

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TÜRK VE AMERİKAN YÖNETMELİKLERİNE GÖRE
YÜKSEK BİR BİNADAKİ PERDELERİN DOĞRUSAL VE DOĞRUSAL
OLMAYAN TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Melih GÜVEN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2018

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TÜRK VE AMERİKAN YÖNETMELİKLERİNE GÖRE
YÜKSEK BİR BİNADAKİ PERDELERİN DOĞRUSAL VE DOĞRUSAL
OLMAYAN TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Melih GÜVEN
501141026**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Kutlu DARILMAZ

HAZİRAN 2018

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501141026 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Melih GÜVEN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “TÜRK VE AMERİKAN YÖNETMELİKLERİNE GÖRE YÜKSEK BİR BİNADAKİ PERDELERİN DOĞRUSAL VE DOĞRUSAL OLMAYAN TASARIMI” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Kutlu DARILMAZ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Konuralp GİRGİN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Güray ARSLAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **03 Mayıs 2018**
Savunma Tarihi : **06 Haziran 2018**



ÖNSÖZ

İ.T.Ü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Mühendisliği Yüksek Lisans Programı kapsamında bu tez çalışmasında yüksek bir betonarme yapının, Türk ve Amerikan yönetmeliklerine göre doğrusal ve doğrusal olmayan analiz ve tasarımları gerçekleştirilip, sonuçları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Bu tezin ortaya konmasında katkıları ve yol göstericiliği ile bana yardımcı olan karşılaştığım problemlerde çözümler üreten değerli hocam Sayın Prof. Dr. Kutlu DARILMAZ'a teşekkür ederim.

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

Mayıs 2018

Melih GÜVEN
(İnşaat Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	xiii
SEMBOLLER	xv
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xxi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xxiii
ÖZET.....	xxvii
SUMMARY	xxxi
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Konu	1
1.2 Tez Çalışmasının Kapsamı	2
2. DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞ VE PERFORMANS KAVRAMI	3
2.1 Doğrusal Olmayan Davranış	3
2.1.1 Malzeme bakımından doğrusal olmayan sistemler	3
2.1.1.1 Donatı çeliği gerilme-şekildeğiştirme diyagramı.....	4
2.1.1.2 Betonun gerilme-şekildeğiştirme diyagramı.....	5
2.1.2 Malzeme bakımından doğrusal olmayan sistemler	8
2.2 Plastik Mafsallık Kavramı	9
2.3 Performans Kavramı ve Zaman Tanım Alanında Hesap.....	11
3. YÖNETMELİKLERE GÖRE DOĞRUSAL TASARIM İLKELERİ.....	13
3.1 Türk Yönetmeliklerine Göre Doğrusal Tasarım	13
3.1.1 Deprem yer hareketi düzeyleri	13
3.1.2 Deprem yer hareketi spektrumlarının oluşturulması.....	13
3.1.2.1 Harita spektral ivmeleri ve yerel zemin etki katsayıları.....	13
3.1.2.2 Tasarım spektral ivme katsayıları ve elastik tasarım spektrumu	15
3.1.3 Deprem etkisi altında binalar için tasarım esasları	16
3.1.3.1 Bina kullanım sınıfları ve bina önem katsayıları	16
3.1.3.2 Deprem tasarım sınıfları ve bina yükseklik sınıfları	17
3.1.3.3 Bina performans düzeyleri, hedefleri ve tasarım yaklaşımını.....	18
3.1.3.4 Düzensiz binalar	19
3.1.4 Binaların dayanıma göre tasarımı için hesap esasları	21
3.1.4.1 Deprem yükü azaltma katsayısı ve taşıyıcı sistem davranış katsayısı.....	21
3.1.4.2 Taşıyıcı sistem davranış katsayısı ve dayanım fazlalığı katsayısı	21
3.1.4.3 Birbirine dik doğrultudaki deprem etkilerinin birleştirilmesi	23
3.1.4.4 Düşey deprem etkisi hesabı ve diğer etkilerle birleştirilmesi	23
3.1.4.5 Doğrusal hesap sistem modellemesinde uyulacak diğer kurallar	24
3.1.4.6 Doğrusal hesap yöntemleri ve hesap yönteminin seçilmesi.....	27
3.1.4.7 Görelî kat ötelemelerinin sınırlandırılması ve ikinci mertebe etkileri.....	29
3.1.5 Betonarme elemanların tasarım kuralları	30
3.1.5.1 Süneklik düzeyi yüksek kolonlar için tasarım esasları	31

3.1.5.2	Süneklik düzeyi yüksek kirişler için tasarım esasları.....	32
3.1.5.3	Süneklik düzeyi yüksek perdeler için tasarım kuralları	33
3.2	Amerikan Yönetmeliklerine Göre Doğrusal Tasarım	39
3.2.1	Bina risk kategorisi ve önem katsayılarının belirlenmesi	39
3.2.2	Deprem yer hareketi spektrumunun oluşturulması	40
3.2.2.1	Yerel zemin sınıfları ve zemin katsayıları.....	41
3.2.2.2	Tasarım spektral ivme katsayılarının belirlenmesi.....	41
3.2.3	Sismik dizayn kategorisinin belirlenmesi	42
3.2.4	Binaların sismik tasarımı için hesap esasları.....	44
3.2.4.1	Yapı sisteminin seçilmesi.....	44
3.2.4.2	Yapısal düzensizlikler ve fazlalık katsayısı	45
3.2.4.3	Yük birleşimleri.....	46
3.2.4.4	Doğrusal hesap yöntemleri ve hesap yönteminin seçilmesi.....	47
3.2.4.5	Görelî kat ötelemeleri ve ikinci mertbe etkilerinin kontrolü	49
3.2.4.6	Doğrusal hesap modellemesinde uyulacak diğer kurallar	51
3.2.5	Betonarme elemanların tasarım kuralları	52
3.2.5.1	Süneklik düzeyi yüksek kolonlar için tasarım esasları.....	53
3.2.5.2	Süneklik düzeyi yüksek kirişler için tasarım esasları.....	54
3.2.5.3	Süneklik düzeyi yüksek perdeler için tasarım kuralları	55
4.	YÖNETMELİKLERE GÖRE DOĞRUSAL OLMAYAN TASARIM İLKELERİ.....	63
4.1	Türk Yönetmeliklerine Göre Doğrusal Olmayan Tasarım	63
4.1.1	Doğrusal olmayan tasarım yaklaşımı	63
4.1.2	Performans hedefleri ve tasarım yaklaşımları	64
4.1.3	Deprem etkilerinin tanımlanması ve diğer etkilerle birleştirilmesi.....	64
4.1.4	Doğrusal olmayan davranış modelleri.....	65
4.1.4.1	Yığılı Plastik Davranış Modeli.....	65
4.1.4.2	Yayılı Plastik Davranış Modeli	65
4.1.5	Doğrusal olmayan hesap için modelleme kuralları	66
4.1.5.1	Genel kurallar	66
4.1.5.2	Betonarme elemanların etkin kesit rijitlikleri.....	67
4.1.6	Doğrusal olmayan hesap yönteminin seçimi.....	68
4.1.7	Şekildeğiştirmelerin değerlendirilmesi	70
4.1.7.1	Göçmenin önlenmesi performans düzeyi için sınır değerler.....	70
4.1.7.2	Kontrollü hasar performans düzeyi için sınır değerler.....	71
4.1.7.3	Sınırlı hasar performans düzeyi için sınır değerler	71
4.1.8	Yüksek bina taşıyıcı sistemleri için özel kurallar.....	71
4.1.9	Yüksek bina taşıyıcı sistem eleman davranış özellikleri.....	72
4.1.9.1	Doğrusal olmayan sünek elemanların davranış özellikleri	72
4.1.9.2	Doğrusal davranan elemanların davranış özellikleri	72
4.1.10	Yüksek bina tasarım aşamaları.....	73
4.1.10.1	Tasarım aşaması I.....	73
4.1.10.2	Tasarım aşaması II	73
4.1.10.3	Tasarım aşaması III	75
4.1.11	Tasarımın sonuçlandırılması	76
4.2	Amerikan Yönetmeliklerine Göre Doğrusal Olmayan Tasarım.....	77
4.2.1	Performans seviyeleri.....	77
4.2.2	Performans hedefleri	78
4.2.3	Spektrumların tanımlanması	79
4.2.4	Kritik ve kritik olmayan kesit tesirleri	79

4.2.5 Deprem etkilerinin diğer etkilerle birleştirilmesi.....	80
4.2.6 Etkin rijitlik değerleri.....	81
4.2.7 Beton ve donatı için gerilme-şekildeğiştirme bağıntıları.....	81
4.2.8 Hesap yönteminin seçilmesi.....	81
4.2.9 Yük-deplasman ilişkisinin modellenmesi.....	81
4.2.10 Plastik mafsallar için modelleme ve kabul parametreleri.....	83
4.2.11 Doğrusal olmayan tasarım için diğer kurallar.....	87
5. TASARLANACAK YAPIYA AİT GENEL BİLGİLER	89
5.1 Yapı Geometrisi	89
5.2 Deprem Tasarım Parametreleri	89
5.3 Sabit ve Hareketli Yükler	89
5.3.1 Sabit yükler	89
5.3.2 Hareketli yükler (TS 498)	92
5.3.3 Hareketli yükler (ASCE 07-10)	93
5.4 Malzeme Özellikleri (TS 500).....	93
5.5 Malzeme Özellikleri (ACI 318-14).....	93
6. DOĞRUSAL ANALİZLERİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ	95
6.1 Türk Yönetmeliklerine Göre Doğrusal Analiz ve Tasarım.....	95
6.1.1 Deprem tasarım spektrumunun belirlenmesi	95
6.1.2 Bina önem katsayısı, deprem tasarım sınıfı ve bina yükseklik sınıfı.....	95
6.1.3 Bina performans hedefi ve tasarım yaklaşımının belirlenmesi.....	96
6.1.4 Taşıyıcı sistem davranış katsayısı ve dayanım fazlalığı katsayısı	96
6.1.5 Deprem yükü azaltma katsayısı ve azaltılmış tasarım ivme spektrumu ...	97
6.1.6 Düşey deprem etkisi.....	98
6.1.7 Düzensizlikler ve görel kat ötelemelerinin kontrollü.....	99
6.1.7.1 Düzensizlik kontrolleri.....	99
6.1.7.2 Görel kat ötelemelerinin kontrolü.....	102
6.1.7.3 İkinci merteye etkileri kontrolü.....	103
6.1.8 Etkin kesit rijitlikleri	104
6.1.9 Doğrusal hesap yönteminin seçilmesi.....	106
6.1.10 Analizlerin gerçekleştirilmesi ve deprem yükü kontrolü.....	106
6.1.10.1 Modal analiz sonuçları	106
6.1.10.2 Kat ağırlıklarının belirlenmesi	107
6.1.10.3 Kat kesme kuvvetleri.....	107
6.1.10.4 Eşdeğer deprem yükü kontrolü	107
6.1.11 Bağ kirişlerin modellenmesi	108
6.1.12 Betonarme hesap	109
6.1.12.1 Kolon betonarme hesabı.....	109
6.1.12.2 Kiriş betonarme hesabı.....	112
6.1.12.3 Perde betonarme hesabı.....	114
6.2 Amerikan Yönetmeliklerine Göre Doğrusal Analiz ve Tasarım.....	122
6.2.1 Bina risk kategorisi ve önem katsayısının belirlenmesi.....	122
6.2.2 Deprem tasarım spektrumunun belirlenmesi	122
6.2.3 Sismik dizayn kategorisinin belirlenmesi	123
6.2.4 Yapısal sistemin seçilmesi	123
6.2.5 Düşey deprem etkisi.....	123
6.2.6 Düzensizlikler, fazlalık katsayısı ve kat ötelemelerinin kontrollü.....	124
6.2.6.1 Düzensizlik kontrolleri.....	124
6.2.6.2 Fazlalık katsayısı.....	126
6.2.6.3 Görel kat ötelemelerinin kontrolü.....	126

6.2.6.4 İkinci mertebe etkileri kontrolü.....	128
6.2.7 Doğrusal hesap yönteminin seçilmesi.....	129
6.2.8 Analizlerin gerçekleştirilmesi ve deprem yükü kontrolü.....	129
6.2.8.1 Modal analiz sonuçları.....	129
6.2.8.2 Kat ağırlıklarının belirlenmesi.....	130
6.2.8.3 Kat kesme kuvvetleri.....	130
6.2.8.4 Eşdeğer deprem yükü kontrolü.....	130
6.2.9 Betonarme hesap.....	133
6.2.9.1 Kolon betonarme hesabı.....	134
6.2.9.2 Kiriş betonarme hesabı.....	136
6.2.9.3 Perde betonarme hesabı.....	138
7. DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZLERİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ	149
7.1 Türk Yönetmeliklerine Göre Doğrusal Olmayan Analiz.....	149
7.1.1 Performans hedefleri ve sınır değerler.....	149
7.1.1.1 Performans hedefleri.....	149
7.1.1.2 Sınır değerlerin belirlenmesi.....	149
7.1.2 Malzeme özellikleri.....	153
7.1.2.1 Beklenen dayanımlar.....	153
7.1.2.2 Etkin rijitlik değerleri.....	154
7.1.2.3 Beton gerilme-şekildeğiştirme modelleri.....	154
7.1.2.4 Donatı çeliği gerilme-şekildeğiştirme modeli.....	155
7.1.3 Kesit tanımları.....	155
7.1.3.1 Kiriş plastik mafsalları.....	155
7.1.3.2 Kolon plastik mafsalları.....	157
7.1.3.3 Perde kesitlerinin tanımlanması.....	158
7.1.3.4 Bağ kiriş kesme mafsalı.....	158
7.1.4 Deprem kayıtlarının ölçeklendirilmesi.....	159
7.1.5 Doğrusal olmayan modelleme ile ilgili gözönüne alınan diğer hususlar.....	163
7.1.6 Analizlerin gerçekleştirilmesi.....	163
7.1.6.1 Modal analiz sonuçları.....	163
7.1.6.2 Görelî kat ötelemeleri kontrolü.....	163
7.1.6.3 Kiriş plastik dönmelerinin kontrolü.....	166
7.1.6.4 Kolon plastik dönmelerinin kontrolü.....	166
7.1.6.5 Perde kesme kapasitesi kontrolü.....	168
7.1.6.6 Perde birim şekildeğiştirme kontrolü.....	170
7.1.6.7 Bağ kiriş dönme değerleri kontrolü.....	171
7.2 Amerikan Yönetmeliklerine Göre Doğrusal Olmayan Analiz.....	172
7.2.1 Performans hedefleri.....	172
7.2.2 Hesaplamalarda kullanılacak malzeme özellikleri.....	173
7.2.3 Etkin rijitlik değerleri.....	173
7.2.4 Beton gerilme-şekildeğiştirme modelleri.....	173
7.2.5 Donatı çeliği gerilme-şekildeğiştirme modeli.....	174
7.2.6 Kesit tanımları.....	175
7.2.6.1 Kiriş plastik mafsalları.....	175
7.2.6.2 Kolon plastik mafsalları.....	175
7.2.6.3 Perde kesitlerinin tanımlanması.....	177
7.2.6.4 Bağ kiriş kesme mafsalı.....	178
7.2.7 Deprem kayıtlarının ölçeklendirilmesi.....	179
7.2.8 Doğrusal olmayan modelleme ile ilgili gözönüne alınan diğer hususlar.....	179
7.2.9 Analizlerin gerçekleştirilmesi.....	180

7.2.9.1 Modal analiz sonuçları	180
7.2.9.2 Göreli kat ötelemeleri kontrolü	180
7.2.9.3 Kiriş plastik dönmelerinin kontrolü	183
7.2.9.4 Kolon plastik dönmelerinin kontrolü	183
7.2.9.5 Kolon aksenal kuvvet kontrolü	185
7.2.9.6 Perde kesme kapasitesi kontrolü	185
7.2.9.7 Perde birim şekildeğiştirme kontrolü	185
7.2.9.8 Bağ kiriş dönme değerleri kontrolü.....	188
8. SONUÇLAR	189
8.1 Doğrusal Hesap Sonuçlarının Değerlendirilmesi	189
8.2 Doğrusal Olmayan Hesap Sonuçlarının Değerlendirilmesi	194
8.3 Öneriler.....	196
KAYNAKLAR	197
EKLER.....	199
ÖZGEÇMİŞ.....	225





KISALTMALAR

- ACI 318-14** : Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary, 2014
- ACI 363R-92** : Report on High-Strength Concrete, 2002
- AFAD** : Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
- ASCE 07-10** : Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, 2010
- ASCE 41-13** : Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings, 2013
- BKS** : Bina Kullanım Sınıfı
- BYS** : Bina Yükseklik Sınıfı
- DD-1** : 50 Yılda Aşılma Olasılığı %2 (Tekrarlanma Periyodu 2475 Yıl) Olan Deprem Yer Hareketi Düzeyi
- DD-2** : 50 Yılda Aşılma Olasılığı %10 (Tekrarlanma Periyodu 475 Yıl) Olan Deprem Yer Hareketi Düzeyi
- DD-3** : 50 Yılda Aşılma Olasılığı %50 (Tekrarlanma Periyodu 72 Yıl) Olan Deprem Yer Hareketi Düzeyi
- DD-4** : 50 Yılda Aşılma Olasılığı %68 (Tekrarlanma Periyodu 43 Yıl) Olan Deprem Yer Hareketi Düzeyi
- DGT** : Dayanıma Göre Tasarım
- DTS** : Deprem Tasarım Sınıfı
- EC2** : Eurocode 2: Design of Concrete Structures, 2004
- FEMA** : Federal Emergency Management Agency
- GÖ** : Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi
- KH** : Kontrollü Hasar Performans Düzeyi
- KK** : Kesintisiz Kullanım Performans Düzeyi
- LATBSDC** : Los Angeles Tall Buildings Structural Design Council
- MCE** : Gözönüne Alınan En Büyük Deprem
- PEER** : Pacific Earthquake Engineering Research Center
- SH** : Sınırlı Hasar Performans Düzeyi
- ŞGDT** : Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım
- TBDY 2018** : Türk Bina Deprem Yönetmeliği, 2018
- TS 498** : Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, 1997

TS 500 : Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, 2000
TS 708 : Çelik – Betonarme için Donatı Çeliği, 2016



SEMBOLLER

A_c	: Kolon veya perde uç bölgesinin brüt enkesit alanı
A_{ch}	: Boşluksuz perdenin, bağ kirişli perdede her bir perde parçasının, döşemenin veya boşluklu döşemede her bir döşeme parçasının brüt enkesit alanı
A_{ch}	: Etriyeler ile sarılmış kolon çekirdek bölgesi alanı (ACI 318-14)
A_{ck}	: Sargı donatısının dışından dışına alınan ölçü içinde kalan çekirdek beton alanı
A_{cv}	: Perde enkesit alanı (ACI 318-14)
A_e	: Herhangi bir katta, gözönüne alınan deprem doğrultusunda etkili kesme alanı
A_g	: Herhangi bir katta, gözönüne alınan deprem doğrultusuna paralel doğrultuda perde olarak çalışan taşıyıcı sistem elemanlarının enkesit alanlarının toplamı
a_i	: Yatayda bir etriye kolu veya çiroz tarafından mesnetlenen boyuna donatıların eksenleri arasındaki uzaklık
A_s	: Boyuna donatı alanı
A_{sh}	: Enine donatı alanı (dikdörtgen kesit)
A_v	: Kesme donatısı alanı (ACI 318-14)
A_{vd}	: Bağ kirişlerde gerekli çapraz donatı alanı (ASCE 07-10)
A_{vf}	: Sürtünme kesmesi donatısı alanı (ACI 318-14)
A_w	: Herhangi bir katta, kolon enkesiti etkin gövde alanlarının toplamı
A_t	: Ampirik doğal titreşim periyodu hesabında kullanılan eşdeğer alan
A_{sd}	: Bağ kirişinde çapraz donatı demetinin her birinin toplam alanı
A_x	: Burulma artırma katsayısı (ASCE 07-10)
b_0	: Göbek betonunu sargılayan etriyelerin eksenleri arasında kalan kesit boyutu
b_k	: Çekirdek boyutu (en dıştaki enine donatı eksenleri arasındaki uzaklık)
C_d	: Deplasman artırma katsayısı (ASCE 07-10)
C_t	: Ampirik doğal titreşim periyodu hesabında kullanılan katsayı
C_s	: Deprem yükü katsayısı (ASCE 07-10)
c	: Bağ kirişli perde parçalarının enkesit ağırlık merkezleri arasındaki uzaklık

c	: Tarafsız eksen derinliği (ASCE 07-10, ACI 318-14)
d	: Kiriş faydalı yüksekliği
D	: Dayanım fazlalığı katsayısı
D	: Ölü yük (ASCE 07-10)
D_{bi}	: i'inci katta ek dışmerkezlik büyütme katsayısı
d_b	: Boyuna donatı çapı
E	: Deprem etkisi
E_c	: Betonun elastisite modülü
E_d	: Doğrultu birleştirmesi uygulanmış tasarıma esas toplam deprem etkisi
E_d^(H)	: Doğrultu birleştirmesi uygulanmış tasarıma esas yatay deprem etkisi
E_d^(X)	: (X) doğrultusundaki depremin etkisi altında tasarıma esas deprem etkisi
E_d^(Y)	: (Y) doğrultusundaki depremin etkisi altında tasarıma esas deprem etkisi
E_d^(Z)	: (Z) doğrultusundaki depremin etkisi altında tasarıma esas deprem etkisi
E_s	: Donatı çeliğinin elastisite modülü
(EI)_e	: Yığılı plastik davranışa göre modellenen kolon, kiriş, bağ kiriş veya perdenin etkin kesit rijitliği
e	: %5'lik ek dışmerkezlik etkisi
F_a	: Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı (ASCE 07-10)
F_s	: Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı
F_x	: x'inci kattaki tasarım kat kesme kuvveti (ASCE 07-10)
F₁	: 1.0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayısı
F_v	: 1.0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayısı (ASCE 07-10)
f_c'	: Beton basınç dayanımı (ASCE 07-10, ACI 318-14)
f_c	: Sargılı betonda beton basınç gerilmesi
f_{cc}	: Sargılı beton dayanımı
f_{cd}	: Betonun tasarım basınç dayanımı
f_{ce}	: Betonun ortalama (beklenen) basınç dayanımı
f_{ck}	: Betonun karakteristik basınç dayanımı
f_{co}	: Sargısız betonun basınç dayanımı
f_{ctd}	: Betonun tasarım çekme dayanımı
f_e	: Etkili sargılama basıncı
f_r	: Betonun eğilmede çekme dayanımı
f_s	: Donatı çeliğinde gerilme

f_{su}	: Donatı çeliğinde kopma dayanımı
f_y	: Donatı çeliği akma dayanımı (ASCE 07-10, ACI 318-14)
f_{yd}	: Boyuna donatının tasarım akma dayanımı
f_{ye}	: Çeliğin ortalama (beklenen) akma dayanımı
f_{yk}	: Çeliğin karakteristik akma dayanımı
f_{ywd}	: Enine donatının tasarım akma dayanımı
f_{ywk}	: Enine donatının karakteristik akma dayanımı
f_{ywe}	: Enine donatının ortalama (beklenen) akma dayanımı
G	: Sabit yük etkisi
G	: Kayma modülü
g	: Yerçekimi ivmesi
H	: Yatay zemin etkisi
H_{cr}	: Perde kritik yüksekliği
H_N	: Bina toplam yüksekliği
H_w	: Perde yüksekliği
h	: Kolonun gözönüne alınan deprem doğrultusundaki enkesit boyutu
h_i	: Binanın i 'inci katının kat yüksekliği
h_k	: Kiriş yüksekliği
h_x	: Etriyeler ile desteklenmiş boyuna donatılar arasındaki mesafe (ACI 318-14)
h_0	: Göbek betonunu sargılayan etriyelerin eksenleri arasında kalan kesit boyutu
k_e	: Sargılama etkinlik katsayısı
I	: Bina önem katsayısı
I_{cr}	: Çatlamış kesit atalet momenti (ACI 318-14)
I_e	: Sismik önem katsayısı (ASCE 07-10)
I_e	: Etkin kesit atalet momenti (ACI 318-14)
l_w	: Perdenin plandaki boyu
L	: Hareketli yük (ASCE 07-10)
L_p	: Plastik mafsal boyu
L_s	: Kesme açıklığı
M_{DEV}	: Betonarme perdenin veya çaprazlı çerçevenin tabanında deprem yüklerinden meydana gelen devrilme momenti
M_0	: Binanın tümü için deprem yüklerinden tabanda meydana gelen toplam devrilme momenti
$M_0^{(X)}$: (X) deprem doğrultusunda binanın tümü için deprem yüklerinden tabanda meydana gelen toplam devrilme momenti

M_1, M_2	: Bağ kirişli perdeyi oluşturan perde parçalarında deprem etkisinden tabanda elde edilen eğilme momentleri
M_y	: Etkin akma momenti
m_i	: i'inci katın toplam kütlesi
m_t	: Binanın bodrum katlarının üstündeki üst bölümünün toplam kütlesi
N	: Binanın bodrum katlarının üstündeki üst bölümdeki toplam kat sayısı
N_V	: Deprem etkisinde bağ kirişli perdenin bağ kirişlerinde oluşan kesme kuvvetlerinin tüm perde yüksekliği boyunca toplamı olarak perde parçalarının tabanında oluşan birbirine eşit çekme ve basınç aksenal kuvvetleri
n	: Hareketli yük katılım katsayısı
P_n	: Eleman basınç dayanımı (ACI 318-14)
P_0	: Eksantirisite 0 alınarak hesaplanan basınç dayanımı (ACI 318-14)
R	: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
$R_a(T)$: Öngörülen süneklik kapasitesi ve periyoda bağlı deprem yükü azaltma Katsayısı
S	: Kar yükü etkisi
s	: Sargı donatısı aralığı
Q	: Hareketli yük etkisi
$S_{ae}(T)$: Yatay elastik tasarım spektral ivmesi
$S_{aR}(T)$: Azaltılmış tasarım spektral ivmesi
S_{DS}	: Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı
S_{D1}	: 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı
S_{MS}	: Zemin etkilerine uyarlanmış kısa periyot spektral ivme katsayısı (ASCE 07-10)
S_{M1}	: Zemin etkilerine uyarlanmış 1.0 saniye periyot için spektral ivme katsayısı (ASCE 07-10)
S_S	: Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı
S_1	: 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı
T	: Doğal titreşim periyodu
T_a	: Yaklaşık yapı periyodu (ASCE 07-10)
T_A	: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu
T_B	: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu
T_L	: Yatay elastik tasarım spektrumunda sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu
T_p	: Binanın hakim doğal titreşim periyodu
T_{pA}	: Ampirik olarak hesaplanan hakim doğal titreşim periyodu
$T_p^{(X)}$: (X) deprem doğrultusunda binanın hakim doğal titreşim periyodu

T_n	: n'inci noda ait doğal titreşim periyodu
$u_i^{(X)}$: (X) deprem doğrultusunda herhangi bir kolon veya perde için, i'inci kattaki azaltılmış yerdeğiştirme
V	: Toplam yatay deprem kuvveti (ASCE 07-10)
V_c	: Betonun kesme kuvveti dayanımına katkısı
V_d	: Yük katsayıları ile çarpılmış düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan kesme kuvveti
V_{dy}	: Kirişin herhangi bir kesitinde yük katsayıları ile çarpılmamış düşey yüklerden meydana gelen basit kiriş kesme kuvveti
V_e	: Kolon, kiriş, birleşim bölgesi ve perdede enine donatı hesabında esas alınan kesme kuvveti
V_r	: Kolon, kiriş veya perde kesitinin kesme kuvveti dayanımı
$V_i^{(X)}$: (X) deprem doğrultusunda i'inci kattaki azaltılmış kat kesme kuvveti
$V_{tE}^{(X)}$: (X) deprem doğrultusunda binanın tümüne etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü
$V_{tx}^{(X)}$: Modal hesap yöntemlerinden biri ile x doğrultusunda elde edilen en büyük toplam deprem yükü
W_x	: x'inci katta ölü yüklerden oluşan toplam yük (ASCE 07-10)
$(V_s)_{30}$: Üst 30 metredeki kayma dalgası hızı
$(\Delta_i^{(X)})_{ort}$: Binanın i'inci katındaki ortalama azaltılmış görel kat ötelemesi
$(\Delta_i^{(X)})_{max}$: Binanın i'inci katındaki maksimum azaltılmış görel kat ötelemesi
α_{se}	: Sargı donatısı etkinlik katsayısı
$\epsilon_c^{(GÖ)}$: Göçmenin önlenmesi performans düzeyi için izin verilen sargılı beton birim kısalması sınırı
$\epsilon_c^{(KH)}$: Kontrollü hasar performans düzeyi için izin verilen sargılı beton birim kısalması sınırı
$\epsilon_c^{(SH)}$: Sınırlı hasar performans düzeyi için izin verilen sargılı beton birim kısalması sınırı
$\epsilon_s^{(GÖ)}$: Göçmenin önlenmesi performans düzeyi için izin verilen donatı çeliği şekildeğiştirmesi sınırı
$\epsilon_s^{(KH)}$: Kontrollü hasar performans düzeyi için izin verilen donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi sınırı
$\epsilon_s^{(SH)}$: Sınırlı hasar performans düzeyi için izin verilen donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi sınırı
ϵ_{su}	: Maksimum dayanıma karşı gelen donatı birim uzaması
$\beta_{tE}^{(X)}$: Eşdeğer taban kesme kuvveti büyütme katsayısı
$\delta_i^{(X)}$: (X) deprem doğrultusu için, binanın i'inci katındaki kolon veya perdeler için etkin görel kat ötelemesi

$\delta_{i,max}^{(X)}$: (X) deprem doğrultusu için, binanın i'inci katındaki etkin görelî kat ötelemelerinin kat içindeki en büyük değeri
η_{bi}	: i'inci katta tanımlanan burulma düzensizliği katsayısı
η_{ci}	: i'inci katta tanımlanan dayanım düzensizliği katsayısı
η_{ki}	: i'inci katta tanımlanan rijitlik düzensizliği katsayısı
γ	: Bağ kirişinde kullanılan çapraz donatı demetinin yatayla yaptığı açısı
γ_E	: Eşdeğer taban kesme kuvveti büyütme katsayısının belirlenmesinde kullanılan ampirik katsayı
θ_y	: Akma eğriliği
θ_u	: Göçme öncesi eğrilik
ω_{we}	: Etkin sargı donatısının mekanik donatı oranı
μ	: Kesme sürtünmesi katsayısı
ρ	: Fazlalık katsayısı (ASCE 07-10)
ρ_s	: Toplam enine donatının hacimsel oranı
ρ	: Dayanım azaltma katsayısı (ACI 318-14)
ρ_{sh}	: Gözönüne alınan doğrultuda enine donatının hacimsel oranı
$\rho_{sh,min}$: İki yatay doğrultuda hacimsel enine donatı oranının küçük olanı
λ	: Görelî kat ötelemelerinin sınırlandırılmasında kullanılan ampirik katsayı
λ	: Hafif beton için düzeltme katsayısı (ACI 318-14)
κ	: İzin verilen görelî kat ötelemelerinin tanımında betonarme ve çelik taşıyıcı sistemler için farklı olarak kullanılan katsayı
Ω	: Bağ kirişli perdede bağ derecesi katsayısı
Ω_0	: Dayanım fazlalığı katsayısı (ASCE 07-10)
θ_y	: Akma durumu için yerdeğiştirmiş eksen dönmesi
$\theta_p^{(KH)}$: Kontrollü Hasar performans düzeyi için izin verilen plastik dönme sınırı
$\theta_p^{(GÖ)}$: Göçmenin Önlenmesi performans düzeyi için izin verilen plastik dönme sınırı
$\theta_p^{(SH)}$: Sınırlı Hasar performans düzeyi için izin verilen plastik dönme sınırı
$\theta_{II,i}^{(X)}$: (X) deprem doğrultusunda her bir i'inci kat için tanımlanan ikinci mertebe gösterge değeri

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Donatı çeliğine ait bilgiler [1].	5
Çizelge 3.1 : TBDY'ye göre deprem yer hareketi düzeyleri.	13
Çizelge 3.2 : Yerel zemin sınıfları.	14
Çizelge 3.3 : Yerel zemin etki katsayısı F_S .	14
Çizelge 3.4 : Yerel zemin etki katsayısı F_1 .	14
Çizelge 3.5 : Bina kullanım sınıfları ve bina önem katsayıları.	17
Çizelge 3.6 : Deprem tasarım sınıfının belirlenmesi.	17
Çizelge 3.7 : Bina yükseklik sınıfının belirlenmesi.	18
Çizelge 3.8 : Yüksek binalar için performans hedefleri ve tasarım yaklaşımı.	19
Çizelge 3.9 : TBDY'ye göre düzensiz binalar.	20
Çizelge 3.10 : Süneklik düzeyi yüksek betonarme sistemler için katsayılar.	23
Çizelge 3.11 : Betonarme taşıyıcı elemanların etkin kesit rijitlikleri.	25
Çizelge 3.12 : Hareketli yük katılım katsayısı.	25
Çizelge 3.13 : TS 498'e göre hareketli yük değerleri.	26
Çizelge 3.14 : Donatı çelikleri mekanik özellikleri.	27
Çizelge 3.15 : Beton sınıfları ve mekanik özellikleri.	27
Çizelge 3.16 : ASCE 07-10'a göre bina risk kategorileri.	40
Çizelge 3.17 : ASCE 07-10'a göre bina önem katsayıları.	40
Çizelge 3.18 : Yerel zemin sınıfları.	41
Çizelge 3.19 : Kısa periyot zemin katsayısı.	41
Çizelge 3.20 : 1 Saniye periyot zemin katsayısı.	41
Çizelge 3.21 : S_{DS} tabanlı bina risk kategorileri.	43
Çizelge 3.22 : S_1 tabanlı bina risk kategorileri.	43
Çizelge 3.23 : Yapısal sistemler için katsayılar.	44
Çizelge 3.24 : Yapılar için izin verilen analiz yöntemleri.	47
Çizelge 3.25 : Göreli kat ötelemeleri için sınır değerler.	50
Çizelge 3.26 : Düzgün yayılı hareketli yük değerleri.	51
Çizelge 3.27 : Etkin kesit rijitlikleri.	51
Çizelge 3.28 : Kesit tesir türüne göre ϕ değerleri.	52
Çizelge 3.29 : Moment ve aksenal kuvvet için ϕ değerleri (etriyeli elemanlar).	53
Çizelge 3.30 : Minimum giriş derinlikleri.	54
Çizelge 3.31 : Perde veya kolon olarak tasarlanma koşulları.	55
Çizelge 3.32 : Minimum perde kalınlıkları.	56
Çizelge 3.33 : Minimum perde donatı oranları.	56
Çizelge 3.34 : Sürtünme katsayısı değerleri.	61
Çizelge 3.35 : Sürtünme katsayısı değerleri.	61
Çizelge 4.1 : Yüksek binalar için performans hedefleri ve tasarım yaklaşımları.	64
Çizelge 4.2 : Malzeme beklenen dayanımları.	67
Çizelge 4.3 : II. Aşama için etkin kesit rijitlikleri.	74
Çizelge 4.4 : Bina performans hedefleri.	78
Çizelge 4.5 : Kritik ve kritik olmayan kesit tesirleri.	80
Çizelge 4.6 : Etkin rijitlik değerleri.	81

Çizelge 4.7 : Hesap yöntemi seçimi ve diğer kurallar.	81
Çizelge 4.8 : ASCE 41-13’de kirişler için verilen örnek bir tablo.	83
Çizelge 4.9 : Durumların belirlenmesi.	84
Çizelge 4.10 : ASCE 41-13’de kolonlar için verilen örnek bir tablo.	85
Çizelge 4.11 : ASCE 41-13’de bağ kirişler için verilen tablo.	86
Çizelge 6.1 : A1 Burulma düzensizliği kontrolü.	99
Çizelge 6.2 : B2-Düzensizliği Kontrolü X Doğrultusu.	101
Çizelge 6.3 : B2-Düzensizliği Kontrolü Y Doğrultusu.	101
Çizelge 6.4 : X Doğrultusunda görelî kat ötelemeleri kontrolü.	102
Çizelge 6.5 : Y Doğrultusunda görelî kat ötelemeleri kontrolü.	103
Çizelge 6.6 : X Doğrultusunda ikinci mertebeye etkileri kontrolü.	103
Çizelge 6.7 : Y Doğrultusunda ikinci mertebeye etkileri kontrolü.	104
Çizelge 6.8 : Kütle katılım oranları tablosu.	106
Çizelge 6.9 : Kat kütleleri tablosu.	107
Çizelge 6.10 : Kat kesme kuvvetleri tablosu.	108
Çizelge 6.11 : +4.00 Kotu kolon aksel kuvvet kontrolü.	110
Çizelge 6.12 : +4.00 Kotu kolon boyuna donatıları.	110
Çizelge 6.13 : +48.00 Kotu kolon boyuna donatıları.	110
Çizelge 6.14 : +4.00 Kotu kolon enine donatıları.	111
Çizelge 6.15 : +28.00 Kotu kiriş enine donatıları.	113
Çizelge 6.16 : +4.00 Kotu perde aksel kuvvet kontrolü.	114
Çizelge 6.17 : P03 Perdesi boyuna ve uç bölgesi enine donatıları.	117
Çizelge 6.18 : P01 Perdesi kesme donatısı hesabı.	119
Çizelge 6.19 : Perde donatı özeti.	121
Çizelge 6.20 : Burulma düzensizliği kontrolü.	124
Çizelge 6.21 : Fazlalık katsayısı kontrolü.	126
Çizelge 6.22 : X Doğrultusunda görelî kat ötelemeleri kontrolü.	127
Çizelge 6.23 : Y Doğrultusunda görelî kat ötelemeleri kontrolü.	127
Çizelge 6.24 : X Doğrultusunda ikinci mertebeye etkileri kontrolü.	128
Çizelge 6.25 : Y Doğrultusunda ikinci mertebeye etkileri kontrolü.	128
Çizelge 6.26 : Kütle katılım oranları tablosu.	129
Çizelge 6.27 : Kat kütleleri tablosu.	130
Çizelge 6.28 : Kat kesme kuvvetleri tablosu.	131
Çizelge 6.29 : X Doğrultusundaki perdeler (ft).	131
Çizelge 6.30 : Y Doğrultusundaki perdeler (ft).	132
Çizelge 6.31 : +4.00 Kotu kolon aksel kuvvet kontrolü (kN-m).	134
Çizelge 6.32 : +4.00 Kotu kolon enine donatıları (kN-m).	135
Çizelge 6.33 : +28.00 Kotu kiriş enine donatıları (kN-m).	137
Çizelge 6.34 : +4.00 Kotu perde aksel kuvvet kontrolü.	138
Çizelge 6.35 : P01 Perdesi kesme donatısı hesabı.	139
Çizelge 6.36 : Perde donatı özeti.	147
Çizelge 7.1 : P01 Perdesi +0.00~+16.00 kotları arası fiber bilgileri (m ²).	158
Çizelge 7.2 : Seçilen deprem kayıtları ve özellikleri.	160
Çizelge 7.3 : Ölçek katsayıları.	161
Çizelge 7.4 : Kütle katılım oranları tablosu.	164
Çizelge 7.5 : Kütle katılım oranları tablosu.	181
Çizelge 7.6 : Kolon aksel kuvvet kontrolü.	185
Çizelge 8.1 : Donatı ağırlıklarının karşılaştırılması (kN).	192
Çizelge 8.2 : Doğrusal hesap sonuçlarının karşılaştırılması.	193
Çizelge 8.3 : Doğrusal olmayan hesap sonuçlarının karşılaştırılması.	195

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Şematik yük-şekildeğiştirme diyagramı [8].	3
Şekil 2.2 : Malzeme idealleştirmeleri [8].	4
Şekil 2.3 : Donatı çeliği gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi [8].	5
Şekil 2.4 : Donatı çeliği gerilme-şekildeğiştirme idealleştirilmiş ilişki [1].	5
Şekil 2.5 : Beton gerilme-şekildeğiştirme diyagramı [8].	6
Şekil 2.6 : Değişik dayanıma sahip betonların şekildeğiştirme eğrileri [9].	6
Şekil 2.7 : Yanal basınç etkisindeki betonun şekildeğiştirme eğrisi [9].	7
Şekil 2.8 : Etriyelerin beton üzerindeki sarılma etkisi [9].	7
Şekil 2.9 : Sargılı ve sargısız beton gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi.	8
Şekil 2.10 : Birinci ve ikinci merteye etkilerinin karşılaştırılması.	8
Şekil 2.11 : Kiriş boyunca plastik eğrilik değişimi [13].	9
Şekil 2.12 : Eğilme momenti – eğrilik diyagramı [7].	10
Şekil 2.13 : Plastik mafsal kabulü [7].	11
Şekil 2.14 : İdealleştirilmiş moment – eğrilik diyagramı [7].	11
Şekil 3.1 : Tasarım spektral ivme – periyot grafiği.	16
Şekil 3.2 : Perde donatı düzeni hakkında genel kurallar.	35
Şekil 3.3 : Tasarım eğilme momenti hesabı.	36
Şekil 3.4 : Tasarıma esas kesme kuvveti hesabı.	37
Şekil 3.5 : Bağ kiriş donatı düzeni.	39
Şekil 3.6 : Tasarım spektral ivme – periyot grafiği.	43
Şekil 3.7 : Çapraz donatıları sarılı bağ kiriş donatı düzeni.	60
Şekil 3.8 : Çapraz donatıları sarılı olmayan bağ kiriş donatı düzeni.	61
Şekil 4.1 : Perdelerde lif modelleme.	66
Şekil 4.2 : FEMA 750 bina performans hedefleri.	79
Şekil 4.3 : Deplasman tipi davranış modeli.	82
Şekil 4.4 : Deplasman oranı tipi davranış modeli.	82
Şekil 4.5 : Bağ kirişler için dönme tanımı.	86
Şekil 5.1 : $\pm 0.00 \sim +44.00$ Kotları arası kesit boyutları.	90
Şekil 5.2 : $+44.00 \sim +84.00$ Kotları arası kesit boyutları.	91
Şekil 5.3 : Deprem tasarım parametreleri.	92
Şekil 6.1 : DD-2 Deprem düzeyi tasarım spektrumu.	96
Şekil 6.2 : X Doğrultusunda yapı tabanında meydana gelen devrilme momenti.	97
Şekil 6.3 : Deprem yükü azaltma katsayısı.	98
Şekil 6.4 : Azaltılmış tasarım ivme spektrumu.	98
Şekil 6.5 : Perdelerde etkin rijitliklerin tanımlanması.	104
Şekil 6.6 : Döşemelerde etkin rijitliklerin tanımlanması.	105
Şekil 6.7 : Kolonlarda etkin rijitliklerin tanımlanması.	105
Şekil 6.8 : Kirişlerde etkin rijitliklerin tanımlanması.	105
Şekil 6.9 : Bağ kirişlerin geometrisi.	109
Şekil 6.10 : $+4.00$ Kotu eğilme donatısı istemleri (cm^2).	112
Şekil 6.11 : P03 Perdesi tasarım eğilme momentlerinin belirlenmesi.	115

Şekil 6.12 : P03 Perdesi karşılıklı etki diyagramı.....	116
Şekil 6.13 : P01 Perdesi tasarım kesme kuvvetlerinin belirlenmesi.	118
Şekil 6.14 : ASCE07-10 Tasarım spektrumu.....	123
Şekil 6.15 : +4.00 Kotu eğilme donatısı istemleri (cm ²).	136
Şekil 6.16 : P01 Perdesi 0.00~+20.00 kotları arası gerilme diyagramı (kN/m ²).	141
Şekil 6.17 : P09 Perdesi 0.00~+20.00 kotları arası gerilme diyagramı (kN/m ²).	142
Şekil 6.18 : P01 Perdesi 0.00~+20.00 kotları arası karşılıklı etki diyagramı.	143
Şekil 7.1 : Tipik kiriş kesiti için moment-eğrilik diyagramı.....	150
Şekil 7.2 : ±0.00~+44.00 Kotları kolon kesiti için moment-eğrilik diyagramı.	151
Şekil 7.3 : +44.00~+84.00 Kotları kolon kesiti için moment-eğrilik diyagramı.	152
Şekil 7.4 : Kritik kat-perde uç bölgeleri için sargılı beton modeli.	155
Şekil 7.5 : Kritik kat üstü-perde uç bölgeleri için sargılı beton modeli.	155
Şekil 7.6 : Sargısız beton modeli.	156
Şekil 7.7 : Donatı çeliği gerilme-şekildeğiştirme bağıntısı.....	156
Şekil 7.8 : Tipik 60/60'lık kiriş moment-eğrilik diyagramı.....	156
Şekil 7.9 : C4 Kolonu moment-eğrilik diyagramı.	157
Şekil 7.10 : C4 Kolonu karşılıklı etki diyagramı.	157
Şekil 7.11 : Kesme mafsalı V-Δ grafiği.....	159
Şekil 7.12 : Peer deprem kaydı arama sayfası.	160
Şekil 7.13 : Hedef spektrumunun oluşturulması.....	160
Şekil 7.14 : Hedef spektrumu ve ölçeklendirilmemiş deprem kayıtları.	161
Şekil 7.15 : Hedef spektrumu ve ölçeklendirilmiş deprem kayıtları.	162
Şekil 7.16 : Hedef spektrumu ve ortalama spektrum.....	162
Şekil 7.17 : X Doğrultusunda etkin görelî kat ötelemesi kontrolü.	165
Şekil 7.18 : Y Doğrultusunda etkin görelî kat ötelemesi kontrolü.	165
Şekil 7.19 : B14 kirişi uç plastik dönmeleri.....	166
Şekil 7.20 : C4 kolonu 2 eksenî uç plastik dönmeleri.	167
Şekil 7.21 : C4 kolonu 3 eksenî uç plastik dönmeleri.	167
Şekil 7.22 : P07 perdesi kesme kapasitesi kontrolü.....	168
Şekil 7.23 : P12 perdesi kesme kapasitesi kontrolü.....	169
Şekil 7.24 : P12 perdesi revize donatılara göre kesme kapasitesi kontrolü.	169
Şekil 7.25 : P03 perdesi sol uç birim şekildeğiştirme kontrolleri.....	170
Şekil 7.26 : P03 perdesi sağ uç birim şekildeğiştirme kontrolleri.	171
Şekil 7.27 : Bağ kiriş dönme değerleri kontrolü.....	172
Şekil 7.28 : Sargılı beton modeli.	174
Şekil 7.29 : Sargısız beton modeli.	174
Şekil 7.30 : Donatı çeliği gerilme-şekildeğiştirme bağıntısı.....	174
Şekil 7.31 : Tipik 60/60'lık iç kirişler moment-eğrilik diyagramı.	176
Şekil 7.32 : C4 Kolonu moment-dönme diyagramı.....	177
Şekil 7.33 : C4 Kolonu karşılıklı etki diyagramı.	178
Şekil 7.34 : Kesme mafsalı V-Δ grafiği.....	179
Şekil 7.35 : X Doğrultusunda etkin görelî kat ötelemesi kontrolü.	182
Şekil 7.36 : Y Doğrultusunda etkin görelî kat ötelemesi kontrolü.	182
Şekil 7.37 : B4 kirişi uç plastik dönmeleri.....	183
Şekil 7.38 : C4 kolonu 2 eksenî uç plastik dönmeleri.	184
Şekil 7.39 : C4 kolonu 3 eksenî uç plastik dönmeleri.	184
Şekil 7.40 : P07 perdesi kesme kapasitesi kontrolü.....	186
Şekil 7.41 : P12 perdesi kesme kapasitesi kontrolü.....	186
Şekil 7.42 : P03 perdesi sol uç birim şekildeğiştirme kontrolleri.....	187
Şekil 7.43 : P03 perdesi sağ uç birim şekildeğiştirme kontrolleri.	187

Şekil 7.44 : Bağ kiriş dönme değerleri kontrolü.....	188
Şekil 8.1 : TBDY ve ASCE 07-10 yönetmeliklerine göre tasarım spektrumları.....	189
Şekil 8.2 : P07 perdesinin kat bazında donatı ağırlıklarının karşılaştırılması.	191
Şekil A.1 : Etabs'den Sap 2000'e model aktarım programı.	200
Şekil A.2 : Sap 2000'den Perform 3D'ye model aktarımı.....	201
Şekil A.3 : Sap 2000 aktarım sayfası.	201
Şekil A.4 : Beton modelleme sekmesi.	202
Şekil A.5 : Perde kayma davranışı için beton tanımlanması.	203
Şekil A.6 : Döşemeler için beton tanımlanması.	203
Şekil A.7 : Donatı modelleme sekmesi.	204
Şekil A.8 : Donatının tekrarlı yükler altında dayanım kaybı.....	204
Şekil A.9 : Kolonlar için eğrilik mafsali tanımı.	205
Şekil A.10 : Kolon kesiti tanımı.	206
Şekil A.11 : Kolon elemanı oluşturulması.....	207
Şekil A.12 : Bağ kiriş elemanı oluşturulması.	207
Şekil A.13 : Perde liflerinin oluşturulması.	208
Şekil A.14 : Perde düzlem dışı davranışı için yapılan tanımlamalar.....	209
Şekil A.15 : Perde elemanlarının oluşturulması.	209
Şekil A.16 : Yapı kütesinin bulunması.	210
Şekil A.17 : “Scale Factor” Tanımlanması.....	210
Şekil A.18 : Modal analiz sonuçları.	211
Şekil A.19 : Strainage tanımlanması.	212
Şekil A.20 : Deprem kayıtlarının modele girilmesi.....	213
Şekil A.21 : Deprem takımlarının oluşturulması.....	214
Şekil A.21 : Görelî kat ötelenmelerinin okunması.	215
Şekil A.22 : Perde kesme kuvvetlerinin okunması.....	216
Şekil A.23 : Perde uç birim şekildeğiştirmelerinin okunması.	216
Şekil A.24 : Kolon plastik mafsali dönme değerlerinin okunması.....	217
Şekil B.1 : Düzce 0° deprem kaydı.	218
Şekil B.2 : Düzce 90° deprem kaydı.	218
Şekil B.3 : Erzincan 0° deprem kaydı.....	219
Şekil B.4 : Erzincan 90° deprem kaydı.....	219
Şekil B.5 : Hector Mine 0° deprem kaydı.....	220
Şekil B.6 : Hector Mine 90° deprem kaydı.....	220
Şekil B.7 : Imperial Valley 0° deprem kaydı.....	221
Şekil B.8 : Imperial Valley 90° deprem kaydı.....	221
Şekil B.9 : Kobe 0° deprem kaydı.	222
Şekil B.10 : Kobe 90° deprem kaydı.	222
Şekil B.11 : Kocaeli 0° deprem kaydı.....	223
Şekil B.12 : Kocaeli 90° deprem kaydı.....	223
Şekil B.13 : Landers 0° deprem kaydı.	224
Şekil B.14 : Landers 90° deprem kaydı.	224



TÜRK VE AMERİKAN YÖNETMELİKLERİNE GÖRE YÜKSEK BİR BİNADAKİ PERDELERİN DOĞRUSAL VE DOĞRUSAL OLMAYAN TASARIMI

ÖZET

Deprem kuşağında bulunan ülkelerde yapıların depreme dayanıklı olarak tasarımı oldukça büyük önem arz etmektedir. Özellikle artan nüfusla beraber yüksek yapılara olan talep gün geçtikçe artmaktadır. Yüksek yapıların artması depreme dayanıklı yapı tasarımını daha da önemli hale getirmektedir. Gelişen teknoloji sayesinde yapısal analizlerin gerçekleştirilmesi daha kolay hale gelmektedir. Özellikle son 30 yılda geliştirilen bilgisayar programları ile yapısal analizler daha doğru ve daha hızlı olarak yapılabilmektedir. Buna ek olarak, binalarda kullanılan yapısal malzemelerin davranışları hakkında yapılan çalışmalar sayesinde yapısal sistemler daha doğru modellenebilir hale gelmiştir.

Depreme dayanıklı yapı tasarımında en önemli amaç; tasarlanan binaların hedeflenen performans düzeyine uygun olarak göçmesinin önlenmesi veya kalıcı hasar almasının önüne geçilmesidir. Yapıların bu amaç doğrultusunda tasarlanabilmesi için ülkeler tarafından inşaat mühendislerine yol gösterici nitelikte olan yönetmelikler yayınlanmaktadır. Yüksek lisans tezi olarak yapılan bu çalışmada, yüksek bir yapıdaki perdelerin Türk ve Amerikan yönetmeliklerine göre doğrusal ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan tasarımı gerçekleştirilmiştir. Türk yönetmelikleri kapsamında; Türk Bina Deprem Yönetmeliği 2018 (TBDY), TS 500 Betonarme Yapıların Tasarım ve Hesap Kuralları ve TS 498 Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri yönetmelikleri kullanılmıştır. Doğrusal ve doğrusal olmayan analizlerin gerçekleştirilmesi büyük oranda TBDY’de anlatılmıştır. Malzeme özellikleri, yük birleşimleri için TS 500, gözönüne alınacak yük değerleri içinse TS 498 yönetmeliği kullanılmıştır. Türk yönetmeliklerinde yer almayan konular içinse yabancı kaynaklara başvurulmuştur. Amerikan yönetmeliklerine göre yapılan tasarım kapsamında; ACI 318-14 Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary, ASCE 07-10 Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures ve ASCE 41-13 Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings yönetmelikleri kullanılmıştır. Betonarme elemanların kesit hesaplarının yapılmasında ACI 318-14, yapının doğrusal analizinin yapılmasında ASCE 07-10 yönetmelikleri kullanılmıştır. Doğrusal olmayan analiz için ise ASCE 41-13 yönetmeliği kullanılmıştır. Yapılan çalışmada perdeler detaylıca incelenmiş olup kolon ve kirişlerin sadece gerekli dayanım şartlarını sağladığı gösterilmiştir.

Tasarım yapılan binanın Kadıköy/İstanbul’da yer aldığı kabul edilmiştir. Taşıyıcı sistemi süneklik düzeyi yüksek perde + çerçevelerden oluşan yapıda toplam 21 kat bulunmaktadır. Konut amacı ile kullanılacak olan yapıda kat yüksekliği 4.00 m olup

toplam bina yüksekliği 84.00 m'dir. Malzeme olarak C50 beton sınıfı ve B420C donatı sınıfı seçilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde, doğrusal olmayan malzeme davranışı ve performans kavramı incelenmiştir. Malzeme davranışlarının incelenmesi kapsamında, beton ve donatı çeliğinin davranış modelleri incelenmiştir. Ayrıca yayılı ve yığılı plastik mafsal modelleri incelenmiştir. Performans kavramının incelenmesi kapsamında, performans kavramının ana esaslarından bahsedilmiştir.

Çalışmanın üçüncü bölümünde Türk ve Amerikan yönetmeliklerine göre doğrusal tasarım kuralları detaylıca incelenmiştir. Türk yönetmeliklerine göre doğrusal tasarımın incelenmesi kapsamında ilk olarak deprem etkilerinin tanımlanması incelenmiştir. Bu doğrultuda; deprem düzeyleri, spektrumların oluşturulması, bina kullanım sınıfları, bina önem katsayıları, deprem tasarım sınıfları ve bina performans hedefleri incelenmiştir. Ek olarak dayanıma göre tasarım hesap esasları incelenmiştir. Türk deprem yönetmeliğine göre doğrusal tasarım kapsamında son olarak betonarme elemanların tasarım kuralları incelenmiştir. Amerikan yönetmeliklerine göre doğrusal tasarımın incelemesi kapsamında ilk olarak bina risk kategorileri, bina önem katsayıları, deprem yer hareketi spektrumlarının oluşturulması ve sismik dizayn kategorileri incelenmiştir. Daha sonra sismik tasarım için hesap esasları incelenmiştir. Son olarak ise betonarme elemanların tasarım kuralları incelenmiştir.

Çalışmanın dördüncü bölümünde Türk ve Amerikan yönetmeliklerine göre doğrusal olmayan tasarım incelenmiştir. Türk yönetmeliklerine göre doğrusal olmayan tasarımın incelenmesi kapsamında ilk olarak; doğrusal olmayan tasarım yaklaşımı, deprem etkilerinin diğer etkilerle birleştirilmesi ve doğrusal olmayan davranış modellerinden bahsedilmiştir. Bunlara ek olarak şekildeğiştirme sınır değerleri ve yüksek bina tasarım aşamaları incelenmiştir. Amerikan yönetmeliklerine göre doğrusal olmayan tasarımın incelenmesi kapsamında ilk olarak; performans seviyeleri, performans hedefleri ve hedef spektrumunun oluşturulması incelenmiştir. Daha sonra kritik ve kritik olmayan kesit kavramı, etkin rijitlik değerleri ve hesap yönteminin seçilmesinden bahsedilmiştir. Son olarak ise doğrusal olmayan tasarımda kabul parametrelerinden bahsedilmiştir.

Çalışmanın beşinci bölümünde tasarlanacak yapıya ait bilgiler verilmiştir. Yapıya ait kesit boyutları ve gözönüne alınan yük değerlerinden bahsedilmiştir. Bunlara ek olarak seçilen malzemeler ve bunlara ait özelliklerden bahsedilmiştir.

Çalışmanın altıncı bölümünde Türk ve Amerikan yönetmeliklerine göre doğrusal analizler gerçekteşirilmiştir. Doğrusal analizler gerçekteşirilirken Etabs 16.2.0 ve CsiCol 8 programları kullanılmıştır. Analizlerde kullanılacak spektrumların tanımlanmasında kullanılacak harita spektral ivme katsayıları AFAD'ın deprem tehlike haritasından alınmıştır. Türk yönetmeliklerine göre yapılan doğrusal tasarımda ilk olarak spektrumlar oluşturulmuş ve analiz yapılmasının ardından düzensizlikler incelenmiştir. Ardından analiz sonucu elde edilen sonuçlar değerlendirilip eşdeğer deprem yükü eşitlemesi yapılmıştır ve eleman boyutları belirlenmiştir. Son olarak elemanların betonarme tasarımı yapılarak donatıları belirlenmiştir. Amerikan yönetmeliklerine göre yapılan doğrusal tasarımda ilk olarak AFAD'dan elde edilen harita spektral ivme katsayıları yardımı ile tasarım spektrumları oluşturulmuştur. Ardından bina risk kategorisi, sismik dizayn kategorisi belirlenmiştir ve analiz gerçekteşirilmiştir. Analizleri gerçekteşirilmesinin ardından düzensizlik kontrolleri yapılmıştır ve deprem yükü kontrolü yapılmıştır. Son olarak kesit boyutları kontrol edilmiş ve betonarme tasarım yapılmıştır. Kesit boyutları

olarak Türk yönetmeliklerine göre yapılan tasarımdan elde edilen boyutlar kullanılmıştır.

Çalışmanın yedinci bölümünde Türk ve Amerikan yönetmeliklerine göre zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler gerçekleştirilmiştir. Doğrusal olmayan analizlerde Perform 3D V5 ve Xtract programları kullanılmıştır. Zaman tanım alanında hesapta kullanılacak deprem kayıtları “Peer Strong Motion Database” veri tabanından elde edilmiştir. Türk yönetmeliklerine göre yapılan hesapta ilk olarak performans hedefleri ve sınır değerler belirlenmiştir. Ardından malzeme beklenen dayanımları, etkin kesit rijitlikleri ve sargılı beton gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri tanımlanmıştır. Bu tanımlar ve Xtract programı yardımıyla yığılı plastik mafsal kabulü yapılan kesitlerin plastik mafsal özellikleri belirlenmiştir. Belirlenen hedef spektrumuna göre deprem kayıtları ölçeklendirildikten sonra analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerin yapılmasının ardından yapıda ve elemanlarda gerekli kontroller yapılarak tasarım tamamlanmıştır. Amerikan yönetmeliklerine göre yapılan tasarımda ilk olarak performans hedefleri belirlenmiştir. Ardından ASCE 41-13’de verilen tablolar yardımıyla yığılı plastik mafsal kabulü yapılan kesitlerin modellemeleri yapılmış ve sınır değerleri belirlenmiştir. Deprem kayıtlarının ölçeklendirilmesinde, TBDY ile yapılan hesapta kullanılan katsayılar kullanılmıştır. Modelleme tamamlandıktan sonra analizler gerçekleştirilmiştir ve gerekli kontroller yapılarak tasarım tamamlanmıştır.

Çalışmanın sekizinci bölümünde, her iki yönetmeliğe göre yapılan tasarımlar sonucu elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.



LINEAR AND NONLINEAR DESIGN OF SHEAR WALLS IN REINFORCED CONCRETE TALL BUILDING ACCORDING TO TURKISH AND AMERICAN CODES

SUMMARY

Earthquake resistant design of buildings is of crucial for countries that are prone to strong ground motion. Especially, the demand of tall structures is increasing with growing population, which makes the earthquake resistant design of buildings even more important. Developments of software programming in engineering field allows to perform structural analysis of buildings easier than ever. For the last 30 years, structural analysis become faster and more accurate with the utilization of computer software. In addition, as the state of the art knowledge on the behavior of structural materials and structural analysis improves, the reliability of structural analysis rises day by day.

The most important purpose of the earthquake resistant structures design is, according to performance target, to prevent the collapse of buildings or the permanent damage in buildings. Design Codes are published by countries as guidance for practicing engineers. Structural design in compliant with design codes can serve for the sake of this purpose. In this master's thesis, linear and nonlinear time history analyses of reinforced concrete tall building, according to Turkish and American regulations, are performed. Within the scope of Turkish design codes; Turkish Building Code 2018 (TBDY), TS 500 Requirements for Design and Construction of Reinforced Concrete Structures and TS 498 Design Loads for Buildings are considered. Turkish Building Code is widely used for linear and nonlinear design. TS 498 is employed for material properties and load combinations. TS 498 is applied for load values. Other countries codes and regulations are used for subjects that are not included in Turkish codes. Within the scope of American codes; ACI 318-14 Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary, ASCE 07-10 Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures and ASCE 41-13 Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings are used. ACI 318-14 is used for reinforced concrete cross section analysis. ASCE 07-10 is used for linear design of building. ASCE 41-13 is used for nonlinear modeling and analysis. In this study, shear walls had examined in detail. Columns and beams have only been shown to assure that the necessary strength requirements are satisfied.

Turkish and American seismic codes have significant differences about shear wall design. According to Turkish Building Code 2018, shear forces, which are obtained with seismic design, are increased by using overstrength factor or moment capacity method in shear design. However, there is not compulsory to increase shear forces in American design codes. Another important differences between two regulations is design of shear wall boundary zone. According to Turkish Building Code, shear wall boundary zones shall be developed on both ends of walls where $H_w / l_w > 2.0$. Shear wall boundary zone length is calculated according to wall geometry. However, according to American codes, two design approaches for evaluating detailing

requirements at wall boundaries. In the first approach, displacement based design of walls, in which the structural details are determined directly on the basis of the expected lateral displacements of the wall. This method is based on the assumption that inelastic response of the wall is dominated by flexural action at a critical, yielding section. The wall should be proportioned so that the critical section occurs where intended. In the second approach, the wall is considered to be acted on by gravity loads and the maximum shear and moment induced by earthquake in a given direction. Under this loading, the compression boundary at the critical section resists the tributary gravity load plus the compressive resultant associated with the bending moment. Stresses shall be calculated for the factored loads using a linearly elastic model and gross section properties. Both of two methods can be used for determining boundary zone requirements. But second method is more conservative for assessing required transverse reinforcement at wall boundaries than first method. Shear wall boundary zone length is calculated according to neutral axis depth.

The building design was performed with the assumption that the building was to be constructed in Kadıköy/İstanbul. Seismic force resisting system consists of special reinforced concrete shear walls and special moment frames. Structure has 21 stories all of which is 4 meters and building overall height is 84.00 meters. Concrete grade was selected as C50 and rebar grade was selected as B420C.

In the second part of the study, materials behavior and performance-based design criteria are investigated. Within this scope confined and unconfined concrete behavior is covered as well as stress-strain relations of reinforcing steel bars. Lumped plastic hinge theory and distributed plastic hinge theory is also studied. Performance evaluation criteria are investigated in detail.

In the third part of the study, linear analysis and design of reinforcement concrete was conducted in compliance with both Turkish seismic code and American design codes & provisions. First of all, for linear analysis, ground motion characteristics i.e. earthquake levels, response spectra, building use classifications, building importance factors, earthquake design classes and seismic performance targets are designated in compliant with Turkish Seismic Codes whereas, for design, force-based strength design methodology is employed. Finally, the ways and rules in Turkish codes & standards which basically guides the design of reinforced concrete members are covered. Subsequent to analysis and design of the building according to Turkish Codes, the analysis and design job is reconducted according to American codes. The building importance factors, risk categories, seismic importance factors, response spectra and seismic design categories are studied. After then, main principles about seismic analysis and section analysis of reinforced concrete are examined.

In the fourth part of the study, performance-based analysis of the building in compliant with Turkish and American codes is studied. First of all, the fundamentals of nonlinear analysis approach, how to combine seismic excitations and gravity load effects and nonlinear material behaviors are explained according to Turkish Codes. In addition, strain limits and tall buildings design phases are explained. First of all, performance levels, performance targets and targets spectrums are explained according to American codes. Critical and non-critical sections, effective stiffness values and selection of earthquake analysis method are examined as well. Finally, nonlinear analyses according to American codes, acceptance criteria and performance levels are explained.

In the fifth part of the study, basic information about structure that is modeled is given. Cross-section dimensions of reinforced concrete members and considered load values are demonstrated. Design material properties for both concrete and reinforcing steel bar are mentioned.

In the sixth part of the study, linear analyses are performed according to Turkish and American codes. Etabs v.16.2.0 (for finite element modeling) and CsiCol v8 (for section-analysis) software programs are utilized for linear analysis and reinforced concrete design. Mapped spectral acceleration values that are used for response spectra are obtained via seismic risk coefficient map which is published by Turkey Disaster and Emergency Management (AFAD). Prior to the analysis, response spectrum function is created and then after the analysis structural irregularities are examined according to Turkish codes. The base shear that is obtained by modal analysis is compared with the base shear that is obtained by equivalent seismic load method. After this, cross section dimensions are selected and reinforced concrete design is performed. Finally, rebars are selected and design job is done. First of all, response spectrum function is created according to American codes. After this, importance factors, risk categories and seismic design categories are determined. After the modal analysis, structural irregularities are examined and the base shear that is obtained by modal analysis compared with the base shear that is obtained by equivalent seismic load method. Finally, section dimensions are determined and reinforced concrete design are performed. Same section dimensions are selected as Turkish codes.

In the seventh part of the study, nonlinear analyses are performed according to Turkish and American codes. Perform 3D V5 and Xtract software programs are employed for nonlinear analysis and cross section analysis respectively. Earthquake records that is used in time history analysis are obtained from "Peer Strong Motion Database". First of all, performance targets are determined and acceptance values are calculated according to Turkish codes. After this, expected strengths for materials, effective stiffness values and confined concrete stress-strain relationship are calculated. Moment-Curvature relations are computed via Xtract software. Nonlinear analysis is performed after earthquake records are scaled according to target spectra. After nonlinear analysis, required controls are made on overall structure and sections. According to American Codes, firstly performance objectives are determined. Lumped plastic hinge properties and acceptance criteria are determined thanks to table in ASCE 41-13. Same scale factors are used for scaling earthquake records with Turkish codes. After nonlinear analyses are performed, structure and section controls are done.

In the eighth part of study, analysis results are compared between according to Turkish and American codes. These results are compared in linear analysis; buildings seismic weight, buildings fundamental periods, base shear forces, top displacements, elasticity modules, effective stiffness values, boundary zones requirements and boundary zones lengths. These results are compared in nonlinear analysis; elasticity modulus, acceptance criteria, considered earthquake level and effective stiffness values. In addition, used quantities of reinforcement steel in shear wall are also compared.

In the Appendix A, Perform 3D modeling phases are mentioned. Within the scope, creation of building model, definition of confined & unconfined concrete model, describing of lumped plastic hinge model and taking analysis results are told.



1. GİRİŞ

1.1 Konu

Ülkemizin büyük bir bölümü deprem tehlikesi altında bulunmaktadır ve tarih boyunca yaşanan depremler büyük çapta can ve mal kaybına neden olmuştur. Bu sebeple depreme dayanıklı yapı tasarımı ülkemizde inşaat mühendisliğinin en önemli konularından biridir. Bu bağlamda ülkemizde Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (Eski adıyla Bayındırlık ve İskân Bakanlığı) tarafından depreme dayanıklı yapı tasarımı esaslarının belirtildiği yönetmelikler yayınlanmıştır. Yaşanan büyük depremlerden sonra yürürlükte olan yönetmeliklerin yetersiz oldukları görülmüş ve bu yönetmelikler geliştirilerek yenileri yayınlanmıştır. Yeni yönetmelikler yoluyla ayrıca gelişen yapı teknolojisi ve analiz yöntemlerine de uyum sağlanmıştır. Bu doğrultuda ülkemizde son olarak “2018 – Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı İçin Esaslar” [1] yönetmeliği yayınlanmıştır.

Günümüzde artan nüfusun etkisiyle çok katlı yapılara olan talep hızla artmaktadır. Yüksek yapıların yaygınlaşması ile bu tip binalar için daha detaylı analiz ve tasarımların yapılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bu kapsamda özellikle 1990’lı yıllardan sonra “Performansa Dayalı Değerlendirme ve Tasarım” yaklaşımı kullanılmaya başlamıştır. Bu yaklaşımda yapı elemanlarında deprem yükleri altında doğrusal olmayan şekil değiştirme ve dönme değerleri hesap edilir. Elde edilen değerler elemanları kapasiteleri ile karşılaştırılarak değerlendirilir. Bu yöntemin en önemli avantajı, yapı elemanlarının doğrusal olmayan davranışları gözönüne alındığından dolayı daha gerçekçi bir modellemeye imkân vermesidir.

Ülkemizde olduğu gibi yurtdışında da yapı elemanlarının deprem yükleri altında tasarımı inşaat mühendisliğinin en önemli konuları arasında yer almaktadır. Bu doğrultuda özellikle Amerikan yönetmeliklerinde oldukça kapsamlı yönetmelikler bulunmaktadır. Bu yönetmeliklerin en önemlileri; Building Code Requirements for Structural Concrete – ACI 318-14 [2], Minimum Design Loads for Buildings and

Other Structures – ASCE 07-10 [3], Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings – ASCE 41-13 [4] ve FEMA 750 [5] yönetmelikleridir. Bunlara ek olarak “Los Angeles Tall Buildings Council” ve “Pacific Earthquake Engineering Research Center” gibi kurumların tasarımlara yardımcı olmak üzere hazırladıkları raporlar ve dokümanlar bulunmaktadır.

1.2 Tez Çalışmasının Kapsamı

Tez çalışması kapsamında 21 katlı betonarme bir yapının Türk ve Amerikan yönetmeliklerine göre doğrusal ve doğrusal olmayan tasarımları gerçekleştirilmiştir. Daha sonra bu analizlerden elde edilen sonuçlar karşılaştırması yapılmıştır. Analiz ve tasarımda perdeler detaylıca incelenmiş olup kolon ve kirişlerin yalnızca gerekli dayanım şartlarını sağladığı gösterilmiştir.

Tez çalışması kapsamında ilk olarak TBDY ve TS 500 [6] yönetmeliklerine göre yapının doğrusal analizi yapılmıştır. Daha sonra bu analizler doğrultusunda yapı elemanlarının betonarme tasarımı gerçekleştirilmiştir. Daha sonra aynı yapı, ASCE 07-10 ve ACI 318-14 yönetmelikleri kullanılarak analiz ve tasarımlar gerçekleştirilmiştir. Doğrusal analizler tamamlandıktan sonra bu aşamada hesaplanan boyut ve donatılardan yola çıkılarak doğrusal olmayan analiz gerçekleştirilmiştir. Türk yönetmeliklerine göre yapılan doğrusal olmayan analizlerde TBDY kullanılmıştır. Amerikan yönetmeliklerine göre yapılan analiz de ise ASCE 41-13 yönetmeliği kullanılmıştır. Doğrusal olmayan analizler ile doğrusal analizlerde hesaplanan boyut ve donatıların kontrolü sağlanmıştır.

Çalışmanın son bölümünde ise her iki yönetmelikle yapılan analiz ve tasarımlar karşılaştırılmıştır. Bu kapsamda doğrusal ve doğrusal olmayan analizlerin gerçekleştirilmesindeki farklar incelenmiştir. Bunlara ek olarak her iki yönetmelik sonucu elde edilen donatılar karşılaştırılarak aralarındaki farklar irdelenmiştir.

Çalışma kapsamında doğrusal analizler ETABS 16.2.0, doğrusal olmayan analizler PERFORM 3D V5 programı ile gerçekleştirilmiştir. Kesit analizlerinde ise XTRACT ve CsiCol 8 programları kullanılmıştır.

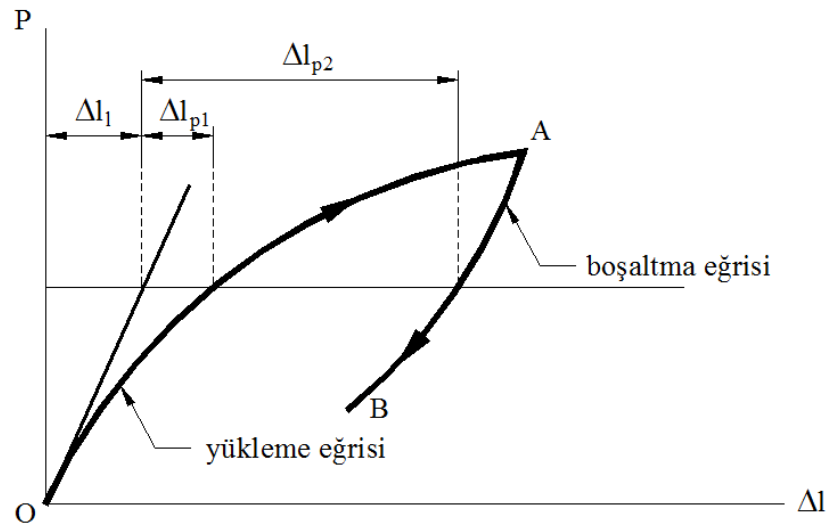
2. DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞ VE PERFORMANS KAVRAMI

2.1 Doğrusal Olmayan Davranış

Yapıların tasarlanmasında, malzeme davranışlarının gerçekçi olarak modellenmesi çok önemli bir yer tutmaktadır. Özel bir durum olmadığı müddetçe servis yükleri altında yapısal sistemler doğrusal-elastik davranış gösterirler. Ancak deprem yükleri gibi seyrek etkiler altında, yapısal sistem doğrusal-elastik sınırı aşar ve doğrusal olmayan bölgeye geçiş yapar. Yapısal sistemlerin doğrusal olmama nedenleri iki ana başlıkta toplanabilir. Bu nedenler; malzemenin doğrusal-elastik olmaması nedeniyle gerilme-şekildeğiştirme bağıntılarının doğrusal olmaması ve geometri değişimleri nedeniyle denge denklemlerinin doğrusal olmamasıdır [7].

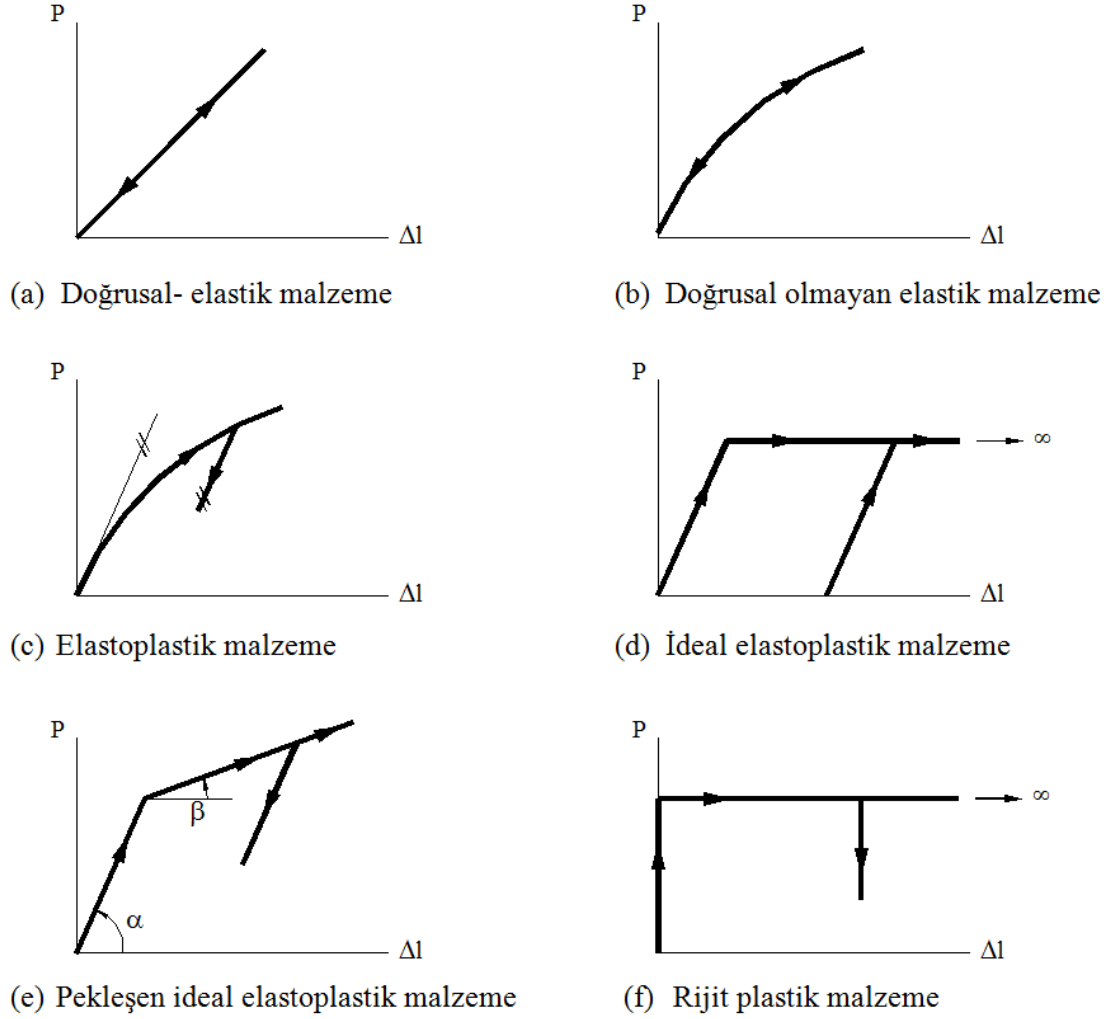
2.1.1 Malzeme bakımından doğrusal olmayan sistemler

Malzeme bakımından doğrusal olmayan sistemlerin modellenebilmesi için yük-şekildeğiştirme tanımlanması gerekmektedir. Şematik yük-şekildeğiştirme diyagramı Şekil 2.1'de verilmiştir. Diyagramda verilen eğrinin OA arasında kalan kısmına yükleme eğrisi, AB arasında kalan kısmına boşaltma eğrisi adı verilir. Δ_1 şekildeğiştirmesi doğrusal şekildeğiştirme, Δ_{p1} ve Δ_{p2} şekildeğiştirmeleri ise doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler olarak tanımlanır [8].



Şekil 2.1 : Şematik yük-şekildeğiştirme diyagramı [8].

Malzeme bakımından doğrusal olmayan sistemlerin modellenebilmesi için bazı idealleştirmeler yapmak gerekmektedir. Bu idealleştirmelerden başlıcaları Şekil 2.2’de gösterilmiştir. Modellerin en basiti doğrusal-elastik malzeme ve doğrusal olmayan elastik malzeme modelleri olup diğer modellerler birlikte gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri aşağıda gösterilmiştir.

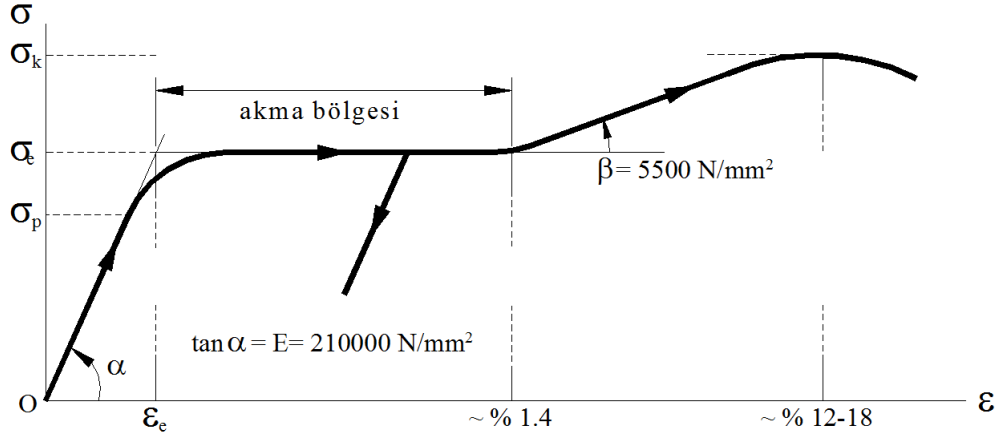


Şekil 2.2 : Malzeme idealleştirmeleri [8].

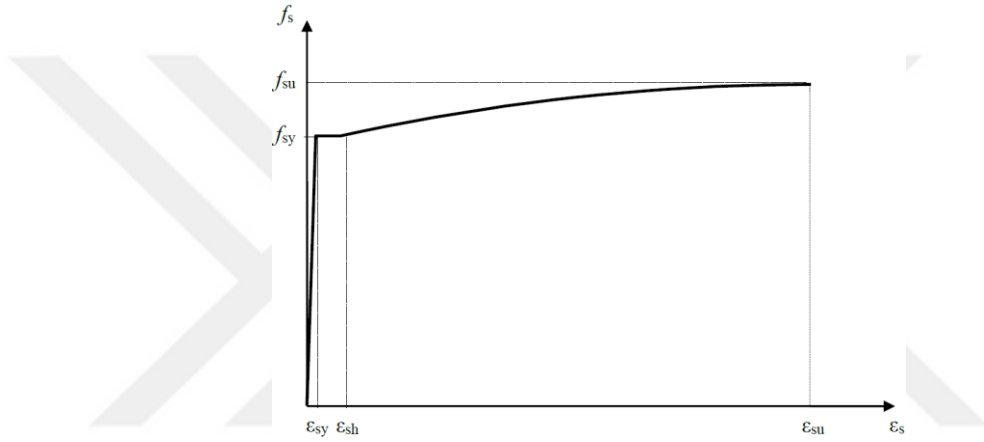
2.1.1.1 Donatı çeliği gerilme-şekildeğiştirme diyagramı

Donatı çeliği için gerilme-şekildeğiştirme bağıntısı Şekil 2.3’de verilmiştir. Verilen diyagramda σ_k kopma gerilmesini, σ_e akma gerilmesini, σ_p orantılılık sınırı ve ϵ_e akma şekildeğiştirmesini göstermektedir. B420C donatı sınıfı için akma gerilmesi 420 MPa, kopma gerilmesi 500 MPa değerlerini almaktadır.

TBDY Ek 5A’da donatı çeliği için idealleştirilmiş gerilme-şekildeğiştirme bağıntısı verilmiştir (Şekil 2.4). Bazı donatı sınıfları için malzeme mekanik özellikleri Çizelge 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2.3 : Donatı çeliği gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi [8].



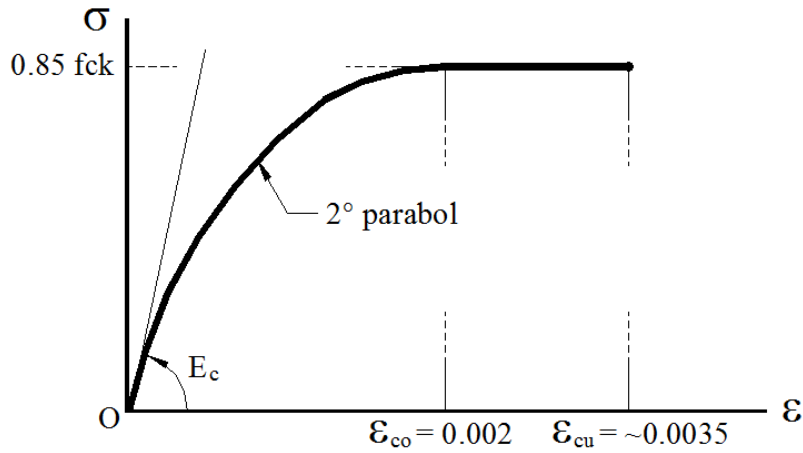
Şekil 2.4 : Donatı çeliği gerilme-şekildeğiştirme idealleştirilmiş ilişkisi [1].

Çizelge 2.1 : Donatı çeliğine ait bilgiler [1].

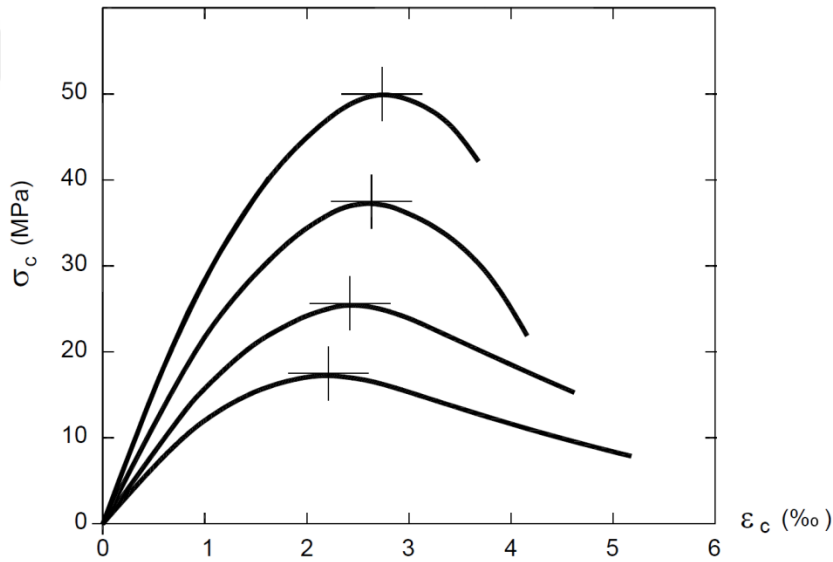
Kalite	f_{sy} (Mpa)	ϵ_{sy}	ϵ_{sh}	ϵ_{su}	f_{su} / f_{sy}
S220	220	0.0011	0.011	0.12	1.20
S420	420	0.0021	0.008	0.08	1.15-1.35
B420C	420	0.0021	0.008	0.08	1.15-1.35
B500C	500	0.0025	0.008	0.08	1.15-1.35

2.1.1.2 Betonun gerilme-şekildeğiştirme diyagramı

Beton için gerilme-şekildeğiştirme bağıntısı Şekil 2.5’de verilmiştir. Betonun ezilerek kırılmasına sebep olacak gerilme değerinde beton birim kısalma değeri 0.0035 iken sargılı betonda etriye miktarına bağlı olarak artmaktadır [8]. Birim kısalma sınır değeri ayrıca beton gerilme dayanımına bağlı olarak da değişmektedir (Şekil 2.6) [9].

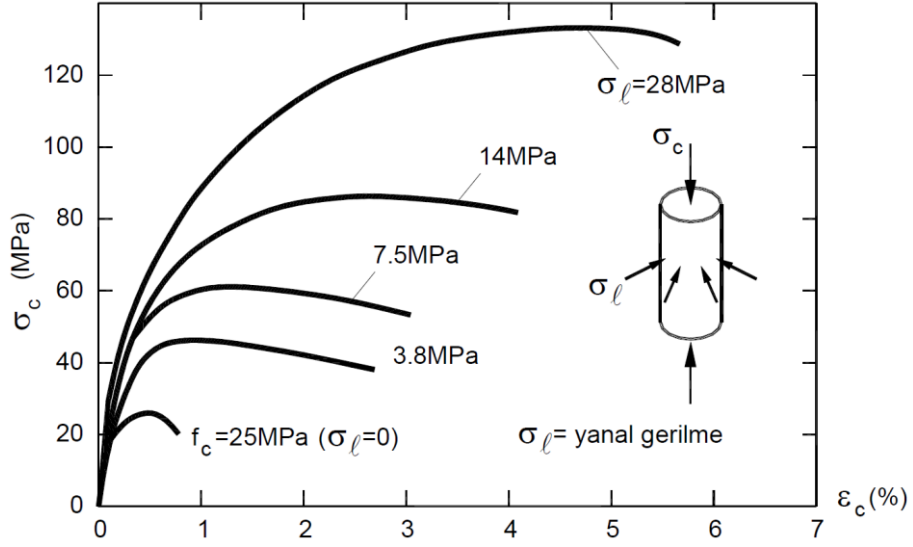


Şekil 2.5 : Beton gerilme-şekildeğiştirme diyagramı [8].

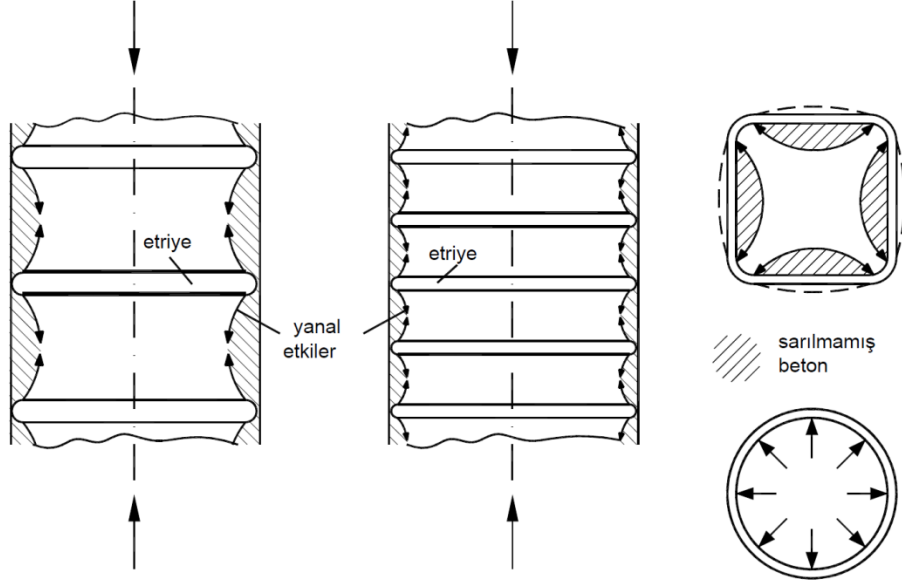


Şekil 2.6 : Değişik dayanıma sahip betonların şekildeğiştirme eğrileri [9].

Betonarme; basit olarak, beton ile çelik olan donatı çubuklarının beraber çalışacak ve birbirlerinin eksiklerini tamamlayacak şekilde bir araya getirilmesi olarak tanımlanabilir. Etriyeler ile sarılmış betonda, etriyelerin yarattığı yanal basınç etkisi ile betonun maksimum birim kısalma değeri artar. Bu sayede betonun plastik şekildeğiştirmeler yoluyla tüketilen şekil değıştirme enerjisi de artmaktadır [9]. Şekil 2.7’de yanal basınç etkisindeki beton silindirin gerilme-şekildeğiştirme eğrisi gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere yanal basınç değeri arttıkça betonun gerilme dayanımı ve şekil değıştirme kapasitesi artmaktadır. Şekil 2.8’de etriyelerin beton üzerindeki yanal basınç etkisi gösterilmiştir. Etriyeler beton üzerinde yanal basınç oluşturarak dayanımlarının ve şekildeğiştirme kapasitelerinin artmasını sağlar. Bu sayede kesitin sünekliği artmaktadır.



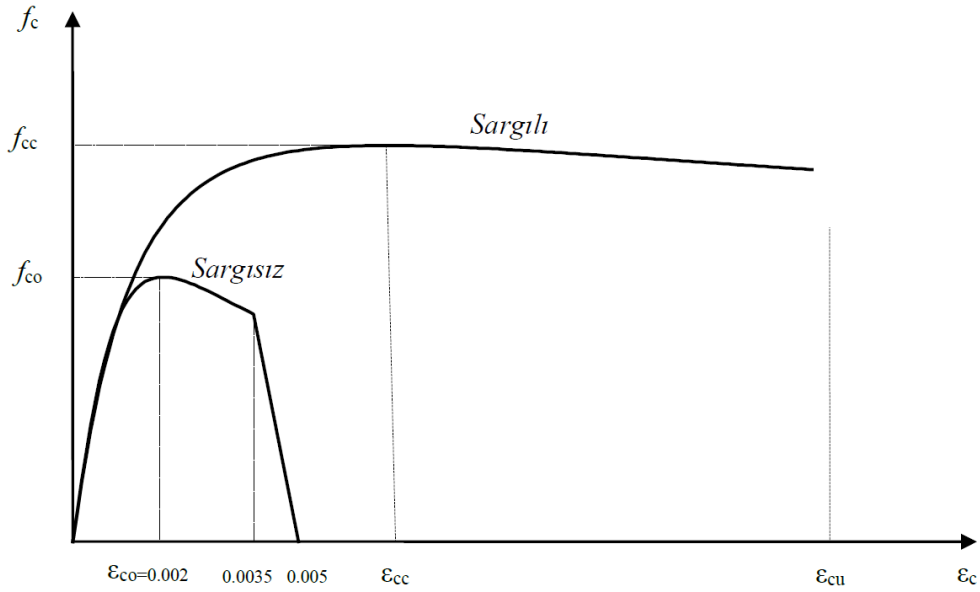
Şekil 2.7 : Yanal basınç etkisindeki betonun şekildeğiştirme eğrisi [9].



Şekil 2.8 : Etriyelerin beton üzerindeki sarılma etkisi [9].

Şekil 2.8’de enine donatı aralığının sarılma etkisine etkisi de gösterilmiştir. Enine donatı aralıkları azaldıkça enine donatının sargılama etkisi artmaktadır. Sargılama etkisinin artması ile betonun gerilme dayanımı, birim şekildeğiştirme kapasitesi ve sünekliği artmaktadır.

Sargılı ve sargısız betonların modellenmesinde Mander, Priestley ve Park’ın önerdiği bağıntılar yaygın olarak kullanılmaktadır [10]. Bu modeller TBDY Ek 5A’da özetlenmiştir. Bu kısımda verilen bağıntılar ile sargılı ve sargısız betona ait gerilme-şekildeğiştirme diyagramları hesaplanabilmektedir. Sargılı ve sargısız betona ait şematik gerilme-şekildeğiştirme diyagramı Şekil 2.9’da verilmiştir.



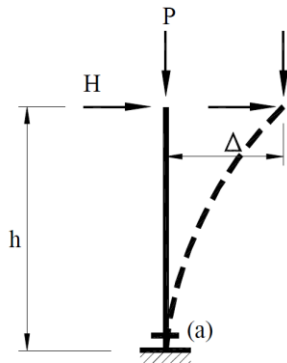
Şekil 2.9 : Sargılı ve sargısız beton gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi.

2.1.2 Malzeme bakımından doğrusal olmayan sistemler

Yapısal sistemlerde deprem yükleri altındaki yerdeğiştirmeler yeteri kadar küçük olmadığı takdirde deplasmanların denge denklemlerinde dikkate alınması gerekmektedir. Geometri değişimlerinin denge denklemlerine etkisinin gözönüne alındığı bu teoriye ikinci mertbe teorisi denmektedir [8].

İkinci mertbe teorisinde yerdeğiştirmelerin geometrik süreklilik denklemlerine etkisi terkedilmemektedir. Birinci ve ikinci mertbe etkilerinin karşılaştırılması Şekil 2.10'da gösterilmiştir.

Çoğu zaman yapılarda ikinci mertbe etkileri ihmal edilebilecek derecede küçük kalmaktadır. Ancak görece kat ötelemesi değeri % 1 değerinden büyük olduğu durumlarda ikinci mertbe etkileri önemli hale gelir ve analizlerde etkisi gözönüne alınması gerekir [11].



I. mertbe teorisi : $M^I_a = H \times h$

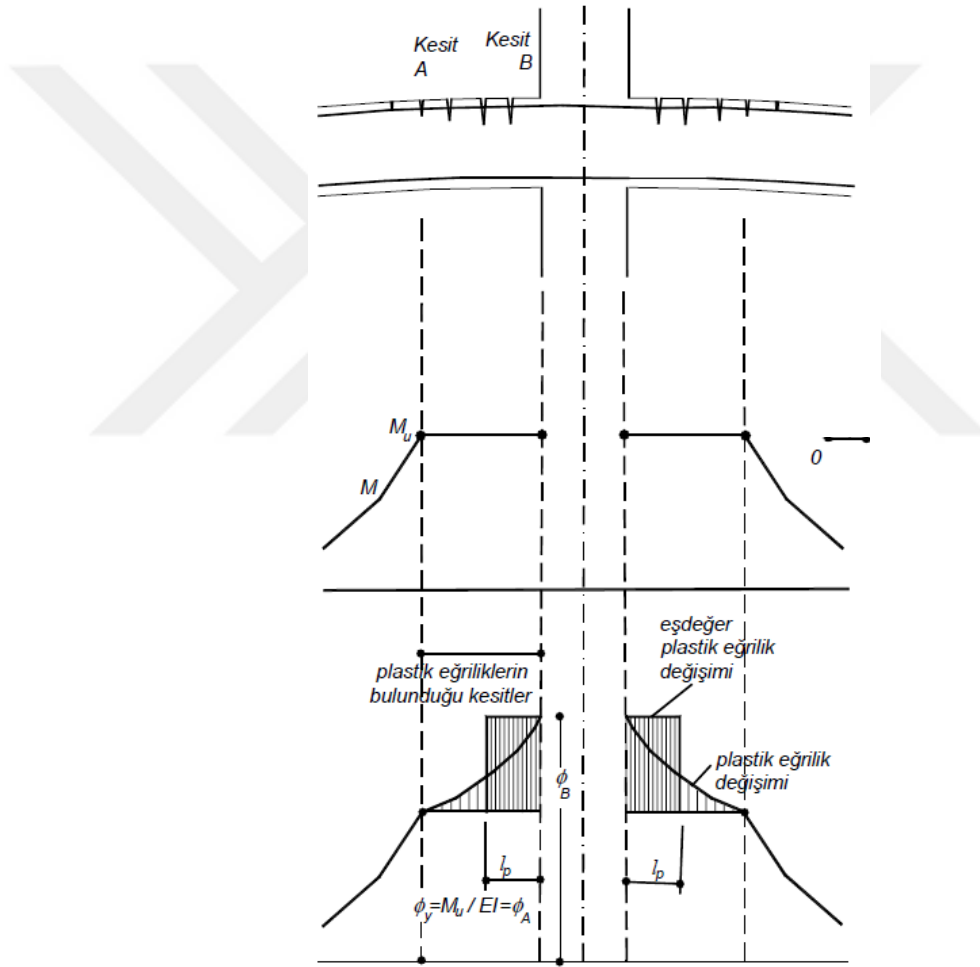
II. mertbe teorisi : $M^{II}_a = H \times h + P \times \Delta$

II. mertbe terimi
($P\Delta$ etkisi)

Şekil 2.10 : Birinci ve ikinci mertbe etkilerinin karşılaştırılması.

2.2 Plastik Mafsal Kavramı

Servis yükleri altında yapı elemanları büyük oranda doğrusal-elastik davranış gösterirler. Ancak seyrek görülen deprem yükleri altında yapı elemanları doğrusal-elastik sınırı aşarak doğrusal olmayan davranış gösterirler. Bunun anlamı, seyrek görülen deprem yükleri altında yapıda hasar oluşacağıdır. Yönetmelikler tasarım depreminde, binanın taşıyıcı sisteminde yapısal elemanlarda oluşacak hasarı kabul eder ve sınırlı düzeyde kalmasını öngörür. Yapıların doğrusal-elastik olmayan kesit kabulleri altında çeşitli zorluklar bulunmaktadır. Bu türden çözümlemede plastik mafsal kullanılması en basit yöntemlerden biridir [12].

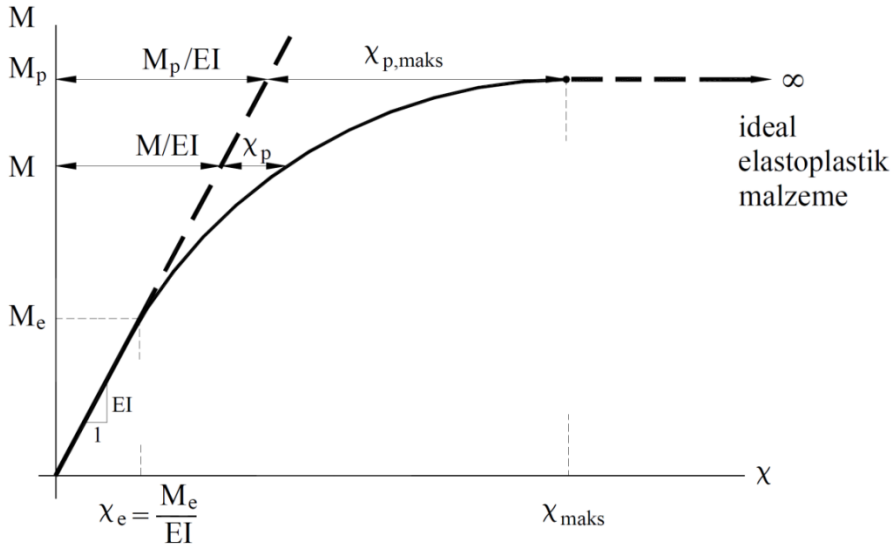


Şekil 2.11 : Kiriş boyunca plastik eğrilik değişimi [13].

Basit eğilme etkisinde kirişlerde plastik şekil değiştirmeler kiriş eksenı boyunca değişken olarak meydana gelir. Şekil 2.11’de görüldüğü üzere A kesitinde moment M_u değerine erişmiş ve akma eğriligi ϕ_u meydana gelmiştir. Momentin daha küçük olduğu kesitlerde elastik eğrilik momentle orantılı olarak $\phi = M / EI$ şeklinde oluşur.

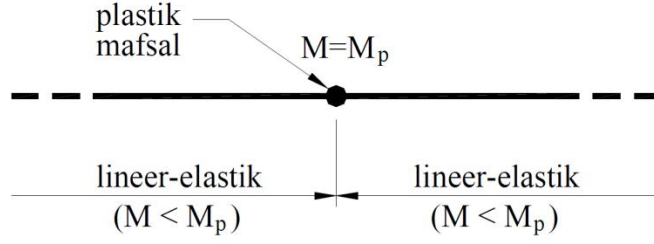
Kolon yüzüne yakın kesitlerde moment aynı değerde kalırken, plastik eğrilikler meydana gelmektedir. A ile B kesiti arasındaki eğriliklerin toplamı iki kesitin birbirine göre görelî dönmesini oluşturur ve eğrilik değişimindeki taralı alana karşı gelir. Bu dönme elastik ve plastik bölümlerden meydana gelir. B kesitindeki plastik eğrilik esas alınarak taralı alana eşdeğer olarak oluşturulan dikdörtgen alanın boyu l_p plastik mafsal boyu olarak kabul edilir. Bu boy eşdeğer plastik eğriliklerin meydana geldiği kiriş parçası olarak da görülebilir [13]. Toplam şekildeğiştirmelerin doğrusal şekildeğiştirmelere oranı olarak tanımlanan süneklik oranının büyük olduğu ve doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin küçük bir bölgeye yayıldığı sistemlerde, doğrusal olmayan eğilme şekildeğiştirmelerinin plastik mafsal adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, bunun dışındaki bölgelerde sistemin doğrusal-elastik davrandığı varsayılabilir. Bu hipoteze plastik mafsal hipotezi adı verilir [7]. Düzlem çubuk bir elemana ait kesitin eğilme momenti – eğrilik diyagramı Şekil 2.12’de verilmiştir.

Plastik mafsal hipotezinde, çubuk eleman üzerindeki doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin plastik mafsal adı verilen bir noktada toplandığı varsayılmaktadır (Şekil 2.13). Bu varsayım aynı zamanda yığılı plastik mafsal olarak ta adlandırılmaktadır. Buradaki dönme, plastik mafsal dönmesi olarak tanımlanır

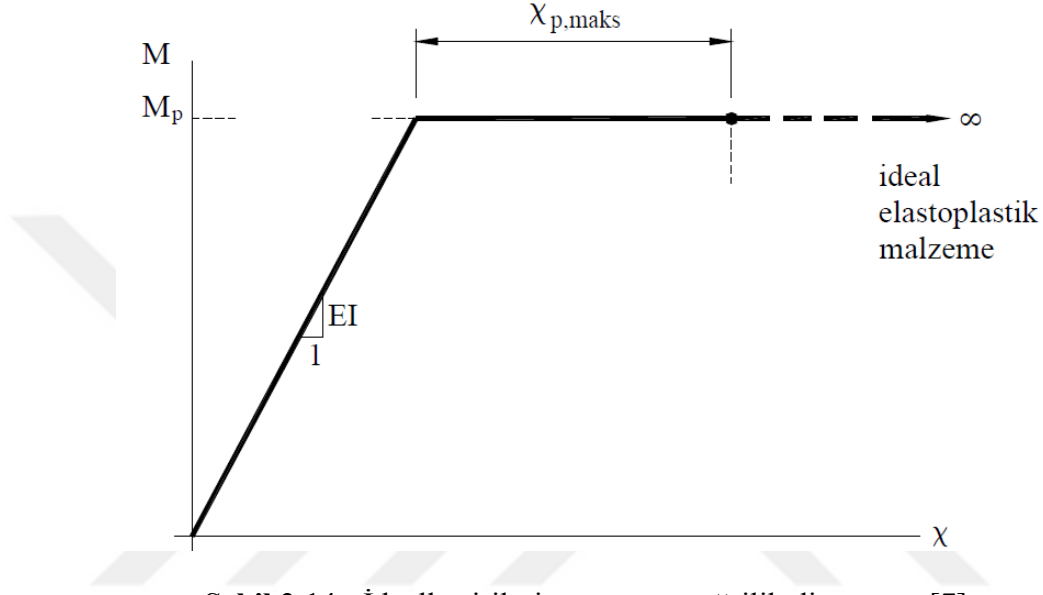


Şekil 2.12 : Eğilme momenti – eğrilik diyagramı [7].

Moment – eğrilik diyagramları modelleme aşamasında karmaşıklığı azaltmak amacıyla idealleştirebilirler. İki doğru parçasından oluşacak şekilde idealleştirilmiş moment – eğrilik diyagramı Şekil 2.14’te verilmiştir.



Şekil 2.13 : Plastik mafsals kabulü [7].



Şekil 2.14 : İdealleştirilmiş moment – eğrilik diyagramı [7].

Kesitlerde doğrusal olmaya davranışın modellenmesinde kullanılan bir diğer yöntem yayılı plastik davranış modelidir. Bu modelde elemanın tüm uzunluğu boyunca doğrusal olmayan şekildeğıştirmelerin olduğu kabul edilmektedir. Bu yöntem özellikle betonarme perdelerin modellenmesinde kullanılmaktadır.

2.3 Performans Kavramı ve Zaman Tanım Alanında Hesap

Performansa dayalı tasarım; en genel haliyle, bir yapının tasarım depremi etkisinde belirli bir yapısal performans, bir başka deyişle hasar öngörülerek şekil değıştirmeye dayalı tasarım yöntemleri de kullanılarak tasarlanmasıdır [14]. Performansa dayalı tasarım; gözönüne alınan deprem seviyesi ve yapıda oluşması beklenen hasar düzeyi ile ilişkilidir.

Performansa dayalı hesap için çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemler ülkelerin deprem yönetmeliklerinde tanımlanmıştır. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesapta, sistemdeki doğrusal olmayan davranış gözönüne alınarak kabul

edilen bir deprem hareketi altındaki taşıyıcı sistemin hareket denklemi sayısal olarak çözümlenerek, doğrusal davranışta olduğu gibi sistemin bütün elastik ve plastik şekil değiştirmeleri, yer değiştirmeleri ve kesit iç etkileri zamana bağlı olarak bulunur. Daha sonra sistemdeki plastik mafsallarda dönme ve beton ile donatının birim uzama/kısalma talepleri belirlenir. Analiz için seçilen deprem kayıtlarının yönetmelikte verilen spektrum eğrisi ile uyuşması ve olabildiğince çok sayıda kayıtlarla çözüm yapılması önerilmektedir [15].



3. YÖNETMELİKLERE GÖRE DOĞRUSAL TASARIM İLKELERİ

3.1 Türk Yönetmeliklerine Göre Doğrusal Tasarım

Tez kapsamında yapılan çalışmada Türk yönetmeliklerine göre doğrusal tasarım için TS 498 [16], TS 500 ve TBDY 2018 standartları kullanılmıştır. Malzeme mekanik özellikleri, malzeme katsayıları ve yük birleşimleri için TS 500, hareketli yük değerleri için TS 498, doğrusal analiz ve betonarme tasarım için TBDY kullanılmıştır.

3.1.1 Deprem yer hareketi düzeyleri

TBDY 2.2’de deprem etkisi altında tasarım için dört farklı deprem yer hareketi düzeyi tanımlanmıştır (Çizelge 3.1). Tanımlanan deprem yer hareketi düzeyleri yönetmelikte verilen farklı performans hedefleri için kullanılacaktır.

Çizelge 3.1 : TBDY’ye göre deprem yer hareketi düzeyleri.

Deprem Düzeyi	50 Yılda Aşılma Olasılığı	Dönüş Periyodu	Açıklama
DD-1	%2	2475	Çok Seyrek
DD-2	%10	475	Seyrek
DD-3	%50	68	Sık
DD-4	%68	43	Çok Sık

3.1.2 Deprem yer hareketi spektrumlarının oluşturulması

3.1.2.1 Harita spektral ivmeleri ve yerel zemin etki katsayıları

Deprem yer hareketi spektrumları TBDY 2.3’de, belirli bir deprem yer hareketi düzeyi esas alınarak %5 sönüm oranı için harita spektral ivme katsayılarına ve yerel zemin etki katsayılarına bağlı olarak tanımlanmıştır. Harita spektral ivme değerleri AFAD tarafından hazırlanan deprem tehlike haritalarından alınmaktadır (<https://tdth.afad.gov.tr/>). Yerel zemin etki katsayıları ise zemin etüdü doğrultusunda belirlenen yerel zemin sınıfına ve harita spektral ivme değerlerine bağlı olarak hesaplanmaktadır. Yerel zemin sınıfları TBDY Tablo 16.1’de tanımlanmıştır

(Çizelge 3.2). Yerel zemin sınıflarına bağlı olarak seçilen yerel zemin etki katsayıları F_S ve F_1 TBDY Tablo 2.1 ve Tablo 2.2’de tanımlanmıştır (Çizelge 3.3, Çizelge 3.4). Çizelge 3.3 ve Çizelge 3.4’te verilen S_s ve S_1 değerleri sırasıyla kısa periyot harita spektral ivme katsayısını ve 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısını ifade etmektedir.

Çizelge 3.2 : Yerel zemin sınıfları.

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	Üst 30 metrede ortalama		
		$(V_s)_{30}$ [m/s]	$(N_{60})_{30}$ [darbe/30 cm]	$(c_u)_{30}$ [kPa]
ZA	Sağlam, sert kayalar	> 1500	-	-
ZB	Az ayrılmış, orta sağlam kayalar	760 - 1500	-	-
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	360 - 760	> 50	> 250
ZD	Orta sıkı - sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	180 - 360	15 - 50	70 - 250
ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak - katı kil tabakaları veya $PI > 20$ ve $w > \%40$ koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası ($c_u < 25$ kPa) içeren profiller	< 180	< 15	< 70
ZF	Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler: 1) Deprem etkisi altında çökme ve potansiyel göçme riskine sahip zeminler (sıvılaştırılabilir zeminler, yüksek derecede hassas killer, göçebilir zayıf çimentolu zeminler vb). 2) Toplam kalınlığı 3 metreden fazla turba ve/veya organik içeriği yüksek killer. 3) Toplam kalınlığı 8 metreden fazla yüksek plastisiteli killer. 4) Çok kalın (> 35 m) yumuşak veya orta katı killer.			

Çizelge 3.3 : Yerel zemin etki katsayısı F_S .

Yerel Zemin Sınıfı	Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_S					
	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.50$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.00$	$S_s = 1.25$	$S_s \geq 1.50$
ZA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
ZB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
ZC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
ZD	1,6	1,4	1,2	1,1	1	1
ZE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır					

Çizelge 3.4 : Yerel zemin etki katsayısı F_1 .

Yerel Zemin Sınıfı	Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_1					
	$S_1 \leq 0.10$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.30$	$S_1 = 0.40$	$S_1 = 0.50$	$S_1 \geq 0.60$
ZA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
ZB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
ZC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
ZD	2,4	2,2	2	1,9	1,8	1,7
ZE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır					

3.1.2.2 Tasarım spektral ivme katsayıları ve elastik tasarım spektrumu

Tasarım spektral ivme katsayıları S_{DS} ve S_1 , yerel zemin etki katsayıları kullanılarak, denklem (3.1) ve denklem (3.2) yardımıyla hesaplanır.

$$S_{DS} = S_S \times F_S \quad (3.1)$$

$$S_{D1} = S_1 \times F_1 \quad (3.2)$$

TBDY 2.3.4'e göre yatay elastik tasarım spektrumunun ordinat değerleri olan yatay elastik tasarım ivmeleri $S_{ae}(T)$, periyot değerlerine bağlı olarak denklem (3.3), (3.4), (3.5) ve (3.6) yardımıyla hesaplanır. Yatay elastik tasarım ivmeleri g cinsinden elde edilmektedir.

$$S_{ae}(T) = \left(0.4 + 0.6 \times \frac{T}{T_A}\right) \times S_{DS} \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad (3.3)$$

$$S_{ae}(T) = S_{DS} \quad (T_A \leq T \leq T_B) \quad (3.4)$$

$$S_{ae}(T) = \left(\frac{S_{D1}}{T}\right) \quad (T_B \leq T \leq T_L) \quad (3.5)$$

$$S_{ae}(T) = \left(\frac{S_{D1} \times T_L}{T^2}\right) \quad (T_L \leq T) \quad (3.6)$$

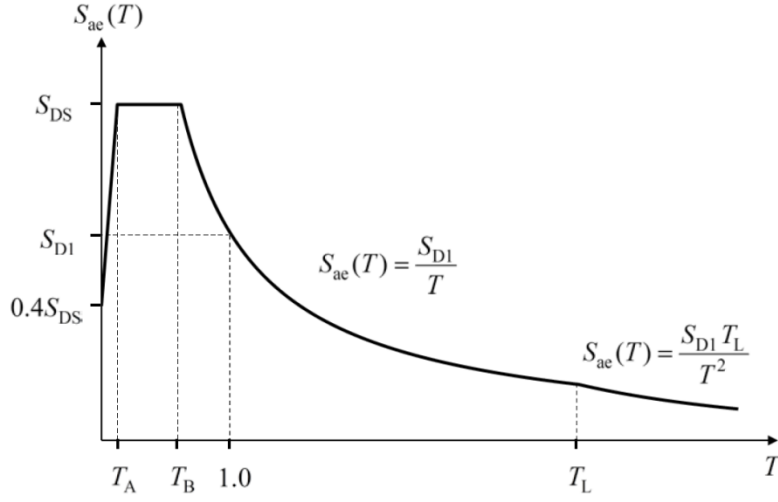
Yatay tasarım spektrumunun köşe periyotları olan T_A ve T_B , tasarım spektral ivme katsayılarına bağlı olarak denklem (3.7) ve (3.8) yardımıyla bulunur. Sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu T_L , 6 saniye olarak verilmiştir. Verilen denklemler ile elde edilen tasarım spektral ivmesi – periyot grafiği Şekil 3.1'de gösterilmiştir.

$$T_A = 0.2 \times \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.7)$$

$$T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.8)$$

Düşey elastik tasarım spektrumu TBDY 2.3.5'e göre belirlenmektedir. Düşey elastik tasarım spektrumunun ordinatları tasarım spektral ivme katsayıları yardımıyla belirlenir. Köşe periyodu değerleri ise T_A ve T_B periyotları yardımıyla hesaplanır. Sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu ise 3 saniye olarak verilmiştir.

Gözönüne alınan herhangi bir deprem yer hareketi düzeyi için yatay elastik tasarım yerdeğiştirme spektrumu TBDY 2.3.4.2'ye göre oluşturulacaktır. Yatay elastik tasarım yerdeğiştirme spektrumunun ordinatları; periyot ve yatay elastik tasarım spektral ivme katsayılarına bağlı olarak belirlenmektedir.



Şekil 3.1 : Tasarım spektral ivme – periyot grafiği.

3.1.3 Deprem etkisi altında binalar için tasarım esasları

Deprem etkisi altında binaların tasarım esasları TBDY Bölüm 3’de açıklanmıştır. Bu kapsamda ilk olarak bina kullanım sınıfı ve bina önem katsayısı belirlenir. Ardından önceki bölümde hesaplanan kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısına göre deprem tasarım sınıfı belirlenir. Belirlenen deprem tasarım sınıfı ve bina yüksekliğine göre binanın yükseklik sınıfı belirlenir. Bina yükseklik sınıfı taşıyıcı sistem davranış katsayısı ve deprem fazlalığı katsayısının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Daha sonrasında deprem tasarım sınıfına göre bina performans hedefi ve uygulanacak tasarım yaklaşımı belirlenir. Ek olarak binadaki düzensizlikler belirlenir. Binadaki düzensizlikler, yapının davranışını olumsuz yönde etkileyebileceği için ilgili bu düzensizliklerle ilgili koşullar ve sınırlamalar getirilmiştir. Bu düzensizlikler hesap yönteminin belirlenmesinde de etkili olmaktadır.

3.1.3.1 Bina kullanım sınıfları ve bina önem katsayıları

Bina kullanım sınıfları (BKS) TBDY 3.1.1’de tanımlanmıştır. Bina kullanım sınıfı, binanın kullanım amacına göre belirlenmektedir. Deprem sonrası kullanımı gereken binalar, insanların uzun süreli yoğun olarak bulunduğu yerler ve tehlikeli madde içeren binalar 1.sınıf binalar olarak adlandırılır. İnsanların kısa süreli yoğun olarak bulunduğu binalar 2.sınıf binalar olarak adlandırılır. İlk 2 sınıfa girmeyen, konut ve ofis gibi binalar 3.sınıf binalar olarak adlandırılır. Bina önem katsayısı doğrudan deprem kuvvetlerinin hesabında kullanılmaktadır. Bina kullanım sınıfı bina önem katsayısını gösteren Çizelge (3.9) aşağıda verilmiştir.

Çizelge 3.5 : Bina kullanım sınıfları ve bina önem katsayıları.

Bina Kullanım Sınıfı	Bina Kullanım Amacı	Bina Önem Katsayısı (I)
BKS = 1	Deprem sonrası kullanımı gereken binalar, insanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar, değerli eşyaların saklandığı binalar ve tehlikeli madde içeren binalar a) Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri; vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları) b) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb. c) Müzeler d) Toksik, patlayıcı, vb özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar	1,5
BKS = 2	İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar Alışveriş merkezleri, spor tesisleri, sinema, tiyatro, konser salonları, ibadethaneler, vb.	1,2
BKS = 3	Diğer binalar Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları	1,0

3.1.3.2 Deprem tasarım sınıfları ve bina yükseklik sınıfları

Deprem tasarım sınıfı (DTS) ve Bina yükseklik sınıfı (BYS) TBDY 3.2 ve 3.3'te açıklamıştır. Deprem tasarım sınıfı, DD-2 deprem yer hareketi düzeyinde kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı ve bina kullanım sınıfına bağlı olarak belirlenir (Çizelge 3.6).

Çizelge 3.6 : Deprem tasarım sınıfının belirlenmesi.

DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyinde Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı (S_{DS})	Bina Kullanım Sınıfı	
	BKS = 1	BKS = 2, 3
$S_{DS} < 0.33$	DTS = 4a	DTS = 4
$0.33 \leq S_{DS} < 0.50$	DTS = 3a	DTS = 3
$0.50 \leq S_{DS} < 0.75$	DTS = 2a	DTS = 2
$0.75 \leq S_{DS}$	DTS = 1a	DTS = 1

Bina yükseklik sınıfı, bina yüksekliği ve deprem tasarım sınıfına bağlı olarak belirlenir. Bina yüksekliği, binanın tabanından itibaren ölçülen yükseklik olarak tanımlanır. Bina tabanı bodrumsuz binalar için bina temel üst kotu olarak kabul edilir. TBDY 3.3.1.1'de bodrumlu binalar için verilen şartlara uyan binalar bodrumlu binalar olarak kabul edilir. Bu şartlar:

- Rijit bodrum perdelerinin binayı en az üç taraftan çevrelemesi.
- Her bir doğrultuda, bodrum katlı bina için hesaplanan doğal titreşim periyodunun, zemin kat döşemesi dâhil tüm bodrum kat kütlelerinin hesaba katılmayarak hesaplanan doğal titreşim periyoduna oranının 1.1'den küçük olması.

Bu şartları sağlayan binalar bodrumlu binalar olarak kabul edilir ve bina yüksekliği zemin kat tabanından itibaren ölçülen yükseklik olarak kabul edilir. Bina yükseklik sınıfları ve bina yükseklik aralıkları Çizelge (3.7)'de verilmiştir.

Çizelge 3.7 : Bina yükseklik sınıfının belirlenmesi.

Bina Yükseklik Sınıfı	Bina Yükseklik Sınıfları ve Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları [m]		
	DTS = 1, 1a, 2, 2a	DTS = 3, 3a	DTS = 4, 4a
BYS = 1	$H_N > 70$	$H_N > 91$	$H_N > 105$
BYS = 2	$56 < H_N \leq 70$	$70 < H_N \leq 91$	$91 < H_N \leq 105$
BYS = 3	$42 < H_N \leq 56$	$56 < H_N \leq 70$	$56 < H_N \leq 91$
BYS = 4	$28 < H_N \leq 42$	$42 < H_N \leq 56$	
BYS = 5	$17.5 < H_N \leq 28$	$28 < H_N \leq 42$	
BYS = 6	$10.5 < H_N \leq 17.5$	$17.5 < H_N \leq 28$	
BYS = 7	$7 < H_N \leq 10.5$	$10.5 < H_N \leq 17.5$	
BYS = 8	$H_N \leq 7$	$H_N \leq 10.5$	

3.1.3.3 Bina performans düzeyleri, hedefleri ve tasarım yaklaşımını

Bina performans düzeyleri TBDY 3.4'te tanımlanmıştır. Bunlar:

- Kesintisiz kullanım (KK) performans düzeyi
- Sınırlı hasar (SH) performans düzeyi
- Kontrollü hasar (KH) performans düzeyi
- Göçmenin önlenmesi (GÖ) performans düzeyi

Bina performans düzeyleri, bina performans hedeflerinin tanımlanmasında kullanılmaktadır. Bina performans hedefleri ve uygulanacak tasarım yaklaşımları TBDY 3.5'te verilmiştir. Yeni yapılacak veya mevcut yüksek binalar için (BYS=1) performans hedefleri ve uygulanacak tasarım yöntemi Çizelge 3.8'de verilmiştir.

Çizelge 3.8 : Yüksek binalar için performans hedefleri ve tasarım yaklaşımı.

Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DTS = 1, 2, 3, 3a, 4, 4a		DTS = 1a, 2a	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı
DD-4	KK	DGT	-	-
DD-3	-	-	SH	ŞGDT
DD-2	KH	DGT	KH	DGT
DD-1	GÖ	ŞGDT	KH	ŞGDT

TBDY’ye göre iki tasarım yaklaşımı bulunmaktadır. Bunlar:

- Dayanıma göre tasarım (DGT): Doğrusal bir hesap yöntemidir. Azaltılmış deprem yükleri altında doğrusal hesabı yapılan yapıdır. Deprem hesabından elde edilen görelî kat ötelemeleri değerleri izin verilen sınırlarla karşılaştırılır. Deprem taleplerinin dayanım kapasitelerinin altında olduğu ve aynı zamanda görelî kat ötelemelerinin izin verilen sınırların altında kaldığı gösterilerek tasarım tamamlanır.
- Şekildeğiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım (ŞGDT): Sünek elemanların doğrusal olmayan iç kuvvet – şekildeğiştirme bağıntıları kullanılarak hesap yapılır. Bu tasarım doğrusal olmayan tasarım olarak da isimlendirilir. Sünek olmayan elemanların ise doğrusal olarak hesabı yapılır. Öngörülen performans hedefine göre elemanların şekildeğiştirmeleri ya da dayanımları değerlendirilerek tasarım tamamlanır.

3.1.3.4 Düzensiz binalar

Deprem etkisi altında düzensiz binalar TBDY 3.6’da tanımlanmıştır. Binalardaki düzensizlikler planda ve düşeyde olmak üzere iki gruba ayrılır. Düzensizlikler, binanın deprem etkisi altındaki davranışını olumsuz yönde etkilediği için mümkün olduğunca kaçınmak gerekir. Yapılmasına izin verilmeyen ve sınırlı şekilde yapılmasına izin verilen düzensizlikler TBDY Tablo 3.6’da verilmiştir. Düzensizlikler deprem hesap yönteminin seçiminde etkili olmaktadır. Düzensizlik kontrolleri yapılırken kullanılacak deplasman değerlerinin elde edilmesi için arttırılmamış deprem yükleri kullanılacaktır. TBDY’de tanımlanan düzensizlikler Çizelge 3.9’da verilmiştir.

Çizelge 3.9 : TBDY'ya göre düzensiz binalar.

A – PLANDA DÜZENSİZLİK DURUMLARI	İlgili Maddeler
<p>A1 – Burulma Düzensizliği: Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük görelî kat ötelemesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama görelî ötelemeye oranını ifade eden <i>Burulma Düzensizliği Katsayısı</i> η_{bi} 'nin 1.2'den büyük olması durumu (Şekil 3.1).</p> <p>$[\eta_{bi} = (\Delta_i^{(X)})_{\max} / (\Delta_i^{(X)})_{\text{ort}} > 1.2]$. <i>Görelî kat ötelemelerinin hesabı, \pm %5 ek dışmerkezlik etkileri de gözönüne alınarak, 4.7'ye göre yapılacaktır.</i></p>	3.6.2.1
<p>A2 – Döşeme Süreksizlikleri: Herhangi bir kattaki döşemede (Şekil 3.2); I – Merdiven ve asansör boşlukları dahil, boşluk alanları toplamının kat brüt alanının 1/3'ünden fazla olması durumu, II – Deprem yüklerinin düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarılabilmesini güçleştiren yerel döşeme boşluklarının bulunması durumu, III – Döşemenin düzlem içi rijitlik ve dayanımında ani azalmaların olması durumu</p>	3.6.2.2
<p>A3 – Planda Çıkıntılar Bulunması: Bina kat planlarında çıkıntı yapan kısımların birbirine dik iki doğrultudaki boyutlarının her ikisinin de, binanın o katının aynı doğrultudaki toplam plan boyutlarının %20'sinden daha büyük olması durumu (Şekil 3.3).</p>	3.6.2.2
B – DÜŞEYDE DÜZENSİZLİK DURUMLARI	İlgili Maddeler
<p>B1 – Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat): Betonarme binalarda, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi birinde, herhangi bir kattaki <i>toplam etkili kesme alanı</i> 'nın, bir üst kattaki <i>toplam etkili kesme alanı</i> 'na oranı olarak tanımlanan <i>Dayanım Düzensizliği Katsayısı</i> η_{ci} 'nin 0.80'den küçük olması durumu.</p> <p>$[\eta_{ci} = (\sum A_e)_i / (\sum A_e)_{i+1} < 0.80]$</p> <p><i>Herhangi bir katta etkili kesme alanının tanımı:</i></p> <p>$(\sum A_e)_i = (\sum A_w)_i + (\sum A_g)_i + (0.15 \sum A_k)_i$</p> <p>Not: 4.9.1.3(b)'de tanımlanan duvarlar için $A_k = 0$ alınacaktır.</p>	3.6.2.3
<p>B2 – Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat): Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, bodrum katlar dışında, herhangi bir i'inci kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranının bir üst veya bir alt kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranına bölünmesi ile tanımlanan <i>Rijitlik Düzensizliği Katsayısı</i> η_{ki} 'nin 2.0'den fazla olması durumu.</p> <p>$[\eta_{ki} = (\Delta_i^{(X)} / h_i)_{\text{ort}} / (\Delta_{i+1}^{(X)} / h_{i+1})_{\text{ort}} > 2.0$ veya</p> <p>$\eta_{ki} = (\Delta_i^{(X)} / h_i)_{\text{ort}} / (\Delta_{i-1}^{(X)} / h_{i-1})_{\text{ort}} > 2.0]$</p> <p><i>Görelî kat ötelemelerinin hesabı, \pm %5 ek dışmerkezlik etkileri de gözönüne alınarak 4.7'ye göre yapılacaktır.</i></p>	3.6.2.1
<p>B3 – Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği: Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının (kolon veya perdelerin) bazı katlarda kaldırılarak kirişlerin veya guseli kolonların üstüne veya ucuna oturtulması, ya da üst kattaki perdelerin altta kolonlara oturtulması durumu (Şekil 3.4).</p>	3.6.2.4

3.1.4 Binaların dayanıma göre tasarımı için hesap esasları

Deprem etkisi altında binaların dayanıma göre tasarımı için hesap esasları TBDY Bölüm 4'te açıklanmıştır. Bu yaklaşımda aşağıdaki esaslar göz önüne alınmaktadır:

- Hedeflenen performans düzeyi ve yapının süneklik düzeyine göre azaltılmış deprem yükleri belirlenir.
- Azaltılmış deprem yükleri altında binanın doğrusal hesabı yapılır ve elemanların iç kuvvetleri elde edilir.
- Elde edilen iç kuvvetler elemanların dayanım kapasiteleri ile karşılaştırılır.
- Deprem hesabından elde edilen görelî kat ötelemeleri izin verilen sınırlarla karşılaştırılır.
- Dayanım talepleri dayanım kapasitesinin üzerinde ise kesitler değiştirilerek hesaplar tekrarlanır.

Dayanıma göre tasarım yalıtımlı binalar ve mevcut binaların değerlendirilmesi dışında tüm binaların tasarımı için temel hesap yöntemidir. Dayanıma göre hesap yöntemi yüksek binaların (BYS=1) hesabında ön tasarım yöntemi olarak kullanılmaktadır.

3.1.4.1 Deprem yükü azaltma katsayısı ve taşıyıcı sistem davranış katsayısı

Deprem yükü azaltma katsayısı TBDY 4.2'de açıklanmıştır. Buna göre deprem yükü azaltma katsayısı ($R_a(T)$); taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R), bina önem katsayısı (I), dayanım fazlalığı katsayısı (D), spektrum köşe periyot değeri (T_B) ve sistemin doğal titreşim periyoduna (T) bağlı olarak hesaplanmaktadır. Deprem yükü azaltma katsayısı aşağıda verilen denklem (3.9) ve (3.10) yardımıyla hesaplanır.

$$R_a(T) = \frac{R}{I} \quad (T > T_B) \quad (3.9)$$

$$R_a(T) = D + \left(\frac{R}{I} - D \right) \times \frac{T}{T_B} \quad (T \leq T_B) \quad (3.10)$$

3.1.4.2 Taşıyıcı sistem davranış katsayısı ve dayanım fazlalığı katsayısı

Taşıyıcı sistem davranış katsayısının belirlenmesi, uygulama sınırları ve dayanım fazlalığı katsayısının belirlenmesi TBDY 4.3'te açıklanmıştır. Bu katsayılar bina

yükseklik sınıfı ve seçilen süneklik düzeyine bağlı olarak verilmiştir. R ve D katsayıları seçilirken dikkat edilmesi gereken hususlar aşağıda özetlenmiştir.

- Bina yükseklik sınıfı 1 olan binalar yalnızca A12, A13, A14, A15, B12 ve B13 simgeleri ile gösterilen süneklik düzeyi yüksek sistemlerden oluşturulabilir.
- Bodrum binalı yapılarda, bodrum katların bulunduğu alt bölümlerde $(R/I)=2.5$ ve $D=1.5$ alınacaktır.
- Birbirine dik doğrultularda taşıyıcı sistemlerin süneklik düzeylerinin aynı olması gerekmektedir.
- Taşıyıcı sistemde tek bir perdenin veya çelik çaprazlı aldığı taban devrilme momenti, o doğrultuda binanın tümü için deprem yüklerinden meydana gelen toplam taban devrilme momentinin $1/3$ 'ünden fazla olmayacaktır.
- Süneklik düzeyi yüksek bağ kirişli veya bağ kirişsiz sistemlerde perdelerin tabanında deprem yüklerinden meydana gelen devrilme momentinin, binanın tümü için deprem yüklerinden tabanda meydana gelen toplam devrilme momentine oranı %40'tan az, %75'ten fazla olmayacaktır.
- Süneklik düzeyi karma sistemlerde, perdelerin tabanın meydana gelen devrilme momenti, binanın tabanında meydana gelen toplam devrilme momentinin %75'inden az olmayacaktır.
- Taşıyıcı sistem elemanlarının sünek davranış gösteren elemanlarının tasarımında dayanım fazlalığı katsayısı kullanılmayacaktır.
- Taşıyıcı sistem elemanlarının gevrek davranış gösteren elemanlarında dayanım fazlalığı katsayısı kullanılacaktır.
- Bina döşemelerinde düzlem içi kuvvetlerin hesabında dayanım fazlalığı katsayısı kullanılacaktır.
- Kolon ve perdelerden temele aktarılan kuvvetlerin hesabında dayanım fazlalığı katsayısı kullanılacaktır.

Süneklik düzeyi yüksek betonarme binalar için kullanılacak taşıyıcı sistem davranış katsayıları, dayanım fazlalığı katsayıları ve izin verilen bina yükseklik sınıfları Çizelge 3.10'da verilmiştir.

Çizelge 3.10 : Süneklik düzeyi yüksek betonarme sistemler için katsayılar.

Bina Taşıyıcı Sistem	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R	Dayanım Fazlalığı Katsayısı D	İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfları BYS
A. YERİNDE DÖKME BETONARME BİNALARIN TAŞIYICI SİSTEMLERİ			
A1. Süneklik Düzeyi Yüksek Taşıyıcı Sistemler			
A11. Deprem etkilerinin tamamının moment aktaran <i>süneklik düzeyi yüksek</i> betonarme çerçevelerle karşılandığı binalar	8	3	BYS ≥ 3
A12. Deprem etkilerinin tamamının <i>süneklik düzeyi yüksek</i> bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdelerle karşılandığı binalar	7	2.5	BYS ≥ 2
A13. Deprem etkilerinin tamamının <i>süneklik düzeyi yüksek</i> boşluksuz betonarme perdelerle karşılandığı binalar	6	2.5	BYS ≥ 2
A14. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi yüksek</i> betonarme çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi yüksek</i> bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar	8	2.5	BYS ≥ 2
A15. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi yüksek</i> betonarme çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi yüksek</i> boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar	7	2.5	BYS ≥ 2
A16. Deprem etkilerinin tamamının çatı yüzeyindeki bağlantıları mafsalı olan ve yüksekliği 12 m'yi geçmeyen <i>süneklik düzeyi yüksek</i> betonarme kolonlar tarafından karşılandığı tek katlı binalar	3	2	-

3.1.4.3 Birbirine dik doğrultudaki deprem etkilerinin birleştirilmesi

Yatayda birbirine dik doğrultudaki deprem kuvvetleri TBDY 4.4.2'ye göre birleştirilecektir. Buna göre:

$$E_d^{(H)} = \pm E_d^{(X)} \pm 0.3E_d^{(Y)} \quad (3.11)$$

$$E_d^{(H)} = \pm 0.3E_d^{(X)} \pm E_d^{(Y)} \quad (3.12)$$

Denklem (3.11) ve (3.12)'de verilen $E_d^{(H)}$ birleştirilmiş deprem etkisini, $E_d^{(X)}$ ve $E_d^{(Y)}$ birbirine dik X ve Y doğrultusunda hesaplanan deprem etkilerini göstermektedir.

3.1.4.4 Düşey deprem etkisi hesabı ve diğer etkilerle birleştirilmesi

Aşağıda tanımı yapılan tipte elemanları içeren binalar ve DTS=1, DTS=1a, DTS=2, DTS=2a deprem tasarım sınıfına sahip olan binalarda düşey deprem etkisi düşey elastik tasarım spektrumu kullanılarak hesaplanacaktır. Bu elemanlar:

- Açıklıklarının yataydaki izdüşümü 20m'den fazla kirişe sahip olan binalar.
- Yataydaki izdüşümü 5m'den fazla konsola sahip olan binalar.
- Kirişe oturan kolon ve kolonları düşeye göre eğimli olan binalar.

Yukarıda belirtilen elemanların dışındaki taşıyıcı sistem kısımlarında ve diğer binalarda düşey deprem etkisi $E_d^{(Z)}$ denklem (3.13) ile belirlenecektir. Verilen formülde G sabit yük etkisini göstermektedir.

$$E_d^{(Z)} = \frac{2}{3} \times S_{DS} \times G \quad (3.13)$$

Düşey deprem etkisi, yatay deprem etkileriyle denklem (3.14) ve (3.15)'de verildiği şekilde birleştirilecektir.

$$G + Q + 0.2S + E_d^{(H)} + 0.3E_d^{(Z)} \quad (3.14)$$

$$0.9G + H + E_d^{(H)} - 0.3E_d^{(Z)} \quad (3.15)$$

3.1.4.5 Doğrusal hesap sistem modellemesinde uyulacak diğer kurallar

Doğrusal hesap için taşıyıcı sistem modellemesinde uyulacak diğer kurallar TBDY 4.5'te açıklanmıştır. Buna göre:

- Bina taşıyıcı sistemleri üç boyutlu olarak modellenecektir.
- Birbirine dik iki yatay doğrultuda deprem etkisi göz önüne alınacaktır.
- Sönüm oranı %5 alınacaktır.
- Kiriş ve kolonlar çubuk, betonarme perdeler kabuk, döşemeler kabuk (shell) veya membran olarak modellenecektir.
- Bağ kirişli perdeler, bağ derecesi katsayının 0.33'ten büyük olan perdeler olarak tanımlanmıştır. Bağ kirişler kabuk eleman olarak modellenebileceği gibi çubuk eleman olarak da modellenebilirler.
- A2 ve A3 düzensizliği olan yapılarda ve döşemelerin rijit diyafram olarak çalışmasının beklenmediği kirişsiz döşemeli sistemlerde döşemeler iki boyutlu kabuk eleman olarak (membran) modellenecektir.
- Rijit diyafram olarak modellenen döşemelerin, düzlem içi kuvvetleri güvenle taşıyabileceği gösterilmelidir. Gerekli durumlarda bağlantı donatıları veya aktarma donatıları kullanılabilir.
- Geçiş katlarında döşemeler düzensizlik olup olmadığına bakılmaksızın membran olarak modellenecektir.

- Hesaplamalarda etkin kesit rijitlikleri kullanılacaktır. Bu rijitlikleri sadece depremlı yük birleşimleri için kullanılacaktır. Etkin kesit rijitlikleri Çizelge 3.11’de verilmiştir.

Çizelge 3.11 : Betonarme taşıyıcı elemanların etkin kesit rijitlikleri.

Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanı	Etkin Kesit Rijitliği Çarpanı	
Perde-Döşeme (Düzlem İçi)	Eksenel	Kayma
Perde	0,50	0,50
Bodrum Perdesi	0,80	0,50
Döşeme	0,25	0,25
Perde-Döşeme (Düzlem Dışı)	Eğilme	Kesme
Perde	0,25	1,00
Bodrum Perdesi	0,50	1,00
Döşeme	0,25	1,00
Çubuk Eleman	Eğilme	Kesme
Bağ kirişi	0,15	1,00
Çerçeve kirişi	0,35	1,00
Çerçeve kolonu	0,70	1,00
Perde (eşdeğer çubuk)	0,50	0,50

- Deprem yükleri altında hesapta hareketli yük katılım katsayısı (n) için Çizelge 3.12’te verilen değerler kullanılacaktır. Endüstri binalarında sabit ekipmanlar için hareketli yük katılım katsayısı 1 alınacaktır. Çatı katı ağırlığının hesabında kar yüklerinin %30’u göz önüne alınacaktır.

Çizelge 3.12 : Hareketli yük katılım katsayısı.

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

- Deprem hareketinin etkisinde binada rijitliğin ve kütleinin düzensiz dağılışından dolayı ekstra etkiler meydana gelecektir. Bu etkiler ek dışmerkezlik etkisiyle göz önüne alınacaktır. Ek dışmerkezlik etkisi her bir doğrultuda en az %5 olarak alınacaktır.
- Kullanılacak hareketli yük değerleri TS 498 12’ye göre göz önüne alınacaktır (Çizelge 3.13).

Çizelge 3.13 : TS 498'e göre hareketli yük değerleri.

Kullanma Şekli			Hesap Değeri	
	ÇATILAR Yatay veya 1/20'ye kadar eğimli	Döşemeler	MERDİVENLER (Sahanlık ve merdiven girişi dahil)	kN/m ²
1		Çatı arası odalar		1,5
2	Zaman zaman kullanılan çatılar	Konut, teras oda ve koridorlar, bürolar, konutlardaki 50 m ² 'ye kadar olan dükkanlar, hastane odaları		2
	ÇATILAR Yatay veya 1/20'ye kadar eğimli	Döşemeler	MERDİVENLER (Sahanlık ve merdiven girişi dahil)	Hesap Değeri kN/m ²
3	Konut toleranslarının kullanılması ve çiçeklik (bahçe yapılması)	Hastanelerin mutfakları, muayene odaları, poliklinik odaları, sınıflar, yatakhaneler, anfiler	Konut Merdivenleri	3,5
4		– Camiler – Tiyatro ve sinemalar, – Spor dans ve sergi salonları, – Tribünler (oturma yeri sabit olan) – Toplantı ve bekleme salonları – Mağazalar, – Lokantalar – Kütüphaneler – Arşivler – Hafif ağırlıklı atölyeler – Büyük mutfaklar, kantinler – Mezbahalar – Fırınlr, – Büyükbaş hayvan ahırları – Balkonlar 10 m ² 'ye kadar – Büro, hastane okul, tiyatro sinema kütüphane depo vb. genel yapı koridorları	Umuma açık yapılarda büro hastane okul, tiyatro, kütüphane kitaplık vb.	5
5		– Tribünler (oturma yeri sabit olmayan)		7,5
6		– Garajlar (Toplam ağırlığı 2,5 tona kadar olan araçlar için)		5

- Kullanılacak yük birleşimleri TS 500 6.2.6 ve TBDY'de depremlili durumlar için verilen özel koşullar kullanılarak oluşturulacaktır. Oluşturulacak yük birleşimleri:
 - 1,4G + 1,6Q
 - 1,0G + 1,2Q + 1,2T
 - 1,0G + 1,3Q + 1,3W
 - 0,9G + 1,3W
 - 1,0G + 1,0Q + 1,0E
 - 0,9G + 1,0E
- Kullanılabilecek betonarme çeliklerinin mekanik özellikleri TS 500 3.2'de verilmiştir (Çizelge 3.14).

Çizelge 3.14 : Donatı çelikleri mekanik özellikleri.

Mekanik Özellikler	Donatı Çubukları					Hasır Donatı
	Doğal Sertlikte			Soğukta İşlem Görmüş		
	S220a	S220a	S500a	S420b	S500bs	S500bk
Minimum akma dayanımı f_{yk} (MPa)	220	420	500	420	500	500
Minimum kopma dayanımı f_{su} (MPa)	340	500	550	550	550	550
$\phi \leq 32$ Minimum kopma uzaması ϵ_{su} (%)	18	12	12	10	8	5
$32 < \phi \leq 50$ Minimum kopma uzaması ϵ_{su} (%)	18	10	10	10	8	5

- Kullanılabilecek beton sınıfları ve mekanik özellikleri TS 500 3.3'de verilmiştir (Çizelge 3.15).

Çizelge 3.15 : Beton sınıfları ve mekanik özellikleri.

Beton Sınıfı	Karakteristik Basınç Dayanımı, f_{ck}	Eşdeğer Küp (200 mm) Basınç Dayanımı	Karakteristik Eksenal Çekme Dayanımı, f_{ctk}	28 Günlük Elastisite Modülü, E_c
	MPa	MPa	MPa	MPa
C16	16	20	1,4	27 000
C18	18	22	1,5	27 500
C20	20	25	1,6	28 000
C25	25	30	1,8	30 000
C30	30	37	1,9	32 000
C35	35	45	2,1	33 000
C40	40	50	2,2	34 000
C45	45	55	2,3	36 000
C50	50	60	2,5	37 000

- Malzemelerin dizayn dayanımının hesaplanmasında kullanılacak malzeme katsayıları TS 500 6.2.5'de verilmiştir. Buna göre beton için malzeme katsayısı 1.5, donatı için malzeme katsayısı 1.15 alınacaktır.

3.1.4.6 Doğrusal hesap yöntemleri ve hesap yönteminin seçilmesi

Doğrusal hesap yönteminin seçimi TBDY 4.6'da açıklanmıştır. Buna göre, eşdeğer deprem yükü yöntemi ve modal hesap yöntemi olmak üzere iki doğrusal hesap yöntemi vardır. Eşdeğer deprem yükü yönteminin kullanımı için bazı sınırlamalar getirilmiştir. Buna göre bina yükseklik sınıfı 3 ve 3'ten küçük olan yapılarda eşdeğer deprem yükü kullanımına izin verilmemektedir. Bina yükseklik sınıfı 4 olan ve deprem tasarım sınıfı 1, 1a, 2, 2a olan yapılarda, B2 türü düzensizlik bulunduğu takdirde de eşdeğer deprem kullanımına izin verilmemektedir.

Göz önüne alınan deprem doğrultusunda eşdeğer deprem kuvveti denklem 3.16 ile hesaplanmaktadır.

$$V_{tE} = m_t \times S_{aR}(T_p) \geq 0.04 \times m_t \times I \times S_{DS} \times g \quad (3.16)$$

Bu denklemde verilen m_t bina kütlelerini, $S_{aR}(T_p)$ göz önüne alınan doğrultuda binanın doğal titreşim periyoduna bağlı hesaplanan azaltılmış tasarım spektral ivme katsayısını göstermektedir. Yapının doğal titreşim periyodu T_p , denklem 3.17 ile hesaplanan periyot değerinin 1.4 katından daha fazla alınmayacaktır. Verilen denklemde H_N bina yüksekliğini ifade etmektedir. C_t sabiti ise betonarme çerçevelerden oluşan binalar için 0.1, çelik çapraz veya çerçevelerden oluşan binalar için 0.08, bu sınıfın dışında kalan binalar için 0.07 alınacaktır. Deprem etkilerinin tamamının betonarme perdelerle karşılandığı binalar için C_t katsayısı TBDY’de verilen 4.27 bağıntısı ile hesaplanacaktır.

$$T_{pA} = C_t \times H_N^{3/4} \quad (3.17)$$

Eşdeğer deprem yükü yalnızca burulma katsayısının 2.0’den küçük olduğu binalarda kullanılabilir. Burulma katsayısının 1.20’den büyük olduğu durumlarda ek dışmerkezlik etkisi denklem 3.18’de verilen katsayı ile arttırılacaktır. Verilen denklemde yer alan η_{bi} binanın i. Katındaki burulma düzensizliği katsayısını ifade etmektedir.

$$D_{bi} = \left(\frac{\eta_{bi}}{1.2} \right)^2 \quad (3.18)$$

Deprem etkisi altında yapının modal davranışını esas alan modal hesap yöntemi deprem spektrumu kullanılarak mod birleştirme yöntemiyle gerçekleştirilir. Modal hesap yönteminde her bir doğrultuda yeterli titreşim modu sayısı göz önüne alınmalıdır. Her bir doğrultuda modal etkin kütleleri toplamının bina kütlelerine oranı %95’ten daha az olmamalıdır. Katkısı %3’ten büyük olan tüm modlar göz önüne alınmalıdır.

Mod toplama yönteminde, depremin eşzamanlı olarak birbirine dik iki yatay doğrultuda etkidiğinin gözönüne alınması durumunda, her bir titreşim moduna ait modal davranış büyüklükleri zaman tanım alanında modal hesap yöntemi ile hesaplanır. Yeteri kadar titreşim modu için hesaplanan eşzamanlı modal davranış büyüklükleri daha sonra zaman tanım alanında doğrudan toplanarak davranış büyüklüklerinin zamana göre değişimi ve tasarımda esas alınmak üzere en büyük değerler elde edilir. Bu yöntemde deprem etkileri aynı anda her iki doğrultuda etkitildiği için doğrultu birleştirme kurallarının uygulanmasına gerek yoktur.

Mod birleştirme yöntemiyle elde edilen taban kesme kuvveti, eşdeğer deprem yükü yöntemiyle elde edilen taban kesme kuvvetine β_{tE} katsayısı kullanılarak eşitlenecektir. β_{tE} katsayısının hesabı denklem 3.19'de verilmiştir.

$$\beta_{tE} = \frac{V_{tE}}{V_t} \geq 1 \quad (3.19)$$

Verilen denklemde V_{tE} ilgili doğrultuda eşdeğer deprem yükü yöntemiyle hesaplanan deprem kuvvetini, V_{tx} ilgili doğrultuda mod birleştirme yöntemiyle elde edilen deprem yükünü göstermektedir. γ_E katsayısı A1, B2 veya B3 düzensizliklerinden birinin bulunduğu binalarda 0.90, diğer durumlarda 0.80 alınacaktır. Eşdeğer deprem yükü eşitleme katsayısı 1'den küçük alınmayacaktır.

3.1.4.7 Görelî kat ötelemelerinin sınırlandırılması ve ikinci mertebe etkileri

Görelî kat ötelemelerinin sınırlandırılması ve ikinci mertebe etkileri TBDY 4.9'da açıklanmıştır. TBDY 4.9.1.1'e göre bir perde veya kolon için, ardışık iki kat arasındaki yerdeğiştirme farkı azaltılmış görelî kat ötelemesi olarak ifade edilir (Δ_i). Ancak yerdeğiştirmelerin hesabında minimum eşdeğer deprem yükü koşulu göz önüne alınmayacaktır. Herhangi bir doğrultuda etkin görelî kat ötelemesi denklem (3.20) ile hesaplanacaktır.

$$\delta_i = \frac{R}{I} \Delta_i \quad (3.20)$$

Hesaplanan etkin görelî kat ötelemeleri denklem (3.21) veya (3.22) ile verilen sınır değeri aşmayacaktır. Denklem (3.21) ile verilen sınır değer, gevrek malzemenin yapılmış dolgu duvarların binaya bitişik olması durumunda kullanılacaktır. Denklem (3.22) ile verilen koşul, gevrek dolgu duvarların binaya bitişik olmaması veya arada esnek derzler yapılması durumunda kullanılacaktır. Verilen denklemde λ katsayısı, göz önüne alınan deprem doğrultusunda DD-3 yer hareketi düzeyindeki elastik tasarım spektral ivmesinin, DD-2 yer hareketi düzeyindeki elastik tasarım spektral ivmesine oranını ifade etmektedir. κ katsayısı betonarme binalar için 1 alınacaktır.

$$\lambda \frac{\delta_{i,max}}{h_i} \leq 0.008\kappa \quad (3.21)$$

$$\lambda \frac{\delta_{i,max}}{h_i} \leq 0.016\kappa \quad (3.22)$$

İkinci mertebe etkileri TBDY 4.9.2'de açıklanmıştır. Buna göre her bir kat için belirli bir deprem doğrultusunda ikinci mertebe gösterge değeri ($\theta_{II,i}$) denklem (3.23) ile

hesaplanacaktır. Her bir kat için hesaplanan $\theta_{II,i}$ değerlerinin maksimumu olan $\theta_{II,max}$ denklem (3.24) ile verilen değeri aşmayacaktır.

$$\theta_{II,i} = \frac{(\Delta_i)_{ort} \sum_{k=1}^N w_k}{V_i \times h_i} \quad (3.23)$$

$$\theta_{II,max} \leq 0.12 \frac{D}{C_h \times R} \quad (3.24)$$

Denklemden verilen R ve D katsayıları, taşıyıcı sistem davranış katsayısını ve dayanım fazlalığı katsayısını ifade etmektedir. C_h katsayısı ise taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan çevrimsel davranışına bağlı olarak ifade edilen bir katsayıdır. Betonarme yapılar için bu katsayı 0.5 alınacaktır. Denklem (3.24) ile verilen koşulun sağlanmaması durumunda tüm iç kuvvetler, TBDY 4.37’de verilen bağıntı ile arttırılacaktır.

3.1.5 Betonarme elemanların tasarım kuralları

Düşey yükler ve deprem etkileri altındaki binalarda betonarme elemanların tasarımı TBDY Bölüm 7’ye göre yapılacaktır. Betonarme tasarım ile ilgili genel kurallar aşağıda özetlenmiştir.

- Kesit hesapları TS 500’de verilen kurallara göre yapılacaktır.
- Betonarme yapılarda C25’den küçük beton sınıflarının kullanılmasına izin verilmemektedir.
- Beton sınıfı C25 ila C80 arasında seçilecektir. C50’ye kadar olan beton sınıflarının mekanik özellikleri için TS 500 kullanılacaktır. C50 ‘den büyük beton sınıflarının mekanik özellikleri için TS EN 1992-1 (EC2) kullanılacaktır.
- Donatı olarak B420C ve B500C kullanılacaktır. Donatıların özellikleri TS 708’de verilen özellikleri sağlamak zorundadır.
- Donatıların kenetlenme ve bindirme boyları TS 500’de verilen şartlara göre belirlenecektir.
- Süneklik düzeyi yüksek ve süneklik düzeyi sınırlı olan betonarme sistemlerin kolonlarında, kolon-kiriş birleşim bölgelerinde, perde uç bölgelerinde ve kiriş sarılma bölgelerinde özel deprem etriyesi ve özel deprem çirozları kullanılacaktır.

3.1.5.1 Süneklik düzeyi yüksek kolonlar için tasarım esasları

Süneklik düzeyi yüksek betonarme kolonlar için tasarım esasları aşağıda özetlenmiştir.

- Dikdörtgen kesitli kolonların en küçük enkesit boyutu 300 mm'den az olmayacaktır. Kolon enkesit alanı, depremler altında elde edilen en büyük basınç kuvveti değeri N_{dm} olmak üzere, $N_{dm} / 0.40f_{ck}$ değerinden küçük olmayacaktır. Depremler haricindeki yük birleşimleri içinse eksenel kuvvet değeri $0.60f_{ck}$ değerinden fazla olmayacaktır.
- Kolonlarda donatı oranı %1'den az, %4'ten fazla olmayacaktır. Bindirme bölgelerinde toplam boyuna donatı oranı %6'yı geçmeyecektir. Kolonlarda $\emptyset 14$ 'ten küçük çaplı donatı kullanılmayacaktır.
- Boyuna donatı bindirme ekleri kolon orta bölgesinde yapılacaktır. Bindirme boyları TS 500'de verilen değerleri sağlayacaktır.
- Kolonların uç bölgelerinde özel sarılma bölgeleri oluşturulacaktır. Etriye koşulları TBDY 7.3.4.1'de verilen koşulları sağlayacaktır.
- TBDY 7.3.5'de verilen, kolonların kirişlerden güçlü olma koşulu, ilgili maddede verilen istisnai durumlar dışında sağlanacaktır.
- Kolonların enine donatı hesabında esas alınacak kesme kuvvetinin belirlenmesi için iki yaklaşım bulunmaktadır. Birinci yaklaşım, kolonun moment kapasitesinden yola çıkılarak kolona etkiyebilecek maksimum kesme kuvvetinin bulunması esasına dayanır. İkinci yaklaşımda ise düşey yükler ile deprem etkilerinin dayanım fazlalığı katsayısı ile artırılmasıyla elde edilen kuvvetlerin toplanmasıyla elde edilir.
- Kolonlara etki eden kesme kuvveti TBDY 7.7'de verilen bağıntıyla elde edilen kesme kuvvetinden fazla olmayacaktır.
- Betonun kesme dayanımına katkısı ancak elemanın verilen şartları sağladığı durumlarda göz önüne alınacaktır. Buna göre; deprem yüklerinden oluşan kesme kuvvetinin toplam kesme kuvvetine oranı 0.5'ten küçük olmalıdır ve kolana etkiyen eksenel kuvvet değeri $0.05A_c f_{ck}$ 'dan büyük olmalıdır. Aksi takdirde kolonun kesme dayanımına katkısı ihmal edilecektir.

3.1.5.2 Süneklik düzeyi yüksek kirişler için tasarım esasları

Süneklik düzeyi yüksek betonarme kirişler için tasarım esasları aşağıda özetlenmiştir.

- Kiriş gövde genişliği 250 mm'den az olmayacaktır. Kiriş yüksekliği ise döşeme kalınlığının 3 katından ve 300 mm'den az olmayacaktır. Ayrıca kiriş yüksekliği gövde genişliğinin 3.5 katından fazla olmayacaktır.
- Kirişlerde tasarım aksenal kuvveti $0.10A_c f_{ck}$ 'dan büyük ise eleman kolon olarak tasarlanacaktır.
- Kiriş boyuna donatı çapı $\phi 12$ 'den küçük olmayacaktır. Çekme donatısı oranı %2'den fazla olmayacaktır. Kiriş mesnetlerindeki donatı oranı verilen minimum donatı oranından fazla olacaktır.
- Kirişin iki ucundaki üst mesnet donatılarının büyük olanının en az %25'i tüm kiriş boyunca devam ettirilecektir. Kiriş mesnetindeki alt donatının en az yarısı sağ ve sol mesnetlerine devam ettirilecektir. Bu oran deprem tasarım sınıfına bağlı olarak %30'a indirilebilir.
- TS 500de verilen bindirme ve kenetlenme boylarına uyulacaktır.
- Kirişlerin uç bölgelerinde özel sarılma bölgeleri oluşturulacaktır. Bu bölgelerde özel deprem etriyeleri kullanılacaktır.
- Kirişlerin enine donatı hesabında esas alınacak kesme kuvvetinin belirlenmesi için iki yaklaşım bulunmaktadır. Birinci yaklaşım, kirişin moment kapasitesinden yola çıkılarak kirişe etkiyebilecek maksimum kesme kuvvetinin bulunması esasına dayanır. İkinci yaklaşımda ise düşey yükler ile deprem etkilerinin dayanım fazlalığı katsayısı ile arttırılmasıyla elde edilen kuvvetlerin toplanmasıyla elde edilir.
- Kirişlere etki eden kesme kuvveti $0.85b_w d \sqrt{f_{ck}}$ değerinden fazla olmayacaktır.
- Betonun kiriş kesme dayanımına katkısı TS 500'e göre belirlenecektir. Ancak, deprem yüklerinden oluşan kesme kuvvetinin toplam kesme kuvvetine oranı 0.5'ten büyükse betonun kesme dayanımına katkısı ihmal edilecektir.

3.1.5.3 Süneklik düzeyi yüksek perdeler için tasarım kuralları

Perdeler plandaki uzun kenarının kısa kenarına oranı en az 6 olan düşey taşıyıcı sistem elemanlarına denir. Süneklik düzeyi yüksek betonarme perdeler için tasarım kuralları TBDY 7.6'da açıklanmıştır.

Enkesit koşulları

Süneklik düzeyi yüksek betonarme perdeler için enkesit koşulları TBDY 7.6.1'de açıklanmıştır. Buna göre düşey ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan en büyük aksel basınç kuvveti $0.35A_c f_{ck}$ değerini aşmamalıdır. Perde gövde bölgesi kalınlığı denklem (3.25) ve (3.26) ile verilen şartları sağlamadığı müddetçe 250 mm'den ve kat yüksekliğinin 1/16'sından küçük olmayacaktır.

$$\Sigma A_g / \Sigma A_p \geq 0.002 \quad (3.25)$$

$$V_t / \Sigma A_g \leq 0.5f_{ctd} \quad (3.26)$$

Denklemlerde verilen A_g bir katta göz önüne alınan deprem doğrultusundaki perde alanları toplamını, A_p binanın tüm katlarının plan alanlarının toplamını, V_t binaya etkiyen toplam deprem kuvvetini göstermektedir.

Perde uç bölgeleri ve kritik perde yüksekliği

Perde uç bölgeleri ve kritik perde yüksekliği TBDY 7.6.2'de açıklanmıştır. Buna göre yüksekliğinin plandaki boyuna oranı 2.0'dan büyük olan tüm perdelerin her iki ucunda perde uç bölgeleri oluşturulacaktır. Perde uç bölgesi uzunluğu, kritik perde yüksekliği boyunca perdenin plandaki uzunluğunun %20'sinden ve perde kalınlığının iki katından daha az olmayacaktır. Kritik perde yüksekliğinden sonra ise perdenin plandaki uzunluğunun %10'undan ve perde kalınlığından daha az olmayacaktır. Perde uç bölgeleri, perdeye birleşen bir diğer perdenin içinde düzenlenirse her bir perde uç bölgesi perde gövdesinin içine doğru en az 300 mm kadar uzatılacaktır. Kritik perde yüksekliği TBDY 7.6.2.2'de tanımlanmıştır. Buna göre kritik perde yüksekliği temel üstünden veya perdenin plandaki uzunluğunun %20'den fazla küçüldüğü seviyeden itibaren oluşturulacaktır. Eğer yapıda rijit bodrum katlar bulunuyorsa, temel üst kotu yerine rijit bodrum katların bittiği kot gözönüne alınacaktır. Kritik perde yüksekliği, perdenin plandaki uzunluğundan ve toplam yüksekliğinin 1/6'sından daha az, perdenin plandaki uzunluğunun 2 katından fazla olmayacaktır.

Perde gövde donatısı koşulları

Perde gövde donatısı koşulları TBDY 7.6.3'de açıklanmıştır. Buna göre perde gövdesinde her iki yönde, perdesi gövdesi brüt enkesit alanının en az 0.0025'i kadar donatı olacaktır ve donatı aralığı 250 mm'yi aşmayacaktır. Denklem (3.25) ve (3.26) ile verilen koşullar sağlandığı takdirde boyuna ve enine gövde donatısı oranı 0.002'ye indirilebilir. Bu durumda donatı aralığı 300 mm'yi aşmayacaktır. Perde gövde bölgelerinde; kritik perde yüksekliği boyunca metrekarede 10 adet, kritik perde yüksekliğinde sonra metrekarede 4 adet özel deprem çirozu bulunacaktır. Çiroz çapları kullanılan yatay donatının çapıyla aynı olacaktır. Ancak çirozların sayısı $\emptyset_{\text{gövde}} / \emptyset_{\text{çiroz}}$ oranınca arttırılarak çirozların çapı küçültülebilir.

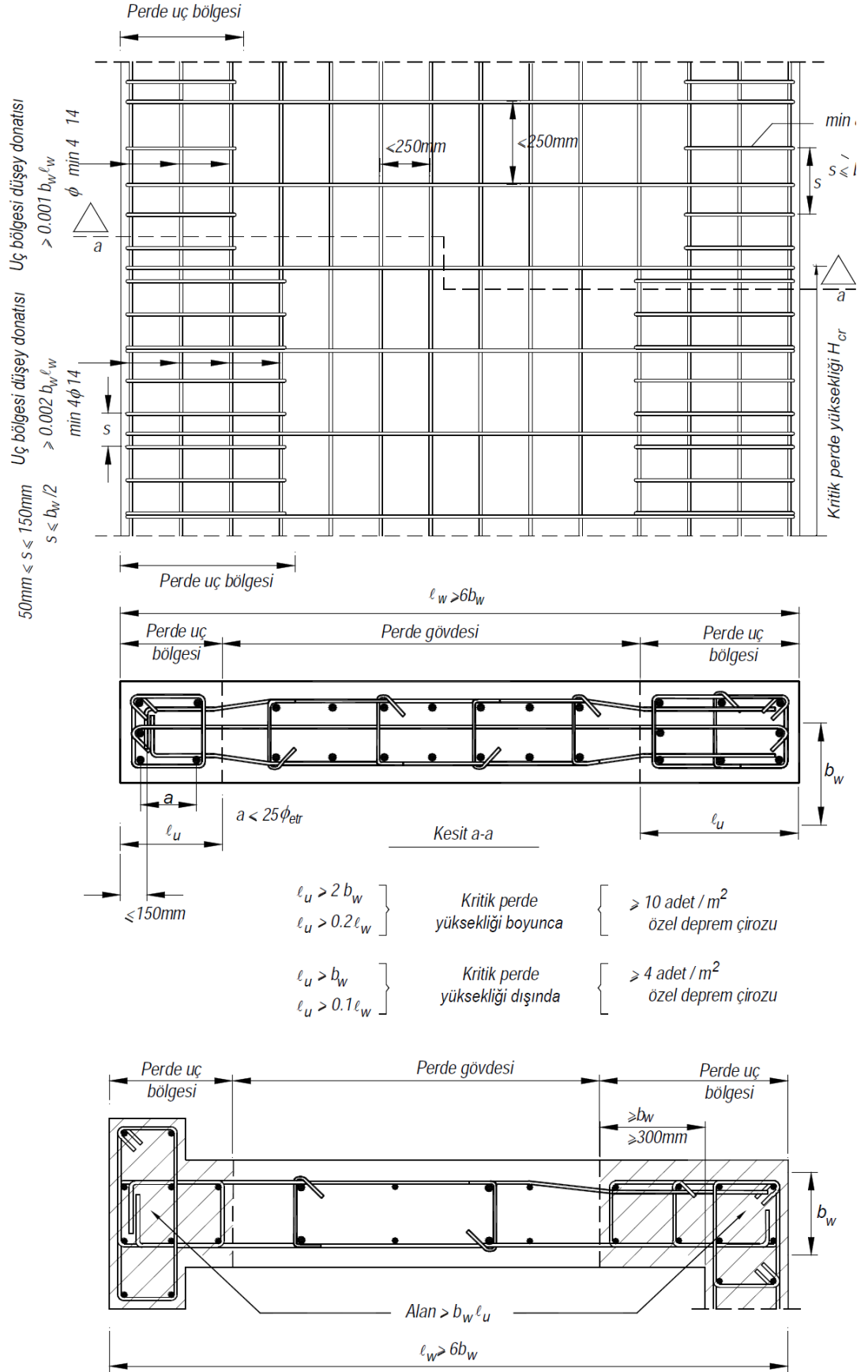
Perde uç bölgesi donatı koşulları

Perde uç bölgesi donatı koşulları TBDY 7.6.5'te açıklanmıştır. Buna göre; kritik perde yüksekliği boyunca perde uç bölgelerindeki donatı alanının perde brüt enkesit alanına oranı 0.002'den az, 0.03'ten fazla olmayacaktır. Kritik perde yüksekliğinden sonra ise bu oran 0.001'e indirilebilir. Perde uç bölgelerindeki enine donatılar aşağıdaki kurallara uyularak tasarlanacaktır.

- Uç bölgelerinde kullanılacak minimum enine donatı çapı $\emptyset 8$ olacaktır. Etriye yatay kolları arasındaki mesafe etriye ve çiroz çapının 25 katından fazla olmayacaktır.
- Kritik perde yüksekliği boyunca perde uç bölgelerinde kullanılacak enine donatı denklem (3.27) ile verilen koşulun 2/3'ü kadar olacaktır. Düşey doğrultuda donatı aralığı 150 mm'den büyük, 50 mm'den küçük olmayacaktır. Ayrıca düşey doğrultuda donatı aralığı boyuna donatı çapının 6 katından ve perde kalınlığının 1/3'ünden fazla olmayacaktır. Bu donatılar temel içinde 300 mm'den ve perde kalınlığından küçük olmayan bir yükseklik boyunca devam ettirilecektir.

$$A_{sh} \geq 0.075 \times s \times b_k \times (f_{ck}/f_{ywk}) \quad (3.27)$$

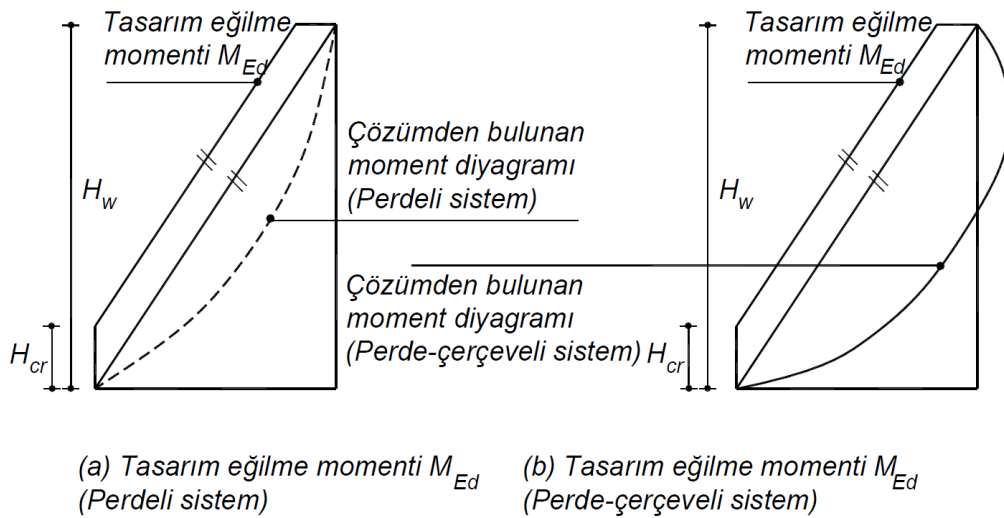
- Kritik perde yüksekliğinin üzerinde perde uç bölgelerindeki düşey doğrultudaki etriye ve çiroz aralığı perde kalınlığından ve 200 mm'den daha büyük alınmayacaktır. Perde donatıları hakkında genel kurallar Şekil (3.2)'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2 : Perde donatı düzeni hakkında genel kurallar.

Perde tasarım eğilme momentleri ve kesme kuvvetleri

Perde tasarım eğilme momentleri ve kesme kuvvetleri TBDY 7.6.6'da açıklanmıştır. TBDY 7.6.6.1'e göre kritik perde yüksekliği boyunca tasarım eğilme momenti, perde tabanında oluşan eğilme momentine sabit alınacaktır. Kritik kat yüksekliğinden sonra ise tasarım eğilme momenti, perde tabanında ve tepesinde hesaplanan momentleri birleştiren doğruya paralel olarak hesaplanacaktır (Şekil 3.3). Bodrum katlı binalarda zemin kat, perde tabanı olarak tanımlanacaktır.



Şekil 3.3 : Tasarım eğilme momenti hesabı.

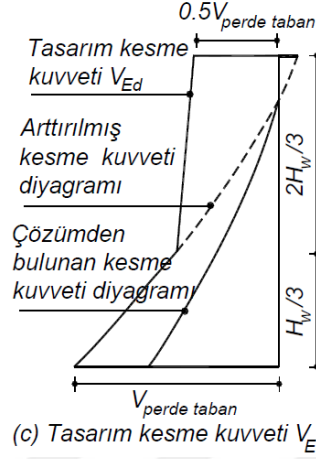
Perde tasarım kesme kuvveti ve enine donatı hesabı TDY 2016 7.6.6.3 ve 7.6.7'de açıklanmıştır. Perdelerin enine donatı hesabında esas alınacak kesme kuvvetinin belirlenmesi için iki yaklaşım bulunmaktadır. Birinci yaklaşım, hesap kesme kuvvetinin, perdenin moment kapasitesinin perdeye etkiyen momente bölünmesiyle elde edilen katsayının dinamik büyütme katsayısı ile çarpılmasıyla elde edilen çarpanla büyütülmesiyle elde edilir denklem (3.28).

$$V_e \geq \beta_v \times \frac{(M_p)_t}{(M_d)_t} \times V_d \quad (3.28)$$

İkinci yaklaşımda ise tasarım kesme kuvveti; düşey yükler ile deprem etkilerinin boşluksuz perdeler için 1.2D, boşluklu perdeler için 1.4D ile artırılmasıyla elde edilen deprem kuvvetinin toplanmasıyla elde edilir. İki yöntemden elde edilen kesme kuvvetlerinden küçük olanı tasarım kesme kuvveti olarak kullanılabilir.

Hesaplanan tasarım kesme kuvvetleri perdenin tabandan itibaren ilk 1/3'lük kısımda aynen kullanılacaktır. Daha üst kotlarda ise; perdenin en üstündeki kesme kuvveti

tabandakinin yarısı olarak kabul edilecek şekilde, perdenin 1/3 yüksekliğindeki kesme kuvveti değeriyle bir doğruyla birleştirilecek tasarıma esas kesme kuvveti elde edilecektir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 : Tasarıma esas kesme kuvveti hesabı.

Perde kesme güvenliği

Perde kesitlerinin kesme dayanımı V_r TBDY 7.6.7'ye göre hesaplanmaktadır. Perde kesitlerinin kesme dayanımı denklem (3.29) ile hesaplanacaktır.

$$V_r = A_{ch} \times (0.65f_{ctd} + \rho_{sh}f_{ywd}) \quad (3.29)$$

Perde tasarım kesme kuvveti; boşluksuz perdeler için denklem (3.30), boşluklu perdeler için denklem (3.31) ile verilen şartları sağlayacaktır.

$$V_e = 0.85 \times A_{ch} \times \sqrt{f_{ck}} \quad (\text{Boşluksuz perdeler}) \quad (3.30)$$

$$V_e = 0.65 \times A_{ch} \times \sqrt{f_{ck}} \quad (\text{Boşluklu perdeler}) \quad (3.31)$$

Perde sürtünme kesmesi kontrolü

Perde kesitlerinin sürtünme kesmesi kontrolü TDY 2016 7.6.7.2'ye göre yapılmaktadır. Buna göre, kesme sürtünmesi kontrolü TS 500'de tanımlanan kesme sürtünmesi yöntemi ile yapılacaktır. Hesapta perde gövde ve uç bölgelerindeki donatının tamamı A_s ile ve pürüzlendirilmiş yüzey için beton katkısı f_{ctd} göz önüne alınacaktır. Sürtünme kesmesi dayanımının denklem (3.32) ve (3.33) ile verilen şartları sağlaması gereklidir.

$$V_e \leq f_{ctd} \times A_c + \mu \times A_s \times f_{yd} \quad (3.32)$$

$$V_e \leq \min[0.2f_{ck} \times A_c; (3.3 + 0.08f_{ck}) \times A_c] \quad (3.33)$$

Denklemlerde verilmiş olan μ sürtünme katsayısını, A_c perde enkesit alanını ifade etmektedir. Kesme sürtünmesi hesabında donatının akma gerilmesi 500 MPa değerinden fazla alınmayacaktır.

Bağ kiriş kontrolü

Bağ kirişlerinin kontrolü TBDY 7.6.8'e göre yapılacaktır. Denklem (3.34) ve (3.35) ile verilen şartlardan her ikisinin de sağlanmaması durumunda kesme kuvveti ve onun oluşturduğu eğilme momenti karşılamak üzere çapraz donatı kullanılacaktır.

$$l_n > 2h_k \quad (3.34)$$

$$V_d \leq 1.5b_w \times d \times f_{ctd} \quad (3.35)$$

Her bir çapraz donatının alanı denklem (3.36) ile belirlenecektir.

$$A_{sd} = V_d / (2f_{yd} \sin \gamma) \quad (3.36)$$

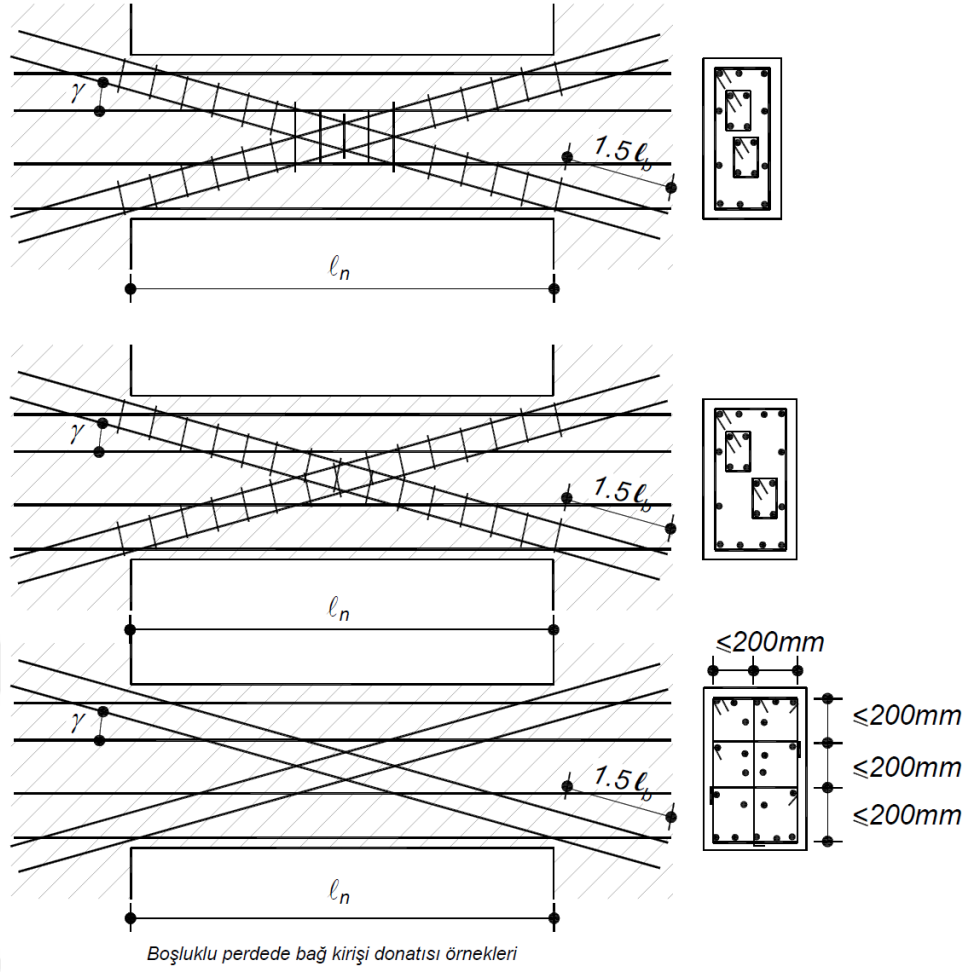
Çapraz donatı demetlerinde en az 4 adet donatı bulunacaktır ve perde içine doğru en az $1.5l_b$ kadar uzatılacaktır. Çapraz donatı demetleri özel deprem etriyeleri ile sarılacaktır. Bağ kirişteki boyunda donatılar ise TS 500'de verilen minimum oranda etriye ile sarılacaktır. Çapraz donatılar etriye ile sarılmazsa, bağ kiriş boyuna donatı etriye aralıkları; çapraz donatı çapının 6 katını ve 150 mm'yi aşmayacaktır. Ayrıca kiriş yüksekliği ve genişliği boyunca 200 mm'yi geçmeyecek aralıklarla yatay ve düşey çirozlar konulacaktır. Yerleştirilen yatay ve düşey çirozlar, kolonlar için verilen minimum etriye şartını da sağlayacaktır. Bağ kiriş donatıları Şekil (3.5)'de gösterildiği gibi düzenlenecektir.

Bağ kirişlere etkiyen kesme kuvveti denklem (3.37) ile verilen sınır değeri aşmayacaktır.

$$V_d \leq 0.85b_w \times d \times \sqrt{f_{ck}} \quad (3.37)$$

Perdelerde oluşturulacak boşluklar için kurallar

Perdelerde oluşturulacak pencere ve tesisat boşlukları için kurallar TBDY 7.6.9'da verilmiştir. Buna göre oluşturulacak boşlukların yatay boyutu perde boyunun %20'sinden fazla olamaz. Oluşturulacak düşey boşlukların da boyutu perde yüksekliğinin %20'sinden fazla olmayacaktır. Oluşturulacak boşluklar planda perdenin orta üçte birlik kısmında yer alacaktır. Boşlukların kenarlarına, altına ve üstüne, yatayda ve düşeyde boyuna donatılar yerleştirilecektir. Bu donatıların alanı,



Şekil 3.5 : Bağ kiriş donatı düzeni.

boşluk bölgesine yerleştirilememiş donatıların alanından az olmayacaktır. Yerleştirilen donatılar etriye ile sarılacaktır ve bu etriyelerin aralığı 150 mm'den az olmayacaktır.

3.2 Amerikan Yönetmeliklerine Göre Doğrusal Tasarım

Amerikan yönetmeliklerine göre doğrusal tasarım için ASCE 07-10 ve ACI 318-14 standartları kullanılmıştır. Malzeme mekanik özellikleri, dayanım azaltma katsayıları ve betonarme tasarım için ACI 318-14, yük birleşimleri, hareketli yük değerleri ve deprem analizi için ASCE 07-10 standardı kullanılmıştır.

3.2.1 Bina risk kategorisi ve önem katsayılarının belirlenmesi

Bina risk kategorileri ASCE 07-10 Tablo 1.5-1'de verilmiştir. Buna göre binalar kullanım amaçlarına göre dört farklı risk kategorisine ayrılmıştır. Risk kategorileri Çizelge 3.16'da verilmiştir.

Çizelge 3.16 : ASCE 07-10'a göre bina risk kategorileri.

Kullanım Amacı	Risk Kategorisi
Göçmesi durumunda insanlar için düşük risk yaratacak binalar	I
Risk kategorisi I, II ve IV dışında kalan binalar	II
Göçmesi durumunda günlük toplumsal hayatı etkileyebilecek binalar	III
Zehirli, toksik, patlayıcı maddeler içeren, göçmesi durumunda insanlar için hayati tehlike oluşturacak tesisler	IV

Bina önem katsayıları ASCE 07-10 Tablo 1.5-2'de verilmiştir. Kar, buz ve deprem yükleri için ayrı ayrı tanımlanan bina önem katsayıları, bina risk kategorisine bağlı olarak belirlenmektedir. Bina önem katsayıları Çizelge 3.17'de verilmiştir.

Çizelge 3.17 : ASCE 07-10'a göre bina önem katsayıları.

Risk Kategorisi	Kar Önem Katsayısı	Buz Önem Katsayısı - Kalınlık	Kar Önem Katsayısı - Rüzgar	Sismik Önem Katsayısı
I	0,80	0,80	1,00	1,00
II	1,00	1,00	1,00	1,00
III	1,10	1,25	1,00	1,25
IV	1,20	1,25	1,00	1,50

3.2.2 Deprem yer hareketi spektrumunun oluşturulması

Deprem yer hareketi spektrumları ASCE 07-10 Bölüm 11'de tanımlanmıştır. Spektrumların oluşturulması için %5 sönüm için kısa periyot spektral ivme katsayısı (S_S) ve %5 sönüm için 1 saniye periyoda karşı gelen spektral ivme katsayısının belirlenmesi gereklidir. Spektral ivme katsayısı değerleri “Göz önüne alınacak maksimum deprem” (MCE) için tanımlanmıştır. Bu değerler ABD için ASCE 07-10 haritalandırılarak verilmiştir. Türkiye’de tasarlanacak yapılar için AFAD’ın hazırladığı deprem tehlike haritaları kullanılacaktır.

ASCE 07-10’da verilmiş olan spektral ivme katsayısı değerleri MCE için verilmiştir. MCE tanımı LATBSDC 2014 [17] dokümanında açıklanmıştır. Buna göre; “yapıların standart göçme dayanımına” göre 50 yılda %1 ihtimalle göçmesine sebep olacak yer hareketi olarak tanımlanmıştır. Bu tanımdan anlaşıldığı üzere MCE, her bölge için farklı dönüş periyotlarına karşı gelmektedir. LATBSDC’ye göre, genelleştirmek gerekirse bu deprem 2000 yıl (± 100 yıl) dönüş periyotuna denk gelmektedir. AFAD’ın deprem tehlike haritalarında DD-1 deprem düzeyi 2475 yıl dönüşlü deprem için verilmiştir. MCE ve DD-1 depremlerinin dönüş periyotları yaklaşık olarak birbirine yakın olduğu için ASCE 07-10 ile yapılan hesaplarda DD-1 deprem düzeyinin spektral ivme katsayıları kullanılabilir.

3.2.2.1 Yerel zemin sınıfları ve zemin katsayıları

Yerel zemin sınıfları ASCE 07-10 Bölüm 20’de tanımlanmıştır. Yerel zemin sınıfları ve özellikleri Çizelge 3.18’de verilmiştir.

Çizelge 3.18 : Yerel zemin sınıfları.

Zemin Sınıfı	V_s (m/s) Kayma Dalgası Hızı	N Penetrasyon Darbe Sayısı	Su (kN/m^2) Drenajsız Kayma Dayanımı
A - Sert Kayalar	> 1524	-	-
B - Kaya	762 - 1524	-	-
C - Çok Sıkı Zemin veya Zayıf Kaya	366-762	> 50	> 96
D - Sıkı Zemin	183-366	15 - 50	48 - 96
E - Gevşek Kil Zemin	< 183	< 15	< 48
F - Sahaya Özel Araştırma	Sahaya Özel Araştırma Yapılması Gereklidir		

Kısa periyot ve 1 saniye periyoda karşı gelen zemin katsayıları ASCE 07.10 Tablo 11.4-1 ve Tablo 11.4-2’de verilmiştir. Zemin katsayıları Çizelge 3.19 ve 3.20’de verilmiştir.

Çizelge 3.19 : Kısa periyot zemin katsayısı.

Kısa Periyot - Zemin Katsayısı (F_a)					
Zemin Sınıfı	$S_s < 0.25$	$S_s = 0.50$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.00$	$S_s > 1.25$
A	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
B	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
C	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
D	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
E	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9

Çizelge 3.20 : 1 Saniye periyot zemin katsayısı.

1 Saniye Periyot - Zemin Katsayısı (F_v)					
Zemin Sınıfı	$S_1 < 0.10$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.30$	$S_1 = 0.40$	$S_1 > 0.50$
A	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
B	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
C	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
D	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5
E	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4

3.2.2.2 Tasarım spektral ivme katsayılarının belirlenmesi

Tasarım spektral ivme katsayılarının hesabı ASCE 07-10 11.4.3 ve 11.4.4’de açıklanmıştır. Tasarım spektral ivme katsayılarının hesaplanmasında ilk olarak haritalanmış spektrum ivme katsayısı değerleri (Türkiye’de hesapta DD-1 depremi spektral ivme katsayıları) S_s ve S_1 , zemin katsayıları ile çarpılarak zemine uyarlanmış ivme katsayıları S_{MS} ve S_{M1} elde edilir (Denklem 3.38 ve 3.39).

$$S_{MS} = S_S F_a \quad (3.38)$$

$$S_{M1} = S_1 F_v \quad (3.39)$$

Daha sonra elde edilen zemine uyarlanmış ivme katsayısı değerleri 2/3 ile çarpılarak doğrusal hesap tasarım spektral ivme katsayıları elde edilir (Denklem 3.40 ve 3.41).

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (3.40)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (3.41)$$

ASCE 07-10 11.4.5'e göre yatay elastik tasarım spektrumunun ordinat değerleri olan yatay elastik tasarım ivmeleri $S_a(T)$, periyot değerlerine bağlı olarak denklem (3.42), (3.43), (3.44) ve (3.45) yardımıyla hesaplanır. Yatay elastik tasarım ivmeleri g cinsinden elde edilir.

$$S_a(T) = \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_0}\right) S_{DS} \quad (0 \leq T \leq T_0) \quad (3.42)$$

$$S_a(T) = S_{DS} \quad (T_0 \leq T \leq T_s) \quad (3.43)$$

$$S_a(T) = \left(\frac{S_{D1}}{T}\right) \quad (T_s \leq T \leq T_L) \quad (3.44)$$

$$S_a(T) = \left(\frac{S_{D1} T_L}{T^2}\right) \quad (T_L \leq T) \quad (3.45)$$

Yatay tasarım spektrumunun köşe periyotları olan T_0 ve T_s , tasarım spektral ivme katsayılarına bağlı olarak denklem (3.46) ve (3.47) yardımıyla bulunur. Sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu T_L , ABD'de yer alan bölgeler için haritalandırılarak verilmiştir. Hesaplamalarda T_L periyodu olarak TBDY'de verilen 6 saniye değeri kullanılacaktır. Verilen denklemler ile elde edilen tasarım spektral ivmesi – periyot grafiği Şekil 3.6'da gösterilmiştir.

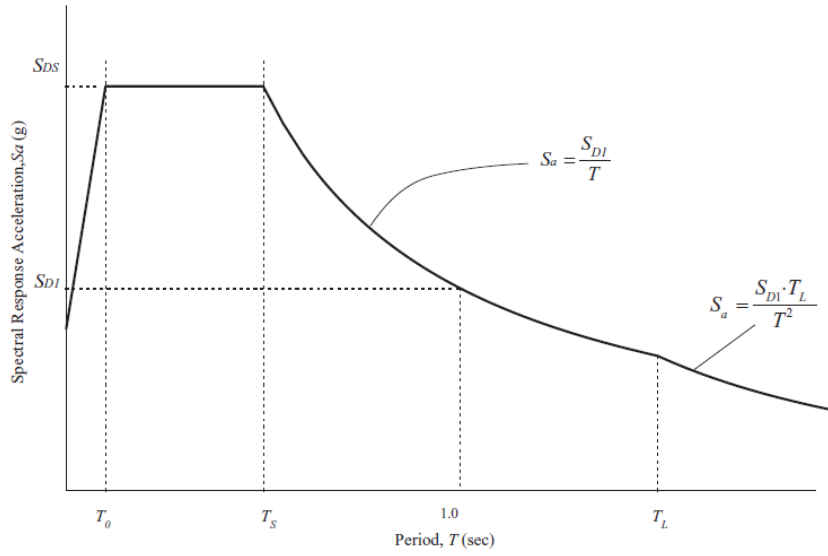
$$T_A = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.46)$$

$$T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.47)$$

3.2.3 Sismik dizayn kategorisinin belirlenmesi

Sismik dizayn kategorisi ASCE 07-10 11.6'da tanımlanmıştır. Sismik dizayn kategorileri; spektral ivme katsayıları, tasarım spektral ivme katsayıları ve bina risk kategorilerine bağlı olarak belirlenmektedir. Sismik dizayn kategorisi; taşıyıcı sistem

davranış katsayısının belirlenmesi, düzensizliklerin sınırlandırılması, yapılacak geoteknik araştırmanın kapsamının belirlenmesi gibi konularda kullanılmaktadır.



Şekil 3.6 : Tasarım spektral ivme – periyot grafiği.

Bina risk kategorisi I, II, III olan ve S_1 değeri 0.75'den büyük olan yapılar E kategorisinde yer almaktadır. Bina risk kategorisi IV olan ve S_1 değeri 0.75'den büyük olan yapılar F kategorisinde yer almaktadır. Bunun dışında kalan binalar için sismik dizayn kategorileri Çizelge 3.21 ve 3.22'de verilmiştir.

Çizelge 3.21 : S_{DS} tabanlı bina risk kategorileri.

S_{DS}	Risk Kategorisi	
	I II III	IV
$S_{DS} < 0.167$	A	A
$0.167 < S_{DS} < 0.33$	B	C
$0.33 < S_{DS} < 0.50$	C	D
$0.50 < S_{DS}$	D	D

Çizelge 3.22 : S_1 tabanlı bina risk kategorileri.

S_1	Risk Kategorisi	
	I II III	IV
$S_1 < 0.067$	A	A
$0.067 < S_1 < 0.133$	B	C
$0.133 < S_1 < 0.20$	C	D
$0.20 < S_1$	D	D

Yapılar periyot değerlerine göre birden fazla sismik dizayn kategorisine göre tasarlanabilirler. Aşağıda verilen şartları sağlayan yapıların risk kategorisi yalnızca Çizelge 3.21’de verilen S_{DS} tabanlı yöntemle göre belirlenebilir.

- ASCE 07-10 12.8.2.1’e göre hesaplanan yaklaşık doğal titreşim periyodu değerleri, $0.8T_s$ ’den küçük olan yapılar.
- Düşey taşıyıcı elemanları arasındaki mesafe 12.2 m’den (40 ft) az olan yapılar.
- Kat ötelenmeleri için hesaplanan periyot değerleri T_s ’den küçük olan yapılar.

3.2.4 Binaların sismik tasarımı için hesap esasları

Binaların deprem yükleri altında tasarımı için hesap kuralları ASCE 07-10 Bölüm 12’de verilmiştir.

3.2.4.1 Yapı sisteminin seçilmesi

Yapısal sistemlere dair kurallar ve kısıtlamalar ASCE 07-10 12.2’de açıklanmıştır. Yapısal sistemlere, sismik dizayn kategorisi ve bina yüksekliğine bağlı olarak kısıtlamalar getirilmiştir. Bu kapsamda seçilen sisteme göre deprem yükü azaltma katsayısı (R), deplasman arttırma katsayısı (C_d) ve dayanım fazlalığı katsayısı (Ω_0) belirlenecektir. ASCE 07-10 Tablo 12.2’de verilen yapısal sistemler için belirlenmiş R, C_D ve Ω_0 katsayıları Çizelge 3.23’de verilmiştir.

Çizelge 3.23 : Yapısal sistemler için katsayılar.

Süneklik Düzeyi Yüksek Çerçevesiz Deprem Yüklerinin En Az %25’ini Taşıdığı Birleşik Sistemler	R	Ω_0	C_d	Uygulama Sınırları				
				B	C	D	E	F
Dışmerkez Çaprazlı Çelik Çerçevesiz Oluşan Binalar	8	2,5	4	Limit Yok	Limit Yok	Limit Yok	Limit Yok	Limit Yok
Burkulması Önlenmiş Çelik Çaprazlı Çerçevesiz Oluşan Binalar	7	2,5	5,5	Limit Yok	Limit Yok	Limit Yok	Limit Yok	Limit Yok
Süneklik Düzeyi Yüksek Betonarme Perdelerden Oluşan Binalar	7	2,5	5,5	Limit Yok	Limit Yok	Limit Yok	Limit Yok	Limit Yok

Çizelge 3.23’de tanımlanan yapısal sistemler, deprem yüklerinin süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçevelerle, betonarme perdeler veya çelik çaprazlarla taşındığı sistemler için verilmiştir. Bu sistemlerde betonarme çerçeveler toplam deprem yüklerinin en az %25’ini taşımaktadır.

3.2.4.2 Yapısal düzensizlikler ve fazlalık katsayısı

Yapısal düzensizlikler ASCE 07-10 12.3.2 ve 12.3.3’de, fazlalık katsayısı ASCE 07-10 12.3.4’te açıklanmıştır. ASCE 07-10’a göre yapısal düzensizlikler yatayda ve düşeyde olmak üzere iki sınıfa ayrılmıştır.

Yatay Düzensizlikler

- Burulma düzensizliği
- Aşırı burulma düzensizliği
- Planda çıkıntılar bulunması
- Döşeme süreksizlikleri
- Düşey yük taşıyıcı sistemin, yatay yük taşıyıcı sistemine paralel olmaması

Düşey Düzensizlikler

- Yumuşak kat düzensizliği
- Aşırı yumuşak kat düzensizliği
- Kütle düzensizlikleri
- Düşey taşıyıcı sistem düzensizlikleri
- Zayıf kat düzensizliği

Düzensizliklere sismik dizayn kategorisine göre bazı sınırlamalar getirilmiştir. Ayrıca düzensizlikler deprem hesap yönteminin seçilmesinde de etkili olmaktadır.

Fazlalık Katsayısı

Fazlalık katsayısı (ρ) ASCE 07-10 12.3.4’te tanımlanmıştır. Fazlalık katsayısı yapıların bağıllık derecesine bağlı olarak belirlenen bir katsayıdır. Bir yapının hiperstatiklik derecesi ne kadar yüksek ise fazlalık katsayısı o kadar düşüktür. Fazlalık katsayısının belirlenmesi için ASCE 07-10’da tanımlanmış olan, göçme ihtimali fazla olan yapı elemanları sistemden çıkartılır ve yapıdaki dayanım kaybı hesaplanır. Fazlalık katsayısı, birleşimlerde deprem yüklerinin katsayısının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Sismik dizayn kategorisi D, E ve olan yapılarda, aşağıda verilen şartlardan birini sağladığı takdirde ρ katsayısı 1.0 alınacaktır. Aksi takdirde ρ katsayısı 1.3 alınacaktır.

- ASCE 07-10 Tablo 12.3-3’de yapılan tanımlamaları sağlayan yapılar. Perdeli taşıyıcı sistemler için; herhangi bir katta, yükseklik / uzunluk oranı 1.0’dan küçük olan perdeler kaldırıldığında kat dayanımının %35’den fazla azalmadığı ve aşırı burulma düzensizliği meydana gelmeyen binalar olarak tanımlanmıştır.
- Her bir doğrultuda yatay yüklere karşı koyan düzenli ve en az 2 açıklıktan oluşan yapılar.

3.2.4.3 Yük birleşimleri

Yük birleşimleri ASCE 07-10 Bölüm 2’de tanımlanmıştır. Özel koşullar ise ASCE 07-10 12.4 ve 12.5’te açıklanmıştır. Oluşturulan birleşimler:

- 1.4G
- 1.2G + 1.6Q
- 1.2G + 1.0Q + 1.0E
- 0.9G + 1.0E
- 1.2G + 1.0W
- 0.9G + 1.0W

ASCE 07-10’da tanımlanan özel koşullar aşağıda verilmiştir.

- Birleşimlerde “E” ile ifade edilen deprem etkileri aşağıda verildiği gibi kullanılacaktır.
 - $E = E_h + E_v$
 - $E = E_h - E_v$
- Yukarıda verilen yük birleşimlerinde E_h yatay deprem etkisini, E_v düşey deprem etkisini ifade etmektedir. E_h ile ifade edilen yatay deprem etkisi, yatay deprem kuvveti ile fazlalık katsayısının çarpılması ile elde edilir. Düşey deprem etkisini ifade eden E_v , ASCE 07-10 12.4.2.2’ye göre hesaplanacaktır (Denklem 3.48). Tasarım spektral ivme katsayısı değerinin 0.125’den küçük olduğu durumlarda veya düşey deprem etkisinin yapı-zemin etkileşimi ile belirlendiği durumlarda formülasyonlarda verilen düşey deprem etkisi 0 kabul edilebilir.

$$E_v = 0.2S_{DS}D \quad (3.48)$$

- Deprem etkilerinin yer aldığı yük birleşimlerinde, hareketli yük değeri 4.79 kN/m²'den (100 psf) küçükse, hareketli yükleri katsayısı 0.5 olarak alınacaktır. Deprem etkilerinin göz önüne alınmasında dayanım fazlalığı katsayısı kullanılacaksa, yalnızca yatay deprem etkileri için artırım katsayısı dikkate alınacaktır.
- Deprem etkileri birbirine dik iki doğrultuda yapıya etkitilecektir. Birbirine dik etkiler birleştirilirken; bir yöndeki etkinin %100'ü, diğer yöndeki etkinin %30'u dikkate alınacaktır.

3.2.4.4 Doğrusal hesap yöntemleri ve hesap yönteminin seçilmesi

Doğrusal hesap yöntemleri ve buna dair esaslar ASCE 07-10 12.6, 12.8 ve 12.9'da açıklanmıştır. ASCE 07-10'da eşdeğer deprem yükü yöntemi ve mod birleştirme yöntemi olmak üzere iki doğrusal hesap yöntemi tanımlanmıştır. Yapı özellikleri ve sismik dizayn kategorilerine göre izin verilen analiz yöntemleri Çizelge 3.24'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.24 : Yapılar için izin verilen analiz yöntemleri.

Sismik Dizayn Kategorisi	Yapı Özellikleri	Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi	Mod Birleştirme Yöntemi
B, C	Tüm yapılar	İzin verilir	İzin verilir
D, E, F	Kat sayısı 2'yi aşmayan, bina risk kategorisi I veya II olan binalar	İzin verilir	İzin verilir
	Yapısal düzensizliği olmayan ve yüksekliği 48.8 m'yi aşmayan binalar	İzin verilir	İzin verilir
	Yapısal düzensizliği olmayan, yüksekliği 48.8 m'yi aşan ve $T < T_s$ olan binalar	İzin verilir	İzin verilir
	Yapısal düzensizliği olan ve yüksekliği 48.8 m'yi aşmayan binalar	İzin verilir	İzin verilir
	Diğer tüm yapılar	İzin verilmez	İzin verilir

T: Yapı doğal periyotları, $T_s = S_{D1} / S_{DS}$

Eşdeğer deprem yükü yöntemi

Eşdeğer deprem yükü yöntemine dair hesap esasları ASCE 07-10 12.8'de açıklanmıştır. Eşdeğer deprem yükü (V) denklem 3.49 ile hesaplanmaktadır.

$$V = C_s \times W \quad (3.49)$$

Denklem 3.49'da verilen C_s deprem yükü katsayısını, W binanın sismik ağırlığını ifade etmektedir. Deprem yükü katsayısı denklem 3.50 ile hesaplanacaktır. Hesaplanan deprem yükü katsayısı denklem 3.51 ve denklem 3.52 ile verilen değerleri aşmayacaktır.

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.50)$$

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad T \leq T_L \quad (3.51)$$

$$C_s = \frac{S_{D1}T_L}{T^2\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad T \geq T_L \quad (3.52)$$

Hesaplanan C_s katsayısı denklem 3.53 ve 3.54 ile değerlerden de küçük olmayacaktır.

$$C_s = 0.044S_{DS}I_e \geq 0.01 \quad (3.53)$$

$$C_s = 0.5S_1 / \left(\frac{R}{I_e}\right) \quad S_1 \geq 0.60g \quad (3.54)$$

Hesaplamalarda kullanılacak yapı doğal titreşim periyotları ASCE 07-10 12.8.2'de tanımlanan değerleri aşmayacaktır. Perdeli sistemler için doğal titreşim periyodu sınır değeri denklem 3.55'de verilmiştir.

$$T_a = \frac{0.0019}{\sqrt{C_w}} h_n \quad (\text{ft}) \quad (3.55)$$

Denklem 3.55'de verilen C_w katsayısı denklem 3.56 ile hesaplanacaktır.

$$C_w = \frac{100}{A_B} \sum_{i=1}^x \left(\frac{h_n}{h_i}\right)^2 \frac{A_i}{\left[1+0.83\left(\frac{h_i}{D_i}\right)^2\right]} \quad (\text{ft}) \quad (3.56)$$

Denklem 3.56'da verilen terimler:

A_B = Yapı oturma alanı

A_i = Perde gövde bölgesi alanı

D_i = Perde uzunluğu

h_i = Perde yüksekliği

x = Her bir yönde toplam perde sayısı

Eşdeğer deprem kuvveti belirlenirken minimum %5 eksantirisite göz önüne alınacaktır. Eğer yapıda burulma düzensizliği mevcut ise, eksantirisite denklem 3.57 ile arttırılacaktır. Hesaplanan katsayısı 1.0'den küçük, 3.0'den büyük alınmayacaktır.

$$A_x = \left(\frac{\delta_{\max}}{1.2\delta_{\text{ort}}} \right)^2 \quad (3.57)$$

Mod birleştirme yöntemi

Mod birleştirme yöntemine dair hesap esasları ASCE 07-10 12.9'da açıklanmıştır. Hesap esasları şöyledir:

- Her bir yön için toplam kütle katılım oranı % 90'ı sağlayacak şekilde mod sayısı belirlenmelidir.
- Mod birleştirme yöntemi için tanımlanan spektrum değerleri R/I_e katsayına bölünerek kesit tesirleri elde edilmelidir. Deplasmanlar ve ötelenmeler kontrol edilirken bu değer tekrar C_d/I_e katsayısı ile çarpılarak büyütülmelidir.
- Modların birleştirilmesi için kareler toplamının karekökü (SRSS) yöntemi veya tam karesel birleştirme yöntemi (CQC) kullanılabilir.
- Mod birleştirme yöntemi ile elde edilen taban kesme kuvveti, eşdeğer deprem yükü yöntemi ile elde edilen taban kesme kuvvetinin %85'inden az olamaz. Az olduğu takdirde mod birleştirme yöntemi ile edilen tüm kesit tesirleri hesaplanacak ölçekleme katsayısı ile büyütülecektir.

3.2.4.5 Göreli kat ötelemeleri ve ikinci mertebe etkilerinin kontrolü

Göreli kat ötelemeleri kontrolü ASCE 07-10 12.8.6'da, ikinci mertebe etkileri kontrolü ASCE 07-10 12.8.7'de açıklanmıştır.

Göreli kat ötelemeleri kontrolü

Göreli kat ötelemeleri, herhangi bir katın alt ve üst noktalarında oluşan deplasmanların farklarının hesaplanmasıyla elde edilir. Göreli kat ötelemesi hesabı denklem 3.58'de verilmiştir. Göreli kat ötelemeleri hesabında kullanılacak deplasmanlar seçilirken, o kat için en büyük değer verecek şekilde seçilmelidir.

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \quad (3.58)$$

Hesaplanan görelî kat ötelemeleri için sınır değerler ASCE 07-10 Tablo 12.12-1’de verilmiştir (Çizelge 3.25).

Çizelge 3.25 : Görelî kat ötelemeleri için sınır değerler.

Yapı Özellikleri	Bina Risk Kategorisi		
	I yada II	III	IV
4 Kattan az olan ve iç duvarları olan yığma yapılar	0.025h _{sx}	0.020h _{sx}	0.015h _{sx}
Konsol yığma yapılar	0.010h _{sx}	0.010h _{sx}	0.010h _{sx}
Diğer tür yığma yapılar	0.007h _{sx}	0.007h _{sx}	0.007h _{sx}
Diğer tüm yapılar	0.020h _{sx}	0.015h _{sx}	0.010h _{sx}

h_{sx} : Kat yüksekliği

İkinci mertbe etkileri kontrolü

İkinci mertbe etkilerinin kontrolü için kullanılacak stabilite katsayısı (θ) denklem 3.59’da verilmiştir.

$$\theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_{sx} C_d} \quad (3.59)$$

Denklem 3.59’da verilen terimler:

P_x = x. kat ağırlığı

Δ = Görelî kat ötelemesi değeri

I_e = Bina önem katsayısı

V_x = x. kata etkiyen kat kesme kuvveti

h_{sx} = Kat yüksekliği

C_d = Deplasman büyütme katsayısı

Stabilite katsayısı 0.10’dan küçükse hesaplamalarda ikinci mertbe etkilerinin göz önüne alınmasına gerek yoktur. Eğer stabilite katsayısı 0.10 ile θ_{max} değeri arasında ise ikinci mertbe etkilerinin hesaplamalarda gözönüne alınması gerekmektedir. Eğer stabilite katsayısı 0.25’den büyükse yapı stabil değil demektir ve yeniden tasarlanması gerekmektedir. θ_{max} değerinin hesabı denklem 3.60’da verilmiştir.

$$\theta_{max} = \frac{0.5}{\beta C_d} \leq 0.25 \quad (3.60)$$

β katsayısı her bir kat için kesme talebinin kesme kapasitesine oranını ifade etmektedir. Bu oran güvenli tarafta olmak adına 1.0 alınabilir.

3.2.4.6 Doğrusal hesap modellemesinde uyulacak diğer kurallar

Taşıyıcı sistem modellemesinde uyulacak diğer kurallar ASCE 07-10 4.3 ve 12.7, ACI 318-14 Bölüm 6, 19 ve 20’de açıklanmıştır. Buna göre:

- Bina efektif sismik ağırlığı için bina zati ağırlığı ve kaplama yükleri dikkate alınacaktır. Eğer yapı depo amaçlı kullanılıyorsa ya da sabit ekipmanlar bulunuyorsa bunların da ağırlıkları dikkate alınacaktır.
- Yatay düzensizlik bulunan binalarda 3 boyutlu model yapılması zorunludur. Gerektiği takdirde ikinci merteye etkileri de gözönüne alınacaktır.
- Kullanılacak düzgün yayılı hareketli yük değerleri ASCE 07-10 Tablo 4.1’de verilmiştir (Çizelge 3.26).
- Analizlerde ACI 318-14 Tablo 6.6.3.1.1’de verilen etkin kesit rijitlikleri kullanılacaktır (Çizelge 3.27).

Çizelge 3.26 : Düzgün yayılı hareketli yük değerleri.

Yapı Türü	Kullanım Amacı	Yük (kN/m ²)
Konut	Odalar	1,92
	Koridorlar	4,79
Ofis	Ofis odaları	2,40
	Koridorlar	3,83
	Lobi	4,79
Hastane	Hasta odaları	1,92
	Ameliyathaneler	2,87
	Koridorlar	3,83
Garaj	Binek Araçlar	4,79
Okul	Sınıflar	1,92
	Koridorlar	3,83
	Zemin Kat Koridorları	4,79

Çizelge 3.27 : Etkin kesit rijitlikleri.

Eleman	Eğilme Rijitliği	Eksenel Rijitlik	
Kolonlar	$0.70I_g$	$1.0A_g$	
Perdeler	Çatlamamış		$0.70I_g$
	Çatlamış		$0.35I_g$
Kirişler	$0.35I_g$		
Döşemeler	$0.25I_g$		

- Hesaplamlarda kullanılacak beton mekanik özellikleri ACI 318-14 Bölüm 19'da tanımlanmıştır. Buna göre beton elastisite modülü denklem 3.61, eğilmede çekme dayanımı denklem 3.62 ile hesaplanacaktır. Denklem 3.62'de verilen λ , hafif beton için tanımlanmış bir katsayıdır. Normal beton için bu katsayı 1 alınacaktır.

$$E_c = 4700\sqrt{f'_c} \quad (3.61)$$

$$f_r = 0.7\lambda\sqrt{f'_c} \quad (3.62)$$

- Hesaplamlarda kullanılacak donatı mekanik özellikleri ACI 318-14 Bölüm 20'de tanımlanmıştır. Buna göre donatı elastisite modülü 29000000 psi (200000 MPa) alınacaktır. Betonarme hesap için kullanılacak donatı akma dayanımları ACI 318-14 Tablo 20.2.2.4a'da verilen değerler ile sınırlanmıştır. Buna göre dizayn donatı akma dayanımları kesit tesir türüne göre 60000-100000 psi (414 – 690 MPa) ile sınırlandırılmıştır.

3.2.5 Betonarme elemanların tasarım kuralları

Düşey yükler ve deprem etkileri altındaki binalarda betonarme elemanların tasarımı ACI 318-14'e göre yapılacaktır. Betonarme tasarım ile ilgili genel kurallar aşağıda özetlenmiştir.

- Donatıların kenetlenme boyu ACI 318-14'de verilen şartlara göre belirlenecektir.
- Süneklik düzeyi yüksek ve süneklik düzeyi sınırlı olan betonarme sistemlerin kolonlarında, kolon-kiriş birleşim bölgelerinde, perde uç bölgelerinde ve kiriş sarılma bölgelerinde özel deprem etriyeleri kullanılacaktır.
- Dayanım azaltma katsayıları (ϕ) ACI 318-14 Tablo 21.2.1 ve 21.2.2'ye göre belirlenecektir (Çizelge 3.28 ve 3.29).

Çizelge 3.28 : Kesit tesir türüne göre ϕ değerleri.

Kesit Tesir Türü	ϕ
Moment ve eksenel kuvvet ¹	0.65 - 0.90
Kesme	0,75
Burulma	0,75
Ezilme	0,65

¹ Çizelge 3.29'da açıklanmıştır

Çizelge 3.29 : Moment ve aksenal kuvvet için ϕ değerleri (etriyeli elemanlar).

Çekme Şekildeğiştirmesi	Sınıflama	ϕ
$\epsilon_t \leq \epsilon_{ty}$	Basınç Kontrollü	0,65
$\epsilon_{ty} \leq \epsilon_t \leq 0.005$	Geçiş Bölgesi	$0.65 + 0.25 \frac{\epsilon_t - \epsilon_{ty}}{0.005 - \epsilon_{ty}}$
$0.005 \leq \epsilon_t$	Çekme Kontrollü	0,90

- Kesit betonarme hesapları ACI 318-14 Bölüm 22'ye göre yapılacaktır.
- Betonarme elemanlarda donatı detayları ACI 318-14 Bölüm 25'e göre belirlenecektir.
- Donatı mekanik özellikleri ACI 318-14'de verilen kurallara göre hesaplanacaktır.

3.2.5.1 Süneklik düzeyi yüksek kolonlar için tasarım esasları

Süneklik düzeyi yüksek betonarme kolonlar için tasarım esasları ACI 318-14 Bölüm 10, 18.7 ve 22'ye göre yapılacaktır. Hesap esasları aşağıda özetlenmiştir.

- Kolonlarda donatı oranı %1'den az, %6'ten fazla olmayacaktır. Kolonlarda en az 6 adet boyuna donatı bulunacaktır.
- Kolon minimum kenar uzunluğu 12 in.'den (30 cm) az olmayacaktır. Kısa kenarının uzun kenarına oranı 0.4'den küçük olmayacaktır.
- Minimum kesme donatısı alanı aksenal kuvvet oranı, enine donatı tipi, beton ve donatı özelliklerine göre ACI 318-14 Tablo 18.7.5.4 ile belirlenmektedir.
- Etriye kolları arası mesafe 14 in.'den (35 cm) fazla olmayacaktır. Kolon aksenal kuvveti $0.3A_g f_c$ değerinden büyükse, boyuna donatıların tamamı enine donatılar ile sarılacaktır ve etriye kolları arası mesafe 8 in.'den (20 cm) fazla olmayacaktır. Kullanılacak çiroz çapları etriye çapları ile aynı olacaktır.
- Kolon tasarım kesme kuvveti, kolonun eğilme momenti kapasitesi belirlenerek kolona etkiyebilecek maksimum kesme kuvvetine göre belirlenecektir. Hesaplamalar dayanım fazlalığı katsayısı kullanılacaktır.
- Kolonların uç bölgelerindeki enine donatı aralıkları aşağıdaki şartları sağlayacaktır.

- Boyuna donatı çapının 6 katından fazla olmayacaktır.
- Kolon kısa kenarının 1/4 uzunluğundan fazla olmayacaktır.
- Kolonların uç bölgelerinin uzunluğu aşağıda verilen koşulların en büyüğünü sağlayacak şekilde seçilecektir.
 - Kolon yüksekliğinin 1/6'sı
 - Kolon uzun kenar uzunluğu
 - 18 in. (45 cm)
- Deprem yüklerinden oluşan kesme kuvveti, düşey yüklerden oluşan kesme kuvvetinden fazlaysa ve eksenel kuvvet oranı $0.05A_g f_c$ 'den fazlaysa betonun kesme dayanımına katkısı ihmal edilecektir.
- Kolon eksenel kuvvet değeri etriyeli kolonlar için $0.80P_0$ 'ı aşmayacaktır. P_0 değeri ACI 318-14 22.4.2.2'de verilen formülle hesaplanan elemanın taşıyabileceği maksimum eksenel yükü ifade etmektedir.

3.2.5.2 Süneklik düzeyi yüksek kirişler için tasarım esasları

Süneklik düzeyi yüksek betonarme kolonlar için tasarım esasları ACI 318-14 Bölüm 9, 18.6 ve 22'ye göre yapılacaktır. Hesap esasları aşağıda özetlenmiştir.

- Minimum kiriş derinlikleri, mesnetlenme türü ve açıklığına göre ASCE 07-10 Tablo 9.3.1.1'de verilmiştir (Çizelge 3.30). Donatı akma dayanımı 60000 psi'dan (414 MPa) büyükse, tabloda verilen değerler $(0.4 + f_y/60000)$ çarpanı ile büyütülecektir.

Çizelge 3.30 : Minimum kiriş derinlikleri.

Mesnetlenme Türü	Minimum Derinlik
Tek açıklıklı	L/16
Bir tarafı devamlı	L/18.5
İki tarafı devamlı	L/21
Konsol	L/8

- Kiriş açıklığı, yüksekliğinin en az 4 katı olmalıdır. Kiriş genişliği, yüksekliğinin 0.3 katından ve 10 in.'den (25 cm) az olmamalıdır.

- Kiriş minimum donatı alanı denklem 3.63 ve 3.64 ile verilen oranlardan az olmamalıdır. Donatı oranı ayrıca 0.0025'den az olmamalıdır.

$$3 \sqrt{\frac{f'_c}{f_y}} b_w d \quad (\text{psi}) \quad (3.63)$$

$$\frac{200}{f_y} b_w d \quad (\text{psi}) \quad (3.64)$$

- Kolon tasarım kesme kuvveti, kolonun eğilme momenti kapasitesi belirlenerek kolona etkiyebilecek maksimum kesme kuvvetine göre belirlenecektir. Hesaplamalar dayanım fazlalığı katsayısı kullanılacaktır.
- Kiriş uç bölgelerinde enine donatı aralığı $d/4$, en küçük boyuna donatı çapının 6 katı ve 6 in.'den (15 cm) değerinden fazla olmamalıdır.
- Kiriş aksel kuvvet değerleri $0.10A_g f'_c$ 'den fazlaysa, enine donatılar kolonlar için verilen şartlara göre belirlenecektir.
- Deprem yüklerinden oluşan kesme kuvveti, düşey yüklerden oluşan kesme kuvvetinden fazlaysa ve aksel kuvvet oranı $0.05A_g f'_c$ 'den fazlaysa betonun kesme dayanımına katkısı ihmal edilecektir.

3.2.5.3 Süneklik düzeyi yüksek perdeler için tasarım kuralları

Süneklik düzeyi yüksek betonarme perdeler için tasarım esasları ACI 318-14 Bölüm 11, 18.10 ve 22'ye göre yapılacaktır. Perde boyutlarına göre, elemanların hangi şartlara göre tasarlanacakları Çizelge 3.32'de verilmiştir.

Çizelge 3.31 : Perde veya kolon olarak tasarlanma koşulları.

Perde Yükseklik/Uzunluk Oranı	$L_w/b_w < 2.5$	$2.5 < L_w/b_w < 6$	$6 < L_w/b_w$
< 2.0	Perde	Perde	Perde
≥ 2.0	Kolon gibi donatılacaktır	Kolon gibi veya verilen alternatif şartlara göre donatılacaktır	Perde

Perde betonarme hesabı yapılırken elde edilen hesap dayanımları, tanımlanmış olan ϕ katsayıları ile çarpılarak tasarım dayanımları elde edilir ve elde edilen bu dayanımlar ile elemanların kontrolü yapılır.

Enkesit koşulları

Minimum perde kalınlıkları ACI 318-14 Tablo 13.3.1.1’de verilmiştir (Çizelge 3.32).

Çizelge 3.32 : Minimum perde kalınlıkları.

Perde Türü	Minimum Kalınlık
Taşıyıcı Perde	4 in. (10cm)
	Kat yüksekliğinin 1/25'i
Taşıyıcı Olmayan Perde	4 in. (10cm)
	Kat yüksekliğinin 1/30'u
Rijit Bodrum Kat Perdeleri	7.5 in. (19cm)

Ek olarak perde boyutları, perdeye etkiyebilecek maksimum eksenel yükü güvenli şekilde taşıyacak ebatlarda olmalıdır. ACI 318-14 Tablo 22.4.2.1’e göre perdelerin güvenle taşıyabilecekleri maksimum eksenel yük ($P_{n,max}$), $0.80P_0$ değeri kadar olacaktır. P_0 denklem 3.65 ile hesaplanacaktır.

$$P_0 = 0.85f'_c(A_g - A_{st}) + f_{yt}A_{st} \quad (3.65)$$

Denklem 3.65’de verilen A_g brüt beton alanını, A_{st} kesitteki donatı alanını ifade etmektedir.

Perde gövde donatısı koşulları ve donatıların düzenlenmesi

Perde gövde donatılarının sağlaması gereken şartlar ACI 318-14 11.6 ve 18.10.2’de açıklanmıştır. ACI 318-14 11.6’ya göre; $V_u < 0.5\phi V_c$ sağlayan perdeler için minimum gövde donatısı oranı Çizelge 3.33’de verilmiştir. Burada V_u kesme kuvveti değerini, V_c ise beton katkısı ile taşınabilecek kesme kuvvetini göstermektedir.

Çizelge 3.33 : Minimum perde donatı oranları.

Donatı Çapı	Donatı Akma Dayanımı (psi)	Minimum Boyuna Donatı	Minimum Enine Donatı
$\leq \phi 16$	≥ 60000	0,0012	0,0020
$\leq \phi 16$	< 60000	0,0015	0,0025
$> \phi 16$	Tüm Dayanımlar İçin	0,0015	0,0025

Verilen şartı sağlamayan perdeler için minimum donatı oranı ACI 318-14 18.10.2.1’e göre 0.0025 alınacaktır. Ek olarak 2 donatı arası mesafe 18 in.’den (45cm) fazla

olmayacaktır ve $V_u > 2A_{cv}\lambda\sqrt{f'_c}$ veya $h_w > l_w$ ise perdenin her iki yüzüne de gövde donatısı yerleştirilecektir.

Perde kesme donatısı hesabı

Perde kesme donatı hesabı ACI 318-14 18.10.4'e göre yapılacaktır. Buna göre perdelerin kesme dayanımı denklem 3.66 ile hesaplanacaktır.

$$V_n = A_{cv}(\alpha_c\lambda\sqrt{f'_c} + \rho_t f_y) \quad (3.66)$$

Denklem 3.66'da verilen α_c katsayısı perdenin yükseklik/uzunluk oranına bağlı bir katsayıdır. Bu oran 1.5'dan küçük ise α_c katsayısı 3.0, 2.0'dan büyükse 2.0 alınacaktır. Ara değerler için enterpolasyon yapılacaktır. Denklemden yer alan diğer terimlerden; A_{cv} perde enkesit alanını, λ hafif beton için azaltma katsayısını, ρ_t yatay donatı oranını, f_y donatı akma dayanımını ifade etmektedir. Perdelere etkiyen kesme kuvveti denklem 3.67 ile verilen değerden fazla olmayacaktır.

$$V_{max} = 8A_{cv}\sqrt{f'_c} \quad (3.67)$$

Perde içinde pencere ve tesisat boşlukları bulunuyorsa, her bir perde parçası için yukarıda verilen ayrı ayrı sağlamalıdır. Ancak perde parçalarına etkiyen kesme kuvveti denklem 3.68 ile verilen değerden fazla olmayacaktır.

$$V_{max} = 10A_{cw}\sqrt{f'_c} \quad (3.68)$$

Perde uç bölgelerinin belirlenmesi

Tekrarlı deprem yükleri altında perdelerin en çok zorlanan kısımları perde uç bölgeleri olur. Bu sebeple bu bölgelerin özel olarak donatılmalıdır. Perde uç bölgelerinin belirlenmesi ve tasarımı ACI 318-14 18.10.6'da açıklanmıştır. Perdelerde ACI 318'e göre uç bölgelerinin belirlenmesi için iki farklı yöntem bulunmaktadır. İlk yöntem yerdeğiştirmeye bağlı tasarımıdır. Bu yaklaşıma göre perdelerde kritik kesitte deprem yükleri altında oluşan aksel kuvvet ve eğilme dayanımı kullanılarak tarafsız eksen derinliği hesaplanır. Eğer tarafsız eksen derinliği formülasyonda verilen kritik tarafsız eksen derinliğinden büyükse perde uç bölgeleri oluşturulur. İkinci yaklaşıma göre perdede deprem yükleri altında oluşan maksimum gerilmelere bakılır. Eğer oluşan maksimum gerilme $0.2f'_c$ değerinde büyükse perde uç bölgeleri oluşturulur. Oluşturulan perde uç bölgeleri, düşeyde gerilme değerinin $0.15f'_c$ değerinin altına indiği bölgeye kadar devam ettirilecektir. ACI 318 her iki

yönteme de izin vermektedir ancak 2.yöntemin ilk yöntemle göre daha olumsuz sonuç verdiği belirtilmektedir.

Deplasmana dayalı tasarım ACI 318-14 18.10.6.2.a'da açıklanmıştır. Buna göre kritik tarafsız eksen derinliği denklem 3.69 ile hesaplanacaktır. Eğer kritik kesitteki tarafsız eksen derinliği, kritik tarafsız eksen derinliğinden büyükse perdenin her iki ucunda uç bölgesi oluşturulacaktır. Oluşturulan uç bölgeleri düşeyde kritik kesitten itibaren perde boyu kadar veya $M_u / 4V_u$ 'dan büyük olanı kadar aşağı ve yukarı doğru devam ettirilecektir. Burada M_u ve V_u , hesap momenti ve kesme kuvvetini ifade etmektedir.

$$c \geq \frac{l_w}{600(1.5\delta_u/h_w)} \quad (3.69)$$

Verilen denklemde terimlerden; c tarafsız eksen derinliğini, l_w perdenin plandaki uzunluğunu, δ_u perdenin tepesindeki arttırılmış deplasman değerini, h_w perdenin toplam yüksekliğini ifade etmektedir. δ_u / h_w oranı 0.005'den küçük alınmayacaktır.

Gerilmelere dayalı tasarım ACI 318-14 18.10.6.2.b'de açıklanmıştır. Buna göre perde uçlarında deprem etkilerinden oluşan maksimum basınç gerilmeleri $0.2f_c'$ değerinden büyükse perdede uç bölgeleri oluşturulacaktır. Oluşturulan bu uç bölgeleri, gerilmenin $0.15f_c'$ nin altına indiği kesite kadar devam ettirilecektir. Perde uç bölgelerindeki gerilmeler hesaplanırken kesitlerin lineer elastik davranacağı düşünülecektir.

Perde uç bölgelerinin donatıllandırılması

Perde uç bölgeleri ACI 318-14'e göre donatıllandırılacaktır. Buna göre:

- Uç bölgesi uzunluğu en az $c-0.1l_w$ ve $c/2$ kadar olacaktır. Burada c , depremler yükler altında hesaplanan tarafsız eksen derinliğidir.
- Oluşturulan perde uç bölgelerinin genişliği en az perde serbest yüksekliğinin $1/16$ 'sı kadar olacaktır.
- Eğer $c/l_w > 3/8$ ise perde uç bölgelerinin genişliği en az 12 in. (30cm) olacaktır.
- Eğer perdenin uç bölgesi başka bir perdenin içerisinde oluşturuluyorsa, perde uç bölgesi her iki perdenin gövde bölgesine doğru en az 12 in. (30cm) uzatılacaktır. Bunun sebebi, perdelerin birleşim bölgelerinde çok yüksek

gerilmelerin ortaya çıkması ve bu sebeple meydana gelebilecek lokal göçmelerin önüne geçebilmektir.

- Uç bölgesinde kullanılacak enine donatı alanı denklem 3.70 ve 3.71 ile verilen şartları sağlamalıdır. Verilen denklemlerde; A_{sh} enine donatı alanını, s enine donatı aralığını, göz önüne alınan doğrultuda sarılı bölge uzunluğunu, A_g uç bölgesi alanını, A_{ch} sarılı uç bölgesi alanını ifade etmektedir.

$$\frac{A_{sh}}{sb_c} \geq 0.3 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yt}} \quad (3.70)$$

$$\frac{A_{sh}}{sb_c} \geq 0.09 \frac{f'_c}{f_{yt}} \quad (3.71)$$

- Uç bölgesindeki enine donatıların düşeydeki aralıkları ACI 318-14 18.7.5.3'e göre belirlenecektir. Buna göre donatı aralıkları (s) aşağıdaki şartları sağlamalıdır.
 - $s < b/3$ (b : perde genişliği)
 - $s < 6 \times d_b$ (d_b : boyuna donatı çapı)
 - $s < 6$ in. (15cm)
 - $s < 4 + (14 - h_x) / 3$ (h_x : etriye bağlanmış iki boy. donatı arası mesafe)
- Etriyeler temel içinde uç bölgesindeki en büyük boyuna donatının kenetlenme boyu kadar temel içinde devam ettirilecektir.
- Uç bölgesi oluşturulmasına gerek olmayan perde kesitlerinde boyuna donatı oranı $400/f_y$ 'den fazla ise perde uçlarında yine uç bölgeleri oluşturulacaktır.

Bağ kirişlerin tasarlanması

Bağ kirişler ACI 318-14 18.10.7'ye göre tasarlanacaktır. Buna göre denklem 3.72 ve 3.73 ile verilen şartlardan her ikisini de sağlamayan kirişler çapraz donatılı bağ kiriş olarak tasarlanacaktır.

$$l_n/h \geq 2 \quad (3.72)$$

$$V_u \leq 4\lambda\sqrt{f'_c}A_{cw} \quad (3.73)$$

Eğer l_n/h oranı 2 ile 4 arasında ise kirişler çapraz donatılı olarak ya da süneklik düzeyi yüksek kiriş olarak tasarlanabilirler. Bu oran 4'ten büyükse kirişler çapraz donatılı olarak tasarlanamazlar. Çünkü çapraz donatıların etkili bir biçimde

çalışabilmesi için kirişte büyük deplasmanların olması gerekir ve bu deplasmanlar I_n/h oranı 4'ten küçük olduğu zaman etkili hale gelecek şekilde artmaya başlarlar.

Çapraz donatılı bağ kirişlerin kesme kuvveti dayanımı denklem 3.74 ile hesaplanacaktır ve hesaplanan kesme kuvveti dayanımı denklemde verilen değerden fazla olmayacaktır. Oluşturulan çapraz donatı demetlerinin her biri en az 4 donatıdan oluşacaktır ve mesnetlendiği perdeye bindirme en az 1.25 katı kadar ankrajlanacaktır.

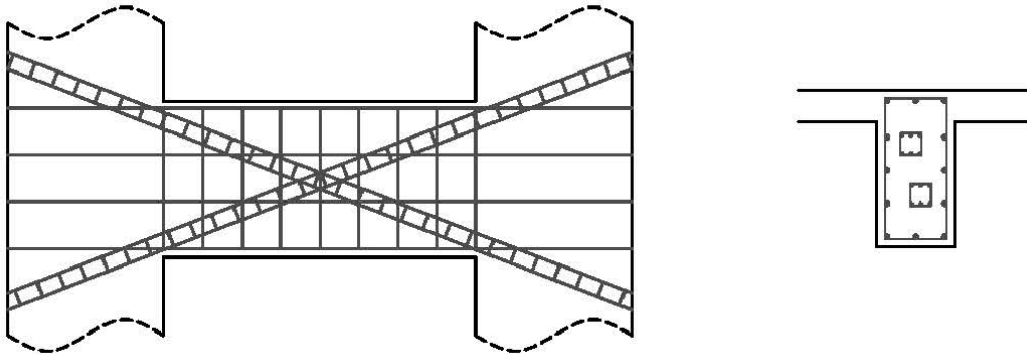
$$V_n = 2A_{vd}f_y \sin \alpha \leq 10\sqrt{f'_c}A_{cw} \quad (3.74)$$

Bağ kirişlerdeki çapraz donatıların veya boyuna donatıların etriyeler ile sarılması gerekmektedir. Etriye aralıkları boyuna donatı çapının 6 katından ve 14 in.'den (35cm) fazla olmayacaktır. Seçilecek etriyeler denklem 3.75 ve 3.76 ile verilen şartları sağlayacaktır. Boyuna donatıların etriye ile sarılması yöntemi tercih edildiyse, bağ kirişin yan yüzlerinde, kiriş boyunca aralıkları 8 in.'i (20cm) geçmeyen gövde donatı kullanılacaktır. Gövde donatısı alanı en az $0.002b_w s$ kadar olacaktır.

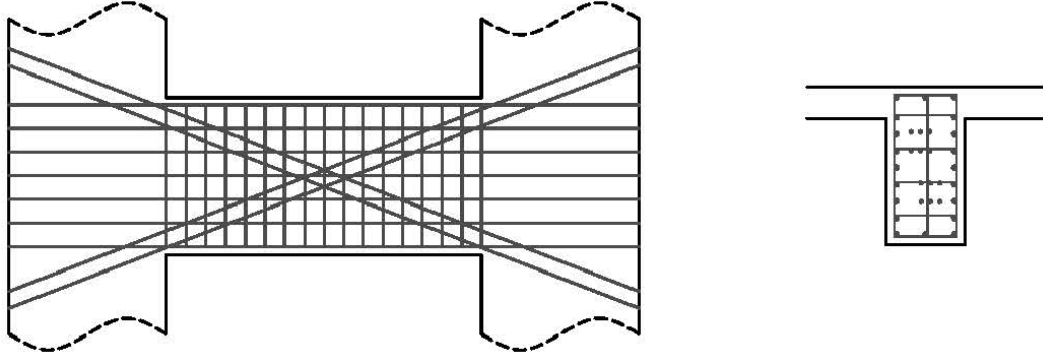
$$\frac{A_{sh}}{s b_c} \geq 0.3 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yt}} \quad (3.75)$$

$$\frac{A_{sh}}{s b_c} \geq 0.09 \frac{f'_c}{f_{yt}} \quad (3.76)$$

Etriyeler çapraz donatı demetlerinde uygulanırsa, bağ kiriş boyunca ACI 318-14 18.6'da verilen minimum etriye kullanılacaktır. Etriyeler boyuna donatılar etrafında uygulanırsa, bağ kirişteki gövde donatıları çirozlar ile birbirlerine bağlanacaktır. Bağ kiriş donatı düzeni şekil 3.7 ve 3.8'de gösterilmiştir.



Şekil 3.7 : Çapraz donatıları sarılı bağ kiriş donatı düzeni.



Şekil 3.8 : Çapraz donatıları sarılı olmayan bağ kiriş donatı düzeni.

Perde sürtünme kesmesi kontrolü

Perde sürtünme kesmesi kontrolü ACI 318-14 22.9'a göre yapılacaktır. Soğuk derz olan yerlerde veya çatlak oluşması muhtemel yerlerde sürtünme kesmesi kontrolü yapılacaktır. Eğer kesme düzlemi sürtünme kesmesi donatılarına dik ise sürtünme kesmesi dayanımı denklem 3.77 ile hesaplanacaktır.

$$V_n = \mu A_v f_y \quad (3.77)$$

Sürtünme katsayısı (μ) değerleri Çizelge 3.34'te verilmiştir.

Çizelge 3.34 : Sürtünme katsayısı değerleri

Yüzey Durumu	Sürtünme Katsayısı (μ)
Monolitik beton birleşimi	1,4
Pürüzlendirilmiş (1/4 in.) beton ile yeni beton birleşimi	1,0
Pürüzlendirilmemiş beton ile yeni beton birleşimi	0,6
Çelik profil beton birleşimi	0,7

Sürtünme kesmesi dayanımı Çizelge 3.35'de verilen değerleri aşmayacaktır.

Çizelge 3.35 : Sürtünme katsayısı değerleri

Yüzey Durumu	Maksimum V_n	
Monolitik yada pürüzlendirilmiş birleşim	En küçük olan değer kullanılacaktır	$0.2f_c' A_c$
		$(480+0.08f_c') A_c$
		$1600A_c$
Diğer durumlar	En küçük olan değer kullanılacaktır	$0.2f_c' A_c$
		$800A_c$



4. YÖNETMELİKLERE GÖRE DOĞRUSAL OLMAYAN TASARIM İLKELERİ

4.1 Türk Yönetmeliklerine Göre Doğrusal Olmayan Tasarım

Türk yönetmeliklerine göre doğrusal olmayan tasarım (Şekildeğiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım) için modelleme kuralları ve hesap esasları TBDY Bölüm 5 ve 13'te açıklanmıştır.

4.1.1 Doğrusal olmayan tasarım yaklaşımı

Doğrusal olmayan tasarım yaklaşımı için hesap adımları aşağıda özetlenmiştir.

- Yüksek bina kapsamına girip bu bölüme göre tasarlanacak yapılarda minimum perde kalınlığı 300 mm olacaktır.
- Taşıyıcı sistem elemanlarının iç kuvvet – şekildeğiştirme bağıntıları belirlenir.
- Öngörülen performans düzeyi ile uyumlu olarak seçilen deprem yer hareketleri ile yapının statik veya dinamik analizi yapılır. Analiz sonucunda sünek yapı elemanlarının şekildeğiştirme talepleri ve gevrek elemanların dayanım talepleri elde edilir.
- Elde edilen şekildeğiştirme ve dayanım talepleri elemanların şekildeğiştirme ve dayanım kapasiteleri ile öngörülen performans düzeyi çerçevesinde karşılaştırılır.
- Mevcut binalar ve yeni tasarımı yapılacak binalar için yapılan hesaplamalarda şekildeğiştirme ve dayanım talepleri elemanların şekildeğiştirme ve dayanım kapasitelerinin altında ise analiz tamamlanır.
- Yeni yapılacak binalarda talepler kapasitelerin üzerinde ise kesitler değiştirilerek hesaplar tekrarlanır.

4.1.2 Performans hedefleri ve tasarım yaklaşımları

Performans hedefleri ve tasarım yaklaşımları TBDY Tablo 3.4'te verilmiştir. Performans hedefleri ve tasarım yaklaşımları deprem tasarım sınıfı ve bina yükseklik sınıfına bağlı olarak belirlenmektedir. Ancak yapı sahibini isteğine göre gereken performans düzeyinden daha ileri performans hedefleri de seçilebilir. Yeni yapılacak ve mevcut yüksek binalar (BYS=1) için performans hedefleri ve tasarım yaklaşımları Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1 : Yüksek binalar için performans hedefleri ve tasarım yaklaşımları.

Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DTS = 1, 2, 3, 3a, 4, 4a		DTS = 1a, 2a	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı
DD-4	KK	DGT	-	-
DD-3	-	-	SH	ŞGDT
DD-2	KH	DGT	KH	DGT
DD-1	GÖ	ŞGDT	KH	ŞGDT

4.1.3 Deprem etkilerinin tanımlanması ve diğer etkilerle birleştirilmesi

Deprem etkilerinin tanımlanması ve diğer etkilerle birleştirilmesi TBDY 5.2'de açıklanmıştır. Deprem etkileri itme yöntemleriyle veya zaman tanım alanında hesap yöntemiyle tanımlanabilmektedir. Bu hesapların ayrıntıları TBDY 5.6 ve 5.7'de açıklanmıştır.

Deprem etkileri diğer etkilerle denklem 4.1'de verildiği gibi birleştirilecektir.

$$G + Q_e + 0.2S + E_d^{(H)} + E_d^{(Z)} \quad (4.1)$$

Bu formülde G sabit yük etkisini, Q_e doğrusal hesap için verilen hareketli yük kütle katılım katsayısı kullanılarak hesaplanan hareketli yük etkisini, S kar yükünü, $E_d^{(H)}$ yatay deprem etkisini ve $E_d^{(Z)}$ doğrusal hesap yöntemlerinde hesaplanan düşey deprem etkisini göstermektedir. Doğrusal olmayan hesaba başlarken öncelikle deprem etkileri dışındaki yükler için sistem hesap edilir. Yeni yapılan ve güçlendirilen binalarda bu aşamada doğrusal olmayan davranışa izin verilmez. Mevcut binaların analizi için ise doğrusal olmayan davranışa izin verilir. Bu hesaptan elde edilen iç kuvvet ve şekildeğiştirmeler deprem hesabı için başlangıç değerleri olarak gözönüne alınacaktır.

Yatay deprem etkileri birleştirilirken; itme yöntemleri kullanılmışsa her bir yön için ayrı ayrı hesap yapıp doğrusal yöntemler için verilen birleştirme yöntemi uygulanır. Zaman tanım alanında hesap yapılmış ise yatayda birbirine dik doğrultulardaki deprem bileşenleri birlikte eş zamanlı tanımlanarak sonuçlar doğrudan elde edilir.

4.1.4 Doğrusal olmayan davranış modelleri

4.1.4.1 Yığılı Plastik Davranış Modeli

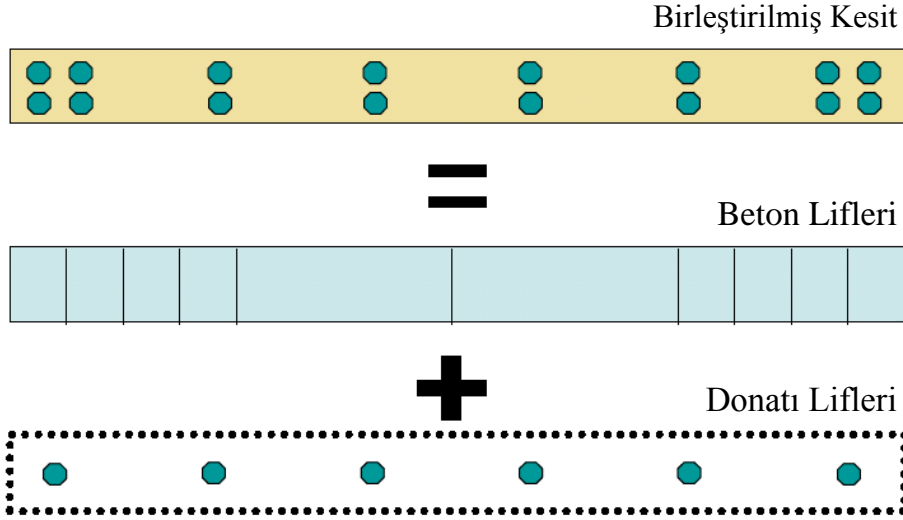
Yığılı plastik davranış modeli TBDY 5.3.1’de açıklanmıştır. Bu model çubuk elemanlarda ve gerekli şartları sağlayan perdelerin modellenmesinde kullanılabilir. Perdeler için gerekli şartlar TBDY 4.5.3.8’de verilmiştir. Bu maddeye göre çubuk eleman olarak modellenmesine izin verilen perdelerde yığılı plastik mafsal kabulü yapılabilir. Yığılı plastik mafsal kabulünde plastik şekil değiştirmelerin eleman uç bölgelerinde sınırlı bir alanda meydana geleceği, elemanın diğer kısımlarının ise elastik kalacağı kabul edilir. Plastik şekil değiştirme bölgesinin uzunluğu (L_p), kesit yüksekliğinin yarısına eşit kabul edilmektedir. Bu modelde dikkat edilecek diğer hususlar aşağıda verilmiştir.

- Sadece eksenel kuvvet altında plastik şekil değiştirme yapan elemanların plastik mafsal boyu elemanın serbest boyuna eşit olacaktır.
- Etkin akma momenti hesabında beton basınç birim şekil değiştirmesi 0.0035, donatı birim şekil değiştirmesi 0.01 alınacaktır.
- Kolonlarda düşey yüklerden meydana eksenel kuvvetler dikkate alınacaktır.
- İki doğrulu kuvvet-plastik şekil değiştirme bağıntılarında pekleşme etkisi terk edilebilir.

4.1.4.2 Yayılı Plastik Davranış Modeli

Yığılı plastik davranış modeli TBDY 5.3.2’de açıklanmıştır. Bu model bütün elemanlarda kullanılabilir. Bu modelde elemanın tüm uzunluğu boyunca doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin olduğu kabul edilir. Bu modelde elemanların kesit hücrelerinden (lif) meydana geldiği kabul edilir. Her bir hücrede doğrusal olmayan eksenel gerilme-birim şekil değiştirme bağıntıları kullanılarak hesap yapılır. Özellikle perdelerin doğrusal olmayan modellenmesinde kullanılabilir. Betonarme perdelerin eğilme ve eksenel kuvvet etkisi altında doğrusal olmayan davranışının modellenmesi

için kullanılan lif modeline ek olarak kayma şekildeğiştirmelerini dikkate almak adına doğrusal bir kayma modeli de yaklaşık olarak hesaba katılabilir. Çevrimsel davranış için genel kabul görmüş modeller kullanılabilir. Perdeler için lifli modelleme Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 : Perdelerde lif modelleme.

4.1.5 Doğrusal olmayan hesap için modelleme kuralları

4.1.5.1 Genel kurallar

Doğrusal olmayan hesap için taşıyıcı sistem modellemesine ilişkin kurallar TBDY 5.4’te verilmiştir. Genel kurallar aşağıda özetlenmiştir.

- Bina taşıyıcı sistemleri 3 boyutlu olarak modellenecektir. Kütlelerin modellemesinde, doğrusal modelleme için verilen kurallar dikkate alınacaktır.
- Birbirine dik iki yatay doğrultuda deprem etkileri gözönüne alınacaktır.
- Sönüm oranı aksi belirtilmedikçe %5 alınacaktır. İkinci mertebeye etkileri gözönüne alınacaktır.
- Mevcut binaların hesabında malzemelerin mevcut dayanımları gözönüne alınacaktır. Yeni yapılacak binaların hesabında beton ve çeliğin beklenen (ortalama) dayanımları gözönüne alınacaktır (Çizelge 4.2).
- Performans değerlendirmesi yapılacak süneklik düzeyi yüksek binalarda, kapasite tasarımı ilkeleri ve diğer sünek tasarım kuralları (kesme hasarı, kolon-kiriş birleşim bölgesi hasarı), ön tasarım esnasında kontrol edildiği için modellerde dikkate alınmayabilir.

- Çubuk elemanların modellenmesinde yığılı veya yayılı plastik davranış modelleri kullanılabilir. Yığılı plastik mafsal kabulünde, plastik mafsallar arasında kalan kısım doğrusal eleman olarak modellenecektir. Bu kısımların modellenmesinde etkin kesit rijitlikleri kullanılacaktır.
- Betonarme perdelerin modellenmesinde yığılı veya yayılı plastik mafsal modelleri kullanılabilir. Ancak yüksek bina kapsamına giren yapılarda lif model kullanılması zorunludur.

Çizelge 4.2 : Malzeme beklenen dayanımları.

Beton	$f_{ce} = 1.3f_{ck}$
Donatı çeliği	$f_{ce} = 1.2f_{ck}$
Yapı çeliği (S235)	$f_{ce} = 1.5f_{ck}$
Yapı çeliği (S275)	$f_{ce} = 1.3f_{ck}$
Yapı çeliği (S355)	$f_{ce} = 1.1f_{ck}$
Yapı çeliği (S460)	$f_{ce} = 1.1f_{ck}$

4.1.5.2 Betonarme elemanların etkin kesit rijitlikleri

Doğrusal hesap modellerinde etkin kesit rijitlikleri TBDY Bölüm 4'e göre yapılacaktır. Yığılı plastik mafsal davranışına göre modellenen kolon, kiriş ve perdelerin plastik mafsallar arasında kalan kısımlarının etkin kesit rijitlikleri denklem 4.2 ile hesaplanacaktır.

$$(EI)_e = \frac{M_y L_s}{\theta_y} \frac{1}{3} \quad (4.2)$$

Denklem 4.2'de verilen M_y ve θ_y eleman uçlarındaki plastik mafsalların etkin akma momentleri ve akma dönmelerini ifade etmektedir. L_s ise kesme açıklığını ifade etmektedir. Kesme açıklığı moment / kesme kuvveti oranıdır. Kolon ve kirişlerde yaklaşık olarak açıklığın yarısı olarak alınabilir. Akma dönmesi θ_y denklem 4.3 ile hesaplanacaktır.

$$\theta_y = \frac{\phi_y L_s}{3} + 0.0015\eta \left(1 + 1.5 \frac{h}{L_s} \right) + \frac{\phi_y d_b f_{ye}}{8\sqrt{f_{ce}}} \quad (4.3)$$

Denklem 4.3'de verilen ϕ_y etkin akma eğriliğini, h kesit yüksekliğini, d_b ise mesnede kenetlenen donatı çeliklerinin ortalama çapını göstermektedir. η katsayısı ise kiriş ve kolonlarda 1, perdelerde 0.5 alınacaktır. Hesaplamalarda beton ve donatının beklenen akma dayanımları kullanılacaktır.

4.1.6 Doğrusal olmayan hesap yönteminin seçimi

Doğrusal olmayan hesap yöntemleri ve bunlara ait sınırlamalara dair ayrıntılar TBDY 5.5’de verilmiştir. Doğrusal olmayan yöntemler itme yöntemleri ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi olmak üzere iki ana gruba ayrılır.

İtme yöntemleri

İtme yöntemleri; tek modlu ivme yöntemleri ve çok modlu itme yöntemi olmak üzere ikiye ayrılır. Aşağıda verilen şartları sağlayan binalarda tek modlu itme yöntemleri kullanılabilir.

- Bina yükseklik sınıfı 5 ve 5’ten büyük olan binalar.
- Burulma düzensizliği katsayısı 1.4’ten küçük olan binalar.
- Göz önüne alınan deprem doğrultusunda, hâkim titreşim modunun kütle katılımına oranı %70’den büyük olan binalar.

Yukarıda verilen şartları sağlayan binalarda tek modlu itme yöntemlerinden biri kullanılabilir. TBDY iki farklı tek modlu itme yöntemi tanımlanmıştır. Bunlar; sabit tek modlu itme yöntemi ve değişken tek modlu itme yöntemidir.

Çok modlu itme yönteminde, tasarım spektrumu kullanılarak bütün modların göz önüne alındığı bir yöntemdir. Modların birleştirilmesi TBDY 4B.2.4’de verildiği şekilde yapılacaktır.

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap, deprem yer hareketinin etkisi altında taşıyıcı sistemin hareket denklemlerini ifade eden diferansiyel denklem takımının zaman artırımları ile adım adım doğrudan integrasyonuna karşı gelir. Bu işlem sırasında, doğrusal olmayan davranış nedeni ile sistem rijitlik matrisinin zamanla değişimi göz önüne alınır. Bu yöntem bütün binalarda kullanılabilir.

Zaman tanım alanında yapılacak doğrusal olmayan hesaplarda en az on bir deprem kaydı kullanılacaktır. Birbirlerine dik yatay iki doğrultudaki ivme kayıtları taşıyıcı sistemin asal eksenleri doğrultusunda aynı anda birlikte etki ettirilecektir. Daha sonra bu hesap ivme kayıtlarının eksenleri 90° döndürülerek hesap tekrarlanacaktır.

Deprem kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklendirilmesi TBDY 2.5’e göre yapılacaktır. Deprem kayıtlarının seçilmesinde dikkate alınacak hususlar aşağıda verilmiştir.

- Tasarıma esas deprem hareketi büyüklüğü
- Aktif fay düzlemine uzaklık
- Kaynak mekanizması
- Yerel zemin koşulları

Yeterli sayıda uygun yer hareketi bulunamadığı takdirde yapay deprem hareketleri kullanılabilir. Yapay deprem hareketlerinin, bölgede meydana gelen kaydedilmiş gerçek deprem kayıtları ile uyumlu olduğu gösterilmelidir. Ek olarak aynı depremden seçilecek kayıt sayısı üçü geçmeyecektir. Deprem kayıtlarının ölçeklendirilmesinde basit ölçeklendirme ve deprem kayıtlarının spektral uyumu sağlanacak şekilde dönüştürülmesi olmak üzere iki farklı ölçeklendirme yöntemi bulunmaktadır. Basit ölçeklendirme yöntemi için aşağıda verilen alımlar izlenecektir.

- Hesap için seçilen tüm kayıtlara ait spektrumların ortalamasının $0.2T_p$ ve $1.5T_p$ periyotları arasındaki genlikleri, tasarım spektrumunun aynı periyot aralığındaki genliklerinden daha küçük olması durumunda ölçeklendirme yapılacaktır.
- Hesap için seçilen her bir deprem kaydının iki yatay bileşenine ait spektrumların kareleri toplamının karekökü alınarak bileşke yatay spektrum elde edilecektir. Bileşke spektrumlarının ortalamasının $0.2T_p$ ve $1.5T_p$ periyotları arasındaki genliklerinin, tasarım spektrumunun aynı periyot aralığındaki genliklerine oranı 1.3'ten daha küçük olmayacaktır. Her iki yatay bileşenin ölçeklendirilmesi için aynı ölçek katsayıları kullanılacaktır.

Deprem kayıtlarının spektral uyumu sağlanacak şekilde dönüştürülmesi yönteminde ise TBDY 16.5.2 veya 16.10'a göre yapılacak zemin davranış analizlerinde veya zaman tanım alanında yapılacak diğer hesaplarda kullanılmak üzere deprem yer hareketleri, seçilen deprem kayıtlarının tasarım spektrumuna spektral uyumu sağlanacak şekilde dönüştürülmesi ile edilir. Dönüştürülen deprem yer hareketlerinin spektrumlarının ortalamaları, tüm periyotlar için tasarım spektrumu ordinatlarından daha küçük olmayacaktır.

Dinamik enerji kayıpları hareket denklemlerinde viskoz sönüm matrisi ile temsil edilir. Viskoz sönüm matrisi, Rayleigh orantılı sönüm matrisi veya modal sönüm matrisi olarak oluşturulacaktır.

4.1.7 Şekildeğiştirmelerin değerlendirilmesi

Yeni yapılacak betonarme bina elemanları için sınır değerler TBDY 5.8.1'de tanımlanmıştır. Her bir performans düzeyi için ayrı ayrı tanımlanan şekildeğiştirme sınır değerleri, yığılı veya yayılı plastik davranış için farklı denklemlerle hesaplanmaktadır.

4.1.7.1 Göçmenin önlenmesi performans düzeyi için sınır değerler

Göçmenin önlenmesi performans düzeyi için sınır değerler; yayılı plastik davranış için toplam birim şekildeğiştirme, yığılı plastik davranış için plastik dönmeler üzerinden hesaplanacaktır.

Yayılı plastik davranış için birim şekildeğiştirme sınır değerleri

Göçmenin önlenmesi performans düzeyi için dikdörtgen kesitli kolon, kiriş ve perdelerde beton birim kısalması sınır değeri denklem 4.4 ile verilmiştir.

$$\varepsilon_c^{(G\ddot{O})} = 0.0035 + 0.04\sqrt{\omega_{we}} \leq 0.0018 \quad (4.4)$$

Denklem 4.4'te yer alan ω_{we} terimi, etkin sargı donatısının mekanik donatı oranını göstermektedir ve denklem 4.5 ile hesaplanmaktadır.

$$\omega_{we} = \alpha_{se}\rho_{sh,min} \frac{f_{ywe}}{f_{ce}} \quad (4.5)$$

Denklem 4.5'te verilen α_{se} sargı donatısı etkinlik katsayısını göstermektedir ve denklem 4.6 ile hesaplanmaktadır. Diğer terimler olan $\rho_{sh,min}$ dikdörtgen kesitte iki yatay doğrultuda hacimsel enine donatı oranından küçük olanı, f_{ywe} enine donatı ortalama akma dayanımını göstermektedir.

$$\alpha_{se} = \left(1 - \frac{\sum a_i^2}{6b_0h_0}\right) \left(1 - \frac{s}{2b_0}\right) \left(1 - \frac{s}{2h_0}\right) \quad ; \quad \rho_{sh} = \frac{A_{sh}}{b_k s} \quad (4.6)$$

Denklem 4.6'da verilen A_{sh} ve ρ_{sh} gözönüne alınan doğrultuda enine donatının alanını ve hacimsel oranını, b_k dik doğrultudaki çekirdek boyutunu, s enine donatı aralığını, a_0 ve b_0 sargı donatısı eksenlerinden ölçülen sargılı beton boyutlarını, a_i bir etriye kolu veya çiroz tarafından mesnetlenen boyuna donatıların eksenleri arasındaki uzaklığı göstermektedir.

Göçmenin önlenmesi için donatı çeliği birim uzama sınır değeri denklem 4.7 ile verilmiştir.

$$\varepsilon_s^{(GÖ)} = 0.4\varepsilon_{su} \quad (4.7)$$

Yığılı plastik davranış için plastik dönme sınır değerleri

Göçmenin önlenmesi performans düzeyi için plastik dönme sınır değerleri denklem 4.8 ile hesaplanmaktadır.

$$\theta_p^{(GÖ)} = \frac{2}{3} \left[(\phi_u - \phi_y) L_p \left(1 - 0.5 \frac{L_p}{L_s} \right) + 4.5 \phi_u d_b \right] \quad (4.8)$$

Denklem 4.8’de verilen ϕ_u beton-donatı çeliği modellerinden yararlanarak ve kesite etkiyen aksenal kuvvet dikkate alınarak yapılan analizden elde edilen göçme öncesi toplam eğriliği göstermektedir. Verilen denklemdeki son terim akma sonrası durum için akma penetrasyonuna bağlı donatı sıyrılması dönmesine karşı gelmektedir.

4.1.7.2 Kontrollü hasar performans düzeyi için sınır değerler

Kontrollü hasar performans düzeyi için sınır değerler, göçmenin önlenmesi sınır değerine bağlı olarak verilmiştir (Denklem 4.9, 4.10 ve 4.11).

$$\varepsilon_c^{(KH)} = 0.75\varepsilon_c^{(GÖ)} \quad (4.9)$$

$$\varepsilon_s^{(KH)} = 0.75\varepsilon_s^{(GÖ)} \quad (4.10)$$

$$\theta_p^{(KH)} = 0.75\theta_p^{(GÖ)} \quad (4.11)$$

4.1.7.3 Sınırlı hasar performans düzeyi için sınır değerler

Sınırlı hasar performans düzeyi için birim şekildeğiştirme sınır değerleri denklem 4.12 ve 4.13’te verilmiştir. Yığılı plastik davranış için ise taşıyıcı sistemde plastik mafsall oluşumuna izin verilmeyecektir (denklem 4.14).

$$\varepsilon_c^{(SH)} = 0.0025 \quad (4.12)$$

$$\varepsilon_s^{(SH)} = 0.0075 \quad (4.13)$$

$$\theta_p^{(SH)} = 0 \quad (4.14)$$

4.1.8 Yüksek bina taşıyıcı sistemleri için özel kurallar

Deprem etkisi altında yüksek bina taşıyıcı sistemleri için özel kurallar TBDY Bölüm 13’te verilmiştir. Bu bölüm bina yükseklik sınıfı 1 olan binalar için uygulanacaktır.

Deprem tasarım sınıfı ve bina yüksekliğine bağlı olarak $BYS=1$ olan binalar aşağıda özetlenmiştir.

- $DTS= 1, 1a, 2, 2a$ için yüksekliği $H_N > 70m$ olan binalar
- $DTS= 3, 3a$ için yüksekliği $H_N > 91m$ olan binalar
- $DTS= 4, 4a$ için yüksekliği $H_N > 105m$ olan binalar

$BYS=1$ olan binalarda TBDY Tablo 4.1’de verilen A12, A13, A14, A15, B12, B13 simgeleri ile gösterilen süneklik düzeyi yüksek betonarme sistemler kullanılabilir. Sadece $DTS=4$ olan binalarda süneklik düzeyi karma betonarme sistemler de kullanılabilir. Yüksek bina taşıyıcı sistemlerinde perde kalınlıkları minimum 300 mm olacaktır. Yüksek bina taşıyıcı sistemlerinde B420C veya B500C kalitesinde nervürlü donatı çelikleri kullanılacaktır.

4.1.9 Yüksek bina taşıyıcı sistem eleman davranış özellikleri

Yüksek bina taşıyıcı sistem elemanları doğrusal olmayan sünek davranış ve doğrusal davranış olmak üzere iki farklı davranış gösterirler. Bu davranışlar TBDY 13.3’te açıklanmıştır.

4.1.9.1 Doğrusal olmayan sünek elemanların davranış özellikleri

Doğrusal olmayan sünek davranışa dair özellikler aşağıda özetlenmiştir.

- Betonarme perdeler her iki doğrultuda eğilme ve eksenel kuvvet (PMM) etkisinde akma durumu göz önüne alınarak modellenecektir.
- Betonarme kirişler uç bölgeleri eğilme durumunda akma göz önüne alınarak modellenecektir.
- Betonarme kolonlar her iki doğrultuda eğilme ve eksenel kuvvet (PMM) etkisinde akma durumu göz önüne alınarak modellenecektir.

4.1.9.2 Doğrusal davranan elemanların davranış özellikleri

Doğrusal davranış gösteren elemanların iç kuvvetler için yeterli dayanımı sağlaması gerekmektedir. Doğrusal davranışa dair özellikler aşağıda özetlenmiştir.

- Perdeler, kolonlar ve kirişlerin kesme kuvvetlerine karşı yeterli dayanımı sağlamaları gereklidir.

- Sadece aksel yüküne maruz kolonların yeterli dayanımı sağlamaları gereklidir.
- Döşeme ve temellerde meydana gelen iç kuvvetlerin güvenli bir şekilde taşınabilmesi gereklidir.

Yukarıda verilen iç kuvvetler “kritik iç kuvvetler” olarak tanımlanacaktır.

4.1.10 Yüksek bina tasarım aşamaları

4.1.10.1 Tasarım aşaması I

Tasarım aşaması I, TBDY 13.4’te açıklanmıştır. Bu tasarım aşaması boyutlandırma amacıyla yapılmaktadır. Buna aşamada, tasarım deprem yer hareketi etkisi olarak nitelendirilen DD-2 deprem yer hareketi etkisi altında, TBDY Bölüm 4’te ve 13’te verilen kurallara göre dayanıma göre tasarım yapılır. Daha sonra TBDY Bölüm 7’ye göre elemanların boyutlandırılması ve donatılandırılması yapılacaktır. Hesap yöntemi olarak mod toplama yöntemi kullanılacaktır.

Azaltılmış iç kuvvetlerin eşdeğer taban kesme kuvvetine göre büyütülmesi işlemi için minimum taban kesme kuvveti Denklem 3.16 yerine Denklem 4.15’e göre yapılacaktır. Deprem yükü eşitleme işlemi yine Denklem 3.19 ile yapılacaktır ancak δ_E katsayısı 1.0 alınacaktır.

$$V_{t,\min} = 0.04\alpha_H m_t S_{DSg} \quad (4.15)$$

Denklem 4.15’de verilen α_H bina yüksekliğine bağlı olarak tanımlanan bir katsayıdır ve Denklem 4.16 ile hesaplanacaktır.

$$\begin{aligned} \alpha_H &= 1.0 & H_N \leq 105 \text{ m} \\ \alpha_H &= 2.05 - 0.01H_N & 105 \text{ m} \leq H_N \leq 155 \text{ m} \\ \alpha_H &= 0.5 & 155 \text{ m} \leq H_N \end{aligned} \quad (4.16)$$

4.1.10.2 Tasarım aşaması II

Tasarım aşaması II, TBDY 13.5’te açıklanmıştır. Bu aşamada ön tasarımı yapılmış bina elemanları, normal performans hedefi için DD-4 deprem yer hareketi altında kesintisiz kullanım performans hedefini, ileri performans hedefi için ise DD-3 deprem yer hareketi altında sınırlı hasar performans hedefini sağlamaları gerekmektedir. Performans hedefleri TBDY Tablo 3.4’de verilmiştir. Kesintisiz

kullanım performans hedefi için değerlendirmede dayanıma göre tasarım, sınırlı hasar kullanım performans hedefi için değerlendirmede Şekildeğiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım ilkeleri uygulanacaktır. Her iki hesapta da elemanların izelge 4.3'te verilen etkin kesit rijitlikleri kullanılacaktır. Hesaplamalarda malzemelerin ortalama dayanımları kullanılacaktır. Tasarım aşaması II için hesap esasları aşağıda verilmiştir.

- Normal performans hedefi için doğrusal hesaba dayalı model, ileri performans hedefi için doğrusal olmayan hesaba dayalı model kullanılacaktır.
- Ek dışmerkezlik etkileri gözönüne alınmayacaktır.
- Sönüm oranı %2.5 alınacaktır.
- Normal performans hedefi için DD-4 deprem düzeyi yer hareketi etkisi altında, modal hesap yöntemleri ile doğrusal hesap yapılacaktır. İleri performans hedefi için DD-3 deprem düzeyi yer hareketi etkisi altında, zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yapılacaktır.

Çizelge 4.3 : II. AŞama için etkin kesit rijitlikleri

Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanı	Etkin Kesit Rijitliği arpanı	
	Eksenel	Kayma
Perde-Döşeme (Düzlem İçi)		
Perde	0,75	1,00
Bodrum Perdesi	1,00	1,00
Döşeme	0,50	0,80
Perde-Döşeme (Düzlem Dışı)	Eğilme	Kesme
Perde	1,00	1,00
Bodrum Perdesi	1,00	1,00
Döşeme	0,50	1,00
ubuk Eleman	Eğilme	Kesme
Bağ kirişi	0,30	1,00
ereve kirişi	0,70	1,00
ereve kolonu	0,90	1,00
Perde (eşdeğer ubuk)	0,80	1,00

- Normal performans hedefi için yapılan modal hesap yöntemlerinde:
 - İç kuvvetlerin hesabında $R/I=1$ ve $D=1$ alınacaktır.
 - I. AŐamadaki minimum taban kesme kuvveti Şartı uygulanmayacaktır
 - %2.5 sönüm oranına karşı gelen tasarım spektral ivme değerlerinin elde edilmesi için, %5 sönüm oranı için verilen spektral ivme değerleri 1.25 katsayısı ile çarpılacaktır.

- İleri performans hedefi için yapılan zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesapta Rayleigh orantılı sönüm matrisi veya modal sönüm matrisi kullanılacaktır ve sönüm oranı %2.5 alınacaktır.
- Sünek davranışa sahip elemanlar değerlendirilirken, her bir deprem kaydından elde edilen sonuçların en büyük mutlak değerlerinin ortalaması alınacaktır.
- Sünek davranışa sahip olmayan elemanlarda kritik iç kuvvetler değerlendirilirken, her bir deprem kaydından elde edilen sonuçların en büyük mutlak değerlerinin ortalamasının 1.4 katı alınacaktır.
- Sünek davranışa sahip olmayan elemanlarda kritik olmayan iç kuvvetler değerlendirilirken, her bir deprem kaydından elde edilen sonuçların en büyük mutlak değerlerinin ortalaması alınacaktır.
- II. Aşama deprem hesabı normal performans hedefi için yapılan binalarda performans değerlendirmesi aşağıda verildiği gibi yapılacaktır.
 - Sünek davranışa sahip elemanlarda talep/kapasite oranı 1.5 değerini aşmayacaktır. Sünek davranışa sahip olmayan elemanlarda talep/kapasite oranı 0.7 değerini aşmayacaktır.
- II. Aşama deprem hesabı ileri performans hedefi için yapılan binalarda performans değerlendirmesi aşağıda verildiği gibi yapılacaktır.
 - Sünek davranışa sahip elemanlarda hesaplanan şekildeğiştirme değerleri önceki bölümde verilen ilgili performans düzeyi için verilen sınır değerleri aşmayacaktır.
 - Sünek davranışa sahip olmayan elemanlarda hesaplanan iç kuvvet değerleri, eleman kapasitelerinden daha küçük olacaktır.

4.1.10.3 Tasarım aşaması III

Tasarım aşaması III, TBDY 13.6'da açıklanmıştır. Tasarım I ve II'de belirlenen performans hedeflerini sağlayan binalarda, göz önüne alınan en büyük deprem olarak nitelendirilen DD-1 deprem yer hareketi altında normal performans hedefi olarak göçmenin önlenmesi veya ileri performans hedefi olarak kontrollü hasar performans hedefinin sağlanması gerekmektedir. Performans hedefleri TBDY Tablo 3.4'de

verilmiştir. Bu tasarım aşamasında zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yapılacaktır. Hesap sonucunda; sünek davranışlarda şekildeğiştirme değerleri, sünek olmayan davranışlarda iç kuvvet değerleri ve görelî kat ötelemeleri kontrol edilecektir.

Modellemede denklem 4.1'de verilen yük birleşimleri kullanılacaktır. A1 türü düzensizliğin bulunması ve burulma düzensizliği katsayısının 1.5'tan büyük olduğu durumlarda ek dışmerkezlîk etkisi gözönüne alınacaktır. Sönüm için; Rayleigh orantılı sönüm matrisi veya modal sönüm matrisi kullanılacaktır. Sönüm oranı %2.5 olacaktır. Tasarım aşaması III için hesap esasları aşağıda verilmiştir.

- Hesaplamalarda 11 deprem kaydı kullanılacaktır. Her bir depremden elde edilen sonuçların mutlak değerlerinin en büyüklerinin ortalaması alınarak değerlendirmeye esas şekildeğiştirme talepleri elde edilecektir.
- Kritik iç kuvvetler olarak tanımlanan iç kuvvetlerde, hesaplanan ortalama değerlere bir standart sapma eklenmesi ile değerlendirmeye esas iç kuvvet talepleri elde edilecektir. Standart sapma değerleri ortalamasının 1.2 katından az ve 1.5 katından fazla olmayacaktır. Kritik olmayan iç kuvvetlerde standart sapmayla artırım yapılmayacaktır.
- Normal performans hedefi için göçmenin önlenmesi performans hedefinin sağlanması gerekmektedir. İleri performans hedefi için kontrollü hasar performans hedefinin sağlanması gerekmektedir.
- Her bir katta göz önüne alınan deprem doğrultusunda, 11 deprem kaydından elde edilen görelî kat ötelemeleri değerlerinin ortalaması 0.03'ü geçmeyecektir.
- Tek bir depremden elde edilen en büyük görelî kat ötelemesi değeri ise 0.045'i geçmeyecektir.

4.1.11 Tasarımın sonuçlandırılması

I. Aşamada belirlenen düşey taşıyıcı sistem elemanlarının (kolon, perde, temel) boyut ve donatıları III. Aşamada azaltılmayacaktır. Bu elemanlarda azaltma yapılmak isteniyorsa, kesitler değiştirilerek her üç hesap aşaması da tekrarlanacaktır. Diğer taşıyıcı sistem elemanlarında (kiriş, bağ krş vb.) azaltma yapılmak isteniyorsa sadece III. Aşamaya göre azaltma yapılabilir, diğer aşamaların tekrarına gerek yoktur.

4.2 Amerikan Yönetmeliklerine Göre Doğrusal Olmayan Tasarım

Amerikan yönetmeliklerine göre doğrusal olmayan tasarım (Şekildeğiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım) için modelleme kuralları ve hesap esasları ASCE 41-13, ASCE 07-10, ACI 318-14, FEMA 750 standartları ve Los Angeles Tall Buildings Structural Design Council (LATBSDC) tasarım rehberi kullanılmıştır.

4.2.1 Performans seviyeleri

Binalar için performans seviyeleri ASCE 41-13 Tablo C2-3'de tanımlanmıştır. Buna göre yapılar için 4 performans seviyesi tanımlanmıştır. Performans seviyeleri ve bunlara karşı gelen hasar durumu aşağıda özetlenmiştir.

Kesintisiz kullanım performans düzeyi

- Yapıda çok az hasar vardır.
- Yapıda kalıcı deplasmanlar yoktur. Elemanların rijitlik ve dayanım değerlerinde azalma yoktur.
- Mimari elemanlarda küçük çatlaklar olabilir.
- Yapı tam fonksiyonel olarak kullanılmaya devam edebilir.

Hemen kullanım performans düzeyi

- Yapıda az hasar vardır.
- Yapıda kalıcı deplasmanlar yoktur. Elemanların genel olarak rijitlik ve dayanım değerlerinde azalma yoktur.
- Mimari elemanlarda çatlaklar olabilir.
- Yapı fonksiyonel olarak kullanılmaya devam edebilir.
- Yapıda tadilat yapılması gerekebilir.

Can güvenliği performans düzeyi

- Yapıda orta seviyede hasar vardır.
- Yapıda kalıcı deplasmanlar meydana gelebilir. Elemanların rijitlik ve dayanımlarında azalma olabilir. Düşey yük taşıyan elemanlar dayanımlarını korumaktadırlar.

- Mimari elemanlarda hasarlar meydana gelir. Duvarlar yıkılabilir, mekanik ve elektrik tesisatı hasar görebilir.
- Yapı tadilat görmeden kullanılamaz. Yapının onarılması ekonomik olmayabilir.

Göçmenin önlenmesi performans düzeyi

- Yapıda büyük hasar vardır.
- Yapıda kalıcı deplasmanlar meydana gelir. Yatay taşıyıcı sistem elemanları rijitlik ve dayanımlarını büyük oranda kaybetmişlerdir. Fakat düşey taşıyıcı elemanlar dayanımlarını korumaktadırlar. Artçı depremlerde bina yıkılabilir.
- Mimari elemanlar bütünüyle hasar görmüştür, yapı tamamen kullanılamaz hale gelmiştir.
- Yapı onarılamaz hale gelmiştir.

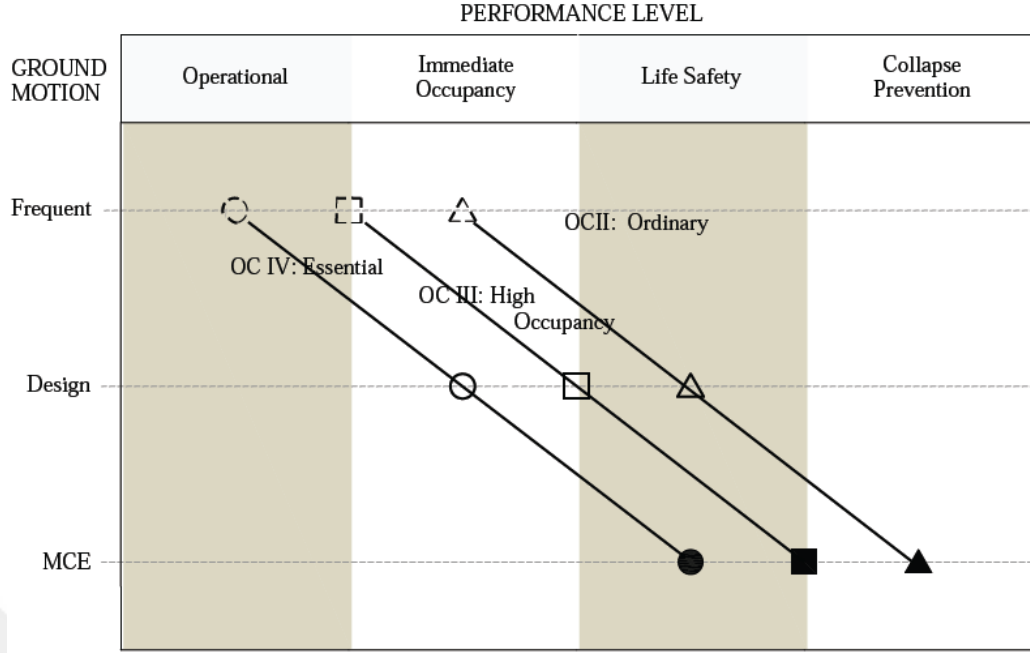
4.2.2 Performans hedefleri

Binalar için performans hedefleri ASCE 41-13 C2.2.4 ve FEMA 750 11.5’de açıklanmıştır. Binalar için performans hedefleri ASCE 07-10’da verilen bina risk kategorisine göre belirlenmektedir. Bina performans hedefleri ve gözönüne alınacak deprem düzeyleri Çizelge 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.4 : Bina performans hedefleri.

Bina Risk Kategorisi	Deprem Düzeyi	
	BSE-1N	BSE-2N
I & II	Can Güvenliği	Göçmenin Önlenmesi
III	Can Güvenliği- Hemen Kullanım	Göçmenin Önlenmesi - Can Güvenliği
IV	Hemen Kullanım	Can Güvenliği

Çizelge 4.4’de verilen BSE-2N deprem düzeyi, ASCE 07-10’da verilen gözönüne alınacak maksimum depremi ifade etmektedir. BSE-1N deprem düzeyi ise, BSE-2N deprem düzeyi için tanımlanan spektrumun $2/3$ seviyesindeki depremi ifade etmektedir. FEMA 750’de binaların kullanım amacına göre performans hedefleri ve bunlara karşı gelen deprem seviyeleri Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2 : FEMA 750 bina performans hedefleri.

4.2.3 Spektrumların tanımlanması

Deprem yer hareketi için spektrumların tanımlanması ASCE 41-13 2.4.1.1’de açıklanmıştır. Buna göre deprem spektrumlarının oluşturulması için ASCE 07-10’da verilen kurallar uygulanacaktır. ASCE 07-10’da verilen MCE deprem seviyesi için verilen spektrumlar, doğrusal olmayan analiz aşamasında BSE-2N deprem düzeyi olarak kullanılacaktır. Oluşturulan spektrumlar ASCE 07-10’da verilen katsayılarla belirlenen zemin sınıfına uyarlanacaktır. Spektrumların oluşturulması için, AFAD tarafından yayınlanan haritalarda DD-1 deprem düzeyi için verilen veriler kullanılacaktır.

4.2.4 Kritik ve kritik olmayan kesit tesirleri

Kritik ve kritik olmayan kesit tesirleri LATBSDC 3.5.4’de tanımlanmıştır. Bu tanımlamalar sünek olmayan, kuvvet kontrollü kesit davranışları için tanımlanmıştır. Kritik kesit tesirleri, göçme durumunda yapının tümünde göçmeye sebep olabilecek tesirlerdir. Kritik olmayan kesit tesirleri, göçme durumunda yerel, bir kat ya da bir açıklıkta göçme meydana getirecek tesirlerdir. Kritik kesit tesiri olarak tanımlanan etkiler kontrol edilirken, hesaplanan ortalama kuvvet değerleri 1.5 çarpanı ile artırılabilecektir. Kritik olmayan kesit tesirlerinde herhangi bir artırım yapılmayacaktır. Kritik ve kritik olmayan kesit tesirleri LATBSDC Tablo 5’de tanımlanmıştır (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.5 : Kritik ve kritik olmayan kesit tesirleri.

Kesit Tesiri	Kritik	Kritik Olmayan
Kiriş ve kolonlarda kesme kuvvetleri	X	
Kolon ve perdelerde aksel kuvvetler	X	
Perdelerde kesme kuvvetleri	X	
Rijit bodrum kat perdelerinde kesme kuvvetleri		X
Çapraz donatılı bağ kirişlerinde kesme kuvvetleri	X	
Döşeme aksel kuvvetleri	X	
Yatay yük aktarmayan döşemeler		X
Temellerde kesme kuvvetleri	X	
Temellerde eğilme momentleri		X

4.2.5 Deprem etkilerinin diğer etkilerle birleştirilmesi

Deprem etkilerinin diğer etkilerle birleştirilmesi ASCE 41-13 7.2’de verilen denklem (7-3)’e göre yapılacaktır. Düşey etkiler denklem 4.17’de verildiği şekilde gözönüne alınacaktır. LATBSDC 3.5.3’e göre deprem hesabında gözönüne alınacak kütle de ise hareketli yükler ve kar yükleri dikkate alınmayacaktır.

$$1.0D + 0.25L + 1.0S \quad (4.17)$$

ASCE 41-13 7.2.5.1’e göre, zaman tanım alanında yapılacak doğrusal olmayan hesaplarda en az on deprem kaydı kullanılacaktır. Birbirlerine dik yatay iki doğrultudaki ivme kayıtları taşıyıcı sistemin asal eksenleri doğrultusunda aynı anda birlikte etki ettirilecektir. Daha sonra bu hesap ivme kayıtlarının eksenleri 90° döndürülerek hesap tekrarlanacaktır.

ASCE 41-13 7.2.5.2’de düşey deprem etkilerinin hangi tür yapılarda kullanılacağı açıklanmıştır. Buna göre verilen özellikteki elemanları içeren yapılarda düşey deprem etkisi gözönüne alınacaktır; kirişe oturan kolonların bulunduğu binalar, ön germeli yatay sistem elemanları içeren elemanlar ve düşey yük taşıma kapasitesinin %80 oranı üzerinde aksel yüke sahip olan elemanları olan binalar.

Bunlara ek olarak ASCE 41-13 7.2.6’ya göre P-Δ etkileri ve ASCE 07-10’a göre hesaplanan burulma düzensizliği 1.50’den büyükse eksantirisite kaynaklı burulma momentleri gözönüne alınacaktır.

4.2.6 Etkin rijitlik değerleri

Etkin rijitlik değerleri LATBSDC Tablo 3’de verilmiştir (Çizelge 4.6). Perdelerde eğilme rijitliği için verilen değer yığılı plastik mafsal modeli kullanılıyorsa uygulanacaktır. Perdelerin modellenmesinde lif model kullanılmışsa eğilme için etkin kesit rijitlik değeri dikkate alınmayacaktır.

Çizelge 4.6 : Etkin rijitlik değerleri.

Eleman	Eğilme Rijitliği	Kayma Rijitliği
Kirişler	$0.3E_cI_g$	$0.4E_cA_g$
Bağ Kirişler	$0.3E_cI_g$	$0.4E_cA_g$
Kolonlar	$0.7E_cI_g$	$0.4E_cA_g$
Perdeler	$0.35E_cI_g$	$0.2E_cA_g$
Döşemeler	$0.25E_cI_g$	$0.1E_cA_g$

4.2.7 Beton ve donatı için gerilme-şekildeğiştirme bağıntıları

Beton ve donatı çeliği için gerilme şekildeğiştirme bağıntıları 4.1.5.3’de anlatılan modelleme kurallarına göre oluşturulacaktır.

4.2.8 Hesap yönteminin seçilmesi

Hesap yöntemi ASCE 41-13 7.2’ye göre seğilmektedir. Yüksekliği 160 ft.’den (48m) fazla olan binalar için hesap yöntemi seçimi ve uygulanacak diğer kurallar LATBSDC Tablo 1’de özetlenmiştir (Çizelge 4.7).

Çizelge 4.7 : Hesap yöntemi seçimi ve diğer kurallar.

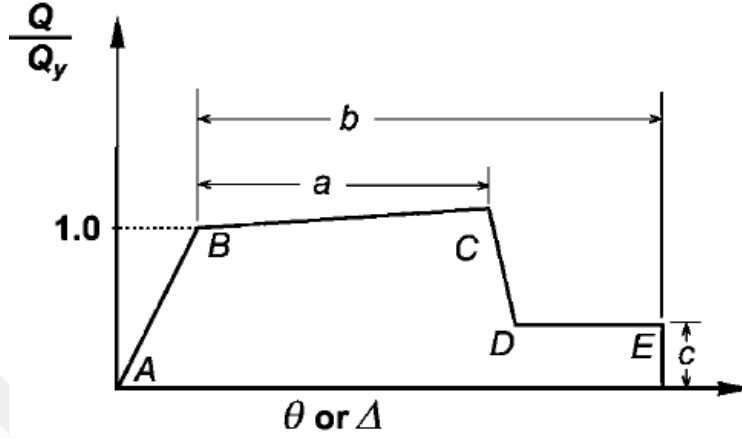
Hesap Adımı	Deprem Düzeyi	Hesap Modeli	Model Tipi	ϕ Katsayısı	Malzeme Dayanımı
1	BSE-1N	Doğrusal dinamik hesap	3D	1.0	Ortalama dayanım
2	BSE-2N	Doğrusal olmayan dinamik hesap	3D	1.0*	Ortalama dayanım

2. Hesap adımında ϕ katsayıları kritik olmayan kesit tesirleri için 1.0, diğer kesit tesirleri içinse ACI 318’de verilen değerler kullanılacaktır.

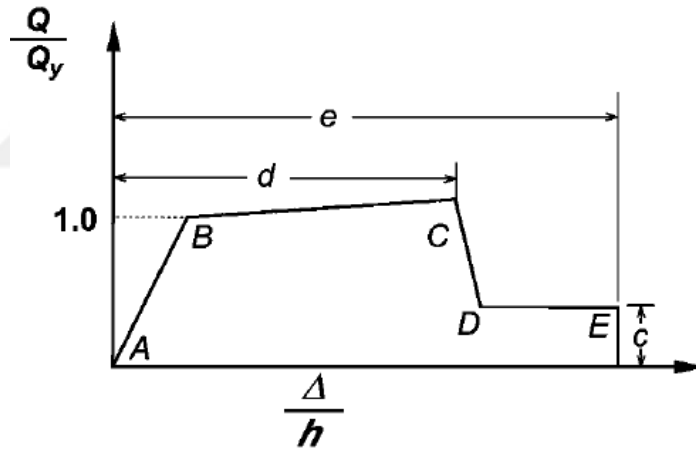
4.2.9 Yük-deplasman ilişkisinin modellenmesi

Yük-deplasman ilişkisinin modellenmesi ASCE 41-13 10.3.1.2.2’de tanımlanmıştır. Buna göre iki tip davranış modeli bulunmaktadır. Deplasman tipi davranış

modelinde; eğrilik, dönme, uzama gibi deformasyonlar doğrudan kullanılır. Şekil 4.3'te gösterilen a ve b değişkenleri akma sonrasındaki plastik deformasyon kapasitesini, c ise kopmadan önceki arda kalan dayanımı ifade etmektedir. Bu değerler ASCE 41-13 Bölüm 10'da verilen tablolardan alınacaktır.



Şekil 4.3 : Deplasman tipi davranış modeli.



Şekil 4.4 : Deplasman oranı tipi davranış modeli.

Deplasman oranı tipi davranış modelinde; eğrilik, dönme, uzama gibi deformasyonlar, kesme açısı vs. gibi terimlere oranlanarak kullanılır. Şekil 4.4'de gösterilen d ve e değişkenleri akma sonrasındaki plastik deformasyonların toplam kapasiteye oranını, c ise kopmadan önceki arda kalan dayanımı ifade etmektedir. Bu değerler ASCE 41-13 Bölüm 10'da verilen tablolardan alınacaktır.

Her iki davranış modelinde de akmadan sonra dayanımlarda bir miktar artış öngörülmektedir. Bu artış donatının pekleşmesine bağlı olarak oluşmaktadır. Bu oranı 1.15-1.35 arasında alınabilmektedir. Hesaplamalarda bu oran 1.25 olarak seçilecektir.

4.2.10 Plastik mafsallar için modelleme ve kabul parametreleri

Plastik mafsalların modellenmesinde ve sınır değerlerin belirlenmesinde kullanılacak katsayılar ASCE 41-13 Bölüm 10’da verilmiştir.

Kirişlerin modellenmesi

Kirişlerin modellenmesi ve kabul parametreleri ASCE 41-13 Tablo 10.7’de verilmiştir. Parametrelerin belirlenmesinde; boyuna donatı oranı, kesme kuvvetinin büyüklüğü, plastik mafsal bölgesindeki etriyelerin durumu ve göçme modu etkili olmaktadır. ASCE’de kirişler için verilen bir tablo Çizelge 4.8’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.8 : ASCE 41-13’de kirişler için verilen örnek bir tablo.

Conditions	Modeling Parameters ^a			Acceptance Criteria ^a				
	Plastic Rotations Angle (radians)		Residual Strength Ratio	Plastic Rotations Angle (radians)				
	a	b		Performance Level				
			IO	LS	CP			
Condition i. Beams controlled by flexure ^b								
$\frac{\rho - \rho'}{\rho_{bal}}$	Transverse reinforcement ^c	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f'_c}}$ ^d						
≤0.0	C	≤3 (0.25)	0.025	0.05	0.2	0.010	0.025	0.05
≤0.0	C	≥6 (0.5)	0.02	0.04	0.2	0.005	0.02	0.04
≥0.5	C	≤3 (0.25)	0.02	0.03	0.2	0.005	0.02	0.03
≥0.5	C	≥6 (0.5)	0.015	0.02	0.2	0.005	0.015	0.02
≤0.0	NC	≤3 (0.25)	0.02	0.03	0.2	0.005	0.02	0.03
≤0.0	NC	≥6 (0.5)	0.01	0.015	0.2	0.0015	0.01	0.015
≥0.5	NC	≤3 (0.25)	0.01	0.015	0.2	0.005	0.01	0.015
≥0.5	NC	≥6 (0.5)	0.005	0.01	0.2	0.0015	0.005	0.01
Condition ii. Beams controlled by shear ^b								
Stirrup spacing ≤ d/2			0.0030	0.02	0.2	0.0015	0.01	0.02
Stirrup spacing > d/2			0.0030	0.01	0.2	0.0015	0.005	0.01
Condition iii. Beams controlled by inadequate development or splicing along the span ^b								
Stirrup spacing ≤ d/2			0.0030	0.02	0.0	0.0015	0.01	0.02
Stirrup spacing > d/2			0.0030	0.01	0.0	0.0015	0.005	0.01
Condition iv. Beams controlled by inadequate embedment into beam-column joint ^b								
			0.015	0.03	0.2	0.01	0.02	0.03

Çizelge 4.8’de kirişlerin farklı göçme durumlarına göre parametreler tanımlanmıştır. “Durum i” göçmeyi eğilmenin kontrol ettiği durumları, “Durum ii” göçmeyi kesmenin kontrol ettiği durumları göstermektedir. “Durum iii” yetersiz bindirme boyu uygulanan ve yetersiz etriye kullanılan durumları, “Durum iv” yetersiz kolon-kiriş birleşimli durumları ifade etmektedir. Yeni yapılan binalarda bindirme boyları ve kolon-kiriş birleşimleri yönetmeliklere uygun yapıldığı takdirde “Durum iii ve iv” durumları oluşmayacaktır. ACI 318-14’de kiriş tasarımının ana felsefesi; eğilme göçmesinin kesme göçmesinden önce olmasını sağlayarak elemanın sünek davranmasının sağlanmasıdır. Dolayısıyla ACI 318-14’e göre tasarlanan elemanların hâkim göçme modu eğilme olmaktadır ve bu durum “Durum i” olarak ifade edilmektedir.

Göçme modu eğilme olan kiriş kesitlerin plastik mafsal parametreleri, etriyelerin kesme dayanımına katkısı olup olmadığı durumlar için ayrı ayrı verilmiştir. Etriyelerin kesme dayanımına katkısı; plastik mafsal bölgesinde etriye aralıklarının $d/3$ 'den küçük olduğu ve etriyelerin kesme dayanımının, dizayn kesme kuvvetinin en az $3/4$ 'ü kadar olduğu durumlarda gözönüne alınacaktır. Diğer durumda etriyelerin kesme dayanımına katkısı ihmal edilecektir. Plastik mafsal parametrelerini etkileyen diğer faktörler eğilme donatısını oranı ve dizayn kesme kuvvetinin betonun ezilmeden taşıyabileceği maksimum kesme kuvvetine oranıdır. Bahsedilen değişkenler bulunduktan sonra bunlara bağlı olarak a, b ve c parametreleri ve kabul sınırları olan plastik dönme değerleri belirlenir.

Kolonların modellenmesi

Kolonların modellenmesi ve kabul parametreleri ASCE 41-13 Tablo 10.8'de verilmiştir. Parametrelerin belirlenmesinde; aksel kuvvet oranı, kesme kuvvetinin büyüklüğü, plastik mafsal bölgesindeki etriyelerin özellikleri ve kesme talebinin kesme kapasitesine oranı etkili olmaktadır. ASCE'de verilen örnek bir tablo Çizelge 4.10'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.10'da verilen durumlar; plastik mafsal bölgesindeki etriyelerin özelliklerine ve kesme talebinin kesme kapasitesine oranına bağlı olarak belirlenmektedir. İlk üç durum Çizelge 4.9'a göre belirlenecektir. "Durum iv" ise yetersiz bindirme boyu olan durumları ifade etmektedir.

Bahsedilen değişkenler bulunduktan sonra bunlara bağlı olarak a, b ve c parametreleri ve kabul sınırları olan plastik dönme değerleri belirlenir.

Çizelge 4.9 : Durumların belirlenmesi.

Kesme Kapasitesi Oranı	135 ⁰ Kancalı Kapalı Etriye	90 ⁰ Kancalı Kapalı Etriye	Diğer Durumlar
$V_p / V_0 < 0.6$	i *	ii	ii
$1 > V_p / V_0 > 0.6$	ii	ii	iii
$V_p / V_0 > 1$	iii	iii	iii

*Bu durumun kabul edilebilmesi için ayrıca $A_v / b_w s > 0.002$ şartı

sağlanmalıdır ve s / d oranı 0.5'den küçük olmalıdır.

Çizelge 4.10 : ASCE 41-13’de kolonlar için verilen örnek bir tablo.

Conditions	Modeling Parameters ^a			Acceptance Criteria ^a				
	Plastic Rotations Angle (radians)		Residual Strength Ratio	Plastic Rotations Angle (radians)				
	a	b		Performance Level				
			c	IO	LS	CP		
Condition i.^b								
$\frac{P}{A_g f'_c}$	$\rho = \frac{A_v}{b_w s}$							
≤ 0.1	≥ 0.006		0.035	0.060	0.2	0.005	0.045	0.060
≥ 0.6	≥ 0.006		0.010	0.010	0.0	0.003	0.009	0.010
≤ 0.1	$= 0.002$		0.027	0.034	0.2	0.005	0.027	0.034
≥ 0.6	$= 0.002$		0.005	0.005	0.0	0.002	0.004	0.005
Condition ii.^b								
$\frac{P}{A_g f'_c}$	$\rho = \frac{A_v}{b_w s}$	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f'_c}}$						
≤ 0.1	≥ 0.006	$\leq 3 (0.25)$	0.032	0.060	0.2	0.005	0.045	0.060
≤ 0.1	≥ 0.006	$\geq 6 (0.5)$	0.025	0.060	0.2	0.005	0.045	0.060
≥ 0.6	≥ 0.006	$\leq 3 (0.25)$	0.010	0.010	0.0	0.003	0.009	0.010
≥ 0.6	≥ 0.006	$\geq 6 (0.5)$	0.008	0.008	0.0	0.003	0.007	0.008
≤ 0.1	≤ 0.0005	$\leq 3 (0.25)$	0.012	0.012	0.2	0.005	0.010	0.012
≤ 0.1	≤ 0.0005	$\geq 6 (0.5)$	0.006	0.006	0.2	0.004	0.005	0.006
≥ 0.6	≤ 0.0005	$\leq 3 (0.25)$	0.004	0.004	0.0	0.002	0.003	0.004
≥ 0.6	≤ 0.0005	$\geq 6 (0.5)$	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Condition iii.^b								
$\frac{P}{A_g f'_c}$	$\rho = \frac{A_v}{b_w s}$							
≤ 0.1	≥ 0.006		0.0	0.060	0.0	0.0	0.045	0.060
≥ 0.6	≥ 0.006		0.0	0.008	0.0	0.0	0.007	0.008
≤ 0.1	≤ 0.0005		0.0	0.006	0.0	0.0	0.005	0.006
≥ 0.6	≤ 0.0005		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Condition iv. Columns controlled by inadequate development or splicing along the clear height^b								
$\frac{P}{A_g f'_c}$	$\rho = \frac{A_v}{b_w s}$							
≤ 0.1	≥ 0.006		0.0	0.060	0.4	0.0	0.045	0.060
≥ 0.6	≥ 0.006		0.0	0.008	0.4	0.0	0.007	0.008
≤ 0.1	≤ 0.0005		0.0	0.006	0.2	0.0	0.005	0.006
≥ 0.6	≤ 0.0005		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Perdelerin modellenmesi

Perdelerin modellenmesinde lif modelleme yöntemi kullanılacaktır. ASCE 41-13 10.3.3.1’e göre, sargısız beton için maksimum birim kısalma 0.002 değerini aşmayacaktır. Sargılı beton için maksimum birim kısalma, kesitteki donatı durumuna bağlı olarak gerilme-şekildeğiştirme bağıntılarıyla hesaplanacaktır. Ancak maksimum birim kısalma 0.02 değerini aşmayacaktır. Maksimum çekme uzaması ise 0.05 değerini aşmayacaktır.

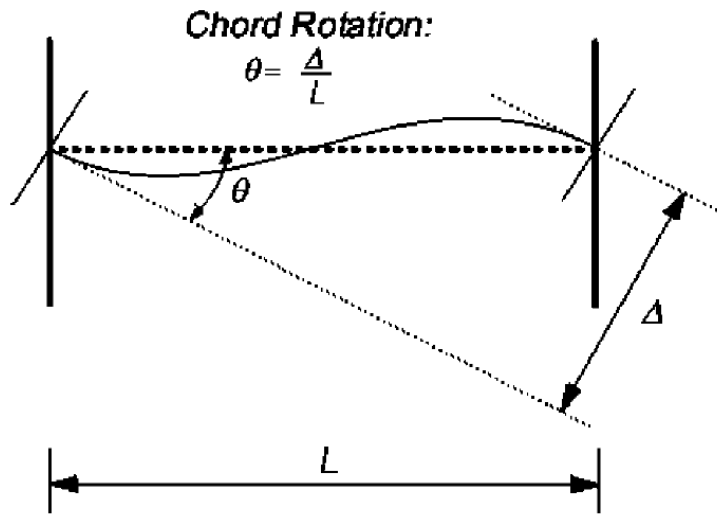
Bağ kirişlerin modellenmesi

Çapraz donatılı bağ kirişlerin modellenmesi ve kabul parametreleri ASCE 41-13 10.7.2’de verilmiştir. ASCE 41-13’de bağ kirişler için verilen tablo Çizelge 4.11’de gösterilmiştir. Çapraz donatılı olmayan bağ kirişlerde ise Çizelge 4.11’de “Konvansiyonel donatılı” kirişler için verilen parametreler kullanılacaktır. Çapraz donatılı kirişlerin modellenebilmesi için kesitin akma ve kopma dayanımının belirlenmesi gerekmektedir. Bu değerlerin hesaplanması için Peer Task 12’de verilen bağıntılar kullanılacaktır.

Çizelge 4.11 : ASCE 41-13’de bağ kirişler için verilen tablo.

Conditions			Plastic Hinge Rotation (radians)		Residual Strength Ratio	Acceptable Plastic Hinge Rotation* (radians)		
			a	b		Performance Level		
					c	IO	LS	CP
i. Shear walls and wall segments								
$\frac{(A_s - A_c)f_c + P}{t_w l_w f_c'}$	$\frac{V}{t_w l_w \sqrt{f_c'}}$	Confined Boundary ^b	0.015					
≤ 0.1	≤ 4	Yes	0.010	0.020	0.75	0.005	0.015	0.020
≤ 0.1	≥ 6	Yes	0.009	0.015	0.40	0.004	0.010	0.015
≥ 0.25	≤ 4	Yes	0.005	0.012	0.60	0.003	0.009	0.012
≥ 0.25	≥ 6	Yes	0.008	0.010	0.30	0.0015	0.005	0.010
≤ 0.1	≤ 4	No	0.006	0.015	0.60	0.002	0.008	0.015
≤ 0.1	≥ 6	No	0.003	0.010	0.30	0.002	0.006	0.010
≥ 0.25	≤ 4	No	0.002	0.005	0.25	0.001	0.003	0.005
≥ 0.25	≥ 6	No	0.002	0.004	0.20	0.001	0.002	0.004
ii. Shear wall coupling beams ^c								
Longitudinal reinforcement and transverse reinforcement ^d		$\frac{V}{t_w l_w \sqrt{f_c'}}$	0.050					
Conventional longitudinal reinforcement with conforming transverse reinforcement		≤ 3	0.025	0.040	0.75	0.010	0.025	0.050
		≥ 6	0.020	0.035	0.50	0.005	0.020	0.040
Conventional longitudinal reinforcement with nonconforming transverse reinforcement		≤ 3	0.020	0.025	0.50	0.006	0.020	0.035
		≥ 6	0.010	0.050	0.25	0.005	0.010	0.025
Diagonal reinforcement		NA	0.030	0.050	0.80	0.006	0.030	0.050

Bağ kirişlerin modellenmesi ve dönme sınır değerlerinin belirlenmesinde kullanılacak parametreler Çizelge 4.11’de verilmiştir. Bağ kirişler çapraz donatılı olarak tasarlandıklarından dolayı çapraz donatılı (Diagonal reinforcement) için verilmiş olan değerler kullanılacaktır. Bağ kirişler için dönme tanımı Şekil 4.5’de verilmiştir. Bağ kirişler için modellenmesinde “Deplasman tipi kesme mafsalı” kullanılacaktır. Deplasman tipi mafsal kullanılırken, analiz sonucu elde edilen deplasman değerleri kiriş açıklığına bölünerek bağ kirişlerin dönme değerleri elde edilecektir. Hesaplanan dönme değerleri Çizelge 4.11’de verilen sınır değerler ile karşılaştırılarak analiz tamamlanacaktır.



Şekil 4.5 : Bağ kirişler için dönme tanımı.

4.2.11 Doğrusal olmayan tasarım için diğer kurallar

Amerikan yönetmeliklerine göre doğrusal olmayan tasarım için diğer kurallar aşağıda özetlenmiştir.

- LATBSDC 3.6.3.1’de verildiği üzere, MCE düzeyinde maksimum görelî kat ötelemeleri ortalamaları 0.03 değerini geçmeyecektir. Tek bir depremden elde edilen maksimum görelî kat ötelemesi değeri ise 0.045’i geçmeyecektir.
- ASCE 41-13 7.2.3.6’ya göre sönüm değeri %3’den fazla alınmayacaktır. LATBSDC 3.2.1’e göre ise sönüm değeri %2.5’tan fazla alınmayacaktır.
- Malzemelerin ortalama dayanımları ve donatıların pekleşme oranları LATBSDC Tablo 2’ye göre hesaplanmaktadır. Buna göre; beton ortalama dayanımı, karakteristik dayanımının 1.3 katı, donatı ortalama dayanımı, karakteristik dayanımının 1.17 katı olacaktır.
- Beton elastisite modülü, beton karakteristik basınç dayanımının 6000 psi’den (41 MPa) küçük olduğu durumlarda $57000\sqrt{f_c}$, 6000 psi’den büyük olduğu durumlarda $40000\sqrt{f_c} + 10^6$ (psi) (ACI 363R-92) [18] formülü ile hesaplanacaktır.
- LATBSDC 3.6.3.2’ye göre kritik kesit tesirleri kontrol edilirken, her bir depremden elde edilen değerlerin ortalaması 1.5 kat arttırılarak kullanılacaktır.
- ASCE 41-13 10.3.3.1’e göre; sargısız betonda maksimum birim kısalma 0.002 değerini aşmayacaktır. Ancak basit basınç durumunda bu değer 0.005’e kadar çıkarılmasına izin verilir. Sargılı betonda maksimum birim kısalma değeri ise deneysel veriler veya belirli formüller yardımıyla hesaplanacaktır. Donatıda meydana gelecek maksimum birim kısalma değeri 0.02’yi, maksimum çekme uzaması değeri ise 0.05’i aşmayacaktır.



5. TASARLANACAK YAPIYA AİT GENEL BİLGİLER

5.1 Yapı Geometrisi

Tasarlanacak yapı toplam 21 kattan oluşmaktadır. Kat yükseklikleri 4.00 m olmak üzere toplam yapı yüksekliği 84.00 m'dir. Yapının planda, X doğrultusundaki uzunluğu 44.00 m, Y doğrultusundaki uzunluğu 23.00 m'dir. Yapının kullanım amacı konut olarak seçilmiştir. ± 0.00 ~ $+44.00$ Kotları arası yapı elemanlarının kesit boyutları Şekil 5.1'de, $+44.00$ ~ $+84.00$ kotları arası yapı eleman kesit boyutları Şekil 5.2'de verilmiştir.

5.2 Deprem Tasarım Parametreleri

Tasarlanacak binanın Kadıköy/İstanbul'da yer aldığı kabul edilmiştir. Deprem tasarım parametreleri, AFAD tarafından hazırlanan "<https://testdth.afad.gov.tr/>" sitesinden alınmıştır. Yapının bulunduğu bölgede zemin sınıfının ZB olduğu kabul edilmiştir. DD-1 ve DD-2 deprem düzeylerine ait spektral ivme katsayıları ve yer ivmesi büyüklükleri Şekil 5.3'de gösterilmiştir.

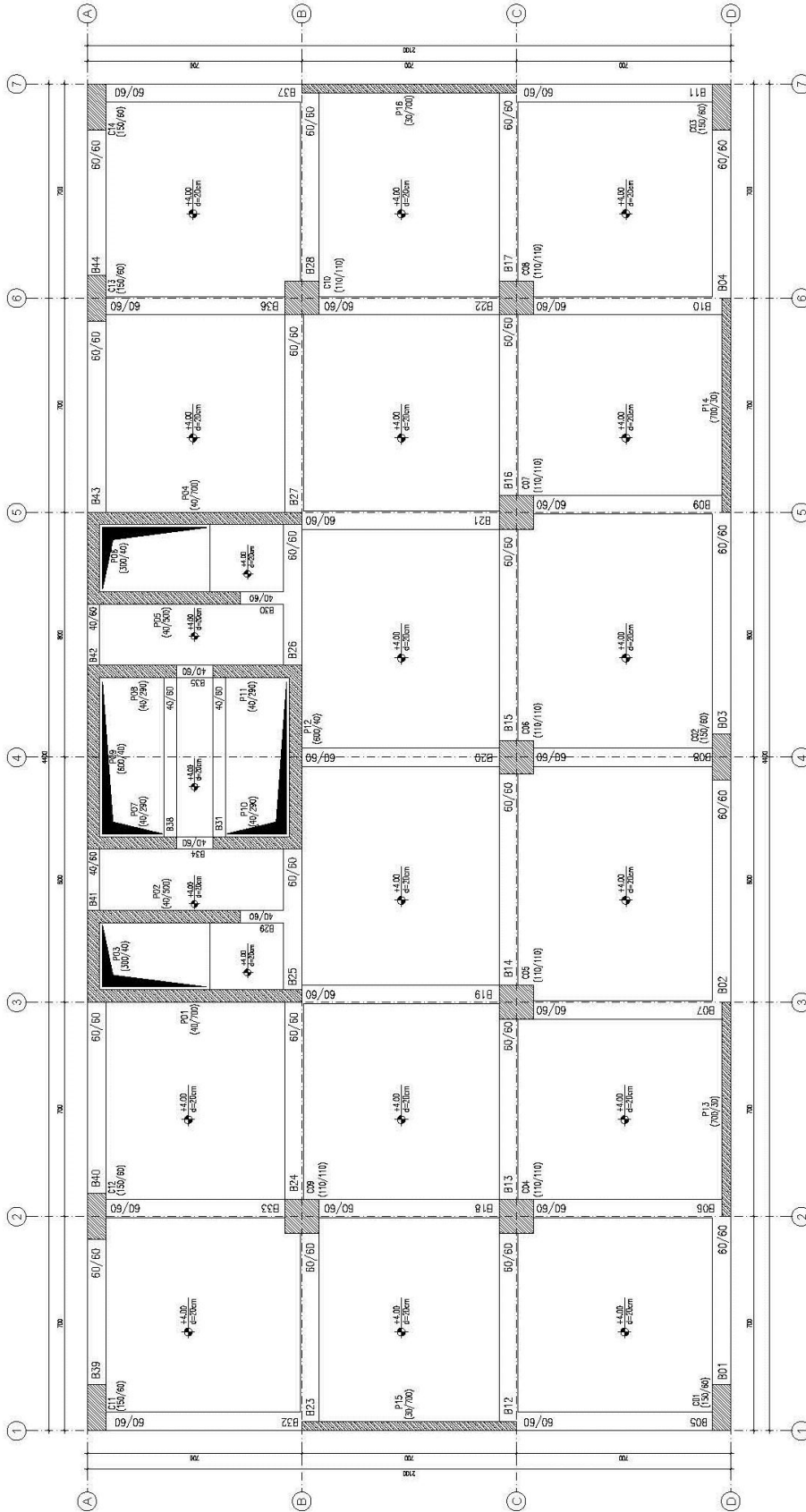
5.3 Sabit ve Hareketli Yükler

5.3.1 Sabit yükler

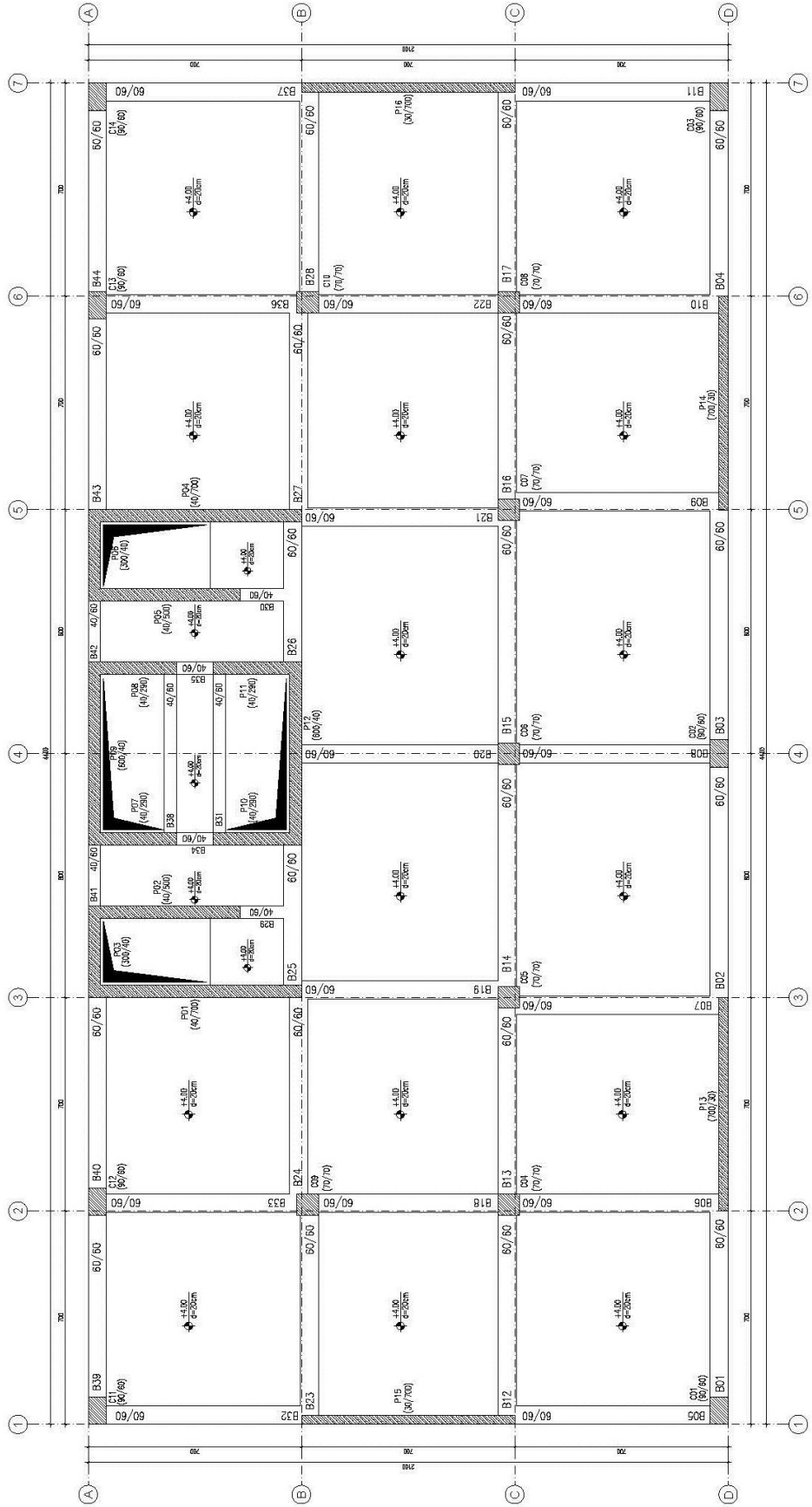
Yapısal elemanların kendi ağırlıkları kullanılan bilgisayar programı tarafından otomatik olarak hesaplanıp yapısal sisteme yüklenmektedir. İlave ağırlıklar hesaplanarak sisteme etkilmiştir. Bölme duvar yükü döşemelerin her yerinde 1,00 kN/m² olarak alınmıştır.

$$\text{Şap} + \text{Sıva} + \text{Kaplama (8 cm)} = 0,08 \text{ m} \times 20 \text{ kN/m}^3 = 1,60 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Duvar Yükleri} = 1,00 \text{ kN/m}^2$$



Şekil 5.1 : ±0.00~+44.00 Kotları arası kesit boyutları.



Şekil 5.2 : +44.00~+84.00 Kotları arası kesit boyutları.

Kullanıcı Girdileri

Rapor Başlığı	Tez	
Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DD-1	50 yılda aşılma olasılığı %2 (tekrarlanma periyodu 2475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
Yerel Zemin Sınıfı	ZB	Az ayrılmış, orta sağlam kayalar
Enlem	40.986679°	
Boylam	29.037991°	

Çıktılar

$$S_s = 1.698 \quad S_I = 0.472 \quad PGA=0.683 \quad PGV=42.911$$

S_s : Kısa periyod bölgesi için harita spektral ivme katsayısı(boyutsuz)

S_I : 1.0 saniye periyod için harita spektral ivme katsayısı(boyutsuz)

PGA : En büyük yer ivmesi (g)

PGV : En büyük yer hızı (cm/sn)

Kullanıcı Girdileri

Rapor Başlığı	Tez	
Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DD-2	50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
Yerel Zemin Sınıfı	ZB	Az ayrılmış, orta sağlam kayalar
Enlem	40.986679°	
Boylam	29.037991°	

Çıktılar

$$S_s = 0.977 \quad S_I = 0.267 \quad PGA=0.400 \quad PGV=24.739$$

S_s : Kısa periyod bölgesi için harita spektral ivme katsayısı(boyutsuz)

S_I : 1.0 saniye periyod için harita spektral ivme katsayısı(boyutsuz)

PGA : En büyük yer ivmesi (g)

PGV : En büyük yer hızı (cm/sn)

Şekil 5.3 : Deprem tasarım parametreleri.

5.3.2 Hareketli yükler (TS 498)

Türk deprem yönetmeliklerine göre tasarımda, hareketli yükler TS 498 Çizelge 7'den alınmıştır. Gözönüne alınan hareketli yükler aşağıda verilmiştir.

$$\text{Normal Kat Döşemeleri} = 2,00 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Merdivenler ve Koridorlar} = 5,00 \text{ kN/m}^2$$

5.3.3 Hareketli yükler (ASCE 07-10)

Amerikan yönetmeliklerine göre tasarımda, hareketli yükler ASCE 07-10 Tablo 4.1'den alınmıştır. Gözönüne alınan hareketli yükler aşağıda verilmiştir.

Normal Kat Döşemeleri = 1,92 kN/m² (40 psf)

Merdivenler ve Koridorlar = 4,79 kN/m² (100 psf)

5.4 Malzeme Özellikleri (TS 500)

Beton Sınıfı	: C50	$f_{ck} = 50000 \text{ kN/m}^2$
Elastisite Modülü	: (C50)	$E = 37000 \text{ N/mm}^2$
Kayma Modülü	: (C50)	$G = 14800 \text{ N/mm}^2$
Donatı Sınıfı	: B420C	$f_{yk} = 420000 \text{ kN/m}^2$
Elastisite Modülü	: (B420C)	$E = 200000 \text{ N/mm}^2$
Beton Birim Hacim Ağırlığı	:	$\gamma_{beton} = 25 \text{ kN/m}^3$
Poisson Oranı	:	$\nu = 0,2$

5.5 Malzeme Özellikleri (ACI 318-14)

Beton Sınıfı	: C50	$f_c = 50000 \text{ kN/m}^2$ (7250 psi)
Elastisite Modülü	: (C50)	$E = 33470 \text{ N/mm}^2$ (4850000 psi)
Kayma Modülü	: (C50)	$G = 13945 \text{ N/mm}^2$ (2020000 psi)
Donatı Sınıfı	: B420C	$f_y = 420000 \text{ kN/m}^2$ (60000 psi)
Elastisite Modülü	: (B420C)	$E = 200000 \text{ N/mm}^2$ (29000 psi)
Beton Birim Hacim Ağırlığı	:	$\gamma_{beton} = 25 \text{ kN/m}^3$
Poisson Oranı	:	$\nu = 0,2$



6. DOĞRUSAL ANALİZLERİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Türk ve Amerikan yönetmeliklerine göre doğrusal analizler ve betonarme kesit hesapları ETABS 16.2.0 ve CsiCol 8 programları ile yapılmıştır.

6.1 Türk Yönetmeliklerine Göre Doğrusal Analiz ve Tasarım

6.1.1 Deprem tasarım spektrumunun belirlenmesi

Deprem tehlike haritalarının bulunduğu tdth.afad.gov.tr sayfasından alınan veriler doğrultusunda, DD-2 deprem düzeyi için tasarım spektral ivme katsayıları ve bunlara bağlı belirlenen köşe periyotları aşağıda verilen şekilde hesaplanmıştır. Hesaplanan parametreler yardımıyla Denklem (3.3, 3.4, 3.5, 3.6) kullanılarak deprem tasarım spektrumu oluşturulmuştur (Şekil 6.1).

$$S_S = 0.977$$

$$S_1 = 0.267$$

$$F_S = 0.9 \text{ (Çizelge 3.3)}$$

$$F_1 = 0.8 \text{ (Çizelge 3.4)}$$

$$S_{DS} = 0.977 \times 0.9 = 0.879 \text{ (Denklem 3.1)}$$

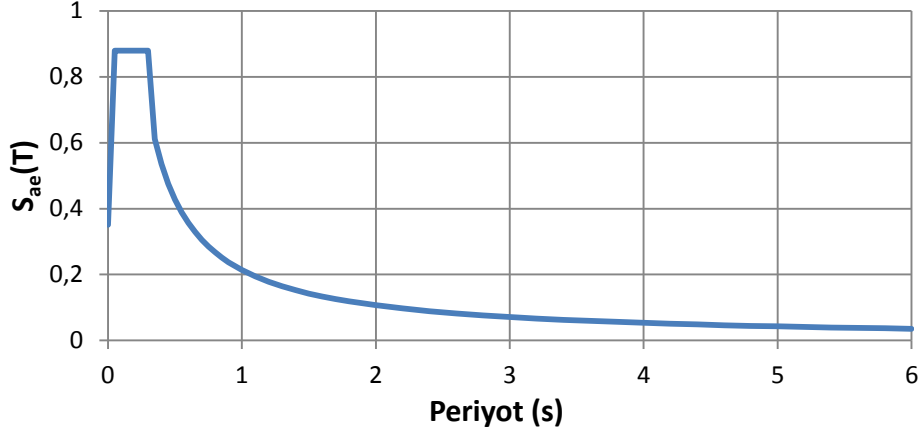
$$S_{D1} = 0.267 \times 0.8 = 0.214 \text{ (Denklem 3.2)}$$

$$T_A = 0.2 \times \frac{0.214}{0.879} = 0.05 \text{ s (Denklem 3.7)}$$

$$T_B = \frac{0.214}{0.879} = 0.24 \text{ s (Denklem 3.8)}$$

6.1.2 Bina önem katsayısı, deprem tasarım sınıfı ve bina yükseklik sınıfı

Binanın kullanım sınıfına göre tanımlanan bina önem katsayısı Çizelge 3.5'e göre belirlenmiştir. Daha sonra kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısına ve bina kullanım sınıfına bağlı olarak tanımlanan deprem tasarım sınıfı ve bina yükseklik sınıfı, Çizelge 3.6 ve 3.7'ye göre belirlenmiştir. Belirlenen parametreler aşağıda verilmiştir.



Şekil 6.1 : DD-2 Deprem düzeyi tasarım spektrumu.

Bina kullanım amacı: Konut → BKS = 3, I = 1.0

DTS = 1

BYS = 1

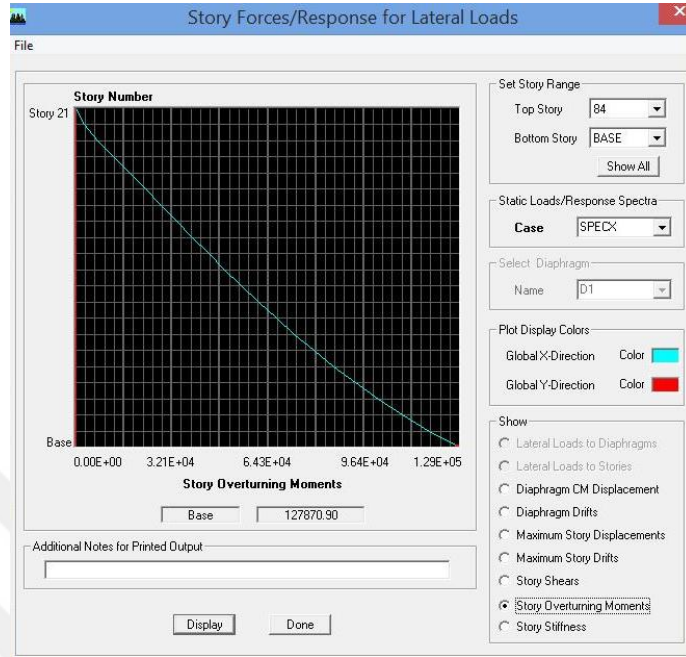
6.1.3 Bina performans hedefi ve tasarım yaklaşımının belirlenmesi

Bina performans hedefleri ve tasarım yaklaşımları Çizelge 3.8'e göre belirlenmiştir. Buna göre yapıda birinci aşamada DD-2 deprem düzeyi altında dayanıma göre tasarım yapılmıştır. Bu aşama yapı için ön tasarım olarak yapılmaktadır. Birinci aşamada ön tasarımı yapılarak boyutları ve donatıları belirlenen bina, ikinci aşamada DD-1 deprem düzeyi altında şekildeğiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım yöntemiyle analiz edilmiştir.

6.1.4 Taşıyıcı sistem davranış katsayısı ve dayanım fazlalığı katsayısı

Taşıyıcı sistem davranış katsayısı ve dayanım fazlalığı katsayısı Çizelge 3.10'da verilmiştir. Bina yükseklik sınıfı 1 olan, yerinde dökme betonarme binalarda; A12, A13, A14 ve A15 simgeleri ile tanımlanan süneklik düzeyi yüksek sistemlere izin verilmektedir. Bu kapsamda, deprem etkilerinin moment aktaran süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçeveler ile süneklik düzeyi yüksek boşluksuz betonarme perdeler tarafında birlikte karşılandığı sistemler için R=7, D=2,5 seçilmiştir. Bu seçimin yapılabilmesi için 3.1.4.2'de verildiği üzere, perdelerin tabanında meydana gelen devrilme momentinin, toplam devrilme momentine oranı 0.40'dan küçük 0.75'den büyük olmayacaktır. Bu kapsamda yapılan kontroller aşağıda gösterilmiştir.

Etabs programı ile deprem yüklerinden meydana gelen toplam devrilme momenti “Show Story Response Plots” kısmından elde edilecektir. X Doğrultusunda yapının tabanında meydana gelen devrilme momenti Şekil 6.2’de gösterilmiştir.

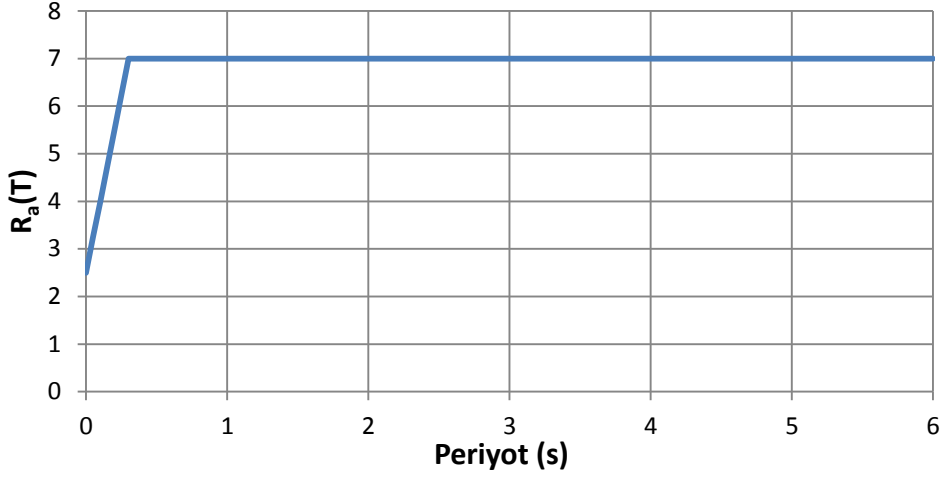


Şekil 6.2 : X Doğrultusunda yapı tabanında meydana gelen devrilme momenti.

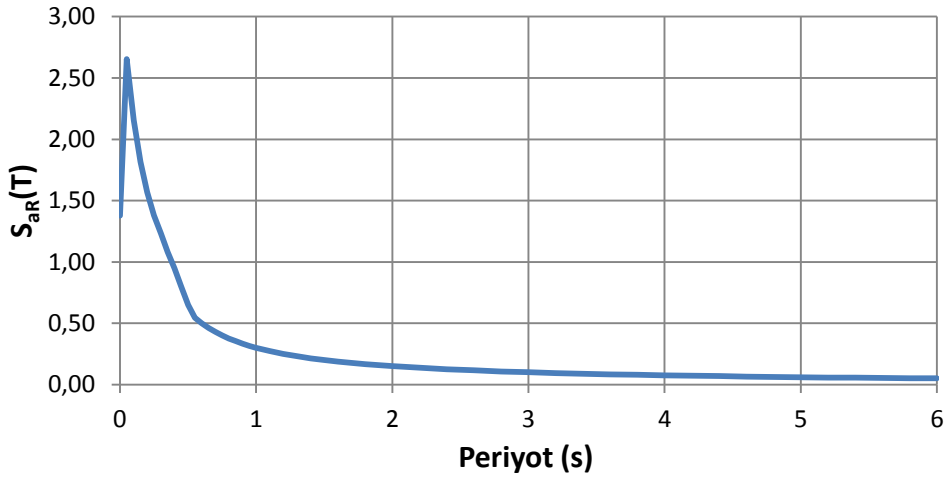
X Doğrultusunda yapının tabanında meydana gelen devrilme momenti 127871 kNm olarak bulunmuştur. Perdelerin tabanında deprem yüklerinin bulunması için tüm perdeler tek bir “Pier” ismiyle adlandırılmıştır. Daha sonra “Pier Forces” tablosundan X doğrultusundaki devrilme momenti için “M3” moment değeri okunmuştur. Bu yöntemle X doğrultusunda perdelerin tabanında meydana gelen toplam devrilme momenti 95463 kNm olarak bulunmuştur. Böylece perdelerin tabanındaki toplam devrilme momentinin, yapının tabanında oluşan toplam devrilme momentine oranı 0.747 olarak bulunmuştur ve bu oran gerekli şartı sağlamaktadır. Aynı işlem Y doğrultusu için de yapılmıştır. Y Doğrultusunda bu oran 0.709 olarak bulunmuştur ve bu oran da gerekli şartı sağlamaktadır.

6.1.5 Deprem yükü azaltma katsayısı ve azaltılmış tasarım ivme spektrumu

Depren yükü azaltma katsayısı; taşıyıcı sistem davranış katsayısı, bina önem katsayısı, dayanım fazlalığı katsayısı ve periyoda bağlı olarak Denklem 3.9 ve 3.10 yardımıyla hesaplanmıştır (Şekil 6.3). Daha sonra tasarım spektrumu, deprem yükü azaltma katsayısına bölünerek ve yerçekimi ivme “g” ile çarpılarak azaltılmış tasarım ivme spektrumu ($S_{aR}(T)$) elde edilmiştir (Şekil 6.4).



Şekil 6.3 : Deprem yükü azaltma katsayısı.



Şekil 6.4 : Azaltılmış tasarım ivme spektrumu.

6.1.6 Düşey deprem etkisi

Tasarımı yapılan binanın deprem tasarım sınıfı 1 olmasına karşın, 3.1.4.4’de verilen tipte elemanlar içermediğinden dolayı düşey deprem hesabı için spektral analiz yapılmayacaktır. Bunun yerine Denklem 3.13 kullanarak hesaplanan katsayının 0.3 katı sabit yüke eklenerek veya çıkarılarak depremleri birleşimlerde yer alacaktır.

$$E_d^{(Z)} = \frac{2}{3} \times 0.879 \times G = 0.586G \text{ (Denklem 3.13)}$$

Elde edilen düşey deprem etkisi 0.586G, 0.3 ile çarpılarak 0.18G elde edilir. Elde edilen katsayı aşağıda verilen şekilde birleşimlerde kullanılacaktır.

- 1,18G + Q + E_d^(H)
- 0,72G + E_d^(H)

6.1.7 Düzensizlikler ve görelî kat ötelemelerinin kontrollü

Düzensiz binalara ilişkin koşullardan 3.1.3.4'te, görelî kat ötelemeleri ve ikinci merteye etkilerine ilişkin koşullardan 3.1.4.7'de bahsedilmiştir. Bunlara ilişkin kontroller aşağıda anlatılmıştır.

6.1.7.1 Düzensizlik kontrolleri

Düzensizlik kontrolleri kapsamında Çizelge 3.9'da verilen düzensizlik durumları kontrol edilecektir.

A1-Burulma Düzensizliği

Burulma düzensizliği kontrolü kapsamında, yapı Y Doğrultusunda simetrik olduğundan dolayı sadece X Doğrultusunda kontrol yapılmıştır. X Doğrultusunda yapılan kontrol Çizelge 6.1'de verilmiştir.

Çizelge 6.1 : A1 Burulma düzensizliği kontrolü.

Kat	hi (m)	Δix,max (m)	Δix,min (m)	Δix,ort (m)	ηbi,x	Kontrol
						< 1,20
84,00	4,00	0,0034	0,0020	0,0027	1,26	*
80,00	4,00	0,0038	0,0022	0,0030	1,27	*
76,00	4,00	0,0038	0,0022	0,0030	1,27	*
72,00	4,00	0,0040	0,0022	0,0031	1,29	*
68,00	4,00	0,0042	0,0022	0,0032	1,31	*
64,00	4,00	0,0044	0,0024	0,0034	1,29	*
60,00	4,00	0,0046	0,0024	0,0035	1,31	*
56,00	4,00	0,0050	0,0026	0,0038	1,32	*
52,00	4,00	0,0050	0,0026	0,0038	1,32	*
48,00	4,00	0,0054	0,0026	0,0040	1,35	*
44,00	4,00	0,0054	0,0026	0,0040	1,35	*
40,00	4,00	0,0054	0,0026	0,0040	1,35	*
36,00	4,00	0,0056	0,0026	0,0041	1,37	*
32,00	4,00	0,0054	0,0028	0,0041	1,32	*
28,00	4,00	0,0056	0,0026	0,0041	1,37	*
24,00	4,00	0,0052	0,0024	0,0038	1,37	*
20,00	4,00	0,0048	0,0024	0,0036	1,33	*
16,00	4,00	0,0044	0,0020	0,0032	1,38	*
12,00	4,00	0,0036	0,0018	0,0027	1,33	*
8,00	4,00	0,0024	0,0014	0,0019	1,26	*
4,00	4,00	0,0012	0,0006	0,0009	1,33	*

Yapılan kontroller neticesinde yapıda X Doğrultusunda tüm katlarda A1 Burulma düzensizliği olduğu görülmüştür. Eşdeğer deprem yükü eşitlemesi yapılırken ve deprem hesap yöntemi seçilirken bu durum dikkate alınacaktır.

$$X \text{ Doğrultusunda ek dışmerkezlilik etkisi} = \left(\frac{1,38}{1,2} \right)^2 \times 0.05 = 0.066 \text{ (Denklem 3.18)}$$

A2-Döşeme süreksizlikleri

A2-Döşeme süreksizlikleri; döşemedeki boşlukların toplam kat alanına oranının 1/3'den fazla olması, deprem yüklerinin aktarılmasını güçleştiren yerel döşeme boşluklarının bulunması ve döşeme düzlem içi dayanımlarında ani azalma olması durumunda meydana gelir. Tasarlanan yapıda büyük döşeme boşlukları bulunmadığı ve döşeme dayanımında ani azalma durumu bulunmadığı için sadece boşlukların oranı kontrol edilecektir.

$$\text{Toplam yapı alanı} = 924 \text{ m}^2$$

$$\text{Toplam boşluk alanı} = 64.8 \text{ m}^2$$

$$\text{Boşluk alanlarının yapı alanına oranı} = \frac{64.8}{924} = 0.07 < \frac{1}{3}$$

Boşluk alanlarının yapı alanına oranı 0.07 olduğundan dolayı yapıda A2-Döşeme süreksizliği bulunmamaktadır.

A3-Planda çıkıntılar bulunması düzensizliği

Binada planda herhangi bir çıkıntı bulunmadığından dolayı A3-Planda çıkıntılar bulunması düzensizliği bulunmamaktadır.

B1-Komşu katlar arası dayanım düzensizliği

Binada yalnızca +44.00~+48.00 kotları arasında düşey taşıyıcı eleman boyutları değişmektedir. Kesme alanı tanımında yer alan duvarların ise, tüm kirişler üzerinde yer aldığı ve 10 cm kalınlığında olduğu kabul edilmiştir.

$$+44.00 \text{ Kotu kesme alanı} = 44.80 + 14.77 + 0.15 \times (252 \times 0.10) = 63.35 \text{ m}^2$$

$$+48.00 \text{ Kotu kesme alanı} = 44.80 + 7.21 + 0.15 \times (252 \times 0.10) = 55.79 \text{ m}^2$$

$$\text{Kat kesme alanları oranı} = \frac{55.79}{63.35} = 0.88 > 0.80$$

Kat kesme alanları oranı 0.88 olduğundan dolayı yapıda B1-Komşu katlar arası dayanım düzensizliği bulunmamaktadır.

B2-Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği

Her bir doğrultu için B2-Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği kontrolü Çizelge 6.2 ve 6.3'de verilmiştir. Kontrollerden görüleceği üzere yapıda ilk 2 katta B2 türü düzensizlik bulunmaktadır. Deprem hesap yöntemi seçilirken bu durum dikkate alınacaktır.

Çizelge 6.2 : B2-Düzensizliği Kontrolü X Doğrultusu.

Kat	hi (m)	$\Delta_{ix,ort}$ (m)	$(\Delta_i/hi)_{ort}/(\Delta_{i+1}/hi+1)_{ort}$	$(\Delta_i/hi)_{ort}/(\Delta_{i-1}/hi-1)_{ort}$	$\eta_{bi,x}$	Kontrol
						< 2,00
84,00	4,00	0,0027		0,9000	0,90	✓
80,00	4,00	0,0030	1,1111	1,0000	1,11	✓
76,00	4,00	0,0030	1,0000	0,9677	1,00	✓
72,00	4,00	0,0031	1,0333	0,9688	1,03	✓
68,00	4,00	0,0032	1,0323	0,9412	1,03	✓
64,00	4,00	0,0034	1,0625	0,9714	1,06	✓
60,00	4,00	0,0035	1,0294	0,9211	1,03	✓
56,00	4,00	0,0038	1,0857	1,0000	1,09	✓
52,00	4,00	0,0038	1,0000	0,9500	1,00	✓
48,00	4,00	0,0040	1,0526	1,0000	1,05	✓
44,00	4,00	0,0040	1,0000	1,0000	1,00	✓
40,00	4,00	0,0040	1,0000	0,9756	1,00	✓
36,00	4,00	0,0041	1,0250	1,0000	1,03	✓
32,00	4,00	0,0041	1,0000	1,0000	1,00	✓
28,00	4,00	0,0041	1,0000	1,0789	1,08	✓
24,00	4,00	0,0038	0,9268	1,0556	1,06	✓
20,00	4,00	0,0036	0,9474	1,1250	1,13	✓
16,00	4,00	0,0032	0,8889	1,1852	1,19	✓
12,00	4,00	0,0027	0,8438	1,4211	1,42	✓
8,00	4,00	0,0019	0,7037	2,1111	2,11	✗
4,00	4,00	0,0009	0,4737		0,47	✗

Çizelge 6.3 : B2-Düzensizliği Kontrolü Y Doğrultusu.

Kat	hi (m)	$\Delta_{ix,ort}$ (m)	$(\Delta_i/hi)_{ort}/(\Delta_{i+1}/hi+1)_{ort}$	$(\Delta_i/hi)_{ort}/(\Delta_{i-1}/hi-1)_{ort}$	$\eta_{bi,x}$	Kontrol
						< 2,00
84,00	4,00	0,0043		0,9796	0,98	✓
80,00	4,00	0,0044	1,0208	0,9608	1,02	✓
76,00	4,00	0,0046	1,0408	1,0000	1,04	✓
72,00	4,00	0,0046	1,0000	0,9623	1,00	✓
68,00	4,00	0,0048	1,0392	0,9815	1,04	✓
64,00	4,00	0,0049	1,0189	0,9643	1,02	✓
60,00	4,00	0,0050	1,0370	1,0182	1,04	✓
56,00	4,00	0,0049	0,9821	0,9649	0,98	✓
52,00	4,00	0,0051	1,0364	1,0000	1,04	✓
48,00	4,00	0,0051	1,0000	0,9828	1,00	✓
44,00	4,00	0,0052	1,0175	1,0000	1,02	✓
40,00	4,00	0,0052	1,0000	1,0175	1,02	✓
36,00	4,00	0,0051	0,9828	1,0179	1,02	✓
32,00	4,00	0,0050	0,9825	1,0370	1,04	✓
28,00	4,00	0,0049	0,9643	1,0385	1,04	✓
24,00	4,00	0,0047	0,9630	1,1064	1,11	✓
20,00	4,00	0,0042	0,9038	1,1190	1,12	✓
16,00	4,00	0,0038	0,8936	1,2000	1,20	✓
12,00	4,00	0,0032	0,8333	1,4583	1,46	✓
8,00	4,00	0,0022	0,6857	2,1818	2,18	✗
4,00	4,00	0,0010	0,4583		0,46	✗

B3-Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği

Tasarlanan yapıdaki düşey taşıyıcı elemanlarda süreksizlik bulunmadığından yapıda B3 türü düzensizlik bulunmamaktadır.

6.1.7.2 Göreli kat ötelemelerinin kontrolü

Görelî kat ötelemeleri hesaplanırken Denklem 3.20, 3.21 ve 3.22 kullanılacaktır. Denklem 3.20’de yer alan azaltılmamış göreli kat ötelemesi değeri, eşdeğer deprem yükü koşulu gözönüne alınmadan hesaplanacaktır. Hesaplanan göreli kat ötelemeleri, yapıda gevrek dolgu duvarlar kullanılmışsa Denklem 3.21, gevrek olmayan dolgu duvarlar kullanılması veya düşey taşıyıcı elemanlarla gevrek dolgu duvarlar arasında arada esnek derzler bulunması durumunda Denklem 3.22 kullanılarak kontrol edilecektir. Yapıda gevrek dolgu duvarlar olduğu ve esnek derzler bulunmadığı kabul edilerek Denklem 3.21 kullanılacaktır. X Doğrultusunda göreli kat ötelemesi kontrolü Çizelge 6.4’te, Y Doğrultusu göreli kat ötelemesi kontrolü Çizelge 6.5’te verilmiştir.

X Doğrultusunda DD – 3 deprem düzeyi için spektral ivme = 0.032

X Doğrultusunda DD – 2 deprem düzeyi için spektral ivme = 0.097

$$\lambda_x = 0.032/0.097 = 0.33$$

Y Doğrultusunda DD – 3 deprem düzeyi için spektral ivme = 0.029

Y Doğrultusunda DD – 2 deprem düzeyi için spektral ivme = 0.088

$$\lambda_y = 0.029/0.088 = 0.33$$

Çizelge 6.4 : X Doğrultusunda göreli kat ötelemeleri kontrolü.

Kat	hi (m)	dx (m)	Δx (m)	$\delta x=R\Delta x$	$\delta x/h_i*\lambda$	Kontrol
84,00	4,00	0,0926	0,0034	0,0238	0,002	✓
80,00	4,00	0,0892	0,0038	0,0266	0,002	✓
76,00	4,00	0,0854	0,0038	0,0266	0,002	✓
72,00	4,00	0,0816	0,0040	0,0280	0,002	✓
68,00	4,00	0,0776	0,0042	0,0294	0,002	✓
64,00	4,00	0,0734	0,0044	0,0308	0,003	✓
60,00	4,00	0,0690	0,0046	0,0322	0,003	✓
56,00	4,00	0,0644	0,0050	0,0350	0,003	✓
52,00	4,00	0,0594	0,0050	0,0350	0,003	✓
48,00	4,00	0,0544	0,0054	0,0378	0,003	✓
44,00	4,00	0,0490	0,0054	0,0378	0,003	✓
40,00	4,00	0,0436	0,0054	0,0378	0,003	✓
36,00	4,00	0,0382	0,0056	0,0392	0,003	✓
32,00	4,00	0,0326	0,0054	0,0378	0,003	✓
28,00	4,00	0,0272	0,0056	0,0392	0,003	✓
24,00	4,00	0,0216	0,0052	0,0364	0,003	✓
20,00	4,00	0,0164	0,0048	0,0336	0,003	✓
16,00	4,00	0,0116	0,0044	0,0308	0,003	✓
12,00	4,00	0,0072	0,0036	0,0252	0,002	✓
8,00	4,00	0,0036	0,0024	0,0168	0,001	✓
4,00	4,00	0,0012	0,0012	0,0084	0,001	✓

Çizelge 6.5 : Y Doğrultusunda görel kat ötelemeleri kontrolü.

Kat	hi (m)	dy (m)	Δy (m)	$\delta y=R\Delta y$	$\delta x/hi*\lambda$	Kontrol
84,00	4,00	0,1085	0,0047	0,0328	0,003	✓
80,00	4,00	0,1039	0,0050	0,0353	0,003	✓
76,00	4,00	0,0988	0,0050	0,0353	0,003	✓
72,00	4,00	0,0938	0,0052	0,0365	0,003	✓
68,00	4,00	0,0886	0,0054	0,0378	0,003	✓
64,00	4,00	0,0832	0,0056	0,0391	0,003	✓
60,00	4,00	0,0776	0,0058	0,0403	0,003	✓
56,00	4,00	0,0718	0,0058	0,0403	0,003	✓
52,00	4,00	0,0661	0,0059	0,0416	0,003	✓
48,00	4,00	0,0601	0,0061	0,0428	0,004	✓
44,00	4,00	0,0540	0,0061	0,0428	0,004	✓
40,00	4,00	0,0479	0,0063	0,0441	0,004	✓
36,00	4,00	0,0416	0,0061	0,0428	0,004	✓
32,00	4,00	0,0355	0,0061	0,0428	0,004	✓
28,00	4,00	0,0293	0,0059	0,0416	0,003	✓
24,00	4,00	0,0234	0,0058	0,0403	0,003	✓
20,00	4,00	0,0176	0,0052	0,0365	0,003	✓
16,00	4,00	0,0124	0,0047	0,0328	0,003	✓
12,00	4,00	0,0077	0,0038	0,0265	0,002	✓
8,00	4,00	0,0040	0,0027	0,0189	0,002	✓
4,00	4,00	0,0013	0,0013	0,0088	0,001	✓

6.1.7.3 İkinci mertebe etkileri kontrolü

İkinci mertebe etkileri kontrolü Denklem 3.23 ve 3.24 kullanılarak yapılacaktır. X Doğrultusunda ikinci mertebe etkileri kontrolü Çizelge 6.6'da, Y Doğrultusu ikinci mertebe etkileri kontrolü Çizelge 6.7'de verilmiştir.

Çizelge 6.6 : X Doğrultusunda ikinci mertebe etkileri kontrolü.

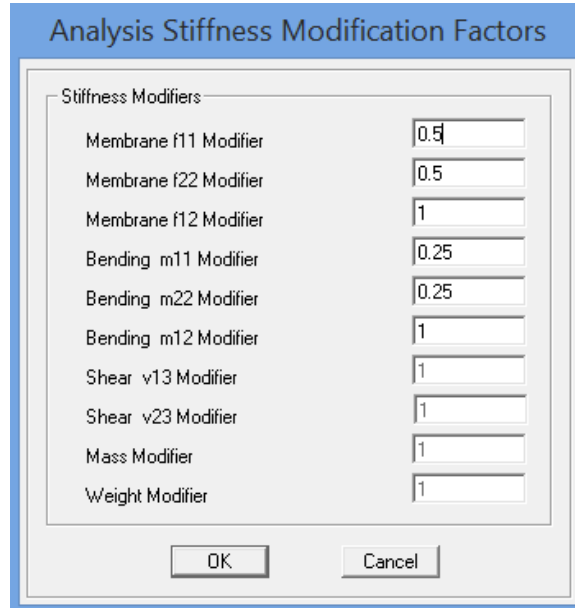
Kat	hi	Wi (kN)	Σw_i (kN)	$\Delta_{ix,ort}$ (m)	Vix (kN)	θ_{ix}	$0.12*D/C_n/R$	Kontrol
84,00	4,00	11915,4	11915,4	0,0027	749,6	0,011	0,086	✓
80,00	4,00	13027,3	24942,8	0,0030	1184,0	0,016	0,086	✓
76,00	4,00	13027,3	37970,1	0,0030	1373,5	0,021	0,086	✓
72,00	4,00	13027,3	50997,4	0,0031	1500,5	0,026	0,086	✓
68,00	4,00	13027,3	64024,7	0,0032	1614,0	0,032	0,086	✓
64,00	4,00	13027,3	77052,0	0,0034	1693,1	0,039	0,086	✓
60,00	4,00	13027,3	90079,4	0,0035	1772,1	0,044	0,086	✓
56,00	4,00	13027,3	103106,7	0,0038	1871,9	0,052	0,086	✓
52,00	4,00	13027,3	116134,0	0,0038	1959,9	0,056	0,086	✓
48,00	4,00	13027,3	129161,3	0,0040	2039,9	0,063	0,086	✓
44,00	4,00	13418,4	142579,7	0,0040	2134,7	0,067	0,086	✓
40,00	4,00	13868,5	156448,2	0,0040	2220,6	0,070	0,086	✓
36,00	4,00	13868,5	170316,7	0,0041	2307,5	0,076	0,086	✓
32,00	4,00	13868,5	184185,2	0,0041	2410,2	0,078	0,086	✓
28,00	4,00	13868,5	198053,7	0,0041	2503,1	0,081	0,086	✓
24,00	4,00	13868,5	211922,2	0,0038	2626,9	0,077	0,086	✓
20,00	4,00	13868,5	225790,7	0,0036	2780,0	0,073	0,086	✓
16,00	4,00	13868,5	239659,3	0,0032	2962,3	0,065	0,086	✓
12,00	4,00	13868,5	253527,8	0,0027	3231,2	0,053	0,086	✓
8,00	4,00	13868,5	267396,3	0,0019	3554,5	0,036	0,086	✓
4,00	4,00	13868,5	281264,8	0,0009	3986,1	0,016	0,086	✓

Çizelge 6.7 : Y Doğrultusunda ikinci mertebe etkileri kontrolü.

Kat	h _i	W _i (kN)	Σw _i (kN)	Δ _{iy,ort} (m)	V _{iy} (kN)	θ _{i,y}	0.12*D/ C _n /R	Kontrol
84,00	4,00	11915,4	11915,4	0,0043	1087,4	0,012	0,086	✓
80,00	4,00	13027,3	24942,8	0,0044	1643,9	0,017	0,086	✓
76,00	4,00	13027,3	37970,1	0,0046	1817,5	0,024	0,086	✓
72,00	4,00	13027,3	50997,4	0,0046	1898,8	0,031	0,086	✓
68,00	4,00	13027,3	64024,7	0,0048	1975,3	0,039	0,086	✓
64,00	4,00	13027,3	77052,0	0,0049	2050,3	0,046	0,086	✓
60,00	4,00	13027,3	90079,4	0,0050	2138,2	0,053	0,086	✓
56,00	4,00	13027,3	103106,7	0,0049	2227,1	0,057	0,086	✓
52,00	4,00	13027,3	116134,0	0,0051	2315,5	0,064	0,086	✓
48,00	4,00	13027,3	129161,3	0,0051	2400,4	0,069	0,086	✓
44,00	4,00	13418,4	142579,7	0,0052	2479,1	0,075	0,086	✓
40,00	4,00	13868,5	156448,2	0,0052	2566,2	0,080	0,086	✓
36,00	4,00	13868,5	170316,7	0,0051	2654,7	0,082	0,086	✓
32,00	4,00	13868,5	184185,2	0,0050	2751,6	0,084	0,086	✓
28,00	4,00	13868,5	198053,7	0,0049	2868,4	0,084	0,086	✓
24,00	4,00	13868,5	211922,2	0,0047	3021,3	0,082	0,086	✓
20,00	4,00	13868,5	225790,7	0,0042	3230,6	0,074	0,086	✓
16,00	4,00	13868,5	239659,3	0,0038	3511,9	0,064	0,086	✓
12,00	4,00	13868,5	253527,8	0,0032	3856,5	0,052	0,086	✓
8,00	4,00	13868,5	267396,3	0,0022	4237,4	0,034	0,086	✓
4,00	4,00	13868,5	281264,8	0,0010	4590,8	0,015	0,086	✓

6.1.8 Etkin kesit rijitlikleri

Betonarme elemanlara ait etkin kesit rijitlikleri, Çizelge 3.11’de verilen çarpanlara göre modelde dikkate alınmıştır. Etabs programında perde, döşeme, kolon ve kiriş kesitlerinde, etkin kesit rijitliklerinin modellenmesi Şekil 6.5, 6.6, 6.7 ve 6.8’de gösterilmiştir.



Şekil 6.5 : Perdelerde etkin rijitliklerin tanımlanması.

Analysis Stiffness Modification Factors

Stiffness Modifiers

Membrane f11 Modifier	0.25
Membrane f22 Modifier	0.25
Membrane f12 Modifier	0.25
Bending m11 Modifier	0.25
Bending m22 Modifier	0.25
Bending m12 Modifier	1
Shear v13 Modifier	1
Shear v23 Modifier	1
Mass Modifier	1
Weight Modifier	1

OK Cancel

Şekil 6.6 : Döşemelerde etkin rijitliklerin tanımlanması.

Analysis Property Modification Factors

Property Modifiers

Cross-section (axial) Area	1
Shear Area in 2 direction	1
Shear Area in 3 direction	1
Torsional Constant	1
Moment of Inertia about 2 axis	0.7
Moment of Inertia about 3 axis	0.7
Mass	1
Weight	1

OK Cancel

Şekil 6.7 : Kolonlarda etkin rijitliklerin tanımlanması.

Analysis Property Modification Factors

Property Modifiers

Cross-section (axial) Area	1
Shear Area in 2 direction	1
Shear Area in 3 direction	1
Torsional Constant	0.1
Moment of Inertia about 2 axis	0.35
Moment of Inertia about 3 axis	0.35
Mass	0.67
Weight	0.67

OK Cancel

Şekil 6.8 : Kirişlerde etkin rijitliklerin tanımlanması.

6.1.9 Doğrusal hesap yönteminin seçilmesi

Doğrusal hesap yöntemleri ve hesap yönteminin seçilmesinden 3.1.4.6'da bahsedilmişti. Buna göre yapının bina yükseklik sınıfının 1 olması ve A1-B2 tipi düzensizlikler bulunduğu için mod birleştirme yöntemi kullanılacaktır.

6.1.10 Analizlerin gerçekleştirilmesi ve deprem yükü kontrolü

Analizlerin gerçekleştirilmesi kapsamında modal analiz sonuçları, kat ağırlıkları, kat kesme kuvvetleri incelenecektir ve deprem yükü kontrolü yapılacaktır.

6.1.10.1 Modal analiz sonuçları

Modal analiz sonuçları Çizelge 6.8'de gösterilmiştir. Çizelge 6.8'den görüldüğü üzere her iki doğrultuda da kütle katılım oranları %95'den fazladır.

Çizelge 6.8 : Kütle katılım oranları tablosu.

Mode	Period	UX	UY	SumUX	SumUY
1	2.894	0.00	66.60	0.00	66.60
2	2.657	46.72	0.00	46.72	66.60
3	1.838	22.36	0.00	69.08	66.60
4	0.740	8.82	0.00	77.90	66.60
5	0.704	0.00	16.67	77.90	83.27
6	0.513	6.06	0.00	83.97	83.27
7	0.338	3.33	0.00	87.30	83.27
8	0.302	0.00	6.04	87.30	89.31
9	0.243	2.40	0.00	89.70	89.31
10	0.195	1.98	0.00	91.68	89.31
11	0.174	0.00	3.26	91.68	92.57
12	0.149	1.19	0.00	92.87	92.57
13	0.130	1.38	0.00	94.25	92.57
14	0.117	0.00	1.97	94.25	94.54
15	0.106	0.57	0.00	94.82	94.54
16	0.097	1.04	0.00	95.85	94.54
17	0.088	0.00	1.30	95.85	95.84
18	0.084	0.00	0.00	95.85	95.84
19	0.079	1.17	0.00	97.03	95.84
20	0.076	0.00	0.02	97.03	95.86
21	0.072	0.00	0.87	97.03	96.73
22	0.063	0.00	0.69	97.03	97.42
23	0.062	1.26	0.00	98.29	97.42
24	0.054	0.00	0.73	98.29	98.15
25	0.045	0.00	0.65	98.29	98.80
26	0.044	1.08	0.00	99.37	98.80
27	0.037	0.00	0.45	99.37	99.25
28	0.023	0.46	0.00	99.83	99.25
29	0.023	0.00	0.30	99.83	99.55
30	0.012	0.00	0.34	99.83	99.89

6.1.10.2 Kat ağırlıklarının belirlenmesi

Deprem hesabında esas alınan kat ağırlıkları Çizelge 6.9’da verilmiştir. Tasarlanan yapı konut amacıyla kullanılacağı için Çizelge 3.12’ye göre hareketli yük katılım katsayısı 0.3 alınmıştır.

Çizelge 6.9 : Kat kütleleri tablosu.

Kat	Kat Kütleleri (kN)	Yer Çekimi İvmesi (g)	Kat Ağırlıkları (G=mg)
84.00	1139.74	9.81	11180.85
80.00	1252.57	9.81	12287.73
76.00	1252.57	9.81	12287.73
72.00	1252.57	9.81	12287.73
68.00	1252.57	9.81	12287.73
64.00	1252.57	9.81	12287.73
60.00	1252.57	9.81	12287.73
56.00	1252.57	9.81	12287.73
52.00	1252.57	9.81	12287.73
48.00	1252.57	9.81	12287.73
44.00	1285.83	9.81	12613.99
40.00	1324.37	9.81	12992.11
36.00	1324.37	9.81	12992.11
32.00	1324.37	9.81	12992.11
28.00	1324.37	9.81	12992.11
24.00	1324.37	9.81	12992.11
20.00	1324.37	9.81	12992.11
16.00	1324.37	9.81	12992.11
12.00	1324.37	9.81	12992.11
8.00	1324.37	9.81	12992.11
4.00	1324.37	9.81	12992.11
Toplam	26942.46	9.81	264305.57

6.1.10.3 Kat kesme kuvvetleri

Mod birleştirme yöntemiyle elde edilen kat kesme kuvvetleri Çizelge 6.10’da gösterilmiştir.

6.1.10.4 Eşdeğer deprem yükü kontrolü

Mod birleştirme yöntemiyle elde edilen taban kesme kuvveti, eşdeğer deprem yüküyle elde edilen taban kesme kuvvetine Denklem 3.19 kullanılarak eşitlenmelidir. Ancak tasarlanan yapı yüksek bina sınıfına girdiğinden dolayı Denklem 3.16 yerine Denklem 4.15 kullanılarak eşitleme işlemi yapılacaktır. Denklem 4.15’te yer alan α_h katsayısı, bina yüksekliği 105 m’den küçük olduğu için 1.0 alınacaktır.

Çizelge 6.10 : Kat kesme kuvvetleri tablosu.

Kat	Yükleme	VX (kN)	VY (kN)	Yükleme	VX (kN)	VY (kN)
84.00	SPECX	749.58	0.02	SPECY	0.00	1087.36
80.00	SPECX	1183.97	0.01	SPECY	0.00	1643.93
76.00	SPECX	1373.50	0.02	SPECY	0.00	1817.47
72.00	SPECX	1500.52	0.02	SPECY	0.01	1898.75
68.00	SPECX	1614.00	0.01	SPECY	0.00	1975.29
64.00	SPECX	1693.12	0.02	SPECY	0.00	2050.34
60.00	SPECX	1772.08	0.02	SPECY	0.01	2138.15
56.00	SPECX	1871.86	0.01	SPECY	0.00	2227.06
52.00	SPECX	1959.94	0.02	SPECY	0.01	2315.52
48.00	SPECX	2039.85	0.02	SPECY	0.01	2400.36
44.00	SPECX	2134.66	0.02	SPECY	0.01	2479.08
40.00	SPECX	2220.62	0.02	SPECY	0.01	2566.19
36.00	SPECX	2307.47	0.03	SPECY	0.01	2654.66
32.00	SPECX	2410.17	0.03	SPECY	0.01	2751.63
28.00	SPECX	2503.13	0.02	SPECY	0.02	2868.41
24.00	SPECX	2626.93	0.03	SPECY	0.02	3021.34
20.00	SPECX	2779.96	0.03	SPECY	0.02	3230.60
16.00	SPECX	2962.28	0.04	SPECY	0.02	3511.91
12.00	SPECX	3231.20	0.05	SPECY	0.03	3856.49
8.00	SPECX	3554.47	0.04	SPECY	0.03	4237.37
4.00	SPECX	3986.09	0.07	SPECY	0.08	4590.81

$$V_{t,\min} = 0.04 \times 1.0 \times 26942 \times 0.879 \times 9.81 = 9293 \text{ kN (Denklem 4.15)}$$

$$\beta_{tE,x} = 9293/3986 = 2.33 \text{ (Denklem 3.19)}$$

$$\beta_{tE,y} = 9293/4591 = 2.02 \text{ (Denklem 3.19)}$$

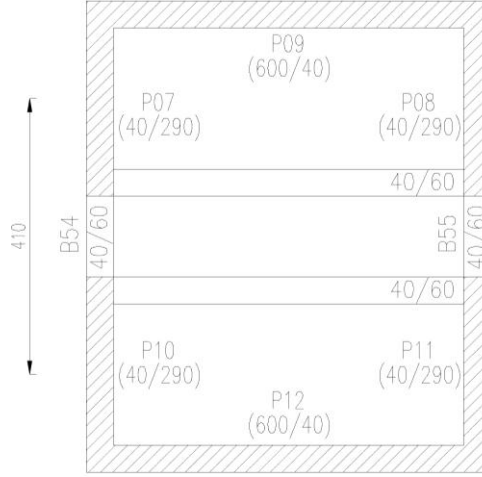
6.1.11 Bağ kirişlerin modellenmesi

3.1.4.5'te bahsedildiği üzere bağ kirişli perdeler, bağ derecesi katsayısının 0.33'ten büyük olduğu elemanlar olarak tasarlanmıştır. Yapıda 2 adet bağ kirişli perde bulunmaktadır. Bu elemanların bağ derecesi katsayılarının hesaplanması aşağıda gösterilmiştir. Hesap sonucunda bağ derecesi katsayısı 0.81 olarak bulunduğundan dolayı bu perdelerin ve bağ kirişin hesabında, bağ kirişli elemanlar için verilen kurallar uygulanacaktır. Bağ kirişli perdelerin geometrisi Şekil 6.9'da gösterilmiştir.

Her bir perdenin tabanında meydana gelen devrilme momenti = 456 kN

Bağ kirişlerdeki kesme kuvvetlerinden oluşan aksenal kuvvet = 967 kN

$$\Omega = \frac{4.10 \times 967}{(456 + 456 + 4.10 \times 9.67)} = 0.81 > 0.33$$



Şekil 6.9 : Bağ kirişlerin geometrisi.

6.1.12 Betonarme hesap

Betonarme hesap kapsamında perde, kolon ve kirişlerin boyut kontrolü ve donatılandırılması yapılmıştır. Eğilme donatısı hesabı için Etabs programından alınan sonuçlar kullanılmıştır. Kesme donatısı hesabında ise Etabs programında alınan iç kuvvet değerleri okunarak, TS 500 ve TBDY kuralları çerçevesinde donatı hesabı yapılmıştır.

6.1.12.1 Kolon betonarme hesabı

Kolonların betonarme hesabı 3.1.5.1’de verilen kurallar doğrultusunda yapılmıştır. Hesap kapsamında; aksel kuvvet kontrolü, eğilme ve kesme donatısı hesapları yapılmıştır.

Eksenel kuvvet kontrolü

Bu kontrol kapsamında kolon aksel yüklerinin; depremlili yük birleşimleri altında $0.40A_c f_{ck}$, $1,4G+1,6Q$ birleşimleri altında $0.60A_c f_{ck}$ değerini aşıp aşmadığı kontrol edilmiştir. +4.00 kotundaki kolon elemanlarının aksel yük kontrol tablosu Çizelge 6.11’de gösterilmiştir. Çizelge 6.11’den görüleceği üzere tüm elemanlar gerekli şartları sağlamaktadır.

Eğilme donatısı hesabı

Kolonlar için gereken eğilme donatısı oranları Etabs programından alınmıştır. Bütün kolonlarda eğilme donatısı ihtiyacının, minimum donatı olan %1 olduğu görülmüştür. +4.00 Kotu için seçilen boyuna donatılar Çizelge 6.12’de, +48.00 kotu için seçilen boyuna donatılar Çizelge 6.13’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.11 : +4.00 Kotu kolon aksenal kuvvet kontrolü.

Betón Sınıfı: C50		Donatı Sınıfı: B420C		fck: 50000		1,4G+1,6Q Max: 0,60		G+Q+E Max: 0,40		
KOLON EKSENEL YÜK KONTROLÜ										
Kat	Kolon	Kesit	b (m)	h (m)	fck*Ac	P (1,4G+1,6Q)	Oran (1,4G+1,6Q)	P (G+Q+E)	Oran (G+Q+E)	Kontrol
4,00	C1	C150/60	1,50	0,60	45000	9314	0,21	7732	0,17	OK
4,00	C2	C150/60	1,50	0,60	45000	13676	0,30	10211	0,23	OK
4,00	C3	C150/60	1,50	0,60	45000	9314	0,21	7732	0,17	OK
4,00	C4	C110/110	1,10	1,10	60500	21464	0,35	15706	0,26	OK
4,00	C5	C110/110	1,10	1,10	60500	21351	0,35	16153	0,27	OK
4,00	C6	C110/110	1,10	1,10	60500	21111	0,35	15172	0,25	OK
4,00	C7	C110/110	1,10	1,10	60500	21351	0,35	16153	0,27	OK
4,00	C8	C110/110	1,10	1,10	60500	21464	0,35	15706	0,26	OK
4,00	C9	C110/110	1,10	1,10	60500	19736	0,33	14217	0,23	OK
4,00	C10	C110/110	1,10	1,10	60500	19736	0,33	14217	0,23	OK
4,00	C11	C150/60	1,50	0,60	45000	7086	0,16	6672	0,15	OK
4,00	C12	C150/60	1,50	0,60	45000	10298	0,23	8484	0,19	OK
4,00	C13	C150/60	1,50	0,60	45000	10298	0,23	8484	0,19	OK
4,00	C14	C150/60	1,50	0,60	45000	7086	0,16	6672	0,15	OK

Çizelge 6.12 : +4.00 Kotu kolon boyuna donatıları.

Betón Sınıfı: C50		Donatı Sınıfı: B420C		fyk: 420000		fck: 50000			
KOLON BOYUNA DONATILARI									
Kat	Kolon	Kesit	b (m)	h (m)	Donatı Sayısı	Donatı Çapı	Seçilen Donatı Oranı (%)	Gereken Donatı Oranı (%)	Kontrol
4,00	C1	C150/60	1,50	0,60	34	ø20	1,19	1,00	OK
4,00	C2	C150/60	1,50	0,60	34	ø20	1,19	1,00	OK
4,00	C3	C150/60	1,50	0,60	34	ø20	1,19	1,00	OK
4,00	C4	C110/110	1,10	1,10	36	ø22	1,13	1,00	OK
4,00	C5	C110/110	1,10	1,10	36	ø22	1,13	1,00	OK
4,00	C6	C110/110	1,10	1,10	36	ø22	1,13	1,00	OK
4,00	C7	C110/110	1,10	1,10	36	ø22	1,13	1,00	OK
4,00	C8	C110/110	1,10	1,10	36	ø22	1,13	1,00	OK
4,00	C9	C110/110	1,10	1,10	36	ø22	1,13	1,00	OK
4,00	C10	C110/110	1,10	1,10	36	ø22	1,13	1,00	OK
4,00	C11	C150/60	1,50	0,60	34	ø20	1,19	1,00	OK
4,00	C12	C150/60	1,50	0,60	34	ø20	1,19	1,00	OK
4,00	C13	C150/60	1,50	0,60	34	ø20	1,19	1,00	OK
4,00	C14	C150/60	1,50	0,60	34	ø20	1,19	1,00	OK

Çizelge 6.13 : +48.00 Kotu kolon boyuna donatıları.

Betón Sınıfı: C50		Donatı Sınıfı: B420C		fyk: 420000		fck: 50000			
KOLON BOYUNA DONATILARI									
Kat	Kolon	Kesit	b (m)	h (m)	Donatı Sayısı	Donatı Çapı	Seçilen Donatı Oranı (%)	Gereken Donatı Oranı (%)	Kontrol
48,00	C1	C90/60	0,90	0,60	22	ø18	1,04	1,00	OK
48,00	C2	C90/60	0,90	0,60	22	ø18	1,04	1,00	OK
48,00	C3	C90/60	0,90	0,60	22	ø18	1,04	1,00	OK
48,00	C4	C70/70	0,70	0,70	16	ø20	1,03	1,00	OK
48,00	C5	C70/70	0,70	0,70	16	ø20	1,03	1,00	OK
48,00	C6	C70/70	0,70	0,70	16	ø20	1,03	1,00	OK
48,00	C7	C70/70	0,70	0,70	16	ø20	1,03	1,00	OK
48,00	C8	C70/70	0,70	0,70	16	ø20	1,03	1,00	OK
48,00	C9	C70/70	0,70	0,70	16	ø20	1,03	1,00	OK
48,00	C10	C70/70	0,70	0,70	16	ø20	1,03	1,00	OK
48,00	C11	C90/60	0,90	0,60	22	ø18	1,04	1,00	OK
48,00	C12	C90/60	0,90	0,60	22	ø18	1,04	1,00	OK
48,00	C13	C90/60	0,90	0,60	22	ø18	1,04	1,00	OK
48,00	C14	C90/60	0,90	0,60	22	ø18	1,04	1,00	OK

Kolon kesme donatısı hesabı

Kolon kesme donatısı hesabı için öncelikle TBDY’de verilen minimum donatı oranına göre kolon enine donatıları seçilmiştir. Daha sonra dayanım fazlalığı katsayısı kullanılarak arttırılmış deprem kuvvetleri ve düşey yükleri altında, kolonlarda oluşan maksimum kesme kuvvetlerine göre kolonların enine donatıları kontrol edilmiştir. +4.00 Kotu kolonları için seçilen enine donatılar Çizelge 6.14’de gösterilmiştir. Tabloda gösterilen donatı aralıkları sarılma bölgeleri için olup kolon orta bölgelerinde enine donatı aralıkları 20 cm olacaktır.

Çizelge 6.14 : +4.00 Kotu kolon enine donatıları.

Beton Sınıfı: C50		Donatı Sınıfı B420C		fyk: 420000		fck: 50000		Paspayı: 4,0 cm					
KOLON DONATILARI													
Kolon Bilgileri					Enine Donatı b Kesanrı					Enine Donatı h Kenarı			
Kat	Kolon	Kesit	b (m)	h (m)	Normal Kuvvet Oranı	Kol Sayısı	Donatı Çapı	Donatı Aralığı	Donatı Oranı	Kol Sayısı	Donatı Çapı	Donatı Aralığı	Donatı Oranı
4,00	C1	C150/60	1,50	0,60	0,21	12	ø12	10	1,07	5	ø12	10	1,22
4,00	C2	C150/60	1,50	0,60	0,30	12	ø12	10	1,07	5	ø12	10	1,22
4,00	C3	C150/60	1,50	0,60	0,21	12	ø12	10	1,07	5	ø12	10	1,22
4,00	C4	C110/110	1,10	1,10	0,35	9	ø12	10	1,12	9	ø12	10	1,12
4,00	C5	C110/110	1,10	1,10	0,35	9	ø12	10	1,12	9	ø12	10	1,12
4,00	C6	C110/110	1,10	1,10	0,35	9	ø12	10	1,12	9	ø12	10	1,12
4,00	C7	C110/110	1,10	1,10	0,35	9	ø12	10	1,12	9	ø12	10	1,12
4,00	C8	C110/110	1,10	1,10	0,35	9	ø12	10	1,12	9	ø12	10	1,12
4,00	C9	C110/110	1,10	1,10	0,33	9	ø12	10	1,12	9	ø12	10	1,12
4,00	C10	C110/110	1,10	1,10	0,33	9	ø12	10	1,12	9	ø12	10	1,12
4,00	C11	C150/60	1,50	0,60	0,16	12	ø12	10	1,60	5	ø12	10	1,83
4,00	C12	C150/60	1,50	0,60	0,23	12	ø12	10	1,07	5	ø12	10	1,22
4,00	C13	C150/60	1,50	0,60	0,23	12	ø12	10	1,07	5	ø12	10	1,22
4,00	C14	C150/60	1,50	0,60	0,16	12	ø12	10	1,60	5	ø12	10	1,83

Maksimum kesme kuvvetine sahip elemanın +4.00 kotundaki C4 kolonu olduğu görülmüştür. Kolonun enine donatı kontrolü aşağıda gösterilmiştir.

+4.00 Kotu C4 kolonu kesme kuvveti = 357 kN

Kolon boyutları: 110/110

Seçilen enine donatı = 9Ø 12/20 (Kolon orta bölgesi)

$$V_{max} = 0.85 \times 1100 \times 1100 \times \sqrt{50}/1000 = 7273 \text{ kN}$$

$V_c = 0$ (Betonun kesme dayanımına katkısı ihmal edildi)

$$V_w = \frac{9 \times 113}{200} \times 365 \times 1060/1000 = 1967 \text{ kN}$$

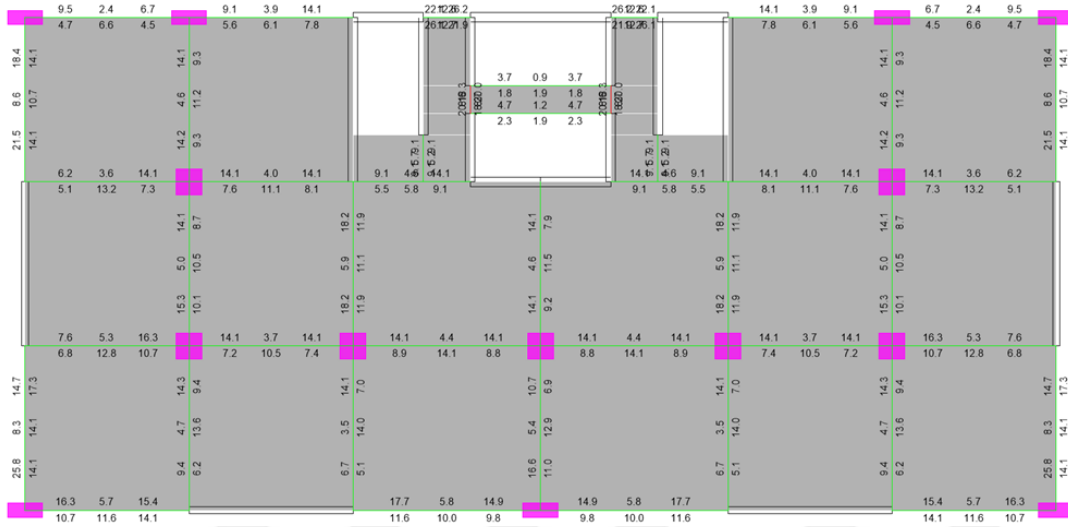
Kolonun kesme dayanımı 1967 kN olarak bulunmuştur ve gerekli dayanımı sağladığı görülmüştür.

6.1.12.2 Kiriş betonarme hesabı

Kirişlerin betonarme hesabı 3.1.5.2’de verilen kurallar doğrultusunda yapılmıştır. Hesap kapsamında; eğilme ve kesme donatısı hesapları yapılmıştır.

Eğilme donatısı hesabı

Kirişler için gereken eğilme donatısı oranları Etabs programından alınmıştır. +4.00 Kotu için eğilme donatısı istemleri Şekil 6.10’da gösterilmiştir.



Şekil 6.10 : +4.00 Kotu eğilme donatısı istemleri (cm²).

Seçilen boyuna donatılar aşağıda özetlenmiştir.

60/60 Kirişler (Dış akslarda yer alanlar): Üst 5Ø16, Alt 5Ø20, Üst ilave 4Ø22

60/60 Kirişler (İç akslarda yer alanlar): Üst 5Ø14, Alt 5Ø20, Üst ilave 4Ø18

40/60 Kirişler (Dış akslarda yer alanlar): Üst 5Ø26, Alt 5Ø26

40/60 Kirişler (İç akslarda yer alanlar): Üst 3Ø22, Alt 3Ø22

40/60 Kirişler (Bağ Kirişler): Üst 3Ø18, Alt 3Ø18 (Çapraz donatı hesabı yapılacaktır)

Kiriş kesme donatısı hesabı

Kiriş kesme donatısı hesabında, dayanım fazlalığı katsayısı kullanılarak arttırılmış deprem kuvvetleri ve düşey yükleri altında, kirişlerde oluşan maksimum kesme kuvvetlerine göre kirişlerin enine donatıları seçilmiştir. Kiriş eksenel kuvvetlerinin +28.00 kotunda maksimuma ulaştığı görülmüştür. +28.00 Kotu kirişleri için seçilen enine donatılar Çizelge 6.15’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.15 : +28.00 Kotu kiriş enine donatıları.

Beton Sınıfı: C50		Donatı Sınıfı: B420C		fck: 50000		fyk: 420000		Paspayı: 4,00 cm						
KIRIŞ ENİNE DONATI KONTROLÜ														
Kat	Kiriş	Kesit	Yükseklik (m)	Genişlik (m)	Kol Adedi	Etriye Çapı	Etriye Aralığı	Vw	Vc	Vr	Vd	Vd / Vr (%)	Vmax	Kontrol
28,00	B1	B60/60	0,60	0,60	4	ø10	10	642,20	0,00	642,20	197,67	30,78	2163,75	OK
28,00	B2	B60/60	0,60	0,60	4	ø10	10	642,20	0,00	642,20	162,57	25,31	2163,75	OK
28,00	B3	B60/60	0,60	0,60	4	ø10	10	642,20	0,00	642,20	162,57	25,31	2163,75	OK
28,00	B4	B60/60	0,60	0,60	4	ø10	10	642,20	0,00	642,20	197,67	30,78	2163,75	OK
28,00	B5	B60/60	0,60	0,60	4	ø10	10	642,20	0,00	642,20	235,91	36,73	2163,75	OK
28,00	B6	B60/60	0,60	0,60	4	ø10	10	642,20	0,00	642,20	207,28	32,28	2163,75	OK
28,00	B7	B60/60	0,60	0,60	4	ø10	10	642,20	0,00	642,20	209,74	32,66	2163,75	OK
28,00	B8	B60/60	0,60	0,60	4	ø10	10	642,20	0,00	642,20	267,40	41,64	2163,75	OK
28,00	B9	B60/60	0,60	0,60	4	ø10	10	642,20	0,00	642,20	209,74	32,66	2163,75	OK
28,00	B10	B60/60	0,60	0,60	4	ø10	10	642,20	0,00	642,20	207,28	32,28	2163,75	OK
28,00	B11	B60/60	0,60	0,60	4	ø10	10	642,20	0,00	642,20	235,91	36,73	2163,75	OK
28,00	B12	B60/60	0,60	0,60	4	ø10	10	642,20	0,00	642,20	231,79	36,09	2163,75	OK
28,00	B13	B60/60	0,60	0,60	4	ø10	10	642,20	0,00	642,20	177,66	27,66	2163,75	OK
28,00	B14	B60/60	0,60	0,60	4	ø10	10	642,20	0,00	642,20	216,51	33,71	2163,75	OK
28,00	B15	B60/60	0,60	0,60	4	ø10	10	642,20	0,00	642,20	216,51	33,71	2163,75	OK
28,00	B16	B60/60	0,60	0,60	4	ø10	10	642,20	0,00	642,20	177,66	27,66	2163,75	OK
28,00	B17	B60/60	0,60	0,60	4	ø10	10	642,20	0,00	642,20	231,79	36,09	2163,75	OK
28,00	B18	B60/60	0,60	0,60	4	ø10	10	642,20	0,00	642,20	207,87	32,37	2163,75	OK
28,00	B19	B60/60	0,60	0,60	4	ø10	10	642,20	0,00	642,20	228,83	35,63	2163,75	OK
28,00	B20	B60/60	0,60	0,60	4	ø10	10	642,20	0,00	642,20	212,87	33,15	2163,75	OK
28,00	B21	B60/60	0,60	0,60	4	ø10	10	642,20	0,00	642,20	228,83	35,63	2163,75	OK
28,00	B22	B60/60	0,60	0,60	4	ø10	10	642,20	0,00	642,20	207,87	32,37	2163,75	OK
28,00	B23	B60/60	0,60	0,60	4	ø10	10	642,20	0,00	642,20	210,98	32,85	2163,75	OK
28,00	B24	B60/60	0,60	0,60	4	ø10	10	642,20	0,00	642,20	187,44	29,19	2163,75	OK
28,00	B25	B40/60	0,60	0,40	2	ø10	10	321,10	0,00	321,10	144,15	44,89	1442,50	OK
28,00	B26	B40/60	0,60	0,40	2	ø10	10	321,10	0,00	321,10	144,15	44,89	1442,50	OK
28,00	B27	B60/60	0,60	0,60	4	ø10	10	642,20	0,00	642,20	187,44	29,19	2163,75	OK
28,00	B28	B60/60	0,60	0,60	4	ø10	10	642,20	0,00	642,20	210,98	32,85	2163,75	OK
28,00	B29	B40/60	0,60	0,40	2	ø10	10	321,10	0,00	321,10	169,40	52,76	1442,50	OK
28,00	B30	B40/60	0,60	0,40	2	ø10	10	321,10	0,00	321,10	169,40	52,76	1442,50	OK
28,00	B31	B40/60	0,60	0,40	2	ø10	10	321,10	0,00	321,10	50,54	15,74	1442,50	OK
28,00	B32	B60/60	0,60	0,60	4	ø10	10	642,20	0,00	642,20	180,80	28,15	2163,75	OK
28,00	B33	B60/60	0,60	0,60	4	ø10	10	642,20	0,00	642,20	201,28	31,34	2163,75	OK
28,00	B34	B40/60CB	0,60	0,40	2	ø10	10	321,10	0,00	321,10	678,24	211,22	1442,50	NOT OK
28,00	B35	B40/60CB	0,60	0,40	2	ø10	10	321,10	0,00	321,10	678,24	211,22	1442,50	NOT OK
28,00	B36	B60/60	0,60	0,60	4	ø10	10	642,20	0,00	642,20	201,28	31,34	2163,75	OK
28,00	B37	B60/60	0,60	0,60	4	ø10	10	642,20	0,00	642,20	180,80	28,15	2163,75	OK
28,00	B38	B40/60	0,60	0,40	2	ø10	10	321,10	0,00	321,10	44,25	13,78	1442,50	OK
28,00	B39	B60/60	0,60	0,60	4	ø10	10	642,20	0,00	642,20	131,11	20,42	2163,75	OK
28,00	B40	B60/60	0,60	0,60	4	ø10	10	642,20	0,00	642,20	112,22	17,47	2163,75	OK
28,00	B41	B40/60	0,60	0,40	2	ø12	8	577,98	0,00	577,98	505,86	87,52	1442,50	OK
28,00	B42	B40/60	0,60	0,40	2	ø12	8	577,98	0,00	577,98	505,86	87,52	1442,50	OK
28,00	B43	B60/60	0,60	0,60	4	ø10	10	642,20	0,00	642,20	112,22	17,47	2163,75	OK
28,00	B44	B60/60	0,60	0,60	4	ø10	10	642,20	0,00	642,20	131,11	20,42	2163,75	OK

B34 ve B35 Kirişleri bağ kiriş olduklarından dolayı bunlar için ayrıca çapraz donatı hesabı yapılacaktır. Bu kirişler haricinde maksimum kesme kuvvetine sahip elemanın B41 kirişi olduğu görülmüştür. Kirişin enine donatı kontrolü aşağıda gösterilmiştir.

B41 kirişi kesme kuvveti = 507 kN

Kiriş boyutları: 40/60

Seçilen enine donatı = 2Ø 12/8

$$V_{max} = 0.85 \times 400 \times 600 \times \sqrt{50}/1000 = 1442 \text{ kN}$$

$V_c = 0$ (Betonun kesme dayanımına katkısı ihmal edildi)

$$V_w = \frac{2 \times 113}{80} \times 365 \times 560/1000 = 577 \text{ kN}$$

Kirişin kesme dayanımı 577 kN olarak bulunmuştur ve gerekli dayanımı sağladığı görülmüştür.

6.1.12.3 Perde betonarme hesabı

Perdelerin betonarme hesabı 3.1.5.3’de verilen kurallar doğrultusunda yapılmıştır.

Enkesit koşulları

Süneklik düzeyi yüksek perdelerde minimum perde kalınlığı 250 mm’dir. Ancak tasarlana yapı yüksek bina yüksek sınıfına girdiğinden dolayı verilen kurallar neticesinde minimum perde kalınlığı 300 mm alınacaktır.

Perde elemanlarında, düşey ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında oluşan en büyük eksenel basınç kuvveti $0.35A_c f_{ck}$ değerini aşmamalıdır. +4.00 Kotu için perde eksenel kuvvet kontrolü Çizelge 4.16’da gösterilmiştir.

Çizelge 6.16 : +4.00 Kotu perde eksenel kuvvet kontrolü.

Beton Sınıfı: C50		Donatı Sınıfı: B420C		f _{ck} : 50000		1,4G+1,6Q Max: 0,35		G+Q+E Max: 0,35		
PERDE EKSENEL YÜK KONTROLÜ										
Kat	Perde Adı	Lw (m)	Bw (m)	f _{ck} *Ac	P (1,4G+1,6Q)	Oran (1,4G+1,6Q)	P (G+Q+E)	Oran (G+Q+E)	Oran Max	Kontrol
4,00	P01	7,00	0,40	140000	18627	0,13	22150	0,16	0,16	OK
4,00	P02	5,00	0,40	100000	11596	0,12	10537	0,11	0,12	OK
4,00	P03	3,00	0,40	60000	5421	0,09	9324	0,16	0,16	OK
4,00	P04	7,00	0,40	140000	18627	0,13	22150	0,16	0,16	OK
4,00	P05	5,00	0,40	100000	11596	0,12	10537	0,11	0,12	OK
4,00	P06	3,00	0,40	60000	5421	0,09	9324	0,16	0,16	OK
4,00	P07	2,90	0,40	58000	5621	0,10	8205	0,14	0,14	OK
4,00	P08	2,90	0,40	58000	5621	0,10	8205	0,14	0,14	OK
4,00	P09	6,00	0,40	120000	9560	0,08	12839	0,11	0,11	OK
4,00	P10	2,90	0,40	58000	7927	0,14	9844	0,17	0,17	OK
4,00	P11	2,90	0,40	58000	7927	0,14	9844	0,17	0,17	OK
4,00	P12	6,00	0,40	120000	18728	0,16	19441	0,16	0,16	OK
4,00	P13	7,00	0,30	105000	21213	0,20	16151	0,15	0,20	OK
4,00	P14	7,00	0,30	105000	21213	0,20	16151	0,15	0,20	OK
4,00	P15	7,00	0,30	105000	19695	0,19	14531	0,14	0,19	OK
4,00	P16	7,00	0,30	105000	19695	0,19	14531	0,14	0,19	OK

Perde elemanlarının kalınlığı, perde serbest yüksekliğinin 1/16’sından az olmamalıdır. Perde serbest yükseklikleri 340 cm olduğundan, minimum perde kalınlığı bu yöntemde 21.25 cm bulunmaktadır. Perde elemanlarının plandaki uzunluğu, gövde genişliğinin 30 katından fazla olmamalıdır. Plandaki boyu en fazla olan perdenin boyu 700 cm’dir. Bu kurala göre minimum perde kalınlığı 23 cm olmalıdır. Tasarlanan yapıdaki tüm perde elemanların kalınlıkları bu şartlara uyacak şekilde seçilmiştir.

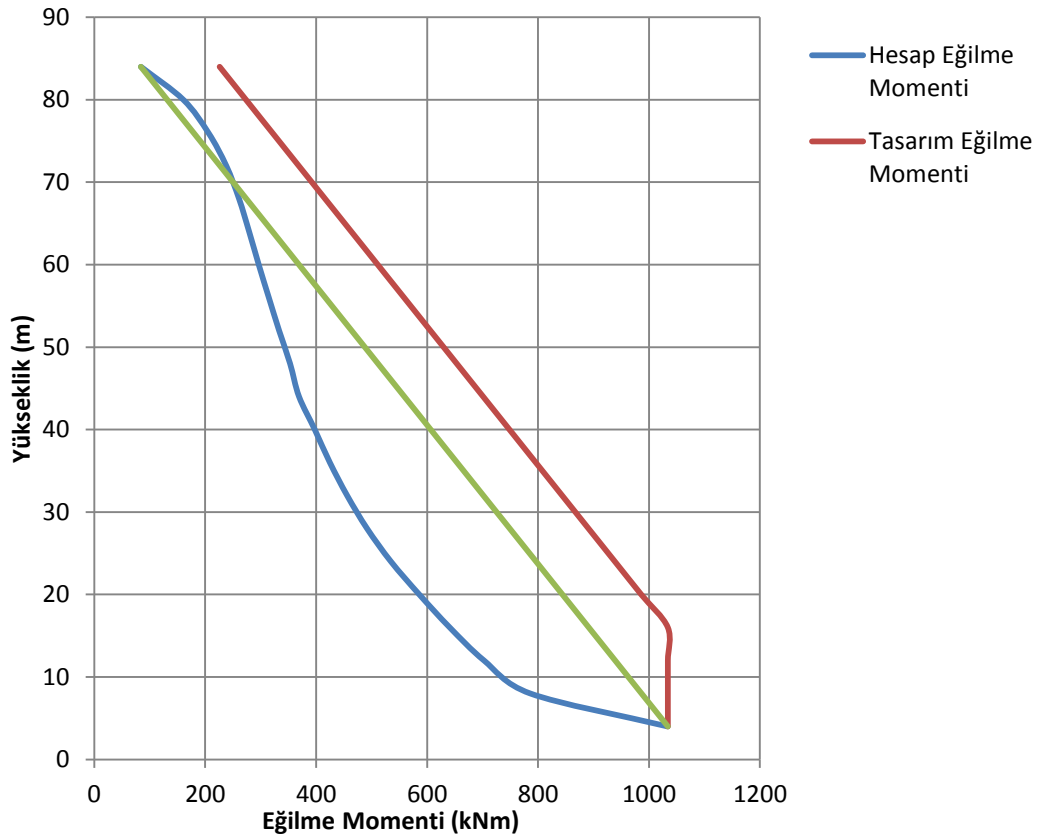
Perde uç bölgeleri ve kritik perde yüksekliği

Yapıdaki tüm perdelerin, yüksekliğinin plandaki boylarına oranı 2’den büyük olduğundan dolayı tamamında perde uç bölgeleri oluşturulacaktır. Perdelerin uç bölgesi uzunluğu yönetmelikte verilen şartları sağlayacak şekilde seçilmiştir.

Kritik perde yükseklikleri, toplam yapı yüksekliği ve perde boyutlarına göre belirlenmektedir. Toplam yapı yüksekliği 84,00 m'dir. Buna göre kritik perde yüksekliği $84,00 / 6 = 14,00$ m olmalıdır. Kritik perde yüksekliği ayrıca perdelerin plandaki uzunluklarından da fazla olmalıdır. Plandaki en uzun perdenin boyu 7,00m'dir. Ek olarak kritik perde yüksekliği perdelerin plandaki uzunluklarının 2 katından fazla olmasına gerek yoktur. Plandaki en uzun perdenin boyu 7,00 m olduğundan kritik perde yüksekliğinin 14,00 m'den fazla olmasına gerek yoktur. Temelden 14,00 m yukarısı kat ortasına denk geldiğinden kritik perde yüksekliği 16,00 m (ilk 4 kat) seçilmiştir.

Boyuna donatıların belirlenmesi

Boyuna donatıların belirlenmesi için öncelikle tasarım eğilme momentleri hesaplanacaktır. P03 Perdesi için tasarım eğilme momentleri Şekil 6.11'de gösterilmiştir. Buna göre tasarım eğilme momenti kritik perde yüksekliği boyunca tabanda oluşan eğilme momentine eşit kabul edilecektir. Kritik katların üzerinde ise perdenin tabanında ve tepesinde hesaplanan momentleri birleştiren doğruya paralel olan doğrusal moment diyagramı kullanılacaktır.



Şekil 6.11 : P03 Perdesi tasarım eğilme momentlerinin belirlenmesi.

P03 perdesinde kritik katlar için boyuna donatıların belirlenmesi ve gerekli kontroller aşağıda gösterilmiştir.

P03 Perdesinin boyutları: 300/40

Uç bölgesi uzunluğu: 80 cm

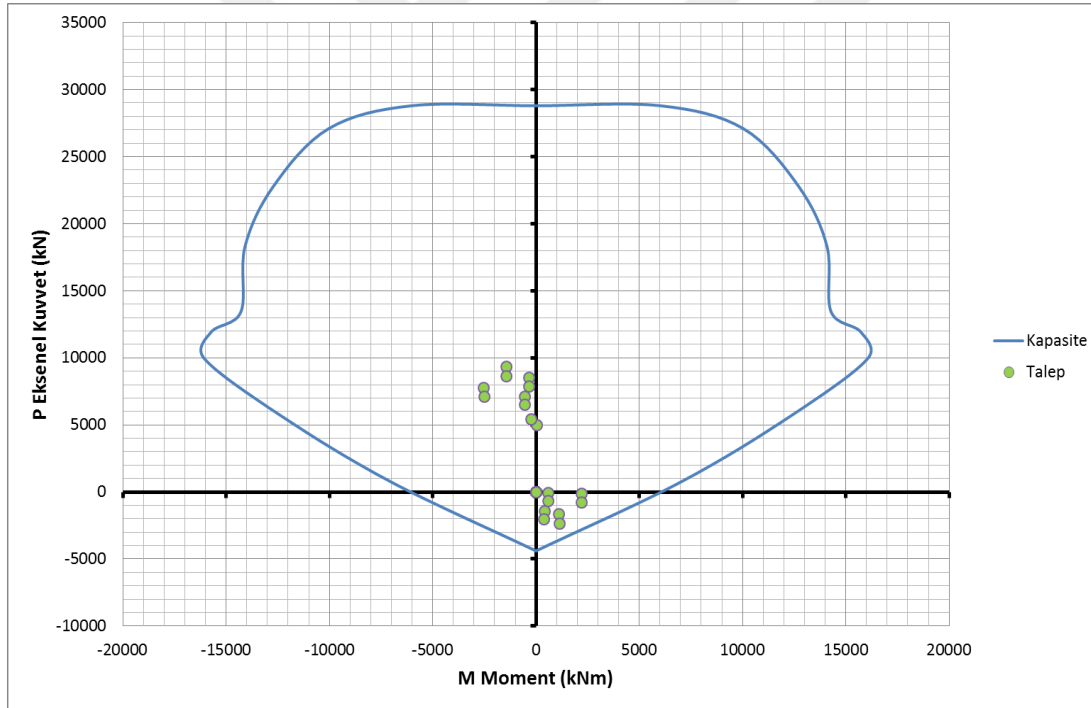
Uç bölgesi minimum donatı alanı = $0.002 \times 3000 \times 400 = 2400 \text{ mm}^2$

Seçilen donatı = 16Ø20 (5024 mm^2)

Minimum gövde donatı alanı = $0.0025 \times 1000 \times 400 = 1000 \text{ mm}^2$

Seçilen gövde donatısı = Ø 10/15 (2 sıra) (1040 mm^2)

Seçilen donatıların gerekli eğilme dayanımını sağlayıp sağlamadığını anlamak için karşılıklı etki kapasite diyagramı çizdirilmiştir (Şekil 6.12). Diyagramdan görüldüğü üzere seçilen donatılar yeterli eğilme dayanımını sağlamaktadır.



Şekil 6.12 : P03 Perdesi karşılıklı etki diyagramı.

Uç bölgesi enine donatılarının belirlenmesi

Kritik kat yüksekliği boyunca perde uç bölgesi enine donatıları Denklem 3.27'ye göre belirlenecektir. P03 Perdesi uç bölgesi için enine donatı hesabı aşağıda gösterilmiştir.

$$A_{sh} = 2/3 \times 0.075 \times 100 \times 720 \times (50/420) = 429 \text{ mm}^2 \text{ (Uzun doğrultu)}$$

Seçilen donatı = 6Ø10/10 (468 mm²)

$$A_{sh} = 2/3 \times 0.075 \times 100 \times 320 \times (50/420) = 191 \text{ mm}^2 \text{ (Kısa doğrultu)}$$

Seçilen donatı = 3Ø10/10 (234 mm²)

Perde enine donatılarının sağlaması gereken koşullar:

- Kullanılacak minimum enine donatı çapı Ø8 olmalıdır (Seçilen Ø10).
- Enine donatı yatay kolları arası mesafe, enine donatı çapının 10 katından fazla olmamalıdır (Enine donatı aralığı 144 mm).
- Düşey doğrultuda enine donatı aralığı 150 mm'den büyük, 50 mm'den az olmamalıdır. Ayrıca düşey doğrultuda enine donatı aralığı boyuna donatı çapının 6 katından (120 mm) ve perde kalınlığının 1/3'ünden (133 mm) fazla olmayacaktır (Seçilen 100 mm).
- Kritik kat yüksekliğinden sonra düşey doğrultuda enine donatılar arası mesafe 200 mm'den fazla olmayacaktır (Seçilen 200 mm). Kritik katlar içinde sağlaması gereken alan şartının dikkate alınmasına gerek yoktu.
- Kritik kat yüksekliğinden sonra da enine donatı kolları arasındaki mesafe, kritik kat yüksekliği için verilen şartı sağlamalıdır.

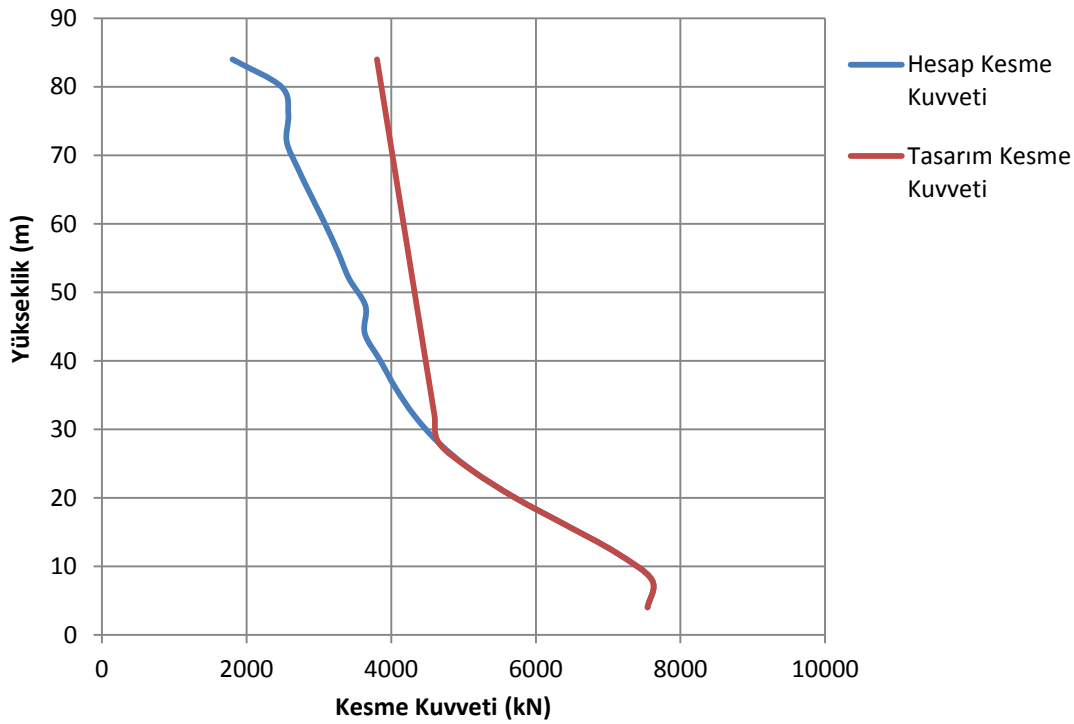
P03 Perdesi için tüm katlar boyunca seçilen boyuna ve uç bölgesi enine donatıları Çizelge 6.17'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.17 : P03 Perdesi boyuna ve uç bölgesi enine donatıları.

Beton Sınıfı: C50		Donatı Sınıfı: B420C			f _{ck} : 50000			f _{cd} : 33333			f _{yk} : 420000			f _{yd} : 365217			H _{cr} : 16.00			Paspayı: 4.0 cm		
Perde Bilgileri					Başlık Bölgesi			Gövde Bölgesi			Enine Donatı Kısa Yön			Enine Donatı Uzun Yön			Perde Donatı Kontrolü					
Kat	Perde Adı	Lw (m)	Bw (m)	Ach (m ²)	Uzunluk (m)	Donatı Sayısı	Donatı Çapı	Donatı Oranı	Donatı Çapı	Donatı Aralığı	Donatı Oranı	Kol Sayısı	Donatı Çapı	Donatı Aralığı	Donatı Oranı	Kol Sayısı	Donatı Çapı	Donatı Aralığı	Donatı Oranı	Perde Boyuna Donatı Oranı	Gerekli Donatı Oranı	Talep/Kapasite Oranı
84.00	P03	3.00	0.40	1.20	0.80	16	ø16	0.0027	ø10.0	15	0.0026	5	ø10	20	0.46	3	ø10	20	0.64	0.0066	0.0025	2.63
80.00	P03	3.00	0.40	1.20	0.80	16	ø16	0.0027	ø10.0	15	0.0026	5	ø10	20	0.46	3	ø10	20	0.64	0.0066	0.0025	2.63
76.00	P03	3.00	0.40	1.20	0.80	16	ø16	0.0027	ø10.0	15	0.0026	5	ø10	20	0.46	3	ø10	20	0.64	0.0066	0.0025	2.63
72.00	P03	3.00	0.40	1.20	0.80	16	ø16	0.0027	ø10.0	15	0.0026	5	ø10	20	0.46	3	ø10	20	0.64	0.0066	0.0025	2.63
68.00	P03	3.00	0.40	1.20	0.80	16	ø16	0.0027	ø10.0	15	0.0026	5	ø10	20	0.46	3	ø10	20	0.64	0.0066	0.0025	2.63
64.00	P03	3.00	0.40	1.20	0.80	16	ø16	0.0027	ø10.0	15	0.0026	5	ø10	20	0.46	3	ø10	20	0.64	0.0066	0.0025	2.63
60.00	P03	3.00	0.40	1.20	0.80	16	ø16	0.0027	ø10.0	15	0.0026	5	ø10	20	0.46	3	ø10	20	0.64	0.0066	0.0025	2.63
56.00	P03	3.00	0.40	1.20	0.80	16	ø16	0.0027	ø10.0	15	0.0026	5	ø10	20	0.46	3	ø10	20	0.64	0.0066	0.0025	2.63
52.00	P03	3.00	0.40	1.20	0.80	16	ø16	0.0027	ø10.0	15	0.0026	5	ø10	20	0.46	3	ø10	20	0.64	0.0066	0.0025	2.63
48.00	P03	3.00	0.40	1.20	0.80	16	ø16	0.0027	ø10.0	15	0.0026	5	ø10	20	0.46	3	ø10	20	0.64	0.0066	0.0025	2.63
44.00	P03	3.00	0.40	1.20	0.80	16	ø16	0.0027	ø10.0	15	0.0026	5	ø10	20	0.46	3	ø10	20	0.64	0.0066	0.0025	2.63
40.00	P03	3.00	0.40	1.20	0.80	16	ø16	0.0027	ø10.0	15	0.0026	5	ø10	20	0.46	3	ø10	20	0.64	0.0066	0.0025	2.63
36.00	P03	3.00	0.40	1.20	0.80	16	ø16	0.0027	ø10.0	15	0.0026	5	ø10	20	0.46	3	ø10	20	0.64	0.0066	0.0025	2.63
32.00	P03	3.00	0.40	1.20	0.80	16	ø16	0.0027	ø10.0	15	0.0026	5	ø10	20	0.46	3	ø10	20	0.64	0.0066	0.0025	2.63
28.00	P03	3.00	0.40	1.20	0.80	16	ø16	0.0027	ø10.0	15	0.0026	5	ø10	20	0.46	3	ø10	20	0.64	0.0066	0.0025	2.63
24.00	P03	3.00	0.40	1.20	0.80	16	ø16	0.0027	ø10.0	15	0.0026	5	ø10	20	0.46	3	ø10	20	0.64	0.0066	0.0025	2.63
20.00	P03	3.00	0.40	1.20	0.80	16	ø16	0.0027	ø10.0	15	0.0026	5	ø10	20	0.46	3	ø10	20	0.64	0.0066	0.0025	2.63
16.00	P03	3.00	0.40	1.20	0.80	16	ø20	0.0042	ø10.0	15	0.0026	6	ø10	10	1.11	3	ø10	10	1.28	0.0096	0.0025	3.84
12.00	P03	3.00	0.40	1.20	0.80	16	ø20	0.0042	ø10.0	15	0.0026	6	ø10	10	1.11	3	ø10	10	1.28	0.0096	0.0025	3.84
8.00	P03	3.00	0.40	1.20	0.80	16	ø20	0.0042	ø10.0	15	0.0026	6	ø10	10	1.11	3	ø10	10	1.28	0.0096	0.0025	3.84
4.00	P03	3.00	0.40	1.20	0.80	16	ø20	0.0042	ø10.0	15	0.0026	6	ø10	10	1.11	3	ø10	10	1.28	0.0096	0.0025	3.84

Yatay donatılarının belirlenmesi

Yatay donatıların belirlenmesi için öncelikle tasarım kesme kuvvetleri hesaplanacaktır. P01 Perdesi için tasarım kesme kuvvetleri Şekil 6.13’de gösterilmiştir. Tasarım kesme kuvvetlerinin hesabında, dayanım fazlalığı katsayı kullanılarak hesap yapılmıştır. Dayanım fazlalığı katsayısı ile arttırılan hesap kesme kuvvetleri, Şekil 6.13’de görüldüğü üzere yapının temelden itibaren 1/3’lük kısmında sonra arttırılarak tasarım kesme kuvvetleri elde edilmiştir.



Şekil 6.13 : P01 Perdesi tasarım kesme kuvvetlerinin belirlenmesi.

P01 perdesi +4.00 kotunda enine donatı hesabı aşağıda gösterilmiştir.

P01 Perdesinin boyutları: 700/40

Perde tasarım kesme kuvveti = 7545 kN

$$V_{max} = 0.85 \times 7000 \times 400 \times \sqrt{50}/1000 = 16829 \text{ kN (Denklem 3.30)}$$

Seçilen donatı = \emptyset 14/15 (2 Sıra) (2052 mm^2)

Minimum gövde donatı alanı = $0.0025 \times 1000 \times 400 = 1000 \text{ mm}^2$

$$V_r = 7000 \times 400 \times (0.65 \times 1.65 + 0.00513 \times 365)/1000 = 8246 \text{ kN}$$

Hesaplardan görüldüğü üzere seçilen donatılar yeterli kesme dayanımını sağlamaktadır. P01 Perdesinin tüm katlar için kesme donatısı hesabı Çizelge 6.18'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.18 : P01 Perdesi kesme donatısı hesabı.

Beton Sınıfı: C50		Donatı Sınıfı: B420C		f _{ck} : 50000		f _{cd} : 33333		f _{yk} : 420000		f _{yd} : 365217		f _{ctk} : 2475		f _{ctd} : 1650					
PERDE ENİNE DONATI KONTROLÜ																			
Kat	Perde Adı	Lw (m)	Bw (m)	Ach (m ²)	Donatı Kol A'dedi	Donatı Çapı (mm)	Donatı Aralığı (cm)	V _e (D=2.5) l=1.2	V _d	V _{max} =0.85*Ach*f _{cd}	Kesit Kontrolü	V _{rc} =Ach*0.65*f _{ctd}	V _{rw} =Ach*qch*f _{yd}	V _r =V _{rc} +V _w	Donatı Kontrolü	V _r /V _d	Donatı Oranı	Minimum Donatı Oranı	V _d / V _{max} (%)
84,00	P01	7,00	0,40	2,80	2	ø10,0	15	1805	3803	16829	OK	3003	2676	5679	OK	1,49	0,0026	0,0025	22,6
80,00	P01	7,00	0,40	2,80	2	ø10,0	15	2482	3864	16829	OK	3003	2676	5679	OK	1,47	0,0026	0,0025	23,0
76,00	P01	7,00	0,40	2,80	2	ø10,0	15	2577	3926	16829	OK	3003	2676	5679	OK	1,45	0,0026	0,0025	23,3
72,00	P01	7,00	0,40	2,80	2	ø10,0	15	2554	3987	16829	OK	3003	2676	5679	OK	1,42	0,0026	0,0025	23,7
68,00	P01	7,00	0,40	2,80	2	ø10,0	15	2713	4048	16829	OK	3003	2676	5679	OK	1,40	0,0026	0,0025	24,1
64,00	P01	7,00	0,40	2,80	2	ø10,0	15	2896	4109	16829	OK	3003	2676	5679	OK	1,38	0,0026	0,0025	24,4
60,00	P01	7,00	0,40	2,80	2	ø10,0	15	3084	4170	16829	OK	3003	2676	5679	OK	1,36	0,0026	0,0025	24,8
56,00	P01	7,00	0,40	2,80	2	ø10,0	15	3259	4232	16829	OK	3003	2676	5679	OK	1,34	0,0026	0,0025	25,1
52,00	P01	7,00	0,40	2,80	2	ø10,0	15	3417	4293	16829	OK	3003	2676	5679	OK	1,32	0,0026	0,0025	25,5
48,00	P01	7,00	0,40	2,80	2	ø10,0	15	3644	4354	16829	OK	3003	2676	5679	OK	1,30	0,0026	0,0025	25,9
44,00	P01	7,00	0,40	2,80	2	ø12,0	15	3634	4415	16829	OK	3003	3853	6856	OK	1,55	0,0038	0,0025	26,2
40,00	P01	7,00	0,40	2,80	2	ø12,0	15	3850	4476	16829	OK	3003	3853	6856	OK	1,53	0,0038	0,0025	26,6
36,00	P01	7,00	0,40	2,80	2	ø12,0	15	4062	4537	16829	OK	3003	3853	6856	OK	1,51	0,0038	0,0025	27,0
32,00	P01	7,00	0,40	2,80	2	ø12,0	15	4320	4599	16829	OK	3003	3853	6856	OK	1,49	0,0038	0,0025	27,3
28,00	P01	7,00	0,40	2,80	2	ø12,0	15	4660	4660	16829	OK	3003	3853	6856	OK	1,47	0,0038	0,0025	27,7
24,00	P01	7,00	0,40	2,80	2	ø12,0	15	5118	5118	16829	OK	3003	3853	6856	OK	1,34	0,0038	0,0025	30,4
20,00	P01	7,00	0,40	2,80	2	ø12,0	15	5714	5714	16829	OK	3003	3853	6856	OK	1,20	0,0038	0,0025	34,0
16,00	P01	7,00	0,40	2,80	2	ø14,0	15	6420	6420	16829	OK	3003	5245	8247	OK	1,28	0,0051	0,0025	38,1
12,00	P01	7,00	0,40	2,80	2	ø14,0	15	7110	7110	16829	OK	3003	5245	8247	OK	1,16	0,0051	0,0025	42,2
8,00	P01	7,00	0,40	2,80	2	ø14,0	15	7607	7607	16829	OK	3003	5245	8247	OK	1,08	0,0051	0,0025	45,2
4,00	P01	7,00	0,40	2,80	2	ø14,0	15	7545	7545	16829	OK	3003	5245	8247	OK	1,09	0,0051	0,0025	44,8

Sürtünme kesmesi kontrolü

P01 Perdesi için örnek sürtünme kesmesi kontrolü aşağıda gösterilmiştir.

Perde tasarım kesme kuvveti (V_e) = 7545 kN

Seçilen uç bölgesi donatısı = 28Ø20 (8792 mm²)

Seçilen gövde bölgesi donatısı = Ø 10/15 (524 mm²)

Toplam donatı alanı = 8792 × 2 + 524 × 2 × 4.2 = 21986 mm²

Sürtünme katsayısı (μ) = 1.0

Toplam donatı alanı = 8792 × 2 + 524 × 2 × 4.2 = 21986 mm²

Dayanım = (21986 × 365 × 1.0 + 1.65 × 7000 × 400)/1000 = 12645 kN

$V_{max,1}$ = 0.2 × 50 × 7000 × 400/1000 = 28000 kN

$V_{max,2}$ = (3.3 + 0.08 × 50) × 7000 × 400/1000 = 20440 kN

Hesaplardan görüldüğü üzere seçilen donatılar yeterli sürtünme kesmesi dayanımını sağlamaktadır.

Bağ kirişlerin donatılandırılması

Öncelikle bağ kirişlerin Denklem 3.34 ve 3.35 ile verilen şartları sağlayıp sağlamadığı incelenmiştir.

Tasarım kesme kuvveti = 688 kN

$120 > 2 \times 60 = 120$ (Denklem 3.34)

$688 \leq 1.5 \times 400 \times 560 \times 1.65/1000 = 554$ (Denklem 3.35)

$V_{max} \leq 0.85 \times 400 \times 560 \times \sqrt{50}/1000 = 1346 \text{ kN}$ (Denklem 3.37)

Bağ kirişler yukarıda verilen iki şartı da sağlamadığı için çapraz donatı hesabı yapılacaktır.

$A_{sd} = 688 \times 1000/2 \times 365 \times \sin 23.43 = 2370 \text{ mm}^2$ (Denklem 3.36)

Seçilen donatı = 4Ø28 (2460 mm²)

Çapraz donatı demetleri boyunca 2Ø10/10 özel deprem etriyeleri kullanılacaktır.

Bağ kiriş boyunca boyuna donatı 3Ø18, gövde donatıları ise 2x2Ø12 seçilmiştir.

Gövde bölgesinde kullanılacak çirozların belirlenmesi

Perde gövde bölgelerinde; kritik katlar boyunca metrekarede 10 adet, kritik katlar üzerinde metrekarede 4 adet özel deprem çirozu kullanılacaktır. Kullanılacak çiroz çapları en az perde yatay donatısının çapı kadar olacaktır. Ancak çiroz sayısı $\frac{\phi_{gövde}}{\phi_{çiroz}}$ oranında artırılarak çiroz çapları azaltılabilir. P01 Perdesi için örnek hesap aşağıda gösterilmiştir.

P01 Perdesinde kritik katlar boyunca kullanılan yatay donatı: Ø14

Kullanılacak çirozların çapı: Ø10

Metrekarede kullanılması gereken çiroz sayısı: $\frac{14}{10} \times 10 = 14$

Perde donatı özeti

Perde donatı özeti Çizelge 6.19'da verilmiştir.

Çizelge 6.19 : Perde donatı özeti.

Kat	Perde	Boy (cm)	En (cm)	Başlık Bölgesi Uzunluğu (cm)	Başlık Bölgesi Boyuna Donatı	Gövde Bölgesi		Başlık Bölgesi Enine Donatı		Gövde Çiroz Adedi
						Yatay	Düşey	Kısa Yön	Uzun Yön	
44,00 ... 84,00	P01	700	40	80	16 ø 16	ø 10 / 15	ø 10 / 15	5 ø 10 / 20	3 ø 10 / 20	4
16,00 ... 44,00	P01	700	40	80	16 ø 16	ø 12 / 15	ø 10 / 15	5 ø 10 / 20	3 ø 10 / 20	5
0,00 ... 16,00	P01	700	40	140	28 ø 20	ø 14 / 15	ø 10 / 15	10 ø 10 / 10	3 ø 10 / 10	14
16,00 ... 84,00	P02	500	40	80	16 ø 16	ø 10 / 15	ø 10 / 15	5 ø 10 / 20	3 ø 10 / 20	4
0,00 ... 16,00	P02	500	40	100	20 ø 20	ø 10 / 15	ø 10 / 15	7 ø 10 / 10	3 ø 10 / 10	10
44,00 ... 84,00	P03	300	40	80	16 ø 16	ø 10 / 15	ø 10 / 15	5 ø 10 / 20	3 ø 10 / 20	4
16,00 ... 44,00	P03	300	40	80	16 ø 16	ø 14 / 15	ø 10 / 15	5 ø 10 / 20	3 ø 10 / 20	6
0,00 ... 16,00	P03	300	40	80	16 ø 20	ø 16 / 15	ø 10 / 15	6 ø 10 / 10	3 ø 10 / 10	16
44,00 ... 84,00	P04	700	40	80	16 ø 16	ø 10 / 15	ø 10 / 15	5 ø 10 / 20	3 ø 10 / 20	4
16,00 ... 44,00	P04	700	40	80	16 ø 16	ø 12 / 15	ø 10 / 15	5 ø 10 / 20	3 ø 10 / 20	5
0,00 ... 16,00	P04	700	40	140	28 ø 20	ø 14 / 15	ø 10 / 15	10 ø 10 / 10	3 ø 10 / 10	14
16,00 ... 84,00	P05	500	40	80	16 ø 16	ø 10 / 15	ø 10 / 15	5 ø 10 / 20	3 ø 10 / 20	4
0,00 ... 16,00	P05	500	40	100	20 ø 20	ø 10 / 15	ø 10 / 15	7 ø 10 / 10	3 ø 10 / 10	10
44,00 ... 84,00	P06	300	40	80	16 ø 16	ø 10 / 15	ø 10 / 15	5 ø 10 / 20	3 ø 10 / 20	4
16,00 ... 44,00	P06	300	40	80	16 ø 16	ø 14 / 15	ø 10 / 15	5 ø 10 / 20	3 ø 10 / 20	6
0,00 ... 16,00	P06	300	40	80	16 ø 20	ø 16 / 15	ø 10 / 15	6 ø 10 / 10	3 ø 10 / 10	16
44,00 ... 84,00	P07	290	40	80	16 ø 14	ø 12 / 15	ø 10 / 15	5 ø 10 / 20	3 ø 10 / 20	5
16,00 ... 44,00	P07	290	40	80	16 ø 14	ø 14 / 15	ø 10 / 15	5 ø 10 / 20	3 ø 10 / 20	6
0,00 ... 16,00	P07	290	40	80	16 ø 16	ø 14 / 15	ø 10 / 15	6 ø 10 / 10	3 ø 10 / 10	14
44,00 ... 84,00	P08	290	40	80	16 ø 14	ø 12 / 15	ø 10 / 15	5 ø 10 / 20	3 ø 10 / 20	5
16,00 ... 44,00	P08	290	40	80	16 ø 14	ø 14 / 15	ø 10 / 15	5 ø 10 / 20	3 ø 10 / 20	6
0,00 ... 16,00	P08	290	40	80	16 ø 16	ø 14 / 15	ø 10 / 15	6 ø 10 / 10	3 ø 10 / 10	14
44,00 ... 84,00	P09	600	40	80	16 ø 14	ø 14 / 15	ø 10 / 15	5 ø 10 / 20	3 ø 10 / 20	6
16,00 ... 44,00	P09	600	40	80	16 ø 14	ø 16 / 15	ø 10 / 15	5 ø 10 / 20	3 ø 10 / 20	7
0,00 ... 16,00	P09	600	40	120	24 ø 16	ø 18 / 15	ø 10 / 15	9 ø 10 / 10	4 ø 10 / 10	18
44,00 ... 84,00	P10	290	40	80	16 ø 14	ø 14 / 15	ø 10 / 15	5 ø 10 / 20	3 ø 10 / 20	5
16,00 ... 44,00	P10	290	40	80	16 ø 14	ø 16 / 15	ø 10 / 15	5 ø 10 / 20	3 ø 10 / 20	6
0,00 ... 16,00	P10	290	40	80	16 ø 16	ø 16 / 15	ø 10 / 15	6 ø 10 / 10	3 ø 10 / 10	14
44,00 ... 84,00	P11	290	40	80	16 ø 14	ø 14 / 15	ø 10 / 15	5 ø 10 / 20	3 ø 10 / 20	5
16,00 ... 44,00	P11	290	40	80	16 ø 14	ø 16 / 15	ø 10 / 15	5 ø 10 / 20	3 ø 10 / 20	6
0,00 ... 16,00	P11	290	40	80	16 ø 16	ø 16 / 15	ø 10 / 15	6 ø 10 / 10	3 ø 10 / 10	14
44,00 ... 84,00	P12	600	40	80	16 ø 14	ø 14 / 15	ø 10 / 15	5 ø 10 / 20	3 ø 10 / 20	6
16,00 ... 44,00	P12	600	40	80	16 ø 14	ø 16 / 15	ø 10 / 15	5 ø 10 / 20	3 ø 10 / 20	7
0,00 ... 16,00	P12	600	40	120	24 ø 16	ø 16 / 15	ø 10 / 15	9 ø 10 / 10	4 ø 10 / 10	18
16,00 ... 84,00	P13	700	30	70	14 ø 14	ø 10 / 15	ø 10 / 20	4 ø 10 / 20	2 ø 10 / 20	4
0,00 ... 16,00	P13	700	30	140	28 ø 16	ø 14 / 15	ø 10 / 20	10 ø 10 / 10	2 ø 10 / 10	14
16,00 ... 84,00	P14	700	30	70	14 ø 14	ø 10 / 15	ø 10 / 20	4 ø 10 / 20	2 ø 10 / 20	4
0,00 ... 16,00	P14	700	30	140	28 ø 16	ø 14 / 15	ø 10 / 20	10 ø 10 / 10	2 ø 10 / 10	14
16,00 ... 84,00	P15	700	30	70	14 ø 14	ø 10 / 15	ø 10 / 20	4 ø 10 / 20	2 ø 10 / 20	4
0,00 ... 16,00	P15	700	30	140	28 ø 16	ø 14 / 15	ø 10 / 20	10 ø 10 / 10	2 ø 10 / 10	14
16,00 ... 84,00	P16	700	30	70	14 ø 14	ø 10 / 15	ø 10 / 20	4 ø 10 / 20	2 ø 10 / 20	4
0,00 ... 16,00	P16	700	30	140	28 ø 16	ø 14 / 15	ø 10 / 20	10 ø 10 / 10	2 ø 10 / 10	14

6.2 Amerikan Yönetmeliklerine Göre Doğrusal Analiz ve Tasarım

6.2.1 Bina risk kategorisi ve önem katsayısının belirlenmesi

Bina risk kategorisi Çizelge 3.16'ta göre belirlenecektir. Tasarlanan yapı konut amacıyla kullanılacağı için bina risk kategorisi I olarak belirlenmiştir. Bina önem katsayısı, bina risk kategorisine göre Çizelge 3.17 kullanılarak belirlenecektir. Tasarlanan yapının bina risk kategorisi I olduğundan dolayı; kar önem ve buz önem katsayısı-kalınlık 0.80, buz önem katsayısı-rüzgar ve sismik önem katsayısı 1.00 olarak belirlenmiştir.

6.2.2 Deprem tasarım spektrumunun belirlenmesi

Deprem tasarım spektrumları, AFAD'dan DD-1 deprem düzeyi için alınan spektral ivme katsayıları ile oluşturulmuştur. Spektral ivme katsayılarının zemin özelliklerine uyarlanması için, yerel zemin sınıfı "B" olarak seçilmiştir. Çizelge 3.18'den görüldüğü üzere, ASCE 07-10'da tanımlanan yerel zemin sınıf özellikleri TBDY'de tanımlanan yerel zemin sınıf özelliklerine benzer olarak tanımlanmıştır. Bu sebeple zemin sınıfının "B" olarak seçilmesi uygundur. Tasarım spektral ivme katsayıları ve bunlara bağlı belirlenen köşe periyotları aşağıda verilen şekilde hesaplanmıştır. Hesaplanan parametreler yardımıyla Denklem (3.42, 3.43, 3.44, 3.45) kullanılarak deprem tasarım spektrumu oluşturulmuştur (Şekil 6.14).

$$S_s = 1.698$$

$$S_1 = 0.472$$

$$F_a = 1.0 \text{ (Çizelge 3.19)}$$

$$F_v = 1.0 \text{ (Çizelge 3.20)}$$

$$S_{MS} = 1.698 \times 1.0 = 1.698 \text{ (Denklem 3.38)}$$

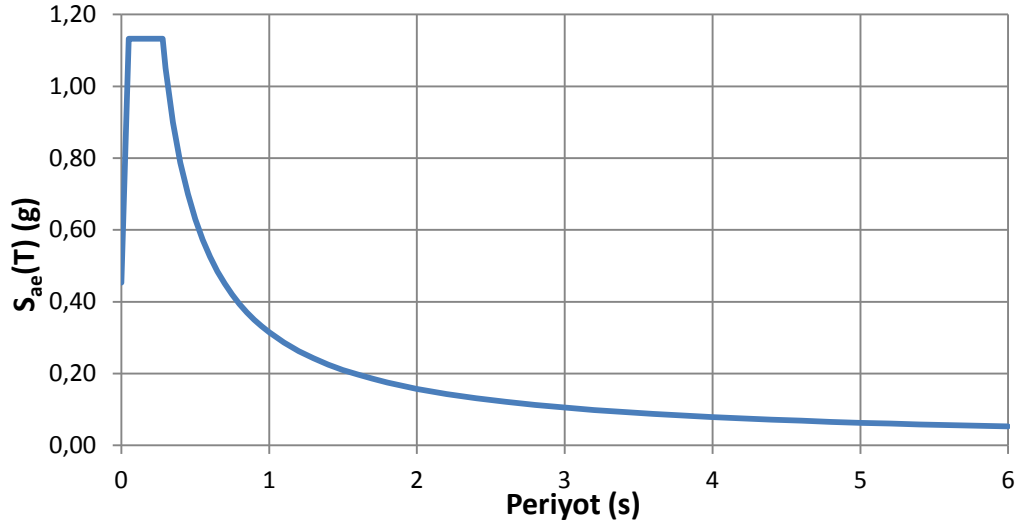
$$S_{M1} = 0.472 \times 1.0 = 0.472 \text{ (Denklem 3.39)}$$

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times 1.698 = 1.132 \text{ (Denklem 3.40)}$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times 0.472 = 0.315 \text{ (Denklem 3.41)}$$

$$T_A = 0.2 \times \frac{0.472}{1.698} = 0.05 \text{ s (Denklem 3.46)}$$

$$T_B = \frac{0.472}{1.698} = 0.28 \text{ s (Denklem 3.47)}$$



Şekil 6.14 : ASCE07-10 Tasarım spektrumu.

6.2.3 Sismik dizayn kategorisinin belirlenmesi

Sismik dizayn kategorisi; spektral ivme katsayıları ve bina risk kategorisine bağlı olarak belirlenmektedir. Bina risk kategorisi Çizelge 3.21 ve 3.22'ye göre belirlenecektir. Yapının S_1 değeri 0.472 s olup, 0.75'den küçük olmasına karşın, S_{DS} ve S_1 değerleri her iki tablo için D kategorisine karşı geldiğinden dolayı 3.2.3'de verilen kontrolleri yapmaya gerek kalmadan binanın risk kategorisi belirlenmiş olur.

6.2.4 Yapısal sistemin seçilmesi

Süneklik düzeyi yüksek sistemler için yapılan tanımlamalar Çizelge 3.23'de verilmiştir. Bu kapsamda, deprem etkilerinin moment aktaran süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçeveler ile süneklik düzeyi yüksek boşluksuz betonarme perdeler tarafında birlikte karşılandığı sistemler için $R=7$, $\Omega_0=2,5$ ve $C_d=5.5$ seçilmiştir. Bu seçimin yapılabilmesi için 3.2.4.1'de verildiği üzere, çerçevelerin tabanında meydana gelen devrilme momentinin, yapı tabanında meydana gelen toplam devrilme momentine oranı 0.25'den fazla olmalıdır. Bu şart Türk deprem yönetmeliklerine göre tasarım yapılırken de kontrol edilmiş ve gerekli şartın sağlandığı görülmüştür.

6.2.5 Düşey deprem etkisi

Tasarlanan yapının spektral ivme katsayısı değeri 0.125'den küçük olmadığından dolayı düşey deprem etkisi gözönüne alınacaktır.

$$E_v = 0.2 \times 1.132 \times D = 0.23D \text{ (Denklem 3.48)}$$

Elde edilen katsayı aşağıda verilen şekilde birleşimlerde kullanılacaktır.

- $1,23D + L + E_d^{(H)}$
- $0,67D + E_d^{(H)}$

6.2.6 Düzensizlikler, fazlalık katsayısı ve kat ötelemelerinin kontrollü

Düzensiz binalara ilişkin koşullardan 3.1.3.4'te, görelî kat ötelemeleri ve ikinci merteye etkilerine ilişkin koşullardan 3.1.4.7'de bahsedilmiştir. Bunlara ilişkin kontroller aşağıda anlatılmıştır.

6.2.6.1 Düzensizlik kontrolleri

Düzensizlik kontrolleri kapsamında Çizelge 3.9'da verilen düzensizlik durumları kontrol edilecektir.

Burulma Düzensizliği

Burulma düzensizliği kontrolü kapsamında, yapı Y Doğrultusunda simetrik olduğundan dolayı sadece X Doğrultusunda kontrol yapılmıştır. X Doğrultusunda yapılan kontrol Çizelge 6.20'de verilmiştir.

Çizelge 6.20 : Burulma düzensizliği kontrolü.

Kat	h_i (m)	$\Delta_{ix,max}$ (m)	$\Delta_{ix,min}$ (m)	$\Delta_{ix,ort}$ (m)	A_x	Kontrol
						< 1,20
84.00	4.00	0.0060	0.0037	0.0049	1.06	✓
80.00	4.00	0.0063	0.0037	0.0050	1.10	✓
76.00	4.00	0.0066	0.0040	0.0053	1.07	✓
72.00	4.00	0.0069	0.0043	0.0056	1.05	✓
68.00	4.00	0.0074	0.0043	0.0059	1.12	✓
64.00	4.00	0.0080	0.0046	0.0063	1.12	✓
60.00	4.00	0.0086	0.0046	0.0066	1.18	✓
56.00	4.00	0.0089	0.0046	0.0067	1.21	✗
52.00	4.00	0.0094	0.0049	0.0072	1.21	✗
48.00	4.00	0.0097	0.0051	0.0074	1.19	✓
44.00	4.00	0.0100	0.0051	0.0076	1.21	✗
40.00	4.00	0.0106	0.0049	0.0077	1.30	✗
36.00	4.00	0.0103	0.0051	0.0077	1.23	✗
32.00	4.00	0.0109	0.0051	0.0080	1.28	✗
28.00	4.00	0.0103	0.0049	0.0076	1.28	✗
24.00	4.00	0.0103	0.0049	0.0076	1.28	✗
20.00	4.00	0.0097	0.0046	0.0072	1.28	✗
16.00	4.00	0.0086	0.0040	0.0063	1.29	✗
12.00	4.00	0.0072	0.0037	0.0054	1.20	✗
8.00	4.00	0.0051	0.0026	0.0039	1.23	✗
4.00	4.00	0.0023	0.0011	0.0017	1.23	✗

Yapılan kontroller neticesinde yapıda X Doğrultusunda burulma düzensizliği olduğu görülmüştür. Ancak burulma düzensizliği katsayısı 1.4'ü geçmediğinden dolayı aşırı burulma düzensizliği bulunmamaktadır. Deprem hesap yöntemi seçilirken bu durum dikkate alınacaktır.

$$X \text{ Doğrultusunda ek dışmerkezlik etkisi: } \left(\frac{0.0106}{1.2 \times 0.0077} \right)^2 \times 0.05 = 0.066 \text{ (Denk. 3.57)}$$

Planda çıkıntılar bulunması düzensizliği

Binada planda herhangi bir çıkıntı bulunmadığından dolayı planda çıkıntılar bulunması düzensizliği bulunmamaktadır.

Döşeme süreksizlikleri

Döşeme süreksizlikleri; döşemedeki boşlukların toplam kat alanına oranının 1/2'den fazla olması, deprem yüklerinin aktarılmasını güçleştiren yerel döşeme boşluklarının bulunması ve döşeme düzlem içi dayanımlarında ani azalma olması durumunda meydana gelir. Tasarlanan yapıda büyük döşeme boşlukları bulunmadığı ve döşeme dayanımında ani azalma durumu bulunmadığı için sadece boşlukların oranı kontrol edilecektir.

$$\text{Toplam yapı alanı} = 924 \text{ m}^2$$

$$\text{Toplam boşluk alanı} = 64.8 \text{ m}^2$$

$$\text{Boşluk alanlarının yapı alanına oranı} = \frac{64.8}{924} = 0.07 < \frac{1}{2}$$

Boşluk alanlarının yapı alanına oranı 0.07 olduğundan dolayı yapıda döşeme süreksizliği bulunmamaktadır.

Düşey yük taşıyıcı sistemin yatay yük taşıyıcı sisteme paralel olmaması

Düşey yük ve yatay yük taşıyıcı sistemler birbirine paralel olduğundan dolayı yapıda bu tür düzensizlik bulunmamaktadır.

Zayıf kat düzensizliği

Binada yalnızca +44.00~+48.00 kotları arasında düşey taşıyıcı eleman boyutları değişmektedir.

$$+44.00 \text{ Kotu kesme alanı} = 44.80 + 14.77 = 59.57 \text{ m}^2$$

$$+48.00 \text{ Kotu kesme alanı} = 44.80 + 7.21 = 52.01 \text{ m}^2$$

$$\text{Kat kesme alanları oranı} = 52.01/59.57 = 0.87 > 0.80$$

Kat kesme alanları oranı 0.87 olduğundan dolayı yapıda zayıf kat düzensizliği bulunmamaktadır.

Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği

Tasarlanan yapıdaki düşey taşıyıcı elemanlarda süreksizlik bulunmadığından yapıda bu tür düzensizlik bulunmamaktadır.

Kütle düzensizlikleri

Yapının tüm katlarında yükler aynı olduğundan dolayı yapıda kütle düzensizliği bulunmamaktadır.

6.2.6.2 Fazlalık katsayısı

Fazlalık katsayısının belirlenmesi için, yükseklik/uzunluk oranı 1.0'den küçük perdeler sistemden kaldırılarak kat dayanımındaki azalmaya bakılmıştır. Kat dayanımındaki azalmanın tahkiki için periyot değerleri kullanılmıştır. Tahkik için tek katlı model kullanılmıştır. Yapılan kontroller Çizelge 6.21'de gösterilmiştir. Yapılan kontroller neticesinde, dayanımdaki azalmanın %33'den fazla olmadığı görülmüştür. Bu sebeple fazlalık katsayısı (ρ) 1.0 alınacaktır.

Çizelge 6.21 : Fazlalık katsayısı kontrolü.

Doğrultu	Tüm Sistem için Periyot	Azaltılmış Sistem için Periyot	Değişim (%)
X	0.059	0.069	26
Y	0.051	0.055	13

6.2.6.3 Göreli kat ötelemelerinin kontrolü

Görelî kat ötelemeleri hesaplanırken Denklem 3.58 ve Çizelge 3.25 kullanılacaktır. Görelî kat ötelemeleri değeri Denklem 3.58 kullanılarak hesaplanacaktır. Denklem 3.58'de verilen C_d katsayısı deplasman artırım katsayısı olup, taşıyıcı sistem türüne bağılı olarak belirlenmektedir. Hesaplanan göreli kat ötelemeleri, Çizelge 3.25'de verilen sınır değerlere göre kontrol edilecektir. Sınır değerler; yapıdaki kat sayısı, yapı tipi ve bina risk kategorisine bağılıdır. X Doğrultusunda göreli kat ötelemesi kontrolü Çizelge 6.22'de, Y Doğrultusu göreli kat ötelemesi kontrolü Çizelge 6.23'te verilmiştir.

Çizelge 6.22 : X Doğrultusunda görel kat ötelemeleri kontrolü.

Kat	h_i (m)	d_x (m)	Δ_x (m)	$\delta_x=C_d\Delta_x$	$0.02h_{sx}$	Kontrol
84.00	4.00	0.1730	0.0060	0.0330	0.080	✓
80.00	4.00	0.1670	0.0063	0.0346	0.080	✓
76.00	4.00	0.1607	0.0066	0.0362	0.080	✓
72.00	4.00	0.1542	0.0069	0.0378	0.080	✓
68.00	4.00	0.1473	0.0074	0.0409	0.080	✓
64.00	4.00	0.1399	0.0080	0.0440	0.080	✓
60.00	4.00	0.1318	0.0086	0.0472	0.080	✓
56.00	4.00	0.1233	0.0089	0.0488	0.080	✓
52.00	4.00	0.1144	0.0094	0.0519	0.080	✓
48.00	4.00	0.1050	0.0097	0.0535	0.080	✓
44.00	4.00	0.0952	0.0100	0.0551	0.080	✓
40.00	4.00	0.0852	0.0106	0.0582	0.080	✓
36.00	4.00	0.0746	0.0103	0.0566	0.080	✓
32.00	4.00	0.0644	0.0109	0.0598	0.080	✓
28.00	4.00	0.0535	0.0103	0.0566	0.080	✓
24.00	4.00	0.0432	0.0103	0.0566	0.080	✓
20.00	4.00	0.0329	0.0097	0.0535	0.080	✓
16.00	4.00	0.0232	0.0086	0.0472	0.080	✓
12.00	4.00	0.0146	0.0072	0.0393	0.080	✓
8.00	4.00	0.0074	0.0051	0.0283	0.080	✓
4.00	4.00	0.0023	0.0023	0.0126	0.080	✓

Çizelge 6.23 : Y Doğrultusunda görel kat ötelemeleri kontrolü.

Kat	h_i (m)	d_y (m)	Δ_y (m)	$\delta_x=C_d\Delta_x$	$0.02h_{sy}$	Kontrol
84.00	4.00	0.1907	0.0079	0.0436	0.080	✓
80.00	4.00	0.1828	0.0084	0.0464	0.080	✓
76.00	4.00	0.1743	0.0087	0.0477	0.080	✓
72.00	4.00	0.1657	0.0089	0.0491	0.080	✓
68.00	4.00	0.1567	0.0092	0.0505	0.080	✓
64.00	4.00	0.1476	0.0097	0.0532	0.080	✓
60.00	4.00	0.1379	0.0097	0.0532	0.080	✓
56.00	4.00	0.1282	0.0102	0.0559	0.080	✓
52.00	4.00	0.1180	0.0107	0.0587	0.080	✓
48.00	4.00	0.1074	0.0107	0.0587	0.080	✓
44.00	4.00	0.0967	0.0107	0.0587	0.080	✓
40.00	4.00	0.0861	0.0109	0.0600	0.080	✓
36.00	4.00	0.0751	0.0112	0.0614	0.080	✓
32.00	4.00	0.0640	0.0107	0.0587	0.080	✓
28.00	4.00	0.0533	0.0107	0.0587	0.080	✓
24.00	4.00	0.0427	0.0104	0.0573	0.080	✓
20.00	4.00	0.0322	0.0094	0.0518	0.080	✓
16.00	4.00	0.0228	0.0087	0.0477	0.080	✓
12.00	4.00	0.0141	0.0069	0.0382	0.080	✓
8.00	4.00	0.0072	0.0050	0.0273	0.080	✓
4.00	4.00	0.0022	0.0022	0.0123	0.080	✓

6.2.6.4 İkinci merteye etkileri kontrolü

İkinci merteye etkileri kontrolü Denklem 3.59 ve 3.60 kullanılarak yapılacaktır. X Doğrultusunda ikinci merteye etkileri kontrolü Çizelge 6.24’de, Y Doğrultusu ikinci merteye etkileri kontrolü Çizelge 6.25’de verilmiştir.

Çizelge 6.24 : X Doğrultusunda ikinci merteye etkileri kontrolü.

Kat	h_i	W_i (kN)	Σw_i (kN)	Drift	V_{ix} (kN)	$\theta_{i,x}$	θ_{max}	Kontrol
84.00	4.00	11915.4	11915.4	0.0083	749.6	0.006	0.091	✓
80.00	4.00	13027.3	24942.8	0.0087	1184.0	0.008	0.091	✓
76.00	4.00	13027.3	37970.1	0.0090	1373.5	0.011	0.091	✓
72.00	4.00	13027.3	50997.4	0.0094	1500.5	0.015	0.091	✓
68.00	4.00	13027.3	64024.7	0.0102	1614.0	0.018	0.091	✓
64.00	4.00	13027.3	77052.0	0.0110	1693.1	0.023	0.091	✓
60.00	4.00	13027.3	90079.4	0.0118	1772.1	0.027	0.091	✓
56.00	4.00	13027.3	103106.7	0.0122	1871.9	0.031	0.091	✓
52.00	4.00	13027.3	116134.0	0.0130	1959.9	0.035	0.091	✓
48.00	4.00	13027.3	129161.3	0.0134	2039.9	0.038	0.091	✓
44.00	4.00	13418.4	142579.7	0.0138	2134.7	0.042	0.091	✓
40.00	4.00	13868.5	156448.2	0.0146	2220.6	0.047	0.091	✓
36.00	4.00	13868.5	170316.7	0.0142	2307.5	0.047	0.091	✓
32.00	4.00	13868.5	184185.2	0.0149	2410.2	0.052	0.091	✓
28.00	4.00	13868.5	198053.7	0.0142	2503.1	0.051	0.091	✓
24.00	4.00	13868.5	211922.2	0.0142	2626.9	0.052	0.091	✓
20.00	4.00	13868.5	225790.7	0.0134	2780.0	0.049	0.091	✓
16.00	4.00	13868.5	239659.3	0.0118	2962.3	0.043	0.091	✓
12.00	4.00	13868.5	253527.8	0.0098	3231.2	0.035	0.091	✓
8.00	4.00	13868.5	267396.3	0.0071	3554.5	0.024	0.091	✓
4.00	4.00	13868.5	281264.8	0.0031	3986.1	0.010	0.091	✓

Çizelge 6.25 : Y Doğrultusunda ikinci merteye etkileri kontrolü.

Kat	h_i	W_i (kN)	Σw_i (kN)	Drift	V_{iy} (kN)	$\theta_{i,y}$	θ_{max}	Kontrol
84.00	4.00	11915.4	11915.4	0.0109	1087.4	0.005	0.091	✓
80.00	4.00	13027.3	24942.8	0.0116	1643.9	0.008	0.091	✓
76.00	4.00	13027.3	37970.1	0.0119	1817.5	0.011	0.091	✓
72.00	4.00	13027.3	50997.4	0.0123	1898.8	0.015	0.091	✓
68.00	4.00	13027.3	64024.7	0.0126	1975.3	0.019	0.091	✓
64.00	4.00	13027.3	77052.0	0.0133	2050.3	0.023	0.091	✓
60.00	4.00	13027.3	90079.4	0.0133	2138.2	0.025	0.091	✓
56.00	4.00	13027.3	103106.7	0.0140	2227.1	0.029	0.091	✓
52.00	4.00	13027.3	116134.0	0.0147	2315.5	0.033	0.091	✓
48.00	4.00	13027.3	129161.3	0.0147	2400.4	0.036	0.091	✓
44.00	4.00	13418.4	142579.7	0.0147	2479.1	0.038	0.091	✓
40.00	4.00	13868.5	156448.2	0.0150	2566.2	0.042	0.091	✓
36.00	4.00	13868.5	170316.7	0.0153	2654.7	0.045	0.091	✓
32.00	4.00	13868.5	184185.2	0.0147	2751.6	0.045	0.091	✓
28.00	4.00	13868.5	198053.7	0.0147	2868.4	0.046	0.091	✓
24.00	4.00	13868.5	211922.2	0.0143	3021.3	0.046	0.091	✓
20.00	4.00	13868.5	225790.7	0.0130	3230.6	0.041	0.091	✓
16.00	4.00	13868.5	239659.3	0.0119	3511.9	0.037	0.091	✓
12.00	4.00	13868.5	253527.8	0.0095	3856.5	0.029	0.091	✓
8.00	4.00	13868.5	267396.3	0.0068	4237.4	0.020	0.091	✓
4.00	4.00	13868.5	281264.8	0.0031	4590.8	0.009	0.091	✓

6.2.7 Doğrusal hesap yönteminin seçilmesi

Doğrusal hesap yöntemleri ve hesap yönteminin seçilmesinden 3.2.4.4'de bahsedilmişti. Buna göre yapının yüksekliği 48.8 m'den fazla olduğu, sismik dizayn kategorisi D olduğundan ve yapı periyodu T_s periyot değerinden daha fazla olduğundan dolayı yapısal analiz için mod birleştirme yöntemi kullanılacaktır.

6.2.8 Analizlerin gerçekleştirilmesi ve deprem yükü kontrolü

Analizlerin gerçekleştirilmesi kapsamında modal analiz sonuçları, kat ağırlıkları, kat kesme kuvvetleri incelenecektir ve deprem yükü kontrolü yapılacaktır.

6.2.8.1 Modal analiz sonuçları

Modal analiz sonuçları Çizelge 6.26'da gösterilmiştir. Çizelge 6.26'dan görüldüğü üzere her iki doğrultuda da kütle katılım oranları %90'den fazladır.

Çizelge 6.26 : Kütle katılım oranları tablosu.

Mode	Period	UX	UY	SumUX	SumUY
1	3.180	0.00	67.19	0.00	67.19
2	2.848	50.03	0.00	50.03	67.19
3	1.994	19.51	0.00	69.54	67.19
4	0.815	8.96	0.00	78.49	67.19
5	0.799	0.00	16.12	78.49	83.31
6	0.567	5.63	0.00	84.12	83.31
7	0.384	3.19	0.00	87.31	83.31
8	0.345	0.00	5.96	87.31	89.28
9	0.270	2.34	0.00	89.65	89.28
10	0.222	1.81	0.00	91.46	89.28
11	0.197	0.00	3.21	91.46	92.49
12	0.163	1.32	0.00	92.77	92.49
13	0.145	1.18	0.00	93.95	92.49
14	0.129	0.00	1.96	93.95	94.45
15	0.112	0.79	0.00	94.74	94.45
16	0.104	0.85	0.00	95.59	94.45
17	0.094	0.00	1.34	95.59	95.78
18	0.082	1.14	0.00	96.73	95.78
19	0.072	0.00	0.95	96.73	96.73
20	0.063	1.15	0.00	97.87	96.73
21	0.059	0.00	0.69	97.87	97.42
22	0.051	0.00	0.35	97.87	97.77
23	0.049	0.00	0.24	97.87	98.01
24	0.045	1.32	0.00	99.19	98.01
25	0.043	0.00	0.53	99.19	98.53
26	0.036	0.00	0.69	99.19	99.22
27	0.029	0.00	0.35	99.19	99.57
28	0.027	0.65	0.00	99.84	99.57
29	0.018	0.00	0.13	99.84	99.70
30	0.009	0.00	0.23	99.84	99.93

6.2.8.2 Kat ağırlıklarının belirlenmesi

Deprem hesabında esas alınan kat ağırlıkları Çizelge 6.27’de verilmiştir.

Çizelge 6.27 : Kat kütleleri tablosu.

Kat	Kat Kütleleri (kN)	Yer Çekimi İvmesi (g)	Kat Ağırlıkları (G=mg)
84.00	1082.84	9.81	10622.66
80.00	1195.67	9.81	11729.54
76.00	1195.67	9.81	11729.54
72.00	1195.67	9.81	11729.54
68.00	1195.67	9.81	11729.54
64.00	1195.67	9.81	11729.54
60.00	1195.67	9.81	11729.54
56.00	1195.67	9.81	11729.54
52.00	1195.67	9.81	11729.54
48.00	1195.67	9.81	11729.54
44.00	1228.93	9.81	12055.79
40.00	1267.47	9.81	12433.92
36.00	1267.47	9.81	12433.92
32.00	1267.47	9.81	12433.92
28.00	1267.47	9.81	12433.92
24.00	1267.47	9.81	12433.92
20.00	1267.47	9.81	12433.92
16.00	1267.47	9.81	12433.92
12.00	1267.47	9.81	12433.92
8.00	1267.47	9.81	12433.92
4.00	1267.47	9.81	12433.92
Toplam	25747.56	9.81	252583.57

6.2.8.3 Kat kesme kuvvetleri

Mod birleştirme yöntemiyle elde edilen kat kesme kuvvetleri Çizelge 6.28’de gösterilmiştir.

6.2.8.4 Eşdeğer deprem yükü kontrolü

Mod birleştirme yöntemiyle elde edilen taban kesme kuvveti, eşdeğer deprem yüküyle elde edilen taban kesme kuvvetine Denklem 3.49 kullanılarak eşitlenecektir. Denklem 3.49’da verilen C_s katsayısı Denklem 3.50 kullanılarak hesaplanacaktır. Hesaplanan C_s katsayısı; Denklem 3.50 ve 3.51 ile hesaplanan değerlerden büyük, Denklem 3.52 ve 3.53 ile hesaplanan değerlerden de küçük olmayacaktır. Eşdeğer deprem yükünün hesabı ve eşdeğer deprem yükü eşitlemesi aşağıda gösterilmiştir.

Çizelge 6.28 : Kat kesme kuvvetleri tablosu.

Kat	Yükleme	VX (kN)	VY (kN)	Yükleme	VX (kN)	VY (kN)
84.00	SPECX	666.08	2.09	SPECY	0.07	993.17
80.00	SPECX	1133.14	0.85	SPECY	0.10	1573.60
76.00	SPECX	1400.39	2.91	SPECY	0.13	1824.69
72.00	SPECX	1553.04	0.91	SPECY	0.10	1925.70
68.00	SPECX	1649.40	2.80	SPECY	0.23	1972.79
64.00	SPECX	1731.31	1.70	SPECY	0.30	2031.86
60.00	SPECX	1823.78	2.62	SPECY	0.16	2119.82
56.00	SPECX	1922.78	2.37	SPECY	0.31	2226.09
52.00	SPECX	2023.51	2.61	SPECY	0.46	2335.43
48.00	SPECX	2126.37	3.03	SPECY	0.25	2434.54
44.00	SPECX	2223.99	2.60	SPECY	0.47	2525.07
40.00	SPECX	2320.94	3.37	SPECY	0.62	2610.44
36.00	SPECX	2417.67	2.46	SPECY	0.37	2691.73
32.00	SPECX	2501.23	3.16	SPECY	0.72	2775.59
28.00	SPECX	2597.35	2.81	SPECY	0.80	2883.15
24.00	SPECX	2719.00	2.81	SPECY	0.70	3039.40
20.00	SPECX	2872.65	2.80	SPECY	1.28	3267.84
16.00	SPECX	3088.29	1.73	SPECY	1.18	3562.77
12.00	SPECX	3324.97	3.51	SPECY	1.95	3883.06
8.00	SPECX	3567.91	3.03	SPECY	2.04	4164.88
4.00	SPECX	3760.17	5.85	SPECY	4.02	4329.20

X Doğrultusu için hesap

Eşdeğer deprem yükünün hesaplanmasında kullanılacak periyot değeri Denklem 3.55'le verilen değerden küçük olmayacaktır. Denklem 3.55'de verilen C_w katsayısı Denklem 3.56 ile hesaplanacaktır. X Doğrultusu için C_w katsayısı hesabı (Çizelge 6.29) ve kullanılacak periyot değeri aşağıda hesaplanmıştır.

$$\text{Yapı oturma alanı} = 9946 \text{ ft}^2$$

$$\text{Toplam yapı yüksekliği} = 276 \text{ ft}$$

Çizelge 6.29 : X Doğrultusundaki perdeler (ft).

Perde	Uzunluk	Genişlik	Alan
P01	22.97	1.31	30.14
P02	16.40	1.31	21.53
P04	22.97	1.31	30.14
P05	16.40	1.31	21.53
P07	9.51	1.31	12.49
P08	9.51	1.31	12.49
P10	9.51	1.31	12.49
P11	9.51	1.31	12.49
P15	22.97	0.98	22.60
P16	22.97	0.98	22.60
Toplam	162.73		198.49

Çizelge 6.29'daki veriler kullanılarak Denklem 3.56 ile C_w katsayısı 0.59 bulunmuştur. Buna bağlı olarak periyot değeri aşağıda hesaplanmıştır.

$$T_a = \frac{0.0019}{\sqrt{0.59}} \times 276 = 0.68 \text{ (Denklem 3.55)}$$

Modal analiz sonucunda X Doğrultusunda periyot 2.85 s bulunmuştur. Denklem 3.55 ile bulunan periyot değeri modal analiz ile bulunan değerden daha küçük olduğu için eşdeğer deprem yükü hesabında bu periyot değeri kullanılacaktır.

$$C_s = \frac{1.132}{\frac{7}{1}} = 0.162 \text{ (Denklem 3.50)}$$

$$C_{s1} = \frac{0.315}{0.68 \times \frac{7}{1}} = 0.066 \text{ (Denklem 3.51)}$$

C_s değeri Denklem 3.50 ile 0.162 hesaplanmıştır. Hesaplanan değer Denklem 3.51 ile hesaplanan değerden büyük olmasına gerek yoktur. Bu sebeple C_s 0.066 seçilebilir. Ancak C_s değeri aynı zamanda Denklem 3.53 ile hesaplanan değerden de küçük olamaz.

$$C_{s2} = 0.044 \times 1.132 \times 1.0 = 0.050 \text{ (Denklem 3.53)}$$

Denklem 3.53 ile hesaplanan C_s değeri 0.050 olduğundan ve bundan küçük bir değer kullanılamayacağı için eşdeğer deprem yükünün hesaplanmasında bu katsayı kullanılacaktır.

$$V = 0.050 \times 252956 = 12648 \text{ kN (Denklem 3.49)}$$

Mod birleştirme yöntemi ile hesaplanan taban kesme kuvveti, eşdeğer deprem yükü ile hesaplanan taban kesme kuvvetinin %85'inden az olmayacaktır. Buna göre X Doğrultusundaki deprem yükü artırım katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanacaktır.

$$\beta_x = 12648 \times 0.85 / 3760 = 2.86$$

Y Doğrultusu için hesap

Çizelge 6.30 : Y Doğrultusundaki perdeler (ft).

Perde	Uzunluk	Genişlik	Alan
P03	9.84	1.31	12.92
P06	9.84	1.31	12.92
P09	19.69	1.31	25.83
P12	19.69	1.31	25.83
P13	22.97	0.98	22.60
P14	22.97	0.98	22.60
Toplam	104.99		122.71

Çizelge 6.30'daki veriler kullanılarak Denklem 3.56 ile C_w katsayısı 0.18 bulunmuştur. Buna bağlı olarak periyot değeri aşağıda hesaplanmıştır.

$$T_a = \frac{0.0019}{\sqrt{0.18}} \times 276 = 1.24 \text{ (Denklem 3.55)}$$

Modal analiz sonucunda Y Doğrultusunda periyot 3.18 s bulunmuştur. Denklem 3.55 ile bulunan periyot değeri modal analiz ile bulunan değerden daha küçük olduğu için eşdeğer deprem yükü hesabında bu periyot değeri kullanılacaktır.

$$C_s = \frac{1.132}{\frac{7}{1}} = 0.162 \text{ (Denklem 3.50)}$$

$$C_{s1} = \frac{0.315}{1.24 \times \frac{7}{1}} = 0.036 \text{ (Denklem 3.51)}$$

C_s değeri Denklem 3.50 ile 0.162 hesaplanmıştır. Hesaplanan değerlerin Denklem 3.51 ile hesaplanan değerden büyük olmasına gerek yoktur. Bu sebeple C_s 0.036 seçilebilir. Ancak C_s değeri aynı zamanda Denklem 3.53 ile hesaplanan değerden de küçük olamaz.

$$C_{s2} = 0.044 \times 1.132 \times 1.0 = 0.050 \text{ (Denklem 3.53)}$$

Denklem 3.53 ile hesaplanan C_s değeri 0.050 olduğundan ve bundan küçük bir değer kullanılmayacağı için eşdeğer deprem yükünün hesaplanmasında bu katsayı kullanılacaktır.

$$V = 0.050 \times 252956 = 12648 \text{ kN (Denklem 3.49)}$$

Mod birleştirme yöntemi ile hesaplanan taban kesme kuvveti, eşdeğer deprem yükü ile hesaplanan taban kesme kuvvetinin %85'inden az olmayacaktır. Buna göre Y Doğrultusundaki deprem yükü artırım katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanacaktır.

$$\beta_y = 12648 \times 0.85 / 4329 = 2.48$$

6.2.9 Betonarme hesap

Betonarme hesap kapsamında perde, kolon ve kirişlerin boyut kontrolü ve donatılandırılması yapılmıştır. Eğilme donatısı hesabı için Etabs programından alınan sonuçlar kullanılmıştır. Kesme donatısı hesabında ise Etabs programında alınan iç kuvvet değerleri okunarak, ACI 318-14 kuralları çerçevesinde donatı hesabı yapılmıştır.

6.2.9.1 Kolon betonarme hesabı

Kolonların betonarme hesabı 3.2.5.1’de verilen kurallar doğrultusunda yapılmıştır. Hesap kapsamında; aksel kuvvet kontrolü, eğilme ve kesme donatısı hesapları yapılmıştır.

Eksenel kuvvet kontrolü

Bu kontrol kapsamında kolon aksel yüklerinin; depremlili yük birleşimleri ve $1,2G+1,6Q$ birleşimleri altında $0.80P_0$ değerini aşıp aşmadığı kontrol edilmiştir. +4.00 kotundaki kolon elemanlarının aksel yük kontrol tablosu Çizelge 6.31’de gösterilmiştir. Çizelge 6.31’den görüleceği üzere tüm elemanlar gerekli şartları sağlamaktadır.

Eğilme donatısı hesabı

Kolonlar için gereken eğilme donatısı oranları Etabs programından alınmıştır. Bütün kolonlarda eğilme donatısı ihtiyacının, minimum donatı olan %1 olduğu görülmüştür. Kolon boyuna donatıları, Türk yönetmeliklerine göre yapılan hesap sonucu seçilen donatılarla aynı seçilmiştir.

Çizelge 6.31 : +4.00 Kotu kolon aksel kuvvet kontrolü (kN-m).

Beton Sınıfı: C50		Donatı Sınıfı: B420C		f _c : 50000		1,2G+1,6Q Max: 0,80		G+Q+E Max: 0,80		
KOLON EKSENEL YÜK KONTROLÜ										
Kat	Kolon	Kesit	b (m)	h (m)	P ₀	P (1,2G+1,6Q)	Oran (1,2G+1,6Q)	P (G+Q+E)	Oran (G+Q+E)	Kontrol
4,00	S101	C150/60	1,50	0,60	38250	6490	0,17	9636	0,25	OK
4,00	S102	C150/60	1,50	0,60	38250	9214	0,24	11740	0,31	OK
4,00	S103	C150/60	1,50	0,60	38250	9214	0,24	11740	0,31	OK
4,00	S104	C150/60	1,50	0,60	38250	6490	0,17	9636	0,25	OK
4,00	S105	C110/110	1,10	1,10	51425	17792	0,35	19080	0,37	OK
4,00	S106	C110/110	1,10	1,10	51425	17792	0,35	19080	0,37	OK
4,00	S107	C110/110	1,10	1,10	51425	19343	0,38	21007	0,41	OK
4,00	S108	C110/110	1,10	1,10	51425	19339	0,38	21726	0,42	OK
4,00	S109	C110/110	1,10	1,10	51425	18859	0,37	20030	0,39	OK
4,00	S110	C110/110	1,10	1,10	51425	19339	0,38	21726	0,42	OK
4,00	S111	C110/110	1,10	1,10	51425	19343	0,38	21007	0,41	OK
4,00	S112	C150/60	1,50	0,60	38250	8984	0,23	11485	0,30	OK
4,00	S113	C150/60	1,50	0,60	38250	12602	0,33	14208	0,37	OK
4,00	S114	C150/60	1,50	0,60	38250	8984	0,23	11485	0,30	OK

Kolon kesme donatısı hesabı

Kolon kesme donatısı hesabı için öncelikle ACI 318-14’de verilen minimum donatı oranına göre kolon enine donatıları seçilmiştir. Kolon aksel kuvvet oranları $0.3A_c f_c$ ’nin üzerinde olduğundan dolayı boyuna donatıların tamamı enine donatı ile bağlanmıştır. Daha sonra dayanım fazlalığı katsayısı kullanılarak artırılmış deprem kuvvetleri ve düşey yükleri altında, kolonlarda oluşan maksimum kesme

kuvvetlerine göre kolonların enine donatıları kontrol edilmiştir. +4.00 Kotu kolonları için seçilen enine donatılar Çizelge 6.32’de gösterilmiştir. Tabloda gösterilen donatı aralıkları sarılma bölgeleri için olup kolon orta bölgelerinde enine donatı aralıkları 20 cm olacaktır. Kolon kesme kapasiteleri hesaplanırken dayanımlar ϕ katsayısı ile azaltılmıştır. ϕ katsayısı kesme durumu için 0.75 alınmıştır.

Çizelge 6.32 : +4.00 Kotu kolon enine donatıları (kN-m).

Beton Sınıfı: C50		Donatı Sınıfı: B420C		fyk: 420000		fck: 50000		Paspayı: 4,0 cm					
KOLON DONATILARI													
Kolon Bilgileri					Enine Donatı b Kesarı				Enine Donatı h Kenarı				
Kat	Kolon	Kesit	b (m)	h (m)	Normal Kuvvet Oranı	Kol Sayısı	Donatı Çapı	Donatı Aralığı	Donatı Oranı	Kol Sayısı	Donatı Çapı	Donatı Aralığı	Donatı Oranı
4,00	S101	C150/60	1,50	0,60	0,21	12	ø12	10	1,07	5	ø12	10	1,22
4,00	S102	C150/60	1,50	0,60	0,26	12	ø12	10	1,07	5	ø12	10	1,22
4,00	S103	C150/60	1,50	0,60	0,26	12	ø12	10	1,07	5	ø12	10	1,22
4,00	S104	C150/60	1,50	0,60	0,21	12	ø12	10	1,07	5	ø12	10	1,22
4,00	S105	C110/110	1,10	1,10	0,32	9	ø12	10	1,12	9	ø12	10	1,12
4,00	S106	C110/110	1,10	1,10	0,32	9	ø12	10	1,12	9	ø12	10	1,12
4,00	S107	C110/110	1,10	1,10	0,35	9	ø12	10	1,12	9	ø12	10	1,12
4,00	S108	C110/110	1,10	1,10	0,36	9	ø12	10	1,12	9	ø12	10	1,12
4,00	S109	C110/110	1,10	1,10	0,33	9	ø12	10	1,12	9	ø12	10	1,12
4,00	S110	C110/110	1,10	1,10	0,36	9	ø12	10	1,12	9	ø12	10	1,12
4,00	S111	C110/110	1,10	1,10	0,35	9	ø12	10	1,12	9	ø12	10	1,12
4,00	S112	C150/60	1,50	0,60	0,26	12	ø12	10	1,07	5	ø12	10	1,22
4,00	S113	C150/60	1,50	0,60	0,32	12	ø12	10	1,07	5	ø12	10	1,22
4,00	S114	C150/60	1,50	0,60	0,26	12	ø12	10	1,07	5	ø12	10	1,22

Maksimum kesme kuvvetine sahip elemanın +4.00 kotundaki C4 kolonu olduğu görülmüştür. Kolonun enine donatı kontrolü aşağıda gösterilmiştir.

+4.00 Kotu C4 kolonu kesme kuvveti = 88796 lbs (395 kN)

Kolon boyutları: 43.3/43.3 in. (110/110cm)

Seçilen enine donatı = 10ø 0.47/7.9 in. (10ø 12/20) (Kolon orta bölgesi)

$$V_c = 2 \times \left(1 + \frac{5573110}{2000 \times 1875} \right) \times \sqrt{7250} \times 43.3 \times 41.7 = 764456 \text{ lbs}$$

$$V_{\max} = \phi(V_c + 8\sqrt{f'_c}b_w d)$$

$$V_{\max} = 0.75 \times (764456 + 8 \times \sqrt{7250} \times 43.3 \times 43.3) = 1531189 \text{ lbs (6811 kN)}$$

$V_c = 0$ (Betonun kesme dayanımına katkısı ihmal edildi)

$$V_w = \frac{10 \times 0.175}{7.9} \times 60900 \times 41.7 = 562554 \text{ lbs (2502 kN)}$$

$$\phi V_n = 562544 \times 0.75 = 421908 \text{ lbs (1877 kN)}$$

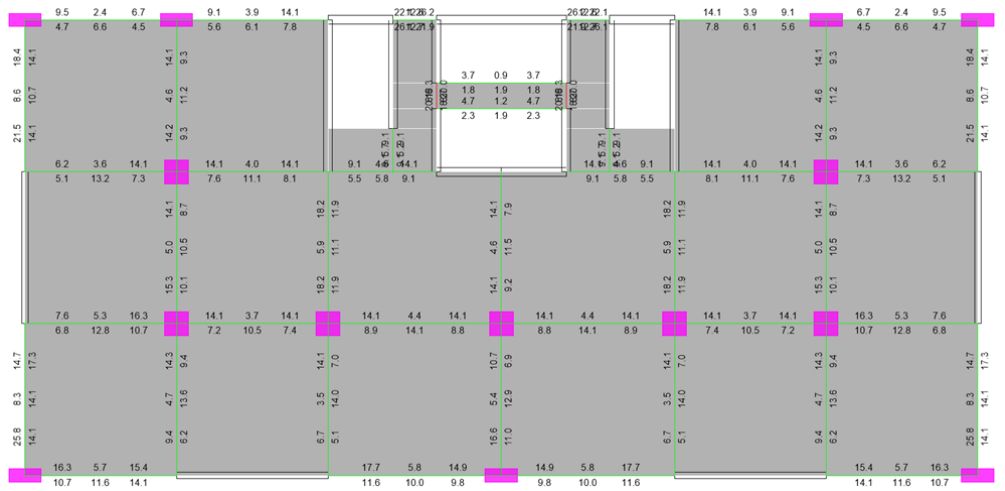
Kolonun kesme dayanımı 1877 kN olarak bulunmuştur ve gerekli dayanımı sağladığı görülmüştür.

6.2.9.2 Kiriş betonarme hesabı

Kirişlerin betonarme hesabı 3.2.5.2’de verilen kurallar doğrultusunda yapılmıştır. Hesap kapsamında; eğilme ve kesme donatısı hesapları yapılmıştır.

Eğilme donatısı hesabı

Kirişler için gereken eğilme donatısı oranları Etabs programından alınmıştır. +4.00 Kotu için eğilme donatısı istemleri Şekil 6.15’de gösterilmiştir. Kiriş boyuna donatıları, Türk yönetmeliklerine göre yapılan hesap sonucu seçilen donatılarla aynı seçilmiştir.



Şekil 6.15 : +4.00 Kotu eğilme donatısı istemleri (cm²).

Kiriş kesme donatısı hesabı

Kiriş kesme donatısı hesabında, dayanım fazlalığı katsayısı kullanılarak arttırılmış deprem kuvvetleri ve düşey yükleri altında, kirişlerde oluşan maksimum kesme kuvvetlerine göre kirişlerin enine donatıları seçilmiştir. Kiriş eksenel kuvvetlerinin +28.00 kotunda maksimuma ulaştığı görülmüştür. +28.00 Kotu kirişleri için seçilen enine donatılar Çizelge 6.33’de gösterilmiştir.

B34 ve B35 Kirişleri bağ kiriş olduklarından dolayı bunlar için ayrıca çapraz donatı hesabı yapılacaktır. Bu kirişler haricinde maksimum kesme kuvvetine sahip elemanın B41 kirişi olduğu görülmüştür. Kirişin enine donatı kontrolü aşağıda gösterilmiştir. Kiriş kesme kapasiteleri hesaplanırken dayanımlar ϕ katsayısı ile azaltılmıştır. ϕ katsayısı kesme durumu için 0.75 alınmıştır.

+28.00 Kotu B41 kirişinin kesme kuvveti = 147918 lbs (658 kN)

Kolon boyutları: 15.7/23.6 in. (40/60cm)

Seçilen enine donatı = 2Ø 0.55/3.1 in. (2Ø 14/8) (Kiriş sarılma bölgesi)

$$V_c = 2 \times \sqrt{7250} \times 15.7 \times 23.6 = 63097 \text{ lbs}$$

$$V_{\max} = \phi(V_c + 8\sqrt{f'_c}b_wd)$$

$$V_{\max} = 0.75 \times (63097 + 8 \times \sqrt{7250} \times 15.7 \times 23.6) = 236614 \text{ lbs (1052 kN)}$$

$V_c = 0$ (Betonun kesme dayanımına katkısı ihmal edildi)

$$V_w = \frac{2 \times 0.239}{3.1} \times 60900 \times 23.6 = 221613 \text{ lbs (986 kN)}$$

$$\phi V_n = 221613 \times 0.75 = 166210 \text{ lbs (786 kN)}$$

Kirişin kesme dayanımı 786 kN olarak bulunmuştur ve gerekli dayanımı sağladığı görülmüştür.

Çizelge 6.33 : +28.00 Kotu kiriş enine donatıları (kN-m).

Beton Sınıfı: C50		Donatı Sınıfı: B420C		fc: 50000		fy: 420000		Paspayı: 4,00 cm						
KİRİŞ ENİNE DONATI KONTROLÜ														
Kat	Kiriş	Kesit	Yükseklik (m)	Genişlik (m)	Kol Adedi	Etriye Çapı	Etriye Aralığı	V _w	V _c	V _r	V _d	V _d /V _r (%)	V _{max}	Kontrol
28,00	B1	B60/60	0,60	0,60	4	Ø10	10	642,20	0,00	642,20	292,71	45,58	1585,15	OK
28,00	B2	B60/60	0,60	0,60	4	Ø10	10	642,20	0,00	642,20	241,20	37,56	1585,15	OK
28,00	B3	B60/60	0,60	0,60	4	Ø10	10	642,20	0,00	642,20	241,20	37,56	1585,15	OK
28,00	B4	B60/60	0,60	0,60	4	Ø10	10	642,20	0,00	642,20	292,71	45,58	1585,15	OK
28,00	B5	B60/60	0,60	0,60	4	Ø10	10	642,20	0,00	642,20	344,74	53,68	1585,15	OK
28,00	B6	B60/60	0,60	0,60	4	Ø10	10	642,20	0,00	642,20	281,28	43,80	1585,15	OK
28,00	B7	B60/60	0,60	0,60	4	Ø10	10	642,20	0,00	642,20	244,66	38,10	1585,15	OK
28,00	B8	B60/60	0,60	0,60	4	Ø10	10	642,20	0,00	642,20	293,38	45,68	1585,15	OK
28,00	B9	B60/60	0,60	0,60	4	Ø10	10	642,20	0,00	642,20	244,66	38,10	1585,15	OK
28,00	B10	B60/60	0,60	0,60	4	Ø10	10	642,20	0,00	642,20	281,28	43,80	1585,15	OK
28,00	B11	B60/60	0,60	0,60	4	Ø10	10	642,20	0,00	642,20	344,74	53,68	1585,15	OK
28,00	B12	B60/60	0,60	0,60	4	Ø10	10	642,20	0,00	642,20	300,92	46,86	1585,15	OK
28,00	B13	B60/60	0,60	0,60	4	Ø10	10	642,20	0,00	642,20	240,57	37,46	1585,15	OK
28,00	B14	B60/60	0,60	0,60	4	Ø10	10	642,20	0,00	642,20	255,28	39,75	1585,15	OK
28,00	B15	B60/60	0,60	0,60	4	Ø10	10	642,20	0,00	642,20	255,28	39,75	1585,15	OK
28,00	B16	B60/60	0,60	0,60	4	Ø10	10	642,20	0,00	642,20	240,57	37,46	1585,15	OK
28,00	B17	B60/60	0,60	0,60	4	Ø10	10	642,20	0,00	642,20	300,92	46,86	1585,15	OK
28,00	B18	B60/60	0,60	0,60	4	Ø10	10	642,20	0,00	642,20	285,78	44,50	1585,15	OK
28,00	B19	B60/60	0,60	0,60	4	Ø10	10	642,20	0,00	642,20	331,09	51,56	1585,15	OK
28,00	B20	B60/60	0,60	0,60	4	Ø10	10	642,20	0,00	642,20	289,14	45,02	1585,15	OK
28,00	B21	B60/60	0,60	0,60	4	Ø10	10	642,20	0,00	642,20	331,09	51,56	1585,15	OK
28,00	B22	B60/60	0,60	0,60	4	Ø10	10	642,20	0,00	642,20	285,78	44,50	1585,15	OK
28,00	B23	B60/60	0,60	0,60	4	Ø10	10	642,20	0,00	642,20	240,82	37,50	1585,15	OK
28,00	B24	B60/60	0,60	0,60	4	Ø10	10	642,20	0,00	642,20	248,37	38,67	1585,15	OK
28,00	B25	B40/60	0,60	0,40	2	Ø10	10	321,10	0,00	321,10	207,27	64,55	1056,76	OK
28,00	B26	B40/60	0,60	0,40	2	Ø10	10	321,10	0,00	321,10	207,27	64,55	1056,76	OK
28,00	B27	B60/60	0,60	0,60	4	Ø10	10	642,20	0,00	642,20	248,37	38,67	1585,15	OK
28,00	B28	B60/60	0,60	0,60	4	Ø10	10	642,20	0,00	642,20	240,82	37,50	1585,15	OK
28,00	B29	B40/60	0,60	0,40	2	Ø10	10	321,10	0,00	321,10	261,00	81,28	1056,76	OK
28,00	B30	B40/60	0,60	0,40	2	Ø10	10	321,10	0,00	321,10	261,00	81,28	1056,76	OK
28,00	B31	B40/60	0,60	0,40	2	Ø10	10	321,10	0,00	321,10	65,62	20,44	1056,76	OK
28,00	B32	B60/60	0,60	0,60	4	Ø10	10	642,20	0,00	642,20	274,09	42,68	1585,15	OK
28,00	B33	B60/60	0,60	0,60	4	Ø10	10	642,20	0,00	642,20	277,37	43,19	1585,15	OK
28,00	B34	B40/60CB	0,60	0,40	2	Ø10	10	321,10	0,00	321,10	716,35	223,09	1056,76	NOT OK
28,00	B35	B40/60CB	0,60	0,40	2	Ø10	10	321,10	0,00	321,10	716,35	223,09	1056,76	NOT OK
28,00	B36	B60/60	0,60	0,60	4	Ø10	10	642,20	0,00	642,20	277,37	43,19	1585,15	OK
28,00	B37	B60/60	0,60	0,60	4	Ø10	10	642,20	0,00	642,20	274,09	42,68	1585,15	OK
28,00	B38	B40/60	0,60	0,40	2	Ø10	10	321,10	0,00	321,10	58,00	18,06	1056,76	OK
28,00	B39	B60/60	0,60	0,60	4	Ø10	10	642,20	0,00	642,20	161,09	25,08	1585,15	OK
28,00	B40	B60/60	0,60	0,60	4	Ø10	10	642,20	0,00	642,20	164,90	25,68	1585,15	OK
28,00	B41	B40/60	0,60	0,40	2	Ø14	8	786,69	0,00	786,69	658,23	83,67	1056,76	OK
28,00	B42	B40/60	0,60	0,40	2	Ø14	8	786,69	0,00	786,69	658,23	83,67	1056,76	OK
28,00	B43	B60/60	0,60	0,60	4	Ø10	10	642,20	0,00	642,20	164,90	25,68	1585,15	OK
28,00	B44	B60/60	0,60	0,60	4	Ø10	10	642,20	0,00	642,20	161,09	25,08	1585,15	OK

6.2.9.3 Perde betonarme hesabı

Perdelerin betonarme hesabı 3.2.5.3’de verilen kurallar doğrultusunda yapılmıştır. Elemanları perde veya kolon olarak tasarlanma koşulları Çizelge 3.31’de verilmiştir.

Enkesit koşulları

Süneklik düzeyi yüksek perdelerde minimum perde kalınlığı 100 mm’dir. Bu kontrol kapsamında perde aksenal yüklerinin; depremlili yük birleşimleri ve 1,2G+1,6Q birleşimleri altında 0.80P₀ değerini aşp aşmadığı kontrol edilmiştir. +4.00 kotundaki perde elemanlarının aksenal yük kontrol tablosu Çizelge 6.34’de gösterilmiştir. Çizelge 6.34’den görüleceği üzere tüm elemanlar gerekli şartları sağlamaktadır.

Çizelge 6.34 : +4.00 Kotu perde aksenal kuvvet kontrolü.

Beton Sınıfı: C50		Donatı Sınıfı: B420C		fc: 50000		1,2G+1,6Q Max: 0,80		G+Q+E Max: 0,80			
PERDE EKSENEL YÜK KONTROLÜ											
Kat	Perde Adı	L _w (m)	B _w (m)	A _{st}	P ₀	P (1,2G+1,6Q)	Oran (1,2G+1,6Q)	P (G+Q+E)	Oran (G+Q+E)	Oran Max	Kontrol
4,00	P01	7,00	0,40	0,018	125638	15521	0,12	27542	0,22	0,22	OK
4,00	P02	5,00	0,40	0,013	89741	9864	0,11	13310	0,15	0,15	OK
4,00	P03	3,00	0,40	0,009	54224	4796	0,09	12071	0,22	0,22	OK
4,00	P04	7,00	0,40	0,018	125638	15521	0,12	27542	0,22	0,22	OK
4,00	P05	5,00	0,40	0,013	89741	9864	0,11	13310	0,15	0,15	OK
4,00	P06	3,00	0,40	0,009	54224	4796	0,09	12071	0,22	0,22	OK
4,00	P07	2,90	0,40	0,008	52467	4956	0,09	10464	0,20	0,20	OK
4,00	P08	2,90	0,40	0,008	52467	4956	0,09	10464	0,20	0,20	OK
4,00	P09	6,00	0,40	0,015	107690	8763	0,08	17689	0,16	0,16	OK
4,00	P10	2,90	0,40	0,008	52467	6642	0,13	12309	0,23	0,23	OK
4,00	P11	2,90	0,40	0,008	52467	6642	0,13	12309	0,23	0,23	OK
4,00	P12	6,00	0,40	0,015	107690	15369	0,14	24280	0,23	0,23	OK
4,00	P13	7,00	0,30	0,018	95888	17311	0,18	20093	0,21	0,21	OK
4,00	P14	7,00	0,30	0,018	95888	17311	0,18	20093	0,21	0,21	OK
4,00	P15	7,00	0,30	0,012	93840	15919	0,17	17888	0,19	0,19	OK
4,00	P16	7,00	0,30	0,012	93840	15919	0,17	17888	0,19	0,19	OK

Perde elemanlarının kalınlığı, perde serbest yüksekliğinin 1/25’inden az olmamalıdır. Perde serbest yükseklikleri 340 cm olduğundan, minimum perde kalınlığı bu yöntemde 13.60 cm bulunmaktadır. Tasarlanan yapıdaki tüm perde elemanların kalınlıkları bu şartlara uyacak şekilde seçilmiştir.

Yatay donatılarının belirlenmesi

Tasarım kesme kuvvetlerinin hesabında, dayanım fazlalığı katsayı kullanılarak hesap yapılmıştır. Perde kesme dayanımları hesaplanırken, dayanımlar ϕ katsayısı ile azaltılmıştır. ϕ katsayısı kesme durumu için 0.75 alınmıştır.

P01 perdesi +4.00 kotunda enine donatı hesabı aşağıda gösterilmiştir.

+4.00 Kotu P01 perdesi tasarım kesme kuvveti = 1798175 lbs (7999 kN)

P01 Perdesinin boyutları: 275/15.7in. (700/40cm)

$$V_{\max} = 8 \times \sqrt{7250} \times 275 \times 15.7 = 2940975 \text{ lbs (13082 kN) (Denk 3.67)}$$

Seçilen donatı = 2Ø 0.71/5.9 in. (2Ø 18/15)

Donatı oranı (ρ) = $2 \times 0.396 \times \left(\frac{157}{5.9}\right) / \left(\frac{157}{15.7}\right) = 0.0085 > \rho_{\min}$ (Çizelge 3.33)

$a_c = 2.0$ ($h_w/l_w > 2.0$)

$\phi V_n = 0.75 \times 275 \times 15.7(2 \times \sqrt{7250} + 0.0085 \times 60500) = 2216638$ lbs

$\phi V_n = 2216638$ lbs (9942 kN) (Denklem 3.66)

Hesaplardan görüldüğü üzere seçilen donatılar yeterli kesme dayanımını sağlamaktadır. P01 Perdesinin tüm katlar için kesme donatısı hesabı Çizelge 6.35'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.35 : P01 Perdesi kesme donatısı hesabı.

Beton Sınıfı: C50		Donatı Sınıfı: B420C			f _c : 50000		f _y : 420000		Ø = 0,75									
PERDE ENİNE DONATI KONTROLÜ																		
Kat	Perde Adı	L _w (m)	B _w (m)	A _{ch} (m ²)	Donatı Kol Adedi	Donatı Çapı (mm)	Donatı Aralığı (cm)	V _e Ω=2.5	V _{max} =8*A _c *f _c /f _e	Kesit Kontrolü	V _s =2*v _s /f _c *A _v	V _s =A _v *f _y *f _e	V _s =(V _e +W _e)*Ø	Donatı Kontrolü	V _s /V _e	Donatı Oranı	Minimum Donatı Oranı	V _e / V _{max} (%)
84,00	P01	7,00	0,40	2,80	2	Ø10,0	15	1908	13151	OK	3288	3077	4773	OK	2,50	0,0026	0,0025	14,5
80,00	P01	7,00	0,40	2,80	2	Ø10,0	15	2512	13151	OK	3288	3077	4773	OK	1,90	0,0026	0,0025	19,1
76,00	P01	7,00	0,40	2,80	2	Ø10,0	15	2703	13151	OK	3288	3077	4773	OK	1,77	0,0026	0,0025	20,6
72,00	P01	7,00	0,40	2,80	2	Ø10,0	15	2817	13151	OK	3288	3077	4773	OK	1,69	0,0026	0,0025	21,4
68,00	P01	7,00	0,40	2,80	2	Ø10,0	15	2943	13151	OK	3288	3077	4773	OK	1,62	0,0026	0,0025	22,4
64,00	P01	7,00	0,40	2,80	2	Ø10,0	15	3075	13151	OK	3288	3077	4773	OK	1,55	0,0026	0,0025	23,4
60,00	P01	7,00	0,40	2,80	2	Ø10,0	15	3242	13151	OK	3288	3077	4773	OK	1,47	0,0026	0,0025	24,7
56,00	P01	7,00	0,40	2,80	2	Ø10,0	15	3436	13151	OK	3288	3077	4773	OK	1,39	0,0026	0,0025	26,1
52,00	P01	7,00	0,40	2,80	2	Ø10,0	15	3614	13151	OK	3288	3077	4773	OK	1,32	0,0026	0,0025	27,5
48,00	P01	7,00	0,40	2,80	2	Ø10,0	15	3884	13151	OK	3288	3077	4773	OK	1,23	0,0026	0,0025	29,5
44,00	P01	7,00	0,40	2,80	2	Ø10,0	15	3808	13151	OK	3288	3077	4773	OK	1,25	0,0026	0,0025	29,0
40,00	P01	7,00	0,40	2,80	2	Ø12,0	15	4039	13151	OK	3288	4430	5788	OK	1,43	0,0038	0,0025	30,7
36,00	P01	7,00	0,40	2,80	2	Ø12,0	15	4214	13151	OK	3288	4430	5788	OK	1,37	0,0038	0,0025	32,0
32,00	P01	7,00	0,40	2,80	2	Ø12,0	15	4425	13151	OK	3288	4430	5788	OK	1,31	0,0038	0,0025	33,6
28,00	P01	7,00	0,40	2,80	2	Ø12,0	15	4725	13151	OK	3288	4430	5788	OK	1,23	0,0038	0,0025	35,9
24,00	P01	7,00	0,40	2,80	2	Ø12,0	15	5190	13151	OK	3288	4430	5788	OK	1,12	0,0038	0,0025	39,5
20,00	P01	7,00	0,40	2,80	2	Ø16,0	15	5887	13151	OK	3288	7876	8373	OK	1,42	0,0067	0,0025	44,8
16,00	P01	7,00	0,40	2,80	2	Ø16,0	15	6789	13151	OK	3288	7876	8373	OK	1,23	0,0067	0,0025	51,6
12,00	P01	7,00	0,40	2,80	2	Ø16,0	15	7706	13151	OK	3288	7876	8373	OK	1,09	0,0067	0,0025	58,6
8,00	P01	7,00	0,40	2,80	2	Ø18,0	15	8296	13151	OK	3288	9968	9942	OK	1,20	0,0085	0,0025	63,1
4,00	P01	7,00	0,40	2,80	2	Ø18,0	15	7999	13151	OK	3288	9968	9942	OK	1,24	0,0085	0,0025	60,8

Perde uç bölgelerinin belirlenmesi

Perdelerin uç bölgelerinin belirlenmesi için kullanılan iki yöntemden önceki bölümde bahsedilmişti. P01 ve P09 perdeleri için her iki yöntemle de hesap yapılacak olup, olumsuz sonuç veren yönetime göre tasarıma devam edilecektir.

Deplasmana dayalı tasarım yapılırken öncelikle yük artırılmış yükler altında kritik perde kesitinden oluşan tarafsız eksen derinliği ve perdenin tepesinde oluşan deplasman hesaplanmıştır. Daha sonra tarafsız eksen derinliği kritik tarafsız eksen derinliği ile karşılaştırılarak uç bölgesi yapılıp yapılmamasına karar verilmiştir.

P01 perdesi +4.00 kotunda uç bölgesi hesabı aşağıda gösterilmiştir.

+4.00 Kotunda P01 perdesinde $\emptyset 20/15$ boyuna donatı olacağı kabul edilmiştir

P01 Perdesinin boyutları: 700/40 cm

P01 Perdesinin toplam yüksekliği: 84.00 m

CsiCol programı ile hesaplanan tarafsız eksen derinliği = 2.34 m

Azaltılmış deprem yükleri altında tepe deplasmanı = 0.239 m

Artırılmış tepe deplasmanı = $0.239 \times 5.5 = 1.315$ m

$$\delta_u/h_w = 1.315/84 = 0.0156 > 0.005$$

$$\text{Kritik tarafsız eksen derinliği } (c_{cr}) = \frac{7}{600 \times (1.5 \times 0.0156)} = 0.50 \text{ m (Denklem 3.69)}$$

Tarafsız eksen derinliği, kritik tarafsız eksen derinliğinden büyük olduğundan perde uçlarında uç bölgesi oluşturulacaktır. Perde uç bölgeleri düşeyde perde boyu kadar ya da $M_u/4V_u$ değeri kadar devam ettirilecektir.

$$M_u = 32400 \text{ kNm}, V_u = 2866 \text{ kN} \rightarrow h_b = 32400/4 \times 2866 = 2,83 \text{ m}$$

Perde boyu olan 7,00m hesaplanan 2,83m değerinden büyük olduğu için perde uç bölgeleri 7,00m boyunca devam ettirilecektir.

P09 perdesi +4.00 kotunda uç bölgesi hesabı aşağıda gösterilmiştir.

+4.00 Kotunda P09 perdesinde $\emptyset 18/15$ boyuna donatı olacağı kabul edilmiştir

P09 Perdesinin boyutları: 600/40 cm

P09 Perdesinin toplam yüksekliği: 84.00 m

CsiCol programı ile hesaplanan tarafsız eksen derinliği = 1.01 m

Azaltılmış deprem yükleri altında tepe deplasmanı = 0.092 m

Artırılmış tepe deplasmanı = $0.092 \times 5.5 = 0.506$ m

$$\delta_u/h_w = 0.506/84 = 0.006 > 0.005$$

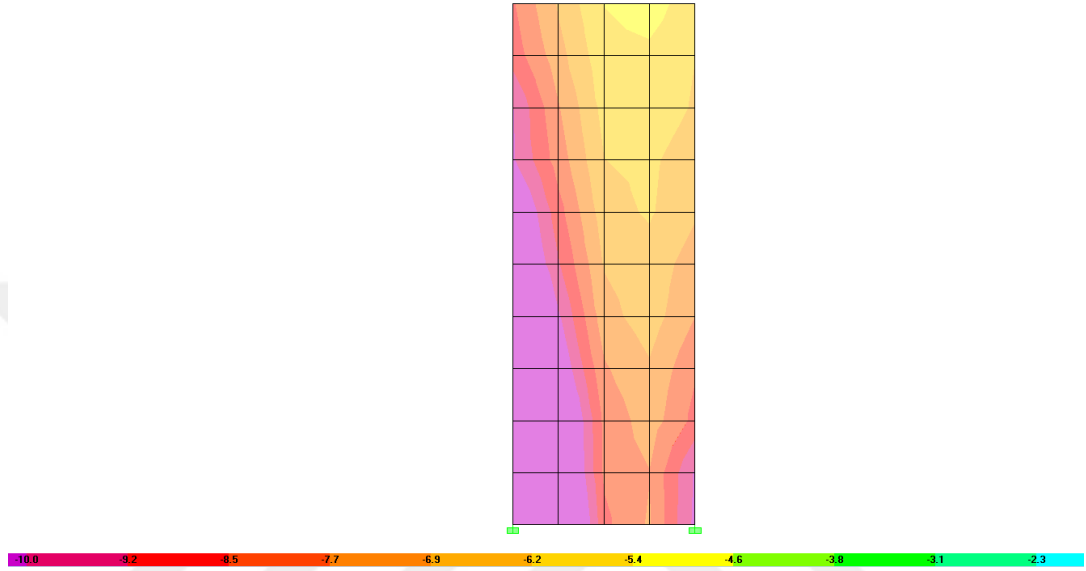
$$\text{Kritik tarafsız eksen derinliği } (c_{cr}) = \frac{6}{600 \times (1.5 \times 0.006)} = 1.11 \text{ m (Denklem 3.69)}$$

Tarafsız eksen derinliği, kritik tarafsız eksen derinliğinden küçük olduğundan perde uçlarında uç bölgesi oluşturulmasına gerek yoktur.

Gerilemelere dayalı tasarım yapılırken Etabs programı yardımı ile “S22” gerilme değerleri okunmuştur. Bu okunan değerler ACI 318’de tanımlanan gerilme

değerlerine karşılık gelmektedir. Bu okunan değerlerin sağlamasını yapmak adına, kesite etkiyen moment ve eksenel kuvvet bir formül ile yaklaşık olarak hesaplanarak kontrol edilmiştir. Gerilme hesaplamalarında kesitin doğrusal elastik davranacağı kabul edilmiştir.

P01 perdesi +4.00 kotunda uç bölgesi hesabı aşağıda gösterilmiştir.



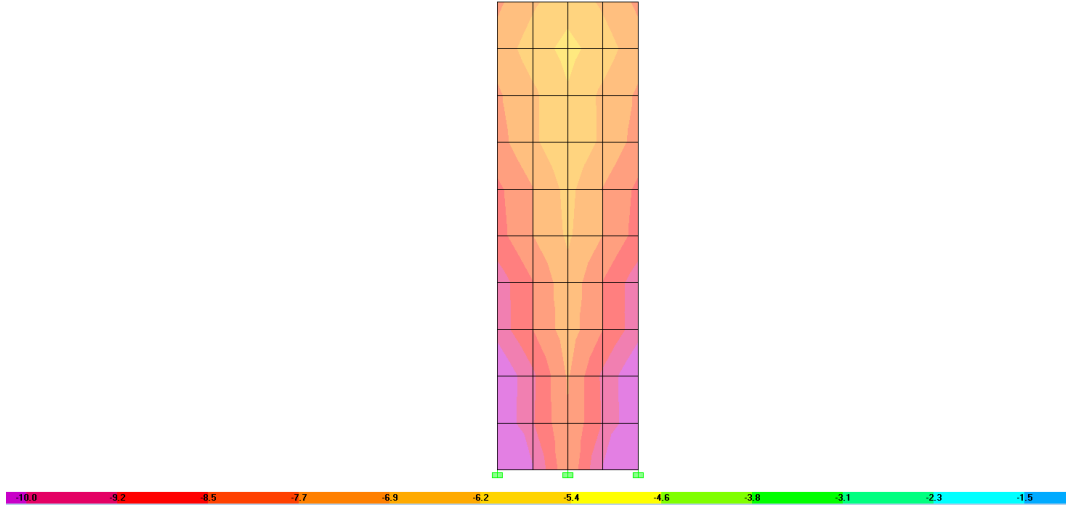
Şekil 6.16 : P01 Perdesi 0.00~+20.00 kotları arası gerilme diyagramı (kN/m²).

P01 Perdesine ait gerilme diyagramı Şekil 6.16’da verilmiştir. Gerilme sınırı C50 beton sınıfı için 10000 kN/m²’dir. Gerilme değeri perdenin en alt kesitinde 18100 kN/m² olduğundan dolayı perde uçlarında uç bölgesi oluşturulacaktır. Oluşturulan uç bölgeleri gerilme değerinin 0.15f_c’nin (8000 kN/m²) altına indiği bölgeye kadar devam ettirilecektir. Gerilme değeri +40.00 kotunda 8000 kN/m²’nin altına inmektedir. Bu sebeple perde uç bölgeleri +40.00 kotuna kadar devam ettirilecektir.

Perdenin taban kesitinde oluşan gerilmelerin formülasyon ile yaklaşık hesabı aşağıda gösterilmiştir. Formülasyon kullanılarak yapılan hesapla gerilme değeri 18812 kN/m² bulunmuştur. Bu sonuç Etabs programı ile bulunan değer ile yaklaşık olarak aynıdır. Hesap kolaylığı açısından Etabs programından elde edilen sonuçlar ile tasarıma devam edilecektir.

$$\sigma = \frac{P}{A} + \frac{M}{W} = \frac{24825}{7 \times 0,4} + \frac{32491}{7^2 \times 0,4 / 6} = 18812 \text{ kN/m}^2$$

P09 perdesi +4.00 kotunda uç bölgesi hesabı aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 6.17 : P09 Perdesi 0.00~+20.00 kotları arası gerilme diyagramı (kN/m²).

P09 Perdesine ait gerilme diyagramı Şekil 6.17’de verilmiştir. Gerilme değeri perdenin en alt kesitinde 12495 kN/m² olduğundan dolayı perde uçlarında uç bölgesi oluşturulacaktır. Gerilme değeri +8.00 kotunda 8000 kN/m²’nin altına inmektedir. Bu sebeple perde uç bölgeleri +8.00 kotuna kadar devam ettirilecektir.

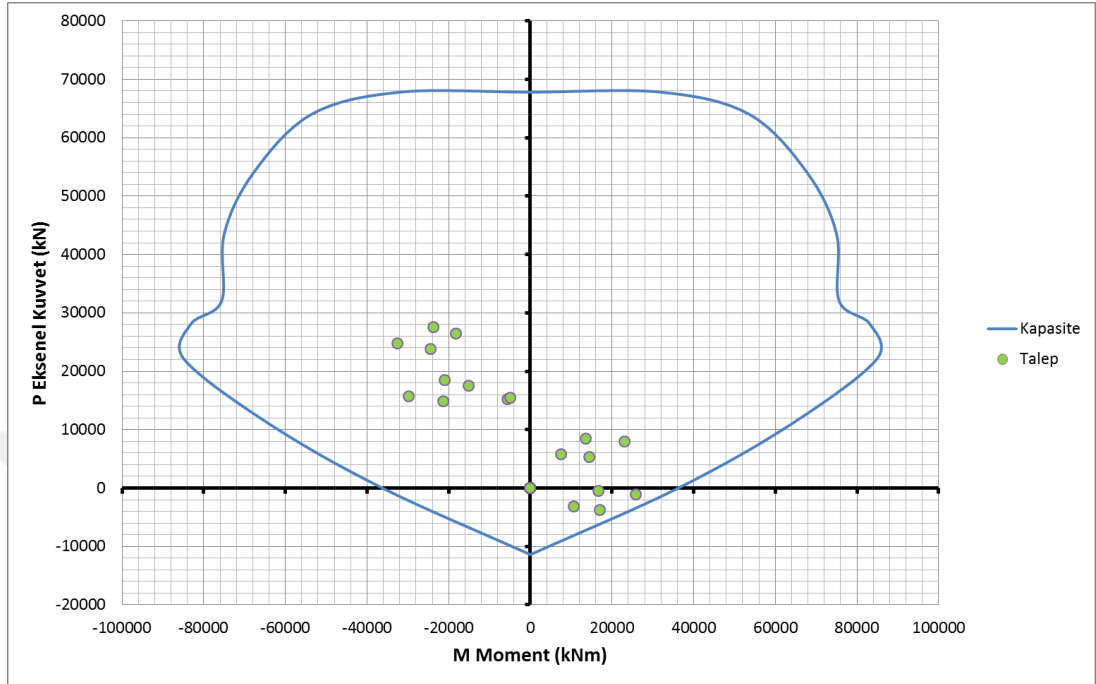
P09 Perdesi için deplasmana dayalı yapılan hesapta uç bölgesine gerek olmadığı görülmüştü. Ancak gerilmelere dayalı yapılan hesaba göre uç bölgesi oluşturulması gerekmektedir. ACI 318’e göre iki hesap yöntemi de uç bölgesi hesabı için kullanılabilir. Güvenli tarafta kalınması amacıyla gerilmelere dayalı hesap yöntemiyle devam edilecektir.

Perde boyuna donatılarının belirlenmesi

Perde boyuna donatı istemleri Etabs programından elde edilmiştir. Buna göre perde tabanında gereken boyuna donatı oranı %1.04’dür. +0.00~+20.00 Kotları arasında Ø20/15 (%1.05) donatı seçilmiştir. Seçilen donatı oranı Çizelge 3.33’de verilen Ø16’dan büyük donatı çapları için verilen minimum donatı oranı olan %0.25’i sağlamaktadır. Perdenin bu kesiti için karşılıklı etki diyagramı Şekil 6.18’de verilmiştir.

ACI 318’e göre gerilmeli dayalı tasarımda, gerilme değeri $0.15f_c$ ’nin altında bile olsa perde boyuna donatı oranı $400/f_y$ ’den (psi) fazla ise perde uçlarında uç bölgesi oluşturulacaktır. P01 Perdesinde gerilmelere dayalı tasarım kurallarına göre +40.00 kotuna kadar uç bölgesi oluşturulmuştur. Bu kotun üzerinde ise seçilen boyuna donatıya göre uç bölgesi gerekip gerekmediğinin tekrardan kontrolü gereklidir.

+40.00 Kotundan sonra Ø10/15 (%0.25) donatı seçilmiştir. $400/f_y$ Oranı B420C donatı sınıfı için %0.66 donatı oranına karşı gelmektedir. Bu sebeple +40.00 kotundan sonra P01 perdesinde uç bölgesi oluşturulmasına gerek yoktur.



Şekil 6.18 : P01 Perdesi 0.00~+20.00 kotları arası karşılıklı etki diyagramı.

Perde uç bölgesi enine donatılarının belirlenmesi

P01 Perdesinin uç bölgesi uzunluğu aşağıda gösterilmiştir.

Perde uç bölgesi uzunluğu aşağıda verilen şartlardan en büyüğü olacaktır.

- $2.34 - 0.1 \times 7 = 1.64$ m
- $2.34/2 = 1.17$ m
- $3.40/16 = 0.21$ m

Hesaplanan üç şarttan en büyüğü olan 1.64 m'ye göre uç bölgesi oluşturulacaktır. Buna göre uç bölgesi uzunluğu 1.70 m seçilmiştir.

Uç bölgesinde kullanılacak enine donatı alanı Denklem 3.70 ve 3.71 ile hesaplanacaktır. Enine donatı aralıkları aşağıda verilen şartları sağlayacaktır.

- $400/3 = 133$ mm
- $6 \times 12 = 78$ mm (+20.00~+40.00 kotları arası boyuna donatı çapı Ø12)
- 150 mm

- $4 + \left(\frac{14-5}{3}\right) = 7 \text{ in. (177 mm)}$

Enine donatı aralığı yukarıda bulunan değerlerden en küçüğü olan 78 mm'den fazla olmamalıdır. Enine donatı aralığı 70 mm olarak seçilmiştir. Seçilen enine donatı aralığına göre enine donatı alanı aşağıda hesaplanmıştır.

Uç bölgesi uzunluğu = 1700 mm

Uç bölgesi genişliği = 400 mm

Paspayı = 40 mm

Uzun doğrultu:

$$A_{sh1} = 0.3 \times 70 \times 1660 \times \left(\frac{1700 \times 400}{1660 \times 360} - 1\right) \times \frac{50}{420} = 572 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh2} = 0.09 \times 70 \times 1660 \times \frac{50}{420} = 1245 \text{ mm}^2$$

Seçilen donatı: 12Ø12/70 (1356 mm²)

Kısa doğrultu:

$$A_{sh1} = 0.3 \times 70 \times 360 \times \left(\frac{1700 \times 400}{1660 \times 360} - 1\right) \times \frac{50}{420} = 124 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh2} = 0.09 \times 70 \times 360 \times \frac{50}{420} = 270 \text{ mm}^2$$

Seçilen donatı: 3Ø12/70 (339 mm²)

Perde sürtünme kesmesi kontrolü

P01 Perdesinin sürtünme kesmesi kontrolü aşağıda verilmiştir.

Perde boyu = 275 in.

Perde genişliği = 15.7 in.

$V_u = 743232 \text{ lbs } (\Omega = 1)$

$\mu = 1.0$ (Çizelge 3.34, Pürüzlendirilmiş birleşim)

Toplam boyuna donatı alanı = 46.72 in²

$V_n = 46.72 \times 60500 \times 1.0 = 2826560 \text{ lbs (Denklem 3.77)}$

$\phi V_n = 0.75 \times 2826560 = 2119920 \text{ lbs}$

Hesaplamalarda görüldüğü üzere P01 perdesindeki seçilen donatılar sürtünme kesmesi dayanımını sağlamaktadır. Buna ek olarak sürtünme kesmesi değeri Çizelge 3.35'de verilen değerlerden de büyük olmayacaktır. Hesaplamalardan görüldüğü üzere perde kesiti verilen şartları sağlamaktadır.

$$V_{\max1} = 0.2 \times 7250 \times 275 \times 15.7 = 6260375 \text{ lbs}$$

$$V_{\max2} = (480 + 0.08 \times 7250) \times 275 \times 15.7 = 4576550 \text{ lbs}$$

$$V_{\max3} = 1600 \times 275 \times 15.7 = 6908000 \text{ lbs}$$

Bağ kiriş hesabı

Denklem 3.72 ve 3.73 ile verilen şartlardan ikisini de sağlamayan kirişler çapraz donatılı bağ kiriş olarak tasarlanacaktır.

$$l_n = 120 > 60 \times 2 = 120 \text{ cm (Denklem 3.72)}$$

$$V_d = 154662 < 4 \times \sqrt{7250} \times 15.7 \times 23.6 = 126194 \text{ lbs (Denklem 3.73)}$$

Yukarıda verilen iki şart da sağlamadığından dolayı kirişte çapraz donatı kullanılacaktır. Gereken çapraz donatı alanı ve kesit kontrolü aşağıda gösterilmiştir.

$$V_d = 154662 \text{ lbs}$$

$$V_{\max} = 10 \times \sqrt{7250} \times 15.7 \times 23.6 = 315486 \text{ lbs (Denklem 3.74)}$$

Seçilen çapraz donatı 6Ø26 (3192 mm², 4.95 in²)

$$V_n = 10 \times 4.95 \times 60500 \times \sin 23.43 = 238159 \text{ lbs (Denklem 3.74)}$$

$$\phi V_n = 0.75 \times 238159 = 178620 \text{ lbs} > V_d = 154662 \text{ lbs}$$

Yapılan hesaplamalar sonucunda 6Ø26 çapraz donatının yeterli dayanımı sağladığı görülmüştür. Bağ kiriş boyuna donatısı minimum boyuna donatı oranını sağlayacak şekilde 3Ø18 seçilmiştir.

Bağ kirişlerin etriye ile sarılmasında, boyuna donatıların etriye ile sarılması yöntemi tercih edilmiştir. Bu yöntemde ilk olarak gövde donatıları belirlenecektir. Gövde donatıları arası mesafe 20cm'den fazla olmayacaktır. Gövde donatısı aralığı 20cm seçilerek yapılan gövde donatısı hesabı aşağıda gösterilmiştir.

$$A_{s,\text{gövde}} = 0.002 \times 400 \times 200 = 160 \text{ mm}^2 \text{ Seçilen donatı } 2 \times 2\text{Ø}12$$

Kiriş boyunca kullanılacak enine donatı hesabı Denklem 3.75 ve 3.76'ya göre yapılacaktır. Her bir doğrultuda yapılan donatı hesabı aşağıda gösterilmiştir.

Kiriş yüksekliği = 600 mm

Kiriş genişliği = 400 mm

Paspayı = 40 mm

Donatı aralığının belirlenmesi:

- $600/3 = 200$ mm
- $6 \times 18 = 108$ mm
- 150 mm
- $4 + \left(\frac{14-5}{3}\right) = 7$ in. (177 mm)

Enine donatı aralığı 70 mm olarak seçilmiştir.

Enine donatı aralıkları aşağıda verilen şartları sağlayacaktır.

Uzun doğrultu:

$$A_{sh1} = 0.3 \times 70 \times 560 \times \left(\frac{600 \times 400}{560 \times 360} - 1\right) \times \frac{50}{420} = 267 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh2} = 0.09 \times 70 \times 560 \times \frac{50}{420} = 420 \text{ mm}^2$$

Seçilen donatı: 4Ø12/70 (452 mm²)

Kısa doğrultu:

$$A_{sh1} = 0.3 \times 70 \times 360 \times \left(\frac{600 \times 400}{560 \times 360} - 1\right) \times \frac{50}{420} = 172 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh2} = 0.09 \times 70 \times 360 \times \frac{50}{420} = 237 \text{ mm}^2$$

Seçilen donatı: 3Ø12/70 (339 mm²)

Perde donatı özeti

Perde donatı özeti Çizelge 6.36'da verilmiştir.

Çizelge 6.36 : Perde donatı özeti.

Kat	Perde	Boy (cm)	En (cm)	Başlık Bölgesi Uzunluğu (cm)	Gövde Bölgesi		Başlık Bölgesi Enine Donatı	
					Yatay	Düsey	Kısa Yön	Uzun Yön
40,00 ... 84,00	P01	700	40	-	ø 10 / 15	ø 10 / 15	-	-
20,00 ... 40,00	P01	700	40	170	ø 12 / 15	ø 12 / 15	12 ø 12 / 7	3 ø 12 / 7
8,00 ... 20,00	P01	700	40	170	ø 16 / 15	ø 20 / 15	12 ø 12 / 7	3 ø 12 / 7
0,00 ... 8,00	P01	700	40	170	ø 18 / 15	ø 20 / 15	12 ø 12 / 7	3 ø 12 / 7
8,00 ... 84,00	P02	500	40	-	ø 10 / 15	ø 10 / 15	-	-
0,00 ... 8,00	P02	500	40	70	ø 10 / 15	ø 12 / 15	5 ø 12 / 7	3 ø 12 / 7
40,00 ... 84,00	P03	300	40	-	ø 12 / 15	ø 12 / 15	-	-
20,00 ... 40,00	P03	300	40	-	ø 16 / 15	ø 12 / 15	-	-
8,00 ... 20,00	P03	300	40	-	ø 18 / 15	ø 18 / 15	-	-
0,00 ... 8,00	P03	300	40	70	ø 18 / 15	ø 22 / 15	5 ø 12 / 7	3 ø 12 / 7
40,00 ... 84,00	P04	700	40	-	ø 10 / 15	ø 10 / 15	-	-
20,00 ... 40,00	P04	700	40	170	ø 12 / 15	ø 12 / 15	12 ø 12 / 7	3 ø 12 / 7
8,00 ... 20,00	P04	700	40	170	ø 16 / 15	ø 20 / 15	12 ø 12 / 7	3 ø 12 / 7
0,00 ... 8,00	P04	700	40	170	ø 18 / 15	ø 20 / 15	12 ø 12 / 7	3 ø 12 / 7
8,00 ... 84,00	P05	500	40	-	ø 10 / 15	ø 10 / 15	-	-
0,00 ... 8,00	P05	500	40	70	ø 10 / 15	ø 12 / 15	5 ø 12 / 7	3 ø 12 / 7
40,00 ... 84,00	P06	300	40	-	ø 12 / 15	ø 12 / 15	-	-
20,00 ... 40,00	P06	300	40	-	ø 16 / 15	ø 12 / 15	-	-
8,00 ... 20,00	P06	300	40	-	ø 18 / 15	ø 18 / 15	-	-
0,00 ... 8,00	P06	300	40	70	ø 18 / 15	ø 22 / 15	5 ø 12 / 7	3 ø 12 / 7
40,00 ... 84,00	P07	290	40	-	ø 14 / 15	ø 14 / 15	-	-
20,00 ... 40,00	P07	290	40	-	ø 16 / 15	ø 14 / 15	-	-
8,00 ... 20,00	P07	290	40	-	ø 16 / 15	ø 16 / 15	-	-
0,00 ... 8,00	P07	290	40	60	ø 16 / 15	ø 20 / 15	4 ø 12 / 7	3 ø 12 / 7
40,00 ... 84,00	P08	290	40	-	ø 14 / 15	ø 14 / 15	-	-
20,00 ... 40,00	P08	290	40	-	ø 16 / 15	ø 14 / 15	-	-
8,00 ... 20,00	P08	290	40	-	ø 16 / 15	ø 16 / 15	-	-
0,00 ... 8,00	P08	290	40	60	ø 16 / 15	ø 20 / 15	4 ø 12 / 7	3 ø 12 / 7
40,00 ... 84,00	P09	600	40	-	ø 16 / 15	ø 14 / 15	-	-
8,00 ... 40,00	P09	600	40	-	ø 20 / 15	ø 16 / 15	-	-
0,00 ... 8,00	P09	600	40	60	ø 20 / 15	ø 18 / 15	4 ø 12 / 7	3 ø 12 / 7
40,00 ... 84,00	P10	290	40	-	ø 16 / 15	ø 14 / 15	-	-
20,00 ... 40,00	P10	290	40	-	ø 18 / 15	ø 14 / 15	-	-
8,00 ... 20,00	P10	290	40	70	ø 18 / 15	ø 16 / 15	5 ø 12 / 7	3 ø 12 / 7
0,00 ... 8,00	P10	290	40	70	ø 18 / 15	ø 18 / 15	5 ø 12 / 7	3 ø 12 / 7
40,00 ... 84,00	P11	290	40	-	ø 16 / 15	ø 14 / 15	-	-
20,00 ... 40,00	P11	290	40	-	ø 18 / 15	ø 14 / 15	-	-
8,00 ... 20,00	P11	290	40	70	ø 18 / 15	ø 16 / 15	5 ø 12 / 7	3 ø 12 / 7
0,00 ... 8,00	P11	290	40	70	ø 18 / 15	ø 18 / 15	5 ø 12 / 7	3 ø 12 / 7
40,00 ... 84,00	P12	600	40	-	ø 16 / 15	ø 14 / 15	-	-
20,00 ... 40,00	P12	600	40	-	ø 20 / 15	ø 14 / 15	-	-
0,00 ... 20,00	P12	600	40	80	ø 20 / 15	ø 16 / 15	6 ø 12 / 7	3 ø 12 / 7
40,00 ... 84,00	P13	700	30	-	ø 10 / 20	ø 10 / 20	-	-
20,00 ... 40,00	P13	700	30	120	ø 10 / 20	ø 12 / 20	8 ø 12 / 7	2 ø 12 / 7
8,00 ... 20,00	P13	700	30	120	ø 12 / 20	ø 12 / 20	8 ø 12 / 7	2 ø 12 / 7
0,00 ... 8,00	P13	700	30	120	ø 16 / 20	ø 12 / 20	8 ø 12 / 7	2 ø 12 / 7
40,00 ... 84,00	P14	700	30	-	ø 10 / 20	ø 10 / 20	-	-
20,00 ... 40,00	P14	700	30	120	ø 10 / 20	ø 12 / 20	8 ø 12 / 7	2 ø 12 / 7
8,00 ... 20,00	P14	700	30	120	ø 12 / 20	ø 12 / 20	8 ø 12 / 7	2 ø 12 / 7
0,00 ... 8,00	P14	700	30	120	ø 16 / 20	ø 12 / 20	8 ø 12 / 7	2 ø 12 / 7
40,00 ... 84,00	P15	700	30	-	ø 10 / 20	ø 10 / 20	-	-
20,00 ... 40,00	P15	700	30	170	ø 10 / 20	ø 12 / 20	12 ø 12 / 7	2 ø 12 / 7
8,00 ... 20,00	P15	700	30	170	ø 14 / 20	ø 12 / 20	12 ø 12 / 7	2 ø 12 / 7
0,00 ... 8,00	P15	700	30	170	ø 16 / 20	ø 16 / 20	12 ø 12 / 7	2 ø 12 / 7
40,00 ... 84,00	P16	700	30	-	ø 10 / 20	ø 10 / 20	-	-
20,00 ... 40,00	P16	700	30	170	ø 10 / 20	ø 12 / 20	12 ø 12 / 7	2 ø 12 / 7
8,00 ... 20,00	P16	700	30	170	ø 14 / 20	ø 12 / 20	12 ø 12 / 7	2 ø 12 / 7
0,00 ... 8,00	P16	700	30	170	ø 16 / 20	ø 16 / 20	12 ø 12 / 7	2 ø 12 / 7



7. DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZLERİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Türk ve Amerikan yönetmeliklerine göre doğrusal olmayan analizler Perform 3D ve Xtract programları kullanılarak yapılmıştır.

7.1 Türk Yönetmeliklerine Göre Doğrusal Olmayan Analiz

Türk yönetmeliklerine göre doğrusal olmayan tasarımda; TBDY, TS500, Eurocode 2 ve ASCE 41-13 yönetmelikleri kullanılmıştır. Doğrusal olmayan analizler kapsamında TBDY’de açıklanmış olan “Tasarım Aşaması III” hesap kuralları takip edilecektir.

7.1.1 Performans hedefleri ve sınır değerler

Performans hedefleri ve sınır değerler, deprem tasarım sınıfına göre belirlenmektedir. Binanın kullanım amacı konut olarak seçilmiştir ve buna bağlı olarak belirlenen performans hedefleri ve sınır değerler aşağıda verilmiştir.

7.1.1.1 Performans hedefleri

Çizelge 4.1’e göre yapının performans hedefi; DD-4 deprem düzeyi altında kesintisiz kullanım, DD-2 deprem düzeyi altında kontrollü hasar ve DD-1 deprem düzeyi altında göçmenin önlenmesi olarak belirlenmiştir. Kesintisiz kullanım performans hedefi için yapılan hesapta dayanıma göre tasarım yaklaşımı kullanılacaktır. Kontrollü hasar performans hedefi için yapılan hesapta da dayanıma göre tasarım yaklaşımı kullanılacaktır. Bu performans seviyesinde yapılan hesap, göçmenin önlenmesi seviyesinde yapılacak hesap için ön tasarım olarak kabul edilecektir. Göçmenin önlenmesi performans hedefi için yapılan hesapta ise şekildeğiştirmeye göre tasarım ve değerlendirme tasarım ilkeleri kullanılacaktır.

7.1.1.2 Sınır değerlerin belirlenmesi

Şekildeğiştirme ve iç kuvvetlerin değerlendirilmesinde kullanılacak sınır değerler 4.1.7’ye göre belirlenecektir. Yapıda plastik davranışlar iki farklı yaklaşımla

modellenmiştir. Kolon ve kirişlerde yığılı plastik davranış modeli kullanılırken perdelerde yayılı plastik mafsal modeli kullanılmıştır.

Kirişler için plastik dönme sınır değerinin hesabı

Plastik dönme sınır değeri hesabı denklem 4.8 kullanılarak hesaplanacaktır. Yapıda yer alan 60/60'lık iç akslarda bulunan tipik bir kiriş için dönme sınır değer hesabı aşağıda gösterilmiştir. Plastik mafsallar, kirişlerin mesnet bölgelerinde tanımlanacağı için hesaplamalarda kesitte negatif moment oluşacağı düşünülmüştür. Açıklık ortasında, kiriş kesitlerinin pozitif moment altında doğrusal elastik kalacağı kabul edilmiştir.

Seçilen boyuna üst donatı: 5Ø14 (ana donatı), 4Ø18 (mesnet ilave donatısı)

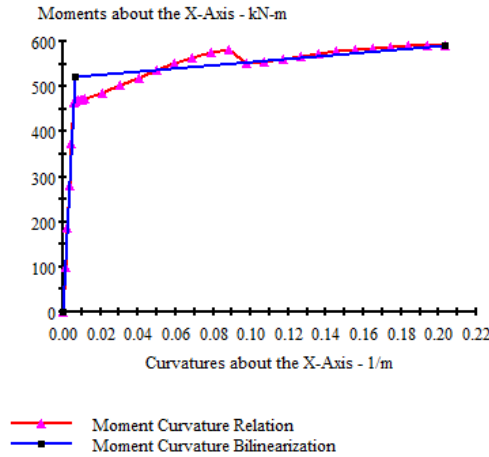
Seçilen boyuna alt donatı: 5Ø20

Seçilen enine donatı: 4Ø10/10

Plastik mafsal boyu = $0.60/2 = 0.30$ m

Kesme açıklığı = $7.00/2 = 3.50$ m

Tipik kiriş kesiti için akma eğriliği ve kopma eğriliği, Xtract programı ile hesaplanan moment-eğrilik diyagramı ile belirlenmiştir (Şekil 7.1).



Şekil 7.1 : Tipik kiriş kesiti için moment-eğrilik diyagramı.

Akma eğriliği = 0.00569 $1/m$

Kopma eğriliği = 0.2032 $1/m$

$$\theta_p^{(G\ddot{O})} = \frac{2}{3} \left[(0.2032 - 0.00569) \times 0.30 \left(1 - 0.5 \frac{0.30}{3.50} \right) + 4.5 \times 0.2032 \times 0.014 \right] =$$

$$= 0.046 \text{ rad (Denklem 4.8)}$$

Kolonlar için plastik dönme sınır değerinin hesabı

Kolonlar için plastik dönme sınır değerleri, kirişlerde olduğu gibi hesaplanacaktır. C4 Kolonunun plastik dönme sınır değer hesabı aşağıda gösterilmiştir.

±0.00~+44.00 Kotları arası:

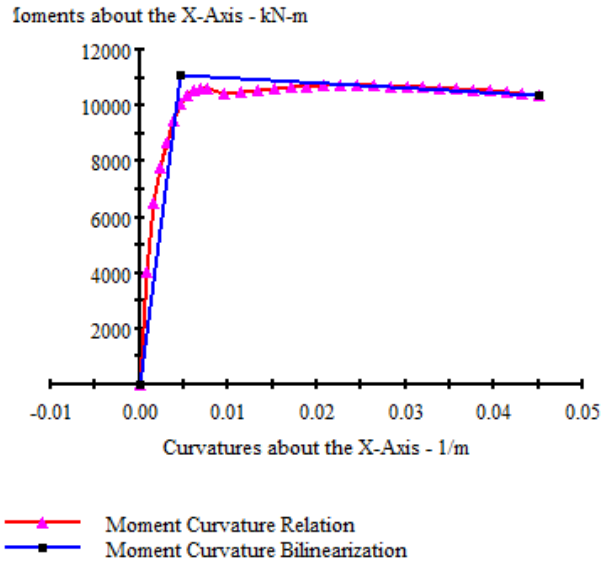
Seçilen boyuna donatı: 36Ø22

Seçilen enine donatı: 10Ø12/10

Plastik mafsal boyu = $1.10/2 = 0.55$ m

Kesme açıklığı = $4.00/2 = 2.00$ m

Kolon kesiti için akma eğriliği ve kopma eğriliği, Xtract programı ile hesaplanan moment-eğrilik diyagramı ile belirlenmiştir (Şekil 7.2).



Şekil 7.2 : ±0.00~+44.00 Kotları kolon kesiti için moment-eğrilik diyagramı.

Akma eğriliği = 0.00387 1/m

Kopma eğriliği = 0.0451 1/m

$$\theta_p^{(G\ddot{O})} = \frac{2}{3} \left[(0.0451 - 0.00387) \times 0.55 \left(1 - 0.5 \frac{0.55}{2.00} \right) + 4.5 \times 0.0451 \times 0.022 \right] = 0.016 \text{ rad (Denklem 4.8)}$$

+44.00~+84.00 Kotları arası:

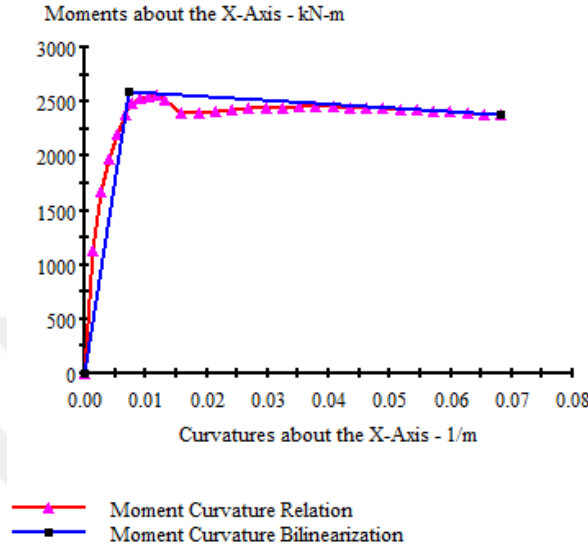
Seçilen boyuna donatı: 20Ø18

Seçilen enine donatı: 6Ø12/10

Plastik mafsal boyu = $0.70/2 = 0.35$ m

Kesme açıklığı = $4.00/2 = 2.00$ m

Kolon kesiti için akma eğriliği ve kopma eğriliği, Xtract programı ile hesaplanan moment-eğrilik diyagramı ile belirlenmiştir (Şekil 7.3).



Şekil 7.3 : +44.00~+84.00 Kotları kolon kesiti için moment-eğrilik diyagramı.

Akma eğriliği = 0.00659 $1/m$

Kopma eğriliği = 0.0681 $1/m$

$$\begin{aligned}\theta_p^{(G\ddot{O})} &= \frac{2}{3} \left[(0.0681 - 0.00659) \times 0.35 \left(1 - 0.5 \frac{0.35}{2.00} \right) + 4.5 \times 0.0681 \times 0.018 \right] = \\ &= 0.017 \text{ rad (Denklem 4.8)}\end{aligned}$$

Perdeler için birim şekildeğiştirme sınır değerinin hesabı

Perdeler için beton birim kısalması sınır değeri denklem 4.4 ile hesaplanacaktır. P03 perdesinin kritik katta kalan kısmı için birim kısalma sınır değer hesabı aşağıda gösterilmiştir.

$$a_{se} = \left(1 - \frac{4 \times 120^2 + 240^2}{6 \times 760 \times 360} \right) \left(1 - \frac{100}{2 \times 760} \right) \left(1 - \frac{100}{2 \times 360} \right) = 0.748$$

$$\rho_{sh} = \frac{6 \times 78}{760 \times 100} = 0.00616$$

$$\omega_{we} = 0.748 \times 0.00616 \times \frac{504}{65} = 0.0357 \text{ (Denklem 4.5)}$$

$$\varepsilon_c^{(G\ddot{O})} = 0.0035 + 0.04\sqrt{0.0357} = 0.0016 \leq 0.0018 \text{ (Denklem 4.4)}$$

Birim kısalma sınır değeri 0.0016 bulunmuştur. Bulunan değer 0.0018'den küçük olduğundan kontrollerde bu değer kullanılacaktır.

Göçmenin önlenmesi performans düzeyi için donatı çeliği birim uzama sınır değeri denklem 4.7 ile hesaplanacaktır.

$$\varepsilon_s^{(G\ddot{O})} = 0.4 \times 0.08 = 0.032 \text{ (Denklem 4.7)}$$

P03 perdesinin kritik kat üzerinde kalan kısımları için birim kısalma sınır değer hesabı aşağıda gösterilmiştir.

$$a_{se} = \left(1 - \frac{3 \times 120^2 + 2 \times 240^2}{6 \times 760 \times 360}\right) \left(1 - \frac{200}{2 \times 760}\right) \left(1 - \frac{200}{2 \times 360}\right) = 0.567$$

$$\rho_{sh} = \frac{5 \times 78}{760 \times 200} = 0.00257$$

$$\omega_{we} = 0.567 \times 0.00257 \times \frac{504}{65} = 0.0113 \text{ (Denklem 4.5)}$$

$$\varepsilon_c^{(G\ddot{O})} = 0.0035 + 0.04\sqrt{0.0113} = 0.0008 \leq 0.0018 \text{ (Denklem 4.4)}$$

Birim kısalma sınır değeri 0.0008 bulunmuştur. Bulunan değer 0.0018'den küçük olduğundan kontrollerde bu değer kullanılacaktır.

7.1.2 Malzeme özellikleri

7.1.2.1 Beklenen dayanımlar

Doğrusal olmayan hesapta malzemelerin karakteristik dayanımları yerine beklenen (ortalama) dayanımları kullanılacaktır. Malzeme beklenen dayanımları Çizelge 4.2'ye göre hesaplanacaktır. Beton elastisite modülü, hesap dayanımı ile değiştiğinden dolayı yeniden hesaplanması gerekmektedir. TS 500 ile verilen elastisite modülü hesabı C50'ye kadar olan beton sınıflarını kapsamaktadır. TBDY'ya göre, C50'nin üzerindeki beton sınıflarında elastisite modülü Eurocode 2'ye göre hesaplanacaktır.

Beton Sınıfı	: C50	$f_{ce} = 65000 \text{ kN/m}^2$
Elastisite Modülü	: (C50)	$E = 39175 \text{ N/mm}^2$
Kayma Modülü	: (C50)	$G = 15670 \text{ N/mm}^2$
Donatı Sınıfı	: B420C	$f_{yk} = 504000 \text{ kN/m}^2$

7.1.2.2 Etkin rijitlik değerleri

Kolon ve kirişlerde plastik mafsallar arasında kalan kısımların etkin rijitlik değerlerinin hesabı denklem 4.2 ve 4.3 ile yapılacaktır. Perdelerde yayılı plastik mafsal (lif) kabulü yapıldığından dolayı etkin kesit rijitlik değeri hesabı yapılmasına gerek yoktur.

Kirişler için etkin rijitlik hesabı

Yapıda yer alan 60/60'lık iç akslarda bulunan tipik bir kiriş için etkin rijitlik hesabı aşağıda gösterilmiştir.

$$\theta_y = \frac{0.00569 \times 3.50}{3} + 0.0015 \times 1 \left(1 + 1.5 \times \frac{0.6}{3.50} \right) + \frac{0.00569 \times 0.018 \times 504}{8 \times \sqrt{65}} = 0.0093 \text{ rad}$$

$$(EI)_e = \frac{466}{0.0093} \times \frac{3.50}{3} = 58459 \text{ kNm}^2 \text{ (Denklem 4.2)}$$

Kesitin brüt rijitliği 423090 kNm² olarak hesaplanmıştır. Buna göre kesitin etkin rijitlik çarpanı 58459 / 423090 = 0.14 olarak bulunmuştur.

Kolonlar için etkin rijitlik hesabı

C4 Kolonu için etkin rijitlik hesabı aşağıda gösterilmiştir.

$$\theta_y = \frac{0.00387 \times 2.00}{3} + 0.0015 \times 1 \left(1 + 1.5 \times \frac{1.10}{2.00} \right) + \frac{0.00387 \times 0.022 \times 504}{8 \times \sqrt{65}} = 0.0060 \text{ rad}$$

$$(EI)_e = \frac{9473}{0.0060} \times \frac{2.00}{3} = 1052556 \text{ kNm}^2 \text{ (Denklem 4.2)}$$

Kesitin brüt rijitliği 4780000 kNm² olarak hesaplanmıştır. Buna göre kesitin etkin rijitlik çarpanı 1052556 / 4780000 = 0.22 olarak bulunmuştur.

7.1.2.3 Beton gerilme-şekildeğiştirme modelleri

Perdeler için tanımlanacak kesit hücresi (lif) model için beton gerilme-şekildeğiştirme ilişkilerinin tanımlanması gerekmektedir. Bu ilişki TBDY'de verilen bağıntılar yardımıyla tanımlanmıştır. Bu kapsamda 3 adet gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi tanımlanmıştır. Birinci gerilme-şekildeğiştirme diyagramı, perdelerin kritik kat içinde kalan uç bölgeleri için tanımlanmıştır (Şekil 7.4). İkinci gerilme-şekildeğiştirme diyagramı, perdelerin kritik kat üzerinde kalan uç bölgeleri için tanımlanmıştır (Şekil 7.5). Üçüncü bağıntı ise perdelerin etriyeler ile sarılmamış (sargısız beton) gövde bölgeleri için tanımlanmıştır (Şekil 7.6).

Diyagramlarda “Mander Eğrisi” olarak belirtilen eğri, verilen bağıntılar yoluyla hesaplanan eğriyi göstermektedir. “Model Eğrisi” olarak belirtilen eğri ise Perform 3D modeline girilecek olan doğrusallaştırılmış eğriyi göstermektedir.

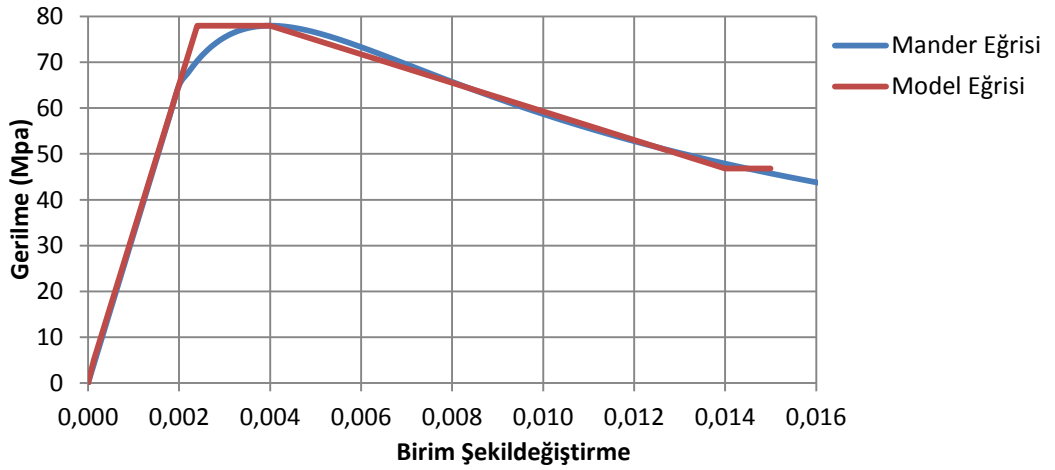
7.1.2.4 Donatı çeliği gerilme-şekildeğiştirme modeli

Donatı çeliği için TBDY’ya göre oluşturulan gerilme-şekildeğiştirme bağıntısı Şekil 7.7’de verilmiştir.

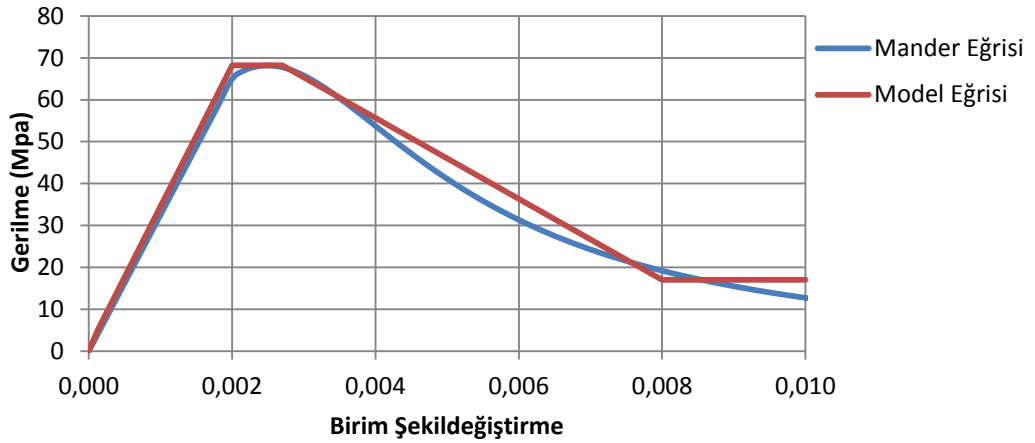
7.1.3 Kesit tanımları

7.1.3.1 Kiriş plastik mafsalları

Kiriş plastik mafsalları yığılı plastik mafsal kabulü ile göre gözönüne alınmıştır. Kirişlerde oluşan aksenal kuvvetler $0.10A_c f_{ck}$ değerinden düşük olduğundan plastik mafsallar modellenirken aksenal kuvvet etkisi ihmal edilmiştir. Xtract programı

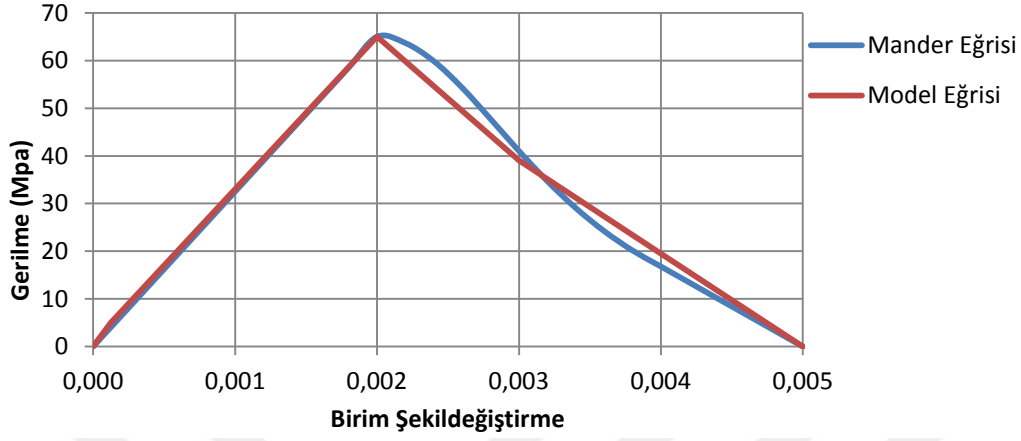


Şekil 7.4 : Kritik kat-perde uç bölgeleri için sargılı beton modeli.

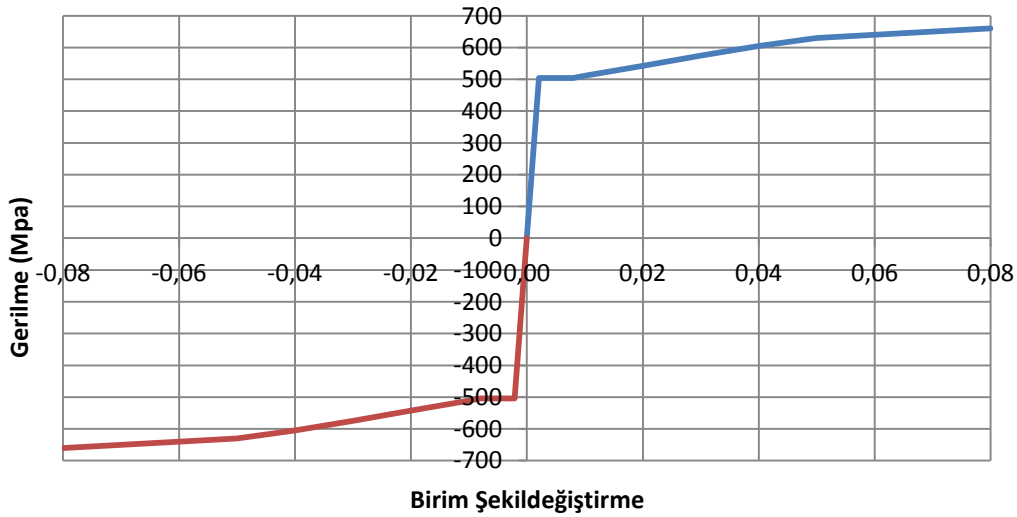


Şekil 7.5 : Kritik kat üstü-perde uç bölgeleri için sargılı beton modeli.

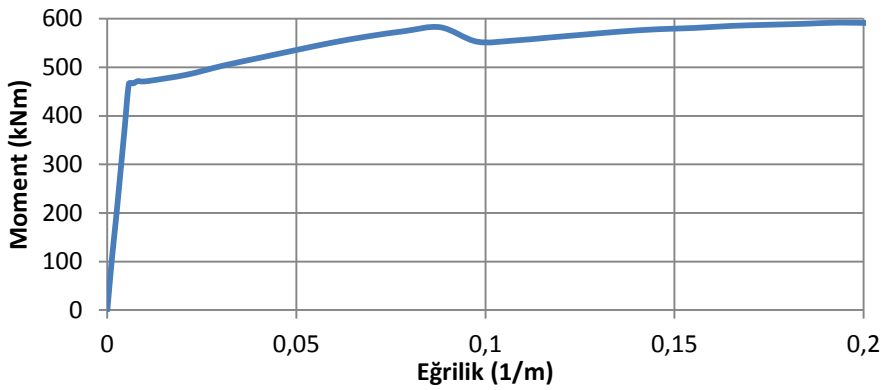
yardımları ile elde edilen moment-eğrilik diyagramları Perform 3D programına girilerek mafsallar modellenmiştir. Tipik bir 60/60'lık kiriş moment-eğrilik diyagramı Şekil 7.8'de gösterilmiştir.



Şekil 7.6 : Sargısız beton modeli.



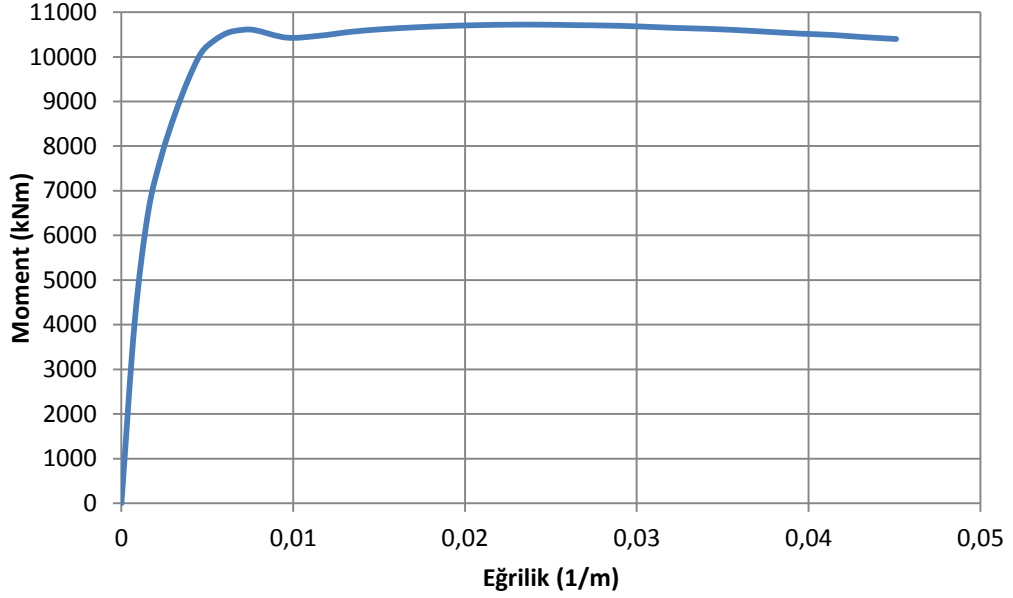
Şekil 7.7 : Donatı çeliği gerilme-şekildeğiştirme bağıntısı.



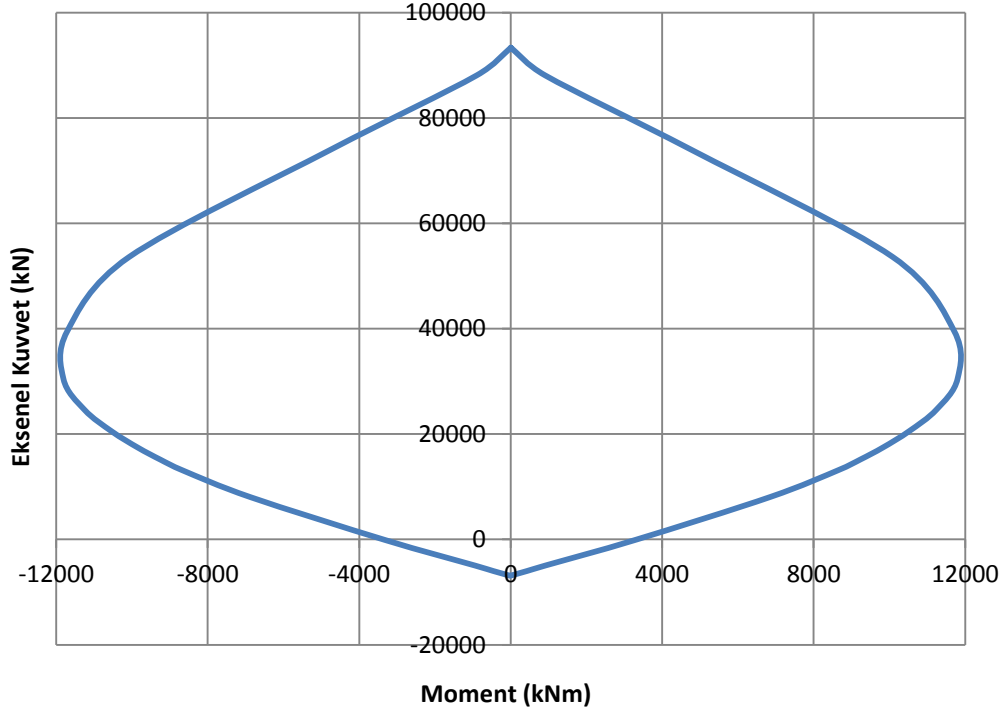
Şekil 7.8 : Tipik 60/60'lık kiriş moment-eğrilik diyagramı.

7.1.3.2 Kolon plastik mafsalları

Kolon plastik mafsalları kirişler de olduğu gibi yığılı plastik mafsal kabulüyle modellenmiştir. Kirişlerden farklı olarak kolonlarda aksenal kuvvet etkisi ve her iki yönde moment etkisi gözönüne alınmıştır. C4 kolonu moment-eğrilik diyagramı Şekil 7.9’da, karşılıklı etki diyagramı Şekil 7.10’da gösterilmiştir.



Şekil 7.9 : C4 Kolonu moment-eğrilik diyagramı.



Şekil 7.10 : C4 Kolonu karşılıklı etki diyagramı.

7.1.3.3 Perde kesitlerinin tanımlanması

Yapıda yer alan perdeler yayılı plastik mafsallara göre modellenmiştir. Perdeler, fiber olarak tanımlanan kesit hücrelerine (lif) ayrılarak, her bir parçaya denk gelen beton ve donatı alanı hesap edilmiştir. Daha sonra hesaplanan bu beton ve donatı alanları, perdenin boyutlarına göre hesaplanan koordinatlar kullanılarak Perform 3D modeline girilmiştir. P01 Perdesi +0.00~+16.00 kotları arası lif bilgileri Çizelge 7.1’de gösterilmiştir. Çizelge 7.1’de sarı ile işaretlenmiş satırlar sargılı beton kullanılan kısımları ifade etmektedir.

Çizelge 7.1 : P01 Perdesi +0.00~+16.00 kotları arası lif bilgileri (m²).

No	Koordinat	Alan-Donatı	Alan-Beton
1	-3.15	0.004396	0.280
2	-2.45	0.004396	0.280
3	-1.58	0.001099	0.420
4	-0.53	0.001099	0.420
5	0.53	0.001099	0.420
6	1.58	0.001099	0.420
7	2.45	0.004396	0.280
8	3.15	0.004396	0.280

7.1.3.4 Bağ kiriş kesme mafsalları

Bağ kiriş olarak tanımlanan elemanlar deplasmana dayalı kesme mafsalları yardımıyla modellenecektir. Çapraz donatılı bağ kirişler için TBDY’de özel bir modelleme yöntemi belirtilmemiştir. Bunun için modellemede ASCE 41-13 ve Peer Task 12 raporu kullanılmıştır. Dönme değerleri için Çizelge 4.12’de verilen değerler kullanılmıştır. Çapraz donatılı bağ kirişin akma kuvveti ise Peer Task 12 4.3.1.2’de verilen formüle göre hesaplanacaktır. Elde edilen kesme kuvveti-deplasman grafiği Şekil 7.11’de gösterilmiştir. Modelleme parametrelerinin hesaplanması aşağıda gösterilmiştir.

Seçilen boyuna donatı: 4Ø28, Kiriş açıklığı: 1.20 m

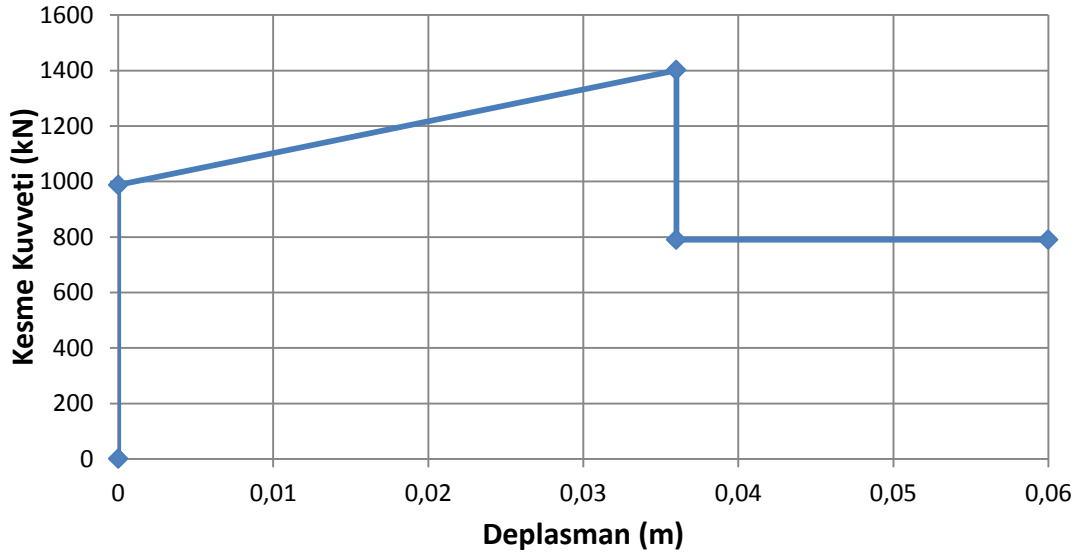
$$\text{Akma kesme kuvveti} = 2 \times 2460 \times 504 \times \sin 23.43/1000 = 986 \text{ kN}$$

$$\text{Maksimum kesme kuvveti} = 1.42 \times 986 = 1400 \text{ kN}$$

$$\text{Arta kalan kesme kuvveti (c)} = 0.80 \times 986 = 798 \text{ kN}$$

$$\text{Maksimum kesme kuvvetinde deplasman (a)} = 0.030 \times 1.20 = 0.036 \text{ m}$$

$$\text{Kopma deplasmanı (b)} = 0.050 \times 1.20 = 0.060 \text{ m}$$



Şekil 7.11 : Kesme mafsalı V-Δ grafiği.

7.1.4 Deprem kayıtlarının ölçeklendirilmesi

Deprem kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklendirilmesi TBDY’de verilen kurallara göre yapılmıştır. Buna göre analizlerde en az 11 deprem kaydının kullanılması gerekmektedir. Ancak analizlerin daha hızlı gerçekleştirilebilmesi adına TDY 2007’de verilen şarta uyularak 7 deprem kaydı kullanılmıştır. Deprem kayıtları “Peer Strong Motion Database” veri tabanından elde edilmiştir [2]. Veri tabanından deprem seçilirken dikkat edilecek özellikler aşağıda verilmiştir.

- Deprem büyüklüğü = 6.9-7.5 Mw
- Aktif fay düzlemine uzaklık \approx 15 km
- Kaynak mekanizması = Doğrultu atımlı
- Yerel zemin koşulları = ZB

Seçilen bu özellikler doğrultusunda deprem kayıtları seçilecektir. Deprem arama sayfası Şekil 7.12’de gösterilmiştir. Seçilen deprem kayıtları ve bunlara ait özellikler Çizelge 7.2’de verilmiştir.

Seçilen deprem kayıtları, oluşturulacak hedef spektrumuna göre ölçeklendirilecektir. Hedef spektrumu DD-1 deprem düzeyi ve ZB zemin sınıfı özelliklerine göre oluşturulacaktır. Ancak tasarım spektrumu değerleri, DD-1 spektrumu değerlerinin 1.30 katından fazla olması gerektiğinden, hedef spektrumu oluşturulurken 1.30 katsayısı ile büyütülmüştür.

Load Sample Input Values
Clear Input Values

Search

These characteristics are defined in the NGA-West2 Flatfile. You need to re-run Search when any of these parameters are updated.

Record Characteristics:

RSN(s) : RSN1...RSNm

Event Name :

Station Name :

Search Parameters:

Fault Type :

Magnitude :

min,max

R_B(km) :

min,max

R_rup(km) :

min,max

Vs30(m/s) :

min,max

D5-95(sec) :

min,max

Pulse :

Additional Characteristics:

Max No. Records :

(<=100)

Suite

Spectral Ordinate :

Damping Ratio :

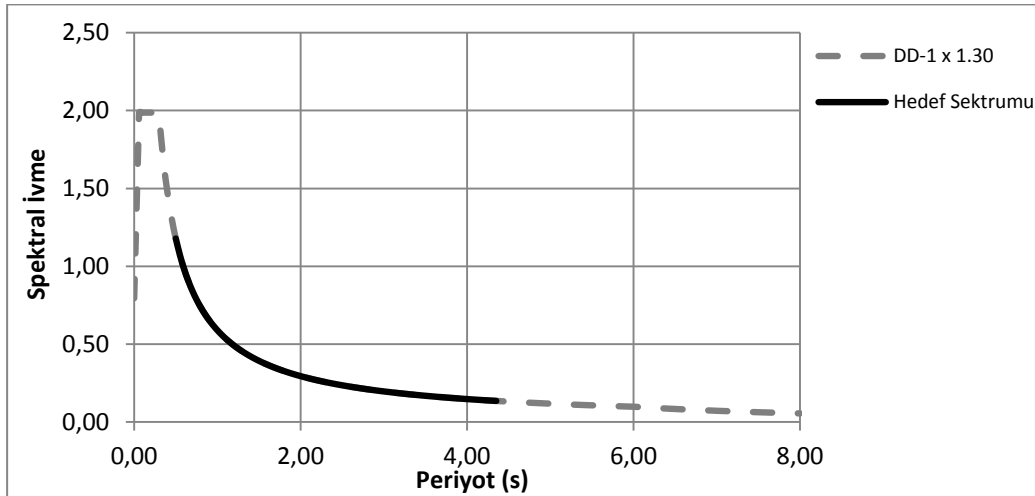
Suite Average :

Şekil 7.12 : Peer deprem kaydı arama sayfası.

Çizelge 7.2 : Seçilen deprem kayıtları ve özellikleri.

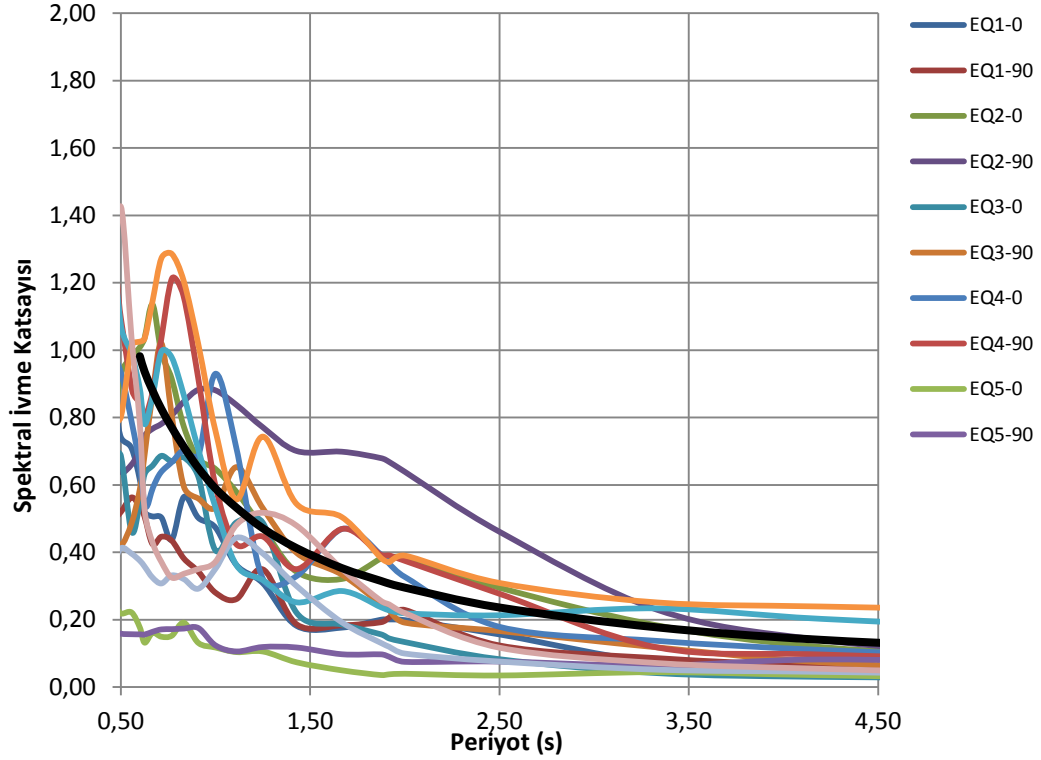
No	Deprem	Tarih	İstasyon	Kayıt Süresi (s)	Adım Sayısı	Adım Aralığı (s)	Mw
EQ1	Imperial Valley	19.5.1940	El Centro Array	53.72	5372	0.01	7.0
EQ2	Erzincan	13.3.1992	Erzincan	20.78	4156	0.005	6.7
EQ3	Landers	28.6.1992	Joshua Tree	44.00	2200	0.02	7.3
EQ4	Kobe	16.1.1995	Amagasaki	54.00	5400	0.01	6.9
EQ5	Kocaeli	17.8.1999	Arcelik	30.00	6000	0.005	7.5
EQ6	Düzce	12.11.1999	Düzce	25.88	5176	0.005	7.1
EQ7	Hector Mine	16.10.1999	Hector	45.31	4531	0.01	7.1

Yapının doğal periyotları 2.89 s ve 2.65 s'dir. Deprem kayıtlarının ölçeklendirme aralığı bu periyot değerlerinin 0.2 ve 1.5 katları arasında olacaktır. Buna göre ölçeklendirme aralığı 0.50 s ve 4.35 s olarak belirlenmiştir. Hedef spektrumu ve ölçeklendirme aralığı Şekil 7.13'de gösterilmiştir.



Şekil 7.13 : Hedef spektrumunun oluşturulması.

Hedef spektrumu ile ölçeklendirilmemiş deprem kayıtlarının gösterildiği spektrum Şekil 7.14’de gösterilmiştir. Deprem kayıtlarının spektrum değerleri, hedef spektrumunun altında kaldığından dolayı ölçeklendirme yapılacaktır.

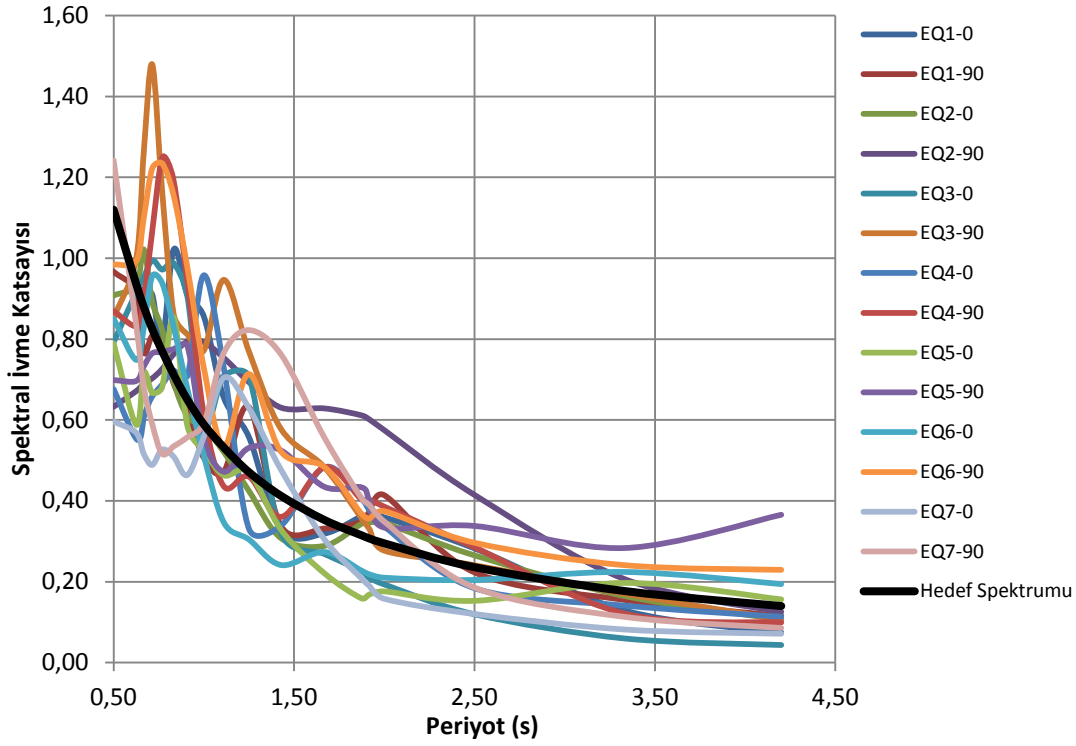


Şekil 7.14 : Hedef spektrumu ve ölçeklendirilmemiş deprem kayıtları.

Ölçeklendirme işlemi için öncelikle her bir deprem kaydı takımının iki yatay bileşenine ait spektrumların kareleri toplamının karekökü alınarak bileşke yatay spektrum elde edilir. Daha sonra tüm kayıtlara ait bileşke spektrumların ortalaması alınarak elde edilen spektrumun, hedef periyotları arasındaki genliklerinin hedef spektrumu genliklerinden küçük olmaması kuralına göre ölçek katsayıları belirlenir. Bu kurallara uyularak belirlenen ölçek katsayıları Çizelge 7.3’de verilmiştir. Hedef spektrumu ve ölçeklendirilmiş deprem kayıtlarının spektrumlarının gösterildiği spektrum Şekil 7.15’de gösterilmiştir.

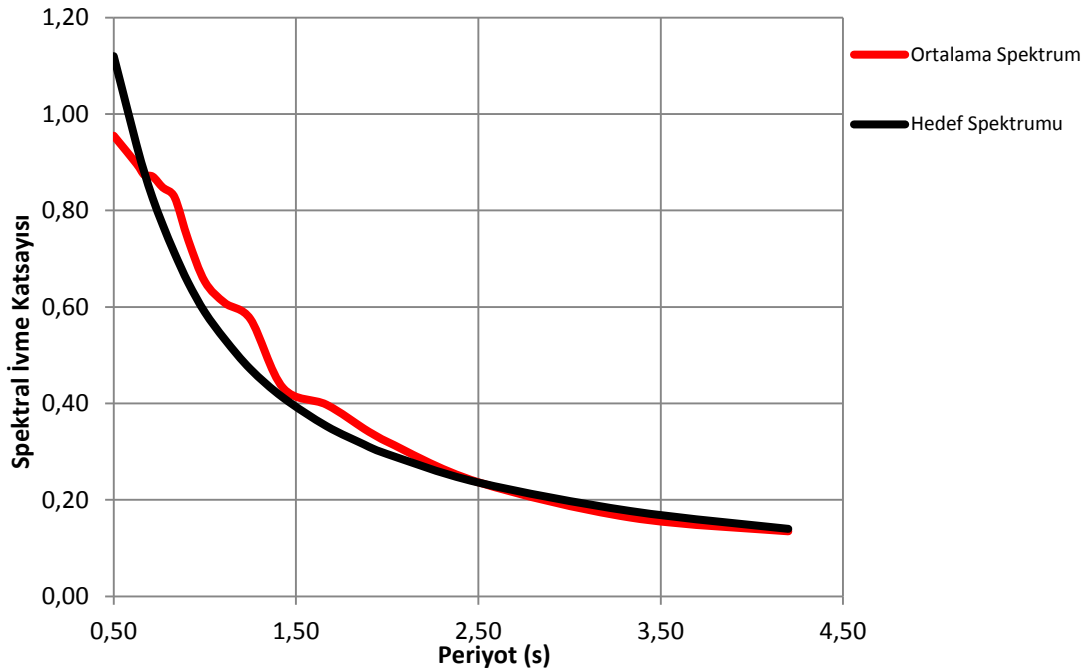
Çizelge 7.3 : Ölçek katsayıları.

No	Deprem	Ölçek Kts.
EQ1	Imperial Valley	1.71
EQ2	Erzincan	0.90
EQ3	Landers	1.45
EQ4	Kobe	1.03
EQ5	Kocaeli	4.47
EQ6	Düzce	0.96
EQ7	Hector Mine	1.59



Şekil 7.15 : Hedef spektrumu ve ölçüklendirilmiş deprem kayıtları.

Hedef spektrumu ve bileşke spektrumlarının ortalamasını gösteren grafik Şekil 7.16'da verilmiştir. Şekil 7.16'dan görüldüğü üzere ihmal edilebilir bir periyot bölgesi dışında, ortalama spektrum değerleri hedef spektrum değerlerinden küçük değildir.



Şekil 7.16 : Hedef spektrumu ve ortalama spektrum.

7.1.5 Doğrusal olmayan modelleme ile ilgili gözönüne alınan diğer hususlar

Doğrusal olmayan modellemede dikkat edilen diğer hususlar aşağıda listelenmiştir.

- Sönüm için Rayleigh orantılı sönüm matrisi kullanılmıştır. Sönüm oranı %2.5 alınmıştır.
- P- Δ etkileri gözönüne alınmıştır.
- Tekrarlı yükler altında, betonarme perde elemanlarda dayanım kaybı gözönüne alınmıştır. Bunun için donatı ve beton malzemelerinin modellenmesinde “Peer Task 12” raporunda verilen dayanım kaybı katsayıları kullanılmıştır. Kolon ve kirişlerde tekrarlı yükler altındaki dayanım kayıpları ihmal edilmiştir.
- Perdelerin kesme davranışının doğrusal olacağı kabul edilmiştir.
- Döşemelerde rijit diyafram kabulü yapılmıştır.

7.1.6 Analizlerin gerçekleştirilmesi

7.1.6.1 Modal analiz sonuçları

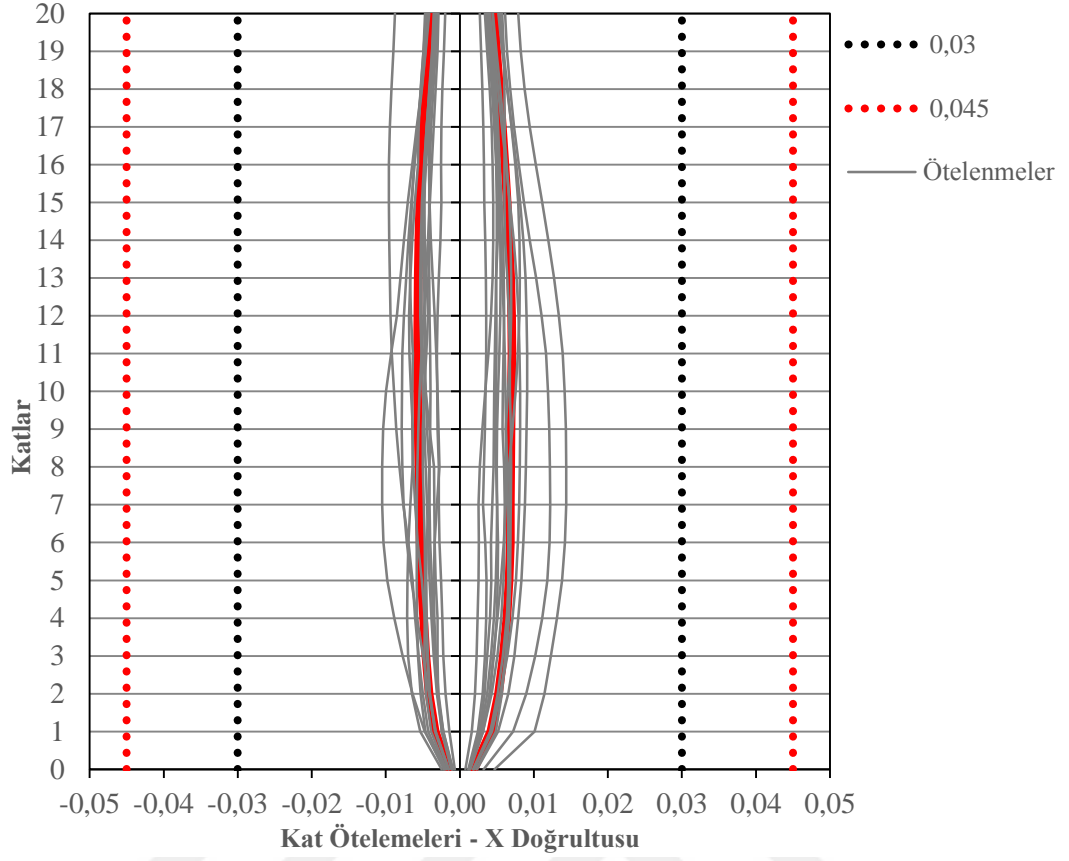
Modellenen yapının doğru olarak modellenip modellenmediğini anlayabilmek için modal analiz sonuçları kullanılacaktır. Modal analizde başlangıç rijitlik değerleri kullanılmaktadır. Bu sayede modal analiz ile edilen değerler doğrusal analiz için yapılan modal analiz sonuçlarıyla karşılaştırılabilmektedir. Her iki analizden elde edilen periyot ve kütle katılım değerleri birbirine yakın olduğu takdirde, yapının rijitliğinin ve kütlelerinin doğru olarak modellendiği anlaşılacaktır. Modal analiz sonuçları Çizelge 7.4’te verilmiştir. Çizelge 6.8’de doğrusal analiz için verilen modal analiz sonuçları ve Çizelge 7.4 karşılaştırıldığı takdirde, elde edilen sonuçların birbirine yakın olduğu görülmektedir.

7.1.6.2 Göreli kat ötelemeleri kontrolü

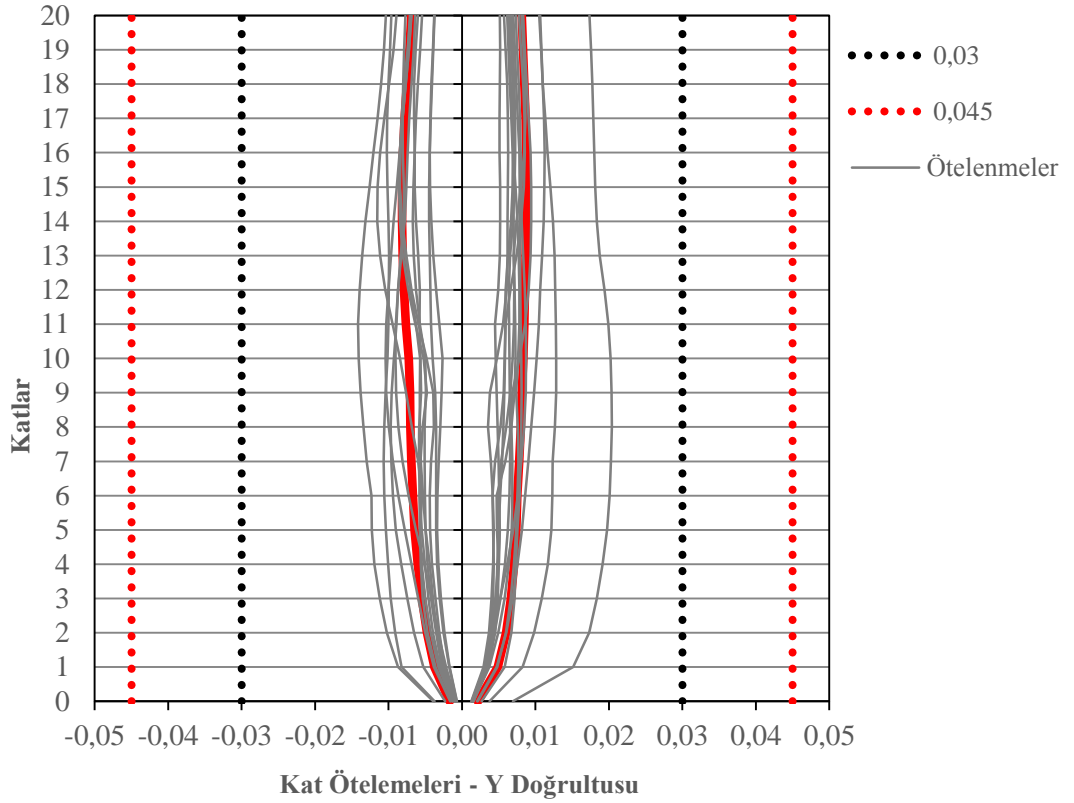
Elde edilen göreli kat ötelemelerinin ortalaması 0.03 değerini, tek bir depremden elde edilen göreli kat ötelemesi değerinin 0.045’i geçmemesi gerekmektedir. X Doğrultusunda göreli kat ötelemeleri kontrolü Şekil 7.17’de, Y doğrultusunda göreli kat ötelemeleri kontrolü Şekil 7.18’de gösterilmiştir. Verilen diyagramlardan görüldüğü üzere tasarlanan yapı gereken şartları sağlamaktadır.

Çizelge 7.4 : Kütle katılım oranları tablosu.

Mode No	Period	H1 Direction for Mode	H2 Direction for Mode	V Direction for Mode	Cumulative H1 Direction	Cumulative H2 Direction	Cumulative V Direction
1	2.29	0.0000	0.6638	0.0001	0.0000	0.6638	0.0001
2	2.27	0.4272	0.0000	0.0000	0.4272	0.6638	0.0001
3	1.61	0.2608	0.0000	0.0000	0.6879	0.6638	0.0001
4	0.60	0.0884	0.0000	0.0000	0.7763	0.6638	0.0001
5	0.54	0.0000	0.1759	0.0002	0.7763	0.8396	0.0003
6	0.44	0.0728	0.0000	0.0000	0.8491	0.8396	0.0003
7	0.27	0.0327	0.0000	0.0000	0.8818	0.8396	0.0003
8	0.23	0.0000	0.0623	0.0003	0.8818	0.9019	0.0006
9	0.21	0.0290	0.0000	0.0000	0.9108	0.9019	0.0006
10	0.18	0.0000	0.0000	0.2777	0.9108	0.9019	0.2783
11	0.18	0.0000	0.0000	0.0000	0.9108	0.9019	0.2783
12	0.17	0.0000	0.0000	0.1336	0.9108	0.9019	0.4119
13	0.17	0.0002	0.0000	0.0000	0.9110	0.9019	0.4119
14	0.16	0.0000	0.0000	0.0203	0.9110	0.9019	0.4322
15	0.16	0.0171	0.0000	0.0000	0.9281	0.9019	0.4322
16	0.16	0.0000	0.0000	0.0015	0.9282	0.9019	0.4337
17	0.16	0.0000	0.0000	0.0001	0.9282	0.9019	0.4338
18	0.15	0.0000	0.0000	0.0509	0.9282	0.9020	0.4847
19	0.15	0.0001	0.0000	0.0000	0.9283	0.9020	0.4847
20	0.15	0.0000	0.0000	0.0088	0.9283	0.9020	0.4935
21	0.15	0.0000	0.0000	0.0358	0.9283	0.9020	0.5293
22	0.14	0.0000	0.0000	0.0000	0.9283	0.9020	0.5293
23	0.14	0.0000	0.0324	0.0001	0.9283	0.9344	0.5294
24	0.13	0.0000	0.0005	0.0388	0.9283	0.9348	0.5682
25	0.13	0.0000	0.0000	0.0000	0.9283	0.9348	0.5682
26	0.13	0.0137	0.0000	0.0000	0.9420	0.9348	0.5682
27	0.12	0.0000	0.0001	0.1351	0.9420	0.9349	0.7033
28	0.11	0.0002	0.0000	0.0000	0.9422	0.9349	0.7033
29	0.11	0.0000	0.0000	0.0002	0.9422	0.9350	0.7035
30	0.11	0.0000	0.0000	0.0000	0.9422	0.9350	0.7035
31	0.11	0.0000	0.0000	0.0001	0.9422	0.9350	0.7036
32	0.11	0.0000	0.0000	0.0000	0.9422	0.9350	0.7036
33	0.11	0.0000	0.0000	0.0000	0.9422	0.9350	0.7036
34	0.11	0.0000	0.0000	0.0000	0.9422	0.9350	0.7036
35	0.11	0.0000	0.0000	0.0000	0.9422	0.9350	0.7036
36	0.11	0.0000	0.0000	0.0000	0.9422	0.9350	0.7036
37	0.11	0.0000	0.0000	0.0000	0.9422	0.9350	0.7037
38	0.11	0.0000	0.0000	0.0000	0.9422	0.9350	0.7037
39	0.11	0.0000	0.0000	0.0000	0.9422	0.9350	0.7037
40	0.11	0.0000	0.0000	0.0000	0.9422	0.9350	0.7037
41	0.11	0.0000	0.0000	0.0000	0.9422	0.9350	0.7037
42	0.11	0.0000	0.0000	0.0000	0.9422	0.9350	0.7037
43	0.11	0.0000	0.0000	0.0000	0.9422	0.9350	0.7037
44	0.11	0.0000	0.0000	0.0000	0.9422	0.9350	0.7037
45	0.11	0.0000	0.0000	0.0000	0.9422	0.9350	0.7037
46	0.11	0.0000	0.0000	0.0000	0.9422	0.9350	0.7037
47	0.11	0.0000	0.0000	0.0000	0.9422	0.9350	0.7037
48	0.11	0.0000	0.0000	0.0000	0.9422	0.9350	0.7037
49	0.11	0.0000	0.0000	0.0000	0.9422	0.9350	0.7037
50	0.11	0.0000	0.0000	0.0000	0.9422	0.9350	0.7037



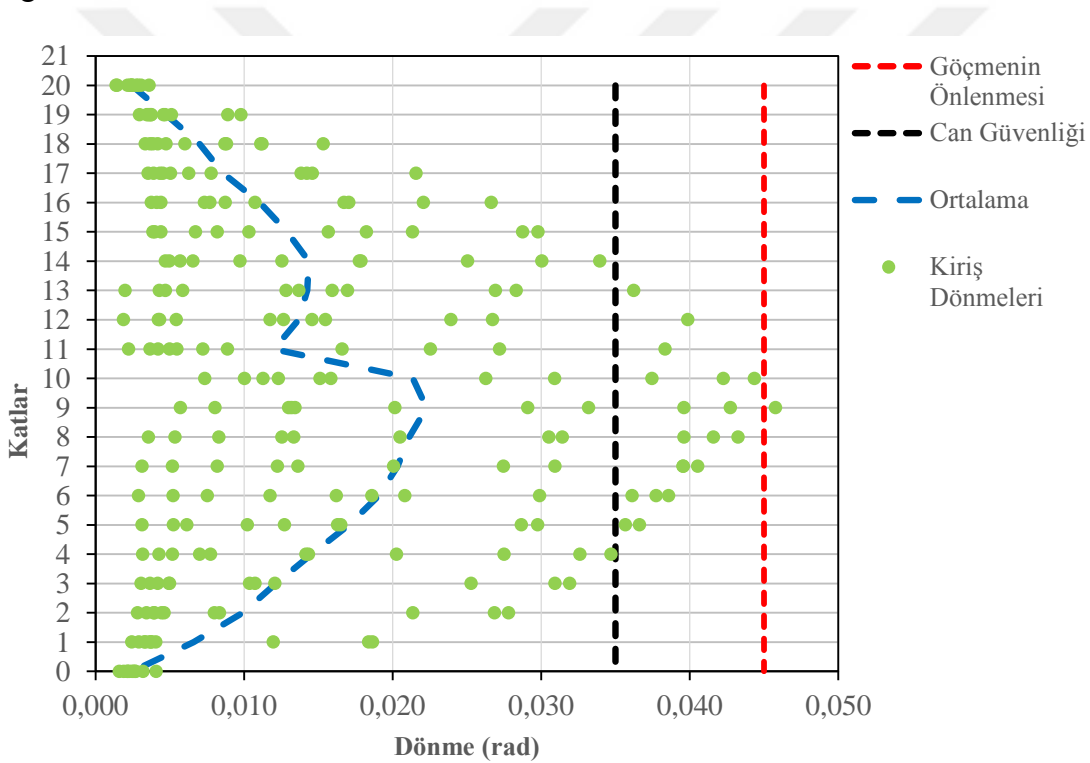
Şekil 7.17 : X Doğrultusunda etkin görel kat ötelemesi kontrolü.



Şekil 7.18 : Y Doğrultusunda etkin görel kat ötelemesi kontrolü.

7.1.6.3 Kiriş plastik dönmelerinin kontrolü

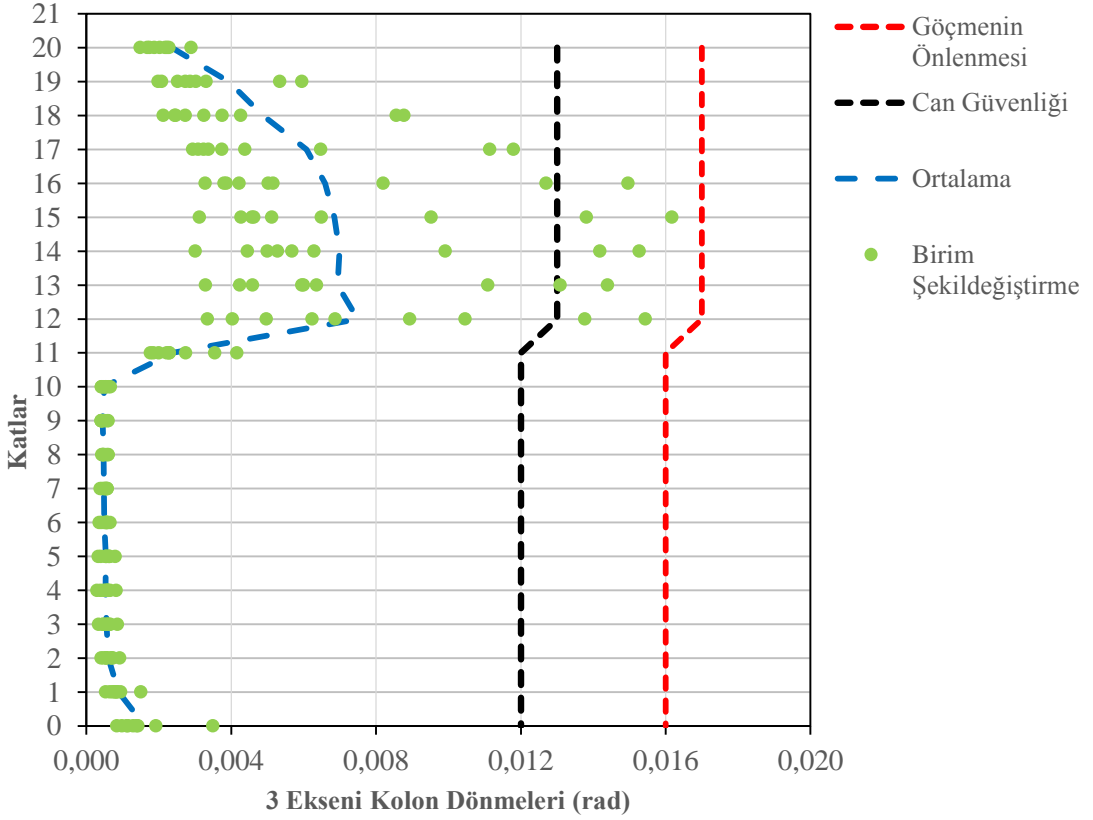
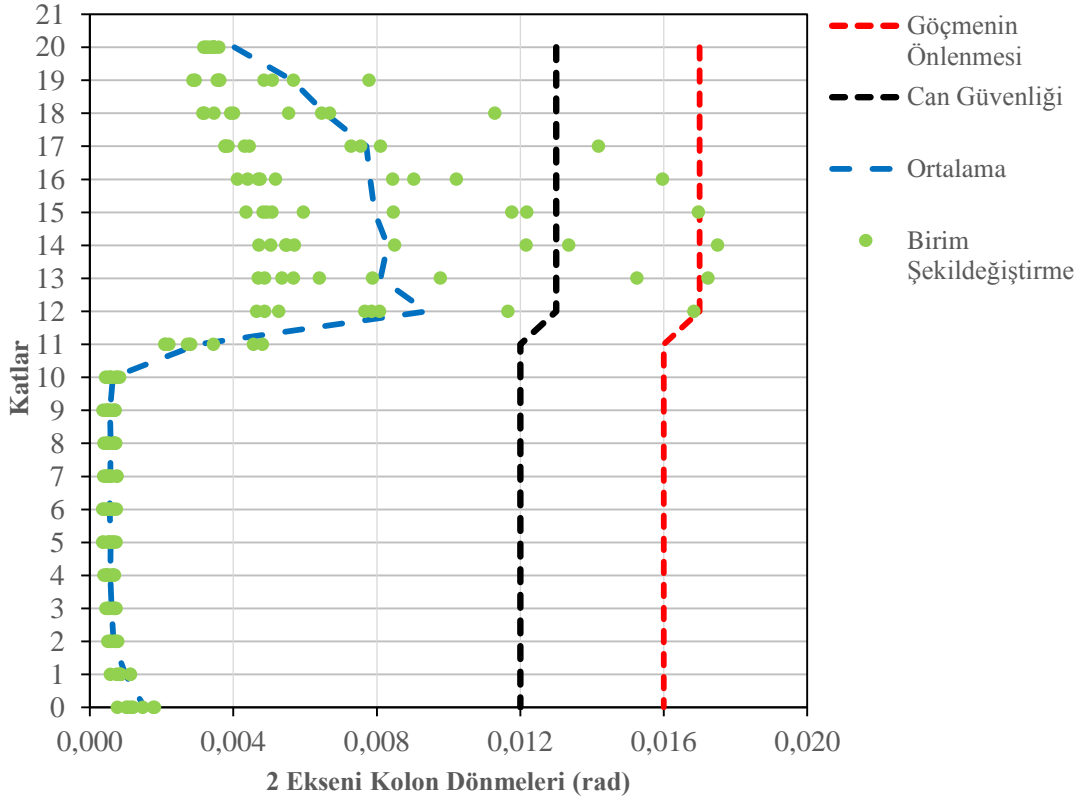
Kiriş plastik dönmelerinin bulunması için Perform 3D programından kiriş uçlarının eğrilik değerleri okunmuştur. Okunan eğrilik değerleri plastik mafsal boyu çarpılarak plastik mafsal dönmeleri elde edilecektir. B14 kirişinin uç plastik dönmeleri Şekil 7.19'da gösterilmiştir. Şekil 7.19'da; kırmızı çizgi göçmenin önlenmesi performans sınırını, siyah çizgi can güvenliği performans sınırını, mavi çizgi ise 14 analizden elde edilen dönmelerin ortalamasını göstermektedir. Dönmelerde 11. katta meydana gelen ani azalmanın sebebi o katta kolon boyutlarında küçülme olmasıdır. Plastik uç dönmeleri ortalamaları hedeflenen performans düzeyi olan göçmenin önlenmesi performans düzeyinin oldukça altında kalmaktadır ve gereken koşulları sağlamaktadır.



Şekil 7.19 : B14 kirişi uç plastik dönmeleri.

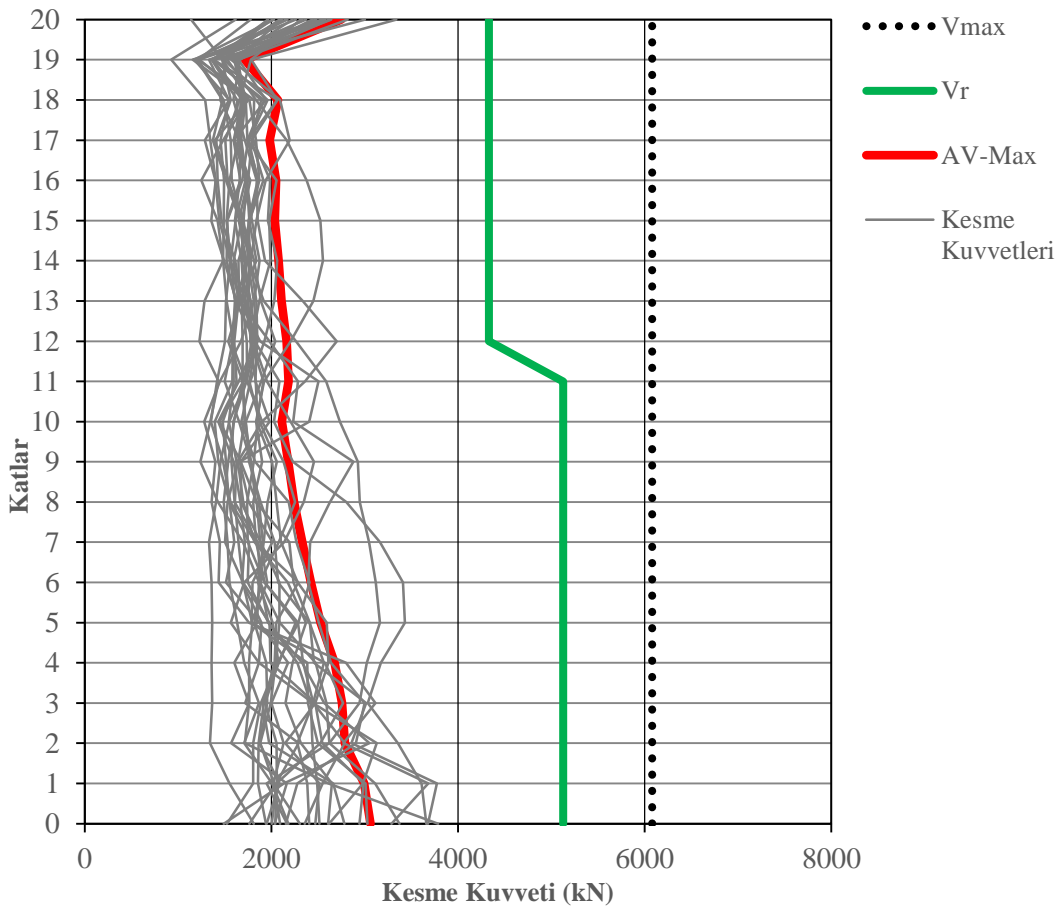
7.1.6.4 Kolon plastik dönmelerinin kontrolü

Kolon plastik dönmelerinin kontrolü kirişlerde olduğu gibi yapılmıştır. C4 kolonunun 2 ekseninde uç plastik dönmeleri Şekil 7.20'de, 3 ekseninde uç plastik dönmeleri Şekil 7.21'de gösterilmiştir. Dönmelerde 11. katta meydana gelen ani artışın sebebi o katta kolon boyutlarında küçülme olmasıdır. Plastik uç dönmeleri ortalamaları hedeflenen performans düzeyi olan göçmenin önlenmesi performans düzeyinin oldukça altında kalmaktadır ve gereken koşulları sağlamaktadır.



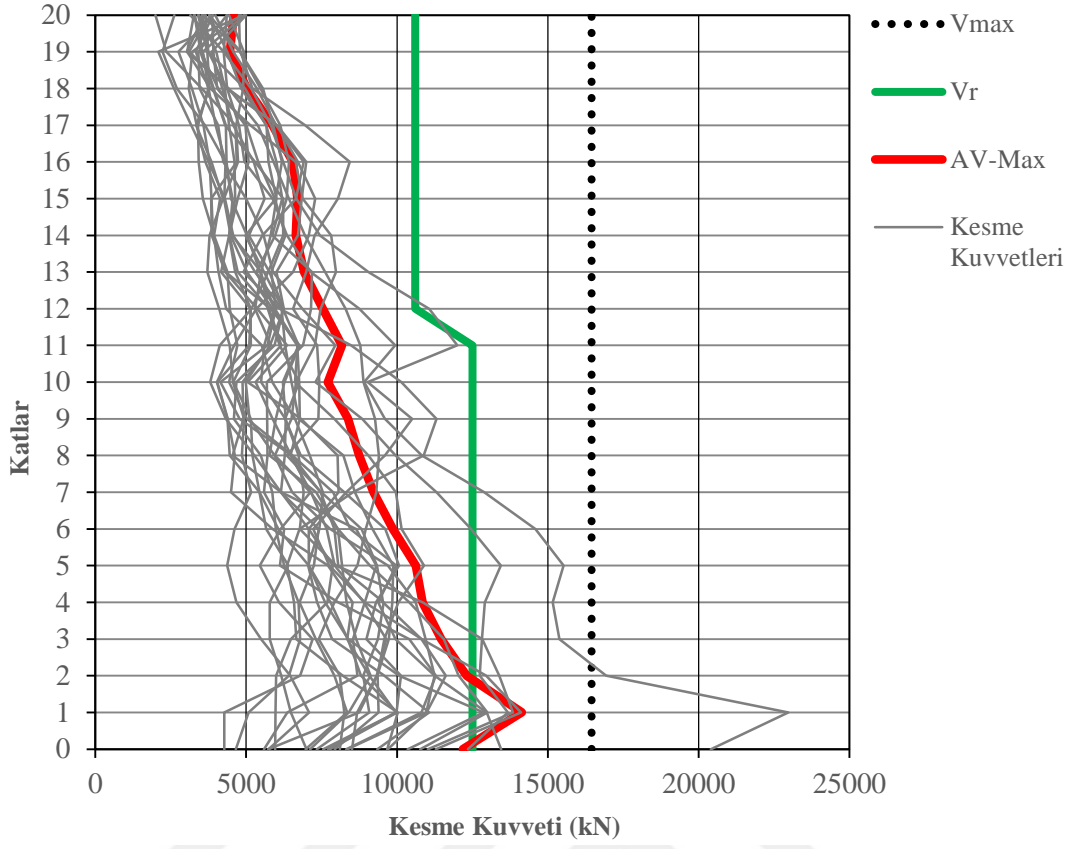
7.1.6.5 Perde kesme kapasitesi kontrolü

Perdelerin kesme kuvvetleri altındaki davranışı kritik olarak tanımlanan iç kuvvetlerden olduğundan dolayı, her bir deprem kaydından elde edilen kesme kuvveti taleplerinin ortalaması standart sapma ile arttırılacaktır. P07 perdesinin kesme kapasitesi kontrolü Şekil 7.22’de gösterilmiştir. P07 perdesi doğrusal hesapta bağ kirişli (boşluklu) bir perde olarak tanımlandığından dolayı maksimum kesme kapasitesi hesaplanırken $0.65A_{ch}\sqrt{f_{ck}}$ formülü kullanılmıştır. Şekil 7.22’den görüldüğü üzere perdenin kesme kapasitesi yeterlidir.

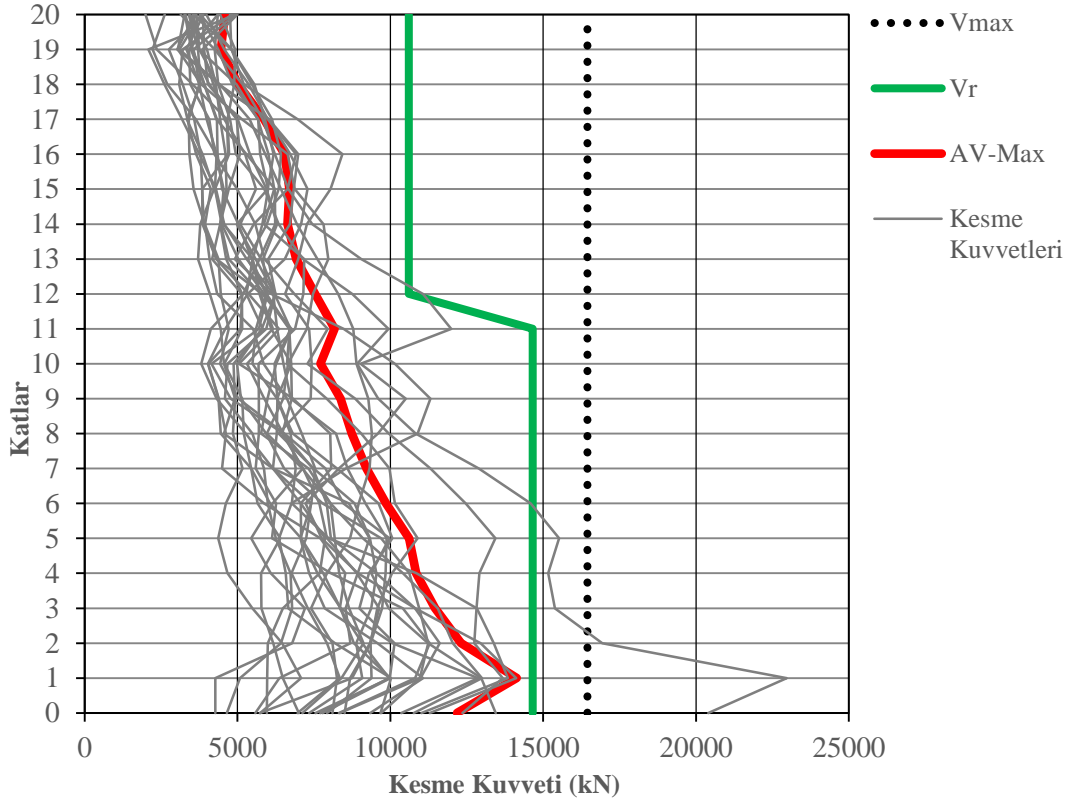


Şekil 7.22 : P07 perdesi kesme kapasitesi kontrolü.

P12 perdesinin kesme kapasitesi kontrolü Şekil 7.23’de gösterilmiştir. Şekil 7.23’den görüldüğü üzere 1. katta perdenin kesme kapasitesi yetersiz kalmaktadır. Bu sebeple doğrusal hesaptan elde edilen sonuçlara göre belirlenen 2Ø16/15 donatı revize edilerek yerine 2Ø18/15 donatı kullanılacaktır. Revize edilen donatılara göre perde kesme kapasitesi kontrolü Şekil 7.24’de gösterilmiştir. Perdenin kesme davranışı doğrusal kabul edildiğinden ve elemanın rijitliğine katkısı gözönüne alınmadığından dolayı analizlerin tekrar edilmesine gerek bulunmamaktadır.



Şekil 7.23 : P12 perdesi kesme kapasitesi kontrolü.



Şekil 7.24 : P12 perdesi revize donatılara göre kesme kapasitesi kontrolü.

7.1.6.6 Perde birim şekilgeştirme kontrolü

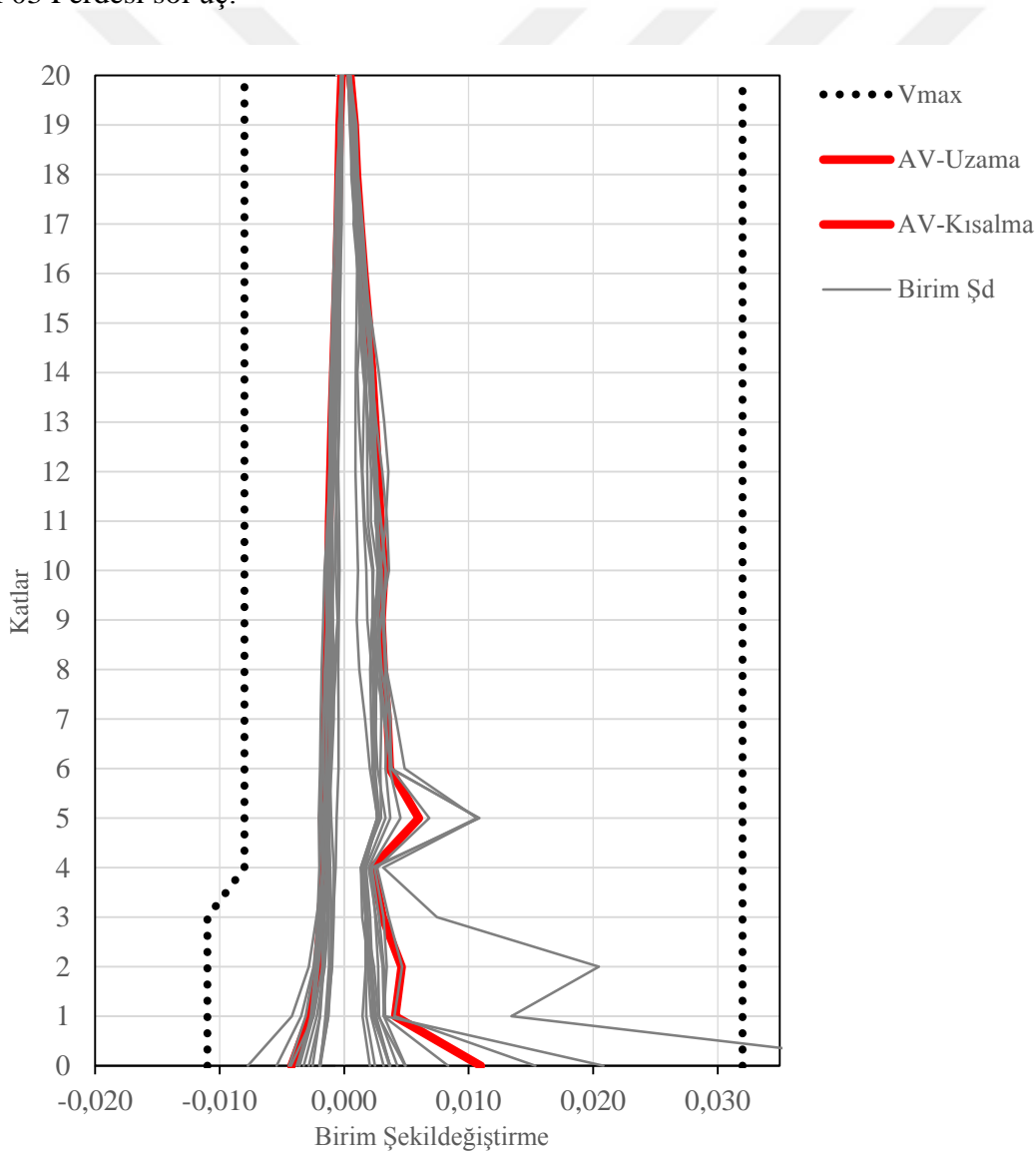
Perde uç birim uzama ve kısalma değerleri, hesaplanan sınır değerler ile karşılaştırılarak kontrol edilecektir. P03 perdesini sol uç (Şekil 7.25) ve sağ ucu (Şekil 7.26) için yapılan kontroller ve birim şekilgeştirme sınır değerleri aşağıda gösterilmiştir. Yapılan kontroller neticesinde incelenen perdelerin birim şekilgeştirme kapasitelerinin yeterli olduğu görülmüştür.

Kritik katlarda birim kısalma sınır değeri: 0.011

Kritik katların üzerinde birim kısalma sınır değeri: 0.008

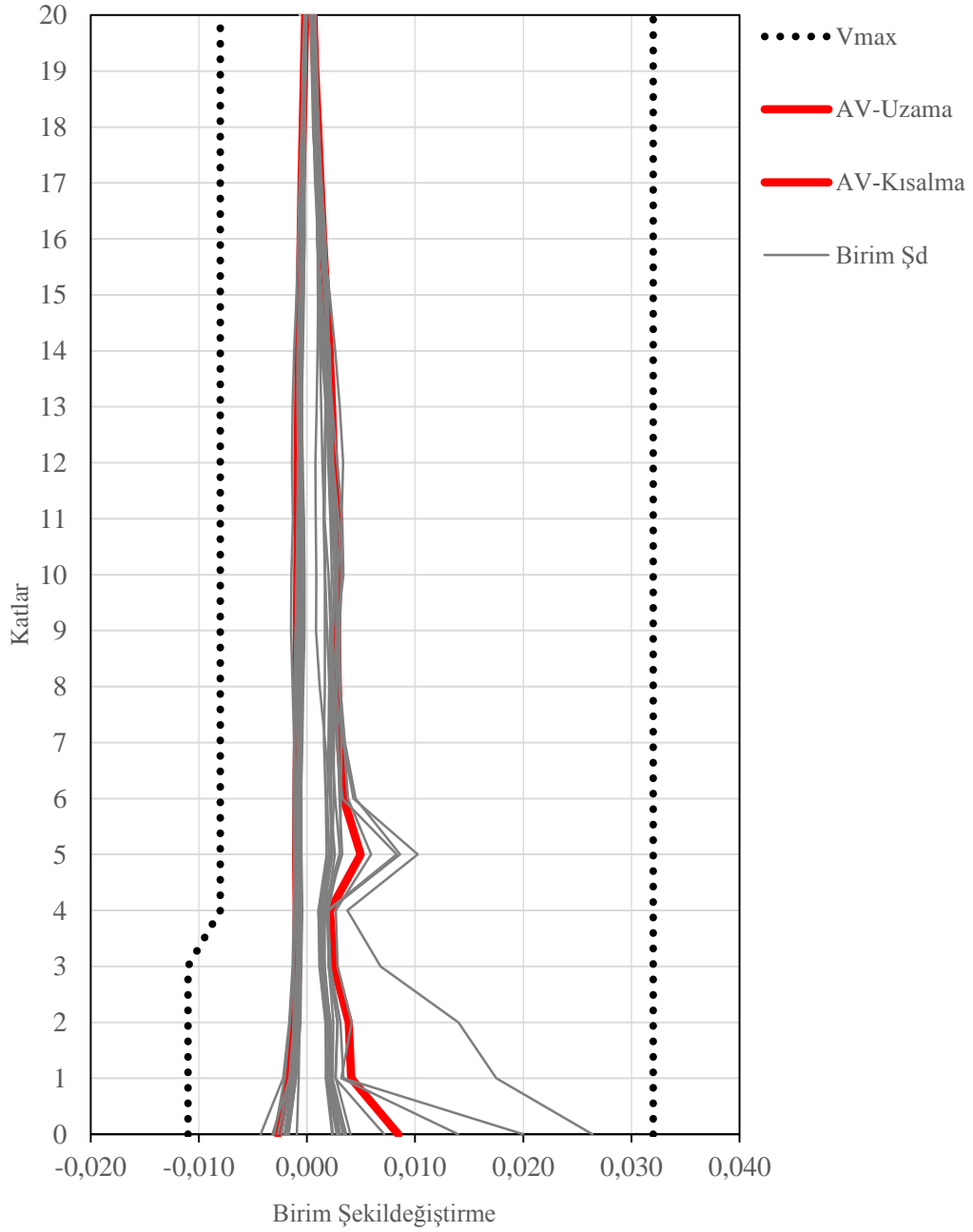
Birim uzama sınır değeri: 0.032

P03 Perdesi sol uç:



Şekil 7.25 : P03 perdesi sol uç birim şekilgeştirme kontrolleri.

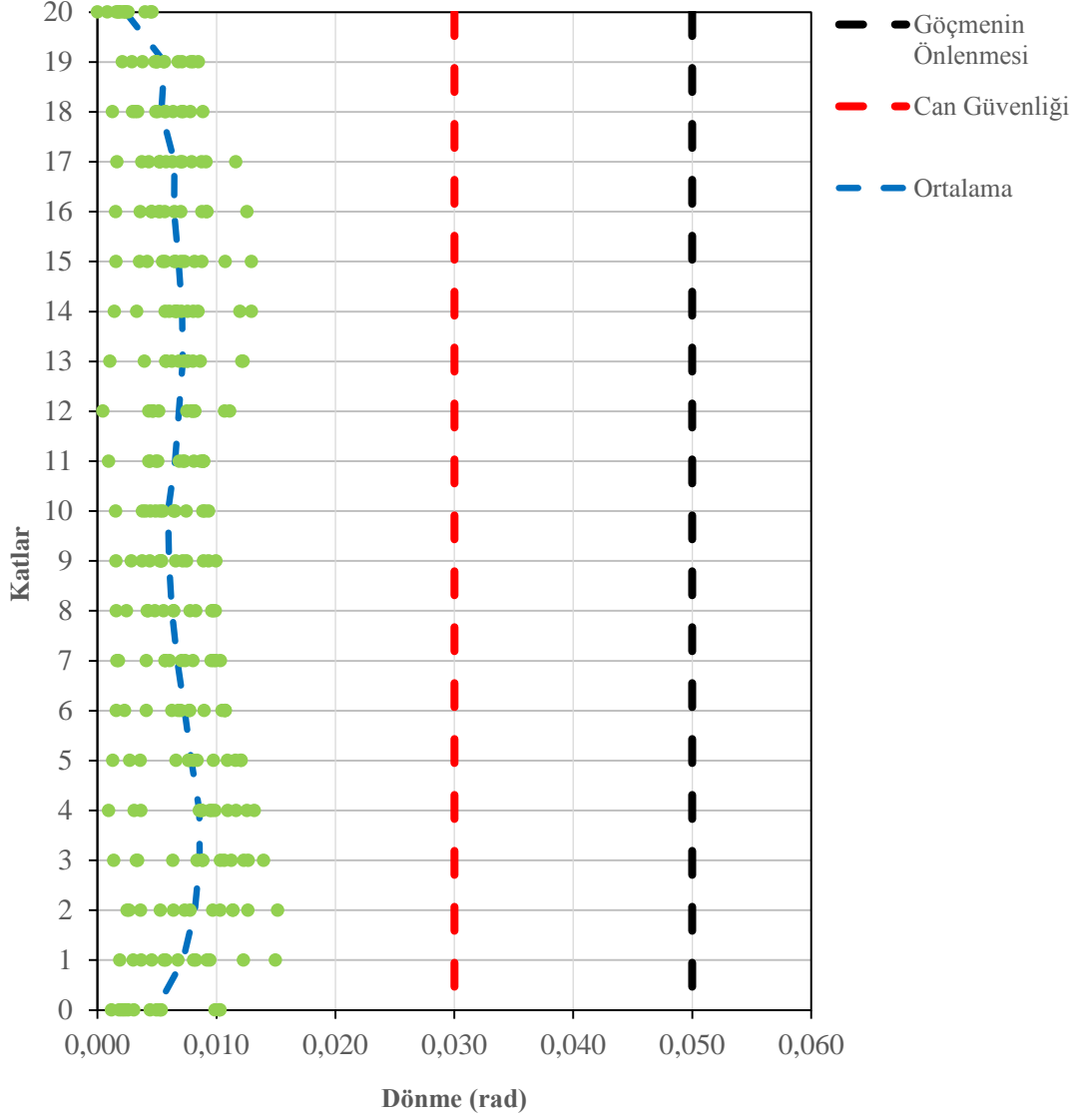
P03 Perdesi sağ uç:



Şekil 7.26 : P03 perdesi sağ uç birim şekildeğiştirme kontrolleri.

7.1.6.7 Bağ kiriş dönme değerleri kontrolü

Bağ kirişler modellenirken deplasman tipi mafsal kullanılmıştı. Analizler sonucunda elde edilen deplasman değerleri bağ kiriş boyuna bölünerek dönme değerleri elde edilmiştir. Hesaplanan dönme değerleri Çizelge 4.12’de verilen sınır değerler ile karşılaştırılarak değerlendirilecektir. Bağ kiriş dönme değerleri kontrolü Şekil 7.27’de gösterilmiştir.



Şekil 7.27 : Bağ kiriş dönme değerleri kontrolü.

7.2 Amerikan Yönetmeliklerine Göre Doğrusal Olmayan Analiz

Amerikan yönetmeliklerine göre doğrusal olmayan tasarımda; ASCE 07-10, FEMA 750, ASCE 41-13, ACI 318-14, Peer Task 12 Raporu ve LATBSDC yönetmelikleri kullanılmıştır.

7.2.1 Performans hedefleri

Performans hedefleri, bina risk kategorisine göre belirlenmektedir. Doğrusal hesap kısmında verildiği üzere bina risk kategorisi I olarak belirlenmiştir. Buna bağlı olarak, Çizelge 4.5'e göre BSE-1N deprem düzeyi için can güvenliği, BSE-2N deprem düzeyi için göçmenin önlenmesi performans hedefinin sağlanması

gerekmektedir. Doğrusal deprem hesabı BSE-1N deprem düzeyi için yapılmıştır. Şekil 4.4'te verildiği üzere doğrusal olmayan hesapta, göçmenin önlenmesi performans düzeyi ve normal yapılar (OCII: Ordinary) için yapılacak analiz MCE düzeyinde olacaktır. Bu deprem düzeyine BSE-2N karşı gelmektedir ve analiz bu deprem düzeyi için yapılacaktır.

7.2.2 Hesaplamalarda kullanılacak malzeme özellikleri

Doğrusal olmayan hesapta malzemelerin karakteristik dayanımları yerine beklenen (ortalama) dayanımları kullanılacaktır. Malzeme beklenen dayanımları 4.2.11'de verilmiştir. Hesaplanan değerler aşağıda gösterilmiştir.

Beton Sınıfı	: C50	$f_{ce} = 65000 \text{ kN/m}^2$
Elastisite Modülü	: (C50)	$E = 33420 \text{ N/mm}^2$
Kayma Modülü	: (C50)	$G = 13370 \text{ N/mm}^2$
Donatı Sınıfı	: B420C	$f_{yk} = 491400 \text{ kN/m}^2$

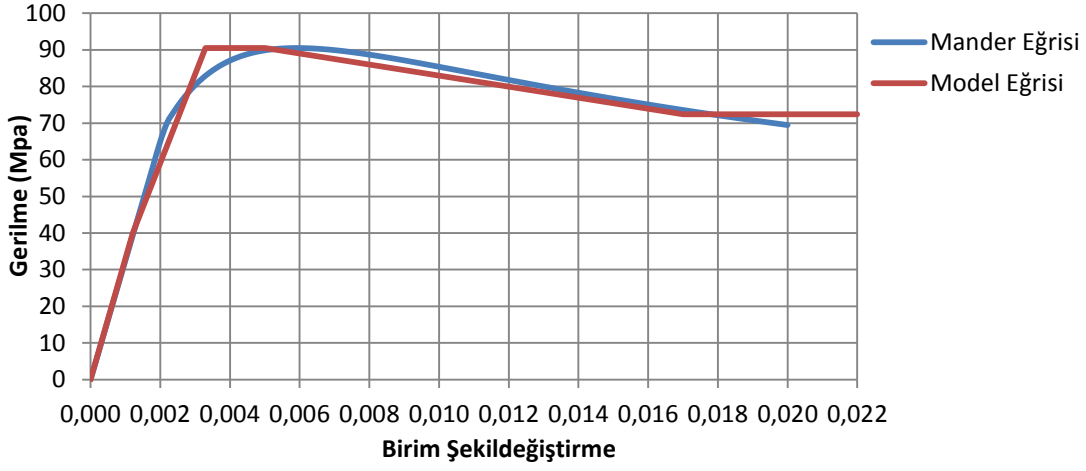
7.2.3 Etkin rijitlik değerleri

Kolon ve kirişlerde plastik mafsallar arasında kalan kısımların etkin rijitlik değerleri Çizelge 4.7'de verilen etkin rijitlik çarpanları ile hesaplanacaktır. Perdelerde yayılı plastik mafsal (lif) kabulü yapıldığından dolayı etkin kesit rijitlik değeri hesabı yapılmasına gerek yoktur.

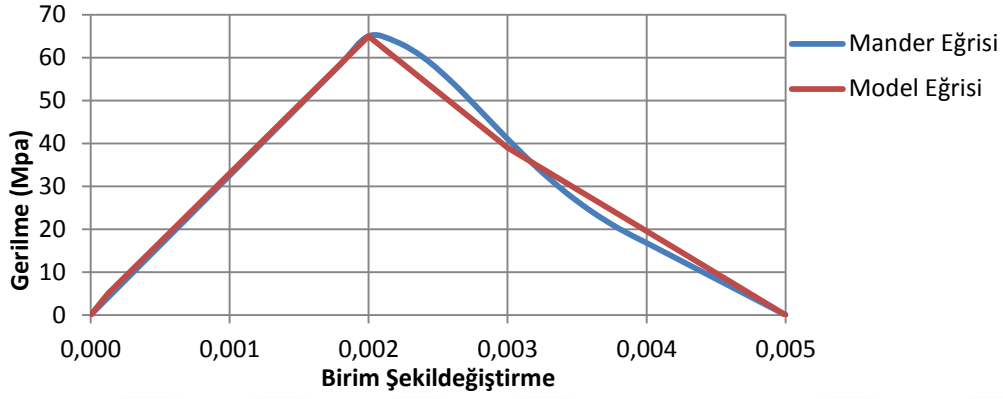
7.2.4 Beton gerilme-şekildeğiştirme modelleri

Perdeler için tanımlanacak kesit hücresi (lif) model için beton gerilme-şekildeğiştirme ilişkilerinin tanımlanması gerekmektedir. Bu ilişkiler TBDY'de verilen bağıntılar yardımıyla tanımlanmıştır. Bu kapsamda 2 adet gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi tanımlanmıştır. Birinci gerilme-şekildeğiştirme diyagramı, perdeleri etriyeler ile sarılmış (sargılı beton) uç bölgeleri için tanımlanmıştır (Şekil 7.28). İkinci bağıntı perdelerin etriyeler ile sarılmamış (sargısız beton) gövde bölgeleri için tanımlanmıştır (Şekil 7.29).

Diyagramlarda “Mander Eğrisi” olarak belirtilen eğri, verilen bağıntılar yoluyla hesaplanan eğriyi göstermektedir. “Model Eğrisi” olarak belirtilen eğri ise Perform 3D modeline girilecek olan doğrusallaştırılmış eğriyi göstermektedir.



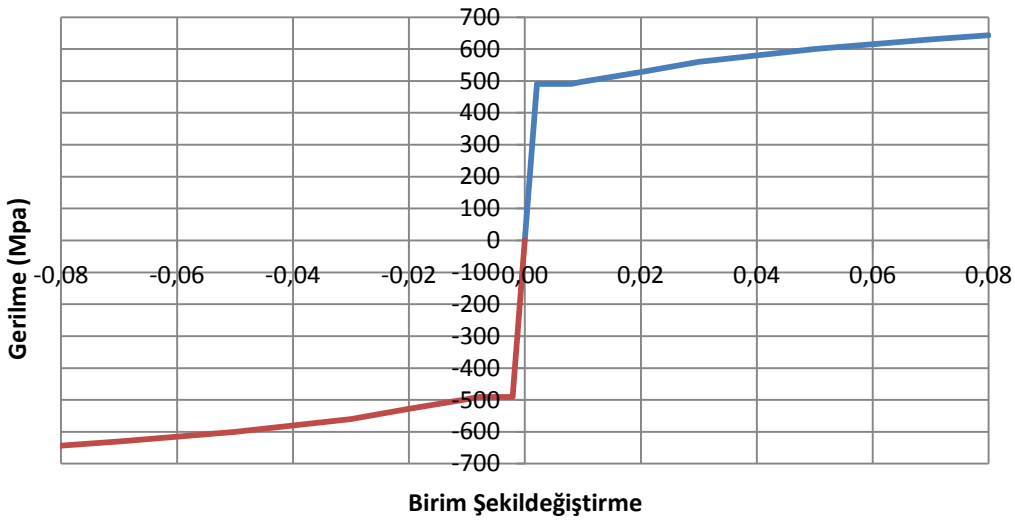
Şekil 7.28 : Sargılı beton modeli.



Şekil 7.29 : Sargısız beton modeli.

7.2.5 Donatı çeliği gerilme-şekildeğiştirme modeli

Donatı çeliği için gerilme-şekildeğiştirme bağıntısı Şekil 7.30'da verilmiştir.



Şekil 7.30 : Donatı çeliği gerilme-şekildeğiştirme bağıntısı.

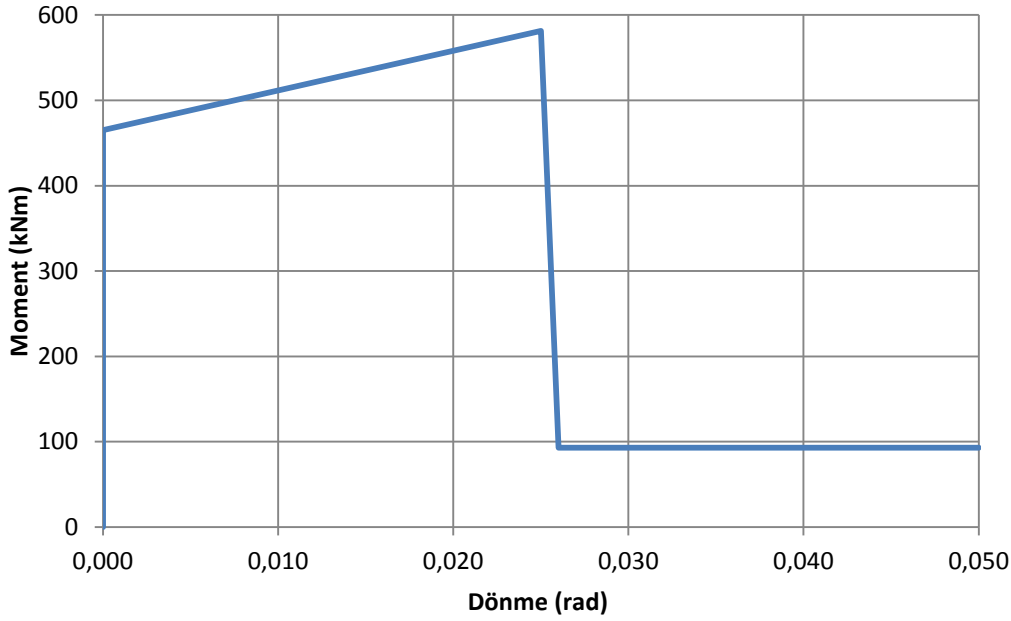
7.2.6 Kesit tanımları

7.2.6.1 Kiriş plastik mafsalları

Kiriş plastik mafsalları yığılı plastik mafsal kabulü ile göre gözönüne alınmıştır. Kirişlerde oluşan aksenal kuvvetler $0.10A_c f_{ck}$ değerinden düşük olduğundan plastik mafsallar modellenirken aksenal kuvvet etkisi ihmal edilmiştir. Modelleme parametreleri Çizelge 4.9'a göre belirlenmiştir. Tasarlanan kirişlerin göçme modu eğilme olduğundan dolayı "Durum i" dikkate alınmıştır. Etriyelerin kesme dayanımına katkısının gözönüne alınıp alınamayacağı ise 4.2.10'da anlatıldığı üzere 2 koşula bağlanmıştır. İlk koşula göre, plastik mafsal bölgesinde etriye aralıklarının $d/3$ 'den küçük olması gerekmektedir. Kiriş faydalı yüksekliği 56 cm olduğundan $d/3$ değeri 18.7 cm olarak bulunmaktadır. Etriye aralıkları plastik mafsal bölgesinde 10 cm olduğundan dolayı bu şart sağlanmaktadır. İkinci koşula göre, etriyelerin kesme dayanımının, dizayn kesme dayanımının $3/4$ 'ünden fazla olması gerekmektedir. Tipik 60/60'lık kirişlerde etriyelerin kesme dayanımı 642 kN'dur. Bu tip kirişlerde oluşan maksimum kesme kuvveti 365 kN olduğundan dolayı modellemede etriyelerin kesme dayanımına katkısı gözönüne alınacaktır. Modelleme parametrelerinin belirlenmesinde dikkate alınan bir diğer husus, kesitte çekme bölgesinde bulunan donatı alanının dengeli durumdaki donatı alanına oranıdır. İç akslarda yer alan tipik 60/60 kirişlerde çekme bölgesinde bulunan donatı alanı 1781 mm^2 'dir. Dengeli durumda donatı alanı 9647 mm^2 olup, hesaplanacak olan oranı 0.18 bulunmuştur. Modellemede kullanılan bir diğer parametre ise dizayn kesme kuvvetinin, kesitin taşıyabileceği maksimum kesme kuvvetine oranı olup bu oran 0.15 bulunmuştur. Xtract programı ile kesitin akma dayanımı 465 kNm olarak bulunmuştur. Hesaplanan bu parametreler doğrultusunda a katsayısı 0.025, b katsayısı 0.050 ve c katsayısı 0.20 olarak belirlenmiştir. İç akslarda yer alan 60/60'lık kirişler için plastik mafsal modellemesinde kullanılacak moment-dönme diyagramı Şekil 7.31'de verilmiştir.

7.2.6.2 Kolon plastik mafsalları

Kolon plastik mafsalları kirişler de olduğu gibi yığılı plastik mafsal kabulüyle modellenmiştir. Kirişlerden farklı olarak kolonlarda aksenal kuvvet etkisi ve her iki yönde moment etkisi gözönüne alınmıştır. Modelleme parametreleri Çizelge 4.11'e göre belirlenmiştir. Bu parametreler 4.2.10'da anlatıldığı üzere; göçme moduna,



Şekil 7.31 : Tipik 60/60'lık iç kirişler moment-eğrilik diyagramı.

kesitin aksenal kuvvet oranına, enine donatıların hacimsel oranına, kesme kuvveti kapasitesine ve enine donatıların tipine göre belirlenmektedir.

Plastik mafsal durumunun belirlenmesi

Plastik mafsal durumlarının belirlenmesi için öncelikle V_p/V_0 oranı belirlenecektir. V_p kesitte oluşan dizayn kesme kuvvetini göstermektedir ve C4 kolonu için 158 kN olarak bulunmuştur. V_0 ise ASCE 41-13'te verilen (10-3) denklemi ile hesaplanacaktır. V_0 , kesitin eğilme sünekliği düzeltme katsayısı kullanılmadan hesaplanan kesme dayanımını ifade etmektedir. ASCE 41-13 (10-3) denkleminde verilen "k" katsayısı eğilme sünekliği düzeltme katsayısını ifade etmektedir. Kesitin kesme dayanımı hesaplanırken bu katsayısı 1.0 alınacaktır. C4 kolonun +4.00 kotunda, plastik mafsal bölgelerinde kesme dayanımı aşağıda hesaplanmıştır.

$$V_0 = \left[\frac{9 \times 113 \times 365 \times 1060}{100} + \left(\frac{0.5 \times \sqrt{50}}{1117 \times 10^6 / 158000 \times 1100} \sqrt{1 + \frac{24000000}{0.5 \times \sqrt{50} \times 1100^2}} \right) 0.8 \times 1100^2 \right] / 1000$$

$$= 5304 \text{ kN}$$

Kesitte oluşan dizayn kesme kuvveti 158 kN olup V_p/V_0 oranı 0.03 olarak bulunmuştur. Buna ilave olarak; enine donatı olarak 135° kancalı kapalı etriye kullanıldığı, enine donatıların hacimsel oranı $9 \times 113 / 1100 \times 100 = 0.0092 > 0.002$ olduğu ve s / d oranı ($100 / 1060 = 0.094$) 0.5'ten küçük olduğundan dolayı ilgili kolonun plastik mafsalı "Durum i" olarak belirlenmiştir.

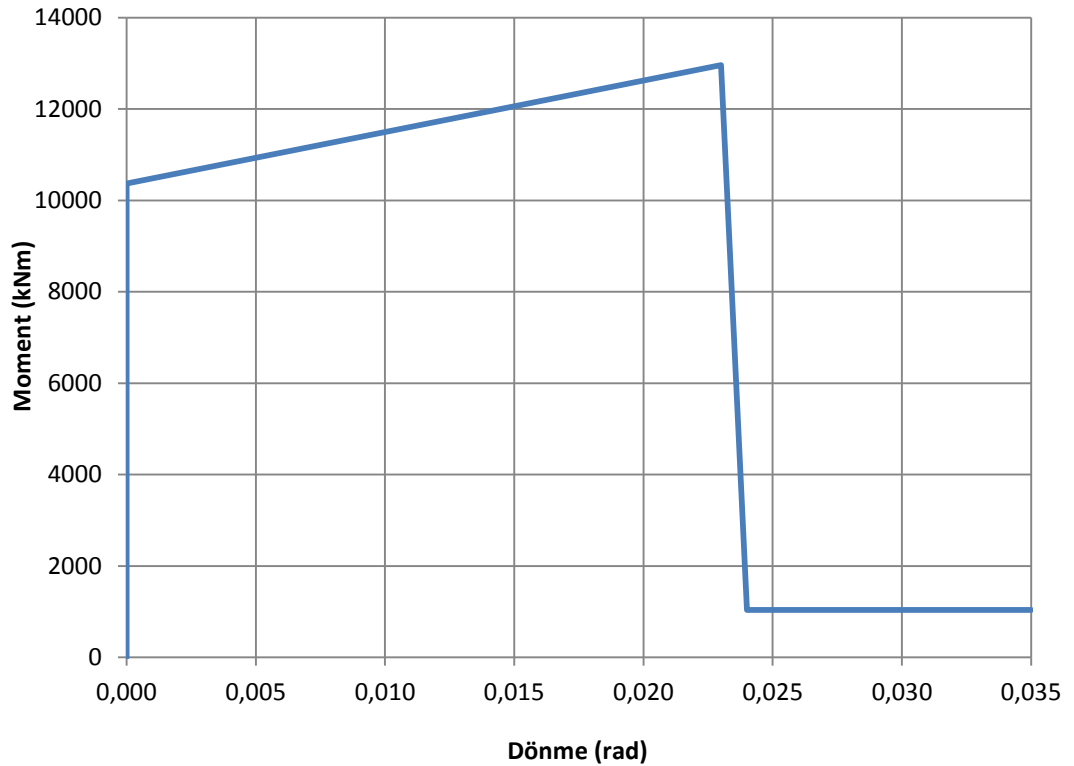
Eksenel kuvvet oranı

C4 kolonunda oluşan maksimum eksenel kuvvet 21000 kN olup eksenel kuvvet oranı 0.35 olarak bulunmaktadır. Çizelge 4.11’de bu eksenel kuvvet oranı ara bir değere denk geldiğinden dolayı modelleme katsayıları belirlenirken enterpolasyon yapılacaktır.

Enine donatı oranı

Enine donatıların hacimsel oranı 0.0092 olarak bulunmuştur. Bu oran 0.006’dan büyük olup modelleme katsayıları seçilirken bu durum dikkate alınacaktır.

Xtract programı ile kesitin akma dayanımı 10370 kNm olarak bulunmuştur. Hesaplanan bu parametreler doğrultusunda a katsayısı 0.023, b katsayısı 0.035 ve c katsayısı 0.10 olarak belirlenmiştir. S109 kolonu moment-dönme diyagramı Şekil 7.32’de, karşılıklı etki diyagramı Şekil 7.33’de gösterilmiştir.

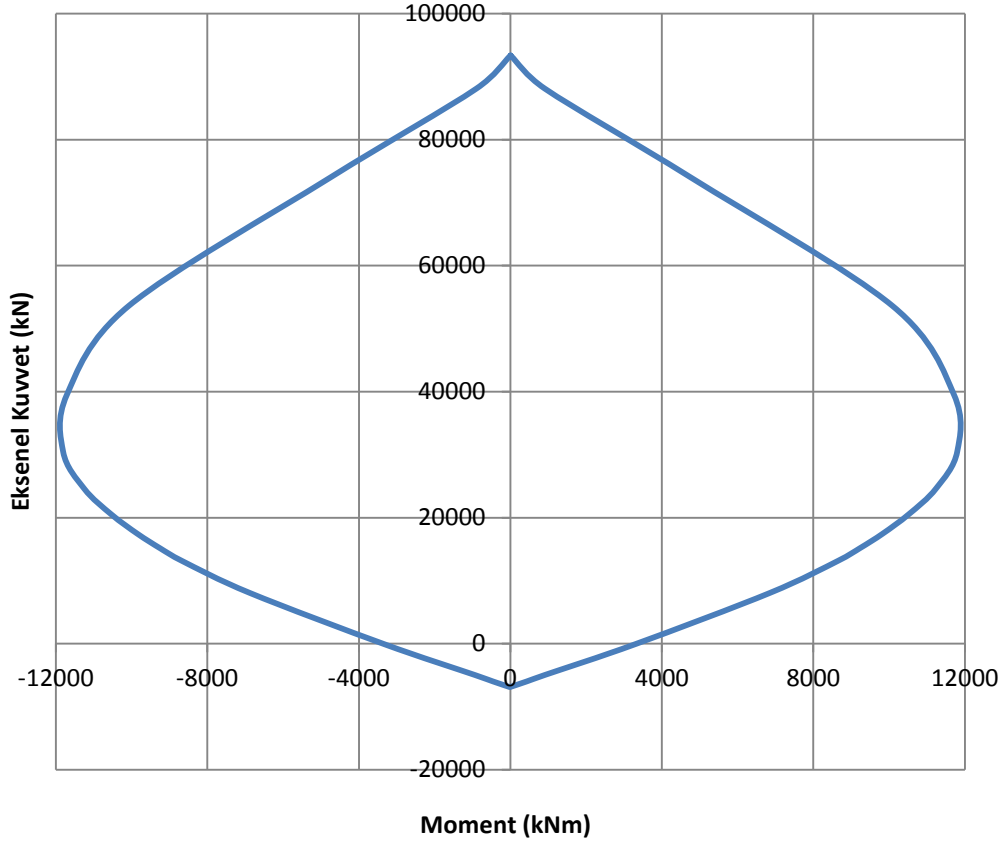


Şekil 7.32 : C4 Kolonu moment-dönme diyagramı.

7.2.6.3 Perde kesitlerinin tanımlanması

Yapıda yer alan perdeler yayılı plastik mafsal kabulüne göre modellenmiştir. Perdeler, fiber olarak tanımlanan kesit hücrelerine (lif) ayrılarak, her bir parçaya

denk gelen beton ve donatı alanı hesap edilmiştir. Modellemeler, Türk deprem yönetmeliklerine göre yapılan hesapta gösterildiği şekilde yapılmıştır.



Şekil 7.33 : C4 Kolonu karşılıklı etki diyagramı.

7.2.6.4 Bağ kiriş kesme mafsalı

Bağ kirişler Türk deprem yönetmeliğine göre yapılan hesapta anlatıldığı gibi modellenmiştir. Modelleme parametrelerinin hesabı ve kesme mafsalı grafiği Şekil 7.34'de gösterilmiştir.

Seçilen boyuna donatı: 6Ø28, Kiriş açıklığı: 1.20 m

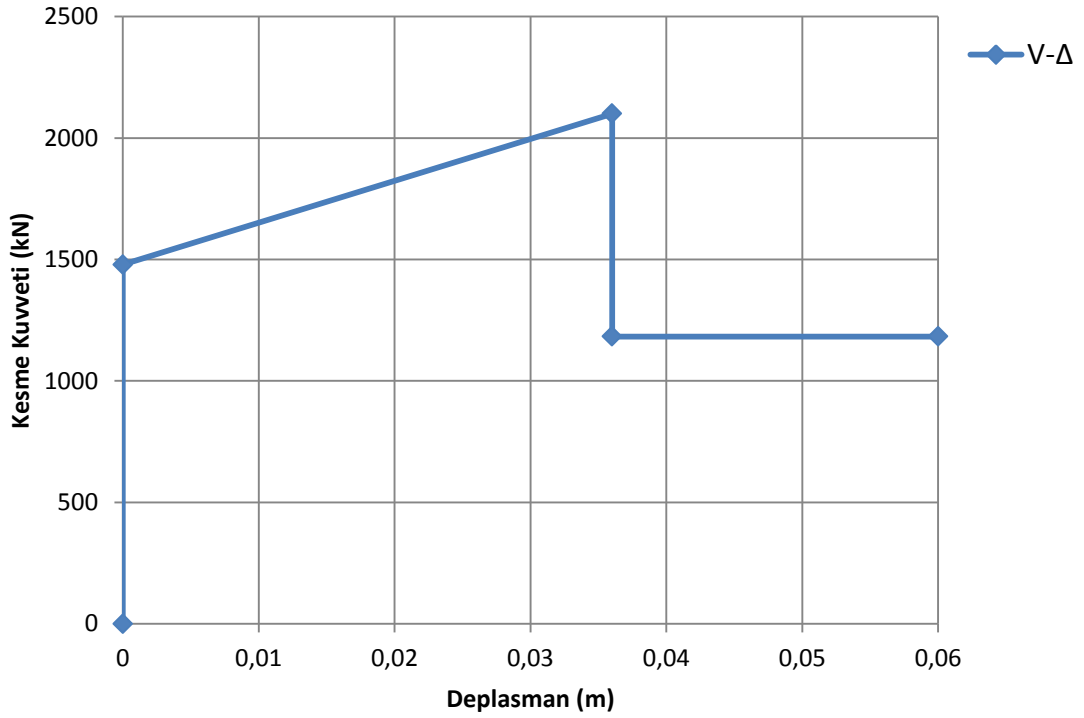
$$\text{Akma kesme kuvveti} = 2 \times 3690 \times 504 \times \sin 23.43/1000 = 1479 \text{ kN}$$

$$\text{Maksimum kesme kuvveti} = 1.42 \times 1479 = 2100 \text{ kN}$$

$$\text{Arta kalan kesme kuvveti (c)} = 0.80 \times 1479 = 1183 \text{ kN}$$

$$\text{Maksimum kesme kuvvetinde deplasman (a)} = 0.030 \times 1.20 = 0.036 \text{ m}$$

$$\text{Kopma deplasmanı (b)} = 0.050 \times 1.20 = 0.060 \text{ m}$$



Şekil 7.34 : Kesme mafsalı V-Δ grafiği.

7.2.7 Deprem kayıtlarının ölçeklendirilmesi

Analizlerde Türk deprem yönetmeliklerine göre hesapta kullanılan deprem kayıtları ve ölçeklendirme katsayıları kullanılmıştır.

7.2.8 Doğrusal olmayan modelleme ile ilgili gözönüne alınan diğer hususlar

Doğrusal olmayan modellemede dikkat edilen diğer hususlar aşağıda listelenmiştir.

- Sönüm için Rayleigh orantılı sönüm matrisi kullanılmıştır. Sönüm oranı %2.5 alınmıştır.
- P-Δ etkileri gözönüne alınmıştır.
- Tekrarlı yükler altında, betonarme perde elemanlarda dayanım kaybı gözönüne alınmıştır. Bunun için donatı ve beton malzemelerinin modellenmesinde “Peer Task 12” raporunda verilen dayanım kaybı katsayıları kullanılmıştır. Kolon ve kirişlerde tekrarlı yükler altındaki dayanım kayıpları ihmal edilmiştir.
- Perdelerin kesme davranışının doğrusal olacağı kabul edilmiştir.
- Döşemelerde rijit diyafram kabulü yapılmıştır.

- Kritik olmayan kesit tesirleri için \emptyset katsayısı 1.0 alınmıştır. Kritik kesit tesirleri içinse ACI 318-14'de verilen \emptyset katsayıları kullanılmıştır.
- Burulma düzensizliği katsayısı 1.50'den büyük olmadığından dolayı eksantirisite kaynaklı burulma momentleri gözönüne alınmamıştır.
- Düşey yükler deprem yükleri ile birleştirilirken; sabit yükler ve hareketli yüklerin $\frac{1}{4}$ 'ü gözönüne alınacaktır.
- Kolon ve kirişlerin plastik dönme sınır değerlerinin belirlenmesinde Çizelge 4.9 ve Çizelge 4.11'de verilen parametreler kullanılacaktır.
- Perde uç birim şekildeğiştirmeleri kontrol edilirken, sargısız betonda maksimum birim kısalma değeri 0.002'yi aşmayacaktır. Sargılı betonda ise gerilme-şekildeğiştirme 0.022'yi geçmeyecektir. Ancak bu oran ASCE 41-13 ile 0.02 değeri ile sınırlandırıldığından kontroller bu değere göre yapılacaktır. Maksimum çekme uzaması ise 0.05 değerini aşmayacaktır.

7.2.9 Analizlerin gerçekleştirilmesi

7.2.9.1 Modal analiz sonuçları

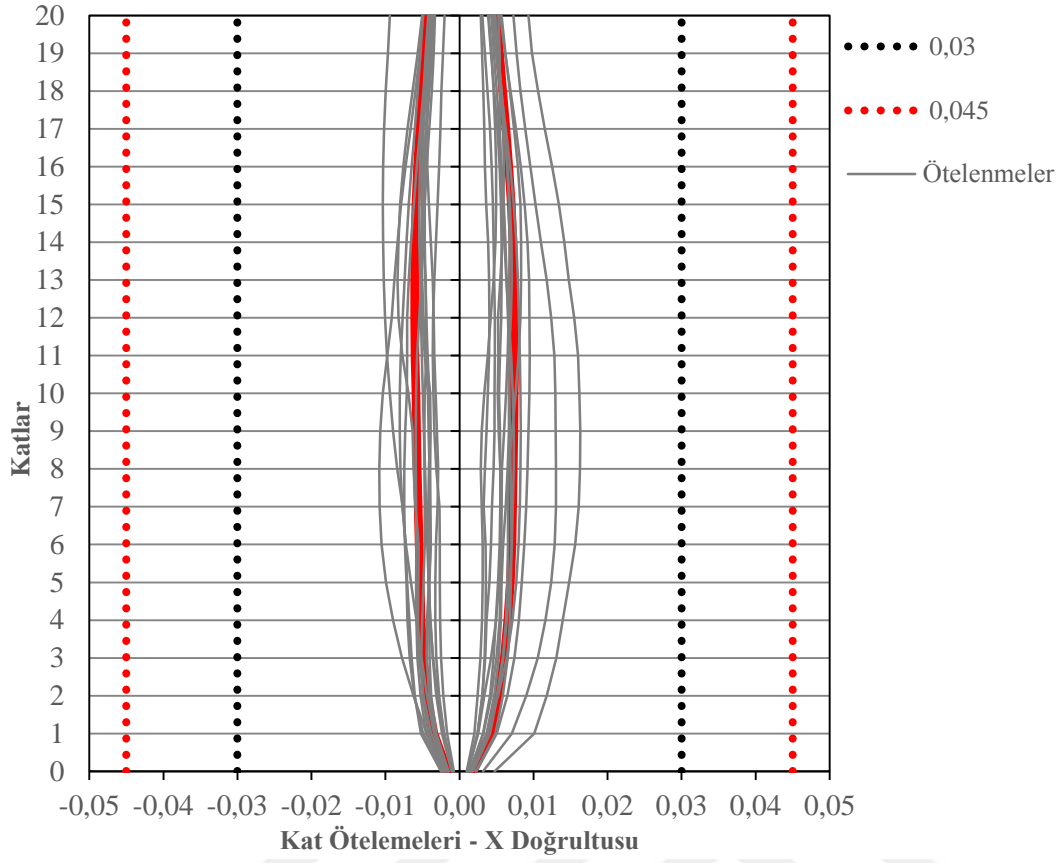
Modellenen yapının doğru olarak modellenip modellenmediğini anlayabilmek için modal analiz sonuçları kullanılacaktır. Modal analizde başlangıç rijitlik değerleri kullanılmaktadır. Bu sayede modal analiz ile edilen değerler doğrusal analiz için yapılan modal analiz sonuçlarıyla karşılaştırılabilmektedir. Her iki analizden elde edilen periyot ve kütle katılım değerleri birbirine yakın olduğu takdirde, yapının rijitliğinin ve kütesinin doğru olarak modellendiği anlaşılacaktır. Modal analiz sonuçları Çizelge 7.5'te verilmiştir. Çizelge 6.26'da doğrusal analiz için verilen modal analiz sonuçları ve Çizelge 7.5 karşılaştırıldığı takdirde, elde edilen sonuçların birbirine yakın olduğu görülmektedir.

7.2.9.2 Göreli kat ötelemeleri kontrolü

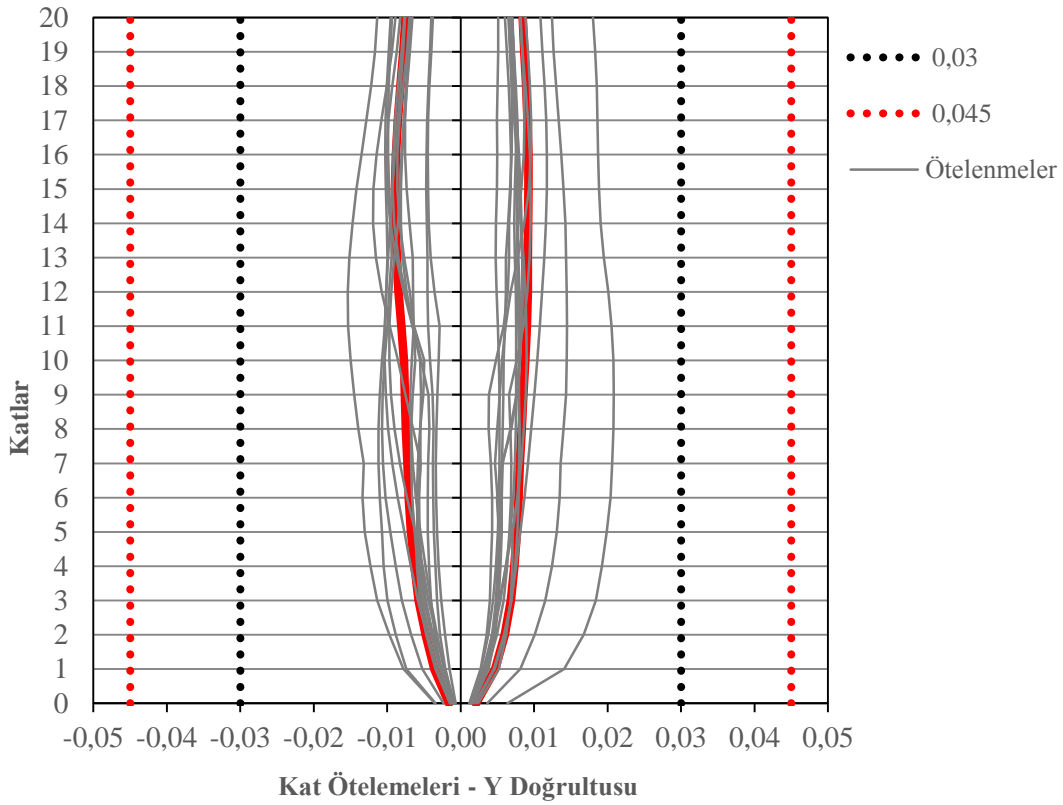
Elde edilen göreli kat ötelemelerinin ortalaması 0.03 değerini, tek bir depremden elde edilen göreli kat ötelemesi değerinin 0.045'i geçmemesi gerekmektedir. X Doğrultusunda göreli kat ötelemeleri kontrolü Şekil 7.35'de, Y doğrultusunda göreli kat ötelemeleri kontrolü Şekil 7.36'da gösterilmiştir. Verilen diyagramlardan görüldüğü üzere tasarlanan yapı gereken şartları sağlamaktadır.

Çizelge 7.5 : Kütle katılım oranları tablosu.

Mode No	Period	H1 Direction for Mode	H2 Direction for Mode	V Direction for Mode	Cumulative H1 Direction	Cumulative H2 Direction	Cumulative V Direction
1	3,08	0,4399	0,0000	0,0000	0,4399	0,0000	0,0000
2	2,75	0,0000	0,6609	0,0001	0,4399	0,6609	0,0001
3	1,81	0,2468	0,0000	0,0000	0,6867	0,6609	0,0001
4	0,79	0,0929	0,0000	0,0000	0,7797	0,6609	0,0001
5	0,69	0,0000	0,1811	0,0002	0,7797	0,8420	0,0003
6	0,58	0,0719	0,0000	0,0000	0,8516	0,8420	0,0003
7	0,35	0,0341	0,0000	0,0000	0,8857	0,8420	0,0003
8	0,30	0,0000	0,0630	0,0003	0,8857	0,9050	0,0006
9	0,27	0,0278	0,0000	0,0000	0,9135	0,9050	0,0006
10	0,24	0,0000	0,0000	0,2378	0,9135	0,9050	0,2384
11	0,23	0,0000	0,0000	0,0000	0,9135	0,9050	0,2384
12	0,23	0,0000	0,0000	0,1317	0,9135	0,9050	0,3701
13	0,22	0,0001	0,0000	0,0000	0,9136	0,9050	0,3701
14	0,22	0,0000	0,0000	0,0213	0,9136	0,9050	0,3914
15	0,21	0,0004	0,0000	0,0000	0,9140	0,9050	0,3914
16	0,21	0,0000	0,0000	0,0000	0,9140	0,9050	0,3914
17	0,21	0,0178	0,0000	0,0000	0,9318	0,9050	0,3914
18	0,20	0,0000	0,0000	0,0573	0,9318	0,9051	0,4488
19	0,19	0,0000	0,0000	0,0000	0,9319	0,9051	0,4488
20	0,19	0,0000	0,0000	0,0736	0,9319	0,9051	0,5224
21	0,19	0,0000	0,0000	0,0001	0,9319	0,9051	0,5224
22	0,19	0,0000	0,0000	0,0051	0,9319	0,9051	0,5275
23	0,18	0,0000	0,0036	0,0253	0,9319	0,9087	0,5529
24	0,18	0,0000	0,0000	0,0000	0,9319	0,9087	0,5529
25	0,18	0,0000	0,0293	0,0047	0,9319	0,9380	0,5576
26	0,17	0,0126	0,0000	0,0000	0,9445	0,9380	0,5576
27	0,15	0,0000	0,0001	0,1601	0,9445	0,9381	0,7177
28	0,14	0,0115	0,0000	0,0000	0,9559	0,9381	0,7177
29	0,14	0,0000	0,0000	0,0000	0,9559	0,9381	0,7177
30	0,14	0,0000	0,0000	0,0034	0,9559	0,9381	0,7211
31	0,14	0,0000	0,0000	0,0000	0,9559	0,9381	0,7211
32	0,14	0,0000	0,0000	0,0149	0,9559	0,9381	0,7360
33	0,14	0,0001	0,0000	0,0000	0,9560	0,9381	0,7360
34	0,14	0,0000	0,0000	0,0002	0,9560	0,9382	0,7361
35	0,14	0,0000	0,0000	0,0000	0,9560	0,9382	0,7361
36	0,14	0,0000	0,0000	0,0002	0,9560	0,9382	0,7363
37	0,14	0,0000	0,0000	0,0000	0,9560	0,9382	0,7363
38	0,14	0,0000	0,0000	0,0001	0,9560	0,9382	0,7364
39	0,14	0,0000	0,0000	0,0000	0,9560	0,9382	0,7364
40	0,14	0,0000	0,0000	0,0000	0,9560	0,9382	0,7364
41	0,14	0,0000	0,0000	0,0000	0,9560	0,9382	0,7364
42	0,14	0,0000	0,0000	0,0000	0,9560	0,9382	0,7364
43	0,14	0,0000	0,0000	0,0000	0,9560	0,9382	0,7364
44	0,14	0,0000	0,0000	0,0000	0,9560	0,9382	0,7364
45	0,14	0,0000	0,0000	0,0000	0,9560	0,9382	0,7364
46	0,14	0,0000	0,0000	0,0000	0,9560	0,9382	0,7364
47	0,14	0,0000	0,0000	0,0000	0,9560	0,9382	0,7364
48	0,14	0,0000	0,0000	0,0000	0,9560	0,9382	0,7364
49	0,14	0,0000	0,0000	0,0000	0,9560	0,9382	0,7364
50	0,14	0,0000	0,0000	0,0000	0,9560	0,9382	0,7364



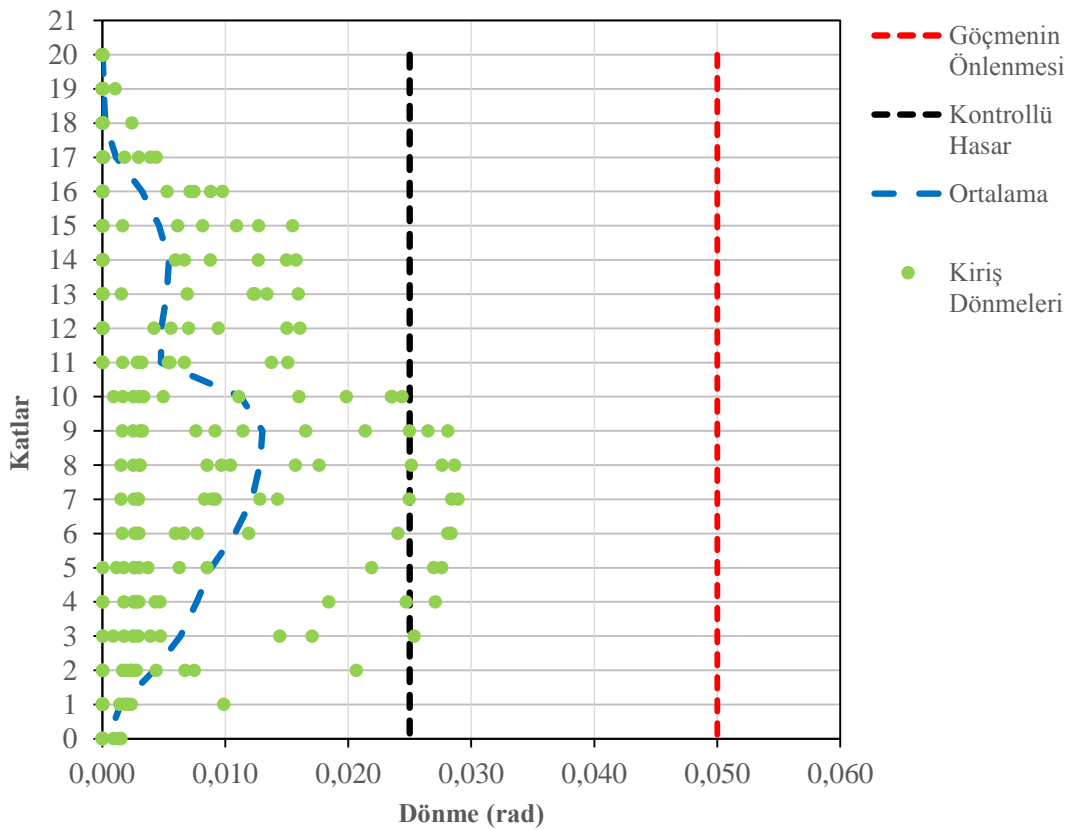
Şekil 7.35 : X Doğrultusunda etkin görel kat ötelemesi kontrolü.



Şekil 7.36 : Y Doğrultusunda etkin görel kat ötelemesi kontrolü.

7.2.9.3 Kiriş plastik dönmelerinin kontrolü

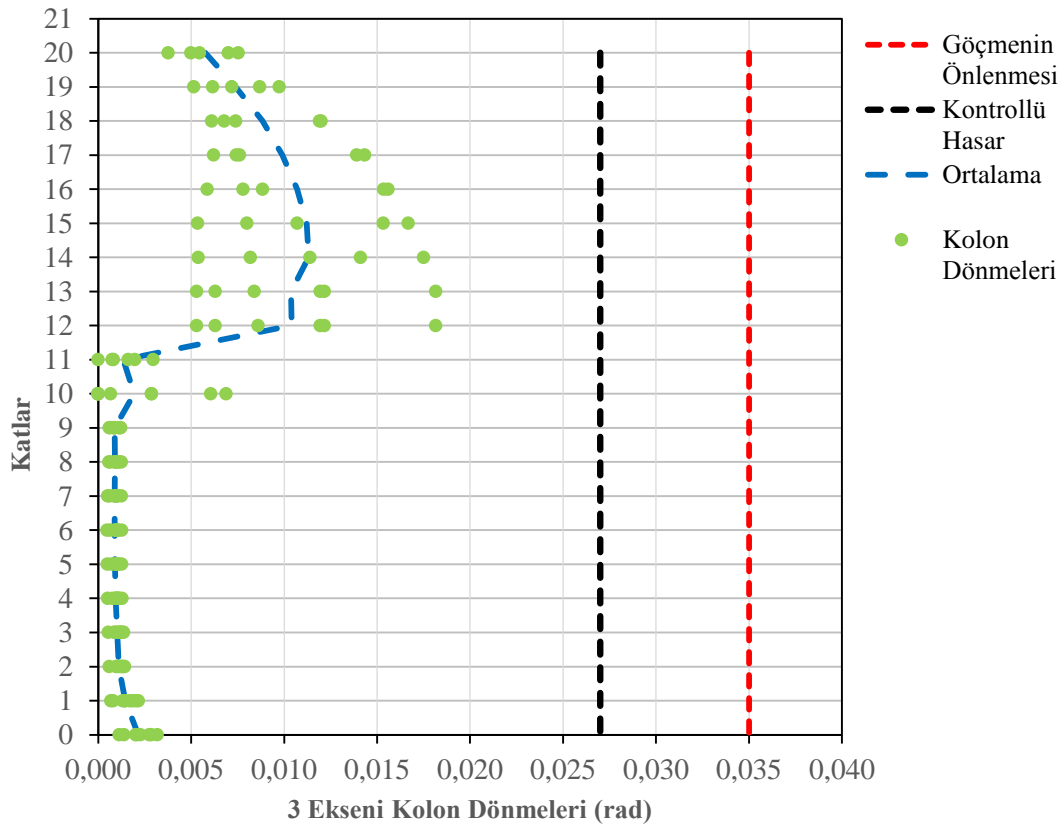
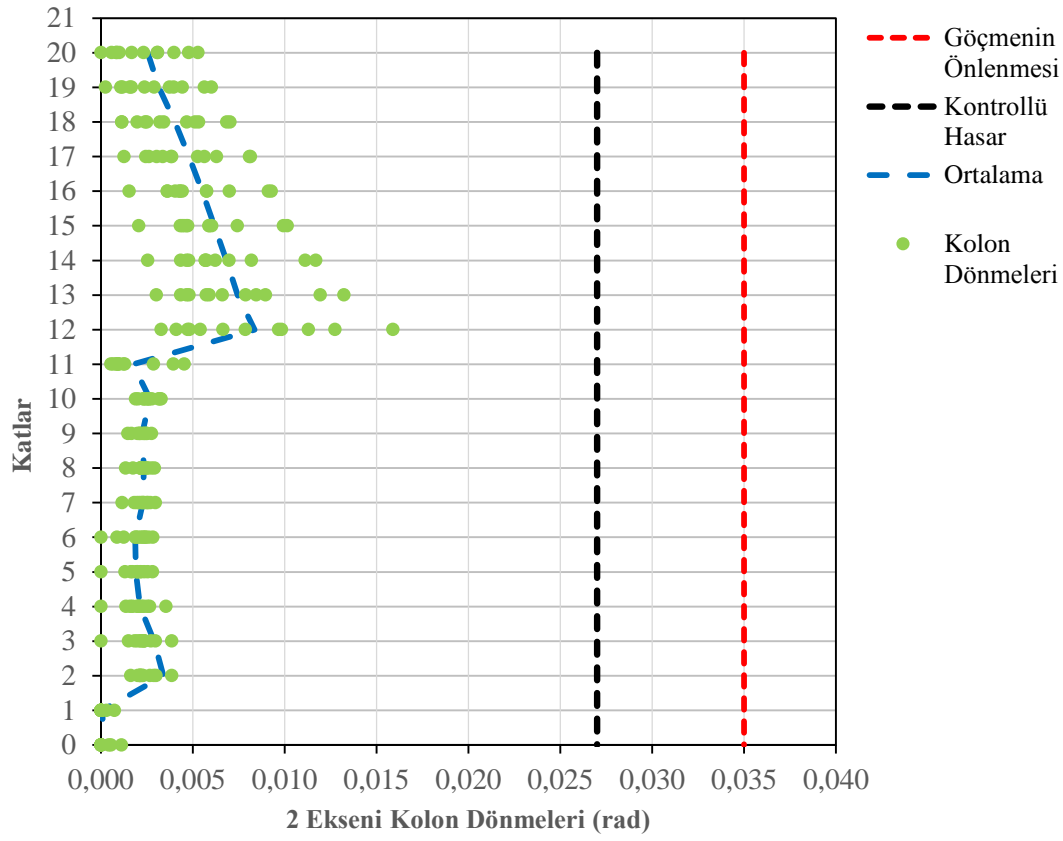
Kiriş plastik dönmeleri Perform 3D programından okunmuştur. B14 kirişinin uç plastik dönmeleri Şekil 7.37’de gösterilmiştir. Şekil 7.37’de; kırmızı çizgi göçmenin önlenmesi performans sınırını, siyah çizgi can güvenliği performans sınırını, mavi çizgi ise 14 analizden elde edilen dönmelerin ortalamasını göstermektedir. Dönmelerde 11. katta meydana gelen ani azalmanın sebebi o katta kolon boyutlarında küçülme olmasıdır. Plastik uç dönmeleri ortalamaları hedeflenen performans düzeyi olan göçmenin önlenmesi performans düzeyinin oldukça altında kalmaktadır ve gereken koşulları sağlamaktadır.



Şekil 7.37 : B4 kirişi uç plastik dönmeleri.

7.2.9.4 Kolon plastik dönmelerinin kontrolü

Kolon plastik dönmelerinin kontrolü kirişlerde olduğu gibi yapılmıştır. C4 kolonunun 2 ekseninde uç plastik dönmeleri Şekil 7.38’de, 3 ekseninde uç plastik dönmeleri Şekil 7.39’da gösterilmiştir. Dönmelerde 11. katta meydana gelen ani artışın sebebi o katta kolon boyutlarında küçülme olmasıdır. Plastik uç dönmeleri ortalamaları hedeflenen performans düzeyi olan göçmenin önlenmesi performans düzeyinin oldukça altında kalmaktadır ve gereken koşulları sağlamaktadır.



7.2.9.5 Kolon aksel kuvvet kontrolü

14 Deprem kaydından elde edilen kolon aksel kuvvetlerinin ortalama değeri $0.40A_{f_{ce}}$ değerini aşmamalıdır. Kolon aksel kuvvetleri kritik kesit tesirlerinden olduğundan dolayı aksel kuvvet değerleri 1.5 ile arttırılacaktır. Kolon aksel kuvvet kontrolü Çizelge 7.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 7.6 : Kolon aksel kuvvet kontrolü.

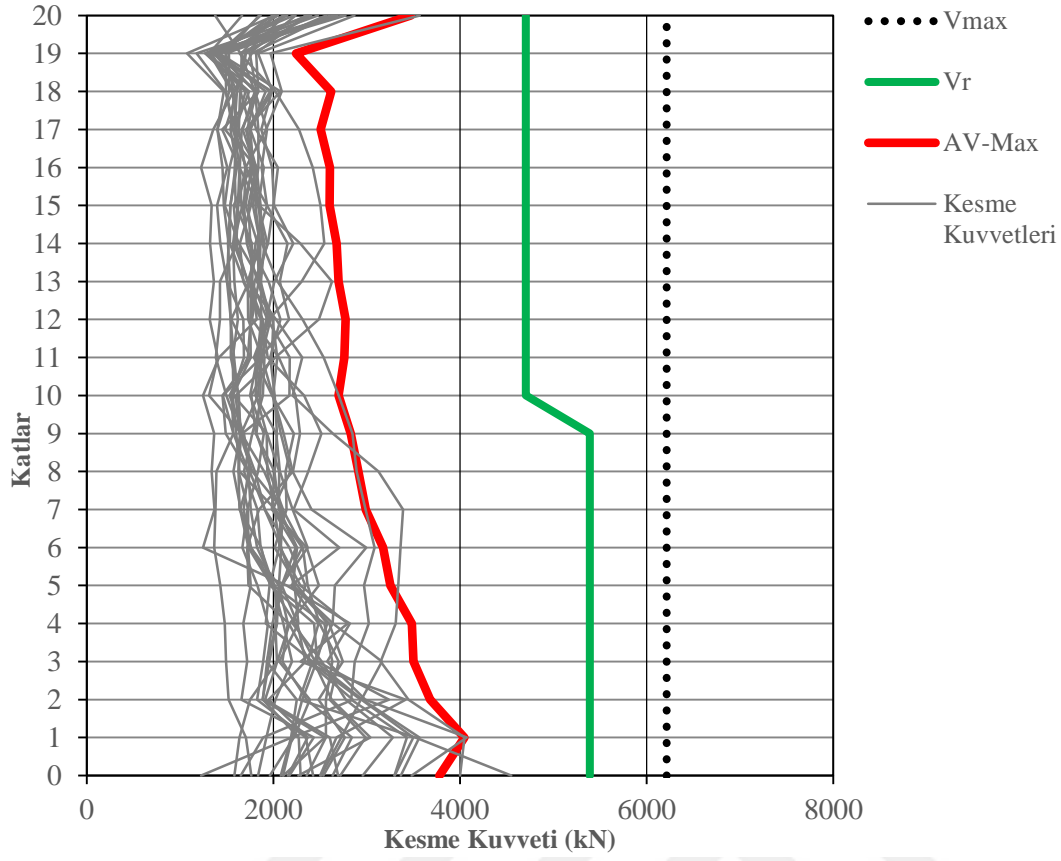
KOLON EKSESEL YÜK KONTROLÜ								
Kat	Kolon	Kesit	b (m)	h (m)	$A_{f_{ce}}$	Ortalama Aksel Kuvvet	Ortalama*1.5	Oran
4,00	C01	C150/60	1,50	0,60	58500	7975	11963	0,20
4,00	C02	C150/60	1,50	0,60	58500	11111	16667	0,28
4,00	C03	C150/60	1,50	0,60	58500	11111	16667	0,28
4,00	C04	C110/110	1,10	1,10	78650	9186	13779	0,18
4,00	C05	C110/110	1,10	1,10	78650	7003	10505	0,13
4,00	C06	C110/110	1,10	1,10	78650	7003	10505	0,13
4,00	C07	C110/110	1,10	1,10	78650	9186	13779	0,18
4,00	C08	C110/110	1,10	1,10	78650	8284	12426	0,16
4,00	C09	C110/110	1,10	1,10	78650	8686	13029	0,17
4,00	C10	C110/110	1,10	1,10	78650	8284	12426	0,16
4,00	C11	C110/110	1,50	0,60	58500	7975	11963	0,20
4,00	C12	C150/60	1,50	0,60	58500	7608	11412	0,20
4,00	C13	C150/60	1,50	0,60	58500	9109	13664	0,23
4,00	C14	C150/60	1,50	0,60	58500	7608	11412	0,20

7.2.9.6 Perde kesme kapasitesi kontrolü

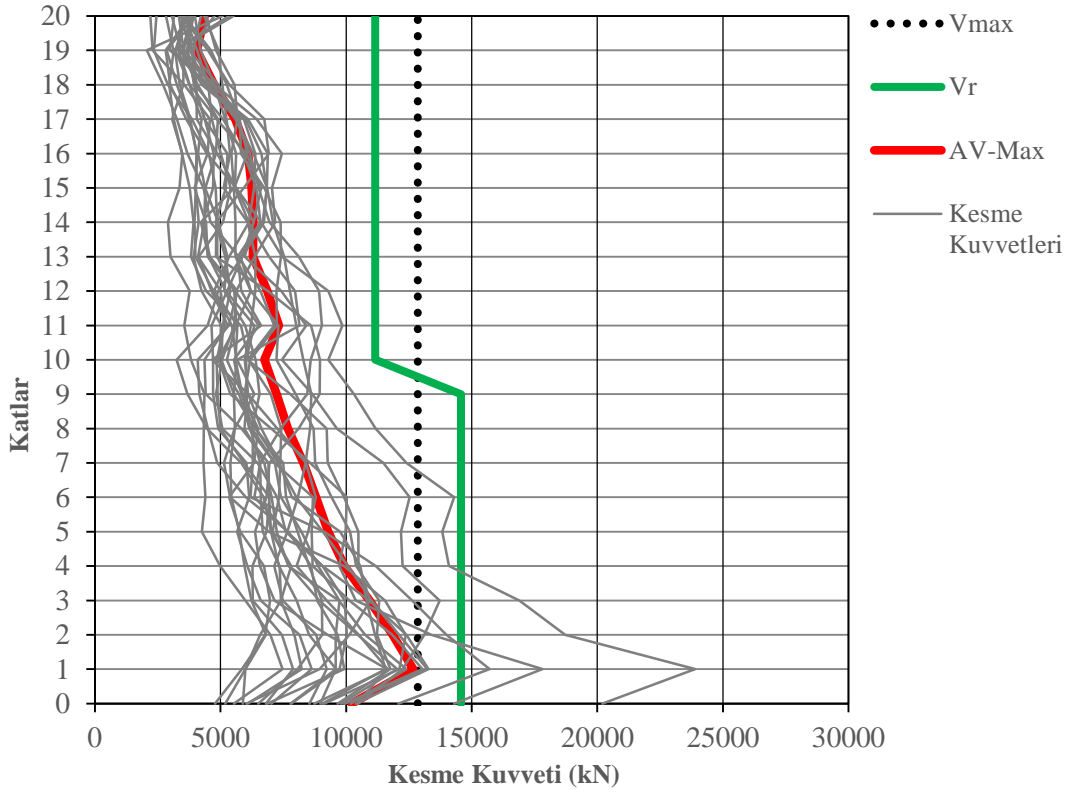
Perdelerin kesme kuvvetleri altındaki davranışı kritik olarak tanımlanan iç kuvvetlerden olduğundan dolayı, her bir deprem kaydından elde edilen kesme kuvveti taleplerinin ortalaması 1.5 katsayısı ile arttırılacaktır. P07 perdesi kesme kapasitesi kontrolü Şekil 7.40'da, P12 perdesi kesme kapasitesi kontrolü Şekil 7.41'de gösterilmiştir.

7.2.9.7 Perde birim şekil değiştirme kontrolü

Perde uç birim uzama ve kısalma değerleri, belirlenen sınır değerler ile karşılaştırılarak kontrol edilecektir. P03 perdesini sol uç (Şekil 7.42) ve sağ ucu (Şekil 7.43) için yapılan kontroller ve birim şekil değiştirme sınır değerleri aşağıda gösterilmiştir. Yapılan kontroller neticesinde incelenen perdelerin birim şekil değiştirme kapasitelerinin yeterli olduğu görülmüştür.

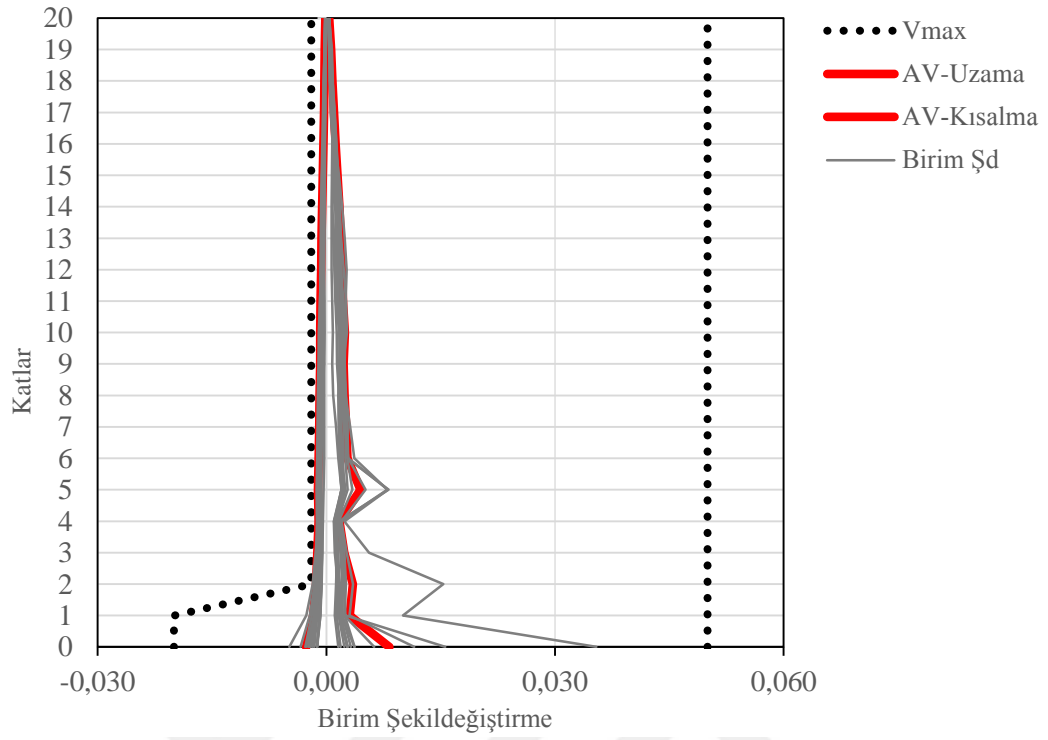


Şekil 7.40 : P07 perdesi kesme kapasitesi kontrolü.



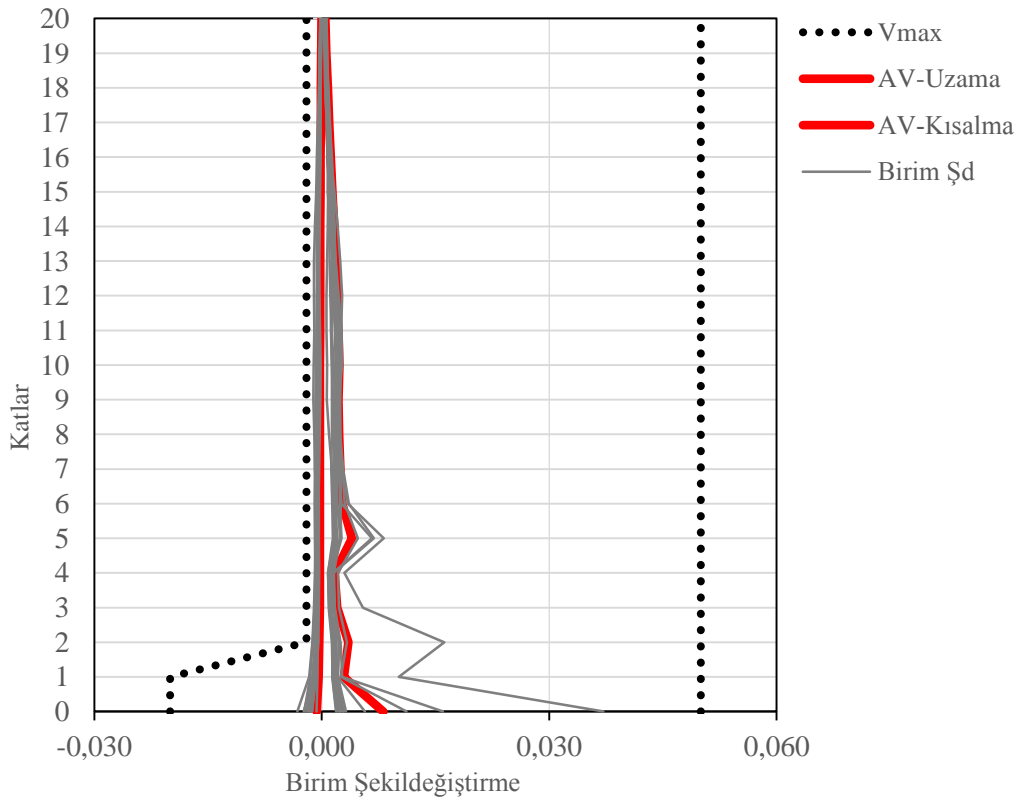
Şekil 7.41 : P12 perdesi kesme kapasitesi kontrolü.

P03 Perdesi sol uç:



Şekil 7.42 : P03 perdesi sol uç birim şekildeğiştirme kontrolleri.

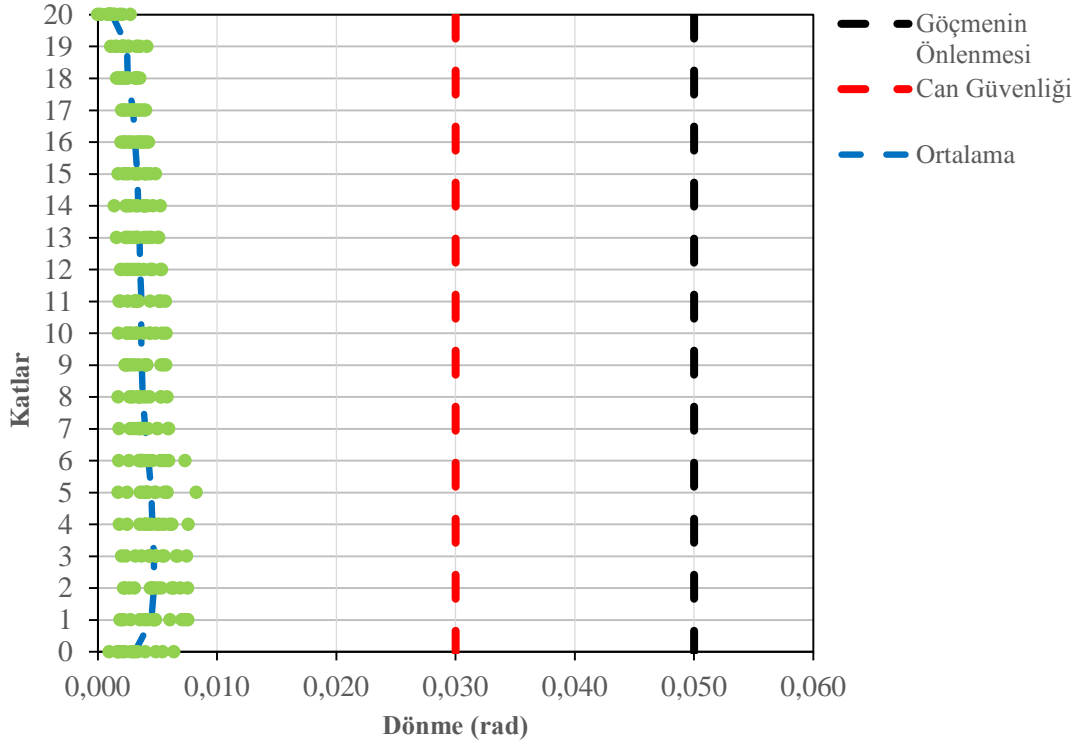
P03 Perdesi sağ uç:



Şekil 7.43 : P03 perdesi sağ uç birim şekildeğiştirme kontrolleri.

7.2.9.8 Bağ kiriş dönme değerleri kontrolü

Bağ kirişler modellenirken deplasman tipi mafsalları kullanılmıştı. Analizler sonucunda elde edilen deplasman değerleri bağ kiriş boyuna bölünerek dönme değerleri elde edilmiştir. Hesaplanan dönme değerleri Çizelge 4.12’de verilen sınır değerler ile karşılaştırılarak değerlendirilecektir. Bağ kiriş dönme değerleri kontrolü Şekil 7.44’de gösterilmiştir.

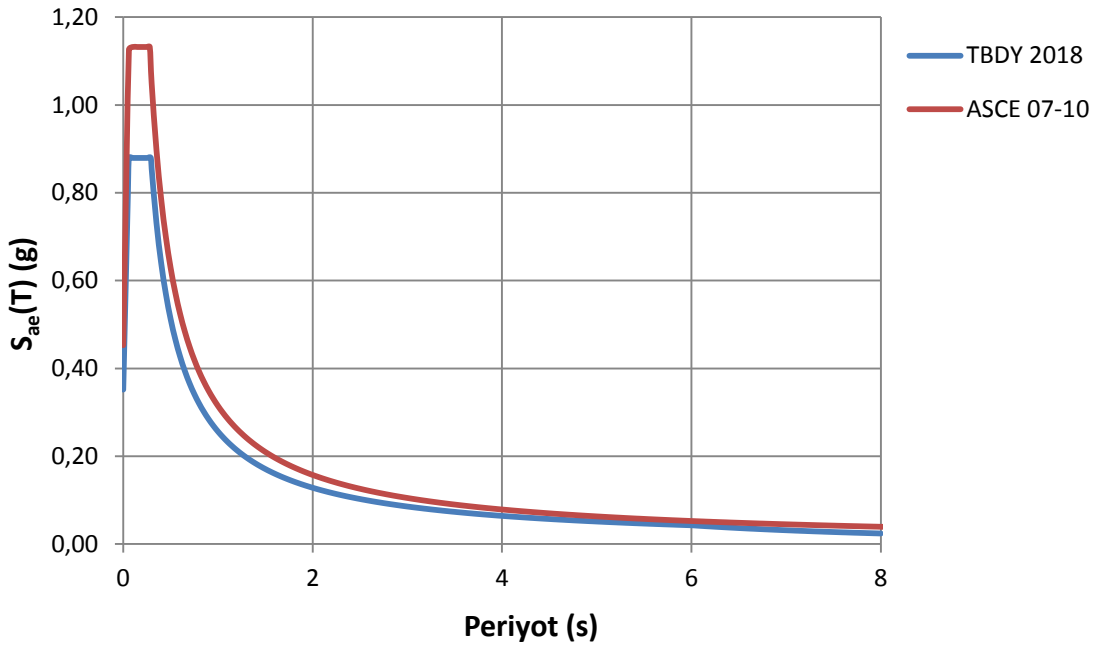


Şekil 7.44 : Bağ kiriş dönme değerleri kontrolü.

8. SONUÇLAR

8.1 Doğrusal Hesap Sonuçlarının Değerlendirilmesi

- TBDY ve ASCE 07-10 yönetmeliklerine göre doğrusal hesap için hesaplanan tasarım spektrumları Şekil 8.1’de gösterilmiştir. Düşük periyot değerlerinde, ASCE 07-10’a göre hazırlanan spektrum eğrisindeki spektral ivme değerleri TBDY’ye göre hazırlanan spektrumdaki değerlere göre %30 oranında daha yüksektir. Ancak yüksek periyot değerlerinde aralarındaki fark azalmaktadır.



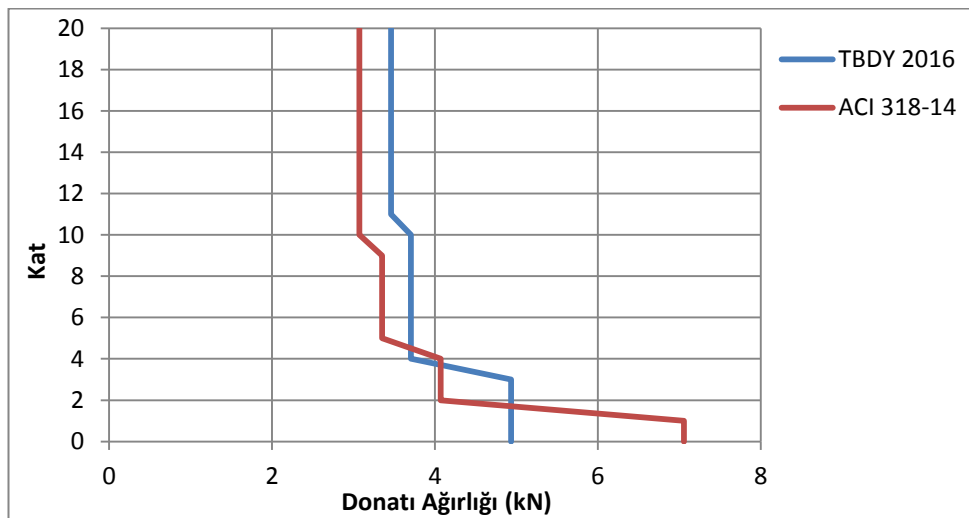
Şekil 8.1 : TBDY ve ASCE 07-10 yönetmeliklerine göre tasarım spektrumları.

- Her iki yönetmelikte de doğrusal analiz için etkin kesit rijitlikleri kullanılmaktadır. Kolon, kiriş ve döşemeler için her iki yönetmelikte de verilen etkin kesit rijitlik çarpanları aynıdır. Perdeler için TBDY’de eğilme için verilen rijitlik çarpanı değeri 0.50 iken, ASCE 07-10’da çatlama kesit için 0.35, çatlama kesit için 0.70 değerleri verilmiştir.
- TBDY’ye göre yapılan hesapta; X doğrultusunda doğal titreşim periyodu 2.66 s, Y doğrultusunda doğal titreşim periyodu 2.89 s bulunmuştur. ASCE

07-10'a göre yapılan hesapta ise bu değerler 2.85 s ve 3.18 s bulunmuştur. İki yönetmelik arasındaki periyot farkının sebebi, yapının rijitliğinde önemli bir yere sahip olan perdelerin farklı etkin kesit rijitliği değerlerine sahip olmalarındandır.

- TBDY'ye göre yapılan deprem hesabında, yapı ağırlığı hesaplanırken hareketli yüklerin % 30'u gözönüne alınmıştır. ASCE 07-10'a göre yapılan hesapta ise hareketli yükler deprem hesabında gözönüne alınmıştır. Buna bağlı olarak TBDY için yapılan hesapta yapı ağırlığı 264305 kN, ASCE 07-10'a göre yapılan hesapta yapı ağırlığı 252583 kN bulunmuştur.
- Yönetmelikler arasında beton elastisite modülleri farklılık göstermektedir. TS 500'de C50 beton sınıfı için verilen elastisite modülü 37000 MPa, ACI 318-14'de verilen elastisite modülü ise 33470 MPa'dır.
- TBDY ile yapılan hesapta taban kesme kuvvetleri X ve Y doğrultularında sırasıyla 3986 kN ve 4591 kN bulunmuştur. ASCE 07-10 ile yapılan hesapta ise bu değerler 3760 kN ve 4329 kN bulunmuştur. İki yönetmelik arasında yaklaşık % 6'lık bir fark bulunmaktadır.
- TBDY ile yapılan hesapta azaltılmış maksimum tepe deplasmanı X ve Y doğrultularında sırasıyla 0.0926 m ve 0.1085 m bulunmuştur. ASCE 07-10 ile yapılan hesapta ise bu değerler 0.1730 m ve 0.1907 m bulunmuştur. Aradaki farkın sebepleri aşağıda listelenmiştir.
 - İki yönetmelik arasındaki % 6'lık taban kesme kuvveti farkı.
 - İki yönetmelik arasındaki % 10'luk elastisite modülü farkı.
 - TBDY'ye göre yapılan hesapta eğilme için etkin kesit rijitlik çarpanınının 0.50, ASCE 07-10'a göre yapılan hesapta 0.35 alınması. Etabs programında eğilme için rijitlik azaltılması "F22" çarpanı değiştirilerek yapılabilmektedir. Bu çarpan aynı zamanda elemanın aksenal rijitliğini de azalttığından dolayı toplam rijitlikte önemli bir azalmaya yol açmaktadır.
- TBDY'ye göre yapılan tasarımda tüm perdelerde özel uç bölgeleri oluşturulmuştur. ACI 318-14'e göre yapılan hesapta ise gerilmelere dayalı yöntem esas alınıp gerekli perdelerde uç bölgeleri oluşturulmuştur.

- TBDY, perdelerin tasarım kesme kuvveti hesabında iki yöntem önermiştir. Yöntemlerden ilki, perdenin moment kapasitesinden yola çıkılarak elemana etkiyebilecek maksimum kesme kuvvetinin bulunması esasına dayanmaktadır. İkinci yöntem de ise hesap kesme kuvveti dayanım fazlalığı katsayısı ile artırılarak tasarım kesme kuvveti elde edilir. ACI 318-14 ise perdelerin tasarım kesme kuvveti hesabı için herhangi bir özel bir yöntem önermemiştir. Bu çalışmada ACI 318-14 ile yapılan tasarımda da elde edilen hesap kesme kuvveti değerleri inisiyatif kullanılarak, ASCE 07-10'da verilen dayanım fazlalığı katsayısı ile artırılarak kullanılmıştır.
- TBDY ile yapılan hesapta, perde uç bölgelerinin uzunluğu belirlenirken perdenin geometrisi esas alınmaktadır. ACI 318-14 ile yapılan hesapta ise ilgili perdenin tarafsız eksen derinliği esas alınarak uç bölgesinin boyu belirlenir.
- TBDY ile yapılan hesapta, kritik kat yüksekliği perdenin toplam boyuna ve plandaki uzunluğuna göre belirlenmektedir. ACI 318-14'de kritik kat tanımı bulunmamaktadır.
- ACI 318-14'e göre tasarlanan perde uç bölgelerindeki enine donatı miktarı, TBDY ile yapılan hesap sonucu elde edilen enine donatı miktarına göre daha yüksektir.
- Bağ kirişlerin tasarımında her iki yönetmelikte benzer kurallar vermektedir.
- P07 perdesinin kat bazında donatı ağırlıkları Şekil 8.2'de verilmiştir.



Şekil 8.2 : P07 perdesinin kat bazında donatı ağırlıklarının karşılaştırılması.

- ACI 318-14 ile yapılan tasarımda, perdenin tabanındaki boyuna donatı istemi TBDY ile yapılan hesaba göre daha fazla olduğundan ve uç bölgelerinde kullanılan enine donatı miktarı fazla olduğundan ilk 2 kattaki donatı ağırlığı TBDY ile yapılan hesap sonucu elde donatı ağırlığından % 43 oranında daha fazladır.
- P07 perdesinde +24.00 kotundan sonra boyuna donatı ihtiyacı minimuma inmektedir. TBDY ile hesapta uç bölgesi oluşturulması zorunluluğu olduğundan dolayı minimum donatı oranı % 0.45 olmaktadır. ACI 318-14 ile yapılan hesapta uç bölgesi oluşturulması zorunluluğu olmadığından dolayı minimum donatı oranı % 0.25 olmaktadır. Bu sebeple üst katlarda ACI 318-14 ile yapılan tasarımda hesaplanan donatı ağırlığı azalmıştır. Ayrıca P07 perdesinde yalnızca ilk 2 katta uç bölgesi oluşturulmuştur. Dolayısıyla 2. kattan sonra perde de etriye kullanılmamıştır.
- P07 perdesinde, TBDY ile yapılan tasarımda toplam 80.29 kN donatı kullanılmıştır. ACI 318-14 ile yapılan hesapta ise 76.83 kN donatı kullanılmıştır. Aradaki fark % 4.3 olarak bulunmaktadır.
- TBDY ile ACI 318-14 ile yapılan tasarımların, donatı tipi bazında hesaplanan donatı kütlelerinin karşılaştırılması Çizelge 8.1’de verilmiştir.

Çizelge 8.1 : Donatı ağırlıklarının karşılaştırılması (kN).

Donatı Tipi	TBDY	ACI 318-14	Fark
Boyuna Donatı	1164	1006	-13,6%
Uç Bölgesi Etriyesi	225	192	-14,7%
Yatay Donatı	415	472	13,7%
Toplam	1804	1670	-7,4%

- İki yönetmelik arasında toplam donatı ağırlığı olarak % 7.4 oranında bir fark bulunmaktadır. TBDY ile yapılan tasarımda, boyuna donatı ve uç bölgesi etriyeleri bazında yaklaşık % 14 oranında daha fazla donatı ağırlığı elde edilmiştir. Yatay donatı bazında ise ACI 318-14 ile yapılan tasarımda % 13.7 oranında daha fazla donatı ağırlığı elde edilmiştir. ACI 318-14 ile yapılan hesapta dayanım fazlalığı katsayısı kullanılmamış olsaydı daha az bir donatı ağırlığı elde edilebilirdi.

- Her iki yönetmeliğe göre elde edilen sonuçların karşılaştırılması aşağıda özetlenmiştir.

Çizelge 8.2 : Doğrusal hesap sonuçların karşılaştırılması.

Konu	TBDY 2018	ASCE 07-10 – ACI 318-14
Spektrum	Düşük periyot değerlerinde, ASCE 07-10'a göre hazırlanan spektrum eğrisindeki spektral ivme değerleri TBDY'ye göre hazırlanan spektrumdaki değerlere göre %30 oranında daha yüksektir.	
Etkin Kesit Rijitlikleri	Perdeler için TBDY'de eğilme için verilen rijitlik çarpanı değeri 0.50 iken, ASCE 07-10'da çatlamış kesit için 0.35, çatlamamış kesit için 0.70 değerleri verilmiştir.	
Periyot	$T_x = 2,66$ s $T_y = 2,89$ s	$T_x = 2,85$ s $T_y = 3,18$ s
Yapı Ağırlığı	264305 kN	252583 kN
Elastisite Modülü	C50 İçin 37000 MPa	C50 İçin 33470 MPa
Taban Kesme Kuvveti	$V_x = 3986$ kN $V_y = 4591$ kN	$V_x = 3760$ kN $V_y = 4329$ kN
Tepe Deplasmanı	$d_x = 0,0926$ m $d_y = 0,1085$ m	$d_x = 0,1730$ m $d_y = 0,1907$ m
Perde Uç Bölgesi	Tüm perdelerde perde uç bölgesi oluşturuldu.	Gerilemelere dayalı yöntemle göre sadece gereken perdelerde perde uç bölgesi oluşturuldu.
Tasarım Kesme Kuvveti	Verilen yöntemlere göre hesap kesme kuvveti artırılmıştır.	Hesap kesme kuvveti isteğe bağlı olarak dayanım fazlalığı katsayısı ile artırılmıştır.
Perde Uç Bölgesi Boyu	Perde geometrisine bağlı olarak belirlenmektedir.	Tarafsız eksen derinliğine bağlı olarak belirlenmektedir.

8.2 Doğrusal Olmayan Hesap Sonuçlarının Değerlendirilmesi

- Her iki yönetmelikte de performans hedefi olarak DD-1 deprem düzeyi için göçmenin önlenmesi performans seviyesi seçilmiştir.
- TBDY ile yapılan hesapta kiriş ve kolonların dönme sınır değerleri; kesit boyutları, seçilen donatı alanı, beton sınıfı ve moment-eğrilik diyagramına göre hesaplanmaktadır. ASCE 41-13 ile yapılan hesapta dönme sınır değerleri; boyuna donatı oranına, etriye durumuna, kesme kuvvetinin kesite olan oranına, göçme moduna ve kolon-kiriş birleşim bölgesi özelliklerine göre belirlenmektedir.
- Yayılı plastik mafsallık kabulünün yapıldığı perde elemanlarda ise birim kısalma sınır değeri TBDY ile yapılan hesapta kesitteki donatı oranına ve etriye durumuna göre hesaplanmaktadır. Birim uzama sınır değeri ise donatının kopma uzamasına göre belirlenmektedir. ASCE 41-13 ile yapılan hesapta, sargılı betonda birim kısalma sınır değeri, sargılı betonun gerilme birim-şekildeğiştirme bağıntısı ile belirlenmektedir. Sargısız beton birim kısalma değeri 0.005 olarak verilmiştir. Birim uzama sınır değeri ise 0.05 olarak verilmiştir.
- Her iki yönetmelikte de tasarım yapılırken beton ve donatının beklenen dayanımları kullanılmaktadır. TBDY ile yapılan hesapta beton elastisite modülü 39175 MPa olarak hesaplanırken, ACI 363R-92 ile yapılan hesapta 33470 MPa bulunmuştur. Beton gerilme-şekildeğiştirme bağıntıları her iki yönetmelikte de Mander modeli ile belirlenmiştir.
- Etkin rijitlik değerleri TBDY ile yapılan hesapta kesit ve donatı özelliklerine bağlı olarak hesaplanırken ASCE 41-13 ile yapılan hesapta tablolar ile sabit değerler verilmiştir.
- Her iki yönetmelikte de bağ kirişler kesme mafsalları yardımıyla modellenmiştir. TBDY’de kesme mafsalları için özel bir tanım bulunmadığından ASCE 41-13’de verilen kurullarla modellenmiştir.
- Zaman tanım alanında hesapta; TBDY 11, ASCE 41-13 10 deprem kaydının kullanılacağını belirtmiştir. Analiz süresinin kısaltılabilmesi için TDY 2007’ye uyularak 7 deprem kaydı kullanılmıştır.

- Her iki yönetmelikte de kritik iç kuvvetler belirli bir değer ile büyütülmektedir. TBDY ile yapılan hesapta ortalama değerler standart sapma ile değeri ile büyütülmüştür. Büyütme katsayısı 1.20'den küçük 1.50'den büyük alınmamaktadır. ASCE 41-13 ile yapılan hesaba göre ise büyütme katsayısı 1.50 alınmaktadır.
- TBDY ile yapılan hesapta 4 perdede kesme donatısı artırımına gerek olduğu görülmüştür. ASCE 41-13 ile yapılan hesapta ise herhangi bir perdede donatı artırımına gerek olmamıştır.
- Her iki yönetmelikte de, boyuna donatıların kontrolünü sağlayan perde uç birim şekildeğiştirme değerlerinin hedeflenen performans düzeyi için hesaplanan sınır değerleri aşmadığı görülmüştür. Dolayısıyla her iki tasarımda da boyuna donatılarda revizyona gidilmemiştir.

Çizelge 8.3 : Doğrusal olmayan hesap sonuçların karşılaştırılması.

Konu	TBDY 2018	ASCE 41-13
Deprem Düzeyi	Dönüş periyodu 2475 yıl olan DD-1 depremi	Dönüş periyodu 2000 yıl olan deprem DD-1 Depremi kabul edilebilir
Perdede Birim Şd Sınır Değeri	Kesitteki donatı oranı ve etriye durumuna bağlı olarak hesaplanmakta	Sargılı beton gerilme-şekildeğiştirme ilişkisine göre belirlenmekte
Elastisite Modülü	C65 İçin 39175 MPa	C65 İçin 33420 MPa
Etkin Kesit Rijitlikleri	Kesit ve donatı özelliklerine göre hesaplanmakta	Tablolar halinde verilmiştir
Deprem Kaydı Sayısı	11 Kayıt	10 Kayıt
Kritik İç Kuvvet Büyütme Kts.	Standart sapma ile artırılabacaktır. Ancak artırma katsayısı 1.20'den küçük 1.50'den büyük olmayacaktır.	1.50 ile artırılabacaktır.

8.3 Öneriler

TBDY ile yapılan hesapta tüm perde kesitlerinde özel uç bölgesi oluşturulması gerekmektedir. Bunun sebebi olarak, perdelerin uç bölgesindeki birim kısalma kapasiteleri artırılarak potansiyel göçme durumlarının önüne geçilmek istenmesidir. Amerikan yönetmeliklerine göre yapılan tasarımda ise belirli şartları sağlamayan perdelerde özel uç bölgesi oluşturulmaktadır.

Yapılan doğrusal tasarımlarda görüldüğü üzere, temelden itibaren 4-5 kat sonrasında eğilme donatısı istemleri minimuma inmektedir. Doğrusal olmayan tasarımda da okunan birim kısalma değerleri, doğrusal hesaptaki değerleri destekler nitelikte olup, temelden itibaren 4-5 kat sonrasında oldukça küçük değerlere inmektedir. TBDY ile yapılan tasarımda, eğilme donatısı ihtiyacı minimuma inmesine karşın yönetmeliğin zorlaması sebebiyle tüm katlarda perdelerde tüm katlarda uç bölgesi oluşturulmuştur. Bu durum perdelerde fazladan donatı sarfiyatına yol açmaktadır. Ayrıca işçilik maliyetlerinde ve yapım süresinin uzamasına sebep olmaktadır.

Tez çalışması kapsamında hesapsal olarak, gerekli koşullar sağlandığı takdirde perdelerde başlık bölgesi oluşturulmasına gerek olmadığı gösterilmiştir. Bu çalışmada elde edilen veriler deneysel olarak da desteklenerek, TBDY’de yer alan perde uç bölgesi oluşturulması zorunluluğu gözden geçirilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] **TBDY 2018.** (2018). Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı İçin Kurallar, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.
- [2] **ACI 318R-14.** (2014). Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary, ACI Committee, Michigan.
- [3] **ASCE 07-10.** (2010). Minimum design loads for buildings and other structures, American Society of Civil Engineers, Virginia.
- [4] **ASCE 41-13.** (2013). Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings, American Society of Civil Engineers, Virginia.
- [5] **FEMA 750.** (2013). Seismic Provisions for New Buildings and Other Structures, Federal Emergency Management Agency, Washington DC.
- [6] **TS 500.** (2000). Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [7] **Özer, E.** (2009). Yapı Sistemlerinin Lineer Olmayan Hesabı Ders Notları, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [8] **Çakıroğlu, A., Özer, E.** (1980). Malzeme Bakımından Lineer Olmayan Sistemler, Cilt 1, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul.
- [9] **Celep, Z.** (2011). Betonarme Yapılar, Beta Dağıtım, İstanbul.
- [10] **Mander, J. B., Priestley, M. J. N., Park, R.** (1988). Theoretical stress-strain model for confined concrete, Journal of the Structural Division.
- [11] **Taranath, B.** (2010). Reinforced Concrete Design of Tall Buildings, CRC Press, Florida.
- [12] **Celep, Z.** (2014). Betonarme Taşıyıcı Sistemlerin Doğrusal Olmayan Davranışı ve Çözümleme, Beta Dağıtım, İstanbul.
- [13] **Celep, Z.** (2007). Betonarme Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış: Plastik Mafsal Kabulü ve Çözümleme, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul.
- [14] **Aydemir, C., Kırçıl, M. S., Hancıoğlu, B., Zorbozan, M.** (2011). Betonarme Kolonların Hasar Sınır Eğriliklerinin Belirlenmesi, İMO Teknik Dergi, Yazı 361, İstanbul.
- [15] **Celep, Z.** (2015). Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta Dağıtım, İstanbul.
- [16] **TS 498.** (1997). Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

- [17] **LATBSDC 2014.** (2014). An Alternative Procedure for Seismic Analysis and Design of Tall Buildings Located In The Los Angeles Region, Los Angeles Tall Buildings Structural Design Council, California.
- [18] **ACI 363R-92.** (1992). State of the Art Report on High Strength Concrete, ACI Committee, Michigan.
- [19] **PEER/ATC 72-1.** (2010). Modeling and Acceptance Criteria for Seismic Design and Analysis of Tall Buildings, Applied Technology Council & Pacific Earthquake Engineering Research Center, California.
- [20] **PEER Task 12.** (2011). Case Studies of the Seismic Performance of Tall Buildings Designed by Alternative Means, Pacific Earthquake Engineering Research Center, California.
- [21] **ETABS 2016.** (2016). Extended Three Dimensional Analysis of Building Systems, Computer and Structures Inc., California.
- [22] **PERFORM 3D.** (2005-2011). Nonlinear Analysis and Performance Assesment of 3D Structures, Computer and Structures Inc., California.
- [23] **X-TRACT.** (2007). Cross Section Analysis Program, TRC & Charles Chadwell Ph. D.P. E., California.

EKLER

EK A: PERFORM 3D Programında Modelleme Adımları

EK B: Seçilen Deprem Kayıtları

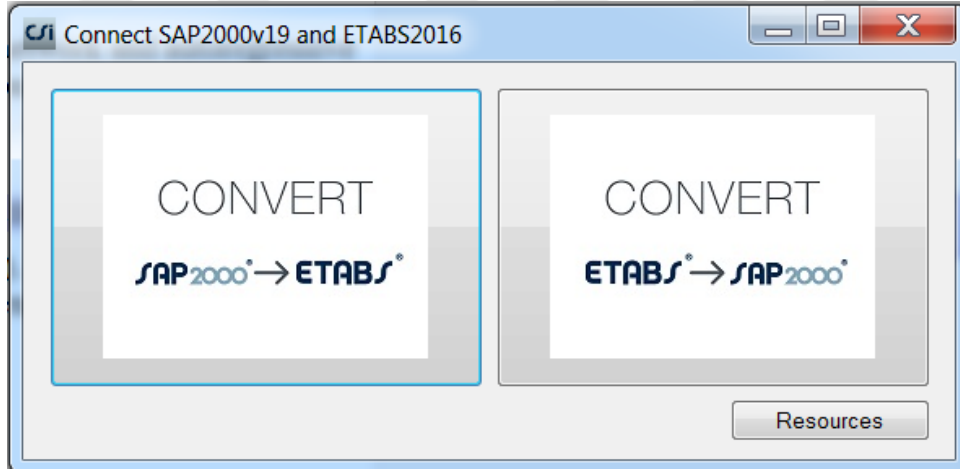


EK A

1) Yapı geometrisinin Etabs programından Perform 3D'ye aktarılması

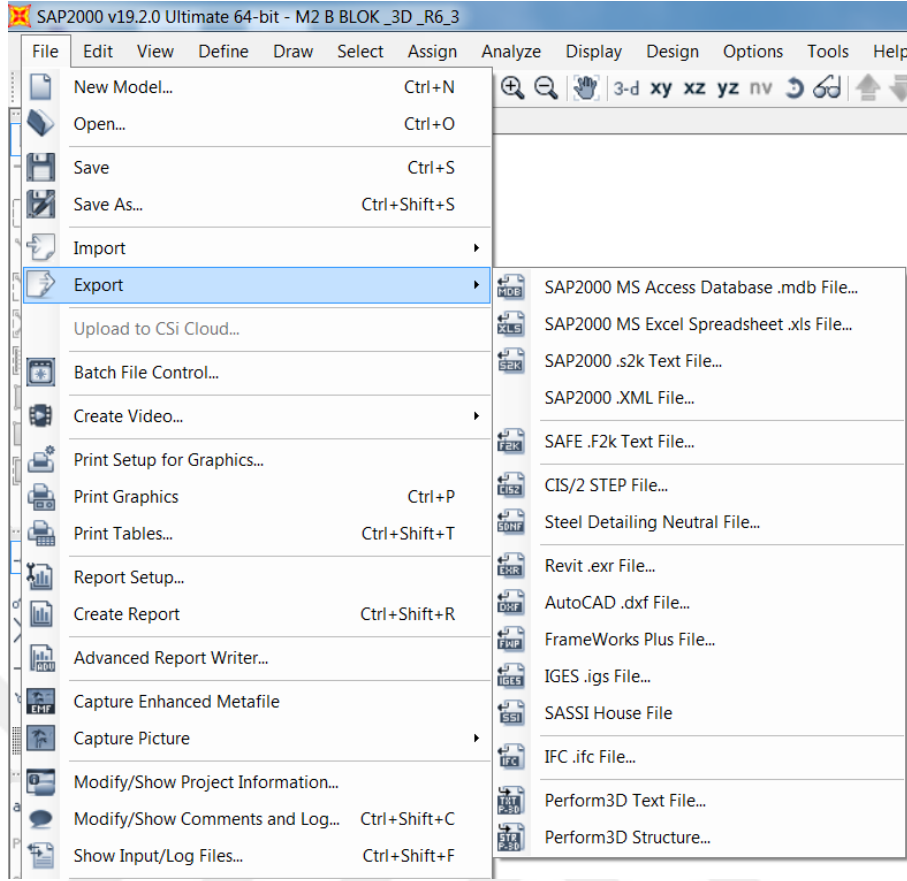
Analizi yapılacak olan yapının geometrisi Perform 3D programında oluşturulabilir. Ancak Perform 3D programında modelleme yapmak, Etabs veya Sap 2000 programlarında modelleme yapmaya kıyasla oldukça zordur. Bu sebeple yapı geometrisi ve istenirse kütesinin Etabs programından Perform 3D'ye aktarılması modellemede kolaylık yaratmaktadır.

Etabs programından Perform 3D'ye direkt olarak model aktarılamamaktadır. Bunun için öncelikle modelin Sap 2000'e aktarılması gerekmektedir. Sap 2000'e aktarım yapılabilmesi için gereken program "wiki.csiamerica.com" adresinden indirilebilmektedir (Şekil A.1).

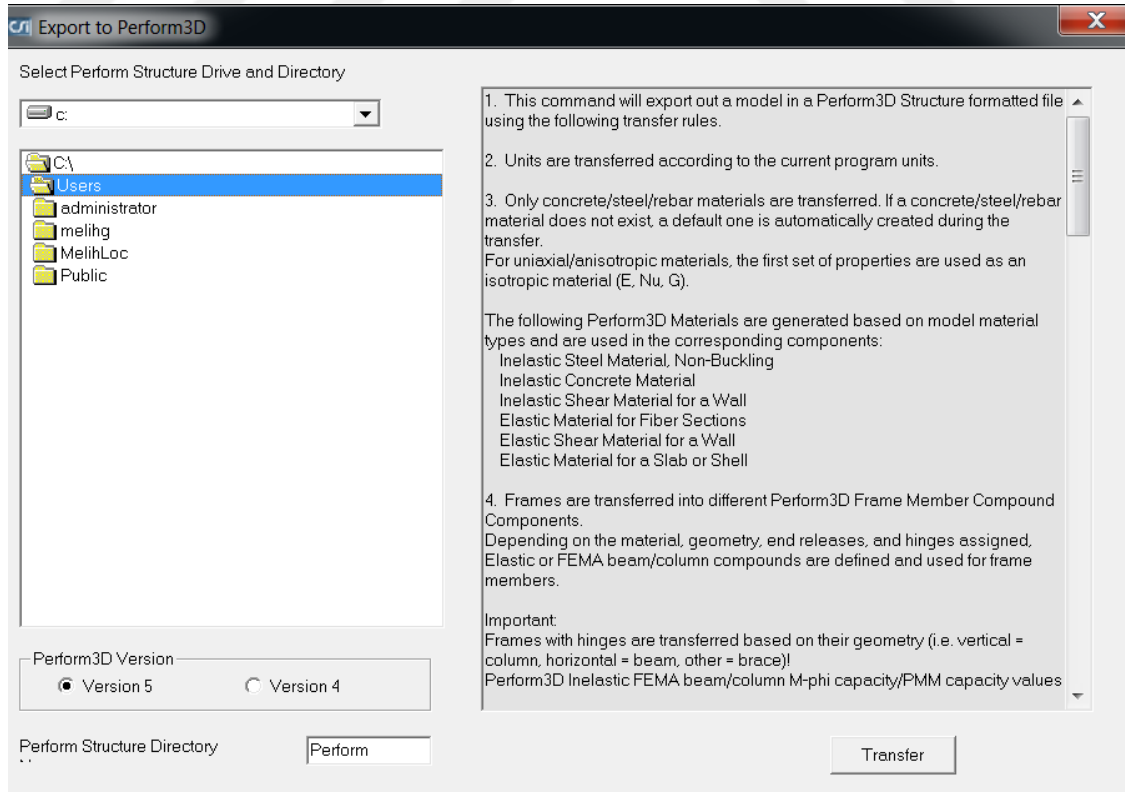


Şekil A.1 : Etabs'den Sap 2000'e model aktarım programı.

Sap 2000'e model aktarıldıktan sonra her bir perde, kolon ve kirişlerin ayrı ayrı gruplara atanması Perform 3D programında kesit ataması yapılırken kolaylık sağlayacaktır. Sap 2000'den Perform 3D'ye modeli aktarabilmek için "Export" sekmesinden "Perform 3D Structure" seçeneği seçilmelidir (Şekil A.2). Bu işlemin gerçekleştirilebilmesi için kullanılan Sap 2000 programının "32 bit" olması gerekmektedir. Eğer Sap 2000'inin "64 bit" versiyonu kullanılıyorsa, model Sap 2000 V15 yada daha önceki bir versiyona çevrilip aktarma işlemi o versiyon üzerinden yapılmalıdır. Model aktarma sayfası Şekil A.3'de gösterilmiştir. Bu sayfadan; modelin hangi klasöre aktarılacağı, hangi Perform 3D versiyonuna aktarılacağı ve hangi verilerin aktarılacağı gösterilmektedir. Buradan gerekli seçimler yapıldıktan sonra "Transfer" butonuna basılarak aktarma işlemi tamamlanır.



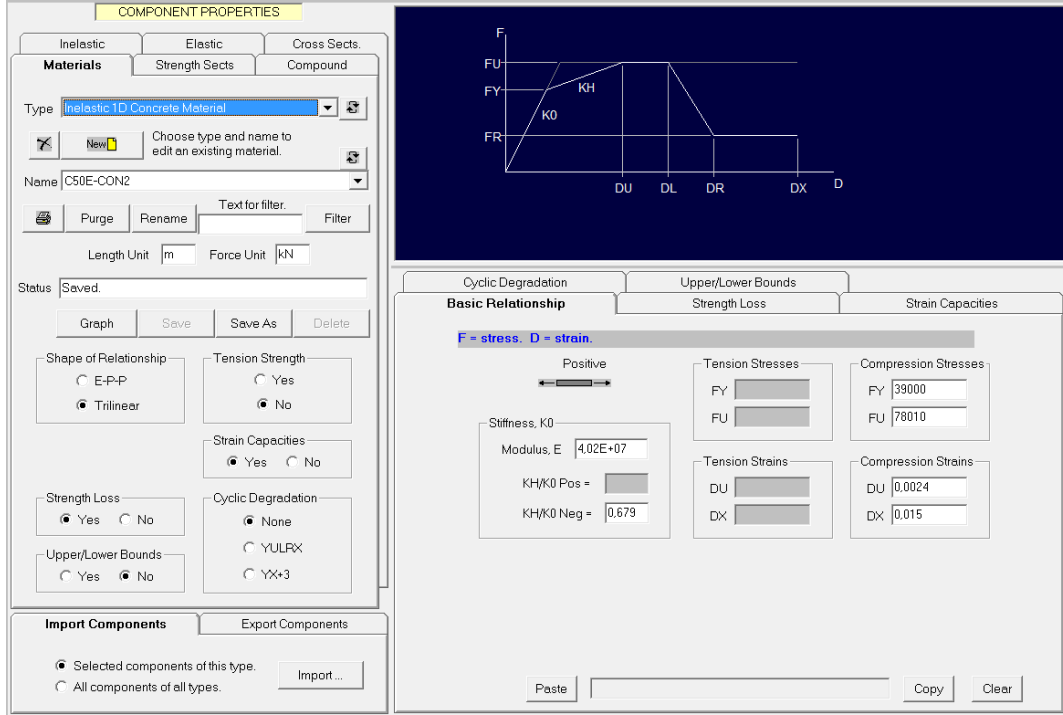
Şekil A.2 : Sap 2000'den Perform 3D'ye model aktarımı.



Şekil A.3 : Sap 2000 aktarım sayfası.

2) Beton ve donatı malzemelerinin tanımlanması

Beton ve donatı malzemeleri “Component Properties” kısmından tanımlanmaktadır. Beton malzemesi Şekil A.4’de gösterilen “Materials – Inelastic 1D Concrete Material” seçeneğinden tanımlanacaktır. Bu kısımdan betonun mekanik özelliklerinin yanı sıra gerilme – şekildeğiştirme ilişkisi ve tekrarlı yükler altındaki dayanım kaybı tanımlanabilmektedir.

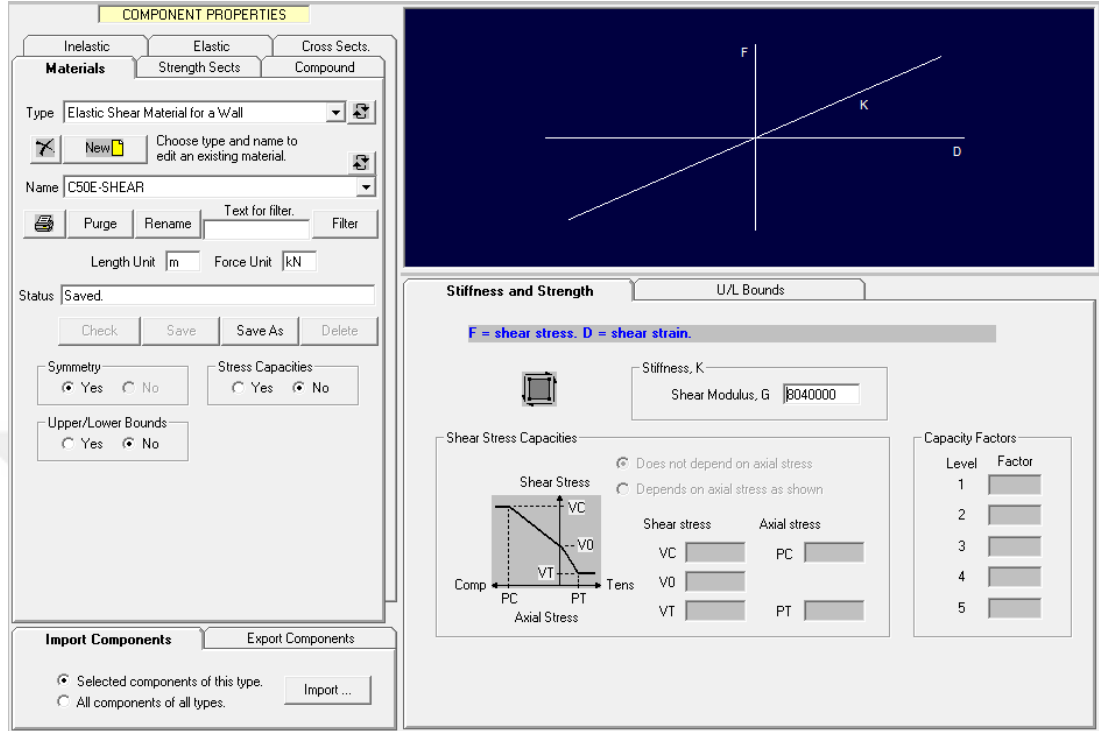


Şekil A.4 : Beton modelleme sekmesi.

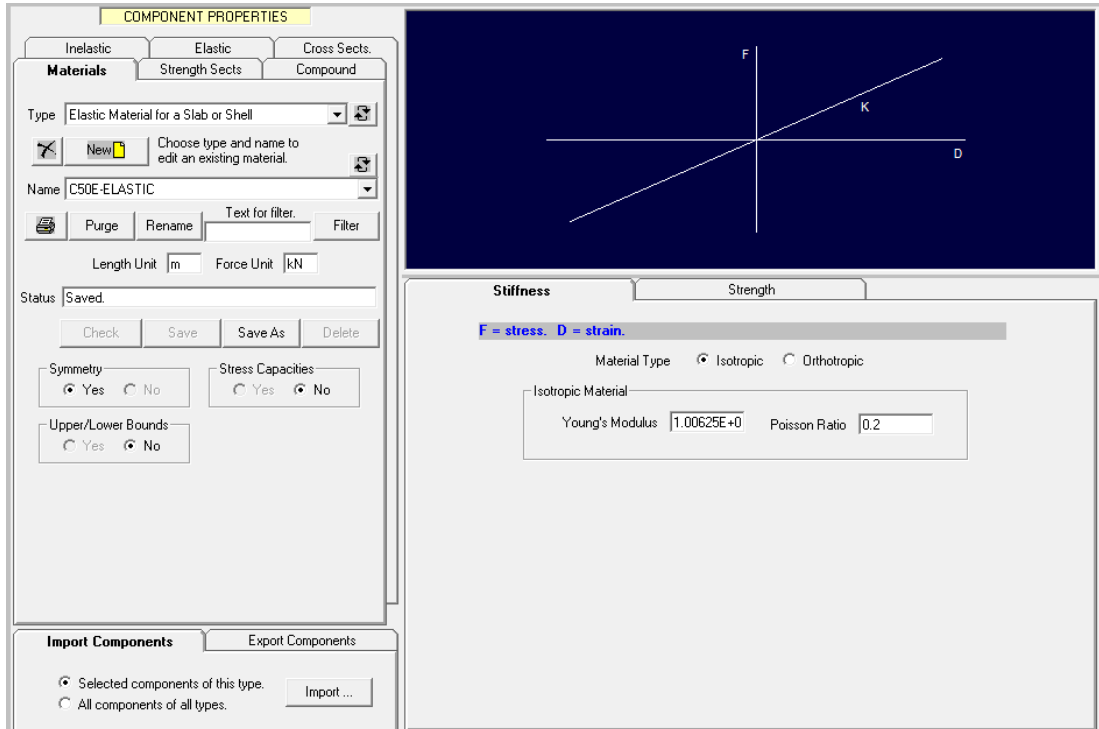
Perdelere kayma davranışı için ayrı bir beton malzemesi tanımlanması gerekmektedir. Kayma davranışı doğrusal olarak tanımlanacaksa “Materials – Elastic Shear Material for a Wall” seçeneği kullanılacaktır. Kayma davranışı doğrusal olarak tanımlanmayacaksa “Materials – Inelastic Shear Material for a Wall” seçeneği kullanılacaktır. Doğrusal kayma davranışı için tanımlanması Şekil A.5’de gösterilmiştir. Yönetmeliklerde perde elemanların kayma davranışı için tanımlanan azaltma katsayıları “Shear Modules” için hesaplanan değer ile çarpılarak modelde dikkate alınacaktır.

Yapıda yer alan döşemeler modellenecek ise bunlar için de ayrı bir beton malzemesi tanımlanması gerekmektedir. Döşemeler için oluşturulacak beton malzemesi doğrusal-elastik olarak modellenecektir. Döşemeler için beton malzemesi Şekil A.6’da gösterilen “Materials – Elastic Material for a Slab or Shell” seçeneğinden

tanımlanacaktır. Yönetmeliklerde döşemeler için tanımlanan rijitlik azaltma katsayıları “Young’s Modules” için kullanılan değer ile çarpılarak modelde dikkate alınacaktır.

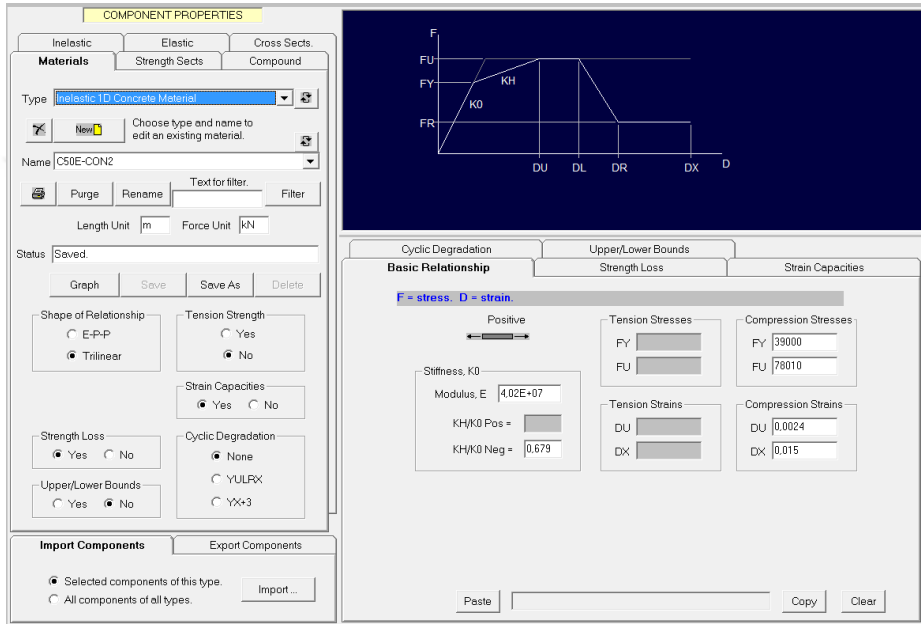


Şekil A.5 : Perde kayma davranışı için beton tanımlanması.

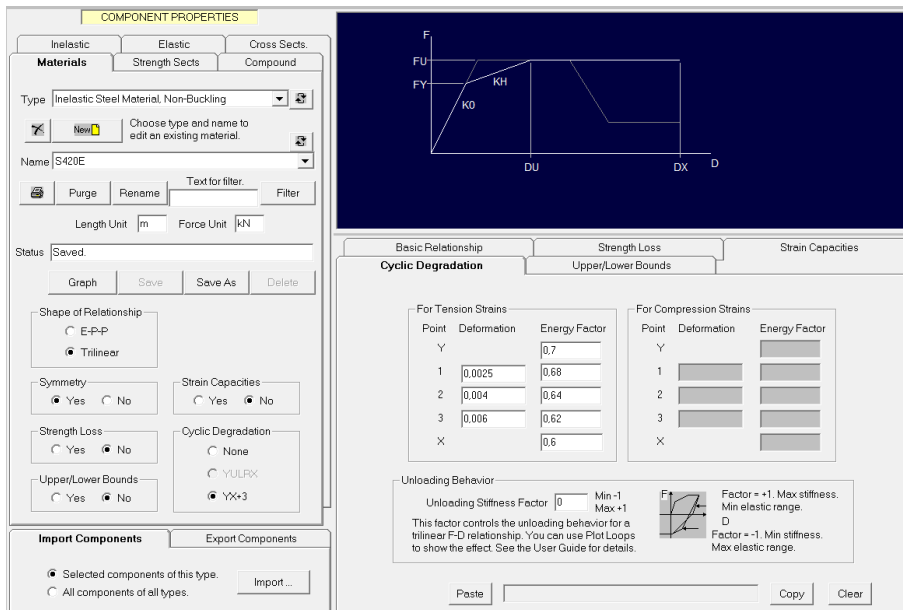


Şekil A.6 : Döşemeler için beton tanımlanması.

Donatı malzemesi Şekil A.7’de gösterilen “Materials – Inelastic Steel Materials, Non-Buckling” seçeneğinden tanımlanacaktır. Bu kısımdan donatının mekanik özelliklerinin yanı sıra gerilme – şekil değiştirme ilişkisi ve tekrarlı yükler altındaki dayanım kaybı tanımlanabilmektedir. Donatıların tekrarlı yükler altındaki dayanım kaybının tanımlanması Şekil A.8’de gösterilmiştir. Kullanılan katsayılar “Peer Task 12” raporundan alınmıştır. Bu katsayıların daha detaylı hesabı için “Peer - Analytical Modeling of Reinforced Concrete Walls for Predicting Flexural and Coupled – Shear - Flexural Responses” raporu kullanılabilir.



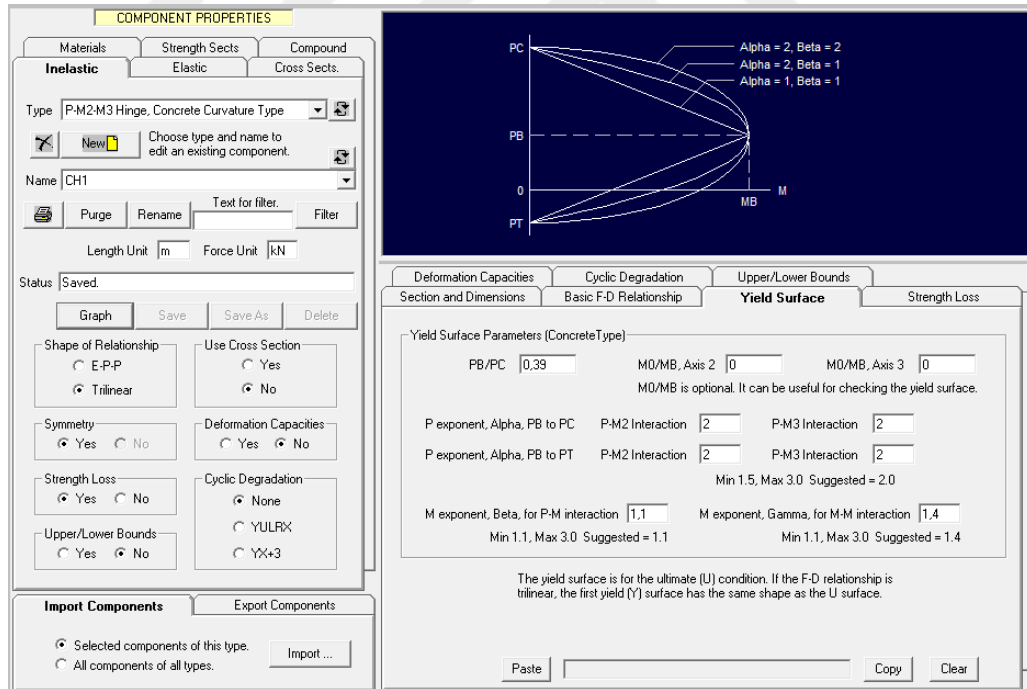
Şekil A.7 : Donatı modelleme sekmesi.



Şekil A.8 : Donatının tekrarlı yükler altında dayanım kaybı.

3) Plastik mafsalların tanımlanması

Plastik mafsallar “Component Properties” seçeneğinden tanımlanmaktadır. Bu kısımda, kiriş mafsalları için “Inelastic - Beam Type Components”, kolonlar için “Inelastic - Column Type Components” sekmeleri kullanılacaktır. Plastik mafsallar tercihe göre “Dönme Mafsalı” veya “Eğrilik Mafsalı” olarak tanımlanabilirler. Dönme mafsalı tanımlanırken, kesitin moment-dönme ilişkisi kullanılmaktadır. Eğrilik mafsalı tanımlanırken ise kesitin moment-eğrilik ilişkisi kullanılmaktadır. Türk standartlarına göre hesapta, hasar sınır kontrolleri eğrilik üzerinden yapıldığından dolayı modellemenin eğrilik mafsalı üzerinden yapılması kolaylık sağlayacaktır. Amerikan standartlarında ise modelleme ve kontrol parametreleri plastik mafsal dönmeleri üzerinden tanımlandığından dolayı modellemenin dönme mafsalı üzerinden yapılması daha uygun olacaktır. Kolonlar için tanımlanan bir eğrilik mafsalı Şekil A.9’da gösterilmiştir. Modellemede kullanılan kuvvet, moment ve deformasyon değerleri Xtract programı ile hesaplanmıştır. Plastik mafsal tanımlanırken istenirse tekrarlı yükler altındaki dayanım kaybı da dikkate alınabilir.

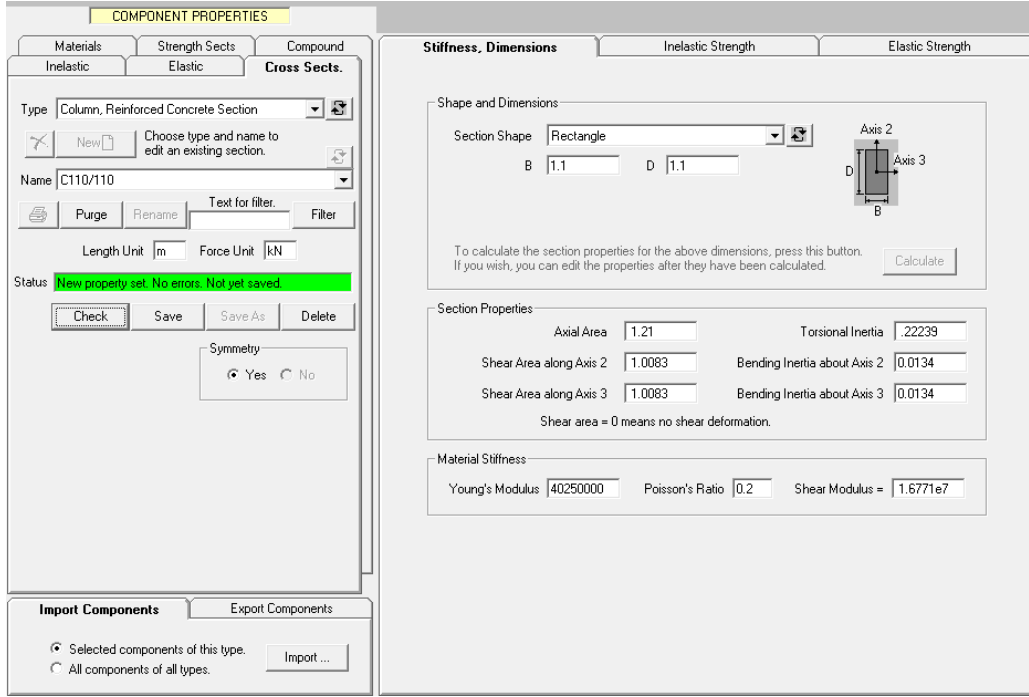


Şekil A.9 : Kolonlar için eğrilik mafsalı tanımı.

4) Kolon ve kiriş kesitlerinin tanımlanması

Kolon ve kiriş kesitleri “Component Properties” seçeneğinden tanımlanmaktadır. Bu kısımda, kiriş kesitleri için “Cross Sections – Beam, Reinforced Concrete

Section”, kolonlar için “Cross Sections – Column, Reinforced Concrete Section” sekmeleri kullanılacaktır. Kolonlar için tanımlanan bir kesit Şekil A.10’da gösterilmiştir. Yönetmelikler tarafından çubuk elemanlar için tanımlanan rijitlik azaltma katsayıları bu kısımdan tanımlanmaktadır. Kesme davranışı için tanımlanan katsayılar “Shear Area”, eğilme davranışı için tanımlanan katsayılar “Bending Inertia” için hesaplanan değerler ile çarpılarak ilgili yerlerde azaltma gerçekleştirilecektir.



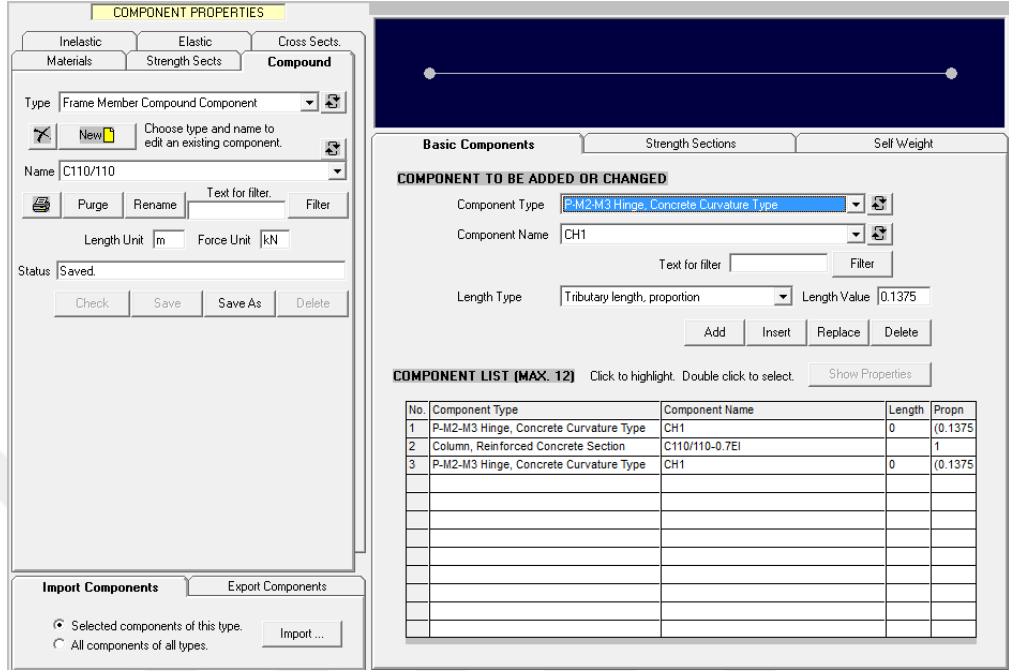
Şekil A.10 : Kolon kesiti tanımı.

Perform 3D programında perde elemanlarının düğüm noktalarının dönme rijitliği bulunmamaktadır. Bu sebeple perdelerle bağlanan kirişlerin uç noktalarında moment oluşmamaktadır. Kirişlerin doğru olarak modellenmesi adına perde içerisinde devam ettirilmesi gerekmektedir. Perde içerisinde devam ettirilecek kiriş kesitinin normal bir kirişten çok daha rijit olması gerekmektedir. Ayrıca bu kirişin kütlelerinin de olmaması gerekmektedir. Bu sebeple perde içinde oluşturulacak kirişler için rijit ve kütleli ayrı bir kiriş kesiti tanımlanmalıdır.

5) Kolon ve kiriş elemanlarının oluşturulması

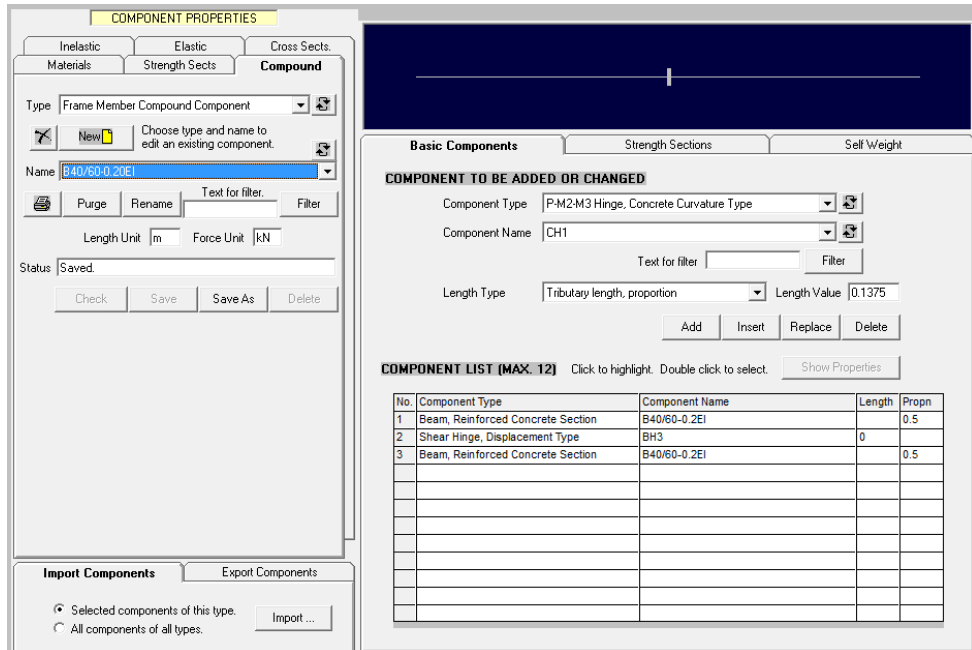
Kolon ve kirişler için oluşturulan kesitler ve plastik mafsallar birleştirilerek elemanlar oluşturulacaktır. Oluşturulan bir kolon elemanı Şekil A.11’de gösterilmiştir. Kolon elemanının her iki ucuna plastik mafsallar yerleştirilmiştir.

Oluşturulan plastik mafsalların boyları, plastik mafsal boyunun kolon boyuna bölünmesi ile bulunmuştur. Plastik mafsallar arasında kalan kesme ise oluşturulan kolon kesiti atanmıştır.



Şekil A.11 : Kolon elemanı oluşturulması.

Kolon ve kirişlerden farklı olarak, bağ kirişlerde kullanılan deplasman tipi kesme mafsalının kesitin ortasında tanımlanması gerekmektedir. Oluşturulan bir bağ kiriş elemanı Şekil A.12'de gösterilmiştir.



Şekil A.12 : Bağ kiriş elemanı oluşturulması.

6) Perde kesitlerinin oluşturulması

Perde kesitleri tanımlanan beton ve donatı malzemeleri ile oluşturulacaktır. Perde kesitleri lif (fiber) adı verilen elemanlardan oluşturmaktadır. Her bir lif elemanının koordinatı ve alanı tanımlanarak perde kesiti oluşturulacaktır. Lif elemanlarının rijitlik kaybı tanımlanan beton ve donatı malzemelerine göre dikkate alınacağından dolayı ayrıca bir rijitlik azaltması yapılmasına gerek yoktur. Oluşturulan perde kesiti Şekil A.13’de gösterilmiştir. Perde kesitlerinin düzlem dışı davranışı doğrusal olarak modellenecektir. Bunlar için tanımlanan kalınlık ve elastisite modülü Şekil A.14’de gösterilmiştir.

No.	Type	Name	Coordinate	Area	T-Draw
1	Inelastic 1D Concrete Material	C50E-CON2	-3.15	0.28	0.4
2	Inelastic 1D Concrete Material	C50E-CON2	-2.45	0.28	0.4
3	Inelastic 1D Concrete Material	C50E-UNCON	-1.58	0.42	0.4
4	Inelastic 1D Concrete Material	C50E-UNCON	-0.53	0.42	0.4
5	Inelastic 1D Concrete Material	C50E-UNCON	0.53	0.42	0.4
6	Inelastic 1D Concrete Material	C50E-UNCON	1.58	0.42	0.4
7	Inelastic 1D Concrete Material	C50E-CON2	2.45	0.28	0.4
8	Inelastic 1D Concrete Material	C50E-CON2	3.15	0.28	0.4
9	Inelastic Steel Material, Non-Bi	S420E	-3.15	0.004396	
10	Inelastic Steel Material, Non-Bi	S420E	-2.45	0.004396	
11	Inelastic Steel Material, Non-Bi	S420E	-1.58	0.001099	
12	Inelastic Steel Material, Non-Bi	S420E	-0.53	0.001099	
13	Inelastic Steel Material, Non-Bi	S420E	0.53	0.001099	
14	Inelastic Steel Material, Non-Bi	S420E	1.58	0.001099	
15	Inelastic Steel Material, Non-Bi	S420E	2.45	0.004396	
16	Inelastic Steel Material, Non-Bi	S420E	3.15	0.004396	

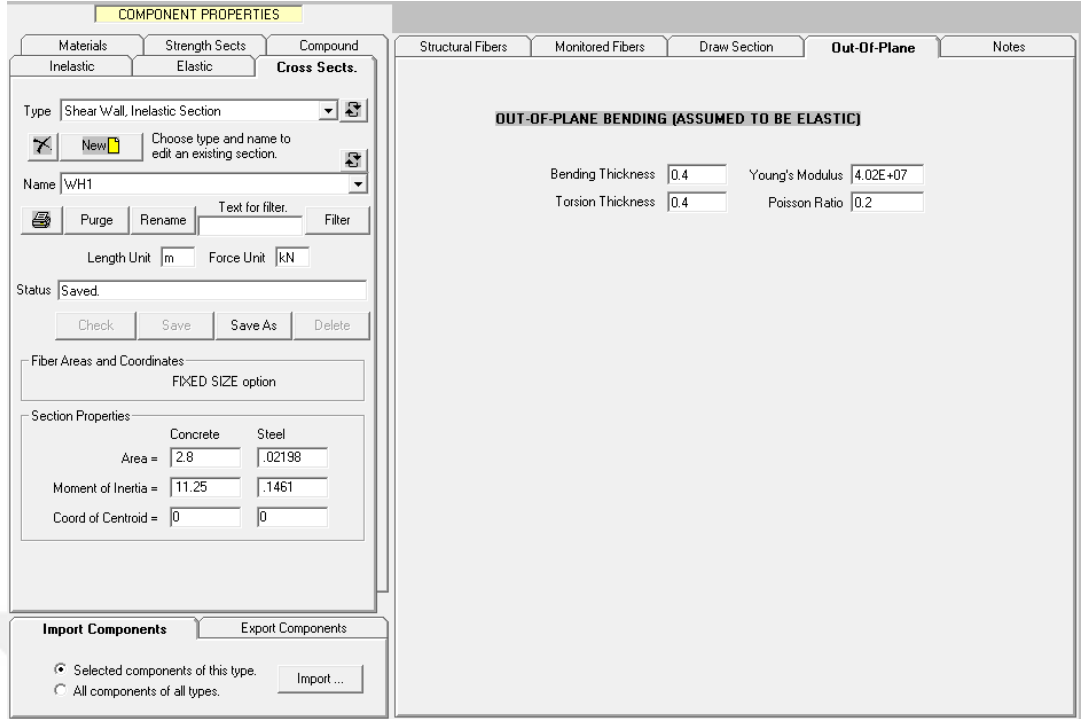
Şekil A.13 : Perde liflerinin oluşturulması.

7) Perde elemanlarının oluşturulması

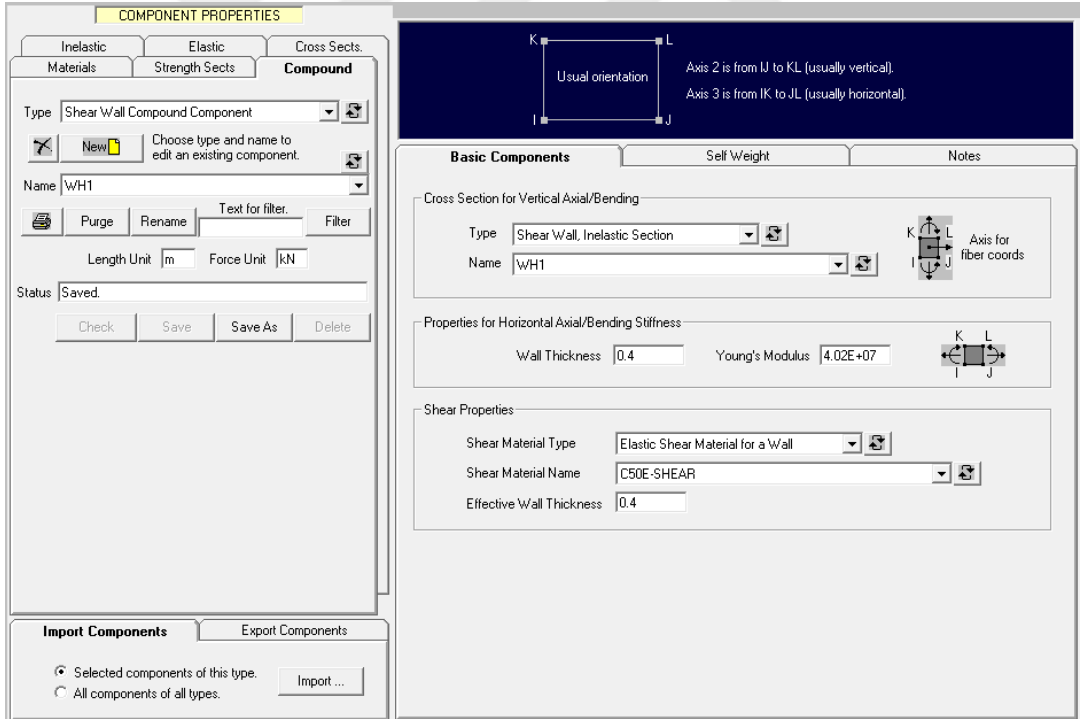
Perdeler için oluşturulan kesitler ve kesme davranışı için oluşturulan beton modeli kullanılarak perde elemanları oluşturulacaktır. Oluşturulan bir perde elemanı Şekil A.15’de gösterilmiştir.

8) Oluşturulan elemanların atanması

Oluşturulan kolon, kiriş ve perde elemanları “Elements – Properties – Assign Component” seçeneği kullanılarak elemanlara atanacaktır. Atama işlemi yapıldıktan sonra her elemanın ayrıca “Orientations” kısmında lokal eksenlerinin atanması gerekmektedir.



Şekil A.14 : Perde düzlem dışı davranışı için yapılan tanımlamalar.



Şekil A.15 : Perde elemanlarının oluşturulması.

9) Mesnet koşulları ve diyafram tanımlanması

Yapının tabanında perde ve kolon elemanları için mesnet koşulları tanımlanacaktır. Mesnet koşulları “Nodes – Supports” kısmından tanımlanmaktadır. Mesnetler ankastre olacağından dolayı tüm deplasman ve dönmeler tutulacaktır. Yapıda

döşemeler modellenirken rijit diyafram kabulü yapılacaktır. Diyafram ataması “Nodes – Slaving” kısmından yapılmaktadır. Diyafram atamaları her kat için ayrı ayrı olarak yapılmalıdır.

10) Yapı kütlelerinin ve periyodunun kontrolü

Sap 2000’den aktarılan kütlelerin kontrolü için modal analiz yapılacaktır. Modal analiz “Analysis Series” kısmından yapılacaktır. Analiz sonrasında modelin bulunduğu klasörde “ECHO” isimli bir metin dosyası oluşacaktır. Bu dosya içerisinde yapının kütlesi okunacaktır (Şekil A.16). Etabs programından okunan kütle değeri buradan okunan kütle değerine bölünerek elde edilen katsayı analizlerde “Scale Factor” olarak tanımlanacaktır (Şekil A.17).

1060	1.4498E+00	1.4498E+00	1.4498E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
1061	1.9814E+00	1.9814E+00	1.9814E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
1062	1.0149E+00	1.0149E+00	1.0149E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
1063	1.4015E+00	1.4015E+00	1.4015E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
1064	1.9814E+00	1.9814E+00	1.9814E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
1065	1.0149E+00	1.0149E+00	1.0149E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
1066	1.4015E+00	1.4015E+00	1.4015E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
1067	1.4498E+00	1.4498E+00	1.4498E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
1068	1.4498E+00	1.4498E+00	1.4498E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
Total M	2.6723E+04	2.6723E+04	2.6723E+04			
Total W	2.6215E+05	2.6215E+05	2.6215E+05			

Şekil A.16 : Yapı kütlelerinin bulunması.

Şekil A.17 : “Scale Factor” Tanımlanması.

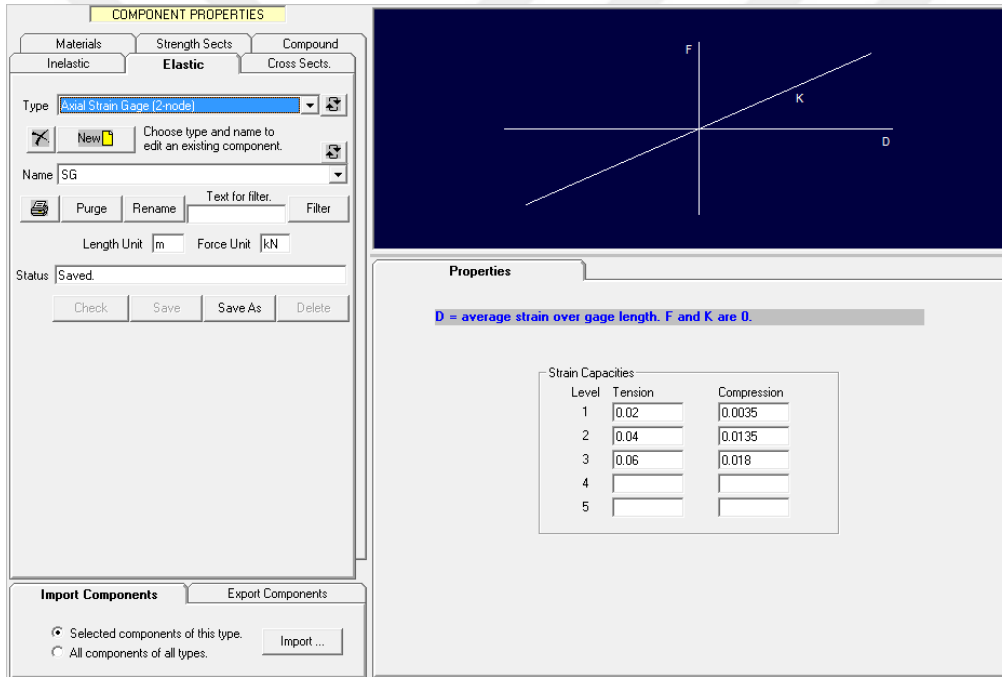
Yapı kütlesi ayarlandıktan ve kesit atamaları yapıldıktan sonra modelin kütle ve başlangıç rijitliklerinin doğru olarak modellenip modellenmediğinin kontrolü için modal analiz yapılacaktır. Elde edilen modal analiz sonucu Etabs ile yapılan sonuçlar ile karşılaştırılacaktır. Modal analiz yapılırken başlangıç rijitlikleri kullanıldığından dolayı perdelerin eğilme davranışında herhangi bir rijitlik kaybı bulunmamaktadır. Bu sebeple modal analiz sonuçlarının karşılaştırılmasında kullanılacak Etabs modelinde perdelerin eğilme rijitliğinde azaltma yapılmamalıdır. Modal analiz sonrasında modelin bulunduğu klasörde “M000” isimli bir metin dosyası oluşacaktır. Bu dosya içerisinde periyot değerleri ve kütle katılım oranları okunacaktır (Şekil A.18). Bu kontrolün yapılmasında amaç, kütle ve rijitlik matrisinin doğru olarak oluşturulduğunun kontrol edilmesidir.

Mode No.	Period (sec)	H1-Directn for Mode	H2-Directn for Mode	V-Directn for Mode	Cumulative H1-Directn	Cumulative H2-Directn	Cumulative V-Directn
1	2.3122E+00	0.0000	0.6628	0.0001	0.0000	0.6628	0.0001
2	2.3082E+00	0.4234	0.0000	0.0000	0.4234	0.6628	0.0001
3	1.6252E+00	0.2635	0.0000	0.0000	0.6869	0.6628	0.0001
4	6.0743E-01	0.0883	0.0000	0.0000	0.7752	0.6628	0.0001
5	5.4181E-01	0.0000	0.1765	0.0002	0.7752	0.8394	0.0003
6	4.3921E-01	0.0736	0.0000	0.0000	0.8488	0.8394	0.0003
7	2.7207E-01	0.0326	0.0000	0.0000	0.8814	0.8394	0.0003
8	2.3378E-01	0.0000	0.0623	0.0004	0.8814	0.9016	0.0007
9	2.0564E-01	0.0292	0.0000	0.0000	0.9107	0.9016	0.0007
10	1.9275E-01	0.0000	0.0000	0.2622	0.9107	0.9017	0.2629
11	1.8634E-01	0.0000	0.0000	0.0000	0.9107	0.9017	0.2629
12	1.8276E-01	0.0000	0.0000	0.1245	0.9107	0.9017	0.3875
13	1.7465E-01	0.0000	0.0000	0.0000	0.9107	0.9017	0.3875
14	1.7302E-01	0.0000	0.0000	0.0189	0.9107	0.9017	0.4063
15	1.6392E-01	0.0000	0.0000	0.0000	0.9107	0.9017	0.4063
16	1.6379E-01	0.0000	0.0000	0.0000	0.9107	0.9017	0.4063
17	1.5911E-01	0.0173	0.0000	0.0000	0.9280	0.9017	0.4063
18	1.5508E-01	0.0000	0.0000	0.0554	0.9280	0.9017	0.4617
19	1.5115E-01	0.0001	0.0000	0.0000	0.9281	0.9017	0.4617
20	1.4914E-01	0.0000	0.0000	0.0652	0.9281	0.9018	0.5269
21	1.4904E-01	0.0000	0.0000	0.0000	0.9281	0.9018	0.5269
22	1.4727E-01	0.0000	0.0000	0.0070	0.9281	0.9018	0.5340
23	1.3990E-01	0.0000	0.0012	0.0277	0.9281	0.9030	0.5617
24	1.3972E-01	0.0000	0.0000	0.0000	0.9281	0.9030	0.5617
25	1.3680E-01	0.0000	0.0317	0.0023	0.9281	0.9347	0.5640
26	1.2639E-01	0.0138	0.0000	0.0000	0.9420	0.9347	0.5640
27	1.1671E-01	0.0000	0.0001	0.1395	0.9420	0.9348	0.7035
28	1.1224E-01	0.0002	0.0000	0.0000	0.9422	0.9348	0.7035
29	1.1045E-01	0.0000	0.0000	0.0001	0.9422	0.9348	0.7036
30	1.1045E-01	0.0000	0.0000	0.0000	0.9422	0.9348	0.7036
31	1.1035E-01	0.0000	0.0000	0.0002	0.9422	0.9348	0.7038
32	1.1034E-01	0.0000	0.0000	0.0000	0.9422	0.9348	0.7038
33	1.1029E-01	0.0000	0.0000	0.0000	0.9422	0.9348	0.7038
34	1.1029E-01	0.0000	0.0000	0.0000	0.9422	0.9348	0.7038
35	1.1029E-01	0.0000	0.0000	0.0000	0.9422	0.9348	0.7038
36	1.1029E-01	0.0000	0.0000	0.0000	0.9422	0.9348	0.7038
37	1.1029E-01	0.0000	0.0000	0.0000	0.9422	0.9348	0.7039
38	1.1029E-01	0.0000	0.0000	0.0000	0.9422	0.9348	0.7039
39	1.1029E-01	0.0000	0.0000	0.0000	0.9422	0.9348	0.7039
40	1.1029E-01	0.0000	0.0000	0.0000	0.9422	0.9348	0.7039
41	1.1029E-01	0.0000	0.0000	0.0000	0.9422	0.9348	0.7039
42	1.1029E-01	0.0000	0.0000	0.0000	0.9422	0.9348	0.7039
43	1.1028E-01	0.0000	0.0000	0.0000	0.9422	0.9348	0.7039
44	1.1028E-01	0.0000	0.0000	0.0000	0.9422	0.9348	0.7039
45	1.1028E-01	0.0000	0.0000	0.0000	0.9422	0.9348	0.7039
46	1.1028E-01	0.0000	0.0000	0.0000	0.9422	0.9348	0.7039
47	1.1028E-01	0.0000	0.0000	0.0000	0.9422	0.9348	0.7039
48	1.1028E-01	0.0000	0.0000	0.0000	0.9422	0.9348	0.7039
49	1.1028E-01	0.0000	0.0000	0.0000	0.9422	0.9348	0.7039

Şekil A.18 : Modal analiz sonuçları.

12) Perde uçlarına birim şekildeğiştirme ölçer atanması

Perde uçlarında meydana gelen birim şekildeğiştirmelerin ölçülebilmesi için “Straingage” adı verilen elemanlar atanması gerekmektedir. Bunun için öncelikle bu elemanlar için bir tanım yapılması gerekmektedir. Bu tanım “Component Properties – Elastic – Axial Straingage (2-Node)” seçeneğinden yapılmaktadır (Şekil A.19). Tanımlamada kullanılan birim şekildeğiştirme değerleri, analiz sonucunda elemanların hangi hasar seviyesinde olduğunun daha kolay anlaşılması için girilmektedir. Bu değerlerin analiz sonucunda herhangi bir etkisi bulunmamaktadır. Bu tanım yapıldıktan sonra “Elements – Add Elements” kısmından perde uçlarına Straingage elemanları girilecektir. Ardından tüm Straingage elemanları seçilip “Properties” kısmından önceden tanımlanmış olan eleman özellikleri atanacaktır.



Şekil A.19 : Straingage tanımlanması.

13) Perde kesitlerinin isimlendirilmesi

Perde elemanlarında oluşan iç kuvvetlerin okunabilmesi için kesit ismiyle isimlendirilmeleri gerekir. İsimlendirme işlemi “Structure Sections – Define Sections” kısmından yapılmaktadır. İsimlendirme yapılırken her kat için ayrı ayrı isimler verilmelidir. İsimlendirme işleminin belirli bir sıra izlenerek yapılması sonuçların okunmasında kolaylık sağlayacaktır. Çünkü sonuçlar not defterine, isimlendirilme sırasıyla aktarılmaktadır. İsimlendirme belirli bir sıra ile yapılmazsa hangi sonucun hangi perde kesitine ait olduğunun anlaşılmasında zorluk yaşanacaktır

14) Deprem kayıtlarının girilmesi

Deprem kayıtları “Load Cases” kısmından tanımlanmaktadır. Önceden indirilmiş olan deprem kayıtları metin dosyası formatında kaydedilecektir. Ardından “Browse” seçeneğinden bu kayıtlar modele yüklenecektir (Şekil A.20). Şekil A.20’de gösterilen seçeneklerden; “Contents” kısmında deprem kaydının tipini, “Time Interval”, adım aralığını, “Duration” kayıt süresini, “Skip First” kayıt dosyasında ilk kaç adımın atlanacağını, “No of Accel Values Per Line” her satırda kaç ivme değerini bulunduğunu göstermektedir. Bu değerlerden girildikten sonra “Check” sekmesine basılarak oluşturulan kayıt kontrol edilir. Açılan sayfadan “Ok” sekmesine basılarak kayıt modele eklenir.

The screenshot shows a software interface titled "LOAD CASES". It features two main sections for earthquake record management. The first section, "USE THIS SECTION TO ADD AN EARTHQUAKE RECORD", includes a text box for "File Path" with a "Browse..." button, a "Contents" dropdown menu, "Time Interval (secs)", "Duration (secs)", and "Accel Unit" fields, and "Skip First" and "No. of Accel Values Per Line" input boxes. It also has radio buttons for "Values Separated by" (Space, Comma) and "First value at" (Step 0, Step 1). Below this are "Earthquake Group" and "File Name" dropdowns, and an "Earthquake Name" text box. "Check" and "Cancel" buttons are present. The second section, "USE THIS SECTION TO REVIEW OR DELETE AN EARTHQUAKE RECORD", has "Earthquake Group" and "File Name" dropdowns, and an "Earthquake Name" text box. "Review" and "Delete" buttons are also included. A "Return to Earthquake Load Case" button is located at the bottom of the interface.

Şekil A.20 : Deprem kayıtlarının modele girilmesi.

15) Deprem takımlarının oluşturulması

Tüm deprem kayıtları modele tanımlandıktan sonra analiz için deprem takımları oluşturulacaktır. Deprem yönetmeliği uyarınca, modele bir yönde deprem etkililirken aynı depremin diğer yöndeki kaydı modele 90° açı ile etkitilecektir ve bu işlem beraber yapılacaktır. Bu deprem takımı modele etkitildikten sonra 90° çevrilip modele bir daha etkitilecektir. Oluşturulan bir deprem takımı Şekil A.21’de gösterilmiştir.

LOAD CASES

Load Case Type: **Dynamic Earthquake**

Status: Saved

Load Case Name: EQ1-0

Control Information for Dynamic Analysis

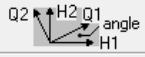
Total Time (sec): 53.72 Time Step (sec): 0.01 Limit State to Stop Analysis. Type: Drift

Max Events in any Step (analysis stops if exceeded): 1000 Name: Drift

Save results every: 2 time steps (default = every step) Reference Drift: D1X

This affects time history plots. Usage ratios are still calculated every step. This is used only for "thumbnail" plots of the response.

Earthquake Direction in Plan

Angle from structure H1 axis to earthquake Q1 axis (degrees): 0 

Q1 Earthquake

Group: Imperial Name: Imperial Valley-0

Peak Acceln (g): -2808 Duration (sec): 53.72 Acceln Scale Factor: 1.71 Time Scale Factor: 1

Q2 Earthquake

Group: Imperial Name: Imperial Valley-90

Peak Acceln (g): -2107 Duration (sec): 53.46 Acceln Scale Factor: 1.71 Time Scale Factor: 1

V Earthquake (usually not applied)

Group: NONE Name:

Peak Acceln (g): Duration (sec): Acceln Scale Factor: 1.0 Time Scale Factor: 1.0

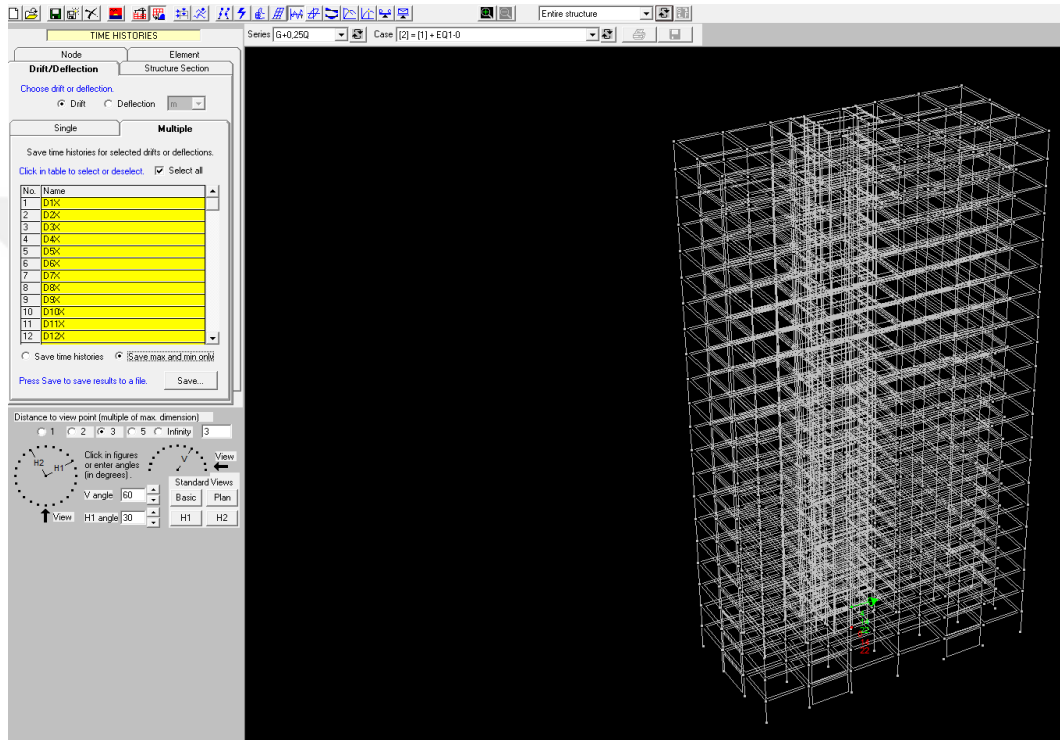
Şekil A.21 : Deprem takımlarının oluşturulması.

16) Sönümün tanımlanması

Modelde kullanılacak olan sönüm oranları “Analysis Series” kısmından tanımlanacaktır. Sönüm oranı; modal sönüm ve viskoz (Rayleigh) sönüm olmak üzere iki şekilde tanımlanabilmektedir. Türk deprem yönetmeliği doğrusal olmayan analizlerde viskoz sönüm kullanılacağını belirtmektedir. Sönüm tanımı Şekil A.22’de gösterilmiştir. Viskoz sönümün tanımlanmasında kullanılan T_A ve T_B periyot değerleri viskoz sönümün matematiksel tanımından gelmektedir. Bu periyot değerleri kullanılarak viskoz sönümün matematiksel açılımında yer alan katsayılar belirlenmektedir. Bu katsayılar periyot değerleri girildikten sonra Perform 3D tarafından otomatik olarak hesaplanmaktadır. Bu periyot değerlerinin belirlenmesi oldukça zor bir konudur. Perform 3D programının kullanma kılavuzunda bu değerlerin 0.25 ve 0.90 alınabileceği belirtilmektedir. Viskoz sönümün yanı sıra parametrelerinin belirlenmesi daha kolay olduğundan dolayı modal sönümde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Perform 3D programı sadece modal sönüm kullanılmamasını, küçük bir oranla da olsa viskoz sönümün de modelde gözönüne alınmasını tavsiye etmektedir.

17) Görelî kat ötelenmesi değeriinin okunması

Görelî kat ötelenmesi değeri “Analysis Phase – Time Histories” kısmından okunmaktadır (Şekil A.21). Önceden tanımlanmış olan görelî kat ötelenmeleri, “Drift/Deflection” kısmından seçilir. Daha sonra “Series” kısmından hangi deprem kaydı için değeri okunması isteniyorsa o kayıt seçilir ve kaydede basılır. Not defterine kaydedilen görelî kat ötelenmesi değeri, görelî kat ötelenmelerinin tanımlanma sırasına göre sıralanmaktadır.



Şekil A.21 : Görelî kat ötelenmelerinin okunması.

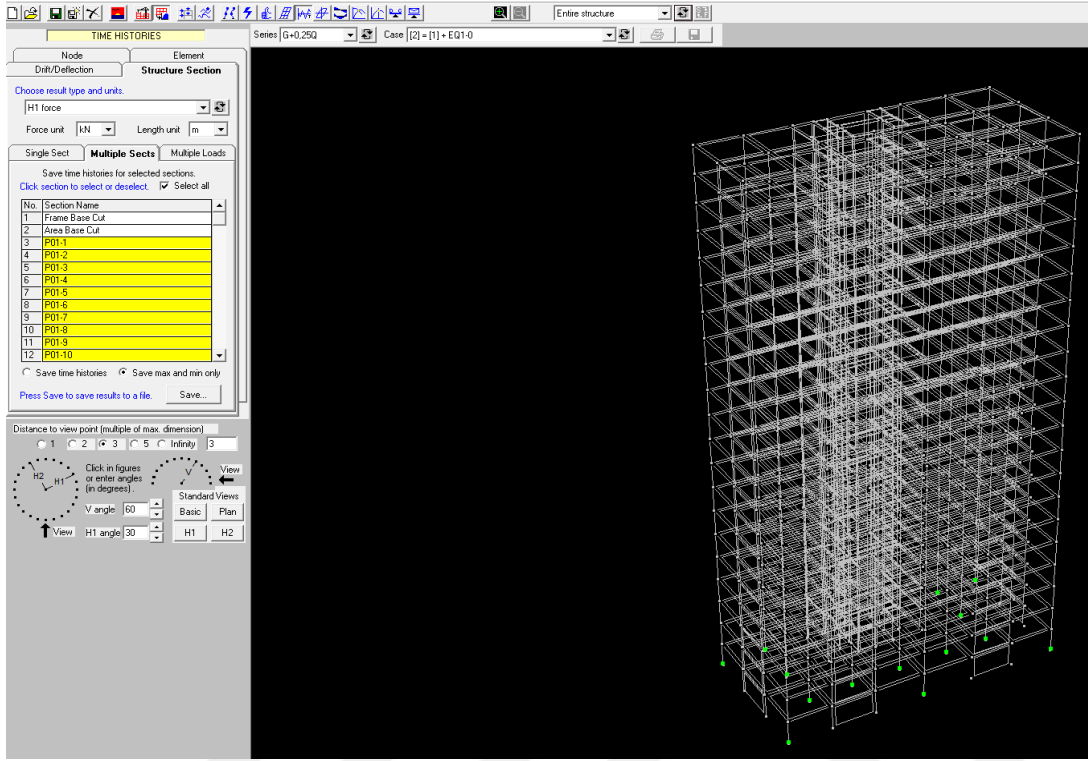
18) Perde kesme kuvvetlerinin okunması

Perde kesme kuvveti değeri “Analysis Phase – Time Histories” kısmından okunmaktadır (Şekil A.22). Önceden tanımlanmış olan perde kesitleri, “Structure Section – Multiple Section” kısmından seçilir. Buna ek olarak, “Choose Result Type” kısmından hangi doğrultuda iç kuvvet okunacağı seçilir. Daha sonra “Series” kısmından hangi deprem kaydı için değeri okunması isteniyorsa o kayıt seçilir ve kaydede basılır.

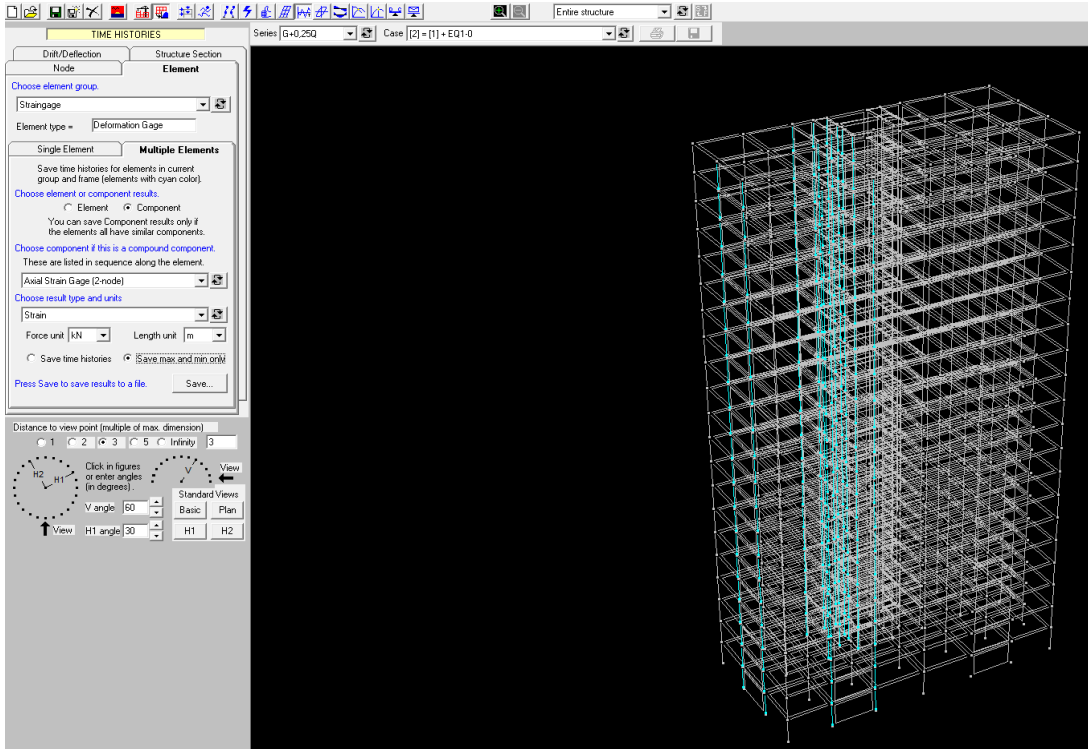
18) Perde uç birim şekildeğiştirme değeriinin okunması

Perde uç birim şekildeğiştirme değeri “Analysis Phase – Time Histories” kısmından okunmaktadır (Şekil A.23). Önceden tanımlanmış olan birim

şekildeğiştirme ölçerler, “Element – Straingage” kısmında seçilir. Daha sonra “Series” kısmından hangi deprem kaydı için değerlerin okunması isteniyorsa o kayıt seçilir ve kaydede basılır.



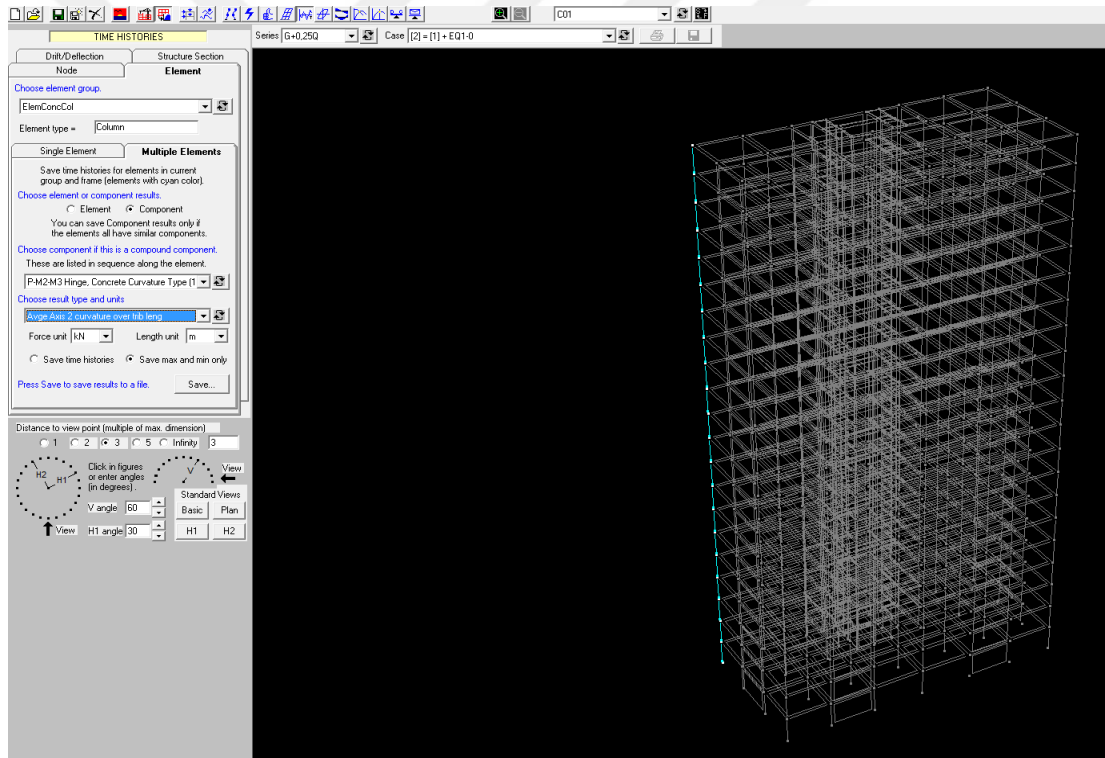
Şekil A.22 : Perde kesme kuvvetlerinin okunması.



Şekil A.23 : Perde uç birim şekildeğiştirmelerinin okunması.

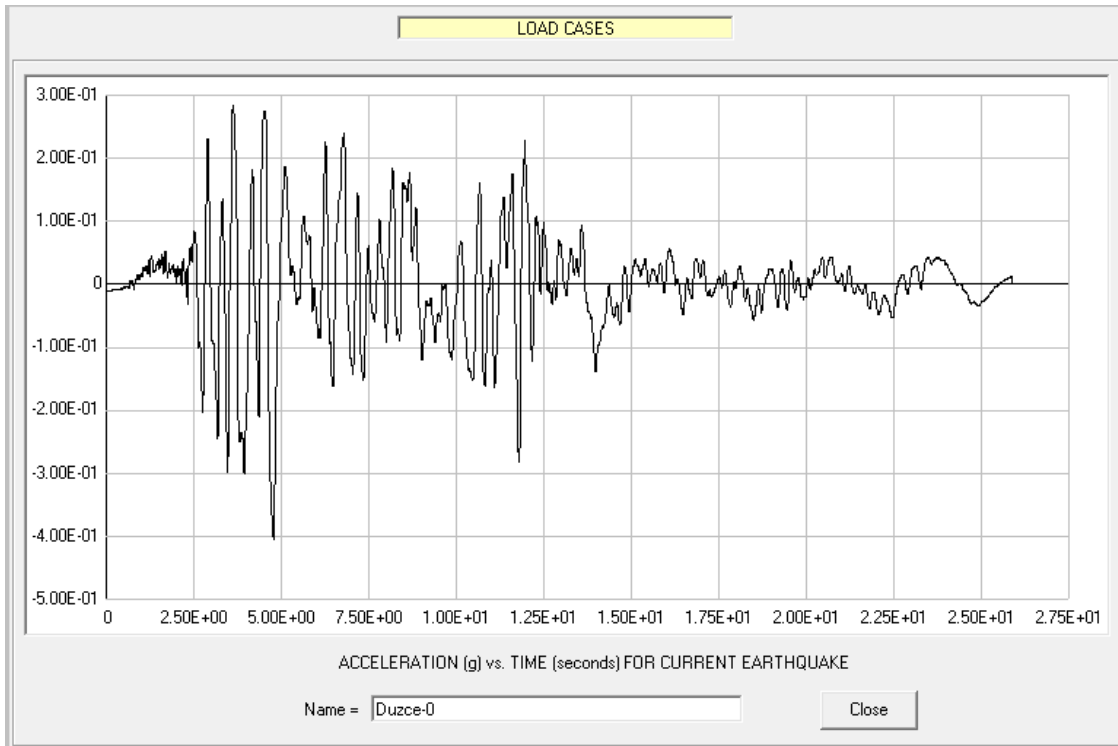
17) Kolon plastik mafsal dönme değerlerinin okunması

Kolon plastik mafsal dönme değerleri “Analysis Phase – Time Histories” kısmından okunmaktadır (Şekil A.24). “Elements” kısmından kolonlar seçilir. Ardından “Choose Component” kısmından tanımlanan plastik mafsal ve “Choose Result Type” kısmından hangi doğrultuda okuma yapılmak isteniyorsa o doğrultu seçilir. Daha sonra “Series” kısmından hangi deprem kaydı için değerlerin okunması isteniyorsa o kayıt seçilir ve kaydede basılır. Eğer sadece belirli bir kolon grubu için değerler okunmak isteniyorsa o grubun önceden tanımlanması gerekmektedir. Kaydede basmadan önce pencerenin üst kısmından istenen kolon grubu seçilerek sadece o grup için değerlerin not defterine aktarılması sağlanır. Aksi takdirde modelde yer alan tüm kolonlar için değerler kaydedilecektir. Plastik mafsal tipi olarak “Moment-Eğrilik” mafsalı tanımlanmış ise de anlatılan adımlar takip edilecektir.

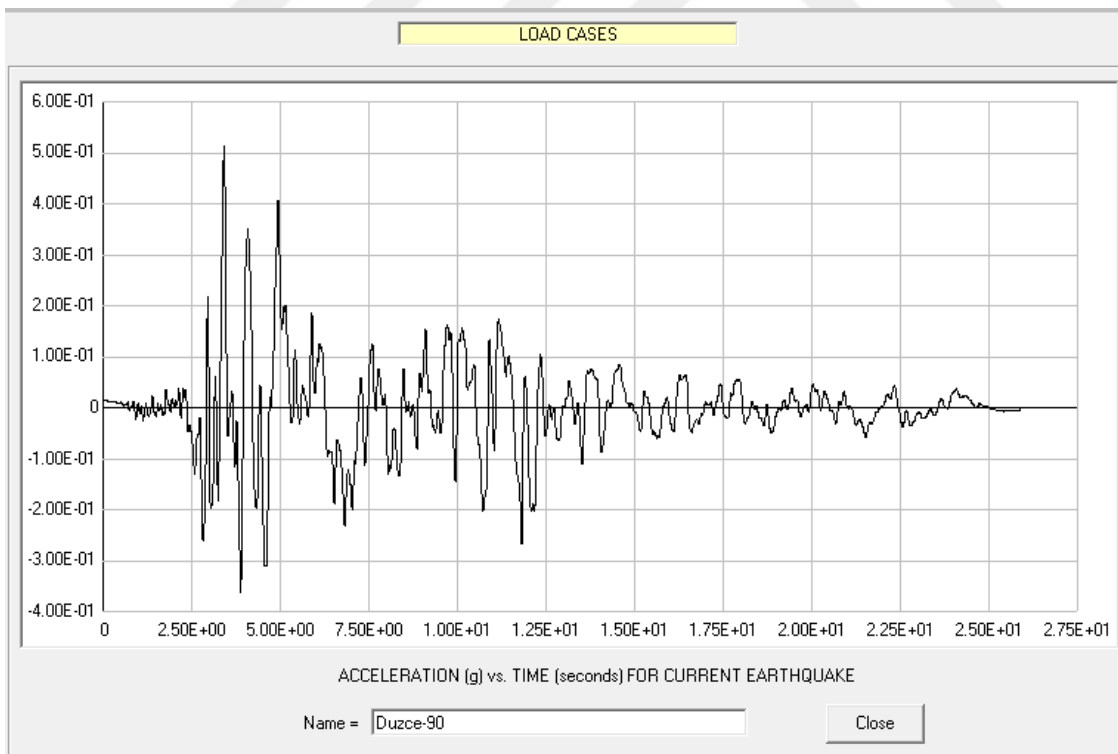


Şekil A.24 : Kolon plastik mafsal dönme değerlerinin okunması.

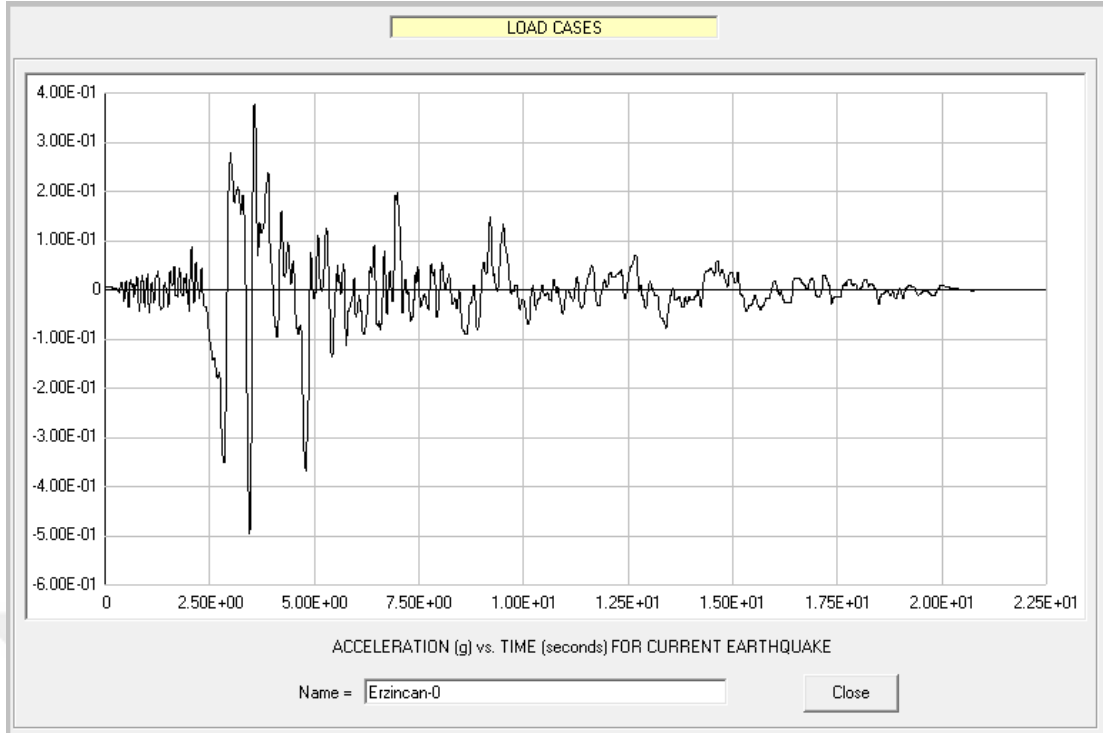
EK B



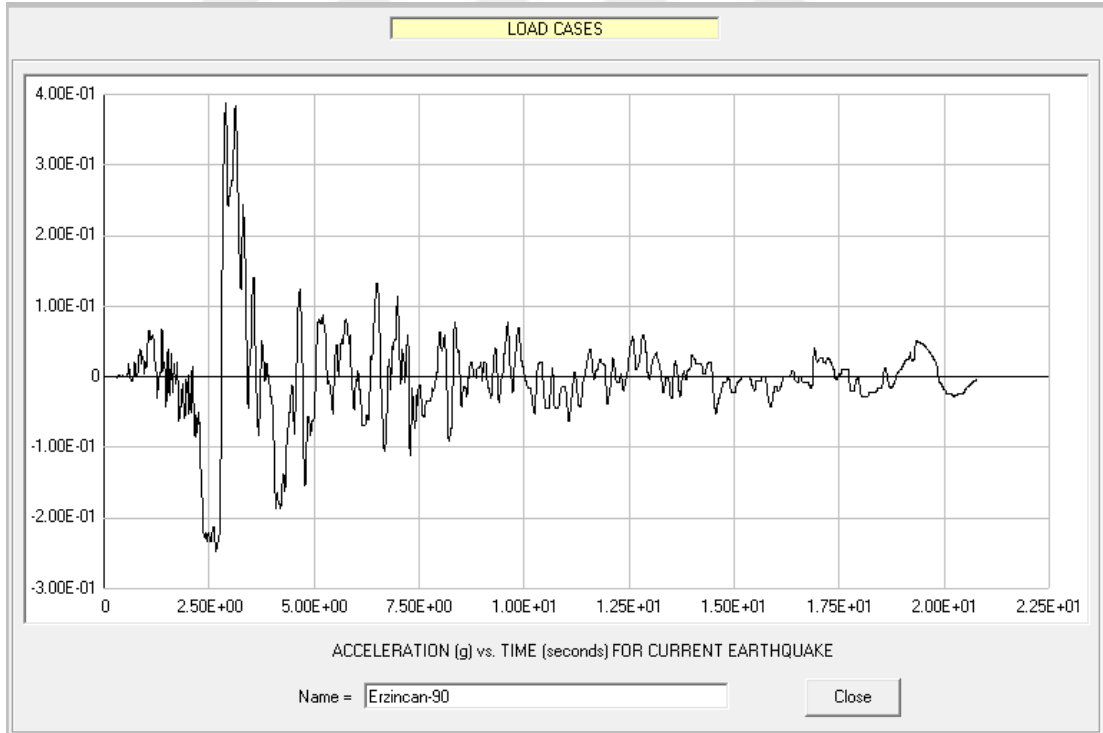
Şekil B.1 : Düzce 0° deprem kaydı.



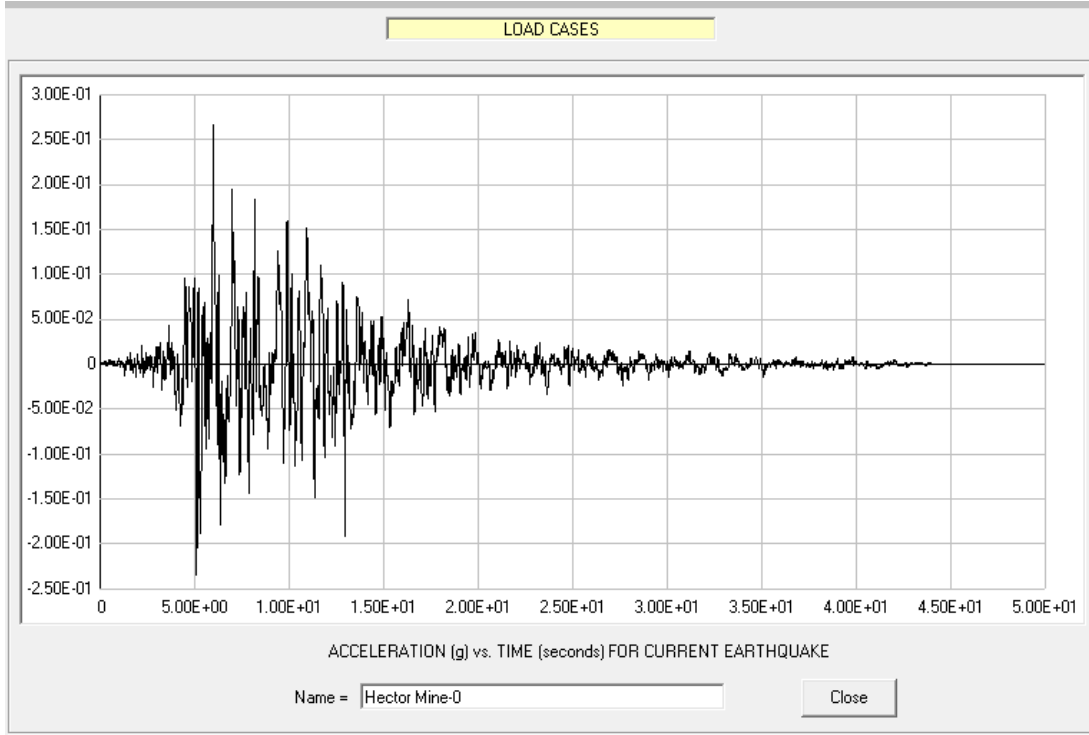
Şekil B.2 : Düzce 90° deprem kaydı.



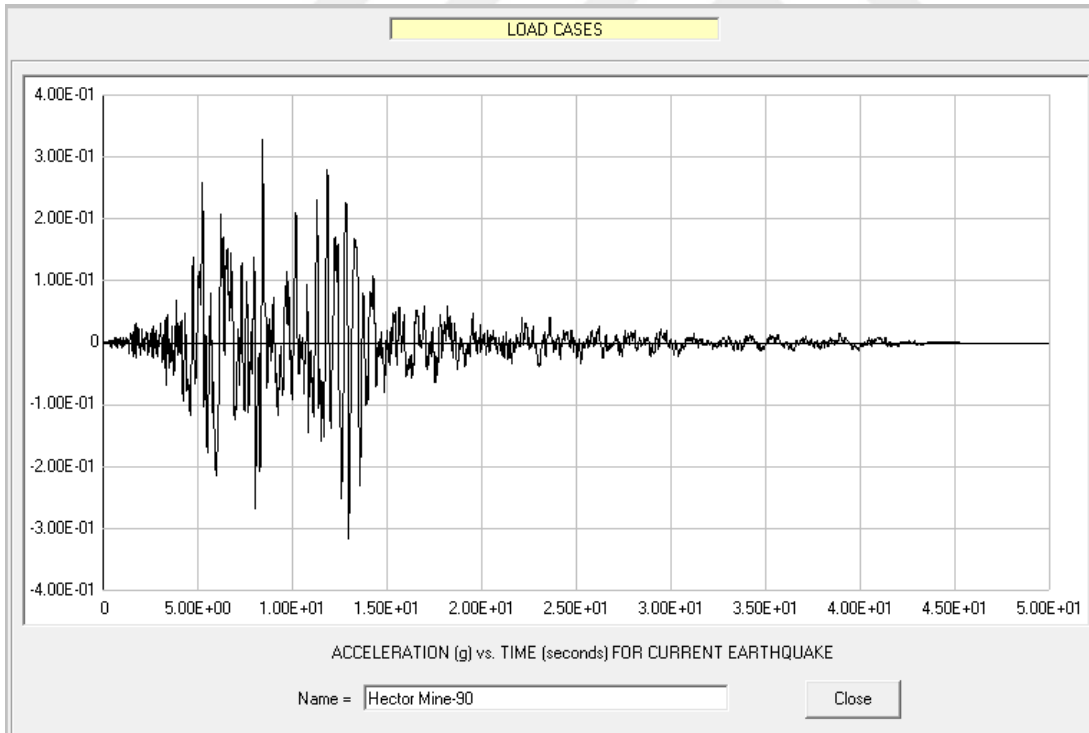
Şekil B.3 : Erzincan 0° deprem kaydı.



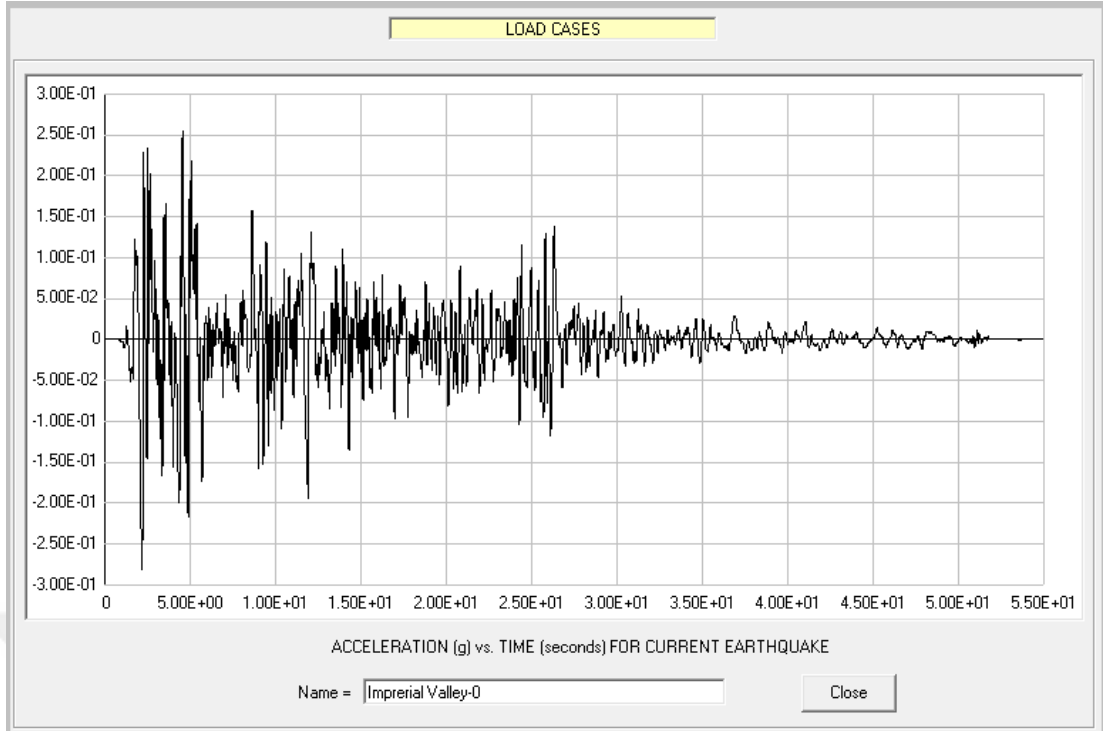
Şekil B.4 : Erzincan 90° deprem kaydı.



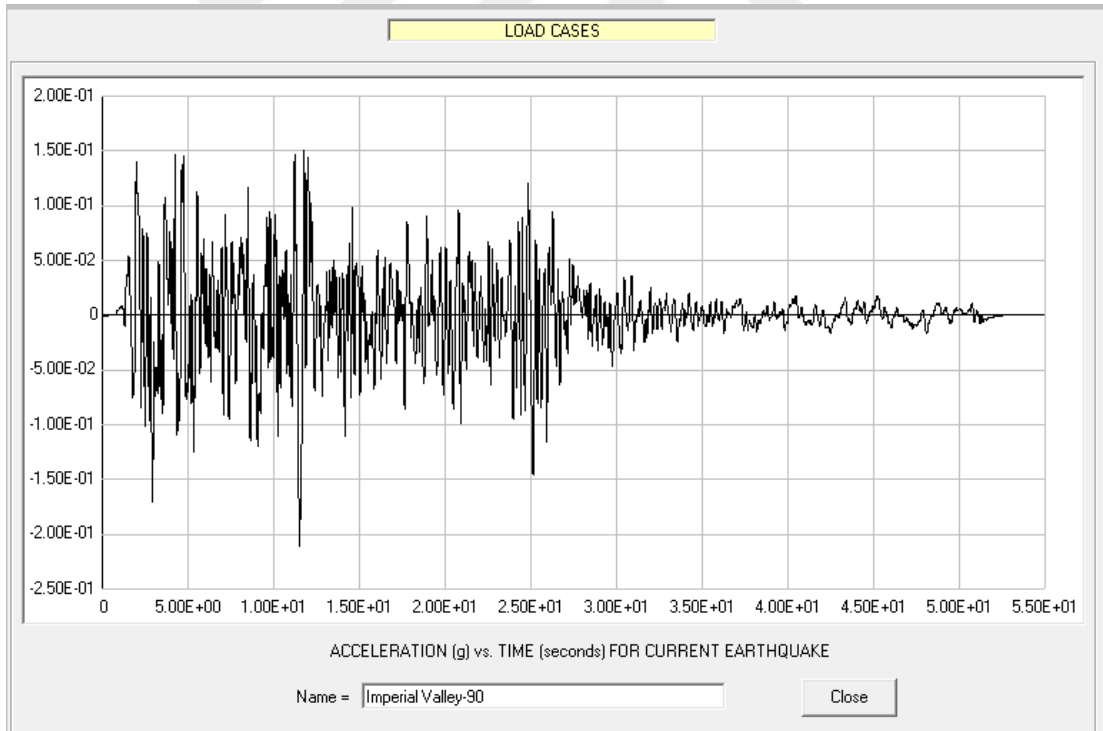
Şekil B.5 : Hector Mine 0° deprem kaydı.



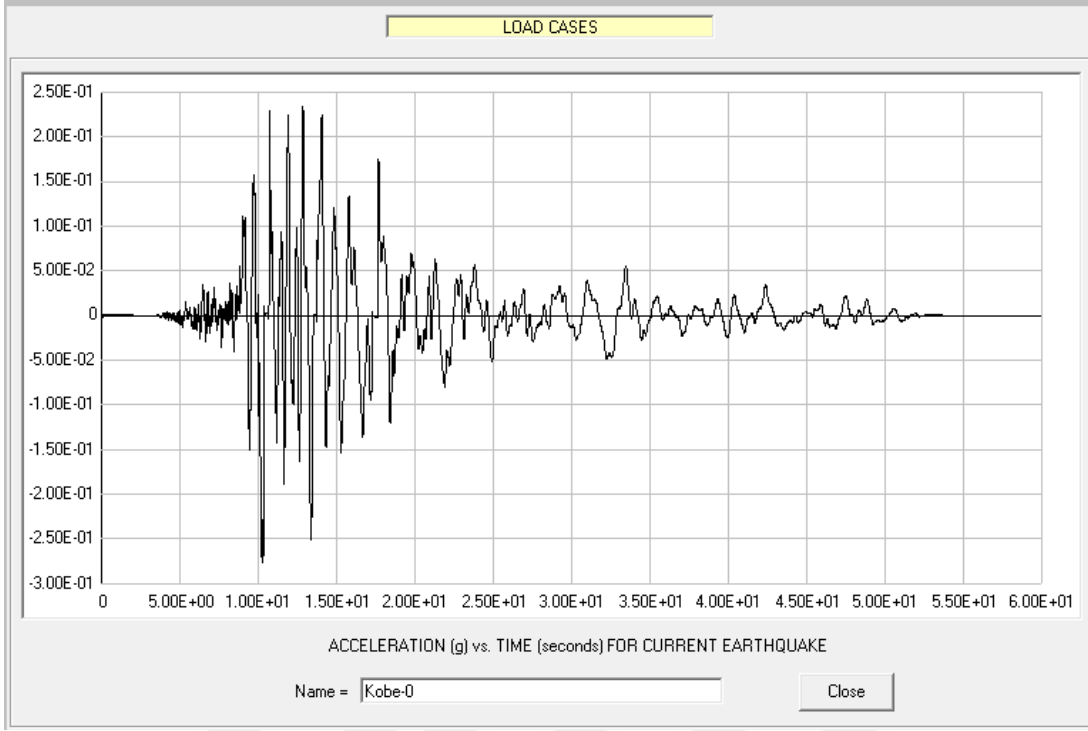
Şekil B.6 : Hector Mine 90° deprem kaydı.



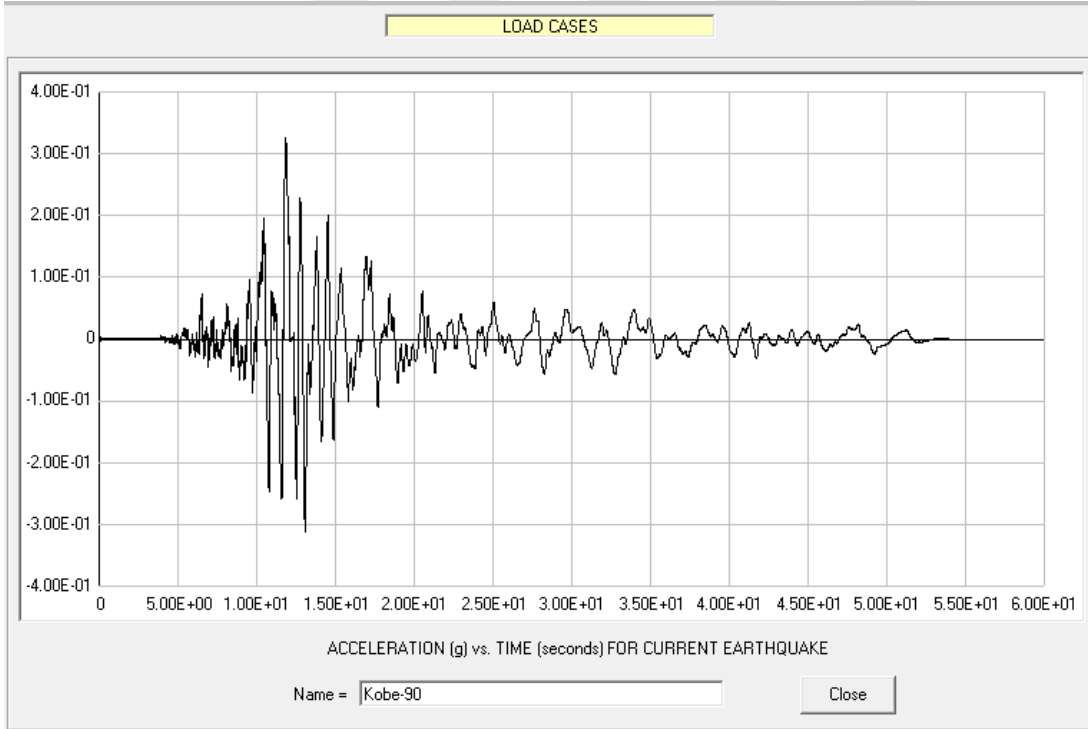
Şekil B.7 : Imperial Valley 0° deprem kaydı.



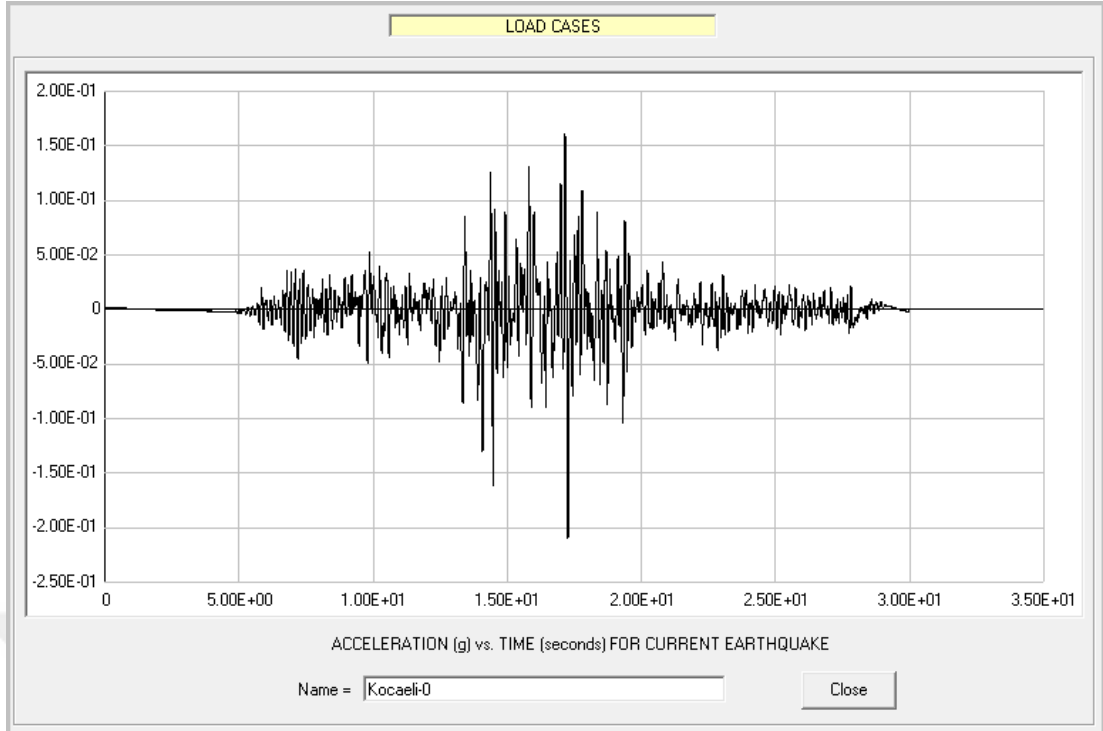
Şekil B.8 : Imperial Valley 90° deprem kaydı.



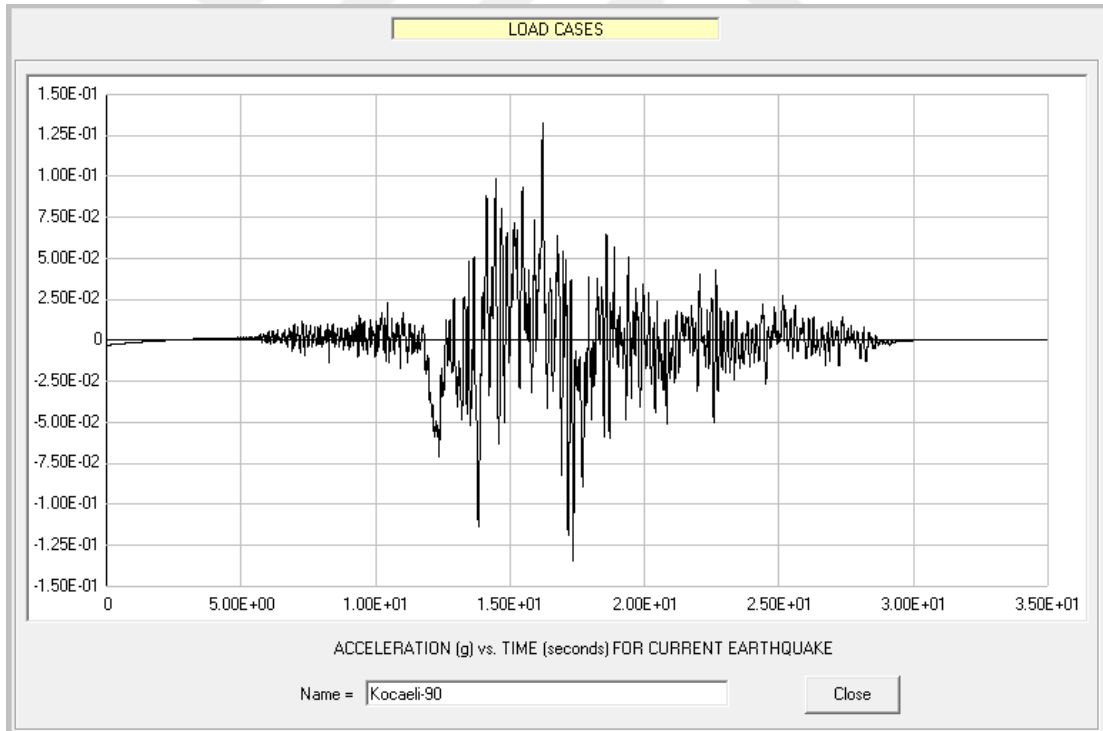
Şekil B.9 : Kobe 0° deprem kaydı.



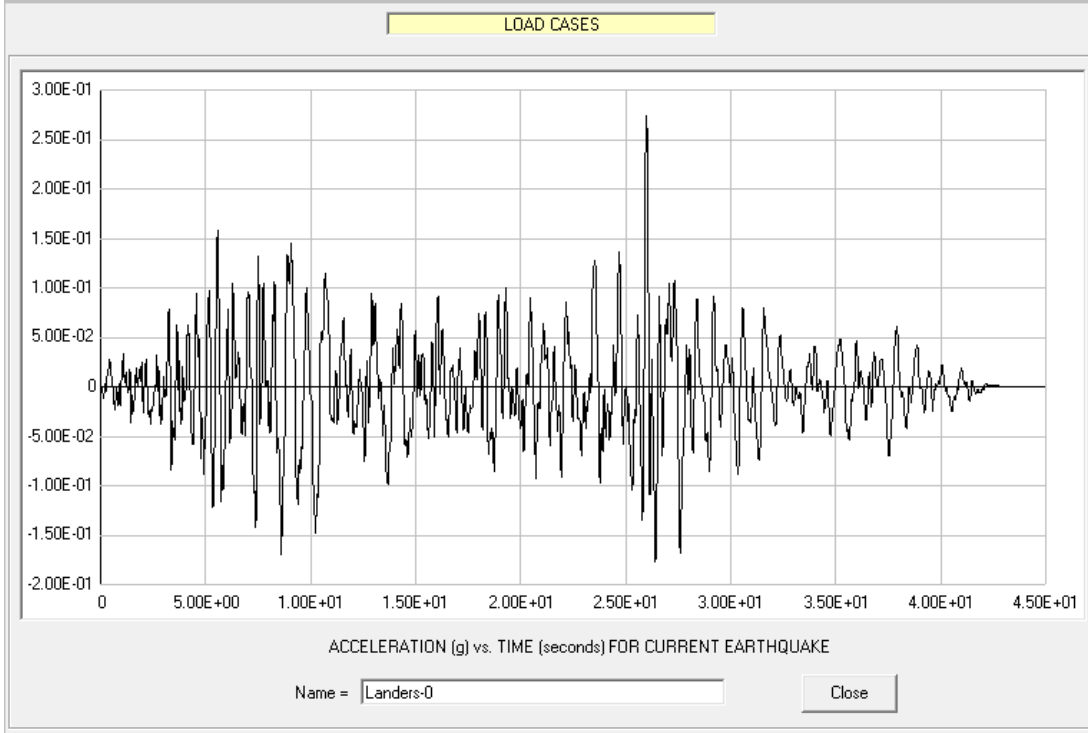
Şekil B.10 : Kobe 90° deprem kaydı.



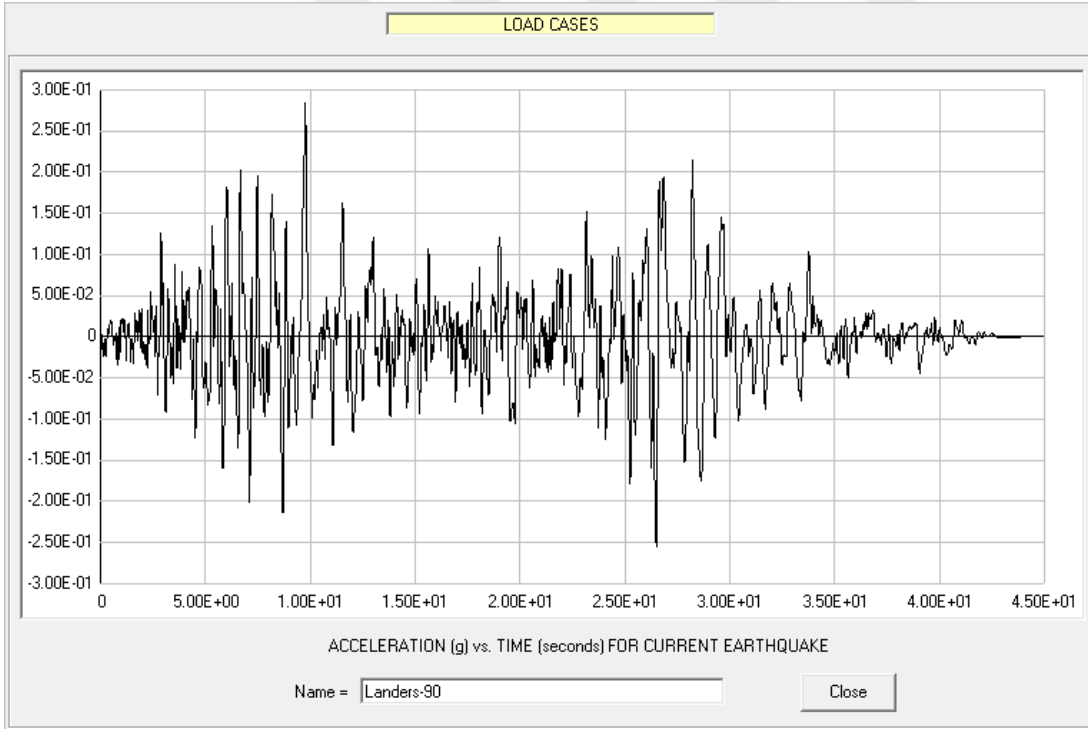
Şekil B.11 : Kocaeli 0° deprem kaydı.



Şekil B.12 : Kocaeli 90° deprem kaydı.



Şekil B.13 : Landers 0° deprem kaydı.



Şekil B.14 : Landers 90° deprem kaydı.

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Melih GÜVEN
Doğum Tarihi ve Yeri : 28.08.1991 İstanbul
E-posta : melihguvn@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2014, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği
- **Yükseklisans** : 2018, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, Yapı Mühendisliği