, eğilme momenti diyagramının şekline ve (M-χ) bağıntısına bağlı olarak belirlenir.

Plastik dönme kapasitesi yaklaşık olarak

$$\text{maks}\varphi_p = l_p \, \chi_{p,maks} \qquad \textbf{(2.16)}$$

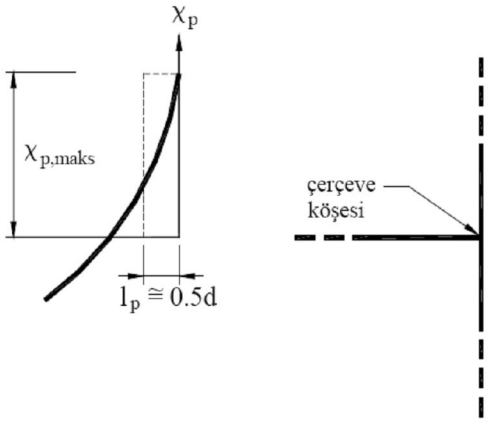
$$l_p \cong 0.5d \qquad \textbf{(2.17)}$$

bağıntıları ile hesaplanabilir. Burada

d : enkesit yüksekliği

l_p : plastik mafsal boyu

olarak tanımlanmaktadır, Şekil 2.15.



Şekil 2.15 : Plastik mafsal boyu.

Betonarme yapı sistemlerinde dönme kapasitesi çeşitli etkenlere bağlıdır. Bunların başlıcaları

a. betonarme betonu ve beton çeliğinin σ-ε diyagramlarını belirleyen ε_{cu} ve ε_{su} sınır birim boy değişmeleri

b. betonarme betonunun ε_{cu} birim boy değişmesini etkileyen sargı donatısının miktarı, şekli ve yerleşim düzeni

c. plastik bölge uzunluğunu etkileyen enkesit boyutları

d. eğilme momenti diyagramının şekli

e. kesitteki normal kuvvettir.

Çelik yapı sistemlerinde dönme kapasitesi genellikle büyük değerler alabilmektedir. Diğer taraftan, performansa dayanan tasarım ve değerlendirme yöntemlerinde, dönme kapasitesinin belirlenmesinde yapıdan beklenen performans düzeyi de etken olmaktadır.

Yukarıda ayrıntılı olarak açıklanan plastik mafsal hipotezinin esasları aşağıda özetlenmiştir.

1. Bir kesitteki eğilme momenti artarak M_p plastik moment değerine eşit olunca, o kesitte bir plastik mafsal oluşur. Daha sonra, kesitteki eğilme momenti (M=M_p) sabit olarak kalır ve kesit serbestçe döner. Böylece kesitteki eğilme momentinin M=M_p değerinde sabit kalması sağlanır. Plastik mafsaldaki φ_p plastik dönmesi artarak dönme kapasitesine (maksφ_p) erişince kesitte güç tükenmesi meydana gelir.

2. Plastik mafsallar arasında sistem doğrusal-elastik olarak davranır.

3. Düzlem sistemlerde kesite eğilme momenti ile birlikte normal kuvvetin de etkimesi halinde, M_p plastik momenti yerine, kesitteki N normal kuvvetine bağlı olarak akma koşulundan bulunan indirgenmiş plastik moment (M_p') değeri kullanılır.

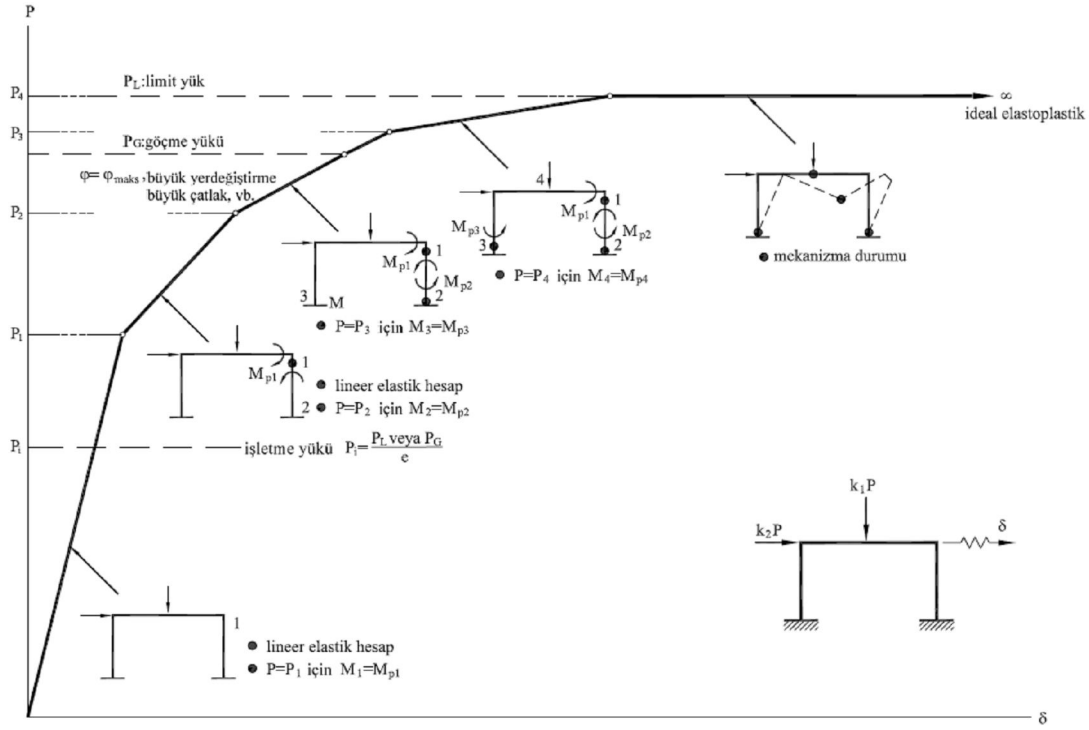
2.3.2.2 Yük artımı yöntemi

Plastik mafsal hipotezinin geçerli olduğu bir yapı sisteminin artan dış yükler altındaki davranışı aşağıdaki Şekil 2.16 üzerinde şematik olarak gösterilmiştir.

Artan yükler altında, her plastik mafsalın oluşumundan sonra, o noktaya bir adi mafsal koymak ve M_p plastik momentini dış yük olarak etkitmek suretiyle elde edilen sistem doğrusal – elastik teoriye göre hesaplanır. Sistemin doğrusal – elastik teoriye göre hesabı için Kuvvet veya Yerdeğiştirme yöntemlerinden herhangi biri uygulanabilir.

Belirli sayıda plastik mafsalın oluşumundan sonra, sistem kısmen veya tamamen mekanizma durumuna ulaşır. Başka bir deyişle, sistem stabilitesini yitirerek yük taşıyamaz hale gelir. Bu duruma karşı gelen P_L yük parametresi limit yük (birinci mertebe limit yük) olarak tanımlanır. Bu tanıma göre, limit yük sistemin tümünü veya bir bölümünü mekanizma durumuna getiren yüktür.

Bazı hallerde limit yükten önce, plastik mafsallardaki dönmelerin dönme kapasitesini aşması, büyük yerdeğiştirmelerin oluşması veya betonarme sistemlerde büyük çatlaklar meydana gelmesi nedeniyle sistem göçebilir. Bu duruma karşı gelen P_G yük parametresi *göçme yükü* olarak tanımlanır.



Şekil 2.16 : Basit bir yapı sisteminin artan yükler altındaki davranışı.

Limit yük (veya göçme yükü) bulunduktan sonra, yapının yeter güvenlikle taşıyabileceği yük, yani işletme yükü

$$P_{\mathrm{i}} = \frac{P_{\mathrm{G}} \text{ veya } P_{\mathrm{L}}}{e} \qquad (e\text{: güvenlik katsayısı}) \qquad \textbf{(2.18)}$$

şeklinde hesaplanır. Ayrıca işletme yükleri altında doğrusal-elastik sınırın pek aşılmaması, zararlı yerdeğiştirme ve çatlakların oluşmaması istenir.

Bir yapı sisteminin artan yükler altındaki hesabı iki şekilde yapılabilir.

1- Sistem, aralarındaki oran sabit kalacak şekilde artan düşey ve yatay yükler altında hesaplanarak bu yükler için ortak bir göçme güvenliği belirlenir.

2- Düşey yükler, bu yükler için öngörülen bir güvenlik katsayısı ile çarpılarak sisteme etkitildikten sonra, artan yatay yükler için hesap yapılır ve yatay yüklere ait limit yük (veya göçme yükü) parametresi bulunur. Böylece, düşey yükler için öngörülen bir güvenlik altında, sistemin yatay yükler altındaki davranışı izlenir ve yatay yük taşıma kapasitesi belirlenir.

Büyük oranda yapı ağırlığından oluşan düşey yüklerin daha belirgin olduğu, buna karşılık rüzgâr ve deprem etkilerini temsil eden yatay yüklerin değişme olasılığının daha fazla olduğu gözönünde tutulduğunda, yapı sisteminin gerçek göçme güvenliğinin belirlenmesi açısından, ikinci yolun daha gerçekçi sonuç vereceği görülmektedir. Diğer taraftan, doğrusal olmayan yöntemlerle deprem performansının belirlenmesinde esas alınan statik itme analizi artan yatay yükler altında gerçekleştirilmektedir.

Plastik mafsallarda eğilme momentinin yanında normal kuvvetin de bulunması halinde, akma koşulunu sağlayacak şekilde belirlenen indirgenmiş eğilme momenti (M_{P}') esas alınarak hesap yapılması gerekmektedir. Plastik mafsallardaki normal kuvvetler başlangıçta bilinmediğinden, bir ardışık yaklaşım yolu uygulanması gerekebilir. Bileşik iç kuvvetler etkisindeki sistemlerin, ardışık yaklaşıma gerek kalmaksızın, yük artımı yöntemi ile doğrudan doğruya hesabı için geliştirilen bir yöntem kaynak [10, 11, 38] te verilmiştir.

2.4 Binaların Deprem Davranışı

Deprem yer hareketleri yapıların ivmelenmesine neden olur. Bu ivmelenme, yapı kütlesi ile orantılı ($F = m \times a$) eylemsizlik kuvvetlerinin oluşmasına ve dolayısı ile yapı içinde zorlanmalara yol açar [39]. Depreme dayanıklı yapı tasarımında uygulanan temel ilke, yapının daha sık oluşan küçük depremleri (servis depremi) elastik sınırlar içinde kalarak, orta büyüklükteki depremleri (tasarım depremi) elastik sınırların ötesinde ancak taşıyıcı sistemde onarılabilecek düzeyde hasar oluşarak ve can güvenliği sağlayarak karşılayabilmesi, çok seyrek olarak meydana gelen büyük depremlerde ise büyük hasarın meydana gelmesine karşın göçmeyi önlemesidir. Yapının deprem etkisi altındaki elastoplastik davranışı, yönetmeliklerde elastik ivme spektrumu ile belirlenen deprem yüklerine bir azaltma katsayısı uygulanması ile gözönüne alınır. Diğer bir deyişle, yönetmeliklerin öngördüğü süneklik koşullarına uygun olarak tasarımı yapılan binaların elastik ötesi davranış gösterecekleri varsayılır. Görüldüğü gibi, binaların tasarımının yönetmeliklere uygun olarak tasarlanmış ve inşa edilmiş olması, deprem etkisi nedeniyle hiç hasar görmeyeceği anlamına gelmez. Bu nedenle, yapıların deprem etkileri altındaki davranışlarında elastik ötesi şekildeğiştirmeleri önem kazanmaktadır

2.4.1 Denge denklemleri ve kontrol eden parametreler

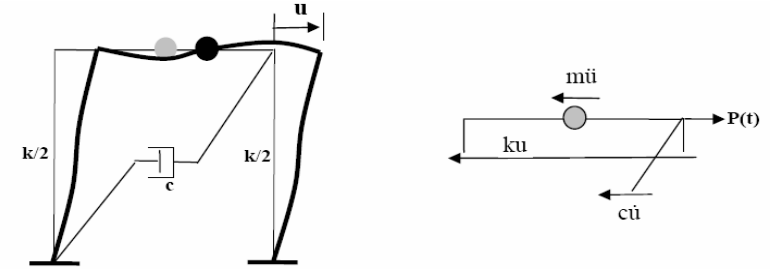
Şekil 2.17'de gösterilen ve dinamik p(t) yükü etkisindeki tek serbestlik dereceli doğrusal elastik sistemin dinamik hareket denklemi aşağıdaki bağıntıyla ifade edilir.

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = p(t) \qquad \textbf{(2.19)}$$

Elastik olmayan sistemlerde ise bu denklem

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + \mathrm{f}_s(u,\dot{u}) = p(t) \qquad \textbf{(2.20)}$$

şeklini alır.



Şekil 2.17 : Dinamik denge.

Denk. **(2.19)**'da m yapının kütlesini, c sönüm katsayısını, k rijitliğini, $u, \dot{u}$ ve $\ddot{u}$ sırasıyla yerdeğiştirme, hız ve ivmeyi göstermektedir. Denk. **(2.20)**'de, Denk. **(2.19)**'dan farklı olarak, doğrusal elastik sistemde dinamik harekete karşı koyan ve f_s = ku bağıntısı ile tanımlanan kuvvetin elastik olmayan sistem için tek değerli olmayacağı, bu kuvvetin yapının yerdeğiştirme geçmişine ve hızına bağlı olduğu $f_s(u,\dot{u})$ bağıntısı ile ifade edilmektedir.

Hareket denklemleri çok serbestlik dereceli sistemler için yazılmak istenirse yukarıda verilen denklemler matris formuna dönüşür.

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + f_s(u,\dot{u}) = p(t) \qquad \textbf{(2.21)}$$

Bu matris denkleminde m kütle matrisini, c sönüm matrisini, f_s elastik olmayan dayanım kuvveti matrisini, $p(t)$ zamana bağlı olarak değişen dinamik etkiyi, u, u̇ ve ü sırasıyla yerdeğiştirme, hız ve ivme vektörlerini ifade etmektedir.

Yapı sistemi $p(t)$ dinamik kuvveti yerine bir deprem yer hareketine maruz kalırsa, Denk. **(2.21)**

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + f_s(u,\dot{u}) = -m\,\iota\,\ddot{u}_g(t) \qquad \textbf{(2.22)}$$

şeklini alır. Bu denklemde $\iota = [1\ 1\ 1....1]^T$ etki vektörü, $\ddot{u}_g(t)$ yer ivmesidir.

t=0 anında u=u(0) ve $\dot{u} = \dot{u}(0)$ başlangıç koşulları dikkate alınarak yukarıda belirtilen hareket denkleminin çözümü ile zamana bağlı olarak değişen yerdeğiştirme vektörü $u(t)$ elde edilir.

2.4.2 Denge denklemlerinin çözümünde kullanılan sayısal yöntemler

Elastik ötesi davranış gösteren sistemlerde, yukarıda tanımlanan hareket denklemlerinin çözümü için, bu denklemlere uygulanan modal dönüşümlerle elde edilen modal denklemlerin ayrıklaştırılması mümkün olmamaktadır. Bu nedenle, ayrık olmayan hareket denklemlerinin integrasyonu için sayısal yöntemler kullanılır. Dinamik denge denklemlerinin doğrudan sayısal integrasyonu, çözümün bulunması için uygulanan en genel yöntemdir.

Literatürde diferansiyel denklemlerin integrasyonu için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu bölümde, uygulamada en yaygın olarak kullanılan sayısal yöntemlerden "Newmark Yöntemi" açıklanacaktır [40].

2.4.2.1 Newmark yöntemi

N. M. Newmark, 1959 yılında yapı dinamiği problemlerinin çözümü için bir sayısal integrasyon yöntemi önermiştir [41]. Hareket denklemlerini belirli bir Δt zaman aralığı için adım adım çözen bu yöntemin temelini aşağıda verilen bağıntılar oluşturmaktadır:

$$\dot{u}_{i+1} = \dot{u}_i + \left[(1-\gamma)\cdot\Delta t\right]\cdot\ddot{u}_i + (\gamma\cdot\Delta t)\cdot\ddot{u}_{i+1} \qquad \textbf{(2.23)}$$

$$u_{i+1} = u_i + (\Delta t)\cdot\dot{u}_i + \left[(0.5-\beta)\cdot(\Delta t)^2\right]\cdot\ddot{u}_i + \left(\beta\cdot(\Delta t)^2\right)\cdot\ddot{u}_{i+1} \qquad \textbf{(2.24)}$$

Denklemlerdeki β ve γ katsayıları, ivmenin belirli bir Δt zaman aralığında değişimini tanımlayan ve aynı zamanda da yöntemin doğruluğunu ve çözümün stabil olmasını kontrol eden parametrelerdir. Yöntemin stabilitesinin ve doğruluğunun sağlanması amacıyla genelde $\gamma = 0.5$ değerini alır, β ise $\frac{1}{6} \le \beta \le \frac{1}{4}$ aralığında tanımlanır.

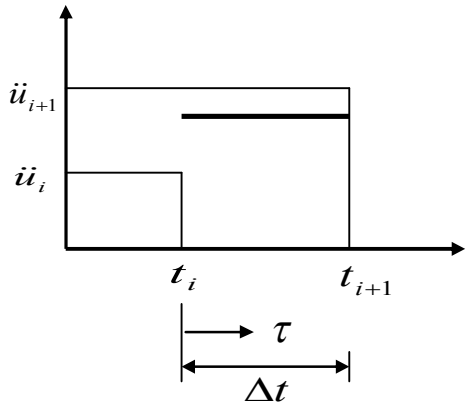
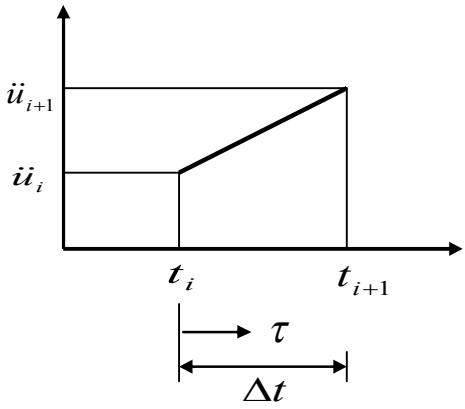
Yukarıdaki 2.23 ve 2.24 denklemleri

$$m\ddot{u}_{i+1} + c\dot{u}_{i+1} + (f_s)_{i+1} = p_{i+1} \qquad \textbf{(2.25)}$$

hareket denklemi ile beraber çözülerek i zamanı için bilinen yerdeğiştirme, hız ve ivme değerlerinden (u_i $\dot{u}_i$ $\ddot{u}_i$), i+1 zamanı için yerdeğiştirme, hız ve ivme (u_{i+1} $\dot{u}_{i+1}$ $\ddot{u}_{i+1}$) değerlerine geçilir.

Newmark Yönteminin *lineer ivme yöntemi* ve *ortalama ivme yöntemi* olarak bilinen iki özel durumu vardır. Lineer ivme yönteminde seçilen Δt zaman aralığında ivmenin doğrusal olarak değiştiği, ortalama ivme yönteminde ise Δt zaman aralığında ivme değişiminin sabit ve ortalama ivmeye eşit olduğu varsayımı yapılmaktadır. Aşağıdaki çizelgede, bu iki yöntem ile i ve i+1 zamanı için yerdeğiştirme, hız ve ivme büyüklüklerine ilişkin bağıntıların nasıl elde edildiği özet olarak açıklanmıştır, Çizelge 2.2.

Çizelge 2.2 : Newmark Yöntemi'nde ortalama ivme ve lineer ivme özel durumları.

Ortalama İvme	Lineer İvme
	
$\ddot{u}(\tau) = \frac{1}{2}(\ddot{u}_{i+1} + \ddot{u}_i)$	$\ddot{u}(\tau) = \ddot{u}_i + \frac{\tau}{\Delta t}(\ddot{u}_{i+1} - \ddot{u}_i)$
$\dot{u}(\tau) = \dot{u}_i + \frac{\tau}{2}(\ddot{u}_{i+1} + \ddot{u}_i)$	$\dot{u}(\tau) = \dot{u}_i + \ddot{u}_i\tau + \frac{\tau^2}{2\Delta t}(\ddot{u}_{i+1} - \ddot{u}_i)$
$\dot{u}_{i+1} = \dot{u}_i + \frac{\Delta t}{2}(\ddot{u}_{i+1} + \ddot{u}_i)$	$\dot{u}_{i+1} = \dot{u}_i + \frac{\Delta t}{2}(\ddot{u}_{i+1} + \ddot{u}_i)$
$u(\tau) = u_i + \dot{u}_i\tau + \frac{\tau^2}{4}(\ddot{u}_{i+1} + \ddot{u}_i)$	$u(\tau) = u_i + \dot{u}_i\tau + \ddot{u}_i\frac{\tau^2}{4} + \frac{\tau^3}{6\Delta t}(\ddot{u}_{i+1} - \ddot{u}_i)$
$u_{i+1} = u_i + \dot{u}_i\Delta t + \frac{\Delta t^2}{4}(\ddot{u}_{i+1} + \ddot{u}_i)$	$u_{i+1} = u_i + \dot{u}_i\Delta t + \Delta t^2(\frac{1}{6}\ddot{u}_{i+1} + \frac{1}{3}\ddot{u}_i)$

Newmark'ın önerdiği ve Denklem 2.26 ile 2.27'de t_{i+1} zamanı için verilen hız ve yerdeğiştirme bağıntılarında $\gamma = \frac{1}{2}$ ve $\beta = \frac{1}{6}$ değerleri yerine konursa, Çizelge 2.2 den de izleneceği gibi, lineer ivme yöntemi ile bulunan hız ve yerdeğiştirmeler için aynı denklemler elde edilir. Benzer şekilde, Denklem 2.23 ve 2.24'te t_{i+1} zamanı için verilen hız ve yerdeğiştirme bağıntılarında $\gamma = \frac{1}{2}$ ve $\beta = \frac{1}{4}$ değerleri yerine konursa ortalama ivme yöntemi ile bulunan hız ve yerdeğiştirme bağıntıları elde edilir.

Tek serbestlik dereceli sistemler için yukarıda verilen denklemleri çok serbestlik dereceli sistemlere genellemek için, verilen skaler denklemler matris formuna dönüştürülerek matris denklemleri olarak yazılır.

Newmark'ın önerdiği ortalama ivme yöntemi, her bir adımda sistemin rijitlik matrisinin yenilenmesine, üçgenleştirilmesine ve denge denklemlerinin sağlanmasına olanak sağlayacak ardışık yaklaşım (iterasyon) tekniklerinin kullanılmasıyla, doğrusal olmayan sistemler için de uygulanabilir. Çizelge 2.3'te doğrusal olmayan

çok serbestlik dereceli sistemler için ortalama ivme yönteminin hesap adımları özetlenmiştir.

Çizelge 2.3 : Doğrusal olmayan sistemler için ortalama ivme yöntemi.

1.0 *Başlangıç hesapları*

1.1 Çöz: $\mathbf{m}\ddot{\mathbf{u}}_0 = \mathbf{p}_0 - \mathbf{c}\dot{\mathbf{u}}_0 - (\mathbf{f}_S)_0 \Rightarrow \ddot{\mathbf{u}}_0$

1.2 Seç: $\Delta\mathbf{t}$

1.3 $\mathbf{a} = \frac{4}{\Delta\mathbf{t}}\mathbf{m} + 2\mathbf{c}$ ve $\mathbf{b}=2\mathbf{m}$

2.0 *Her i zaman adımı için hesaplar*

2.1 $\Delta\hat{\mathbf{p}}_\mathbf{i} = \Delta\hat{\mathbf{p}}_\mathbf{i} + \mathbf{a}\dot{\mathbf{u}}_\mathbf{i} + \mathbf{b}\ddot{\mathbf{u}}_\mathbf{i}$

2.2 $\mathbf{k}_\mathbf{i}$ tanjant rijitlik matrisini belirle

2.3 $\hat{\mathbf{k}}_\mathbf{i} = \mathbf{k}_\mathbf{i} + \frac{2}{\Delta\mathbf{t}}\mathbf{c} + \frac{4}{(\Delta\mathbf{t})^2}\mathbf{m}$

2.4 İterasyon yöntemleri kullanarak $\hat{\mathbf{k}}_\mathbf{i}$ ve $\Delta\hat{\mathbf{p}}_\mathbf{i}$ den $\Delta\mathbf{u}_\mathbf{i}$ için çöz

2.5 $\Delta\dot{\mathbf{u}}_\mathbf{i} = \frac{2}{\Delta\mathbf{t}}\Delta\mathbf{u}_\mathbf{i} - 2\dot{\mathbf{u}}_\mathbf{i}$

2.6 $\Delta\ddot{\mathbf{u}}_\mathbf{i} = \frac{4}{(\Delta\mathbf{t})^2}\Delta\mathbf{u}_\mathbf{i} - \frac{4}{\Delta\mathbf{t}}\dot{\mathbf{u}}_\mathbf{i} - 2\ddot{\mathbf{u}}_\mathbf{i}$

2.7 $\mathbf{u}_{\mathbf{i}+1} = \mathbf{u}_\mathbf{i} + \Delta\mathbf{u}_\mathbf{i}$, $\dot{\mathbf{u}}_{\mathbf{i}+1} = \dot{\mathbf{u}}_\mathbf{i} + \Delta\dot{\mathbf{u}}_\mathbf{i}$, $\ddot{\mathbf{u}}_{\mathbf{i}+1} = \ddot{\mathbf{u}}_\mathbf{i} + \Delta\ddot{\mathbf{u}}_\mathbf{i}$

3.0 *Bir sonraki zaman adımı için tekrar*

i yerine *i+1* koy ve 2.1 - 2.6 arası adımları bir sonraki zaman adımı için tekrarla.

2.4.3 Yapı sistemlerinde sönüm

Bir sistemdeki sönüm parametrelerinin belirlenmesi, yapısal ölçülerin, yapısal elemanların veya yapısal malzemelerin sönüm oranlarının kullanılması şeklinde gerçekleştirilemez. Titreşim hareketi yapan sistemlerde enerji sönümü farklı mekanizmalar ile gerçekleşebilir. Bu mekanizmalara örnek olarak, yapı elemanlarındaki içsel sürtünme, taşıyıcı sistem elemanları ve yapısal olmayan elemanlar arasındaki sürtünme, betondaki mikro çatlakların açılıp kapanması verilebilir. Yapı için bu sönüm mekanizmalarının hepsinin gözönüne alınması mümkün olmadığından, bütün mekanizmalar nedeniyle yapıda oluşacak sönüm için idealleştirme yapılarak tek bir sönüm katsayısı *c* kullanılır. Ancak, yapı elemanlarının her biri için sönüm katsayısı hesaplayarak yapı için sönüm matrisinin oluşturulması da pratik olmadığından, genellikle sönüm modal sönüm oranlarına

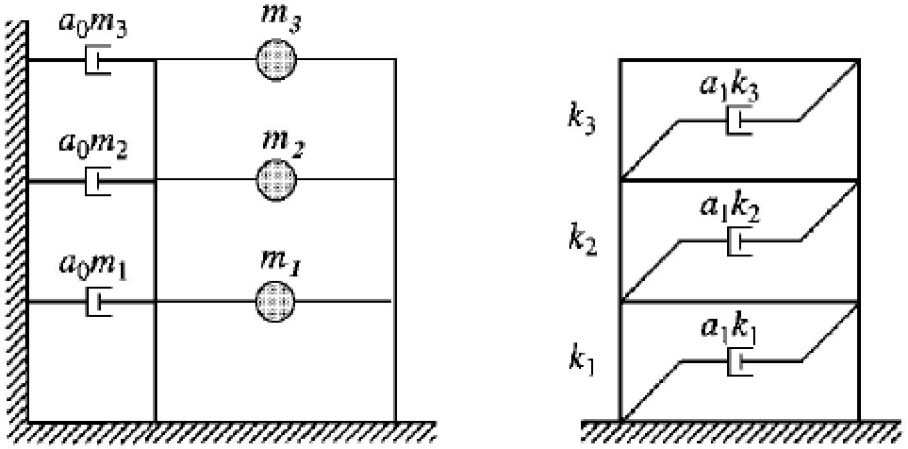
bağlı olarak sayısal şekilde hesaplanır. Genelde yapılarda sönümün, her bir doğal titreşim periyodu için kritik viskoz sönümün 5%'i dolayında olduğu varsayılır [40].

Eğer yapı genelinde benzer sönüm mekanizmaları oluşuyor ise klasik sönüm, sönüm mekanizmaları benzer değilse klasik olmayan sönüm söz konusudur. Klasik olmayan sönüme örnek olarak farklı modal sönüm oranlarına sahip yapı ve zemin analiz sisteminin etkileşimli olarak incelenmesi örnek olarak verilebilir [40].

Doğrusal olmayan dinamik analizlerde enerji sönümü, elastik ve elastik olmayan sönümlerin toplamı olarak gözönüne alınır. Elastik olmayan sönüm yapı modelindeki elemanların doğrusal olmayan kuvvet–şekildeğiştirme ilişkileri kullanılan analiz programına veri olarak girilerek doğrudan modellenebilir. Elastik enerji sönümü viskoz sönüm modeli varsayımı yapılarak gözönüne alınır.

Yukarıda belirtilen zorluklar nedeniyle, klasik sönüm matrisinin kurulmasında, pratikte yaygın olarak sönüm matrisinin kütle matrisiyle, rijitlik matrisiyle veya hem kütle hem de rijitlik matrisi ile orantılı olduğu varsayımı yapılır. Son yapılan varsayım literatürde "Rayleigh Sönümü" olarak da geçmektedir.

Kütle ve rijitlikle orantılı olan sönümlerin fiziksel anlamı Şekil 2.18'de şematik olarak açıklanmıştır.



Şekil 2.18 : Kütle ve rijitlikle orantılı sönümün fiziksel anlamı [40].

Şekilde m_1, m_2, m_3 kütleleri; k_1, k_2, k_3 ise kat rijitliklerini göstermektedir. Kütle ile orantılı olan sönüm fiziksel olarak, şekilde $a_0 m_1$, $a_0 m_2$ ve $a_o m_3$ ile gösterilen sönüm katsayılı dış viskoz sönümleyicilerin, m_1, m_2 ve m_3 ile gösterilen kütlelere yapı dışından bağlanması anlamını taşır. Rijitlikle orantılı olan sönüm ise fiziksel olarak,

şekilde $a_1 k_1$, $a_1 k_2$ ve $a_1 k_3$ ile gösterilen sönüm katsayılı iç viskoz sönümleyicilerin yapı elemanları ile paralel çalışması anlamını taşımaktadır. Chopra [40], rijitlikle orantılı olan sönümün kullanılmasının daha akla yatkın olduğunu belirtmiştir. Neden olarak, rijitlikle orantılı sönüm kullanılarak, kat şekildeğiştirmeleri sonucunda meydana gelen enerji sönümünün modellendiğinin düşünülebileceğini; fakat kütle orantılı sönümde ise havadan kaynaklanan sönümün belirlenmesinin hem zor hem de çoğu yapı için ihmal edilecek düzeyde olduğunu belirtmiştir.

Kütle orantılı ve rijitlik orantılı sönüm matrisleri

$$c = a_0 m \qquad \text{ve} \qquad c = a_1 k \tag{2.26}$$

şeklinde ifade edilebilir. Denklemde a_0 kütle orantılı sönüm katsayısı, a_1 rijitlik orantılı sönüm katsayısıdır.

Kütle orantılı sönüm modal sönüm oranları cinsinden, aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$a_0 = 2\xi_i \omega_i \tag{2.27}$$

Denklemdeki ξ_i *i*. mod için modal sönüm oranını, ω_i, i. moda ait doğal frekansı göstermektedir.

Kütle orantılı sönümde, uzun periyodlu düşük modlarda daha fazla sönüm uygulanırken, kısa periyodlu yüksek modlarda daha az sönüm uygulanmaktadır, Şekil 2.19.

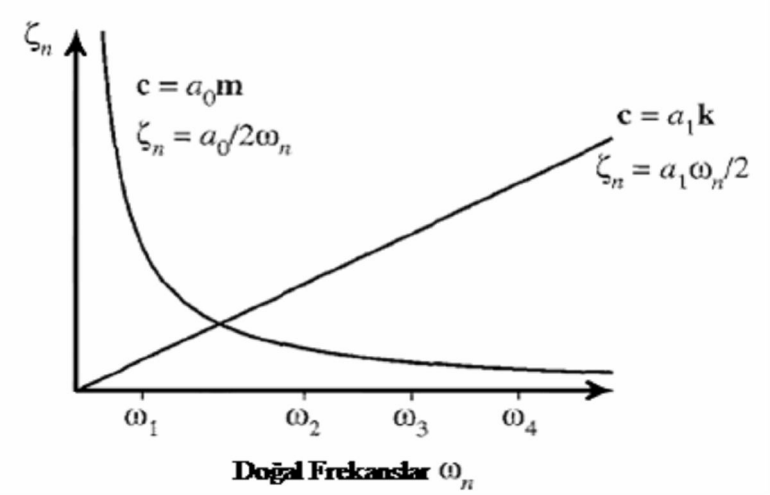
Benzer şekilde, rijitlik orantılı sönüm oranı için

$$a_1 = \frac{2\xi_j}{\omega_j} \tag{2.28}$$

denklemi yazılır.

Denklemdeki ξ_j j. mod için modal sönüm oranını, ω_j, j. moda ait doğal frekansı belirtmektedir.

Rijitlik orantılı sönümde, uzun periyodlu düşük modlarda daha az sönüm uygulanırken, kısa periyodlu yüksek modlarda daha fazla sönüm uygulanmaktadır, Şekil 2.19.



Şekil 2.19 : Modal sönüm oranlarının frekansla değişimi.

Rayleigh sönümünde Şekil 2.20 sönüm matrisi

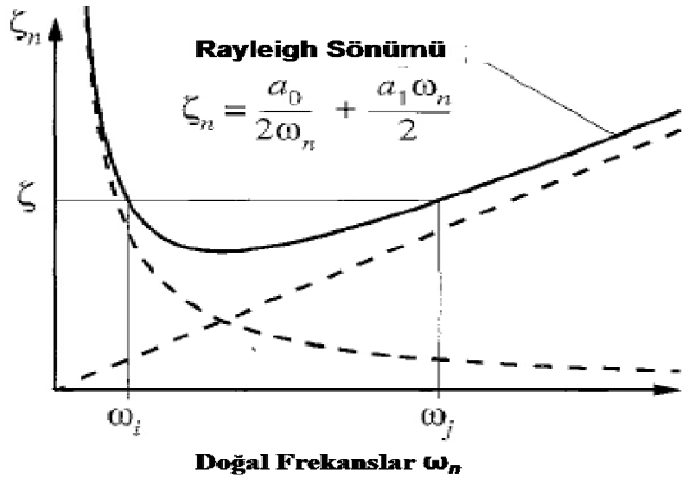
$$c = a_0 m + a_1 k \qquad \textbf{(2.29)}$$

şeklinde ifade edilir.

İki farklı mod için sönüm oranının ξ aynı olduğu varsayımı ile, a_0 ve a_1 katsayıları

$$a_0 = \xi \frac{2\omega_i \omega_j}{\omega_i + \omega_j} \qquad a_1 = \xi \frac{2}{\omega_i + \omega_j} \qquad \textbf{(2.30)}$$

şeklinde yazılır.

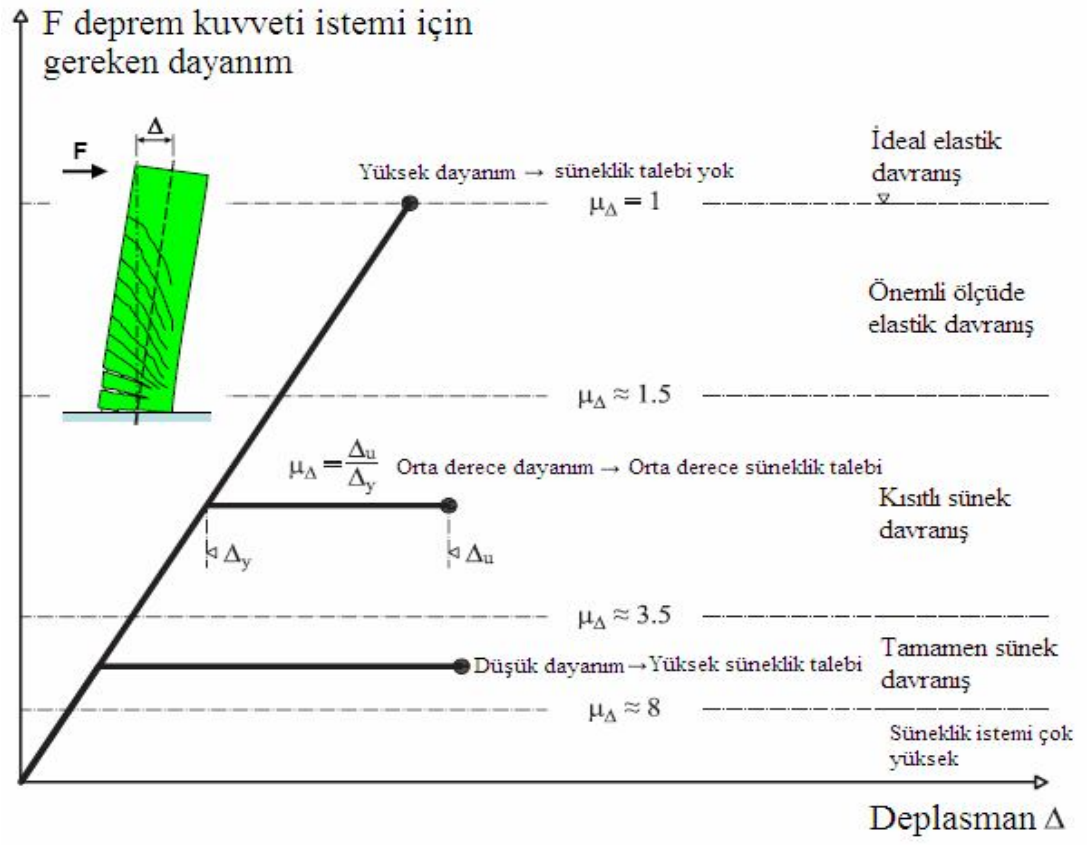


Şekil 2.20 : Rayleigh sönümü.

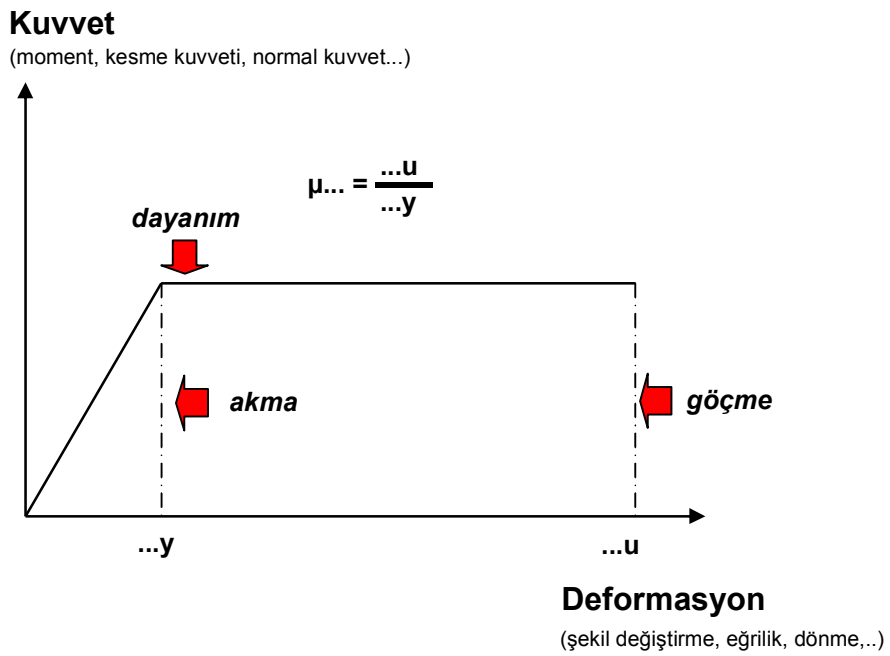
2.4.4 Yapı sistemlerinde süneklik

Süneklik, yapının, yapı elemanlarının veya bir kesitin dayanımında önemli bir azalma olmadan büyük şekildeğiştirme yapabilme özelliğidir. Bu tanım, büyük şekildeğiştirme yeteneği ile birlikte histeretik çevrimlerle enerji tüketebilme kapasitesine sahip olmayı da kapsamaktadır [42].

Yapıları şiddetli depremler altında doğrusal-elastik davranacak şekilde tasarlamak çok kere ekonomik bir yol değildir. Bu nedenle tasarım, genellikle yapı kapasitesi elastik deprem talebinin altında kalacak şekilde yapılır. Depremin yapıya uyguladığı enerji yüklemesinin, yapı tarafından göçmeye neden olmayacak biçimde tüketilmesi gerekir. Deprem, tasarımı elastik deprem kuvvetleri azaltılarak yapılan binadan, elastik sınıra karşı gelen gerilmeler aşıldıktan sonra, doğrusal olmayan yerdeğiştirme talep eder. Tasarımda yapı dayanımının azaltılması depremin yerdeğiştirme talebini arttırır Şekil 2.21. Yapılar şiddetli depremler nedeniyle maruz kalacakları yerdeğiştirme taleplerini, dayanımlarında önemli azalma olmadan karşılamalıdır. Bu durum ancak sünek yapı tasarımı ile sağlanabilir.



Şekil 2.21 : Dayanım ve süneklik arasındaki ilişki [42].



Şekil 2.22 : Sünekliğin genel tanımı.

Süneklik sayısal olarak μ *süneklik katsayısı* ile tanımlanabilir. Şekil 2.22'den izlenebileceği gibi en genel anlamda süneklik katsayısı, iç kuvvet (eğilme momenti, kesme kuvveti, normal kuvvet...) etkileri altındaki yapının, yapı elemanının veya kesitin göçme şekildeğiştirmesinin (eğrilik, dönme, yerdeğiştirme) akma şekildeğiştirmesine oranıdır.

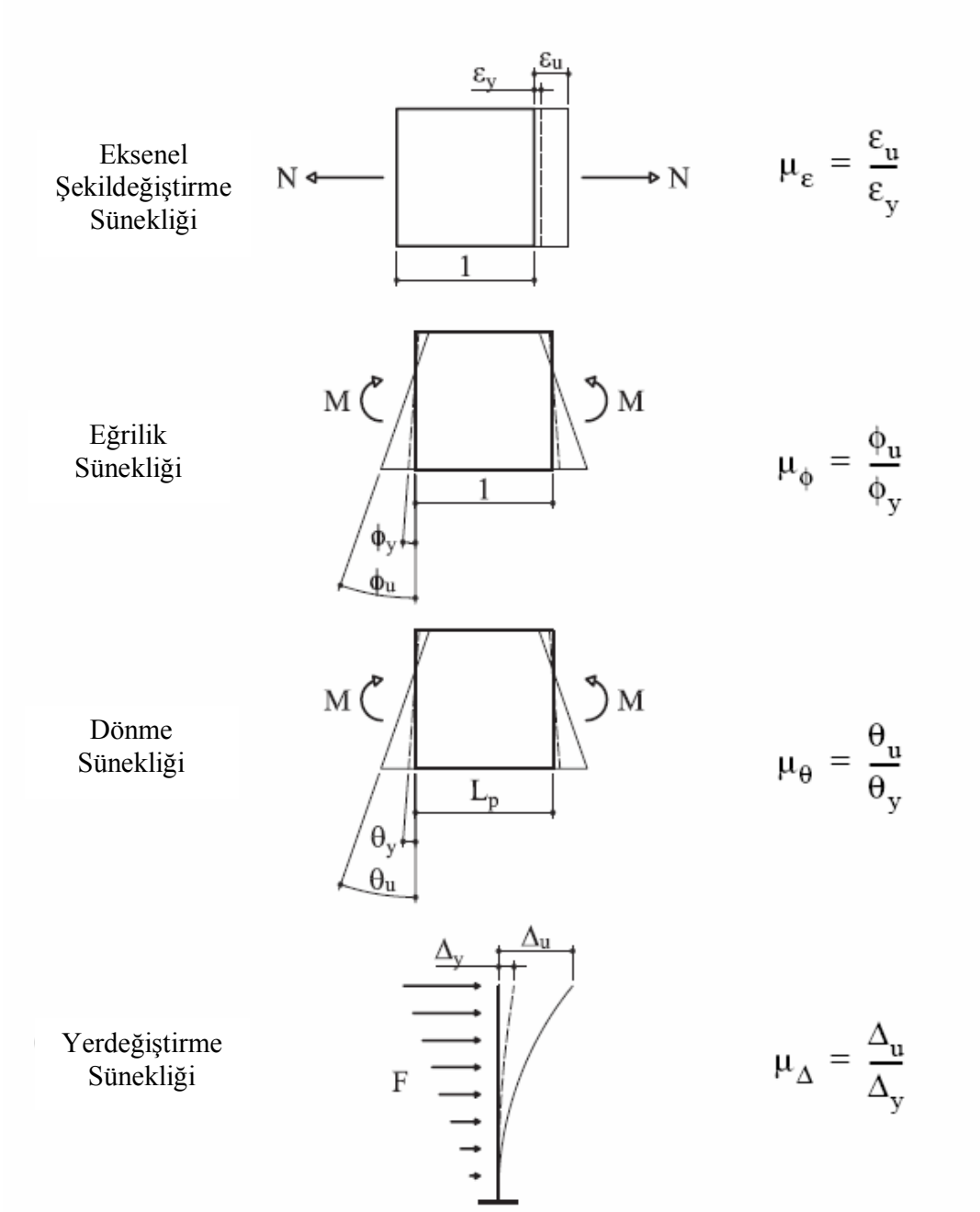
Şiddetli deprem etkisi altında eleman kesitleri akma dayanımlarına ulaşarak, yapıda plastik kesitler oluşur. Yapıdaki plastikleşmeler arttıkça yapı rijitliği azalır. Rijitliği azalan yapının maruz kaldığı enerji yüklemesini tüketmesi ancak kesitin dayanımında önemli bir azalma olmadan, şekildeğiştirme kapasitesinin yüksek olması ile sağlanabilir. Yeterli sünekliğe sahip olmayan plastik kesitler, şekildeğiştirme kapasitelerine erişerek binada göçme mekanizmaları oluşturabilirler. Bu nedenle, süneklik yapıda enerjinin tüketilmesi veya deprem etkisi altında binanın göçme sınırından uzakta kalabilmesi açısından çok önemlidir.

Sünekliğin,

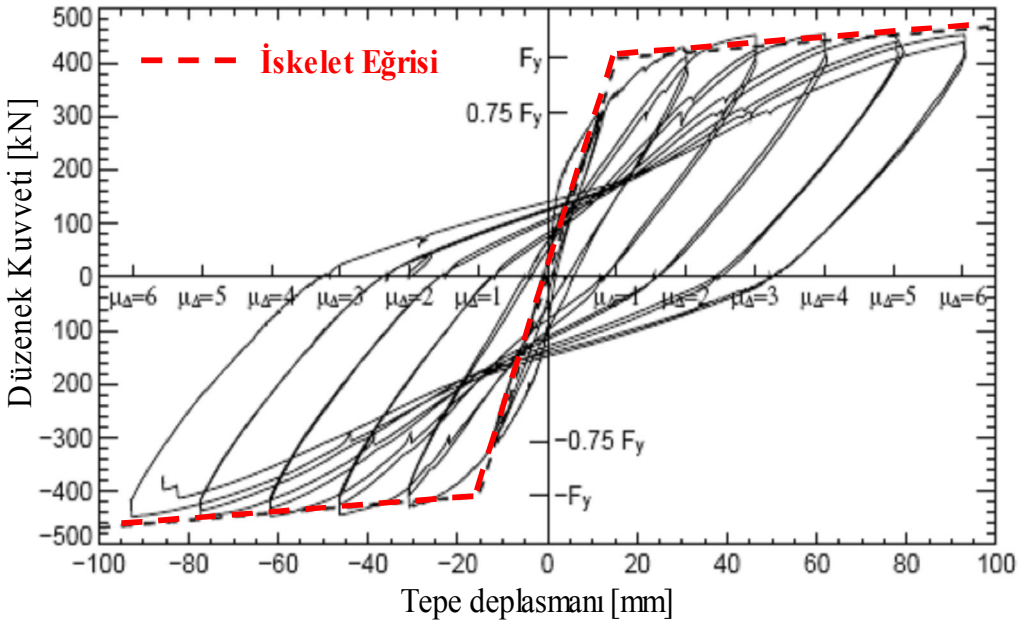
- eksenel şekildeğiştirme sünekliği
- eğrilik sünekliği
- plastik mafsalda dönme sünekliği

- yerdeğiştirme sünekliği

gibi, tanımları Şekil 2.23'te yapılan farklı çeşitleri bulunmaktadır [42].



Şekil 2.23 : Çeşitli süneklik tanımları.



Şekil 2.24 : Betonarme bir perdenin histeretik davranışı ve iskelet eğrisi.

Önceki paragraflarda belirtildiği gibi deprem gibi çevrimsel yükler altında elemanların sünek davranması istenir. Şekil 2.24'te betonarme bir perdenin çevrimsel yükler altındaki histeretik davranışı gösterilmiştir. Grafiğin *x* ekseninde, betonarme perdenin çeşitli tepe deplasman seviyelerine karşı gelen süneklik katsayıları gösterilmektedir. Şekilde kesik çizgi ile gösterilen eğri histeretik davranışın iskelet (zarf) eğrisidir. Eleman bazında gösterilen histererik davranışın iskelet (zarf) eğrisi genelde uygulamada kullanılan bilgisayar programlarına kesit bazında (plastik kesit) veri olarak girilerek malzeme bakımından doğrusal olmayan kesit davranışı modellenebilmektedir.

Sonuç olarak sünekliğin önemi şu ana başlıklar altında sıralanabilir:

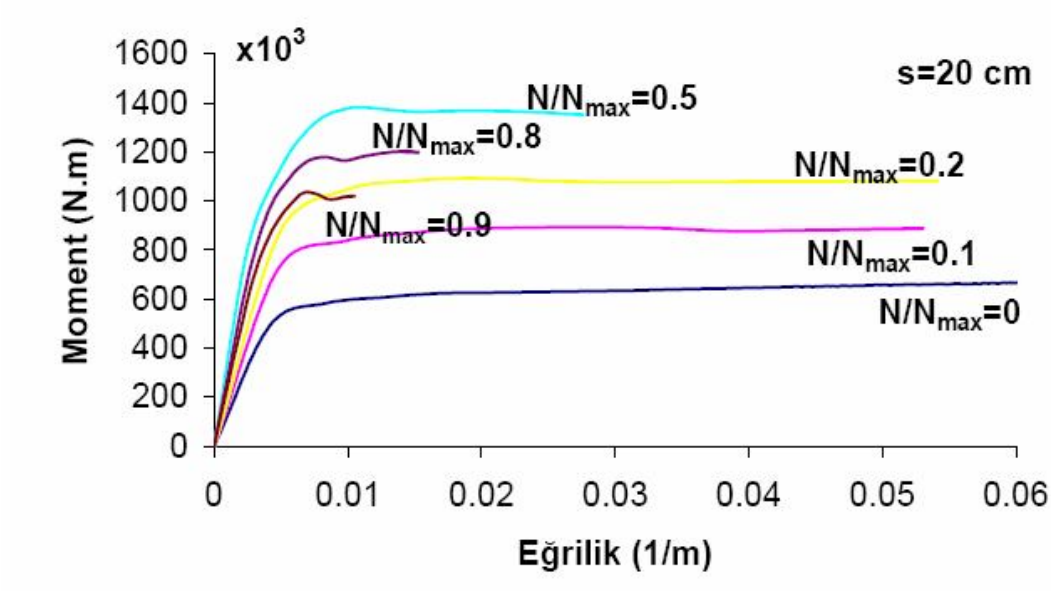
- Deprem vb. dinamik etkilerle yapıya geçen enerjinin yüksek şekildeğiştirme kapasitesi ile yutulmasını sağlar.
- Yapı tasarımının azaltılmış elastik deprem kuvvetleri altında yapılmasına olanak tanır.
- Yapıda gevrek davranıştan (ani göçme) farklı olarak süneklik yapıda göçmenin işaretlerini verir.
- Yapıda kuvvetlerin yeniden dağılımını sağlar.

2.4.5 Sargı etkisi ve önemi

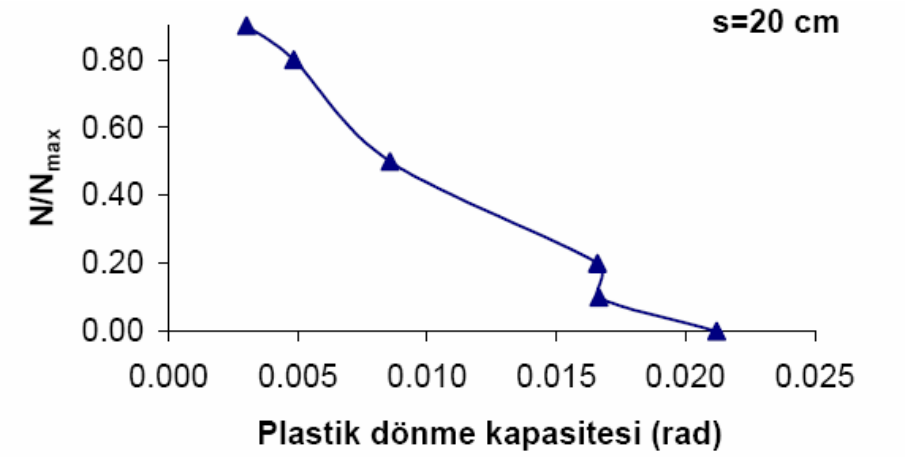
Önceki bölümde açıklandığı gibi, şiddetli deprem enerjisinin yapı sisteminde olası plastik mafsal bölgelerinin (kolon ve kirişlerin uç bölgeleri) yeterli şekildeğiştirme yapabilme yeteneği, yani sünekliği ile yapı göçmeden tüketilmesi öngörülmektedir. Bu nedenle, söz konusu bölgelerde detaylandırmaya özel önem gösterilmesi gerekir. Yönetmelikler olası plastik mafsal bölgelerinde yeterli sünekliğin sağlanması için kapsamlı detaylandırma koşulları öngörmektedir.

Betonarme bir kesitte eksenel yük düzeyi arttıkça süneklik azalır. Bu nedenle, yapıda meydana gelebilecek olası plastik mafsalların, eksenel yük düzeyinin fazla olduğu kolonlara oranla eksenel yük düzeyinin az olduğu, dolayısı ile daha sünek davranış gösteren kirişlerde oluşması istenir. Yönetmeliklerde bu kavram güçlü kolon, zayıf kiriş tasarımı olarak yer alır.

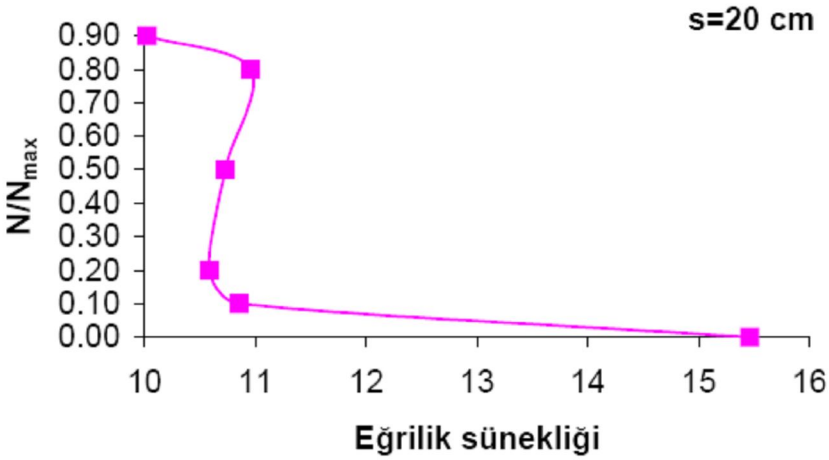
Betonarme kesit davranışında eksenel kuvvet, malzeme modeli ve sargı donatısı oranının incelendiği parametrik bir çalışmada [43], kesitin eğrilik sünekliği ve dönme kapasitesinin eksenel yük seviyesi ile azaldığı aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir, Şekil 2.25, Şekil 2.26.



Şekil 2.25 : Eğilme momenti-eğrilik diyagramı.



Şekil 2.26 : Plastik dönme kapasitesinin eksenel kuvvet ile değişimi.

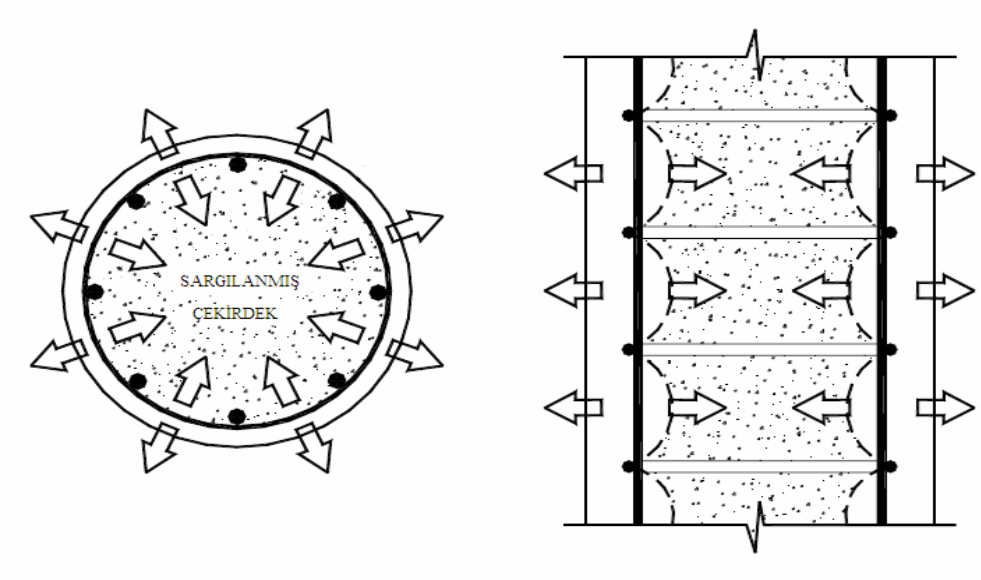


Şekil 2.27 : Eğrilik sünekliğinin eksenel kuvvet ile değişimi.

Aynı çalışmanın sonucunda eksenel kuvvetin küçük olduğu kesitlerde sünek davranış gözlemlendiği ve kesitin kiriş olarak donatılması gerektiği, eksenel yük seviyesi arttıkça sünekliğin azaldığı ve kolon davranışının başladığı belirtilmiştir. Kolon davranışı başlangıç sınırı $N_d = 0.1 \times A_c \times f_c$ olarak belirlenmekte, daha büyük eksenel kuvvet değerleri için kesitlerin kolon olarak donatılması önerilmektedir [43].

Kolonlar şiddetli deprem etkileri nedeniyle yüksek eksenel kuvvetlere maruz kalabilirler. Yüksek eksenel kuvvet düzeyi, önceki paragraflarda belirtildiği gibi, kesitin hem sünekliğini hem de moment taşıma kapasitesini azaltır. Sargı bu olumsuzlukların ortadan kaldırılması için gereklidir. Sargı etkisi ise ancak kayma donatısının miktarı ve detaylandırma açısından uygun şekilde yerleştirilmesi ile sağlanabilir.

Artan eksenel kuvvet etkisi ile kabuk (etriye dışı) betonu sınır basınç dayanımına erişerek dökülür. Çekirdek (etriye içi) betonu hacimsel genişleme yapar. Genişlemeye sargı donatısı (fret, etriye) karşı koyarak çekirdek betonuna yanal basınç uygular. Yanal basınca maruz kalan çekirdek betonu tek eksenli basınç gerilmesi durumuna göre daha büyük eksenel birim şekildeğiştirme kapasitesine sahip olur [44]. Bu sebeple sargı donatısı, çekirdek betonunun dağılmasını engelleyerek dayanımı önemli ölçüde azalmadan şekildeğiştirebilmesine yardımcı olur, Şekil 2.28.



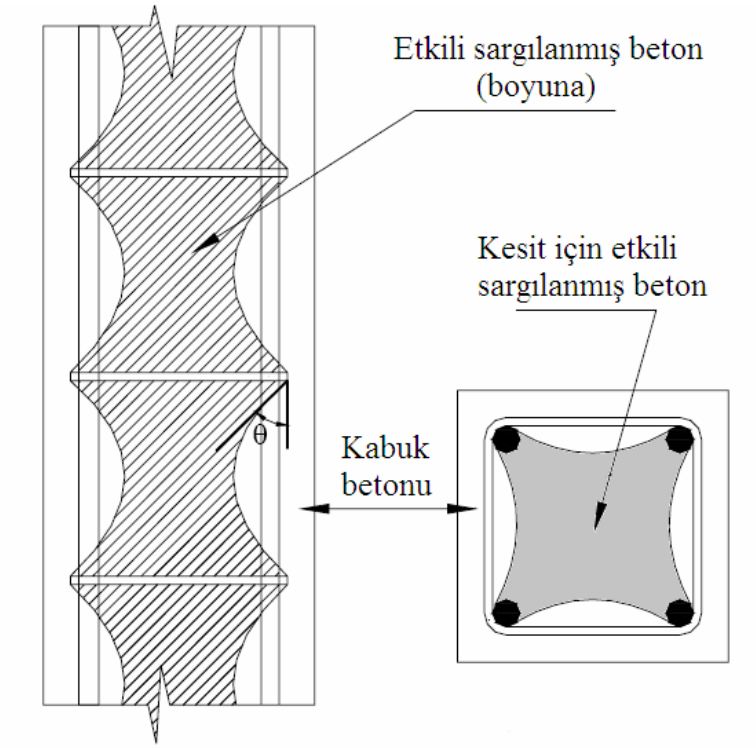
Şekil 2.28 : Betonarme kesitte sargı etkisinden kaynaklanan yanal basınçlar.

Yapılan deneylerde [45] aşağıdaki koşulların sargı etkinliğini arttırdığı gözlemlenmiştir :

- Enine donatı aralığının azaltılması
- Kesite ek etriyeler ve çiroz yerleştirilmesi
- Boyuna donatının kesit çevresi boyunca düzgün olarak dağılımı
- Enine donatı hacminin çekirdek betonu hacmine oranının artması
- Enine donatının akma dayanımının arttırılması
- Dikdörtgen etriye ve yardımcı çiroz yerine, mümkün olan durumlarda dairesel (spiral) etriyelerin kullanılması.

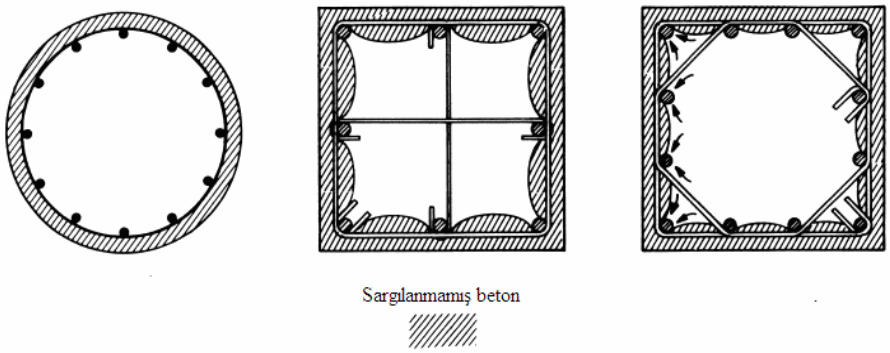
Yukarıdaki maddelerde de belirtildiği gibi dikdörtgen etriye sargısı fret sargısına oranla daha az sargı etkisi sağlar. Etkin sargı alanı hem yatay hem de boyuna

doğrultuda, çeşitli yaklaşımlar ile hesaplanmıştır. Bu yaklaşımlarda, örneğin boyuna doğrultuda etkili olan ve etkili olmayan beton sınırı için parabolik bir eğri veya üçgen eğri önererek etkin sargı alanının hesaplanması için, Şekil 2.29'da gösterilen θ açısı için varsayım yapılır. Boyuna doğrultuda etkin sargı alanı şekilde θ için yapılan varsayımla bulunan parabol alanının, kuşatılmış çekirdek alanından çıkarılması ile elde edilir.



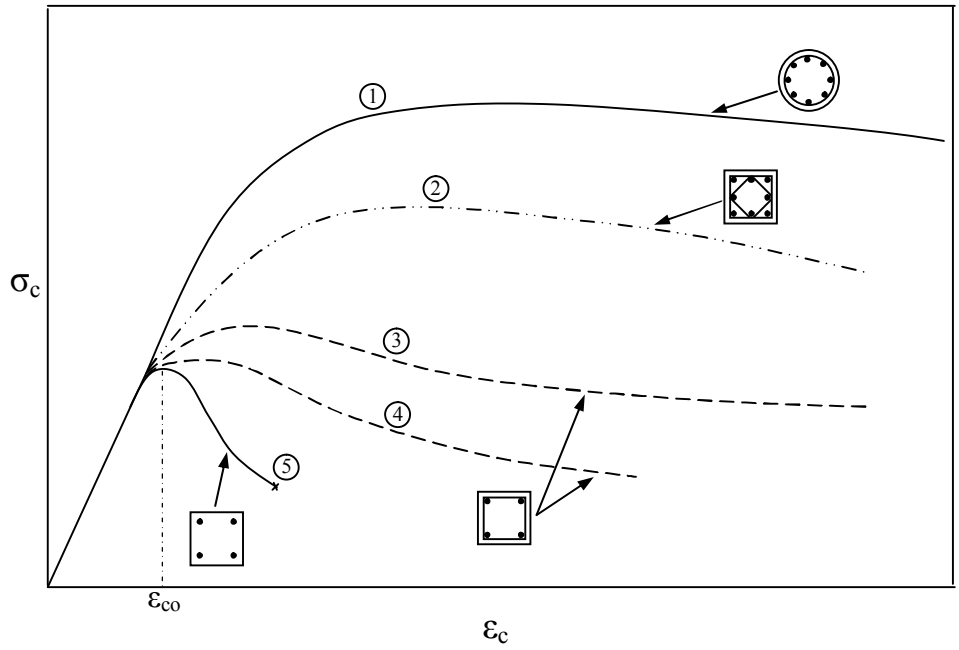
Şekil 2.29 : Enkesitte ve boyuna doğrultuda sargı etkisi.

Sargının etkinliği çeşitli donatı düzenlemeleri ile arttırılabilir. Örneğin dikdörtgen kesitte etriyelerle beraber çirozların kullanılması veya kesite çok kollu etriyeler yerleştirilerek mesnetlenmiş donatı aralığının azaltılması, sargının etkinliğini önemli ölçüde iyileştirmektedir, Şekil 2.30.



Şekil 2.30 : Çeşitli donatı düzenleri için sargının etkinliği [42].

Şekil 2.31'de sargılı ve sargısız betonların σ-ε ilişkileri gösterilmiştir. 5 numaralı eğri sargısız, diğerleri sargılı beton içindir. 3 ve 4 numaralı eğriler, kesitinde tek dikdörtgen etriye olan elemanlar içindir. Bu eğriler arasındaki tek fark, 3 numaralı elemandaki etriye aralığının daha az olmasıdır. Görüleceği gibi dikdörtgen etriye, etriyesiz duruma kıyasla sünekliği önemli ölçüde artırmakta, ancak dayanım artışı az olmaktadır. Şekilde 2 ile gösterilen elemanda ise, çift etriye konularak, etriye açıklığı 3 ve 4'e kıyasla yarı yarıya indirilmiştir. Görüldüğü gibi etriye serbest açıklığının azaltılması çok etkili olmuş, sünekliğin artmasının yanı sıra dayanımda da önemli ölçüde artmıştır. Daha önceden de değinildiği üzere en etkili sargı türü, şekildeğiştirmelerin eksenel rijitliğe bağlı olduğu dairesel frettir. Şekilde gösterilen 1 numaralı eğri bunu kanıtlamaktadır [44].



Şekil 2.31 : Sargı etkisi.

Özetlenecek olursa,

- Sargılı betonun σ-ε ilişkisi, sargısız betonunkinden çok farklıdır. Sargı, süneklik ve dayanımı artırdığı gibi, maksimum gerilmeye karşılık gelen birim kısalma ε_{co} değeri de sargı ile artmaktadır.
- Fret en etkili sargı donatısıdır.
- Dikdörtgen etriye sünekliği artırmaktadır. Dayanım artışı ise ancak serbest etriye açıklığının azaltılması ile (çift veya daha fazla etriye) mümkün olmaktadır.

- Etriye aralığı azaltıldıkça sargı etkisi, dolayısı ile süneklik artmaktadır. Etriye çapının artırılması, aynı ölçüde olmasa da, davranışı olumlu yönde etkilemektedir.
- Kesitlerde normal kuvvet arttıkça süneklik azaldığından, bu olumsuzluğun giderilmesi için sargı donatısı detayı önem kazanmaktadır.

2.4.6 Mander beton modeli

Yüksek eksenel kuvvet etkisindeki kesitin tarafsız eksen derinliği büyük olduğundan, kolonların eğilme kapasiteleri betonun basınç altındaki gerilme dağılımına daha çok bağlıdır. Bu nedenle yapının performansını belirlemek için kullanılan analiz modellerinde gerçekçi eğilme momenti–eğrilik ilişkileri tanımlamak için, sargı etkisini de göz önüne alan beton modelleri kullanılmalıdır. Modelde kabuk betonu için sargısız, çekirdek betonu için sargılı model esas alınır. Mander 1988 yılında beton için sargı etkisini de gözönüne alan gerilme-şekildeğiştirme modeli önermiştir [45].

Mander modelinde beton basınç gerilmesi

$$f_c = \frac{f_{cc}\, x\, r}{r - 1 + x^{\mathrm{r}}} \tag{2.31}$$

bağıntısı ile verilir. Denklemde f_{cc} sargılı beton dayanımı, x ise

$$x = \frac{\varepsilon_{\mathrm{c}}}{\varepsilon_{\mathrm{cc}}} \tag{2.32}$$

şeklinde tanımlanan bir oranı göstermektedir.

Burada ε_c beton basınç birim şekildeğiştirmesi, ε_{cc} ise, λ_c sargılı beton dayanımı ile sargısız beton dayanımı arasındaki ilişkiyi kuran bir katsayı ve ε_{co}=0.002 olmak üzere,

$$\varepsilon_{\mathrm{cc}} = \varepsilon_{\mathrm{co}}\left[1 + 5(\lambda_{\mathrm{c}} - 1)\right] \tag{2.33}$$

ile tanımlanan birim şekildeğiştirmedir.

$$r = \frac{E_{\mathrm{c}}}{E_{\mathrm{c}} - E_{\mathrm{sec}}} \tag{2.34}$$

ile tanımlanırken, bağıntıda

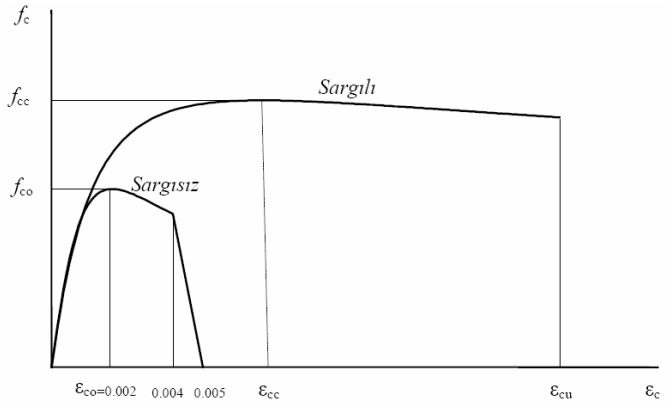
$$E_{\mathrm{c}} \cong 5000\sqrt{f_{\mathrm{co}}}\ \ [\mathrm{MPa}] \tag{2.35}$$

beton elastisite modülünü

$$E_{sec} = \frac{f_{cc}}{\varepsilon_{cc}} \tag{2.36}$$

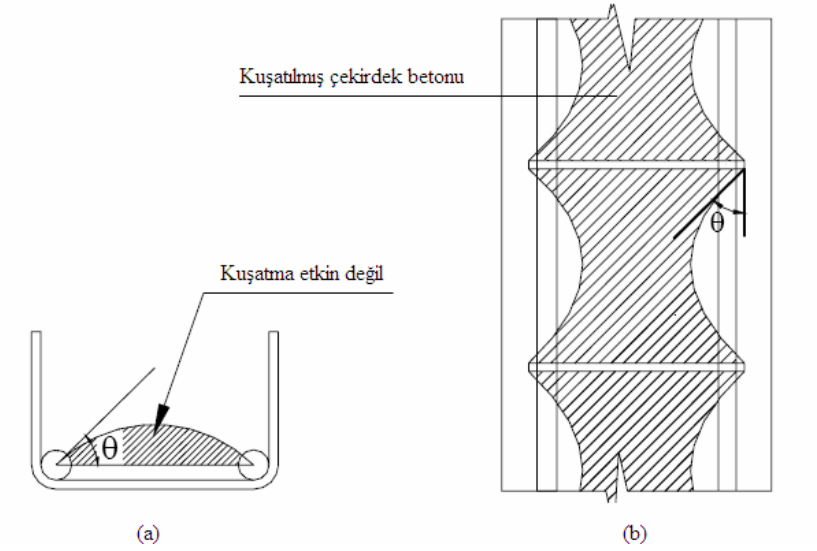
sekant elastisite modülünü göstermektedir.

Sargısız kabuk betonu için $\varepsilon_c > 2\varepsilon_{co}$ olan bölgede gerilme – birim şekildeğiştirme bağıntısının doğrusal olarak azaldığı varsayılarak betonun dökülmesine karşı gelen birim şekildeğiştirme değerinde gerilme sıfır değerini alır, Şekil 2.32.



Şekil 2.32 : Mander beton modeli.

Mander, betonarme kesitte sargı basıncının etkili olduğu bölgeleri belirlemek için Sheikh ve Üzümeri'nin [45] yaklaşımını kullanmış, düşeyde etriyeler arasındaki ve yatayda mesnetlenmiş boyuna donatı çubukları arasındaki bölgede, kesitteki sargı gerilmelerinin ikinci derece parabolü şeklinde değişeceği varsayımını yapmıştır, Şekil 2.33.



Şekil 2.33 : Kesitte ve boyuna doğrultuda etkin sargı alanının hesaplanması.

Mander ikinci derece parabollerinin başlangıç teğet eğimini θ = 45^0 alarak, kuşatmanın etkin olmadığı parabol alanlarını hesaplayarak bu değerleri çekirdek beton alanından çıkarmış ve etkin sargılanmış beton alanını bulmuştur. Bulunan etkin sargılanmış çekirdek beton alanını, çevre etriye eksenleri arasında kalan ve boyuna donatı alanı içermeyen çekirdek betonu alanına oranlayarak k_e *sargılama etkinlik katsayısını* belirlemiştir.

$$k_e = \left(1 - \frac{\sum a_i^2}{6 b_o h_o}\right)\left(1 - \frac{s}{2 b_o}\right)\left(1 - \frac{s}{2 h_o}\right)\left(1 - \frac{A_s}{b_o h_o}\right)^{-1} \qquad \textbf{(2.37)}$$

Bu katsayı kullanılarak, *x* ve *y* doğrultularındaki etkili sargılama basıncı

$$f_{ex} = k_e \rho_x f_{yw} \qquad ; \qquad f_{ex} = k_e \rho_y f_{yw} \qquad \textbf{(2.38)}$$

ile hesaplanır.

Sargılanmış beton dayanımını veren

$$f_{cc} = \lambda_c f_{co} \qquad \textbf{(2.39)}$$

denkleminde, f_{co} sargısız betonun basınç dayanımıdır. λ_c ise

$$\lambda_c = 2.254\sqrt{1 + 7.94\frac{f_e}{f_{co}}} - 2\frac{f_e}{f_{co}} - 1.254 \qquad \textbf{(2.40)}$$

bağıntısı ile belirlenir.

2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nde f_e etkili sargılama basıncı için dikdörtgen kesitlerde Denk. **(2.38)**'de verilen değerlerin ortalamasının alınması öngörülmektedir.

Sargılı betondaki maksimum basınç birim şekildeğiştirmesi

$$\varepsilon_{cu} = 0.004 + \frac{1.4 \rho_s f_{yw} \varepsilon_{su}}{f_{cc}} \qquad \textbf{(2.41)}$$

formülü ile hesaplanır.

Formülde ρ_s enine donatının hacimsel oranını, ε_{su} enine donatı çeliğinde maksimum gerilme altındaki birim uzama şekildeğiştirmesini göstermektedir.

2.5 Deprem İvme Kayıtlarının Belirlenmesi ve Ölçeklenmesi

Zaman tanım alanında hesap yöntemleri kullanılırken ortaya çıkan en önemli sorunlardan biri, yönetmeliğin öngördüğü koşulları karşılayan deprem kayıtlarının sağlanmasıdır. Deprem ivme kayıtları üç kaynaktan elde edilebilir [46].

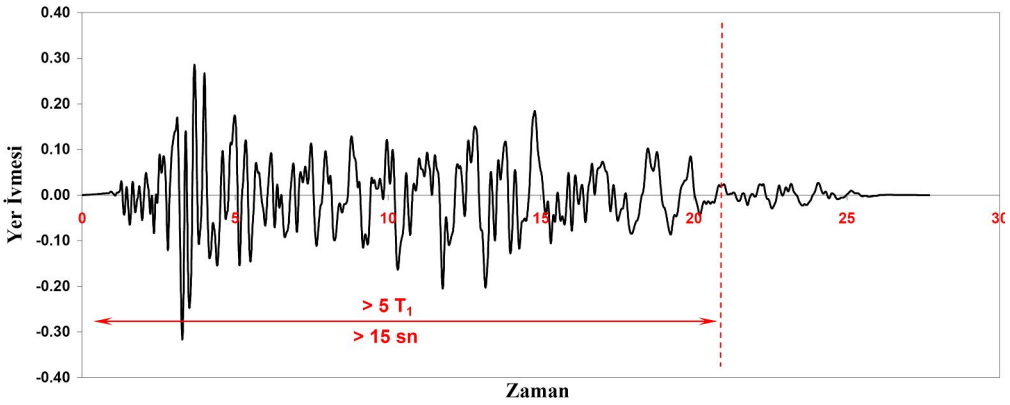
1. Yapay olarak üretilmiş deprem kayıtları
2. Simule edilmiş (benzeştirilmiş) kayıtlar
3. Deprem esnasında kaydedilen ivme kayıtları

Bu çalışmada ilk iki yöntem yerine, üçüncü yöntem olan deprem sırasında kaydedilmiş deprem kayıtları kullanılmıştır.

2.5.1 Deprem yer hareketleri için genel kurallar

Türk Deprem Yönetmeliği, binalar ve bina türü yapıların zaman tanım alanında doğrusal elastik veya doğrusal elastik olmayan deprem hesabı için, yapay yollarla üretilen, daha önce kaydedilmiş veya benzeştirilmiş deprem yer hareketlerinin kullanılmasına da izin vermektedir. Her üç yaklaşım için de aşağıdaki özellikleri taşıyan en az üç deprem yer hareketi üretilmelidir [20].

(a) Kuvvetli yer hareketi kısmının süresi, binanın birinci doğal titreşim periyodunun 5 katından ve 15 saniyeden daha kısa olmamalıdır, Şekil 2.34.

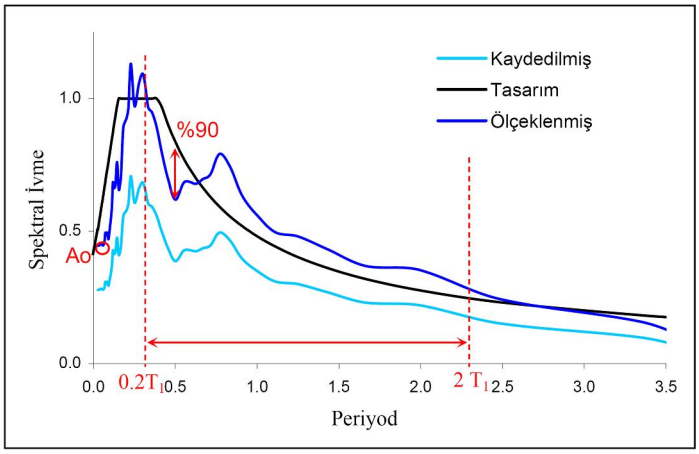


Şekil 2.34 : Kuvvetli yer hareketi minimum süresi.

(b) Üretilen deprem yer hareketinin sıfır periyoda karşı gelen spektral ivme değerlerinin ortalaması A_0g'den daha küçük olmamalıdır, Şekil 2.35.

(c) Yapay olarak üretilen her bir ivme kaydına göre %5 sönüm oranı için elde edilecek spektral ivme değerlerinin ortalaması, gözönüne alınan deprem

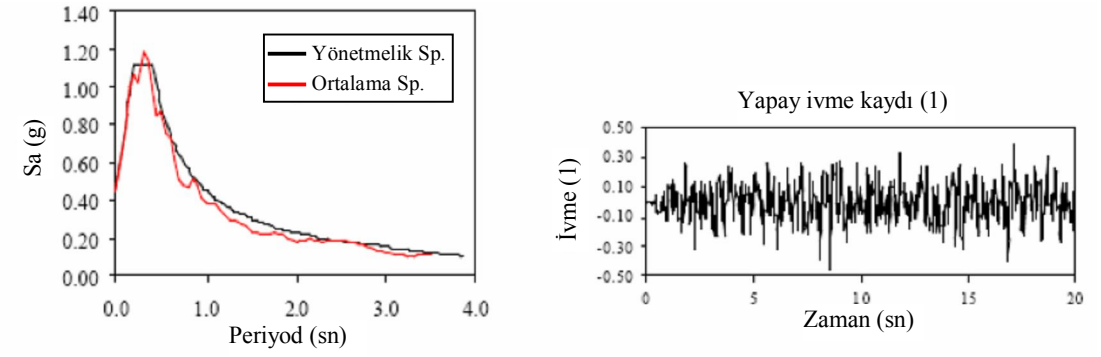
doğrultusundaki birinci (hâkim) periyod T_1'e göre $0.2T_1$ ile $2T_1$ arasındaki periyodlar için, yönetmelikte tanımlanan $S_{ae}(T)$ elastik spektral ivmelerinin %90'ından daha az olmamalıdır, Şekil 2.41.



Şekil 2.35 : Deprem kaydı tepki spektrumu ile tasarım ivme spektrumu.

2.5.2 Tasarım ivme spektrumuna uygun yapay kayıtlar

Geniş bir periyod aralığında, tepki spektrumu elastik tasarım spektrumuna benzeyen yapay kayıtlar üretilmesi mümkündür, Şekil 2.36. Sadeleştirilmiş tepki spektrumundan güç spektral yoğunluk fonksiyonu bulunur ve bu fonksiyon rastgele faz açıları birleştirilerek sinüzoidal sinyaller üretilir. İteratif bir yaklaşım izlenerek tepki spektrumu ile daha iyi bir eşleşme sağlanabilir [46].

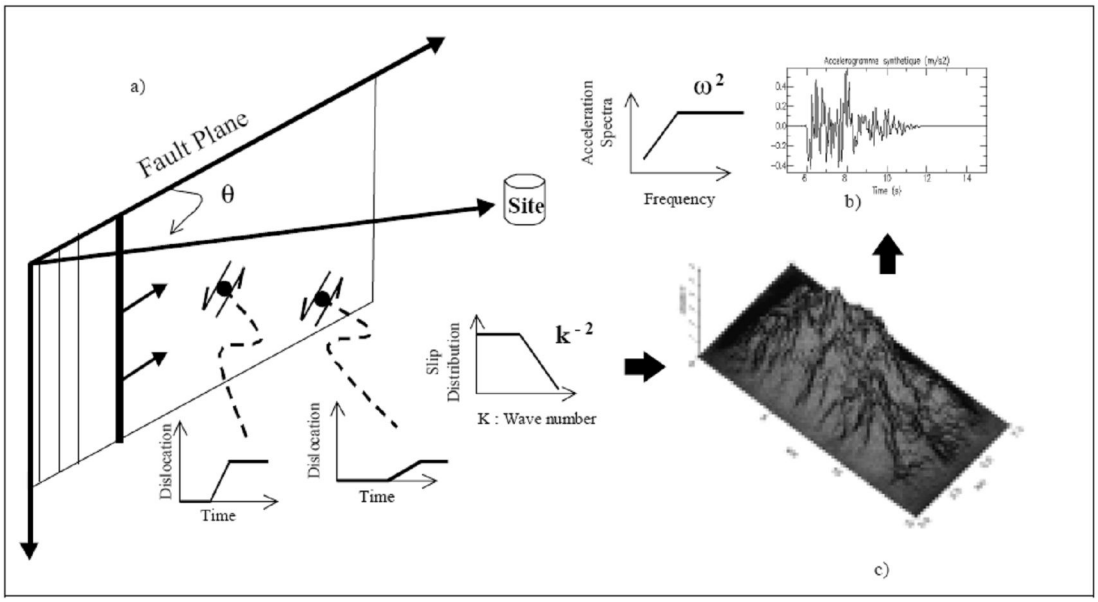


Şekil 2.36 : Tasarım spektrumuna uygun olarak üretilmiş bir deprem kaydı

Bu tip kayıtları kullanırken karşılaşılan en büyük zorluk, çok sayıda kaydedilmiş deprem hareketin ortalamasını simgeleyen tasarım spektrumuna uygun tek bir kayıt elde etmeye çalışmaktır. Ayrıca kuvvetli yer hareketindeki çevrim sayısının artmasından dolayı gerçeğe aykırı olacak kadar büyük miktarda enerji açığa çıkmaktadır. Bu da hesabı yapılan sistemin normalin üzerinde bir etkiye maruz kalması demektir.

2.5.3 Simüle edilmiş (benzeştirilmiş) kayıtlar

Bu tür kayıtlar yayılım ortamı ve zemin özelliklerini dikkate alan sismolojik kaynak modellerinden elde edilir, Şekil 2.37. Buradaki en büyük zorluk, uygun kaynak, yayılım ortamı ve zemin özelliklerinin tanımlanmasıdır [46].



Şekil 2.37 : Sismolojik kaynak modelleme prosedürü şematik gösterimi.

Kaynak ve dalga yayılımı özellikleri fiziksel olarak benzeştirilmiş (simüle edilmiş) kayıtları elde etmekte kullanılan analizlerde, inceleme yapılacak alan için, senaryo depreminin büyüklük ve mesafeye bağlı olarak tanımlanmış olması gerekir. Özellikle sismik tasarım yönetmeliklerinin kullanıldığı durumlarda, bu bilgilerin çoğu genellikle mevcut değildir.

Simüle edilmiş kayıtların elde edilmesi amacıyla gerçekleştirilen sismik risk analizi için başlıca iki yaklaşım kullanılmaktadır. Bunlar deterministik yaklaşım ve probabilistik yaklaşımdır.

2.5.3.1 Deterministik yaklaşım

Deterministik olarak belirlenen deprem tehlikesi, zaman boyutundan bağımsız olarak, bölgede meydana gelebilecek en büyük depremin yaratacağı yer hareketinin düzeyidir [47] :

Belirli bir alan için en büyük deterministik deprem tehlikesi, bu alanı etkileyebilecek deprem kaynaklarında meydana gelebileceği varsayılan en büyük depremin bu alanda yaratacağı en büyük yer hareketine eşdeğerdir. Bu kapsamda,

1. Her bir deprem kaynağındaki oluşabilecek en büyük depremin, merkez üssünün inşaat alanına en yakın olabilecek şekilde, kaynak bölgesinin kenarında yer alacaği varsayılır
2. Hiçbir tektonik birimle ilişki kurulamayan depremlerin, mahallin hemen altında meydana geleceği varsayılır.

Deprem hasar senaryolarının ve masterplanlarının hazırlanması kapsamında kentsel deprem tehlikesinin deterministik olarak belirlenmesi için "*Senaryo Depremi*" olarak adlandırılan ve kenti makul bir süre zarfında ve makul bir olasılıkla etkileyebileceği varsayılan deprem veya depremler kullanılır. Bu tip senaryo depremleri için gözönüne alınan '*makul süre*'ler genellikle insan ömrü ile veya önemi yapıların ekonomik ömrü ile kıyaslanabilecek (50-60 yıl) şekilde seçilir. Bu bağlamda deterministik deprem tehlikesi, senaryo depreminin oluşacağı deprem kaynak bölgelerinin, bu bölgelerde oluşabilecek makul düzeydeki deprem büyüklüğünün ve kullanılacak azalım ilişkisinin bir fonksiyonu olmaktadır.

2.5.3.2 Probabilistik yaklaşım

Probalistik deprem tehlikesi, hasar yapıcı yer hareketinin belli bir yerde ve belli bir zaman periyodu içerisinde meydana gelme olasılığı olarak tanımlanır. Probabilistik bir deprem tehlike haritasının hazırlanması için kullanılan metodoloji aşağıdaki şekilde ifade edilebilir [47] :

1. tarihi ve aletsel deprem verilerinin elde edilmesi,
2. tektonik çalışmalar ve değerlendirmeler,
3. deprem kaynak bölgelendirmesi,
4. deprem oluşum frekanslarının belirlenmesi,
5. azalım ilişkileri ve
6. probabilistik deprem tehlikesinin belirlenmesi.

Probalistik deprem tehlikesi, yıllık tehlike olarak tanımlanan, yıllık aşılma olasılığı veya, onun bire bölünmesi ile elde edilen, ortalama yineleme (dönüş) periyodu olarak ifade edilebilir. Kentsel deprem tehlikesi analizlerinin temel sonuçları, spesifik bir kent için ve mevcut jeoloji ve depremsellik bilgilerine dayalı olarak hazırlanan maksimum yer hareketi aşılma olasılığı dağılımları olarak verilir. Deprem tehlikesi

bilgileri belirli yer hareketi parametrelerine (maksimum ivme ve şiddet gibi) ve belirli dönüş periyodlarına tekabül eden konturlar olarak sunulur

2.5.4 Gerçek depremlerden elde edilen kayıtlar

Gerçek deprem kayıtları, yer sarsıntısının doğası ve belli başlı özellikleri (genliği, süresi, faz özellikleri ve frekans muhteviyatı) hakkında sağlıklı bilgiler içerir. Ayrıca, kayıtları etkileyen kaynak, yayılım ortamı ve zemin sınıfı gibi bütün faktörleri de yansıtır. Bu yüzden sahanın sismolojik parametreleri gözönünde bulundurularak bu tür kayıtların seçilmesi diğer alternatiflere göre büyük üstünlük sağlar [46].

Elde mevcut olan kuvvetli yer hareketi kayıtlarının artması sebebiyle, depremlerde kaydedilmiş ivme kayıtlarının kullanılması ve ölçeklenmesi bu alandaki en güncel araştırma konularından biri haline gelmektedir. Sürekli artan kuvvetli yer hareketi veri tabanlarına rağmen, büyüklük, yırtılma mekanizması, kaynakla saha arasındaki mesafe ve zemin sınıfı gibi deprem parametrelerine bağlı pek çok kombinasyon oluşturulabileceğinden, bazı hallerde duruma uygun kayıt bulmada zorluklarla karşılaşılabilir.

Gerçek deprem kayıtları, yer hareketinin belli özelliklerini temsil etmesi için genellikle tasarım spektrumuna veya büyüklük, mesafe ve zemin sınıfı gibi minimum parametreleri verilen deprem senaryosuna dayandırılarak seçilir. Sismik tasarım yönetmeliklerinde, uygun gerçek kayıtların nasıl seçileceği ile ilgili verilen yönlendirmeler çoğunlukla sismolojik parametreler yerine tepki spektrumuna uygunluğa odaklanır. Böylece kayıtlar en büyük yer ivmesi gibi kuvvetli yer hareketi parametrelerine göre bir tasarım tepki spektrumuna uyacak şekilde seçilir.

Kaydedilmiş deprem yer hareketlerinin ölçeklenmesinde kullanılan başlıca iki yöntem vardır. Bunlar

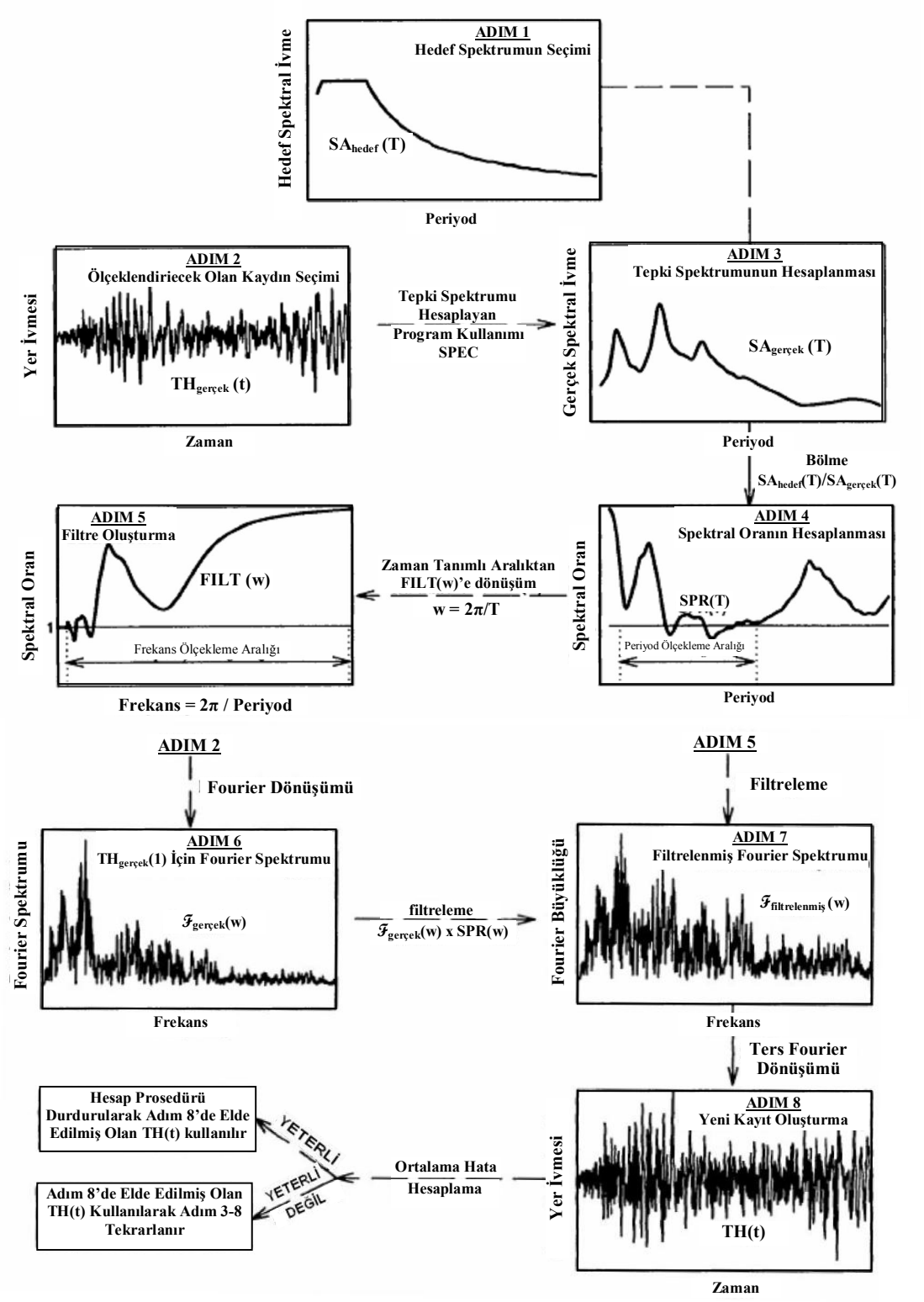
1) frekans tanım alanında ölçeklendirme,

2) zaman tanım alanında ölçeklendirmedir

2.5.4.1 Frekans tanım alanında ölçeklendirme

Bu yöntem, deprem sırasında kaydedilmiş ivme kayıtları kullanılarak tasarım ivme spektrumuyla neredeyse mükemmel şekilde uyuşan başlangıçtaki kayda benzer bir hareketin türetilmesi esasına dayanır [46].

Şekil 2.38'de frekans tanım alanında ölçeklemenin akış şeması görülmektedir.



Şekil 2.38 : Frekans tanım alanında ölçeklendirme prosedürü.

Bu akış şemasındaki adımlar aşağıdaki şekilde açıklanabilir :

ADIM 1 : İlgili tasarım spektrumu $S_a^{hedef}(T)$ belirlenir

ADIM 2 : İlgili tasarım spektrumuna $S_a^{hedef}(T)$ uygun olarak ölçeklenmek üzere tek bir deprem kaydı seçilir $TH^{gerçek}$ (t)

ADIM 3 : Sönüm oranı, tasarım spektrumu ile aynı olacak şekilde seçilen kaydın davranış spektrumu $S_a^{gerçek}(T)$ elde edilir

ADIM 4 : Ölçeklemenin yapılacağı periyod sınırları içinde tasarım spektrumu ve gerçek kaydın davranış spektrumu arasındaki oran hesaplanır

$$SPR(T) = \frac{S_a^{hedef}(T)}{S_a^{gerçek}(T)} \qquad T_A \le T \le T_B \tag{2.42}$$

ADIM 5 : Zamana bağlı olan oran fonksiyonu, SPR (T), açısal frekans, ω, cinsinden yazılır

$$FILT(\omega) = SPR(\omega) \qquad \omega_{min} \le \omega \le \omega_{mak} \tag{2.43}$$

Burada, ω_{min} ve ω_{mak} sırasıyla maksimum ve minimum ölçekleme açısal frekanslarıdır.

ADIM 6 ve 7 : Hızlı Fourier algoritması kullanılarak gerçek deprem kaydının, $TH^{gerçek}$ (t), Fourier spektrum genliği $F^{gerçek}(\omega)$ ve Fourier spektrum fazı $\theta^{gerçek}(\omega)$ hesaplanır. Fourier spektrum genliği $FILT(\omega)$ fonksiyonu ile çarpılarak $F^{filtrelenmiş}(\omega)$ fonksiyonu elde edilir

ADIM 8 : Filtrelenmiş Fourier spektrum genliği $F^{filtrelenmiş}(\omega)$ ve orijinal kaydın Fourier spektrum fazından, $\theta^{gerçek}(\omega)$, ters Fourier algoritması kullanılarak bir kayıt, TH (t), oluşturulur.

Adım 8'de elde edilen kaydın davranış spektrumu ile tasarım ivme spektrumu arasında yönetmeliklerde belirtilen eşleşme sağlanıncaya kadar ADIM 3'ten ADIM 8'e kadar olan adımlar tekrar edilir.

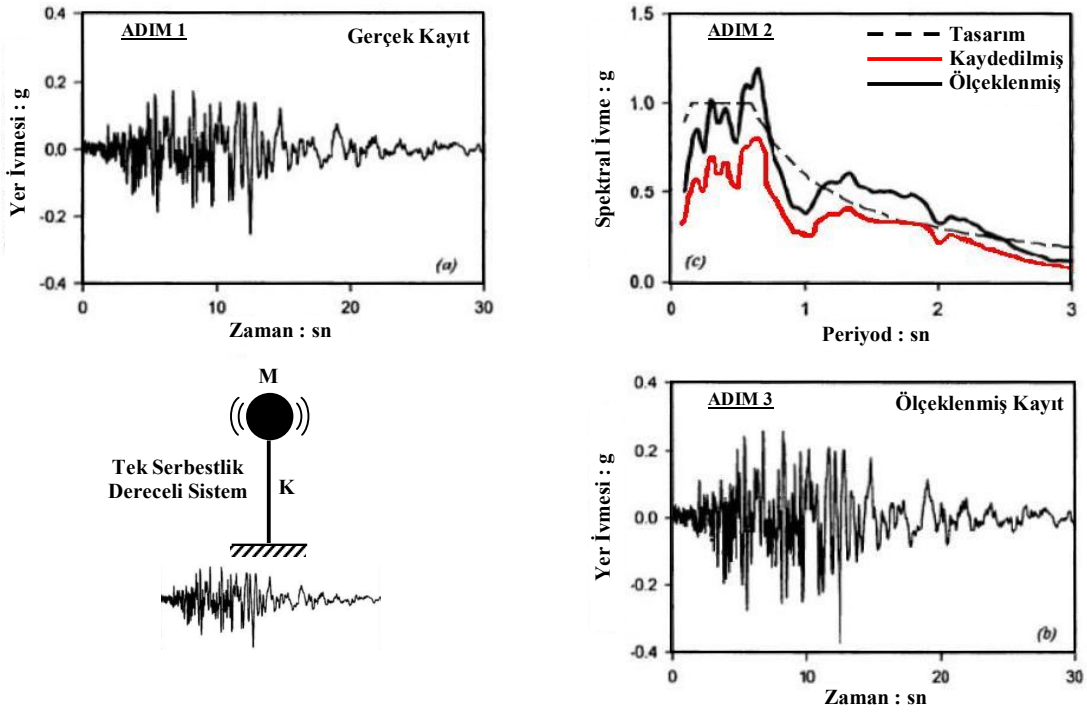
Frekans tanım alanında yapılan ölçekleme esnasında deprem hareketi fiziksel özelliklerini yitirmediği için klasik yapay deprem kaydı üretme metotları ile karşılaştırıldığında daha etkili bir yöntemdir. Bütün yöntem boyunca Fourier fazları değişmeden aynen kalır. İteratif bir yaklaşım izlenerek tasarım ivme spektrumuna istenilen derecede yakın kayıtlar üretilebilir.

Frekans tanım alanında yapılan ölçekleme yöntemi kullanılarak tasarım spektrumu ile bire bir eşleşen kayıtlar elde etmek mümkün olsa da, bu kayıtlar yapıların doğrusal olmayan deprem hesaplamalarında kullanılırken yerdeğiştirmeye hassas bölgede eşit yerdeğiştirme kuralını sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmelidir.

2.5.4.2 Zaman tanım alanında ölçeklendirme

Bu yöntemde, yer hareketi kaydı aynı miktarda yukarı veya aşağı yönde ölçeklenerek (1'den büyük veya 1'den küçük sabit bir katsayı ile çarpılarak), istenilen periyod aralığında, hedef tasarım ivme spektrumuna en uygun eşleşme yapılır. Bu işlem, kaydın frekans içeriğini değiştirmez. Birden fazla deprem kaydı kullanılmak istendiğinde ise, her bir kayıt için ayrı ayrı ölçekleme işlemi yapılabileceği gibi hedef tasarım spektrumuna en iyi uyan kayıtların ortalaması da alınabilir [46].

Şekil 2.39'da, zaman tanım alanında ölçekleme prosedürü kısaca özetlenmiştir.



Şekil 2.39 : Zaman tanım alanında ölçeklendirme prosedürü.

Adım 1'de, seçilmiş olan deprem yer hareketi kaydı göülmektedir. Adım 2'de, 1. adımda seçilmiş olan deprem kaydından tek serbestlik dereceli bir sistem için elde edilmiş olan tepki spektrumu ve tasarım (hedef) spektrumu birarada gösterilmiştir. Bu adımda, elde edilmiş olan tepki spektrumu, belirli bir aralıkta, belirlenen bir değerin üstüne çıkana kadar (TDY 2007 için tasarım spektrumunun %90'ı)

ölçeklendirme katsayısı ile çarpılır. İstenilen düzeye ulaşıldığında ise ölçeklendirme katsayısı elde edilmiş olur. Adım 3'te de, 2. adımda elde edilmiş olan ölçeklendirme katsayısı 1. adımda seçilmiş olan deprem yer hareketi kaydının tamamı ile çarpılarak ölçeklendirilmiş deprem yer hareketi kaydı elde edilir.

Hesap adımlarından da görüldüğü üzere kaydın frekans içeriği üzerinde bir işlem yapılmadığında frekans içeriği bu ölçeklendirme işlemi sonucunda değişmemiş olur.

2.5.4.3 Zaman tanım alanında ve frekans tanım alanında ölçeklendirme yöntemlerinin karşılaştırılması

Bölüm 2.5.4.1 ve 2.5.4.2'de açıklanmış olan ölçeklendirme yöntemleri ile deprem kayıtlarının doğru bir şekilde hedeflenen tasarım spektrumlarına uydurulması mümkündür. Bununla beraber, iki yöntemin kendilerine göre artıları ve eksileri bulunmaktadır.

a) Yöntemlerin her ikisi ile de tasarım spektrumuna uyumlu kayıtlar elde etmek mümkündür.

b) Frekans tanım alanında ölçekleme yönteminde tasarım ivme spektrumu ile oldukça iyi eşleşen kayıtlar elde edilebilir. Fakat yer hareketi kaydının frekans içeriği değiştirildiği için yer hareketinin doğal özellikleri kaybolur.

c) Zaman tanım alanında ölçekleme yöntemi uygulanarak elde edilen kayıtların doğrusal elastik olmayan ivme davranış spektrumları, yerdeğiştirmeye hassas bölgede *Eşit Yerdeğiştirme Kuralı*'nı sağlamaktadır.

d) Frekans tanım alanında ölçeklenen kayıtlar eşit yerdeğiştirme kuralı nı sağlamamaktadır. Bu yüzden, frekans tanım alanında ölçekleme yöntemi kullanılarak elde edilen kayıtların yapıların doğrusal olmayan deprem hesaplamalarında kullanılması uygun değildir.

2.5.4.4 Zaman tanım alanında ölçekleme katsayıları ile ilgili sınırlamalar

Zaman tanım alanında ölçekleme yapılırken, gerçekleştirilecek olan analizin türüne göre, aşağıdaki sınırlamalar getirilmektedir [21] :

a) Yapıların doğrusal elastik analizleri için : $\alpha_{ölçek} < 4$

b) Doğrusal elastik olamayan analizler için : $0.5 < \alpha_{ölçek} < 2$

c) Sıvılaşma analizleri için : $\alpha_{ölçek} < 2$

Bu çalışmada, TÜBİTAK Mühendislik Araştırma Grubu'nun 106M048 proje numaralı çalışmasındaki [21] gürültüden arındırılmış 21 adet deprem yer hareketi kaydının verileri alınmış ve aralarından 7 tanesi hesaplarda kullanılmak üzere seçilmiş ve *zaman tanım alanında* ölçeklendirilmiştir.

3. PERFORMANSA DAYALI TASARIM VE DEĞERLENDİRME

Yerdeğiştirmeye bağlı performans kriterlerini esas alan yapısal değerlendirme ve tasarım kavramı, özellikle son yıllarda Amerika Birleşik Devletleri'nin deprem bölgelerindeki mevcut yapıların deprem güvenliklerinin daha gerçekçi olarak belirlenmesi ve yeterli güvenlikte olmayan yapıların güçlendirilmeleri çalışmaları sırasında ortaya konulmuş ve geliştirilmiştir [32].

Amerika Birleşik Devletleri'nin California eyaletinde, 1989 Loma Prieta ve 1994 Northridge depremlerinin neden olduğu büyük hasar, deprem etkileri altında yeterli bir dayanımı öngören performans kriterlerine alternatif olarak, yerdeğiştirmeye bağlı daha gerçekçi performans kriterlerini esas alan yöntemlerin geliştirilmesi gereksinimini ortaya çıkarmıştır.

Bu gereksinimi karşılamaya yönelik olarak, Applied Technology Council (ATC) tarafından *Guidelines and Commentary for Seismic Rehabilitation of Buildings* - ATC 40 [14] ve Federal Emergency Management Agency (FEMA) tarafından *NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings* – FEMA 273 [15], FEMA 356 [16] raporları yayınlanmıştır. Daha sonra, bu çalışmaların sonuçlarının irdelenerek geliştirilmesi amacıyla ATC 55 projesi yürütülmüş ve projenin bulgularını içeren FEMA 440 taslak raporu [17] hazırlanmıştır.

Ülkemizde, özellikle 1999 Adapazarı-Kocaeli ve Düzce depremlerinin ardından, mevcut yapıların deprem güvenliklerinin belirlenmesini ve yeterli deprem güvenliğine sahip olmayan yapıların güçlendirilmesini amaçlayan pratik uygulamalara hız verilmiştir. Ancak o tarihlerde, diğer birçok ülkede olduğu gibi ülkemizde de mevcut yapıların deprem güvenliklerinin belirlenmesine yönelik bir yönetmeliğin henüz mevcut olmaması nedeniyle, bu uygulamaların önemli bir bölümü yeni yapılacak yapılar için geçerli olan yönetmelik (1998 Türk Deprem Yönetmeliği) esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Bu durumun oluşturduğu sakıncaları ortadan kaldırmak amacıyla 2003 yılından başlayarak, deprem yönetmeliğine mevcut binaların deprem güvenliklerinin belirlenmesi ve güçlendirilmesi ile ilgili bir bölüm

eklenmesi ve buna paralel olarak yönetmeliğin diğer bölümlerinin de güncelleştirilmesi çalışmaları yürütülerek tamamlanmıştır.

Aşağıdaki bölümlerde, 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nin (DBYBHY'07), mevcut betonarme binaların deprem performans ve güvenliklerinin değerlendirmesine ilişkin bölümünün (Bölüm 7) temel ilkelerine ve uygulanmasına yönelik bilgi verilecektir [20].

3.1 Binalardan Bilgi Toplanması

Mevcut binaların deprem performanslarının değerlendirilmesinde kullanılmak üzere, taşıyıcı sistem geometrisine, elemanların enkesit özelliklerine, malzeme karakteristiklerine ve zemin özelliklerine ilişkin bilgiler binaların projelerinden, ilgili raporlardan, binada yapılacak gözlem ve ölçümler ile binadan alınacak malzeme örneklerine uygulanacak deneylerden elde edilebilir. Binalardan toplanan bilginin kapsam ve güvenilirliğine bağlı olarak

a) Sınırlı bilgi düzeyi

b) Orta bilgi düzeyi

c) Kapsamlı bilgi düzeyi

olmak üzere, yönetmelikte üç bilgi düzeyi tanımlanmış ve bu bilgi düzeyleri için eleman kapasitelerine uygulanacak bilgi düzeyi katsayıları verilmiştir, Çizelge 3.1.

Çizelge 3.1 : Binalar için bilgi düzeyi katsayıları.

Bilgi Düzeyi	Bilgi Düzeyi Katsayısı
Sınırlı	0.75
Orta	0.90
Kapsamlı	1.00

Bilgi düzeyi kriterleri, çelik, betonarme, prefabrike betonarme ve yığma yapılar için farklılık gösterse de, genel olarak prensipleri aynıdır ve yapı türü farketmeksizin aynı bilgi düzeyindeki binalar için aynı bilgi düzeyi katsayısı uygulanır.

3.2 Yapı elemanlarında hasar sınırları ve hasar bölgeleri

Yapıların deprem etkileri altındaki performanslarının değerlendirmesi genel olarak iki farklı kritere göre yapılabilmektedir. Doğrusal elastik değerlendirme

yöntemlerinin esasını oluşturan ve *dayanım (kuvvet) bazlı değerlendirme* adı verilen birinci tür değerlendirmede, yapı elemanlarının dayanım kapasiteleri elastik deprem yüklerinden oluşan ve doğrusal teoriye göre hesaplanan etkilerle karşılaştırılmakta ve yapı elemanının sünekliğini gözönüne alan, eleman bazındaki bir tür deprem yükü azaltma katsayıları çerçevesinde, binadan beklenen performans hedefinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmektedir. Doğrusal elastik olmayan değerlendirme yöntemlerinin esasını oluşturan, *yerdeğiştirme ve şekildeğiştirme bazlı değerlendirmenin* esas alındığı ve genel olarak malzeme ve geometri değişimleri bakımından doğrusal olmayan sistem hesabına dayanan yöntemlerde ise, belirli bir deprem etkisi için binadaki yerdeğiştirme istemine ulaşıldığında, yapıdan beklenen performans hedefinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmektedir.

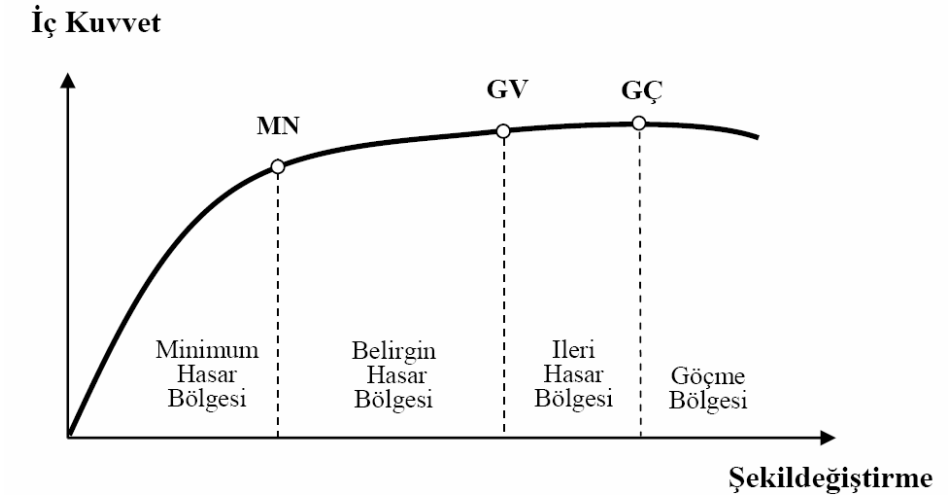
Her iki yaklaşımda da, yapı elemanları için hasar sınırları ve hasar bölgeleri tanımlanmıştır. Hasar sınırlarının belirlenmesinde, yapı elemanları "*sünek*" ve "*gevrek*" olarak iki sınıfa ayrılırlar. Sünek ve gevrek eleman tanımları, elemanların kapasitelerine hangi kırılma türü ile ulaştıkları ile ilgilidir.

3.2.1 Kesit hasar sınırları

Sünek elemanlar için kesit düzeyinde üç sınır durum tanımlanmıştır. Bunlar Minimum Hasar Sınırı (MN), Güvenlik Sınırı (GV) ve Göçme Sınırı (GÇ)'dır. Minimum hasar sınırı ilgili kesitte elastik ötesi davranışın başlangıcını, güvenlik sınırı kesitin dayanımını güvenli olarak sağlayabileceği elastik ötesi davranışın sınırını, göçme sınırı ise kesitin göçme öncesi davranışının sınırını tanımlamaktadır. Eksenel basınç ve kesme gibi etkiler altında kapasitesine ulaşan gevrek elemanlar için elastik ötesi davranışa izin verilmemektedir.

3.2.2 Kesit hasar bölgeleri

Kritik kesitlerinin hasarı MN'ye ulaşmayan elemanlar *Minimum Hasar Bölgesi*'nde, MN ile GV arasında kalan elemanlar *Belirgin Hasar Bölgesi*'nde, GV ve GÇ arasında kalan elemanlar *İleri Hasar Bölgesi*'nde, GÇ'yi aşan elemanlar ise Göçme Bölgesi'nde kabul edilirler, Şekil 3.1.



Şekil 3.1 : Kesit hasar bölgeleri.

3.3 Bina Deprem Performans Düzeyleri

Performans düzeyleri verilen bir yapı için, verilen bir deprem etkisi altında, öngörülen hasar miktarının sınır durumlarıdır. Bu sınır durumlar, binadaki taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlardaki hasarın miktarına, bu hasarın can güvenliği bakımından bir tehlike oluşturup oluşturmamasına, deprem sonrasında binanın kullanılıp kullanılmamasına ve hasarın neden olduğu ekonomik kayıplara bağlı olarak belirlenir [32].

2007 Türk Deprem Yönetmeliği binaların deprem performansını, uygulanan deprem etkisi altında binada oluşması beklenen yapısal hasara bağlı olarak tanımlamaktadır. Yönetmelikte tanımlanan doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinin uygulanması ve eleman hasar bölgelerine karar verilmesi ile bina deprem performans seviyesi belirlenir.

3.3.1 Hemen kullanım performans düzeyi

Uygulanan deprem etkisi altında yapısal elemanlarda oluşan hasar minimum düzeydedir ve elemanlar rijitlik ve dayanım özelliklerini korumaktadırlar. Yapıda kalıcı ötelenmeler oluşmamıştır. Az sayıda elemanda akma sınırı aşılmış olabilir. Yapısal olmayan elemanlarda çatlamalar görülebilir, ancak bunlar onarılabilir düzeydedir.

Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla %10'u belirgin hasar bölgesine geçebilir, ancak diğer taşıyıcı elemanlarının tümü minimum hasar bölgesindedir. Eğer varsa, gevrek olarak

hasar gören elemanların güçlendirilmeleri kaydı ile, bu durumdaki binaların *Hemen Kullanım Performans Düzeyi*'nde olduğu kabul edilir.

3.3.2 Can güvenliği performans düzeyi

Uygulanan deprem etkisi altında yapısal elemanların bir kısmında hasar görülür, ancak bu elemanlar yatay rijitliklerinin ve dayanımlarının önemli bölümünü korumaktadırlar. Düşey elemanlar düşey yüklerin taşınması için yeterlidir. Yapısal olmayan elemanlarda hasar bulunmakla birlikte dolgu duvarları yıkılmamıştır. Yapıda az miktarda kalıcı ötelenmeler oluşabilir; ancak gözle fark edilebilir değerlerde değildir.

Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla %30'u ve kolonların bir kısmı ileri hasar bölgesine geçebilir. Ancak ileri hasar bölgesindeki kolonların, tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine katkısı %20'nin altında olmalıdır. Diğer taşıyıcı elemanların tümü minimum hasar bölgesi veya belirgin hasar bölgesindedir. Bu durumda, eğer varsa, gevrek olarak hasar gören elemanların güçlendirilmeleri koşulu ile, bina *Can Güvenliği Performans Düzeyi*'nde kabul edilir. Can güvenliği performans düzeyinin kabul edilebilmesi için herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden minimum hasar sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir. En üst katta ileri hasar bölgesindeki kolonların kesme kuvvetleri toplamının, o kattaki tüm kolonların kesme kuvvetlerinin toplamına oranı en fazla %40 olabilir. Binanın güçlendirilmesine, güvenlik sınırını aşan elemanların sayısına ve yapı içindeki dağılımına göre karar verilir.

3.3.3 Göçme öncesi performans düzeyi

Uygulanan deprem etkisi altında yapısal elemanların önemli bir kısmında hasar görülür. Bu elemanların bazıları yatay rijitliklerinin ve dayanımlarının önemli bölümünü yitirmişlerdir. Düşey elemanlar düşey yüklerin taşınmasında yeterlidir; ancak bazıları eksenel kapasitelerine ulaşmıştır. Yapısal olmayan elemanlar hasarlıdır, dolgu duvarların bir bölümü yıkılmıştır. Yapıda kalıcı ötelenmeler oluşmuştur.

Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla %20'si göçme bölgesine geçebilir. Diğer taşıyıcı elemanların tümü minimum hasar bölgesi, belirgin hasar bölgesi veya ileri hasar bölgesindedir. Bu durumda bina, eğer varsa, gevrek olarak hasar gören elemanların güçlendirilmeleri koşulu ile, *Göçmenin Öncesi Performans Düzeyi*'nde kabul edilir. Göçmenin önlenmesi durumunun kabul edilebilmesi için herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden minimum hasar sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kat kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir. Binanın mevcut durumunda kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır ve bina güçlendirilmelidir. Ancak güçlendirmenin ekonomik verimliliği değerlendirilmelidir.

3.3.4 Göçme durumu

Yapı, uygulanan deprem etkisi altında göçme durumuna ulaşır. Düşey taşıyıcı elemanların bir bölümü göçmüştür. Göçmeyenler düşey yükleri taşıyabilmektedir; ancak rijitlikleri ve dayanımları çok azalmıştır. Yapısal olmayan elemanların büyük çoğunluğu göçmüştür. Yapıda belirgin kalıcı ötelenmeler oluşmuştur. Yapı tamamen göçmüştür veya yıkılmanın eşiğindedir ve daha sonra meydana gelebilecek hafif şiddette bir yer hareketi altında bile yıkılma olasılığı yüksektir.

Bina göçme öncesi performans düzeyini sağlamıyorsa *Göçme Durumu*'ndadır. Binanın güçlendirme uygulanmadan, mevcut durumu ile kullanılması can güvenliği bakımından sakıncalıdır. Bununla beraber, güçlendirme de çok kere ekonomik olmayabilir.

3.4 Performans Belirlemede Esas Alınacak Deprem Hareketleri

Performansa dayalı değerlendirme ve tasarımda gözönüne alınmak üzere, farklı düzeyde üç deprem hareketi tanımlanmıştır. Bu deprem hareketleri genel olarak, 50 yıllık bir süreç içindeki aşılma olasılıkları ile ve benzer depremlerin oluşumu arasındaki zaman aralığı (dönüş periyodu) ile ifade edilirler.

1- *Servis (kullanım) depremi* : 50 yılda aşılma olasılığı % 50 olan yer hareketidir. Yaklaşık dönüş periyodu 72 yıldır. Bu depremin etkisi, aşağıda tanımlanan tasarım depreminin yarısı kadardır.

2- *Tasarım depremi* : 50 yılda aşılma olasılığı % 10 olan yer hareketidir. Yaklaşık dönüş periyodu 475 yıldır. Bu deprem 1998 ve 2007 Türk Deprem Yönetmelikleri'nde esas alınmaktadır.

3- *En büyük deprem* : 50 yılda aşılma olasılığı % 2, dönüş periyodu yaklaşık 2475 yıl olan bir depremdir. Bu depremin etkisi tasarım depreminin yaklaşık olarak 1.50 katıdır.

3.5 Performans Hedefi ve Çok Seviyeli Performans Hedefleri

Belirli bir deprem hareketi altında, bina için öngörülen yapısal performans düzeyi *performans hedefi* olarak tanımlanır. Bir bina için, birden fazla yer hareketi altında farklı performans hedefleri öngörülebilir. Buna *çok seviyeli performans hedefi* denir. Mevcut ve güçlendirilecek binaların deprem performanslarının belirlenmesinde esas alınacak deprem düzeyleri ve bu deprem düzeylerinde binalar için öngörülen minimum performans hedefleri Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2 : Binalar için öngörülen minimum performans hedefleri.

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

HK: Hemen Kullanım; **CG**: Can Güvenliği; **GÖ**: Göçme Öncesi

3.6 Performans Belirlenmesi ve Kullanılan Analiz Yöntemleri

Aşağıdaki paragraflarda ilk olarak, 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'ne göre mevcut ve güçlendirilecek binaların deprem performanslarının belirlenmesi amacıyla uygulanan doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri için öngörülen genel ilke ve kurallar açıklanacak, daha sonra doğrusal elastik hesap yöntemleri ile deprem performansı belirlenmesi hakkında bilgi verilecektir. İlerleyen

bölümlerde, tez kapsamında yer alan doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinin 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nde belirtilen hesap adımları incelenecek ve son olarak doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleriyle deprem performansının nasıl belirleneceği açıklanacaktır.

3.6.1 Doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri için genel ilke ve kurallar

2007 Türk Deprem Yönetmeliği, mevcut ve güçlendirilecek binaların deprem performanslarının belirlenmesi amacıyla uygulanmak üzere doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerini önermektedir. Teorik olarak farklı yaklaşımları esas alan bu yöntemlerle yapılacak performans değerlendirmelerinin tamamen aynı sonucu vermesi beklenmemektedir. Her iki yöntem için geçerli olan genel ilke ve kurallar aşağıda belirtilmiştir [20].

- Deprem etkisinin tanımında, yönetmelikte aynı zamanda tasarım için verilmiş olan 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremin elastik (azaltılmamış) ivme spektrumu kullanılır. Çok seviyeli performans değerlendirmesi gerekli olan binalarda ve 50 yılda aşılma olasılıkları %50 ve %2 olan depremler için bu spektrum ordinatları sırası ile 0.5 ve 1.5 katsayıları ile çarpılır, buna karşılık bina önem katsayısı uygulanmaz (I =1.0).
- Binaların deprem performansı, yapıya etkiyen düşey yüklerin ve deprem kuvvetlerinin birleşik etkileri altında değerlendirilir. Kat kütleleri kat ağırlıkları ile, hareketli düşey yükler de gözönüne alınan kütleler ile uyumlu olacak şekilde tanımlanır.
- Deprem kuvvetleri binaya her iki doğrultuda ve her iki yönde ayrı ayrı etki ettirilir.
- Deprem hesabında kullanılacak zemin parametreleri yönetmeliğin ilgili bölümüne göre belirlenir.
- Binanın taşıyıcı sistem modeli, deprem kuvvetleri ile düşey yüklerin ortak etkileri altında yapı elemanlarında oluşacak iç kuvvet, yerdeğiştirme ve şekildeğiştirmeleri hesaplamak için yeterli doğrulukta hazırlanır.
- Döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, her katta iki yatay yerdeğiştirme ile düşey eksen etrafında dönme serbestlik dereceleri

gözönüne alınır. Kat serbestlik dereceleri her katın kütle merkezinde tanımlanır ve ek dışmerkezlik uygulanmaz.

- Mevcut binaların taşıyıcı sistemlerindeki belirsizlikler, bilgi düzeyi katsayıları aracılığı ile hesap yöntemlerine yansıtılır.
- Kısa kolonlar, taşıyıcı sistem modelinde gerçek serbest boyları ile tanımlanır.
- Bir veya iki eksenli eğilme ve eksenel kuvvet etkisindeki betonarme kesitlerin etkileşim diyagramlarının tanımlanması aşağıda verilen ilkelere göre yapılır.
  (a) Analizde beton ve donatı çeliğinin bilgi düzeyine göre belirlenen mevcut dayanımları esas alınır.
  (b) Betonun maksimum basınç birim şekildeğiştirmesi 0.003, donatı çeliğinin maksimum birim şekildeğiştirmesi ise 0.01 olarak alınabilir.
  (c) Etkileşim diyagramları uygun biçimde doğrusallaştırılarak çok doğrulu veya çok düzlemli diyagramlar olarak modellenebilir.
- Betonarme sistemlerin eleman boyutlarının tanımında birleşim bölgeleri sonsuz rijit uç bölgeleri olarak gözönüne alınabilir.
- Eğilme etkisindeki betonarme elemanlarda çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitlikleri $(EI)_e$ kullanılır. Daha kesin bir hesap yapılmadıkça, etkin eğilme rijitlikleri için
  (a) kirişlerde: $(EI)_e = 0.40\ (EI)_o$
  (b) kolon ve perdelerde, $N_D / (A_c\, f_{cm}) \leq 0.10$ durumunda: $(EI)_e = 0.40\ (EI)_o$
  $N_D / (A_c\, f_{cm}) \geq 0.40$ durumunda: $(EI)_e = 0.80\ (EI)_o$
  değerleri kullanılır. Eksenel basınç kuvveti N_D'nin ara değerleri için doğrusal enterpolasyon yapılabilir. N_D, deprem hesabında esas alınan toplam kütlelerle uyumlu yüklerin gözönüne alındığı ve çatlamamış kesitlere ait $(EI)_o$ eğilme rijitliklerinin kullanıldığı bir ön düşey yük hesabı ile belirlenir. Deprem hesabı için başlangıç durumunu oluşturan düşey yük hesabı, çatlamış kesit için tanımlanan etkin eğilme rijitliği $(EI)_e$ kullanılarak deprem hesabında esas alınan kütlelerle uyumlu yüklere göre yeniden yapılır. Deprem hesabında da aynı rijitlikler kullanılır.

- Betonarme tablalı kirişlerin pozitif ve negatif plastik momentlerinin hesabında tabla betonu ve içindeki donatı hesaba katılabilir.
- Betonarme elemanlarda kenetlenme veya bindirme boyunun yetersiz olması durumunda, kesit kapasite momentinin hesabında ilgili donatının akma gerilmesi kenetlenme veya bindirme boyundaki eksikliği oranında azaltılabilir.
- Zemindeki şekildeğiştirmelerin yapı davranışını etkileyebileceği durumlarda zemin özellikleri analiz modeline yansıtılır.

3.6.2 Doğrusal elastik hesap yöntemleri

3.6.2.1 Yöntemin esasları

2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nde öngörülen ve binaların deprem performanslarının belirlenmesi için kullanılan doğrusal elastik hesap yöntemleri, *Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ve Mod Birleştirme Yöntemi*' dir. Dayanım bazlı olan bu yöntemlerin amacı, verilen bir deprem etkisi altında, deprem yükü azaltma katsayısının R_a=1 değeri için hesaplanan etkiler ile yapı elemanlarının artık kapasiteleri arasındaki etki/kapasite oranlarının hesaplanması ve bu değerlerin ilgili sınır değerler ile karşılaştırılması suretiyle yapı elemanlarının kesit hasar bölgelerinin belirlenmesi ve bunlardan yararlanarak bina düzeyinde performans değerlendirmesi yapılmasıdır.

3.6.2.2 Eşdeğer deprem yükü yöntemi

Eşdeğer deprem yükü yöntemi, bodrum üzerinde toplam yüksekliği 25 metreyi ve toplam kat sayısı 8'i aşmayan, ayrıca ek dışmerkezlik gözönüne alınmaksızın hesaplanan burulma düzensizliği katsayısı $\eta_{bi} < 1.4$ olan binalara uygulanır. Toplam eşdeğer deprem yükünün (taban kesme kuvveti) hesabında R_a=1 alınır ve deprem etkileri bir λ katsayısı ile çarpılır. λ katsayısı bodrum hariç bir ve iki katlı binalarda 1.0, diğerlerinde 0.85 değerini almaktadır.

3.6.2.3 Mod birleştirme yöntemi

Mod Birleştirme Yöntemi ile hesapta R_a=1 alınır, diğer bir deyişle, elastik deprem spektrumları azaltılmadan, aynen kullanılır. Uygulanan deprem doğrultusu ve yönü ile uyumlu eleman iç kuvvetlerinin ve kapasitelerinin hesabında, bu doğrultuda hâkim olan modda elde edilen iç kuvvet doğrultuları esas alınır.

3.6.3 Yapı elemanlarının hasar düzeylerinin belirlenmesi

Doğrusal elastik hesap yöntemleri ile betonarme sünek elemanların hasar düzeylerinin belirlenmesinde, gözönüne alınan elemanın etki/kapasite oranı (r) olarak ifade edilen sayısal değerler kullanılır.

Kırılma türü eğilme olan elemanlar sünek, kesme olan elemanlar ise gevrek eleman olarak sınıflanır. Kolon, kiriş ve perdelerin sünek eleman olarak sayılabilmeleri için bu elemanların kritik kesitlerinde eğilme kapasitesi ile uyumlu olarak hesaplanan kesme kuvveti V_e'nin, bilgi düzeyi ile uyumlu mevcut malzeme dayanımı değerleri kullanılarak TS-500'e göre hesaplanan kesme kapasitesi V_r'yi aşmaması gereklidir. V_e'nin hesabı kolonlar, kirişler ve perdeler için yönetmelikte belirtilen ilgili bölümlere göre yapılır, ancak perdelerde kesme kuvveti dinamik büyütme katsayısı β_v=1 alınır. Kolon, kiriş ve perdelerde V_e'nin hesabında pekleşmeli taşıma gücü momentleri yerine taşıma gücü momentleri kullanılır. Düşey yükler ile birlikte, elastik deprem yükü azaltma katsayısı R_a = 1 alınarak depremden hesaplanan toplam kesme kuvvetinin V_e'den küçük olması durumunda ise, V_e yerine bu kesme kuvveti kullanılır. Ek koşul olarak perdelerin sünek eleman olarak sayılabilmesi için ayrıca H_w / ℓ_w > 2.0 koşulunu sağlaması gerekir. Bu koşulları sağlamayan betonarme elemanlar *gevrek olarak hasar gören elemanlar* olarak nitelendirilir.

Kırılma türü eğilme olan sünek kiriş, kolon ve perde kesitlerinin etki/kapasite oranı, deprem etkisi altında elastik deprem yükü azaltma katsayısı R_a = 1 alınarak hesaplanan kesit momentinin kesit artık moment kapasitesine bölünmesi ile elde edilir. Kesit artık moment kapasitesi, kesitin eğilme momenti kapasitesi ile düşey yükler altında kesitte hesaplanan moment etkisinin farkıdır. Etki/kapasite oranının hesabında, uygulanan deprem kuvvetinin yönü dikkate alınır. Kiriş mesnetlerinde düşey yükler altında hesaplanan moment etkisi, yeniden dağılım ilkesine göre en fazla %15 oranında azaltılabilir. Sarılma bölgesindeki enine donatının düzeni ve miktarı bakımından yönetmeliğin ilgili bölümlerindeki koşulları sağlayan betonarme kolonlar, betonarme kirişler ve betonarme perdeler "sargılanmış", sağlamayanlar ise "sargılanmamış" eleman sayılır. "Sargılanmış" sayılan elemanlarda sargı donatılarının "özel deprem etriyeleri ve çirozları" olarak düzenlenmiş olması ve donatı aralıklarının yönetmelikte belirtilen koşulları sağlaması gereklidir.

Hesaplanan kiriş, kolon ve perde kesitlerinin etki/kapasite (r) oranları, yönetmelikte verilen ilgili sınır değerler (r_s) ile karşılaştırılarak elemanların hangi hasar bölgesinde olduğuna karar verilir.

Kiriş, kolon ve perdelerde etki/kapasite oranlarının sınır değerleri Çizelge 3.3 - 3.5'te verilmiştir.

Çizelge 3.3 : Betonarme kirişler için etki/kapasite oranlarının sınır değerleri (r_s).

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

Çizelge 3.4 : Betonarme kolonlar için etki/kapasite oranlarının sınır değerleri (r_s).

Sünek Kolonlar			**Hasar Sınırı**		
$\frac{N_K}{A_c f_{cm}}$ (1)	Sargılama	$\frac{V_e}{b_w d\ f_{ctm}}$ (2)	**MN**	**GV**	**GÇ**
≤ 0.1	Var	≤ 0.65	3	6	8
≤ 0.1	Var	≥ 1.30	2.5	5	6
≥ 0.4 ve ≤ 0.7	Var	≤ 0.65	2	4	6
≥ 0.4 ve ≤ 0.7	Var	≥ 1.30	1.5	2.5	3.5
≤ 0.1	Yok	≤ 0.65	2	3.5	5
≤ 0.1	Yok	≥ 1.30	1.5	2.5	3.5
≥ 0.4 ve ≤ 0.7	Yok	≤ 0.65	1.5	2	3
≥ 0.4 ve ≤ 0.7	Yok	≥ 1.30	1	1.5	2
≥ 0.7	–	–	1	1	1

Çizelge 3.5 : Betonarme perdeler için etki/kapasite oranlarının sınır değerleri (r_s).

Sünek Perdeler	**Hasar Sınırı**		
Perde Uç Bölgesinde Sargılama	**MN**	**GV**	**GÇ**
Var	3	6	8
Yok	2	4	6

3.6.4 Doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri

3.6.4.1 Tanım

Deprem etkileri altındaki mevcut binaların yapısal performanslarının belirlenmesi ve güçlendirme analizleri için kullanılan doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinin amacı, verilen bir deprem için sünek davranışa ilişkin plastik şekildeğiştirme istemleri ile gevrek davranışa ilişkin iç kuvvet istemlerinin hesaplanmasıdır. Daha sonra bu istem büyüklükleri, bu bölümde tanımlanan şekildeğiştirme ve iç kuvvet kapasiteleri ile karşılaştırılarak, kesit ve bina düzeyinde hasar ve yapısal performans değerlendirmesi yapılır.

2007 Türk Deprem Yönetmeliği kapsamında yer alan doğrusal elastik olmayan analiz yöntemleri, *Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi*, *Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi* ve *Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi*'dir. İlk iki yöntem, mevcut binaların deprem performanslarının belirlenmesinde ve güçlendirilmesinde artımsal itme analizinin esas alındığı yöntemlerdir. Aşağıda tez kapsamında yer alan doğrusal elastik olmayan analiz yöntemlerinden *Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi* ve *Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi*'ne yer verilecektir.

3.6.4.2 Artımsal itme analizi ile performans değerlendirmesinde izlenecek hesap adımları

Artımsal İtme Analizi esas alınarak yapılacak doğrusal elastik olmayan performans değerlendirmesinin ilkeleri ve izlenen yolun adımları aşağıda özetlenmiştir.

(a) Genel ilke ve kurallara ek olarak, taşıyıcı sistem elemanlarında doğrusal olmayan davranışın idealleştirilmesine ve analiz modelinin oluşturulmasına yönelik kurallar esas alınır.

(b) Artımsal itme analizinden önce, kütlelerle uyumlu düşey yüklerin gözönüne alındığı bir doğrusal olmayan statik analiz yapılır. Bu analizin sonuçları, artımsal itme analizinin başlangıç koşulları olarak dikkate alınır.

(c) Artımsal itme analizinin artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi kapsamında yapılması durumunda, koordinatları "modal yerdeğiştirme-modal ivme" olarak tanımlanan birinci (hâkim) moda ait "modal kapasite diyagramı" elde edilir. Bu diyagram ile birlikte, elastik davranış spektrumu ve farklı aşılma olasılıkları için bu spektrum üzerinde yapılan değişiklikler gözönüne alınarak, birinci (hâkim) moda ait

modal yerdeğiştirme istemi belirlenir. Son aşamada, modal yerdeğiştirme istemine karşı gelen yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme (plastik dönmeler) ve iç kuvvet istemleri hesaplanır.

(d) Artımsal itme analizinin artımsal mod birleştirme yöntemi ile yapılması durumunda, gözönüne alınan bütün modlara ait "modal kapasite diyagramları" ile birlikte modal yerdeğiştirme istemleri de elde edilir. Bunlara bağlı olarak taşıyıcı sistemde meydana gelen yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme (plastik dönmeler) ve iç kuvvet istemleri hesaplanır.

(e) Plastikleşen (sünek) kesitlerde hesaplanmış bulunan plastik dönme istemlerinden plastik eğrilik istemleri ve son olarak toplam eğrilik istemleri elde edilir. Daha sonra bunlara bağlı olarak betonarme kesitlerde betonda ve donatı çeliğinde meydana gelen birim şekildeğiştirme istemleri hesaplanır. Bu istem değerleri, kesit düzeyinde çeşitli hasar sınırları için yönetmeliğin ilgili bölümünde tanımlanan birim şekildeğiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılarak kesit düzeyinde sünek davranışa ilişkin performans değerlendirmesi yapılır. Analiz sonucunda elde edilen kesme kuvveti istemleri ise, yönetmelikte tanımlanan kapasitelerle karşılaştırılarak kesit düzeyinde gevrek davranışa ilişkin performans değerlendirmesi yapılır.

3.6.4.3 Doğrusal elastik olmayan davranışın idealleştirilmesi

Malzeme bakımından doğrusal elastik olmayan davranışın idealleştirilmesi için, mühendislik uygulamalarındaki yaygınlığı ve pratikliği nedeni ile, doğrusal elastik olmayan analiz için *yığılı plastik davranış modeli* esas alınmıştır. Basit eğilme durumunda *plastik mafsal hipotezi*'ne karşı gelen bu modelde, çubuk eleman olarak idealleştirilen kiriş, kolon ve perde türü taşıyıcı sistem elemanlarındaki iç kuvvetlerin plastik kapasitelerine eriştiği sonlu uzunluktaki bölgeler boyunca, plastik şekildeğiştirmelerin düzgün yayılı biçimde oluştuğu varsayılmaktadır. Plastik mafsal boyu olarak adlandırılan *plastik şekildeğiştirme bölgesi*'nin uzunluğu (L_p), çalışan doğrultudaki kesit boyutu (h)'nin yarısına eşit alınır.

$$L_p = 0.5\ h \qquad \textbf{(3.1)}$$

Sadece eksenel kuvvet altında plastik şekildeğiştirme yapan elemanların plastik şekildeğiştirme bölgelerinin uzunluğu, ilgili elemanın serbest boyuna eşit alınır.

Yığılı plastik şekildeğiştirmeyi temsil eden *plastik kesit*'in, teorik olarak plastik şekildeğiştirme bölgesinin tam ortasına yerleştirilmesi gerekir. Ancak pratik uygulamalarda aşağıda belirtilen yaklaşık idealleştirmeler yapılabilir:

(a) Kolon ve kirişlerde plastik kesitler, kolon-kiriş birleşim bölgesinin hemen dışına, diğer deyişle kolon veya kirişlerin net açıklıklarının uçlarına konulabilir. Ancak, düşey yüklerin etkisinden ötürü kiriş açıklıklarında da plastik mafsalların oluşabileceği gözönüne alınmalıdır.

(b) Betonarme perdelerde, plastik kesitlerin her katta perde kesiminin alt ucuna konulmasına izin verilebilir. U, T, L veya kutu kesitli perdeler, bütün kolları birlikte çalışan tek perde olarak idealleştirilmelidir. Binaların bodrum katlarında rijit çevre perdelerinin bulunması durumunda, bu perdelerden üst katlara doğru devam eden perdelerin plastik kesitleri bodrum üstünden başlamak üzere konulmalıdır.

Bir veya iki eksenli eğilme ve eksenel kuvvet etkisindeki betonarme kesitlerin etkileşim diyagramlarının tanımlanması aşağıda verilen ilkelere göre yapılır:

(a) Analizde beton ve donatı çeliğinin bilgi düzeyine göre belirlenen mevcut dayanımları esas alınır.

(b) Betonun maksimum basınç birim şekildeğiştirmesi 0.003, donatı çeliğinin maksimum birim şekildeğiştirmesi ise 0.01 alınabilir.

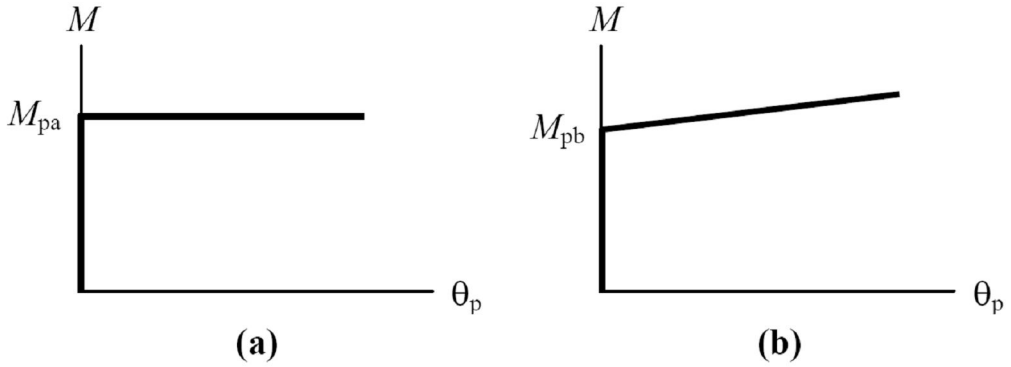
Etkileşim diyagramları uygun biçimde doğrusallaştırılarak çok doğrulu veya çok düzlemli diyagramlar olarak modellenebilir.

İtme analizi modelinde kullanılacak plastik kesitlerin iç kuvvet - plastik şekildeğiştirme bağıntıları ile ilgili olarak, aşağıdaki idealleştirmeler yapılabilir:

(a) İç kuvvet-plastik şekildeğiştirme bağıntılarında pekleşme etkisi (plastik dönme artışına bağlı olarak plastik momentin artışı) yaklaşık olarak terk edilebilir, (Şekil 3.2a). Bu durumda, bir veya iki eksenli eğilme ve eksenel kuvvet etkisindeki kesitlerde plastikleşmeyi izleyen itme adımlarında, iç kuvvetlerin akma yüzeyinin üzerinde kalması koşulu ile plastik şekildeğiştirme vektörünün akma yüzeyine yaklaşık olarak dik olması koşulu gözönüne alınır.

(b) Pekleşme etkisinin gözönüne alınması durumunda (Şekil 3.2b), bir veya iki eksenli eğilme ve eksenel kuvvet etkisindeki kesitlerde plastikleşmeyi izleyen itme

adımlarında iç kuvvetlerin ve plastik şekildeğiştirme vektörünün sağlaması gereken koşullar, ilgili literatürden alınan uygun bir pekleşme modeline göre tanımlanır.



Şekil 3.2 : Eğilme momenti – plastik dönme bağıntıları.

3.6.4.4 Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile itme analizi

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

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

Artımsal itme analizi sırasında, eşdeğer deprem yükü dağılımının, taşıyıcı sistemdeki plastik kesit oluşumlarından bağımsız biçimde sabit kaldığı varsayımı yapılabilir. Bu durumda yük dağılımı, analizin başlangıç adımında doğrusal elastik davranış için hesaplanan birinci (deprem doğrultusundaki hakim) doğal titreşim mod şekli genliği ile ilgili kütlenin çarpımından elde edilen değerle orantılı olacak şekilde tanımlanır. Kat döşemeleri rijit diyafram olarak idealleştirilen binalarda, birinci (hakim) doğal

titreşim mod şeklinin genlikleri olarak her katın kütle merkezindeki birbirine dik iki yatay öteleme ile kütle merkezinden geçen düşey eksen etrafındaki dönme gözönüne alınır.

Sabit yük dağılımına göre yapılan itme analizi ile, koordinatları "tepe yerdeğiştirmesi – taban kesme kuvveti" olan *itme eğrisi* elde edilir. Tepe yerdeğiştirmesi, binanın en üst katındaki kütle merkezinde, gözönüne alınan x deprem doğrultusunda, her itme adımında hesaplanan yerdeğiştirmedir. Taban kesme kuvveti ise, her adımda eşdeğer deprem yüklerinin x deprem doğrultusundaki toplamıdır. İtme eğrisine uygulanan koordinat dönüşümü ile, koordinatları "*modal yerdeğiştirme – modal ivme*" olan modal kapasite diyagramı aşağıdaki şekilde elde edilebilir:

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

$$a_1^{(i)} = \frac{V_{x1}^{(i)}}{M_{x1}} \qquad \textbf{(3.2)}$$

denklemde $V_{x1}^{(i)}$ x deprem doğrultusunda (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci (hakim) moda ait taban kesme kuvvetini, M_{x1} x deprem doğrultusunda doğrusal elastik davranış için tanımlanan birinci (hakim) moda ait etkin kütleyi göstermektedir.

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

$$d_1^{(i)} = \frac{u_{xN1}^{(i)}}{\Phi_{xN1}\,\Gamma_{x1}} \qquad \textbf{(3.3)}$$

Birinci (deprem doğrultusunda hakim) moda ait modal katkı çarpanı Γ_{x1}, x deprem doğrultusunda taşıyıcı sistemin başlangıç adımındaki doğrusal elastik davranışı için tanımı ilgili bölümde yapılan L_{x1} ve 1. doğal titreşim moduna ait modal kütle M_1'den yararlanılarak:

$$\Gamma_{x1} = \frac{L_{x1}}{M_1} \qquad \textbf{(3.4)}$$

şeklinde elde edilir.

İtme analizi sonucunda elde edilen modal kapasite diyagramı ile elastik davranış spektrumu ve farklı aşılma olasılıklı deprem istemi için bu spektrum üzerinde yapılan değişiklikler gözönüne alınarak, birinci (hakim) moda ait maksimum modal yerdeğiştirme, diğer deyişle, modal yerdeğiştirme istemi hesaplanır. Tanım olarak modal yerdeğiştirme istemi, $d_1^{(p)}$, doğrusal olmayan (nonlineer) spektral yerdeğiştirme S_{di1}'e eşittir:

$$d_1^{(p)} = S_{di1} \tag{3.5}$$

Doğrusal elastik olmayan (nonlineer) spektral yerdeğiştirme, S_{di1} , itme analizinin ilk adımında, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hakim) moda ait $T_1^{(1)}$ başlangıç periyoduna karşı gelen doğrusal elastik (lineer) spektral yerdeğiştirme S_{de1}'e bağlı olarak Denk.**(3.6)** ile elde edilir:

$$S_{di1} = C_{R1}\, S_{de1} \tag{3.6}$$

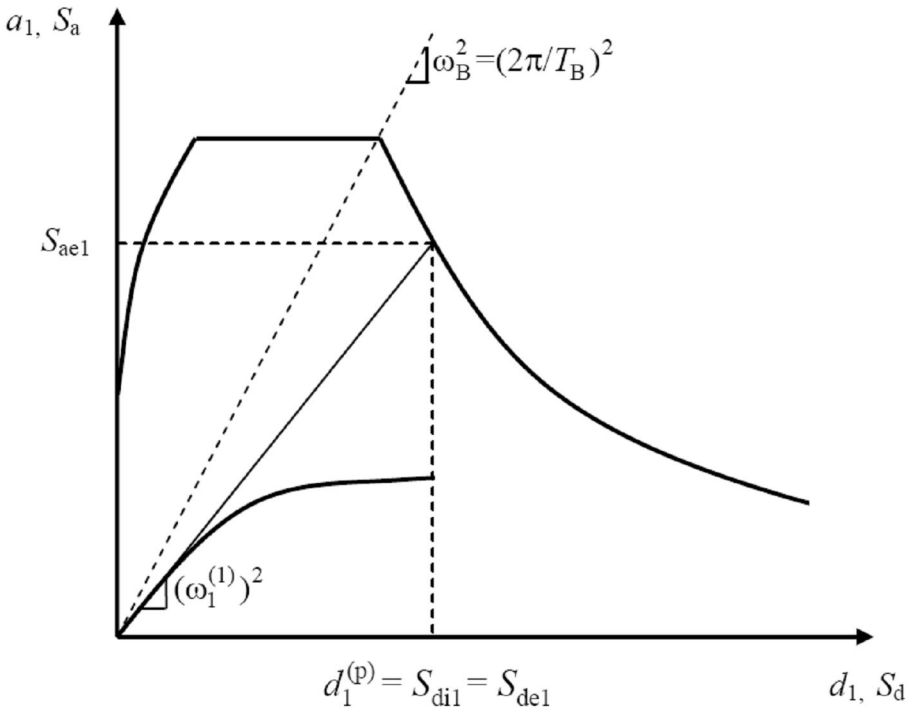
Doğrusal elastik (lineer) spektral yerdeğiştirme S_{de1}, itme analizinin ilk adımında birinci moda ait elastik spektral ivme S_{ae1} 'den hesaplanır:

$$S_{de1} = \frac{S_{ae1}}{(\omega_1^{(1)})^2} \tag{3.7}$$

Spektral yerdeğiştirme oranı C_{R1}, başlangıç periyodu $T_1^{(1)}$'in değerine ($T_1^{(1)} = 2\pi / \omega_1^{(1)}$) bağlı olarak belirlenir. $T_1^{(1)}$ başlangıç periyodunun, ivme spektrumundaki karakteristik periyod T_B'ye eşit veya daha uzun olması durumunda ($T_1^{(1)} \geq T_B$ veya $(\omega_1^{(1)})^2 \leq \omega_B^2$), doğrusal elastik olmayan (nonlineer) spektral yerdeğiştirme S_{di1}, *eşit yerdeğiştirme kuralı* uyarınca doğal periyodu yine $T_1^{(1)}$ olan *eşlenik doğrusal elastik sistem*'e ait doğrusal elastik spektral yerdeğiştirme S_{de1}'e eşit alınır. Buna göre spektral yerdeğiştirme oranı:

$$C_{R1} = 1 \tag{3.8}$$

olarak tanımlanır, Şekil 3.3.

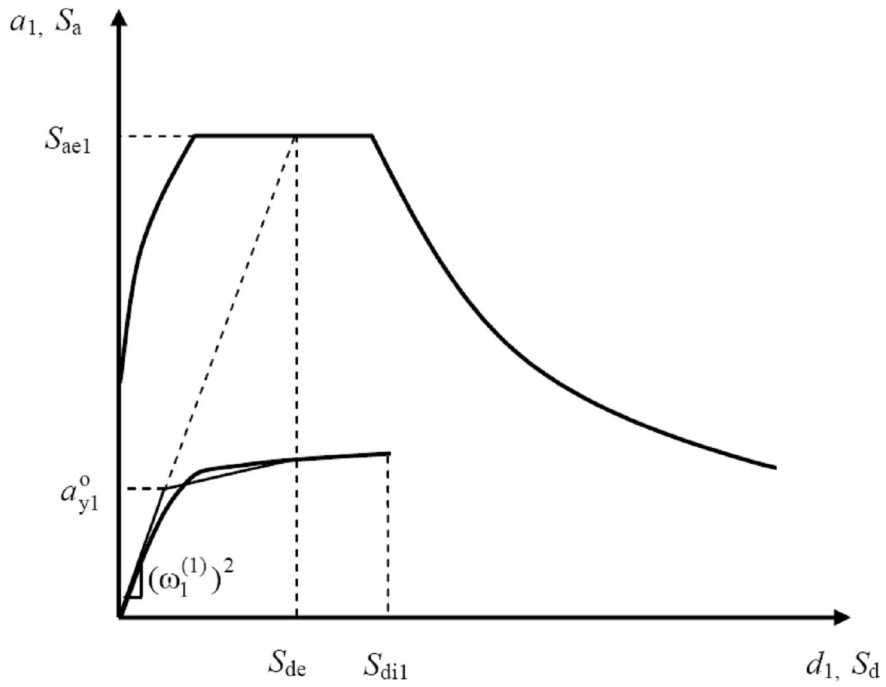


Şekil 3.3 : Performans noktasının belirlenmesi ($T_1^{(1)} \geq T_B$).

Şekilde birinci (hakim) titreşim moduna ait ve koordinatları (d1, a1) olan modal kapasite diyagramı ile koordinatları "spektral yerdeğiştirme (S_d) – spektral ivme (S_a)" olan davranış spektrumu birarada çizilmiştir.

$T_1^{(1)}$ başlangıç periyodunun, ivme spektrumundaki karakteristik periyod T_B'den daha kısa olması durumunda ($T_1^{(1)} < T_B$ veya $(\omega_1^{(1)})^2 > \omega_B^2$) ise, spektral yerdeğiştirme oranı C_{R1}, ardışık yaklaşımla hesaplanır. Hesap adımları şu şekildedir:

(a) İtme analizi sonucunda elde edilen modal kapasite diyagramı, (Şekil 3.4)'te görüldüğü gibi, yaklaşık olarak iki doğrulu (bi-lineer) bir diyagrama dönüştürülür. Bu diyagramın başlangıç doğrusunun eğimi, itme analizinin ilk adımındaki (i=1) doğrunun eğimi olan birinci moda ait özdeğere, $(\omega_1^{(1)})^2$, eşit alınır ($T_1^{(1)} = 2\pi / \omega_1^{(1)}$).



Şekil 3.4 : Performans noktasının belirlenmesi ($T_1^{(1)} < T_B$).

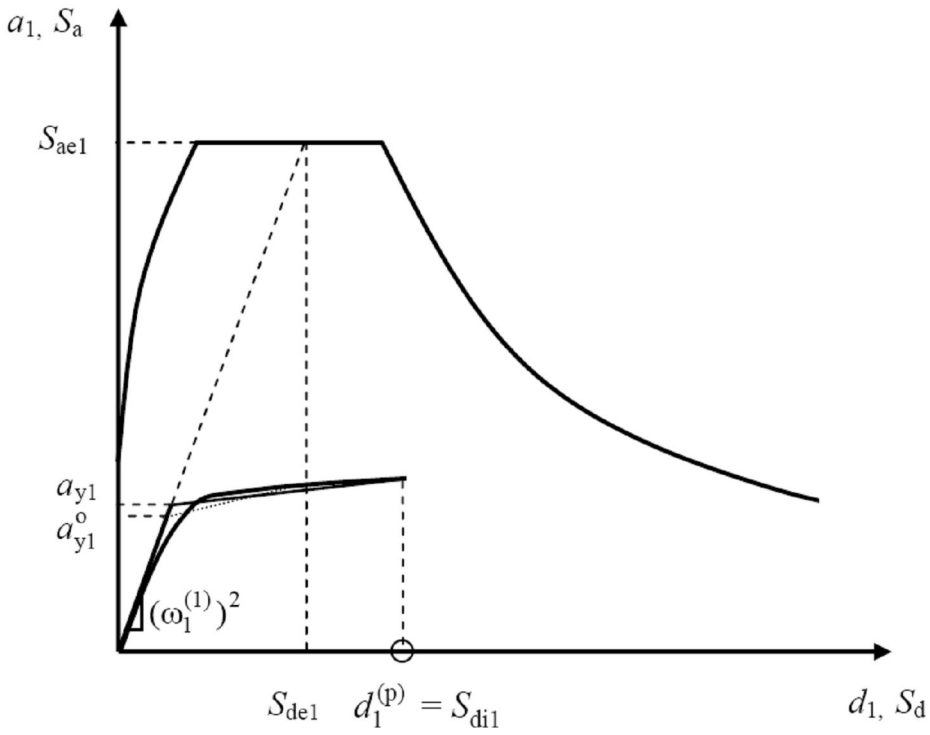
(b) Ardışık yaklaşımın ilk adımında C_{R1} = 1 varsayımı yapılarak, *eşdeğer akma noktası*'nın koordinatları eşit alanlar kuralı ile belirlenir. Şekil 3.4'te görülen $a_{y1}{}^o$ esas alınarak C_{R1} aşağıda şekilde tanımlanır:

$$C_{R1} = \frac{1 + (R_{y1} - 1)\, T_B / T_1^{(1)}}{R_{y1}} \geq 1 \qquad \textbf{(3.9)}$$

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

$$R_{y1} = \frac{S_{ae1}}{a_{y1}} \qquad \textbf{(3.10)}$$

Denk. **(3.9)**'dan bulunan C_{R1} kullanılarak, Denk. **(3.6)**'ya göre hesaplanan S_{di1} esas alınarak eşdeğer akma noktası'nın koordinatları, Şekil 3.5'te gösterildiği üzere, eşit alanlar kuralı ile yeniden belirlenir ve bunlara göre a_{y1}, R_{y1} ve C_{R1} tekrar hesaplanır. Ardışık iki adımda elde edilen sonuçların kabul edilebilir ölçüde birbirlerine yaklaştıkları adımda ardışık yaklaşıma son verilir.



Şekil 3.5 : Performans noktasının belirlenmesi ($T_1^{(1)} < T_B$).

Son itme adımı i = p için Denk.**(3.5)**' e göre belirlenen modal yerdeğiştirme istemi $d_1^{(p)}$'nin Denk.**(3.3)**'de yerine konulması ile, x deprem doğrultusundaki tepe yerdeğiştirmesi istemi $u_{xN1}^{(p)}$ elde edilir.

$$u_{xN1}^{(p)} = \Phi_{xN1}\ \Gamma_{x1}\ d_1^{(p)} \qquad \textbf{(3.11)}$$

Buna karşı gelen diğer tüm istem büyüklükleri (yerdeğiştirme, şekildeğiştirme ve iç kuvvet istemleri) mevcut itme analizi dosyasından elde edilir veya tepe yerdeğiştirmesi istemine ulaşıncaya kadar yapılan yeni bir itme analizi ile hesaplanır.

3.6.4.5 Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi

Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi'nin amacı, taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan davranışı gözönüne alınarak sistemin hareket denkleminin adım adım entegre edilmesidir. Analiz sırasında her bir zaman artımında sistemde meydana gelen yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme ve iç kuvvetler ile bu büyüklüklerin deprem istemine karşı gelen maksimum değerleri hesaplanır.

Zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan analizde, taşıyıcı sistem elemanlarının tekrarlı yükler altındaki dinamik davranışını temsil eden iç kuvvet şekildeğiştirme bağıntıları, teorik ve deneysel geçerlilikleri kanıtlanmış olmak koşulu

ile, ilgili literatürden yararlanılarak tanımlanır. Doğrusal veya doğrusal olmayan hesapta, üç yer hareketi kullanılması durumunda sonuçların maksimumu, en az yedi yer hareketi kullanılması durumunda ise sonuçların ortalaması tasarım ve değerlendirme için esas alınır.

Zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan hesapta yapay yer hareketlerinin kullanılması durumunda, aşağıdaki özellikleri taşıyan en az üç deprem yer hareketi üretilir.

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

(b) Üretilen deprem yer hareketinin sıfır periyoda karşı gelen spektral ivme değerlerinin ortalaması $A_o g$'den daha küçük olmamalıdır.

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

Zaman tanım alanında yapılacak deprem hesabı için kaydedilmiş depremler veya kaynak ve dalga yayılımı özellikleri fiziksel olarak benzeştirilmiş yer hareketleri kullanılabilir. Bu tür yer hareketleri üretilirken yerel zemin koşulları da uygun biçimde gözönüne alınmalıdır. Kaydedilmiş veya benzeştirilmiş yer hareketlerinin kullanılması durumunda en az üç deprem yer hareketi üretilir ve bunların yapay yer hareketlerinin kullanılması durumunda verilen tüm koşulları sağlaması gerekir. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizin esasları ve matematik formülasyonu Bölüm 2.4'te açıklanmıştır.

3.6.4.6 Kesitteki birim şekildeğiştirme istemlerinin belirlenmesi

Yönetmelikde belirtilen artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi veya zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerine göre yapılan hesap sonucunda çıkış bilgisi olarak herhangi bir kesitte elde edilen θ_p plastik dönme istemine bağlı olarak *plastik eğrilik istemi*, aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır:

$$\phi_p = \frac{\theta_p}{L_p} \qquad \textbf{(3.12)}$$

Amaca uygun olarak seçilen bir beton modeli ile pekleşmeyi de gözönüne alan donatı çeliği modeli kullanılarak, kesitteki eksenel kuvvet istemi altında yapılan analizden elde edilen iki doğrulu moment-eğrilik ilişkişi ile tanımlanan ϕ_y eşdeğer akma eğriliği, Denk.**(3.12)** ile tanımlanan ϕ_p plastik eğrilik istemine eklenerek, kesitteki ϕ_t toplam eğrilik istemi elde edilir:

$$\phi_t = \phi_y + \phi_p \qquad \textbf{(3.13)}$$

Betonarme sistemlerde betonun basınç birim şekildeğiştirmesi istemi ile donatı çeliğindeki birim şekildeğiştirme istemi, Denk.**(3.13)** ile tanımlanan toplam eğrilik istemine göre moment-eğrilik analizi ile hesaplanır.

Beton ve donatı çeliğinin birim şekildeğiştirmeleri cinsinden elde edilen deprem istemleri, aşağıda tanımlanan şekildeğiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılarak kesit bazında hasar bölgesi belirlenir.

Betonarme elemanların kesit birim şekildeğiştirme kapasiteleri

Plastik şekildeğiştirmelerin meydana geldiği sünek betonarme taşıyıcı sistem elemanlarında, performans düzeylerine göre izin verilen şekildeğiştirme sınırları (kapasiteleri) aşağıda tanımlanmıştır.

a) *Minimum Hasar Sınırı* (MN) için beton basınç birim şekildeğiştirmesi ile donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi üst sınırları için:

$$(\varepsilon_{cu})_{MN} = 0.0035 \quad ; \quad (\varepsilon_s)_{MN} = 0.01 \qquad \textbf{(3.14)}$$

b) *Kesit Güvenlik Sınırı* (GV) için beton basınç birim şekildeğiştirmesi ile donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi üst sınırları için:

$$(\varepsilon_{cg})_{GV} = 0.0035 + 0.01(\rho_s / \rho_{sm}) \le 0.0135 \quad ; \quad (\varepsilon_s)_{GV} = 0.040 \qquad \textbf{(3.15)}$$

c) *Kesit Göçme Sınırı* (GÇ) için beton basınç birim şekildeğiştirmesi ile donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi üst sınırları için:

$$(\varepsilon_{cg})_{GC} = 0.004 + 0.014(\rho_s / \rho_{sm}) \le 0.018 \quad ; \quad (\varepsilon_s)_{GC} = 0.060 \qquad \textbf{(3.16)}$$

değerleri önerilmektedir.

4. SAYISAL İNCELEMELER

Bu bölümde, burulma düzensizliği açısından farklı özelliklere sahip olan betonarme bina taşıyıcı sistemlerinin deprem etkileri altındaki doğrusal olmayan davranışlarının farklı yöntemlerle değerlendirilmesi ve değişik yöntemlerle elde edilen sonuçların karşılaştırılması amacıyla gerçekleştirilen sayısal incelemeler yer almaktadır.

Bu amaçla, her biri 8 kattan oluşan ve burulma düzensizliği katsayısı, η_{bi}, sırasıyla 1.2, 1.4 ve 1.6 değerlerini alan üç taşıyıcı sistem modeli seçilmiştir. Seçilen taşıyıcı sistem modelleri 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'ne göre boyutlandırılmıştır. Taşıyıcı sistemler sadece burulma düzensizliği değişiminin yapı davranışına etkilerinin gözlenebilmesi amacıyla oluşturulmuş, bu nedenle malzeme dayanımları ve elemanların sargı düzeyi tüm sistemlerde aynı olarak alınmıştır.

Bölüm içinde ilk olarak, incelenen taşıyıcı sistem modelleri tanıtılmış ve bu sistemlerin 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'ne göre tasarımları yapılmıştır. Daha sonra, 2007 Türk Deprem Yönetmeliği kapsamında yer alan doğrusal olmayan analiz yöntemlerinden *Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi* ile ilgili hesap adımları açıklanmıştır. Hesapların ikinci adımında, öncelikle zaman tanım alanında hesapta kullanılacak olan deprem kayıtlarının seçimi ve ölçeklenmesi işlemleri, ardından, elde edilen kayıtlar kullanılarak gerçekleştirilen *Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi* ile ilgili hesap adımları anlatılmıştır. Her iki değerlendirme yönemi ile kesit düzeyinde sünek davranışa ilişkin kesit hasar bölgeleri belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar kesit hasar bölgeleri, tepe yerdeğiştirmeleri ve taban kesme kuvvetleri açılarından karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir. Ayrıca analizde kullanılan bilgisayar programları ve yapılan varsayımlar hakkında bilgi verilmiştir.

4.1 İncelenen Taşıyıcı Sistem Modelleri

Taşıyıcı sistem modelleri, burulma düzensizliği katsayıları 1.2, 1.4 ve 1.6 olacak şekilde seçilmiş ve bu sistemler sırasıyla TSM-1, TSM-2 ve TSM-3 olarak isimlendirilmişlerdir. Modeller oluşturulurken sistemin burulma düzensizliği katsayısının en kolay şekilde değiştirilebileceği tipik bir taşıyıcı sistem modeli

belirlenmiştir. Böylece sadece belli bir aks üzerindeki düşey taşıyıcı eleman boyutlarında değişiklikler yaparak, sistemin geriye kalan bölümünün tüm modeller için aynı olması sağlanmıştır.

İncelenen tüm taşıyıcı sistem modelleri 8 katlıdır ve kısa doğrultuda 6 m'lik 3 açıklıktan, uzun doğrultuda 5 m'lik 4 açıklıktan oluşmaktadır. Donatı miktarı ve yerleşimleri bütün sistemlerin elemanları için aynı olacak şekilde seçilmiştir. Sadece parametrik inceleme kapsamındaki kenar aks perdelerinin donatı miktarları değiştirilmektedir.

4.2 Taşıyıcı Sistem Modellerinin Boyutlandırılması

4.2.1 Modellemede ve tasarımda yapılan varsayımlar

Sistemlerin modellenmesinde ve tasarımlarında aşağıda sıralanan varsayımlar yapılmıştır.

a) Boyutlandırmaya esas olan kesit zorları doğrusal analiz ile elde edilmiştir.

b) Betonarme kesit hesaplarında taşıma gücü yöntemi kullanılmıştır.

c) Döşemelerden aktarılan yükler kirişlere üçgen ve trapez yayılı yükler şeklinde etkitilmiştir.

d) Düğüm noktaları rijit olarak alınmıştır.

e) Kolonlar temele ankastre olarak bağlanmaktadır.

f) Kat döşemelerinin rijit diyafram olarak davrandığı varsayılmıştır.

g) Plastik mafsal boyları, kolon ve kirişlerin uçlarında, çalışan doğrultudaki enkesit yüksekliğinin yarısına eşit uzunlukta alınmış ve plastik mafsallar bu uzunluğun ortasına yerleştirilmiştir.

h) Perde olarak çalışan elemanlarda plastik mafsalların boyları ve yerleri, kolonlardakine benzer şekilde belirlenmiştir.

4.2.2 Eşdeğer deprem yüklerinin belirlenmesi

Eşdeğer deprem yükleri 2007 Türk Deprem Yönetmeliğine [20] uygun olarak belirlenmiştir. Aşağıda, yönetmeliğin ilgili maddeleri kısaca gözden geçirilecektir.

Binaya etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti) aşağıdaki denklem ile hesaplanmaktadır.

$$V_t = W \cdot \frac{A_0 \cdot I \cdot S(T)}{R_a(T)} \qquad \textbf{(4.1)}$$

Bu denklemde, A_o değeri etkin yer ivmesi katsayısı olup Çizelge 4.1'den alınmaktadır. I bina önem katsayısıdır ve Çizelge 4.2'de tanımlandığı şekilde belirlenerek hesaplara dâhil edilir.

Çizelge 4.1 : Etkin yer ivmesi katsayısı (A_o).

Deprem Bölgesi	A_o
1	0.40
2	0.30
3	0.20
4	0.10

Çizelge 4.2 : Bina önem katsayısı (I).

Binanın Kullanım Amacı veya Türü	*Bina Önem Katsayısı (I)*
1. Deprem sonrası kullanımı gereken binalar ve tehlikeli madde içeren binalar **a)** Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri; vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları) b) Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar	1.5
2. İnsanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu ve değerli eşyanın saklandığı binalar **a)** Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb. b) Müzeler	1.4
3. İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar Spor tesisleri, sinema, tiyatro ve konser salonları, vb.	1.2
4. Diğer binalar Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb)	1.0

$R_a(T)$ deprem yükü azaltma katsayısı Çizelge 4.3'ten alınan R taşıyıcı sistem davranış katsayısı kullanılarak Denklem 4.2'de hesaplanacaktır. Bu çalışma kapsamında incelenecek olan sistemler yerinde dökme betonarme binalar olduğundan, 2007 Türk Deprem Yönetmeliğindeki çizelgenin sadece ilgili kısmı Çizelge 4.3' de verilmektedir.

Çizelge 4.3 : Taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R).

BİNA TAŞIYICI SİSTEMİ	*Süneklik Düzeyi Normal Sistemler*	*Süneklik Düzeyi Yüksek Sistemler*
(1) YERİNDE DÖKME BETONARME BİNALAR		
(1.1) Deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı binalar	4	8
(1.2) Deprem yüklerinin tamamının bağ kirişli (boşluklu) perdelerle taşındığı binalar.....	4	7
(1.3) Deprem yüklerinin tamamının boşluksuz perdelerle taşındığı binalar.....	4	6
(1.4) Deprem yüklerinin çerçeveler ile boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar..	4	7

$$R_a(T) = 1.5 + (R - 1.5)\frac{T}{T_A} \qquad (0 \le T \le T_A)$$
$$R_a(T) = R \qquad (T_A \le T) \qquad \textbf{(4.2)}$$

$S(T)$ spektrum katsayısı, yerel zemin koşullarına ve bina doğal periyodu T'ye bağlı olarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$S(T) = 1 + 1.5\frac{T}{T_A} \qquad (0 \le T \le T_A)$$
$$S(T) = 2.5 \qquad (T_A \le T \le T_B) \qquad \textbf{(4.3)}$$
$$S(T) = 2.5\left(\frac{T_B}{T}\right)^{0.8} \qquad (T_B < T)$$

Denklem 4.3'teki T_A ve T_B değerleri spektrum karakteristik periyodları olup, yerel zemin sınıfına bağlı olarak Çizelge 4.4'ten alınır.

Çizelge 4.4 : Spektrum karakteristik periyodları.

Tablo 6.2'ye göre Yerel Zemin Sınıfı	T_A *(saniye)*	T_B *(saniye)*
Z1	0.10	0.30
Z2	0.15	0.40
Z3	0.15	0.60
Z4	0.20	0.90

Denklem 4.1 ile hesaplanan eşdeğer deprem yükünün aşağıda verilmiş olan koşulu sağladığı kontrol edilmelidir.

$$V_t = W \cdot \frac{A_0 \cdot I \cdot S(T_1)}{R_a(T_1)} > 0.1 \cdot A_o \cdot I \cdot W \qquad \textbf{(4.4)}$$

Denklem 4.1ve 4.4'de yer alan toplam bina ağırlığı W, Denklem 4.5 ile hesaplanır.

$$W = \sum_{i=1}^{N} w_i \tag{4.5}$$

Denklem 4.5'teki N sayısı binanın toplam kat sayısıdır. w_i kat ağırlıkları ise Denklem 4.6 ile hesaplanacaktır.

$$w_i = q_i + n\,q_i \tag{4.6}$$

Denklem 4.6'da yer alan hareketli yük katılım katsayısı, n, binanın kullanım amacına bağlı olarak Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.5 : Hareketli yük katılım katsayıları

Binanın Kullanım Amacı	*n*
Depo, antrepo, vb.	0.80
Okul, öğrenci yurdu, spor tesisi, sinema, tiyatro, konser salonu, garaj, lokanta, mağaza, vb.	0.60
Konut, işyeri, otel, hastane, vb.	0.30

Denklem 4.1'de hesaplanan toplam eşdeğer deprem yükü, binanın katlarına etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin toplamı olarak Denklem 4.7 ile ifade edilir.

$$V_t = \Delta F_N + \sum_{i=1}^{N} F_i \tag{4.7}$$

Binanın N'inci katına (tepesine) etkiyen ek eşdeğer deprem yükü ΔF_N'in değeri Denklem 4.8 ile belirlenir.

$$\Delta F_N = 0.0075 \cdot N \cdot V_t \tag{4.8}$$

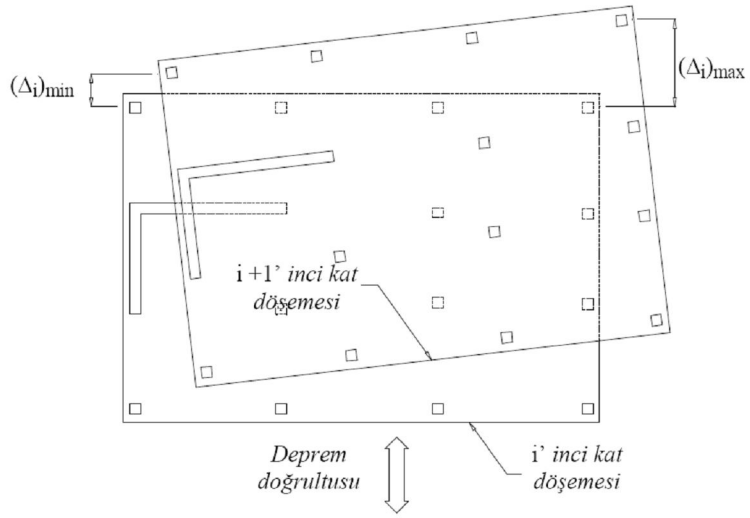
Toplam eşdeğer deprem yükünün ΔF_N dışında geri kalan kısmı, N'inci kat dahil olmak üzere, bina katlarına Denklem 4.9 ile dağıtılır.

$$F_i = (V_t - \Delta F_N)\frac{w_i H_i}{\sum_{j=1}^{N} w_j H_j} \tag{4.9}$$

4.2.3 Binanın burulma düzensizliğinin belirlenmesi

Bu çalışmada incelenecek olan, burulma düzensizliği değişken sistemlerin boyutlandırmasının ilk adımı, bina burulma düzensizliği katsayısının öngörülen değerde olmasını sağlayan bir taşıyıcı sistemin seçimidir. Burulma düzensizliği

katsayısı Şekil 4.1'de gösterildiği şekilde hesaplanmaktadır. Sistem hesaplarında, 2007 Türk Deprem Yönetmeliği Madde 7.6.5.2'de açıklandığı şekilde, ek dışmerkezlik gözönüne alınmaksızın doğrusal elastik yöntem ile burulma düzensizliği katsayısı, η_{bi}, elde edilmiş, statik ve betonarme hesaplar bu değer esas alınarak gerçekleştirilmiştir.



Döşemelerin kendi düzlemleri içinde rijit diyafram olarak çalışmaları durumunda

$$(\Delta_i)_{ort} = 1/2\ [(\Delta_i)_{max} + (\Delta_i)_{min}]$$

Burulma düzensizliği katsayısı :

$$\eta_{bi} = (\Delta_i)_{max} / (\Delta_i)_{ort}$$

Şekil 4.1 : Burulma düzensizliği katsayısının hesabı.

4.2.4 Boyutlandırmada esas alınan yükleme kombinasyonları

Tüm taşıyıcı sistem modellerinin boyutlandırılmasında, TS500 Betonarme Yapılar Standardı'nda ve 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nde verilmiş olan düşey yükler ve düşey yükler+deprem yükleme kombinasyonları kullanılmıştır.

4.2.5 Taşıyıcı sistem modellerinin boyutlandırılması

Taşıyıcı sistem modellerinin 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'ne göre boyutlandırılmasında yukarıda ayrıntıları verilen eşdeğer deprem yükleri gözönüne alınmıştır.

Sabit yükler (yapı yükleri), hareketli yükler ve incelemeye esas olan doğrultuda hesaplanan deprem etkileri altında, ETABS Analiz Programı [48] ile elde edilen kesit tesiri değerleri kullanılarak Bölüm 4.2.6'da belirtilen yüklemeler için betonarme kesit hesapları yapılmış ve kiriş, kolon enkesit boyutları ile boyuna donatıları belirlenmiştir.

4.3 Boyutlandırılan Taşıyıcı Sistem Modellerinin Eleman Hasar Bölgelerinin Belirlenmesi

Yukarıda açıklandığı şekilde boyutlandırılan taşıyıcı sistem modellerinin her biri için, SAP2000 [12] bilgisayar programının doğrusal olmayan analiz modülünden yararlanılarak statik itme analizi ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analiz yapılmıştır. Eleman hasar bölgeleri 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'ne uygun olarak belirlenmiştir.

4.4 TSM-2 İçin Ayrıntılı İnceleme

Bu bölümde, tez kapsamında yer alan ve doğrusal elastik olmayan analiz yöntemleri uygulanarak gerçekleştirilen sayısal inceleme sonuçlarına yer verilmiştir. Yapılan çalışmalara örnek oluşturmak üzere seçilen TSM-2 taşıyıcı sistem modeli üzerinde, uygulanan hesap adımları ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Ayrıntılı hesap adımları, taşıyıcı sistemin boyutlandırılmasını ve tasarım sonuçlarını, *Zaman Tanım Alanında Doğrusal Elastik Olmayan Hesap Yöntemi'*nde kullanılacak olan deprem kayıtlarının seçimi ve ölçeklenmesi işlemini, doğrusal elastik olmayan *Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü* Yöntemi ve *Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi* ile kesit hasar bölgelerinin belirlenmesini, her iki yöntem ile bulunan sonuçların kesit hasar bölgeleri, taban kesme kuvveti ve tepe yerdeğiştirmeleri açılarından karşılaştırılmasını içermektedir. TSM-2 için ayrıntılı incelemenin ardından, gözönüne alınan diğer taşıyıcı sistem modelleri (TSM-1 ve TSM-3) için bulunan sonuçlar çizelgeler ve grafikler şeklinde sunulmuştur.

4.4.1 Sistemin boyutlandırılması

4.4.1.1 Bina genel özellikleri

Taşıyıcı sistem modelerinin 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'ne göre boyutlandırılmasında esas alınan malzeme dayanım değerleri, deprem karakteristikleri ve bina geometirisine ilişkin bilgiler Çizelge 4.6'da özetlenmiştir.

Çizelge 4.6 : Bina genel özellikleri.

Malzeme Özellikleri :

Beton sınıfı : C25

f_{ck} = 25 Mpa

f_{cd} = 16.6 Mpa

E_c = 30000 Mpa

Çelik sınıfı : S420

f_{yk} = 420 Mpa

f_{yd} = 365 Mpa

E_s = 200000 Mpa

Bina Geometrik Özellikleri :

Kat Adedi :	8
Bina Kat Yüksekliği :	1x3.5 + 7x3
Bina Toplam Yüksekliği :	24.5 m
Kısa Doğrultuda Açıklık Sayısı :	3
Kısa Doğrultuda Açıklık Mesafesi :	6 m
Kısa Doğrultuda Toplam Uzunluk :	18 m
Uzun Doğrultuda Açıklık Sayısı :	4
Uzun Doğrultuda Açıklık Mesafesi :	5 m
Uzun Doğrultuda Toplam Uzunluk :	20

Deprem Karakteristikleri :

Deprem Bölgesi :	1. Derece
Etkin Yer İvmesi Katsayısı :	$A_o = 0.4$
Yerel Zemin Sınıfı :	Z2
Spektrum Karakteristik Periyodları :	$T_A = 0.15$ sn $T_B = 0.4$ sn
Yapı Davranış Katsayısı :	R = 7
Bina Önem Katsayısı :	I = 1

4.4.1.2 Düşey yüklerin hesabı

Tasarımda gözönüne alınan, normal kat ve çatı katı döşemelerinin yük analizi Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.7 : Döşeme yük analizi.

Çatı katı döşemesi

Çatı katı döşemesinde	h (m)	BHA (kN/m^3)	Toplam (kN/m^2)
Betonarme plak	0.15	25	3.75
Sıva	0.02	20	0.40
Çatı Kaplama + İzolasyon	----	----	2.00
			g = 6.15

$g = 6.15$ kN/m^2
$q = 2.00$ kN/m^2 (Kar yükü dahil)

Normal kat döşemeleri

Normal kat döşemelerinde	h (m)	BHA (kN/m^3)	Toplam (kN/m^2)
Betonarme plak	0.15	25	3.75
Sıva	0.02	20	0.40
Kaplama	0.05	22	1.1
			g = 5.25

$g = 5.25$ kN/m^2
$q = 3.50$ kN/m^2 (Bölme duvarlar dahil)

Duvar yükleri, pencere boşlukları düşülerek, TS498'de [49] verilen dolu duvar yükünün yarısı olarak alınacaktır. Duvar yükü, çatı katı döşemesi dışındaki tüm kat döşemelerinde bulunmaktadır ve sadece çevre kirişlere etkimektedir.

$$q_{\text{du var}} = \frac{4.2}{2} = 2.1\,\text{kN/m}^2$$

4.4.1.3 Deprem yükü hesabında kullanılacak olan bina ağırlığının hesabı

Bina ağırlığı, W hesaplanırken hareketli yük katılım katsayısı, n=0.3 (konut tipi yapı) olarak alınmıştır. Kat ağırlıkları hesaplanırken, her kat döşemesinin ardışık iki katın yarı yüksekliğinden yük aldığı varsayılmıştır. Bu durumda sadece çatı döşemesi için duvar yükü normal katların yarısına eşit olmaktadır. 1. kat döşemesi için ise, zemin kat yüksekliğinin 3.5 m olmasından dolayı, duvar yükü normal katlardan daha büyük değer almaktadır.

Bölüm 4.4.1.2'deki yük analizi sonucunda elde edilen yük değerleri kullanılarak hesaplanan kat ağırlıkları ve bina toplam ağırlığı Çizelge 4.8 üzerinde gösterilmiştir.

Çizelge 4.8 : Kat ağırlıkları ve bina ağırlığının hesabı.

KAT	Kolon Yükü kN	Duvar Yükü kN	Kiriş Yükü kN	Döşeme Yükü kN	Hareketli Yük kN	G+0.3Q kN
8	124.2	191.52	573.75	2214	720	3319.47
7	248.4	383.04	573.75	1890	1260	3473.19
6	248.4	383.04	573.75	1890	1260	3473.19
5	248.4	383.04	573.75	1890	1260	3473.19
4	284.4	383.04	573.75	1890	1260	3509.19
3	320.4	383.04	573.75	1890	1260	3545.19
2	320.4	383.04	573.75	1890	1260	3545.19
1	383.78	422.94	573.75	1890	1260	3648.47
Σ	2178.38	2912.7	4590	15444	9540	27987

Bu bölümde, düşey yük ve deprem yükleri hesabı ile ilgili olarak oluşturulan çizelgeler, ön boyutlandırma sonucunda elde edilen eleman enkesit boyutları kullanılarak sunulmuştur.

4.4.1.4 Deprem yüklerinin hesabı

Çizelge 4.8'de bulunan olan bina toplam ağırlığı kullanılarak toplam eşdeğer deprem yükü aşağıda hesaplanmıştır.

A_o = 0.4 Zemin sınıfı : Z2 R = 7 I = 1 W = 27987 kN

Bina hakim (1. mod) periyodu : T = 1.06 sn için spektrum katsayısı $S(T)$ = 1.15

Taban kesme kuvveti : $V_t = 27987 \cdot \frac{0.4 \cdot 1 \cdot 1.15}{7} = 1839\,\text{kN}$

Tepe kuvveti : $F_N = 0.0075 \cdot 8 \cdot 1839 = 110\ \text{kN}$

Katlara dağıtılacak kesme kuvveti : $V_t - F_N = 1839 - 110 = 1729\,\text{kN}$

Yukarıda hesaplanan taban kesme kuvveti, Denklem 4.9 uyarınca katlara dağıtılmış ve sonuçlar Çizelge 4.9 üzerinde özetlenmiştir.

Çizelge 4.9 : Katlara gelen eşdeğer deprem yüklerinin hesabı.

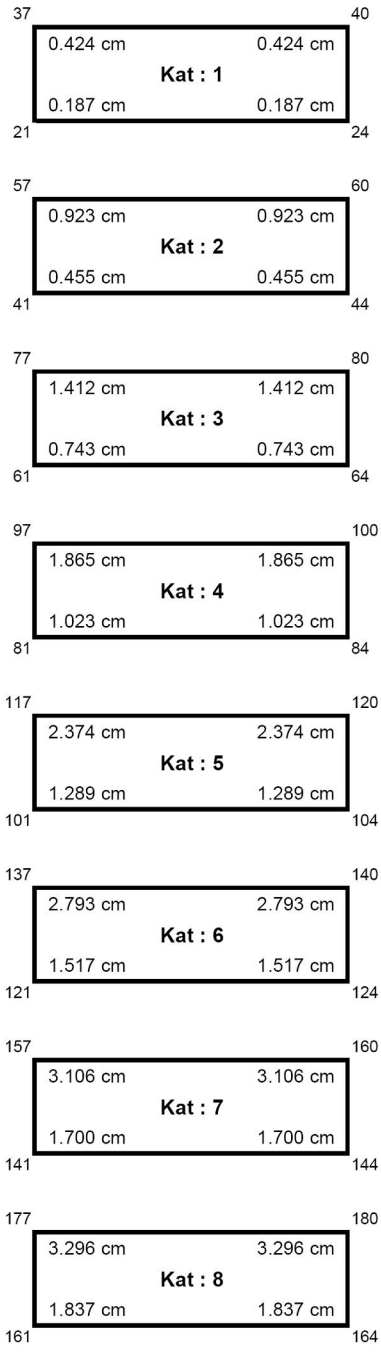
KAT	Yükseklik H (m)	Kümülatif ΣH (m)	W kN	W*H kNm	W*H /ΣW*H Birimsiz	FN kN	Vt kN	ΣVt kN
8	3	24.5	3186.38	78066.3	0.210	110	363.1	473.1
7	3	21.5	3334.5	71691.8	0.193		333.7	806.8
6	3	18.5	3334.5	61688.3	0.166		287.0	1093.8
5	3	15.5	3334.5	51684.8	0.139		240.3	1334.1
4	3	12.5	3368.25	42103.1	0.113		195.4	1529.5
3	3	9.5	3402	32319.0	0.087		150.4	1679.9
2	3	6.5	3402	22113.0	0.059		102.0	1781.9
1	3.5	3.5	3470.78	12147.7	0.033		57.1	1839
			26832.9	371813.9	1.000		1729	

4.4.1.5 Bina burulma düzensizliği katsayısının hesabı

Çizelge 4.9'da gösterilen kat kesme kuvvetleri sistem analiz programına girilerek, ek dışmerkezlik gözönüne alınmaksızın, bina katlarının burulma düzensizliği katsayıları hesaplanmıştır. Bu amaçla, her katın köşe noktalarının yatay yerdeğiştirme değerleri okunarak, Şekil 4.1'de gösterildiği şekilde η_{bi} katsayıları hesaplanmıştır. Daha sonra, her kat için bulunan η_{bi} katsayılarının en büyüğü binanın burulma düzensizliği katsayısı olarak belirlenmiştir, Çizelge 4.10.

Çizelge 4.10 : Burulma düzensizliği hesabı.

Düğüm Notası	Uy cm
21	0.187
24	0.187
37	0.424
40	0.424
41	0.455
44	0.455
57	0.923
60	0.923
61	0.743
64	0.743
77	1.412
80	1.412
81	1.023
84	1.023
97	1.865
100	1.865
101	1.289
104	1.289
117	2.374
120	2.374
121	1.517
124	1.517
137	2.793
140	2.793
141	1.700
144	1.700
157	3.106
160	3.106
161	1.837
164	1.837
177	3.296
180	3.296

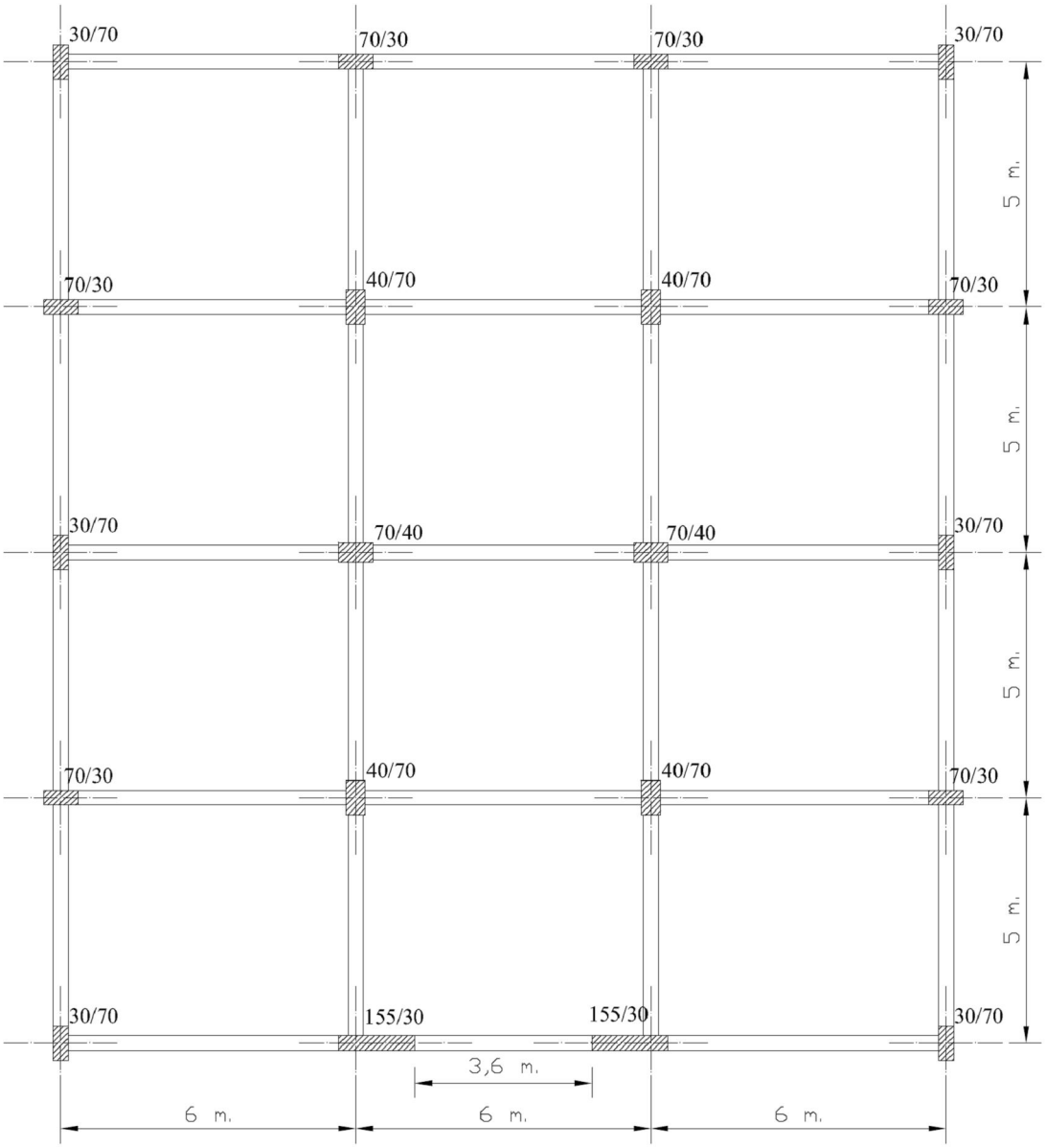


Δ_{imax} =	0.424 cm
Δ_{ort} =	0.305 cm
η_{bi} =	1.389
Δ_{imax} =	0.923 cm
Δ_{ort} =	0.689 cm
η_{bi} =	1.340
Δ_{imax} =	1.412 cm
Δ_{ort} =	1.078 cm
η_{bi} =	1.310
Δ_{imax} =	1.865 cm
Δ_{ort} =	1.444 cm
η_{bi} =	1.291
Δ_{imax} =	2.374 cm
Δ_{ort} =	1.831 cm
η_{bi} =	1.296
Δ_{imax} =	2.793 cm
Δ_{ort} =	2.155 cm
η_{bi} =	1.296
Δ_{imax} =	3.106 cm
Δ_{ort} =	2.403 cm
η_{bi} =	1.293
Δ_{imax} =	3.296 cm
Δ_{ort} =	2.566 cm
η_{bi} =	1.284

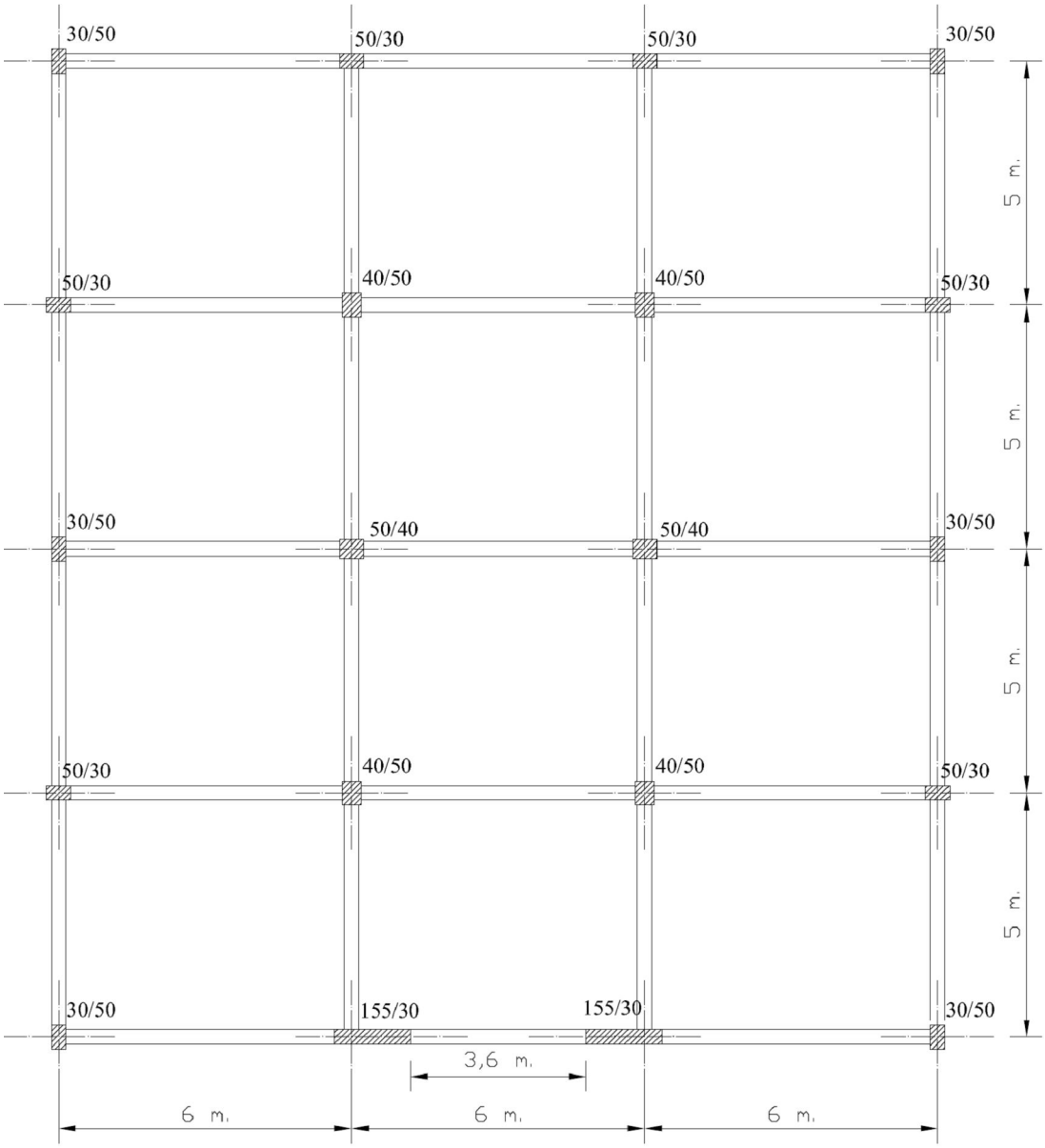
Çizelge 4.10'da özetlenen hesaplar incelendiğinde, TSM-2 için 1.4 olarak öngörülen bina burulma düzensizliği katsayısının yaklaşık olarak sağlandığı görülmektedir. Bu katsayının elde edilebilmesi için, parametre olarak seçilen, çalışan doğrultudaki perde boyları 1.55 m olarak seçilmiştir.

4.4.1.6 Taşıyıcı sistem elemanlarının boyutlandırılması ve betonarme hesap sonuçları

Sistemin kolon boyutları düşey doğrultuda her dört katta bir değişecek şekilde seçilmiştir. Sistemin burulma düzensizliğini belirleyecek olan perdeler ise tüm bina yüksekliği boyunca aynı kesitlerde olacak şekilde seçilmiştir. İlk dört kat ve son dört kat için sistem kalıp planları Şekil 4.2 ve Şekil 4.3 ile verilmiştir.



Şekil 4.2 : 1, 2, 3 ve 4. katların kalıp planı.



Şekil 4.3 : 5, 6, 7 ve 8. katların kalıp planı.

Belirlenmiş olan bu boyutlar esas alınarak yapılan sistem analizleri sonucunda, Bölüm 4.2.7'de belirtildiği şekilde oluşturulan yükleme kombinasyonları kullanılarak betonarme kesit hesapları gerçekleştirilmiştir. Kesit hesapları sonucunda seçilen donatılar, kolonlar ve kirişler için Çizelge 4.11'de özetlenmiştir. Donatı seçiminde, gereğinden fazla donatı kullanılmamasına özen gösterilmiştir.

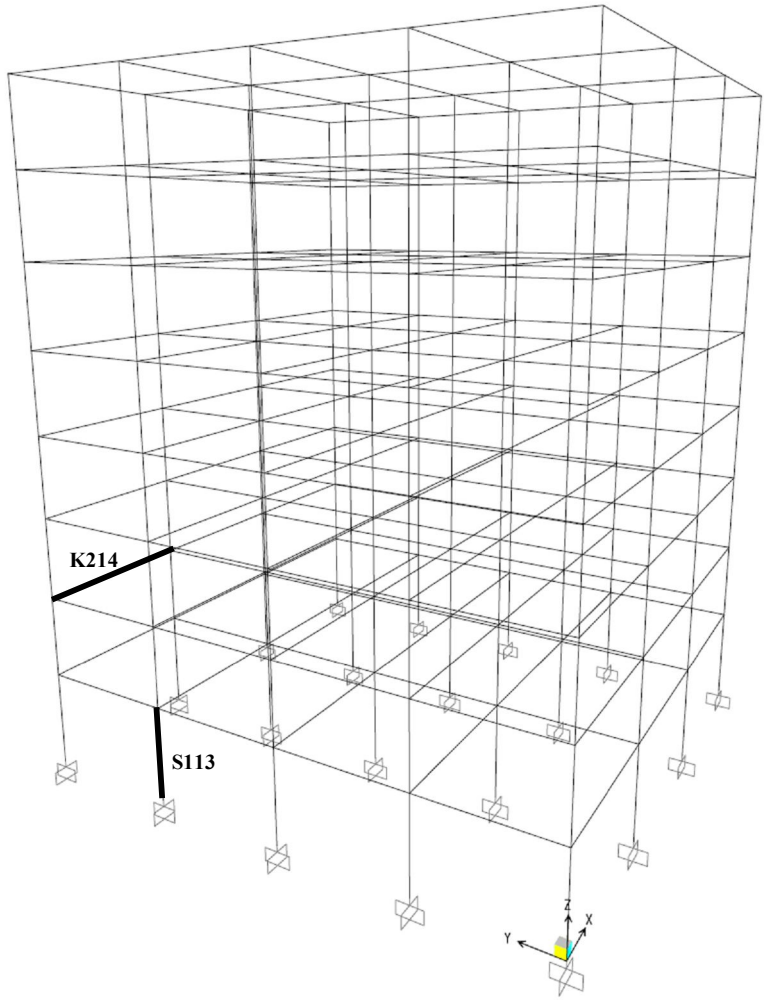
Çizelge 4.11 : Kolon ve kirişler için seçilen donatılar.

KAT	KOLONLAR	b(cm) x h(cm) h(cm) x b(cm)	DONATI	KİRİŞLER	DONATI	SOL	SAĞ
1	S101-S104-S105-S108- S109-S112-S113-S116- S117-S118-S119-S120	30x70	12Φ20	Normal Kat Kirişleri	Üst Donatı	3Φ20	3Φ20
				b (cm) = 30	Alt Donatı	3Φ20	3Φ20
				h (cm) = 60	Montaj Donatısı	2Φ20	2Φ20
	S106-S107-S110-S111- S114-S115	40x70	14Φ16	Bağ Kirişleri	Üst Donatı	3Φ20	3Φ20
				b (cm) = 30	Alt Donatı	3Φ20	3Φ20
	S102-S103	155x30	16Φ20	h (cm) = 60	Montaj Donatısı	2Φ20	2Φ20
2	S201-S204-S205-S208- S209-S212-S213-S216- S217-S218-S219-S220	30x70	12Φ20	Normal Kat Kirişleri	Üst Donatı	3Φ20	3Φ20
				b (cm) = 30	Alt Donatı	3Φ20	3Φ20
				h (cm) = 60	Montaj Donatısı	2Φ20	2Φ20
	S206-S207-S210-S211- S214-S215	40x70	14Φ16	Bağ Kirişleri	Üst Donatı	3Φ20	3Φ20
				b (cm) = 30	Alt Donatı	3Φ20	3Φ20
	S202-S203	155x30	16Φ20	h (cm) = 60	Montaj Donatısı	2Φ20	2Φ20
3	S301-S304-S305-S308- S309-S312-S313-S316- S317-S318-S319-S320	30x70	12Φ20	Normal Kat Kirişleri	Üst Donatı	3Φ20	3Φ20
				b (cm) = 30	Alt Donatı	3Φ20	3Φ20
				h (cm) = 60	Montaj Donatısı	2Φ20	2Φ20
	S306-S307-S310-S311- S314-S315	40x70	14Φ16	Bağ Kirişleri	Üst Donatı	3Φ20	3Φ20
				b (cm) = 30	Alt Donatı	3Φ20	3Φ20
	S302-S303	155x30	16Φ20	h (cm) = 60	Montaj Donatısı	2Φ20	2Φ20
4	S401-S404-S405-S408- S409-S412-S413-S416- S417-S418-S419-S420	30x70	12Φ20	Normal Kat Kirişleri	Üst Donatı	3Φ20	3Φ20
				b (cm) = 30	Alt Donatı	3Φ20	3Φ20
				h (cm) = 60	Montaj Donatısı	2Φ20	2Φ20
	S406-S407-S410-S411- S414-S415	40x70	14Φ16	Bağ Kirişleri	Üst Donatı	3Φ20	3Φ20
				b (cm) = 30	Alt Donatı	3Φ20	3Φ20
	S402-S403	155x30	16Φ20	h (cm) = 60	Montaj Donatısı	2Φ20	2Φ20
5	S501-S504-S505-S508- S509-S512-S513-S516- S517-S518-S519-S520	30x50	12Φ16	Normal Kat Kirişleri	Üst Donatı	2Φ18	2Φ18
				b (cm) = 30	Alt Donatı	3Φ16	3Φ16
				h (cm) = 60	Montaj Donatısı	2Φ18	2Φ18
	S506-S507-S510-S511- S514-S515	40x50	14Φ14	Bağ Kirişleri	Üst Donatı	2Φ20	2Φ20
				b (cm) = 30	Alt Donatı	3Φ18	3Φ18
	S502-S503	155x30	16Φ20	h (cm) = 60	Montaj Donatısı	2Φ20	2Φ20
6	S601-S604-S605-S608- S609-S612-S613-S616- S617-S618-S619-S620	30x50	12Φ16	Normal Kat Kirişleri	Üst Donatı	2Φ18	2Φ18
				b (cm) = 30	Alt Donatı	3Φ16	3Φ16
				h (cm) = 60	Montaj Donatısı	2Φ18	2Φ18
	S606-S607-S610-S611- S614-S615	40x50	14Φ14	Bağ Kirişleri	Üst Donatı	2Φ20	2Φ20
				b (cm) = 30	Alt Donatı	3Φ18	3Φ18
	S602-S603	155x30	16Φ20	h (cm) = 60	Montaj Donatısı	2Φ20	2Φ20
7	S701-S704-S705-S708- S709-S712-S713-S716- S717-S718-S719-S720	30x50	12Φ16	Normal Kat Kirişleri	Üst Donatı	2Φ18	2Φ18
				b (cm) = 30	Alt Donatı	3Φ16	3Φ16
				h (cm) = 60	Montaj Donatısı	2Φ18	2Φ18
	S706-S707-S710-S711- S714-S715	40x50	14Φ14	Bağ Kirişleri	Üst Donatı	2Φ20	2Φ20
				b (cm) = 30	Alt Donatı	3Φ18	3Φ18
	S702-S703	155x30	16Φ20	h (cm) = 60	Montaj Donatısı	2Φ20	2Φ20
8	S801-S804-S805-S808- S809-S812-S813-S816- S817-S818-S819-S820	30x50	12Φ16	Normal Kat Kirişleri	Üst Donatı	2Φ18	2Φ18
				b (cm) = 30	Alt Donatı	3Φ16	3Φ16
				h (cm) = 60	Montaj Donatısı	2Φ18	2Φ18
	S806-S807-S810-S811- S814-S815	40x50	14Φ14	Bağ Kirişleri	Üst Donatı	2Φ20	2Φ20
				b (cm) = 30	Alt Donatı	3Φ18	3Φ18
	S802-S803	155x30	16Φ20	h (cm) = 60	Montaj Donatısı	2Φ20	2Φ20

Çizelge 4.11'de verilen kiriş mesnedi alt donatıları aynı zamanda açıklık donatılarını ifade etmektedir.

4.4.2 Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile kesit hasar bölgelerinin belirlenmesi

TSM-2 taşıyıcı sistem modelinin, 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nde açıklanan artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile kesit hasar bölgelerinin belirlenmesinde izlenen hesap adımları aşağıda sayısal olarak açıklanmıştır. Hesap adımları Şekil 4.4'de gösterilen S113 kolonu ve K214 kirişi için ayrıntılı olarak açıklanmış, diğer elemanlar için ise sonuçlar çizelgeler halinde özetlenmiştir.



Şekil 4.4 : Ayrıntılı olarak incelenen kolon ve kiriş elemanları

a) Sistem, deprem hesabında esas alınan toplam kütlelerle uyumlu olan düşey işletme yükleri altında hesaplanarak kolon normal kuvvetleri bulunur. Aşağıda verilen bağıntılar kullanılarak kolonların çatlamış kesit eğilme rijitlikleri hesaplanır. N_D normal kuvvetinin ara değerleri için doğrusal enterpolasyon yapılır. Kirişlerde çatlamış kesit eğilme rijitliği ise 0.40 $(EI)_0$ olarak alınır. Deprem hesabı için

başlangıç durumunu oluşturan düşey yük hesabı ve deprem hesaplarında, bu şekilde elde edilen etkin eğilme rijitlikleri kullanılır.

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

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

S113 Kolonu İçin Örnek Hesap :

$b = 30$ cm $\quad h = 70$ cm $\quad f_{cm} = 25$ Mpa $\quad N_D = 812$ kN

$$A_c = b \cdot h = 300 \cdot 700 = 210000 \text{ mm}^2$$

$$A_c \cdot f_{cm} = 210000 \cdot 25 = 5250 \text{ kN}$$

$$\frac{N_D}{A_c \cdot f_{cm}} = \frac{812}{5250} = 0.155$$

Bu bağıntılarda f_{cm} mevcut malzeme dayanımı, bilgi düzeyi katsayısı 1.0 alınarak hesaplanmıştır. N_D'nin ara değeri için yukarıda verilen sınır değerler arasında doğrusal enterpolasyon yapılarak, S113 kolonu için çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitliği,

$(EI_e)_{S113} = 0.473\ (EI_0)_{S113}$

şeklinde elde edilir

K214 Kirişi İçin Örnek Hesap :

K214 kirişinin etkin eğilme rijitliği $0.40\ (EI)_0$ olarak alınır.

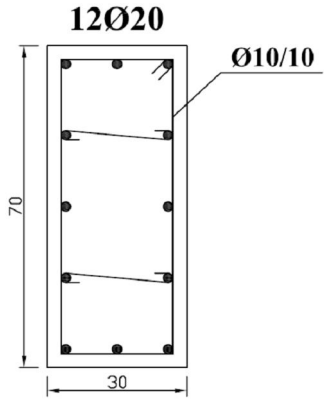
$(EI_e)_{K114} = 0.40\ (EI_0)_{K214}$

b) Kolon ve kirişlerin her iki ucunda olası plastik kesitler tanımlanır. Plastik kesitlerin akma yüzeylerinin belirlenmesinde betonarme betonu ve beton çeliğinin mevcut dayanımları kullanılır. Bu dayanım değerlerine malzeme güvenlik katsayıları uygulanmaz; buna karşılık mevcut dayanımlar bilgi düzeyi katsayıları ile çarpılır. Bu incelemede bilgi düzeyi katsayısı 1.0 olarak alınmıştır.

Akma yüzeylerinin oluşturulmasında betonun maksimum basınç birim şekildeğiştirmesi 0.003, donatı çeliğinin maksimum birim şekildeğiştirmesi ise 0.01 olarak alınır. Plastik kesitlerin iç kuvvet-plastik şekildeğiştirme bağıntılarında pekleşme etkisi terk edilir. Bu şekilde tanımlanan plastik kesitlerin akma yüzeyleri statik itme analizi yapılan modele veri olarak girilir.

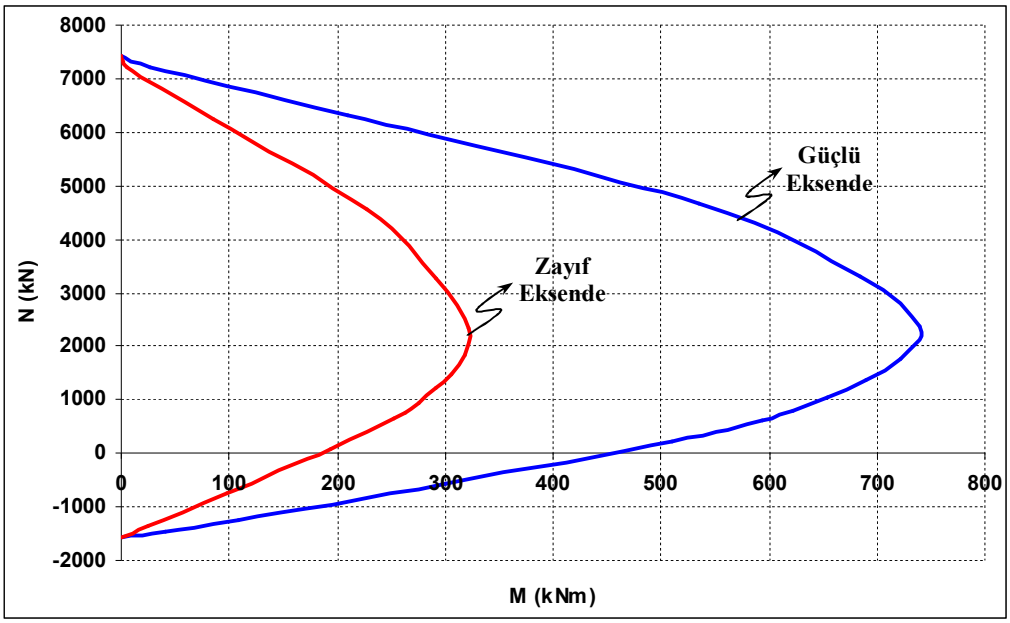
S113 Kolonu İçin Örnek Hesap

Plastik kesitlarin akma yüzeyleri XTRACT [50] kesit analiz programıyla oluşturulmuştur. Modellemede Şekil 4.5'te donatı detayı verilen S113 kolonunun kabuk betonunda Mander sargısız beton modeli, etriyelerle çevrili çekirdek betonunda ise Mander sargılı beton modeli kullanılmış, donatı çeliğinde pekleşme gözönüne alınmamıştır. Betonun maksimum basınç birim şekildeğiştirmesi 0.003, donatı çeliğinin maksimum birim şekildeğiştirmesi 0.01 sınır değerleri programa veri olarak girilir.



Şekil 4.5 : S113 kolonunun donatı detayı.

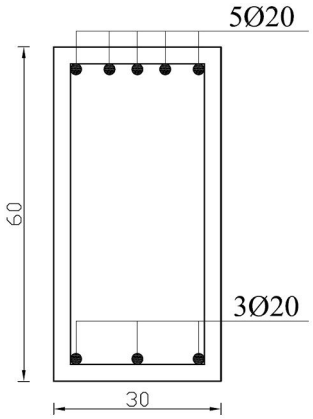
S113 kolonu için yapılan kesit analizi sonucunda her iki doğrultudaki bileşik eğilme durumu için elde edilen karşılıklı etki diyagramları Şekil 4.6'da görülmektedir. Bu karşılıklı etki diyagramları statik itme analizi yapılan modele veri olarak girilmiştir.



Şekil 4.6 : S113 kolonu için karşılıklı etki diyagramları.

K214 Kirişi İçin Örnek Hesap

Şekil 4.7'de kiriş sol ucu için donatı detayı verilen K214 kirişinde Mander sargısız beton modeli kullanılmış, donatı çeliğinde pekleşme gözönüne alınmamıştır. Betonun maksimum basınç birim şekildeğiştirmesi 0.003, donatı çeliğinin maksimum birim şekildeğiştirmesi 0.01 sınır değerleri programa veri olarak girilir.



Şekil 4.7 : K214 kirişi için sol mesnet bölgesi donatı detayı.

K214 kirişi için yapılan kesit hesabı sonucunda, plastik moment değerleri aşağıdaki şekilde elde edilmiştir.

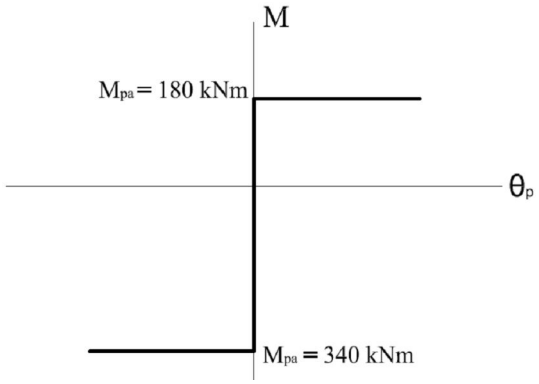
Pozitif eğilme momenti (Alt liflerde çekme)

M_{pa}^{+} = 180 kNm

Negatif eğilme momenti (Üst liflerde çekme)

M_{pa}^{-} = 340 kNm

Kirişin idealleştirilmiş iç kuvvet-şekildeğiştirme bağıntısı Şekil 4.8'de görülmektedir. Bu iç bağıntı statik itme analizi yapılan programa veri olarak girilir.



Şekil 4.8 : K214 kirişi sol mesnedi için eğilme momenti - dönme grafiği.

Yukarıda plastik kesitlerdeki karşılıklı etki diyagramlarının elde edilmesi ve plastik mafsalların tanımlanması için verilen örnek hesap adımları sistem üzerinde her olası plastik mafsal bölgesi için tekrarlanır.

c) Artımsal itme analizinden önce, kütlelerle uyumlu olan düşey yüklerin (G+0.3Q) gözönüne alındığı bir doğrusal olmayan statik analiz yapılır. Bu analizin sonuçları artımsal itme analizinin başlangıç koşulları olarak dikkate alınır.

d) Kütlelerle uyumlu düşey yüklerin gözönüne alındığı doğrusal olmayan statik analizin ardından sistem, orantılı olarak arttırılan eşdeğer deprem yükleri altında doğrusal olmayan teoriye göre hesaplanır. Eşdeğer deprem yükü dağılımı, taşıyıcı sistemdeki plastik kesitlerin oluşumlarından bağımsız biçimde sabit kaldığı varsayımı yapılarak, analizin başlangıç adımında doğrusal elastik davranış için hesaplanan birinci doğal titreşim mod şekli genliği ile ilgili kütlenin çarpımından elde edilen değerle orantılı olacak şekilde tanımlanır. Bu aşamada, yapı sisteminin deprem doğrultusundaki doğal titreşim modlarına ait özellikler elde edilir, Çizelge 4.12. Statik itme analizine, başlangıçta seçilen bir yatay yerdeğiştirme değerine kadar devam edilir.

Çizelge 4.12 : Deprem doğrultusundaki bina doğal titreşim modları

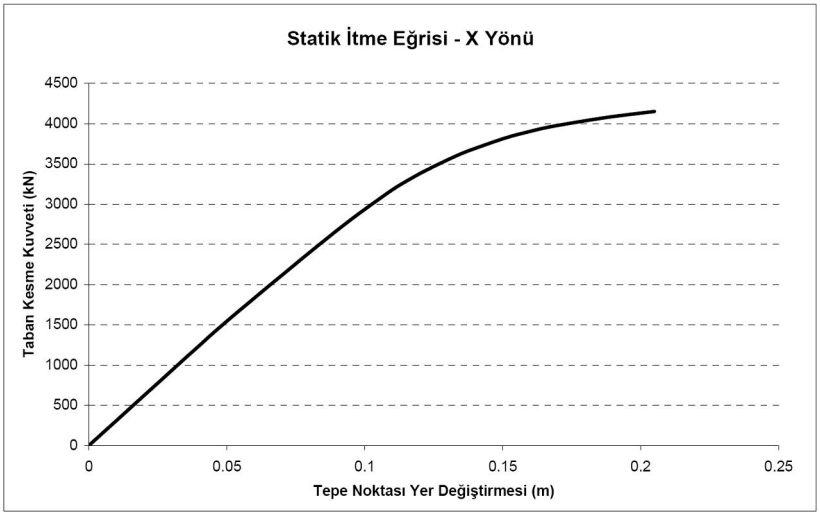
MOD	Periyod sn	Etkin Kütle Oranı %	Toplam Etkim Kütle Oranı %
1	**1.543**	**58.75**	58.75
2	1.173	21.41	80.16
3	0.526	7.51	87.67
4	0.375	3.59	**91.26**
5	0.298	2.48	93.74
6	0.203	0.9	94.64
7	0.199	2.02	96.66

Çizelge 4.12'de görüldüğü gibi, hesabı yapılan deprem doğrultusundaki bina etkin periyodu 1.543 sn, kütle katılımı %58.75'dir. Bu değer, 2007 Türk Deprem Yönetmeliğinde öngörülen minimum %70 kütle katılımı koşulunu sağlamamaktadır.

e) İtme analizinin her adımında taban kesme kuvveti ve tepe noktası yatay yerdeğiştirmesi bulunur. Analiz sonucunda elde edilen değerler Çizelge 4.13'de verilmiş, bu değerlerden yararlanarak çizilen statik itme eğrisi Şekil. 4.9'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.13 : Taban kesme kuvveti – tepe noktası yerdeğiştirmesi değerleri.

ADIM	$u^{(i)}_{xN1}$	$V^{(i)}_{x1}$	ADIM	$u^{(i)}_{xN1}$	$V^{(i)}_{x1}$
	m	kN		m	kN
1	0	0.0	18	0.0977	2877.5
2	0.005107	159.0	19	0.10652	3095.2
3	0.010232	318.0	20	0.11181	3218.9
4	0.015357	477.1	21	0.11842	3351.0
5	0.020482	636.1	22	0.12406	3451.9
6	0.025607	795.1	23	0.13029	3555.4
7	0.030732	954.1	24	0.1357	3636.7
8	0.035857	1113.2	25	0.14165	3713.2
9	0.040982	1272.2	26	0.14772	3785.4
10	0.043498	1350.3	27	0.15299	3842.5
11	0.051108	1576.7	28	0.15819	3890.2
12	0.058544	1790.9	29	0.16548	3948.9
13	0.063669	1937.7	30	0.17323	3998.7
14	0.072741	2195.6	31	0.18009	4037.3
15	0.077866	2340.4	32	0.18758	4076.5
16	0.084449	2523.6	33	0.19516	4111.0
17	0.090309	2682.7	34	0.20456	4150.4
			35	0.20498	4152.0



Şekil 4.9 : TSM-2 için statik itme eğrisi.

f) Elde edilen statik itme eğrisine koordinat dönüşümü uygulanarak, birinci moda ait modal yerdeğiştirme ve modal ivme değerlerinden oluşan modal kapasite diyagramı elde edilir. Denklemlerde geçen birinci (hâkim) moda ait etkin kütle M_{x1} ve modal katkı çarpanı Γ_{x1} 'in bulunmasına ilişkin hesap özeti Çizelge 4.14'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.14 : Etkin kütle ve modal katkı çarpanı hesap çizelgesi.

KAT	W_i (kN)	MOD	m_i	$m_{\theta i}$	Φ_{xi1}	$\Phi_{\theta i1}$	$m_{xi}\,\Phi_{xi1}$	$m_{xi}\,\Phi_{\theta i1}$	$m_{xi}\,\Phi_{xi1}^2$	$m_{xi}\,\Phi_{\theta i1}^2$
8	3319.47	1	338.4	20415.4	0.024	0.0016	7.9789	0.541	0.1881	0.0522
7	3473.19	1	354.0	21360.8	0.02246	0.0015	7.9512	0.543	0.1786	0.0503
6	3473.19	1	354.0	21360.8	0.02043	0.0014	7.2328	0.496	0.1478	0.0420
5	3473.19	1	354.0	21360.8	0.01751	0.0012	6.2001	0.425	0.1086	0.0308
4	3509.19	1	357.7	21582.2	0.01382	0.0009	4.9436	0.337	0.0683	0.0192
3	3545.19	1	361.4	21803.6	0.01033	0.0007	3.7342	0.259	0.0386	0.0112
2	3545.19	1	361.4	21803.6	0.00658	0.0005	2.3783	0.169	0.0157	0.0048
1	3648.47	1	371.9	22438.8	0.00286	0.0002	1.0626	0.079	0.0030	0.0010

Çizelge 4.14'te verilen değerlerden yararlanarak, aşağıdaki işlemler ile birinci moda ait etkin kütle ve modal katkı çarpanları belirlenmiştir.

$$L_{x1} = \sum m_{xi}\ \phi_{xi1} = 41.482 \qquad \Gamma_{x1} = \frac{L_{x1}}{M_1} = 43.205$$

$$M_1 = \sum \left(m_{xi}\ \phi_{xi1}{}^2 + m_{xi}\ \phi_{\theta i1}{}^2 \right) = 0.9601 \qquad M_{x1} = \frac{L_{x1}{}^2}{M_1} = 1792.2$$

Koordinat dönüşümü ile elde edilen modal yerdeğiştirme ve modal ivme değerleri Çizelge 4.15'te görülmektedir.

Çizelge 4.15 : Modal yerdeğiştirme ve modal ivme değerleri.

ADIM	$u^{(i)}_{xN1}$	$V^{(i)}_{x1}$	$a_1^{(i)}$	$d_1^{(i)}$	ADIM	$u^{(i)}_{xN1}$	$V^{(i)}_{x1}$	$a_1^{(i)}$	$d_1^{(i)}$
	m	kN	m/s^2	m		m	kN	m/s^2	m
1	0.000	0.0	0.000	0.0000	18	0.098	2877.5	1.606	0.0959
2	0.005	159.0	0.089	0.0050	19	0.107	3095.2	1.727	0.1046
3	0.010	318.0	0.177	0.0100	20	0.112	3218.9	1.796	0.1097
4	0.015	477.1	0.266	0.0151	21	0.118	3351.0	1.870	0.1162
5	0.020	636.1	0.355	0.0201	22	0.124	3451.9	1.926	0.1218
6	0.026	795.1	0.444	0.0251	23	0.130	3555.4	1.984	0.1279
7	0.031	954.1	0.532	0.0302	24	0.136	3636.7	2.029	0.1332
8	0.036	1113.2	0.621	0.0352	25	0.142	3713.2	2.072	0.1390
9	0.041	1272.2	0.710	0.0402	26	0.148	3785.4	2.112	0.1450
10	0.043	1350.3	0.753	0.0427	27	0.153	3842.5	2.144	0.1502
11	0.051	1576.7	0.880	0.0502	28	0.158	3890.2	2.171	0.1553
12	0.059	1790.9	0.999	0.0575	29	0.165	3948.9	2.203	0.1624
13	0.064	1937.7	1.081	0.0625	30	0.173	3998.7	2.231	0.1700
14	0.073	2195.6	1.225	0.0714	31	0.180	4037.3	2.253	0.1768
15	0.078	2340.4	1.306	0.0764	32	0.188	4076.5	2.275	0.1841
16	0.084	2523.6	1.408	0.0829	33	0.195	4111.0	2.294	0.1916
17	0.090	2682.7	1.497	0.0886	34	0.205	4150.4	2.316	0.2008
					35	0.205	4152.0	2.317	0.2012

g) Bulunan modal kapasite diyagramı ile zemin sınıfına ait ivme spektrumu eğrisi gözönüne alınarak modal yerdeğiştirme istemi hesaplanır. Modal yerdeğiştirme istemi, $d_1^{(p)}$, doğrusal olmayan (nonlineer) spektral yerdeğiştirme S_{di1}'e eşittir.

Önce doğrusal elastik (lineer) spektral yerdeğiştirme S_{de1}, elastik spektral ivme S_{ae1}'e bağlı olarak

$$\left.\begin{array}{l} (\omega_1^{(1)})^2 = 16.56 \\ S_{ae1} = 3.331\,\mathrm{m/s^2} \end{array}\right\} S_{de1} = \frac{S_{ae1}}{(\omega_1^{(1)})^2} \Longrightarrow S_{de1} = 0.2012\,\mathrm{m}$$

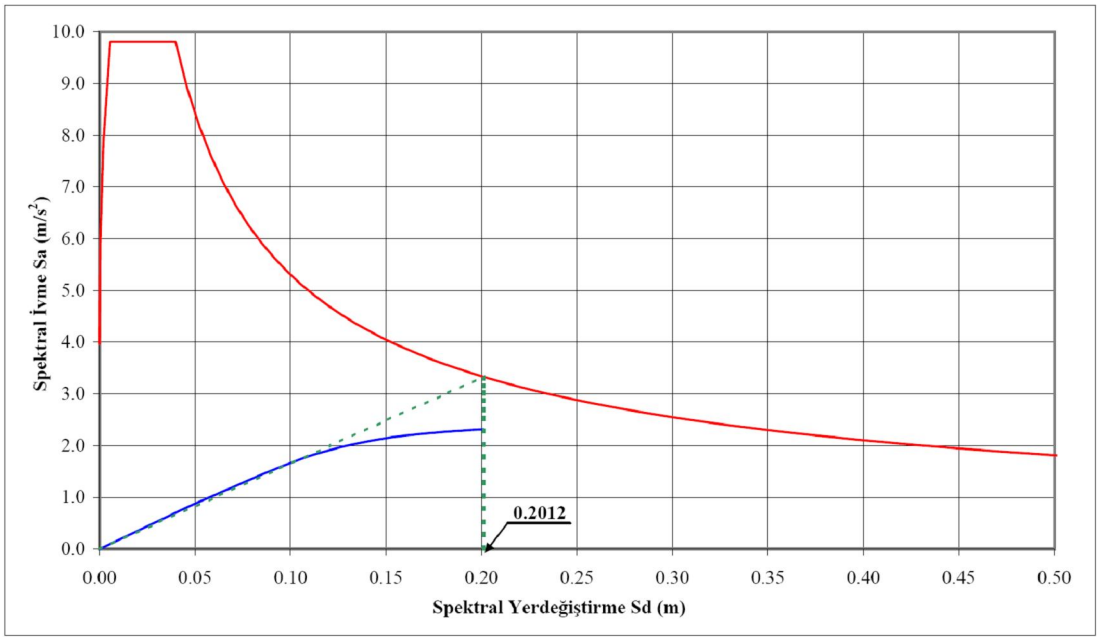
şeklinde bulunur.

$T_1^{(1)}$, ivme spektrumundaki karakteristik periyod T_B'den daha büyük olduğu için eşit yerdeğiştirme kuralı uyarınca doğrusal elastik olmayan spektral yerdeğiştirme doğrusal elastik spektral yerdeğiştirmeye eşit olarak alınır, Çizelge 4.16.

Çizelge 4.16 : Modal yerdeğiştirme isteminin hesabı.

A_o	T_1 (sn)	T_B (sn)	S_{ae} (m/s^2)	S_{de1} (m)	C_{R1}	$S_{di1} = d_1^{(p)}$ (m)
0.4	**1.543**	0.4	3.331	0.2012	1	**0.2012**

Modal yerdeğiştirmenin grafik üzerinde bulunuşu Şekil 4.10'da gösterilmiştir.



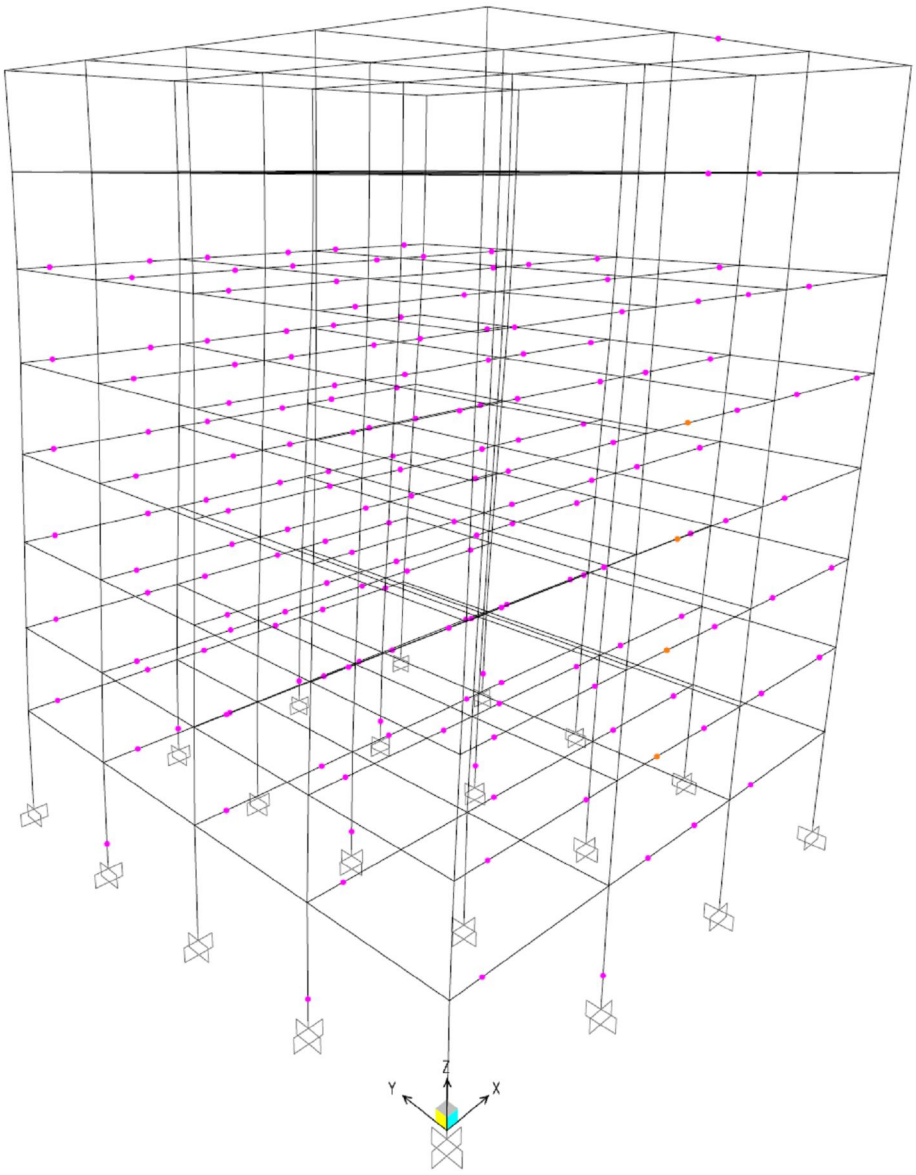
Şekil 4.10 : Spektral ivme – spektral yerdeğiştirme diyagramı.

h) *x* deprem doğrultusundaki tepe yatay yerdeğiştirmesi istemi Denk.**(3.11)** yardımı ile hesaplanır, Çizelge 4.17.

Çizelge 4.17 : Tepe noktası yatay yerdeğiştirmesi isteminin hesabı.

Γ_{x1}	Φ_{xN1}	M_{x1}	d_{1p} (m)	u_{xN1} (m)
43.205	0.0236	1792.2	0.2012	0.205

i) Yapı sistemi bu yatay yerdeğiştirme istemine kadar itilir. Bu itme analizi sonucunda sistemde oluşan plastik mafsallar Şekil 4.11'de verilmiştir.



Şekil 4.11 : Yerdeğiştime isteminde sistemde oluşan plastik mafsallar.

j) İtme analizi sonucunda tüm plastik kesitlerde elde edilen plastik mafsal dönmeleri plastik mafsal boyuna bölünerek, bu kesitlere ait plastik eğrilik istemleri elde edilir.

k) Eşdeğer akma eğriliği ϕ_y, Priestley formülü yardımıyla hesaplanır [2].

$$\phi_y = \frac{2.1\varepsilon_{sy}}{h} \qquad \textbf{(4.10)}$$

l) Eşdeğer akma eğriliği plastik eğrilik istemine eklenerek toplam eğrilik istemi elde edilir, Denklem (2.25).

m) Kirişler için (j - l) sayılı adımlar ile hesaplanan eğrilik istemi değerleri aşağıda Çizelge 4.18'de verilmiştir.

Çizelge 4.18 : TSM-2'de kirişler için toplam eğrilik istem değerleri.

Kiriş Adı	Maks θ_P	Lp	Φ_P	Φ_y	Φ_t	Kiriş Adı	Maks θ_P	Lp	Φ_P	Φ_y	Φ_t
	Radyan	m	1/m	1/m	1/m		Radyan	m	1/m	1/m	1/m
K101	0.00297	0.3	0.00988	0.00735	0.01723	K301	0.00748	0.3	0.02494	0.00735	0.03229
K102	0.00925	0.3	0.03083	0.00735	0.03818	K302	0.01409	0.3	0.04697	0.00735	0.05432
K103	0.00272	0.3	0.00905	0.00735	0.01640	K303	0.00740	0.3	0.02466	0.00735	0.03201
K104	0.00343	0.3	0.01144	0.00735	0.01879	K304	0.00698	0.3	0.02326	0.00735	0.03061
K105	0.00074	0.3	0.00247	0.00735	0.00982	K305	0.00516	0.3	0.01719	0.00735	0.02454
K106	0.00364	0.3	0.01215	0.00735	0.01950	K306	0.00787	0.3	0.02624	0.00735	0.03359
K107	0.00394	0.3	0.01314	0.00735	0.02049	K307	0.00700	0.3	0.02332	0.00735	0.03067
K108-9	-0.00402	0.3	0.01340	0.00735	0.02075	K308-9	-0.00823	0.3	0.02742	0.00735	0.03477
K110	0.00414	0.3	0.01380	0.00735	0.02115	K310	0.00725	0.3	0.02416	0.00735	0.03151
K111	0.00600	0.3	0.01999	0.00735	0.02734	K311	0.00864	0.3	0.02878	0.00735	0.03613
K112	0.00357	0.3	0.01191	0.00735	0.01926	K312	0.00665	0.3	0.02216	0.00735	0.02951
K113	0.00669	0.3	0.02231	0.00735	0.02966	K313	0.00865	0.3	0.02883	0.00735	0.03618
K114	0.00676	0.3	0.02253	0.00735	0.02988	K314	0.00947	0.3	0.03158	0.00735	0.03893
K115	0.00748	0.3	0.02495	0.00735	0.03230	K315	0.01020	0.3	0.03398	0.00735	0.04133
K116	0.00702	0.3	0.02339	0.00735	0.03074	K316	0.00937	0.3	0.03122	0.00735	0.03857
K117	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K317	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K118	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K318	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K119	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K319	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K120	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K320	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K121	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K321	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K122	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K322	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K123	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K323	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K124	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K324	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K125	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K325	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K126	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K326	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K127	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K327	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K128	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K328	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K129	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K329	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K130	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K330	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K131	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K331	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K132	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K332	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K201	0.00675	0.3	0.02249	0.00735	0.02984	K401	0.00680	0.3	0.02266	0.00735	0.03001
K202	0.01308	0.3	0.04359	0.00735	0.05094	K402	0.01337	0.3	0.04455	0.00735	0.05190
K203	0.00663	0.3	0.02210	0.00735	0.02945	K403	0.00689	0.3	0.02297	0.00735	0.03032
K204	0.00638	0.3	0.02127	0.00735	0.02862	K404	0.00634	0.3	0.02113	0.00735	0.02848
K205	0.00459	0.3	0.01529	0.00735	0.02264	K405	0.00389	0.3	0.01298	0.00735	0.02033
K206	0.00652	0.3	0.02174	0.00735	0.02909	K406	0.00630	0.3	0.02101	0.00735	0.02836
K207	0.00665	0.3	0.02217	0.00735	0.02952	K407	0.00609	0.3	0.02031	0.00735	0.02766
K208-9	-0.00754	0.3	0.02514	0.00735	0.03249	K408-9	-0.00682	0.3	0.02273	0.00735	0.03008
K210	0.00683	0.3	0.02277	0.00735	0.03012	K410	0.00625	0.3	0.02082	0.00735	0.02817
K211	0.00850	0.3	0.02832	0.00735	0.03567	K411	0.00807	0.3	0.02689	0.00735	0.03424
K212	0.00663	0.3	0.02210	0.00735	0.02945	K412	0.00556	0.3	0.01852	0.00735	0.02587
K213	0.00867	0.3	0.02891	0.00735	0.03626	K413	0.00804	0.3	0.02680	0.00735	0.03415
K214	0.00945	0.3	0.03149	0.00735	0.03884	K414	0.00845	0.3	0.02818	0.00735	0.03553
K215	0.01020	0.3	0.03400	0.00735	0.04135	K415	0.00884	0.3	0.02946	0.00735	0.03681
K216	0.00929	0.3	0.03096	0.00735	0.03831	K416	0.00842	0.3	0.02807	0.00735	0.03542
K217	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K417	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K218	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K418	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K219	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K419	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K220	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K420	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K221	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K421	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K222	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K422	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K223	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K423	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K224	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K424	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K225	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K425	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K226	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K426	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K227	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K427	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K228	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K428	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K229	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K429	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K230	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K430	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K231	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K431	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K232	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K432	0	0.3	0	0.00735	0.00735

Çizelge 4.18 (devam) : TSM-2'de kirişler için toplam eğrilik istem değerleri.

Kiriş Adı	Maks θ_P Radyan	Lp m	Φ_P 1/m	Φ_y 1/m	Φ_t 1/m	Kiriş Adı	Maks θ_P Radyan	Lp m	Φ_P 1/m	Φ_y 1/m	Φ_t 1/m
K501	-0.00523	0.3	0.01744	0.00735	0.02479	K701	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K502	0.01144	0.3	0.03813	0.00735	0.04548	K702	0.00430	0.3	0.01432	0.00735	0.02167
K503	0.00516	0.3	0.01721	0.00735	0.02456	K703	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K504	-0.00486	0.3	0.01619	0.00735	0.02354	K704	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K505	-0.00427	0.3	0.01423	0.00735	0.02158	K705	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K506	-0.00508	0.3	0.01694	0.00735	0.02429	K706	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K507	-0.00571	0.3	0.01903	0.00735	0.02638	K707	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K508-9	-0.00841	0.3	0.02803	0.00735	0.03538	K708-9	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K510	-0.00559	0.3	0.01862	0.00735	0.02597	K710	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K511	-0.00710	0.3	0.02366	0.00735	0.03101	K711	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K512	-0.00653	0.3	0.02177	0.00735	0.02912	K712	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K513	-0.00733	0.3	0.02444	0.00735	0.03179	K713	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K514	0.00702	0.3	0.02339	0.00735	0.03074	K714	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K515	-0.00721	0.3	0.02402	0.00735	0.03137	K715	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K516	0.00668	0.3	0.02226	0.00735	0.02961	K716	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K517	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K717	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K518	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K718	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K519	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K719	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K520	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K720	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K521	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K721	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K522	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K722	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K523	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K723	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K524	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K724	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K525	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K725	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K526	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K726	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K527	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K727	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K528	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K728	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K529	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K729	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K530	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K730	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K531	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K731	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K532	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K732	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K601	-0.00249	0.3	0.00831	0.00735	0.01566	K801	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K602	0.00780	0.3	0.02600	0.00735	0.03335	K802	0.00181	0.3	0.00602	0.00735	0.01337
K603	-0.00233	0.3	0.00777	0.00735	0.01512	K803	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K604	-0.00128	0.3	0.00426	0.00735	0.01161	K804	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K605	-0.00071	0.3	0.00236	0.00735	0.00971	K805	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K606	-0.00144	0.3	0.00479	0.00735	0.01214	K806	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K607	-0.00187	0.3	0.00625	0.00735	0.01360	K807	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K608-9	-0.00341	0.3	0.01135	0.00735	0.01870	K808-9	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K610	-0.00172	0.3	0.00573	0.00735	0.01308	K810	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K611	-0.00249	0.3	0.00830	0.00735	0.01565	K811	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K612	-0.00172	0.3	0.00572	0.00735	0.01307	K812	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K613	-0.00274	0.3	0.00912	0.00735	0.01647	K813	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K614	0.00177	0.3	0.00590	0.00735	0.01325	K814	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K615	-0.00195	0.3	0.00650	0.00735	0.01385	K815	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K616	0.00163	0.3	0.00544	0.00735	0.01279	K816	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K617	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K817	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K618	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K818	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K619	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K819	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K620	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K820	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K621	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K821	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K622	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K822	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K623	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K823	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K624	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K824	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K625	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K825	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K626	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K826	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K627	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K827	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K628	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K828	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K629	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K829	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K630	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K830	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K631	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K831	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K632	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K832	0	0.3	0	0.00735	0.00735

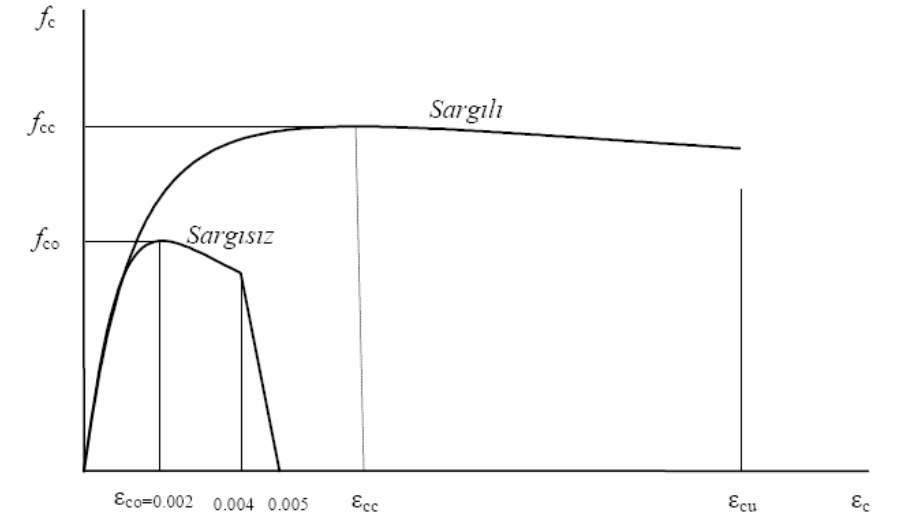
n) Kirişlerdeki, toplam eğrilik istemleri için, ilgili kesitte verilen beton ve donatı çeliği modelleri kullanılarak eğilme momenti - eğrilik diyagramları çizilir ve betonun birim kısalma, donatı çeliğinin ise birim boy değişmesi istemleri bulunur.

Yapılan sayısal incelemelerde, donatı çeliğinin birim boy değişmesi nedeniyle hasar sınırına ulaşan kiriş kesitlerinde, donatı çeliğinin birim uzama istemi ile kesitin toplam eğrilik istemi arasında, yaklaşık olarak doğrusal bir bağıntı bulunduğu belirlenmiştir.

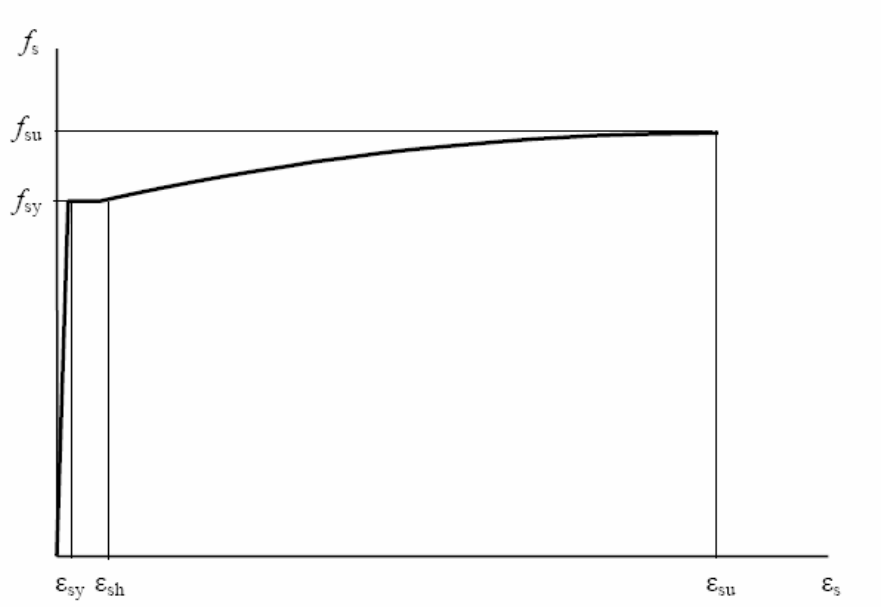
Bu çalışma kapsamında incelenen sistemdeki kiriş tiplerinin tümü, donatı çeliğinin şekildeğiştirmelerinin izin verilen maksimum birim şekildeğiştirme değerine ulaşması nedeniyle göçme durumuna gelmektedir. Bu özellikten yararlanarak, tüm kesitlerde toplam eğrilik istemine karşı gelen donatı çeliği birim uzama istemleri kolaylıkla elde edilebilmektedir. Bu istem değerleri kesit düzeyinde çeşitli hasar sınırları için tanımlanan birim şekildeğiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılarak sünek davranışa ilişkin kesit hasar bölgeleri belirlenir.

K214 Kirişi İçin Örnek Hesap

Kiriş plastik mafsallarının kesit hasar bölgelerinin belirlenmesi amacıyla kullanılan eğilme momenti - eğrilik bağıntılarının elde edilmesi için XTRACT kesit analiz programı kullanılmıştır. Analiz modelinde Şekil 4.7'de geometrisi ve donatı detayı verilen K214 kirişi beton malzeme modeli için Mander sargısız beton modeli seçilmiştir, Şekil 4.12. Donatı çeliğinde pekleşmeyi de gözönüne alan model kullanılmıştır, Şekil 4.13.



Şekil 4.12 : Kesit analizinde kullanılan beton modeli.



Şekil 4.13 : Kesit analizinde kullanılan donatı çeliği modeli.

Beton modelinde ezilme birim kısalması $\varepsilon_{cu} = 0.004$, beton dağılma birim kısalması $\varepsilon_c = 0.005$, sargısız beton dayanımı $f_{co} = 25$ Mpa alınmıştır. Çelik modelinde ise S420 çeliği için akma birim uzaması $\varepsilon_{sy} = 0.0021$, pekleşme başlangıcındaki birim uzama $\varepsilon_{sy} = 0.008$, kopma birim uzaması, $\varepsilon_{su} = 0.1$, donatı çeliği akma dayanımı $f_{sy} = 420$ Mpa, kopma dayanımı $f_{su} = 550$ Mpa değerlerini almaktadır.

Statik itme analizi sonucunda K214 kirişinin sol ucu için elde edilen plastik dönme değeri plastik mafsal boyuna bölünerek plastik eğrilik bulunur. Plastik mafsal boyu enkesit yüksekliğinin yarısı olarak alınır.

$b = 30$ cm

$h = 60$ cm

$$L_p = \frac{60}{2} = 30\,\text{cm}$$

$\theta_p = 0.00945$ radyan

$$\phi_p = \frac{\theta_p}{L_p} = \frac{0.00945}{0.3} = 0.0315\,\text{rad/m}$$

Hesaplanan eğrilik akma eğriliği ile toplanarak toplam eğrilik elde edilir. Akma eğriliğinin hesabı için Denk.**(4.10)**'da verilen Priestley formülü kullanılır.

$$\phi_y = \frac{2.1\varepsilon_{sy}}{h} = \phi_y = \frac{2.1 \times 0.0021}{0.6} = 0.00735 \text{ rad / m}$$

$$\phi_t = \phi_y + \phi_p = 0.03884 \text{ rad / m}$$

Yapılan eğilme momenti - eğrilik analizi sonucunda, bulunan toplam eğriliklerden, beton basınç birim şekildeğiştirmesi ve donatı çeliği birim şekildeğiştirme değerleri elde edilir.

$\varepsilon_c = 0.0017$, $\varepsilon_s = 0.01981$

Bu istem değerleri kesit düzeyinde çeşitli hasar sınırları için tanımlanan birim şekildeğiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılarak sünek davranışa ilişkin kesit hasar bölgeleri belirlenir.

$\varepsilon_c = 0.0017 < (\varepsilon_c)_{MN} = 0.0035$

$(\varepsilon_s)_{MN} = 0.01 < \varepsilon_s = 0.01981 < (\varepsilon_s)_{GV} = 0.04$

Buna göre kesit hasar bölgesi *belirgin hasar bölgesi* olarak belirlenir.

K214 kirişi için verilen örnek hesaptaki adımlar tüm kirişler için tekrar edilmiş ve elde edilen sonuçlar Çizelge 4.19'da özetlenmiştir.

Çizelge 4.19 : TSM-2'de kirişlerin eleman hasar bölgeleri.

Kiriş Adı	Φ_t 1/m	ε_s	Hasar Bölgesi	Kiriş Adı	Φ_t 1/m	ε_s	Hasar Bölgesi	Kiriş Adı	Φ_t 1/m	ε_s	Hasar Bölgesi	Kiriş Adı	Φ_t 1/m	ε_s	Hasar Bölgesi
K101	0.01723	0.00879	MHB	K301	0.03229	0.01648	BHB	K501	0.02479	0.01087	BHB	K701	0.01566	0.00687	MHB
K102	0.03818	0.01948	BHB	K302	0.05432	0.02771	BHB	K502	0.04548	0.02320	BHB	K702	0.03335	0.01701	BHB
K103	0.01640	0.00837	MHB	K303	0.03201	0.01633	BHB	K503	0.02456	0.01253	BHB	K703	0.01512	0.00663	MHB
K104	0.01879	0.00959	MHB	K304	0.03061	0.01562	BHB	K504	0.02354	0.01032	BHB	K704	0.01161	0.00509	MHB
K105	0.00982	0.00501	MHB	K305	0.02454	0.01252	BHB	K505	0.02158	0.00946	MHB	K705	0.00971	0.00426	MHB
K106	0.01950	0.00995	MHB	K306	0.03359	0.01714	BHB	K506	0.02429	0.01065	BHB	K706	0.01214	0.00532	MHB
K107	0.02049	0.01045	BHB	K307	0.03067	0.01565	BHB	K507	0.02638	0.01157	BHB	K707	0.01360	0.00596	MHB
K108-9	0.02075	0.00910	MHB	K308-9	0.03477	0.01525	BHB	K508-9	0.03538	0.01552	BHB	K708-9	0.01870	0.00820	MHB
K110	0.02115	0.01079	BHB	K310	0.03151	0.01608	BHB	K510	0.02597	0.01139	BHB	K710	0.01308	0.00574	MHB
K111	0.02734	0.01395	BHB	K311	0.03613	0.01844	BHB	K511	0.03101	0.01360	BHB	K711	0.01565	0.00686	MHB
K112	0.01926	0.00983	MHB	K312	0.02951	0.01506	BHB	K512	0.02912	0.01277	BHB	K712	0.01307	0.00573	MHB
K113	0.02966	0.01513	BHB	K313	0.03618	0.01846	BHB	K513	0.03179	0.01394	BHB	K713	0.01647	0.00722	MHB
K114	0.02988	0.01524	BHB	K314	0.03893	0.01986	BHB	K514	0.03074	0.01568	BHB	K714	0.01325	0.00676	MHB
K115	0.03230	0.01648	BHB	K315	0.04133	0.02109	BHB	K515	0.03137	0.01376	BHB	K715	0.01385	0.00608	MHB
K116	0.03074	0.01568	BHB	K316	0.03857	0.01968	BHB	K516	0.02961	0.01511	BHB	K716	0.01279	0.00653	MHB
K117	0.00735	0.00375	MHB	K317	0.00735	0.00375	MHB	K517	0.00735	0.00375	MHB	K717	0.00735	0.00375	MHB
K118	0.00735	0.00375	MHB	K318	0.00735	0.00375	MHB	K518	0.00735	0.00375	MHB	K718	0.00735	0.00375	MHB
K119	0.00735	0.00375	MHB	K319	0.00735	0.00375	MHB	K519	0.00735	0.00375	MHB	K719	0.00735	0.00375	MHB
K120	0.00735	0.00375	MHB	K320	0.00735	0.00375	MHB	K520	0.00735	0.00375	MHB	K720	0.00735	0.00375	MHB
K121	0.00735	0.00375	MHB	K321	0.00735	0.00375	MHB	K521	0.00735	0.00375	MHB	K721	0.00735	0.00375	MHB
K122	0.00735	0.00375	MHB	K322	0.00735	0.00375	MHB	K522	0.00735	0.00375	MHB	K722	0.00735	0.00375	MHB
K123	0.00735	0.00375	MHB	K323	0.00735	0.00375	MHB	K523	0.00735	0.00375	MHB	K723	0.00735	0.00375	MHB
K124	0.00735	0.00375	MHB	K324	0.00735	0.00375	MHB	K524	0.00735	0.00375	MHB	K724	0.00735	0.00375	MHB
K125	0.00735	0.00375	MHB	K325	0.00735	0.00375	MHB	K525	0.00735	0.00375	MHB	K725	0.00735	0.00375	MHB
K126	0.00735	0.00375	MHB	K326	0.00735	0.00375	MHB	K526	0.00735	0.00375	MHB	K726	0.00735	0.00375	MHB
K127	0.00735	0.00375	MHB	K327	0.00735	0.00375	MHB	K527	0.00735	0.00375	MHB	K727	0.00735	0.00375	MHB
K128	0.00735	0.00375	MHB	K328	0.00735	0.00375	MHB	K528	0.00735	0.00375	MHB	K728	0.00735	0.00375	MHB
K129	0.00735	0.00375	MHB	K329	0.00735	0.00375	MHB	K529	0.00735	0.00375	MHB	K729	0.00735	0.00375	MHB
K130	0.00735	0.00375	MHB	K330	0.00735	0.00375	MHB	K530	0.00735	0.00375	MHB	K730	0.00735	0.00375	MHB
K131	0.00735	0.00375	MHB	K331	0.00735	0.00375	MHB	K531	0.00735	0.00375	MHB	K731	0.00735	0.00375	MHB
K132	0.00735	0.00375	MHB	K332	0.00735	0.00375	MHB	K532	0.00735	0.00375	MHB	K732	0.00735	0.00375	MHB
K201	0.02984	0.01523	BHB	K401	0.03001	0.01531	BHB	K601	0.01566	0.00687	MHB	K801	0.00735	0.00375	MHB
K202	0.05094	0.02599	BHB	K402	0.05190	0.02648	BHB	K602	0.03335	0.01701	BHB	K802	0.02167	0.01106	BHB
K203	0.02945	0.01503	BHB	K403	0.03032	0.01547	BHB	K603	0.01512	0.00663	MHB	K803	0.00735	0.00375	MHB
K204	0.02862	0.01460	BHB	K404	0.02848	0.01453	BHB	K604	0.01161	0.00509	MHB	K804	0.00735	0.00375	MHB
K205	0.02264	0.01155	BHB	K405	0.02033	0.01037	BHB	K605	0.00971	0.00426	MHB	K805	0.00735	0.00375	MHB
K206	0.02909	0.01484	BHB	K406	0.02836	0.01447	BHB	K606	0.01214	0.00532	MHB	K806	0.00735	0.00375	MHB
K207	0.02952	0.01506	BHB	K407	0.02766	0.01411	BHB	K607	0.01360	0.00596	MHB	K807	0.00735	0.00375	MHB
K208-9	0.03249	0.01425	BHB	K408-9	0.03008	0.01319	BHB	K608-9	0.01870	0.00820	MHB	K808-9	0.00735	0.00375	MHB
K210	0.03012	0.01537	BHB	K410	0.02817	0.01437	BHB	K610	0.01308	0.00574	MHB	K810	0.00735	0.00375	MHB
K211	0.03567	0.01820	BHB	K411	0.03424	0.01747	BHB	K611	0.01565	0.00686	MHB	K811	0.00735	0.00375	MHB
K212	0.02945	0.01503	BHB	K412	0.02587	0.01320	BHB	K612	0.01307	0.00573	MHB	K812	0.00735	0.00375	MHB
K213	0.03626	0.01850	BHB	K413	0.03415	0.01742	BHB	K613	0.01647	0.00722	MHB	K813	0.00735	0.00375	MHB
K214	0.03884	0.01981	BHB	K414	0.03553	0.01813	BHB	K614	0.01325	0.00676	MHB	K814	0.00735	0.00375	MHB
K215	0.04135	0.02110	BHB	K415	0.03681	0.01878	BHB	K615	0.01385	0.00608	MHB	K815	0.00735	0.00375	MHB
K216	0.03831	0.01955	BHB	K416	0.03542	0.01807	BHB	K616	0.01279	0.00653	MHB	K816	0.00735	0.00375	MHB
K217	0.00735	0.00375	MHB	K417	0.00735	0.00375	MHB	K617	0.00735	0.00375	MHB	K817	0.00735	0.00375	MHB
K218	0.00735	0.00375	MHB	K418	0.00735	0.00375	MHB	K618	0.00735	0.00375	MHB	K818	0.00735	0.00375	MHB
K219	0.00735	0.00375	MHB	K419	0.00735	0.00375	MHB	K619	0.00735	0.00375	MHB	K819	0.00735	0.00375	MHB
K220	0.00735	0.00375	MHB	K420	0.00735	0.00375	MHB	K620	0.00735	0.00375	MHB	K820	0.00735	0.00375	MHB
K221	0.00735	0.00375	MHB	K421	0.00735	0.00375	MHB	K621	0.00735	0.00375	MHB	K821	0.00735	0.00375	MHB
K222	0.00735	0.00375	MHB	K422	0.00735	0.00375	MHB	K622	0.00735	0.00375	MHB	K822	0.00735	0.00375	MHB
K223	0.00735	0.00375	MHB	K423	0.00735	0.00375	MHB	K623	0.00735	0.00375	MHB	K823	0.00735	0.00375	MHB
K224	0.00735	0.00375	MHB	K424	0.00735	0.00375	MHB	K624	0.00735	0.00375	MHB	K824	0.00735	0.00375	MHB
K225	0.00735	0.00375	MHB	K425	0.00735	0.00375	MHB	K625	0.00735	0.00375	MHB	K825	0.00735	0.00375	MHB
K226	0.00735	0.00375	MHB	K426	0.00735	0.00375	MHB	K626	0.00735	0.00375	MHB	K826	0.00735	0.00375	MHB
K227	0.00735	0.00375	MHB	K427	0.00735	0.00375	MHB	K627	0.00735	0.00375	MHB	K827	0.00735	0.00375	MHB
K228	0.00735	0.00375	MHB	K428	0.00735	0.00375	MHB	K628	0.00735	0.00375	MHB	K828	0.00735	0.00375	MHB
K229	0.00735	0.00375	MHB	K429	0.00735	0.00375	MHB	K629	0.00735	0.00375	MHB	K829	0.00735	0.00375	MHB
K230	0.00735	0.00375	MHB	K430	0.00735	0.00375	MHB	K630	0.00735	0.00375	MHB	K830	0.00735	0.00375	MHB
K231	0.00735	0.00375	MHB	K431	0.00735	0.00375	MHB	K631	0.00735	0.00375	MHB	K831	0.00735	0.00375	MHB
K232	0.00735	0.00375	MHB	K432	0.00735	0.00375	MHB	K632	0.00735	0.00375	MHB	K832	0.00735	0.00375	MHB

o) İlk kat kolonları için yapılan hesap sonucunda, (j - l) sayılı adımlar ile elde edilen eğrilik istemi değerleri Çizelge 4.20'de verilmiştir.

Çizelge 4.20 : TSM-2'de 1. kat kolonları için toplam eğrilik istemleri.

Kolon Adı	Mafsal Adı	Maks θ_p (R3)	Maks θ_p (R2)	h (R3)	b (R2)	Lp (R3)	Lp (R2)	Φ_p (R3)	Φ_p (R2)	Φ_y (R3)	Φ_y (R2)	P	Φ_t (R3)	Φ_t (R2)
		Radyan	Radyan	m	m	m	m	1/m	1/m	1/m	1/m	kN	1/m	1/m
S101	30x70M	0	0	0.3	0.7	0.15	0.35	0	0	0.01470	0.00630	37.8	0.01470	0.00630
S101	30x70M	0	0	0.3	0.7	0.15	0.35	0	0	0.01470	0.00630	25.0	0.01470	0.00630
S101	30x70M	0	0	0.3	0.7	0.15	0.35	0	0	0.01470	0.00630	782.6	0.01470	0.00630
S101	30x70M	0	0	0.3	0.7	0.15	0.35	0	0	0.01470	0.00630	769.8	0.01470	0.00630
S102	PRD	0.00019	0	1.55	0.3	0.775	0.15	0.00025	0	0.00285	0.01470	796.4	0.00309	0.01470
S102	PRD	0	0	1.55	0.3	0.775	0.15	0	0	0.00285	0.01470	773.8	0.00285	0.01470
S102	PRD	0	0	1.55	0.3	0.775	0.15	0	0	0.00285	0.01470	1511.9	0.00285	0.01470
S102	PRD	0	0	1.55	0.3	0.775	0.15	0	0	0.00285	0.01470	1489.3	0.00285	0.01470
S103	PRD	0	0	1.55	0.3	0.775	0.15	0	0	0.00285	0.01470	1510.9	0.00285	0.01470
S103	PRD	0	0	1.55	0.3	0.775	0.15	0	0	0.00285	0.01470	1488.3	0.00285	0.01470
S103	PRD	-0.00029	0	1.55	0.3	0.775	0.15	-0.00037	0	0.00285	0.01470	2228.9	-0.00322	0.01470
S103	PRD	0	0	1.55	0.3	0.775	0.15	0	0	0.00285	0.01470	2206.3	0.00285	0.01470
S104	30x70M	0	0	0.3	0.7	0.15	0.35	0	0	0.01470	0.00630	782.4	0.01470	0.00630
S104	30x70M	0	0	0.3	0.7	0.15	0.35	0	0	0.01470	0.00630	769.6	0.01470	0.00630
S104	30x70M	0	0	0.3	0.7	0.15	0.35	0	0	0.01470	0.00630	1553.2	0.01470	0.00630
S104	30x70M	0	0	0.3	0.7	0.15	0.35	0	0	0.01470	0.00630	1540.4	0.01470	0.00630
S105	70x30M	0.00010	0.00010	0.7	0.3	0.35	0.15	0.00030	0.00069	0.00630	0.01470	631.2	0.00660	0.01539
S105	70x30M	0	0	0.7	0.3	0.35	0.15	0	0	0.00630	0.01470	619.3	0.00630	0.01470
S105	70x30M	0	0	0.7	0.3	0.35	0.15	0	0	0.00630	0.01470	1220.2	0.00630	0.01470
S105	70x30M	0	0	0.7	0.3	0.35	0.15	0	0	0.00630	0.01470	1208.2	0.00630	0.01470
S106	40x70M	0	0	0.4	0.7	0.2	0.35	0	0	0.01103	0.00630	1806.0	0.01103	0.00630
S106	40x70M	0	0	0.4	0.7	0.2	0.35	0	0	0.01103	0.00630	1789.2	0.01103	0.00630
S106	40x70M	0	0	0.4	0.7	0.2	0.35	0	0	0.01103	0.00630	1922.6	0.01103	0.00630
S106	40x70M	0	0	0.4	0.7	0.2	0.35	0	0	0.01103	0.00630	1905.8	0.01103	0.00630
S107	40x70M	0	0	0.4	0.7	0.2	0.35	0	0	0.01103	0.00630	1917.4	0.01103	0.00630
S107	40x70M	0	0	0.4	0.7	0.2	0.35	0	0	0.01103	0.00630	1900.6	0.01103	0.00630
S107	40x70M	0	0	0.4	0.7	0.2	0.35	0	0	0.01103	0.00630	1977.0	0.01103	0.00630
S107	40x70M	0	0	0.4	0.7	0.2	0.35	0	0	0.01103	0.00630	1960.2	0.01103	0.00630
S108	70x30M	0	0.00022	0.7	0.3	0.35	0.15	0	0.00144	0.00630	0.01470	1219.7	0.00630	0.01614
S108	70x30M	0	0	0.7	0.3	0.35	0.15	0	0	0.00630	0.01470	1207.7	0.00630	0.01470
S108	70x30M	-0.00022	0	0.7	0.3	0.35	0.15	-0.00062	0	0.00630	0.01470	1866.7	-0.00692	0.01470
S108	70x30M	0	0	0.7	0.3	0.35	0.15	0	0	0.00630	0.01470	1854.7	0.00630	0.01470
S109	30x70M	0	0	0.3	0.7	0.15	0.35	0	0	0.01470	0.00630	625.8	0.01470	0.00630
S109	30x70M	0	0	0.3	0.7	0.15	0.35	0	0	0.01470	0.00630	613.0	0.01470	0.00630
S109	30x70M	0	0	0.3	0.7	0.15	0.35	0	0	0.01470	0.00630	1217.5	0.01470	0.00630
S109	30x70M	0	0	0.3	0.7	0.15	0.35	0	0	0.01470	0.00630	1204.7	0.01470	0.00630
S110	70x40M	0.00089	0.00073	0.7	0.4	0.35	0.2	0.00254	0.00366	0.00630	0.01103	1920.8	0.00884	0.01469
S110	70x40M	0	0	0.7	0.4	0.35	0.2	0	0	0.00630	0.01103	1904.9	0.00630	0.01103
S110	70x40M	-0.00095	-0.00071	0.7	0.4	0.35	0.2	-0.00271	-0.00355	0.00630	0.01103	1982.2	-0.00901	-0.01457
S110	70x40M	0	0	0.7	0.4	0.35	0.2	0	0	0.00630	0.01103	1966.3	0.00630	0.01103
S111	70x40M	0.00076	0.00069	0.7	0.4	0.35	0.2	0.00217	0.00343	0.00630	0.01103	1982.2	0.00847	0.01446
S111	70x40M	0	0	0.7	0.4	0.35	0.2	0	0	0.00630	0.01103	1966.2	0.00630	0.01103
S111	70x40M	-0.00099	-0.00063	0.7	0.4	0.35	0.2	-0.00283	-0.00316	0.00630	0.01103	2040.3	-0.00913	-0.01418
S111	70x40M	0	0	0.7	0.4	0.35	0.2	0	0	0.00630	0.01103	2024.4	0.00630	0.01103
S112	30x70M	0	0	0.3	0.7	0.15	0.35	0	0	0.01470	0.00630	1217.3	0.01470	0.00630
S112	30x70M	0	0	0.3	0.7	0.15	0.35	0	0	0.01470	0.00630	1204.5	0.01470	0.00630
S112	30x70M	0	0	0.3	0.7	0.15	0.35	0	0	0.01470	0.00630	1840.1	0.01470	0.00630
S112	30x70M	0	0	0.3	0.7	0.15	0.35	0	0	0.01470	0.00630	1827.3	0.01470	0.00630
S113	70x30M	0.00160	0.00159	0.7	0.3	0.35	0.15	0.00458	0.01061	0.00630	0.01470	614.7	0.01088	0.02531
S113	70x30M	0	0	0.7	0.3	0.35	0.15	0	0.00000	0.00630	0.01470	602.8	0.00630	0.01470
S113	70x30M	-0.00127	-0.00166	0.7	0.3	0.35	0.15	-0.00363	-0.01106	0.00630	0.01470	1223.1	-0.00993	-0.02576
S113	70x30M	0	0	0.7	0.3	0.35	0.15	0	0	0.00630	0.01470	1211.1	0.00630	0.01470
S114	40x70M	0	0	0.4	0.7	0.2	0.35	0	0	0.01103	0.00630	1966.9	0.01103	0.00630
S114	40x70M	0	0	0.4	0.7	0.2	0.35	0	0	0.01103	0.00630	1950.1	0.01103	0.00630
S114	40x70M	0	0	0.4	0.7	0.2	0.35	0	0	0.01103	0.00630	2043.9	0.01103	0.00630
S114	40x70M	0	0	0.4	0.7	0.2	0.35	0	0	0.01103	0.00630	2027.1	0.01103	0.00630
S115	40x70M	0.00002	0	0.4	0.7	0.2	0.35	0.00008	0	0.01103	0.00630	1924.8	0.01111	0.00630
S115	40x70M	0	0	0.4	0.7	0.2	0.35	0	0	0.01103	0.00630	1908.0	0.01103	0.00630
S115	40x70M	0	0	0.4	0.7	0.2	0.35	0	-0.00001	0.01103	0.00630	1987.3	0.01103	-0.00631
S115	40x70M	0	0	0.4	0.7	0.2	0.35	0	0	0.01103	0.00630	1970.5	0.01103	0.00630
S116	70x30M	0.00113	0.00175	0.7	0.3	0.35	0.15	0.00323	0.01167	0.00630	0.01470	1223.0	0.00953	0.02637
S116	70x30M	0	0	0.7	0.3	0.35	0.15	0	0	0.00630	0.01470	1211.0	0.00630	0.01470
S116	70x30M	-0.00176	-0.00148	0.7	0.3	0.35	0.15	-0.00503	-0.00985	0.00630	0.01470	1878.2	-0.01133	-0.02455
S116	70x30M	0	0	0.7	0.3	0.35	0.15	0	0	0.00630	0.01470	1866.2	0.00630	0.01470
S117	30x70M	0	0	0.3	0.7	0.15	0.35	0	0	0.01470	0.00630	325.8	0.01470	0.00630
S117	30x70M	0	0	0.3	0.7	0.15	0.35	0	0	0.01470	0.00630	313.0	0.01470	0.00630
S117	30x70M	0	0	0.3	0.7	0.15	0.35	0	0	0.01470	0.00630	808.3	0.01470	0.00630
S117	30x70M	0	0	0.3	0.7	0.15	0.35	0	0	0.01470	0.00630	795.5	0.01470	0.00630
S118	70x30M	0.00223	0.00086	0.7	0.3	0.35	0.15	0.00636	0.00573	0.00630	0.01470	1266.5	0.01266	0.02043
S118	70x30M	0.00000	0	0.7	0.3	0.35	0.15	0	0	0.00630	0.01470	1254.5	0.00630	0.01470
S118	70x30M	-0.00239	-0.00051	0.7	0.3	0.35	0.15	-0.00681	-0.00342	0.00630	0.01470	1311.8	-0.01311	-0.01812
S118	70x30M	0	0	0.7	0.3	0.35	0.15	0	0.00000	0.00630	0.01470	1299.8	0.00630	0.01470
S119	70x30M	0.00222	0.00095	0.7	0.3	0.35	0.15	0.00635	0.00635	0.00630	0.01470	1260.9	0.01265	0.02105
S119	70x30M	0	0	0.7	0.3	0.35	0.15	0	0	0.00630	0.01470	1249.0	0.00630	0.01470
S119	70x30M	-0.00225	-0.00055	0.7	0.3	0.35	0.15	-0.00643	-0.00367	0.00630	0.01470	1324.3	-0.01273	-0.01837
S119	70x30M	0	0	0.7	0.3	0.35	0.15	0	0	0.00630	0.01470	1312.3	0.00630	0.01470
S120	30x70M	0	0.00004	0.3	0.7	0.15	0.35	0	0.00010	0.01470	0.00630	808.2	0.01470	0.00640
S120	30x70M	0	0	0.3	0.7	0.15	0.35	0	0	0.01470	0.00630	795.4	0.01470	0.00630
S120	30x70M	-0.00006	0	0.3	0.7	0.15	0.35	-0.00040	0	0.01470	0.00630	1298.7	-0.01510	0.00630
S120	30x70M	0	0	0.3	0.7	0.15	0.35	0	0	0.01470	0.00630	1285.9	0.01470	0.00630

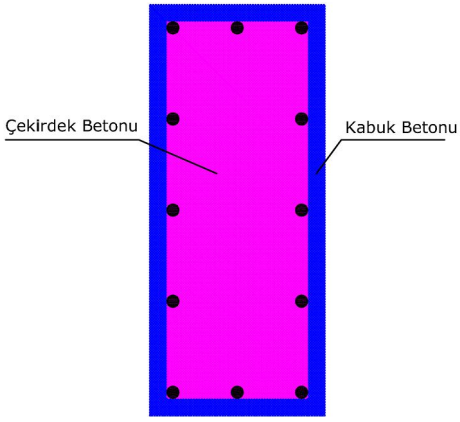
Kolonlarda, her farklı kolon kesiti için, beton ve donatı çeliği modelleri kullanılarak eğilme momenti - eğrilik ilişkisi elde edilir. Eğilme momenti - eğrilik ilişkisi elde

edilirken kolonda sargı donatısının dayanıma ve şekildeğiştirme kapasitesine olan etkileri seçilen Mander sargılı beton modeli ile gözönüne alınır. Kesit analizi yapılan programa (XTRACT) performans düzeylerine göre izin verilen şekildeğiştirme sınırları tanımlanarak ilgili kesitin, bu sınırlara karşılık gelen normal kuvvet - toplam eğrilik diyagramları elde edilir. Analiz sonucunda bulunan normal kuvvet ve toplam eğrilik istemi değerleri bu diyagram üzerine yerleştirilerek kesitin hasar bölgesi belirlenir.

r) Yukarıda +X yönü için uygulanan hesap adımları –X için de tekrarlanarak tüm kesit hasar bölgeleri elde edilir.

S113 Kolonu İçin Örnek Hesap

Şekil 4.5'te geometrisi ve donatı detayı verilen S113 kolon alt ucunun eğilme momenti - eğrilik analiz modelinde (Şekil 4.14), kolon kabuk betonunda Mander sargısız beton modeli, etriyelerle çevrili çekirdek betonunda ise Mander sargılı beton modeli kullanılır, Şekil 4.12. Donatı çeliğinde pekleşmeyi de gözönüne alan model kullanılmıştır, Şekil 4.13. Sargı etkisiyle artan beton basınç dayanımı ve beton ezilme birim kısalması enine ve boyuna donatı detayı gözönüne alınarak hesaplanır.



Şekil 4.14 : S113 kolonu kesit analiz modeli

Statik itme analizi sonucunda S113 kolonunun alt ucu için elde edilen güçlü eksen etrafındaki plastik dönme değeri o doğrultudaki plastik mafsal boyuna bölünerek plastik eğrilik bulunur. Plastik mafsal boyu enkesit yüksekliğinin yarısı olarak alınır.

b = 70 cm

h = 30 cm

L_p = 70/2 = 35 cm

$\theta_p = 0.00160$ radyan

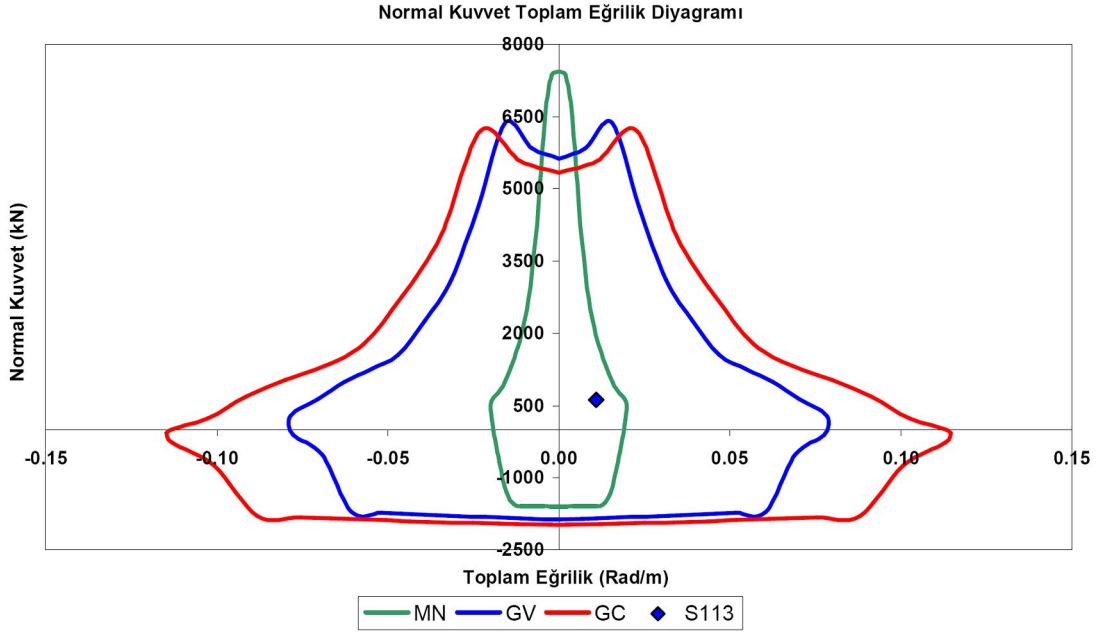
$$\phi_p = \frac{\theta_p}{L_p} = \frac{0.00160}{0.35} = 0.00458 \text{ rad/m}$$

Hesaplanan eğrilik akma eğriliği ile toplanarak toplam eğrilik elde edilir. Akma eğriliğinin hesabı için Denk.**(4.10)**'da verilen Priestley formülü kullanılır.

$$\phi_y = \frac{2.1\varepsilon_{sy}}{h} = \phi_y = \frac{2.1 \times 0.0021}{0.7} = 0.00630 \text{ rad / m}$$

$$\phi_t = \phi_y + \phi_p = 0.01088 \text{ rad / m}$$

S113 kolonu için kesit hasar bölgelerine göre izin verilen beton ve çelik birim şekildeğiştirme sınırları kesit analizi yapılan programda tanımlanarak ilgili kesitin, bu sınırlara karşılık gelen normal kuvvet - toplam eğrilik diyagramları elde edilir. S113 kolonu için güçlü eksen etrafında elde edilen normal kuvvet-toplam eğrilik diyagramı ve kolon için hesaplanan normal kuvvet-toplam eğrilik istemi değerleri Şekil 4.15 ile birlikte gösterilmiş ve kesit hasar bölgesi belirlenmiştir.



Şekil 4.15 : S113 kolonunun güçlü eksende kesit hasar bölgesinin belirlenmesi.

S113 kolonu güçlü eksen doğrultusundaki eğilmesi, için normal kuvvetin P = 614.7 kN ve toplam eğriliğin ϕ_t = 0.01088 rad / m değerleri Şekil 4.15'de gösterilen diyagrama yerleştirilerek, kesit hasar bölgesi *minimum hasar bölgesi* olarak bulunur.

Statik itme analizi sonucunda S113 kolonunun alt ucu için elde edilen zayıf eksen doğrultusundaki plastik dönme değeri, o doğrultudaki plastik mafsal boyuna bölünerek plastik eğrilik bulunur. Plastik mafsal boyu enkesit yüksekliğinin yarısı olarak alınır

b = 30 cm

h = 70 cm

L_p = 30/2 = 15 cm

θ_p = 0.00159 radyan

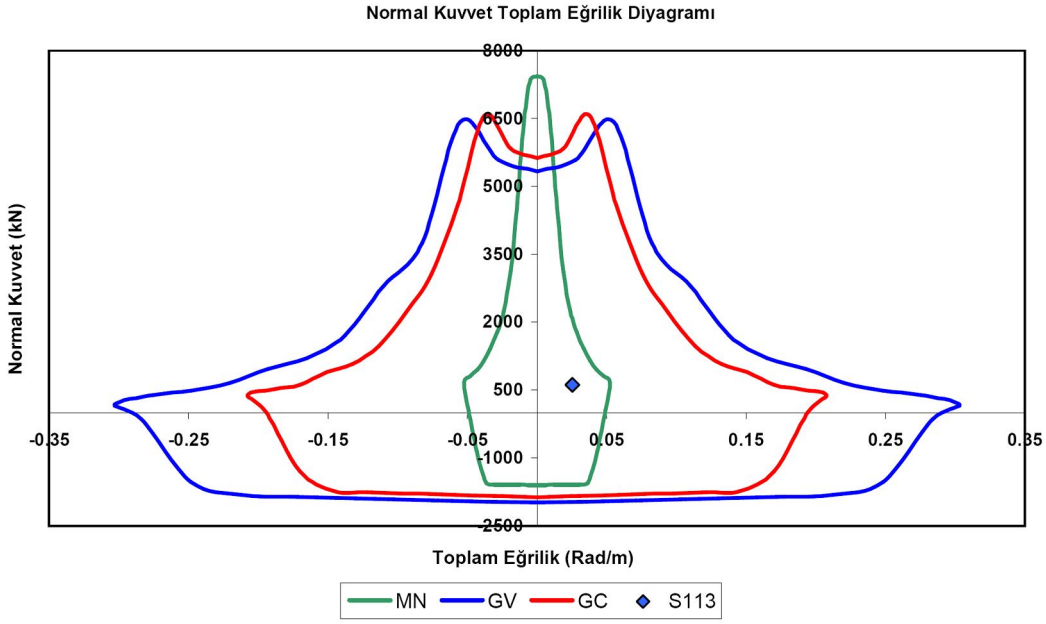
$$\phi_p = \frac{\theta_p}{L_p} = \frac{0.00159}{0.15} = 0.01061 \text{ rad/m}$$

Hesaplanan eğrilik akma eğriliği ile toplanarak toplam eğrilik elde edilir. Akma eğriliğinin hesabı için Denk.**(4.10)**'da verilen Priestley formülü kullanılır.

$$\phi_y = \frac{2.1\varepsilon_{sy}}{h} = \phi_y = \frac{2.1 \times 0.0021}{0.3} = 0.0147 \text{ rad / m}$$

$$\phi_t = \phi_y + \phi_p = 0.02531 \text{ rad / m}$$

S113 kolonu için zayıf eksen etrafında elde edilen normal kuvvet-toplam eğrilik diyagramı ve kolon için hesaplanan normal kuvvet-toplam eğrilik istemi değerleri Şekil 4.16 ile birlikte gösterilmiş ve kesti hasar bölgesi belirlenmiştir.



Şekil 4.16 : S113 kolonunun zayıf eksende kesit hasar bölgesinin belirlenmesi.

S113 kolonunun zayıf ekseni için normal kuvvet P = 614.7 kN ve toplam eğrilik ϕ_t = 0.02531 rad / m değerleri Şekil 4.16'da gösterilen diyagrama yerleştirilerek, kesit hasar bölgesi *minimum hasar bölgesi* olarak bulunur.

S113 kolonu için verilen örnek hesaptaki adımlar tüm kolonlar için tekrar edilmiş ve her iki doğrultu için elde edilen sonuçlar Çizelge 4.21 ile özetlenmiştir.

Çizelge 4.21 : TSM-2'de kolonlar için eleman hasar bölgeleri.

Kolon Adı	P	Φ_t (R3)	Hasar Bölgesi	Φ_t (R2)	Hasar Bölgesi	Kolon Adı	P	Φ_t (R3)	Hasar Bölgesi	Φ_t (R2)	Hasar Bölgesi	Kolon Adı	P	Φ_t (R3)	Hasar Bölgesi	Φ_t (R2)	Hasar Bölgesi
	kN	1/m		1/m			kN	1/m		1/m			kN	1/m		1/m	
S101	782.6	0.01470	MHB	0.00630	MHB	S314	1520.1	0.01103	MHB	0.00630	MHB	S607	729.6	0.01103	MHB	0.00882	MHB
S102	1511.9	0.00309	MHB	0.01470	MHB	S315	1488.5	0.01103	MHB	0.00630	MHB	S608	580.0	0.00882	MHB	0.01470	MHB
S103	2228.9	-0.00322	MHB	0.01470	MHB	S316	1332.5	0.00630	MHB	0.01470	MHB	S609	437.2	0.01470	MHB	0.00882	MHB
S104	1553.2	0.01470	MHB	0.00630	MHB	S317	597.6	0.01470	MHB	0.00630	MHB	S610	746.6	0.00882	MHB	0.01103	MHB
S105	1220.2	0.00660	MHB	0.01539	MHB	S318	965.5	0.00630	MHB	0.01470	MHB	S611	758.2	0.00882	MHB	0.01103	MHB
S106	1922.6	0.01103	MHB	0.00630	MHB	S319	976.0	0.00630	MHB	0.01470	MHB	S612	581.9	0.01470	MHB	0.00882	MHB
S107	1977.0	0.01103	MHB	0.00630	MHB	S320	938.7	0.01470	MHB	0.00630	MHB	S613	435.6	0.00882	MHB	0.01470	MHB
S108	1866.7	-0.00692	MHB	0.01614	MHB	S401	469.9	0.01470	MHB	0.00630	MHB	S614	761.6	0.01103	MHB	0.00882	MHB
S109	1217.5	0.01470	MHB	0.00630	MHB	S402	937.1	0.00285	MHB	0.01470	MHB	S615	750.4	0.01103	MHB	0.00882	MHB
S110	1982.2	-0.00901	MHB	0.01469	MHB	S403	1376.6	0.00285	MHB	0.01470	MHB	S616	581.7	0.00882	MHB	0.01470	MHB
S111	2040.3	-0.00913	MHB	0.01446	MHB	S404	866.4	0.01470	MHB	0.00630	MHB	S617	282.0	0.01470	MHB	0.00882	MHB
S112	1840.1	0.01470	MHB	0.00630	MHB	S405	743.4	0.00630	MHB	0.01470	MHB	S618	463.1	0.00882	MHB	0.01470	MHB
S113	1223.1	0.01088	MHB	-0.02576	MHB	S406	1192.1	0.01103	MHB	0.00630	MHB	S619	471.3	0.00882	MHB	0.01470	MHB
S114	2043.9	0.01103	MHB	0.00630	MHB	S407	1228.1	0.01103	MHB	0.00630	MHB	S620	410.8	0.01470	MHB	0.00882	MHB
S115	1987.3	0.01111	MHB	-0.00631	MHB	S408	1062.1	0.00630	MHB	0.01470	MHB	S701	169.6	0.01470	MHB	0.00882	MHB
S116	1878.2	-0.01133	BHB	0.02637	MHB	S409	746.6	0.01470	MHB	0.00630	MHB	S702	357.4	0.00285	MHB	0.01470	MHB
S117	808.3	0.01470	MHB	0.00630	MHB	S410	1237.1	0.00630	MHB	0.01103	MHB	S703	553.9	0.00285	MHB	0.01470	MHB
S118	1311.8	-0.01311	BHB	0.02043	MHB	S411	1258.1	0.00630	MHB	0.01103	MHB	S704	260.1	0.01470	MHB	0.00882	MHB
S119	1324.3	-0.01273	BHB	0.02105	MHB	S412	1068.8	0.01470	MHB	0.00630	MHB	S705	282.3	0.00882	MHB	0.01470	MHB
S120	1298.7	-0.01510	MHB	0.00640	MHB	S413	745.4	0.00630	MHB	0.01470	MHB	S706	483.9	0.01103	MHB	0.00882	MHB
S201	678.4	0.01470	MHB	0.00630	MHB	S414	1264.7	0.01103	MHB	0.00630	MHB	S707	491.8	0.01103	MHB	0.00882	MHB
S202	1316.2	0.00285	MHB	0.01470	MHB	S415	1242.3	0.01103	MHB	0.00630	MHB	S708	357.8	0.00882	MHB	0.01470	MHB
S203	1929.7	0.00285	MHB	0.01470	MHB	S416	1072.1	0.00630	MHB	0.01470	MHB	S709	283.9	0.01470	MHB	0.00882	MHB
S204	1329.7	0.01470	MHB	0.00630	MHB	S417	490.7	0.01470	MHB	0.00630	MHB	S710	503.1	0.00882	MHB	0.01103	MHB
S205	1059.2	0.00630	MHB	0.01470	MHB	S418	794.2	0.00630	MHB	0.01470	MHB	S711	515.3	0.00882	MHB	0.01103	MHB
S206	1673.8	0.01103	MHB	0.00630	MHB	S419	802.1	0.00630	MHB	0.01470	MHB	S712	353.7	0.01470	MHB	0.00882	MHB
S207	1734.5	0.01103	MHB	0.00630	MHB	S420	749.9	0.01470	MHB	0.00630	MHB	S713	283.1	0.00882	MHB	0.01470	MHB
S208	1604.5	0.00630	MHB	0.01470	MHB	S501	366.3	0.01470	MHB	0.00882	MHB	S714	512.4	0.01103	MHB	0.00882	MHB
S209	1060.6	0.01470	MHB	0.00630	MHB	S502	745.4	0.00285	MHB	0.01470	MHB	S715	506.3	0.01103	MHB	0.00882	MHB
S210	1731.1	0.00630	MHB	0.01103	MHB	S503	1111.0	0.00285	MHB	0.01470	MHB	S716	354.7	0.00882	MHB	0.01470	MHB
S211	1776.1	0.00630	MHB	0.01103	MHB	S504	640.7	0.01470	MHB	0.00882	MHB	S717	179.0	0.01470	MHB	0.00882	MHB
S212	1585.6	0.01470	MHB	0.00630	MHB	S505	586.8	0.00882	MHB	0.01470	MHB	S718	299.9	0.00882	MHB	0.01470	MHB
S213	1061.9	0.00630	MHB	0.01470	MHB	S506	952.6	0.01103	MHB	0.00882	MHB	S719	308.7	0.00882	MHB	0.01470	MHB
S214	1777.9	0.01103	MHB	0.00630	MHB	S507	975.5	0.01103	MHB	0.00882	MHB	S720	246.0	0.01470	MHB	0.00882	MHB
S215	1735.4	0.01103	MHB	0.00630	MHB	S508	803.7	0.00882	MHB	0.01470	MHB	S801	70.5	0.01470	MHB	0.00882	MHB
S216	1594.9	0.00630	MHB	0.01470	MHB	S509	589.8	0.01470	MHB	0.00882	MHB	S802	161.7	0.00285	MHB	0.01470	MHB
S217	703.2	0.01470	MHB	0.00630	MHB	S510	990.2	0.00882	MHB	0.01103	MHB	S803	261.7	0.00285	MHB	0.01470	MHB
S218	1138.3	0.00630	MHB	0.01470	MHB	S511	1002.4	0.00882	MHB	0.01103	MHB	S804	101.4	0.01470	MHB	0.00882	MHB
S219	1148.0	0.00630	MHB	0.01470	MHB	S512	810.1	0.01470	MHB	0.00882	MHB	S805	130.2	0.00882	MHB	0.01470	MHB
S220	1121.7	0.01470	MHB	0.00630	MHB	S513	588.5	0.00882	MHB	0.01470	MHB	S806	252.5	0.01103	MHB	0.00882	MHB
S301	574.4	0.01470	MHB	0.00630	MHB	S514	1007.2	0.01103	MHB	0.00882	MHB	S807	256.2	0.01103	MHB	0.00882	MHB
S302	1127.2	0.00285	MHB	0.01470	MHB	S515	995.2	0.01103	MHB	0.00882	MHB	S808	154.9	0.00882	MHB	0.01470	MHB
S303	1648.0	0.00285	MHB	0.01470	MHB	S516	811.4	0.00882	MHB	0.01470	MHB	S809	129.7	0.01470	MHB	0.00882	MHB
S304	1096.2	0.01470	MHB	0.00630	MHB	S517	384.1	0.01470	MHB	0.00882	MHB	S810	260.1	0.00882	MHB	0.01103	MHB
S305	901.0	0.00630	MHB	0.01470	MHB	S518	626.2	0.00882	MHB	0.01470	MHB	S811	265.0	0.00882	MHB	0.01103	MHB
S306	1432.2	0.01103	MHB	0.00630	MHB	S519	630.6	0.00882	MHB	0.01470	MHB	S812	151.4	0.01470	MHB	0.00882	MHB
S307	1480.4	0.01103	MHB	0.00630	MHB	S520	564.6	0.01470	MHB	0.00882	MHB	S813	130.5	0.00882	MHB	0.01470	MHB
S308	1345.0	0.00630	MHB	0.01470	MHB	S601	268.2	0.01470	MHB	0.00882	MHB	S814	265.7	0.01103	MHB	0.00882	MHB
S309	903.9	0.01470	MHB	0.00630	MHB	S602	551.9	0.00285	MHB	0.01470	MHB	S815	264.4	0.01103	MHB	0.00882	MHB
S310	1483.9	0.00630	MHB	0.01103	MHB	S603	833.6	0.00285	MHB	0.01470	MHB	S816	151.8	0.00882	MHB	0.01470	MHB
S311	1516.4	0.00630	MHB	0.01103	MHB	S604	444.2	0.01470	MHB	0.00882	MHB	S817	74.8	0.01470	MHB	0.00882	MHB
S312	1327.6	0.01470	MHB	0.00630	MHB	S605	434.4	0.00882	MHB	0.01470	MHB	S818	136.4	0.00882	MHB	0.01470	MHB
S313	903.4	0.00630	MHB	0.01470	MHB	S606	717.5	0.01103	MHB	0.00882	MHB	S819	140.6	0.00882	MHB	0.01470	MHB
												S820	95.7	0.01470	MHB	0.00882	MHB

4.4.3 Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemine göre sistemin eleman hasar bölgelerinin belirlenmesi

TSM-2 taşıyıcı sistem modelinin, 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nde açıklanan zaman tanım alanında hesap yöntemi ile eleman hasar bölgelerinin belirlenmesinde izlenen hesap adımları aşağıda sayısal olarak açıklanmıştır. Hesap adımları, Şekil 4.4'te gösterilen S113 kolonu ve K214 kirişi için ayrıntılı olarak açıklanmış, diğer elemanlar için ise sonuçlar çizelgeler halinde özetlenmiştir.

a) Zaman tanım alanında hesap yöntemine göre analiz için 7 adet deprem kaydı kullanılmıştır. Bu kayıtların tümü kaydedilmiş depremlere ait kayıtlar olup, Çizelge 4.22'de özellikleri listelenen 21 adet deprem kaydı arasından deprem yönetmeliğinde öngörülen koşulları sağlayan 7 tanesi seçilmiştir.

Çizelge 4.22 : İncelenen deprem kayıtlarının bilgileri.

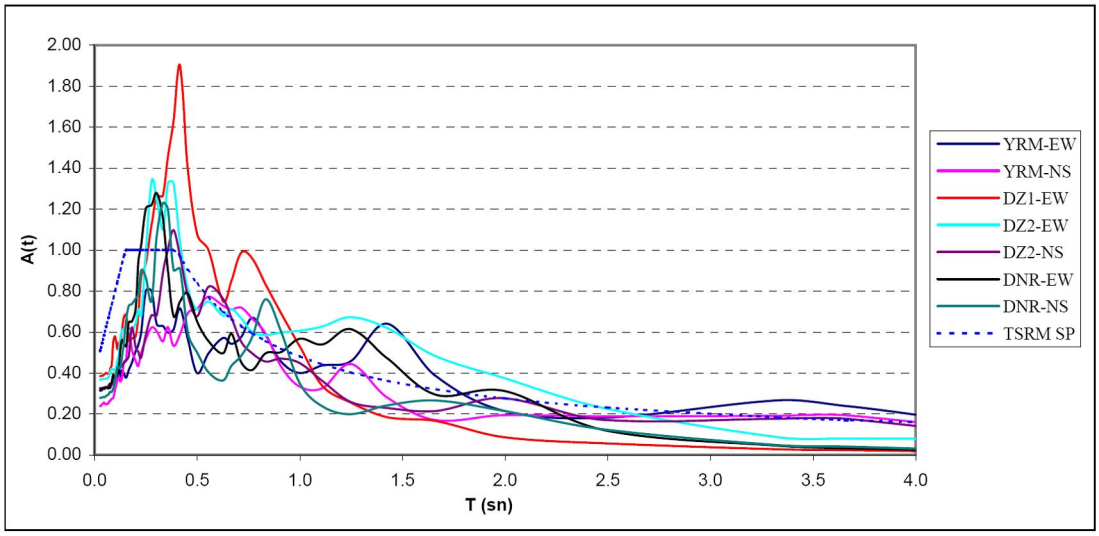
#	Deprem Kaydı	Tarih	Zaman	Manyitüd	Bileşen	a_{max} (cm/s^2)	Δt (s)	N_{data}	Merkez Üssü Koord.		Kayıtçı Koord.	
									Enlem	Boylam	Enlem	Boylam
1	Denizli	08/19/1976	01:12:40	5	NS	335.42	0.01	1581	37,71	29,00	37,814	29,112
2					EW	269.13	0.01	1582				
3	Dursunbey	07/18/1979	13:12:23	5.2	NS	232.29	0.005	2376	39,66	28,65	39,670	28,530
4					EW	288.25	0.005	2372				
5	Balıkesir	03/29/1984	00:06:01	4.6	NS	223.89	0.005	1738	39,64	27,87	39,660	27,860
6	Erzincan	03/13/1992	17:18:39	6.1	NS	470.92	0.005	5586	39,72	39,63	39,752	39,487
7					EW	404.97	0.005	5593				
8	Dinar	10.01.1995	15:57:13	6	NS	276.34	0.005	5588	38,11	30,05	38,060	30,155
9					EW	318.07	0.005	5538				
10	Ceyhan	06/27/1998	13:55:53	5.9	NS	223.28	0.005	5745	36,85	35,55	37,050	35,810
11					EW	273.55	0.005	5761				
12	Düzce	08/17/1999	00:01:39	7.4	NS	314.88	0.005	5439	40,70	29,91	40,850	31,170
13					EW	373.76	0.005	5438				
14	Göynük	08/17/1999	00:01:39	7.4	NS	137.69	0.005	5101	40,70	29,91	40,385	30,734
15					EW	117.9	0.005	5097				
16	Yarımca	08/17/1999	00:01:39	7.4	NS	230.16	0.005	16002	40,70	29,91	40,751	29,771
17					EW	322.14	0.005	16003				
18	Düzce	11/12/1999	16:57:22	7.2	NS	407.69	0.005	5181	40,74	31,21	40,850	31,170
19					EW	513.78	0.005	5183				
20	Bingöl	01/05/2003	00:27:08	6.1	NS	545.53	0.01	4001	38,94	40,51	38,897	40,510
21					EW	276.83	0.01	4975				

Bu deprem kayıtları süzgeçlenmiş (gürültüden arındırılmış) kayıtlardır. Dolayısıyla, ek olarak filtreleme işlemi uygulanmasına gerek olmamaktadır.

Eldeki deprem kayılarının tek serbestlik dereceli sistemdeki tepki spektrumları elde edilmiş ve bu spektrumlar yönetmelikte Z2 zemin sınıfı için verilmiş olan tasarım spektrumu ile tek tek kıyaslanmıştır. Tepki spektrumu tasarım spektrumunun çok altında kalan veya yerel olarak büyük sıçramalar yapan kayıtlar elenerek ölçeklendirme işlemine dâhil edilmemiştir. Bu şekilde yapılan elemenin ardından seçilen 7 deprem kaydına ölçeklendirme işlemir uygulanmıştır. Bu prosedür ile ilgili

olarak, yaygın bir şekilde kabul görmüş bir yöntem olmadığından ölçeklendirme işlemi iteratif bir yol izlenerek yürütülmüştür.

Ölçeklendirme uygulanan 7 deprem kaydının tek serbestlik dereceli sistemdeki tepki spektrumları ile yönetmelikte verilen tasarım spektrumu Şekil 4.17 ile birlikte gösterilmiştir.



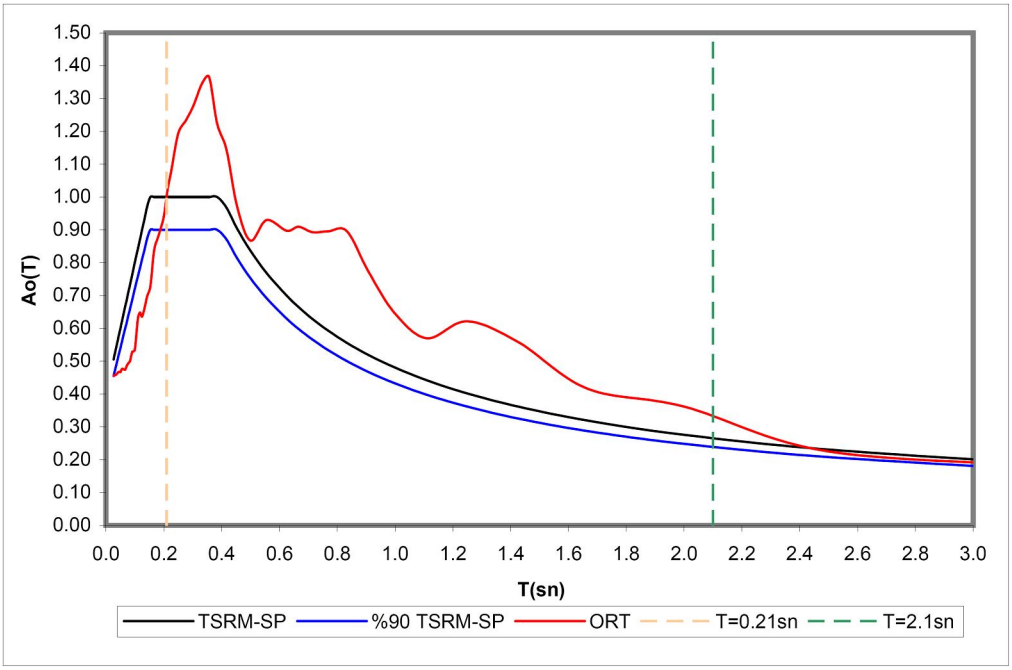
Şekil 4.17 : Seçilen deprem kayıtlarının ölçeklenmemiş tepki spektrumları.

2007 Türk Deprem Yönetmeliği Bölüm 2.9.1'de verilen koşullar uyarınca, seçilen 7 deprem kaydı zaman tanım alanında ölçeklendirilmiştir. Ölçeklendirme yapılırken bina hâkim periyodu olan T_1 = 1.05 sn değeri kullanılarak $0.2 \cdot T_1 = 0.21$ sn ve $2 \cdot T_1 = 2.1$ sn aralığında spektral ivme değerlerinin ortalaması tasarım spektrumunun % 90'ından az olmayacak ve sıfır periyoda karşı gelen spektral ivme değerleri de $A_0 g$'den küçük olmayacak şekilde bir ölçeklendirme katsayısı belirlenmiştir. Bu katsayı belirlenirken, her bir kayıt için ayrı ayrı olmak üzere yukarıdaki koşulların mümkün olduğu kadar sağlanmasına da ayrıca özen gösterilmiştir. Uygulanan deneme-yanılma yöntemi ve iteratif işlemler sonucunda seçilmiş olan deprem kayıtlarının karakteristik bilgileri ve uygulanan ölçeklendirme katsayıları Çizelge 4.23 ile verilmiştir.

Çizelge 4.23 : Seçilen deprem kayıtları ve ölçeklendirme katsayıları.

	DEPREM DATASI				KONTROLLER				$\alpha_{ölçek}$
Deprem Kaydı	Manyitüd	N_{data}	ΔT sn	Σ T sn	Minimum Süre		$5xT_1$ Süresi T_1 : Hakim Periyod		
Yarımca - EW	7.4	16003	0.005	80.015	> 15 sn	✓	> 5 x 1.05 = 5.25 sn	✓	1.5
Yarımca - NS	7.4	16002	0.005	80.01	> 15 sn	✓	> 5 x 1.05 = 5.25 sn	✓	1.5
Düzce1- EW	7.4	5438	0.005	27.19	> 15 sn	✓	> 5 x 1.05 = 5.25 sn	✓	1.1
Düzce2- EW	7.2	5183	0.005	25.915	> 15 sn	✓	> 5 x 1.05 = 5.25 sn	✓	1.1
Düzce2 - NS	7.2	5181	0.005	25.905	> 15 sn	✓	> 5 x 1.05 = 5.25 sn	✓	1.5
Dinar - EW	6	5538	0.005	27.69	> 15 sn	✓	> 5 x 1.05 = 5.25 sn	✓	1.3
Dinar - NS	6	5588	0.005	27.94	> 15 sn	✓	> 5 x 1.05 = 5.25 sn	✓	1.7

Ölçeklendirme işlemi sonucunda elde edilen deprem kayıtlarının tepki spektrumlarının ortalamasının T=0.21 sn ve T=2.1 sn periyodları aralığında, tasarım spektrumunun % 90'ından az olmadığı Şekil 4.18'de görülmektedir.



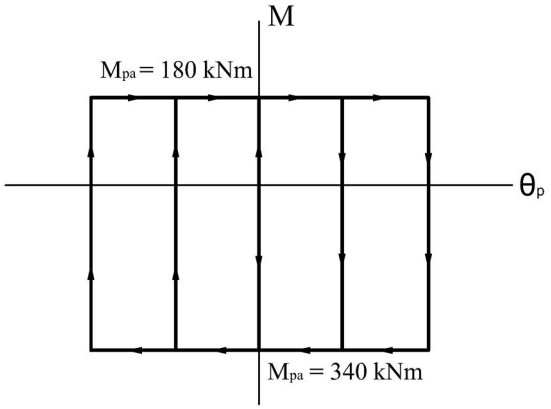
Şekil 4.18 : Ölçeklendirilmiş tepki spektrumlarının ortalaması ve tasarım spektrumu.

Seçilen 7 adet deprem kaydının sıfır periyoda karşı gelen $A_o g$ değerlerinin ortalaması da $(A_o g)_{ort} = 0.45\ g > (A_o g)_{tasarım} = 0.40\ g$ olduğundan, Türk Deprem Yönetmeliği'nde öngörülen ve zaman tanım alanında hesapta kullanılacak deprem kayıtlarının sağlaması gereken koşulların tamamı sağlatılmış olur.

b) Kolon ve kirişlerde çatlamış kesite ait eğilme rijitlikleri artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi hesap adımı a'daki gibi bulunur.

c) Plastik kesitlerin akma yüzeylerinin oluşturulmasında, artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi hesap adımı b'deki yol izlenir. Zaman tanım alanında doğrusal

olmayan hesap yöntemi uygulanan analiz modelinde plastik kesitlerin histeretik eğilme momenti-plastik dönme bağıntıları, statik itme analizi modelindekine benzer şekilde, ideal-rijit plastik davranış esas alınarak tanımlanır. Şekil 4.19'da, örnek hesap yapılan K214 kirişinin sol kesiti için tanımlanan histeretik eğilme momenti-plastik dönme modeli görülmektedir.



Şekil 4.19 : K214 kirişi histeretik eğilme momenti – plastik dönme modeli

d) Zaman tanım alanında yapılan analizden önce kütlelerle uyumlu düşey yüklerin (G+0.3Q) gözönüne alındığı bir doğrusal olmayan statik analiz yapılır. Bu analizin sonuçları zaman tanım alanında yapılan analizin başlangıç koşulları olarak dikkate alınır.

e) Düşey yükler altında yapılan doğrusal olmayan statik analizden sonra taşıyıcı sistemin, adım a'da tanımlanan ölçeklendirilmiş deprem hareketleri altında zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizi yapılır. Zaman tanım alanında analiz için SAP2000 [12] bilgisayar yazılımı kullanılmıştır. Program dinamik analizde Bölüm 2.4.2.1'de ayrıntıları verilen Newmark-Beta sayısal integrasyon yöntemini esas almaktadır. Analizlerde Bölüm 2.4.3'de açıklanan rijitlik orantılı sönüm kullanılmış ve %5'lik sönüm oranı esas alınmıştır.

f) Zaman tanım alanında yapılan dinamik analiz sonucunda, yedi farklı deprem hareketi için plastik mafsal dönmeleri elde edilir.

g) Yedi farklı deprem hareketinden elde edilen plastik mafsal dönme değerlerinin aritmetik ortalaması gözönüne alınır. Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi (j – l) sayılı hesap adımları uygulanarak, kesitler için toplam eğrilik istemleri elde edilir.

h) Zaman tanım alanında yapılan dinamik analiz sonucunda kirişler için hesaplanan eğrilik istemleri, Çizelge 4.24'de verilmiştir.

Çizelge 4.24 : Kirişler için toplam eğrilik istemlerinin elde edilmesi.

Kiriş Adı	Maks θ_P	Lp	Φ_P	Φ_y	Φ_t	Kiriş Adı	Maks θ_P	Lp	Φ_P	Φ_y	Φ_t
	Radyan	m	1/m	1/m	1/m		Radyan	m	1/m	1/m	1/m
K101	0.00551	0.3	0.01838	0.00735	0.02573	K301	0.00914	0.3	0.03048	0.00735	0.03783
K102	0.01169	0.3	0.03897	0.00735	0.04632	K302	0.04134	0.3	0.13781	0.00735	0.14516
K103	0.00552	0.3	0.01840	0.00735	0.02575	K303	0.00850	0.3	0.02835	0.00735	0.03570
K104	0.00611	0.3	0.02035	0.00735	0.02770	K304	0.00661	0.3	0.02202	0.00735	0.02937
K105	0.00297	0.3	0.00988	0.00735	0.01723	K305	0.00566	0.3	0.01885	0.00735	0.02620
K106	0.00560	0.3	0.01867	0.00735	0.02602	K306	0.00795	0.3	0.02651	0.00735	0.03386
K107	0.00568	0.3	0.01895	0.00735	0.02630	K307	0.00825	0.3	0.02750	0.00735	0.03485
K108-9	-0.00544	0.3	0.01813	0.00735	0.02548	K308-9	-0.03213	0.3	0.10709	0.00735	0.11444
K110	0.00610	0.3	0.02032	0.00735	0.02767	K310	0.00815	0.3	0.02717	0.00735	0.03452
K111	0.00711	0.3	0.02371	0.00735	0.03106	K311	0.00887	0.3	0.02955	0.00735	0.03690
K112	0.00478	0.3	0.01593	0.00735	0.02328	K312	0.00787	0.3	0.02623	0.00735	0.03358
K113	0.00714	0.3	0.02380	0.00735	0.03115	K313	0.00992	0.3	0.03306	0.00735	0.04041
K114	0.01287	0.3	0.04290	0.00735	0.05025	K314	0.01155	0.3	0.03851	0.00735	0.04586
K115	-0.00863	0.3	0.02877	0.00735	0.03612	K315	0.01187	0.3	0.03956	0.00735	0.04691
K116	0.00848	0.3	0.02827	0.00735	0.03562	K316	0.01053	0.3	0.03511	0.00735	0.04246
K117	-0.00012	0.3	0.00039	0.00735	0.00774	K317	-0.00021	0.3	0.00069	0.00735	0.00804
K118	0.00096	0.3	0.00319	0.00735	0.01054	K318	0.00018	0.3	0.00060	0.00735	0.00795
K119	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K319	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K120	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K320	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K121	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K321	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K122	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K322	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K123	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K323	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K124	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K324	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K125	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K325	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K126	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K326	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K127	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K327	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K128	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K328	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K129	0.00077	0.3	0.00256	0.00735	0.00991	K329	0.00017	0.3	0.00057	0.00735	0.00792
K130	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K330	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K131	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K331	0.00004	0.3	0.00012	0.00735	0.00747
K132	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K332	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K201	0.00873	0.3	0.02909	0.00735	0.03644	K401	0.00800	0.3	0.02666	0.00735	0.03401
K202	0.04118	0.3	0.13727	0.00735	0.14462	K402	0.04360	0.3	0.14535	0.00735	0.15270
K203	0.00807	0.3	0.02691	0.00735	0.03426	K403	0.00709	0.3	0.02363	0.00735	0.03098
K204	0.00660	0.3	0.02200	0.00735	0.02935	K404	0.00573	0.3	0.01909	0.00735	0.02644
K205	0.00593	0.3	0.01977	0.00735	0.02712	K405	0.00463	0.3	0.01542	0.00735	0.02277
K206	0.00794	0.3	0.02647	0.00735	0.03382	K406	0.00690	0.3	0.02299	0.00735	0.03034
K207	0.00820	0.3	0.02733	0.00735	0.03468	K407	0.00641	0.3	0.02136	0.00735	0.02871
K208-9	-0.03196	0.3	0.10655	0.00735	0.11390	K408-9	-0.00682	0.3	0.02272	0.00735	0.03007
K210	0.00819	0.3	0.02732	0.00735	0.03467	K410	0.00684	0.3	0.02281	0.00735	0.03016
K211	0.00899	0.3	0.02996	0.00735	0.03731	K411	0.00813	0.3	0.02710	0.00735	0.03445
K212	0.00867	0.3	0.02888	0.00735	0.03623	K412	0.00655	0.3	0.02183	0.00735	0.02918
K213	0.00975	0.3	0.03251	0.00735	0.03986	K413	0.00873	0.3	0.02909	0.00735	0.03644
K214	0.01203	0.3	0.04011	0.00735	0.04746	K414	0.00985	0.3	0.03285	0.00735	0.04020
K215	0.01283	0.3	0.04276	0.00735	0.05011	K415	0.01054	0.3	0.03514	0.00735	0.04249
K216	0.01116	0.3	0.03721	0.00735	0.04456	K416	0.00901	0.3	0.03003	0.00735	0.03738
K217	-0.00032	0.3	0.00106	0.00735	0.00841	K417	-0.00007	0.3	0.00023	0.00735	0.00758
K218	0.00055	0.3	0.00184	0.00735	0.00919	K418	0.00011	0.3	0.00036	0.00735	0.00771
K219	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K419	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K220	0.00000	0.3	0.00001	0.00735	0.00736	K420	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K221	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K421	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K222	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K422	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K223	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K423	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K224	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K424	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K225	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K425	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K226	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K426	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K227	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K427	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K228	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K428	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K229	0.00024	0.3	0.00080	0.00735	0.00815	K429	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K230	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K430	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K231	0.00005	0.3	0.00018	0.00735	0.00753	K431	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K232	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K432	0	0.3	0	0.00735	0.00735

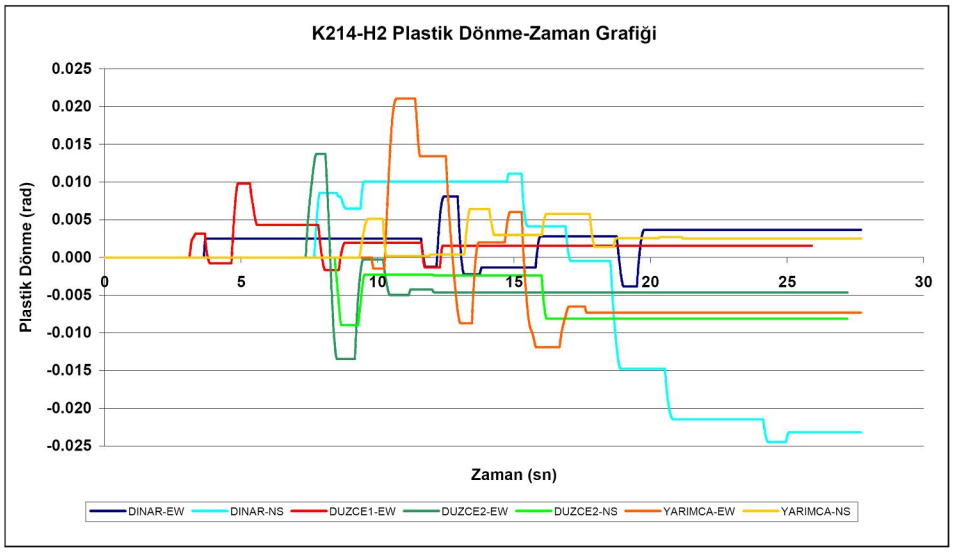
Çizelge 4.24 (devam) : Kirişler için toplam eğrilik istemlerinin elde edilmesi.

Kiriş Adı	Maks θ_p	Lp	Φ_p	Φ_y	Φ_t	Kiriş Adı	Maks θ_p	Lp	Φ_p	Φ_y	Φ_t
	Radyan	m	1/m	1/m	1/m		Radyan	m	1/m	1/m	1/m
K501	0.00564	0.3	0.01879	0.00735	0.02614	K701	0.00011	0.3	0.00036	0.00735	0.00771
K502	0.01199	0.3	0.03997	0.00735	0.04732	K702	0.00393	0.3	0.01311	0.00735	0.02046
K503	-0.00590	0.3	0.01966	0.00735	0.02701	K703	-0.00016	0.3	0.00053	0.00735	0.00788
K504	-0.00494	0.3	0.01647	0.00735	0.02382	K704	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K505	-0.00423	0.3	0.01409	0.00735	0.02144	K705	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K506	-0.00428	0.3	0.01426	0.00735	0.02161	K706	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K507	-0.00506	0.3	0.01686	0.00735	0.02421	K707	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K508-9	-0.00736	0.3	0.02454	0.00735	0.03189	K708-9	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K510	-0.00579	0.3	0.01930	0.00735	0.02665	K710	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K511	-0.00781	0.3	0.02604	0.00735	0.03339	K711	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K512	-0.00681	0.3	0.02269	0.00735	0.03004	K712	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K513	-0.00706	0.3	0.02355	0.00735	0.03090	K713	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K514	0.00783	0.3	0.02611	0.00735	0.03346	K714	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K515	-0.00830	0.3	0.02767	0.00735	0.03502	K715	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K516	0.00838	0.3	0.02793	0.00735	0.03528	K716	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K517	-0.00037	0.3	0.00122	0.00735	0.00857	K717	-0.00016	0.3	0.00054	0.00735	0.00789
K518	0.00012	0.3	0.00042	0.00735	0.00777	K718	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K519	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K719	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K520	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K720	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K521	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K721	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K522	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K722	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K523	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K723	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K524	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K724	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K525	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K725	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K526	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K726	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K527	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K727	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K528	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K728	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K529	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K729	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K530	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K730	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K531	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K731	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K532	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K732	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K601	0.00231	0.3	0.00771	0.00735	0.01506	K801	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K602	0.00778	0.3	0.02593	0.00735	0.03328	K802	0.00141	0.3	0.00470	0.00735	0.01205
K603	-0.00276	0.3	0.00919	0.00735	0.01654	K803	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K604	-0.00161	0.3	0.00537	0.00735	0.01272	K804	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K605	-0.00104	0.3	0.00346	0.00735	0.01081	K805	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K606	0.00119	0.3	0.00396	0.00735	0.01131	K806	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K607	-0.00122	0.3	0.00405	0.00735	0.01140	K807	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K608-9	-0.00244	0.3	0.00814	0.00735	0.01549	K808-9	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K610	-0.00173	0.3	0.00576	0.00735	0.01311	K810	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K611	-0.00259	0.3	0.00864	0.00735	0.01599	K811	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K612	-0.00173	0.3	0.00576	0.00735	0.01311	K812	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K613	-0.00228	0.3	0.00760	0.00735	0.01495	K813	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K614	0.00226	0.3	0.00752	0.00735	0.01487	K814	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K615	-0.00293	0.3	0.00977	0.00735	0.01712	K815	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K616	0.00299	0.3	0.00995	0.00735	0.01730	K816	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K617	-0.00019	0.3	0.00062	0.00735	0.00797	K817	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K618	0.00003	0.3	0.00009	0.00735	0.00744	K818	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K619	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K819	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K620	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K820	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K621	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K821	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K622	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K822	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K623	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K823	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K624	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K824	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K625	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K825	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K626	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K826	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K627	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K827	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K628	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K828	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K629	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K829	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K630	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K830	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K631	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K831	0	0.3	0	0.00735	0.00735
K632	0	0.3	0	0.00735	0.00735	K832	0	0.3	0	0.00735	0.00735

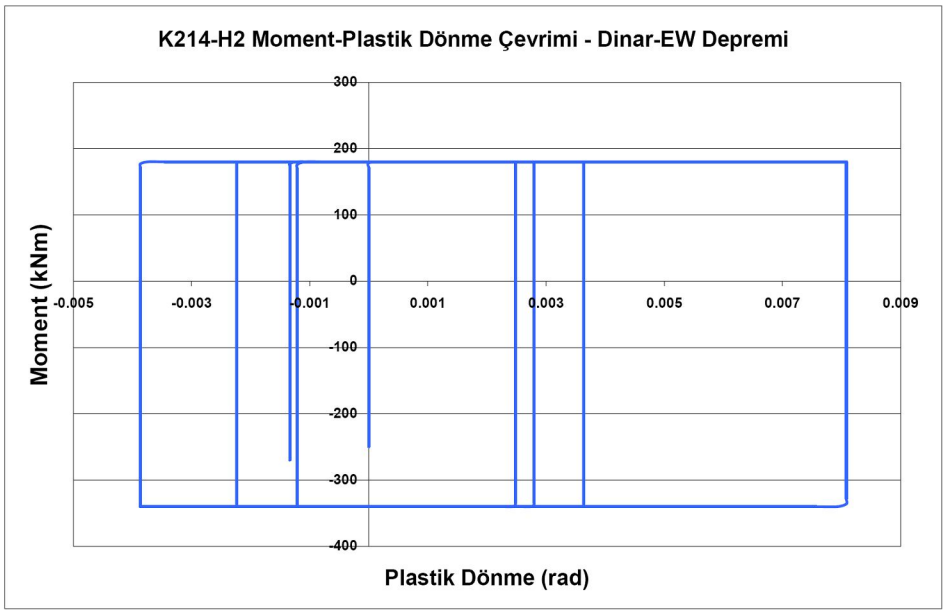
i) Artımsal eşdeğer deprem yükü yönteminin n sayılı hesap adımı uygulanarak kiriş kesitleri için sünek davranışa ilişkin kesit hasar bölgeleri belirlenir.

K214 Kirişi İçin Örnek Hesap

Kiriş kesitinin hasar bölgesinin belirlenmesi amacıyla yapılan eğilme momenti-eğrilik analizinde kullanılan malzeme modelleri, artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi K214 kirişi örnek hesabında verilmiştir. Yedi farklı deprem etkisi altında, K214 kirişi sol ucunda (K214H2) elde edilen plastik dönme - zaman grafikleri ve tek bir kayda ait eğilme momenti-plastik dönme histeretik çevrimi sırasıyla Şekil 4.20 ve Şekil 4.21'de görülmektedir.



Şekil 4.20 : K214 kirişi sol ucunda plastik dönme - zaman grafiği.



Şekil 4.21 : K114 kirişi sol ucunda eğilme momenti - plastik dönme çevrimi.

Zaman tanım alanında analiz sonucunda, yedi deprem kaydının K214 kirişi için elde edilen maksimum ortalama plastik dönme değeri plastik mafsal boyuna bölünerek plastik eğrilik istemi bulunur. Plastik mafsal boyu enkesit yüksekliğinin yarısı olarak alınır.

b = 30 cm

h = 60 cm

L_p = 60/2 = 30 cm

θ_{pmax} = 0.01203 radyan

$$\phi_p = \frac{\theta_p}{L_p} = \frac{0.01203}{0.3} = 0.04011 \text{ rad / m}$$

Hesaplanan eğrilik akma eğriliği ile toplanarak toplam eğrilik elde edilir. Akma eğriliğinin hesabı için Denk.**(4.10)**'da verilen Priestley formülü kullanılır.

$$\phi_y = \frac{2.1\varepsilon_{sy}}{h} = \phi_y = \frac{2.1 \times 0.0021}{0.6} = 0.00735 \text{ rad / m}$$

$$\phi_t = \phi_y + \phi_p = 0.04746 \text{ rad / m}$$

Yapılan eğilme momenti - eğrilik analizi sonucunda bulunan toplam eğriliklerden, beton basınç birim şekildeğiştirmesi ve donatı çeliğinin birim şekildeğiştirme değerleri elde edilir.

ε_c = 0.00201, ε_s = 0.02422

Bu istem değerleri kesit düzeyinde çeşitli hasar sınırları için tanımlanan birim şekildeğiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılarak sünek davranışa ilişkin kesit hasar bölgeleri belirlenir.

$\varepsilon_c = 0.00201 < (\varepsilon_c)_{MN} = 0.0035$

$(\varepsilon_s)_{MN} = 0.01 < \varepsilon_s = 0.02422 < (\varepsilon_s)_{GV} = 0.04$

Kesit hasar bölgesi *belirgin hasar bölgesi* olarak bulunur.

K214 kirişi için verilen örnek hesaptaki adımlar tüm kirişler için tekrar edilmiş ve elde edilen sonuçlar Çizelge 4.25 ile özetlenmiştir.

Çizelge 4.25 : TSM-2'de kirişlerin eleman hasar bölgeleri.

Kiriş Adı	Φ_t 1/m	ε_s	Hasar Bölgesi	Kiriş Adı	Φ_t 1/m	ε_s	Hasar Bölgesi	Kiriş Adı	Φ_t 1/m	ε_s	Hasar Bölgesi	Kiriş Adı	Φ_t 1/m	ε_s	Hasar Bölgesi
K101	0.02573	0.01313	BHB	K301	0.03783	0.01930	BHB	K501	0.02614	0.01334	BHB	K701	0.00771	0.00394	MHB
K102	0.04632	0.02363	BHB	K302	0.14516	0.07406	GB	K502	0.04732	0.02415	BHB	K702	0.02046	0.01044	BHB
K103	0.02575	0.01314	BHB	K303	0.03570	0.01821	BHB	K503	0.02701	0.01185	BHB	K703	0.00788	0.00345	MHB
K104	0.02770	0.01413	BHB	K304	0.02937	0.01499	BHB	K504	0.02382	0.01045	BHB	K704	0.00735	0.00375	MHB
K105	0.01723	0.00879	MHB	K305	0.02620	0.01337	BHB	K505	0.02144	0.00940	MHB	K705	0.00735	0.00375	MHB
K106	0.02602	0.01327	BHB	K306	0.03386	0.01728	BHB	K506	0.02161	0.00948	MHB	K706	0.00735	0.00375	MHB
K107	0.02630	0.01342	BHB	K307	0.03485	0.01778	BHB	K507	0.02421	0.01062	BHB	K707	0.00735	0.00375	MHB
K108-9	0.02548	0.01118	BHB	K308-9	0.11444	0.05019	İHB	K508-9	0.03189	0.01399	BHB	K708-9	0.00735	0.00375	MHB
K110	0.02767	0.01412	BHB	K310	0.03452	0.01761	BHB	K510	0.02665	0.01169	BHB	K710	0.00735	0.00375	MHB
K111	0.03106	0.01585	BHB	K311	0.03690	0.01883	BHB	K511	0.03339	0.01465	BHB	K711	0.00735	0.00375	MHB
K112	0.02328	0.01188	BHB	K312	0.03358	0.01713	BHB	K512	0.03004	0.01318	BHB	K712	0.00735	0.00375	MHB
K113	0.03115	0.01589	BHB	K313	0.04041	0.02062	BHB	K513	0.03090	0.01355	BHB	K713	0.00735	0.00375	MHB
K114	0.05025	0.02564	BHB	K314	0.04586	0.02340	BHB	K514	0.03346	0.01707	BHB	K714	0.00735	0.00375	MHB
K115	0.03612	0.01584	BHB	K315	0.04691	0.02393	BHB	K515	0.03502	0.01536	BHB	K715	0.00735	0.00375	MHB
K116	0.03562	0.01817	BHB	K316	0.04246	0.02166	BHB	K516	0.03528	0.01800	BHB	K716	0.00735	0.00375	MHB
K117	0.00774	0.00340	MHB	K317	0.00804	0.00353	MHB	K517	0.00857	0.00376	MHB	K717	0.00789	0.00346	MHB
K118	0.01054	0.00538	MHB	K318	0.00795	0.00405	MHB	K518	0.00777	0.00396	MHB	K718	0.00735	0.00375	MHB
K119	0.00735	0.00375	MHB	K319	0.00735	0.00375	MHB	K519	0.00735	0.00375	MHB	K719	0.00735	0.00375	MHB
K120	0.00735	0.00375	MHB	K320	0.00735	0.00375	MHB	K520	0.00735	0.00375	MHB	K720	0.00735	0.00375	MHB
K121	0.00735	0.00375	MHB	K321	0.00735	0.00375	MHB	K521	0.00735	0.00375	MHB	K721	0.00735	0.00375	MHB
K122	0.00735	0.00375	MHB	K322	0.00735	0.00375	MHB	K522	0.00735	0.00375	MHB	K722	0.00735	0.00375	MHB
K123	0.00735	0.00375	MHB	K323	0.00735	0.00375	MHB	K523	0.00735	0.00375	MHB	K723	0.00735	0.00375	MHB
K124	0.00735	0.00375	MHB	K324	0.00735	0.00375	MHB	K524	0.00735	0.00375	MHB	K724	0.00735	0.00375	MHB
K125	0.00735	0.00375	MHB	K325	0.00735	0.00375	MHB	K525	0.00735	0.00375	MHB	K725	0.00735	0.00375	MHB
K126	0.00735	0.00375	MHB	K326	0.00735	0.00375	MHB	K526	0.00735	0.00375	MHB	K726	0.00735	0.00375	MHB
K127	0.00735	0.00375	MHB	K327	0.00735	0.00375	MHB	K527	0.00735	0.00375	MHB	K727	0.00735	0.00375	MHB
K128	0.00735	0.00375	MHB	K328	0.00735	0.00375	MHB	K528	0.00735	0.00375	MHB	K728	0.00735	0.00375	MHB
K129	0.00991	0.00506	MHB	K329	0.00792	0.00404	MHB	K529	0.00735	0.00375	MHB	K729	0.00735	0.00375	MHB
K130	0.00735	0.00375	MHB	K330	0.00735	0.00375	MHB	K530	0.00735	0.00375	MHB	K730	0.00735	0.00375	MHB
K131	0.00735	0.00375	MHB	K331	0.00747	0.00381	MHB	K531	0.00735	0.00375	MHB	K731	0.00735	0.00375	MHB
K132	0.00735	0.00375	MHB	K332	0.00735	0.00375	MHB	K532	0.00735	0.00375	MHB	K732	0.00735	0.00375	MHB
K201	0.03644	0.01859	BHB	K401	0.03401	0.01735	BHB	K601	0.01506	0.00768	MHB	K801	0.00735	0.00375	MHB
K202	0.14462	0.07378	GB	K402	0.15270	0.07791	GB	K602	0.03328	0.01698	BHB	K802	0.01205	0.00615	MHB
K203	0.03426	0.01748	BHB	K403	0.03098	0.01581	BHB	K603	0.01654	0.00725	MHB	K803	0.00735	0.00375	MHB
K204	0.02935	0.01497	BHB	K404	0.02644	0.01349	BHB	K604	0.01272	0.00558	MHB	K804	0.00735	0.00375	MHB
K205	0.02712	0.01384	BHB	K405	0.02277	0.01162	BHB	K605	0.01081	0.00474	MHB	K805	0.00735	0.00375	MHB
K206	0.03382	0.01725	BHB	K406	0.03034	0.01548	BHB	K606	0.01131	0.00577	MHB	K806	0.00735	0.00375	MHB
K207	0.03468	0.01770	BHB	K407	0.02871	0.01465	BHB	K607	0.01140	0.00500	MHB	K807	0.00735	0.00375	MHB
K208-9	0.11390	0.04995	İHB	K408-9	0.03007	0.01319	BHB	K608-9	0.01549	0.00679	MHB	K808-9	0.00735	0.00375	MHB
K210	0.03467	0.01769	BHB	K410	0.03016	0.01539	BHB	K610	0.01311	0.00575	MHB	K810	0.00735	0.00375	MHB
K211	0.03731	0.01903	BHB	K411	0.03445	0.01758	BHB	K611	0.01599	0.00701	MHB	K811	0.00735	0.00375	MHB
K212	0.03623	0.01849	BHB	K412	0.02918	0.01489	BHB	K612	0.01311	0.00575	MHB	K812	0.00735	0.00375	MHB
K213	0.03986	0.02034	BHB	K413	0.03644	0.01859	BHB	K613	0.01495	0.00656	MHB	K813	0.00735	0.00375	MHB
K214	0.04746	0.02422	BHB	K414	0.04020	0.02051	BHB	K614	0.01487	0.00759	MHB	K814	0.00735	0.00375	MHB
K215	0.05011	0.02557	BHB	K415	0.04249	0.02168	BHB	K615	0.01712	0.00751	MHB	K815	0.00735	0.00375	MHB
K216	0.04456	0.02273	BHB	K416	0.03738	0.01907	BHB	K616	0.01730	0.00883	MHB	K816	0.00735	0.00375	MHB
K217	0.00841	0.00369	MHB	K417	0.00758	0.00332	MHB	K617	0.00797	0.00350	MHB	K817	0.00735	0.00375	MHB
K218	0.00919	0.00469	MHB	K418	0.00771	0.00393	MHB	K618	0.00744	0.00380	MHB	K818	0.00735	0.00375	MHB
K219	0.00735	0.00375	MHB	K419	0.00735	0.00375	MHB	K619	0.00735	0.00375	MHB	K819	0.00735	0.00375	MHB
K220	0.00736	0.00375	MHB	K420	0.00735	0.00375	MHB	K620	0.00735	0.00375	MHB	K820	0.00735	0.00375	MHB
K221	0.00735	0.00375	MHB	K421	0.00735	0.00375	MHB	K621	0.00735	0.00375	MHB	K821	0.00735	0.00375	MHB
K222	0.00735	0.00375	MHB	K422	0.00735	0.00375	MHB	K622	0.00735	0.00375	MHB	K822	0.00735	0.00375	MHB
K223	0.00735	0.00375	MHB	K423	0.00735	0.00375	MHB	K623	0.00735	0.00375	MHB	K823	0.00735	0.00375	MHB
K224	0.00735	0.00375	MHB	K424	0.00735	0.00375	MHB	K624	0.00735	0.00375	MHB	K824	0.00735	0.00375	MHB
K225	0.00735	0.00375	MHB	K425	0.00735	0.00375	MHB	K625	0.00735	0.00375	MHB	K825	0.00735	0.00375	MHB
K226	0.00735	0.00375	MHB	K426	0.00735	0.00375	MHB	K626	0.00735	0.00375	MHB	K826	0.00735	0.00375	MHB
K227	0.00735	0.00375	MHB	K427	0.00735	0.00375	MHB	K627	0.00735	0.00375	MHB	K827	0.00735	0.00375	MHB
K228	0.00735	0.00375	MHB	K428	0.00735	0.00375	MHB	K628	0.00735	0.00375	MHB	K828	0.00735	0.00375	MHB
K229	0.00815	0.00416	MHB	K429	0.00735	0.00375	MHB	K629	0.00735	0.00375	MHB	K829	0.00735	0.00375	MHB
K230	0.00735	0.00375	MHB	K430	0.00735	0.00375	MHB	K630	0.00735	0.00375	MHB	K830	0.00735	0.00375	MHB
K231	0.00753	0.00384	MHB	K431	0.00735	0.00375	MHB	K631	0.00735	0.00375	MHB	K831	0.00735	0.00375	MHB
K232	0.00735	0.00375	MHB	K432	0.00735	0.00375	MHB	K632	0.00735	0.00375	MHB	K832	0.00735	0.00375	MHB

j) 1. kat kolonları için artımsal eşdeğer deprem yükü yönteminin (j – l) sayılı hesap adımları uygulanarak elde edilen eğrilik istemi değerleri aşağıda Çizelge 4.26'da verilmiştir.

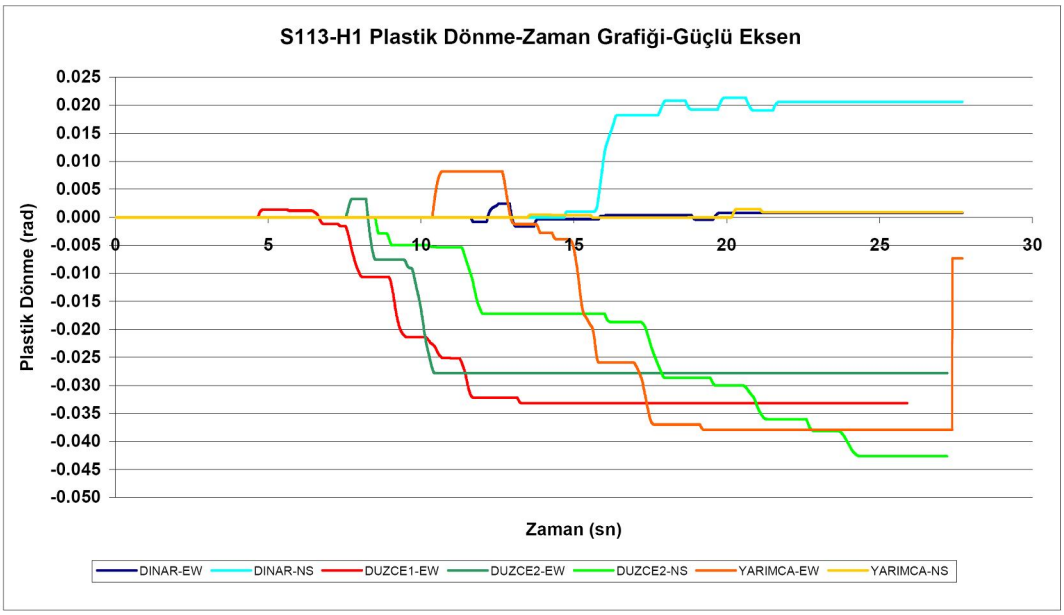
Çizelge 4.26 : TSM-2'de 1. kat kolonları için toplam eğrilik istemleri.

Kolon Adı	Mafsal Adı	Maks θ_P	Maks θ_P	h	b	Lp	Lp	Φ_P	Φ_P	Φ_y	Φ_y	P	Φ_t	Φ_t
		(R3)	(R2)	(R3)	(R2)	(R3)	(R2)	(R3)	(R2)	(R3)	(R2)		(R3)	(R2)
		Radyan	Radyan	m	m	m	m	1/m	1/m	1/m	1/m	kN	1/m	1/m
S101	30x70M	0.00065	0.00025	0.3	0.7	0.15	0.35	0.00432	0.00071	0.01470	0.00630	72.2	0.01902	0.00701
S101	30x70M	0	0	0.3	0.7	0.15	0.35	0	0	0.01470	0.00630	59.4	0.01470	0.00630
S101	30x70M	-0.00213	-0.00245	0.3	0.7	0.15	0.35	-0.01419	-0.00701	0.01470	0.00630	1690.3	-0.02889	-0.01331
S101	30x70M	0	0	0.3	0.7	0.15	0.35	0	0	0.01470	0.00630	1677.5	0.01470	0.00630
S102	PRD	0.00204	0.00017	1.55	0.3	0.775	0.15	0.00264	0.00116	0.00285	0.01470	705.0	0.00548	0.01586
S102	PRD	0	0	1.55	0.3	0.775	0.15	0	0	0.00285	0.01470	682.5	0.00285	0.01470
S102	PRD	-0.00171	-0.00047	1.55	0.3	0.775	0.15	-0.00221	-0.00316	0.00285	0.01470	2311.6	-0.00505	-0.01786
S102	PRD	0	0	1.55	0.3	0.775	0.15	0	0	0.00285	0.01470	2289.0	0.00285	0.01470
S103	PRD	0.00070	0.00028	1.55	0.3	0.775	0.15	0.00090	0.00184	0.00285	0.01470	704.9	0.00375	0.01654
S103	PRD	0	0	1.55	0.3	0.775	0.15	0	0	0.00285	0.01470	682.3	0.00285	0.01470
S103	PRD	-0.00236	-0.00039	1.55	0.3	0.775	0.15	-0.00305	-0.00263	0.00285	0.01470	2327.7	-0.00589	-0.01733
S103	PRD	0	0	1.55	0.3	0.775	0.15	0	0	0.00285	0.01470	2305.1	0.00285	0.01470
S104	30x70M	0.00024	0.00350	0.3	0.7	0.15	0.35	0.00158	0.01001	0.01470	0.00630	-25.0	0.01628	0.01631
S104	30x70M	0	0	0.3	0.7	0.15	0.35	0	0	0.01470	0.00630	-37.8	0.01470	0.00630
S104	30x70M	-0.00664	-0.00012	0.3	0.7	0.15	0.35	-0.04428	-0.00034	0.01470	0.00630	1530.4	-0.05898	-0.00664
S104	30x70M	0	0	0.3	0.7	0.15	0.35	0	0	0.01470	0.00630	1517.6	0.01470	0.00630
S105	70x30M	0.00876	0.00527	0.7	0.3	0.35	0.15	0.02502	0.03514	0.00630	0.01470	435.8	0.03132	0.04984
S105	70x30M	0.00048	0	0.7	0.3	0.35	0.15	0.00138	0	0.00630	0.01470	423.8	0.00768	0.01470
S105	70x30M	-0.00120	-0.00163	0.7	0.3	0.35	0.15	-0.00342	-0.01084	0.00630	0.01470	1794.5	-0.00972	-0.02554
S105	70x30M	0	-0.00179	0.7	0.3	0.35	0.15	0	-0.01194	0.00630	0.01470	1782.6	0.00630	-0.02664
S106	40x70M	0.00049	0.00013	0.4	0.7	0.2	0.35	0.00247	0.00037	0.01103	0.00630	1820.0	0.01349	0.00667
S106	40x70M	0	0	0.4	0.7	0.2	0.35	0	0	0.01103	0.00630	1803.2	0.01103	0.00630
S106	40x70M	-0.00075	-0.00020	0.4	0.7	0.2	0.35	-0.00374	-0.00057	0.01103	0.00630	2058.9	-0.01477	-0.00687
S106	40x70M	0	0	0.4	0.7	0.2	0.35	0	0	0.01103	0.00630	2042.1	0.01103	0.00630
S107	40x70M	0.00043	0.00024	0.4	0.7	0.2	0.35	0.00217	0.00067	0.01103	0.00630	1809.1	0.01319	0.00697
S107	40x70M	0	0	0.4	0.7	0.2	0.35	0	0	0.01103	0.00630	1792.3	0.01103	0.00630
S107	40x70M	-0.00089	-0.00012	0.4	0.7	0.2	0.35	-0.00445	-0.00033	0.01103	0.00630	1982.7	-0.01547	-0.00663
S107	40x70M	0	0	0.4	0.7	0.2	0.35	0	0	0.01103	0.00630	1965.9	0.01103	0.00630
S108	70x30M	0.00089	0.00182	0.7	0.3	0.35	0.15	0.00255	0.01212	0.00630	0.01470	637.4	0.00885	0.02682
S108	70x30M	0	0	0.7	0.3	0.35	0.15	0	0	0.00630	0.01470	625.5	0.00630	0.01470
S108	70x30M	-0.00177	-0.00093	0.7	0.3	0.35	0.15	-0.00506	-0.00622	0.00630	0.01470	1902.9	-0.01136	-0.02092
S108	70x30M	0	0	0.7	0.3	0.35	0.15	0	0	0.00630	0.01470	1890.9	0.00630	0.01470
S109	30x70M	0.00295	0.00163	0.3	0.7	0.15	0.35	0.01964	0.00466	0.01470	0.00630	646.6	0.03434	0.01096
S109	30x70M	0	0	0.3	0.7	0.15	0.35	0	0	0.01470	0.00630	633.8	0.01470	0.00630
S109	30x70M	-0.00196	-0.00099	0.3	0.7	0.15	0.35	-0.01306	-0.00284	0.01470	0.00630	1921.7	-0.02776	-0.00914
S109	30x70M	-0.00004	-0.00002	0.3	0.7	0.15	0.35	-0.00027	-0.00007	0.01470	0.00630	1908.9	-0.01497	-0.00637
S110	70x40M	0.00320	0.00093	0.7	0.4	0.35	0.2	0.00915	0.00463	0.00630	0.01103	1884.1	0.01545	0.01565
S110	70x40M	0	0	0.7	0.4	0.35	0.2	0	0	0.00630	0.01103	1868.2	0.00630	0.01103
S110	70x40M	-0.00289	-0.00096	0.7	0.4	0.35	0.2	-0.00827	-0.00481	0.00630	0.01103	2199.4	-0.01457	-0.01583
S110	70x40M	0	0	0.7	0.4	0.35	0.2	0	0	0.00630	0.01103	2183.5	0.00630	0.01103
S111	70x40M	0.00197	0.00113	0.7	0.4	0.35	0.2	0.00564	0.00563	0.00630	0.01103	1729.3	0.01194	0.01666
S111	70x40M	0	0	0.7	0.4	0.35	0.2	0	0	0.00630	0.01103	1713.3	0.00630	0.01103
S111	70x40M	-0.00291	-0.00070	0.7	0.4	0.35	0.2	-0.00832	-0.00350	0.00630	0.01103	2069.1	-0.01462	-0.01452
S111	70x40M	0	0	0.7	0.4	0.35	0.2	0	0	0.00630	0.01103	2053.2	0.00630	0.01103
S112	30x70M	0.00077	0.00120	0.3	0.7	0.15	0.35	0.00510	0.00342	0.01470	0.00630	600.4	0.01980	0.00972
S112	30x70M	0	0	0.3	0.7	0.15	0.35	0	0	0.01470	0.00630	587.6	0.01470	0.00630
S112	30x70M	-0.00195	-0.00033	0.3	0.7	0.15	0.35	-0.01297	-0.00095	0.01470	0.00630	1806.3	-0.02767	-0.00725
S112	30x70M	0	0	0.3	0.7	0.15	0.35	0	0	0.01470	0.00630	1793.5	0.01470	0.00630
S113	70x30M	0.00843	0.00711	0.7	0.3	0.35	0.15	0.02408	0.04740	0.00630	0.01470	389.3	0.03038	0.06210
S113	70x30M	0	0	0.7	0.3	0.35	0.15	0	0	0.00630	0.01470	377.3	0.00630	0.01470
S113	70x30M	-0.00252	-0.00262	0.7	0.3	0.35	0.15	-0.00720	-0.01748	0.00630	0.01470	1868.2	-0.01350	-0.03218
S113	70x30M	-0.00042	-0.00126	0.7	0.3	0.35	0.15	-0.00119	-0.00842	0.00630	0.01470	1856.2	-0.00749	-0.02312
S114	40x70M	0.00202	0.00043	0.4	0.7	0.2	0.35	0.01012	0.00124	0.01103	0.00630	1848.9	0.02114	0.00754
S114	40x70M	0.00053	0.00014	0.4	0.7	0.2	0.35	0.00264	0.00040	0.01103	0.00630	1832.1	0.01367	0.00670
S114	40x70M	-0.00328	-0.00071	0.4	0.7	0.2	0.35	-0.01639	-0.00202	0.01103	0.00630	2122.2	-0.02741	-0.00832
S114	40x70M	0	0	0.4	0.7	0.2	0.35	0	0	0.01103	0.00630	2105.4	0.01103	0.00630
S115	40x70M	0.00392	0.00061	0.4	0.7	0.2	0.35	0.01962	0.00173	0.01103	0.00630	1848.8	0.03064	0.00803
S115	40x70M	0	0.00019	0.4	0.7	0.2	0.35	0	0.00055	0.01103	0.00630	1832.0	0.01103	0.00685
S115	40x70M	-0.00267	-0.00071	0.4	0.7	0.2	0.35	-0.01336	-0.00202	0.01103	0.00630	2078.5	-0.02439	-0.00832
S115	40x70M	-0.00072	0	0.4	0.7	0.2	0.35	-0.00360	0	0.01103	0.00630	2061.7	-0.01462	0.00630
S116	70x30M	0.00578	0.00307	0.7	0.3	0.35	0.15	0.01653	0.02048	0.00630	0.01470	582.6	0.02283	0.03518
S116	70x30M	0.00012	0	0.7	0.3	0.35	0.15	0.00034	0	0.00630	0.01470	570.7	0.00664	0.01470
S116	70x30M	-0.00416	-0.00486	0.7	0.3	0.35	0.15	-0.01188	-0.03240	0.00630	0.01470	1896.1	-0.01818	-0.04710
S116	70x30M	0	-0.00035	0.7	0.3	0.35	0.15	0	-0.00236	0.00630	0.01470	1884.1	0.00630	-0.01706
S117	30x70M	0.00546	0.00217	0.3	0.7	0.15	0.35	0.03643	0.00621	0.01470	0.00630	298.9	0.05113	0.01251
S117	30x70M	0.00247	0.00052	0.3	0.7	0.15	0.35	0.01645	0.00147	0.01470	0.00630	286.1	0.03115	0.00777
S117	30x70M	-0.02536	-0.00824	0.3	0.7	0.15	0.35	-0.16906	-0.02355	0.01470	0.00630	1518.8	-0.18376	-0.02985
S117	30x70M	-0.00274	-0.00050	0.3	0.7	0.15	0.35	-0.01828	-0.00144	0.01470	0.00630	1506.0	-0.03298	-0.00774
S118	70x30M	0.00303	0.00106	0.7	0.3	0.35	0.15	0.00866	0.00707	0.00630	0.01470	1098.5	0.01496	0.02177
S118	70x30M	0	0	0.7	0.3	0.35	0.15	0	0	0.00630	0.01470	1086.6	0.00630	0.01470
S118	70x30M	-0.01504	-0.00247	0.7	0.3	0.35	0.15	-0.04296	-0.01645	0.00630	0.01470	1426.3	-0.04926	-0.03115
S118	70x30M	0	0	0.7	0.3	0.35	0.15	0	0	0.00630	0.01470	1414.4	0.00630	0.01470
S119	70x30M	0.01090	0.00113	0.7	0.3	0.35	0.15	0.03116	0.00755	0.00630	0.01470	1120.5	0.03746	0.02225
S119	70x30M	0	0	0.7	0.3	0.35	0.15	0	0	0.00630	0.01470	1108.6	0.00630	0.01470
S119	70x30M	-0.00206	-0.00154	0.7	0.3	0.35	0.15	-0.00589	-0.01028	0.00630	0.01470	1411.8	-0.01219	-0.02498
S119	70x30M	0	0	0.7	0.3	0.35	0.15	0	0	0.00630	0.01470	1399.9	0.00630	0.01470
S120	30x70M	0.01719	0.00106	0.3	0.7	0.15	0.35	0.11459	0.00302	0.01470	0.00630	265.6	0.12929	0.00932
S120	30x70M	0	0.00036	0.3	0.7	0.15	0.35	0	0.00103	0.01470	0.00630	252.8	0.01470	0.00733
S120	30x70M	-0.00270	-0.00638	0.3	0.7	0.15	0.35	-0.01800	-0.01822	0.01470	0.00630	1409.4	-0.03270	-0.02452
S120	30x70M	-0.00183	0	0.3	0.7	0.15	0.35	-0.01223	0	0.01470	0.00630	1396.6	-0.02693	0.00630

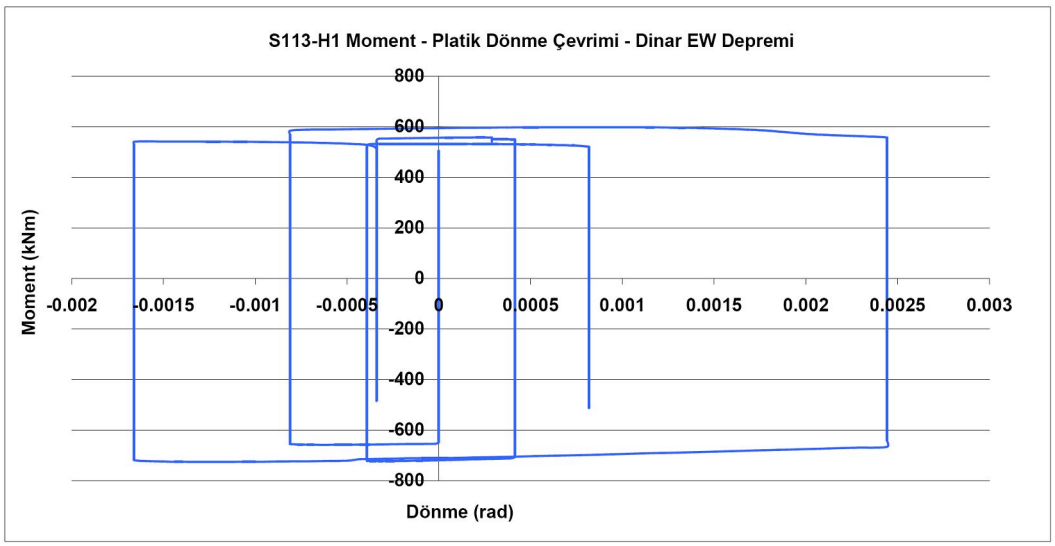
k) Kolonlar için artımsal eşdeğer deprem yükü yönteminin p sayılı hesap adımı uygulanarak kolon kesit hasar bölgeleri elde edilir.

S113 Kolonu İçin Örnek Hesap

Kolon kesitinin hasar bölgesinin belirlenmesi amacıyla yapılan eğilme momenti-eğrilik analizinde kullanılan malzeme modelleri, artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi S113 kolonu örnek hesabında verilmiştir. Yedi farklı deprem etkisi altında, S113 kolonunun alt ucunda (S113H1) elde edilen plastik dönme - zaman grafikleri ve tek bir kayda ait eğilme momenti - plastik dönme histeretik çevrimi sırasıyla Şekil 4.22 ve Şekil 4.23'te verilmiştir.



Şekil 4.22 : S113 kolonu alt ucu plastik dönme - zaman grafiği.



Şekil 4.23 : S113 kolonu alt ucu eğilme momenti – plastik dönme grafiği.

Zaman tanım alanında analiz sonucunda S113 kolonunun alt ucu için elde edilen güçlü eksen etrafındaki plastik dönme değeri, o doğrultudaki plastik mafsal boyuna bölünerek plastik eğrilik istemi bulunur. Plastik mafsal boyu enkesit yüksekliğinin yarısı olarak alınır.

b = 70 cm

h = 30 cm

L_p = 70/2 = 35 cm

θ_p = 0.00160 radyan

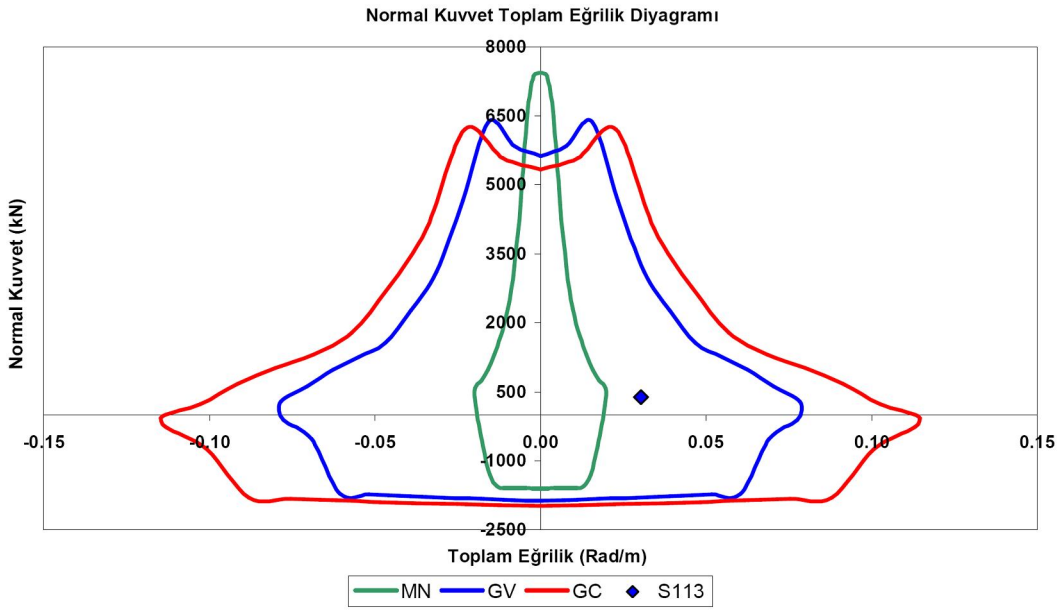
$$\phi_p = \frac{\theta_p}{L_p} = \frac{0.00843}{0.35} = 0.02408 \text{ rad/m}$$

Hesaplanan eğrilik akma eğriliği ile toplanarak toplam eğrilik elde edilir. Akma eğriliğinin hesabı için Denk.**(4.10)**'da verilen Priestley formülü kullanılır.

$$\phi_y = \frac{2.1\varepsilon_{sy}}{h} = \phi_y = \frac{2.1 \times 0.0021}{0.7} = 0.00630 \text{ rad / m}$$

$$\phi_t = \phi_y + \phi_p = 0.03038 \text{ rad / m}$$

S113 kolonu için, çeşitli performans düzeyleri için izin verilen beton ve çelik birim şekildeğiştirme sınırları kesit analizi yapılan programda tanımlanarak ilgili kesitin, bu sınırlara karşılık gelen normal kuvvet - toplam eğrilik diyagramları elde edilir. S113 kolonu için güçlü eksen etrafında elde edilen normal kuvvet-toplam eğrilik diyagramı ve kolon için hesaplanan normal kuvvet-toplam eğrilik istemi değerleri Şekil 4.22 ile birlikte gösterilmiş ve kesit hasar bölgesi belirlenmiştir.



Şekil 4.24 : S113 kolonunun güçlü eksendeki kesit hasar bölgesinin belirlenmesi.

S113 kolonunun güçlü ekseni için, normal kuvvetin P = 389.3 kN ve toplam eğriliğin ϕ_t = 0.03038 rad / m değerleri Şekil 4.24'te verilen diyagrama yerleştirilerek, kesit hasar bölgesi *belirgin hasar bölgesi* olarak bulunur.

Zaman tanım alanında analiz sonucunda S113 kolonunun alt ucu için elde edilen zayıf eksen etrafındaki plastik dönme değeri, o doğrultudaki plastik mafsal boyuna bölünerek plastik eğrilik istemi bulunur. Plastik mafsal boyu çalışan kesit boyutunun yarısı olarak alınır.

b = 30 cm

h = 70 cm

L_p = 30/2 = 15 cm

θ_p = 0.00711 radyan

$$\phi_p = \frac{\theta_p}{L_p} = \frac{0.00711}{0.15} = 0.0474 \text{ rad/m}$$

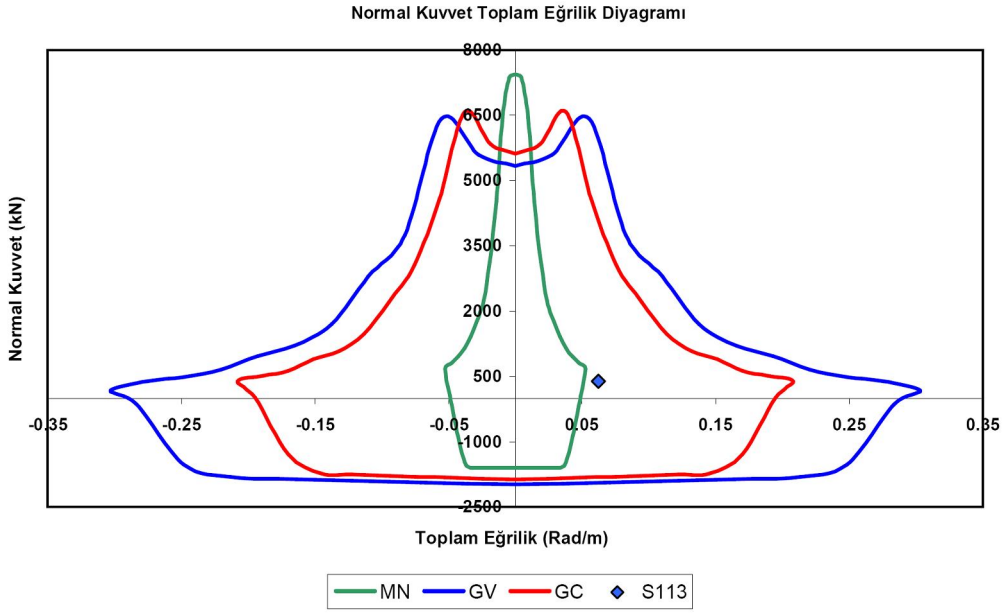
Hesaplanan eğrilik akma eğriliği ile toplanarak toplam eğrilik elde edilir. Akma eğriliğinin hesabı için Denk.**(4.10)**'da verilen Priestley formülü kullanılır.

$$\phi_y = \frac{2.1\varepsilon_{sy}}{h} = \phi_y = \frac{2.1 \times 0.0021}{0.3} = 0.0147 \text{ rad / m}$$

$$\phi_t = \phi_y + \phi_p = 0.06210 \text{ rad / m}$$

S113 kolonu için zayıf eksen etrafında elde edilen normal kuvvet-toplam eğrilik diyagramı ve kolon için hesaplanan normal kuvvet-toplam eğrilik istemi değerleri Şekil 4.26 ile birlikte gösterilmiş ve kesti hasar bölgesi belirlenmiştir.

S113 kolonu zayıf ekseni için, normal kuvvetin P = 389.3 kN ve toplam eğriliğin ϕ_t = 0.06210 rad / m değerleri Şekil 4.25'te gösterilen diyagrama yerleştirilerek, kesit hasar bölgesi *belirgin hasar bölgesi* olarak bulunur.



Şekil 4.25 : S113 Kolonunun zayıf eksende kesit hasar bölgesinin belirlenmesi.

S113 kolonu için açıklanan örnek hesaptaki adımlar tüm kolonlar için tekrar edilmiş ve her iki doğrultu için elde edilen hasar bölgeleri Çizelge 4.27'de özetlenmiştir.

Çizelge 4.27 : TSM-2'de kolonlar için eleman hasar bölgeleri

Kolon Adı	P	Φ_t (R3)	Hasar Bölgesi	Φ_t (R2)	Hasar Bölgesi	Kolon Adı	P	Φ_t (R3)	Hasar Bölgesi	Φ_t (R2)	Hasar Bölgesi	Kolon Adı	P	Φ_t (R3)	Hasar Bölgesi	Φ_t (R2)	Hasar Bölgesi
	kN	1/m		1/m			kN	1/m		1/m			kN	1/m		1/m	
S101	1690.3	0.02889	BHB	0.01331	BHB	S314	1555.4	0.02235	MHB	0.00744	MHB	S607	732.9	0.01103	MHB	0.00882	MHB
S102	2311.6	0.00548	MHB	0.01786	MHB	S315	1533.2	0.01252	MHB	0.00639	MHB	S608	582.5	0.00882	MHB	0.01470	MHB
S103	2327.7	0.00589	MHB	0.01733	MHB	S316	1341.8	0.00663	MHB	0.01702	MHB	S609	603.2	0.01470	MHB	0.00882	MHB
S104	1530.4	0.05898	BHB	0.00664	MHB	S317	1102.6	0.03719	MHB	0.00809	MHB	S610	777.6	0.01729	MHB	0.01294	MHB
S105	435.8	0.03132	BHB	0.04984	BHB	S318	1038.0	0.00630	MHB	0.01470	MHB	S611	760.2	0.00904	MHB	0.01117	MHB
S106	2058.9	0.01477	MHB	0.00687	MHB	S319	1026.4	0.00630	MHB	0.01470	MHB	S612	555.1	0.01470	MHB	0.00882	MHB
S107	1982.7	0.01547	MHB	0.00697	MHB	S320	1003.9	0.01470	MHB	0.00630	MHB	S613	580.0	0.00882	MHB	0.01470	MHB
S108	1902.9	0.01136	BHB	0.02682	MHB	S401	944.4	0.01470	MHB	0.00630	MHB	S614	774.4	0.01146	MHB	0.00895	MHB
S109	1921.7	0.02776	BHB	0.00914	MHB	S402	1402.3	0.00285	MHB	0.01470	MHB	S615	761.3	0.01403	MHB	0.00923	MHB
S110	1884.1	0.01545	MHB	0.01565	MHB	S403	1415.0	0.00285	MHB	0.01470	MHB	S616	580.3	0.00882	MHB	0.01470	MHB
S111	2069.1	0.01462	MHB	0.01452	MHB	S404	845.8	0.01470	MHB	0.00630	MHB	S617	489.1	0.01470	MHB	0.00882	MHB
S112	1806.3	0.02767	BHB	0.00972	MHB	S405	1038.5	0.00714	MHB	0.01610	MHB	S618	483.9	0.00997	MHB	0.01529	MHB
S113	389.3	0.03038	BHB	0.06210	BHB	S406	1251.3	0.01118	MHB	0.00631	MHB	S619	474.4	0.03713	BHB	0.01806	MHB
S114	2122.2	0.02741	MHB	0.00832	MHB	S407	1224.6	0.01140	MHB	0.00638	MHB	S620	422.1	0.03233	MHB	0.01160	MHB
S115	2078.5	0.03064	MHB	0.00832	MHB	S408	1079.3	0.00630	MHB	0.01470	MHB	S701	289.8	0.01470	MHB	0.00882	MHB
S116	1896.1	0.01818	BHB	0.04710	BHB	S409	1107.9	0.01470	MHB	0.00630	MHB	S702	571.0	0.00285	MHB	0.01470	MHB
S117	1518.8	0.18376	GB	0.02985	BHB	S410	1325.9	0.00630	MHB	0.01103	MHB	S703	580.0	0.00285	MHB	0.01470	MHB
S118	1426.3	0.04926	İHB	0.03115	MHB	S411	1260.2	0.00630	MHB	0.01103	MHB	S704	240.8	0.01470	MHB	0.00882	MHB
S119	1120.5	0.03746	BHB	0.02225	MHB	S412	1037.7	0.01470	MHB	0.00630	MHB	S705	349.0	0.00882	MHB	0.01470	MHB
S120	1409.4	0.03270	BHB	0.02452	BHB	S413	1076.1	0.00685	MHB	0.01858	MHB	S706	513.1	0.01103	MHB	0.00882	MHB
S201	1448.5	0.01470	MHB	0.00630	MHB	S414	1289.1	0.01103	MHB	0.00630	MHB	S707	495.1	0.01103	MHB	0.00882	MHB
S202	1977.6	0.00285	MHB	0.01470	MHB	S415	1271.4	0.01103	MHB	0.00630	MHB	S708	362.5	0.00882	MHB	0.01470	MHB
S203	1991.6	0.00285	MHB	0.01470	MHB	S416	1077.9	0.00630	MHB	0.01470	MHB	S709	373.9	0.01470	MHB	0.00882	MHB
S204	1311.1	0.01470	MHB	0.00630	MHB	S417	877.4	0.01470	MHB	0.00630	MHB	S710	517.8	0.01005	MHB	0.01155	MHB
S205	1535.8	0.01263	BHB	0.03238	BHB	S418	839.3	0.00630	MHB	0.01470	MHB	S711	516.7	0.00882	MHB	0.01103	MHB
S206	1785.0	0.01103	MHB	0.00630	MHB	S419	831.2	0.00630	MHB	0.01470	MHB	S712	339.7	0.01470	MHB	0.00882	MHB
S207	1729.6	0.01103	MHB	0.00630	MHB	S420	790.7	0.01992	MHB	0.00667	MHB	S713	352.8	0.00882	MHB	0.01470	MHB
S208	1634.3	0.00630	MHB	0.01470	MHB	S501	696.6	0.01470	MHB	0.00882	MHB	S714	523.8	0.01103	MHB	0.00882	MHB
S209	1654.4	0.02204	MHB	0.00792	MHB	S502	1119.1	0.00285	MHB	0.01470	MHB	S715	512.6	0.01103	MHB	0.00882	MHB
S210	1925.7	0.00630	MHB	0.01103	MHB	S503	1154.7	0.00285	MHB	0.01470	MHB	S716	354.5	0.00882	MHB	0.01470	MHB
S211	1806.4	0.00630	MHB	0.01103	MHB	S504	616.3	0.01470	MHB	0.00882	MHB	S717	304.9	0.01470	MHB	0.00882	MHB
S212	1552.5	0.01470	MHB	0.00630	MHB	S505	786.8	0.00882	MHB	0.01470	MHB	S718	313.7	0.00882	MHB	0.01470	MHB
S213	1603.2	0.01172	MHB	0.04123	BHB	S506	999.9	0.01103	MHB	0.00882	MHB	S719	307.4	0.01725	MHB	0.01677	MHB
S214	1823.2	0.03412	MHB	0.00848	MHB	S507	974.6	0.01103	MHB	0.00882	MHB	S720	260.7	0.01470	MHB	0.00882	MHB
S215	1798.4	0.02535	MHB	0.00736	MHB	S508	815.6	0.00882	MHB	0.01470	MHB	S801	116.6	0.01470	MHB	0.00882	MHB
S216	1606.6	0.00930	MHB	0.02394	MHB	S509	841.6	0.01470	MHB	0.00882	MHB	S802	266.4	0.00285	MHB	0.01470	MHB
S217	1328.4	0.08982	BHB	0.01182	MHB	S510	1043.9	0.00933	MHB	0.01141	MHB	S803	259.7	0.00285	MHB	0.01470	MHB
S218	1233.8	0.01183	MHB	0.02103	MHB	S511	1002.6	0.00882	MHB	0.01103	MHB	S804	93.7	0.01470	MHB	0.00882	MHB
S219	1222.1	0.01542	BHB	0.02278	MHB	S512	781.9	0.01470	MHB	0.00882	MHB	S805	152.0	0.00882	MHB	0.01470	MHB
S220	1214.3	0.04177	BHB	0.00904	MHB	S513	814.7	0.00882	MHB	0.01470	MHB	S806	266.7	0.01103	MHB	0.00882	MHB
S301	1195.8	0.01470	MHB	0.00630	MHB	S514	1026.3	0.01103	MHB	0.00882	MHB	S807	258.1	0.01103	MHB	0.00882	MHB
S302	1677.8	0.00285	MHB	0.01470	MHB	S515	1008.9	0.01103	MHB	0.00882	MHB	S808	160.6	0.00882	MHB	0.01470	MHB
S303	1693.1	0.00285	MHB	0.01470	MHB	S516	814.4	0.00882	MHB	0.01470	MHB	S809	165.2	0.01470	MHB	0.00882	MHB
S304	1078.6	0.01470	MHB	0.00630	MHB	S517	670.6	0.01592	MHB	0.00904	MHB	S810	266.1	0.00882	MHB	0.01103	MHB
S305	1292.1	0.01432	BHB	0.05064	BHB	S518	652.0	0.00882	MHB	0.01470	MHB	S811	265.6	0.00882	MHB	0.01103	MHB
S306	1517.4	0.01103	MHB	0.00630	MHB	S519	643.6	0.02192	MHB	0.01715	MHB	S812	146.9	0.01470	MHB	0.00882	MHB
S307	1475.2	0.01103	MHB	0.00630	MHB	S520	590.2	0.12721	BHB	0.02692	BHB	S813	153.4	0.00882	MHB	0.01470	MHB
S308	1363.6	0.00630	MHB	0.01470	MHB	S601	487.2	0.01470	MHB	0.00882	MHB	S814	272.4	0.01103	MHB	0.00882	MHB
S309	1376.5	0.01470	MHB	0.00630	MHB	S602	850.9	0.00285	MHB	0.01470	MHB	S815	266.8	0.01103	MHB	0.00882	MHB
S310	1612.6	0.00630	MHB	0.01103	MHB	S603	875.3	0.00285	MHB	0.01470	MHB	S816	152.9	0.00882	MHB	0.01470	MHB
S311	1531.4	0.00630	MHB	0.01103	MHB	S604	418.4	0.01470	MHB	0.00882	MHB	S817	124.7	0.01470	MHB	0.00882	MHB
S312	1295.3	0.01470	MHB	0.00630	MHB	S605	566.2	0.00882	MHB	0.01470	MHB	S818	142.3	0.00882	MHB	0.01470	MHB
S313	1334.7	0.00923	MHB	0.02095	MHB	S606	757.8	0.01103	MHB	0.00882	MHB	S819	139.9	0.00882	MHB	0.01470	MHB
												S820	105.3	0.01470	MHB	0.00882	MHB

4.4.4 Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ve zaman tanım alanında hesap yöntemi ile bulunan sonuçların karşılaştırılması

4.4.4.1 Eleman hasar bölgelerinin karşılaştırılması

Sistemin kirişleri için her iki hesap yöntemi ile elde edilen eleman hasar bölgeleri Çizelge 4.28 üzerinde karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.28 : TSM-2'de kirişlerin eleman hasar bölgelerinin karşılaştırılması.

Kiriş Adı	Artımsal Eşdeğer Dep. Y.	Zaman Tanım Alanında Analiz		Kiriş Adı	Artımsal Eşdeğer Dep. Y.	Zaman Tanım Alanında Analiz		Kiriş Adı	Artımsal Eşdeğer Dep. Y.	Zaman Tanım Alanında Analiz		Kiriş Adı	Artımsal Eşdeğer Dep. Y.	Zaman Tanım Alanında Analiz	
K101	MHB	BHB	×	K301	BHB	BHB	✓	K501	BHB	BHB	✓	K701	MHB	MHB	✓
K102	BHB	BHB	✓	K302	BHB	GB	×	K502	BHB	BHB	✓	K702	BHB	BHB	✓
K103	MHB	BHB	×	K303	BHB	BHB	✓	K503	BHB	BHB	✓	K703	MHB	MHB	✓
K104	MHB	BHB	×	K304	BHB	BHB	✓	K504	BHB	BHB	✓	K704	MHB	MHB	✓
K105	MHB	MHB	✓	K305	BHB	BHB	✓	K505	MHB	MHB	✓	K705	MHB	MHB	✓
K106	MHB	BHB	×	K306	BHB	BHB	✓	K506	BHB	MHB	×	K706	MHB	MHB	✓
K107	BHB	BHB	✓	K307	BHB	BHB	✓	K507	BHB	BHB	✓	K707	MHB	MHB	✓
K108-9	MHB	BHB	×	K308-9	BHB	İHB	×	K508-9	BHB	BHB	✓	K708-9	MHB	MHB	✓
K110	BHB	BHB	✓	K310	BHB	BHB	✓	K510	BHB	BHB	✓	K710	MHB	MHB	✓
K111	BHB	BHB	✓	K311	BHB	BHB	✓	K511	BHB	BHB	✓	K711	MHB	MHB	✓
K112	MHB	BHB	×	K312	BHB	BHB	✓	K512	BHB	BHB	✓	K712	MHB	MHB	✓
K113	BHB	BHB	✓	K313	BHB	BHB	✓	K513	BHB	BHB	✓	K713	MHB	MHB	✓
K114	BHB	BHB	✓	K314	BHB	BHB	✓	K514	BHB	BHB	✓	K714	MHB	MHB	✓
K115	BHB	BHB	✓	K315	BHB	BHB	✓	K515	BHB	BHB	✓	K715	MHB	MHB	✓
K116	BHB	BHB	✓	K316	BHB	BHB	✓	K516	BHB	BHB	✓	K716	MHB	MHB	✓
K117	MHB	MHB	✓	K317	MHB	MHB	✓	K517	MHB	MHB	✓	K717	MHB	MHB	✓
K118	MHB	MHB	✓	K318	MHB	MHB	✓	K518	MHB	MHB	✓	K718	MHB	MHB	✓
K119	MHB	MHB	✓	K319	MHB	MHB	✓	K519	MHB	MHB	✓	K719	MHB	MHB	✓
K120	MHB	MHB	✓	K320	MHB	MHB	✓	K520	MHB	MHB	✓	K720	MHB	MHB	✓
K121	MHB	MHB	✓	K321	MHB	MHB	✓	K521	MHB	MHB	✓	K721	MHB	MHB	✓
K122	MHB	MHB	✓	K322	MHB	MHB	✓	K522	MHB	MHB	✓	K722	MHB	MHB	✓
K123	MHB	MHB	✓	K323	MHB	MHB	✓	K523	MHB	MHB	✓	K723	MHB	MHB	✓
K124	MHB	MHB	✓	K324	MHB	MHB	✓	K524	MHB	MHB	✓	K724	MHB	MHB	✓
K125	MHB	MHB	✓	K325	MHB	MHB	✓	K525	MHB	MHB	✓	K725	MHB	MHB	✓
K126	MHB	MHB	✓	K326	MHB	MHB	✓	K526	MHB	MHB	✓	K726	MHB	MHB	✓
K127	MHB	MHB	✓	K327	MHB	MHB	✓	K527	MHB	MHB	✓	K727	MHB	MHB	✓
K128	MHB	MHB	✓	K328	MHB	MHB	✓	K528	MHB	MHB	✓	K728	MHB	MHB	✓
K129	MHB	MHB	✓	K329	MHB	MHB	✓	K529	MHB	MHB	✓	K729	MHB	MHB	✓
K130	MHB	MHB	✓	K330	MHB	MHB	✓	K530	MHB	MHB	✓	K730	MHB	MHB	✓
K131	MHB	MHB	✓	K331	MHB	MHB	✓	K531	MHB	MHB	✓	K731	MHB	MHB	✓
K132	MHB	MHB	✓	K332	MHB	MHB	✓	K532	MHB	MHB	✓	K732	MHB	MHB	✓
K201	BHB	BHB	✓	K401	BHB	BHB	✓	K601	MHB	MHB	✓	K801	MHB	MHB	✓
K202	BHB	GB	×	K402	BHB	GB	×	K602	BHB	BHB	✓	K802	MHB	MHB	✓
K203	BHB	BHB	✓	K403	BHB	BHB	✓	K603	MHB	MHB	✓	K803	MHB	MHB	✓
K204	BHB	BHB	✓	K404	BHB	BHB	✓	K604	MHB	MHB	✓	K804	MHB	MHB	✓
K205	BHB	BHB	✓	K405	BHB	BHB	✓	K605	MHB	MHB	✓	K805	MHB	MHB	✓
K206	BHB	BHB	✓	K406	BHB	BHB	✓	K606	MHB	MHB	✓	K806	MHB	MHB	✓
K207	BHB	BHB	✓	K407	BHB	BHB	✓	K607	MHB	MHB	✓	K807	MHB	MHB	✓
K208-9	BHB	İHB	×	K408-9	BHB	BHB	✓	K608-9	MHB	MHB	✓	K808-9	MHB	MHB	✓
K210	BHB	BHB	✓	K410	BHB	BHB	✓	K610	MHB	MHB	✓	K810	MHB	MHB	✓
K211	BHB	BHB	✓	K411	BHB	BHB	✓	K611	MHB	MHB	✓	K811	MHB	MHB	✓
K212	BHB	BHB	✓	K412	BHB	BHB	✓	K612	MHB	MHB	✓	K812	MHB	MHB	✓
K213	BHB	BHB	✓	K413	BHB	BHB	✓	K613	MHB	MHB	✓	K813	MHB	MHB	✓
K214	BHB	BHB	✓	K414	BHB	BHB	✓	K614	MHB	MHB	✓	K814	MHB	MHB	✓
K215	BHB	BHB	✓	K415	BHB	BHB	✓	K615	MHB	MHB	✓	K815	MHB	MHB	✓
K216	BHB	BHB	✓	K416	BHB	BHB	✓	K616	MHB	MHB	✓	K816	MHB	MHB	✓
K217	MHB	MHB	✓	K417	MHB	MHB	✓	K617	MHB	MHB	✓	K817	MHB	MHB	✓
K218	MHB	MHB	✓	K418	MHB	MHB	✓	K618	MHB	MHB	✓	K818	MHB	MHB	✓
K219	MHB	MHB	✓	K419	MHB	MHB	✓	K619	MHB	MHB	✓	K819	MHB	MHB	✓
K220	MHB	MHB	✓	K420	MHB	MHB	✓	K620	MHB	MHB	✓	K820	MHB	MHB	✓
K221	MHB	MHB	✓	K421	MHB	MHB	✓	K621	MHB	MHB	✓	K821	MHB	MHB	✓
K222	MHB	MHB	✓	K422	MHB	MHB	✓	K622	MHB	MHB	✓	K822	MHB	MHB	✓
K223	MHB	MHB	✓	K423	MHB	MHB	✓	K623	MHB	MHB	✓	K823	MHB	MHB	✓
K224	MHB	MHB	✓	K424	MHB	MHB	✓	K624	MHB	MHB	✓	K824	MHB	MHB	✓
K225	MHB	MHB	✓	K425	MHB	MHB	✓	K625	MHB	MHB	✓	K825	MHB	MHB	✓
K226	MHB	MHB	✓	K426	MHB	MHB	✓	K626	MHB	MHB	✓	K826	MHB	MHB	✓
K227	MHB	MHB	✓	K427	MHB	MHB	✓	K627	MHB	MHB	✓	K827	MHB	MHB	✓
K228	MHB	MHB	✓	K428	MHB	MHB	✓	K628	MHB	MHB	✓	K828	MHB	MHB	✓
K229	MHB	MHB	✓	K429	MHB	MHB	✓	K629	MHB	MHB	✓	K829	MHB	MHB	✓
K230	MHB	MHB	✓	K430	MHB	MHB	✓	K630	MHB	MHB	✓	K830	MHB	MHB	✓
K231	MHB	MHB	✓	K431	MHB	MHB	✓	K631	MHB	MHB	✓	K831	MHB	MHB	✓
K232	MHB	MHB	✓	K432	MHB	MHB	✓	K632	MHB	MHB	✓	K832	MHB	MHB	✓

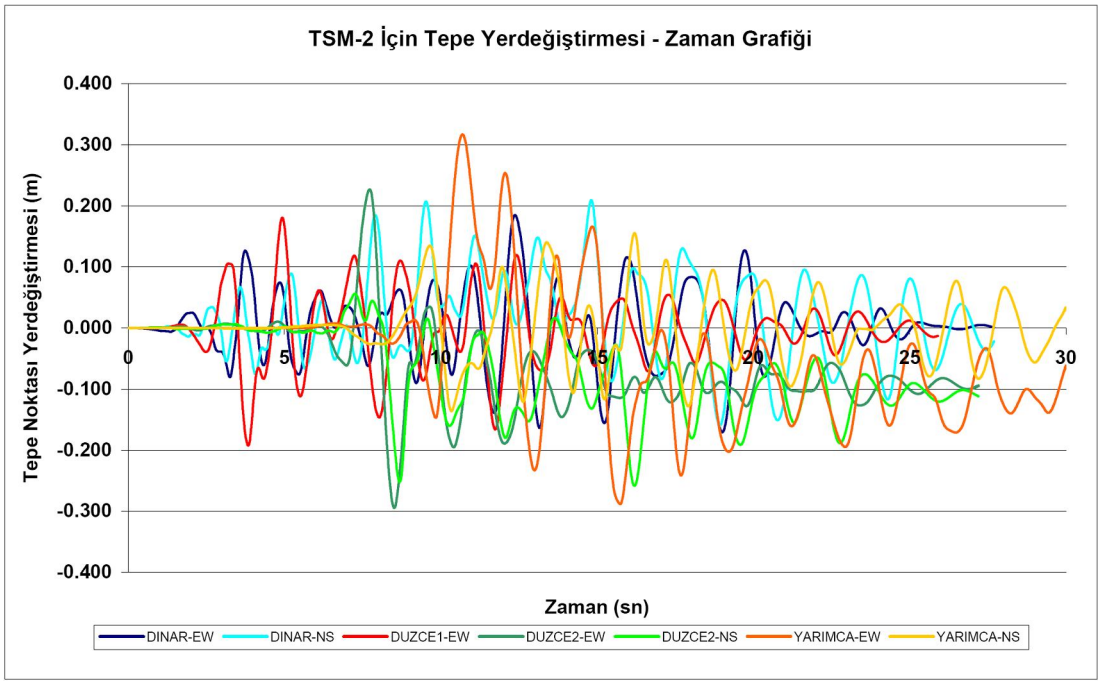
Sistemin kolonları için her iki hesap yöntemi ile elde edilen eleman hasar bölgelerinin karşılaştırılması Çizelge 4.29'da verilmiştir.

Çizelge 4.29 : TSM-2'de kolonların eleman hasar bölgelerinin karşılaştırılması.

Kolon Adı	Deprem Doğrultusu			Depreme Dik Doğrultu			Kolon Adı	Deprem Doğrultusu			Depreme Dik Doğrultu		
	Artımsal Eşdeğer Dep. Y.	Zaman Tanım Alanında Hesap		Artımsal Eşdeğer Dep. Y.	Zaman Tanım Alanında Hesap			Artımsal Eşdeğer Dep. Y.	Zaman Tanım Alanında Hesap		Artımsal Eşdeğer Dep. Y.	Zaman Tanım Alanında Hesap	
S101	MHB	BHB	×	MHB	BHB	×	S501	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S102	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S502	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S103	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S503	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S104	MHB	BHB	×	MHB	MHB	✓	S504	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S105	MHB	BHB	×	MHB	BHB	×	S505	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S106	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S506	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S107	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S507	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S108	MHB	BHB	×	MHB	MHB	✓	S508	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S109	MHB	BHB	×	MHB	MHB	✓	S509	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S110	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S510	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S111	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S511	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S112	MHB	BHB	×	MHB	MHB	✓	S512	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S113	MHB	BHB	×	MHB	BHB	×	S513	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S114	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S514	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S115	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S515	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S116	BHB	BHB	✓	MHB	BHB	×	S516	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S117	MHB	GB	×	MHB	BHB	×	S517	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S118	BHB	İHB	×	MHB	MHB	✓	S518	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S119	BHB	BHB	✓	MHB	MHB	✓	S519	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S120	MHB	BHB	×	MHB	BHB	×	S520	MHB	BHB	×	MHB	BHB	×
S201	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S601	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S202	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S602	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S203	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S603	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S204	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S604	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S205	MHB	BHB	×	MHB	BHB	×	S605	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S206	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S606	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S207	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S607	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S208	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S608	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S209	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S609	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S210	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S610	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S211	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S611	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S212	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S612	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S213	MHB	MHB	✓	MHB	BHB	×	S613	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S214	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S614	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S215	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S615	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S216	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S616	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S217	MHB	BHB	×	MHB	MHB	✓	S617	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S218	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S618	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S219	MHB	BHB	×	MHB	MHB	✓	S619	MHB	BHB	×	MHB	MHB	✓
S220	MHB	BHB	×	MHB	MHB	✓	S620	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S301	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S701	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S302	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S702	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S303	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S703	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S304	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S704	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S305	MHB	BHB	×	MHB	BHB	×	S705	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S306	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S706	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S307	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S707	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S308	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S708	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S309	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S709	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S310	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S710	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S311	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S711	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S312	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S712	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S313	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S713	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S314	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S714	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S315	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S715	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S316	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S716	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S317	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S717	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S318	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S718	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S319	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S719	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S320	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S720	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S401	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S801	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S402	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S802	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S403	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S803	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S404	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S804	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S405	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S805	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S406	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S806	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S407	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S807	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S408	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S808	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S409	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S809	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S410	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S810	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S411	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S811	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S412	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S812	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S413	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S813	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S414	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S814	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S415	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S815	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S416	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S816	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S417	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S817	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S418	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S818	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S419	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S819	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S420	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S820	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓

4.4.4.2 Tepe noktası yatay yerdeğiştirmelerinin karşılaştırılması

a) Zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analiz sonucunda yedi farklı deprem yer hareketinden elde edilen tepe yatay yerdeğiştirmeleri Şekil 4.26'da topluca gösterilmiştir. Bu yerdeğiştirme değerlerinin maksimumları ve maksimum değerlerin ortalaması Çizelge 4.30'da görülmektedir. Buna göre ortalama yatay yerdeğiştirme istemi 0.230 m olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.26 : TSM-2'de tepe noktası yatay yerdeğiştirmeleri.

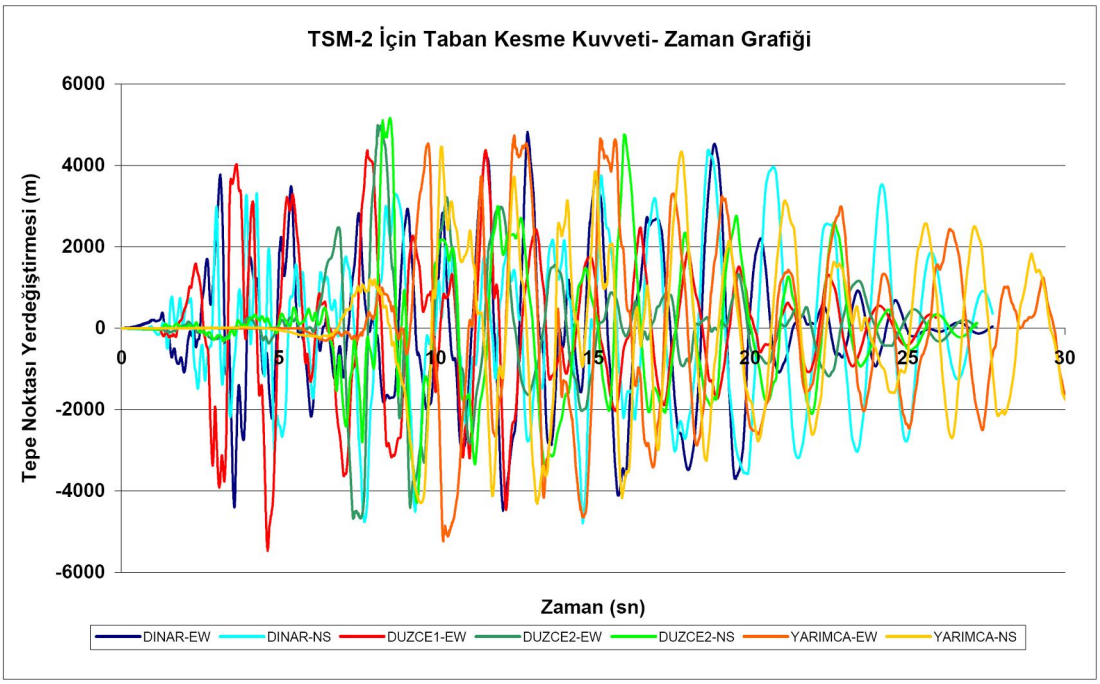
Çizelge 4.30 : TSM-2'de maksimum tepe noktası yerdeğiştirmeleri ve ortalaması.

DINAR-EW	DINAR-NS	DUZCE1-EW	DUZCE2-EW	DUZCE2-NS	YARIMCA-EW	YARIMCA-NS	ORTALAMA
u_{max}	u_{max}	u_{max}	u_{max}	u_{max}	u_{max}	u_{max}	u_{ort}
m	m	m	m	m	m	m	m
0.185	0.209	0.192	0.295	0.258	0.317	0.155	**0.230**

b) Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile yapılan analizde TSM-2 için tepe noktası yatay yerdeğiştirme istemi 0.205 m olarak elde edilmiştir.

4.4.4.3 Taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması

a) Zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analiz sonucunda yedi farklı deprem yer hareketinden elde edilen taban kesme kuvvetleri Şekil 4.27'de gösterilmiştir. Bu taban kesme kuvveti değerlerinin maksimumları ve maksimum değerlerin ortalaması Çizelge 4.31'de gösterilmiştir. Buna göre maksimum taban kesme kuvvetleri ortalaması 4990 kN değerini alır.

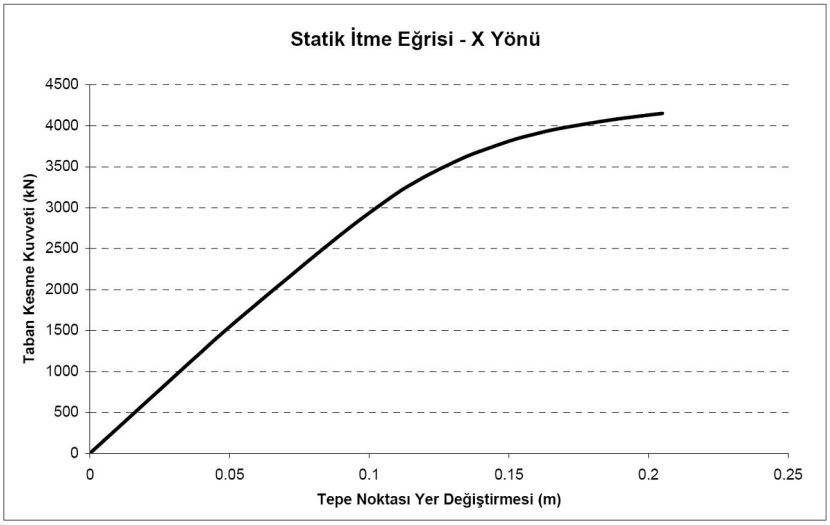


Şekil 4.27 : TSM-2'de taban kesme kuvveti değerleri.

Çizelge 4.31 : TSM-2'de maksimum taban kesme kuvveti değerleri ve ortalaması.

DINAR-EW	DINAR-NS	DUZCE1-EW	DUZCE2-EW	DUZCE2-NS	YARIMCA-EW	YARIMCA-NS	ORTALAMA
F_{max}	F_{max}	F_{max}	F_{max}	F_{max}	F_{max}	F_{max}	F_{max}
kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN
4826.3	4794.7	5467.4	4986.7	5164.8	5230.1	4460.2	**4990.0**

b) Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile yapılan analizde TSM-2 için hedef yerdeğiştirmeye karşı gelen taban kesme kuvveti istemi 4152 kN olarak bulunmuştur. Sistemin bulunan hedef yerdeğiştirmeye kadar itilmesi ile elde edilen statik itme eğrisi Şekil 4.28'de gösterilmiştir.



Şekil 4.28 : TSM-2 statik itme eğrisi.

4.5 TSM-1 İçin Performans Değerlendirmesi ve Karşılaştırmalar

TSM-1 taşıyıcı sistem modeli, sayısal incelemeler için seçilen taşıyıcı sistemin, burulma düzensizliği katsayısı η_{bi}=1.2 olacak şekilde düzenlenmiş şeklidir.

4.5.1 Eleman hasar bölgelerinin karşılaştırılması

Sistem kirişleri için hasar bölgelerinin karşılaştırması Çizelge 4.32'de verilmiştir.

Çizelge 4.32 : TSM-1'de kirişlerin eleman hasar bölgelerinin karşılaştırılması.

Kiriş Adı	Artımsal Eşdeğer Dep. Y.	Zaman Tanım Alanında Analiz		Kiriş Adı	Artımsal Eşdeğer Dep. Y.	Zaman Tanım Alanında Analiz		Kiriş Adı	Artımsal Eşdeğer Dep. Y.	Zaman Tanım Alanında Analiz		Kiriş Adı	Artımsal Eşdeğer Dep. Y.	Zaman Tanım Alanında Analiz	
K101	BHB	BHB	✓	K301	BHB	BHB	✓	K501	BHB	BHB	✓	K701	MHB	MHB	✓
K102	BHB	BHB	✓	K302	BHB	BHB	✓	K502	BHB	BHB	✓	K702	MHB	MHB	✓
K103	BHB	BHB	✓	K303	BHB	BHB	✓	K503	BHB	BHB	✓	K703	MHB	MHB	✓
K104	BHB	BHB	✓	K304	BHB	BHB	✓	K504	BHB	BHB	✓	K704	MHB	MHB	✓
K105	BHB	BHB	✓	K305	BHB	BHB	✓	K505	BHB	BHB	✓	K705	MHB	MHB	✓
K106	BHB	BHB	✓	K306	BHB	BHB	✓	K506	BHB	BHB	✓	K706	MHB	MHB	✓
K107	BHB	BHB	✓	K307	BHB	BHB	✓	K507	BHB	BHB	✓	K707	MHB	MHB	✓
K108-9	BHB	İHB	×	K308-9	BHB	İHB	×	K508-9	BHB	BHB	✓	K708-9	MHB	MHB	✓
K110	BHB	BHB	✓	K310	BHB	BHB	✓	K510	BHB	BHB	✓	K710	MHB	MHB	✓
K111	BHB	BHB	✓	K311	BHB	BHB	✓	K511	BHB	BHB	✓	K711	MHB	MHB	✓
K112	BHB	BHB	✓	K312	BHB	BHB	✓	K512	BHB	BHB	✓	K712	MHB	MHB	✓
K113	BHB	BHB	✓	K313	BHB	BHB	✓	K513	BHB	BHB	✓	K713	MHB	MHB	✓
K114	BHB	BHB	✓	K314	BHB	BHB	✓	K514	BHB	BHB	✓	K714	MHB	MHB	✓
K115	BHB	BHB	✓	K315	BHB	BHB	✓	K515	BHB	BHB	✓	K715	MHB	MHB	✓
K116	BHB	BHB	✓	K316	BHB	BHB	✓	K516	BHB	BHB	✓	K716	MHB	MHB	✓
K117	MHB	MHB	✓	K317	MHB	MHB	✓	K517	MHB	MHB	✓	K717	MHB	MHB	✓
K118	MHB	MHB	✓	K318	MHB	MHB	✓	K518	MHB	MHB	✓	K718	MHB	MHB	✓
K119	MHB	MHB	✓	K319	MHB	MHB	✓	K519	MHB	MHB	✓	K719	MHB	MHB	✓
K120	MHB	MHB	✓	K320	MHB	MHB	✓	K520	MHB	MHB	✓	K720	MHB	MHB	✓
K121	MHB	MHB	✓	K321	MHB	MHB	✓	K521	MHB	MHB	✓	K721	MHB	MHB	✓
K122	MHB	MHB	✓	K322	MHB	MHB	✓	K522	MHB	MHB	✓	K722	MHB	MHB	✓
K123	MHB	MHB	✓	K323	MHB	MHB	✓	K523	MHB	MHB	✓	K723	MHB	MHB	✓
K124	MHB	MHB	✓	K324	MHB	MHB	✓	K524	MHB	MHB	✓	K724	MHB	MHB	✓
K125	MHB	MHB	✓	K325	MHB	MHB	✓	K525	MHB	MHB	✓	K725	MHB	MHB	✓
K126	MHB	MHB	✓	K326	MHB	MHB	✓	K526	MHB	MHB	✓	K726	MHB	MHB	✓
K127	MHB	MHB	✓	K327	MHB	MHB	✓	K527	MHB	MHB	✓	K727	MHB	MHB	✓
K128	MHB	MHB	✓	K328	MHB	MHB	✓	K528	MHB	MHB	✓	K728	MHB	MHB	✓
K129	MHB	MHB	✓	K329	MHB	MHB	✓	K529	MHB	MHB	✓	K729	MHB	MHB	✓
K130	MHB	MHB	✓	K330	MHB	MHB	✓	K530	MHB	MHB	✓	K730	MHB	MHB	✓
K131	MHB	MHB	✓	K331	MHB	MHB	✓	K531	MHB	MHB	✓	K731	MHB	MHB	✓
K132	MHB	MHB	✓	K332	MHB	MHB	✓	K532	MHB	MHB	✓	K732	MHB	MHB	✓
K201	BHB	BHB	✓	K401	BHB	BHB	✓	K601	MHB	MHB	✓	K801	MHB	MHB	✓
K202	BHB	BHB	✓	K402	BHB	BHB	✓	K602	MHB	MHB	✓	K802	MHB	MHB	✓
K203	BHB	BHB	✓	K403	BHB	BHB	✓	K603	MHB	MHB	✓	K803	MHB	MHB	✓
K204	BHB	BHB	✓	K404	BHB	BHB	✓	K604	MHB	MHB	✓	K804	MHB	MHB	✓
K205	BHB	BHB	✓	K405	BHB	BHB	✓	K605	MHB	MHB	✓	K805	MHB	MHB	✓
K206	BHB	BHB	✓	K406	BHB	BHB	✓	K606	MHB	MHB	✓	K806	MHB	MHB	✓
K207	BHB	BHB	✓	K407	BHB	BHB	✓	K607	MHB	MHB	✓	K807	MHB	MHB	✓
K208-9	BHB	İHB	×	K408-9	BHB	BHB	✓	K608-9	MHB	MHB	✓	K808-9	MHB	MHB	✓
K210	BHB	BHB	✓	K410	BHB	BHB	✓	K610	MHB	MHB	✓	K810	MHB	MHB	✓
K211	BHB	BHB	✓	K411	BHB	BHB	✓	K611	MHB	MHB	✓	K811	MHB	MHB	✓
K212	BHB	BHB	✓	K412	BHB	BHB	✓	K612	MHB	MHB	✓	K812	MHB	MHB	✓
K213	BHB	BHB	✓	K413	BHB	BHB	✓	K613	MHB	MHB	✓	K813	MHB	MHB	✓
K214	BHB	BHB	✓	K414	BHB	BHB	✓	K614	MHB	MHB	✓	K814	MHB	MHB	✓
K215	BHB	BHB	✓	K415	BHB	BHB	✓	K615	MHB	MHB	✓	K815	MHB	MHB	✓
K216	BHB	BHB	✓	K416	BHB	BHB	✓	K616	MHB	MHB	✓	K816	MHB	MHB	✓
K217	MHB	MHB	✓	K417	MHB	MHB	✓	K617	MHB	MHB	✓	K817	MHB	MHB	✓
K218	MHB	MHB	✓	K418	MHB	MHB	✓	K618	MHB	MHB	✓	K818	MHB	MHB	✓
K219	MHB	MHB	✓	K419	MHB	MHB	✓	K619	MHB	MHB	✓	K819	MHB	MHB	✓
K220	MHB	MHB	✓	K420	MHB	MHB	✓	K620	MHB	MHB	✓	K820	MHB	MHB	✓
K221	MHB	MHB	✓	K421	MHB	MHB	✓	K621	MHB	MHB	✓	K821	MHB	MHB	✓
K222	MHB	MHB	✓	K422	MHB	MHB	✓	K622	MHB	MHB	✓	K822	MHB	MHB	✓
K223	MHB	MHB	✓	K423	MHB	MHB	✓	K623	MHB	MHB	✓	K823	MHB	MHB	✓
K224	MHB	MHB	✓	K424	MHB	MHB	✓	K624	MHB	MHB	✓	K824	MHB	MHB	✓
K225	MHB	MHB	✓	K425	MHB	MHB	✓	K625	MHB	MHB	✓	K825	MHB	MHB	✓
K226	MHB	MHB	✓	K426	MHB	MHB	✓	K626	MHB	MHB	✓	K826	MHB	MHB	✓
K227	MHB	MHB	✓	K427	MHB	MHB	✓	K627	MHB	MHB	✓	K827	MHB	MHB	✓
K228	MHB	MHB	✓	K428	MHB	MHB	✓	K628	MHB	MHB	✓	K828	MHB	MHB	✓
K229	MHB	MHB	✓	K429	MHB	MHB	✓	K629	MHB	MHB	✓	K829	MHB	MHB	✓
K230	MHB	MHB	✓	K430	MHB	MHB	✓	K630	MHB	MHB	✓	K830	MHB	MHB	✓
K231	MHB	MHB	✓	K431	MHB	MHB	✓	K631	MHB	MHB	✓	K831	MHB	MHB	✓
K232	MHB	MHB	✓	K432	MHB	MHB	✓	K632	MHB	MHB	✓	K832	MHB	MHB	✓

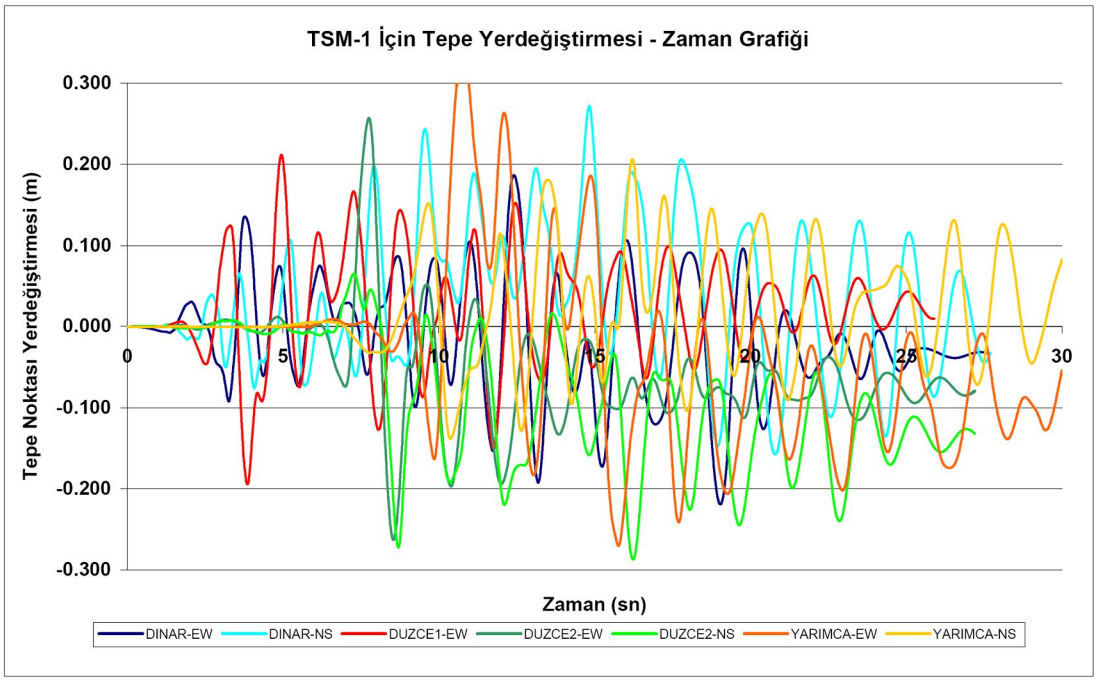
Sistem kolonları için hasar bölgelerinin karşılaştırması Çizelge 4.33'de verilmiştir.

Çizelge 4.33 : TSM-1'de kolonların eleman hasar bölgelerinin karşılaştırılması.

Kolon Adı	Deprem Doğrultusu			Depreme Dik Doğrultu			Kolon Adı	Deprem Doğrultusu			Depreme Dik Doğrultu		
	Artımsal Eşdeğer Dep. Y.	Zaman Tanım Alanında Hesap		Artımsal Eşdeğer Dep. Y.	Zaman Tanım Alanında Hesap			Artımsal Eşdeğer Dep. Y.	Zaman Tanım Alanında Hesap		Artımsal Eşdeğer Dep. Y.	Zaman Tanım Alanında Hesap	
S101	MHB	BHB	×	MHB	MHB	✓	S501	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S102	BHB	BHB	✓	MHB	MHB	✓	S502	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S103	BHB	BHB	✓	MHB	MHB	✓	S503	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S104	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S504	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S105	BHB	BHB	✓	MHB	MHB	✓	S505	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S106	MHB	BHB	×	MHB	MHB	✓	S506	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S107	MHB	BHB	×	MHB	MHB	✓	S507	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S108	BHB	BHB	✓	MHB	MHB	✓	S508	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S109	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S509	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S110	BHB	BHB	✓	MHB	MHB	✓	S510	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S111	BHB	BHB	✓	MHB	MHB	✓	S511	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S112	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S512	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S113	BHB	BHB	✓	MHB	MHB	✓	S513	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S114	MHB	BHB	×	MHB	MHB	✓	S514	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S115	MHB	BHB	×	MHB	MHB	✓	S515	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S116	BHB	BHB	✓	MHB	MHB	✓	S516	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S117	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S517	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S118	BHB	BHB	✓	MHB	MHB	✓	S518	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S119	BHB	BHB	✓	MHB	MHB	✓	S519	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S120	MHB	BHB	×	MHB	MHB	✓	S520	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S201	MHB	BHB	×	MHB	MHB	✓	S601	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S202	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S602	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S203	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S603	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S204	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S604	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S205	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S605	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S206	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S606	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S207	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S607	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S208	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S608	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S209	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S609	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S210	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S610	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S211	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S611	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S212	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S612	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S213	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S613	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S214	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S614	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S215	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S615	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S216	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S616	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S217	BHB	MHB	×	MHB	MHB	✓	S617	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S218	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S618	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S219	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S619	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S220	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S620	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S301	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S701	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S302	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S702	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S303	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S703	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S304	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S704	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S305	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S705	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S306	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S706	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S307	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S707	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S308	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S708	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S309	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S709	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S310	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S710	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S311	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S711	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S312	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S712	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S313	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S713	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S314	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S714	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S315	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S715	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S316	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S716	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S317	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S717	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S318	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S718	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S319	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S719	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S320	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S720	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S401	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S801	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S402	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S802	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S403	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S803	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S404	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S804	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S405	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S805	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S406	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S806	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S407	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S807	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S408	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S808	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S409	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S809	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S410	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S810	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S411	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S811	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S412	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S812	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S413	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S813	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S414	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S814	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S415	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S815	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S416	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S816	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S417	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S817	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S418	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S818	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S419	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S819	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S420	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S820	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓

4.5.2 Tepe noktası yatay yerdeğiştirmelerinin karşılaştırılması

a) Zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analiz sonucunda, yedi farklı deprem yer hareketinden elde edilen tepe yatay yerdeğiştirmeleri Şekil 4.29'da topluca gösterilmiştir. Bu yerdeğiştirme değerlerinin maksimumları ve maksimum değerlerin ortalaması Çizelge 4.34'de görülmektedir. Buna göre ortalama yatay yerdeğiştirme istemi 0.257 m olarak bulunur.



Şekil 4.29 : TSM-1'de tepe noktası yatay yerdeğiştirmeleri.

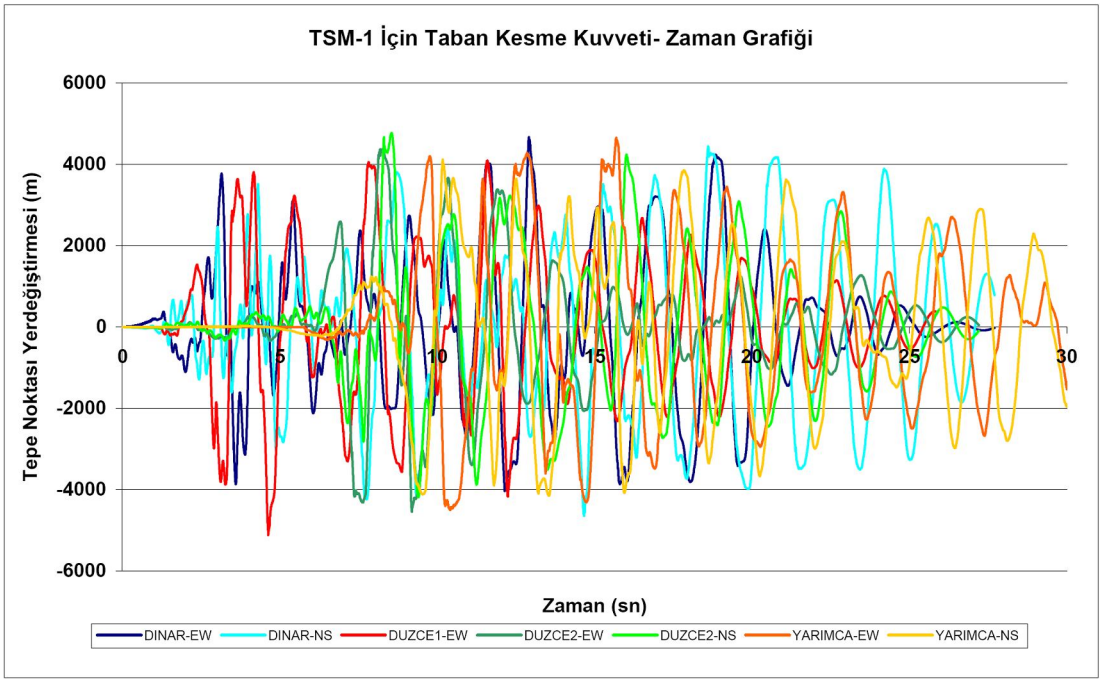
Çizelge 4.34 : TSM-1'de maksimum tepe noktası yerdeğiştirmeleri ve ortalaması.

DINAR-EW	DINAR-NS	DUZCE1-EW	DUZCE2-EW	DUZCE2-NS	YARIMCA-EW	YARIMCA-NS	ORTALAMA
u_{max}	u_{max}	u_{max}	u_{max}	u_{max}	u_{max}	u_{max}	u_{ort}
m	m	m	m	m	m	m	m
0.219	0.272	0.212	0.263	0.287	0.341	0.206	**0.257**

b) Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile yapılan analizde TSM-1 için tepe noktası yatay yerdeğiştirme istemi 0.26 m olarak elde edilmiştir.

4.5.3 Taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması

a) Zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analiz sonucunda yedi farklı deprem yer hareketinden elde edilen taban kesme kuvvetleri Şekil 4.30'da gösterilmiştir. Bu taban kesme kuvveti değerlerinin maksimumları ve maksimum değerlerin ortalaması Çizelge 4.35'de görülmektedir. Buna göre maksimum taban kesme kuvvetlerinin ortalaması 4651 kN değerini alır.

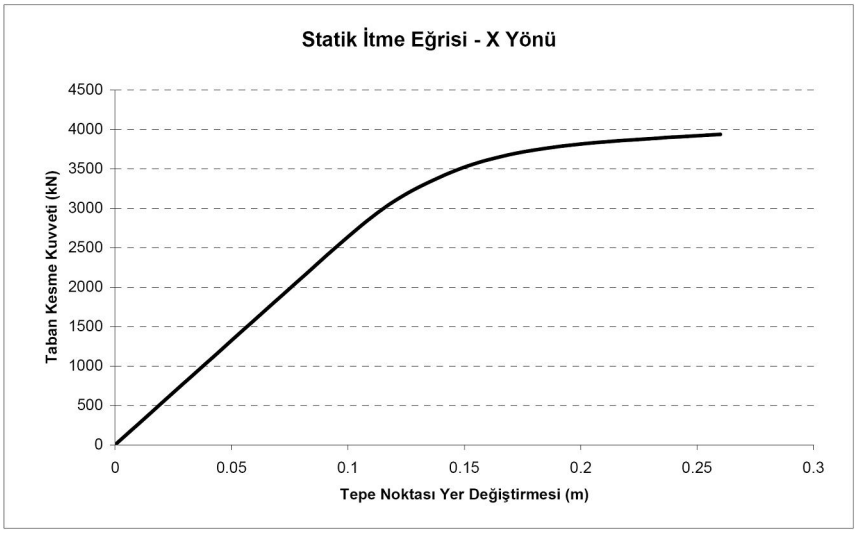


Şekil 4.30 : TSM-1'de taban kesme kuvveti değerleri.

Çizelge 4.35 : TSM-1'de maksimum taban kesme kuvveti değerleri ve ortalaması.

DINAR-EW	DINAR-NS	DUZCE1-EW	DUZCE2-EW	DUZCE2-NS	YARIMCA-EW	YARIMCA-NS	ORTALAMA
F_{max}	F_{max}	F_{max}	F_{max}	F_{max}	F_{max}	F_{max}	F_{max}
kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN
4675.2	4644.0	5120.2	4543.4	4770.4	4651.4	4152.7	**4651.0**

b) Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile yapılan analizde TSM-1 için hedef yerdeğiştirmeye karşı gelen taban kesme kuvveti istemi 3937 kN olarak bulunmuştur. Sistemin bulunan hedef yerdeğiştirmeye kadar itilmesi ile elde edilen statik itme eğrisi Şekil 4.31'de verilmiştir.



Şekil 4.31 : TSM-1 statik itme eğrisi.

4.6 TSM-3 İçin Performans Değerlendirmesi ve Karşılaştırmalar

TSM-3 taşıyıcı sistem modeli, sayısal incelemeler için seçilen taşıyıcı sistemin, burulma düzensizliği katsayısı η_{bi}=1.6 olacak şekilde düzenlenmiş şeklidir.

4.6.1 Eleman hasar bölgelerinin karşılaştırılması

Sistem kirişleri için hasar bölgelerinin karşılaştırması Çizelge 4.36 'da verilmiştir.

Çizelge 4.36 : TSM-3'de kirişlerin eleman hasar bölgelerinin karşılaştırılması.

Kiriş Adı	Artımsal Eşdeğer Dep. Y.	Zaman Tanım Alanında Analiz		Kiriş Adı	Artımsal Eşdeğer Dep. Y.	Zaman Tanım Alanında Analiz		Kiriş Adı	Artımsal Eşdeğer Dep. Y.	Zaman Tanım Alanında Analiz		Kiriş Adı	Artımsal Eşdeğer Dep. Y.	Zaman Tanım Alanında Analiz	
K101	MHB	BHB	×	K301	MHB	BHB	×	K501	MHB	BHB	×	K701	MHB	MHB	✓
K102	BHB	GB	×	K302	BHB	GB	×	K502	BHB	GB	×	K702	BHB	İHB	×
K103	MHB	MHB	✓	K303	MHB	BHB	×	K503	MHB	MHB	✓	K703	MHB	MHB	✓
K104	MHB	MHB	✓	K304	BHB	BHB	✓	K504	MHB	MHB	✓	K704	MHB	MHB	✓
K105	MHB	MHB	✓	K305	MHB	BHB	×	K505	MHB	MHB	✓	K705	MHB	MHB	✓
K106	MHB	BHB	×	K306	BHB	BHB	✓	K506	MHB	MHB	✓	K706	MHB	MHB	✓
K107	MHB	BHB	×	K307	BHB	BHB	✓	K507	MHB	MHB	✓	K707	MHB	MHB	✓
K108-9	MHB	MHB	✓	K308-9	BHB	BHB	✓	K508-9	BHB	BHB	✓	K708-9	MHB	MHB	✓
K110	MHB	BHB	×	K310	BHB	BHB	✓	K510	MHB	BHB	×	K710	MHB	MHB	✓
K111	BHB	BHB	✓	K311	BHB	BHB	✓	K511	BHB	BHB	✓	K711	MHB	MHB	✓
K112	MHB	BHB	×	K312	BHB	BHB	✓	K512	BHB	BHB	✓	K712	MHB	MHB	✓
K113	BHB	BHB	✓	K313	BHB	BHB	✓	K513	BHB	BHB	✓	K713	MHB	MHB	✓
K114	BHB	BHB	✓	K314	BHB	BHB	✓	K514	BHB	BHB	✓	K714	MHB	MHB	✓
K115	BHB	BHB	✓	K315	BHB	BHB	✓	K515	BHB	BHB	✓	K715	MHB	MHB	✓
K116	BHB	BHB	✓	K316	BHB	BHB	✓	K516	BHB	BHB	✓	K716	MHB	MHB	✓
K117	MHB	MHB	✓	K317	MHB	MHB	✓	K517	MHB	MHB	✓	K717	MHB	MHB	✓
K118	MHB	MHB	✓	K318	MHB	MHB	✓	K518	MHB	MHB	✓	K718	MHB	MHB	✓
K119	MHB	MHB	✓	K319	MHB	MHB	✓	K519	MHB	MHB	✓	K719	MHB	MHB	✓
K120	MHB	MHB	✓	K320	MHB	MHB	✓	K520	MHB	MHB	✓	K720	MHB	MHB	✓
K121	MHB	MHB	✓	K321	MHB	MHB	✓	K521	MHB	MHB	✓	K721	MHB	MHB	✓
K122	MHB	MHB	✓	K322	MHB	MHB	✓	K522	MHB	MHB	✓	K722	MHB	MHB	✓
K123	MHB	MHB	✓	K323	MHB	MHB	✓	K523	MHB	MHB	✓	K723	MHB	MHB	✓
K124	MHB	MHB	✓	K324	MHB	MHB	✓	K524	MHB	MHB	✓	K724	MHB	MHB	✓
K125	MHB	MHB	✓	K325	MHB	MHB	✓	K525	MHB	MHB	✓	K725	MHB	MHB	✓
K126	MHB	MHB	✓	K326	MHB	MHB	✓	K526	MHB	MHB	✓	K726	MHB	MHB	✓
K127	MHB	MHB	✓	K327	MHB	MHB	✓	K527	MHB	MHB	✓	K727	MHB	MHB	✓
K128	MHB	MHB	✓	K328	MHB	MHB	✓	K528	MHB	MHB	✓	K728	MHB	MHB	✓
K129	MHB	MHB	✓	K329	MHB	MHB	✓	K529	MHB	MHB	✓	K729	MHB	MHB	✓
K130	MHB	MHB	✓	K330	MHB	MHB	✓	K530	MHB	MHB	✓	K730	MHB	MHB	✓
K131	MHB	MHB	✓	K331	MHB	MHB	✓	K531	MHB	MHB	✓	K731	MHB	MHB	✓
K132	MHB	MHB	✓	K332	MHB	MHB	✓	K532	MHB	MHB	✓	K732	MHB	MHB	✓
K201	MHB	BHB	×	K401	MHB	BHB	×	K601	MHB	MHB	✓	K801	MHB	MHB	✓
K202	BHB	GB	×	K402	BHB	GB	×	K602	BHB	İHB	×	K802	BHB	BHB	✓
K203	MHB	BHB	×	K403	MHB	BHB	×	K603	MHB	MHB	✓	K803	MHB	MHB	✓
K204	MHB	BHB	×	K404	MHB	MHB	✓	K604	MHB	MHB	✓	K804	MHB	MHB	✓
K205	MHB	BHB	×	K405	MHB	MHB	✓	K605	MHB	MHB	✓	K805	MHB	MHB	✓
K206	MHB	BHB	×	K406	MHB	BHB	×	K606	MHB	MHB	✓	K806	MHB	MHB	✓
K207	BHB	BHB	✓	K407	BHB	BHB	✓	K607	MHB	MHB	✓	K807	MHB	MHB	✓
K208-9	BHB	BHB	✓	K408-9	MHB	MHB	✓	K608-9	MHB	MHB	✓	K808-9	MHB	MHB	✓
K210	BHB	BHB	✓	K410	BHB	BHB	✓	K610	MHB	MHB	✓	K810	MHB	MHB	✓
K211	BHB	BHB	✓	K411	BHB	BHB	✓	K611	MHB	MHB	✓	K811	MHB	MHB	✓
K212	BHB	BHB	✓	K412	MHB	BHB	×	K612	MHB	MHB	✓	K812	MHB	MHB	✓
K213	BHB	BHB	✓	K413	BHB	BHB	✓	K613	MHB	MHB	✓	K813	MHB	MHB	✓
K214	BHB	BHB	✓	K414	BHB	BHB	✓	K614	MHB	MHB	✓	K814	MHB	MHB	✓
K215	BHB	BHB	✓	K415	BHB	BHB	✓	K615	MHB	MHB	✓	K815	MHB	MHB	✓
K216	BHB	BHB	✓	K416	BHB	BHB	✓	K616	MHB	MHB	✓	K816	MHB	MHB	✓
K217	MHB	MHB	✓	K417	MHB	MHB	✓	K617	MHB	MHB	✓	K817	MHB	MHB	✓
K218	MHB	MHB	✓	K418	MHB	MHB	✓	K618	MHB	MHB	✓	K818	MHB	MHB	✓
K219	MHB	MHB	✓	K419	MHB	MHB	✓	K619	MHB	MHB	✓	K819	MHB	MHB	✓
K220	MHB	MHB	✓	K420	MHB	MHB	✓	K620	MHB	MHB	✓	K820	MHB	MHB	✓
K221	MHB	MHB	✓	K421	MHB	MHB	✓	K621	MHB	MHB	✓	K821	MHB	MHB	✓
K222	MHB	MHB	✓	K422	MHB	MHB	✓	K622	MHB	MHB	✓	K822	MHB	MHB	✓
K223	MHB	MHB	✓	K423	MHB	MHB	✓	K623	MHB	MHB	✓	K823	MHB	MHB	✓
K224	MHB	MHB	✓	K424	MHB	MHB	✓	K624	MHB	MHB	✓	K824	MHB	MHB	✓
K225	MHB	MHB	✓	K425	MHB	MHB	✓	K625	MHB	MHB	✓	K825	MHB	MHB	✓
K226	MHB	MHB	✓	K426	MHB	MHB	✓	K626	MHB	MHB	✓	K826	MHB	MHB	✓
K227	MHB	MHB	✓	K427	MHB	MHB	✓	K627	MHB	MHB	✓	K827	MHB	MHB	✓
K228	MHB	MHB	✓	K428	MHB	MHB	✓	K628	MHB	MHB	✓	K828	MHB	MHB	✓
K229	MHB	MHB	✓	K429	MHB	MHB	✓	K629	MHB	MHB	✓	K829	MHB	MHB	✓
K230	MHB	MHB	✓	K430	MHB	MHB	✓	K630	MHB	MHB	✓	K830	MHB	MHB	✓
K231	MHB	MHB	✓	K431	MHB	MHB	✓	K631	MHB	MHB	✓	K831	MHB	MHB	✓
K232	MHB	MHB	✓	K432	MHB	MHB	✓	K632	MHB	MHB	✓	K832	MHB	MHB	✓

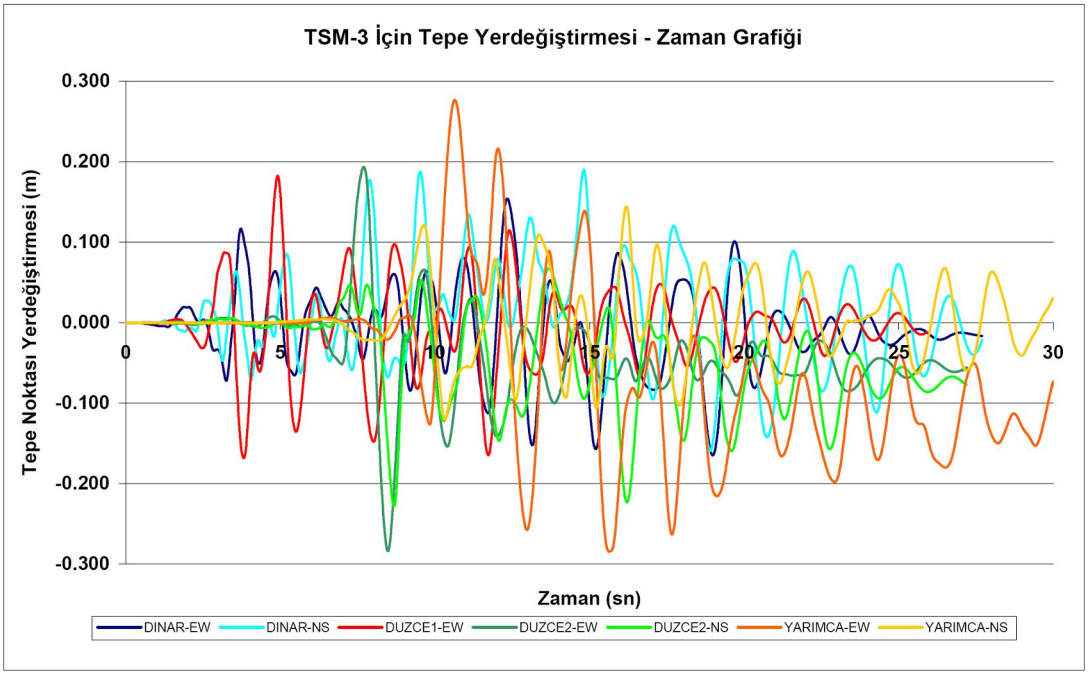
Sistem kolonları için hasar bölgelerinin karşılaştırması Çizelge 4.37'de verilmiştir.

Çizelge 4.37 : TSM-3'de kolonların eleman hasar bölgelerinin karşılaştırılması.

Kolon Adı	Deprem Doğrultusu			Depreme Dik Doğrultu			Kolon Adı	Deprem Doğrultusu			Depreme Dik Doğrultu		
	Artımsal Eşdeğer Dep. Y.	Zaman Tanım Alanında Hesap		Artımsal Eşdeğer Dep. Y.	Zaman Tanım Alanında Hesap			Artımsal Eşdeğer Dep. Y.	Zaman Tanım Alanında Hesap		Artımsal Eşdeğer Dep. Y.	Zaman Tanım Alanında Hesap	
S101	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S501	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S102	MHB	BHB	×	MHB	BHB	×	S502	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S103	MHB	BHB	×	MHB	BHB	×	S503	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S104	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S504	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S105	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S505	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S106	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S506	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S107	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S507	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S108	MHB	BHB	×	MHB	MHB	✓	S508	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S109	MHB	BHB	×	MHB	MHB	✓	S509	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S110	MHB	BHB	×	MHB	MHB	✓	S510	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S111	MHB	BHB	×	MHB	MHB	✓	S511	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S112	MHB	BHB	×	MHB	MHB	✓	S512	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S113	MHB	BHB	×	MHB	BHB	×	S513	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S114	MHB	BHB	×	MHB	MHB	✓	S514	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S115	MHB	BHB	×	MHB	MHB	✓	S515	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S116	BHB	BHB	✓	MHB	BHB	×	S516	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S117	MHB	BHB	×	MHB	BHB	×	S517	MHB	BHB	×	MHB	BHB	×
S118	BHB	BHB	✓	MHB	MHB	✓	S518	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S119	BHB	BHB	✓	MHB	MHB	✓	S519	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S120	MHB	BHB	×	MHB	BHB	×	S520	MHB	İHB	×	MHB	BHB	×
S201	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S601	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S202	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S602	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S203	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S603	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S204	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S604	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S205	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S605	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S206	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S606	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S207	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S607	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S208	MHB	MHB	✓	MHB	BHB	×	S608	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S209	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S609	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S210	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S610	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S211	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S611	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S212	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S612	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S213	MHB	BHB	×	MHB	BHB	×	S613	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S214	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S614	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S215	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S615	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S216	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S616	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S217	MHB	BHB	×	MHB	BHB	×	S617	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S218	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S618	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S219	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S619	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S220	MHB	BHB	×	MHB	MHB	✓	S620	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S301	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S701	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S302	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S702	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S303	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S703	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S304	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S704	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S305	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S705	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S306	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S706	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S307	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S707	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S308	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S708	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S309	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S709	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S310	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S710	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S311	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S711	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S312	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S712	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S313	MHB	MHB	✓	MHB	BHB	×	S713	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S314	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S714	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S315	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S715	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S316	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S716	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S317	MHB	BHB	×	MHB	BHB	×	S717	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S318	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S718	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S319	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S719	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S320	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S720	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S401	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S801	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S402	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S802	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S403	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S803	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S404	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S804	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S405	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S805	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S406	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S806	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S407	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S807	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S408	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S808	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S409	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S809	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S410	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S810	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S411	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S811	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S412	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S812	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S413	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S813	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S414	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S814	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S415	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S815	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S416	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S816	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S417	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S817	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S418	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S818	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S419	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S819	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓
S420	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓	S820	MHB	MHB	✓	MHB	MHB	✓

4.6.2 Tepe noktası yatay yerdeğiştirmelerinin karşılaştırılması

c) Zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analiz sonucunda, yedi farklı deprem yer hareketinden elde edilen tepe yatay yerdeğiştirmeleri Şekil 4.32'de topluca gösterilmiştir. Bu yerdeğiştirme değerlerinin maksimumları ve maksimum değerlerin ortalaması Çizelge 4.38'de görülmektedir. Buna göre ortalama yatay yerdeğiştirme istemi 0.211 m değerini almaktadır.



Şekil 4.32 : TSM-3'de tepe noktası yatay yerdeğiştirmeleri.

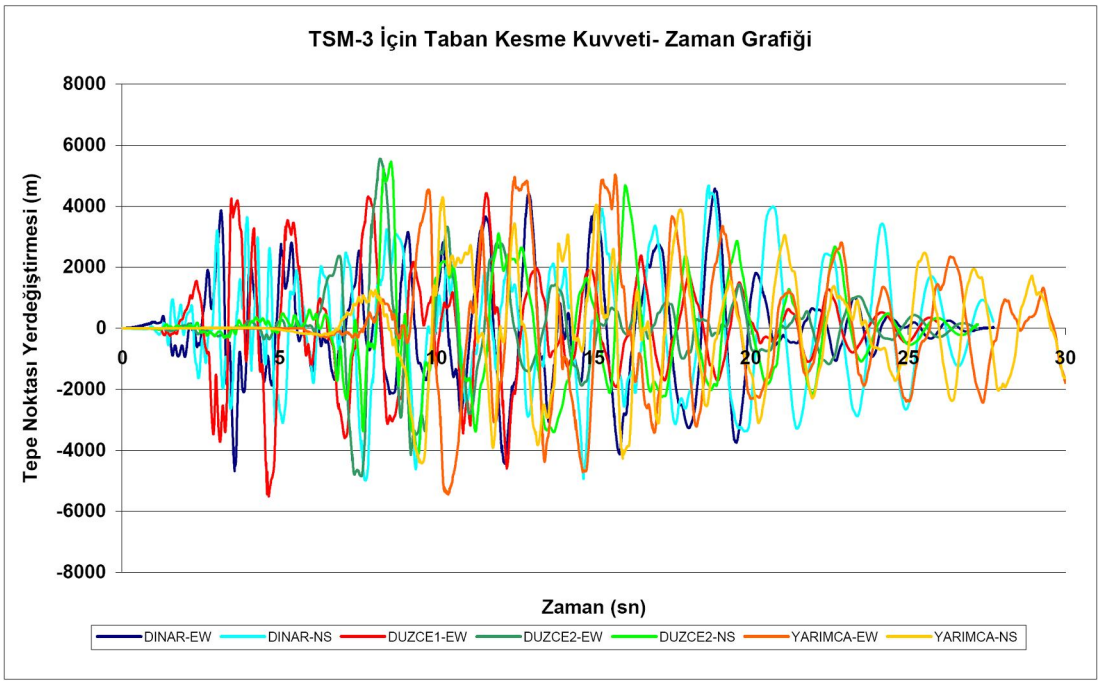
Çizelge 4.38 : TSM-3'de maksimum tepe noktası yerdeğiştirmeleri ve ortalaması.

DINAR-EW	DINAR-NS	DUZCE1-EW	DUZCE2-EW	DUZCE2-NS	YARIMCA-EW	YARIMCA-NS	ORTALAMA
u_{max}	u_{max}	u_{max}	u_{max}	u_{max}	u_{max}	u_{max}	u_{ort}
m	m	m	m	m	m	m	m
0.165	0.190	0.182	0.284	0.228	0.285	0.144	**0.211**

d) Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile yapılan analizde TSM-3 için tepe yatay yerdeğiştirme istemi 0.178 m olarak elde edilmiştir.

4.6.3 Taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması

c) Zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analiz sonucunda, yedi farklı deprem yer hareketinden elde edilen taban kesme kuvvetleri Şekil 4.33'de gösterilmiştir. Bu taban kesme kuvveti değerlerinin maksimumları ve maksimum değerlerin ortalaması Çizelge 4.39'da görülmektedir. Buna göre maksimum taban kesme kuvvetleri ortalaması 5150.6 kN değerini alır.

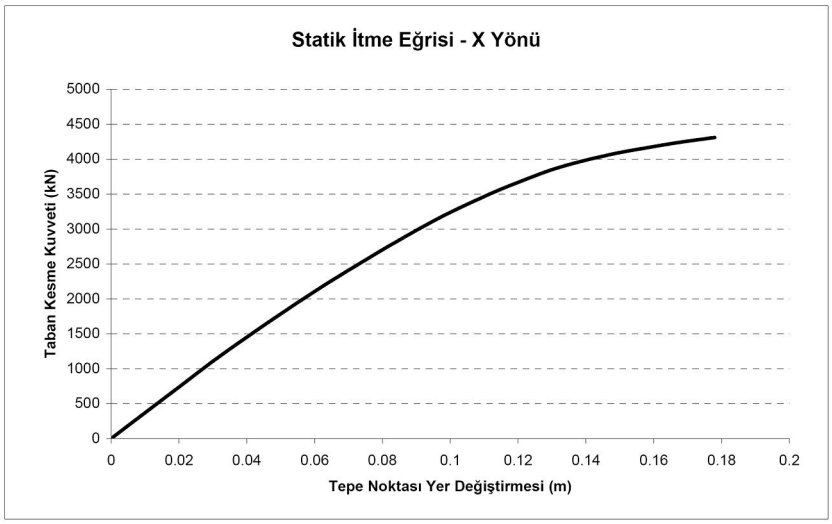


Şekil 4.33 : TSM-3'de taban kesme kuvveti değerleri.

Çizelge 4.39 : TSM-3'de maksimum taban kesme kuvveti değerleri ve ortalaması.

DINAR-EW	DINAR-NS	DUZCE1-EW	DUZCE2-EW	DUZCE2-NS	YARIMCA-EW	YARIMCA-NS	ORTALAMA
F_{max}	F_{max}	F_{max}	F_{max}	F_{max}	F_{max}	F_{max}	F_{max}
kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN
4671.0	4990.1	5514.4	5551.8	5456.5	5443.5	4426.7	**5150.6**

d) Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile yapılan analizde TSM-3 için hedef yerdeğiştirmeye karşı gelen taban kesme kuvveti istemi 4309 kN olarak bulunmuştur. Sistemin bulunan hedef yerdeğiştirmeye kadar itilmesi ile elde edilen statik itme eğrisi Şekil 4.34'de gösterilmiştir.



Şekil 4.34 : TSM-3 statik itme eğrisi.

4.7 Sayısal İncelemelere İlişkin Değerlendirmeler

Burulma düzensizliği katsayısı η_{bi}, 1.2, 1.4 ve 1.6 değerlerini alan betonarme taşıyıcı sistem modelleri üzerinde *Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi* ve *Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemi* uygulanarak gerçekleştirilen sayısal incelemelerde şu sonuçlara varılmıştır:

1 – Burulma düzensizliği katsayısı η_{bi}=1.2 olan TSM-1 taşıyıcı sistem modeli üzerinde yapılan sayısal incelemeler ve değerlendirmeler sonucunda, kirişler için eleman hasar bölgeleri karşılaştırıldığında, deprem doğrultusundaki 120 kirişin 3 tanesinde kullanılan analiz yöntemlerinin farklı sonuçlar verdiği, diğer bir deyişle, bu yöntemlerle farklı kesit hasar bölgeleri elde edildiği görülmektedir. Eğer sadece deprem doğrultusundaki kirişler gözönünde bulundurularak oranlama yapılacak olursa, iki farklı yöntemle bulunan sonuçların % 97.5'i uyum içinde olduğu görülür. Hasar bölgeleri uyumlu olan kirişlerin 72 tanesi belirgin hasar bölgesinde, 45 tanesi minimum hasar bölgesindedir. Sistemin ilk 5 katındaki kirişlerin tamamının, artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi sonucunda belirgin hasar bölgesinde bulunduğu, buna karşın sırasıyla 1. , 2. ve 3. katlardaki 3 kirişin zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap sonucunda ileri hasar bölgesine geçtiği görülmüştür. Dolayısıyla, zaman tanım alanında hesap yöntemi bu üç kiriş için daha elverişsiz bir durum ortaya koymuştur. Genel olarak değerlendirilecek olursa, alt katlarda her iki yöntemle bulunan sonuçlar genel olarak uyumlu olmakla beraber, zaman tanım alanında analiz daha olumsuz sonuçlar vermektedir. Üst katlarda ise iki yöntem arasında mutlak bir uyum görülmektedir. Deprem doğrultusuna dik olan kirişlerin tamamı her iki analiz yöntemi için minimum hasar bölgesinde bulunmaktadır. Bu durumda, deprem doğrultusuna dik doğrultuda her iki yöntem ile elde edilen kiriş kesit hasar bölgeleri % 100 uyum içindedir.

Kolonlar için belirlenen kesit hasar düzeylerinin karşılaştırılması, deprem doğrultusuna paralel doğrultuda çalışan kesitler için ve deprem doğrultusuna dik doğrultuda çalışan kesitler için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Deprem doğrultusuna paralel olarak çalışan kesitlerde eleman bazında yapılan karşılaştırma sonucunda 160 kolonun 8'inde, kullanılan analiz yöntemlerinin farklı sonuçlar verdiği görülmektedir. İki farklı yöntemle bulunan sonuçların %95'i uyum içindedir. Hasar bölgeleri uyum içinde olan kolonların 142 tanesi minimum hasar bölgesinde, 10

tanesi ise belirgin hasar bölgesindedir. Uyumsuzluk gösteren kolonların 7 tanesi 1. katta, 1 tanesi 2. katta bulunmaktadır. Diğer kat kolonlarında ise herhangi bir uyumsuzluk bulunmamaktadır. Uyumsuzluk görülen kolonların tamamı, artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile analiz sonucunda minimum hasar bölgesinde iken, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonucunda belirgin hasar bölgesine geçmiştir. Dolayısıyla, zaman tanım alanında hesap yönteminin bu sekiz kolon için daha elverişsiz sonuç verdiği görülmektedir. Deprem doğrultusuna dik doğrultuda çalışan kesitlerde eleman bazında yapılan karşılaştırma sonucunda tüm kolonlar minimum hasar bölgesinde bulunmaktadır ve sonuçlar %100 uyum içindedir.

TSM-1'de yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar bina tepe yatay yerdeğiştirmeleri açısından karşılaştırıldığında, artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile 0.260 m olarak bulunan bina tepe yatay yerdeğiştirmesi, zaman tanım alanında yapılan analizde ortalama 0.257 m değerini almaktadır. Farklı iki yöntemle bulunan sonuçların % 99 oranında uyumlu olduğu görülmektedir.

TSM-1'de uygulanan farklı analizlerden elde edilen sonuçlar taban kesme kuvvetleri açısından karşılaştırıldığında, artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile 3937 kN olarak bulunan taban kesme kuvveti, zaman tanım alanında yapılan analizde ortalama 4651 kN değerini almaktadır. Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile elde edilen taban kesme kuvveti, zaman tanım alanında yapılan analiz sonucunda elde edilen taban kesme kuvveti değerinin %85'i dolayındadır.

2 – Burulma düzensizliği η_{bi}=1.4 olan TSM-2 taşıyıcı sistem modeli üzerinde yapılan sayısal incelemeler ve değerlendirmeler sonucunda, kirişler için eleman hasar bölgeleri karşılaştırıldığında, deprem doğrultusundaki 120 kirişin 12'sinde kullanılan analiz yöntemlerinin farklı sonuçlar verdiği görülmektedir. Eğer sadece deprem hesabı yapılan doğrultudaki kirişler gözönünde bulundurularak oranlama yapılacak olursa, iki farklı yöntemle bulunan sonuçların %90'ı uyum içindedir. Hasar bölgeleri uyum içinde olan kirişlerin 63'ü belirgin hasar bölgesinde, 45'i minimum hasar bölgesindedir. Sistemin ilk katındaki uyumsuzluk gösteren 6 kiriş, itme analizi sonucunda minimum hasar bölgesindeyken, zaman tanım alanında analiz sonucunda belirgin hasar bölgesine geçmiştir. Geriye kalan ve uyumlu olan kirişlerin ise, her iki analiz sonucunda da, 8'i belirgin, 6'sı minimum hasar bölgesinde bulunmaktadır. 2. ve 3. katların her birinde, ikişer kiriş dışında, her iki analiz sonucunda da belirgin hasar bölgeleri elde edilmiştir. Her iki katta da uyumsuzluk görülen ikişer kirişten

birisi zaman tanım alanında hesap sonucunda ileri hasar bölgesine, diğeri ise göçme bölgesine geçmiştir. 4. katta da her iki analiz sonucunda bir kiriş dışında kesit hasar bölgeleri belirgin hasar bölgesi olarak elde edilmiştir. Uyumsuzluk görülen kirişte ise zaman tanım alanında göçme bölgesine geçilmiştir. 5. kattaki 14 kiriş her iki hesap sonucunda da belirgin hasar bölgesinde, 1 kiriş ise her iki hesap sonucunda da minimum hasar bölgesinde kalarak uyumluluk göstermiştir. Uyumsuzluk görülen tek kirişte ise diğer katlardakinden farklı olarak itme analizi sonucunda belirgin hasar bölgesi, zaman tanım alanında ise minimum hasar bölgesi elde edilmiştir. 6. ve 7. katlarda 1'er kiriş her iki hesap sonucunda da belirgin hasar bölgesinde, geriye kalan kirişler ise her iki hesap sonucunda da minimum hasar bölgesinde bulunarak uyumluluk göstermişlerdir. Genel olarak değerlendirilecek olursa, sistem genelinde en alt katlarda uyumsuzluk daha fazladır ve zaman tanım alanında hesap sonucunda daha ileri hasar bölgeleri elde edilmiştir. Üst katlarda ise uyum oranı daha fazladır ve statik itme analizi daha ileri hasar bölgeleri vermektedir. Deprem doğrultusuna dik doğrultuda olan kirişlerin tamamı her iki analiz yöntemi için minimum hasar bölgesinde bulunmaktadır. Bu yüzden deprem doğrultusuna dik doğrultuda her iki yöntem ile elde edilen kiriş eleman hasar bölgelerinin %100 uyum içinde olduğu söylenebilir.

Kolonlarda, deprem doğrultusuna paralel olarak çalışan kesitlerde, eleman bazında yapılan karşılaştırma sonucunda, 160 kolonun 17'sinde kullanılan analiz yöntemlerinin farklı sonuçlar verdiği görülmektedir. Buna göre, iki farklı yöntemle bulunan sonuçların %89'u uyum içindedir. Hasar bölgeleri uyumlu olan kolonların, her iki analiz sonucunda da 141 tanesi minimum hasar bölgesinde, 2 tanesi belirgin hasar bölgesinde bulunmaktadır. Farklı hasar bölgeleri elde edilen kolonların 10 tanesi 1. katta olup bu kolonların 8 tanesi itme analizi sonucunda minimum hasar bölgesinde bulunurken zaman tanım alanında analiz sonucunda belirgin hasar bölgesine geçmiştir. Diğer iki kolon ise, iki analiz sonucunda, sırasıyla belirgin hasar bölgesine karşın ileri hasar bölgesi ve minimum hasar bölgesine karşın göçme bölgesi şeklinde farklılıklar göstermiştir. 2. kat kolonlarının 4 tanesi ve 3. kat kolonlarının bir tanesi, itme analizi sonucunda minimum hasar bölgesinde bulunurken, zaman tanım alanında hesap sonucunda belirgin hasar bölgesine geçmiştir. Bu katlardaki diğer kolonlar ile 4. kattaki tüm kolonlar ise her iki analiz sonucunda da minimum hasar bölgesinde bulunmaktadır. 5. ve 6. katlarda sadece bir

kolon itme analizi sonucunda minimum hasar bölgesinde bulunurken, zaman tanım alanında hesap sonucunda belirgin hasar bölgesine geçmiştir. 7. ve 8. kat kolonları her iki analiz sonucunda da minimum hasar bölgesinde bulunmaktadır. Genel olarak değerlendirilecek olursa, deprem doğrultusunda çalışan kesitlerde sadece alt katta ileri hasar düzeyleri görülmekte, buna karşın zaman tanım alanında hesap sonucunda ilk iki katta daha yoğun olmak üzere, tüm katlarda hasar bölgelerinin belirginleştiği gözlenmektedir. Sadece son iki katta her iki yöntem ile elde edilen sonuçlar %100 uyum içerisindedir. Görüldüğü gibi, zaman tanım alanında analiz yapı genelinde daha elverişsiz sonuç vermektedir. Deprem doğrultusuna dik olarak çalışan kesitlerde eleman bazında yapılan karşılaştırma sonucunda 160 kolonun 10'unda, uygulanan farklı analiz yöntemlerinin farklı sonuçlar verdiği görülmektedir. İki farklı yöntemle bulunan sonuçların %94'ü uyum içindedir. Hasar bölgeleri uyum içinde olan kolonların tamamı minimum hasar bölgesindedir. Farklılık gösteren kolonlar ise itme analizi sonucunda minimum hasar bölgesinde bulunurken, zaman tanım alanında hesap sonucunda belirgin hasar bölgesine geçmiştir. Bu şekilde farklılık gösteren kirişlerin 6'sı 1. katta, 2'si 2. katta ve birer tanesi de sırasıyla 3. ve 5. katlarda bulunmaktadır. Genel olarak, zaman tanım alanında analiz özellikle alt katlarda statik itme analizine göre daha elverişsiz sonuçlar vermektedir. 2. katın üzerindeki katlarda ise iki yöntem arasındaki uyum oldukça artmakta ve sayısal olarak bu oran %98 olarak elde edilmektedir.

TSM-2'de yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar bina tepe yatay yerdeğiştirmeleri açısından karşılaştırıldığında, artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile 0.205 m olarak elde edilen bina tepe yatay yerdeğiştirmesi, zaman tanım alanında yapılan analizde ortalama 0.23 m değerini almaktadır. Farklı iki yöntemle bulunan sonuçların %89 oranında uyumlu olduğu görülmektedir.

TSM-2'de yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar taban kesme kuvvetleri açısından karşılaştırıldığında, artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile 4152 kN olarak bulunan taban kesme kuvveti, zaman tanım alanında yapılan analizde ortalama 4990 kN değerini almaktadır. Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile elde edilen taban kesme kuvveti, zaman tanım alanında yapılan analiz sonucunda elde edilen taban kesme kuvvetinin %83'ü dolaylarındadır.

3 – Burulma düzensizliği η_{bi}=1.6 olan TSM-3 taşıyıcı sistem modeli üzerinde yapılan sayısal incelemeler ve değerlendirmeler sonucunda, kirişler için eleman hasar

bölgeleri karşılaştırıldığında, deprem doğrultusundaki 120 kirişin 26'sında kullanılan farklı analiz yöntemlerinin farklı sonuçlar verdiği görülmektedir. Eğer sadece deprem hesabı yapılan doğrultudaki kirişler göz önünde bulundurularak oranlama yapılacak olursa, iki farklı yöntemle bulunan sonuçların %78'i uyum içindedir. Hasar bölgeleri uyum içinde olan kirişlerin 40'ı belirgin hasar bölgesinde, 54'ü minimum hasar bölgesindedir. Sistemin ilk katındaki uyumsuzluk gösteren 6 kirişten 5'i, itme analizi sonucunda minimum hasar bölgesindeyken, zaman tanım alanında analizde belirgin hasar bölgesine geçmiştir. Son kiriş ise itme analizi sonucunda belirgin hasar bölgesindeyken, zaman tanım alanında analiz sonucunda göçme bölgesine geçmiştir. Geriye kalan ve uyumluluk gösteren kirişlerin ise, her iki analiz sonucunda da, 5'i belirgin, 4'ü minimum hasar bölgesinde bulunmaktadır. Sistemin 2. katında, farklılık gösteren kirişlerin sayıları ve hasar bölgeleri 1. kattakiler ile aynıdır. Uyumlu kirişler ise, 1. kattakinden farklı olarak her iki analiz sonucunda da belirgin hasar bölgesinde bulunmaktadırlar. 3. katta uyumsuzluk gösteren 4 kirişten 3'ü itme analizi sonucunda minimum hasar bölgesindeyken, zaman tanım alanında analizde belirgin hasar bölgesine geçmiştir. Son kirişin ise, itme analizi sonucunda belirgin hasar bölgesinden zaman tanım alanında analiz sonucunda göçme bölgesine geçtiği belirlenmiştir. Geriye kalan ve kesit hasar bölgeleri uyumlu olan kirişlerin ise tamamı her iki analiz sonucunda da belirgin hasar bölgesinde bulunmaktadır. Sistemin 4. katında, kesit hasar bölgeleri farklılık gösteren 5 kirişten 4'ü, itme analizi sonucunda minimum hasar bölgesindeyken, zaman tanım alanında analizde belirgin hasar bölgesine geçmiştir. Son kiriş ise itme analizi sonucunda belirgin hasar bölgesindeyken, zaman tanım alanında analiz sonucunda göçme bölgesine geçmiştir. Geriye kalan ve kesit hasar bölgeleri uyumlu olan kirişlerin ise, her iki analiz sonucunda da, 7'si belirgin, 3'ü minimum hasar bölgesinde bulunmaktadır. 5. katta, uyumsuzluk gösteren 3 kirişten 2'si itme analizi sonucunda minimum hasar bölgesindeyken, zaman tanım alanında analizde belirgin hasar bölgesine geçmiştir. Son kiriş ise itme analizi sonucunda belirgin hasar bölgesindeyken, zaman tanım alanında analiz sonucunda göçme bölgesine geçmiştir. Geriye kalan ve uyumluluk gösteren kirişlerin ise, her iki analiz sonucunda da, 7'si belirgin, 5'i minimum hasar bölgesinde bulunmaktadır. 6. ve 7. katlarda sadece birer kiriş için farklı kesit hasar bölgesi elde edilmiştir ve bu kirişler statik itme analizi sonucunda belirgin hasar bölgesindeyken, zaman tanım alanında anakliz sonucunda ileri hasar bölgesine geçmektedirler. Geriye kalan ve kesit hasar bölgeleri uyumluluk gösteren kirişlerin

tamamı, her iki analiz sonucunda da minimum hasar bölgesinde bulunmaktadırlar. 8. en üst katta uyumsuzluk gösteren kiriş bulunmamaktadır. Hasar bölgeleri aynı olan kirişlerin ise, her iki analiz sonucunda da, 1'i belirgin, 14'ü minimum hasar bölgesinde bulunmaktadır. Genel olarak değerlendirildiğinde, sistem genelinde alt katlarda uyumsuzluk daha fazladır ve buna ek olarak zaman tanım alanında hesap sonucunda daha ileri hasar bölgeleri elde edilmiştir. Üst katlarda ise uyumluluk oranı sistemin ilk iki katına göre daha yüksek, ancak diğer taşıyıcı sistem modelleri için bulunan çözümlerin sonuçları ile karşılaştırıldığında daha düşüktür. Deprem doğrultusuna dik olan kirişlerin tamamı her iki analiz yöntemi için minimum hasar bölgesinde bulunmaktadır. Bu yüzden deprem doğrultusuna dik doğrultuda her iki yöntem ile elde edilen kiriş eleman hasar bölgeleri %100 uyum içindedir.

Kolonlarda, deprem doğrultusuna paralel olarak çalışan kesitlerde, eleman bazında yapılan karşılaştırma sonucunda 160 kolonun 18'inde, kullanılan analiz yöntemlerinin farklı sonuçlar verdiği görülmektedir. Buna göre, iki farklı yöntemle bulunan sonuçların %88'i uyum içindedir. Hasar bölgeleri aynı olan kolonların, her iki analiz sonucunda da, 139 tanesi minimum hasar bölgesinde, 3 tanesi ise belirgin hasar bölgesinde bulunmaktadır. Uyumsuzluk gösteren kolonların 12 tanesi 1. katta olup, bu kolonların tamamı, itme analizi sonucunda minimum hasar bölgesinde bulunurken zaman tanım alanında analiz sonucunda belirgin hasar bölgesine geçmiştir. Kesit hasar bölgeleri uyumlu olan kolonların ise, her iki analiz sonucunda da, 3'ü belirgin, 5'i minimum hasar bölgesinde bulunmaktadır. 2. kat kolonlarının 3'ü itme analizi sonucunda minimum hasar bölgesinde bulunurken, zaman tanım alanından hesap sonucunda belirgin hasar bölgesine geçmek suretiyle farklılık göstermişlerdir. Bu kattaki diğer kolonlar ise her iki analiz sonucunda da minimum hasar bölgesine bulunmaktadır. 3. kat kolonlarının 1'i itme analizi sonucunda minimum hasar bölgesinde bulunurken, zaman tanım alanından hesap sonucunda belirgin hasar bölgesine geçmek suretiyle farklılık göstermişlerdir. Bu kattaki diğer kolonlar ise her iki analiz sonucunda da minimum hasar bölgesine bulunmaktadır. 4., 6., 7. ve 8. katlardaki tüm kolonlar her iki analiz sonucunda da minimum hasar bölgesinde yer almaktadırlar. 5. kat kolonlarından ikisi, sırasıyla, belirgin hasar bölgesine karşın ileri hasar bölgesinde ve minimum hasar bölgesine karşın göçme bölgesinde yer alarak farklılık göstermişlerdir. Diğer kolonlar ise, her iki analiz sonucunda da minimum hasar bölgesinde bulunmaktadırlar. Genel olarak

değerlendirildiğinde, statik itme analizinde sadece en alt katta ileri hasar düzeyleri görülmektedir. Buna karşın, zaman tanım alanında analiz sonucunda, en üst üç kat haricinde ileri hasar düzeyleri belirlenmiştir. Deprem doğrultusuna dik olarak çalışan kesitlerde eleman bazında yapılan karşılaştırma sonucunda 160 kolonun 13'ünde, kullanılan analiz yöntemlerinin farklı sonuçlar verdiği görülmektedir. İki farklı yöntemle bulunan sonuçların %92'si uyum içindedir. Hasar bölgeleri uyum içinde olan kolonların tamamı minimum hasar bölgesindedir. Uyumsuzluk gösteren kolonlar ise, itme analizi sonucunda minimum hasar bölgesinde bulunurken, zaman tanım alanında hesap sonucunda belirgin hasar bölgesine geçmektedir. Bu şekilde uyumsuzluk gösteren kirişlerin 6'sı 1. katta, 3'ü 2. katta ve ikişer tanesi de sırasıyla 3. ve 5. katlarda bulunmaktadır. Genel olarak, zaman tanım alanında analiz özellikle alt katlarda statik itme analizine oranla daha ileri hasar bölgeleri vermektedir. 3. katın üzerindeki katlarda ise, iki yöntem arasındaki uyum oldukça artar ve sayısal olarak bu oran %98 olarak elde edilir.

TSM-3'te yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar bina tepe noktası yatay yerdeğiştirmeleri açısından karşılaştırıldığında, artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile 0.178 m olarak bulunan bina tepe yatay yerdeğiştirmesi, zaman tanım alanında yapılan analizde ortalama 0.211 m değerini almaktadır. Farklı iki yöntemle bulunan sonuçların oranının %84 olduğu görülmektedir.

TSM-3'te yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar taban kesme kuvvetleri açısından karşılaştırıldığında, artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile 4309 kN olarak bulunan taban kesme kuvveti, zaman tanım alanında yapılan analizde ortalama 5150.6 kN değerini almaktadır. Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile elde edilen taban kesme kuvveti, zaman tanım alanında yapılan analiz sonucunda elde edilen taban kesme kuvveti değerinin %84'ü oranındadır.

4 - Farklı burulma düzensizliklerine sahip olan taşıyıcı sistem modelleri üzerinde gerçekleştirilen sayısal incelemelerin sonuçları üzerindeki genel değerlendirmeler aşağıda sıralanmıştır.

a. Tepe noktası yatay yerdeğiştirmeleri açısından değerlendirildiğinde, burulma düzensizliği katsayısı 1.2 ve 1.4 olan taşıyıcı sistem modellerinde farklı yöntemler ile elde edilen sonuçların oldukça birbirine yakın olduğu, burulma

düzensizliği katsayısı 1.6 olan taşıyıcı sistem modelinde ise kabul edilebilir bir fark bulunduğu saptanmıştır.

b. Taban kesme kuvvetleri açısından yapılan değerlendirmede, artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile elde edilen değerlerin zaman tanım alanında analiz sonucunda bulunan sonuçların %85'i mertebesinde olduğu görülmüştür.

c. Kirişlerde eleman hasar bölgeleri açısından yapılan değerlendirmede, burulma düzensizliği 1.2 olan taşıyıcı sistem modelinin her iki analiz için de oldukça yakın sonuçlar verdiği görülmektedir. Burulma düzensizliği katsayısının 1.4 olduğu sistemde ise kirişler arasındaki hasar düzeyleri farkının gerek adet olarak, gerekse bölgeler arasındaki farklılıklar açısından kabul edilebilir düzeyde olduğu izlenmiştir. Burulma düzensizliği katsayısı 1.6 olan sistemde ise, uyumsuzluk gösteren kirişlerin sayısının ve bu kirişlerin hasar bölgeleri arasındaki sıçramaların fazla olduğu saptanmıştır. Bu farklılıklar özellikle perdeli sistemlerdeki bağ kirişlerinde görülmektedir ve zaman tanım alanında analiz ile daha ileri hasar bölgeleri elde edilmiştir. Kirişler için yapılan genel karşılaştırma Çizelge 4.40 üzerinde özetlenmiştir..

Çizelge 4.40 : Kirişler için karşılaştırma özet tablosu.

KAT	MHB-MHB			BHB-BHB			MHB-BHB			BHB-İHB			BHB-GB			BHB-MHB			Uyumlu kirişler %		
	TSM			TSM			TSM			TSM			TSM			TSM			TSM		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
8	15	15	14	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	100	100
7	15	14	14	-	1	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	100	93	93
6	15	14	14	-	1	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	100	93	93
5	-	1	5	15	13	7	-	-	2	-	-	-	-	-	1	-	1	-	100	93	80
4	-	-	3	15	14	7	-	-	4	-	-	-	-	1	1	-	-	-	100	93	67
3	-	-	-	14	13	11	-	-	3	1	1	-	-	1	1	-	-	-	93	87	73
2	-	-	-	14	13	9	-	-	5	1	1	-	-	1	1	-	-	-	93	87	60
1	-	1	4	14	8	5	-	6	5	1	-	-	-	-	1	-	-	-	93	60	60

d. Eleman hasar bölgeleri açısından kolonlar için yapılan değerlendirmede, burulma düzensizliği katsayısının 1.2 olduğu sistemde kolonlar için her iki farklı yöntem ile oldukça yakın sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Özellikle depreme dik doğrultudaki hasar bölgeleri %100 uyum içindedir. Ancak burulma düzensizliği 1.4 ve 1.6 olan sistemlerde, iki farklı analiz sonucunda elde edilen hasar bölgeleri arasında uyumsuzluklar bulunmaktadır. Deprem doğrultusunda alt katlarda ve orta katlarda zaman tanım alanında analiz

sonuçlarının elverişsiz olduğu görülmektedir. Depreme dik doğrultuda ise artımsal eşdeğer deprem yükü yönteminin hiçbir elemanda ileri hasar düzeyi vermediği, buna karşın zaman tanım alanında analiz sonucunda, bu doğrultudaki elemanlarda ileri hasar düzeylerinin görüldüğü saptanmıştır. Kolonların deprem doğrultusunda ve depreme dik doğrultudaki hasar bölgeleri değerlendirmelerinin özetleri sırasıyla Çizelge 4.41'de ve Çizelge 4.42'de verilmiştir.

Çizelge 4.41 : Kolonların deprem doğrultusundaki karşılaştırma tablosu.

KAT	MHB-MHB			BHB-BHB			MHB-BHB			BHB-İHB			MHB-GB			BHB-MHB			Uyumlu kolonlar %		
	TSM			TSM			TSM			TSM			TSM			TSM			TSM		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
8	20	20	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	100	100
7	20	20	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	100	100
6	20	19	20	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	95	100
5	20	19	18	-	-	-	-	1	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-	100	95	90
4	20	20	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	100	100
3	20	19	19	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	95	95
2	18	16	17	-	-		1	4	3	-	-	-	-	-	-	1	-	-	90	80	85
1	4	8	5	10	2	3	6	8	12	-	1	-	-	1	-	-	-	-	70	50	40

Çizelge 4.42 : Kolonların deprem doğrultusuna dik doğrultudaki karşılaştırması..

KAT	MHB-MHB			MHB-BHB			Uyumlu kolonlar %		
	TSM			TSM			TSM		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
8	20	20	20	-	-		100	100	100
7	20	20	20	-	-		100	100	100
6	20	20	20	-	-		100	100	100
5	20	19	18	-	-	2	100	95	90
4	20	20	20	-	-		100	100	100
3	20	19	18	-	-	2	100	95	90
2	20	18	17	-	-	3	100	90	85
1	20	14	14	-	-	6	100	70	70

e. Kütle katılımının burulma düzensizliği katsayısı 1.2 olan sistemde Türk Deprem Yönetmeliğinde öngörülen şartı sağladığı, diğer sistemlerde ise sağlamadığı görülmüştür, Çizelge 4.43

Çizelge 4.43 : Sistemlerin deprem doğrultusundaki kütle katılım oranları.

Sistem Adı	Küle Katılım Oranı %
TSM-1	77.7
TSM-2	58.7
TSM-3	50.0

f. Analizler sonucunda elde edilen sonuçlara genel olarak bakıldığında, zaman tanım alanında analiz yöntemi ile elde edilen sonuçların artımsal itme analizi sonucunda elde edilen sonuçlardan daha elverişsiz olduğu görülmektedir. Bu durumun sebeplerinden biri olarak, zaman tanım alanında analiz yönteminde kullanılan deprem kayıtlarının tepki spektrumlarının ortalamasının, sistemlerin 1. hakim modlarının bulunduğu aralıkta, yönetmelikte verilen tasarım spektrumunun üzerinde bulunması gösterilebilir. Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi yönetmelikteki tasarım spektrumunu esas alırken, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi kullanılan deprem kayıtlarının ortalama tepki spektrumlarını esas alır. Dolayısıyla bu iki spektrum arasındaki farkların sonuçlara yansıması beklenmelidir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, 2007 Türk Deprem Yönetmeliği kapsamında yer alan ve mevcut veya güçlendirilmiş binaların deprem performanslarının belirlenmesi amacıyla önerilen doğrusal elastik olmayan değerlendirme yöntemlerinden *Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi* ve *Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi*'nin farklı burulma düzensizliklerine sahip olan taşıyıcı sistem modelleri üzerinde karşılaştırılmasına yönelik olarak parametrik bir sayısal inceleme gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

Çalışmada, burulma düzensizliği katsayıları sırasıyla 1.2, 1.4 ve 1.6 olan üç farklı taşıyıcı sistem modeli oluşturulmuş, bu sistemlerin tümü 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'ne göre boyutlandırılmış ve tez kapsamında yer alan iki farklı doğrusal olmayan hesap yöntemi ile doğrusal olmayan davranışları ve eleman hasar düzeyleri incelenmiştir.

Böylece, bu çalışma ve benzeri sayısal çalışmaların sonuçlarına dayanarak, mevcut binaların veya yeni yapılacak binaların deprem performanslarının belirlenmesi amacıyla 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nde öngörülen doğrusal olmayan hesap yöntemlerinin birbirleri ile karşılaştırılarak irdelenmesi ve gerekli olan durumlarda yönetmelikte revizyon yapılması mümkün olabilmektedir.

Her iki yöntemin karşılaştırılmasında eleman hasar bölgelerinin, tepe noktası yerdeğiştirmelerinin ve taban kesme kuvvetlerinin esas alındığı sayısal incelemelerde varılan başlıca sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

1. 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nde önerilen doğrusal elastik olmayan yöntemlerden *Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi* ve *Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi* ile belirlenen eleman hasar bölgeleri ve tepe noktası yerdeğiştime istemleri, burulma düzensizliği katsayısı 1.2 olan taşıyıcı sistem modelinde birbirine büyük oranda yakın sonuçlar vermektedir.

2. Burulma düzensizliği katsayısı 1.4 ve 1.6 olan sistemler tepe noktası yerdeğiştirme istemleri açısından karşılaştırıldığında iki yöntem birbirine yakın sonuçlar vermektedir. Ancak karşılaştırma elaman hasar bölgeleri açısından yapıldığında, iki yöntem arasında farklılıklar göze çarpmaktadır. Bu durumda, 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nde artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi için verilen maksimum burulma düzensizliği katsayısı sınırının yeterli olduğu sonucuna varılabilmektedir

3. Hesabı yapılan deprem doğrultusuna dik doğrultuda eleman hasar bölgelerine ilişkin sonuçlar değerlendirildiğine, kirişlerde her iki yöntem ile elde edilen sonuçlar aynıdır. Ancak kolonlarda, burulma düzensizliği katsayısı 1.4 ve 1.6 olan sistemlerde artımsal eşdeğer deprem yükü ile bulunan eleman hasar bölgelerinin depreme dik doğrultuda yeterli doğrulukta olmadığı gözlenmiştir.

4. Her iki yöntemle bulunan eleman hasar bölgeleri karşılaştırıldığında, özellikle ilk katlarda zaman tanım alanında analiz yöntemi ile bulunan sonuçların daha elverişsiz olduğu görülmüştür. Ayrıca artımsal eşdeğer deprem yükünün üst katlardaki masfal oluşumlarını yeterli doğrulukta veremediği de gözlenmiştir.

5. Taban kesme kuvvetleri açısından yapılan karşılaştırmada, artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile elde edilen değerlerin zaman tanım alanında analiz sonucunda bulunan sonuçların yaklaşık %85'i mertebesinde olduğu görülmektedir.

Bu çalışmada yer alan sayısal incelemeler ve karşılaştırmalar, 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'ne uygun olarak boyutlandırılan süneklik düzeyi yüksek taşıyıcı sistem modelleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın olası uzantıları, ülkemizdeki mevcut yapı stoğunu geniş ölçüde temsil eden, beton kalitesinin daha düşük olduğu ve sargılama durumunun değişkenlik gösterdiği binaları da kapsayacak şekilde genişletilebilir.

Bu çalışmada incelenen sistemlerin kat sayıları, yönetmelikte artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi için verilen 8 kat sınırına eşit olarak alınmıştır. Dolayısı ile, daha az katlı yapılar üzerinde gerçekleştirilecek incelemeler ile, burulma düzensizliği açısından artımsal eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulama sınırlarının genişletilmesi irdelenebilir.

Analiz yöntemlerinin daha etkin bir şekilde karşılaştırılabilmelerini sağlamak amacıyla, artımsal eşdeğer deprem yükü yönteminde her itme adımında sistem üzerinde oluşan plastikleşmeleri de gözönüne alan, farklı yük dağılımları uygulayarak benzer sayısal incelemeler gerçekleştirilebilir.

KAYNAKLAR

[1] **Fajfar, P. and Krawingler, H.**, 1997. Seismic Design Methodologies for the Next Generation of Codes, Prooceedings of International Workshop held in Bled (Slovenia), Balkema, The Netherlands.

[2] **Priestley, M.J.N.**, 2000, Performance Based Seismic Design, *12th World Conference on Earthquake Engineering*, Auckland, New Zealand, January-February 2000.

[3] **Çakıroğlu, A., Özden, E., Özmen, G.**, 1992. Yapı Sistemlerinin Hesabı İçin Matris Metotları ve Elektronik Hesap Makinası Programları, Cilt I, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.

[4] **Çakıroğlu, A., Özden, E., Özmen, G.**, 1992. Yapı Sistemlerinin Hesabı İçin Matris Metotları ve Elektronik Hesap Makinası Programları, Cilt II, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.

[5] **Özer, E.**, 1969. Lineer olmayan sistemlerin hesabı için bir metot, *Doktora Tezi*, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.

[6] **Attala, M.R., Deierlein, G. G. and McGuire, W.**, 1995**.** Spread of plasticity : quasi-plastic hinge approach, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, **120**, 2451-2473.

[7] **Özer, G.**, 2003. Malzeme bakımından lineer olmayan sistemlerin hesabı için bir ardışık yaklaşım yöntemi ve bilgisayar programı**,** *Yüksek Lisans Tezi,* İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[8] **Parikh, B.P.**,1966. The elastic-plastic analysis and design of unbraced multistory steel frames, *PhD. Dissertation*, Lehigh University.

[9] **Kim, S.W.**,1971. Elastic-plastic analyis of unbraced frames, *PhD. Dissertation*, Lehigh University.

[10] **Özer, E.**, 1987. Determination of second-order limit load by a method of load increments, *Bulletin of the Technical University of Istanbul*, **40**, 815-836.

[11] **Girgin, K.**, 1996. Betonarme yapı sistemlerinde ikinci mertebe limit yükün ve göçme güvenliğinin belirlenmesi için bir yük artımı yöntemi**,** *Doktora Tezi,* İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[12] **SAP 2000**, 2005. Structural Analysis Program, Computers and Structures Inc., Berkeley, California.

[13] **PERFORM-3D**, Nonlinear Analysis and Performance Assessment of 3D Structures, Computers and Structures Inc., Berkeley, California.

[14] **ATC-40**, 1996. Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, *Applied Technology Council,* California.

[15] **FEMA-273**, 1997. NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, *Federal Emergency Management Agency,* Washington.

[16] **FEMA-356**, 2000. Prestandart and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, *Federal Emergency Management Agency,* Washington.

[17] **FEMA-440**, 2005. Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures, *Federal Emergency Management Agency,* Washington.

[18] **ASCE/SEI 41-06**, 2006. Seismic Rehabilitation of Existing Buildings, *American Society of Civil Engineers,* Virginia.

[19] **EN 1998-3**, 2004. Design of Structures for Earthquake Resistance-Assessment and Retrofitting of Buildings, *European Committee for Standardization*, Brüksel.

[20] **DBYBHY**, 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, *Bayındırlık ve İskân Bakanlığı,* Ankara.

[21] **Taşkın, B., Sezen, A., Kara, F.İ. ve Tuğsal, Ü.M.**, 2008. Betonarme Yapıların Performansa Dayalı Tasarımında Türkiye Deprem Kayıtları Kullanılarak Hedef Deplasmanların Belirlenmesinde Ampirik İlişkilerin Türetilmesi, *Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu-Mühendislik Araştırma Grubu*, Ankara.

[22] **Çetin, C.**, 2007. Mevcut betonarme binaların deprem performanslarının belirlenmesinde doğrusal olmayan yöntemlerin karşılaştırılması üzerine sayısal bir inceleme, *Yüksek Lisans Tezi,* İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[23] **Recommendations for the Seismic Desing of High-rise Buildings**, 2008. A Consensus Document, *CTBUH Seismic Working Group,* Chicago.

[24] **UBC-94**, 1994. Uniform Building Code – Structural Engineering Design Provisions, *International Conference of Building Officials*, Washington.

[25] **EN 1998-1**, 2004. Design of Structures for Earthquake Resistance-General rules, seismic actions and rules for buildings, *European Committee for Standardization*, Brüksel.

[26] **ASCE/SEI 7-05**, 2006. Minimum Design Loads For Buildings and Other Structures, *American Society of Civil Engineers,* Virginia.

[27] **Alternative Design Criteria,** 2008. An Alternative Procedure For Seismic Analysis And Design of Tall Buildings Located In The Los Angeles Region-A Consensus Document, *Los Angeles Tall Buildings Structural Desing Council,* Los Angeles.

[28] **FEMA-222A**, 1995. NEHRP Recommended Provisions for the Seismic Regulations For New Buildings and Other Structures – Part-1 – Provisions , *Federal Emergency Management Agency,* Washington.

[29] **FEMA-223A**, 1995. NEHRP Recommended Provisions for the Seismic Regulations For New Buildings and Other Structures – Part-2 – Commentary , *Federal Emergency Management Agency,* Washington.

[30] **FEMA-302**, 1998. NEHRP Recommended Provisions for the Seismic Regulations For New Buildings and Other Structures – Part-1 – Provisions , *Federal Emergency Management Agency,* Washington.

[31] **FEMA-303**, 1998. NEHRP Recommended Provisions for the Seismic Regulations For New Buildings and Other Structures – Part-2 – Commentary , *Federal Emergency Management Agency,* Washington.

[32] **Özer, E.**, 2009. Yapı Sistemlerinin Lineer Olmayan Analizi Ders Notları, *www.ins.itu.edu.tr/eozer*, İstanbul.

[33] **TS-500**, 2000. Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü,* Ankara.

[34] **Özmen, H.B., İnel, M. ve Bilgin, H.,** 2007. Sargılı Beton Davranışının Betonarme Eleman ve Sistem Davranışına Etkisi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi,* Ankara.

[35] **Çakıroğlu, A. ve Özer, E.**, 1980. Malzeme ve Geometri Değişimleri Bakımından Lineer Olmayan Sistemler, Cilt I, İ.T.Ü. Kütüphanesi, İstanbul.

[36] **Çakıroğlu, A., Özer, E. ve Girgin, K.**, 1999. Yield conditions and yield vector for combined biaxial bending of rectangular reinforced concrete sections, *Proceedings of the Uğur Ersoy Symposium in Structural Engineering*, METU Press, Ankara, July 1-2, 121-135.

[37] **Çavuş, K.**, 2000. Malzeme ve geometri değişimi bakımından lineer olmayan sistemlerin hesabına yönelik bir yaklaşım ve sayısal uygulamalar**,** *Yüksek Lisans Tezi,* İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[38] **İrtem, E.**, 1991. Uzay çubuk sistemlerde ikinci mertebe limit yükün hesabı için bir yük artımı yöntemi**,** *Doktora Tezi,* İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[39] **Atımtay, E.**, 2001. Çerçeveli ve Perdeli Betonarme Sistemlerin Tasarımı Cilt I, METU Press, Ankara.

[40] **Chopra, A.K.**, 2000. Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering, Prentice Hall, New Jersey.

[41] **Newmark, N.M.**, 1959. A Method of Computation for Structural Dyanamics, *Journal of the Engineering Mechanics Divisi*on (*ASCE)*, **85**, 67-94.

[42] **Paulay, T., Priestley, M.J.N.**, 1992. Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings, J. Wiley, New York.

[43] **Kolgu, S., Peker, K.**, 2003. Betonarme Kesit Davranışında Eksenel Yük, Malzeme Modeli ve Sargı Donatısı Oranının Etkisi, *Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, Türkiye, 26-30 Mayıs.

[44] **Ersoy, U., Özcebe, G.**, 2001. Betonarme, Evrim, Ankara.

[45] **Mander, J.B., Priestley**, **M.J.N., Park, R.,** 1988. Theoretical Stress-Strain Confined Concrete, *Journal of Structural Division (ASCE)*, **114**(8), 1804-1826.

[46] **Fahjan Y.M.**, 2008. Türkiye Deprem Yönetmeliği (DBYBHY, 2007) Tasarım İvme Spektrumuna Uygun Gerçek Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklenmesi, *İMO Teknik Dergi*, İstanbul.

[47] **İzmir Deprem Senaryosu ve Deprem Master Planı**, 2002., *İzmir Büyükşehir Belediyesi ve Boğaziçi Üniversitesi*, İzmir.

[48] **ETABS**, 2005. Structural Analysis Program, Computers and Structures Inc., Berkeley, California.

[49] **TS-498**, 1997. Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, *Türk Standartları Enstitüsü,* Ankara.

[50] **XTRACT**, 2001, Kesit Analiz Programı, Imbsen Software Systems.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad:	Sabahattin Kulu
Doğum Yeri ve Tarihi:	Van - 1984
Adres:	Emniyet Evleri Mah. Yeşil Kıbrıs Sok. No:8/3 KAĞITHANE/İSTANBUL
Lisans Üniversite:	İstanbul Teknik Üniversitesi