

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BETONARME YÜKSEK BİR YAPININ DEPREM PERFORMANSININ
ZAMAN TANIM ALANINDA DOĞRUSAL OLMAYAN ÇÖZÜMLEME
YÖNTEMİ KULLANILARAK BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Barboros GÖZÜTOK**

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

Programı : Yapı Mühendisliği

Tez Danışmanı: Doç.Dr. Kutlu DARILMAZ

HAZİRAN 2011

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BETONARME YÜKSEK BİR YAPININ DEPREM PERFORMANSININ
ZAMAN TANIM ALANINDA DOĞRUSAL OLMAYAN ÇÖZÜMLEME
YÖNTEMİ KULLANILARAK BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Barboros GÖZÜTOK
501081011**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 06 Mayıs 2011

Tezin Savunulduğu Tarih : 06 Haziran 2011

**Tez Danışmanı : Doç.Dr.Kutlu DARILMAZ
Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Konuralp GİRGİN
Yrd. Doç. Dr. Vail KARAKALE**

HAZİRAN 2011

Sevgili aileme,

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, betonarme yüksek bir yapının, zaman tanım alanında doğrusal olmayan çözümleme yöntemi kullanılarak deprem performansının belirlenmesi ve performans değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir.

Lisans ve yüksek lisans eğitimim süresince, bilgi, tecrübe ve yardımlarını benimle paylaşan, yüksek lisans tezimi hayata geçirebilmem konusunda en büyük paya sahip olan danışman hocam sayın Doç. Dr. Kutlu DARILMAZ'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam esnasında karşılaştığım sorunların çözümünde bilgi ve tecrübesinden yararlandığım, iş yaşantımdaki yardımlarıyla bana yol gösteren Dr. Kerem PEKER'e teşekkürlerimi sunarım.

Yaşamım boyunca maddi ve manevi desteklerini üzerimden hiçbir zaman eksik etmeyen, her daim bana destek olan sevgili aileme teşekkür ederim.

Göstermiş olduğu hoşgörülü davranış nedeniyle sayın Prof. Dr. Engin ORAKDÖĞEN'e teşekkürü bir borç bilirim.

Mayıs 2011

Barboros GÖZÜTOK

İnşaat Mühendisi

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xxiii
SUMMARY	xxv
1. GİRİŞ	1
1.1 Konu	1
1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	4
2. ÇOK KATLI YAPILAR VE TARİHÇELERİ	5
2.1 Yüksek Yapıların Tarihçesi.....	7
3. YAPISAL TAŞIYICI SİSTEMLER.....	13
3.1 Yüksek Yapı Tasarım Yöntemlerinin Gelişimi.....	13
3.2 Taşıyıcı Sistemlerin Sınıflandırılması	19
3.2.1 Döşeme sistemleri	19
3.2.1.1 Betonarme döşeme sistemleri	21
Kirişli döşeme sistemleri:.....	21
Kirişsiz döşeme sistemleri:	22
Dişli döşeme sistemleri:	23
Perdelere oturan döşeme sistemleri:	25
3.2.1.2 Çelik döşeme sistemleri	26
Tek yön kirişli çelik döşeme sistemleri:	26
Çift yön kirişli çelik döşeme sistemleri:	26
Üç kirişli döşeme sistemleri:	27
Kompozit çelik döşeme sistemleri:	28
3.2.2 Düşey yük taşıyıcı sistemler	30
3.2.3 Yatay yük taşıyıcı sistemler	30
3.2.3.1 Çerçeve sistemler	32
Düzlem çerçeve sistemler:	33
Uzay çerçeve sistemler:.....	34
3.2.3.2 Perde/perde-çerçeve sistemler.....	34
3.2.3.3 Çekirdekli sistemler	38
3.2.3.4 Tüp sistemler.....	40
Boş tüpler:	40
İç bağlantılı tüpler:	42
Kompozit tüp sistemler:	44
4. PERFORMANSA BAĞLI TASARIM VE DEĞERLENDİRME	49
4.1 Performansa Dayalı Tasarım Yöntemlerinin Gelişimi.....	51
4.2 Davranış Spektrumu Kavramı ve Deprem Yükleri	56
4.3 Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri	63
4.3.1 Geometri değişimleri bakımından doğrusal olmayan sistemler.....	64
4.3.2 Malzeme bakımından doğrusal olmayan sistemler	67

4.3.3 Malzeme ve geometri bakımından doğrusal olmayan sistemler	71
4.3.4 Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi.....	72
4.3.5 Artımsal mod birleştirme yöntemi	79
4.3.5.1 Kiriş artımsal ölçek katsayısının belirlenmesi	85
4.3.5.2 Kolon artımsal ölçek katsayısının belirlenmesi	85
4.3.5.3 Deprem istem büyüklüklerinin elde edilmesi.....	88
4.3.6 Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi	90
4.3.7 Performansa dayalı tasarım kavramının sayısal incelenmesi.....	94
4.3.7.1 Sistem performansının belirlenmesi	95
5. SAYISAL İNCELEME.....	103
5.1 Yapısal Taşıyıcı Sistem Özellikleri	103
5.2 Deprem Etkilerinin Tanımlanması	106
5.2.1 Tasarım spektrumunun belirlenmesi	108
5.2.2 Deprem kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklendirilmesi	109
5.2.2.1 Zaman tanım alanında ölçeklendirme işlemi	110
5.2.2.2 Frekans tanım alanında ölçeklendirme işlemi.....	111
5.2.3 Deprem kayıtlarının ölçeklendirilmesi aşamalarında izlenen yol.....	114
5.2.4 Yapısal analiz modelinin oluşturulması	117
5.2.4.1 Yapı malzemesi ve taşıyıcı elemanların çevrimsel davranış eğrileri	123
5.2.4.2 Bağ kirişlerinin modellenmesi	134
5.2.4.3 Deprem perdelerinin modellenmesi	144
5.2.4.4 Yapısal sönümün modellenmesi.....	158
5.2.4.5 Kat diyaframlarının modellenmesi.....	166
5.2.5 Yapısal Tasarım Aşamalarında Kullanılan Kabuller ve Yönetmelikler..	175
Bu bölümde tez çalışmasında kullanılan yapının taşıyıcı sistem	
modellenmesinde kullanılan kabuller özetlenmiştir.....	175
5.2.5.1 Yapısal taşıyıcı sistem özellikleri.....	175
5.2.5.2 Malzeme özellikleri	175
5.2.5.3 Kullanılan standartlar	175
5.2.5.4 Yapısal taşıyıcı sistem performans hedefleri	177
5.2.6 Hesap doğruluk derecesi, donatı detayları ve yapım.....	177
5.2.7 Sayısal inceleme hakkındaki değerlendirmeler.....	181
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	249
KAYNAKLAR.....	257
EKLER.....	261
ÖZGEÇMİŞ.....	269

KISALTMALAR

AASHTO	: American Association of State Highway and Transportation
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ACI	: American Concrete Institute
ASCE	: American Society of Civil Engineers
ATC	: Applied Technology Council
BHB	: Belirgin Hasar Bölgesi
CG	: Can Güvenliği
CSA	: Canadian Standard Association
CTBUH	: Council on Tall Buildings and Urban Habitat
DBYBHY	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
FEMA	: Federal Emergency Management Agency
GB	: Göçme Bölgesi
GC	: Göçme Sınırı
GÖ	: Göçme Öncesi
GV	: Güvenlik Sınırı
HK	: Hemen Kullanım
IYBDY	: İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği
İHB	: İleri Hasar Bölgesi
JSCE	: Japan Society of Civil Engineers
LATB	: Los Angeles Tall Buildings Structural Design Council
MHB	: Minimum Hasar Bölgesi
MN	: Minimum Hasar Sınırı
NEHRP	: National Earthquake Hazard Reduction Program
PEER	: Pacific Earthquake Engineering Research Center
SAC	: Sacramento Section of American Civil Engineering Society
SDGTB	: Seismic Design Guidelines for Tall Buildings
SEAOC	: Structural Engineers Association of California
SFDBI	: San Francisco Department of Building Inspection Administrative
UBC	: Uniform Building Code

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1 : Yedek dayanım katsayıları (FEMA-450-2003).....	61
Çizelge 4.2 : Yapı sistemlerinin doğrusal olmama nedenleri	64
Çizelge 4.3 : DBYBHY–2007 hasar sınır değerleri	101
Çizelge 5.1 : Betonarme taşıyıcı sistem malzeme özellikleri	104
Çizelge 5.2 : Deprem perdeleri malzeme ve kesit özellikleri.....	104
Çizelge 5.3 : Yönetmelik deprem senaryoları ve karşılaştırmaları.....	107
Çizelge 5.4 : Yönetmelik performans seviyeleri ve karşılaştırmaları.....	107
Çizelge 5.5 : Tasarım Spektrum değişkenleri.....	108
Çizelge 5.6 : Yönetmelik ölçeklendirme aralıkları	114
Çizelge 5.7 : Tavsiye edilen ölçeklendirme aralıkları.(Priestley ve Calvi)	114
Çizelge 5.8 : Deprem ivme kayıt özellikleri ve mühendislik şiddetleri	115
Çizelge 5.9 : Yönetmelik kesme kuvveti karşılaştırmaları	137
Çizelge 5.10 : Kesme kuvveti sınır değerlerinin karşılaştırılması.....	137
Çizelge 5.11 : NZS 3101:Part2–1995 yönetmeliği etkin eğilme rijitlik katsayıları	141
Çizelge 5.12 : Bağ kirişi etkin eğilme rijitlik değerleri	142
Çizelge 5.13 : Yapısal eleman etkin rijitlik değerleri (SDGTB-2010).....	147
Çizelge 5.14 : Kayma gerilmesi sınır değerleri karşılaştırmaları.	152
Çizelge 5.15 : Kayma şekil değiştirme sınır değerleri karşılaştırmaları.....	152
Çizelge 5.16 : Elastisite modülü-kayma modülü karşılaştırmaları.....	153
Çizelge 5.17 : Kayma modülü-sekant kayma modülü karşılaştırmaları.....	154
Çizelge 5.18 : Sönüm yüzdesi karşılaştırmaları	160
Çizelge 5.19 : Rüzgâr kuvveti etkisiyle ölçülen sönüm miktarları.....	163
Çizelge 5.20 : Modal analiz bilgileri	165
Çizelge 5.21 : Malzeme Özellikleri	175
Çizelge 5.22 : Kullanılan Standartlar.....	175
Çizelge 5.23 : Dinamik analiz taban kesme kuvvetleri (Çözüm1)	182
Çizelge 5.24 : Minimum taban kesme kuvveti karşılaştırmaları (Çözüm1).....	182
Çizelge 5.25 : Dinamik analiz taban kesme kuvvetleri (Çözüm2).....	184
Çizelge 5.26 : Minimum taban kesme kuvveti karşılaştırmaları (Çözüm2).....	184
Çizelge 5.27 : Dinamik analiz taban kesme kuvveti karşılaştırmaları (Çözüm1/Çözüm2).....	186
Çizelge 5.28 : Tepe noktası yer değiştirmesi karşılaştırmaları (Çözüm1/Çözüm2)	186
Çizelge 5.29 : Göreli kat ötelenmesi etki/kapasite oranları karşılaştırmaları (Çözüm1/Çözüm2).....	189
Çizelge 5.30 : Göreli kat ötelenmesi değerleri karşılaştırmaları	189
Çizelge 5.31 : Tüketilen plastik şekil değiştirme enerjisi miktarı (Çözüm1).....	192
Çizelge 5.32 : Tüketilen plastik şekil değiştirme enerjisi miktarı (Çözüm2).....	192
Çizelge 5.33 : Tüketilen plastik şekil değiştirme enerjisi miktarı karşılaştırmaları (Çözüm2/Çözüm1).....	193
Çizelge 5.34 : Tüketilen viskoz sönüm enerjisi miktarı (Çözüm1).....	195
Çizelge 5.35 : Tüketilen viskoz sönüm enerjisi miktarı (Çözüm2).....	195

Çizelge 5.36 : Tüketilen viskoz sönüm enerjisi miktarı karşılaştırmaları (Çözüm2/Çözüm1).....	196
Çizelge 5.37 : Tüketilen toplam enerji miktarları (Çözüm1).....	198
Çizelge 5.38 : Tüketilen toplam enerji miktarları (Çözüm2).....	198
Çizelge 5.39 : Tüketilen toplam enerji miktarı karşılaştırmaları (Çözüm2/Çözüm1)	199
Çizelge 5.40 : Tüketilen toplam enerji miktarının enerji tüketme mekanizması bazında dağılımları (Çözüm1).....	201
Çizelge 5.41 : Tüketilen toplam enerji miktarının enerji tüketme mekanizması bazında dağılımları (Çözüm2).....	202
Çizelge 5.42 : Tüketilen toplam enerji miktarının enerji tüketme mekanizması bazında dağılım karşılaştırmaları (Çözüm1/Çözüm2)	203
Çizelge 5.43 : Tüketilen plastik şekil değiştirme enerjisi miktarının yapısal taşıyıcı elemanlar bazında ortalama dağılımları (Çözüm1).....	203
Çizelge 5.44 : Tüketilen plastik şekil değiştirme enerjisi miktarının yapısal taşıyıcı elemanlar bazında ortalama dağılımları (Çözüm2).....	204
Çizelge 5.45 : Tüketilen viskoz sönüm enerjisi miktarının yapısal taşıyıcı elemanlar bazında ortalama dağılımları (Çözüm1).....	205
Çizelge 5.46 : Tüketilen viskoz sönüm enerjisi miktarının yapısal taşıyıcı elemanlar bazında ortalama dağılımları (Çözüm2).....	205
Çizelge 5.47 : Sayısal analiz hata yüzdeleri (Çözüm1)	206
Çizelge 5.48 : Sayısal analiz hata yüzdeleri (Çözüm2)	206
Çizelge 5.49 : Perde dönmesi etki/kapasite oranları (Çözüm1).....	208
Çizelge 5.50 : Dönme ölçer eleman performans ölçütleri	209
Çizelge 5.51 : Perde dönmesi miktarları ve performans seviyeleri (Çözüm1)	209
Çizelge 5.52 : Perde dönmesi etki/kapasite oranları (Çözüm2).....	210
Çizelge 5.53 : Dönme ölçer eleman performans ölçütleri	211
Çizelge 5.54 : Perde dönmesi miktarları ve performans seviyeleri (Çözüm2)	212
Çizelge 5.55 : Perde dönmesi etki/kapasite oran karşılaştırmaları (Çözüm2/Çözüm1)	212
Çizelge 5.56 : Çekirdek perdeleri donatı şekil değiştirmesi etki/kapasite oranları (Çözüm1).....	216
Çizelge 5.57 : Şekil değiştirme ölçer eleman performans ölçütleri.....	217
Çizelge 5.58 : Çekirdek perdeleri donatı şekil değiştirmesi miktarları (Çözüm1) ..	217
Çizelge 5.59 : Çekirdek perdeleri donatı şekil değiştirmesi etki/kapasite oranları (Çözüm2).....	218
Çizelge 5.60 : Şekil değiştirme ölçer eleman performans ölçütleri.....	219
Çizelge 5.61 : Çekirdek perdeleri donatı şekil değiştirmesi miktarları (Çözüm2) ..	219
Çizelge 5.62 : Çekirdek perdeleri donatı şekil değiştirmesi etki/kapasite oran karşılaştırmaları (Çözüm2/Çözüm1)	220
Çizelge 5.63 : Çekirdek perdeleri beton basınç şekil değiştirmesi etki/kapasite oranları (Çözüm1)	225
Çizelge 5.64 : Şekil değiştirme ölçer eleman performans ölçütleri.....	226
Çizelge 5.65 : Çekirdek perdeler beton basınç şekil değiştirmesi miktarları (Çözüm1)	226
Çizelge 5.66 : Çekirdek perdeleri beton basınç şekil değiştirmesi etki/kapasite oranları (Çözüm2)	227
Çizelge 5.67 : Şekil değiştirme ölçer eleman performans ölçütleri.....	228
Çizelge 5.68 : Çekirdek perdeler beton basınç şekil değiştirmesi miktarları (Çözüm2)	228

Çizelge 5.69 : Çekirdek perdeleri beton basınç şekil değiştirme etki/kapasite oran karşılaştırmaları (Çözüm2/Çözüm1).....	229
Çizelge 5.70 : Bağ kirişi pozitif plastik şekil değiştirme etki/kapasite oranları (Çözüm1)	233
Çizelge 5.71 : Şekil değiştirme ölçer eleman performans ölçütleri.....	234
Çizelge 5.72 : Bağ kirişi plastik şekil değiştirme miktarları performans seviyeleri (Çözüm1)	234
Çizelge 5.73 : Bağ kirişi pozitif plastik şekil değiştirme etki/kapasite oranları (Çözüm2)	235
Çizelge 5.74 : Şekil değiştirme ölçer eleman performans ölçütleri.....	236
Çizelge 5.75 : Bağ kirişi plastik şekil değiştirme miktarları ve performans seviyeleri (Çözüm2)	236
Çizelge 5.76 : Bağ kirişi pozitif plastik şekil değiştirme etki/kapasite oran karşılaştırmaları (Çözüm2/Çözüm1).....	237
Çizelge 5.77 : Bağ kirişi negatif plastik şekil değiştirme etki/kapasite oranları (Çözüm1)	241
Çizelge 5.78 : Şekil değiştirme ölçer eleman performans ölçütleri.....	242
Çizelge 5.79 : Bağ kirişi negatif kayma şekil değiştirme miktarları ve performans seviyeleri (Çözüm1)	242
Çizelge 5.80 : Bağ kirişi negatif plastik kayma şekil değiştirme etki/kapasite oranları (Çözüm2)	243
Çizelge 5.81 : Şekil değiştirme ölçer eleman performans ölçütleri.....	244
Çizelge 5.82 : Bağ kirişi negatif kayma şekil değiştirme miktarları (Çözüm2) ...	244
Çizelge 5.83 : Bağ kirişi negatif kayma şekil değiştirme etki/kapasite oran karşılaştırmaları (Çözüm2/Çözüm1).....	245
Çizelge B.1 : BK1 bağ kirişi kesit özellikleri.....	263
Çizelge B.2 : BK2 bağ kirişi kesit özellikleri.....	263
Çizelge B.3 : BK3 bağ kirişi kesit özellikleri.....	263
Çizelge B.4 : BK3 bağ kirişi kesit özellikleri.....	263
Çizelge C.1 : Yük analizi.....	264
Çizelge C.2 : (devam) Yük analizi	265

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Büyük Giza piramidi	5
Şekil 2.2 : Empire State binası.....	6
Şekil 2.3 : Home Life Insurance binası	7
Şekil 2.4 : Bank of China binası	9
Şekil 2.5 : Yüksek yapı karşılaştırmaları	11
Şekil 3.1 : Mekanik aktif sönümleyici eleman	16
Şekil 3.2 : Hidrolik aktif sönümleyici eleman	17
Şekil 3.3 : Kuvvet kontrollü tasarım yaklaşımı	17
Şekil 3.4 : Yer değiştirmeye dayalı tasarım yaklaşımı	18
Şekil 3.5 : Betonarme taşıyıcı sistem elemanları	19
Şekil 3.6 : Kirişli döşeme sistemi	22
Şekil 3.7 : Kirişsiz döşeme sistemi yük şeritleri.....	22
Şekil 3.8 : Kirişsiz döşeme sistemi	23
Şekil 3.9 : Dişli döşeme sistemi.....	24
Şekil 3.10 : Perdelere oturan döşeme sistemi	25
Şekil 3.11 : Tek yön kirişli döşeme sistemi	27
Şekil 3.12 : Çift yön kirişli döşeme sistemi	27
Şekil 3.13 : Üç kirişli döşeme sistemi	28
Şekil 3.14 : Kompozit döşeme sistemi	29
Şekil 3.15 : Kompozit döşeme sistem kesiti.....	29
Şekil 3.16 : Çerçeve tipi taşıyıcı sistem.....	31
Şekil 3.17 : Perde-çerçeve tipi taşıyıcı sistem	31
Şekil 3.18 : Şekil değiştirmiş düzlem çerçeve sistem.....	33
Şekil 3.19 : Perde-düzlem çerçeve tipi taşıyıcı sistem	34
Şekil 3.20 : Betonarme perde elemanı	35
Şekil 3.21 : Perde-çerçeve etkileşimi.....	37
Şekil 3.22 : Outrigger tipi taşıyıcı sistem	39
Şekil 3.23 : Tüp taşıyıcı sistem.....	42
Şekil 3.24 : Kesme kuvveti gecikmesi (Shear-lag effect).....	44
Şekil 3.25 : Kompozit taşıyıcı sistem örneği (TAIPEI 101).....	46
Şekil 3.26 : Betonarme taşıyıcı sistem örneği (Burj Khalifa).....	47
Şekil 4.1 : Performans seviyeleri ve aralıkları	56
Şekil 4.2 : Tepki spektrumu eğrisinin oluşturulması	57
Şekil 4.3 : Davranış spektrum eğrisi örneği	58
Şekil 4.4 : Dayanım azaltma katsayısının elde edilişi ve statik itme eğrisi	59
Şekil 4.5 : Yedek dayanım kapasitesi ve statik itme eğrisi	61
Şekil 4.6 : Birinci ve ikinci mertebe teorilerinin karşılaştırılması.....	64
Şekil 4.7 : P- Δ ve P- δ etkileri	65
Şekil 4.8 : Plastik şekil değiştirmelerin belirli bir bölgede toplanması	68
Şekil 4.9 : Plastik mafsallı yerleşimi.....	70

Şekil 4.10 : Plastik mafsal hipotezinin geçerli olduğu yapı sistemin davranışı.....	71
Şekil 4.11 : Spektral yer değiştirme-modal yer değiştirme eğrisi.....	75
Şekil 4.12 : Modal yer değiştirme isteminin hesaplanması.	76
Şekil 4.13 : Modal yer değiştirme isteminin ardışık yaklaşım ile hesabı.	77
Şekil 4.14 : Statik itme eğrisi örneği.....	79
Şekil 4.15 : Modal kapasite eğrisi ve tasarım spektrumu.	81
Şekil 4.16 : Modal kapasite eğrisi.....	81
Şekil 4.17 : Mod şekilleri.....	83
Şekil 4.18 : Karşılıklı etki diyagramı.....	86
Şekil 4.19 : Karşılıklı etki diyagramının doğrusallaştırılması	86
Şekil 4.20 : Doğrusallaştırılmış karşılıklı etki diyagramı.	87
Şekil 4.21 : Deprem dalgaları	91
Şekil 4.22 : Tipik deprem ivme kaydı ve deprem dalgaları.....	91
Şekil 4.23 : Kolon kesit özellikleri	94
Şekil 4.24 : Spektral ivme değerleri.....	94
Şekil 4.25 : Mander beton modeli.....	94
Şekil 4.26 : Donatı çeliği modeli	95
Şekil 4.27 : Sistem hesap modeli	95
Şekil 4.28 : Eğilme moment-eğrilik grafiği	96
Şekil 4.29 : Şekil değiştirmiş sistem.....	96
Şekil 4.30 : Statik itme eğrisi.....	98
Şekil 4.31 : Modal kapasite eğrisi.....	98
Şekil 4.32 : Deprem yer değiştirme isteminin belirlenmesi.....	99
Şekil 5.1 : Taşıyıcı sistem planı	105
Şekil 5.2 : İstanbul ilçelerinin Marmara Fayına olan uzaklıkları	106
Şekil 5.3 : Büyük Marmara depremleri kronolojisi	107
Şekil 5.4 : Tasarım spektrumu (IYBDY-2008)	108
Şekil 5.5 : Tasarım spektrumları (IYBDY-2008).	109
Şekil 5.6 : Zaman tanım alanında ölçeklendirme işlemi hesap aşamaları	110
Şekil 5.7 : Frekans tanım alanında ölçeklendirme işlemi hesap aşamaları.....	112
Şekil 5.8 : Deprem kayıtlarının ölçeklendirme adımları.....	116
Şekil 5.9 : Sargı etkisi	119
Şekil 5.10 : Sargı donatısı, kabuk ve sargılanmış beton (çekirdek) bölgeleri	120
Şekil 5.11 : Yapısal taşıyıcı eleman modelleme tipleri	121
Şekil 5.12 : Çevrimsel davranış eğrisi ve iskelet eğrisi örneği.....	124
Şekil 5.13 : Doğrusallaştırılmış çevrimsel davranış eğrisi.	125
Şekil 5.14 : Donatı çeliği çevrimsel davranış eğrisi örneği (Menegotto ve Pinto)..	126
Şekil 5.15 : Beton çevrimsel davranış eğrisi örneği (Yassin, Orakcal ve Wallace)	126
Şekil 5.16 : Deneysel sonuçlar kullanılarak elde edilmiş çevrimsel davranış ve iskelet eğrileri.....	127
Şekil 5.17 : Bağıntılar yardımıyla elde edilen iskelet eğrileri	127
Şekil 5.18 : Çevrimsel davranış-süneklik ilişkisi.....	128
Şekil 5.19 : PERFORM-3D çevrimsel davranış eğrisi ve özellikleri.	130
Şekil 5.20 : PERFORM 3D doğrusallaştırılmış çevrimsel davranış eğrisi.....	130
Şekil 5.21 : Donatı çeliği iskelet eğrisi	131
Şekil 5.22 : Sargısız beton iskelet eğrisi	132
Şekil 5.23 : Sargılı beton iskelet eğrisi	133
Şekil 5.24 : Tipik bağ kirişi ve kesiti	134
Şekil 5.25 : Çapraz donatılmış bağ kirişi uygulaması	135

Şekil 5.26 : Çapraz donatılı bağ kirişi ve bağ kirişleri arasında kalan α açısı	138
Şekil 5.27 : Bağ kirişi hesap modelleri	142
Şekil 5.28 : Bağ kirişi çevrimsel davranış eğrisi karşılaştırmaları	143
Şekil 5.29 : Çapraz donatılmış bağ kirişi hesap modeli.....	144
Şekil 5.30 : Perde etkin rijitlik dağılımı.....	149
Şekil 5.31 : Çatlak oluşumunun kayma modülü üzerindeki etkisi	153
Şekil 5.32 : Betonarme perde fiber hesap modelinin oluşturulması.....	154
Şekil 5.33 : Betonarme fiber kesit hesap modeli detayı	154
Şekil 5.34 : Perde hesap modeli.....	155
Şekil 5.35 : Perde-çerçeve hesap modeli	157
Şekil 5.36 : Yapısal sönüm-periyod ilişkisi.....	158
Şekil 5.37 : Rayleigh sönüm modeli.....	162
Şekil 5.38 : Rayleigh sönüm oranı-periyod ilişkisi.	162
Şekil 5.39 : Sönüm yüzdesi-yapı yüksekliği ilişkisi (CTBUH).....	163
Şekil 5.40 : Sönüm yüzdesi-kat yüksekliği ilişkisi (SATAKE-2003)	164
Şekil 5.41 : Çözüm1-Rayleigh sönüm modeli (0.2T-1.5T, %2.5Ç).....	165
Şekil 5.42 : Çözüm2-Rayleigh sönüm modeli (0.3T-1.0T, %2.5Ç)	166
Şekil 5.43 : Döşeme sistemlerinin görevleri.....	167
Şekil 5.44 : Kat diyaframı ve kolektör eleman	168
Şekil 5.45 : Kolektör eleman. a)Plan görünüşü b) Kesit tesirleri c) İç kuvvet dengesi	168
Şekil 5.46 : Kısmi kolektör eleman ve donatı detayı.....	169
Şekil 5.47 : Diyafram analiz modeli	169
Şekil 5.48 : Diyafram hesap modeli	171
Şekil 5.49 : Kolektör eleman donatı detayları ve kesit tesirleri.....	171
Şekil 5.50 : Boşluksuz ve boşluklu döşeme karşılaştırmaları	172
Şekil 5.51 : Döşeme modelleme tipleri.....	174
Şekil 5.52 : Dinamik analiz taban kesme kuvvetleri değişimi (Çözüm1)	183
Şekil 5.53 : Dinamik analiz taban kesme kuvvetleri değişimi (Çözüm2)	185
Şekil 5.54 : Tepe noktası yer değiştirmesi etki/kapasite (D/C) oran karşılaştırmaları (Çözüm1 ve Çözüm2)	188
Şekil 5.55 : Kat ötelenmesi etki kapasite (D/C) oranları karşılaştırmaları (Çözüm1 ve Çözüm2)	191
Şekil 5.56 : Tüketilen plastik şekil değiştirme enerjisi karşılaştırmaları (Çözüm1 ve Çözüm2)	194
Şekil 5.57 : Tüketilen viskoz sönüm enerjisi karşılaştırmaları (Çözüm1 ve Çözüm2)	197
Şekil 5.58 : Tüketilen toplam enerji karşılaştırmaları (Çözüm1 ve Çözüm2).....	200
Şekil 5.59 : Perde dönmesi	207
Şekil 5.60 : Perde dönme etki/kapasite oran karşılaştırmaları.....	212
Şekil 5.61 : Perde dönmesi yayılışları (Çözüm1)	213
Şekil 5.62 : Perde dönmesi yayılışları (Çözüm2)	214
Şekil 5.63 : Çekirdek perdeleri donatı şekil değiştirmesi karşılaştırmaları	220
Şekil 5.64 : Çekirdek perdeleri donatı şekil değiştirmesi yayılışları (Çözüm1).....	222
Şekil 5.65 : Çekirdek perdeleri donatı şekil değiştirmesi yayılışları (Çözüm2).....	223
Şekil 5.66 : Çekirdek perdeleri beton basınç şekil değiştirmesi karşılaştırmaları...	229
Şekil 5.67 : Beton basınç şekil değiştirmesi yayılışı (Çözüm1)	231
Şekil 5.68 : Beton basınç şekil değiştirmesi yayılışı (Çözüm2)	232
Şekil 5.69 : Bağ kirişi pozitif kayma şekil değiştirmesi karşılaştırmaları	237
Şekil 5.70 : Bağ kirişi pozitif kayma şekil değiştirmesi yayılışı (Çözüm1)	238

Şekil 5.71 : Bağ kirişi pozitif kayma şekil değiştirmesi yayılımı (Çözüm2)	239
Şekil 5.72 : Bağ kirişi negatif kayma şekil değiştirmesi karşılaştırmaları.....	245
Şekil 5.73 : Bağ kirişi negatif kayma şekil değiştirmesi yayılımı (Çözüm1).....	246
Şekil 5.74 : Bağ kirişi negatif kayma şekil değiştirmesi yayılımı (Çözüm2).....	247
 Şekil A.1 : Sayısal analiz modelleri.....	262
Şekil D.1 : Enerji tüketim mekanizması detayları	266
Şekil D.2 : Perde dönmesi etki/kapasite oranı değişimi	267
Şekil D.3 : Donatı şekil değiştirmesi etki/kapasite oranı değişimi	267
Şekil D.4 : Beton basınç şekil değiştirmesi etki/kapasite oranı değişimi	268
Şekil D.5 : Bağ kirişi kayma şekil değiştirmesi etki/kapasite oranı değişimi.....	268

SEMBOL LİSTESİ

a	: Tarafsız eksen derinliği
$a_I^{(i)}$	: (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait ivme
A_c	: Brüt kesit alanı
A_o	: Etkin yer ivmesi katsayısı
$a_{ölçek}$	: Ölçeklendirme katsayısı
A_s	: Boyuna donatı alanı
a_{y1}	: Birinci moda ait eşdeğer akma ivmesi
b_v	: Kesit etkin genişliği
b_w	: Kesit genişliği
c	: Sönüm katsayısı
C	: Yapı dinamik etki katsayısı
C_{Taban}	: Taban kesme kuvveti katsayısı
$[C]$	: Sönüm matrisi
C_a	: Sistem kapasitesi katsayısı
C_e	: Elastik deprem yükü katsayısı
C_{RI}	: Birinci mod spektral yer değiştirme oranı
d	: Kesit faydalı yüksekliği
$d_I^{(i)}$	: (i)'inci itme adımı birinci moda ait yer değiştirme
$d_I^{(p)}$	: Birinci moda ait modal yer değiştirme istemi
d_v	: Enkesit etkin yüksekliği
D_y	: Yedek dayanım kapasitesi
E_c	: Beton elastisite modülü
EI_0	: Çatlamamış kesit eğilme rijitliği
EI_e	: Çatlamış kesit eğilme rijitliği
E_s	: Donatı çeliği elastisite modülü
E_{sec}	: Sekant elastisite modülü
f_c	: Beton karakteristik basınç dayanımı
F_a	: Kısa periyotlu spektral ivme için zemin etkisi katsayısı
f_{cc}	: Sargılı beton basınç dayanımı
$F^{filtrelenmiş}(\omega)$	: Kaydedilmiş deprem hareketi filtrelenmiş Fourier spektrum genliği
$F^{gerçek}(\omega)$	: Kaydedilmiş deprem hareketi Fourier spektrum genliği
f_r	: Donatı çeliği kopma gerilmesi
F_v	: 1 saniye periyotlu spektral ivme için zemin etki katsayısı
f_y	: Donatı çeliği akma gerilmesi
g	: Yer çekimi ivmesi
G	: Kayma modülü
H	: Yapının temel üstünden itibaren ölçülen yüksekliği
h	: Yapının kat yüksekliği
I	: Yapı önem katsayısı
I_e	: Efektif kesit atalet momenti
I_g	: Kesit atalet momenti
k	: Rijitlik
K	: Yapı tipi katsayısı

k_1	: Donatı katsayısı
k_3	: Beton katsayısı
K_e	: Etkin elastik rijitlik
K_p	: Plastik eğrilik
K_t	: Toplam eğrilik
l	: Her hangi iki nokta arasındaki uzaklık
l_n	: İki yapı elemanı arasındaki net açıklık değeri
l_p	: Plastik mafsallık boyu
M_a^I	: Birinci mertebe moment değeri
M_a^{II}	: İkinci mertebe moment değeri
M_p	: Plastik moment
n	: Yapı kat sayısı
P	: Normal kuvvet
P_G	: Göçme yükü
P_L	: Limit yük
$P-A$	: Yük parametresi- yer değiştirme bağıntısı
R	: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
$R_a(T)$	: Deprem yükü azaltma katsayısı
R_s	: Süneklik azaltma katsayısı
R_{y1}	: Birinci moda ait dayanım azaltma katsayısı
S	: Zemin katsayısı
S_1	: Referans zemin sınıfı için 1 saniye periyotlu spektral ivme
$S_{ae}(T)$	: Elastik spektral ivme değerleri
$S_{aeI}(I)$	: İtme analizinin ilk adımında birinci moda ait elastik spektral ivme
$S_a^{gerçek}(T)$	: Tepki spektrumu spektral ivme değerleri
$S_a^{hedef}(T)$	: Hedef tasarım spektrumu spektral ivme değerleri
S_{deI}	: İtme analizi ilk adımında birinci moda ait elastik spektral yer
değiştirme	
S_{dep}	: Deprem yer değiştirme istemi
S_{diI}	: Birinci moda ait doğrusal elastik olmayan spektral yer değiştirme
S_{MI}	: Göz önüne alınan zemin sınıfı için 1 saniye periyotlu spektral ivme
S_{MS}	: Göz önüne alınan zemin sınıfı için kısa periyotlu spektral ivme
S_s	: Referans zemin sınıfı için kısa periyotlu spektral ivme
T	: Periyot
t	: Zaman (s)
T_0	: Spektrum köşe periyodu
T_1	: Yapının birinci titreşim periyodu
$T_{I(1)}$	: Başlangıçtaki (i=1) birinci titreşim moduna ait titreşim periyodu
T_A, TB	: Spektrum karakteristik periyotları
T_e	: Yapı etkin titreşim periyodu
$TH(t)$	: Ölçeklendirilmiş deprem ivme kaydı
$TH^{gerçek}(t)$	: Kaydedilmiş deprem ivme kaydı
T_L	: Uzun periyot bölgesine geçiş periyodu
T_m	: En yüksek modal katılıma sahip periyot
T_S	: Spektrum köşe periyodu
u	: Çubuk eksen doğrultusundaki şekil değiştirme
U_p	: Plastik şekil değiştirme kapasitesi
$u_{xNI}^{(i)}$	: Yapının tepesinde (N'inci kat) x deprem doğrultusunda (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait yer değiştirme

$u_{xNI}^{(p)}$	: Yapının tepesinde (N'inci katında) x depremi doğrultusunda elde edilen yer değiştirme istemi
ν	: Çubuk eksenine dik doğrultusundaki şekil değiştirme
V_c	: Beton kesme kuvveti dayanımı
V_{max}	: İzin verilen en büyük kesme kuvveti
V_p	: Öngerme kuvveti
V_r	: Kesme kuvveti dayanımı
W	: Yapı ağırlığı
Z	: Bölge katsayısı
z	: Moment sıfır noktasına olan uzaklık
α	: İvme
αM	: Kütle matrisi
βk	: Rijitlik matrisi
β_v	: Kesme kuvveti dinamik büyütme katsayısı
γ	: Birim kayma şekil değiştirmesi
γ_w	: Sargı donatısı şekil değiştirme değeri
Δ	: Yer değiştirme
ΔF	: Artımsal ölçek katsayısı
ΔM	: Moment artımı
δ_p	: Plastik şekil değiştirme
ε	: Şekil değiştirme
ε_c	: Beton şekil değiştirmesi
ε_{ccr}	: Sargılı beton şekil değiştirme sınırı
ε_{cu}	: Beton şekil değiştirme sınırı
ε_s	: Donatı çeliği şekil değiştirmesi
ε_{su}	: Donatı çeliği şekil değiştirme sınırı
μ	: süneklik
ζ	: Sönüm oranı
ζ_i	: (i)'inci moda ait sönüm oranı
ρ	: Donatı oranı
ρ_x, ρ_y	: İlgili doğrultudaki enine donatı oranı
$\omega_1^{(I)}$	: Yapı birinci titreşim moduna ait açısal frekans
ω_i	: i'inci moda ait açısal frekans
Γ_{x1}, Γ_{y1}	: X ve Y depremleri doğrultusunda birinci moda ait katkı çarpanı
θ	: Dönme
$\theta^{gerçek}(\omega)$	: Kaydedilmiş deprem hareketi Fourier spektrum fazı
θ_{in}	: Elastik ötesi dönme
θ_p	: Plastik dönme kapasitesi

BETONARME YÜKSEK BİR YAPININ DEPREM PERFORMANSININ ZAMAN TANIM ALANINDA DOĞRUSAL OLMAYAN ÇÖZÜMLEME YÖNTEMİ KULLANILARAK BELİRLENMESİ

ÖZET

Son 50 yılda meydana gelen orta ve büyük şiddetli depremler neticesinde oluşan yapısal hasarların ve hasarlara bağlı olarak gözlemlenen ekonomik, sosyal kayıpların son derece büyük olduğu görülmüştür. Depremlerin neden olduğu hasarların gerçeğe en yakın olarak tahmin edilmesi ve sınırlandırılması amacıyla, deprem etkileri altında yeterli dayanımı öngören tasarım yöntemlerine alternatif olarak, şekil değiştirme ve yer değiştirmeye bağlı tasarım yöntemlerinin başka bir deyişle performansa bağlı tasarım yöntemlerinin geliştirilmesi zorunluluğu ortaya çıkmıştır. Özellikle ABD’de yürütülen araştırma çalışmaları neticesinde yayımlanan şekil değiştirme ve yer değiştirmeye dayalı hesaplama yöntemlerinin esas alındığı ATC-40, FEMA-273, FEMA-274 model dokümanları ile birlikte, deprem etkisi nedeniyle taşıyıcı sistemde oluşabilecek yer değiştirme, şekil değiştirme ve hasar durumlarının kabaca tahmin edildiği kuvvete dayalı tasarım yaklaşımı yerini, taşıyıcı sistem davranışının daha rasyonel ve gerçekçi bir biçimde ele alındığı performansa dayalı tasarım ilkelerine bırakmaya başlamıştır.

Yüksek lisans tezi olarak sunulan bu çalışmada, betonarme çekirdek ve çerçeve taşıyıcı sisteme sahip 65 katlı yüksek bir yapının zaman tanım alanında doğrusal olmayan çözümleme yöntemi kullanılarak deprem performansının belirlenmesi ve performans değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen çalışmada yapısal taşıyıcı sistem PERFORM-3D ortamında malzeme ve geometri özellikleri bakımından doğrusal olmayan davranış göz önünde bulundurularak modellenmiş, sayısal çözümleme İYBDY–2008-D2 seviyesi senaryo deprem spektrumu temelinde ölçeklendirilen deprem kayıtları eşliğinde zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi ve farklı sönüm modelleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Çalışma, 6 ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde performansa dayalı tasarım ve değerlendirme kavramının tanımı yapılmakta ve kavramın ortaya çıkmasındaki temel etken olan deprem hasarlarının nedenleri ve çalışmanın amacı özetlenmektedir.

Çalışmanın ikinci bölümü, çok katlı yapıların gelişim süreçlerine ayrılmıştır. Bu bölümde çok katlı yapı tasarımları kronolojik olarak incelenmiş, tasarım süreçlerinde karşılaşılan sorunların çözümünde kullanılan taşıyıcı sistem düzenlemeleri ve geliştirilen kavramlar genel olarak özetlenmiştir.

Çalışmanın üçüncü bölümünde, yüksek yapı tasarım yöntemlerinin gelişimleri ve yüksek yapı taşıyıcı sistemlerinin sınıflandırılması konuları hakkında kapsamlı bilgilere yer verilmiş, bölümün sonunda ise taşıyıcı sistem düzenlenmesi aşamalarında dikkat edilmesi gereken önemli noktalar belirtilmiştir.

Dördüncü bölümde, performansa dayalı tasarım ve değerlendirme kavramının gelişimi ve hesap aşamalarında kullanılan yöntemler hakkında detaylı bilgilere yer verilmiş, ek olarak performansa dayalı tasarım kavramı sayısal bir örnek üzerinde incelenmiştir.

Beşinci bölüm, çok katlı betonarme yüksek bir yapının zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi kullanılarak deprem performansının belirlenmesi ve yönetmelik koşulları uyarınca değerlendirilmesine ayrılmıştır. Bu bölümde gerçekleştirilen çalışmada kullanılan yapısal taşıyıcı sistem özellikleri, deprem etkilerinin tanımlanması, deprem kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklendirilmesi konuları hakkında kapsamlı bilgilere yer verilmiş, ek olarak doğrusal olmayan analiz modelinin oluşturulması aşamalarında dikkat edilmesi gereken önemli noktalar ve yapısal taşıyıcı elemanların analiz programında modellenmesine ilişkin önerilere yer verilmiş, analizler sonunda elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Altıncı bölümde, bu çalışma neticesinde elde edilen sonuçlar ve çalışmanın geliştirilmesi amacıyla sunulan öneriler yer almaktadır.

Çalışmanın ekleri, ekler bölümünde toplanmıştır. Bu bölümde sayısal analiz modelinin oluşturulması aşamalarında kullanılan önemli veri giriş bilgileri, yük analizleri, deprem kayıtları ve performans değerlendirilmesinde kullanılan grafikler yer almaktadır.

SEISMIC EVALUATION OF A REINFORCED CONCRETE HIGH-RISE BUILDING BASED ON NONLINEAR DYNAMIC TIME HISTORY ANALYSIS

SUMMARY

In the last 50 years, Severe structural damages and damage related injuries have observed due to medium and large magnitude earthquakes occurred around the world. As a result of extremely large economic and social losses caused by earthquakes, the traditional strength based design approach in which structures are designed based on a consideration of strength of structural elements were abandoned and the requirement of developing new structural analysis methods emerged in order to estimating and limiting earthquake based damages on structural systems realistically. The concept of performance based design and evaluation of structural systems began to develop with ATC-40, FEMA-273 and FEMA 274 recommended provisions for seismic regulations documents published in USA. With the assistance of published research studies, motion based design methodology in other words performance based design approach for structural systems provides a more rational and reliable design alternative to the strength based design approach.

This work is concerned with the seismic evaluation of the 65 storey high, concrete core-moment resisting frame high rise building based on nonlinear dynamic time history analysis. Structural model built in PERFORM-3D environment considering the material and geometric nonlinearity of the structural components. Dynamic analyses were carried out by using scaled time history records on the basis of the IYBDY-2008-D2 scenario level earthquake design spectra and two different Rayleigh damping models.

The study consists of six main chapters. In the first chapter, performance based design concept definitions, the main factor in the emergence of the performance based considerations and the purpose of the study are defined.

The second chapter of this study is devoted to the development process of the high-rise buildings. In this chapter, Design trends of high-rise buildings are examined in chronological order and solutions of the problems that encountered in the design process of structural systems are summarized.

In the third chapter of this study, detailed information about the structural system developments and classifications of the high-rise building systems are given, at the end of the chapter, some important aspect of structural system configurations are reviewed.

The fourth chapter of this study gives the detailed information about performance based design methods, behavior and factors that affect the nonlinearity of structural systems. Furthermore, performance based design methodology is investigated on a numerical example.

The fifth chapter is devoted to the seismic evaluation of the reinforced concrete high-rise building based on nonlinear time history analysis. In this chapter, detailed information about structural system properties of the building, selection and scaling procedure of earthquake records and recommendations on modeling process of the structural components for nonlinear analysis are given. Finally, the results obtained from two different models are summarized by using tables and graphs, and then results are examined comparatively.

The results, conclusions and recommendations for further studies are presented in the sixth chapter of this study.

The appendices are given the Appendices chapter of this study. In this chapter, important data entry information used for nonlinear modeling of the structural components, load analysis and calculated usage ratio graphs of the structural components for performance evaluation of the structural system are presented.

1. GİRİŞ

1.1 Konu

Şekil değiştirme ve yer değiştirmeye dayalı performans ölçütlerini esas alan yapısal değerlendirme ve tasarım kavramı, yapı ve deprem mühendisliği alanlarında son 20 yılda gözlemlenen gelişmeler sonucu ortaya çıkmıştır. Yapı güvenliklerinin daha gerçekçi olarak belirlenmesi ve yeterli güvenliğe sahip olmadığı düşünülen yapıların güçlendirilme çalışmalarına katkı sağlamak amacıyla geliştirilen *performansa dayalı tasarım ve değerlendirme* yöntemleri günümüzün popüler araştırma konularının başında gelmektedir. Taşıyıcı sistem elemanlarının yer değiştirme ve şekil değiştirme istemlerinin doğrusal olmayan analiz yöntemleri kullanılarak belirlenmesi ve belirlenen yer değiştirme ve şekil değiştirme miktarlarının yapısal taşıyıcı elemanların kapasiteleri ile karşılaştırılması performansa dayalı tasarım ve değerlendirme yöntemlerinin esasını oluşturmaktadır.

Performansa dayalı tasarım ve değerlendirme yöntemlerinin gelişmesiyle birlikte, deprem etkilerinin sadece tahmin edilebildiği kuvvete dayalı tasarım ilkeleri yerini şekil değiştirme ve yer değiştirmeye bağlı tasarım ilkelerine bırakmaya başlamıştır. Yapısal taşıyıcı sistemlerin deprem performanslarının belirlenmesi aşamalarında kullanılan ana ölçüt, yapısal taşıyıcı elemanların hasar durumlarıdır. Performansa dayalı tasarım ve değerlendirme ilkelerinin temel alındığı depreme dayanıklı yapı tasarım yönetmeliklerinde, hasar durumları taşıyıcı sistem elemanlarının şekil değiştirme ve yer değiştirme istemleri ile ilişkilendirilmiştir. Bu aşamada, performansa dayalı tasarım ve değerlendirme ilkeleri kullanılarak taşıyıcı sistemde oluşabilecek hasar miktarlarının gerçeğe en yakın olarak tespit edilmesi önem kazanmış, dolayısıyla şekil değiştirme ve yer değiştirmeye dayalı analiz yöntemlerinin kullanılması gerekliliği ortaya çıkmıştır.

Yapısal taşıyıcı sistemlerin yönetmeliklerce belirlenen can güvenliği ve göçme güvenliği koşullarını sağlamalarının yanı sıra kullanılabilirlik şartlarının da sağlanması gerekliliği deprem felaketleri sonrasında yapılan gözlemler neticesinde

ortaya çıkmıştır. Deprem hareketi kaynaklı oluşan hasarlar nedeniyle, yapı kullanımının kesintiye uğraması ve/veya hasar onarım maliyetlerinin oldukça yüksek olması, yapıların farklı deprem etkileri altında farklı davranış ölçütlerine göre tasarımılandırılmasının ve değerlendirilmesinin gerekliliğini ortaya çıkartmıştır. Ülkemizde son yirmi yıl içinde meydana gelen şiddetli depremler nedeniyle hasar gören veya yıkılan yapıların büyük bir kısmı, betonarme taşıyıcı sisteme sahip yapılar olmasına rağmen, deprem felaketlerinden sonra yapılan saha çalışmaları sonucunda, göçen veya ağır hasar gören yapıların büyük bir çoğunluğunun betonarme değil, beton ve çelik kullanılarak oluşturulan garip bir yapı türü oldukları ortaya çıkmıştır (Ersoy ve Özcebe, 2004). Bir yapının betonarme bir yapı olarak nitelendirilmesi için aşağıda sıralanan şartların sağlanması gerekmektedir;

- Taşıyıcı sistem elemanlarının bir döküm (monolitik) olması
- Yapısal taşıyıcı sistemdeki kritik bölgelerin sık etriye düzeni ile sarılmış olması
- Donatı detaylandırılmasının bilinçli ve kurallara uygun olarak yapılması

Herhangi bir yapısal taşıyıcı sisteminin depreme dayanıklı olarak tasarlanmaması neticesinde hasarların gözlemlenmesi kaçınılmazdır. Ülkemizde taşıyıcı sistemlerin oluşturulması aşamalarında büyük hatalar yapılmakta, birçok yapı taşıyıcı sistemi düşey yük etkileri göz önünde bulundurularak boyutlandırılmakta, dolayısıyla yapının yanıl yüklere karşı olan dayanımı göz ardı edilmektedir. Deprem kuvvetlerini yüksek süneklik özellikleri sayesinde güvenle karşılayabilecek, çerçevelerin yapısal taşıyıcı sistemde oluşturulmaması, kısa kolon oluşumları, yumuşak kat düzensizlikleri ve deprem perdelerinin yetersiz ve bilinçsiz şekilde kullanılması hatta hiç kullanılmaması ülkemizde yaygın olarak karşılaşılan taşıyıcı sistem sorunlarının başında gelmektedir Depreme dayanıklı yapı tasarımı ilkeleriyle ters düşen taşıyıcı sistem örneklerine ülkemizde oldukça sık rastlanmaktadır. Ön üretimli (prefabrik) endüstri yapıları bu taşıyıcı sistemlere örnek olarak gösterilebilir.

Bu tür yapılarda kolonların üst uçlarında bir diyafram etkisi oluşturulamadığı için, deprem kuvvetlerinin bir kolondan diğer kolona iletimi sağlanamamakta ve bu iletim eksikliği sonucunda prefabrik yapılar ağır hasar görmektedir.

Bu durumda, yapının ağır hasar almasındaki en önemli neden prefabrik olarak üretilmiş yapı elemanları değil, taşıyıcı sistemin yanlış seçilmesidir (Ersoy ve Özcebe, 2004).

Taşıyıcı sistemlerde gözlemlenen hasarların en belirgin nedenleri arasında donatı detaylandırılmasındaki özensizlikler ve yanlışlıklar gelmektedir. Yapı mühendisinin, betonarme yapı davranışı konusunda yeterli bilgi ve deneyime sahip olmaması nedeniyle betonarme taşıyıcı sistem elemanları uygun olarak detaylandırılmamakta, dolayısıyla deprem kuvvetleri etkisiyle oluşan hasarlar yıkıcı olmaktadır. Plastik mafsalların oluşabileceği birleşim bölgelerinde ve kolon kiriş uçlarında yeterli sargı donatısının bulunmaması en sık rastlanan hasar nedenlerindendir. Sargı donatısı yerleşiminde yeterli sıklık şartının sağlanamaması nedeniyle, betonarme davranış için hayati öneme sahip sargı etkisi gözlemlenememekte dolayısıyla, çerçeve tipi taşıyıcı sisteme sahip yapıların ani olarak göçmesinin önüne geçilememektedir. Ek olarak, sargı donatısının uçlarının çekirdek betonu diye tabir edilen bölgeye kenetlenmeyip, yaklaşık 90°kırılması nedeniyle oluşan hasarlar da yaygın olarak gözlemlenmektedir. Benzer bir şekilde; kolon boyuna donatı eklerinin moment açısından en kritik bölge olan kolon alt ve üst uçlarında teşkil edilmeleri ve donatı bindirme boylarının kısa tutulması sonucunda ortaya çıkan süreklilik kayıpları (monolitik özellik kayıpları) nedeniyle gözlemlenen hasarlarda son derece yaygındır (Ersoy, 2005).

Tasarım projelerinin uygulama aşamalarındaki denetim eksiklikleri ülkemizde gözlemlenen betonarme taşıyıcı sistem hasar nedenleri arasındadır. Ülkemizde yapım aşamasındaki denetim sorunlarının önüne geçebilmek amacıyla denetim mekanizmaları oluşturulmuşsa da bu denetleme mekanizmaları yeterli olmaktan çok uzaktır. En yaygın olarak gözlemlenen denetim sorunlarının başında bir önceki bölümde bahsedilen sargı donatısı eksiklikleri, projenin öngörülen şekilde uygulanmaması ve haber verilmeden tasarım projesinde değişikliklerin yapılması gelmektedir. Depremde hasar görmüş veya yıkılmış yapıların incelenmesi sonucunda, yapı denetiminin ne kadar önemli olduğu ve tam olarak yapılması gerekliliği bir kez daha ortaya çıkmıştır (Ersoy, 2005). Tasarım ve üretim aşamalarında görmezden gelinen, bilinçli veya bilinçsiz olarak yapılan hatalar sonucunda betonarme yapılarda hasarın oluşması kaçınılmazdır.

Unutulmamalıdır ki, deprem kuvvetine karşı koyacak yapı, projedeki yapı değil, inşa edilecek yapıdır. Bu bağlamda gerekli tüm denetimlerin yapılması hayati önem taşımaktadır.

1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Yüksek lisans tezi olarak hazırlanan bu çalışmanın amacı, yüksek yapı taşıyıcı sistemlerinin doğrusal olmayan analiz modellerinin kurulması aşamalarında dikkat edilmesi gereken önemli noktaları vurgulamak, performansa dayalı tasarım ve değerlendirme ilkeleri kullanılarak betonarme yüksek bir yapının deprem performansının değerlendirilmesidir. Bu amaç doğrultusunda örnek olarak seçilen betonarme yüksek yapı taşıyıcı sistemi, zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi kullanılarak çözümlenmiş ve elde edilen sonuçlar değerlendirilerek yapısal taşıyıcı sistemin deprem performansı belirlenmiştir. Ek olarak; doğrusal olmayan analiz aşamalarında kullanılan deprem kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklendirilmesi, malzeme çevrimsel davranış eğrilerinin tanımlanması, yapısal taşıyıcı elemanların, kat diyaframlarının modellenmesi ve sönüm modellenmesi konuları hakkında bilgiler verilmiştir.

2. ÇOK KATLI YAPILAR VE TARİHÇELERİ

Artemis Tapınağı, Babil Kuleleri, Mısır Piramitleri, Büyük İskender Feneri gibi görkemli yapılara; gerek taşıdıkları sosyal anlam gerekse gelişmişlik simgeleri olmaları nedeniyle tarih boyunca ilgi duyulmuştur. Gökyüzü; insanlık tarihinde ilk şehirleşmenin gözlemlendiği zamandan günümüze kadar olan süreç içerisinde insanoğlunun ulaşmak istediği öncelikli bir hedefi olmuştur. Bu amaç doğrultusunda inşa edilen yapılar; yüzyıllar boyunca efsanelere konu olmuşlar, gücün, gösterişin, medeniyetin ve zenginliğin simgeleri olarak anılmışlardır. Yüksekklere ulaşmak için gösterilen bu çaba sonucunda malzeme ve yapı mühendisliği alanlarında önemli gelişmeler gözlemlenmiş ve bu gelişmelerin doğal bir sonucu olarak da 5-6 katlı tipik çerçevelerden oluşan yapısal taşıyıcı sistemlerden, günümüzün devasa kolonlu, olağandışı mimarilere sahip yüksek yapılarına ulaşılmıştır. Eski Mısırda piramitler, kraliyet ailesinin ve üst düzey devlet görevlilerinin mezarları olarak kullanılmışlardır. Kahire de bulunan Giza piramidi bu görkemli yapılardan en yükseği ve dünyanın yedi harikasından biridir.



Şekil 2.1 : Büyük Giza piramidi

Yüksekliğin göreceli bir kavram olmasından nedeniyle tam olarak yüksek yapı tanımının yapılması oldukça zordur. 5-6 katlı yapıların yoğunlukta olduğu bir bölgede 10-12 katlı bir yapı; diğer yapılara nazaran yüksek yapı olarak adlandırılabilir. Bu yüzdendir ki; literatürdeki yüksek yapı tanımlarının içinde belirli bir yükseklik ve kat adedi tanımlanmamıştır. Genel olarak yüksek yapılar; yükseklik artımının yapı davranışı üzerinde etkisinin belirgin bir biçimde gözlemlendiği, yapısal tasarım aşamalarında deprem ve rüzgâr etkilerinin 1. derece öneme sahip olduğu yapılar olarak tanımlanmaktadır.

İlk güvenilir asansörün 1853 yılında Elisha Otis tarafından icat edilmesinden önce, yüksek yapı kavramının geliştirilmesi ve uygulanmasının önündeki en büyük engel merdivenler olmuştur. Otis'in geliştirdiği asansörünün güvenliğini ispat etmesinden sonra, mimarlar ve mühendisler alışlagelmiş 5-6 katlı yapı tasarımlarını bir kenara bırakıp birbirleriyle yarışır bir şekilde 10-12 katlı yapılar tasarlamaya ve uygulamaya başlamışlardır. Sadece 40 yıllık bir süreç içinde yapı mühendisliği, malzeme mühendisliği ve bilgisayar bilimleri alanlarında gözlemlenen gelişmeler ile birlikte, 5-6 katlı normal yapılardan, Empire State (Şekil 2.2) ve Burj Halife (Burj Dubai) gibi 100 kat ve üzeri yüksek yapılara ulaşılmıştır.



Şekil 2.2 : Empire State binası

2.1 Yüksek Yapıların Tarihçesi

Çağdaş şehirleşme bakımından yüksek yapıların tarih sahnesine çıkışları sanayi devriminden sonra gerçekleşmiştir. Bu devrim ile birlikte çeliğin yapısal taşıyıcı sistem malzemesi olarak kullanımı, şehir arazilerinin değerlerinin artışı gibi teknolojik ve sosyal nedenler yüksek yapılara olan ilgiyi arttırmıştır. Her ne kadar sanayi devrimi ile birlikte güçlenen ekonomiler; çağdaş şehirleşme kavramı adına sağlam temeller oluşturdularsa da yüksek yapıların gösteriş ve gelişmişlik simgesi olarak şehirleşme sürecinde kullanılmaları bu kavramın yeniden ele alınmasına yol açmıştır. Sanayi devriminden sonra hızla gelişmeye ve büyümeye başlayan çelik endüstrisi; özellikle Amerika Birleşik Devletlerinde çeliğin konut tipi yapılar için ana taşıyıcı sistem malzemesi olarak kullanılmasını sağlamıştır. Bu dönem içinde çelik yapı malzemesinin yapısal davranışı hakkında yapılan araştırmalar hız kazanmış ve bu çalışmalar sonucunda çelik taşıyıcı sistem uygulamaları artmıştır. Örneğin; John Hancock Center ve World Trade Center yapılarının tasarım aşamalarında, rüzgâr yüklerinin etkisinin daha iyi anlaşılması için aero-elastik rüzgâr tüneli testleri gerçekleştirilmiştir. 1885 yılında William LeBron Jenny adlı mühendisin inşa edilecek Home Life Insurance ofis binası (Şekil 2.3) için çelik taşıyıcı iskelet kullanmasıyla birlikte modern yüksek binalar tarihi başlamıştır.



Şekil 2.3 : Home Life Insurance binası

Home Life Insurance yapısının inşa edilmesiyle başlayan dönem 1900'li yılların ilk çeyreğine kadar sürmüştür. Her ne kadar çelik yapı malzemesi; yapı mühendislerine yeni yapısal tasarımları geliştirme ve uygulama imkânı vermeseyse de; zamanın mimarları yeni yapılar için alışlagelen tarihi mimari motiflerin dışında bir yaklaşım oluşturmakta zorlanmaktaydılar. 1908 yılında Amerika Birleşik Devletlerinin Chicago kentinde inşası tamamlanan 47 katlı ve yaklaşık 187 metre yüksekliğe sahip Singer Building'in ardından yükseklerle ulaşma yarışı resmi olarak başlamıştır. Sadece 1 yıl sonra; ABD'nin Newyork kentinde 50 katlı ve yaklaşık 206 metre yüksekliğe sahip Metropolitan Life Insurance Building'in inşası tamamlanmış ve bununla birlikte yüksek yapı yarışı hız kazanmaya başlamıştır. 1920'li yılların sonlarına gelindiğinde; mimari akımlarının etkileri ile birlikte yüksek yapılarda belirgin bir form değişikliği gözlemlenmeye başlamıştır. Bu döneme ait önemli yüksek binalar arasında Chrysler Building ve Woolwoord Building'i gösterebiliriz.

1960'lı yıllara gelindiğinde Fazlur Khan, Hal Ivengar, William LeMessurier, Leslie Robertson gibi kendi mühendislik alanlarında uzmanlık derecelerine ve başarılarına sahip araştırmacıları yaptıkları çalışmalar neticesinde; yapı mühendisliği literatürüne perde-çerçeve etkileşimi, perde duvarlı sistemler, tüp taşıyıcı sistemler gibi yeni kavramlar eklenmiştir. Bu tarihten sonra yüksek yapı tasarımları ortaya atılan yeni kavramlar temel alınarak oluşturulmaya başlanmıştır. Mimar Myron Goldsmith ve mühendis Fazlur Khan tarafından tüp taşıyıcı sistem kullanılarak oluşturulan Chestnut-Dewitt apartmanı bu döneme ait önemli yapılar arasında yer almaktadır.

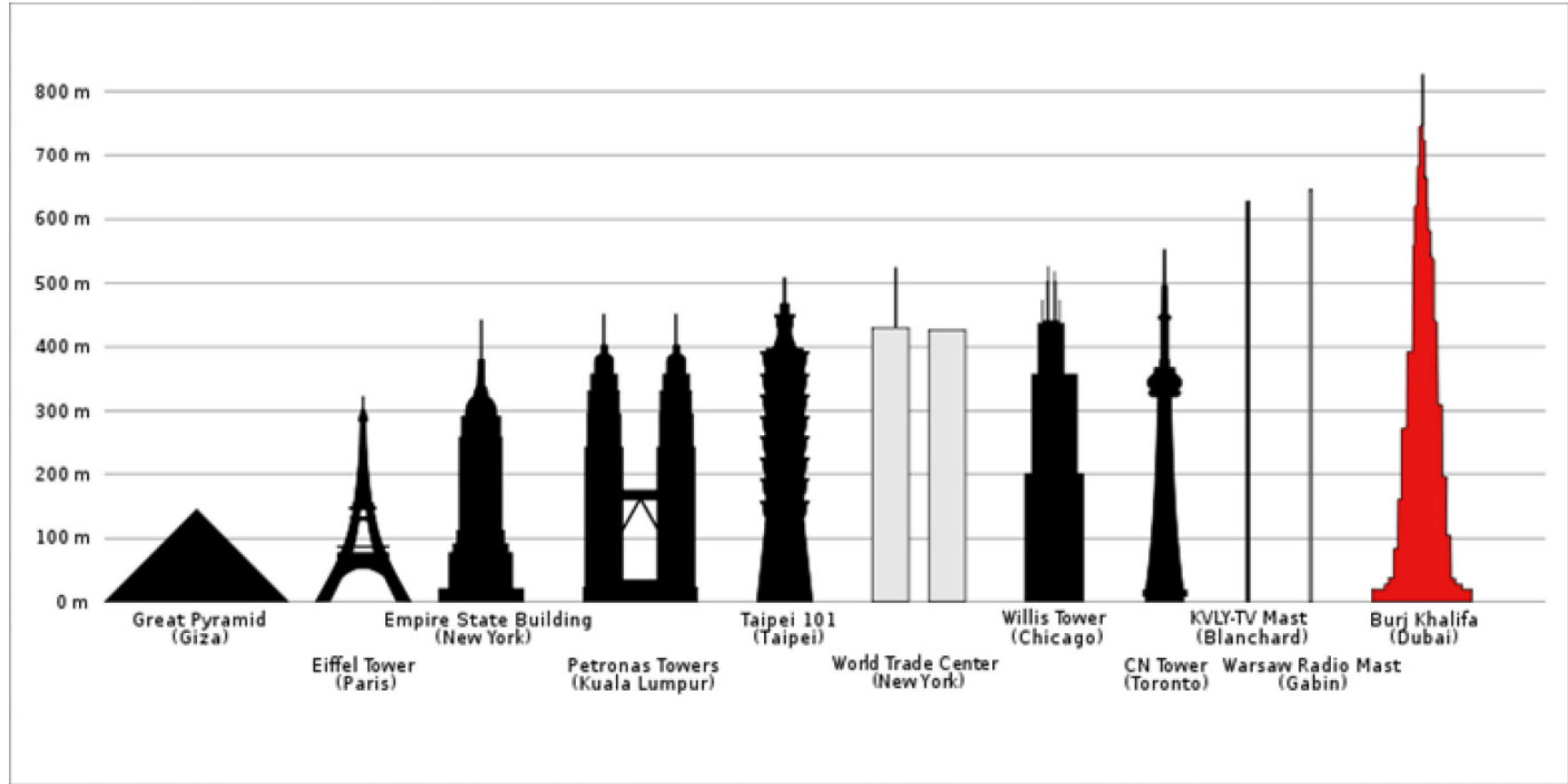
1980'lerden 2000'li yıllara kadar geçen süreçte; yüksek yapı tasarımlarında kullanılan literatüre birçok yeni kavram eklenmiştir. Bu kavramlardan en önemlisi çelik malzeme ile betonarme malzemenin birlikte kullanıldığı yapısal taşıyıcı sistemlerdir. Kompozit taşıyıcı sistem olarak anılan bu tip taşıyıcı sistemlerde, yatay yüklerin güvenle karşılanması için betonarme çekirdek ve düşey yüklerin taşınması için çelik moment aktaran çerçevelerden oluşturulan sistemler kullanılmaktadır. Bu tip yapısal taşıyıcı sistem çözümleri, yüksek yapılarda önemli seviyelere ulaşabilen düşey yüklerin taşınmalarında oldukça verimlidirler. Çin'de bulunan Jin Mao Tower ve Bank of China Building (Şekil 2.4) kompozit taşıyıcı sistemli yapılara güzel birer örnek olarak gösterilebilir.



Şekil 2.4 : Bank of China binası

1990'lı yıllardan itibaren hızla gelişen bilgisayar teknolojisinin ve bu teknolojinin beraberinde getirdiği gelişmiş hesaplama gücünün inşaat mühendisliği alanında uygulamaları oldukça yaygınlaşmıştır. Gelişen bu teknoloji sayesinde yapı mühendisleri; taşıyıcı sistem davranışını daha iyi anlamak için daha detaylı analizler ve alternatif taşıyıcı sistem çözümlemeleri olanaklarına sahip olmuşlardır. Ek olarak; gelişen bilgisayar uygulamaları ile birlikte taşıyıcı sistemlerin en uygun şekilde boyutlanması (optimizasyon) problemleri daha kolay ve anlaşılır bir hal almış optimizasyon problemlerinin çözülmesi daha da kolaylaşmış dolayısıyla, daha düzenli yük akışına sahip ve daha ekonomik yapılar tasarımılandırılmaya ve üretilmeye başlanmıştır. 20.'inci yüzyılın başlarında; özellikle yüksek dayanımlı beton teknolojisinde gözlemlenen gelişmeler neticesinde; yüksek yapı tasarımlarında belirgin bir artış yaşanmıştır. Gelişen teknolojinin bir yansıması olarak yüksek yapılarda, *mega kolonlar*, aktif ve pasif sönüm elemanları ve bina davranışı izleme sistemleri yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Türkiye’de yüksek yapı uygulamaları 1950’li yılların sonlarında gözlemlenmeye başlamıştır. 1950’lerden günümüze kadar geçen süre içerisinde de yüksek yapı tasarımları hız kazanmıştır. 1970’li yılların ortalarına kadar 25 katı geçmeyen yüksek yapılar inşa edilmiştir. 13 katlı Ulus İşhanı; 24 katlı Kızılay Emek İşhanı, 20 katlı Stat Otel; 18 katlı Büyük Ankara Otel, 17 katlı Marmara Otel yapıları bu döneme ait önemli yapılardan bazılarıdır. 1975–1985 yılları arasında; ekonomik ve politik sorunlar nedeniyle yüksek yapı uygulamalarında belirgin bir artış gözlemlenmemiş 29 katlı Türkiye İş Bankası (Ankara); 28 katlı Harbiye Orduevi (İstanbul); 28 katlı Hacı Ömer Sabancı Kız Yurdu bu dönemin önemli yapıları arasındadırlar. Hızla gelişen malzeme ve yapım teknolojisinin etkisiyle 1985 yılı sonrasında yüksek bina uygulamalarında belirgin bir artış gözlemlenmiştir. 26 katlı Maya-Aar İş Merkezi; 20 katlı Yapı-Kredi Plaza; 24 katlı Barbaros İş Merkezi; 22 katlı Spring Giz Plaza; 39 katlı Sabancı İş Merkezi ve 52 katlı Mersin Ticaret ve İş Merkezi (MER-TİM) döneminin önemli yüksek yapılarına örnek olarak gösterilebilir.



Şekil 2.5 : Yüksek yapı karşılaştırmaları

3. YAPISAL TAŞIYICI SİSTEMLER

3.1 Yüksek Yapı Tasarım Yöntemlerinin Gelişimi

Herhangi bir mühendislik yapısının başarılı bir tasarım olarak nitelendirilmesi için mimari fonksiyonellik ile yapısal tasarımın bir arada ve başarılı bir şekilde bütünleştirilmesi gereklidir. 20. Yüzyılın başlarına kadar geçen süre içinde inşaat mühendisleri yapı tasarımlarında ekonomik kısıtlamalar, son derece belirsiz yük etkileri altında yapılardan istenilen yüksek güvenlik ölçütleri, üretilen yapı malzemelerinin ve yapısal taşıyıcı elemanlarının öngörülen dayanım düzeyinde olmamaları, tasarım aşamalarında yapılan hesaplama hataları gibi belirsizlikler nedeniyle *piramit* tasarım yaklaşımını benimsemişlerdir (Klink, 1993). Bu yaklaşımı kullanan mühendisler; yapılara etkiyen statik ve dinamik yükleri, yapıların kütleleriyle dolayısıyla kütsel atalet kuvvetleriyle karşılamaya çalışmışlardır. Bu tasarım yaklaşımı sonucunda ise, gereğinden büyük kesit boyutlarına sahip, daha ağır ve daha az kullanışlı yapılar ortaya çıkmıştır. Yapı mühendisleri için gelenekselleşen piramit tasarım yaklaşımı; kullanılan malzeme dayanımlarına bağlıdır. Tasarım mühendisleri; yapısal taşıyıcı sistem boyutlama aşamalarında; herhangi bir yükleme etkisiyle yapı elemanlarında oluşan gerilmelerin; yapı elemanını oluşturan malzeme emniyet gerilmelerinden belirli bir güvenlik ile küçük olmasını sağlamaya çalışmaktaydılar. Bu tasarım yaklaşımı yaygın olarak *emniyet gerilmelerine göre tasarım* adıyla günümüzde halen kullanılmaktadır. Beton teknolojinde gözlemlenen gelişmeler etkisiyle yapısal taşıyıcı elemanların boyutlandırılması alanında *taşıma gücüne göre hesaplama yöntemleri* geliştirilmiştir. Taşıma gücüne göre hesaplama yönteminde; yapı elemanlarının istenilen düzeyde dayanıma sahip olmaları için, arttırılmış yüklemeler altında elde edilen iç kuvvetler; yapı elemanlarının taşıma kapasiteleriyle karşılaştırılmakta ve taşıyıcı eleman boyutlandırmaları taşıma gücü hesap esaslarına göre yapılmaktadır.

Çok katlı yüksek yapıların taşıyıcı sistemleri; yatay ve düşey düzlemlerde birbirleriyle birleştirilmiş düzlem ve çubuk elemanların oluşturduğu bir bütündür.

Taşıyıcı sistemi elemanları, esas olan taşıma işlevlerinin yanı sıra; yapının mimari; teknik işlev ve donanımlarının düzenlenmesinde de önemli rol oynarlar. Herhangi bir yapının taşıyıcı sistemine etkileyen yükleri iki ana grupta toplamak mümkündür (Özgen ve Sev, 2000).

- Düşey yükler
- Yatay Yükler

Yapıya etkileyen yüklerin ve yapısal taşıyıcı sistemin dış yükler etkisiyle gösterdiği tepkinin başka bir deyişle yapı davranışının, yapının güvenilirliği ve kullanılabilirliği açısından iyi analiz edilmesi gerekmektedir. Özellikle çok katlı yapılarda düşey ve yatay yük analizleri, yapısal taşıyıcı sistemin optimizasyon sorunlarının çözümlenmeleri için kilit rol oynamaktadırlar. Yük akış şeması içerisinde, düşey yük taşıyıcı elemanlar, yatay yük taşıyıcı elemanlar tarafından aktarılan yükleri yapı temeline iletmekle görevlidir. Bu yük iletiminin dengeli olması için her katta yüklerin düşey taşıyıcılara aktarıldığı noktalar sürekli ve düzenli olmalıdır. Söz konusu aktarım noktalarının oluşturulması esnasında yapısal taşıyıcı sistemin ile mimari uyumun birlikte düşünülmesi son derece önemlidir. Örneğin; sadece çerçeve sistem kullanılarak oluşturulan çok katlı yapılarda, belirli bir kat adedinden sonra oldukça büyüyen düşey taşıyıcı (kolon) kesitleri nedeniyle, kullanılan döşeme alanları önemli ölçüde azalmaktadır. Bu nedenle oluşan mimari kullanım sorunun çözümü özellikle fazla kullanım alanına sahip olması istenilen yapılar için oldukça önemlidir.

Çok katlı yapılarda oldukça sık gözlemlenen mimari tasarım farklılıkları, beraberinde yapısal taşıyıcı sistem sorunlarının oluşmasına yol açmıştır. Bu sorunlardan en önemli olanları yapının narinlik oranı nedeniyle kaynaklanan sorunlar ve taşıyıcı sistem süreksizlikleridir. Yapı narinlik oranı, özellikle yüksek yapıların taşıyıcı sistem seçimlerini etkileyen en önemli değişkendir. Yapı mühendisliği literatüründe herhangi bir yapı için *narinlik oranı (aspect ratio)* yapının oturma alanı yapı yüksekliğine bölünmesiyle elde edilen bir oran olarak tanımlanmaktadır. Genel bir görüş olarak narinlik oranının 6'dan küçük olması istenmektedir ancak yüksek yapı tasarım aşamalarında bu oranın 8,10 gibi değerler arasında olduğu görülmüştür.

Yapı narinlik oranının artmasıyla birlikte yapısal taşıyıcı sistemin yanal yükler etkisiyle oluşan yer değiştirme ve şekil değiştirme değerlerinin kontrol edilmesi

oldukça zorlaşmaktadır. Karşılaşılan sorunların çözümleri için yapı mühendisleri tarafından farklı tipte taşıyıcı sistem düzenlemeleri geliştirilmiş ve geliştirilen bu sistemler başarıyla uygulanmıştır.

Günümüzde araştırma konusu olarak üzerinde çalışılan yapısal taşıyıcı sistem süreksizlik tipleri; özellikle çok katlı yapılarda istenmeyen taşıyıcılık sorunlara yol açmaktadır. Yüksek yapılarda rüzgâr ve deprem etkileri nedeniyle oluşan tesirlerin güvenli bir şekilde zemine aktarılması, en az düşey yüklerin aktarılması kadar önemli bir konudur. Bu nedenle; yatay yük taşıyıcı ve düşey yük taşıyıcı sistemler arasındaki süreklilik ve uyum, yapının güvenilirliği açısından önemli bir konu haline almıştır. Bu düzensizlik tiplerinin neden olduğu sorunları en aza indirmek amacıyla mümkün olduğu ölçüde taşıyıcı sistem elemanları yapı yüksekliği boyunca sürekli olmasının gerektiği unutulmamalıdır.

Konsol kiriş-yüksek bina analogisi; yapı tasarım mühendislerinin bina yüksekliklerini arttırdıkça karşılaştıkları yatay yükler altında davranışın anlaşılması sorununun çözümünde kilit bir rol oynamıştır. Bu benzeşim kullanılarak yatay yük etkisi altında çok katlı bir yapının davranışı, zemine ankastre olarak bağlı konsol bir kirişe benzetilmiş ve bunun sonucunda şu önemli sonuçlar elde edilmiştir.

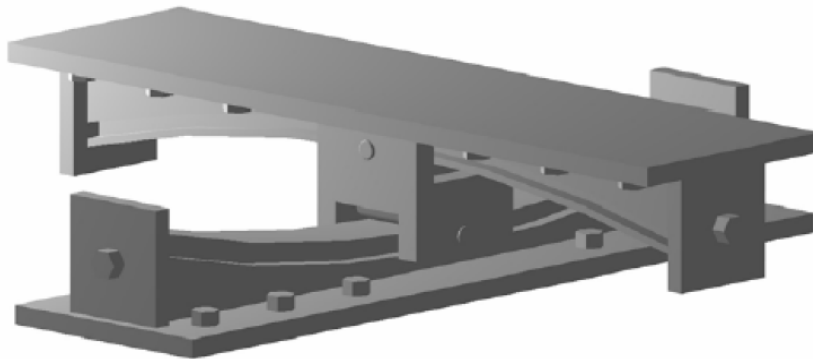
- Konsol kirişte eğilme etkisi nedeniyle oluşan çekme ve basınç kuvvetleri kirişin en alt uç noktasında en büyük değerindedir dolayısıyla; yüksek bir yapının alt katları kesit tesirleri bakımından en çok zorlanan bölgeleridir.
- Yatay kuvvetlerin neden olduğu kayma etkileri; konsol kirişin kesitleri olan döşeme düzlemlerinin diyafram şeklinde çalışması ile taşıyıcı düşey elemanlara iletilmektedir. Yapıda oluşan kesme kuvvetleri en büyük değerlerine en alt katta ulaşırlar.

Yüksek yapılar; zamanla değişkenlik gösteren tekrarlı yüklemeler etkisi altındadırlar. Tasarım aşamasından başlayarak öngörülen servis ömrü süresince bir yüksek yapının sahip olması gereken en önemli özelliği; dış yükler etkisiyle dayanımında gözle görülür bir düşüş olmadan yapısal bütünlüğünü korumasıdır. 20.yy'ın başlarına kadar yapı mühendisleri yanal yükler etkisiyle oluşan yer değiştirmeleri belirli sınırlar içinde tutmak amacıyla alternatif çözümler üretememişlerdir. Karşılaşılan sorunun çözümü için taşıyıcı sistemin masif ağırlığını kullanmışlarancak yükseklerle çikıldıkça daha da belirginleşen konsol davranış etkisiyle oluşan yer değiştirmeler ve

yer değiştirmelerin sınırlandırılması ve kullanılabilirlik sorunları nedenleriyle bu tasarım yaklaşımından vazgeçmişlerdir. Yapısal bütünlüğün korunması ve konfor şartlarının sağlanması günümüz yüksek yapı tasarımlarında çözülmesi gereken en önemli taşıyıcı sistem sorunlarının başında gelmektedir. Bu tip taşıyıcı sistem sorunlarının çözümleri için 20.yy. başlarından itibaren geliştirilmeye başlanan yapısal taşıyıcı sistemlerin kullanılması yanal yükler etkisiyle oluşan yer değiştirmelerin kontrol edilmesine yardımcı olmuştur. Ek olarak; aktif kontrol sistemleri, pasif kontrol sistemleri ve her iki sisteminde birlikte kullanılmasıyla oluşan kontrol sistemlerinin geliştirilmesi ve uygulama alanlarının artması, yatay yükler etkisiyle oluşan yer değiştirme sorunun çözümüne yardımcı olmuştur.

Pasif kontrol sistemlerini; dışarıdan ek bir enerjiye ihtiyaç duyulmadan, yanal yükler altında yapının davranışının taşıyıcı sistemin kendi özellikleriyle (rijitlik, sönüm, kütle) kontrol edilmesi olarak tanımlayabiliriz. Her ne kadar bu tip kontrol sistemleri yanal yükler etkisiyle yapılarda oluşabilecek yer değiştirmelerin sınırlandırılması için cazip olarak görülseler de; yükseklerle çıkıldıkça artan kütle ve dolayısıyla rijitlik istemi yüzünden bu tip çözümler ekonomik olmaktan uzaklaşmaktadır.

Aktif kontrol sistemleri; yapının yanal yükler altındaki davranışını pistonlar, sönümleyiciler gibi harici mekanik elemanlar kullanarak kontrol etmektedirler (Şekil 3.1 ve Şekil 3.2). Kullanılabilirlik, teknik yeterlilik ve ekonomik olma özelliklerinden dolayı aktif kontrol sistemleri pasif kontrol sistemlerine kıyasla daha fazla kullanım alanına sahiptirler. Günümüzün modern gökdelenlerinde kullanılan sönümleyiciler, aktif kontrol sistemlerine örnek olarak gösterilebilir (Klink, 1993).

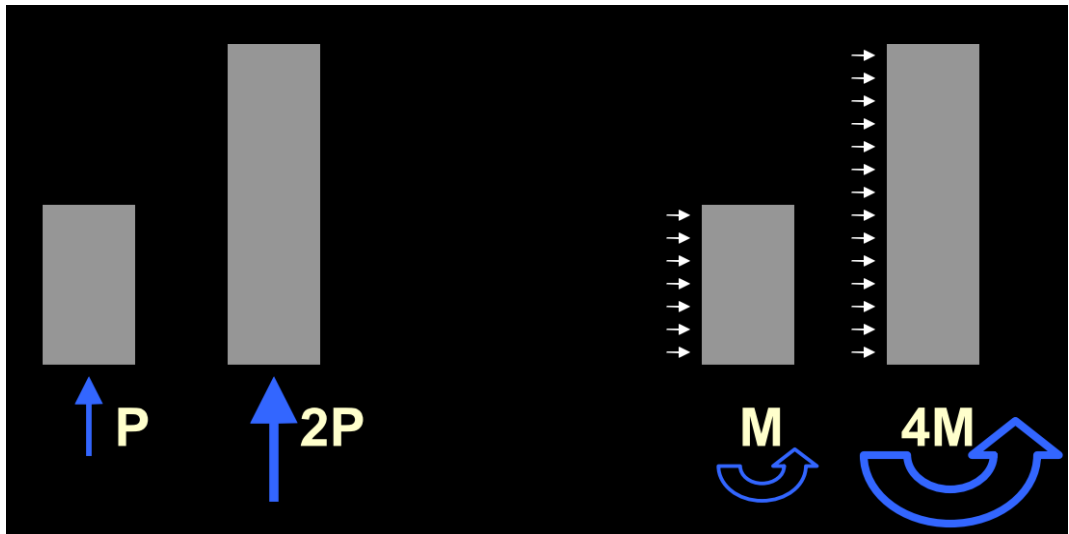


Şekil 3.1 : Mekanik aktif sönümleyici eleman



Şekil 3.2 : Hidrolik aktif sönümleyici eleman

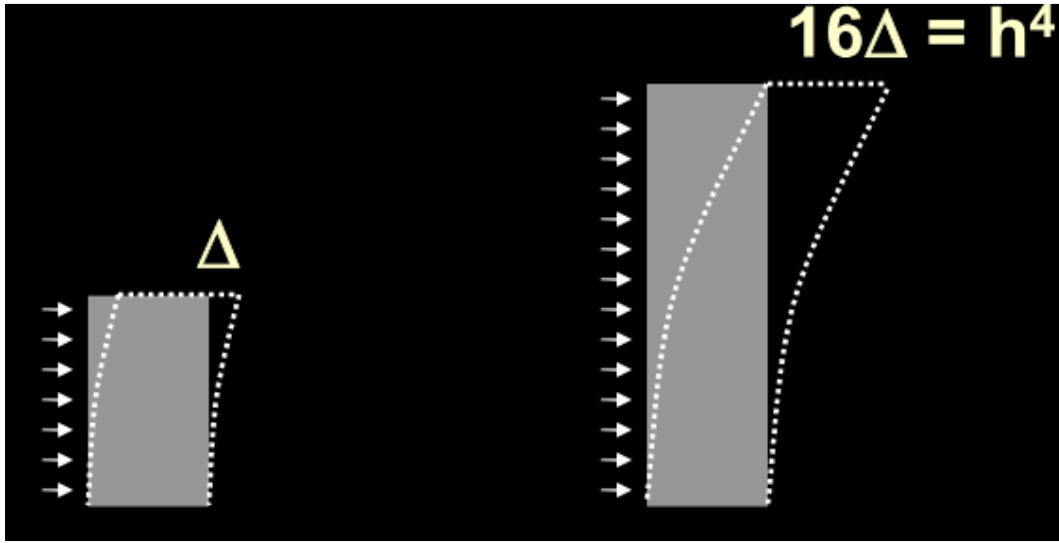
Kuvvet kontrollü tasarım yaklaşımı, yüksek yapılara nazaran çok daha küçük narinlik oranlarına sahip yapıların projelendirilmesi aşamalarında kullanılmaktadır. Kuvvet kontrollü tasarım yaklaşımı çerçevesinde, yapısal taşıyıcı eleman boyutlarının belirlenmesindeki en önemli ölçüt, ölü yükler ve yapının kendi ağırlığıdır. Yapının masif kütlesinin etkisi yer değiştirme ve şekil değiştirme istemlerini küçültmekte dolayısıyla bahsi geçen özelliklere sahip yapıların tasarımları kuvvet kontrollü tasarım yaklaşımı ilkeleri kullanılarak gerçekleştirilmektedir.



Şekil 3.3 : Kuvvet kontrollü tasarım yaklaşımı

Şekil 3.3'te kuvvet kontrollü tasarım yaklaşımı görülmektedir. Narinlik oranı küçük, düşey yüklerin yapı davranışına hâkim olduğu sistemlerde, yapı yüksekliğinin karesinin (h^2), kesit boyutlarını kontrol ettiğini söyleyebiliriz.

Yapı yüksekliği arttıkça konsol davranış nedeniyle oluşan yer değiştirmeler ve yer değiştirmelerin sınırlandırılması sorunu ortaya çıkmakta dolayısıyla, yapı davranışına yer değiştirme istemi hâkim olmaya başlamaktadır. Bu bağlamda yer değiştirme etkilerinin hâkim olduğu yapıların tasarımlarında yer değiştirmeye dayalı tasarım yaklaşımı benimsenmiştir.



Şekil 3.4 : Yer değiştirmeye dayalı tasarım yaklaşımı

Şekil 3.4'te yer değiştirmeye dayalı tasarım yaklaşımı görülmektedir. Şeklin solunda h yüksekliğine sahip bir yapının yanal yükler etkisiyle Δ yer değiştirmesi yaptığı görülmekte, yapı yüksekliği 2 katına çıkartıldığı zaman ($2h$), yer değiştirme istemi konsol davranış etkisi nedeniyle 2Δ olarak gözlemlenmemektedir. Bu bağlamda; yapı taşıyıcı sistemine etki eden kuvvetlerin, yapı yüksekliğinin küpü (h^3) ile orantılı olarak arttığını söyleyebiliriz.

Kısaca özetlemek gerekirse; yüksek yapı tasarım yöntemlerinin gelişimleri yapısal davranışın daha iyi anlaşılması ve hesaplama teknolojilerinde gözlemlenen olağan üstü gelişmelerle birlikte paralellik göstermiştir. Yer değiştirme ve şekil değiştirmeye dayalı tasarım ilkelerinin uygulanabilirliğinin artması sonucunda geçmişte düşünülmesi bile mümkün olmayan yüksek yapı tasarımları hayata geçirilmektedir. Şüphesiz ki gelecekte gelişen teknolojinin yardımıyla şu anki yüksekliklerden çok daha yüksek yapıların inşası mümkün olacaktır.

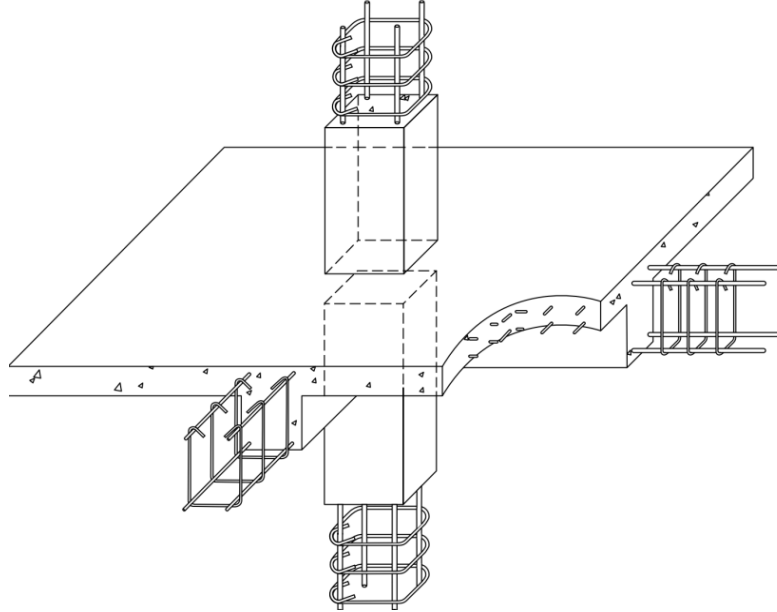
3.2 Taşıyıcı Sistemlerin Sınıflandırılması

Khan; Iyengar ve Colaco yüksek yapı tasarımında yaygın olarak kullanılan taşıyıcı sistemleri şu 3 sınıfa ayırmıştır.

- Döşeme sistemleri
- Düşey yük taşıyıcı sistemler
- Yatay yük taşıyıcı sistemler

3.2.1 Döşeme sistemleri

Yapıda kapalı bir düzlem oluşturarak dış yükleri karşılayan; düşey yük taşıyıcı sistem elemanlarını birbirine bağlayan; yatay yükleri diyafram etkisiyle düşey yük taşıyıcı elemanlara ileten ve genellikle basit eğilme etkisi altında dikdörtgen geometriye sahip yapısal elemanlar olarak tanımlanırlar. Yapıya etki eden düşey ve yatay yükler öncelikli olarak döşemeler üzerinden yapısal taşıyıcı elemanlara (Şekil 3.5) aktarılırlar. Bu özelliklerinden dolayı döşemeler; düşey yük akış şemasının ilk basamağını oluştururlar. Dolayısıyla; döşeme sisteminin yapı özellikleri gözetilerek doğru olarak seçilmesi yapısal taşıyıcı sistem tasarımı açısından önemli bir konudur.



Şekil 3.5 : Betonarme taşıyıcı sistem elemanları

Döşeme sistemlerinin düşey yükler altında çözümlenmeleri için değişik teoriler geliştirilmiştir. *Akma çizgileri* teorisi döşemelerin limit analizleri için geliştirilen ve günümüzde sıkça kullanılan en önemli teoridir. Elastisite teorisi kullanılarak geliştirilen plak teorisi, çatlamamış betonarme döşemeler için geçerlidir ve dolayısıyla deprem etkisine maruz döşemeler için kullanılmaları uygun olmamaktadır (Ersoy, 1995). Düşey ve yatay yükler altında döşemelerde oluşan çatlakların etkisiyle, iç kuvvetler yeniden dağılım gösterirler. Yapılan çalışmalar sonucunda, kırılma anında döşemelerdeki moment değerlerinin elastisite teorisi teorisinden elde edilen değerlerden oldukça farklı olduğu gösterilmiştir. Bu sonuçlardan yola çıkılarak geliştirilen akma çizgileri teorisi, değişik geometrilere ve sınır koşullara sahip döşemelerin limit durumunda taşıyabilecekleri yük değerlerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Akma çizgisi teorisi kullanılarak yapılacak döşeme hesaplamalarında öncelikli olarak olası göçme mekanizmalarının saptanması daha sonra, her mekanizma için iç kuvvetlerin yaptığı iş, dış kuvvetlerin yaptığı işe eşitlenerek taşınabilecek yükün plastik moment cinsinden bulunması gereklidir. Olası göçme mekanizmalarının belirlenmesinde yapılan kabulleri şu şekilde özetleyebiliriz.

- Akma çizgileri döşeme sınırlarında sona ererler.
- Elastik şekil değiştirmeler ihmal edilebilir seviyelerdedir, akma çizgileri doğrusal ve bu çizgiler arasında kalan döşeme parçaları eğilme etkisindedir.
- Akma çizgileri genellikle dönme akslarının kesiştiği noktadan geçerler.
- Dönme aksları genelde sürekli mesnetlere paraleldir ve kolonları keserler.

Çok katlı yapılarda kullanılan döşeme sistemlerini, kullanılan yapı malzemesi ve yük aktarım özellikleri bakımından şu şekilde sınıflandırabiliriz.

- Kirişli Döşemeler
 - Tek Doğrultuda Çalışan Kirişli Döşemeler
 - Çift Doğrultuda Çalışan Kirişli Döşemeler
- Kirişsiz Döşemeler
 - Tablalı Kirişsiz Döşemeler
 - Tablasız Kirişsiz Döşemeler

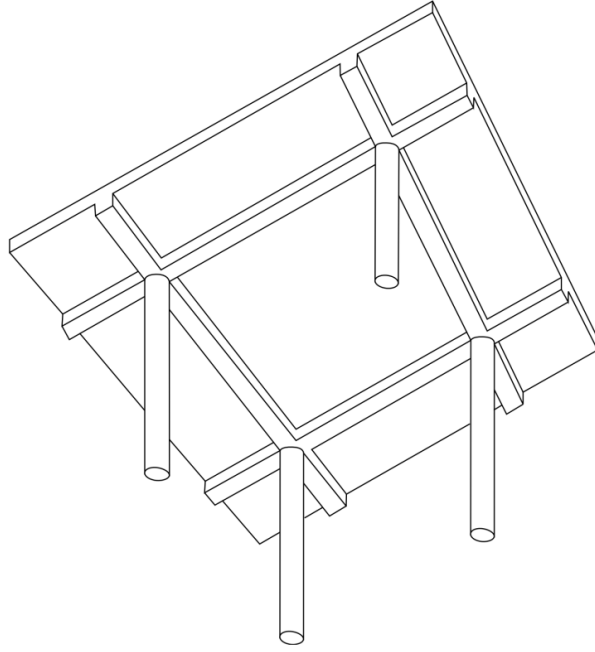
- Dişli Döşemeler
 - Tek Doğrultulu Dişli Döşemeler (Nervürlü Döşemeler)
 - Çift Doğrultulu Dişli Döşemeler (Kaset Döşemeler)
- Perdelere Oturan Döşemeler
- Öngermeli veya Ardgermeli Döşemeler

3.2.1.1 Betonarme döşeme sistemleri

Kirişli döşeme sistemleri:

Betonarme yapılarda sıklıkla rastlanan döşeme sistemleridir. Bu tip döşemeler genellikle dört tarafından kirişlere veya duvarlara oturtularak mesnetlendirilirler. Kirişlere mesnetlenen bu döşemeler, tek doğrultuda veya çift doğrultuda çalışan döşemeler olarak adlandırılırlar. Kirişlere mesnetlenen döşemelerin, uzun kenarının kısa kenarına oranı (m) iki den büyük ise, bu döşemeler *tek doğrultuda çalışan döşemeler* olarak adlandırılırlar. Döşemeye etkiyen düşey yükler, uzun açıklık doğrultusundaki kirişlere aktarılır, dolayısıyla tek doğrultuda çalışan döşemelerde etkili açıklık döşeme kısa kenarı doğrultusundaki açıklıktır. Tek doğrultuda çalışan döşemeler açıklıkların küçük olduğu durumlarda ekonomik olmakta, açıklıkların büyümesi durumunda ise sehim sorunu ve donatı miktarındaki artış nedeniyle ekonomik olmamaktadırlar. Yapısal tasarım aşamalarında, döşeme kalınlığının kesme donatısı ihtiyacını ortadan kaldıracak şekilde seçilmesi uygundur.

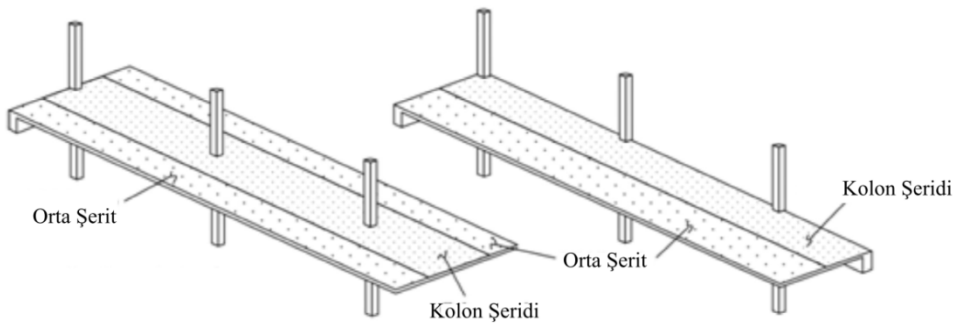
Çift doğrultuda çalışan girişli döşemeler (Şekil 3.6), döşeme uzun kenarının kısa kenarına oranı iki den küçük olduğu döşemelerdir. Döşeme üzerindeki düşey yüklerin iki doğrultuda döşeme mesnetlerine aktarıldığı kabul edilerek boyutlandırma yapılır. İki doğrultuda çalışan döşemelerin yük iletme biçimleri doğrudan doğruya, döşeme kenar oranlarına ve mesnetlenme biçimlerine bağlıdır. Kenar oranları ve mesnetlenme şartlarına bağlı olarak oluşturulan çizelgeler yardımıyla döşeme betonarme hesapları kolaylıkla gerçekleştirilebilir. Bu tür döşemeler, iki eksenli eğilme etkisi altında, yüklerini en kısa yoldan mesnetlendikleri kirişlere iletirler. Yükün iki eksenli taşınması nedeniyle, tek doğrultuda çalışan döşemelere göre daha az kalınlıktaki kesitlerle aynı yükü taşımak mümkündür (Celep, 2008). Döşemeye mesnetlik görevi yapan kirişlerin yükseklikleri, döşeme yük özelliklerine bağlı olarak $L/15$ ile $L/20$ (L giriş açıklığı) mertebelerindedir.



Şekil 3.6 : Kirişli döşeme sistemi

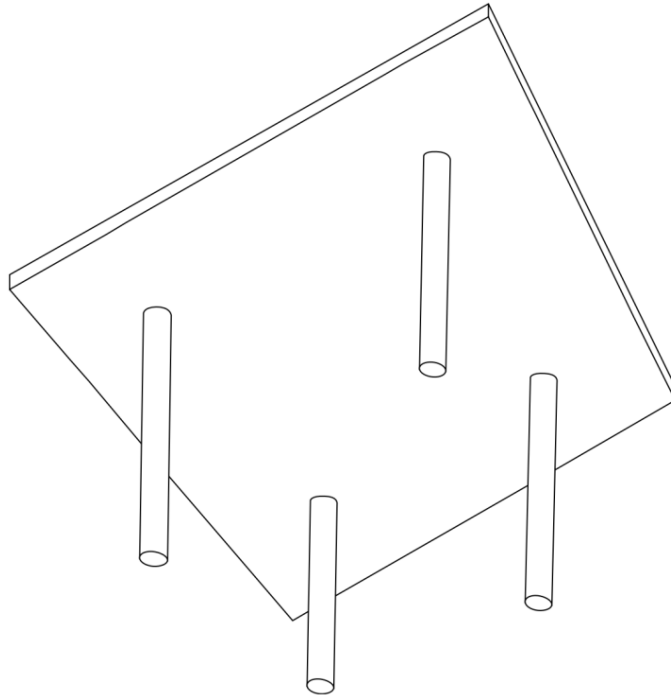
Kirişsiz döşeme sistemleri:

Kirişsiz döşemeler, mimari özellikleri nedeniyle düz bir tavanın istenildiği, büyük çalışma alanlarına ihtiyaç duyulduğu durumlarda kullanılan döşeme sistemleridir. (Şekil 3.8) Genellikle eşit açıklıklı, düzgün sıralanmış kare veya dikdörtgen kesitli kolonlar üzerine oturtulan betonarme plaklardan oluşturulan, açıklıkları 4.5 m ile 7.5 m arasında değişkenlik gösteren döşeme sistemleridir. Bu tip döşeme sistemlerinde kirişlerin kullanılmaması nedeniyle döşeme kalınlıkları fazladır. Düşey yükler, şeritler vasıtasıyla kolonlara iletilirler. (Şekil 3.7) Düşey ve yatay yüklerin aktarılmasında kirişsiz döşeme şeritleriyle kolonların birlikte oluşturdukları *çerçeve sistem etkili* olmaktadır (Özgen ve Sev, 2000).



Şekil 3.7 : Kirişsiz döşeme sistemi yük şeritleri

Düşey yüklerin doğrudan kolonlara aktarılmasıyla oluşabilecek zımbalama etkisi, bu tür döşeme sistemlerinin en zayıf yönünü oluşturmaktadır. Zımbalama etkisi nedeniyle oluşan gevrek göçme, yapısal taşıyıcı sistemde telafisi mümkün olmayan zararlara yol açabilmektedir. Yurdumuzda meydana gelen döşeme hasarlarının çoğu, kirişsiz döşemelerin başlık bölgelerinde yeterli kalınlığın sağlanmamasından, donatının yoğun olarak kullanılmasından dolayı bu bölgelerdeki betonun yeterli düzeyde yerleştirilememesinden veya betonda yeterli mukavemetin oluşmadan kalıpların alınması nedeniyle ortaya çıkmaktadır (Celep, 2008). Yapısal tasarım aşamalarında, döşeme kalınlıklarının zımbalama etkisi oluşturmayacak şekilde seçilmesine, yükün kolonlara direk olarak aktarıldığı birleşim bölgelerinin uygun olarak detaylandırılmasına özen gösterilmelidir.

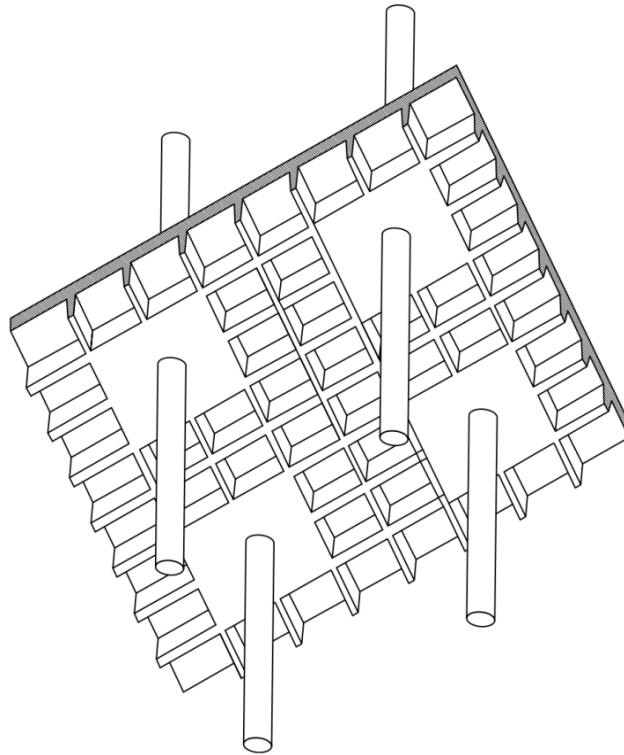


Şekil 3.8 : Kirişsiz döşeme sistemi

Dişli döşeme sistemleri:

Dişli döşemeler yaygın olarak açıklıkların 6-10 metre arasında olduğu durumlarda ekonomik bir çözüm olarak kullanılırlar. *Diş* ismi verilen taşıyıcı kirişlerin tek doğrultuda veya çift doğrultuda teşkil edilmesiyle oluşturulurlar. Dişler arası boş bırakılacağı gibi, taşıyıcı olmayan hafif bloklarla doldurularak düz bir tavan yüzeyi elde edilebilir. Dişli döşeme sistemlerinde, yük aktarımının kısa kirişler üzerinden yapılması diş doğrultularının seçimlerinde etkili olur, yani dişleri döşemenin uzun kenarına paralel seçmek yük aktarımı açısından uygundur.

Tek doğrultuda çalışan dişli döşeme sistemlerinde (nervürlü döşemeler) nervürleri taşıyan esas kirişler, nervürlere paralel olan kirişlerdir. Yüklü olan esas kirişler kısa doğrultuda teşkil edilerek, kirişlerin sarkması önlenmektedir. İki diş arası oluşturulan boşluklar nedeniyle dişlerde, eğilme momentinin yanı sıra kesme kuvveti de önemli bir tesir olarak ortaya çıkmaktadır. Dişler arasındaki uzaklık genellikle 70 cm, kiriş yüksekliği ise 30-40 cm arasında seçilir. Kirişler üzerindeki beton tabakası ise 7-10 cm arasında seçilmektedir. Bu tip döşeme sistemlerinde yönetmelikler ile belirlenen sınır açıklık değerlerinde, düzgün yük dağılımı ve yeterli yanal rijitliğin sağlanması için enine dişlerin yapılması mecburidir. (Şekil 3.9)

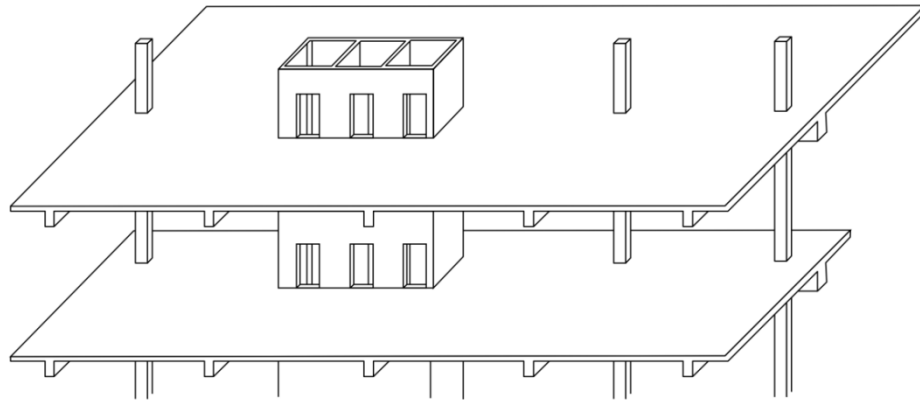


Şekil 3.9 : Dişli döşeme sistemi

Yüklerin artması ve açıklıkların büyümesi durumunda dişler iki yönde düzenlenerek *kaset tipi döşemeler* oluşturulur. Tek doğrultuda çalışan dişli döşeme sistemlerinde olduğu gibi, dişler arası taşıyıcı olmayan hafif bloklarla doldurularak mimari açıdan düz bir tavan yüzeyi elde edilebilir. Yüklerin taşınmasında dişler arasındaki etkileşim, dişli döşemenin süreklilik durumuna ve kenar oranlarına bağlıdır. Eğilme moment ve kesme kuvveti, dişli döşeme davranışını belirleyen en önemli etkilerdir.

Perdelere oturan döşeme sistemleri:

15 cm ile 20 cm, döşeme açıklıklarının 5 metre ile 8 metre arasında, sürekli plak şeklinde doğrudan perdelere mesnetlenen veya diğer döşeme sistemleri ile beraber kullanılan döşeme sistemleridir (Şekil 3.10). Bu sistem özellikle çok katlı yapılarda, düz bir tavan yüzeyi elde edilmesine olanak sağladığı için yaygın olarak tercih edilmektedir. Döşemenin doğrudan perde ile birleştiği bölgelerde, özellikle yatay yük etkisiyle oluşan kesit tesirleri oldukça büyük değerlere ulaşabileceği için, bu etkileri azaltılması ve daha dengeli bir yük aktarımı sağlamak amacıyla perdenin bulunduğu bölgede kirişlerin kullanılması tavsiye edilmiştir. Perde döşeme birleşim bölgelerinde kirişlerin kullanılmasıyla, yatay etkilerin bir kısmı perdeye kirişler vasıtasıyla iletilir ve dolayısıyla birleşim bölgelerinde oluşabilecek sorunların önüne geçilmiş olunur. Taşıyıcı sisteme etkileyen yatay yüklerin tamamen perdeler tarafından karşılandığı taşıyıcı sistem düzenlenmelerinde, döşeme-perde birleşimlerinin detaylandırılmasına gerekli önem gösterilmelidir.



Şekil 3.10 : Perdelere oturan döşeme sistemi

Yapılarda olabildiğince geniş iç hacme sahip yaşam ve çalışma alanları oluşturmak amacıyla 1970’li yılların ortalarında özellikle ABD ve Avustralya’da yaygın olarak kullanılan döşeme sistemleri öngermeli döşeme sistemleridir. Öngermeli döşeme elemanları prefabrik olarak imal edilen döşeme kirişleri ve döşeme plaklarından oluşurlar. Bu elemanların imal edilmesi sırasında dikkat edilmesi gereken en önemli nokta, eleman ankraj noktalarının tasarımları ve detaylandırılmasıdır. Her ne kadar betonarme yüksek binalarda ardgermeli döşeme sistemlerinin kullanılması daha yaygın olsalar da, Mariott Hotel, Taj Mahal Hotel gibi betonarme binalarda öngermeli prefabrik elemanlar başarılı bir şekilde kullanılmıştır.

Ardgermeli döşeme sistemleri *tendon* adı verilen yüksek dayanımlı çelik kablolar ile birlikte yerinde dökme betonarme plakların birlikte kullanılmasıyla oluşturulan sistemlerdir. Yüksek yapılarda yaygın olarak kullanılan bu tip döşeme sistemlerinin ön boyutlama aşamalarında döşeme kalınlığı olarak,

- Tek açıklıklı süreksiz döşemeler → $L/25$
- Sürekli döşemeler → $L/28$
- Düz plak döşemeler → $L/45$ seçilmesi yaygındır.

3.2.1.2 Çelik döşeme sistemleri

Çelik kirişler ve kuşaklar kullanılarak kapalı bir çerçeve şeklinde oluşturulan döşeme sistemleridir. Döşeme tablasının kalınlığı 10 cm ile 20 cm arasında değişkenlik gösterebilir. Döşeme plağı metal bir tabliye üzerine oturtulduğu zaman döşeme kalınlığı 6 cm ile 8 cm' ye kadar indirilebilir. Çelik döşeme sisteminin ağırlığı yapı maliyetini etkileyen önemli değişkenlerden birisidir. Yapısal taşıyıcı sistem açısından çelik döşeme sistemlerini 4 ana grupta toplayabiliriz.

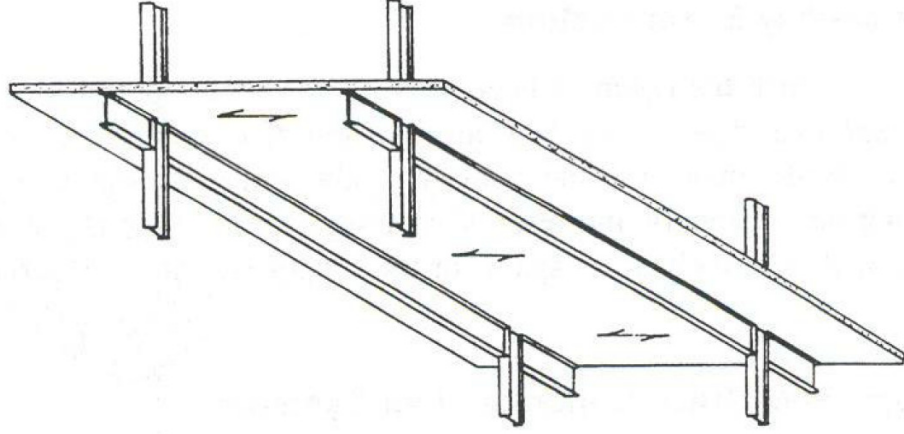
- Tek yönlü kiriş sistemi
- Çift yönlü kiriş sistemi
- Üç kirişli sistem
- Kompozit döşemeler

Tek yön kirişli çelik döşeme sistemleri:

Bu tür döşeme sistemlerinde dikdörtgen bir çerçeve oluşturacak şekilde teşkil edilmiş kolonlar ve bu kolonları birbirine bağlayan büyük açıklık geçen birbirine paralel kirişler kullanılmaktadır. Yükleri kirişlere paylaştıran döşemeler, tek doğrultuda (kısa doğrultu) çalışırlar (Şekil 3.11).

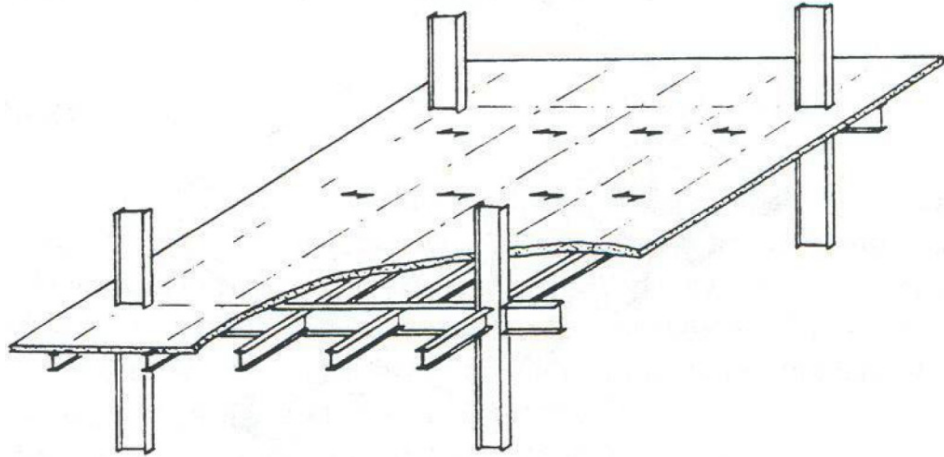
Çift yön kirişli çelik döşeme sistemleri:

Taşıyıcı kirişlerin birbirine dik olarak iki yönde de çerçeve oluşturacak şekilde teşkil edilmesiyle oluşturulurlar. Taşıyıcı kirişlerin birbirine dik olarak iki yönde de çerçeve oluşturacak şekilde teşkil edilmesiyle oluşturulurlar.



Şekil 3.11 : Tek yön kirişli döşeme sistemi

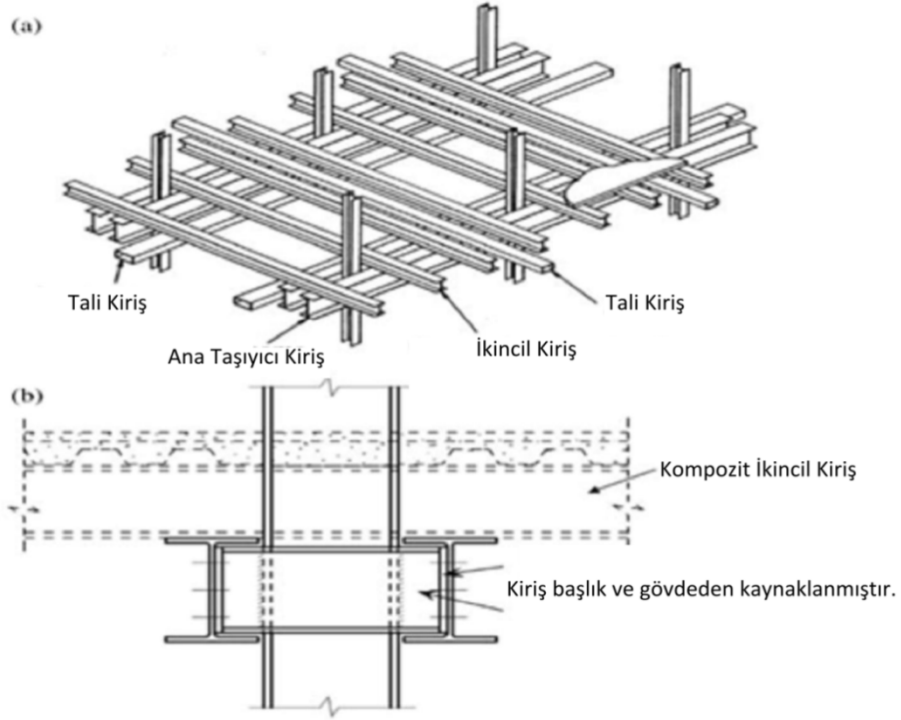
Döşeme, oluşturulan bu çerçevenin üstüne yerleştirilir. Kısa açıklığı geçen kiriş yüksekliklerinin fazla, uzun açıklığı geçen kiriş yüksekliklerinin daha az olarak seçilmesiyle, sarkan kiriş yüksekliklerini azaltmak, dolayısıyla mimari olarak daha güzel görünen bir çözüm elde etmek mümkündür (Şekil 3.12).



Şekil 3.12 : Çift yön kirişli döşeme sistemi

Üç kirişli döşeme sistemleri:

Yapı açıklıklarının çok fazla olduğu durumlarda uygulanan sistemdir. Sistem, bir kafes kiriş ve bu kirişin taşıdığı tali kirişlerden oluşturulur. Kullanılan kafes kiriş sayesinde tali kirişlerin yükseklikleri önemli derecede azaltılabilir (Şekil 3.13). Bu tür döşeme sistemleri özellikle ABD’de inşa edilmiş yüksek yapıların taşıyıcı sistem düzenlenmelerinde oldukça yaygın olarak kullanılmıştır.



Şekil 3.13 : Üç kirişli döşeme sistemi

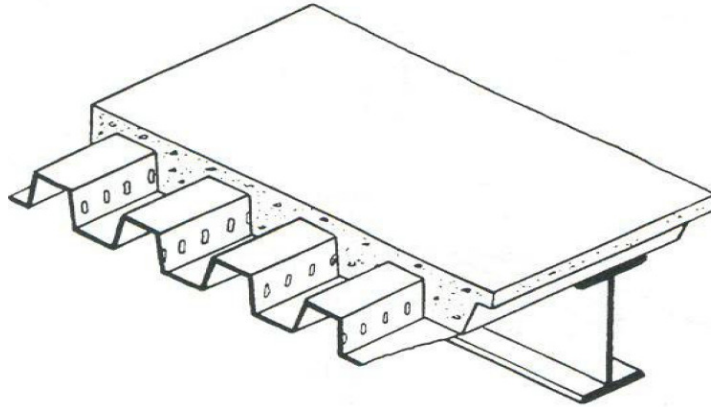
Kompozit çelik döşeme sistemleri:

Kompozit döşeme sistemleri, çelik taşıyıcı elemanlar ile birlikte betonarme bir tabliyenin kullanıldığı döşeme sistemleridir. Çelik taşıyıcı eleman ile betonarme tabliyenin birleşimi, taşıyıcılar üzerine monte edilen bağlayıcılar (Stud) ile sağlanmaktadır. Bu tip sistemler, betonarme döşemenin basınç dayanımı ile çelik taşıyıcı elemanların büyük açıklık geçebilme özelliklerinin bir arada kullanılması özellikleri nedeniyle yüksek bina tasarımlarında yaygın olarak kullanılırlar. Betonarme döşeme ile çelik taşıyıcı elemanların birlikte çalıştırılmasının sağladığı faydalar şu şekilde özetlenebilir.

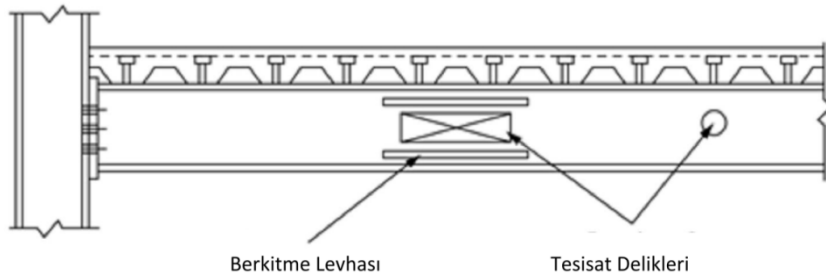
- Döşemenin yatay ve düşey rijitliğinin artması.
- Mekanik işler için gerekli esnekliğin elde edilmesi.
- Çelik tabliyenin beton kalıbı için kullanılması dolayısıyla kalıp maliyetinin azaltılması.

Çelik tabliye ve betonarme döşeme plaklarının çelik kirişlere bağlanmasıyla oluşturulan kompozit döşeme sistemleri, günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır (Şekil 3.14 ve Şekil 3.15).

Metal tabliye rijit olarak desteklenmeden, elik taşıyıcı sistem elemanları arasındaki açıklığı geçmekte ve aynı zamanda yapım aşamasında üzerindeki çalışma imkânı sağlanan bir çalışma platformu olarak kullanılmaktadır (Özgen ve Sev, 2000). Yüksek yapılar için betonarme plak ve tabliye ile kompozit çalışan çeşitli kiriş tipleri tasarlanmıştır. Döşeme ve kirişin kompozit davranışının sağlanması için bu iki eleman arasındaki kayma etkilerini karşılayacak bağlantılar gereklidir. Bu bağlantılar; döşemenin kiriş üst başlığında ayrılmasını engeller, genellikle kiriş üst başlığına montajlanmış kayma elemanları (Stud) bu görev için kullanılmaktadır. Kompozit olmayan sistemlerde, döşeme plağı ve elik kiriş ayrı çalışmakta, dolayısıyla her elemanın alt lifleri çekme, üst lifleri ise basınç etkisi ile zorlanmaktadır. Kompozit olarak çalıştırılan sistem de ise betonarme döşeme plağı ile kiriş arasındaki etkileşimin studlar yardımıyla sağlandığı kabul edilir ve hesaplamalar bu kabul altında gerçekleştirilir. Titreşim problemi, kompozit döşeme sistemlerinin tasarım aşamalarında dikkat edilmesi gereken önemli bir tasarım sorunlarının başında gelmektedir.



Şekil 3.14 : Kompozit döşeme sistemi



Şekil 3.15 : Kompozit döşeme sistem kesiti

3.2.2 Düşey yük taşıyıcı sistemler

Düşey yük taşıyıcı sistemi oluşturan yapısal elemanlar; kolonlar, askı ve transfer kirişleri ve betonarme perdelerdir. Bu sistemler, çelik, betonarme veya kompozit olarak tasarlanabilirler. Kolonlar ve perdeler düşey yük taşıyıcı sistemi oluşturan en önemli elemanlardır. Normal kuvvet ve birleşik eğilme etkileri altında olan bu yapısal elemanların tasarımı ve uygun olarak detaylandırılması, yapısal tasarımın güvenilirliği açısından son derece önemlidir.

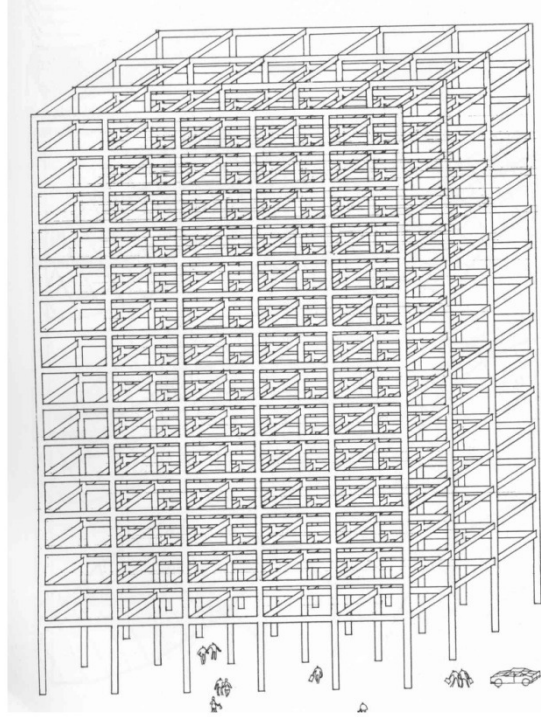
3.2.3 Yatay yük taşıyıcı sistemler

Deprem ve rüzgâr etkileri nedeniyle ortaya çıkan, zaman içinde oldukça değişkenlik gösterebilen dinamik kuvvetler, daha önce herhangi bir yatay yükleme ile zorlanmayan yapısal taşıyıcı sistem elemanlarını elastik sınırları ötesinde zorlayabilen kuvvetler üretebilirler. Bu belirsiz yüklemeler altında öngörülen bir güvenlik seviyesi için, yapı taşıyıcı sistemi bir bütün olarak düşey yükler ile birlikte, yatay yükleri de güvenle taşımak zorundadır. Günümüze kadar yapılan araştırmalar neticesinde, özellikle yüksek yapı tasarımlarında yatay yüklerin yapı davranışı üzerindeki etkinliğinin göz ardı edilmemesi açıkça ortaya konulmuştur. Yatay yükler etkisiyle taşıyıcı sistemde oluşan kusurlar çok kısa bir zamanda ortaya çıktıkları için, herhangi bir tedbir almak veya yüklemeye etkili olmak mümkün olmamaktadır (Celep ve Kumbasar 2006). Bu nedenlerden dolayı, yatay yük etkilerinin taşıyıcı sistem tarafından karşılanması ve oluşabilecek muhtemel hasarların önüne geçebilmek için yatay yük taşıyıcı sistemler geliştirilmiştir.

Yüksek yapılarda yatay yükleri karşılamak amacıyla kullanılan yatay yük taşıyıcı sistemleri 4 ana grupta inceleyebiliriz.

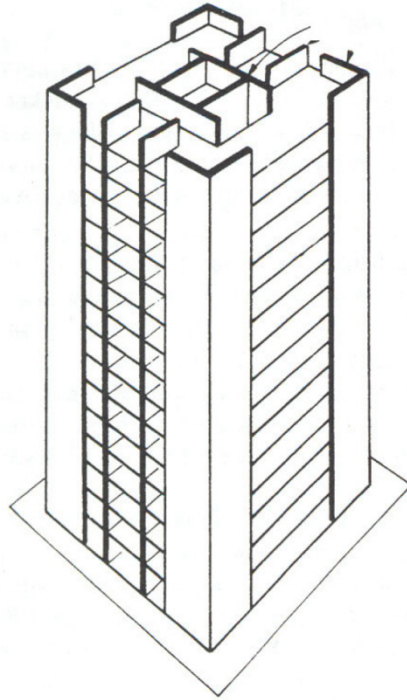
- Çerçeve sistemler
- Perde /perde-çerçeve sistemler
- Çekirdekli sistemler
- Tüp sistemler

Çerçeve sistemler; kolon ve kirişlerin birbirlerine rijit bağlanmalarıyla oluşturulan en basit taşıyıcı sistemlerdir. Belirli bir yükseklik değerine kadar ekonomik olarak kullanılırlar. Çok katlı yapılarda perde tipi yatay yük taşıyıcı elemanlarla birlikte kullanılmaları yapısal davranış açısından daha iyi sonuç vermektedir (Şekil 3.16).



Şekil 3.16 : Çerçeve tipi taşıyıcı sistem

Perde/perde-çerçeve sistemler, çerçeve sistemlerin yanal yükler altında yetersizliği nedeniyle geliştirilmiş taşıyıcı sistemlerdir. Perdelerin çerçeveler ile birlikte kullanılması günümüz modern gökdelenlerinin taşıyıcı sistemlerinin oluşturulmasında yaygın olarak rastlanan bir durumdur. (Şekil 3.17)



Şekil 3.17 : Perde-çerçeve tipi taşıyıcı sistem

Tüp sistemler, cephe çerçevelerinin boşluklu bir tüp şeklinde tasarlanması ve uygulanmasıyla elde edilen taşıyıcı sistemlerdir. Her kat düzeyinde ana taşıyıcı kirişler ve kolon tipi sık elemanlardan oluşturulan tüp sistemler; yüksek yapı taşıyıcı sistemleri arasında en verimli olanıdır. Yatay ve düşey yükler, taşıyıcı sistemdeki tüm elemanlarının bir arada çalışmasıyla birlikte zemine aktarılırlar.

3.2.3.1 Çerçeve sistemler

Çok katlı yapılarda kullanılan çerçeve sistemler, birbirine rijit olarak bağlanmış, süreklilik sağlaması için tek döküm (monolitik) olarak imal edilen kolon ve kiriş elemanların bir arada kullanılmasıyla oluştururlar. Yatay yükler, çerçeve sistemindeki kolon-kiriş sürekliliği ile karşılanırlar. Bu tip taşıyıcı sistemin yatay yükler etkisi altındaki sağlamlığı; çerçeveleri oluşturan yapısal taşıyıcı elemanların süneklikleri ve kolon-kiriş birleşim noktalarının rijitlikleriyle doğrudan doğruya ilgilidir. Çerçeve rijitliği, kiriş ve kolonların boyutlarıyla doğru, kat yükseklikleri ve kolon aralıklarıyla ters orantılı olduğu için kat yükseklikleri ve kolon aralıkları büyüdükçe, çerçeveyi oluşturan yapısal elemanların taşıma kapasitelerindeki düşüş gözlemlenmektedir. Ek olarak; çerçeve yüksekliğinin genişliğine oranı ve kiriş rijitlikleri (I/L) büyüdükçe kolonların boy değişimi etkilerinin yapı davranışına olan etkileri belirginleşmektedir (Çakıroğlu, 1978).

Yüksekliği az olan yapılarda kullanılan çerçeve sistemlerde, malzeme olarak betonarme veya çelik kullanılmaktadır. Betonarme çerçevelerde genellikle yerinde dökme olarak uygulanması nedeniyle tam olarak rijit bir çerçeve davranışı elde edilmektedir. Prefabrik betonarme taşıyıcı elemanların kullanılması durumunda ise, düğüm noktaları tam rijit olarak kabul edilmekte ve bu kabule uygun detaylandırma yapılmaktadır. Öte yandan, özellikle gelişmiş ülkelerde çok katlı yapıların taşıyıcı sistemlerinde çelik malzemesi yoğun olarak kullanılmaktadır. Birbirine yüksek mukavemetli bağlantı elemanlarıyla bağlanan çelik kiriş ve kolonlar gösterdikleri yapısal performans ve esneklikleri nedeniyle yüksek yapı tasarımlarında tercih edilmektedir.

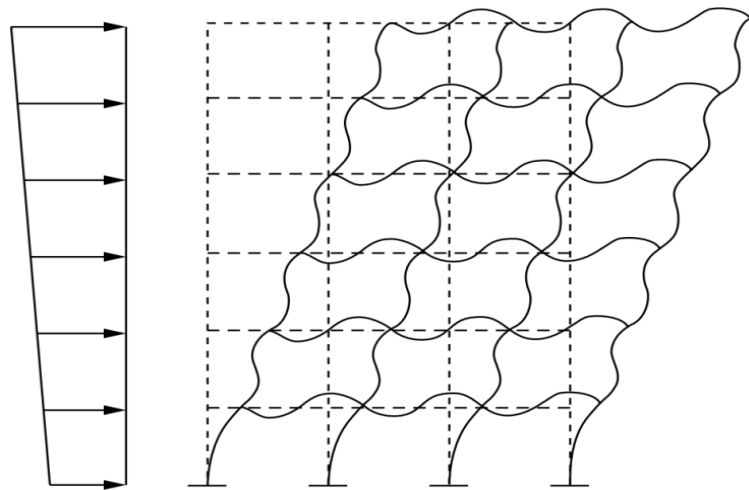
Çerçeve sistemleri kendi içinde 2 alt grupta inceleyebiliriz.

- Düzlem çerçeve sistemler
- Uzay çerçeve sistemler

Düzlem çerçeve sistemler:

Düzlem çerçeve sistemler, aynı düzlem içindeki kolon ve kirişlerin birbirlerine bağlanmasıyla oluşturulan sistemlerdir. Düşey ve yatay yükler birbirine rijit olarak bağlanmış, moment aktaran çerçeveler ile taşınırlar. Yatay düzlemdeki kat kirişleri ve kat döşemeleri, düşey ve yatay yükler etkisiyle oluşan tesirleri çerçeve kolonlarına aktarırlar. Kolonlar ise düşey yüklerden oluşan normal kuvvetler ile yatay yükler nedeniyle oluşan eğilme momentlerini taşımakla görevlidirler. Rijit çerçeve, yatay yüklere kolon ve kirişlerin eğilme davranışıyla karşı koyar bu nedenle çerçevelerin taşıma gücü, çerçeveyi oluşturan kiriş ve kolonların eğilme dayanımlarına bağlıdır.

Düzlem çerçeveler kuvvet veya yer değiştirme (deplasman) yöntemleri kullanılarak hesaplanabilirler. Bu yöntemlerde bir kattaki kolon uç deplasmanlarının (δ), rijit cisim hareketine uyması gerektiğinden bir kata ait bütün kolon uç deplasmanları (δ), ötelenme bileşenleriyle (u, v), ϕ dönmelerinden oluşan 3 büyüklüğe doğrusal ifadeler kullanılarak bağlanabilir ve denge denklemleri kullanılarak sistem kolaylıkla çözümlenebilir. (Şekil 3.18) Çerçeve sistem oluşturulurken dış kuvvetlere ait kesme kuvveti bileşkesinin kat kayma merkezinden (kolon uç yer değiştirmelerinin (δ), x doğrultusundaki δ_x değerine ait kolon kesme kuvvetleri bileşkesiyle, y doğrultusundaki δ_y değerine ait kolon kesme kuvvetleri bileşkesinin kesişim noktası) geçmesine özen gösterilmelidir, aksi takdirde katlarda burulma etkilerinin oluşması kaçınılmazdır (Çakıroğlu, 1978).



Şekil 3.18 : Şekil değiştirmiş düzlem çerçeve sistem

Uzay çerçeve sistemler:

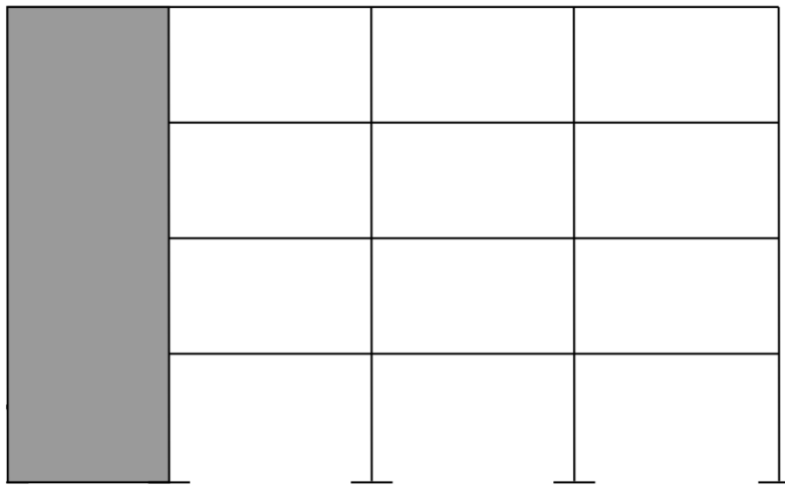
Uzay çerçeve sistemler, birbirine çok sayıda yatay kirişlerle birleştirilen çerçevelerden oluşan sistemlerdir. Üç boyutlu olarak da tanımlanabilen bu tür çerçevelerdeki kolonlar, genellikle birbirine dik düzlem çerçevelerin, ortak elemanı olarak çalışırlar ve yatay yük etkilerine tüm sistem birlikte karşı koyarlar. Çerçeveler kat adedi az olan yapılarda ekonomik olarak kullanılabilirler. Yapı yüksekliği arttıkça, kolon ve kiriş kesit boyutlarındaki artış ekonomik olmaktan uzaklaşmakta, buna bağlı olarak yapı maliyetinde istenilen ekonomi sağlanamamaktadır. Yatay yüklere karşı rijitleştirilmiş betonarme veya çelik çerçeve sistemler, 20 veya daha üzeri kat adetlerinde ekonomik bir çözüm olarak kullanılmaktadırlar.

Çerçeve sistemlerin yatay yükler etkisi altındaki davranışları sistemi 2 tip davranışın kombinasyonu olarak düşünülüp açıklanabilir. Bu davranışlar;

- Çerçevede konsol davranış nedeniyle oluşana ötelenmeler
- Çerçeveyi oluşturan yapısal elemanların eğilme davranışı nedeniyle oluşan ötelenmelerdir.

3.2.3.2 Perde/perde-çerçeve sistemler

Yapı yükseklikleri arttıkça özellikle yatay yer değiştirmelerin büyümesi nedeniyle çerçeve tipi taşıyıcı sistemler yetersiz kalmaktadır. Bunun sonucunda çerçeveler ile birlikte veya yalnız olarak düşey perdelerin kullanılması zorunluluğu ortaya çıkmıştır.



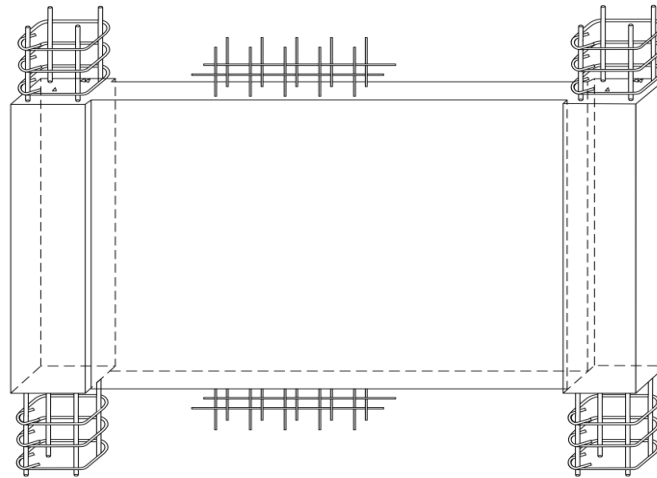
Şekil 3.19 : Perde-düzlem çerçeve tipi taşıyıcı sistem

Çerçevelere kıyasla perde duvarlar, yanal yükler etkisi altındaki bir yapıya daha fazla rijitlik kazandıran, düşeyde konsol davranış gösteren taşıyıcılardır. Her ne kadar bu elemanlar masif kütleleri ve katı formları nedeniyle rijit çerçevelerin aksine istenilen mimari esnekliği sağlayamasa da, yapısal taşıyıcı sistem sorunlarının çözümünde gösterdikleri yüksek performans nedeniyle günümüz yüksek yapı tasarımlarının vazgeçilmez taşıyıcı elemanları olarak kullanılmaktadır. (Şekil 3.19) Yapısal formları açısından perde duvarları 2 ana grupta toplayabiliriz.

- Tekil düzlem elemanlar veya L, I, X, V, T, H formunda birleştirilmiş tekil düzlem elemanlardan oluşan perde duvarlar
- Birden fazla düzlem elemanın kapalı şekillerde birleştirilmesiyle oluşturulan kare, dikdörtgen, üçgen, daire gibi geometrik formlara sahip perde duvarlar

Bir kolon ile bir perde arasındaki fark her zaman belirgin olmayabilir. Normal kuvvet ve bileşik eğilme etkisi altındaki bu iki yapısal elemanı ayıran temel özellikler, perde rijitliğinin kolon rijitliğine kıyasla çok büyük olması ve perdenin plandaki boyutunun, yaklaşık olarak perdeye birleşen kirişlerin açıklığı mertebesinde olmasıdır.

Yatay yükler etkisi altında perde duvarlar çerçevelere oranla daha az yer değiştirme yapma eğilimi gösterirler. Gözlemlenen bu davranışın nedeni perde rijitliğinin kolon-kiriş rijitliklerine kıyasla oldukça büyük olmasıdır. Perdelerin yatay yükler etkisi altında yer değiştirmesi eğilme etkileri ve kayma etkilerinin etkileşiminin sonucudur dolayısıyla, tasarım aşamasında eğilme momentinin normal kuvvet etkilerinin yanı sıra, kesme kuvvetlerinin de göz önünde tutulması gerekmektedir.



Şekil 3.20 : Betonarme perde elemanı

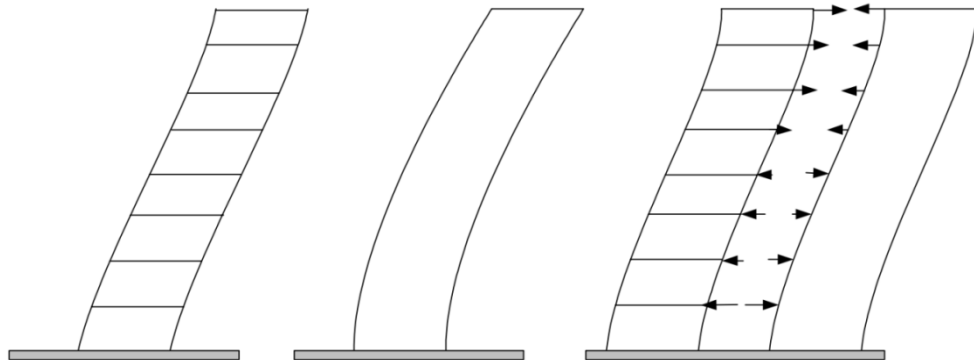
Perdelerin birlikte çalışmasını sağlamak ve kat ötelenmelerini mümkün olduğunca azaltmak için, komşu perdeler arasındaki açıklıkları olabildiğince küçültmek gereklidir. Bu amaçla perdeler arasında bağ kirişleri teşkil edilir. Perdeler arasındaki bağlantıların (bağ kirişleri) boyutları ve sayısı perde davranışı açısından oldukça önemlidir. Örneğin; dolu perdelerde ve küçük boşluklu perdelerde, perde duvarın kendi ağırlığından ve etkiyen düşey yüklerden oluşan normal kuvvet tesirleri büyük, yatay yükler nedeniyle oluşan eğilme momenti etkileri küçüktür. Bu tür perdelerde genellikle basınç kuvveti hâkimdir. Birleştirilmiş perdelerde ise, açıklıklar perde duvarı parçalara ayırır ve bu durumda her perde duvar parçası kendilerine düşen yükleri taşıyan ayrı birer eleman olarak çalışırlar. Sistemin taşımak zorunda olduğu düşey yükler her perdenin kendi yük alanından hesaplanan yükler, yatay yükler ise perdelerin rijitlik ve bağlantılarıyla orantılı olarak döşemeler tarafından dağıtılan yüklerden oluşur (Çakıroğlu, 1978). Birleştirilmiş perdelerde yatay yüklerden oluşan eğilme momentleri önem kazanır, hatta bazı durumlarda çekme etkisi ile karşılaşılabilir. Özellikle yüksek yapılarda perde ve perde bağlantı elemanlarının tasarımları ve uygun detaylandırılması (Şekil 3.20) istenilen süneklik düzeyi açısından son derece önemli bir konudur.

Perdeler ile birlikte çerçevelerin kullanıldığı perde- çerçeve sistemler çok katlı yapı tasarımında yaygın olarak kullanılan taşıyıcı sistemlerdir. Yatay yükler etkisi altındaki bir yapıda sadece rijit moment aktaran çerçevelerin kullanılması özellikle alt katlarda artan kolon kesitleri yüzünden ekonomik olmaktan çıkmaktadır Yapıyı elastik sınırları ötesinde zorlayan kuvvetler oluşturan deprem etkisi söz konusu olduğunda, bu kuvvetlerin güvenle karşılanması amacıyla perdelerden yararlanılır. Perde-çerçeve sistemler her ne kadar betonarme taşıyıcı sistemler olarak sınıflandırılırsalar da kompozit olarakta kullanılabilirler. Perdeler ile çerçevelerin birlikte kullanıldığı taşıyıcı sistemlerde genellikle moment aktaran çerçeveler, düşey yüklere giriş ve kolonlarının eğilme davranışlarıyla karşı koyarlar, perdeler ise tüm yatay yükleri karşılayacak şekilde tasarımılandırılır.

Perde ve çerçevelerin birlikte çalıştığı taşıyıcı sistemlerde perdelerin çok büyük rijitliklerinden doğan yetersiz süneklik oranları, yapıya çerçevelerin eklenmesiyle arttırılmakta; yalnız çerçevelerin kullanılmasıyla yatay yükler etkisiyle oluşan yer değiştirmeler, sisteme eklenen perdeler ile önemli ölçüde azaltılmaktadır.

Perde-çerçevelerin birlikte çalışması, özellikle deprem bölgelerindeki çok katlı yapılarda büyük önem kazanmaktadır. Çerçevelerin yüksek süneklik oranları, deprem etkilerinin daha küçük olması gibi önemli bir üstünlük sağlasa da tek başlarına çerçeveler yetersiz kalmakta ve büyük yatay yer değiştirmeler sonucu, taşıyıcı sistem dışında kalan yapı elemanlarında hasarlar oluşmaktadır. Buna karşın perde sistemler tek başına kullanıldıklarında göstermiş olduğu eğilme davranışı nedeniyle özellikle üst katlarda ikamet eden insanları rahatsız etmektedir. Ek olarak perdelerin rijitlikleri deprem etkilerinin büyümesine yol açmaktadır. Dolayısıyla; yapı yüksekliklerinin artmasıyla oluşan büyük yatay etkiler, en ekonomik olarak perde ve çerçeve sistemlerin birlikte kullanılmasıyla çözümlenebilmiştir. Böylece, perdeler yatay yüklerin önemli bir kısmını karşılayarak çerçevelere yardımcı olmakta, çerçeveler ise perdelerin büyük rijitlik etkilerini azaltarak ve sistemin süneklik oranını artırarak perdeler yardımcı olmaktadır.

Perde ve çerçeve etkisinin anlaşılması bu tip taşıyıcı sistemlerin davranışı açısından son derece önemlidir. Bu tip sistemlerde, moment aktaran rijit çerçeve özellikle kayma şekil değiştirmeleri etkisi altındadır. En büyük etkiler ve buna bağlı oluşan şekil değiştirmeleri en alt katta oluşmaktadır. Perde de ise eğilme şekil değiştirmeleri hâkimdir. Eğilme etkisi nedeniyle oluşan tesirler en alt katta en büyük değerindedir, konsol davranış nedeniyle oluşan yer değiştirmeler ise üst katlarda ortaya çıkmaktadır. Çerçeve ve perdelerin bir arada çalışmasında, yapının üst kısımlarında perdenin yer değiştirmesi çerçeveler tarafından önlenir, alt kısımlarındaki büyük kesme kuvvetleri ise perdeler tarafından karşılanır *perde- çerçeve etkisi* olarak adlandırılan bu davranış Şekil 3.21’de şematik olarak görülmektedir.



Şekil 3.21 : Perde-çerçeve etkileşimi

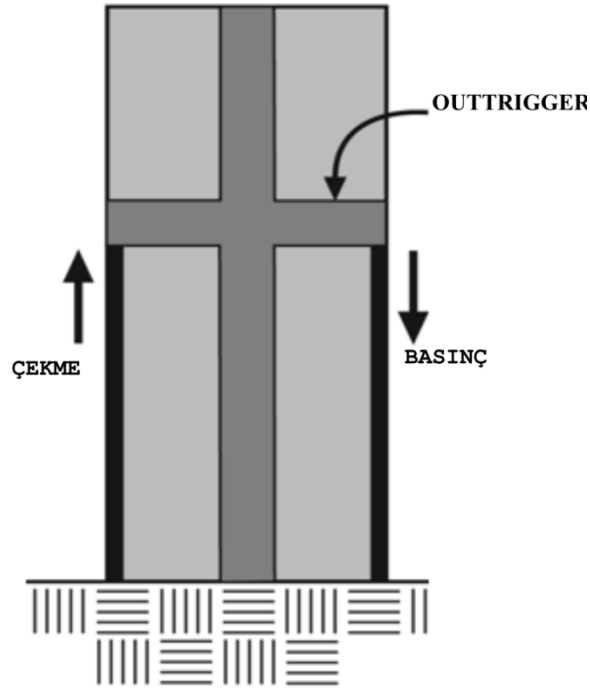
3.2.3.3 Çekirdekli sistemler

Çekirdek sistemler; kapalı formdaki perdelerin birleştirilmesiyle oluşturulan taşıyıcı sistemlerdir. Yapının kullanım amacı ve alanına bağlı olarak çekirdek boyutları değişiklik göstermektedir. Mimari kullanım alanı açısından verimi arttırmak amacıyla çekirdekler olabildiğince yapının merkezine toplanırlar. Yapısal tasarım açısından yatay yüklere karşı yeterli rijitliğin sağlanması amacıyla çekirdekteki kapılar ve mekanik işler için bırakılan boşluklar mümkün olduğunca küçük tutulmaya çalışılırlar.

Çok katlı yapılarda kullanılan çekirdekler, betonarme, çelik veya kompozit olarak teşkil edilebilirler. Çelik çekirdekler; çapraz bağlantılı *Vierendeel çerçeve* (düşey kafes kiriş) ile sağlanır. Bu tip sistemler prefabrik taşıyıcı elemanların montaj kolaylıklarından ötürü kullanılmaktadır. Betonarme çekirdekler ise en yaygın olarak kullanılan çekirdek tipidir. Betonarme çekirdekler; betonarme malzemesinin yangına karşı dayanımı ve akustik açıdan sağladığı faydalar nedeniyle çelik emsallerine oranla daha üstündür. Gerek çelik, gerekse betonarme çekirdekler; zemine ankastre konsollar şeklinde yatay yüklere karşı koymaları nedeniyle kayma ve eğilme tesirleri, kutu kesitli bir kirişteki benzer olarak düşünülebilir. Çekirdeğin basınç kuvveti ile yüklenmiş olması yatay yüklerin neden olduğu eğilme davranışı nedeniyle oluşan çekme gerilmelerinin etkisini önemli ölçüde azaltır.

Yüksek bir yapının çekirdek bölümleri birçok şekilde düzenlenebilir. Genellikle karşılaşılan düzenleme şekli merkezi ve ayrık tip düzenlemelerdir. Bu tip düzenlemelerde çekirdekteki ana elemanlar, mekanik işler için ayrılan şaftlar, merdivenler, asansörler ve lobilerdir. Yapısal forma bağlı olarak çekirdek yapı dışında, yapının kenarlarında veya yapıya dış merkezi olarak konumlandırılabilir. Yapı planlarında perdeler ve çekirdeklerin yerleştirilmesi simetrik ve asimetrik olarak 2 gruba ayrılır. Simetrik yerleştirilmiş çekirdeklerde; yatay yüklerin bileşkesi sistemin rijitlik merkezinden geçmekte olup, perdelerde sadece eğilme ve kesme kuvveti etkileri gözlemlenir. Simetrik olarak yerleştirilmemiş çekirdeklerde ise; yatay yüklerin bileşkesi, katların rijitlik merkezinden geçmez, dolayısıyla bir dış merkezlik söz konusu olur ve bu nedenle perdelerde eğilme momentine ek olarak burulma momenti de oluşur. Perde rijitliklerinin bu etkileri karşılayacak düzeyde büyük olmasına rağmen, çekirdekte açılan kapı ve tesisat boşlukları, perde burulma dayanımlarını büyük ölçüde azaltmaktadır.

Çekirdek tipi taşıyıcı sistemlerde gözlemlenen yapısal tasarım yenilikleri günümüz modern gökdelenlerinde kullanılmaktadır. Bu yeni taşıyıcı sistemlerin en gelişmiş olanı çekirdek ve kafes kirişlerin birlikte kullanıldığı outriger tipi taşıyıcı sistemlerdir.



Şekil 3.22 : Outrigger tipi taşıyıcı sistem

Şekil 3.22’de şematik olarak gösterilen *outrigger* taşıyıcı sistemde, sistem rijitliği çerçeveleri çekirdeğe bağlayan kafes kirişler yardımıyla arttırılmaktadır. Kafes kirişler çekirdeğe rijit, dış kolonlara basit olarak bağlanırlar. Çekirdek yanal yükler etkisiyle eğilmeye başladığında yatay kafes kirişler dış kolonlara eksenel yük ileten bir manivela kolu gibi davranırlar ve yanal yüklerin karşılanmasına yardımcı olurlar. Böylece sistem tam anlamıyla konsol bir tüpe benzer bir şekilde bütün olarak yatay yüklere karşı koyar. Yatay kafes kirişlerin kullanımı, çerçeve kolonları ve çekirdeğin birbirine bağlanması sonucunda sistemin devrilme yüklerine karşı koyma kapasitesi arttırılabilir. Yapının yüksekliği ile orantılı olarak artan devrilme etkilerine karşı geliştirilen bu çözüm yüksek yapı tasarımlarında yeni bir sayfa açmıştır.

Bu tip taşıyıcı sistemin sağladığı yararları şu şekilde sıralayabiliriz;

- Yanal yüklerin karşılanmasında kolonların etkinliği artırılabilir.

- Çekirdekdeki devrilme momentleri ve çekirdek yer değiştirmeleri azaltılabilir.
- Temel sistemine etkiyen yükler azaltılabilir.
- Çekirdek dışında oluşturulan çerçeveler daha ekonomik olarak basit kiriş ve kolonlarla oluşturulabilir.

Yatay kafes kirişlerin kullanılmasıyla ortaya çıkan en önemli sorun; kullanılabilen alanlarda fonksiyonel yönden engel oluşturmalarıdır. Bu sorunlar şu şekilde sıralanabilir.

- Yatay kafes elemanlarını mekanik tesisat katlarında ve eğimli yüzeyi olan katlarda kullanarak
- Herhangi bir katta elemanların neden olduğu engellemeyi en aza indirmek amacıyla, çok katlı basit bağlantılı çaprazlar kullanarak oluşturulan yatay kafes kirişler tasarlayarak ortadan kaldırılabilir.

3.2.3.4 Tüp sistemler

Tüp sistemler; birbirine yakın olarak teşkil edilmiş kolonlar ile kolonları merkezi çekirdeğe bağlayan çok rijit kirişlerin bir arada kullanılmasıyla oluşturulan taşıyıcı sistemlerdir. Yatay yük etkisine maruz tüp sistemin taşıyıcı elemanları, tümüyle bir konsol tüp davranışı sergilerler. Dış cephe duvarları yatay yüklerin tamamına yakın bir bölümünü karşıladıklarından, çekirdek kısımdaki perdelerin karşılaması gereken yatay yük miktarı düşük kalmaktadır. Yatay yüklere karşı sistemin tüm elemanlarının beraber çalışmaları nedeniyle yapı köşelerine uzak orta kolonlar, yatay yüklerin karşılanmasında etkili olamazlar. Bu davranış şekliyle tüp sistemleri, planda iki U şeklinde yerleştirilen bir kesite sahip bir yapı olarak düşünülebilir. Yatay yük etkisiyle U kolonlarda eksenel kuvvetler, bunları bağlayan yüksek kirişlerde ise kesme kuvvetleri oluşmaktadır.

Boş tüpler:

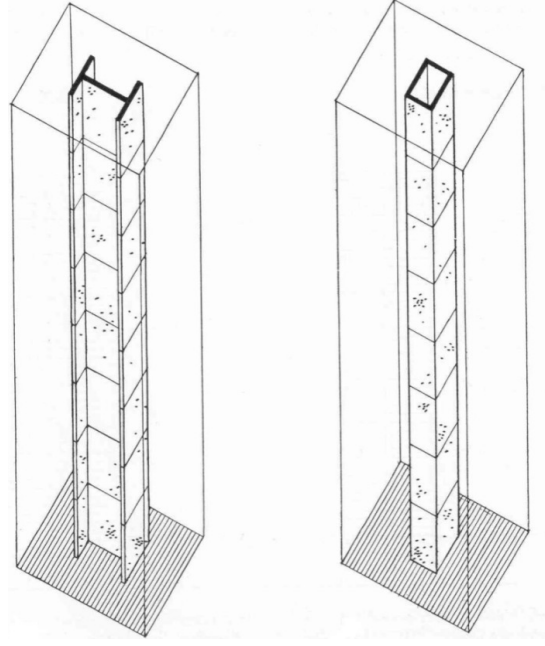
Bu tip tüp sistemler 2 grupta incelenebilir.

- Çerçevesiz tüp sistemler
- Kafes kiriş tüp sistemler

Çerçevesi t p sistemlerde; dış kolonların yatay yükleri taşıdıkları, i teki kolonların ise sadece düşey yükleri taşıdıkları kabul edilir. World Trade Center ve Standart Oil Building yapıları  er evesi t p sistem ile teşkil edilmiş yüksek yapılardan en önemlilerindendir. Kolon aralıkları 1.2m -3.0m, kolonları bağlayan kirişlerin yükseklikleri 0.6 m -1.2 m arasında değişkenlik gösterir. Daha önce de bahsi geçtiği üzere, yatay yüklerin taşınması  er eve ve konsol davranışıyla olmaktadır. Yatay yüke paralel duvarlarda kesme kuvveti nedeniyle kayma şekil değiştirmeleri oluşur. Bu nedenden dolayı yatay yüke dik yöndeki kolon dizisi boyunca doğrusal olmayan bir gerilme dağılımı gözlemlenir. Bu etkinin sonucunda da bina köşelerine yakın kolonlar orta kolonlara oranla daha fazla zorlanırlar. Bu durumda tüpü oluşturan bina kolonları, konsol kiriş gibi eksenel çekme ve basınç etkisi altında değildir, yapının davranışında kesme kuvveti ve kayma şekil değiştirmeleri hâkimdir.

Cephe kolonlarının birbirine yaklaştırılması ile t p davranışı daha da belirginleşir. Dıştaki sık kolonlu çerçevenin yatay yüklerin önemli bir kısmını karşıladığı düşünülerek, i teki çekirdeğin serbest olarak düşünülmesi sonucu yapıda kullanılabilir alan artışı sağlanır. Ek olarak,  er evesi boş t p sistemdeki küçük pencere aralıkları, rüzgâr kuvvetlerine karşı sistemin etkinliğini arttırır. şekil 3.23'te g r ld ği üzere t p sistemler her ne kadar içi boş bir yapı olarak görünseler de yanal yükler etkisi altında taşıyıcı kolonlarda çekme etkisi nedeniyle uzama, basınç etkisi nedeniyle kısalma gözlemlenir. Ek olarak i  çerçevelerdeki kolonların ve kirişlerin eğilme davranışlarından dolayı kesme kuvvetleri ve kayma şekil değiştirmeleri oluşur. Yüksek etkinlikte bir t p sistem tasarımı yapabilmek için yerine getirilmesi gereken en önemli şart; kesme kuvvetleri nedeniyle oluşacak kayma şekil değiştirmelerini minimize eden bir taşıyıcı sistem oluşturulmasıdır. Bu tür taşıyıcı sistemler genel olarak 40 kattan yüksek yapılarda ekonomik olarak kullanılmaktadır.

Yüksek yapı yarışının hızla artması nedeniyle  er evesi t p sistemlerin yetersizlikleri de ortaya çıkmaya başlamıştır.  er evesi t p sistemlerinin en zayıf noktaları *kesme gecikmesi* (shear lag) adı verilen taşıyıcı sistem sorunlarıdır. Bu sorunun çözümü için  er evesi t p sistemlerine çapraz elemanlar eklenerek kafesli t p sistemler geliştirilmiştir. Bu durumda yatay yükler etkisiyle oluşan kesme kuvvetleri, diyagonal elemanlar ile karşılanır. Düzenlenen bu çapraz elemanlar hem  er evesi tüpte kirişlerin karşıladığı kesme kuvvetlerini, hem de eksenel kuvvetleri taşımaktadırlar.



Şekil 3.23 : Tüp taşıyıcı sistem

Çapraz elemanların bu çift işlevlerinden ötürü, kafesli tüp sistem kullanarak oluşturulan yapılar 100 kata kadar ulaşabilmiştir. Kafesli tüpler, tübüler sistem için sadece yapısal çeliğin karakterine uyan klasik bir çözüm sunmamaktadır. İdeal bir tüp sistem, eksenel ve kesme kuvveti etkilerinin hâkim olduğu, kesme kuvvetlerine tüm taşıyıcı sistem elemanlarıyla karşı koyan rijit bir kapalı kutu olarak nitelendirilebilir.

İç bağlantılı tüpler:

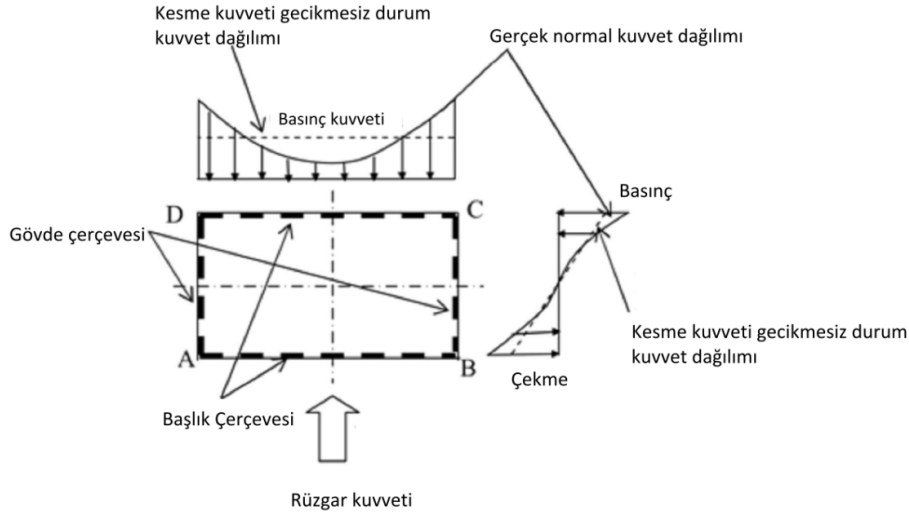
Yükseklere çıkıldıkça artan taşıyıcı sistem kesitlerinin önüne geçebilmek amacıyla, tüp sistemlerin içine betonarme çekirdek eklenerek oluşturulan taşıyıcı sistemlerdir. Böylelikle ana taşıyıcı elemanların kesit boyutları azaltılmış ve yapı maliyeti kat sayısına oranla oldukça aşağı çekilebilmiştir. İç bağlantılı tüpler;

- Paralel perde duvarlı tüp sistemler
- İç içe tüp sistemler
- Modüler tüp sistemler olarak gruplandırılabilir.

Paralel perde duvarlı tüp sistemler, perde duvarların gövde, tüp duvarların ise başlık gibi davrandıkları büyük kesitli bir kiriş gibi düşünülebilir. Bu yapısal taşıyıcı sistem çözümlemesinde, kesme kuvveti nedeniyle oluşan kayma şekil değiştirmeleri olabilecek en az düzeyindedir, dış tüp duvarlarında eksenel kuvvetler hâkimdir.

Yüksek yapılarda mimari alan gereksinimleri nedeniyle, çekirdekli bir tüp sistemin kullanılmasını doğal olarak yaygındır. Çekirdek duvarlarının şekillendirdiği bir iç tüp ve sık kolonlar ile cephe kirişlerinin şekillendirdiği bir dış tüpten oluşan bu taşıyıcı sisteme *tüp içinde tüp* ya da *iç içe tüp* sistemler adı verilir. Sistemin yatay yüklere karşı davranışı çerçeve ve perde duvar sistemine benzerdir. Hem çerçeveli tüp, hem de perde duvarlı taşıyıcı sistemlerin üstünlükleri iç içe tüp sistemlerde birleştirilmiştir. Sistemin yatay yükler altında şekil değiştirme eğilimi nedeniyle, üst katlara etki eden yatay yüklerin büyük bir kısmı dış tüp tarafından, alt katlara etki eden yatay yükler ise iç tüp tarafından karşılanırlar. Mersin’de bulunan 175 metre yüksekliğe sahip, 52 katlı Mertim binası iç içe tüp sistemi kullanılarak oluşturulmuştur. Dış tüp duvarlarının kalınlığı 35cm–70 cm, iç tüp duvarlarının kalınlıkları ise 50 cm’dir.

Yüksek yapılar için geliştirilen farklı bir taşıyıcı sistem tipi *modüler tüp* sistemlerdir. Bu sistemler betonarme taşıyıcı elemanların yanı sıra çelik taşıyıcı elemanlar ile birlikte kullanılmaktadır. Bu tip taşıyıcı sistemlerdeki iç kolon sırası ve bu kolonları birbirine bağlayan kirişler yapı içinde birlikte davranarak, kesme kuvveti etkisindeki dev bir konsol kiriş gibi çalışmaktadır. Ek olarak; bu tür sistemler; tüp sistemin doğası gereği burulma etkilerine karşı da önemli bir rijitliğe sahiptir. Modüler tüp sistemler, cephe çerçeveli tüp sistemlerin sağlamlığını, iç kısımlarda oluşturulan çerçeveler ve diğer özellikleri ile yapının tümüne yayarlar. Kesme kuvveti gecikmesi diğer tüp sistemlere oranla bu tip düzenlemelerde daha az etkindir. Her tüp kesme kuvvetlerine birbirinden bağımsız olarak karşı koyar ve Şekil 3.24’te görüldüğü üzere kesme kuvvetleri dış tüplerin köşe noktalarında en üst düzeydedir. Ancak bu etki orta kolonlara yaklaşıldıkça azalır. İç tüplerin çerçevelerinde ise bu etkiler daha da azalmaktadır. Diğer tüp sistemlere göre daha geniş açıklıkların kullanılabilindiği modüler tüp sistemleri yapıya büyük ölçüde esneklik kazandırır. Örnek olarak; Sears Tower, 9 farklı tüp modülünün düzenlenmesiyle oluşturulmuş dünyanın sayılı yüksek yapılarından birisidir. . World Trade Center ve Standart Oil Building yapıları çerçeveli tüp sistem ile teşkil edilmiş yüksek yapılardan en önemlilerindendir. Kolon aralıkları 1.2m -3.0m, kolonları bağlayan kirişlerin yükseklikleri 0.6 m -1.2 m arasında değişkenlik gösterir. Daha önce de bahsi geçtiği üzere, yatay yüklerin taşınması çerçeve ve konsol davranışıyla olmaktadır. Yatay yüke paralel duvarlarda kesme kuvveti nedeniyle kayma şekil değiştirmeleri oluşur.



Şekil 3.24 : Kesme kuvveti gecikmesi (Shear-lag effect)

Kompozit tüp sistemler:

Yapı malzemesi olarak beton ve çeliğin bir arada kullanılmasıyla elde edilen taşıyıcı sistemlerdir. Tüm yapının kompozit olarak tasarlanması fikri Skidmore, Owings ve Merrill mühendisleri tarafından geliştirilen *kompozit tüp taşıyıcı sistemler* ile mümkün olmuştur. Bu sistemde, dıştaki çelik çerçeve yatay şekil değiştirmelere karşı betonarme boşluklu cephe duvarı ile rijitleştirilmiştir. Bu tür yapısal sistem çözümlemesi, çeliğin hızlı yapım ve yüksek dayanımı ile betonunun yangına dayanıklılığını ve yatay rijitlik özelliklerini bir araya getirmiştir.

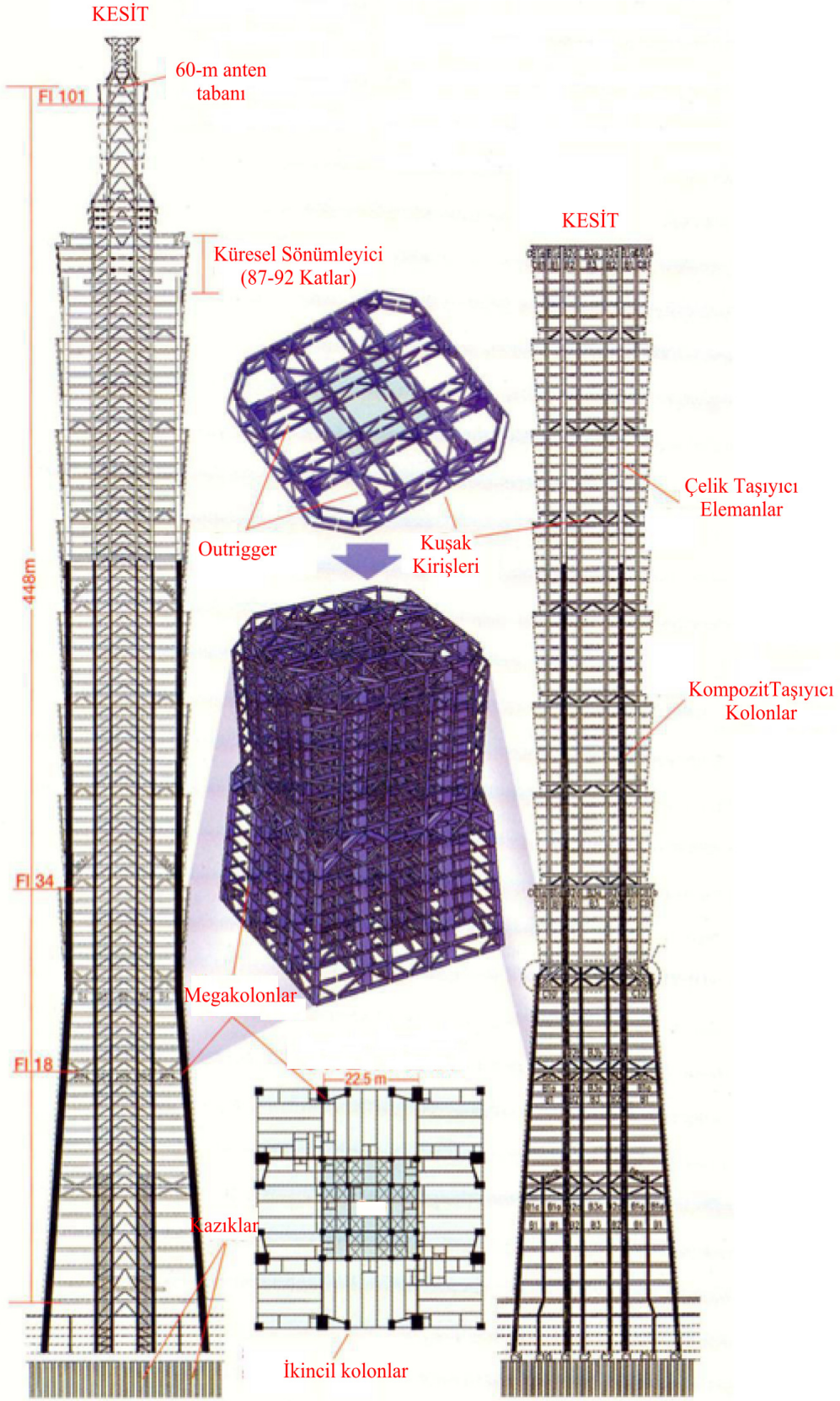
Günümüzde özellikle Çin, ABD ve Arap ülkelerinde ulaşılan inanılmaz yükseklikler ve kat sayıları nedeniyle dikkatleri üzerinde toplamış süper yüksek yapı tasarımları mevcuttur. Gelişmişlik ve güç simgesi olarak kullanılan süper yüksek binalar tasarımları gereği yüksek binalar ile benzerlik gösterebilir bile aynı tasarım ilkelerini ve çözümleme aşamalarını süper yüksek binalara uygulamak sorunlara yol açabilir. Yapı mühendisleri; bu yeni bina tipini geliştirmek için yapmış oldukları çalışmalar sırasında, belirli prensiplerin yeterli olamayacağını fark etmişlerdir. Süper yüksek binaların yapısal çözümlemeleri için yeni ve daha etkili bir yaklaşımın, önceden kullanılan ilkelerin tamamlayıcısı olacağı düşünülmektedir.

Süper yüksek binalar için geliştirilen yeni taşıyıcı sistemin, özellikle rüzgâr kuvveti ile artan yatay yükler tesirlerini azaltacak şekilde, daha ince ve dairesel forma yakın dolayısıyla narin olarak tasarlanması kaçınılmazdır.

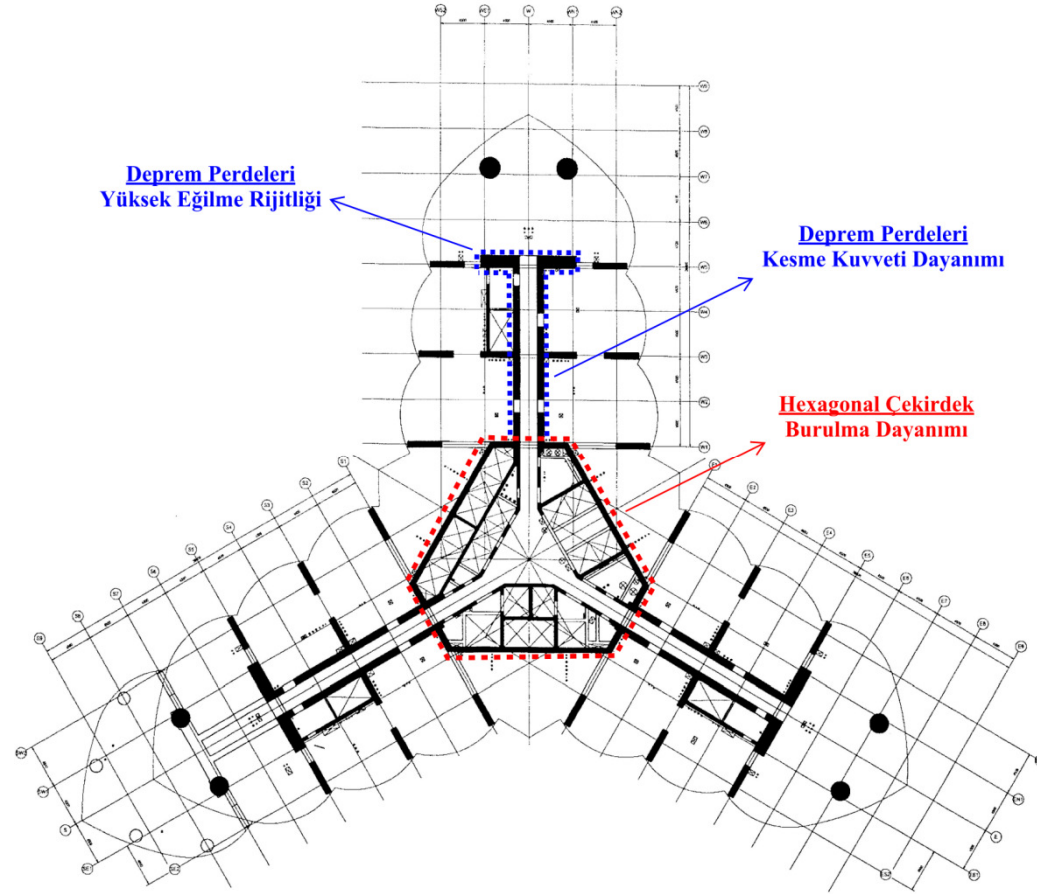
Kompozit elemanların kullanılması, süper kolonlar için yüksek dayanımlı beton teknolojisinde gözlemlenen gelişmeler, aktif ve pasif sönümleyici sistemlerin geliştirilmesi, bilgisayar teknolojisinde gözlemlenen gelişmeler gibi nedenlerden dolayı günümüzün süper yüksek bina tasarımları hayata geçirilebilmektedir. Bahsi geçen süper yüksek yapılara örnek teşkil eden taşıyıcı sistemler şematik olarak Şekil 3.25 ve Şekil 3.26'da görülmektedir.

Hangi tür olursa olsun bir betonarme taşıyıcı sistemin düzenlenmesi sırasında özellikle dikkat edilmesi gereken noktalar şu şekilde sıralanabilir;

- Yatay yüklerin güvenli bir şekilde karşılanabilmesi için yapı planında her iki doğrultuda da çerçevelerin oluşturulması.
- Yapıya etkiyen yüklerin en kısa yoldan, zemine aktarabilen bir taşıyıcı sistem düzenlenmesi.
- Kolon ve perdelerin kesintisiz olarak yapı yüksekliği boyunca devam ettirilmesi ve sünek bir davranış elde edebilmek için detaylandırılmalarının uygun olarak yapılması.
- Kolon ve perdelerin kesintisiz olarak yapı yüksekliği boyunca devam ettirilmesi ve sünek bir davranış elde edebilmek için detaylandırılmalarının uygun olarak yapılması.
- Yatay yükler nedeniyle en çok zorlanan kolon- kiriş birleşim bölgelerinin uygun detaylandırılması.
- Kullanılan yapı malzemesi karakteristik değerlerinin istenilen seviyede olduğundan emin olunması.
- Yapıda ani rijitlik değişimine neden olacak taşıyıcı sistem düzenlemelerinden kaçınılması.
- Taşıyıcı sistem rijitlik dağılımının dengeli ve düzgün bir şekilde oluşturulması, böylelikle yapıda oluşabilecek hasarların yapı içinde dağılmasının sağlanması.
- Taşıyıcı sistemde sürekliliği bozacak düzensizliklerden mümkün olduğunca uzak durulması.
- Taşıyıcı sistemin bir bütün olarak, temel sistemi ile birlikte ele alınması.



Şekil 3.25 : Kompozit taşıyıcı sistem örneği (TAIPEI 101)



Şekil 3.26 : Betonarme taşıyıcı sistem örneği (Burj Khalifa)

4. PERFORMANSA BAĞLI TASARIM VE DEĞERLENDİRME

Performansa bağlı tasarım ve değerlendirme kavramı, son yıllarda yapı mühendisliği alanında uygulaması yaygınlaşmakta olan bir kavramdır. 20-yüzyılın başlarında Massina (İtalya), Kanto (Japonya) da meydana gelen ve büyük can kaybına neden olan depremlerden sonra ortaya atılan bu kavram, depreme dayanıklı yapı tasarımı ilkelerinin özellikle ABD’de yapılan çalışmalar sonucunda geliştirilmesiyle birlikte son şeklini almıştır. Massina ve Kanto depremlerinden sonra, depreme dayanıklı yapı tasarım yönetmeliklerinde yapılara etkiyen deprem yüklerinin yapı ağırlığının %10’u mertebesinde olduğunu kabul edilmiş ve. bu kabule dayanarak tasarım mühendisleri, genellikle çerçeve taşıyıcı sistem kullanılarak oluşturdukları yapıları tek veya birkaç çerçeve için çözümleyip uygulamaya sunmuşlardır. Çerçeve taşıyıcı sistem kullanılarak oluşturulmuş bir yapının yatay yükler etkisi altındaki kesit zorlarının belirlenmesi için Muto tarafından geliştirilen ve kendi ismiyle anılan Muto Yöntemi mühendisler için çok büyük kolaylıklar sağlamıştır. Bu kolaylıklardan en önemlisi, Muto yönteminin, çerçeveli sistemlerde burulma etkilerini göz önüne alarak, 3 boyutlu hesap yapma imkânı sağlamış olmasıdır. Perde ve çerçeveli sistemler için ise Prof. Adnan Çakıroğlu perdeler grup yüklemelerini kullanan kuvvet yöntemi ile çerçevelerde Muto yönteminin uygulamasını birleştirmiş ve zamanına göre oldukça ileri düzeyde pratik bir analiz yöntemi geliştirmiştir (Aydinoğlu, 2007).Taşıyıcı sistem hesaplamalarında gözlenen bu gelişmeler etkisiyle depreme dayanıklı yapı tasarım ilkeleri de gelişmeye başlamıştır.

Deprem hareketinin ve yapılara olan etkilerinin daha iyi anlaşılmasına başlanmasıyla birlikte, yönetmeliklere deprem etkilerinin hesapları ile ilgili kısımlar eklenmeye başlanmıştır. 1930’lu yıllarda, ABD’deki yapı yönetmeliklerinde (UBC) deprem katsayısının 0.10 değerine eşit olarak alınacağı, dolayısıyla yapılara etkiyen deprem yükünün yapı ağırlığının %10’u mertebesinde olması gerektiği görülmektedir. İlerleyen yıllarda; Housner ve Biot tarafından davranış spektrumu kavramının geliştirilmesiyle birlikte, yapının doğal titreşim periyodu ile yapıya etki eden deprem kuvveti arasındaki ilişkiyi ifade etmeye yarayan dinamik katsayılar yönetmeliklerde kendine yer bulmuştur.

Ek olarak, deprem etkisi altındaki yapıların davranışları esas alınarak, *yapı tipi katsayısı* kavramı ilk kez 1958 UBC yönetmeliğinde yer almıştır. Bu kavramların geliştirilmesiyle birlikte, 1958 UBC yönetmeliğinde bir yapıya etki eden deprem kuvveti şu şekilde formüle edilmiştir

$$V = Z \times K \times C \times W \quad (4.1)$$

Bu formülde görüldüğü üzere yapıya etki eden toplam deprem kuvveti, yani taban kesme kuvveti, Z bölge katsayısına, K yapı tipi katsayısına, C yapı periyoduna bağlı olarak hesaplanan dinamik katsayı ve W bina ağırlığına bağlıdır. 1958 UBC yönetmeliğinde deprem katsayısının 0.1 değerini aşmaması öngörülmüştür. Deprem kuvveti ve yapı hakim titreşim periyodu arasındaki ilişkinin fark edilmesinden sonra, deprem kuvvetini hesaplamak için UBC’ de kullanılan (4.1) bağıntısına ek olarak iki değişken daha eklenmiştir.

$$V = Z \times I \times K \times C \times S \times W \quad (4.2)$$

Bu eşitlikte I, bina önem katsayısını, S ise zemin katsayısını ifade etmektedir.

Deprem kuvvetlerinin belirlenmesi ve yapısal taşıyıcı sistemlere olan etkilerinin hesaplanması amacıyla özellikle ABD’de yapılan çalışmalar, birçok ülkenin depreme dayanıklı yapı tasarımı yönetmeliklerini etkilemiştir. Ülkemiz yönetmeliklerindeki etkilerini kısaca özetleyecek olursak;

1961 yönetmeliğinde, deprem etkileri *Bölge Katsayısı* ve *Zemin Katsayısı* kullanılarak göz önüne alınmıştır. En büyük deprem katsayısı 1958 UBC yönetmeliğinde de öngörüldüğü üzere 0.1 ile sınırlandırılmış, deprem etkileri nedeniyle hesaplanan kuvvetlerin yapıya üniform olarak yayılması istenmiştir. Hesaplamalarda kullanılan malzeme emniyet gerilmeleri sınır değerlerinin 1.5 katsayısı ile arttırılması öngörülmüştür (Aydınoglu, 2007).

1968 yönetmeliğinde *Zemin Katsayısı*, *Önem Katsayısı* ve *Dinamik Katsayı* kavramları kullanılmıştır. En büyük deprem katsayısı önem katsayısının $\beta=1$ olduğu durumda 0.072, $\beta=1,5$ olduğu durumda ise 0.108 olması öngörülmüştür. Deprem etkileri nedeniyle hesaplanan kuvvetlerin yapıya ters üçgen şeklinde etkitilmesi istenmiş, hesaplamalarda kullanılan malzeme emniyet gerilmeleri sınır değerlerinin 1.5 katsayısı ile arttırılması öngörülmüştür. 1975 yönetmeliğinde, ilk kez *yapı tipi katsayısı* tanımlanmıştır. Dinamik katsayı olarak tanımlanan katsayı, bölge katsayısını, önem katsayısını ve zemin etkisini içermektedir.

En büyük deprem katsayısı, yapı önemi bir olan sünek binalar için 0.10, sünek olmayan binalar için ise 0.15'tir. Deprem etkileri nedeniyle hesaplanan kuvvetlerin yapıya ters üçgen şeklinde etkitilmesi ve yüksek mod etkilerinin hesaplara yansıtılması amacıyla tepe kuvveti tanımı yapılmıştır. Hesaplamalarda kullanılan malzeme emniyet gerilmeleri sınır değerlerinin 1.33 katsayısı ile artırılması öngörülmüştür.

1960'lı yılların sonlarına doğru A.B.D'deki bilim camiasında ve California'da yapı mühendislerinin oluşturduğu SEAOC çevrelerinde, deprem yer hareketinin meydana getirdiği etkilerin aslında yönetmeliklerde göz önüne alınan etkilerden çok daha büyük olduğu, bu nedenle hasarın kaçınılmaz olduğu, yönetmelik hükümleri ile sadece can güvenliğinin sağlanabileceği şeklinde bir anlayış yerleşmiş bulunuyordu. Bu anlayış sonucu olarak can güvenliği performans hedefi ve bunu tamamlayan diğer performans hedefleri ortaya çıkmıştır. Ülkemizde ise ancak 1998 yönetmeliğinin 5.1.2 maddesi ile can güvenliği performans tanımının yapıldığını söyleyebiliriz (Aydınoğlu, 2007).

4.1 Performansa Dayalı Tasarım Yöntemlerinin Gelişimi

Depreme dayanıklı yapıların üretilmesi için geliştirilen yönetmeliklerin nihai amaçlar; yapıların servis ömürleri boyunca en az bir kere maruz kalabileceği deprem hareketi etkisine yeter bir güvenlik sınırı içinde dayanmasını sağlamaktır. Performansa dayalı tasarım kavramı, taşıyıcı sisteme etkiyen muhtemel deprem kuvvetlerinin ve taşıyıcı eleman davranışlarının daha iyi tahmin edilebilmesi nedeniyle önemli bir çalışma konusu haline gelmiştir. Gasprini, Boore, Silva ve Lee, Abrahamson gibi bilim insanlarının yaptığı çalışmalar sonucunda, davranış spektrumu ile uyumlu yer hareketinin zaman tanım alanında simülasyonu için algoritmalar geliştirilmiş, zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik çözümlemeler yardımıyla yapısal taşıyıcı sistemlerin deprem hareketi nedeniyle göstermiş oldukları davranışlar daha da iyi anlaşılmış, yapılar için kullanılacak tasarım depremleri, belirli bir periyot ve aşılma olasılığı için tanımlanmış, tasarıma esas olan spektral ivme değerleri birden fazla değişkene bağlanarak modern deprem yönetmelikleri oluşturulmaya başlanmıştır. San Fernando-Los Angeles'da 1971 yılında meydana gelen deprem, yapı ve deprem mühendisliği alanında gözlemlenen gelişmelerin miladı olmuştur

Deprem sonrasında SEAOC, depreme dayanıklı tasarım konusunun geniş kapsamlı projelerle ele alınmasını sağlamak ve bu amaçla yerel yönetimlerden fon sağlayabilmek üzere 1973 yılında Applied Technology Council'i kurmuştur. Bugüne kadar deprem mühendisliğinin gelişmesi doğrultusunda pek çok çalışmalara imza atan ATC 'nin ilk önemli çalışması, ATC 3-06 olarak bilinen günümüz modern deprem yönetmeliklerinin omurgasını oluşturan, depreme dayanıklı yapı tasarım ilkelerini ilk kez sistematik ve kapsamlı bir şekilde ele alındığı çalışmadır (Aydınoğlu, 2007). Bu yönetmelik ile birlikte;

- 1968 yılında A. Cornell tarafından olasılıksal bir temele oturtulan deprem etkileri ve davranış spektrumu kavramı tanımlandı.
- Yapısal taşıyıcı sistemler, düzenli ve düzensiz sistemler olarak ikiye ayrılarak, her bir sistemin sahip olması gereken özellikler belirtildi.
- Göreceli olarak tanımlanan *Yapı Tipi Katsayısı* (K) yerine, taşıyıcı sistemdeki süneklik düzeyini tutarlı bir şekilde belirleyen *Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayıları* (R) tanımlandı.
- Deprem kuvvetlerinin hesaplanması aşamalarında kullanılmak üzere mod birleştirme yöntemi alternatif bir çözüm olarak yönetmelik maddeleri arasına yerleştirildi.
- Kapasite tasarım ilkeleri son derece detaylı olarak tanımlandı.
- Yatay yükler etkisiyle oluşan göreceli kat ötelenme sınır değerleri gerçekçi bir şekilde yeniden tanımlandı.

ATC 3-06 dokümanındaki bilgilerin ve tavsiyelerin yönetmeliklere yansıtılması dünyada 10 yıllık bir süre zarfı içinde, ülkemizde ise 20 yıllık bir süre içinde olmuştur. 1998 deprem yönetmeliğimiz, ATC 3-06 'da belirtilen yeniliklerin ülkemizde yansıması olarak görülebilir. Bu yönetmelikte, yapıların performans hedefleri tanımlanmış, yapıların depremde hasar görebileceği ilk kez açıkça dile getirilmiştir. Elastik tasarım spektrumu, her bir deprem bölgesi için tanımlanan *etkin yer ivmesi* değeri cinsinden gerçekçi bir şekilde tanımlanmıştır. Bu spektrum kullanılarak eşdeğer deprem yükleri, yapı doğal titreşim periyoduna bağlı olarak hesaplanan *deprem yükü azaltma katsayısı* kullanılarak hesaplanmış, ek olarak, yönetmeliğin 7.bölümünde belirtilen kuralların anlaşılabilirliği artırılmış, süneklik

koşulları ve kapasite tasarım ilkeleri ayrıntılı bir şekilde ilk kez eksiksiz olarak tanımlanmıştır.

VISION 2000, ATC-40, FEMA 273, FEMA 274 yönetmelikleri, performansa dayalı değerlendirme ve tasarım konusunu temel alan kaynak yönetmeliklerdir. 1989 yılında Kaliforniya’da meydana gelen Lorna Prieta depremi sonrasında mevcut yapı stokunun depreme karşı incelenmesi ve değerlendirilmesi ihtiyacı gündeme gelmiştir. Son derece büyük kayıplara yol açan Kaliforniya depremi sonucunda, performansa dayalı tasarım ve değerlendirme konusu yapı ve deprem mühendisleri tarafından ön plana çıkarılmıştır. Bunun sonucu olarak; SEAOC tarafından 1995 yılında VISION-2000 adlı doküman yayımlanmıştır. VISION 2000’i takiben ATC-40, FEMA 273 ve FEMA 274 dokümanları 1996 yılında ABD’de yayımlanmıştır.

Performansa dayalı tasarım ve değerlendirme kavramı, deprem ve yapı mühendisliğinde gözlemlenen gelişmelerin en önemlisidir. Bu tasarım yaklaşımı, geleneksel dayanım odaklı tasarım yaklaşımına karşı bir alternatif olarak geliştirilmiştir. Bilindiği üzere geleneksel depreme dayanıklı yapı tasarım kuralları, yapılara etkileyen deprem yüklerinin doğrusal elastik dayanım ile doğrusal olmayan dayanım arasındaki ilişkiden yararlanılarak azaltılmasını öngörmektedir. Bu amaç doğrultusunda yönetmeliklerle belirlenen dayanım azaltma katsayıları kullanılmaktadır. Bu tasarım yaklaşımı, teorik olarak dayandığı çok sayıda kabule ve uyguladığı doğrusal elastik analiz yaklaşımına rağmen Thomas Pauley’in deprem mühendisliği pratiğine hediye ettiği *kapasite tasarım ilkeleri* sayesinde, depreme dayanıklı yapıların üretilmesini sağlamıştır.

Kapasite tasarım yaklaşımı kullanılarak üretilmiş bir yapıda, deprem etkileri nedeniyle yapının hasar alabileceği önceden kabul edilmektedir ancak; yapının hangi bölgelerinin hasar alabileceği ve bu hasarın niteliği konusu tam olarak belli olmamaktadır. Performansa dayalı tasarım yaklaşımında ise, belirli düzeylerdeki deprem yer hareketleri altında taşıyıcı sistem elemanlarında oluşabilecek hasar durumları sayısal olarak tahmin edilebilmekte ve oluşan hasarın her bir taşıyıcı elemenda kabul edilebilir sınırlar içinde olup olmadığı kontrol edilebilmektedir. Hasar kontrol aşamalarında kullanılan yapısal performans hedefleri önceden belirlenen hasar durumları ile uyumlu olacak şekilde seçilirler. Şekil değiştirme ve yer değiştirmeye dayalı hesaplama yöntemleri performansa dayalı tasarım yaklaşımının temelini oluşturmaktadır.

Şekil değiştirmeye dayalı tasarım ve değerlendirme ilkeleri ilk kez ATC-40, FEMA-273 ve FEMA-274 yönetmeliklerinde ortaya atılmıştır. Yayımlanan bu dokümanların ortak amaçları, yapı taşıyıcı elemanlarında deprem etkileri nedeniyle oluşabilecek plastik şekil değiştirmelerin karmaşık ve bir o kadar zor hesaplama yöntemlerine başvurulmadan elde edilmesini sağlamaktır. Yapı ve deprem mühendisliği alanında, yapı performans değerlendirilmesi için oldukça sık kullanılan *statik itme (Pushover)* analizi bu amaca ulaşılabilindiğinin en büyük göstergesidir. Peter Fajfar'ın geliştirdiği *N2 yöntemi* ve Sigmun Freeman'ın geliştirdiği *kapasite spektrumu yöntemi* sonucunda, statik itme analizi sadece yapı yük taşıma kapasitelerinin belirlendiği bir analiz olmaktan çıkmış, iç kuvvetlerin, yer değiştirmelerin ve plastik şekil değiştirmelerin elde edilebildiği bir tasarım aracı haline gelmiştir.

Yapı performanslarının belirlenmesinde son derece önemli olan statik itme analizi, sistemin hâkim moduyla sınırlı olması nedeniyle, yüksek mod etkilerinin gözlemlenmediği, birinci mod etkilerinin hâkim olduğu, simetrik yerleşime sahip, burulma düzensizliklerinin yapısal davranışa etkisinin son derece az olduğu yapılarda kullanılabilmektedir. İtme analizinin yüksek mod etkilerinin gözlemlendiği sistemlerde uygulanabilmesi amacıyla, son yıllarda çok sayıda yöntem ortaya atılmışsa da, bu yöntemlerin içinde sadece Chopra ve Goel tarafından geliştirilen *Modal İtme Analizi Yöntemi* ve Aydınoğlu tarafından geliştirilen *Artımsal Spektrum Analizi* yöntemleri dışında verilen bir deprem hareketi altında doğrusal olmayan şekil değiştirme ve yer değiştirme büyüklüklerinin hesaplanabildiği başka bir yöntem bulunmamaktadır.

Performansa dayalı tasarım yaklaşımının diğer tasarım yaklaşımlarına göre üstün yönlerinin olmasının yanında, bazı eksikliklerinin de bulunduğu açıktır. Yapı elemanları hasar seviyelerinin belirlenmesi aşamalarında kullanılan plastik mafsallara ait sınır değerlerin nasıl tanımlanacağı konusu günümüzde halen tartışılmaktadır. ATC-4 ve FEMA 356 dokümanlarında, plastik mafsal şekil değiştirme sınır değerleri çizelgeler halinde, Eurocode-8 yönetmeliğinde ise deneysel sonuçlardan elde edilen bağıntılar yardımıyla belirlenmektedir. 2007 deprem yönetmeliğimizde ise plastik mafsal şekil değiştirme sınır değerleri, betonarme kesitteki beton ve donatı çeliği şekil değiştirmeleri cinsinden verilmektedir.

Gelişmiş ülkelerin ihtiyaçları doğrultusunda oluşturdukları deprem yönetmelikleri performansa dayalı tasarım yaklaşımı esas almıştır

Örnek olarak; Performansa dayalı yapı tasarımı Japonya Bina Yasasında (Building Standard Law–1998) can güvenliği ve hasarın sınırlandırılması olarak tanımlanmıştır. Can güvenliği performans seviyesi için tasarım depremi *oluşabilecek en kuvvetli deprem hareketi* olarak tanımlanmış ve geri dönüşüm periyodu 500 yıl olan deprem için istatiksel yöntemlerle hesaplanmıştır. Hasarın sınırlandırılması performans seviyesi için belirlenen yer hareketi ise *yapının ekonomik ömrü süresince bir kez oluşabilecek* deprem olarak isimlendirilmiş ve geri dönüşüm periyodu olarak 30-50 yıl olarak hesaplanmıştır.

Eurocode 8 (2002) yönetmeliğinde, performansa dayalı tasarım iki aşamalı olarak tanımlanmıştır. Birinci performans seviyesi, nadiren oluşabilecek depremlerde yapısal bütünlüğün korunmasını, ikinci performans seviyesi ise yapının ekonomik ömrü boyunca karşılaşılabileceği sık depremlerde yapısal hasarı sınırlandırmak ve hemen kullanım şartlarını sağlamak amacıyla tanımlanmıştır. Yönetmelikte ek olarak, *Göçmenin önlenmesi* performans seviyesi için geri dönüşüm periyodu 475 yıl olan depremin kullanılması, *hasarın sınırlandırılması* performans seviyesi içinse geri dönüşüm periyodu 75 yıl olan depremin kullanılması öngörülmüştür.

NEHRP (2000) dokümanı, standart yer hareketi olarak, 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan ve *göze alınan en büyük deprem (MCE)* olarak adlandırılan yer hareketinin 2/3'ü olan depremin tasarım için kullanılmasını öngörmektedir. Bahsi geçen yönetmelikte göze alınan en büyük deprem, kısa ve uzun periyot spektral ivme haritaları yardımıyla elde edilmektedir.

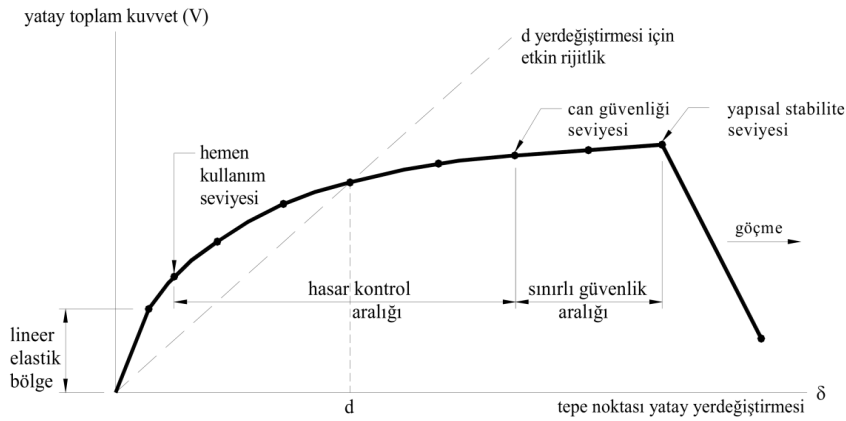
Performansa dayalı tasarım ve değerlendirme ilkeleri kullanılarak eleman düzeyinde hesaplanması öngörülen deprem hasar seviyeleri, şiddetli depremlerde genel olarak doğrusal olmayan şekil değiştirmeler ile ilişkilidirler. Belirli bir deprem hareketi altında, yapı için öngörülen yapısal davranış *performans hedefi* olarak tanımlanır. Genel olarak yapısal performans, bir yapıyı oluşturan taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlarının performans seviyeleri ile tanımlanmaktadır. Yapısal taşıyıcı sistemler için, birden fazla yer hareketi altında performans hedefleri öngörülebilir, buna *çok seviyeli performans hedefi* denir (Özer, 2009). Depreme dayanıklı yapı tasarım yönetmeliklerinde tanımlanan performans seviyeleri ve tanımları şu şekildedir;

- *Hemen kullanım performans seviyesi*; bu performans seviyesinde taşıyıcı sistem hasarı çok azdır.

Mevcut yapının deprem öncesindeki dayanım, rijitlik ve sünekliği deprem etkisi sonrasında da aynen korunmaktadır.

- *Kontrollü hasar performans seviyesi*-deprem sonrasında oluşan hasarın hemen kullanım ile can güvenliği performans seviyeleri arasında bulunduğu performans aralığıdır.
- *Can güvenliği performans seviyesi*- taşıyıcı sistemde önemli hasarlar oluşabilir ancak, bölgesel veya toptan göçme söz konusu değildir.
- *Göçmenin önlenmesi performans seviyesi*-yapıyı bölgesel veya toptan göçme sınırına ulaştıran hasar seviyesidir. Taşıyıcı elemanlarda büyük çaplı hasar oluşmuş, dayanım ve rijitlik kayıpları oldukça fazladır.

Yukarıda tanımlanan performans seviyelerinin şematik olarak gösterimi Şekil 4.1’de görülmektedir.



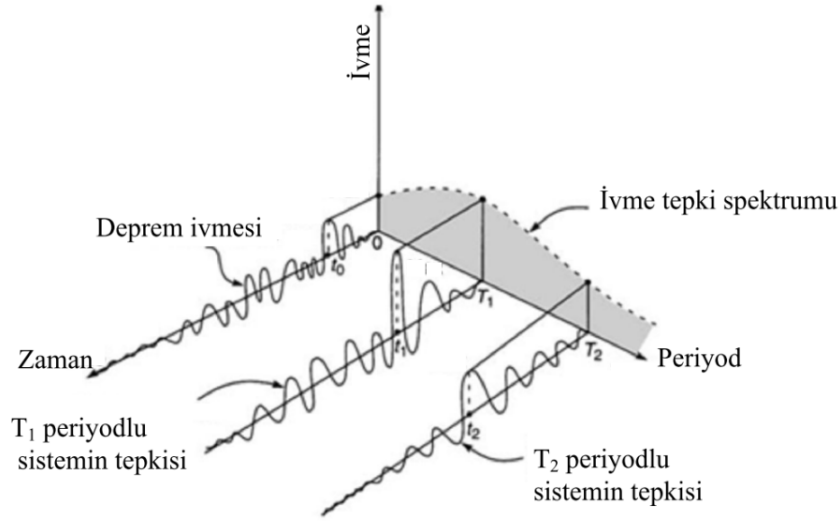
Şekil 4.1 : Performans seviyeleri ve aralıkları

4.2 Davranış Spektrumu Kavramı ve Deprem Yükleri

Yapısal taşıyıcı sistemlere etki eden deprem yükleri, yapının hâkim titreşim periyodu, deprem bölgesine göre belirlenen etkin yer ivmesi, yerel zemin koşulları ve zemin sönüm özellikleri kullanılarak elde edilen elastik ivme spektrumları yardımıyla belirlenebilmektedir. Spektrum, kelime anlamı olarak karmaşık bir birleşimi basit bileşenlerine ayırıştırıp, bu bileşenleri belirli bir nitelik gözeterek, küçükten büyüğe doğru sıralamak olarak tanımlanmakta davranış spektrumu ise belirli bir yer hareketi etkisindeki farklı periyotlara sahip tek serbestlik dereceli sistemlerin, yer hareketine verecekleri tepkilerin en büyük değerlerini gösterdikleri diyagramlar olarak, başka bir deyişle göz önüne alınan deprem etkisi altında, T

titreşim periyoduna sahip, doğrusal elastik tek serbestlik dereceli bir sistemde meydana gelen ivme ve/veya yer değiştirme büyüklüklerinin ifade edildiği grafikler olarak tanımlanmaktadır

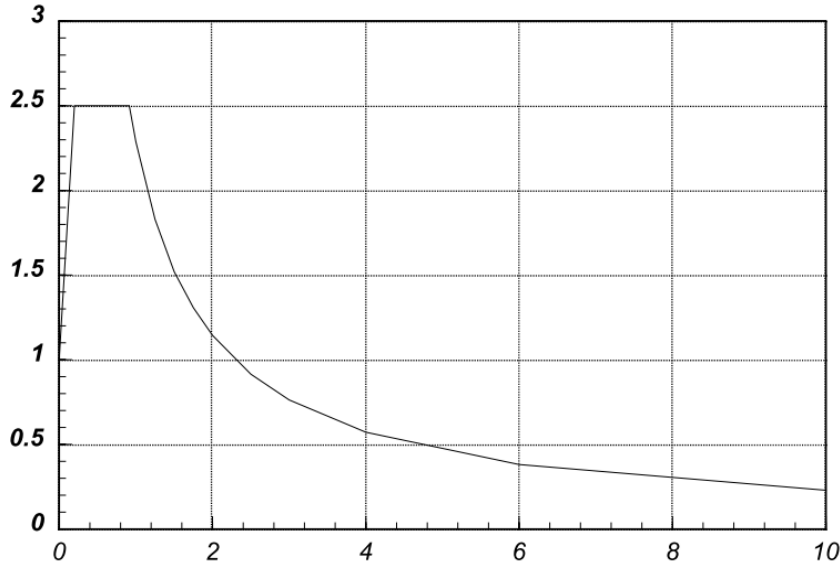
Tepki spektrumu eğrisi ve davranış spektrumu örneği Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'te görülmektedir.



Şekil 4.2 : Tepki spektrumu eğrisinin oluşturulması

Yapısal taşıyıcı elemanlarda deprem etkileri nedeniyle oluşan kesit tesirleri ve yer değiştirmelerin tahminler için, tasarım ivme spektrumu yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntem, deprem hareketlerinin ortalaması olan tasarım spektrumlarının kullanılarak her bir mod için yer değiştirmelerin ve yapısal eleman iç kuvvetlerinin en büyük değerlerinin belirlenmesini esas alır. Yapı mühendisliği literatüründe *mod birleştirme* yöntemi olarak anılan bu yöntem, yapı hâkim modları için en büyük modal değerlerin aynı anda oluştuğu kabulüne dayanmaktadır. Mod birleştirme yönteminde kullanılan eşdeğer deprem yüklerinin elde edilmesi, elastik ivme spektrumu yardımıyla olmaktadır.

Yapısal taşıyıcı sistem elemanlarının deprem hareketi etkisiyle gösterecekleri davranış özelliklerinin iyi tahmin edilebilmesi için, deprem kuvvetlerinin gerçeğe en yakın olarak tahmin edilmesi ve hesaplamalara yansıtılması gereklidir. Bu bağlamda, depreme dayanıklı yapı tasarım yönetmelikleri tarafından geleneksel olarak kullanılan tepki spektrumu eğrilerinin oluşturulması ve bazı kısıtlamalar çerçevesinde kullanılması son derece önemlidir.



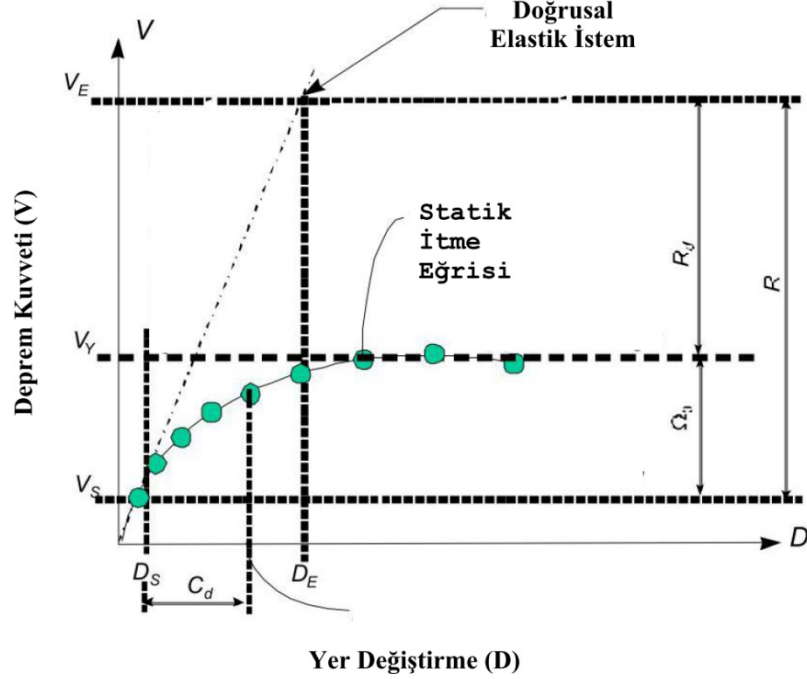
Şekil 4.3 : Davranış spektrum eğrisi örneği

Elastik ivme spektrumunun azaltma katsayısına bölünmesiyle elde edilen *tasarım spektrumu* hemen hemen tüm ülkelerin deprem yönetmeliklerinde kullanılmaktadır. Burada bahsi geçen *azaltma katsayısı* kavramı ülkeler göre değişik olarak tanımlanmaktadır. Örneğin, azaltma katsayısı (R), NEHRP yönetmeliğinde *davranış düzeltme katsayısı* olarak, Eurocode-8 yönetmeliğinde *davranış katsayısı* olarak, Japon bina yönetmeliğinde ise *yapı katsayısı* olarak isimlendirilmektedir.

Yapılara etkiyen deprem yüklerinin belirlenmesi aşamalarında oldukça fayda sağlayan davranış spektrum yönteminin belirli sınırlar çerçevesinde kullanılması unutulmamalıdır. Bu sınırlamaları kısaca özetleyecek olursak;

- Davranış spektrumu yöntemi kullanılarak elde edilen yer değiştirme değerlerinin hepsi pozitifdir. Bu nedenden dolayı dinamik yer değiştirmeleri gösteren bir grafiğin elde edilmesinin veya elde edilmiş grafiğin yorumlanmasının bir anlamı yoktur. Önemli olan taşıyıcı olmayan elemanlarda oluşabilecek hasarların tahminlerinde kullanılan katlar arası yer değiştirme yani görelî kat ötelenmesi değerleridir.
- Yapı elemanlarının iç kuvvet değerlerinin her bir titreşim modu için ayrı hesaplandığı unutulmamalıdır. Bu yüzden, her bir mod etkilerinin uygun bir biçimde birleştirilmesi gerekmektedir.

Özet olarak; davranış spektrumu yöntemi, kuvvet ve yer değiştirmelerin en büyük değerlerinin belirlenmesi amacıyla kullanılan yaklaşık bir yöntemdir. Yöntemin temelini doğrusal elastik analiz yöntemlerinin oluşturduğunu ve yöntemin güvenilirlik derecesinin hesaplama aşamalarında yapılan kabullere son derece bağlı olduğu unutulmamalıdır (Wilson, 2000).



Şekil 4.4 : Dayanım azaltma katsayısının elde edilmesi ve statik itme eğrisi

Deprem kuvvetleri altında yapı davranışlarının incelenmesi için kullanılan doğrusal elastik olmayan *deprem yükü katsayısı -yer değiştirme eğrisi* başka bir deyişle *statik itme eğrisi* Şekil 4.4'te görülmektedir. Şekil 4.4'ten görüldüğü üzere düşey eksendeki V_e değeri, elastik deprem yükünü. V_s , ise V_e değerinin azaltma katsayısına (R) bölünmesiyle elde edilen ve yapı deprem yüklerinin hesaplanmasında kullanılan değeri ifade etmektedir. NEHRP (1991) yönetmeliğinin açıklamalar kısmında V_y , sistemde ilk akmanın gözlemlendiği kuvvet olarak değil, belirgin plastik mafsallın oluştuğu, başka bir deyişle plastikleşmeye neden olan kuvvet düzeyi olarak kabul edilmektedir. Yapı taşıyıcı sisteminin enerji yutma kapasitesi süneklik yeteneği sayesinde yutulan enerjiye bağlı olarak sisteme etkileyen deprem yükündeki azalmayı temsil eden azaltma katsayısı;

$$R_d = \frac{V_e}{V_y} \quad (4.3)$$

olarak tanımlanmaktadır.

R_d katsayısının 1 ve 1'den büyük olması yapısal taşıyıcı sistem güvenliği açısından gereklidir. Hesaplanan V_y ve V_s değerleri arasındaki fark, yapısal taşıyıcı sistemin, hesaplanan deprem yüklerinden daha büyük bir yük düzeyine dayanabilme kapasitesi olduğunun bir göstergesidir. *Yedek dayanım kapasitesi* olarak isimlendirilen bu değer;

$$\Omega_0 = \frac{V_y}{V_s} \quad (4.4)$$

olarak tanımlanır.

(4.4) ve (4.3) bağıntıları kullanılarak R katsayısı şu şekilde yazılabilir;

$$R = \frac{V_e}{V_s} = R_d \times \Omega_0 \quad (4.5)$$

(4.5) bağıntısından açıkça görülmektedir ki, R katsayısı sadece yapısal taşıyıcı sistemin sünekliğine bağlı olmamakta, ek olarak yapısal dayanım kapasitesine de bağlı olmaktadır.

Yapısal taşıyıcı sistemin gerçek dayanımının, hesaplanan dayanımından hangi oranla büyük olduğu, başka bir deyişle *yedek dayanım katsayısının* hangi mertebelerde olduğu tasarım güvenliği açısından son derece önemli bir husustur. Yedek dayanım katsayısı veya dayanım fazlalığı katsayısı şu nedenlerden dolayı ortaya çıkmaktadır;

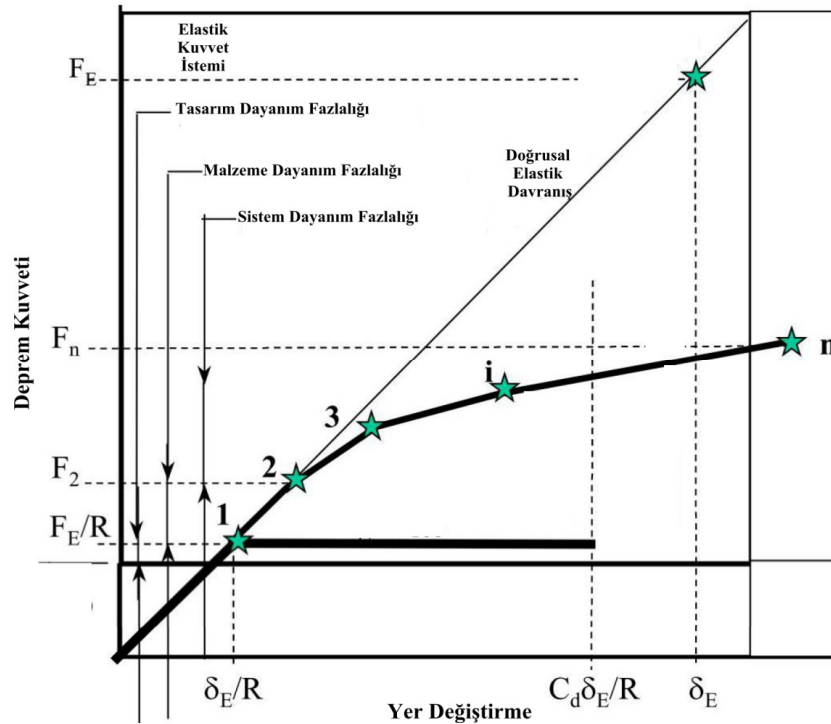
- Yapı malzemesi sınır gerilmelerinin, tasarım ve karakteristik gerilmeler olarak birbirinden farklı olması, donatı çeliği için pekleşme davranışının yapısal tasarım aşamalarında göz önünde bulundurulmaması.
- Betonarme kesitlerin, taşıma gücü sınır durumundaki beton birim kısalma değerinin (ϵ_{cu}) 0.003 olarak sınırlandırılması. Bilindiği üzere sargı donatısı etkisi nedeniyle beton birim kısalma değeri, kabul edilen değerden daha fazladır.
- Süneklik şartlarının sağlandığı kesitlerde, kesitlerin birbirine yardım etmesi ve bunun sonucunda sistemin yatay yük kapasitesinin artması.
- Yönetmelik şartları gereği, statik açıdan gerekli kesit boyutlarından daha büyük boyutlarda kesitlerin kullanılması.

Yönetmelik koşulları gözetilerek tasarlanmış yapısal taşıyıcı sistemlerde, *yedek dayanım katsayısı* değerinin 2 ile 3 arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Örnek olarak, Çizelge 4.1’de FEMA-450-2003 yönetmeliğinde verilen yedek dayanım katsayısı değerleri taşıyıcı sistem tipine bağlı olarak şu şekilde verilmiştir.

Çizelge 4.1 : Yedek dayanım katsayıları (FEMA-450-2003)

Taşıyıcı Sistem Tipi	Yedek Dayanım Katsayısı			
	Tasarım	Malzeme	Sistem	Hesap
	Ω_d	Ω_M	Ω_S	Ω_0
<i>SMF</i>	1.5-2.5	1.2-1.6	1.0-1.5	2-3.5
<i>IMF</i>	1.0-2.0	1.2-1.6	1.0-2.0	2-3.5
<i>OMF</i>	1.0-1.5	1.2-1.6	1.5-2.5	2-3.5
<i>MWF</i>	1.0-2.0	1.2-1.6	1.0-1.5	1.5-2
<i>BF</i>	1.5-2.0	1.2-1.6	1.0-1.5	1.5-2.5
<i>RBW</i>	1.0-1.5	1.2-1.6	1.0-1.5	1.5-2.5
<i>RIW</i>	1.0-1.5	1.2-1.6	1.0-1.5	2.0-3.0
<i>URBW</i>	1.0-2.0	0.8-2.0	1.0-2.0	2.0-3.0
<i>URIW</i>	1.0-2.0	0.8-2.0	1.0-2.0	1.5-2.5
<i>DBF</i>	1.1-1.75	1.2-1.6	1.0-1.5	1.5-2.5
<i>LBW</i>	1.0-0.5	1.2-2.0	1.0-2.0	2.5-3.5

Çizelge 4.1’de gösterilen yedek dayanım katsayısı veya dayanım fazlalığı katsayısının fiziksel olarak anlatımı Şekil 4.5’ te görülmektedir.



Şekil 4.5 : Yedek dayanım kapasitesi ve statik itme eğrisi

Depreme dayanıklı yapı tasarım yönetmeliklerinde sadece R katsayısının belirtilmiş olması, taşıyıcı sistem düzenlenmesi sırasında tasarım mühendisinin, tasarımı yapılan sistemin yedek dayanım seviyesinin hangi mertebede olduğunu bilmemesine yol açmaktadır. Şüphesiz ki ilerleyen zaman içinde, doğrusal olmayan yapısal analiz ve davranış kavramlarının daha da iyi anlaşılması neticesinde yedek dayanım katsayısını içeren yönetmelik maddeleri ile karşılaşılması yaygınlaşacaktır.

Yapıya etki eden deprem yüklerinin belirlenmesi aşamalarında kullanılan deprem yükü katsayısına ilişkin önemli sorunların başında, yapıda oluşabilecek gerçek yer değiştirmelerin en büyük değerleri ile bu yer değiştirmenin eşdeğer deprem yükü katsayısı kullanılarak hesaplanan karşılıkları arasındaki ilişkinin tam olarak belirlenememesi gelmektedir. Bu sorunun çözüm aşamalarında yapısal taşıyıcı sistemin süneklik özelliklerinden faydalanılmaktadır. Bu bağlamda, Şekil 4.4' ten süneklik katsayısı;

$$\mu = \frac{D_{\max}}{D_E} \quad (4.6)$$

olarak tanımlanmaktadır. Yönetmeliklerde, doğal titreşim periyodu uzun olan yapılar için sistem süneklik oranının (4.6) bağıntısıyla tanımlanan süneklik azaltma katsayısına eşit olacağı görüşü hâkimdir. Bu durumda;

$$\mu = \frac{D_{\max}}{D_E} = R_d = \frac{R}{\Omega_0} \quad (4.7)$$

(4.7) bağıntısından yararlanılarak;

$$D_{\max} = R \times D_E \quad (4.8)$$

ifadesi elde edilir.

Eurocode ve UBC yönetmeliklerinde (4.8) bağıntısı kullanılmaktadır. NEHRP yönetmeliğinde ise (4.8) bağıntısındaki R katsayısı C_d katsayısı ile değiştirilerek kullanılmaktadır. Genel olarak *deprem yükü azaltma katsayısı* adıyla anılan R katsayısı, teorik veya deneysel çalışmaların sonuçlarına göre tanımlanmamakta, yapılan araştırma çalışmalarından kabaca yararlanılmakla birlikte büyük ölçüde daha önce deprem etkisinde kalmış yapıların göstermiş oldukları performansların değerlendirilmesi suretiyle elde edilmektedir (Aydınoğlu, 2007).

Bu nedenden ötürü depreme dayanıklı yapı tasarımı yönetmeliklerinde kullanılan R katsayıları birbirlerinden farklılık göstermekte, dayanıma göre tasarım aşamalarında μ katsayısı tahmin edilerek, R_d hesaplanmakta buna karşın, şekil değiştirmeye göre tasarım aşamalarında R_d katsayısı sayısal analiz sonucu elde edilir ve μ katsayısı hesaplanmaktadır.

4.3 Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri

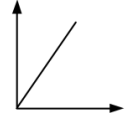
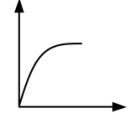
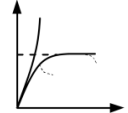
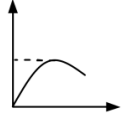
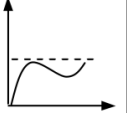
Yapısal taşıyıcı sistemler işletme yükler altında genellikle doğrusal bir davranış sergilerler. Doğrusal davranışı esas alan teorilerde, yapı malzemesinin gerilme-şekil değiştirme bağıntıları doğrusal, yer değiştirmeler ise çok küçük kabul edilmektedir. Malzeme ve geometri bakımından doğrusal davranış kabulü yapılarak gerçekleştirilen sistem çözümlemelerinde, doğrusal olmayan davranış çeşitli şekillerde göz önüne alınmaya çalışılmaktadır. Örneğin, ikinci mertebe etkilerinin doğrusal çözümlemelerde göz önüne alınması amacıyla *Moment Katsayıları Yöntemi*'nden yararlanılmakta, deprem hareketi nedeniyle oluşan doğrusal olmayan etkilerin göz önüne alınması amacıyla taşıyıcı sistem davranış katsayısı ve yeniden dağılım ilkesi kullanılmaktadır. Yapı taşıyıcı sistemleri genel olarak iki ana neden dolayısıyla doğrusal ötesi davranış gösterirler (Özer, 2009). Bu nedenler;

- Yapı malzemesinin doğrusal-elastik davranmaması nedeniyle iç kuvvet-şekil değiştirme bağıntılarının doğrusal olmaması
- Geometri değişimlerinin yeter derecede küçük olmaması nedeniyle denge denklemlerinin ve geometrik süreklilik denklemlerinin doğrusal olmaması.

Çizelge 4.2'de yapı sistemlerinin doğrusal olmama nedenleri görülmektedir. Yüksek yapı taşıyıcı sistemlerinin analizlerinde malzeme, geometri veya hem malzeme hem geometri bakımından doğrusal olmama durumlarının birlikte göz önüne alınması mümkündür.

Yatay yükler etkisiyle taşıyıcı sistemde meydana gelecek yer değiştirmelerin sınırlandırılması probleminin çözülmesi gerek taşıyıcı sistem kararlılığının bozulmaması gerekse taşıyıcı olmayan yapısal elemanlarda hasarın oluşmaması için son derece önemlidir. Yatay yükler etkisiyle meydana gelebilecek en büyük yer değiştirmelerin bilinmesi, tasarım aşamalarında yapısal davranışın anlaşılması açısından önemli bilgiler sağlayabilir.

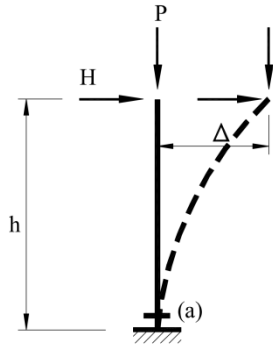
Çizelge 4.2 : Yapı sistemlerinin doğrusal olmama nedenleri

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 Bağlılıkları)	Doğrusal-elastik	Doğrusal-elastik DEĞİL	Doğrusal-elastik	Doğrusal-elastik	Doğrusal-elastik DEĞİL	Doğrusal-elastik DEĞİL
Denge Denklemlerinde Yerdeğiştirmeler	Küçük	Küçük	Küçük DEĞİL	Küçük DEĞİL	Küçük DEĞİL	Küçük DEĞİL
Geometrik Uygunluk Koşullarında Yerdeğiştirmeler	Küçük	Küçük	Küçük	Küçük DEĞİL	Küçük	Küçük DEĞİL
P-Δ Bağlılıkları						

Bu amaç doğrultusunda yer değiştirmeye dayalı analizlerde, denge denklemlerinin şekil değiştirmiş eksen üzerinde yazılması, başka bir deyişle geometri değişimlerinin etkisinin göz önüne alınması gerekmektedir. Yapı mühendisliği literatüründe *ikinci mertebe teorisi* veya *P-Δ etkisi* olarak bilinen bu durum, yüksek yapı tasarımlarında göz ardı edilmemelidir. Bu bağlamda yapı taşıyıcı sistemlerinde geometri değişimleri bakımından doğrusal olmayan davranışın, başka bir deyişle P-Δ etkisinin incelenmesi gerekmektedir.

4.3.1 Geometri değişimleri bakımından doğrusal olmayan sistemler

Bilindiği üzere geometri değişimlerinin denge denklemleri üzerindeki etkilerinin göz önüne alındığı teoriye ikinci mertebe teorisi denilmektedir.

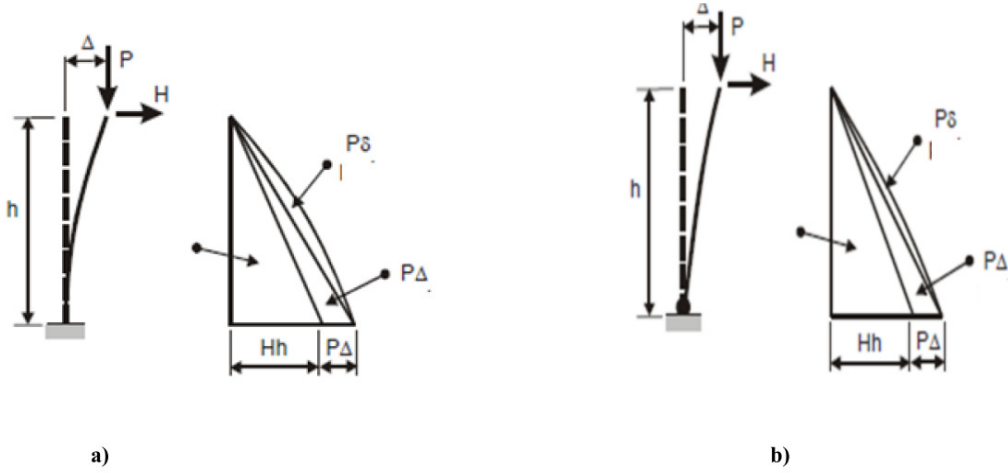


I. mertebe teorisi : $M_a^I = H \times h$

II. mertebe teorisi : $M_a^{II} = H \times h + \underbrace{P \times \Delta}_{\text{II. mertebe terimi (PΔ etkisi)}}$

Şekil 4.6 : Birinci ve ikinci mertebe teorilerinin karşılaştırılması

Şekil 4.6’da birinci ve ikinci mertebe teorilerinin karşılaştırması görülmektedir. İki teori arasındaki temel fark *ikinci mertebe terimi* olarak adlandırılan $P-\Delta$ terimidir ve bu terimin katkısının belirlenmesi ardışık bir çözümlemenin yapılmasını gerektirmektedir. Şekil 4.6’dan anlaşılacağı üzere $P-\Delta$ etkisi normal kuvvet düzeyi büyük olan yapısal taşıyıcı elemanlarda, taşıyıcı elemanın düğüm noktalarının yer değiştirmesiyle oluşmaktadır. Bu etkinin sınırlandırılması yapısal taşıyıcı elemanların stabiliteleri ve dayanımları için son derece önemlidir; $P-\Delta$ etkisinin önemi bir örnekle üzerinde açıklanacak olunursa,



Şekil 4.7 : $P-\Delta$ ve $P-\delta$ etkileri

Şekil 4.7’de konsol bir kolon görülmektedir. Her iki sistemde de kolon kesitinin özelliklerinin ve kesit içeriklerinin (donatı) bilindiğini kabul edelim. Kesit özellikleri ve kesit içerikleri (donatı) bilinen kolonun plastikleşme momenti kolaylıkla hesaplanabilir, bunun sonucunda plastik mafsall oluşumunun $P-\Delta$ etkisiyle bir bağlantısının olmadığı söylenebilir. Plastik mafsall oluşması için gerekli olan moment değerimiz M_p olsun, dolayısıyla, a sistemi ve b sistemi için şu bağıntılar yazılabilir.

$$M_{p1} = H \times h \quad (a \text{ durumu}) \quad (4.9)$$

$$M_{p1} = H \times h + P \times \Delta \quad (b \text{ durumu}) \quad (4.10)$$

Bir sonraki aşama olarak plastik mafsall oluşması için gerekli olan yatay kuvvet değerini her bir durum için ayrı ayrı hesaplanırsa, (4.11) ve (4.12) bağıntıları elde edilir.

$$H = \frac{M_{p1}}{h} \quad (a \text{ durumu}) \quad (4.11)$$

$$H = \frac{(M_{p1} - P \times \Delta)}{h} \quad (b \text{ durumu}) \quad (4.12)$$

(4.11) ve (4.12) bağıntılarının incelenmesi sonucunda açıkça görülmektedir ki, b durumu için P-Δ etkisi nedeniyle daha düşük bir H yükü için plastik mafsall oluşumu gözlemlenmektedir. Dolayısıyla, P-Δ etkisinin özellikle yüksek yapı tasarımlarında göz önüne alınması son derece önemli olduğu sonucuna ulaşabiliriz.

Depreme dayanıklı yapı tasarım yönetmeliklerinde, P-Δ etkilerinin sınırlandırılması ve/veya tahmin edilmesi amacıyla kullanılan çeşitli bağıntılar bulunmaktadır. Örnek olarak ASCE/SEI 7-10 yönetmeliğinde P-Δ etkilerinin önem düzeyini temsil eden *elastik kat stabilite katsayısı* kullanılmakta ve şu şekilde ifade edilmektedir.

$$\theta = \frac{P\Delta}{Vh} \quad (4.13)$$

DBYBHY-2007 yönetmeliğinde P-Δ etkilerinin sınırlandırılması amacıyla Madde 2.10.1.3 ve 2.10.2.1’de verilen bağıntılardan yararlanılmaktadır.

$$\frac{(\delta_i)_{\max}}{h_i} \leq 0.02 \quad (4.14)$$

$$\theta_i = \frac{(\Delta_i)_{\text{ort}} \sum_{j=1}^N w_j}{V_i h_i} \leq 0.12 \quad (4.15)$$

(4.13), (4.14) ve (4.15) bağıntılarının kullanılmasında dikkat edilmesi gereken en önemli nokta, bu bağıntıların doğrusal elastik çözümleme kabulü altında uygun sonuçlar verdiklerinin unutulmaması, dolayısıyla doğrusal olmayan analiz aşamalarında kullanılmamasıdır.

Şekil 4.7’de P-Δ etkilerine ek olarak P-δ etkileri de görülmektedir. Hatırlanacağı üzere P-Δ etkileri taşıyıcı sistem elemanlarının düğüm noktalarının yer değiştirmeleri nedeniyle oluşmakta, P-δ etkileri ise bu taşıyıcı sistem elemanlarının eksenel kuvvet ve eğilme momenti etkileri nedeniyle elastik eğrilerinin şekil değiştirmesiyle (başlangıç elastik eğri doğru biçiminde, şekil değiştirmiş elastik eğri eğrisel biçimde) oluşmaktadır.

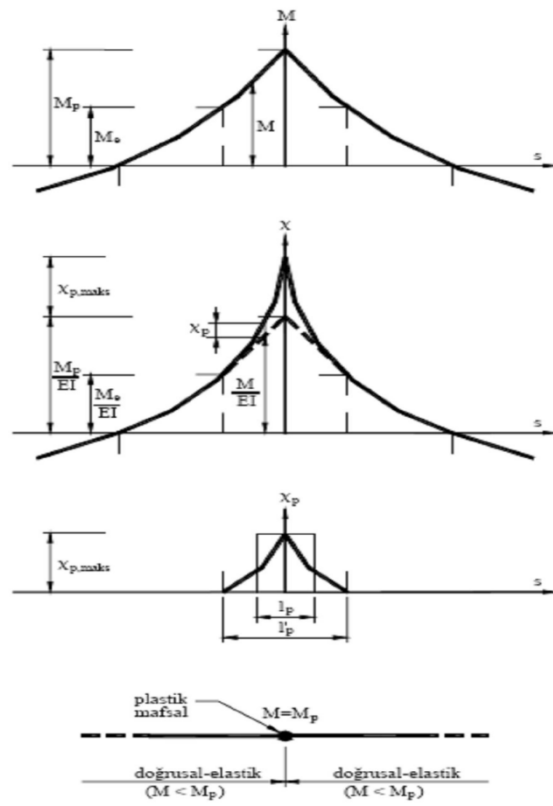
Bu etkinin göz önüne alındığı başka bir deyişle şekil değiştirmelerin geometrik süreklilik denklemlerine olan etkilerinin de göz önüne alındığı teoriye *sonlu deplasman teorisi* adı verilmektedir. Bu etkinin hesaplarda göz önüne alınıp alınmaması tamamen tasarım mühendisinin kararına bağlıdır. Eğer yapısal taşıyıcı elemanlarda dinamik kuvvetler etkisiyle oluşabilecek plastik mafsalların, önceden belirlenen bölgelerde oluşacağından emin olunuyorsa, başka bir deyişle olası plastik şekil değiştirmelerin yapı elemanı boyunca yayılmasının önüne geçileceğinden emin olunuyorsa P- δ etkileri hesaplara dâhil edilmeyebilir. Gerçekte yapı elemanı boyunca yayılı bir plastik şekil değiştirme bölgesinin oluşmasına yönetmelik şartları tarafından izin verilmediği için P- δ etkileri çoğunlukla ihmal edilmektedir. Ek olarak, literatür de P- δ etkilerinin hesaplamalarda göz önüne alınması amacıyla kullanılan hesaplama teknikleri ve öneriler mevcuttur. Örnek olarak P- δ etkileri kolon tipi taşıyıcı sistem elemanlarında, kolon hesap çubuk elemanının 2 veya 3 parçaya bölünerek P- Δ etkileri içinde dolaylı olarak hesaplara dâhil edilebilir.

4.3.2 Malzeme bakımından doğrusal olmayan sistemler

Malzeme bakımından doğrusal olmayan sistemler, yapı malzemesinin doğrusal-elastik davranmaması nedeniyle iç kuvvet-şekil değiştirme bağıntılarında doğrusal olmamasından kaynaklanan etkilerin göz önüne alındığı sistemlerdir. Malzeme bakımından doğrusal olmayan sistem çözümlemelerinde teorik olarak doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin sistem üzerinde sürekli yayıldığı kabul edilebilir ve analizler bu kabul altında gerçekleştirilebilir ancak, pratik uygulamalar açısından bu kabul verimli değildir. Yeter düzeyde sünek davranış gösteren yapı sistemlerinde *plastik mafsalsal hipotezi* kabulü altında, sistem hesapları plastik şekil değiştirmelerin belirli bir bölgede toplanması suretiyle (Şekil 4.8) önemli ölçüde kısaltılabilmektedir.

Malzeme bakımından doğrusal olmayan ve yeterli düzeyde sünek davranış gösterebilecek taşıyıcı sistemlerde, doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin plastik mafsalsal adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, sistemin geriye kalan diğer bölümlerinin ise doğrusal-elastik davrandığı kabul edilmektedir. Bu teori için geliştirilmiş *Yığılı plastik davranış modeli* malzeme bakımından doğrusal olmayan davranışın idealleştirilmesi için geliştirilmiş bir modeldir. Gabor von Kármán, Fritz Stüssi ve Curt Fritz Kollbrunner tarafından 1935 yılında teorik olarak ortaya çıkartılan plastik mafsalsal hipotezi yığılı plastik davranış modelinin özelleştirilmiş bir şeklidir.

Plastik mafsal modelinde, çubuk eleman olarak idealleştirilen yapısal taşıyıcı elemanlar, plastik kapasitelerine eriştikleri *plastik şekil değiştirme bölgeleri* boyunca bazı ilkeler gözetilerek modellenirler ve hesaplamalar bu idealleştirilmiş model üzerinden yürütülür. (Şekil 4.8) Herhangi bir kesitte, plastik mafsalın oluşması için o kesitin plastik mafsal oluşabilecek seviyede yüklenmiş olması gerekir. Artan yükler altında oluşan plastik mafsal bölgesindeki yük sabit kalır ve plastik mafsal şekil değiştirmeye başlar. Plastik mafsal dönmesi *dönme kapasitesi* adı verilen değere ulaştığı durumda plastik mafsal yapısal özelliğini kaybeder ve kırılır (Çakıroğlu,1997).



Şekil 4.8 : Plastik şekil değiştirmelerin belirli bir bölgede toplanması

Plastik mafsal dönme kapasitesi, kesit tarafsız eksen yüksekliği, donatı ve betonun güç tükenmesi durumundaki birim uzama miktarı ve kesitteki iç kuvvet dağılımına bağlıdır. Ek olarak, kesitte yeter derecede sargı donatısının ve basınç donatısının bulunması kesitin dönme kapasitesini arttırmaktadır.

Yapısal taşıyıcı elemanlarda plastik şekil değiştirme bölgesinin uzunluğunun gerçeğe en yakın olarak belirlenmesi, yapısal elemanların dönme kapasitelerini etkileyen önemli değişkenlerden birisidir.

Plastik mafsalsal boyu olarak isimlendirilen bu bölgenin uzunluğu, kesitin moment-eğrilik ilişkisine, eğilme momentinin değişimine, kesit yüksekliğine ve iç kuvvetlere (özellikle normal kuvvet) bağlıdır. Eğilme momenti etkisindeki taşıyıcı elemanlarda plastik mafsalsal boyu için yapılan deneysel araştırmalar sonucunda önerilen bağıntılar şu şekilde özetlenebilir.

$$L_p = 0.8 \times k_1 \times k_3 \times \frac{z}{d} \times a \quad (4.16)$$

Baker tarafından önerilen bu bağıntıda; k_1 donatı katsayısını, k_3 beton katsayısını, z kesitin moment sıfır noktasına olan uzaklığını, d faydalı kesit yüksekliğini, a ise tarafsız eksen derinliğini ifade etmektedir.

$$L_p = 0.5 \times d + 0.2 \times \sqrt{d} \times \frac{z}{d} \quad (4.17)$$

Corley tarafından yapılan kiriş deneyleri sonucunda önerilen bu bağıntıda, z kesitin moment sıfır noktasına olan uzaklığını, d faydalı kesit yüksekliğini temsil etmektedir.

$$L_p = 0.5 \times d + 0.05 \times z \quad (4.18)$$

Mattock tarafından önerilen bu bağıntıda; z kesitin moment sıfır noktasına olan uzaklığını, d faydalı kesit yüksekliğini temsil etmektedir.

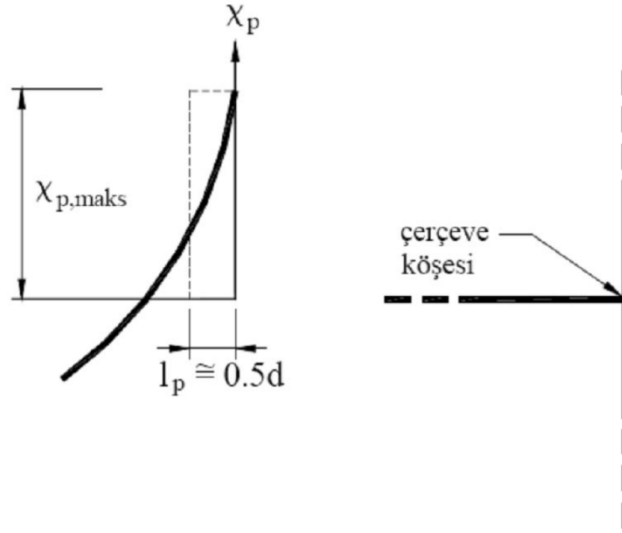
$$L_p = 0.25 \times d + 0.075 \times z \quad (4.19)$$

Sawyer tarafından önerilen bu bağıntıda; z kesitin moment sıfır noktasına olan uzaklığını, d faydalı kesit yüksekliğini temsil etmektedir.

Görüldüğü üzere plastik mafsalsal uzunluğunun tam olarak hesaplanabilmesi amacıyla kullanılan bağıntılar konusunda bir görüş birliği bulunmamaktadır. Genel bir görüş olarak plastik mafsalsal boyu eğilme momenti etkilerinin hâkim olduğu yapısal taşıyıcı elemanlar için, eleman kesit yüksekliğinin yarısı olarak alınmaktadır.

$$L_p = 0.5 \times h \quad (4.20)$$

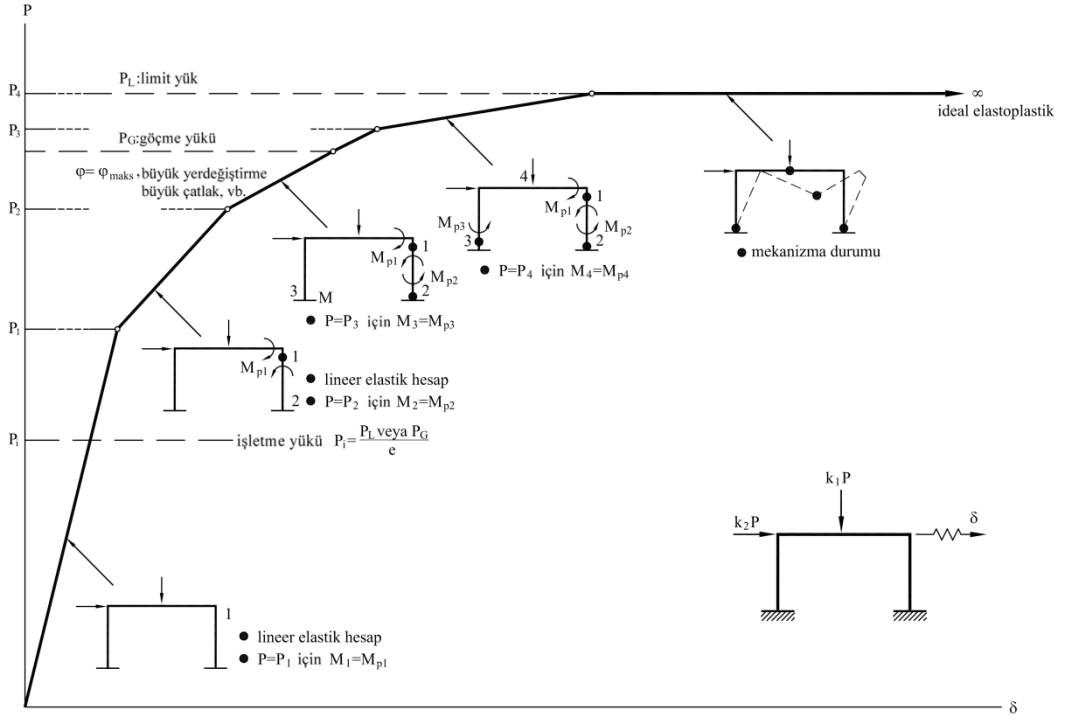
Şekil 4.9’da yapısal taşıyıcı sistemlerin doğrusal olmayan çözüm aşamalarında kullanılan plastik mafsalların şematik olarak yerleşimi görülmektedir. Genel bir görüş olarak plastik mafsalsal bölgesi kesitin yarı uzunluğu olarak kullanılmaktadır.



Şekil 4.9 : Plastik mafsall yerleşimi

Yapısal hesaplama aşamalarında, yağılı plastik şekil değiştirmeyi temsil eden plastik mafsalların teorik olarak plastik şekil değiştirme bölgesinin tam ortasına yerleştirilmesi gereklidir, ancak pratik uygulamalarda aşağıda belirtilen idealleştirmeler yapılabilir.(Tuncer, 2004).

- Kolon ve kirişlerde plastik mafsallar, kolon-kiriş birleşim bölgesinin hemen dışına (Şekil 4.9) yerleştirilebilirler. Bu durumda, düşey yük etkisiyle özellikle kirişlerin açıklık bölgelerinde plastik mafsalların oluşma olasılığının artacağı unutulmamalıdır.
- Betonarme perdelerde; plastik mafsallar her katta perde kesitinin alt ucunda kullanılabilir. U,T,L veya kutu kesitli perdeler, bütün kolları birlikte çalışan tek bir perdeymiş gibi idealleştirilebilir.
- Plastik mafsall akma yüzeylerinin modellenmesi aşamalarında, donatı çeliğindeki pekleşme etkisi göz ardı edilebilir ancak, bu kabul ile birlikte plastik şekil değiştirme sırasında oluşacak iç kuvvetlerin akma yüzeyi veya düzlemi içinde kaldıkları ve plastik şekil değiştirme vektörünün akma yüzeyine yaklaşık dik olduğu koşullarının da kabul edilmiş olacağı unutulmamalıdır.
- Pекleşme etkisinin göz önüne alınması durumunda, oluşan iç kuvvetlerin ve şekil değiştirmelerin sağlanması gereken koşullar, uygun bir pekleşme modeline göre tanımlanmalıdır.



Şekil 4.10 : Plastik mafsall hipotezinin geçerli olduğu yapı sistemin davranışı

4.3.3 Malzeme ve geometri bakımından doğrusal olmayan sistemler

Malzeme ve geometri değişimleri bakımından doğrusal olmayan sistemlerde, yapı malzemesinin doğrusal-elastik davranmadığı, yer değiştirmelerin denge denklemleri üzerindeki etkilerinin küçük olmadığı kabul edilmektedir. Bu tür sistemlerin hesap yöntemleri, sistem üzerinde sürekli olarak yayılan doğrusal olmayan şekil değiştirmeleri esas alan yöntemler ile doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin belirli noktalarda toplandığı varsayımının yapıldığı plastik mafsall hipotezine dayanan yöntemleri kapsamaktadır.

Daha öncede belirtildiği üzere, deprem etkileri nedeniyle yapı taşıyıcı sistemleri doğrusal elastik sınırları ötesinde zorlanabilirler. Geleneksel yapı tasarımı yaklaşımı çerçevesinde, deprem yükleri altında yapılardan beklenen davranışı şu şekilde özetlenebilir.

- Sık olan küçük şiddetli deprem etkisiyle oluşan titreşimler hissedilmemeli
- Seyrek olan orta şiddetli depremlerde yapı taşıyıcı sistemi elastik sınırları ötesinde zorlanmamalı
- Tasarım depremi altında yapıda onarılabılır düzeyde hasarlar oluşmalı, can kaybı olmamalı

Bu maddelerin tümünün gerçekleşebilmesi için hafif ve orta şiddetteki deprem yükleri altında yapının rijit bir davranış göstermesi; şiddetli deprem yükleri altında ise önemli ölçüde plastik şekil değiştirmelerin meydana gelerek, deprem enerjisinin yutulması gereklidir. Yapılan sayısal hesaplamalar sonucunda; aynı deprem etkisi altında, doğrusal elastik davranışa ait yer değiştirmeler ile doğrusal olmayan yer değiştirmelerin yaklaşık olarak birbirine eşit oldukları görülmüştür (Çakıroğlu, 1978). Bu sonuçtan yola çıkılarak geliştirilen teoriler ile birlikte taşıyıcı elemanlarda süneklik kavramı ortaya çıkmıştır. Betonarme bir kesitin enerji yutma kapasitesi o kesitin sünekliği ile doğrudan ilişkilidir. Süneklik, kesitin veya yapı elemanın veya taşıyıcı sistemin dayanımında önemli bir kayıp olmaksızın, enerji yutma yeteneği olarak tanımlanabilir. Seyrek meydana gelen şiddetli deprem etkilerinin; yapının elastik ötesi şekil değiştirmesi ile sönmelendirilmesi, başka bir deyişle yapı dayanımında önemli bir azalma olmadan enerjinin yutulması istenir. Süneklik oranının yeter derecede büyük olması halinde, hafif ve orta şiddetteki depremler altında rijit bir davranış gösteren yapıya büyük şiddetteki deprem etkisiyle oluşan kuvvetler, çok büyük değerler almayacak ve taşıyıcı sistem bu etkileri onarılabilir hasarlar ile karşılayabilecektir. Ancak; çok büyük süneklik oranları nedeniyle meydana gelebilecek büyük şekil değiştirmelerin taşıyıcı sistem dışındaki yapı elemanlarına zarar vermemelerine dikkat edilmelidir.

Doğrusal olmayan hesap yöntemleri kullanılarak yapılan hesaplamalardaki amaç, deprem yükü etkisiyle taşıyıcı eleman kesitlerinde oluşan plastik şekil değiştirmelerin, yapısal eleman şekil değiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılarak performans seviyesi tahminlerinin yapılmasıdır. Bu amaç doğrultusunda doğrusal olmayan analiz yöntemlerini üç ana grupta toplayabiliriz.

- Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi
- Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi
- Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi

4.3.4 Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi

Bu yöntemin amacı, deprem etkisi altındaki bir yapının davranışına hakim mod şekilleri ile orantılı olacak şekilde hesaplanan eşdeğer deprem yükleri kullanılarak doğrusal olmayan yapısal çözümlemenin yapılmasıdır.

Artımsal eşdeğer deprem yükü yönteminde, öncelikle düşey yük analizi yapılmakta, düşey yük analizini takiben gerçekleştirilen statik itme adımlarının her birinde, yer değiştirme, plastik şekil değiştirme ve iç kuvvet artımları ile bu adımlara ait birikimli değerler, son adımda ise deprem istemine karşı gelen en büyük yapısal değerler hesaplanmaktadır. Bu hesaplama yönteminin kullanılabilinmesi için şu koşulların sağlanması gerekmektedir;

- Yapı kat sayısı bodrum katlar hariç en fazla 8 olmalıdır.
- Herhangi bir katta hesaplanan burulma düzensizliği kat sayısı $\eta_{bi} < 1.4$ şartını sağlamalıdır.
- Yapı hâkim periyoduna ait etkin kütle, toplam yapı kütlelerine oranı (rijit bodrum kat perdeleri ile çevrelenen bodrum kat kütleleri hariç) en az 0.7 olmalıdır.

Artımsal itme analizi aşamalarında, eşdeğer deprem yükü dağılımı, plastik mafsalların oluşumundan bağımsız olarak sabit veya sabit olmayan şekilde göz önüne alınabilir. Eşdeğer deprem yükünün sabit kaldığı durumlarda kullanılan yük dağılımı, doğrusal elastik davranış için hesaplanan hâkim titreşim mod şekli ile kütlelerinin çarpımından elde edilen büyüklükler ile orantılı olacak şekilde tanımlanırlar. Eşdeğer deprem yükü dağılımının her bir itme adımında önceki adımlara göre değişken olarak göz önüne alındığı durumda ise; eşdeğer deprem yükü dağılımı her bir itme adımı öncesinde taşıyıcı sistemde oluşmuş plastik mafsallar göz önüne alınarak hesaplanan hâkim titreşim modu ile orantılı olarak tanımlanırlar. Kabul edilen eşdeğer deprem yükü dağılımına göre yapılan itme analizi ile tepe yer değiştirmesi ve taban kesme kuvveti arasındaki ilişkiyi gösteren itme eğrisi elde edilir.

Elde edilen itme eğrisi koordinat dönüşümü ile modal yer değiştirme-modal ivme eğrisine dönüştürülür. Dönüştürme işlemi şu şekilde yapılmaktadır;

(i)'inci itme adımında deprem doğrultusunda hâkim birinci moda ait modal ivme değerleri $a_1^{(i)}$ şu eşitlik yardımıyla hesaplanır.

$$a_1^{(i)} = \frac{V_{x1}^{(i)}}{M_{x1}} \quad (4.21)$$

Verilen eşitlikteki $V_{x1}^{(i)}$ ifadesi, x doğrultusundaki deprem etkisiyle (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait taban kesme kuvvetini, M_{x1} ifadesi, doğrusal elastik davranış için tanımlanan birinci moda ait etkin kütleyle temsil etmektedir.

(i)'inci itme adımında deprem doğrultusunda hâkim birinci moda ait modal yer değiştirme $d_1^{(i)}$ şu eşitlik yardımıyla hesaplanır.

$$d_1^{(i)} = \frac{u_{xN1}^{(i)}}{\Phi_{xN1} \Gamma_{x1}} \quad (4.22)$$

Birinci moda ait modal katkı çarpanı Γ_{x1} , x doğrultusundaki deprem etkisiyle, taşıyıcı sistemin başlangıç adımıdaki doğrusal elastik davranışı için tanımlanan L_{x1} ve M_1 'den yararlanılarak aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$\Gamma_{x1} = \frac{L_{x1}}{M_1} \quad (4.23)$$

İtme analizi sonucunda elde edilen modal kapasite diyagramı ile elastik davranış spektrumu göz önüne alınarak birinci moda ait en büyük modal yer değiştirme istemi hesaplanır.

Modal yer değiştirme istemi, $d_1^{(p)}$, doğrusal olmayan spektral yer değiştirme S_{di1} 'e eşittir.

$$d_1^{(p)} = S_{di1} \quad (4.24)$$

Doğrusal olmayan spektral yer değiştirme S_{di1} , itme analizini ilk adımda doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci hâkim moda ait $T_1^{(1)}$ başlangıç periyoduna karşılık gelen doğrusal elastik spektral yer değiştirme S_{de1} 'e bağlı olarak şu şekilde ifade edilir.

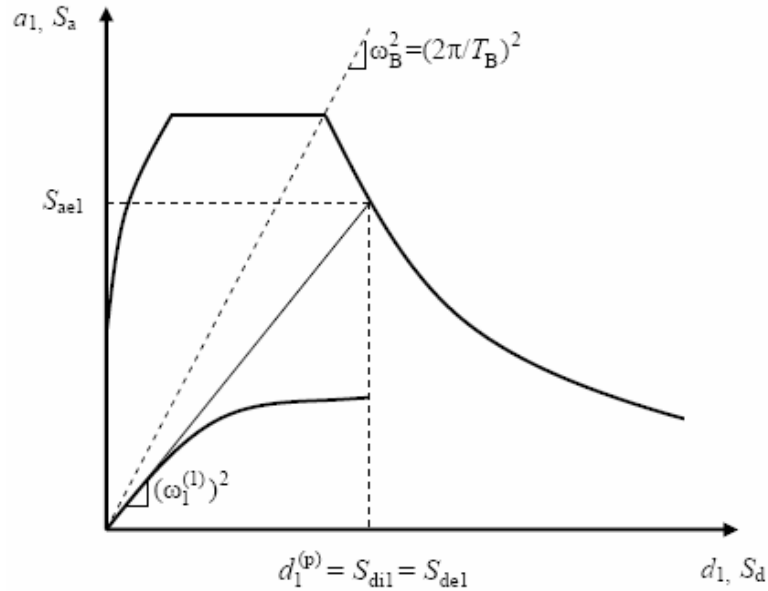
$$S_{di1} = C_{R1} S_{de1} \quad (4.25)$$

$$S_{de1} = \frac{S_{ae1}}{(\omega_1^{(1)})^2} \quad (4.26)$$

$T_1^{(1)}$ başlangıç periyotunun ivme spektrumundaki karakteristik periyot T_B 'ye eşit veya daha büyük olması durumunda, doğrusal elastik olmayan (nonlinear) spektral yer değiştirme S_{d1} , eşit yer değiştirme kuralı uyarınca doğal periyodu yine $T_1^{(1)}$ olan *eşlenik doğrusal elastik sistem*'e ait doğrusal elastik spektral yer değiştirme S_{de1} 'e eşit alınır.

Dolayısıyla spektral yer değiştirme oranı C_{R1} , $T_1^{(1)}$ başlangıç periyodunun ivme spektrumundaki karakteristik periyot T_B 'ye eşit veya daha büyük olması durumunda $C_{R1} = 1$ alınır.

$$C_{R1} = 1 \quad T_1^{(1)} \geq T_B \quad (4.27)$$



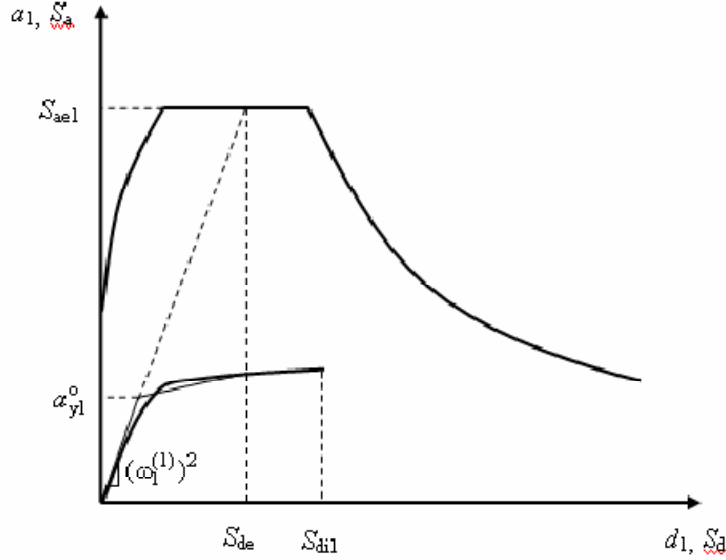
Şekil 4.11 : Spektral yer değiştirme-modal yer değiştirme eğrisi.

Spektral yer değiştirme oranı C_{R1} , $T_1^{(1)}$ başlangıç periyodunun ivme spektrumundaki karakteristik periyot T_B 'den küçük olması durumunda C_{R1} ardışık yaklaşımla aşağıda tariflendiği gibi hesaplanır.

(i)'inci itme adımında deprem doğrultusunda hâkim birinci moda ait modal ivme değerleri $a_1^{(i)}$ hesaplanır.

İtme analizi sonucunda elde edilen modal kapasite diyagramı yaklaşık olarak iki doğrulu (bi-linear) diyagrama dönüştürülür.

Bu diyagramın başlangıç doğrusunun eğimi, itme analizinin ilk adımındaki ($i=1$) doğrunun eğimi olan birinci moda ait özdeğere $(\omega_1^{(1)})^2$, eşit alınır .



Şekil 4.12 : Modal yer değiştirme isteminin hesaplanması.

Ardışık yaklaşımın ilk adımında $C_R=1$ kabulü yapılarak eşdeğer akma noktasının koordinatları eşit alanlar kuralı ile belirlenir.

Böylelikle a_{y1} değeri ve buna bağlı olarak R_{y1} değeri hesaplanır. Bu değerler kullanılarak CR_1 değeri hesaplanır.

$$C_{R1} = \frac{1 + (R_{y1} - 1)T_B / T_1^{(1)}}{R_{y1}} \geq 1 \quad T_1^{(1)} < T_B \quad (4.28)$$

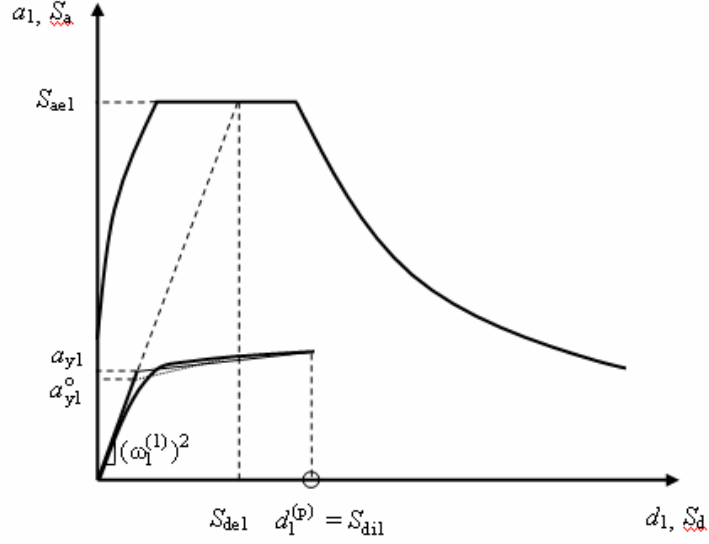
Bu bağıntıda R_{y1} , birinci moda ait dayanım azaltma katsayısını temsil etmekte ve şu şekilde hesaplanmaktadır;

$$R_{y1} = \frac{S_{ae1}}{a_{y1}} \quad (4.29)$$

a_{y1} ise, iki doğrulu hale getirilen modal kapasite diyagramının eşdeğer akma değeridir.

C_{R1} değerinin hesaplanmasından sonra, doğrusal olmayan spektral yer değiştirme değerleri, S_{dil} hesaplanır.

Hesaplanan S_{di1} esas alınarak eşdeğer akma noktasının koordinatları eşit alanlar kuralı ile yeniden belirlenir ve a_{y1} , R_{y1} , C_{R1} değerleri tekrar hesaplanır. Ardışık iki adımda elde edilen sonuçların kabul edilebilir ölçüde birbirine yaklaşması durumunda çözüm elde edilmiş olunur.



Şekil 4.13 : Modal yer değiştirme isteminin ardışık yaklaşım ile hesabı.

Son itme adımı $i=p$ için, belirlenen modal yer değiştirme istemi $d_1^{(p)}$, kullanılarak deprem istemi şu şekilde hesaplanır;

$$u_{xN1}^{(p)} = \phi_{xN1} \Gamma_{x1} d_1^{(p)} \quad (4.30)$$

Artımsal eşdeğer deprem yükü yönteminin hesap adımlarını kısaca şu şekilde özetlenebilir.

- Yapı bilgi düzeyinin belirlenmesi
- Yapı taşıyıcı elemanlarının etkin rijitliklerinin deprem kütleleriyle uyumlu düşey yük analiziyle belirlenmesi.
- Potansiyel plastik mafsallık bölgelerinin belirlenmesi, taşıyıcı sistem kesit özellikleri kullanılarak plastik mafsallık tanımlamalarının yapılması.
- Statik itme analizinde kullanılacak yük dağılımının belirlenmesi için yapı doğal titreşim hesabının yapılması.

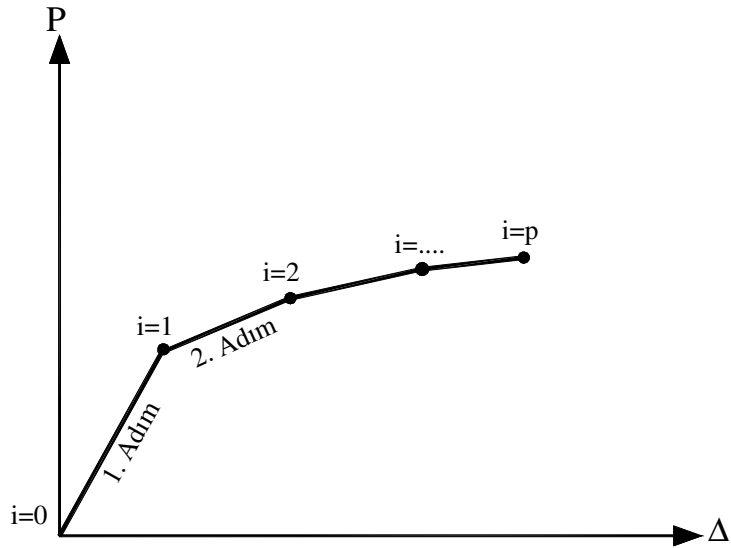
- Artımsal itme analizinin başlangıç koşullarını oluşturan, deprem kütleleriyle uyumlu düşey yüklerin göz önüne alındığı, doğrusal olmayan statik analizin yapılması.
- Yapının hâkim mod şekli ile uyumlu yük dağılımı altında öngörülen herhangi bir yatay yer değiştirme değerine kadar itilir. Söz konusu yatay yer değiştirme değeri başlangıç olarak bina yüksekliğinin %2'si mertebesinde alınabilir.
- Yapılan analiz sonucunda tepe yer değiştirmesi-taban kesme kuvveti arasındaki ilişkiyi temsil eden statik itme eğrisinin elde edilmesi.
- Elde edilen statik itme eğrisi, koordinat dönüşüm formülleri yardımıyla modal yer değiştirme modal ivme eğrisine yani, modal kapasite eğrisine dönüştürülmesi.
- Statik itme analizi sonucunda elde edilen modal kapasite diyagramı ile elastik tasarım spektrumu göz önüne alınarak yapı hakim moduna ait en büyük modal yer değiştirme isteminin hesaplanması.
- İtme analizinin son adımı için tepe noktası yer değiştirme isteminin hesaplanması ve hesaplanan bu istem değerine kadar yapının ittirilmesi.
- İtme analizi sonucunda, yapı taşıyıcı elemanlarının kritik kesitlerindeki plastik mafsallık şekil değiştirmeleri (plastik dönmeler), öngörülen plastik mafsallık boyuna bölünerek yapı elemanları için plastik eğrilik istemlerinin hesaplanması Taşıyıcı sistem elemanlarının toplam eğrilik istemlerinin, eleman akma eğrilikleri ile toplanarak elde edilmesi.
- Her bir kritik kesitte, toplam eğrilik istemlerine karşı gelen beton birim kısalması, donatı çeliği birim uzaması hesaplanması Belirlenen bu değerler, yönetmelikler ile belirlenen sınır değerler ile karşılaştırılarak, taşıyıcı sistem hasar seviyelerinin belirlenmesi.
- Yapı birleşim bölgelerinde ve yapısal taşıyıcı elemanlarda kesme güvenliği kontrollerinin yapılması.

4.3.5 Artımsal mod birleştirme yöntemi

Artımsal mod birleştirme yönteminin amacı, yapı davranışı temsil eden yeteri sayıda doğal titreşim mod şekli ile orantılı olacak şekilde, adım adım artırılan ve birbirleri ile uygun biçimde ölçeklendirilen modal yer değiştirmeler veya bu yer değiştirmeler ile uyumlu deprem yükleri esas alınarak Mod Birleştirme Yöntemi'nin artımsal olarak uygulanmasıdır (Tuncer, 2004).

Artımsal mod birleştirme yöntemi, yer değiştirmeye dayalı bir yöntemdir. Yani, itme hesabında yapı mod şekilleriyle orantılı yük dağılımı yerine, yapı mod şekilleri kullanılmaktadır. Modal yer değiştirme dağılımı, her adımda oluşan plastik mafsallar göz önüne alınarak tekrarlı olarak hesaplanmaktadır.

Artımsal Mod Birleştirme yöntemi ile itme analizinde, ardışık iki plastik kesit oluşumu arasındaki her bir itme adımında doğrusal elastik davranış esas alınır. Artımsal Mod Birleştirme Yönteminin başlangıcını düşey yük analizinin sonuçları oluşturur. Yani öncelikle deprem hesabına esas alınan kütlelerle uyumlu doğrusal elastik düşey yük analizi yapılır. Bu analizin sonuçları artımsal mod birleştirme yönteminin başlangıç koşulları olarak dikkate alınır. Düşey yük analizi itme analizinin 0. (sıfırıncı) adımını oluşturur.



Şekil 4.14 : Statik itme eğrisi örneği.

Şekil 4.14'te $i=0$ artımsal mod birleştirme yönteminin başlangıç adımını göstermektedir. $i=1$ ilk plastik mafsallın olduğu andaki, tepe noktasının yer değiştirmesinin ve yatay yükün koordinatıdır ya da n . mod için modal yer değiştirme ve modal ivmenin koordinatı olarak da düşünülebilir.

Artımsal mod birleştirme yönteminde; itme hesabında sistem üzerindeki orantılı yük dağılımı yerine modal yer değiştirme dağılımı kullanılır. Yani itme hesabında kuvvet yerine yer değiştirme kullanılır. Bunun nedeni modal ivme ile modal yer değiştirme arasındaki ilişkinin doğrusal olmamasıdır. Bu durumda yapılacak itme analizinde herhangi bir n .mod için sisteme öyle bir kuvvet yükleme yapılmalı ki, bu sistemin doğrusal elastik olarak çözülmesi sonucunda elde edilen yer değiştirme değerleri n . mod için hesaplanan modal yer değiştirme değerleri ile aynı olsun. (alternatif olarak bunun yerine herhangi bir n . mod için hesaplanan modal yer değiştirme değerleri sisteme mesnet çökmesi kat diyaframlarının yatay doğrultuda hareketi olarak tariflenebilir). Burada önemli olan, istenilen modal yer değiştirme değerleri için sistemin iç kuvvetlerini hesaplamaktır. Ayrıca her adımda, oluşan plastik mafsalların göz önüne alındığı titreşim hesabı yapılarak modal yer değiştirme dağılımı yeniden hesaplanır.

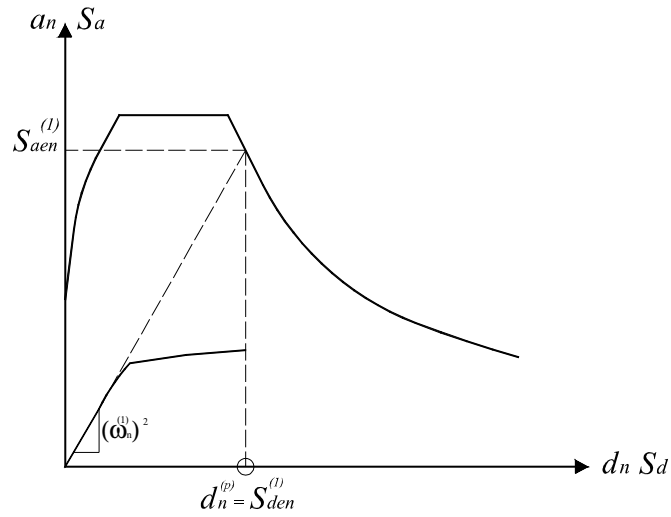
Spektral analizde n . mod için spektral yer değiştirme değeri şu şekilde hesaplanır.

$$S_{den} = \frac{S_{aen}}{\omega_n^2} \quad (4.31)$$

Eşit yer değiştirme ilkesi gereğince doğrusal elastik spektral yer değiştirme, doğrusal olmayan spektral yer değiştirmeye eşit olarak alınır.

$$S_{den} = S_{dn} = d \quad (4.32)$$

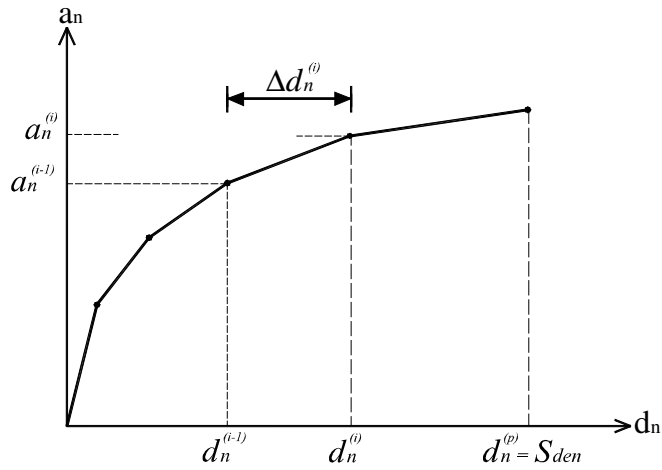
Artımsal Mod Birleştirme yöntemi ile itme analizinde, ardışık iki plastik kesit oluşumu arasındaki her bir itme adımında doğrusal elastik davranış esas alındığı daha önce belirtilmişti, dolayısıyla eşit yer değiştirme ilkesi gereğince elde edilen doğrusal elastik spektral yer değiştirme değeri, doğrusal olmayan spektral yer değiştirme değerine eşit olarak alınarak hesaplamalara devam edilebilir. İtme analizi sonucunda sistemde oluşan plastik kesit sayısı p olsun, bu durumda sistemin çözümü (itme analizi) p adet lineer sistemin ardışık çözümünden oluşacaktır.



Şekil 4.15 : Modal kapasite eğrisi ve tasarım spektrumu.

Her bir itme adımında plastik mafsalların göz önüne alındığı titreşim hesabı yapılır ve yapı periyodun değişmesi nedeniyle spektral yer değiştirme $S_{dn}^{(i)}$ değeri de değişir. Ancak, eşit yer değiştirme kuralına göre son adımdaki ($i=p$) (birikimli) modal yer değiştirme $d_n^{(p)}$; birinci adımdaki elastik spektral yer değiştirmeye eşit alınır.

$$d_n^{(p)} = S_{den}^{(1)} \quad (4.33)$$



Şekil 4.16 : Modal kapasite eğrisi.

Herhangi bir (i)' inci itme adımındaki n . moda ait birikimli modal yer değiştirme $d_n^{(i)}$ kendinden önceki modal yer değiştirmelerin toplamından oluşmaktadır.

$$d_n^{(i)} = d_n^{(i-1)} + \Delta d_n^{(i)} \quad (4.34)$$

Bu eşitlikte, Δd_n ; her bir itme adımda ele alınan doğrusal sistemin n. moduna ait modal yer değiştirmeyi, sistemin geneli içinse modal yer değiştirme artımını göstermektedir.

(i)' inci itme adımıdaki modal yer değiştirme $d_n^{(i)}$, birinci adımdaki n. moda ait elastik spektral yer değiştirme cinsinden şu eşitlik kullanılarak ifade edilir.

$$d_n^{(i)} = S_{den}^{(1)} F^{(i)} \quad (4.35)$$

Burada $F^{(i)}$ (i) inci itme adımıda bütün modlar için sabit olduğu varsayılan birikimli spektrum ölçek katsayısıdır ve şu şekilde hesaplanır,

$$F^{(i)} = F^{(i-1)} + \Delta F^{(i)} \quad (4.36)$$

Böylelikle her bir itme adımıda n. moda ait modal yer değiştirme artımı Δd_n , birinci adımdaki elastik spektral yer değiştirme $S_{den}^{(1)}$, cinsinden şu eşitlik kullanılarak ifade edilir.

$$\Delta d_n^{(i)} = S_{den}^{(1)} \Delta F^{(i)} \quad (4.37)$$

Burada $\Delta F^{(i)}$ (i)' inci adımda bütün modlar için sabit atımsal spektrum ölçek katsayısı olarak tariflenir.

(i) 'inci adımda tüm modlara ait modal ivme artımları izleyen bağıntı ile hesaplanır:

$$\Delta a_n^{(i)} = (\omega_n^{(i)})^2 \Delta d_n^{(i)} \quad (4.38)$$

Artımsal mod birleştirme yönteminin burada açıklanan formülasyonda doğrudan kullanılmamakla birlikte, tanım olarak n'inci modda (s) serbestlik derecesine etkileyen modal deprem yükü artımı $\Delta f_{sn}^{(i)}$, modal ivme artımı $\Delta a_n^{(i)}$, ye bağlı olarak şu şekilde ifade edilir.

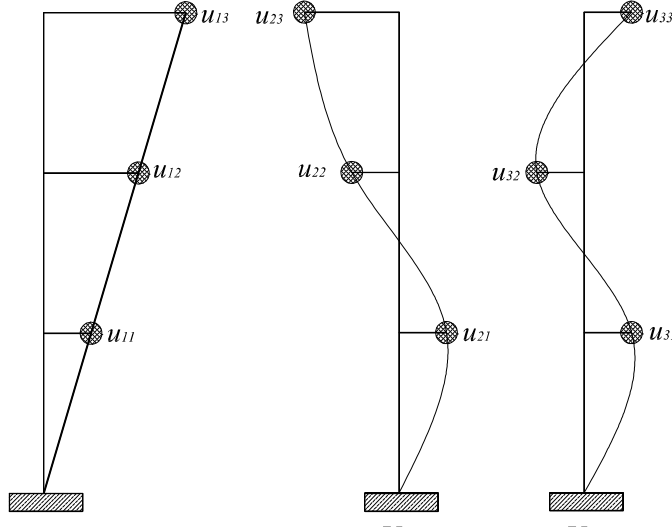
$$\Delta f_{sn}^{(i)} = m_s \Phi_{sn}^{(i)} \Gamma_n^{(i)} \Delta a_n^{(i)} \quad (4.39)$$

(i)' inci itme adımının sonundaki birikimli modal ivme değerleri ise izleyen şekilde elde edilir:

$$a_n^{(i)} = a_n^{(i-1)} + \Delta a_n^{(i)} \quad (4.40)$$

Eşlenik tek serbestlik dereceli sistemin n. mod için hesaplanan modal yer değıştirme değerlerinden, çok serbestlik dereceli sistemin yer değıştirme vektörü izleyen şu eşitlik kullanılarak elde edilir:

$$U_n = \phi_n \Gamma_n d_n \quad (4.41)$$



Şekil 4.17 : Mod şekilleri.

Bu durumda ardışık iki plastik mafsall oluşumu arasındaki her hangi bir itme adımında n. moda ait modal yer değıştirme vektörü (yer değıştirme artımı) izleyen şekilde tariflenir.

$$\Delta u_n = \phi_n \Gamma_n \Delta d_n \quad (4.42)$$

(4.37) bağıntısı yardımıyla, (4.42) bağıntısı şu şekilde ifade edilebilir;

$$\Delta u_n = \phi_n \Gamma_n S_{den}^{(1)} \Delta F \quad (4.43)$$

$$\bar{u}_n = \phi_n \Gamma_n S_{den}^{(1)} \quad (4.44)$$

$$\Delta u_n = \bar{u}_n \Delta F \quad (4.45)$$

Bu denklemde tek bilinmeyen ΔF terimidir. Her bir itme adımının başlangıcında $\Delta F = 1$ kabul edilerek her bir mod için modal yer değıştirme vektörü elde edilir. Daha sonra sistem her bir mod için elde edilen modal yer değıştirmeler altında lineer olarak çözülür. Elde edilen iç kuvvetler veya ilgili büyüklükler mod birleştirme yöntemi ile birleştirilir. Her bir itme adımının sonunu, oluşan yeni plastik mafsallar belirler. Dolayısıyla her bir itme adımı sonunda elde edilen iç kuvvetler kesit

kapasiteleri ile karşılaştırılarak plastik mafsallar ve neticesinde ΔF değerleri bulunmuş olunur.

Daha açıklayıcı olması açısından bir kiriş kesiti ve itme analizinin birinci adımı ($i=1$) ele alınsın ve kiriş kesitinin moment taşıma kapasitesi M_C olsun. Bu durumda ($i=0$)'ıncı adım sonunda yani düşey yük analizinin sonunda kiriş kesitinde hesaplanan moment M_D olsun, bu adımdaki $\Delta F^{(i)} = 1$ kabul edilerek yapılan mod birleştirme analizi sonunda elde edilen kesitteki moment de $\bar{M}$ olarak gösterilse izleyen denklem elde edilir,

$$M_C = M_D + \bar{M} \Delta F^{(1)} \quad (4.46)$$

Bu denklem tüm kiriş kritik kesitleri için uygulanır ve denklemden $\Delta F^{(1)}$ değeri hesaplanır. En küçük $\Delta F^{(1)}$ değeri plastik mafsallın yerini belirlemiş olur. Dolayısıyla her bir itme adımı başlangıcında bilinmeyen ve bir kabul edilerek analize başlanan ΔF değeri hesaplanmış olur. Artık ΔF değeri bilindiğine göre elde edilen tüm büyüklükler ΔF ile çarpılarak yeniden hesaplanır ve bir sonraki adıma geçilir.

Ardışık iki plastik mafsall oluşumu arasındaki herhangi bir (i)'inci itme adımı sonunda, taşıyıcı sistemin herhangi bir (j) noktasında veya kesitinde oluşan herhangi bir yer değiştirmeyi, plastik şekil değiştirmeyi veya iç kuvveti temsil eden tipik büyüklük $r_j^{(i)}$, bilinmeyen olarak sadece (i)'inci adıma ait artımsal ölçek katsayısı $\Delta F^{(i)}$ cinsinden şu şekilde ifade edilir:

$$r_j^{(i)} = r_j^{(i-1)} + \tilde{r}_j^{(i)} \Delta F^{(i)} \quad (4.47)$$

Burada $\tilde{r}_j^{(i)}$, $\Delta F^{(i)} = 1$, alınarak (i)'inci itme adımında yapılan doğrusal mod birleştirme analizi sonucunda, (j) noktasında veya kesitinde hesaplanan bir yer değiştirme, plastik şekil değiştirme veya iç kuvveti temsil etmektedir. Mod birleştirme sonucunda ilgili büyüklüğün işareti kaybolduğundan; mutlak değerce en büyük değeri veren modun işareti esas alınmalıdır.

$r_j^{(i)}$, (i)'inci itme adımı sonunda $\Delta F^{(i)}$ 'in belirlenmesinden sonra elde edilecek olan ilgili büyüklükleri (iç kuvvet, yer değiştirme gibi) temsil eder. $r_j^{(i-1)}$ ise bir önceki ($i-1$)'inci itme adımı sonunda elde edilmiş olan ilgili büyüklüğü göstermektedir

4.3.5.1 Kiriş artımsal ölçek katsayının belirlenmesi

Kirişlerde eğilme moment etkili olduğundan $\Delta F^{(i)}$ 'in belirlenmesi basittir ve kirişin herhangi bir j kesitinde şu şekilde belirlenebilir.

$$M_j^{(i)} = M_j^{(i-1)} + \tilde{M}_j^{(i)} \Delta F^{(i)} \quad (4.48)$$

$$(\Delta F^{(i)})_j = \frac{M_{Rj} - M_j^{(i-1)}}{\tilde{M}_j^{(i)}} \quad (4.49)$$

4.3.5.2 Kolon artımsal ölçek katsayının belirlenmesi

Kolonlar, aksenal kuvvetin ve eğilme etkilerinin hâkim olduğu taşıyıcı sistem elemanları oldukları için $\Delta F^{(i)}$ değerinin belirlenmesi kirişlere oranla daha zordur. Her hangi bir itme adımı sonunda kolon j kesitindeki normal kuvvet ve moment ifadesi şu şekilde belirlenir.

$$N_j^{(i)} = N_j^{(i-1)} + \tilde{N}_j^{(i)} \Delta F^{(i)} \quad (4.50)$$

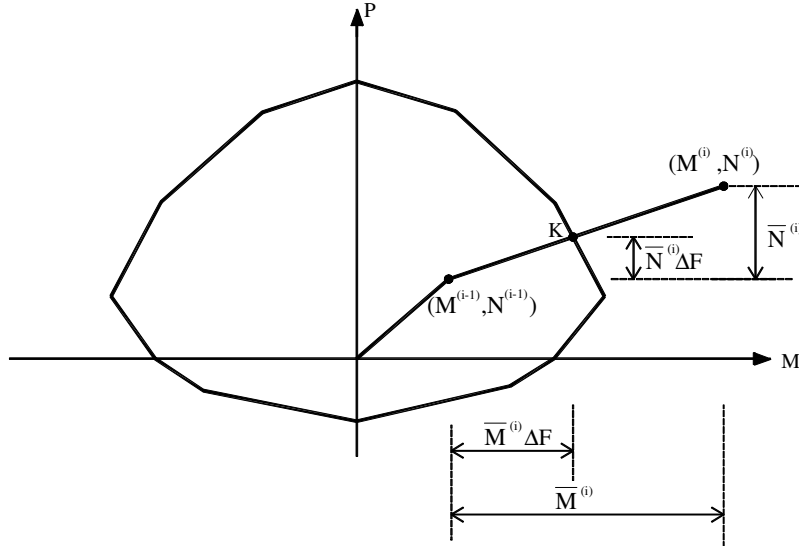
$$M_j^{(i)} = M_j^{(i-1)} + \tilde{M}_j^{(i)} \Delta F^{(i)} \quad (4.51)$$

Herhangi bir (i)' inci itme adımında $\Delta F^{(i)} = 1$ alınarak hesaplanan normal kuvvet ve moment değeri ($\bar{M}$, $\bar{N}$), kolon için verilen akma diyagramının dışında kalıyorsa kesit plastikleşmiştir. Şekil 4.18'den görüldüğü üzere K kesişim noktasının bulunması ile $\Delta F^{(i)}$ değeri bulunmuş olacaktır. Hesaplama kolaylığı sağlamak amacıyla öncelikle akma diyagramı Şekil 4.19'de gösterildiği gibi kritik değerler arasında doğrusallaştırılmalıdır.

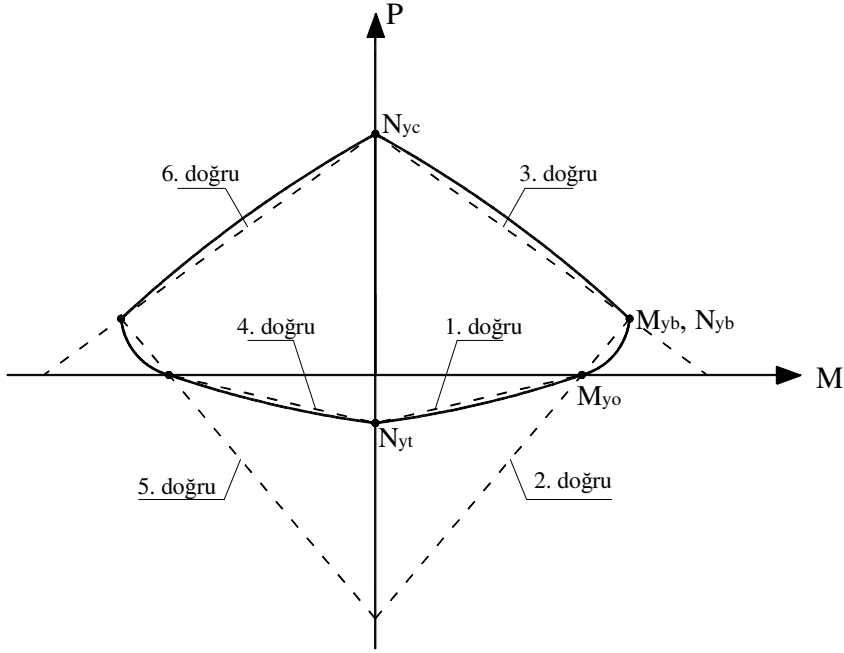
Şekil 4.18 ve Şekil 4.19'da görüldüğü üzere akma diyagramı 6 noktadaki kritik değerler kullanılarak, 6 doğrudan oluşan diyagram haline dönüştürülebilir.

Şekil 4.19'da karşılıklı etki diyagramının doğrusallaştırılması amacıyla kullanılan 6 doğru denklemi görülmektedir.

Her bir itme adımının tamamlanmasından sonra, o adım sonunda oluşan plastik mafsallar göz önüne alınarak sistem rijitlik matrisinde gerekli değişiklikler Şekil 4.18 ve Şekil 4.19'da elde edilen diagramlar yardımıyla hesaplanır ve her yeni itme adımında kullanılacak olan kesit büyüklükleri, idealleştirilen bu diyagramlar ile karşılaştırmalı olarak hesaplara dahil edilir.



Şekil 4.18 : Karşılıklı etki diyagramı



Şekil 4.19 : Karşılıklı etki diyagramının doğrusallaştırılması

Şekil 4.19’da karşılıklı etki diyagramının doğrusallaştırılması amacıyla kullanılan 6 doğru denklemi görülmektedir.Şekildeki her bir doğru şu şekilde ifade edilebilir.

$$\alpha \frac{M}{M_{yo}} + \beta \frac{N}{N_{yc}} = 1 \quad (4.52)$$

Buradaki α ve β katsayıları her bir doğru için şu şekilde hesaplanır:

$$\xi = \frac{M_{yb}}{M_{yo}} \quad \eta = \frac{N_{yb}}{N_{yc}} \quad \kappa = \frac{N_{yt}}{N_{yc}} \quad (4.53)$$

1. doğru: $\alpha = 1 \quad \beta = \frac{1}{\kappa}$

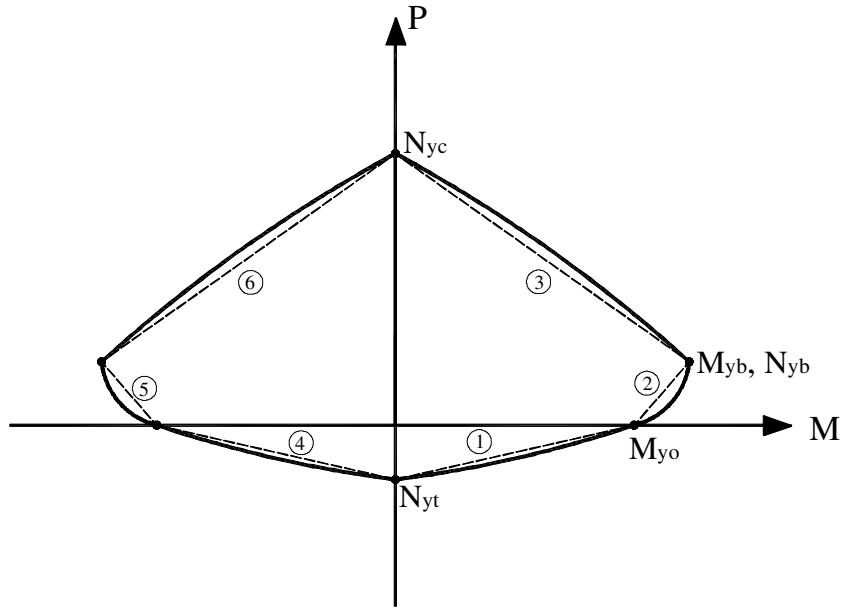
4. doğru: $\alpha = -1 \quad \beta = -\frac{1}{\kappa}$

2. doğru: $\alpha = 1 \quad \beta = \frac{1-\xi}{\eta}$

5. doğru: $\alpha = -1 \quad \beta = \frac{1-\xi}{\eta}$

3. doğru: $\alpha = \frac{1-\eta}{\xi} \quad \beta = 1$

6. doğru: $\alpha = \frac{\eta-1}{\xi} \quad \beta = 1$



Şekil 4.20 : Doğrusallaştırılmış karşılıklı etki diyagramı.

(i)'nin herhangi bir adım sonundaki moment ve normal kuvvet değerleri şu bağıntı yardımıyla elde edilir;

$$\frac{\alpha}{M_{yo}}(M^{i-1} + \bar{M}^{(i)} \Delta F^{(i)}) + \frac{\beta}{N_{yc}}(N^{i-1} + \bar{N}^{(i)} \Delta F^{(i)}) = 1 \quad (4.54)$$

Bu bağıntıdaki $\Delta F^{(i)}$ değeri,

$$\Delta F^{(i)} = \frac{\left(1 - \alpha \frac{M^{(i-1)}}{M_{yo}} - \beta \frac{N^{(i-1)}}{N_{yc}}\right)}{\left(\alpha \frac{\bar{M}^{(i)}}{M_{yo}} + \beta \frac{\bar{N}^{(i)}}{N_{yc}}\right)} \quad (4.55)$$

olarak ifade edilir.

Kolon ve kirişler için hesaplanan ΔF değerinin en küçük olanı, ilgili itme adımındaki plastik kesitin yerini belirler.

Her bir itme adımının tamamlanmasından sonra, o adım sonunda oluşan plastik mafsallar göz önüne alınarak sistem rijitlik matrisinde gerekli değişiklikler yapılır ve yeni itme adımı için işleme başlanır.

4.3.5.3 Deprem istem büyüklüklerinin elde edilmesi

Artımsal mod birleştirme yönteminde modal yer değiştirmeler maksimum değerlerine bütün mod etkileriyle birlikte ulaşırlar. Her itme adımı sonunda birikimli spektrum ölçek katsayısının $F^{(i)}$, en büyük değer olan birim değeri aşıp aşmadığı ($F \leq 1$) kontrol edilmelidir. Spektrum ölçek katsayısının aşılması durumunda;

- Varılan itme adımı son itme adımı olarak tanımlanarak (p) üst indisi ile temsil edilir. $i=p$ alınarak ve $F^{(p)} = 1$ olduğu göz önünde tutularak, son itme adımına ait artımsal spektrum ölçek katsayısı $\Delta F^{(p)}$ şu şekilde hesaplanır;

$$\Delta F^{(p)} = 1 - F^{(p-1)} \quad (4.56)$$

- Sonraki adım olarak n. moddaki modal yer değiştirmelerin, son itme adımında şu şekilde yeniden tanımlanması gereklidir.

$$\Delta d_n^{(p)} = C_{Rn} S_{den}^{(1)} \Delta F^{(p)} \quad (4.57)$$

- (4.57) bağıntısındaki C_{Rn} değeri sistemin başlangıç periyoduna bağlı olarak şu şekilde hesaplanmalıdır;

$$T_n^{(1)} > T_B \quad \left[\text{veya} \quad (\omega_n^{(1)})^2 < \omega_B^2 \right] \quad \text{ise} \quad C_{Rn} = 1 \quad (4.58)$$

$$T_n^{(1)} < T_B \quad \left[\text{veya} \quad (\omega_n^{(1)})^2 > \omega_B^2 \right] \quad \text{ise} \quad (4.59)$$

$$\lambda_n^{(p)} = \frac{(\omega_n^{(p)})^2}{(\omega_n^{(1)})^2} \quad (4.60)$$

$$C_{Rn} = \frac{1 + (R_{yn} - 1)T_B / T_n^{(1)}}{R_{yn}} \geq 1 \quad (\lambda_n^{(p)} \leq 0.1) \quad (4.61)$$

$$C_{Rn} = \frac{1 + (R_{yn} - 1)T_B / T_n^{(1)}}{10 \lambda_n^{(p)} R_{yn}} \geq 1 \quad (\lambda_n^{(p)} > 0.1) \quad (4.62)$$

Burada R_{yn} 'n. mod için çizilen iki doğrulu modal kapasite diyagramından elde edilen dayanım azaltma katsayısını göstermektedir.

$$R_{yn} = \frac{S_{aen}^{(1)}}{a_{yn}} \quad (4.63)$$

Artımsal mod birleştirme yönteminin hesap adımlarını kısaca özetleyecek olursak;

- Bina bilgi düzeyi belirlenir.
- Yapı taşıyıcı elemanlarının etkin rijitliklerinin deprem kütleleriyle uyumlu düşey yük analiziyle belirlenmesi.
- Potansiyel plastik mafsallık bölgelerinin belirlenmesi, taşıyıcı sistem kesit özellikleri kullanılarak plastik mafsallık tanımlamalarının yapılması.
- Statik itme analizinde kullanılacak yük dağılımının belirlenmesi için yapı doğal titreşim hesabının yapılması.
- İtme analizinin başlangıç koşullarını oluşturan, deprem kütleleriyle uyumlu düşey yüklerin göz önüne alındığı, doğrusal olmayan statik analiz yapılması.
- Ele alınan her bir mod için modal yer değiştirmelerin hesaplanması.
- Hesaplanan modal yer değiştirmeler altında yapı sisteminin çözümlenmesi, iç kuvvetlerin, yer değiştirmelerin ve şekil değiştirmelerin elde edilmesi..
- Bir önceki adımda elde edilen büyüklüklerin mod birleştirme yöntemi kullanılarak birleştirilmesi.
- Her bir kritik kesit için mod birleştirme sonucunda elde edilen iç kuvvetlerin, yapısal taşıyıcı elemanın kapasitelerine bölünerek, aralarındaki oranın bulunması ve bu oran kullanılarak plastik mafsalların belirlenmesi.
- Bir önceki adımda belirlenen plastik mafsallık noktalarına, taşıyıcı eleman kesit özellikleri göz önüne alınarak plastik mafsalların tanımlanması ve yeni bir analiz modelinin oluşturulması.
- Oluşturulan yeni sistemin bir önceki adımda çözüldüğü gibi çözümlenmesi ve yeni sistemin tekrardan oluşturulması.
- Birikimli spektrum ölçek katsayısı $F=1$ oluncaya kadar yapı çözümlenmesine devam edilmesi.

- Son itme adımından sonra tüm kritik kesitlerdeki plastik mafsallarda dönmelerinin plastik mafsallarda boyuna bölünerek plastik eğrilik istemlerinin hesaplanması. Hesaplanan plastik eğriliklerin akma eğrilikleri ile toplanarak toplam eğrilik istemleri hesaplanması.
- Her bir plastik kesitte, uygun beton ve donatı çeliği modeli kullanılarak kesit analizi yapılır ve toplam eğriliklere karşı gelen beton birim kısalması, donatı çeliği birim boy uzaması hesaplanır. Bu işlemler deprem doğrultusunun diğer yönü içinde yapılarak hesaplanan birim boy değişimleri yönetmeliklerdeki sınır değerlerle karşılaştırılarak elaman hasar seviyeleri belirlenir.
- Her bir kritik kesitte, toplam eğrilik istemlerine karşı gelen beton birim kısalması, donatı çeliği birim uzaması hesaplanması Belirlenen bu değerler, yönetmelikler ile belirlenen sınır değerler ile karşılaştırılarak, taşıyıcı sistem hasar seviyelerinin belirlenmesi.
 - Yapı birleşim bölgelerinde ve yapısal taşıyıcı elemanlarda kesme güvenliği kontrollerinin yapılması.
 - Elde edilen veriler doğrultusunda yapı taşıyıcı sisteminin deprem performansının bir bütün olarak değerlendirilmesi.

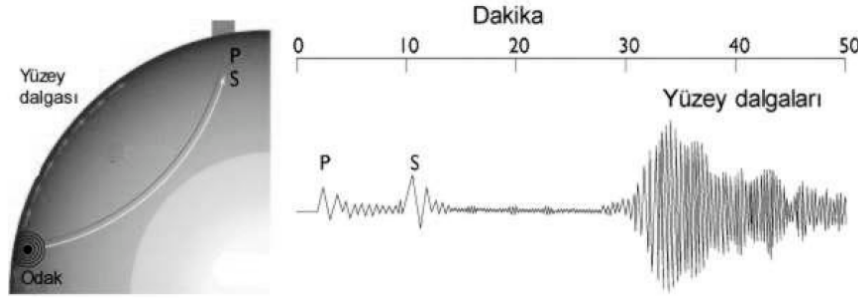
4.3.6 Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi

Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi'nin amacı, yapı taşıyıcı sisteminin doğrusal olmayan davranışının göz önüne alınarak yapı sistemin hareket denkleminin zaman tanım alanında adım adım çözümlenmesi ve yer değiştirme, plastik şekil değiştirme ve iç kuvvetler ile bu büyüklüklerin deprem istemine karşı gelen en büyük değerlerin belirlenmesidir. Bu amaç doğrultusunda yaygın olarak deprem kayıtlarından yararlanılmaktadır. Yeryüzü ideal bir yapıya sahip olmadığı için, deprem kayıtları kaydın başladığı ana kadar olan süre içinde pek çok olaydan etkilenirler. Bu nedenden dolayı, bir deprem kaydının istasyon özellikleri ile kaynaktaki özellikleri birbirinden farklılıklar göstermektedir.

Günümüz deprem yönetmeliklerinde yapı performansına bağlı tasarım yaklaşımının benimsenmesi, deprem kayıtlarını ve özelliklerini önemli bir konu haline getirmiştir. Bilindiği üzere deprem sırasında açığa çıkan enerji, deprem kaynağından yerkabuğu içerisindeki bir noktaya doğru sismik dalgalar halinde yayılmaktadır.

Bahsi geçen sismik dalgalar, Şekil 4.21 ve Şekil 4.22’de görüldüğü üzere P ve S dalgaları olarak ikiye ayrılırlar. P dalgaları, en hızlı yayılan deprem dalgalarıdır ve bu özelliklerinden dolayı deprem kayıtlarında ilk gözlemlenen dalgalardır. P dalgalarının yayılma doğrultuları, deprem hareketinin doğrultusuyla aynıdır. S dalgaları ise P dalgalarına kıyasla daha yavaş yayılan dalgalardır. S dalgalarının yayılma doğrultuları, deprem hareketinin doğrultusuna diktir. Ek olarak yüzey dalgaları olarak adlandırılan, P ve S dalgalarına oranla daha yavaş hız özelliklerine ve daha büyük genliklere sahip Love ve Rayleigh dalgaları bulunmaktadır. Hızı büyük olan Love, genliği büyük olan Rayleigh dalgası olarak tarif edilmektedir. Yapısal hasarlara yol açan dalgalar S dalgaları, Love ve Rayleigh dalgalarıdır.

Deprem hareketi nedeniyle oluşan yer hareketlerinin kaydedilmesi sismograflar yardımıyla yapılmaktadır. Kaydedilen kayıtlarda sismografin belirli bir ivme değerinden sonra çalışması sebebiyle oluşan hataların düzeltilmesi gereklidir.



Şekil 4.21 : Deprem dalgaları



Şekil 4.22 : Tipik deprem ivme kaydı ve deprem dalgaları

Yer hareketinin kayıt yapılan ortamda sadece bir titreşim meydana getirdiği kabul edilirse, başlangıç değer hatasının düzeltilmesinden sonra ivme kaydı ve bu kaydın integrasyonu ile elde edilen hız ve yer değiştirme değerlerinin sıfır ile bitmesi gereklidir. Bunun sağlanmadığı durumlarda ivme kayıtlarında sıfırdan sapma (baseline correction) düzeltilmesi yapılmalıdır (Celep ve Kumbasar, 2006).

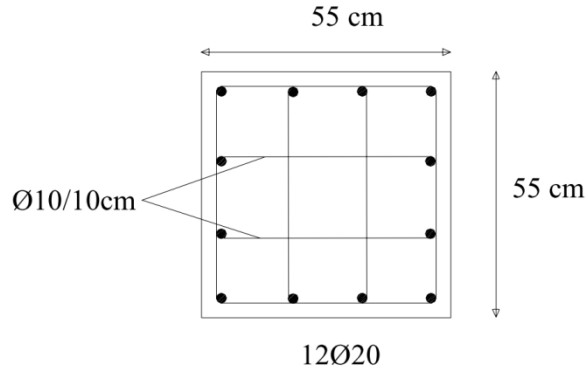
Ortam gürültüsünün deprem kaydına olan etkisinin belirlenmesi Deprem kayıtlarında karşılaşılan en önemli sorundur. Herhangi bir depremin ürettiği sismik dalgalar dışındaki tüm veriler gürültü olarak adlandırılırlar ve bu istenmeyen veriler P ve S dalgalarının varış zamanlarının tespitlerini zorlaştırmalarından ötürü deprem kayıtlarından ayrıştırılmalıdırlar. Rüzgâr, yağmur, deniz dalgaları, trafik ve endüstriyel çalışmalar gürültülerin kaynakları olarak gösterilebilir. Bu gürültülerin etkinlikleri zamana ve bölgeye bağlı olarak değişkenlik gösterirler. Deniz dalgaları genellikle 0.1 Hz gibi uzun periyotlu titreşimlere neden olurken, insan kaynaklı gürültüler 1 Hz'in üzerinde titreşimlere neden olmaktadır. Sismik sinyal işlemlerinden faydalanarak zemin hâkim periyodunun ve büyütmelemlerin belirlenmesi, güncel mühendislik uygulamaları olan temel ve zemin etütlerinde kullanılmaktadır. Zemin hâkim titreşim periyodunun ve zemin büyütmelemlerinin belirlenmesi yapısal tasarım aşamalarında, yapı mühendislerinin kullandıkları en önemli tasarım değişkenlerindendir.

Depreme dayanıklı yapı tasarım ilkeleri çerçevesinde çoğunlukla tasarım ivme spektrumu yöntemi kullanılmaktaysa da, performansa dayalı tasarım yaklaşımının yaygınlaşması ile birlikte, yer hareketlerinin gerçeğe en yakın şekilde benzeştirilmesi ve deprem kayıtlarının yapısal çözümleme aşamalarında kullanılması önem kazanmıştır. Zaman tanım alanında gerçekleştirilen doğrusal olmayan dinamik çözümlemelerde kullanılan bilgisayar yazılımları ve yapısal modelleme tekniklerindeki son gelişmeler, bu tip analizlerde veri olarak kullanılan deprem hareketleri konusunu ön plana çıkartmıştır. Tasarım depremi olarak, benzer özellikler taşıyan mevcut deprem kayıtlarının kullanılması uygun gözükseler dahi, tektonik yapı, deprem büyüklüğü, yerel jeoloji ve yakın fay bölgesi koşullarını sağlayan uygun bir veri dizisinin bulunması çok olası değildir. (Erdik ve diğ, 2006)

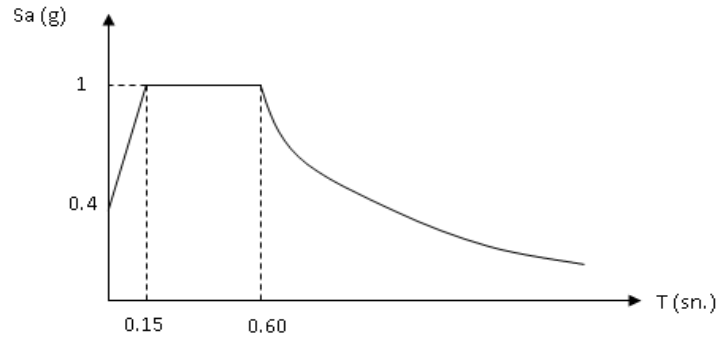
Zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan analizde, taşıyıcı sistem elemanlarının tekrarlı yükler altındaki dinamik davranışını temsil eden iç kuvvet şekil değiştirme bağıntıları, teorik ve deneysel geçerlilikleri kanıtlanmış olmak kaydıyla ilgili literatürden yararlanılarak tanımlanır. Genel olarak, doğrusal veya doğrusal olmayan hesapta, üç yer hareketi kullanılması durumunda sonuçların maksimumu, en az yedi yer hareketi kullanılması durumunda ise sonuçların ortalaması tasarım ve değerlendirme için esas alınmaktadır. Zaman tanım alanında analiz aşamalarını kısaca şu şekilde özetlenebilir.

- Gerekli çalışmalar yapılarak bina bilgi düzeyi belirlenir.
- Analizde elemanların etkin rijitliği kullanılacağından, kolon ve perdedeki normal kuvvet değerlerinin belirlenmesi amacıyla, çatlamamış kesitlerin kullanıldığı model üzerinde deprem hesabında kullanılacak kütlelerle uyumlu düşey yükler altında analiz yapılarak düşey taşıyıcı elemanların normal kuvvet değerleri hesaplanır. Hesaplanan normal kuvvet seviyesine göre düşey taşıyıcıların etkin eğilme rijitliği belirlenir.
- Etkin eğilme rijitlerinin kullanıldığı model oluşturulur. Plastik kesit oluşması muhtemel elemanların kritik kesitlerine plastik mafsallar tanımlanır.
- Öncelikle kütlelerle uyumlu düşey yüklerin göz önüne alındığı doğrusal olmayan statik analiz yapılır. Bu analizin sonuçları zaman tanım alanındaki analizinin başlangıç koşulları olarak dikkate alınır.
- Seçilen yer hareketleri için sistem çözümü yapılır ve uygun olan yer hareketi için şekil değiştirme istemleri hesaplanır.
- Her bir plastik kesitte, uygun beton ve donatı çeliği modeli kullanılarak kesit analizi yapılır ve toplam eğriliklere karşı gelen beton birim kısalması, donatı çeliği birim boy uzaması hesaplanır. Hesaplanan birim boy değişimleri yönetmeliklerdeki sınır değerlerle karşılaştırılarak eleman hasar seviyeleri belirlenir.
- Yapı birleşim bölgelerinde ve yapısal taşıyıcı elemanlarda kesme güvenliği kontrollerinin yapılması.
- Analiz sonucunda yapı taşıyıcı elemanlarının kritik kesitlerindeki plastik mafsal şekil değiştirmeleri (plastik dönmeler), öngörülen plastik mafsal boyuna bölünerek yapı elemanları için plastik eğrilik istemlerinin hesaplanması. Taşıyıcı sistem elemanlarının toplam eğrilik istemlerinin, eleman akma eğrilikleri ile toplanarak elde edilmesi.
- Her bir kritik kesitte, toplam eğrilik istemlerine karşı gelen beton birim kısalması, donatı çeliği birim uzaması hesaplanması Belirlenen bu değerler, yönetmelikler ile belirlenen sınır değerler ile karşılaştırılarak, taşıyıcı sistem hasar seviyelerinin belirlenmesi.

4.3.7 Performansa dayalı tasarım kavramının sayısal incelenmesi



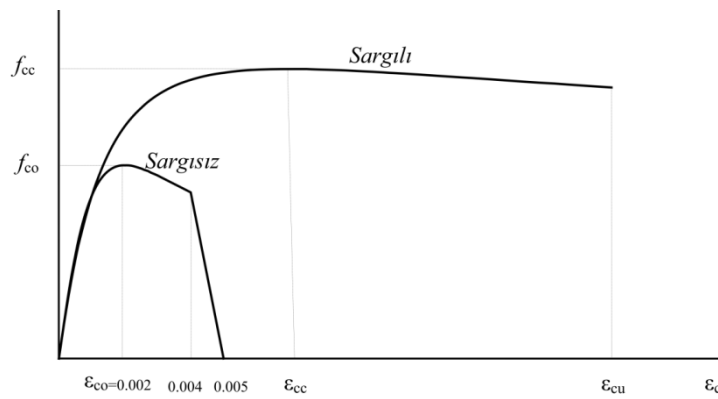
Şekil 4.23 : Kolon kesit özellikleri



Şekil 4.24 : Spektral ivme değerleri

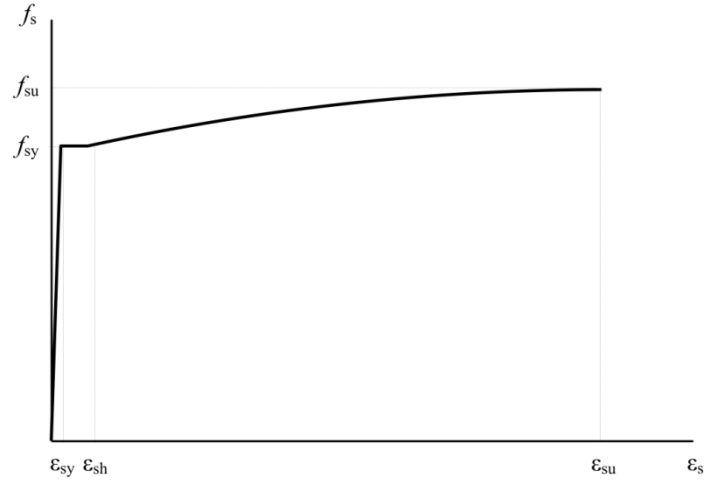
Gerçekleştirilen sayısal örnekte, malzemesi olarak C30 sınıfı beton kullanılmıştır.

Malzeme modeli olarak Mander beton modeli kabul edilmiştir (Şekil 4.25)



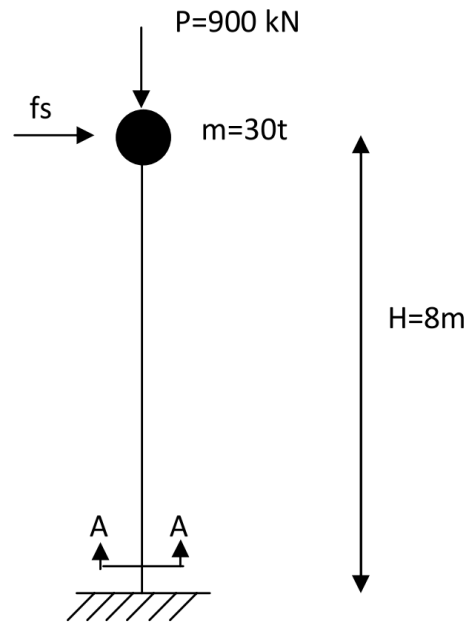
Şekil 4.25 : Mander beton modeli

Hesaplamalarda betonarme çeliği olarak S420 sınıfı çelik kullanılmıştır. Donatı çeliğinin malzeme özelliklerinin tanımlanması aşamalarında DBYBHY-2007, Bilgilendirme Eki 7B den yararlanılmıştır (Şekil 4.26).



Şekil 4.26 : Donatı çeliği modeli

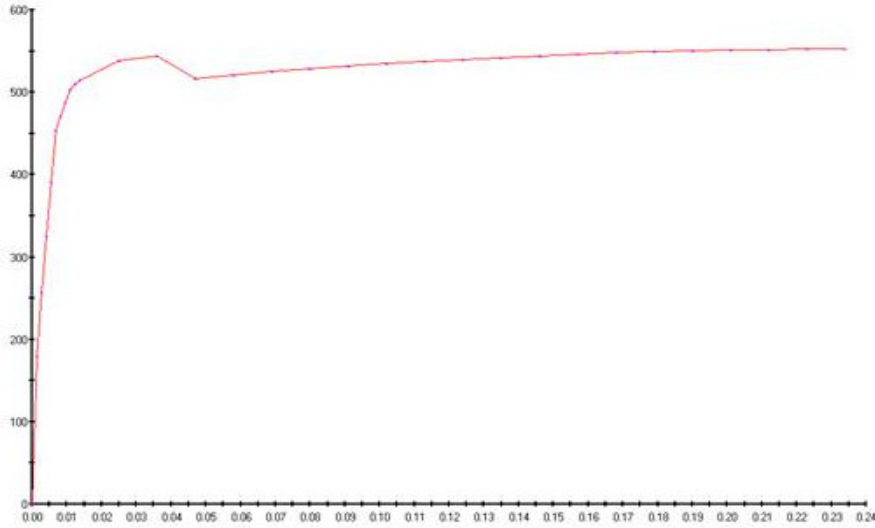
4.3.7.1 Sistem performansının belirlenmesi



Şekil 4.27 : Sistem hesap modeli

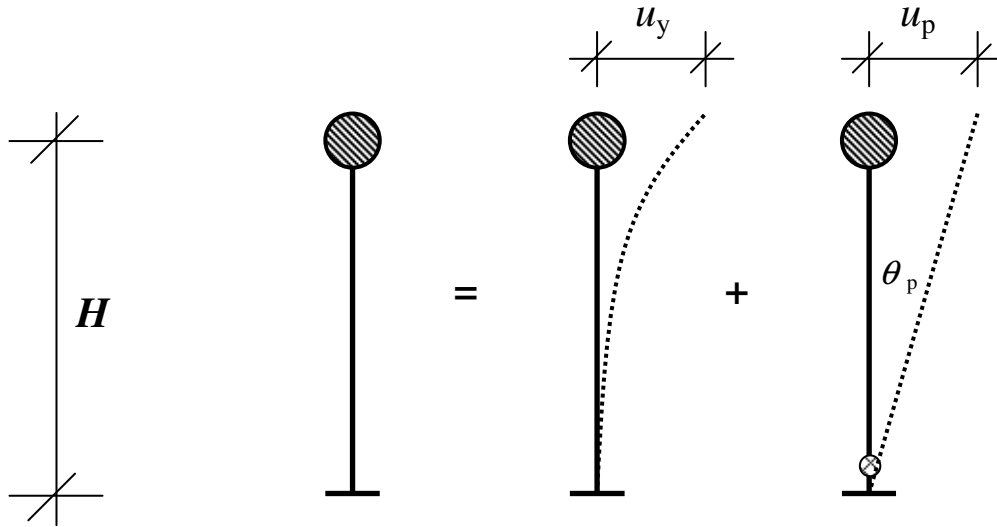
Sistem hesap modeli Şekil 4.27’de görülmektedir. Performans değerlendirmesinin ilk adımı olarak, kesit özellikleri verilen sistemin Moment-Eğrilik ilişkisi XTRACT kesit analizi programı yardımıyla belirlenmiştir.

Betonarme kesitin çatlama,akma ve taşıma gücü sınır durumlarındaki Moment-Eğrilik değerleri hesaplamalarda girdi olarak kullanılacaktır. Kesit analizi sonucunda elde edilen moment-eğrilik diyagramı Şekil 4.28’de görülmektedir.



Şekil 4.28 : Eğilme moment-eğrilik grafiği

Bu diyagrama göre kesitin akmaya eriştiği moment değeri 526 kN. m ve akma eğriliği 0.00803 1/m, kesitin taşıyabileceği en büyük moment 553 kN. m ve bu moment değerinde eğriliği ise 0.2345 1/m olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.29 : Şekil değiştirmiş sistem

$$M_y = 526 \text{ kN. m} \rightarrow K_y = 0.00803 \text{ 1/m}$$

$$M_u = 553 \text{ kN. M} \rightarrow K_u = 0.2345 \text{ 1/m}$$

Performans değerlendirmesinin ikinci adımı olarak, Moment-Eğrilik ilişkisi belirlenen sistemin, akma kuvveti ve akma anındaki yer değiştirme değeri belirlenecektir (Şekil 4.29)

Sistemin akmaya ulaştığı moment değeri $M_y = 526 \text{ kN.m}$ olduğuna göre,

$$M_y = F_y \times H \quad (4.64)$$

bağıntısı yardımıyla akma kuvveti kolaylıkla belirlenebilir, o halde;

$526 \text{ kN.m} = F_y \times 8 \text{ m}$ $F_y = 65.75 \text{ kN}$ olarak akma kuvveti elde edilir.

$$U_y = \frac{K_y \times H^2}{3} \quad (4.65)$$

bağıntısı yardımıyla sistemin akma anındaki yer değiştirme değeri hesaplanabilir.

$$U_y = \frac{0.00803 \times 64}{3} \quad U_y = 0.1713 \text{ m} \text{ olarak hesaplanır.}$$

Performans değerlendirmesinin üçüncü adımı olarak, sistemin plastik eğrilik ve şekil değiştirme kapasitesi belirlenecektir.

$$K_p = K_u - K_y \quad (4.66)$$

bağıntısı yardımıyla sistemin plastik eğrilik değeri kolaylıkla belirlenebilir. O halde plastik eğrilik değeri,

$$K_p = 0.2345 - 0.00803 = 0.22647 \text{ 1/m} \text{ olarak belirlenir.}$$

Bir sonraki aşama olarak sistemin plastik dönme kapasitesi belirlenecektir. Bu amaçla sistemde oluşan plastik mafsallık boyunun sayısal olarak elde edilmesine ihtiyaç vardır. Plastik mafsallık boyunun belirlenmesi için Park ve Priestly tarafından önerilen,

$$L_p = 0.08L + 0.022d_b f_y \quad (4.67)$$

bağıntısı kullanılacaktır. Bağıntının kullanılmasında dikkat edilmesi gereken nokta, formülasyonda d_b ile gösterilen düşey donatı çapının metre cinsinden hesaplamalara dâhil edilmesidir.

$$L_p = 0.08 \times 8 \text{ m} + 0.022 \times 0.02 \text{ m} \times 420 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 0.825 \text{ m} \text{ olarak hesaplanır.}$$

Plastik mafsallık boyunun elde edilmesinden sonra, sistemin plastik dönme kapasitesi şu bağıntı yardımıyla hesaplanmalıdır;

$$\theta_p = K_p \times L_p \quad (4.68)$$

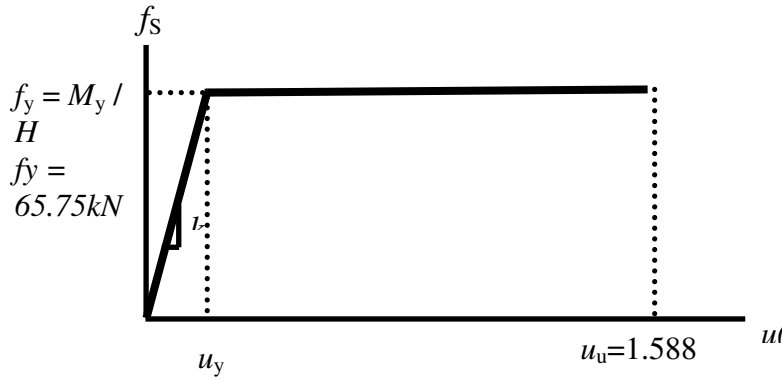
$\theta_p = 0.22647 \times 0.825 = 0.1868$ olarak hesaplanır.

Sonraki adım olarak sistemin plastik şekil değiştirme kapasitesi hesaplanmıştır.

$$U_p = \left(H - \frac{L_p}{2}\right) \times \theta_p \quad (4.69)$$

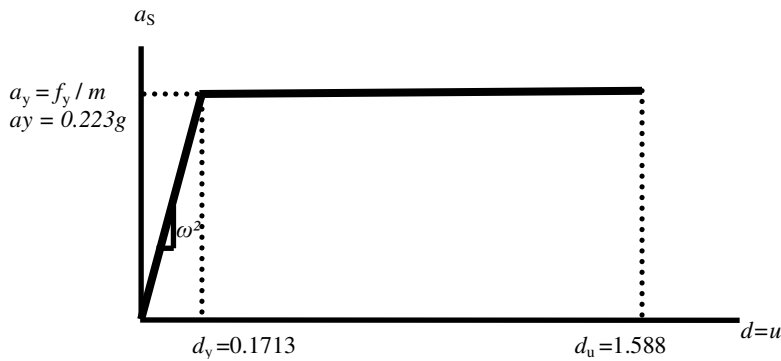
$U_p = \left(8 - \frac{0.825}{2}\right) \times 0.1868 = 1.417m$ olarak sistemin plastik şekil değiştirme kapasitesi hesaplanır.

Elde edilen sayısal değerler kullanılarak tek serbestlik dereceli sistemin statik itme eğrisi kolaylıkla elde edilebilir.



Şekil 4.30 : Statik itme eğrisi

Statik itme eğrisinden yola çıkılarak modal kapasite eğrisinin oluşturulabilmesi için, statik itme eğrisinin kuvvet eksenini sistemin toplam kütlesine bölünmüştür. Böylece yeni oluşan diyagram sistemin modal kapasite eğrisi elde edilmiş olur.



Şekil 4.31 : Modal kapasite eğrisi

Sonraki adım olarak sistemin modal yer değıştirme istemi belirlenmiştir. Bu amaç doğrultusunda tek serbestlik dereceli sistemin doğal titreşim periyodunun belirlenmesi gerekmektedir. Modal kapasite diyagramının doğrusal kısmının eğimi sistemin açısal hızının karesine eşit olduğuna göre,

$$\omega^2 = \frac{0.223 \times 9.81}{0.1713} = 12.77 \quad \omega = 3.573 \text{ rad / s}$$

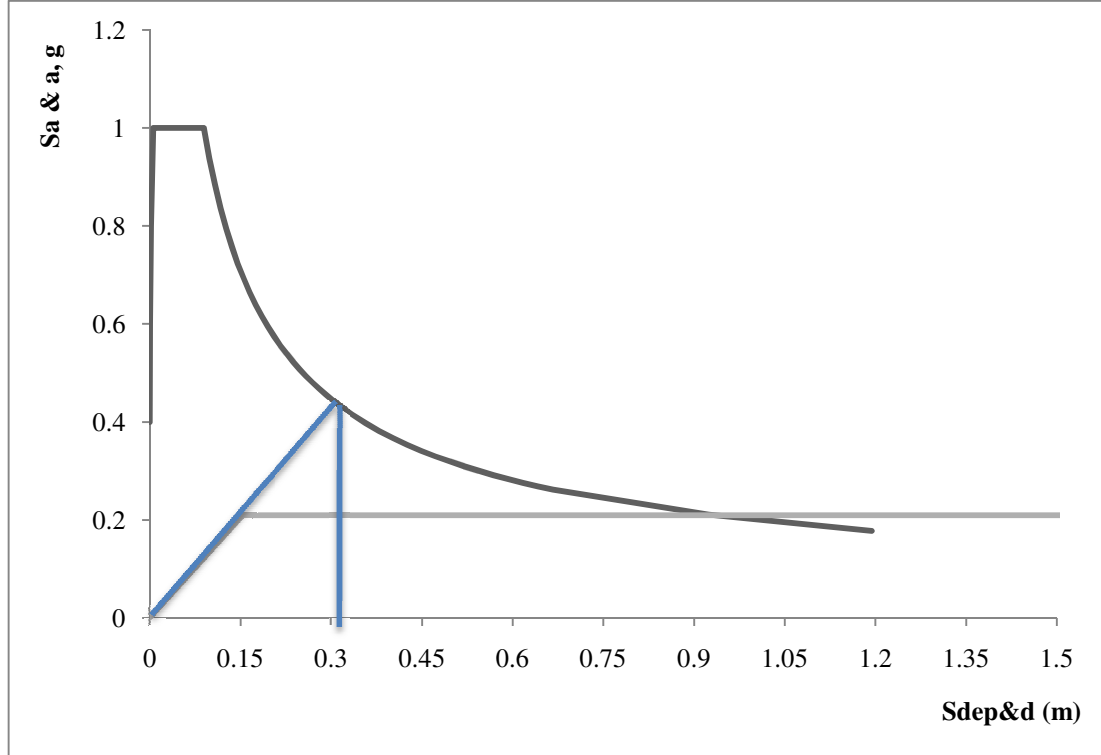
açısal hız hesaplanır.

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (4.70)$$

Bağıntısı yardımıyla tek serbestlik dereceli sistemin doğal titreşim periyodu 1.76 sn olarak hesaplanır.

Sistemin doğal titreşim periyodu, seçilen zemin sınıfının hakim periyodundan daha büyük olduğu için sistemin yer değıştirme istemi uygun eşitlikler kullanılarak hesaplanmalıdır.

$S_{di} = S_{dep} = 0.301 \text{ m}$ olarak hesaplanır.



Şekil 4.32 : Deprem yer değıştirme isteminin belirlenmesi

Bir sonraki adım olarak, sistemin plastik yer değıştirme istemi hesaplanacaktır;

$$U_{\max} = U_y + U_p \quad (4.71)$$

bağıntısı kullanılarak;

$$U_{\max} = S_{dep} = 0.301m$$

$U_p = 0.301m - 0.1713m = 0.1297m$ olarak sistemin plastik yer değiştirme istemi elde edilir.

Hesaplanan plastik yer değiştirme istemi kullanılarak, plastik dönme değeri hesaplanabilir;

$$\theta_p = \frac{U_p}{\left(H - \frac{L_p}{2}\right)} \quad (4.72)$$

$\theta_p = 0.017rad$ olarak sistemin plastik dönme istemi hesaplanır.

Hesaplanan plastik dönme istemi kullanılarak, plastik eğrilik şu bağıntı yardımıyla elde edilir;

$$K_p = \frac{\theta_p}{L_p} \quad (4.73)$$

$$K_p = 0.0206 \quad 1/m$$

Sistemin toplam eğrilik istemi ise;

$$K_t = K_y + K_p \quad (4.74)$$

Bağıntısı yardımıyla $0.002863 \quad 1/m$ olarak elde edilir.

Sistemin toplam eğrilik istemi altında, sargılı beton, sargısız beton ve donatı çeliğindeki şekil değiştirmeler XTRACT kesit analizi programı yardımıyla elde edilir ve yönetmelik hasar sınır değerleri ile karşılaştırılarak kesit hasar durumu belirlenir.

$$\epsilon_{cu} = 0.00296 \text{ (Sargısız beton şekil değiştirme değeri)}$$

$$\epsilon_{cu} = 0.00213 \text{ (Sargılı beton şekil değiştirme değeri)}$$

$$\epsilon_{su} = 0.0181 \text{ (Donatı şekil değiştirme değeri)}$$

Çizelge 4.3 : DBYBHY–2007 hasar sınır değerleri

Hasar	Sargısız Beton		Sargılı Beton	
	Beton	Donatı	Beton	Donatı
HK	0.0035	0.01	0.0035	0.01
CG	0.0035	0.04	0.0135	0.04
GÖ	0.0040	0.06	0.0180	0.06

Elde edilen şekil değiştirme değerleri ve Çizelge4.3'te verilen kesit hasar sınır değerleri arasında karşılaştırma yapılarak sistemin performans seviyesine karar verilir.

- Sargısız beton şekil değiştirme değeri hemen kullanım hasar sınırının altındadır.
- Sargılı beton şekil değiştirme değeri hemen kullanım hasar sınırının altındadır.
- Donatı şekil değiştirme değeri hemen kullanım sınır değeri ile can güvenliği sınır değerleri arasındadır.

Sonuç olarak sistemin performans seviyesi *hemen kullanım* düzeyi ile *can güvenliği sınır durumu* arasında olduğu söylenebilir.

5. SAYISAL İNCELEME

Bu bölümde çok katlı betonarme yüksek bir binanın zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi kullanılarak deprem performansının sayısal olarak belirlenmesi ve yönetmelik koşulları uyarınca değerlendirilmesi yer almaktadır. Bölüm içinde ilk olarak sayısal incelemesi yapılan yapının taşıyıcı sistem özellikleri tanıtılmış, daha sonra yapıya etki eden deprem kuvvetlerinin belirlenmesi, deprem ivme kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklendirilmesi aşamaları açıklanmıştır. Zaman tanım alanında çözümleme için kullanılan deprem ivme kayıtlarının ölçeklendirilmesi işleminden sonra, analiz için kullanılan hesap programı ve yapılan kabuller hakkında bilgiler verilmiş, yapının analiz modelinin kurulma aşamaları açıklanmıştır.

5.1 Yapısal Taşıyıcı Sistem Özellikleri

Performans değerlendirilmesi yapılacak yapının tipik kalıp planı Şekil 5.1'de görülmektedir. Yapı toplamda 65 kat (9 Bodrum + 56 Normal kat) olarak tasarlanmıştır. Betonarme taşıyıcı sistem, betonarme çekirdek-çerçeve sistem olarak oluşturulmuştur. Yapı yüksekliği / Oturma alanı değerinin başka bir deyişle yapısal narinlik oranı değerinin 7.2 olması nedeniyle taşıyıcı sistemin belirli katlarında *outrigger* adıyla anılan taşıyıcı sistem düzenlenmelerine başvurulmuş, İYBDY-2008 yönetmeliği yer değiştirme ve kat ötelenmesi sınır şartlarının aşılmasını sağlanmıştır.

Yapısal taşıyıcı sistemin performans değerlendirmesi aşamalarında kullanılacak şekil değiştirme miktarları, PERFORM-3D programının *strain gage* elemanı kullanılarak elde edilmiştir. Strain-gage elemanlar yapısal taşıyıcı elemanlar boyunca yerleştirilmiştir. Her analiz sonunda ilgili taşıyıcı elemanlar için en büyük şekil değiştirme değerleri (etki/kapasite oranı) bu elemanlar kullanılarak elde edilmiştir. Donatı akması ve beton ezilmesi sınır durumunun belirlenebilmesi amacıyla, strain-gage elemanının şekil değiştirme ölçütleri sırasıyla 0.0025 ve 0.0023 (sargılı beton), 0.0065 (sargılı beton) olarak girilmiştir.

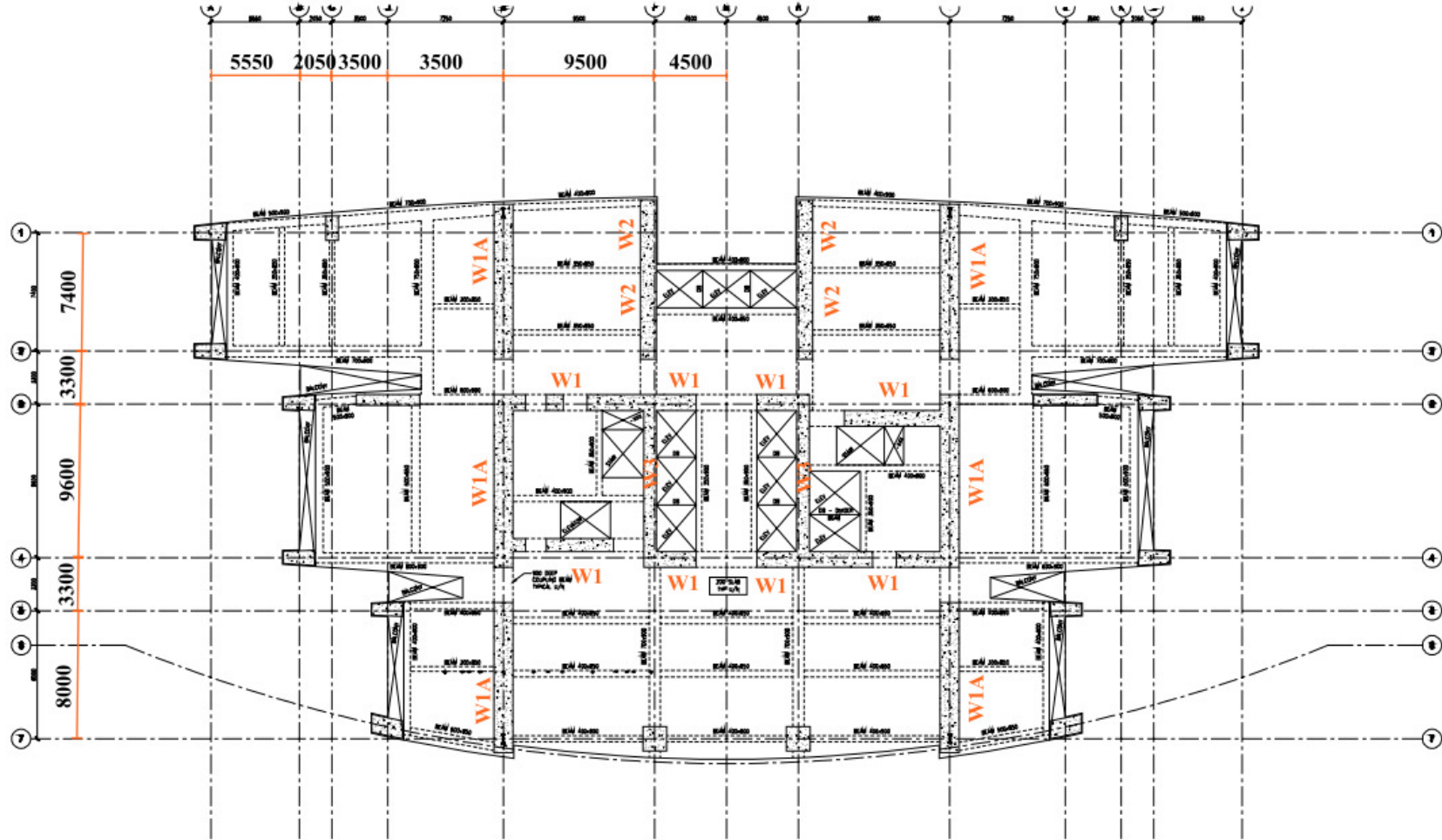
Çizelge 5.1 : Betonarme taşıyıcı sistem malzeme özellikleri

Betonarme Taşıyıcı Eleman	Beton Sınıfı
<i>Deprem Perdeleri</i>	C70-C50
<i>Bağ kirişleri</i>	C70-C50
<i>Kule Kolonları</i>	C70-C50
<i>Podyum Kolonları</i>	C40
<i>Döşemeler</i>	C40
<i>Kirişler</i>	C40

Yapısal taşıyıcı sistem elemanları hakkındaki bilgiler Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2’de görülmektedir. Çizelge 5.1’de görüldüğü üzere taşıyıcı sistemde kullanılan beton sınıfı C70~C50 arasında değişmektedir. Yüksek yapılarda mimari özellikler nedeniyle giderek artan kat sayıları ve buna bağlı olarak güvenle karşılanması gereken son derece büyük mertebelerdeki düşey yük miktarlarının etkisiyle, özellikle alt kat perde ve kolonlarının boyutları oldukça büyüme eğilimindedirler. Dolayısıyla taşıyıcı sistem elemanlarının makul ve ekonomik olarak boyutlandırılması için, yüksek dayanımlı betonların kullanılması kaçınılmaz olmaktadır. Ülkelerin depreme dayanıklı yapı tasarım yönetmelikleri, genellikle beton kalitesini C50~C60 olarak sınırlamaktadır. Bu sınırlamanın en belirgin nedeni, özellikle deprem kuvvetleri etkisiyle sünek davranış göstermesi zorunlu olan taşıyıcı sistem elemanlarına ilişkin yeterli teorik ve deneysel birikimin C50 ve C60 beton sınıfına kadar olması, dolayısıyla bahsi geçen beton sınıfından daha yüksek betonların kullanılmasıyla, yapısal taşıyıcı elemanların davranışlarının tam olarak kestirilememesi

Çizelge 5.2 : Deprem perdeleri malzeme ve kesit özellikleri

DEPREM PERDELERİ					
KAT	W1	W2	W3	W1A	fc (Mpa)
<i>L51 Üstü</i>	500	-	800	500	50
<i>L45-L51</i>	500	500	800	600	60
<i>L30-L45</i>	600	600	800	800	60
<i>L21-L30</i>	700	800	800	1000	70
<i>L12-L21</i>	800	1000	800	1200	70
<i>GR-L12</i>	1000	1200	800	1400	70
<i>FDN-GR</i>	1200	1200	800	1400	70

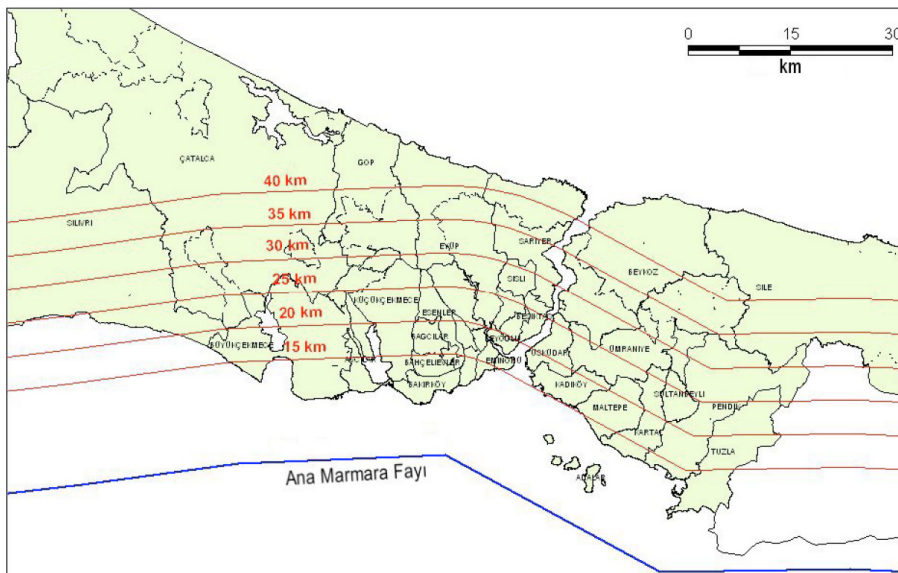


Şekil 5.1 : Taşıyıcı sistem planı

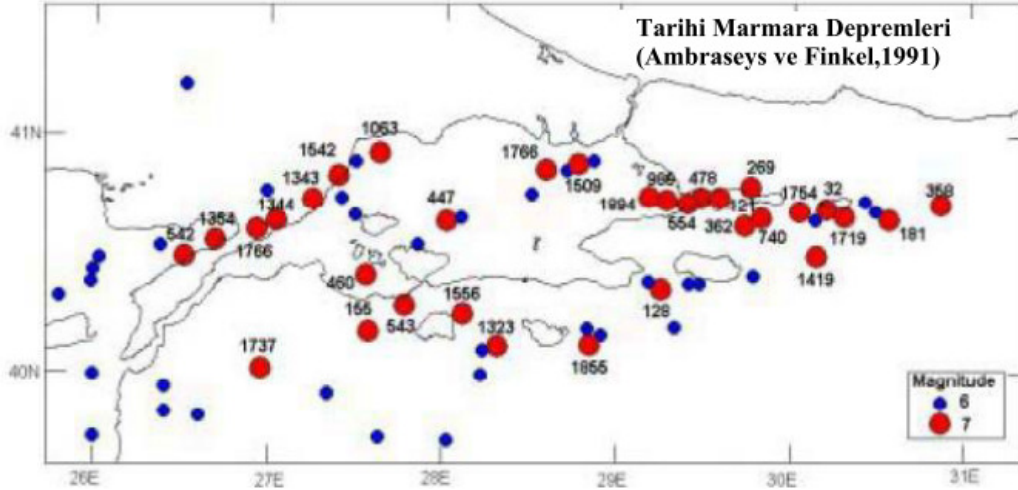
5.2 Deprem Etkilerinin Tanımlanması

İstanbul ili, Şekil 5.2’de görüldüğü üzere, *Kuzey Anadolu Fay Hattı* olarak bilinen yaklaşık 1500 km uzunluğa ve yanal atım karakteristiğine sahip aktif bir fay hattının bulunduğu deprem kuşağı içinde yer almaktadır. Fay hattının Marmara Denizi içinde kalan bölümü, tarihte yıkıcı depremler üretebilme özelliği ile bilinmektedir (Şekil 5.3). İstanbul ilinin konumu nedeniyle sayısal incelemesi yapılacak taşıyıcı sisteme etkileyen deprem yüklerinin belirlenmesi son derece önemlidir. Deprem kuvvetlerinin belirlenmesi ve hesaplara nasıl dâhil edileceği hakkındaki kurallar gerek Bayındırlık Bakanlığı gerekse İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından hazırlatılan depreme dayanıklı yapı tasarımı yönetmeliklerinde belirlenmiştir.

İstanbul ili için 2008 yılı içerisinde yayımlanan İYBDY-2008 adlı depreme dayanıklı yapı tasarım yönetmeliğinde, temel ilke olarak performansa dayalı tasarım ve değerlendirme yöntemleri benimsenmiştir. Bahsi geçen yönetmelikte belirli *senaryo depremleri* göz önüne alınarak yapı performans değerlendirmesi esas alınmaktadır. İYBDY-2008 yönetmeliği ve çeşitli performansa bağlı yapı tasarım yönetmeliklerinde verilen deprem senaryoları ve performans seviyeleri Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4’te gösterilmiştir.



Şekil 5.2 : İstanbul ilçelerinin Marmara Fayına olan uzaklıkları



Şekil 5.3 : Büyük Marmara depremleri kronolojisi

Çizelge 5.3 : Yönetmelik deprem senaryoları ve karşılaştırmaları

Yönetmelik	Deprem Düzeyleri			
	% 50-50 Yıl	% 20-20 Yıl	% 10-50 Yıl	% 2-50 Yıl
IYBDY-2008	D1	-	D2	D3
VISION 2000 FEMA 356	Sık	Ara Sıra	Seyrek	Çok Seyrek)

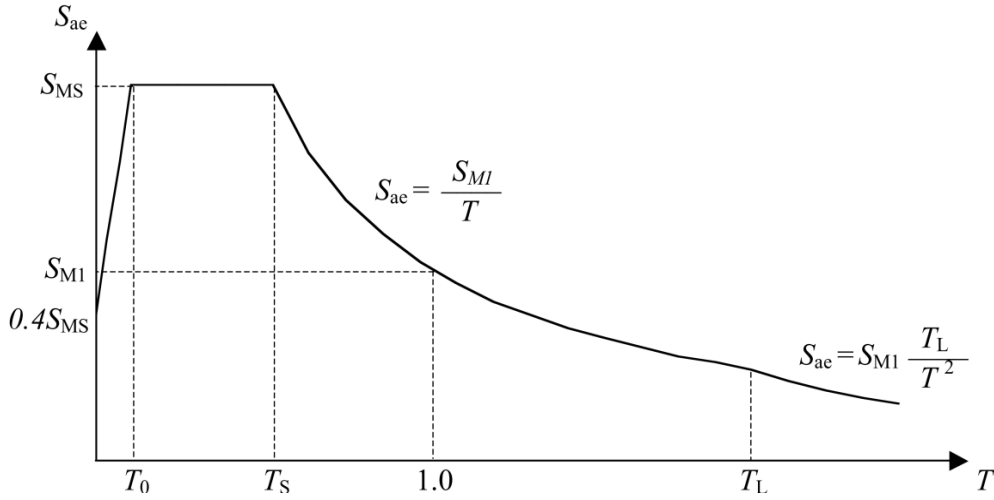
Yapılan sayısal çalışmada yapıya etkiyen deprem yüklerinin tanımlanması aşamalarında IYBDY-2008 yönetmeliğinden yararlanılmıştır. Bu yönetmeliğe göre kullanım sınıfı bakımından normal sınıf olarak tanımlanan yüksek yapılardan beklenen performans seviyeleri Çizelge 5.4’te gösterilmiştir. Ek olarak, gerçekleştirilen performans değerlendirmesi çalışmasında D2 deprem düzeyi için kontrollü hasar/can güvenliği performans seviyesi esas alınmıştır.

Çizelge 5.4 : Yönetmelik performans seviyeleri ve karşılaştırmaları

Yönetmelik	Performans Seviyeleri			
	% 50-50 Yıl	% 20-20 Yıl	% 10-50 Yıl	% 2-50 Yıl
	E1	-	E2	E3
FEMA-356	Kullanım	Hemen Kullanım	Can Güvenliği	Göçmenin Önlenmesi
IYBDY-2008	Minimum Hasar	-	Kontrollü Hasar	İleri Hasar
VISION-2000	Minimum Hasar	Kullanım	Can Güvenliği	Göçmenin Önlenmesi
ATC-40	Kullanım	Hemen Kullanım	Can Güvenliği	Göçmenin Önlenmesi

5.2.1 Tasarım spektrumunun belirlenmesi

Deprem senaryoları için kullanılarak tasarım spektrumu IYBDY-2008’de bağlı olduğu değişkenler ile birlikte Şekil 5.4’te gösterilmiştir.



Şekil 5.4 : Tasarım spektrumu (IYBDY-2008)

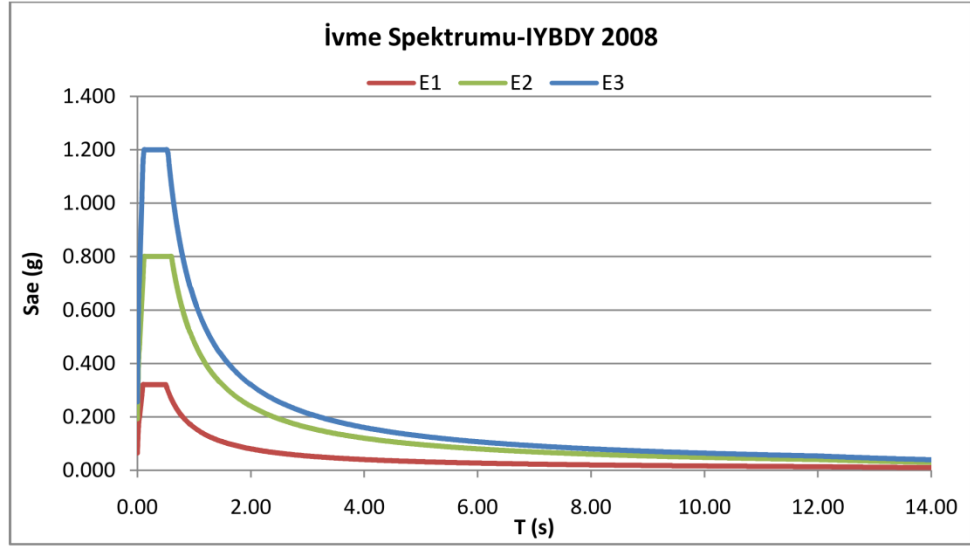
Sayısal çalışma için kabul edilen A tipi zemin sınıfı ve D2 deprem senaryosu için tasarım spektrumunun elde edilmesi aşamalarında kullanılan değişkenler Çizelge 5.5’te gösterilmiştir.

Çizelge 5.5 : Tasarım Spektrum değişkenleri

	Spektral İvme (Zemin)				Zemin Etki Katsayısı		
	D1	D2	D3		D1	D2	D3
S_s	0.4	1	1.5	F_v	0.8	0.8	0.8
S_I	0.2	0.6	0.8	F_a	0.8	0.8	0.8
	Spektrum Köşe Periyotları				Zemin Etki Katsayısı		
	D1	D2	D3		D1	D2	D3
T_s	0.5	0.6	0.53	S_{MS}	0.32	0.8	1.2
T_o	0.1	0.12	0.11	S_{MI}	0.16	0.48	0.64

Çizelge 5.5’te gösterilen parametreler kullanılarak elde edilen tasarım ivme spektrumları Şekil 5.5’te görülmektedir.

Yüksek yapıların zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerinde tasarım ivme spektrumu ile uyumlu olacak şekilde seçilen ve ölçeklendirilen deprem kayıtlarının kullanılması gereklidir. Bu bağlamda tasarım ivme spektumunun yüksek yapı özelliklerine uygun olarak belirlenmesi son derece önemli bir konudur. Yerel deprem kayıtlarının kullanılacağı durumlarda, sahaya özel tasarım spektrumlarının kullanılması üzerinde araştırma yapılan konuların başunda gelmektedir.



Şekil 5.5 : Tasarım spektrumları (IYBDY–2008).

5.2.2 Deprem kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklendirilmesi

Deprem ivme kayıtlarının seçilmesi ve belirlenen tasarım spektrumu temel alınarak ölçeklendirilmesi ile ilgili olarak akademik çevreler tarafından üzerinde uzlaşılmış kesin bir yöntem bulunmamaktadır. UBC-1994, Eurocode 8, ASCE-7-05, FEMA dokümanlarında deprem ivme kayıtlarının seçilmesi ve kullanım şartlarına ilişkin esaslar yer almaktadır. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesaplama aşamalarında kullanılacak deprem kayıtlarının elde edilmesi genel olarak 3 şekilde mümkün olmaktadır.

- Deprem esnasında kaydedilen ivme kayıtları
- Benzeştirilmiş ivme kayıtları
- Yapay olarak üretilmiş ivme kayıtları

Tasarım ivme spektrumuna uygun kayıtların seçilmesinde karşılaşılan en büyük zorluk; çok sayıda kaydedilmiş deprem hareketinin ortalamasını temsil eden tasarım spektrumuyla uyumlu tek bir deprem kaydının elde edilmesine çalışılmasıdır. Genel olarak doğrusal veya doğrusal olmayan yapı analizlerinde kullanılan kayıtlar, deprem hareketi sırasında kaydedilen ivme kayıtlarıdır.

Gerçek deprem kayıtları, yer hareketinin özellikleri (genlik, faz ve frekans içeriği) hakkında bilgiler içermeleri nedeniyle diğer alternatif kayıtlara göre büyük üstünlükler içerirler. Ek olarak, yer hareketinin belli özelliklerini yeter derecede temsil etmesi amacıyla genellikle tasarım spektrumuna bağlı olarak seçilirler.

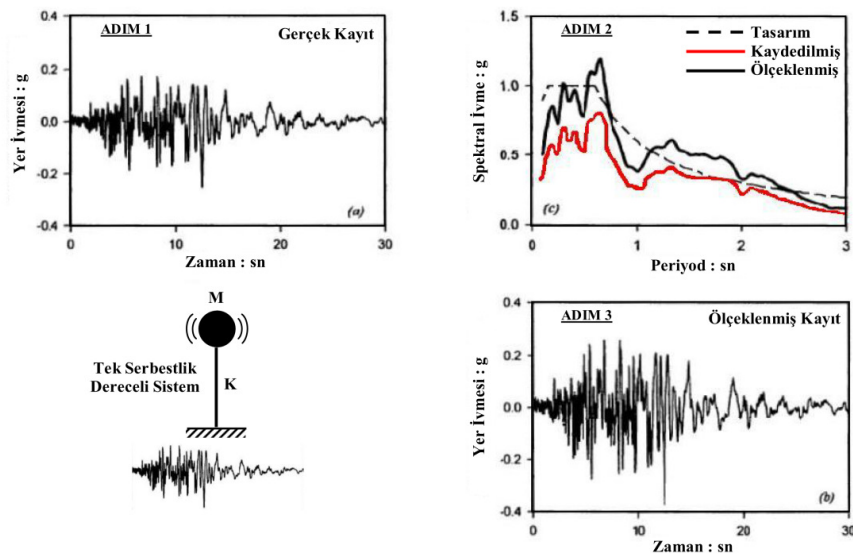
Teorik olarak, deprem ivme kayıtlarının, tasarım spektrumuna uygun olarak seçilmesi her ne kadar istenilen bir durum olsa da, pratikte tasarım spektrumuyla uyumlu deprem ivmelerinin kaydedilmesi ihtimali son derece düşüktür. Bu nedenden dolayı, sayısal analizlerde için kullanılacak deprem ivme kayıtları, belirlenen bir tasarım spektrumuna göre ölçeklendirildikten sonra kullanılmaktadır. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan çözümlemeler için kullanılacak deprem kayıtlarının bazı özelliklere sahip olması istenir. Genel olarak deprem ivme kayıtlarının sahip olması gereken özellikler depreme dayanıklı yapı tasarım yönetmeliklerinde açık bir şekilde belirlenmiştir.

Zaman tanım alanında kullanılacak deprem kayıtlarının seçilme aşamasından sonra, seçilen kayıtların tasarım spektrumuyla uyumlu bir hale getirilmesi, başka bir deyişle deprem ivmelerinin tasarım spektrumuna göre ölçeklendirilmesi gerekmektedir. Kaydedilmiş deprem ivmelerinin ölçeklendirilmesinde kullanılan başlıca iki yöntem mevcuttur. Bu yöntemleri şu şekilde sıralayabiliriz;

- Zaman tanım alanında ölçeklendirme
- Frekans tanım alanında ölçeklendirme

5.2.2.1 Zaman tanım alanında ölçeklendirme işlemi

Zaman tanım alanında ölçeklendirme yöntemi, deprem ivme kaydının sabit bir katsayı ile çarpılarak, istenilen periyot aralığında tasarım ivme spektrumuna göre en uygun şekle göre ayarlanmasını esas alır.



Şekil 5.6 : Zaman tanım alanında ölçeklendirme işlemi hesap aşamaları

Şekil 5.6'da zaman tanım alanında ölçeklendirme işlemi şematik olarak gösterilmiştir. Zaman tanım alanında yapılacak analizler için kullanılacak deprem ivme kaydının seçilmesi aşamasından sonra (ADIM 1), kullanılacak ivme kaydından elde edilen tepki ve tasarım spektrumu elde edilir (ADIM 2). Bir sonraki adım olarak, elde edilmiş tepki spektrumu, belirlenen bir aralıkta belirli bir değerin üstüne çıkıncaya kadar ölçeklendirme katsayısı ile çarpılır ve en son adım olarak, belirlenen ölçeklendirme katsayısı 1. adımda seçilmiş olan deprem ivme kaydının tamamı ile çarpılarak ölçeklendirilmiş deprem yer hareketi kaydı elde edilmiş olur. Depreme dayanıklı yapı tasarımı yönetmelikleri ve literatür çalışmalarında zaman tanım alanında ölçekleme işlemi için kullanılacak ölçeklendirme katsayılarına analiz türleri temel alınarak belirli sınırlamalar getirilmiştir (Taşkın ve diğ, 2008). Bu sınırlamalar şu şekilde özetlenebilir.

- Doğrusal elastik analizler için $\beta_{ölçek} \leq 4$
- Doğrusal elastik olmayan analizler için $0.5 \leq \beta_{ölçek} \leq 2$
- Sıvılaşma analizleri için $\beta_{ölçek} \leq 2$

5.2.2.2 Frekans tanım alanında ölçeklendirme işlemi

Frekans tanım alanında ölçeklendirme yöntemi, deprem ivme kayıtlarının frekans içerikleri kullanılarak tasarım ivme spektrumuyla uyuşan başlangıçtaki deprem ivme kaydına benzer bir hareketin üretilmesi esasına dayanmaktadır. Daha öncede belirtildiği üzere, deprem kayıtlarının frekans tanım alanında ölçeklendirilmesi ile tasarım spektrumuna bire bir uyan ivme kayıtlarının elde edilmesi mümkündür, ancak; frekans tanım alanında ölçekleme işlemi kullanılarak üretilen kayıtlarla gerçekleştirilen doğrusal olmayan hesaplama sonuçlarının yer değiştirmeye hassas bölgede eşit yer değiştirme kuralına uygunluğu kontrol edilmelidir. Geliştirilen bilgisayar yazılımları (EZ-FRISK, Rsp-Match, SeismoMatch, WaveGen) sayesinde deprem kayıtlarının frekans içerikleriyle olabildiğince en az şekilde oynayarak, tasarım spektrumuna bire bir uyan ivme kayıtlarının elde edilmesi mümkündür.

Gerek zaman tanım alanında gerekse frekans tanım alanında ölçeklendirme yöntemleri kullanılarak deprem kayıtlarının doğru bir şekilde hedeflenen tasarım spektrumlarına uydurulması, başka bir deyişle ölçeklendirilmesi mümkündür.

Frekans tanım alanında ölçeklendirme aşamaları şu şekildedir.

- İlgili tasarım spektrumu $S_a^{hedef}(T)$ belirlenir.
- İlgili tasarım spektrumuna $S_a^{hedef}(T)$ uygun olarak ölçeklendirilmek üzere deprem kaydı seçilir. $TH^{gerçek}(t)$
- Sönüm oranı tasarım spektrumu ile aynı olacak şekilde seçilen kaydın davranış spektrumu $S_a^{gerçek}(T)$ elde edilir.
- Ölçeklendirmenin yapılacağı periyot sınırları içinde tasarım spektrumu ve gerçek kaydın davranış spektrumu arasındaki oran hesaplanır.

$$SPR(T) = \frac{S_a^{hedef}(T)}{S_a^{gerçek}(T)} \quad T_A \leq T \leq T_B \quad (5.1)$$

- Zamana bağlı oran fonksiyonu $SPR(T)$, açısal frekans, ω , cinsinden yazılır.

$$FILT(\omega) = SPR(\omega) \quad \omega_{min} \leq \omega \leq \omega_{mak} \quad (5.2)$$

- Hızlı fourier dönüşümü (FFT) kullanılarak gerçek deprem ivme kaydının $TH^{gerçek}(t)$, fourier spektrum genliği $F^{gerçek}(\omega)$ ve fourier spektrum fazı $\theta^{gerçek}(\omega)$ değerleri hesaplanır. Fourier spektrum genliği $FILT(\omega)$ fonksiyonu ile çarpılarak $F^{filtrelenmiş}(\omega)$ elde edilir.
- Filtrelenmiş fourier spektrum genliği $F^{filtrelenmiş}(\omega)$ ve orijinal deprem ivme kaydının fourier spektrum fazından, $\theta^{gerçek}(\omega)$, Ters fourier dönüşümü yardımıyla yeni bir kayıt, $TH(t)$ oluşturulur.
- Son adımda elde edilen ivme kaydının davranış spektrumu ile tasarım spektrumu arasında yönetmeliklerle belirtilen eşleşme sağlanıncaya kadar ardışık hesaplamalara devam edilir.

Depreme dayanıklı tasarım yönetmelikleri, frekans tanım alanında veya zaman tanım alanında ölçeklendirme işleminin yapılacağı zaman aralıklarına, yapısal davranışın yeter derecede yakalanması amacıyla sınırlandırmalar getirmiştir. Bu sınır değerler Çizelge 5.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 5.6 : Yönetmelik ölçeklendirme aralıkları

YÖNETMELİK	Sınır Değerler	
	Alt Sınır	Üst Sınır
<i>Eurocode-8</i>	0.2 T_1	2.0 T_1
<i>IYBDY-2008</i>	0.2 T_1	1.2 T_1

Yönetmelik sınırlandırmalarına ek olarak, literatür çalışmalarında, deprem kayıtlarının ölçeklendirilmesi aşamalarında kullanılacak zaman aralıkları için öneriler bulunmaktadır. Örneğin, Priestley ve Calvi tarafından 2007 yılında yapılan bir çalışma sonucunda, ölçeklendirme aralığı kullanılması tavsiye edilen sınır değerler şu şekilde verilmiştir (Çizelge 5.7).

Çizelge 5.7 : Tavsiye edilen ölçeklendirme aralıkları.(Priestley ve Calvi)

	Ölçeklendirme Sınır Değerleri	
	Alt Sınır	Üst Sınır
<i>Priestley&Calvi</i>	T_m	T_e

T_m , en yüksek modal kütle katılımına sahip periyot, T_e ise FEMA 440, Bölüm 3.3.3.2.5'e göre hesaplanan yapı etkin titreşim değerini ifade etmektedir.

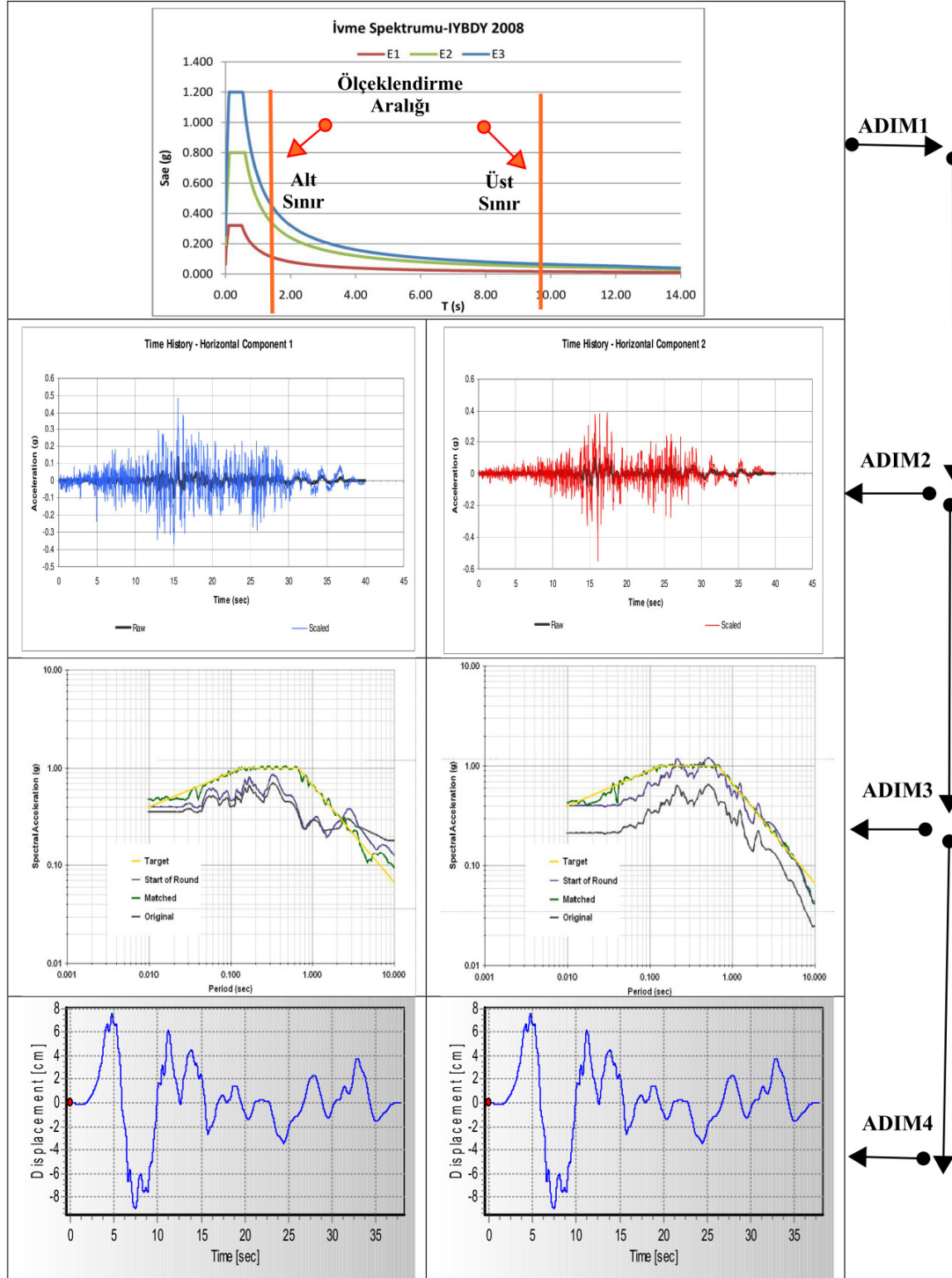
5.2.3 Deprem kayıtlarının ölçeklendirilmesi aşamalarında izlenen yol

Doğrusal olmayan analiz aşamalarında kullanılan deprem kayıtları Çizelge 5.8'de, deprem kayıtlarının ölçeklendirilmesi aşamalarında izlenen yol ise Şekil 5.8'de görülmektedir.

Bilindiği üzere *tehlike spektrumu* olarak adlandırılan tasarım ivme spektrumunun bütün periyotları ile uyumlu deprem kayıtlarının elde edilmesi olanaklı değildir. Tasarım ivme spektrumunun çeşitli periyot bölgelerinde tanımlanan değerlerinin temelde farklı deprem hareketlerinden elde edilmediği bilinmektedir. Bu nedenle, depreme dayanıklı yapı tasarım yönetmeliklerinde kullanılan tasarım spektrumlarının belirli periyot aralıkları için (0.2T~1.2T) seçilmiş olan kayıtların spektrumlarının ortalaması ile tasarım spektrumunun bahsi geçen aralıktaki uyumu öncelikli koşul olarak kullanılmaktadır. Bu durumda bile, deprem hareketinin karakteristik özellikleri ve kayıt sayısının azlığı nedeniyle, seçilen kayıtların ivme spektrum ortalamalarına göre büyük farklılıklar söz konusu olmakta, dolayısıyla aynı kayıtların kullanılmasıyla elde edilen çözümlerin birbirinden farklı olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.8 : Deprem ivme kayıt özellikleri ve mühendislik şiddetleri

EQ İndeksi	EQ ID	PEER-NGA Kayıt Numası.	Şiddet	Yıl	Yer	Kırılma Tipi	İstasyon Adı	Vs_30 (m/s)	Merkez Üstü Uzaklığı (km)	Bileşen 1	Bileşen 2
6*	12041	1602	7.1	1999	Duzce, Turkey	Yanal Atım	Bolu	326	41.3	DUZCE/BOL000.at2	DUZCE/BOL090.at2
7*	12052	1787	7.1	1999	Hector Mine	Yanal Atım	Hector	685	26.5	HECTOR/HEC000.at2	HECTOR/HEC090.at2
10	12063	162	6.5	1979	Imperial Valley	Yanal Atım	Calexico Fire Station	231	17.7	IMPVALL/H-CXO225.at2	IMPVALL/H-CXO315.at2
12*	12071	1111	6.9	1995	Kobe, Japan	Yanal Atım	Nishi-Akashi	609	8.7	KOBE/NIS000.at2	KOBE/NIS090.at2
17*	12082	1148	7.5	1999	Kocaeli, Turkey	Yanal Atım	Arcelik	523	53.7	KOCAELI/ARC000.at2	KOCAELI/ARC090.at2
18*	12091	900	7.3	1992	Landers	Yanal Atım	Yermo Fire Station	354	86.0	LANDERS/YER270.at2	LANDERS/YER360.at2
20	12093	864	7.3	1992	Landers	Yanal Atım	Joshua Tree	379	13.7	LANDERS/JOS000.at2	LANDERS/JOS090.at2



Şekil 5.8 : Deprem kayıtlarının ölçeklendirme adımları

Deprem kayıtlarının ölçeklendirilmesi aşamalarında izlenen yol Şekil 5.8’de görülmektedir. Adımlar kısaca şu şekilde açıklanabilir.

ADIM1’de deprem kayıtlarının ölçeklendirileceği hedef tasarım spektrumu ve ölçeklendirme aralığı seçilmiştir.

ADIM2’de, deprem kayıtlarının başlangıç hatası düzeltmesine (baseline correction) ihtiyaç olup olmadığı, Seismosignal programı yardımıyla incelenmiş, gerekli düzeltmelerin yapılmasından sonra deprem kayıtları ölçeklendirmeye hazır hale getirilmiştir.

ADIM3’te, deprem kayıtları frekans tanım alanında EZ-FRISK programı yardımıyla ölçeklendirilmiştir.

ADIM4’te, ADIM3 sonunda elde edilen ölçeklendirilmiş deprem kayıtları, Seismosignal programı yardımıyla başlangıç hatası düzeltmesi yapılarak (baseline correction) doğrusal olmayan analizler için kullanılmak üzere hazır hale getirilmiştir.

5.2.4 Yapısal analiz modelinin oluşturulması

Yapısal taşıyıcı sistemi elastik sınırları ötesinde zorlayabilecek deprem yükleri altında; yapısal taşıyıcı elemanların doğrusal olmayan (inelastik) yanıt bölgelerinin net olarak belirlenmesi ve yapısal davranışlarına uygun olarak detaylandırılması depreme dayanıklı yapısal tasarım ilkeleri çerçevesinde son derece önemlidir. Bu bağlamda; doğrusal olmayan davranış bölgelerinin belirlenmesi aşamalarında, yapı mühendisleri tarafından yaygın olarak *kapasite tasarım ilkeleri* kullanılmaktadır. Kapasite tasarım ilkelerini kısaca şu şekilde özetlenebilir.

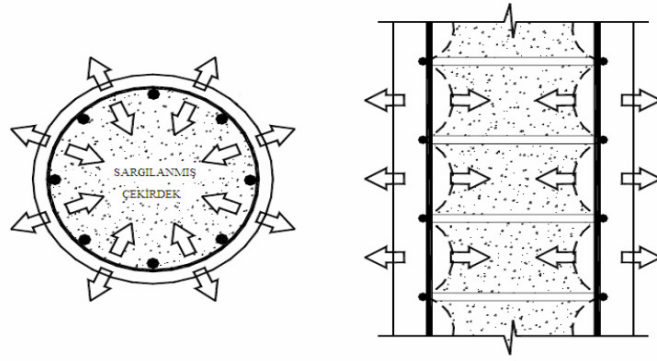
- Yapısal taşıyıcı sistemde plastik şekil değiştirme yapmasına izin verilecek bölgelerin belirlenmesi
- Plastik şekil değiştirme bölgelerinin sünek davranış elde edilecek şekilde tasarımılandırılması ve detaylandırılması
- Plastik şekil değiştirme bölgeleri dışında kalan bölgelerin gevrek davranışu önleyecek şekilde tasarımılandırılıp, detaylandırılması

Taşıyıcı sistem boyutlama aşamalarında kapasite tasarım ilkelerinin kabulü ile; sünek güç tükenmesi ile sünek olmayan güç tükenmesinin beraber gözlemlenebileceği durumlarda, sünek olmayan etkiye ait kapasite arttırılarak, güç tükenmesinin sünek olarak oluşması sağlanmakta, d olayısıyla yapısal taşıyıcı sistemin kapasite tasarım ilkeleri gözetilerek belirlenmiş bölgelerinin deprem etkisi altında *inelastik* davranış sergilemelerinden emin olunuyorsa da özellikle yüksek yapıların kendine has dinamik davranış özellikleri nedeniyle; kapasite tasarım ilkeleri kullanılarak

belirlenmiş *inelastik* bölgelerin dışında da doğrusal olmayan davranışın gözlemlenebileceği unutulmamalıdır.

Daha önce de belirtildiği üzere, plastik şekil değiştirme bölgelerinin sünek davranış elde edilecek şekilde tasarımılandırılması ve uygun olarak detaylandırılması, yapısal taşıyıcı sistemin deprem hareketine karşı olan davranışını belirleyen en önemli değişkenlerin başında gelmektedir. Deprem kuvvetlerine daha dayanıklı yapıların üretilmesi amacıyla, yapısal taşıyıcı elemanların enerji yutabilme seviyelerinin belirlenmesi ve enerji yutabilme kapasitelerinin artırılması konuları önem kazanmıştır. Yıkıcı depremlerden sonra gözlemlenen olağan dışı hasarlar nedeniyle beton malzemenin kendine has gevrek yapısının, nasıl sünekleştirilebileceği konusunda yoğun araştırma çalışmaları yapılmış ve elde edilen sonuçlar eşliğinde yapısal taşıyıcı eleman kesitlerindeki betonun gevrek davranışının, donatı kullanılarak kabul edilebilir ölçüde sünek duruma getirebileceği sonucuna ulaşılmıştır. Şekil değiştirme kapasitesi bakımından betonarme bir kesiti oluşturan beton kısmın, donatı çeliği ile yarışmasını sağlayan araç *sargı donatısı* olarak adlandırılmaktadır. Sargı donatılı bir betonarme kesitin, sargı donatısız bir kesite oranla üstünlüğünü, sargı donatılı bir kesitin davranışını inceleyerek açıklayabiliriz. Sargı donatısı kullanılarak donatılmış betonarme bir kesitte, özellikle eksenel yük etkisiyle çekirdek içinde kalan beton kısım *Poisson etkisi* nedeniyle şekil değiştirmeye çalışır. Bu şekil değiştirme istemine karşı, kesitte sargı donatısı olarak kullanılan etriyeler, beton kısma ters yönde yanal basınç uygular ve bu etki-tepki davranışı sonucunda yanal basınca maruz kalan çekirdek betonu, tek eksenli basınç durumuna göre daha büyük eksenel şekil değiştirme kapasitesine erişerek dayanımını artırır.

Ek olarak, sargı donatısının kesit üzerindeki olumlu davranış etkisi nedeniyle, çekirdek betonu eksenel yüklerin artmasına rağmen bütünlüğünü korur, dolayısıyla betonarme kesitin dayanımında önemli ölçüde azalma gözlenmeden şekil değiştirme yeteneği artırılmış başka bir deyişle kesit sünekliği arttırılmış olunur. Literatürde bu davranış *sargı etkisi* olarak tanımlanmaktadır. Betonarme kesitler için hayati önem taşıyan süneklik isteminin, sargı donatısı ile sağlanabildiğinin keşfinden sonra, betonarme tasarımlar daha güvenli hale gelmiştir. Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'da sargı etkisi ve beton bölgeleri görülmektedir.

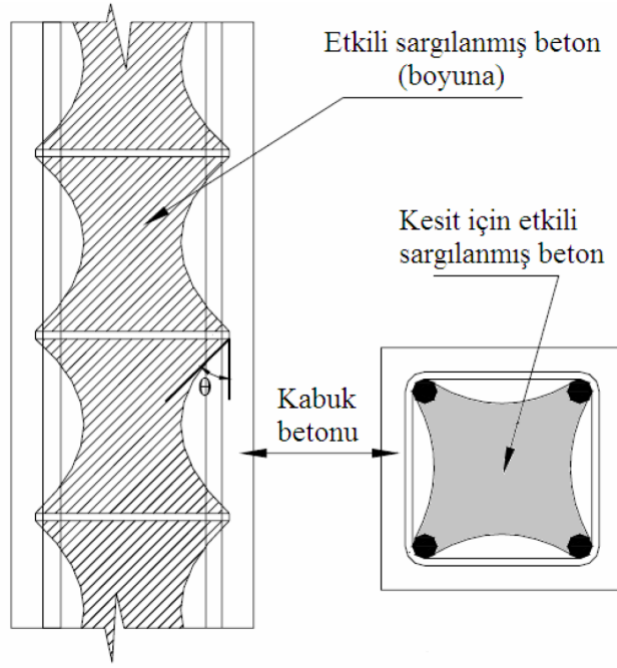


Şekil 5.9 : Sargı etkisi

Sargı etkisinin betonarme taşıyıcı eleman süneklikleri üzerindeki olumlu etkisinin keşfedilmesi neticesinde, sargı donatısı ve süneklik arasındaki ilişkiyi oluşturan değişkenlerin belirlenmesi amacıyla sayısız araştırmalar yapılmış, bu araştırmalar sonucunda aşağıda sıralanan işlemlerin sargı etkisini arttırdığı sonucuna varılmıştır.

- Sargı donatısı aralığının azaltılması
- Boyuna donatının kesit çevresine düzgün olarak dağıtılması
- Enine donatı hacminin çekirdek betonu hacmine oranının arttırılması
- Enine donatı akma dayanımının arttırılması
- Spiral sargı donatısının kullanılması

Sargı donatısının betonarme kesitler üzerindeki olumlu katkısının oluşabilmesi için, belirli şartların sağlanması gerekmektedir. Örneğin; donatı katkısının düşük, normal kuvvet etkisinin yüksek olduğu veya kesitte izin verilen sınırlardan daha yüksek bir değerde basınç gerilmelerinin meydana gelip, kesitin güç tükenmesine erişmesinde sadece betonun etkili olduğu durumlarda, beton gerilmesinin beton dayanımına yaklaşması nedeniyle boyuna donatının kullanılması ve sargılanması önemli bir süneklik artışı sağlamadığı bilinmektedir. Bu sorunun çözümü amacıyla, kesitteki basınç gerilmelerinin düşürülmesi ve kesitin taşıyabileceği normal kuvvet miktarına daha kısıtlı bir üst sınırın öngörülmesi önerilmektedir (Celep, 2008). Ek olarak yüksek mukavemetli (C60 ve üzeri) betonlarda yüksek basınç kuvveti ve eğilme etkileri nedeniyle oluşan mikro çatlakların toplanmasının önüne geçilebilmesi ve beton kısmın ani olarak göçme riskinin azaltılması amacıyla, yüksek mukavetli beton yerine daha az mukavemetli ancak çok iyi sargılanmış betonların kullanılması tavsiye edilmektedir.



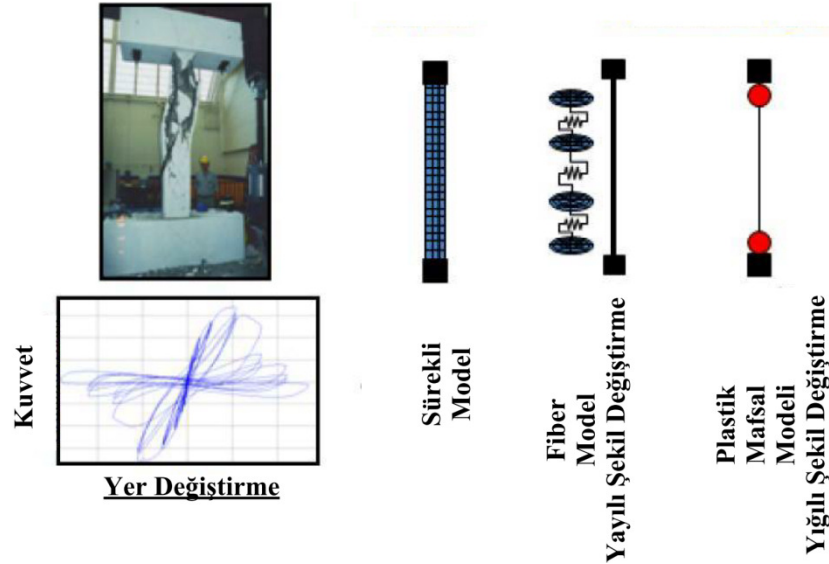
Şekil 5.10 : Sargı donatısı, kabuk ve sargılanmış beton (çekirdek) bölgeleri

Betonarme taşıyıcı sistemlerde sünek davranış, kirişlerde basit eğilme etkisi nedeniyle, kolon ve perdelerde ise eğilme momenti ve eksenel kuvvet etkisi ile gerçekleşmektedir. Bilindiği üzere betonarme taşıyıcı elemanlar eğilme durumları dışındaki diğer durumlarda (eksenel basınç, kesme kuvveti, burulma) sünek davranış gösterememektedirler. Betonarme elemanların göstermiş oldukları bu yapısal davranışları *gevrek davranış* olarak adlandırılmaktadır. Özellikle kesme kuvveti etkisiyle gözlemlenebilen gevrek davranışın önüne geçilmesi, başka bir deyişle kesme kuvveti sünekliğinin artırılması betonarme kesitlerin kesme kuvveti güvenliği açısından son derece önemlidir.

Taşıyıcı sistemin üç boyutlu analiz modeli, yapısal elemanların deprem istemlerini etkileyen tüm özelliklerini, kuvvet ve şekil değiştirme ilişkilerini temsil edecek şekilde oluşturulmalıdır.

Geleneksel olarak, 3 boyutlu yapısal analiz model oluşturulurken, yapısal taşıyıcı sistemi oluşturan tüm elemanların analiz modeline yansıtılması beklenilse de; özellikle yüksek yapıların doğrusal olmayan analizler gerçekleştirilerek yapılan tasarım aşamalarında yapısal analiz modelinin karmaşıklığı ve yapısal elemanların fazlalığı nedeniyle gözlemlenen analiz süreleri artımlarının önüne geçebilmek amacıyla, yapısal taşıyıcı elemanların hepsi analiz modeline dâhil edilmemektedir.

Bu aşamada; 3 boyutlu yapısal analiz modelinin bilgisayar ortamında oluşturulması sırasında, yapısal taşıyıcı elemanlardan hangilerinin yapı modeline dâhil edileceği, hangilerinin edilmeyeceği yönetmelikler ile belirlenen kurallara uyulmak kaydıyla, yapı mühendisinin bilgisine ve muhakeme yeteneğine bırakılmıştır. Daha önce de belirtildiği üzere, yüksek yapı tasarımlarının deprem performanslarının belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan yöntem zaman tanım alanında doğrusal olmayan çözümleme yöntemidir. Yapı sistemlerinin zaman tanım alanında doğrusal olmayan çözümlemesinin amacı, yapısal taşıyıcı sistemde deprem etkisi nedeniyle oluşabilecek şekil değiştirme ve yer değiştirmelerin gerçeğe en yakın olarak elde edilmesidir. Bu amaç doğrultusunda, yapısal taşıyıcı sistem elemanları doğrusal olmayan davranışın göz önüne alındığı malzeme modelleri kullanılarak modellenmektedir.



Şekil 5.11 : Yapısal taşıyıcı eleman modelleme tipleri

Şekil 5.11’de görüldüğü üzere, yapısal taşıyıcı elemanların sayısal analiz programlarında simüle edilmesi 3 farklı şekilde gerçekleştirilebilir.

- Sürekli sonlu elemanlar ile oluşturulmuş model
- Fiber tip sonlu elemanlar ile oluşturulmuş model (yayılı plastisite yaklaşımı)
- Plastik mafsallı elemanlar ile oluşturulmuş modeldir. (yığılı plastisite yaklaşımı)

Sürekli sonlu elemanlar ile oluşturulmuş model, doğrusal olmayan davranışın en detaylı bir şekilde gözlemlenebileceği modeldir.

Bu modelleme tekniği kullanılarak herhangi bir betonarme kesitin herhangi bir yükleme etkisiyle göstermiş olduğu tüm davranış özellikleri (donatı akması, beton ezilmesi vb) son derece detaylı malzeme özellikleri ve sonlu elemanlar kullanılarak modellenenebilir. Günümüzde ABAQUS, ANSYS, ADINA gibi ticari kullanım amacıyla üretilmiş yazılımlar bu tip modelleme özelliklerine sahip elemanlar içermektedir. şüphesiz ki, yapı sistemlerinin doğrusal olmayan analizleri için sürekli sonlu elemanlar kullanılarak modellenmiş elemanların kullanılmaları, mühendislik uygulamaları açısından uygun değildir. Yapısal taşıyıcı elemanların bu tip modellenmesi akademik çalışmaların, deney sonuçlarıyla uyumluluğunun kontrolleri için yaygın olarak kullanılmaktadır.

Plastik mafsallı elemanlar ile oluşturulmuş model, daha öncede belirtildiği üzere, yapısal taşıyıcı elemanlarda gzlemlen doğrusal olmayan davranışın belirli bir bölgede sınırlandırılması esasına dayanmaktadır. Sürekli sonlu elemanlar ile oluşturulmuş modele oranla bu tür modelleme yapı sistemlerinin bir bütün olarak doğrusal olmayan davranışlarının izlenmesi için daha uygundur. Bu tür modellerde doğrusal olmayan davranış daha öncede belirtildiği üzere, plastik mafsallı elemanlar kullanılarak temsil edilmektedir. Bu tip modelleme ile çevrimsel davranış etkisiyle gözlemlenen rijitlik azalmaları dolaylı olarak göz önüne alınabilmekte ek olarak, bu tip modelleme tekniği kullanılarak modellenmiş elemanlardan elde edilen verilerin değerlendirilmesi ve kontrol edilmesi (plastik mafsallı dönme değerleri) günümüz depreme dayanıklı yapı tasarım yönetmelikleri kapsamında yer almaktadır.

Fiber tipi sonlu elemanlar ile oluşturulmuş modeller, sürekli sonlu elemanlar ile oluşturulmuş modeller ile plastik mafsallı tipi sonlu elemanlar ile oluşturulmuş model özelliklerinin bir arada kullanıldığı modellerdir. rnek olarak, eğilme momenti şekil değiştirmeleri ve gerilmelerinin yapısal taşıyıcı eleman kesiti ve uzunluğu boyunca integre edilerek belirlenmesi sürekli sonlu elemanlar ile oluşturulmuş modellemelerden beton ve/veya donatı çevrimsel davranışının etki diyagramları ve malzeme çevrim eğrileri kullanarak belirlenmesinde plastik mafsallı tipi sonlu elemanlar ile oluşturulmuş modelleme özelliklerinden yararlanılmaktadır. Bu zellikleri nedeniyle, fiber tipi sonlu elemanlar özellikle normal kuvvet ve eğilme momenti etkisinin hâkim olduğu taşıyıcı elemanların modellenmesinde kullanılmaktadır.

Yapılan kabuller ve varsayımlar nedeniyle, taşıyıcı sistemlerinin sayısal analiz modellerinin tam olarak doğru bir şekilde oluşturulması oldukça zor ve karmaşık bir süreçtir. Son yıllarda performansa dayalı hesaplama yöntemlerinin gelişmesi ve hesap güvenilirliklerinin artmış olmalarına rağmen mevcut doğrusal olmayan analiz yöntemleri yapı taşıyıcı sistemlerinin tasarım aşamalarında değil, taşıyıcı sistemin deprem etkilerine karşı göstermiş olduğu davranışın incelenmesinde ve kontrol edilmesinde kullanılmaktadır. Doğrusal olmayan analiz için yapı modellerinin oluşturulma aşamalarında, dikkat edilmesi gereken önemli noktalar detaylı açıklamalarıyla birlikte *Seismic Design Guidelines for Tall Buildings–2010* ve *LATB-2008* adıyla yayımlanmış dokümanlarda detaylı bir şekilde incelenmiştir.

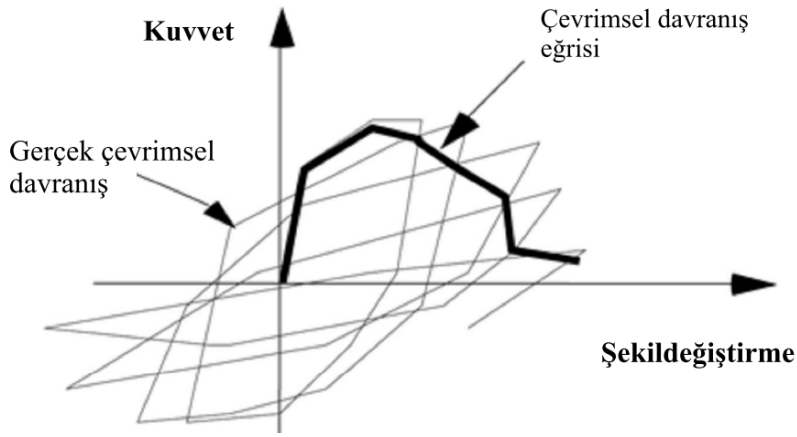
Atıf yapılan dokümanlarda dikkat edilmesi gereken en önemli noktalar şu şekilde özetlenebilir;

- Yapı malzemelerinin çevrimsel (histerik) davranışları, geçerliliği kanıtlanmış malzeme modelleri kullanılarak göz önüne alınmalıdır.
- Hesaplama aşamalarında malzeme dayanımı olarak, *ortalama dayanım değerleri* kullanılmalıdır.
- Yapı taşıyıcı elemanlarının etkin rijitlikleri göz önüne alınmalıdır.
- $P-\Delta$ etkileri göz ardı edilmemelidir.
- Yüksek yapılar için kritik öneme sahip perdelerin modellenmesi için yayılı plastisite kabulü altında fiber elemanların kullanılması tercih edilmelidir.

5.2.4.1 Yapı malzemesi ve taşıyıcı elemanların çevrimsel davranış eğrileri

Performansa dayalı tasarım aşamalarında, taşıyıcı sistemin deprem etkilerine karşı olan davranışının yeter yaklaşıklıkla modellenenebilmesi için yapı malzemesinin ve yapısal taşıyıcı elemanların çevrimsel yükler etkisi altında göstermiş olduğu davranışlarının bilinmesi gereklidir. Dinamik yükler altındaki çevrimsel davranışta; rijitlik azalması ve dayanım azalması etkilerinin analiz modeline gerçeğe yakın olarak yansıtılamaması neticesinde, yüksek yapılardan beklenen performans hedefleri istenilen düzeyde sağlanamaz.

Histerik davranışın taşıyıcı sistem hesap modelinde göz önüne alınabilmesi amacıyla; literatür çalışmalarında ve yönetmeliklerde; yapı malzemesi ve yapısal taşıyıcı elemanların çevrimsel davranışları hakkında modelleme önerilerinde bulunulmuştur.



Şekil 5.12 : Çevrimsel davranış eğrisi ve iskelet eğrisi örneği

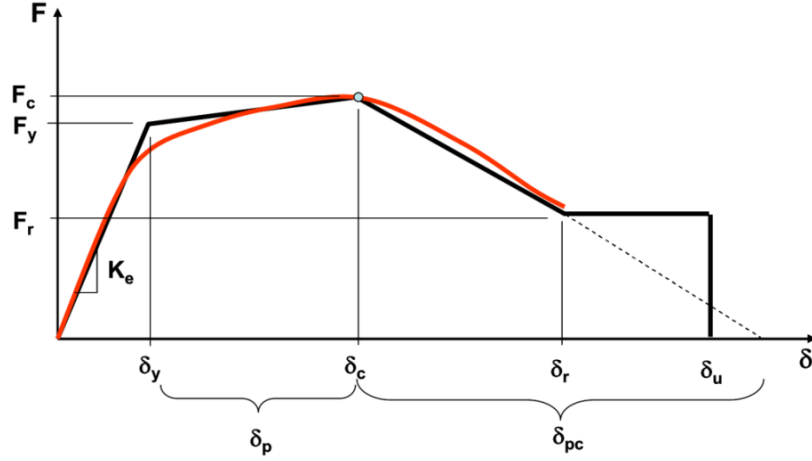
Şekil 5.12’den görüldüğü üzere *histerik eğri* veya *çevrimsel davranış eğrisi* olarak adlandırılan bu eğriler, yapı malzemesinin ve/veya yapısal taşıyıcı elemanların çevrimsel yükleme etkisi altında göstermiş olduğu davranışın sınırlarını temsil etmektedirler. Bahsi geçen davranış eğrilerinin oluşturulması aşamalarında, malzeme ve yapısal taşıyıcı elemanlar için tasarım dayanımı olarak *ortalama dayanım* değerleri kullanılmaktadır. Ortalama dayanım değerlerinin doğrusal olmayan hesaplama aşamalarında kullanılması, doğrusal olmayan davranışın yeter derecede doğru olarak elde edilme isteği ve yapısal elemanlarda gözlemlenen şekil değiştirme dağılımının gerçeğe en yakın olarak elde edilmesi isteği nedeniyle son derece önemlidir.

Çevrimsel davranış eğrileri, yapısal malzemenin ve/veya taşıyıcı sistem elemanlarının kuvvet ve şekil değiştirme ilişkileri kullanılarak oluştururlar. Örnek olarak, eğilme plastik mafsallı için tanımlanacak çevrimsel davranış eğrisinde, kuvvet eksenini eğilme momenti, şekil değiştirme eksenini ise birim dönme olarak kullanılmaktadır.

Şekil 5.12 ve Şekil 5.13’ten görüldüğü üzere, yapısal malzeme ve yapısal taşıyıcı elemanlar için çevrimsel davranış; belirli parametreler kullanılarak hesaplanan ve eğimleri birbirinde farklı birden fazla doğru ile karakterize edilebilir

Şekillerin incelenmesiyle, şekil değiştirme veya yer değiştirme değerlerinin küçük olduğu durumlarda, çevrimsel davranış doğrusal olmakta, yer değiştirme veya şekil değiştirme değerlerinin artmaya başladığı durumlarda ise davranışın doğrusallıktan uzaklaştığı görülmektedir.

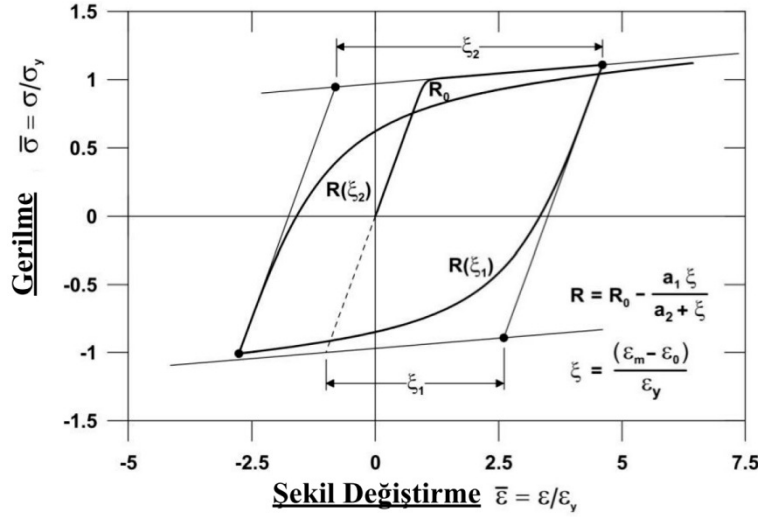
Davranış eğrisinin yatıklaşmaya başladığı noktadan itibaren, yükleme ve boşaltma eğrilerinin birbirleri ile çakışmadığı ve yükün boşalmasından sonra kalıcı şekil değiştirmelerin başka bir deyişle plastik şekil değiştirmelerin giderek arttığı ve davranış eğrisinin yatıklaşmaya başladığı, yatıklaşmaya başladıktan sonra uygulanan kuvvetin çok az artmasına rağmen, şekil değiştirme miktarlarının aynı oranda artmadığı, dolayısıyla sistemin belirli bir yük taşıma kapasitesinin olduğu anlaşılmaktadır.



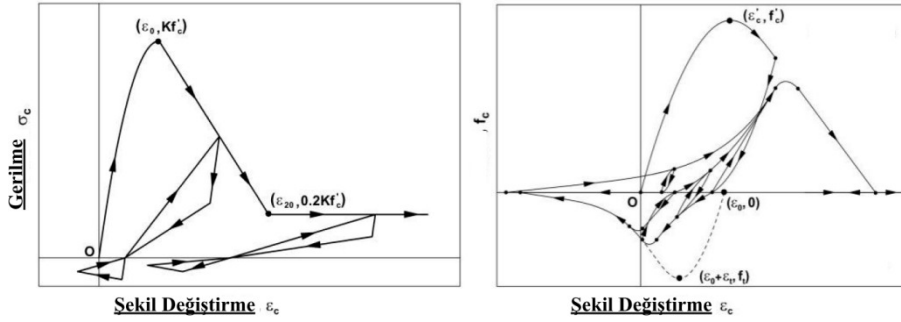
Şekil 5.13 : Doğrusallaştırılmış çevrimsel davranış eğrisi.

- Etkin akma gerilmesi ve şekil değiştirme değerleri. (F_y and δ_y)
- Etkin elastik rijitlik, $K_e = F_y / \delta_y$
- Taşıma gücü sınır değerleri. (F_c ve δ_c)
- Plastik şekil değiştirme aralığı (artan yükleme etkisi) δ_p
- Artık gerilme değeri, $F_r = \kappa F_y$
- Nihai şekil değiştirme değeri, δ_u

Uygulanan kuvvetin büyüklüğüne bağlı olarak yapı malzemesi ve yapısal taşıyıcı elemanlarda gözlemlenen pekleşme (hardening) ve boşaltma (softening) etkilerinin ve bu etkilere ait şekil değiştirme sınır değerlerinin çevrimsel davranış eğrileri kullanılarak hesaplara yansıtılabilmesi, yapı mühendislerine doğrusal olmayan yapı davranışının belirlenmesi ve değerlendirilmesi aşamalarında oldukça faydalı bilgiler sağlamaktadır.



Şekil 5.14 : Donatı çeliği çevrimsel davranış eğrisi örneği (Menegotto ve Pinto)



Şekil 5.15 : Beton çevrimsel davranış eğrisi örneği (Yassin, Orakcal ve Wallace)

Yapı malzemelerinin çevrimsel davranışlarını temsil etmek için yaygın olarak kullanılan malzeme çevrimsel davranış eğrileri Şekil 5.14 ve Şekil 5.15'te görülmektedir. Bahsi geçen bu davranış eğrileri, doğrusal olmayan davranışın sayısal olarak nitelendirilebilmesi amacıyla pratikte yaygın olarak kullanılmaktadır.

Şekil 5.16 ve Şekil 5.17'de görüldüğü üzere yapısal taşıyıcı elemanlar için kullanılabilinecek çevrimsel davranış eğrilerinin oluşturulma şekilleri tek değildir. Çevrimsel davranış eğrisinin tepe (pik) noktalarının birleştirilerek elde edilen eğriye *iskelet eğrisi* adı verilmektedir

Aynı çevrimsel davranış eğrisi kullanılarak birden fazla iskelet eğrisi elde edilebilir. Yapısal malzeme ve/veya taşıyıcı elemanlar için kullanılacak eğrilerin oluşturulması aşamalarında dikkat edilmesi gereken en önemli nokta, yapısal malzeme ve/veya taşıyıcı eleman davranışının hesaplamalarda gerçeğe en yakın bir şekilde simüle edilmesine olanak sağlayacak davranışın temsil edilebildiği eğrinin belirlenmesidir.

(a) Seçenek 1- Çevrimsel Azalma

(b) Seçenek 2- Histerik eğri-Zarf Eğrisi

(c) Seçenek 3- Histerik Eğri-Monotonik azalan

(d) Seçenek 4- Histerik Eğri-Dayanım azalması

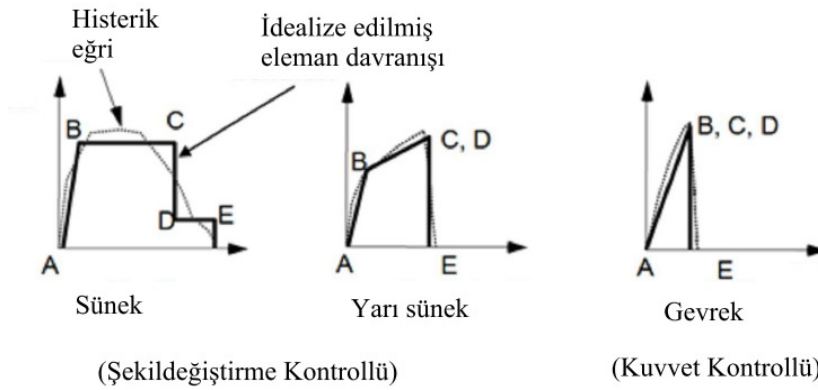
Betonarme yapılarda doğrusal olmayan çözümlemenin kullanılması, betonarme malzemenin mekanik özelliklerinin daha iyi tanınması ve hesaplama teknolojisinde gözlemlenen gelişmeler ile birlikte oldukça yaygınlaşmıştır. Zaman içinde daha da iyi anlaşılan, doğrusal olmayan davranış etkilerinin hesaplamalara yansıtılması son derece karmaşık ve zor bir hâl almış, bu karmaşıklığın giderilmesi ve hesaplamalarda

doğrusal olmayan davranış etkilerinin göz önüne alınabilmesi amacıyla çeşitli kabullerin yapılması zorunluluğu ortaya çıkmıştır.

Betonarme yapı elemanlarının doğrusal olmayan davranış sergiledikleri durumlar şu şekilde özetlenebilir.

- Eğilme momenti nedeniyle gözlemlenen çatlak oluşumları
- Asal çekme gerilmeleri etkisiyle gözlemlenen çatlak oluşumları
- Beton ezilmesi, pas payı kayıpları
- Donatı korozyonu ve burkulması
- Sargı etkisi kayıpları
- Aderans ve kenetlenme kayıpları

Şekil 5.18’de betonarme taşıyıcı elemanların süneklik seviyeleri gözetilerek oluşturulan iskelet eğrileri görülmektedir. Yapısal tasarım aşamalarında donatı detaylandırılmasına gerekli özenin gösterilmesi ve kapasite tasarım kurallarının uygulanması neticesinde, yapısal taşıyıcı elemanların, özellikle deprem yükleri etkisinde göstermiş oldukları davranışları, Şekil 5.18’ de “Sünek” olarak adlandırılan eğri ile temsil edilmektedir. Doğrusal olmayan çözümleme aşamalarında çeşitli yönetmelikler tarafından Şekil 5.18’de gösterilen eğrilerin kullanılmasına izin verilmiştir.



Şekil 5.18 : Çevrimsel davranış-süneklik ilişkisi

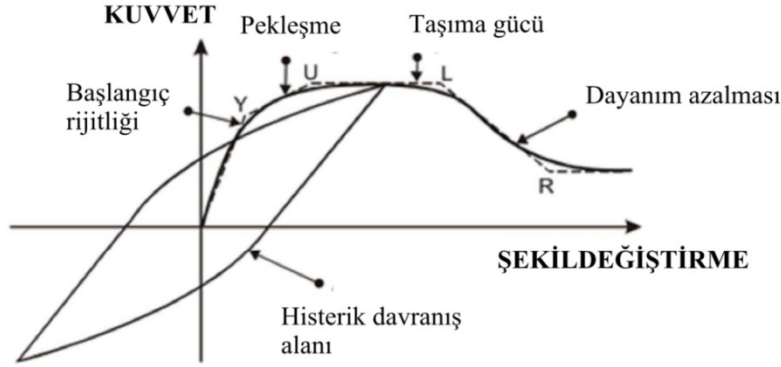
Çevrimsel davranış eğrilerinin ve dolayısıyla iskelet eğrilerinin özelliklerini etkileyen en önemli değişkenlerin başında, yapı sistemlerinin doğrusal olmayan davranışları nedeniyle gözlemlenen rijitlik kayıpları gelmektedir. Betonarme taşıyıcı sistemlerin düşey ve yatay yükler altındaki çözümlemelerinde kesit rijitliklerine;

- Kesit tesirlerinin belirlenmesi
- Yer değiştirmelerin belirlenmesi

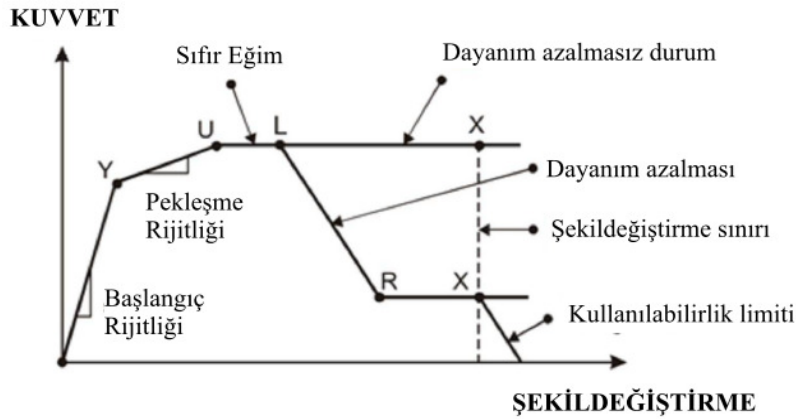
nedeniyle ihtiyaç duyulmaktadır. Betonarme taşıyıcı sistemlerde eğilme rijitliği, yapısal davranışı etkileyen en önemli değişkenlerden birisidir. Eğilme momentinin küçük olduğu durumlarda, betonarme taşıyıcı elemanlarda çatlama meydana gelmez dolayısıyla betonarme taşıyıcı eleman rijitliklerine çatlamamış kesitin atalet momenti ve beton elastisite modülü etkin olduğu söylenebilir. Eğilme momenti değerinin artmasıyla birlikte, betonarme elemanların kesitlerinde çatlaklar oluşmaya başlar ve çatlak sayısının artmasıyla birlikte betonarme kesitin eğilme rijitliği oldukça azalır. Çatlama bölgesinin ve çatlak genişliklerinin büyümesi ile betonarme taşıyıcı elemanların çatlamamış ve çatlamış kesitleri arasındaki etkin eğilme rijitliği farkları önemli seviyelere ulaşabilir. Gözlemlenen bu gerçek davranışa rağmen, yapısal çözümlleme sırasında, taşıyıcı elemanların eğilme rijitlikleri, eleman boyunca sabit olarak kabul edilmektedir. Hlbuki betonarme taşıyıcı elemanların eğilme rijitlikleri, eğilme momenti değerine bağlı olmakla beraber, eğilme momentinin artmasıyla azalmakta dolayısıyla; betonarme taşıyıcı elemanların açıklık ve mesnet kesitlerinde farklı rijitlikler ortaya çıkmaktadır. Bu durumda yapısal eleman eksenı boyunca değişen ve yk seviyesine bağlı bir eğilme rijitliği kullanılarak kesit etkilerinin hesaplanmasının gerekliliğinin ortada olmasına rağmen, bu yaklaşımın betonarme yapı sistemlerinin tasarım amacına uygun olmayacak derecede karmaşık ve ekonomiklikten uzak olması nedeniyle hesaplamalarda terk edilmiştir. Bu bağlamda betonarme taşıyıcı elemanların etkin rijitliklerinin yapısal tasarım aşamalarında gerçeğe en yakın olarak belirlenmesi, yapısal davranışın daha iyi modellenmesi açısından son derece önemlidir. Betonarme taşıyıcı elemanların eğilme rijitliklerinin aynı oranda azaltılması, kesit tesirlerinin yapısal taşıyıcı elemanlardaki dağılımlarını etkilememekte buna karşın taşıyıcı sistem yer değiştirmelerinin aynı oranda artmasını neden olmaktadır. Depreme dayanıklı yapı tasarım yönetmeliklerinde, hesaplama aşamalarında yapısal taşıyıcı sistem elemanları için kullanılacak etkin rijitlik değerleri belirlenmiştir. Yönetmeliklerde eğilme rijitliklerinin normal kuvvet ve eğilme momenti etkisindeki yapısal taşıyıcı sistem elemanlarında azaltılması, yalnız eğilme momenti etkisindeki elemanlara göre daha azdır. Bunun sonucunda, kiriş ve kolonların brüt atalet momenti ile yapılan zmllemelere göre, kolonlar daha rijit olarak belirir, düşey yükler etkisinde kiriş mesnet momentleri artarken, açıklık

momentleri azalır. Yatay yük etkisinde ise, kolonlar kirişlere göre daha rijit bir davranış gösterme eğilimindedirler (Celep, 2008).

Sayısal analizde kullanılan PERFORM 3D programının çevrimsel davranış eğrileri Şekil 5.19 ve Şekil 5.20’de görülmektedir.



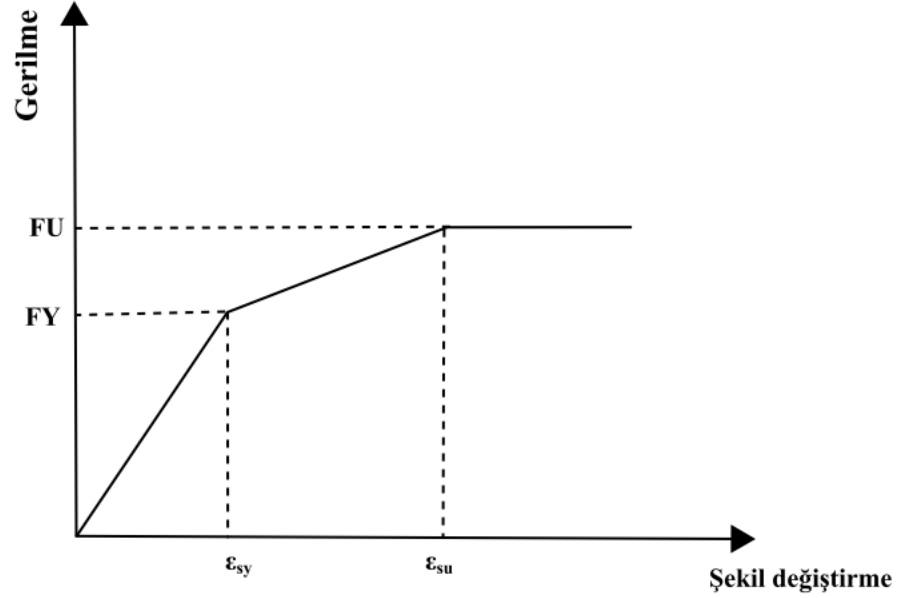
Şekil 5.19 : PERFORM-3D çevrimsel davranış eğrisi ve özellikleri.



Şekil 5.20 : PERFORM 3D doğrusallaştırılmış çevrimsel davranış eğrisi.

- Y → Akma sınır değeri
- U → Taşıma gücü sınır değeri
- L → Süneklik sınır değeri
- R → Artık gerilme sınır değeri

Hesaplamalarda PERFORM 3D programında veri girişi için kullanılan malzeme davranış eğrileri şu şekildedir tanımlanmışlardır.



Şekil 5.21 : Donatı çeliği iskelet eğrisi

$$F_Y = \lambda \times f_y \quad (\lambda = 1.15 \sim 1.17) \quad (5.3)$$

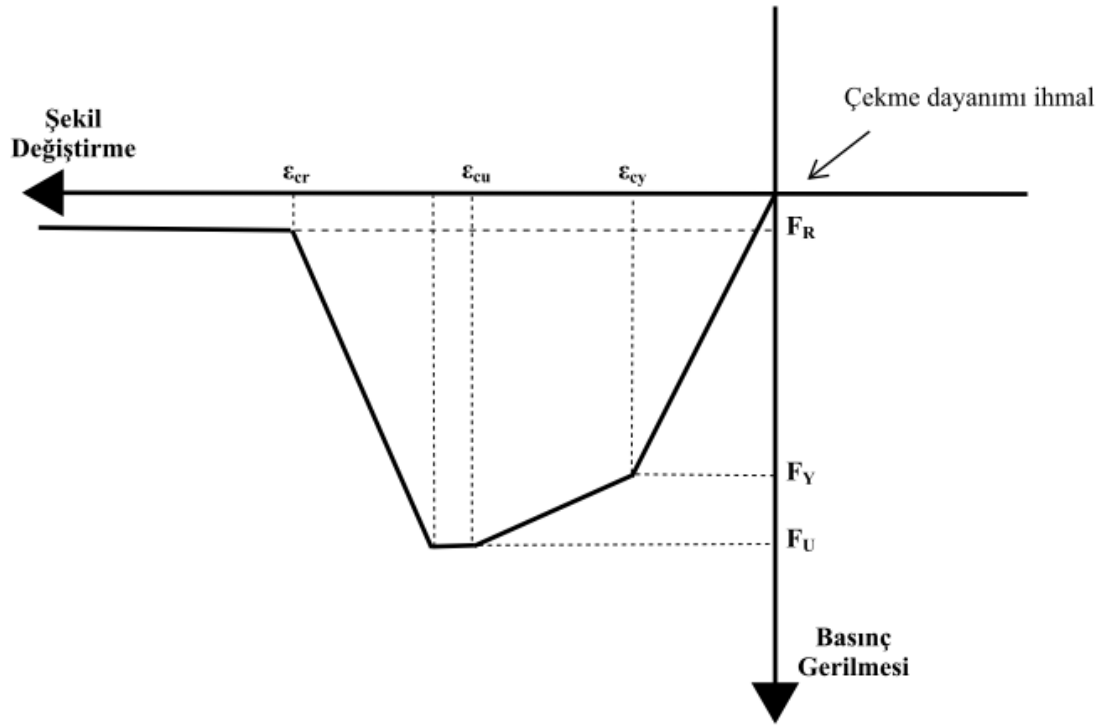
$$F_U = 1.5 \times F_Y \quad (5.4)$$

$$\epsilon_{sy} = \frac{F_Y}{E_s} \quad \epsilon_{su} = 0.10 \sim 0.12 \quad (5.5)$$

Şekil 5.21’de doğrusal elastik olmayan analiz aşamasında kullanılan donatı *ortalama dayanım değerleri* ve gerilme-şekil değiştirme ilişkisi görülmektedir. Betonarme çeliğinin yapısal özelliklerinden dolayı kullanılan karakteristik değerler ülkeler arasında büyük farklılıklar göstermemektedir. Ön boyutlama aşamasında beton ve donatı çeliği için tasarım dayanımları (f_{cd} , f_{yd}) malzeme güvenlik katsayılarına bölünerek tanımlanmakta, performans değerlendirme ve performansa göre tasarım aşamalarında ise tasarım dayanımı olarak yapı malzemelerinin ortalama dayanım değerleri kullanılmakta dolayısıyla, malzeme güvenlik katsayıları göz önüne alınmamaktadır.

Çevrimsel davranış eğrisinin tanımlanmasında kullanılan değişkenler ve anlamları şu şekildedir;

F_Y , donatı çeliği ortalama dayanım değeri, λ , ortalama dayanım hesaplanması için kullanılan katsayı, F_U donatı çeliği ortalama kopma dayanımı, ϵ_{sy} , donatı çeliği akma şekil değiştirme değeri; ϵ_{su} donatı çeliği kopma şekil değiştirmesi değeridir.



Şekil 5.22 : Sargısız beton iskelet eğrisi

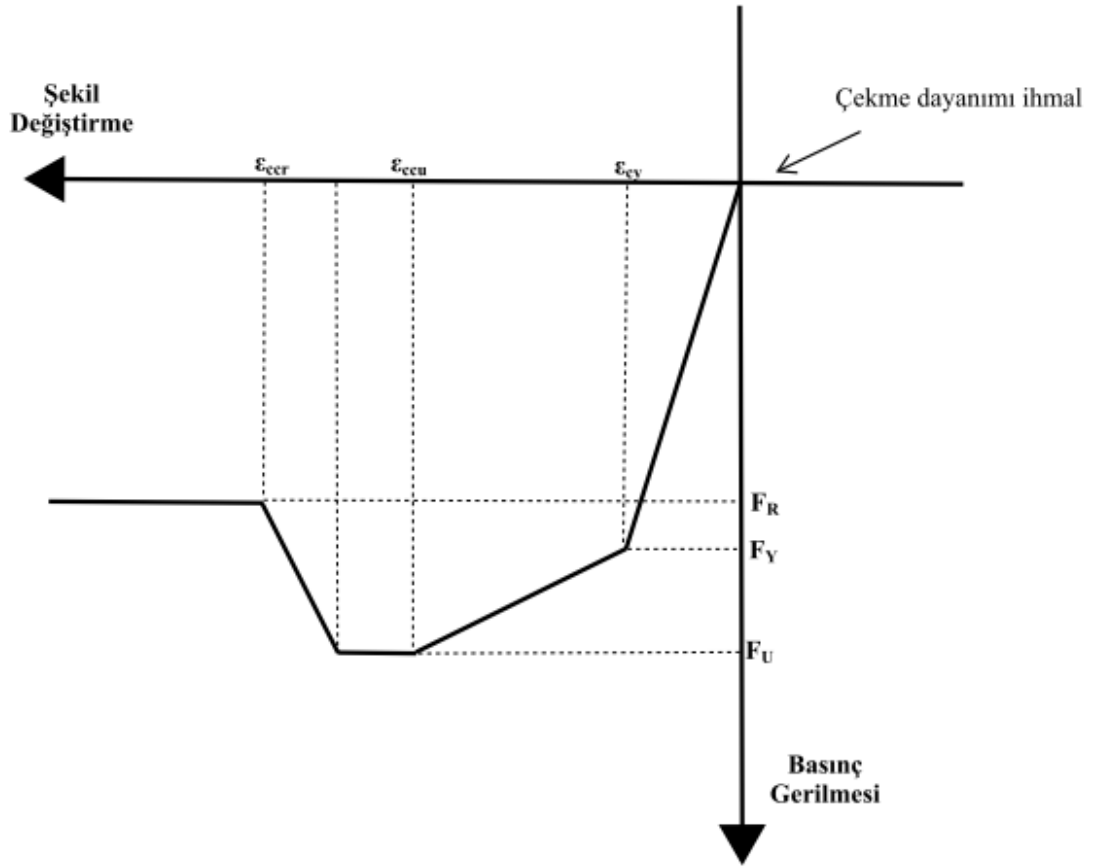
$$F_Y = \frac{2}{3} \times f'_c \quad (5.6)$$

$$F_U = f'_c \quad (5.7)$$

$$\epsilon_{cr} = 0.004, \quad \epsilon_{cu} = 0.002, \quad \epsilon_{cy} = 0.7\epsilon_{cc}$$

Şekil 5.22’de görülen çevrimsel davranış eğrisinin tanımlanmasında kullanılan değişkenler ve anlamları şu şekildedir;

F_Y , sargısız beton çatlama dayanımı, F_U , sargısız beton ortalama dayanımı, F_R , sargısız beton nihai dayanımı, ϵ_{cu} , sargısız beton izin verilen en büyük şekil değiştirme değeri, ϵ_{cr} , sargısız beton kırılma şekil değiştirme değeridir. Ülkelerin depreme dayanıklı yapı tasarımı yönetmeliklerinde ve yol gösterici kılavuzlarında (design guidelines) kullandıkları beton modellerinde farklılıklar bulunmaktadır. Betonarme kesitlerin deprem etkisi nedeniyle göstermiş oldukları davranışlarının gerçeğe en yakın olarak belirlenmesi amacıyla hesaplama aşamalarında kullanılan çevrimsel davranış eğrilerinin uygun bir model kullanılarak oluşturulması son derece önemlidir.



Şekil 5.23 : Sargılı beton iskelet eğrisi

$$F_Y = \frac{2}{3} \times f'_c \quad (5.8)$$

$$F_U = f'_{cc} = \lambda \times f'_c \quad (\lambda = 1.2 \sim 1.3) \quad (5.9)$$

$$\epsilon_{ccu} = 0.002 \left[1 + 5 \left(\frac{f'_{cc}}{f'_c} \right) - 1 \right] \quad (5.10)$$

Şekil 5.23'te görülen çevrimsel davranış eğrisinin tanımlanmasında kullanılan değişkenler ve anlamları şu şekildedir;

F_Y , sargılı beton çatlama dayanımı, F_U , sargılı beton ortalama dayanımı, λ , ortalama dayanım hesaplanması için kullanılan katsayı F_R , sargılı beton nihai dayanımı, ϵ_{ccu} , sargılı beton izin verilen en büyük şekil değiştirme değeri, ϵ_{ccr} , sargılı beton nihai şekil değiştirme değeridir.

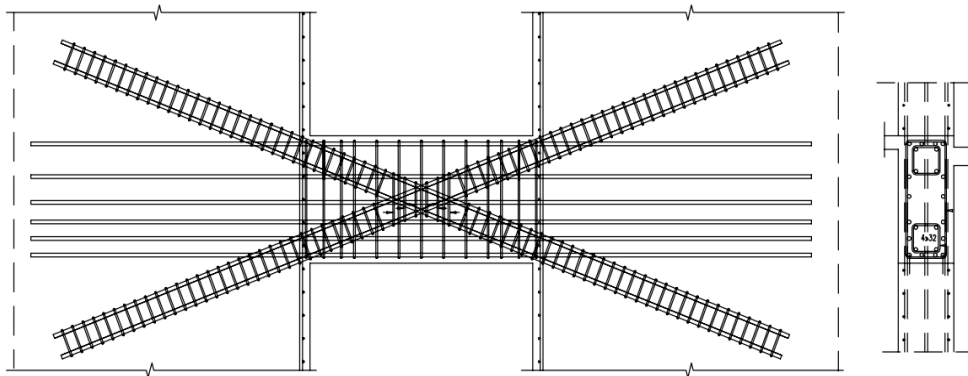
Şekil 5.23'te görüldüğü üzere; hesaplamaları kontrol eden en önemli değişkenler, ϵ_{ccu} ve ϵ_{ccr} değerleridir.

Bu sınır değerlerin detaylı bir şekilde elde edilmesi amacıyla son derece kapsamlı çalışmalar yapılmıştır. Hesaplama aşamalarında seçilen beton malzeme modeline uygun olarak ϵ_{ccu} ve ϵ_{ccr} değerlerinin kullanılması uygundur ancak, yapılan hesaplamalar sonucunda ϵ_{ccu} değerinin 0.02 aşması durumunda betonarme kesitin güvenilirliği, donatı çeliğinin burkulma eğilimi nedeniyle ayrıca kontrol edilmesi gerekmektedir. Sargılı beton davranışı beklenen kesitlerin ACI-318-95 Bölüm 21'deki şartları sağlaması durumunda, ϵ_{ccu} değeri 0.015 kabul edilerek kullanılabilir.

Özet olarak, yapı malzemesi ve/veya yapısal taşıyıcı elemanların çevrimsel yükler altında göstermiş oldukları davranışın doğrusal olmayan hesaplamalarda göz önüne alınabilmesi yapı malzemesi ve/veya yapısal taşıyıcı elemanların iskelet eğrileri yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Doğrusal olmayan analiz sonuçlarının ve güvenilirliklerinin, malzeme ve eleman özelliklerinin değişimlerine son derece hassas olmaları nedeniyle, yapısal analiz aşamalarında kullanılacak iskelet eğrilerinin seçilmesine gerekli özen gösterilmeli, eğrilerin tanımlanması için kullanılan değişkenlerin (parametreler), veya parametrik modellerin akademik çevreler tarafından geçerliliği onaylanmış olmalarına özen gösterilmelidir.

5.2.4.2 Bağ kirişlerinin modellenmesi

Deprem, rüzgâr yüklerini güvenli bir şekilde karşılamak amacıyla kullanılan perdeler, kiriş ve/veya döşeme sistemleri ile birlikte çalıştırıldıkları zaman, tekil olarak kullanıldıkları düzene oranla daha yüksek performans göstermektedirler. Yatay yükler etkisi altında taşıyıcı sistem performansının artırılması için, perdelerin birbirleriyle etkileşim içinde olması gerekmektedir. Bu etkileşim, bağ kirişleri yardımıyla sağlanmaktadır.(Şekil 5.24 ve Şekil 5.25)



Şekil 5.24 : Tipik bağ kirişi ve kesiti



Şekil 5.25 : Çapraz donatılmış bağ kirişi uygulaması

Bağ kirişleri genel olarak açıklık/derinlik (I_n/d) oranları küçük, kesme kuvveti nedeniyle oluşan etkilerin, eğilme momenti etkileriyle oluşan etkilere oranla daha önemli olduğu yapısal taşıyıcı sistem elemanları olarak tanımlanırlar. Bağ kirişlerinin esas amaçları yatay yükler etkisiyle oluşan kesme kuvvetlerinin perdeler arası geçişlerini sağlamaktır.

Perde ve bağ kirişleri kullanılarak oluşturulmuş taşıyıcı sistemler, günümüz yüksek yapı tasarımlarında oldukça sık kullanılmaktadırlar. Bu tip sistemlerin deprem yükleri altındaki davranışları, deprem etkilerinin büyüklükleri, bağ kirişlerinin donatı düzenleri ve geometrik özellikleri ile ilişkilidir. Bağ kirişlerinde genel olarak gözlemlenen güç tükenmesi durumlarını 2 grupta incelenebilir.

- Eğilme Momenti Güç Tükenmesi
- Kesme Kuvveti Güç Tükenmesi

Eğilme momenti güç tükenmesi durumu donatı yoğunlukları çok yüksek olmayan, açıklık/derinlik oranı yüksek bağ kirişlerinde gözlemlenmektedir. Bu tür bağ kirişlerinin dayanım kayıpları, yatay yük etkisiyle bağ kirişlerinin çekme kuvveti oluşan kısımlarında eğilme çatlakları oluşmasıyla başlar. Yükün şiddeti arttıkça çatlaklar kiriş derinliği boyunca yayılır ve belirginleşirler. Çatlak yayılım hızı ve çatlak derinliğine bağlı olarak bağ kirişleri, güç tükenmesi durumuna ulaşırlar. Bu tip güç tükenmesi durumu *sünek güç tükenmesi* olarak tanımlanır.

Kesme kuvveti güç tükenmesi durumu, çok katlı yüksek yapılarda karşılanması gereken deprem kuvvetlerinin oldukça fazla olduğu durumlarda kullanılan; donatı yoğunluğu fazla ve açıklık/derinlik oranı az olan bağ kirişlerinde gözlemlenir. Yatay yük etkisiyle oluşan eğilme çatlaklarının oluşmasıyla başlayan güç tükenmesi durumu, yatay yükün şiddetinin artmasıyla birlikte çatlakların karakteristik olarak diyagonalleşip yayılmasıyla devam eder. Oluşan bu diyagonal çatlaklar, özellikle bağ kirişlerinin orta kısımlarına doğru yayılma eğilimindedirler. Sistem taşıma gücüne, kesme kuvveti nedeniyle oluşan eğik çekme gerilmelerinin yeter düzeyde karşılanamaması nedeniyle ani olarak ulaşır. Bu tip güç tükenmesi durumu yapısal olarak *gevrek güç tükenmesi* olarak tanımlanır ve sakınılan bir yapısal davranış çeşididir.

Gevrek güç tükenmesi durumunun önüne geçilebilmesi amacıyla bağ kirişlerinin taşıyabileceği en yüksek kesme kuvveti değerleri depreme dayanıklı yapı tasarım yönetmeliklerinde sınırlandırılmıştır. Çizelge 5.9 ve Çizelge 5.10'da örnek teşkil etmesi amacıyla bağ kirişi sınır değerleri gösterilmiştir.

Çok katlı yapıların mimari özellikleri ve gereksinimleri nedeniyle (kapı yükseklikleri ve genişlikleri); perdeleri birbirine bağlayan bağ kirişleri yüksekliklerinin azaltılması son derece yaygın olarak kullanılmaktadır. Bağ kirişi yüksekliğinin azaltılması, yapısal optimizasyon aşamalarında yaygın olarak kullanılan bir çözüm olarak görülsede; bu tip bir çözümleme yoluna başvurulduğu zaman, yeni kiriş yüksekliklerinin yapısal davranışa olan etkileri göz ardı edilmemelidir. Deprem yüklerinin boşluklu başka bir deyişle bağ kirişli perdeler ile karşılandığı taşıyıcı sistem düzenlenmelerinde, bağ kirişlerinin boyutlandırılması, donatılarının yerleştirilmesi ne zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz çözümüne uygun olarak modellenmesi, taşıyıcı sistem davranışı açısından son derece önemli bir rol oynamaktadır. Bağ kirişlerinin donatı düzenlemeleri, yapısal taşıyıcı sistemin deprem kuvvetleri etkisiyle göstereceği davranışı belirleyen en önemli değişkenlerin başında gelmektedir. Son yıllarda yapılan çalışmalar neticesinde bağ kirişlerinde kullanılan çapraz donatı düzeninin en uygun düzen olduğu konusunda fikir birliği bulunmaktadır. Genel olarak, depreme dayanıklı yapısal tasarım yönetmeliklerinde ve kılavuz dokümanlarda çapraz donatılmış bağ kirişlerinin, klasik donatılmış bağ kirişlerine göre daha iyi bir davranış sergiledikleri vurgulanmakta ve taşıyıcı sistem düzenlenmelerinde tercih edilmesi tavsiye edilmektedir.

Çizelge 5.9 : Yönetmelik kesme kuvveti karşılaştırmaları

Beton Sınıfı	Bağ Kirişi	Kesme Kuvveti Üst Sınırı				
		b x h	ACI-99	ACI-318-08	CSA-2004	TS-500
	C60	1000x1200	6600	7719	8618	10800
Beton Sınıfı	C60	900x1200	5940	6947	7757	9720
		800x1200	5280	6175	6895	8640
		700x1200	4620	5403	6033	7560
		600x1200	3960	4632	5171	6480
		500x1200	3300	3860	4309	5400
		1000x1200	7128	8338	10055	12600
	C70	900x1200	6416	7504	9049	11340
		800x1200	5703	6670	8044	10080
		700x1200	4990	5836	7038	8820
		600x1200	4277	5003	6033	7560
		500x1200	3564	4169	5027	6300

Çizelge 5.10 : Kesme kuvveti sınır değerlerinin karşılaştırılması

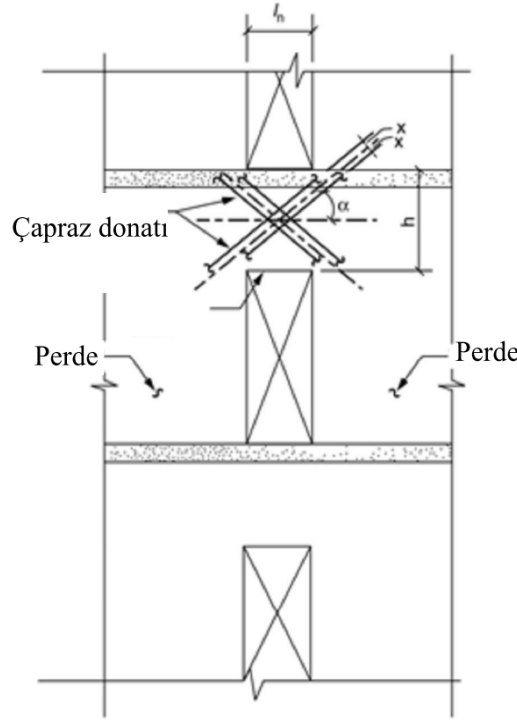
Yönetmelik	Kesme kuvveti sınırı
ACI-318-02 ACI-318-05	$V_c + 8\sqrt{f_c'} b_w d$
AASHTO STD	$V_c + 8\sqrt{f_c'} b_w d$
AASHTO LRFD	$0.25b_v d_v + V_p$
AASHTO Köprü	$12\sqrt{f_c'} b_w d$
CSA (1994)	$0.25b_v d_v + V_p$
CSA (2004)	$0.25b_v d_v + V_p$
JSCE	$15\sqrt{f_c'} b_w d$

Bağ kirişi yüksekliğinin azaltılması, yapısal optimizasyon aşamalarında yaygın olarak kullanılan bir çözüm olarak görülse de; bu tip bir çözümleme yoluna başvurulduğu zaman, yeni kiriş yüksekliklerinin yapısal davranışa olan etkileri göz ardı edilmemelidir. Bu etkileri şu şekilde sıralayabiliriz

.Kiriş eğilme rijitliğinin azalması

- Bağ kirişlerinin çapraz donatılı bölümlerinin (diyagonal kafes) yatay eksenle yaptığı açının azalması, buna bağlı olarak kirişlerin taşıma kapasiteleri ve enerji yutma kapasitelerinin azalması

Bağ kirişi diyagonal kesme donatısının kirişin yatay eksenine yaptığı açı (Şekil 5.26) kirişin davranışını etkileyen en önemli faktörlerden birisidir. Yapılan çalışmaları sonucunda diyagonal olarak yerleştirilmiş donatının etkin olarak çalışabilmesi için belirli bir açıdan daha küçük yerleştirilmemesinin uygun olacağı sonucuna ulaşılmış ve söz konusu açı şartının sağlanması amacıyla yönetmeliklerde çapraz donatılı bağ kirişleri için uyulması gereken geometrik koşullar belirtilmiştir.



Şekil 5.26 : Çapraz donatılı bağ kirişi ve bağ kirişleri arasında kalan α açısı

$$\tan \alpha = \frac{\frac{h}{2} - \frac{x}{\cos \alpha}}{\frac{l_n}{2}} \quad (5.11)$$

Bu eşitlikte α diyagonal kesme donatısının bağ kirişi yatay eksenine yaptığı açıyı, h bağ kirişi kesit yüksekliğini, l_n bağ kirişi net açıklığını, x bağ kirişi donatı demetlerinin birbirine olan mesafesini ifade etmektedir.

(5.10) bağıntısından açıkça görüldüğü üzere α açısı, bağ kirişi yüksekliği ve bağ kirişi net açıklığı değerlerine bağlıdır. Daha öncede belirtildiği üzere diyagonal olarak yerleştirilmiş donatıların etkin olarak çalışabilmesi için belirli bir α açıdan daha küçük yerleştirilmemesine özen gösterilmelidir. Bu açı yönetmelik şartları kullanılarak rahatlıkla hesaplanabilir.

Örnek olarak; ACI-318 yönetmeliklerinde, diyagonal donatılmış bağ kirişi geometrik koşulu (bağ kirişi net açıklığının bağ kirişi yüksekliğine oranı, (l_n / h) 4 ile sınırlandırılmıştır. Bu geometrik şarttan yola çıkarak diyagonal donatılar arasında izin verilen en küçük açığı (5.10) bağıntısı yardımıyla 14^0 olarak hesaplayabiliriz. DBYBHY–2007 ise diyagonal donatılar arasında izin verilen en küçük açı sınır değeri yaklaşık olarak 19^0 dır.

Perde parçalarının deprem kuvvetleri etkisiyle göstermiş oldukları konsol davranış eğilimleri neticesinde, yüksek yapıların özellikle üst katlardaki perde kesitlerinde büyük dönmeler, buna bağlı olarakta bağ kirişlerinde de oldukça büyük düzeyde eğilme momentleri ortaya çıkmakta ve dolayısıyla, eğilme momenti etkisinin daha hâkim olduğu üst kat bağ kirişlerinde tekrarlı ve yön değiştiren deprem kuvvetleri nedeniyle önemli rijitlik kayıpları gözlemlenmektedir. Meydana gelecek çatlama etkilerinin hesaplamalarda göz önüne alınması, bağ kirişi atalet momentlerinin azaltılmasıyla mümkün olmaktadır. Ancak bu noktada unutulmaması gereken en önemli nokta, bağ kirişi rijitliklerinin aşırı azalması sonucunda perdelerde oluşacak normal kuvvetlerin azalacağı, dolayısıyla perdeler arası etkileşimin zayıflayacağıdır. Bu sorunun önüne geçebilmek amacıyla depreme dayanıklı yapı tasarım yönetmeliklerinin hemen hemen hepsinde yapısal taşıyıcı sistem elemanları için hesaplanan etkin rijitlik değerleri için bir alt sınır ve üst sınır belirlenmiştir.

Beton malzemesinin mekanik özellikleri nedeniyle; betonarme taşıyıcı elemanların eğilme rijitlikleri, eksenel rijitliklerine oranla daha fazla önemlidir. Bağ kirişi rijitliklerinin artırılması ile bağ kirişinde meydana gelen eğilme momentini büyütürken, aynı zamanda da perdeler arasındaki etkileşimi de arttırmakta ve dolayısıyla perde kesitlerinin daha fazla eğilme momenti taşımasına yardımcı olmaktadır.

Bilindiği üzere, eğilme momenti değerinin küçük olduğu durumda, betonarme kesitte çatlama oluşmaz; buna bağlı olarak kesit eğilme rijitliğine çatlamamış kesitin atalet momenti ve betonun elastisite modülü etkili olur. Eğilme momentinin artması ile birlikte bazı kesitlerde çatlama meydana gelir, çatlak sayısının artması ile birlikte kesitin eğilme rijitliği düşer dolayısıyla kesit çatlamış bir kesit olarak çalışmaya başlar. Eğilme momentinin yapı elemanı boyunca değişken olması ve nedeniyle, yapısal taşıyıcı elemanların etkin eğilme rijitliklerinin kesin olarak belirlenmesi mümkün olmamaktadır.

Bağ kirişi etkin rijitlikleri, taşıyıcı sistem davranışını etkileyen en önemli değişkenlerin başında gelmektedir. Daha önce de belirtildiği üzere, bağ kirişlerinin asıl görevleri, yatay yükler etkisiyle oluşan kesme kuvvetlerini perdelerle aktarılmasını sağlamak ve dolayısıyla sistemin devrilme momenti direncinin arttırmasına katkıda bulunmaktadır. Bu bağlamda bağ kirişli bir sistemde yatay yükler etkisiyle oluşan kesme kuvvetlerinin hangi oranda ve ne kadar etkin olarak perdelerle aktarıldığının belirlenmesi, başka bir deyişle sistemin devrilme direncinin ne kadar arttırılabileceğinin tasarım aşamalarında belirlenmesi yapı mühendislerine yapısal davranışın anlaşılması açısından oldukça faydalı bilgiler sağlamaktadır. Bu amaç doğrultusunda, bağ kirişi etkin rijitliklerinin belirlenmesi son derece önemli bir konu haline almıştır. Literatür çalışmaları sonucunda bağ kirişlerinin etkin rijitliklerinin hesaplanması amacıyla kullanılacak formüller belirlenmiş ve bu formüller zaman içinde depreme dayanıklı yapı tasarımı yönetmeliklerinde kullanılmışlardır. Bağ kirişleri için çeşitli deprem yönetmeliklerinde verilen etkin rijitlik değerleri şu şekildedir.

$$I_e = \frac{0.4 \times I_g}{1 + 3 \times \left(\frac{h}{l_n} \right)^2} \quad (5.12)$$

Paulay ve Priestley tarafından 1992 yılında yapılan çalışma sonucu önerilen bu formülde; I_e bağ kirişi etki eğilme rijitliğini, I_g bağ kirişi eğilme rijitliğini, h bağ kirişi yüksekliğini, l_n ise bağ kirişi net açıklığını ifade etmektedir. Bağ kirişi etkin rijitliklerinin belirlenmesi için önerilen (5.11) bağıntısı ilk olarak Kanada yönetmeliğinde (CSA A23.3–94) kullanılmaya başlanmıştır. Ek olarak Yeni Zelanda Betonarme Yapı Yönetmeliğinde (NZS 3101:Part2–1995) bağ kirişleri için kullanılacak etkin eğilme rijitlik formülleri daha detaylı olarak şu şekilde belirlenmiştir;

$$I_e = \frac{A}{B + C \times \left(\frac{h}{l_n} \right)^2} I_g \quad (5.13)$$

Önerilen bağıntılarda; I_e bağ kirişi etki eğilme rijitliğini, I_g bağ kirişi eğilme rijitliğini, h bağ kirişi derinliğini, l_n bağ kirişi net açıklığını, μ_Δ ise süneklik katsayısını ifade etmektedir.

Çizelge 5.11 : NZS 3101:Part2–1995 yönetmeliği etkin eğilme rijitlik katsayıları

Süneklik (μ_{Δ})	Bağ Kirişleri					
	Etkin Eğilme Rijitlik Katsayıları					
	Çapraz Donatı			Normal Donatı		
	A	B	C	A	B	C
1.25	1.0	1.7	1.3	1.0	1.0	5.0
3.0	0.7	1.7	2.7	0.7	1.0	8.0
4.5	0.6	1.7	2.7	0.6	1.0	8.0
6.0	0.4	1.7	2.7	0.4	1.0	8.0

Yönetmelikler tarafından kullanılması önerilen formüller incelenirse paydadaki ikinci terimler ile birlikte bağ kirişlerinde kayma şekil değiştirmelerinin göz önüne alındığı görülebilir.

ABD’de şu an yürürlükte olan depreme dayanıklı yapı tasarımı yönetmeliklerinde bağ kirişleri için kullanılan etkin eğilme rijitlik değerleri Çizelge 5.12’de görüldüğü üzere şu şekilde ifade edilmiştir.

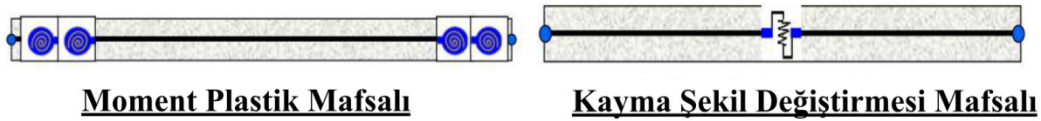
Yeni Zelanda ve ABD yönetmeliklerinde bağ kirişleri için önerilen etkin eğilme rijitlik değerleri, yapı sistemlerinin doğrusal elastik çözümleme aşamalarında kullanılması esas alınarak verilmiştir. Yapılan araştırma çalışmaları neticesinde doğrusal olmayan davranış nedeniyle bağ kirişi etkin rijitlik değerlerinin $0.15 E_c I_g$ - $0.20 E_c I_g$ seviyelerine kadar düştüğü gözlemlenmiştir. Genel bir görüş olarak, doğrusal elastik yapısal çözümleme aşamalarında bağ kirişi etkin rijitliklerinin $0.3 E_c I_g$ olarak kullanılması yaygındır. Alsiwat, Saatçioğlu ve Elwood tarafından gerçekleştirilen ve PEER/ATC-72-1 dokümanında sonuçları özetlenen çalışmalar neticesinde, açıklık/derinlik oranı 2’den büyük ($l_n/h > 2$) olan bağ kirişlerinin taşıma gücü durumuna eğilme momenti etkisiyle ulaştıkları ve bu tip bağ kirişi etkin eğilme rijitliklerinin $0.15 E_c I_g$, etkin kayma rijitliklerinin ise $0.4 E_c$ mertebesinde oldukları, açıklık/derinlik oranı 1.4 den küçük ($l_n/h < 1.4$) olan bağ kirişlerinin taşıma gücü durumuna kesme kuvveti etkisiyle ulaştıkları ve bu tip bağ kirişi etkin eğilme rijitliklerinin $0.15 E_c I_g$, etkin kayma rijitliklerinin ise $0.1 E_c$ mertebelerinde oldukları belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara dayanarak, depreme dayanıklı tasarım yönetmelikleri ile belirlenen bağ kirişi etkin eğilme rijitlik değerlerinin deneyler sonucu elde edilen değerlere oranla daha fazla oldukları söylenebilir. Daha öncede belirtildiği gibi kesit tesirlerinin yapı elemanları boyunca değişken olması nedeniyle, yapısal elemanlar için etkin rijitlik değerlerinin belirlenmesi oldukça zordur.

Çizelge 5.12 : Bağ kirişi etkin eğilme rijitlik değerleri

Yönetmelik	Etkin Eğilme Rijitliği
<i>ACI-318-08</i>	$0.35 E_c I_g$
<i>ASCE/SEI 41-06</i>	$0.5 E_c I_g$
<i>ASCE/SEI 41-06 Supply.1</i>	$0.3 E_c I_g$

Her ne kadar yönetmelikler tarafından belirlenen bağ kirişi etkin rijitlik değerlerinin, deneyler sonucu elde edilen değerlere oranla daha fazla oldukları göze çarpıyorsa da deneylerin tek bir numune üzerinde gerçekleştirilmesinden dolayı gözardı edilen etkilerin farkındalığı (sistem davranışı göz ardı edilmiş, döşeme etkileri göz ardı edilmiş) son derece önemlidir.

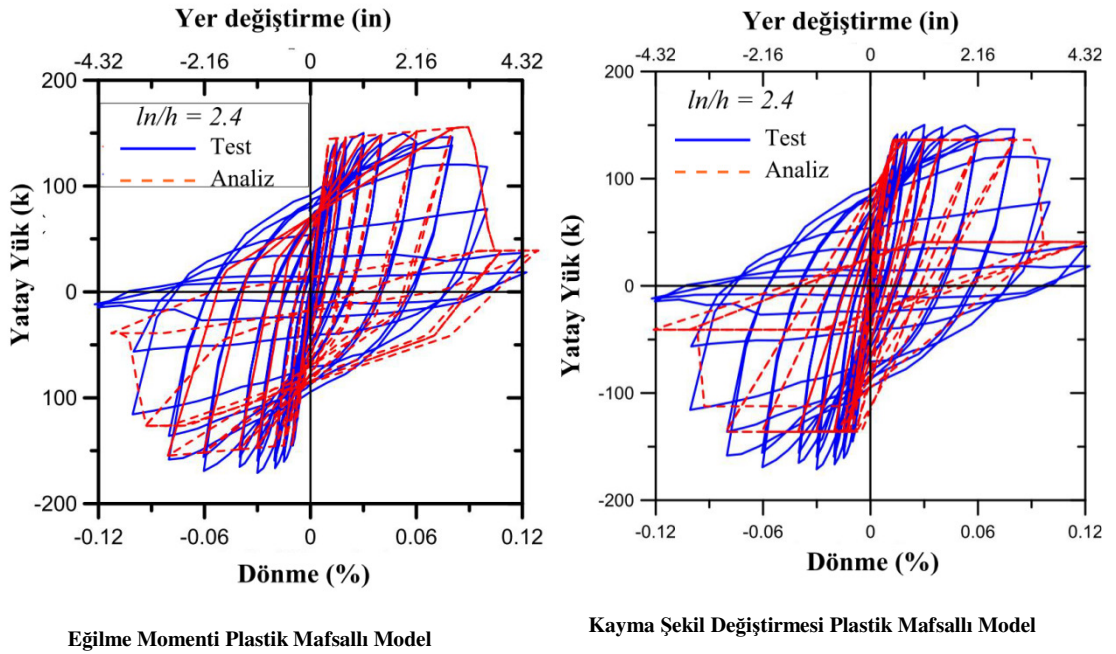
Yapısal analiz aşamalarında çapraz donatılı bağ kirişleri, yatay yükler etkisi altında donatı demetlerinde üniform kayma şekil değiştirmesine sahip yapısal elemanlar olarak ya da eğilme etkileri nedeniyle kiriş uçlarında eğilme momenti plastik mafsallı olacak yapısal elemanlar şeklinde modellenenirler. Yapılan karşılaştırmalı deneyler ve analizler sonucunda her iki bağ kirişi modelinde doğrusal olmayan davranışı yeter derecede temsil ettiği gözlemlenmiştir. Şekil 5.27’de bağ kirişleri için kullanılan hesap modelleri görülmektedir. Bağ kirişi modellenmesinin hangi etki gözetilerek yapılacağı yönetmeliklerce net olarak belirlenmemiş olmasına rağmen genel bir görüş olarak açıklık/derinlik oranları 2 ve 2’den küçük olduğu bağ kirişlerinin, kayma şekil değiştirmesi plastik mafsallı kullanılarak modellenmesi yaygındır.



Şekil 5.27 : Bağ kirişi hesap modelleri

Analiz modelinde bağ kirişleri; elastik olarak modellenmiş, analiz programının *shear hinge-plastic strain type* özelliği kullanılarak bağ kirişlerinin yatay yükler altında doğrusal olmayan davranışları göz önüne alınmıştır. Alışlagelen plastik mafsallı yerleşiminin aksine, bağ kirişlerinde kullanılan kayma şekil değiştirmesi plastik mafsallı, kiriş açıklığının ortasına yerleştirilmiştir. Analiz sırasında kirişlere etkiyen düşey yüklerin tamamı; düşey taşıyıcı elemanlara (kolon ve/veya perde) iletilmelidir.

Bağ kirişlerinin iki ucuna yerleştirilen kayma şekil değiştirmesi plastik mafsallarından, herhangi bir tanesinin taşıma gücüne ulaşması durumunda, diğer taşıyıcı elemanlara aktarılması gereken yükler plastik mafsallardan bölgeden aktarılamazlar. Dolayısıyla, bu davranış nedeniyle yükler, kirişin henüz plastikleşmemiş diğer ucuna doğru aktarılmaya başlar, dolayısıyla kirişin diğer ucu da hızlı bir şekilde taşıma gücüne ulaşır ve kirişin bu ucunda da plastik mafsallardan oluşur. Bu durumda; iki plastik mafsallardan taşıma gücüne ulaşmasıyla kirişte yüklerin aktarılması mümkün olamayacağı için; yapısal analiz aşamalarında sayısal sorunların oluşması kaçınılmazdır. Bu sorunların önüne geçebilmek amacıyla; kayma şekil değiştirmesi plastik mafsalları; bağ kirişi açıklığının orta noktasına yerleştirilmiştir.

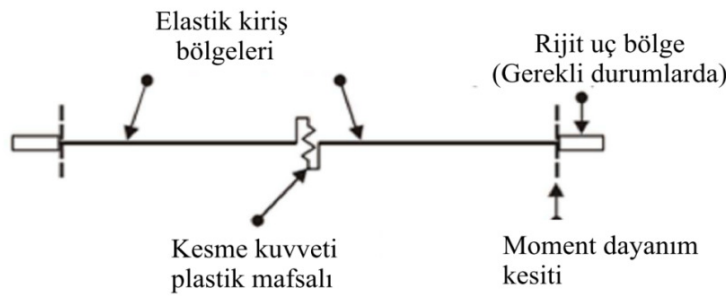


Şekil 5.28 : Bağ kirişi çevrimsel davranış eğrisi karşılaştırmaları

Şekil 5.28’de bağ kirişi deney sonuçlarının, her iki tip modelleme tekniği kullanılarak elde edilen sayısal analiz sonuçlarıyla karşılaştırılması görülmektedir. Şekilden görüldüğü üzere, her iki model de deney sonuçlarına oldukça yakın davranış sergilemiştir. Moment plastik mafsalları kullanılarak modellenen bağ kirişinin, kayma şekil değiştirmesi plastik mafsallı modele göre oranla biraz daha iyi davranış göstermesinin nedeni, moment plastik mafsallının tanımlanması için gerekli olan parametrelerin çok daha detaylı bir şekilde elde edilebilmesi ve dolayısıyla çevrimsel davranış eğrisinin daha detaylı bir şekilde tanımlanabilmesinden kaynaklanmaktadır.

Gerçekleştirilen performans değerlendirmesi çalışmasında, bağ kirişi etkin eğilme rijitliği hesabı için *Seismic Response of Diagonally Reinforced Slender Coupling Beams* isimli çalışmadan yararlanılmıştır.

PERFORM-3D ortamında oluşturulan tipik bir bağ kirişi modeli, Şekil 5.29’da görülmektedir. Modelde *moment dayanım kesiti (moment strenght section)* elemanı, bağ kirişinde eğilme momenti nedeniyle oluşabilecek eğilme plastik mafsalının kontrolü amacıyla kullanılabilir. Yapılan ön tasarım aşamalarında, bağ kirişlerinde eğilme momenti plastik mafsalının oluşmayacağı hesapla gösterildiği takdirde *Moment strenght section* elemanı kullanılmayabilir.



Şekil 5.29 : Çapraz donatılmış bağ kirişi hesap modeli.

5.2.4.3 Deprem perdelerinin modellenmesi

Yüksek yapılarda deprem hareketi etkisiyle oluşan yatay yüklerin güvenli bir şekilde karşılanması ve yer değiştirmelerin sınırlandırılması amacıyla perde elemanlar kullanılmaktadır. Deprem yüklerinin güvenli bir şekilde karşılanması amacıyla kullanılan perdeler, yapı için birinci derece öneme sahip taşıyıcı sistem elemanlarından biridir. Yapı mühendisliği literatüründe *deprem perdesi-(shear wall)* adı ile kullanılan deprem perdeleri, adında da anlaşılacağı üzere kesme kuvveti etkilerinin eğilme momenti etkilerine oranla daha önemli olduğu yapısal taşıyıcı elemanlardır. Özellikle şiddetli deprem etkisinde, perdeler plastik şekil değiştirebilme özellikleri sayesinde, deprem hareketi nedeniyle oluşan ve oldukça büyük mertebelere ulaşabilen yatay kuvvetlerin etkisine karşı koyarlar ve bu davranışları sayesinde yapı sisteminin toptan göçmesinin önlenmesinde ve yapısal taşıyıcı sistemde oluşabilecek hasarların sınırlandırılmasında etkili olurlar.

Yüksek yapıların taşıyıcı sistemlerinde yaygın olarak çekirdek perdeler kullanılmaktadır.

Bilindiği üzere çekirdek perdeler tek başına kullanıldıkları durumlarda, düşeyde konsol bir kiriş gibi davranmakta ve bu davranış nedeniyle, perdelerin en çok zorlanan bölümleri perde alt bölümleri olarak ortaya çıkmaktadır. Çekirdek perdelerin yapı analizi için modellenmesi aşamalarında dikkat edilmesi gereken noktalar ve uygulanması gereken kurallar günümüz depreme dayanıklı yapı tasarım yönetmeliklerinde ve literatür çalışmalarında belirtilmiştir. Deprem etkisi nedeniyle oluşan diyafram ve transfer kuvvetlerinin büyüklüğü, yapı yüksekliği boyunca kesit tesirlerinin ve yer değiştirmelerin dağılımları, perde tipi taşıyıcı sisteme sahip yapıların modellemelerinde yapılan kabuller ve modelleme parametreleriyle doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle, perde tipi taşıyıcı elemanlara sahip yapıların analiz modellerinin oluşturulması aşamalarında perde elemanların modellenmesine ayrı bir özen gösterilmeli ek olarak, çekirdek perdelerin, modelleme aşamalarında 3 bölgeye ayrılarak modellenmesi tercih edilmelidir. Bu bölgeleri şu şekilde sıralayabiliriz.

- Podyum katları üzerindeki perde plastik mafsallık bölgesi
- Perde plastik mafsallık bölgesi dışında kalan bölgeler
- Bodrum katlarda devam eden perde bölgesi

Çekirdek perdeli bir sistemin yapısal davranışını etkileyen en önemli değişkenler perde elemanların etkin eğilme rijitlikleri, perde ve diğer yapısal taşıyıcı elemanların birbirlerine göre olan göreceli rijitlik farkları ve moment, kesme kuvveti tesirlerinin perde boyunca dağılımlarıdır. Önceki bölümde bahsedildiği üzere; betonarme taşıyıcı elemanların etkin eğilme rijitliklerinin belirlenmesi ve bu rijitliklerin analiz modeline yansıtılması, yapısal davranışın hesaplamalarda gerçeğe en yakın bir şekilde göz önüne alınabilmesi açısından son derece önemlidir. Bu amaç doğrultusunda perde etkin rijitliklerinin belirlenmesi önem kazanmaktadır. Taşıyıcı perde duvarların etkin rijitlikleri; perdeye etki eden düşey yük değerleri ve perde inelastik dönme istemleri ile doğrudan ilişkilidir. Perde duvarların etkin rijitliklerinin belirlenmesi için yapılan çalışmalar neticesinde, yatay yükler etkisi altında perdelerin etkin rijitliklerinin, normal kuvvet ve inelastik dönme kapasitelerine ek olarak çevrimsel yüklerin şiddetine de bağlı oldukları belirlenmiştir.

Depreme dayanıklı yapı tasarımı yönetmeliklerinde ve literatür çalışmalarında; perde tipi taşıyıcı sistem elemanları için hesaplamalarda kullanılacak etkin rijitlik değerlerinin belirlenmesi amacıyla çeşitli bağıntılar önerilmiştir.

Perde tipi taşıyıcı elemanlar için kullanılacak etkin rijitlik değerleri çeşitli kaynaklarda ve yönetmeliklerde şu şekilde belirtilmiştir.

Kanada betonarme yapılar yönetmeliğinde (CSA)

Perde etkin rijitlik üst sınırı,

$$I_e = \left[0.2 + 2.5x \frac{P}{f_c x A_g} \right] I_g \leq 0.7x I_g \quad (5.14)$$

Perde etkin rijitlik alt sınırı

$$I_e = \left[0.6 + \frac{P}{f_c x A_g} \right] I_g \leq I_g \quad (5.15)$$

Bu bağıntılarda P, tasarım düşey yüklerini; f_c , karakteristik beton basınç dayanımını; A_g , brüt kesit alanını; I ise kesit atalet momentini temsil etmektedir.

DBYBHY–2007 yönetmeliğinde;

$$(EI)_e = 0.8x(EI)_0 \rightarrow \left[\frac{N_D}{A_c x f_{cm}} \right] \geq 0.40 \quad (5.16)$$

$$(EI)_e = 0.4x(EI)_0 \rightarrow \left[\frac{N_D}{A_c x f_{cm}} \right] \leq 0.10 \quad (5.17)$$

Bu bağıntılarda N, tasarım düşey yüklerini; f_{cm} , karakteristik beton basınç dayanımını; A_c , brüt kesit alanını; E; beton elastisite modülünü; I ise kesit atalet momentini temsil etmektedir.

$$\frac{I_{eff}}{I_g} = \frac{14.5}{F_y} + \frac{P_u}{A_g x f_c} \quad (5.18)$$

Paulay ve Priestley tarafından önerilen bu bağıntıda, P_u , perde tasarım kuvvetini, A_g , perde kesit alanını, f_c ' beton basınç dayanımını, F_y ise donatı çeliği akma dayanımını ifade etmektedir.

Design Guidelines for Tall Buildings-2010 dokümanında, yapısal taşıyıcı elemanlar için kullanılması tavsiye edilen etkin rijitlik değerleri Çizelge 5.13'te görülmektedir.

Taşıyıcı perde duvarların inelastik dönme istemleri, süneklik seviyelerine; yatay yüklerin şiddetine ve yatay yükler altında çevrimsel davranış gösterebilme yeteneklerine bağlıdır.

Perde duvarların çevrimsel yükler etkisi altında davranışlarının daha iyi anlaşılması ve deprem yükleri altında inelastik dönme istemlerinin belirlenmesi için çeşitli araştırmalar yapılmıştır

Çizelge 5.13 : Yapısal eleman etkin rijitlik değerleri (SDGTB-2010).

Yapısal Eleman	Eğilme Rijitliği	Kayma Rijitliği	Eksenel Rijitlik
<i>Çelik kiriş, kolon ve çaprazlar</i>	$E_s I$	$G_s A$	$E_s A$
<i>Kompozit betonarme çelik döşemeler</i>	$0.5E_c I_g$	$G_c A_g$	$E_c A_g$
<i>Betonarme kiriş-öngerilme yok</i>	$0.5E_c I_g$	$G_c A_g$	$E_c A_g$
<i>Betonarme kiriş-öngerilmeli</i>	$E_c I_g$	$G_c A_g$	$E_c A_g$
<i>Betonarme kolon</i>	$0.5E_c I_g$	$G_c A_g$	$E_c A_g$
<i>Betonarme perde</i>	$0.75E_c I_g$	$G_c A_g$	$E_c A_g$
<i>Betonarme döşemeler</i>	$0.5E_c I_g$	$G_c A_g$	$E_c A_g$
Notlar			
E_c ; elastisite modülü Çizelge 7-1 ACI 318 kullanılarak hesaplanabilir.			
G_c ; kayma rijitliği $E_c / (2(1+\nu))$ formülü kullanılarak hesaplanabilir. ν Poisson oranı 0.2 alınabilir.			

Bu çalışmalardan önemli bir tanesi White ve Adebar tarafından *Estimating Rotational Demands in High-Rise Concrete Wall Buildings* adıyla yayımlanan çalışmadır. Bu çalışmada, perde duvarlı sistemin inelastik dönme istemleri ile kat ötelenmeleri arasında basit bir ilişki kurulmuş ve şu şekilde ifade edilmiştir.

$$\theta_{in} = \left(\frac{\Delta_n - \Delta_{n-1}}{h_n} \right) x \left(R - \frac{\gamma_w^2}{R} \right) \quad (5.19)$$

Bu eşitlikte, Θ , perde inelastik dönme istemini; h_n , kat yüksekliğini; R , taşıyıcı sistem davranış katsayısını; γ_w , yapısal rezerv katsayısını ifade etmektedir. Perdelerin etkin rijitliklerinin belirlenmesi aşamalarında diğer bağıntılara alternatif olarak (5.18) ile ifade edilen bağıntıdan da yararlanılabilir.

Gerçekleştirilen sayısal çalışmada, perdeler için hesaplanan etkin eğilme rijitliklerinin katlara bağlı olarak gösterimi Şekil 5.30'da görülmektedir.

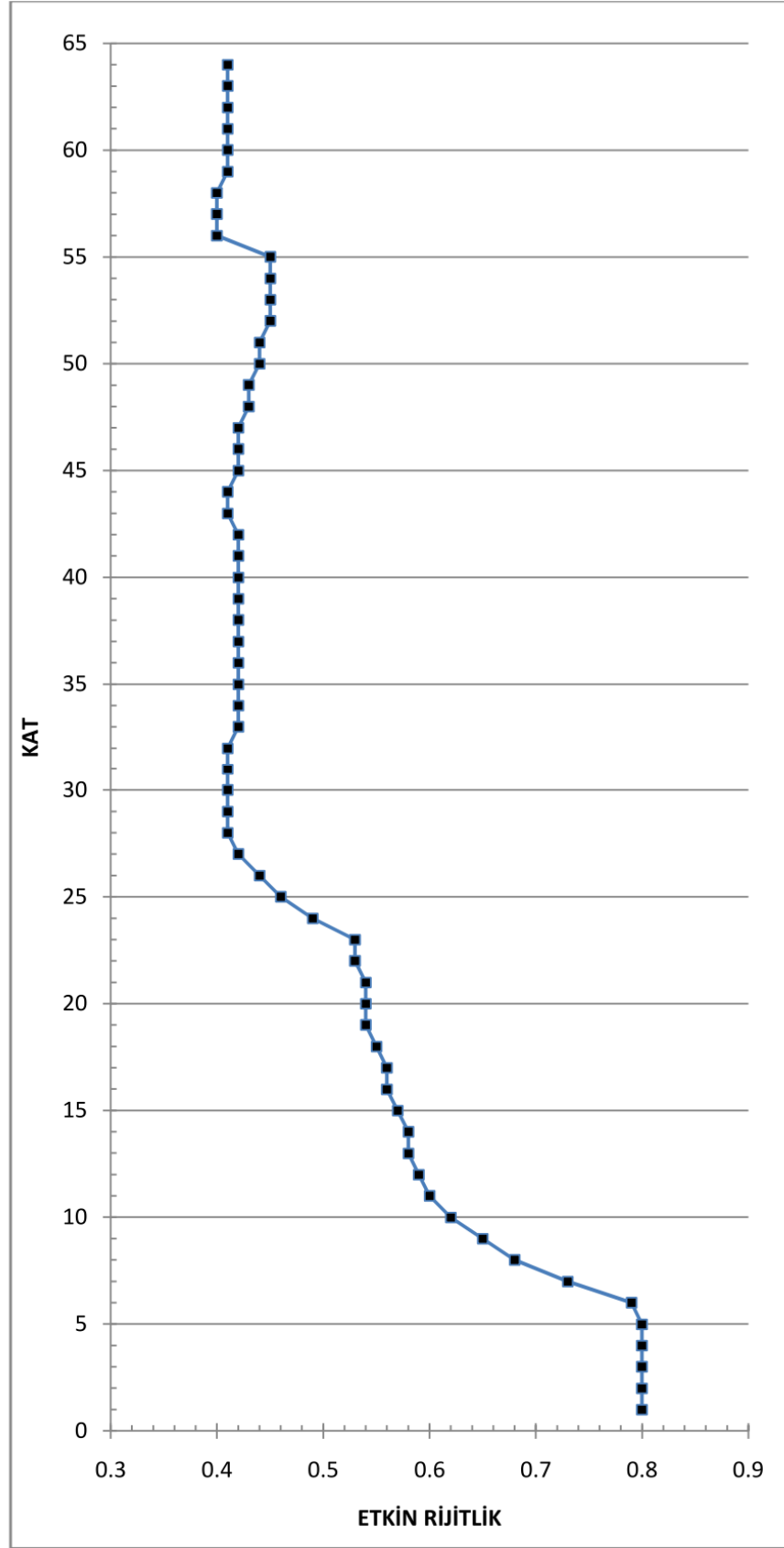
Perdelerin etkin eğilme rijitliklerinin gerçeğe yakın olarak belirlenmesinin yanında, etkin kayma rijitliklerinin belirlenmesi de son derece önemli bir konudur. Deprem kuvvetleri nedeniyle oluşan kesme kuvvetlerinin elastik sınırlar içinde karşılanması, özellikle yüksek yapı tasarımlarında karşılaşılan en önemli sorunların başında gelmektedir.

Yapı analizlerinde kolon ve kiriş tipi taşıyıcı elemanlar için kullanılan etkin kayma rijitlikleri, klasik mekanikteki (5.19) bağıntısı yardımıyla belirlenmektedir.

Eğilme momenti etkilerinin hâkim olduğu taşıyıcı elemanlarda eğilme momenti nedeniyle oluşan şekil değiştirmeler, kesme kuvveti nedeniyle oluşan şekil değiştirmelere oranla daha baskın oldukları için, başka bir deyişle kesme kuvveti nedeniyle oluşan şekil değiştirmelerin ihmal edilebilir düzeyde olmaları nedeniyle klasik mekanik formülleriyle hesaplanan kayma modülü değerlerinin sayısal analiz aşamalarında kullanılmasının analizlerin güvenilirliğini etkilemeyeceği görüşü yaygındır (Powell, 2006a). Ancak, yatay yükler nedeniyle büyük kesme kuvvetine maruz kalan betonarme perde elemanlar için bu durum betonun kesitin çatlamış olması nedeniyle farklılık göstermektedir.

$$G = \frac{E}{2(1+\mu)} \quad (5.20)$$

Bilindiği üzere kesme kuvvetinin etkisi altındaki betonarme yapı elemanlarının dayanım hesaplamaları, kesme kuvvetleri nedeniyle oluşan kayma gerilmeleri esas alınarak yapılmaktadır. Kesme kuvvetinin hâkim olduğu betonarme bir kesitin güvenliğinin, kesme kuvvetlerinin oluşturduğu asal çekme gerilmeleri ile doğrudan ilişkide olduğu bilinmektedir. Beton malzemenin kesme ve basınç dayanımının, çekme dayanımından çok yüksek olması nedeniyle basit kesme durumunda bile kırılma asal çekme gerilmeleri etkisiyle oluşmaktadır. Bu bağlamda, asal çekme gerilmeleri nedeniyle oluşan *eğik çatlaklar* betonarme bir kesitin taşıma gücüne ulaşmasında son derece etkin bir rol oynamaktadır. Kesme kuvveti etkisindeki betonarme yapı elemanlarının kesme güvenliği hesaplamaları yapılırken, betonarme malzemenin tamamen homojen olduğu varsayımına dayanan klasik mekanik teorilerinin kullanılması, başka bir deyişle betonarme kesitin çatlamamış kabul edilmesi önemli hesaplama hatalarına yol açabilir (Ersoy ve Özcebe, 2004). Özellikle çekirdek perdeli yüksek yapıların şekil değiştirmeye dayalı hesaplama ve değerlendirme aşamalarında kullanılacak kayma modülü değerlerinin uygun bir biçimde hesap modeline yansıtılması daha önce de belirtildiği üzere kesme kuvveti etkilerinin (kayma şekil değiştirmesi) makul düzeyde belirlenmesi için son derece önemlidir. Deprem etkisi altında büyük kesme kuvvetlerine maruz kalan betonarme perde tipi taşıyıcı elemanlarda beton kesitin çatlamasının önüne geçilememesi nedeniyle, (5.19) bağıntısı kullanılarak hesaplanan kayma modülü değerinin oldukça



Şekil 5.30 : Perde etkin rijitlik dağılımı

fazla olduğu ve hesaplama aşamalarında kullanılan kayma modülü değerlerinin makul ölçüde azaltılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Betonarme bir yapı elemanı ile çelik bir yapı elemanının kesme kuvveti dayanımları birbirinden tamamen farklıdır. Şöyle ki; kesme kuvveti etkisindeki çelik bir yapı elemanın kesme dayanımı, malzemenin tam olarak homojen kabul edilebilmesi nedeniyle sadece kayma modülüne bağlıdır; betonarme bir yapı elemanın kesme dayanımı ise birden fazla değişkene bağlıdır. Bu değişkenlerden en önemlilerini şu şekilde sıralayabiliriz.

- Beton kısım tarafından karşılanan kesme kuvveti büyüklüğü
- Çatlamamış beton kesit boyutları ve bu kesitin çekme kuvveti dayanımı
- Çatlak derinliği
- Çatlak yüzeyi boyunca agregaların kilitlenmesi
- Kesitin basınç bölgesinden çekme bölgesine aktarılan kesme kuvveti miktarı

Betonarme bir yapı elemanın kesme güvenliğini etkileyen değişkenler ve kesme kuvvetine maruz betonarme kesitlerin davranışları göz önünde bulundurulduğunda; eğik çatlakların oluşturduğu ani ve gevrek kırılmaların önüne geçilmesinin son derece önemli olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu amaç doğrultusunda, kesme kuvveti etkilerinin hâkim olduğu yapısal taşıyıcı elemanların kesme güvenliği hesap aşamalarında; beton kısmın taşıdığı kesme kuvveti değerleri, bir başka deyişle beton kısmın kesme dayanımına katkısı sınırlandırılmıştır. Örnek olarak; Paulay ve Priestley tarafından deprem perdelerinin kesme güvenliği hesaplamalarında beton kesitin kesme dayanımına olan katkısının hesaplanması için önerilen bağıntılar şu şekildedir.

$$V_c = 0.6x \sqrt{\frac{P}{A_g}} \quad (Mpa) \quad (5.21)$$

$$V_c = 0.27 \times \sqrt{f_c} + \frac{P}{4 \times A_g} \quad (Mpa) \quad (5.22)$$

(5.21) ve (5.22) bağıntılarında P, normal kuvvet değerini (basınç kuvveti pozitif), f_c karakteristik beton basınç dayanımını, A_g ise perde kesit alanını temsil etmektedir.

Paulay ve Priestley tarafından perde kesme kuvveti güvenliklerinin hesaplanması aşamalarında kullanılması tavsiye edilen (5.21) ve (5.22) eşitlikleri incelendiğinde, kesme kuvveti güvenliğinin, eksenel yük miktarına bağlı olduğu görülmektedir.

Önerilen eşitlikler arasındaki temel fark, (5.21) eşitliğinin potansiyel plastik mafsallık bölgesi dışında kalan perde bölgelerinde, (5.20) numaralı eşitliğin ise plastik mafsallık bölgesi içinde kalan perde bölgelerinde kullanılmasıdır.

Betonarme taşıyıcı elemanların kesme güvenliği hesaplamalarında kullanılacak hesap kesme kuvvetlerinin gerçeğe en yakın olarak belirlenmesi son derece karmaşık ve zor bir konudur. Bu bağlamda tasarım kesme kuvvetlerinin elde edilmesi amacıyla yaygın olarak mod birleştirme yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemde deprem nedeniyle oluşabilecek kesme kuvvetleri ters üçgen dağılımı gözetilerek katlara dağıtılmakta, katlara dağıtılan kesme kuvvetleri ise taşıyıcı elemanlara rijitlikleri oranında paylaştırılmakta ve dolayısıyla kesme kuvveti güvenliği için kullanılacak hesap kesme kuvveti değerleri elde edilmektedir. Deprem kuvvetlerinin kabul edilenin aksine ters üçgen dağılım göstermeme olasılığı ve elastik ötesi davranışın hesaplara yansıtılabilmesi amacıyla düşeyde konsol kiriş veya konsol bir kirişe yakın gibi çalışan perdelerin kesme güvenliği hesaplamalarında *dinamik büyütme katsayısı* adı verilen katsayılardan yararlanılmaktadır.

Örnek olarak Paulay ve Priestley tarafından önerilen dinamik kesme kuvveti büyütme katsayıları SEAOC-Blue Book dokümanında kullanılmakta ve şu şekilde ifade edilmektedir;

$$\omega_v = 0.85 \times \left(0.9 + \frac{n}{10} \right) \quad n \leq 6 \quad (5.23)$$

$$\omega_v = 0.85 \times \left(1.3 + \frac{n}{30} \right) \quad n \geq 6 \quad (5.24)$$

Bu bağıntılarda; ω kesme kuvveti dinamik büyütme katsayısını, n kat sayısını temsil etmektedir.

Hesap güvenilirliğinin sağlanması amacıyla, betonarme bir kesitin taşıyabileceği kayma gerilmesi miktarı ($V_{cr}/b_w d$) yönetmelikler tarafından sınırlandırılmıştır. ACI-318 yönetmeliklerinde bu sınır değeri $0.83\sqrt{f'_c}$ (Mpa) CSA-2004 yönetmeliğinde $0.25f'_c$ (Mpa) ve TS-500 yönetmeliğinde $0.15f_{ck}$ (Mpa) olarak belirlenmiştir. İzin verilen bu değerler altında en büyük kayma gerilmesi sınır değerleri Çizelge 5.14'te görülmektedir.

Çizelge 5.14 : Kayma gerilmesi sınır değerleri karşılaştırmaları.

Beton Sınıfı	Kayma Gerilmesi ($V_{cr}/b_w d$) (Mpa)		
	ACI	CSA	TS-500
C60	6.43	15.00	9.00
C70	6.95	17.50	10.50

Şekil değiştirmeye dayalı tasarım yöntemlerinin esasını oluşturan yapısal elemanlar için izin verilen şekil değiştirme sınırları, izin verilen en büyük kayma gerilmesi sınır değerleri kullanılarak (5.24) bağıntısı yardımıyla hesaplanabilir.

$$\Upsilon = \frac{\tau}{G} \quad (5.25)$$

Bu eşitlikte τ , kayma gerilmesi değerini, G malzeme kayma modülü değerini, γ ise kayma şekil değiştirme değerini ifade etmektedir. G , kayma modülü değerleri Çizelge 5.16’da verilmiştir.

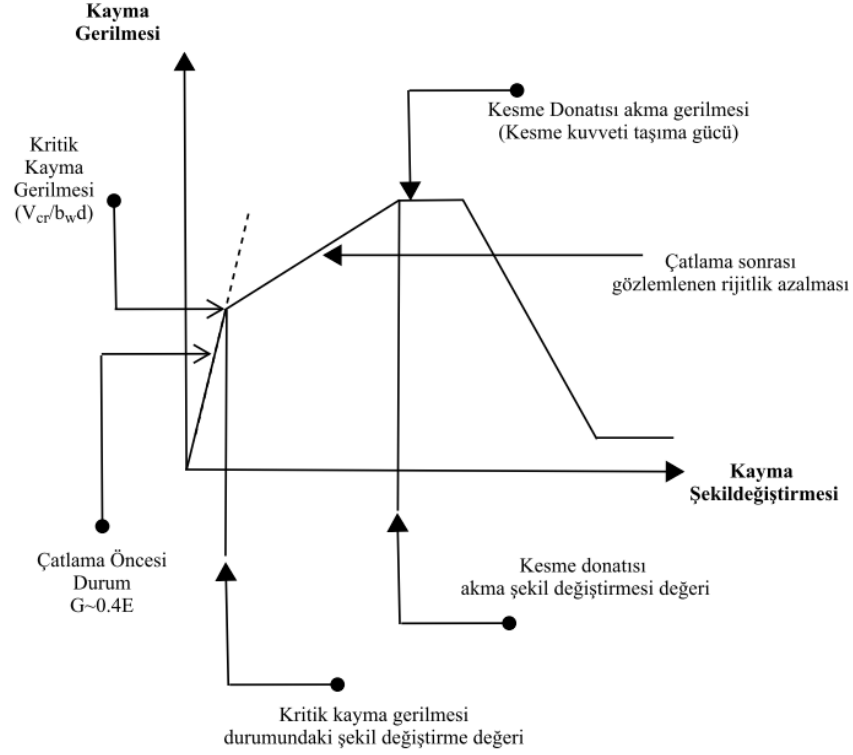
Örnek olarak, C70 sınıfı beton için izin verilen en büyük kayma şekil değiştirmesi değeri şu şekilde hesaplanabilir.

$$\Upsilon_{ACI}^{C70} = \frac{6.95}{16500} = 0.0004$$

Çizelge 5.15 : Kayma şekil değiştirme sınır değerleri karşılaştırmaları

Beton Sınıfı	Kayma Şekil Değiştirmesi		
	ACI	CSA	TS-500
C60	0.000455	0.000989	0.000551
C70	0.000421	0.001068	0.000612

Şekil 5.31’de betonarme bir elemanın kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi ilişkisi görülmektedir. Kesme kuvveti etkisindeki betonarme kesit, kritik kayma gerilmesi ($V_{cr}/b_w d$) sınırına kadar hemen hemen doğrusal bir davranış gösterir. Kesitte doğrusal olmayan davranışın gözlemlenmesiyle birlikte (çatlak oluşumları) kesitin kayma modülü dolayısıyla kayma rijitliği, çatlama olmaması olarak kabul edilen durumdaki hesaplanan değere ($G \sim 0.4E$) kıyasla oldukça azalır, dolayısıyla betonarme kesitin çatlama olmaması kabul edilerek hesaplanan kayma rijitliği değerlerinin kullanılması önemli hesaplama hatalarına yol açabilir. Bu bağlamda, doğrusal olmayan analiz aşamalarında kayma modülü değerlerinin azaltılması gerekmektedir. Çatlama nedeniyle oluşan etkilerin makul ölçüde hesaplara yansıtılabilmesi amacıyla



Şekil 5.31 : Çatlak oluşumunun kayma modülü üzerindeki etkisi

şekil değıştirmeye dayalı analiz aşamalarında kullanılacak malzeme kayma modülü değeri; teorik olarak (5.19) bağıntısı yardımıyla hesaplanan değeri ile kesme kuvveti donatısının akmaya ulaştığı an hesaplanan sekant modülü değeri arasında göz önüne alınması önerilmektedir. (Powell, 2006a) Bu bağlamda, sekant modülü değeri yaklaşık olarak (5.24) denklemi şu şekilde kullanılarak hesaplanabilir;

$$G_{ACI}^{C70} = \frac{6.95}{0.004} = 1737 \text{ (Mpa)}$$

Gerçekleştirilen sayısal çalışmada, perde ve bağ kirişii tipindeki taşıyıcı sistem elemanları için hesaplama aşamalarında kullanılan etkin kayma modülü değeri $G = 0.2E_c$ olarak göz önüne alınmış, hesaplanan kayma modülü değeri ve karşılaştırmalar Çizelge 5.16 ve Çizelge 5.17’de gösterilmiştir.

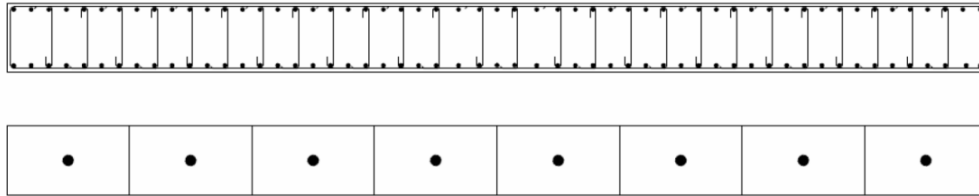
Çizelge 5.16 : Elastisite modülü-kayma modülü karşılaştırmaları

Beton Sınıfı	Elastisite Modülü (Mpa)			Kayma Modülü (Mpa)		
	ACI	CSA	TS-500	ACI	CSA	TS-500
C60	36666	36400	39174	15278	15167	16323
C70	39600	39320	41191	16500	16383	17163

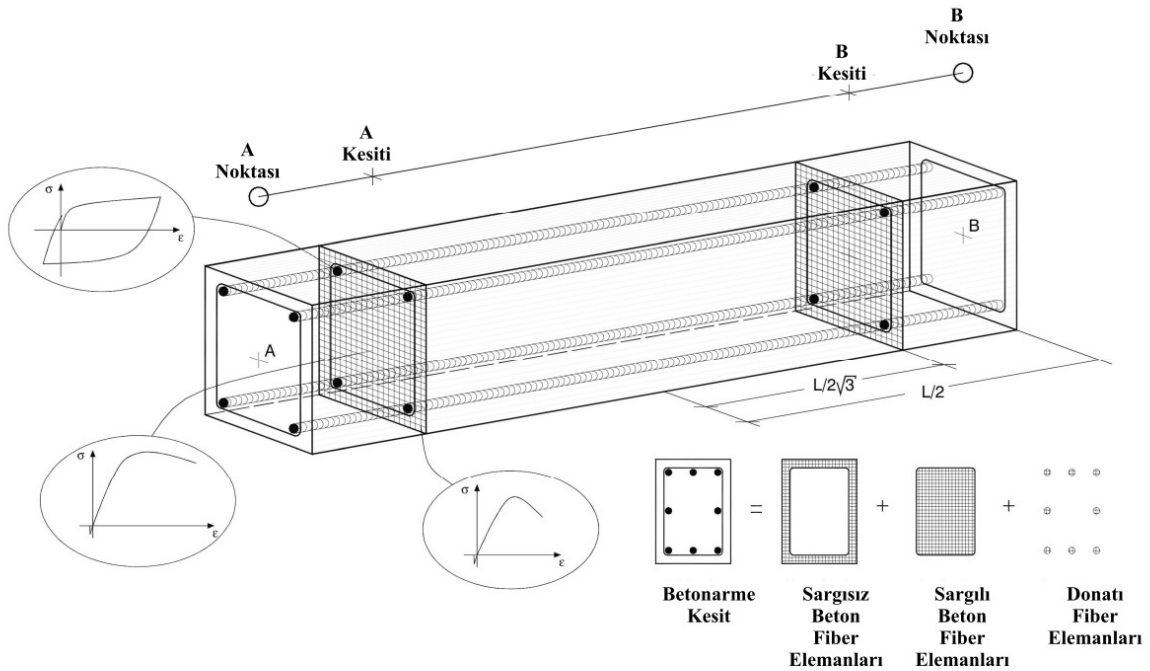
Çizelge 5.17 : Kayma modülü-sekant kayma modülü karşılaştırmaları

Beton Sınıfı	Kayma Modülü (Mpa)			Sekant Kayma Modülü (Mpa)			G =0.2E (Mpa)		
	ACI	CSA	TS-500	ACI	CSA	TS-500	ACI	CSA	TS-500
C60	15278	15167	16323	3062	7143	4286	7333	7280	7835
C70	16500	16383	17163	3310	8333	5000	7920	7864	8238

Doğrusal analiz aşamalarında betonarme perde ve perde elemanlarının modellenmesi, kabuk (shell) tipi sonlu elemanlar kullanılarak gerçekleştirilebilir. Bu aşamada dikkat edilmesi gereken en önemli nokta; perde ve perde elemanlarının etkin eğilme ve kayma rijitliklerinin uygun bir şekilde göz önüne alınmasıdır. Doğrusal olmayan analiz aşamalarında ise, betonarme perde ve perde elemanlarının modellenmesi için yayılı plastisite yaklaşımı çerçevesinde fiber (lifli) elemanlarının kullanılması son yıllarda oldukça yaygınlaşmıştır.



Şekil 5.32 : Betonarme perde fiber hesap modelinin oluşturulması



Şekil 5.33 : Betonarme fiber kesit hesap modeli detayı

Şekil 5.32 ve Şekil 5.33'te betonarme fiber eleman kullanılarak oluşturulan hesap modelleri görülmektedir. Modelden de anlaşılacağı üzere, perde, geometrisi önceden belirlenen beton bölümlere ayrılmış, donatılar oluşturulan beton bölümlerin ağırlık merkezlerine toplanmıştır. Bu tip modellemenin başlıca faydaları şu şekilde özetlenebilir.

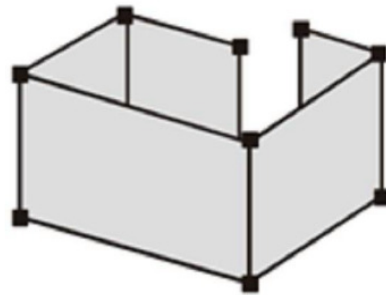
- Normal kuvvet ve iki eksenli eğilme etkisi altında inelastik davranış gözlemlenebilir. ($P-M_x-M_y$)
- Yükleme etkisindeki her bir fiber bölümünün birbirinden bağımsız olarak davranması nedeniyle, daha detaylı hesaplamalar ve gerekli kontroller yapılabilir.
- Kesme kuvveti ve kayma şekil değiştirmeleri etkileri daha detaylı bir şekilde incelenebilir.

Doğrusal olmayan analiz aşamalarında; deprem perdelerinin fiber eleman kullanılarak modellenmesi; kabuk (shell) olarak modellenmelerine göre daha yararlıdır. Ancak fiber eleman kullanımının dezavantajlarından dolayı; bazı durumlarda önemli sorunlarla karşılaşılabilir; bu dezavantajları şu şekilde sıralanabilir.

- Fiber model oluşturma sürecinin fazla zaman alması.
- Hesaplarda rijitlik ve dayanım kayıplarının her fiber eleman için ayrı ayrı hesaplanması neticesinde analiz sürelerinin oldukça uzaması.



a)Plan



b)Hesap elemanı

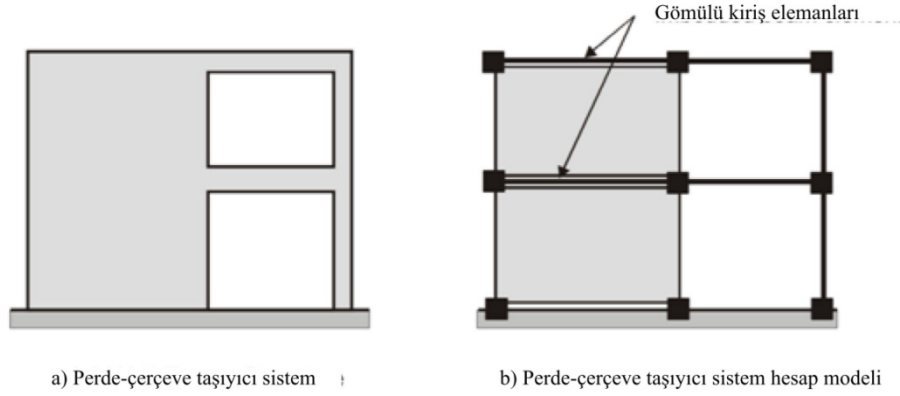
Şekil 5.34 : Perde hesap modeli

Şekil (5.34)'te PERFORM-3D perde elemanının sayısal modeli görülmektedir.

Perde tipi taşıyıcı elemanların sayısal modellenme önerileri için literatürde yaygın olarak kullanılan bir kaynak bulunmamaktadır. Sayısal analiz modelinin oluşturulması aşamalarında perde tipi yapısal taşıyıcı elemanlar için kullanılan sonlu eleman özelliklerinin bilinmesi, yapısal analiz sırasında karşılaşılabilecek sorunların daha hızlı çözümlenmesine yardımcı olabilir. Bu amaçla PERFORM-3D *Shear wall element* (Şekil 5.34) özelliklerini kısaca özetlersek;

- Her eleman 4 düğüm noktası ve 24 serbestlik derecesine sahiptir.
- Perde elemanın düzlem içi davranışı düzlem dışı davranışına oranla daha önemlidir. Düzlem içi davranışta eğilme momenti ve kesme kuvveti etkileri, doğrusal olmayan (inelastik) veya doğrusal (elastik) olarak şekilde tanımlanabilmektedir.
- Düzlem dışı eğilme davranışı elastik olarak kabul edilmektedir.
- Eksenel ve kayma şekil değiştirmeleri eleman boyunca sabittir; eğilme momenti- eğrilik ilişkisi ise eleman boyunca doğrusal olarak değişmektedir.
- Her elemanın düşey eksen, tanımlanan kesit özelliklerine bağlı olarak kesitin tam ortasından geçmektedir.

Perdelerin modellenmesi aşamalarında dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta da; eğilme momenti aktaran perde-kiriş ve/veya perde-kolon birleşimlerinin modellenmesidir. *Shear wall element* düğüm noktalarının (node) kendi düzlemleri içinde dönme rijitliklerinin (rotational stiffness) bulunmaması nedeniyle, eğilme momentleri perdeler ile kolon ve/veya kirişlerin birleştiği düğüm noktalarından aktarılmazlar, dolayısıyla bu düğüm noktaları mafsallı bir birleşim özelliği gösterirler. Bu sorunun önüne geçebilmek amacıyla Şekil 5.35’de görüldüğü üzere yardımcı elemanlar kullanılmalıdır. Bu tip bir modelleme uygulamasında dikkat edilecek en önemli nokta; yardımcı eleman rijitliklerinin uygun olarak seçilmesidir. Eğer yardımcı eleman rijitliği çok yüksek seçilirse, giriş düğüm noktasına gereğinden fazla rijit bağlanmış olur ve dolayısıyla taşıyıcı sistem rijitliği oldukça büyür, dolayısıyla yapısal taşıyıcı sistem davranışı beklenilenden çok farklı bir biçimde ortaya çıkabilir. Bu durum gerçekte gözlemlenen bir durum olarak görülebile; sayısal analiz aşamalarında nümerik hatalara yol açabileceğinden, yapılan analizin tekrarlanması gerekebilir.



Şekil 5.35 : Perde-çerçeve hesap modeli

Deprem perdelerinin modellenmesi aşamalarında dikkat edilmesi gereken noktalar kısaca özetlenecek olursa,

- Deprem perdelerinin etkin eğilme rijitliklerinin belirlenmeleri ve sayısal analiz modelinde belirlenen etkin rijitliklerin kullanılmaları, yapısal davranışın gerçeğe en yakın bir şekilde simüle edilmesi için gereklidir. Araştırma çalışmaları sonucunda perde normal kuvvetinin yaklaşık olarak $0.10A_gf'_c$ değerini geçmediği durumlarda, deprem perdelerinin etkin eğilme rijitliklerinin $0.4E_cI_c$ ile $0.5 E_cI_c$ değerleri arasında kaldığı belirtilmiştir. Ek olarak, perde etkin eğilme rijitliklerinin belirlenmesi aşamalarında mümkün olduğunca elemanların moment-eğrilik ilişkilerinden yararlanılması tavsiye edilmektedir.
- Deprem perdelerinin etkin kayma rijitliklerinin uygun olarak belirlenmesi ve analizlerde kullanılması, gerçek yapı davranışının hesaplamalara yansıtılması açısından son derece önemlidir. Araştırma çalışmaları sonucunda, perde etkin kayma rijitlik dağılımlarının, podyum katları üzerinde kalan perde bölümlerindeki kuvvet dağılımlarını (kesme kuvveti ve eğilme momenti) fazla etkilemediği, buna karşın podyum katlarından yapıya aktarılan kesme kuvvetleri değerlerini önemli oranda etkilediği belirlenmiştir. Bu bağlamda özellikle podyum perdeleri için kullanılacak etkin kayma rijitlik değerlerinin seçimine gerekli özen gösterilmeli ve podyum diyaframlarının davranışlarının daha iyi belirlenmesi amacıyla değişik etkin kayma rijitlikleri kullanılarak yapılan analiz sonuçları değerlendirilerek en uygun çözüme karar verilmelidir.

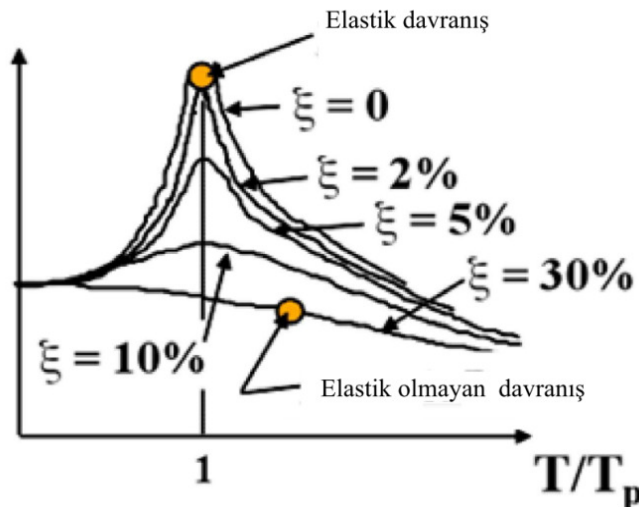
- Özellikle fiber eleman kullanılarak modellenecek deprem perdelerinin malzeme ve davranış eğrileri için kullanılan parametrelerin seçimlerine gerekli özen gösterilmeli ve daha öncede belirtildiği üzere, akademik çevrelerce geçerliliği onaylanmış malzeme modelleri ve iskelet eğrileri kullanılmalıdır.

5.2.4.4 Yapısal sönümün modellenmesi

Sönüm, bir salınım hareketindeki genliklerin çeşitli etkiler nedeniyle küçülmesi olarak tanımlanabilir. Yapısal ve yapısal olmayan elemanların enerji yutabilme özellikleri sayesinde deprem etkisi altındaki taşıyıcı elemanlar, deprem enerjisini belli miktarda sönümleyebilme kabiliyetine sahiptirler.

Bilindiği üzere, taşıyıcı sistemin deprem davranışı, yapısal taşıyıcı elemanların deprem enerjisini tüketebilme başka bir deyişle enerji yutabilme kapasiteleriyle doğrudan doğruya ilişkilidir. Bu bağlamda, yapısal taşıyıcı sistemlerin, deprem etkilerini sönümleyeme kabiliyetlerinin belirlenmesi ve hesaplamalara yansıtılması son derece önem kazanmıştır.

Deprem hareketi altındaki yapılarda yapısal taşıyıcı sistem özellikleri ve zemin özellikleri nedeniyle değişik tür sönümler ortaya çıkmaktadır. Bu sönüm tipleri ve sönümü etkileyen değişkenlerin belirlenmesi, günümüzde halen üzerinde çalışılan konularının başında gelmektedir. Genel olarak yapısal sönümü etkileyen değişkenler, yapısal malzeme özellikleri, zemin özellikleri ve deprem büyüklüğü olarak 3 grupta incelenebilir.



Şekil 5.36 : Yapısal sönüm-periyod ilişkisi.

Yapısal taşıyıcı sistem için önemli sönüm türleri şu şekilde sıralanabilir.

- İç Viskoz Sönüm.
- Coulomb Rijit Cisim Sönümü.
- Çevrimsel Sönüm.

İç viskoz sönüm, yapı malzemesinin iç sönümü olarak tanımlanmakta ve hız ile doğru orantılı olduğu kabul edilmektedir. Bu tür sönümün etkinliği, yapıda meydana gelen plastik şekil değiştirmeler ile birebir ilişkilidir. Plastik şekil değiştirmelerin artması yapı malzemesindeki sönümü de artırır. elastik ötesi şekil değiştirmeler ve çatlaklar sönümü arttırmaktadır (Celep ve Kumbasar, 2006).

Coulomb rijit cisim sönümü, taşıyıcı sistem mesnetlerinde ve yapısal taşıyıcı elemanların birleşim bölgelerinde ortaya çıkan sönümdür. Yer değiştirmelerin büyük olması durumunda iç viskoz sönümle, yer değiştirmelerin küçük olması durumunda ise çevrimsel sönüm ile birlikte göz önüne alınmaktadır. Deprem etkisi altında dolgu duvarlarda meydana gelen çatlaklardaki sürtünme ile oluşan enerji kaybı bu tür sönüme örnek olarak verilebilir (Celep ve Kumbasar, 2006).

Çevrimsel sönüm, yapı malzemesinin doğrusal elastik olmayan davranış göstermesi ve yön değiştiren yüklemeler etkisiyle meydana gelen sönüm çeşididir. Her bir çevrimde, çevrim içinde kalan alan enerjiyi temsi etmektedir ve bu enerji yapısal elemanlar tarafından tüketilir. Bu tür sönüm yer değiştirmeye bağlı olarak ortaya çıkmaktadır.

Yapısal modelleme ve çözümleme aşamalarında, yukarıda bahsi geçen sönüm türlerinden en kolay göz önüne alınabilinen sönüm türü viskoz sönümdür. Bu nedenle, diğer sönüm türleri eşdeğer viskoz sönüme dönüştürülerek hesaplama aşamalarında göz önüne alınmaktadır. Sönüm, belirli bir frekans aralığında orantılı bir şekilde arttığı için, özellikle yüksek mod etkilerinin daha belirgin olduğu yapıların tasarım aşamalarında kullanılacak sönüm miktarlarının dikkatle seçilmesi mümkünse farklı sönüm değerleri için analizlerin yapılması tavsiye edilmektedir.

Depreme dayanıklı yapı tasarım yönetmeliklerinde ve literatür çalışmalarında, doğrusal elastik çözümler için kullanılması tavsiye edilen kritik sönüm değerleri belirtilmiştir. Örnek olarak, LATB dokümanında, ele alınan tasarım depremi etkisi altında, çelik taşıyıcı sisteme sahip yüksek yapılar için kullanılacak sönüm yüzdesi

% 5, betonarme taşıyıcı sisteme sahip yüksek yapılar için kullanılacak kritik sönüm yüzdesi %10 olarak belirlenmiştir. Ek olarak, göz önüne alınan en büyük deprem etkisi altında kullanılacak kritik sönüm değerleri, çelik taşıyıcı sisteme sahip yüksek yapılar için %7.5, betonarme taşıyıcı sisteme sahip yüksek yapılar için ise %12 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.18 : Sönüm yüzdesi karşılaştırmaları

Yönetmelik	Sönüm Yüzdesi
<i>SF-AB83</i>	< 5
<i>ATC-63</i>	5
<i>LATBDC</i>	5-12
<i>IYBDY-2008</i>	5

Çizelge 5.18 ‘de betonarme taşıyıcı sisteme sahip yüksek yapıların doğrusal olmayan analizlerinde kullanılması tavsiye edilen kritik sönüm yüzdeleri görülmektedir.

Yapı sistemlerinin doğrusal olmayan analizlerinde kullanılacak sönüm değerlerinin belirlenmesi, yapısal taşıyıcı elemanların doğrusal olmayan davranışları nedeniyle gözlemlenen rijitlik azalmaları nedeniyle oldukça zor ve karmaşık bir hal almaktadır. Doğrusal elastik çözümleme aşamalarında kullanılan sönüm değeri, yapısal taşıyıcı sistemin tüketebileceği enerji miktarı başka bir deyişle, yapıdan beklenen şekil değiştirme seviyesine bağlı olarak ortaya çıkmakta ve kritik sönüm yüzdesi değerinin %0.5 ile %5’i arasında kullanılmaktadır.

Şekil değiştirmelerin yapısal sistem üzerinde etkisinin artmasıyla başka bir deyişle doğrusal olmayan davranışın taşıyıcı elemanlarda ortaya çıkmasıyla birlikte kritik sönüm değeri %10 ile % 20 seviyelerine ulaşabilmektedir (Şekil 5.36). Doğrusal olmayan analizler için kullanılacak viskoz sönüm değerlerinin seçilmesinde dikkat edilmesi gereken en önemli nokta, analiz aşamalarında kullanılacak sönüm yüzdesinin, yapısal taşıyıcı elemanların doğrusal olmayan çevrimsel davranışı nedeniyle ortaya çıkan çevrimsel sönümün etkisi göz önünde bulundurularak seçilmesidir.

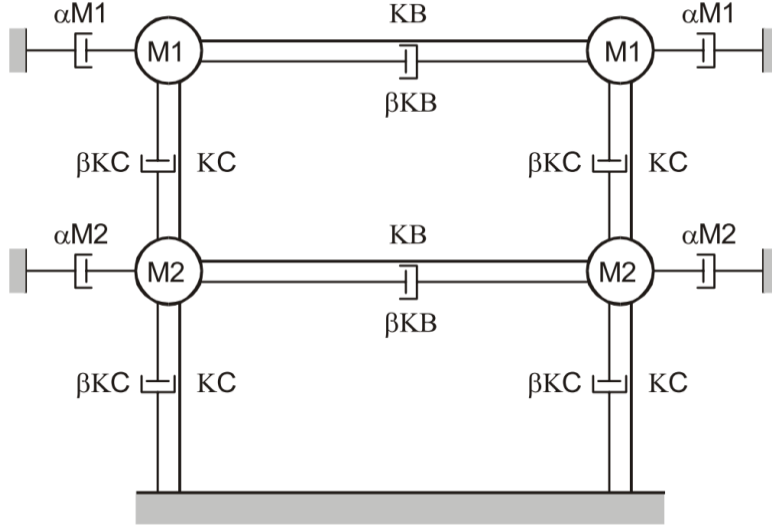
Yanal yükler etkisindeki betonarme bir taşıyıcı sistemin enerji yutma mekanizması malzemenin viskoz sönümüyle ilişkilendirilmekte ve sönüm değeri kritik sönüm değerinin %5’i olarak kabul edilmektedir. Bu kabul yanal yükler etkisinde elastik olarak davranan yapılar için son derece uygun bir kabuldür ancak; yapı davranışı elastiklikten uzaklaşıp elastik olmayan davranışa doğru kaydıkça başka bir deyişle yapısal taşıyıcı sistem elemanlarında plastik şekil değiştirme seviyesine bağlı olarak

oluşan akma, çatlama olayları gözlemlendikçe viskoz sönüme ek olarak, açığa çıkan enerjinin daha başka bir yol ile sönümlenmesine ihtiyaç duyulur. Bu bağlamda yapı elemanlarının çevrimsel davranış özellikleri nedeniyle göstermiş olduğu çevrimsel sönüm, açığa çıkan enerjinin sönümlenmesine yardımcı olmaktadır. Her ne kadar viskoz sönüm ve çevrimsel davranış sönüm yeterli bir enerji sönümleme mekanizması olarak görülseler de, açığa çıkan tüm enerjinin sönümlendirilmesi fiziksel olarak mümkün değildir (Powell, 2006b).

Yapı mod şekilleri, doğrusal olmayan analiz aşamalarında taşıyıcı sistemde meydana gelen elastik ötesi şekil değiştirmeler ve buna bağlı olarak gözlemlenen rijitlik kayıpları etkisiyle sürekli olarak değişme eğilimindedir. Dolayısıyla, analiz aşamalarının her adımında değişken bir modun bulunduğu doğrusal olmayan hesaplamalarda kullanılan sönüm modelinin, modal bazlı sönüm modeli olması mantıklı değildir. Her ne kadar doğrusal olmayan çözümlemenin her adımında mod şekillerinin yeniden hesaplanması teorik olarak mümkün olsada; mod özelliklerinin her adımda yeniden hesaplama süreçlerinin oldukça zaman alması nedeniyle bu yaklaşım özellikle doğrusal olmayan hesaplama aşamalarında kullanılmamakta, bu bağlamda doğrusal olmayan hesaplama aşamalarında modal sönümün yerine *Rayleigh* sönüm modelinin kullanılması tavsiye edilmektedir (Powell, 2006b). *Rayleigh* sönüm modelinde yapısal sönüm, dış sönüm ve iç sönüm olarak ikiye ayrılmıştır. Dış sönümü αM , kütle matrisi iç sönümü ise βK rijitlik matrisi temsil etmektedir. Denklem (5.25)'de görüldüğü üzere $[C]$ sönüm matrisi iç sönüm ve dış sönümün toplamı olarak göz önüne alınmaktadır.

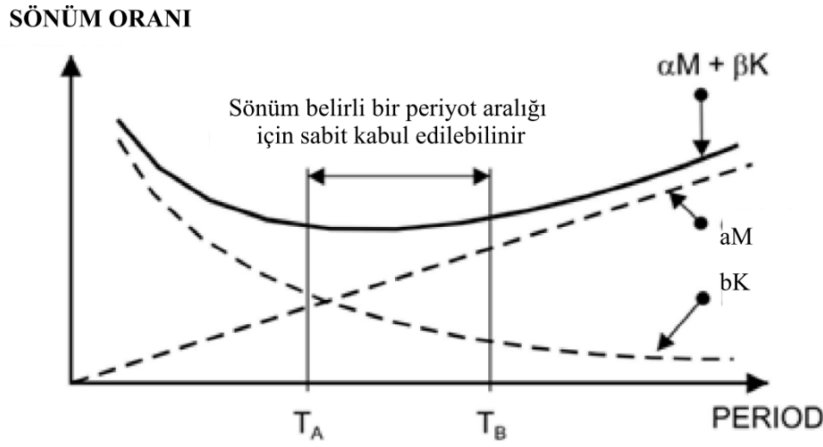
$$[C] = [\alpha M] + [\beta K] \quad (5.26)$$

Rayleigh sönüm modelinin fiziksel anlatımı Şekil 5.37'de görülmektedir. K_C ve K_B değişkenleri sırasıyla kolon ve kiriş rijitliklerini, M_1 ve M_2 değişkenleri ise yapı kütlelerini temsil etmektedir. M_1 ve M_2 kütleleri αM_1 ve αM_2 sönüm katsayılarına sahip viskoz sönüm elemanları yardımıyla sisteme dış sönüm şeklinde, K_C ve K_B rijitliklerine sahip yapısal taşıyıcı elemanlar βK_B ve βK_C sönüm katsayılarına sahip viskoz sönüm elemanları yardımıyla sisteme iç sönüm şeklinde dâhil edilmiştir. Sistem fiziksel modelinin son derece basit olmasına karşılık α ve β katsayılarının seçilmesi karmaşık bir konudur. Günümüzde kullanılan sayısal analiz programları (MIDAS, SAP 2000, PERFORM-3D) α ve β katsayılarını hesaplama aşamalarında otomatik olarak değiştirebilen algoritmalara sahiptirler.



Şekil 5.37 : Rayleigh sönüm modeli.

Literatür çalışmalarında α ve β katsayılarının, sönüm değerlerinin seçilmesi ve kullanım şartları ile ilgili öneriler mevcut olsa da, özellikle doğrusal olmayan analizler için kullanılacak sönüm değerleri net olarak belirtilmemiştir.



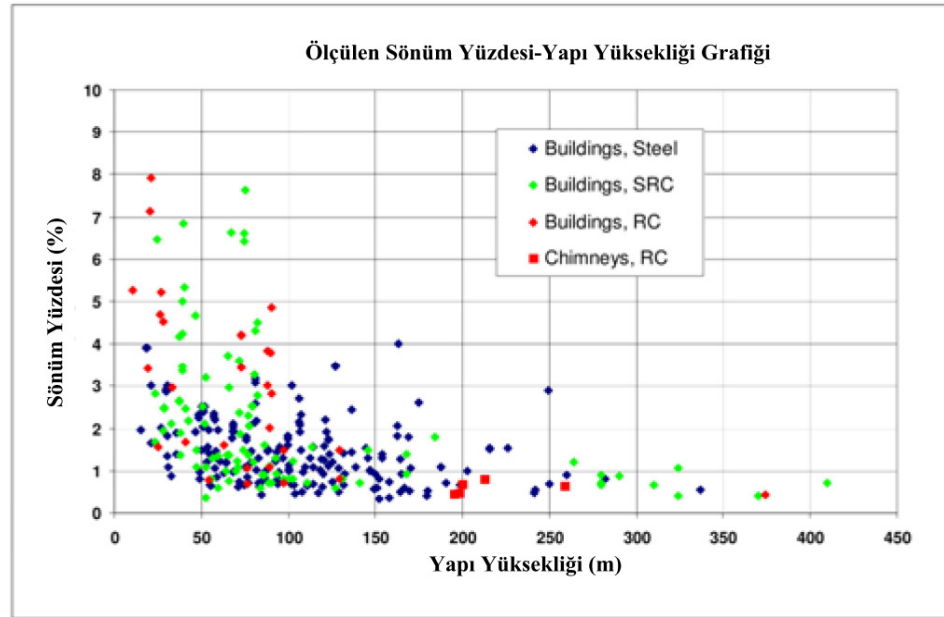
Şekil 5.38 : Rayleigh sönüm oranı-periyod ilişkisi.

Şekil 5.38’de Rayleigh sönüm oranı ile yapı periyodu arasındaki ilişki görülmektedir. Grafikten görüldüğü üzere Rayleigh sönüm modelinin yapısal eleman rijitlikleriyle orantılı kısmı (βK eğrisi) belirlenen bir periyod değerinden düşük değerlerde yüksek iken, yapı periyodu arttıkça azalmakta buna karşın sönüm modelinin yapı kütleleriyle ilgili kısmı (αM doğrusu) ise periyot ile birlikte artmaktadır. Ek olarak, sönüm yüzdesi belirli bir periyot aralığı için hemen hemen sabit bir değer olarak kaldığı anlaşılmaktadır. Örnek teşkil etmesi amacıyla Çizelge 5.19 ve Şekil 5.39’da yüksek yapılara ait ölçülen sönüm miktarları verilmiştir.

Doğrusal olmayan analiz aşamalarında, enerji tüketimi (sönüm) yapısal taşıyıcı elemanların ile yapı malzemesinin viskoz sönüm ve çevrimsel sönüm özellikleri yardımıyla gerçekleştirilmektedir.

Çizelge 5.19 : Rüzgâr kuvveti etkisiyle ölçülen sönüm miktarları.

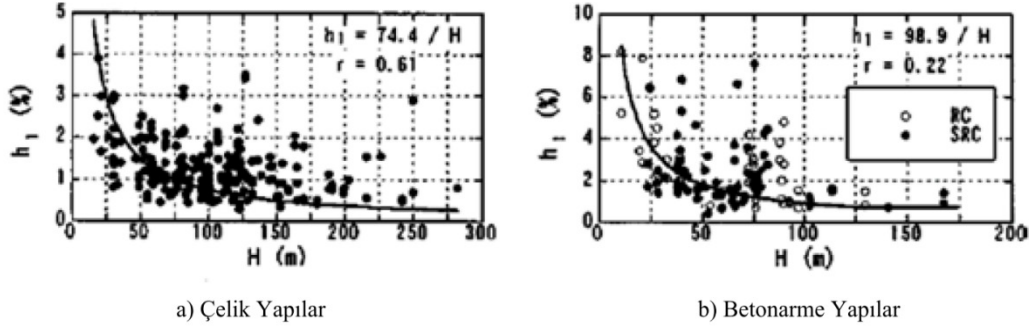
Yapı Taşıyıcı Sistemi	Kat Sayısı	Sönüm
<i>Çelik-Çerçeve</i>	57	0.8
<i>Betonarme Perde-Outrigger</i>	73	0.8-1.2
<i>Çelik-Tüp</i>	51	0.9
<i>Betonarme Perde-Çerçeve</i>	51	1.4
<i>Çelik-Çerçeve</i>	51	1
<i>Betonarme Perde-Outrigger (Di Wang Binası)</i>	79	0.4
<i>Kompozit Çerçeve (Bank of China Binası)</i>	70	0.5
<i>Kompozit Çerçeve (Central Plaza Binası)</i>	78	0.5
<i>Betonarme Perde-Çerçeve</i>	63	0.3



Şekil 5.39 : Sönüm yüzdesi-yapı yüksekliği ilişkisi (CTBUH).

Şekil 5.40 ve Şekil 5.41’de kritik sönüm yüzdesi ile yapı kat sayısı arasındaki ilişki gösterilmiştir. Açıkça görülmektedir ki kat sayısı başka bir deyişle yapı yüksekliği arttıkça kritik sönüm yüzdesi azalma eğilimindedir. Özellikle yapısal taşıyıcı sistem malzemesi olarak çelik kullanılan yüksek yapılarda kritik sönüm yüzdesindeki azalma daha belirginleşmektedir. Yapısal sönüm ve yükseklik arasındaki bahsi geçen temel ilişkinin farkındalığı, taşıyıcı sistemlerin doğrusal olmayan analiz aşamalarında göstermiş oldukları davranışın daha iyi yorumlanmasına yardımcı olmaktadır.

Yapısal olmayan elemanların ve yapı-zemin etkileşimi nedeniyle oluşan etkilerin enerji tüketimine olan katkıları viskoz sönüme çevrilerek göz önüne alınmaktadır. Literatür çalışmaları ve model yönetmeliklerde, doğrusal olmayan yapısal analiz aşamalarında kullanılacak kritik sönüm değerlerinin %2 ile %5 arasında seçilmesi tavsiye edilmektedir.



Şekil 5.40 : Sönüm yüzdesi-kat yüksekliği ilişkisi (SATAKE-2003)

Ek olarak, özellikle yüksek yapılarda gerçekleştirilen ölçümler neticesinde, çelik taşıyıcı sisteme sahip yapılar için kritik sönüm değerinin % 1, betonarme taşıyıcı sisteme sahip yapılar için ise %2 ile % 3 arasında seçilmesinin uygun olacağı vurgulanmaktadır. PEER/ATC-72-1 dokümanında, yüksek yapıların doğrusal olmayan analiz aşamalarında kullanılması tavsiye edilen en büyük kritik sönüm yüzdeleri şu şekilde ifade edilmiştir.

$$D = \alpha / 30 \quad (N < 30) \quad (5.27)$$

$$D = \alpha / N \quad (N > 30) \quad (5.28)$$

Bu bağıntılarda D, kritik sönüm yüzdesinin üst sınırını, α , taşıyıcı sistem özelliklerine bağlı olarak belirlenen katsayıyı ($\alpha = 60-120$), N ise kat sayısını ifade etmektedir.

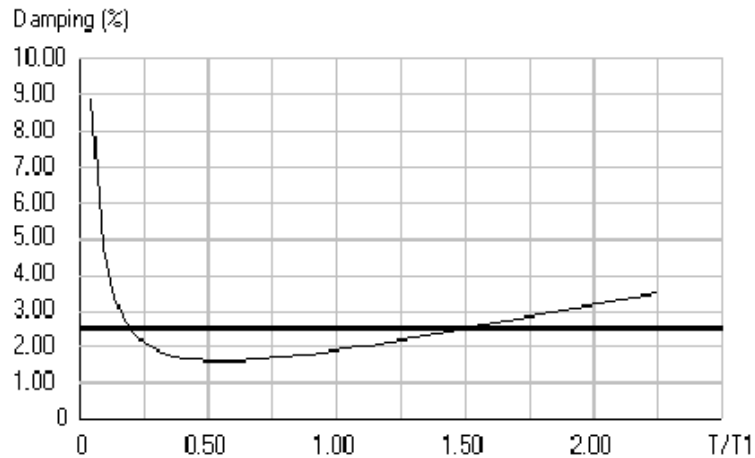
Doğrusal olmayan analizlerde kullanılacak sönüm yüzdesinin ve sönüm aralığının belirlenmesi için yapısal taşıyıcı sistemin modal analizinden elde edilen bilgilerin incelenmesi faydalı olabilir. Mod şekillerinin frekans içerikleri incelenerek, yapının hangi modlarının daha baskın hangi modlarının daha pasif olduğu belirlenebilir ve buna bağlı olarak doğrusal olmayan analizlerde kullanılacak sönüm yüzdesi ve sönüm aralığı elde edilebilir. Örnek olarak yapılan sayısal çalışmaya ait taşıyıcı sistemin ilk 15 mod şeklinin özellikleri Çizelge 5.20’de gösterilmiştir.

Her ne kadar Rayleigh sönüm modelinin, modal sönüm modeline göre üstün özelliklerinin olduğu göze çarpıyor olsada, modal sönüm parametrelerinin, Rayleigh sönüm parametrelerine göre daha kolay elde edilebilmesi nedeniyle, günümüz yapı tasarımlarının birçoğunda modal sönüm kullanılmaktadır.

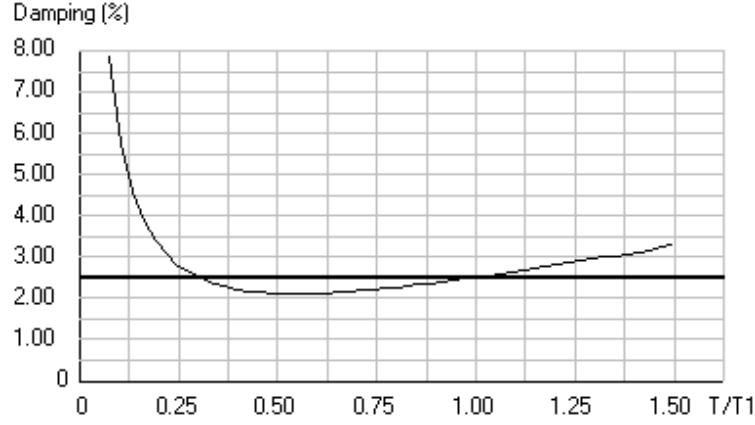
Çizelge 5.20 : Modal analiz bilgileri

Mod	T(sn)	Kütle Katılımı	
		H1	H2
1	6.20	0.5071	0.0558
2	5.92	0.0583	0.4749
3	1.87	0.1596	0.0023
4	1.66	0.0023	0.1650
5	0.94	0.0567	0.0012
6	0.84	0.0001	0.0744
7	0.60	0.0411	0.0002
8	0.50	0.0001	0.0491
9	0.43	0.0308	0.0000
10	0.34	0.0000	0.0358
11	0.33	0.0213	0.0002
12	0.26	0.0136	0.0000
13	0.25	0.0000	0.0251
14	0.21	0.0111	0.0000
15	0.19	0.0000	0.0164

Gerçekleştirilen sayısal çalışmada 2 tip farklı sönüm modeli kullanılmıştır. Birinci olarak yapı hâkim periyodunun 0.2 katı ile 1.5 katı arasında %2.5 sönüm yüzdesi, ikincil olarak ise yapı hâkim periyodunun 0.3 katı ile 1 katı arasında %2.5 yüzdesi oranı kullanılmıştır. Kritik sönüm yüzdesi ile periyot ilişkisi her bir sönüm modeli için Şekil 5.41 ve Şekil 5.42’de görülmektedir.



Şekil 5.41 : Çözüm1-Rayleigh sönüm modeli (0.2T-1.5T, %2.5)



Şekil 5.42 : Çözüm2-Rayleigh sönüm modeli (0.3T-1.0T, %2.5 ζ)

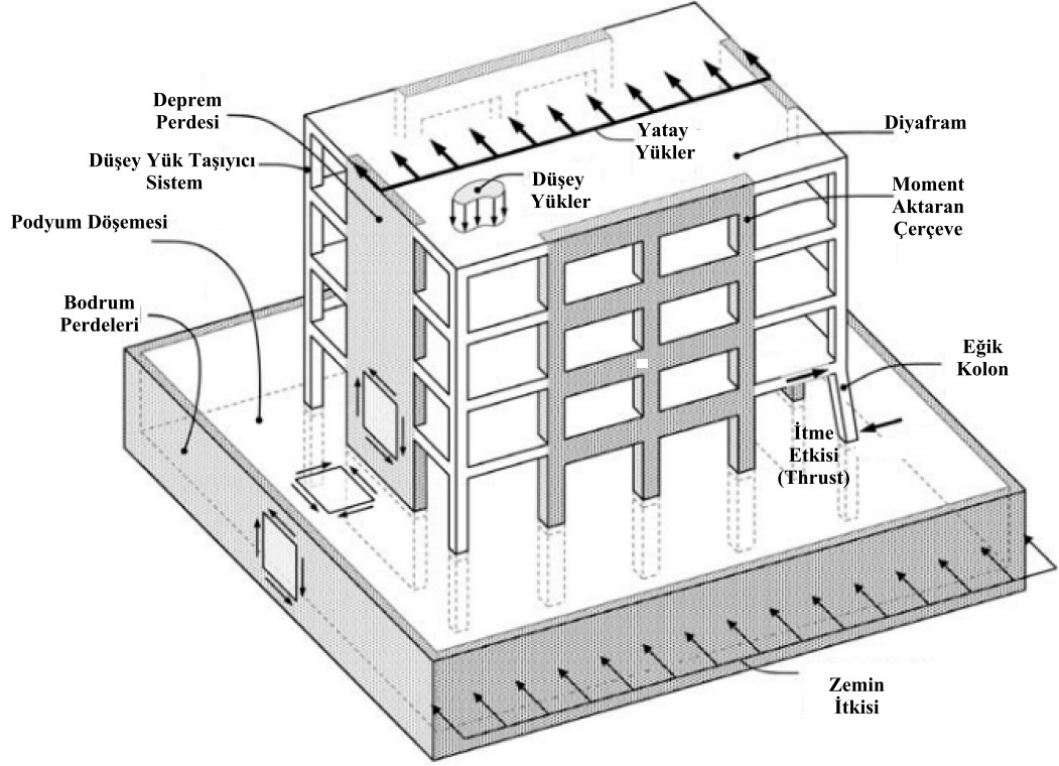
Yüksek yapı davranışının, normal yapı davranışa oranla çok daha karmaşık olması nedeniyle, yüksek yapı çözümlerinin her iki sönüm modeli kullanılarak gerçekleştirilip, karşılaştırmalı olarak incelenmesi, yapısal davranışın ve enerji tüketme mekanizmalarının anlaşılması açısından son derece faydalı bilgiler sağlayabileceği unutulmamalıdır.

5.2.4.5 Kat diyaframlarının modellenmesi

Taşıyıcı sisteme etkiyen düşey ve yatay yükler öncelikli olarak kat döşemeleri tarafından karşılanarak, diğer yapısal taşıyıcı elemanlara iletilirler. Bu özellikleri nedeniyle döşeme sistemleri yük akış şemasının ilk basamağını oluşturmaktadırlar. Şekil 5.43'ten görüldüğü üzere döşeme sistemlerinin yapısal taşıyıcı sistemdeki görevleri şu şekilde sıralanabilir.

- Düşey yük taşıyıcı sistem elemanlarını birbirine bağlamak
- Yatay yük etkilerini, yatay yük taşıyıcı sistem elemanlarına iletmek
- Yapısal bütünlüğün ve sürekliliğin korunmasını sağlamak

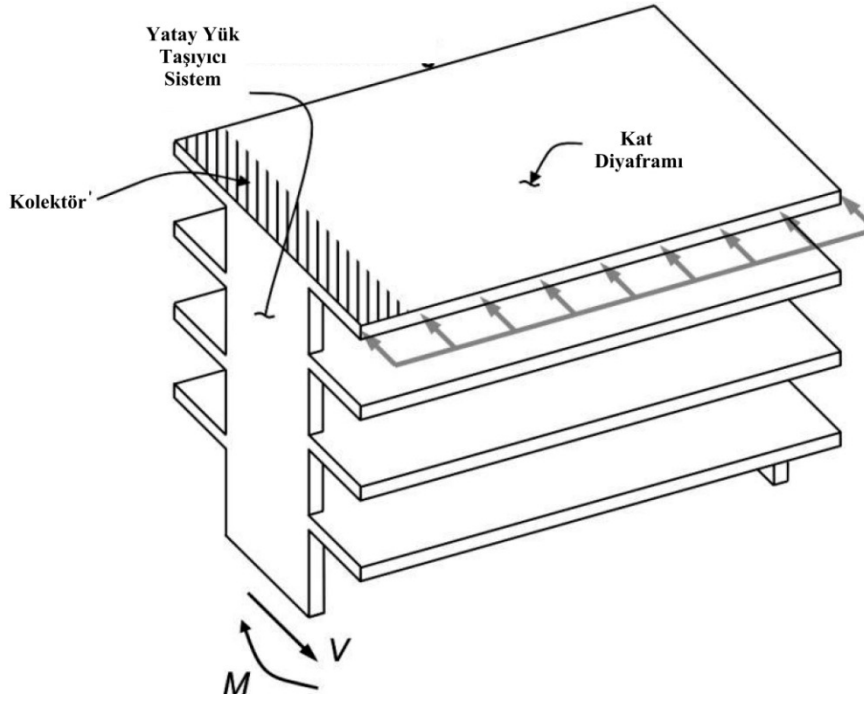
Yüksek yapıların *podyum* olarak adlandırılan bölümleri mimari gereksinimler nedeniyle, diğer yapı bölümlerine oranla daha geniş ve mümkün olduğunca kirişsiz döşeme tipinde tasarımlandırılmak istenirler. Podyum katları yapısal özellikleri nedeniyle, özellikle deprem etkilerinin karşılanması ve deprem kuvvetlerinin temele güvenle aktarılması aşamalarında son derece kritik bir role sahiptir. Deprem etkisiyle oluşan kesme kuvvetlerinin (kat kesme kuvvetleri) yatay yük taşıyıcı sisteme güvenle aktarılması, podyum katlarının diyafram (döşeme) tasarımlarında çözülmesi gereken en önemli sorunların başında gelmektedir. Bu bağlamda kat diyaframlarının deprem



Şekil 5.43 : Döşeme sistemlerinin görevleri

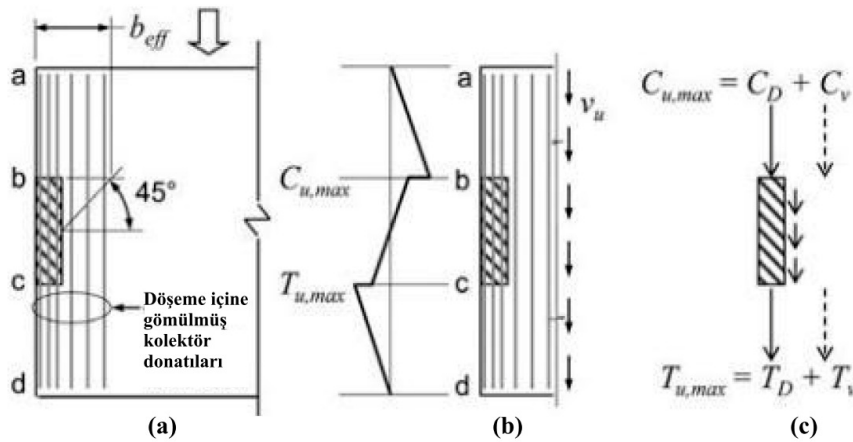
etkisi nedeniyle oluşabilecek kat kesme kuvvetlerini elastik sınırları içinde karşılaması ve oluşan diyafram kuvvetlerinin belirli bir güvenlik ile yatay yük taşıyıcı sisteme iletilmesi gerekmektedir. Bu amaç doğrultusunda özellikle yüksek yapıların podyum katlarında, deprem etkisiyle oluşan büyük kesme kuvvetlerinin ve eğilme momentlerinin, yatay yük taşıyıcı sisteme iletilmesi amacıyla Şekil 5.44 ve Şekil 5.45'te şematik olarak gösterilen ve *kolektör* adı verilen yapısal elemanlardan yararlanılmaktadır. Kolektör elemanlar, deprem etkisi nedeniyle oluşan kat kesme kuvvetlerini, düşey yük taşıyıcı sistem elemanlarına ileten yapısal elemanlar olarak tanımlanırlar ve kiriş tipinde ve/veya kat döşemelerinin içine gömülmüş bir şekilde oluşturulurlar.

Deprem hareketi sırasında düşey ve yatay yük taşıyıcı sistem elemanları arasındaki bütünlüğün korunmasında ve kuvvet akışının sağlanmasında en önemli role sahip olan döşemelerin başka bir deyişle kat diyaframlarının, özellikle yüksek yapı tasarımlarında çok iyi analiz edilip, uygun detaylandırılması gereklidir. Aksi takdirde, yüksek yapı taşıyıcı sistemlerinin karakteristik özellikleri nedeniyle göstermiş oldukları dinamik davranışları neticesinde yönetmelikler tarafından istenmeyen taşıyıcı sistem kusurlarıyla karşılaşılabilir.



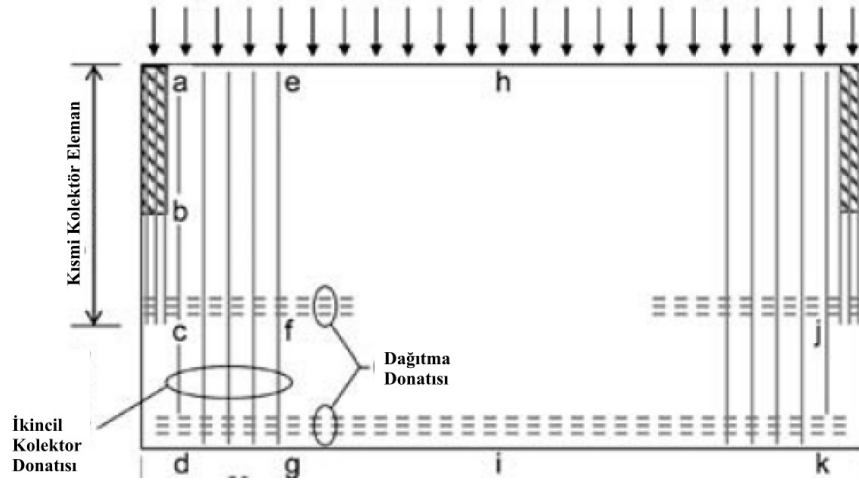
Şekil 5.44 : Kat diyaframı ve kolektör eleman

Kolektör elemanların betonarme tasarımlarında kullanılacak kuvvet değerlerinin belirlenme aşamaları depreme dayanıklı yapı tasarım yönetmeliklerinde belirtilmiştir. (ASCE/SEI 7-10-Bölüm 12.10) Ek olarak, PEER/ATC-72-1 dokümanlarında kolektör elemanların tasarım kuvvetlerinin, denge şartlarını sağlayacak bir yük akış şeması kullanılarak ve elemanlarının kapasitelerini aşmayacak şekilde seçilmesi ve tasarım için kabul edilen kuvvetlerin, *dayanım yükseltme katsayısı* (Ω) olarak adlandırılan ve doğrusal olmayan davranış nedeniyle oluşabilecek etkilerin hesaplamalara dahil edilmesi amacıyla kullanılan katsayı ile çarpılarak büyütülmesi istenmektedir.

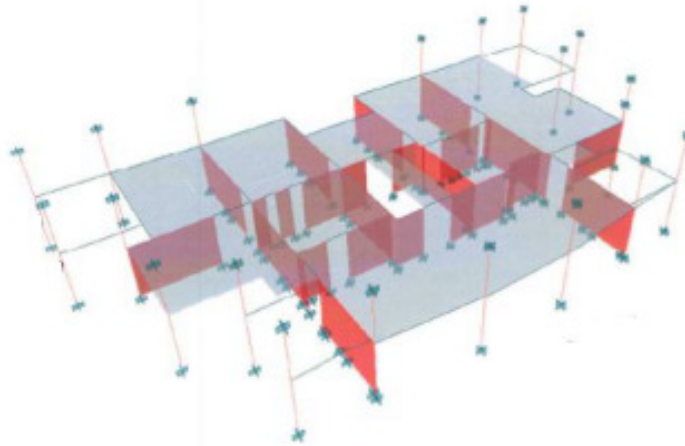


Şekil 5.45 : Kolektör eleman. a)Plan görünüşü b) Kesit tesirleri c) İç kuvvet dengesi

Kolektör elemanların betonarme tasarımları için kullanılacak kuvvetlerin belirlenmesi aşamalarında dikkat edilmesi gereken en önemli nokta, Şekil 5.45'te b_{eff} olarak gösterilen, *etkin genişlik* değerinin belirlenmesidir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan depreme dayanıklı yapı tasarım yönetmeliklerinde b_{eff} değeri için herhangi bir koşulun belirtilmemiş olmasına rağmen, SEAOC (2005) dokümanında b_{eff} değeri için bir üst sınır verilmiştir. Şekil 5.45'te belirlenen b_{eff} genişliği için kolektör elemanlar görüldüğü gibi tüm diyafram boyunca sürekli olarak veya Şekil 5.46'da görüldüğü üzere belirli bir bölge için kısmi olarak tasarımılandırılması tercih edilmektedir. Her ne kadar kolektör elemanların belirli bir bölge için tasarımılandırılması daha uygun ve ekonomik bir çözüm olarak görülüyorsa da, bu tip elemanların tasarım aşamalarında yük akış düzeninin sağlanması amacıyla daha fazla özenin gerekeceği unutulmamalıdır.



Şekil 5.46 : Kısmi kolektör eleman ve donatı detayı



Şekil 5.47 : Diyafram analiz modeli

Şekil 5.47’de diyafram analiz modeli görülmektedir. Elastik çözümleme sonucu elde edilen tesirler kullanılarak, ilgili diyafram elemanlarının gerekli tahkikleri ve donatı hesaplamaları betonarme çubuk elemanlar (strut-tie) yardımıyla gerçekleştirilebilir. Diyafram döşemelerinin ve kolektör elemanların betonarme tasarım adımları şu şekilde sıralanabilir.

- Diyafram döşemeleri ve kolektör elemanları için kritik kesitlerin belirlenmesi. Diyafram döşemeleri için, diyafram kesme kuvveti dayanımı değerinin ve diyafram tasarım kesme kuvveti değerinin, kolektör elemanlar içinse tasarım normal kuvvet değerlerinin belirlenmesi. Diyafram kesme kuvveti dayanımı, depreme dayanıklı yapı tasarım yönetmeliklerinde, beton kısmın katkısı göz önüne alınarak belirlenmektedir. Örnek olarak, ACI-318-08 yönetmeliğinde, diyafram tasarım kuvveti (5.28) bağıntısı kullanılarak hesaplanmaktadır.

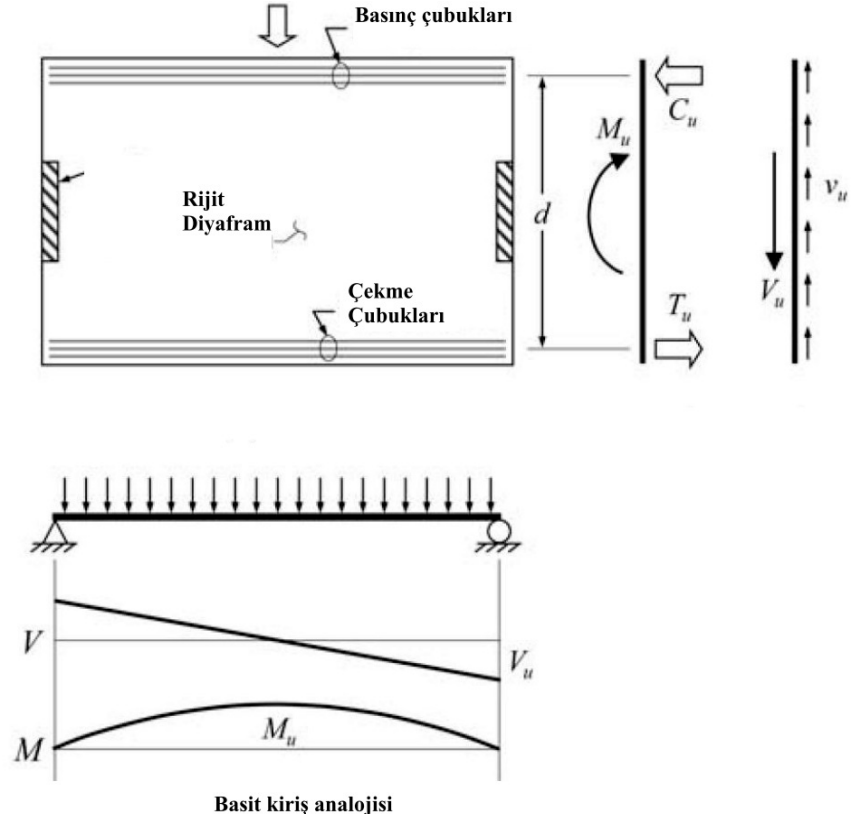
$$V_n = A_{cv}(2\sqrt{f'_c} + \rho_n f_y) \quad (5.29)$$

Bu bağıntıda A_{cv} kesme kuvveti doğrultusundaki net döşeme alanını, ρ_n , kesme kuvveti doğrultusuna paralel olarak yerleştirilen döşeme donatısı oranını, $2\sqrt{f'_c}$ terimi ise, döşemenin kesme dayanımını ifade etmektedir.

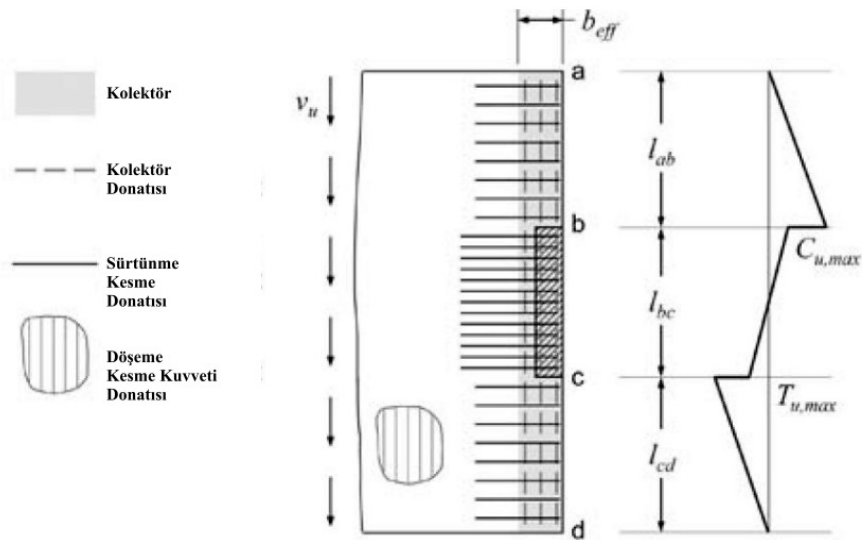
- Diyafram döşemeleri ve kolektör elemanlar için gerekli donatı miktarının belirlenmesi.

Klasik yapısal tasarım yaklaşımı çerçevesinde diyafram döşemelerinin tasarım aşamalarında izlenen yol şu şekildedir. Diyafram döşemeleri, öncelikli olarak üzerlerine etkiyen düşey yüklerin güvenle taşınabilmesi amacıyla, düşey yüklere bağlı olarak boyutlandırılmakta, bir sonraki aşama olarak deprem etkisiyle oluşan düzlem içi tesirlerin, betonarme kesit tarafından güvenle taşınıp, taşınmadığı yönetmelik minimum döşeme kalınlığı şartları nedeniyle genel olarak kontrol edilmemektedir. Bu tasarım yaklaşımı çok yüksek olmayan yapılarda oldukça iyi sonuçlar vermesine karşın, bazı özel durumlarda düşey yükler için kullanılan eğilme donatısının, deprem etkisi nedeniyle oluşan tesirleri karşılamakta yetersiz kaldığı durumları da (yüksek yapı tasarımları) hasarların gözlemlenmesine yol açmıştır. Bu bağlamda, düşey yükler için hesaplanan eğilme donatısının, deprem nedeniyle oluşan kuvvetleri karşılamakta kullanılmaması tavsiye edilmiştir.

Kolektör elemanların basitleştirilmiş hesap modeli ve döşeme diyaframlarının örnek donatı düzenleri kirişsiz bir döşeme sistemi için Şekil 5.48 ve Şekil 5.49'da gösterilmiştir.



Şekil 5.48 : Diyafram hesap modeli



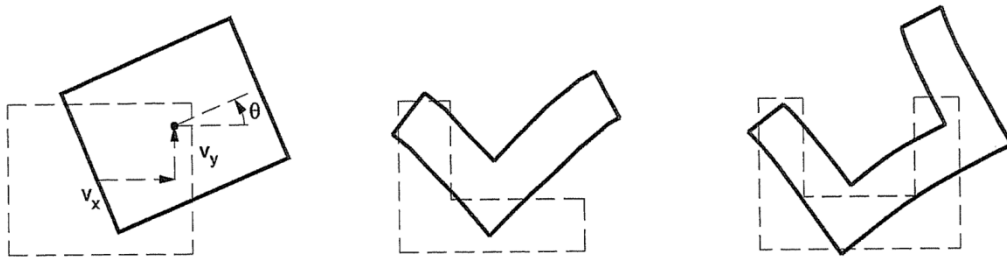
Şekil 5.49 : Kolektör eleman donatı detayları ve kesit tesirleri

Genel bir görüş olarak boşluksuz, yeterli kalınlığa ve düzgün geometriye sahip döşemelerin düzlemleri içinde rijit cisim hareketi yaptığı kabul edilmektedir.

Bu kabulden yola çıkılarak döşemeler, düzlem içi hareketleri her iki yöndeki yatay yer değiştirme ve düşey eksendeki dönme parametreleri kullanılarak 3 serbestlik dereceli bir sistem olarak kolayca tanımlanmaktadır. Buna karşın, büyük boşluklara sahip ve/veya L,U biçiminde oluşturulan döşemelerin düzlem içindeki hareketlerinin tanımlanmasında 3 serbestlik derecesi yeterli olmamaktadır. Bu tip döşeme sistemlerinde, her bir döşeme parçasının birbirine göre bağımsız hareket etmeleri nedeniyle özellikle döşeme parçalarının birleştiği bölgelerde ek zorlanmalar oluşmaktadır. Şekil 5.50’de dikdörtgen, L ve U şeklinde teşkil edilen döşeme planları ve yatay kuvvet etkisinde döşemelerin göstermiş olduğu yer değiştirmeler görülmektedir. L ve U şeklindeki döşemelerde, döşeme boşluklarının büyük olması sonucunda, döşeme kollarının birleştiği bölgelerdeki kesit tesirleri tahmin edilen değerlerinin oldukça üstüne çıkabilmesi nedeniyle depreme dayanıklı yapı tasarım yönetmeliklerinde *döşeme düzensizlikleri* bölümlerinde verilen kurallara uyulması gereklidir.

Taşıyıcı sistem modelleme aşamalarında döşemeler, rijit, yarı rijit veya esnek olarak modellenebilirler (Şekil 5.51). Rijit diyafram kabulü ile modellenmiş bir sistemde diyafram döşemeleri, diğer yapısal taşıyıcı elemanlara oranla sonsuz rijit olarak kabul edilmekte deprem kesme kuvvetleri katlara düşey ve yatay yük taşıyıcı elemanların rijitliklerine bağlı olarak dağıtılmaktadır

Depreme dayanıklı yapı tasarım yönetmeliklerinin bir kısmı döşemelerin rijit diyafram kabulü altında modellenebilmesi için sağlanması gereken koşulları açıkça belirtmiştir. Örnek olarak; ASCE/SEI 7-10 yönetmeliğinde, açıklık/derinlik oranının 3 veya 3ten küçük olduğu ve herhangi bir düzensizlik durumunun bulunmadığı döşemelerin rijit diyafram olarak modellenmelerine izin verilmiştir.



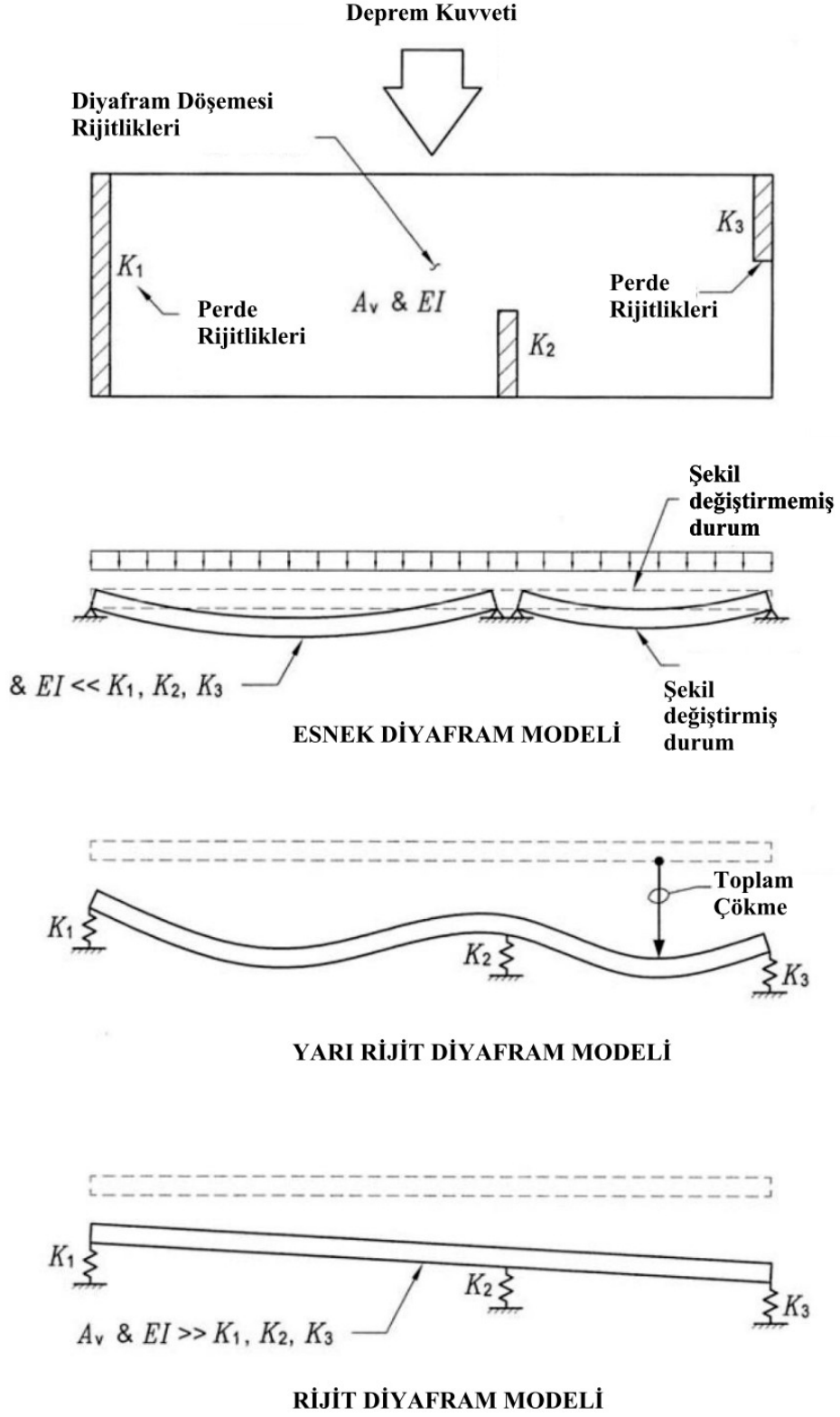
Şekil 5.50 : Boşluksuz ve boşluklu döşeme karşılaştırmaları

Yarı rijit diyafram modellenmesinde, diyafram rijitliği, diyafram döşemesinin kalınlığı, malzeme özellikleri ve boyutlarına bağlı olarak hesaplanmakta ve yapısal analiz aşamalarında hesaplanan rijitlik değerleri aynen kullanılmaktadır. Bu tip diyafram modellemesi, rijit ve esnek diyafram modellemelerine kıyasla daha gerçekçi olmasına karşın, bazı özel durumlar dışında kullanılmamaktadır. Daha öncede belirtildiği üzere, yarı rijit diyafram modelinin, diğer diyafram modellerine olan üstünlüğü, sayısal analiz aşamalarında diyafram rijitliklerinin ayrı ayrı hesaplanarak kullanılması ve dolayısıyla diyafram döşemelerinde oluşan kesit tesirlerinin daha gerçekçi olarak elde edilmesidir. Ancak, bu avantajının yanında, yarı rijit diyafram modellemesinin, sayısal analiz aşamalarında işlem hacmini şu nedenlerden dolayı arttırdığı unutulmamalıdır.

- Yarı rijit diyafram modellenmesi, genel olarak kabuk (Shell) tipi sonlu elemanlar kullanılarak yapılmaktadır. Dolayısıyla yapı serbestlik derecesi, yapı büyüklüğüne bağlı olarak oldukça artabilir, buna bağlı olarakta analiz süreleri oldukça uzayabilir.
- Kabuk eleman ağ aralıklarının(mesh) çok sık olması analiz süresini oldukça uzatmasına rağmen, doğrusal elastik çözümleme yapıldığı için gerçeğe en yakın sonucu vermektedir, ağ aralıklarının çok büyük seçilmesi durumunda ise çözümlemeden elde edilen sonuçlar gerçeklikten uzaklaşmakta ancak analiz süresi oldukça kısalmaktadır.

Esnek diyafram modellenmesinde, diyafram elemanları diğer yapısal taşıyıcı elemanlara kıyasla sonsuz esnek olarak kabul edilmektedir. Deprem etkisiyle oluşan kesme kuvvetleri katlara diyafram elemanların kütleleriyle orantılı olacak şekilde dağıtılır. Bu tür modelleme, betonarme döşeme ve kompozit döşeme sistemlerine sahip yapılar için uygun değildir.

Özellikle çekirdek perdeli yüksek yapı taşıyıcı sistemlerinde, üst katlardan, temele aktarılan çok büyük mertebelerdeki perde momentleri ve kesme kuvvetlerinin karmaşık davranışı nedeniyle, kat diyaframlarının alışlagelmiş rijit diyafram olarak modellenmesi terk edilmeli, döşemelerin hem düzlem içi hem de düzlem dışı rijitliklerinin göz önüne alındığı modeller kullanılmalıdır.



5.2.5 Yapısal Tasarım Aşamalarında Kullanılan Kabuller ve Yönetmelikler

Bu bölümde tez çalışmasında kullanılan yapının taşıyıcı sistem modellenmesinde kullanılan kabuller özetlenmiştir.

5.2.5.1 Yapısal taşıyıcı sistem özellikleri

Kat sayısı: 65 (9 Bodrum+56 Normal Kat)

Toplam Yükseklik: 287.52 metre (+0.00 kotundan)

Taşıyıcı Sistem Tipi: Betonarme Çekirdek + Çerçeve (Outtrigger) Sistem

- Düşey Yük Taşıyıcı Sistem : Kirişli Döşeme
- Yatay Yük Taşıyıcı Sistem : Boşluklu (Bağ Kirişli) Perde

Temel Sistemi : Radye Temel (d=320 cm)

5.2.5.2 Malzeme özellikleri

Çizelge 5.21 : Malzeme Özellikleri

Yapısal Taşıyıcı Eleman	Beton Sınıfı
<i>Radye Temel</i>	C40
<i>Betonarme Perde ve Bağ Kirişleri</i>	C70-C50
<i>Kule Kolonları</i>	C70-C60
<i>Podyun Kolonları</i>	C40
<i>Betonarme Döşeme ve Kirişleri</i>	C40

5.2.5.3 Kullanılan standartlar

Çizelge 5.22 : Kullanılan Standartlar

	Yönetmelik
<i>Düşey Yük Özellikleri</i>	ASCE7-05, CSA
<i>Rüzgar Yüğü Özellikleri</i>	ASCE7-05, Rüzgar Tüneli Testleri
<i>Deprem Yüğü Özellikleri</i>	IYBDY-2008, ASCE 41-06

Yapısal taşıyıcı sistemin doğrusal elastik çözümleme (ön boyut) aşamalarında kabul edilen yük değerleri şu şekildedir;

- Zati (Self Weight) Yükler
 - Öz Ağırlık
 - Betonarme 24 kN/m^3
 - Yapısal Çelik 78 kN/m^3
- Bölme Duvarlar 1.5 kN/m^2
- Ölü (Superimposed) Yükler
 - Mekanik Ekipmanlar 0.80 kN/m^2
 - Finishing 1.60 kN/m^2
- Cephe Kaplamaları 2.00 kN/m^2
- Hareketli (Live) Yükler
 - Rezidans Katları 2.00 kN/m^2
 - Otel Katları 2.00 kN/m^2
 - Koridorlar 2.00 kN/m^2
 - Balkonlar 5.00 kN/m^2
 - Merdivenler 5.00 kN/m^2
 - Podyum 5.00 kN/m^2
 - Otopark 5.00 kN/m^2
- Rüzgar Yükleri
 - Rüzgar Hızı 46 m/s
 - Yapı Kullanım Sınıfı III
 - Yapı Önem Katsayısı 1.15
 - Rüzgar Yön Faktörü 0.85
 - Exposure Sınıfı C
 - Topografik Faktör 1

5.2.5.4 Yapısal taşıyıcı sistem performans hedefleri

Tasarım aşaması I için hedeflenen performans hedefleri şu şekildedir.

- Deprem Seviyesi: 50 yıl dönüş periyodu- %2 aşılma olasılığı
- Performans Kontrolü: Kuvvet Kontrollü
- Analiz Tipi: 3-D Mod Birleştirme (Response Spectrum)
- Davranış Katsayısı: 7
- Burulma Etkileri ASCE 7-05, SEAOC-1999 (Blue-Book)
- Performans Kabulü Yapısal elemanların dayanımı ve yer değiştirme

Deprem performans hedefleri ise şu şekildedir.

- Deprem Seviyesi: E2 deprem seviyesi (IYBDY-2008)
- Performans Kontrolü: Şekil Değiştirmeye Dayalı
- Analiz Tipi: Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz
- Davranış Katsayısı: --
- Burulma Etkileri: --
- Performans Kabulü Yapısal elemanların şekil değiştirme değerleri, kat ötelenmesi miktarları

5.2.6 Hesap doğruluk derecesi, donatı detayları ve yapım

Betonarme taşıyıcı sistemlerin hesaplamaları, yapılan kabuller nedeniyle hiçbir zaman tam doğru veya kesin olarak elde edilemez. Betonarme sistemlerde kesit tesirlerinin elde edilmesi ve kesit hesaplamalarının yapılması için kullanılan yöntemlerin yaklaşık olması nedeniyle, tüm hesaplamalar belirli bir derecede yaklaşıklık içermektedir. Betonarme malzemenin karmaşık davranışı, en ileri hesaplama yöntemlerinde dahi idealize edilerek kullanılmış, hesaplamalar belli kabuller altında geliştirilmiştir. Ek olarak, malzeme dayanımları ve yapıya etkien yüklerin değişkenliği, göz önüne alınan değerlerden çok farklı olabilmektedir. Bu değişkenlikler nedeniyle, betonarme yapıların hesaplamalarında kesinliğin elde edilmesi olanaksızdır. Daha öncede belirtildiği üzere, betonarme hesapların yaklaşıklığının kavranması ve gereksiz hesaplamalardan kaçınılarak, yapı taşıyıcı sistem davranışı hakkında bilgilerin elde edilmesi hesaplamaların öncelikli amacıdır.

Hesaplamalar ne kadar kusursuz olursa olsun, detaylandırma ve yapım sürecinde yapılan hatalar nedeniyle betonarme yapı elemanlarının hasar alması kaçınılmaz olmaktadır. Depremde hasar görmüş yapıların incelenmesi sonucunda, ağır hasar görmüş veya göçmüş yapıların büyük bir çoğunluğunun, yanlış taşıyıcı sistem seçimi, yanlış ve/veya yetersiz detaylandırma ve yapım kalitesizliği yüzünden hasar aldıkları gözlemlenmiştir. Yapım aşamasında denetlenmeyen ve özen gösterilmeyen bir yapı, yapısal tasarım aşamasındaki tüm çabanın boşa gitmesine neden olmaktadır. Yapısal davranışın hesaplarda öngörülen özelliklere değil, inşa edilen gerçek yapının özelliklerine bağlı olduğu hatırlanacak olursa, betonarme yapıların güvenliklerinin yapım kalitesine son derece bağlı olduğunu söyleyebiliriz. Yapısal denetimin ihmal edilmesi, örneklerine son yıllarda sıkça rastlanan hasarlarının ve can kayıplarının artmasına neden olmaktadır. Bu bağlamda, etkili bir denetim mekanizmasının hayata geçirilmesi ve denetim faaliyetlerinin sıklaştırılması son derece önemlidir.

Betonarme elemanlarda farklı donatı düzenlenmeleri birbirinden farklı davranışlara elde edilmesine neden olmaktadır. Bu bağlamda, betonarme yapı elemanlarının detaylandırılması, yapı elemanın davranışı gözetilerek uygun bir şekilde yapılmalıdır. Donatı detaylandırma aşamalarında kuvvet akışının kesintisiz olarak sağlanması düzgün bir yük akış şemasının elde edilebilmesi için son derece önemlidir. Bu amaçla, donatıların olabildiğince kesintisiz yerleştirilmesi, donatı bindirme boylarının yönetmeliklerce belirlenen şartları sağlaması, donatı kesilmesinin zorunlu olduğu yerlerde gerekli önlemlerin alınması gereklidir. (Ersoy, 2005)

Çeşitli varsayımlara ve kabullere dayanılarak oluşturulan yapı analiz modellerinin, yapının gerçek davranışını tam doğru bir şekilde yansıtmaması betonarme malzemenin ideal homojen bir yapıya sahip olmamasından kaynaklanan davranış özellikleri nedeniyle mümkün değildir.

Yapı analiz modellerinin oluşturulmasındaki temel amaç, yapı taşıyıcı sisteminin deprem etkisindeki davranışının tam olarak sayısal ortamda simüle edilmesi değil, taşıyıcı sistemde deprem etkisiyle oluşabilecek istem büyüklerinin belirlenmesi ve bu istem büyüklüklerinin taşıyıcı sistemi oluşturan taşıyıcı elemanların kapasiteleri ile karşılaştırılarak deprem etkilerine karşı yeter derecede güvenli bir yapısal taşıyıcı sistem kararına varılması aşamalarında yapı mühendisine yeter yaklaşıklıkta ve güvenlikte kullanılabilecek bilgiler sağlamaktır.

Bu amaç doğrultusunda doğrusal ve doğrusal olmayan analizler sonucu elde edilen etki/kapasite oranları yapı mühendislerine oldukça yardımcı olmaktadır. Şüphesiz; gelişen teknoloji ile birlikte araştırma ve geliştirme çalışmaları sonucunda betonarme malzemenin doğrusal olmayan davranışı daha iyi anlaşılacak ve dolayısıyla betonarme taşıyıcı sisteme sahip yapılar için yapılan doğrusal olmayan analizlerin güvenilirliği artacaktır.

Betonarme taşıyıcı sistemlerinin doğrusal olmayan analiz modellerinin oluşturulması doğrusal analiz modellerinin oluşturulmasına kıyasla oldukça zahmetli ve özen isteyen bir süreçtir. Yapı mühendisleri, her ne kadar doğrusal olmayan analiz modellerinin oluşturulmasında karşılaşılan belirsizliklerin doğrusal analiz modellerinin oluşturulması aşamalarında karşılaşılanlara oranla daha fazla olduğunu düşünseler de bu yaklaşım tam olarak doğru değildir. Şiddetli deprem etkisi altında elastik kalması için tasarlanan bir yapı sisteminde dahi doğrusal olmayan davranışın gözlenebilme ihtimalinin olması nedeniyle, tasarım aşamalarında doğrusal olmayan davranışın göz önüne alınmaması, doğrusal olmayan davranışın oluşmayacağı anlamına gelmemektedir.

Önceki bölümlerde açıklanmaya çalışılan betonarme taşıyıcı sistemlerinin doğrusal olmayan modelleme aşamalarında dikkat edilmesi gereken en önemli noktalar kısaca şu şekilde özetlenebilir.

- Kabuk (shell) eleman olarak modellenmiş betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının doğrusal olmayan davranışları (genellikle deprem perdeleri ve döşemeler) sonlu eleman (*mesh*) düzenlerine ve sonlu eleman boyutlarına karşı çok hassastır. Çok sık ve küçük *mesh* boyutlarına sahip yapısal elemanlar kullanılarak gerçekleştirilen doğrusal elastik analizlerle gerçeğe en yakın sonuçlar elde edilmektedir ancak; doğrusal olmayan teori göz önüne alındığı zaman bu durum tam tersidir. Şöyle ki; çok küçük *mesh* boyutlarının seçilmesi durumunda, sayısal analizlerde stabilite bozuklukları oluşabilir, ek olarak hesaplanan büyüklükler doğrusal teoriye oranla sürekli büyüme eğilimindedir. Özetle, doğrusal olmayan analizler için kullanılacak *mesh* boyutlarının azaltılması, analizlerin güvenilirliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Özellikle deprem perdelerinin fiber elemanlar ile modellendiği durumlarda, sonlu eleman ağ aralıklarının çok küçük seçilmemesi önerilmektedir.

- Malzeme çevrimsel davranış modellerinin doğru seçilmesi, doğrusal olmayan analizlerin güvenilirliğinin artırılması için son derece önemlidir. Bu bağlamda, akademik çevrelerce üzerinde uzlaşmış malzeme modellerinin doğrusal olmayan analizlerde kullanılmasına özen gösterilmelidir.
- Yapısal taşıyıcı elemanlardan beklenen doğrusal olmayan davranışın, doğrusal olmayan yapı modelinde uygun teoriler kullanılarak yansıtılmasına özen gösterilmelidir. Örneğin, kiriş, kolon tipindeki taşıyıcı elemanlarda oluşabilecek plastik şekil değiştirmelerin, plastik mafsallara göre modellenmesi; taşıyıcı perdelerde ise mümkün olduğunca yayılı plastisite teorisi gereğince fiber eleman kullanılması tercih edilmelidir.
- Doğrusal olmayan analizlerde kullanılacak sönüm yüzdesinin ve sönüm aralığının belirlenmesi ve etkilerinin incelenmesi son derece karmaşık bir konudur. Bu bağlamda, yapısal çözümleme aşamalarında birden fazla sönüm modelinin göz önüne alınarak, değerlendirilmesi önerilmektedir.

Yapı sistemlerinin doğrusal olmayan davranışları ve bu davranışlarının sayısal ortamda simüle edilmesi aşamaları son derece karmaşık ve zaman alan bir süreç olduğu, yapısal modelleme aşamalarında karşılaşılan belirsizliklerin giderilmesi ve taşıyıcı sistem davranışı konusunda bir karara varılmasının yapı mühendisinin teori, pratik bilgisine ve tecrübesine bağlı olduğu unutulmamalıdır.

Kısaca özetlemek gerekirse, deprem etkisi altındaki yüksek yapı taşıyıcı sistemlerinin tasarımında geleneksel olarak kullanılan doğrusal elastik analize dayalı *dayanım bazlı* tasarım yaklaşımının yetersiz ve sakıncalı olduğu belirlenmiştir. Deprem ve yapı mühendisliği alanlarında gözlemlenen gelişmeler ışığında, yüksek yapı tasarımları performansa göre tasarım ve değerlendirme ilkeleri çerçevesinde *şekil ve yer değiştirme* odaklı olarak gerçekleştirilmektedir. Bu kapsamda, yüksek yapıların deprem etkisi altında göstermiş oldukları kendilerine has davranışlarının belirlenmesi ve sağlıklı bir şekilde yorumlanabilmesi için doğrusal olmayan analizlerin yapılması zorunludur. Yapı sistemlerinin doğrusal olmayan sayısal modellerinin oluşturulması aşamalarında yapılan kabuller (malzeme, sönüm, rijitlik vb.) taşıyıcı sistem davranışını etkileyen en önemli değişkenlerdir. Bu bağlamda, geçerliliği ve güvenilirliği onaylanmış taşıyıcı eleman ve malzeme modellerinin kullanılması son derece önemlidir.

5.2.7 Sayısal inceleme hakkındaki değerlendirmeler

Zeminden itibaren belirli bir yüksekliğe (60 m ve daha üzeri) sahip olan yapılar olarak tanımlanan yüksek yapıların deprem etkisi altında tasarımlarının, deprem yönetmelikleri kapsamındaki standart yapılardan farklı olması gerekliliği, bilim çevreleri tarafından üzerinde uzlaşma sağlanmış bir olgudur. Bu doğrultuda yüksek yapıların deprem etkisi tasarımları *performansa göre tasarım ve değerlendirme* ilkeleri çerçevesinde, taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan davranışı gözönüne alınarak yapılmalıdır. Bu amaç doğrultusunda, yapısal taşıyıcı sistemden deprem etkisi altında beklenen davranışın, başka bir deyişle performansın tasarım aşamalarının başında belirlenmesi ve hesaplamaların bu doğrultuda gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Taşıyıcı sistem performans seviyesinin ve davranışın belirlenmesi amacıyla doğrusal olmayan dinamik analiz sonucu elde edilen verilerin, yukarıda bahsi geçen performans hedefleri ile uyumlarının kontrolü için bir değerlendirmenin yapılması zorunludur.

Gerçekleştirilen sayısal çalışmada, yapısal taşıyıcı sistemden beklenen davranış şu şekilde özetlenebilir.

- Yapı yüksekliği boyunca sürekli devam eden deprem perdelerinin alt katları eğilme momenti etkisiyle plastikleşebilir, donatı akabilir ancak beton kısmın şekil değiştirmesi, beton ezilme birim şekil değiştirme sınırını geçmemelidir.
- Eğilme momenti etkisiyle, üst katlardaki deprem perde donatılarının akması kabul edilebilir, ancak bu durumda donatı şekil değiştirme değerlerinin belirlenen akma sınır şekil değiştirme değeri ile karşılaştırılması, plastikleşme seviyesinin kontrolü gereklidir.
- Plastik mafsallardaki ve plastik mafsallardaki tüm perdeler, kesme kuvveti altında elastik olarak davranmalıdır.
- Bağ kirişlerinin büyük şekil değiştirmeler yaparak hasarlar alması kabul edilebilir. Bu durumda bağ kirişlerinin yatay yük taşıyıcı sistemdeki önem durumlarına göre performans seviyelerinin belirlenmesi gereklidir.

Sayısal analizler sonunda elde edilen sonuçlar ve değerlendirmeler şu şekilde özetlenebilir.

Çizelge 5.23 : Dinamik analiz taban kesme kuvvetleri (Çözüm1)

İvme Kaydı		Deprem Doğrultusu			
		H1		H2	
		0	90	0	90
ARC	<i>Mak</i>	124800	101770	165420	125070
	<i>Min</i>	-137290	-93553	-145320	-93563
BOL	<i>Mak</i>	136800	167190	185400	237630
	<i>Min</i>	-165030	-174330	-196020	-153950
HCX	<i>Mak</i>	161300	256780	223550	258510
	<i>Min</i>	-160630	-153960	-192450	-161590
HEC	<i>Mak</i>	134520	177770	153830	292610
	<i>Min</i>	-140090	-187270	-169160	-186380
JOS	<i>Mak</i>	130420	147271	139350	141916
	<i>Min</i>	-134540	-143511	-173390	-111771
NIS	<i>Mak</i>	197220	151160	228770	182730
	<i>Min</i>	-176190	-159740	-169100	-171760
YER	<i>Mak</i>	206470	144010	240750	202880
	<i>Min</i>	-187000	-142500	-255020	-169790
ORTALAMA	<i>Mak</i>	155933	163707	191010	205907
	<i>Min</i>	-157253	-150695	-185780	-149829

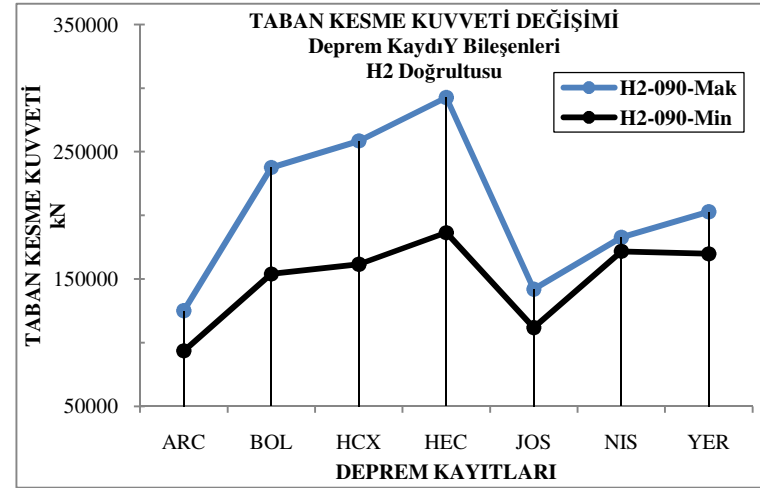
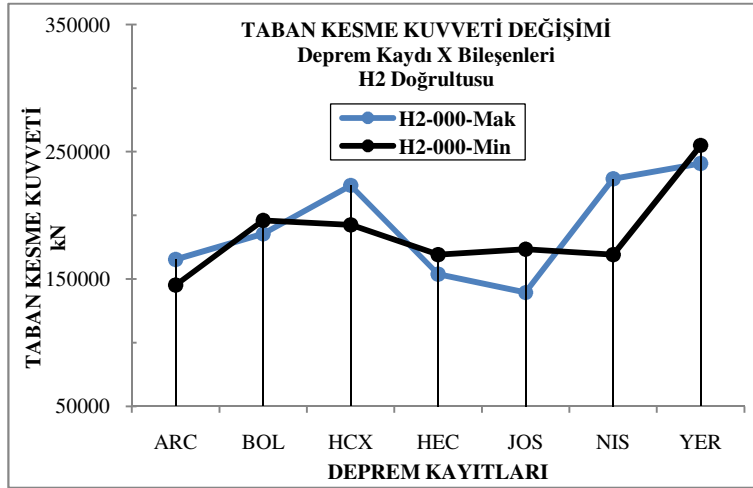
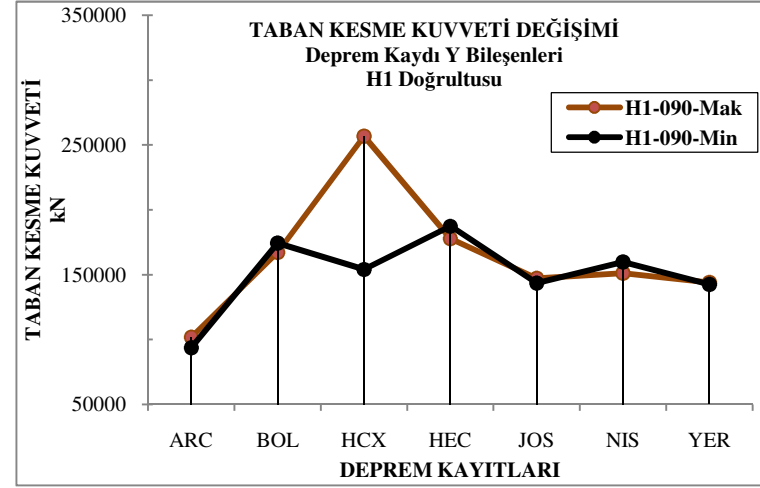
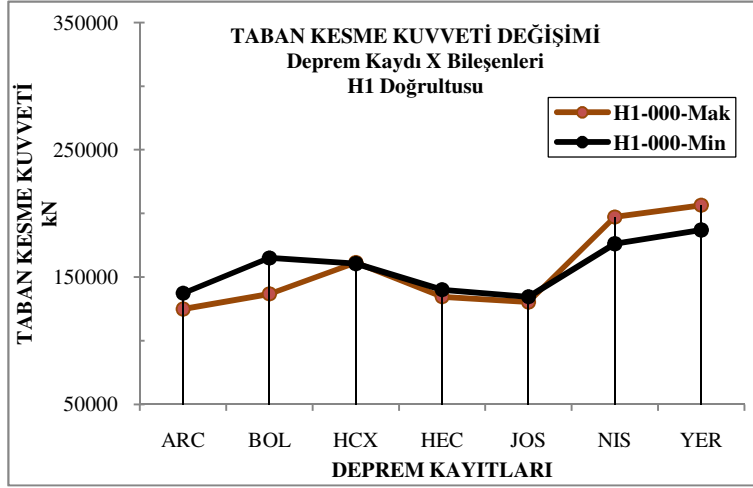
* Taban kesme kuvvetleri kN mertebesinde.

Çizelge 5.24 : Minimum taban kesme kuvveti karşılaştırmaları (Çözüm1)

Yönetmelik	Minimum Taban Kesme Kuvveti Katsayısı	V _{tmin}	Oran
<i>IYBDY-2008</i>	0.032	76800	2.2-2.8
<i>LATB-2007</i>	0.030	72000	2.2-3.0
<i>SEAOC</i>	0.033	79200	2.0-2.7

Çizelge 5.23’de Çözüm1 (0.2T~1.5T, %2.5Ç) sonunda elde edilen taban kesme kuvveti değerleri görülmektedir. Dinamik analizler sonucu elde edilen taban kesme kuvvetleri, yapı rijitliğinin daha büyük olduğu Çekirdek-X (H2) yönünde daha fazla olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.24’te Çözüm1 (0.2T~1.5T, %2.5Ç) sonunda elde edilen taban kesme kuvvetlerinin, çeşitli yönetmelikler tarafından belirlenen *minimum taban kesme kuvveti* değerlerine oranları görülmektedir.



Şekil 5.52 : Dinamik analiz taban kesme kuvvetleri değişimi (Çözüm1)

Çizelge 5.25 : Dinamik analiz taban kesme kuvvetleri (Çözüm2)

İvme Kaydı		Deprem Doğrultusu			
		H1		H2	
		0	90	0	90
<i>ARC</i>	<i>Mak</i>	120310	98915	160920	114410
	<i>Min</i>	-136980	-88457	-143070	-90673
<i>BOL</i>	<i>Mak</i>	135490	167410	173480	216190
	<i>Min</i>	-160510	-166150	-162700	-144800
<i>HGX</i>	<i>Mak</i>	152310	252940	202640	246230
	<i>Min</i>	-160920	-152630	-188280	-165400
<i>HEC</i>	<i>Mak</i>	135120	178370	152560	252590
	<i>Min</i>	-131620	-175150	-158690	-182950
<i>JOS</i>	<i>Mak</i>	127863	144736	133190	140511
	<i>Min</i>	-130990	-142151	-171430	-109579
<i>NIS</i>	<i>Mak</i>	193230	146660	209660	164020
	<i>Min</i>	-169710	-149160	-169530	-165510
<i>YER</i>	<i>Mak</i>	205090	143980	233060	162620
	<i>Min</i>	-181070	-139360	-244670	-157780
ORTALAMA	<i>Mak</i>	152773	161859	180787	185224
	<i>Min</i>	-153114	-144723	-176910	-145242

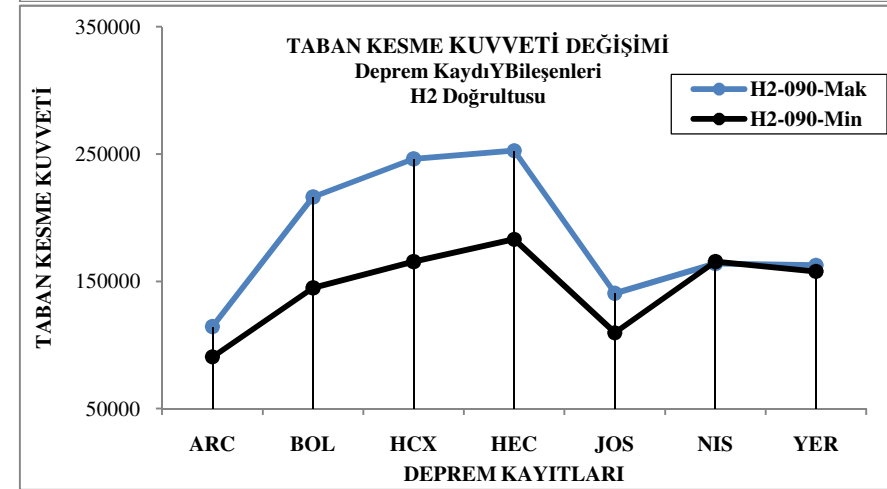
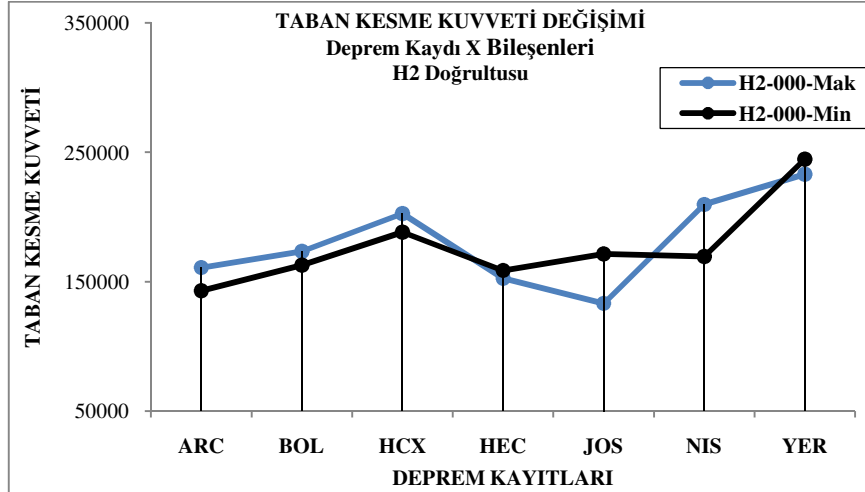
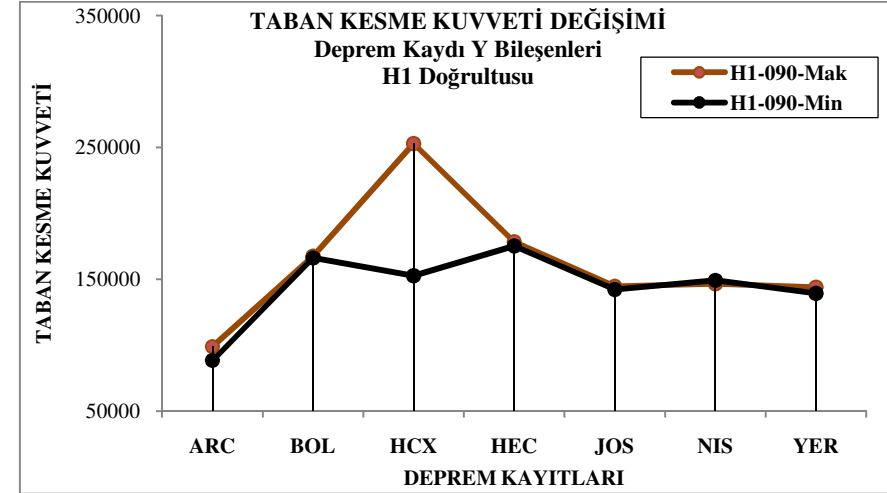
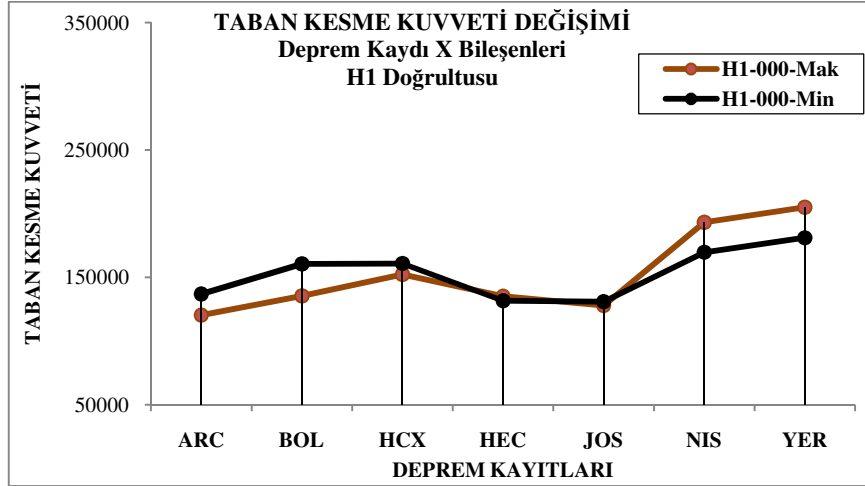
* Taban kesme kuvvetleri kN birimindedir.

Çizelge 5.26 : Minimum taban kesme kuvveti karşılaştırmaları (Çözüm2)

Yönetmelik	Minimum Taban Kesme Kuvveti Katsayısı	Vtmin	Oran
<i>IYBDY-2008</i>	0.032	76800	2.0-2.5
<i>LATB-2007</i>	0.030	72000	2.0-2.7
<i>SEAOC</i>	0.033	79200	1.9-2.5

Çizelge 5.25'te Çözüm2 (0.3T~1.0T, %2.5Ç) sonunda elde edilen taban kesme kuvveti değerleri görülmektedir. Dinamik analizler sonucu elde edilen taban kesme kuvvetleri, yapı rijitliğinin daha büyük olduğu Çekirdek-X (H2) yönünde daha fazla olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.26'da Çözüm2 (0.3T~1.0T, %2.5Ç) sonunda elde edilen taban kesme kuvvetlerinin, çeşitli yönetmelikler tarafından belirlenen *minimum taban kesme kuvveti* değerlerine oranları görülmektedir.



Şekil 5.53 : Dinamik analiz taban kesme kuvvetleri değişimi (Çözüm2)

Çizelge 5.27 : Dinamik analiz taban kesme kuvveti karşılaştırmaları
(Çözüm1/Çözüm2)

Deprem Kayıt Adı		Deprem Doğrultusu			
		H1		H2	
		0	90	0	90
<i>ARC</i>	<i>Maks</i>	1.04	1.03	1.03	1.09
	<i>Min</i>	1.00	1.06	1.02	1.03
<i>BOL</i>	<i>Maks</i>	1.01	1.00	1.07	1.10
	<i>Min</i>	1.03	1.05	1.20	1.06
<i>HCX</i>	<i>Maks</i>	1.06	1.02	1.10	1.05
	<i>Min</i>	1.00	1.01	1.02	0.98
<i>HEC</i>	<i>Maks</i>	1.00	1.00	1.01	1.16
	<i>Min</i>	1.06	1.07	1.07	1.02
<i>JOS</i>	<i>Maks</i>	1.02	1.02	1.05	1.01
	<i>Min</i>	1.03	1.01	1.01	1.02
<i>NIS</i>	<i>Maks</i>	1.02	1.03	1.09	1.11
	<i>Min</i>	1.04	1.07	1.00	1.04
<i>YER</i>	<i>Maks</i>	1.01	1.00	1.03	1.25
	<i>Min</i>	1.03	1.02	1.04	1.08
ORTALAMA	<i>Maks</i>	1.02	1.01	1.06	1.11
	<i>Min</i>	1.03	1.04	1.05	1.03

* Taban kesme kuvvetleri kN birimindedir.

Çizelge 5.27’de Çözüm1 (0.2T~1.5T, %2.5Ç) sonunda elde edilen taban kesme kuvvetlerinin, Çözüm2 (0.3T~1.0T, %2.5Ç) sonunda elde edilen taban kesme kuvvetlerine oranı görülmektedir. Çözüm1 sonucu elde edilen taban kesme kuvvetleri, Çözüm2 sonucu elde edilen taban kesme kuvvetlerine kıyasla daha büyüktür. İki çözüm arasındaki fark H1 yönü deprem çözümleri için ortalama %2, H2 yönü deprem çözümleri içinse ortalama %6 mertebelerindedir.

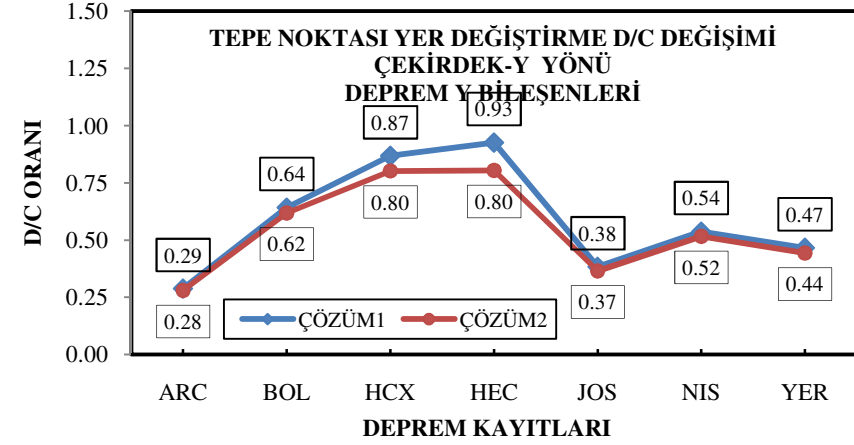
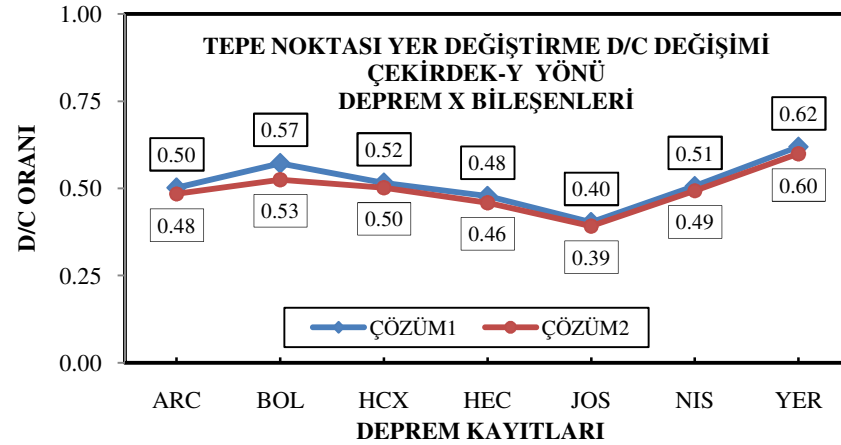
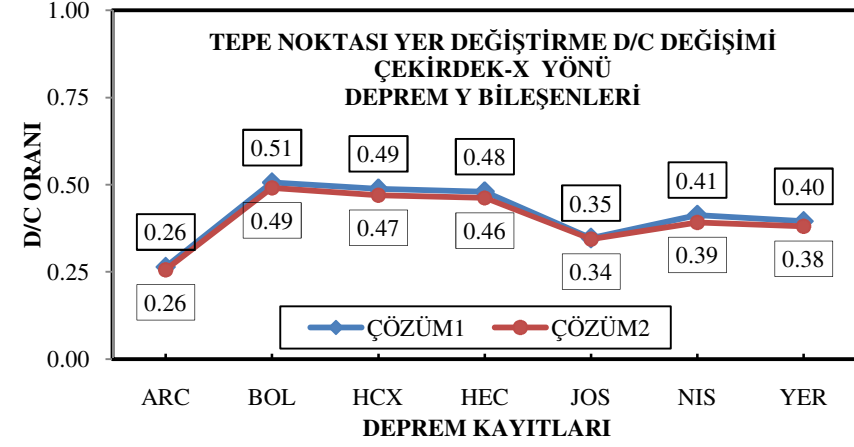
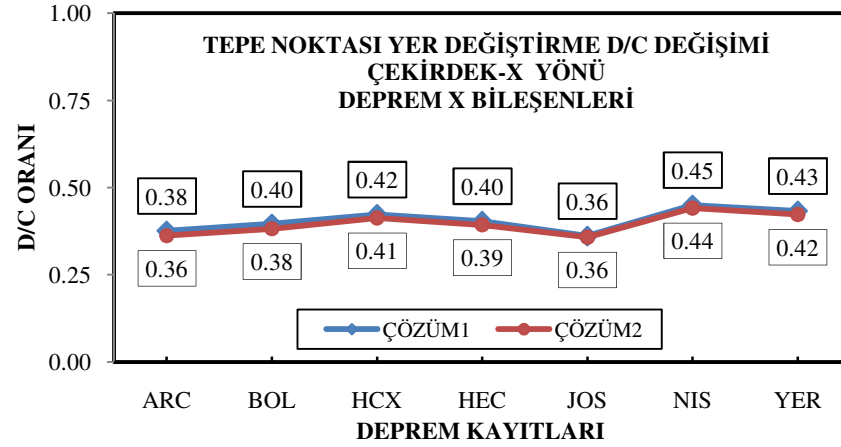
Çizelge 5.28 : Tepe noktası yer değiştirmesi karşılaştırmaları (Çözüm1/Çözüm2)

	Çözüm1		Çözüm2		ORAN	
	D/C _{(Max-}	D/C _{(Mean-}	D/C _{(Max-}	D/C _{(Mean-}	D/C _{(Max-}	D/C _{(Mean-}
	Max)	Max)	Max)	Max)	Max)	Max)
<i>Çekirdek-X</i>	0.506	0.414	0.492	0.400	1.03	1.04
<i>Çekirdek-Y</i>	0.926	0.552	0.804	0.526	1.15	1.05

Çizelge 5.28’de her iki çözüm sonunda elde edilen tepe noktası yer değiştirme etki/kapasite oranları görülmektedir. Çözüm1 (0.2T~1.5T, %2.5Ç) sonunda elde edilen tepe noktası yer değiştirme etki/kapasite oranı Çekirdek-X yönü ve $D/C_{\max-\max}$ kombinasyonu için 0.506, $D/C_{\text{mean}-\max}$ kombinasyonu içinse 0.414 olarak, benzer şekilde Çekirdek-Y yönü ve $D/C_{\max-\max}$ kombinasyonu için 0.926, $D/C_{\text{mean}-\max}$ kombinasyonu içinse 0.552 olarak hesaplanmıştır. Çözüm2 (0.3T~1.0T, %2.5Ç) sonunda elde edilen tepe noktası yer değiştirme etki/kapasite oranı Çekirdek-X yönü ve $D/C_{\max-\max}$ kombinasyonu için 0.492, $D/C_{\text{mean}-\max}$ kombinasyonu içinse 0.400 olarak, benzer şekilde Çekirdek-Y yönü ve $D/C_{\max-\max}$ kombinasyonu için 0.804, $D/C_{\text{mean}-\max}$ kombinasyonu içinse 0.526 olarak hesaplanmıştır. Her iki çözüm sonunda elde edilen tepe noktası yer değiştirme etki/kapasite oranları değerlendirildiğinde, Çözüm1 (0.2T~1.5T, %2.5Ç) sonunda elde edilen tepe noktası yer değiştirme etki/kapasite oranları, Çözüm2 (0.3T~1.0T, %2.5Ç) sonunda elde edilen tepe noktası yer değiştirme etki/kapasite oranlarından daha büyük olduğu, iki çözüm arasındaki farkın Çekirdek-X yönü, $D/C_{\max-\max}$ kombinasyonu için %3, Çekirdek-X yönü, $D/C_{\text{mean}-\max}$ kombinasyonu için %4, Çekirdek-Y yönü, $D/C_{\max-\max}$ kombinasyonu için %15, Çekirdek-Y yönü, $D/C_{\text{mean}-\max}$ kombinasyonu içinse %5 mertebelerinde olduğu belirlenmiştir.

Tüm deprem çözümleri için elde edilen en büyük tepe noktası yer değiştirme etki/kapasite oranları (D/C) ve karşılaştırmaları Şekil 5.54’te görülmektedir.

Çözüm1 ve Çözüm2 sonunda elde edilen sonuçlar tepe noktası yer değiştirme etki/kapasite oranları temel alınarak değerlendirildiğinde, Çekirdek-Y (H1) yönündeki yer değiştirme isteminin, Çekirdek-X (H2) yönüne kıyasla daha fazla olduğu dolayısıyla, taşıyıcı sistem rijitliğinin Çekirdek-X (H2) yönünde daha fazla olduğu analiz aşamalarında kullanılan farklı sönüm aralıklarının, birbirinden farklı tepe noktası yer değiştirme miktarlarına yol açtığı ve kullanılan sönüm periyot aralığının geniş olduğu modelden (Çözüm1-0.2T~1.5T) elde edilen tepe noktası yer değiştirme miktarlarının daha büyük olduğu belirlenmiştir. Her iki çözüm sonunda elde edilen tepe noktası yer değiştirmeleri arasındaki fark %3-%15 mertebelerindedir.



Şekil 5.54 : Tepe noktası yer değiştirmesi etki/kapasite (D/C) oran karşılaştırmaları (Çözüm1 ve Çözüm2)

Çizelge 5.29 : Görelî kat ötelenmesi etki/kapasite oranları karşılaştırmaları
(Çözüm1/Çözüm2)

	Çözüm1		Çözüm2		ORAN	
	D/C _(Max-Max)	D/C _(Mean-Max)	D/C _(Max-Max)	D/C _(Mean-Max)	D/C _(Max-Max)	D/C _(Mean-Max)
<i>Çekirdek-X</i>	0.314	0.264	0.304	0.255	1.03	1.04
<i>Çekirdek-Y</i>	0.936	0.584	0.814	0.545	1.15	1.07

Çizelge 5.29 ve Çizelge 5.30’de her iki çözüm sonunda elde edilen görelî kat ötelenmesi etki/kapasite oranları görülmektedir. Çözüm1 (0.2T~1.5T, %2.5Ç) sonunda elde edilen görelî kat ötelenmesi etki/kapasite oranı Çekirdek-X yönü ve $D/C_{\text{max-max}}$ kombinasyonu için 0.314, $D/C_{\text{mean-max}}$ kombinasyonu içinse 0.264 olarak, benzer şekilde Çekirdek-Y yönü ve $D/C_{\text{max-max}}$ kombinasyonu için 0.936, $D/C_{\text{mean-max}}$ kombinasyonu içinse 0.584 olarak hesaplanmıştır. Çözüm2 (0.3T~1.0T, %2.5Ç) sonunda elde edilen görelî kat ötelenmesi etki/kapasite oranları Çekirdek-X yönü ve $D/C_{\text{max-max}}$ kombinasyonu için 0.304, $D/C_{\text{mean-max}}$ kombinasyonu içinse 0.255 olarak, benzer şekilde Çekirdek-Y yönü ve $D/C_{\text{max-max}}$ kombinasyonu için 0.814, $D/C_{\text{mean-max}}$ kombinasyonu içinse 0.545 olarak hesaplanmıştır. Her iki çözüm sonunda elde edilen görelî kat ötelenmesi etki/kapasite oranları değerlendirildiğinde Çözüm1 (0.2T~1.5T, %2.5Ç) sonunda elde edilen görelî kat ötelenmesi etki/kapasite oranlarının, Çözüm2 (0.3T~1.0T, %2.5Ç) sonunda elde edilen görelî kat ötelenmesi etki/kapasite oranlarından daha büyük olduğu, her iki çözüm arasındaki farkın Çekirdek-X yönü, $D/C_{\text{max-max}}$ kombinasyonu için %3, Çekirdek-X yönü, $D/C_{\text{mean-max}}$ kombinasyonu için %4, Çekirdek-Y yönü, $D/C_{\text{max-max}}$ kombinasyonu için %15, Çekirdek-Y yönü, $D/C_{\text{mean-max}}$ kombinasyonu içinse %7 mertebelerinde olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 5.30 : Görelî kat ötelenmesi değerleri karşılaştırmaları

	Çözüm1		Çözüm2	
	D/C _(Max-Max)	D/C _(Mean-Max)	D/C _(Max-Max)	D/C _(Mean-Max)
<i>Çekirdek-X</i>	0.008	0.007	0.008	0.006
<i>Çekirdek-Y</i>	0.023	0.015	0.020	0.014

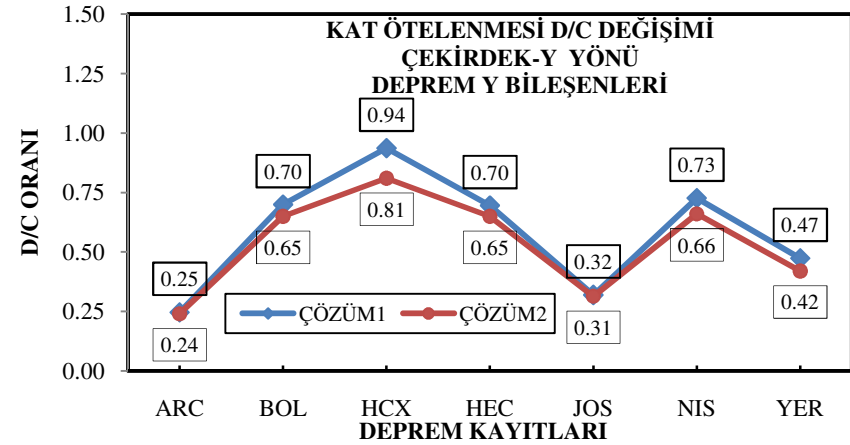
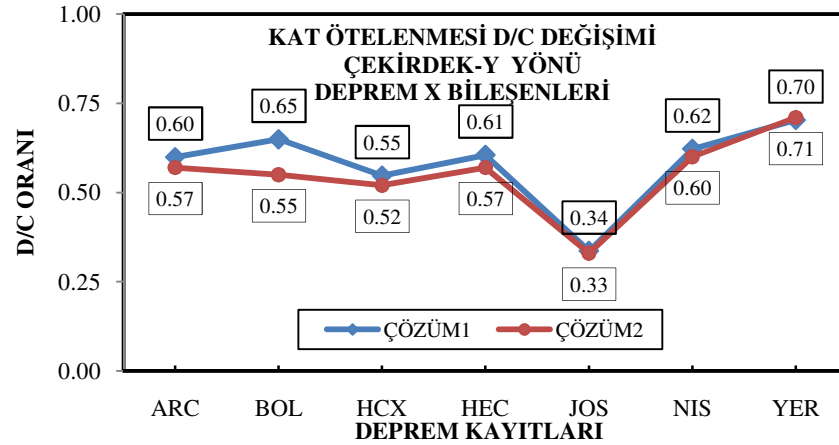
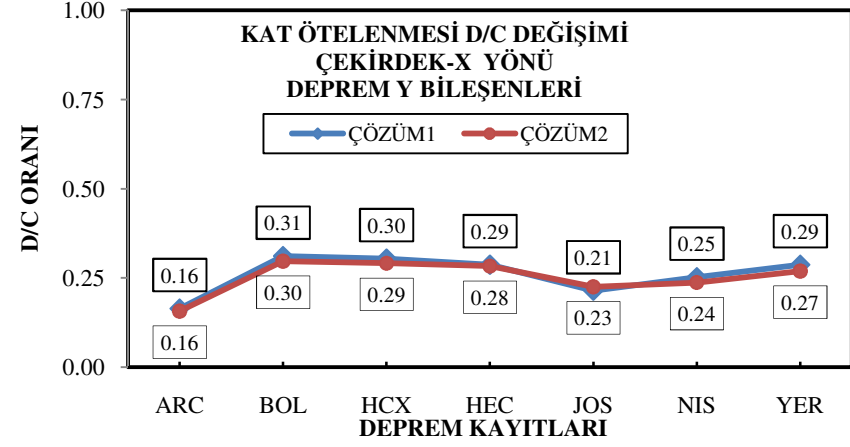
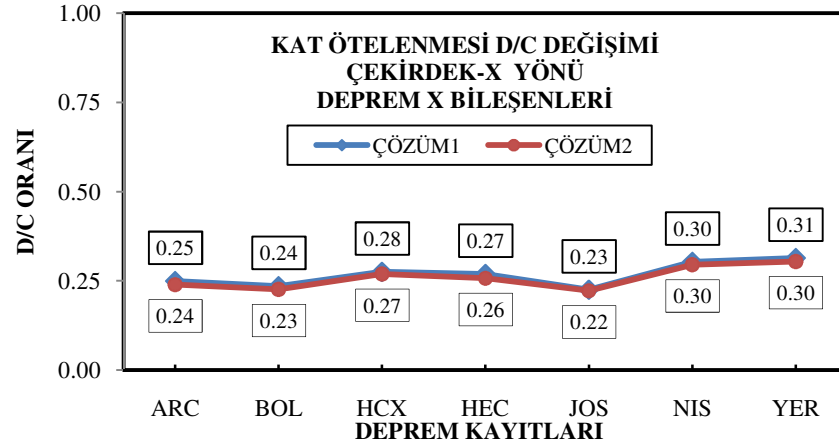
Performansa dayalı tasarım ölçütlerinin esas alındığı depreme dayanıklı yapı yönetmeliklerinde, görelî kat ötelenmesi oranlarına şu nedenlerden dolayı sınırlamalar getirilmiştir.

- Deprem hareketi etkisiyle komşu binaların birbirine çarpmalarının engellenmesi.
- Bağ kirişleri plastik şekil değiştirmelerinin kontrol edilebilir sınırlar içinde kalmasını sağlamak.
- Taşıyıcı olmayan elemanlarda gözlemlenebilecek hasar seviyelerini azaltmak.

Görelî kat ötelenmesi miktarının kontrolü amacıyla, analizler sonunda elde edilen görelî kat ötelenmesi etki/kapasite oranları, görelî kat ötelenmesi miktarına çevrilmiş (Çizelge 5.27'deki her bir değer, görelî kat ötelenmesi sınır değeri olarak kullanılan 0.025 ile çarpılmıştır.) ve elde edilen kat ötelenmesi miktarları IYBDY-2008 Madde 4.3.2.2 (a)'da tanımlanan görelî kat ötelenmesi sınır değeri (0.025) ile karşılaştırılmıştır. Yapılan değerlendirme sonucunda görelî kat ötelenmesi miktarlarının, IYBDY-2008-Madde 4.3.2.2 (a) şartını sağladığı belirlenmiştir.

Tüm deprem çözümleri için elde edilen en büyük görelî kat ötelenmesi etki/kapasite oranları ve karşılaştırmaları Şekil 5.55'te görülmektedir.

Çözüm1 ve Çözüm2 sonunda elde edilen sonuçlar (Şekil 5.55) görelî kat ötelenme miktarları temel alınarak karşılaştırıldığında, analiz aşamalarında kullanılan farklı sönüm aralıklarının, birbirinden farklı kat ötelenmesi oranlarına yol açtığı ve kullanılan sönüm periyot aralığının geniş olduğu modelden (Çözüm1-0.2T~1.5T) elde edilen kat ötelenmesi oranlarının daha büyük olduğu belirlenmiştir. Her iki çözüm sonunda elde edilen kat ötelenmesi oranları arasındaki fark %3-%15 mertebelerindedir. Ek olarak, IYBDY-2008-Madde 4.3.2.2 (a) da belirtilen kat ötelenmesi sınır değerlerinin her iki çözüm için de aşılmadığı belirlenmiştir.



Şekil 5.55 : Kat ötelenmesi etki kapasite (D/C) oranları karşılaştırmaları (Çözüm1 ve Çözüm2)

Çizelge 5.31 : Tüketilen plastik şekil değiştirme enerjisi miktarı (Çözüm1)

Deprem Kayıt Adı	Deprem Doğrultusu			
	H1		H2	
	0	90	0	90
<i>ARC</i>	15420	2027	2154	113
<i>BOL</i>	21210	32350	3502	6534
<i>HGX</i>	14610	50810	2576	19380
<i>HEC</i>	22900	58870	2685	16980
<i>JOS</i>	10160	29985	908	8530
<i>NIS</i>	28120	21450	3152	4122
<i>YER</i>	52110	15020	11380	2134
<i>ORT</i>	23504	30073	3765	8256

* Çizelgede verilen değerler kN. m birimindedir.

Çizelge 5.31’de Çözüm1 (0.2T~1.5T, %2.5Ç) sonunda elde edilen tüketilen plastik şekil değiştirme enerjisi miktarları görülmektedir. H1 yönü deprem çözümleri sonunda tüketilen ortalama plastik şekil değiştirme enerjisi miktarı 26788 kN.m H2 doğrultusu deprem çözümleri sonunda tüketilen ortalama plastik şekil değiştirme enerjisi miktarı ise 6010 kN.m olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.32 : Tüketilen plastik şekil değiştirme enerjisi miktarı (Çözüm2)

Deprem Kayıt Adı	Deprem Doğrultusu			
	H1		H2	
	0	90	0	90
<i>ARC</i>	13690	1650	1955	87
<i>BOL</i>	18500	28660	2075	4837
<i>HGX</i>	13220	44450	2186	10770
<i>HEC</i>	19350	51650	1905	11240
<i>JOS</i>	8125	24975	705	7580
<i>NIS</i>	24480	17550	2495	3187
<i>YER</i>	43820	11980	8250	1457
<i>ORT</i>	20169	25845	2796	5594

* Çizelgede verilen değerler kN. m birimindedir.

Çizelge 5.32’de Çözüm2 (0.3T~1.0T, %2.5Ç) sonunda elde edilen tüketilen plastik şekil değiştirme enerjisi miktarları görülmektedir. H1 yönü deprem çözümleri sonunda tüketilen ortalama plastik şekil değiştirme enerjisi miktarı 23007 kN.m H2 doğrultusu deprem çözümleri sonunda tüketilen ortalama plastik şekil değiştirme enerjisi miktarı ise 4195 kN.m olarak hesaplanmıştır.

Her iki çözüm sonunda elde edilen tüketilen plastik şekil değiştirme enerjisi miktarları incelendiğinde, H1 yönünde tüketilen plastik şekil değiştirme enerjisi miktarlarının, H2 yönünde tüketilen plastik enerji miktarlarına kıyasla daha fazla olduğu saptanmıştır. Bu değerlendirme neticesinde, taşıyıcı sistem rijitliğinin daha az olduğu H1 yönündeki yapısal elemanların, deprem enerjisinin plastik şekil değiştirmeler yardımıyla tüketilmesi aşamalarında daha aktif rol üstlendikleri belirlenmiştir.

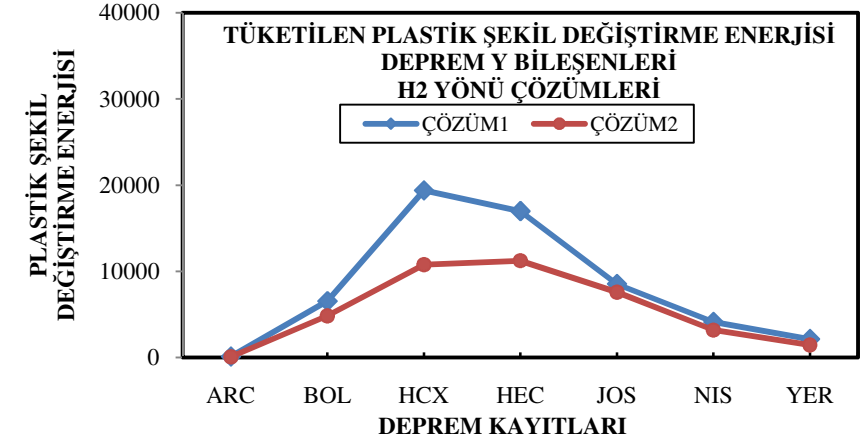
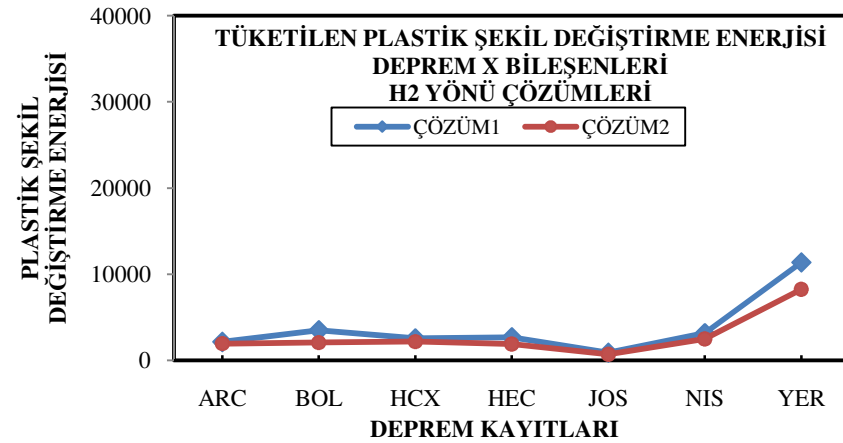
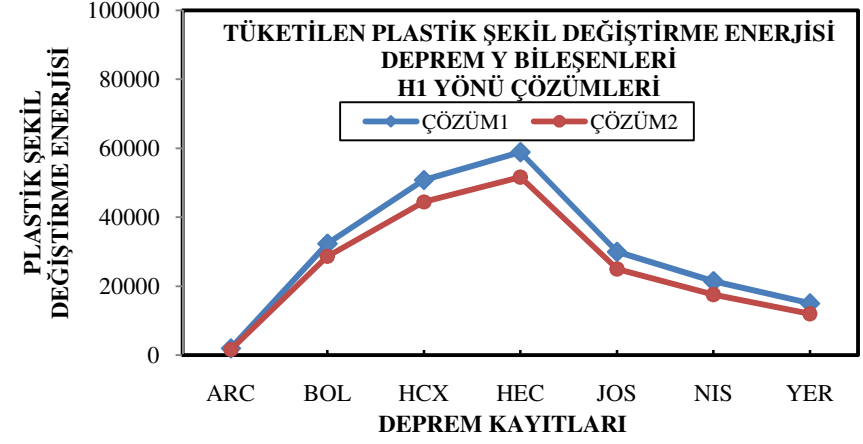
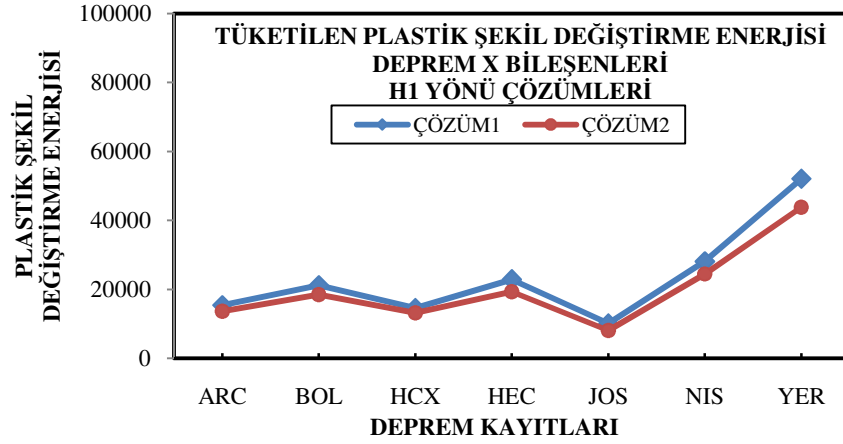
Çizelge 5.33 : Tüketilen plastik şekil değiştirme enerjisi miktarı karşılaştırmaları (Çözüm2/Çözüm1)

Deprem Kayıt Adı	Deprem Doğrultusu			
	H1		H2	
	0	90	0	90
<i>ARC</i>	0.89	0.81	0.91	0.77
<i>BOL</i>	0.87	0.89	0.59	0.74
<i>HCX</i>	0.90	0.87	0.85	0.56
<i>HEC</i>	0.84	0.88	0.71	0.66
<i>JOS</i>	0.80	0.83	0.78	0.89
<i>NIS</i>	0.87	0.82	0.79	0.77
<i>YER</i>	0.84	0.80	0.72	0.68
<i>ORT</i>	0.86	0.84	0.76	0.72

* Çizelgede verilen değerler boyutsuzdur.

Her iki çözüm sonunda elde edilen sonuçlar tüketilen plastik şekil değiştirme enerjisi miktarları temel alınarak değerlendirildiğinde, Çizelge 5.33'ten görüldüğü üzere, Çözüm1 (0.2T~1.5T, %2.5Ç) sonunda elde edilen tüketilen plastik şekil değiştirme enerjisi miktarının, Çözüm2 (0.3T~1.0T, %2.5Ç) sonunda elde edilen tüketilen plastik şekil değiştirme enerjisi miktarına kıyasla daha fazla olduğu, her iki çözüm arasındaki farkın H1 yönü çözümleri için ortalama %15, H2 yönü çözümleri için ortalama %26 mertebelerinde olduğu belirlenmiştir.

Çözüm1 ve Çözüm2 sonunda elde edilen sonuçlar (Şekil 5.56), tüketilen plastik şekil değiştirme enerjisi miktarı temel alınarak karşılaştırıldığında, analiz aşamalarında kullanılan farklı sönüm aralıklarının birbirinden farklı miktarda plastik şekil değiştirme enerjisinin tüketilmesine yol açtığı, kullanılan sönüm periyodu aralığının geniş olduğu (Çözüm1-0.2T-1.5T) modelden elde edilen sonuçların daha büyük olduğu belirlenmiştir. Her iki çözüm arasındaki tüketilen plastik şekil değiştirme enerjisi miktarları farkı %15~%26 mertebelerindedir.



Şekil 5.56 : Tüketilen plastik şekil değiştirme enerjisi karşılaştırmaları (Çözüm1 ve Çözüm2)

Çizelge 5.34 : Tüketilen viskoz sönüm enerjisi miktarı (Çözüm1)

Deprem Kayıt Adı	Deprem Doğrultusu			
	H1		H2	
	0	90	0	90
<i>ARC</i>	9844	6360	13950	5053
<i>BOL</i>	17680	20600	30040	29990
<i>HCX</i>	20940	36770	25210	61640
<i>HEC</i>	22830	34480	30860	57260
<i>JOS</i>	29360	23820	36290	34925
<i>NIS</i>	23600	25670	30200	29770
<i>YER</i>	50670	21810	56600	26460
<i>ORT</i>	24989	24216	31879	35014

* Çizelgede verilen değerler kN. m birimindedir.

Çizelge 5.34'te Çözüm1 (0.2T~1.5T, %2.5ζ) sonunda elde edilen tüketilen viskoz sönüm enerjisi miktarları görülmektedir. H1 yönü deprem çözümleri sonunda tüketilen ortalama viskoz sönüm enerjisi miktarı 24602 kN.m, H2 doğrultusu deprem çözümleri sonunda tüketilen ortalama viskoz sönüm enerjisi miktarı ise 33446 kN.m olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.35 : Tüketilen viskoz sönüm enerjisi miktarı (Çözüm2)

Deprem Kayıt Adı	Deprem Doğrultusu			
	H1		H2	
	0	90	0	90
<i>ARC</i>	10930	6476	14880	5335
<i>BOL</i>	19250	22700	29900	30480
<i>HCX</i>	22820	39380	24540	60740
<i>HEC</i>	24700	37990	31830	60370
<i>JOS</i>	31110	25950	37080	35970
<i>NIS</i>	26230	26700	31790	31430
<i>YER</i>	53910	23710	58200	26070
<i>ORT</i>	26993	26129	32603	35771

* Çizelgede verilen değerler kN. m birimindedir.

Çizelge 5.35'te Çözüm2 (0.3T~1.0T, %2.5ζ) sonunda elde edilen tüketilen viskoz sönüm enerjisi miktarları görülmektedir. Elde edilen sonuçlara dayanarak, H1 yönü deprem çözümleri sonunda tüketilen ortalama viskoz sönüm enerjisi miktarı 26560 kN.m, H2 doğrultusu deprem çözümleri sonunda tüketilen ortalama viskoz sönüm enerjisi miktarı ise 34187 kN.m olarak hesaplanmıştır.

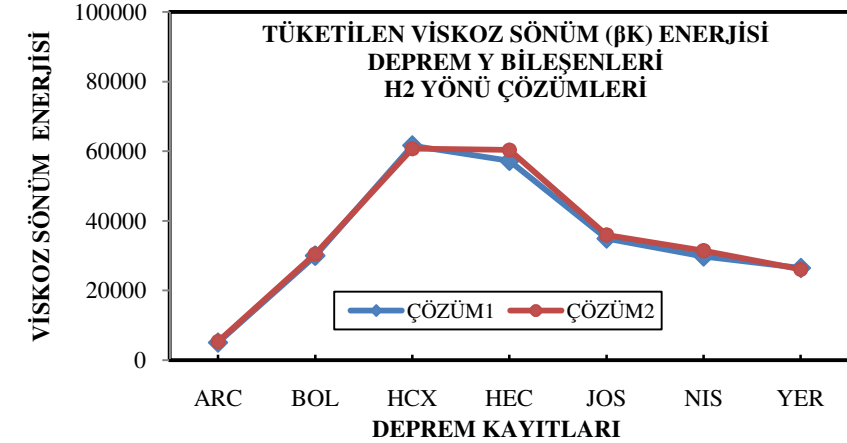
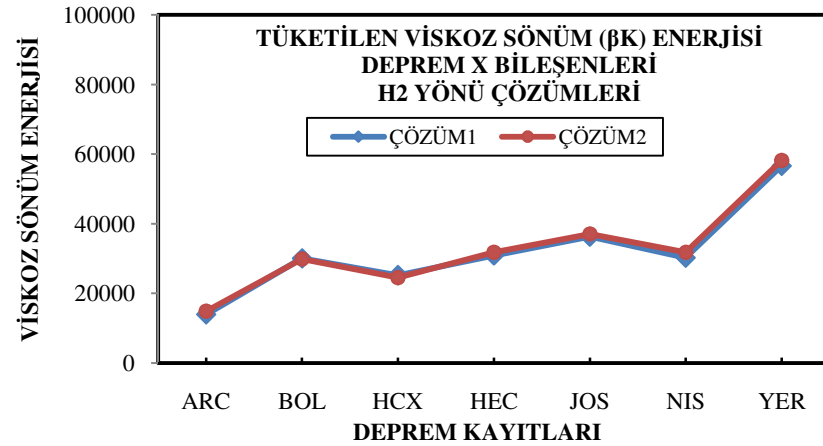
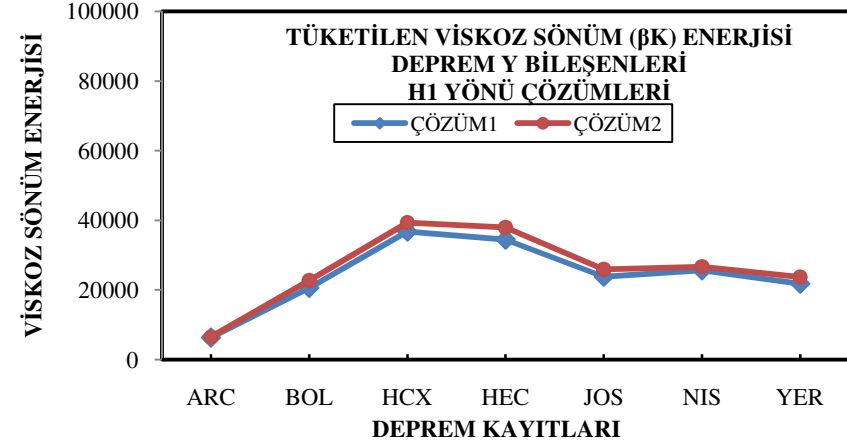
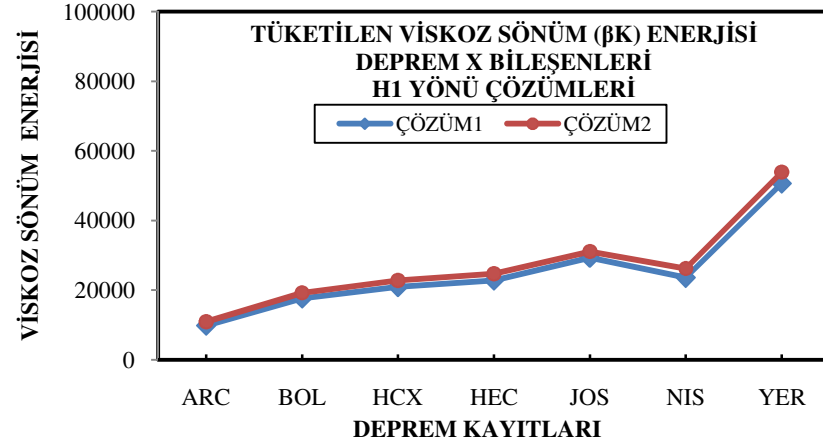
Her iki çözüm sonunda elde edilen tüketilen viskoz sönüm enerjisi miktarları incelendiğinde, H2 yönünde tüketilen viskoz sönüm enerjisi miktarlarının, H1 yönünde tüketilen viskoz sönüm enerjisi miktarlarına kıyasla fazla olduğu saptanmıştır. Bu değerlendirme neticesinde, taşıyıcı sistem rijitliğinin daha fazla olduğu H2 yönündeki elemanların deprem enerjisinin viskoz sönüm yardımıyla tüketilmesi aşamalarında daha aktif rol üstlendikleri belirlenmiştir.

Çizelge 5.36 : Tüketilen viskoz sönüm enerjisi miktarı karşılaştırmaları
(Çözüm2/Çözüm1)

Deprem Kayıt Adı	Deprem Doğrultusu			
	H1		H2	
	0	90	0	90
<i>ARC</i>	1.11	1.02	1.07	1.06
<i>BOL</i>	1.09	1.10	1.00	1.02
<i>HCX</i>	1.09	1.07	0.97	0.99
<i>HEC</i>	1.08	1.10	1.03	1.05
<i>JOS</i>	1.06	1.09	1.02	1.03
<i>NIS</i>	1.11	1.04	1.05	1.06
<i>YER</i>	1.06	1.09	1.03	0.99
<i>ORT</i>	1.09	1.07	1.00	1.02

Her iki çözüm sonunda elde edilen sonuçlar tüketilen viskoz sönüm enerjisi miktarları temel alınarak değerlendirildiğinde, Çizelge 5.36'dan görüldüğü üzere, Çözüm2 (0.3T~1.0T, %2.5ç) sonunda elde edilen tüketilen viskoz sönüm enerjisi miktarının, Çözüm1 (0.2T~1.5T, %2.5ç) sonunda elde edilen tüketilen viskoz sönüm enerjisi miktarına kıyasla daha fazla olduğu, her iki çözüm arasındaki farkın, H1 yönü deprem çözümleri için ortalama %8, H2 deprem yönü deprem çözümlemeleri içinse %2 mertebelerinde olduğu belirlenmiştir. Tüm deprem çözümleri sonunda elde edilen tüketilen plastik şekil değiştirme enerjisi miktarları ve karşılaştırmaları Şekil 5.57'de görülmektedir.

Çözüm1 ve Çözüm2 sonunda elde edilen sonuçlar (Şekil 5.57), tüketilen viskoz sönüm enerjisi miktarı temel alınarak karşılaştırıldığında, analiz aşamalarında kullanılan farklı sönüm aralıklarının birbirinden farklı miktarda viskoz sönüm enerjisinin tüketilmesine yol açtığı ve kullanılan sönüm periyodu aralığının dar olduğu (Çözüm2-0.3T~1.0T) modelden elde edilen sonuçların daha büyük olduğu belirlenmiştir. . Her iki çözüm sonunda elde edilen fark%2~%8 mertebelerindedir.



Şekil 5.57 : Tüketilen viskoz sönüm enerjisi karşılaştırmaları (Çözüm1 ve Çözüm2)

Çizelge 5.37 : Tüketilen toplam enerji miktarları (Çözüm1)

Deprem Kayıt Adı	Deprem Doğrultusu			
	H1		H2	
	0	90	0	90
<i>ARC</i>	25264	8387	16104	5166
<i>BOL</i>	38890	52950	33542	36524
<i>HCX</i>	35550	87580	27786	81020
<i>HEC</i>	45730	93350	33545	74240
<i>JOS</i>	39520	53805	37198	43455
<i>NIS</i>	51720	47120	33352	33892
<i>YER</i>	102780	36830	67980	28594
<i>ORT</i>	48493	54289	35644	43270

* Çizelgede verilen değerler kN. m birimindedir.

Çizelge 5.37’de Çözüm1 (0.2T~1.5T, %2.5Ç) sonunda elde edilen tüketilen toplam enerji miktarları görülmektedir. H1 yönü deprem çözümleri sonunda tüketilen toplam enerji miktarı 51390 kN.m, H2 doğrultusu deprem çözümleri sonunda tüketilen toplam enerji miktarı ise 39457 kN.m olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.38 : Tüketilen toplam enerji miktarları (Çözüm2)

Deprem Kayıt Adı	Deprem Doğrultusu			
	H1		H2	
	0	90	0	90
<i>ARC</i>	24620	8126	16835	5422
<i>BOL</i>	37750	51360	31975	35317
<i>HCX</i>	36040	83830	26726	71510
<i>HEC</i>	44050	89640	33735	71610
<i>JOS</i>	39235	50925	37785	43550
<i>NIS</i>	50710	44250	34285	34617
<i>YER</i>	97730	35690	66450	27527
<i>ORT</i>	47162	51974	35399	41365

* Çizelgede verilen değerler kN. m birimindedir.

Çizelge 5.38’de Çözüm2 (0.3T~1.0T, %2.5Ç) sonunda elde edilen tüketilen toplam enerji miktarları görülmektedir. H1 yönü deprem çözümleri sonunda tüketilen toplam enerji miktarı 49568 kN.m, H2 doğrultusu deprem çözümleri sonunda tüketilen toplam enerji miktarı ise 38382 kN.m olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.39 : Tüketilen toplam enerji miktarı karşılaştırmaları (Çözüm2/Çözüm1)

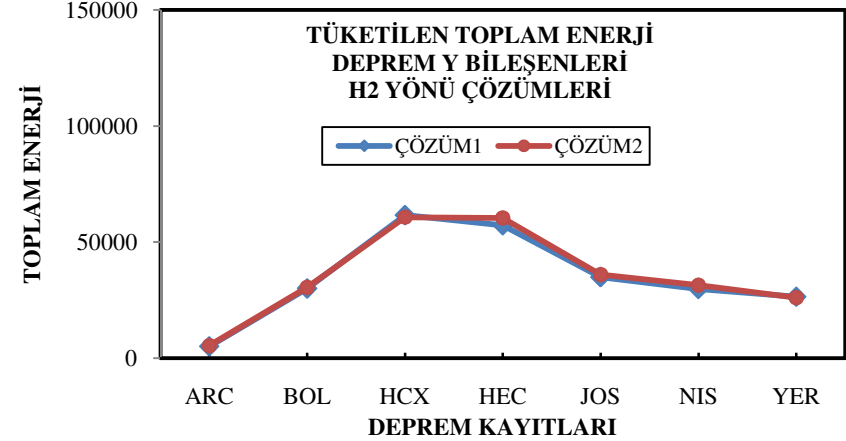
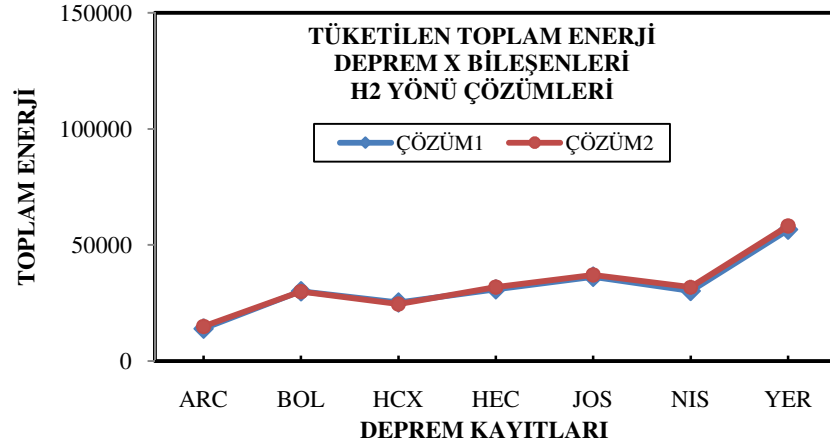
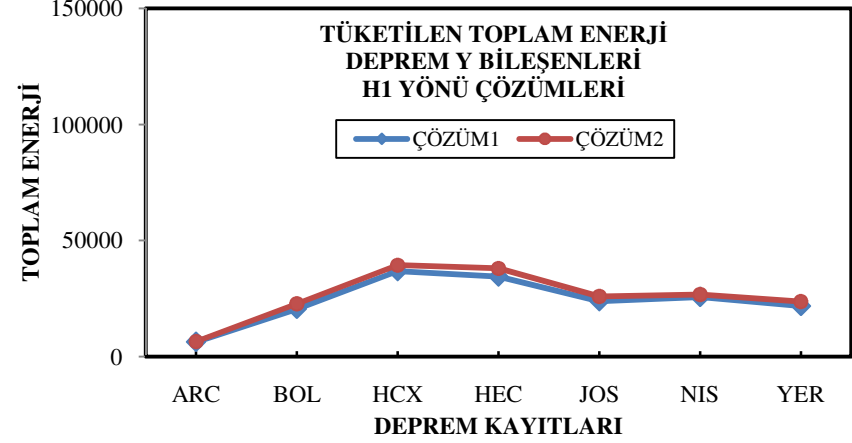
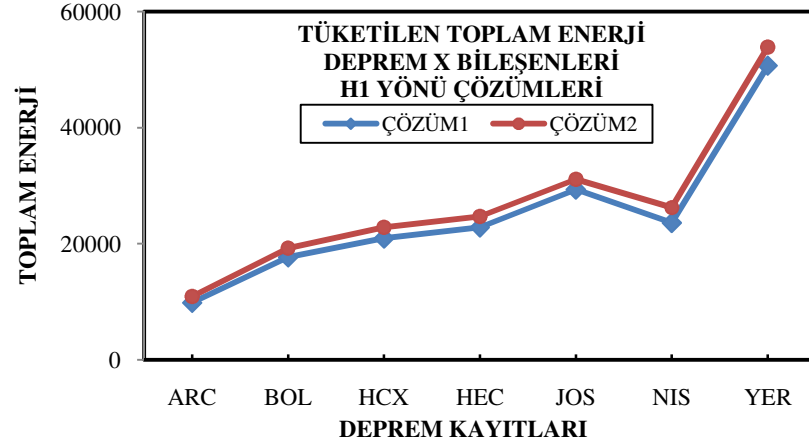
Deprem Kayıt Adı	Deprem Doğrultusu			
	H1		H2	
	0	90	0	90
<i>ARC</i>	0.97	0.97	1.05	1.05
<i>BOL</i>	0.97	0.97	0.95	0.97
<i>HCX</i>	1.00	0.96	0.96	0.88
<i>HEC</i>	0.96	0.96	1.01	0.96
<i>JOS</i>	0.99	0.95	1.02	1.00
<i>NIS</i>	0.98	0.94	1.03	1.02
<i>YER</i>	0.95	0.97	0.98	0.96
<i>ORT</i>	0.98	0.96	1.00	0.98

* Çizelgede verilen değerler kN. m birimindedir.

Her iki çözüm sonunda elde edilen sonuçlar tüketilen toplam enerji (plastik şekil değiştirme enerjisi ile viskoz sönüm enerjisi toplamı) miktarları temel alınarak değerlendirildiğinde, Çizelge 5.39'dan da görüldüğü üzere, Çözüm2 (0.3T~1.0T, %2.5ζ) sonunda elde edilen tüketilen toplam enerji miktarının, Çözüm1 (0.2T~1.5T, %2.5ζ) sonunda elde edilen tüketilen toplam enerji miktarına kıyasla daha az olduğu, ancak her iki çözüm arasındaki farkın yaklaşık olarak %2 mertebelerinde olduğu belirlenmiştir.

Çözüm1 ve Çözüm2 sonunda elde edilen sonuçlar (Şekil 5.58), tüketilen toplam enerji miktarı temel alınarak karşılaştırıldığında kullanılan farklı sönüm aralıklarının birbirinden farklı miktarda enerjinin tüketilmesine yol açtığı ancak tüketilen toplam enerji miktarlarının birbirlerine çok yakın olduğu (%2~%4) belirlenmiştir. Taşıyıcı sistemi oluşturan her bir elemanın belirli bir enerji yutma kapasitesinin olduğu hatırlanacak olunursa, her iki çözüm sonunda elde edilen tüketilen toplam enerji miktarının birbirine yakın olmasının doğal bir sonuç olduğu ifade edilebilir.

Tüm deprem çözümleri sonunda elde edilen tüketilen toplam enerji miktarları ve karşılaştırmaları Şekil 5.58'de görülmektedir.



Şekil 5.58 : Tüketilen toplam enerji karşılaştırmaları (Çözüm1 ve Çözüm2)

Çizelge 5.40 : Tüketilen toplam enerji miktarının enerji tüketme mekanizması bazında dağılımları (Çözüm1)

Plastik Şekil Değiştirme					Viskoz Sönüm (βK)				
Deprem Kayıt Adı	Deprem Doğrultusu				Deprem Kayıt Adı	Deprem Doğrultusu			
	H1		H2			H1		H2	
	0	90	0	90		0	90	0	90
<i>ARC</i>	61.0	24.2	13.4	2.2	<i>ARC</i>	39.0	75.8	86.6	97.8
<i>BOL</i>	54.5	61.1	10.4	17.9	<i>BOL</i>	45.5	38.9	89.6	82.1
<i>HCX</i>	41.1	58.0	9.3	23.9	<i>HCX</i>	58.9	42.0	90.7	76.1
<i>HEC</i>	50.1	63.1	8.0	22.9	<i>HEC</i>	49.9	36.9	92.0	77.1
<i>JOS</i>	25.7	55.7	2.4	19.6	<i>JOS</i>	74.3	44.3	97.6	80.4
<i>NIS</i>	54.4	45.5	9.5	12.2	<i>NIS</i>	45.6	54.5	90.5	87.8
<i>YER</i>	50.7	40.8	16.7	7.5	<i>YER</i>	49.3	59.2	83.3	92.5
<i>ORT</i>	48.2	49.8	10.0	15.2	<i>ORT</i>	51.8	50.2	90.0	84.8

* Çizelgede verilen değerler yüzdelik değerlerdir.

Çizelge 5.40'ta Çözüm1 (0.2T~1.5T, %2.5Ç) sonunda elde edilen tüketilen toplam enerji miktarının enerji tüketme mekanizması bazında dağılımları görülmektedir.

H1 yönü deprem çözümleri sonunda tüketilen toplam enerji miktarının ortalama %49'unun plastik şekil değiştirme enerjisi olarak, ortalama %51'ini ise, viskoz sönüm enerjisi olarak, aynı şekilde H2 yönü deprem çözümleri sonunda tüketilen toplam enerji miktarının ortalama %13'ünün plastik şekil değiştirme enerjisi olarak, ortalama %87'ini ise, viskoz sönüm enerjisi olarak tüketildiği belirlenmiştir. Yapısal taşıyıcı sistemin bu davranışı şu şekilde açıklanabilir;

Taşıyıcı sistemde plastik şekil değiştirmelerin artması, taşıyıcı eleman rijitliklerinin önemli ölçüde azalmaya başladığının bir göstergesidir. Söz konusu rijitlik azalması etkisiyle, yapı periyotlarında sürekli bir büyüme eğilimi gözlemlenir. Rayleigh sönüm modelinde kullanılan (βK) etkinliğinin rijitlik ile orantılı olduğu (rijitlik azaldıkça başka bir deyişle plastik şekil değiştirmeler meydana geldikçe (βK) sönüm etkinliği azalır) hatırlanacak olursa (Şekil 5.38), plastik şekil değiştirmelerin daha az oluştuğu başka bir deyişle taşıyıcı sistem rijitliğinin daha fazla olduğu H2 yönündeki viskoz sönüm (βK) etkisinin daha fazla olarak ortaya çıkması gerektiğini söyleyebiliriz. Nitekim Çizelge 5.40'ta verilen sonuçlar değerlendirildiğinde, bir önceki paragrafta açıklanmaya çalışılan davranışla tam bir uyumun sağlandığı belirlenmiştir.

Çizelge 5.41 : Tüketilen toplam enerji miktarının enerji tüketme mekanizması bazında dağılımları (Çözüm2)

Plastik Şekil Değiştirme					Viskoz Sönüm(βK)				
Deprem Kayıt Adı	Deprem Doğrultusu				Deprem Kayıt Adı	Deprem Doğrultusu			
	H1		H2			H1		H2	
	0	90	0	90		0	90	0	90
<i>ARC</i>	55.6	20.3	11.6	1.6	<i>ARC</i>	44.4	79.7	88.4	98.4
<i>BOL</i>	49	55.8	6.5	13.7	<i>BOL</i>	51	44.2	93.5	86.3
<i>HCX</i>	36.7	53	8.2	15.1	<i>HCX</i>	63.3	47	91.8	84.9
<i>HEC</i>	43.9	57.6	5.6	15.7	<i>HEC</i>	56.1	42.4	94.4	84.3
<i>JOS</i>	20.7	49	2.3	19	<i>JOS</i>	79.3	51	97.7	81
<i>NIS</i>	48.3	39.7	7.3	9.2	<i>NIS</i>	51.7	60.3	92.7	90.8
<i>YER</i>	44.8	33.6	12.4	5.3	<i>YER</i>	55.2	66.4	87.6	94.7
<i>ORT</i>	42.7	44.1	7.7	11.4	<i>ORT</i>	57.3	55.9	92.3	88.6

* Çizelgede verilen değerler yüzdelik değerlerdir.

Çizelge 5.41’de Çözüm2 (0.3T~1.0T, %2.5Ç) sonunda elde edilen tüketilen toplam enerji miktarının enerji tüketme mekanizması bazında dağılımları görülmektedir. H1 yönü deprem çözümleri sonunda tüketilen toplam enerji miktarının ortalama %43’ünün plastik şekil değiştirme enerjisi olarak, ortalama %57’sinin ise, viskoz sönüm enerjisi olarak, aynı şekilde H2 yönü deprem çözümleri sonunda tüketilen toplam enerji miktarının ortalama %10’unun plastik şekil değiştirme enerjisi olarak, ortalama %90’ının ise, viskoz sönüm enerjisi olarak tüketildiği belirlenmiştir. Yapısal taşıyıcı sistemin bu davranışı şu şekilde açıklanabilir;

Taşıyıcı sistemde plastik şekil değiştirmelerin artması, taşıyıcı eleman rijitliklerinin önemli ölçüde azalmaya başladığının bir göstergesidir. Söz konusu rijitlik azalması etkisiyle, yapı periyotlarında sürekli bir büyüme eğilimi gözlemlenir. Rayleigh sönüm modelinde kullanılan (βK) etkinliğinin rijitlik ile orantılı olduğu (rijitlik azaldıkça başka bir deyişle plastik şekil değiştirmeler meydana geldikçe (βK) sönüm etkinliği azalır) hatırlanacak olursa (Şekil 5.38), plastik şekil değiştirmelerin daha az oluştuğu başka bir deyişle taşıyıcı sistem rijitliğinin daha fazla olduğu H2 yönündeki viskoz sönüm (βK) etkisinin daha fazla olarak ortaya çıkması gerektiğini söyleyebiliriz. Nitekim Çizelge 5.41’de verilen sonuçlar değerlendirildiğinde, bir önceki paragrafta açıklanmaya çalışılan davranışla tam bir uyumun sağlandığı belirlenmiştir.

Çizelge 5.42 : Tüketilen toplam enerji miktarının enerji tüketme mekanizması bazında dağılım karşılaştırmaları (Çözüm1/Çözüm2)

Plastik Şekil Değişirme					Viskoz Sönüm (βK)				
Deprem Kayıt Adı	Deprem Doğrultusu				Deprem Kayıt Adı	Deprem Doğrultusu			
	H1		H2			H1		H2	
	0	90	0	90		0	90	0	90
<i>ARC</i>	1.10	1.19	1.16	1.38	<i>ARC</i>	0.88	0.95	0.98	0.99
<i>BOL</i>	1.11	1.09	1.60	1.31	<i>BOL</i>	0.89	0.88	0.96	0.95
<i>HCX</i>	1.12	1.09	1.13	1.58	<i>HCX</i>	0.93	0.89	0.99	0.90
<i>HEC</i>	1.14	1.10	1.43	1.46	<i>HEC</i>	0.89	0.87	0.97	0.91
<i>JOS</i>	1.24	1.14	1.04	1.03	<i>JOS</i>	0.94	0.87	1.00	0.99
<i>NIS</i>	1.13	1.15	1.30	1.33	<i>NIS</i>	0.88	0.90	0.98	0.97
<i>YER</i>	1.13	1.21	1.35	1.42	<i>YER</i>	0.89	0.89	0.95	0.98
<i>ORT</i>	1.14	1.14	1.29	1.36	<i>ORT</i>	0.90	0.89	0.98	0.96

Çizelge 5.42’de Çözüm1 (0.2T~1.5T, %2.5Ç) sonunda elde edilen tüketilen toplam enerji miktarının enerji tüketme mekanizması bazında dağılımlarının, Çözüm2 (0.3T~1.0T, %2.5Ç) sonunda elde edilen tüketilen toplam enerji miktarının enerji tüketme mekanizması bazında dağılımlarına oranı görülmektedir. Her iki çözüm sonunda elde edilen sonuçlar, enerji tüketme mekanizması temel alınarak değerlendirildiğinde, deprem enerjisinin plastik şekil değiştirmeler yardımıyla tüketilmesi aşamalarında Çözüm1 (0.2T~1.5T, %2.5Ç) modelinin, deprem enerjisinin viskoz sönüm yardımıyla tüketilmesi aşamalarında ise Çözüm2 (0.3T~1.0T, %2.5Ç) daha aktif olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 5.43 : Tüketilen plastik şekil değiştirme enerjisi miktarının yapısal taşıyıcı elemanlar bazında ortalama dağılımları (Çözüm1)

Yapısal Eleman	H1		H2	
	0	90	0	90
<i>Bağ Kirişleri</i>	93.7	93.0	94.5	94.4
<i>Deprem Perdeleri</i>	6.3	6.8	3.2	2.6
<i>Outrigger Kolon</i>	0.0	0.2	2.4	3.0

* Çizelgede verilen değerler yüzdelik değerlerdir.

Çizelge 5.43’te Çözüm1 (0.2T~1.5T, %2.5Ç) sonunda elde edilen tüketilen toplam plastik şekil değiştirme enerji miktarının yapısal taşıyıcı elemanlar bazında dağılımları görülmektedir.

H1 yönü deprem çözümleri sonunda tüketilen toplam plastik şekil değiştirme enerjisinin ortalama %93'lük bir kısmının bağ kirişleri tarafından, %7'lik bir kısmının ise deprem perdeleri tarafından tüketildiği, H2 yönü deprem çözümleri sonunda tüketilen toplam plastik şekil değiştirme enerjisinin ortalama %94'lük bir kısmının bağ kirişleri tarafından, %3'lük bir kısmının ise deprem perdeleri tarafından tüketildiği belirlenmiştir.

Çizelge 5.44 : Tüketilen plastik şekil değiştirme enerjisi miktarının yapısal taşıyıcı elemanlar bazında ortalama dağılımları (Çözüm2)

Yapısal Eleman	H1		H2	
	0	90	0	90
<i>Bağ Kirişleri</i>	93.2	92.6	95.9	95.2
<i>Deprem Perdeleri</i>	6.8	7.3	3.5	3.1
<i>Outrigger Kolon</i>	0.0	0.1	0.6	1.7

* Çizelgede verilen değerler yüzdelik değerlerdir.

Çizelge 5.44'te Çözüm2 (0.3T~1.0T, %2.5Ç) sonunda elde edilen tüketilen toplam plastik şekil değiştirme enerjisi miktarının yapısal taşıyıcı elemanlar bazında dağılımları görülmektedir.

H1 yönü deprem çözümleri sonunda tüketilen toplam plastik şekil değiştirme enerjisinin ortalama %93'lük bir kısmının bağ kirişleri tarafından, %7'lik bir kısmının ise deprem perdeleri tarafından tüketildiği, H2 yönü deprem çözümleri sonunda tüketilen toplam plastik şekil değiştirme enerjisinin ortalama %96'lük bir kısmının bağ kirişleri tarafından, %4'lük bir kısmının ise deprem perdeleri tarafından tüketildiği belirlenmiştir.

Her iki çözüm sonunda elde edilen sonuçlar, tüketilen plastik şekil değiştirme enerjisi miktarının taşıyıcı elemanlar üzerindeki dağılımları temel alınarak değerlendirildiğinde, bağ kirişi plastik şekil değiştirmeleri etkisiyle tüketilen enerji miktarının, tüketilen toplam enerji miktarının oldukça büyük bir kısmını oluşturduğunu, bağ kirişlerinin, deprem enerjisinin tüketilmesi aşamalarında son derece önemli bir rol üstlendiğini söyleyebiliriz.

Çizelge 5.45'te Çözüm1 (0.2T~1.5T, %2.5Ç) sonunda elde edilen tüketilen toplam viskoz sönüm (β_K) enerjisi miktarının yapısal taşıyıcı elemanlar bazında dağılımları görülmektedir.

Çizelge 5.45 : Tüketilen viskoz sönüm enerjisi miktarının yapısal taşıyıcı elemanlar bazında ortalama dağılımları (Çözüm1)

Yapısal Eleman	H1		H2	
	0	90	0	90
<i>Bağ Kirişleri</i>	24.6	24.1	13.5	12.9
<i>Outrigger Kolon</i>	21.0	18.6	13.8	11.7
<i>Deprem Perdeleri</i>	54.4	57.3	72.7	75.3

* Çizelgede verilen değerler yüzdelik değerlerdir.

H1 yönü deprem çözümleri sonunda tüketilen viskoz sönüm enerjisinin ortalama %24'lük bir kısmının bağ kirişleri tarafından, %20'lik bir kısmının outrigger kolonlar tarafından, %56'lık bir kısmının ise deprem perdeleri tarafından tüketildiği, H2 yönü deprem çözümleri sonunda tüketilen viskoz sönüm enerjisinin ortalama %13'lük bir kısmının bağ kirişleri tarafından, %13'lik bir kısmının outrigger kolonlar tarafından, %74'lük bir kısmının ise deprem perdeleri tarafından tüketildiği belirlenmiştir.

Çizelge 5.46 : Tüketilen viskoz sönüm enerjisi miktarının yapısal taşıyıcı elemanlar bazında ortalama dağılımları (Çözüm2)

Yapısal Eleman	H1		H2	
	0	90	0	90
<i>Bağ Kirişleri</i>	25.0	24.6	14.2	13.9
<i>Outrigger Kolon</i>	21.8	21.0	13.2	12.7
<i>Deprem Perdeleri</i>	53.1	54.4	72.6	73.4

* Çizelgede verilen değerler yüzdelik değerlerdir.

Çizelge 5.46'da Çözüm2 (0.3T~1.0T, %2.5Ç) sonunda elde edilen tüketilen toplam viskoz sönüm enerjisi(βK) miktarının yapısal taşıyıcı elemanlar bazında dağılımları görülmektedir. H1 yönü deprem çözümleri sonunda tüketilen viskoz sönüm enerjisinin ortalama %25'lik bir kısmının bağ kirişleri tarafından, %21'lik bir kısım outrigger kolonlar tarafından, %54'lık bir kısmının ise deprem perdeleri tarafından tüketildiği, H2 yönü deprem çözümleri sonunda tüketilen viskoz sönüm enerjisinin ortalama %14'lük bir kısmının bağ kirişleri tarafından, %13'lik bir kısmının outrigger kolonlar tarafından, %73'lük bir kısmının ise deprem perdeleri tarafından tüketildiği belirlenmiştir.

Her iki çözüm sonunda elde edilen sonuçlar, viskoz sönüm enerjisi miktarının taşıyıcı elemanlar üzerindeki dağılımları temel alınarak değerlendirildiğinde, deprem perdeleri tarafından tüketilen viskoz sönüm enerjisi miktarının, tüketilen toplam viskoz sönüm enerjisi miktarının oldukça büyük bir kısmını oluşturduğunu dolayla

deprem perdelerinin deprem enerjisinin viskoz sönüm yardımıyla tüketim aşamalarında oldukça aktif bir rol üstlendikleri belirlenmiştir.

Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi, yapı taşıyıcı sisteminin doğrusal olmayan davranışının göz önüne alınarak yapı sistemi hareket denkleminin zaman tanım alanında adım adım çözümlenmesini esas alır. Hareket denkleminin belirlenen bir Δt aralığı gözetilerek adım adım çözümlenmesi sırasında, çözüm yöntemine ve yapılan kabullere bağlı sayısal hataların oluşması kaçınılmazdır. Analizler sonunda oluşan hata yüzdelerinin, kabul edilebilir sınırlar içinde olması, çözümün güvenilirliği açısından son derece önemlidir. Bu bağlamda, analizler sonunda elde edilen sayısal hata yüzdeleri PERFORM-3D programı yardımıyla (energy error) hesaplanmış, Çizelge 5.47 ve Çizelge 5.48’de gösterilmiştir. Çizelgelerde yüzdelik olarak verilen hata değerleri, her bir deprem analizi sonunda, iç kuvvetlerin yaptığı iş ile deprem kuvvetlerinin yaptığı iş arasındaki farkı temsil etmektedir.

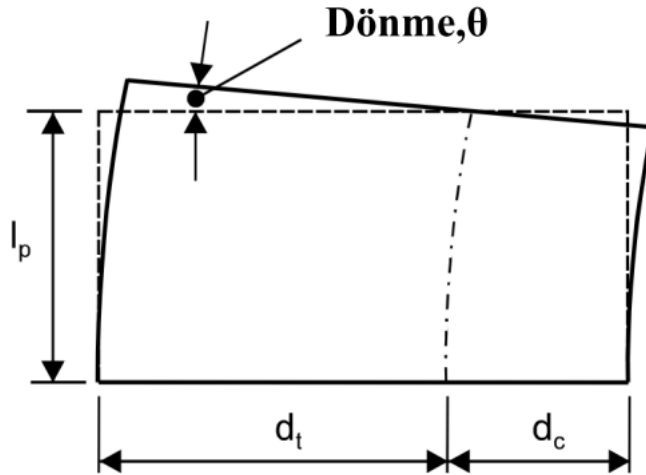
Çizelge 5.47 : Sayısal analiz hata yüzdeleri (Çözüm1)

Deprem Adı	Deprem Doğrultusu			
	H1		H2	
	0	90	0	90
<i>ARC</i>	0.64	0.12	0.81	0.26
<i>BOL</i>	0.97	1.42	0.79	0.76
<i>HCX</i>	0.51	1.20	0.58	1.10
<i>HEC</i>	0.82	0.96	0.77	1.28
<i>JOS</i>	0.41	0.74	0.68	0.82
<i>NIS</i>	0.90	0.87	0.59	0.99
<i>YER</i>	1.20	0.50	1.18	0.54
<i>ORT</i>	0.78	0.83	0.77	0.82

Çizelge 5.48 : Sayısal analiz hata yüzdeleri (Çözüm2)

Deprem Kayıt Adı	Deprem Doğrultusu			
	H1		H2	
	0	90	0	90
<i>ARC</i>	0.58	0.14	0.86	0.17
<i>BOL</i>	0.91	1.31	0.74	0.46
<i>HCX</i>	0.55	1.36	0.51	0.86
<i>HEC</i>	0.59	1.14	0.49	1.17
<i>JOS</i>	0.33	0.71	0.60	0.76
<i>NIS</i>	0.92	0.73	0.42	1.02
<i>YER</i>	1.06	0.46	1.16	0.54
<i>ORT</i>	0.70	0.84	0.68	0.71

Performansa bağılı tasarım ölçütlerinin esas alındığı depreme dayanıklı yapı tasarım yönetmeliklerinde (FEMA 356, ASCE-41-06), eğilme şekil değiştirmelerinin hakim olduğu deprem perdelerinin performans seviyeleri, perde dönmesi miktarlarının belirlenen sınır değerler (ASCE/SEI 41-Çizelge 6.18) ile karşılaştırılması suretiyle elde edilmektedir.



Şekil 5.59 : Perde dönmesi

Şekil 5.59’da perde dönmesi miktarının hesaplanması görülmektedir. Şekilde θ olarak gösterilen dönme miktarı toplam dönmeyi temsil etmekle beraber, kesitin plastik dönme miktarı θ_p ile elastik dönme miktarı θ_y toplamı olarak ifade edilir. Herhangi bir perde kesiti için θ_y miktarı şu şekilde hesaplanabilir,

$$\theta_y = \left[\frac{M_y}{E_c I} \right] l_p \quad (5.30)$$

(5.29) bağıntısında, M_y , kesitin akma momentini, E_c , beton elastisite modülünü, I , çatlamamış kesit atalet momentini, l_p ise plastik mafsallık uzunluğunu temsil etmektedir. θ_y dönme miktarının çok küçük olması nedeniyle, genel bir kabul olarak plastik mafsallık dönmesi elastik dönme miktarı ihmal edilerek şu bağıntı yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$\theta_p = \theta \quad (5.31)$$

Gerçekleştirilen sayısal çalışmada, deprem perdelerinin performans seviyelerinin belirlenmesi amacıyla, analizler sonucu elde edilen perde dönmesi etki/kapasite oranlarından yararlanılmıştır.

Çizelge 5.49 : Perde dönmesi etki/kapasite oranları (Çözüm1)

Performans Seviyesi	ARC				BOL				HCX				HEC				JOS				NIS				YER				D/C _(Mean-Max)	D/C _(Max-Max)
	H1		H2		H1		H2		H1		H2		H1		H2		H1		H2		H1		H2		H1		H2			
	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90		
<i>Lvl1</i>	0.19	0.12	0.37	0.15	0.19	0.27	0.44	0.42	0.17	0.24	0.37	0.80	0.21	0.33	0.39	0.46	0.147	0.157	0.275	0.293	0.22	0.24	0.41	0.53	0.32	0.19	0.66	0.31	0.80	0.32
<i>Lvl2</i>	0.11	0.07	0.21	0.09	0.11	0.15	0.24	0.23	0.10	0.13	0.20	0.45	0.12	0.18	0.22	0.25	0.082	0.102	0.153	0.187	0.12	0.13	0.23	0.30	0.18	0.11	0.37	0.17	0.45	0.18
<i>Lvl3</i>	0.10	0.06	0.19	0.08	0.10	0.13	0.22	0.21	0.09	0.12	0.18	0.40	0.11	0.17	0.20	0.23	0.074	0.094	0.138	0.179	0.11	0.12	0.21	0.27	0.16	0.09	0.33	0.16	0.40	0.16
<i>Lvl4</i>	0.03	0.02	0.06	0.03	0.03	0.04	0.07	0.07	0.03	0.04	0.06	0.13	0.04	0.06	0.07	0.08	0.025	0.034	0.046	0.067	0.04	0.04	0.07	0.09	0.05	0.03	0.11	0.05	0.13	0.05
<i>Lvl5</i>	0.02	0.01	0.03	0.01	0.02	0.02	0.04	0.03	0.01	0.02	0.03	0.07	0.02	0.03	0.03	0.04	0.012	0.020	0.023	0.036	0.02	0.02	0.03	0.04	0.03	0.02	0.05	0.03	0.07	0.03

Çizelge 5.49’da Çözüm1 (0.2T~1.5T, %2.5ç) sonunda elde edilen perde dönmesi etki/kapasite oranları görülmektedir.

Çizelge 5.49’un incelenmesi neticesinde perde dönmesi etki/kapasite oranlarının Lvl 1 performans seviyesi, $D/C_{\text{max-max}}$ kombinasyonu için 0.80, $D/C_{\text{mean-max}}$ kombinasyonu için ise 0.32 olarak hesaplandığı belirlenmiştir.

Performans seviyesine bağlı olarak tanımlanan perde dönmesi etki/kapasite oranlarının yönetmeliklerde (ASCE 41-06) belirtilen şekil değiştirme sınır şartlarına uygunluğunun sınanması amacıyla, Çözüm1 (0.2T~1.5T, %2.5Ç) sonunda elde edilen perde dönmesi etki/kapasite oranları, PERFORM-3D şekil değiştirme ölçer eleman (rotation gage) performans ölçütleri ile çarpılarak perde dönmesi miktarı cinsinden ifade edilmiştir. Lvl1 ve Lvl2 olarak tanımlanan perde dönmesi sınır değerleri, *Hemen kullanım* (Immediate Occupancy) sınır değerlerini, Lvl3 olarak tanımlanan perde dönmesi sınır değeri, deprem kuvvetlerinin karşılanmasında birincil önceliğe (Primary Component) sahip perdeler için tanımlanan *can güvenliği* (Life Safety) sınır değerini, Lvl4 olarak tanımlanan perde dönmesi sınır değeri, deprem kuvvetlerinin karşılanmasında birincil önceliğe sahip perdeler için *göçmenin önlenmesi* (Collapse Prevention), ikincil önceliğe (Secondary Component) sahip perdeler için ise *can güvenliği* sınır değeri Lvl5 olarak tanımlanan perde dönmesi sınır değeri ise deprem kuvvetlerinin karşılanmasında ikincil önceliğe sahip perdeler için tanımlanan *göçmenin önlenmesi* sınır değerini temsil etmektedir. Çizelge 5.51’de Çözüm1 sonunda elde edilen perde dönmesi değerleri radyan cinsinden görülmektedir.

Çizelge 5.50 : Dönme ölçer eleman performans ölçütleri

PERFORM 3D			
Dönme Ölçer Eleman			
Performans Ölçütleri			
Performans Seviyesi	ASCE 41-06	Pozitif Dönme	Negatif Dönme
<i>Lvl1</i>	<i>HK-(IO)</i>	0.004	0.004
<i>Lvl2</i>	<i>HK-(IO)</i>	0.005	0.005
<i>Lvl3</i>	<i>CG-(LS)</i>	0.010	0.010
<i>Lvl4</i>	<i>GÖ-(CP)</i>	0.015	0.015
<i>Lvl5</i>	<i>GÖ-(CP)</i>	0.020	0.020

Çizelge 5.51 : Perde dönmesi miktarları ve performans seviyeleri (Çözüm1)

Performans Seviyesi	D/C_(Max-Max)	D/C_(Mean-Max)	D/C_(Max-Max)	D/C_(Mean-Max)
<i>Lvl1</i>	0.003	0.001	< HK-IO	< HK-IO
<i>Lvl2</i>	0.002	0.001	< HK-IO	< HK-IO
<i>Lvl3</i>	0.004	0.002	HK-IO	< HK-IO
<i>Lvl4</i>	0.002	0.001	< HK-IO	< HK-IO
<i>Lvl5</i>	0.001	0.001	< HK-IO	< HK-IO

Çizelge 5.52 : Perde dönmesi etki/kapasite oranları (Çözüm2)

Performans Seviyesi	ARC				BOL				HCX				HEC				JOS				NIS				YER				D/C _(Max-Max)	D/C _(Mean-Max)
	H1		H2		H1		H2		H1		H2		H1		H2		H1		H2		H1		H2							
	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90						
<i>Lvl1</i>	0.19	0.12	0.36	0.15	0.19	0.26	0.41	0.39	0.17	0.24	0.33	0.43	0.20	0.29	0.37	0.40	0.15	0.15	0.26	0.28	0.21	0.23	0.40	0.44	0.31	0.18	0.60	0.30	0.60	0.28
<i>Lvl2)</i>	0.10	0.07	0.20	0.08	0.11	0.14	0.23	0.22	0.10	0.13	0.18	0.24	0.11	0.16	0.20	0.22	0.08	0.08	0.15	0.15	0.12	0.13	0.22	0.24	0.17	0.10	0.33	0.16	0.33	0.16
<i>Lvl3)</i>	0.09	0.06	0.18	0.08	0.09	0.13	0.20	0.19	0.09	0.12	0.16	0.21	0.10	0.15	0.18	0.20	0.07	0.07	0.13	0.14	0.10	0.11	0.20	0.22	0.15	0.09	0.30	0.15	0.30	0.14
<i>Lvl4)</i>	0.03	0.02	0.06	0.03	0.03	0.04	0.07	0.06	0.03	0.04	0.05	0.07	0.03	0.05	0.06	0.07	0.02	0.02	0.04	0.05	0.03	0.04	0.07	0.07	0.05	0.03	0.10	0.05	0.10	0.05
<i>Lvl5)</i>	0.02	0.01	0.03	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.01	0.02	0.03	0.04	0.02	0.02	0.03	0.03	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.03	0.02	0.05	0.02	0.05	0.02

Çizelge 5.52’de Çözüm2 (0.3T~1.0T, %2.5ç) sonunda elde edilen perde dönmesi etki/kapasite oranları görülmektedir.

Çizelge 5.52’nin incelenmesi neticesinde perde dönmesi etki/kapasite oranlarının Lvl 1 performans seviyesi, $D/C_{\text{max-max}}$ kombinasyonu için 0.60, $D/C_{\text{mean-max}}$ kombinasyonu için ise 0.28 olarak hesaplandığı belirlenmiştir.

Performans seviyesine bağlı olarak tanımlanan perde dönmesi etki/kapasite oranlarının yönetmeliklerde (ASCE 41-06) belirtilen şekil değiştirme sınır şartlarına uygunluğunun sınanması amacıyla, Çözüm2 (0.3T~1.0T, %2.5 ζ) sonunda elde edilen perde dönmesi etki/kapasite oranları, PERFORM-3D şekil değiştirme ölçer eleman (rotation gage) performans ölçütleri ile çarpılarak perde dönmesi miktarı cinsinden ifade edilmiştir. Çizelge 5.52 ve Çizelge 5.53'te perde dönmesi miktarlarının hesaplanması aşamalarında kullanılan değerler görülmektedir. Lvl1 ve Lvl2 olarak tanımlanan perde dönmesi sınır değerleri, *Hemen kullanım* (Immediate Occupancy) sınır değerlerini, Lvl3 olarak tanımlanan perde dönmesi sınır değeri, deprem kuvvetlerinin karşılanmasında birincil önceliğe (Primary Component) sahip perdeler için tanımlanan *can güvenliği* (Life Safety) sınır değerini, Lvl4 olarak tanımlanan perde dönmesi sınır değeri, deprem kuvvetlerinin karşılanmasında birincil önceliğe sahip perdeler için *göçmenin önlenmesi* (Collapse Prevention), ikincil önceliğe (Secondary Component) sahip perdeler için ise *can güvenliği* sınır değerini, Lvl5 olarak tanımlanan perde dönmesi sınır değeri ise deprem kuvvetlerinin karşılanmasında ikincil önceliğe sahip perdeler için tanımlanan *göçmenin önlenmesi* sınır değerini temsil etmektedir.

Çizelge 5.53 : Dönme ölçer eleman performans ölçütleri

PERFORM 3D			
Dönme Ölçer Eleman			
Performans Ölçütleri			
Performans Seviyesi	ASCE 41-06	Pozitif Dönme	Negatif Dönme
<i>Lvl1</i>	<i>HK-(IO)</i>	0.004	0.004
<i>Lvl2</i>	<i>HK-(IO)</i>	0.005	0.005
<i>Lvl3</i>	<i>CG-(LS)</i>	0.010	0.010
<i>Lvl4</i>	<i>GÖ-(CP)</i>	0.015	0.015
<i>Lvl5</i>	<i>GÖ-(CP)</i>	0.020	0.020

Çizelge 5.54'te Çözüm2 sonunda elde edilen perde dönmesi miktarları görülmektedir.

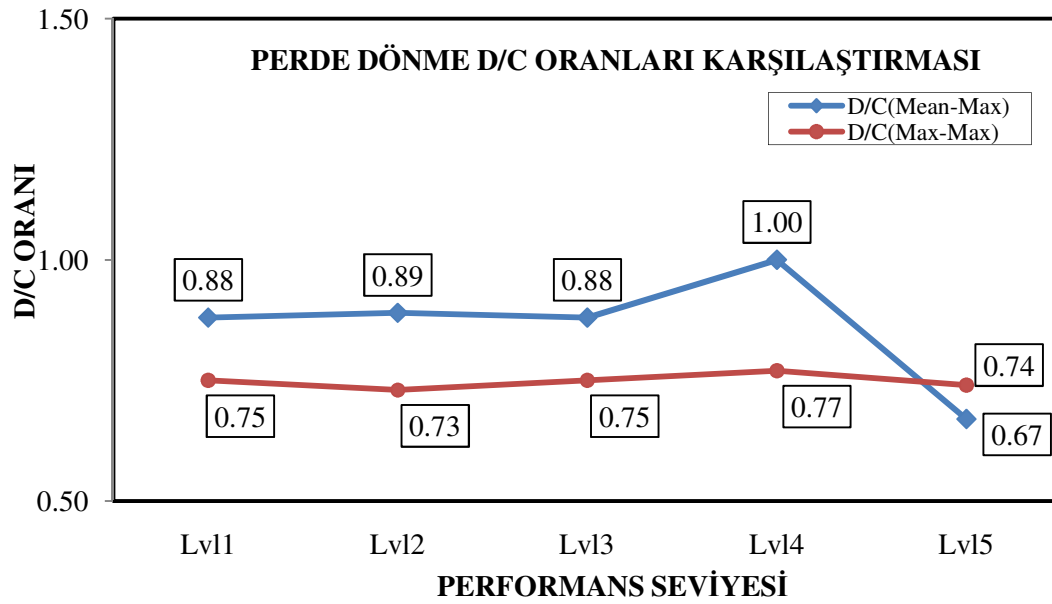
Her iki çözüm arasındaki ortalama fark Çizelge 5.54 ve Şekil 5.60'tan görüldüğü üzere $D/C_{(Max-Max)}$ kombinasyonları için %25, $D/C_{(Mean-Max)}$ kombinasyonları içinse %15 mertebelerindedir.

Çizelge 5.54 : Perde dönmesi miktarları ve performans seviyeleri (Çözüm2)

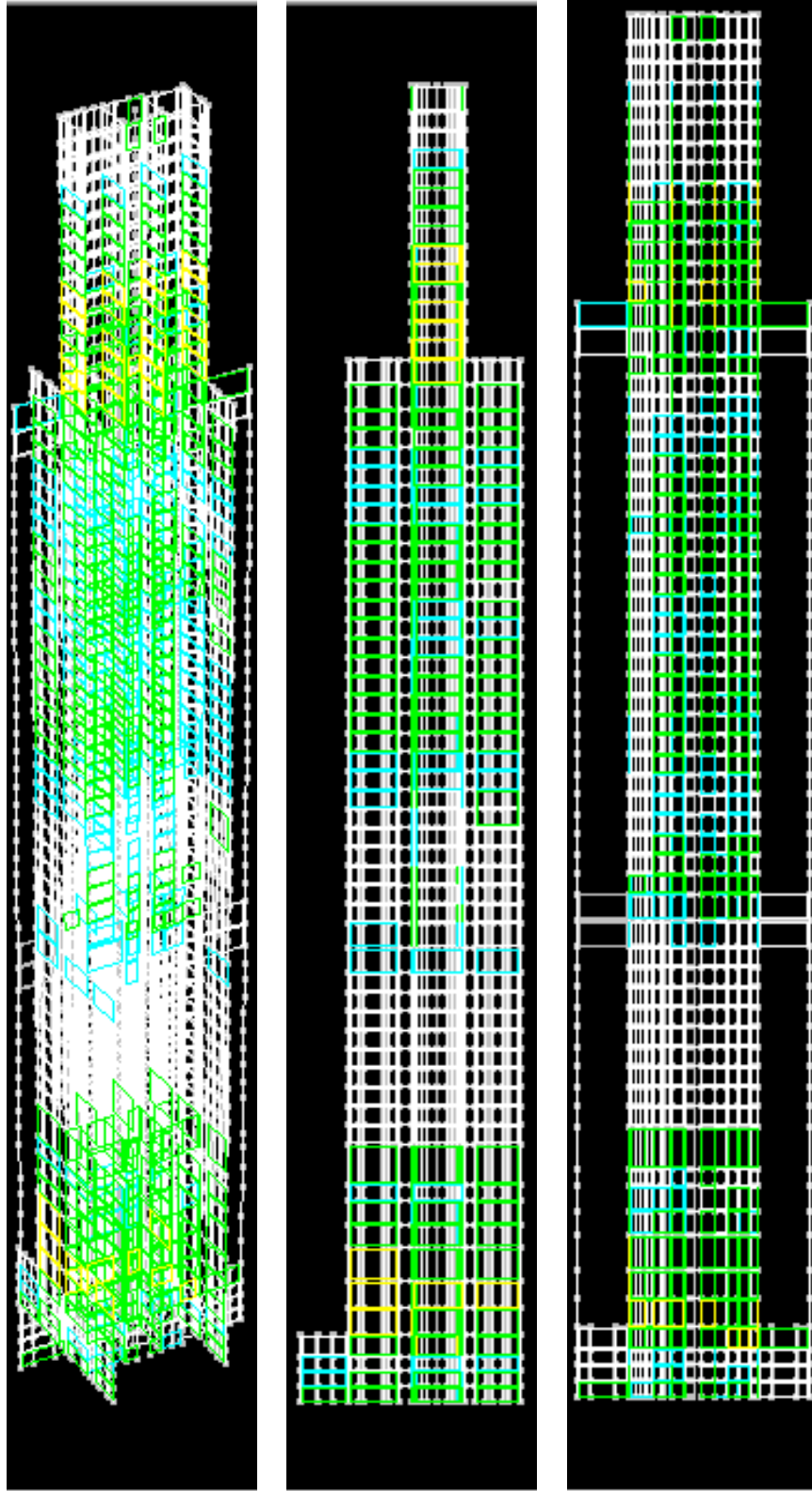
Performans Seviyesi	D/C _(Max-Max)	D/C _(Mean-Max)	D/C _(Max-Max)	D/C _(Mean-Max)
Lvl1	0.002	0.001	< HK-IO	< HK-IO
Lvl2	0.002	0.001	< HK-IO	< HK-IO
Lvl3	0.003	0.001	< HK-IO	< HK-IO
Lvl4	0.002	0.001	< HK-IO	< HK-IO
Lvl5	0.001	0.001	< HK-IO	< HK-IO

Çizelge 5.55 : Perde dönmesi etki/kapasite oran karşılaştırmaları (Çözüm2/Çözüm1)

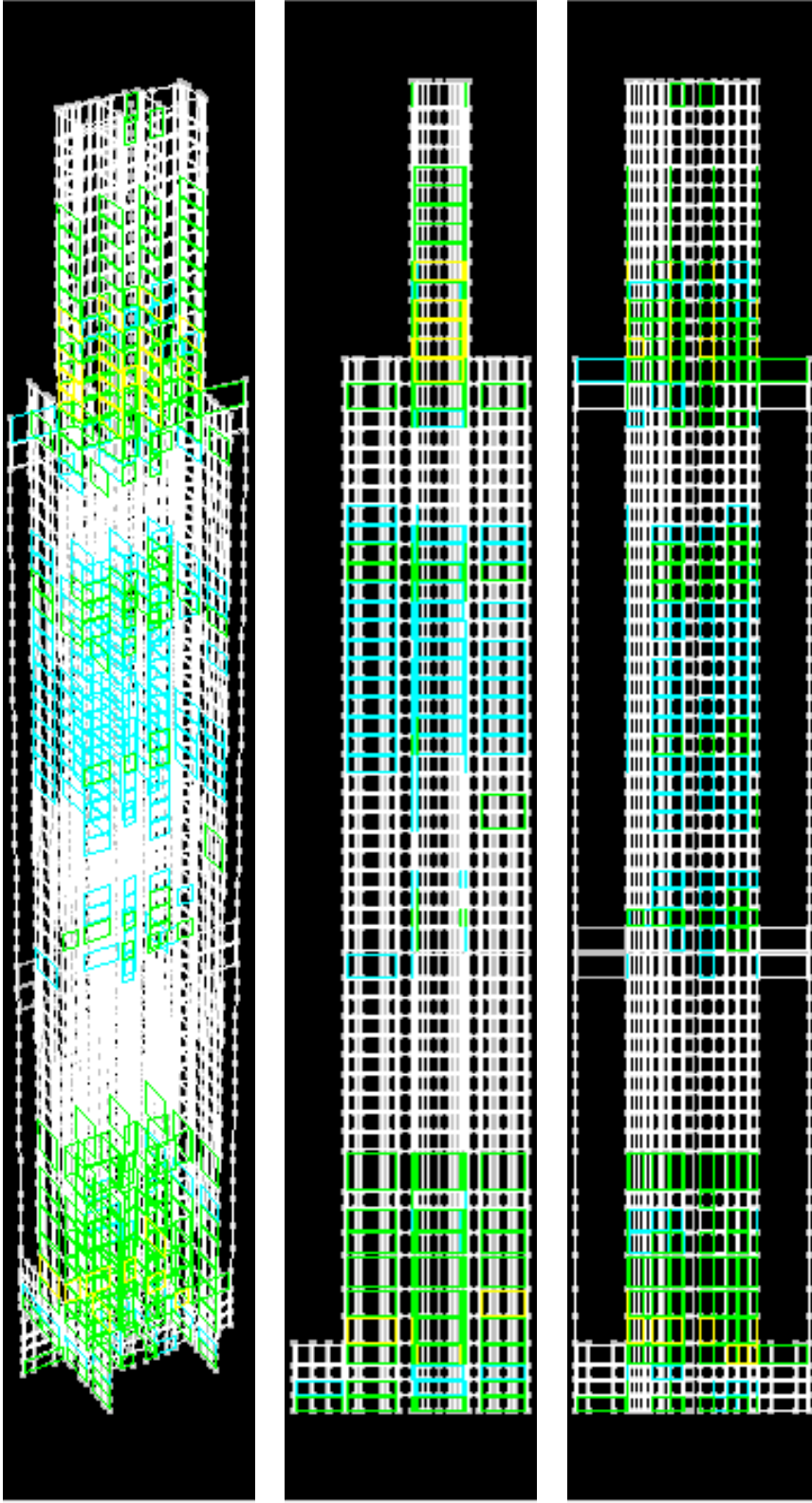
	Çözüm1		Çözüm2		ORAN	
Performans Seviyesi	D/C _(Max-Max)	D/C _(Mean-Max)	D/C _(Max-Max)	D/C _(Mean-Max)	D/C _(Max-Max)	D/C _(Mean-Max)
Lvl1	0.80	0.32	0.60	0.28	0.75	0.88
Lvl2	0.45	0.18	0.33	0.16	0.73	0.89
Lvl3	0.40	0.16	0.30	0.14	0.75	0.88
Lvl4	0.13	0.05	0.10	0.05	0.77	1.00
Lvl5	0.07	0.03	0.05	0.02	0.74	0.67



Şekil 5.60 : Perde dönme etki/kapasite oran karşılaştırmaları



Şekil 5.61 : Perde dönmesi yayılışları (Çözüm1)



Şekil 5.62 : Perde dönmesi yayılışları (Çözüm2)

Şekil 5.61 ve Şekil 5.62’de sırasıyla Çözüm1 ve Çözüm2 sonunda elde edilen perde dönmesi etki/kapasite oranları yayılışları görülmektedir. Şekillerden görüldüğü üzere, taşıyıcı sistemin bazı bölümlerindeki perde dönmesi etki//kapasite oranı yayılışları, diğer bölümlerine oranla daha fazladır (mavi renk $0.10\theta_p$, yeşil renk- $0.25\theta_p$, sarı renk- $0.75\theta_p$, kırmızı renk- $1\theta_p$). Dönme etki/kapasite oranı yayılışları arasındaki farkın nedeni, çekirdek perdenin deprem kuvvetlerine altında konsol davranış göstermesinden kaynaklanmaktadır. Deprem kuvvetleri altında çekirdek perdeler, alt katlarda büyük eğilme momentleri etkisiyle, üst katlarda ise büyük yer değiştirme istemleri nedeniyle daha fazla zorlanmışlar, bu davranış sonucunda ise perde dönmesi etki/kapasite oranları, alt ve üst katlarda daha fazla olarak ortaya çıkmıştır.

Çözüm1 ve Çözüm2 sonunda elde edilen sonuçlar (Çizelge 5.55) perde dönme etki/kapasiteleri temel alınarak karşılaştırıldığında, analiz aşamalarında kullanılan farklı sönüm aralıklarının, birbirinden farklı perde dönmesi etki/kapasite oranlarına yol açtığı, kullanılan sönüm periyodu aralığının geniş olduğu (Çözüm1- $0.2T \sim 1.5T$) modelden elde edilen perde dönmesi miktarlarının daha büyük olduğu belirlenmiştir. Her iki çözüm sonunda elde edilen perde dönmesi etki/kapasite oranları arasındaki fark %14~%24 mertebelerindedir. Ek olarak, her iki çözüm sonunda elde edilen perde dönmesi miktarlarının incelenmesiyle, perde dönmeleri için ASCE 41-06 yönetmeliğinde tanımlanan hemen kullanım sınır şartının sağlandığı belirlenmiştir.

Çizelge 5.56 : Çekirdek perdeleri donatı şekil değiştirmesi etki/kapasite oranları (Çözüm1)

Performans Seviyesi	ARC				BOL				HCX				HEC				JOS				NIS				YER				D/C _(Max-Max)	D/C _(Mean-Max)
	H1		H2		H1		H2		H1		H2		H1		H2		H1		H2		H1		H2		H1		H2			
	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90		
Lvl1	2.25	0.72	1.49	0.54	1.88	2.46	1.77	1.72	1.78	2.88	1.46	3.71	3.45	3.08	1.63	2.61	1.91	1.83	1.08	1.10	2.54	2.55	1.54	2.38	3.35	2.64	2.91	1.25	3.71	2.09
Lvl2	2.25	0.72	1.49	0.54	1.88	2.46	1.77	1.72	1.78	2.88	1.46	3.71	3.45	3.08	1.63	2.61	1.91	1.83	1.08	1.10	2.54	2.55	1.54	2.38	3.35	2.64	2.91	1.25	3.71	2.09
Lvl3	0.06	0.02	0.04	0.01	0.05	0.06	0.04	0.04	0.04	0.07	0.04	0.09	0.09	0.08	0.04	0.07	0.05	0.04	0.03	0.05	0.06	0.06	0.04	0.06	0.08	0.07	0.07	0.03	0.09	0.05
Lvl4	0.06	0.02	0.04	0.01	0.05	0.06	0.04	0.04	0.04	0.07	0.04	0.09	0.09	0.08	0.04	0.07	0.05	0.04	0.03	0.05	0.06	0.06	0.04	0.06	0.08	0.07	0.07	0.03	0.09	0.05
Lvl5	0.14	0.05	0.09	0.03	0.12	0.15	0.11	0.11	0.11	0.18	0.09	0.23	0.22	0.19	0.10	0.16	0.12	0.10	0.07	0.09	0.16	0.16	0.10	0.15	0.21	0.16	0.18	0.08	0.23	0.13

Çizelge 5.56’da Çözüm1 (0.2T~1.5T, %2.5ç) sonunda elde edilen donatı şekil değiştirmesi etki/kapasite oranları görülmektedir.

Çizelge 5.56’nın incelenmesi neticesinde donatı şekil değiştirmesi etki/kapasite oranlarının H1 yönünde daha fazla olduğu ve donatı şekil değiştirmesi etki/kapasite oranının Lvl 1 performans seviyesi, $D/C_{\text{max-max}}$ kombinasyonu için 3.71, $D/C_{\text{mean-max}}$ kombinasyonu için ise 2.09 olarak hesaplandığı belirlenmiştir.

Performans seviyesine bağılı olarak tanımlanan donatı şekil değıştirmesi etki/kapasite oranlarının yönetmeliklerde belirtilen şekil değıştirme sınır şartlarına uygunluğunun sınanması amacıyla, Çözüm1 (0.2T~1.5T, %2.5Ç) sonunda elde edilen donatı şekil değıştirmesi etki/kapasite oranları, PERFORM-3D şekil değıştirme ölçer eleman (strain gage) performans ölçütleri ile çarpılarak donatı şekil değıştirmesi miktarı cinsinden ifade edilmiştir. Çizelge 5.56 ve Çizelge 5.57’de donatı şekil değıştirmelerinin hesaplanması aşamalarında kullanılan değerler görölmektedir. Lvl1 ve Lvl2 olarak tanımlanan donatı şekil değıştirmesi sınır değerleri donatı akma şekil değıştirmesini ($\epsilon_y = 0.0025$), Lvl3 ve Lvl4 olarak tanımlanan donatı şekil değıştirmesi sınır değerleri, kopma şekil değıştirmesi sınır değerini ($\epsilon_{su} = 0.01$), Lvl5 olarak tanımlanan donatı şekil değıştirmesi sınır değeri ise, İYBDY-Madde 4.3.2.2 (b)’de tanımlanan donatı birim şekil değıştirmesi üst sınırını ($\epsilon_{su} = 0.04$) temsil etmektedir.

Çizelge 5.57 : Şekil değıştirme ölçer eleman performans ölçütleri

PERFORM 3D Şekil değıştirme Ölçer Performans Ölçütleri	
Performans Seviyesi	Donatı Şekil değıştirmesi
Lvl1	0.0025
Lvl2	0.0025
Lvl3	0.1
Lvl4	0.1
Lvl5	0.04

Çizelge 5.58’de Çözüm1 (0.2T~1.5T, %2.5Ç) sonunda elde edilen donatı şekil değıştirmesi değerleri görölmektedir.

Çizelge 5.58 : Çekirdek perdeleri donatı şekil değıştirmesi miktarları (Çözüm1)

Performans Seviyesi	D/C _(Max-Max)	D/C _(Mean-Max)
Lvl1	0.0093	0.0052
Lvl2	0.0093	0.0052
Lvl3	0.0090	0.0050
Lvl4	0.0090	0.0050
Lvl5	0.0092	0.0052

Çizelge 5.59 : Çekirdek perdeleri donatı şekil değiştirmesi etki/kapasite oranları (Çözüm2)

Performans Seviyesi	ARC				BOL				HCX				HEC				JOS				NIS				YER				D/C _(Max-Max)	D/C _(Mean-Max)
	H1		H2		H1		H2		H1		H2		H1		H2		H1		H2		H1		H2							
	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90						
Lvl1	1.94	0.64	1.44	0.53	1.68	2.13	1.62	1.52	1.68	2.61	1.28	1.79	2.84	2.77	1.47	1.98	1.74	1.66	0.98	1.00	2.24	2.25	1.50	1.87	2.79	2.14	2.47	1.22	2.84	1.78
Lvl2	1.94	0.64	1.44	0.53	1.68	2.13	1.62	1.52	1.68	2.61	1.28	1.79	2.84	2.77	1.47	1.98	1.74	1.66	0.98	1.00	2.24	2.25	1.50	1.87	2.79	2.14	2.47	1.22	2.84	1.78
Lvl3	0.05	0.02	0.04	0.01	0.04	0.05	0.04	0.04	0.04	0.07	0.03	0.04	0.07	0.07	0.04	0.05	0.05	0.04	0.03	0.05	0.06	0.06	0.04	0.05	0.07	0.05	0.06	0.03	0.07	0.05
Lvl4	0.05	0.02	0.04	0.01	0.04	0.05	0.04	0.04	0.04	0.07	0.03	0.04	0.07	0.07	0.04	0.05	0.05	0.04	0.03	0.05	0.06	0.06	0.04	0.05	0.07	0.05	0.06	0.03	0.07	0.05
Lvl5	0.12	0.04	0.09	0.03	0.10	0.13	0.10	0.10	0.11	0.16	0.08	0.11	0.18	0.17	0.09	0.12	0.11	0.09	0.06	0.08	0.14	0.14	0.09	0.12	0.17	0.13	0.15	0.08	0.18	0.11

Çizelge 5.59’da Çözüm2 (0.3T~1.0T, %2.5ç) sonunda elde edilen donatı şekil değiştirmesi etki/kapasite oranları görülmektedir.

Çizelge 5.58’un incelenmesi neticesinde donatı şekil değiştirmesi etki/kapasite oranlarının H1 yönünde daha fazla olduğu ve donatı şekil değiştirmesi etki/kapasite oranlarının Lvl 1 performans seviyesi, D/C_{max-max} kombinasyonu için 2.84, D/C_{mean-max} kombinasyonu için ise 1.78 olarak hesaplandığı belirlenmiştir.

Performans seviyesine bağılı olarak tanımlanan donatı şekil değıştirmesi etki/kapasite oranlarının yönetmeliklerde belirtilen şekil değıştirme sınır şartlarına uygunluğunun sınanması amacıyla, Çözüm2 (0.3T~1.0T, %2.5Ç) sonunda elde edilen donatı şekil değıştirmesi etki/kapasite oranları, PERFORM-3D şekil değıştirme ölçer eleman (strain gage) performans ölçütleri ile çarpılarak donatı şekil değıştirmesi miktarı cinsinden ifade edilmiştir. Çizelge 5.59 ve Çizelge 5.60'ta donatı şekil değıştirmelerinin hesaplanması aşamalarında kullanılan değerler görölmektedir. Lvl1 ve Lvl2 olarak tanımlanan donatı şekil değıştirmesi sınır değerleri donatı akma şekil değıştirmesini ($\epsilon_y = 0.0025$), Lvl3 ve Lvl4 olarak tanımlanan donatı şekil değıştirmesi sınır değerleri, kopma şekil değıştirmesi sınır değerini ($\epsilon_{su} = 0.01$), Lvl5 olarak tanımlanan donatı şekil değıştirmesi sınır değeri ise, İYBDY-Madde 4.3.2.2 (b)'de tanımlanan donatı birim şekil değıştirmesi üst sınırını temsil etmektedir.

Çizelge 5.60 : Şekil değıştirme ölçer eleman performans ölçütleri

PERFORM 3D Şekil değıştirme Ölçer Performans Ölçütleri	
Performans Seviyesi	Donatı Şekil değıştirmesi
Lvl1	0.0025
Lvl2	0.0025
Lvl3	0.1
Lvl4	0.1
Lvl5	0.04

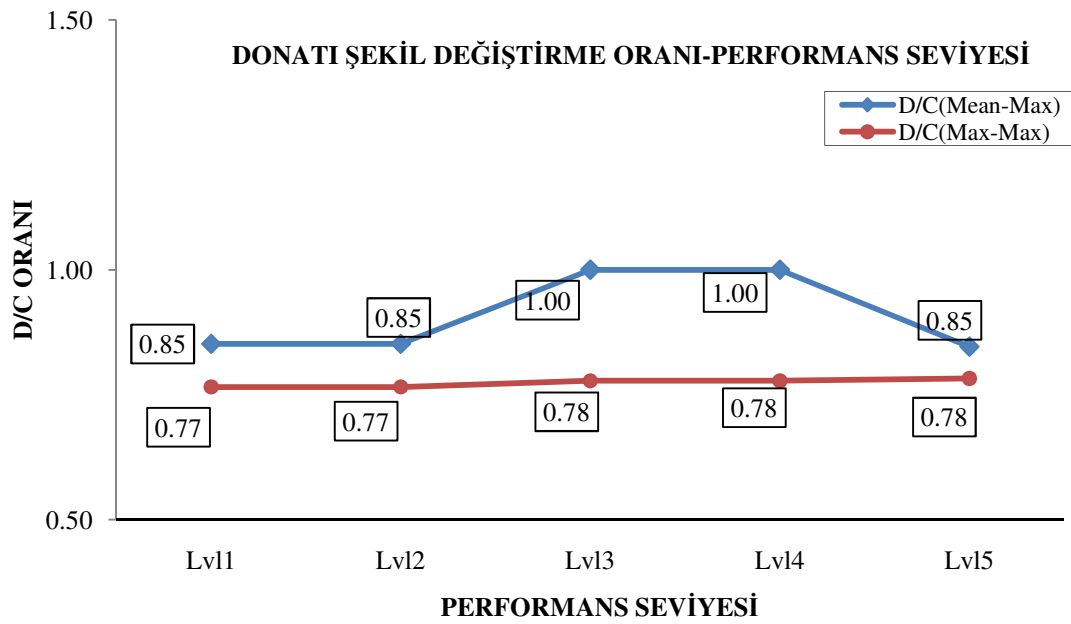
Çizelge 5.61'de Çözüm2 (0.3T~1.0T, %2.5Ç) sonunda elde edilen donatı şekil değıştirmesi değerleri görölmektedir.

Çizelge 5.61 : Çekirdek perdeleri donatı şekil değıştirmesi miktarları (Çözüm2)

Performans Seviyesi	D/C _(Max-Max)	D/C _(Mean-Max)
Lvl1	0.0071	0.0044
Lvl2	0.0071	0.0044
Lvl3	0.0070	0.0050
Lvl4	0.0070	0.0050
Lvl5	0.0072	0.0044

Çizelge 5.62 : Çekirdek perdeleri donatı şekil değiştirmesi etki/kapasite oran karşılaştırmaları (Çözüm2/Çözüm1)

	Çözüm1		Çözüm2		ORAN	
Performans Seviyesi	$D/C_{(Max-Max)}$	$D/C_{(Mean-Max)}$	$D/C_{(Max-Max)}$	$D/C_{(Mean-Max)}$	$D/C_{(Max-Max)}$	$D/C_{(Mean-Max)}$
Lvl1	3.71	2.09	2.84	1.78	0.77	0.85
Lvl2	3.71	2.09	2.84	1.78	0.77	0.85
Lvl3	0.09	0.05	0.07	0.05	0.78	1.00
Lvl4	0.09	0.05	0.07	0.05	0.78	1.00
Lvl5	0.23	0.13	0.18	0.11	0.78	0.85

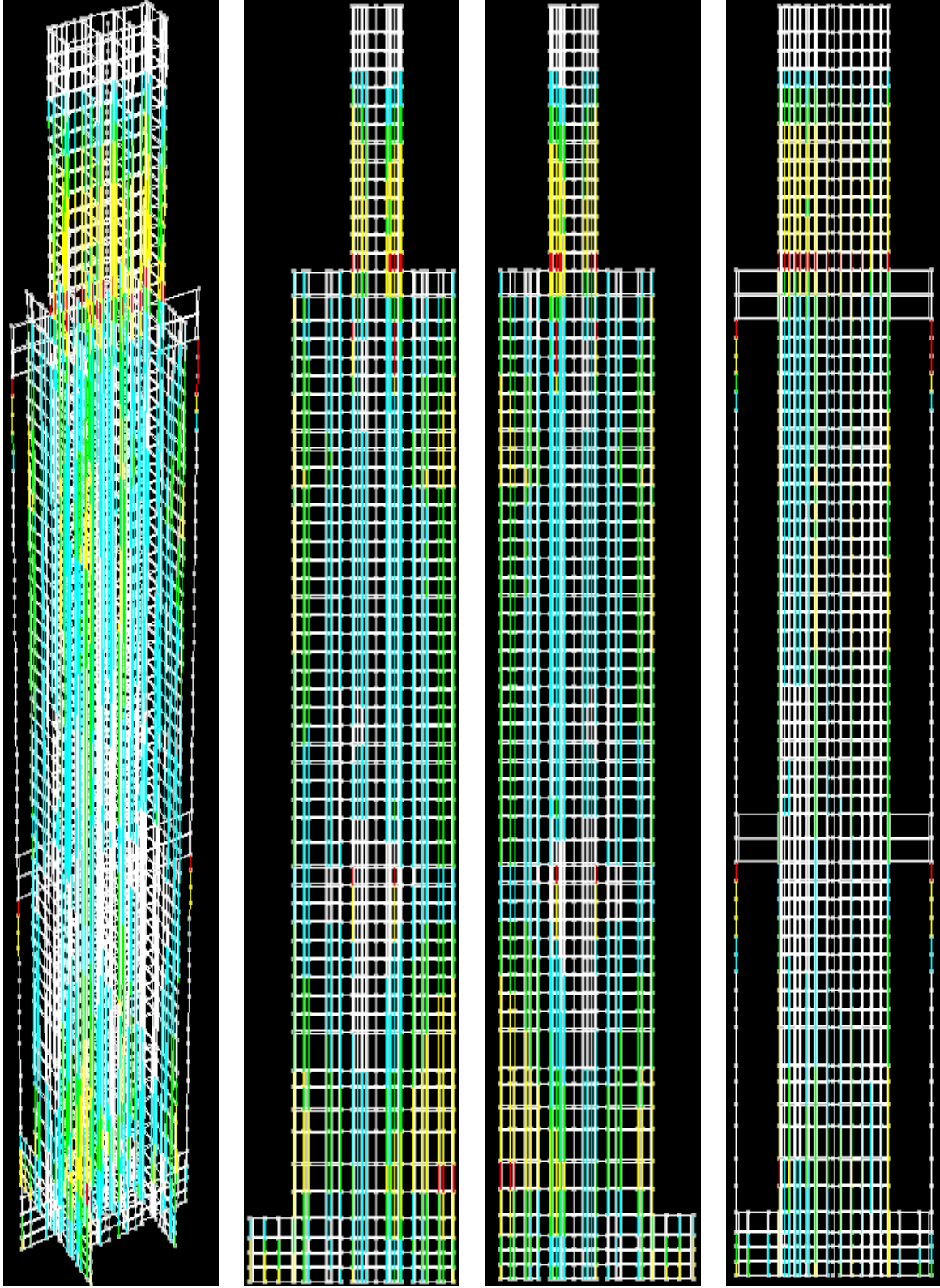


Şekil 5.63 : Çekirdek perdeleri donatı şekil değiştirmesi karşılaştırmaları

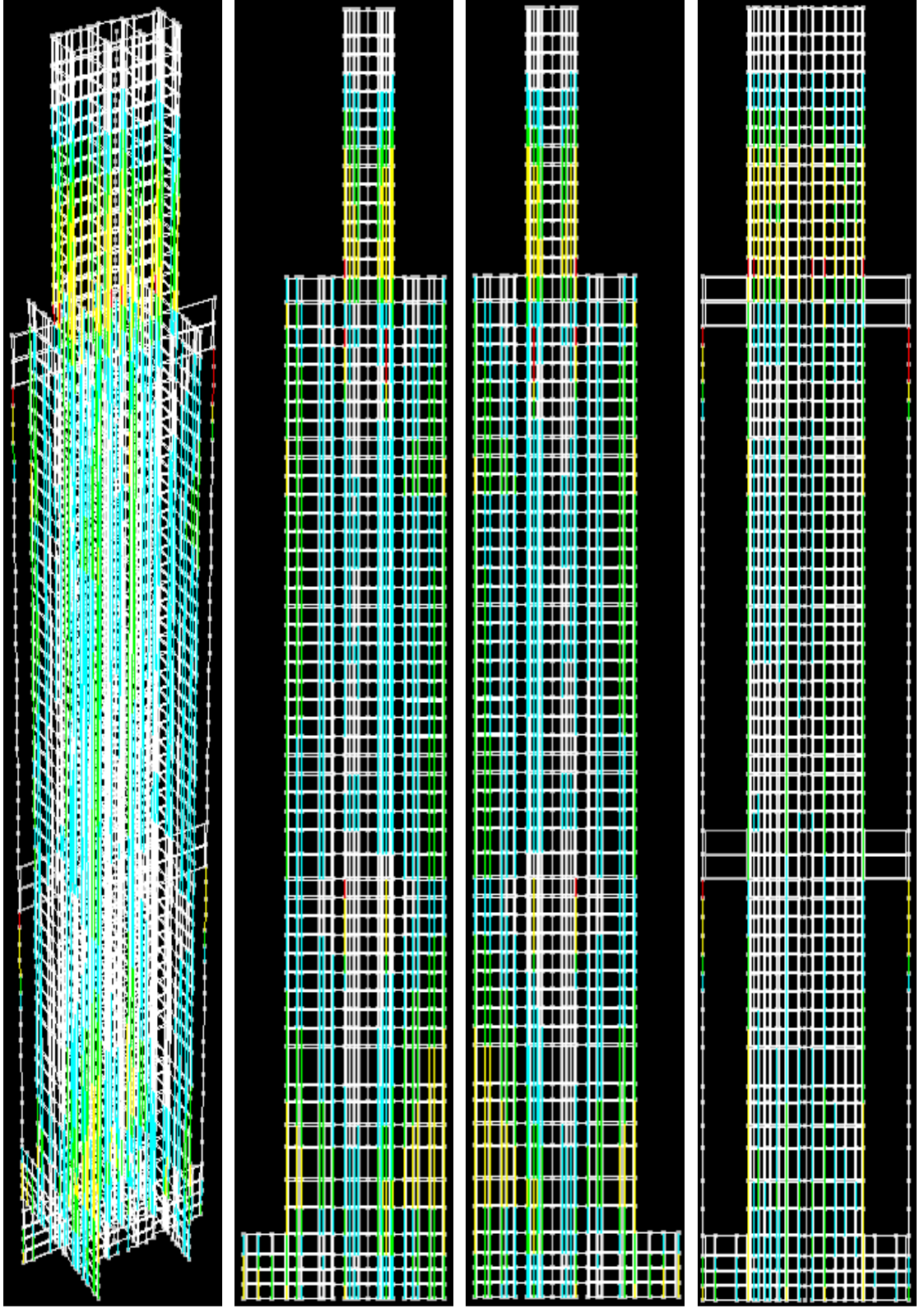
Her iki çözüm sonunda elde edilen sonuçlar, donatı şekil değiştirmesi etki/kapasite oranları temel alınarak değerlendirildiğinde, Çözüm2 (0.3T~1.0T, %2.5 ζ) sonunda elde edilen donatı şekil değiştirmesi etki/kapasite oranlarının, Çözüm1 (0.2T~1.5T, %2.5 ζ) sonunda elde edilen donatı şekil değiştirmesi etki/kapasite oranlarına kıyasla daha az olduğu belirlenmiştir. İki çözüm arasındaki ortalama fark, Çizelge 5.62 ve Şekil 5.63'den görüldüğü üzere $D/C_{(Max-Max)}$ kombinasyonları için %24, $D/C_{(Mean-Max)}$ kombinasyonları içinse %10 mertebelerindedir. Her iki çözüm sonunda elde edilen tüketilen plastik şekil değiştirme enerjisi miktarlarının birbirinden farklı (%15~%26) olduğu hatırlanacak olursa, donatı şekil değiştirme değerleri arasındaki farkın doğal ve beklenen bir şekilde ortaya çıktığı ifade edilebilir.

Tüketilen toplam enerji miktarının enerji tüketme mekanizması temel alınarak değerlendirilmesinin yapıldığı bölümde, her iki çözüm sonunda H1 doğrultusunda tüketilen plastik şekil değiştirme enerjisi miktarının, H2 doğrultusunda tüketilen plastik şekil değiştirme enerjisi miktarından daha fazla olduğu, dolayısıyla bu enerji fazlalığı nedeniyle donatı şekil değiştirmesi etki/kapasite oranlarının, H1 yönündeki deprem çözümlerinde, H2 yönü çözümlerine oranla daha büyük olması gerektiğini ifade edebiliriz. Nitekim Çizelge 5.56 ve Çizelge 5.59'da gösterilen donatı şekil değiştirmesi etki/kapasite oranları incelendiğinde, yapısal taşıyıcı sistemden beklenen davranış ile elde edilen sonuçlar arasında uyumun sağlandığı belirlenmiştir.

Eğilme momenti etkisiyle, yapısal taşıyıcı sistemin önceden belirlenen bölgelerinin (plastik mafsallık bölgeleri) plastikleşmesine izin verilmektedir. Yüksek yapı taşıyıcı sistemlerinde çekirdek perdelerin konsol ve/veya konsola yakın davranışları nedeniyle en çok zorlandıkları alt bölgeleri (alt katlar) potansiyel plastik mafsallık bölgeleri olarak kabul edilmekte ve gerekli önlemlerin alınması şartıyla bahsi geçen plastik mafsallık bölgelerinin plastikleşmelerine izin verilmektedir. Ancak, benzer tasarım yaklaşımının yüksek yapıların üst katlarında uygulanmasında sakıncalar mevcuttur. Genel bir tasarım yaklaşımı olarak, yüksek yapı taşıyıcı sistemlerinin üst katlarında plastikleşmeye izin verilmemekte, üst katların plastikleşmesinin önüne geçilebilmesi amacıyla, donatı şekil değiştirmesi değerlerinin akma şekil değiştirmesi değerini izin verilen sınırlar dâhilinde geçmemesi istenmektedir. Gerçekleştirilen çalışmada, bahsi geçen davranışın kontrol edilmesi amacıyla, doğrusal olmayan analizler sonucu elde edilen donatı şekil değiştirmesi etki/kapasite oranlarından yararlanılmış, üst katlardaki donatı şekil değiştirmesi etki/kapasite oranlarının, donatı akma şekil değiştirmesi değerine kıyasla en fazla 10 kat olması ($\epsilon_s=0.025$) durumu hedeflenmiştir. Her iki çözüm için elde edilen donatı şekil değiştirmesi etki/kapasite oranları incelendiğinde (Çizelge 5.62), donatı şekil değiştirmesi değerlerinin, donatı akma şekil değiştirmesi değerini ($\epsilon_y=0.0025$) Çözüm1- $D/C_{(Max-Max)}$ kombinasyonu için 3.71, Çözüm2- $D/C_{(Max-Max)}$ kombinasyonu içinse 2.84 kat aştığı belirlenmiştir. Elde edilen bu sonuca dayanarak, üst katlar için hedeflenen donatı şekil değiştirmesi sınır değerinin altında kalındığı ve taşıyıcı sistemin belirli bölgelerindeki donatıların akma sınırını aştıkları, dolayısıyla plastikleşmenin meydana geldiği belirlenmiştir.



Şekil 5.64 : Çekirdek perdeleri donatı şekil değıştirmesi yayılışları (Çözüm1)



Şekil 5.65 : Çekirdek perdeleri donatı şekil değıştirmesi yayılışları (Çözüm2)

Şekil 5.64 ve Şekil 5.65'te, yapısal taşıyıcı sistemin bazı bölümlerinde izin verilen donatı şekil değiştirmesi sınırlarının aşıldığı. ($1.5\varepsilon_y$ -kırmızı renk), üst kat donatılarının ve alt kat donatılarının hemen hemen akma sınırında oldukları ($0.9\varepsilon_y$ -sarı renk), diğer bölümlerdeki donatı şekil değiştirmesi yayılışlarının ise izin verilen donatı şekil değiştirmesi değerinin altında ($0.75\varepsilon_y$ -Yeşil renk, $0.50 \varepsilon_y$ -Mavi renk) olduğu görülmektedir. Bu değerlendirme sonucunda, taşıyıcı sistemin deprem kuvvetleri etkisiyle eğilme davranışı bakımından daha zayıf noktasının üst katları olduğunu ve alt katların konsol davranış etkisi nedeniyle daha fazla zorlandığını söylenebilir.

Çözüm1 ve Çözüm2 sonunda elde edilen sonuçlar donatı şekil değiştirmesi etki/kapasite oranları temel alınarak karşılaştırıldığında, analiz aşamalarında kullanılan farklı sönüm aralıklarının, birbirinden farklı donatı şekil değiştirmesi etki/kapasite oranlarına yol açtığı, kullanılan sönüm periyodu aralığının geniş olduğu (Çözüm1- $0.2T \sim 1.5T$) modelden elde edilen donatı şekil değiştirmesi etki/kapasite oranlarının daha büyük olduğu belirlenmiştir. Her iki çözüm sonunda elde edilen donatı şekil değiştirmesi etki/kapasite oranları arasındaki fark %10~%24 mertebelerindedir. Ek olarak, her iki çözüm sonunda elde edilen donatı şekil değiştirmesi miktarlarının incelenmesiyle, İYBDY-2008 Madde 4.2.2.2 (b)'de tanımlanan donatı şekil değiştirmesi sınır değerlerinin aşılmadığı belirlenmiştir.

Çizelge 5.63 : Çekirdek perdeleri beton basınç şekil değiştirmesi etki/kapasite oranları (Çözüm1)

Performans Seviyesi	ARC				BOL				HCX				HEC				JOS				NIS				YER				D/C _(Max-Max)	D/C _(Mean-Max)
	H1		H2		H1		H2		H1		H2		H1		H2		H1		H2		H1		H2							
	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90						
Lvl1	1.28	0.90	0.70	0.46	1.27	1.57	0.72	0.62	1.03	1.70	0.52	0.92	1.37	1.61	0.77	0.89	1.03	1.00	0.5	0.49	1.27	1.58	0.67	0.66	2.00	1.16	0.68	0.64	2.0	1.0
Lvl2	0.45	0.31	0.24	0.16	0.44	0.55	0.25	0.22	0.36	0.59	0.18	0.32	0.48	0.56	0.27	0.31	0.36	0.29	0.17	0.16	0.44	0.55	0.23	0.23	0.70	0.40	0.24	0.22	0.7	0.35
Lvl3	1.28	0.90	0.70	0.46	1.27	1.57	0.72	0.62	1.03	1.70	0.52	0.92	1.37	1.61	0.77	0.89	1.03	0.98	0.5	0.49	1.27	1.58	0.67	0.66	2.00	1.16	0.68	0.64	2.0	1.0
Lvl4	0.45	0.31	0.24	0.16	0.44	0.55	0.25	0.22	0.36	0.59	0.18	0.32	0.48	0.56	0.27	0.31	0.36	0.29	0.17	0.16	0.44	0.55	0.23	0.23	0.70	0.40	0.24	0.22	0.7	0.35
Lvl5	0.22	0.15	0.12	0.08	0.22	0.27	0.12	0.11	0.18	0.29	0.09	0.16	0.23	0.27	0.13	0.15	0.18	0.17	0.09	0.08	0.22	0.27	0.11	0.11	0.34	0.20	0.12	0.11	0.34	0.17

Çizelge 5.63'te Çözüm1 (0.2T~1.5T, %2.5Ç) sonunda elde edilen beton basınç şekil değiştirmesi etki/kapasite oranları görülmektedir.

Çizelge 5.63'ün incelenmesi neticesinde beton basınç şekil değiştirmesi etki/kapasite oranlarının H1 yönünde daha fazla olduğu ve beton şekil değiştirmesi etki/kapasite oranlarının Lvl 1 performans seviyesi, $D/C_{\text{max-max}}$ kombinasyonu için 2.84, $D/C_{\text{mean-max}}$ kombinasyonu için ise 1.78 olarak hesaplandığı belirlenmiştir.

Performans seviyesine bağı olarak tanımlanan beton basınç şekil değıştirmesi etki/kapasite oranlarının yönetmeliklerde belirtilen şekil değıştirme sınır şartlarına uygunluğunun sınılanması amacıyla, Çözüm1 (0.2T~1.5T, %2.5Ç) sonucu elde edilen beton basınç şekil değıştirmesi etki/kapasite oranları, PERFORM-3D şekil değıştirme ölçer eleman (strain gage) performans ölçütleri ile çarpılarak beton basınç şekil değıştirmesi miktarı cinsinden ifade edilmiştir. Çizelge 5.63 ve Çizelge 5.64’te beton basınç şekil değıştirmelerinin hesaplanması aşamalarında kullanılan değerler görölmektedir. Lvl1 olarak tanımlanan beton basınç şekil değıştirmesi değeri, sargısız beton için izin verilen en büyük şekil değıştirme sınır değerini, Lvl2 olarak tanımlanan beton basınç şekil değıştirmesi değeri, sargılı beton için izin verilen en büyük şekil değıştirme sınır değerini, Lvl5 olarak tanımlanan beton basınç şekil değıştirmesi ise, İYBDY-2008 Madde 4.2.2.2 (b)’de tanımlanan beton basınç şekil değıştirmesi üst sınırını temsil etmektedir.

Çizelge 5.64 : Şekil değıştirme ölçer eleman performans ölçütleri

PERFORM 3D	
Şekil değıştirme Ölçer Performans Ölçütleri	
Performans Seviyesi	Donatı Şekil değıştirmesi
Lvl1	0.0023
Lvl2	0.0066
Lvl3	0.0023
Lvl4	0.0066
Lvl5	0.0135

Çizelge 5.65’te Çözüm1 (0.2T~1.5T, %2.5Ç) sonunda elde edilen donatı şekil değıştirmesi değerleri görölmektedir.

Çizelge 5.65 : Çekirdek perdeler beton basınç şekil değıştirmesi miktarları (Çözüm1)

Performans Seviyesi	D/C_(Max-Max)	D/C_(Mean-Max)
Lvl1	0.0046	0.0023
Lvl2	0.0046	0.0023
Lvl3	0.0046	0.0023
Lvl4	0.0046	0.0023
Lvl5	0.0045	0.0023

Çizelge 5.66 : Çekirdek perdeleri beton basınç şekil değiştirmesi etki/kapasite oranları (Çözüm2)

Performans Seviyesi	ARC				BOL				HCX				HEC				JOS				NIS				YER				D/C _(Max-Max)	D/C _(Mean-Max)
	H1		H2		H1		H2		H1		H2		H1		H2		H1		H2		H1		H2							
	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90						
Lvl1	1.26	0.88	0.67	0.46	1.28	1.53	0.64	0.58	0.98	1.61	0.50	0.66	1.34	1.58	0.72	0.78	1.02	0.94	0.50	0.45	1.23	1.54	0.63	0.61	1.95	1.11	0.67	0.60	1.95	0.95
Lvl2	0.44	0.31	0.23	0.16	0.45	0.53	0.22	0.20	0.34	0.56	0.17	0.23	0.47	0.55	0.25	0.27	0.36	0.33	0.17	0.15	0.43	0.54	0.22	0.21	0.68	0.39	0.23	0.21	0.68	0.33
Lvl3	1.26	0.88	0.67	0.46	1.28	1.53	0.64	0.58	0.98	1.61	0.50	0.66	1.34	1.58	0.72	0.78	1.02	0.94	0.50	0.45	1.23	1.54	0.63	0.61	1.95	1.11	0.67	0.60	1.95	0.95
Lvl4	0.44	0.31	0.23	0.16	0.45	0.53	0.22	0.20	0.34	0.56	0.17	0.23	0.47	0.55	0.25	0.27	0.36	0.33	0.17	0.15	0.43	0.54	0.22	0.21	0.68	0.39	0.23	0.21	0.68	0.33
Lvl5	0.21	0.15	0.11	0.08	0.22	0.26	0.11	0.10	0.17	0.27	0.09	0.11	0.23	0.27	0.12	0.13	0.17	0.16	0.09	0.08	0.21	0.26	0.11	0.10	0.33	0.19	0.11	0.10	0.33	0.16

Çizelge 5.66’da Çözüm2 (0.3T~1.0T, %2.5ç) sonunda elde edilen beton basınç şekil değiştirmesi etki/kapasite oranları görülmektedir.

Çizelge 5.66’nın incelenmesi neticesinde beton basınç şekil değiştirmesi etki/kapasite oranlarının H1 yönünde daha fazla olduğu ve beton şekil değiştirmesi etki/kapasite oranlarının Lvl 1 performans seviyesi, $D/C_{\text{max-max}}$ kombinasyonu için 1.95, $D/C_{\text{mean-max}}$ kombinasyonu için ise 0.95 olarak hesaplandığı belirlenmiştir.

Performans seviyesine bağı olarak tanımlanan beton basınç şekil değıştirmesi etki/kapasite oranlarının yönetmeliklerde belirtilen şekil değıştirme sınır şartlarına uygunluğunun sınılanması amacıyla, Çözüm2 (0.3T~1.0T, %2.5Ç) sonunda elde edilen beton basınç şekil değıştirmesi etki/kapasite oranları, PERFORM-3D şekil değıştirme ölçer eleman (strain gage) performans ölçütleri ile çarpılarak beton basınç şekil değıştirmesi miktarı cinsinden ifade edilmiştir. Çizelge 5.66 ve Çizelge 5.67’de beton basınç şekil değıştirmelerinin hesaplanması aşamalarında kullanılan değerler görölmektedir. Lvl1 olarak tanımlanan beton basınç şekil değıştirmesi değeri, sargısız beton için izin verilen en büyük şekil değıştirme sınır değerini, Lvl2 olarak tanımlanan beton basınç şekil değıştirmesi değeri, sargılı beton için izin verilen en büyük şekil değıştirme sınır değerini, Lvl5 olarak tanımlanan beton basınç şekil değıştirmesi ise, İYBDY-2008 Madde 4.2.2.2 (b)’de tanımlanan beton basınç şekil değıştirmesi üst sınırını temsil etmektedir.

Çizelge 5.67 : Şekil değıştirme ölçer eleman performans ölçütleri

PERFORM 3D	
Şekil değıştirme Ölçer Performans Ölçütleri	
Performans Seviyesi	Donatı Şekil değıştirmesi
Lvl1	0.0023
Lvl2	0.0066
Lvl3	0.0023
Lvl4	0.0066
Lvl5	0.0135

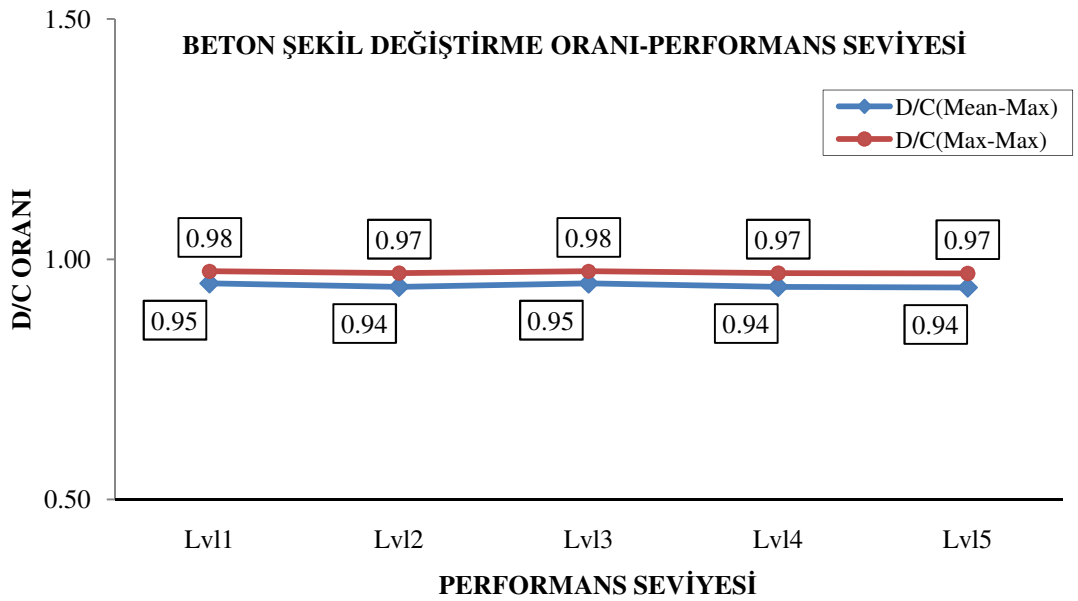
Çizelge 5.68’de Çözüm2 (0.3T~1.0T, %2.5Ç) sonucu elde edilen donatı şekil değıştirmesi değerleri görölmektedir.

Çizelge 5.68 : Çekirdek perdeler beton basınç şekil değıştirmesi miktarları (Çözüm2)

Performans Seviyesi	D/C_(Max-Max)	D/C_(Mean-Max)
Lvl1	0.0045	0.0022
Lvl2	0.0045	0.0022
Lvl3	0.0045	0.0022
Lvl4	0.0045	0.0022
Lvl5	0.0045	0.0022

Çizelge 5.69 : Çekirdek perdeleri beton basınç şekil değıştirmesi etki/kapasite oran karşılaştırmaları (Çözüm2/Çözüm1)

Performans Seviyesi	Çözüm1		Çözüm2		ORAN	
	$D/C_{(Max-Max)}$	$D/C_{(Mean-Max)}$	$D/C_{(Max-Max)}$	$D/C_{(Mean-Max)}$	$D/C_{(Max-Max)}$	$D/C_{(Mean-Max)}$
Lvl1	2.0	1.01	1.95	0.95	0.98	0.95
Lvl2	0.7	0.35	0.68	0.33	0.97	0.94
Lvl3	2.0	1.00	1.95	0.95	0.98	0.95
Lvl4	0.7	0.35	0.68	0.33	0.97	0.94
Lvl5	0.34	0.17	0.33	0.16	0.97	0.94



Şekil 5.66 : Çekirdek perdeleri beton basınç şekil değıştirmesi karşılaştırmaları

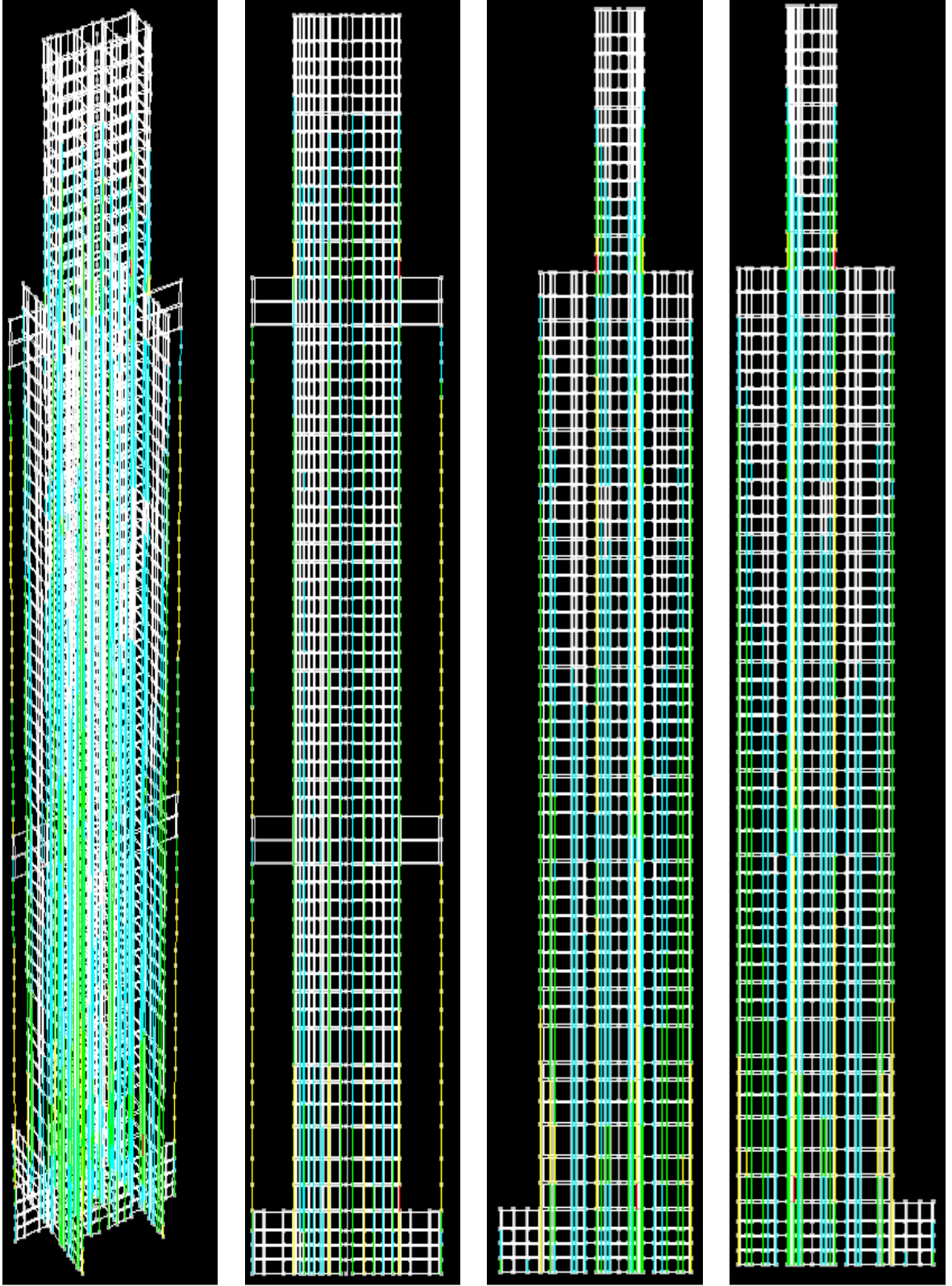
Her iki çözüm sonunda elde edilen sonuçlar beton basınç şekil değıştirmesi etki/kapasite oranları temel alınarak karşılaştırıldığında, Çözüm2 (0.3T~1.0T, %2.5ζ) sonunda elde edilen beton basınç şekil değıştirmesi etki/kapasite oranlarının, Çözüm1 (0.2T~1.5T, %2.5ζ) sonunda elde edilen beton basınç şekil değıştirmesi etki/kapasite oranlarından daha az olduğu belirlenmiştir. İki çözüm arasındaki ortalama fark, Çizelge 5.69 ve Şekil 5.66'dan görüldüğü üzere $D/C_{(Max-Max)}$ kombinasyonları için %3, $D/C_{(Mean-Max)}$ kombinasyonları içinse %6 mertebelerindedir.

Deprem hareketi nedeniyle açığa çıkan enerjinin, yapısal taşıyıcı sistem tarafından tüketilebilmesi, taşıyıcı sistem elemanlarının deprem enerjisinin yutabilme yetenekleriyle başka bir deyişle taşıyıcı elemanların kontrollü bir şekilde hasar alma

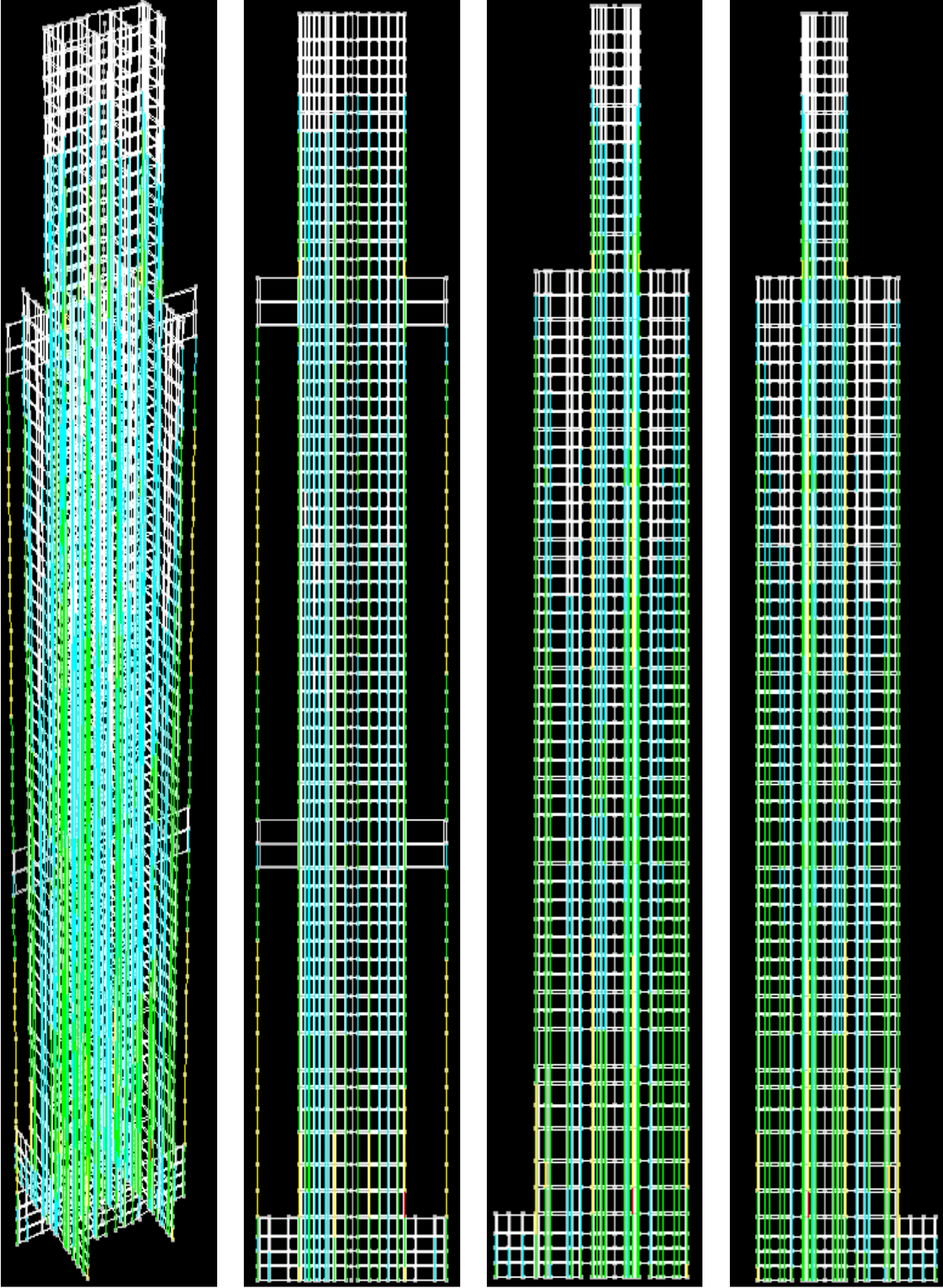
özellikleriyle mümkündür. Bu bağlamda, hasarların sınırlandırılması ve önceden belirlenebilmesi amacıyla, performansa dayalı yapı tasarımını esas alan yönetmelikler, yapısal taşıyıcı sistemde deprem kuvvetleri etkisiyle oluşabilecek şekil değiştirme ve yer değiştirme miktarlarına sınırlandırmalar getirmiştir. Taşıyıcı sistemdeki şekil değiştirme yayılışının bir şekilde belirlenmesi, yapısal taşıyıcı sistem performansının değerlendirilmesi aşamalarında yapı mühendislerine oldukça faydalı bilgiler sağlamaktadır. Bu amaç doğrultusunda, sayısal analizler sonunda elde edilen beton birim şekil değiştirme etki/kapasite oranlarından yararlanılmıştır. Her iki çözüm sonunda elde edilen beton basınç şekil değiştirmesi etki/kapasite oranları incelendiğinde (Çizelge 5.69), yapısal taşıyıcı sistemin herhangi bir bölgesindeki beton basınç şekil değiştirmesi değerinin en fazla için 0.0046, en az 0.0023 mertebelerinde olduğu belirlenmiştir.

Her iki çözüm sonunda elde edilen beton basınç şekil değiştirmesi yayılışları, Şekil 5.67 ve Şekil 5.68’de görülmektedir. Şekillerin incelenmesi neticesinde, yapısal taşıyıcı sistemin bazı bölümlerinde izin verilen beton basınç şekil değiştirmesi değerinin az miktarda aşıldığı (0.004-kırmızı renk), diğer bölümlerin ise istenilen şekilde elastik şekil değiştirme sınırları dâhilinde kaldıkları (0.0010-mavi renk, 0.0015 yeşil renk, 0.0030-sarı renk) dolayısıyla, taşıyıcı sistemden beklenen davranışın (donatılar akabilir ancak beton şekil değiştirmeleri ezilme şekil değiştirme sınırının altında kalmalı) elde edildiğini ifade edebiliriz.

Çözüm1 ve Çözüm2 sonunda elde edilen sonuçlar beton basınç şekil değiştirmesi etki/kapasite oranları temel alınarak karşılaştırıldığında, analiz aşamalarında kullanılan farklı sönüm aralıklarının, birbirinden farklı beton basınç şekil değiştirmesi etki/kapasite oranlarına yol açtığı, kullanılan sönüm periyodu aralığının geniş olduğu modelden (Çözüm1-0.2T~1.5T) elde edilen beton basınç şekil değiştirmesi etki/kapasite oranlarının daha büyük olduğu belirlenmiştir. Her iki çözüm sonunda elde edilen beton basınç şekil değiştirmesi etki/kapasite oranları arasındaki fark %3~%6 mertebelerindedir. Ek olarak, her iki çözüm sonunda elde edilen beton basınç şekil değiştirmesi miktarlarının incelenmesiyle, IYBDY-2008 Madde 4.2.2.2 (b)’de tanımlanan beton basınç şekil değiştirmesi sınır değerlerinin aşılmadığı belirlenmiştir.



Şekil 5.67 : Beton basınç şekil değıştirmesi yayılışı (Çözüm1)



Şekil 5.68 : Beton basınç şekil değıştirmesi yayılışı (Çözüm2)

Çizelge 5.70 : Bağ kirişi pozitif plastik şekil değiştirme etki/kapasite oranları (Çözüm1)

Performans Seviyesi	ARC				BOL				HCX				HEC				JOS				NIS				YER				D/C _(Max-Max)	D/C _(Mean-Max)
	H1		H2		H1		H2		H1		H2		H1		H2		H1		H2		H1		H2		H1		H2			
	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90		
Lvl1	0.56	0.18	0.55	0.05	0.53	0.82	0.59	0.73	0.35	0.78	0.26	1.26	0.54	0.69	0.55	0.82	0.51	0.47	0.22	0.26	0.66	0.61	0.54	0.70	0.72	0.76	0.68	0.42	1.26	0.56
Lvl2	0.34	0.11	0.33	0.03	0.32	0.49	0.35	0.44	0.21	0.47	0.16	0.75	0.32	0.42	0.33	0.49	0.30	0.23	0.13	0.16	0.39	0.36	0.32	0.42	0.43	0.46	0.41	0.25	0.75	0.34
Lvl3	0.20	0.07	0.20	0.02	0.19	0.29	0.21	0.26	0.13	0.28	0.09	0.45	0.19	0.25	0.20	0.29	0.18	0.16	0.08	0.11	0.24	0.22	0.19	0.25	0.26	0.27	0.24	0.15	0.45	0.20

Çizelge 5.70’te Çözüm1 (0.2T~1.5T, %2.5Ç) sonunda elde edilen bağ kirişi plastik kayma şekil değiştirmesi etki/kapasite oranları görülmektedir

Çizelge 5.70’in incelenmesi neticesinde bağ kirişi pozitif plastik şekil değiştirme etki/kapasite oranlarının Lvl1 performans seviyesi, $D/C_{max-max}$ kombinasyonu için 1.26, $D/C_{mean-max}$ kombinasyonu için ise 0.56 olarak hesaplandığı belirlenmiştir.

Performans seviyesine bağı olarak tanımlanan bağ kirişi plastik şekil değıştirmesi etki/kapasite oranlarının yönetmeliklerde (ASCE 41-06 Supply) belirtilen şekil değıştirme sınır şartlarına uygunluğunun sınanması amacıyla, Çözüm1 (0.2T~1.5T, %2.5Ç) sonunda elde edilen kayma şekil değıştirmesi etki/kapasite oranları, PERFORM-3D şekil değıştirme ölçer eleman performans ölçütleri ile çarpılarak kayma şekil değıştirmesi miktarı cinsinden ifade edilmiştir. Çizelge 5.70 ve Çizelge 5.71’de bağ kirişi kayma şekil değıştirmelerinin hesaplanması aşamalarında kullanılan değerler görölmektedir. Lvl1 olarak tanımlanan kayma şekil değıştirmesi sınır değeri, deprem kuvvetlerinin karşılanmasında birincil önceliğe (primary component) sahip elemanlar için tanımlanan *Can güvenliği* (Life Safety) sınır değerini, Lvl2 olarak tanımlanan kayma şekil değıştirmesi sınır değeri, deprem kuvvetlerinin karşılanmasında birincil önceliği sahip elemanlar için tanımlanan *Göçme öncesi* (Collapse Prevention) , deprem kuvvetlerinin karşılanmasında ikincil önceliğe sahip elemanlar (Secondary component) içinse *Can güvenliği* sınır değerini, Lvl3 olarak tanımlanan kayma şekil değıştirmesi sınır değeri ise, deprem kuvvetlerinin karşılanmasında ikicil önceliğe sahip elemanlar için tanımlanan *Göçme öncesi* (Collapse Prevention) sınır değerini temsil etmektedir.

Çizelge 5.71 : Şekil değıştirme ölçer eleman performans ölçütleri

PERFORM-3D		
Şekil değıştirme Ölçer		
Performans Ölçütleri		
Performans Seviyesi	ASCE 41-06	Performans Ölçütü
Lvl1	CG-(LS)	0.018
Lvl2	GÖ-(CP)	0.030
Lvl3	GÖ-(CP)	0.050

Çizelge 5.72’de Çözüm1 sonucu elde edilen bağ kirişi pozitif kayma şekil değıştirmesi miktarları görölmektedir.

Çizelge 5.72 : Bağ kirişi plastik şekil değıştirme miktarları performans seviyeleri (Çözüm1)

Performans Seviyesi	D/C_(Max-Max)	D/C_(Mean-Max)	D/C_(Mean-Max)	D/C_(Mean-Max)
Lvl1	0.023	0.010	> CG, < GÖ > HK, < CG	
Lvl2	0.023	0.010	> CG, < GÖ > HK, < CG	
Lvl3	0.023	0.010	> CG, < GÖ > HK, < CG	

Çizelge 5.73 : Bağ kirişi pozitif plastik şekil değiştirme etki/kapasite oranları (Çözüm2)

Performans Seviyesi	ARC				BOL				HCX				HEC				JOS				NIS				YER				D/C _(Max-Max)	D/C _(Mean-Max)
	H1		H2		H1		H2		H1		H2		H1		H2		H1		H2		H1		H2		H1		H2			
	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90		
Lvl1	0.53	0.17	0.51	0.05	0.49	0.79	0.41	0.62	0.36	0.73	0.28	0.98	0.50	0.67	0.48	0.76	0.51	0.45	0.19	0.22	0.58	0.55	0.42	0.63	0.67	0.68	0.57	0.31	0.98	0.50
Lvl2	0.32	0.10	0.30	0.03	0.30	0.47	0.25	0.37	0.22	0.44	0.17	0.59	0.30	0.40	0.29	0.46	0.3	0.27	0.11	0.13	0.35	0.33	0.25	0.38	0.40	0.41	0.34	0.19	0.59	0.30
Lvl3	0.19	0.06	0.18	0.02	0.18	0.28	0.15	0.22	0.13	0.26	0.10	0.35	0.18	0.24	0.17	0.27	0.18	0.16	0.07	0.08	0.21	0.20	0.15	0.23	0.24	0.25	0.21	0.11	0.35	0.18

Çizelge 5.73'te Çözüm2 (0.3T~1.0T, %2.5Ç) sonunda elde edilen bağ kirişi plastik kayma şekil değiştirmesi etki/kapasite oranları görülmektedir.

Çizelge 5.73'ün incelenmesi neticesinde bağ kirişi negatif plastik şekil değiştirme etki/kapasite oranlarının Lvl1 performans seviyesi, $D/C_{max-max}$ kombinasyonu için 0.98, $D/C_{mean-max}$ kombinasyonu için ise 0.50 olarak hesaplandığı belirlenmiştir

Performans seviyesine bağı olarak tanımlanan bağ kirişi plastik şekil değıştirmesi etki/kapasite oranlarının yönetmeliklerde (ASCE 41-06 Supply) belirtilen şekil değıştirme sınır şartlarına uygunluğunun sınanması amacıyla, Çözüm2 (0.3T~1.0T, %2.5Ç) sonunda elde edilen kayma şekil değıştirmesi etki/kapasite oranları, PERFORM-3D şekil değıştirme ölçer eleman performans ölçütleri ile çarpılarak kayma şekil değıştirmesi miktarı cinsinden ifade edilmiştir. Çizelge 5.73 ve Çizelge 5.74'te bağ kirişi kayma şekil değıştirmelerinin hesaplanması aşamalarında kullanılan değerler görölmektedir. Lvl1 olarak tanımlanan kayma şekil değıştirmesi sınır değeri, deprem kuvvetlerinin karşılanmasında birincil önceliğe (primary component) sahip elemanlar için tanımlanan *Can güvenliği* (Life Safety) sınır değerini, Lvl2 olarak tanımlanan kayma şekil değıştirmesi sınır değeri, deprem kuvvetlerinin karşılanmasında birincil önceliği sahip elemanlar için tanımlanan *Göçme öncesi* (Collapse Prevention) , deprem kuvvetlerinin karşılanmasında ikincil önceliğe sahip elemanlar (Secondary component) içinse *Can güvenliği* sınır değerini, Lvl3 olarak tanımlanan kayma şekil değıştirmesi sınır değeri ise, deprem kuvvetlerinin karşılanmasında ikicil önceliğe sahip elemanlar için tanımlanan *Göçme öncesi* (Collapse Prevention) sınır değerini temsil etmektedir.

Çizelge 5.74 : Şekil değıştirme ölçer eleman performans ölçütleri

PERFORM-3D		
Şekil değıştirme Ölçer		
Performans Ölçütleri		
Performans Seviyesi	ASCE 41-06	Performans Ölçütü
Lvl1	CG-(LS)	0.018
Lvl2	GÖ-(CP)	0.030
Lvl3	GÖ-(CP)	0.050

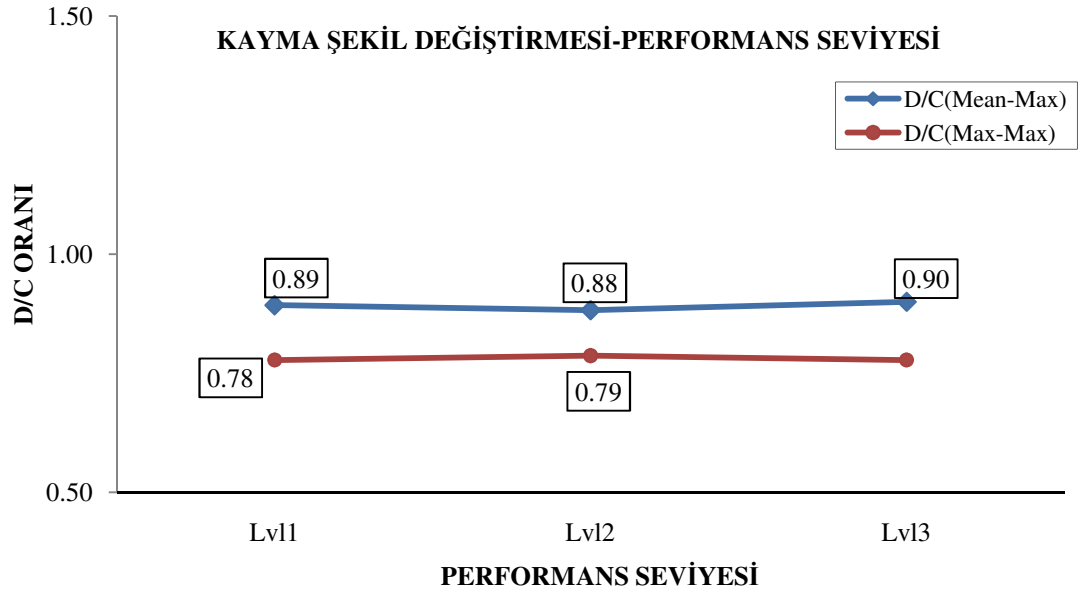
Çizelge 5.75'te Çözüm2 sonucu elde edilen bağ kirişi pozitif kayma şekil değıştirmesi miktarları görölmektedir.

Çizelge 5.75 : Bağ kirişi plastik şekil değıştirme miktarları ve performans seviyeleri (Çözüm2)

Performans Seviyesi	D/C_(Max-Max)	D/C_(Mean-Max)	D/C_(Mean-Max)	D/C_(Mean-Max)
Lvl1	0.018	0.009	> HK, = CG > HK, < CG	
Lvl2	0.018	0.009	> HK, = CG > HK, < CG	
Lvl3	0.018	0.009	> HK, = CG > HK, < CG	

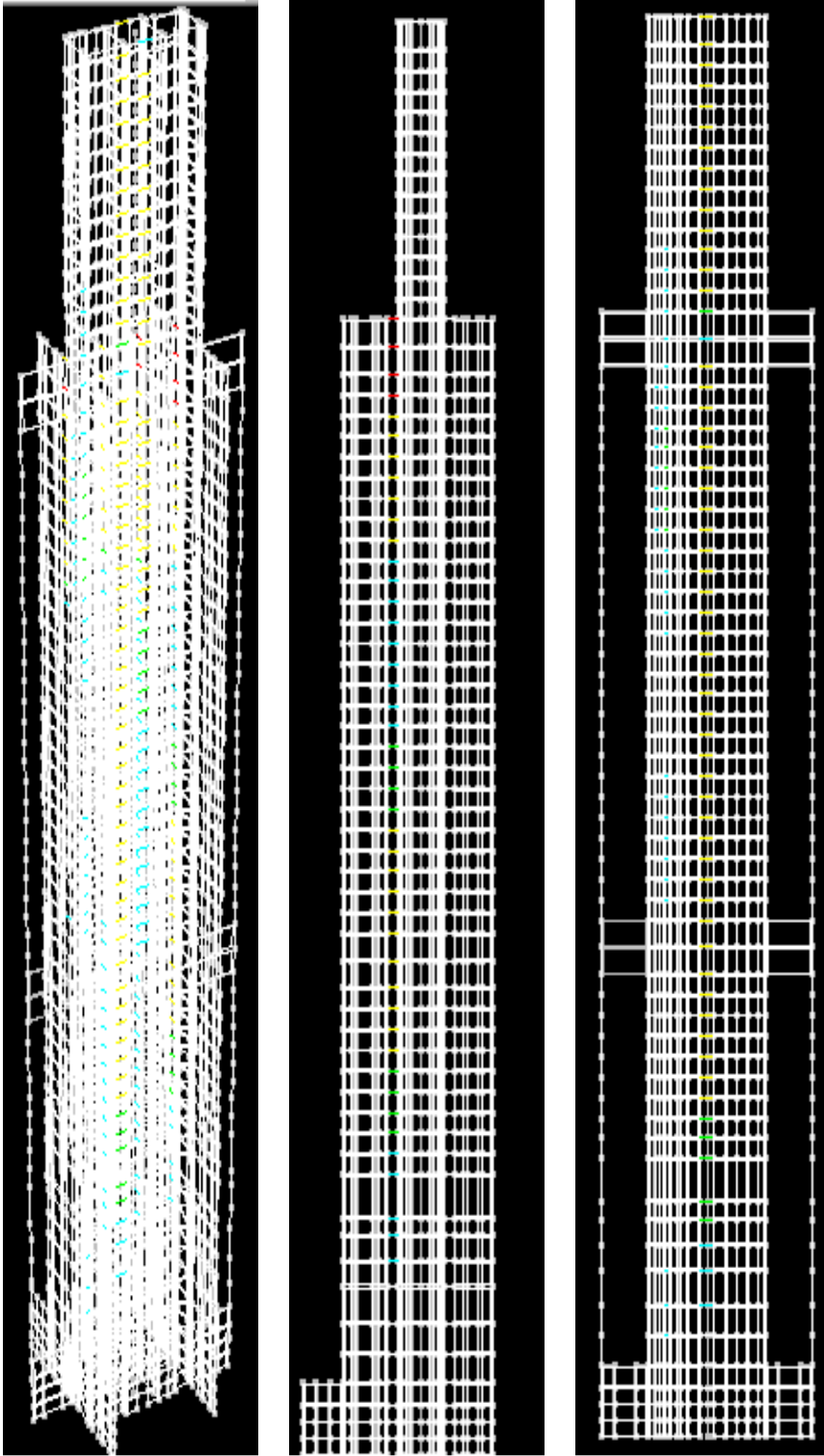
Çizelge 5.76 : Bağ kirişi pozitif plastik şekil değiştirme etki/kapasite oran karşılaştırmaları (Çözüm2/Çözüm1)

	Çözüm1		Çözüm2		ORAN	
Performans Seviyesi	$D/C_{(Max-Max)}$	$D/C_{(Mean-Max)}$	$D/C_{(Max-Max)}$	$D/C_{(Mean-Max)}$	$D/C_{(Max-Max)}$	$D/C_{(Mean-Max)}$
Lvl1	1.26	0.56	0.98	0.50	0.78	0.89
Lvl2	0.75	0.34	0.59	0.30	0.79	0.88
Lvl3	0.45	0.20	0.35	0.18	0.78	0.90

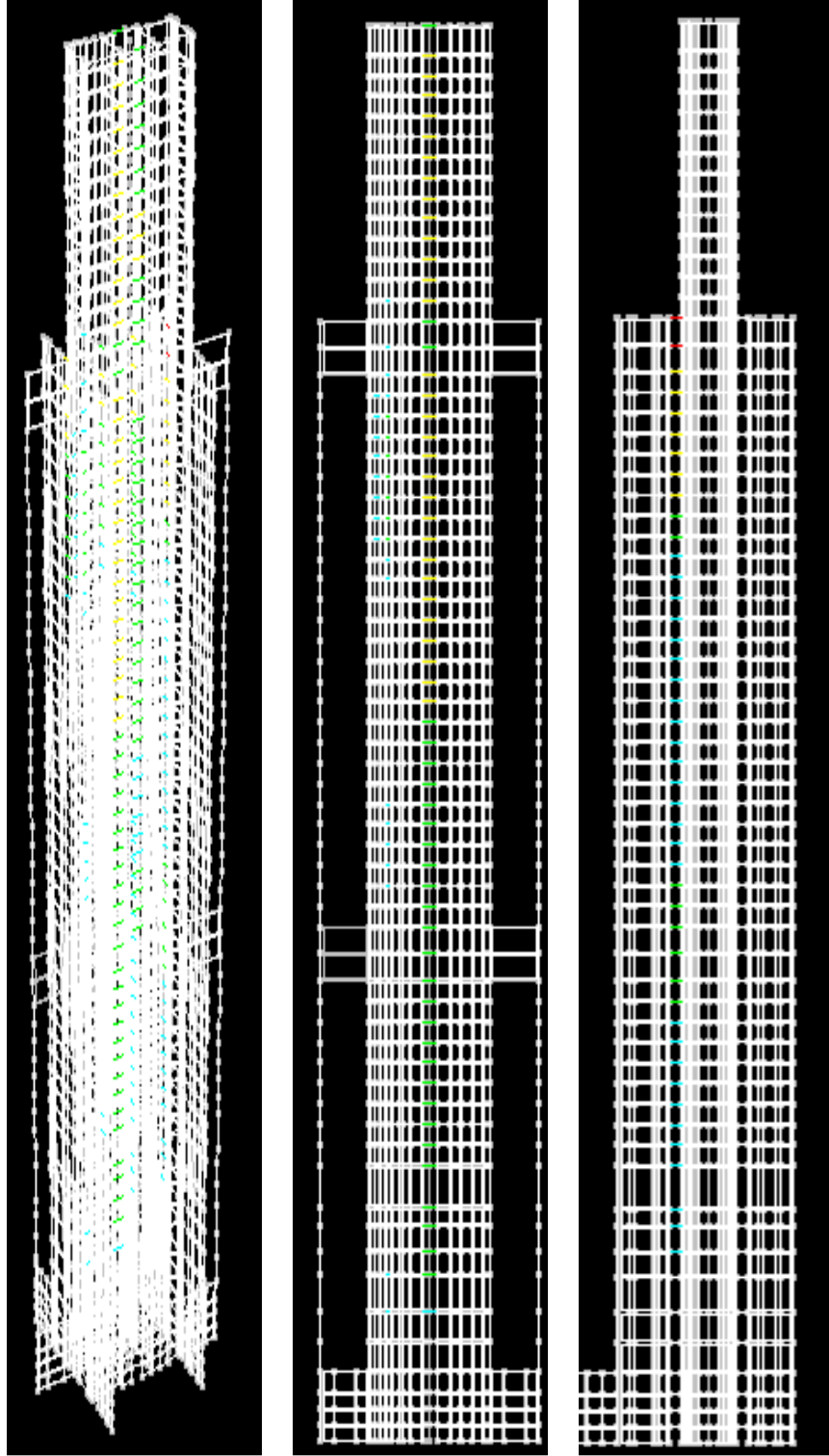


Şekil 5.69 : Bağ kirişi pozitif kayma şekil değiştirme karşılaştırmaları

Her iki çözüm sonunda elde edilen sonuçlar bağ kirişi pozitif kayma şekil değiştirme etki/kapasite oranları temel alınarak karşılaştırıldığında, Çözüm2(0.3T~1.0T, %2.5Ç) sonunda elde edilen kayma şekil değiştirme etki/kapasite oranlarının Çözüm1 (0.2T~1.5T, %2.5Ç) sonunda elde edilen etki/kapasite oranlarına kıyasla daha az olduğu belirlenmiştir. İki çözüm arasındaki ortalama fark, Çizelge 5.76' ve Şekil 5.69'dan görüldüğü üzere $D/C_{(Max-Max)}$ kombinasyonları için %22, $D/C_{(Mean-Max)}$ kombinasyonları içinse %11 mertebelerindedir.



Şekil 5.70 : Bağ kirişi pozitif kayma şekil değiştirmesi yayılımı (Çözüm1)



Şekil 5.71 : Bağ kirişi pozitif kayma şekil değiştirmesi yayılımı (Çözüm2)

Tüketilen toplam plastik şekil değiştirme enerjisi miktarının, yapısal taşıyıcı elemanlar bazında dağılımlarının değerlendirildiği bölümde, bağ kirişleri tarafından plastik şekil değiştirme yapılarak tüketilen enerjinin, tüketilen toplam plastik şekil değiştirme enerjisinin ortalama %93'ünü oluşturduğu hatırlanacak olursa, bağ kirişlerinin deprem enerjisinin tüketilmesi aşamalarında son derece önemli bir rol üstlendiği ve analizler sonunda elde edilen bağ kirişi şekil değiştirmesi miktarlarının taşıyıcı sistemden beklenen davranışla uyum sağladığı belirlenmiştir.

Şekil 5.70 ve Şekil 5.71'de perde yüksekliği boyunca bağ kirişi kayma şekil değiştirmesi etki/kapasite oranlarının arttığı (mavi-yeşil-sarı-kırmızı) göze çarpmaktadır. Bu davranış, yapısal taşıyıcı sistemden beklenen davranış ile son derece uyumludur. Şöyle ki, çekirdek perde parçaları deprem kuvvetleri etkisiyle konsol veya konsola yakın bir davranış sergileyerek şekil değiştirmiş (perde dönmesi) üst kat perde parçalarında oluşan büyük dönmeler neticesinde (Şekil 5.61 ve Şekil 5.62), üst kat bağ kirişleri, alt katlara oranla daha fazla zorlanmışlar dolayısıyla, bu etki sonucunda üst katlardaki bağ kirişi etki/kapasite değerleri alt katlara oranla daha fazla olarak ortaya çıkmıştır.

Çözüm1 ve Çözüm2 sonunda elde edilen sonuçlar bağ kirişleri kayma şekil değiştirmesi etki/kapasite oranları temel alınarak karşılaştırıldığında, sönüm periyodu aralığının geniş olduğu (Çözüm1-0.2T~1.5T) modelden elde edilen kayma şekil değiştirmesi etki/kapasite oranlarının daha büyük olduğu belirlenmiştir. Her iki çözüm sonunda elde edilen bağ kirişleri kayma şekil değiştirmesi etki/kapasite oranları arasındaki fark %6~%22 mertebelerindedir. Ek olarak, her iki çözüm sonunda elde edilen bağ kirişleri kayma şekil değiştirmesi miktarlarının incelenmesiyle, ASCE 41-06 yönetmeliğinde çapraz donatılmış bağ kirişleri için tanımlanan bağ kirişi kayma şekil değiştirmesi hemen kullanım sınırının (HK-IO-0.006) aşıldığı, kullanılan sönüm periyodu aralığının daha geniş olduğu Çözüm1 modelindeki bağ kirişleri performans seviyesinin can güvenliği (CG-LS) ile göçmenin önlenmesi (GÖ-CP) performans seviyeleri arasında olduğu, kullanılan sönüm periyodu aralığının daha dar olduğu Çözüm2 modelindeki bağ kirişleri performans seviyesinin ise can güvenliği (CG-LS) sınırının altında olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 5.77 : Bağ kirişi negatif plastik şekil değiştirme etki/kapasite oranları (Çözüm1)

Performans Seviyesi	ARC				BOL				HCX				HEC				JOS				NIS				YER				D/C _(Max-Max)	D/C _(Mean-Max)
	H1		H2		H1		H2		H1		H2		H1		H2		H1		H2		H1		H2							
	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90						
Lvl1	0.34	0.29	0.28	0.09	0.55	0.81	0.43	0.71	0.74	0.84	0.50	0.87	0.58	0.78	0.42	0.86	0.38	0.38	0.21	0.21	0.82	0.46	0.55	0.34	0.94	0.40	0.82	0.50	0.94	0.54
Lvl2	0.20	0.17	0.17	0.05	0.33	0.49	0.26	0.42	0.44	0.50	0.30	0.52	0.35	0.47	0.25	0.51	0.23	0.23	0.13	0.13	0.49	0.28	0.33	0.20	0.56	0.24	0.49	0.30	0.56	0.32
Lvl3	0.12	0.10	0.10	0.03	0.20	0.29	0.16	0.25	0.27	0.30	0.18	0.31	0.21	0.28	0.15	0.31	0.14	0.14	0.08	0.08	0.30	0.17	0.20	0.12	0.34	0.14	0.30	0.18	0.34	0.19

Çizelge 5.77’de Çözüm1(0.2T~1.5T, %2.5Ç) sonunda elde edilen bağ kirişi plastik kayma şekil değiştirmesi etki/kapasite oranları görülmektedir

Çizelge 5.77’nin incelenmesi neticesinde bağ kirişi negatif plastik şekil değiştirme etki/kapasite oranlarının Lvl1 performans seviyesi, $D/C_{max-max}$ kombinasyonu için 0.94, $D/C_{mean-max}$ kombinasyonu için ise 0.54 olarak hesaplandığı belirlenmiştir.

Performans seviyesine bağı olarak tanımlanan bağ kirişi plastik şekil değıştirmesi etki/kapasite oranlarının yönetmeliklerde (ASCE 41-06 Supply) belirtilen şekil değıştirme sınır şartlarına uygunluğunun sınanması amacıyla, Çözüm1 (0.2T~1.5T, %2.5Ç) sonunda elde edilen kayma şekil değıştirmesi etki/kapasite oranları, PERFORM-3D şekil değıştirme ölçer eleman performans ölçütleri ile çarpılarak kayma şekil değıştirmesi miktarı cinsinden ifade edilmiştir. Çizelge 5.77 ve Çizelge 5.78’da bağ kirişi kayma şekil değıştirmelerinin hesaplanması aşamalarında kullanılan değerler görölmektedir. Lvl1 olarak tanımlanan kayma şekil değıştirmesi sınır değeri, deprem kuvvetlerinin karşılanmasında birincil önceliğe (primary component) sahip elemanlar için tanımlanan *Can güvenliği* (Life Safety) sınır değerini, Lvl2 olarak tanımlanan kayma şekil değıştirmesi sınır değeri, deprem kuvvetlerinin karşılanmasında birincil önceliği sahip elemanlar için tanımlanan *Göçme öncesi* (Collapse Prevention) , deprem kuvvetlerinin karşılanmasında ikincil önceliğe sahip elemanlar (Secondary component) içinse *Can güvenliği* sınır değerini, Lvl3 olarak tanımlanan kayma şekil değıştirmesi sınır değeri ise, deprem kuvvetlerinin karşılanmasında ikicil önceliğe sahip elemanlar için tanımlanan *Göçme öncesi* (Collapse Prevention) sınır değerini temsil etmektedir.

Çizelge 5.78 : Şekil değıştirme ölçer eleman performans ölçütleri

PERFORM 3D	
Şekil değıştirme Ölçer	
Performans Ölçütleri	
Performans Seviyesi	Performans Ölçütü
Lvl1	0.018
Lvl2	0.030
Lvl3	0.050

Çizelge 5.79’de Çözüm1 sonunda elde edilen bağ kirişi negatif kayma şekil değıştirmesi miktarları görölmektedir.

Çizelge 5.79 : Bağ kirişi negatif kayma şekil değıştirmesi miktarları ve performans seviyeleri (Çözüm1)

Performans Seviyesi	D/C_(Max-Max)	D/C_(Mean-Max)	D/C_(Mean-Max)	D/C_(Mean-Max)
Lvl1	0.017	0.010	> HK, < CG	HK, < CG
Lvl2	0.017	0.010	> HK, < CG	HK, < CG
Lvl3	0.017	0.010	> HK, < CG	HK, < CG

Çizelge 5.80 : Bağ kirişi negatif plastik kayma şekil değiştirmesi etki/kapasite oranları (Çözüm2)

Performans Seviyesi	ARC				BOL				HCX				HEC				JOS				NIS				YER				D/C _(Max-Max)	D/C _(Mean-Max)
	H1		H2		H1		H2		H1		H2		H1		H2		H1		H2		H1		H2							
	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90						
Lvl1	0.32	0.26	0.27	0.08	0.50	0.77	0.38	0.63	0.72	0.79	0.45	0.79	0.54	0.76	0.30	0.76	0.31	0.26	0.16	0.23	0.79	0.45	0.53	0.30	0.88	0.36	0.78	0.43	0.88	0.49
Lvl2	0.19	0.16	0.16	0.05	0.30	0.46	0.23	0.38	0.43	0.47	0.27	0.47	0.33	0.45	0.18	0.45	0.18	0.17	0.10	0.14	0.47	0.27	0.32	0.18	0.53	0.21	0.47	0.26	0.53	0.30
Lvl3	0.11	0.09	0.10	0.03	0.18	0.28	0.14	0.23	0.26	0.28	0.16	0.28	0.20	0.27	0.11	0.27	0.11	0.09	0.06	0.11	0.28	0.16	0.19	0.11	0.32	0.13	0.28	0.15	0.32	0.18

Çizelge 5.80’de Çözüm2 (0.3T~1.0T, %2.5ç) sonunda elde edilen bağ kirişi plastik kayma şekil değiştirmesi etki/kapasite oranları görülmektedir

Çizelge 5.80’in incelenmesi neticesinde bağ kirişi negatif plastik şekil değiştirme etki/kapasite oranlarının Lvl1 performans seviyesi, $D/C_{max-max}$ kombinasyonu için 0.88, $D/C_{mean-max}$ kombinasyonu için ise 0.49 olarak hesaplandığı belirlenmiştir.

Performans seviyesine bağı olarak tanımlanan bağ kirişi plastik şekil değıştirmesi etki/kapasite oranlarının yönetmeliklerde (ASCE 41-06 Supply) belirtilen şekil değıştirme sınır şartlarına uygunluğunun sınanması amacıyla, Çözüm2 (0.3T~1.0T, %2.5Ç) sonunda elde edilen kayma şekil değıştirmesi etki/kapasite oranları, PERFORM-3D şekil değıştirme ölçer eleman performans ölçütleri ile çarpılarak kayma şekil değıştirmesi miktarı cinsinden ifade edilmiştir. Çizelge 5.80 ve Çizelge 5.81’de bağ kirişi kayma şekil değıştirmelerinin hesaplanması aşamalarında kullanılan değerler görölmektedir. Lvl1 olarak tanımlanan kayma şekil değıştirmesi sınır değeri, deprem kuvvetlerinin karşılanmasında birincil önceliğe (primary component) sahip elemanlar için tanımlanan *Can güvenliği* (Life Safety) sınır değerini, Lvl2 olarak tanımlanan kayma şekil değıştirmesi sınır değeri, deprem kuvvetlerinin karşılanmasında birincil önceliği sahip elemanlar için tanımlanan *Göçme öncesi* (Collapse Prevention) , deprem kuvvetlerinin karşılanmasında ikincil önceliğe sahip elemanlar (Secondary component) içinse *Can güvenliği* sınır değerini, Lvl3 olarak tanımlanan kayma şekil değıştirmesi sınır değeri ise, deprem kuvvetlerinin karşılanmasında ikicil önceliğe sahip elemanlar için tanımlanan *Göçme öncesi* (Collapse Prevention) sınır değerini temsil etmektedir.

Çizelge 5.81 : Şekil değıştirme ölçer eleman performans ölçütleri

PERFORM-3D		
Şekil değıştirme Ölçer		
Performans Ölçütleri		
Performans Seviyesi	ASCE 41-06	Performans Ölçütü
Lvl1	CG-(LS)	0.018
Lvl2	GÖ-(CP)	0.030
Lvl3	GÖ-(CP)	0.050

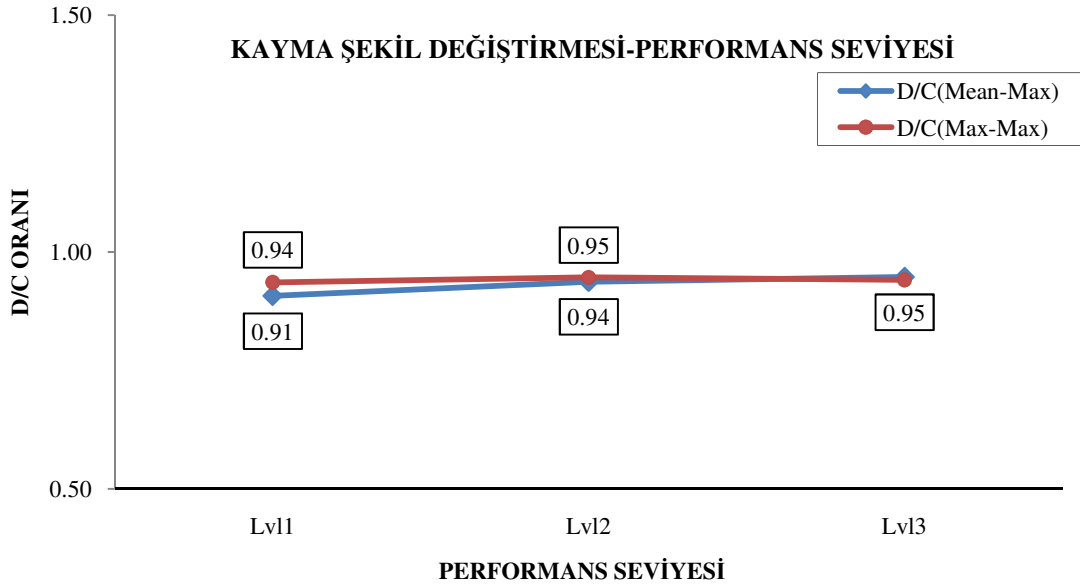
Çizelge 5.82’de Çözüm2 sonucu elde edilen bağ kirişi negatif kayma şekil değıştirmesi miktarları görölmektedir.

Çizelge 5.82 : Bağ kirişi negatif kayma şekil değıştirmesi miktarları (Çözüm2)

Performans Seviyesi	D/C_(Max-Max)	D/C_(Mean-Max)	D/C_(Mean-Max)	D/C_(Mean-Max)
Lvl1	0.016	0.009	> HK, < CG	> HK, < CG
Lvl2	0.016	0.009	> HK, < CG	> HK, < CG
Lvl3	0.016	0.009	> HK, < CG	> HK, < CG

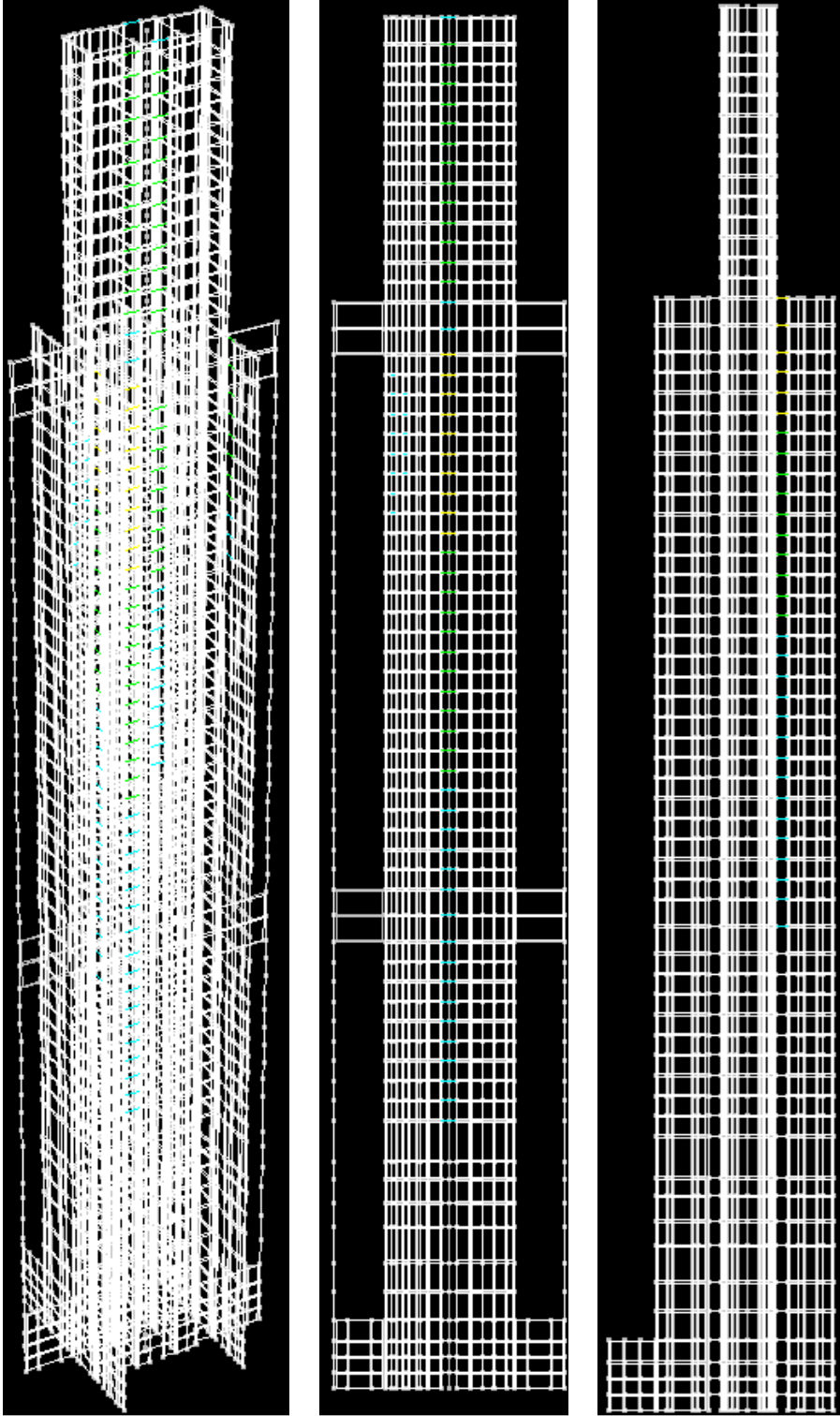
Çizelge 5.83 : Bağ kirişi negatif kayma şekil değiştirmesi etki/kapasite oran karşılaştırmaları (Çözüm2/Çözüm1)

Performans Seviyesi	Çözüm1		Çözüm2		ORAN	
	$D/C_{(Max-Max)}$	$D/C_{(Mean-Max)}$	$D/C_{(Max-Max)}$	$D/C_{(Mean-Max)}$	$D/C_{(Max-Max)}$	$D/C_{(Mean-Max)}$
Lvl1	0.94	0.54	0.88	0.49	0.94	0.91
Lvl2	0.56	0.32	0.53	0.30	0.95	0.94
Lvl3	0.34	0.19	0.32	0.18	0.94	0.95

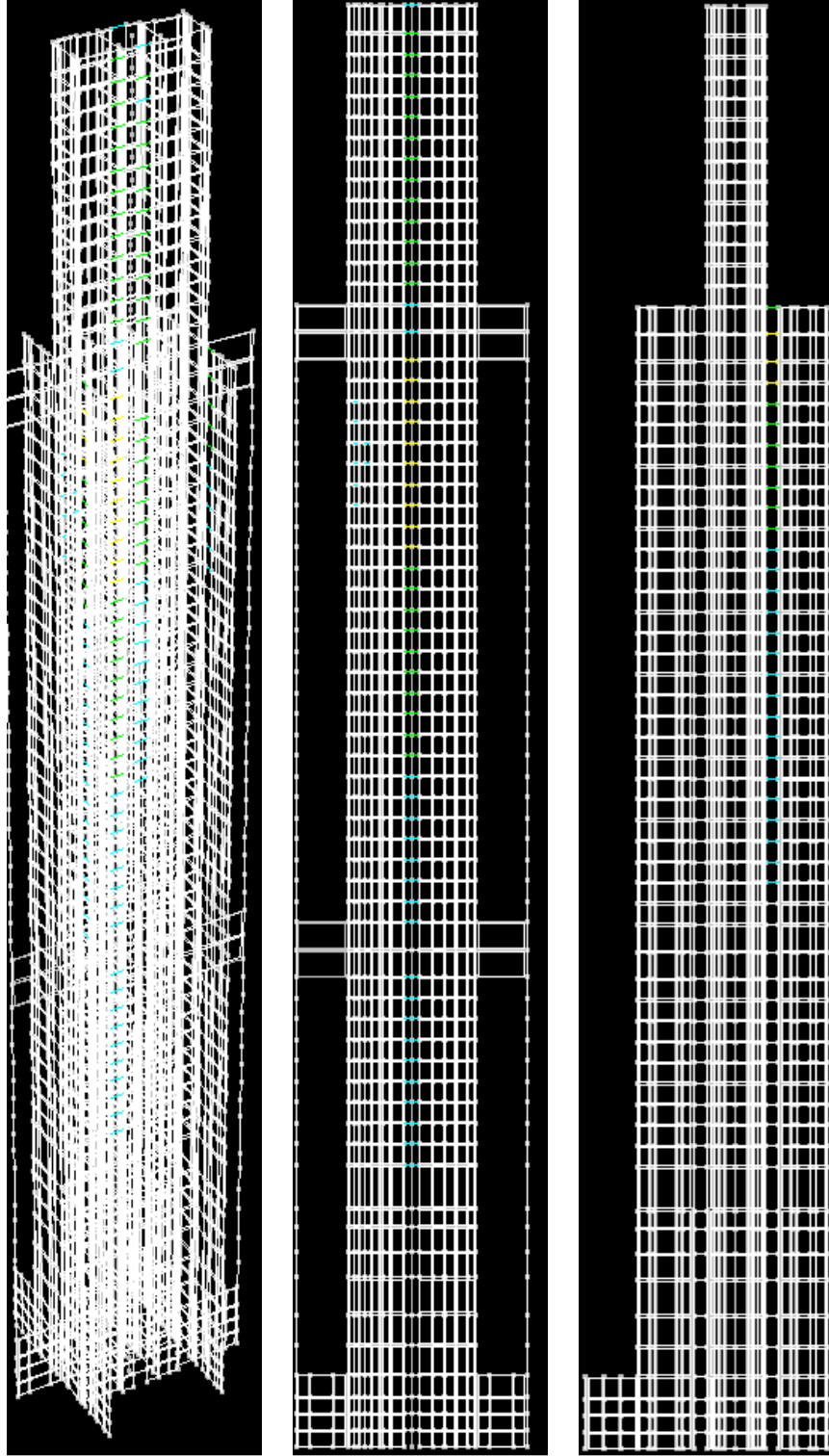


Şekil 5.72 : Bağ kirişi negatif kayma şekil değiştirmesi karşılaştırmaları

Her iki çözüm sonunda elde edilen sonuçlar bağ kirişi pozitif kayma şekil değiştirmesi etki/kapasite oranları temel alınarak karşılaştırıldığında, Çözüm2 (0.3T~1.0T, %2.5ç) sonunda elde edilen kayma şekil değiştirmesi etki/kapasite oranlarının, Çözüm1 (0.2T~1.5T, %2.5ç) sonunda elde edilen etki/kapasite oranlarına kıyasla daha az olduğu belirlenmiştir. İki çözüm arasındaki ortalama fark, Çizelge 5.83've Şekil 5.72'den görüldüğü üzere $D/C_{(Max-Max)}$ kombinasyonları için %6, $D/C_{(Mean-Max)}$ kombinasyonları içinse %7 mertebelerindedir.



Şekil 5.73 : Bağ kirişi negatif kayma şekil değiştirmesi yayılımı (Çözüm1)



Şekil 5.74 : Bağ kirişi negatif kayma şekil değıştirmesi yayılışı (Çözüm2)

Tüketilen toplam plastik şekil değiştirme enerjisi miktarının, yapısal taşıyıcı elemanlar bazında dağılımlarının değerlendirildiği bölümde, bağ kirişleri tarafından plastik şekil değiştirme yapılarak tüketilen enerjinin, tüketilen toplam plastik şekil değiştirme enerjisinin ortalama %93'ünü oluşturduğu hatırlanacak olursa, bağ kirişlerinin deprem enerjisinin tüketilmesi aşamalarında son derece önemli bir rol üstlendiği ve analizler sonunda elde edilen bağ kirişi şekil değiştirmesi miktarlarının taşıyıcı sistemden beklenen davranışla uyum sağladığı belirlenmiştir.

Şekil 5.73 ve Şekil 5.74'te perde yüksekliği boyunca bağ kirişi kayma şekil değiştirmesi etki/kapasite oranlarının arttığı (mavi-yeşil-sarı-kırmızı) göze çarpmaktadır. Bu davranış, yapısal taşıyıcı sistemden beklenen davranış ile son derece uyumludur. Şöyle ki, çekirdek perde parçaları deprem kuvvetleri etkisiyle konsol veya konsola yakın bir davranış sergileyerek şekil değiştirmiş (perde dönmesi), üst kat perde parçalarında oluşan büyük dönmeler neticesinde, üst kat bağ kirişleri, alt katlara oranla daha fazla zorlanmışlar dolayısıyla, bu etki sonucunda üst katlardaki bağ kirişi etki/kapasite değerleri alt katlara oranla daha fazla olarak ortaya çıkmıştır.

Çözüm1 ve Çözüm2 sonunda elde edilen sonuçlar bağ kirişleri kayma şekil değiştirmesi etki/kapasite oranları temel alınarak karşılaştırıldığında, sönüm periyodu aralığının geniş olduğu (Çözüm1-0.2T~1.5T) modelden elde edilen kayma şekil değiştirmesi etki/kapasite oranlarının daha büyük olduğu belirlenmiştir. Her iki çözüm sonunda elde edilen bağ kirişleri kayma şekil değiştirmesi etki/kapasite oranları arasındaki fark %6~%22 mertebelerindedir. Ek olarak, her iki çözüm sonunda elde edilen bağ kirişleri kayma şekil değiştirmesi miktarlarının incelenmesiyle, ASCE 41-06 yönetmeliğinde çapraz donatılmış bağ kirişleri için tanımlanan bağ kirişi kayma şekil değiştirmesi hemen kullanım sınırının (HK-IO-0.006) aşıldığı, kullanılan sönüm periyodu aralığının daha geniş olduğu Çözüm1 modelindeki bağ kirişleri performans seviyesinin can güvenliği (CG-LS) ile göçmenin önlenmesi (GÖ-CP) performans seviyeleri arasında olduğu, kullanılan sönüm periyodu aralığının daha dar olduğu Çözüm2 modelindeki bağ kirişleri performans seviyesinin ise can güvenliği (CG-LS) sınırının altında olduğu belirlenmiştir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, performansa dayalı tasarım ve değerlendirme ilkeleri çerçevesinde, betonarme çekirdek ve çerçeve taşıyıcı sisteme sahip 65 katlı yüksek bir yapının zaman tanım alanında doğrusal olmayan çözümleme yöntemi kullanılarak deprem performansının belirlenmesi ve performans değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, yapısal taşıyıcı sistem PERFORM-3D ortamında malzeme ve geometri özellikleri bakımından doğrusal olmayan davranış göz önünde bulundurularak modellenmiş, sayısal çözümleme IYBDY–2008-D2 senaryo deprem spektrumu temelinde ölçeklendirilen deprem kayıtları eşliğinde zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi farklı sönüm modelleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bahsi geçen sönüm modelleri şu tanımlanmıştır.

- Yüksek mod etkilerinin sönümlendirilmesi amacıyla Rayleigh sönüm eğrisinin %2.5 sönüm değerini kestiği ilk nokta, yapı hâkim periyodunun 0.2 katı olacak şekilde, doğrusal olmayan şekil değiştirmeler nedeniyle oluşan rijitlik azalması etkilerinin göz önüne alınması amacıyla Rayleigh sönüm eğrisinin %2.5 sönüm değerini kestiği ikinci nokta, yapı hâkim periyodunun 1.5 katı olacak şekilde seçildiği sönüm modeli (Çözüm1-0.2T-1.5T, %2.5).
- Yüksek mod etkilerinin sönümlendirilmesi amacıyla Rayleigh sönüm eğrisinin %2.5 sönüm değerini kestiği ilk nokta, yapı hâkim periyodunun 0.3 katı olacak şekilde doğrusal olmayan şekil değiştirmeler nedeniyle oluşan rijitlik azalması etkilerinin göz önüne alınması amacıyla, Rayleigh sönüm eğrisinin %2.5 sönüm değerini kestiği ikinci nokta, yapı hâkim periyodunun 1.0 katı olacak şekilde seçildiği sönüm modeli (Çözüm2-0.3T-1.0T, %2.5).

Her iki çözüm sonunda elde edilen verilerin karşılaştırılması neticesinde varılan başlıca sonuçlar şu şekilde özetlenebilir.

- 1) Çözüm1 ve Çözüm2 sonunda elde edilen sonuçlar, taban kesme kuvvetleri temel alınarak karşılaştırıldığında, analiz aşamalarında kullanılan farklı sönüm aralıklarının, birbirinden farklı taban kesme kuvvetlerinin elde edilmesine yol açtığı ve kullanılan sönüm periyot aralığının daha geniş olduğu modelden elde edilen (Çözüm1-0.2T~1.5T) taban kesme kuvveti değerlerinin daha büyük olduğu belirlenmiştir. Her iki çözüm sonunda elde edilen taban kesme kuvvetleri arasındaki fark %2-%6 mertebelerindedir.
- 2) Çözüm1 ve Çözüm2 sonunda elde edilen sonuçlar tepe noktası yer değiştirme miktarı temel alınarak karşılaştırıldığında, analiz aşamalarında kullanılan farklı sönüm aralıklarının, birbirinden farklı tepe noktası yer değiştirme miktarlarına yol açtığı ve kullanılan sönüm periyot aralığının geniş olduğu modelden (Çözüm1-0.2T~1.5T) elde edilen tepe noktası yer değiştirme miktarlarının daha büyük olduğu belirlenmiştir. Her iki çözüm sonunda elde edilen tepe noktası yer değiştirmeleri arasındaki fark %3-%15 mertebelerindedir.
- 3) Çözüm1 ve Çözüm2 sonunda elde edilen sonuçlar göreceli kat ötelenme miktarları temel alınarak karşılaştırıldığında, analiz aşamalarında kullanılan farklı sönüm aralıklarının, birbirinden farklı kat ötelenmesi oranlarına yol açtığı ve kullanılan sönüm periyot aralığının geniş olduğu modelden (Çözüm1-0.2T~1.5T) elde edilen kat ötelenmesi oranlarının daha büyük olduğu belirlenmiştir. Her iki çözüm sonunda elde edilen kat ötelenmesi oranları arasındaki fark %3-%15 mertebelerindedir. Ek olarak, IYBDY-2008-Madde 4.3.2.2 (a) da belirtilen kat ötelenmesi sınır değerlerinin her iki çözüm için de aşılmadığı belirlenmiştir.
- 4) Çözüm1 ve Çözüm2 sonunda elde edilen sonuçlar, tüketilen plastik şekil değiştirme enerjisi miktarı temel alınarak karşılaştırıldığında, analiz aşamalarında kullanılan farklı sönüm aralıklarının birbirinden farklı miktarda plastik şekil değiştirme enerjisinin tüketilmesine yol açtığı, kullanılan sönüm periyodu aralığının geniş olduğu (Çözüm1-0.2T-1.5T) modelden elde edilen sonuçların daha büyük olduğu belirlenmiştir. Her iki çözüm arasındaki tüketilen plastik şekil değiştirme enerjisi miktarları farkı %15~%26 mertebelerindedir. Taşıyıcı sistemde gözlemlenen bu davranışın nedeni Çözüm1 sonunda elde edilen yerdeğiştirmelerin daha büyük olmasıdır.

Bilindiği üzere, doğrusal olmayan davranış nedeniyle, yapısal taşıyıcı elemanlar tarafından yutulan enerji miktarı kuvvet-yer değiştirme eğrisinin çevrim içinde kalan alanıyla ilişkilidir. Çözüm1 sonunda elde edilen yer değiştirme miktarlarının daha büyük olduğu hatırlanacak olunursa, doğrusal olmayan davranış gösteren yapısal taşıyıcı elemanlar daha fazla yer değiştirme etkisiyle daha fazla enerji yutmuş her bir çevrim sonunda çevrim içinde kalan alan daha büyük) dolayısıyla sönüm periyodu aralığının daha geniş olduğu modelden elde edilen tüketilen plastik şekil değiştirme enerjisi miktarları Çözüm1 sonunda daha büyük olarak hesaplanmıştır.

5) Çözüm1 ve Çözüm2 sonunda elde edilen sonuçlar, tüketilen viskoz sönüm enerjisi miktarı temel alınarak karşılaştırıldığında, analiz aşamalarında kullanılan farklı sönüm aralıklarının birbirinden farklı miktarda viskoz sönüm enerjisinin tüketilmesine yol açtığı ve kullanılan sönüm periyodu aralığının dar olduğu (Çözüm2-0.3T~1.0T) modelden elde edilen sonuçların daha büyük olduğu belirlenmiştir. Her iki çözüm sonunda elde edilen tüketilen viskoz sönüm enerjisi miktarları arasındaki fark %2~%8 mertebelerindedir. Taşıyıcı sistemde gözlemlenen bu davranışın nedeni, Çözüm2 modelinin diğer modele oranla deprem kuvvetlerine karşı daha rijit davranış sergilemesinden kaynaklanmaktadır. Bilindiği üzere, Rayleigh sönüm modelinde kullanılan (β_k) eğrisi rijitlik ile orantılı bir davranış (rijitlik azaldıkça başka bir deyişle plastik şekil değiştirmeler arttıkça (β_k) etkinliği azalır) göstermektedir (Şekil 5.38). Her iki çözüm sonunda elde edilen tüketilen plastik şekil değiştirme enerjisi miktarları incelendiğinde, sönüm periyodu aralığının daha dar olarak kullanıldığı (Çözüm2) modelden elde edilen tüketilen plastik şekil değiştirme enerjisi miktarlarının daha küçük olduğu dolayısıyla bahsi geçen modelin, deprem kuvvetlerine karşı daha rijit bir davranış sergilediği ve bu davranış neticesinde, tüketilen (β_k) sönüm enerjisinin Çözüm2 sonunda daha fazla olarak hesaplandığı belirlenmiştir.

6) Çözüm1 ve Çözüm2 sonunda elde edilen sonuçlar, tüketilen toplam enerji miktarı temel alınarak karşılaştırıldığında kullanılan farklı sönüm aralıklarının birbirinden farklı miktarda enerjinin tüketilmesine yol açtığı ancak tüketilen toplam enerji miktarlarının birbirlerine çok yakın olduğu (%2~%4) belirlenmiştir.

Taşıyıcı sistemi oluşturan her bir elemanın belirli bir enerji yutma kapasitesinin olduğu hatırlanacak olunursa, her iki çözüm sonunda elde edilen tüketilen toplam enerji miktarının birbirine yakın olmasının doğal bir sonuç olduğu ifade edilebilir.

- 7) Çözüm1 ve Çözüm2 sonunda elde edilen sonuçlar, tüketilen toplam enerji miktarının enerji tüketme mekanizması bazında dağılımları temel alınarak karşılaştırıldığında, analiz aşamalarında kullanılan farklı sönüm aralıklarının enerji tüketim mekanizması dağılımlarını (plastik şekil değiştirme, viskoz sönüm) birbirinden farklı oranda etkilediği, sönüm periyodu aralığının geniş (Çözüm1-0.2T-1.5T) olarak kullanıldığı modelden elde edilen tüketilen plastik şekil değiştirme enerjisi miktarlarının daha büyük olduğu buna karşın, sönüm periyodu aralığının daha dar (Çözüm2-0.3T-1.0T) olarak kullanıldığı modelden elde edilen tüketilen viskoz sönüm (β_k) enerjisi miktarlarının daha büyük olduğu belirlenmiştir. Her iki çözüm sonunda elde edilen farklı davranışın nedeni, taşıyıcı sistemin Madde 4 ve Madde 5'te açıklanan davranış ile ilişkilidir.
- 8) Çözüm1 ve Çözüm2 sonunda elde edilen sonuçlar tüketilen plastik şekil değiştirme enerjisi miktarının yapısal taşıyıcı elemanlar bazında dağılımları temel alınarak değerlendirildiğinde, analiz aşamalarında kullanılan farklı sönüm aralıklarının, tüketilen plastik şekil değiştirme enerjisinin yapısal taşıyıcı elemanlar bazında dağılımlarını etkilemediği ve her iki çözüm sonunda tüketilen toplam plastik şekil değiştirme enerjisi miktarının yaklaşık %95'lik bir kısmının bağ kirişleri tarafından plastik şekil değiştirme yapılarak karşılandığı belirlenmiştir.
- 9) Çözüm1 ve Çözüm2 sonunda elde edilen sonuçlar tüketilen viskoz sönüm (β_k) enerjisi miktarının yapısal taşıyıcı elemanlar bazında dağılımları temel alınarak değerlendirildiğinde, analiz aşamalarında kullanılan farklı sönüm aralıklarının, tüketilen viskoz sönüm (β_k) enerjisinin yapısal taşıyıcı elemanlar bazında dağılımlarını etkilemediği ve her iki çözüm sonunda tüketilen toplam viskoz sönüm (β_k) enerjisi miktarının önemli bir kısmının (~%50-%75) deprem perdeleri tarafından karşılandığı belirlenmiştir.

- 10) Çözüm1 ve Çözüm2 sonunda elde edilen sonuçlar perde dönme etki/kapasiteleri temel alınarak karşılaştırıldığında, analiz aşamalarında kullanılan farklı sönüm aralıklarının, birbirinden farklı perde dönmesi etki/kapasite oranlarına yol açtığı, kullanılan sönüm periyodu aralığının geniş olduğu (Çözüm1-0.2T~1.5T) modelden elde edilen perde dönmesi miktarlarının daha büyük olduğu belirlenmiştir. Her iki çözüm sonunda elde edilen perde dönmesi etki/kapasite oranları arasındaki fark %14~%24 mertebelerindedir. Ek olarak, her iki çözüm sonunda elde edilen perde dönmesi miktarlarının incelenmesiyle, perde dönmeleri için ASCE 41-06 yönetmeliğinde tanımlanan hemen kullanım sınır şartının sağlandığı belirlenmiştir.
- 11) Çözüm1 ve Çözüm2 sonunda elde edilen sonuçlar donatı şekil değiştirmesi etki/kapasite oranları temel alınarak karşılaştırıldığında, analiz aşamalarında kullanılan farklı sönüm aralıklarının, birbirinden farklı donatı şekil değiştirmesi etki/kapasite oranlarına yol açtığı, kullanılan sönüm periyodu aralığının geniş olduğu (Çözüm1-0.2T~1.5T) modelden elde edilen donatı şekil değiştirmesi etki/kapasite oranlarının daha büyük olduğu belirlenmiştir. Her iki çözüm sonunda elde edilen donatı şekil değiştirmesi etki/kapasite oranları arasındaki fark %10~%24 mertebelerindedir. Ek olarak, her iki çözüm sonunda elde edilen donatı şekil değiştirmesi miktarlarının incelenmesiyle, İYBDY-2008 Madde 4.2.2.2 (b)'de tanımlanan donatı şekil değiştirmesi sınır değerlerinin aşılmadığı belirlenmiştir.
- 12) Çözüm1 ve Çözüm2 sonunda elde edilen sonuçlar beton basınç şekil değiştirmesi etki/kapasite oranları temel alınarak karşılaştırıldığında, analiz aşamalarında kullanılan farklı sönüm aralıklarının, birbirinden farklı beton basınç şekil değiştirmesi etki/kapasite oranlarına yol açtığı, kullanılan sönüm periyodu aralığının geniş olduğu modelden (Çözüm1-0.2T~1.5T) elde edilen beton basınç şekil değiştirmesi etki/kapasite oranlarının daha büyük olduğu belirlenmiştir. Her iki çözüm sonunda elde edilen beton basınç şekil değiştirmesi etki/kapasite oranları arasındaki fark %3~%6 mertebelerindedir. Ek olarak, her iki çözüm sonunda elde edilen beton basınç şekil değiştirmesi miktarlarının incelenmesiyle, İYBDY-2008 Madde 4.2.2.2 (b)'de tanımlanan beton basınç şekil değiştirmesi sınır değerlerinin aşılmadığı belirlenmiştir.

13) Çözüm1 ve Çözüm2 sonunda elde edilen sonuçlar bağ kirişleri kayma şekil değiştirmesi etki/kapasite oranları temel alınarak karşılaştırıldığında, analiz aşamalarında kullanılan farklı sönüm aralıklarının, birbirinden farklı kayma şekil değiştirmesi etki/kapasite oranlarına yol açtığı, kullanılan sönüm periyodu aralığının geniş olduğu (Çözüm1-0.2T~1.5T) modelden elde edilen kayma şekil değiştirmesi etki/kapasite oranlarının daha büyük olduğu belirlenmiştir. Her iki çözüm sonunda elde edilen bağ kirişleri kayma şekil değiştirmesi etki/kapasite oranları arasındaki fark %6~%22 mertebelerindedir. Ek olarak, her iki çözüm sonunda elde edilen bağ kirişleri kayma şekil değiştirmesi miktarlarının incelenmesiyle, ASCE 41-06 yönetmeliğinde çapraz donatılmış bağ kirişleri için tanımlanan bağ kirişi kayma şekil değiştirmesi hemen kullanım sınırının (HK-IO-0.006) aşıldığı, kullanılan sönüm periyodu aralığının daha geniş olduğu Çözüm1 modelindeki bağ kirişleri performans seviyesinin can güvenliği (CG-LS) ile göçmenin önlenmesi (GÖ-CP) performans seviyeleri arasında olduğu, kullanılan sönüm periyodu aralığının daha dar olduğu Çözüm2 modelindeki bağ kirişleri performans seviyesinin ise can güvenliği (CG-LS) sınırının altında olduğu belirlenmiştir.

14) Çözüm1 ve Çözüm2 sonunda elde edilen sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde ,

- Doğrusal olmayan davranış nedeniyle taşıyıcı sistemde gözlemlenecek rijitlik azalması etkilerinin daha geniş bir ölçekte göz önüne alındığı sönüm modelinden (Çözüm1-0.2T~1.5T) elde edilen taban kesme kuvveti, tepe noktası yer değiştirmesi, göreceli kat ötelenmesi donatı, beton ve bağ kirişi şekil değiştirmesi miktarlarının daha büyük olduğu belirlenmiştir.
- Çekirdek perdeleri donatı ve beton basınç şekil değiştirmesi miktarlarının İYBDY-2008 D2 deprem seviyesi için tanımlanan kontrollü hasar/can güvenliği performans seviyesi sınır değerlerini aşmadığı belirlenmiştir.
- Kullanılan sönüm aralığı değişiminin taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan davranışını büyük oranda etkilediği belirlenmiştir.

- Bölüm 5.2.6’da tanımlanan yapısal taşıyıcı sistemden beklenen davranışın elde edildiği belirlenmiştir.

Gerçekleştirilen sayısal çalışmanın bir adım daha ileriye götürülmesi amacıyla sunulan öneriler şu şekilde sıralanabilir,

- 1) Yapısal taşıyıcı sistemin PERFORM-3D ortamında modellenmesi aşamasında yapılan en önemli kabul, betonarme çekirdeğin deprem kuvvetlerinin tamamını karşılayacak şekilde düşünülmesi ve bu bağlamda yapısal taşıyıcı sistem elemanlarından sadece betonarme çekirdeğin modellenmiş olmasıdır. Hesaplama aşamalarında yapılan bu kabulün, yapısal davranışa olan etkisinin irdelenmesi, doğruluk derecesinin belirlenmesi ve/veya diğer taşıyıcı elemanların yapısal davranışa olan katkılarının belirlenmesi amacıyla taşıyıcı sistemi oluşturan tüm elemanlar analiz programında modellenebilir, analiz sonuçları karşılaştırılabilir.
- 2) Podyum kat döşeme modellemesinin ve podyum kat döşemelerinde kullanılan etkin rijitlik değerlerinin, yapıya aktarılan kesme kuvveti miktarlarını nasıl etkilediği konusu bu çalışma kapsamında incelenmemiştir. Bu bağlamda, podyum kat döşemelerine sahip bir modelin, değişik etkin rijitlik değerleri kullanılarak çözümlenmesi ve analiz sonuçlarının karşılaştırılması, podyum kat etkilerinin yapısal davranışa olan katkılarının belirlenmesi ve değerlendirilmesi konularında oldukça faydalı bilgiler sağlayabilir. Bu amaç doğrultusunda kullanılacak etkin rijitlik değerlerinin seçimi için PEER/ATC-72-1 dokümanından yararlanılabilir.
- 3) Çapraz donatılmış bağ kirişlerinin doğrusal olmayan davranışları, PERFORM-3D *shear strain hinge-plastic strain type* elemanı ile temsil edilmiş, dolayısıyla, bağ kirişlerinde kesme kuvveti etkilerinin eğilme momenti etkilerine kıyasla daha baskın olduğu kabul edilmiştir. Aynı modelde, bağ kirişleri *shear strain hinge-displacement type* veya *moment hinge-rotation type* elemanları kullanılarak modellenip, analiz sonuçları karşılaştırılabilir.

KAYNAKLAR

- 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.
- ASCE/SEI 41-06**, 2006: Seismic Rehabilitation of Existing Buildings, *American Society of Civil Engineers*, Virginia
- ASCE/SEI 7-05**, 2006. Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, American Society of Civil Engineers, Virginia, USA
- ATC-40**, 1996. Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, *Applied Technology Council*. California.
- Aydınoglu, M.N.**, 2007. Deprem Katsayısından Performansa Göre Tasarıma: Bir Mühendisin Bakış Açısından Deprem Mühendisliğinin 40 Yılı, *Altıncı Uluslar arası Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul
- Bungale, S. T.**, 2005. Wind and Earthquake Resistant Buildings Strucutal Analysis and Design, Marcel Dekker, Newyork.
- Celep Z., Kumbasar N.**, 2004. Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta Dağıtım, İstanbul.
- Celep Z., Kumbasar N.**, 2004. Betonarme Yapılar Beta Dağıtım, İstanbul.
- Celep Z.**, 2008. Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış ve Çözümleme, *Beta Dağıtım*, İstanbul
- Chopra, A.K.**, 2000: Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering, Prentice Hall, New Jersey.
- Çakıroğlu, A.**, 1978. Yatay Yükleri Taşıyan Yapı Elemanları Ders Notları, İstanbul
- Çakıroğlu, A.**, 1997. Kesit Sünekliği ve Dönme Kapasitesi Seminer Notları, İzmir
- Çakıroğlu, A. ve Özer, E.**, 1980: Malzeme ve Geometri Değişimleri Bakımından Lineer Olmayan Sistemler, Cilt I, İ.T.Ü Kütüphanesi, İstanbul.
- DBYBHY**, 2007: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı*, Ankara.
- Erdik, M., Şeşetyan, K. Demircioğlu, M., Durukal, E.**, 2006: Ulaştırma Bakanlığı Demiryolları ve Hava Meydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü Kıyı Yapıları, Demiryolları ve Hava Meydanları İnşaatları Deprem Teknik Yönetmeliği için Deprem Tehlikesinin Belirlenmesi, Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, İstanbul.
- Ersoy, U., Özcebe, G.**, 2004: Betonarme, Evrim, Ankara
- Ersoy, U.**, 1995: Betonarme-Cilt-II, Evrim, Ankara

- Ersoy, U.**, 2005. Betonarme Yapıların Deprem Davranışı İle İlgili Bir İrdeleme, *Teknik Dergi*, Ankara.
- ETABS**, 2005. Extended Three Dimensional Analysis of Building Systems. *Computer and Structures Inc.*, Berkeley, California.
- Fahjan, Y.M.**, 2008. Türkiye Deprem Yönetmeliği (DBYBHY, 2007) Tasarım İvme Spektrumuna Uygun Gerçek Deprem Kayıtlarının Seçilmesi Ve Ölçeklenmesi, *İMO Teknik Dergi*, İstanbul.
- FEMA-273**, 1997: NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, *Federal Emergency Management Agency*, Washington.
- FEMA-440**, 2005: Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures, *Federal Emergency Management Agency*, Washington.
- Gerin, M., Adebar, P.**, 2004a. Accounting for Shear in Seismic Analysis of Concrete Structures, *Proceedings of the 13th World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, Canada.
- Gonzalez, E.**, 2001. Seismic Response of Diagonally Reinforced Slender Coupling Beams, The University of British Columbia Master Thesis, Canada.
- Hindi, R., Midhat, H.**, 2007. Simplified Trilinear Behaviour of Diagonally Reinforced Coupling Beams, *ACI Structural Journal*.
- İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği**, 2008. Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Boğaziçi Üniversitesi. İstanbul.
- Klink, B.S.A.**, 1993. Motion Based Design Methodology for Buildings. Master Thesis, Boston-USA.
- Kulu, S.**, 2009. Burulma Düzensizlikleri farklı betonarme binaların hasar bölgelerinin belirlenmesinde doğrusal olmayan yöntemlerin karşılaştırılması üzerine sayısal inceleme, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Mander, J.B., Priestley, M.J.N., Park, R.**, 1988. Theoretical Stress-Strain Confined Concrete, *Journal of Structural Division (ASCE)*, Vol. 114, pp.1804–1826.
- Modeling and Acceptance Criteria for Seismic Design and Analysis of Tall Buildings.**, 2010. *Applied Technology Council*
- Özer, E.**, 2009. Yapı Sistemlerinin Lineer Olmayan Analizi Ders Notları, <http://www.ins.itu.edu.tr/eözer>, İstanbul.
- Özgen A., Sev, A.**, 2000: Çok Katlı Yapılarda Taşıyıcı Sistemler, Birsan Yayınevi, İstanbul.
- Paulay, T., Priestley, M.J.N.**, 1992: Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonary Buildings, J Wiley, Newyork.
- PERFORM-3D**, 2006:Nonlinear Analysis and Performance Assessment of 3D Structures, *Computer and Structures Inc.* Berkeley, California
- Powell, G.**, 2006a. Perform-3D User Guide, Structures, Computers and Structures Inc., Berkeley- California

- Powell, G.,** 2006b. Perform-3D Components and Elements, Computers and Structures Inc., Berkeley- California
- Priestley, M.J.N , Calvi, G.M., Kowalsky, M.J.** 2007. Displacement Based Seismic Design of Structures, IUSS Press.
- Recommendations for the Seismic Design of High-rise Buildings,** 2008: A Consensus Document, *CTBUH Seismic Working Group*, Chicago.
- SEAOC Bluebook.,** 1999. Recommended Lateral Force Requirements and Commentary, Seismology Committee Structural Engineers Association of California, California.
- 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.
- White, T., Adebar, P.,** 2004. Estimating Rotational Demands in High Rise Concrete Wall Buildings, *13th World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, Canada.
- Wilson, E.,** 2000. Estimating Dynamic Analysis Using Response Spectrum Seismic Loading, *Sap 2000 Technical Notes*-Berkeley, California

EKLER

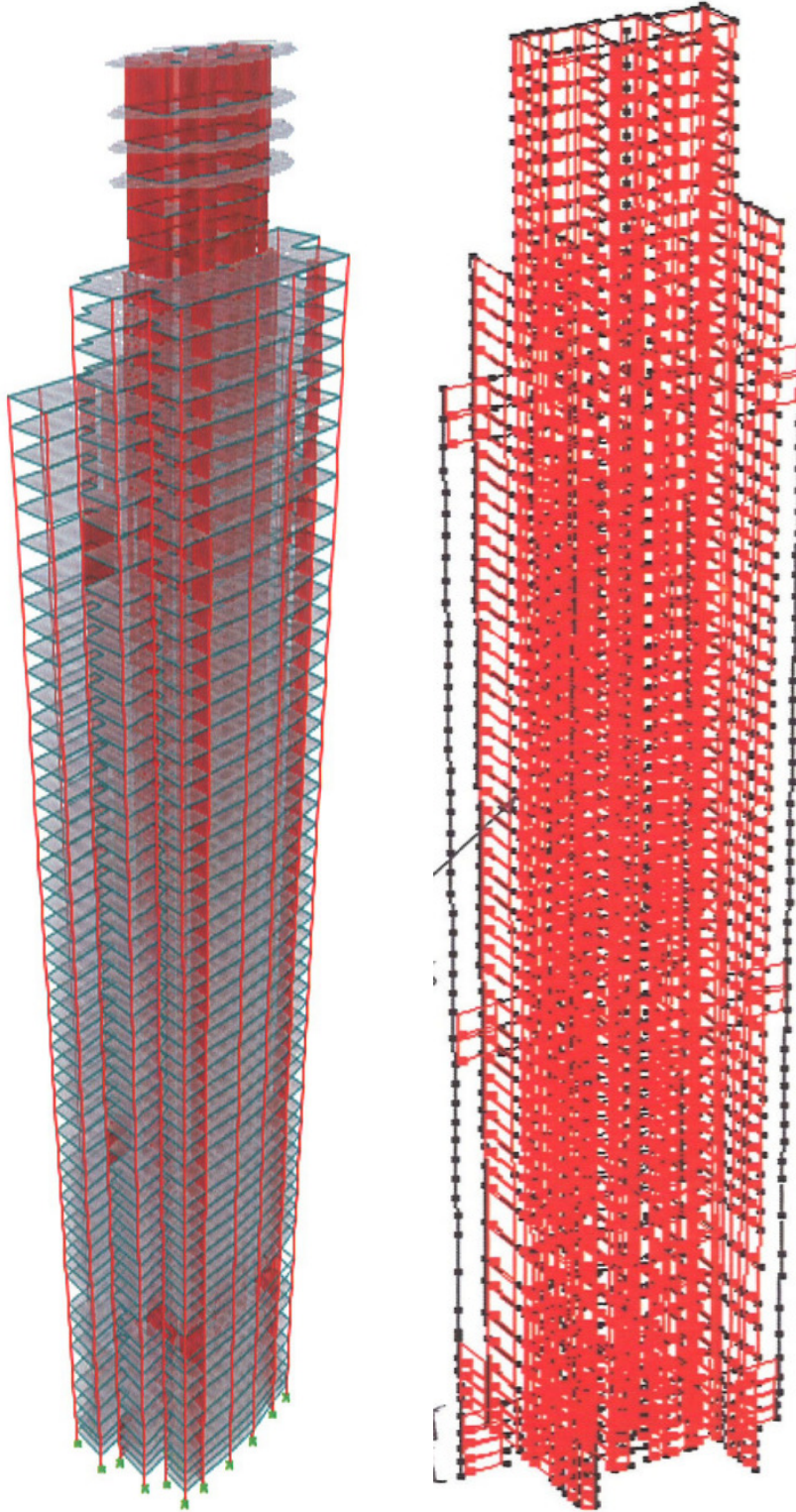
EK A Sayısal analiz modelleri

EK B Bağ kirişi kesit özellikleri

EK C Yük analizi

EK D Enerji Tüketim mekanizmaları detayları

EK E Etki/kapasite oranı değişim grafikleri



Şekil A.1 : Sayısal analiz modelleri

EK B

Çizelge B.1 : BK1 bağ kirişi kesit özellikleri

BK1	Beton Sınıfı	e	L (mm)	H (mm)	B (mm)	β	Ie/Ig	Vy (kN)	Vu (kN)	$\bar{\epsilon}_e$	$\bar{\epsilon}_y$	$\bar{\epsilon}_U$	$\bar{\epsilon}_L$
1200x900	C70	0.012		900	1200	15.35	0.3	5529	24739	0.005	0.013	0.036	0.294
1000x900		0.014		900	1000		0.3	4713	21043	0.006	0.014	0.037	0.294
800x1500		0.013		1500	800	24.8	0.2	7545	21179	0.015	0.021	0.036	0.197
800x900		0.013		900	800		0.3	3331	14858	0.007	0.015	0.038	0.294
700x900	C60	0.015	3200	900	700	15.35	0.3	3009	13403	0.008	0.016	0.039	0.294
600x900		0.010		900	600		0.3	1773	8331	0.007	0.015	0.038	0.294
500x1500		0.014		1500	500	24.8	0.2	4371	12537	0.024	0.030	0.045	0.197
500x900		0.010		900	500	15.35	0.3	1398	6523	0.008	0.016	0.039	0.294

Çizelge B.2 : BK2 bağ kirişi kesit özellikleri

BK2	Beton Sınıfı	e	L (mm)	H (mm)	B (mm)	β	Ie/Ig	Vy (kN)	Vu (kN)	$\bar{\epsilon}_e$	$\bar{\epsilon}_y$	$\bar{\epsilon}_U$	$\bar{\epsilon}_L$	1.02Vl
1400x900	C70	0.010		900	1400	20.5	0.3	8589	29107	0.01	0.01	0.030	0.229	0.233
1200x900		0.012		900	1200		0.3	7314	24739	0.01	0.01	0.031	0.229	0.233
1000x1500		0.011	2350	1500	1000	32.13	0.2	10907	24203	0.01	0.02	0.032	0.167	0.170
1000x900		0.014		900	1000	20.5	0.3	6236	21043	0.01	0.01	0.032	0.229	0.233
600x1500	C60	0.012		1500	600	26.6	0.2	4962	13029	0.02	0.02	0.039	0.187	0.191
600x1200		0.010		1200	600		0.2	3675	9668	0.01	0.02	0.034	0.187	0.191

Çizelge B.3 : BK3 bağ kirişi kesit özellikleri

BK3	Beton Sınıfı	e	L (mm)	H (mm)	B (mm)	β	Ie/Ig	Vy (kN)	Vu (kN)	$\bar{\epsilon}_e$	$\bar{\epsilon}_y$	$\bar{\epsilon}_U$	$\bar{\epsilon}_L$	1.02Vl
800x900	C70	0.013		900	800	20.5	0.3	4407	14858	0.03	0.04	0.054	0.229	0.233
800x1500		0.013		1500	800	32.13	0.2	9566	21179	0.04	0.05	0.060	0.167	0.170
600x900	C60	0.016	2350	900	600	20.5	0.3	3256	10942	0.04	0.05	0.066	0.229	0.233
500x1500		0.014		1500	500	32.13	0.2	5542	12237	0.07	0.07	0.085	0.167	0.170
500x900		0.014		900	500	20.5	0.3	2400	8062	0.04	0.05	0.069	0.229	0.233

Çizelge B.4 : BK3 bağ kirişi kesit özellikleri

BK4	Beton Sınıfı	e	L (mm)	H (mm)	B (mm)	β	Ie/Ig	Vy (kN)	Vu (kN)	$\bar{\epsilon}_e$	$\bar{\epsilon}_y$	$\bar{\epsilon}_U$	$\bar{\epsilon}_L$	1.02Vl
1200x1200	C70	0.011		1200	1200	28.2	0.2	11146	27899	0.02	0.03	0.044	0.180	0.184
1000x1200		0.013		1200	1000	28.2	0.2	9691	24203	0.03	0.04	0.050	0.180	0.184
800x1500		0.013	2200	1500	800	33.85	0.2	10019	21179	0.04	0.05	0.058	0.153	0.156
800x1200		0.012		1200	800	28.2	0.2	6585	16438	0.03	0.04	0.052	0.180	0.184
700x1200	C60	0.013		1200	700	28.2	0.2	6089	15178	0.04	0.04	0.059	0.180	0.184
600x1200		0.010		1200	600	28.2	0.2	3972	9898	0.04	0.04	0.057	0.180	0.184

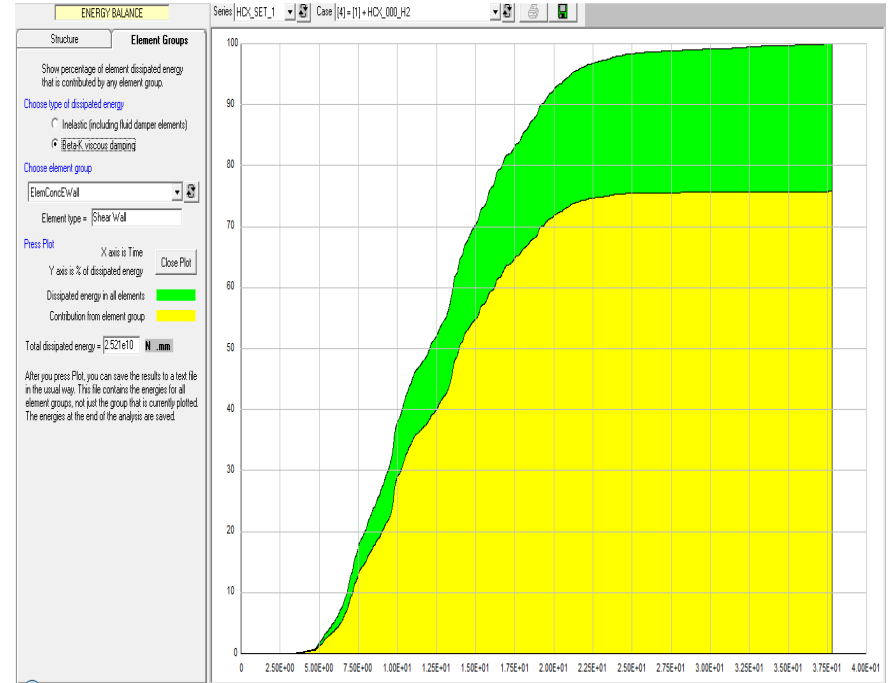
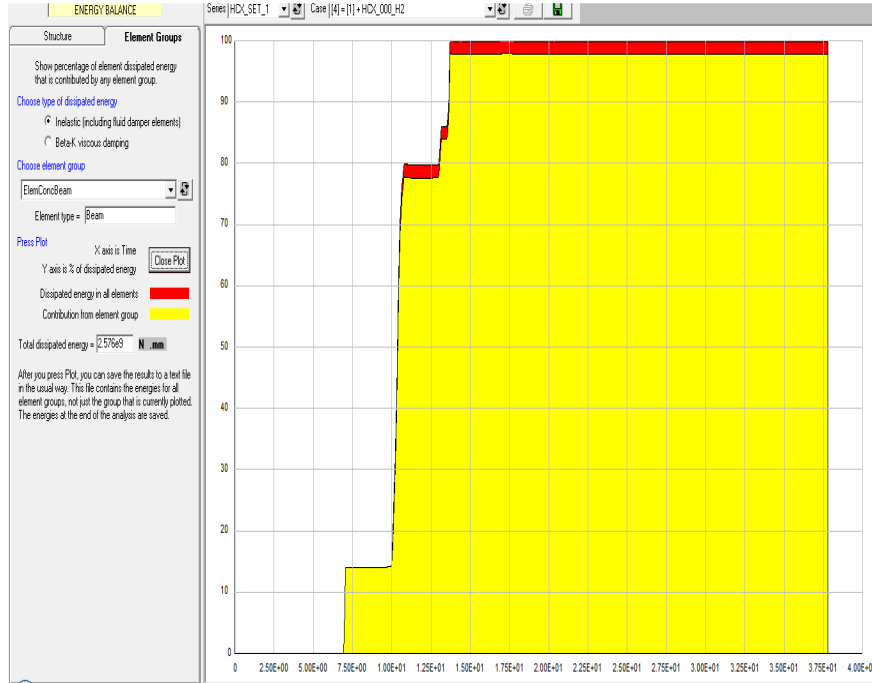
Çizelge C.1 : Yük analizi

ETABS YÜK ANALİZİ							
ZATİ YÜK				ÖLÜ YÜK			
Story	Load	Loc	P(kN)	Story	Load	Loc	P(kN)
L53R	SW	Bottom	10551	L53R	SDL	Bottom	2870
L52	SW	Bottom	19529	L52	SDL	Bottom	5079
L51	SW	Bottom	28506	L51	SDL	Bottom	7288
L50	SW	Bottom	37482	L50	SDL	Bottom	9497
L49.2	SW	Bottom	42974	L49.2	SDL	Bottom	10117
L49.1	SW	Bottom	48467	L49.1	SDL	Bottom	10737
L49	SW	Bottom	61947	L49	SDL	Bottom	14419
L48	SW	Bottom	73669	L48	SDL	Bottom	18101
L47	SW	Bottom	85391	L47	SDL	Bottom	21783
L46	SW	Bottom	97113	L46	SDL	Bottom	25465
L45	SW	Bottom	117785	L45	SDL	Bottom	32001
L44	SW	Bottom	135679	L44	SDL	Bottom	37820
L43	SW	Bottom	153572	L43	SDL	Bottom	43638
L42	SW	Bottom	171466	L42	SDL	Bottom	49458
L41	SW	Bottom	197420	L41	SDL	Bottom	55647
L40	SW	Bottom	223413	L40	SDL	Bottom	61836
L39	SW	Bottom	244103	L39	SDL	Bottom	67708
L38	SW	Bottom	264495	L38	SDL	Bottom	73580
L37	SW	Bottom	284886	L37	SDL	Bottom	79453
L36	SW	Bottom	305278	L36	SDL	Bottom	85326
L35	SW	Bottom	325669	L35	SDL	Bottom	91198
L34	SW	Bottom	346061	L34	SDL	Bottom	97071
L33	SW	Bottom	366453	L33	SDL	Bottom	102943
L32	SW	Bottom	386844	L32	SDL	Bottom	108816
L31	SW	Bottom	407236	L31	SDL	Bottom	114688
L30	SW	Bottom	429727	L30	SDL	Bottom	120561
L29	SW	Bottom	452298	L29	SDL	Bottom	126433
L28	SW	Bottom	474868	L28	SDL	Bottom	132305
L27	SW	Bottom	497439	L27	SDL	Bottom	138177
L26	SW	Bottom	520009	L26	SDL	Bottom	144049
L25	SW	Bottom	542580	L25	SDL	Bottom	149922
L24	SW	Bottom	565151	L24	SDL	Bottom	155794
L23	SW	Bottom	587721	L23	SDL	Bottom	161667
L22	SW	Bottom	610292	L22	SDL	Bottom	167539
L21	SW	Bottom	633925	L21	SDL	Bottom	173411
L20	SW	Bottom	657558	L20	SDL	Bottom	179284
L19	SW	Bottom	681191	L19	SDL	Bottom	185156
L18	SW	Bottom	704824	L18	SDL	Bottom	191029
L17	SW	Bottom	728456	L17	SDL	Bottom	196901
L16	SW	Bottom	752089	L16	SDL	Bottom	202774
L15	SW	Bottom	775722	L15	SDL	Bottom	208646
L14	SW	Bottom	799355	L14	SDL	Bottom	214519
L13	SW	Bottom	822988	L13	SDL	Bottom	220392
L12	SW	Bottom	855969	L12	SDL	Bottom	226115
L11	SW	Bottom	889176	L11	SDL	Bottom	232147
L10	SW	Bottom	916486	L10	SDL	Bottom	238180
L09	SW	Bottom	943497	L09	SDL	Bottom	244212
L08	SW	Bottom	970509	L08	SDL	Bottom	250244
L07	SW	Bottom	997520	L07	SDL	Bottom	256277
L06	SW	Bottom	1024532	L06	SDL	Bottom	262309
L05	SW	Bottom	1051544	L05	SDL	Bottom	268342
L04	SW	Bottom	1078555	L04	SDL	Bottom	274374
L03	SW	Bottom	1105567	L03	SDL	Bottom	280407
L02	SW	Bottom	1132578	L02	SDL	Bottom	286439
L01	SW	Bottom	1178087	L01	SDL	Bottom	292472
L00	SW	Bottom	1200874	L00	SDL	Bottom	296532
F9-P0D2	SW	Bottom	1229684	F9-P0D2	SDL	Bottom	300572
F8-P0D1	SW	Bottom	1262730	F8-P0D1	SDL	Bottom	307348
F7-GR	SW	Bottom	1305719	F7-GR	SDL	Bottom	314123
F6-B1	SW	Bottom	1343091	F6-B1	SDL	Bottom	320899
F5-B2	SW	Bottom	1383487	F5-B2	SDL	Bottom	326111
F4-B3	SW	Bottom	1422359	F4-B3	SDL	Bottom	331354
F3-B4	SW	Bottom	1454089	F3-B4	SDL	Bottom	336597
F2-B5	SW	Bottom	1485818	F2-B5	SDL	Bottom	341840
F1-B6	SW	Bottom	1517548	F1-B6	SDL	Bottom	347084

Çizelge C.2 : (devam) Yük analizi

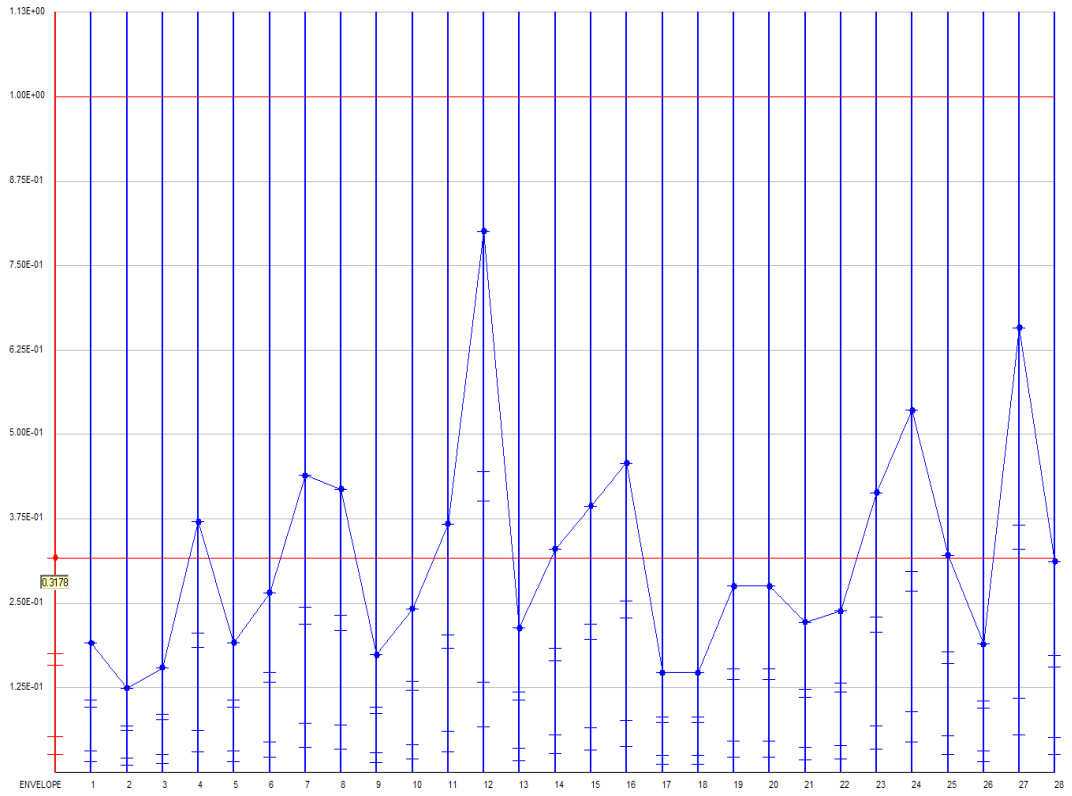
ETABS YÜK ANALİZİ							
ZATİ YÜK				ÖLÜ YÜK			
Story	Load	Loc	P(kN)	Story	Load	Loc	P(kN)
L53R	SW	Bottom	10551	L53R	SDL	Bottom	2870
L52	SW	Bottom	19529	L52	SDL	Bottom	5079
L51	SW	Bottom	28506	L51	SDL	Bottom	7288
L50	SW	Bottom	37482	L50	SDL	Bottom	9497
L49.2	SW	Bottom	42974	L49.2	SDL	Bottom	10117
L49.1	SW	Bottom	48467	L49.1	SDL	Bottom	10737
L49	SW	Bottom	61947	L49	SDL	Bottom	14419
L48	SW	Bottom	73669	L48	SDL	Bottom	18101
L47	SW	Bottom	85391	L47	SDL	Bottom	21783
L46	SW	Bottom	97113	L46	SDL	Bottom	25465
L45	SW	Bottom	117785	L45	SDL	Bottom	32001
L44	SW	Bottom	135679	L44	SDL	Bottom	37820
L43	SW	Bottom	153572	L43	SDL	Bottom	43638
L42	SW	Bottom	171466	L42	SDL	Bottom	49458
L41	SW	Bottom	197420	L41	SDL	Bottom	55647
L40	SW	Bottom	223413	L40	SDL	Bottom	61836
L39	SW	Bottom	244103	L39	SDL	Bottom	67708
L38	SW	Bottom	264495	L38	SDL	Bottom	73580
L37	SW	Bottom	284886	L37	SDL	Bottom	79453
L36	SW	Bottom	305278	L36	SDL	Bottom	85326
L35	SW	Bottom	325669	L35	SDL	Bottom	91198
L34	SW	Bottom	346061	L34	SDL	Bottom	97071
L33	SW	Bottom	366453	L33	SDL	Bottom	102943
L32	SW	Bottom	386844	L32	SDL	Bottom	108816
L31	SW	Bottom	407236	L31	SDL	Bottom	114688
L30	SW	Bottom	429727	L30	SDL	Bottom	120561
L29	SW	Bottom	452298	L29	SDL	Bottom	126433
L28	SW	Bottom	474868	L28	SDL	Bottom	132305
L27	SW	Bottom	497439	L27	SDL	Bottom	138177
L26	SW	Bottom	520009	L26	SDL	Bottom	144049
L25	SW	Bottom	542580	L25	SDL	Bottom	149922
L24	SW	Bottom	565151	L24	SDL	Bottom	155794
L23	SW	Bottom	587721	L23	SDL	Bottom	161667
L22	SW	Bottom	610292	L22	SDL	Bottom	167539
L21	SW	Bottom	633925	L21	SDL	Bottom	173411
L20	SW	Bottom	657558	L20	SDL	Bottom	179284
L19	SW	Bottom	681191	L19	SDL	Bottom	185156
L18	SW	Bottom	704824	L18	SDL	Bottom	191029
L17	SW	Bottom	728456	L17	SDL	Bottom	196901
L16	SW	Bottom	752089	L16	SDL	Bottom	202774
L15	SW	Bottom	775722	L15	SDL	Bottom	208646
L14	SW	Bottom	799355	L14	SDL	Bottom	214519
L13	SW	Bottom	822988	L13	SDL	Bottom	220392
L12	SW	Bottom	855969	L12	SDL	Bottom	226115
L11	SW	Bottom	889176	L11	SDL	Bottom	232147
L10	SW	Bottom	916486	L10	SDL	Bottom	238180
L09	SW	Bottom	943497	L09	SDL	Bottom	244212
L08	SW	Bottom	970509	L08	SDL	Bottom	250244
L07	SW	Bottom	997520	L07	SDL	Bottom	256277
L06	SW	Bottom	1024532	L06	SDL	Bottom	262309
L05	SW	Bottom	1051544	L05	SDL	Bottom	268342
L04	SW	Bottom	1078555	L04	SDL	Bottom	274374
L03	SW	Bottom	1105567	L03	SDL	Bottom	280407
L02	SW	Bottom	1132578	L02	SDL	Bottom	286439
L01	SW	Bottom	1178087	L01	SDL	Bottom	292472
L00	SW	Bottom	1200874	L00	SDL	Bottom	296532
F9-P0D2	SW	Bottom	1229684	F9-P0D2	SDL	Bottom	300572
F8-POD1	SW	Bottom	1262730	F8-POD1	SDL	Bottom	307348
F7-GR	SW	Bottom	1305719	F7-GR	SDL	Bottom	314123
F6-B1	SW	Bottom	1343091	F6-B1	SDL	Bottom	320899
F5-B2	SW	Bottom	1383487	F5-B2	SDL	Bottom	326111
F4-B3	SW	Bottom	1422359	F4-B3	SDL	Bottom	331354
F3-B4	SW	Bottom	1454089	F3-B4	SDL	Bottom	336597
F2-B5	SW	Bottom	1485818	F2-B5	SDL	Bottom	341840
F1-B6	SW	Bottom	1517548	F1-B6	SDL	Bottom	347084

EK D

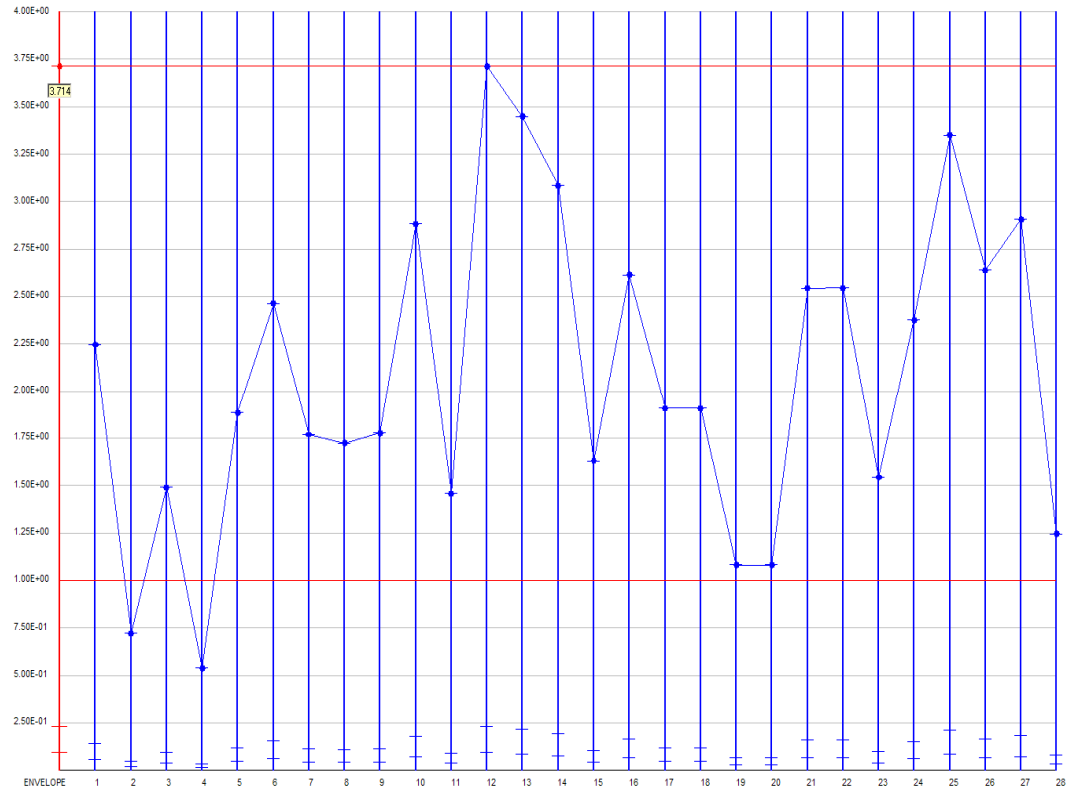


Şekil D.1 : Enerji tüketim mekanizması detayları

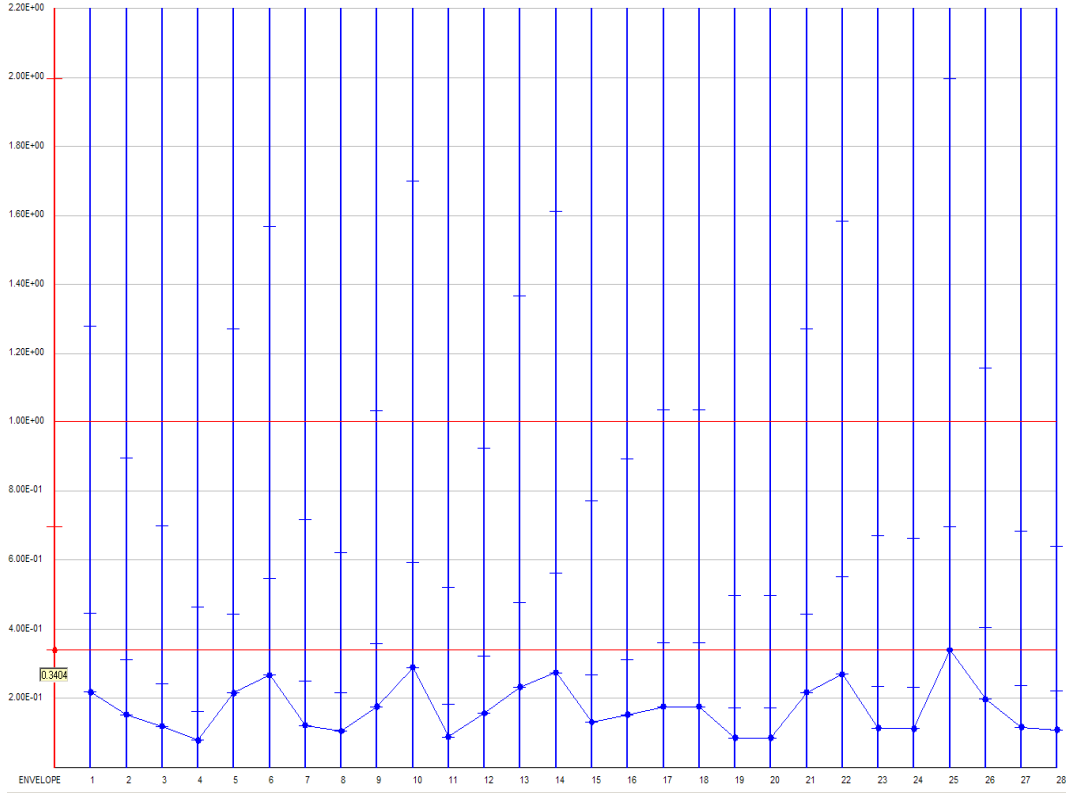
EK E



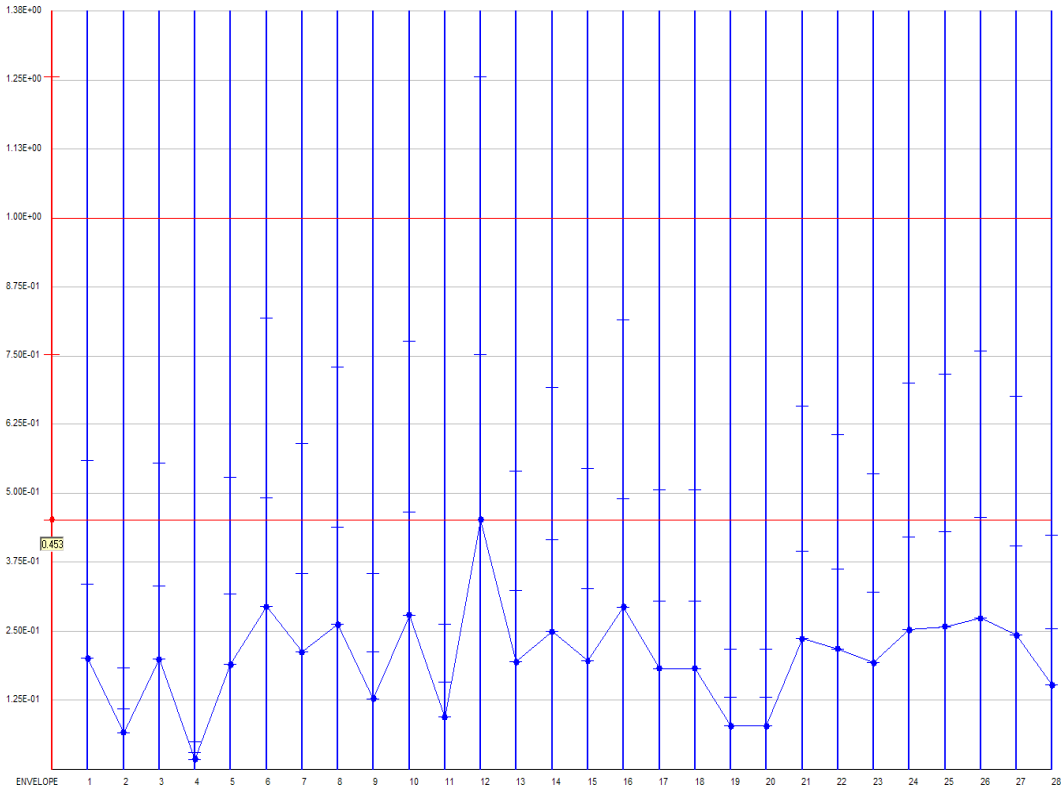
Şekil D.2 : Perde dönmesi etki/kapasite oranı değişimi



Şekil D.3 : Donatı şekil değiştirmesi etki/kapasite oranı değişimi



Şekil D.4 : Beton basınç şekil değiştirmesi etki/kapasite oranı değişimi



Şekil D.5 : Bağ kirişi kayma şekil değiştirmesi etki/kapasite oranı değişimi

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Barboros Gözütok

Doğum Yeri ve Tarihi: Eskişehir-1984

Adres: Spor Cad. Babaeferdi Sok. Ufuk Palas No: 3 Daire:1
Beşiktaş / İstanbul

Lisans Üniversite: İstanbul Teknik Üniversitesi