

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK BİNALARIN 2007 TÜRK DEPREM YÖNETMELİĞİ VE
İSTANBUL YÜKSEK BİNALAR DEPREM YÖNETMELİĞİ'NE GÖRE
TASARIMI ÜZERİNE SAYISAL BİR İNCELEME**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mustafa MUNZUROĞLU**

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

Programı : Yapı Mühendisliği

HAZİRAN 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK BİNALARIN 2007 TÜRK DEPREM YÖNETMELİĞİ VE
İSTANBUL YÜKSEK BİNALAR DEPREM YÖNETMELİĞİ'NE GÖRE
TASARIMI ÜZERİNE SAYISAL BİR İNCELEME**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mustafa MUNZUROĞLU
0501061091**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 7 Mayıs 2010

Tezin Savunulduğu Tarih : 11 HAZİRAN 2010

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Erkan ÖZER (İTÜ)

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Ahmet Işın SAYGUN (İTÜ)

Yrd. Doç. Dr. Canan GİRGİN (YTÜ)

HAZİRAN 2010

Babama ve Anneme,

ÖNSÖZ

Lisans ve Yüksek lisans öğrenimim boyunca, engin bilgi ve deneyimleri ile bana yol gösteren, özellikle tez çalışmam sırasında yardımlarını esirgemeyen değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Erkan ÖZER' e teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Yüksek lisans eğitimim ile birlikte yanında çalışmaya başladığım, bir mühendis ve en önemlisi bir insan olarak örnek almaya çalıştığım Sayın İrfan BALIOĞLU' na, bana sağladığı bilgi, destek ve hoşgörülerinden dolayı teşekkür ederim.

Yaşamım süresince maddi ve manevi desteklerini üzerimden hiçbir zaman eksik etmeyen, daima bana destek olan sevgili aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tanıdığım andan itibaren, moral, muhabbet ve sevgisi ile hep yanımda olan, tez çalışmam sırasında da desteğini hiç eksik etmeyen, fedakarlık yapmaktan çekinmeyen Derya SEL' e teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2010

Mustafa MUNZUROĞLU
İnşaat Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
SEMBOL LİSTESİ	xix
ÖZET.....	xxv
SUMMARY	xxvii
1. GİRİŞ	1
1.1 Konu	1
1.2 Konu İle İlgili Çalışmalar	3
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	9
2.2 İç Kuvvet-Şekildeğiştirme Bağlılıları ve Akma (Kırılma) Koşulları	11
2.2.1 Malzemelerin şekildeğiştirme özellikleri	12
2.2.1.1 İdeal malzemeler	13
2.2.1.2 Yapı malzemelerinin gerilme-şekildeğiştirme bağlılıları	14
2.2.2 Düzlem çubuk elemanlarda iç kuvvet-şekildeğiştirme bağlılıları ve akma/kırılma koşullarının incelenmesi	16
2.2.3 Betonarme çubuklar	20
2.2.3.1 Varsayımlar ve esaslar	20
2.2.3.2 Eğilme momenti ve normal kuvvet etkisindeki çubuklar	20
2.2.3.3 Betonarme kesitlerin davranışının idealleştirilmesi	23
2.3 Malzeme Bakımından Doğrusal Olmayan Betonarme Sistemlerin Hesabı	25
2.3.1 Doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin sistem üzerinde yayılı olması hali	25
2.3.1.1 Fiber eleman analogjisi	32
2.3.2 Doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin belirli kesitlerde toplanması hali	36
2.3.2.1 Plastik mafsal hipotezi	36
2.4 Binaların Deprem Etkisi Altında Davranışı	40
2.4.1 Denge denklemleri ve kontrol eden parametreler	41
2.4.2 Denge denklemlerinin çözümünde kullanılan sayısal yöntemler	42
2.4.2.1 Newmark yöntemi	43
2.4.3 Yapı sistemlerinde süneklik kavramı	46
2.4.4 Yapı sistemlerinde sönüm	48

2.4.5 Betonarme kesitlerde sargılama etkisi ve önemi.....	53
2.4.5.1 Mander beton modeli.....	57
2.5 Deprem İvme Kayıtlarının Belirlenmesi ve Ölçeklenmesi	60
2.5.1 Ölçekleme için seçilecek yer hareketleri için genel kurallar.....	61
2.5.2 Tasarım ivme spektrumu ile uyumlu yapay kayıtlar.....	62
2.5.3 Simüle edilmiş (benzeştirilmiş) kayıtlar	63
2.5.4 Gerçek depremlerden elde edilen kayıtlar.....	65
2.5.4.1 Zaman tanım alanında ölçekleme.....	66
2.5.4.2 Frekans tanım alanında ölçekleme.....	70
2.5.4.3 Zaman tanım alanında ve frekans tanım alanında ölçeklendirme yöntemlerinin karşılaştırılması.....	72
3. PERFORMANSA DAYALI TASARIM VE DEĞERLENDİRME	75
3.1 Binalardan Bilgi Toplanması.....	76
3.2 Bilgi Düzeyleri	76
3.3 Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri.....	77
3.3.1 Kesit hasar sınırları.....	78
3.3.2 Kesit hasar bölgeleri.....	78
3.3.3 Kesit hasarı ve eleman hasarı tanımları.....	79
3.4 Binaların Deprem Performans Düzeyleri	79
3.4.1 Hemen kullanım performans düzeyi	79
3.4.2 Can güvenliği performans düzeyi	80
3.4.3 Göçme öncesi performans düzeyi	80
3.4.4 Göçme durumu.....	81
3.5 Performansa Dayalı Tasarımda Esas Alınacak Deprem Hareketleri.....	81
3.6 Performans Hedefi ve Çok Seviyeli Performans Hedefleri.....	82
3.7 Deprem Etkileri Altında Bina Performansının Belirlenmesi.....	82
3.7.1 Doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri için genel ilke ve kurallar	83
3.7.2 Doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri.....	85
3.7.2.1 Tanım.....	85
3.7.2.2 Doğrusal elastik olmayan davranışın idealleştirilmesi.....	86
3.7.2.3 Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi.....	87
3.7.2.4 Birim şekildeğiştirme istemlerinin belirlenmesi.....	88
3.7.2.5 Betonarme elemanların kesit birim şekildeğiştirme kapasiteleri.....	89
4. YÜKSEK BİNALARIN PERFORMANSA DAYALI TASARIMI VE YÜKSEK BİNALAR İÇİN HAZIRLANAN YÖNETMELİKLER	91
4.1 İstanbul İli Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği.....	91
4.1.1 Yönetmeliğin amacı ve genel yaklaşımı	91
4.1.2 Deprem Etkisinin Tanımlanması.....	92
4.1.3 Deprem Tasarım Spektrumları	92
4.1.4 Zaman tanım alanında deprem etkisi	94
4.1.5 Yüksek binalar için tanımlanan performans düzeyleri, performans bölgeleri ve performans hedefleri.....	96
4.1.5.1 Minimum hasar / Kesintisiz kullanım performans düzeyi (MH / KK).....	96
4.1.5.2 Kontrollü hasar / Can güvenliği performans düzeyi (KH / CG).....	97
4.1.5.3 İleri hasar / Göçmeme güvenliği performans düzeyi (İH / GG).....	97
4.1.5.4 Performans bölgeleri.....	97
4.1.5.5 Yüksek binalar için öngörülen minimum performans hedefleri.....	97
4.1.6 Yüksek binalar için analiz ve tasarım yöntemleri	99

4.1.6.1 Yüksek binalar için analiz yöntemleri	99
4.1.6.2 Analiz modellerine ilişkin kural ve koşullar	100
4.1.7 Yüksek binalarda performansa göre deprem tasarımının aşamaları	102
4.1.7.1 Tasarım aşaması (I – A): <i>Kontrollü Hasar / Can Güvenliği</i> hedef performansı için doğrusal analiz ile ön tasarım	102
4.1.7.2 Tasarım aşaması (I – B): <i>Kontrollü Hasar / Can Güvenliği</i> hedef performansı için doğrusal olmayan analiz tasarım	104
4.1.7.3 Tasarım aşaması (II): <i>Minimum Hasar / Kesintisiz Kullanım</i> hedef performansı için doğrusal analiz ile gerçelleme	105
4.1.7.4 Tasarım aşaması (III): <i>İleri Hasar / Göçmeme Güvenliği</i> hedef performansı için doğrusal olmayan analiz ile gerçelleme	106
4.1.8 Yapı sağlığı izleme sistemleri	108
4.1.9 Bağımsız tasarım kontrolü	109
4.2 Los Angeles Bölgesi' ndeki Yüksek Binaların Sismik Analizi ve Tasarımı için Alternatif Bir Yönetmelik Yaklaşımı	110
4.2.1 Yönetmeliğin amacı	111
4.2.2 Metodoloji	111
4.2.2.1 Sık meydana gelen deprem etkileri altında hemen kullanım	112
4.2.2.2 Seyrek meydana gelen deprem etkileri altında Göçmeme Güvenliği	112
4.2.3 Analiz ve tasarım prosedürü	113
4.2.3.1 Kapasite tasarımı	115
4.2.3.2 Hemen kullanım hedef performansı	117
4.2.3.3 Göçmeme Güvenliği	120
4.2.4 Bağımsız kontrol (PEER REVIEW) kurulu.....	125
4.2.5 Sismik enstrümanlar.....	126
5. SAYISAL İNCELEMELER	129
5.1 Genel Bina Bilgileri ve Bina Taşıyıcı Sisteminin Tanımı.....	129
5.1.1 Genel bina bilgileri.....	129
5.1.2 Taşıyıcı sistem bilgileri	130
5.1.3 Yükler.....	131
5.2 Yapının 2007 Türk Deprem Yönetmeliği' ne (DBYBHY-2007) Göre Tasarımı	132
5.2.1 Hesap yönteminin belirlenmesi ve deprem hesabı.....	132
5.2.1.1 Düzensizliklerin irdelenmesi	134
5.2.1.2 Hesap yönteminin belirlenmesi	135
5.2.2 Deprem yüklerinin belirlenmesi.....	136
5.2.2.1 Hesaba katılacak mod sayısı	136
5.2.2.2 Spektral ivme katsayısının belirlenmesi	137
5.2.2.3 Taşıyıcı sistem davranış katsayısının belirlenmesi	139
5.2.2.4 Modal spektral yükler altında analiz	140
5.2.3 Betonarme tasarımı	141
5.2.3.1 Tasarımda esas alınan yük durumları ve yük kombinasyonları	141
5.2.3.2 Örnek betonarme tasarım hesapları	143
5.2.3.3 Kiriş betonarme hesapları	143
Açıklıkta alt donatı hesabı	144
Sol mesnet üst donatı hesabı	145
Örnek betonarme kirişte kesme güvenliği kontrolü	146
Bağ kirişlerinin tasarımı	151
5.2.3.4 Kolon betonarme hesapları	153

Örnek kolonun eğilme tasarımı	153
Kolon enine donatısının (sargı donatısının) belirlenmesi	155
Kolon kesme güvenliği kontrolü	156
Kolonların kirişlerden daha güçlü olması koşulunun irdelenmesi	157
DBYBHY-2007 Madde 3.3.7 ye göre kolon kesme kuvveti hesabı	158
Örnek betonarme kolon-kiriş birleşim bölgesi kesme güvenliği kontrolü	160
5.2.3.5 Perde betonarme hesapları	160
Dikdörtgen perde uç bölgesi sargı donatısının belirlenmesi	164
Dikdörtgen perdenin kesme güvenliği kontrolü	165
5.3 Yapının İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği' ne Göre Tasarımı ..	166
5.3.1 Deprem etkilerinin tanımlanması	167
5.3.2 Malzeme Bilgileri.....	172
5.3.3 Eleman etkin rijitlikleri	174
5.3.4 Yapının İYBDY-2008 e göre can güvenliği hasar sınırı kontrolü	175
5.3.4.1 Göreli kat ötelemesi oranı kontrolü	176
5.3.4.2 Eleman şekildeğiştirme kontrolleri	176
5.4 Sayısal İncelemelerin Değerlendirilmesi.....	181
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	185
KAYNAKLAR.....	189
EK A	193

KISALTMALAR

AEDYY	: Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi
ASCE	: American Society of Civil Engineers
ATC	: Applied Technology Council
BHB	: Belirgin Hasar Bölgesi
BSSC	: Building Seismic Safety Council
CG	: Can Güvenliği
DBYBHY	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
EDYY	: Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi
EERC	: Earthquake Engineering Research Center
ETABS	: Extended 3D Analysis of Building Systems
EX1	: X Doğrultusunda 50 Yılda Aşılma Olasılığı %10 Olan Deprem
EX2	: X Doğrultusunda 50 Yılda Aşılma Olasılığı %2 Olan Deprem
EY1	: Y Doğrultusunda 50 Yılda Aşılma Olasılığı %10 Olan Deprem
EY2	: Y Doğrultusunda 50 Yılda Aşılma Olasılığı %2 Olan Deprem
FEMA	: Federal Emergency Management Agency
G	: Düşey Sabit Yüğüler
GÇ	: Göçme Sınırı
GÖ	: Göçmenin Öncesi
GV	: Güvenlik Sınırı
HK	: Hemen Kullanım
İHB	: İleri Hasar Bölgesi
İİYBY	: İstanbul İli Yüksek Binalar Yönetmeliğı
K	: Kaplama Yüğüleri
MHB	: Minimum Hasar Bölgesi
MN	: Minimum Hasar Sınırı
NEHRP	: National Earthquake Hazards Reduction Program
PERFORM-3D	: Nonlinear Analysis and Performance Assesment for 3D Structures
Q	: Düşey Hareketli Yüğüler
SAP	: Integrated Software for Structural Analysis and Design
SEAOC	: Structural Engineer Association of California
TDY	: Türk Derprem Yönetmeliğı
TS500	: Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları
UCB	: University of California at Berkeley
XTRACT	: Cross Sectional Structural Analysis Program for Structural Engineers
ZTADOA	: Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 : Yapı sistemlerinin doğrusal olmama nedenleri.	9
Çizelge 2.2 : Newmark metodu-Doğrusal olmayan sistemler.	45
Çizelge 3.1 : Binalar İçin Bilgi Düzeyi Katsayıları.	77
Çizelge 3.2 : Binalar için öngörülen minimum performans hedefleri.	82
Çizelge 4.1 : Kısa period zemin katsayısı F_a .	93
Çizelge 4.2 : 1.0 s periyodu zemin katsayısı F_v .	94
Çizelge 4.3 : Çeşitli deprem düzeylerinde yüksek binalar için hedeflenen minimum performans bölgeleri.	98
Çizelge 4.4 : Yüksek binalar için performansa göre tasarım aşamaları.	107
Çizelge 4.5 : Temel analiz adımları.	113
Çizelge 4.6 : Performansa dayalı tasarım için deprem düzeyleri (SEAOC).	114
Çizelge 4.7 : Çeşitli deprem düzeyleri için performans hedefleri (SEAOC).	114
Çizelge 4.8 : Doğrusal olmayan davranış için tanımlanan bölgeler ve olaylar.	117
Çizelge 4.9 : Ortalama malzeme dayanımları.	122
Çizelge 4.10 : Minimum kayıt cihazı sayıları.	127
Çizelge 5.1 : Kolon ve perdelerle etkileyen taban kesme kuvvetleri.	139
Çizelge 5.2 : Kiriş kesme kuvvetleri.	147
Çizelge 5.3 : Bağ kirişi çapraz donatı kontrolü.	152
Çizelge 5.4 : Bağ kirişlerinin seçilen donatıları.	152
Çizelge 5.5 : Hareketli yük azaltma katsayıları.	153
Çizelge 5.6 : Olasılıksal spektral ivme değerleri.	169
Çizelge 5.7 : Seçilen deprem yer hareketlerinin karakteristik özellikleri.	172
Çizelge 5.8 : Kuvvetli yer hareketlerinden oluşan bina tepe yerdeğiştirmeleri.	176
Çizelge 5.9 : 1.kat kolonlarında beton ve donatı çeliği şekildeğiştirmeleri.	178
Çizelge 5.10 : 1.kat perdelerinde beton ve donatı çeliği şekildeğiştirmeleri.	181
Çizelge A.1 : A1-Burulma düzensizliği kontrolü (X-X doğrultusu).	194
Çizelge A.2 : A1-Burulma düzensizliği kontrolü (Y-Y doğrultusu).	195
Çizelge A.3 : B1-Komşu katlar arası dayanım düzensizliği (zayıf kat) kontrolü (X-X doğrultusu).	196
Çizelge A.4 : B1-Komşu katlar arası dayanım düzensizliği (zayıf kat) kontrolü (Y-Y doğrultusu).	197
Çizelge A.5 : B2-Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (yumuşak kat) kontrolü (X-X doğrultusu).	198
Çizelge A.6 : B2-Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (yumuşak kat) kontrolü (Y-Y doğrultusu).	199
Çizelge A.7 : Düzensizlik kontrollerinin özeti.	200
Çizelge A.8 : Modal kütle katılım oranları.	201
Çizelge A.9 : Göreli kat ötelemelerinin kontrolü (X-X doğrultusu).	202
Çizelge A.10 : Göreli kat ötelemelerinin kontrolü (Y-Y doğrultusu).	203
Çizelge A.11 : İkinci mertebe etkilerinin kontrolü (X-X doğrultusu).	204

Çizelge A.12 : İkinci mertebe etkilerinin kontrolü (Y-Y doğrultusu).	205
Çizelge A.13 : Kiriş Donatıları.	207
Çizelge A.14 : Bina devrilme moment değeri (X-X doğrultusu).	208
Çizelge A.15 : Kolon donatıları.	209
Çizelge A.16 : Perde donatıları.	210
Çizelge A.16 : (devam) Perde donatıları.	211
Çizelge A.17 : Analizde kullanılan kolon çatlamış kesit rijitlikleri.	218
Çizelge A.18 : Analizde kullanılan perde çatlamış kesit rijitlikleri.	219
Çizelge A.19 : ABBAR-T-L depremi görelî kat ötelemesi oranı kontrolü (Pozitif).	220
Çizelge A.20 : ABBAR-T-L depremi görelî kat ötelemesi oranı kontrolü (Negatif).	221
Çizelge A.21 : ABBAR-L-T depremi görelî kat ötelemesi oranı kontrolü (Pozitif).	222
Çizelge A.22 : ABBAR-L-T depremi görelî kat ötelemesi oranı kontrolü (Negatif).	223
Çizelge A.23 : 1061-E-N depremi görelî kat ötelemesi oranı kontrolü (Pozitif).	224
Çizelge A.24 : 1061-E-N depremi görelî kat ötelemesi oranı kontrolü (Negatif).	225
Çizelge A.25 : 1061-N-E depremi görelî kat ötelemesi oranı kontrolü (Pozitif).	226
Çizelge A.26 : 1061-N-E depremi görelî kat ötelemesi oranı kontrolü (Negatif).	227
Çizelge A.27 : 22170090 depremi görelî kat ötelemesi oranı kontrolü (Pozitif).	228
Çizelge A.28 : 22170090 depremi görelî kat ötelemesi oranı kontrolü (Negatif).	229
Çizelge A.29 : 22170360 depremi görelî kat ötelemesi oranı kontrolü (Pozitif).	230
Çizelge A.30 : 22170360 depremi görelî kat ötelemesi oranı kontrolü (Negatif).	231
Çizelge A.31 : Bağ kirişlerinin şekildeğiştirme sınırlarının kontrolü.	232
Çizelge A.31 : (devam) Bağ kirişlerinin şekildeğiştirme sınırlarının kontrolü.	233
Çizelge A.32 : 10. Kat kirişleri şekildeğiştirme kontrolü.	234
Çizelge A.32 : (devam) 10. Kat kirişleri şekildeğiştirme kontrolü.	235
Çizelge A.33 : 20. Kat kirişleri şekildeğiştirme kontrolü.	236
Çizelge A.33 : (devam) 20. Kat kirişleri şekildeğiştirme kontrolü.	237
Çizelge A.34 : 30. Kat kirişleri şekildeğiştirme kontrolü.	238
Çizelge A.34 : (devam) 30. Kat kirişleri şekildeğiştirme kontrolü.	239
Çizelge A.35 : 40. Kat kirişleri şekildeğiştirme kontrolü.	240
Çizelge A.35 : (devam) 40. Kat kirişleri şekildeğiştirme kontrolü.	241

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Çeşitli teorilere göre elde edilen 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 : İdeal malzemeler	13
Şekil 2.5 : Beton çeliğinin gerilme-şekildeğiştirme diyagramı	14
Şekil 2.6 : Beton çeliğinin σ - ϵ diyagramının idealleştirilmesi	15
Şekil 2.7 : Betonarme çubuğun eğilmesinde dış basınç lifindeki σ - ϵ diyagramı	15
Şekil 2.8 : Düzlem çubuk elemanlarda iç kuvvetler ve şekildeğiştirmeler	17
Şekil 2.9 : Bünye denklemlerinin eğri grupları halinde gösterilmesi	18
Şekil 2.10 : Akma eğrisi (karşılıklı etki diyagramı)	19
Şekil 2.11 : Basit eğilme halinde eğilme momenti-eğrilik diyagramı	20
Şekil 2.12 : Betonarme kesitlerde eğilme momenti-eğrilik ($M - \chi$) bağıntısı	21
Şekil 2.13 : Betonarme kesitlerde karşılıklı etki diyagramı (akma eğrisi)	23
Şekil 2.14 : Betonarme kesitlerde idealleştirilmiş ($M-\chi$) diyagramı (Tip:1)	24
Şekil 2.15 : Betonarme kesitlerde idealleştirilmiş ($M-\chi$) diyagramı (Tip:2)	24
Şekil 2.16 : Betonarme kesitlerde idealleştirilmiş ($N-\epsilon$) diyagramı	25
Şekil 2.17 : Newton-Raphson yöntemi	28
Şekil 2.18 : Fiktif bünye denklemi	29
Şekil 2.19 : Başlangıç teğeti tekniği	30
Şekil 2.20 : Doğrusal olmayan bir denklem takımının ardışık yaklaşım metodu olarak <i>Teğet Tekniği</i> ile çözümü için izlenen yol	31
Şekil 2.21 : Teğet tekniğinin uygulanması	31
Şekil 2.22 : Fiber eleman ile kesit modellemesi	32
Şekil 2.23 : Fiber eleman geometrisi	35
Şekil 2.24 : Fiber eleman modeli	36
Şekil 2.25 : Kiriş elemanında plastik mafsallık bölgeleri	37
Şekil 2.26 : Eğilme momenti - eğrilik diyagramı	37
Şekil 2.27 : Doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler	38
Şekil 2.28 : İdealleştirilmiş bünye bağıntısı	39
Şekil 2.29 : Tek serbestlik dereceli sistemde dinamik denge	41
Şekil 2.30 : Dinamik denge	41
Şekil 2.31 : Newmark yöntemi-Lineer ivme yöntemi	44
Şekil 2.32 : Newmark yöntemi-Ortalama ivme yöntemi	44
Şekil 2.33 : Elastik ötesi davranış	46
Şekil 2.34 : Betonarme elemanda çevrimsel yükler altındaki histeretik davranış ve iskelet eğrisi	48
Şekil 2.35 : Kütle ve rijitlikle orantılı sönüm	50
Şekil 2.36 : Modal sönüm oranlarının frekans ile değişimi	51
Şekil 2.37 : Rayleigh sönümü	52

Şekil 2.38 : Eğilme momenti-eğrilik diyagramı	53
Şekil 2.39 : Plastik dönme kapasitesinin aksenal yük altında değişimi.....	54
Şekil 2.40 : Eğrilik sünekliğinin aksenal yük altında değişimi.....	54
Şekil 2.41 : Betonarme kolonda çevrimsel yükler altında sargı etkisi.....	56
Şekil 2.42 : Çeşitli sargı donatısı düzenlemeleri.....	56
Şekil 2.43 : Mander beton modeli.....	58
Şekil 2.44 : İkinci derece parabol varsayımı.....	59
Şekil 2.45 : Ana marmara fay hattı ile İstanbul arasındaki mesafe	62
Şekil 2.46 : Kuvvetli yer hareketi minimum süresi	62
Şekil 2.47 : Tasarım ivme spektrumuna uygun üretilmiş yapay deprem kaydı.....	63
Şekil 2.48 : Zaman tanım alanında ölçeklendirme prosedürü	69
Şekil 2.49 : Elastik istem eğrisinde ivmeye, hıza ve yerdeğiştirmeye hassas bölgeler	72
Şekil 3.1 : Kesit hasar sınırları ve hasar bölgeleri	78
Şekil 4.1 : Tasarım spektrumu ⁹⁴	
Şekil 4.2 : Ana Marmara Fay Hattı.....	95
Şekil 4.3 : Performans bölgeleri	98
Şekil 4.4 : Betonarme kesitin eğilme momenti-eğrilik bağıntısı	101
Şekil 4.5 : Yapı sağlığı izleme sistemleri	109
Şekil 4.6 : Kuvvet/moment – şekildeğiştirme bağıntısı.....	120
Şekil 5.1 : Tipik kat kalıp planı ¹³²	
Şekil 5.2 : B3 türü düzensizlikler.....	134
Şekil 5.3 : Gözönüne alınacak yerdeğiştirme bileşenleri ve deprem yüklerinin etkiye noktaları.	136
Şekil 5.4 : Z2 zemin sınıfı için spektrum eğrileri.	138
Şekil 5.5 : Yapının her iki deprem doğrultusundaki şekildeğiştirmiş durumları.....	141
Şekil 5.6 : Örnek kolon ve kirişlerin konumları.	143
Şekil 5.7 : Kiriş açıklığında alt donatı hesabı.	144
Şekil 5.8 : Kiriş sol mesnet üst donatısı hesabı.....	145
Şekil 5.9 : Tasarıma esas eğilme momentleri ve seçilen donatılar.	146
Şekil 5.10 : Kiriş kesme güvenliği kontrolü.	147
Şekil 5.11 : Kiriş orta bölgesinde kesme kuvveti değeri.	150
Şekil 5.12 : Donatı seçimi için kiriş tip numaraları	151
Şekil 5.13 : Kolon boyuna ve enine donatıları.....	154
Şekil 5.14 : 1.Kat S110 kolonunun M_x - M_y - N karşılıklı etkileşim diyagramı.	155
Şekil 5.15 : Kolon etriye açılımı.....	156
Şekil 5.16 : Daha güçlü kolon kontrolü.	158
Şekil 5.17 : Çekirdek perde yerleşimi.....	161
Şekil 5.18 : Çekirdek perdesi donatı yerleşimi.....	162
Şekil 5.19 : P1 perdesinde tasarıma esas olan eğilme momenti diyagramı.	163
Şekil 5.20 : P1 perdesi M_x - M_y - N etkileşim diyagramı.	164
Şekil 5.21 : P1 perdesi M_x - N etkileşim diyagramı.....	164
Şekil 5.22 : Le Pichon modeline göre Marmara Denizi tektonik yapısı.....	168
Şekil 5.23 : Kuzey Anadolu Fay Zonunun Marmara Denizi içerisindeki durumu ve $M_s > 6.6$ büyüklüğündeki depremlerin dağılımı	168
Şekil 5.24 : Aletsel büyüklüğü $M > 3$ olan depremler.....	169
Şekil 5.25 : Yapının inşa edilmesi planlanan bölge.....	170
Şekil 5.26 : D2 deprem düzeyi için deprem tasarım spektrumu.....	170

Şekil 5.27 : D2 deprem düzeyi spektrumunun 1.3 katı ile seçilen deprem yer hareketlerinin spektrumlarının bileşkelerinin karşılaştırılması	172
Şekil 5.28 : Ortalama dayanımlı-sargılı beton modeli gerilme-şekildeğiştirme eğrisi ve idealleştirilmiş beton modeli gerilme-şekildeğiştirme eğrisi	173
Şekil 5.29 : Ortalama dayanımlı donatı gerilme-şekildeğiştirme eğrisi ve iki doğrulu donatı gerilme-şekildeğiştirme eğrisi	173
Şekil 5.30 : Etkin eğilme rijitliğinin belirlenmesinde kullanılan kolon tipleri	175
Şekil 5.31 : Bağ kirişlerinde dönme kapasitelerinin belirlenmesi	179
Şekil 5.32 : 1. Kat çekirdek perdesi düğüm noktalarının isimleri	180
Şekil A.1 : Şematik kiriş donatısı	206
Şekil A.2 : Düzce depremi, Lamont istasyonu 1061-N ve -E deprem yer hareketine ait ivme, hız ve deplasman grafikleri (orijinal ve D2 deprem düzeyi için ölçeklenmiş)	212
Şekil A.3 : Düzce depremi 1061-N ve -E deprem yer hareketleri (orijinal ve D2 düzeyi için ölçeklenmiş) için spektral ivme, spektral deplasman ve D2 deprem düzeyi tasarım spektrumları ve bileşke spektrumlar	213
Şekil A.4 : Manjil, İran depremi Abbar istasyonu ABBAR-L ve -T bileşenleri deprem yer hareketlerine ait ivme, hız ve deplasman grafikleri (orijinal ve D2 deprem düzeyi için ölçeklenmiş)	214
Şekil A.5 : Manjil, İran depremi Abbar istasyonu ABBAR-L ve -T bileşenleri deprem yer hareketleri (orijinal ve D2 deprem düzeyi için ölçeklenmiş) için spektral ivme, spektral deplasman ve D2 deprem düzeyi tasarım spektrumları ve bileşke spektrumlar	215
Şekil A.6 : Hector Mine depremi, Joshua Tree istasyonu 22170090 ve 22170360 bileşenleri deprem yer hareketlerine ait ivme, hız ve deplasman grafikleri (orijinal ve D2 deprem düzeyi için ölçeklenmiş)	216
Şekil A.7 : Hector Mine depremi, Joshua Tree istasyonu 22170090 ve 22170360 bileşenleri deprem yer hareketleri (orijinal ve D2 deprem düzeyi için ölçeklenmiş) için spektral ivme, spektral deplasman ve D2 deprem düzeyi tasarım spektrumları ve bileşke spektrumlar	217

SEMBOL LİSTESİ

$A(T_1)$	: T_1 periyot değerindeki spektral ivme katsayısı
A_0	: Etkin yer ivmesi katsayısı
A_c	: Kolonun brüt kesit alanı
A_{ch}	: Boşluksuz perdenin, bağ kirişli perdede her bir perde parçasının, döşemenin veya boşluklu döşemede her bir döşeme parçasının brüt enkesit alanı
A_{ck}	: Sargı donatısının dışından dışına alınan ölçü içinde kalan çekirdek beton alanı ΣA_c : Herhangi bir katta, gözönüne alınan deprem doğrultusunda etkili kesme alanı ΣA_g : Herhangi bir katta, gözönüne alınan deprem doğrultusuna paralel doğrultuda perde olarak çalışan taşıyıcı sistem elemanlarının enkesit alanlarının toplamı
ΣA_p	: Binanın tüm katlarının plan alanlarının toplamı
A_{s1}	: Kolon-kiriş düğüm noktasının bir tarafında, kirişin negatif momentini karşılamak için üste konulan çekme donatısının toplam alanı
A_{s2}	: Kolon-kiriş düğüm noktasının A_{s1} ’e göre öbür tarafında, kirişin pozitif momentini karşılamak için alta konulan çekme donatısının toplam alanı
A_{sd}	: Bağ kirişinde çapraz donatı demetinin her birinin toplam alanı
A_{sh}	: s enine donatı aralığına karşı gelen yükseklik boyunca, kolonda veya perde uç bölgesindeki tüm etriye kollarının ve çirozların enkesit alanı değerlerinin gözönüne alınan b_k ’ya dik doğrultudaki izdüşümlerinin toplamı
A_s	: Boyuna donatı alanı
A_w	: Kolon enkesiti etkin gövde alanı (depreme dik doğrultudaki kolon çıkıntılarının alanı hariç)
ΣA_w	: Herhangi bir katta, kolon enkesiti etkin gövde alanları A_w ’ların toplamı
a	: Kolonda veya perde uç bölgesinde etriye kollarının ve/veya çirozların arasındaki yatay uzaklık
b	: Enkesit genişliği
b_j	: Gözönüne alınan deprem doğrultusunda, birleşim bölgesine saplanan kirişin kolonla aynı genişlikte olması veya kolonun her iki yanından da taşması durumunda kolon genişliği, aksi durumda kirişin düşey orta ekseninden itibaren kolon kenarlarına olan uzaklıklardan küçük olanının iki katı (Kiriş genişliği ile birleşimin derinliğinin toplamını aşamaz)
b_k	: Birbirine dik yatay doğrultuların her biri için, kolon veya perde uç bölgesi çekirdeğinin enkesit boyutu (en dıştaki enine donatı eksenleri arasındaki uzaklık)

b_w	: Kirişin gövde genişliği
d	: Kirişin ve kolonun faydalı yüksekliği, modal yerdeğiştirme
d_i	: Binanın i'inci katında azaltılmış deprem yüklerine göre hesaplanan yerdeğiştirme
E	: Elastisite modülü, deprem yükü
E_c	: Beton elastisite modülü
EI_o	: Çatlamamış kesit eğilme rijitliği
EI_e	: Çatlamış kesit etkin eğilme rijitliği
F	: Toplam yatay yük
F_a	: Kısa periyotlu spektral ivme için zemin etkisi katsayısı
F_c	: Beton basınç kuvveti
F_s	: Çekme donatısı çekme kuvveti
F_v	: 1 saniye periyotlu spektral ivme için zemin etkisi katsayısı
$F_i(M,N,T)$	: Malzeme karakteristiklerine ve enkesit özelliklerine bağlı doğrusal olmayan fonksiyonlar
f_{cd}	: Betonun tasarım basınç dayanımı
f_{ce}	: Betonun ortalama dayanımı
f_{ck}	: Beton karakteristik basınç dayanımı
f_{cm}	: Mevcut beton dayanımı
f_{ctd}	: Betonun tasarım çekme dayanımı
f_{ctk}	: Beton karakteristik çekme dayanımı
f_{ctm}	: Mevcut betonun çekme dayanımı
f_{yd}	: Boyuna donatının tasarım akma dayanımı
f_{ye}	: Çeliğin ortalama dayanımı
f_{yk}	: Donatı çeliği karakteristik akma dayanımı
f_{ywd}	: Enine donatının tasarım akma dayanımı
f_{ywk}	: Enine donatının karakteristik akma dayanımı
G	: Sabit yük
g	: Sabit yayılı yük, Yerçekimi ivmesi ($9.81m/s^2$)
h	: Çalışan doğrultudaki enkesit boyutu
H_{cr}	: Kritik perde yüksekliği
H_i	: Yapının i'inci katının temel seviyesinden yüksekliği
H_N	: Binanın temel üstünden itibaren ölçülen toplam yüksekliği (Bodrum katlarında rijit çevre perdelerinin bulunduğu binalarda zemin kat döşemesi üstünden itibaren ölçülen toplam yükseklik)
H_w	: Temel üstünden veya zemin kat döşemesinden itibaren ölçülen toplam perde yüksekliği
h_i	: Binanın i'inci katının kat yüksekliği
h_k	: Kiriş yüksekliği
I	: Kesitin atalet momenti, yapı önem katsayısı
ℓ_b	: TS-500 de çekme donatısı için verilen kenetlenme boyu
ℓ_n	: Kolonun kirişler arasında kalan serbest yüksekliği, kirişin kolon veya perde yüzleri arasında kalan serbest açıklığı
ℓ_w	: Perdenin veya bağ kirişli perde parçasının plandaki uzunluğu
$K_1(M,N,T)$	: Akma (kırılma) eğrisi veya karşılıklı etki diyagramını kesit zorlarına bağlı olarak ifade eden fonksiyon

L_0	: Çatlama
L_1	: Plastik şekildeğiştirme başlangıcı
L_2	: Kırılma
L_p	: Plastik mafsallık boyu
M_a	: Kolonun serbest yüksekliğinin alt ucunda, kolon kesme kuvvetinin hesabında esas alınan moment
M	: Eğilme momenti
M_{cap}	: Eğilme momenti kapasitesi
$(M_d)_t$	: Perdenin taban kesitinde yük katsayıları ile çarpılmış düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan moment
M_N	: Etkin plastik moment
M_p	: Kesitin eğilme momenti taşıma gücü (plastik moment)
M_{pi}	: Kirişin sol ucu i'deki kolon yüzünde f_{ck} , f_{yk} ve çeliğin çekilmesi gözönüne alınarak hesaplanan pozitif veya negatif moment kapasitesi
M_{pj}	: Kirişin sağ ucu j'deki kolon yüzünde f_{ck} , f_{yk} ve çeliğin çekilmesi gözönüne alınarak hesaplanan negatif veya pozitif moment kapasitesi
ΣM_p	: Düğüm noktasına birleşen kirişlerin moment kapasitelerinin toplamı
$M_{pü}$	: Kolonun serbest yüksekliğinin üst ucunda f_{ck} , f_{yk} ve çeliğin çekilmesi gözönüne alınarak hesaplanan moment kapasitesi
$(M_p)_t$	: Perdenin taban kesitinde f_{ck} , f_{yk} ve çeliğin çekilmesi gözönüne alınarak hesaplanan moment kapasitesi
M_{ra}	: Kolonun veya perdenin serbest yüksekliğinin alt ucunda f_{cd} ve f_{yd} 'ye göre hesaplanan taşıma gücü momenti
M_{ri}	: Kirişin sol ucu i'deki kolon veya perde yüzünde f_{cd} ve f_{yd} 'ye göre hesaplanan pozitif veya negatif taşıma gücü momenti
M_{rj}	: Kirişin sağ ucu j'deki kolon veya perde yüzünde f_{cd} ve f_{yd} 'ye göre hesaplanan negatif veya pozitif taşıma gücü momenti
$(M_r)_t$	: Perdenin taban kesitinde f_{cd} ve f_{yd} 'ye göre hesaplanan taşıma gücü momenti
$M_{rü}$	: Kolonun veya perdenin serbest yüksekliğinin üst ucunda f_{cd} ve f_{yd} 'ye göre hesaplanan taşıma gücü momenti
$M_{ü}$	: Kolonun serbest yüksekliğinin üst ucunda, kolon kesme kuvvetinin hesabında esas alınan moment
M_Y	: İlk akma momenti
M_{xin}	: x doğrultusundaki depremde n'inci modda i'inci katta aynı doğrultuda meydana gelen kat kesme kuvvetine ilişkin etkin kütle
m_i	: Binanın i'inci katının kütlesi ($m_i = w_i / g$)
m_j	: j'inci katın kütlesi
N	: Normal kuvvet, binanın kat adedi
N_d	: Düşey yükler altında kolonda oluşan aksiyel basınç kuvveti
N_{dm}	: Düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan aksiyel basınç kuvvetlerinin en büyüğü
N	: Hesap yüküne ait boyutsuz normal kuvvet, hareketli yük katılım katsayısı

q	: Hareketli yayılı yük
q_i	: Binanın i 'inci katındaki toplam hareketli yük
Q	: Hareketli yük
r	: Etki/kapasite oranı
r_s	: Etki/kapasite oranının sınır değeri
R	: Yapı davranış katsayısı
R_a	: Deprem yükü azaltma katsayısı
$R_a(T_1)$	: T_1 periyot değerindeki deprem yükü azaltma katsayısı
R_{y1}	: Birinci moda ait dayanım azaltma katsayısı
s	: Enine donatı aralığı
S_a	: Spektral ivme
S_{ae}	: Elastik spektral ivme
S_{aen}	: n 'inci moda karşı gelen elastik spektral ivme
S_{ae1}	: Birinci moda ait elastik spektral ivme
S_d	: Spektral yerdeğiştirme
S_{de1}	: Birinci moda ait doğrusal elastik spektral yerdeğiştirme
S_{di1}	: Birinci moda ait doğrusal elastik olmayan spektral yerdeğiştirme
S_s	: Referans zemin sınıfı için kısa periyotlu spektral ivme
S_1	: Referans zemin sınıfı için 1 saniye periyotlu spektral ivme
S_{MS}	: Gözönüne alınan zemin sınıfı için kısa periyotlu spektral ivme
S_{M1}	: Gözönüne alınan zemin sınıfı için 1 saniye periyotlu spektral ivme
$S(T_1)$	: T_1 periyot değerindeki elastik tasarım ivme spektrum değeri
$T_{1(1)}$	: Başlangıçtaki ($i = 1$) itme adımında birinci (hakim) titreşim moduna ait doğal titreşim periyodu
T_1	: Binanın birinci doğal titreşim periyodu
T_A	: Spektrum karakteristik periyodu
T_B	: İvme spektrumundaki karakteristik periyod
T_e	: Etkin doğal periyod
T_o	: Spektrum köşe periyodu
T_L	: Uzun periyod bölgesine geçiş periyodu
T_s	: Spektrum köşe periyodu
u_n	: Tepe noktası yerdeğiştirmesi
V_c	: Betonun kesme dayanımına katkısı
V_d	: Yük katsayıları ile çarpılmış düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan kesme kuvveti
V_e	: Kesme kuvveti
V_{ik}	: Binanın i 'inci katındaki tüm kolonlarda gözönüne alınan deprem Doğrultusunda TDY 2007 Bölüm 2'ye göre hesaplanan kesme kuvvetlerinin toplamı
V_{is}	: Binanın i 'inci katında, TDY 2007 Denk.3.3'ün hem alttaki hem de üstteki düğüm noktalarında sağlandığı kolonlarda, gözönüne alınan deprem doğrultusunda Bölüm 2'ye göre hesaplanan kesme kuvvetlerinin toplamı
V_{kol}	: Düğüm noktasının üstünde ve altında TDY 2007 Bölüm 2'ye göre hesaplanan kolon kesme kuvvetlerinin küçük olanı
V_r	: Kolon, kiriş veya perde kesitinin kesme dayanımı

V_t	: Taban kesme kuvveti
V_{xin}	: x doğrultusundaki depremde n'inci modda i'inci katta aynı doğrultuda meydana gelen kat kesme kuvveti
$V_{t,min}$	: Minimum taban kesme kuvveti
w_i	: Binanın i'inci katının toplam ağırlığı
W	: Binanın hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak bulunan toplam ağırlığı
Y	: Mod Birleştirme Yöntemi'nde hesaba katılan yeterli doğal titreşim modu sayısı
α	: Deprem derzi boşluklarının hesabında kullanılan katsayı
α_s	: Süneklik düzeyi yüksek perdelerin tabanında elde edilen kesme kuvvetleri toplamının, binanın tümü için tabanda meydana gelen toplam kesme kuvvetine oranı
β	: Mod Birleştirme Yöntemi ile hesaplanan büyüklüklerin alt sınırlarının belirlenmesi için kullanılan katsayı
β_v	: Perdede kesme kuvveti dinamik büyütme katsayısı
Δ_i	: Binanın i'inci katındaki azaltılmış görelî kat ötelemesi
$(\Delta_i)_{ort}$	: Binanın i'inci katındaki ortalama azaltılmış görelî kat ötelemesi
ΔF_N	: Binanın N'inci katına (tepesine) etkileyen ek eşdeğer deprem yükü
δ_i	: Binanın i'inci katındaki etkin görelî kat ötelemesi
$(\delta_i)_{max}$	: Binanın i'inci katındaki maksimum etkin görelî kat ötelemesi
$(\delta_i)_{max} / h_i$	: Bina taşıyıcı sistemi için i'inci katta izin verilen en büyük görelî kat ötelemesi oranı
η_{bi}	: i'inci katta tanımlanan Burulma Düzensizliği Katsayısı
η_{ci}	: i'inci katta tanımlanan Dayanım Düzensizliği Katsayısı
η_{ki}	: i'inci katta tanımlanan Rijitlik Düzensizliği Katsayısı
χ	: Birim dönme (eğrilik)
χ_p	: Kesitin plastik eğilme momentine karşı gelen birim dönme
ε	: Birim boy değişmesi
ε_c	: Beton birim şekil değiştirmesi
ε_{cg}	: Sargılı bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekil değiştirmesi
ε_{cu}	: Beton ezilme birim kısalması
ε_y	: Akma şekil değiştirmesi
ε_s	: Donatı çeliği birim şekil değiştirmesi
ε_{su}	: Donatı çeliğinin kopma uzaması
$\emptyset$	: Donatı çapı
ϕ_y	: Eşdeğer akma eğriliği
ϕ_p	: Plastik eğrilik istemi
ϕ_t	: Toplam eğrilik istemi
Φ_{xN1}	: Binanın tepesinde (N'inci katında) x deprem doğrultusunda birinci moda ait mod şekli genliği
Γ_{x1}	: x deprem doğrultusunda birinci moda ait katkı çarpanı

ϕ_{xjn}	: n'inci modda j'inci katın kütle merkezinin x doğrultusundaki mod şekli genliği
ϕ_{yjn}	: n'inci modda j'inci katın kütle merkezinin y doğrultusundaki mod şekli genliği
$\phi_{\theta jn}$	: n'inci modda j'inci katın kütle merkezinden geçen eksen etrafındaki dönme cinsinden mod şekli genliği
ϕ_y ,	: Etkin plastik momente karşı gelen akma eğriliği
ϕ_y	: İlk akma momentine karşı gelen eğrilik
θ_p	: Plastik dönme istemi
ρ	: Çekme donatısı oranı
ρ'	: Basınç donatısı oranı
ρ_b	: Dengeli donatı oranı
ρ_{sh}	: Perdede yatay gövde donatılarının hacımsal oranı $[(\rho_{sh})_{min} = 0.0025]$
ρ_{sm}	: Kesitte bulunması gereken enine donatının hacımsal oranı

YÜKSEK BİNALARIN 2007 TÜRK DEPREM YÖNETMELİĞİ VE İSTANBUL YÜKSEK BİNALAR DEPREM YÖNETMELİĞİ'NE GÖRE TASARIMI ÜZERİNE SAYISAL BİR İNCELEME

ÖZET

Yapı sistemlerinin deprem etkileri altındaki yapısal performanslarının belirlenmesinde, doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri kullanılabilir. Doğrusal hesap yöntemleri dayanım esaslı, doğrusal olmayan hesap yöntemleri ise şekildeğiştirme ve yerdeğiştirme esaslıdır. Doğrusal teoriye göre hesapta, malzemenin doğrusal-elastik, yerdeğiştirmelerin çok küçük olduğu varsaymakta ve bu varsayım ile süperpozisyon ilkesi uygulanabilmektedir. Doğrusal olmayan hesapta ise malzemenin doğrusal-elastik sınır ötesindeki davranışı hesaba katılmakta, diğer bir deyişle, bünye bağıntılarının doğrusal olmadığı gözönünde tutulmaktadır. Bunun sonucunda, doğrusal olmayan teoride süperpozisyon ilkesi uygulanamamaktadır.

Yapı mühendisliğindeki ve malzeme bilimindeki gelişmeler, bilgisayar teknolojisindeki ilerlemeler mühendislerin deprem hareketlerini ve depremin yapılar üzerindeki etkilerini daha gerçekçi ve aslına uygun olarak belirlemesine katkıda bulunmaktadır. Bu gelişmeler, yapı sistemlerinin deprem etkileri altındaki doğrusal olmayan davranışlarının daha yakından izlenmesine ve göçme güvenliklerinin daha gerçekçi bir şekilde belirlenmesine de olanak sağlamaktadır.

Bu tez kapsamında, betonarme binaların can güvenliği deprem performansının 2007 Deprem Yönetmeliği'nde tanımlanan doğrusal yöntemlerle ve henüz taslak aşamasında olan İstanbul İli Yüksek Binalar Yönetmeliği'nde tanımlanan doğrusal olmayan yöntemlerle belirlenmesi amacıyla yönelik olarak, 42 katlı, üç boyutlu bir bina taşıyıcı sistem modeli boyutlanarak analiz edilmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Altı bölümden oluşan yüksek lisans tezimin birinci bölümü, konunun açıklanmasına ve konu ile ilgili çalışmaların gözden geçirilmesine ayrılmış, çalışmanın amacı ve kapsamı hakkında bilgi verilmiştir.

İkinci bölümde, yapı sistemlerinin doğrusal ve doğrusal olmayan davranışları incelenmiş, doğrusal olmayan sistemlerin hesap yöntemleri gözden geçirilmiştir. Malzeme bakımından doğrusal olmayan betonarme sistemlerinin iç kuvvet-şekildeğiştirme bağıntıları verilmiş, doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin belirli kesitlerde toplandığı varsayımına dayanan plastik mafsal hipotezi ve doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin sistem üzerinde yayılı olduğunu gözönüne alan fiber eleman analojisi irdelenmiştir. Bu kapsamda bina taşıyıcı sistemlerinin doğrusal olmayan davranışları incelenmiş ve bu davranış üzerinde etken olan faktörler açıklanmıştır. Bunun yanında, dinamik analizde kullanılan deprem kayıtlarının seçimi ve ölçeklendirilmesi konusunda bilgi verilmiştir.

Üçüncü bölümde binaların performansa dayalı tasarımı hakkında genel bilgi verilmiştir. 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nde yer alan bina deprem performans düzeyleri ve kullanılan analiz yöntemleri gözden geçirilmiş, bu çalışma kapsamında kullanılan *Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemi* açıklanmıştır.

Dördüncü bölümde, yüksek binaların performansa göre tasarımı konusundaki çeşitli uluslararası yaklaşımlar irdelenmiştir. Bu bağlamda, İstanbul İli Yüksek Binalar Yönetmelik Taslağı ile özellikle Amerika'da depremselliği yüksek olan Los Angeles şehri için hazırlanmış olan yüksek binalar yönetmelik taslağı hakkında bilgi verilmiştir.

Beşinci bölüm sayısal incelemelere ayrılmıştır. 42 katlı bir binanın üç boyutlu bir hesap modeli hazırlanmış, DBYBHY-2007'de yer alan doğrusal yöntemle tasarımı ve İstanbul İli Yüksek Binalar Yönetmeliği Taslağı'nın can güvenliği hedef performans seviyesine göre doğrusal olmayan analizi yapılmıştır.

Altıncı bölüm bu tez kapsamında varılan sonuçları içermektedir. Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar bu bölümde açıklanmış ve değerlendirilmiştir.

A NUMERICAL STUDY ON DESIGN OF TALL BUILDINGS IN ACCORDANCE WITH TDY-2007 AND ISTANBUL TALL BUILDINGS SEISMIC DESIGN CODE

SUMMARY

The performance of structural systems under earthquake effects can be determined by linear and non-linear evaluation methods. The linear evaluation methods are based on strength and the non-linear evaluation methods are based on deformation and displacement. According to the linear evaluation theory, it is assumed that the material is linear-elastic and the deformations are small, so that the principle superposition can be applied to the analysis. In the non-linear evaluation approach, however, the behaviour of material beyond the linear- elastic limit is considered; therefore the relationships are not linear. Consequently, the superposition principle cannot be applied in non-linear analysis.

Developments in structural engineering, computer technology and the material science help engineers to be familiar to the earthquake motions and the effects of earthquake on buildings in a more realistic and accurate way. These developments with the observation of the non-linear behaviour of structural systems in an earthquake, enable engineers to accomplish more realistic designs.

In the scope of this thesis, a 42 storey - tall building structure is designed for the life safety seismic performance, by means of the linear methods of TDY 2007. Then the seismic performance of the structure is evaluated by the nonlinear methods of Istanbul Seismic Design Code for Tall Buildings and results are compared.

The present master thesis is composed of six chapters. The first chapter is designated for the brief explanation of the subject and the examination of the previous works done about the scope. The aim and the scope of the study is explained in this part.

In the second chapter, information about the general principles of the linear and non-linear evaluation methods and the assumptions on which these methods are based on, are given. The strain-stress relationships of the non-nonlinear reinforced concrete material are explained; also plastic hinge hypothesis and the fiber member analogy are given. Moreover, factors that affect the non-linear behaviour of structural systems are examined. Furthermore, selection and scaling for real earthquake ground motion records are explained briefly.

The third chapter gives information on the performance based design and assessment of structures. Performance levels and performance assessment methods are explained briefly. Also the method of *Nonlinear Analysis Method in the Time Domain*, which is also utilized for the numerical study introduced during this thesis, is explained.

In the fourth chapter, international regulations and draft reports for performance assessment of tall buildings are explained. At this way, the Istanbul Seismic Design Code for Tall Buildings and the other tall building codes, especially for the city of Los Angeles which have high intensity for the earthquake hazard in the U.S.A are explained.

The fifth chapter is devoted for the numerical investigations. A three dimensional structural model of a 42 storey building is designed by the strength based linear method given by the TDY-2007. Then, the non-linear method of the Istanbul Seismic Design Code for Tall Buildings is used for the Life Safety Performance Level evaluation of the building structure. The results are compared and evaluated.

The sixth chapter is the final chapter and is devoted to the results of the study. Main findings of the study, the examination of the results of this study are explained in this chapter.

1. GİRİŞ

1.1 Konu

Yapılar kullanım süreleri boyunca sürekli olarak düşey yüklerin etkisi altındadırlar. Buna karşılık, düşey yükler gibi sürekli olmayan ve yapıya zaman zaman etkiyen yatay kuvvetler altında genellikle daha fazla zorlanmaktadırlar. Günümüzdeki yönetmeliklerde yapıların yatay deprem etkileri altında tasarımı genellikle doğrusal elastik hesap yöntemleri ile yapılmaktadır. Bu hesap yöntemlerinde, yapıya etkiyen elastik deprem yükleri taşıyıcı sistem davranış katsayısı adı verilen bir katsayıya bölünerek yapının elastik ötesi davranışı hesaba katılmaya çalışılmaktadır. Bu yaklaşımdaki genel düşünce, yapıya etkiyen deprem yükleri altında yapı elemanlarında plastik şekildeğiştirmeler oluşması ve örneğin eşit yerdeğiştirme prensibi uyarınca bu etkilerden meydana gelen iç kuvvetlerin azalmasıdır. Diğer bir deyişle, yapı sistemi süneklik özelliği ile üzerine etkiyen deprem yüklerini sönümlemektedir. Bu durumda, görelî kat ötelemelerinin kontrolünde, davranış katsayısı kullanılarak azaltılan deprem yükleri altında hesaplanan kat yerdeğiştirmeleri, tekrar bu katsayı ile çarpılarak gerçek yerdeğiştirmeler elde edilmektedir.

Yukarıda açıklanan yaklaşımda, yapının elastik ötesi davranışı sistem sünekliği ile ilgili bir taşıyıcı sistem davranış katsayısı kullanılarak, doğrusal elastik hesap yöntemiyle ele alınmakta, bu nedenle hesapta kullanılacak deprem yükü azaltma katsayısı sistemde oluşan plastik şekildeğiştirmelerden ve bunların sistem üzerindeki dağılımından bağımsız olmaktadır. Ayrıca, yapılan hesaplar dayanım bazlı olduklarından, yapının gerçek şekildeğiştirmeleri hakkında bilgi verememektedir.

Yapıların deprem etkileri altındaki davranışlarının belirlenmesinde ana etken olan hasar durumları en gerçekçi olarak şekildeğiştirmelerle ifade edilebilmektedir. Bu nedenle, şekildeğiştirme bazlı değerlendirmenin esas alındığı hesap yöntemlerinin

kullanımına olan gereksinim giderek artmaktadır. Doğrusal olmayan teoriyi esas alan bu hesap yöntemlerinden yararlanarak, yapı sistemlerinin dış yükler ve deprem yükleri altındaki gerçek davranışları belirlenebilmektedir. Günümüzde bu tür hesap yöntemleri ile yapıların deprem etkileri altındaki performanslarının değerlendirilmesi önem kazanmaktadır.

Deprem mühendisliği konusundaki gelişmeler ve bilgisayar teknolojisindeki ilerlemeler, depreme dayanıklı yapı tasarımının daha ayrıntılı ve daha gerçekçi olarak yapılmasına olanak sağlamaktadır. Bu ilerlemelerden yararlanarak, yapıların yerdeğiştirme kontrollü analizleri yapılabilmekte ve öngörülen çeşitli performans düzeylerine göre tasarım ve performans değerlendirmeleri mümkün olmaktadır. Diğer taraftan, son yıllarda yaşanan depremlerin ardından, özellikle sanayileşmiş ülkelerde yapıların can güvenliği ve göçme güvenliği koşullarının 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. Böylece, yapıların çeşitli deprem etkileri altında farklı performans düzeylerine, başka bir deyişle, farklı sınır durumlarına göre tasarımının ve değerlendirilmesinin gerekliliği ortaya çıkmıştır [1, 2].

Yüksek binaların analizleri, gerek taşıyıcı sistemlerinin karmaşık olmasından, gerekse maruz kaldıkları deprem etkilerinin önemli olmasından dolayı bilgisayar programları yardımı ile yapılmaktadır. Bilgisayar analizleri çok değişik varsayımları içeren çözümlerin kısa zamanda yapılabilmesi bakımından yararlıdır. Ancak yapılan çözümlerle varılan sonuçların değerlendirilmesi, gerekli karşılaştırmaların yapılması ve sorunlu durumlarda çözüm yollarının bulunması için, taşıyıcı sistem davranışının, hesap ilkelerinin ve çözüm adımlarının iyice kavranmış olması gerekmektedir. Bu nedenle, günümüzde yüksek binaların analizlerini yapan mühendislerin analiz yöntemlerinin ana kavramlarını özümsemiş olmaları beklenir. Ayrıca, yönetmeliklerde yer alan kuralların ve koşulların temel nedenlerinin bilinmesi, bunların uygulanması sırasında ortaya çıkacak problemlerin sağlıklı biçimde çözülmesine katkı sağlamaktadır.

Günümüzde yüksek binaların analiz ve değerlendirmeleri başlıca iki farklı yöntem ile yapılmaktadır. Bunlar doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan yöntemlerdir.

Doğrusal elastik değerlendirme yönteminin temelini oluşturan ve dayanım (kuvvet) bazlı analiz adı verilen birinci tür yaklaşımda, yapı elemanlarının taşıma kapasiteleri sisteme etkiyen yüklerin oluşturduğu iç kuvvetlerle karşılaştırılarak, eleman bazında bir tür deprem yükü azaltma katsayısı belirlenmektedir.

Doğrusal elastik 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. Doğrusal elastik olmayan analiz yöntemlerinin esasını oluşturan, şekildeğiştirme bazlı değerlendirmenin esas alındığı ve genel olarak malzeme ve geometri değişimleri bakımından doğrusal olmayan teoriye dayanan yaklaşımlarda belirli bir deprem etkisi altında yapı elemanlarında oluşan şekildeğiştirmeler belirlenmekte ve değerlendirilmektedir.

1.2 Konu İle İlgili Çalışmalar

Yapı sistemlerinin malzeme bakımından doğrusal olmayan kurama göre hesabını amaçlayan yöntemler üzerindeki çalışmalar uzun bir geçmişe dayanmaktadır. Bu doğrultuda geliştirilen analiz yöntemleri, temel varsayımları bakımından ikiye ayrılırlar:

- a) doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin sistem üzerine sürekli olarak yayıldığıнын gözönüne alındığı çalışmalar ve analiz yöntemleri [3-5]
- b) plastik mafsallara dayanan yöntemler [6, 7].

Bu yöntemlerin gelişmesine paralel olarak, doğrusal olmayan kurama dayanan pratik ve etkin bilgisayar programları da giderek gelişmekte ve yaygın olarak kullanılmaktadır [8-10].

Yerdeğiştirme ve şekildeğiştirmeye bağlı performans kriterlerinin esas alan 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

alışmaları sırasında ortaya konulmuş ve geliştirilmiştir. 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, yerdeğiştirme ve şekildeğiştirmeye bağlı daha gerçekçi performans kriterlerini esas alan yaklaşımların geliştirilmesinin gereğini ortaya çıkarmıştır.

Bu doğrultuda, Applied Technology Council (ATC) tarafından Guidelines and Commentary for Seismic Rehabilitation of Buildings – ATC 40 projesi [11] ve Federal Emergency Management Agency (FEMA) tarafından NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings – FEMA 273, 356 yayınları [12, 13] gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, bu çalışmaların sonuçlarının irdelenerek geliştirilmesi amacıyla ATC 55 projesi yürütülmüş ve projenin sonuçlarını içeren FEMA 440 taslak raporu [14] hazırlanmıştır. Son olarak 2007 yılında, daha önceden bu konu ile ilgili olarak yayınlanan FEMA ve ATC raporlarını kapsayan ASCE 41-06 [15] standardı hazırlanmış ve yayınlanmıştır. Bu organizasyonların yanında, Building Seismic Safety Council (BSSC), American Society of Civil Engineers (ASCE) ve Earthquake Engineering Research Center of University of California at Berkeley (EERC – UCB) tarafından yürütülen diğer projeler de bu alandaki araştırmalara katkı sağlamaktadır. Bu projelerden ve yayınlardan yararlanarak, deprem bölgelerinde inşa edilecek yapıların performansa dayalı olarak tasarımı da mümkün olmaktadır.

Bina performansının belirlenmesi için yukarıda sözü edilen rapor ve standartlarda önerilen yöntemlerin (kapasite spektrumu yöntemi, yerdeğiştirme katsayıları yöntemi vb.) güvenilirliği akademik çevrelerde geniş bir araştırma konusu oluşturmuştur. Bu bağlamda, 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 amaçla geliştirilen ve özellikle doğrusal olmayan yapı sistemlerinin analizinde kullanılan başlıca sayısal integrasyon yöntemleri, sabit ortalama ivme ve doğrusal ivme yaklaşımlarını gözönüne alan Newmark ve Wilson yöntemleridir. Ayrıca, son yıllarda araştırmacılar akma dayanımı, süneklik, pekleşme

oranı, yapısal güvenlik düzeyi vb. gibi parametreleri ve bunların değişimlerini dikkate alarak, belirli periyot aralığında bulunan tek serbestlik dereceli sistemleri deprem kayıtları etkisi altında incelemişlerdir. Bu incelemelerin ardından, özellikle betonarme yapılar için rijitlik azalmasını ve bunun etkilerini dikkate alan modellerin önemi ortaya konulmuştur [16].

Yapı sistemlerinin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizi, deprem yer hareketi ivme kayıtlarının esas alındığı bir yöntemdir. Bu nedenle, doğru ve gerçekçi deprem ivme kayıtlarının kullanılması, elde edilen sonuçların güvenilirliği açısından önemlidir. Ayrıca, bu tür bir analizde kullanılacak olan malzemenin çevrimsel özelliğinin uygun bir şekilde tanımlanması da sonuçları doğrudan etkilemektedir.

Deprem yer hareketlerinin seçilmesi ve ölçeklenmesi ile ilgili olarak, üzerinde uzlaşmış kesin bir prosedür veya yöntem bulunmamaktadır [17]. Bununla beraber, Uniform Building Code-1997 [18], Eurocode 8.1 [19], American Society of Civil Engineers 7-05 [20], An Alternative Procedure For Seismic Analysis And Design of Tall Buildings Located In The Los Angeles Region [21] ve NEHRP Recommended Provisions For Seismic Regulations For New Buildings and Other Structures - FEMA 222A, 223A, 302, 303 [22-25] yönetmelik ve yönergelerinde deprem yer hareketlerinin seçilmesine ve analizlerde kullanılmasına ilişkin esasları ve kuralları içeren maddeler bulunmaktadır.

1.3 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmanın amacı, yüksek binaların tasarımında uygulanmakta olan ve doğrusal elastik analiz yöntemlerini esas alan dayanım bazlı tasarım ile doğrusal olmayan analiz yöntemlerini esas alan şekildeğiştirme bazlı tasarım yaklaşımlarının, 42 katlı 3 boyutlu bir taşıyıcı sistem modeli üzerinde irdelenmesi ve sonuçların karşılaştırılmasıdır. Bu amaçla, doğrusal elastik analiz yöntemleri ile boyutlandırmada 2007 Türk Deprem Yönetmeliği (DBYBHY-2007) [26] esas alınmıştır. Doğrusal elastik olmayan analiz yöntemleri ile boyutlandırmada ise İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği Taslağı'ndan [27] yararlanılmıştır.

Bu çalışmada aynı zamanda, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizde kullanılacak olan deprem kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklenmesi konusu

incelenmiştir. Bu konu tezin amacı ile doğrudan ilişkili olmamakla beraber, hesapların güvenli ve gerçekçi olarak yapılabilmesi için üzerinde durulması gereken bir hususu oluşturmaktadır. Bu nedenle, ayrıntıya girilmeksizin, konu ile ilgili literatür araştırması yapılmış ve çalışmanın gerekli bölümlerinde açıklayıcı bilgiler verilmiştir.

Çalışmada izlenen yol aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır.

- a) Yapı sistemlerinin hesap esaslarının ve malzeme bakımından doğrusal olmayan betonarme yapı sistemlerinin statik ve dinamik davranışları ile ilgili hesap yöntemlerinin incelenmesi, ayrıca yapısal davranışta etkili olan parametrelerin gözden geçirilmesi.
- b) Performansa dayalı tasarım hakkında genel bilgi verilmesi ve 2007 Türk Deprem Yönetmeliği' nde (DBYBHY-2007) yer alan performansa dayalı tasarım ve değerlendirme kriterlerinin açıklanması.
- c) Yüksek binaların analizi için hazırlanan uluslararası yönetmelikler, yönetmelik taslakları ve yönergeler ile henüz taslak aşmasında olan İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği' nin incelenmesi.
- d) 42 katlı 3 boyutlu bir yüksek bina modelinin, tasarım depremi altında *Can Güvenliği Hedef Performans Seviyesi* için 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'ne göre doğrusal yöntemlerle ve İstanbul İli Yüksek Binalar Yönetmeliği' ne göre doğrusal olmayan yöntemler ile boyutlandırılması ve boyutlandırma sonuçlarının karşılaştırılarak değerlendirilmesi.
- e) Çalışmada varılan sonuçların açıklanması.

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

2.1 Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmayan Davranışı

Günümüzde yapı mühendisliğinde genellikle uygulanmakta olan ve sistem analizi bakımından doğrusal teoriye dayanan tasarım yaklaşımlarında (çelik binaların güvenlik gerilmeleri esasına göre tasarımı ve betonarme binaların taşıma gücü yöntemine göre tasarımı), yapı sistemlerinin doğrusal olmayan davranışları 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 şekildeğişimleri nedeniyle iç kuvvet dağılımının değişmesi yeniden dağılım ilkesi yardımı ile gözönüne alınmaya çalışılmaktadır. Diğer taraftan, deprem etkilerine göre hesapta, malzemenin doğrusal-elastik sınır ötesindeki sünek 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.

Yukarıda açıklanan yaklaşımlara alternatif olarak, yapı malzemelerinin doğrusal-elastik sınır ötesindeki taşıma kapasitelerini gözönüne almak, çok küçük olmayan yerdeğişimlerin 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 davranışının 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 birlikte sağlamaları gerekmektedir [3, 4].

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

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

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

2.1.2 Yapı sistemlerinin doğrusal olmama nedenleri

Bir yapı sisteminin dış etkiler altındaki davranışının doğrusal olmaması genel olarak iki temel nedenden kaynaklanmaktadır [28].

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

2- Geometri değışimlerinin 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 gözönüne alan teoriler Çizelge 2.1 de topluca özetlenmiştir.

Denge denklemlerinde yerdeğiştirmelerin çok 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, geometrik uygunluk koşulları sistemin özelliklerinden kaynaklanan nedenlerle sağlanmayabilir. Böyle durumlarda sistemde geometrik süreksizlikler meydana gelir ve özellikle sistemi oluşturan elemanların sınır

koşullarındaki bu süreksizlikler nedeniyle sistemin davranışı doğrusal olmaz. Bu tür sistemlere geometrik süreksizlikler bakımından doğrusal olmayan sistemler denir ve bunlar malzeme bakımından doğrusal olmayan sistemler gibi incelenebilirler. Kayıcı bulonlu düğüm noktaları içeren çelik yapı sistemleri, geometrik süreksizlikler bakımından doğrusal olmayan sistemlere bir örnek oluşturmaktadır.

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 Bağlantıları)	Doğrusal-elastik	Doğrusal-elastik Değil	Doğrusal-elastik	Doğrusal-elastik	Doğrusal-elastik Değil	Doğrusal-elastik Değil
Denge Denklemlerinde Yerdeğiştirmeler	küçük	küçük	küçük Değil	küçük Değil	küçük Değil	küçük Değil
Geometrik Uygunluk Koşullarında Yerdeğiştirmeler	küçük	küçük	küçük	küçük Değil	küçük	küçük Değil

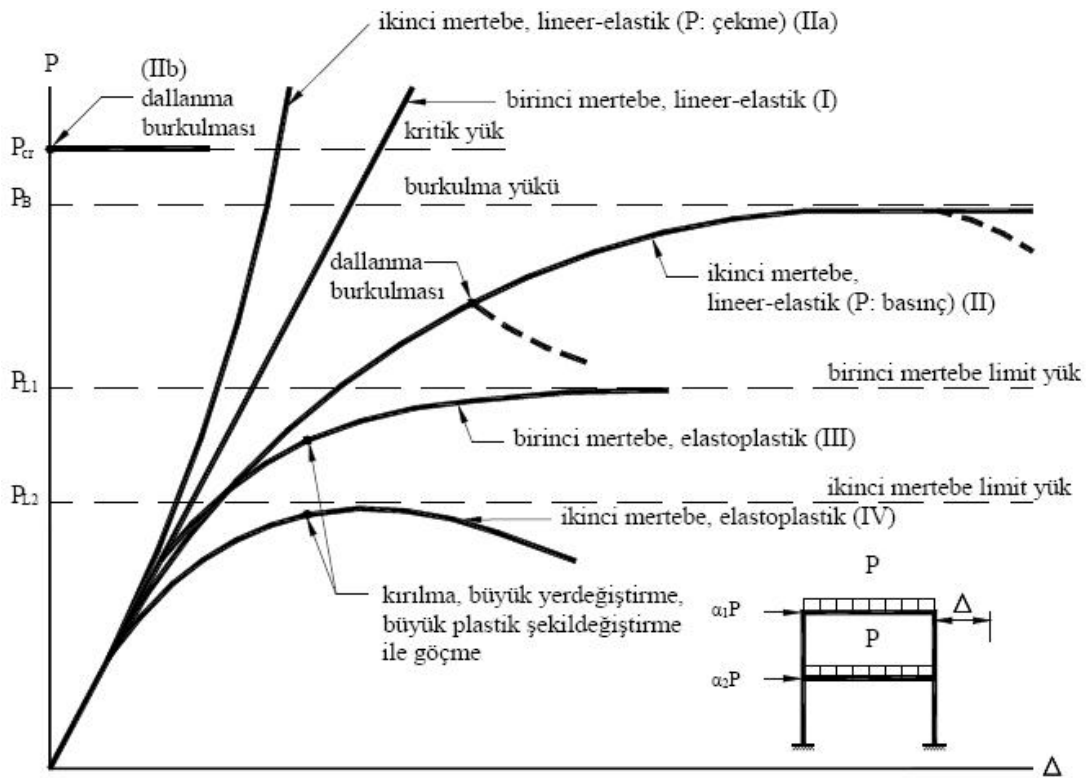
2.1.3 Yapı sistemlerinin dış yükler altındaki doğrusal olmayan davranışı

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

Malzemenin sınırsız olarak doğrusal-elastik varsayıldığı bir yapı sisteminin, artan dış yükler altında, birinci mertebe teorisine göre belirlenen davranışı (I) doğrusu ile ifade edilmektedir. Geometri değişimlerinin denge denklemlerine etkisinin, diğer bir deyişle, eksenel kuvvetlerin şekildeğiştirmiş sistem üzerinde oluşturduğu ikinci mertebe etkilerinin ($P-\Delta$ etkilerinin) hesaba katıldığı ikinci mertebe teorisinde ise, eksenel kuvvetin basınç veya çekme olmasına göre iki farklı sistem davranışı ile karşılaşılabilir. Örneğin eksenel kuvvetin basınç olması halinde, (II) eğrisinden görüldüğü gibi, artan dış yüklerle daha hızlı 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 $P-\Delta$ 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 genelde burkulma yükünden biraz daha büyük veya ona eşittir. Dallanma burkulması, bazı hallerde burkulmadan önce şekildeğiştiren sistemlerde de oluşabilir, (II eğrisi).



Şekil 2.1 : Çeşitli teorilere göre elde edilen yük parametresi-yerdeğiştirme bağıntıları

Doğrusal olmayan malzemeden yapılan 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 mafsallık (veya genel anlamda plastik kesit) adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, bu kesitlerin dışındaki bölgelerde ise sistemin doğrusal-elastik davrandığı varsayılabilir.

Bu varsayım plastik mafsallık (plastik kesit) hipotezi olarak isimlendirilmektedir. Plastik mafsallık 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 elasto-plastik teoriye göre hesabı ile elde edilen $P-\Delta$ diyagramı şekilde (IV) eğrisi ile gösterilmiştir. Bu diyagram ilk kritik kesitte doğrusal-elastik sınırın aşılmasına kadar (II) eğrisini izlemekte, daha sonra meydana gelen doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler nedeniyle yerdeğiştirmeler daha hızlı olarak artmaktadır. Plastik mafsallık 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 $P-\Delta$ diyagramında artan yerdeğiştirmelere azalan yükler karşı gelir. Sistemin stabilite yetersizliği nedeniyle taşıma gücünü yitirmesine neden olan bu yük parametresine *ikinci mertebe limit yük* denilmektedir.

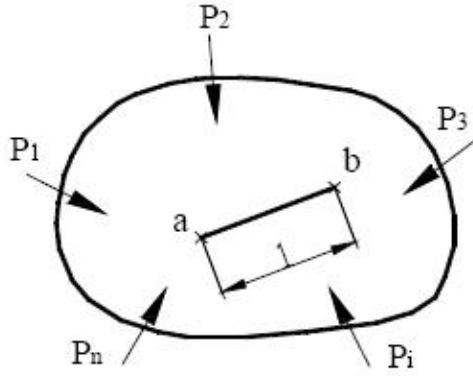
Bazı hallerde, dış yükler limit yüke erişmeden önce, meydana gelen büyük yerdeğiştirmeler, büyük plastik şekildeğiştirmeler ile betonarme sistemlerde oluşan büyük çatlaklar ve kırılma yapının işletme dışı olmasına (göçmesine) neden olabilmektedir.

2.2 İç Kuvvet-Şekildeğiştirme Bağlılıları ve Akma (Kırılma) Koşulları

Çeşitli yapı malzemelerinin gerilme-şekildeğiştirme bağıntıları ile düzlem çubuk elemanlarda ve özellikle betonarme çubuk elmanlarda iç kuvvet-şekildeğiştirme bağıntıları ve kesitlerin taşıma kapasitelerini ifade eden akma (kırılma) koşulları aşağıda verilmiştir.

2.2.1 Malzemelerin şekildeğiştirme özellikleri

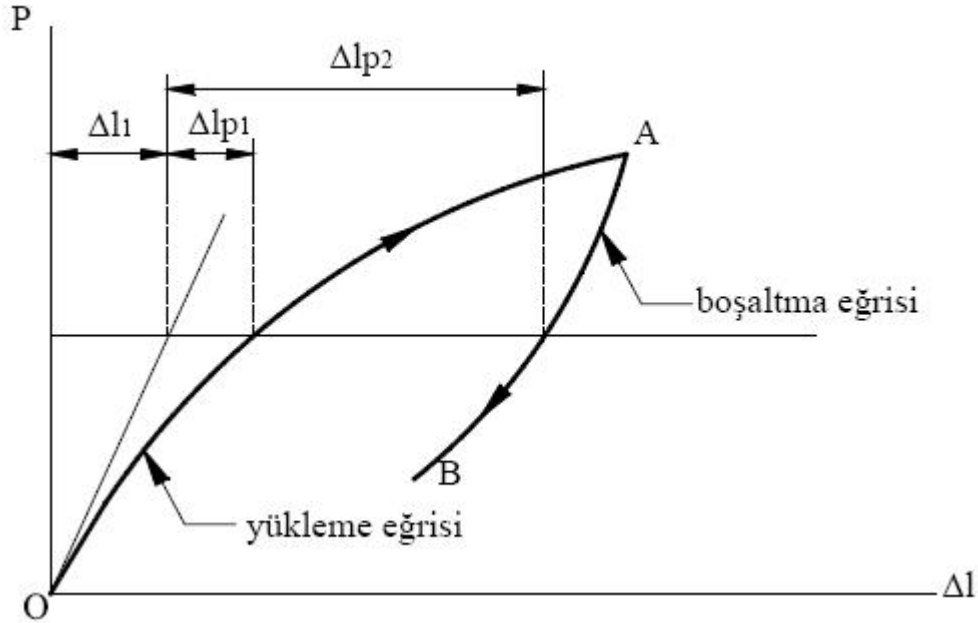
Şekil 2.2 de verilen katı cisim, üzerine etkiyen P_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) dış kuvvetleri altında dengededir. Yükler, aralarındaki oranlar sabit kalacak şekilde değişmektedir. Şekildeki katı cismin a ve b noktaları arasındaki l uzunluğunun P yükleri altındaki Δl değişimi Şekil 2.3 te şematik olarak gösterilmiştir.



$$P_i = p_i P$$

P : yük parametresi

Şekil 2.2 : Dış kuvvetler etkisindeki katı cisim



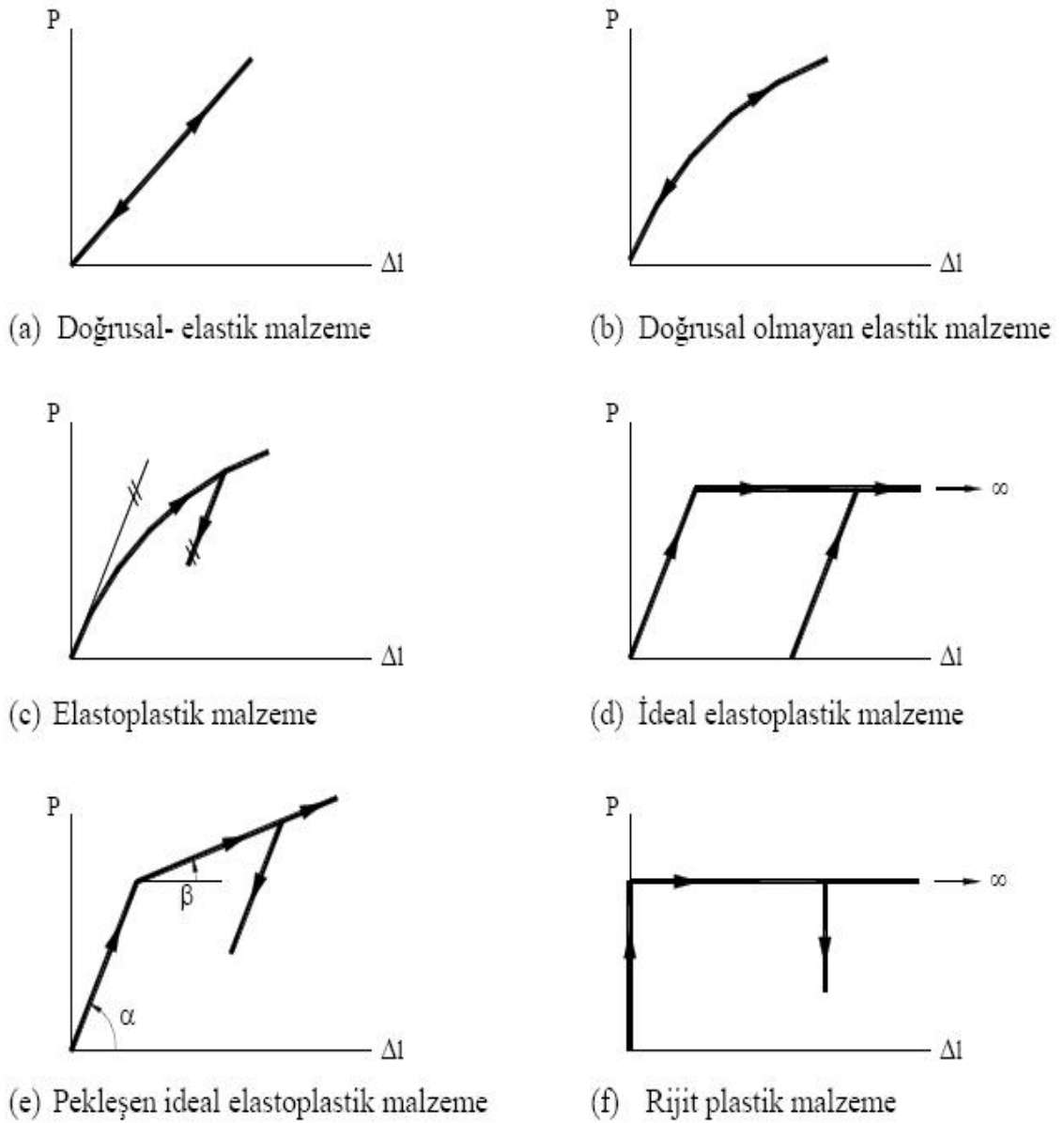
Şekil 2.3 : Şematik yük parametresi-şekildeğiştirme diyagramı

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_1 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 üzerinde bazı idealleştirmeler yapılarak tanımlanan ideal malzemelerin başlıcaları Şekil 2.4 te gösterilmiştir.



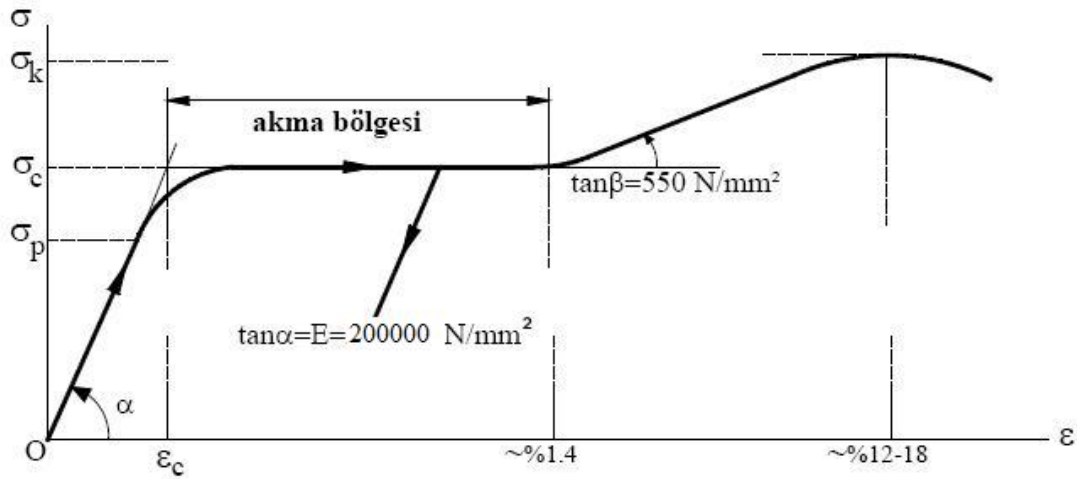
Şekil 2.4 : İdeal malzemeler

2.2.1.2 Yapı malzemelerinin gerilme-şekildeğiştirme bağıntıları

Betonarme yapı elamanlarını 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 2.5 te görülmektedir.

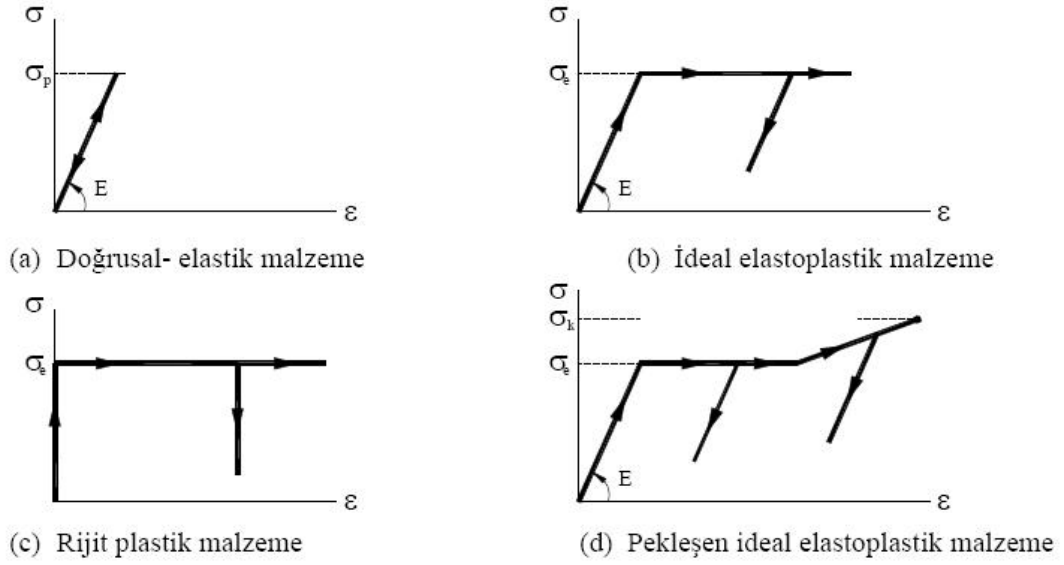


Şekil 2.5 : Beton çeliğinin gerilme-şekildeğiştirme diyagramı

Bu diyagramı tanımlayan σ_k kopma gerilmesi, σ_c akma gerilmesi ve ϵ_c akma şekildeğiştirmesinin S420 beton çeliği için aldığı değerler aşağıda verilmiştir.

S420 Beton Çeliği : $\sigma_k = 550 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_c = 420 \text{ N/mm}^2$, $\epsilon_c = 0.0021$

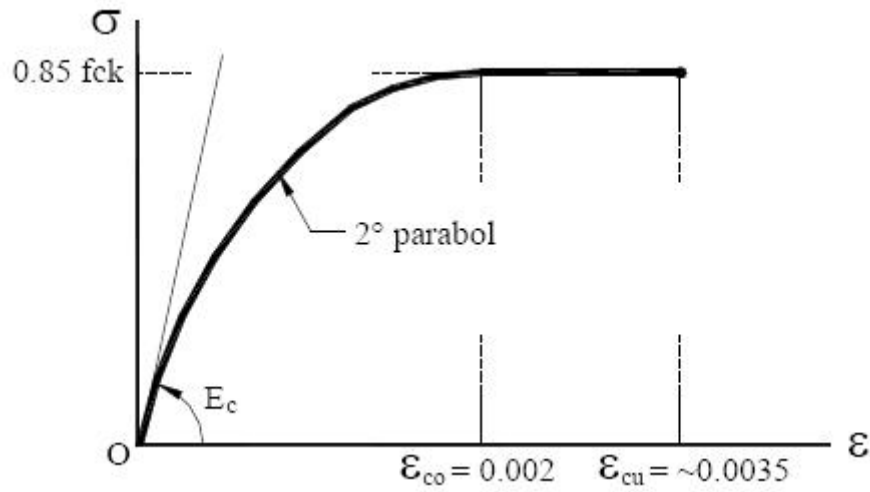
Betonarme yapı elemanlarının iç kuvvet-şekildeğiştirme bağıntılarının elde edilmesinde, uygulanan analiz ve tasarım yaklaşımına bağlı olarak, beton çeliğinin σ - ϵ diyagramının bir bölümü veya tümü Şekil 2.6 da verilen modellerden birine uygun olacak şekilde idealleştirilebilir.



Şekil 2.6 : Beton çeliğinin σ - ϵ diyagramının idealleştirilmesi

b) Beton

Betonarme bir çubuk elemanın eğilmesinde, dış basınç lifindeki betonun σ - ϵ bağıntısı Şekil 2.7 de görülmektedir.



Şekil 2.7 : Betonarme çubuğun eğilmesinde dış basınç lifindeki σ - ϵ diyagramı

Şekil 2.7 de, f_{ck} betonun karakteristik basınç dayanımını, E_c ise

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

formülü ile hesaplanabilen beton elastisite modülünü göstermektedir [29].

Betonun ezilerek kırılmasına neden olan ϵ_{cu} birim kısalması sargısız betonda yaklaşık olarak 0.003-0.0035 mertebelerinde iken, sargılı betonda sargı donatısı (etriye)

miktarına bağılı olarak önemli oranda artabilmektedir. Bu çalışmanın ilerleyen aşamalarında, betonarme kesitlerde sargı etkisi ayrıntılı olarak incelenecektir.

Son yıllarda, yapı sistemlerinin doğrusal olmayan analizlerinde, beton sargı etkisinin dikkate alınması için çeşitli modeller kullanılmaktadır. Bunların arasında en yaygın olarak kullanılan modeller, *Geliştirilmiş Kent-Park*, *Mander* ve *Saatçioğlu-Ravzi* modelleridir.

Bu üç modelde de, betonarme elemanlarda sargı etkisi için yükleme ve boşaltma histeretik eğrilerini içeren çeşitli gerilme-şekildeğiştirme bağıntıları önerilmiştir ve bu malzeme modelleri yapıların deprem etkileri altındaki analizinde yaygın olarak kullanılmaktadır [30].

2007 Türk Deprem Yönetmeliği (DBYBHY-2007), başka herhangi bir seçim yapılmadığı durumlarda, sargılı veya sargısız beton modelleri için *Mander* beton modelinin kullanılmasını önermektedir [26].

Mander sargılı beton modelinde, sargı etkisiyle artan beton basınç dayanımı ve ε_{cu} beton birim kısalması, malzeme dayanımlarının yanında elemanda enine ve boyuna donatı yerleşimi de gözönüne alınarak hesaplanır. Mander modeli ile ilgili ayrıntılı bilgi Bölüm 2.4.5.1 de verilmiştir.

2.2.2 Düzlem çubuk elemanlarda iç kuvvet-şekildeğiştirme bağıntıları ve akma/kırılma koşullarının incelenmesi

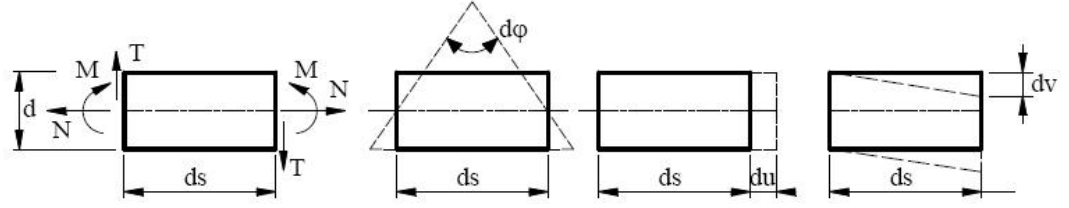
Düzlemi içindeki yüklerin etkisi altında bulunan düzlem çubuk elemanlarda iç kuvvetler M eğilme momenti, N normal kuvveti ve T kesme kuvvetidir. Birim boydaki bir çubuk elemanın bir yüzünün diğer yüzüne göre göreceli (rölatif) yerdeğiştirmelerinin kesit zorları doğrultularındaki bileşenleri bu elemanın birim şekildeğiştirmeleri olarak tanımlanır. Bunlar, ϕ kesitin dönmesini, u ve v kesitin çubuk eksenine ve ona dik doğrultudaki yerdeğiştirmelerini göstermek üzere

$$\chi = d\phi / ds \quad : \quad \text{birim dönme (eğrilik)}$$

$$\varepsilon = du / ds \quad : \quad \text{birim boy değişmesi}$$

$$\gamma = dv / ds \quad : \quad \text{birim kayma}$$

adını alırlar, Şekil 2.8.



Şekil 2.8 : Düzlem çubuk elemanlarda iç kuvvetler ve şekildeğişiklikler

Düzlem çubuk sistemlerde iç kuvvetler ile birim şekildeğişiklikler arasındaki bağıntılar genel olarak izleyen şekilde verilir

$$\chi = \frac{d\phi}{ds} = F_1(M, N, T) + \frac{\alpha_1 \Delta t}{d} \quad (2.2)$$

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

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

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 sınıra 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 şekildeğişikliklere bağlı olarak ifade eden

$$K_1 = (M, N, T) = 0 \quad (2.5)$$

veya

$$K_2 = (\chi, \varepsilon, \gamma) = 0 \quad (2.6)$$

bağıntılarına akma (kırılma) koşulları denilmektedir.

Uygulamada genellikle olduğu gibi, kayma şekildeğişiklikleri eğilme ve uzama şekildeğişiklikleri yanında terkedilir ve kesme kuvvetinin birim dönme ile birim boy değişmesine etkileri ihmal edilirse, iç kuvvet şekildeğişiklik bağıntıları (bünye denklemleri)

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

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

ve akma (kırılma) koşulu da

$$K_1(M, N) = 0 \quad (2.5a)$$

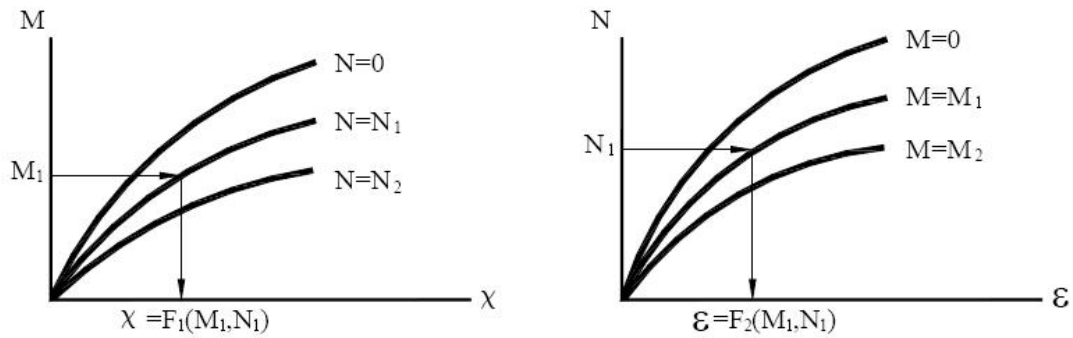
veya

$$K_2(\chi, \varepsilon) = 0 \quad (2.6a)$$

şeklini alır.

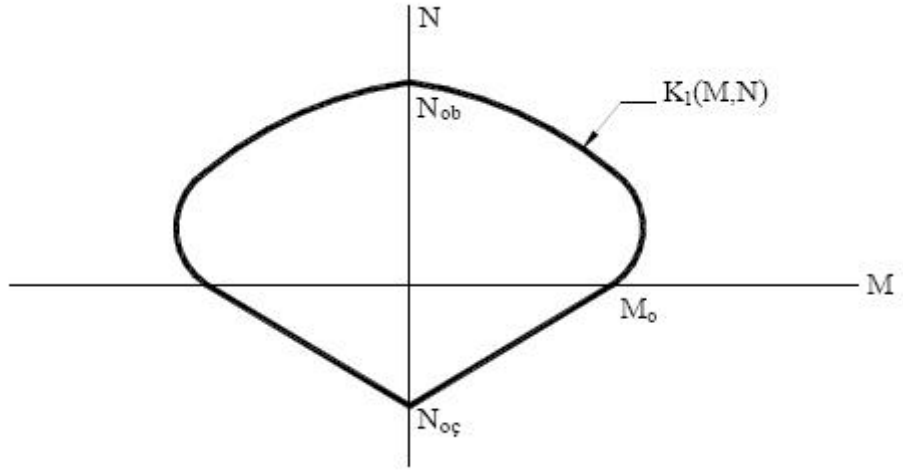
Örnek olarak düzlem çubuk elemanlar için yukarıda verilen tanımlar ve bağıntılar uzay çubuk elemanlar için de benzer şekilde geçerlidir.

Düzlem çubuk elemanlarda bünye bağıntılarının belirlediği yüzeyler, pratikte genellikle eğri grupları halinde gösterilebilirler, Şekil 2.9.



Şekil 2.9 : Bünye denklemlerinin eğri grupları halinde gösterilmesi

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 2.10.



Şekil 2.10 : Akma eğrisi (karşılıklı etki diyagramı)

Özel Hal: $N = 0$ hali

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

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

şeklinde basitleşir.

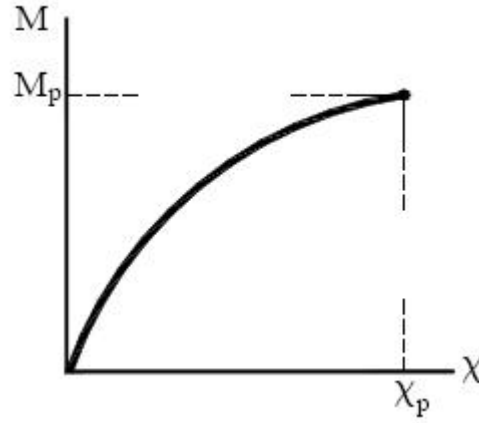
Akma koşulu ise

$$M - M_p = 0 \quad (2.8)$$

veya

$$\chi - \chi_p = 0 \quad (2.9)$$

bağıntıları ile ifade edilir. Burada M_p kesitin eğilme momenti taşıma gücünü, χ_p ise buna karşı gelen birim dönmeyi göstermektedir, Şekil 2.11.



Şekil 2.11 : Basit eğilme halinde eğilme momenti-eğrilik diyagramı

2.2.3 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.

2.2.3.1 Varsayımlar ve esaslar

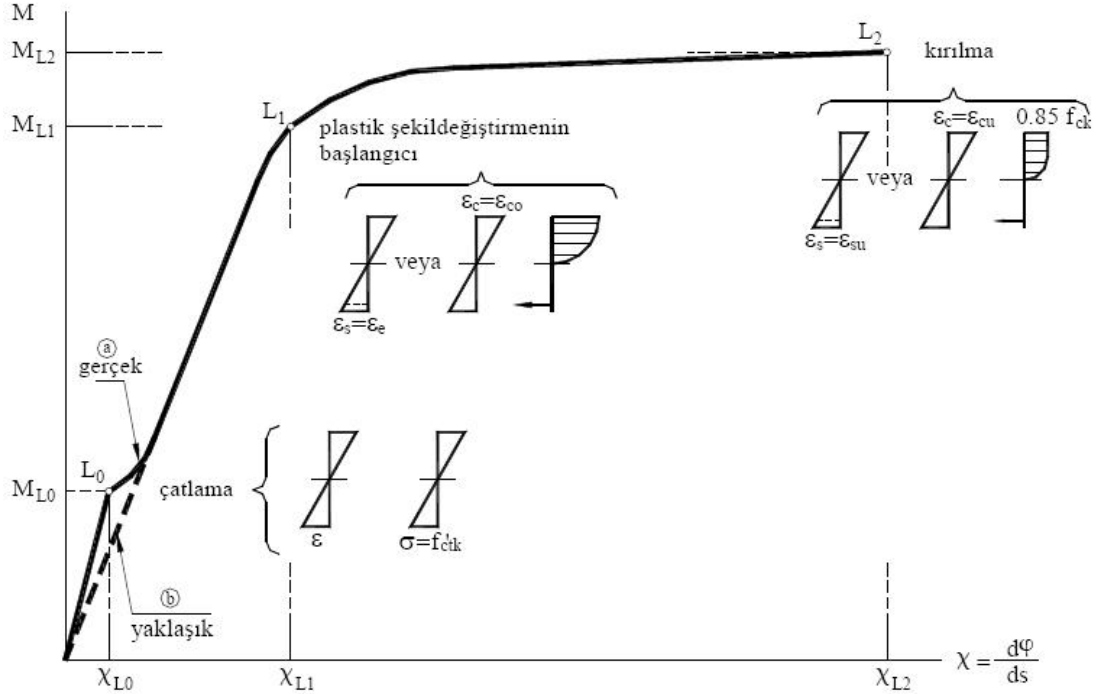
Betonarme çubuk elemanların iç kuvvet-şekildeğiştirme bağıntılarının elde edilmesinde şu temel varsayımlar ve esaslar gözönünde tutulmaktadır.

- 1- Düzlem dik kesit şekildegıştırdikten sonra da düzlem kalmaktadır (Bernoulli-Navier hipotezi).
- 2- Beton ve donatı arasında tam aderans bulunmaktadır.
- 3- Çatlamış betonun çekme dayanımı terkedilmektedir.
- 4- Betonun σ - ϵ diyagramı için Şekil 2.7 de 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 2.5 ve Şekil 2.6 (b).

2.2.3.2 Eğilme momenti ve normal kuvvet etkisindeki çubuklar

a) Eğilme momenti – birim dönme (M - χ) bağıntısı

Sabit normal kuvvet ($N=N_0$) altında, artan eğilme momenti ile zorlanan betonarme bir kesitte M eğilme momenti ile χ birim dönmesi (eğriliği) arasındaki bağıntı üç bölgeden oluşmaktadır, Şekil 2.12.



Şekil 2.12 : Betonarme kesitlerde eğilme momenti-eğrilik ($M - \chi$) bağıntısı

Bu bölgeleri sınırlayan L_0 , L_1 ve L_2 noktalarına karşı gelen durumlar aşağıda açıklanmıştır [31].

L_0 : Beton kesitin dış çekme lifinde çatlakların başladığı durumdur. Dış çekme lifindeki normal gerilme, eğilmedeki beton çekme dayanımına eşit olunca betonda çatlakların meydana geldiği varsayılmaktadır. Eğilmedeki betonun çekme dayanımı ise

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

bağıntısı ile hesaplanabilir.

L_0 çatlama noktasına karşı gelen M_{L_0} 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 şekil değiştirmelerin başlamasına karşı gelen durumdur. Plastik şekil değiştirmelerin betonda $\epsilon_{co}=0.002$

birim kısalmasında, çelikte ise ϵ_e akma sınırında başladığı gözönünde tutulmaktadır. M_{L1} eğilme momentinin hesabında betonun çekme dayanımı gözönüne alınmaz.

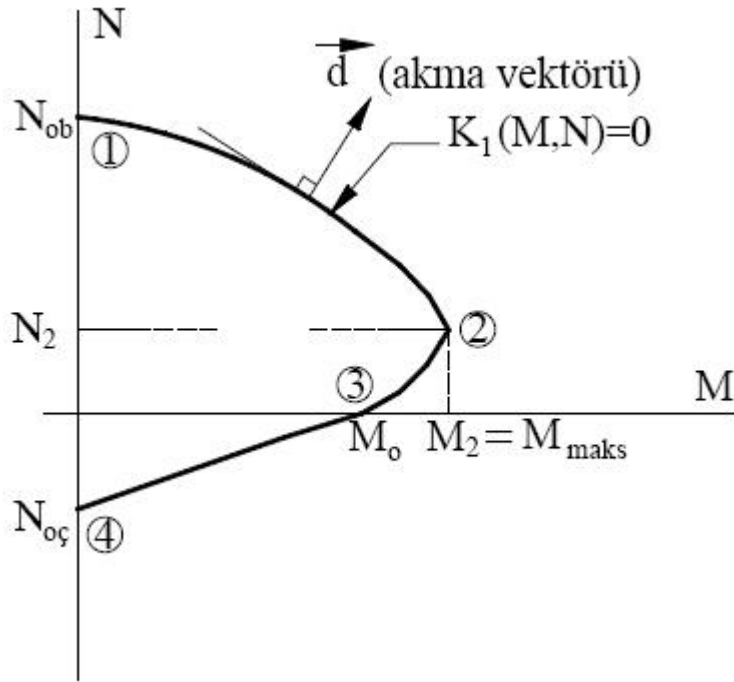
L_2 : Eğilme momenti artarak betonarme kesitin taşıma gücü adı verilen $M_{L2} = M_p$ değerine eşit olunca bacinç bölgesindeki beton ezilerek kırılır veya çekme donatısı kopar. Betonun ezilerek kırılması birim kısalmanın ϵ_{cu} sınır değerine erişmesi suretiyle meydana gelir. Sargısız betonda kısa süreli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

Betonun çekme dayanımının terk edildiği durumlarda $M - \chi$ 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 $\epsilon_{su} = 0.01$ değeri ile sınırlandırılmasına gerek olmamaktadır.

b) Akma koşulu (karşılıklı etki diyagramı)

Eğilme momenti ve normal kuvvet etkisindeki betonarme bir kesitin taşıma gücünü ifade eden karşılıklı etki diyagramı Şekil 2.13 te 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 aktığını) 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 2.13 : 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 [32].

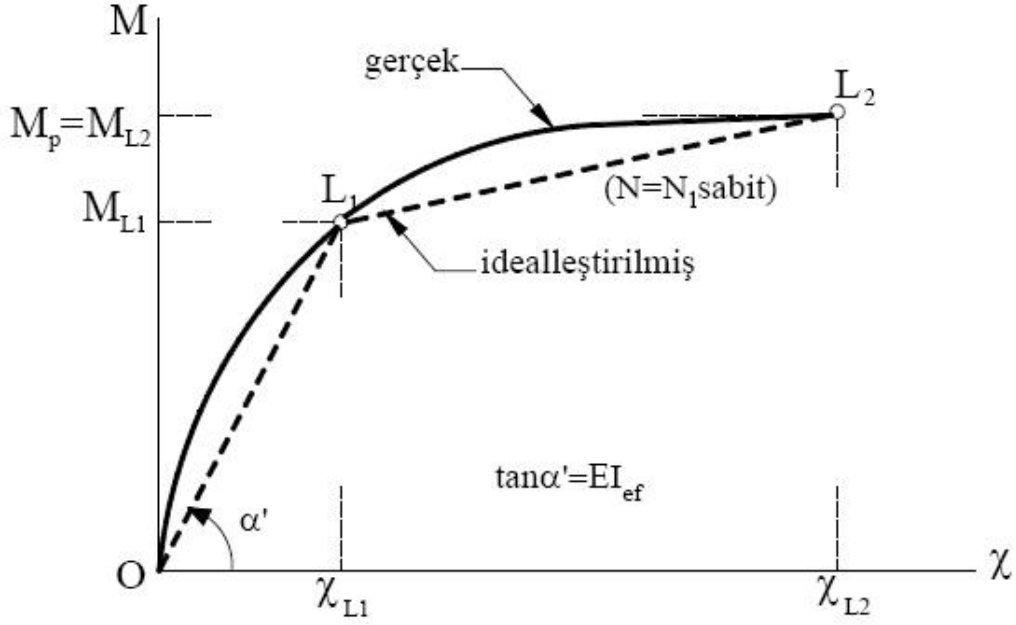
2.2.3.3 Betonarme kesitlerin davranışının idealleştirilmesi

a) Eğilme momenti-eğrilik bağıntısı ($M-\chi$)

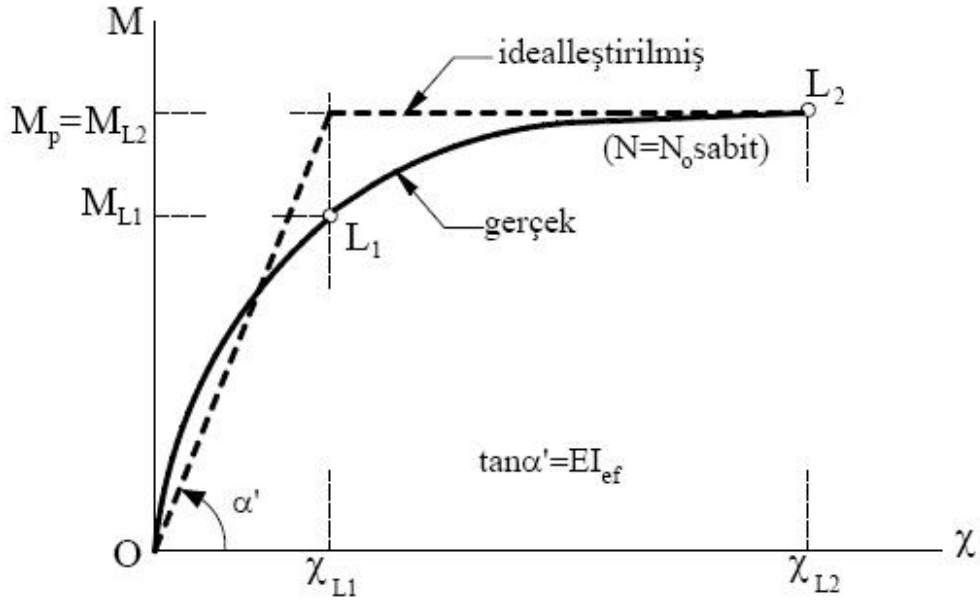
Betonarme kesitlerde eğilme momenti-eğrilik bağıntısının idealleştirilmesi için önerilen iki model aşağıda açıklanmıştır.

Şekil 2.14 te gösterilen birinci tür idealleştirmede, ($M-\chi$) bağıntısının O-L₁-L₂ noktalarını birleştiren iki doğru parçasından oluştuğu varsayımı yapılmaktadır. Doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin sistem üzerinde sürekli olarak yayıldığı gözönüne alındığı hesap yöntemlerinde genellikle bu idealleştirmeden yararlanılır.

İkinci tür idealleştirmede, Şekil 2.15 te verilen O başlangıç noktası ile koordinatları χ_{L1} , M_{L1} olan noktayı ve L_2 noktasını birleştiren iki doğru parçası yaklaşık (M- χ) bağıntısını oluşturmaktadır. Bu idealleştirme, doğrusal olmayan şekildeğişmelerin plastik kesit (plastik mafsalsal) adı verilen belirli noktalarda toplandığı varsayımına dayanan hesap yöntemlerinde esas alınmaktadır.



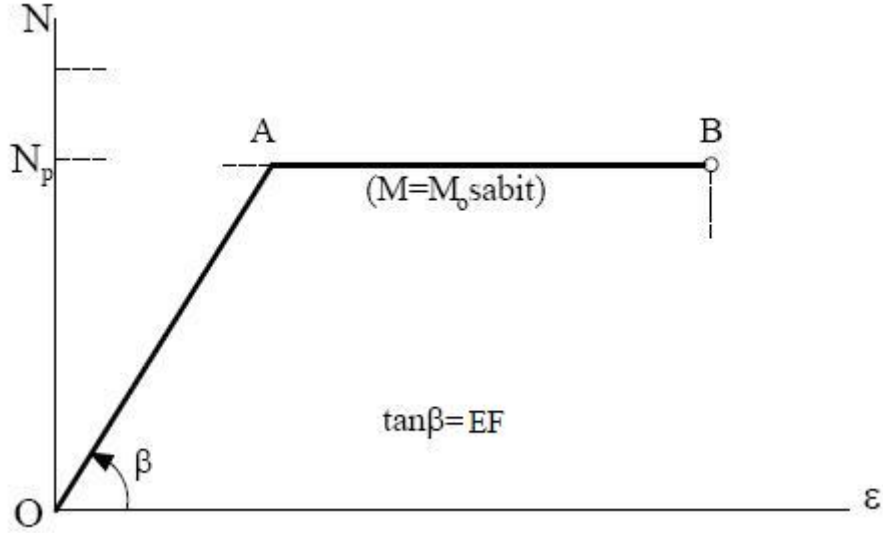
Şekil 2.14 : Betonarme kesitlerde idealleştirilmiş (M- χ) diyagramı (Tip:1)



Şekil 2.15 : Betonarme kesitlerde idealleştirilmiş (M- χ) diyagramı (Tip:2)

b) Normal kuvvet-birim boy değişmesi bağıntısı ($N-\epsilon$)

Eğilme momenti-eğrilik bağıntısına benzer olarak, normal kuvvet-birim boy değişmesi diyagramı da iki doğru parçasından oluşacak şekilde idealleştirilebilir, Şekil 2.16.



Şekil 2.16 : Betonarme kesitlerde idealleştirilmiş ($N-\epsilon$) diyagramı.

Bu diyagramda N_p , $M=M_0$ sabit eğilme momenti altında betonarme kesitin normal kuvvet taşıma gücünü, EF ise uzama rijitliğini göstermektedir.

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.

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 [5, 28, 33]. Hesabı istenen sistemde dış

etkilerden meydana gelen kesit zorları, şekildeğiştirmeler ve yerdeğiştirmelerin çözüm olabilmesi için sağlaması gereken koşullar üç tanedir

1- Denge denklemleri

2- Bünye bağıntıları (iç kuvvet-şekildeğiştirme bağıntıları)

3- Geometrik süreklilik denklemleri

Aşağıda, doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin sürekli olarak yayıldığına gözönüne alındığı sistemlerin, örnek olarak Kuvvet yöntemi ile hesabı kısaca gözden geçirilecektir [28]. Bu yöntemde, sistemin (n) statik serbestlik derecesine eşit sayıda olan ve denge denklemlerini sağlayan $P_1, P_2, \dots, P_n$ iç kuvvet durumları (homojen çözümler) ile dış etkilerden oluşan P_o özel çözümü belirlenir. Bu durumda denge koşullarını sağlayan genel çözüm için

$$P = \sum_{i=1}^n P_i X_i + P_o \quad (2.11)$$

bağıntısı yazılabilir. Burada X_i ($i=1, 2, \dots, n$) sabit bilinmeyen katsayılarını göstermektedir. Yukarıdaki genel çözümün sistemin gerçek çözümü olabilmesi için X_i bilinmeyen katsayıları öyle değerler almalıdır ki, bu çözüme bağılı olarak bünye denklemleri ile hesaplanan şekildeğiştirmeler ve yerdeğiştirmeler geometrik süreklilik koşullarını sağlamış olsun. Bu koşulları ifade eden geometrik süreklilik denklemleri çözülerek belirlenen X_i bilinmeyen katsayıları (2.11) denge denklemlerinde yerlerine konularak elde edilen genel çözüm sistemin çözümünü verir.

Geometrik süreklilik koşulları

$$f_j(X_1, X_2, \dots, X_n) = 0 \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (2.12)$$

veya açık olarak

$$\begin{aligned} f_1(X_1, X_2, \dots, X_n) &= 0 \\ f_2(X_1, X_2, \dots, X_n) &= 0 \\ &\vdots \\ f_n(X_1, X_2, \dots, X_n) &= 0 \end{aligned} \quad (2.13)$$

doğrusal olmayan denklem sistemi ile ifade edilir.

Bu denklem sistemi çözülerek $X_1, X_2, \dots, X_n$ bilinmeyenleri tayin edilir. Bu bilinmeyenler tüm koşulları sağladığından, çözüme ait kesit zorları denge denklemlerinden, şekildeğiştirmeler de bünye bağıntılarından hesaplanır. Daha sonra akma (kırılma) koşulları kontrol edilir. Bir veya daha çok sayıdaki kesitte akma koşulu aşılyorsa, sistemin bu yükleri taşıyamadığı anlaşılır.

Doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin sürekli olduğu sistemlerin Yerdeğiştirme (Deplasman) yöntemi ile hesabı da benzer şekilde gerçekleştirilmektedir, [5]. Bu yöntemde, sistemin geometrik serbestlik derecesine eşit sayıda olan ve geometrik süreklilik koşullarını sağlayan birim şekildeğiştirme durumları için denge koşulları yazılır. Doğrusal olmayan bu denklemler çözülerek X_i bilinmeyen katsayıları hesaplanır.

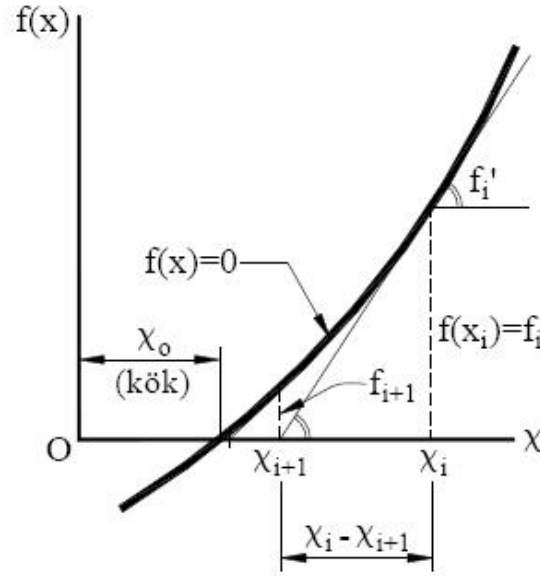
Doğrusal olmayan denklemlerin çözümü için Newton-Raphson yöntemi :

Aşağıda bir bilinmeyenli doğrusal olmayan denklemlerin çözümü için, Newton-Raphson ardışık yaklaşım yönteminin formülasyonu verilecektir.

Doğrusal olmayan $f(x)=0$ denkleminin x_0 kökü aranmaktadır. Şekil 2.17 den görüldüğü gibi, ardışık yaklaşımın (i) ve ($i+1$) sayılı adımlarında x bilinmeyeni için bulunan x_i ve x_{i+1} değerleri arasında

$$f'_i = \frac{f_i}{x_i - x_{i+1}} \rightarrow x_{i+1} = x_i - f_i^{-1} f_i \quad (2.14)$$

bağıntısı bulunmaktadır. Buna göre, ardışık yaklaşımın her adımında, (2.14) formülünden yararlanarak bir sonraki adıma ait bilinmeyen değeri elde edilir. Herhangi bir adım sonunda $f(x) = 0$ olunca x_0 kökü bulunmuş olur.



Şekil 2.17 : Newton-Raphson yöntemi

Newton-Raphson ardışık yaklaşım yönteminin çok bilinmeyenli doğrusal olmayan denklem takımlarının çözümüne nasıl uygulanacağı Kaynak [31] de açıklanmıştır.

Ardışık yaklaşım yöntemi

Malzeme bakımından doğrusal olmayan sistemlerin hesabında, özellikler bilinmeyen sayısının fazla olması halinde, bir ardışık yaklaşım yönteminin uygulanması gerekli olmaktadır. Çünkü bu tür sistemlerde, doğrusal olmayan

$$f_j(X_1, X_2, \dots, X_n) = 0 \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (2.15)$$

Denklem takımının kurulması ve çözülmesi genellikle uzun hesapları gerektirmektedir.

Ardışık yaklaşım yöntemi, ardışık yaklaşımın bir önceki adımında elde edilen şekil değiştirme durumu dolaylarında bünye bağıntılarının doğrusallaştırılması esasına dayanmaktadır. Bünye bağıntılarının doğrusallaştırılması için aşağıda açıklanan çeşitli doğrusallaştırma tekniklerinden biri uygulanabilir.

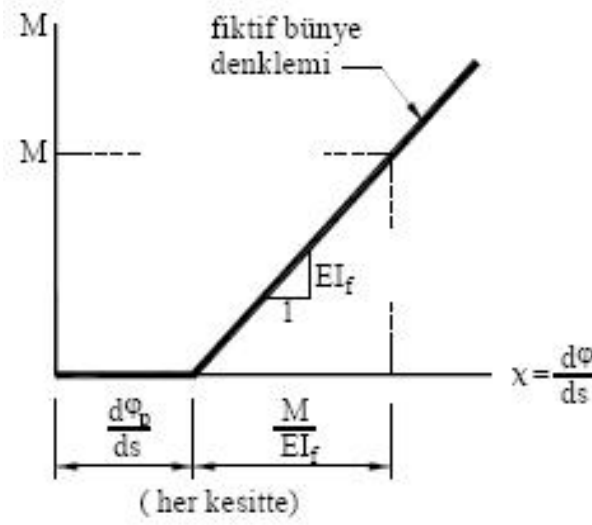
a) Doğrusallaştırma teknikleri

Fiktif bünye denklemi : Doğrusal olmayan bünye bağıntılarının doğrusallaştırılması için, Şekil 2.18 de tanımlanan fiktif bünye denkleminde yararlanılabilir. Fiktif bünye denkleminde, kesitteki eğilme ve uzama şekil değiştirmeleri

$$\chi = \frac{d\phi}{ds} = \frac{M}{EI_f} + \frac{d\phi_p}{ds} \quad (2.16)$$

$$\varepsilon = \frac{du}{ds} = \frac{N}{EF_f} + \frac{du_p}{ds} \quad (2.17)$$

şeklinde doğrusal ve doğrusal olmayan iki parçadan oluşacak şekilde idealleştirilebilmektedir.



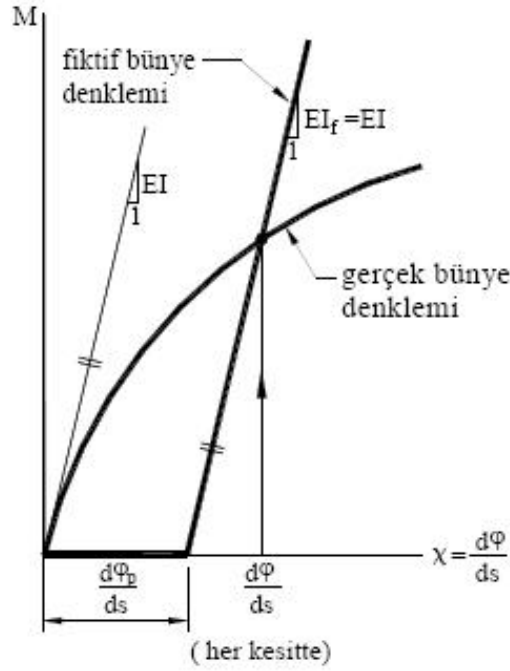
Şekil 2.18 : Fiktif bünye denklemi

Bundan yararlanarak, sistemin her kesiti için, ardışık yaklaşımın bir önceki adımında bulunan şekildeğiştirme durumuna karşı gelen nokta civarında gerçek bünye denkleminde yakın olan başka bir fiktif bünye denklemi seçilerek hesap yapılabilir.

Fiktif bünye denklemleri çeşitli şekillerde seçilebilir.

1 – Başlangıç teğeti tekniği

Fiktif bünye denklemi gerçek bünye denkleminin başlangıç teğetine paralel olarak alınır. Her adımda katsayılar matrisinin yeniden hesaplanması gerekmez. Ancak her adımda denklem takımının doğrusal olmayan şekildeğiştirme sabitleri yeniden hesaplanır. Bu tekniğin yakınsaklık hızı düşüktür, Şekil 2.19.



Şekil 2.19 : Başlangıç teğeti tekniği

2 – Başlangıç kirişi tekniği

Fiktif bünje denklemi başlangıç noktasından geçen bir doğru olarak seçilir. Bu durumda, katsayılar matrisi her adımda yeniden hesaplanır. Buna karşılık doğrusal olmayan şekildeğiştirme sabitleri sıfır olmaktadır. Yakınsaklık hızı orta düzeydedir.

3 – Teğet tekniği

Fiktif bünje denklemi gerçek bünje denkleminin teğeti olarak seçilir. Ardışık yaklaşımın her adımında denklem takımının, katsayılar matrisinin ve sabitlerinin yeniden hesaplanması gerekir. Buna karşılık yakınsaklık hızı çok iyidir.

4 – Kiriş tekniği

Fiktif bünje denklemi, son iki adımda gerçek bünje denklemi üzerinde elde edilen iki noktadan geçen bir kiriş olarak alınır. Teğet yöntemi gibidir. Ancak teğet aranması gerekmez. Yakınsaklık hızı çok iyidir.

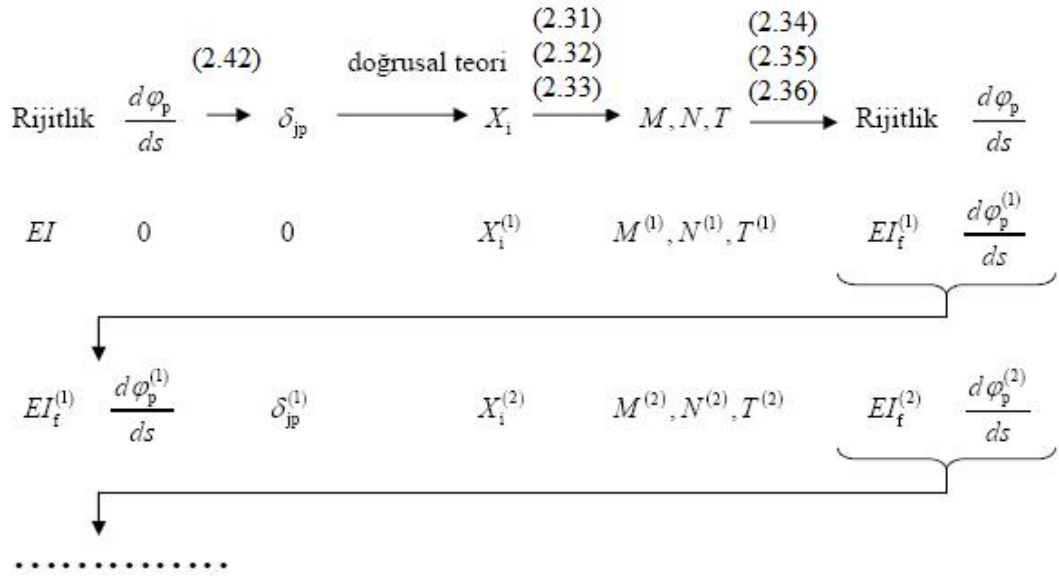
b) Hesapta izlenen yol

Ardışık yaklaşımın ilk adımında doğrusal teoriye göre çözüm yapılır. Elde edilen şekildeğiştirme durumuna bağlı olarak, doğrusallaştırma tekniklerinden biri ile,

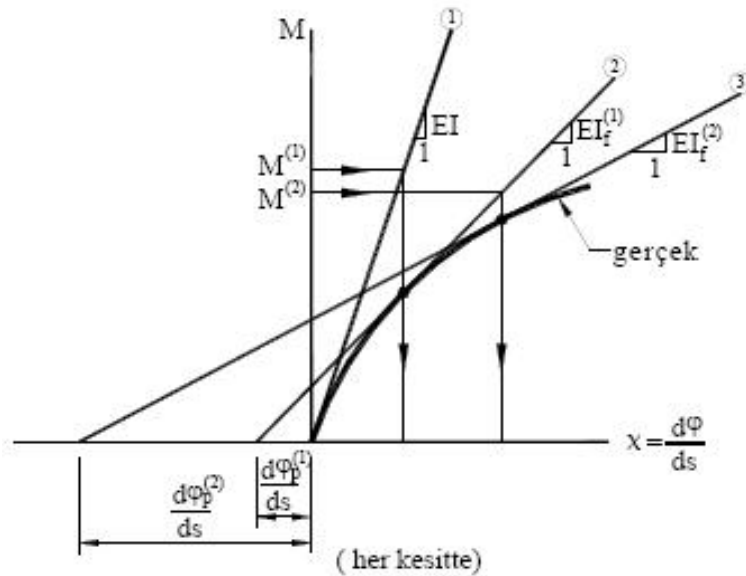
ikinci adıma ait EI_f , EF_f fiktif rijitlikleri ile $\frac{d\phi_p}{ds}$, $\frac{du_p}{ds}$ doğrusal olmayan

şekildeğiştirmeleri her kesitte ayrı ayrı bulunur. Örneğin teğet tekniğinin uygulanması halinde, Kuvvet yöntemi ile hesapta izlenen yol aşağıdaki şekilde açıklanmıştır, Şekil 2.20. Ardışık iki adımda bulunan sonuçlar birbirine yeter derecede yakın olunca hesaba son verilir. Her kesitte ve ardışık yaklaşımın her adımında farklı doğrusallaştırma tekniklerinden biri uygulanabilir.

Örneğin, teğet tekniğinin nasıl uygulanacağı Şekil 2.21 üzerinde şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.20 : Doğrusal olmayan bir denklem takımının ardışık yaklaşım metodu olarak *Teğet Tekniği* ile çözümü için izlenen yol

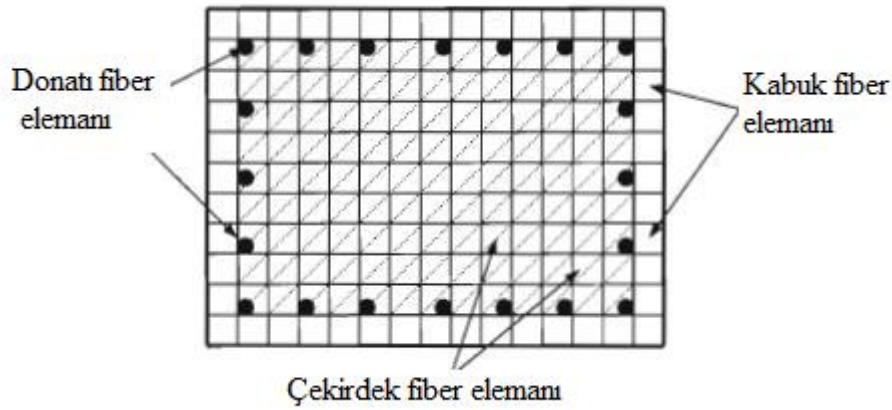


Şekil 2.21 : Teğet tekniğinin uygulanması

2.3.1.1 Fiber eleman analojisi

Günümüzde, bilgisayar yazılımlarındaki gelişmelere paralel olarak, çeşitli teorilerin analiz modellerine uygulanması amacıyla yeni elemanlar geliştirilmiştir. Bu yeni elemanlardan biri olan *fiber* (lif) elemanlardan yararlanarak, doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin kesit ve sistem üzerinde yayılı olması hali gözönüne alınabilmektedir. Bu bağlamda, doğrusal olmayan sistemlerin hesabında yaygın olarak kullanılan ve doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin belirli kesitlerde toplanması varsayımına karşı gelen plastik mafsalların yerini yeni geliştirilen fiber elemanlar almaktadır. Bu bölümde, fiber elemanlar hakkında ayrıntılı bilgi verilecektir.

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yapabilen bazı bilgisayar programlarında [8, 10] düzlem çubuk elemanlar fiber (lif) adı verilen elemanlar ile oluşturulmaktadır [34]. Fiber elemanlar beton ve donatı için ayrı ayrı olarak atanabilmektedir, Şekil 2.22.



Şekil 2.22 : Fiber eleman ile kesit modellemesi

Fiber eleman analojisinde, yapı sistemini oluşturan elemanlar boyuna doğrultuda fiber adı verilen alt elemanlara bölünmektedir. Her bir fiber elemanın Bernoulli-Navier hipotezine uygun şekilde davrandığı kabul edilmektedir. Her fiber eleman bir beton veya donatı alanını temsil etmektedir. Bu beton veya donatı liflerine çevrimsel yüklemelere uygun malzeme bilgileri atanabilmektedir. Genellikle, sargılı ve sargısız betonlar için farklı beton modelleri seçilmekte, kabuk bölümü sargısız beton modeli,

çekirdek bölümü ise sargılı beton modeli ile temsil edilmektedir. Sargılı betonun gerilme-şekildeğiştirme diyagramı program tarafından otomatik olarak çizilmektedir. Her fiber eleman üzerinde, ardışık iki integrasyon boyu arasındaki malzeme gerilmesinin sabit olduğu varsayılmaktadır. Aşağıda fiber elemanların avantajları ve dezavantajları hakkında bilgi verilecektir.

Fiber elemanların avantajları

- 1) Her fiber eleman için, başlangıçta eğilme momenti – eğrilik analizi yapılmasına gerek olmamaktadır.
- 2) Çevrimsel etkiler malzeme özelliklerinden alınmaktadır ve bu etkilerin ayrıca tanımlanmasına gerek yoktur.
- 3) Değişken eksenel yükün dayanım ve rijitlik üzerindeki etkileri doğrudan doğruya modellenebilmektedir.
- 4) İki eksenli yüklemelerin tanımlanması tek eksenli yüklemelerin tanımlanması kadar kolaydır. Ayrıca bunların her birinin eğilme dayanımı ile etkileşimi de gözönüne alınabilmektedir.
- 5) Malzemenin şekildeğiştirme kapasitesinin azalımından veya göçmesinden kaynaklanan limit durum dayanım azalması doğrudan doğruya modellenebilir.
- 6) Sargılı çekirdek betonu kullanıcı tarafından tanımlanabilmekte, ayrıca enine donatının etkisi de program tarafından hesaplanabilmektedir.

Fiber elemanların avantajlarının yanında bazı dezavantajları da bulunmaktadır

- 1) Fiber elemanlar sadece bileşik eğilme etkisi incelenirken kullanılabilinmektedir. Kesme etkisi fiber elemanlar ile genellikle modellenmez.
- 2) Eğilme sünekliği ve kesme dayanımı arasındaki etkileşim fiber elemanlar ile modellenememektedir.
- 3) Birleşim bölgelerindeki kayma şekildeğiştirmeleri ancak fiber olmayan özel elemanlar ile modellenebilir.
- 4) Kesitteki dönmelerin ve doğrusal yerdeğiştirmelerin elde edilmesi için, fiber elemanların eğriliklerinin integrasyonunda, plastik mafsallarda hipotezindeki plastik

mafsal boyuna benzer özellikteki bir kritik fiber boyu (2.18) formülüne göre tanımlanmalıdır.

$$L_{SP} = 0.022 f_{ye} d_{bl} \quad (f_{ye} \text{ in MPa}) \quad L_{SP} = 0.15 f_{ye} d_{bl} \quad (f_{ye} \text{ in ksi}) \quad (2.18)$$

5) Eğer fiber dilimindeki eğilme momenti dilimin merkezinde tayin edilmiş ise, yapının kapasitesi gerçek kapasitesinden daha büyük olarak hesaplanır. Çünkü kritik kesitteki eğilme momenti, genellikle dayanımın belirleneceği fiber dilim merkezindeki eğilme momenti değerini aşmaktadır. Ancak bu durum analiz aşamasında düzeltilebilir. Kritik dilim sınırlarının (örneğin kolon-kiriş bileşim bölgelerinde kiriş yüzü) belirlenmesinde, Gauss integrasyon noktaları gerçek sınır noktaları ile karşılaştırılabilir.

6) Fiber eleman kullanılarak modellenen sistemlerin bilgisayar ile analizi, plastik mafsallı hipotezi kullanılarak modellenen sistemlerin analizine göre çok daha uzun süre almaktadır.

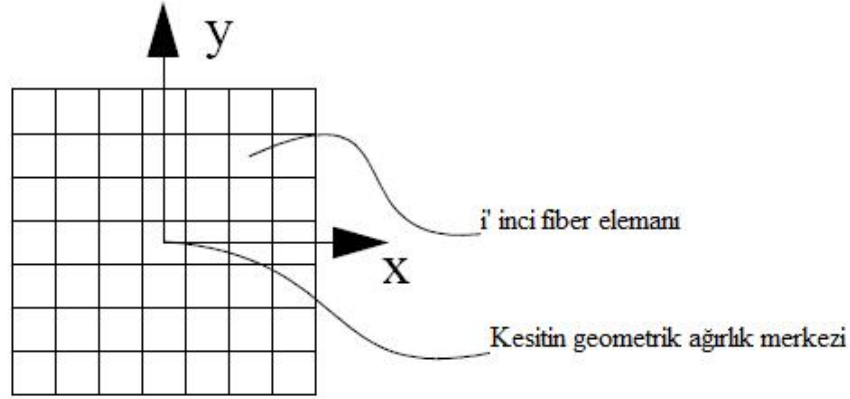
Sonuç olarak, fiber elemanların kullanılması doğrusal olmayan şekilde değişimlerin eleman üzerinde yayılı olması halinin modellenmesi açısından yararlı bir gelişmedir [35]. Ancak sistem hesaplarında her eleman modelinde fiber kullanılması hem analiz sonuçlarının yaklaşıklığı açısından hem de zaman ekonomisi bakımından uygun olmayabilir. Model hazırlanırken doğrusal-elastik bölgede kalması beklenen elemanların saptanması ve bunların modellenmesinde fiber eleman kullanılmaması hesap süresini önemli ölçüde kısaltabilmektedir.

Fiber elemanın çalışma prensibi:

Fiber eleman kullanarak herhangi bir kesitin eğilme momenti-eğrilik ilişkisinin belirlenmesinde iki farklı yöntem kullanılabilir. Bunlar *Yerdeğiştirme kontrolü* ve *Kuvvet kontrolü* yöntemleridir.

Yerdeğiştirme kontrolü yönteminde, x ve y eksenlerindeki χ_x , χ_y eğrilikleri tahmini olarak atanır ve bunlara karşı gelen eğilme momenti değerleri hesaplanır. Merkezi bilinen her bir fiber elemanda tahmini olarak atanan eğrilik değerlerine bağlı olarak şekildeğiştirmeler hesaplanabilir. Bu hesaplarda Bernoulli-Navier hipotezi geçerlidir. Kesitin koordinat merkezi olan (0,0) noktasına göre rölatif olarak belirlenen bu şekildeğiştirme ϵ_a olarak isimlendirilir. Şekil 2.23 den görüldüğü gibi, (0,0) koordinat

merkezinin kesitin merkezi ile çakıştırılması, aksenal yüklerin dışmerkez etkilerinin oluşmaması açısından uygun olmaktadır.



Şekil 2.23 : Fiber eleman geometrisi

Her fiber elemandaki şekildeğiştirmelerin (2.19) formülü yardımıyla hesaplanması ve malzeme modellerindeki gerilme-şekildeğiştirme ilişkilerinin bilinmesi durumunda her fiber elemandaki gerilme değeri bulunabilir. Her fiber dilimi için hesaplanan bu gerilmeler enkesit alanları ile çarpılarak fiberlerdeki F_i kuvvetleri elde edilir.

$$\varepsilon_i(x_i, y_i) = \varepsilon_a - \phi_y x_i + \phi_x y_i \quad (2.19)$$

Toplam aksenal kuvvet ve x ve y asal doğrultularındaki eğilme momenti değerleri de, F_i kuvvetlerine bağlı olarak (2.20) formülleri ile hesaplanırlar.

$$P = \sum_i F_i \quad M_x = \sum_i -y_i F_i \quad M_y = \sum_i x_i F_i \quad (2.20)$$

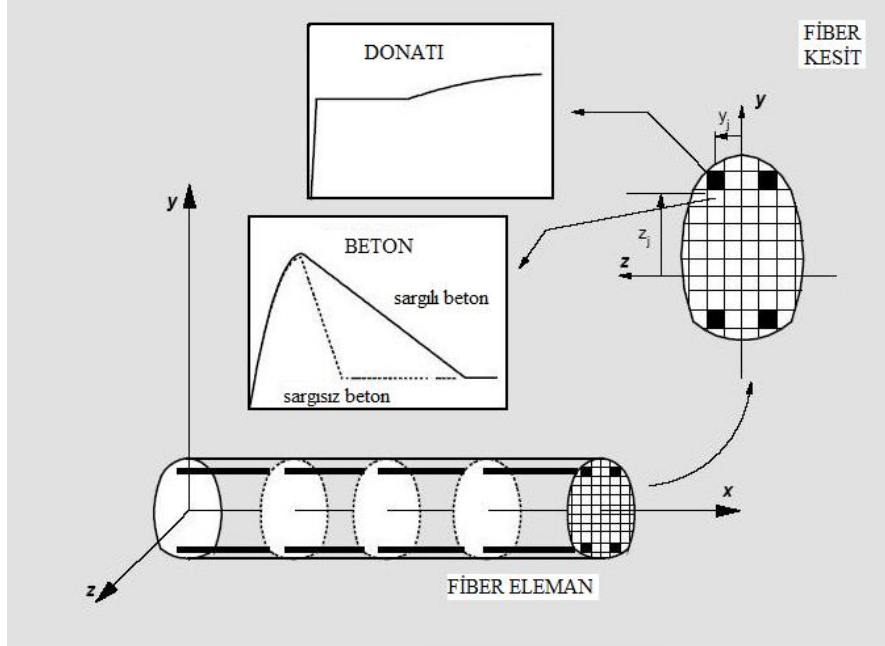
Her fiberdeki toplam aksenal kuvvetin kesite etkiyen aksenal kuvvete eşit olmaması halinde, kesitin geometrik merkezine etkitilen gerilme değeri değiştirilerek ardışık yaklaşım yapılır ve fiber elemanlardaki toplam aksenal kuvvetlerin etkitilen aksenal kuvvete eşit olması sağlanır. Bu eşitlik sağlandıktan sonra eğrilik değeri artırılır ve yukarıda tanımlanan işlemler tekrarlanır.

Eğriliklerin artırılması işlemine, malzeme istem limitine ulaşıncaya kadar devam edilir. Betonarme elemanlar için tanımlanan limit dayanım, donatının kopması veya betonun ezilmesi durumuna karşı gelmektedir.

Kuvvet kontrolü yönteminde ise, kuvvetler (veya momentler) malzeme limit durumuna erişinceye kadar artırılır. Bu yöntemde, her bir adım için teğet kesit

rijitliğini kullanarak iterasyon yapılmaktadır. Bu iterasyon Newton-Raphson tipi iterasyon olarak isimlendirilir [36].

Fiber eleman modellemesinin bir kesit üzerinde nasıl oluşturulduğu Şekil 2.24 te örnek olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.24 : Fiber eleman modeli

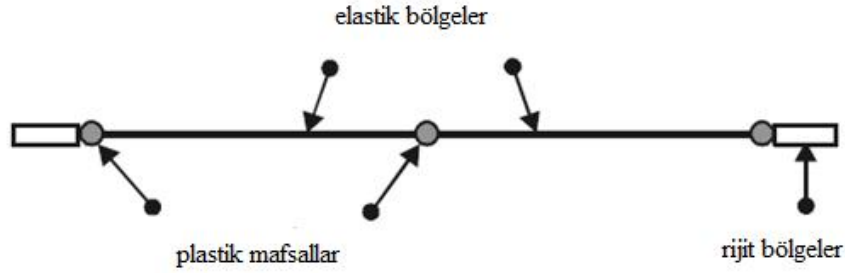
2.3.2 Doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin belirli kesitlerde toplanması hali

Malzeme bakımından doğrusal olmayan bazı yapı sistemlerinde, doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin belirli kesitlerde toplandığı, sistemin geri kalan diğer bölümlerinin ise doğrusal-elastik davrandığı varsayımı yapılabilir [28].

2.3.2.1 Plastik mafsal hipotezi

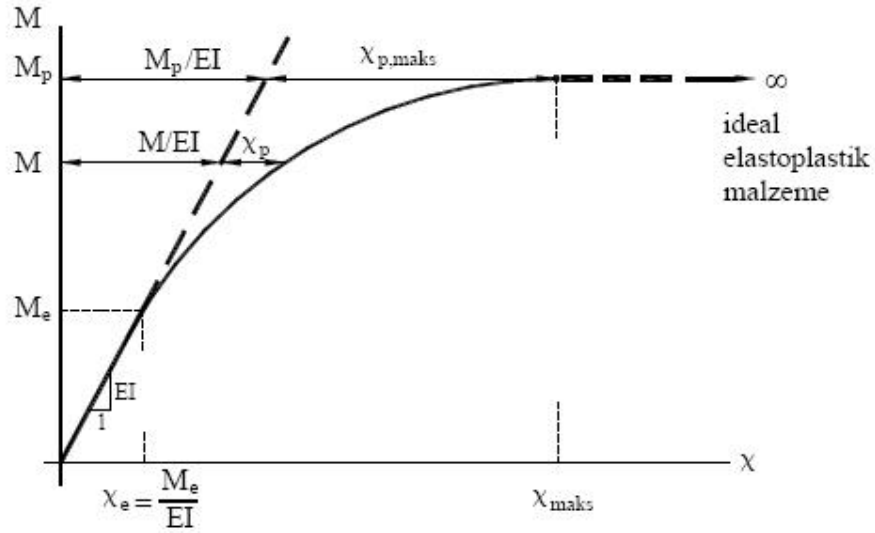
Doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin küçük bir bölgeye yayıldığı ve toplam şekildeğiştirmelerin doğrusal şekildeğiştirmelere oranı olarak tanımlanan süneklik oranının büyük olduğu yapı sistemlerinde, doğrusal olmayan eğilme şekildeğiştirmelerinin plastik mafsal (plastik kesit) adı verilen belirli kesitlerde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

Çelik yapılar ve bazı koşullar altında betonarme yapılar gibi yeterli düzeyde sünek davranış gösteren sistemlerde, plastik mafsallık hipotezi yapılarak sistem hesapları önemli ölçüde kısaltılabilmektedir. Bu hipotezin bir çubuk eleman üzerinde nasıl uygulanacağı Şekil 2.25 de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.25 : Kiriş elemanında plastik mafsallık bölgeleri

Doğrusal olmayan malzemeden yapılan bir düzlem çubuk elemanın gerçek eğilme momenti-eğrilik bağıntısı Şekil 2.26 da verilmiştir. Bu elemanın belirli bir bölgesine ait eğilme momenti diyagramı ile toplam eğilme şekildeğiştirmeleri ve doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler Şekil 2.27 üzerinde görülmektedir.



Şekil 2.26 : Eğilme momenti - eğrilik diyagramı

Plastik mafsallık hipotezinde, çubuk elemanın üzerinde l_p uzunluğundaki bir bölgede sürekli olarak yayılan plastik şekildeğiştirmelerin

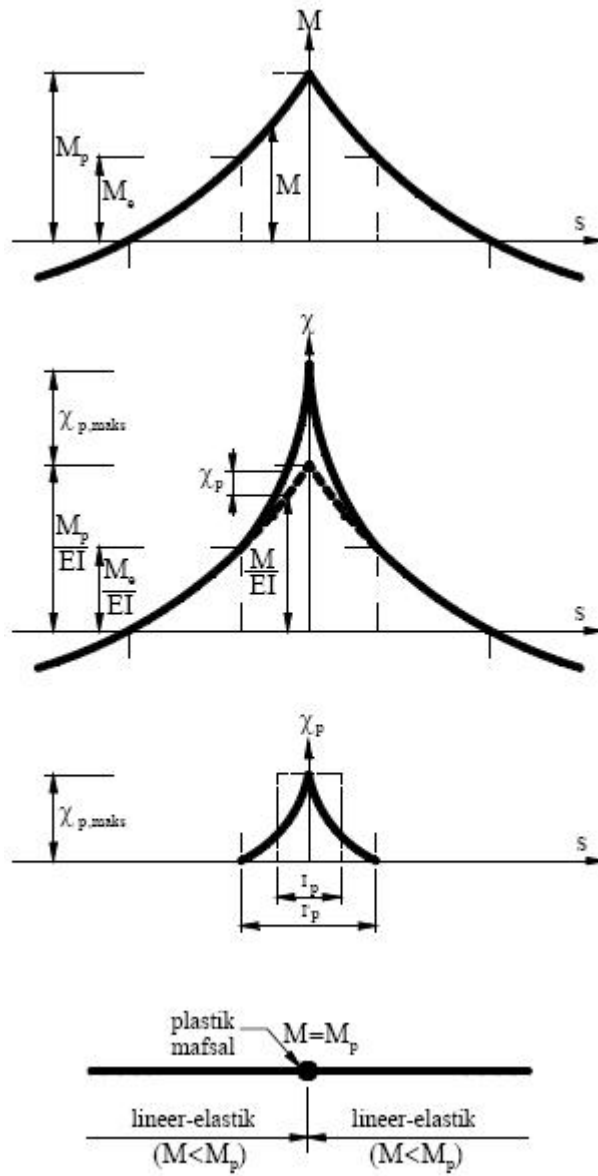
$$\varphi_p = \int_{l_p} \chi_p ds \quad (2.21)$$

şeklinde, plastik mafsal olarak tanımlanan bir noktada toplandığı varsayılmaktadır. Burada, ϕ_p plastik mafsalın dönmesini göstermektedir.

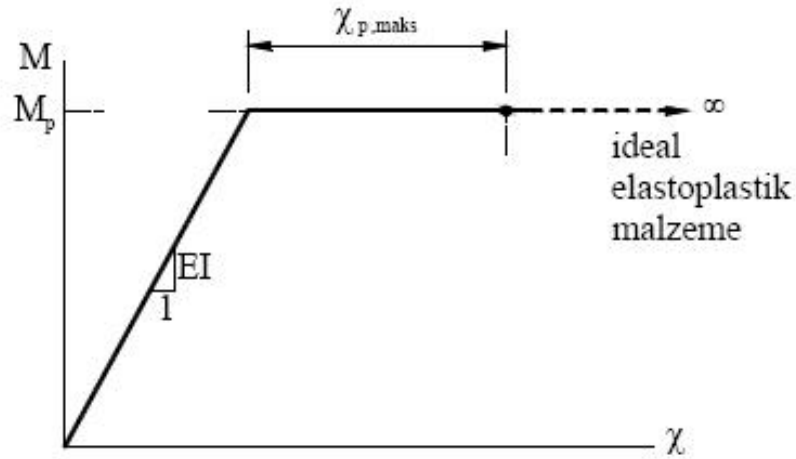
Plastik mafsal hipotezinin uygulanması, gerçek eğilme momenti-eğrilik bağıntısının aşağıdaki bağıntılarda görüldüğü iki doğru parçasından oluşacak şekilde idealleştirilmesine karşı gelmektedir, Şekil 2.28.

$$M = M_p \quad \text{için} \quad \chi = \frac{M}{EI} \quad (2.22)$$

$$M = M_p \quad \text{için} \quad \chi \rightarrow \chi_{p,maks} \quad (2.23)$$



Şekil 2.27 : Doğrusal olmayan şekildeğişirmeler



Şekil 2.28 : İdealleştirilmiş bünne bağıntısı

Artan dış yükler altında, plastik mafsalsın 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 mafsals dönmelelerinin kendilerine ait dönme kapasitelerine ulaşması halinde ise, yapı sisteminin kullanım dışı kaldığı varsayılır.

Dönme kapasitesi şu şekilde hesaplanır:

$$maks\varphi_p = l_p \chi_{p,maks} \quad (2.24)$$

Burada l_p plastik bölge uzunluğunu (plastik mafsals boyunu) göstermektedir ve yaklaşık olarak aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilir.

$$l_p \cong 0.5d \quad (d : \text{enkesit yüksekliğı}) \quad (2.25)$$

Betonarme yapı sistemlerinde dönme kapasitesi çeşitli etkenlere bağılıdır. Bunların başlıcaları

- betonarme betonu ve beton çeliğinin σ - ϵ diyagramlarını belirleyen ϵ_{cu} ve ϵ_{su} sınır birim boy değışimleri
- betonarme betonunun ϵ_{cu} birim boy değışmesini etkileyen sargı donatısının miktarı, şekli ve yerleşim düzeni
- plastik bölge uzunluğunu etkileyen enkesit boyutları
- eğilme momenti diyagramının şekli ve kesitteki normal kuvvettir.

Diğer taraftan, performansa dayanan tasarım ve değerlendirme yöntemlerinde, yukarıdaki bu faktörlerin yanında, yapıdan beklenen performans düzeyi de dönme kapasitesinin belirlenmesinde etken olmaktadır.

Yukarıda ayrıntılı olarak açıklanan plastik mafsallık hipotezinin esasları aşağıda özetlenmiştir.

1- Bir kesitteki eğilme momenti artarak M_p plastik moment değerine eşit olunca, o kesitte bir plastik mafsallık oluşur. Daha sonra, kesitteki eğilme momenti M_p değerinde sabit olarak kalır ve kesit serbestçe döner. Plastik mafsaldaki ϕ_p plastik dönmesi artarak dönme kapasitesine (maks ϕ_p) erişince kesit kullanılamaz duruma gelebilir.

2- Plastik mafsallar arasında sistem doğrusal-elastik davranır.

3- 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.

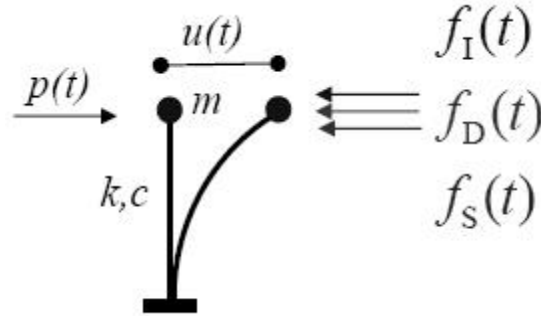
2.4 Binaların Deprem Etkisi Altında Davranışı

Binalar kendilerine etkiyen deprem yer hareketleri nedeniyle ivmelenmekte, bu ivmelenme ise, yapıda kesit zorları meydana getiren, kütle ile doğru orantılı eylemsizlik kuvvetleri oluşturmaktadır, [37]. Depreme dayanıklı yapı tasarımının temel ilkesi, binaların servis depremi adı verilen ve daha sık oluşan küçük depremleri elastik sınırlar içinde kalarak, orta büyüklükteki tasarım depremlerini elastik sınırların ötesinde ancak taşıyıcı sistemde onarılabilecek düzeyde hasar oluşarak ve can güvenliği sağlanarak karşılayabilmesi, çok seyrek olarak meydana gelen büyük depremlerde ise önemli ölçüde hasar meydana gelmesine karşın göçmenin önlemesidir. Yapıların deprem etkileri altındaki elastoplastik davranışı, yönetmeliklerde elastik ivme spektrumu ile belirlenen deprem yüklerine bir azaltma katsayısının uygulanması ile gözönüne alınmaktadır. Diğer bir deyişle, yönetmeliklere uygun olarak boyutlandırılan binaların sınırlı düzeyde elastik ötesi davranış gösterecekleri varsayılır. Sonuç olarak, binaların yönetmelik koşullarına uygun olarak tasarlanmış olması, onların deprem etkileri altında hiç hasar görmeyeceği anlamına gelmemektedir. Bu nedenle özellikle yüksek binaların

analizinde, elastik ötesi sistem davranışı ve yerdeğiştirme kontrollü analiz yöntemleri büyük önem kazanmaktadır.

2.4.1 Denge denklemleri ve kontrol eden parametreler

Dinamik yükler etkisindeki tek serbestlik dereceli bir sisteme etkiyen kuvvetler Şekil 2.29 da gösterilmiştir.

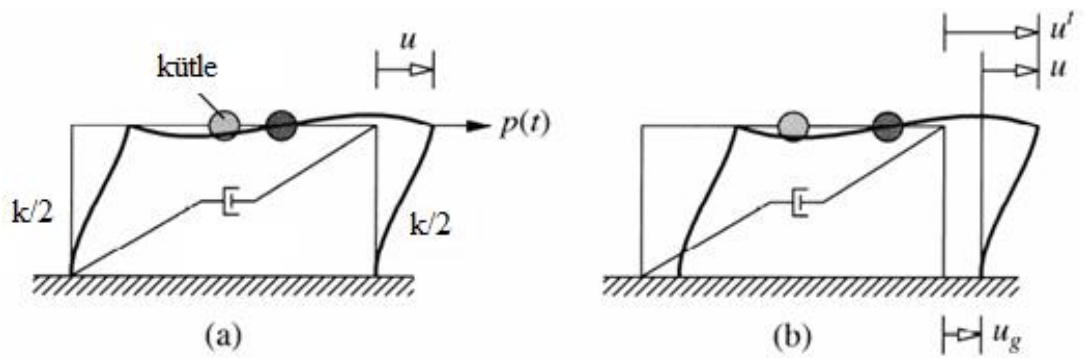


Şekil 2.29 : Tek serbestlik dereceli sistemde dinamik denge

Bu tek serbestlik dereceli doğrusal elastik sistemin üzerine etkiyen yükler altındaki dengesini ifade eden dinamik denge (hareket) denklemi aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$f_I(t) + f_D(t) + f_S(t) = p(t) \quad (2.26)$$

Tek serbestlik dereceli sistemler için dinamik denge Şekil 2.30 üzerinde açıklanmıştır.



Şekil 2.30 : Dinamik denge

(2.26) bağıntısı açık olarak yazılırsa

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = p(t) \quad (2.27)$$

denklemini elde edilir.

Doğrusal elastik olmayan sistemlerde bu denklem

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + f_s(u, \dot{u}) = p(t) \quad (2.28)$$

şeklini alır.

(2.27) denkleminde m yapının kütlelerini, c sönüm katsayısını, k rijitliğini, $u, \dot{u}$ ve $\ddot{u}$ ise sırasıyla yerdeğiştirme, hız ve ivmeyi göstermektedir. Denk. (2.28) de, Denk. (2.27) den 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 hızına ve yerdeğiştirmelerine bağlı olduğu ifade edilmektedir.

(2.28) hareket denklemi tek serbestlik dereceli sistem yerine çok serbestlik dereceli bir sistem için yazılmak istenirse matris formunu alır. Bu durumda “ m ” kütle matrisini, “ c ” sönüm matrisini, “ f_s ” elastik olmayan dayanım kuvveti matrisini, $p(t)$ zamana bağlı olarak değişen dinamik etkiyi, $u, \dot{u}$ ve $\ddot{u}$ sırasıyla yerdeğiştirme, hız ve ivme vektörlerini ifade eder. Eğer yapı sistemi dış etki olarak dinamik kuvvetler yerine deprem etkisine maruz kalırsa, Denk. (2.28) deki $p(t)$ ifadesi yerini kütle, etki vektörü ve yer ivmesinin çarpımına bırakır, Denk. (2.29).

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + f_s(u, \dot{u}) = -m\ddot{u}_g(t) \quad (2.29)$$

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

Bu denklemin çözümü için, $t=0$ anındaki $u=u(0)$ ve $\dot{u}=\dot{u}(0)$ başlangıç koşulları dikkate alınır, zamana bağlı olarak değişen $u(t)$ yerdeğiştirme vektörü elde edilir.

2.4.2 Denge denklemlerinin çözümünde kullanılan sayısal yöntemler

Elastik ötesi davranış gösteren sistemlerde, önceki bölümde tanımlanan hareket denklemlerinin çözümü, bu denklemlere uygulanan modal dönüşümlerle elde edilen denklemlerin ayrıklaştırılması ile mümkün olamamaktadır. Bu nedenle, ayrık olmayan hareket denklemlerinin integrasyonu için çeşitli sayısal yöntemler uygulanır. Dinamik denge denklemlerinin çözümü için kullanılan en yaygın yöntem, bu denklemlerin doğrudan sayısal integrasyonudur.

Bu bölümde, uygulamada en yaygın olarak kullanılan sayısal yöntemlerden *Newmark Yöntemi* açıklanacaktır [38].

2.4.2.1 Newmark yöntemi

N. M. Newmark, 1959 yılında yapı dinamiği problemlerinin çözümü için, hareket denklemlerini belli bir Δt zaman aralığında adım adım çözen bir sayısal integrasyon yöntemi önermiştir [38]. Bu yöntemin temelini oluşturan bağıntılar aşağıda verilmiştir.

$$\dot{u}_{i+1} = \dot{u}_i + [(1-\gamma).\Delta t].\ddot{u}_i + (\gamma.\Delta t).\ddot{u}_{i+1} \quad (2.30)$$

$$u_{i+1} = u_i + (\Delta t).\dot{u}_i + [(0.5-\beta).(\Delta t)^2].\ddot{u}_i + (\beta.(\Delta t)^2).\ddot{u}_{i+1} \quad (2.31)$$

Denklemlerdeki β ve γ katsayıları, ivmenin belirli bir Δt zaman aralığında değişimini tanımlayan katsayılardır. Bu katsayılar aynı zamanda yöntemin doğruluğunu ve çözümün kararlı olmasını kontrol eden parametrelerdir. Denklemlerin çözümü sırasında, yöntemin doğruluğunun sağlanması amacıyla, genellikle $\gamma = \frac{1}{2}$ değeri

kullanılır. β ise, $\frac{1}{6} \leq \beta \leq \frac{1}{4}$ aralığında tanımlanır.

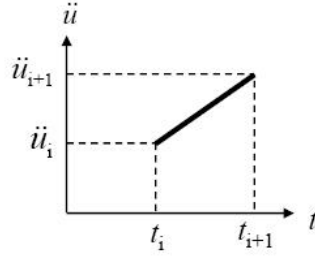
Yukarıdaki (2.30) ve (2.31) denklemleri

$$m\ddot{u}_{i+1} + c\dot{u}_{i+1} + (f_s)_{i+1} = p_{i+1} \quad (2.32)$$

hareket denklemi ile beraber çözülerek, i zamanı için bilinen yerdeğiştirme, hız ve ivme değerlerinden $i+1$ 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. Aşağıda lineer ivme yöntemi ile ve ortalama ivme yöntemi ile i ve $i+1$ zamanı için yerdeğiştirme, hız ve ivme büyüklüklerine ilişkin bağıntıların nasıl elde edildiği açıklanmıştır.

Lineer ivme yöntemi, Şekil 2.31 :



Şekil 2.31 : Newmark yöntemi-Lineer ivme yöntemi

(2.30) ve (2.31) denklemlerinde $\beta = \frac{1}{6}$ ve $\gamma = \frac{1}{2}$ alınırsa bu duruma koşullu stabilite denir. Bu değerler için (2.30) ve (2.31) denklemleri açılırsa aşağıdaki denklem takımı elde edilir.

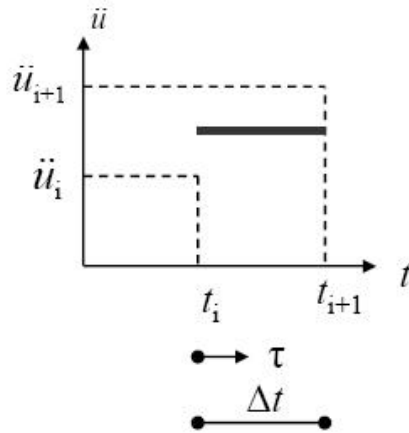
$$u(\tau) = u_i + \frac{\tau}{\Delta t}(u_{i+1} - u_i) \quad (2.33)$$

$$u(\tau) = u_i + u_i\tau + \frac{\tau^2}{2\Delta t}(u_{i+1} - u_i) \quad u_{i+1} = u_i + \frac{\Delta t}{2}(u_i + u_{i+1}) \quad (2.34)$$

$$u(\tau) = u_i + u_i\tau + u_i\frac{\tau^2}{2} + \frac{\tau^3}{6\Delta t}(u_{i+1} - u_i) \quad u_{i+1} = u_i + \Delta t u_i + \frac{\Delta t^2}{6}(2u_i + u_{i+1}) \quad (2.35)$$

Yukarıdaki bağıntılar lineer ivme yöntemi ile elde edilen hız ve yerdeğiştirme bağıntılarıdır.

Ortalama ivme yöntemi, Şekil 2.32 :



Şekil 2.32 : Newmark yöntemi-Ortalama ivme yöntemi

(2.30) ve (2.31) denklemlerinde $\beta = \frac{1}{4}$ ve $\gamma = \frac{1}{2}$ alınırsa bu duruma koşulsuz stabilite denir. Bu değerler ile birlikte (2.30) ve (2.31) denklemleri açılırsa aşağıdaki denklem takımlar elde edilir.

$$u(\tau) = \frac{1}{2}(u_i + u_{i+1}) \quad (2.36)$$

$$u(\tau) = u_i + \frac{\tau}{2}(u_i + u_{i+1}) \quad u_{i+1} = u_i + \frac{\Delta t}{2}(u_i + u_{i+1}) \quad (2.37)$$

$$u(\tau) = u_i + u_i \tau + \frac{\tau^2}{4}(u_i + u_{i+1}) \quad u_{i+1} = u_i + \Delta t u_i + \frac{\Delta t^2}{4}(u_i + u_{i+1}) \quad (2.38)$$

Çizelge 2.2 : Newmark metodu-Doğrusal olmayan sistemler.

Özel durumlar	
1) Ortalama ivme metodu	$\gamma = \frac{1}{2}, \beta = \frac{1}{4}$
2) Doğrusal ivme metodu	$\gamma = \frac{1}{2}, \beta = \frac{1}{6}$
1.0 Başlangıç hesapları	
1.1	$\ddot{u}_0 = \frac{p_0 - c\dot{u}_0 - (f_s)_0}{m}$
1.2	Seç Δt
1.3	$\alpha = \frac{1}{\beta \Delta t} m + \frac{\gamma}{\beta} c$; ve $b = \frac{1}{2\beta} m + \Delta t \left(\frac{\gamma}{2\beta} - 1 \right) c$
2.0 Her i zaman adımı için hesap	
2.1	$\Delta \hat{p}_i = \Delta p_i + a\dot{u}_i + b\ddot{u}_i$
2.2	k_i tanjant rijitlik matrisini belirle
2.3	$\hat{k}_i = k_i + \frac{\gamma}{\beta \Delta t} c + \frac{1}{\beta (\Delta t)^2} m$
2.4	İterasyon yöntemini kullanarak $\Delta u_i, \hat{k}_i$ ve $\Delta \hat{p}_i$ 'yi çöz.
2.5	$\Delta \dot{u}_i = \frac{\gamma}{\beta \Delta t} \Delta u_i - \frac{\gamma}{\beta} \dot{u}_i + \Delta t \left(1 - \frac{\gamma}{2\beta} \right) \ddot{u}_i$
2.6	$\Delta \ddot{u}_i = \frac{1}{\beta (\Delta t)^2} \Delta u_i - \frac{1}{\beta \Delta t} \dot{u}_i - \frac{1}{2\beta} \ddot{u}_i$
2.7	$u_{i+1} = u_i + \Delta u_i, \dot{u}_{i+1} = \dot{u}_i + \Delta \dot{u}_i, \ddot{u}_{i+1} = \ddot{u}_i + \Delta \ddot{u}_i$
3.0 Bir sonraki zaman adımı için tekrar	
<i>i yerine i + 1 koy</i>	
<i>2.1 – 2.6 arası adımları bir sonraki zaman adımı için tekrarla.</i>	

Yukarıdaki bağıntılar ortalama ivme yöntemi ile elde edilen hız ve yerdeğiştirme bağıntılarıdır.

Tek serbestlik dereceli sistemler için yukarıda verilen denklemleri çok serbestlik dereceli sistemlerin çözümünde kullanabilmek için, bu denklemler matris formuna dönüştürülerek matris denklemleri elde edilir.

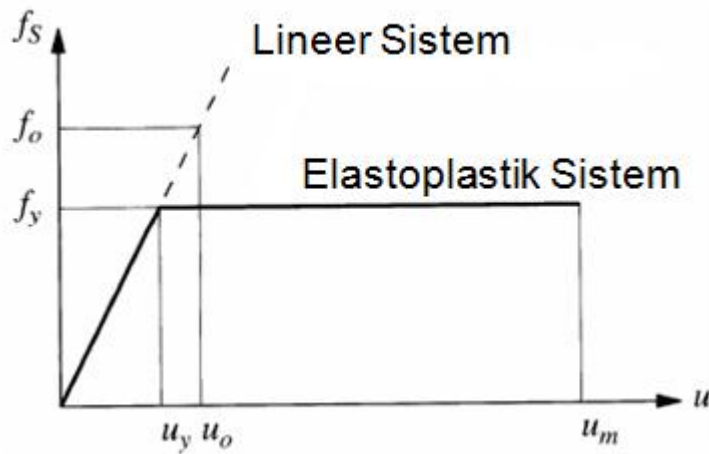
Newmark' ın önerdiği yöntemler uygun değişiklikler ile doğrusal olmayan sistemlerin hesabında da kullanılabilirler, Çizelge 2.2.

2.4.3 Yapı sistemlerinde süneklik kavramı

Süneklik, bir kesitin, bir elemanın veya bir taşıyıcı sistemin, dış yüklerde ve dayanımında önemli bir değişme olmaksızın, elastik sınırın ötesinde şekildeğiştirme ve yerdeğiştirme yapma yeteneği olarak tanımlanabilir [39]. Ayrıca süneklik kavramı, şekildeğiştirme yeteneği ile birlikte, yapıların çevrimsel etkiler altında enerji tüketebilme kapasitesine sahip olması özelliğini de kapsamaktadır [40].

Sayısal olarak süneklik, güç tükenme durumuna ait şekildeğiştirmenin (veya yerdeğiştirmenin) elastik sınıra karşı gelen şekildeğiştirmeye (veya yerdeğiştirmeye) oranı olarak tanımlanmaktadır, Denk. (2.39).

$$\mu = \frac{u_m}{u_y} \quad (2.39)$$



Şekil 2.33 : Elastik ötesi davranış

Şekil 2.33 ten görüldüğü gibi, gevrek davranışta $u_y = u_u$ iken, sünek davranışta $u_y \ll u_u$ özelliği geçerlidir. Her iki davranışta da güç tükenme yükü P_u olduğu halde,

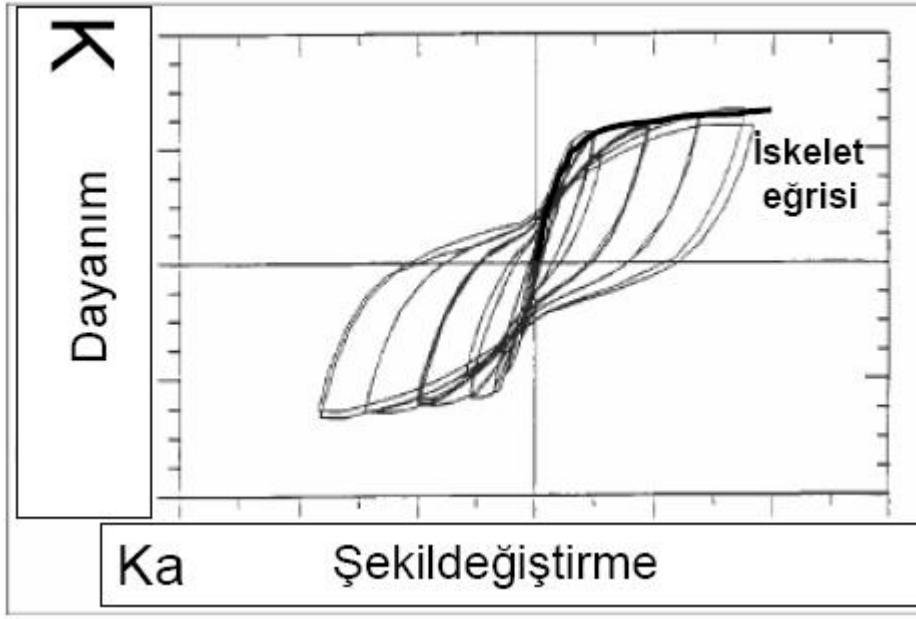
gevrek davranış durumunda güç tükenmesine erişilmediğinde küçük miktardaki elastik enerji geri dönmekte, güç tükenmesine erişildiğinde ise geri dönmek üzere tüketilmektedir. Buna karşılık sünek davranışta, en büyük şekildeğiştirmeye (veya yerdeğiştirmeye) erişilmese dahi, yükün boşaltılmasında plastik şekildeğiştirme enerjisi geri dönmek üzere tüketilmektedir. Her iki davranışta tüketilen enerji miktarları kıyaslandığında, sünek davranışta tüketilen enerjinin, gevrek davranışta tüketilen enerjiye göre çok fazla olduğu görülür.

Yapı sistemlerinde süneklik aşağıdaki şekillerde tanımlanmaktadır:

- a) aksenal şekildeğiştirme sünekliği
- b) eğrilik sünekliği
- c) plastik mafsalda dönme sünekliği
- d) yerdeğiştirme sünekliği

Seyrek olarak meydana gelen şiddetli deprem etkisinde, yapının elastik ötesi şekildeğiştirme yaparak deprem etkisini karşılaması öngörülür. Böyle bir durumda elastik olmayan davranış önem kazanır. Yapının, elastik sınırın ötesinde, kesit zorlarında önemli artmalar olmadan şekildeğiştirme yapması beklenir. Bu şekilde, depremin enerjisi elastik ötesi ve geri dönüşümü olmayan enerji türüne dönüştürülerek yutulmakta ve sönmelenmektedir. Elemanın yüklenmesi durumunda, sünme bölgesinin uzun olması ve tekrarlı yön değiştiren yükleme nedeniyle, Şekil 2.34 te görülen çevrimlerin geniş olması ile süneklik artar.

Sünek bir yapı sisteminde, deprem sırasında zeminden yapıya iletilen enerjinin büyük bir kısmı, elastik sınırın ötesindeki büyük genlikli titreşimlerle ve yapının dayanımı önemli bir kayba uğramadan yutulur.



Şekil 2.34 : Betonarme elemanda çevrimsel yükler altındaki histeretik davranış ve iskelet eğrisi

Sonuç olarak, sünekliğin önemi şu ana başlıklar altında sıralanabilir.

- 1) Deprem ve benzeri dinamik etkilerle yapıya aktarılan enerjinin, yüksek şekildeğiştirme kapasitesi ile yutulması mümkün olur.
- 2) Yapı tasarımının azaltılmış elastik deprem kuvvetleri altında yapılmasına olanak sağlar.
- 3) Gevrek davranıştan (ani göçme davranışından) farklı olarak, süneklik yapıda göçmenin işaretlerini verir.
- 4) Yapıda kuvvetlerin yeniden dağılımını sağlar.

2.4.4 Yapı sistemlerinde sönüm

Serbest titreşim halindeki bir cismin titreşim genliğinin sürekli olarak azalmasına sönüm denir. Sönüm sırasında, titreşen cismin enerjisi çeşitli mekanizmalar ile absorbe edilir. Hatta çoğu zaman birden fazla sönüm mekanizması aynı anda bulunabilir. Yapı sistemlerinde, çelik birleşimlerindeki sürtünme, betonarmede mikro-çatlakların açılıp kapanması ve yapının kendi içindeki veya yapısal olmayan elemanlar (bölme duvarları gibi) ile arasındaki sürtünme bu sönüm mekanizmalarına örnek olarak gösterilebilir [40].

Sönüm yapı sistemlerinin dinamik hesaplarında *sönüm katsayısı* adı verilen bir büyüklük ile tanımlanır. Sönüm katsayısı, yapının rijitliği gibi doğrudan doğruya hesaplanabilir bir büyüklük değildir. Bunun nedeni, yukarıda da belirtildiği gibi, sönümün birden fazla mekanizmaya bağlı olmasından kaynaklanmaktadır. Bu sebepten, bütün mekanizmalar nedeniyle yapıda oluşacak sönüm için idealleştirme yapılarak tek bir c sönüm katsayısı tanımlanır.

Ancak pratikte yapının geometrisine, yapı elemanlarının boyutlarına ve yapı malzemelerinin sönüm oranlarına bağlı olarak sönüm matrisinin oluşturulması çok zordur. Sönüm matrisinin, aynen rijitlik matrisi gibi yapı elemanlarının sönüm özelliklerine bağlı olarak hesaplanması düşünülürse de malzemelerin sönüm özellikleri elastisite modülü kadar kolay tanımlanabilir değildir.

Bu nedenle, bir yapı sisteminin sönüm matrisi o yapının modal sönüm oranlarına bağlı olarak tanımlanmalıdır. Böylece, tüm sönüm mekanizmaları hesaba dahil edilmiş olur. Özellikle Amerika Birleşik Devletleri'ndeki mevcut binaların deprem performanslarının değerlendirilmesi sırasında, modal sönüm oranları, binalara harmonik titreşimler verilerek hesaplanmaktadır [38]. Fakat bu hem çok zahmetli hem de çok pahalı bir işlemdir.

Chopra [38], yeni bir binanın tasarımında kullanılacak modal sönüm oranı için, benzer binalarda güçlü deprem hareketleri sonucunda hesaplanan sönüm oranına yakın değerler alınabileceğini belirtmiştir. Burada dikkat edilmesi gereken husus, örnek olarak alınan binada doğrusal olmayan şekildeğiştirme ve yerdeğiştirmelerin meydana gelmemiş olmasıdır. Böyle benzer bir binanın bulunmaması durumunda, betonarme binalar için uygun sönüm oranının %3-5 arasında olduğu belirtilmiştir [38].

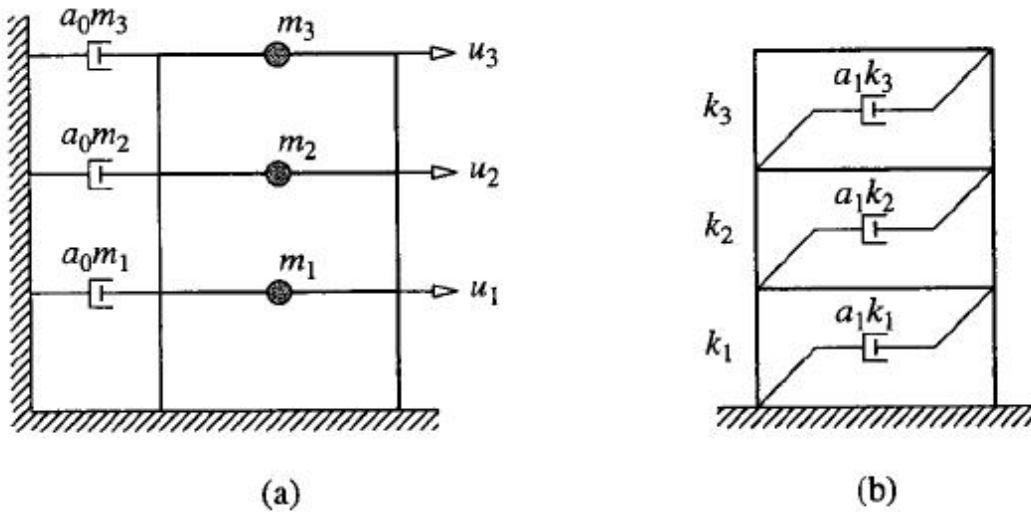
Sönüm, oluşumu açısından ikiye ayrılır. Eğer yapı genelinde benzer sönüm mekanizmaları oluşuyor ise klasik sönüm, sönüm mekanizmaları benzer değilse klasik olmayan sönüm söz konusudur. Farklı modal sönüm oranlarına sahip yapı ve zemin analiz sisteminin etkileşimli olarak incelenmesi klasik olmayan sönüme örnek olarak verilebilir [38].

Doğrusal olmayan dinamik analizlerde enerji sönümü, doğrusal ve doğrusal olmayan sönümlerin toplamı olarak gözönüne alınır. Doğrusal olmayan sönüm yapı elemanlarının doğrusal olmayan iç kuvvet-şekildeğiştirme ilişkilerinin yapısal analiz

programına veri olarak girilmesi ile modellenenbilirken, doğrusal sönüm 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. Sönüm matrisinin hem kütle hem de rijitlik matrisi ile orantılı olduğu sönüme *Rayleigh Sönümü* denilmektedir.

Şekil 2.35 te, kütle ve rijitlikle orantılı olan sönümün fiziksel anlamı şematik olarak açıklanmıştır. Burada m_1, m_2, m_3 kat kütlelerini k_1, k_2, k_3 ise kat rijitliklerini göstermektedir. Kütle ile orantılı sönüm, fiziksel olarak şekilde gösterilen viskoz sönümleyicilerin kütlelere yapı dışından bağlanması şeklinde ifade edilir. Rijitlikle orantılı sönüm ise, fiziksel olarak şekilde gösterilen a_1k_1, a_1k_2, a_1k_3 sönüm katsayılı iç viskoz sönümleyicilerin yapı elemanları ile paralel çalışması anlamını taşımaktadır. Bu iki sönümden, rijitlikle orantılı sönümün kullanılmasının daha gerçekçi olduğu ifade edilmektedir [38]. Bunun nedeni olarak, kat şekildeğişimleri sonucunda meydana gelen enerji sönümünün modellendiği düşünülmektedir. Kütle ile orantılı sönümün kullanılmasının ise gerek çok zor olması, gerekse çoğu yapı için terk edilecek kadar küçük kalmasından dolayı kullanışlı olmadığı görülmektedir.



Şekil 2.35 : Kütle ve rijitlikle orantılı sönüm

Kütle orantılı ve rijitlik orantılı sönüm formülleri aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$c = a_0 m \quad \text{ve} \quad c = a_1 k \quad (2.40)$$

Bu denklemlerde a_0 kütle orantılı, a_1 ise rijitlikle orantılı sönüm katsayılarıdır. Kütle orantılı sönüm modal sönüm oranları cinsinden yazılmak istenirse aşağıdaki şekli alır.

$$a_0 = 2\xi_i \omega_i \quad (2.41)$$

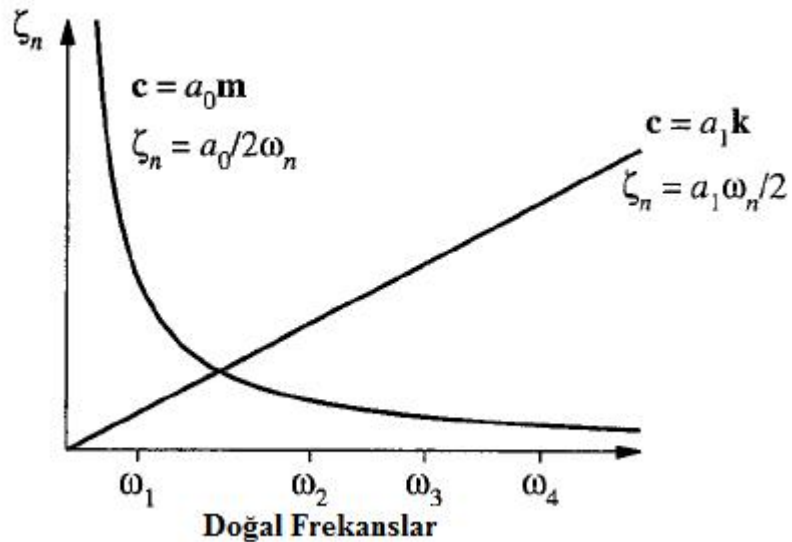
Bu bağıntıdaki ξ_i terimi i . mod için modal sönüm oranını, ω_i ise o moda ait doğal frekansı göstermektedir. Benzer şekilde rijitlik orantılı sönüm için

$$a_1 = \frac{2\xi_j}{\omega_j} \quad (2.42)$$

denklemini yazılabilir. Buradaki ξ_j , j . mod için modal sönüm oranını, ω_j ise j . moda ait doğal frekansı ifade etmektedir.

Şekil 2.36 dan görüleceği gibi, kütle orantılı sönümde uzun periyotlu düşük modlarda daha fazla sönüm uygulanırken, kısa periyotlu yüksek modlarda daha az sönüm uygulanmaktadır.

Yine aynı şekilde, rijitlik orantılı sönümde uzun periyotlu düşük modlarda daha az sönüm uygulanırken, kısa periyotlu yüksek modlarda daha fazla sönüm uygulandığı görülmektedir.



Şekil 2.36 : Modal sönüm oranlarının frekans ile değişimi

Rayleigh Sönümü

Daha önce belirtildiği gibi, Rayleigh sönümü hem kütle hem de rijitliğe bağlı olarak tarif edilmektedir, Şekil 2.37.

Burada sönüm matrisi

$$[c] = a_0 [m] + a_1 [k] \quad (2.43)$$

şeklinde tanımlanır.

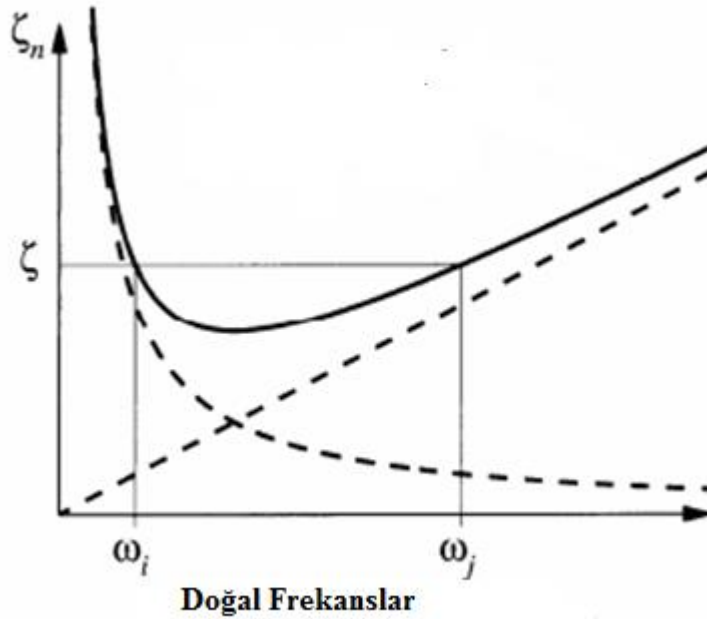
İki farklı mod için sönüm oranının aynı ξ değeri olduğu varsayımı ile, a_0 ve a_1 katsayıları

$$a_0 = \xi \frac{2\omega_i\omega_j}{\omega_i + \omega_j} \quad a_1 = \xi \frac{2}{\omega_i + \omega_j} \quad (2.44)$$

şeklinde yazılır.

Burada N' inci moda ait sönüm oranı Denk. 2.45 ile belirlenir.

$$\xi_n = \frac{a_0}{2\omega_n} + \frac{a_1\omega_n}{2} \quad (2.45)$$



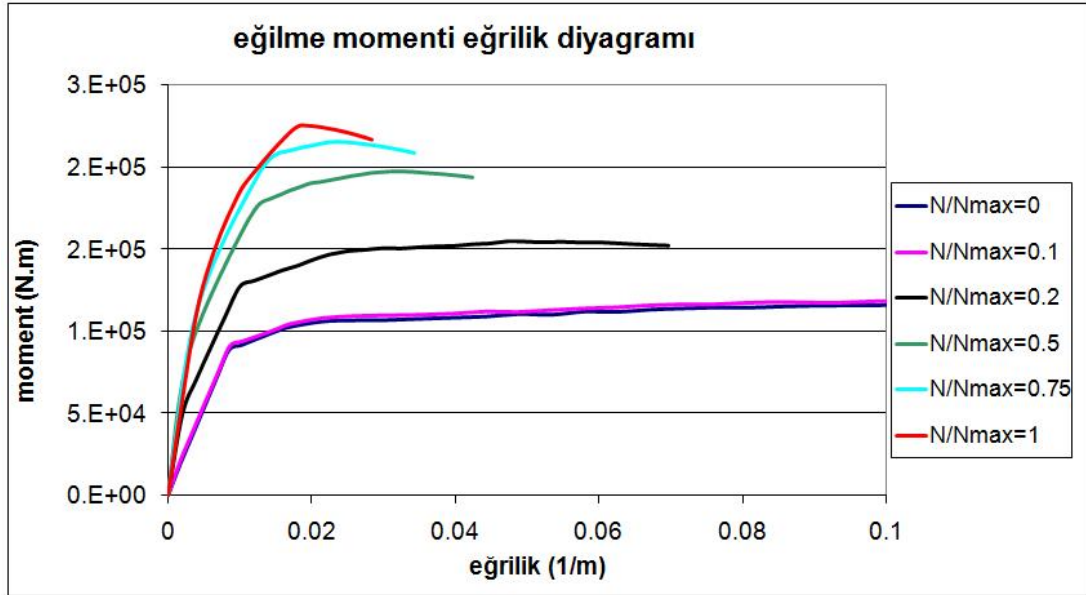
Şekil 2.37 : Rayleigh sönümü

2.4.5 Betonarme kesitlerde sargılama etkisi ve önemi

Daha önceki bölümlerde de açıklandığı gibi, şiddetli deprem etkisi altında yapının hasar görmemesi için yapı elemanlarının deprem istemini karşılaması ve yeterli derecede sünek davranması gerekmektedir. Bu sünek davranış isteminin yapı elemanlarının plastik şekildeğiştirme yapma olasılığı yüksek bölümlerinde karşılanması için yönetmelikler kapsamlı detaylandırma koşulları öngörmektedir.

Süneklik, kesite etkiyen normal kuvvet ile ters orantılı olan bir özelliktir. Diğer bir deyişle, eksenel kuvvet arttıkça süneklik azalır, Şekil 2.38. Bu nedenle, yapıda oluşabilecek olası doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin, eksenel kuvvet düzeyinin fazla olduğu kolonlar yerine eksenel kuvvetlerin az olduğu kirişlerde meydana gelmesi istenir. Yönetmeliklerde bu kavram *güçlü kolon-zayıf kiriş* tasarımı olarak yer almaktadır.

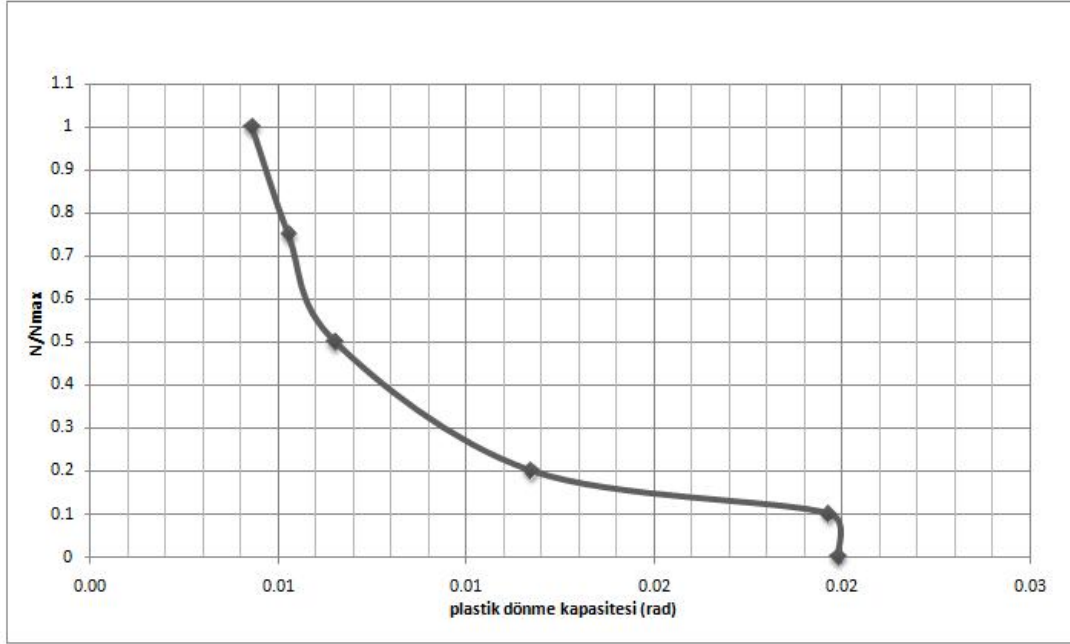
Sabit sargı donatısına sahip olan bir betonarme kesitte, artan eksenel kuvvet altında, kesitin *eğrilik sünekliği* ve *dönme kapasitesi*' nin azaldıkları görülür, Şekil 2.39, Şekil 2.40.



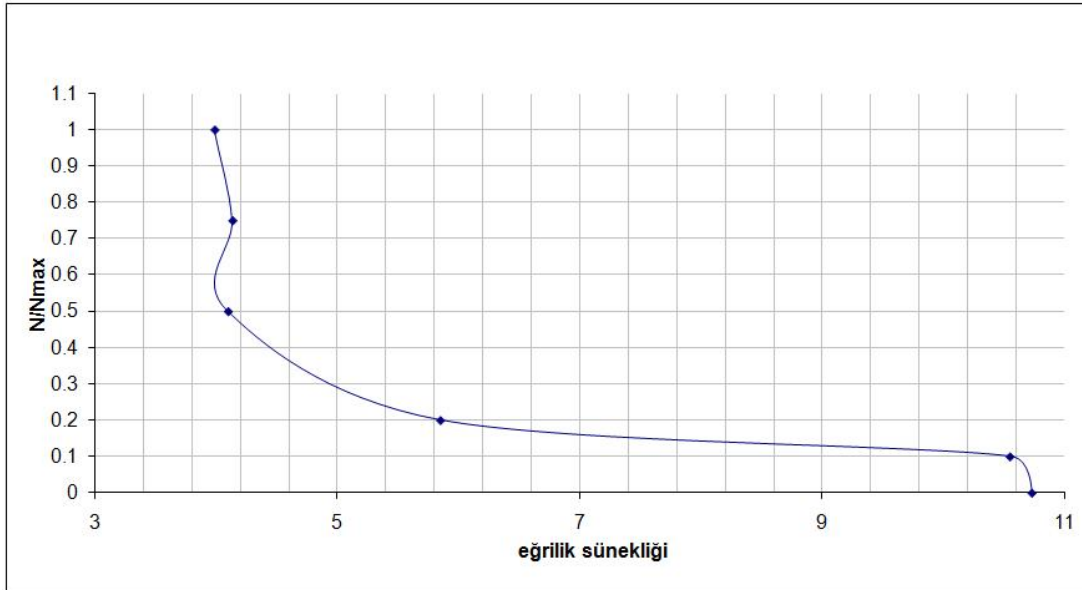
Şekil 2.38 : Eğilme momenti-eğrilik diyagramı

Aşağıdaki diyagramlardan da görüleceği gibi, eksenel kuvvetin küçük olduğu kesitlerde davranışın sünek olduğu ve kesitin kiriş gibi davrandığı, eksenel yük arttıkça sünekliğin azaldığı ve kolon davranışının etkin olduğu gözlenmiştir. Kolon davranışının başlangıcı olarak $N_d = 0.1 \times A_c \times f_{ck}$ değeri belirlenmiş, daha büyük

eksenel kuvvet değerleri için kesitlerin kolon olarak donatılması gerektiği belirtilmiştir [26].



Şekil 2.39 : Plastik dönme kapasitesinin eksenel yük altında değişimi



Şekil 2.40 : Eğrilik sünekliğinin eksenel yük altında değişimi

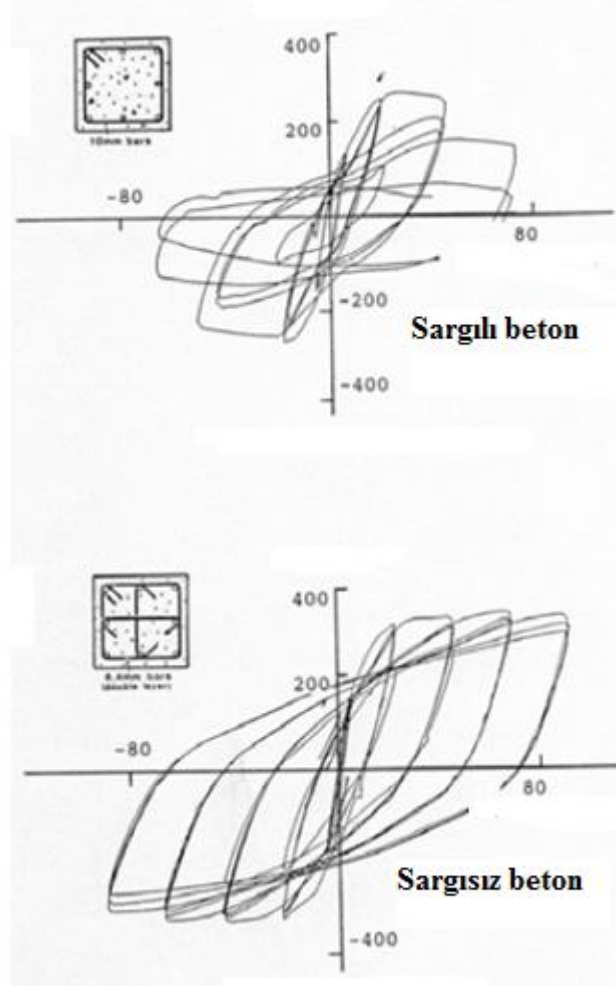
Şiddetli deprem etkisindeki kolonlarda, büyük normal kuvvetler altında kolonların sünekliği ve eğilme momenti taşıma kapasitesi azalır. Betonarme kesitlerde, sargı donatısı ile bu olumsuzlukların giderilmesi mümkündür. Ancak sargının etkili bir

biçimde sünekliği artırması için, sargı donatısının miktarı ve uygun şekilde yerleştirilmesi önemlidir.

Artan eksenel kuvvet altında, sargı donatısının etrafındaki kabuk betonundaki gerilme sınır basınç dayanımına erişir ve kabuk betonu dökülmeye başlar. Etriye içinde kalan çekirdek betonu ise, sargı donatısının olmaması halinde, genişlemeye başlar ve kesit taşıma kapasitesini yitirir. Buna karşılık, sargı donatısı (fret/etriye) çekirdek betonunun dağılmasını engelleyerek dayanımında önemli ölçüde azalma olmaksızın şekildeğiştirebilmesini sağlar, Şekil 2.41. Sargı basıncı pasif bir basınç şeklindedir. Çünkü sadece betonun genişlemesi durumunda aktif hale geçer. Englekirk [41], betonun hesap basınç dayanımının %75-80 ine eşit olan eksenel kuvvet altında, bu basıncın pasif olduğunu belirtmiştir.

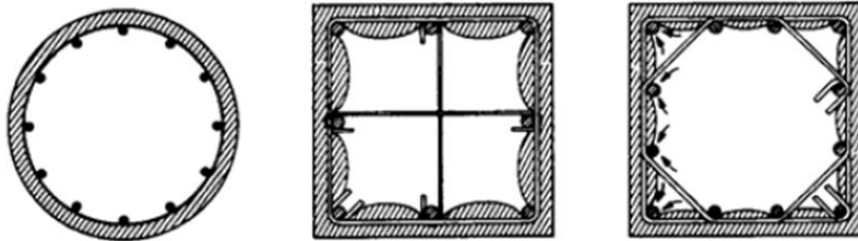
Yapılan deneylerde

- a) enine donatının aralığının azaltılmasının
- b) kesite ek etriyeler ve çirozlar yerleştirilmesinin
- c) boyuna donatının kesit çevresi boyunca düzgün olarak dağıtılmasının
- d) enine donatının kesit içerisindeki hacimsel oranının arttırılmasının
- e) enine donatının akma dayanımının arttırılmasının
- f) dikdörtgen etriye ve yardımcı çiroz yerine, gerektiği yerlerde spiral donatının kullanılmasının sargı etkinliğini arttırdığı gözlemlenmiştir.



Şekil 2.41 : Betonarme kolonda çevrimsel yükler altında sargı etkisi

Sargı alanının etkinliğinin belirlenmesi için çeşitli yaklaşımlar uygulanmıştır. Örneğin, boyuna doğrultuda etkili olan ve olamayan beton sınırlarının belirlenmesinde, parabolik bir eğri esas alınarak etkin sargı alanı hesaplanmaya çalışılmaktadır. Sargının etkinliği çeşitli donatı düzenlemeleri ile de arttırılabilmektedir, Şekil 2.42.



Şekil 2.42 : Çeşitli sargı donatısı düzenlemeleri

Yukarıdaki şekilden görüldüğü gibi, çok kollu etriye kullanılması veya etriyelerle birlikte çirozların da kullanılması sargı etkinliğini arttırmak için uygulanan çeşitli düzenlemelerdendir. Sonuç olarak, sargılama betonarme elemanların sünekliğini ve dayanımını artırdığı gibi maksimum gerilmeye karşı gelen şekildeğiştirme değerini de artırmaktadır. Aşağıda, sargılanmış beton modellerinden biri olan *Mander* beton modeli hakkında ayrıntılı bilgi verilecektir.

2.4.5.1 Mander beton modeli

Betonarme kesitlerde aksinel kuvvetin çok yüksek olduğu durumlarda tarafsız eksen derinliği çok büyük olduğundan, kolonların eğilme kapasiteleri betonun basınç altındaki gerilme dağılımına çok bağlıdır. Bu nedenle, yapı sistemlerinin performansa dayalı tasarımında kullanılan analiz modellerinde kesitlerin gerçek eğilme momenti-eğrilik ilişkilerini tanımlamak için, sargı etkisini de dikkate alan beton modelleri kullanılmalıdır. Bu tip modellerde kabuk betonu için sargısız, çekirdek betonu için ise sargılı model esas alınır. 1988 yılında Mander [42] betonarme kesitler için sargı etkisini de gözönüne alan gerilme-şekildeğiştirme modelini önermiştir.

Mander modelinde beton basınç gerilmesi f_c , basınç birim şekildeğiştirmesi ε_c nin fonksiyonu olarak aşağıdaki bağıntı ile verilmektedir.

$$f_c = \frac{f_{cc} x^r}{r - 1 + x^r} \quad (2.46)$$

Bu bağıntıda f_{cc} sargılı beton dayanımını, x ise

$$x = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}} \quad (2.47)$$

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 $\varepsilon_{co}=0.002$ olmak üzere

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co} [1 + 5(\lambda_c - 1)] \quad (2.48)$$

ile tanımlanan birim şekildeğiştirmedir.

$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}} \quad (2.49)$$

ile tanımlanırken, bu bağıntıda

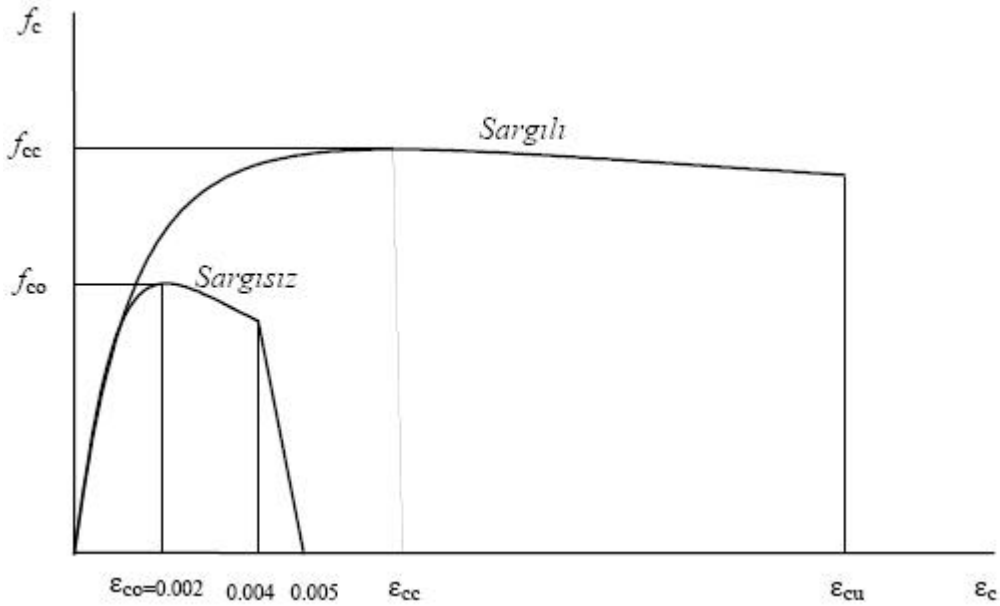
$$E_c \cong 5000\sqrt{f_{co}} \text{ [MPa]} \quad (2.50)$$

beton elastisite modülünü

$$E_{sec} = \frac{f_{cc}}{\epsilon_{cc}} \quad (2.51)$$

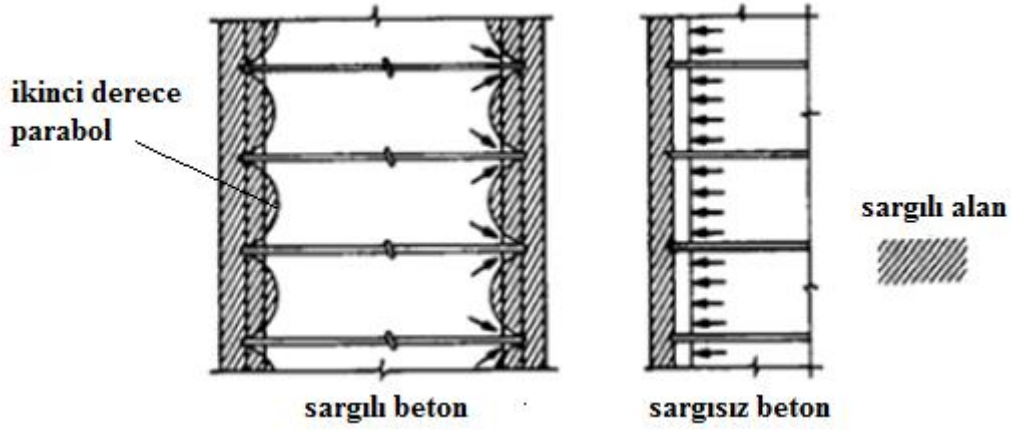
sekant elastisite modülünü göstermektedir.

Sargısız kabuk betonu için, $\epsilon_c < 2\epsilon_{co}$ olan bölgede gerilme – birim şekildeğiştirme bağıntısının doğrusal olarak azaldığı varsayılarak, betonun dökülmesine karşı gelen birim şekildeğiştirme değerinde gerilme sıfır değerini almaktadır, Şekil 2.43.



Şekil 2.43 : Mander beton modeli

Mander, betonarme kesitte sargı basıncının etkili olduğu bölgeleri belirlemek için çeşitli yaklaşımlar kullanmış, düşeyde etriyeler arasındaki ve yatayda mesnetlenmiş boyuna donatı çubukları arasındaki bölgede, kesitteki sargı gerilmelerinin ikinci derece parabol şeklinde değiştiği varsayımını yapmıştır, Şekil 2.44.



Şekil 2.44 : İkinci derece parabol varsayımı

Mander [42], ikinci derece parabollerin başlangıç teğet eğimini $\theta=45^0$ alarak, kuşatmanın etkin olmadığı parabol alanlarını hesaplayarak bu değerleri çekirdek beton alanından çıkarmış ve etkin sargılanmış beton alanını bulmuştur. Bulunan etkin sargılanmış beton alanını, çevre etriye eksenleri arasında kalan ve boyuna donatı alanı içermeyen çekirdek betonu alanına oranlayarak k_e sargılama etkinlik katsayısını belirlemiştir, Denk. 2.52.

$$k_e = \left(1 - \frac{\sum a_i^2}{6b_0h_0}\right) \left(1 - \frac{s}{2b_0}\right) \left(1 - \frac{s}{2h_0}\right) \left(1 - \frac{A_s}{b_0h_0}\right)^{-1} \quad (2.52)$$

Burada a_i kesit çevresindeki düşey donatıların eksenleri arasındaki uzaklığı, b_0 ve h_0 göbek betonunu sargılayan etriyelerin eksenleri arasında kalan kesit boyutlarını, s düşey doğrultuda etriyelerin eksenleri arasındaki aralığı, A_s ise boyuna donatı alanını göstermektedir. k_e katsayısını kullanarak, x ve y doğrultularındaki etkili sargılama basınçları hesaplanabilir, Denk. 2.53.

$$f_{ex} = k_e \rho_x f_{yw} \quad ; \quad f_{ey} = k_e \rho_y f_{yw} \quad (2.53)$$

Sargılanmış beton dayanımını veren

$$f_{cc} = \lambda_c f_{c0} \quad (2.54)$$

denkleminde, f_{c0} sargısız betonun basınç dayanımıdır. λ_c ise

$$\lambda_c = 2.254 \sqrt{1 + 7.94 \frac{f_e}{f_{c0}} - 2 \frac{f_e}{f_{c0}}} - 1.254 \quad (2.55)$$

bağıntısı ile belirlenir.

2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nde, f_e etkili sargılama basıncı için dikdörtgen kesitlerde Denklem 2.53 ile verilen değerlerin ortalamasının alınması öngörülmektedir.

Sargılı betondaki maksimum basınç birim şekildeğiştirmesi

$$\varepsilon_{cu} = 0.004 + \frac{1.4 \rho_s f_{yw} \varepsilon_{su}}{f_{cc}} \quad (2.56)$$

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

Sismik tasarım şartnamelerinde bir yapıya etkiyecek sismik etki tasarım ivme spektrumu ile tanımlandığı için, yapıların zaman tanım alanında doğrusal elastik veya doğrusal elastik olmayan deprem hesaplarında tasarım ivme spektrumu ile uyumlu ivme kayıtlarının kullanılmasına izin verilmektedir. Bu kayıtların elde edilmesi için üç farklı yol uygulanabilir [43, 44].

Bunlar aşağıda sıralanmıştır.

1. Tasarım ivme spektrumu ile uyumlu yapay kayıtlar.
2. Simüle edilmiş (benzeştirilmiş) kayıtlar.
3. Deprem sırasında kaydedilen gerçek ivme kayıtları.

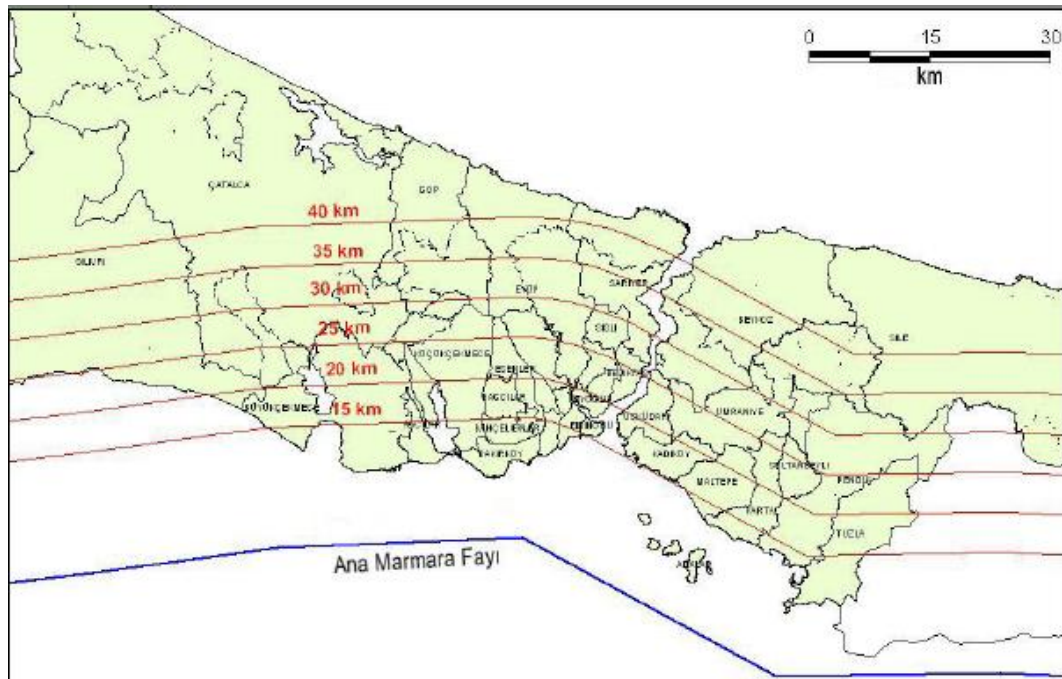
Diğer kayıt türlerine olan üstünlüklerinden ötürü gerçek yer hareketi kayıtlarının kullanılması daha çok tercih edilmektedir.

Sürekli olarak artan kuvvetli yer hareketi veri tabanlarına rağmen, büyüklük, yırtılma mekanizması, kaynakla saha arasındaki mesafe ve zemin sınıfı gibi deprem parametrelerine bağlı pek çok sayıda kayıt oluşturulabileceğinden, bazı hallerde duruma uygun kayıt bulunmasında zorluklarla karşılaşılabilir. Bu yüzden, gerçek deprem kayıtlarının yönetmeliklerde belirlenen koşulları sağlayacak şekilde seçilip tasarım ivme spektrumu ile uyuşacak şekilde ölçeklenmesi gerekir.

2.5.1 Ölçekleme için seçilecek yer hareketleri için genel kurallar

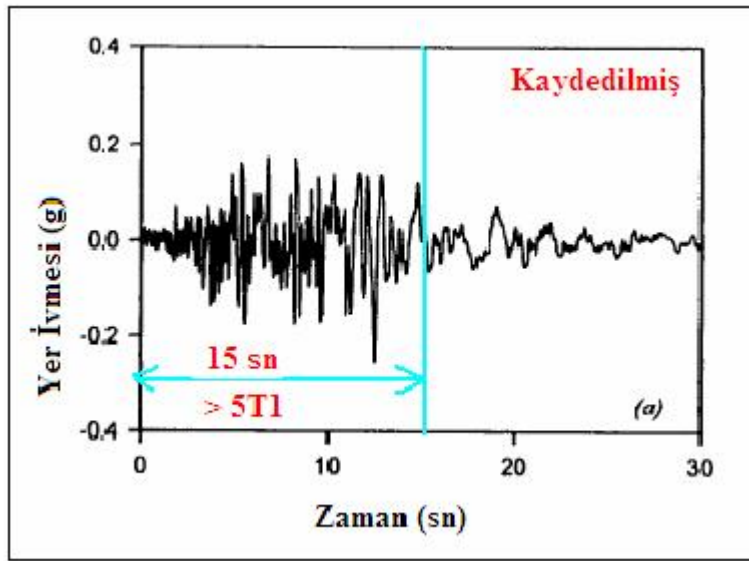
Tasarım ivme spektrumu ile eşleştirilecek gerçek kayıtlar seçilirken yapının inşa edileceği alandaki jeolojik ve sismolojik koşullar gözönünde bulundurulmalıdır. Deprem büyüklüğü, kuvvetli yer hareketinin süresi, en büyük yer ivmesi, faylanma tipi, çalışma alanının faya olan uzaklığı, fayın yırtılma doğrultusu, yerel zemin koşulları ve kaydın spektral içeriği bu koşulların en önemlilerini teşkil etmektedir. Bu gibi bilgileri içeren deprem kayıtları için konunun uzmanlarına danışılmalı ve onların önerdiği kayıtlar seçilmelidir. Yüksek binaların tasarımı için hazırlanan tüm yönetmeliklerde, seçilen kayıtların taşınması gereken özellikler ayrıntılı bir şekilde belirtilmiştir. Bölüm 4 te bu konu hakkında daha geniş bilgi verilecektir. İstanbul İli Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği Taslağı'na göre, zaman tanım alanında yapılacak analizler için, aşağıdaki özelliklere sahip en az yedi deprem kaydı takımı (yatay doğrultuda birbirine dik iki yatay bileşen için ivme kayıtları) seçilmelidir [27].

1. Seçilen kayıтта *yanal atılım*lı deprem kaynak mekanizması olmalıdır.
2. Deprem moment büyüklüğü $7.0 < M_w < 7.5$ aralığında olmalıdır.
3. Zemin sınıfı olarak B ve C zemin sınıfı esas alınmalıdır.
4. Deprem uzaklığı olarak bina ile *Ana Marmara Fay Hattı* arasındaki en kısa mesafe alınacaktır, Şekil 2.45.



Şekil 2.45 : Ana marmara fay hattı ile İstanbul arasındaki mesafe

5. Her bir deprem yer hareketi takımından hesaplanan 0 saniye periyodundaki %5 sönüm oranlı spektral genliklerin ortalaması tasarım spektrumunun 0 saniye periyodundaki spektral genliğinden ($0.4S_{MS}$) daha düşük olmamalıdır.
6. Her bir deprem yer hareketi kaydı ivme genliğinin $\pm 0.05g$ yi ilk ve son olarak aştığı iki nokta arasında kalan süre, binanın doğal titreşim periyotunun 5 katından veya 15 saniyeden daha kısa olmamalıdır, Şekil 2.46.



Şekil 2.46 : Kuvvetli yer hareketi minimum süresi

7. Her bir deprem yer hareketi takımının iki bileşenine ait %5 sönüm oranlı spektrumların karelerinin toplamının karekökü alınarak bileşke spektrum elde edilecektir. Bütün kayıtlara ait bileşke spektrumların ortalamasının $0.2T$ ve $1.2T$ (T :Binanın hakim doğal titreşim periyodu) periyotları arasındaki genliklerinin yönetmeliklerde tanımlanan tasarım spektrumunun aynı periyod aralığındaki genliklerinin 1.3 katından daha az olmaması kuralına göre, deprem yer hareketi bileşenlerinin genlikleri ölçeklendirilecektir. Her iki bileşenin ölçeklendirilmesi aynı oranlarda yapılacaktır.

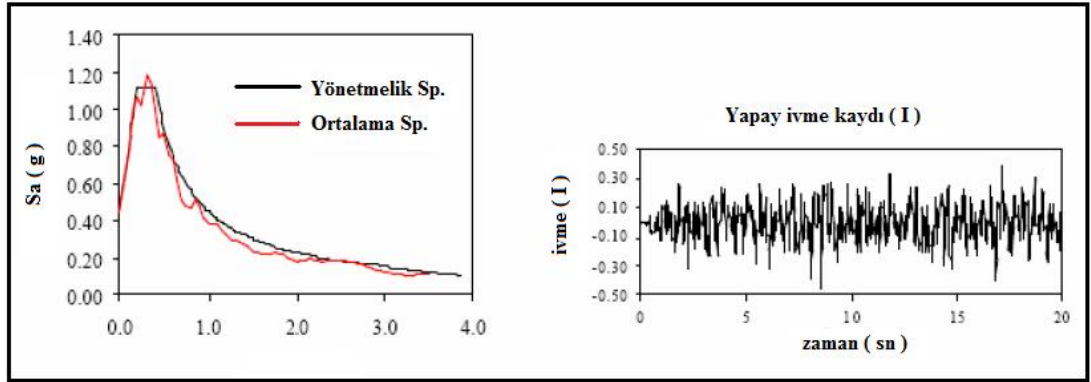
2.5.2 Tasarım ivme spktrumu ile uyumlu yapay kayıtlar

Yapı sistemlerinin doğrusal olmayan analizinde kullanılmak üzere, geniş bir periyot aralığında davranış spektrumu elastik tasarım ivme spektrumuna benzeyen yapay deprem kayıtları üretilebilir. Bu tür yapay kayıtlar, tasarım ivme spektrumunun güç-

spektral yoğunluk fonksiyonundan elde edilen rastgele faz açılara ve genliklere sahip sinüsoidal sinyallerin toplanmasıyla meydana getirilebilir. Yapay deprem kayıtlarının kullanıldığı yöntemde, seçilen frekans aralığında gerçek tepki spektrumu ve hedef tasarım ivme spektrumu ordinatları arasındaki ölçekleme katsayısı hesaplanır ve güç-spektral yoğunluk fonksiyonu bu ölçekleme katsayısının karesi ile ayarlanarak kayıt düzeltilir. Bu işlem iteratif olarak tekrarlanır ve yeni bir hareket elde edilir.

Bu tip kayıtların kullanılmasındaki en büyük zorluk, çok sayıda kaydedilmiş hareketin ortalamasını simgeleyen tasarım ivme spektrumuna uygun tek bir kayıt elde edilmeye çalışılmasıdır. Tasarım ivme spektrumunun yapay kayıtlardan elde edilmesi sırasında pek çok sismik kaynağın etkisi istatistiksel olarak dikkate alındığından, farklı periyotlara karşı gelen spektrum ivme değerleri de değişik kaynaklardan oluşan depremlerden elde edilmiş olabilir.

Bunların dışında yapay yer kayıtlarındaki temel problem, kuvvetli yer hareketindeki çevrim sayısının artması sonucunda, gerçeğe uygun olmayacak kadar büyük enerjinin açığa çıkmasıdır [44, 45], Şekil 2.47.



Şekil 2.47 : Tasarım ivme spektrumuna uygun üretilmiş yapay deprem kaydı

2.5.3 Simüle edilmiş (benzeştirilmiş) kayıtlar

Bu tür kayıtlar, yayılım ortamını ve zemin özelliklerini dikkate alan sismolojik kaynak modellerinden elde edilir. Buradaki en büyük zorluk uygun kaynak, yayılım ortamı ve zemin özelliklerinin tanımlanmasıdır. 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 analizinde iki farklı yaklaşım kullanılmaktadır.

1. *Deterministik Yaklaşım*

2. *Probabilistik Yaklaşım*

Deterministik yaklaşımda belirlenen deprem tehlikesi, zamandan bağımsız olarak, bölgede meydana gelebilecek en büyük depremin yaratacağı yer hareketinin şiddetidir [46]. Türkiye genelinde, tekrarlanma periyotlarına bakılmaksızın şimdiye kadar oluşan maksimum deprem büyüklükleri esas alınarak deterministik haritalar hazırlanmıştır.

Belirli bir bölge için en büyük deterministik deprem tehlikesi, bu bölgeyi etkileyebilecek deprem kaynaklarında meydana gelebileceği varsayılan en büyük depremin yaratacağı yer hareketine eşdeğerdir. Bu bağlamda, aşağıdaki varsayımlar yapılır.

1. Her bir deprem kaynağındaki oluşabilecek en büyük deprem merkez üstünün kente en yakın olabilecek şekilde kaynak bölgesinin kenarında yer alacağı varsayılır
2. Hiçbir tektonik birimle ilişki kurulamayan depremlerin bölgenin hemen altında meydana geleceği varsayılır.

Deprem hasar senaryoları ve master planlarının 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 önemli yapıların ekonomik ömrü ile kıyaslanabilecek (50-60 yıl) şekilde seçilir. Bu bağlamda deterministik deprem tehlikesi, senaryo depreminin oluşacağı deprem kaynak bölgelerinin, bu bölgelerde oluşabilecek düzeydeki deprem büyüklüğünün ve kullanılacak azalım ilişkisinin bir fonksiyonu olmaktadır.

Probabilistik yaklaşımda ise, hasar yapıcı yer hareketinin belli bir yerde ve belli bir zaman periyodu içerisinde meydana gelme olasılığı tanımlanır. Probabilistik bir

deprem tehlike haritasının hazırlanması için kullanılan metodoloji aşağıdaki adımlardan oluşacak şekilde ifade edilebilir [46]:

1. tarihi ve aletsel deprem verilerini elde edilmesi
2. tektonik çalışmalar ve değerlendirmeler
3. deprem kaynak bölgelendirmesi
4. deprem oluşum frekanslarının belirlenmesi
5. azalım ilişkilerinin belirlenmesi
6. probabilistik deprem tehlikelerinin belirlenmesi.

Probabilistik deprem tehlikesi, yıllık tehlike olarak tanımlanan, yıllık aşılma olasılığı veya ortalama yineleme periyodu şeklinde ifade edilebilir. Kentsel deprem tehlikesi analizlerinin temel sonuçları, belirli 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 dönüş periyotlarına karşı gelen konturlar olarak sunulur.

Probabilistik esasa göre hazırlanmış Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası 1996 yılında uygulamaya konulmuştur. Haritada, 475 yıllık dönüşüm süresine sahip eş etkin ivme kontur haritası ve 0.90 güvenilirlik seviyesi (aşılmama olasılığı) esas alınmıştır. Buna göre, 475 yılda bir oluşacak depreme göre tasarımı yapılan bir yapı 50 yıllık süre içinde %90 olasılıkla bu yüklemeye maruz kalmayacak, diğer bir deyişle, 50 yıllık bir süre içinde sözkonusu depremin aşılma olasılığı sadece %10 olacaktır.

2.5.4 Gerçek depremlerden elde edilen kayıtlar

Yapı sistemlerinin zaman tanım alanında deprem analizlerinde kullanılan kuvvetli yer hareketi çeşitlerinden biri de gerçek depremlerden elde edilen kayıtlardır. Bu kayıtlar yer sarsıntısının doğası, genliği, süresi, faz özellikleri ve frekans içeriği gibi belli başlı özellikleri hakkında doğru bilgiler içerirler. Ayrıca bu kayıtlar, kayıtları etkileyen kaynak, yayılım ortamı ve zemin sınıfı gibi parametrelerin de dikkate alınmasını sağlarlar. Dolayısıyla, sahanın sismolojik özellikleri doğrudan ele alınarak elde edilen bu kayıtların kullanılması diğer alternatiflere göre büyük üstünlük sağlar. Ayrıca, mevcut olan kuvvetli yer hareketi veri bankalarının her geçen gün

zenginleşmesi ve bunlara ulaşmanın ilerleyen teknoloji ile birlikte daha da kolaylaşması depremlerde kaydedilmiş ivme kayıtlarının kullanımını yaygınlaştırmıştır.

Gerçek deprem kayıtları, yer hareketinin belli özelliklerini temsil etmesi için genellikle ya tasarım spektrumuna veya büyüklük, mesafe ve zemin sınıfı gibi minimum parametreleri verilen deprem senaryosuna göre seçilir. Sismik tasarım yönetmeliklerinde, uygun gerçek kayıtların nasıl seçileceği ile ilgili verilen yönlendirmelerde kayıtların tepki spektrumuna uygunluğuna odaklanılır ve sismolojik parametrelere gerekli özen gösterilmez. Böylece kayıtlar, en büyük yer ivmesi gibi kuvvetli yer hareketi parametrelerine göre, bir tasarım tepki spektrumuna uyacak şekilde seçilir. Ancak belirli bir bölge için seçilecek kayıtlar hem yapılan *Sismik Tehlike Analizi* sonucunda ortaya çıkan tepki spektrumuyla uyuşmalı hem de jeolojik ve sismolojik şartları sağlamalıdır.

Bunların yanında, depremin büyüklüğü yer hareketinin frekans içeriğini ve süresini güçlü bir şekilde etkilediği için, uygun büyüklüğe sahip kayıtların seçilmesine de dikkat edilmelidir. Seçilecek kayıtların deprem büyüklüklerinin, hedef olarak belirlenen büyüklüğe ± 0.25 yaklaşıklıkta eşit olması istenir [47]. Özellikle faya yakın olan bölgelerde yapılacak olan çalışmalarda seçilecek kayıtların uygun fay-saha mesafesine sahip olması önemlidir. Çünkü, yakın fay yer hareketlerinin özellikleri diğerlerine nazaran çok farklıdır. Diğer bir etken olan zemin koşullarının ise, kuvvetli yer hareketinin özellikleri üzerinde çok önemli etkileri vardır. Yer hareketleri yumuşak zeminlerde büyütülmesine rağmen, içeriğindeki yüksek frekanslı hareketler azalır. Büyütmenin yer hareketi üzerindeki etkileri, genellikle kaydın ivme spektrumunun orta ve yüksek periyotlu bölgelerinde fark edilebilir [48].

Kaydedilmiş kuvvetli yer hareketlerinin yönetmelik spektrumlarına uygun şekilde ölçeklenmesi için başlıca iki yöntem kullanılır

1. Zaman Tanım Alanında Ölçekleme.
2. Frekans Tanım Alanında Ölçekleme.

2.5.4.1 Zaman tanım alanında ölçekleme

Bu yöntemde, yer hareketi kaydı aynı miktarda yukarı veya aşağı yönde ölçeklenerek (1 den büyük veya 1 den küçük olan sabit bir katsayı ile çarpılarak), istenilen periyot

aralığında, hedef tasarım ivme spektrumuna en uygun eşleştirme 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 ivme spektrumuna en iyi uyan kayıtların ortalaması da kullanılabilir [48].

Kuvvetli yer hareketlerinin zaman tanım alanında ölçeklenmesi sırasında izlenen yol yer hareketinin tek veya birden çok olmasına göre değişmektedir. Aşağıda bu iki durum açıklanmaya çalışılacaktır

Tek bir deprem kaydı için genel yöntem :

$$|Fark| = \int_{T_A}^{T_B} \left[\alpha S_a^{gerçek}(T) - S_a^{hedef}(T) \right]^2 dT \quad (2.57)$$

Burada

S_a^{hedef} hedef ivme davranış spektrumu

$S_a^{gerçek}$ kullanılacak gerçek deprem kaydının ivme spektrumu

α doğrusal ölçekleme katsayısı

T salınım periyodu

T_a ölçeklemenin yapılacağı periyot aralığının alt sınırı

T_b ölçeklemenin yapılacağı periyot aralığının üst sınırıdır.

Fark miktarının küçülmesi için “Fark” fonksiyonunun doğrusal ölçekleme katsayısına göre türevi sıfır olmalıdır.

$$\min |Fark| \Rightarrow \frac{d |Fark|}{d \alpha} = 0 \quad (2.58)$$

Denk. 2.57 deki “Fark” fonksiyonunun α ya göre türevi alınıp sıfıra eşitlenir. Denk. 2.57 deki integraller ayırık forma çevrilerek T_A dan ΔT artımlarla T_B ye kadar devam eden toplam haline dönüştürülür. Buradaki ΔT terimi periyot adım miktarıdır. Böylece doğrusal ölçekleme katsayısı elde edilir, Denk 2.59.

$$\alpha = \frac{\sum_{T=T_A}^{T_B} (S_a^{gerçek}(T) S_a^{hedef}(T))}{\sum_{T=T_A}^{T_B} (S_a^{gerçek}(T))^2} \quad (2.59)$$

Birden çok deprem kaydı için genel yöntem :

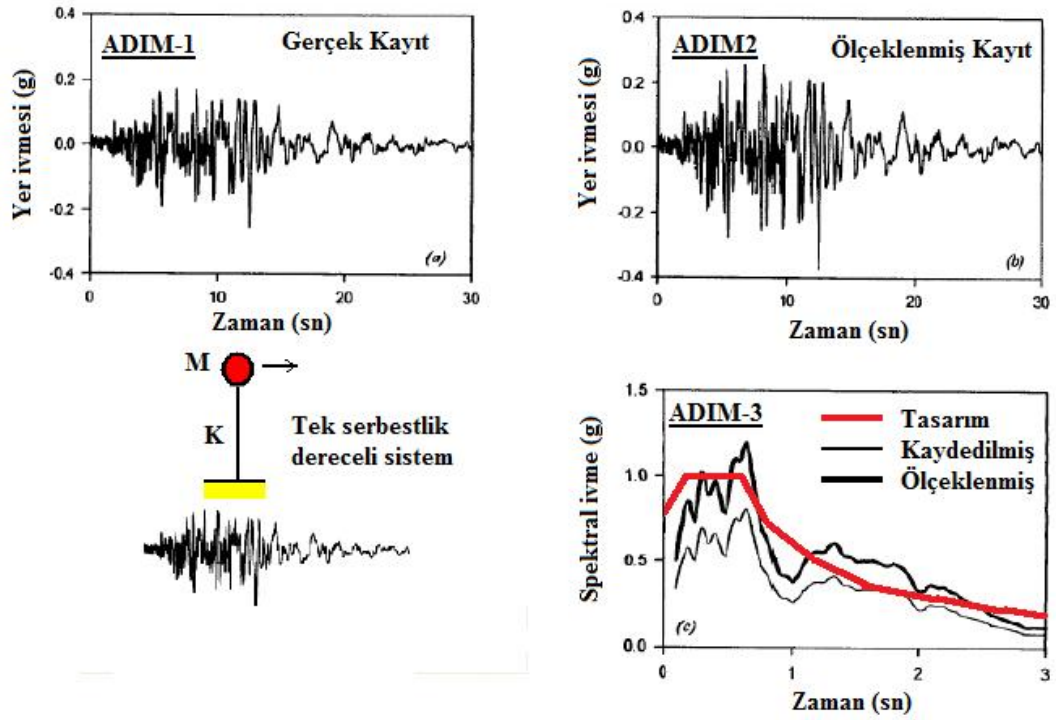
Birden fazla deprem kaydı kullanarak ölçekleme yapılmak istenmesi durumunda uygulanabilecek yöntem aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

(a) Bütün kayıtlar için tek bir ölçekleme katsayısı kullanılarak (N) adet deprem kaydının ortalaması tasarım spektrumuna eşleştirilmeye çalışılır. Üretilen ortalama spektrum, tasarım spektrumu ile oldukça iyi eşleşse de, bütün kayıtlar aynı katsayı ile ölçeklenmiş olur.

(b) Tek bir kayıt için kullanılan yöntem, (N) adet kaydın herbiri için tek tek uygulanır. Herbir hareket tek başına en iyi şekilde ölçeklenmiş olmasına rağmen sonuçta alınan ortalama tasarım spektrumu ile mükemmel şekilde eşleşmez.

(c) (N) adet kaydın spektrumunun ortalaması tasarım spektrumuna eşleştirilmeye çalışılır. (N) kere türev alınarak “Fark” fonksiyonu minimize edilir. Elde edilen (N) adet doğrusal cebirsel denklem çözülerek (N) adet optimum ölçekleme katsayısı bulunur. Bu yöntemde kayıtlar en optimum şekilde ölçeklenmiş olmasına rağmen çıkan ölçekleme katsayıları çok küçük veya çok büyük hatta negatif değerler alabilir.

Bu işlemlerin adımları tek serbestlik dereceli sistemler kullanılarak yapılır. Aşağıda, Şekil 2.48 de bu işlemler şematik olarak açıklanmaya çalışılmıştır.



Şekil 2.48 : Zaman tanım alanında ölçeklendirme prosedürü

Şekil 2.48 deki işlemler özetlenirse:

1. adımda, seçilmiş olan deprem yer hareketi kaydı verilmiştir. 2. Adımda, 1. adımda seçilmiş olan deprem kaydının ölçeklenmiş hali görülmektedir. Burada ölçekleme işlemi 3. adımda görülen tasarım spektrumu elde edilinceye kadar devam eder. Deprem kaydının tasarım spektrumuna çevrilmesi için özdeş tek serbestlik dereceli bir sistem kullanılır. Bu işlem için *SeismoSignal* [49], *Bispec* [50] gibi programlardan yararlanılabilir.

Gerçek deprem kayıtlarının doğrusal elastik olmayan ivme davranış spektrumları yerdeğiştirmeye hassas bölgede eşit yerdeğiştirme kuralını sağlamaktadır. Bu yüksek periyotlu bölgede süneklik (μ) ile sistem davranış katsayıları aynı değere sahip olmaktadır [38]. Zaman tanım alanında ölçeklenen kayıtların doğrusal elastik olmayan ivme davranış spektrumları, yerdeğiştirmeye hassas bölgede eşit yerdeğiştirme kuralını sağlamakta ve sabit sistem davranış katsayısı kullanılarak elde edilen yerdeğiştirme süneklik istemleri sistem davranış katsayısına (μ) eşit olmaktadır.

Gerçek deprem kayıtlarının genliğine yapılacak ölçekleme miktarlarının, çıkan hareketin kullanılacağı problemin türüne göre belirli limitleri aşmaması önerilir.

Yapılan çalışmalarda yapıların doğrusal elastik analizlerinde üst limit olarak 4 değerinin kabul edilebileceği, buna karşılık doğrusal elastik olmayan analizlerde (α) ölçekleme katsayısının 0.5 ile 2 arasında sınırlandırılması gerektiği belirtilmiştir, [47, 51]. Sıvılaşma için ise 2 den daha büyük ölçekleme katsayısı kullanılmaması önerilir.

2.5.4.2 Frekans tanım alanında ölçekleme

Bu yöntem, deprem sırasında kaydedilmiş ivme kayıtları kullanılarak, tasarım ivme spektrumuyla mükemmel bir şekilde uyuşan, başlangıçtaki kayda benzer bir hareketin türetilmesi esasına dayanır. Bu çalışmada kullanılan frekans tanım alanında ölçekleme yönteminde, seçilen gerçek deprem kaydı tasarım ivme spektrumunun bu kayda ait davranış spektrumuna oranı ile frekans tanım alanında filtrelendirir. Bütün yöntem boyunca hareketin Fourier fazları değişmeden aynen kalır. Elde edilen frekans tanım alanındaki hareket, zaman tanım alanına çevrilerek davranış spektrumu elde edilir. İstenilen periyot aralığında, bu davranış spektrumunun tasarım ivme spektrumu ile yeterli düzeyde eşleşip eşleşmediği kontrol edilir. Eğer eşleşme yeterli bulunmazsa istenilen eşleşme sağlanıncaya kadar adımlar tekrar edilir [44].

Frekans tanım alanında yapılan ölçekleme işleminin adımları aşağıda özetlenmiştir.

1. İlgili tasarım spektrumu $S_a^{hedef}(T)$ belirlenir.
2. İlgili tasarım spektrumuna ($S_a^{hedef}(T)$) uygun olarak ölçeklenmek üzere tek bir deprem kaydı seçilir ($TH^{gerçek}(t)$).
3. Sönüm oranı tasarım spektrumu ile aynı olacak şekilde seçilen kaydın davranış spektrumu ($S_a^{gerçek}(T)$) elde edilir.
4. Ölçeklemenin yapılacağı periyot sınırları içinde tasarım spektrumu ve gerçek kaydın davranış spektrumu arasındaki oran hesaplanır, Denk. (2.60).

$$SPR(T) = \frac{S_a^{hedef}(T)}{S_a^{gerçek}(T)} \quad T_A \leq T \leq T_B \quad (2.60)$$

5. Zamana bağlı olan oran fonksiyonu ($SPR(T)$), ω açısal frekansı cinsinden yazılır, Denk 2.61.

$$FILT(\omega) = SPR(\omega) \quad \omega_{min} \leq \omega \leq \omega_{mak} \quad (2.61)$$

Burada, $\omega_{\min}$ ve $\omega_{\max}$ sırasıyla maksimum ve minimum ölçekleme açısal frekanslarıdır.

6. Hızlı Fourier algoritması ($TH^{\text{gerçek}}(t)$) kullanılarak gerçek deprem kaydının ($F^{\text{gerçek}}(\omega)$) Fourier spektrum genliği ve ($\theta^{\text{gerçek}}(\omega)$) Fourier spektrum fazı hesaplanır. Fourier spektrum genliği ($FILT(\omega)$) fonksiyonu ile çarpılarak ($F^{\text{filtrelenmiş}}(\omega)$) fonksiyonu elde edilir, Denk. 2.62.

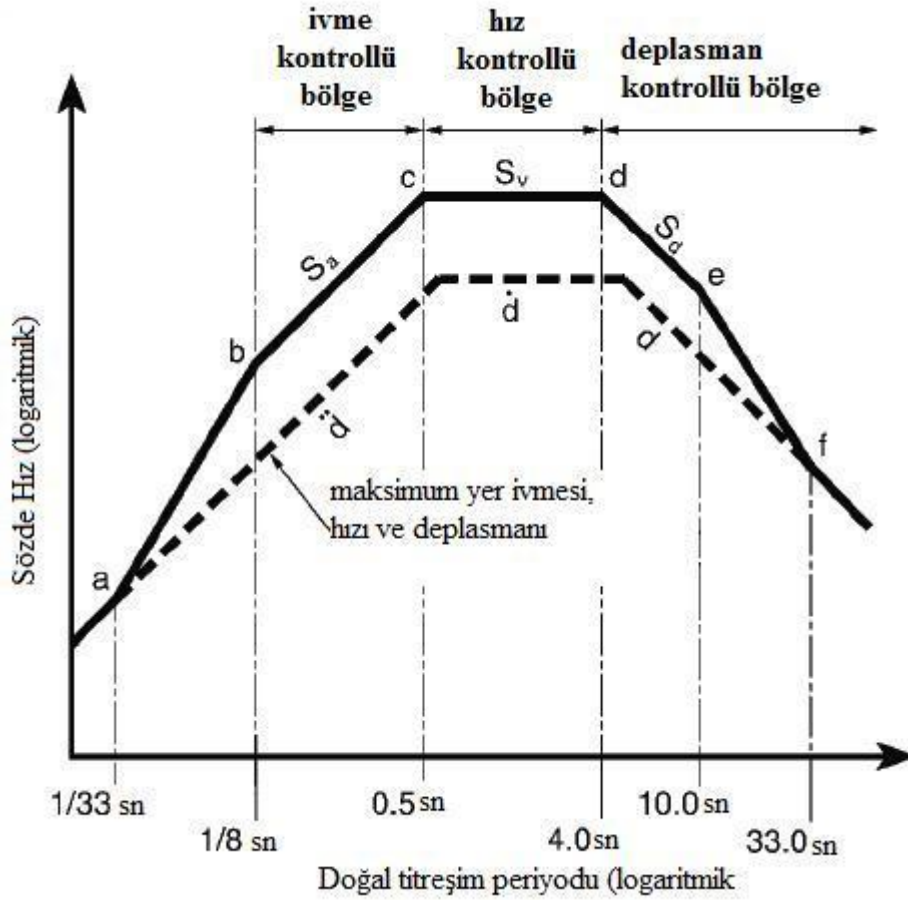
$$F^{\text{filtrelenmiş}}(\omega) = FILT(\omega).F^{\text{gerçek}}(\omega) \quad (2.62)$$

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

8. Önceki adımda elde edilen kaydın davranış spektrumu ile tasarım ivme spektrumu arasında yönetmeliklerde belirtilen eşleşme sağlanıncaya kadar, 4. adımdan 7. adıma kadar olan adımlar tekrar edilir [45].

Frekans tanım alanında ölçekleme yönteminde tasarım ivme spektrumu ile büyük ölçüde eşleşen kayıtlar elde edilir. Ancak, yer hareketi kaydının frekans içeriği değiştirildiği için, yer hareketinin doğal özellikleri kaybolur [44]. Bu nedenle, yerdeğiştirmeye hassas bölgede süneklik (μ) eşit yerdeğiştirme kuralını sağlamamaktadır, Şekil 2.49. Ölçeklenmiş kayıtların yerdeğiştirme süneklik istemleri sistem davranış katsayısının iki katından fazla bir değere ulaşmaktadır. Bu durumun , ölçekleme analizleri için önerilen 0.1-5.0 saniye periyot aralığının yerdeğiştirmeye hassas bölgeyi kapsamamasından kaynaklandığı düşünülebilir. Ancak, bu konuda ölçekleme için periyot aralığını geniş tutarak yapılan çalışmalarda (0.1-50.0sn) yüksek periyotlu bölgelerde eşit yerdeğiştirme kuralının sağlanmadığı görülmektedir.

Frekans tanım alanında ölçeklenmiş kayıtlar yerdeğiştirmeye hassas bölgede eşit yerdeğiştirme kuralını sağlamadığı için yapıların doğrusal olmayan deprem hesaplamalarında kullanılması uygun değildir.



Şekil 2.49 : Elastik istem eğrisinde ivmeye, hıza ve yerdeğiştirmeye hassas bölgeler

2.5.4.3 Zaman tanım alanında ve frekans tanım alanında ölçeklendirme yöntemlerinin karşılaştırılması

Yukarıda açıklanan ölçeklendirme yöntemleri ile kuvvetli yer hareketlerinin hedef tasarım spektrumuna uyacak şekilde ölçeklenmeleri mümkündür. Ancak her iki yöntemin de birbirlerine göre avantajları ve eksiklikleri bulunmaktadır.

a) Yöntemlerin her ikisi ile de tasarım spektrumuna uygun kayıtlar elde etmek mümkündür. Ancak frekans tanım alanında ölçekleme yöntemi kullanılarak elde edilen kayıtlar zaman tanım alanında ölçekleme yöntemi uygulananlara nazaran tasarım spektrumuyla daha iyi uyum göstermektedir.

b) Frekans tanım alanında yapılan ölçekleme işleminde kaydın frekans içeriği değiştiği için, doğal özelliklerini kaybettiği gözönünde bulundurulmalıdır.

c) Zaman tanım alanında ölçekleme yöntemi uygulanarak elde edilen kayıtların doğrusal elastik olmayan ivme davranış spektrumları, yerdeğiştirmeye hassas

bölgede eşit yerdeğiştirme kuralını sağlamakta ve sabit sistem davranış katsayısı kullanılarak elde edilen yerdeğiştirme sünelik talepleri (μ) sistem davranış katsayısına eşit olmaktadır.

d) Frekans tanım alanında ölçekleme yöntemi kullanılarak elde edilen kayıtlar yerdeğiştirmeye hassas bölgede eşit yerdeğiştirme kuralını sağlamamaktadır. Bu yüzden, frekans tanım alanında ölçekleme yöntemi kullanılarak elde edilen kayıtların yapıların doğrusal olmayan deprem hesaplamalarında kullanılması genellikle uygun değildir.

3. PERFORMANSA DAYALI TASARIM VE DEĞERLENDİRME

Performansa dayalı tasarım ve değerlendirme, günümüz inşaat mühendisliğinde yeni olan ve giderek yaygınlaşan bir kavramdır. Yerdeğiştirme ve şekildeğiştirmeye bağlı performans kriterini esas alan yapısal değerlendirme ve tasarım kavramı, deprem bölgelerindeki mevcut yapıların deprem güvenliklerinin belirlenmesi ve yeterli güvenlikte olmayan yapıların güçlendirme çalışmaları sırasında ortaya konulmuş ve geliştirilmiştir.

Amerika Birleşik Devletlerinin California eyaletinde, 1989 Loma Prieta ve 1994 Northridge depremлерinin 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 gereksinim doğrultusunda, Applied Technology Council (ATC) tarafından *Guidelines and Commentary for Seismic Rehabilitation of Buildings – ATC 40* [11] ve Federal Emergency Management Agency (FEMA) tarafından *NEHRP (National Earthquake Hazards Reduction Program)- FEMA 273* [12], *FEMA 356* [13] raporları yayınlanmıştır. Daha sonra bu çalışmaların sonuçlarının irdelenmesi ve geliştirilmesi amacı ile *ATC 55* projesi yürütülmüş ve bu projenin sonuçlarını içeren *FEMA 440* [14] raporu hazırlanmıştır.

Ülkemizde, özellikle 1999 Adapazarı-Kocaeli ve Düzce depremlerinin ardından, mevcut binaların deprem güvenliklerinin belirlenmesi ve yeterli güvenlikte olmayan binaların güçlendirilmesi konusunda çalışmalara başlanılmıştır. Ancak bu çalışmaların bir yönetmelik çerçevesinde gerçekleştirilmesi amacıyla ilk adım 2003 yılında atılmış ve yürürlükte olan deprem yönetmeliğine mevcut binaların deprem güvenliklerinin belirlenmesi ve güçlendirilmesi ile ilgili bir bölüm eklenmiştir. Her ne kadar bu bölümde yer alan kurallar mevcut binalar için hazırlanmış olsalar da, yeni yapılacak olan binaların deprem etkileri altında performansa dayalı tasarımı amacı ile kullanılabilirler.

Aşağıdaki bölümlerde, 2007 Türk Deprem Yönetmeliği' nin (DBYBHY'07) mevcut betonarme binaların deprem performanslarının ve güvenliklerinin değerlendirmesine ilişkin bölümünün (Bölüm 7) temel ilkelerine ve uygulanmasına yönelik bilgi verilecektir. Çalışmanın ilerleyen bölümlerinde ise, bu bilgiler henüz inşa edilmemiş olan bir binanın performansa dayalı tasarımında kullanılacaktır.

3.1 Binalardan Bilgi Toplanması

Mevcut binaların taşıyıcı sistem elemanlarının kapasitelerinin belirlenmesinde ve deprem dayanımlarının değerlendirilmesinde kullanılacak olan, eleman detayları ve boyutları, taşıyıcı sistem geometrisine ve malzeme özelliklerine ilişkin bilgiler, binaların projelerinden ve raporlarından, binada yapılacak gözlem ve ölçümlerden, binadan alınacak malzeme örneklerine uygulanacak deneylerden elde edilir. Binalardan bilgi toplanması kapsamında yapılacak işlemler, yapısal sistemin tanımlanması, bina geometrisinin, temel sisteminin ve zemin özelliklerinin belirlenmesi, varsa mevcut hasarın ve evvelce yapılmış olan değişiklik ve/veya onarımların belirlenmesi, eleman boyutlarının ölçülmesi, malzeme özelliklerinin saptanması, sahada derlenen tüm bu bilgilerin binanın varsa projesine uygunluğunun kontrolüdür. Binalardan bilgi toplanması amacıyla gerçekleştirilen inceleme, veri toplama, derleme, değerlendirme, malzeme örneği alma ve deney yapma işlemleri inşaat mühendislerinin sorumluluğu altındadır.

3.2 Bilgi Düzeyleri

Binaların incelenmesinden elde edilecek mevcut durum bilgilerinin kapsamına göre her bina için bilgi düzeyi ve buna bağlı olarak bilgi düzeyi katsayıları tanımlanır. Bilgi düzeyleri sırasıyla *sınırlı*, *orta* ve *kapsamlı* olarak sınıflandırılmıştır. Belirlenen bilgi düzeyi katsayıları taşıyıcı eleman kapasitelerinin hesaplanmasında kullanılır.

a) Sınırlı Bilgi Düzeyi: Bu bilgi düzeyinde binanın taşıyıcı sistem projeleri mevcut değildir. Taşıyıcı sistem özellikleri binada yapılacak ölçümlerle belirlenir. Sınırlı bilgi düzeyi Çizelge 3.2 de tanımlanan “Deprem Sonrası Hemen Kullanımı Gerektiren Binalar” ile “İnsanların Uzun Süreli Yoğun Bulunduğu Binalar” için uygulanamaz.

b) Orta Bilgi Düzeyi: Bu bilgi düzeyinde, eğer binanın taşıyıcı sistem projeleri mevcut değilse, sınırlı bilgi düzeyine oranla daha fazla ölçüm yapılır. Eğer binanın projeleri mevcut ise, sınırlı bilgi düzeyinde belirtilen ölçümler yapılarak proje bilgileri doğrulanır.

c) Kapsamlı Bilgi Düzeyi: Bu bilgi düzeyinde binanın taşıyıcı sistem projeleri mevcuttur. Proje bilgilerinin doğrulanması amacıyla, mevcut bina üzerinde yeterli düzeyde ölçüm ve inceleme yapılır.

İncelenen binalardan edinilen bilgi düzeylerine göre, eleman kapasitelerine uygulanacak bilgi düzeyi katsayıları Çizelge 3.1 de verilmektedir. Yeni inşa edilecek olan binaların performans dayalı tasarımında, doğal olarak, kapsamlı bilgi düzeyi ve bu bilgi düzeyine ait bilgi düzeyi katsayısı esas alınacaktır.

Mevcut binaların performanslarının değerlendirilmesinde malzeme dayanımları, özellikle belirtilmedikçe, ilgili tasarım yönetmeliklerinde verilen malzeme katsayıları ile bölünmeyecektir. Eleman kapasitelerinin hesabında *mevcut malzeme dayanımları* kullanılacaktır.

Çizelge 3.1 : Binalar İçin Bilgi Düzeyi Katsayıları.

Bilgi Düzeyi	Bilgi Düzeyi Katsayısı
Sınırlı	0.75
Orta	0.90
Kapsamlı	1.00

3.3 Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri

Yapıların deprem etkileri altındaki performanslarının değerlendirmesi genel olarak iki farklı kritere göre yapılmaktadır. 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 ulaşıtlıklarıyla ilgilidir.

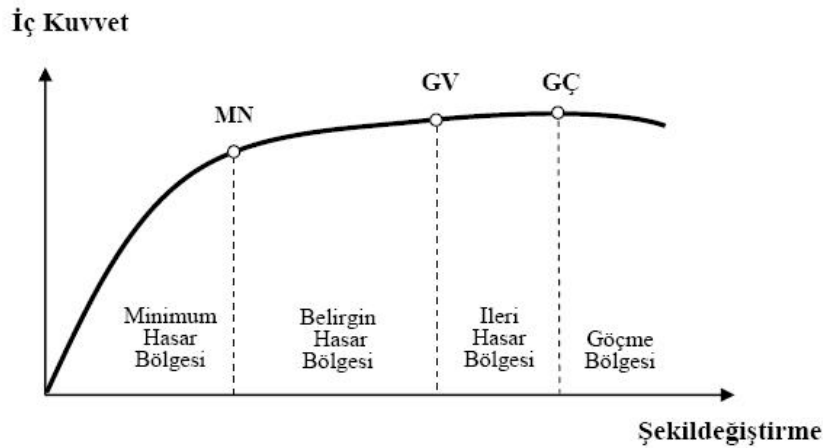
3.3.1 Kesit hasar sınırları

Sünek elemanlar için kesit düzeyinde üç sınır durum tanımlanmıştır. Bunlar *Minimum Hasar Sınırı* (MN), *Güvenlik Sınırı* (GV) ve *Göçme Sınırı* (GÇ) ’dır.

Minimum hasar sınırı kritik kesitte elastik ötesi davranışın başlangıcını, güvenlik sınırı kesitin dayanımını güvenli olarak sağlayabileceği elastik ötesi davranışı, göçme sınırı ise kesitin göçme öncesi davranışını tanımlamaktadır. Eksenel basınç ve kesme gibi etkiler altında kapasitesine ulaşan gevrek elemanlar için elastik ötesi davranışa izin verilmemektedir.

3.3.2 Kesit hasar bölgeleri

Kritik kesitleri MN sınırına 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 sınırları ve hasar bölgeleri

3.3.3 Kesit hasarı ve eleman hasarı tanımları

Doğrusal veya doğrusal olmayan yöntemlerle hesaplanan iç kuvvetlerin ve/veya şekildeğiştirmelerin, yukarıda tanımlanan sınır durumlara karşı gelen sayısal değerler ile karşılaştırılması sonucunda kesitlerin hasar bölgelerine karar verilir. Eleman hasarı ise, elemanın en fazla hasar gören kesitine göre belirlenir.

3.4 Binaların 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 [28].

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 düzeyi belirlenir.

3.4.1 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 çatlamlar görülebilir, ancak bunlar onarılabılır düzeydedirler.

Her hangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla % 10' u belirgin hasar bölgesine geçebilir; ancak diğer taşıyıcı elemanların tümü minimum hasar bölgesindedir. Eğer varsa, gevrek olarak hasar gören elemanların güçlendirilmesi koşulu ile binanın *Hemen Kullanım Performans Düzeyi* 'nde olduğu kabul edilir. Güçlendirilmesine gerek yoktur.

3.4.2 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 güçlendirilmesi 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 bunların yapı içindeki dağılımına göre karar verilir.

3.4.3 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 yükleri taşımada yeterlidir; ancak bazıları eksenel yük kapasitelerine ulaşmıştır. Yapısal olmayan elemanlar hasarlıdır, dolgu duvarların bir bölümü yıkılmıştır. Yapıda kalıcı ötelenmeler oluşmuştur.

Her hangi 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

güçlendirilmesi koşulu ile *Göçme Öncesi Performans Düzeyi*'nde kabul edilir. Ancak 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. Doğrusal elastik yöntemle yapılan hesapta, alt ve üst düğüm noktalarının ikisinde birden kuvvetli kolon koşulunun sağlandığı kolonlar bu hesaba dahil edilmezler. Binanın mevcut durumunda kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır ve bina güçlendirilmelidir. Ancak güçlendirmenin ekonomik verimliliği değerlendirilmelidir.

3.4.4 Göçme durumu

Yapı uygulanan deprem etkisi altında göçme durumuna ulaşır. Düşey 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 şiddetteki bir yer hareketi altında bile yıkılma olasılığı yüksektir.

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

3.5 Performansa Dayalı Tasarımda 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 Yönetmeliklerinde, yeni inşa edilecek olan binaların tasarımında 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.

3.6 Performans Hedefi ve Çok Seviyeli Performans Hedefleri

Belirli bir deprem etkisi 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.

<i>Binanın Kullanım Amacı Ve Türü</i>	<i>Deprem Aşılma Olasılığı</i>		
	50 yılda	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	-	CG	GÖ
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

3.7 Deprem Etkileri Altında Bina Performansının Belirlenmesi

Performansa dayalı tasarım ve değerlendirmenin iki temel parametresi istem (talep) ve kapasitedir. İstem yapıya etkiyen deprem yer hareketini, kapasite ise yapının bu

deprem etkisi altındaki davranışını temsil etmektedir. Mevcut ve güçlendirilecek binaların deprem performanslarının belirlenmesi için uygulanan yöntemler dayanım bazlı *doğrusal elastik (doğrusal)* hesap yöntemleri ile şekildeğiştirme ve yerdeğiştirme bazlı *doğrusal elastik olmayan (doğrusal olmayan)* hesap yöntemleridir.

Doğrusal hesap yöntemleri

(a) *Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi*

(b) *Mod Birleştirme Yöntemi*

olarak ikiye ayrılır.

Doğrusal olmayan elastik hesap yöntemleri ise

(a) *Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi*

(b) *Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi*

(c) *Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi*' dir.

Doğrusal olmayan hesap yöntemlerinden ilk iki yöntem artımsal itme analizinin esas alındığı yöntemlerdir. Zaman tanım alanında hesap yöntemi ise gerçek deprem kayıtları kullanılarak performans değerlendirmesini sağladığından, diğer yöntemlere oranla, gerçeğe daha yakın çözüm vermektedir.

Aşağıda, yapıların deprem performanslarının değerlendirilmesi amacıyla kullanılan doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemler için genel kurallar verilecektir. Ayrıca, doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri ile performansa dayalı tasarım ilkeleri açıklanmaya çalışılacak ve bu tez kapsamında yer alan *Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi* hakkında bilgi sunulacaktır.

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

Binaların deprem performanslarının belirlenmesinde yukarıda belirtilen her iki yöntem de kullanılmaktadır. Ancak, teorik olarak farklı yaklaşımlara dayanan bu yöntemler ile gerçekleştirilen performans değerlendirilmelerinin tümüyle aynı sonucu vermeleri beklenmemektedir. Aşağıda, her iki yöntemde de ortak olarak geçerli olan kurallar açıklanmıştır.

- Deprem etkisinin tanımında, yönetmelikte yeni inşa edilecek olan binaların tasarımı için verilmiş olan, 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremin elastik ivme spektrumu kullanılır. Farklı aşılma olasılıklarının da değerlendirildiği durumlarda ise, 50 yılda aşılma olasılıkları %50 ve %2 olan depremler için, bu spektrumun ordinatları sırası ile 0.5 ve 1.5 katsayıları ile çarpılır, buna karşılık bina önem katsayısı uygulanmaz, ($I=0$).
- Binaların deprem performansları, yapıya etkiyen düşey yüklerin ve deprem kuvvetlerinin birleşik etkileri altında değerlendirilir. Kat kütleleri, kat ağırlıkları ve katılım katsayısı ile çarpılmış hareketli yüklerin toplamı ile uyumlu olacak şekilde tanımlanır. Diğer bir deyişle, deprem hesabında gözönüne alınan hareketli yük katılım katsayısı (n) düşey yüklerin kombinasyonunda da gözönünde bulundurulacaktır.
- Deprem kuvvetleri binaya her iki doğrultuda ve her iki yönde ayrı ayrı etki etkitilecektir.
- Deprem hesabında kullanılacak olan zemin parametreleri yönetmeliğin ilgili bölümüne göre belirlenecektir.
- Binanın taşıyıcı sistem modeli, deprem kuvvetleri ile düşey yüklerin ortak etkileri altında yapı elemanlarında oluşacak iç kuvvet, yerdeğiştirme ve şekildeğiştirmeleri hesaplamak için yeterli doğrulukta hazırlanmalıdır.
- Döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, her katta iki yatay yerdeğiştirme ile düşey eksen etrafındaki 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 tanımlanmasında

(a) analizde beton ve donatı çeliğinin bina bilgi düzeyine bağlı olarak belirlenen mevcut dayanımları esas alınır,

(b) betonun maksimum basınç birim sekildeğiştirmesi 0.003, donatı çeliğinin maksimum birim sekildeğiştirmesi ise 0.01 olarak alınabilir,

(c) etkileşim diyagramları uygun biçimde doğrusallaştırılarak çok doğru lu veya çok düzlemlı diyagramlar olarak modellenenebilir.

- Betonarme sistemlerin eleman boyutlarının tanımında birleşim bölgeleri sonsuz rijit uç bölgeleri olarak gözönüne alınabilir.
- Eğilme etkisindeki betonarme elemanlarda çatlamış kesite ait $(EI)_c$ etkin eğilme rijitlikleri kullanılır. Daha kesin bir hesap yapılmadıķa, etkin eğilme rijitlikleri için

(a) kirişlerde : $(EI)_c = 0.40(EI)_0$

(b) kolon ve perdelerde : $N_D / (A_c f_{cm}) \leq 0.10$ durumunda $(EI)_c = 0.40 (EI)_0$

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

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 $(EI)_0$ 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 $(EI)_c$ kullanılarak deprem hesabında esas alınan kütlelerle uyumlu yükler için 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 eksiklik oranında azaltılabilir.
- Zemindeki şekildeğiştirmelerin yapı davranışını etkileyebileceği durumlarda zemin özellikleri analiz modeline yansıtılır.

3.7.2 Doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri

3.7.2.1 Tanım

Deprem etkileri altındaki 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.

Doğrusal olmayan hesap yöntemleri:

- 1) Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi
- 2) Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi
- 3) Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi

olmak üzere üç ayrı yöntemden oluşmaktadır.

3.7.2.2 Doğrusal elastik olmayan davranışın idealleştirilmesi

Bu çalışma kapsamında, malzeme bakımından doğrusal elastik olmayan davranışın idealleştirilmesi için, eksenel kuvvet ve eğilme momentleri etkisindeki elemanlarda Bölüm 2.3.1.1’ de açıklanan fiber eleman modeli uygulanacaktır. Sadece eğilme etkisi altındaki elemanlarda (kirişler) ise, yığılı plastik davranış modelini esas alan plastik mafsallık hipotezi kullanılmıştır.

Plastik mafsallık boyu aşağıdaki Denk. 3.1 ile tanımlanmıştır. Burada “ L_p ” plastik şekildeğiştirme bölgesinin uzunluğunu, “ h ” ise kesit yüksekliğini göstermektedir.

$$L_p = 0.5h \quad (3.1)$$

Yığılı plastik şekildeğiştirmeyi temsil eden plastik kesitlerin, teorik olarak plastik şekildeğiştirme bölgesinin tam ortasına yerleştirilmesi uygun olmaktadır. Ancak pratik uygulamalarda aşağıda sıralanan idealleştirmeler yapılabilir.

- (a) Kirişlerde plastik kesitler, kolon-kiriş birleşim bölgesinin hemen dışına, diğer bir deyişle, net açıklıklarının uçlarına konulabilir. Ancak, düşey yüklerin etkisinden dolayı kiriş açıklıklarında da plastik mafsalların oluşabileceği gözönünde tutulmalıdır.

(b) Bir veya iki eksenli eğilme ve eksenel kuvvet etkisindeki betonarme kesitlerin etkileşim diyagramlarının tanımlanması aşağıda belirtilen koşullara göre yapılır.

- Analizlerde beton ve donatı çeliğinin mevcut dayanımları esas alınır.
- Betonun maksimum basınç birim şekildeğiştirmesi 0.003, donatı çeliğinin maksimum birim şekildeğiştirmesi ise 0.01 olarak alınabilir.

(c) Elde edilen akma yüzeyleri uygun biçimde doğrusallaştırılarak iki boyutlu davranış durumunda akma çizgileri, üç boyutlu davranış durumunda ise akma düzlemleri olarak modellenir.

3.7.2.3 Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yönteminin amacı, taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan davranışı gözönüne alarak, sistemin hareket denkleminin adım adım entegre edilmesidir. Analiz sırasında, her bir zaman artımında sistemde meydana gelen yerdeğiştirmeler, plastik şekildeğiştirmeler ve iç kuvvetler ile bu büyüklüklerin deprem istemine karşı gelen maksimum değeri 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 açıdan geçerlilikleri kanıtlanmış olmak koşulu ile, ilgili literatürden yararlanılarak tanımlanır. Doğrusal veya doğrusal olmayan hesapta, üç farklı yer hareketi kullanılması durumunda sonuçların maksimumu, en az yedi farklı 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 hareketinin 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 değeri ortalaması A_{0g} 'den daha küçük olmamalıdır.
- (c) Yapay olarak üretilen her bir ivme kaydına göre %5 sönüm oranı için yeniden elde edilecek spektral ivme değeri ortalaması, gözönüne alınan deprem

doğrultusundaki birinci (hakim) periyot T_1 'e göre $0.2T_1$ ile $2T_1$ arasındaki periyotlar için yönetmelikte 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 sağlamaları istenir. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizin esasları ve matematik formülasyonu Bölüm 2.4' te açıklanmıştır.

3.7.2.4 Birim şekildeğiştirme istemlerinin belirlenmesi

Doğrusal elastik olmayan yöntemlere göre yapılan itme analizi veya zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonucunda çıkış bilgisi olarak herhangi bir kesitte elde edilen θ_p plastik dönme istemine bağlı olarak, plastik eğrilik istemi aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır, Denk. 3.2.

$$\phi_p = \frac{\theta_p}{L_p} \quad (3.2)$$

Amaca uygun olarak seçilen bir beton modeli ile pekleşmeyi de gözönüne alan donatı çeliği modeli kullanılarak, kesitteki aksinel kuvvet istemi altında yapılan analizden elde edilen iki doğrulu moment-eğrilik ilişkisi ile tanımlanan ϕ_y eşdeğer akma eğriliği, Denk 3.2' de tanımlanan ϕ_p plastik eğrilik istemine eklenerek, kesitteki toplam eğrilik istemi ϕ_t elde edilir.

$$\phi_t = \phi_y + \phi_p \quad (3.3)$$

Betonarme sistemlerde betonun basınç birim şekildeğiştirmesi istemi ile donatı çeliğindeki birim şekildeğiştirme istemi, Denk. 3.3 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 bölgeleri belirlenir.

3.7.2.5 Betonarme elemanların kesit birim şekildeğiştirme kapasiteleri

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

a) Minimum hasar sınırı (MN) için kesitin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi ile donatıdaki uzama birim şekildeğiştirmesinin üst sınırları:

$$(\varepsilon_{cu})_{MN} = 0.0035 \quad (\varepsilon_s)_{MN} = 0.010 \quad (3.4)$$

b) Kesit güvenlik sınırı (GV) için etriye içindeki bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi ile donatıdaki uzama birim şekildeğiştirmesinin üst sınırları:

$$(\varepsilon_{cg})_{GV} = 0.0035 + 0.01(\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0.0135 \quad (\varepsilon_s)_{GV} = 0.040 \quad (3.5)$$

c) Kesit göçme sınırı (GÇ) için etriye içindeki bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi ile donatıdaki uzama birim şekildeğiştirmesinin üst sınırları:

$$(\varepsilon_{cg})_{GC} = 0.004 + 0.014(\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0.018 \quad (\varepsilon_s)_{GC} = 0.060 \quad (3.6)$$

Burada:

ρ_s ; kesitteki mevcut etriyeler ve çirozlardan oluşan enine donatının hacimsel oranı

ρ_{sm} : deprem yönetmeliğine göre kesitte bulunması gereken enine donatının hacimsel oranı olarak tanımlanır.

4. YÜKSEK BİNALARIN PERFORMANSA DAYALI TASARIMI VE YÜKSEK BİNALAR İÇİN HAZIRLANAN YÖNETMELİKLER

Bu bölümde, tez kapsamında incelenen betonarme yüksek binanın performansa dayalı tasarımında esas alınan başlıca Ulusal ve Uluslararası yüksek binalar yönetmeliklerinin esasları gözden geçirilecektir.

4.1 İstanbul İli Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği

4.1.1 Yönetmeliğin amacı ve genel yaklaşımı

Bu yönetmeliğin, İstanbul Büyükşehir Belediyesi sınırları içinde yapılacak yüksek binaların depreme dayanıklı olarak tasarımı amacıyla uygulanması öngörülmektedir. Yüksek binalar, tamamı yer altında olan ve binayı tümü ile kuşatan yüksek yatay rijitlikli çevre perdelerine sahip bodrum katları hariç olmak üzere, en düşük yer seviyesinden itibaren yüksekliği en az 60 metre olan binalar olarak tanımlanmışlardır.

Bu yönetmelik, deprem etkileri altında, temel ilke olarak performansa göre tasarımı esas almaktadır. Bu tasarım yaklaşımında, belirli düzeylerdeki deprem yer hareketleri altında yüksek binaların taşıyıcı sistem elemanlarında oluşabilecek hasar sayısal olarak tahmin edilir ve bu hasarın her bir elemanda kabul edilebilir hasar limitlerinin altında kalıp kalmadığı kontrol edilir. Kabul edilebilir hasar limitleri, çeşitli deprem düzeylerinde yapı için öngörülen performans hedefleri ile uyumlu olacak şekilde tanımlanır. Eleman düzeyinde hesaplanması öngörülen deprem hasarı, şiddetli depremler altında, genel olarak doğrusal elastik sınırlar ötesindeki şekildeğiştirmelere karşı geldiğinden, performansa göre tasarım yaklaşımı doğrusal olmayan (nonlinear) analiz yöntemleri ve şekildeğiştirmeye (deformasyona) göre tasarım kavramı ile doğrudan ilişkilidir. Yönetmelikte, hasarın sınırlı olmasının öngörüldüğü performans hedefleri için, dayanıma göre tasarım ilkesine dayanan doğrusal (linear) analiz yöntemlerinin kullanılmasına da izin verilmektedir.

Yüksek binaların bu yönetmelik kapsamında gerçekleştirilen depreme dayanıklı tasarımlarının, Bölüm 7’de tanımlanan *Bağımsız Kontrol Kurulu* tarafından kontrol edilerek onaylanması zorunludur.

4.1.2 Deprem Etkisinin Tanımlanması

Bu Yönetmelik kapsamındaki yüksek binaların performansa göre tasarımında esas alınacak deprem düzeyleri aşağıda tanımlanmıştır.

1) (D1) Deprem Düzeyi

Bu deprem düzeyi, Yönetmelik kapsamındaki yüksek binaların servis ömürleri boyunca meydana gelebilmesi olasılığı fazla olan, göreceli olarak sık olarak oluşan ancak şiddeti çok yüksek olmayan deprem yer hareketlerini ifade etmektedir. (D1) düzeyindeki depremin 50 yılda aşılma olasılığı %50, buna karşı gelen dönüş periyodu ise 72 yıldır.

2) (D2) Deprem Düzeyi

Bu deprem düzeyi, Yönetmelik kapsamındaki yüksek binaların servis ömürleri boyunca meydana gelebilmesi olasılığı çok fazla olmayan, seyrek ancak şiddetli deprem yer hareketlerini ifade etmektedir. (D2) düzeyindeki depremin 50 yılda aşılma olasılığı %10, buna karşı gelen dönüş periyodu ise 475 yıldır.

3) (D3) Deprem Düzeyi

Bu deprem düzeyi, Yönetmelik kapsamındaki yüksek binaların maruz kalabileceği en şiddetli deprem yer hareketini ifade etmektedir. (D3) düzeyindeki bu çok seyrek depremin 50 yılda aşılma olasılığı %2, buna karşı gelen dönüş periyodu ise 2475 yıldır.

4.1.3 Deprem Tasarım Spektrumları

(D1), (D2) ve (D3) deprem düzeyleri için 0.2 saniyelik kısa doğal titreşim periyodu ile 1.0 saniyelik doğal titreşim periyoduna karşı gelen yatay deprem spektral ivme değerleri (sırası ile S_s ve S_1), referans olarak alınan B ve C zemin sınıfları arası sınırı için (en üst 30 m için eşdeğer kayma dalgası hızı $v_s=760\text{m/s}$ olan) Yönetmeliğin Ek A bölümünde verilmiştir. Diğer zemin sınıfları için, aynı doğal

titreşim periyodlarına karşı gelen spektral ivme değerleri S_{MS} ve S_{M1} aşağıda verilen denklemler yardımı ile hesaplanır.

$$S_{MS} = F_a \times S_s \quad (4.1)$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 \quad (4.2)$$

Bu denklemlerdeki F_a ve F_v zemin etkisi parametreleri, sırası ile Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2' de tanımlanmıştır. Sözkonusu çizelgelerde gösterilen zemin sınıfları Yönetmelik Ek B de tanımlanmıştır. Yatay deprem için tasarım spektrumları aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır, Şekil 4.1.

$$S_{ae}(T) = 0.4S_{MS} + 0.6 \frac{S_{MS}}{T_0} T \quad (T_0 \leq T) \quad (4.3)$$

$$S_{ae}(T) = S_{MS} \quad (T_0 \leq T \leq T_s) \quad (4.4)$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{M1}}{T} \quad (T_s \leq T \leq T_L) \quad (4.5)$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{M1} T_L}{T^2} \quad (T_L \leq T) \quad (4.6)$$

Spektrum köşe periyotları T_0 ve T_s ise aşağıdaki şekilde tanımlanır

$$T_s = \frac{S_{M1}}{S_{MS}} \quad ; \quad T_0 = 0.2T_s \quad (4.7)$$

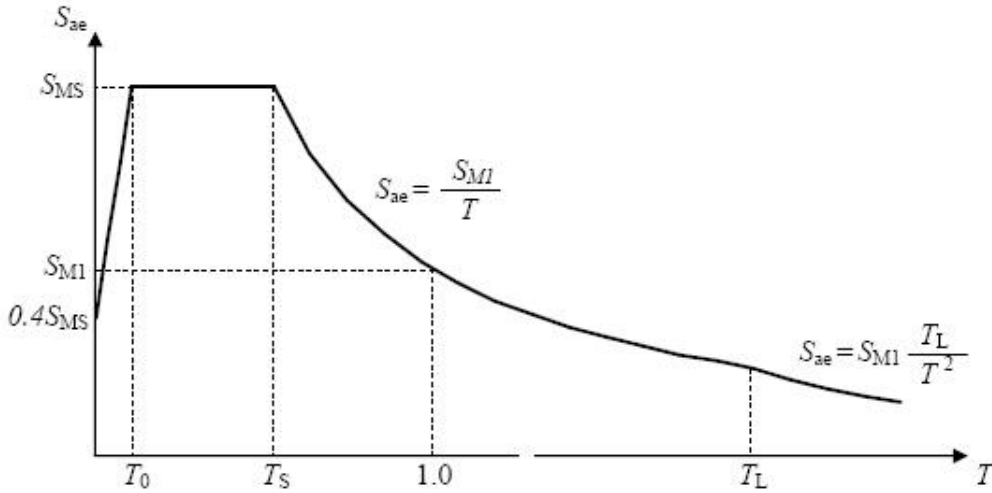
Uzun periyod bölgesine geçiş periyodu, İstanbul İli için $T_L=12s$ olarak alınacaktır.

Çizelge 4.1 : Kısa period zemin katsayısı F_a .

Zemin Sınıfı*	Kısa Periyod Spektral İvmesi (g) ^a				
	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.50$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.0$	$S_s \geq 1.25$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	— ^b	— ^b	— ^b	— ^b	— ^b
* Bkz. Ek B					
^a S_s ' in ara değerleri için lineer interpolasyon yapılacaktır.					
^b Sahaya özel geoteknik inceleme ve dinamik zemin davranış analizi yapılacaktır.					

Çizelge 4.2 : 1.0 s periyodu zemin katsayısı F_v .

Zemin Sınıfı*	1.0 s periyodunda Spektral İvme (g) ^a				
	$S_1 \leq 0.10$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.30$	$S_1 = 0.40$	$S_1 \geq 0.50$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
F	— ^b	— ^b	— ^b	— ^b	— ^b
* Bkz. Ek B					
^a S_1 'in ara değerleri için lineer interpolasyon yapılacaktır.					
^b Sahaya özel geoteknik inceleme ve dinamik zemin davranış analizi yapılacaktır.					

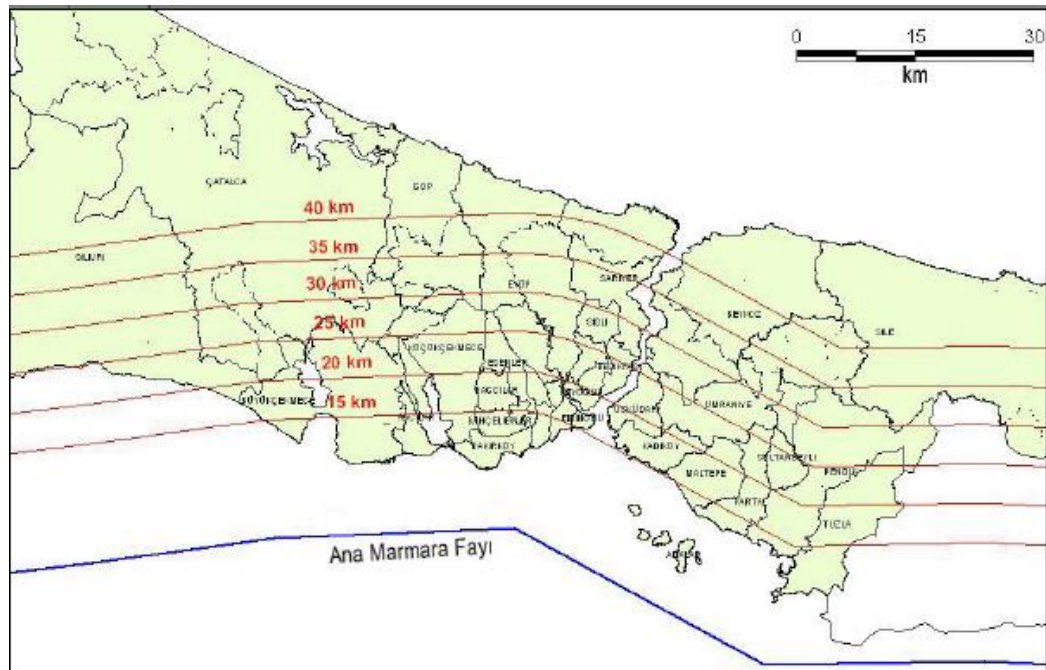


Şekil 4.1 : Tasarım spektrumu

4.1.4 Zaman tanım alanında deprem etkisi

Zaman tanım alanında yapılacak analizler için, aşağıda verilen özelliklere sahip en az yedi deprem yer hareketi takımı (yatay doğrultuda birbirine dik iki yatay bileşen için ivme kayıtları) seçilecektir. Her bir deprem yer hareketi takımı için senaryo depremi parametreleri ile uyumlu gerçek deprem ivme kayıtları kullanılacaktır. İstanbul ili için bu ivme kayıtlarının seçiminde, yanal atımlı deprem kaynak mekanizması, $7.0 < M_w < 7.5$ deprem moment büyüklüğü ve B veya C zemin sınıfı esas alınacaktır. Deprem mesafesi olarak ise, bina ile *Ana Marmara Fay Hattı* arasındaki en kısa

uzaklık alınacaktır, Şekil 4.2. İvme kayıtları aşağıda belirtilen veri bankalarından elde edilebilir:



Şekil 4.2 : Ana Marmara Fay Hattı

Cosmos Virtual Data Center <http://db.cosmos-eq.org/>Peer Strong Motion Database <http://peer.berkeley.edu/smcat/>

European Strong- Motion Database <http://www.isesd.cv.ic.ac.uk/ESD/frameset.htm>

Japan K-NET NIED <http://www.k-net.bosai.go.jp/>

Yeterli sayıda gerçek ivme deprem kaydı bulunamadığı durumlarda, deprem yer hareketi simulasyonları ve tasarım spektrumları ile uyumlu olarak üretilmiş yapay deprem yer hareketleri kullanılabilir. Aynı ivme kaydı (akselerogram) her iki yatay doğrultu içinde kullanılamaz.

Yapılacak deprem yer hareketi simülasyonları faylanma mekanizması, yırtılma özellikleri ve deprem kaynağı ile kayıt istasyonu arasındaki ortamın jeolojik yapısını gözönüne alan fiziksel bir modele dayalı olmalıdır. Direktivite etkilerinin gözönüne alınması amacı ile, bina konumu ile Ana Marmara Fay Hattı arasındaki en kısa mesafenin 15 km'den daha az olduğu durumlarda (bkz. Şekil 4.2), en az üç deprem yer hareketi takımı simülasyona dayalı olarak belirlenecektir.

Spektrum uyumlu olarak üretilmiş yapay deprem yer hareketlerinin faz spektrumunun senaryo depremi parametreleri ile uyumlu gerçek deprem ivme kayıtlarının faz spektrumuna benzemesi gereklidir.

Her bir deprem yer hareketi takımından hesaplanan 0 saniye periyodundaki %5 sönüm oranlı spektral genliklerin ortalaması tasarım spektrumunun 0 saniye periyodundaki spektral genliğinden ($0.4 S_{MS}$) daha düşük olmamalıdır.

Her bir deprem yer hareketi kaydı ivme genliğinin $\pm 0.05g$ sınır değerinin ilk ve son olarak aştığı iki nokta arasında kalan süre, binanın doğal titreşim periyodunun 5 katından veya 15 saniyeden daha kısa olmamalıdır.

Her bir deprem yer hareketi takımının iki bileşenine ait %5 sönüm oranlı spektrumların kareleri toplamının karekökü alınarak bileşke spektrum elde edilecektir. Bütün kayıtlara ait bileşke spektrumların ortalamasının $0.2T$ ve $1.2T$ (T : Binanın hakim doğal titreşim periyodu) periyotları arasındaki genliklerinin 1.3 katından daha az olmaması kuralına göre, deprem yer hareketi bileşenlerinin genlikleri ölçeklendirilecektir. Her iki bileşenin ölçeklendirilmesi aynı oranlarda yapılacaktır. Gerekli görülen durumlarda, deprem yer hareketinin düşey bileşenine ilişkin parametreler *Bağımsız Kontrol Kurulu* tarafından onaylanmak üzere tanımlanabilir.

4.1.5 Yüksek binalar için tanımlanan performans düzeyleri, performans

bölgeleri ve performans hedefleri

Yüksek binaların performans düzeyleri, deprem etkisi altında meydana gelmesi beklenen hasarlara bağlı olarak aşağıda tanımlanmıştır. Bu performans düzeyleri için kabul edilebilir hasar limitleri, her bir yapı tipi veya eleman için ayrı ayrı ve sayısal olarak tanımlanacaktır.

4.1.5.1 Minimum hasar / Kesintisiz kullanım performans düzeyi (MH / KK)

Minimum Hasar (Kesintisiz Kullanım) Performans Düzeyi, yüksek binalarda ve bunları oluşturan elemanlarda deprem etkisi altında yapısal ve yapısal olmayan hasar meydana gelmemesi veya meydana gelecek hasarın çok sınırlı düzeyde olması durumunu tanımlayan performans düzeyidir. Bu durumda, yüksek bina kesintisiz

olarak kullanılmaya devam eder veya meydana gelebilecek aksamalar birkaç gün içinde kolaylıkla giderilebilecek düzeyde kalır.

4.1.5.2 Kontrollü hasar / Can güvenliği performans düzeyi (KH / CG)

Kontrollü Hasar (Can Güvenliği) Performans Düzeyi, yüksek binalarda ve bunları oluşturan elemanlarda deprem etkisi altında sınırlı ve onarılabilir düzeyde yapısal ve yapısal olmayan hasarın meydana gelmesine izin verilen performans düzeyi olarak tanımlanır. Bu durumda, yüksek binanın kullanımında nisbeten kısa süreli (birkaç hafta veya ay) aksamaların meydana gelmesi doğaldır.

4.1.5.3 İleri hasar / Göçmeme güvenliği performans düzeyi (İH / GG)

İleri Hasar (Göçmeme Güvenliği) Performans Düzeyi, yüksek binalarda ve bunları oluşturan elemanlarda deprem etkisi altında göçme öncesinde meydana gelen ileri derecedeki yaygın hasarı temsil etmektedir. Bu durumda, yüksek binanın kullanımında uzun süreli aksamaların meydana gelmesi, hatta binanın kullanımına son verilmesi mümkündür.

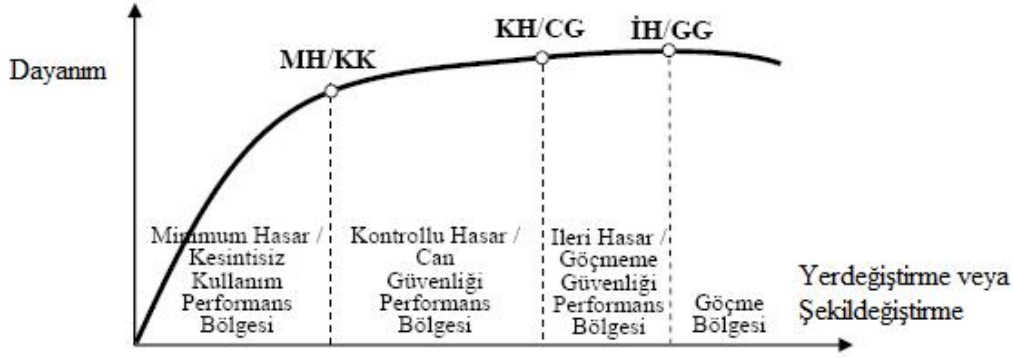
4.1.5.4 Performans bölgeleri

Yukarıda tanımlanan performans düzeyleri arasında kalan bölgeler *performans bölgeleri* tanımlanır, Şekil 4.3. (MH/KK) performans düzeyinin altında kalan bölge *Minimum Hasar / Kesintisiz Kullanım Performans Bölgesi*, (MH/KK) performans düzeyi ile (KH/CG) performans düzeyi arasında kalan bölge *Kontrollü Hasar / Can Güvenliği Performans Bölgesi*, (KH/CG) performans düzeyi ile (İH/GG) performans düzeyi arasında kalan bölge *İleri Hasar / Göçmeme Güvenliği Performans Bölgesi*, ve (İH/GG) performans düzeyinin üstündeki bölge *Göçme Bölgesi* olarak tanımlanır.

4.1.5.5 Yüksek binalar için öngörülen minimum performans hedefleri

Yüksek binalar için öngörülen minimum performans hedefleri, yukarıda tanımlanan deprem düzeylerine bağlı olarak aşağıda verilmiştir, Çizelge 4.3.

Kullanım bakımından *Normal Sınıf* a giren yüksek binaların (konut, otel, ofis binaları, vb) performanslarının **(D1)** depremi altında *Minimum Hasar / Kesintisiz Kullanım Performans Bölgesi*’ nde, **(D2)** depremi altında *Kontrollü Hasar / Can Güvenliği Performans Bölgesi*’ nde ve **(D3)** depremi altında *İleri Hasar / Göçmeme Güvenliği Performans Bölgesi*’ nde olması öngörülmektedir.



Şekil 4.3 : Performans bölgeleri

Kullanım bakımından *Özel Sınıf* a giren yüksek binaların (sağlık, eğitim, kamu yönetim binaları, vb) performanslarının ise, **(D2)** depremi altında *Minimum Hasar / Kesintisiz Kullanım Performans Bölgesi*’ nde ve **(D3)** depremi altında *Kontrollü Hasar / Can Güvenliği Performans Bölgesi*’ nde olması öngörülmektedir.

Kullanım bakımından normal sınıfa giren yüksek binaların (konut, otel, ofis binaları, vb) performansları için, bina sahibinin tercihi doğrultusunda, yukarıda tanımlanandan daha üst seviyede performans bölgeleri de hedeflenebilir.

Çizelge 4.3 : Çeşitli deprem düzeylerinde yüksek binalar için hedeflenen minimum performans bölgeleri.

Kullanım bakımından bina sınıfı	(D1) Deprem Düzeyi	(D2) Deprem Düzeyi	(D3) Deprem Düzeyi
Normal sınıf binalar: Konut, otel, ofis binaları vb.	MH / KK	KH / CG	İH / GG
Özel sınıf binalar: Sağlık, eğitim, kamu yönetim binaları vb.	—	MH / KK	KH / CG

4.1.6 Yüksek binalar için analiz ve tasarım yöntemleri

4.1.6.1 Yüksek binalar için analiz yöntemleri

Yüksek binalar için aşağıdaki bölümlerde tanımlanan tasarım aşamalarında yapılması öngörülen doğrusal elastik analizlerde spektral *Mod Birleştirme Yöntemi* kullanılacaktır. Her bir davranış büyüklüğüne ilişkin mod katkılarının birleştirilmesi için *Tam Karesel Birleştirme Kuralı* uygulanacaktır.

Mod birleştirme yönteminde hesaba katılacak yeterli mod sayısı, her doğrultuda ve her bir kat için aşağıdaki şekilde hesaplanacak modal kat kesme kuvvetine göre belirlenecektir.

$$V_{xin} = M_{xin} S_{aen} \quad ; \quad M_{xin} = \Gamma_{xn} \sum_{j=1}^N m_j \Phi_{xjn} \quad (4.8)$$

Burada S_{aen} n' inci moda ait spektral ivme, M_{xin} ise gözönüne alınan x doğrultusundaki depremde n' inci modda i' inci katta aynı doğrultuda meydana gelen kat kesme kuvvetine ilişkin etkin küttedir. m_j , j' inci katın kütlelerini, Φ_{xjn} n' inci modda j' inci katın kütle merkezinin x doğrultusundaki mod şekli genliğini, N toplam kat sayısını, Γ_{xn} ise x doğrultusundaki deprem için n' inci moda ait modal katkı çarpanını göstermektedir.

$$\Gamma_{xn} = \frac{\sum_{j=1}^N m_j \Phi_{xjn}}{\sum_{j=1}^N m_j \Phi_{xjn}^2 + m_j \Phi_{yjn}^2 + m_{\theta j} \Phi_{\theta jn}^2} \quad (4.9)$$

Yukarıda verilen bağıntılar, bina kat döşemelerinin kendi düzlemleri içinde sonsuz rijit olarak davrandıkları varsayımına dayanmaktadır.

Yüksek binalar için aşağıda tanımlanan tasarım aşamalarında yapılması öngörülen doğrusal olmayan analizlerde, *Zaman Tanım Alanında Doğrudan Entegrasyon Yöntemi* kullanılacaktır. Doğrusal olmayan analizlerde en az yedi deprem yer hareketi takımı kullanılacak, birbirine dik iki doğrultudaki ivme kayıtları taşıyıcı sistemin asal eksenleri doğrultusunda aynı anda etki ettirilecektir. Daha sonra ivme kayıtlarının eksenleri 90^0 döndürülerek analiz tekrarlanacaktır. Tasarıma esas deprem istemleri, bu analizlerden (en az $2 \times 7 = 14$ analiz) elde edilen sonuçların ortalaması

alınarak hesaplanacaktır. Yüksek binaların doğrusal (lineer) veya doğrusal olmayan (nonlinear) analizlerinde sönüm oranı en fazla $\xi = 0.05$ olarak alınacaktır. Analizlerde ikinci mertebe ($P - \Delta$) etkilerinin gözönüne alınması zorunludur.

Yüksek binaların doğrusal veya doğrusal olmayan dinamik analizlerinde kat kütlelerinin hesabı için DBYBHY (2007) Denk.(2.6) da yer alan *Hareketli Yük Katılım Katsayısı*, n , DBYBHY (2007) Çizelge 2.7 deki 3. satıra karşı gelen durum için aşağıdaki şekilde tanımlanacak, ancak 0.30'dan daha büyük alınmayacaktır.

$$n = 0.01(50 - N) \quad N \leq 40 \quad (4.10)$$

$$n = 0.10 \quad N > 40 \quad (4.11)$$

Taşıyıcı sistemin özelliklerine bağlı olarak, Bağımsız Kontrol Kurulu tarafından gerekli görülen durumlarda düşey doğrultudaki deprem etkisi de gözönüne alınabilir.

4.1.6.2 Analiz modellerine ilişkin kural ve koşullar

Çerçeve elemanlarının modellenmesi, doğrusal (lineer) analizde *çubuk sonlu elemanlar* ile yapılacaktır. Doğrusal olmayan analizde ise yığılı plastisite yaklaşımı çerçevesinde *plastik kesitler*'in (*plastik mafsallar*) tanımlandığı çubuk sonlu elemanlar veya yayılı plastisite yaklaşımı çerçevesinde *lif (fiber) elemanlar* kullanılabilir. Plastik mafsal boyu için ilgili literatürden seçilecek ve Bağımsız Kontrol Kurulunca uygun görülecek bir amprik bağıntıdan yararlanılabilir. Doğrusal olmayan analizde, Bağımsız Kontrol Kurulu' nun onayı ile alternatif modelleme yaklaşımları da kullanılabilir. Çelik çerçevelerin doğrusal ve doğrusal olmayan modellerinde, kolon-kiriş birleşim bölgelerindeki kayma şekildeğiştirmeleri de uygun biçimde gözönüne alınmalıdır.

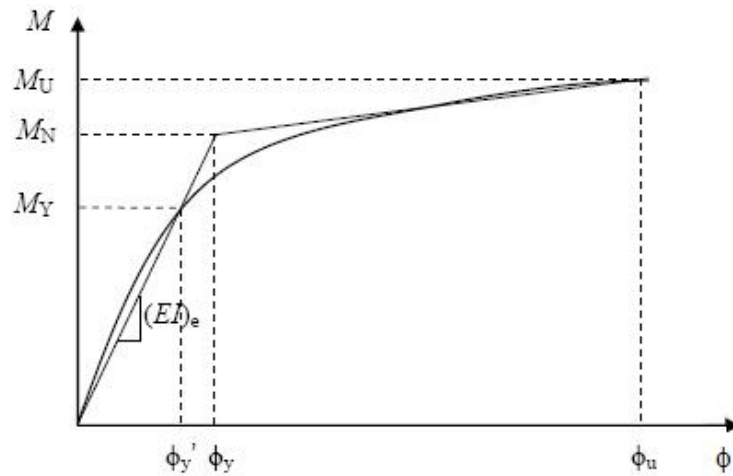
Betonarme perdelerin ve perde elemanlarının modellenmesi, doğrusal analizde *kabuk (shell) sonlu elemanlar* ile yapılacaktır. Çubuk elemanlardaki çatlamış kesite ait *etkin eğilme rijitlikleri* ile uyumlu olması amacı ile, DBYBHY (2007) Madde 7.4.13 de verilen amprik bağıntılar kabuk sonlu elemanların elastisite modülü E ' nin azaltılması için de kullanılabilir. Doğrusal olmayan analizde betonarme perdelerin ve perde elemanlarının modellenmesi için yayılı plastisite yaklaşımı çerçevesinde *lif (fiber) elemanları* veya Bağımsız Kontrol Kurulu' nun onayı ile alternatif modelleme yaklaşımları kullanılabilir. DBYBHY (2007) Madde 3.6.1 de tanımlanan enkesit koşulları, yüksekliği 75 m'den fazla olan binaların betonarme perdeleri için

uygulanmayabilir. Betonarme perdelerin kayma rijitlikleri uygun biçimde gözönüne alınmalıdır. Betonarme çubuk olarak idealleştirilen çerçeve elemanlarında, çatlamış kesite ait *etkin eğilme rijitlikleri* kullanılacaktır. Ön boyutlama aşamasında, bu amaçla DBYBHY (2007) Madde 7.4.13 de verilen amprik bağıntılardan yararlanılabilir. İleride tanımlanan diğer tasarım ve gerçelleme aşamalarında ise, etkin eğilme rijitliği kesitin eğilme momenti – eğrilik bağıntısından aşağıdaki bağıntı ile elde edilecektir, Şekil 4.4.

$$(EI)_e = \frac{M_Y}{\phi'_y} = \frac{M_N}{\phi_y} \quad (4.12)$$

Burada M_Y , kesitteki ilk akma durumuna karşı gelen eğilme momentidir. Bu durumdaki eğrilik χ_y betonun birim şekildeğiştirmesinin 0.002 değerine veya donatı birim şekildeğiştirmesinin akma sınırına erişmesine karşı gelir. Etkin eğriliğin χ_y değerine karşı gelen etkin plastik moment M_N , beton basınç birim şekildeğiştirmesi 0.004 veya donatı birim şekildeğiştirmesi 0.015 alınarak (hangisine daha önce erişilirse) hesaplanır. Kolonların eğilme momenti dayanımlarının hesabında, sadece düşey yüklerden meydana gelen eksenel kuvvetler kullanılabilir.

Sargılı beton ve donatı çeliği için DBYBHY (2007) Bilgilendirme Eki 7B de tanımlanan davranış modelleri kullanılabilir. Yüksek binalarda C50'den daha yüksek dayanımı olan betonların kullanılması için Bağımsız Kontrol Kurulunun onayı gereklidir.



Şekil 4.4 : Betonarme kesitin eğilme momenti-eğrilik bağıntısı

Aşağıdaki bölümlerde açıklanan ön boyutlama aşamasında, beton, donatı çeliği ve yapı çeliği için tasarım dayanımları (f_d), ilgili karakteristik dayanımların (f_k) malzeme güvenlik katsayılarına bölünmesi ile tanımlanır. Buna karşılık, ilerleyen bölümlerde tanımlanan diğer gerçelleme aşamalarında ise, tasarım dayanımı olarak “ortalama dayanım (expected strength) – (f_e)” değerleri kullanılacak, malzeme güvenlik katsayıları gözönüne alınmayacaktır. Ortalama dayanım değerleri ile karakteristik dayanım değerleri arasında aşağıdaki ilişkiler dikkate alınabilir:

<i>Beton için</i>	$f_{ce} = 1.3 f_{ck}$	
<i>Donatı çeliği için</i>	$f_{ye} = 1.17 f_{yk}$	
<i>Yapı çeliği (S 235) için</i>	$f_{ye} = 1.5 f_{yk}$	(4.13)
<i>Yapı çeliği (S 275) için</i>	$f_{ye} = 1.3 f_{yk}$	
<i>Yapı çeliği (S 355) için</i>	$f_{ye} = 1.1 f_{yk}$	

Çubuk elemanlarda plastik kesitlerin (plastik mafsalların) doğrusal olmayan histeretik bağıntılarında iskelet eğrileri iki doğrulu (bi-lineer) olarak alınabilir. Histeretik davranışta rijitlik azalması ve dayanım azalması etkileri, yeni yapılan yüksek binalarda ihmal edilebilir.

Düşey taşıyıcı sistem elemanlarının yatay rijitliklerinde ani değişimlerin (özellikle aşağıya doğru ani artışların) bulunduğu kat yatay düzlemlerinde, yeterli düzlem içi rijitliğe ve dayanıma sahip olan “aktarma (transfer) katları”nın oluşturulmasına özen gösterilecektir. Temel ve bodrum çevresindeki zemin ortamının rijitliği, Bağımsız Kontrol Kurulu tarafından uygun görülen idealleştirme yöntemleri ile gözönüne alınacaktır. Gerekli olması durumunda, diğer tasarım aşamalarında zemin-temel sisteminin doğrusal olmayan davranışı gözönüne alınabilir.

4.1.7 Yüksek binalarda performansa göre deprem tasarımının aşamaları

4.1.7.1 Tasarım aşaması (I – A): *Kontrollü Hasar / Can Güvenliği* hedef performansı için doğrusal analiz ile ön tasarım

Kontrollü Hasar / Can Güvenliği hedef performansı için ön boyutlama amaçlı bu tasarım aşamasında, Çizelge 4.3 e göre *Normal Sınıf Binalar*’ da (D2) düzeyindeki depremin, *Özel Sınıf Binalar*’ da ise (D3) düzeyindeki depremin etkisi altında *Dayanım Göre Tasarım* yaklaşımı ile DBYBHY (2007) Bölüm 2 ye benzer biçimde

azaltılmış deprem yükleri altında doğrusal elastik analiz ve DBYBHY (2007) Bölüm 3 ve/veya Bölüm 4 e göre *ön tasarım* yapılacaktır, Çizelge 4.4.

Taşıyıcı sistem davranış katsayısına ve doğal titreşim periyoduna (T) bağlı olarak, elastik deprem yüklerinin azaltılmasında kullanılacak *Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı* (4.14) ve (4.15) formülleriyle aşağıdaki gibi hesaplanacaktır.

$$R_a(T) = 1.5 + (R - 1.5) \frac{T}{T_s} \quad (0 \leq T \leq T_s) \quad (4.14)$$

$$R_a(T) = R \quad (T_s \leq T) \quad (4.15)$$

Burada T_s Denk (4.7) ile tanımlanan spektrum köşe periyodunu göstermektedir.

Aşağıda tanımlanan yüksek bina taşıyıcı sistemlerinin ön tasarımında, Bağımsız Kontrol Kurulu tarafından onaylanmak koşulu ile, Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı en fazla $R = 7$ olarak alınabilir:

- a) deprem yüklerinin bağ kirişli betonarme perdelerle taşındığı bina taşıyıcı sistemleri
- b) deprem yüklerinin dışmerkez çaprazlı veya burkulması önlenmiş merkezi çelik perdelerle taşındığı bina taşıyıcı sistemleri
- c) deprem yüklerinin tüp veya iç içe tüp şeklinde düzenlenen rijit düğüm noktalı betonarme veya çelik çerçeveler tarafından taşındığı bina taşıyıcı sistemleri
- d) deprem yüklerinin boşluksuz veya bağ kirişli betonarme perdelerle ve/veya (b) de tanımlanan çelik perdeli sistemlerle birlikte rijit düğüm noktalı betonarme veya çelik çerçeveler tarafından birlikte taşındığı bina taşıyıcı sistemleri
- e) deprem davranışının yukarıdakilere eşdeğer olduğu Bağımsız Kontrol Kurulu tarafından onaylanan diğer bina taşıyıcı sistemleri (Bu sistemlere uygulanacak R katsayıları, tasarım mühendisinin önerisi ile Bağımsız Kontrol Kurulu tarafından onaylanacaktır).

Yukarıda tanımlanan yüksek bina taşıyıcı sistemleri, rijit çevre perdeleri ile çevrelenen bodrum katların üstündeki taşıyıcı sistemleri ifade etmektedir.

Kullanılan R katsayısından bağımsız olarak, ön tasarımda gözönüne alınacak taban kesme kuvveti, aşağıda verilen bağıntı ile hesaplanan değerden daha küçük olamaz.

$$V_{t,\min} = 0.04 S_{MS(D2)} W \quad (4.16)$$

Burada $S_{MS(D2)}$, (D2) düzeyindeki deprem için tanımlanan kısa periyod spektral ivmesini, W ise binanın kütleline karşı gelen ağırlığı göstermektedir. Mod birleştirme yöntemi ile bulunan tüm iç kuvvet büyüklükleri, aynı yöntemle hesaplanan taban kesme kuvveti Denk. (4.16) ya eşit olacak şekilde ölçeklendirilecektir.

Ek dışmerkezlilik etkileri DBYBHY (2007) Madde 2.8.2.1 e göre gözönüne alınacaktır. Elemanların asal eksen doğrultularındaki iç kuvvet büyüklükleri DBYBHY (2007) Madde 2.7.5 e göre hesaplanacaktır. Her bir doğrultuda düşey taşıyıcı elemanların görelî kat ötelemeleri, DBYBHY (2007) Madde 2.10.1 e göre hesaplanacak ve sınırlandırılacaktır. Yukarıda tanımlanan minimum taban kesme kuvveti koşulu, görelî kat ötelemelerinin hesabında dikkate alınmayabilir. Tüm betonarme elemanlarda DBYBHY (2007) Bölüm 3 te süneklîk düzeyi yüksek sistemler için minimum değerleri tanımlanan sargı donatıları kullanılacaktır. Kolon ve kirişlerin kesme güvenliğı için DBYBHY (2007) Bölüm 3 ve/veya Bölüm 4 te verilen kapasite tasarımı ilkeleri aynen uygulanacaktır. Düşeyde konsol veya konsola yakın çalışan betonarme perdelerin kesme güvenliğı için DBYBHY (2007) Madde 3.6.6.3 uygulanacak, Denk.(3.16) daki kesme kuvveti dinamik büyütme katsayısı en az $\beta_v = 2$ olarak alınacaktır.

4.1.7.2 Tasarım aşaması (I – B): *Kontrollü Hasar / Can Güvenliğı* hedef performansı için doğrusal olmayan analiz tasarım

Yüksekliğı 75 m’den fazla olan ve Tasarım Aşaması (I – A)’da Çizelge 4.3 e göre *Normal Sınıf Binalar*’da (D2) düzeyindeki depremin, *Özel Sınıf Binalar*’da ise (D3) düzeyindeki depremin etkisi altında *Dayanıma Göre Tasarım* yaklaşımı ile ön tasarımı yapılarak ön boyutları saptanan yüksek bina taşıyıcı sisteminin tasarımı, yine aynı depremin etkisi altında *Kontrollü Hasar / Can Güvenliğı* hedef performansı için, yukarıda verilen kural ve koşullara göre gerçekleştirilecek doğrusal olmayan (nonlinear) analiz ile yapılacaktır, Çizelge 4.4. Bu analizde ek dışmerkezlilik etkileri gözönüne alınmayabilir.

Daha önce bu bölümde verilen ilkelere göre en az $2 \times 7 = 14$ tane analizden hesaplanan sonuçların ortalaması olarak elde edilen deprem istemleri, aşağıda tanımlanan kapasitelerle karşılaştırılacaktır.

a) Her katta, her bir düşey taşıyıcı elemanın her iki doğrultudaki görelî kat ötelemesi oranı (görelî kat ötelemesinin kat yüksekliğine oranı) 0.025 değerini aşmayacaktır.

b) DBYBHY (2007) de verilen sargı donatısı koşullarını sağlayan betonarme kesitler için, sargı donatısı içindeki bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi ile donatı çeliği birim şekildeğiştirmesinin üst sınırları aşağıda verilmiştir

$$\varepsilon_{cg} = 0.0135 \quad ; \quad \varepsilon_s = 0.04 \quad (4.17)$$

c) Çelik çubuk elemanlar için şekildeğiştirme kapasiteleri *Life Safety (LS)* performans hedefi için ASCE/SEI 41-06 dan alınacaktır [15].

d) Betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının kesme kuvveti kapasiteleri, Denk. (4.13) te tanımlanan ortalama dayanımlar esas alınarak DBYBHY (2007) ye göre hesaplanacaktır.

e) Yukarıda verilen koşulların herhangi birinin sağlanamaması durumunda, taşıyıcı sistemde gerekli değışiklikler yapılarak tüm tasarım aşamaları tekrarlanacaktır.

4.1.7.3 Tasarım aşaması (II): *Minimum Hasar / Kesintisiz Kullanım* hedef performansı için doğrusal analiz ile gerçelleme

Tasarım Aşaması (I – A) da Çizelge 4.3 e göre *Normal Sınıf Binalar*’da (D2) düzeyindeki depremin, *Özel Sınıf Binalar*’ da ise (D3) düzeyindeki depremin etkisi altında *Dayanıma Göre Tasarım* yaklaşımı ile ön tasarımı yapılarak ön boyutları saptanan ve Tasarım Aşaması (I – B) de yine aynı depremin etkisi altında boyutlandırılan yüksek bina taşıyıcı sistemi, *Normal sınıf Binalar*’ da (D1) düzeyindeki depremin, *Özel Sınıf Binalar*’ da ise (D2) düzeyindeki depremin etkisi altında *Minimum Hasar / Kesintisiz Kullanım* hedef performansı için yönetmelikte belirtilen kural ve koşullara göre yapılacak doğrusal (lineer) analiz ile gerçellenecektir, Çizelge 4.4. Bu analizde ek dışmerkezlilik etkileri gözönüne alınmayabilir. Yüksekliği 75 m’den fazla olmayan binalarda bu aşama ile bina tasarımı tamamlanacaktır. Elemanların asal eksen doğrultularındaki iç kuvvet büyüklükleri DBYBHY (2007) Madde 2.7.5 e göre hesaplanacaktır.

Gerçellemeye esas olan iç kuvvetler, taşıyıcı sistemin türüne bakılmaksızın doğrusal elastik analizden elde edilen iç kuvvetlerin $R_a=1.5$ katsayısına bölünmesi ile elde

edilecektir. Bu şekilde azaltılan iç kuvvetlerin, bu bölümde daha önce tanımlanan *ortalama dayanımlar* esas alınarak hesaplanan kesit taşıma güçlerini aşmadığı gösterilecektir. Her katta, her bir doğrultudaki düşey taşıyıcı elemanın DBYBHY (2007) Madde 2.10.1 e göre hesaplanan görelî kat ötelemesi oranı (görelî kat ötelemesinin kat yüksekliğine oranı) 0.01 değerini aşamayacaktır. Bunların sağlanamaması durumunda, taşıyıcı sistemde gerekli değişiklikler yapılarak tüm tasarım aşamaları tekrarlanacaktır.

4.1.7.4 Tasarım aşaması (III): *İleri Hasar / Göçmeme Güvenliği* hedef performansı için doğrusal olmayan analiz ile gerçelleme

Yüksekliği 75 m' den fazla olan ve Tasarım Aşaması (I – A)'da Çizelge 4.3 e göre *Normal Sınıf Binalar'* da (D2) düzeyindeki depremin etkisi altında *Dayanıma Göre Tasarım* yaklaşımı ile ön tasarımı yapılarak ön boyutları saptanan ve Tasarım Aşaması (I – B)' de yine aynı depremin etkisi altında tasarımı yapılan yüksek bina taşıyıcı sistemi, (D3) düzeyindeki depremin etkisi altında *İleri Hasar / Göçmeme Güvenliği* hedef performansı için, yönetmelikte verilen kural ve koşullara göre yapılacak doğrusal olmayan analiz ile gerçellenecektir, Çizelge 4.4.

Bu analizde ek dışmerkezlîk etkileri gözönüne alınmayabilir. Yukarıda belirtildiği gibi, $2 \times 7 = 14$ analizden bulunan sonuçların ortalaması alınarak elde edilen deprem istemleri, aşağıda tanımlanan kapasitelerle karşılaştırılacaktır.

a) Her katta, her düşey taşıyıcı elemanın her iki doğrultudaki görelî kat ötelemesi oranı (görelî kat ötelemesinin kat yüksekliğine oranı) 0.035 sınır değerini aşmayacaktır.

b) DBYBHY (2007) de verilen sargı donatısı koşullarını sağlayan betonarme kesitler için, sargı donatısı içindeki bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi ile donatı çeliği birim şekildeğiştirmesinin üst sınırları aşağıda verilmiştir.

$$\varepsilon_{cg} = 0.018 \quad ; \quad \varepsilon_s = 0.06 \quad (4.18)$$

c) Çelik çubuk elemanlar için şekildeğiştirme kapasiteleri Collapse Prevention (CP) performans hedefi için ASCE/SEI 41-06 dan alınacaktır.

d) Betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının kesme kuvveti kapasiteleri, daha önceki bölümlerde tanımlanan ortalama dayanımlar esas alınarak DBYBHY (2007) e göre hesaplanacaktır.

e) Yukarıdaki (a) dan (d) ye kadar verilen koşulların herhangi birinin sağlanamaması durumunda, taşıyıcı sistemde gerekli değişiklikler yapılarak tüm tasarım aşamaları tekrarlanacaktır.

Çizelge 4.4 : Yüksek binalar için performansla göre tasarım aşamaları.

Tasarım Aşaması	Tasarım Aşaması I-A	Tasarım Aşaması I-B	Tasarım Aşaması II	Tasarım Aşaması III
<i>Tasarım Türü</i>	Ön Tasarım (Boyutlama)	Tasarım	Gerçekleme*	Gerçekleme
<i>Deprem Düzeyi</i>	Normal sınıf binalarda (D2) depremi	Normal sınıf binalarda (D2) depremi	Normal sınıf binalarda (D1) depremi	Normal sınıf binalarda (D3) depremi
	Özel sınıf binalarda (D3) depremi	Özel sınıf binalarda (D3) depremi	Özel sınıf binalarda (D2) depremi	
<i>Hedef Performans</i>	Can Güvenliği	Can Güvenliği	Kesintisiz Kullanım	Göçmeme Güvenliği
<i>Analiz Türü</i>	Mod Birleştirme Yöntemi ile Lineer Üç Boyutlu Analiz	Zaman Tanım Alanında Nonlineer Üç Boyutlu Analiz (2*7çözüm ort)	Mod Birleştirme Yöntemi ile Lineer Üç Boyutlu Analiz	Zaman Tanım Alanında Nonlineer Üç Boyutlu Analiz (2*7çözüm ort)
<i>Taşıyıcı Sistem Davranış Kats.</i>	$R \leq 7$	—	$R=1.5$	—
<i>Görelî Kat Ötelemesi Oranı Limiti</i>	2%	2.50%	1%	3.50%
<i>B/A çubuk elemanlarda kesit rijitliği</i>	Etkin rijitlik (DBYBHY 2007'den)	Etkin rijitlik (moment-eğrilik eğrisinden)	Etkin rijitlik (moment-eğrilik eğrisinden)	Etkin rijitlik (moment-eğrilik eğrisinden)
<i>Dayanım parametresi</i>	Karakteristik dayanım	Ortalama (expected) dayanım	Ortalama (expected) dayanım	Ortalama (expected) dayanım
<i>Kabul kriteri</i>	Dayanım-Görelî kat ötelemesi oranı	Birim şekildeğiştirme -Görelî kat ötelemesi oranı	Dayanım-Görelî kat ötelemesi oranı	Birim şekildeğiştirme -Görelî kat ötelemesi oranı
* Yüksekliği 75m'den fazla olmayan binalarda tasarım bu aşamada sonuçlandırılacaktır.				

Yönetmelikte, yapısal olmayan mimari elemanlar ile mekanik ve elektrik donanımların tasarımına ilişkin kurallar da verilmiş olmakla beraber, bu çalışma kapsamı ile ilgili olmadığı için söz konusu kurallara değinilmemiştir.

4.1.8 Yapı sağlığı izleme sistemleri

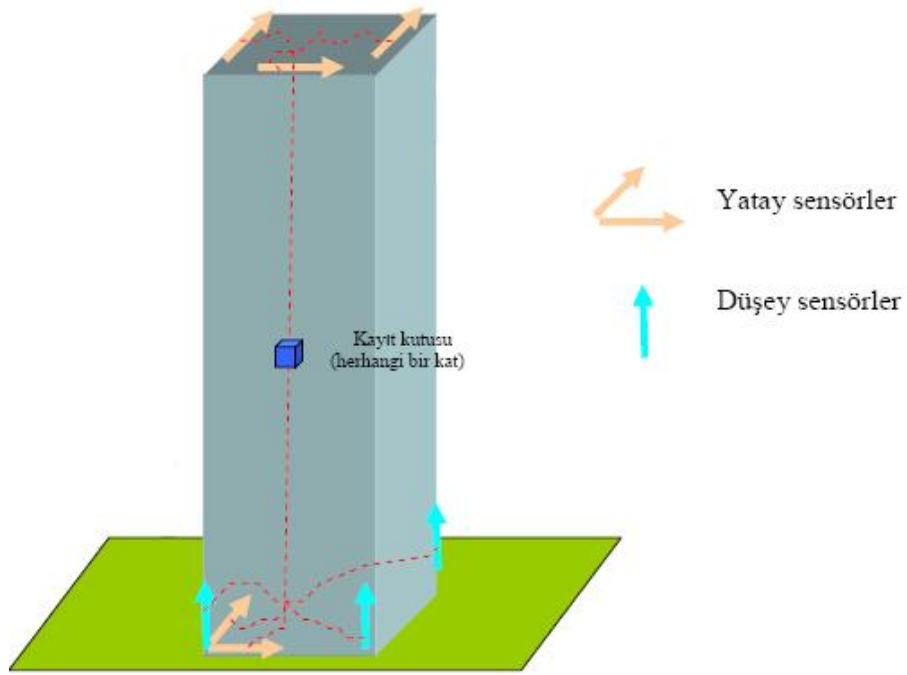
Yüksek binaların gerçek davranışlarını izlemek, mevcut yönetmelikleri iyileştirmek ve büyük bir deprem sonrasında yapıda oluşan hasarı kısa sürede tahmin edebilmek amacıyla, binalarda en az 8 ivme ölçerden oluşan ve Şekil 4.5 te gösterildiği gibi bina üzerine yerleştirilen yapı sağlığı izleme sistemleri kurulacaktır.

a) İvme ölçerler senkronize olarak en az 20-bit duyarlılığında ve GPS zaman kartlı dijital bir kayıt sistemine bağlanacaktır. Kayıt sistemi bina titreşimlerini sürekli olarak kaydedecek ve verileri belirlenen merkezlere internet, modem veya benzeri kanallardan, gerçek zamanlı olarak transfer edebilecektir. Sistem, elektrik veya iletişimin kesilmesi durumunda en az bir hafta süreyle çalışabilecek ve veriyi kendi içinde saklayabilecek batarya ve disk kapasitesine sahip olacaktır.

b) İzleme sisteminde kullanılacak sensör ve kayıt sistemlerinin teknik şartnamesi İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından ayrıca hazırlanacaktır.

c) Titreşim kayıtları gerçek zamanlı olarak İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nde kurulacak Yapı Sağlığı İzleme Merkezi'ne gönderilecek ve kayıtlar hem bina sahibi hem de bu merkez tarafından saklanacaktır.

d) Bina sahipleri bu sistemin bakımından ve korunmasından sorumlu olacaktır.



Şekil 4.5 : Yapı sağlığı izleme sistemleri

4.1.9 Bağımsız tasarım kontrolü

Yüksek binaların bu yönetmelik kapsamında yapılacak performansa göre tasarımının, bu alanda teorik ve pratik bilgi ve deneyim sahibi bağımsız uzmanlardan oluşan bir Bağımsız Kontrol Kurulu tarafından tasarımın başlangıcından (taşıyıcı sistem seçim aşamasından) itibaren bütün aşamalarında kontrol edilerek onaylanması zorunludur. Bu onayın alınmaması durumunda inşaat ruhsatı tanzim edilmeyecektir.

Bağımsız Kontrol Kurulu, projenin boyutu ve özelliğine bağlı olarak iki veya üç bağımsız uzmandan oluşur. Bağımsız uzmanlar, İstanbul Yüksek Binalar Mühendislik Üst Kurulu tarafından oluşturulacak bir havuzdan seçilerek yine aynı kurul tarafından proje bazında atanır. Bağımsız uzmanların hizmet karşılıklarına ilişkin hususlar ayrı bir yönetmelikle düzenlenir.

Bağımsız Kontrol Kurulları' nı oluşturacak uzmanların, asgari koşul olarak, deprem mühendisliği bakımından önemli yapı projelerinde tasarımcı veya danışman olarak en az 10 yıllık bir deneyim sahibi olmaları ve bunu belgelemeleri gereklidir. Uzmanların ayrıca deprem mühendisliği konusunda master/doktora yapmış olmaları veya master/doktora tezi yönetmiş olmaları tercih nedeni olabilir.

İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği' nin zaman içinde bilimsel gelişmelere paralel olarak geliştirilmesi, revize edilmesi, yenilenmesi, uygulamada ortaya çıkacak sorunların giderilmesi, Bağımsız Kontrol Kurulları' nı oluşturacak uzmanların seçilmesi ve proje bazında atanması, ilgili yönetmelik çerçevesinde hizmet karşılıklarının belirlenmesi vb gibi konularda sürekli olarak görev yapmak üzere, deprem mühendisliği konusunda birikim ve deneyim sahibi Üniversite öğretim üyelerinden oluşan 7 kişilik *İstanbul Yüksek Binalar Mühendislik Üst Kurulu* oluşturulur. Bu kurul ayrıca yüksek binaların genel anlamda tasarımı ve yapımı ile ilgili diğer yönetmeliklerin oluşturulması ve uygulamada ortaya çıkacak tartışma konusu hususların çözümü için İstanbul Büyükşehir Belediyesi' ne danışmanlık görevi yapar. İstanbul Yüksek Binalar Mühendislik Üst Kurulu' nun görevlendirme ve çalışma esasları ayrı bir yönetmelikle düzenlenir.

4.2 Los Angeles Bölgesi' ndeki Yüksek Binaların Sismik Analizi ve Tasarımı için Alternatif Bir Yönetmelik Yaklaşımı

Bu dokümanın hazırlanmasının amacı, deprem etkisine maruz olan yüksek binaların tahmin edilebilir ve güvenli performans sınırları içinde tasarımı için alternatif bir performansa dayalı tasarım yaklaşımı sunmaktır. Bu dokümandaki prosedürün uygulanması halinde, yüksek binaların deprem etkisi karşısında etkili ve güvenilir bir şekilde dayanıklı olması beklenmektedir. 2008 yılında yayınlanan bu doküman (2008 LATBSDC) [21] ile aynı dokümanın 2005 versiyonu olan 2005 LATBSDC arasında bazı farklar bulunmaktadır. Bu farklar performansa dayalı tasarım yaklaşımındaki yenilikler hakkında izleyene bilgi vermektedir. Bu yeniliklerden en önemlileri *Can Güvenliği* hasar sınırının kaldırılması ve buna bağlı olarak *Hemen Kullanım* ve *Göçme Güvenliği* hasar sınırlarına ilişkin olarak yapılan değişikliklerdir.

Kod yönetmelikleri binaların tasarımı için yeterli düzeyde güvenlik sağlayacak şekilde hazırlanmıştır. Bu yönetmeliklerin kapsamı içinde, çok katlı yüksek binalardan tek katlı binalara kadar, çok geniş bir spektrumdaki yapı yükseklikleri ve yapı sistemleri düşünülmüştür. Bu geniş kapsamlılık nedeni ile, bu yönetmelikler yüksek binalar için geçerli olmayan birçok maddeler de içermektedir. Bu maddelerin yüksek binaların tasarımında uygulanması maliyet ve güvenlik açısından uygun olmayan sonuçlar ortaya çıkarabilmektedir. Performansa dayalı tasarım

metodolojisindeki gelişmeler ve dayanım bazlı tasarım yaklaşımındaki olgunlaşmalar, yüksek binaların analizi ve tasarımında, kuralcılıktan uzak ve daha gerçekçi yaklaşımların kullanılmasına olanak sağlamıştır.

Bu yönetmelik yüksek binaların, yukarıda sözü edilen ve ilerleyen bölümlerde daha ayrıntılı olarak değinilecek olan gerçekçi yaklaşımlar kullanılarak, güvenli ve her açıdan uygun bir biçimde tasarımı amacı ile hazırlanmıştır.

4.2.1 Yönetmeliğin amacı

Yönetmelikte açıklanan prosedürün uygulama alanı sadece yüksek binalardır. Yüksek binalar, temel üst kotundan itibaren yüksekliği $h_n \geq 160$ ft (48.768m) olan binalardır. Önceki bölümde belirtildiği gibi, İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği'nde bu yükseklik sınırı 60m' dir. Eğer binanın çatısında penthouse vb gibi ağırlığı binanın ağırlığına oranla daha küçük olan yerleşim alanları veya mekanik alanları bulunuyorsa, bu bölümler bina yüksekliğinden bağımsız olarak düşünülür. Ayrıca, yapı temelinde kademeler var ise, bina yüksekliğinin hesabında yapının temel alt kotunun ortalaması esas alınabilir.

Bu yönetmelikte yer alan öneriler yüksek binaların tasarımı ve hesabı ile sınırlandırılmıştır. Bununla beraber, gerektiğinde az katlı binaların tasarımında da kullanılabilir. Ancak bu durumda, hatalı olmamakla beraber, gerektiğinden daha fazla zaman harcanan bir analiz yöntemi tercih edilmiş olabilir.

Bu yönetmeliğin hükümleri IBC 2006 (International Building Code, 2006) [52] Bölüm 104.11 ve CBC 2007 (California Building Code, 2007) [53] a dayanarak hazırlanmıştır. Buna göre, yapı sistemlerinin deprem gibi yatay etkiler altındaki analizlerinde, genel mekanik prensiplerini uygun bir şekilde içeren alternatif malzeme modelleri ve/veya laboratuvar testleri ile desteklenen diğer tasarım yaklaşımları, yapı denetleyici kurul tarafından uygun görüldüğü takdirde kullanılabilir.

4.2.2 Metodoloji

Bu yönetmeliğin içinde yer alan alternatif tasarım prosedürü, temel olarak dayanım bazlı tasarım ile güncel gelişmelerle desteklenen ve geliştirilen şekildeğiştirme, yerdeğiştirme bazlı tasarımdan oluşmaktadır. İlk olarak, yapının doğrusal olmayan

analiz aşamasında uygun sünek akma mekanizmalarına sahip olması için, dayanım esaslı tasarım yapılır. Diğer bir deyişle, uygun akma dayanımlarının elde edilmesi amacıyla doğrusal analizler yapılır.

Tasarımın doğruluğu ve bina performansının kabul edilebilir sınırları içerisinde olup olmadığı iki farklı deprem yer hareketi seviyesi kullanılarak kontrol edilir.

4.2.2.1 Sık meydana gelen deprem etkileri altında hemen kullanım

Hemen Kullanım performans düzeyi için kullanılması öngörülen deprem yer hareketi 30 yılda aşılma olasılığı %50, dönüş periyodu 43 yıl olan yer hareketidir. Hemen Kullanım performans düzeyinin kontrolü için kullanılan yapı modellerinde gerçekçi eleman rijitlik ve dayanımları ile beklenen etkiye uygun sönüm oranları esas alınmalıdır. Bu tasarım aşamasının amacı, yukarıda belirtilen deprem yer hareketi sonrasında, yapısal ve yapısal olmayan elemanları genel fonksiyonlarını geri kazanacak şekilde tasarlamak, eğer gerekli olursa binanın genel işlevselliğini engellemeden çok ufak onarımlar ile hasarın giderilmesini sağlamaktır. Bu seviyede bir deprem etkisi altında, bina ile bağlantılı olan yapısal veya yapısal olmayan elemanların doğrusal şekildeğiştirme yapmaları öngörülür. Bu performans düzeyi için değerlendirme üç boyutlu doğrusal veya doğrusal olmayan dinamik analiz ile yapılmalıdır. Kuvvet istemlerinin eleman dayanımını aşmadığı elemanlarda elastik istem kullanılmalıdır. Eğer istem eleman dayanımını aşıyorsa, aradaki fark yapı stabilitesini etkileyecek kadar büyük olmamalıdır.

4.2.2.2 Seyrek meydana gelen deprem etkileri altında Göçmeme Güvenliği

Seyrek meydana gelen çok şiddetli deprem hareketleri, 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan yani dönüş periyodu 2475 yıl olan deprem yer hareketleridir. Bu deprem yer hareketi ASCE 7-05 te [20] *En Şiddetli Deprem* (Maximum Considered Earthquake (MCE)) olarak tanımlanmıştır. Bu tasarım aşamasının amacı, ender görülen şiddetli deprem etkileri altında yapının göçmesinin önlenmesidir. Bu deprem yer hareketinin etkisi altında değerlendirme üç boyutlu doğrusal olmayan dinamik analiz ile yapılmalıdır. Bu değerlendirmenin amacı, yapıya etkiyen ender ve şiddetli yer hareketi altında göçmenin oluşmadığını göstermektir. Bu aşamada, gerek yatay yük taşıyıcı sistem elemanlarının, gerekse diğer yapı elemanlarının deprem istemleri

kontrol edilir. Kaplamalar ve bunların bağlantıları, en büyük deprem etkisi altında oluşacak yerdeğiştirmeleri göçme olmaksızın yapabilecek yeterlilikte olmalıdır.

Çizelge 4.5 : Temel analiz adımları.

Tasarım/ Değerlendirme Aşaması	Yer Hareketi Yoğunluğu ¹	Analiz Tipi	Matematik Model Tipi	Burulma Etkileri	Malzeme Dayanım Azaltma Katsayıları	Malzeme Dayanımı
1	Doğrusal olmayan davranış tanımlanır /Kapasite tasarımı					
2	50/30	DA ² veya DOA ³	3D ⁴	Değerlendirilir	1.0	Sünek elemanların tasarımında beklenen dayanım(expected strength) kullanılır. Gevrek elemanlarda ise tasarım (design) dayanımı kullanılır.
3	EBD ⁵	DOA	3D ⁴	2. adıma bağlı ⁶	1.0	
¹ aşılma olasılığı / yıl						
² doğrusal analiz						
³ doğrusal olmayan analiz						
⁴ üç boyutlu						
⁵ en büyük deprem						
⁶ tasarım aşaması 2' de gerekli koşulları sağlamaz ise 3. adımda dikkate alınmalıdır.						

Tasarım aşamaları yukarıda Çizelge 4.5 te özetlenmiştir. Aşağıdaki bölümlerde bu aşamalar hakkında ayrıntılı bilgi verilecektir.

4.2.3 Analiz ve tasarım prosedürü

Yüksek binaların deprem etkileri altındaki analizi ve tasarımı aşağıda sıralanan koşulları sağlamak amacıyla yapılır.

- 1) Doğrusal olmayan yerdeğiştirmelerin ve şekildeğiştirmelerin meydana geldiği elemanların doğrusal olmayan davranışları gerçeğe uygun olarak tanımlanmalı, diğer elemanlar ise doğrusal bölgede kalacak şekilde tasarlanmalıdır (Dayanım bazlı tasarım).
- 2) Yapının taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanları ile bunların bağlantı elemanları, sık görülen deprem etkileri (30 yılda aşılma olasılığı %50) altında hizmete devam edebilir durumda kalmalıdır.
- 3) Yapı sisteminin çok seyrek meydana gelen *En Büyük Deprem* (50 yılda aşılma olasılığı %2) etkileri altındaki göçme olasılığı çok düşük olmalıdır.

Konunun uzmanları tarafından yapılan kapsamlı ve detaylı bir değerlendirme işlemi, analiz ve tasarım prosedürünün bir parçasıdır. Binanın performansa dayalı tasarımında, bu alanda teorik ve pratik bilgi ve deneyim sahibi bağımsız uzmanlardan oluşan bir kurul oluşturulmalıdır. Bu kurul, yapının dayanım bazlı ve performansa dayalı tasarım aşamalarında denetleyici olarak görev yapmalıdır. Bu tasarım kurulu (Seismic Peer Review Panel (SPRP)) hakkında ayrıntılı bilgi ilerleyen bölümlerde verilecektir.

Kısaca özetlenirse, bu dokümanın amacı aşağıdaki şekilde açıklanabilir.

- a) Binalar, servis ömürleri boyunca sık olarak maruz kaldıkları hafif şiddetteki deprem etkilerini çok az hasarla veya hasarsız olarak atlatalıdır.
- b) Orta büyüklükteki deprem etkileri altında, binada hiç yapısal hasar meydana gelmemeli, ayrıca yapısal olmayan elemanlardaki hasar sınırlı olmalıdır.
- c) En büyük deprem etkisi altında ise, göçme olmamalıdır. Ancak, binada onarılabilir/onarılamaz yapısal veya yapısal olmayan hasar meydana gelmesi beklenebilir.

Performansa dayalı tasarım çerçevesinde, *Los Angeles Yüksek Binalar Yönetmeliği*'ne temel oluşturan SEAOC yönetmeliği tarafından, yeni inşa edilecek olan binalar için tanımlanan deprem düzeyleri ve bunlara bağlı olarak önerilen sismik performans hedefleri Çizelge 4.6 ve Çizelge 4.7 de özetlenmiştir.

Çizelge 4.6 : Performansa dayalı tasarım için deprem düzeyleri (SEAOC).

Meydana Gelme Sıklığı	Dönüş Periyodu	Aşılma Olasılığı
sık	43 yıl	30 yılda %50
ara sıra	72 yıl	50 yılda %50
seyrek	475 yıl	50yılda %10
çok seyrek	975 yıl	100yılda %10

Çizelge 4.7 : Çeşitli deprem düzeyleri için performans hedefleri (SEAOC).

Deprem Tasarım Seviyesi	Deprem Tasarım Seviyesi				
		Tamamen Kullanılabilir	Kullanılabilir	Can Güvenliği	Göçme Öncesi
	Sık (43 yıl)	Temel Hedef	Kabul Edilemez	Kabul Edilemez	Kabul Edilemez
	Ara sıra (72 yıl)	Asıl/Tehlikeli Hedef	Temel Hedef	Kabul Edilemez	Kabul Edilemez
	Seyrek (475 yıl)	Kritik Güvenlik Hedefi	Asıl/Tehlikeli Hedef	Temel Hedef	Kabul Edilemez
	Çok seyrek (975 yıl)	Uygun Değil	Kritik Güvenlik Hedefi	Asıl/Tehlikeli Hedef	Temel Hedef

Los Angeles yüksek binalar yönetmeliğindeki amaç yapıların deprem etkileri altında *Temel Hedef* koşullarını sağlamasıdır. Bu koşullar, yukarıda Bölüm 4.2.2 de açıklandığı gibi, SEAOC yönetmeliğinden farklı olarak 30 yılda aşılma olasılığı %50 olan deprem etkisi altında *Hemen Kullanım* performans hedefinin, 50 yılda aşılma olasılığının %2 olduğu deprem etkisi altında ise *Göçme Güvenliği* performans hedefinin sağlanması ile gerçekleşir. Görüldüğü gibi, bu yönetmelikte geçmiş yönetmeliklerden farklı olarak 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan orta düzeydeki deprem etkileri altında *Can Güvenliği* performans düzeyinin sağlanması koşulu artık ele alınmamıştır. Ayrıca, geleneksel deprem yönetmeliklerine benzer olarak, en büyük deprem etkisinin 2/3 değeri alınarak tasarım depremi tanımlamıştır. Bu %33 oranındaki azaltma, deprem yükü azaltma katsayısı “R” kullanılarak yapılan tasarım ile benzerlikler göstermektedir.

4.2.3.1 Kapasite tasarımı

Yapı sisteminin tasarımı kapasite bazlı tasarım esaslarına dayanmalı ve yönetmelikte belirlenen ilkelere ve analitik işlemlere uygun olarak yapılmalıdır. Dayanım bazlı tasarımın esasları, projeye özgü *Sismik Tasarım Kriterleri* raporunda yer almalıdır. Sismik tasarım kriterleri raporunda, aşağıda açıklanan koşulların yerine getirildiği açıkça belirtilmelidir.

a) Yapı taşıyıcı sisteminin doğrusal olmayan davranışı açık olarak tanımlanmalıdır. Doğrusal olmayan şekildeğiştirmenin meydana geleceği olası bölgeler iyi belirlenmeli ve bunların dışındaki bölgelerdeki elemanların doğrusal davranması

sağlanmalıdır. Diğer bir deyişle, taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan davranışı belirli kesitler ile sınırlandırılmalıdır.

b) Yapı taşıyıcı sistemi, aşağıda tanımlanacak olan minimum taban kesme kuvveti dayanımına sahip olmalıdır.

Doğrusal olmayan davranışın meydana geldiği bölgeler, en büyük deprem etkisi altında oluşan yerdeğiştirmeleri, dönmeleri ve şekildeğiştirmeleri öngörülen sınır değerleri aşmayacak ve göçmeyi önleyecek şekilde sünek ve korumalı olarak tasarlanmalı ve detaylandırılmalıdır.

Doğrusal olmayan davranışın şekli ve meydana geldiği yerler Çizelge 4.8 de tanımlanmıştır. Ancak bu çizelge bazı durumlarda yeterli olmayabilir. Yeterli değerlendirmeler ile bu çizelgeye çeşitli yeni eklemelerin yapılması mümkündür.

Buna göre, yönetmelikte belirtilen tasarım kurallarına göre boyutlandırılan yapılar, aşağıda belirtilen minimum taban kesme kuvveti dayanımı koşulunu sağlamak zorundadırlar.

$$V_{\min} = 0.030W \quad (4.19)$$

Burada, $V_{\min}$ yapının elastik sınırlar içinde karşılaşması gereken taban kesme dayanımını, W ise toplam yapı ağırlığını göstermektedir. “0.03” değeri Los Angeles bölgesinde 1980 ve 1990 yılları arasında yapılan yüksek binaların tasarımı sırasında en düşük limit olarak kullanılmış ve bu koşul günümüze kadar gelmiştir. Yönetmeliğin 2005 baskısında bu değer 0.025 olarak yer almış, ancak son baskıda 0.03 olarak değiştirilmesi daha uygun görülmüştür. Performansa dayalı tasarım konusundaki gelişmeler ve yenilikler doğrultusunda bu sınır değerinin zamanla değiştirilebileceği veya kaldırılabilirliği de düşünülebilir.

Çizelge 4.8 : Doğrusal olmayan davranış için tanımlanan bölgeler ve olaylar.

Yapı Sistemi	Bölge ve Olay
Özel Eğilme Dayanımlı Çubuklar (steel, concrete, or composite)	*Kiriş uçlarında eğilmeden dolayı akma(transfer kirişleri hariç) *Kolon-Kiriş bileşim bölgelerinde kesme *Kolonların alt uçlarında çift eksenli eğilmeden ¹ dolayı akma (temel üstü veya bodrum podyumlarında)
Özel Eşmerkezli Eğik Çubuklar	*Eğik elemanlarda(çekmede akma ve basınçta burkulma) *Kolonların alt uçlarında çift eksenli eğilmeden ¹ dolayı akma (temel üstü veya bodrum podyumlarında)
Eksantrik Eğik Çubuklar	*Kirişlerin kayma mafsallı bölgeleri(kesme akması tercih edilir ancak kesmeli eğilme akmasına izin verilir) *Kolonların alt uçlarında çift eksenli eğilmeden ¹ dolayı akma (temel üstü veya bodrum podyumlarında)
Bağlanmamış Eğik Çubuklar	*Bağlanmamış eğik çekirdekler(çekme ve basınçta akma) *Kolonların alt uçlarında çift eksenli eğilmeden ¹ dolayı akma (temel üstü veya bodrum podyumlarında)
Özel Çelik-Plak Perde Duvarlar	*Ağ plaklarında kesme akması *Kiriş uç bölgelerinde eğilmeden dolayı akma
Betonarme Perde Duvarlar	*Perde alt kesitlerinde çift eksenli eğilmeden ¹ dolayı akma (temel üstü veya bodrum podyumlarında) veya doğrusal olmayan deformasyonların gerektiği bölgelerde plastik mafsallı bölgesi olarak açıkça tanımlanmış bölgelerde *Bağ kirişlerinde eğilmeden ve/veya kesmeden dolayı akma
Temeller	*Kontrollü sallantı *Kontrollü oturma
¹ P-M-M* yüklerinden dolayı meydana gelen akma.	

4.2.3.2 Hemen kullanım hedef performansı

Bu performans değerlendirme aşamasının amacı, bu aralık için tanımlanan deprem etkisi altında binada aşırı hasarın meydana gelmesini önlemek, meydana gelen hasarın ise çok kısa sürede ve binanın kullanımını kısıtlamadan onarılabilir düzeyde kalmasını sağlamaktır. Bu performans hedefinin amacı yapının ve yapı elemanlarının servis düzeyindeki deprem etkileri altında tümüyle elastik sınırlar içerisinde

kalmasını sağlamak değildir. Buna karşılık, sünek olan birincil yapısal elemanlarda kalıcı şekildeğiştirme olmaması koşulu ile, basit onarımın gerekeceği diğer elemanlarda gözle görülür hasarın meydana gelmesine izin vermektedir. Bu performans analizinde, betonarme elemanlarda onarılabilir çatlaklara izin verilmektedir.

Tasarımın bu aşamasında genellikle, uygun rijitlik ve sönüm değerleri kullanılarak, servis düzeyi depremi ile uyumlu spektral tepki eğrisi kullanılarak dinamik analiz yapılır. Zaman tanım alanında hesap yapılması durumunda, kuvvetli yer hareketinin seçimi ve ölçeklendirilmesi ASCE 7-05 yönetmeliğinin 16.1.3 maddesindeki servis düzeyi tepki spektrumunun sağlaması gereken koşullara uygun olacaktır. Ayrıca tasarım istemi, seçilen ve ölçeklendirilen yedi adet kuvvetli yer hareketi istemlerinin ortalamasından fazla olacaktır.

Servis (Hemen kullanım) deprem düzeyi 30 yılda aşılma olasılığı %50 olan kuvvetli yer hareketi olarak tanımlanır. Bu kuvvetli yer hareketinin dönüş periyodu 43 yıldır. Bu deprem etkisi, doğrusal analizler için hazırlanmış tasarım spektrumu ile veya doğrusal olmayan analizler için kaydedilmiş depremler olarak alınabilir.

Tüm analizlerde yapının gerçek dinamik davranışını temsil etmek üzere, yapının kütle ve rijitlik dağılımını gerçeğe uygun tanımlayan, üç boyutlu bir matematik model kurulmalıdır.

Yapısal analiz modelleri, beklenen deprem etkileri ve hasar gözönüne alınarak belirlenen gerçekçi rijitlik ve sönüm yaklaşımlarını dikkate almalıdır. Tasarım dayanımları olarak, gevrek elemanlar haricindeki diğer elemanlar için ortalama (expected) dayanım değerleri esas alınmalıdır.

Servis düzeyi depremi performans değerlendirmesi için doğrusal tepki spektrumu analizi veya doğrusal olmayan tepki spektrumu analizinden herhangi biri kullanılabilir. Analizlerde $P - \Delta$ etkileri dikkate alınmalıdır. Göçme Güvenliği performans düzeyinde burulma etkilerinin alınıp alınmayacağı belirlenmesi için, yapısal etkiler ve burulma etkileri dinamik analiz modelinde düşünülmelidir. Yapının değerlendirilmesi aşağıdaki yük kombinasyonuna göre yapılmalıdır:

$$1.0D + L_{exp} + 1.0E \quad (4.20)$$

Burada “ D ” servis düzeyindeki ölü yükü, “ L_{exp} ” ise beklenen (expected) servis hareketli yükünü temsil etmektedir.

Elastik tepki spektrumu analizinde, her bir deprem doğrultusu için, deprem kuvvetlerinin hesabında %90 etkin kütle katılımının sağlanması gerekmektedir. Modal tepkiler CQC (Complete Quadratic Combination) kuralına göre birleştirilmelidir. Elastik tepki parametreleri olarak isimlendirilen kuvvetler, momentler ve yerdeğiştirmeler gibi parametreler herhangi bir şekilde azaltılamaz. Servis düzeyi depremi performans değerlendirmesi için hazırlanan dinamik analiz modeli en büyük deprem (MCE) etkisi altında göçmeme güvenliği performansı değerlendirmesi için hazırlanan dinamik analiz modeli ile aynı olabilir. Servis düzeyi performans değerlendirmesi için dışmerkezlilik etkileri dikkate alınmalıdır. Ancak analiz metodu ne olursa olsun, ASCE 7-05 Bölüm 12.8.4.3 te tanımlanan *Burulma Etkisi Arttırma Katsayısı* “ A_x ” her bir kat için hesaplanmalıdır. Eğer A_x değeri herhangi bir kat için 1.50 sınır değerinin aşıyorsa, *Göçmeme Güvenliği Hedef Performans* değerlendirmesi sırasında dışmerkezlilik etkilerinin dikkate alınması gerekmektedir.

Eğer yapı elemanlarındaki elastik istemlerin kapasitelere oranı aşağıda belirlenen sınırları aşmıyorsa, yapının servis düzeyi hedef performansı koşullarını sağladığı varsayılır.

a) Kesme, burulma ve eksenel yük etkisi gibi gevrek etkiler altında: 1.0

b) Eğilme ve çelik elemanlarda çekme gibi sünek etkilerde: 1.2

Bunların yanında, yapının toplam yatay ötelemesinin $0.005h_n$ değerini aşmaması istenir.

Eğer doğrusal olmayan dinamik tepki analizi yapılacaksa, ASCE 7-05 Bölüm 16.1.3 e göre ölçeklenmiş en az üç deprem yer hareketi kaydı kullanılmalıdır. Buna karşılık, yedi veya daha fazla kuvvetli yer hareketi kaydının kullanılması önerilir. Burada önemli olan, kuvvetli yer hareketlerinin %5 sönüm oranı ile, servis düzeyi tasarım spektrumuna göre ölçeklenmiş olmasıdır. Eğer üç çift kuvvetli yer hareketi datası kullanılıyor ise elde edilen tepkilerden en büyüğü, yedi veya daha fazla data çifti kullanılıyor ise bunların ortalaması tasarıma esas kuvvetler olarak alınır. Bu analiz

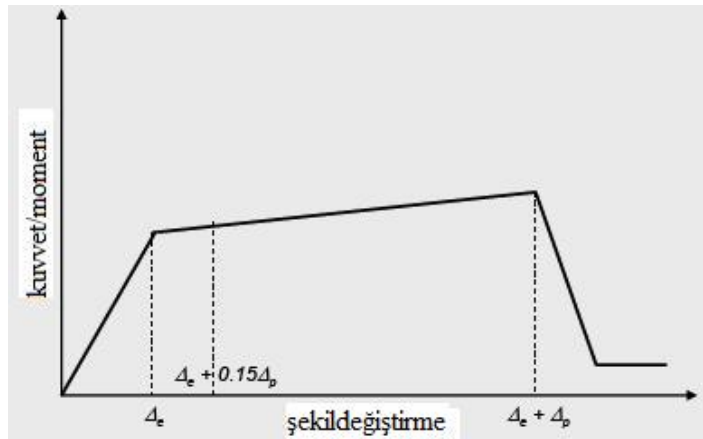
yönteminde, hedef performans koşulları aşağıdaki durumlar gerçekleştiği takdirde kabul edilir.

a) Kesme veya eksenel yük gibi gevrek iç kuvvet durumlarında, kuvvet istemleri kapasiteleri aşmamalıdır.

b) Doğrusal olmayan şekildeğiştirme istem oranları, sünek davranış için $\Delta_e + 0.15\Delta_p$ değerini aşmamalıdır. Burada Δ_e en büyük doğrusal şekildeğiştirmeye, Δ_p ise belirgin bir dayanım azalması olmaksızın meydana gelen en büyük plastik şekildeğiştirmeye karşı gelmektedir.

Bunların yanında, yapının toplam yatay ötelemesinin $0.005h_n$ değerini aşmaması istenir.

Sünek iç kuvvet durumlarında, doğrusal olmayan davranış kontrollü olarak serbest bırakılmıştır. Bu kontrollü doğrusal olmayan davranış, doğrusal tepki spektrumu analizinde izin verilen en büyük istem kapasite oranının sünek elemanlar için 1.0 yerine 1.2 alınması ile gerçekleşir. Doğrusal olmayan tepki spektrumu analizlerinde, sünek elemanlar için doğrusal olmayan şekildeğiştirme kapasitesinin %15' inden aşağıdaki şekildeki gibi yararlanılır, Şekil 4.6.



Şekil 4.6 : Kuvvet/moment – şekildeğiştirme bağıntısı

4.2.3.3 Göçmeme Güvenliği

En büyük kuvvetli yer hareketi etkisini “MCE (Maximum Considered Earthquake)” tanımlayan tepki spektrumu veya bu spektrumdan türetilen katsayılar, zemin türüne bağlı olarak, ASCE 7-05 yönetmeliğinin 21. bölümünde verilen kurallara uygun olacaktır.

Analizlerde yedi veya daha fazla kuvvetli yer hareketi çifti kullanılacaktır. Kuvvetli yer hareketi dataları ve bunların seçimi ASCE 7-05 Bölüm 16.1.3 e belirtilen koşullara uygun olacaktır. Genlik ölçekleme prosedürleri veya mevcut spektrum ile eşleştirme işlemleri uygulanabilir. Ayrıca, uygulanabilirse, yüksek periyotlarda göreceli olarak büyük spektral ordinatlar oluşturan hız bileşenleri gibi direktivite etkileri ve yakın deprem etkilerinin de hesaba katılması önerilir. Uygun sayıda kuvvetli yer hareketi datası kullanımı sonuçların güvenilirliği ve doğruluğu açısından daha doğru bir yaklaşımdır. Bu nedenle üç kuvvetli yer hareketi çifti yerinde en az yedi adet kuvvetli yer hareketi çifti kullanılması önerilir. ASCE 7-05 Bölüm 16.1.3 kuvvetli yer hareketi kayıtlarının seçimi hakkında güvenilir bilgi verdiği için bu dökümanda referans kaynağı olarak kullanılmıştır.

Tüm analizler için gerçek yapının dinamik davranışını doğru olarak tanımlamak için, yapının kütle ve rijitlik dağılımını gerçeğe uygun tanımlayan, üç boyutlu bir matematik model kurulmalıdır. Doğrusal olmayan tüm zaman tanım alanında hesap adımlarında $P - \Delta$ (ikinci mertebe etkileri) dikkate alınmalıdır. Yatay etkileri karşılaması düşünülen eleman ve bileşenlere ilave olarak, binanın toplam veya bölgesel rijitliğini etkileyen diğer tüm elemanlar da matematik modelde bulunmalıdır. Tanımlanan dayanımın kullanılacağı gevrek elemanların dışında diğer tüm elemanlarda ortalama (expected) dayanım değerleri kullanılmalıdır. Betonarme elemanların rijitlik özellikleri başlangıç rijitliğindeki çatlama etkilerini de dikkate alacak şekilde verilmelidir.

Betonarme içine gömülmüş olan çelik elemanlarda, etkili ilk rijitlik değerlerinin hesabında, betonarme içinde gömülü olan bölgenin etkisi dikkate alınmalıdır. Eğilme etkisi altındaki çelik çerçeve elemanlardan oluşan sistemlerde, kiriş kolon düğüm noktasındaki yerdeğiştirmeler ve şekildeğiştirmelerin etkisi hesaba katılmalıdır. Zaman tanım alanında dinamik analiz yapılırken, dayanım azalması (strength degradation) meydana gelmesi olası olan elemanların belirlenmesi ve bu etkilerin hesapta gözönünde bulundurulması gerekir. Tüm binanın öz ağırlığının ikinci mertebe etkileri, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemlerinde hesaba katılmalıdır. Bilgisayar yazılımlarının analiz modelindeki elemanların özellikleri deprem etkileri ile birlikte düşey yükler de düşünülerek verilmelidir.

Alternatif bir bilgi olmaması halinde, düşey yükler aşağıdaki yük kombinasyonundaki gibi hesaba katılır, Denk. (4.21).

$$1.0D + L_{\text{exp}} \quad (4.21)$$

Elemanların dayanımlarının belirlenmesinde, malzemelerin dayanım fazlalığı düşünülerek ortalama (expected) dayanım değerleri esas alınmalıdır (Çizelge 4.9). Dayanım fazlalığını dikkate alan malzeme dayanımları, beton ve beton çeliği için ASCE 41-06, yapı çeliği için 2005 AISC (Seismic Provisions for Structural Steel) [54] yönetmeliklerinden alınabilir.

Bunların yanında, yapı-zemin ilişkisini dikkate alan bir analiz modeli ve temel tasarımı da dikkate alınmalıdır.

Çizelge 4.9 : Ortalama malzeme dayanımları.

Malzeme	Beklenen Dayanım
Çelik	Dayanım (ksi)
Haddelenmiş yapısal şekiller ve çubuklar	
ASTM A36/A36M	$1.5 F_y$
ASTM A572/A572M Grade 42 (290)	$1.3 F_y$
ASTM A992/A992M	$1.1 F_y$
All other grades	$1.1 F_y$
Kutu kesitler	
ASTM A500, A501, A618 and A847	$1.3 F_y$
Boru kesitler	
ASTM A53/A53M	$1.4 F_y$
Levhalar	$1.1 F_y$
Diğer tüm ürünler	$1.1 F_y$
Donatı çeliği	$1.17 f_y$ (tanımlanan)
Beton	$1.3 f'_c$

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz için mutlaka üç boyutlu bir matematik model oluşturulmalıdır. Burulma etkileri daha önce tanımlandığı şekilde dikkate alınmalıdır. Eğer kuvvetli yer hareketi bileşenleri yapının yapılacağı bölgedeli jeolojik özellikler ile uyumlu normal fay atımlı yer hareketleri ve faya paralel atımlı yer hareketleri ise, bu bileşenler fayın binaya göre konumuna bağlı olarak hazırlanan üç boyutlu bir matematik hesap modeli üzerine etkililmelidir. Eğer kuvvetli yer hareketi bileşenleri rastgele doğrultularda ise, bu bileşenler rastgele

seçilen farklı açılarda yapıya etkililmelidir. Aynı kuvvetli yer hareketi çiftlerinin çoklu doğrultularda uygulanmasına gerek yoktur. Her bir kuvvetli yer hareketi çifti için yapı aşağıdaki kombinasyona göre değerlendirilmelidir:

$$1.0D + L_{exp} + 1.0E \quad (4.22)$$

Eğer servis düzeyi deprem etkisi altında performans değerlendirmesinde yapılan tahkikler sonucunda burulma etkilerinin göçmeme güvenliği performans seviyesinde dikkate alınması ngrlrse, kritik durumlarda ortalama istem değerlerini veren bir kuvvetli yer hareketi çifti seçilir. Bu ift önce kendi gerçek konumlarında kütle merkezine etkitilir. Sonra bir kere de minimum dışmerkezlik esas alınarak tüm doğrultularda veya binanın doğal burulma eğilimini arttıran doğrultuda etkitilir. Çeşitli durumlarda burulma etkileri dikkate alınarak tasarlanan modeldeki istem büyüklüklerinin burulma etkileri dikkate alınmadan tasarlanan modeldeki istem büyüklüklerine oranı (γ) 1.20 değerini aşıyorsa izin verilen kuvvet ve şekildeğiştirme/yerdeğiştirme limitleri bu durumlar için bulunan “ γ ” değerine bölünür. Buna alternatif olarak, tüm zaman tanım alanında analiz modellerinde minimum dışmerkezlik dşnlrek hesap yapılır ve izin verilen kapasite sınırları değiştirilmez.

Dışmerkezlik etkilerinin yapının dayanma gücüne etkisini belirlemek için, analizde kullanılan malzeme özelliklerinde çeşitli değişiklikler yapılabilir. Bu şekilde analiz modeli sadeleştirilmiş olur. Yönetmeliğin 2005 baskısında dışmerkezlik analizleri *Can Güvenliği Performans* düzeyi için tanımlanmıştı. Yönetmeliğin 2008 baskısında bu performans hedefi kaldırıldığı için, söz konusu işlemlerin *Hemen Kullanım* performans düzeyi değerlendirilmesinde veya *Göçmeme Güvenliği* performans düzeyi değerlendirilmesinde yapılması gerekmektedir. Her iki performans düzeyinde de burulma kontrollerinin yapılması da diğer bir yaklaşımdır.

Göçmeme güvenliği performans hedefi için değerlendirilen bir binada, dayanımlar ve kapasiteler bu bölümde tanımlanan istemlerden daha fazla olmalıdır. Doğrusal olmayan teoriye göre tasarımı yapılacak elemanlar doğru bir şekilde belirlenmeli, diğer elemanların doğrusal sınırlar içinde kaldığı gösterilmelidir.

Doğrusal olmayan şekildeğiştirme ve yerdeğiştirmelere göre tasarımı yapılan elemanların ve bunların bağlantı noktalarının bunlardan talep edilen

şekildeğiştirmeleri karşıladıkları gösterilmelidir. Elemanların kuvvet ve yerdeğiştirme, şekildeğiştirme kapasiteleri güvenilir dökümanlara veya test sonuçlarına dayanmalı veya ortalama (expected) malzeme özellikleri kullanılarak yapılan analizler ile doğrulanmalıdır. Zaman tanım alanında gerçekleştirilen doğrusal olmayan analiz sonuçlarına göre, ortalama görelî kat ötelemesi oranları her bir kat için 0.03 sınır değerini aşmamalıdır.

Eleman iç kuvvetleri, elemanların doğrusal olmayan şekildeğiştirmeleri ve ortalama görelî kat ötelemesi oranları gibi istem değerleri, yedi veya daha fazla deprem kaydının ortalaması olarak dikkate alınmalıdır. Deprem kuvvetlerini ana taşıyıcı elemanlara ileten “collector” taşıyıcı elemanlar teşkil edilmeli, bu elemanlar sismik etkileri diğer taşıyıcı elemanlara iletebilecek kapasitede olmalıdır. Bu elemanların teşkil edilmesi yapının deprem performansı açısından çok önemlidir. Sismik etkileri taşıyan yapısal elemanlar dışındaki diğer elemanlar düşey yükler, deprem yükleri ile deprem yerdeğiştirme ve şekildeğiştirme istemleri gibi etkilere güvenle karşı koyacak şekilde tasarlanmalıdır. Sismik etkileri karşılaması düşünülen elemanların dışındaki elemanlarda meydana gelen şekildeğiştirmeler ASCE 41-06 da belirlenen *İkincil Göçmeme Güvenliği* değerlerini aşmıyorsa kabul edilmelidir. Doğrusal olmayan analiz için şekildeğiştirme ve yerdeğiştirme kapasiteleri ASCE 41-06 da belirtilen *Birincil Göçmeme Güvenliği* performansı için belirlenen şekildeğiştirme ve yerdeğiştirme limitleri ile aynıdır. Daha büyük şekildeğiştirme ve yerdeğiştirme kapasitelerine ancak testler ile desteklenirse ve *Bağımsız Kontrol Kurulunun* (SPRP (Seismic Peer Review Panel)) onayı ile izin verilir. Eğer ASCE 41-06 daki şekildeğiştirme kapasiteleri aşılmışsa, dayanım azalması, rijitlik azalması ve çevrimsel “pinching” hesaba katılmalıdır. Ayrıca yapının taban kesme kuvveti kapasitesi ASCE 41-06 da tanımlanan *Birincil Göçmeme Güvenliği* performansı için verilen taban kesme kapasitesinin %90’ ından daha az olmamalıdır. Doğrusal olmayan teori için hesapta ASCE 41-06 (Ek-1) deki *Birincil Göçmeme Güvenliği* limit durumunun seçilmesinin nedeni göçmeden önce gözle görülür bir dayanım veya rijitlik kaybı (degradation) görülmeyecek olmasıdır. Bu nedenle, dayanım/rijitlik azalmasının (degradation) modellenmesi, şekildeğiştirmeler veya yerdeğiştirmeler belirlenen limitler aşılmıyorsa gerekli değildir. Eğer belirlenen limitler aşılyorsa matematik modelde çeşitli malzeme dayanım/rijitlik azalmasının, “pinching”

etkisinin ve çevrimsel malzeme modellerinin kullanılması gerekmektedir. *İkincil Göçmeme Güvenliği* hedef performans limitleri ASCE 41-06 nın Ek 2 sinde bulunmaktadır.

4.2.4 Bağımsız kontrol (PEER REVIEW) kurulu

Los Angeles Yüksek Binalar Yönetmeliği' ne göre, her bir proje için bir Bağımsız Kontrol Kurulu (BKK) "Seismic Peer Review Panel (SPRP)" oluşturulur. Bağımsız kontrol kurulunun görevi, işverene teknik danışmanlık yaparak, yapının performansa dayalı tasarımının bu yönetmelikte belirtilen koşullara uygun olarak yapıp yapılmadığı konusunda onu bilgilendirmektir. Bağımsız Kontrol Kurulu, *Proje Sorumlusu* "EOR (Engineer of Record)" tarafından uygulanan herhangi bir kalite önlemi yerine geçemez. Yapının tasarım sorumluluğu sadece *Proje Sorumlusu*' na (EOR) aittir. Ayrıca, binanın öngörülen tüm şartnamelerdeki koşulları sağladığını göstermek de *Proje Sorumlusu*' nun (EOR) görevidir. İnşaat yapım planının sorumluluğu işverene ve var ise, inşaat yapım planlamacısına aittir.

İşveren tarafından özel olarak belirlenmedikçe, Bağımsız Kontrol Kurulu yapı mühendisliği, deprem mühendisliği ve araştırmaları, performansa dayalı deprem mühendisliği, doğrusal olmayan tepki spektrumu analizi, yüksek binaların tasarımı, deprem yer hareketleri, geoteknik mühendisliği, jeoloji mühendisliği veya benzeri konular ile ilgili yeterli bilgi ve deneyimi olan en az üç kişiden oluşturulmalıdır. Bağımsız Kontrol Kurulu elemanları işveren tarafından bina tasarımında gerekecek bilgi ve deneyimlerine göre seçilmelidir. Bağımsız Kontrol Kurulu üyelerinin seçimi için, işveren istediği takdirde proje sponsorunun veya proje sorumlusunun da görüşünü alabilir, ancak son karar yine işverene aittir. Bağımsız Kontrol Kurulu elemanlarının proje ile ilgili herhangi bir çıkar çatışmasına neden olacak bir ilişkileri olmamalıdır. Ayrıca bu kurul üyelerinden hiçbiri aynı zamanda projenin tasarım grubunda da bulunamaz. Bağımsız Kontrol Kurulu üyeleri işverenin yönetimi altında çalışırlar. Bağımsız Kontrol Kurulu' nun iş tanımını işveren belirler. Buna dayanarak, Bağımsız Kontrol Kurulu ayrı ayrı veya hep birlikte sağlayacakları mühendislik hizmetinin kapsamını belirleyen bir yazıyı sözleşmeye koymak zorundadırlar. Bu kurulun hizmet kapsamı aşağıdakileri içermelidir.

a) Deprem hasar tespiti

- b) Yer hareketi karakteristikleri
- c) Sismik tasarım metodolojisi
- d) Sismik performans hedefleri
- e) Kabul edilebilir sınırlar
- f) Matematik model hazırlanması ve simülasyon
- g) Sismik tasarım ve sonuçları
- h) Çizimler ve şartnamelerin belirlenmesi.

Bağımsız Kontrol Kurulu yapısal tasarımın ilk aşamalarında toplanarak temel kararları almalıdırlar. Yapısal tasarımın ilk aşamalarında proje sorumlusu, işveren ve Bağımsız Kontrol Kurulu üyeleri koordinasyon toplanma sıklıklarını ve bu toplantılarda proje sorumlusunun bitirmeyi beklediği proje etaplarını yayınlamalıdırlar. Bağımsız Kontrol Kurulu proje sorumlusuna ve/veya işverene vereceği uyarıları ve tavsiyeleri yazılı olarak vermeli, proje sorumlusu da benzer şekilde yazılı olarak cevaplamalıdır. Ayrıca Bağımsız Kontrol Kurulu bu uyarıları ve bunlara gelen cevapları belli bir sistemde kayıt altında tutmalı ve eğer gerek görülürse işveren ve proje sorumlusu bu kayıtlara ulaşabilmelidir. Bağımsız Kontrol Kurulu, binanın tasarımı bittikten sonra işverene yazılı bir rapor vererek kontrolün kapsamını, uyarıların kayıtlarını ve projenin bu yönetmelikteki şartlara uygunluğunu kendi profesyonel görüşüne göre belirtmelidir. İşveren Bağımsız kontrol Kurulu'ndan zaman zaman ara raporlar isteyebilir.

4.2.5 Sismik enstrumanlar

Bu yönetmeliğe göre analizi ve tasarımı yapılan yapılarda sismik enstrumanların(yapı izleme sistemlerinin) kullanılması zorunludur. Yapı izleme sistemlerinin en önemli amacı, binaların depreme dayanıklılığını ve güvenilirliğini arttırmak için veri sağlamaktır. Bu veriler sayesinde bilgisayar modelleme teknikleri gelişmekte, ayrıca deprem öncesi durumda hasar değerlendirmesi de daha doğru bir biçimde yapılmaktadır. Bu ekipmanların yerleştirilmesi için bir yerleşim planı proje sorumlusu tarafından hazırlanmalı ve Bağımsız Kontrol Kurulu tarafından onaylanmalıdır. Bu ekipman yerleşim planı yapısal planlara da işlenmelidir. Bu kayıt cihazları veya ivme ölçerler "California Geologic Survey (CGS)" tarafından onaylı

tipler olmalıdır. Yapıda en az Çizelge 4.10 da belirtilen sayıda kayıt cihazı bulunmalıdır.

Çizelge 4.10 : Minimum kayıt cihazı sayıları.

Toprak Seviyesi Üstündeki Kat Sayısı	Minimum Kayıt Ölçer Sayısı
10 – 20	15
20 – 30	21
30 – 50	24

Eğer Bağımsız Kontrol Kurulu gerek görürse, güvenli tarafta kalmak için bu sayı arttırılabilir. Her bir kayıt ölçer sadece tek bir data tipi (tek yönlü kat ivmesi veya kat ötelemesi, vb) kaydetmelidir.

5. SAYISAL İNCELEMELER

Çalışmanın bu bölümünde, önceki bölümlerde açıklanan yöntemler, yaklaşımlar ve yönetmelikler çerçevesinde, 42 katlı 3 boyutlu bir taşıyıcı sistem modelinin 2007 Türk Deprem Yönetmeliği' ne göre doğrusal analizi ve tasarımı yapılmış, daha sonra, boyutlandırılan sistemin İstanbul İli Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği-2008' e göre zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizi gerçekleştirilmiştir.

2007 Türk Deprem Yönetmeliği' ne göre boyutlandırmada, ilgili yönetmeliğin 2. bölümüne uygun olarak hazırlanan 3 boyutlu hesap modeli mod birleştirme yöntemi ile analiz edilmiş ve yönetmeliğin 3. bölümüne göre betonarme tasarımı yapılmıştır.

İstanbul İli Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği-2008 e göre hesapta ise, söz konusu yönetmeliğin öngördüğü şekilde, tasarım spektrumuna uygun olan ölçeklenmiş deprem kayıtları seçilmiş ve bu deprem kayıtları kullanılarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucunda yapıda ve yapı elemanlarında meydana gelen yerdeğiştirmeler ve şekildeğiştirmeler hesaplanarak verilen sınır değerler ile karşılaştırılmış, böylece boyutlandırılan taşıyıcı sistem modelinin deprem performansı irdelenmiştir.

5.1 Genel Bina Bilgileri ve Bina Taşıyıcı Sisteminin Tanımı

5.1.1 Genel bina bilgileri

Kat adedi	42
Kat Yüksekliği	4.0m
Toplam bina yüksekliği, [H]	168.00m
Bina oturma alanı	760.32m ²
Kullanım amacı	Ofis+Konut
Malzeme bilgileri :	

Beton (tüm betonarme elemanlar)	C40 ($f_{ck} = 40\text{Mpa}$)
	$f_{cd} = 26.67\text{Mpa}$
Donatı çeliği	S420 ($f_{yk} = 420\text{Mpa}$)
	$f_{yd} = 365.22\text{Mpa}$
Betonarme elastisite modülü, $[E_c]$	34000 Mpa
Donatı çeliği elastisite modülü, $[E_s]$	200000 Mpa
Beton malzeme güvenlik katsayısı	1.50
Donatı çeliği malzeme güvenlik katsayısı	1.15
Deprem parametreleri :	
Deprem bölgesi	1. Derece Deprem Bölgesi
Yerel zemin sınıfı	Z2

5.1.2 Taşıyıcı sistem bilgileri

İncelenen taşıyıcı sistem modelinin tipik kat kalıp planı Şekil 5.1 de görülmektedir. Taşıyıcı sistem elemanlarının boyutları ve katlara göre değişimi aşağıda verilmiştir.

Kolonlar:

(1-10. katlar arası)	$b = 1.10\text{m}$	$d = 1.10\text{m}$	$d' = 0.05\text{m}$
(11-20. katlar arası)	$b = 1.00\text{m}$	$d = 1.00\text{m}$	$d' = 0.05\text{m}$
(21-30. katlar arası)	$b = 0.90\text{m}$	$d = 0.90\text{m}$	$d' = 0.05\text{m}$
(31-42. katlar arası)	$b = 0.80\text{m}$	$d = 0.80\text{m}$	$d' = 0.05\text{m}$

Kirişler:

Çevre kirişler:

(1-10. katlar arası)	$b = 1.00\text{m}$	$d = 0.70\text{m}$	$d' = 0.05\text{m}$
(11-20. katlar arası)	$b = 0.90\text{m}$	$d = 0.70\text{m}$	$d' = 0.05\text{m}$
(21-30. katlar arası)	$b = 0.80\text{m}$	$d = 0.70\text{m}$	$d' = 0.05\text{m}$
(31-42. katlar arası)	$b = 0.70\text{m}$	$d = 0.70\text{m}$	$d' = 0.05\text{m}$

Çekirdek içi kirişler:

Tüp kirişleri

(1-42. katlar arası) $b= 0.40m$ $d= 1.70m$ $d' = 0.05m$

Çekirdek bağ kirişleri

(1-10. katlar arası) $b= 0.70m$ $d= 1.70m$ $d' = 0.05m$

(11-20. katlar arası) $b= 0.60m$ $d= 1.70m$ $d' = 0.05m$

(21-30. katlar arası) $b= 0.50m$ $d= 1.70m$ $d' = 0.05m$

(31-42. katlar arası) $b= 0.40m$ $d= 1.70m$ $d' = 0.05m$

Perdeler:

Çekirdek çevre perdeleri

(1-10. katlar arası) $b= 0.70m$ $d' = 0.05m$

(11-20. katlar arası) $b= 0.60m$ $d' = 0.05m$

(21-30. katlar arası) $b= 0.50m$ $d' = 0.05m$

(31-42. katlar arası) $b= 0.40m$ $d' = 0.05m$

Çekirdek içi perdeler

(1-42. Katlar arası) $b= 0.40m$ $d' = 0.05m$

Döşemeler:

(1-42. katlar arası) $d= 0.20m$ $d' = 0.03m$

5.1.3 Yükler

Beton birim hacim ağırlığı 25.00 kN/m^3

Normal kat döşemesi yükleri

Plak öz ağırlığı	:($0.20m \times 25 \text{ kN/m}^3$)	=	5.00 kN/m^2
Kaplama + sıva	:	=	<u>2.20 kN/m^2</u>
	Σg	=	7.20 kN/m^2
Hareketli yükler	:	Σq	= 3.00 kN/m^2

Not: Hareketli yükler bölme duvarı yüklerini ($1.00 \text{ kN} / \text{m}^2$) de içermektedir.

Cephe kaplama yükleri

$$\text{Cephe kaplaması} : 0.50 \text{ kN/m}^2 \times 4.00 \text{ m} = 2.00 \text{ kN/m}$$

Çatı katı döşemesi

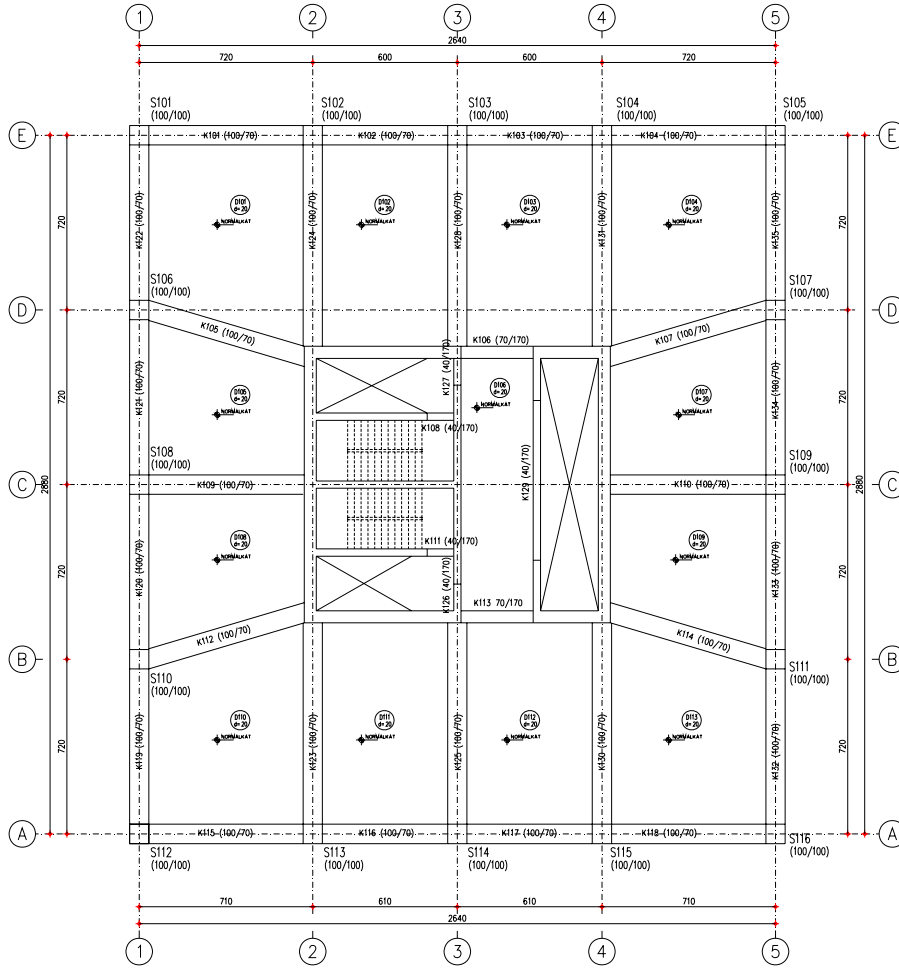
$$\text{Plak öz ağırlığı} : (0.20 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3) = 5.00 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Eğim betonu+izolasyon (0.10m):} = 2.20 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Çakıl (0.10m):} = 1.80 \text{ kN/m}^2$$

$$\Sigma g = 9.00 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Hareketli yükler :} \quad \Sigma q = 2.00 \text{ kN/m}^2$$



Şekil 5.1 : Tipik kat kalıp planı

5.2 Yapının 2007 Türk Deprem Yönetmeliği' ne (DBYBHY-2007) Göre Tasarımı

5.2.1 Hesap yönteminin belirlenmesi ve deprem hesabı

Deprem etkisi altındaki davranışlarında meydana gelebilen olumsuzluklar nedeniyle tasarımından ve yapımından kaçınılması veya özel önlemler uygulanması gereken

binalara *düzensiz binalar* denmektedir. Düzensiz binaların tanımlanması için, planda ve düşey doğrultudaki düzensizlikler DBYHY-2007 Bölüm 2 Çizelge 2.1 de sıralanmıştır. Bunlarla ilgili koşullar ise DBYHY-2007 Bölüm 2 Madde 2.3.2 de verilmiştir.

Buna göre,

A1 (burulma düzensizliği) ve **B2** (katlar arası rijitlik düzensizliği) deprem hesap yönteminin seçiminde etken olan düzensizliklerdir.

A2 (döşeme süreksizlikleri) ve **A3** (planda çıkıntılar bulunması) türü düzensizliklerin bulunduğu binalarda, birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde, kat döşemelerinin kendi düzlemleri içinde deprem kuvvetlerini düşey taşıyıcı sistem elemanları arasında güvenle aktarabildiği hesapla doğrulanacaktır.

B1 türü katlar arası dayanım düzensizliğinin bulunduğu binalarda, gözönüne alınan i' inci kattaki dolgu duvarı alanlarının toplamı bir üst kattakine göre fazla ise, η_{ci} nin hesabında dolgu duvarları gözönüne alınmayacaktır. $0.60 \leq (\eta_{ci})_{\min} < 0.80$ aralığında DBYBHY-2007 Çizelge 2.5 te verilen taşıyıcı sistem davranış katsayısı, $1.25(\eta_{ci})_{\min}$ değeri ile çarpılarak her iki deprem doğrultusunda da binanın tümüne uygulanacaktır. Ancak hiçbir zaman $\eta_{ci} < 0.60$ olmayacaktır. Aksi durumda, zayıf katın dayanımı ve rijitliği artırılarak deprem hesabı tekrarlanacaktır.

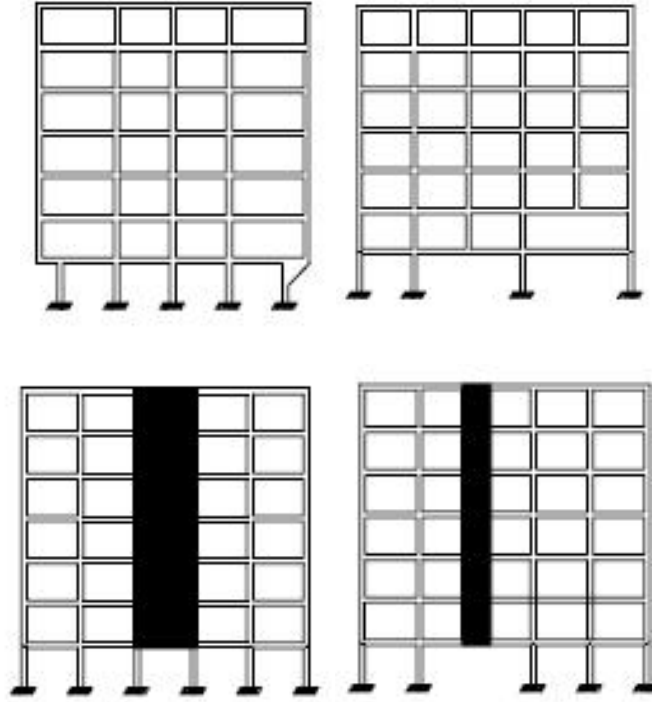
B3 (taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği) türü düzensizliğin bulunduğu binalara ilişkin koşullar, bütün deprem bölgelerinde aşağıdaki gibidir, Şekil 5.2.

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

b) Kolonun iki ucundan mesnetli bir kirişe oturması durumunda, kirişin bütün kesitlerinde ve ayrıca gözönüne alınan deprem doğrultusunda bu kirişin bağlandığı düğüm noktalarına birleşen diğer kiriş ve kolonların bütün kesitlerinde, düşey yükler ve depremin ortak etkisinden oluşan tüm iç kuvvet değerleri %50 oranında arttırılacaktır.

c) Üst katlardaki perdenin altta kolonlara oturtulmasına hiçbir zaman izin verilmez.

d) Perdelerin binanın herhangi bir katında, kendi düzlemleri içinde kirişlerin üstüne açıklık ortasında oturtulmasına hiçbir zaman izin verilmez.



Şekil 5.2 : B3 türü düzensizlikler.

Bu düzensizlikler planda düzensizlik durumları ve düşey doğrultuda düzensizlik durumları olarak ikiye ayrılmaktadır. Sayısal incelemenin bu bölümünde söz konusu düzensizliklerin her biri için gerekli kontroller yapılmış ve binada bu düzensizliklerin mevcut olup olmadığı ve öngörülen sınır değerleri aşıp aşmadığı kontrol edilmiştir. Bu koşulların sağlanmadığı durumlarda, yönetmeliğin öngördüğü gerekli önlemler alınmıştır.

5.2.1.1 Düzensizliklerin irdelenmesi

A1-Burulma düzensizliğinin bulunması durumu: Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük görelî kat ötelemesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama görelî kat ötelemesine oranı ile ifade edilen *burulma düzensizliği kontrolü* yapılmış ve binada bu tür düzensizlik bulunmadığı gösterilmiştir, bakınız: Ek A, Çizelge A.1, A.2.

A2-Döşeme süreksizlikleri bulunması durumu: Herhangi bir katın döşemesinde, merdiven ve asansör boşlukları dahil olmak üzere, boşluk alanları toplamının kat brüt alanın 1/3' ünden fazla olmadığı gösterilmiştir. Ayrıca deprem yüklerinin düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarılabilmesinin güçleştiren yerel döşeme

boşluklarının bulunmadığı, döşemenin düzlem içi rijitliğinde ve dayanımında herhangi bir ani azalmanın olmadığı belirlenmiştir.

A3-Planda çıkıntılar bulunması durumu: Bina kat planlarında çıkıntı yapan kısımların birbirine dik iki doğrultudaki boyutlarının her ikisinin de, binanın o katının aynı doğrultulardaki toplam plan boyutlarının %20' sinden daha büyük olmadığı gösterilmiştir.

B1-Komşu katlar arası dayanım düzensizliği (zayıf kat) bulunması durumu: Binanın tasarımında, birbirine dik iki deprem doğrultusunun her biri için, herhangi bir kattaki etkili kesme alanının bir üst kattaki etkili kesme alanına oranı olarak tanımlanan *Dayanım Düzensizliği Katsayısı'* nın 0.80 den küçük olmaması sağlanmıştır, bakınız: Ek A, Çizelge A.3, A.4.

B2-Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (yumuşak kat) bulunması durumu: Birbirine dik iki deprem doğrultusunun her biri için, herhangi bir i' inci kattaki ortalama görelî kat öteleme oranının bir üst veya bir alt kattaki ortalama görelî kat öteleme oranına bölünmesi ile tanımlanan *Rijitlik Düzensizliği Katsayısı'* nın 2.0' den küçük olduğu kontrolü yapılmış ve bu koşul sağlanmıştır, bakınız: Ek A, Çizelge A.5, A.6.

B3-Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliğinin kontrolü: Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının (kolon veya perdelerin) bazı katlarda kaldırılarak kirişlerin veya guseli kolonların üstüne veya ucuna oturtulması veya üst kattaki perdelerin altta kolonlara oturtulması durumu irdelenmiş ve taşıyıcı sistemde bu durumların oluşması önlenmiştir.

Yapılan düzensizlik kontrollerinin sonuçları Ek A, Çizelge A.7 de özetlenmiştir.

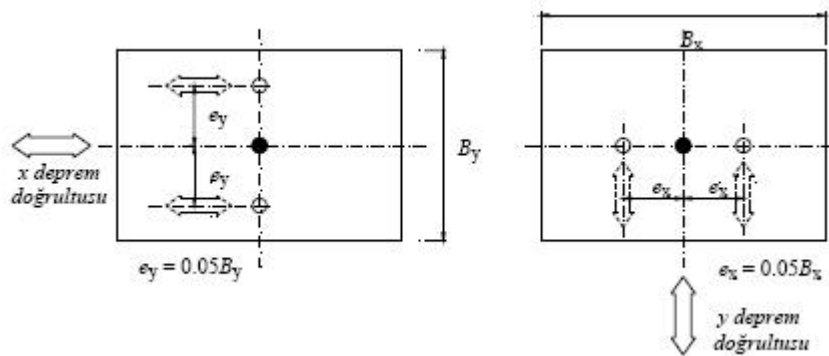
5.2.1.2 Hesap yönteminin belirlenmesi

Hesap yöntemi olarak, maksimum iç kuvvetlerin ve yerdeğiştirmelerin, binada yeterli sayıda doğal titreşim modunun her biri için hesaplanan maksimum katkıların istatistiksel olarak birleştirilmesi ile elde edildiğı *Mod Birleştirme Yöntemi* seçilmiştir. Hesap yönteminin seçimi DBYBHY-2007 Çizelge 2.6 ya göre yapılmıştır. Yapı yüksekliğı 40m den büyük olduğı için, deprem analizi için *eşdeğer deprem yükü yöntemi* seçilmemiştir. Diğer taraftan, uygun deprem datasının

bulunmasının zor olduğu varsayımı yapılarak *zaman tanım alanında hesap yöntemi* de seçilmemiş, bina *mod birleştirme yöntemi* ile analiz edilmiştir. Bu yöntemle göre, herhangi bir n' inci titreşim modunda gözönüne alınacak olan *azaltılmış ivme spektrumu* ordinatı

$$S_{aR}(T_n) = (S_{ae}(T_n) / R_a(T_n)) \quad (5.1)$$

bağıntısı ile belirlenir. Döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı varsayılarak, her katta birbirine iki dik doğrultuda iki *yatay serbestlik derecesi* ile kütle merkezinden geçen düşey eksen etrafındaki *dönme serbestlik derecesi* gözönüne alınmıştır. Her katta modal deprem yükleri bu serbestlik dereceleri için hesaplanmış, ancak ek dışmerkezlilik etkisinin hesaba katılması amacı ile, deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat boyutunun +%5' i ve -%5' i kadar kaydırılması ile belirlenen noktalara ve ek bir yükleme olarak kat kütle merkezine etkiltilmiştir, Şekil 5.3.



Şekil 5.3 : Gözönüne alınacak yerdeğiştirme bileşenleri ve deprem yüklerinin etkiye noktaları.

5.2.2 Deprem yüklerinin belirlenmesi

5.2.2.1 Hesaba katılacak mod sayısı

Yapının taşıyıcı sisteminin statik ve dinamik hesaplarında kullanılmak üzere, üç boyutlu bir hesap modeli oluşturulmuştur. Taşıyıcı sistem hesap modelinde deprem etkileri yatay-düşey aks sistemi dikkate alınarak verilmiştir. Deprem hesapları modların süperpozisyonu yönteminden yararlanarak yapılmıştır.

Deprem hesaplarında gözönüne alınacak etkin modların sayısının belirlenmesi için en az % 90 kütle katılım oranı öngörüülecektir. Dinamik hesap sonucunda bulunan

taban kesme kuvvetinin eşdeğer statik yük esasına göre bulunan değer % 90' dan az olmaması gerekmektedir. Mod katkılarının birleştirilmesinde “*Tam Karesel Birleştirme Kuralı*” (CQC) kullanılmıştır. Bu kuralın uygulanmasında kullanılacak olan çapraz korelasyon katsayılarının hesabında, modal sönüm oranları bütün titreşim modları için %5 olarak alınmıştır. Bina modelinde hesaba katılacak mod sayısı için

$$\sum_{n=1}^Y M_{x_n} = \sum_{n=1}^Y \frac{L_{x_n}^2}{M_n} \geq 0.90 \sum_{i=1}^N m_i \quad (5.2)$$

$$\sum_{n=1}^Y M_{y_n} = \sum_{n=1}^Y \frac{L_{y_n}^2}{M_n} \geq 0.90 \sum_{i=1}^N m_i \quad (5.3)$$

koşulları esas alınacaktır. Burada, binada bulunan kat adedi [N] = 42 ve her bir kat için serbestlik derecesi [β] =3 olduğundan, hesaba katılacak maksimum mod sayısı 3x42=126 değerini almaktadır. Ancak toplam olarak 50 mod için modal analiz yapıldığında %100 modal kütle katılımının sağlandığı saptanmıştır. Bilgisayar programından elde edilen kütle katılım çizelgesi Ek A, Çizelge A.8 de görülmektedir. Hesaplanan büyüklüklere ilişkin alt sınır değer β=1.0 olarak alınmıştır.

5.2.2.2 Spektral ivme katsayısının belirlenmesi

Yapı sisteminin boyutlandırılmasında esas alınan deprem etkileri 2007 Türk Deprem Yönetmeliği’ ne göre belirlenecektir. Söz konusu yönetmeliğe göre, deprem parametreleri:

Deprem Bölgesi:.....	1. Derece
Deprem Bölge Katsayısı: (A _o).....	0.40
Bina Önem Katsayısı : (I).....	1.00
Hareketli Yük Katsayısı: (n).....	0.30
Yerel Zemin Sınıfı : (Z _n).....	Z2
Spektrum Karakteristik Periyodu: (T _A).....	0.15 sn
Spektrum Karakteristik Periyodu: (T _B).....	0.40 sn
Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı: (R).....	7.0
(Deprem yüklerinin çerçeveler ile boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar).	

$$A(T) = A_0 \times I \times S(T) \quad (5.4)$$

$$S_{ae}(T) = A(T) \times g \quad (5.5)$$

$$S(T) = 1 + 1.5 \times \left(\frac{T}{T_A} \right) \quad 0 \leq T \leq T_A \quad (5.6)$$

$$S(T) = 2.5 \quad T_A \leq T \leq T_B \quad (5.7)$$

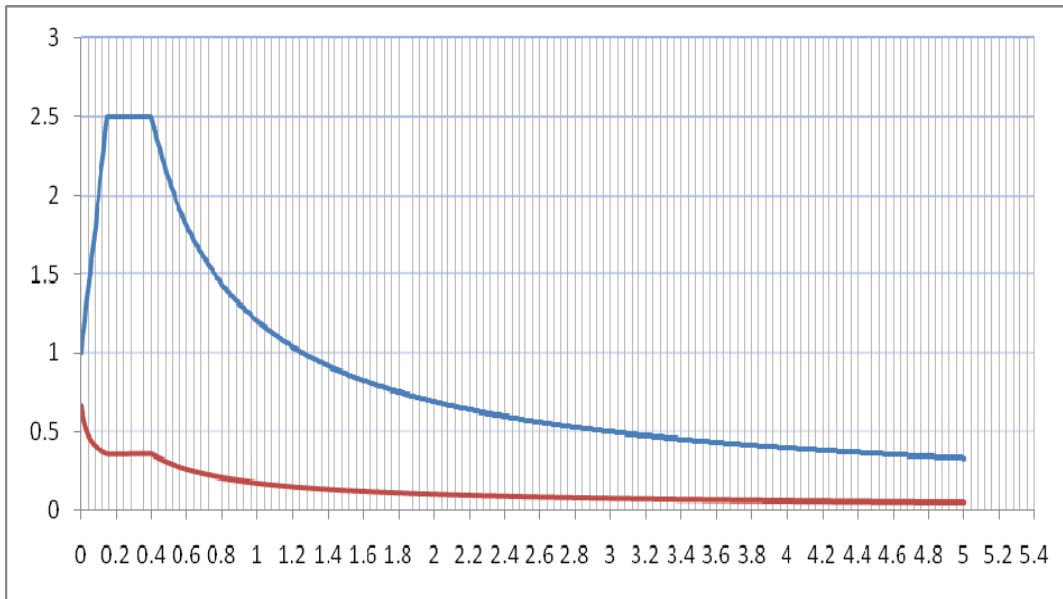
$$S(T) = 2.5 \times \left(\frac{T_B}{T} \right)^{0.8} \quad 0 \leq T \leq T_A \quad (5.8)$$

$$R_a(T) = 1.5 + (R - 1.5) \times \left(\frac{T}{T_A} \right) \quad 0 \leq T \leq T_A \quad (5.9)$$

$$R_a(T) = R \quad T_A \leq T \quad (5.10)$$

$$S_{aR}(T_n) = (S_{ae}(T_n) / R_a(T_n)) \quad (5.11)$$

Bu bağıntılar yardımı ile çizilen spektrum eğrileri Şekil 5.4 te görülmektedir.



Şekil 5.4 : Z2 zemin sınıfı için spektrum eğrileri.

$$T_1 = T_y = 3.916sn \quad (5.12)$$

$$T_2 = T_x = 3.751sn \quad (5.13)$$

$$S(T)_x = 2.5 \times \left(\frac{T_B}{T} \right)^{0.8} = 0.417 \quad (5.14)$$

$$S(T)_y = 2.5 \times \left(\frac{T_B}{T} \right)^{0.8} = 0.403 \quad (5.15)$$

$$A(T_x) = A_0 \times I \times S(T)_x = 0.4 \times 1.0 \times 0.417 = 0.1668 \quad (5.16)$$

$$A(T_y) = A_0 \times I \times S(T)_y = 0.4 \times 1.0 \times 0.403 = 0.1612 \quad (5.17)$$

5.2.2.3 Taşıyıcı sistem davranış katsayısının belirlenmesi

DBYBHY-2007 Madde 2.5 e göre, yapısal sistemin doğrusal olmayan davranışını gözönüne almak üzere, elastik deprem yükleri *Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı* ile bölünecektir. Deprem yüğü azaltma katsayısı, R taşıyıcı sistem davranış katsayısına ve yapısal sistemin T doğal titreşim periyoduna bağlıdır. Taşıyıcı sistem davranış katsayısı R, deprem yüklerinin çerçeveler ile boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdeler tarafından birlikte taşındığı binalarda R=7 değerini almaktadır. Ancak bu tür sistemlerde R=7 değerinin kullanılabilmesi için, boşluksuz perdelerin tabanında deprem yüklerinden meydana gelen kesme kuvvetlerinin toplamı, binanın tümü için hesaplanan taban kesme kuvvetinin %75 inden daha fazla olmamalıdır, ($\alpha_s \leq 0.75$). Bu koşulun sağlanmaması halinde, $0.75 \leq \alpha_s \leq 1.0$ aralığında kullanılacak R katsayısı $R = 10 - 4 \times \alpha_s$ bağıntısı ile belirlenecektir.

Kolon ve perdelerle etkiyen deprem kuvvetleri ve bunların taban kesme kuvvetine oranları Çizelge 5.1 de verilmiştir.

Çizelge 5.1 : Kolon ve perdelerle etkiyen taban kesme kuvvetleri.

Section	Load	F1	F2
KOL	DEPREM-X	143.65	1.06
KOL	DEPREM-Y	0.91	121.37
PER	DEPREM-X	2101.21	13.56
PER	DEPREM-Y	13.13	2102.79
TOPLAM	DEPREM-X	2244.86	14.62
	DEPREM-Y	14.04	2224.16
ORAN	α_s	0.936009373	0.945431084

Yukarıdaki çizelgede görüldüğü gibi, α_s oranı X-X doğrultusu için 0.936, Y-Y doğrultusunda ise 0.945 değerini almaktadır. Buna göre

X – X doğrultusu için :

$$R = 10 - 4 \times \alpha_s = 10 - 4 \times 0.936 = 6.256 \quad (5.18)$$

Y – Y doğrultusu için :

$$R = 10 - 4 \times \alpha_s = 10 - 4 \times 0.945 = 6.218 \quad (5.19)$$

değerleri elde edilir.

$$\text{Kütle [M]} = 53583.475 \text{ kNs}^2/\text{m}$$

$$\text{Ağırlık [W]} = 53583.475 \times [g] = 525653.896 \text{ kN}$$

Zemin sınıfı [Z2] için zemin parametreleri : $T_A : 0.15s$ $T_B : 0.40s$

$$C_x = A(T_x) / R_a(T_x) = 0.1668 / 6.256 = 0.0266 \leq 0.1 \times A_0 = 0.04 \quad (5.20)$$

$$C_y = A(T_y) / R_a(T_y) = 0.1612 / 6.218 = 0.0259 \leq 0.1 \times A_0 = 0.04 \quad (5.21)$$

Minimum taban kesme kuvveti : $C_{\min} \times W = 0.04 \times 525653.896 = 21026.155kN$

ETABS programından hesaplanan kesme kuvvetleri :

$F_x : 12443.48 \text{ kN}$

$F_y : 12369.41 \text{ kN}$

X-X doğrultusu için deprem katsayısı;

$$21026.155 / 12443.48 = 1.689 \rightarrow 1.689 \times A_0 \times g = 6.6305$$

Y-Y doğrultusu için deprem katsayısı;

$$21026.155 / 12369.41 = 1.699 \rightarrow 1.699 \times A_0 \times g = 6.6702 \text{ değerlerini alır.}$$

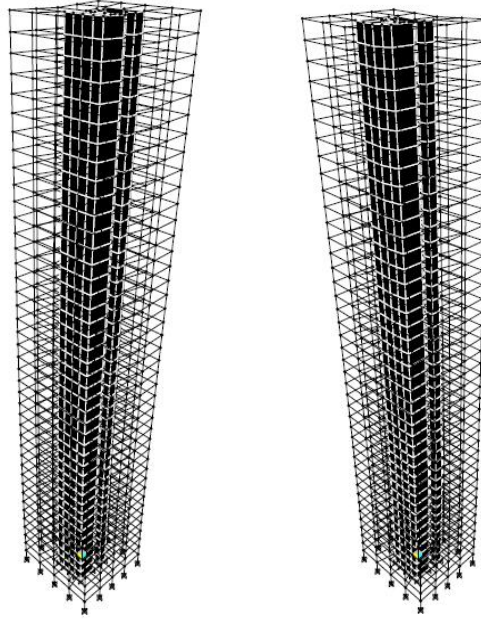
Bu taban kesme kuvveti değerlerine karşı gelen “R” değerleri ;

$$X-X \text{ doğrultusu için; } 0.0266 / 0.04 \times 6.256 = 4.1602$$

$$Y-Y \text{ doğrultusu için; } 0.0259 / 0.04 \times 6.218 = 4.0261 \text{ olarak hesaplanır.}$$

5.2.2.4 Modal spektral yükler altında analiz

Binanın taşıyıcı sistem elemanlarında düşey yükler ile deprem kuvvetlerinin ortak etkisi altında oluşacak iç kuvvetleri ve yerdeğiştirmeleri belirlemek amacıyla, yapısal sistemin üç boyutlu analiz modeli kurulmuştur. Modelde kiriş ve kolonlar çubuk elemanlar kullanılarak, perdeler ise plak elemanlar ile idealleştirilmiştir. Her katta döşemelerin kendi düzlemleri içinde rijit diyafram olarak çalıştığı kabul edilmiş ve deprem kuvvetleri her katta rijit diyaframların kütle merkezlerine uygulanmıştır. Düşey yükler kademeli yükleme durumu (*Sequential Construction Case*) tanımlanarak yapı sistemine etkitilmiştir. Aşağıda, binanın üç boyutlu analiz modeli ve her iki deprem doğrultusu için elde edilen şekildeğiştirme durumları görülmektedir, Şekil 5.5.



Şekil 5.5 : Yapının her iki deprem doğrultusundaki şekildeğiştirmiş durumları

Yapı sisteminin yukarıda tanımlanan deprem etkileri ve düşey yükler altında analizi yapılmış, görelî kat ötelemeleri ve ikinci mertbe etkileri kendilerine ait sınır değêrleri ile karşılaştırılmış ve bu sınır değêrleri aşılması belirlenmiştir. Yapılan bu kontrollerin sonuçları Ek A, Çizelge A.9, A.10, A.11 ve A.12 de verilmiştir.

5.2.3 Betonarme tasarımı

5.2.3.1 Tasarımda esas alınan yük durumları ve yük kombinasyonları

Yük durumları :

G	: Yapı yükleri
Q	: Hareketli yükler
K	: Kaplama yükleri
EQX	: X-X doğrultusunda deprem yüklemesi
EQY	: Y-Y doğrultusunda deprem yüklemesi

Yük kombinasyonları :

Yük kombinasyonları TS500-2000 ve DBYBHY 2007 Madde 2.7.5 e göre belirlenmiştir.

$$G + Q + K$$

$$1.4(G+K) + 1.6Q$$

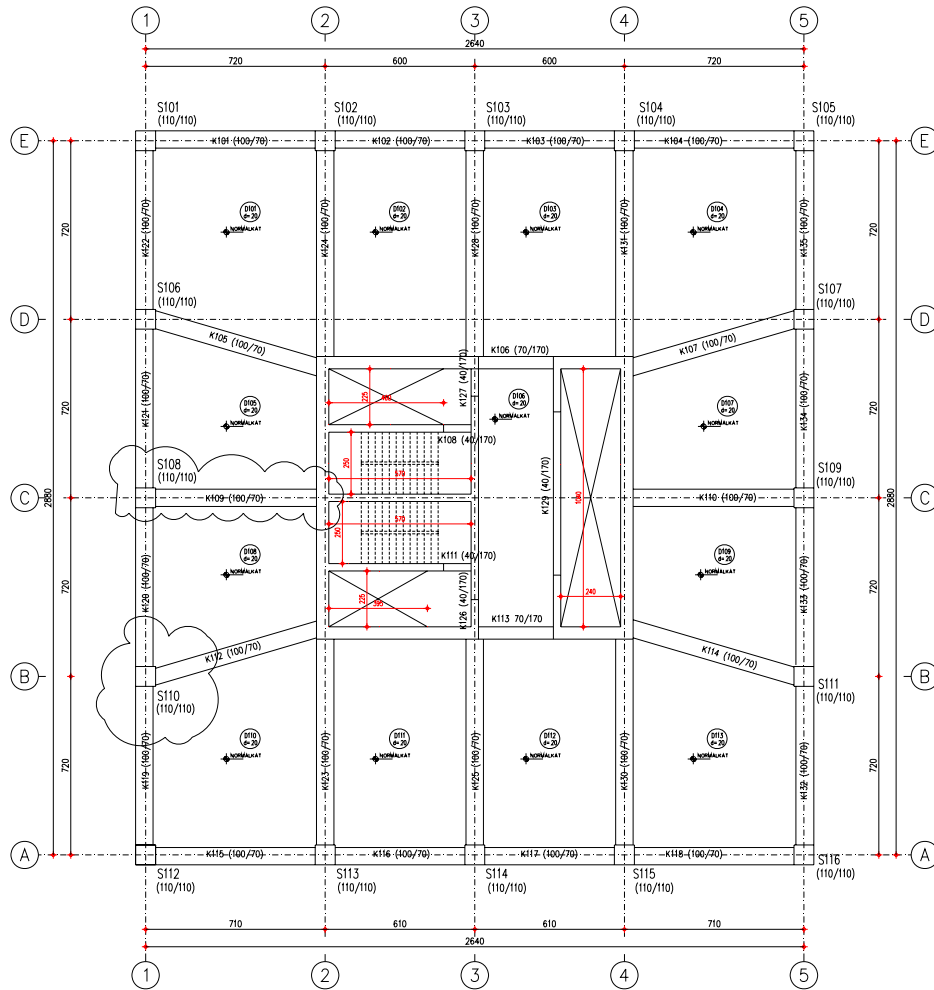
$G + Q + K + EQ_X + 0.3EQ_Y$ (+%5 ek dış merkezlik)
 $G + Q + K + EQ_X + 0.3EQ_Y$ (- %5 ek dış merkezlik)
 $G + Q + K + EQ_X - 0.3EQ_Y$ (+%5 ek dış merkezlik)
 $G + Q + K + EQ_X - 0.3EQ_Y$ (- %5 ek dış merkezlik)
 $G + Q + K - EQ_X + 0.3EQ_Y$ (+%5 ek dış merkezlik)
 $G + Q + K - EQ_X + 0.3EQ_Y$ (- %5 ek dış merkezlik)
 $G + Q + K - EQ_X - 0.3EQ_Y$ (+%5 ek dış merkezlik)
 $G + Q + K - EQ_X - 0.3EQ_Y$ (- %5 ek dış merkezlik)
 $G + Q + K + EQ_Y + 0.3EQ_X$ (+%5 ek dış merkezlik)
 $G + Q + K + EQ_Y + 0.3EQ_X$ (- %5 ek dış merkezlik)
 $G + Q + K + EQ_Y - 0.3EQ_X$ (+%5 ek dış merkezlik)
 $G + Q + K + EQ_Y - 0.3EQ_X$ (- %5 ek dış merkezlik)
 $G + Q + K - EQ_Y + 0.3EQ_X$ (+%5 ek dış merkezlik)
 $G + Q + K - EQ_Y + 0.3EQ_X$ (- %5 ek dış merkezlik)
 $G + Q + K - EQ_Y - 0.3EQ_X$ (+%5 ek dış merkezlik)
 $G + Q + K - EQ_Y - 0.3EQ_X$ (- %5 ek dış merkezlik)
 $0.9G + 0.9K + EQ_X + 0.3EQ_Y$ (+%5 ek dış merkezlik)
 $0.9G + 0.9K + EQ_X + 0.3EQ_Y$ (- %5 ek dış merkezlik)
 $0.9G + 0.9K + EQ_X - 0.3EQ_Y$ (+%5 ek dış merkezlik)
 $0.9G + 0.9K + EQ_X - 0.3EQ_Y$ (- %5 ek dış merkezlik)
 $0.9G - 0.9K + EQ_X + 0.3EQ_Y$ (+%5 ek dış merkezlik)
 $0.9G - 0.9K + EQ_X + 0.3EQ_Y$ (- %5 ek dış merkezlik)
 $0.9G - 0.9K + EQ_X - 0.3EQ_Y$ (+%5 ek dış merkezlik)
 $0.9G - 0.9K + EQ_X - 0.3EQ_Y$ (- %5 ek dış merkezlik)
 $0.9G + 0.9K + EQ_Y + 0.3EQ_X$ (+%5 ek dış merkezlik)
 $0.9G + 0.9K + EQ_Y + 0.3EQ_X$ (- %5 ek dış merkezlik)
 $0.9G + 0.9K + EQ_Y - 0.3EQ_X$ (+%5 ek dış merkezlik)
 $0.9G + 0.9K + EQ_Y - 0.3EQ_X$ (- %5 ek dış merkezlik)
 $0.9G - 0.9K + EQ_Y + 0.3EQ_X$ (+%5 ek dış merkezlik)
 $0.9G - 0.9K + EQ_Y + 0.3EQ_X$ (- %5 ek dış merkezlik)
 $0.9G - 0.9K + EQ_Y - 0.3EQ_X$ (+%5 ek dış merkezlik)
 $0.9G - 0.9K + EQ_Y - 0.3EQ_X$ (- %5 ek dış merkezlik)

5.2.3.2 Örnek betonarme tasarım hesapları

Bu bölümde, bina taşıyıcı sisteminin örnek olarak seçilen kiriş, kolon ve perdelerine ait betonarme kesit hesapları ayrıntılı olarak açıklanacaktır. Sistemin tüm betonarme elemanlarına ait boyutlandırma sonuçları Ek A da tablolar halinde verilmiştir.

5.2.3.3 Kiriş betonarme hesapları

Süneklik düzeyi yüksek kirişlerin betonarme tasarımı kapsamında, enkesit koşulları, boyuna donatı oranları, boyuna donatının düzenlenmesi, enine donatı koşulları ve kesme güvenliği hesapları için DBYBHY-2007 de verilen kurallar esas alınmıştır. Kirişlerin tasarımında, gerekli olduğu durumlarda, TS-500 standardı ilkeleri de gözönünde tutulmuştur. Bu bölümde, 5. Kat C-C aksı üzerindeki K509 kirişinin örnek tasarımı yer almaktadır, Şekil 5.6.



Şekil 5.6 : Örnek kolon ve kirişlerin konumları.

$$\rho_{\min} = 0.8 \frac{f_{ctd}}{f_{yd}} = 0.8 \frac{(0.35\sqrt{40})/1.5}{(420)/1.15} = 0.0032 \quad (5.28)$$

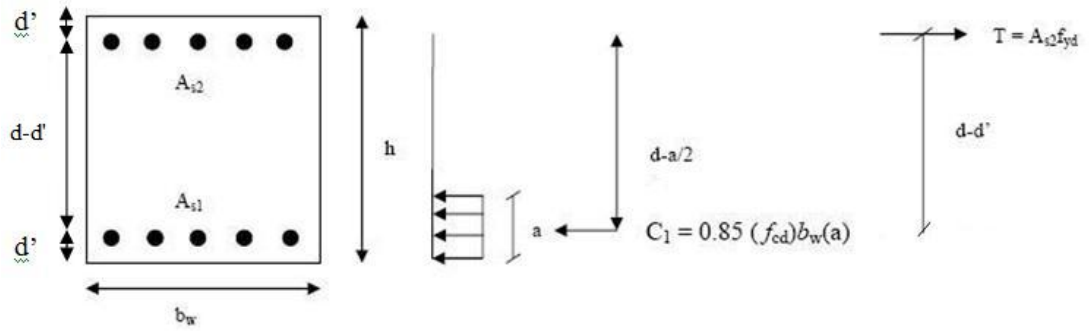
$$A_{s,\min} = \rho_{\min} A_c = (0.0032)(100 \times 70) = 22.40 \text{ cm}^2 \quad (5.29)$$

$$A_{s,\max} = \rho_{\max} A_c = 0.02 \times (100 \times 700) = 140.00 \text{ cm}^2 \quad (5.30)$$

$$A_{s,\min} \leq A_{s,\text{mev}} \leq A_{s,\max} \quad (5.31)$$

Sol mesnet üst donatı hesabı

Yukarıda belirlenen açıklık alt donatısı (10 Ø 20) sol mesnede uzatılmıştır. Bununla beraber, alt donatıdaki basınç kuvvetleri terk edilerek mesnet üst donatısı hesaplanmıştır.



Şekil 5.8 : Kiriş sol mesnet üst donatısı hesabı.

$$M_d = 383.33 \text{ kNm}$$

$$M_d = 0.85 f_{cd} b_w a \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (5.32)$$

$$38333 = 0.85 \left(\frac{4.0}{1.5} \right) (100) a \left(65 - \frac{a}{2} \right) \Rightarrow a = 2.656 \text{ cm} \quad (5.33)$$

$$A_{s2} f_{yd} = 0.85 f_{cd} b_w a \quad (5.34)$$

$$A_s \times \left(\frac{42}{1.15} \right) = 0.85 \times \left(\frac{4.0}{1.5} \right) \times 100 \times (2.656) = 16.48 \text{ cm}^2 \text{ (Gerekli donatı alanı)} \quad (5.35)$$

$$\text{Seçilen konstruktif donatı} \rightarrow 6 \text{ Ø } 20 \text{ (montaj)} + 2 \text{ Ø } 26 \quad A_{s,\text{mev}} = 29.46 \text{ cm}^2$$

Deprem Yönetmeliği Madde 3.4.2.1 ve Madde 3.4.2.4 e göre, mesnetlerde seçilen çekme donatısının minimum ve maksimum değerlerin arasında olduğu aşağıda kontrol edilmiştir:

$$\rho_{\min} = 0.8 \frac{f_{ctd}}{f_{yd}} = 0.8 \frac{(0.35\sqrt{40})/1.5}{(420)/1.15} = 0.0032 \quad (5.36)$$

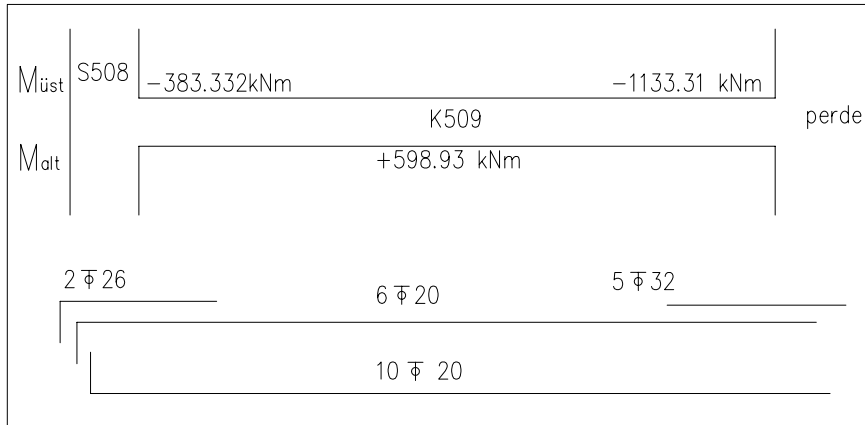
$$A_{s,\min} = \rho_{\min} \times A_c = (0.0032) \times (100 \times 70) = 22.40 \text{ cm}^2 \quad (5.37)$$

$$A_{s,\max} = \rho_{\max} \times A_c = 0.02 \times (100 \times 70) = 140.00 \text{ cm}^2 \quad (5.38)$$

$$A_{s,\min} \leq A_{s,mev} \leq A_{s,\max} \quad (5.39)$$

Benzer şekilde, kirişin sağ mesnet üst donatısı da hesaplanmış ve gereken donatı 52.281 cm^2 bulunmuştur. Kiriş donatıları beş katta bir değiştirildiğinden, donatı seçilirken beş kat içinde en elverişsiz sonucu veren kiriş esas alınmıştır. Buna göre seçilen donatı 6 Ø 20 (montaj) + 5 Ø 32 $A_{s,mev} = 59.04 \text{ cm}^2$ dir. Tasarım eğilme momentleri ve seçilen kiriş boyuna donatısı Şekil 5.9 da görülmektedir.

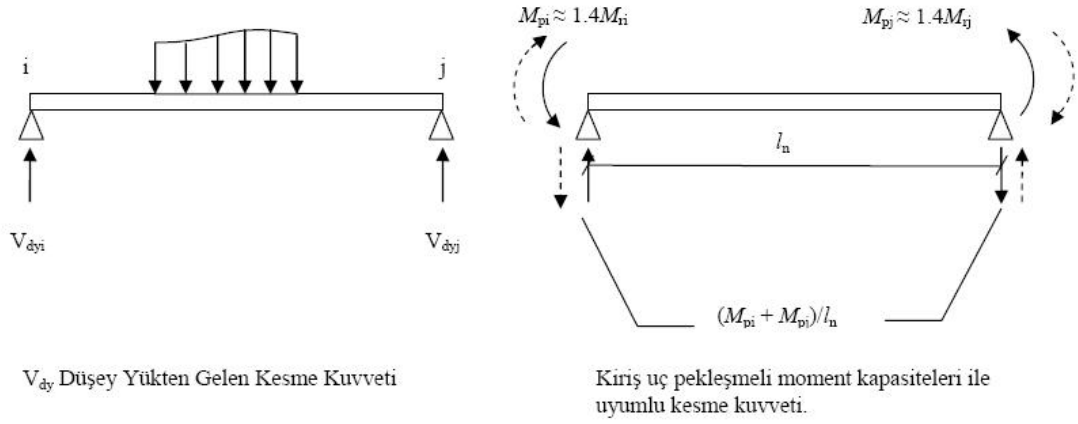
Deprem Yönetmeliğe göre çekme donatısının minimum ve maksimum sınırları belirlenmiş, seçilen açıklık ve mesnet donatılarının bu sınır değerler arasında kaldığı gösterilmiştir.



Şekil 5.9 : Tasarıma esas eğilme momentleri ve seçilen donatılar.

Örnek betonarme kirişte kesme güvenliği kontrolü

Bu bölümde, yukarıda eğilme tasarımı verilen, 5.kat C – C aksı K509 kirişinin kesme güvenliği kontrolleri Deprem Yönetmeliği Madde 3.4.5 e göre yapılmış ve hesaplar aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 5.10 : Kiriş kesme güvenliği kontrolü.

$$V_e = V_{dy} \pm \frac{M_{pi} + M_{pj}}{l_n} \quad (5.40)$$

Yönetmelik Madde 3.4.5 e göre sarılma bölgesinde kiriş kesme kuvveti hesabı

(+) X-X Deprem Doğrultusu - Sol Uç

$$M_{ri} = 727.84 \text{ kNm}$$

$$M_{rj} = 1320.41 \text{ kNm}$$

$$M_{pi} = 1.4 \times M_{ri} = 1.4 \times 727.84 = 1018.97 \text{ kNm} \quad (5.41)$$

$$M_{pj} = 1.4 \times M_{rj} = 1.4 \times 1320.41 = 1848.57 \text{ kNm} \quad (5.42)$$

$$V_{dy} = -138.20 \text{ kN} \quad (5.43)$$

$$V_e = -138.20 - (1018.97 + 1848.57) / 7.1 = -542.08 \text{ kN} \quad (5.44)$$

Benzer şekilde, depremin her iki yönü için kirişin her iki ucundaki kapasite momentleri hesaplanmış, bunlara düşey yüklerden gelen kesme kuvvetleri eklenmiş ve enine donatı hesabında esas alınacak V_e kesme kuvveti değerleri bulunmuştur. Bulunan bu değerler aşağıda özetlenmiştir, Çizelge 5.2.

Çizelge 5.2 : Kiriş kesme kuvvetleri.

Deprem Yönü	Kiriş Ucu	V _{dy} (kN)	V _e (kN)
(+) X-X	Sağ	265.39	669.27
	Sol	-138.20	-542.08
(-) X-X	Sağ	265.39	543.86
	Sol	-138.20	-416.67

Yönetmelik Madde 3.4.5.1 e göre, düşey yükler ile birlikte, $R_a = 2$ için deprem yüklerinden oluşan toplam kiriş kesme kuvvetleri hesaplanmış ve yukarıda kirişin her iki ucu için hesaplanan V_e değerinden daha küçük olup olmadıkları kontrol edilmiştir. Hesaplarda, $R_a = 2$ için deprem ve düşey yük etkileri altında hesaplanan kesme kuvvetleri için +X ve – X deprem yönleri için elde edilen en elverişsiz kesme kuvvetleri dikkate alınmıştır. Buna göre

X-X deprem doğrultusu sol uç için :

$$V = 479.32 \text{ kN} (R_a = 2 \text{ alınarak hesaplanan kesme kuvveti})$$

$$V_e = 542.08 \text{ kN} > 479.32 \text{ kN}$$

X-X deprem doğrultusu sağ uç için:

$$V = 606.51 \text{ kN} (R_a = 2 \text{ alınarak hesaplanan kesme kuvveti})$$

$$V_e = 669.27 \text{ kN} > 606.51 \text{ kN}$$

Yönetmelik Madde 3.4.5.1 e göre, sol uç için tasarıma esas kesme kuvveti 479.32 kN sağ uç için ise 606.51kN olarak alınmalıdır.

Yönetmelik Madde 3.4.5.3 e göre, kiriş sarılma bölgesindeki enine donatının hesabında, sadece deprem yüklerinden oluşan kesme kuvvetinin depremli durumdaki toplam kesme kuvvetinin yarısından daha büyük olup olmadığı kontrol edilir, Denk 5.45.

$$V_{EQX+EQY} > (V_{G+Q+EQX+EQY}) / 2 \quad (5.45)$$

Sadece depremden gelen kesme kuvveti değeri 124.70kN' dur. Deprem ile birlikte düşey yüklerden meydana gelen toplam kesme kuvveti değeri ise 302.20kN' dur. Buna göre, betonun kesme dayanımına katkısı dikkate alınabilmektedir. Bu değerler dikkate alınarak, sarılma bölgesinde TS500-2000 e göre kesme dayanımı kontrolü aşağıdaki şekilde yapılmıştır.

$$V_{cr} = 0.65 f_{ctd} A_c = 0.65 \times 1.45 \times (1000 \times 700) = 659750 \text{ N} = 659.75 \text{ kN} \quad (5.46)$$

$$V_c = 0.8 V_{cr} = 0.80 \times 659.75 \text{ kN} = 527.80 \text{ kN} \quad (5.47)$$

Φ10/10 etriye seçilirse,

$$A_s = 4 \times \left(\pi \frac{10^2}{4} \right) = 314.16 \text{ mm}^2 \quad (5.48)$$

$$\rho_s = \frac{A_s}{sb_k} = \frac{314.16}{100 \times 900} = 0.0035 \quad (5.49)$$

$$V_w = \rho_s A_c f_{yd} = 0.0035 \times (1000 \times 700) \times \left(\frac{420}{1.15} \right) = 892394 \text{ N} = 892 \text{ kN} \quad (5.50)$$

$$V_r = V_c + V_w = 527.8 + 892 = 1420.19 \text{ kN} \quad (5.51)$$

Kesme güvenliği kontrolü (Yönetmelik Madde 3.4.5.2)

$$V_e \leq V_r \quad (5.52)$$

$$V_e \leq 0.22b_w df_{cd} \quad (5.53)$$

$$V_e = 0.22 \times 1000 \times 650 \times 27 = 3861000 \text{ N} = 3861 \text{ kN} \quad (5.54)$$

Kiriş sol ucu için

$$V_e = 479.32 \text{ kN} \leq V_r = 1420.19 \text{ kN} \quad (5.55)$$

$$V_e = 479.32 \text{ kN} \leq 0.22b_w df_{cd} = 3861 \text{ kN} \quad (5.56)$$

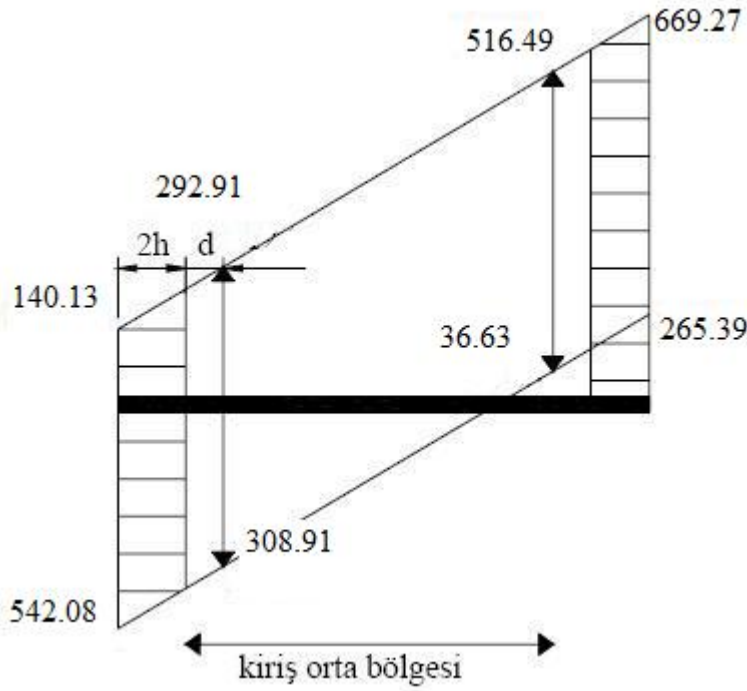
Kiriş sağ ucu için

$$V_e = 606.51 \text{ kN} \leq V_r = 1420.19 \text{ kN} \quad (5.57)$$

$$V_e = 606.51 \text{ kN} \leq 0.22b_w df_{cd} = 3861 \text{ kN} \quad (5.58)$$

Sonuç olarak sarılma bölgesinde kiriş kesme güvenliği sağlanmaktadır.

Yönetmelik Madde 3.4.5 e göre, kiriş orta bölgesinde kesme dayanımı hesabı aşağıda yapılmıştır. Burada, sarılma bölgesinden “d” kadar uzaklıktaki kesme kuvveti değeri aşağıdaki diyagramdan 516.49kN olarak bulunmuştur.



Şekil 5.11 : Kiriş orta bölgesinde kesme kuvveti değeri.

$$V_{cr} = 0.65 f_{ctd} A_c = 0.65 \times 1.45 \times (1000 \times 700) = 659750 N = 659.75 kN \quad (5.59)$$

$$V_c = 0.8 V_{cr} = 0.80 \times 659.75 = 527.80 kN \quad (5.60)$$

Φ10/15 etriye seçilirse:

$$A_s = 4 \times \left(\pi \frac{10^2}{4} \right) = 314.16 mm^2 \quad (5.61)$$

$$\rho_s = \frac{A_s}{sb_k} = \frac{314.16}{150 \times 900} = 0.0023 \quad (5.62)$$

$$V_w = \rho_s A_c f_{yd} = 0.0023 \times (1000 \times 700) \times \left(\frac{420}{1.15} \right) = 594929.62 N = 594.9 kN \quad (5.63)$$

$$V_r = V_c + V_w = 527.8 + 594.9 = 1122.73 kN \quad (5.64)$$

Kesme güvenliği kontrolü (Yönetmelik Madde 3.4.5.2)

$$V_e \leq V_r \quad (5.65)$$

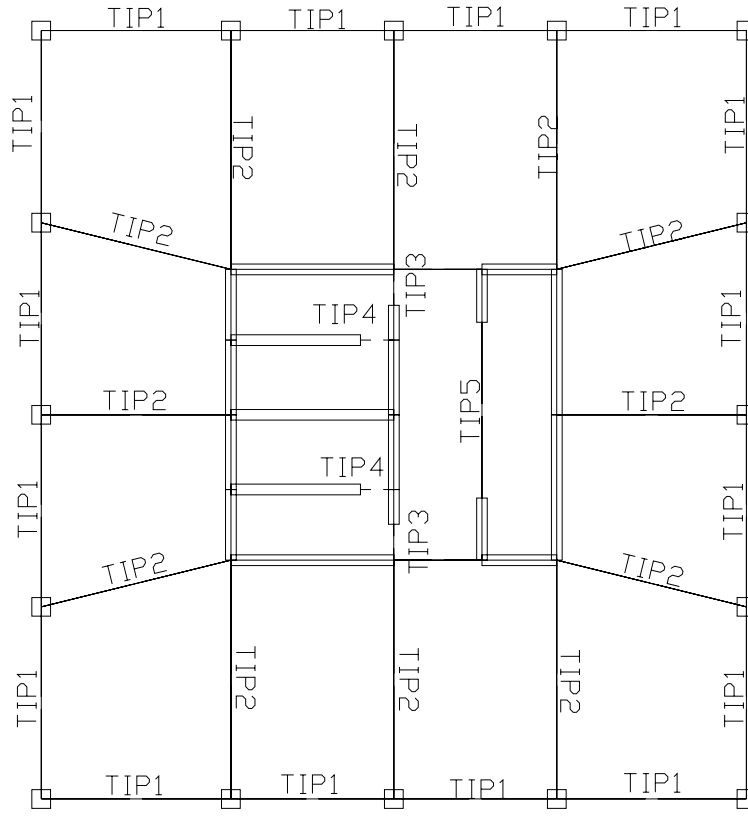
$$V_e \leq 0.22 b_w d f_{cd} \quad (5.66)$$

$$V_e = 0.22 \times 1000 \times 650 \times 27 = 3861000 N = 3861 kN \quad (5.67)$$

$$V_e = 516.49 kN \leq V_r = 1122.73 \quad (5.68)$$

$$V_e = 516.49 kN \leq 0.22 b_w d f_{cd} = 3861 kN \quad (5.69)$$

Sonuç olarak, kiriş kesme güvenliği kontrolleri yönetmeliğe göre yapılmış ve seçilen enine donatıya göre tüm koşulların sağlandığı gösterilmiştir. Ek A, Şekil A.1 de, incelenen kirişin seçilen donatısı şematik olarak gösterilmiştir. Diğer kirişlerin donatıları ise, kirişler kendi içlerinde tiplendirilerek verilmiştir. Aşağıda, bu tiplendirmenin ne şekilde yapıldığı şematik olarak gösterilmiştir, Şekil 5.12. Bağ kirişlerinin ayrıntılı hesabı gelecek bölümlerde verileceği için, söz konusu kirişler bu tiplendirmeye dahil edilmemiştir. Yapıdaki tüm kirişlerin seçilen donatıları Ek A Çizelge A.13 te gösterilmiştir.



Şekil 5.12 : Donatı seçimi için kiriş tip numaraları

Bağ kirişlerinin tasarımı

Gözönüne alınan deprem doğrultusunda, herhangi bir bağ kirişli perde sistemini oluşturan perde parçalarında deprem yüklerinden oluşan taban momentleri toplamının, bağ kirişli perde sisteminde deprem yüklerinden oluşan toplam devrilme momentinin $\frac{2}{3}$ ünden fazla olmadığı gösterilmiştir. Ek A, Çizelge A.14 ten görüleceği gibi, X-X doğrultusundaki toplam devrilme momenti 2537238.56kNm

dir. Perde çiftlerine etkiyen eğilme momentlerinin değerlerinin toplamı ise 11165.6kNm dir ve bu değerin devrilme momenti değerinin çok altında olduğu görülmektedir, Denk 5.70.

$$(M_{sol} + M_{sağ}) \leq 2/3 \sum F_{wi} \times H_i \quad (5.70)$$

$$11156.39kNm \leq 2537238.56kNm$$

Böylece, DBYBHY-2007 Madde 3.6.8.2 ye göre seçilen taşıyıcı sistemin davranış katsayısının değiştirilmesine gerek olmadığı gösterilmiştir. Bağ kirişlerinin kesme donatısının sadece etriyelerle teşkil edilebilmesi için aşağıdaki koşulların herhangi birinin sağlanması yeterlidir.

$$l_n > 3h_k \quad (5.71)$$

$$V_d \leq 1.5b_w d f_{ctd} \quad (5.72)$$

Bu iki koşulun her ikisinde sağlanmaması durumunda bağ kirişindeki kesme kuvvetini ve onun oluşturduğu eğilme momentini karşılamak üzere çapraz donatılar kullanılacaktır. Aşağıda bu kontroller ayrıntılı bir şekilde sunulmuştur, Çizelge 5.3.

Çizelge 5.3 : Bağ kirişi çapraz donatı kontrolü.

KAT	b [mm]	h [mm]	l_n [mm]	KONTROLLER			SONUÇ
				$3h_k$ [mm]	V_d [N]	$1.5b_w.d.f_{ctd}$ [N]	
1-10	700	1700	3300	5100	3770000	2580000	ÇAPRAZ DONATI
11-20	700	1700	3300	5100	2750000	2210000	ÇAPRAZ DONATI
21-30	700	1700	3300	5100	2000000	1840000	ÇAPRAZ DONATI
31-42	700	1700	3300	5100	1500000	1479000	ÇAPRAZ DONATI

Sonuç olarak, yönetmelik uyarınca bağ kirişlerine çapraz donatı konulması gerekmektedir. Aşağıda, bağ kirişlerinin çapraz donatı hesapları verilmiştir, Çizelge 5.4.

Çizelge 5.4 : Bağ kirişlerinin seçilen donatıları.

KAT	b [mm]	h [mm]	γ (AÇI)	V_d	f_{yd}	$A_{sd}=V_d/(2f_{yd}\sin\gamma)$ [mm ²]	Asd [cm ²]	SEÇİLEN DONATI
1-10	700	1700	20.75	3.77E+06	365	14579.36	145.79	18φ32
11-20	600	1700	20.75	2.75E+06	365	10634.81	106.35	14φ32
21-30	500	1700	20.75	2.00E+06	365	7734.41	77.34	10φ32
31-42	400	1700	20.75	1.50E+06	365	5800.81	58.01	8φ32

5.2.3.4 Kolon betonarme hesapları

Süneklik düzeyi yüksek kolonların betonarme tasarımı kapsamında, enkesit koşulları, boyuna donatı oranları, boyuna donatının düzenlenmesi, enine donatı koşulları, kolonların kirişlerden kuvvetli olması koşulu ve kesme güvenliği hesapları için DBYBHY-2007 Bölüm 3.3 te verilen kurallar esas alınmıştır. Kolonların tasarımında, gerekli olan durumlarda, TS-500/2000 ilkeleri de gözönüne tutulmuştur.

Bu bölümde, 1-1 aksı üzerinde bulunan S110 kolonunun örnek tasarımı sunulmuştur.

Örnek kolonun eğilme tasarımı

Yukarıda, Bölüm 5.2.3.1 de verilen yükler ve yük kombinasyonlarından hesaplanan eksenel basınç kuvvetinin en büyüğü dikkate alınarak DBYBHY-2007 Madde 3.3.1.2 de verilen koşul kontrol edilmiştir. N_{dm} normal kuvvetinin hesaplanmasında, TS-498 Bölüm 13 te öngörülen *Hareketli Yük Azaltması* gözönüne alınmıştır. Buna göre, en az 3 tam kattan fazla yük taşıyan kolon, bağ kirişi, perde duvarı, temel duvarı gibi yapı elemanlarının iç kuvvetlerinin hesaplanmasında, Çizelge 5.5 teki sınırlar içinde hareketli yük azaltılmasına izin verilmektedir.

Çizelge 5.5 : Hareketli yük azaltma katsayıları.

a) Konut vs.													
	Kat sayısı	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	%eksiltme değeri	0	0	0	20	40	60	80	80	90	40	40	40
2	Azaltma değeri (β)	1	1	1	1	0.9	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6
a) Atölye, işyeri, imalathane vs.													
3	%eksiltme değeri	0	0	0	10	20	30	40	40	40	20	20	20
4	Azaltma değeri (β)	1	1	1	1	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8

Buna göre:

$$1.4G + 1.6 Q \quad \text{yüklemesi için} \quad A_c \geq N_{dm} / (0.6 f_{ck})$$

$$1.0G + 0.6 \times 1.0 Q + 1.0 E_x + 0.3 E_y \quad \text{yüklemesi için} \quad A_c \geq N_{dm} / (0.5 f_{ck})$$

$$1.0G + 0.6 \times 1.0 Q + 0.3 E_x + 1.0 E_y \quad \text{yüklemesi için} \quad A_c \geq N_{dm} / (0.5 f_{ck})$$

koşulları sağlanmalıdır.

$$N_{dm}(1.4G + 1.6Q) = 22470kN = 22470000N \quad (5.73)$$

$$A_c = b_w d = 1100 \times 1100 = 1210000mm^2 \quad (5.74)$$

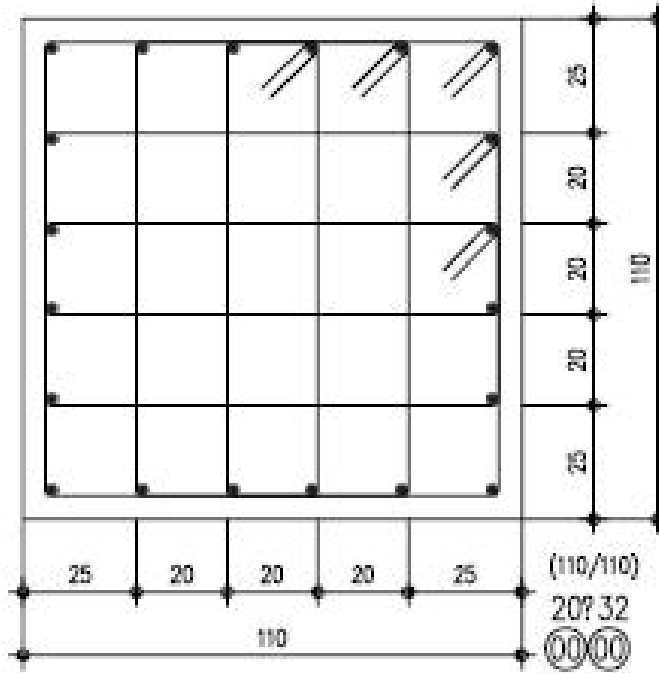
$$\frac{N_{dm}}{A_c f_{ck}} = \frac{22470000}{1210000 \times 40} = 0.464 \leq 0.600 \quad (5.75)$$

$$N_{dm}(1.0G + 0.6 \times 1.0Q + 1.0E_x + 0.3E_y) = 20991.9kN = 20991900N \quad (5.76)$$

$$A_c = b_w d = 1100 \times 1100 = 1210000mm^2 \quad (5.77)$$

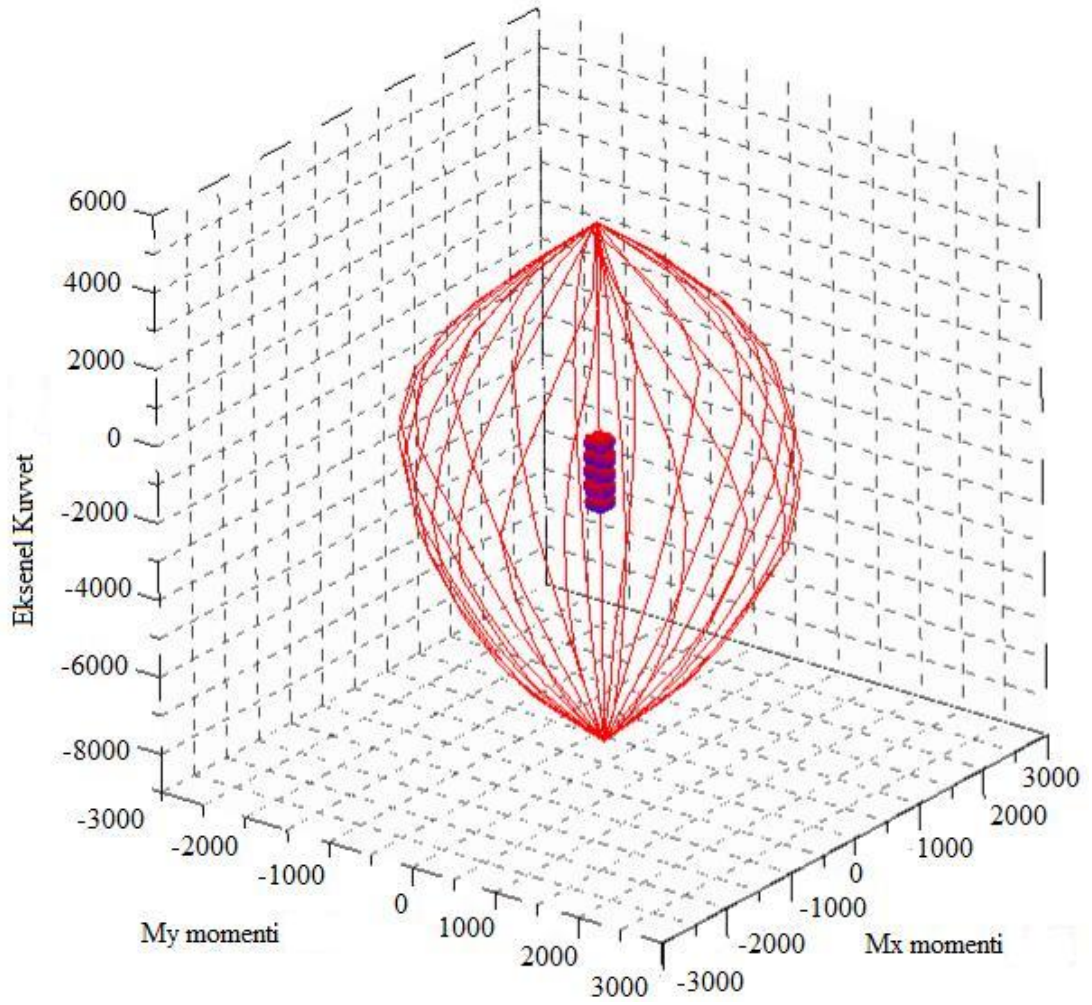
$$\frac{N_{dm}}{A_c f_{ck}} = \frac{20991900}{1210000 \times 40} = 0.4337 \leq 0.500 \quad (5.78)$$

Gereken boyuna donatı miktarının hesabı için, ETABS v9.50 programı ile betonarme tasarım yapılmış ve 20Φ32 boyuna donatı yerleşiminin uygun sonuç verdiği görülmüştür, Şekil 5.13.



Şekil 5.13 : Kolon boyuna ve enine donatıları.

DBYBHY-2007 Bölüm 2.7.5 teki Denk.2.12 gözönüne alınarak, yukarıda Bölüm 5.2.3.1 de verilen yük kombinasyonlarına göre hesaplanan kolon iç kuvvetleri TS-500/2000 e göre çizilen M_x - M_y - N karşılıklı etki diyagramında gösterilmiştir, Şekil 5.14.



Şekil 5.14 : 1.Kat S110 kolonunun M_x - M_y - N karşılıklı etkileşim diyagramı.

Diyagramda noktalarla gösterilen iç kuvvet durumlarının tümünün diyagramın içinde kaldığı ve bu nedenle kolonun eğilme kapasitesinin yeterli olduğu şekilden görülmektedir. Bu durum, ortada çekirdek perdesi bulunan tipik perde-çerçeve sistemlerdeki (*Dual Systems*) çevre kolonlarının (*Perimeter Frames*) genel olarak düşey yük taşıyan kolonlar (*Gravity Columns*) şeklinde davrandığını göstermektedir. Binaya etkiyen deprem kuvvetlerinin büyük bir bölümü çekirdek perde sistemi tarafından karşılanmaktadır.

Kolon enine donatısının (sargı donatısının) belirlenmesi

Kat:1, Aks: 1-1 deki S110 kolonunda

$$\frac{N_{dm}}{A_c f_{ck}} = 0.4337 > 0.20 \quad (5.79)$$

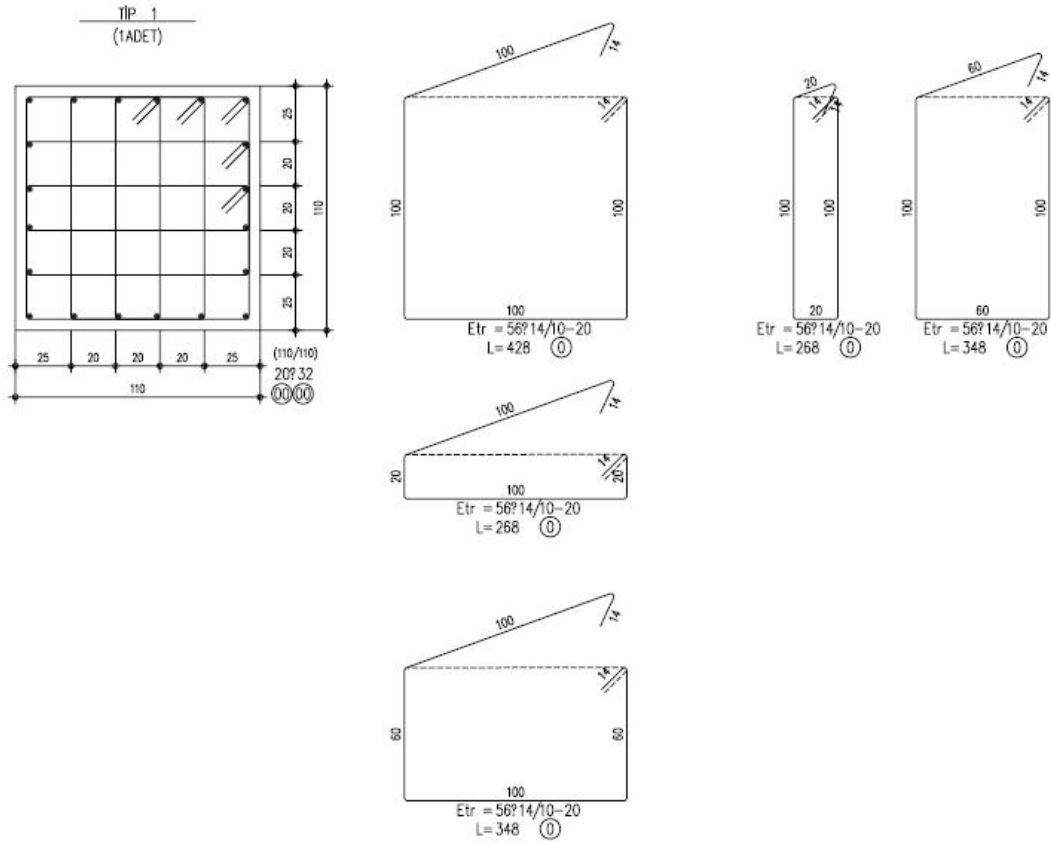
olduğundan, kolon sarılma bölgesindeki gerekli minimum enine donatı miktarı DBYBHY-2007 Bölüm 3.3.4.1 deki Denk. 3.1 e göre belirlenecektir. Enine donatı aralığı 100mm olarak seçilirse gerekli minimum enine donatı alanları

$$A_{sh} \geq 0.30 \times 100 \times 1000 \times \left[\left(\frac{1210000}{1000000} \right) - 1 \right] \times (40 / 420) = 600 \text{ mm}^2 \quad (5.80)$$

$$A_{sh} \geq 0.075 \times 100 \times 1000 \times (40 / 420) = 714.28 \text{ mm}^2 \quad (5.81)$$

Seçilen enine donatı $\Phi 14/10$ dış sargı +2 adet $\Phi 14/10$ iç sargı için bu koşullar sağlanmaktadır, Şekil 5.1

$$A_{sh} = 6 \times \left(\pi \times \frac{14^2}{4} \right) = 923.63 \text{ mm}^2 \quad (5.82)$$



Şekil 5.15 : Kolon etriye açılımı.

Kolon kesme güvenliği kontrolü

S110 kolonunun kesme güvenliği hesapları aşağıda açıklanmıştır. DBYBHY-2007 Bölüm 3.3.7.6 ya göre, kolon sarılma bölgesindeki enine donatının hesabında, sadece deprem yüklerinden oluşan kesme kuvvetinin depremli durumdaki toplam kesme kuvvetinin yarısından daha büyük olması ve aynı zamanda, aşağıda verilen (5.85)

eşitsizliğinin sağlanması halinde, betonun kesme dayanımına katkısı hesaba katılmayacaktır.

$$V_{EQX+EQY} > (V_{G+Q+EQX+EQY}) / 2 \quad (5.83)$$

$$V_{EQX+EQY} = 207.2kN; (V_{G+Q+EQX+EQY}) / 2 = 103.6kN \quad (5.84)$$

$$N_d \leq 0.05 A_c f_{ck} \quad (5.85)$$

$$\frac{N_d}{A_c f_{ck}} = \frac{20991900}{1210000 \times 40} = 0.433 > 0.05$$

koşullarından birincisi sağlanmakta, ikinci koşul sağlanmamaktadır. Bu durumda, betonun kesme dayanımına katkısı hesaba katılabilecektir.

TS500-2000 e göre, betonun kesme kuvveti kapasitesine katkısı

$$V_{cr} = 0.65 f_{ctd} A_c = 0.65(1.45)(1100 \times 1100) = 1140425N = 1140.425kN \quad (5.86)$$

değerini almaktadır. Burada kolon eksenel kuvvetinin kesme kuvveti kapasitesine etkisi terkedilmiştir.

$$V_c = 0.8V_{cr} = 0.8(1140.425) = 912.34kN \quad (5.87)$$

Enine donatının kesme kuvveti kapasitesine katkısı

$$\rho_{sh} = \frac{A_{sh}}{sb_k} = \frac{923.63}{(100)(1100 - 2 \times (50))} = 0.00923 \quad (5.88)$$

$$V_w = \rho_{sh} A_c f_{yd} = 0.00923 \times 1100^2 \left(\frac{420}{1.15} \right) = 4078857.39N = 4078.857kN \quad (5.89)$$

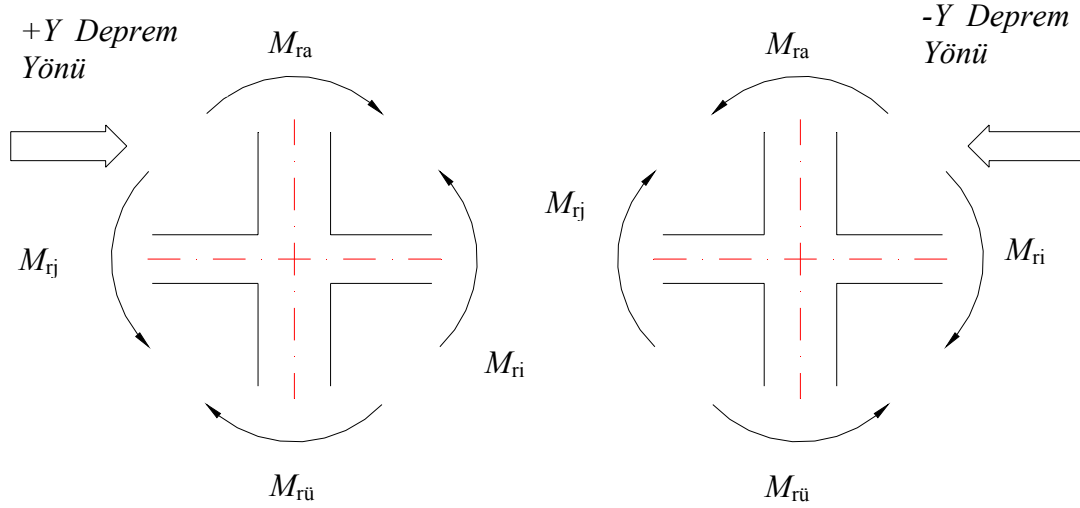
$$V_r = V_c + V_w = 912.34 + 4078.857 = 4991.197kN \quad (5.90)$$

olduğundan kesme güvenliği kontrolü sağlanmaktadır.

Kolonların kirişlerden daha güçlü olması koşulunun irdelenmesi

Bu bölümde, yukarıda eğilme tasarımı verilen S110 kolonunun üst ucundaki düğüm noktasında Deprem Yönetmeliği Madde 3.3.5.1 Denk. 3.3 e göre kolonların kirişlerden daha güçlü olması koşulu irdelenmiştir. Bu koşulun süneklik düzeyi yüksek çerçeve sistemlerde Yönetmelik Madde 3.3.6 da belirtilen durumlar dışında bütün düğüm noktalarında sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmiş ve tüm düğüm noktalarında söz konusu koşulun sağlandığı görülmüştür. Aşağıda, örnek olarak tek

bir düğüm noktası için bu hesaplar verilmiştir. Hesapta yer alan 2. Kat S210 kolonunun donatısı S110 kolonunun donatısı ile aynıdır. Yönetmelik Denk. 3.3 koşulu Y-Y doğrultusu için hesaplanmıştır, Şekil 5.16.



Şekil 5.16 : Daha güçlü kolon kontrolü.

+Y yönü deprem için kontrol:

$$M_{ra} = 4013 \text{ kNm}$$

$$M_{r\bar{u}} = 4187 \text{ kNm}$$

$$M_{ri} = 737.62 \text{ kNm}$$

$$M_{rj} = 737.62 \text{ kNm}$$

$$(M_{ra} + M_{r\bar{u}}) \geq 1.2 \times (M_{ri} + M_{rj}) \quad (5.91)$$

$$\frac{M_{ra} + M_{r\bar{u}}}{M_{ri} + M_{rj}} = \frac{4013 + 4187}{737.62 + 737.62} = 5.56 > 1.20 \quad (5.92)$$

Görüldüğü gibi, incelenen kolon-kiriş birleşim bölgesinde daha güçlü kolon koşulu sağlanmaktadır.

DBYBHY-2007 Madde 3.3.7 ye göre kolon kesme kuvveti hesabı

2007 TDY Madde 3.3.7.2 ye göre, kolonların enine donatı hesabında esas alınacak olan V_e kesme kuvvetinin hesabında, M_u kolona üst düğüm noktasından bağlanan kirişlerin pekleşmeli taşıma gücü momentlerinin toplamının analizden elde edilen kolon momentleri oranında dağıtımı ile belirlenir. Yönetmelik 3.3.7.4 e göre, temele

bağlanan kolonların alt ucundaki M_a momenti de, Yönetmelik 3.3.7.3 e göre pekleşmeli moment kapasitesine eşit olarak hesaplanmıştır.

$$M_{ri} = 737.62 \text{ kNm}$$

$$M_{rj} = 737.62 \text{ kNm}$$

$$M_{pi} = 1.4M_{ri} = 1.4 \times 737.62 = 1032.67 \text{ kNm} \quad (5.93)$$

$$M_{pj} = 1.4M_{rj} = 1.4 \times 737.62 = 1032.67 \text{ kNm} \quad (5.94)$$

$$\sum M_p = M_{pi} + M_{pj} = 1032.67 + 1032.67 = 2065.34 \text{ kNm} \quad (5.95)$$

$$M_u = \sum M_p \frac{282.61}{282.61 + 364.86} = 901.49 \text{ kNm} \quad (5.96)$$

$$M_a = 1.4M_{ra} = 1.4 \times 4013 = 5618.2 \text{ kNm} \quad (5.97)$$

$$V_e = \frac{M_a + M_u}{l} = \frac{5618.2 + 901.49}{4} = 1629.92 \text{ kN} \quad (5.98)$$

Yönetmelik Madde 3.3.7.1 e göre düşey yükler ile birlikte $R_a=2$ alınarak kesme kuvveti hesaplanmış ve bu değerin yukarıda hesaplanan V_e ’ den küçük olup olmadığı kontrol edilmiştir.

$$V = 409.55 \text{ kN} (R_a = 2 \text{ için hesaplanan kesme kuvveti.})$$

$$V = 409.55 \text{ kN} < V_e = 1629.92 \text{ kN} \quad (5.99)$$

Buna göre hesaplarda dikkate alınacak kesme kuvveti, $V_e=409.55 \text{ kN}$ ’ dur.

Bu değer kullanılarak Yönetmelik Madde 3.3.7.5 e göre kesme güvenliği kontrolü yapılmıştır.

V_e ’ nin, deprem ve düşey yükler etkisi altında oluşan kesme kuvveti, V_d ’ den daha büyük olduğu aşağıda görülmektedir.

$$V_e = 409.55 \text{ kN} > V_{G+Q+EQ_x+EQ_y} = 212.44 \text{ kN} \quad (5.100)$$

Ayrıca Yönetmelik Denk. 3.7 ile verilen koşullar aşağıda kontrol edilmiştir.

$$V_e \leq V_r \quad (5.101)$$

$$V_e = 409.55 \text{ kN} \leq V_r = 4991.197 \text{ kN}$$

$$V_e \leq 0.22 A_w f_{cd} \quad (5.102)$$

$$V_e = 409.55 \text{ kN} \leq 0.22 \times (1100 \times 1100) \frac{40}{1.5} = 7187400 \text{ N} = 7187.44 \text{ kN}$$

Görüldüğü gibi, S110 kolonunun kesme güvenliği sağlanmaktadır.

Örnek betonarme kolon-kiriş birleşim bölgesi kesme güvenliği kontrolü

K119-K120 kirişleri ile S110-S210 kolonları arasında kalan birleşim bölgesi Yönetmelik Madde 3.5.1 e göre kuşatılmamış birleşim bölgesi olarak tanımlanmıştır.

$$b_{w1} = b_{w2} = 100 \geq 3/4h = 3/4 \times 70 = 52.5 \quad (5.103)$$

$$b_{w4} = 100 \geq 3/4h = 3/4 \times 52.5 \quad (5.104)$$

$$b_{w3} = 0 \quad (5.105)$$

Y-Y deprem doğrultusu için:

$$A_{s1}=31.85\text{cm}^2$$

$$A_{s2}=31.85\text{cm}^2$$

$$V_{kol}=142.38\text{kN}$$

$$V_e = 1.25 f_{yk} (A_{s1} + A_{s2}) - V_{kol} \quad (5.106)$$

$$V_e = 1.25 \times (42) \times (31.85 + 31.85) - 142.38 = 3201.87\text{kN}$$

$$b_{w1} = b_{w2} < b \quad (5.107)$$

$$b_j = 2 \min(b_1, b_2) = 2 \times 55 = 110\text{cm}$$

$$h = 110\text{cm}$$

Yönetmelik Madde 3.5.2.2 (b) ye göre:

$$V_e \leq 0.45 b_j h f_{cd} \quad (5.108)$$

$$V_e = 3201.87\text{kN} < 0.45 \times 110 \times 110 \times \left(\frac{4.0}{1.5} \right) = 9075\text{kN}$$

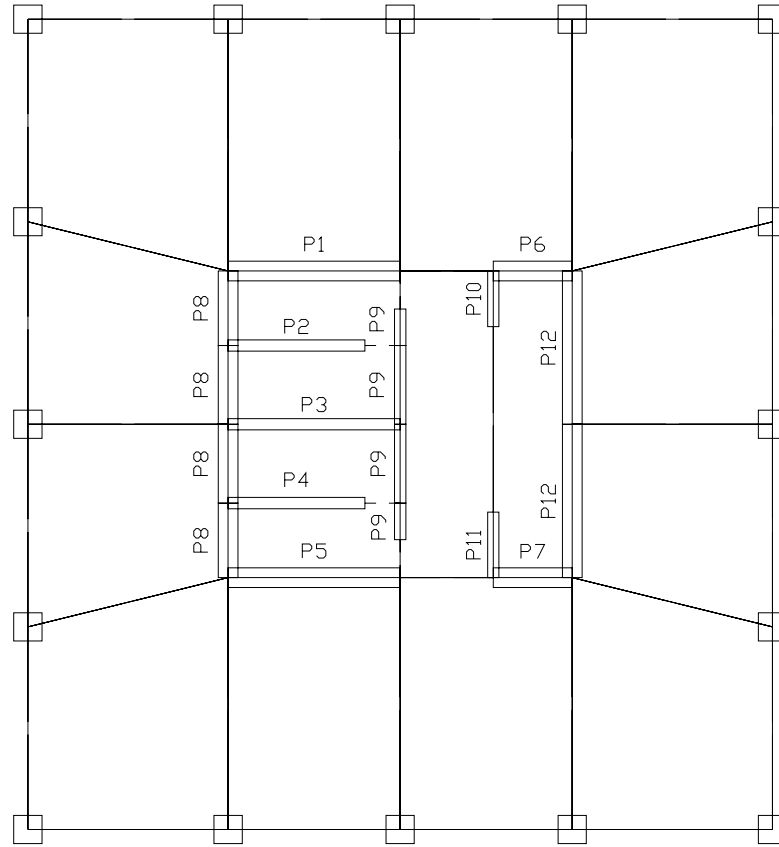
Sonuç olarak, kiriş kolon birleşim bölgelerinde kesme güvenliğinin sağlandığı görülmektedir.

Yapıdaki tüm kolonların seçilen donatıları Ek A, Çizelge A.15 te verilmiştir. Bu donatıların seçiminde kolonlar kenar kolonlar ve köşe kolonlar olmak üzere 2 tip olarak düşünülmüş ve kenar kolonlar “TİP1” köşe kolonlar “TİP2” olarak tanımlanmıştır.

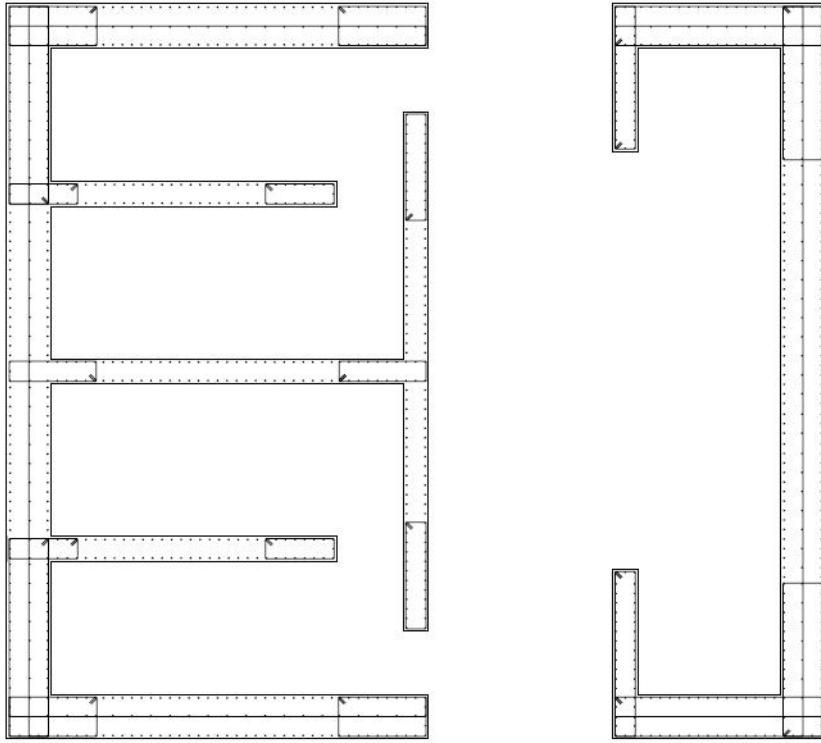
5.2.3.5 Perde betonarme hesapları

Bu bölümde, binanın ana taşıyıcı sistemi olan P1 perdesinin 1. katının örnek tasarımı sunulacaktır, Şekil 5.17. Yönetmelik Madde 3.6.2.1 e göre $H_w/l_w > 2.0$ olduğundan, U şeklindeki perdenin planında aşağıdaki şekilde gösterilen perde uç bölgeleri

oluşturulmuştur, Şekil 5.18. Yönetmelik Madde 3.6.2.3 e göre perde uç bölgelerinin plandaki uzunluğu, kritik perde yüksekliği boyunca perde boyunun %20' si, kritik perde yüksekliği üzerinde ise perde boyunun %10' u olarak belirlenmiş ancak perde kalınlıklarının fazla olmasından dolayı, tüm katlarda uç bölgesi uzunluğu perde uzunluğunun %20' si olacak şekilde teşkil edilmiştir. Kritik perde yüksekliği $H_w/6=28\text{m}$ olarak alınmıştır. Bu yükseklik binada 7. Kata karşı gelmektedir. Bu kritik perde yüksekliği Yönetmelik Denk. 3.15 koşullarını sağlamaktadır. Gereken perde boyuna donatısının hesabında, çeşitli yük kombinasyonları için ayrıntıları burada sunulmayan deneme yanılma işlemi uygulanmıştır. Seçilen boyuna donatı düzeni Şekil 5.18 de görülmektedir. Buna göre perde uç bölgesine $\Phi 26/15$, gövde bölgesinde ise her iki yüzde ise $\Phi 14/15$ donatı yerleştirilmiştir.



Şekil 5.17 : Çekirdek perde yerleşimi.



Şekil 5.18 : Çekirdek perdesi donatı yerleşimi.

Deprem Yönetmeliği Madde 3.6.3 e göre, perde gövde donatısı oranı kritik perde yüksekliği boyunca

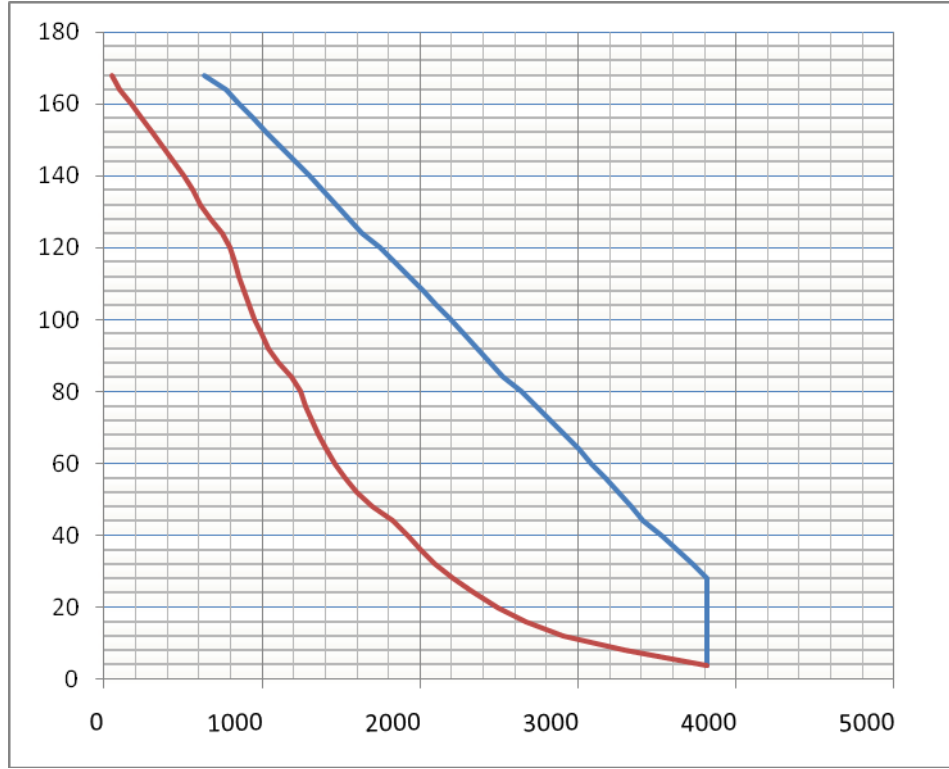
$$\rho = 62 \times 1.54 / (665 - 2 \times 145) / 70 = 0.00364 > 0.0025 \quad (5.109)$$

koşulunu sağlamaktadır.

Benzer şekilde, Yönetmelik Madde 3.6.5 e göre kritik perde yüksekliği boyunca perde uç bölgesi donatı oranı da

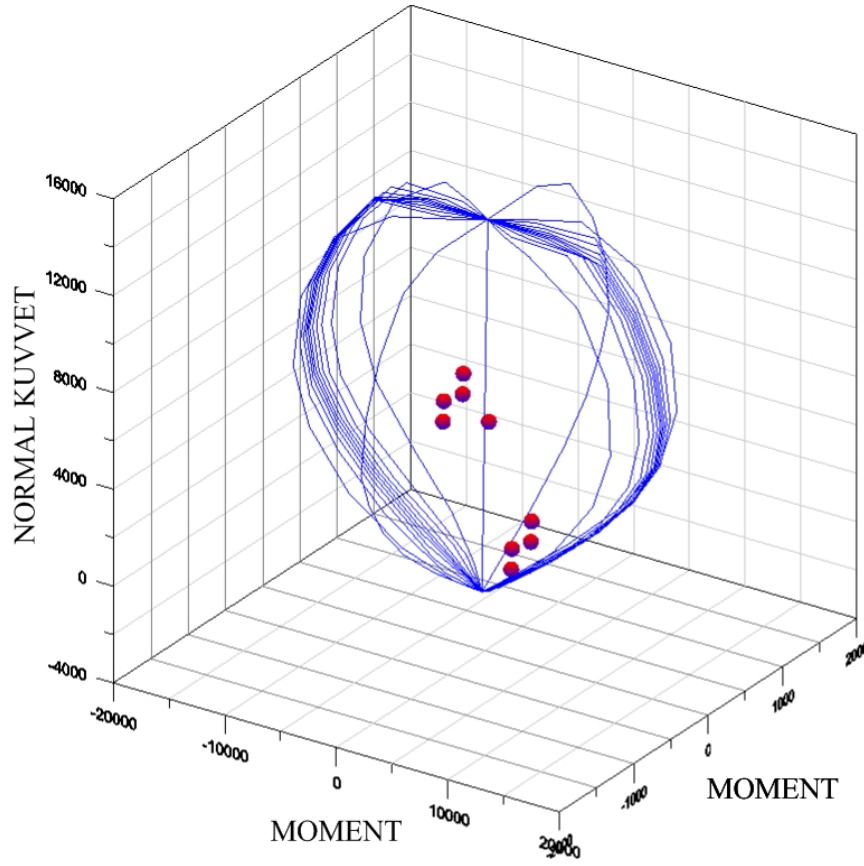
$$\rho = 25 \times 5.31 / (665 \times 70) = 0.00285 > 0.002 \quad (5.110)$$

Koşulunu sağlamaktadır. Perdenin tasarım eğilme momentleri Yönetmelik Madde 3.6.6 ya göre hesaplanmıştır. Tasarıma esas eğilme momenti diyagramı aşağıda gösterilmiştir, Şekil 5.19.

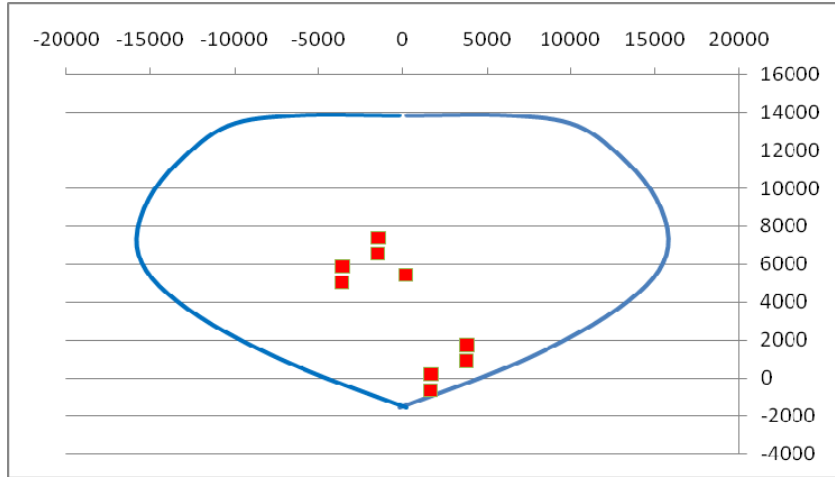


Şekil 5.19 : P1 perdesinde tasarıma esas olan eğilme momenti diyagramı.

Yönetmelik Madde 3.7.5 teki Denk 2.12 de gözönüne alınarak, yukarıda Bölüm 5.3.2.1 de verilen yük kombinasyonlarına göre hesaplanan perde iç kuvvetleri TS-500 e göre çizilen M_x - M_y - N karşılıklı etki diyagramında gösterilmiştir, Şekil 5.20. Karşılıklı etki diyagramının daha açık olarak değerlendirilebilmesi için, ayrıca perdenin kuvvetli eksenini tarafındaki bileşik eğilmesi için karşılıklı etki diyagramı da verilmiştir, Şekil 5.21. Diyagramlarda noktalarla gösterilen iç kuvvet durumlarının tümünün diyagramın içinde kaldığı ve perde eğilme kapasitesinin yeterli olduğu şekillerden görülmektedir.



Şekil 5.20 : P1 perdesi M_X - M_Y - N etkileşim diyagramı.



Şekil 5.21 : P1 perdesi M_X - N etkileşim diyagramı.

Dikdörtgen perde uç bölgesi sargı donatısının belirlenmesi

Deprem Yönetmeliği Madde 3.6.5.2 ye göre, perde kritik yüksekliği boyunca perde uç bölgelerinde sargı donatısı aralığı 100mm seçilirse, Madde 3.3.4.1, Denk 3.1 in ikinci koşulu uyarınca

$$N_d \leq 0.2 A_c f_{ck} \quad (5.111)$$

$6969.053kN < 0.2 \times 70 \times 610 \times 4.0 = 34160kN$ olduğundan

$$A_{shx} \geq (2/3) \times 0.075 \times 100 \times 600 \times (40/420) = 285.71mm^2 \quad (5.112)$$

$$A_{shy} \geq (2/3) \times 0.075 \times 100 \times 1350 \times (40/420) = 642mm^2$$

seçilen enine donatı $\Phi 22/10$ çap ve aralığında dikdörtgen dış sargı ile 1 adet iç sargıdan oluşmaktadır.

Dikdörtgen perdenin kesme güvenliği kontrolü

Deprem Yönetmeliği Madde 3.6.7 ye göre, P1 perdesinin kritik perde yüksekliği içindeki kesme güvenliği hesapları aşağıda verilmiştir. Yatay gövde donatısı olarak $\Phi 22/10$ donatı yerleştirilmiştir. Yönetmelik Madde 3.6.3.3 uyarınca, perde gövdesinin her metrekaresinde kritik perde yüksekliği boyunca 12 adet $\phi 10$, kritik perde yüksekliğinin üzerinde ise 6 adet $\phi 10$ özel deprem çirozu kullanılmıştır.

Yönetmelik Madde 3.6.3.1 e göre

$$\rho_{sh} = \frac{A_{sh}}{sb_k} = \frac{(320/10) \times 3.8 \times 3}{70 \times 320} = 0.0162 > 0.0025 \quad (5.113)$$

koşulu sağlanmaktadır.

Yönetmelik Madde 3.6.7.1 e göre perdenin kesme kuvveti dayanımı

$$V_r = A_{ch} (0.65 f_{ctd} + \rho_{sh} f_{ywd}) \quad (5.114)$$

$$(0.7 \times 6.1)(0.65 \times 1450 + 0.0162 \times 365000) = 29272.985kN$$

Yönetmelik Madde 3.6.6.3 e göre, enine donatı hesabında esas alınacak tasarım kesme kuvveti V_e Yönetmelik Denk. 3.16 ile hesaplanacaktır. Buna göre

$$V_e = \beta_v \frac{(M_p)_t}{(M_d)_t} V_d \quad (5.115)$$

$$(M_r)_t = 56959kNm$$

$$(M_p)_t = 1.25 \times (M_r)_t = 71198.75kNm$$

$$(M_d)_t = 18596kNm$$

$$V_d = 6833kN$$

$$\beta_v = 1.5 (\text{kesme kuvveti dinamik büyütme katsayısı})$$

Tasarım kesme kuvveti

$$V_e = 1.5 \times (71198.75 / 18596) \times 6833 = 39242.395 \text{ kN}$$

Yönetmelik Madde 3.6.6.3 e göre düşey yükler ile birlikte $R_a=2$ alınarak perde kesme kuvveti hesaplanmış ve yukarıda hesaplanan V_e ' den küçük olup olmadığı kontrol edilmiştir.

$$V = 6005 \text{ kN} (R_a = 2 \text{ için hesaplanan kesme kuvveti.})$$

$$V_e = 39242.395 \text{ kN} > V = 6005 \text{ kN}$$

Yönetmelik Madde 3.6.6.3 e göre, hesaplarda dikkate alınacak kesme kuvveti, $V_e = 6005 \text{ kN}$ değerini almaktadır.

Yönetmelik Denk. 3.18 ile verilen koşullar aşağıda kontrol edilmiştir.

$$V_e \leq V_r \quad (5.116)$$

$$V_e \leq 0.22 A_{ch} f_{cd} \quad (5.117)$$

$$V_e = 6005 \text{ kN} < V_r = 29272 \text{ kN}$$

$$V_e \leq 0.22 (0.7 \times 6.1) \frac{40000}{1.5} = 25050.7 \text{ kN}$$

Yönetmelik Madde 3.6.7.2 ye göre perdenin temele bağlantı düzeyinde kesme sürtünmesi hesabı aşağıda yapılmıştır.

$$V_r = A_{wf} f_{yd} \mu \quad (\text{TS - 500, Denk. (8.8)}) \quad (5.118)$$

$$V_r = (376.9) \times 36.5 \times 0.6 = 8254.33 \text{ kN}$$

$$V_e < V_r$$

olduğundan, kesme sürtünmesi koşulunu sağlamıştır.

Sonuç olarak, yapı sistemindeki perdelerin statik ve betonarme hesabı DBYBHY-2007 Bölüm 3 e göre tamamlanmış ve elde edilen sonuçlar Ek A, Çizelge A.16 ve Çizelge A.17 de topluca sunulmuştur.

5.3 Yapının İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği' ne Göre Tasarımı

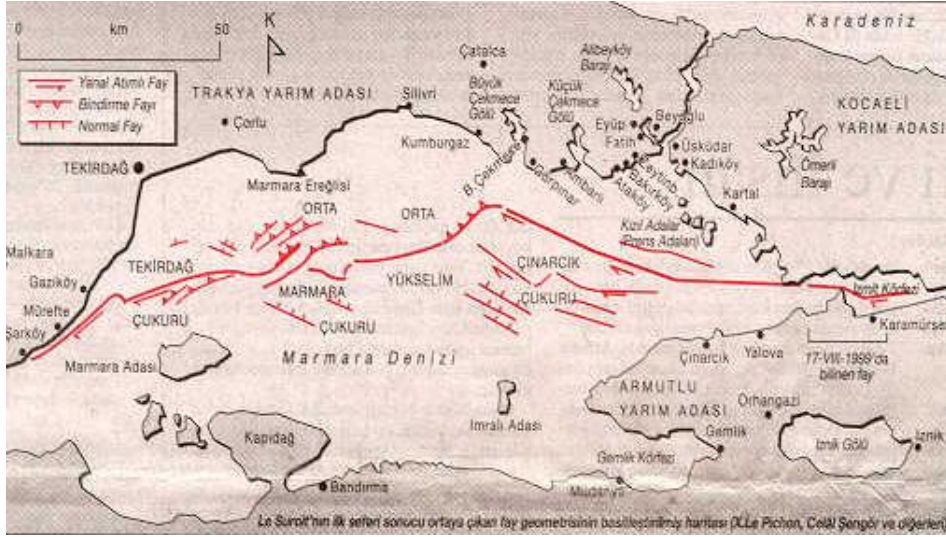
Çalışmanın bu bölümünde incelenen bina taşıyıcı sisteminin *İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği'* nde tanımlanan D2 depremine göre doğrusal olmayan analizi ve değerlendirilmesi yapılmıştır. Bunun için, ilk olarak deprem etkileri tanımlanmış, bölgedeki mevcut deprem tehlikeleri değerlendirilmiş, deprem tasarım spektrumları belirlenmiş ve bu spektrumlar ile uyumlu kuvvetli yer hareketleri seçilmiştir. Malzeme dayanımı olarak *ortalama (expected) dayanım* değerleri kullanılmış ve analizlerde yapı elemanlarının etkin rijitlik değerleri esas alınmıştır.

5.3.1 Deprem etkilerinin tanımlanması

Yapılarda deprem etkilerine göre tasarım yapabilmek amacıyla, tasarım bazlı yer hareketinin elde edilmesindeki esaslar mevcut deprem yönetmeliklerinde yer almaktadır. Bu yönetmeliklerden Türkiye’ de en yaygın olarak kullanılan ve bilinenleri, Türk Deprem Yönetmeliği (DBYBHY-2007), Eurocode8 (EC8-2003), International Building Code (IBC-2006) ve 2008 senesinde İstanbul Büyükşehir Belediyesi için hazırlanan İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği’ dir (İYBDY-2008). Bunlardan İYBDY-2008 de tanımlanan D2 deprem düzeyi, yönetmelik kapsamındaki yüksek binaların servis ömürleri boyunca meydana gelmesi olasılığı çok fazla olmayan, seyrek ancak şiddetli deprem yer hareketlerini ifade eder. D2 düzeyindeki depremin 50 yılda aşılma olasılığı %10, buna karşı gelen dönüş periyodu ise 475 yıldır. Bu çalışma kapsamındaki yapının inşa edilmesi düşünülen bölgenin zemin koşulları ve yapı yükseklikleri gözönünde bulundurularak, İYBDY-2008 de verilen D2 deprem düzeyi için kısa doğal titreşim periyodu (0.2s) ve 1.0s’ lik doğal titreşim periyoduna karşılık gelen S_s ve S_1 yatay deprem spektral ivme değerleri, referans olarak alınan C zemin sınıfı için belirlenecektir. Yapının doğrusal olmayan analizinde kullanılacak olan deprem spektrumunun belirlenmesinde esas alınacak olan spektral ivme değerleri, yukarıda belirtilen S_s ve S_1 spektral ivme değerleri F_a ve F_v zemin etki parametreleri ile çarpılarak elde edilecektir. İncelenen bina İYBDY-2008 e göre *normal sınıf* olarak tanımlanmakta ve bu tür binaların deprem performanslarının D2 deprem etkisi altında *Kontrollü Hasar/Can Güvenliği* bölgesinde olması öngörülmektedir.

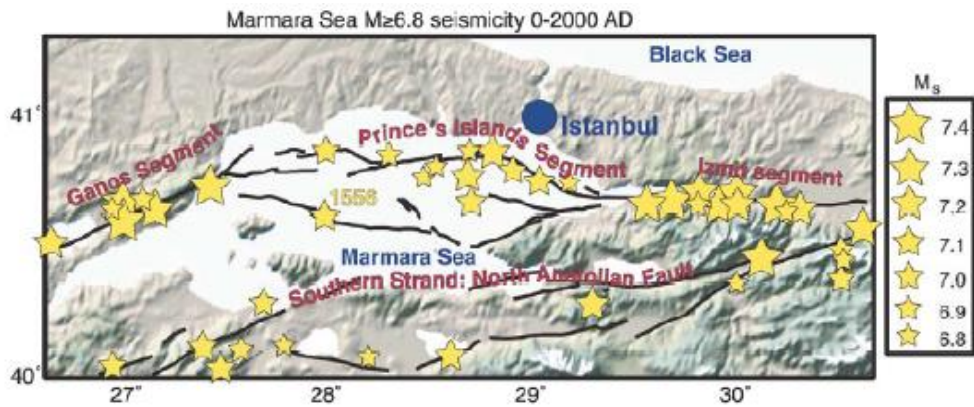
İstanbul ve çevresinin deprem tehlikesi analizleri üzerinde ayrıntılı olarak çalışılan konulardan biridir [55, 56, 57]. Bir bölgede deprem tehlikesinin değerlendirilmesi aşamasında, bölgenin sismoteknik yapısı (faylanma mekanizmaları ve fay özellikleri), bölgede geçmişte yaşanmış tarihsel ve aletsel deprem kayıtları, bölgenin yerel jeolojisi ve zemin koşulları gözönüne alınmalıdır. Sayısal incelemelere konu olan binanın inşa edilmesi planlanan bölge Şekil 5.22 de görülmektedir. Yapıyı etkileyecek büyüklükteki depremlerin Marmara Denizi’ nde bulunan aktif fay sisteminden kaynaklanması öngörülmektedir. Marmara fay sistemindeki tektonik birimler ve bu birimlerin bağlı olduğu Kuzey Anadolu Fay Zonu çeşitli araştırmacılar tarafından incelenmiş olup bu bölge ile ilgili olarak iki önemli model geliştirilmiştir.

Le Pichon vd. [58] tarafından yapılan çalışmada kuzey anadolu fayı Marmara denizinin kuzeyine doğru boydan boya uzanan sağ yanal atımlı bir fay olarak tanımlanır, Şekil 22.



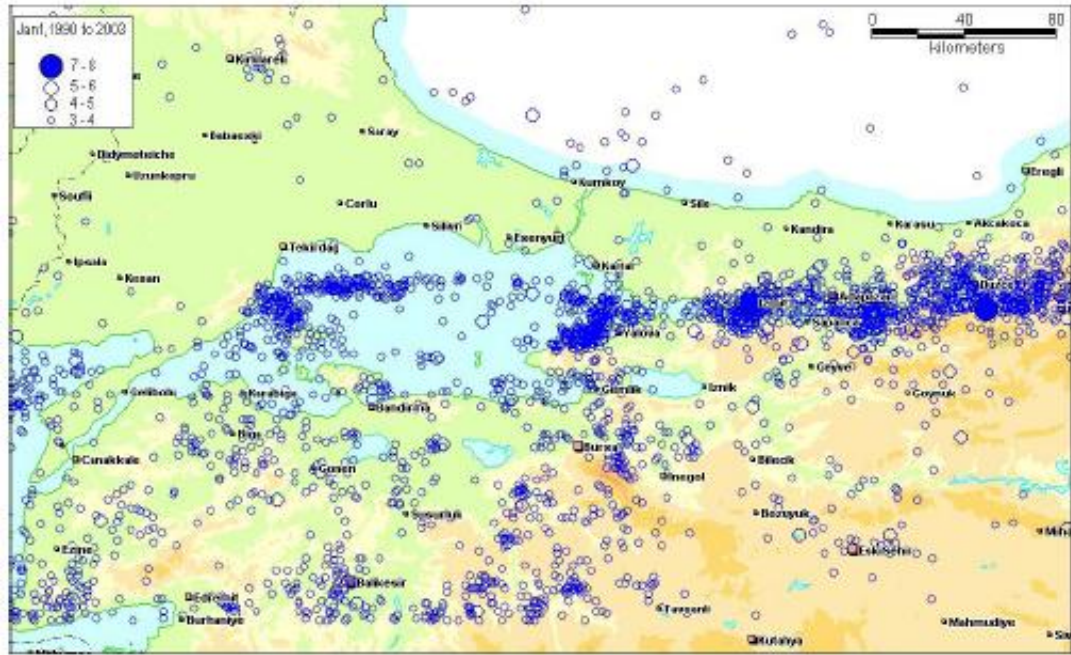
Şekil 5.22 : Le Pichon modeline göre Marmara Denizi tektonik yapısı.

İstanbul tarih boyunca birçok yıkıcı depreme maruz kalmıştır. İstanbul 4. ve 19. yüzyıllar arasında 32 adet çeşitli büyüklükte depremden etkilenmiştir. Bu durum, İstanbul şehrinin ortalama olarak her 50 yılda bir orta şiddette depreme, her 300 yılda bir de çok şiddetli depreme maruz kaldığını göstermektedir. Marmara bölgesini etkilemiş olan tarihsel depremlerin makrosismik verilere göre bulunan tahmini kaynakları Şekil 5.23 te gösterilmiştir.



Şekil 5.23 : Kuzey Anadolu Fay Zonunun Marmara Denizi içerisindeki durumu ve $M_s > 6.6$ büyüklüğündeki depremlerin dağılımı

Şekil 5.24 te ise, bölgede son yıllarda (1990-2000) oluşan, aletsel büyüklüğü 3 ten büyük depremlerin bölgedeki dağılımı görülmektedir. Bu bilgiler ışığında, İstanbul ve çevresinde yapılması öngörülen yüksek binaların zaman tanım alanında hesap yöntemi ile analizinde kullanılacak olan depremin özellikleri geçmiş depremler ile uyumlu olarak seçilmelidir.



Şekil 5.24 : Aletsel büyüklüğü $M > 3$ olan depremler

Yapının inşa edilmesi öngörülen alandaki deprem tehlikesinin olasılıksal değerlendirilmesinde, İYBDY-2008 Ek A da verilen *Deprem Tehlikesi Haritaları* kullanılmıştır. Bina inşa alanının lokasyonu (Şekil 5.25) için D2 deprem düzeyine karşılık gelen S_s ve S_1 spektral ivme değerleri Çizelge 5.6 da verilmiştir.

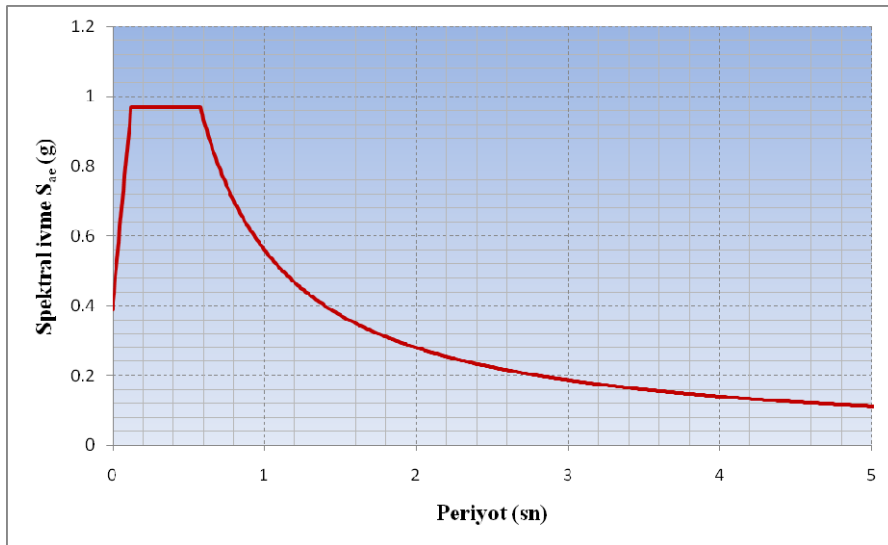
Çizelge 5.6 : Olasılıksal spektral ivme değerleri.

Tasarım Depremi	Ortalama Dönüş Periyodu Aşılma Olasılığı	$S_s=0.2s_n$ Spektral İvme [g]	$S_1=1.0s_n$ Spektral İvme [g]
D2-Depremi	475yıl 50 yılda %10	0.95	0.40



Şekil 5.25 : Yapının inşa edilmesi planlanan bölge

Çalışmanın bu bölümünde, tasarımda esas alınacak D2 deprem düzeyi için *Deprem Tasarım Spektrumu*' nun elde edilmesinde İYBDY-2008 de tanımlanan kısa doğal titreşim periyodu ve 1.0s' lik doğal titreşim periyoduna karşı gelen yatay deprem spektral ivme değerleri $S_s(0.2s)$ ve $S_1(1.0s)$ kullanılmıştır. Yapının inşa edilmesi öngörülen alandaki zemin sınıfı C olarak değerlendirilmiştir. Bu zemin sınıfı için kısa ve 1.0s' lik doğal titreşim periyodlarına karşı gelen spektral ivme değerleri S_{MS} ve S_{M1} , S_s ve S_1 ' in sırası ile F_a ve F_v zemin etkisi parametreleri ile çarpılması ile elde edilmiştir. D2 deprem düzeyi için elde edilen deprem tasarım spektrumu Şekil 5.26 da verilmiştir.



Şekil 5.26 : D2 deprem düzeyi için deprem tasarım spektrumu

Yapı için spektrum uyumlu deprem yer hareketlerinin seçilmesinde, yukarıda Bölüm 4.1.4 te belirtilen kurallar aşağıdaki gibi uygulanmıştır,

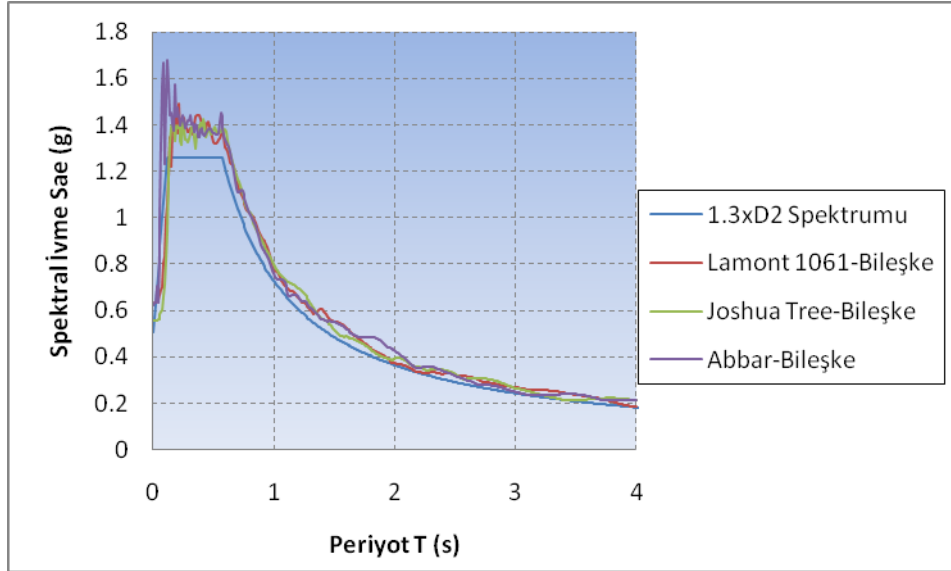
- a) Deprem yer hareketlerinin seçilmesinde *Peer NGA Veri Bankası* kullanılmıştır.
- b) D2 depremi olarak, moment büyüklüğü $M_w=7.0-7.5$ arasında bulunan, deprem kaynak mekanizması yanal atımlı olan, Zemin sınıfı B veya C olan deprem yer hareketleri seçilmiştir.
- c) Seçilen deprem yer hareketlerinin fay hattına en yakın mesafesi 12km-35km arasında değişmektedir.
- d) Yapının periyodunun 3.5-4.0sn aralığında olduğu öngörülmüştür. Buna göre, seçilen deprem yer hareketlerinden elde edilen bileşke spektrumun D2 deprem düzeyi için 0.2s-4s periyodları arasındaki genlikleri İYBDY-2008 e uygun olarak ölçeklendirilmiştir.
- e) Ölçeklendirilen deprem hareketleri içinden deprem tasarım spektrumuna en uygun olan 3 kayıt seçilmiştir. Deprem tasarım spektrumu ile zaman tanım alanında ölçeklendirilmiş deprem yer hareketlerinin spektrumları tam uyumlu olmadığından ölçeklendirme frekans alanında yapılmıştır.
- f) Tüm tasarım spektrumları ve bileşke spektrumlar, %5 sönüm oranı için elde edilmiştir.
- g) Bileşke spektrum, deprem yer hareketinin iki bileşenine ait spektrumların karelerinin toplamının karekökü alınarak elde edilmiştir.
- h) Hareketli yük katılım katsayısı İYBDY-2008 Madde 4.1.6 ya göre 0.1 olarak alınmıştır.

Yukarıda belirtilen özelliklere uygun olarak seçilen 3 deprem yer hareketinin karakteristik özellikleri Çizelge 5.7 de verilmiştir. Seçilen deprem yer hareketleri Manjil, İran (1990); Düzce (1999) ve Hector Mine (1999) depremlerine ait deprem yer hareketi kayıtlarıdır. Hesaplamalarda, her deprem yer hareketine ait iki farklı bileşen kullanılmıştır. Bu deprem kayıtlarının ölçeklenmiş ivme, hız, deplasman, spektral ivme ve D2 düzeyi tasarım spektrumları Ek A, Şekil A.2, Şekil A.3, Şekil A.4, Şekil A.5, Şekil A.6 ve Şekil A.7 de verilmiştir.

Çizelge 5.7 : Seçilen deprem yer hareketlerinin karakteristik özellikleri.

Deprem	Moment M_w	Fay Mek.	İstasyon	Bileşen (H1)	Bileşen (H2)	Epicentral Uzaklık (km)	En Kısa Uzaklık (km)	Zemin (NEHRP)
Manjil Iran 20.06.1990	7.4	Yanal Atımlı	Abbar	ABBAR--L.AT2	ABBAR--T.AT2	40.4	12.6	C
Duzce 12.11.1999	7.1	Yanal Atımlı	Lamont 1061	1061-N.AT2	1061-E.AT2	31.6	11.5	C
Hector Mine 16.10.1999	7.1	Yanal Atımlı	Joshua Tree	22170090.AT2	22170360.AT2	52.3	31.1	C

Seçilen depremlerin bileşke spektrumlarının D2 spektrumunun 1.3 katı ile karşılaştırılması Şekil 5.27 de görülmektedir.



Şekil 5.27 : D2 deprem düzeyi spektrumunun 1.3 katı ile seçilen deprem yer hareketlerinin spektrumlarının bileşkelerinin karşılaştırılması

5.3.2 Malzeme Bilgileri

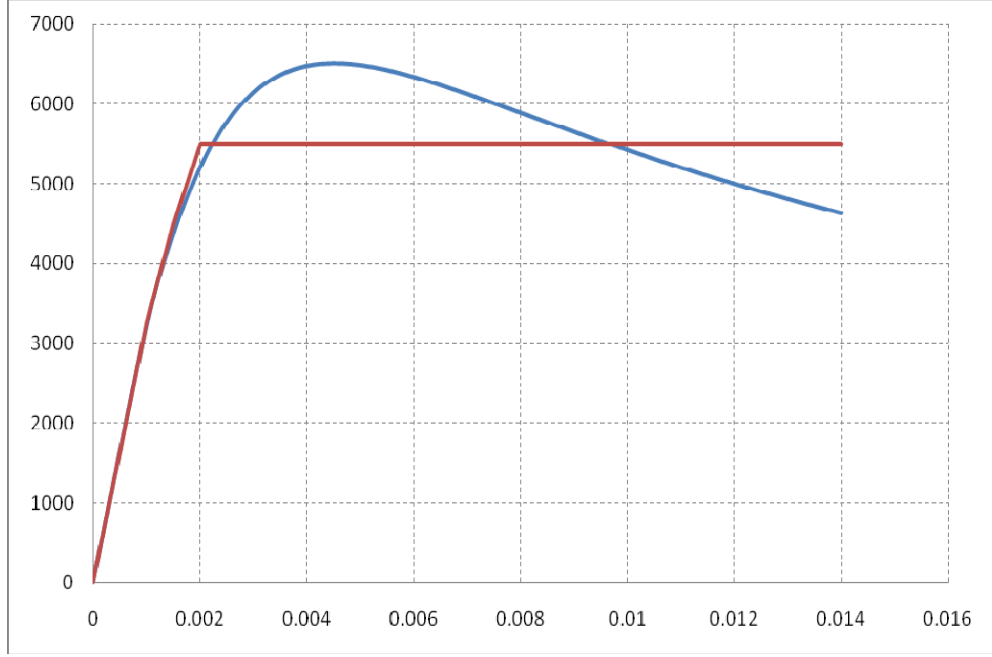
Malzeme dayanımı olarak İYBDY-2008 de beton ve donatı için öngörülen *ortalama dayanım* (f_e) kullanılmış, malzeme güvenlik katsayıları gözönüne alınmamıştır. Ortalama dayanım değerleri ile karakteristik dayanım değerleri arasında aşağıdaki ilişkiler kullanılmıştır.

$$\text{Beton için ;} \quad f_{ce} = 1.3 f_{ck} \quad (5.119)$$

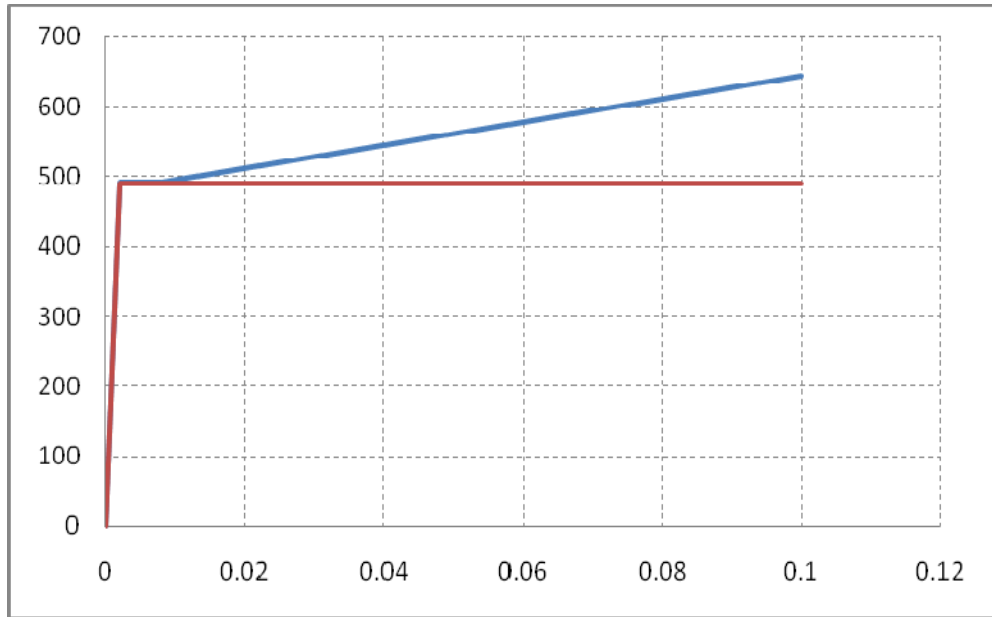
$$\text{Donatı çeliği için ;} \quad f_{ye} = 1.17 f_{yk} \quad (5.120)$$

Analiz modelinde kolaylık sağlanması amacıyla, malzeme modelleri bi-lineer (iki doğrulu) olarak modellenmiştir, Şekil 5.28 ve Şekil 5.29. Ayrıca betone modeli için

Türk Deprem Yönetmeliği-2007 (DBYBHY-2007) Bilgilendirme Eki 7B de tanımlanan sargılı beton modeli kullanılmıştır. Sargılı beton modeli her eleman için ayrı ayrı tanımlanmamış, yapı elemanlarında bulunan ortalama sargı donatısı miktarı dikkate alınarak tek bir beton modeli esas alınmıştır.



Şekil 5.28 : Ortalama dayanımlı-sargılı beton modeli gerilme-şekildeğiştirme eğrisi ve idealleştirilmiş beton modeli gerilme-şekildeğiştirme eğrisi



Şekil 5.29 : Ortalama dayanımlı donatı gerilme-şekildeğiştirme eğrisi ve iki doğrulu donatı gerilme-şekildeğiştirme eğrisi

Bölüm 5.3.1 ve 5.3.2 de verilen bilgiler doğrultusunda, yapının zaman tanım alanında doğrusal olmayan üç boyutlu analizi yapılmıştır. Bu analizde üç adet deprem çifti kullanılmıştır ve bunlardan en elverişsiz iç kuvvet, şekildeğiştirme ve yerdeğiştirme değerlerini veren depremin meydana getirdiği iç kuvvetler, şekildeğiştirmeler ve yerdeğiştirmeler İYBDY-2008 in verdiği sınır değerler ile karşılaştırılmıştır. Aşağıda bu sonuçlar verilerek irdelenecektir.

5.3.3 Eleman etkin rijitlikleri

Betonarme çubuk olarak idealleştirilen çerçeve elemanlarda çatlamış kesite ait *etkin eğilme rijitlikleri* gözönüne alınmıştır. Bu etkin eğilme rijitlikleri için, ilk olarak, her kesitin eğilme momenti-eğrilik diyagramından yararlanılmış ve aşağıdaki bağıntı kullanılmıştır.

$$(EI)_e = \frac{M_Y}{\phi'_y} = \frac{M_N}{\phi_y} \quad (5.121)$$

Bu bağıntı ile bulunan etkin eğilme rijitliği değerleri Türk Deprem Yönetmeliği' nin verdiği değerler ile karşılaştırılmış ve her iki yaklaşımın birbirine yakın değerler verdikleri saptanmıştır.

Buna dayanarak

Kirişlerde : $(EI)_e = 0.40(EI)_o$

Kolon ve perdelerde ise :

$$\frac{N_d}{A_c f_{cm}} \leq 0.10 \text{ ise } (EI)_e = 0.4(EI)_o \quad (5.122)$$

$$\frac{N_d}{A_c f_{cm}} \geq 0.40 \text{ ise } (EI)_e = 0.8(EI)_o \quad (5.123)$$

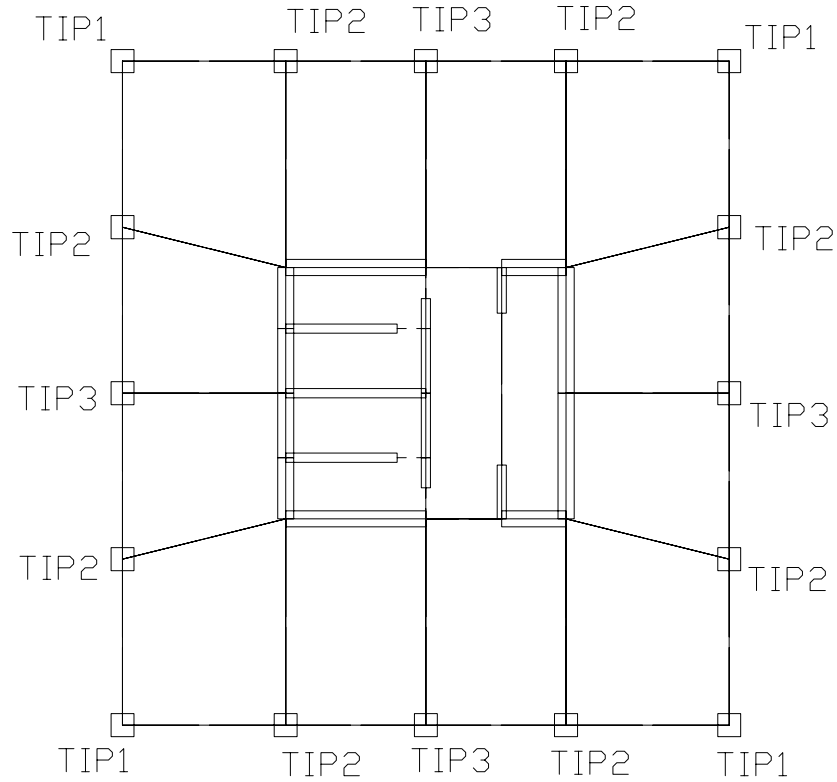
değerleri kullanılmıştır. Eksenel basınç kuvvetinin ara değerleri için, doğrusal interpolasyon yapılmıştır. Bağ kirişleri için *Kanada Deprem Yönetmeliği(CSA)* ve *Yeni Zelanda Deprem Yönetmeliği (NZS)*' nden yararlanılmıştır. Bu yönetmeliklere göre, bağ kirişlerinde etkin eğilme rijitlikleri aşağıdaki formüllere göre hesaplanmış ve her iki yönetmeliğin öngördüğü değerlerin birbirine çok yakın olduğu görülmüştür.

$$I_e = \frac{0.40I_g}{1 + 3\left(\frac{h}{l_c}\right)^2} \quad (CSA) \quad (5.124)$$

$$I_e = \frac{0.40I_g}{1.7 + 2.7\left(\frac{h}{l}\right)^2} \quad (NZS) \quad (5.125)$$

Sonuç olarak, bağ kirişlerinde ortalama etkin eğilme rijitlikleri $EI_e/EI_g=0.165$ olarak alınmıştır.

Kolonlar boyutlarına ve normal kuvvetlerine göre sınıflandırılmıştır, Şekil 5.30.



Şekil 5.30 : Etkin eğilme rijitliğinin belirlenmesinde kullanılan kolon tipleri

Bu sınıflandırmaya göre, kolonlar için kullanılan etkin rijitlik değerleri Ek A, Çizelge A. 17 de özetlenmiştir. Perdelerin etkin kesit rijitlikleri de, kolonlardaki gibi, normal kuvvetlere bağlı olarak seçilmiştir. Perdeler için analizde kullanılan etkin rijitlikler Ek A, Çizelge A.18 de verilmiştir.

5.3.4 Yapının İYBDY-2008 e göre can güvenliği hasar sınırı kontrolü

Yapının doğrusal olmayan üç boyutlu analizinde kullanılan kuvvetli yer hareketi çiftlerinin yapının her iki doğrultusunda meydana getirdikleri tepe deplasmanları

aşağıda listelenmiştir, Çizelge 5.8. Çizelgeden görüldüğü gibi, en elverişsiz sonuçlar Abbar-T-L kuvvetli yer hareketinden meydana gelmektedir.

Buna dayanarak, yapının ABBAR-T-L kuvvetli yer hareketi etkisi altında İYBDY-2008 de öngörülen performans düzeyine karşı gelen yerdeğiştirme ve şekildeğiştirme koşullarını sağlayıp sağlamadığı kontrol edilecektir.

Çizelge 5.8 : Kuvvetli yer hareketlerinden oluşan bina tepe yerdeğiştirmeleri.

Deprem	İşaret	Doğrultu	
		X-X [mm]	Y-Y [mm]
1061-E-N	Pozitif	-863	-521
	Negatif	706	560
1061-N-E	Pozitif	-586	-874
	Negatif	611	685
22170090	Pozitif	-771	-705
	Negatif	692	731
22170360	Pozitif	-717	-895
	Negatif	795	626
ABBAR-L-T	Pozitif	-866	-792
	Negatif	670	802
ABBAR-T-L	Pozitif	-818	-1000
	Negatif	807	692

5.3.4.1 Görelî kat ötelemesi oranı kontrolü

Tüm deprem durumlarının her iki doğrultu ve bu doğrultuların her iki yönü için oluşturdukları görelî kat ötelemesi oranlarının kontrolü yapılmıştır. Bulunan sonuçlar Ek A, Çizelge A.19 – Çizelge A.30 ile sunulmuştur. Buna göre, yapı en büyük görelî kat ötelemesi değerini ABBAR T-L depremi etkisi altında yapmaktadır. Bu deprem etkisi altında en büyük görelî kat ötelemesi binanın 1. katında meydana gelmektedir. Ancak bu değer 0.01 olup, İYBDY-2008 Madde 4.3.2.2 de öngörülen 0.025 sınır değerinin altındadır. Buna göre yapı görelî kat ötelemesi oranı koşulunu sağlamaktadır.

5.3.4.2 Eleman şekildeğiştirme kontrolleri

Türk Deprem Yönetmeliği 2007 (DBYBHY-2007) de verilen sargı donatısı koşullarını sağlayan betonarme kesitler için, sargı donatısı içindeki bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi ile donatı çeliği birim

şekildeğiştirmesinin üst sınırları Denk. 4.17 de verilmiştir. Buna göre beton sınır şekildeğiştirmesi $\epsilon_{cg}=0.0135$, donatı sınır şekildeğiştirmesi $\epsilon_s=0.04$ değerini almaktadır. Yapı elemanlarının şekildeğiştirmelerini elde etmek için, kolon ve perdeler fiber elemanlar, kirişlere ise plastik mafsallar atanmıştır. Plastik mafsallar ile fiber elemanlar ile ilgili ayrıntılı bilgi bu çalışmada Bölüm 2.3.1 ve Bölüm 2.3.2 de verilmiştir.

Yapıdaki tüm elemanlarda şekildeğiştirmeler incelenmiş ve bu şekildeğiştirmelerin yönetmelik tarafından öngörülen sınır değerleri aşmadığı görülmüştür. Aşağıda, yapının 1. kat kolonlarının beton ve donatılarındaki şekildeğiştirme değerleri bir çizelge halinde sunulmuştur, Çizelge 5.9.

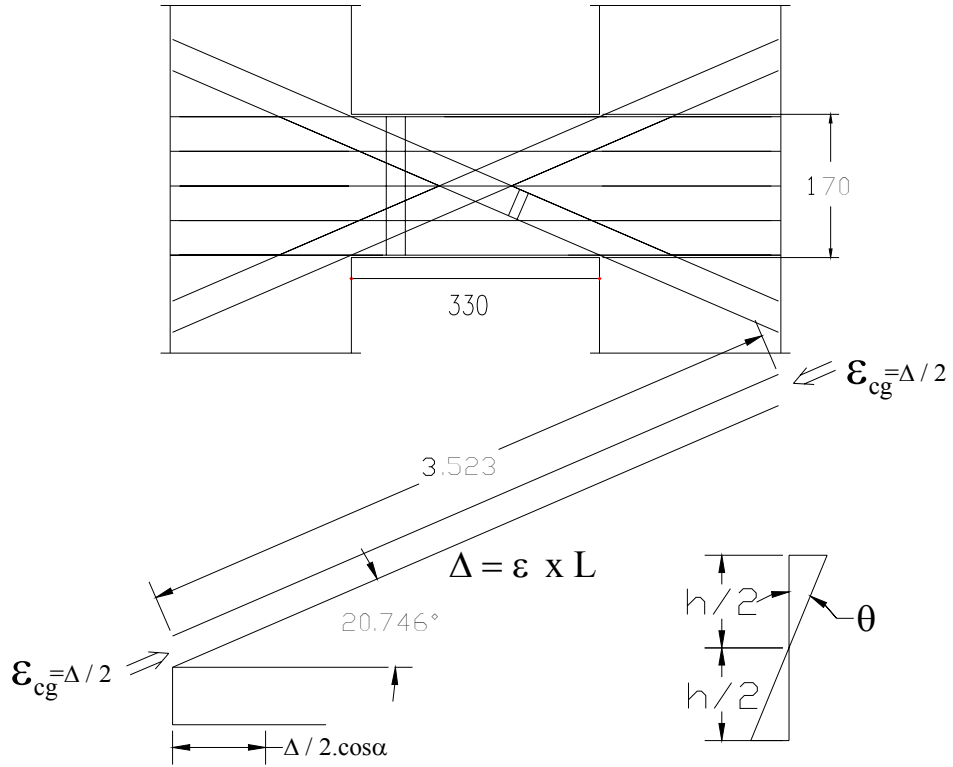
Çizelge 5.9 da, yapının 1. Katında bulunan 16 adet kolonun her iki ucunda bulunan toplam $16 \times 2 = 32$ adet beton ve donatı fiber mafsallarındaki şekildeğiştirme değerleri görülmektedir. Bu değerlerin İYBDY-2008 de beton ve donatı için verilen sınır değerleri aşmadığı görülmektedir.

Çizelge 5.9 : 1.kat kolonlarında beton ve donatı çeliği şekildeğiştirmeleri.

Deprem	Kolon	Mafsals No	Beton	Beton Şekildeğişti rmesi	Donatı	Donatı Şekildeğiştirmesi
abbar-y-x	C110/110	1H1	C40	0.001142	BCIII	0.001109
abbar-y-x	C110/110	1H2	C40	0.001196	BCIII	0.001175
abbar-y-x	C110/110	43H1	C40	0.001065	BCIII	0.001041
abbar-y-x	C110/110	43H2	C40	0.000798	BCIII	0.000795
abbar-y-x	C110/110	85H1	C40	0.001035	BCIII	0.001011
abbar-y-x	C110/110	85H2	C40	0.000777	BCIII	0.000775
abbar-y-x	C110/110	127H1	C40	0.00101	BCIII	0.000986
abbar-y-x	C110/110	127H2	C40	0.000806	BCIII	0.000804
abbar-y-x	C110/110	171H1	C40	0.00146	BCIII	0.001408
abbar-y-x	C110/110	171H2	C40	0.000789	BCIII	0.000786
abbar-y-x	C110/110	213H1	C40	0.000957	BCIII	0.000947
abbar-y-x	C110/110	213H2	C40	0.000831	BCIII	0.000827
abbar-y-x	C110/110	255H1	C40	0.000911	BCIII	0.0009
abbar-y-x	C110/110	255H2	C40	0.000762	BCIII	0.000759
abbar-y-x	C110/110	297H1	C40	0.000871	BCIII	0.000858
abbar-y-x	C110/110	297H2	C40	0.000711	BCIII	0.000708
abbar-y-x	C110/110	339H1	C40	0.00098	BCIII	0.000965
abbar-y-x	C110/110	339H2	C40	0.000796	BCIII	0.000793
abbar-y-x	C110/110	386H1	C40	0.001045	BCIII	0.001029
abbar-y-x	C110/110	386H2	C40	0.000892	BCIII	0.000876
abbar-y-x	C110/110	428H1	C40	0.001052	BCIII	0.001034
abbar-y-x	C110/110	428H2	C40	0.000855	BCIII	0.000852
abbar-y-x	C110/110	470H1	C40	0.000918	BCIII	0.000906
abbar-y-x	C110/110	470H2	C40	0.000758	BCIII	0.000755
abbar-y-x	C110/110	512H1	C40	0.00095	BCIII	0.00094
abbar-y-x	C110/110	512H2	C40	0.000815	BCIII	0.000811
abbar-y-x	C110/110	554H1	C40	0.001174	BCIII	0.001129
abbar-y-x	C110/110	554H2	C40	0.000781	BCIII	0.000775
abbar-y-x	C110/110	602H1	C40	0.001065	BCIII	0.001045
abbar-y-x	C110/110	602H2	C40	0.000789	BCIII	0.000784
abbar-y-x	C110/110	644H1	C40	0.001062	BCIII	0.001042
abbar-y-x	C110/110	644H2	C40	0.000824	BCIII	0.000822

Kirişlerdeki benzer kontroller, kirişler iki gruba ayrılmak suretiyle yapılmıştır. Bu bağlamda, bağ kirişleri ayrı, diğerkirişler ayrı değerdendirilmiştir. Bunun nedeni ise, bağ kirişlerine Türk Deprem Yönetmeliği-2007 uyarınca yerleştirilen çapraz donatı yerleşiminin herhangi bir bilgisayar yazılımında modellenememesinden kaynaklanmaktadır. Normal kirişlerde SAP2000 programı kullanılarak elemanların moment eğrilik bağıntıları çıkarılmış ve bu eğrilik değerklerine karşı gelen, beton ve donatı şekildeğiştirmeleri elde edilmiştir. Bağ kirişlerinde ise, moment-eğrilik bağıntılarının bilgisayar programları ile elde edilmesi olanağı olmadığından, aşağıda açıklanan farklı bir yol izlenmiştir.

Bağ kirişlerinde beton ezildiğinde donatının da sınır şekildeğiştirme değerkine eriştiği varsayımı yapılmış ve bu şekildeğiştirme değerkinden yararlanarak bağ kirişinin dönme değerkine geçilmiştir. Aşağıda bu işlem açıklanmıştır, Şekil 5.31.



Şekil 5.31 : Bağ kirişlerinde dönme kapasitelerinin belirlenmesi

$$\varepsilon_{cg} = 0.0135$$

$$\theta_t = \frac{\varepsilon_{cg} \times \frac{L}{2} \times \cos \alpha}{\frac{h}{2}} = \frac{0.0135 \times \frac{330}{2} \times \cos 20.746}{\frac{125}{2}} = -0.0114 \quad (5.126)$$

Bağ kirişi uç kesitlerine atanan plastik mafsalların dönme değerlerinin bu şekilde belirlenen sınır değeri aşıp aşmadığı kontrol edilmiştir. Bakınız: Ek A, Çizelge A.31.

Diğer kat kirişlerinde ise, plastik mafsallar tanımlanarak kirişlerdeki dönmeler hesaplanmış ve bu dönmelerden plastik eğriliklere geçilmiştir, Denk 5.127 ve Denk 5.128. Bulunan bu plastik eğriliklere Denk 5.129 ile hesaplanan akma eğriliği eklenerek toplam eğrilik değerleri bulunmuştur. Daha sonra, her kiriş kesiti için çizilen eğilme momenti eğrilik diyagramı yardımı ile bu eğrilik değerine karşı gelen beton ve donatı şekil değiştirmeleri hesaplanmış ve bu büyüklükler yönetmelikte öngörülen sınır değerler ile karşılaştırılmıştır.

$$L_p = h/2 \quad (5.127)$$

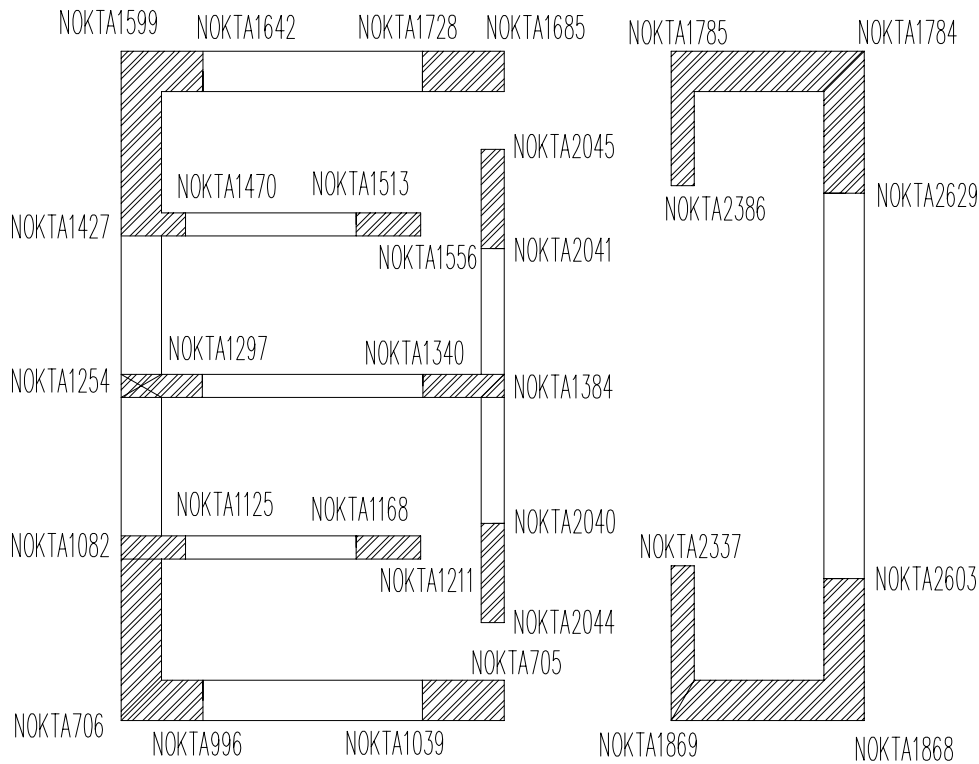
$$\chi_p = \frac{\theta_p}{L_p} \quad (5.128)$$

$$\chi_y = 2.1 \frac{\varepsilon_y}{h_c} \quad (5.129)$$

$$\chi_t = \chi_p + \chi_y \quad (5.130)$$

Bu inceleme çalışma tüm kat kirişleri için yapılmış, ancak sadece 10. , 20. , 30. , ve 40. kat kirişlerinin hasar durumları tablolar halinde verilmiştir, Ek A, Çizelge A.32, Çizelge A.33, Çizelge A.34, Çizelge A.35.

Perdelerin şekildeğiştirme değerlerinin bulunmasında, perde elemanları başlık bölgesi ve gövde bölgesi olarak bölümlere ayrılmış ve her bir perdede meydana gelen şekildeğiştirme değerleri bu bölgeler için ayrı ayrı kontrol edilmiştir. Aşağıdaki şekilde perdelerin başlık ve gövde düğüm noktalarının numaraları gösterilmiştir, Şekil 5.32. Çizelge 5.10 da ise, bu düğüm noktalarında meydana gelen beton ve donatı şekildeğiştirmeleri verilerek bunların yönetmelikte öngörülen sınır değerleri aşmadığı gösterilmiştir.



Şekil 5.32 : 1. Kat çekirdek perdesi düğüm noktalarının isimleri

Çizelge 5.10 : 1.kat perdelerinde beton ve donatı çeliği şekildeğiştirmeleri.

Düğüm Noktası	Perde	Deprem	e_s	e_{cg}	e_s Sınır	e_{cg} Sınır	Beton Hasarı	Donatı Hasarı
1039	P5	abbar-y-x	0.0015	-0.0011	0.0400	0.0135	YOK	YOK
1082	P4	abbar-y-x	0.0032	-0.0014	0.0400	0.0135	YOK	YOK
1125	P4	abbar-y-x	0.0026	-0.0010	0.0400	0.0135	YOK	YOK
1168	P4	abbar-y-x	0.0011	-0.0007	0.0400	0.0135	YOK	YOK
1211	P4	abbar-y-x	0.0010	-0.0007	0.0400	0.0135	YOK	YOK
1254	P3	abbar-y-x	0.0027	-0.0010	0.0400	0.0135	YOK	YOK
1297	P3	abbar-y-x	0.0020	-0.0006	0.0400	0.0135	YOK	YOK
1340	P3	abbar-y-x	0.0015	-0.0005	0.0400	0.0135	YOK	YOK
1384	P3	abbar-y-x	0.0020	-0.0008	0.0400	0.0135	YOK	YOK
1427	P2	abbar-y-x	0.0027	-0.0011	0.0400	0.0135	YOK	YOK
1470	P2	abbar-y-x	0.0021	-0.0009	0.0400	0.0135	YOK	YOK
1513	P2	abbar-y-x	0.0023	-0.0007	0.0400	0.0135	YOK	YOK
1556	P2	abbar-y-x	0.0028	-0.0009	0.0400	0.0135	YOK	YOK
1599	P1	abbar-y-x	0.0029	-0.0015	0.0400	0.0135	YOK	YOK
1642	P1	abbar-y-x	0.0025	-0.0012	0.0400	0.0135	YOK	YOK
1685	P1	abbar-y-x	0.0046	-0.0016	0.0400	0.0135	YOK	YOK
1728	P1	abbar-y-x	0.0040	-0.0013	0.0400	0.0135	YOK	YOK
1784	P6	abbar-y-x	0.0051	-0.0018	0.0400	0.0135	YOK	YOK
1785	P6	abbar-y-x	0.0038	-0.0011	0.0400	0.0135	YOK	YOK
1868	P7	abbar-y-x	0.0021	-0.0015	0.0400	0.0135	YOK	YOK
1869	P7	abbar-y-x	0.0024	-0.0015	0.0400	0.0135	YOK	YOK
2040	P9	abbar-y-x	0.0010	-0.0008	0.0400	0.0135	YOK	YOK
2041	P9	abbar-y-x	0.0034	-0.0011	0.0400	0.0135	YOK	YOK
2044	P9	abbar-y-x	0.0012	-0.0011	0.0400	0.0135	YOK	YOK
2045	P9	abbar-y-x	0.0041	-0.0014	0.0400	0.0135	YOK	YOK
2337	P11	abbar-y-x	0.0015	-0.0006	0.0400	0.0135	YOK	YOK
2386	P10	abbar-y-x	0.0027	-0.0008	0.0400	0.0135	YOK	YOK
2603	P12	abbar-y-x	0.0015	-0.0010	0.0400	0.0135	YOK	YOK
2629	P12	abbar-y-x	0.0037	-0.0012	0.0400	0.0135	YOK	YOK
705	P5	abbar-y-x	0.0016	-0.0012	0.0400	0.0135	YOK	YOK
706	P5	abbar-y-x	0.0038	-0.0024	0.0400	0.0135	YOK	YOK
996	P5	abbar-y-x	0.0031	-0.0018	0.0400	0.0135	YOK	YOK

5.4 Sayısal İncelemelerin Değerlendirilmesi

42 katlı üç boyutlu bir bina taşıyıcı sisteminin dayanım bazlı doğrusal yöntemler ile DBYBHY-2007 ye göre tasarımının yapılmasını ve boyutlandırılan yapının deprem performansının, İYBDY-2008 de yer alan şekildeğiştirme ve yerdeğiştirme bazlı doğrusal olmayan analiz yöntemleri kullanılarak irdelenmesini ayrıntılı bir şekilde içeren sayısal incelemeler bölümünde elde edilen başlıca sonuçlar aşağıda değerlendirilmiştir.

1) İlk olarak, seçilen yüksek bina taşıyıcı sistem modelinin hazırlanması amacıyla, kalıp planında çeşitli değişiklikler yapılmış ve bu çalışma kapsamında gerekli görülmeyen bazı ikincil elemanlar ile bodrum perdelerinin hesap modelinde kullanılmamasına karar verilmiştir. Bundan sonra, yapının TDY-2007 Bölüm 2 ye göre tasarımı için, bu tasarımda gerekli ve önemli olan etkin yer ivmesi katsayısı, bina önem katsayısı, yerel zemin sınıfı gibi karakteristik bilgiler edinilmiştir.

2) Yapının taşıyıcı sistemi, deprem yüklerinin moment aktaran çerçeveler ve boşluksuz perdeler tarafından karşılandığı bir taşıyıcı sistem olduğu için, taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R=7$ olarak alınmıştır. $R=7$ ye göre yapının analizi yapılmış ve bulunan taban kesme kuvveti değeri yönetmelikte öngörülen minimum taban kesme kuvveti değerine göre ölçeklenmiştir. Böylece, minimum taban kesme kuvvetine karşı gelen taşıyıcı sistem davranış katsayısı değerinin $R=4.0$ dolaylarında olduğu belirlenmiştir.

$R=4.0$ değeri, başlangıçta seçilen taşıyıcı sistem davranış katsayısı değerinden oldukça küçüktür. Bu durum, söz konusu yüksek yapının başlangıçta seçilen taşıyıcı sistem davranış katsayısına karşı gelen deprem kuvvetlerinden daha büyük deprem kuvvetlerine göre boyutlandırılmasına neden olmuştur. Görüldüğü gibi, 2007-TDY de yer alan minimum taban kesme kuvveti koşulu, söz konusu yönetmeliğin yüksek binaların tasarımında uygulanmasına belirli ölçüde olanak sağlamaktadır.

3) 2007 TDY ne göre boyutlandırılan yapının İYBDY-2008 de yer alan doğrusal olmayan yöntemle deprem performansı incelendiğinde, öngörülen düzeyde ve hatta bunun bir ölçüde üzerinde bir deprem performansına sahip olduğu belirlenmiştir. Bunun başlıca nedenleri arasında, önceki maddede belirtilen minimum taban kesme kuvveti sınırlaması da bulunmaktadır.

4) 2007-TDY ne göre boyutlandırılan yapının zemin kat çekirdek perdesindeki ortalama $N_d/A_c f_{ck}$ değeri 0.22 dolaylarındadır. Bu düşük normal kuvvet değeri, çekirdek perde grubunun kesit sünekliğini arttırmakta ve hiperstatiklik derecesi düşük olan ana taşıyıcı çekirdek perde grubunun sistem sünekliğinin yeterli bir düzeye yükselmesine neden olmaktadır. Bu durum, incelenen sistemin doğrusal olmayan davranışını olumlu yönde etkilemekte ve diğer etkenlerle birlikte deprem performansının yüksek olmasını sağlamaktadır.

5) Yapının doğrusal yöntemler ile analizi için ETABS bilgisayar yazılımı kullanılmıştır. Doğrusal analiz sırasında, özellikle çekirdek perdeler ve moment aktaran çerçevelerden oluşan birleşik (dual) sisteme sahip yüksek binaların analizinde, düşey yükler altında kademeli çözüm (Sequenced Analyze) yapılmasının gerekli ve hatta zorunlu olduğu sonucuna varılmıştır. Kademeli çözüm yapılmadığı durumlarda, kolonları perdelerle bağlayan kirişlerin perdelerle bağlanan kesitlerinde gerçekte var olmayan büyük kesit tesirleri hesaplanmaktadır. Kademeli çözüm yapılarak bu sorunun ortadan kaldırıldığı görülmüştür.

6) 2007-TDY de yer almamakla birlikte, diğer bazı yönetmeliklerinde (UBC, IBC) belli bir yüksekliğin (yaklaşık 50m) üzerindeki binalarda, örneğin çekirdek perdeler ve moment aktaran çerçevelerden oluşan, birleşik (dual) sistemlerin kullanılması zorunlu kılınmıştır. Buna dayanarak, incelenen bina için birleşik (dual) sistem uygulanması tercih edilmiştir. Yukarıda adı geçen yabancı yönetmeliklerde, moment aktaran çerçevelerin her katta kat kesme kuvvetinin en az %25 i için boyutlandırılması suretiyle bir yedek (back-up) sistem oluşturulması öngörülmüş olmasına karşın, bu çalışma kapsamında söz konusu koşul esas alınmamıştır. Bununla beraber, seçilen birleşik (dual) sistemin binanın deprem performansına yeterli katkıyı sağladığı, diğer bir deyişle, yüksek yapıların tasarımının özel bir yüksek binalar yönetmeliğine göre yapılması durumunda, bu koşulun uygulanmasının gerekli olmayabileceği görülmüştür.

7) Yüksek binaların ilgili yönetmeliklere göre deprem performansının belirlenmesinde, çözümün sadeleştirilmesi amacıyla aşağıdaki varsayımların yapılmasının uygun olduğu görülmüştür.

a) Sargı etkisi için, tüm kesitlerde aynı yatay donatı hacimsel oranının kullanılması.

b) Ortalama (expected) dayanıma sahip malzemelerin iki doğrulu (bi-lineer) olarak modellenmesi.

8) Bu çalışmada en elverişsiz sonucu veren deprem datasının ABBAR-T-L datası olduğu görülmüştür. Bu deprem etkisi altında yapının tepe deplasmanının yaklaşık 1000mm olduğu görülmüştür. Ayrıca, bu deprem etkisi altında binanın göreceli kat öteleme oranının en büyük değerinin yapının birinci katında 0.01 olduğu

belirlenmiş ve bu değerin İYBDY-2007 nin can güvenliği hedef performans seviyesi için öngörülen 0.025 sınır değerinin çok altında olduğu saptanmıştır.

9) Doğrusal olmayan analizin son adımında elemanların şekildeğiştirme değerleri hesaplanmış ve bu değerler yönetmelikte öngörülen sınır değerler ile karşılaştırılmıştır. Eleman şekildeğiştirmelerinin doğrudan elde edilmesi amacıyla, kolonlar fiber elemanlar ile, perdeler ise fiber-layer elemanlar ile modellenmiştir. Ancak, analiz süresinin kısa tutulması amacıyla, perde elemanlarının tamamının fiber-layer elemanlar ile modellenmesine karşın, kolon elemanlar sadece ilk yirmi katta fiber elemanlar ile modellenmiş, üst katlarda ise kesit tesirleri elemanların taşıma kapasiteleri ile karşılaştırılmıştır. Kiriş elemanlarda ise, elemanların doğrusal hesapta belirlenen donatılarına göre taşıma gücü momentleri bulunmuş, bunlara bağlı olarak plastik momentleri hesaplanmış ve elemanlara plastik mafsallar atanmıştır.

Sonuç olarak, yapı kolonlarında meydana gelen en büyük beton şekildeğiştirmesi değerinin 0.00146, donatı çeliği şekildeğiştirmesi değerinin ise 0.0014 olduğu belirlenmiştir. Perdelerde bu şekildeğiştirmeler sırasıyla 0.0024 ve 0.0046 değerlerini almaktadır. Kat kirişlerinin hiçbirinde ise hasar oluşmadığı saptanmıştır.

Çapraz donatılı bağ kirişlerinin eleman şekildeğiştirme kontrolleri için, bağ kirişlerindeki betonun ezilmesi durumunda donatının da sınır şekildeğiştirme değerine eriştiği varsayımı yapılmış ve bu şekildeğiştirme değerinden dönme değerine geçilmiştir. Daha sonra bu dönme değerleri, yönetmelik tarafından belirlenen sınır değerler ile kontrol edilmiş ve hesaplanan dönme değerlerinin bu sınırlar içinde kaldığı görülmüştür.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

1) Bu çalışma kapsamında, betonarme bir yüksek binanın 2007-TDY nde öngörülen dayanım bazlı bazlı doğrusal yöntem ile tasarımı yapılmış, daha sonra aynı binanın İYBDY-2008 de belirtilen yerdeğiştirme ve şekildeğiştirme bazlı doğrusal olmayan yöntem ile deprem performansı incelenmiştir. Bu kapsamda, yapı sistemlerinin doğrusal ve doğrusal olmayan davranışları incelenmiş ve doğrusal olmayan sistemlerin hesap yöntemleri gözden geçirilmiştir. Bunun yanında, doğrusal olmayan analizde kullanılan deprem kayıtlarının seçimi ve ölçeklendirilmesi konusunda bilgi verilmiştir. Bu çalışma kapsamında değinilen diğer bir konu ise, 2007 TDY de yer alan performansa dayalı tasarım bölümünün açıklanmasıdır. Bu konuda genel bir bilgi verilmiş, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi açıklanmıştır. Çalışmanın diğer bir bölümünde ise, yüksek binaların tasarımı için hazırlanan ulusal ve uluslararası yönetmelikler ve yönetmelik taslakları incelenmiş, bu kapsamda İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği ve Amerika' nın Los Angeles kenti için hazırlanan yüksek binalar yönetmelik taslağı incelenmiştir.

2) Bu bilgiler doğrultusunda, seçilen 42 katlı 3 boyutlu taşıyıcı sistem modeli 2007 TDY de yer alan dayanım bazlı doğrusal analiz yöntem ile boyutlandırılmıştır. Daha sonra bu sistemin İYBDY-2008 de yer alan şekildeğiştirme ve yerdeğiştirme bazlı doğrusal olmayan yöntem ile deprem performansı belirlenmiştir. Böylece, her iki yönetmeliğin sonuçlarının seçilen bir örnek yüksek bina modeli üzerinde karşılaştırılması sağlanmıştır.

3) Bu çalışmanın sayısal incelemelerinde elde edilen başlıca sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- a) Minimum taban kesme kuvveti koşulunun uygulanması sonucunda elde edilen etkin taşıyıcı sistem davranış katsayısı değerinin başlangıçta seçilen $R=7$ değeri yerine $R=4$ dolaylarında olduğu belirlenmiş ve bu durum incelenen yüksek binanın daha büyük deprem kuvvetlerine göre boyutlandırılmasına neden olmuştur.

- b) 2007-TDY ne göre boyutlandırılan yapının zemin kat çekirdek perdelerindeki ortalama $N_d/A_c f_{ck}$ değerinin 0.22 dolaylarında olduğu belirlenmiştir. Bu düşük normal kuvvet değeri, çekirdek perde grubunun kesit sünekliğini arttırmakta ve hiperstatiklik derecesi düşük olan ana taşıyıcı çekirdek perde grubunun sistem sünekliğinin yeterli bir düzeye yükselmesine neden olmaktadır.
- c) Yüksek yapı taşıyıcı sisteminin birleşik (dual) sistem olarak seçilmesi durumunda, düşey yükler altında kademeli yükleme (sequenced analyze) yapılmasının gerekli olduğu görülmüştür.
- d) 2007-TDY ne tasarımı yapılan bu yüksek binanın taşıyıcı sisteminin İYBDY-2008 ye göre deprem performansının irdelenmesi sonucunda, yapının her iki yönetmelikteki koşulları da sağladığı görülmüştür.

4) Bu incelemenin sonuçlarına dayanarak belirlenen başlıca öneriler şunlardır.

- a) Yüksek yapıların boyutlandırılmasında şekildeğiştirme ve yerdeğiştirme bazlı doğrusal olmayan yöntemleri içeren ulusal veya uluslararası yüksek binalar yönetmelikleri esas alınmalıdır.
- b) Bu çalışmanın sayısal incelemeleri ile sınırlı olmakla birlikte, bir yüksek yapının ön boyutlandırılmasının yapılmasında, tasarım depremi altında taşıyıcı sistem davranış katsayısının $R=2$ alınması ve malzeme dayanımları olarak ortalama dayanımların kullanılması önerilmektedir.
- c) Yüksek binaların modelleme, analiz ve tasarımında gözönünde tutulması önerilen başlıca hususlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.
 - c1) Yüksek binaların doğrusal olmayan yöntemler ile analizi sırasında, taşıyıcı sistem modelinde ikincil elemanların ve/veya doğrusal bölgede kalacağı düşünülen elemanların modellenmesinden kaçınılması hesap süresini önemli ölçüde kısaltabilmektedir.
 - c2) Yapı taşıyıcı sisteminin birleşik (dual) sistem olarak seçilmesi durumunda, düşey yükler altında analizi kademeli yükleme (sequential construction case) dikkate alınarak yapılmalıdır.
 - c3) Malzeme dayanımı olarak ortalama dayanım değerlerinin esas alınması durumunda, iki eğrili malzeme modeli kullanılmalıdır.

c4) Çapraz donatı demeti kullanılarak betonarme tasarımı yapılan bağ kirişlerinin doğrusal olmayan analizi sırasında, etkin eğilme rijitlikleri gerçek davranış göz önünde tutularak veya Yeni Zelanda ve Kanada yönetmeliklerinden birinden yararlanarak hesaplanmalıdır.

5) Bu çalışmanın olası uzantılarında aşağıdaki hususlar gözönüne alınabilir.

- a) Yüksek binaların doğrusal olmayan analizinde, toprak perdeleri modellenenebilir ve yapı-zemin etkileşimi dikkate alınabilir.
- b) Yüksek binaların doğrusal olmayan analizinde, taşıyıcı sistem modelinin sadeleştirilmesi amacıyla, ikincil elemanların modellenmesine yönelik alternatif bir çalışma yürütülebilir. Böylece, doğrusal olmayan analiz sırasında meydana gelen zaman kaybı önlenmiş olur.
- c) Taşıyıcı sistemin birleşik (dual) sistem olarak seçilmesi durumunda, rötre ve creep etkileri de dikkate alınarak çalışmanın kapsamı genişletilebilir.
- d) Doğrusal olmayan analiz sırasında, dikkate alınan sargılama miktarları belirlenirken, her kesit için ayrı bir Mander beton modeli hazırlanarak bunun sisteme etkisi irdelenebilir.
- e) Malzeme dayanımlarının iki doğrulu veya eğrisel olarak alınması arasındaki farklar üzerinde bir çalışma gerçekleştirilebilir.
- f) Doğrusal olmayan analiz sırasında kullanılan eleman etkin rijitliklerinin elde edilmesi üzerine, İYBDY-2008 de önerilen yöntem ile DBYBHY-2007 de önerilen yöntemin karşılaştırılması üzerine bir çalışma gerçekleştirilebilir.
- g) Çapraz donatı demeti yerleştirilen bağ kirişlerinin etkin rijitliklerinin belirlenmesi ve bu tür donatı yerleşimine sahip olan kesitlerin eğilme momenti-eğrilik bağıntılarının elde edilmesine yönelik bir çalışma gerçekleştirilebilir.
- h) Doğrusal olmayan analiz sırasında, modelde doğrusal olmayan davranışa göre tanımlanan fiber elemanların modelin hangi bölümlerinde tanımlanacağı, yüksek yapıların üst katlarındaki doğrusal olmayan davranış incelenerek belirlenebilir.

- i) Doğrusal olmayan analizler için kullanılan SAP2000 v.14.1, SEISMISTRUCT ve PERFORM-3D gibi programlar karşılaştırmalı bir şekilde incelenerek bunların avantajları ve dezavantajları irdelenebilir.
- j) Bu çalışmanın doğrusal olmayan analiz bölümünde kullanılan deprem kayıtlarının belirlenmesinde yararlanılan ve İYBDY-2008 Ek. A da verilen deprem haritalarının daha ayrıntılı bir duruma getirilmesi üzerine bir çalışma gerçekleştirilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Fajfar, P. and Krawinkler, H.**, 1997. Seismic Design Methodologies for the Next Generation of Codes, Proceedings 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 Zeland, January-February 2000.
- [3] **Çakıroğlu, A., Özden, E., Özmen, G.**, 1992. Yapı Sistemlerinin Hesabı İçin Matris Metodları ve Elektronik Hesap Makinesi Programları, Cilt I *İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası*, İstanbul.
- [4] **Çakıroğlu, A., Özden, E., Özmen, G.**, 1992. Yapı Sistemlerinin Hesabı İçin Matris Metodları ve Elektronik Hesap Makinesi Programları, Cilt II *İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası*, İstanbul.
- [5] **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.
- [6] **Parikh, B.P.**, 1966. The elastic-plastic analysis and design of unbraced multistory steel frames, *PhD. Dissertation*, Lehigh University.
- [7] **Girgin, K.**, 1996. Betonarme yapı sistemlerinde ikinci merteye limit yükün ve göçme güvenliğinin belirlenmesi için bir yük artımı yöntemi, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [8] **SAP2000 v.14.1**, Three Dimensional Static and Dynamic Finite Element Analysis and Design of Structures, *Computers and Structures Inc. 2000*. Berkeley, California.
- [9] **ETABS**, Extended 3D Analysis of Building Systems, Computers and Structures Inc. 2000. Berkeley, California.
- [10] **PERFORM-3D**, Nonlinear Analysis and Performance Assesment for 3D Structures, *Computers and Structures Inc. 2006*. Berkeley, California.
- [11] **ATC-40**, 1996. Seismic Evaluation and Retrofit of Reinforced Concrete Buildings, *Applied Technology Council*, California.
- [12] **FEMA-273**, 1997. NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, *Federal Emergency Management Agency*, Washington.
- [13] **FEMA-356**, 2000. Prestandart and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, *Federal Emergency Management Agency*, Washington.
- [14] **FEMA-440**, 2005. Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures, *Federal Emergency Management Agency*, Washington.

- [15] **ASCE/SEI 41-06**, 2006. Seismic Rehabilitation of Existing Buildings, *American Society of Civil Engineers*, Virginia.
- [16] **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.
- [17] **Recommendations for the Seismic Design of High-rise Buildings**, 2008. A Consensus Document, *CTBUH Seismic Working Group*, Chicago.
- [18] **UBC-97** 1997. Uniform Building Code – Structural Engineering Design Provisions, *International Conference of Building Officials*, Washington.
- [19] **EN 1998-1**, 2004. Design of Structures for Earthquake Resistance-General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings, *European Committee for Standardization*, Brüksel.
- [20] **ASCE/SI 7-05**, 2006. Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, *American Society of Civil Engineers*, Virginia.
- [21] **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 Design Council*, Los Angeles.
- [22] **FEMA-222A**, 1995. NEHRP Recommended Provisions for the Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures – Part-1 – Provisions, *Federal Emergency Management Agency*, Washington.
- [23] **FEMA-223A**, 1995. NEHRP Recommended Provisions for the Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures – Part-2 – Commentary, *Federal Emergency Management Agency*, Washington.
- [24] **FEMA-302**, 1998. NEHRP Recommended Provisions for the Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures – Part-1 – Provisions, *Federal Emergency Management Agency*, Washington.
- [25] **FEMA-303**, 1998. NEHRP Recommended Provisions for the Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures – Part-2 – Commentary, *Federal Emergency Management Agency*, Washington.
- [26] **Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik**, 2007. *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı*, Ankara.
- [27] **İstanbul İli Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği Taslağı**, 2008. *Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Boğaziçi Üniversitesi, Çengelköy*, İstanbul.
- [28] **Özer, E.**, 2007. Yapı Sistemlerinin Lineer Olmayan Analizi Ders Notları, <http://www.ins.itu.edu.tr/eozar>, İstanbul.
- [29] **TS500**, 2000. Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

- [30] **Özmen, H.B., İnel, M. ve Bilgin, H.,** 2007. Sargılı Beton Davranışının Betonarme Eleman ve Sistem Davranışına Etkisi, *Gazi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi*, Ankara.
- [31] **Çakıroğlu, A., Özer, E.,** 1980. Malzeme ve Geometri Bakımından Lineer Olmayan Sistemler, Cilt I, *İ.T.Ü Kütüphanesi*, İstanbul.
- [32] **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, July1-2, 121-135.
- [33] **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.
- [34] **SeismoSoft,** SeismoStruct – *A computer program for static and dynamic nonlinear analysis of framed structures*, available from URL: <http://www.seismosoft.com>, 2009.
- [35] **Priestley, M.J.N., Calvi, G.M. and Kowalsky, M.J.,** 2007. Displacement-Based Seismic Design of Structures, IUSS Press, *Instituto Universitario di Studi Superiori di Pavia, ITALY*.
- [36] **XTRACT,** 2006. Cross-sectional & Structural Analysis of Components, *Imbsen Software Systems*, Sacramento, CA.
- [37] **Atımtay, E.,** 2001. Çerçeve ve Perdeli Betonarme Sistemlerin Tasarımı, Cilt-I, *METU Press*, Ankara.
- [38] **Chopra, A.K.,** 2000. Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering, Prentice Hall, New Jersey.
- [39] **Celep, Z.,** 2007. Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış ve Çözümleme – İstanbul: Beta Dağıtım, 2007.
- [40] **Pauley, T., Priestley, M.J.N.,** 1992. Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings, J. Wiley, New York.
- [41] **Englekirk, R.E.,** 2003. Seismic Design of Reinforced and Precast Concrete Buildings, J. Wiley, New York.
- [42] **Mander, J.B., Priestley, M.J.N., Park, R.,** 1988. Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete, *Journal of Structural Division (ASCE)*, **114**(8), 1804-1826.
- [43] **Taucer, F.F., Spacone, E., Filippou, C.F.,** 1991. A Fiber Beam-Column Element for Seismic Response Analysis of Reinforced Concrete Structures, A Report on Research Conducted under Grant RTA-59M848 from the California Department of Transportation and Grant ECE-8657525 from the National Science Foundation, Report No: UCB/EERC-91/17, Earthquake Engineering Research Center, College of Engineering, University of California, Berkeley.
- [44] **Özdemir, Z., Fahjan, M.Y.,** 2007. Gerçek Deprem Kayıtlarının Tasarım Spektrumuna Uygun Olarak Zaman ve Frekans Tanım Alanlarında Ölçekleme Yöntemlerinin Karşılaştırılması, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 16-20 Ekim 2007, İstanbul.

- [45] **Fahjan, M.Y.**, 2008. Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklendirilmesi, *İnşaat Mühendisleri Odası Sakarya Temsilciliği Eğitim Seminerleri*.
- [46] **İzmir Deprem Senaryosu ve Deprem Master Planı**, 2002. *İzmir Büyükşehir Belediyesi ve Boğaziçi Üniversitesi*, İzmir.
- [47] **Stewart, J.P., Chiou, S.J., Bray, J.D., Graves, R.W., Somerville, P.G., Abrahamson, N.A.**, 2001. Ground Motion Evaluation Procedures for Performance-Based Design, PEER Report 2001/09, Pacific Earthquake Research Center, University of California, Berkeley.
- [48] **Özdemir, Z., Fahjan, M.Y.**, 2007. Türk Deprem Yönetmeliği (DBYBHY-2007) Tasarım İvme Spektrumuna Uygun Gerçek Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklenmesi, *İMO Teknik Dergi*, İstanbul.
- [49] **SeismoSignal** , 2009. SeismoSoft, *Earthquake Engineering Software Solutions*, Versiyon.3.03.
- [50] **Bispec**, 2009. Nonlinear Spectral Analysis Software Program, *Earthquake Engineering Software Solutions*, Versiyon.2.01.
- [51] **Reitel, L.**, 1990. Earthquake Hazard Analysis:Issues and Insights, *Columbia University Press*.
- [52] **CBC-2007** 2007. California Building Code – The California Building Standarts Commission.
- [53] **IBC-2006** 2006. International Building Code – International Code Council, Inc.
- [54] **AISC-2005** 2005. Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, American Institute of Steel Construction . 341-05, Chicago, Illinois.
- [55] **Atakan, K., Ojeda, A., Meghraoui, M., Barka, A.A., Erdik, M., and Bodare, A.**, “*Seismic Hazard in Istanbul Following the 17 August 1999 Izmit and 12 November 1999 Duzce Earthquakes*,”Bull. Seismol. Sic. Am., 92:1, pp.466-482, 2002.
- [56] **Erdik, M., Demircioğlu, M., Sesetyan, K., Durukal, E., and Siyahi, B.**, “*Assesment of Probabilistic Earthquake Hazard In The Marmara Region*,” Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 24 pp.605-631, 2004.
- [57] **JICA-İBB**, “The Study on A Disaster Prevention/ Mitigation Basic Plan in Istanbul Including Seismic Microzonation in the Republic of Turkey,” Main Report, 2004.
- [58] **Le Pichon, X., Chamot-Rooke, N., Rangin, C., and Segnor, A.M.C.**, “The North Anatolian Fault In The Sea of Marmara,” J. Geophys. Res., 108, B4, 2179, doi:101029/2002JB0011862, 2003.

EK A

Çizelge A.1 : A1-Burulma düzensizliği kontrolü (X-X doğrultusu).

KAT	DEPREM DOĞRULTUSU	Kat Deplasmanları			Görelî Kat Ötelemeleri			η_{bi}	SINIR
		MAKSİMUM	ORTALAMA	MİNİMUM	Δ_{imax}	Δ_{iort}	Δ_{imin}		
42	Deprem X	0.2331	0.2265	0.2199	0.0064	0.0065	0.0066	0.9846	<1,2
41	Deprem X	0.2267	0.2200	0.2133	0.0066	0.0065	0.0064	1.0154	<1,2
40	Deprem X	0.2201	0.2135	0.2069	0.0065	0.0065	0.0065	1.0000	<1,2
39	Deprem X	0.2136	0.2070	0.2004	0.0067	0.0066	0.0065	1.0152	<1,2
38	Deprem X	0.2069	0.2004	0.1939	0.0067	0.0066	0.0065	1.0152	<1,2
37	Deprem X	0.2002	0.1938	0.1874	0.0067	0.0067	0.0067	1.0000	<1,2
36	Deprem X	0.1935	0.1871	0.1807	0.0069	0.0068	0.0067	1.0147	<1,2
35	Deprem X	0.1866	0.1803	0.1740	0.0068	0.0067	0.0066	1.0149	<1,2
34	Deprem X	0.1798	0.1736	0.1674	0.0069	0.0068	0.0067	1.0147	<1,2
33	Deprem X	0.1729	0.1668	0.1607	0.0069	0.0068	0.0067	1.0147	<1,2
32	Deprem X	0.1660	0.1600	0.1540	0.0069	0.0068	0.0067	1.0147	<1,2
31	Deprem X	0.1591	0.1532	0.1473	0.0068	0.0067	0.0066	1.0149	<1,2
30	Deprem X	0.1523	0.1465	0.1407	0.0068	0.0067	0.0066	1.0149	<1,2
29	Deprem X	0.1455	0.1398	0.1341	0.0068	0.0067	0.0066	1.0149	<1,2
28	Deprem X	0.1387	0.1331	0.1275	0.0067	0.0066	0.0065	1.0152	<1,2
27	Deprem X	0.1320	0.1265	0.1210	0.0068	0.0066	0.0064	1.0303	<1,2
26	Deprem X	0.1252	0.1199	0.1146	0.0066	0.0065	0.0064	1.0154	<1,2
25	Deprem X	0.1186	0.1134	0.1082	0.0067	0.0065	0.0063	1.0308	<1,2
24	Deprem X	0.1119	0.1069	0.1019	0.0065	0.0064	0.0063	1.0156	<1,2
23	Deprem X	0.1054	0.1005	0.0956	0.0065	0.0063	0.0061	1.0317	<1,2
22	Deprem X	0.0989	0.0942	0.0895	0.0064	0.0062	0.0060	1.0323	<1,2
21	Deprem X	0.0925	0.0880	0.0835	0.0063	0.0061	0.0059	1.0328	<1,2
20	Deprem X	0.0862	0.0819	0.0776	0.0061	0.0059	0.0057	1.0339	<1,2
19	Deprem X	0.0801	0.0760	0.0719	0.0060	0.0058	0.0056	1.0345	<1,2
18	Deprem X	0.0741	0.0702	0.0663	0.0058	0.0057	0.0056	1.0175	<1,2
17	Deprem X	0.0683	0.0645	0.0607	0.0058	0.0056	0.0054	1.0357	<1,2
16	Deprem X	0.0625	0.0589	0.0553	0.0056	0.0054	0.0052	1.0370	<1,2
15	Deprem X	0.0569	0.0535	0.0501	0.0055	0.0053	0.0051	1.0377	<1,2
14	Deprem X	0.0514	0.0482	0.0450	0.0054	0.0051	0.0048	1.0588	<1,2
13	Deprem X	0.0460	0.0431	0.0402	0.0051	0.0050	0.0049	1.0200	<1,2
12	Deprem X	0.0409	0.0381	0.0353	0.0050	0.0047	0.0044	1.0638	<1,2
11	Deprem X	0.0359	0.0334	0.0309	0.0048	0.0046	0.0044	1.0435	<1,2
10	Deprem X	0.0311	0.0288	0.0265	0.0045	0.0042	0.0039	1.0714	<1,2
9	Deprem X	0.0266	0.0246	0.0226	0.0042	0.0041	0.0040	1.0244	<1,2
8	Deprem X	0.0224	0.0205	0.0186	0.0040	0.0037	0.0034	1.0811	<1,2
7	Deprem X	0.0184	0.0168	0.0152	0.0038	0.0036	0.0034	1.0556	<1,2
6	Deprem X	0.0146	0.0132	0.0118	0.0035	0.0032	0.0029	1.0938	<1,2
5	Deprem X	0.0111	0.0100	0.0089	0.0032	0.0030	0.0028	1.0667	<1,2
4	Deprem X	0.0079	0.0070	0.0061	0.0028	0.0025	0.0022	1.1200	<1,2
3	Deprem X	0.0051	0.0045	0.0039	0.0023	0.0021	0.0019	1.0952	<1,2
2	Deprem X	0.0028	0.0024	0.0020	0.0018	0.0016	0.0014	1.1250	<1,2
1	Deprem X	0.0010	0.0008	0.0006	0.0010	0.0008	0.0006	-	<1,2

Çizelge A.2 : A1-Burulma düzensizliği kontrolü (Y-Y doğrultusu).

KAT	DEPREM DOĞRULTUSU	Kat Deplasmanları			Görelî Kat Ötelemeleri			η_{bi}	SINIR
		MAKSİMUM	ORTALAMA	MINİMUM	Δ_{imax}	Δ_{iort}	Δ_{imin}		
42	Deprem Y	0.2452	0.2390	0.2328	0.0069	0.0069	0.0069	1.0000	<1,2
41	Deprem Y	0.2383	0.2321	0.2259	0.0069	0.0069	0.0069	1.0000	<1,2
40	Deprem Y	0.2314	0.2252	0.2190	0.0071	0.0070	0.0069	1.0143	<1,2
39	Deprem Y	0.2243	0.2182	0.2121	0.0070	0.0070	0.0070	1.0000	<1,2
38	Deprem Y	0.2173	0.2112	0.2051	0.0071	0.0070	0.0069	1.0143	<1,2
37	Deprem Y	0.2102	0.2042	0.1982	0.0071	0.0071	0.0071	1.0000	<1,2
36	Deprem Y	0.2031	0.1971	0.1911	0.0072	0.0071	0.0070	1.0141	<1,2
35	Deprem Y	0.1959	0.1900	0.1841	0.0072	0.0071	0.0070	1.0141	<1,2
34	Deprem Y	0.1887	0.1829	0.1771	0.0072	0.0071	0.0070	1.0141	<1,2
33	Deprem Y	0.1815	0.1758	0.1701	0.0073	0.0072	0.0071	1.0139	<1,2
32	Deprem Y	0.1742	0.1686	0.1630	0.0072	0.0071	0.0070	1.0141	<1,2
31	Deprem Y	0.1670	0.1615	0.1560	0.0073	0.0072	0.0071	1.0139	<1,2
30	Deprem Y	0.1597	0.1543	0.1489	0.0072	0.0071	0.0070	1.0141	<1,2
29	Deprem Y	0.1525	0.1472	0.1419	0.0072	0.0070	0.0068	1.0286	<1,2
28	Deprem Y	0.1453	0.1402	0.1351	0.0071	0.0071	0.0071	1.0000	<1,2
27	Deprem Y	0.1382	0.1331	0.1280	0.0071	0.0069	0.0067	1.0290	<1,2
26	Deprem Y	0.1311	0.1262	0.1213	0.0071	0.0070	0.0069	1.0143	<1,2
25	Deprem Y	0.1240	0.1192	0.1144	0.0070	0.0069	0.0068	1.0145	<1,2
24	Deprem Y	0.1170	0.1123	0.1076	0.0070	0.0068	0.0066	1.0294	<1,2
23	Deprem Y	0.1100	0.1055	0.1010	0.0069	0.0067	0.0065	1.0299	<1,2
22	Deprem Y	0.1031	0.0988	0.0945	0.0068	0.0067	0.0066	1.0149	<1,2
21	Deprem Y	0.0963	0.0921	0.0879	0.0067	0.0065	0.0063	1.0308	<1,2
20	Deprem Y	0.0896	0.0856	0.0816	0.0065	0.0064	0.0063	1.0156	<1,2
19	Deprem Y	0.0831	0.0792	0.0753	0.0065	0.0062	0.0059	1.0484	<1,2
18	Deprem Y	0.0766	0.0730	0.0694	0.0063	0.0062	0.0061	1.0161	<1,2
17	Deprem Y	0.0703	0.0668	0.0633	0.0061	0.0060	0.0059	1.0167	<1,2
16	Deprem Y	0.0642	0.0608	0.0574	0.0061	0.0058	0.0055	1.0517	<1,2
15	Deprem Y	0.0581	0.0550	0.0519	0.0058	0.0057	0.0056	1.0175	<1,2
14	Deprem Y	0.0523	0.0493	0.0463	0.0057	0.0054	0.0051	1.0556	<1,2
13	Deprem Y	0.0466	0.0439	0.0412	0.0055	0.0053	0.0051	1.0377	<1,2
12	Deprem Y	0.0411	0.0386	0.0361	0.0052	0.0051	0.0050	1.0196	<1,2
11	Deprem Y	0.0359	0.0335	0.0311	0.0050	0.0047	0.0044	1.0638	<1,2
10	Deprem Y	0.0309	0.0288	0.0267	0.0047	0.0045	0.0043	1.0444	<1,2
9	Deprem Y	0.0262	0.0243	0.0224	0.0044	0.0042	0.0040	1.0476	<1,2
8	Deprem Y	0.0218	0.0201	0.0184	0.0042	0.0039	0.0036	1.0769	<1,2
7	Deprem Y	0.0176	0.0162	0.0148	0.0038	0.0036	0.0034	1.0556	<1,2
6	Deprem Y	0.0138	0.0126	0.0114	0.0035	0.0033	0.0031	1.0606	<1,2
5	Deprem Y	0.0103	0.0093	0.0083	0.0030	0.0028	0.0026	1.0714	<1,2
4	Deprem Y	0.0073	0.0065	0.0057	0.0027	0.0025	0.0023	1.0800	<1,2
3	Deprem Y	0.0046	0.0040	0.0034	0.0021	0.0019	0.0017	1.1053	<1,2
2	Deprem Y	0.0025	0.0021	0.0017	0.0016	0.0014	0.0012	1.1429	<1,2
1	Deprem Y	0.0009	0.0007	0.0005	0.0009	0.0007	0.0005	-	<1,2

Çizelge A.3 : B1-Komşu katlar arası dayanım düzensizliği (zayıf kat) kontrolü (X-X doğrultusu).

KAT	DEPREM DOĞRULTUSU	$A_w (m^2)$	$A_g (m^2)$	$A_t (m^2)$	η_{ci}	SINIR
42	Deprem X	4.90	13.44	18.34	-	>0.80
41	Deprem X	4.90	13.44	18.34	1.00	>0.80
40	Deprem X	4.90	13.44	18.34	1.00	>0.80
39	Deprem X	4.90	13.44	18.34	1.00	>0.80
38	Deprem X	4.90	13.44	18.34	1.00	>0.80
37	Deprem X	4.90	13.44	18.34	1.00	>0.80
36	Deprem X	4.90	13.44	18.34	1.00	>0.80
35	Deprem X	4.90	13.44	18.34	1.00	>0.80
34	Deprem X	4.90	13.44	18.34	1.00	>0.80
33	Deprem X	4.90	13.44	18.34	1.00	>0.80
32	Deprem X	4.90	13.44	18.34	1.00	>0.80
31	Deprem X	4.90	13.44	18.34	1.18	>0.80
30	Deprem X	6.40	15.22	21.62	1.00	>0.80
29	Deprem X	6.40	15.22	21.62	1.00	>0.80
28	Deprem X	6.40	15.22	21.62	1.00	>0.80
27	Deprem X	6.40	15.22	21.62	1.00	>0.80
26	Deprem X	6.40	15.22	21.62	1.00	>0.80
25	Deprem X	6.40	15.22	21.62	1.00	>0.80
24	Deprem X	6.40	15.22	21.62	1.00	>0.80
23	Deprem X	6.40	15.22	21.62	1.00	>0.80
22	Deprem X	6.40	15.22	21.62	1.00	>0.80
21	Deprem X	6.40	15.22	21.62	1.16	>0.80
20	Deprem X	8.10	17.00	25.10	1.00	>0.80
19	Deprem X	8.10	17.00	25.10	1.00	>0.80
18	Deprem X	8.10	17.00	25.10	1.00	>0.80
17	Deprem X	8.10	17.00	25.10	1.00	>0.80
16	Deprem X	8.10	17.00	25.10	1.00	>0.80
15	Deprem X	8.10	17.00	25.10	1.00	>0.80
14	Deprem X	8.10	17.00	25.10	1.00	>0.80
13	Deprem X	8.10	17.00	25.10	1.00	>0.80
12	Deprem X	8.10	17.00	25.10	1.00	>0.80
11	Deprem X	8.10	17.00	25.10	1.15	>0.80
10	Deprem X	10.00	18.78	28.78	1.00	>0.80
9	Deprem X	10.00	18.78	28.78	1.00	>0.80
8	Deprem X	10.00	18.78	28.78	1.00	>0.80
7	Deprem X	10.00	18.78	28.78	1.00	>0.80
6	Deprem X	10.00	18.78	28.78	1.00	>0.80
5	Deprem X	10.00	18.78	28.78	1.00	>0.80
4	Deprem X	10.00	18.78	28.78	1.00	>0.80
3	Deprem X	10.00	18.78	28.78	1.00	>0.80
2	Deprem X	10.00	18.78	28.78	1.00	>0.80
1	Deprem X	10.00	18.78	28.78	-	>0.80

Çizelge A.4 : B1-Komşu katlar arası dayanım düzensizliği (zayıf kat) kontrolü (Y-Y doğrultusu).

KAT	DEPREM DOĞRULTUSU	$A_w (m^2)$	$A_g (m^2)$	$A_t (m^2)$	η_{ci}	SINIR
42	Deprem Y	4.90	13.72	18.62	-	>0.80
41	Deprem Y	4.90	13.72	18.62	1.00	>0.80
40	Deprem Y	4.90	13.72	18.62	1.00	>0.80
39	Deprem Y	4.90	13.72	18.62	1.00	>0.80
38	Deprem Y	4.90	13.72	18.62	1.00	>0.80
37	Deprem Y	4.90	13.72	18.62	1.00	>0.80
36	Deprem Y	4.90	13.72	18.62	1.00	>0.80
35	Deprem Y	4.90	13.72	18.62	1.00	>0.80
34	Deprem Y	4.90	13.72	18.62	1.00	>0.80
33	Deprem Y	4.90	13.72	18.62	1.00	>0.80
32	Deprem Y	4.90	13.72	18.62	1.00	>0.80
31	Deprem Y	4.90	13.72	18.62	1.20	>0.80
30	Deprem Y	6.40	15.90	22.30	1.00	>0.80
29	Deprem Y	6.40	15.90	22.30	1.00	>0.80
28	Deprem Y	6.40	15.90	22.30	1.00	>0.80
27	Deprem Y	6.40	15.90	22.30	1.00	>0.80
26	Deprem Y	6.40	15.90	22.30	1.00	>0.80
25	Deprem Y	6.40	15.90	22.30	1.00	>0.80
24	Deprem Y	6.40	15.90	22.30	1.00	>0.80
23	Deprem Y	6.40	15.90	22.30	1.00	>0.80
22	Deprem Y	6.40	15.90	22.30	1.00	>0.80
21	Deprem Y	6.40	15.90	22.30	1.17	>0.80
20	Deprem Y	8.10	18.08	26.18	1.00	>0.80
19	Deprem Y	8.10	18.08	26.18	1.00	>0.80
18	Deprem Y	8.10	18.08	26.18	1.00	>0.80
17	Deprem Y	8.10	18.08	26.18	1.00	>0.80
16	Deprem Y	8.10	18.08	26.18	1.00	>0.80
15	Deprem Y	8.10	18.08	26.18	1.00	>0.80
14	Deprem Y	8.10	18.08	26.18	1.00	>0.80
13	Deprem Y	8.10	18.08	26.18	1.00	>0.80
12	Deprem Y	8.10	18.08	26.18	1.00	>0.80
11	Deprem Y	8.10	18.08	26.18	1.16	>0.80
10	Deprem Y	10.00	20.26	30.26	1.00	>0.80
9	Deprem Y	10.00	20.26	30.26	1.00	>0.80
8	Deprem Y	10.00	20.26	30.26	1.00	>0.80
7	Deprem Y	10.00	20.26	30.26	1.00	>0.80
6	Deprem Y	10.00	20.26	30.26	1.00	>0.80
5	Deprem Y	10.00	20.26	30.26	1.00	>0.80
4	Deprem Y	10.00	20.26	30.26	1.00	>0.80
3	Deprem Y	10.00	20.26	30.26	1.00	>0.80
2	Deprem Y	10.00	20.26	30.26	1.00	>0.80
1	Deprem Y	10.00	20.26	30.26	-	>0.80

Çizelge A.5 : B2-Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (yumuşak kat) kontrolü (X-X doğrultusu).

KAT	DEPREM DOĞRULTUSU	Ortalama Göreli Kat Ötelemeleri			$\eta_{ki} (i/i-1)$	$\eta_{ki} (i/i+1)$	SINIR
		Δ_{imax}/h	Δ_{iort}/h	Δ_{imin}/h			
42	Deprem Y	0.0017	0.0017	0.0017	1.0000	-	<2.0
41	Deprem Y	0.0017	0.0017	0.0017	0.9857	1.0000	<2.0
40	Deprem Y	0.0018	0.0018	0.0017	1.0000	1.0145	<2.0
39	Deprem Y	0.0018	0.0018	0.0018	1.0000	1.0000	<2.0
38	Deprem Y	0.0018	0.0018	0.0017	0.9859	1.0000	<2.0
37	Deprem Y	0.0018	0.0018	0.0018	1.0000	1.0143	<2.0
36	Deprem Y	0.0018	0.0018	0.0017	1.0000	1.0000	<2.0
35	Deprem Y	0.0018	0.0018	0.0018	1.0000	1.0000	<2.0
34	Deprem Y	0.0018	0.0018	0.0017	0.9861	1.0000	<2.0
33	Deprem Y	0.0018	0.0018	0.0018	1.0141	1.0141	<2.0
32	Deprem Y	0.0018	0.0018	0.0018	0.9861	0.9861	<2.0
31	Deprem Y	0.0018	0.0018	0.0018	1.0141	1.0141	<2.0
30	Deprem Y	0.0018	0.0018	0.0017	1.0143	0.9861	<2.0
29	Deprem Y	0.0018	0.0018	0.0017	0.9859	0.9859	<2.0
28	Deprem Y	0.0018	0.0018	0.0018	1.0290	1.0143	<2.0
27	Deprem Y	0.0018	0.0017	0.0017	0.9857	0.9718	<2.0
26	Deprem Y	0.0018	0.0018	0.0017	1.0145	1.0145	<2.0
25	Deprem Y	0.0018	0.0017	0.0017	1.0147	0.9857	<2.0
24	Deprem Y	0.0018	0.0017	0.0017	1.0149	0.9855	<2.0
23	Deprem Y	0.0017	0.0017	0.0016	1.0000	0.9853	<2.0
22	Deprem Y	0.0017	0.0017	0.0017	1.0308	1.0000	<2.0
21	Deprem Y	0.0017	0.0016	0.0016	1.0156	0.9701	<2.0
20	Deprem Y	0.0016	0.0016	0.0016	1.0323	0.9846	<2.0
19	Deprem Y	0.0016	0.0016	0.0015	1.0000	0.9688	<2.0
18	Deprem Y	0.0016	0.0016	0.0015	1.0333	1.0000	<2.0
17	Deprem Y	0.0015	0.0015	0.0015	1.0345	0.9677	<2.0
16	Deprem Y	0.0015	0.0015	0.0014	1.0175	0.9667	<2.0
15	Deprem Y	0.0015	0.0014	0.0014	1.0556	0.9828	<2.0
14	Deprem Y	0.0014	0.0014	0.0013	1.0189	0.9474	<2.0
13	Deprem Y	0.0014	0.0013	0.0013	1.0392	0.9815	<2.0
12	Deprem Y	0.0013	0.0013	0.0013	1.0851	0.9623	<2.0
11	Deprem Y	0.0013	0.0012	0.0011	1.0444	0.9216	<2.0
10	Deprem Y	0.0012	0.0011	0.0011	1.0714	0.9574	<2.0
9	Deprem Y	0.0011	0.0011	0.0010	1.0769	0.9333	<2.0
8	Deprem Y	0.0011	0.0010	0.0009	1.0833	0.9286	<2.0
7	Deprem Y	0.0010	0.0009	0.0008	1.0909	0.9231	<2.0
6	Deprem Y	0.0009	0.0008	0.0008	1.1786	0.9167	<2.0
5	Deprem Y	0.0008	0.0007	0.0007	1.1200	0.8485	<2.0
4	Deprem Y	0.0007	0.0006	0.0006	1.3158	0.8929	<2.0
3	Deprem Y	0.0005	0.0005	0.0004	1.3571	0.7600	<2.0
2	Deprem Y	0.0004	0.0004	0.0003	2.0000	0.7368	<2.0
1	Deprem Y	0.0002	0.0002	0.0001	-	0.5000	<2.0

Çizelge A.6 : B2-Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (yumuşak kat) kontrolü (Y-Y doğrultusu).

KAT	DEPREM DOĞRULTUSU	Ortalama Görelî Kat Ötelemeleri			η_{ki} (i/i-1)	η_{ki} (i/i+1)	SINIR
		Δ_{imax}/h	Δ_{ior}/h	Δ_{imin}/h			
42	Deprem Y	0.0017	0.0017	0.0017	1.0000	-	<2.0
41	Deprem Y	0.0017	0.0017	0.0017	0.9857	1.0000	<2.0
40	Deprem Y	0.0018	0.0018	0.0017	1.0000	1.0145	<2.0
39	Deprem Y	0.0018	0.0018	0.0018	1.0000	1.0000	<2.0
38	Deprem Y	0.0018	0.0018	0.0017	0.9859	1.0000	<2.0
37	Deprem Y	0.0018	0.0018	0.0018	1.0000	1.0143	<2.0
36	Deprem Y	0.0018	0.0018	0.0017	1.0000	1.0000	<2.0
35	Deprem Y	0.0018	0.0018	0.0018	1.0000	1.0000	<2.0
34	Deprem Y	0.0018	0.0018	0.0017	0.9861	1.0000	<2.0
33	Deprem Y	0.0018	0.0018	0.0018	1.0141	1.0141	<2.0
32	Deprem Y	0.0018	0.0018	0.0018	0.9861	0.9861	<2.0
31	Deprem Y	0.0018	0.0018	0.0018	1.0141	1.0141	<2.0
30	Deprem Y	0.0018	0.0018	0.0017	1.0143	0.9861	<2.0
29	Deprem Y	0.0018	0.0018	0.0017	0.9859	0.9859	<2.0
28	Deprem Y	0.0018	0.0018	0.0018	1.0290	1.0143	<2.0
27	Deprem Y	0.0018	0.0017	0.0017	0.9857	0.9718	<2.0
26	Deprem Y	0.0018	0.0018	0.0017	1.0145	1.0145	<2.0
25	Deprem Y	0.0018	0.0017	0.0017	1.0147	0.9857	<2.0
24	Deprem Y	0.0018	0.0017	0.0017	1.0149	0.9855	<2.0
23	Deprem Y	0.0017	0.0017	0.0016	1.0000	0.9853	<2.0
22	Deprem Y	0.0017	0.0017	0.0017	1.0308	1.0000	<2.0
21	Deprem Y	0.0017	0.0016	0.0016	1.0156	0.9701	<2.0
20	Deprem Y	0.0016	0.0016	0.0016	1.0323	0.9846	<2.0
19	Deprem Y	0.0016	0.0016	0.0015	1.0000	0.9688	<2.0
18	Deprem Y	0.0016	0.0016	0.0015	1.0333	1.0000	<2.0
17	Deprem Y	0.0015	0.0015	0.0015	1.0345	0.9677	<2.0
16	Deprem Y	0.0015	0.0015	0.0014	1.0175	0.9667	<2.0
15	Deprem Y	0.0015	0.0014	0.0014	1.0556	0.9828	<2.0
14	Deprem Y	0.0014	0.0014	0.0013	1.0189	0.9474	<2.0
13	Deprem Y	0.0014	0.0013	0.0013	1.0392	0.9815	<2.0
12	Deprem Y	0.0013	0.0013	0.0013	1.0851	0.9623	<2.0
11	Deprem Y	0.0013	0.0012	0.0011	1.0444	0.9216	<2.0
10	Deprem Y	0.0012	0.0011	0.0011	1.0714	0.9574	<2.0
9	Deprem Y	0.0011	0.0011	0.0010	1.0769	0.9333	<2.0
8	Deprem Y	0.0011	0.0010	0.0009	1.0833	0.9286	<2.0
7	Deprem Y	0.0010	0.0009	0.0008	1.0909	0.9231	<2.0
6	Deprem Y	0.0009	0.0008	0.0008	1.1786	0.9167	<2.0
5	Deprem Y	0.0008	0.0007	0.0007	1.1200	0.8485	<2.0
4	Deprem Y	0.0007	0.0006	0.0006	1.3158	0.8929	<2.0
3	Deprem Y	0.0005	0.0005	0.0004	1.3571	0.7600	<2.0
2	Deprem Y	0.0004	0.0004	0.0003	2.0000	0.7368	<2.0
1	Deprem Y	0.0002	0.0002	0.0001	-	0.5000	<2.0

Çizelge A.7 : Düzensizlik kontrollerinin özeti.

KAT	DÜZENSİZLİKLER					
	A1	A2	A3	B1	B2	B3
42	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK
41	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK
40	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK
39	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK
38	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK
37	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK
36	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK
35	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK
34	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK
33	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK
32	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK
31	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK
30	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK
29	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK
28	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK
27	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK
26	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK
25	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK
24	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK
23	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK
22	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK
21	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK
20	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK
19	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK
18	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK
17	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK
16	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK
15	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK
14	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK
13	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK
12	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK
11	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK
10	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK
9	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK
8	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK
7	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK
6	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK
5	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK
4	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK
3	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK
2	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK
1	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK

Çizelge A.8 : Modal kütle katılım oranları.

Modal Kütle Katılım Oranları			
Mod	Periyod	Kümülatif Toplam	
		X doğrultusu	Y Doğrultusu
1	3.915698	0.0073	61.7425
2	3.750676	62.1684	61.7498
3	1.544878	62.1684	61.7499
4	0.945009	62.2221	80.2564
5	0.935024	81.7035	80.3077
6	0.560778	81.7035	80.3077
7	0.430378	88.3932	80.3081
8	0.405728	88.3935	87.4316
9	0.334364	88.3935	87.4353
10	0.26345	91.8658	87.4353
11	0.235457	91.8658	88.5969
12	0.231714	91.8658	91.352
13	0.183281	93.7524	91.352
14	0.178505	93.7524	91.3596
15	0.155323	93.7524	93.6555
16	0.143594	93.7524	93.6561
17	0.137066	95.0873	93.6561
18	0.119551	95.0873	93.6624
19	0.113913	95.0873	95.1988
20	0.107754	96.05	95.1988
21	0.102058	96.05	95.2011
22	0.08977	96.05	95.2044
23	0.089006	96.05	96.2667
24	0.087767	96.7759	96.2667
25	0.078855	96.7759	96.2671
26	0.07372	97.3033	96.2671
27	0.0727	97.3033	97.0285
28	0.070849	97.3033	97.0311
29	0.062886	97.7317	97.0311
30	0.061612	97.7317	97.5694
31	0.056439	97.7318	97.5702
32	0.0548	98.0826	97.5702
33	0.053005	98.0826	97.9818
34	0.048466	98.3156	97.9858
35	0.048403	98.3702	98.004
36	0.046452	98.3702	98.3375
37	0.043424	98.6077	98.3375
38	0.04094	98.6078	98.6678
39	0.038986	98.8161	98.668
40	0.03551	98.819	98.9799
41	0.034915	99.04	98.9842

Çizelge A.9 : Görelî kat ötelemelerinin kontrolü (X-X doğrultusu).

KAT	DEPREM DOĞRULTUSU	Kat Ötelemeleri			$\Delta_i = d_i - d_{i-1}$	R	$\delta_i = R \times \Delta_i$	h	$\delta_{\max} / h_i$	SINIR
		MAK	ORT	MİN						
42	Deprem X	0.2331	0.2265	0.2199	0.0064	4.1602	0.0266	4.0000	0.0067	≤ 0.02
41	Deprem X	0.2267	0.2200	0.2133	0.0066	4.1602	0.0275	4.0000	0.0069	≤ 0.02
40	Deprem X	0.2201	0.2135	0.2069	0.0065	4.1602	0.0270	4.0000	0.0068	≤ 0.02
39	Deprem X	0.2136	0.2070	0.2004	0.0067	4.1602	0.0279	4.0000	0.0070	≤ 0.02
38	Deprem X	0.2069	0.2004	0.1939	0.0067	4.1602	0.0279	4.0000	0.0070	≤ 0.02
37	Deprem X	0.2002	0.1938	0.1874	0.0067	4.1602	0.0279	4.0000	0.0070	≤ 0.02
36	Deprem X	0.1935	0.1871	0.1807	0.0069	4.1602	0.0287	4.0000	0.0072	≤ 0.02
35	Deprem X	0.1866	0.1803	0.1740	0.0068	4.1602	0.0283	4.0000	0.0071	≤ 0.02
34	Deprem X	0.1798	0.1736	0.1674	0.0069	4.1602	0.0287	4.0000	0.0072	≤ 0.02
33	Deprem X	0.1729	0.1668	0.1607	0.0069	4.1602	0.0287	4.0000	0.0072	≤ 0.02
32	Deprem X	0.1660	0.1600	0.1540	0.0069	4.1602	0.0287	4.0000	0.0072	≤ 0.02
31	Deprem X	0.1591	0.1532	0.1473	0.0068	4.1602	0.0283	4.0000	0.0071	≤ 0.02
30	Deprem X	0.1523	0.1465	0.1407	0.0068	4.1602	0.0283	4.0000	0.0071	≤ 0.02
29	Deprem X	0.1455	0.1398	0.1341	0.0068	4.1602	0.0283	4.0000	0.0071	≤ 0.02
28	Deprem X	0.1387	0.1331	0.1275	0.0067	4.1602	0.0279	4.0000	0.0070	≤ 0.02
27	Deprem X	0.1320	0.1265	0.1210	0.0068	4.1602	0.0283	4.0000	0.0071	≤ 0.02
26	Deprem X	0.1252	0.1199	0.1146	0.0066	4.1602	0.0275	4.0000	0.0069	≤ 0.02
25	Deprem X	0.1186	0.1134	0.1082	0.0067	4.1602	0.0279	4.0000	0.0070	≤ 0.02
24	Deprem X	0.1119	0.1069	0.1019	0.0065	4.1602	0.0270	4.0000	0.0068	≤ 0.02
23	Deprem X	0.1054	0.1005	0.0956	0.0065	4.1602	0.0270	4.0000	0.0068	≤ 0.02
22	Deprem X	0.0989	0.0942	0.0895	0.0064	4.1602	0.0266	4.0000	0.0067	≤ 0.02
21	Deprem X	0.0925	0.0880	0.0835	0.0063	4.1602	0.0262	4.0000	0.0066	≤ 0.02
20	Deprem X	0.0862	0.0819	0.0776	0.0061	4.1602	0.0254	4.0000	0.0063	≤ 0.02
19	Deprem X	0.0801	0.0760	0.0719	0.0060	4.1602	0.0250	4.0000	0.0062	≤ 0.02
18	Deprem X	0.0741	0.0702	0.0663	0.0058	4.1602	0.0241	4.0000	0.0060	≤ 0.02
17	Deprem X	0.0683	0.0645	0.0607	0.0058	4.1602	0.0241	4.0000	0.0060	≤ 0.02
16	Deprem X	0.0625	0.0589	0.0553	0.0056	4.1602	0.0233	4.0000	0.0058	≤ 0.02
15	Deprem X	0.0569	0.0535	0.0501	0.0055	4.1602	0.0229	4.0000	0.0057	≤ 0.02
14	Deprem X	0.0514	0.0482	0.0450	0.0054	4.1602	0.0225	4.0000	0.0056	≤ 0.02
13	Deprem X	0.0460	0.0431	0.0402	0.0051	4.1602	0.0212	4.0000	0.0053	≤ 0.02
12	Deprem X	0.0409	0.0381	0.0353	0.0050	4.1602	0.0208	4.0000	0.0052	≤ 0.02
11	Deprem X	0.0359	0.0334	0.0309	0.0048	4.1602	0.0200	4.0000	0.0050	≤ 0.02
10	Deprem X	0.0311	0.0288	0.0265	0.0045	4.1602	0.0187	4.0000	0.0047	≤ 0.02
9	Deprem X	0.0266	0.0246	0.0226	0.0042	4.1602	0.0175	4.0000	0.0044	≤ 0.02
8	Deprem X	0.0224	0.0205	0.0186	0.0040	4.1602	0.0166	4.0000	0.0042	≤ 0.02
7	Deprem X	0.0184	0.0168	0.0152	0.0038	4.1602	0.0158	4.0000	0.0040	≤ 0.02
6	Deprem X	0.0146	0.0132	0.0118	0.0035	4.1602	0.0146	4.0000	0.0036	≤ 0.02
5	Deprem X	0.0111	0.0100	0.0089	0.0032	4.1602	0.0133	4.0000	0.0033	≤ 0.02
4	Deprem X	0.0079	0.0070	0.0061	0.0028	4.1602	0.0116	4.0000	0.0029	≤ 0.02
3	Deprem X	0.0051	0.0045	0.0039	0.0023	4.1602	0.0096	4.0000	0.0024	≤ 0.02
2	Deprem X	0.0028	0.0024	0.0020	0.0018	4.1602	0.0075	4.0000	0.0019	≤ 0.02
1	Deprem X	0.0010	0.0008	0.0006	0.0010	4.1602	0.0042	4.0000	0.0010	≤ 0.02

Çizelge A.10 : Görelî kat ötelemelerinin kontrolü (Y-Y doğrultusu).

KAT	DEPREM DOĞRULTUSU	Kat Ötelemeleri			$\Delta_i = d_i - d_{i-1}$	R	$\delta_i = R \times \Delta_i$	h	$\delta_{\max} / h_i$	SINIR
		MAK	ORT	MİN						
42	Deprem Y	0.2452	0.2390	0.2328	0.0069	4.0261	0.0278	4.0000	0.0069	≤ 0.02
41	Deprem Y	0.2383	0.2321	0.2259	0.0069	4.0261	0.0278	4.0000	0.0069	≤ 0.02
40	Deprem Y	0.2314	0.2252	0.2190	0.0071	4.0261	0.0286	4.0000	0.0071	≤ 0.02
39	Deprem Y	0.2243	0.2182	0.2121	0.0070	4.0261	0.0282	4.0000	0.0070	≤ 0.02
38	Deprem Y	0.2173	0.2112	0.2051	0.0071	4.0261	0.0286	4.0000	0.0071	≤ 0.02
37	Deprem Y	0.2102	0.2042	0.1982	0.0071	4.0261	0.0286	4.0000	0.0071	≤ 0.02
36	Deprem Y	0.2031	0.1971	0.1911	0.0072	4.0261	0.0290	4.0000	0.0072	≤ 0.02
35	Deprem Y	0.1959	0.1900	0.1841	0.0072	4.0261	0.0290	4.0000	0.0072	≤ 0.02
34	Deprem Y	0.1887	0.1829	0.1771	0.0072	4.0261	0.0290	4.0000	0.0072	≤ 0.02
33	Deprem Y	0.1815	0.1758	0.1701	0.0073	4.0261	0.0294	4.0000	0.0073	≤ 0.02
32	Deprem Y	0.1742	0.1686	0.1630	0.0072	4.0261	0.0290	4.0000	0.0072	≤ 0.02
31	Deprem Y	0.1670	0.1615	0.1560	0.0073	4.0261	0.0294	4.0000	0.0073	≤ 0.02
30	Deprem Y	0.1597	0.1543	0.1489	0.0072	4.0261	0.0290	4.0000	0.0072	≤ 0.02
29	Deprem Y	0.1525	0.1472	0.1419	0.0072	4.0261	0.0290	4.0000	0.0072	≤ 0.02
28	Deprem Y	0.1453	0.1402	0.1351	0.0071	4.0261	0.0286	4.0000	0.0071	≤ 0.02
27	Deprem Y	0.1382	0.1331	0.1280	0.0071	4.0261	0.0286	4.0000	0.0071	≤ 0.02
26	Deprem Y	0.1311	0.1262	0.1213	0.0071	4.0261	0.0286	4.0000	0.0071	≤ 0.02
25	Deprem Y	0.1240	0.1192	0.1144	0.0070	4.0261	0.0282	4.0000	0.0070	≤ 0.02
24	Deprem Y	0.1170	0.1123	0.1076	0.0070	4.0261	0.0282	4.0000	0.0070	≤ 0.02
23	Deprem Y	0.1100	0.1055	0.1010	0.0069	4.0261	0.0278	4.0000	0.0069	≤ 0.02
22	Deprem Y	0.1031	0.0988	0.0945	0.0068	4.0261	0.0274	4.0000	0.0068	≤ 0.02
21	Deprem Y	0.0963	0.0921	0.0879	0.0067	4.0261	0.0270	4.0000	0.0067	≤ 0.02
20	Deprem Y	0.0896	0.0856	0.0816	0.0065	4.0261	0.0262	4.0000	0.0065	≤ 0.02
19	Deprem Y	0.0831	0.0792	0.0753	0.0065	4.0261	0.0262	4.0000	0.0065	≤ 0.02
18	Deprem Y	0.0766	0.0730	0.0694	0.0063	4.0261	0.0254	4.0000	0.0063	≤ 0.02
17	Deprem Y	0.0703	0.0668	0.0633	0.0061	4.0261	0.0246	4.0000	0.0061	≤ 0.02
16	Deprem Y	0.0642	0.0608	0.0574	0.0061	4.0261	0.0246	4.0000	0.0061	≤ 0.02
15	Deprem Y	0.0581	0.0550	0.0519	0.0058	4.0261	0.0234	4.0000	0.0058	≤ 0.02
14	Deprem Y	0.0523	0.0493	0.0463	0.0057	4.0261	0.0229	4.0000	0.0057	≤ 0.02
13	Deprem Y	0.0466	0.0439	0.0412	0.0055	4.0261	0.0221	4.0000	0.0055	≤ 0.02
12	Deprem Y	0.0411	0.0386	0.0361	0.0052	4.0261	0.0209	4.0000	0.0052	≤ 0.02
11	Deprem Y	0.0359	0.0335	0.0311	0.0050	4.0261	0.0201	4.0000	0.0050	≤ 0.02
10	Deprem Y	0.0309	0.0288	0.0267	0.0047	4.0261	0.0189	4.0000	0.0047	≤ 0.02
9	Deprem Y	0.0262	0.0243	0.0224	0.0044	4.0261	0.0177	4.0000	0.0044	≤ 0.02
8	Deprem Y	0.0218	0.0201	0.0184	0.0042	4.0261	0.0169	4.0000	0.0042	≤ 0.02
7	Deprem Y	0.0176	0.0162	0.0148	0.0038	4.0261	0.0153	4.0000	0.0038	≤ 0.02
6	Deprem Y	0.0138	0.0126	0.0114	0.0035	4.0261	0.0141	4.0000	0.0035	≤ 0.02
5	Deprem Y	0.0103	0.0093	0.0083	0.0030	4.0261	0.0121	4.0000	0.0030	≤ 0.02
4	Deprem Y	0.0073	0.0065	0.0057	0.0027	4.0261	0.0109	4.0000	0.0027	≤ 0.02
3	Deprem Y	0.0046	0.0040	0.0034	0.0021	4.0261	0.0085	4.0000	0.0021	≤ 0.02
2	Deprem Y	0.0025	0.0021	0.0017	0.0016	4.0261	0.0064	4.0000	0.0016	≤ 0.02
1	Deprem Y	0.0009	0.0007	0.0005	0.0009	4.0261	0.0036	4.0000	0.0009	≤ 0.02

Çizelge A.11 : İkinci mertebe etkilerinin kontrolü (X-X doğrultusu).

KAT	DEPREM DOĞRULTUSU	h	V	m _i	W _i	$\sum_{j=i}^N w_j$	Δ_{iort}	θ_i	SINIR
42	Deprem X	4.00	208.60	107.10	1050.65	1051	0.0065	0.008185	≤ 0.12
41	Deprem X	4.00	389.40	116.20	1139.92	2191	0.0065	0.009141	≤ 0.12
40	Deprem X	4.00	530.80	116.20	1139.92	3330	0.0065	0.010196	≤ 0.12
39	Deprem X	4.00	641.50	116.20	1139.92	4470	0.0066	0.011498	≤ 0.12
38	Deprem X	4.00	727.50	116.20	1139.92	5610	0.0066	0.012724	≤ 0.12
37	Deprem X	4.00	793.20	116.20	1139.92	6750	0.0067	0.014255	≤ 0.12
36	Deprem X	4.00	843.00	116.20	1139.92	7890	0.0068	0.015911	≤ 0.12
35	Deprem X	4.00	880.80	116.20	1139.92	9030	0.0067	0.017172	≤ 0.12
34	Deprem X	4.00	910.00	116.20	1139.92	10170	0.0068	0.018999	≤ 0.12
33	Deprem X	4.00	934.10	116.20	1139.92	11310	0.0068	0.020583	≤ 0.12
32	Deprem X	4.00	955.40	116.20	1139.92	12450	0.0068	0.022153	≤ 0.12
31	Deprem X	4.00	975.80	116.20	1139.92	13590	0.0067	0.023327	≤ 0.12
30	Deprem X	4.00	998.20	122.60	1202.71	14792	0.0067	0.024822	≤ 0.12
29	Deprem X	4.00	1023.00	125.70	1233.12	16026	0.0067	0.026239	≤ 0.12
28	Deprem X	4.00	1051.00	125.70	1233.12	17259	0.0066	0.027095	≤ 0.12
27	Deprem X	4.00	1080.00	125.70	1233.12	18492	0.0066	0.028251	≤ 0.12
26	Deprem X	4.00	1110.00	125.70	1233.12	19725	0.0065	0.028877	≤ 0.12
25	Deprem X	4.00	1140.00	125.70	1233.12	20958	0.0065	0.029874	≤ 0.12
24	Deprem X	4.00	1171.00	125.70	1233.12	22191	0.0064	0.030321	≤ 0.12
23	Deprem X	4.00	1201.00	125.70	1233.12	23424	0.0063	0.030719	≤ 0.12
22	Deprem X	4.00	1232.00	125.70	1233.12	24657	0.0062	0.031022	≤ 0.12
21	Deprem X	4.00	1261.00	125.70	1233.12	25891	0.0061	0.031311	≤ 0.12
20	Deprem X	4.00	1292.00	132.20	1296.88	27187	0.0059	0.031038	≤ 0.12
19	Deprem X	4.00	1325.00	135.50	1329.26	28517	0.0058	0.031207	≤ 0.12
18	Deprem X	4.00	1359.00	135.50	1329.26	29846	0.0057	0.031295	≤ 0.12
17	Deprem X	4.00	1394.00	135.50	1329.26	31175	0.0056	0.031309	≤ 0.12
16	Deprem X	4.00	1431.00	135.50	1329.26	32504	0.0054	0.030665	≤ 0.12
15	Deprem X	4.00	1469.00	135.50	1329.26	33834	0.0053	0.030517	≤ 0.12
14	Deprem X	4.00	1510.00	135.50	1329.26	35163	0.0051	0.029691	≤ 0.12
13	Deprem X	4.00	1554.00	135.50	1329.26	36492	0.0050	0.029353	≤ 0.12
12	Deprem X	4.00	1601.00	135.50	1329.26	37821	0.0047	0.027758	≤ 0.12
11	Deprem X	4.00	1651.00	135.50	1329.26	39151	0.0046	0.027270	≤ 0.12
10	Deprem X	4.00	1707.00	142.00	1393.02	40544	0.0042	0.024939	≤ 0.12
9	Deprem X	4.00	1768.00	145.40	1426.37	41970	0.0041	0.024332	≤ 0.12
8	Deprem X	4.00	1830.00	145.40	1426.37	43396	0.0037	0.021935	≤ 0.12
7	Deprem X	4.00	1892.00	145.40	1426.37	44823	0.0036	0.021322	≤ 0.12
6	Deprem X	4.00	1951.00	145.40	1426.37	46249	0.0032	0.018964	≤ 0.12
5	Deprem X	4.00	2006.00	145.40	1426.37	47676	0.0030	0.017825	≤ 0.12
4	Deprem X	4.00	2055.00	145.40	1426.37	49102	0.0025	0.014934	≤ 0.12
3	Deprem X	4.00	2094.00	145.40	1426.37	50528	0.0021	0.012668	≤ 0.12
2	Deprem X	4.00	2124.00	145.40	1426.37	51955	0.0016	0.009784	≤ 0.12
1	Deprem X	4.00	2143.00	145.40	1426.37	53381	0.0008	0.004982	≤ 0.12

Çizelge A.12 : İkinci mertebe etkilerinin kontrolü (Y-Y doğrultusu).

KAT	DEPREM DOĞRULTUSU	h	V	m _i	W _i	$\sum_{j=i}^N w_j$	Δ_{ort}	θ_i	SINIR
42	Deprem Y	4.00	222.70	107.10	1050.65	1051	0.0069	0.008138	≤ 0.12
41	Deprem Y	4.00	413.70	116.20	1139.92	2191	0.0069	0.009134	≤ 0.12
40	Deprem Y	4.00	557.90	116.20	1139.92	3330	0.0070	0.010447	≤ 0.12
39	Deprem Y	4.00	664.80	116.20	1139.92	4470	0.0070	0.011768	≤ 0.12
38	Deprem Y	4.00	744.00	116.20	1139.92	5610	0.0070	0.013196	≤ 0.12
37	Deprem Y	4.00	802.00	116.20	1139.92	6750	0.0071	0.014940	≤ 0.12
36	Deprem Y	4.00	843.70	116.20	1139.92	7890	0.0071	0.016600	≤ 0.12
35	Deprem Y	4.00	874.10	116.20	1139.92	9030	0.0071	0.018337	≤ 0.12
34	Deprem Y	4.00	897.50	116.20	1139.92	10170	0.0071	0.020113	≤ 0.12
33	Deprem Y	4.00	917.20	116.20	1139.92	11310	0.0072	0.022196	≤ 0.12
32	Deprem Y	4.00	935.90	116.20	1139.92	12450	0.0071	0.023612	≤ 0.12
31	Deprem Y	4.00	955.50	116.20	1139.92	13590	0.0072	0.025601	≤ 0.12
30	Deprem Y	4.00	978.70	122.60	1202.71	14792	0.0071	0.026828	≤ 0.12
29	Deprem Y	4.00	1006.00	125.70	1233.12	16026	0.0070	0.027878	≤ 0.12
28	Deprem Y	4.00	1036.00	125.70	1233.12	17259	0.0071	0.029570	≤ 0.12
27	Deprem Y	4.00	1069.00	125.70	1233.12	18492	0.0069	0.029840	≤ 0.12
26	Deprem Y	4.00	1102.00	125.70	1233.12	19725	0.0070	0.031324	≤ 0.12
25	Deprem Y	4.00	1135.00	125.70	1233.12	20958	0.0069	0.031853	≤ 0.12
24	Deprem Y	4.00	1168.00	125.70	1233.12	22191	0.0068	0.032299	≤ 0.12
23	Deprem Y	4.00	1199.00	125.70	1233.12	23424	0.0067	0.032724	≤ 0.12
22	Deprem Y	4.00	1229.00	125.70	1233.12	24657	0.0067	0.033606	≤ 0.12
21	Deprem Y	4.00	1256.00	125.70	1233.12	25891	0.0065	0.033497	≤ 0.12
20	Deprem Y	4.00	1284.00	132.20	1296.88	27187	0.0064	0.033878	≤ 0.12
19	Deprem Y	4.00	1312.00	135.50	1329.26	28517	0.0062	0.033690	≤ 0.12
18	Deprem Y	4.00	1340.00	135.50	1329.26	29846	0.0062	0.034523	≤ 0.12
17	Deprem Y	4.00	1370.00	135.50	1329.26	31175	0.0060	0.034133	≤ 0.12
16	Deprem Y	4.00	1401.00	135.50	1329.26	32504	0.0058	0.033641	≤ 0.12
15	Deprem Y	4.00	1436.00	135.50	1329.26	33834	0.0057	0.033575	≤ 0.12
14	Deprem Y	4.00	1474.00	135.50	1329.26	35163	0.0054	0.032205	≤ 0.12
13	Deprem Y	4.00	1517.00	135.50	1329.26	36492	0.0053	0.031874	≤ 0.12
12	Deprem Y	4.00	1565.00	135.50	1329.26	37821	0.0051	0.030813	≤ 0.12
11	Deprem Y	4.00	1617.00	135.50	1329.26	39151	0.0047	0.028449	≤ 0.12
10	Deprem Y	4.00	1676.00	142.00	1393.02	40544	0.0045	0.027215	≤ 0.12
9	Deprem Y	4.00	1740.00	145.40	1426.37	41970	0.0042	0.025327	≤ 0.12
8	Deprem Y	4.00	1806.00	145.40	1426.37	43396	0.0039	0.023428	≤ 0.12
7	Deprem Y	4.00	1871.00	145.40	1426.37	44823	0.0036	0.021561	≤ 0.12
6	Deprem Y	4.00	1934.00	145.40	1426.37	46249	0.0033	0.019729	≤ 0.12
5	Deprem Y	4.00	1992.00	145.40	1426.37	47676	0.0028	0.016753	≤ 0.12
4	Deprem Y	4.00	2044.00	145.40	1426.37	49102	0.0025	0.015014	≤ 0.12
3	Deprem Y	4.00	2087.00	145.40	1426.37	50528	0.0019	0.011500	≤ 0.12
2	Deprem Y	4.00	2121.00	145.40	1426.37	51955	0.0014	0.008573	≤ 0.12
1	Deprem Y	4.00	2143.00	145.40	1426.37	53381	0.0007	0.004359	≤ 0.12

Çizelge A.13 : Kiriş Donatıları.

KAT	TİP	KESİT	DONATI				
			ACIKLIK	MONTAJ	İÇ MESNET	DIŞ MESNET	ETRIYE
1-5	TİP1	1000/700	6φ26	6φ26	—	—	4φ10/10-15
1-5	TİP2	1000/700	10φ20	6φ20	5φ32	2φ26	4φ10/10-15
1-5	TİP3	400/1700	3φ32	3φ32	—	—	4φ12/10-15
1-5	TİP4	400/1700	4φ26	4φ26	—	—	4φ10/10-15
1-5	TİP5	400/1700	4φ20	4φ20	—	—	4φ10/10-15
6-10	TİP1	1000/700	7φ26	7φ26	—	—	4φ10/10-15
6-10	TİP2	1000/700	10φ26	6φ26	6φ32	—	4φ10/10-15
6-10	TİP3	400/1700	3φ32	3φ32	—	—	4φ12/10-15
6-10	TİP4	400/1700	4φ26	4φ26	—	—	4φ10/10-15
6-10	TİP5	400/1700	4φ20	4φ20	—	—	4φ10/10-15
11-15	TİP1	900/700	7φ26	7φ26	—	—	4φ10/10-15
11-15	TİP2	900/700	10φ26	6φ26	8φ32	—	4φ10/10-15
11-15	TİP3	400/1700	4φ32	4φ32	—	—	4φ10/10-15
11-15	TİP4	400/1700	3φ26	3φ26	—	—	4φ10/10-15
11-15	TİP5	400/1700	4φ20	4φ20	—	—	4φ10/10-15
16-20	TİP1	900/700	7φ26	7φ26	—	—	4φ10/10-15
16-20	TİP2	900/700	10φ26	6φ26	8φ32	—	4φ10/10-15
16-20	TİP3	400/1700	4φ32	4φ32	—	—	4φ10/10-15
16-20	TİP4	400/1700	3φ26	3φ26	—	—	4φ10/10-15
16-20	TİP5	400/1700	4φ20	4φ20	—	—	4φ10/10-15
21-25	TİP1	800/700	7φ26	7φ26	—	—	4φ10/10-15
21-25	TİP2	800/700	10φ26	6φ26	6φ32	—	4φ10/10-15
21-25	TİP3	400/1700	4φ32	4φ32	—	—	4φ10/10-15
21-25	TİP4	400/1700	4φ20	4φ20	—	—	4φ10/10-15
21-25	TİP5	400/1700	4φ20	4φ20	—	—	4φ10/10-15
26-30	TİP1	800/700	6φ26	6φ26	—	—	4φ10/10-15
26-30	TİP2	800/700	10φ26	6φ26	6φ32	—	4φ10/10-15
26-30	TİP3	400/1700	4φ32	4φ32	—	—	4φ10/10-15
26-30	TİP4	400/1700	4φ20	4φ20	—	—	4φ10/10-15
26-30	TİP5	400/1700	4φ20	4φ20	—	—	4φ10/10-15
31-35	TİP1	700/700	5φ26	5φ26	—	—	4φ10/10-15
31-35	TİP2	700/700	10φ22	5φ26	6φ32	—	4φ10/10-15
31-35	TİP3	400/1700	4φ32	4φ32	—	—	4φ10/10-15
31-35	TİP4	400/1700	4φ20	4φ20	—	—	4φ10/10-15
31-35	TİP5	400/1700	4φ20	4φ20	—	—	4φ10/10-15
36-42	TİP1	700/700	5φ26	5φ26	—	—	4φ10/10-15
36-42	TİP2	700/700	10φ22	5φ26	6φ32	—	4φ10/10-15
36-42	TİP3	400/1700	4φ32	4φ32	—	—	4φ10/10-15
36-42	TİP4	400/1700	4φ20	4φ20	—	—	4φ10/10-15
36-42	TİP5	400/1700	4φ20	4φ20	—	—	4φ10/10-15

Çizelge A.14 : Bina devrilme moment değeri (X-X doğrultusu).

KAT	YÜK	F_{wi}	H_i	$F_{wi} \times H_i$
42	DEPREM-X	209.99	168	35278.32
41	DEPREM-X	394.6	164	64714.4
40	DEPREM-X	539.44	160	86310.4
39	DEPREM-X	653.37	156	101925.72
38	DEPREM-X	742.58	152	112872.16
37	DEPREM-X	811.32	148	120075.36
36	DEPREM-X	864.01	144	124417.44
35	DEPREM-X	904.62	140	126646.8
34	DEPREM-X	936.5	136	127364
33	DEPREM-X	962.97	132	127112.04
32	DEPREM-X	986.61	128	126286.08
31	DEPREM-X	1009.08	124	125125.92
30	DEPREM-X	1033.34	120	124000.8
29	DEPREM-X	1060.32	116	122997.12
28	DEPREM-X	1089.13	112	121982.56
27	DEPREM-X	1119.49	108	120904.92
26	DEPREM-X	1150.82	104	119685.28
25	DEPREM-X	1182.53	100	118253
24	DEPREM-X	1214.34	96	116576.64
23	DEPREM-X	1245.81	92	114614.52
22	DEPREM-X	1276.78	88	112356.64
21	DEPREM-X	1307.27	84	109810.68
20	DEPREM-X	1339.11	80	107128.8
19	DEPREM-X	1372.71	76	104325.96
18	DEPREM-X	1407.21	72	101319.12
17	DEPREM-X	1442.75	68	98107
16	DEPREM-X	1479.85	64	94710.4
15	DEPREM-X	1518.68	60	91120.8
14	DEPREM-X	1559.97	56	87358.32
13	DEPREM-X	1603.92	52	83403.84
12	DEPREM-X	1650.96	48	79246.08
11	DEPREM-X	1701.03	44	74845.32
10	DEPREM-X	1756.86	40	70274.4
9	DEPREM-X	1817.28	36	65422.08
8	DEPREM-X	1879.51	32	60144.32
7	DEPREM-X	1941.4	28	54359.2
6	DEPREM-X	2001.49	24	48035.76
5	DEPREM-X	2056.83	20	41136.6
4	DEPREM-X	2105.28	16	33684.48
3	DEPREM-X	2145.27	12	25743.24
2	DEPREM-X	2175.37	8	17402.96
1	DEPREM-X	2194.59	4	8778.36
TOPLAM				3805857.84
2/3xTOPLAM				2537238.56

Çizelge A.15 : Kolon donatıları.

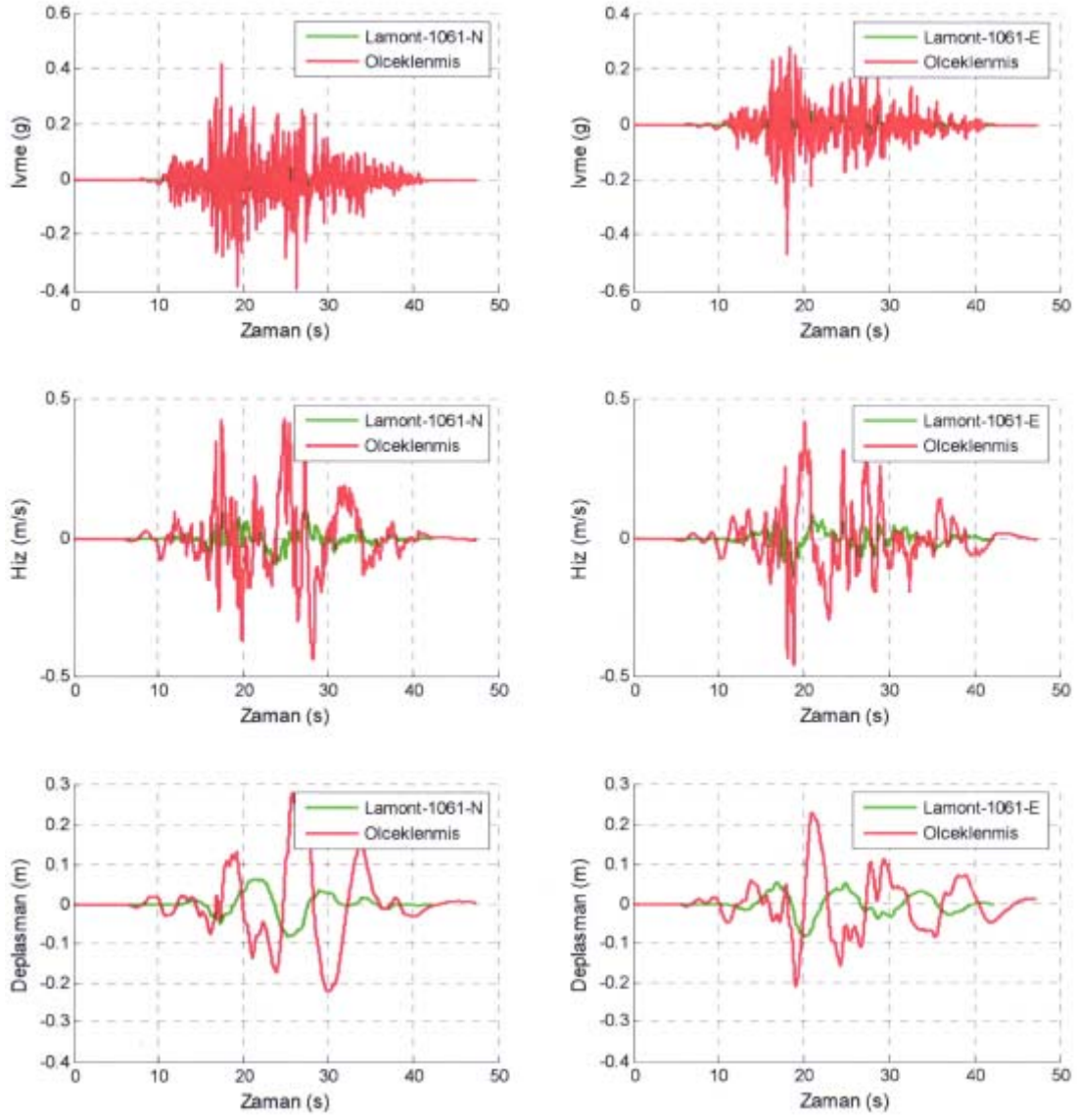
KAT	TİP	KESİT	DONATI	
			BOYUNA DONATI	ETRIYE
1-5	TİP1	1100/1100	20 ϕ 32	6 ϕ 14/10-20
1-5	TİP2	1100/1100	20 ϕ 32	6 ϕ 14/10-20
6-10	TİP1	1100/1100	20 ϕ 32	6 ϕ 14/10-20
6-10	TİP2	1100/1100	20 ϕ 32	6 ϕ 14/10-20
11-15	TİP1	1000/1000	16 ϕ 32	5 ϕ 14/10-20
11-15	TİP2	1000/1000	16 ϕ 32	5 ϕ 14/10-20
16-20	TİP1	1000/1000	16 ϕ 32	5 ϕ 14/10-20
16-20	TİP2	1000/1000	16 ϕ 32	5 ϕ 14/10-20
21-25	TİP1	900/900	16 ϕ 25	5 ϕ 14/10-20
21-25	TİP2	900/900	16 ϕ 25	5 ϕ 14/10-20
26-30	TİP1	900/900	16 ϕ 25	5 ϕ 14/10-20
26-30	TİP2	900/900	16 ϕ 25	5 ϕ 14/10-20
31-35	TİP1	800/800	16 ϕ 25	5 ϕ 14/10-20
31-35	TİP2	800/800	16 ϕ 25	5 ϕ 14/10-20
36-42	TİP1	800/800	16 ϕ 25	5 ϕ 14/10-20
36-42	TİP2	800/800	16 ϕ 25	5 ϕ 14/10-20

Çizelge A.16 : Perde donatıları.

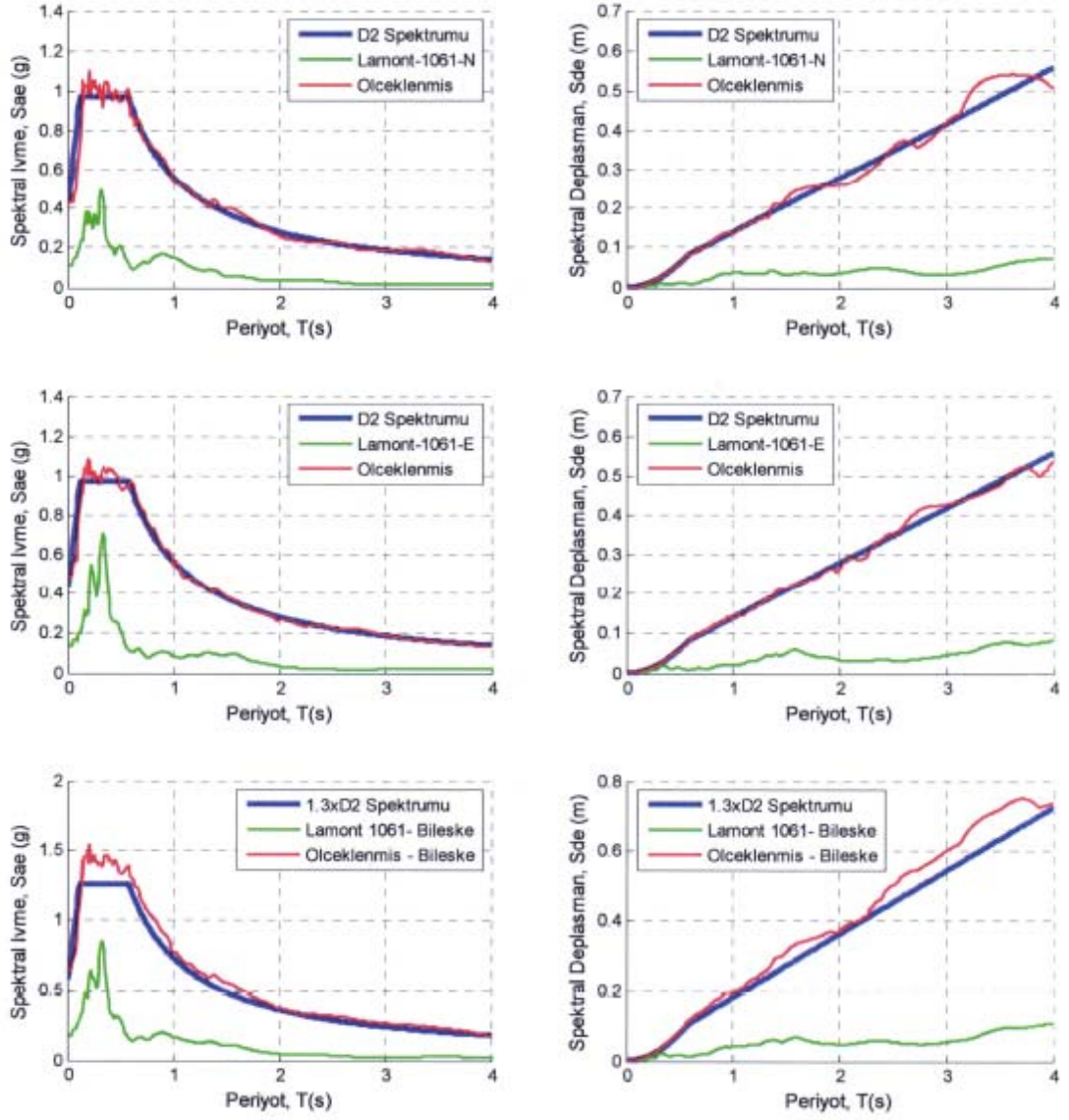
KAT	PERDE	b [cm]	h [cm]	DONATI		
				BOYUNA DONATI		ETRIYE
				KAFA	GÖVDE	
1-5	P1-P5	70	665	φ26/15	φ14/15	3φ22/10
6-10	P1-P5	70	665	φ22/15	φ12/15	3φ22/10
11-15	P1-P5	60	655	φ20/15	φ12/15	3φ20/10
16-20	P1-P5	60	655	φ18/15	φ12/15	3φ20/10
21-25	P1-P5	50	645	φ16/15	φ10/15	3φ18/10
26-30	P1-P5	50	645	φ16/15	φ10/15	3φ18/10
31-35	P1-P5	40	635	φ14/15	φ10/15	2φ16/10
36-42	P1-P5	40	635	φ14/15	φ10/15	2φ16/10
1-5	P2-P4	40	520	φ26/15	φ14/15	2φ20/15
6-10	P2-P4	40	520	φ22/15	φ12/15	2φ12/15
11-15	P2-P4	40	510	φ20/15	φ12/15	2φ12/15
16-20	P2-P4	40	510	φ18/15	φ12/15	2φ12/15
21-25	P2-P4	40	500	φ16/15	φ10/15	2φ12/15
26-30	P2-P4	40	500	φ16/15	φ10/15	2φ12/15
31-35	P2-P4	40	490	φ14/15	φ10/15	2φ12/15
36-42	P2-P4	40	490	φ14/15	φ10/15	2φ12/15
1-5	P3	40	665	φ26/15	φ14/15	2φ20/15
6-10	P3	40	665	φ22/15	φ12/15	2φ12/15
11-15	P3	40	655	φ20/15	φ12/15	2φ12/15
16-20	P3	40	655	φ18/15	φ12/15	2φ12/15
21-25	P3	40	645	φ16/15	φ10/15	2φ12/15
26-30	P3	40	645	φ16/15	φ10/15	2φ12/15
31-35	P3	40	635	φ14/15	φ10/15	2φ12/15
36-42	P3	40	635	φ14/15	φ10/15	2φ12/15
1-5	P6-P7	70	335	φ26/15	—	3φ22/10
6-10	P6-P7	70	335	φ22/15	—	3φ22/10
11-15	P6-P7	60	325	φ20/15	—	3φ20/10
16-20	P6-P7	60	325	φ18/15	—	3φ20/10
21-25	P6-P7	50	315	φ16/15	—	3φ18/10
26-30	P6-P7	50	315	φ16/15	—	3φ18/10
31-35	P6-P7	40	305	φ14/15	—	2φ16/10
36-42	P6-P7	40	305	φ14/15	—	2φ16/10

Çizelge A.16 : (devam) Perde donatıları.

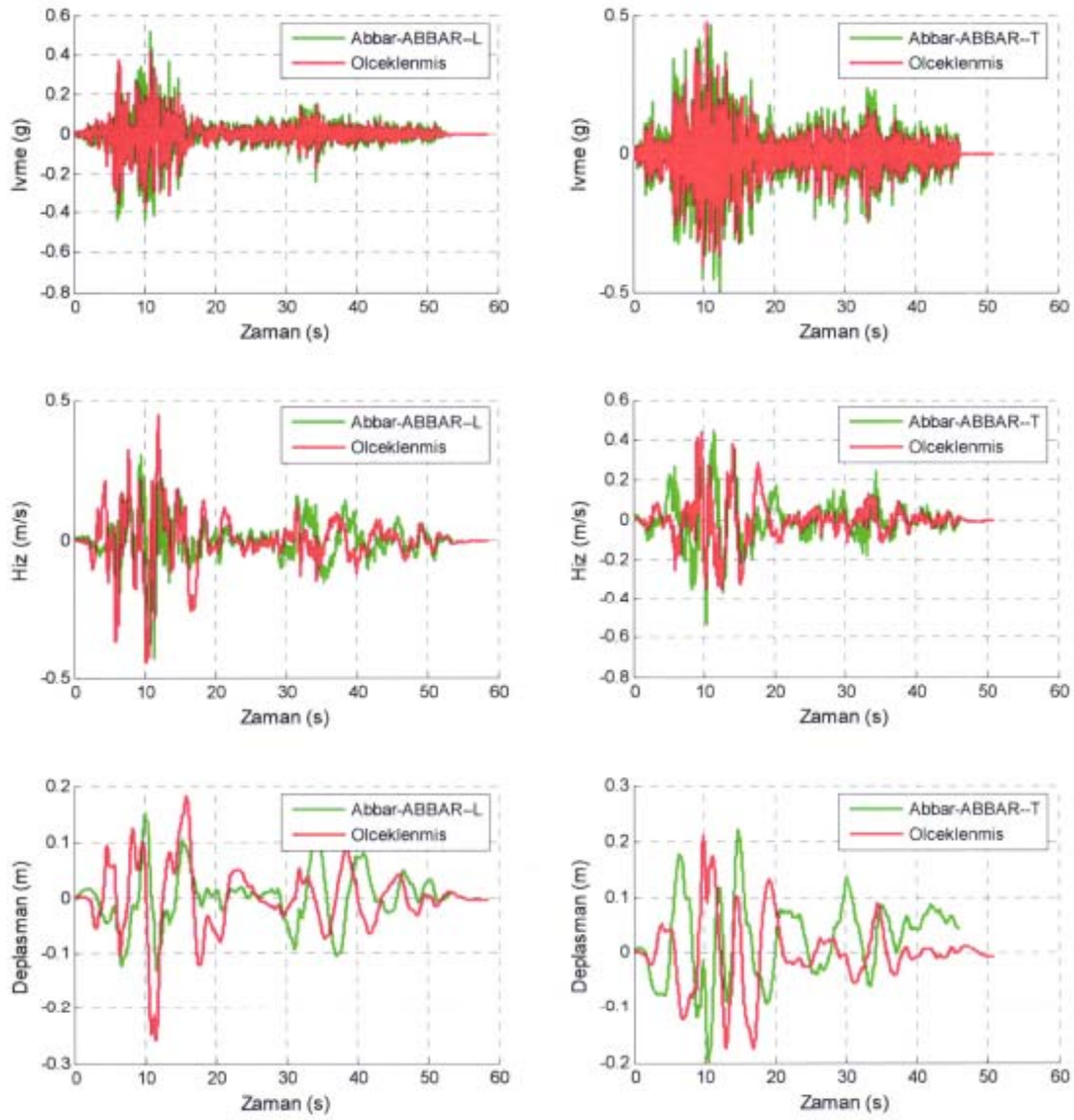
KAT	PERDE	b [cm]	h [cm]	DONATI		
				BOYUNA DONATI		ETRIYE
				KAFA	GÖVDE	
1-5	P8-P12	70	1160	φ26/15	φ14/15	3φ22/10
6-10	P8-P12	70	1160	φ22/15	φ12/15	3φ22/10
11-15	P8-P12	60	1140	φ20/15	φ12/15	3φ20/10
16-20	P8-P12	60	1140	φ18/15	φ12/15	3φ20/10
21-25	P8-P12	50	1120	φ16/15	φ10/15	3φ18/10
26-30	P8-P12	50	1120	φ16/15	φ10/15	3φ18/10
31-35	P8-P12	40	110	φ14/15	φ10/15	2φ16/10
36-42	P8-P12	40	1100	φ14/15	φ10/15	2φ16/10
1-5	P9	40	820	φ26/15	φ14/15	2φ20/15
6-10	P9	40	820	φ22/15	φ12/15	2φ20/15
11-15	P9	40	820	φ20/15	φ12/15	2φ20/15
16-20	P9	40	820	φ18/15	φ12/15	2φ20/15
21-25	P9	40	820	φ16/15	φ10/15	2φ20/15
26-30	P9	40	820	φ16/15	φ10/15	2φ20/15
31-35	P9	40	820	φ14/15	φ10/15	2φ20/15
36-42	P9	40	820	φ14/15	φ10/15	2φ20/15
1-5	P10-P11	40	250	φ26/15	—	2φ20/15
6-10	P10-P11	40	250	φ22/15	—	2φ12/15
11-15	P10-P11	40	250	φ20/15	—	2φ12/15
16-20	P10-P11	40	250	φ18/15	—	2φ12/15
21-25	P10-P11	40	250	φ16/15	—	2φ12/15
26-30	P10-P11	40	250	φ16/15	—	2φ12/15
31-35	P10-P11	40	250	φ14/15	—	2φ12/15
36-42	P10-P11	40	250	φ14/15	—	2φ12/15



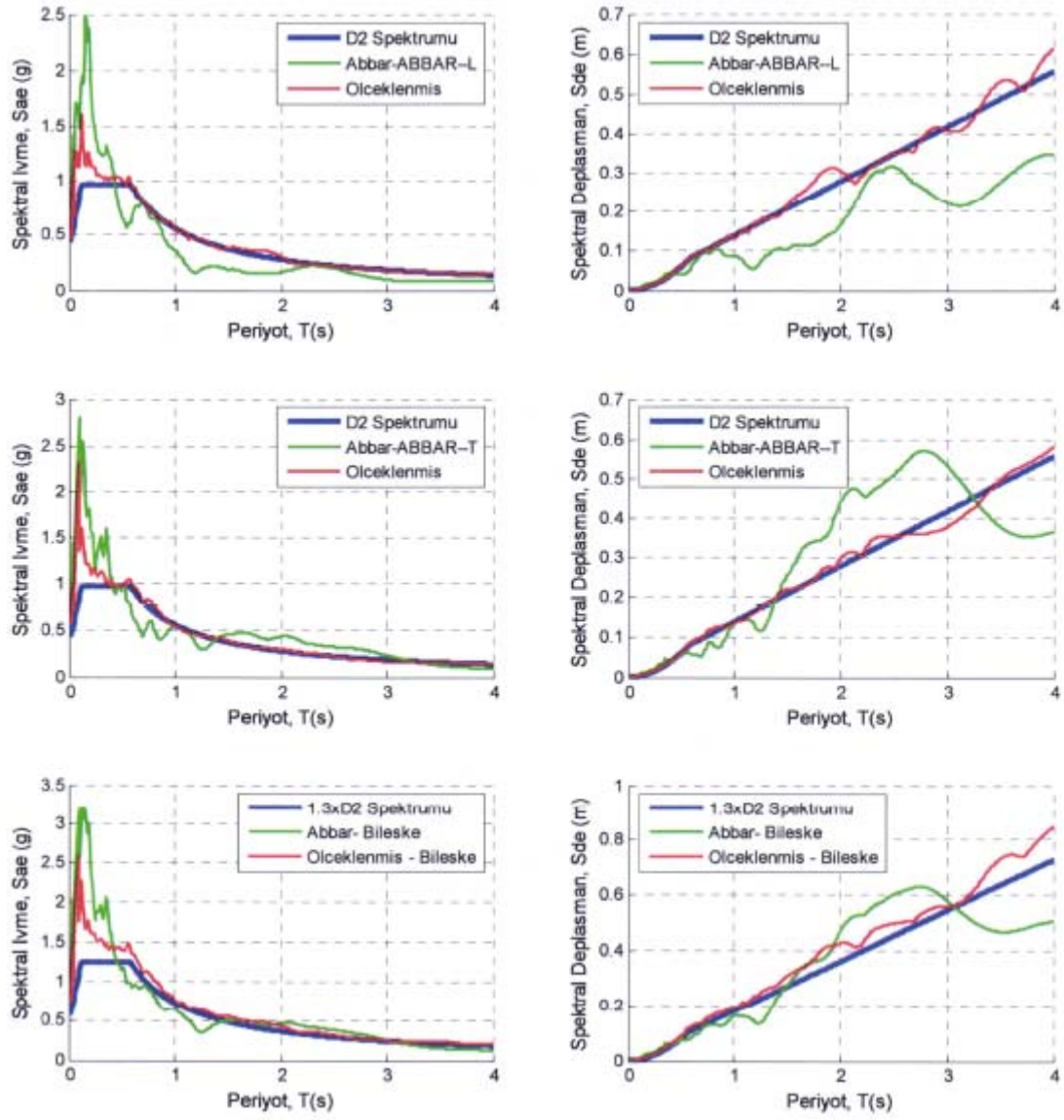
Şekil A.2 : Düzce depremi, Lamont istasyonu 1061-N ve -E deprem yer hareketine ait ivme, hız ve deplasman grafikleri (orijinal ve D2 deprem düzeyi için ölçeklenmiş)



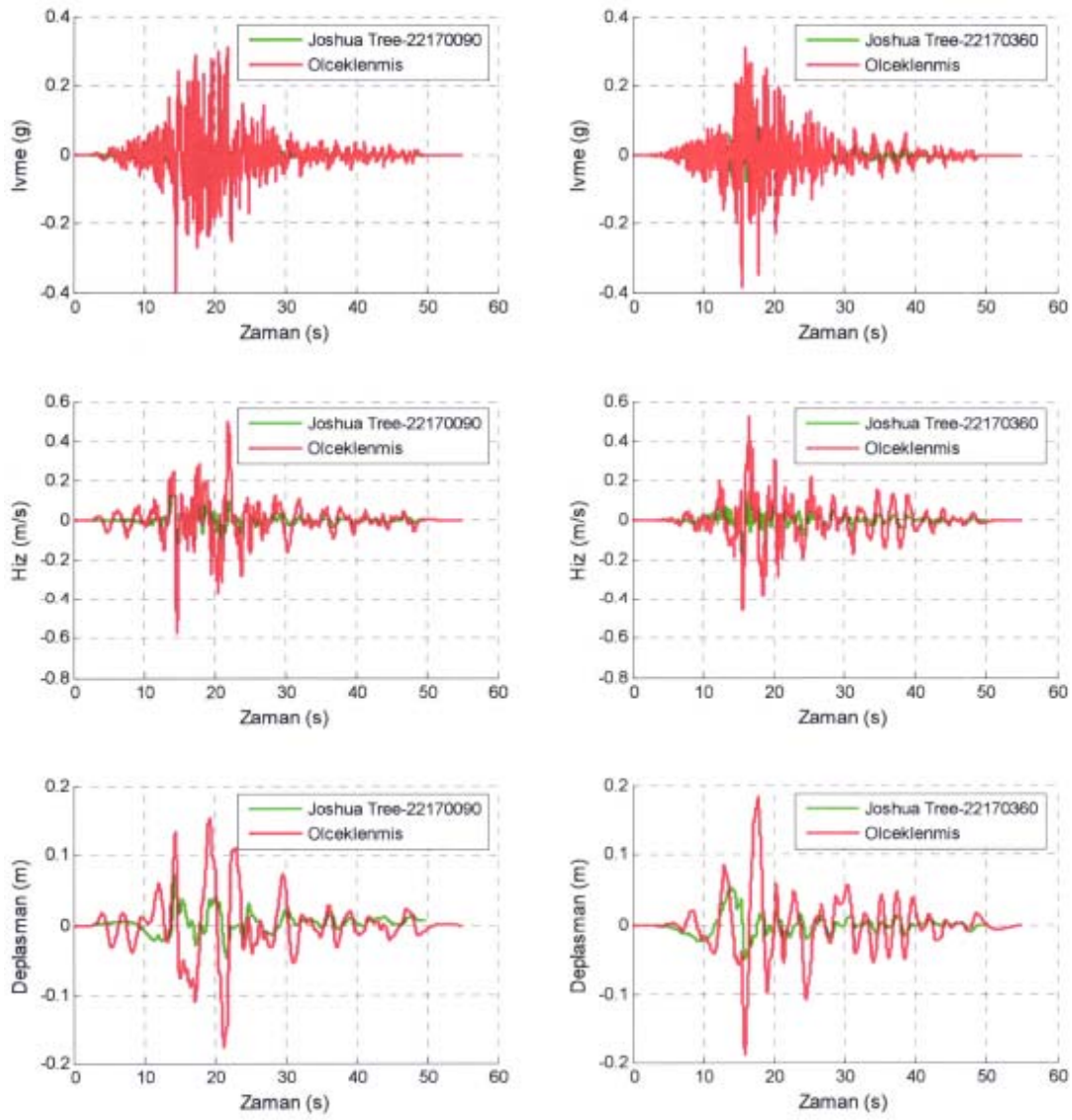
Şekil A.3 : Düzce depremi 1061-N ve -E deprem yer hareketleri (orijinal ve D2 düzeyi için ölçeklenmiş) için spektral ivme, spektral deplasman ve D2 deprem düzeyi tasarım spektrumları ve bileşke spektrumlar



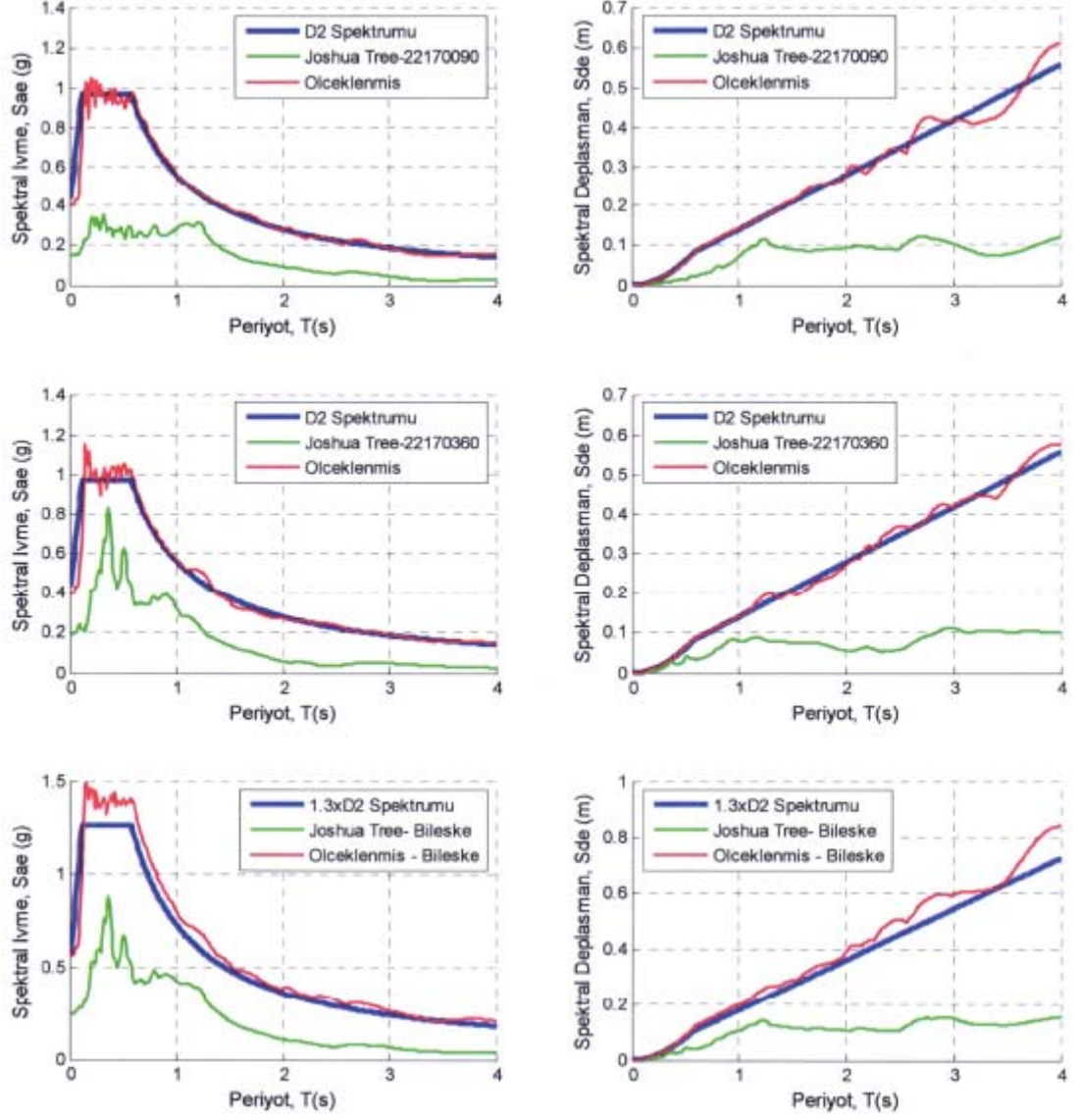
Şekil A.4 : Manjil, İran depremi Abbar istasyonu ABBAR-L ve –T bileşenleri deprem yer hareketlerine ait ivme, hız ve deplasman grafikleri (orijinal ve D2 deprem düzeyi için ölçeklenmiş)



Şekil A.5 : Manjil, İran depremi Abbar istasyonu ABBAR-L ve –T bileşenleri deprem yer hareketleri (orijinal ve D2 deprem düzeyi için ölçeklenmiş) için spektral ivme, spektral deplasman ve D2 deprem düzeyi tasarım spektrumları ve bileşke spektrumlar



Şekil A.6 : Hector Mine depremi, Joshua Tree istasyonu 22170090 ve 22170360 bileşenleri deprem yer hareketlerine ait ivme, hız ve deplasman grafikleri (orijinal ve D2 deprem düzeyi için ölçeklenmiş)



Şekil A.7 : Hector Mine depremi, Joshua Tree istasyonu 22170090 ve 22170360 bileşenleri deprem yer hareketleri (orijinal ve D2 deprem düzeyi için ölçeklenmiş) için spektral ivme, spektral deplasman ve D2 deprem düzeyi tasarım spektrumları ve bileşke spektrumlar

Çizelge A.17 : Analizde kullanılan kolon çatlamış kesit rijitlikleri.

Kat	Boyut	EI_c/EI_g		
		Tip1	Tip2	Tip3
1	1100/1100	0.80	0.80	0.80
2	1100/1100	0.80	0.80	0.80
3	1100/1100	0.80	0.80	0.80
4	1100/1100	0.80	0.80	0.80
5	1100/1100	0.80	0.80	0.80
6	1100/1100	0.80	0.80	0.80
7	1100/1100	0.80	0.80	0.80
8	1100/1100	0.80	0.80	0.80
9	1100/1100	0.80	0.80	0.80
10	1100/1100	0.80	0.80	0.80
11	1000/1000	0.80	0.80	0.80
12	1000/1000	0.80	0.80	0.80
13	1000/1000	0.73	0.80	0.80
14	1000/1000	0.73	0.80	0.80
15	1000/1000	0.73	0.80	0.80
16	1000/1000	0.67	0.80	0.80
17	1000/1000	0.67	0.73	0.73
18	1000/1000	0.67	0.73	0.73
19	1000/1000	0.67	0.67	0.67
20	1000/1000	0.67	0.67	0.67
21	900/900	0.67	0.73	0.73
22	900/900	0.67	0.73	0.73
23	900/900	0.67	0.73	0.73
24	900/900	0.67	0.67	0.67
25	900/900	0.60	0.67	0.67
26	900/900	0.60	0.67	0.67
27	900/900	0.60	0.60	0.60
28	900/900	0.53	0.60	0.60
29	900/900	0.53	0.60	0.60
30	900/900	0.53	0.53	0.53
31	800/800	0.53	0.60	0.60
32	800/800	0.53	0.60	0.60
33	800/800	0.47	0.53	0.53
34	800/800	0.47	0.53	0.53
35	800/800	0.47	0.47	0.47
36	800/800	0.40	0.47	0.47
37	800/800	0.40	0.47	0.47
38	800/800	0.40	0.40	0.40
39	800/800	0.40	0.40	0.40
40	800/800	0.40	0.40	0.40
41	800/800	0.40	0.40	0.40
42	800/800	0.40	0.40	0.40

Çizelge A.18 : Analizde kullanılan perde çatlamış kesit rijitlikleri.

Kat	Boyut	EI_c/EI_g						
		P1-P5	P2-P4	P3	P6-P7	P8-P12	P9	P10-P11
1	1100/1100	0.80	0.67	0.67	0.80	0.80	0.67	0.80
2	1100/1100	0.80	0.67	0.67	0.80	0.73	0.67	0.80
3	1100/1100	0.80	0.67	0.67	0.80	0.73	0.67	0.80
4	1100/1100	0.73	0.67	0.67	0.80	0.67	0.67	0.73
5	1100/1100	0.73	0.60	0.60	0.73	0.67	0.67	0.73
6	1100/1100	0.67	0.60	0.60	0.73	0.67	0.60	0.67
7	1100/1100	0.67	0.60	0.60	0.73	0.60	0.60	0.67
8	1100/1100	0.67	0.60	0.60	0.67	0.60	0.60	0.67
9	1100/1100	0.67	0.60	0.60	0.67	0.60	0.60	0.67
10	1100/1100	0.67	0.60	0.60	0.67	0.60	0.60	0.67
11	1000/1000	0.67	0.60	0.60	0.67	0.60	0.60	0.67
12	1000/1000	0.67	0.60	0.60	0.67	0.60	0.60	0.67
13	1000/1000	0.60	0.60	0.60	0.67	0.60	0.60	0.60
14	1000/1000	0.60	0.53	0.53	0.67	0.60	0.60	0.60
15	1000/1000	0.60	0.53	0.53	0.60	0.53	0.53	0.60
16	1000/1000	0.60	0.53	0.53	0.60	0.53	0.53	0.60
17	1000/1000	0.53	0.53	0.53	0.60	0.53	0.53	0.60
18	1000/1000	0.53	0.53	0.53	0.60	0.53	0.53	0.53
19	1000/1000	0.53	0.53	0.53	0.60	0.53	0.53	0.53
20	1000/1000	0.53	0.53	0.53	0.60	0.53	0.53	0.53
21	900/900	0.53	0.53	0.53	0.60	0.53	0.53	0.53
22	900/900	0.53	0.47	0.47	0.60	0.53	0.47	0.53
23	900/900	0.53	0.47	0.47	0.53	0.47	0.47	0.53
24	900/900	0.53	0.47	0.47	0.53	0.47	0.47	0.53
25	900/900	0.53	0.47	0.47	0.53	0.47	0.47	0.53
26	900/900	0.47	0.47	0.47	0.53	0.47	0.47	0.47
27	900/900	0.47	0.47	0.47	0.53	0.47	0.47	0.47
28	900/900	0.47	0.40	0.40	0.47	0.47	0.40	0.47
29	900/900	0.47	0.40	0.40	0.47	0.40	0.40	0.47
30	900/900	0.47	0.40	0.40	0.47	0.40	0.40	0.47
31	800/800	0.47	0.40	0.40	0.47	0.40	0.40	0.47
32	800/800	0.47	0.40	0.40	0.47	0.40	0.40	0.47
33	800/800	0.40	0.40	0.40	0.47	0.40	0.40	0.40
34	800/800	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
35	800/800	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
36	800/800	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
37	800/800	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
38	800/800	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
39	800/800	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
40	800/800	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
41	800/800	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
42	800/800	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40

Çizelge A.19 : ABBAR-T-L depremi göreli kat ötelemesi oranı kontrolü (Pozitif).

Deprem	Kat	X-X Doğrultusu			Y-Y Doğrultusu		
		Kat Ötelemesi [mm]	Görelî Kat Ötelemesi [mm]	Görelî Kat Ötelemesi Oranı	Kat Ötelemesi [mm]	Görelî Kat Ötelemesi [mm]	Görelî Kat Ötelemesi Oranı
abbar-y-x	1	5.2344	5.2344	0.001	3.2450	3.2450	0.001
abbar-y-x	2	17.5073	12.2729	0.003	10.7462	7.5011	0.002
abbar-y-x	3	33.7278	16.2205	0.004	21.1229	10.3767	0.003
abbar-y-x	4	52.5347	18.8069	0.005	33.6268	12.5040	0.003
abbar-y-x	5	72.7493	20.2146	0.005	47.5044	13.8775	0.003
abbar-y-x	6	93.6922	20.9429	0.005	62.3607	14.8563	0.004
abbar-y-x	7	115.0311	21.3389	0.005	77.9855	15.6248	0.004
abbar-y-x	8	136.6085	21.5774	0.005	94.2261	16.2406	0.004
abbar-y-x	9	158.6353	22.0269	0.006	110.8179	16.5918	0.004
abbar-y-x	10	180.5293	21.8939	0.005	127.5594	16.7415	0.004
abbar-y-x	11	202.2869	21.7576	0.005	144.4790	16.9196	0.004
abbar-y-x	12	223.7144	21.4275	0.005	161.3510	16.8720	0.004
abbar-y-x	13	244.6159	20.9015	0.005	178.0322	16.6812	0.004
abbar-y-x	14	264.9055	20.2896	0.005	194.4157	16.3835	0.004
abbar-y-x	15	284.5447	19.6392	0.005	210.4078	15.9921	0.004
abbar-y-x	16	303.5241	18.9794	0.005	225.9286	15.5208	0.004
abbar-y-x	17	321.8286	18.3044	0.005	240.8966	14.9679	0.004
abbar-y-x	18	339.4628	17.6342	0.004	255.2418	14.3453	0.004
abbar-y-x	19	356.4407	16.9779	0.004	268.8999	13.6581	0.003
abbar-y-x	20	372.7792	16.3385	0.004	281.8171	12.9172	0.003
abbar-y-x	21	388.5169	15.7377	0.004	293.9397	12.1226	0.003
abbar-y-x	22	404.0867	15.5699	0.004	305.0915	11.1518	0.003
abbar-y-x	23	419.0976	15.0108	0.004	315.2251	10.1336	0.003
abbar-y-x	24	433.4864	14.3888	0.004	324.3112	9.0861	0.002
abbar-y-x	25	447.2950	13.8086	0.003	332.3321	8.0209	0.002
abbar-y-x	26	460.5591	13.2641	0.003	347.2511	14.9190	0.004
abbar-y-x	27	473.3257	12.7666	0.003	365.0176	17.7665	0.004
abbar-y-x	28	486.7705	13.4448	0.003	383.9700	18.9524	0.005
abbar-y-x	29	500.2963	13.5258	0.003	404.0311	20.0611	0.005
abbar-y-x	30	521.8108	21.5145	0.005	424.1252	20.0941	0.005
abbar-y-x	31	544.2787	22.4679	0.006	444.2925	20.1673	0.005
abbar-y-x	32	566.7733	22.4947	0.006	465.8121	21.5196	0.005
abbar-y-x	33	589.0821	22.3088	0.006	487.4622	21.6500	0.005
abbar-y-x	34	611.5641	22.4821	0.006	509.1067	21.6445	0.005
abbar-y-x	35	634.0518	22.4877	0.006	531.7346	22.6279	0.006
abbar-y-x	36	656.2512	22.1994	0.006	554.9097	23.1752	0.006
abbar-y-x	37	678.1809	21.9297	0.005	577.9775	23.0678	0.006
abbar-y-x	38	704.2146	26.0337	0.007	600.9254	22.9478	0.006
abbar-y-x	39	730.3308	26.1162	0.007	623.7354	22.8100	0.006
abbar-y-x	40	756.1360	25.8052	0.006	646.4089	22.6735	0.006
abbar-y-x	41	781.6683	25.5323	0.006	668.9592	22.5504	0.006
abbar-y-x	42	806.9269	25.2587	0.006	692.1916	23.2324	0.006

Çizelge A.20 : ABBAR-T-L depremi görel kat ötelemesi oranı kontrolü (Negatif).

Deprem	Kat	X-X Doğrultusu			Y-Y Doğrultusu		
		Kat Ötelemesi [mm]	Görel Kat Ötelemesi [mm]	Görel Kat Ötelemesi Oranı	Kat Ötelemesi [mm]	Görel Kat Ötelemesi [mm]	Görel Kat Ötelemesi Oranı
abbar-y-x	1	-4.1551	-4.1551	0.001	-4.5502	-4.5502	0.001
abbar-y-x	2	-13.4337	-9.2787	0.002	-14.8173	-10.2671	0.003
abbar-y-x	3	-25.3357	-11.9019	0.003	-28.3719	-13.5545	0.003
abbar-y-x	4	-39.4235	-14.0878	0.004	-44.7493	-16.3775	0.004
abbar-y-x	5	-55.6578	-16.2344	0.004	-62.7039	-17.9546	0.004
abbar-y-x	6	-73.2214	-17.5635	0.004	-81.6046	-18.9007	0.005
abbar-y-x	7	-91.7973	-18.5759	0.005	-101.0960	-19.4914	0.005
abbar-y-x	8	-111.1477	-19.3503	0.005	-121.0047	-19.9086	0.005
abbar-y-x	9	-131.0699	-19.9222	0.005	-141.1677	-20.1630	0.005
abbar-y-x	10	-151.3473	-20.2774	0.005	-162.1808	-21.0131	0.005
abbar-y-x	11	-171.9726	-20.6253	0.005	-183.3935	-21.2127	0.005
abbar-y-x	12	-192.7705	-20.7979	0.005	-204.5344	-21.1408	0.005
abbar-y-x	13	-213.5945	-20.8240	0.005	-225.4570	-20.9227	0.005
abbar-y-x	14	-234.3454	-20.7510	0.005	-246.0477	-20.5906	0.005
abbar-y-x	15	-254.9315	-20.5861	0.005	-266.2123	-20.1646	0.005
abbar-y-x	16	-275.2798	-20.3483	0.005	-285.8777	-19.6654	0.005
abbar-y-x	17	-295.3182	-20.0383	0.005	-304.9747	-19.0970	0.005
abbar-y-x	18	-314.9962	-19.6780	0.005	-324.6160	-19.6413	0.005
abbar-y-x	19	-334.7482	-19.7520	0.005	-343.9447	-19.3287	0.005
abbar-y-x	20	-354.4001	-19.6520	0.005	-362.5984	-18.6537	0.005
abbar-y-x	21	-373.7761	-19.3759	0.005	-380.5470	-17.9486	0.004
abbar-y-x	22	-392.7910	-19.0150	0.005	-397.6453	-17.0983	0.004
abbar-y-x	23	-411.4214	-18.6304	0.005	-414.1121	-16.4668	0.004
abbar-y-x	24	-430.4808	-19.0594	0.005	-431.3068	-17.1948	0.004
abbar-y-x	25	-449.1389	-18.6581	0.005	-447.7428	-16.4359	0.004
abbar-y-x	26	-467.3754	-18.2365	0.005	-463.4461	-15.7034	0.004
abbar-y-x	27	-485.2166	-17.8413	0.004	-480.0169	-16.5708	0.004
abbar-y-x	28	-502.6654	-17.4487	0.004	-497.4371	-17.4201	0.004
abbar-y-x	29	-519.7165	-17.0512	0.004	-515.0177	-17.5807	0.004
abbar-y-x	30	-537.2091	-17.4926	0.004	-535.2020	-20.1843	0.005
abbar-y-x	31	-554.9064	-17.6973	0.004	-559.2602	-24.0582	0.006
abbar-y-x	32	-572.2513	-17.3448	0.004	-598.2968	-39.0367	0.010
abbar-y-x	33	-590.7360	-18.4848	0.005	-638.3185	-40.0216	0.010
abbar-y-x	34	-612.4532	-21.7171	0.005	-678.7784	-40.4599	0.010
abbar-y-x	35	-635.1282	-22.6750	0.006	-719.5427	-40.7643	0.010
abbar-y-x	36	-659.5767	-24.4485	0.006	-760.7215	-41.1787	0.010
abbar-y-x	37	-683.3401	-23.7634	0.006	-802.0282	-41.3067	0.010
abbar-y-x	38	-709.1760	-25.8360	0.006	-843.3527	-41.3245	0.010
abbar-y-x	39	-734.9521	-25.7761	0.006	-884.5822	-41.2295	0.010
abbar-y-x	40	-763.0673	-28.1152	0.007	-925.6349	-41.0528	0.010
abbar-y-x	41	-790.7156	-27.6483	0.007	-966.4691	-40.8342	0.010
abbar-y-x	42	-817.8629	-27.1473	0.007	-1006.9737	-40.5046	0.010

Çizelge A.21 : ABBAR-L-T depremi göreli kat ötelemesi oranı kontrolü (Pozitif).

Deprem	Kat	X-X Doğrultusu			Y-Y Doğrultusu		
		Kat Ötelemesi [mm]	Görelî Kat Ötelemesi [mm]	Görelî Kat Ötelemesi Oranı	Kat Ötelemesi [mm]	Görelî Kat Ötelemesi [mm]	Görelî Kat Ötelemesi Oranı
abbar-x-y	1	4.733376	4.7334	0.001	3.46116	3.4612	0.001
abbar-x-y	2	15.257815	10.5244	0.003	11.161553	7.7004	0.002
abbar-x-y	3	28.958301	13.7005	0.003	21.535832	10.3743	0.003
abbar-x-y	4	45.476056	16.5178	0.004	33.713156	12.1773	0.003
abbar-x-y	5	63.349374	17.8733	0.004	46.930018	13.2169	0.003
abbar-x-y	6	82.001354	18.6520	0.005	60.861832	13.9318	0.003
abbar-x-y	7	101.07929	19.0779	0.005	75.276092	14.4143	0.004
abbar-x-y	8	120.35196	19.2727	0.005	90.74662	15.4705	0.004
abbar-x-y	9	139.62057	19.2686	0.005	107.69061	16.9440	0.004
abbar-x-y	10	158.61551	18.9949	0.005	125.0863	17.3957	0.004
abbar-x-y	11	177.42329	18.8078	0.005	142.94482	17.8585	0.004
abbar-x-y	12	196.0252	18.6019	0.005	161.0632	18.1184	0.005
abbar-x-y	13	214.30518	18.2800	0.005	179.32615	18.2630	0.005
abbar-x-y	14	232.22143	17.9163	0.004	197.64668	18.3205	0.005
abbar-x-y	15	249.75394	17.5325	0.004	215.94711	18.3004	0.005
abbar-x-y	16	266.91342	17.1595	0.004	234.16404	18.2169	0.005
abbar-x-y	17	283.70415	16.7907	0.004	252.2326	18.0686	0.005
abbar-x-y	18	300.12081	16.4167	0.004	270.10223	17.8696	0.004
abbar-x-y	19	316.1439	16.0231	0.004	287.73101	17.6288	0.004
abbar-x-y	20	331.73984	15.5959	0.004	305.0843	17.3533	0.004
abbar-x-y	21	346.87059	15.1307	0.004	322.17604	17.0917	0.004
abbar-x-y	22	361.36828	14.4977	0.004	338.90897	16.7329	0.004
abbar-x-y	23	375.16846	13.8002	0.003	355.26148	16.3525	0.004
abbar-x-y	24	388.22619	13.0577	0.003	371.23141	15.9699	0.004
abbar-x-y	25	400.51268	12.2865	0.003	390.27188	19.0405	0.005
abbar-x-y	26	412.01619	11.5035	0.003	411.18429	20.9124	0.005
abbar-x-y	27	422.74905	10.7329	0.003	432.05822	20.8739	0.005
abbar-x-y	28	432.73756	9.9885	0.002	453.92773	21.8695	0.005
abbar-x-y	29	442.02024	9.2827	0.002	476.02772	22.1000	0.006
abbar-x-y	30	450.64429	8.6241	0.002	499.1116	23.0839	0.006
abbar-x-y	31	458.59236	7.9481	0.002	523.21369	24.1021	0.006
abbar-x-y	32	470.41009	11.8177	0.003	547.73486	24.5212	0.006
abbar-x-y	33	485.37241	14.9623	0.004	572.97836	25.2435	0.006
abbar-x-y	34	502.79977	17.4274	0.004	598.24464	25.2663	0.006
abbar-x-y	35	522.96007	20.1603	0.005	623.86338	25.6187	0.006
abbar-x-y	36	544.41963	21.4596	0.005	649.68364	25.8203	0.006
abbar-x-y	37	565.55811	21.1385	0.005	675.42833	25.7447	0.006
abbar-x-y	38	586.32314	20.7650	0.005	701.07494	25.6466	0.006
abbar-x-y	39	607.79831	21.4752	0.005	726.59297	25.5180	0.006
abbar-x-y	40	628.95281	21.1545	0.005	751.97085	25.3779	0.006
abbar-x-y	41	649.79005	20.8372	0.005	777.21188	25.2410	0.006
abbar-x-y	42	670.35366	20.5636	0.005	802.27902	25.0671	0.006

Çizelge A.22 : ABBAR-L-T depremi görelî kat ötelemesi oranı kontrolü (Negatif).

Deprem	Kat	X-X Doğrultusu			Y-Y Doğrultusu		
		Kat Ötelemesi [mm]	Görelî Kat Ötelemesi [mm]	Görelî Kat Ötelemesi Oranı	Kat Ötelemesi [mm]	Görelî Kat Ötelemesi [mm]	Görelî Kat Ötelemesi Oranı
abbar-x-y	1	-4.771712	-4.7717	0.001	-3.2886	-3.2886	0.001
abbar-x-y	2	-15.61536	-10.8436	0.003	-11.23237	-7.9438	0.002
abbar-x-y	3	-29.62876	-14.0134	0.004	-22.79001	-11.5576	0.003
abbar-x-y	4	-45.5041	-15.8753	0.004	-37.32245	-14.5324	0.004
abbar-x-y	5	-62.3417	-16.8376	0.004	-54.13649	-16.8140	0.004
abbar-x-y	6	-79.58098	-17.2393	0.004	-72.78954	-18.6530	0.005
abbar-x-y	7	-96.71866	-17.1377	0.004	-92.89819	-20.1086	0.005
abbar-x-y	8	-113.3912	-16.6725	0.004	-114.1214	-21.2232	0.005
abbar-x-y	9	-129.2796	-15.8884	0.004	-136.7326	-22.6112	0.006
abbar-x-y	10	-144.1205	-14.8409	0.004	-160.0243	-23.2917	0.006
abbar-x-y	11	-157.9624	-13.8419	0.003	-183.9255	-23.9012	0.006
abbar-x-y	12	-170.735	-12.7726	0.003	-208.1368	-24.2114	0.006
abbar-x-y	13	-186.6892	-15.9542	0.004	-232.4815	-24.3447	0.006
abbar-x-y	14	-204.9414	-18.2522	0.005	-256.8201	-24.3386	0.006
abbar-x-y	15	-222.9984	-18.0570	0.005	-281.0258	-24.2056	0.006
abbar-x-y	16	-240.8093	-17.8109	0.004	-304.99	-23.9643	0.006
abbar-x-y	17	-258.3441	-17.5347	0.004	-328.6045	-23.6145	0.006
abbar-x-y	18	-275.607	-17.2629	0.004	-351.7802	-23.1756	0.006
abbar-x-y	19	-292.6199	-17.0129	0.004	-374.4382	-22.6580	0.006
abbar-x-y	20	-309.4067	-16.7868	0.004	-396.5107	-22.0725	0.006
abbar-x-y	21	-326.0893	-16.6826	0.004	-417.9672	-21.4565	0.005
abbar-x-y	22	-342.6291	-16.5398	0.004	-438.631	-20.6638	0.005
abbar-x-y	23	-358.9927	-16.3637	0.004	-458.7189	-20.0879	0.005
abbar-x-y	24	-375.1576	-16.1649	0.004	-478.1969	-19.4780	0.005
abbar-x-y	25	-392.1567	-16.9991	0.004	-496.7887	-18.5918	0.005
abbar-x-y	26	-413.2106	-21.0539	0.005	-514.4756	-17.6868	0.004
abbar-x-y	27	-442.2846	-29.0740	0.007	-531.2553	-16.7798	0.004
abbar-x-y	28	-471.7707	-29.4861	0.007	-547.1326	-15.8773	0.004
abbar-x-y	29	-501.6504	-29.8798	0.007	-562.1293	-14.9967	0.004
abbar-x-y	30	-531.396	-29.7456	0.007	-576.2805	-14.1512	0.004
abbar-x-y	31	-561.0716	-29.6756	0.007	-589.5418	-13.2613	0.003
abbar-x-y	32	-590.4609	-29.3892	0.007	-601.9218	-12.3800	0.003
abbar-x-y	33	-619.4284	-28.9675	0.007	-613.5093	-11.5876	0.003
abbar-x-y	34	-647.8879	-28.4595	0.007	-624.645	-11.1357	0.003
abbar-x-y	35	-675.8178	-27.9299	0.007	-636.5714	-11.9264	0.003
abbar-x-y	36	-703.2328	-27.4151	0.007	-655.5267	-18.9553	0.005
abbar-x-y	37	-730.7923	-27.5594	0.007	-677.9217	-22.3950	0.006
abbar-x-y	38	-758.3048	-27.5125	0.007	-700.5884	-22.6667	0.006
abbar-x-y	39	-785.414	-27.1091	0.007	-723.1127	-22.5242	0.006
abbar-x-y	40	-812.1682	-26.7543	0.007	-745.6368	-22.5241	0.006
abbar-x-y	41	-838.6398	-26.4716	0.007	-768.9471	-23.3103	0.006
abbar-x-y	42	-865.9413	-27.3016	0.007	-792.109	-23.1618	0.006

Çizelge A.23 : 1061-E-N depremi görelî kat ötelemesi oranı kontrolü (Pozitif).

Deprem	Kat	X-X Doğrultusu			Y-Y Doğrultusu		
		Kat Ötelemesi [mm]	Görelî Kat Ötelemesi [mm]	Görelî Kat Ötelemesi Oranı	Kat Ötelemesi [mm]	Görelî Kat Ötelemesi [mm]	Görelî Kat Ötelemesi Oranı
1061-e-n	1	4.2513	4.2513	0.001	3.1963	3.1963	0.001
1061-e-n	2	14.0300	9.7787	0.002	10.1237	6.9274	0.002
1061-e-n	3	26.8521	12.8221	0.003	19.1471	9.0234	0.002
1061-e-n	4	41.4300	14.5779	0.004	29.5124	10.3653	0.003
1061-e-n	5	56.9464	15.5164	0.004	40.5386	11.0262	0.003
1061-e-n	6	73.0139	16.0675	0.004	51.9086	11.3700	0.003
1061-e-n	7	89.3172	16.3034	0.004	63.3724	11.4638	0.003
1061-e-n	8	105.6091	16.2919	0.004	74.7401	11.3677	0.003
1061-e-n	9	122.0067	16.3976	0.004	85.8617	11.1216	0.003
1061-e-n	10	138.1573	16.1506	0.004	96.5989	10.7373	0.003
1061-e-n	11	153.8900	15.7327	0.004	106.9652	10.3663	0.003
1061-e-n	12	168.9698	15.0798	0.004	116.8565	9.8913	0.002
1061-e-n	13	183.1604	14.1906	0.004	126.2317	9.3752	0.002
1061-e-n	14	196.3454	13.1850	0.003	135.0952	8.8635	0.002
1061-e-n	15	208.4497	12.1043	0.003	144.3084	9.2132	0.002
1061-e-n	16	219.4114	10.9617	0.003	153.6903	9.3819	0.002
1061-e-n	17	229.1703	9.7589	0.002	162.6525	8.9622	0.002
1061-e-n	18	240.2941	11.1238	0.003	171.3414	8.6889	0.002
1061-e-n	19	259.9626	19.6685	0.005	181.8945	10.5531	0.003
1061-e-n	20	279.9041	19.9414	0.005	192.0928	10.1983	0.003
1061-e-n	21	300.1574	20.2534	0.005	201.9314	9.8386	0.002
1061-e-n	22	320.6019	20.4444	0.005	213.9795	12.0482	0.003
1061-e-n	23	341.1645	20.5627	0.005	226.0807	12.1012	0.003
1061-e-n	24	361.7893	20.6247	0.005	237.8182	11.7375	0.003
1061-e-n	25	382.4349	20.6457	0.005	251.7945	13.9764	0.003
1061-e-n	26	403.3889	20.9539	0.005	266.2479	14.4533	0.004
1061-e-n	27	424.2939	20.9051	0.005	280.2029	13.9550	0.003
1061-e-n	28	445.0791	20.7851	0.005	295.9469	15.7440	0.004
1061-e-n	29	465.6707	20.5916	0.005	311.0538	15.1069	0.004
1061-e-n	30	485.9983	20.3276	0.005	325.2795	14.2258	0.004
1061-e-n	31	506.0465	20.0483	0.005	338.5464	13.2668	0.003
1061-e-n	32	525.6663	19.6198	0.005	350.7211	12.1747	0.003
1061-e-n	33	544.7908	19.1245	0.005	361.8395	11.1184	0.003
1061-e-n	34	563.3752	18.5843	0.005	373.4246	11.5851	0.003
1061-e-n	35	581.4173	18.0421	0.005	385.7074	12.2828	0.003
1061-e-n	36	599.0837	17.6664	0.004	400.9555	15.2482	0.004
1061-e-n	37	616.7808	17.6971	0.004	423.9915	23.0360	0.006
1061-e-n	38	634.0826	17.3018	0.004	450.2778	26.2863	0.007
1061-e-n	39	651.6120	17.5294	0.004	477.9489	27.6711	0.007
1061-e-n	40	669.5507	17.9387	0.004	505.5550	27.6062	0.007
1061-e-n	41	687.3267	17.7761	0.004	532.9687	27.4136	0.007
1061-e-n	42	705.9388	18.6120	0.005	560.0488	27.0801	0.007

Çizelge A.24 : 1061-E-N depremi görel kat ötelemesi oranı kontrolü (Negatif).

Deprem	Kat	X-X Doğrultusu			Y-Y Doğrultusu		
		Kat Ötelemesi [mm]	Görel Kat Ötelemesi [mm]	Görel Kat Ötelemesi Oranı	Kat Ötelemesi [mm]	Görel Kat Ötelemesi [mm]	Görel Kat Ötelemesi Oranı
1061-e-n	1	-3.3793	-3.3793	0.001	-2.2306	-2.2306	0.001
1061-e-n	2	-11.2471	-7.8678	0.002	-7.5142	-5.2836	0.001
1061-e-n	3	-21.8228	-10.5757	0.003	-15.0287	-7.5145	0.002
1061-e-n	4	-34.3404	-12.5176	0.003	-24.3301	-9.3014	0.002
1061-e-n	5	-48.2019	-13.8615	0.003	-34.9725	-10.6424	0.003
1061-e-n	6	-63.5278	-15.3259	0.004	-46.6826	-11.7101	0.003
1061-e-n	7	-79.7422	-16.2144	0.004	-59.2042	-12.5216	0.003
1061-e-n	8	-97.5355	-17.7932	0.004	-72.3150	-13.1108	0.003
1061-e-n	9	-116.0313	-18.4958	0.005	-85.8632	-13.5481	0.003
1061-e-n	10	-134.9207	-18.8894	0.005	-99.7027	-13.8395	0.003
1061-e-n	11	-154.1957	-19.2751	0.005	-113.8477	-14.1450	0.004
1061-e-n	12	-173.6664	-19.4707	0.005	-128.1063	-14.2586	0.004
1061-e-n	13	-193.7551	-20.0887	0.005	-142.3610	-14.2547	0.004
1061-e-n	14	-214.6620	-20.9069	0.005	-156.5266	-14.1656	0.004
1061-e-n	15	-235.5135	-20.8515	0.005	-170.5328	-14.0061	0.004
1061-e-n	16	-256.2112	-20.6977	0.005	-184.3261	-13.7934	0.003
1061-e-n	17	-276.6621	-20.4509	0.005	-197.8599	-13.5337	0.003
1061-e-n	18	-296.7971	-20.1349	0.005	-211.1047	-13.2448	0.003
1061-e-n	19	-317.4890	-20.6919	0.005	-224.0432	-12.9385	0.003
1061-e-n	20	-338.4027	-20.9137	0.005	-236.6672	-12.6240	0.003
1061-e-n	21	-359.0377	-20.6350	0.005	-249.2993	-12.6321	0.003
1061-e-n	22	-379.2344	-20.1967	0.005	-261.5894	-12.2901	0.003
1061-e-n	23	-398.8789	-19.6445	0.005	-273.5367	-11.9474	0.003
1061-e-n	24	-417.9041	-19.0251	0.005	-285.1731	-11.6364	0.003
1061-e-n	25	-437.4634	-19.5593	0.005	-296.5330	-11.3599	0.003
1061-e-n	26	-457.0039	-19.5405	0.005	-308.0184	-11.4853	0.003
1061-e-n	27	-475.9014	-18.8975	0.005	-319.8466	-11.8282	0.003
1061-e-n	28	-494.6761	-18.7748	0.005	-331.3402	-11.4937	0.003
1061-e-n	29	-514.8147	-20.1386	0.005	-342.5053	-11.1651	0.003
1061-e-n	30	-535.5142	-20.6995	0.005	-353.3558	-10.8504	0.003
1061-e-n	31	-557.6105	-22.0963	0.006	-363.8903	-10.5345	0.003
1061-e-n	32	-581.1806	-23.5701	0.006	-374.1058	-10.2156	0.003
1061-e-n	33	-605.6459	-24.4653	0.006	-384.1317	-10.0258	0.003
1061-e-n	34	-631.1872	-25.5413	0.006	-393.7307	-9.5990	0.002
1061-e-n	35	-658.2835	-27.0963	0.007	-403.2160	-9.4854	0.002
1061-e-n	36	-685.7675	-27.4840	0.007	-412.5351	-9.3190	0.002
1061-e-n	37	-715.3815	-29.6140	0.007	-427.0436	-14.5085	0.004
1061-e-n	38	-744.7655	-29.3840	0.007	-444.5317	-17.4882	0.004
1061-e-n	39	-773.8321	-29.0666	0.007	-463.5925	-19.0608	0.005
1061-e-n	40	-803.6749	-29.8429	0.007	-482.8402	-19.2477	0.005
1061-e-n	41	-833.7982	-30.1233	0.008	-501.9589	-19.1186	0.005
1061-e-n	42	-863.3980	-29.5998	0.007	-520.9028	-18.9439	0.005

Çizelge A.25 : 1061-N-E depremi görelî kat ötelemesi oranı kontrolü (Pozitif).

Deprem	Kat	X-X Doğrultusu			Y-Y Doğrultusu		
		Kat Ötelemesi [mm]	Görelî Kat Ötelemesi [mm]	Görelî Kat Ötelemesi Oranı	Kat Ötelemesi [mm]	Görelî Kat Ötelemesi [mm]	Görelî Kat Ötelemesi Oranı
1061-n-e	1	5.5320	5.5320	0.001	2.9369	2.9369	0.001
1061-n-e	2	18.2421	12.7100	0.003	9.3787	6.4418	0.002
1061-n-e	3	34.3240	16.0819	0.004	17.8789	8.5002	0.002
1061-n-e	4	51.8965	17.5725	0.004	27.8198	9.9408	0.002
1061-n-e	5	69.9929	18.0964	0.005	38.7534	10.9337	0.003
1061-n-e	6	88.1124	18.1195	0.005	50.4350	11.6815	0.003
1061-n-e	7	105.7863	17.6740	0.004	62.6224	12.1874	0.003
1061-n-e	8	123.1082	17.3219	0.004	75.1457	12.5233	0.003
1061-n-e	9	140.5753	17.4671	0.004	87.9316	12.7859	0.003
1061-n-e	10	156.8124	16.2371	0.004	100.9151	12.9835	0.003
1061-n-e	11	171.7993	14.9869	0.004	113.9789	13.0638	0.003
1061-n-e	12	185.5024	13.7031	0.003	126.8997	12.9208	0.003
1061-n-e	13	197.7432	12.2408	0.003	139.5309	12.6312	0.003
1061-n-e	14	208.4767	10.7335	0.003	151.7654	12.2345	0.003
1061-n-e	15	217.6882	9.2115	0.002	163.5133	11.7479	0.003
1061-n-e	16	225.8304	8.1421	0.002	176.8852	13.3720	0.003
1061-n-e	17	234.0885	8.2581	0.002	191.6890	14.8038	0.004
1061-n-e	18	241.0280	6.9396	0.002	206.6886	14.9996	0.004
1061-n-e	19	246.6976	5.6696	0.001	221.8179	15.1293	0.004
1061-n-e	20	251.5965	4.8989	0.001	237.1493	15.3314	0.004
1061-n-e	21	258.2560	6.6595	0.002	254.4758	17.3265	0.004
1061-n-e	22	263.7681	5.5122	0.001	273.8874	19.4116	0.005
1061-n-e	23	268.1693	4.4012	0.001	293.5726	19.6852	0.005
1061-n-e	24	274.9779	6.8086	0.002	313.4915	19.9189	0.005
1061-n-e	25	281.0161	6.0382	0.002	333.6011	20.1096	0.005
1061-n-e	26	286.0334	5.0173	0.001	353.8643	20.2632	0.005
1061-n-e	27	293.0940	7.0605	0.002	374.2530	20.3888	0.005
1061-n-e	28	298.9083	5.8144	0.001	394.7348	20.4818	0.005
1061-n-e	29	305.2641	6.3558	0.002	415.2830	20.5481	0.005
1061-n-e	30	310.9056	5.6415	0.001	435.8748	20.5919	0.005
1061-n-e	31	329.7991	18.8935	0.005	456.5586	20.6838	0.005
1061-n-e	32	354.1607	24.3616	0.006	477.2511	20.6925	0.005
1061-n-e	33	378.3695	24.2088	0.006	497.9225	20.6714	0.005
1061-n-e	34	403.5993	25.2297	0.006	518.5540	20.6315	0.005
1061-n-e	35	428.9557	25.3565	0.006	539.6671	21.1131	0.005
1061-n-e	36	454.1141	25.1583	0.006	560.7340	21.0669	0.005
1061-n-e	37	478.9902	24.8761	0.006	581.7287	20.9948	0.005
1061-n-e	38	505.9471	26.9569	0.007	602.6388	20.9101	0.005
1061-n-e	39	532.7196	26.7725	0.007	623.4436	20.8048	0.005
1061-n-e	40	559.1262	26.4066	0.007	644.1372	20.6936	0.005
1061-n-e	41	585.1610	26.0348	0.007	664.7256	20.5884	0.005
1061-n-e	42	610.7541	25.5931	0.006	685.1800	20.4544	0.005

Çizelge A.26 : 1061-N-E depremi görel kat ötelemesi oranı kontrolü (Negatif).

Deprem	Kat	X-X Doğrultusu			Y-Y Doğrultusu		
		Kat Ötelemesi [mm]	Görel Kat Ötelemesi [mm]	Görel Kat Ötelemesi Oranı	Kat Ötelemesi [mm]	Görel Kat Ötelemesi [mm]	Görel Kat Ötelemesi Oranı
1061-n-e	1	-3.9740	-3.9740	0.001	-3.0259	-3.0259	0.001
1061-n-e	2	-12.9011	-8.9271	0.002	-10.2136	-7.1877	0.002
1061-n-e	3	-24.3842	-11.4832	0.003	-20.3933	-10.1797	0.003
1061-n-e	4	-37.5327	-13.1484	0.003	-32.9260	-12.5327	0.003
1061-n-e	5	-51.7076	-14.1749	0.004	-47.1566	-14.2306	0.004
1061-n-e	6	-66.4690	-14.7615	0.004	-62.6886	-15.5320	0.004
1061-n-e	7	-81.3789	-14.9099	0.004	-79.2053	-16.5168	0.004
1061-n-e	8	-96.7346	-15.3556	0.004	-96.4276	-17.2223	0.004
1061-n-e	9	-111.8741	-15.1395	0.004	-114.1686	-17.7409	0.004
1061-n-e	10	-126.3576	-14.4835	0.004	-132.2158	-18.0473	0.005
1061-n-e	11	-140.1497	-13.7921	0.003	-150.5907	-18.3749	0.005
1061-n-e	12	-153.0204	-12.8707	0.003	-169.0502	-18.4595	0.005
1061-n-e	13	-164.7471	-11.7267	0.003	-187.6405	-18.5903	0.005
1061-n-e	14	-175.2489	-10.5018	0.003	-206.0946	-18.4542	0.005
1061-n-e	15	-184.4807	-9.2318	0.002	-224.2414	-18.1468	0.005
1061-n-e	16	-192.3954	-7.9148	0.002	-241.9784	-17.7369	0.004
1061-n-e	17	-200.5387	-8.1433	0.002	-259.2038	-17.2254	0.004
1061-n-e	18	-210.7105	-10.1718	0.003	-275.8342	-16.6304	0.004
1061-n-e	19	-220.1757	-9.4652	0.002	-291.7974	-15.9632	0.004
1061-n-e	20	-228.9461	-8.7704	0.002	-307.0365	-15.2391	0.004
1061-n-e	21	-237.0326	-8.0865	0.002	-321.5054	-14.4688	0.004
1061-n-e	22	-244.4083	-7.3757	0.002	-335.5835	-14.0781	0.004
1061-n-e	23	-251.9806	-7.5723	0.002	-348.9131	-13.3296	0.003
1061-n-e	24	-259.4066	-7.4260	0.002	-361.4492	-12.5361	0.003
1061-n-e	25	-268.0267	-8.6201	0.002	-378.5062	-17.0570	0.004
1061-n-e	26	-276.9713	-8.9446	0.002	-399.5472	-21.0411	0.005
1061-n-e	27	-286.3138	-9.3425	0.002	-421.5418	-21.9946	0.005
1061-n-e	28	-296.8751	-10.5613	0.003	-445.6825	-24.1407	0.006
1061-n-e	29	-307.3191	-10.4440	0.003	-471.5452	-25.8627	0.006
1061-n-e	30	-324.2741	-16.9550	0.004	-498.1591	-26.6140	0.007
1061-n-e	31	-345.7351	-21.4610	0.005	-526.8124	-28.6533	0.007
1061-n-e	32	-367.2265	-21.4915	0.005	-555.7475	-28.9351	0.007
1061-n-e	33	-388.5955	-21.3690	0.005	-586.4514	-30.7039	0.008
1061-n-e	34	-409.7168	-21.1213	0.005	-617.5851	-31.1337	0.008
1061-n-e	35	-430.5059	-20.7891	0.005	-648.8911	-31.3060	0.008
1061-n-e	36	-450.8905	-20.3846	0.005	-680.5652	-31.6742	0.008
1061-n-e	37	-470.8223	-19.9318	0.005	-713.0661	-32.5009	0.008
1061-n-e	38	-490.2744	-19.4520	0.005	-745.5374	-32.4713	0.008
1061-n-e	39	-510.0802	-19.8058	0.005	-777.9007	-32.3633	0.008
1061-n-e	40	-536.0242	-25.9441	0.006	-810.1036	-32.2030	0.008
1061-n-e	41	-561.3989	-25.3747	0.006	-842.1240	-32.0203	0.008
1061-n-e	42	-586.1228	-24.7239	0.006	-873.8822	-31.7582	0.008

Çizelge A.27 : 22170090 depremi görelî kat ötelemesi oranı kontrolü (Pozitif).

Deprem	Kat	X-X Doğrultusu			Y-Y Doğrultusu		
		Kat Ötelemesi [mm]	Görelî Kat Ötelemesi [mm]	Görelî Kat Ötelemesi Oranı	Kat Ötelemesi [mm]	Görelî Kat Ötelemesi [mm]	Görelî Kat Ötelemesi Oranı
22170090	1	4.6118	4.6118	0.001	2.4041	2.4041	0.001
22170090	2	15.4912	10.8794	0.003	8.5938	6.1897	0.002
22170090	3	29.9499	14.4586	0.004	17.8558	9.2620	0.002
22170090	4	46.3948	16.4449	0.004	29.7082	11.8524	0.003
22170090	5	63.7289	17.3342	0.004	43.6230	13.9149	0.003
22170090	6	81.5248	17.7959	0.004	59.2003	15.5773	0.004
22170090	7	99.4776	17.9529	0.004	76.0851	16.8848	0.004
22170090	8	117.3403	17.8627	0.004	93.9668	17.8817	0.004
22170090	9	134.9037	17.5633	0.004	112.6815	18.7147	0.005
22170090	10	152.1921	17.2885	0.004	132.0920	19.4105	0.005
22170090	11	169.2452	17.0530	0.004	152.1815	20.0895	0.005
22170090	12	185.8004	16.5552	0.004	172.6635	20.4820	0.005
22170090	13	201.6875	15.8871	0.004	193.4080	20.7444	0.005
22170090	14	216.8328	15.1453	0.004	214.3138	20.9059	0.005
22170090	15	231.2060	14.3732	0.004	235.2905	20.9767	0.005
22170090	16	244.8102	13.6042	0.003	256.2638	20.9734	0.005
22170090	17	257.6524	12.8422	0.003	277.1599	20.8961	0.005
22170090	18	269.7647	12.1123	0.003	297.9213	20.7614	0.005
22170090	19	281.1942	11.4294	0.003	318.5000	20.5787	0.005
22170090	20	292.0010	10.8068	0.003	338.8542	20.3542	0.005
22170090	21	302.2112	10.2102	0.003	359.0042	20.1500	0.005
22170090	22	311.8737	9.6625	0.002	378.8385	19.8343	0.005
22170090	23	321.1444	9.2706	0.002	398.3243	19.4858	0.005
22170090	24	333.6231	12.4787	0.003	417.4464	19.1221	0.005
22170090	25	348.5262	14.9031	0.004	436.1894	18.7430	0.005
22170090	26	363.8360	15.3098	0.004	454.5459	18.3566	0.005
22170090	27	378.7799	14.9439	0.004	472.5186	17.9727	0.004
22170090	28	393.5575	14.7776	0.004	490.1077	17.5891	0.004
22170090	29	409.2458	15.6883	0.004	507.3205	17.2128	0.004
22170090	30	424.6862	15.4404	0.004	524.1685	16.8480	0.004
22170090	31	441.8229	17.1367	0.004	540.6535	16.4850	0.004
22170090	32	459.6802	17.8573	0.004	556.7477	16.0943	0.004
22170090	33	479.0525	19.3723	0.005	572.5429	15.7951	0.004
22170090	34	500.7144	21.6619	0.005	589.4276	16.8847	0.004
22170090	35	523.3025	22.5881	0.006	606.0959	16.6683	0.004
22170090	36	547.0144	23.7119	0.006	622.5614	16.4655	0.004
22170090	37	571.4091	24.3947	0.006	638.8442	16.2828	0.004
22170090	38	596.2884	24.8793	0.006	656.6902	17.8459	0.004
22170090	39	620.7965	24.5081	0.006	674.8327	18.1426	0.005
22170090	40	644.9085	24.1120	0.006	692.9031	18.0704	0.005
22170090	41	668.6625	23.7539	0.006	711.8709	18.9678	0.005
22170090	42	692.0363	23.3738	0.006	731.3008	19.4299	0.005

Çizelge A.28 : 22170090 depremi görel kat ötelemesi oranı kontrolü (Negatif).

Deprem	Kat	X-X Doğrultusu			Y-Y Doğrultusu		
		Kat Ötelemesi [mm]	Görel Kat Ötelemesi [mm]	Görel Kat Ötelemesi Oranı	Kat Ötelemesi [mm]	Görel Kat Ötelemesi [mm]	Görel Kat Ötelemesi Oranı
22170090	1	-3.5348	-3.5348	0.001	-3.8482	-3.8482	0.001
22170090	2	-11.1096	-7.5749	0.002	-12.3967	-8.5485	0.002
22170090	3	-20.5173	-9.4077	0.002	-23.8015	-11.4048	0.003
22170090	4	-31.1528	-10.6355	0.003	-37.0614	-13.2599	0.003
22170090	5	-42.4897	-11.3369	0.003	-51.2696	-14.2082	0.004
22170090	6	-54.1576	-11.6679	0.003	-66.0521	-14.7824	0.004
22170090	7	-65.8947	-11.7370	0.003	-81.1156	-15.0635	0.004
22170090	8	-77.7192	-11.8245	0.003	-96.2263	-15.1107	0.004
22170090	9	-89.4303	-11.7111	0.003	-111.1857	-14.9594	0.004
22170090	10	-103.4556	-14.0253	0.004	-125.7948	-14.6091	0.004
22170090	11	-117.7293	-14.2737	0.004	-140.0726	-14.2778	0.004
22170090	12	-132.1872	-14.4580	0.004	-153.8272	-13.7546	0.003
22170090	13	-146.8179	-14.6307	0.004	-166.9562	-13.1290	0.003
22170090	14	-161.7729	-14.9550	0.004	-179.4086	-12.4525	0.003
22170090	15	-178.0429	-16.2700	0.004	-191.8722	-12.4635	0.003
22170090	16	-196.6338	-18.5909	0.005	-205.5619	-13.6897	0.003
22170090	17	-216.5395	-19.9057	0.005	-219.1025	-13.5406	0.003
22170090	18	-236.7293	-20.1898	0.005	-235.0959	-15.9934	0.004
22170090	19	-257.1020	-20.3726	0.005	-253.0582	-17.9623	0.004
22170090	20	-277.7220	-20.6200	0.005	-270.6069	-17.5487	0.004
22170090	21	-298.4807	-20.7587	0.005	-288.8462	-18.2393	0.005
22170090	22	-319.2230	-20.7423	0.005	-306.9148	-18.0686	0.005
22170090	23	-339.7927	-20.5696	0.005	-324.2372	-17.3224	0.004
22170090	24	-360.0806	-20.2879	0.005	-340.6881	-16.4508	0.004
22170090	25	-379.9877	-19.9071	0.005	-356.1502	-15.4621	0.004
22170090	26	-399.4433	-19.4556	0.005	-370.5282	-14.3780	0.004
22170090	27	-418.4097	-18.9664	0.005	-383.7506	-13.2224	0.003
22170090	28	-437.8140	-19.4043	0.005	-395.8361	-12.0855	0.003
22170090	29	-458.2957	-20.4817	0.005	-408.5260	-12.6899	0.003
22170090	30	-480.2960	-22.0003	0.006	-420.2371	-11.7111	0.003
22170090	31	-503.8838	-23.5878	0.006	-430.9015	-10.6644	0.003
22170090	32	-528.4604	-24.5766	0.006	-440.4890	-9.5875	0.002
22170090	33	-553.2015	-24.7411	0.006	-450.1305	-9.6415	0.002
22170090	34	-577.9458	-24.7443	0.006	-464.2671	-14.1367	0.004
22170090	35	-602.6288	-24.6830	0.006	-489.4197	-25.1526	0.006
22170090	36	-627.1793	-24.5505	0.006	-518.9467	-29.5270	0.007
22170090	37	-651.5331	-24.3539	0.006	-549.7287	-30.7820	0.008
22170090	38	-675.7334	-24.2003	0.006	-581.1210	-31.3923	0.008
22170090	39	-699.9536	-24.2201	0.006	-612.4521	-31.3311	0.008
22170090	40	-723.8750	-23.9215	0.006	-643.6383	-31.1862	0.008
22170090	41	-747.4865	-23.6115	0.006	-674.7062	-31.0679	0.008
22170090	42	-770.7775	-23.2910	0.006	-705.4655	-30.7593	0.008

Çizelge A.29 : 22170360 depremi görelî kat ötelemesi oranı kontrolü (Pozitif).

Deprem	Kat	X-X Doğrultusu			Y-Y Doğrultusu		
		Kat Ötelemesi [mm]	Görelî Kat Ötelemesi [mm]	Görelî Kat Ötelemesi Oranı	Kat Ötelemesi [mm]	Görelî Kat Ötelemesi [mm]	Görelî Kat Ötelemesi Oranı
22170360	1	3.717006	3.7170	0.001	4.29176	4.2918	0.001
22170360	2	12.162229	8.4452	0.002	13.830158	9.5384	0.002
22170360	3	23.298671	11.1364	0.003	26.33429	12.5041	0.003
22170360	4	35.92553	12.6269	0.003	40.721752	14.3875	0.004
22170360	5	49.4306	13.5051	0.003	56.072112	15.3504	0.004
22170360	6	63.512799	14.0822	0.004	72.033434	15.9613	0.004
22170360	7	77.681643	14.1688	0.004	88.351301	16.3179	0.004
22170360	8	91.74033	14.0587	0.004	104.81409	16.4628	0.004
22170360	9	105.53322	13.7929	0.003	121.23802	16.4239	0.004
22170360	10	118.88035	13.3471	0.003	137.41654	16.1785	0.004
22170360	11	131.78559	12.9052	0.003	153.37517	15.9586	0.004
22170360	12	144.2125	12.4269	0.003	168.88668	15.5115	0.004
22170360	13	156.15142	11.9389	0.003	183.81696	14.9303	0.004
22170360	14	167.62539	11.4740	0.003	198.07484	14.2579	0.004
22170360	15	181.5651	13.9397	0.003	211.59131	13.5165	0.003
22170360	16	199.7276	18.1625	0.005	224.31848	12.7272	0.003
22170360	17	218.045	18.3174	0.005	236.21834	11.8999	0.003
22170360	18	236.49607	18.4511	0.005	247.27427	11.0559	0.003
22170360	19	255.09547	18.5994	0.005	258.24119	10.9669	0.003
22170360	20	273.88268	18.7872	0.005	269.45803	11.2168	0.003
22170360	21	293.02754	19.1449	0.005	280.08634	10.6283	0.003
22170360	22	312.55208	19.5245	0.005	290.10256	10.0162	0.003
22170360	23	333.26214	20.7101	0.005	300.13532	10.0328	0.003
22170360	24	355.1485	21.8864	0.005	310.13437	9.9991	0.002
22170360	25	378.95049	23.8020	0.006	319.75415	9.6198	0.002
22170360	26	403.77407	24.8236	0.006	329.04572	9.2916	0.002
22170360	27	429.69593	25.9219	0.006	338.05971	9.0140	0.002
22170360	28	456.76562	27.0697	0.007	348.60912	10.5494	0.003
22170360	29	483.77798	27.0124	0.007	359.02879	10.4197	0.003
22170360	30	510.60697	26.8290	0.007	369.25361	10.2248	0.003
22170360	31	537.27451	26.6675	0.007	380.33274	11.0791	0.003
22170360	32	563.52693	26.2524	0.007	392.15091	11.8182	0.003
22170360	33	589.19132	25.6644	0.006	403.69987	11.5490	0.003
22170360	34	614.13715	24.9458	0.006	416.78672	13.0868	0.003
22170360	35	638.29888	24.1617	0.006	430.00126	13.2145	0.003
22170360	36	661.64039	23.3415	0.006	446.58454	16.5833	0.004
22170360	37	684.17294	22.5325	0.006	473.7188	27.1343	0.007
22170360	38	705.9635	21.7906	0.005	502.65731	28.9385	0.007
22170360	39	728.02607	22.0626	0.006	533.85095	31.1936	0.008
22170360	40	750.64849	22.6224	0.006	564.94713	31.0962	0.008
22170360	41	772.85231	22.2038	0.006	595.8361	30.8890	0.008
22170360	42	794.6994	21.8471	0.005	626.38312	30.5470	0.008

Çizelge A.30 : 22170360 depremi görelî kat ötelemesi oranı kontrolü (Negatif).

Deprem	Kat	X-X Doğrultusu			Y-Y Doğrultusu		
		Kat Ötelemesi [mm]	Görelî Kat Ötelemesi [mm]	Görelî Kat Ötelemesi Oranı	Kat Ötelemesi [mm]	Görelî Kat Ötelemesi [mm]	Görelî Kat Ötelemesi Oranı
22170360	1	-4.461074	-4.4611	0.001	-3.748629	-3.7486	0.001
22170360	2	-14.10553	-9.6445	0.002	-12.20826	-8.4596	0.002
22170360	3	-26.0726	-11.9671	0.003	-23.62809	-11.4198	0.003
22170360	4	-39.46262	-13.3900	0.003	-37.1134	-13.4853	0.003
22170360	5	-53.78799	-14.3254	0.004	-51.79321	-14.6798	0.004
22170360	6	-68.38067	-14.5927	0.004	-67.21872	-15.4255	0.004
22170360	7	-82.85967	-14.4790	0.004	-83.07761	-15.8589	0.004
22170360	8	-96.9531	-14.0934	0.004	-99.16893	-16.0913	0.004
22170360	9	-110.4489	-13.4958	0.003	-115.3161	-16.1472	0.004
22170360	10	-123.1841	-12.7352	0.003	-131.3089	-15.9928	0.004
22170360	11	-135.2508	-12.0667	0.003	-147.1716	-15.8627	0.004
22170360	12	-146.6352	-11.3843	0.003	-163.1281	-15.9565	0.004
22170360	13	-157.5934	-10.9583	0.003	-179.5009	-16.3728	0.004
22170360	14	-170.9317	-13.3382	0.003	-195.5243	-16.0234	0.004
22170360	15	-184.006	-13.0743	0.003	-211.124	-15.5997	0.004
22170360	16	-196.8381	-12.8322	0.003	-226.2447	-15.1207	0.004
22170360	17	-209.9069	-13.0688	0.003	-242.8422	-16.5975	0.004
22170360	18	-223.4248	-13.5179	0.003	-259.3387	-16.4965	0.004
22170360	19	-237.5683	-14.1435	0.004	-275.3326	-15.9939	0.004
22170360	20	-251.3794	-13.8111	0.003	-292.337	-17.0044	0.004
22170360	21	-264.8692	-13.4898	0.003	-309.5802	-17.2432	0.004
22170360	22	-278.4668	-13.5976	0.003	-326.1595	-16.5793	0.004
22170360	23	-292.0168	-13.5500	0.003	-342.0074	-15.8479	0.004
22170360	24	-305.2295	-13.2127	0.003	-358.9604	-16.9530	0.004
22170360	25	-318.1585	-12.9290	0.003	-375.7826	-16.8222	0.004
22170360	26	-331.7518	-13.5933	0.003	-391.8403	-16.0577	0.004
22170360	27	-346.0635	-14.3116	0.004	-407.105	-15.2646	0.004
22170360	28	-362.1378	-16.0744	0.004	-422.7002	-15.5952	0.004
22170360	29	-378.79	-16.6522	0.004	-445.3588	-22.6586	0.006
22170360	30	-397.4126	-18.6226	0.005	-476.2065	-30.8477	0.008
22170360	31	-416.3201	-18.9075	0.005	-507.2469	-31.0404	0.008
22170360	32	-435.2539	-18.9338	0.005	-538.5624	-31.3155	0.008
22170360	33	-455.9324	-20.6784	0.005	-571.7504	-33.1880	0.008
22170360	34	-476.4458	-20.5134	0.005	-604.832	-33.0816	0.008
22170360	35	-498.4609	-22.0152	0.006	-638.4949	-33.6629	0.008
22170360	36	-526.5266	-28.0656	0.007	-673.9293	-35.4345	0.009
22170360	37	-559.7922	-33.2656	0.008	-709.2209	-35.2915	0.009
22170360	38	-592.6289	-32.8367	0.008	-744.8189	-35.5981	0.009
22170360	39	-624.8729	-32.2440	0.008	-782.5527	-37.7337	0.009
22170360	40	-656.4336	-31.5607	0.008	-820.1075	-37.5548	0.009
22170360	41	-687.3349	-30.9013	0.008	-857.4437	-37.3363	0.009
22170360	42	-717.5183	-30.1834	0.008	-894.461	-37.0173	0.009

Çizelge A.31 : Bağ kirişlerinin şekildeğiştirme sınırlarının kontrolü.

Deprem	Kat	Kiris adı	Dönme (radyan)	Sınır Değer	Kontrol
abbar-y-x	1	726	0.00000	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x		727	0.00000	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x	2	761	0.00082	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x		762	0.00096	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x	3	796	0.00251	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x		797	0.00258	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x	4	831	0.00310	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x		832	0.00334	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x	5	866	0.00333	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x		867	0.00366	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x	6	901	0.00301	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x		902	0.00316	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x	7	936	0.00287	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x		937	0.00301	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x	8	971	0.00231	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x		972	0.00246	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x	9	1006	0.00216	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x		1007	0.00234	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x	10	1041	0.00185	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x		1042	0.00182	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x	11	2676	0.00205	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x		2677	0.00190	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x	12	2930	0.00149	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x		2931	0.00127	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x	13	2932	0.00091	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x		2933	0.00062	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x	14	2934	0.00030	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x		2935	0.00000	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x	15	2936	0.00000	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x		2937	0.00000	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x	16	2938	0.00000	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x		2939	0.00000	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x	17	2940	0.00000	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x		2941	0.00000	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x	18	2942	0.00000	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x		2943	0.00000	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x	19	2944	0.00000	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x		2945	0.00000	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x	20	2946	0.00000	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x		2947	0.00000	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x	21	2948	0.00000	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x		2949	0.00000	0.0114	Hasar Yok

Çizelge A.31 : (devam)Bağ kirişlerinin şekildeğiştirme sınırlarının kontrolü.

Deprem	Kat	Kiris adı	Dönme (radyan)	Sınır Değer	Kontrol
abbar-y-x	22	2978	0.00000	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x		2979	0.00033	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x	23	3008	0.00000	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x		3009	0.00093	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x	24	3038	0.00032	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x		3039	0.00148	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x	25	3068	0.00051	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x		3069	0.00221	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x	26	3098	0.00057	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x		3099	0.00297	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x	27	3128	0.00063	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x		3129	0.00366	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x	28	3158	0.00113	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x		3159	0.00425	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x	29	3188	0.00160	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x		3189	0.00474	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x	30	3218	0.00185	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x		3219	0.00502	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x	31	3248	0.00237	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x		3249	0.00539	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x	32	3586	0.00252	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x		3587	0.00535	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x	33	3588	0.00248	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x		3589	0.00510	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x	34	3590	0.00224	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x		3591	0.00464	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x	35	3592	0.00184	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x		3593	0.00401	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x	36	3594	0.00131	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x		3595	0.00327	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x	37	3596	0.00071	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x		3597	0.00248	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x	38	3598	0.00010	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x		3599	0.00182	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x	39	3600	0.00000	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x		3601	0.00120	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x	40	3602	0.00000	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x		3603	0.00060	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x	41	3604	0.00000	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x		3605	0.00018	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x	42	3606	0.00000	0.0114	Hasar Yok
abbar-y-x		3607	0.00000	0.0114	Hasar Yok

Çizelge A.32 : 10. Kat kirişleri şekildeğiştirme kontrolü.

Kiriş Adı (ucu)	θ_p	h (mm)	L _p (mm)	χ_p (1/mm)	χ_y (1/mm)	χ_x (1/mm)	ε_{cg}	ε_s	Beton Hasarı	Donatı Hasarı
1013H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1013H1	-0.0008	700	350	0.00000	-0.00001	0.00001	-0.0009	0.0046	YOK	YOK
1013H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00001	-0.0008	0.0033	YOK	YOK
1013H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1014H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1014H1	-0.0005	700	350	0.00000	-0.00001	0.00001	-0.0009	0.0041	YOK	YOK
1014H2	0.0001	700	350	0.00000	0.00001	0.00001	-0.0008	0.0034	YOK	YOK
1014H2	-0.0003	700	350	0.00000	-0.00001	0.00001	-0.0009	0.0038	YOK	YOK
1015H1	0.0004	700	350	0.00000	0.00001	0.00001	-0.0009	0.0039	YOK	YOK
1015H1	-0.0004	700	350	0.00000	-0.00001	0.00001	-0.0009	0.0039	YOK	YOK
1015H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00001	-0.0008	0.0033	YOK	YOK
1015H2	-0.0008	700	350	0.00000	-0.00001	0.00001	-0.0009	0.0046	YOK	YOK
1016H1	0.0001	700	350	0.00000	0.00001	0.00001	-0.0008	0.0034	YOK	YOK
1016H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1016H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1016H2	-0.0009	700	350	0.00000	-0.00001	0.00001	-0.0010	0.0048	YOK	YOK
1017H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1017H1	-0.0008	700	350	0.00000	-0.00001	0.00001	-0.0009	0.0046	YOK	YOK
1017H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1017H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1018H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1018H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1018H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1018H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1019H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1019H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1019H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1019H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1020H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1020H1	-0.0008	700	350	0.00000	-0.00001	0.00001	-0.0009	0.0045	YOK	YOK
1020H2	0.0005	700	350	0.00000	0.00001	0.00001	-0.0009	0.0041	YOK	YOK
1020H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1021H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1021H1	-0.0004	700	350	0.00000	-0.00001	0.00001	-0.0009	0.0039	YOK	YOK
1021H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1021H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1022H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1022H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1022H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1022H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1023H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1023H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1023H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1023H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1024H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1024H1	-0.0004	700	350	0.00000	-0.00001	0.00001	-0.0009	0.0039	YOK	YOK
1024H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00001	-0.0008	0.0033	YOK	YOK
1024H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1025H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1025H1	-0.0002	700	350	0.00000	-0.00001	0.00001	-0.0008	0.0036	YOK	YOK
1025H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1025H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1026H1	0.0002	700	350	0.00000	0.00001	0.00001	-0.0008	0.0035	YOK	YOK
1026H1	-0.0001	700	350	0.00000	-0.00001	0.00001	-0.0008	0.0035	YOK	YOK
1026H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1026H2	-0.0005	700	350	0.00000	-0.00001	0.00001	-0.0009	0.0042	YOK	YOK
1027H1	0.0004	700	350	0.00000	0.00001	0.00001	-0.0009	0.0039	YOK	YOK
1027H1	-0.0003	700	350	0.00000	-0.00001	0.00001	-0.0009	0.0037	YOK	YOK
1027H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1027H2	-0.0008	700	350	0.00000	-0.00001	0.00001	-0.0009	0.0046	YOK	YOK
1028H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00001	-0.0008	0.0033	YOK	YOK
1028H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1028H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1028H2	-0.0009	700	350	0.00000	-0.00001	0.00001	-0.0010	0.0047	YOK	YOK

Çizelge A.32 : (devam) 10. Kat kirişleri şekildeğiştirme kontrolü.

DURUM	h (mm)	Lp (mm)	χ_p (1/mm)	χ_y (1/mm)	χ_t (1/mm)		ε_s	ε_s	Beton Hasarı	Donatı Hasarı
1029H1	0.0039	700	350	0.00001	0.00001	0.00002	-0.0016	0.0097	YOK	YOK
1029H1	-0.0045	700	350	-0.00001	-0.00001	0.00002	-0.0013	0.0111	YOK	YOK
1029H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1029H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1030H1	0.0025	700	350	0.00001	0.00001	0.00001	-0.0014	0.0073	YOK	YOK
1030H1	-0.0023	700	350	-0.00001	-0.00001	0.00001	-0.0010	0.0072	YOK	YOK
1030H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1030H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1031H1	0.0018	700	350	0.00001	0.00001	0.00001	-0.0013	0.0060	YOK	YOK
1031H1	-0.0019	700	350	-0.00001	-0.00001	0.00001	-0.0010	0.0066	YOK	YOK
1031H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1031H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1032H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1032H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1032H2	0.0005	700	350	0.00000	0.00001	0.00001	-0.0011	0.0039	YOK	YOK
1032H2	-0.0002	700	350	0.00000	-0.00001	0.00001	-0.0007	0.0036	YOK	YOK
1033H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1033H1	-0.0033	700	350	-0.00001	-0.00001	0.00002	-0.0012	0.0090	YOK	YOK
1033H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1033H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1034H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1034H1	-0.0012	700	350	0.00000	-0.00001	0.00001	-0.0009	0.0054	YOK	YOK
1034H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1034H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1035H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1035H1	-0.0017	700	350	0.00000	-0.00001	0.00001	-0.0010	0.0062	YOK	YOK
1035H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1035H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1036H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1036H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1036H2	0.0015	700	350	0.00000	0.00001	0.00001	-0.0013	0.0055	YOK	YOK
1036H2	-0.0021	700	350	-0.00001	-0.00001	0.00001	-0.0010	0.0068	YOK	YOK
1037H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1037H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1037H2	0.0024	700	350	0.00001	0.00001	0.00001	-0.0014	0.0070	YOK	YOK
1037H2	-0.0027	700	350	-0.00001	-0.00001	0.00001	-0.0011	0.0079	YOK	YOK
1038H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1038H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1038H2	0.0053	700	350	0.00002	0.00001	0.00002	-0.0018	0.0120	YOK	YOK
1038H2	-0.0046	700	350	-0.00001	-0.00001	0.00002	-0.0013	0.0112	YOK	YOK
1039H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1039H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1039H2	0.0032	700	350	0.00001	0.00001	0.00002	-0.0015	0.0084	YOK	YOK
1039H2	-0.0001	700	350	0.00000	-0.00001	0.00001	-0.0007	0.0035	YOK	YOK
1040H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1040H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1040H2	0.0024	700	350	0.00001	0.00001	0.00001	-0.0014	0.0070	YOK	YOK
1040H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1043H1	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1043H1	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1043H2	0.0003	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	-0.0006	0.0041	YOK	YOK
1043H2	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1044H1	0.0002	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	-0.0007	0.0039	YOK	YOK
1044H1	-0.0008	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	-0.0008	0.0050	YOK	YOK
1044H2	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1044H2	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1045H1	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1045H1	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1045H2	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1045H2	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1046H1	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1046H1	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1046H2	0.0007	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	-0.0007	0.0049	YOK	YOK
1046H2	-0.0011	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	-0.0008	0.0056	YOK	YOK
1047H1	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1047H1	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1047H2	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1047H2	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK

Çizelge A.33 : 20. Kat girişleri şekildeğiştirme kontrolü.

Kiriş Adı (ucu)	θ_p	h (mm)	Lp (mm)	χ_p (1/mm)	χ_y (1/mm)	χ_t (1/mm)	ε_{eg}	ε_s	Beton Hasarı	Donatı Hasarı
1543H1	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1543H1	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1543H2	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1543H2	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1544H1	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1544H1	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1544H2	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1544H2	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1545H1	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1545H1	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1545H2	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1545H2	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1546H1	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1546H1	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1546H2	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1546H2	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1547H1	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1547H1	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1547H2	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
1547H2	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2902H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2902H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2902H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2902H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2903H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2903H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2903H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2903H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2904H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2904H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2904H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2904H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2905H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2905H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2905H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2905H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2906H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2906H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2906H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2906H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2907H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2907H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2907H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2907H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2908H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2908H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2908H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2908H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2909H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2909H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2909H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2909H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2910H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2910H1	-0.0002	700	350	0.00000	-0.00001	0.00001	-0.0009	0.0036	YOK	YOK
2910H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2910H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2911H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2911H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2911H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2911H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2912H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2912H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2912H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2912H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK

Çizelge A.33 : (devam) 20. Kat kirişleri şekildeğiştirme kontrolü.

Kiriş Adı (ucu)	θ_p	h (mm)	L _p (mm)	χ_p (1/mm)	χ_s (1/mm)	χ_t (1/mm)	ϵ_{eg}	ϵ_s	Beton Hasarı	Donatı Hasarı
2913H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2913H1	-0.0004	700	350	0.00000	-0.00001	0.00001	-0.0009	0.0039	YOK	YOK
2913H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00001	-0.0008	0.0033	YOK	YOK
2913H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2914H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2914H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2914H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2914H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2915H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2915H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2915H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2915H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2916H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2916H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2916H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2916H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2917H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2917H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2917H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2917H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2918H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2918H1	-0.0017	700	350	0.00000	-0.00001	0.00001	-0.0010	0.0063	YOK	YOK
2918H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2918H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2919H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2919H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2919H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00001	-0.0010	0.0031	YOK	YOK
2919H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2920H1	0.0024	700	350	0.00001	0.00001	0.00001	-0.0015	0.0069	YOK	YOK
2920H1	-0.0022	700	350	-0.00001	-0.00001	0.00001	-0.0011	0.0070	YOK	YOK
2920H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2920H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2921H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2921H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2921H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2921H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2922H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2922H1	0.0000	700	350	0.00000	-0.00001	0.00001	-0.0008	0.0034	YOK	YOK
2922H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2922H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2923H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2923H1	-0.0002	700	350	0.00000	-0.00001	0.00001	-0.0008	0.0037	YOK	YOK
2923H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2923H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2924H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2924H1	-0.0011	700	350	0.00000	-0.00001	0.00001	-0.0009	0.0052	YOK	YOK
2924H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2924H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2925H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2925H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2925H2	0.0026	700	350	0.00001	0.00001	0.00001	-0.0015	0.0073	YOK	YOK
2925H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2926H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2926H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2926H2	0.0003	700	350	0.00000	0.00001	0.00001	-0.0011	0.0036	YOK	YOK
2926H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2927H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2927H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2927H2	0.0022	700	350	0.00001	0.00001	0.00001	-0.0015	0.0067	YOK	YOK
2927H2	-0.0031	700	350	-0.00001	-0.00001	0.00002	-0.0012	0.0086	YOK	YOK
2928H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2928H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2928H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2928H2	-0.0002	700	350	0.00000	-0.00001	0.00001	-0.0008	0.0036	YOK	YOK
2929H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2929H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2929H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2929H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK

Çizelge A.34 : 30. Kat kirişleri şekildeğiştirme kontrolü.

Kiriş Adı (ucu)	θ_p	h (mm)	L _p (mm)	χ_p (1/mm)	χ_y (1/mm)	χ_t (1/mm)	ϵ_{cg}	ϵ_s	Beton Hasarı	Donatı Hasarı
2043H1	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2043H1	-0.0004	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	-0.0005	0.0045	YOK	YOK
2043H2	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2043H2	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2044H1	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2044H1	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2044H2	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2044H2	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2045H1	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2045H1	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2045H2	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2045H2	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2046H1	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2046H1	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2046H2	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2046H2	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2047H1	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2047H1	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2047H2	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2047H2	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3220H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3220H1	-0.0026	700	350	-0.00001	-0.00001	0.00001	-0.0012	0.0077	YOK	YOK
3220H2	0.0015	700	350	0.00000	0.00001	0.00001	-0.0011	0.0058	YOK	YOK
3220H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3221H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3221H1	-0.0015	700	350	0.00000	-0.00001	0.00001	-0.0011	0.0057	YOK	YOK
3221H2	0.0011	700	350	0.00000	0.00001	0.00001	-0.0010	0.0051	YOK	YOK
3221H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3222H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3222H1	-0.0016	700	350	0.00000	-0.00001	0.00001	-0.0011	0.0060	YOK	YOK
3222H2	0.0013	700	350	0.00000	0.00001	0.00001	-0.0010	0.0054	YOK	YOK
3222H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3223H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3223H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3223H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3223H2	-0.0008	700	350	0.00000	-0.00001	0.00001	-0.0010	0.0047	YOK	YOK
3224H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3224H1	-0.0045	700	350	-0.00001	-0.00001	0.00002	-0.0015	0.0108	YOK	YOK
3224H2	0.0033	700	350	0.00001	0.00001	0.00002	-0.0013	0.0088	YOK	YOK
3224H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3225H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3225H1	-0.0005	700	350	0.00000	-0.00001	0.00001	-0.0009	0.0041	YOK	YOK
3225H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3225H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3226H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3226H1	-0.0010	700	350	0.00000	-0.00001	0.00001	-0.0010	0.0050	YOK	YOK
3226H2	0.0002	700	350	0.00000	0.00001	0.00001	-0.0009	0.0035	YOK	YOK
3226H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3227H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3227H1	-0.0043	700	350	-0.00001	-0.00001	0.00002	-0.0015	0.0105	YOK	YOK
3227H2	0.0044	700	350	0.00001	0.00001	0.00002	-0.0015	0.0106	YOK	YOK
3227H2	-0.0001	700	350	0.00000	-0.00001	0.00001	-0.0008	0.0033	YOK	YOK
3228H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3228H1	-0.0040	700	350	-0.00001	-0.00001	0.00002	-0.0014	0.0100	YOK	YOK
3228H2	0.0028	700	350	0.00001	0.00001	0.00001	-0.0013	0.0079	YOK	YOK
3228H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3229H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3229H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3229H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3229H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3230H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3230H1	-0.0001	700	350	0.00000	-0.00001	0.00001	-0.0008	0.0035	YOK	YOK
3230H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3230H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK

Çizelge A.34 : (devam) 30. Kat kirişleri şekildeğiştirme kontrolü.

Kiriş Adı (ucu)	θ_p	h (mm)	L _p (mm)	χ_p (1/mm)	χ_s (1/mm)	χ_t (1/mm)	ϵ_{eg}	ϵ_s	Beton Hasarı	Donatı Hasarı
3231H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3231H1	-0.0035	700	350	-0.00001	-0.00001	0.00002	-0.0013	0.0091	YOK	YOK
3231H2	0.0034	700	350	0.00001	0.00001	0.00002	-0.0013	0.0090	YOK	YOK
3231H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3232H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3232H1	-0.0006	700	350	0.00000	-0.00001	0.00001	-0.0009	0.0042	YOK	YOK
3232H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3232H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3233H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3233H1	0.0000	700	350	0.00000	-0.00001	0.00001	-0.0008	0.0033	YOK	YOK
3233H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3233H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3234H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3234H1	-0.0001	700	350	0.00000	-0.00001	0.00001	-0.0008	0.0034	YOK	YOK
3234H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3234H2	-0.0004	700	350	0.00000	-0.00001	0.00001	-0.0009	0.0038	YOK	YOK
3235H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3235H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3235H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3235H2	-0.0009	700	350	0.00000	-0.00001	0.00001	-0.0010	0.0048	YOK	YOK
3236H1	0.0039	700	350	0.00001	0.00001	0.00002	-0.0018	0.0094	YOK	YOK
3236H1	-0.0049	700	350	-0.00001	-0.00001	0.00002	-0.0015	0.0116	YOK	YOK
3236H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3236H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3237H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3237H1	-0.0062	700	350	-0.00002	-0.00001	0.00002	-0.0016	0.0138	YOK	YOK
3237H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3237H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3238H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3238H1	-0.0041	700	350	-0.00001	-0.00001	0.00002	-0.0014	0.0102	YOK	YOK
3238H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3238H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3239H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3239H1	-0.0052	700	350	-0.00001	-0.00001	0.00002	-0.0015	0.0122	YOK	YOK
3239H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3239H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3240H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3240H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3240H2	0.0013	700	350	0.00000	0.00001	0.00001	-0.0014	0.0052	YOK	YOK
3240H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3241H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3241H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3241H2	0.0019	700	350	0.00001	0.00001	0.00001	-0.0015	0.0061	YOK	YOK
3241H2	-0.0008	700	350	0.00000	-0.00001	0.00001	-0.0009	0.0046	YOK	YOK
3242H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3242H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3242H2	0.0054	700	350	0.00002	0.00001	0.00002	-0.0020	0.0120	YOK	YOK
3242H2	-0.0049	700	350	-0.00001	-0.00001	0.00002	-0.0015	0.0117	YOK	YOK
3243H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3243H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3243H2	0.0058	700	350	0.00002	0.00001	0.00002	-0.0021	0.0127	YOK	YOK
3243H2	-0.0015	700	350	0.00000	-0.00001	0.00001	-0.0010	0.0058	YOK	YOK
3244H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3244H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3244H2	0.0043	700	350	0.00001	0.00001	0.00002	-0.0018	0.0101	YOK	YOK
3244H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3245H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3245H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3245H2	0.0036	700	350	0.00001	0.00001	0.00002	-0.0017	0.0090	YOK	YOK
3245H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3246H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3246H1	-0.0004	700	350	0.00000	-0.00001	0.00001	-0.0008	0.0039	YOK	YOK
3246H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3246H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3247H1	0.0004	700	350	0.00000	0.00001	0.00001	-0.0012	0.0036	YOK	YOK
3247H1	-0.0016	700	350	0.00000	-0.00001	0.00001	-0.0010	0.0060	YOK	YOK
3247H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3247H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK

Çizelge A.35 : 40. Kat kirişleri şekildeğiştirme kontrolü.

Kiriş Adı (ucu)	θ_p	h (mm)	L _p (mm)	χ_p (1/mm)	χ_y (1/mm)	χ_t (1/mm)	ε_{cg}	ε_s	Beton Hasarı	Donatı Hasarı
2543H1	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2543H1	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2543H2	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2543H2	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2544H1	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2544H1	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2544H2	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2544H2	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2545H1	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2545H1	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2545H2	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2545H2	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2546H1	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2546H1	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2546H2	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2546H2	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2547H1	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2547H1	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2547H2	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
2547H2	0.0000	1700	850	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3502H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3502H1	-0.0011	700	350	0.00000	-0.00001	0.00001	-0.0010	0.0050	YOK	YOK
3502H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3502H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3503H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3503H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3503H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3503H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3504H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3504H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3504H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3504H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3505H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3505H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3505H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3505H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3506H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3506H1	-0.0053	700	350	-0.00002	-0.00001	0.00002	-0.0016	0.0122	YOK	YOK
3506H2	0.0039	700	350	0.00001	0.00001	0.00002	-0.0014	0.0098	YOK	YOK
3506H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3507H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3507H1	-0.0004	700	350	0.00000	-0.00001	0.00001	-0.0009	0.0039	YOK	YOK
3507H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3507H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3508H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3508H1	-0.0011	700	350	0.00000	-0.00001	0.00001	-0.0010	0.0050	YOK	YOK
3508H2	0.0001	700	350	0.00000	0.00001	0.00001	-0.0008	0.0034	YOK	YOK
3508H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3509H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3509H1	-0.0048	700	350	-0.00001	-0.00001	0.00002	-0.0015	0.0113	YOK	YOK
3509H2	0.0051	700	350	0.00001	0.00001	0.00002	-0.0015	0.0119	YOK	YOK
3509H2	-0.0004	700	350	0.00000	-0.00001	0.00001	-0.0009	0.0040	YOK	YOK
3510H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3510H1	-0.0049	700	350	-0.00001	-0.00001	0.00002	-0.0015	0.0115	YOK	YOK
3510H2	0.0034	700	350	0.00001	0.00001	0.00002	-0.0013	0.0090	YOK	YOK
3510H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3511H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3511H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3511H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3511H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3512H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3512H1	-0.0001	700	350	0.00000	-0.00001	0.00001	-0.0008	0.0034	YOK	YOK
3512H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3512H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK

Çizelge A.35 : (devam) 40. Kat kirişleri şekildeğiştirme kontrolü.

Kiriş Adı (ucu)	θ_p	h (mm)	L _p (mm)	χ_p (1/mm)	χ_s (1/mm)	χ_t (1/mm)	ϵ_{eg}	ϵ_s	Beton Hasarı	Donatı Hasarı
3513H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3513H1	-0.0041	700	350	-0.00001	-0.00001	0.00002	-0.0014	0.0101	YOK	YOK
3513H2	0.0043	700	350	0.00001	0.00001	0.00002	-0.0014	0.0105	YOK	YOK
3513H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3514H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3514H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3514H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3514H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3515H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3515H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3515H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3515H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3516H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3516H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3516H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3516H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3517H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3517H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3517H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3517H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3518H1	0.0059	700	350	0.00002	0.00001	0.00002	-0.0019	0.0131	YOK	YOK
3518H1	-0.0040	700	350	-0.00001	-0.00001	0.00002	-0.0013	0.0101	YOK	YOK
3518H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3518H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3519H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3519H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3519H2	0.0021	700	350	0.00001	0.00001	0.00001	-0.0014	0.0065	YOK	YOK
3519H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3520H1	0.0011	700	350	0.00000	0.00001	0.00001	-0.0012	0.0049	YOK	YOK
3520H1	-0.0059	700	350	-0.00002	-0.00001	0.00002	-0.0016	0.0134	YOK	YOK
3520H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3520H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3521H1	0.0008	700	350	0.00000	0.00001	0.00001	-0.0011	0.0044	YOK	YOK
3521H1	-0.0057	700	350	-0.00002	-0.00001	0.00002	-0.0016	0.0131	YOK	YOK
3521H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3521H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3522H1	0.0031	700	350	0.00001	0.00001	0.00002	-0.0015	0.0082	YOK	YOK
3522H1	-0.0072	700	350	-0.00002	-0.00001	0.00003	-0.0017	0.0156	YOK	YOK
3522H2	0.0012	700	350	0.00000	0.00001	0.00001	-0.0010	0.0053	YOK	YOK
3522H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3523H1	0.0009	700	350	0.00000	0.00001	0.00001	-0.0012	0.0047	YOK	YOK
3523H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3523H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3523H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3524H1	0.0005	700	350	0.00000	0.00001	0.00001	-0.0011	0.0040	YOK	YOK
3524H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3524H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3524H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3525H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3525H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3525H2	0.0074	700	350	0.00002	0.00001	0.00003	-0.0021	0.0156	YOK	YOK
3525H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3526H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3526H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3526H2	0.0084	700	350	0.00002	0.00001	0.00003	-0.0022	0.0173	YOK	YOK
3526H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3527H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3527H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3527H2	0.0100	700	350	0.00003	0.00001	0.00003	-0.0024	0.0202	YOK	YOK
3527H2	-0.0015	700	350	0.00000	-0.00001	0.00001	-0.0010	0.0058	YOK	YOK
3528H1	0.0004	700	350	0.00000	0.00001	0.00001	-0.0009	0.0039	YOK	YOK
3528H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3528H2	0.0079	700	350	0.00002	0.00001	0.00003	-0.0022	0.0164	YOK	YOK
3528H2	-0.0045	700	350	-0.00001	-0.00001	0.00002	-0.0014	0.0110	YOK	YOK
3529H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3529H1	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK
3529H2	0.0026	700	350	0.00001	0.00001	0.00001	-0.0015	0.0075	YOK	YOK
3529H2	0.0000	700	350	0.00000	0.00001	0.00000	0.0000	0.0000	YOK	YOK

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Mustafa MUNZUROĞLU

Doğum Yeri ve Tarihi: ELAZIĞ 04.10.1983

Adres: Ebulula Mardin Caddesi No:7 1. Levent / İSTANBUL

Lisans Üniversitesi: İ.T.Ü.