İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

A3 DÜZENSİZLİĞİ OLAN ÇOK KATLI BETONARME BİR YAPININ TÜRK, EUROCODE VE ACI 318 YÖNETMELİKLERİNE GÖRE TASARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Saadet Gökçe GÖK

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2013

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

A3 DÜZENSİZLİĞİ OLAN ÇOK KATLI BETONARME BİR YAPININ TÜRK, EUROCODE VE ACI 318 YÖNETMELİKLERİNE GÖRE TASARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Saadet Gökçe GÖK
(501101085)

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Tülay AKSU ÖZKUL

HAZİRAN 2013

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501101085 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Saadet Gökçe GÖK**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **"A3 DÜZENSİZLİĞİ OLAN ÇOK KATLI BETONARME BİR YAPININ TÜRK, EUROCODE VE ACI 318 YÖNETMELİKLERİNE GÖRE TASARIMI"** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	**Prof. Dr. Tülay AKSU ÖZKUL** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
Jüri Üyeleri :	**Doç. Dr. Mustafa GENÇOĞLU** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
	Prof. Dr. İrfan COŞKUN Yıldız Teknik Üniversitesi	.....

Teslim Tarihi : **3 Mayıs 2013**
Savunma Tarihi : **5 Haziran 2013**

Aileme,

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın ortaya konmasında katkıları ve yol göstericiliği ile bana rehberlik eden değerli hocam Sayın Prof. Dr. Tülay AKSU ÖZKUL'a, hayatım boyunca hiçbir desteği esirgemeyen ve bugüne gelmemde çok önemli rol oynayan aileme, yanımda olan arkadaşlarıma ve üzerimde emeği olan tüm hocalarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Mayıs 2013

Saadet Gökçe Gök
(İnşaat Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **vii**
İÇİNDEKİLER ..... **ix**
KISALTMALAR ..... **xiii**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xv**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xvii**
SEMBOL LİSTESİ ..... **xix**
ÖZET ..... **xxiii**
SUMMARY ..... **xxv**
1. GİRİŞ **1**
2. TÜRK, EUROCODE VE AMERİKAN YÖNETMELİKLERİNDE TASARIM AŞAMALARI **3**
2.1 Türk Yönetmeliklerine Göre Tasarım Aşamaları 3
2.1.1 DBYBHY'de eşdeğer deprem yükü yöntemi 3
2.1.2 DBYBHY'de mod birleştirme yöntemi 11
2.1.3 DBYBHY'de yapı düzensizlikleri 15
2.1.3.1 Planda düzensizlik durumları 15
2.1.3.2 Düşey doğrultuda düzensizlik durumları 18
2.1.4 TS 500'de taşıma gücü sınır durumuna göre hesap ilkeleri 20
2.2 Eurocode Yönetmeliklerine Göre Tasarım Aşamaları 22
2.2.1 Eurocode 8'de eşdeğer deprem yükü yöntemi 22
2.2.2 Eurocode 8'de mod birleştirme yöntemi 26
2.2.3 Eurocode 8'de yapı düzensizlikleri 26
2.2.3.1 Planda düzensizlik durumları 26
2.2.3.2 Düşey doğrultuda düzensizlik durumları 27
2.2.4 Eurocode 2'de taşıma gücü sınır durumuna göre hesap ilkeleri 29
2.3 Amerikan Yönetmeliklerine Göre Tasarım Aşamaları 30
2.3.1 ASCE/SEI 7'de eşdeğer deprem yükü yöntemi 30
2.3.2 ASCE/SEI 7'de mod birleştirme yöntemi 35
2.3.3 ASCE/SEI 7'de yapı düzensizlikleri 35
2.3.3.1 Planda düzensizlik durumları 35
2.3.3.2 Düşey doğrultuda düzensizlik durumları 36
2.3.4 ACI 318'de taşıma gücü sınır durumuna göre hesap ilkeleri 37
3. BETONARME BİR YAPININ TASARIMI **39**
3.1 Döşemelerin Tasarımı 45
3.1.1 Döşemelerin çalışma ilkelerinin belirlenmesi 45
3.1.2 Döşeme kalınlıklarının belirlenmesi 49
3.1.3 Döşeme yüklerinin belirlenmesi 51
3.1.4 İç kuvvetlerin hesabı 52
3.2 Kiriş ve Kolon Boyutlarının Belirlenmesi 56
3.3 Bina Modelinin Oluşturulması 67
3.4 Modal Analiz 69

3.4.1 Rijit diyafram kabulü yapılmadan serbest titreşim analizi 69
3.4.2 Rijit diyafram kabulüyle serbest titreşim analizi 75
4. TASARIM VE ANALİZLERİN YAPILMASI..... 81
4.1 Türk Yönetmeliklerine Göre Hesap 81
4.1.1 Deprem hesabı..... 81
4.1.1.1 Eşdeğer deprem yükü yöntemi hesapları 81
4.1.1.2 Tasarımda kullanılan yük birleşimleri 83
4.1.1.3 Taşıyıcı sistem çözümü 85
4.1.1.4 Düzensizliklerin kontrolü 85
4.1.1.5 Etkin göreli kat ötelemelerinin kontrolü 88
4.1.1.6 İkinci mertebe etkilerin kontrolü 91
4.1.1.7 Mod birleştirme yöntemi hesapları 93
4.1.2 Kesit tasarımlarının yapılması 94
4.1.2.1 Kiriş kesitlerinin tasarımı 94
4.1.2.2 Kolon kesitlerinin tasarımı 100
4.1.2.3 Perde kesitlerinin tasarımı 101
4.1.3 Donatı metraj ve maliyeti 101
4.2 Eurocode Yönetmeliklerine Göre Hesap..... 102
4.2.1 Deprem hesabı..... 102
4.2.1.1 Eşdeğer deprem yükü yöntemi hesapları 102
4.2.1.2 Tasarımda kullanılan yük birleşimleri 104
4.2.1.3 Taşıyıcı sistem çözümü 104
4.2.1.4 Düzensizliklerin kontrolü 104
4.2.1.5 Etkin göreli kat ötelemelerinin kontrolü 105
4.2.1.6 İkinci mertebe etkilerin kontrolü 107
4.2.1.7 Mod birleştirme yöntemi hesapları 108
4.2.2 Kesit tasarımlarının yapılması 108
4.2.2.1 Kiriş kesitlerinin tasarımı 109
4.2.2.2 Kolon kesitlerinin tasarımı 115
4.2.2.3 Perde kesitlerinin tasarımı 115
4.2.3 Donatı metraj ve maliyeti 116
4.3 Amerikan Yönetmeliklerine Göre Hesap 116
4.3.1 Deprem hesabı..... 116
4.3.1.1 Eşdeğer deprem yükü yöntemi hesapları 116
4.3.1.2 Tasarımda kullanılan yük birleşimleri 118
4.3.1.3 Taşıyıcı sistem çözümü 118
4.3.1.4 Düzensizliklerin kontrolü 119
4.3.1.5 Etkin göreli kat ötelemelerinin kontrolü 121
4.3.1.6 İkinci mertebe etkilerin kontrolü 122
4.3.1.7 Mod birleştirme yöntemi hesapları 123
4.3.2 Kesit tasarımlarının yapılması 124
4.3.2.1 Kiriş kesitlerinin tasarımı 124
4.3.2.2 Kolon kesitlerinin tasarımı 131
4.3.2.3 Perde kesitlerinin tasarımı 131
4.3.3 Donatı metraj ve maliyeti 132
5. HESAP SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI..... 133
5.1 Yapı Periyotlarının Karşılaştırılması..... 133
5.2 Taban Kesme Kuvvetlerinin Karşılaştırılması..... 133
5.3 Yer Değiştirmelerin ve Maksimum Göreli Ötelemelerin Karşılaştırılması .. 135
5.4 Etkin Göreli Kat Öteleme Oranlarının Karşılaştırılması..... 139

5.5 İkinci Mertebe Etkilerin Karşılaştırılması 142
5.6 Donatı Metraj ve Maliyetinin Karşılaştırılması 143
6. SONUÇ VE ÖNERİLER 145
KAYNAKLAR 147
ÖZGEÇMİŞ 149

KISALTMALAR

ACI	**:** American Concrete Institute
ASCE/SEI	**:** Structural Engineering Instute of the American Society of Civil Engineers
CQC	**:** Complete Quadratic Combination
DBYBHY	**:** Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
EN	**:** European Norm
IBC	**:** International Building Code
SAP	**:** Structural Analysis Program
SRSS	**:** Square Root of the Sum of the Squares
TS	**:** Türk Standardı

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : DBYBHY'de eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabileceği binalar 4
Çizelge 2.2 : DBYBHY'de hareketli yük katılım katsayısı (n) 5
Çizelge 2.3 : DBYBHY'de etkin yer ivmesi katsayısı (A_o) 6
Çizelge 2.4 : DBYBHY'de bina önem katsayısı (I) 7
Çizelge 2.5 : DBYBHY'de spektrum karakteristik periyotları (T_A ve T_B) 7
Çizelge 2.6 : DBYBHY'de taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R) 9
Çizelge 2.7 : Deprem hesabında kullanılacak yöntemler 13
Çizelge 2.8 : Beton sınıflarına göre k_1 değerleri 22
Çizelge 2.9 : Yüksek sismisite için önerilen spektrum parametreleri 24
Çizelge 2.10 : Eurocode 8'de bina önem katsayısı (γ_I) 24
Çizelge 2.11 : Eurocode 8'de esas davranış katsayıları 25
Çizelge 2.12 : ASCE/SEI 7'de metrik sistem için yaklaşık esas periyot parametreleri 30
Çizelge 2.13 : ASCE/SEI 7'de bina önem katsayısı 33
Çizelge 2.14 : ASCE/SEI 7'de yapı davranış katsayısı 34
Çizelge 2.15 : ACI 318'de taşıma gücü azaltma katsayısı (Φ) 37
Çizelge 3.1 : Yapı genel bilgileri 40
Çizelge 3.2 : DBYBHY'de zemin grupları 41
Çizelge 3.3 : DBYBHY'de yerel zemin sınıfları 41
Çizelge 3.4 : Eurocode 8'de zemin grupları 42
Çizelge 3.5 : IBC'de zemin sınıfları 43
Çizelge 3.6 : Döşemelerin çalışma ilkelerinin belirlenmesi 47
Çizelge 3.7 : Her bir döşeme için minimum döşeme kalınlığının belirlenmesi 50
Çizelge 3.8 : TS 498'de çatı eğimine (α) bağlı olarak azaltma değeri (m) 52
Çizelge 3.9 : X doğrultusu için döşeme donatı hesabı sonuçları 54
Çizelge 3.10 : Y doğrultusu için döşeme donatı hesabı sonuçları 55
Çizelge 3.11 : 10. kat kolon boyutlarının belirlenmesi 56
Çizelge 3.12 : 9. kat kolon boyutlarının belirlenmesi 57
Çizelge 3.13 : 8. kat kolon boyutlarının belirlenmesi 58
Çizelge 3.14 : 7. kat kolon boyutlarının belirlenmesi 59
Çizelge 3.15 : 6. kat kolon boyutlarının belirlenmesi 60
Çizelge 3.16 : 5. kat kolon boyutlarının belirlenmesi 61
Çizelge 3.17 : 4. kat kolon boyutlarının belirlenmesi 62
Çizelge 3.18 : 3. kat kolon boyutlarının belirlenmesi 63
Çizelge 3.19 : 2. kat kolon boyutlarının belirlenmesi 64
Çizelge 3.20 : 1. kat kolon boyutlarının belirlenmesi 65
Çizelge 3.21 : Zemin kat kolon boyutlarının belirlenmesi 66
Çizelge 3.22 : Kat kütleleri ve yapı ağırlığı 68
Çizelge 3.23 : Dönme atalet kütleleri 69
Çizelge 3.24 : Kütle katılım oranları 70

Çizelge 3.25 : Modların periyot, frekans ve açısal frekans değerleri 71
Çizelge 3.26 : Rijit diyafram kabulü yapıldığında kütle katılım oranları 75
Çizelge 3.27 : Modların periyot, frekans ve açısal frekans değerleri 76
Çizelge 4.1 : Eşdeğer deprem yükü yöntemi ile hesap 81
Çizelge 4.2 : Eşdeğer deprem yüklerinin katlara dağıtılması 82
Çizelge 4.3 : X doğrultusu için A1 burulma düzensizliğinin kontrolü 85
Çizelge 4.4 : Y doğrultusu için A1 burulma düzensizliğinin kontrolü 86
Çizelge 4.5 : X doğrultusu için B1 zayıf kat düzensizliğinin kontrolü 86
Çizelge 4.6 : Y doğrultusu için B1 zayıf kat düzensizliğinin kontrolü 87
Çizelge 4.7 : X doğrultusu için B2 yumuşak kat düzensizliğinin kontrolü 87
Çizelge 4.8 : Y doğrultusu için B2 yumuşak kat düzensizliğinin kontrolü 88
Çizelge 4.9 : Etkin göreli kat ötelemelerinin kontrolü 90
Çizelge 4.10 : İkinci mertebe etkilerin kontrolü 92
Çizelge 4.11 : X doğrultusu kiriş boyuna donatıları 94
Çizelge 4.12 : Y doğrultusu kiriş boyuna donatıları 97
Çizelge 4.13 : Zemin katta kolon boyuna donatıları 100
Çizelge 4.14 : Zemin katta perde boyuna donatıları 101
Çizelge 4.15 : Zemin katta donatı metraj ve maliyeti 101
Çizelge 4.16 : Eşdeğer deprem yükü yöntemi ile hesap 102
Çizelge 4.17 : Modal analiz sonuçları kullanıldığında EDYY ile hesap 102
Çizelge 4.18 : Eşdeğer deprem yükünün katlara dağıtılması 103
Çizelge 4.19 : Modal analiz sonuçları kullanıldığında EDY'nin katlara dağıtılması 103
Çizelge 4.20 : Etkin göreli kat ötelemelerinin kontrolü 106
Çizelge 4.21 : İkinci mertebe etkilerin kontrolü 107
Çizelge 4.22 : X doğrultusu kiriş boyuna donatıları 109
Çizelge 4.23 : Y doğrultusu kiriş boyuna donatıları 112
Çizelge 4.24 : Zemin katta perde boyuna donatıları 115
Çizelge 4.25 : Zemin katta donatı metraj ve maliyeti 116
Çizelge 4.26 : Eşdeğer deprem yükü yöntemi ile hesap 117
Çizelge 4.27 : Modal analiz sonuçları kullanıldığında EDYY ile hesap 117
Çizelge 4.28 : Eşdeğer deprem yükünün katlara dağıtılması 117
Çizelge 4.29 : Modal analiz sonuçları kullanıldığında EDY'nin katlara dağıtılması 118
Çizelge 4.30 : Burulma düzensizliğinin kontrolü 120
Çizelge 4.31 : Kütle dağılım düzensizliğinin kontrolü 121
Çizelge 4.32 : Etkin göreli kat ötelemelerinin kontrolü 122
Çizelge 4.33 : İkinci mertebe etkilerin kontrolü 123
Çizelge 4.34 : X doğrultusu kiriş boyuna donatıları 125
Çizelge 4.35 : Y doğrultusu kiriş boyuna donatıları 128
Çizelge 4.36 : Zemin katta perde boyuna donatıları 131
Çizelge 4.37 : Zemin katta donatı metraj ve maliyeti 132
Çizelge 5.1 : Yapı periyotlarının karşılaştırılması 133

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : DBYBHY'de tasarım spektrumu....8
Şekil 2.2 : Deprem hesap yönteminin belirlenmesi....14
Şekil 2.3 : A3 türü düzensizlik....17
Şekil 2.4 : Eurocode 8 elastik davranış spektrumu....23
Şekil 2.5 : Eurocode 8 kat çekilmesi koşulu (a)....27
Şekil 2.6 : Eurocode 8 kat çekilmesi koşulu (b)....28
Şekil 2.7 : Eurocode 8 kat çekilmesi koşulu (c)....28
Şekil 2.8 : Eurocode 8 kat çekilmesi koşulu (d)....29
Şekil 2.9 : ASCE/SEI 7 tasarım spektrumu....32
Şekil 3.1 : Zemin kat kalıp planı....44
Şekil 3.2 : Binanın üç boyutlu modeli....67
Şekil 3.3 : Yapının ikinci mod şekli....73
Şekil 3.4 : Yapının üçüncü mod şekli....74
Şekil 3.5 : Rijit diyafram tanımı yapıldığında yapının ikinci mod şekli....79
Şekil 3.6 : Rijit diyafram tanımı yapıldığında yapının üçüncü mod şekli....80
Şekil 4.1 : Türk yönetmeliklerine göre azaltılmış ivme spektrumu....93
Şekil 4.2 : Avrupa yönetmeliklerine göre azaltılmış ivme spektrumu....108
Şekil 4.3 : Amerikan yönetmeliklerine göre azaltılmış ivme spektrumu....124
Şekil 5.1 : Yaklaşık formüllerle hesaplanan periyotlar kullanılarak EDYY taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması....134
Şekil 5.2 : Modal analizle elde edilen periyotlar kullanılarak EDYY ile elde edilen taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması....134
Şekil 5.3 : X doğrultusunda maksimum yer değiştirmelerin karşılaştırılması....135
Şekil 5.4 : Y doğrultusunda maksimum yer değiştirmelerin karşılaştırılması....136
Şekil 5.5 : X doğrultusunda minimum yer değiştirmelerin karşılaştırılması....136
Şekil 5.6 : Y doğrultusunda minimum yer değiştirmelerin karşılaştırılması....137
Şekil 5.7 : X doğrultusunda maksimum göreli ötelemelerin karşılaştırılması....138
Şekil 5.8 : Y doğrultusunda maksimum göreli ötelemelerin karşılaştırılması....139
Şekil 5.9 : X doğrultusunda etkin göreli kat öteleme oranlarının karşılaştırılması....140
Şekil 5.10 : Y doğrultusunda etkin göreli kat öteleme oranlarının karşılaştırılması....141
Şekil 5.11 : X doğrultusunda ikinci mertebe etkilerin karşılaştırılması....142
Şekil 5.12 : Y doğrultusunda ikinci mertebe etkilerin karşılaştırılması....142
Şekil 5.13 : Zemin kat için hesaplanan boyuna donatı miktarlarının karşılaştırılması....143
Şekil 5.14 : Zemin kat için hesaplanan boyuna donatı maliyetlerinin karşılaştırılması....144

SEMBOL LİSTESİ

A_c : Kolon enkesit alanı

A_o : Etkin yer ivmesi katsayısı

A(T) : Spektral ivme katsayısı

a_g : A tipi zemin için tasarım yer ivmesi (Eurocode 8)

C_d : Deplasman büyütme katsayısı (ASCE/SEI 7)

C_s : Sismik katsayı (ASCE/SEI 7)

d_{fi} : Binanın i'inci katında fiktif yüklere göre hesaplanan yer değiştirme

d_r : Etkin ortalama göreli öteleme (Eurocode 8)

E_s : Donatı elastisite modülü

e_o : Kütle ve rijitlik merkezleri arasındaki mesafe (Eurocode 8)

F_a : Kısa periyot zemin katsayısı (ASCE/SEI 7)

F_b : Eşdeğer deprem yükü yöntemi taban kesme kuvveti (Eurocode 8)

F_{bk} : Rijit bodrum katına etkiyen eşdeğer deprem yükü

F_d : Tasarım kuvveti (ACI 318)

F_{fi} : Binanın i'inci katına etkiyen fiktif yük

F_i : Binanın i'inci katına etkiyen eşdeğer deprem yükü

F_v : Uzun periyot zemin katsayısı (ASCE/SEI 7)

f_{ck} : Beton karakteristik basınç dayanımı

H : Temelden itibaren veya rijit bodrum varsa zemin kat döşemesinden itibaren ölçülen bina yüksekliği (Eurocode 8)

H_i : Binanın i'inci katının temel üstünden veya rijit bodrum varsa zemin kat döşemesinden itibaren ölçülen yüksekliği

H_N : Binanın temel üstünden itibaren ölçülen toplam yüksekliği (bodrum katlarında rijit çevre perdelerinin bulunduğu binalarda zemin kat döşemesi üstünden itibaren ölçülen toplam yükseklik)

h : Kat yüksekliği

h_i : Binanın i'inci katının kat yüksekliği

h_n : Bina tabanından itibaren ölçülen bina yüksekliği (ASCE/SEI 7)

h_{sx} : Kat yüksekliği, (h_x-h_{x-1}) (ASCE/SEI 7)

$\mathbf{h_x}$: Binanın x seviyesindeki katının bina tabanından ölçülen yüksekliği (ASCE/SEI 7)

I : Bina önem katsayısı

$\mathbf{l_s}$: Kat dönme yarıçapı (Eurocode 8)

$\mathbf{l_{uç}}$: Perde uç bölgesi uzunluğu

m : Döşeme uzun kenarının kısa kenarına oranı

$\mathbf{m_i}$: Binanın i'inci katının kütlesi

N : Binanın temel üstünden veya rijit bodrum varsa zemin kat döşemesinden itibaren sahip olduğu kat sayısı

$\mathbf{N_d}$: Hesap normal kuvveti

n : Hareketli yük katılım katsayısı

$\mathbf{P_{tot}}$: İlgili kat seviyesinin üzerindeki toplam bina yükü (Eurocode 8)

$\mathbf{P_x}$: Binanın x seviyesindeki toplam düşey yük (ASCE/SEI 7)

R : Taşıyıcı sistem davranış katsayısı

$\mathbf{R_a(T)}$: Deprem yükü azaltma katsayısı

$\mathbf{R_d}$: Tasarım dayanımı (ACI 318)

r : Kat burulma yarıçapı (Eurocode 8)

S : Zemin katsayısı (Eurocode 8)

$\mathbf{S_{DS}}$: Kısa periyot tasarım spektral ivmesi (ASCE/SEI 7)

$\mathbf{S_{D1}}$: 1 saniye periyodu tasarım spektral ivmesi (ASCE/SEI 7)

$\mathbf{S_{MS}}$: Zemin katsayısıyla çarpılmış kısa periyot tasarım spektral ivmesi (ASCE/SEI 7)

$\mathbf{S_{M1}}$: Zemin katsayısıyla çarpılmış 1 saniye periyodu tasarım spektral ivmesi (ASCE/SEI 7)

$\mathbf{S_S}$: Kısa periyot için spektral ivme (ASCE/SEI 7)

$\mathbf{S_1}$: 1 saniye periyot için spektral ivme (ASCE/SEI 7)

S(T) : Spektrum katsayısı

T : Bina doğal titreşim periyodu

$\mathbf{T_a}$: Bina yaklaşık periyodu (ASCE/SEI 7)

$\mathbf{T_L}$: Uzun periyot bölgesine geçiş periyodu (ASCE/SEI 7)

V : Eşdeğer deprem yükü yöntemi taban kesme kuvveti (ASCE/SEI 7)

$\mathbf{V_i}$: Binanın i'inci katına etki eden kat kesme kuvveti

$\mathbf{V_t}$: Eşdeğer deprem yükü yöntemi taban kesme kuvveti

$\mathbf{V_{tB}}$: Mod birleştirme yöntemi taban kesme kuvveti

$\mathbf{V_{tot}}$: İlgili kat seviyesindeki toplam kat kesme kuvveti (Eurocode 8)

V_x : Binanın x seviyesindeki toplam kat kesme kuvveti (ASCE/SEI 7)

z_i : Binanın i'inci katının temel üstünden veya rijit bodrum varsa zemin kat döşemesinden itibaren yüksekliği (Eurocode 8)

q : Yapı davranış katsayısı (Eurocode 8)

W : Binanın, hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak hesaplanan toplam ağırlığı

w_{bk} : Rijit bodrum katın ağırlığı

w_i : Binanın i'inci katının, hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak hesaplanan ağırlığı

α_s : Döşemelerde, sürekli olan kenarların toplam uzunluğunun döşeme çevresi uzunluğuna oranı

γ_I : Bina önem katsayısı (Eurocode 8)

γ_{mc} : Beton için malzeme katsayısı

γ_{ms} : Donatı için malzeme katsayısı

ΔF_N : Binanın çatı katına etkiyen ek eşdeğer deprem yükü

Δ_i : Binanın i'inci katındaki azaltılmış öteleme

δ_i : Binanın i'inci katındaki etkin göreli öteleme

δ_x : Binanın x seviyesindeki etkin yer değiştirme (ASCE/SEI 7)

δ_{xe} : Binanın x seviyesinde elastik hesap sonucu elde edilen yer değiştirme (ASCE/SEI 7)

ε_{cu} : Beton ezilme birim kısalması

ε_{su} : Çelik kopma birim uzaması

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

θ_i : i'inci kat için ikinci mertebe gösterge değeri

λ : Eşdeğer deprem yükü düzeltme katsayısı (Eurocode 8)

ν : 95 yıl periyotlu depremi göz önüne alan düzeltme katsayısı (Eurocode 8)

ϕ : Taşıma gücü azaltma katsayısı (ACI 318)

A3 DÜZENSİZLİĞİ OLAN ÇOK KATLI BETONARME BİR YAPININ TÜRK, EUROCODE VE ACI 318 YÖNETMELİKLERİNE GÖRE TASARIMI

ÖZET

Yapılarda düzensiz taşıyıcı sistem kullanılması, özellikle deprem etkileri altında yapının zayıf kısımlarında hasara neden olur. Deprem gibi durumlarda düzensiz yapılarda görülen olumsuzluklardan ötürü, bu tip yapıların tasarım ve imalatından kaçınılması gerekmektedir; ancak çeşitli nedenlerle, uygulamada düzensiz binalarla karşılaşılmaktadır. Özellikle deprem etkisi altında bulunan bölgelerde inşa edilecek olması durumunda, bu tür düzensiz yapıların tasarım aşamasında daha dikkatli davranmak gerekmektedir. Bu doğrultuda, yapının ayakta kalmasını sağlamak için uyulması gereken temel unsurları içeren yönetmeliklere göre tasarım, analiz ve imalat yapılması gerekir. Ülkeden ülkeye değişen, yapıların hesap ve yapım kurallarını içeren yönetmeliklerin yanında, deprem etkisini de göz önünde bulunduran deprem yönetmeliklerinden faydalanmak, depremde olası can kayıplarını azaltmak bakımından büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, planda çıkıntıların bulunduğu düzensiz bir yapının Türk, Avrupa ve Amerikan yönetmeliklerine göre tasarım ve analizinin yapılarak elde edilen sonuçların karşılaştırılması amaçlanmıştır. Söz konusu yapı birinci derece deprem bölgesinde bulunan, bodrum kat, zemin kat ve 10 normal kattan oluşan, kat yüksekliğinin her kat için 3 metre olduğu, perdeli ve çerçeveli taşıyıcı sisteme sahip, konut amacıyla kullanılması öngörülen bir binadır. Yapıda C30 sınıfı beton ve S420 sınıfı çelik kullanılmıştır. Yapı, süneklik düzeyi yüksek bina olarak tasarlanmış olup yapının bodrum katı rijit bodrum perdeleriyle çevrelenmiştir.

İncelenen planda düzensiz çok katlı betonarme yapının tasarımında faydalanılan Türk yönetmelikleri, 2000 yılında yayımlanmış olan "Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları (TS 500)" ile 2007 yılında Bayındırlık ve İskan Bakanlığı tarafından yayımlanan "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik"tir.

Yapının tasarımında yararlanılan Avrupa yönetmelikleri, Avrupa Birliği üyesi ülkelerde esas alınan Eurocode yönetmeliklerinden Eurocode 2 (EN 1992) ile Eurocode 8 (EN 1998)'dir. "Eurocode 2" betonarme yapıların tasarımını düzenlerken, "Eurocode 8" depreme dayanıklı yapıların tasarımında uyulması gereken kuralları açıklamaktadır.

Amerika'da, betonarme yapıların tasarımı konusundaki kuralları düzenleyen ve bu çalışmada da yararlanılan mevcut yönetmelik "American Concrete Instute" (ACI) tarafından düzenlenmiş olan 2008 tarihli "Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary (ACI 318)" olup depreme dayanıklı yapıların tasarımında 2012 tarihli "International Building Code (IBC)" ve "Structural Engineering Institute of the American Society of Civil Engineers" tarafından yayımlanmış olan 2010

tarihli “Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures (ASCE/SEI 7-10)” kullanılmaktadır.

Bu çalışmanın içerisinde Türkiye, Avrupa ve Amerika’daki mevcut deprem yönetmeliklerinin tümünde de açıklanan ve uygulamada yaygın olarak yer bulan eşdeğer deprem yükü yöntemi ve mod birleştirme yöntemi ile ilgili kurallar verilmiş olup sistem çözümü eşdeğer deprem yükü yöntemiyle yapılmıştır.

Deprem etkilerinin hesabını etkileyen yapı düzensizlikleri ile ilgili koşullar her bir yönetmelik için ayrı ayrı açıklanmıştır.

Betonarme yapı elemanlarının taşıma gücü sınır durumuna göre hesap ilkeleri ve yapılan kabuller açıklanmıştır.

Yapının modeli SAP2000 V 15.1.0 yazılımı kullanılarak oluşturulmuş, ilgili analizler bu program yardımıyla yapılmıştır. Kiriş ve kolonlar çubuk eleman olarak tanımlanırken döşeme ve perdeler kabuk eleman olarak tanımlanmıştır. Zemin etkisini modele yansıtabilmek amacıyla, temelin zemine yaylardan oluşan bir sistemle mesnetlendiği kabul edilmiştir. Yapıda kirişli plak döşeme kullanılmıştır. Döşemelerin rijit diyafram olarak çalıştığı kabulü yapılmıştır. Yapı sistemi, yapının maruz kalabileceği yükler altında çözümlenmiş, bu yükler uygulanırken yönetmeliklere uygun tanımlamalar yapılmış ve ilgili yük kombinasyonları oluşturulmuş, yönetmeliklerce belirlenmiş ilgili kontroller yapılmış, eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılarak ek dışmerkezlik etkilerinin de dikkate alınmasıyla yapı elemanlarında gerekli olan boyuna donatı miktarları belirlenmiş, böylece zemin kat için donatı metrajı ve maliyeti hesaplanarak elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır. Bunlara ek olarak modal analiz sonuçlarına da yer verilmiştir.

Farklı yönetmeliklere göre hesaplanan yapı periyotları, eşdeğer deprem yükü yöntemine göre belirlenen taban kesme kuvvetleri, katların maksimum yer değiştirme ve göreli öteleme değerleri, ikinci mertebe etkiler karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmaya esas olan yapı için en elverişsiz sonuçlar Eurocode yönetmeliklerine göre elde edilirken bu yönetmeliklere göre yapılan tasarımda en güvenli tarafta kalınmış, ancak ekonomiklikten uzaklaşılmıştır. Türk yönetmeliklerine göre tasarım sonuçları deprem etkileri ve eğilme etkileri bakımından en düşük sonuçları vermiş ve en ekonomik sonuca götürmüştür.

Türk yönetmelikleriyle Amerikan yönetmelikleri yapılan kabuller ve kontrollerin yapılması konusunda büyük benzerlik taşımaktadır.

Amerikan ve Eurocode yönetmeliklerine göre yapılan tasarımlarda elde edilen iç kuvvetler, ilgili yük birleşimleri nedeniyle birbirine yakın çıkmıştır.

Farklı yönetmeliklere göre yapılan tasarımlarda yapının maruz kalacağı etkilerin farklı şekillerde hesaplanmasının getireceği sonuçların yanı sıra minimum donatı koşullarının da etkili olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

Hesap kolaylığı ile ekonomiklik getirmesi ve deprem durumunda karşılaşılabilecek olumsuzlukları azaltması açısından deprem derzleri bırakılması, yapının birbirinden bağımsız bölümler halinde çalışmasını sağlayacak ve planda çıkıntılar bulunan yapılarda düzensizliği ortadan kaldıracak iyi bir uygulama olacaktır.

DESIGN OF A MULTISTOREY REINFORCED CONCRETE BUILDING WITH A3 IRREGULARITY ACCORDING TO TURKISH, EUROCODE AND ACI 318 REGULATIONS

SUMMARY

Structural irregularities prevent transferring the inertial forces generated in an earthquake to the supporting ground, causing damages in weak regions of buildings. Due to negative effects observed in irregular buildings such as being more vulnerable to earthquake damage, design and construction of buildings with irregularity should be avoided if possible. Symmetrical and regular buildings, which have no significant discontinuities in plan, vertical configuration, or lateral force resisting systems, exhibit more predictable and favorable seismic response characteristics than irregular structures. However, architectural, aesthetical or economical reasons may lead to construct buildings having irregularity in plan or elevation. Especially in seismic hazard zones, these buildings should be designed carefully. In this manner, meeting the requirements of structural design codes is a vital issue. These codes have limitations and additional requirements for systems with structural irregularities.

Structural irregularities can be in plan or in elevation. Although definition of irregularity types may differ according to different structural design codes, the main causes of structural irregularity are similar, such as non-uniform distributions of mass, stiffness, strength, and asymmetrical design properties. Horizontal structural irregularities are torsional irregularity, reentrant corner irregularity, diaphragm discontinuity irregularity, out-of-plane offset irregularity, and nonparallel system irregularity. Vertical structural irregularities are stiffness-soft story irregularity, weight (mass) irregularity, vertical geometric irregularity, in-plane discontinuity in vertical lateral force-resisting element irregularity, and discontinuity in lateral strength-weak story irregularity. Some types of irregularity have an effect in selection of seismic design procedure.

In this study, a comparative design and analysis of a multistorey reinforced concrete building having reentrant corner irregularity using different countries' regulations have been aimed, performing all analysis and design steps on the same structural model. The building that has been designed is placed in high-activity seismic zone and has a rigid basement, a ground floor and 10 typical floors. The story height is three meters for each story of this residential building. The material used in construction is going to be C30/S420. The building has been designed as a system with high ductility. Slab design has been made according to the Turkish codes, and slab thickness has been calculated as 15 centimeters. Mass and mass moment of inertia for each story have been both calculated.

For concrete frame design according to Turkish regulations, The Turkish Standard TS 500-2000 is used with Turkish Seismic Code 2007. Turkish Seismic Code, or in other words Specification for Buildings to be built in Seismic Zones was published by Ministry of Public Works and Settlement Government of Republic of Turkey in 2007.

For the structural design of construction works in countries having a membership of European Union, Eurocodes are used. Eurocodes were developed by the European Committee for Standardisation. For the design of concrete structures, Eurocode 2 (EN 1992) is used while Eurocode 8 (EN 1998) is used for the design of structures for earthquake resistance.

In United States, ACI 318 Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary is used, which provides minimum requirements for the design and construction of structural concrete members. ACI 318 is issued and maintained by the American Concrete Institute. In design of earthquake resistant structures, provisions of International Building Code (IBC) and ASCE/SEI 7 Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures published by American Society of Civil Engineers, are used together.

In this thesis, equivalent lateral force analysis and modal response spectrum analysis procedures in each of three seismic design codes have been explained. These seismic design methods are the methods commonly used in practice. The factors affecting the selection of seismic design procedure have been given.

Structural irregularities included in each design code, which affects the seismic design calculations have been represented.

Ultimate state design methods in reinforced concrete, assumptions for concrete, steel and loads according to different countries' structural design codes are the other subjects examined in this study.

Three dimensional structural analysis model has been generated in SAP2000 V 15.1.0 and all analyses have been performed by using this structural analysis and design software. Beams and columns have been defined as frame elements while slabs and shear walls have been defined as shell elements with appropriate meshing. To consider the soil properties, spring elements have been assigned to the foundation of the building. Rigid diaphragm assumption has been made for the reinforced concrete slabs. Load combinations, which vary by structural design code, have been defined and structural irregularity checks have been done. The equivalent lateral force method has been used in calculations, and the amount of longitudinal reinforcement needed in ground floor has been calculated. The longitudinal reinforcement for the beams of ground floor ceiling, and for the columns and the concrete walls of the ground floor have been calculated according to the Turkish structural codes, Eurocodes and American structural codes. By using these results, reinforcement cost for each structural element of ground floor, and total reinforcement cost of the ground floor have been calculated for each design code. Additionally, modal analysis results have been given. Ritz vectors have been used in modal analysis. Mode shapes, effective masses participating in modal analysis, periods, frequencies and angular frequencies have been represented.

Results obtained from analyses have been compared. Period of the structure, base shear forces under seismic forces obtained using equivalent lateral load procedure, story drifts and second order effects have been presented with commentary.

For the building examined in this study, design made meeting the Eurocodes' requirements lead to the most expensive solution, by providing a safer design. Although Turkish and American codes have a significant similarity in assumptions made and in procedure of design checks, Eurocodes and American codes give closer results. Turkish Standard and Turkish Seismic Code 2007 give the least conservative

results and lead to the most economical solution. In obtaining these results, minimum requirements for reinforcement ratio are effective as well as different load combinations and the difference in calculating the seismic forces. In this study, minimum reinforcement requirements are the deterministic factor in design of the columns and shear walls of the ground floors. Due to minimum reinforcement conditions are the same for columns in all three structural design codes, the cost of longitudinal reinforcement of ground floor columns are the same.

For the advantages such as providing a more economical design and an ease of calculation, the structures having reentrant corner irregularity should be designed with structural joints that divide the structure into several sections. This seismic separation design also reduces torsional moments and prevents additional shear stresses on columns by avoiding irregularity. When applying this seismic separation, the minimum requirements given in structural codes should be met to prevent pounding occurred in many earthquakes, by limiting the amount of the story drifts. Strenghtening with drag struts can be preferred as another solution to reentrant corner irregularity.

1. GİRİŞ

Yapılarda düzensiz taşıyıcı sistem kullanılması, deprem durumunda gösterdiği olumsuzluklardan ötürü istenmeyen bir durumdur; ancak yapının inşa edileceği arsanın getirebildiği kısıtlamalar, yapı sahibinin istekleri, mimari sebepler, estetik kaygılar, mimar ile mühendisin eş güdümlü çalışmaması, taşıyıcı sistem seçimine gereken önemi ve özeni göstermeyip taşıyıcı sistem seçimi aşamasına yeterli zaman ayrılmaması, mühendisin bilgi veya tecrübesindeki eksiklikler, projelendirme aşamasında kullanılan yazılımlara aşırı güvenerek elde edilen sonuçların yorumlanmadan kullanılması, imalat sırasında projeden bağımsız davranılması, denetim eksikliği, maddi çıkarlar gibi sebeplerle düzensiz binalarla karşılaşılmaktadır. Özellikle deprem etkisi altında bulunan bölgelerde inşa edilecek olması durumunda, bu tür düzensiz yapılar dikkatle tasarlanmalıdır. Bu doğrultuda, yapı tasarımında temel unsurları içeren yönetmeliklere göre tasarım, analiz ve imalat yapılması, afet durumlarında yapının ayakta kalmasını sağlayarak can kayıplarının azaltılması bakımından büyük önem taşır.

Bu çalışmada Türkiye'deki mevcut yönetmeliklerin yanı sıra, Avrupa ülkelerindeki ve Amerika'daki farklı yönetmeliklere göre, A3 düzensizliği olan çok katlı bir betonarme yapının tasarım ve analizinin yapılarak elde edilen sonuçların karşılaştırılması amaçlanmıştır.

Bu çalışmada faydalanılacak Türk yönetmelikleri, 2000 yılında yayımlanmış olan "Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları (TS 500)" ile 2007 yılında Bayındırlık ve İskan Bakanlığı tarafından yayımlanan "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik" veya kısaca adlandırılacak olursa DBYBHY olacaktır. Avrupa yönetmelikleri olarak Eurocode yönetmelikleri kastedilmektedir. Eurocode yönetmeliklerinden "Eurocode 2" betonarme yapıların tasarımını düzenlerken, "Eurocode 8" depreme dayanıklı yapıların tasarımında uyulması gereken kuralları belirlemektedir. Eurocode 2'nin bu tez çalışmasında kullanılan karşılığı 2009 tarihli "Beton Yapıların Tasarımı – Bölüm 1-1: Genel Kurallar ve Binalara Uygulanacak Kurallar (TS EN 1992 1-1)" olarak adlandırılan

Türk Standardı Avrupa Normu'dur. Eurocode 8'in karşılığı olarak ise Türk Standartları Enstitüsü tarafından 2005 yılında "Depreme Dayanıklı Yapıların Tasarımı – Bölüm 1: Genel Kurallar, Sismik Etkiler ve Binalar için Kurallar (TS EN 1998-1)" yayımlanmıştır. Çalışmada, söz konusu Avrupa Normları esas alınmıştır. Son olarak Amerika'da, betonarme yapıların tasarımı konusundaki kuralları düzenleyen mevcut yönetmelik "American Concrete Instute" (ACI) tarafından düzenlenmiş olan 2008 tarihli "Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary (ACI 318)" olup depreme dayanıklı yapıların tasarımında 2012 tarihli "International Building Code (IBC)" ve "Structural Engineering Institute of the American Society of Civil Engineers" tarafından yayımlanmış olan 2010 tarihli "Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures (ASCE/SEI 7-10)" kullanılmaktadır.

Bu çalışmanın içerisinde Türkiye, Avrupa ve Amerika'daki mevcut deprem yönetmeliklerinin tümünde de açıklanan ve uygulamada yaygın olarak yer bulan eşdeğer deprem yükü yöntemi ve mod birleştirme yöntemi ile ilgili kurallar verilmiştir.

Bu çalışmanın konusu olan bodrum, zemin ve 10 normal kata sahip perdeli ve çerçeveli taşıyıcı sisteme sahip betonarme yapıda da bulunan ve deprem etkilerinin hesabında önemli rol oynayan yapı düzensizlikleri ile ilgili koşullar her bir yönetmelik için ayrı ayrı açıklanmıştır.

Betonarme yapı elemanlarının taşıma gücü sınır durumuna göre hesap ilkeleri ve yapılan kabuller açıklanmıştır.

Yapının modeli SAP2000 V 15.1.0 yazılımı kullanılarak oluşturulmuş, ilgili analizler bu program yardımıyla yapılmıştır. Yapı sistemi, yapının maruz kalabileceği yükler altında çözümlenmiş, yönetmeliklerce belirlenmiş ilgili kontroller yapılmış, yapı elemanlarında gerekli olan donatı miktarları belirlenmiş, böylece donatı metrajı ve maliyeti hesaplanarak elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

2. TÜRK, EUROCODE VE AMERİKAN YÖNETMELİKLERİNDE TASARIM AŞAMALARI

2.1 Türk Yönetmeliklerine Göre Tasarım Aşamaları

DBYBHY'ye göre depreme dayanıklı yapı tasarımında ana ilke;

- Hafif şiddetteki depremlerde, yapısal ve yapısal olmayan elemanların hasar görmemesi,
- Orta şiddetteki depremlerde, yapısal ve yapısal olmayan elemanlardaki hasarın sınırlı ve onarılabilir düzeyde olması,
- Şiddetli depremlerde, can güvenliğini sağlamak amacıyla kalıcı yapısal hasar oluşumunun sınırlandırılması olarak ifade edilir [1].

Bu yönetmeliğe göre, yeni yapılacak binaların tasarımında esas alınacak tasarım depremi, şiddetli depreme karşılık gelir ve bu deprem, bina önem katsayısı I = 1 olan binalar için 50 yıllık bir süre içinde aşılma olasılığı %10 olan depremdir.

Binaların ve bina türü yapıların deprem hesabında kullanılacak yöntemler;

- Eşdeğer deprem yükü yöntemi (EDY),
- Dinamik yöntemler (DY) olarak ayrılır.

Dinamik yöntemler ise

- Mod birleştirme yöntemi,
- Zaman tanım alanında hesap yöntemleri olarak sınıflandırılabilir.

Dinamik yöntemler, tüm binaların ve bina türü yapıların deprem hesabında kullanılabilir. Eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabilmesi için ise binanın bazı koşulları sağlaması gerekmektedir.

2.1.1 DBYBHY'de eşdeğer deprem yükü yöntemi

Uygulamada karşılaşılan yapıların büyük çoğunluğu için eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılabilmektedir. Eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabileceği

binalar Çizelge 2.1'de gösterilmiştir. Bu çizelgenin kapsamına girmeyen binaların deprem hesabında dinamik yöntemlerden biri kullanılacaktır.

Çizelge 2.1 : DBYBHY'de eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabileceği binalar [1].

Deprem Bölgesi	**Bina Türü**	**Toplam Yükseklik Sınırı**
1, 2	Her bir katta burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} \leq 2{,}0$ koşulunu sağladığı binalar	$H_N \leq 25$ m
1, 2	Her bir katta burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} \leq 2{,}0$ koşulunu sağladığı ve ayrıca B2 türü düzensizliğin olmadığı binalar	$H_N \leq 40$ m
3, 4	Tüm binalar	$H_N \leq 40$ m

Çizelge 2.1'de H_N binanın temel üstünden itibaren ölçülen toplam yüksekliğini (bodrum katlarında rijit çevre perdelerinin bulunduğu binalarda zemin kat döşemesi üstünden itibaren ölçülen toplam yükseklik), η_{bi} i'inci katta tanımlanan burulma düzensizliği katsayısını göstermektedir.

Eşdeğer deprem yükü yönteminde; göz önüne alınan deprem doğrultusunda, binanın tümüne etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti) V_t, **(2.1)** denklemi ile belirlenir.

$$V_t = \frac{W\, A(T_1)}{R_a(T_1)} \geq 0{,}10\, A_o\, I\, W \qquad \textbf{(2.1)}$$

(2.1) denkleminde V_t eşdeğer deprem yükü yönteminde göz önüne alınan deprem doğrultusunda binaya etkiyen toplam eşdeğer deprem yükünü (taban kesme kuvvetini), W binanın hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak hesaplanan ağırlığını, T_1 binanın birinci doğal titreşim periyodunu [s], $A(T_1)$ binanın birinci doğal titreşim periyoduna karşılık gelen spektral ivme katsayısını, $R_a(T_1)$ binanın birinci doğal titreşim periyoduna karşılık gelen deprem yükü azaltma katsayısını, A_o etkin yer ivmesi katsayısını, I bina önem katsayısını ifade etmektedir.

Binanın deprem yüklerinin hesaplanmasında kullanılacak olan toplam ağırlığı, **(2.2)** denklemi kullanılarak belirlenir.

$$W = \sum_{i=1}^{N} w_i \qquad \textbf{(2.2)}$$

(2.2) denkleminde W binanın deprem yüklerinin hesaplanmasında kullanılacak olan ve hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak bulunan toplam ağırlığını, N binanın temel üstünden itibaren toplam kat sayısını (bodrum katlarında rijit çevre perdelerinin bulunduğu binalarda zemin kat döşemesi üstünden itibaren toplam kat sayısını); w_i binanın i'inci katının, hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak hesaplanan ağırlığını göstermektedir.

wi kat ağırlıkları, **(2.3)** denklemi kullanılarak hesaplanır.

$$w_i = g_i + n\, q_i \qquad \textbf{(2.3)}$$

(2.3) denkleminde w_i binanın i'inci katının, hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak hesaplanan ağırlığını; g_i binanın i'inci katındaki toplam sabit yükü, n hareketli yük katılım katsayısını, q_i binanın i'inci katındaki toplam hareketli yükü ifade etmektedir.

Hareketli yük katılım katsayısı n, Çizelge 2.2'de verilmiştir. Endüstri binalarında sabit ekipman ağırlıkları için n=1 alınacak, ancak vinç kaldırma yükleri kat ağırlıklarının hesabında göz önüne alınmayacaktır. Deprem yüklerinin belirlenmesinde kullanılacak çatı katı ağırlığının hesabında kar yüklerinin %30'u göz önüne alınacaktır.

Çizelge 2.2 : DBYBHY'de hareketli yük katılım katsayısı (n).

Binanın Kullanım Amacı	**n**
Depo, antrepo vb.	0,80
Okul, öğrenci yurdu, spor tesisi, sinema, tiyatro, konser salonu, garaj, lokanta, mağaza vb.	0,60
Konut, iş yeri, otel, hastane vb.	0,30

Göz önüne alınan deprem doğrultusu için saniye cinsinden birinci doğal titreşim periyodu T_1'e karşı gelen deprem yüklerinin belirlenmesinde esas alınacak spektral ivme katsayısı $A(T_1)$, **(2.4)** denklemi ile hesaplanır.

$$A(T_1) = A_o\, I\, S(T_1) \qquad \textbf{(2.4)}$$

(2.4) denkleminde $A(T_1)$ binanın birinci doğal titreşim periyoduna karşılık gelen spektral ivme katsayısını, A_o etkin yer ivmesi katsayısını, I bina önem katsayısını, $S(T_1)$ binanın birinci doğal titreşim periyoduna karşılık gelen spektrum katsayısını göstermektedir.

Spektral ivme katsayısının belirleneceği **(2.4)** denkleminde yer alan etkin yer ivmesi katsayısı A_o, Çizelge 2.3'te tanımlanmıştır.

Çizelge 2.3 : DBYBHY'de etkin yer ivmesi katsayısı (A_o).

Deprem Bölgesi	**A_o**
1	0,40
2	0,30
3	0,20
4	0,10

Bina önem katsayısı I, Çizelge 2.4'te tanımlanmıştır.

Spektrum katsayısı S(T), yerel zemin koşulları ve binanın doğal titreşim periyodu T'ye bağlı olarak **(2.5)** denklemiyle hesaplanır.

$$S(T) = 1 + 1{,}5\frac{T}{T_A} \qquad (0 \le T \le T_A)$$

$$S(T) = 2{,}5 \qquad (T_A \le T \le T_B) \qquad \textbf{(2.5)}$$

$$S(T) = 2{,}5\left(\frac{T_B}{T}\right)^{0{,}8} \qquad (T_B < T)$$

(2.5) denkleminde S(T) spektrum katsayısını, T saniye cinsinden bina doğal titreşim periyodunu, T_A ve T_B saniye cinsinden spektrum karakteristik periyotlarını göstermektedir.

Spektrum karakteristik periyotları T_A ve T_B, yerel zemin sınıflarına göre Çizelge 2.5'te verilmiştir.

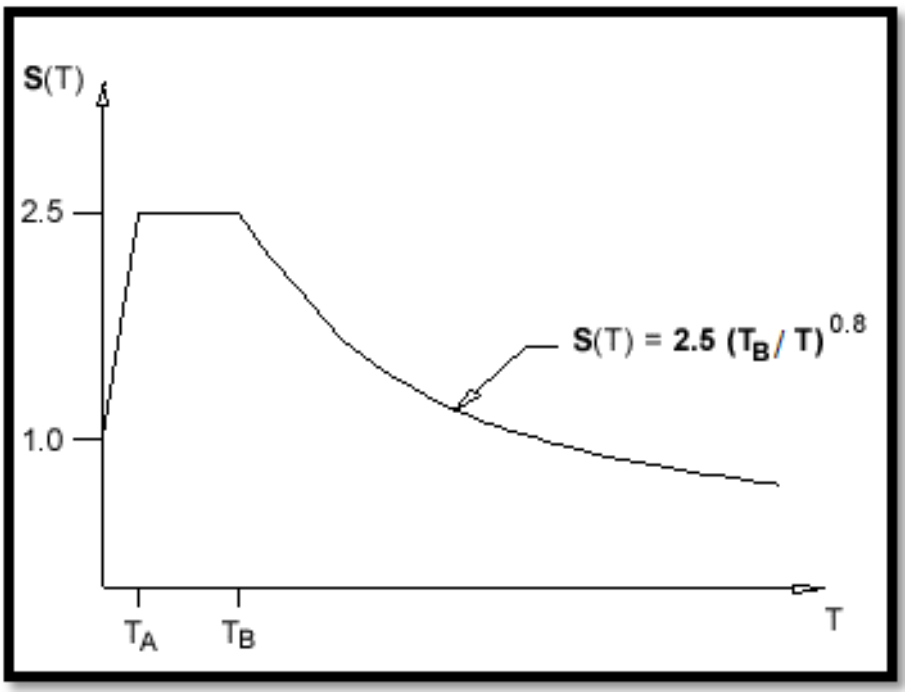
Çizelge 2.4 : DBYBHY'de bina önem katsayısı (I).

Binanın Kullanım Amacı veya Türü	Bina Önem Katsayısı (I)
1. Deprem sonrası kullanımı gereken binalar ve tehlikeli madde içeren binalar **a)** Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri; vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları) **b)** Toksik, patlayıcı, parlayıcı vb. özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar	1,5
2. İnsanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu ve değerli eşyanın saklandığı binalar **a)** Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri vb. **b)** Müzeler	1,4
3. İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar Spor tesisleri, sinema, tiyatro ve konser salonları vb.	1,2
4. Diğer binalar Yukarıdaki tanımlara girmeyen binalar (Konutlar, iş yerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları vb.)	1,0

Çizelge 2.5 : DBYBHY'de spektrum karakteristik periyotları (T_A ve T_B).

Yerel Zemin Sınıfı	$\mathbf{T_A}$ [s]	$\mathbf{T_B}$ [s]
Z1	0,10	0,30
Z2	0,15	0,40
Z3	0,15	0,60
Z4	0,20	0,90

Spektrum katsayısı S(T), Şekil 2.1'de verilen DBYBHY tasarım spektrumuna göre belirlenir.



Şekil 2.1 : DBYBHY'de tasarım spektrumu.

DBYBHY'de tasarım spektrumu %5 sönüm oranına göre tanımlanmıştır.

Depremde taşıyıcı sistemin kendine özgü doğrusal elastik olmayan davranışını göz önüne almak üzere spektral ivme katsayısına göre bulunacak elastik deprem yükleri, $R_a(T)$ deprem yükü azaltma katsayısına bölünecektir. $R_a(T)$, yapı davranış katsayısı R ve doğal titreşim periyodu T'ye bağlı olarak **(2.6)** denklemine göre belirlenir.

$$R_a(T) = 1{,}5 + (R - 1{,}5)\frac{T}{T_A} \qquad (0 \le T \le T_A)$$
$$R_a(T) = R \qquad (T_A < T) \qquad \textbf{(2.6)}$$

(2.6) denkleminde $R_a(T)$ deprem yükü azaltma katsayısını, R taşıyıcı sistem davranış katsayısını, T bina doğal titreşim periyodunu [s], T_A spektrum karakteristik periyodunu [s] göstermektedir.

Taşıyıcı sistem davranış katsayısı R, Çizelge 2.6'ya göre belirlenir.

Çizelge 2.6 : DBYBHY'de taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R).

Bina Taşıyıcı Sistemi	Süneklik Düzeyi Normal Sistemler	Süneklik Düzeyi Yüksek Sistemler
(1) Yerinde Dökme Betonarme Binalar		
(1.1) Deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı binalar	4	8
(1.2) Deprem yüklerinin tamamının bağ kirişli (boşluklu) perdelerle taşındığı binalar	4	7
(1.3) Deprem yüklerinin tamamının boşluksuz perdelerle taşındığı binalar	4	6
(1.4) Deprem yüklerinin çerçeveler ile boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar	4	7
(2) Prefabrike Betonarme Binalar		
(2.1) Deprem yüklerinin tamamının bağlantıları tersinir momentleri aktarabilen çerçevelerle taşındığı binalar	3	7
(2.2) Deprem yüklerinin tamamının, üstteki bağlantıları mafsallı olan kolonlar tarafından taşındığı tek katlı binalar	—	3
(2.3) Deprem yüklerinin tamamının prefabrike veya yerinde dökme boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdelerle taşındığı, çerçeve bağlantıları mafsallı olan prefabrike binalar	—	5
(2.4) Deprem yüklerinin, bağlantıları tersinir momentleri aktarabilen prefabrike çerçeveler ile yerinde dökme boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar	3	6
(3) Çelik Binalar		
(3.1) Deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı binalar	5	8
(3.2) Deprem yüklerinin tamamının, üstteki bağlantıları mafsallı olan kolonlar tarafından taşındığı tek katlı binalar	—	4
(3.3) Deprem yüklerinin tamamının çaprazlı perdeler veya yerinde dökme betonarme perdeler tarafından taşındığı binalar		
a) Çaprazların merkezi olması durumu	4	5
b) Çaprazların dışmerkez olması durumu	—	7
c) Betonarme perdelerin kullanılması durumu	4	6
(3.4) Deprem yüklerinin çerçeveler ile birlikte çaprazlı çelik perdeler veya yerinde dökme betonarme perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar		
a) Çaprazların merkezi olması durumu	5	6
b) Çaprazların dışmerkez olması durumu	—	8
c) Betonarme perdelerin kullanılması durumu	4	7

Toplam eşdeğer deprem yükü bina katlarına **(2.7)** denklemi yardımıyla dağıtılır.

$$F_i = (V_t - \Delta F_N) \frac{w_i H_i}{\sum_{j=1}^{N} w_j H_j} \quad \textbf{(2.7)}$$

(2.7) denkleminde F_i eşdeğer deprem yükü yönteminde i'inci kata etkiyen eşdeğer deprem yükünü, V_t toplam eşdeğer deprem yükünü, ΔF_N bina N. katına (tepesine) etkiyen ek eşdeğer deprem yükünü, w ilgili katın hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak hesaplanan ağırlığını, H ilgili katın temel üstünden ölçülen yüksekliğini (bodrum katlarında rijit çevre perdelerinin bulunduğu binalarda ilgili katın zemin kat döşemesi üstünden itibaren ölçülen yüksekliğini), N binanın temel üstünden itibaren toplam kat sayısını (bodrum katlarında rijit çevre perdelerinin bulunduğu binalarda zemin kat döşemesi üstünden itibaren toplam kat sayısını) göstermektedir.

Rijit bodrum katına sahip ve bodrum kat döşemelerinin rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, bodrum katlarına ve üstteki katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri ayrı ayrı hesaplanır.

Üstteki katlara etkiyen toplam eşdeğer deprem yükünün ve eşdeğer kat deprem yüklerinin belirlenmesinde rijit bodrum katları göz önüne alınmaz. Bina tabanı olarak zemin kat döşemesi kotu kabul edilir.

Rijit bodrum katlarına etkiyen deprem yükleri **(2.8)** denklemine göre hesaplanır.

$$F_{bk} = A_o I w_{bk}/1{,}5 \quad \textbf{(2.8)}$$

(2.8) denkleminde F_{bk} rijit bodrum katına etkiyen eşdeğer deprem yükünü, A_o etkin yer ivmesi katsayısını, I bina önem katsayısını, w_{bk} rijit bodrum katının ağırlığını göstermektedir.

Sadece bina tepesine (N. kata) etkitilecek olan ek eşdeğer deprem yükü **(2.9)** bağıntısıyla hesaplanır.

$$\Delta F_N = 0{,}0075\ N\ V_t \quad \textbf{(2.9)}$$

(2.9) denkleminde ΔF_N bina N. katına (tepesine) etkiyen ek eşdeğer deprem yükünü, N binanın temel üstünden itibaren toplam kat sayısını (bodrum katlarında rijit çevre perdelerinin bulunduğu binalarda zemin kat döşemesi üstünden itibaren toplam kat sayısını), V_t toplam eşdeğer deprem yükünü göstermektedir.

Göz önüne alınan deprem doğrultusunda, binanın hakim doğal periyodu denklem **(2.10)** ile hesaplanan değerden büyük olmayacaktır.

$$T_1 = 2\,\pi \left(\frac{\sum_{i=1}^{N} m_i \; d_{fi}^2}{\sum_{i=1}^{N} F_{fi} \; d_{fi}} \right)^{1/2} \qquad \textbf{(2.10)}$$

(2.10) denkleminde m_i binanın i'inci katının kütlesini, F_{fi} i'inci kata etkiyen fiktif yükü, d_{fi} i'inci kattaki fiktif yer değiştirmeyi gösterir. Fiktif yükü gösteren F_{fi}, **(2.7)** denkleminde $(V_t - \Delta F_N)$ yerine herhangi bir değer (örneğin birim değer) konularak elde edilecektir.

(2.10) denkleminden bağımsız olarak, bodrum katları hariç kat sayısı N > 13 olan binalarda doğal periyot 0,1N'den büyük alınamaz.

2.1.2 DBYBHY'de mod birleştirme yöntemi

DBYBHY'ye göre mod birleştirme yöntemi, sınırlama olmaksızın tüm binaların ve bina türü yapıların deprem hesabında kullanılabilir. Eşdeğer deprem yükü yönteminin kullanılamadığı durumlarda mod birleştirme yönteminin uygulandığı varsayılmaktadır; ancak mod birleştirme yöntemi, tüm kesit zorları ve mesnet tepkileri için mutlak maksimum ve minimum değerleri verdiğinden bazı özel durumlarda zorluklara hatta imkansızlıklara neden olabilmektedir. Böylece mod birleştirme yöntemi için de bazı uygulama sınırları ortaya çıkmaktadır. Bazı özel durumlarda, örneğin üst kat kolonları üstten mafsallı binalarda, bodrum katlarında rijit çevre perdeleri bulunan binalarda, temel tabanında çekme gerilmesi oluşan binalarda doğrudan mod birleştirme yöntemi uygulanması olanağı yoktur [2].

Mod birleştirme yönteminin kullanılmasının zorunlu olduğu bodrum katlarında rijit çevre perdeleri bulunan binalarda taşıyıcı sistem davranış katsayısı R, en üst kat için tanımlanan R katsayısı ($R_{üst}$) olarak alınır ve sadece üstteki katlar göz önüne alınarak mod birleştirme yöntemi uygulanır. Daha sonra üst katlar için **(2.11)** ve **(2.12)** denklemleriyle, alt katlar için ise **(2.8)** denklemiyle eşdeğer deprem yükleri hesaplanıp deprem hesapları yinelenir [2].

$$F_N = V_N \qquad \textbf{(2.11)}$$

$$F_{i+1} = V_{i+1} - V_i \quad (i = 1 \sim N\text{-}1) \qquad \textbf{(2.12)}$$

(2.11) denkleminde V_N en üst kattaki düşey taşıyıcı elemana ait kesme kuvveti değerini, F_N ise en üst katta bu kesme kuvvetine karşı gelen fiktif yükü gösterir.

(2.12) denkleminde V_i i'inci kattaki düşey taşıyıcı elemana ait kesme kuvveti değerini, F_i bu kattaki fiktif yükü, N binanın temel üstünden itibaren toplam kat sayısını (bodrum katlarında rijit çevre perdelerinin bulunduğu binalarda zemin kat döşemesi üstünden itibaren toplam kat sayısını) gösterir.

Mod birleştirme uygulanırken hesaba katılan mod sayısının yeterliliği kontrol edilmelidir. Göz önüne alınan birbirine dik yatay deprem doğrultularının her birinde, her bir mod için hesaplanan etkin kütlelerin toplamı, bina toplam kütlesinin %90'ından az olmamalıdır.

Mod birleştirme yönteminde maksimum iç kuvvetler ve yer değiştirmeler, binada yeterli sayıda doğal titreşim modunun her biri için hesaplanan maksimum katkıların istatistiksel olarak birleştirilmesiyle elde edilir.

Herhangi bir n'inci titreşim modunda göz önüne alınacak azaltılmış ivme spektrumu ordinatı **(2.13)** denklemiyle belirlenir.

$$S_{aR}(T_n) = \frac{S_{ae}(T_n)}{R_a(T_n)} \qquad \textbf{(2.13)}$$

(2.13) denkleminde $S_{aR}(T_n)$ n'inci doğal titreşim modu için azaltılmış spektral ivmeyi [m/s^2], $S_{ae}(T_n)$ bu mod için elastik spektral ivmeyi [m/s^2], $R_a(T_n)$ ise deprem yükü azaltma katsayısını gösterir.

Döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, her bir katta, birbirine dik doğrultularda iki yatay serbestlik derecesi ile kütle merkezinden geçen düşey eksen etrafındaki dönme serbestlik derecesi göz önüne alınacaktır. Her kata modal deprem yükleri bu serbestlik dereceleri için hesaplanacak, ancak ek dışmerkezlik etkisinin hesaba katılabilmesi amacı ile, deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat boyutunun +%5'i ve −%5'i kadar kaydırılması ile belirlenen noktalara ve ek bir yükleme olarak kat kütle merkezine uygulanacaktır.

A2 olarak tanımlanan döşeme süreksizliğinin bulunduğu ve döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalışmadığı binalarda, döşemelerin kendi düzlemleri içindeki şekil değiştirmelerinin göz önüne alınmasını sağlayacak yeterlikte dinamik serbestlik derecesi göz önüne alınacaktır. Ek dışmerkezlik etkisinin hesaba

katılabilmesi için, her katta çeşitli noktalarda dağılı bulunan tekil kütlelere etkiyen modal deprem yüklerinin her biri, deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat boyutunun +%5'i ve −%5'i kadar kaydırılacaktır. Bu tür binalarda, sadece ek dışmerkezlik etkilerinden oluşan iç kuvvet ve yer değiştirme büyüklükleri eşdeğer deprem yükü yöntemine göre de hesaplanabilir. Bu büyüklükler, ek dışmerkezlik etkisi göz önüne alınmaksızın her bir titreşim modu için hesaplanarak birleştirilen büyüklüklere doğrudan eklenecektir.

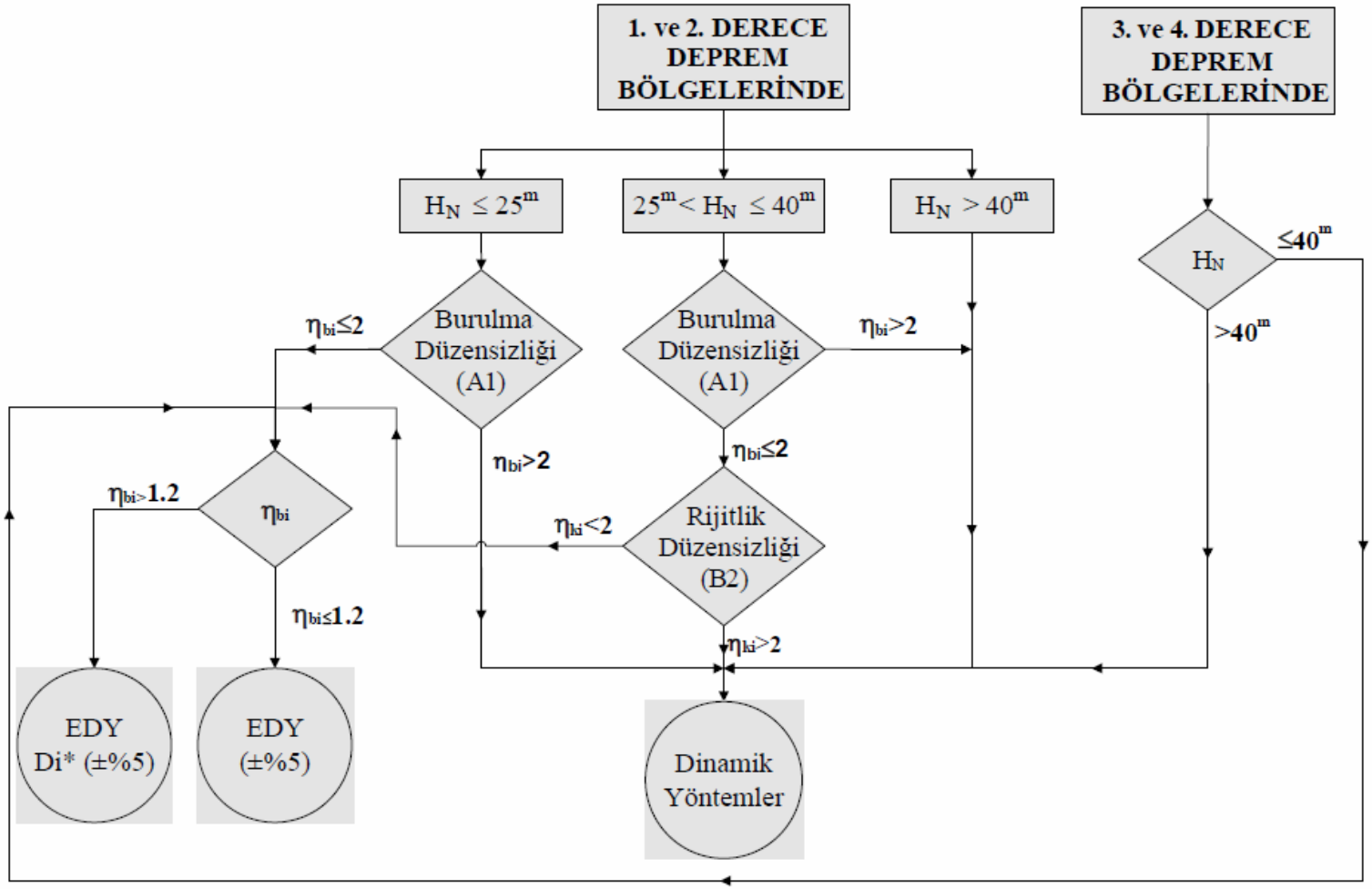
$T_m < T_n$ olmak üzere, herhangi iki titreşim moduna ait doğal periyotların daima $T_m/T_n < 0,80$ koşulunu sağlaması durumunda, maksimum mod katkılarının birleştirilmesinde "Karelerin Toplamının Karekökü (SRSS)" kuralı uygulanabilir. Aksi durumda "Tam Karesel Birleştirme (CQC)" kuralı uygulanmalıdır. Çoğunlukla her durum için CQC kuralının uygulanması önerilir. Bu kuralın uygulanmasında kullanılacak çapraz korelasyon katsayılarının hesabında, modal sönüm oranları bütün titreşim modları için %5 olarak alınacaktır.

Göz önüne alınan deprem doğrultusunda, birleştirilerek elde edilen bina toplam deprem yükü V_{tB}'nin, eşdeğer deprem yükü yönteminde hesaplanan bina toplam deprem yükü V_t'ye oranının β değerinden küçük olması durumunda ($V_{tB} < \beta\ V_t$), mod birleştirme yöntemine göre bulunan tüm iç kuvvet ve yer değiştirme büyüklükleri $\beta\ V_t / V_{tB}$ değeri ile çarpılarak büyütülür. Binada A1, B2 ya da B3 düzensizliklerinden en az birinin bulunması durumunda $\beta = 0,90$ alınacaktır. Bu düzensizliklerden hiçbirinin bulunmaması durumunda ise $\beta = 0,80$ alınır.

Deprem hesabı yapılırken DBYBHY'ye göre hangi yöntemin seçilmesi gerektiği özet olarak Çizelge 2.7'de ve Şekil 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.7 : Deprem hesabında kullanılacak yöntemler [2].

Deprem Bölgesi	**Burulma Düzensizliği Katsayısı η_{bi}**	**B2 Düzensizliği**	**Bina Yüksekliği H_N [m]**	**Yöntem**
1, 2	≤ 2,0	Var	≤ 25	Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi
			> 25	Mod Birleştirme Yöntemi
		Yok	≤ 40	Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi
			> 40	Mod Birleştirme Yöntemi
	> 2,0	–	–	Mod Birleştirme Yöntemi
3, 4	–	–	≤ 40	Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi
			> 40	Mod Birleştirme Yöntemi



Şekil 2.2 : Deprem hesap yönteminin belirlenmesi [3].

2.1.3 DBYBHY'de yapı düzensizlikleri

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (2007), Tablo 2.1'e göre düzensiz binalar, planda düzensiz (A tipi düzensizlik) ve düşey doğrultuda düzensiz (B tipi düzensizlik) olmak üzere iki ana grup altında toplanmıştır. Planda düzensizlik durumları

- A1-Burulma düzensizliği,
- A2-Döşeme süreksizlikleri,
- A3-Planda çıkıntılar bulunması olarak sınıflandırılmıştır.

Düşey doğrultuda düzensizlik durumları ise

- B1-Komşu katlar arası dayanım düzensizliği (zayıf kat),
- B2-Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (yumuşak kat),
- B3-Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliğidir [1].

2.1.3.1 Planda düzensizlik durumları

A1 burulma düzensizliği

Bu düzensizlik, DBYBHY (2007)'de birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük göreli kat ötelemesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama göreli ötelemeye oranını ifade eden "Burulma Düzensizliği Katsayısı" η_{bi}'nin 1,2'den büyük olması durumu olarak ifade edilmektedir. Bu durumda göreli kat ötelemelerinin hesabı, ± %5 ek dışmerkezlik etkileri de göz önüne alınarak, eşdeğer deprem yükü yöntemine göre yapılacaktır.

Burulma düzensizliği katsayısı η_{bi}, **(2.14)** denklemiyle hesaplanır.

$$\eta_{bi} = \frac{(\Delta i)maks}{(\Delta i)ort} \qquad \textbf{(2.14)}$$

(2.14) denkleminde;

$(\Delta i)maks$: Herhangi bir i. katta en büyük göreli kat ötelemesini,

$(\Delta i)ort$: i. katta aynı doğrultudaki ortalama göreli ötelemeyi gösterir.

Burulma düzensizliği katsayısının 1,20 ve 2,00 değerleri arasında olduğu durumlarda yapıda burulma düzensizliği meydana gelmektedir. Bu durumda, bu katta uygulanan ±%5 ek dışmerkezlik, her iki deprem doğrultusu için D_i katsayısı ile çarpılarak büyütülür ve taşıyıcı sistemin daha fazla zorlanması sağlanır. D_i katsayısı **(2.15)** denkleminden hesaplanacaktır.

$$D_i = \left(\frac{\eta_{bi}}{1,20}\right)^2 \quad \textbf{(2.15)}$$

(2.15) denkleminde D_i eşdeğer deprem yükü yönteminde burulma düzensizliği olan binalar için i'inci katta ± %5 ek dışmerkezliğe uygulanan büyütme katsayısını, η_{bi} ise i'inci katta tanımlanan burulma düzensizliği katsayısını göstermektedir.

η_{bi} burulma düzensizliği katsayısının 2,00 üst sınır değerini aştığı durumlarda ise, DBYBHY'de bulunan dinamik hesap yöntemlerinin uygulanması öngörülmektedir [1].

Burulma düzensizliğini etkileyen başlıca faktörler, yapının plandaki geometrisi ile planda rijitliğinin dağılımıdır. Burulma düzensizliğini önlemek için, yapının simetrik olmasına dikkat edilmelidir; ayrıca kat planında, rijitlik merkezi ile kütle merkezi arasındaki mesafe (eksantrisite) mümkün olduğunca az tutulmalıdır. Rijitlik merkezi ile kütle merkezi arasında eksantrisite olması ve yatay kuvvetlerin etkimesi durumunda, kat düzeyinde burulma momenti oluşur. Kat burulma momenti kolonlarda ek kesme kuvvetleri oluşturur. Deprem yükleri altında zaten yüksek kesme kuvvetlerine maruz bulunan kolonlara, bir de kat burulma momentinden ek kesme kuvvetlerinin gelmesi istenmeyen bir durumdur. Kat burulma momentini azaltmak veya eğer mümkünse, tümden yok etmek için, kütle merkezi ile rijitlik merkezinin birbirine yaklaşması veya çakışması gerekmektedir. Kütle merkezi hemen hemen sabittir. Kütle merkezinin konumunu değiştirmek için kat içindeki kütle dağılımını değiştirmek gerekir ki, bu çok zordur. Ancak, rijitlik merkezi kolon rijitlikleri ile oynayarak değiştirilebilir [4].

Geometri ve rijitlik dağılımı bakımlarından düzenli olan yapılarda da, burulma düzensizliği meydana gelmektedir. Bu tür yapılarda burulma düzensizliğinin nedeni, kenar akslardaki rijitliklerin düşük olmasıdır. Burulma düzensizliklerini gidermek için, kenar akslardaki taşıyıcı elemanların boyutlarını arttırmak gerekir [5].

Demir, A. ve Dönmez, D. çalışmalarında, çok katlı yapılarda burulma düzensizliğine etki eden faktörleri incelemiş ve burulma düzensizliği katsayısının maksimum değerler almasında etkin olan etmenlerin sırasıyla

- Yapının plan geometrisi,
- Perdelerin plandaki konumu,
- Kat adedi,
- Yerel zemin sınıfı olduğunu saptamışlardır [6].

A2 döşeme süreksizlikleri

Herhangi bir kattaki döşemede;

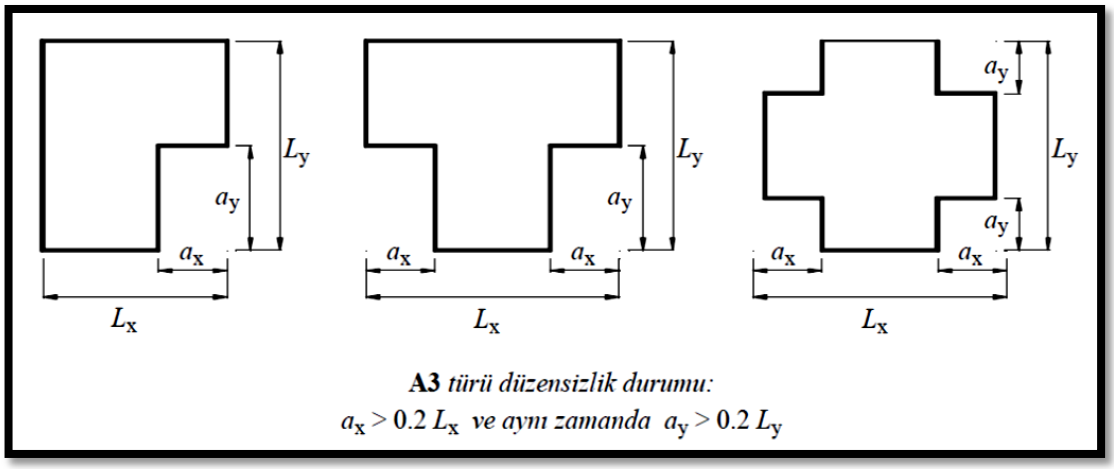
I – Merdiven ve asansör boşlukları dahil, boşluk alanları toplamının kat brüt alanının 1/3'ünden fazla olması durumu,

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

III – Döşemenin düzlem içi rijitlik ve dayanımında ani azalmaların olması durumu A2 türü düzensizlik oluşturur [1].

A3 planda çıkıntılar bulunması

Bu düzensizlik, DBYBHY (2007)'de bina kat planlarında çıkıntı yapan kısımların birbirine dik iki doğrultudaki boyutlarının her ikisinin de, binanın o katının aynı doğrultulardaki toplam plan boyutlarının %20'sinden daha büyük olması durumu olarak ifade edilmiştir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 : A3 türü düzensizlik [1].

A2 ve A3 tipi düzensizlik durumlarında, birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde, kat döşemelerinin kendi düzlemleri içinde deprem yüklerini düşey taşıyıcılara aktardığı gösterilmelidir.

Yapıda düzensizliklerin mevcut olması, yapının sistem modelinin oluşturulmasında da dikkatli olunmasını gerektirmektedir. Birçok durumda döşemeler getirdiği kolaylıklardan ötürü rijit diyafram kabulüyle modele yansıtılır. Rijit diyafram kabulünün hesaplarda getirdiği kolaylıklar şu şekilde sıralanmıştır:

1. Döşeme diyaframları dış yükler altında bir "rijit cisim" hareketi yapacağından, kat kütleleri bu diyaframın kütle merkezinde tanımlanabilmektedir.

2. Bilinmeyen sayısı büyük ölçüde azalacağından, çözüm kolaylaşmaktadır.
3. Döşemelerin varlığının hesaba katılması sağlanmaktadır. Aksi takdirde döşemelerin üç boyutlu kabuk elemanı kullanılarak sonlu elemanlar yöntemi ile sisteme dahil edilmesi gerekmektedir [7].

Bir döşeme sisteminin rijit diyafram olarak kabul edilmesiyle yapılan varsayım, döşemenin düzlemi içindeki iki doğrultuda öteleme ve düzlemine dik eksen etrafında dönme yaptığıdır. Böylece, döşeme üzerindeki bir noktada yer değiştirme ve dönme değerleri biliniyorsa, döşeme üzerindeki diğer noktalardaki yer değiştirme ve dönme değerleri belirlenebilecektir. Rijit diyafram içinde kalan kirişlerde eksenel uzama oluşmayacaktır.

Döşemede büyük boşlukların bulunması, rijit diyafram davranışı yapmasını engelleyebilir. Boşluklar büyüdükçe bu durum daha da belirginleşir ve bu durumda döşeme üzerindeki noktalar düzlem içinde birbirlerine göre rijit hareketten farklı bir öteleme yaparlar. Plandaki şekli H, L ve T benzeri olan yapılarda da döşemenin rijit diyafram kabulü yeterli yaklaşım sağlamayabilir [8].

Yapıda döşeme süreksizliklerinin bulunması ve planda çıkıntıların bulunması (A2, A3 düzensizlikleri) halinde rijit diyafram modeli yanlış sonuçlar verebilmektedir. Bu durumda döşemenin düzlem içi davranışının göz önüne alınması gerekmektedir. İzlenecek yol, döşemenin yeterli sayıda üç boyutlu kabuk elemanlara bölünerek oluşturulacak sonlu elemanlar modelinin statik veya dinamik analizinin yapılmasıdır. Modelde kat kütlelerinin döşeme düğüm noktalarına uygun bir tarzda dağıtılması gerekmektedir [7].

2.1.3.2 Düşey doğrultuda düzensizlik durumları

B1 komşu katlar arası dayanım düzensizliği (zayıf kat)

DBYBHY (2007)'de bu düzensizlik; betonarme binalarda, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi birinde, herhangi bir kattaki etkili kesme alanının, bir üst kattaki etkili kesme alanına oranı olarak tanımlanan "Dayanım Düzensizliği Katsayısı" η_{ci}'nin 0,80'den küçük olması durumu olarak belirtilmiştir ve denklem **(2.16)**'daki gibi ifade edilir:

$$\eta_{ci} = (\Sigma A_e)_i / (\Sigma A_e)_{i+1} < 0{,}80 \qquad \textbf{(2.16)}$$

Herhangi bir katta etkili kesme alanının tanımı denklem **(2.17)**'de verilmiştir.

$$\Sigma A_e = \Sigma A_w + \Sigma A_g + 0{,}15\ \Sigma A_k \qquad \textbf{(2.17)}$$

(2.17) denkleminde;

ΣA_w: Depreme dik doğrultudaki kolon çıkıntılarının alanları hariç, herhangi bir kattaki kolon en kesiti etkin gövde alanları toplamını,

ΣA_g: Binada herhangi bir katta, hesap yapılan deprem doğrultusuna paralel doğrultuda perde olarak çalışan taşıyıcı sistem elemanlarının en kesit alanları toplamını,

ΣA_k: Binada herhangi bir katta, kapı ve pencere boşlukları çıkarıldıktan sonra, hesap yapılan deprem doğrultusuna paralel kâgir dolu duvar alanlarının toplamını göstermektedir.

B2 komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (yumuşak kat)

Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir i'inci kattaki ortalama göreli kat ötelemesi oranının bir üst veya bir alt kattaki ortalama göreli kat ötelemesi oranına bölünmesi ile tanımlanan;

"Rijitlik Düzensizliği Katsayısı" η_{ki} 'nin 2,0'dan fazla olması durumu olup

$$\eta_{ki} = (\Delta_i / h_i)_{ort} / (\Delta_{i+1} / h_{i+1})_{ort} > 2,0 \text{ veya } \eta_{ki} = (\Delta_i / h_i)_{ort} / (\Delta_{i-1} / h_{i-1})_{ort} > 2,0 \quad \textbf{(2.18)}$$

şeklinde ifade edilmiştir.

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 durumudur.

B3 türü düzensizliğin oluşturacağı olumsuzlukları engellemek adına deprem yönetmeliğinde belirtilen diğer koşullar şu şekilde sıralanmıştır:

(a) Kolonlar hiçbir durumda, binanın herhangi bir katında konsol kirişlerin veya alttaki kolonlarda oluşturulan guselerin üstüne veya ucuna oturtulmamalıdır.

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

(c) Üst katlardaki perdenin her iki ucunun alttaki kolonlara oturtulmaması durumunda, bu kolonlarda düşey yükler ve depremin ortak etkisinden oluşan tüm

kesit etkileri %50 artırılmalıdır. Ayrıca sarılma bölgelerinde, yönetmelikte belirtilen minimum koşullara uyulmalıdır.

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

2.1.4 TS 500'de taşıma gücü sınır durumuna göre hesap ilkeleri

TS 500'de taşıma gücü sınır durumu, yapı elemanlarının taşıyıcı özelliklerini yitirerek göçmeleri durumunda ulaşacakları taşıma kapasitelerinin yapı güvenliği açısından değerlendirilmesi sınır durumu olarak tanımlanmıştır [9].

Hesaplarda, karakteristik malzeme dayanımı değerleri malzeme katsayısı olarak adlandırılan 1,0 veya 1,0'den büyük katsayılara bölünerek azaltılır ve böylece tasarım dayanımı değerleri elde edilir. Betonarme kesitlerin taşıma gücü sınır durumuna göre hesabında malzeme katsayıları; yerinde dökülen betonlar için $\gamma_{mc} = 1,5$ alınırken donatı çeliğinin tüm sınıfları için $\gamma_{ms} = 1,15$ alınacaktır.

Tasarımda kullanılan yük birleşimleri aşağıda verilmiştir:

a. Yalnız düşey yükler için,

- 1,4G+1,6Q
- 1,0G+1,2Q+1,2T

Burada G sabit yük etkisini, Q hareketli yük etkisini göstermektedir. T, sıcaklık değişimi, büzülme, farklı oturma vb. şekil değiştirmeler ve yer değiştirmeler nedeniyle oluşan yük etkisidir.

b. Rüzgâr yükünün söz konusu olduğu durumlarda, düşey yük birleşimleriyle birlikte

- 1,0G+1,3Q+1,3W
- 0,9G+1,3W

Burada W rüzgâr etkisini göstermektedir.

c. Depremin söz konusu olduğu durumlarda düşey yük birleşimleriyle birlikte

- 1,0G+1,0Q+1,0E
- 0,9G+1,0E

Burada E deprem etkisini göstermektedir.

d. Yanal toprak itkisi bulunan durumlarda, düşey yük birleşimleriyle birlikte

- 1,4G+1,6Q+1,6H

- 0,9G+1,6H

Burada H yatay kuvveti (örneğin zemin itkisi etkisini) göstermektedir.

e. Akışkan basıncı bulunan durumlarda, bu basınç 1,4 katsayısıyla çarpılarak içinde hareketli yük bulunan tüm yük birleşimlerine eklenir.

f. Kullanılabilirlik sınır durumu hesaplarında tüm yük katsayıları 1,0 alınır. Kullanılabilirlik sınır durumu, yapı elemanlarında, aşırı şekil değiştirme, aşırı çatlama, aşırı titreşim gibi, kullanımı güçleştiren ve kullanım düzenini bozan sorunların bulunmasını engellemeye yönelik değerlendirmelerin yapıldığı sınır durumdur.

Taşıma gücü sınır durumuna göre hesap yapılırken, betonun çekme kuvveti almadığı ve donatı çubuğu ile çevresini saran beton arasında tam aderans bulunduğu kabul edilir. Tam aderans olması kabulü, donatı birim şekil değiştirmesi ile aynı düzeydeki beton lifi birim şekil değiştirmesinin eşit olmasını getirir.

Yapılan kabullerden biri de, düzlem kesitlerin şekil değiştirmeden sonra da düzlem kaldığıdır. Böylece betondaki ve donatıdaki şekil değiştirmeler, tarafsız eksenden uzaklaştıkça doğru orantılı olarak artar.

Taşıma gücüne ulaşıldığında, tarafsız eksene en uzak beton basınç lifindeki birim kısalma $\varepsilon_{cu} = 0,003$ olarak alınır.

Donatı çeliğinin elastoplastik davrandığı kabul edilir. Donatıdaki gerilme en fazla, donatı çeliğinin akma dayanımına eşit olabilir.

Tüm donatı çelikleri için, donatı çeliğinin elastisite modülü $E_s = 2 \times 10^5$ MPa alınıp kopma birim uzaması $\varepsilon_{su} = 0,1$ alınır.

Taşıma gücüne erişildiği sıradaki beton basınç bölgesindeki gerilme dağılımı için, geçerliliği deneysel verilerle kanıtlanmış herhangi bir dağılım kullanılabilir. Ancak, hesaplarda kolaylık sağlamak amacıyla, gerçek basınç gerilmesi dağılımı yerine, aşağıdaki özellikleri taşıyan eşdeğer dikdörtgen basınç bloğu kullanılabilir. Blok genişliği olarak, eşdeğer basınç şiddeti olan $0,85\ f_{cd}$ alınır; burada, f_{cd} beton tasarım basınç dayanımıdır. Blok derinliği a, tarafsız eksen derinliği olan c'nin, k_1 katsayısıyla çarpılmasıyla bulunur. k_1 değerleri, çeşitli beton sınıfları için Çizelge 2.8' de verilmiştir.

Çizelge 2.8 : Beton sınıflarına göre k_1 değerleri [9].

Beton Sınıfı	C16	C18	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50
k_1	0,85	0,85	0,85	0,85	0,82	0,79	0,76	0,73	0,70

2.2 Eurocode Yönetmeliklerine Göre Tasarım Aşamaları

2.2.1 Eurocode 8'de eşdeğer deprem yükü yöntemi

Bu yöntemde taban kesme kuvveti **(2.19)** denklemiyle elde edilir.

$$F_b = S_d(T_1)\, m\, \lambda \qquad \textbf{(2.19)}$$

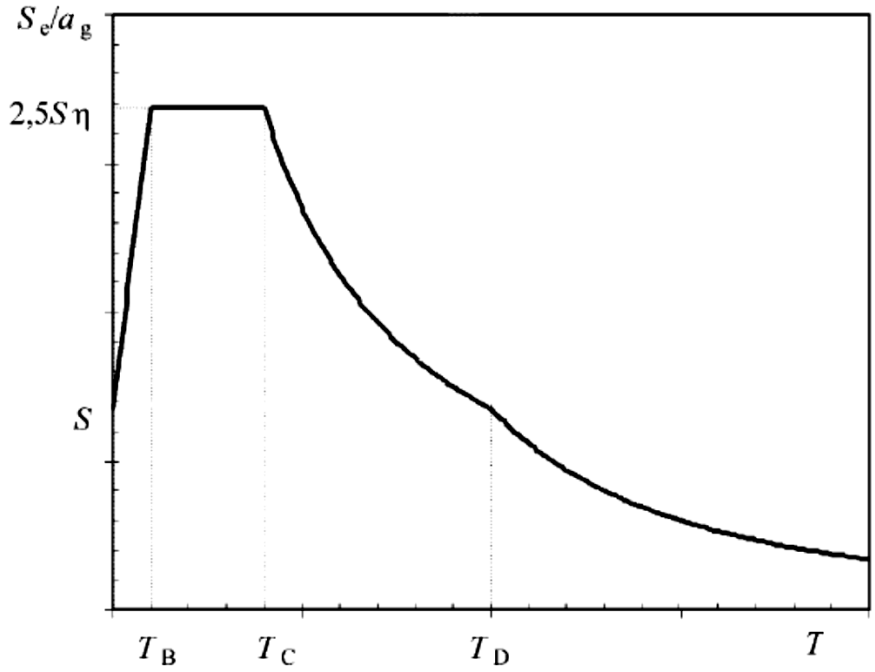
(2.19) denkleminde F_b taban kesme kuvvetini, $S_d(T_1)$ T_1 periyodu için tasarım spektrumunun ordinatını, T_1 göz önüne alınan yanal hareket doğrultusunda birinci doğal periyodu, m temel üstünden veya rijit bodrum mevcut ise zemin kat döşemesinden itibaren bina toplam kütlesini göstermektedir. λ ise düzeltme katsayısıdır. Bina iki kattan fazla kata sahipse ve $T_1 \leq 2T_C$ ise λ değeri 0,85 alınırken diğer durumlarda 1 alınır. T_C maksimum spektral ivme bölgesinin bitiş periyodunu ifade etmektedir [10].

Birinci doğal periyot, yüksekliği 40 m'yi aşmayan binalar için **(2.20)** denklemiyle hesaplanabilir.

$$T_1 = C_t\, H^{3/4} \qquad \textbf{(2.20)}$$

(2.20) denkleminde C_t çelik çerçeveler için 0,085 olan, betonarme çerçeveler ve dışmerkez çaprazlı çelik çerçeveler için 0,075 alınan, diğer tüm yapılar için 0,050 değerini alan bir katsayıdır. H ise temelden itibaren veya rijit bodrum varsa zemin kat döşemesinden itibaren ölçülen bina yüksekliğidir.

Deprem hesabında kullanılacak elastik davranış spektrumu Şekil 2.4'te verilmiştir. Burada T_B maksimum spektral ivme bölgesinin başlangıç periyodunu, T_C maksimum spektral ivme bölgesinin bitiş periyodunu, T_D spektrum sabit yer değiştirme davranışı bölgesine geçiş periyodunu göstermektedir.



Şekil 2.4 : Eurocode 8 elastik davranış spektrumu.

Spektrum düşey ekseninde görülen S katsayısı zemin tipine bağlı olarak değişmektedir. η, %5 sönüm oranı için 1 değerini alır. Yüksek sismisite için önerilen spektrum parametreleri Çizelge 2.9'da verilmiştir.

Tasarım spektrumu **(2.21)** denklemi ile tanımlanmıştır.

$$
\begin{aligned}
&0 \le T \le T_B: \quad S_d(T) = a_g\, S\left[\frac{2}{3} + \frac{T}{T_B}\left(\frac{2{,}5}{q} - \frac{2}{3}\right)\right] \\
&T_B \le T \le T_C: \quad S_d(T) = a_g\, S\,\frac{2{,}5}{q} \qquad \textbf{(2.21)} \\
&T_C \le T \le T_D: \quad S_d(T) = a_g\, S\,\frac{2{,}5}{q}\left[\frac{T_C}{T}\right] \ge 0{,}2\, a_g \\
&T_D \le T: \qquad\quad S_d(T) = a_g\, S\,\frac{2{,}5}{q}\left[\frac{T_C T_D}{T^2}\right] \ge 0{,}2\, a_g
\end{aligned}
$$

(2.21) denkleminde a_g A tipi zemin için tasarım yer ivmesini gösterirken, q yapı davranış katsayısını ifade etmektedir.

Çizelge 2.9 : Yüksek sismisite için önerilen spektrum parametreleri.

Zemin Tipi	S	T_B	T_C	T_D
A	1,0	0,15	0,4	2,0
B	1,2	0,15	0,5	2,0
C	1,15	0,20	0,6	2,0
D	1,35	0,20	0,8	2,0
E	1,4	0,15	0,5	2,0

Tasarım depreminin, bina önem katsayısı $\gamma_I = 1$ olan binalar için 50 yıllık bir süre içinde aşılma olasılığı %10'dur.

Yapı davranış katsayısı q, **(2.22)** denklemi kullanılarak hesaplanır.

$$q = q_o k_w \geq 1,5 \qquad \textbf{(2.22)}$$

(2.22) denkleminde q_o esas davranış katsayısını, k_w perdeli yapılarda hakim göçme modunu dikkate alan azaltma katsayısını gösterir. k_w değeri çoğu durumda 1 olarak alınmaktadır.

Eurocode 8'deki bina önem katsayıları Çizelge 2.10'da verilmiştir.

Çizelge 2.10 : Eurocode 8'de bina önem katsayısı (γ_I).

Bina Türü	γ_I
Kamu güvenliği için düşük öneme sahip binalar; tarım yapıları vb.	0,8
Yıkılması durumunda doğuracağı sonuçlar nedeniyle sismik dayanımı önem taşıyan binalar; okullar, toplantı salonları vb.	1,2
Deprem durumunda kullanılabilirliği hayati önem taşıyan binalar; hastaneler, itfaiye istasyonları vb.	1,4
Diğer binalar	1,0

Tasarım yer ivmesi **(2.23)** denkleminden elde edilir.

$$a_g = \gamma_I \, a_{gR} \qquad \textbf{(2.23)}$$

(2.23) denkleminde γ_I bina önem katsayısını, a_{gR} ise A tipi zemin için pik yer ivmesini göstermektedir.

Esas davranış katsayıları Çizelge 2.11'de verilmektedir.

Çizelge 2.11 : Eurocode 8'de esas davranış katsayıları.

Bina Tipi	**Normal Sünek Yapı**	**Yüksek Sünek Yapı**
Çerçeveler, perdeli çerçeveli sistemler, boşluklu perdeli sistemler	3 α_u/α_1	4,5 α_u/α_1
Boşluksuz perdeli sistemler	3,0	4 α_u/α_1
Burulma rijitliği zayıf sistemler	2,0	3,0
Ters sarkaç sistemler	1,5	2,0

Çizelge 2.11'deki α_u/α_1 olarak belirtilen oran, yapıdaki elemanların eğilme kapasitesine ve göçme durumuna ulaşmasıyla ilgili ayrıntılı hesap gerektirir. Bu nedenle Eurocode 8, α_u/α_1 oranı için aşağıda belirtilmiş olan değerlerin doğrudan kullanılmasına olanak tanımaktadır:

a) Çerçeveler ya da çerçeve eşdeğeri ikili sistemler için,

- Tek katlı çerçevelerde 1,1
- Çok katlı, tek açıklıklı çerçevelerde 1,2
- Çok katlı, çok açıklıklı çerçevelerde ve çerçeve eşdeğeri ikili sistemlerde 1,3

b) Perdeler ya da perde eşdeğeri ikili sistemler için,

- Her iki yatay doğrultuda yalnız ikişer adet ayrık perdesi bulunan yapılarda 1
- Diğer perdeli sistemlerde 1,1
- Perde eşdeğeri ikili sistemler ve boşluklu perdeli sistemlerde 1,2

Eşdeğer deprem yüklerinin kat seviyelerine dağıtılmasında kullanılacak ifade **(2.24)** denklemiyle verilmiştir.

$$F_i = F_b \frac{z_i m_i}{\sum z_j m_j} \quad \textbf{(2.24)}$$

(2.24) denkleminde F_i i'inci kata etkiyen yükü, z_i i'inci katın temel üstünden veya rijit bodrum varsa zemin kat döşemesinden itibaren yüksekliğini, m_i i'inci katın deprem hesabında göz önüne alınan kütlesini ifade etmektedir.

Eşdeğer deprem yükü yönteminin kullanılabilmesi için binada düşey doğrultuda düzensizlik bulunmamalıdır. Bunun yanı sıra $T_1 \leq 4T_C$ ve $T_1 \leq 2{,}0$ koşulları sağlanmış olmalıdır.

2.2.2 Eurocode 8'de mod birleştirme yöntemi

Mod birleştirme yöntemi her türlü bina için uygulanabilmektedir.

Bu yöntemde hesaba katılacak mod sayısının belirlenmesinde, etkin kütlelerin toplamının bina toplam kütlesinin %90'ından az olmaması şartı sağlanmalıdır. Eğer bu şart sağlanmazsa, her bir modun etkin kütlesinin toplam bina kütlesinin %5'inden fazla olduğu gösterilmelidir.

$T_j < T_i$ olmak üzere, herhangi iki titreşim moduna ait doğal periyotların daima $T_j/T_i \leq 0{,}90$ koşulunu sağlaması halinde, maksimum mod katkılarının birleştirilmesinde "Karelerin Toplamının Karekökü (SRSS)" kuralı uygulanabilir. Aksi durumda "Tam Karesel Birleştirme (CQC)" kuralı uygulanmalıdır.

Eurocode 8'de mod birleştirme yöntemi sonuçlarının büyütülmesine ilişkin DBYBHY'dekine benzer bir koşul bulunmamaktadır.

2.2.3 Eurocode 8'de yapı düzensizlikleri

2.2.3.1 Planda düzensizlik durumları

Bir yapının planda düzenli sayılabilmesi için aşağıda belirtilen tüm kriterleri sağlamış olması gerekmektedir:

- Yapıda x ve y doğrultularının her biri için, kütle ve rijitlik olabildiğince simetrik dağıtılmış olmalıdır.

- Planda girinti yapan bölümlerin her birinin alanı, toplam kapalı plan alanının %5'ini geçmemelidir.
- Plandaki şekli L, C, H, I, X gibi karmaşık şekle sahip yapılarda, kat diyaframlarının düzlem içi rijitliği ayrıntılı irdelenmelidir.
- Binanın plandaki uzun boyutunun kısa boyutuna oranı 4'ü geçmemelidir.
- **(2.25)** denkleminde belirtilen koşullar sağlanmış olmalıdır.

$$e_o \leq 0{,}30\ r$$
$$r \geq l_s \qquad \textbf{(2.25)}$$

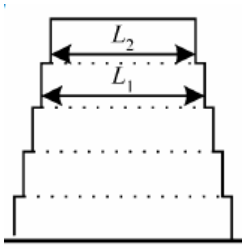
(2.25) denkleminde e_o kütle ve rijitlik merkezleri arasındaki mesafeyi, r kat burulma yarıçapını, l_s kat dönme yarıçapını göstermektedir. Bu koşul x ve y doğrultularının her ikisi için de kontrol edilmelidir. Koşul x veya y doğrultularından herhangi birinde veya bu doğrultuların her ikisinde de sağlanmıyorsa sistem, "burulma rijitliği zayıf sistem" olarak nitelendirilir.

2.2.3.2 Düşey doğrultuda düzensizlik durumları

Bir yapının düşey doğrultuda düzenli olarak nitelendirilebilmesi için aşağıda belirtilen tüm koşulları sağlaması gerekmektedir:

- Tüm düşey taşıyıcı elemanlar bina temelinden çatı seviyesine kadar veya kat çekilmesi uygulanıyorsa ilgili kat seviyesine kadar devam etmelidir.
- Bina temelinden itibaren yukarıya çıkıldıkça kat kütle ve rijitliklerindeki azalmalar az miktarda olmalı, ani değişimlerden kaçınılmalıdır.
- Çerçeve sistemlerde, komşu katların dayanımları birbirine yakın olmalıdır.
- Kat çekilmeleri mevcutsa, aşağıdaki ek koşullar sağlanmalıdır:

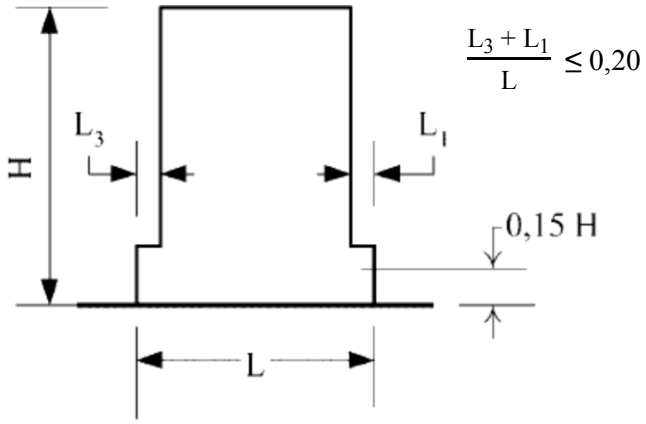
(a) Simetriyi koruyarak kademeli bir biçimde yapılan kat çekilmelerinde, toplam daralma bir alt kattaki plan boyutunun %20'sini geçmemelidir (Şekil 2.5).



$$\frac{L_1 - L_2}{L_1} \leq 0{,}20$$

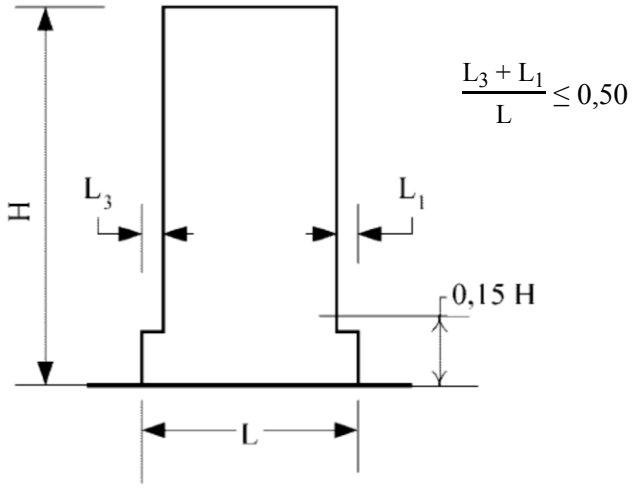
Şekil 2.5 : Eurocode 8 kat çekilmesi koşulu (a).

(b) Bina yüksekliğinin temelden itibaren %15'inin üzerinde başlayan sabit bir kat çekilmesi uygulanacaksa, daralma miktarı önceki plan boyutunun %20'sini geçmemelidir (Şekil 2.6).



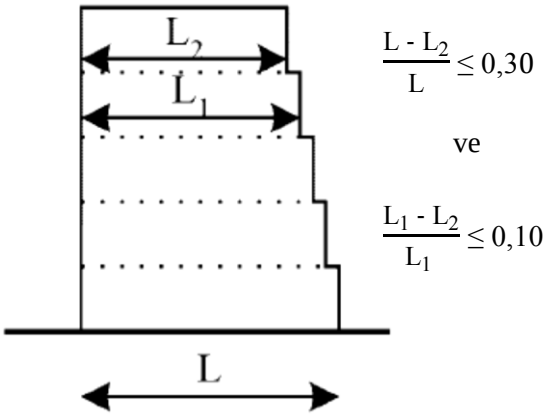
Şekil 2.6 : Eurocode 8 kat çekilmesi koşulu (b).

(c) Kat çekilmesi, temelden itibaren bina yüksekliğinin %15'inin altında başlayacak ve sabit olarak devam ettirilecekse, daralma miktarı önceki plan boyutunun %50'sini geçmemelidir (Şekil 2.7).



Şekil 2.7 : Eurocode 8 kat çekilmesi koşulu (c).

(d) Simetrik olmayan kat daralması uygulanacaksa; hesaplanan en büyük daralma, zemin kat seviyesindeki plan boyutunun %30'undan büyük olmamalıdır. Herhangi iki kat arasındaki daralma miktarı, alt kattaki boyutun %10'unu geçmemelidir (Şekil 2.8).



Şekil 2.8 : Eurocode 8 kat çekilmesi koşulu (d).

2.2.4 Eurocode 2'de taşıma gücü sınır durumuna göre hesap ilkeleri

Eurocode 2'de donatı çeliği ve beton malzemelerde karakteristik dayanımı azaltarak tasarımda kullanılacak olan hesap dayanımını elde etmeye yarayan malzeme katsayıları veya başka bir ifadeyle malzeme kısmi faktörleri, kalıcı ve geçici tasarım durumları için TS 500'dekiler ile aynı olup beton için 1,5 ve donatı çeliği için 1,15 değerini almaktadır [11].

Eurocode 2'de yük birleşimleri tanımlanmamıştır. Yapılacak yüklemeler EN 1990'a göre belirlenmektedir. Uygulamada işletme ve deprem yükleri altında çözüm yapılacaksa aşağıda belirtilen yük birleşimleri kullanılır:

1,35G+1,5Q

1,0G+ΨQ+1,0E

Burada Ψ, hareketli yük etkisini azaltmaya yarayan katsayıdır. Konut tipi yapılar için Ψ=0,3 alınır [12].

Eurocode 2'de TS 500'den farklı olarak betonarme kesit hesaplarında beton ezilme birim kısalması 0,0035 alınır.

Taşıma gücü sınır durumuna göre hesap için yapılmış olan kabuller, TS 500'dekilerle uyumludur.

2.3 Amerikan Yönetmeliklerine Göre Tasarım Aşamaları

2.3.1 ASCE/SEI 7'de eşdeğer deprem yükü yöntemi

ASCE/SEI 7'de deprem hesap yöntemlerinin nasıl uygulanacağına dair açıklamalar bulunmaktadır. Bu yönetmelikte deprem hesabı yapılırken A, B, C, D, E, F olarak ayrılan sismik tasarım sınıfları göz önünde bulundurulmaktadır. A ve B sismik tasarım sınıfları yıkıcı etkisi düşük yer hareketine, C sismik tasarım sınıfı orta şiddette yıkıcı yer hareketine karşılık gelirken D, E ve F sismik tasarım sınıfları yıkıcı etkisi yüksek yer hareketini ifade etmektedir [13].

Amerikan yönetmeliklerinden IBC, yapıların tasarımında kullanılacak genel esasları vermektedir [14].

ASCE/SEI 7'de binanın yaklaşık esas periyodu T_a, **(2.26)** denklemiyle hesaplanmaktadır.

$$T_a = C_t h_n^{\,x} \qquad \textbf{(2.26)}$$

(2.26) denkleminde h_n, binanın tabandan itibaren ölçülen yüksekliğidir. C_t ve x katsayılarının belirlenmesinde Çizelge 2.12'den yararlanılır.

Çizelge 2.12 : ASCE/SEI 7'de metrik sistem için yaklaşık esas periyot parametreleri.

Yapı Tipi	C_t	x
Moment karşılayan çelik çerçeve sistemler	0,0724	0,8
Moment karşılayan betonarme çerçeve sistemler	0,0466	0,9
Dışmerkez çaprazlı çelik çerçeve sistemler	0,0731	0,75
Diğer tüm yapısal sistemler	0,0488	0,75

Hesap yapılacak bölgenin kısa periyot ve 1 saniyelik periyot spektral ivmeleri belirlenmelidir. Spektral ivmeler, 50 yıl içerisinde aşılma olasılığı %2 olan depreme göre verilmiştir. Belirlenen spektral ivmeler zemin katsayısıyla çarpılarak elde edilen sonuç 1/3'ü oranında azaltılır, böylece tasarım spektral ivmeleri hesaplanmış olur. Tasarım spektral ivmelerinin hesaplanması **(2.27)** denkleminde verilmiştir.

$$S_{MS} = F_a\, S_S \qquad S_{DS} = \frac{2}{3}\, S_{MS}$$

$$S_{M1} = F_v\, S_1 \qquad S_{D1} = \frac{2}{3}\, S_{M1} \tag{2.27}$$

(2.27) denkleminde, F_a kısa periyot zemin katsayısını, S_S kısa periyot için spektral ivmeyi, S_{MS} zemin katsayısıyla çarpılmış kısa periyot spektral ivme değerini, S_{DS} kısa periyot tasarım spektral ivmesini göstermektedir. F_v uzun periyot zemin katsayısını, S_1 1 saniye periyot için spektral ivmeyi, S_{M1} zemin katsayısıyla çarpılmış 1 saniye periyot spektral ivme değerini, S_{D1} 1 saniye periyot tasarım spektral ivmesini göstermektedir.

%5 sönüm oranı için tanımlanan tasarım spektrumu Şekil 2.9'da verilmiştir. Burada, T_L uzun periyot bölgesine geçiş periyodudur ve haritalardan alınır.

T_0 ve T_S periyotları **(2.28)** denkleminden elde edilir.

$$T_0 = 0{,}2\, \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

$$T_S = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \tag{2.28}$$

(2.28) denkleminde, S_{D1} 1 saniye periyot tasarım spektral ivmesini, S_{DS} kısa periyot tasarım spektral ivmesini göstermektedir.

ASCE/SEI 7'de eşdeğer deprem yükü yöntemi taban kesme kuvveti V, **(2.29)** denklemiyle hesaplanmaktadır.

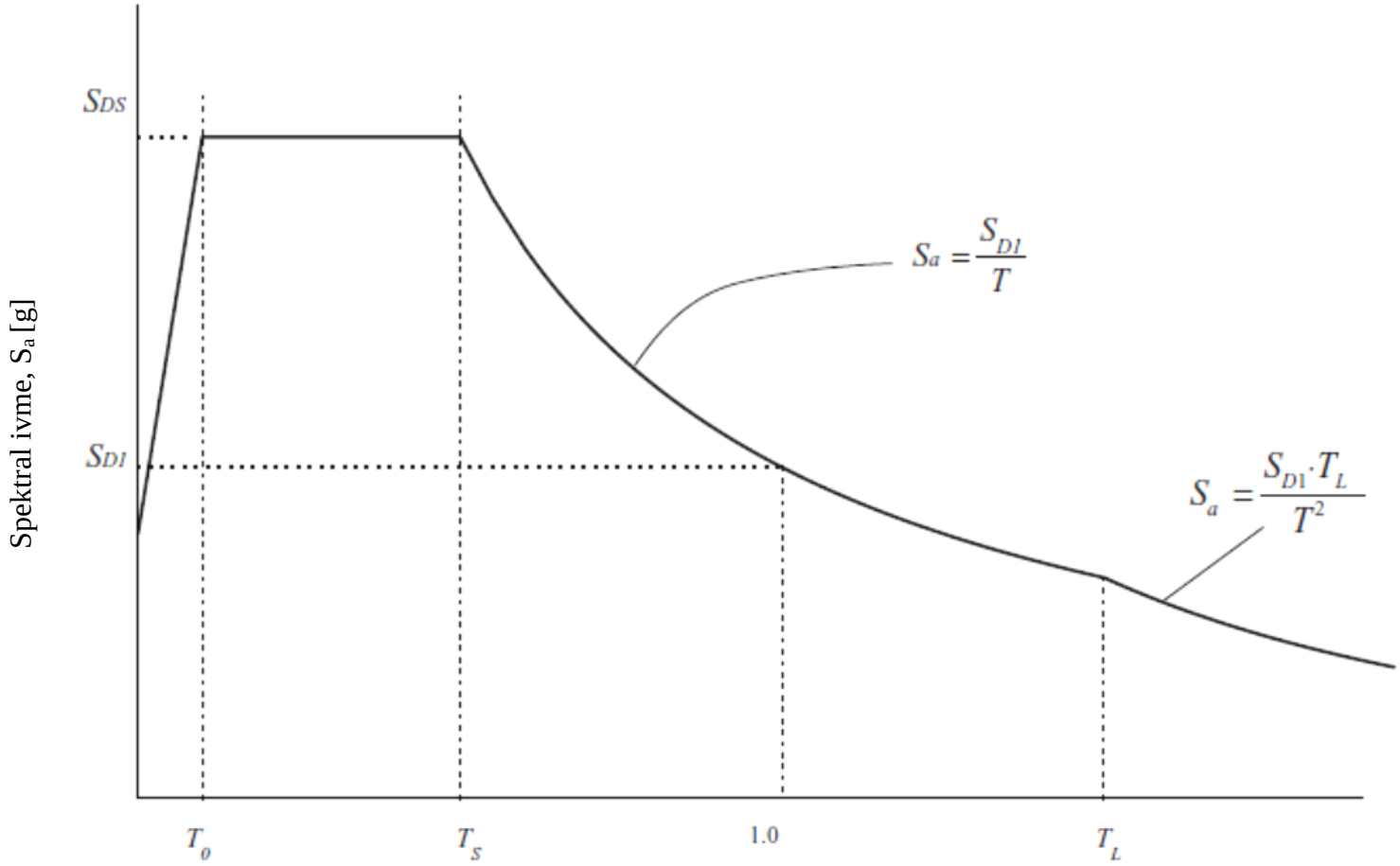
$$V = C_s\, W \tag{2.29}$$

(2.29) denkleminde V eşdeğer deprem yükü yöntemi taban kesme kuvvetini, C_s sismik katsayıyı, W ise yapı ağırlığını ifade etmektedir. Sismik katsayı C_s, **(2.30)** denklemi ile belirlenir ve bu denklemle hesaplanan sismik katsayı değeri, **(2.31)** ifadesindeki değeri geçmemelidir.

$$C_s = \frac{S_{DS}}{(R/I)} \tag{2.30}$$

$$T \le T_L \text{ için } C_s = \frac{S_{D1}}{T\,(R/I)}$$

$$T > T_L \text{ için } C_s = \frac{S_{D1}\, T_L}{T^2 (R/I)} \tag{2.31}$$



Şekil 2.9 : ASCE/SEI 7 tasarım spektrumu.

(2.30) ve **(2.31)** denklemlerinde R taşıyıcı sistem davranış katsayısını, I ise bina önem katsayısını ifade etmektedir. ASCE/SEI 7'de bina önem katsayısı I_e şeklinde gösterilmektedir. **(2.31)** denklemindeki T, yapı esas periyodunu göstermektedir.

C_s, **(2.32)** ifadesinden küçük olmamalıdır.

$$C_s = 0{,}044\, S_{DS}\, I \geq 0{,}01 \qquad \textbf{(2.32)}$$

Buna ek olarak, S_1 değerinin 0,6g'ye eşit veya 0,6g'den büyük olduğu bölgelerde bulunan yapılarda C_s, **(2.33)** ifadesinden küçük olmamalıdır.

$$C_s = 0{,}5\, S_1/(R/I) \qquad \textbf{(2.33)}$$

Bina önem katsayısı, bina kullanım kategorilerine göre belirlenmekte olup Çizelge 2.13'te verilmektedir.

Çizelge 2.13 : ASCE/SEI 7'de bina önem katsayısı.

Kullanım Kategorisi	**I**
I veya II	1,0
III	1,25
IV	1,5

Kullanım kategorisi I, yıkılması durumunda insan hayatını riske sokmayacak binaları kapsamaktadır. Kategori III, yıkılması durumunda çok sayıda insan hayatını riske sokacak binaları ifade etmektedir. Kategori IV, deprem sonrasında hizmet vermesi hayati öneme sahip binaları belirtmektedir. Kategori II ise tüm bunların dışında kalan binaları ifade eder.

Eşdeğer deprem yükünün katlara dağıtılmasında, **(2.34)** denklemi kullanılır.

$$F_x = V \frac{w_x h_x^{\,k}}{\sum w_i h_i^{\,k}} \qquad \textbf{(2.34)}$$

(2.34) denkleminde w_i binanın i'inci katına ait efektif sismik ağırlığı, h_i binanın i'inci katının bina tabanından ölçülen yüksekliğini göstermektedir. x indisi, söz konusu büyüklüklerin x katına ait olduğunu göstermektedir. F_x ise herhangi bir x'inci kattaki yanal deprem kuvvetini ifade eder. k değeri, yapı periyoduna bağlı olarak değişmektedir. $T \leq 0{,}5$ saniye ise $k = 1$, $T \geq 2{,}5$ saniye ise $k = 2$ alınır. Periyodu 0,5 saniye ile 2,5 saniye arasında olan yapılarda k, 1 veya 2 arasında interpolasyonla bulunur veya doğrudan 2 alınabilir.

ASCE/SEI 7'de betonarme yapıların tasarımında kullanılmak üzere belirtilen yapı davranış katsayıları Çizelge 2.14'te verilmiştir. Burada C_d, deplasman büyütme katsayısını göstermektedir.

Çizelge 2.14 : ASCE/SEI 7'de yapı davranış katsayısı.

Bina Tipi	**R**	**C_d**	**Sismik Tasarım Sınıfına Göre Taşıyıcı Sistem ve Bina Yüksekliği Kısıtlamaları**				
			A veya B	**C**	**D**	**E**	**F**
Perdeli Sistemler							
Özel Perdeli	5	5	Limit yok	Limit yok	48,77 m	48,77 m	30,48 m
Normal Perdeli	4	4	Limit yok	Limit yok	İzin verilmez	İzin verilmez	İzin verilmez
Deprem Yüklerinin Tamamını Perdelerin Taşıdığı Perdeli Çerçeveli Sistemler							
Özel Perdeli	6	5	Limit yok	Limit yok	48,77 m	48,77 m	30,48 m
Normal Perdeli	5	4,5	Limit yok	Limit yok	İzin verilmez	İzin verilmez	İzin verilmez
Çerçeve Sistemler							
Özel Çerçeveli	8	5,5	Limit yok	Limit yok	Limit yok	Limit yok	Limit yok
Orta Sınıf Çerçeveli	5	4,5	Limit yok	Limit yok	İzin verilmez	İzin verilmez	İzin verilmez
Normal Çerçeveli	3	2,5	Limit yok	İzin verilmez	İzin verilmez	İzin verilmez	İzin verilmez
Özel Çerçeveli-Perdeli Çerçeveli Sistemler							
Özel Perdeli	7	5,5	Limit yok	Limit yok	Limit yok	Limit yok	Limit yok
Normal Perdeli	6	5	Limit yok	Limit yok	İzin verilmez	İzin verilmez	İzin verilmez
Orta Sınıf Çerçeveli-Perdeli Çerçeveli Sistemler							
Özel Perdeli	6,5	5	Limit yok	Limit yok	48,77 m	30,48 m	30,48 m
Normal Perdeli	5,5	4,5	Limit yok	Limit yok	İzin verilmez	İzin verilmez	İzin verilmez

Eşdeğer deprem yükü yöntemi, B ve C sismik tasarım sınıflarındaki tüm yapılar için uygulanabilmektedir. Ancak, bu yöntemin D, E ve F sismik tasarım sınıflarındaki yapılar için uygulanmasında bazı sınırlamalar mevcuttur. D, E ve F sismik tasarım sınıflarında eşdeğer deprem yükü yönteminin kullanılabileceği yapılar aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

- Kat sayısı 2'yi aşmayan ve kullanım kategorisi I veya II olan yapılar
- Hafif çerçeve konstrüksiyona sahip yapılar
- Yapısal düzensizliğe sahip olmayan ve yüksekliği 48,77 m'yi geçmeyen yapılar
- Yüksekliği 48,77 m'yi geçen ancak yapısal düzensizliği olmayan ve $T < 3{,}5T_s$ olan yapılar ($T_s = S_{D1}/S_{DS}$)

- Yüksekliği 48,77 m'yi geçmeyen ve yalnızca yatay doğrultuda girintili köşe düzensizliği, döşeme süreksizlik düzensizliği, düşey elemanların akstan sapma düzensizliği, paralel olmayan sistem düzensizliğine veya düşeyde düşey elemanların süreksizlik düzensizliği, zayıf kat veya aşırı zayıf kat düzensizliğine sahip binalar

Bu yapıların dışında kalan D, E, F sismik tasarım sınıflarındaki yapılarda eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanmasına izin verilmemiştir.

2.3.2 ASCE/SEI 7'de mod birleştirme yöntemi

Tüm bina ve sismik tasarım sınıflarına mod birleştirme yöntemi uygulanabilir, bu yöntemin uygulanmasında herhangi bir sınırlama yoktur.

Hesaba katılan mod sayısının yeterliliği kontrol edilmelidir. Hesaba katılan modların etkin kütleleri toplamı, yapı kütlesinin %90'ından az olmamalıdır.

Mod katkılarının birleştirilmesinde SRSS veya CQC yönteminden biri kullanılabilir. Modların birbirinden ayrık olmaması durumunda CQC kuralının kullanılması önerilmektedir.

Mod birleştirme yönteminden elde edilen taban kesme kuvveti V_t'nin, eşdeğer deprem yükü yöntemine göre hesaplanmış taban kesme kuvveti V'nin %85'inden küçük olması ($V_t < 0,85V$) durumunda, kuvvetler $0,85(V/V_t)$ ile çarpılarak büyütülür. Yer değiştirme sonuçlarında bir değişiklik yapılmaz.

2.3.3 ASCE/SEI 7'de yapı düzensizlikleri

2.3.3.1 Planda düzensizlik durumları

1a-Burulma düzensizliği ve 1b-ileri derecede burulma düzensizliği

Ek dışmerkezlik etkileri göz önüne alınarak hesaplanan maksimum göreli kat ötelemesinin, ortalama göreli kat ötelemesinin 1,2 katından büyük olduğu durumlarda yapıda burulma düzensizliği mevcuttur. Eğer maksimum göreli kat ötelemesi, ortalama göreli kat ötelemesinin 1,4 katından da büyük ise bu durumda yapıda ileri derecede burulma düzensizliği bulunmaktadır. Ortalama göreli kat ötelemesi, maksimum göreli kat ötelemesiyle minimum göreli kat ötelemesinin aritmetik ortalamasının alınmasıyla elde edilir.

2-Girintili köşe düzensizliği

Girintili köşe boyutlarının her ikisinin de karşılık gelen plan boyutunun %15'inden büyük olması durumudur.

3-Döşeme süreksizlik düzensizliği

Kat döşemesinin brüt alanının %50'sinden fazlasının boşluk olması durumunda ya da bir kattan diğerine geçişte diyafram rijitliğinin %50'den fazla azalması durumunda görülen düzensizliktir.

4-Düşey elemanların akstan sapma düzensizliği

Yatay kuvvet taşıyan elemanlarda akstan sapma olması halinde oluşan düzensizliktir.

5-Paralel olmayan sistem düzensizliği

Düşey elemanların x ve y doğrultularına göre paralel ve simetrik olmaması durumudur.

2.3.3.2 Düşey doğrultuda düzensizlik durumları

1a-Yumuşak kat düzensizliği ve 1b-ileri derecede yumuşak kat düzensizliği

Herhangi bir katın rijitliğinin, üstündeki katın rijitliğinin %70'inden veya üstündeki üç katın ortalama rijitliğinin %80'inden az olması durumu, yapıda yumuşak kat düzensizliği olduğu anlamına gelmektedir.

İleri derecede yumuşak kat düzensizliği; herhangi bir katın rijitliğinin, üstündeki kat rijitliğinin %60'ından ya da üstündeki üç katın ortalama rijitliğinin %70'inden az olması halinde ortaya çıkmaktadır.

2-Kütle dağılım düzensizliği

Herhangi bir kat kütlesinin, komşu kat kütlesinin 1,5 katından fazla olması durumunda bu düzensizlik meydana gelmektedir. Alttaki kata göre hafif kalan çatı katları için bu düzensizliğe bakılmaz.

3-Düşey geometri düzensizliği

Herhangi bir katta deprem kuvvetine karşı koyan elemanların plan boyutunun, komşu katta deprem kuvvetine karşı koyan elemanların plan boyutunun 1,3 katından fazla olması durumudur.

4-Düşey elemanların süreksizlik düzensizliği

Sismik kuvvete karşı koyan elemanların alt katlarda kesintiye uğraması sonucunda bu düzensizlik oluşmaktadır.

5a-Zayıf kat ve 5b-aşırı zayıf kat düzensizliği

Zayıf kat düzensizliği; herhangi bir katın deprem kuvveti dayanımının, üst katın dayanımının %80'inden az olması durumunda meydana gelir.

Aşırı zayıf kat düzensizliği, herhangi bir katın deprem kuvveti dayanımının, üst katın dayanımının %65'inden az olması durumunda meydana gelir.

Sismik tasarım sınıfı E veya F olan yapılarda, planda ileri derecede burulma düzensizliği veya düşeyde ileri derecede yumuşak kat düzensizliği, zayıf kat, aşırı zayıf kat düzensizliği bulunmasına izin verilmez. Sismik tasarım sınıfı D olan yapılarda düşeyde aşırı zayıf kat düzensizliğinin bulunmasına izin verilmez.

2.3.4 ACI 318'de taşıma gücü sınır durumuna göre hesap ilkeleri

ACI 318'e göre hesapta malzemelerin karakteristik dayanımları malzeme katsayıları kullanılarak azaltılmaz, hesaplarda karakteristik dayanımlar doğrudan kullanılır. Bunun yanı sıra kesitlerin taşıma gücü, taşıma gücü azaltma katsayısı Φ ile çarpılarak azaltılmaktadır. Kesitin tasarım dayanımı R_d ile Φ katsayısı çarpıldığında elde edilen değer, kesitteki tasarım tesiri F_d değerinden büyük ya da buna eşit olmalıdır. ACI 318'de kullanılan taşıma gücü azaltma katsayısı Φ, Çizelge 2.15'te verilmiştir.

Çizelge 2.15 : ACI 318'de taşıma gücü azaltma katsayısı (Φ).

Hesap Tipi	Açıklama	Φ
Çekme kontrolündeki kesit		0,9
Basınç kontrolündeki kesit	Spiral donatılı elemanlarda	0,75
	Diğer	0,65
Kesme ve burulma		0,75

ACI 318'de yük birleşimleri şu şekilde tanımlanmıştır:

(1) 1,4D+1,4F

(2) 1,2(D+F+T)+1,6(L+H)+0,5(L_r veya S veya R)

(3) 1,2D+1,6(L_r veya S veya R)+(1,0L veya 0,8W)

(4) 1,2D+1,6W+1,0L+0,5(L_r veya S veya R)

(5) 1,2D+1,0E+1,0L+0,2S

(6) 0,9D+1,6W+1,6H

(7) 0,9D+1,0E+1,6H

Bu yük birleşimlerinde D sabit yükü, F akışkan yükünü, T sıcaklık-sünme-rötre-farklı oturma etkilerini, L hareketli yükü, H toprak itkisini, L_r çatı hareketli yükünü, S kar yükünü, R yağmur yükünü, W rüzgâr yükünü, E deprem yükünü belirtir.

(3), (4) ve (5) numaralı yük birleşimlerinde, hareketli yük katsayısı; garajlar, halkın kullanımına açık alanlar ve hareketli yükün 4,8 kN/m^2'den büyük olduğu alanlar dışında 0,5 olarak alınabilir.

Rüzgâr yükünün yöne bağlı azaltma katsayısıyla azaltılmadığı durumlarda (4) numaralı yük birleşiminde 1,6W yerine 1,3W kullanılmasına izin verilmektedir.

Deprem yükü etkisi hizmet seviyesindeki sismik etkilere dayanıyorsa, (5) ve (7) numaralı yük birleşimlerinde 1,0E yerine 1,4E kullanılmalıdır.

Toprak ağırlığından, toprak basıncından, topraktaki ya da diğer malzemelerdeki suyun etkisinden dolayı oluşan H yük etkileri, rüzgâr ve deprem etkilerine karşı bir etki oluşturuyorsa (6) ve (7) numaralı yük birleşimlerinde H çarpanı sıfır olarak alınmalıdır. Yanal toprak basıncının diğer kuvvetlerden gelen yapısal etkilere karşı direnç sağladığı durumlarda, bu basınç H içinde göz önüne alınmaz; ancak tasarım dayanımında dikkate alınmalıdır.

ACI 318'de betonarme kesit hesabında yapılan kabuller TS 500'de yapılan kabullerle aynıdır. TS 500, Eurocode 2 ve ACI 318'de ortak olan hesap kabulleri şu şekildedir:

- Betonun çekme dayanımının ihmal edilmesi
- Donatı çubuğu ile çevresini saran beton arasında tam aderans bulunması
- Düzlem kesitlerin şekil değiştirmeden sonra da düzlem kalması
- Donatı çeliğinin elastoplastik davranması
- Donatı çeliği elastisite modülünün tüm çelik sınıfları için 2 x 10^5 MPa olması
- Eşdeğer dikdörtgen gerilme bloğunun kullanılabilmesi

Beton ezilme birim kısalmasının değeri ACI 318 ile TS 500'de aynı olup bu değer 0,003'tür. Eurocode 2'de ise bu değer 0,0035 olarak alınmaktadır.

3. BETONARME BİR YAPININ TASARIMI

Bu çalışmanın amacı, planda düzensizliği bulunan betonarme bir yapının Türk, Avrupa ve Amerikan yönetmeliklerine göre, aynı sistem modeline göre tasarım ve analizinin yapılıp elde edilen sonuçların karşılaştırılarak incelenmesidir. Bu çerçevede, incelenecek olan yapının özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir.

Bu bölümde, karşılaştırmalı çözümlemesi yapılacak olan yapının tasarım bilgileri verilmiştir. Her üç yönetmeliğe göre, yapının genel bilgileri karşılaştırmalı olarak Çizelge 3.1'de sunulmuştur. Sistem düzensizliğe sahip olduğundan, döşeme hesaplarının yapılmasında TS 500'de verilen katsayılardan yararlanmak yerine önce yapı elemanları boyutlandırılarak düşey yükler altında oluşan iç kuvvetler elde edilmiş, oluşan momentlere göre her bir döşemede gerekli donatı miktarları belirlenmiştir. İç kuvvetlerin elde edilmesinde SAP2000 V 15.1.0'dan yararlanılmıştır. Bu kısımda ayrıca, sistemin üç boyutlu modeli ve her iki doğrultudaki mod şekilleri verilmiştir.

İncelenecek bina bodrum+zemin+10 normal katlı, perde+çerçeve taşıyıcı sisteme sahip, kat yükseklikleri her katta aynı ve 3 m olan bir yapıdır. Zemin kat döşemesinden itibaren bina toplam yüksekliği 33 m'dir. Yapı, bodrum katında rijit bodrum perdeleriyle çevrelenmiştir ve 1. derece deprem bölgesinde bulunmakta olup konut olarak kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Binanın oturma alanı 739 m^2'dir. Yapıda döşemeler de dahil olmak üzere kullanılacak çelik sınıfı S420, beton sınıfı ise C30 olarak belirlenmiştir. Betonun elastisite modülü 32000 MPa alınmıştır. Yerel zemin sınıfı Z2/B olup zemin emniyet gerilmesi 200 kN/m^2'dir. DBYBHY (2007)'de zemin grupları ve yerel zemin sınıfları şeklinde yapılan sınıflandırma Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3'te sunulmuştur. Eurocode 8'de zemin grupları Çizelge 3.4'te, IBC'de zemin grupları Çizelge 3.5'te verilmiştir.

Çizelge 3.1 : Yapı genel bilgileri.

Açıklama	**Türk Yönetmeliklerine Göre Tasarım**	**Avrupa Yönetmeliklerine Göre Tasarım**	**Amerikan Yönetmeliklerine Göre Tasarım**
Kat Özellikleri	Bodrum+Zemin+10 Normal Kat		
Bina Kullanım Amacı	Konut		
Bina Taşıyıcı Sistemi	Deprem Yüklerinin Çerçeveler ile Boşluksuz Perdeler Tarafından Birlikte Taşındığı Bina		
Süneklik Düzeyi	Yüksek		
Bina Önem Katsayısı	1,0		
Yapı Davranış Katsayısı	7	4,95	7
Zemin Sınıfı	Z2	-	-
Zemin Grubu	B	B	D
Deprem Bölgesi	1	Yüksek Sismisite Bölgesi	Sismik Tasarım Sınıfı D
Malzeme	C30/S420		
Beton Elastisite Modülü	32000 MPa		
Kat Yüksekliği	Tüm katlar için 3,0 m		
Bina Yüksekliği (Zemin Kat Döşemesinden İtibaren)	33 m		

Çizelge 3.1'de de görüleceği gibi konut tipi yapılar için bina önem katsayısı üç yönetmelikte de aynı alınmaktadır.

Bina taşıyıcı sistemi perdeli ve çerçeveli taşıyıcı sistemdir.

Bina, süneklik düzeyi yüksek sistem olarak tasarlanacaktır.

Bina konut amacıyla kullanılmak üzere tasarlanacağından bina önem katsayısı 1,0 olacaktır.

Yapıda bodrum katı rijit bodrum perdeleriyle çevrili olduğundan bina yüksekliği zemin kat döşemesinden itibaren verilmiştir.

Binanın zemin kat ve normal kat kalıp planı Şekil 3.1'de verilmiştir. Şekil 3.1'de görüldüğü üzere planda girintili köşe nedeniyle oluşan bir düzensizlik mevcuttur.

Çizelge 3.2 : DBYBHY'de zemin grupları.

Zemin Grubu	*Zemin Grubu Tanımı*	*Stand. Penetr.* (N/30)	*Relatif Sıkılık* (%)	*Serbest Basınç Direnci* (kPa)	*Kayma Dalgası Hızı* (m/s)
(A)	**1.** Masif volkanik kayaçlar ve ayrışmamış sağlam metamorfik kayaçlar, sert çimentolu tortul kayaçlar.... **2.** Çok sıkı kum, çakıl..... **3.** Sert kil ve siltli kil.....	— > 50 > 32	— 85–100 —	> 1000 — > 400	> 1000 > 700 > 700
(B)	**1.** Tüf ve aglomera gibi gevşek volkanik kayaçlar, süreksizlik düzlemleri bulunan ayrışmış çimentolu tortul kayaçlar.... **2.** Sıkı kum, çakıl..... **3.** Çok katı kil ve siltli kil...	— 30–50 16–32	— 65–85 —	500–1000 — 200–400	700–1000 400–700 300–700
(C)	**1.**Yumuşak süreksizlik düzlemleri bulunan çok ayrışmış metamorfik kayaçlar ve çimentolu tortul kayaçlar..... **2.** Orta sıkı kum, çakıl..... **3.** Katı kil ve siltli kil.....	— 10–30 8–16	— 35–65 —	< 500 — 100–200	400–700 200–400 200–300
(D)	**1.**Yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu yumuşak, kalın alüvyon tabakaları..... **2.** Gevşek kum..... **3.** Yumuşak kil, siltli kil.....	— < 10 < 8	— < 35 —	— — < 100	< 200 < 200 < 200

Çizelge 3.3 : DBYBHY'de yerel zemin sınıfları.

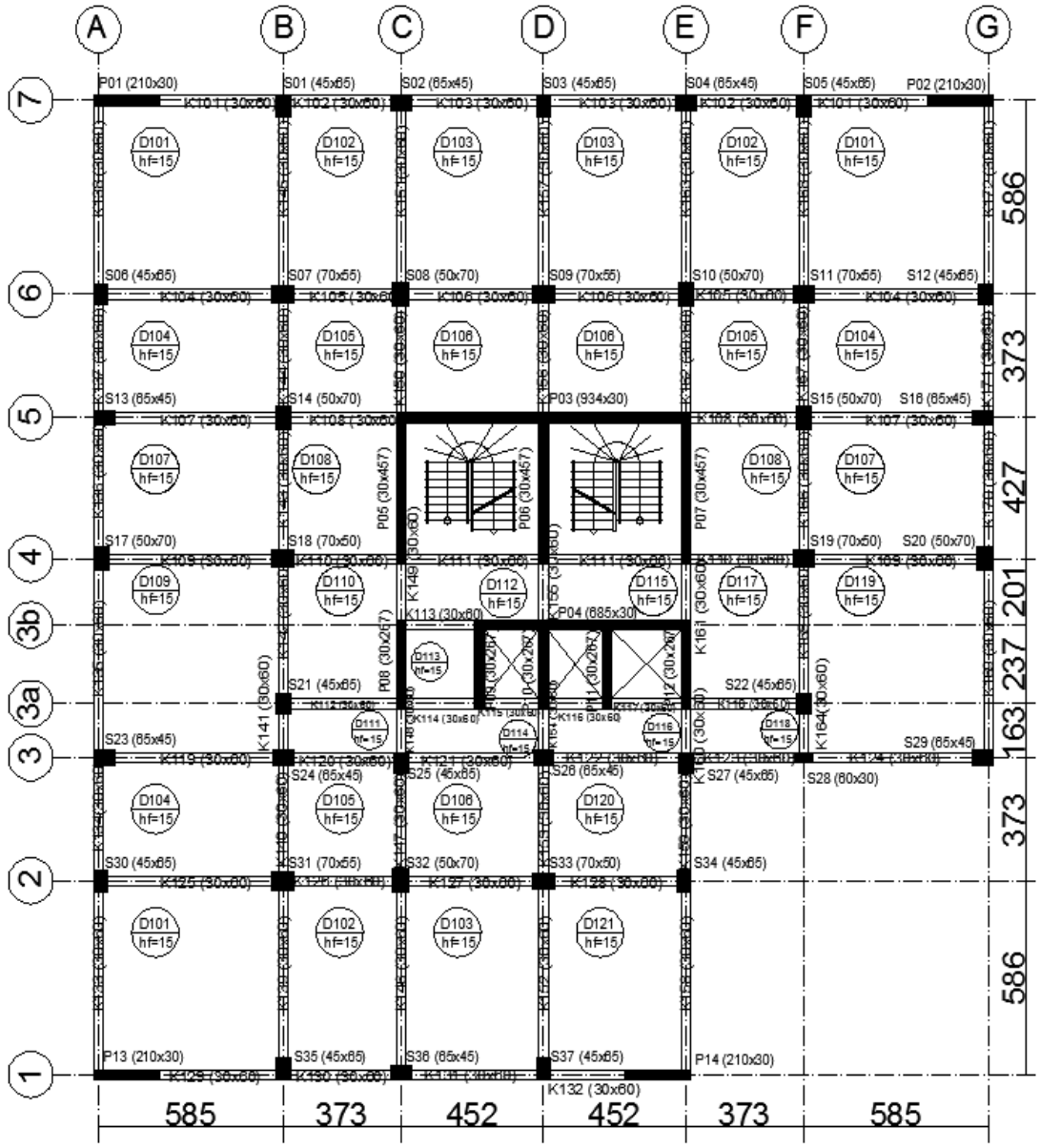
Yerel Zemin Sınıfı	**Çizelge 3.1'e Göre Zemin Grubu ve En Üst Zemin Tabakası Kalınlığı (h_1)**
Z1	(A) grubu zeminler $h_1 \leq 15$ m olan (B) grubu zeminler
Z2	$h_1 > 15$ m olan (B) grubu zeminler $h_1 \leq 15$ m olan (C) grubu zeminler
Z3	15 m < $h_1 \leq 50$ m olan (C) grubu zeminler $h_1 \leq 10$ m olan (D) grubu zeminler
Z4	$h_1 > 50$ m olan (C) grubu zeminler $h_1 > 10$ m olan (D) grubu zeminler

Çizelge 3.4 : Eurocode 8'de zemin grupları.

Zemin Tipi	**Zemin Profili Açıklaması**	**Parametreler**		
		$v_{s,30}$ (m/s)	N_{SPT} (darbe/ 30cm)	c_u (kPa)
A	Yüzeyde en fazla 5 m daha zayıf malzeme içeren kaya veya kaya benzeri zemin	> 800	-	-
B	Mekanik özellikleri derinlik arttıkça kademeli azalan en az birkaç on metre kalınlığında çok sıkı kum veya çakıl ya da çok katı kil zemin tabakası	360-800	> 50	> 250
C	Birkaç on metre ile yüzlerce metreye kadar kalınlığa sahip sıkı veya orta sıkı kum veya çakıl ya da katı kil zemin tabakası	180-360	15-50	70-250
D	Gevşek-orta sıkı kohezyonsuz zemin (yumuşak kohezyonlu tabakalı veya değil) veya ağırlıklı olarak orta sertlikte kohezyonlu zemin tabakası	< 180	< 15	< 70
E	Yüzeyi alüvyon tabakalı, 5 ile 20 m arası derinlikte C veya D tipi zemin v_s değerlerine sahip, daha derinde v_s > 800 m/s olan daha katı tabaka bulunan zemin			
S_1	En az 10 m kalınlığında yüksek su muhtevalı ve yüksek plastisite indeksli (PI>40) yumuşak kil/silt katmanı içeren zemin	< 100	-	10-20
S_2	Sıvılaşmaya meyilli killi zeminler ya da A-E zemin tiplerine veya S_1 zemin tipine girmeyen zeminler			

Çizelge 3.5 : IBC'de zemin sınıfları.

Zemin Sınıfı	Zemin Profili	En üst 30 metrelik tabakadaki ortalama özellikler		
		Kayma dalgası hızı, $\overline{v}_s$ [m/s]	**Standart penetrasyon direnci, $\overline{N}$**	**Drenajsız kayma dayanımı, $\overline{s}_u$ [kPa]**
A	Sert kaya	$\overline{v}_s > 1525$	-	-
B	Kaya	$760 < \overline{v}_s < 1525$	-	-
C	Çok sıkı zemin ve yumuşak kaya	$365 < \overline{v}_s < 760$	$\overline{N} > 50$	$\overline{s}_u > 100$
D	Katı zeminler	$180 < \overline{v}_s < 365$	$15 \leq \overline{N} \leq 50$	$50 < \overline{s}_u < 100$
E	Yumuşak zeminler	$\overline{v}_s < 180$	$15 < \overline{N}$	$\overline{s}_u < 50$
E	-	3 metreden daha fazla derinlikte bir tabakası aşağıdaki özelliklere sahip zemin profili 1. Plastisite indeksi PI > 20 2. Su muhtevası w > %40 3. Drenajsız kayma dayanımı $\overline{s}_u < 25$		
F	-	Aşağıdaki özelliklerden bir veya daha fazlasını içeren zemin profili 1. Deprem etkisi altında sıvılaşma ihtimali yüksek olan zeminler, sıvı duruma hızlı geçen ve hassaslığı yüksek kil zeminler, zayıf bağlı zeminler 2. Kalınlığı 3 metreden fazla turba zeminler veya organik içeriği yüksek zeminler 3. Kalınlığı 8 metreden fazla ve PI > 75 olan çok yüksek plastisiteli kil zeminler 4. Kalınlığı 36 metreden fazla yumuşak veya orta sert kil zeminler		



Şekil 3.1 : Zemin kat kalıp planı.

Yapıda zemin kat ve normal katlar için her katta 35 adet döşeme, 83 adet kiriş, 37 adet kolon, 14 adet perde bulunmaktadır.

Kirişlerin tamamı 30 cm x 60 cm olarak seçilmiştir. Hesap ile belirlenen kolon boyutları, yapı ağırlığının azaltılması ve maliyet faktörü göz önünde bulundurularak üst katlara çıkıldıkça kademeli olarak azaltılmıştır. Kalıp maliyetinin azaltılması bakımından kolon tipinin mümkün olduğunca az tutulması hedeflenmiş, bununla birlikte mimari faktörler de göz önünde bulundurularak kolon boyutlarında bir optimizasyona gidilmeye çalışılmıştır. Bununla birlikte DBYBHY (2007) Madde 3.3.3'te belirtilen boyuna donatının düzenlenmesi hakkında bilgiler dikkate alınarak

kenetlenme boyu ile ilişkili ek bir konstrüktif esas uygulamamak adına; katlar arasında kolon kesitinin değişmesi durumunda, boyuna donatının kolon-kiriş birleşim bölgesi içinde düşeye göre eğimi 1/6'dan daha fazla olmayacak şekilde kolon kesitleri değiştirilmiştir. Tüm bunlar dikkate alınarak kolon boyutları;

- Zemin kat, 1. kat, 2. kat, 3. kat için aynı,
- 4. kat, 5. kat, 6. kat, 7. kat için aynı,
- 8. kat, 9. kat, 10. kat için aynı

olacak şekilde belirlenmiştir. Bodrum katında ise binayı çevreleyen rijit bodrum perdeleri de dikkate alınacağından, yapı çevresi boyunca uzanan kolonlar yerine perde elemanlar kullanılmış, bunun haricinde kalan zemin kattaki kolonlar aynen bodrum katta da sürdürülmüştür.

Yapısal modelin oluşturulup analizlerin yapılmasında SAP2000 V 15.1.0 kullanılmıştır.

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Esaslar Tablo 2.1-Düzensiz Binalar başlıklı çizelge incelendiğinde, yapının plandaki geometrisinin A3 türü düzensizlik oluşturacağı görülmektedir. Şekil 2.3'teki adlandırılma kullanıldığında incelenen yapı için

- a_x=9,58 m ve L_x=28,2 m
- a_y=9,59 m ve L_y=29,46 m'dir.

a_x=9,58 m > 0,2*L_x=5,640 m ve
a_y=9,59 m > 0,2* L_y=5,892 m olduğundan yapıda A3 türü düzensizlik mevcuttur.

3.1 Döşemelerin Tasarımı

3.1.1 Döşemelerin çalışma ilkelerinin belirlenmesi

Düzgün yayılı yük taşıyan ve uzun kenarının kısa kenarına oranı 2'den büyük olan (l_l/l_s > 2) betonarme plaklar, "bir doğrultuda çalışan plaklar" olarak adlandırılır. Düzgün yayılı yük taşıyan, dört kenarı boyunca mesnetlenmiş ve uzun kenarının kısa kenarına oranı 2,0 veya daha küçük olan ($l_l/l_s \leq 2$) betonarme plaklar, "iki doğrultuda çalışan plaklar" olarak adlandırılır. Ancak, kirişsiz döşemeler (TS 500 Madde 11.4.4), mesnet koşullarına ve bu orana bakılmaksızın, iki doğrultuda çalışan plaklar olarak hesaplanır [9].

3.1.1.1 Döşeme kenarının sürekli olması

- Bir kenar kirişe veya perdeye oturuyor ve komşu döşemenin de ortak kenarı ise,
- Bir kenar rijit bir perde veya kirişe bağlı ise sürekli varsayılır. Sürekli kenar boyunca mesnet momenti oluşacak anlamındadır.

Taralı çizgi kenarın sürekli olduğu, döşemenin kenar boyunca çökemediği ve dönemediği (ankastre olduğu) anlamındadır [15].

3.1.1.2 Döşeme kenarının süreksiz olması

- Bir kenar kirişe veya duvara serbestçe oturuyorsa,
- Bir kenar kirişe bağlı fakat kirişi döndürebiliyorsa, süreksiz varsayılır. Süreksiz kenar boyunca mesnet momenti oluşmayacak anlamındadır.

Sürekli çizgi kenarın süreksiz olduğu, yani döşemenin kenar boyunca serbestçe dönebildiği (mafsallı olduğu) anlamındadır [15].

3.1.1.3 Döşeme kenarının boşta olması

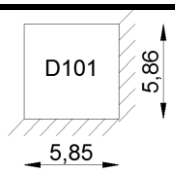
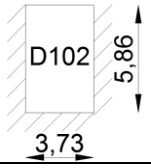
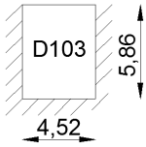
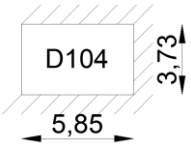
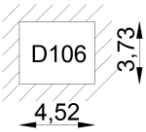
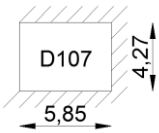
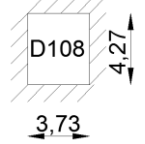
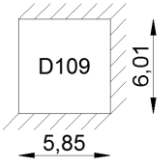
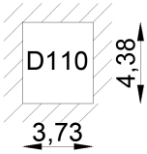
- Bir kenar hiçbir yere (kiriş, duvar, perde) oturmuyorsa boşta kenar varsayılır. Boşta kenar boyunca kenara dik yönde moment oluşmaz. Ancak, boşta kenar boyunca sarkma fazla olur, büyük moment oluşabilir.

Kesik çizgi kenarın boşta olduğu, yani döşemenin kenar boyunca çökebildiği ve serbestçe dönebildiği anlamındadır [15].

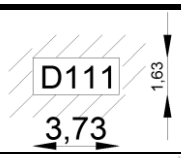
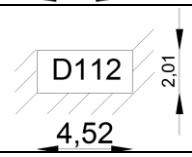
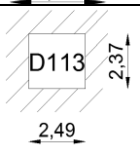
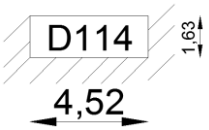
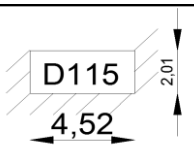
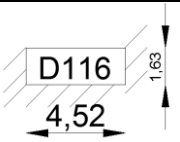
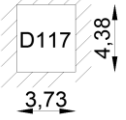
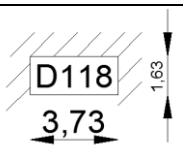
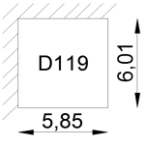
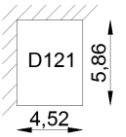
Tasarımı yapılan bina için döşemelerin çalışma ilkeleri, Çizelge 3.6'da verilmiştir. Çizelge 3.6'da görüleceği üzere 21 adet döşemeden 15 adedi çift doğrultuda, başka bir deyişle iki doğrultuda çalışırken 6 adedi tek doğrultuda (bir doğrultuda) çalışmaktadır.

Söz konusu yapı için tek doğrultuda çalışan döşemeler D111, D112, D114, D115, D116 ve D118 döşemeleridir.

Çizelge 3.6 : Döşemelerin çalışma ilkelerinin belirlenmesi.

Döşeme	Gösterim	l_l:Uzun kenarın uzunluğu [m]	l_s:Kısa kenarın uzunluğu [m]	$m=l_l/l_s$		Sınır Değer	Plak Çalışma Şekli
D101		5,86	5,85	1,00	<	2,00	çift doğrultuda çalışan döşeme
D102		5,86	3,73	1,57	<	2,00	çift doğrultuda çalışan döşeme
D103		5,86	4,52	1,30	<	2,00	çift doğrultuda çalışan döşeme
D104		5,85	3,73	1,57	<	2,00	çift doğrultuda çalışan döşeme
D105		3,73	3,73	1,00	<	2,00	çift doğrultuda çalışan döşeme
D106		4,52	3,73	1,21	<	2,00	çift doğrultuda çalışan döşeme
D107		5,85	4,27	1,37	<	2,00	çift doğrultuda çalışan döşeme
D108		4,27	3,73	1,14	<	2,00	çift doğrultuda çalışan döşeme
D109		6,01	5,85	1,03	<	2,00	çift doğrultuda çalışan döşeme
D110		4,38	3,73	1,17	<	2,00	çift doğrultuda çalışan döşeme

Çizelge 3.6 (devam) : Döşemelerin çalışma ilkelerinin belirlenmesi.

Döşeme	Gösterim	l_l:Uzun kenarın uzunluğu [m]	l_s:Kısa kenarın uzunluğu [m]	$m=l_l/l_s$		Sınır Değer	Plak Çalışma Şekli
D111		3,73	1,63	2,29	>	2,00	tek doğrultuda çalışan döşeme
D112		4,52	2,01	2,25	>	2,00	tek doğrultuda çalışan döşeme
D113		2,49	2,37	1,05	<	2,00	çift doğrultuda çalışan döşeme
D114		4,52	1,63	2,77	>	2,00	tek doğrultuda çalışan döşeme
D115		4,52	2,01	2,25	>	2,00	tek doğrultuda çalışan döşeme
D116		4,52	1,63	2,77	>	2,00	tek doğrultuda çalışan döşeme
D117		4,38	3,73	1,17	<	2,00	çift doğrultuda çalışan döşeme
D118		3,73	1,63	2,29	>	2,00	tek doğrultuda çalışan döşeme
D119		6,01	5,85	1,03	<	2,00	çift doğrultuda çalışan döşeme
D120		4,52	3,73	1,21	<	2,00	çift doğrultuda çalışan döşeme
D121		5,86	4,52	1,30	<	2,00	çift doğrultuda çalışan döşeme

3.1.2 Döşeme kalınlıklarının belirlenmesi

3.1.2.1 Tek doğrultuda çalışan döşemeler için döşeme kalınlıklarının belirlenmesi

TS 500 Madde 11.2.2'ye göre, tek doğrultuda çalışan plaklar için en küçük kalınlık 80 mm'dir. Tavan döşemelerinde ve bir yerin örtülmesine yarayan veya yalnız onarım, temizlik veya benzeri durumlarda üzerinde yürünen döşemelerde döşeme kalınlığı 60 mm'ye kadar düşürülebilir. Üzerinden taşıt geçen döşemelerde kalınlık en az 120 mm olmalıdır.

Aynı zamanda plak kalınlığının serbest açıklığa oranı, aşağıda verilen değerlerden az olamaz:

- Basit mesnetli, tek açıklıklı döşemelerde, 1/25
- Sürekli döşemelerde, 1/30
- Konsol döşemelerde, 1/12

Bir doğrultuda çalışan plak döşemelerde, donatıyı koruyan net beton örtüsü en az 15 mm olmalıdır.

Söz konusu yapı için plak kalınlığı h_f'in, serbest açıklık L_n'e oranı

$\frac{h_f}{L_n} \geq \frac{1}{30}$ olması gerektiğinden ve

L_{n1}=163-30=133 cm olduğundan $h_f \geq 133/30 = 4{,}43$ cm olmalıdır.

L_{n2}=201-30=171 cm olduğundan $h_f \geq 171/30 = 5{,}70$ cm olmalıdır.

Birinci derece deprem bölgelerinde döşeme kalınlığı 10 cm'den az olmayacaktır.

3.1.2.2 Çift doğrultuda çalışan döşemeler için döşeme kalınlıklarının belirlenmesi

Çift doğrultuda çalışan döşemeler için, plak kalınlığı denklem **(3.1)**'i sağlamalıdır.

$$h_f \geq \frac{l_{sn}}{15+\frac{20}{m}} \left(1 - \frac{\alpha_s}{4} \right) \qquad \textbf{(3.1)}$$

(3.1) denkleminde;

h_f: Plak kalınlığı,

l_{sn}: Kısa kenar doğrultusundaki serbest açıklık (mesnet yüzünden mesnet yüzüne olan açıklık),

m: Döşemenin uzun kenarının kısa kenarına oranı olup

α_s: Sürekli olan kenarların toplam uzunluğunun döşeme çevresi uzunluğuna oranını belirtmektedir.

TS 500'e göre plak kalınlığı 80 mm'den az olmayacaktır. Birinci derece deprem bölgesinde bulunulduğundan plak kalınlığının 100 mm'den az olmaması gerekmektedir.

Boyutları en büyük olan döşeme (D109 ve D119) alınarak sehim koşulundan kalınlık hesap edilecektir. Söz konusu döşemeler için

$$m = \frac{6,01}{5,85} = 1,03$$

$$\alpha_s = \frac{6,01+5,85}{2*(6,01+5,85)} = 0,5$$

$$l_{sn} = 5,85-0,30 = 5,55 \text{ m}$$

$$h_f \geq \frac{5,55}{15+\frac{20}{1,03}} \left(1- \frac{0,5}{4} \right) = 0,14 \text{ m olacağından}$$

döşeme kalınlığı tüm döşemeler için h_f = 15 cm olarak seçilmiştir.

Diğer döşemeler için de benzer işlemler yapılarak sonuçlar Çizelge 3.7'de gösterilmiştir. Burada tek doğrultuda çalışan döşemelerde minimum döşeme kalınlığının farklı bir biçimde hesaplandığına dikkat edilmelidir.

Çizelge 3.7 : Her bir döşeme için minimum döşeme kalınlığının belirlenmesi.

Döşeme	**$m=l_l/l_s$**	**Sürekli Kenar Uzunlukları Toplamı [m]**	**Kenar Uzunlukları Toplamı [m]**	**α_s**	**l_{sn} [mm]**	**h_{f_min} [mm]**
D101	1,00	11,71	23,42	0,5	5550	139
D102	1,57	15,45	19,18	0,806	3430	99
D103	1,30	16,24	20,76	0,782	4220	112
D104	1,57	15,43	19,16	0,805	3430	99
D105	1,00	14,92	14,92	1	3430	74
D106	1,21	16,5	16,5	1	3430	82
D107	1,37	15,97	20,24	0,789	3970	108
D108	1,14	16	16	1	3430	79
D109	1,03	17,71	23,72	0,747	5550	131
D110	1,17	16,22	16,22	1	3430	80
D111	2,29	-	10,72	-	1330	44
D112	2,25	-	13,06	-	1710	57
D113	1,05	9,72	9,72	1	2070	46
D114	2,77	-	12,3	-	1330	44
D115	2,25	-	13,06	-	1710	57
D116	2,77	-	12,3	-	1330	44
D117	1,17	16,22	16,22	1	3430	80
D118	2,29	-	10,72	-	1330	44
D119	1,03	11,86	23,72	0,5	5550	141
D120	1,21	12,77	16,5	0,774	3430	88
D121	1,30	10,38	20,76	0,5	4220	121

Tüm döşemeler için döşeme kalınlığının 15 cm alınması uygun görülmüştür.

3.1.3 Döşeme yüklerinin belirlenmesi

Boyutlandırmada alınacak yükler belirlenirken TS 498 [16] esas alınmıştır. Yarım duvar taşıyan döşemelerin hareketli yükü 1,5 kN/m^2 arttırılacaktır. Hesap yükü **(3.2)** bağıntısıyla hesaplanacaktır.

$$P_d = 1{,}4 * g + 1{,}6 * q \qquad \textbf{(3.2)}$$

(3.2) denkleminde; g döşemeler üzerindeki sabit yükü, q döşemeler üzerindeki hareketli yükü ifade etmektedir.

3.1.3.1 Normal döşemeler

- Karo mozaik 0,025 m * 22 kN/m^3 = 0,55 kN/m^2
- Harç 0,010 m * 20 kN/m^3 = 0,20 kN/m^2
- Şap 0,030 m * 22 kN/m^3 = 0,66 kN/m^2
- Betonarme plak 0,150 m * 25 kN/m^3 = 3,75 kN/m^2
- Sıva 0,020 m * 20 kN/m^3 = 0,40 kN/m^2
- Yalıtım malzemesi 0,05 m * 1,5 kN/m^3 = 0,075 kN/m^2

Sabit yük g = 5,635 kN/m^2

Hareketli yük q = 2,00 kN/m^2 (TS 498 konut tipi yapı)

Hesap yükü P_d = 1,4 * 5,635 + 1,6 * 2 = 11,089 kN/m^2

3.1.3.2 Çatı kat döşemesi

- Su izolasyon örtüsü 0,15 kN/m^2
- Kiremit ve latalar 1,00 kN/m^2
- Cam yünü 0,05 m * 1,5 kN/m^3 = 0,075 kN/m^2
- Tesviye betonu 0,02 m * 21 kN/m^3 = 0,42 kN/m^2
- Betonarme döşeme 0,15 m * 25 kN/m^3 = 3,75 kN/m^2
- Sıva 0,02 m * 20 kN/m^3 = 0,40 kN/m^2

Toplam çatı katı döşemesi sabit yükü g = 5,795 kN/m^2

Çatı katında hareketli yük hesaplanırken kar yükü göz önüne alınmış ve bu yükün hesabında TS 498 [16] Madde 7, 8 ve 9'dan faydalanılmıştır. TS 498'de çatı eğimine bağlı olarak azaltma değeri Çizelge 3.8'de verilmiştir.

Çizelge 3.8 : TS 498'de çatı eğimine (α) bağlı olarak azaltma değeri (m).

α	0°	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°
0-30°	1,0									
30°	1,00	0,97	0,95	0,92	0,90	0,87	0,85	0,82	0,80	0,77
40°	0,75	0,72	0,70	0,67	0,65	0,62	0,60	0,57	0,55	0,52
50°	0,50	0,47	0,45	0,42	0,40	0,37	0,35	0,32	0,30	0,27
60°	0,25	0,22	0,20	0,17	0,15	0,12	0,10	0,07	0,05	0,02
70°-90°										

Hareketli yük q = Kar yükü hesap değeri = m * P_{k0} = 1 * 0,75 = 0,75 kN/m^2

Hesap yükü P_d = 1,4 * 5,795 + 1,6 * 0,75 = 9,313 kN/m^2

3.1.4 İç kuvvetlerin hesabı

Tek doğrultuda çalışan sürekli döşemeler kısa doğrultuda çalışmaktadır, bu tür döşeme sistemlerinde hesaplar döşemelerin kısa doğrultusunda alınan 1 m genişliğindeki döşeme şeridi için yapılır. Alınan bu döşeme şeridi eşdeğer sürekli kiriş olarak çözülür. Çözüm yapılırken

- En az iki açıklık olması,
- Döşeme üzerindeki yüklerin düzgün yayılı olması,
- Herhangi iki komşu döşemenin açıklıkları (kısa kenarlar) incelenip küçük olan büyüklüğün büyük olana oranının 0,8'den küçük olmaması ($L_{küçük\text{-}komşu}/L_{büyük\text{-}komşu} \geq 0,8$)
- Döşemelerin her birinin karakteristik hareketli yükünün karakteristik sabit yüke oranının 2'den küçük olması ($q_i/g_i < 2$)

koşulları sağlanıyorsa TS 500 (2000) Madde 11.2.2'de açıklık ve mesnet tasarım momentleri için verilen formüller kullanılabilir. Bu formüllerde ilk ve son mesnette momentin sıfır olarak hesaplanmamasının nedeni plağın rijit kirişlere oturması sonucu bir miktar moment oluşmasıdır. Bu mesnetler yarı ankastre olarak kabul edilmiştir.

TS 500'de belirtilen basit formüllerin kullanılabilmesi için gerekli koşulların sağlanmaması durumunda döşemelerin sabit ve hareketli yükleri için tesir çizgileri dikkate alınarak elverişsiz yüklemeler yapılır, bu şekilde açıklık ve mesnet momentlerinin en büyük değerleri belirlenir.

Çift doğrultuda çalışan kirişli döşemeler için ise, açıklıkların birbirinden fazla farklı olmadığı veya daha kesin hesabın gerekmediği durumlarda TS 500 (2000) Madde 11.4.3'te belirtilen yaklaşık yöntem kullanılabilir. α moment katsayılarının kullanıldığı bu yöntemde elde edilen moment büyüklüklerini karşılayacak donatı miktarları, betonarme tablo ve abaklar [17] kullanılarak bulunmuştur. Gerekli mesnetlerde moment dengelemeleri yapılmıştır ve faydalı yükseklik kısa doğrultuda 13 cm, uzun doğrultuda 12 cm alınmıştır. Tek doğrultuda çalışan döşemelerde ana donatı için minimum donatı oranı S420 çeliği kullanıldığından 0,002 olmalıdır, buradan en az 260 mm^2/m ana donatının bulundurulması gerektiği sonucu ortaya çıkar; asal donatı aralığı ise döşeme kalınlığının 1,5 katından ve 200 mm'den fazla olmamalıdır. Çift doğrultuda çalışan döşemelerde ise her bir doğrultuda ayrı ayrı minimum donatı oranı 0,0015 olmalı ve toplamda ise donatı oranı S420 çelik sınıfı için alt sınır olan 0,0035 değerinden küçük olmamalıdır. Sonuçlar, x doğrultusu için Çizelge 3.9'da ve y doğrultusu için Çizelge 3.10'da verilmiştir.

Çizelge 3.9 : X doğrultusu için döşeme donatı hesabı sonuçları.

X doğrultusu için					
Döşeme	**M_d [kNm/m]**	**A_s [mm²/m]**	**Seçilen [mm²/m]**	**Mevcut [mm²/m]**	**Ek donatı**
D101	12,64	277	402 (Φ8/25 düz+ Φ8/25 pilye)		
D102	6,65	144	251 (Φ8/40 düz+ Φ8/40 pilye)		
D103	8,49	184	251 (Φ8/40 düz+ Φ8/40 pilye)		
D104	4,04	94	251 (Φ8/40 düz+ Φ8/40 pilye)		
D105	3,26	70	251 (Φ8/40 düz+ Φ8/40 pilye)		
D106	3,26	76	251 (Φ8/40 düz+ Φ8/40 pilye)		
D107	5,42	127	251 (Φ8/40 düz+ Φ8/40 pilye)		
D108	4,12	88	251 (Φ8/40 düz+ Φ8/40 pilye)		
D109	11,00	240	251 (Φ8/40 düz+ Φ8/40 pilye)		
D110	4,28	92	251 (Φ8/40 düz+ Φ8/40 pilye)		
D113	1,19	25	251 (Φ8/40 düz+ Φ8/40 pilye)		
D117	4,28	92	251 (Φ8/40 düz+ Φ8/40 pilye)		
D119	13,15	288	387 (Φ8/26 düz+ Φ8/26 pilye)		
D120	4,04	94	251 (Φ8/40 düz+ Φ8/40 pilye)		
D121	9,87	215	335 (Φ8/30 düz+ Φ8/30 pilye)		
D101/D102 mesnet	14,69	323		327	YOK
D102/D103 mesnet	10,53	229		251	YOK
D103/D103 mesnet	11,26	246		251	YOK
D104/D105 mesnet	5,17	111		251	YOK
D105/D106 mesnet	4,31	93		251	YOK
D106/D106 mesnet	4,31	93		251	YOK
D107/D108 mesnet	6,86	148		251	YOK
D109/D110 mesnet	12,47	273		251	YOK
D109/D111 mesnet	14,86	327		251	YOK
D110/D112 mesnet	5,68	122		126	YOK
D110/D113 mesnet	4,58	99		251	YOK
D115/D117 mesnet	5,68	122		126	YOK
D117/D119 mesnet	14,40	317		319	YOK
D118/D119 mesnet	17,45	385		194	194 (Φ8/26)
D106/D120 mesnet	5,09	110		251	YOK
D103/D121 mesnet	13,03	286		288	YOK

Çizelge 3.10 : Y doğrultusu için döşeme donatı hesabı sonuçları.

Y doğrultusu için					
Döşeme	**M_d [kNm/m]**	**A_s [mm^2/m]**	**Seçilen [mm^2/m]**	**Mevcut [mm^2/m]**	**Ek donatı**
D101	12,64	301	305 (Φ8/33 düz+ Φ8/33 pilye)		
D102	4,04	94	251 (Φ8/40 düz+ Φ8/40 pilye)		
D103	6,12	143	251 (Φ8/40 düz+ Φ8/40 pilye)		
D104	6,65	144	347 (Φ8/29 düz+ Φ8/29 pilye)		
D105	3,26	76	251 (Φ8/40 düz+ Φ8/40 pilye)		
D106	4,49	97	251 (Φ8/40 düz+ Φ8/40 pilye)		
D107	7,88	171	251 (Φ8/40 düz+ Φ8/40 pilye)		
D108	3,26	76	251 (Φ8/40 düz+ Φ8/40 pilye)		
D109	10,59	252	335 (Φ8/30 düz+ Φ8/30 pilye)		
D110	3,26	76	251 (Φ8/40 düz+ Φ8/40 pilye)		
D111	1,76	38	265 (Φ8/38 düz+ Φ8/38 pilye)		
D112	3,07	66	265 (Φ8/38 düz+ Φ8/38 pilye)		
D113	1,31	30	251 (Φ8/40 düz+ Φ8/40 pilye)		
D114	2,12	45	305 (Φ8/33 düz+ Φ8/33 pilye)		
D115	3,13	67	265 (Φ8/38 düz+ Φ8/38 pilye)		
D116	2,55	55	279 (Φ8/36 düz+ Φ8/36 pilye)		
D117	3,26	76	251 (Φ8/40 düz+ Φ8/40 pilye)		
D118	2,43	52	265 (Φ8/38 düz+ Φ8/38 pilye)		
D119	12,64	301	419 (Φ8/24 düz+ Φ8/24 pilye)		
D120	5,26	113	251 (Φ8/40 düz+ Φ8/40 pilye)		
D121	7,31	172	251 (Φ8/40 düz+ Φ8/40 pilye)		
D101/D104 mesnet	14,69	323		326	YOK
D104/D107 mesnet	10,45	227		299	YOK
D107/D109 mesnet	13,27	291		293	YOK
D109/D104 mesnet	12,94	284		341	YOK
D102/D105 mesnet	5,17	111		251	YOK
D105/D108 mesnet	4,31	93		251	YOK
D108/D110 mesnet	4,31	93		251	YOK
D110/D111 mesnet	6,33	137		258	YOK
D111/D105 mesnet	6,70	145		258	YOK
D103/D106 mesnet	9,88	215		251	YOK
D112/D113 mesnet	5,86	127		258	YOK
D113/D114 mesnet	12,50	274		278	YOK
D114/D106 mesnet	12,50	274		278	YOK
D116/D120 mesnet	12,12	265		265	YOK
D120/D121 mesnet	3,97	85		251	YOK
D108/D117 mesnet	4,31	93		251	YOK
D117/D118 mesnet	8,63	187		258	YOK
D107/D119 mesnet	15,00	330		335	YOK

Tek doğrultuda çalışan döşemeler için dağıtma donatısı olarak Φ8/25, kısa mesnet donatısı olarak Φ8/25 seçilmiştir.

3.2 Kiriş ve Kolon Boyutlarının Belirlenmesi

Kiriş boyutları 30^{cm} x 60^{cm} olarak seçilmiştir.

Kolon boyutları belirlenirken her kolona etki eden hesap kuvvetleri bulunmuş ve **(3.3)** denklemini sağlayacak şekilde boyutlar belirlenmiştir.

$$A_c \geq N_d / (0{,}5\ f_{ck}) \qquad \textbf{(3.3)}$$

(3.3) denkleminde A_c kolon enkesit alanını, N_d kolona etki eden hesap normal kuvvetini, f_{ck} beton karakteristik basınç dayanımını göstermektedir. Hesaplanan A_c değerleri %30 arttırılarak kolon boyutları belirlenmiştir.
10. kat kolon boyutları Çizelge 3.11'de verilmiştir.

Çizelge 3.11 : 10. kat kolon boyutlarının belirlenmesi.

Kat	Kolon Adı	N_d (kN)	A_c (cm^2)	$1{,}3A_c$ (cm^2)	Seçilen		
					x (cm)	y (cm)	A_c (cm^2)
10	S1	213,11	142,08	184,70	30	40	1200
	S2	188,28	125,52	163,18	40	30	1200
	S3	203,03	135,35	175,96	30	40	1200
	S4	188,28	125,52	163,18	40	30	1200
	S5	213,11	142,08	184,70	30	40	1200
	S6	213,05	142,03	184,64	40	30	1200
	S7	284,07	189,38	246,19	40	30	1200
	S8	250,78	167,19	217,35	30	40	1200
	S9	270,56	180,37	234,48	40	30	1200
	S10	250,78	167,19	217,35	30	40	1200
	S11	284,07	189,38	246,19	40	30	1200
	S12	213,05	142,03	184,64	30	40	1200
	S13	183,40	122,27	158,95	40	30	1200
	S14	244,31	162,88	211,74	30	40	1200
	S15	244,31	162,88	211,74	40	30	1200
	S16	183,40	122,27	158,95	40	30	1200
	S17	225,92	150,61	195,79	30	40	1200
	S18	260,57	173,71	225,82	40	30	1200
	S19	260,57	173,71	225,82	40	30	1200
	S20	225,92	150,61	195,79	30	40	1200
	S21	178,77	119,18	154,94	30	40	1200
	S22	178,77	119,18	154,94	30	40	1200
	S23	215,85	143,90	187,07	40	30	1200
	S24	178,31	118,87	154,53	40	30	1200
	S25	158,12	105,41	137,04	30	40	1200
	S26	170,11	113,41	147,43	40	30	1200
	S27	146,89	97,93	127,31	30	40	1200
	S28	107,35	71,57	93,04	40	30	1200
	S29	162,24	108,16	140,61	40	30	1200
	S30	213,05	142,03	184,64	30	40	1200
	S31	284,07	189,38	246,19	40	30	1200
	S32	250,78	167,19	217,35	30	40	1200
	S33	270,56	180,37	234,48	40	30	1200
	S34	179,76	119,84	155,80	30	40	1200
	S35	213,11	142,08	184,70	30	40	1200
	S36	188,28	125,52	163,18	40	30	1200
	S37	203,03	135,35	175,96	30	40	1200

9. kattaki kolonların boyutları Çizelge 3.12'de verilmiştir.

Çizelge 3.12 : 9. kat kolon boyutlarının belirlenmesi.

Kat	Kolon Adı	N_d (kN)	A_c (cm^2)	$1,3A_c$ (cm^2)	Seçilen		
					x (cm)	y (cm)	A_c (cm^2)
9	S1	521,05	347,37	451,58	30	40	1200
	S2	461,64	307,76	400,09	40	30	1200
	S3	496,93	331,29	430,68	30	40	1200
	S4	461,64	307,76	400,09	40	30	1200
	S5	521,05	347,37	451,58	30	40	1200
	S6	520,92	347,28	451,46	40	30	1200
	S7	689,44	459,63	597,52	40	30	1200
	S8	611,63	407,75	530,08	30	40	1200
	S9	657,85	438,57	570,14	40	30	1200
	S10	611,63	407,75	530,08	30	40	1200
	S11	689,44	459,63	597,52	40	30	1200
	S12	520,92	347,28	451,46	30	40	1200
	S13	449,97	299,98	389,98	40	30	1200
	S14	596,49	397,66	516,96	30	40	1200
	S15	596,49	397,66	516,96	40	30	1200
	S16	449,97	299,98	389,98	40	30	1200
	S17	551,70	367,80	478,14	30	40	1200
	S18	634,49	422,99	549,89	40	30	1200
	S19	634,49	422,99	549,89	40	30	1200
	S20	551,70	367,80	478,14	30	40	1200
	S21	424,02	282,68	367,48	30	40	1200
	S22	424,02	282,68	367,48	30	40	1200
	S23	527,61	351,74	457,26	40	30	1200
	S24	442,16	294,77	383,21	40	30	1200
	S25	393,04	262,02	340,63	30	40	1200
	S26	422,21	281,48	365,92	40	30	1200
	S27	364,54	243,03	315,94	30	40	1200
	S28	273,77	182,51	237,27	40	30	1200
	S29	393,84	262,56	341,32	40	30	1200
	S30	520,92	347,28	451,46	30	40	1200
	S31	689,44	459,63	597,52	40	30	1200
	S32	611,63	407,75	530,08	30	40	1200
	S33	657,85	438,57	570,14	40	30	1200
	S34	443,10	295,40	384,02	30	40	1200
	S35	521,05	347,37	451,58	30	40	1200
	S36	461,64	307,76	400,09	40	30	1200
	S37	496,93	331,29	430,68	30	40	1200

8. kattaki kolonların boyutları Çizelge 3.13'te verilmiştir.

Çizelge 3.13 : 8. kat kolon boyutlarının belirlenmesi.

Kat	Kolon Adı	N_d (kN)	A_c (cm^2)	$1,3A_c$ (cm^2)	Seçilen		
					x (cm)	y (cm)	A_c (cm^2)
8	S1	829,00	552,66	718,46	30	40	1200
	S2	735,01	490,00	637,00	40	30	1200
	S3	790,84	527,22	685,39	30	40	1200
	S4	735,01	490,00	637,00	40	30	1200
	S5	829,00	552,66	718,46	30	40	1200
	S6	828,78	552,52	718,28	40	30	1200
	S7	1094,82	729,88	948,84	40	30	1200
	S8	972,47	648,31	842,80	30	40	1200
	S9	1045,14	696,76	905,79	40	30	1200
	S10	972,47	648,31	842,80	30	40	1200
	S11	1094,82	729,88	948,84	40	30	1200
	S12	828,78	552,52	718,28	30	40	1200
	S13	716,54	477,70	621,00	40	30	1200
	S14	948,67	632,45	822,18	30	40	1200
	S15	948,67	632,45	822,18	40	30	1200
	S16	716,54	477,70	621,00	40	30	1200
	S17	877,49	584,99	760,49	30	40	1200
	S18	1008,42	672,28	873,96	40	30	1200
	S19	1008,42	672,28	873,96	40	30	1200
	S20	877,49	584,99	760,49	30	40	1200
	S21	669,26	446,17	580,03	30	40	1200
	S22	669,26	446,17	580,03	30	40	1200
	S23	839,37	559,58	727,46	40	30	1200
	S24	706,01	470,68	611,88	40	30	1200
	S25	627,95	418,63	544,22	30	40	1200
	S26	674,32	449,55	584,41	40	30	1200
	S27	582,19	388,13	504,57	30	40	1200
	S28	440,19	293,46	381,50	40	30	1200
	S29	625,43	416,95	542,04	40	30	1200
	S30	828,78	552,52	718,28	30	40	1200
	S31	1094,82	729,88	948,84	40	30	1200
	S32	972,47	648,31	842,80	30	40	1200
	S33	1045,14	696,76	905,79	40	30	1200
	S34	706,43	470,95	612,24	30	40	1200
	S35	829,00	552,66	718,46	30	40	1200
	S36	735,01	490,00	637,00	40	30	1200
	S37	790,84	527,22	685,39	30	40	1200

7. kattaki kolonların boyutları Çizelge 3.14'te verilmiştir.

Çizelge 3.14 : 7. kat kolon boyutlarının belirlenmesi.

Kat	Kolon Adı	N_d (kN)	A_c (cm^2)	$1,3A_c$ (cm^2)	Seçilen		
					x (cm)	y (cm)	A_c (cm^2)
7	S1	1136,94	757,96	985,35	30	60	1800
	S2	1008,37	672,25	873,92	60	30	1800
	S3	1084,74	723,16	940,11	30	60	1800
	S4	1008,37	672,25	873,92	60	30	1800
	S5	1136,94	757,96	985,35	30	60	1800
	S6	1136,65	757,77	985,10	30	60	1800
	S7	1500,19	1000,13	1300,17	60	40	2400
	S8	1333,31	888,87	1155,53	40	60	2400
	S9	1432,44	954,96	1241,44	60	40	2400
	S10	1333,31	888,87	1155,53	40	60	2400
	S11	1500,19	1000,13	1300,17	60	40	2400
	S12	1136,65	757,77	985,10	30	60	1800
	S13	983,11	655,41	852,03	60	30	1800
	S14	1300,85	867,23	1127,40	40	60	2400
	S15	1300,85	867,23	1127,40	40	60	2400
	S16	983,11	655,41	852,03	60	30	1800
	S17	1203,28	802,19	1042,84	40	60	2400
	S18	1382,34	921,56	1198,03	60	40	2400
	S19	1382,34	921,56	1198,03	60	40	2400
	S20	1203,28	802,19	1042,84	40	60	2400
	S21	914,50	609,67	792,57	30	60	1800
	S22	914,50	609,67	792,57	30	60	1800
	S23	1151,14	767,42	997,65	60	40	2400
	S24	969,87	646,58	840,55	60	30	1800
	S25	862,87	575,24	747,82	30	60	1800
	S26	926,42	617,62	802,90	60	30	1800
	S27	799,84	533,23	693,20	30	45	1350
	S28	606,61	404,41	525,73	45	30	1350
	S29	857,02	571,35	742,75	45	30	1350
	S30	1136,65	757,77	985,10	30	60	1800
	S31	1500,19	1000,13	1300,17	60	40	2400
	S32	1333,31	888,87	1155,53	40	60	2400
	S33	1432,44	954,96	1241,44	60	40	2400
	S34	969,76	646,51	840,46	30	60	1800
	S35	1136,94	757,96	985,35	30	60	1800
	S36	1008,37	672,25	873,92	60	30	1800
	S37	1084,74	723,16	940,11	30	60	1800

6. kattaki kolonların boyutları Çizelge 3.15'te verilmiştir.

Çizelge 3.15 : 6. kat kolon boyutlarının belirlenmesi.

Kat	Kolon Adı	N_d (kN)	A_c (cm^2)	$1,3A_c$ (cm^2)	Seçilen		
					x (cm)	y (cm)	A_c (cm^2)
6	S1	1444,88	963,25	1252,23	30	60	1800
	S2	1281,73	854,49	1110,83	60	30	1800
	S3	1378,64	919,09	1194,82	30	60	1800
	S4	1281,73	854,49	1110,83	60	30	1800
	S5	1444,88	963,25	1252,23	30	60	1800
	S6	1444,52	963,01	1251,92	30	60	1800
	S7	1905,57	1270,38	1651,49	60	40	2400
	S8	1694,15	1129,43	1468,26	40	60	2400
	S9	1819,73	1213,15	1577,10	60	40	2400
	S10	1694,15	1129,43	1468,26	40	60	2400
	S11	1905,57	1270,38	1651,49	60	40	2400
	S12	1444,52	963,01	1251,92	30	60	1800
	S13	1249,69	833,12	1083,06	60	30	1800
	S14	1653,03	1102,02	1432,63	40	60	2400
	S15	1653,03	1102,02	1432,63	40	60	2400
	S16	1249,69	833,12	1083,06	60	30	1800
	S17	1529,07	1019,38	1325,19	40	60	2400
	S18	1756,27	1170,85	1522,10	60	40	2400
	S19	1756,27	1170,85	1522,10	60	40	2400
	S20	1529,07	1019,38	1325,19	40	60	2400
	S21	1159,75	773,17	1005,11	30	60	1800
	S22	1159,75	773,17	1005,11	30	60	1800
	S23	1462,90	975,27	1267,85	60	40	2400
	S24	1233,72	822,48	1069,22	60	30	1800
	S25	1097,78	731,85	951,41	30	60	1800
	S26	1178,53	785,68	1021,39	60	30	1800
	S27	1017,50	678,33	881,83	30	45	1350
	S28	773,03	515,35	669,96	45	30	1350
	S29	1088,62	725,75	943,47	45	30	1350
	S30	1444,52	963,01	1251,92	30	60	1800
	S31	1905,57	1270,38	1651,49	60	40	2400
	S32	1694,15	1129,43	1468,26	40	60	2400
	S33	1819,73	1213,15	1577,10	60	40	2400
	S34	1233,10	822,06	1068,68	30	60	1800
	S35	1444,88	963,25	1252,23	30	60	1800
	S36	1281,73	854,49	1110,83	60	30	1800
	S37	1378,64	919,09	1194,82	30	60	1800

5. kattaki kolonların boyutları Çizelge 3.16'da verilmiştir.

Çizelge 3.16 : 5. kat kolon boyutlarının belirlenmesi.

Kat	Kolon Adı	N_d (kN)	A_c (cm^2)	$1,3A_c$ (cm^2)	Seçilen		
					x (cm)	y (cm)	A_c (cm^2)
5	S1	1752,82	1168,55	1519,11	30	60	1800
	S2	1555,09	1036,73	1347,75	60	30	1800
	S3	1672,54	1115,03	1449,54	30	60	1800
	S4	1555,09	1036,73	1347,75	60	30	1800
	S5	1752,82	1168,55	1519,11	30	60	1800
	S6	1752,39	1168,26	1518,73	30	60	1800
	S7	2310,94	1540,63	2002,82	60	40	2400
	S8	2054,99	1369,99	1780,99	40	60	2400
	S9	2207,02	1471,35	1912,75	60	40	2400
	S10	2054,99	1369,99	1780,99	40	60	2400
	S11	2310,94	1540,63	2002,82	60	40	2400
	S12	1752,39	1168,26	1518,73	30	60	1800
	S13	1516,26	1010,84	1314,09	60	30	1800
	S14	2005,21	1336,81	1737,85	40	60	2400
	S15	2005,21	1336,81	1737,85	40	60	2400
	S16	1516,26	1010,84	1314,09	60	30	1800
	S17	1854,86	1236,57	1607,54	40	60	2400
	S18	2130,20	1420,13	1846,17	60	40	2400
	S19	2130,20	1420,13	1846,17	60	40	2400
	S20	1854,86	1236,57	1607,54	40	60	2400
	S21	1404,99	936,66	1217,66	30	60	1800
	S22	1404,99	936,66	1217,66	30	60	1800
	S23	1774,66	1183,11	1538,04	60	40	2400
	S24	1497,57	998,38	1297,90	60	30	1800
	S25	1332,70	888,46	1155,00	30	60	1800
	S26	1430,63	953,75	1239,88	60	30	1800
	S27	1235,15	823,43	1070,46	30	45	1350
	S28	939,45	626,30	814,19	45	30	1350
	S29	1320,21	880,14	1144,19	45	30	1350
	S30	1752,39	1168,26	1518,73	30	60	1800
	S31	2310,94	1540,63	2002,82	60	40	2400
	S32	2054,99	1369,99	1780,99	40	60	2400
	S33	2207,02	1471,35	1912,75	60	40	2400
	S34	1496,43	997,62	1296,91	30	60	1800
	S35	1752,82	1168,55	1519,11	30	60	1800
	S36	1555,09	1036,73	1347,75	60	30	1800
	S37	1672,54	1115,03	1449,54	30	60	1800

4. kattaki kolonların boyutları Çizelge 3.17'de verilmiştir.

Çizelge 3.17 : 4. kat kolon boyutlarının belirlenmesi.

Kat	Kolon Adı	N_d (kN)	A_c (cm^2)	$1,3A_c$ (cm^2)	Seçilen		
					x (cm)	y (cm)	A_c (cm^2)
4	S1	2060,77	1373,84	1786,00	30	60	1800
	S2	1828,45	1218,97	1584,66	60	30	1800
	S3	1966,44	1310,96	1704,25	30	60	1800
	S4	1828,45	1218,97	1584,66	60	30	1800
	S5	2060,77	1373,84	1786,00	30	60	1800
	S6	2060,25	1373,50	1785,55	30	60	1800
	S7	2716,32	1810,88	2354,14	60	40	2400
	S8	2415,83	1610,55	2093,72	40	60	2400
	S9	2594,32	1729,54	2248,41	60	40	2400
	S10	2415,83	1610,55	2093,72	40	60	2400
	S11	2716,32	1810,88	2354,14	60	40	2400
	S12	2060,25	1373,50	1785,55	30	60	1800
	S13	1782,83	1188,55	1545,12	60	30	1800
	S14	2357,39	1571,59	2043,07	40	60	2400
	S15	2357,39	1571,59	2043,07	40	60	2400
	S16	1782,83	1188,55	1545,12	60	30	1800
	S17	2180,64	1453,76	1889,89	40	60	2400
	S18	2504,12	1669,41	2170,24	60	40	2400
	S19	2504,12	1669,41	2170,24	60	40	2400
	S20	2180,64	1453,76	1889,89	40	60	2400
	S21	1650,24	1100,16	1430,20	30	60	1800
	S22	1650,24	1100,16	1430,20	30	60	1800
	S23	2086,42	1390,95	1808,23	60	40	2400
	S24	1761,43	1174,28	1526,57	60	30	1800
	S25	1567,61	1045,08	1358,60	30	60	1800
	S26	1682,74	1121,82	1458,37	60	30	1800
	S27	1452,80	968,53	1259,09	30	45	1350
	S28	1105,87	737,25	958,42	45	30	1350
	S29	1551,81	1034,54	1344,90	45	30	1350
	S30	2060,25	1373,50	1785,55	30	60	1800
	S31	2716,32	1810,88	2354,14	60	40	2400
	S32	2415,83	1610,55	2093,72	40	60	2400
	S33	2594,32	1729,54	2248,41	60	40	2400
	S34	1759,76	1173,17	1525,13	30	60	1800
	S35	2060,77	1373,84	1786,00	30	60	1800
	S36	1828,45	1218,97	1584,66	60	30	1800
	S37	1966,44	1310,96	1704,25	30	60	1800

3. kattaki kolonların boyutları Çizelge 3.18'de verilmiştir.

Çizelge 3.18 : 3. kat kolon boyutlarının belirlenmesi.

Kat	Kolon Adı	N_d (kN)	A_c (cm^2)	$1,3A_c$ (cm^2)	Seçilen		
					x (cm)	y (cm)	A_c (cm^2)
3	S1	2368,71	1579,14	2052,88	45	65	2925
	S2	2101,82	1401,21	1821,57	65	45	2925
	S3	2260,35	1506,90	1958,97	45	65	2925
	S4	2101,82	1401,21	1821,57	65	45	2925
	S5	2368,71	1579,14	2052,88	45	65	2925
	S6	2368,12	1578,75	2052,37	45	65	2925
	S7	3121,69	2081,13	2705,47	70	55	3850
	S8	2776,67	1851,11	2406,45	50	70	3500
	S9	2981,61	1987,74	2584,06	70	55	3850
	S10	2776,67	1851,11	2406,45	50	70	3500
	S11	3121,69	2081,13	2705,47	70	55	3850
	S12	2368,12	1578,75	2052,37	45	65	2925
	S13	2049,40	1366,27	1776,15	65	45	2925
	S14	2709,57	1806,38	2348,29	50	70	3500
	S15	2709,57	1806,38	2348,29	50	70	3500
	S16	2049,40	1366,27	1776,15	65	45	2925
	S17	2506,43	1670,95	2172,24	50	70	3500
	S18	2878,05	1918,70	2494,31	70	50	3500
	S19	2878,05	1918,70	2494,31	70	50	3500
	S20	2506,43	1670,95	2172,24	50	70	3500
	S21	1895,48	1263,65	1642,75	45	65	2925
	S22	1895,48	1263,65	1642,75	45	65	2925
	S23	2398,19	1598,79	2078,43	65	45	2925
	S24	2025,28	1350,19	1755,24	65	45	2925
	S25	1802,53	1201,69	1562,19	45	65	2925
	S26	1934,84	1289,89	1676,86	65	45	2925
	S27	1670,45	1113,63	1447,72	45	65	2925
	S28	1272,29	848,20	1102,65	60	30	1800
	S29	1783,40	1188,94	1545,62	65	45	2925
	S30	2368,12	1578,75	2052,37	45	65	2925
	S31	3121,69	2081,13	2705,47	70	55	3850
	S32	2776,67	1851,11	2406,45	50	70	3500
	S33	2981,61	1987,74	2584,06	70	50	3500
	S34	2023,10	1348,73	1753,35	45	65	2925
	S35	2368,71	1579,14	2052,88	45	65	2925
	S36	2101,82	1401,21	1821,57	65	45	2925
	S37	2260,35	1506,90	1958,97	45	65	2925

2. kattaki kolonların boyutları Çizelge 3.19'da verilmiştir.

Çizelge 3.19 : 2. kat kolon boyutlarının belirlenmesi.

Kat	Kolon Adı	N_d (kN)	A_c (cm^2)	$1,3A_c$ (cm^2)	Seçilen		
					x (cm)	y (cm)	A_c (cm^2)
2	S1	2676,65	1784,43	2319,76	45	65	2925
	S2	2375,18	1583,45	2058,49	65	45	2925
	S3	2554,25	1702,83	2213,68	45	65	2925
	S4	2375,18	1583,45	2058,49	65	45	2925
	S5	2676,65	1784,43	2319,76	45	65	2925
	S6	2675,99	1783,99	2319,19	45	65	2925
	S7	3527,07	2351,38	3056,79	70	55	3850
	S8	3137,51	2091,67	2719,18	50	70	3500
	S9	3368,90	2245,94	2919,72	70	55	3850
	S10	3137,51	2091,67	2719,18	50	70	3500
	S11	3527,07	2351,38	3056,79	70	55	3850
	S12	2675,99	1783,99	2319,19	45	65	2925
	S13	2315,97	1543,98	2007,18	65	45	2925
	S14	3061,75	2041,16	2653,51	50	70	3500
	S15	3061,75	2041,16	2653,51	50	70	3500
	S16	2315,97	1543,98	2007,18	65	45	2925
	S17	2832,22	1888,15	2454,59	50	70	3500
	S18	3251,97	2167,98	2818,38	70	50	3500
	S19	3251,97	2167,98	2818,38	70	50	3500
	S20	2832,22	1888,15	2454,59	50	70	3500
	S21	2140,72	1427,15	1855,29	45	65	2925
	S22	2140,72	1427,15	1855,29	45	65	2925
	S23	2709,95	1806,63	2348,62	65	45	2925
	S24	2289,13	1526,09	1983,92	65	45	2925
	S25	2037,44	1358,30	1765,78	45	65	2925
	S26	2186,94	1457,96	1895,35	65	45	2925
	S27	1888,10	1258,73	1636,35	45	65	2925
	S28	1438,71	959,14	1246,88	60	30	1800
	S29	2015,00	1343,33	1746,33	65	45	2925
	S30	2675,99	1783,99	2319,19	45	65	2925
	S31	3527,07	2351,38	3056,79	70	55	3850
	S32	3137,51	2091,67	2719,18	50	70	3500
	S33	3368,90	2245,94	2919,72	70	50	3500
	S34	2286,43	1524,29	1981,57	45	65	2925
	S35	2676,65	1784,43	2319,76	45	65	2925
	S36	2375,18	1583,45	2058,49	65	45	2925
	S37	2554,25	1702,83	2213,68	45	65	2925

1. kattaki kolonların boyutları Çizelge 3.20'de verilmiştir.

Çizelge 3.20 : 1. kat kolon boyutlarının belirlenmesi.

Kat	Kolon Adı	N_d (kN)	A_c (cm^2)	$1,3A_c$ (cm^2)	Seçilen		
					x (cm)	y (cm)	A_c (cm^2)
1	S1	2984,59	1989,73	2586,65	45	65	2925
	S2	2648,54	1765,69	2295,40	65	45	2925
	S3	2848,15	1898,77	2468,40	45	65	2925
	S4	2648,54	1765,69	2295,40	65	45	2925
	S5	2984,59	1989,73	2586,65	45	65	2925
	S6	2983,85	1989,24	2586,01	45	65	2925
	S7	3932,44	2621,63	3408,12	70	55	3850
	S8	3498,35	2332,23	3031,90	50	70	3500
	S9	3756,20	2504,13	3255,37	70	55	3850
	S10	3498,35	2332,23	3031,90	50	70	3500
	S11	3932,44	2621,63	3408,12	70	55	3850
	S12	2983,85	1989,24	2586,01	45	65	2925
	S13	2582,54	1721,70	2238,20	65	45	2925
	S14	3413,92	2275,95	2958,73	50	70	3500
	S15	3413,92	2275,95	2958,73	50	70	3500
	S16	2582,54	1721,70	2238,20	65	45	2925
	S17	3158,01	2105,34	2736,94	50	70	3500
	S18	3625,90	2417,27	3142,44	70	50	3500
	S19	3625,90	2417,27	3142,44	70	50	3500
	S20	3158,01	2105,34	2736,94	50	70	3500
	S21	2385,97	1590,64	2067,84	45	65	2925
	S22	2385,97	1590,64	2067,84	45	65	2925
	S23	3021,71	2014,48	2618,82	65	45	2925
	S24	2552,99	1701,99	2212,59	65	45	2925
	S25	2272,36	1514,91	1969,38	45	65	2925
	S26	2439,05	1626,03	2113,84	65	45	2925
	S27	2105,75	1403,83	1824,98	45	65	2925
	S28	1605,13	1070,09	1391,12	60	30	1800
	S29	2246,59	1497,73	1947,05	65	45	2925
	S30	2983,85	1989,24	2586,01	45	65	2925
	S31	3932,44	2621,63	3408,12	70	55	3850
	S32	3498,35	2332,23	3031,90	50	70	3500
	S33	3756,20	2504,13	3255,37	70	50	3500
	S34	2549,76	1699,84	2209,79	45	65	2925
	S35	2984,59	1989,73	2586,65	45	65	2925
	S36	2648,54	1765,69	2295,40	65	45	2925
	S37	2848,15	1898,77	2468,40	45	65	2925

Zemin. kattaki kolonların boyutları Çizelge 3.21'de verilmiştir.

Çizelge 3.21 : Zemin kat kolon boyutlarının belirlenmesi.

Kat	Kolon Adı	N_d (kN)	A_c (cm^2)	$1,3A_c$ (cm^2)	Seçilen		
					x (cm)	y (cm)	A_c (cm^2)
Z	S1	3292,53	2195,02	2853,53	45	65	2925
	S2	2921,90	1947,94	2532,32	65	45	2925
	S3	3142,05	2094,70	2723,11	45	65	2925
	S4	2921,90	1947,94	2532,32	65	45	2925
	S5	3292,53	2195,02	2853,53	45	65	2925
	S6	3291,72	2194,48	2852,83	45	65	2925
	S7	4337,82	2891,88	3759,44	70	55	3850
	S8	3859,19	2572,79	3344,63	50	70	3500
	S9	4143,49	2762,33	3591,02	70	55	3850
	S10	3859,19	2572,79	3344,63	50	70	3500
	S11	4337,82	2891,88	3759,44	70	55	3850
	S12	3291,72	2194,48	2852,83	45	65	2925
	S13	2849,12	1899,41	2469,23	65	45	2925
	S14	3766,10	2510,74	3263,96	50	70	3500
	S15	3766,10	2510,74	3263,96	50	70	3500
	S16	2849,12	1899,41	2469,23	65	45	2925
	S17	3483,80	2322,53	3019,29	50	70	3500
	S18	3999,82	2666,55	3466,51	70	50	3500
	S19	3999,82	2666,55	3466,51	70	50	3500
	S20	3483,80	2322,53	3019,29	50	70	3500
	S21	2631,21	1754,14	2280,38	45	65	2925
	S22	2631,21	1754,14	2280,38	45	65	2925
	S23	3333,48	2222,32	2889,01	65	45	2925
	S24	2816,84	1877,89	2441,26	65	45	2925
	S25	2507,27	1671,52	2172,97	45	65	2925
	S26	2691,15	1794,10	2332,33	65	45	2925
	S27	2323,40	1548,94	2013,62	45	65	2925
	S28	1771,55	1181,04	1535,35	60	30	1800
	S29	2478,19	1652,12	2147,76	65	45	2925
	S30	3291,72	2194,48	2852,83	45	65	2925
	S31	4337,82	2891,88	3759,44	70	55	3850
	S32	3859,19	2572,79	3344,63	50	70	3500
	S33	4143,49	2762,33	3591,02	70	50	3500
	S34	2813,09	1875,40	2438,02	45	65	2925
	S35	3292,53	2195,02	2853,53	45	65	2925
	S36	2921,90	1947,94	2532,32	65	45	2925
	S37	3142,05	2094,70	2723,11	45	65	2925

3.3 Bina Modelinin Oluşturulması

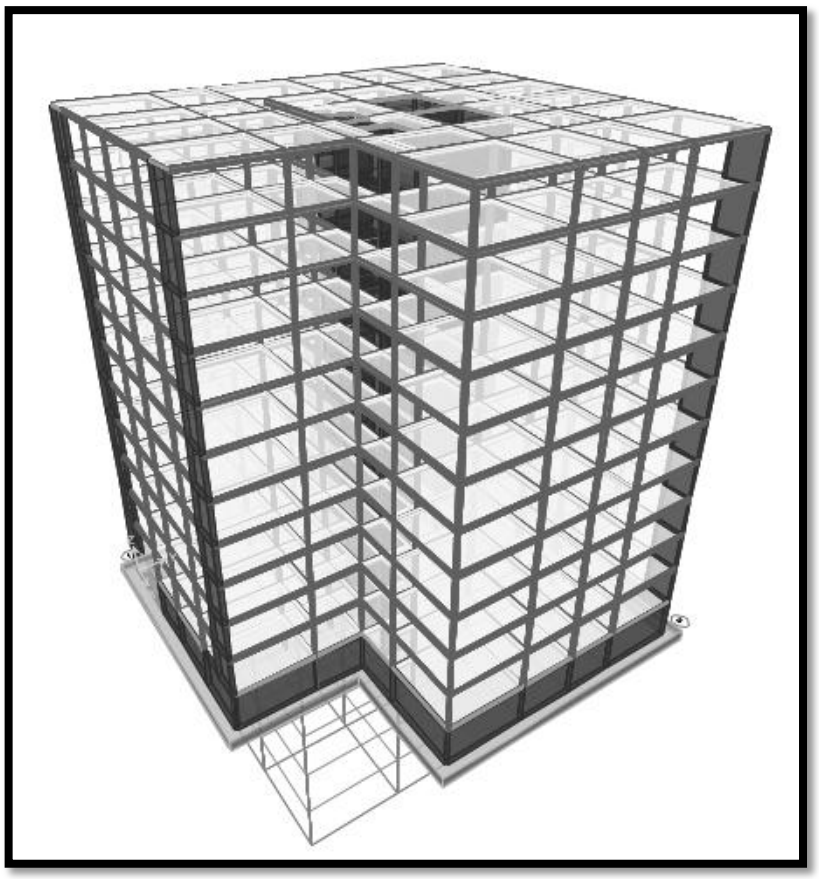
Bina modeli SAP2000 V 15.1.0'da oluşturulup analizler yapılmıştır.

Kirişler ve kolonlar çubuk eleman; perdeler, döşemeler ve temel kabuk eleman olarak tanımlanmıştır. Döşemeler, perdeler ve radye temel sonlu elemanlara bölünmüştür.

Elastik zemine oturan radye temelin modellenmesinde, zemin özelliklerine bağlı olarak birim alan için yay katsayısı 24000 kN/m^3 alınmıştır.

İlgili yüklemeler yapılmıştır. Duvar yükleri de göz önüne alınmıştır.

Oluşturulan yapısal modelin üç boyutlu görüntüsü Şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.2 : Binanın üç boyutlu modeli.

Yapının dinamik analizinde radye temel göz önüne alınmayacaktır. DBYBHY esas alındığında; yapı, konut olarak kullanmak amacıyla tasarlandığından hareketli yük katılım katsayısı n = 0,3 olacaktır. Yapıdaki sabit yüklerin tamamı ile hareketli

yüklerin %30'unun toplanmasıyla hesaplanan yapı ağırlığı ve kat kütleleri Çizelge 3.22'de verilmiştir.

Çizelge 3.22 : Kat kütleleri ve yapı ağırlığı.

Kat	**Ağırlık [kN]**	**Kütle [kNs^2/m]**
10	7111,07	724,88
9	9775,99	996,53
8	9775,99	996,53
7	9999,86	1019,35
6	9999,86	1019,35
5	9999,86	1019,35
4	9999,86	1019,35
3	10317,11	1051,69
2	10317,11	1051,69
1	10317,11	1051,69
Z	10317,11	1051,69
B	10850,82	1106,10

Temel ağırlığı hesaba katılmadığında toplam yapı ağırlığı 118781,78 kN olmuştur. Radye temel 80 cm kalınlığında alınırsa temelin ağırlığı 17164,40 kN olup yapının toplam ağırlığı 135946,18 kN olarak hesaplanmış ve koordinat takımı A aksı ile 1 aksının kesiştiği noktaya yerleştirilip global eksen takımı kullanıldığında yapının kütle merkezinin x koordinatı x_{com}=13,06 metre, y koordinatı y_{com}=15,53 metre, z koordinatı z_{com}=16,47 metre olarak hesaplanmıştır. Her kat için dönme atalet kütlesini hesaplamak için, **(3.4)** denklemi kullanılacaktır.

$$\text{Dönme atalet kütlesi} = \frac{M\,(I_{xG}+I_{yG})}{A} \qquad \textbf{(3.4)}$$

(3.4) denkleminde M kat toplam kütlesini, I_{xG} ve I_{yG} kat kütle merkezine göre eylemsizlik momentlerini, A kat alanını göstermektedir. Söz konusu yapı için,

- I_{xG} = 74041,25954 m^4
- I_{yG} = 20693,55763 m^4
- A = 738,8998 m^2 olarak hesaplanmıştır.

Katlar için dönme atalet kütleleri Çizelge 3.23'te verilmiştir.

Çizelge 3.23 : Dönme atalet kütleleri.

Kat	Dönme Atalet Kütlesi (kNm-s^2)
10	92937,3
9	127766,1
8	127766,1
7	130692,0
6	130692,0
5	130692,0
4	130692,0
3	134838,3
2	134838,3
1	134838,3
Z	134838,3

3.4 Modal Analiz

3.4.1 Rijit diyafram kabulü yapılmadan serbest titreşim analizi

Modların etkin kütleleri toplamının her iki deprem doğrultusu için toplam bina kütlesinin %90'ından fazla olması gerekmektedir. Göz önüne alınacak mod sayısının yeterliliği bu koşula göre belirlenir. Etkin kütlelerin toplamı Çizelge 3.24'te verilmiştir.

60 mod göz önüne alınmış ve tüm modlar için hesaplanmış periyot, frekans ve açısal frekanslar Çizelge 3.25'te verilmiştir.

Çizelge 3.24 ve Çizelge 3.25'te verilen sonuçlar, rijit diyafram tanımı yapılmadan Ritz vektörleriyle hesap ile elde edilen sonuçlardır ve rijit bodrum kat göz önüne alınmıştır.

Çizelge 3.24 : Kütle katılım oranları.

Mod	X	Y	ΣX	ΣY
1	0,18163	0,17812	0,18163	0,17812
2	0,08453	0,45035	0,26616	0,62848
3	0,37088	0,00054	0,63704	0,62902
4	0,01087	0,00487	0,64791	0,63389
5	0,00061	0,11613	0,64851	0,75002
6	0,00001146	0,00011	0,64852	0,75014
7	0,00052	0,0008	0,64905	0,75094
8	0,11701	0,00001163	0,76605	0,75095
9	0,00055	0,00009983	0,7666	0,75105
10	0,00381	0,00102	0,77041	0,75207
11	0,00066	0,00005843	0,77107	0,75213
12	0,000003977	0,00001361	0,77107	0,75214
13	0,00023	0,000004401	0,7713	0,75215
14	0,00007343	0,00004588	0,77138	0,75219
15	0,00013	0,00273	0,77151	0,75492
16	0,000004455	0,02643	0,77151	0,78135
17	0,00007695	0,00644	0,77159	0,78779
18	2,863E-07	0,00266	0,77159	0,79045
19	0,000001526	0,00028	0,77159	0,79073
20	5,016E-07	0,00016	0,77159	0,79089
21	0,00079	0,00036	0,77238	0,79125
22	0,00002644	0,00007413	0,77241	0,79133
23	0,00024	0,00023	0,77264	0,79156
24	0,00304	0,000005405	0,77568	0,79157
25	0,01685	0,000000525	0,79253	0,79157
26	0,0015	0,000004038	0,79403	0,79157
27	0,00004721	0,00012	0,79408	0,79169
28	0,00354	0,000001692	0,79762	0,79169
29	0,00016	0,00031	0,79778	0,792
30	0,0032	0,00002344	0,80098	0,79203
31	0,00025	0,000005855	0,80123	0,79203
32	0,00037	0,00007215	0,8016	0,7921
33	0,00043	0,00077	0,80204	0,79287
34	3,239E-07	0,00652	0,80204	0,79939
35	0,000001369	0,0095	0,80204	0,8089
36	0,00017	0,00014	0,80221	0,80904
37	0,00015	0,00028	0,80236	0,80932
38	0,00154	0,00002086	0,80389	0,80934
39	0,01182	0,00006145	0,81572	0,80941
40	0,00002546	0,00068	0,81574	0,81008
41	0,00018	0,00703	0,81592	0,81711
42	0,00137	0,000001555	0,81729	0,81712
43	0,0067	0,00038	0,82399	0,8175
44	0,00041	0,00308	0,8244	0,82058
45	0,00018	0,00327	0,82459	0,82385
46	0,00543	0,00007632	0,83001	0,82393

Çizelge 3.24 (devam) : Kütle katılım oranları.

Mod	X	Y	ΣX	ΣY
47	0,0003	0,00466	0,83032	0,82859
48	0,00587	0,0001	0,83619	0,82869
49	0,00196	0,00356	0,83814	0,83225
50	0,0042	0,00148	0,84234	0,83373
51	0,01077	0,00044	0,85312	0,83417
52	0,00087	0,01009	0,85399	0,84425
53	0,00547	0,00574	0,85946	0,84999
54	0,003	0,00879	0,86246	0,85878
55	0,002	0,00535	0,86446	0,86413
56	0,0033	0,00209	0,86776	0,86622
57	0,00707	0,00621	0,87483	0,87243
58	0,00615	0,0075	0,88098	0,87993
59	0,09779	0,00001645	0,97877	0,87995
60	0,00001444	0,09358	0,97878	0,97353

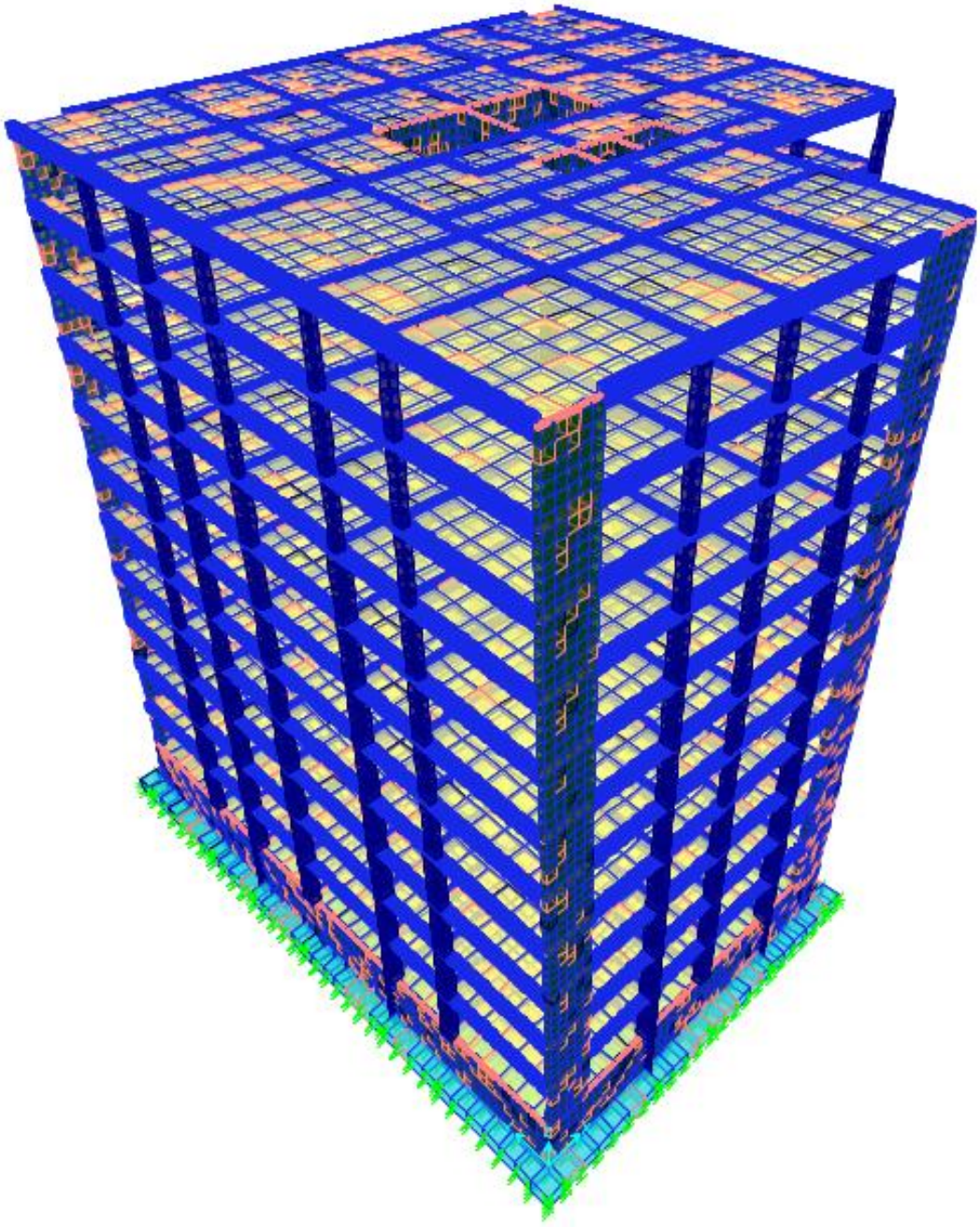
Çizelge 3.25 : Modların periyot, frekans ve açısal frekans değerleri.

Mod	Periyot [s]	Frekans [1/s]	Açısal Frekans [rad/s]
1	1,019603	0,98077	6,1624
2	0,955617	1,0464	6,575
3	0,845534	1,1827	7,431
4	0,306622	3,2613	20,492
5	0,244228	4,0945	25,727
6	0,198356	5,0414	31,676
7	0,181471	5,5105	34,624
8	0,17941	5,5738	35,021
9	0,175683	5,6921	35,764
10	0,163637	6,1111	38,397
11	0,159032	6,288	39,509
12	0,154251	6,4829	40,734
13	0,145376	6,8787	43,22
14	0,134832	7,4166	46,6
15	0,125033	7,9979	50,252
16	0,119007	8,4028	52,797
17	0,116021	8,6191	54,156
18	0,113573	8,8049	55,323
19	0,109385	9,142	57,441
20	0,105919	9,4412	59,321
21	0,104769	9,5449	59,972
22	0,099584	10,042	63,094
23	0,09729	10,279	64,582
24	0,09492	10,535	66,195
25	0,092499	10,811	67,927
26	0,092086	10,859	68,232

Çizelge 3.25 (devam) : Modların periyot, frekans ve açısal frekans değerleri.

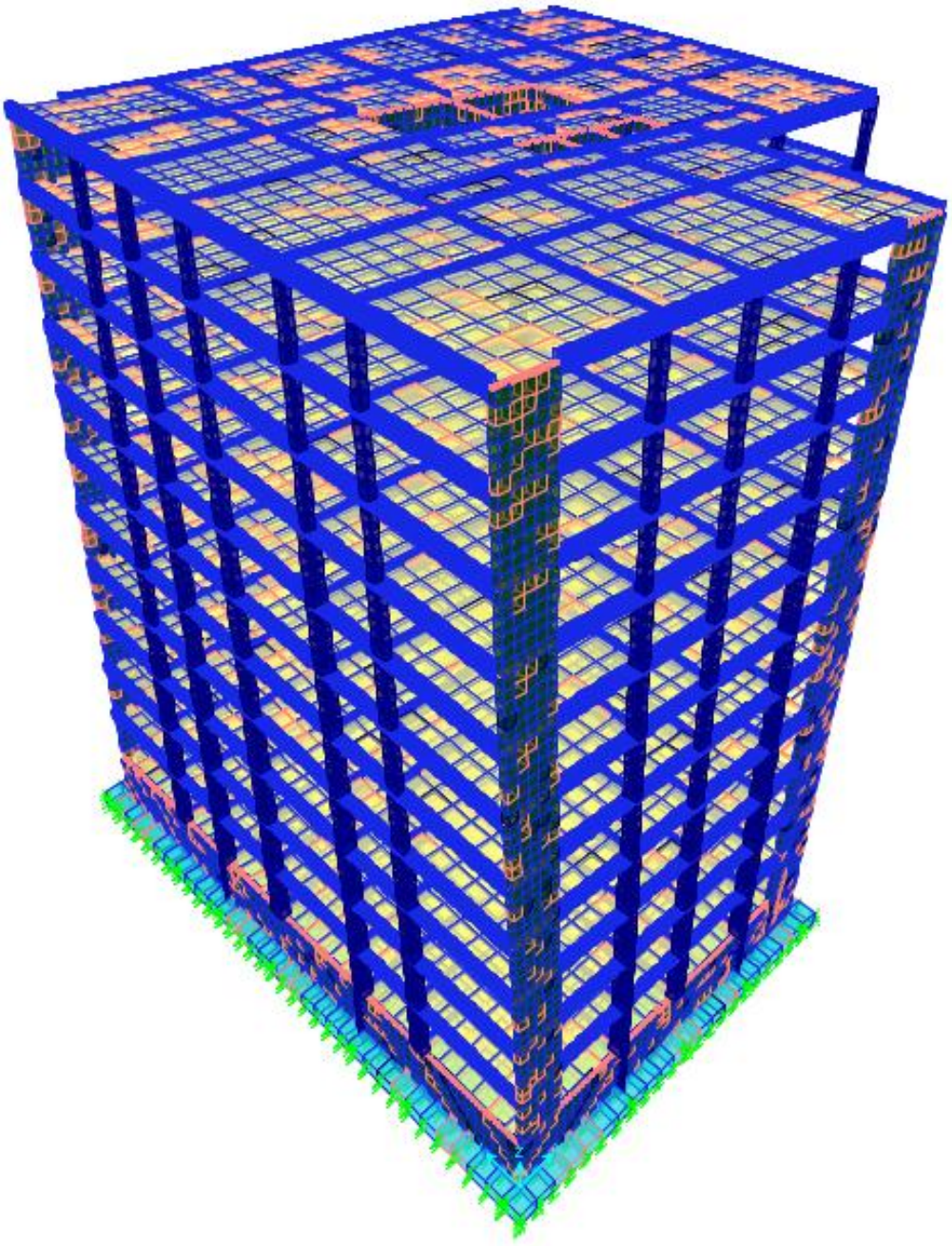
Mod	Periyot [s]	Frekans [1/s]	Açısal Frekans [rad/s]
27	0,090687	11,027	69,284
28	0,088128	11,347	71,296
29	0,08634	11,582	72,773
30	0,085183	11,739	73,761
31	0,08234	12,145	76,308
32	0,082175	12,169	76,461
33	0,078074	12,808	80,477
34	0,076662	13,044	81,96
35	0,075598	13,228	83,113
36	0,071822	13,923	87,482
37	0,07115	14,055	88,309
38	0,068161	14,671	92,182
39	0,065523	15,262	95,894
40	0,062649	15,962	100,29
41	0,059218	16,887	106,1
42	0,056522	17,692	111,16
43	0,053812	18,583	116,76
44	0,052464	19,061	119,76
45	0,047845	20,901	131,32
46	0,046861	21,34	134,08
47	0,042378	23,597	148,27
48	0,041442	24,13	151,62
49	0,036345	27,514	172,87
50	0,035886	27,866	175,09
51	0,029923	33,419	209,98
52	0,02974	33,624	211,27
53	0,024987	40,02	251,45
54	0,024642	40,581	254,98
55	0,018963	52,733	331,33
56	0,017888	55,903	351,25
57	0,010377	96,368	605,5
58	0,010142	98,604	619,55
59	0,005483	182,37	1145,9
60	0,005239	190,87	1199,3

Bu bilgiler incelendiğinde, y doğrultusunda hakim mod ikinci mod olup yapının ikinci mod şekli Şekil 3.3'te verilmiştir. X doğrultusunda hakim mod ise üçüncü mod olmuştur. Yapının üçüncü mod şekli Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.3 : Yapının ikinci mod şekli.

Yapının ikinci mod şekli y doğrultusunda oluşmuş olup periyot 0,956 saniye olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.4 : Yapının üçüncü mod şekli.

Yapının üçüncü mod şekli x doğrultusunda oluşmuş olup periyot 0,846 saniye olarak hesaplanmıştır.

3.4.2 Rijit diyafram kabulüyle serbest titreşim analizi

Aynı yapısal model üzerinde tek değişiklik olarak rijit diyafram kabulü yapıldığında ve her katta rijit diyaframlar tanımlandığında elde edilen sonuçlar Çizelge 3.26 ve Çizelge 3.27'de verilmiştir. Bu durumda da 60 mod göz önüne alınmış, Ritz vektörleriyle hesap yapılmış ve rijit bodrum perdeleri dikkate alınmıştır.

Y doğrultusunda hakim modun yine ikinci mod olduğu görülmüştür ve periyot bu sefer 0,922 saniye olarak hesaplanmıştır. X doğrultusunda hakim mod ise üçüncü mod olmuştur ve bu durumda periyot 0,821 saniye olarak bulunmuştur.

Çizelge 3.26 : Rijit diyafram kabulü yapıldığında kütle katılım oranları.

Mod	X	Y	ΣX	ΣY
1	0,17804	0,14604	0,17804	0,14604
2	0,05042	0,46823	0,22846	0,61427
3	0,39911	0,00012	0,62757	0,61438
4	0,01115	0,0045	0,63872	0,61888
5	0,00056	0,11555	0,63928	0,73444
6	0,000005673	0,00016	0,63928	0,7346
7	0,00025	0,00149	0,63953	0,73609
8	0,00238	0,00025	0,64192	0,73634
9	0,1123	4,015E-07	0,75422	0,73634
10	0,00516	0,00118	0,75938	0,73753
11	0,00375	6,787E-07	0,76313	0,73753
12	0,00008983	0,00000224	0,76322	0,73753
13	0,00137	0,000002615	0,76459	0,73753
14	0,00001597	0,00002263	0,7646	0,73755
15	0,0001	0,00054	0,76471	0,7381
16	0,00001562	0,0000161	0,76472	0,73811
17	0,00004364	0,01315	0,76477	0,75126
18	0,00003549	0,02612	0,7648	0,77738
19	0,000003629	0,00178	0,76481	0,77915
20	0,00001845	0,00012	0,76482	0,77928
21	0,00019	0,00009169	0,76502	0,77937
22	0,00053	0,00049	0,76555	0,77986
23	0,000007654	0,00003716	0,76555	0,7799
24	0,00024	1,826E-07	0,76579	0,7799
25	0,00006355	0,000000592	0,76586	0,7799
26	0,00048	0,00014	0,76634	0,78004
27	0,00461	0,00001914	0,77095	0,78006
28	0,00195	0,00023	0,7729	0,78029
29	0,00008225	0,0005	0,77298	0,78078

Çizelge 3.26 (devam) : Rijit diyafram kabulü yapıldığında kütle katılım oranları.

Mod	X	Y	ΣX	ΣY
30	0,00169	5,656E-08	0,77468	0,78078
31	0,01903	0,00001775	0,79371	0,7808
32	0,00261	0,00003169	0,79632	0,78083
33	0,00213	0,00003235	0,79845	0,78087
34	0,00005499	0,00017	0,7985	0,78103
35	0,00072	0,00002131	0,79922	0,78105
36	0,00004343	0,00085	0,79927	0,7819
37	0,00045	0,00047	0,79972	0,78238
38	0,0001	0,0177	0,79982	0,80008
39	1,002E-08	0,00256	0,79982	0,80264
40	0,00035	0,00003712	0,80017	0,80268
41	0,0000833	0,00027	0,80025	0,80295
42	0,00657	0,000001623	0,80682	0,80295
43	0,00971	0,00006145	0,81653	0,80301
44	0,00014	0,00087	0,81667	0,80389
45	0,000003595	0,01173	0,81667	0,81562
46	0,00153	0,00005958	0,8182	0,81568
47	0,00937	0,00004876	0,82757	0,81573
48	0,00011	0,00486	0,82768	0,82059
49	0,00068	0,0045	0,82836	0,82509
50	0,00623	0,00038	0,83459	0,82547
51	0,00026	0,00707	0,83485	0,83255
52	0,00705	0,00029	0,84191	0,83283
53	0,00079	0,00867	0,8427	0,8415
54	0,00918	0,00067	0,85188	0,84217
55	0,00069	0,03123	0,85257	0,8734
56	0,0206	0,00038	0,87317	0,87378
57	0,00716	0,00185	0,88033	0,87563
58	0,00207	0,00657	0,8824	0,88221
59	0,09627	0,00049	0,97866	0,8827
60	0,00046	0,09196	0,97913	0,97466

Çizelge 3.27 : Modların periyot, frekans ve açısal frekans değerleri.

Mod	Periyot [s]	Frekans [1/s]	Açısal Frekans [rad/s]
1	0,993867	1,0062	6,322
2	0,922377	1,0842	6,8119
3	0,821366	1,2175	7,6497
4	0,29925	3,3417	20,996
5	0,235085	4,2538	26,727
6	0,198255	5,044	31,693

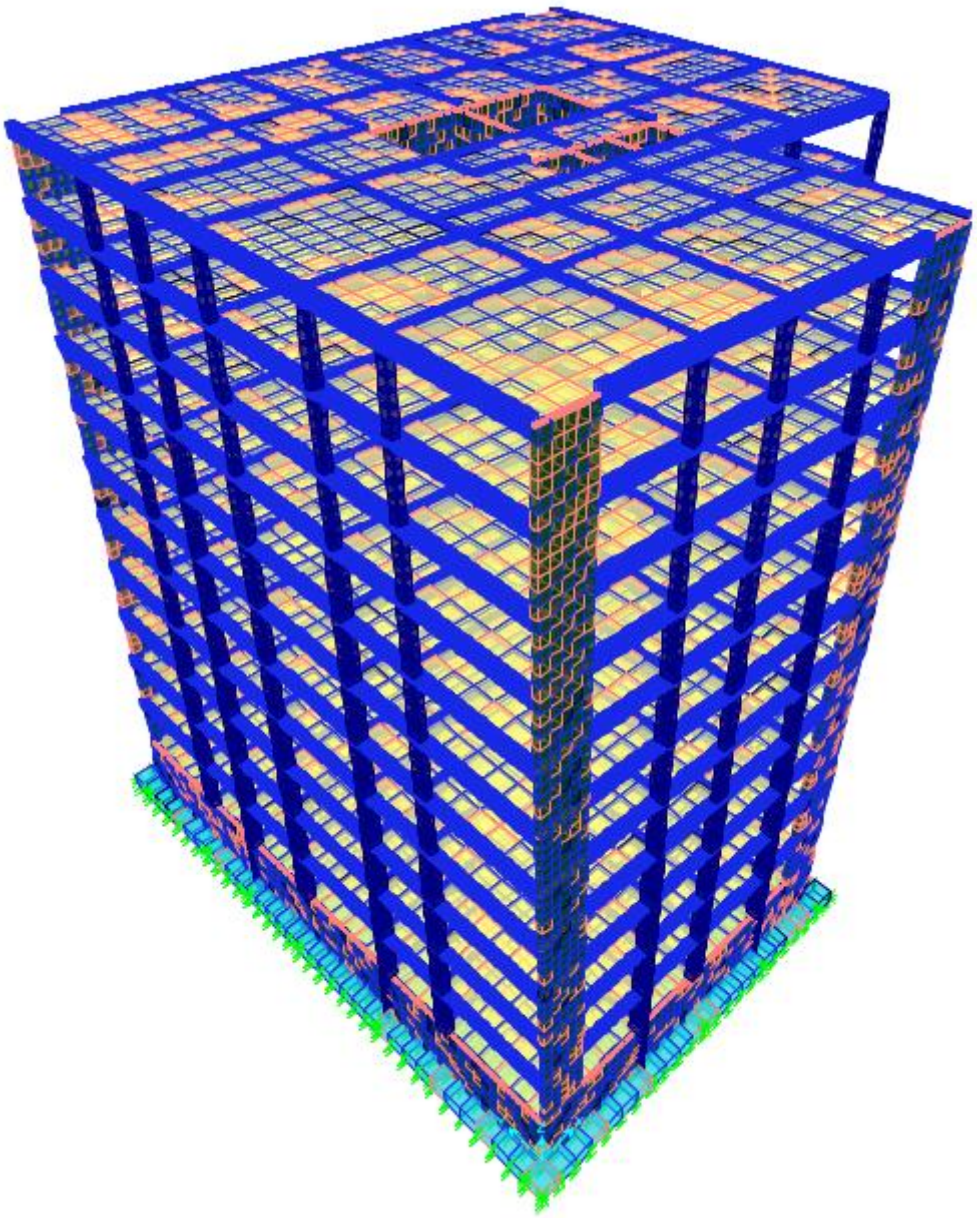
Çizelge 3.27 (devam) : Modların periyot, frekans ve açısal frekans değerleri.

Mod	Periyot [s]	Frekans [1/s]	Açısal Frekans [rad/s]
7	0,180449	5,5417	34,82
8	0,174805	5,7206	35,944
9	0,172437	5,7992	36,438
10	0,155303	6,439	40,458
11	0,150723	6,6347	41,687
12	0,144176	6,936	43,58
13	0,139377	7,1748	45,081
14	0,129229	7,7382	48,621
15	0,120451	8,3021	52,164
16	0,114217	8,7552	55,011
17	0,11126	8,988	56,473
18	0,110643	9,0381	56,788
19	0,107307	9,319	58,553
20	0,103437	9,6677	60,744
21	0,098095	10,194	64,052
22	0,097502	10,256	64,442
23	0,095547	10,466	65,76
24	0,093152	10,735	67,451
25	0,090571	11,041	69,373
26	0,089435	11,181	70,254
27	0,087154	11,474	72,093
28	0,086036	11,623	73,03
29	0,084612	11,819	74,259
30	0,083174	12,023	75,542
31	0,081211	12,314	77,369
32	0,080852	12,368	77,712
33	0,076772	13,026	81,842
34	0,075728	13,205	82,971
35	0,072621	13,77	86,521
36	0,071411	14,004	87,987
37	0,06842	14,616	91,833
38	0,06711	14,901	93,625
39	0,064915	15,405	96,792
40	0,062054	16,115	101,25
41	0,057254	17,466	109,74
42	0,056195	17,795	111,81
43	0,054087	18,489	116,17
44	0,051609	19,376	121,75
45	0,047678	20,974	131,78
46	0,046472	21,518	135,2
47	0,041736	23,96	150,55

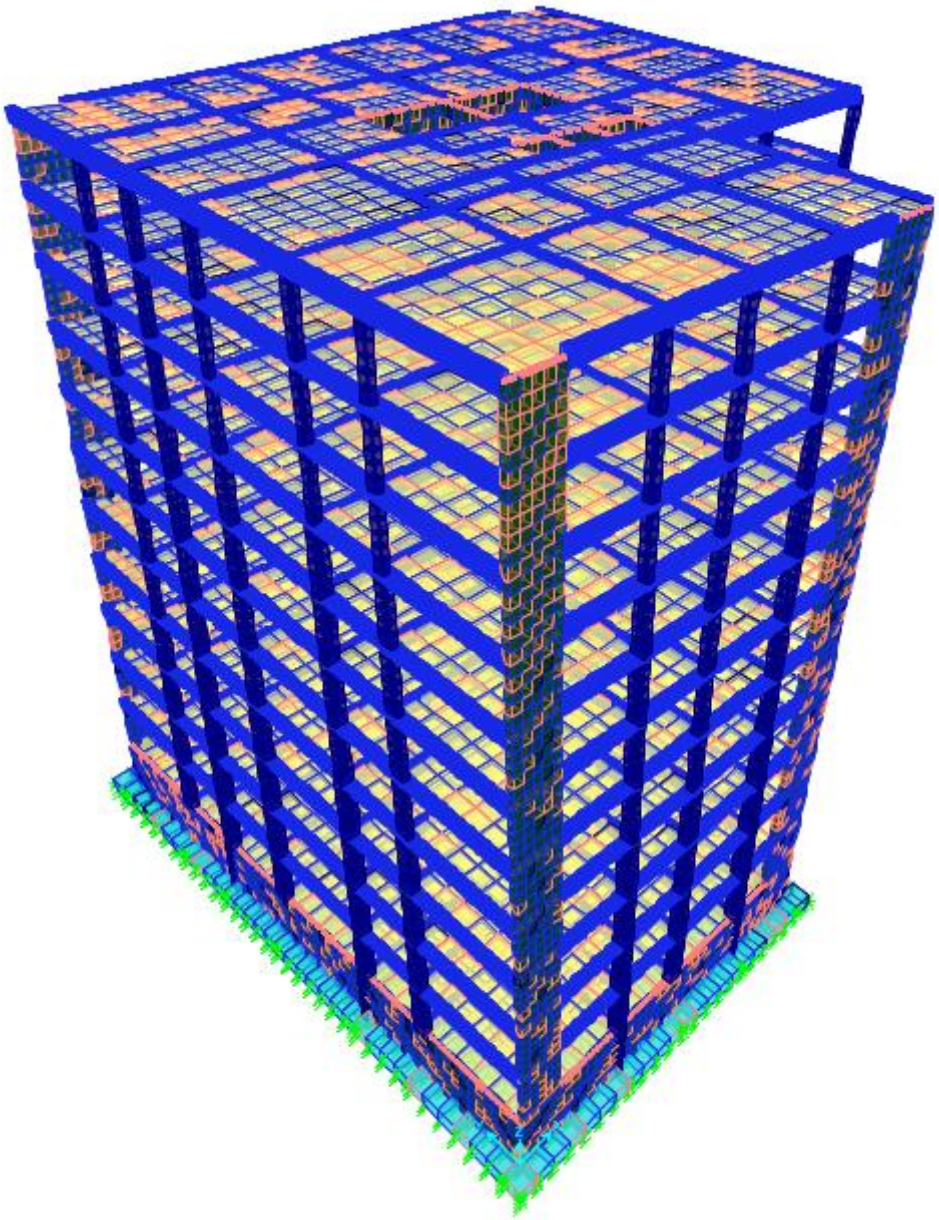
Çizelge 3.27 (devam) : Modların periyot, frekans ve açısal frekans değerleri.

Mod	Periyot [s]	Frekans [1/s]	Açısal Frekans [rad/s]
48	0,038628	25,888	162,66
49	0,035485	28,181	177,07
50	0,034611	28,893	181,54
51	0,029548	33,843	212,64
52	0,028901	34,601	217,41
53	0,023265	42,984	270,07
54	0,022836	43,79	275,14
55	0,018376	54,418	341,92
56	0,017996	55,567	349,14
57	0,010836	92,287	579,86
58	0,010013	99,875	627,53
59	0,00543	184,17	1157,2
60	0,005117	195,43	1227,9
48	0,038628	25,888	162,66
49	0,035485	28,181	177,07
50	0,034611	28,893	181,54
51	0,029548	33,843	212,64
52	0,028901	34,601	217,41
53	0,023265	42,984	270,07
54	0,022836	43,79	275,14
55	0,018376	54,418	341,92
56	0,017996	55,567	349,14
57	0,010836	92,287	579,86
58	0,010013	99,875	627,53
59	0,00543	184,17	1157,2
60	0,005117	195,43	1227,9

Rijit diyafram tanımı yapıldığında yapının ikinci mod şekli Şekil 3.5'te, üçüncü mod şekli ise Şekil 3.6'da verilmiştir. Elde edilen sonuçlarda çok büyük bir fark gözlenmediğinden, rijit diyafram kabülü yapılmasına karar verilmiştir.



Şekil 3.5 : Rijit diyafram tanımı yapıldığında yapının ikinci mod şekli.



Şekil 3.6 : Rijit diyafram tanımı yapıldığında yapının üçüncü mod şekli.

4. TASARIM VE ANALİZLERİN YAPILMASI

4.1 Türk Yönetmeliklerine Göre Hesap

4.1.1 Deprem hesabı

4.1.1.1 Eşdeğer deprem yükü yöntemi hesapları

Bu yöntemde kullanılacak olan parametreler ve sonuçlar Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1 : Eşdeğer deprem yükü yöntemi ile hesap.

Deprem Bölgesi	1 (A_o = 0,40)
Yerel Zemin Sınıfı	Z2 (T_A = 0,15 s ve T_B = 0,40 s)
Bina Önem Katsayısı	I = 1
$\mathbf{T_{1x}}$	0,821 s
$\mathbf{T_{1y}}$	0,922 s
$\mathbf{S(T_{1x})}$	$2{,}5(0{,}40/0{,}821)^{0{,}8} = 1{,}41$
$\mathbf{A(T_{1x})}$	$A(T_{1x}) = A_o\ I\ S(T_{1x}) = 0{,}562$
$\mathbf{S(T_{1y})}$	$2{,}5(0{,}40/0{,}922)^{0{,}8} = 1{,}28$
$\mathbf{A(T_{1y})}$	$A(T_{1y}) = A_o\ I\ S(T_{1y}) = 0{,}513$
$\mathbf{R_a(T_{1x})}$	$T_A < T_{1x}$ olduğundan $R_a(T_{1x}) = R = 7$
$\mathbf{R_a(T_{1y})}$	$T_A < T_{1y}$ olduğundan $R_a(T_{1y}) = R = 7$
W	107930,93 kN
$\mathbf{V_{tx}}$	107930,93*0,562/7 = 8665,31 kN
$\mathbf{V_{ty}}$	107930,93*0,513/7 = 7909,80 kN
$\mathbf{0{,}10A_oIW}$	4317,24 kN
$\mathbf{\Delta F_{nx}}$	0,0075 N V_{tx} = 0,0075*11*8665,31 = 714,89 kN
$\mathbf{\Delta F_{ny}}$	0,0075 N V_{ty} = 0,0075*11*7909,80 = 652,56 kN
$\mathbf{F_{bk}}$	$F_{bk} = A_oIw_{bk}/1{,}5 = 0{,}40*1*10850{,}82/1{,}5 = 2893{,}552$ kN

Katlara dağıtılacak deprem kuvvetleri

X yönünde $V_{tx} - \Delta F_{nx} = 8665{,}31 - 714{,}89 = 7950{,}42$ kN

Y yönünde $V_{ty} - \Delta F_{ny} = 7909{,}80 - 652{,}56 = 7257{,}24$ kN

Eşdeğer deprem yüklerinin katlara dağıtılması Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2 : Eşdeğer deprem yüklerinin katlara dağıtılması.

Kat	**h_i (m)**	**H_i (m)**	**w_i (kN)**	**w_i*H_i**	**Oran**	**F_{ix} [kN]**	**F_{iy} [kN]**	**$F_{ix}+\Delta F_{Nx}$ [kN]**	**$F_{iy}+\Delta F_{Ny}$ [kN]**
10	3	33	7111,07	234665,31	0,12473	991,65	905,19	1706,54	1557,75
9	3	30	9775,99	293279,70	0,15588	1239,34	1131,29	1239,34	1131,29
8	3	27	9775,99	263951,73	0,1403	1115,41	1018,16	1115,41	1018,16
7	3	24	9999,86	239996,64	0,12756	1014,18	925,75	1014,18	925,75
6	3	21	9999,86	209997,06	0,11162	887,41	810,03	887,41	810,03
5	3	18	9999,86	179997,48	0,09567	760,63	694,32	760,63	694,32
4	3	15	9999,86	149997,90	0,07973	633,86	578,60	633,86	578,60
3	3	12	10317,11	123805,32	0,0658	523,18	477,56	523,18	477,56
2	3	9	10317,11	92853,99	0,04935	392,38	358,17	392,38	358,17
1	3	6	10317,11	61902,66	0,0329	261,59	238,78	261,59	238,78
Z	3	3	10317,11	30951,33	0,01645	130,79	119,39	130,79	119,39
Toplam			107930,93	1881399,12	1	7950,42	7257,24	8665,31	7909,80

4.1.1.2 Tasarımda kullanılan yük birleşimleri

Türk yönetmeliklerine göre tasarımda şu yük birleşimleri kullanılmıştır:

G+Q

1,4G+1,6Q

G+Q+EXP+0,3EYP

G+Q+EXP-0,3EYP

G+Q-EXP+0,3EYP

G+Q-EXP-0,3EYP

G+Q+EXP+0,3EYN

G+Q+EXP-0,3EYN

G+Q-EXP+0,3EYN

G+Q-EXP-0,3EYN

G+Q+EXN+0,3EYP

G+Q+EXN-0,3EYP

G+Q-EXN+0,3EYP

G+Q-EXN-0,3EYP

G+Q+EXN+0,3EYN

G+Q+EXN-0,3EYN

G+Q-EXN+0,3EYN

G+Q-EXN-0,3EYN

0,9G+EXP+0,3EYP

0,9G+EXP-0,3EYP

0,9G-EXP+0,3EYP

0,9G-EXP-0,3EYP

0,9G+EXP+0,3EYN

0,9G+EXP-0,3EYN

0,9G-EXP+0,3EYN

0,9G-EXP-0,3EYN

0,9G+EXN+0,3EYP

0,9G+EXN-0,3EYP

0,9G-EXN+0,3EYP

0,9G-EXN-0,3EYP

0,9G+EXN+0,3EYN

0,9G+EXN-0,3EYN

0,9G-EXN+0,3EYN

0,9G-EXN-0,3EYN

G+Q+EYP+0,3EXP

G+Q+EYP-0,3EXP

G+Q-EYP+0,3EXP

G+Q-EYP-0,3EXP

G+Q+EYP+0,3EXN

G+Q+EYP-0,3EXN

G+Q-EYP+0,3EXN

G+Q-EYP-0,3EXN

G+Q+EYN+0,3EXP

G+Q+EYN-0,3EXP

G+Q-EYN+0,3EXP

G+Q-EYN-0,3EXP

G+Q+EYN+0,3EXN

G+Q+EYN-0,3EXN

G+Q-EYN+0,3EXN

G+Q-EYN-0,3EXN

0,9G+EYP+0,3EXP

0,9G+EYP-0,3EXP

0,9G-EYP+0,3EXP

0,9G-EYP-0,3EXP

0,9G+EYP+0,3EXN

0,9G+EYP-0,3EXN

0,9G-EYP+0,3EXN

0,9G-EYP-0,3EXN

0,9G+EYN+0,3EXP

0,9G+EYN-0,3EXP

0,9G-EYN+0,3EXP

0,9G-EYN-0,3EXP

0,9G+EYN+0,3EXN

0,9G+EYN-0,3EXN

0,9G-EYN+0,3EXN

0,9G-EYN-0,3EXN

Burada G sabit yükü, Q hareketli yükü, EXP x doğrultusunda pozitif ek dışmerkezliğin hesaba katıldığı deprem etkisini, EXN x doğrultusunda negatif ek dışmerkezliğin hesaba katıldığı deprem etkisini, EYP y doğrultusunda pozitif ek dışmerkezliğin hesaba katıldığı deprem etkisini, EYN y doğrultusunda negatif ek dışmerkezliğin hesaba katıldığı deprem etkisini göstermektedir.

4.1.1.3 Taşıyıcı sistem çözümü

Sistem, Türk yönetmeliklerine göre tanımlanan yük kombinasyonları için eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılarak SAP2000'de çözülmüş ve kesit tesirleri elde edilmiştir. Elverişsiz durumlar için elde edilen sonuçlar yorumlanmış ve gerekli kontroller yapılmıştır.

4.1.1.4 Düzensizliklerin kontrolü

Ek dışmerkezlik etkisiyle uygulanan eşdeğer deprem yükleri altında A1 burulma düzensizliği kontrolü yapılmıştır. Sonuçlar x doğrultusu için Çizelge 4.3'te, y doğrultusu için Çizelge 4.4'te verilmiştir. Burulma düzensizliği katsayısı her katta 1,2 değerinden küçük çıkmıştır. Yapıda A1 burulma düzensizliği bulunmamaktadır.

Çizelge 4.3 : X doğrultusu için A1 burulma düzensizliğinin kontrolü.

X Doğrultusu							
Kat	**$d_{i\text{-}min}$ [m]**	**$d_{i\text{-}maks}$ [m]**	**$\Delta_{i\text{-}min}$ [m]**	**$\Delta_{i\text{-}maks}$ [m]**	**$\Delta_{i\text{-}ort}$ [m]**	**η_{bi}**	**Düzensizlik**
10	0,031606	0,037413	0,00272	0,00314	0,002928	1,072	YOK
9	0,028889	0,034274	0,00282	0,00330	0,003058	1,078	YOK
8	0,026071	0,030976	0,00291	0,00344	0,003175	1,085	YOK
7	0,023165	0,027533	0,00291	0,00346	0,003184	1,088	YOK
6	0,020260	0,024070	0,00296	0,00356	0,003260	1,092	YOK
5	0,017301	0,020510	0,00298	0,00361	0,003291	1,096	YOK
4	0,014326	0,016904	0,00295	0,00359	0,003271	1,098	YOK
3	0,011374	0,013314	0,00280	0,00338	0,003089	1,094	YOK
2	0,008577	0,009934	0,00269	0,00324	0,002965	1,093	YOK
1	0,005888	0,006694	0,00251	0,00299	0,002748	1,087	YOK
Z	0,003380	0,003706	0,00338	0,00371	0,003543	1,046	YOK

Çizelge 4.4 : Y doğrultusu için A1 burulma düzensizliğinin kontrolü.

Y Doğrultusu							
Kat	**$d_{i\text{-}min}$ [m]**	**$d_{i\text{-}maks}$ [m]**	**$\Delta_{i\text{-}min}$ [m]**	**$\Delta_{i\text{-}maks}$ [m]**	**$\Delta_{i\text{-}ort}$ [m]**	**η_{bi}**	**Düzensizlik**
10	0,025678	0,034779	0,00222	0,00288	0,002552	1,130	YOK
9	0,023459	0,031895	0,00230	0,00305	0,002676	1,140	YOK
8	0,021158	0,028844	0,00237	0,00320	0,002788	1,149	YOK
7	0,018787	0,025640	0,00241	0,00327	0,002841	1,151	YOK
6	0,016376	0,022369	0,00246	0,00338	0,002923	1,158	YOK
5	0,013914	0,018986	0,00247	0,00343	0,00295	1,164	YOK
4	0,011447	0,015553	0,00244	0,00342	0,00293	1,167	YOK
3	0,009006	0,012135	0,00233	0,00322	0,002774	1,161	YOK
2	0,006680	0,008913	0,00219	0,00304	0,002615	1,164	YOK
1	0,004495	0,005869	0,00196	0,00273	0,002341	1,164	YOK
Z	0,002538	0,003144	0,00254	0,00314	0,002841	1,107	YOK

Komşu katlar arası dayanım düzensizliği veya zayıf kat düzensizliği olarak da adlandırılan B1 düzensizliğinin kontrolü yapılmış ve x doğrultusu için elde edilen sonuçlar Çizelge 4.5'te, y doğrultusu için elde edilen sonuçlar Çizelge 4.6'da verilmiştir. Herhangi bir kattaki etkili kesme alanının bir üst kattaki etkili kesme alanına oranı olan dayanım düzensizliği katsayısı, 0,80 değerinden küçük çıkmadığından yapıda B1 zayıf kat düzensizliği bulunmamaktadır.

Çizelge 4.5 : X doğrultusu için B1 zayıf kat düzensizliğinin kontrolü.

X Doğrultusu						
Kat	**A_{kolon} ΣA_w [m^2]**	**A_{perde} ΣA_g [m^2]**	**A_{duvar} ΣA_k [m^2]**	**Etkili kesme alanı $\Sigma A_e = \Sigma A_w + \Sigma A_g + 0{,}15\,\Sigma A_k$ [m^2]**	**η_{ci} $(\Sigma A_{ej}/(\Sigma A_e)_{i+1}$**	**Düzensizlik**
10	4,44	7,377	39,546	17,75	-	YOK
9	4,44	7,377	39,546	17,75	1,00	YOK
8	4,44	7,377	39,546	17,75	1,00	YOK
7	7,425	7,377	39,546	20,73	1,17	YOK
6	7,425	7,377	39,546	20,73	1,00	YOK
5	7,425	7,377	39,546	20,73	1,00	YOK
4	7,425	7,377	39,546	20,73	1,00	YOK
3	11,66	7,377	39,546	24,96	1,20	YOK
2	11,66	7,377	39,546	24,96	1,00	YOK
1	11,66	7,377	39,546	24,96	1,00	YOK
Z	11,66	7,377	39,546	24,96	1,00	YOK

Çizelge 4.6 : Y doğrultusu için B1 zayıf kat düzensizliğinin kontrolü.

Y Doğrultusu						
Kat	A_{kolon} ΣA_w [m^2]	A_{perde} ΣA_g [m^2]	A_{duvar} ΣA_k [m^2]	Etkili kesme alanı $\Sigma A_e = \Sigma A_w + \Sigma A_g + 0{,}15\,\Sigma A_k$ [m^2]	η_{ci} $(\Sigma A_{e)i}/(\Sigma A_e)_{i+1}$	Düzensizlik
10	4,44	8,118	37,092	18,12	-	YOK
9	4,44	8,118	37,092	18,12	1,00	YOK
8	4,44	8,118	37,092	18,12	1,00	YOK
7	7,425	8,118	37,092	21,11	1,16	YOK
6	7,425	8,118	37,092	21,11	1,00	YOK
5	7,425	8,118	37,092	21,11	1,00	YOK
4	7,425	8,118	37,092	21,11	1,00	YOK
3	11,66	8,118	37,092	25,34	1,20	YOK
2	11,66	8,118	37,092	25,34	1,00	YOK
1	11,66	8,118	37,092	25,34	1,00	YOK
Z	11,66	8,118	37,092	25,34	1,00	YOK

B2 komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (yumuşak kat) kontrolü yapılmış ve x doğrultusu için sonuçlar Çizelge 4.7'de, y doğrultusu için sonuçlar Çizelge 4.8'de verilmiştir. Katlardaki ortalama göreli kat ötelemelerinin oranlanmasıyla bulunan rijitlik düzensizliği katsayısı 2'den büyük çıkmadığından, yapıda B2 düzensizliği bulunmamaktadır.

Çizelge 4.7 : X doğrultusu için B2 yumuşak kat düzensizliğinin kontrolü.

X Doğrultusu						
Kat	$d_{i\text{-}ort}$ [m]	$\Delta_{i\text{-}ort}$ [m]	$(\Delta_i/h_i)_{ort}$ [m]	η_{ki}		Düzensizlik
				$(\Delta_i/h_i)_{ort}/(\Delta_{i+1}/h_{i+1})_{ort}$ [m]	$(\Delta_i/h_i)_{ort}/(\Delta_{i-1}/h_{i-1})_{ort}$ [m]	
10	0,034510	0,002928	0,000976	-	0,96	YOK
9	0,031582	0,003058	0,001019	1,04	0,96	YOK
8	0,028524	0,003175	0,001058	1,04	1,00	YOK
7	0,025349	0,003184	0,001061	1,00	0,98	YOK
6	0,022165	0,003260	0,001087	1,02	0,99	YOK
5	0,018906	0,003291	0,001097	1,01	1,01	YOK
4	0,015615	0,003271	0,001090	0,99	1,06	YOK
3	0,012344	0,003089	0,001030	0,94	1,04	YOK
2	0,009256	0,002965	0,000988	0,96	1,08	YOK
1	0,006291	0,002748	0,000916	0,93	0,78	YOK
Z	0,003543	0,003543	0,001181	1,29	-	YOK

Çizelge 4.8 : Y doğrultusu için B2 yumuşak kat düzensizliğinin kontrolü.

Y Doğrultusu						
Kat	**$d_{i\text{-}ort}$ [m]**	**$\Delta_{i\text{-}ort}$ [m]**	**$(\Delta_i/h_i)_{ort}$ [m]**	**η_{ki}**		**Düzensizlik**
				$(\Delta_i/h_i)_{ort}/(\Delta_{i+1}/h_{i+1})_{ort}$ [m]	**$(\Delta_i/h_i)_{ort}/(\Delta_{i-1}/h_{i-1})_{ort}$ [m]**	
10	0,030229	0,002552	0,000850	-	0,95	YOK
9	0,027677	0,002676	0,000892	1,05	0,96	YOK
8	0,025001	0,002788	0,000929	1,04	0,98	YOK
7	0,022214	0,002841	0,000947	1,02	0,97	YOK
6	0,019373	0,002923	0,000974	1,03	0,99	YOK
5	0,016450	0,002950	0,000983	1,01	1,01	YOK
4	0,013500	0,002930	0,000977	0,99	1,06	YOK
3	0,010571	0,002774	0,000925	0,95	1,06	YOK
2	0,007797	0,002615	0,000872	0,94	1,12	YOK
1	0,005182	0,002341	0,000780	0,90	0,82	YOK
Z	0,002841	0,002841	0,000947	1,21	-	YOK

4.1.1.5 Etkin göreli kat ötelemelerinin kontrolü

DBYBHY'de etkin göreli kat ötelemelerinin hesaplanması ve sınırlandırılmasıyla ilgili koşul şu şekilde açıklanmıştır:

1) Herhangi bir kolon veya perde için , ardışık iki kat arasındaki yer değiştirme farkını ifade eden azaltılmış göreli kat ötelemesi Δ_i, **(4.1)** denklemiyle elde edilecektir.

$$\Delta_i = d_i - d_{i-1} \qquad \textbf{(4.1)}$$

(4.1) denkleminde d_i ve d_{i-1}, her bir deprem doğrultusu için binanın i'inci ve (i-1)'inci katlarında herhangi bir kolon veya perdenin uçlarında azaltılmış deprem yüklerine göre hesaplanan yatay yer değiştirmeleri ifade etmektedir. Ancak DBYBHY Madde 2.7.4.2'de ifade edilen bodrum kat(lar) hariç kat sayısı N > 13 olan binalarda doğal periyodun 0,1N'den büyük olmama koşulu ve DBYBHY Denklem (2.4)'te tanımlanan minimum eşdeğer deprem yükü koşulu d_i'nin ve Δ_i'nin hesabında göz önüne alınmayabilir.

2) Her bir deprem doğrultusu için, binanın i'inci katındaki kolon ya da perdeler için etkin göreli kat ötelemesi δ_i, **(4.2)** denklemiyle ifade edilecektir.

$$\delta_i = R\ \Delta_i \qquad \textbf{(4.2)}$$

(4.2) denkleminde R, taşıyıcı sistem davranış katsayısını göstermektedir.

3) Her bir deprem doğrultusu için, binanın herhangi bir i'inci katındaki kolon veya perdelerde, **(4.2)** denklemiyle hesaplanan δ_i etkin göreli kat ötelemelerinin kat içindeki en büyük değeri $(\delta_i)_{maks}$, **(4.3)** denkleminde verilen koşulu sağlayacaktır.

$$\frac{(\delta_i)_{maks}}{h_i} \leq 0{,}02 \qquad \textbf{(4.3)}$$

(4.3) denkleminde verilen koşulun binanın herhangi bir katında sağlanamaması durumunda, taşıyıcı sistemin rijitliği arttırılarak deprem hesabının tekrarlanması gerekmektedir. Ancak verilen koşul sağlansa bile, yapısal olmayan gevrek elemanların (cephe elemanları vb.) etkin göreli kat ötelemeleri altında kullanılabilirliği hesapla doğrulanmalıdır.

Etkin göreli kat ötelemelerinin kontrolü eşdeğer deprem yükleri altında, ek dışmerkezlik etkilerinin göz önüne alınmasıyla yapılmıştır. Yönetmelikte verilen koşul, her iki deprem doğrultusu için de sağlanmış olup sonuçlar Çizelge 4.9'da verilmiştir. Burada, EXP yüklemesi x doğrultusunda pozitif ek dışmerkezliğin hesaba katıldığı deprem etkisini, EXN yüklemesi x doğrultusunda negatif ek dışmerkezliğin hesaba katıldığı deprem etkisini, EYP yüklemesi y doğrultusunda pozitif ek dışmerkezliğin hesaba katıldığı deprem etkisini, EYN yüklemesi y doğrultusunda negatif ek dışmerkezliğin hesaba katıldığı deprem etkisini göstermektedir.

Çizelge 4.9 incelendiğinde, $(\delta_i)_{maks}/h_i$ değerinin 0,02'den küçük olduğu, etkin göreli kat ötelemeleri ilgili şartı sağlamış olup bu açıdan herhangi bir problem olmadığı gözlenmektedir.

Çizelge 4.9 : Etkin göreli kat ötelemelerinin kontrolü.

X Doğrultusu			
Kat	**h_i [m]**	**Yükleme**	**$\delta_i/h_i = R\Delta_i/h_i$**
10	3,00	EXP	0,006338
		EXN	0,007323
9	3,00	EXP	0,006576
		EXN	0,007696
8	3,00	EXP	0,006779
		EXN	0,008031
7	3,00	EXP	0,006777
		EXN	0,008080
6	3,00	EXP	0,006903
		EXN	0,008304
5	3,00	EXP	0,006941
		EXN	0,008414
4	3,00	EXP	0,006887
		EXN	0,008375
3	3,00	EXP	0,006525
		EXN	0,007886
2	3,00	EXP	0,006273
		EXN	0,007558
1	3,00	EXP	0,005851
		EXN	0,006971
Z	3,00	EXP	0,005088
		EXN	0,005827
Y Doğrultusu			
Kat	**h_i [m]**	**Yükleme**	**$\delta_i/h_i = R\Delta_i/h_i$**
10	3,00	EYP	0,006729
		EYN	0,005178
9	3,00	EYP	0,007118
		EYN	0,005367
8	3,00	EYP	0,007475
		EYN	0,005531
7	3,00	EYP	0,007631
		EYN	0,005625
6	3,00	EYP	0,007892
		EYN	0,005744
5	3,00	EYP	0,008009
		EYN	0,005756
4	3,00	EYP	0,007974
		EYN	0,005695
3	3,00	EYP	0,007518
		EYN	0,005426
2	3,00	EYP	0,007100
		EYN	0,005098
1	3,00	EYP	0,006359
		EYN	0,004568
Z	3,00	EYP	0,005223
		EYN	0,003958

4.1.1.6 İkinci mertebe etkilerin kontrolü

DBYBHY'ye göre, taşıyıcı sistem elemanlarının doğrusal elastik olmayan davranışını esas alan daha kesin bir hesap yapılmadıkça, ikinci mertebe etkileri yaklaşık olarak aşağıdaki şekilde göz önüne alınabilir:

Göz önüne alınan deprem doğrultusunda her bir katta, ikinci mertebe gösterge değeri θ_i'nin **(4.4)** denkleminde verilen koşulu sağlaması durumunda, ikinci mertebe etkileri yürürlükteki betonarme ve çelik yapı yönetmeliklerine göre değerlendirilecektir.

$$\theta_i = \frac{(\Delta_i)_{ort} \sum_{j=1}^{N} w_j}{V_i h_i} \leq 0{,}12 \qquad \textbf{(4.4)}$$

(4.4) denkleminde θ_i i'inci kat için ikinci mertebe gösterge değerini, $(\Delta_i)_{ort}$ binanın i'inci katındaki ortalama azaltılmış göreli kat ötelemesini, w binanın ilgili katının hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak hesaplanan ağırlığını, V_i göz önüne alınan deprem doğrultusunda binanın i'inci katına etki eden kat kesme kuvvetini, h_i binanın i'inci katının kat yüksekliğini göstermektedir. $(\Delta_i)_{ort}$, i'inci kattaki kolon ve perdelerde hesaplanan azaltılmış göreli kat ötelemelerinin kat içindeki ortalama değeri olarak DBYBHY (2007) Madde 2.10.1.1'e göre bulunur.

(4.4) denkleminde verilen koşulun herhangi bir katta sağlanamaması durumunda, taşıyıcı sistemin rijitliği yeterli ölçüde arttırılarak deprem hesabı tekrarlanacaktır.

İkinci mertebe etkilerinin kontrolü, eşdeğer deprem yükleri altında, ek dışmerkezlik etkileri göz önüne alınarak yapılmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 4.10'da gösterilmiştir. Yönetmelikte verilen ikinci mertebe gösterge değerinin 0,12 değerini aşmaması koşulu her katta sağlanmıştır.

Çizelge 4.10 : İkinci mertebe etkilerin kontrolü.

X Doğrultusu							
Kat	**h_i [m]**	**$(\Delta_i)_{ort}$ [m]**	**w_j [kN]**	**Σw_j [kN]**	**F_{ix} [kN]**	**V_j [kN]**	**θ_i**
10	3,00	0,002928	7111,07	7111,07	1706,54	1706,54	0,00407
9	3,00	0,003058	9775,99	16887,06	1239,34	2945,88	0,00584
8	3,00	0,003175	9775,99	26663,05	1115,41	4061,29	0,00695
7	3,00	0,003184	9999,86	36662,91	1014,18	5075,47	0,00767
6	3,00	0,003260	9999,86	46662,77	887,41	5962,88	0,00850
5	3,00	0,003291	9999,86	56662,63	760,63	6723,51	0,00925
4	3,00	0,003271	9999,86	66662,49	633,86	7357,37	0,00988
3	3,00	0,003089	10317,11	76979,6	523,18	7880,55	0,01006
2	3,00	0,002965	10317,11	87296,71	392,38	8272,93	0,01043
1	3,00	0,002748	10317,11	97613,82	261,59	8534,52	0,01048
Z	3,00	0,003543	10317,11	107930,93	130,79	8665,31	0,01471
Y Doğrultusu							
Kat	**h_i [m]**	**$(\Delta_i)_{ort}$ [m]**	**w_j [kN]**	**Σw_j [kN]**	**F_{iy} [kN]**	**V_j [kN]**	**θ_i**
10	3,00	0,002552	7111,07	7111,07	1557,75	1557,75	0,00388
9	3,00	0,002676	9775,99	16887,06	1131,29	2689,04	0,00560
8	3,00	0,002788	9775,99	26663,05	1018,16	3707,2	0,00668
7	3,00	0,002841	9999,86	36662,91	925,75	4632,95	0,00749
6	3,00	0,002923	9999,86	46662,77	810,03	5442,98	0,00835
5	3,00	0,002950	9999,86	56662,63	694,32	6137,3	0,00908
4	3,00	0,002930	9999,86	66662,49	578,60	6715,9	0,00969
3	3,00	0,002774	10317,11	76979,6	477,56	7193,46	0,00990
2	3,00	0,002615	10317,11	87296,71	358,17	7551,63	0,01008
1	3,00	0,002341	10317,11	97613,82	238,78	7790,41	0,00978
Z	3,00	0,002841	10317,11	107930,93	119,39	7909,8	0,01292

4.1.1.7 Mod birleştirme yöntemi hesapları

Bu çalışmada, incelenen yapıda eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabilmesi için gerekli koşullar sağlandığından sistem çözümü eşdeğer deprem yükü yöntemi ile yapılmış olup mod birleştirme yöntemiyle çözüm yapılmamıştır; ancak mod birleştirme yöntemi uygulanmak istendiğinde kullanılacak parametreler her bir yönetmelik için ayrı ayrı verilmiştir.

Mod birleştirme yöntemi uygulanırken kullanılan parametreler şu şekildedir:

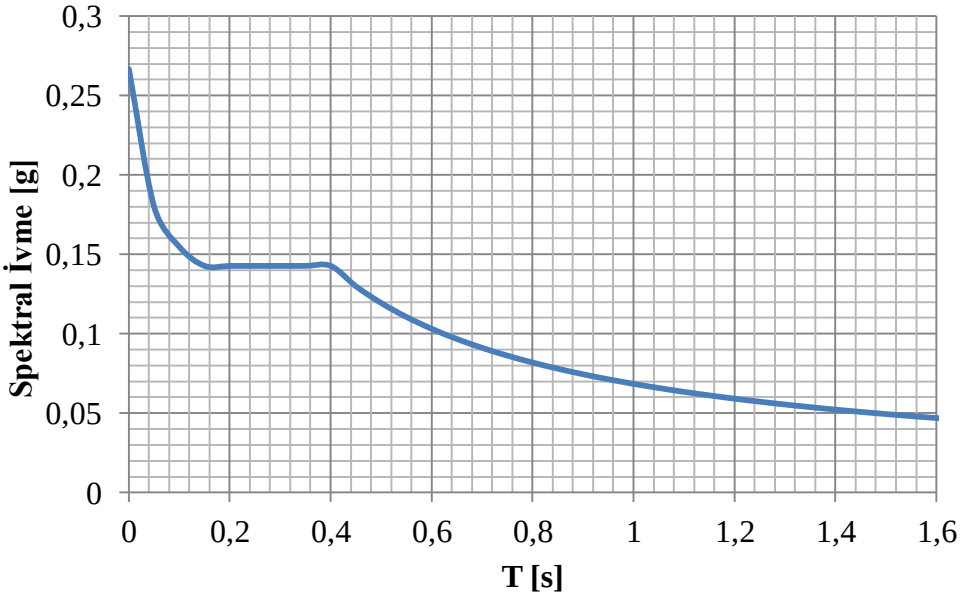
Deprem Bölgesi: 1 (A_0 = 0,40)

Yerel Zemin Sınıfı: Z2 (T_A = 0,15 s ve T_B = 0,40 s)

Bina Önem Katsayısı: I=1

Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı: R=7

Bu parametrelere dayanarak oluşturulan azaltılmış ivme spektrumu Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1 : Türk yönetmeliklerine göre azaltılmış ivme spektrumu.

4.1.2 Kesit tasarımlarının yapılması

Bu aşamada, Türk yönetmelikleri esas alınarak eşdeğer deprem yükü yöntemine göre zemin kat tavan kirişleriyle zemin kattaki kolon ve perdeler için eğilme tasarımları yapılmıştır.

4.1.2.1 Kiriş kesitlerinin tasarımı

Zemin kat tavanı kirişlerinin eğilme tasarımı yapılmış olup donatılarda pilye uygulanmamıştır. Pas payı 30 mm alınmıştır. Minimum ve maksimum donatı oranları şu şekildedir:

Minimum donatı oranı: $0,8(f_{ctd}/f_{yd})$

Maksimum donatı oranı: $\min(0,85\rho_b; 0,02)$

X doğrultusu için elde edilen sonuçlar Çizelge 4.11'de verilmiştir.

Çizelge 4.11 : X doğrultusu kiriş boyuna donatıları.

Kesit	$A_{s,\,hesap}$ [mm^2]	Donatı
K101 sol üst mesnet	561	2Φ14+2Φ14 (616 mm^2)
K101 sol alt mesnet	468	4Φ14 (616 mm^2)
K101 açıklık	468	4Φ14 (616 mm^2)
K101-K102 üst	575	2Φ14+2Φ14 (616 mm^2)
K101-K102 alt	468	4Φ14 (616 mm^2)
K102 açıklık	468	4Φ14 (616 mm^2)
K102-K103 üst	1024	2Φ14+5Φ14 (1078 mm^2)
K102-K103 alt	699	4Φ14+1Φ14 (770 mm^2)
K103 açıklık	468	4Φ14 (616 mm^2)
K103 sağ üst mesnet	1035	2Φ14+5Φ14 (1078 mm^2)
K103 sağ alt mesnet	501	4Φ14 (616 mm^2)
K104 sol üst mesnet	900	2Φ14+5Φ14 (1078 mm^2)
K104 sol alt mesnet	468	4Φ14 (616 mm^2)
K104 açıklık	491	4Φ14 (616 mm^2)
K104-K105 üst	966	2Φ14+5Φ14 (1078 mm^2)
K104-K105 alt	542	4Φ14 (616 mm^2)
K105 açıklık	468	4Φ14 (616 mm^2)
K105-K106 üst	761	2Φ14+3Φ14 (770 mm^2)
K105-K106 alt	562	4Φ14 (616 mm^2)
K106 açıklık	468	4Φ14 (616 mm^2)
K106 sağ üst mesnet	720	2Φ14+3Φ14 (770 mm^2)
K106 sağ alt mesnet	468	4Φ14 (616 mm^2)
K107 sol üst mesnet	1103	2Φ14+4Φ16 (1112 mm^2)
K107 sol alt mesnet	531	4Φ14 (616 mm^2)

Çizelge 4.11 (devam) : X doğrultusu kiriş boyuna donatıları.

Kesit	$A_{s,\ hesap}$ [mm^2]	Donatı
K107 açıklık	468	4Φ14 (616 mm^2)
K107-K108 üst	1196	2Φ14+5Φ16 (1313 mm^2)
K107-K108 alt	734	4Φ14+1Φ14 (770 mm^2)
K108 açıklık	468	4Φ14 (616 mm^2)
K108 sağ üst mesnet	847	2Φ14+4Φ14 (924 mm^2)
K108 sağ alt mesnet	778	4Φ14+2Φ14 (924 mm^2)
K109 sol üst mesnet	1131	2Φ14+5Φ16 (1313 mm^2)
K109 sol alt mesnet	544	4Φ14 (616 mm^2)
K109 açıklık	506	4Φ14 (616 mm^2)
K109-K110 üst	1122	2Φ14+5Φ16 (1313 mm^2)
K109-K110 alt	692	4Φ14+1Φ14 (770 mm^2)
K110 açıklık	468	4Φ14 (616 mm^2)
K110-K111 üst	754	2Φ14+3Φ14 (770 mm^2)
K110-K111 alt	578	4Φ14 (616 mm^2)
K111 açıklık	468	4Φ14 (616 mm^2)
K111 sağ üst mesnet	468	2Φ14+2Φ14 (616 mm^2)
K111 sağ alt mesnet	468	4Φ14 (616 mm^2)
K113 sol üst mesnet	489	2Φ14+2Φ14 (616 mm^2)
K113 sol alt mesnet	468	4Φ14 (616 mm^2)
K113 açıklık	543	4Φ14 (616 mm^2)
K113 sağ üst mesnet	634	2Φ14+3Φ14 (770 mm^2)
K113 sağ alt mesnet	639	4Φ14+1Φ14 (770 mm^2)
K112 sol üst mesnet	963	2Φ14+5Φ14 (1078 mm^2)
K112 sol alt mesnet	565	4Φ14 (616 mm^2)
K112 açıklık	468	4Φ14 (616 mm^2)
K112-K114 üst	499	2Φ14+2Φ14 (616 mm^2)
K112-K114 alt	468	4Φ14 (616 mm^2)
K114 açıklık	468	4Φ14 (616 mm^2)
K114-K115 üst	487	2Φ14+2Φ14 (616 mm^2)
K114-K115 alt	468	4Φ14 (616 mm^2)
K115 açıklık	468	4Φ14 (616 mm^2)
K115-K116 üst	468	2Φ14+2Φ14 (616 mm^2)
K115-K116 alt	468	4Φ14 (616 mm^2)
K116 açıklık	468	4Φ14 (616 mm^2)
K116-K117 üst	468	2Φ14+2Φ14 (616 mm^2)
K116-K117 alt	468	4Φ14 (616 mm^2)
K117 açıklık	468	4Φ14 (616 mm^2)
K117-K118 üst	683	2Φ14+3Φ14 (770 mm^2)
K117-K118 alt	593	4Φ14 (616 mm^2)
K118 açıklık	468	4Φ14 (616 mm^2)
K118 sağ üst mesnet	910	2Φ14+4Φ14 (924 mm^2)
K118 sağ alt mesnet	605	4Φ14 (616 mm^2)
K119 sol üst mesnet	1209	2Φ14+5Φ16 (1313 mm^2)
K119 sol alt mesnet	580	4Φ14 (616 mm^2)
K119 açıklık	468	4Φ14 (616 mm^2)
K119-K120 üst	1071	2Φ14+5Φ14 (1078 mm^2)

Çizelge 4.11 (devam) : X doğrultusu kiriş boyuna donatıları.

Kesit	$A_{s,\ hesap}$ [mm^2]	Donatı
K119-K120 alt	620	4Φ14+1Φ14 (770 mm^2)
K120 açıklık	468	4Φ14 (616 mm^2)
K120-K121 üst	796	2Φ14+4Φ14 (924 mm^2)
K120-K121 alt	713	4Φ14+1Φ14 (770 mm^2)
K121 açıklık	468	4Φ14 (616 mm^2)
K121-K122 üst	618	2Φ14+3Φ14 (770 mm^2)
K121-K122 alt	468	4Φ14 (616 mm^2)
K122 açıklık	468	4Φ14 (616 mm^2)
K122-K123 üst	719	2Φ14+3Φ14 (770 mm^2)
K122-K123 alt	468	4Φ14 (616 mm^2)
K123 açıklık	468	4Φ14 (616 mm^2)
K123-K124 üst	728	2Φ14+3Φ14 (770 mm^2)
K123-K124 alt	468	4Φ14 (616 mm^2)
K124 açıklık	468	4Φ14 (616 mm^2)
K124 sağ üst mesnet	890	2Φ14+4Φ14 (924 mm^2)
K124 sağ alt mesnet	468	4Φ14 (616 mm^2)
K125 sol üst mesnet	1034	2Φ14+5Φ14 (1078 mm^2)
K125 sol alt mesnet	499	4Φ14 (616 mm^2)
K125 açıklık	489	4Φ14 (616 mm^2)
K125-K126 üst	1106	2Φ14+4Φ16 (1112 mm^2)
K125-K126 alt	661	4Φ14+1Φ14 (770 mm^2)
K126 açıklık	468	4Φ14 (616 mm^2)
K126-K127 üst	894	2Φ14+4Φ14 (924 mm^2)
K126-K127 alt	669	4Φ14+1Φ14 (770 mm^2)
K127 açıklık	468	4Φ14 (616 mm^2)
K127-K128 üst	967	2Φ14+5Φ14 (1078 mm^2)
K127-K128 alt	515	4Φ14 (616 mm^2)
K128 açıklık	468	4Φ14 (616 mm^2)
K128 sağ üst mesnet	743	2Φ14+3Φ14 (770 mm^2)
K128 sağ alt mesnet	468	4Φ14 (616 mm^2)
K129 sol üst mesnet	1009	2Φ14+5Φ14 (1078 mm^2)
K129 sol alt mesnet	674	4Φ14+1Φ14 (770 mm^2)
K129 açıklık	468	4Φ14 (616 mm^2)
K129-K130 üst	863	2Φ14+4Φ14 (924 mm^2)
K129-K130 alt	699	4Φ14+1Φ14 (770 mm^2)
K130 açıklık	468	4Φ14 (616 mm^2)
K130-K131 üst	863	2Φ14+4Φ14 (924 mm^2)
K130-K131 alt	701	4Φ14+1Φ14 (770 mm^2)
K131 açıklık	468	4Φ14 (616 mm^2)
K131-K132 üst	920	2Φ14+4Φ14 (924 mm^2)
K131-K132 alt	793	4Φ14+2Φ14 (924 mm^2)
K132 açıklık	642	5Φ14 (770 mm^2)
K132 sağ üst mesnet	855	2Φ14+4Φ14 (924 mm^2)
K132 sağ alt mesnet	763	5Φ14 (770 mm^2)

Türk yönetmelikleri kullanılarak eşdeğer deprem yükü yöntemiyle hesaplanan y doğrultusu kiriş boyuna donatıları Çizelge 4.12'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.12 : Y doğrultusu kiriş boyuna donatıları.

Kesit	$A_{s,\,hesap}$ [mm^2]	Donatı
K133 sol üst mesnet	608	2Φ14+2Φ14 (616 mm^2)
K133 sol alt mesnet	468	4Φ14 (616 mm^2)
K133 açıklık	468	4Φ14 (616 mm^2)
K133-K134 üst	918	2Φ14+4Φ14 (924 mm^2)
K133-K134 alt	579	4Φ14 (616 mm^2)
K134 açıklık	468	4Φ14 (616 mm^2)
K134-K135 üst	902	2Φ14+4Φ14 (924 mm^2)
K134-K135 alt	468	4Φ14 (616 mm^2)
K135 açıklık	468	4Φ14 (616 mm^2)
K135-K136 üst	995	2Φ14+5Φ14 (1078 mm^2)
K135-K136 alt	574	4Φ14 (616 mm^2)
K136 açıklık	468	4Φ14 (616 mm^2)
K136-K137 üst	810	2Φ14+4Φ14 (924 mm^2)
K136-K137 alt	468	4Φ14 (616 mm^2)
K137 açıklık	468	4Φ14 (616 mm^2)
K137-K138 üst	857	2Φ14+4Φ14 (924 mm^2)
K137-K138 alt	588	4Φ14 (616 mm^2)
K138 açıklık	468	4Φ14 (616 mm^2)
K138 sağ üst mesnet	558	2Φ14+2Φ14 (616 mm^2)
K138 sağ alt mesnet	468	4Φ14 (616 mm^2)
K139 sol üst mesnet	1105	2Φ14+4Φ16 (1112 mm^2)
K139 sol alt mesnet	532	4Φ14 (616 mm^2)
K139 açıklık	484	4Φ14 (616 mm^2)
K139-K140 üst	1002	2Φ14+5Φ14 (1078 mm^2)
K139-K140 alt	561	4Φ14 (616 mm^2)
K140 açıklık	468	4Φ14 (616 mm^2)
K140-K141 üst	726	2Φ14+3Φ14 (770 mm^2)
K140-K141 alt	594	4Φ14 (616 mm^2)
K141 açıklık	468	4Φ14 (616 mm^2)
K141-K142 üst	827	2Φ14+4Φ14 (924 mm^2)
K141-K142 alt	468	4Φ14 (616 mm^2)
K142 açıklık	468	4Φ14 (616 mm^2)
K142-K143 üst	877	2Φ14+4Φ14 (924 mm^2)
K142-K143 alt	468	4Φ14 (616 mm^2)
K143 açıklık	468	4Φ14 (616 mm^2)
K143-K144 üst	936	2Φ14+5Φ14 (1078 mm^2)
K143-K144 alt	729	4Φ14+1Φ14 (770 mm^2)
K144 açıklık	468	4Φ14 (616 mm^2)
K144-K145 üst	1038	2Φ14+5Φ14 (1078 mm^2)
K144-K145 alt	607	4Φ14 (616 mm^2)
K145 açıklık	487	4Φ14 (616 mm^2)
K145 sağ üst mesnet	1190	2Φ14+5Φ16 (1313 mm^2)
K145 sağ alt mesnet	571	4Φ14 (616 mm^2)

Çizelge 4.12 (devam) : Y doğrultusu kiriş boyuna donatıları.

Kesit	$A_{s,\ hesap}$ [mm^2]	Donatı
K146 sol üst mesnet	943	2Φ14+5Φ14 (1078 mm^2)
K146 sol alt mesnet	468	4Φ14 (616 mm^2)
K146 açıklık	468	4Φ14 (616 mm^2)
K146-K147 üst	1186	2Φ14+5Φ16 (1313 mm^2)
K146-K147 alt	701	4Φ14+1Φ14 (770 mm^2)
K147 açıklık	468	4Φ14 (616 mm^2)
K147-K148 üst	1078	2Φ14+5Φ14 (1078 mm^2)
K147-K148 alt	982	4Φ14+3Φ14 (1078 mm^2)
K148 açıklık	468	4Φ14 (616 mm^2)
K148 sağ üst mesnet	562	2Φ14+2Φ14 (616 mm^2)
K148 sağ alt mesnet	590	4Φ14 (616 mm^2)
K149 sol üst mesnet	1094	2Φ14+4Φ16 (1112 mm^2)
K149 sol alt mesnet	1149	2Φ14+5Φ16 (1313 mm^2)
K149 açıklık	564	4Φ14 (616 mm^2)
K149 sağ üst mesnet	630	2Φ14+3Φ14 (770 mm^2)
K149 sağ alt mesnet	599	4Φ14 (616 mm^2)
K150 sol üst mesnet	891	2Φ14+4Φ14 (924 mm^2)
K150 sol alt mesnet	791	4Φ14+2Φ14 (924 mm^2)
K150 açıklık	515	4Φ14 (616 mm^2)
K150-K151 üst	1273	2Φ14+5Φ16 (1313 mm^2)
K150-K151 alt	852	4Φ14+2Φ14 (924 mm^2)
K151 açıklık	468	4Φ14 (616 mm^2)
K151 sağ üst mesnet	1031	2Φ14+5Φ14 (1078 mm^2)
K151 sağ alt mesnet	498	4Φ14 (616 mm^2)
K152 sol üst mesnet	1061	2Φ14+5Φ14 (1078 mm^2)
K152 sol alt mesnet	512	4Φ14 (616 mm^2)
K152 açıklık	468	4Φ14 (616 mm^2)
K152-K153 üst	970	2Φ14+5Φ14 (1078 mm^2)
K152-K153 alt	468	4Φ14 (616 mm^2)
K153 açıklık	468	4Φ14 (616 mm^2)
K153-K154 üst	765	2Φ14+3Φ14 (770 mm^2)
K153-K154 alt	670	4Φ14+1Φ14 (770 mm^2)
K154 açıklık	468	4Φ14 (616 mm^2)
K154 sağ üst mesnet	468	2Φ14+2Φ14 (616 mm^2)
K154 sağ alt mesnet	468	4Φ14 (616 mm^2)
K155 sol üst mesnet	994	2Φ14+5Φ14 (1078 mm^2)
K155 sol alt mesnet	998	4Φ14+3Φ14 (1078 mm^2)
K155 açıklık	680	5Φ14 (770 mm^2)
K155 sağ üst mesnet	468	2Φ14+2Φ14 (616 mm^2)
K155 sağ alt mesnet	468	4Φ14 (616 mm^2)
K156 sol üst mesnet	712	2Φ14+3Φ14 (770 mm^2)
K156 sol alt mesnet	593	4Φ14 (616 mm^2)
K156 açıklık	468	4Φ14 (616 mm^2)
K156-K157 üst	1042	2Φ14+4Φ16 (1112 mm^2)
K156-K157 alt	580	4Φ14 (616 mm^2)
K157 açıklık	488	4Φ14 (616 mm^2)
K157 sağ üst mesnet	1134	2Φ14+5Φ16 (1313 mm^2)
K157 sağ alt mesnet	545	4Φ14 (616 mm^2)
K158 sol üst mesnet	523	2Φ14+2Φ14 (616 mm^2)
K158 sol alt mesnet	468	4Φ14 (616 mm^2)

Çizelge 4.12 (devam) : Y doğrultusu kiriş boyuna donatıları.

Kesit	$A_{s,\ hesap}$ [mm^2]	Donatı
K158 açıklık	468	4Φ14 (616 mm^2)
K158-K159 üst	831	2Φ14+4Φ14 (924 mm^2)
K158-K159 alt	540	4Φ14 (616 mm^2)
K159 açıklık	468	4Φ14 (616 mm^2)
K159-K160 üst	1851	2Φ14+5Φ20 (1879 mm^2)
K159-K160 alt	1018	4Φ14+3Φ14 (1078 mm^2)
K160 açıklık	643	5Φ14 (770 mm^2)
K160 sağ üst mesnet	479	2Φ14+2Φ14 (616 mm^2)
K160 sağ alt mesnet	777	5Φ14+1Φ14 (924 mm^2)
K161 sol üst mesnet	1096	2Φ14+5Φ14 (1078 mm^2)
K161 sol alt mesnet	1106	6Φ16 (1206 mm^2)
K161 açıklık	627	5Φ14 (770 mm^2)
K161 sağ üst mesnet	550	2Φ14+2Φ14 (616 mm^2)
K161 sağ alt mesnet	545	4Φ14 (616 mm^2)
K162 sol üst mesnet	863	2Φ14+4Φ14 (924 mm^2)
K162 sol alt mesnet	717	4Φ14+1Φ14 (770 mm^2)
K162 açıklık	497	4Φ14 (616 mm^2)
K162-K163 üst	1166	2Φ14+5Φ16 (1313 mm^2)
K162-K163 alt	789	4Φ14+2Φ14 (924 mm^2)
K163 açıklık	468	4Φ14 (616 mm^2)
K163 sağ üst mesnet	939	2Φ14+5Φ14 (1078 mm^2)
K163 sağ alt mesnet	468	4Φ14 (616 mm^2)
K164 sol üst mesnet	468	2Φ14+2Φ14 (616 mm^2)
K164 sol alt mesnet	468	4Φ14 (616 mm^2)
K164 açıklık	468	4Φ14 (616 mm^2)
K164-K165 üst	735	2Φ14+3Φ14 (770 mm^2)
K164-K165 alt	468	4Φ14 (616 mm^2)
K165 açıklık	468	4Φ14 (616 mm^2)
K165-K166 üst	741	2Φ14+3Φ14 (770 mm^2)
K165-K166 alt	468	4Φ14 (616 mm^2)
K166 açıklık	468	4Φ14 (616 mm^2)
K166-K167 üst	876	2Φ14+4Φ14 (924 mm^2)
K166-K167 alt	638	4Φ14+1Φ14 (770 mm^2)
K167 açıklık	468	4Φ14 (616 mm^2)
K167-K168 üst	997	2Φ14+5Φ14 (1078 mm^2)
K167-K168 alt	527	4Φ14 (616 mm^2)
K168 açıklık	487	4Φ14 (616 mm^2)
K168 sağ üst mesnet	1106	2Φ14+4Φ16 (1112 mm^2)
K168 sağ alt mesnet	532	4Φ14 (616 mm^2)
K169 sol üst mesnet	815	2Φ14+4Φ14 (924 mm^2)
K169 sol alt mesnet	468	4Φ14 (616 mm^2)
K169 açıklık	468	4Φ14 (616 mm^2)
K169-K170 üst	882	2Φ14+4Φ14 (924 mm^2)
K169-K170 alt	468	4Φ14 (616 mm^2)
K170 açıklık	468	4Φ14 (616 mm^2)
K170-K171 üst	685	2Φ14+3Φ14 (770 mm^2)
K170-K171 alt	468	4Φ14 (616 mm^2)
K171 açıklık	468	4Φ14 (616 mm^2)
K171-K172 üst	780	2Φ14+4Φ14 (924 mm^2)
K171-K172 alt	468	4Φ14 (616 mm^2)
K172 açıklık	468	4Φ14 (616 mm^2)
K172 sağ üst mesnet	493	2Φ14+2Φ14 (616 mm^2)
K172 sağ alt mesnet	468	4Φ14 (616 mm^2)

4.1.2.2 Kolon kesitlerinin tasarımı

Zemin kat kolonlarının eğilme tasarımları yapılmıştır. Pas payı 40 mm olarak alınmıştır. Minimum ve maksimum boyuna donatı miktarları şu şekildedir:

Minimum donatı: 0,01 A_c

Maksimum donatı: 0,04 A_c

Hesaplar sonucunda tüm kolonlarda minimum donatı seçilmiştir. Seçilen donatılar Çizelge 4.13'te verilmiştir.

Çizelge 4.13 : Zemin katta kolon boyuna donatıları.

Kolon	Boyut [cm x cm]		Gereken Donatı [mm^2]	Seçilen Donatı
S01-Z	45	65	2925	10Φ22 (3801 mm^2)
S02-Z	65	45	2925	10Φ22 (3801 mm^2)
S03-Z	45	65	2925	10Φ22 (3801 mm^2)
S04-Z	65	45	2925	10Φ22 (3801 mm^2)
S05-Z	45	65	2925	10Φ22 (3801 mm^2)
S06-Z	45	65	2925	10Φ22 (3801 mm^2)
S07-Z	70	55	3850	10Φ24 (4524 mm^2)
S08-Z	50	70	3500	10Φ24 (4524 mm^2)
S09-Z	70	55	3850	10Φ24 (4524 mm^2)
S10-Z	50	70	3500	10Φ24 (4524 mm^2)
S11-Z	70	55	3850	10Φ24 (4524 mm^2)
S12-Z	45	65	2925	10Φ22 (3801 mm^2)
S13-Z	65	45	2925	10Φ22 (3801 mm^2)
S14-Z	50	70	3500	10Φ24 (4524 mm^2)
S15-Z	50	70	3500	10Φ24 (4524 mm^2)
S16-Z	65	45	2925	10Φ22 (3801 mm^2)
S17-Z	50	70	3500	10Φ24 (4524 mm^2)
S18-Z	70	50	3500	10Φ24 (4524 mm^2)
S19-Z	70	50	3500	10Φ24 (4524 mm^2)
S20-Z	50	70	3500	10Φ24 (4524 mm^2)
S21-Z	45	65	2925	10Φ22 (3801 mm^2)
S22-Z	45	65	2925	10Φ22 (3801 mm^2)
S23-Z	65	45	2925	10Φ22 (3801 mm^2)
S24-Z	65	45	2925	10Φ22 (3801 mm^2)
S25-Z	45	65	2925	10Φ22 (3801 mm^2)
S26-Z	65	45	2925	10Φ22 (3801 mm^2)
S27-Z	45	65	2925	10Φ22 (3801 mm^2)
S28-Z	60	30	1800	8Φ20 (2513 mm^2)
S29-Z	65	45	2925	10Φ22 (3801 mm^2)
S30-Z	45	65	2925	10Φ22 (3801 mm^2)
S31-Z	70	55	3850	10Φ24 (4524 mm^2)
S32-Z	50	70	3500	10Φ24 (4524 mm^2)
S33-Z	70	50	3500	10Φ24 (4524 mm^2)
S34-Z	45	65	2925	10Φ22 (3801 mm^2)
S35-Z	45	65	2925	10Φ22 (3801 mm^2)
S36-Z	65	45	2925	10Φ22 (3801 mm^2)
S37-Z	45	65	2925	10Φ22 (3801 mm^2)

4.1.2.3 Perde kesitlerinin tasarımı

Perde kesitleri, perdelerin tabanında elde edilen en elverişsiz moment değerine göre tasarlanmıştır. Boyutsuz moment değerleri çok küçük çıktığından perde uç bölgelerinde minimum donatı olan $0{,}002A_{perde}$ kullanılmıştır. Kritik bölge yüksekliği boyunca uç bölgesi uzunluğu $l_{uç} \geq$ maks($2b_w$; $0{,}2*l_w$) olarak alınmıştır. Gövde donatıları ise perde uç bölgelerinin arasında kalan perde gövdesi brüt enkesit alanının 0,0025'i olarak hesaplanmış ve seçilen donatılar Çizelge 4.14'te verilmiştir.

Çizelge 4.14 : Zemin katta perde boyuna donatıları.

Perde	Boyut [cm x cm]		Minimum Donatı [mm^2]			Seçilen Donatı
			Perde Uç Bölgesi Toplamı	Perde Gövdesi	Toplam	
P01	210	30	2520	675	3195	12Φ20 (3770 mm^2)
P02	210	30	2520	675	3195	12Φ20 (3770 mm^2)
P03	934	30	11208	4200	15408	50Φ20 (15708 mm^2)
P04	685	30	8220	3083	11303	36Φ20 (11310 mm^2)
P05	30	457	5484	2048	7532	24Φ20 (7540 mm^2)
P06	30	457	5484	2048	7532	24Φ20 (7540 mm^2)
P07	30	457	5484	2048	7532	24Φ20 (7540 mm^2)
P08	30	267	3204	1103	4307	14Φ20 (4398 mm^2)
P09	30	267	3204	1103	4307	14Φ20 (4398 mm^2)
P10	30	267	3204	1103	4307	14Φ20 (4398 mm^2)
P11	30	267	3204	1103	4307	14Φ20 (4398 mm^2)
P12	30	267	3204	1103	4307	14Φ20 (4398 mm^2)
P13	210	30	2520	675	3195	12Φ20 (3770 mm^2)
P14	210	30	2520	675	3195	12Φ20 (3770 mm^2)

4.1.3 Donatı metraj ve maliyeti

TS 500 ve Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik esaslarına göre, zemin kat kolon ve perdeleri ile zemin kat tavanı kirişleri için hesaplanan donatı miktarı belirlenmiş ve yapının bir katı için donatı maliyeti çıkarılmıştır. Sonuçlar Çizelge 4.15'te verilmiştir.

Çizelge 4.15 : Zemin katta donatı metraj ve maliyeti.

Yapı Elemanı	**Donatı Miktarı [ton]**	**Birim Fiyat [TL/ton]**	**Maliyet [TL]**
Kiriş	4,213	1325 [18]	5583
Kolon	6,923		9173
Perde	4,016		5321
Toplam	15,152		20076

4.2 Eurocode Yönetmeliklerine Göre Hesap

4.2.1 Deprem hesabı

4.2.1.1 Eşdeğer deprem yükü yöntemi hesapları

Yapının x ve y doğrultularındaki doğal periyotları hesaplanırken, binanın taban seviyesi zemin kat döşemesi olarak alınmış ve yapı yüksekliği 40 metreyi aşmadığından yaklaşık formül kullanılmıştır. Hesapta kullanılan parametreler Çizelge 4.16'da verilmiştir. Çizelge 4.17'de ise modal analizle elde edilen yapı periyotları kullanılarak yapılan eşdeğer deprem yükü yöntemi hesapları görülmektedir.

Çizelge 4.16 : Eşdeğer deprem yükü yöntemi ile hesap.

Deprem Bölgesi	Yüksek sismisite bölgesi
Zemin Grubu	B (T_B = 0,15 s, T_c = 0,50 s)
Bina Önem Katsayısı	I = 1
Yapı Davranış Katsayısı	q = 4,95
Yaklaşık Yöntemle Hesaplanan T_{1x}	H < 40 m, $T_1=C_tH^{3/4}=0{,}050*33^{3/4}=0{,}69$ s
Yaklaşık Yöntemle Hesaplanan T_{1y}	H < 40 m, $T_1=C_tH^{3/4}=0{,}050*33^{3/4}=0{,}69$ s
$S(T_{1x})$	$0{,}4*9{,}81*1{,}2*\frac{2{,}5}{4{,}95}(\frac{0{,}5}{0{,}69})$ = 1,727
$S(T_{1y})$	$0{,}4*9{,}81*1{,}2*\frac{2{,}5}{4{,}95}(\frac{0{,}5}{0{,}69})$ = 1,727
λ	0,85 (Kat sayısı > 2 ve $T_1 \leq 2T_C$)
m	11002,13 kNs^2/m
F_{bx}	1,727*11002,13*0,85 = 16153,078 kN
F_{by}	1,727*11002,13*0,85 = 16153,078 kN

Çizelge 4.17 : Modal analiz sonuçları kullanıldığında EDYY ile hesap.

Deprem Bölgesi	Yüksek sismisite bölgesi
Zemin Grubu	B (T_B = 0,15 s, T_c = 0,50 s)
Bina Önem Katsayısı	I = 1
Yapı Davranış Katsayısı	q = 4,95
T_{1x}	0,821 s
T_{1y}	0,922 s
$S(T_{1x})$	$0{,}4*9{,}81*1{,}2*\frac{2{,}5}{4{,}95}(\frac{0{,}5}{0{,}821})$ = 1,448
$S(T_{1y})$	$0{,}4*9{,}81*1{,}2*\frac{2{,}5}{4{,}95}(\frac{0{,}5}{0{,}922})$ = 1,290
λ	0,85 (Kat sayısı > 2 ve $T_1 \leq 2T_C$)
m	11002,13 kNs^2/m
F_{bx}	1,448*11002,13*0,85 = 13544,644 kN
F_{by}	1,290*11002,13*0,85 = 12060,903 kN

Yapı periyodu yaklaşık formülle hesaplandığında elde edilen eşdeğer deprem yükünün katlara dağıtılması Çizelge 4.18'de, modal analiz sonuçları kullanıldığında elde edilen eşdeğer deprem yükünün katlara dağıtılması Çizelge 4.19'da verilmiştir.

Çizelge 4.18 : Eşdeğer deprem yükünün katlara dağıtılması.

Kat	h_i [m]	H_i [m]	w_i [kN]	w_i*H_i	Oran	F_{ix} [kN]	F_{iy} [kN]
10	3	33	7111,07	234665,31	0,12473	2014,76	2014,76
9	3	30	9775,99	293279,70	0,15588	2518,00	2518,00
8	3	27	9775,99	263951,73	0,14030	2266,20	2266,20
7	3	24	9999,86	239996,64	0,12756	2060,53	2060,53
6	3	21	9999,86	209997,06	0,11162	1802,97	1802,97
5	3	18	9999,86	179997,48	0,09567	1545,40	1545,40
4	3	15	9999,86	149997,90	0,07973	1287,83	1287,83
3	3	12	10317,11	123805,32	0,0658	1062,95	1062,95
2	3	9	10317,11	92853,99	0,04935	797,21	797,21
1	3	6	10317,11	61902,66	0,0329	531,48	531,48
Z	3	3	10317,11	30951,33	0,01645	265,74	265,74
Toplam			107930,93	1881399,12	1	16153,078	16153,078

Çizelge 4.19 : Modal analiz sonuçları kullanıldığında EDY'nin katlara dağıtılması.

Kat	h_i [m]	H_i [m]	w_i [kN]	w_i*H_i	Oran	F_{ix} [kN]	F_{iy} [kN]
10	3	33	7111,07	234665,31	0,12473	1689,412	1504,346
9	3	30	9775,99	293279,70	0,15588	2111,391	1880,100
8	3	27	9775,99	263951,73	0,1403	1900,252	1692,090
7	3	24	9999,86	239996,64	0,12756	1727,793	1538,523
6	3	21	9999,86	209997,06	0,11162	1511,819	1346,208
5	3	18	9999,86	179997,48	0,09567	1295,845	1153,892
4	3	15	9999,86	149997,90	0,07973	1079,871	961,577
3	3	12	10317,11	123805,32	0,0658	891,304	793,667
2	3	9	10317,11	92853,99	0,04935	668,478	595,250
1	3	6	10317,11	61902,66	0,0329	445,652	396,833
Z	3	3	10317,11	30951,33	0,01645	222,826	198,417
Toplam			107930,93	1881399,12	1	13544,644	12060,903

Kontroller yapılırken güvenli tarafta kalmak amacıyla yaklaşık yöntemle hesaplanan yapı periyotları kullanılmış ve bu şekilde elde edilen eşdeğer deprem yükleri uygulanmıştır. Yaklaşık yöntemle hesaplanan yapı periyotları daha küçük olup incelenen yapıda daha büyük eşdeğer deprem yüklerinin oluşmasına neden olmuştur. Diğer hesaplarda daha anlamlı bir karşılaştırma yapabilmek adına, modal analizle elde edilen yapı periyodu kullanılmış ve bu şekilde hesaplanan eşdeğer deprem

yükünün etkitilmesiyle elde edilen iç kuvvetleri karşılayacak şekilde bir tasarım yapılmıştır.

4.2.1.2 Tasarımda kullanılan yük birleşimleri

Eurocode yönetmeliklerine göre tasarımda kullanılan yük birleşimleri şu şekildedir:

1,35G+1,5Q

G+0,3Q±EXP±0,3EYP

G+0,3Q±EXP±0,3EYN

G+0,3Q±EXN±0,3EYP

G+0,3Q±EXN±0,3EYN

G+0,3Q±EYP±0,3EXP

G+0,3Q±EYP±0,3EXN

G+0,3Q±EYN±0,3EXP

G+0,3Q±EYN±0,3EXN

4.2.1.3 Taşıyıcı sistem çözümü

Sistem, Eurocode yönetmeliklerine göre tanımlanan yük kombinasyonları için eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılarak SAP2000'de çözülmüş ve kesit tesirleri elde edilmiştir. Elverişsiz durumlar için elde edilen sonuçlar yorumlanmış ve gerekli kontroller yapılmıştır.

4.2.1.4 Düzensizliklerin kontrolü

Planda girinti yapan bölümlerin her birinin alanı, toplam kapalı plan alanının %5,85'ini oluşturmakta olup bu değer %5 sınırını aştığından yapı, Eurocode 8'e göre de planda düzensiz bir yapıdır.

4.2.1.5 Etkin göreli kat ötelemelerinin kontrolü

Etkin göreli kat ötelemelerinin kontrolü yapısal olmayan elemanların gevrek olması durumunu ifade eden ve en elverişsiz koşul olan **(4.6)** denklemiyle yapılır:

$$d_r \nu \leq 0{,}005h \qquad \textbf{(4.6)}$$

(4.6) denkleminde d_r etkin ortalama göreli kat ötelemesini, ν hasar limit gerekliliklerine ilişkili olarak daha sık periyotlu bir sismik etkiyi göz önüne alan azaltma katsayısını, h ise kat yüksekliğini göstermektedir. Önem sınıfının III veya IV olması halinde ν değerinin 0,4 alınması önerilirken, önem sınıfının I veya II olduğu durumlarda ν=0,5 alınması önerilmektedir.

Etkin göreli kat ötelemelerinin kontrolü eşdeğer deprem yükleri altında, ek dışmerkezlik etkileri göz önüne alınarak yapılmıştır. $d_r \nu \leq 0{,}005h$ koşulunun her katta sağlandığı görülmüştür.

Sonuçlar Çizelge 4.20'de verilmiştir.

Çizelge 4.20 : Etkin göreli kat ötelemelerinin kontrolü.

X Doğrultusu									
Kat	**h [m]**	**$d_{i\text{-}min}$ [m]**	**$d_{i\text{-}maks}$ [m]**	**$d_{i\text{-}ort}$ [m]**	**$\Delta_{i\text{-}min}$ [m]**	**$\Delta_{i\text{-}maks}$ [m]**	**$\Delta_{i\text{-}ort}$ [m]**	**d_r [m]**	**ν d_r / h**
10	3,00	0,055477	0,065737	0,0606070	0,004629	0,005298	0,0049635	0,02457	0,00409
9	3,00	0,050848	0,060439	0,0556435	0,004840	0,005625	0,0052325	0,02590	0,00432
8	3,00	0,046008	0,054814	0,0504110	0,005031	0,005938	0,0054845	0,02715	0,00452
7	3,00	0,040977	0,048876	0,0449265	0,005072	0,006040	0,0055560	0,02750	0,00458
6	3,00	0,035905	0,042836	0,0393705	0,005204	0,006267	0,0057355	0,02839	0,00473
5	3,00	0,030701	0,036569	0,0336350	0,005265	0,006400	0,0058325	0,02887	0,00481
4	3,00	0,025436	0,030169	0,0278025	0,005250	0,006408	0,0058290	0,02885	0,00481
3	3,00	0,020186	0,023761	0,0219735	0,004990	0,006059	0,0055245	0,02735	0,00456
2	3,00	0,015196	0,017702	0,0164490	0,004808	0,005822	0,0053150	0,02631	0,00438
1	3,00	0,010388	0,011880	0,0111340	0,004485	0,005374	0,0049295	0,02440	0,00407
Z	3,00	0,005903	0,006506	0,0062045	0,003886	0,004473	0,0041795	0,02069	0,00345
Y Doğrultusu									
Kat	**h [m]**	**$d_{i\text{-}min}$ [m]**	**$d_{i\text{-}maks}$ [m]**	**$d_{i\text{-}ort}$ [m]**	**$\Delta_{i\text{-}min}$ [m]**	**$\Delta_{i\text{-}maks}$ [m]**	**$\Delta_{i\text{-}ort}$ [m]**	**d_r [m]**	**ν d_r / h**
10	3,00	0,049401	0,067008	0,0582045	0,004146	0,005313	0,0047295	0,02341	0,00390
9	3,00	0,045255	0,061695	0,0534750	0,004329	0,005685	0,0050070	0,02478	0,00413
8	3,00	0,040926	0,056010	0,0484680	0,004493	0,006044	0,0052685	0,02608	0,00435
7	3,00	0,036433	0,049966	0,0431995	0,004607	0,006244	0,0054255	0,02686	0,00448
6	3,00	0,031826	0,043722	0,0377740	0,004740	0,006527	0,0056335	0,02789	0,00465
5	3,00	0,027086	0,037195	0,0321405	0,004784	0,006682	0,0057330	0,02838	0,00473
4	3,00	0,022302	0,030513	0,0264075	0,004760	0,006700	0,0057300	0,02836	0,00473
3	3,00	0,017542	0,023813	0,0206775	0,004554	0,006347	0,0054505	0,02698	0,00450
2	3,00	0,012988	0,017466	0,0152270	0,004287	0,006013	0,0051500	0,02549	0,00425
1	3,00	0,008701	0,011453	0,0100770	0,003840	0,005388	0,0046140	0,02284	0,00381
Z	3,00	0,004861	0,006065	0,0054630	0,003314	0,004407	0,0038605	0,01911	0,00318

4.2.1.6 İkinci mertebe etkilerin kontrolü

İkinci mertebe etkilerin kontrolü **(4.7)** denklemiyle yapılır:

$$\theta = \frac{P_{tot}\, d_r}{V_{tot}\, h} \leq 0{,}10 \qquad \textbf{(4.7)}$$

(4.7) denkleminde θ göreli kat ötelemesine duyarlılık katsayısını, P_{tot} ilgili kat seviyesinin üzerindeki toplam bina yükünü, V_{tot} ilgili kat seviyesindeki toplam kat kesme kuvvetini göstermektedir.

İkinci mertebe etkilerinin kontrolü eşdeğer deprem yükleri altında, ek dışmerkezlik etkileri göz önüne alınarak yapılmıştır. Kontroller sonucunda $\theta \leq 0{,}10$ koşulunun her katta sağlandığı görülmüştür. Sonuçlar Çizelge 4.21'de verilmiştir.

Çizelge 4.21 : İkinci mertebe etkilerin kontrolü.

X Doğrultusu					
Kat	**h [m]**	**d_r [m]**	**P_{tot} [kN]**	**V_{tot} [kN]**	**θ**
10	3,00	0,02457	7111,07	2014,76	0,02891
9	3,00	0,02590	16887,06	4532,76	0,03216
8	3,00	0,02715	26663,05	6798,97	0,03549
7	3,00	0,02750	36662,91	8859,50	0,03793
6	3,00	0,02839	46662,77	10662,47	0,04141
5	3,00	0,02887	56662,63	12207,87	0,04467
4	3,00	0,02885	66662,49	13495,70	0,04750
3	3,00	0,02735	76979,60	14558,65	0,04820
2	3,00	0,02631	87296,71	15355,86	0,04986
1	3,00	0,02440	97613,82	15887,34	0,04997
Z	3,00	0,02069	107930,93	16153,08	0,04608
Y Doğrultusu					
Kat	**h [m]**	**d_r [m]**	**P_{tot} [kN]**	**V_{tot} [kN]**	**θ**
10	3,00	0,02341	7111,07	2014,76	0,02754
9	3,00	0,02478	16887,06	4532,76	0,03077
8	3,00	0,02608	26663,05	6798,97	0,03409
7	3,00	0,02686	36662,91	8859,50	0,03705
6	3,00	0,02789	46662,77	10662,47	0,04069
5	3,00	0,02838	56662,63	12207,87	0,04391
4	3,00	0,02836	66662,49	13495,70	0,04670
3	3,00	0,02698	76979,60	14558,65	0,04755
2	3,00	0,02549	87296,71	15355,86	0,04830
1	3,00	0,02284	97613,82	15887,34	0,04678
Z	3,00	0,01911	107930,93	16153,08	0,04256

4.2.1.7 Mod birleştirme yöntemi hesapları

Bu çalışmada, sistem çözümlemesi eşdeğer deprem yükü yöntemine göre yapılmış olup mod birleştirme yöntemiyle ilgili olarak yalnızca bu yöntemin uygulanmasında kullanılan parametrelerin yönetmelikten yönetmeliğe ne şekilde değiştiği verilmiştir. Eurocode yönetmelikleri esas alınarak mod birleştirme yöntemi ile hesap yapılacak olması durumunda kullanılması gereken parametreler aşağıdaki gibidir:

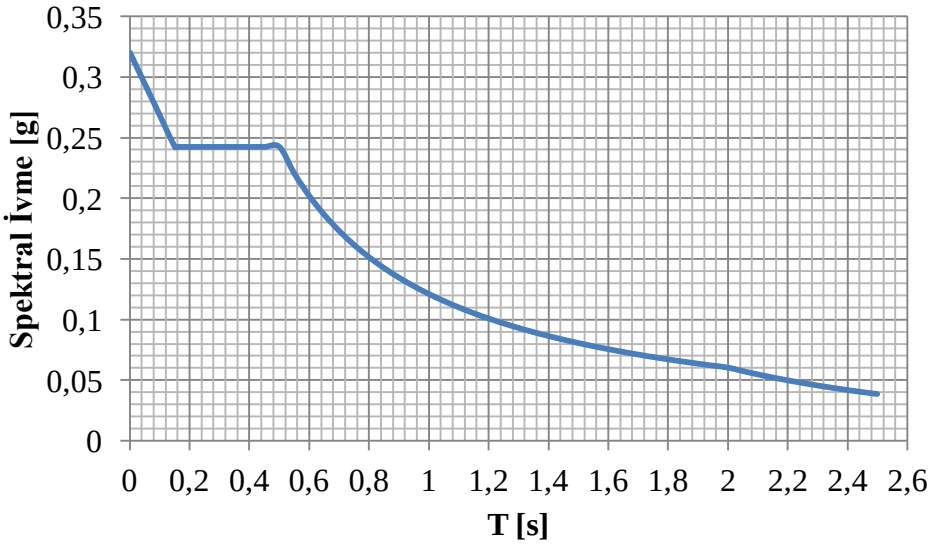
Deprem Bölgesi: Yüksek sismisite bölgesi

Zemin Grubu: B (T_B = 0,15 s ve T_C = 0,50 s)

Bina Önem Katsayısı: I = 1

Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı: q = 4,95

Bu bilgiler doğrultusunda hazırlanmış azaltılmış ivme spektrumu Şekil 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.2 : Avrupa yönetmeliklerine göre azaltılmış ivme spektrumu.

4.2.2 Kesit tasarımlarının yapılması

Bu kısımda, Eurocode yönetmeliklerine göre yapılan çözümleme sonucu elde edilen tesirler dikkate alınarak tasarım yapılmıştır.

4.2.2.1 Kiriş kesitlerinin tasarımı

Zemin kat tavanı kirişlerinin eğilme tasarımı yapılmış olup donatılarda pilye uygulanmamıştır. Pas payı 30 mm alınmıştır. Minimum ve maksimum donatı oranları şu şekildedir:

Minimum donatı oranı: $0,5(0,3f_{ck}^{2/3}/f_{yk})$

Maksimum donatı oranı: 0,04

Sonuçlar x doğrultusu için Çizelge 4.22'de belirtilmiştir.

Çizelge 4.22 : X doğrultusu kiriş boyuna donatıları.

Kesit	$A_{s,\ hesap}$ [mm^2]	Donatı
K101 sol üst mesnet	720	2Φ14+3Φ14 (770 mm^2)
K101 sol alt mesnet	599	4Φ14 (616 mm^2)
K101 açıklık	599	4Φ14 (616 mm^2)
K101-K102 üst	698	2Φ14+3Φ14 (770 mm^2)
K101-K102 alt	599	4Φ14 (616 mm^2)
K102 açıklık	599	4Φ14 (616 mm^2)
K102-K103 üst	1378	2Φ14+5Φ18 (1580 mm^2)
K102-K103 alt	1043	4Φ14+3Φ14 (1078 mm^2)
K103 açıklık	599	4Φ14 (616 mm^2)
K103 sağ üst mesnet	1321	2Φ14+4Φ18 (1326 mm^2)
K103 sağ alt mesnet	771	4Φ14+2Φ14 (924 mm^2)
K104 sol üst mesnet	1062	2Φ14+5Φ14 (1078 mm^2)
K104 sol alt mesnet	599	4Φ14 (616 mm^2)
K104 açıklık	599	4Φ14 (616 mm^2)
K104-K105 üst	1257	2Φ14+5Φ16 (1313 mm^2)
K104-K105 alt	821	4Φ14+2Φ14 (924 mm^2)
K105 açıklık	599	4Φ14 (616 mm^2)
K105-K106 üst	1022	2Φ14+5Φ14 (1078 mm^2)
K105-K106 alt	825	4Φ14+2Φ14 (924 mm^2)
K106 açıklık	599	4Φ14 (616 mm^2)
K106 sağ üst mesnet	893	2Φ14+4Φ14 (924 mm^2)
K106 sağ alt mesnet	599	4Φ14 (616 mm^2)
K107 sol üst mesnet	1330	2Φ14+5Φ18 (1580 mm^2)
K107 sol alt mesnet	640	4Φ14+1Φ14 (770 mm^2)
K107 açıklık	599	4Φ14 (616 mm^2)
K107-K108 üst	1535	2Φ14+5Φ18 (1580 mm^2)
K107-K108 alt	1048	4Φ14+3Φ14 (1078 mm^2)
K108 açıklık	612	4Φ14 (616 mm^2)
K108 sağ üst mesnet	1109	2Φ14+4Φ16 (1112 mm^2)
K108 sağ alt mesnet	1055	4Φ14+3Φ14 (1078 mm^2)

Çizelge 4.22 (devam) : X doğrultusu kiriş boyuna donatıları.

Kesit	$A_{s,\ hesap}$ [mm^2]	Donatı
K109 sol üst mesnet	1387	2Φ14+5Φ18 (1580 mm^2)
K109 sol alt mesnet	666	4Φ14+1Φ14 (770 mm^2)
K109 açıklık	599	4Φ14 (616 mm^2)
K109-K110 üst	1533	2Φ14+5Φ18 (1580 mm^2)
K109-K110 alt	1072	4Φ14+3Φ14 (1078 mm^2)
K110 açıklık	632	4Φ14+1Φ14 (770 mm^2)
K110-K111 üst	974	2Φ14+5Φ14 (1078 mm^2)
K110-K111 alt	808	4Φ14+2Φ14 (924 mm^2)
K111 açıklık	599	4Φ14 (616 mm^2)
K111 sağ üst mesnet	599	2Φ14+2Φ14 (616 mm^2)
K111 sağ alt mesnet	599	4Φ14 (616 mm^2)
K113 sol üst mesnet	692	2Φ14+3Φ14 (770 mm^2)
K113 sol alt mesnet	599	4Φ14 (616 mm^2)
K113 açıklık	801	6Φ14 (924 mm^2)
K113 sağ üst mesnet	944	2Φ14+5Φ14 (1078 mm^2)
K113 sağ alt mesnet	964	6Φ14+1Φ14 (1078 mm^2)
K112 sol üst mesnet	1266	2Φ14+5Φ16 (1313 mm^2)
K112 sol alt mesnet	844	6Φ14 (924 mm^2)
K112 açıklık	599	4Φ14 (616 mm^2)
K112-K114 üst	622	2Φ14+3Φ14 (770 mm^2)
K112-K114 alt	599	4Φ14 (616 mm^2)
K114 açıklık	599	4Φ14 (616 mm^2)
K114-K115 üst	686	2Φ14+3Φ14 (770 mm^2)
K114-K115 alt	687	4Φ14+1Φ14 (770 mm^2)
K115 açıklık	599	4Φ14 (616 mm^2)
K115-K116 üst	599	2Φ14+2Φ14 (616 mm^2)
K115-K116 alt	599	4Φ14 (616 mm^2)
K116 açıklık	599	4Φ14 (616 mm^2)
K116-K117 üst	599	2Φ14+2Φ14 (616 mm^2)
K116-K117 alt	599	4Φ14 (616 mm^2)
K117 açıklık	599	4Φ14 (616 mm^2)
K117-K118 üst	912	2Φ14+4Φ14 (924 mm^2)
K117-K118 alt	830	4Φ14+2Φ14 (924 mm^2)
K118 açıklık	599	4Φ14 (616 mm^2)
K118 sağ üst mesnet	1231	2Φ14+5Φ16 (1313 mm^2)
K118 sağ alt mesnet	908	4Φ14+2Φ14 (924 mm^2)
K119 sol üst mesnet	1477	2Φ14+5Φ18 (1580 mm^2)
K119 sol alt mesnet	707	4Φ14+1Φ14 (770 mm^2)
K119 açıklık	599	4Φ14 (616 mm^2)
K119-K120 üst	1442	2Φ14+5Φ18 (1580 mm^2)
K119-K120 alt	964	4Φ14+3Φ14 (1078 mm^2)
K120 açıklık	599	4Φ14 (616 mm^2)
K120-K121 üst	1125	2Φ14+5Φ16 (1313 mm^2)
K120-K121 alt	1054	4Φ14+3Φ14 (1078 mm^2)
K121 açıklık	599	4Φ14 (616 mm^2)
K121-K122 üst	784	2Φ14+4Φ14 (924 mm^2)

Çizelge 4.22 (devam) : X doğrultusu kiriş boyuna donatıları.

Kesit	$A_{s,\ hesap}$ [mm^2]	Donatı
K121-K122 alt	599	4Φ14 (616 mm^2)
K122 açıklık	599	4Φ14 (616 mm^2)
K122-K123 üst	983	2Φ14+5Φ14 (1078 mm^2)
K122-K123 alt	683	4Φ14+1Φ14 (770 mm^2)
K123 açıklık	599	4Φ14 (616 mm^2)
K123-K124 üst	937	2Φ14+5Φ14 (1078 mm^2)
K123-K124 alt	651	4Φ14+1Φ14 (770 mm^2)
K124 açıklık	599	4Φ14 (616 mm^2)
K124 sağ üst mesnet	1128	2Φ14+5Φ16 (1313 mm^2)
K124 sağ alt mesnet	599	4Φ14 (616 mm^2)
K125 sol üst mesnet	1254	2Φ14+5Φ16 (1313 mm^2)
K125 sol alt mesnet	605	4Φ14 (616 mm^2)
K125 açıklık	599	4Φ14 (616 mm^2)
K125-K126 üst	1522	2Φ14+5Φ18 (1580 mm^2)
K125-K126 alt	1059	4Φ14+3Φ14 (1078 mm^2)
K126 açıklık	605	4Φ14 (616 mm^2)
K126-K127 üst	1227	2Φ14+5Φ16 (1313 mm^2)
K126-K127 alt	1038	4Φ14+3Φ14 (1078 mm^2)
K127 açıklık	599	4Φ14 (616 mm^2)
K127-K128 üst	1273	2Φ14+5Φ16 (1313 mm^2)
K127-K128 alt	820	4Φ14+2Φ14 (924 mm^2)
K128 açıklık	599	4Φ14 (616 mm^2)
K128 sağ üst mesnet	955	2Φ14+5Φ14 (1078 mm^2)
K128 sağ alt mesnet	599	4Φ14 (616 mm^2)
K129 sol üst mesnet	1386	2Φ14+5Φ18 (1580 mm^2)
K129 sol alt mesnet	1039	4Φ14+3Φ14 (1078 mm^2)
K129 açıklık	599	4Φ14 (616 mm^2)
K129-K130 üst	1227	2Φ14+5Φ16 (1313 mm^2)
K129-K130 alt	1053	4Φ14+3Φ14 (1078 mm^2)
K130 açıklık	599	4Φ14 (616 mm^2)
K130-K131 üst	1188	2Φ14+5Φ16 (1313 mm^2)
K130-K131 alt	1054	4Φ14+3Φ14 (1078 mm^2)
K131 açıklık	599	4Φ14 (616 mm^2)
K131-K132 üst	1372	2Φ14+5Φ18 (1580 mm^2)
K131-K132 alt	1232	4Φ14+3Φ18 (1379 mm^2)
K132 açıklık	976	7Φ14 (1078 mm^2)
K132 sağ üst mesnet	1266	2Φ14+5Φ16 (1313 mm^2)
K132 sağ alt mesnet	1176	6Φ16 (1206 mm^2)

Eurocode yönetmeliklerine göre çözümleme yapıldığında elde edilen y doğrultusu kiriş boyuna donatıları Çizelge 4.23'te verilmiştir.

Çizelge 4.23 : Y doğrultusu kiriş boyuna donatıları.

Kesit	$A_{s,\,hesap}$ [mm^2]	Donatı
K133 sol üst mesnet	703	2Φ14+3Φ14 (770 mm^2)
K133 sol alt mesnet	599	4Φ14 (616 mm^2)
K133 açıklık	599	4Φ14 (616 mm^2)
K133-K134 üst	1082	2Φ14+4Φ16 (1112 mm^2)
K133-K134 alt	819	4Φ14+2Φ14 (924 mm^2)
K134 açıklık	599	4Φ14 (616 mm^2)
K134-K135 üst	1069	2Φ14+5Φ14 (1078 mm^2)
K134-K135 alt	656	4Φ14+1Φ14 (770 mm^2)
K135 açıklık	599	4Φ14 (616 mm^2)
K135-K136 üst	1182	2Φ14+5Φ16 (1313 mm^2)
K135-K136 alt	828	4Φ14+2Φ14 (924 mm^2)
K136 açıklık	599	4Φ14 (616 mm^2)
K136-K137 üst	1026	2Φ14+5Φ14 (1078 mm^2)
K136-K137 alt	656	4Φ14+1Φ14 (770 mm^2)
K137 açıklık	599	4Φ14 (616 mm^2)
K137-K138 üst	1071	2Φ14+5Φ14 (1078 mm^2)
K137-K138 alt	840	4Φ14+2Φ14 (924 mm^2)
K138 açıklık	599	4Φ14 (616 mm^2)
K138 sağ üst mesnet	688	2Φ14+3Φ14 (770 mm^2)
K138 sağ alt mesnet	599	4Φ14 (616 mm^2)
K139 sol üst mesnet	1296	2Φ14+5Φ16 (1313 mm^2)
K139 sol alt mesnet	624	4Φ14+1Φ14 (770 mm^2)
K139 açıklık	599	4Φ14 (616 mm^2)
K139-K140 üst	1334	2Φ14+5Φ18 (1580 mm^2)
K139-K140 alt	875	4Φ14+2Φ14 (924 mm^2)
K140 açıklık	599	4Φ14 (616 mm^2)
K140-K141 üst	1012	2Φ14+5Φ14 (1078 mm^2)
K140-K141 alt	887	4Φ14+2Φ14 (924 mm^2)
K141 açıklık	599	4Φ14 (616 mm^2)
K141-K142 üst	1071	2Φ14+5Φ14 (1078 mm^2)
K141-K142 alt	683	4Φ14+1Φ14 (770 mm^2)
K142 açıklık	599	4Φ14 (616 mm^2)
K142-K143 üst	1123	2Φ14+5Φ16 (1313 mm^2)
K142-K143 alt	682	4Φ14+1Φ14 (770 mm^2)
K143 açıklık	599	4Φ14 (616 mm^2)
K143-K144 üst	1193	2Φ14+5Φ16 (1313 mm^2)
K143-K144 alt	989	4Φ14+3Φ14 (1078 mm^2)
K144 açıklık	599	4Φ14 (616 mm^2)
K144-K145 üst	1262	2Φ14+5Φ16 (1313 mm^2)
K144-K145 alt	839	4Φ14+2Φ14 (924 mm^2)
K145 açıklık	599	4Φ14 (616 mm^2)
K145 sağ üst mesnet	1335	2Φ14+5Φ18 (1580 mm^2)
K145 sağ alt mesnet	642	4Φ14+1Φ14 (770 mm^2)
K146 sol üst mesnet	1122	2Φ14+5Φ16 (1313 mm^2)
K146 sol alt mesnet	599	4Φ14 (616 mm^2)
K146 açıklık	599	4Φ14 (616 mm^2)

Çizelge 4.23 (devam) : Y doğrultusu kiriş boyuna donatıları.

Kesit	$A_{s,\ hesap}$ [mm^2]	Donatı
K146-K147 üst	1559	2Φ14+5Φ18 (1580 mm^2)
K146-K147 alt	1042	4Φ14+3Φ14 (1078 mm^2)
K147 açıklık	607	4Φ14 (616 mm^2)
K147-K148 üst	1468	2Φ14+5Φ18 (1580 mm^2)
K147-K148 alt	1348	7Φ16 (1407 mm^2)
K148 açıklık	599	4Φ14 (616 mm^2)
K148 sağ üst mesnet	765	2Φ14+3Φ14 (770 mm^2)
K148 sağ alt mesnet	806	4Φ14+2Φ14 (924 mm^2)
K149 sol üst mesnet	1623	2Φ14+5Φ20 (1879 mm^2)
K149 sol alt mesnet	1675	7Φ18 (1781 mm^2)
K149 açıklık	796	6Φ14 (924 mm^2)
K149 sağ üst mesnet	906	2Φ14+4Φ14 (924 mm^2)
K149 sağ alt mesnet	877	6Φ14 (924 mm^2)
K150 sol üst mesnet	1072	2Φ14+5Φ14 (1078 mm^2)
K150 sol alt mesnet	988	5Φ14+1Φ14 (924 mm^2)
K150 açıklık	643	5Φ14 (770 mm^2)
K150-K151 üst	1549	2Φ14+5Φ18 (1580 mm^2)
K150-K151 alt	1106	6Φ16 (1206 mm^2)
K151 açıklık	599	4Φ14 (616 mm^2)
K151 sağ üst mesnet	1162	2Φ14+5Φ16 (1313 mm^2)
K151 sağ alt mesnet	599	4Φ14 (616 mm^2)
K152 sol üst mesnet	1220	2Φ14+5Φ16 (1313 mm^2)
K152 sol alt mesnet	599	4Φ14 (616 mm^2)
K152 açıklık	599	4Φ14 (616 mm^2)
K152-K153 üst	1268	2Φ14+5Φ16 (1313 mm^2)
K152-K153 alt	735	4Φ14+1Φ14 (770 mm^2)
K153 açıklık	599	4Φ14 (616 mm^2)
K153-K154 üst	1109	2Φ14+4Φ16 (1112 mm^2)
K153-K154 alt	999	4Φ14+3Φ14 (1078 mm^2)
K154 açıklık	599	4Φ14 (616 mm^2)
K154 sağ üst mesnet	599	4Φ14 (616 mm^2)
K154 sağ alt mesnet	599	4Φ14 (616 mm^2)
K155 sol üst mesnet	1427	2Φ14+5Φ18 (1580 mm^2)
K155 sol alt mesnet	1439	6Φ18 (1527 mm^2)
K155 açıklık	961	7Φ14 (1078 mm^2)
K155 sağ üst mesnet	599	4Φ14 (616 mm^2)
K155 sağ alt mesnet	599	4Φ14 (616 mm^2)
K156 sol üst mesnet	1004	2Φ14+5Φ14 (1078 mm^2)
K156 sol alt mesnet	899	4Φ14+2Φ14 (924 mm^2)
K156 açıklık	599	4Φ14 (616 mm^2)
K156-K157 üst	1360	2Φ14+5Φ18 (1580 mm^2)
K156-K157 alt	932	4Φ14+3Φ14 (1078 mm^2)
K157 açıklık	599	4Φ14 (616 mm^2)
K157 sağ üst mesnet	1376	2Φ14+5Φ18 (1580 mm^2)
K157 sağ alt mesnet	661	4Φ14+1Φ14 (770 mm^2)
K158 sol üst mesnet	610	2Φ14+2Φ14 (616 mm^2)

Çizelge 4.23 (devam) : Y doğrultusu kiriş boyuna donatıları.

Kesit	$A_{s,\ hesap}$ [mm^2]	Donatı
K158 sol alt mesnet	599	4Φ14 (616 mm^2)
K158 açıklık	599	4Φ14 (616 mm^2)
K158-K159 üst	1118	2Φ14+5Φ16 (1313 mm^2)
K158-K159 alt	810	4Φ14+2Φ14 (924 mm^2)
K159 açıklık	599	4Φ14 (616 mm^2)
K159-K160 üst	2229	3Φ14+4Φ24 (2271 mm^2)
K159-K160 alt	1356	7Φ16 (1407 mm^2)
K160 açıklık	845	6Φ14 (924 mm^2)
K160 sağ üst mesnet	640	2Φ14+3Φ14 (770 mm^2)
K160 sağ alt mesnet	958	6Φ14+1Φ14 (1078 mm^2)
K161 sol üst mesnet	1542	2Φ14+5Φ18 (1580 mm^2)
K161 sol alt mesnet	1564	5Φ20 (1571 mm^2)
K161 açıklık	883	6Φ14 (924 mm^2)
K161 sağ üst mesnet	766	2Φ14+3Φ14 (770 mm^2)
K161 sağ alt mesnet	754	5Φ14 (770 mm^2)
K162 sol üst mesnet	1034	2Φ14+5Φ14 (1078 mm^2)
K162 sol alt mesnet	906	5Φ14+1Φ14 (924 mm^2)
K162 açıklık	618	5Φ14 (770 mm^2)
K162-K163 üst	1439	2Φ14+5Φ18 (1580 mm^2)
K162-K163 alt	1052	5Φ14+2Φ14 (1078 mm^2)
K163 açıklık	599	4Φ14 (616 mm^2)
K163 sağ üst mesnet	1057	2Φ14+5Φ14 (1078 mm^2)
K163 sağ alt mesnet	599	4Φ14 (616 mm^2)
K164 sol üst mesnet	599	2Φ14+2Φ14 (616 mm^2)
K164 sol alt mesnet	599	4Φ14 (616 mm^2)
K164 açıklık	599	4Φ14 (616 mm^2)
K164-K165 üst	891	2Φ14+4Φ14 (924 mm^2)
K164-K165 alt	599	4Φ14 (616 mm^2)
K165 açıklık	599	4Φ14 (616 mm^2)
K165-K166 üst	904	2Φ14+4Φ14 (924 mm^2)
K165-K166 alt	599	4Φ14 (616 mm^2)
K166 açıklık	599	4Φ14 (616 mm^2)
K166-K167 üst	1095	2Φ14+4Φ16 (1112 mm^2)
K166-K167 alt	863	4Φ14+2Φ14 (924 mm^2)
K167 açıklık	599	4Φ14 (616 mm^2)
K167-K168 üst	1132	2Φ14+5Φ16 (1313 mm^2)
K167-K168 alt	745	4Φ14+1Φ14 (770 mm^2)
K168 açıklık	599	4Φ14 (616 mm^2)
K168 sağ üst mesnet	1225	2Φ14+5Φ16 (1313 mm^2)
K168 sağ alt mesnet	599	4Φ14 (616 mm^2)
K169 sol üst mesnet	913	2Φ14+4Φ14 (924 mm^2)
K169 sol alt mesnet	599	4Φ14 (616 mm^2)
K169 açıklık	599	4Φ14 (616 mm^2)
K169-K170 üst	981	2Φ14+5Φ14 (1078 mm^2)
K169-K170 alt	599	4Φ14 (616 mm^2)
K170 açıklık	599	4Φ14 (616 mm^2)
K170-K171 üst	851	2Φ14+4Φ14 (924 mm^2)
K170-K171 alt	599	4Φ14 (616 mm^2)
K171 açıklık	599	4Φ14 (616 mm^2)
K171-K172 üst	912	2Φ14+4Φ14 (924 mm^2)
K171-K172 alt	673	4Φ14+1Φ14 (770 mm^2)
K172 açıklık	599	4Φ14 (616 mm^2)
K172 sağ üst mesnet	599	4Φ14 (616 mm^2)
K172 sağ alt mesnet	599	4Φ14 (616 mm^2)

4.2.2.2 Kolon kesitlerinin tasarımı

Eurocode yönetmeliklerine göre zemin kat kolonlarının eğilme tasarımları yapılmıştır. Pas payı 40 mm olarak alınmıştır. Minimum ve maksimum boyuna donatı miktarları şu şekildedir:

Minimum donatı: 0,01 A_c

Maksimum donatı: 0,04 A_c

Tüm kolonlar için gereken donatı alanını, minimum donatının karşılayacağı hesaplandığından seçilen donatılar DBYBHY sonuçlarıyla aynı olmuştur.

4.2.2.3 Perde kesitlerinin tasarımı

Perde kesitleri, perdelerin tabanında elde edilen en elverişsiz moment değerine göre tasarlanmıştır. Boyutsuz moment değerleri çok küçük çıktığından perde uç bölgelerinde minimum donatı kullanılmıştır. Gövde donatıları da minimum donatılı olarak hesaplanmış ve seçilen donatılar Çizelge 4.24'te verilmiştir. Kullanılan minimum donatı miktarları şu şekildedir:

Perde uç bölgesinde minimum donatı: 0,0025A_{perde}

Perde gövdesinde minimum donatı: 0,002A_{perde}

Çizelge 4.24 : Zemin katta perde boyuna donatıları.

Perde	Boyut [cm x cm]		Minimum Donatı [mm^2]			Seçilen Donatı
			Perde Uç Bölgesi Toplamı	Perde Gövdesi	Toplam	
P01	210	30	3150	1260	4410	12Φ22 (4562 mm^2)
P02	210	30	3150	1260	4410	12Φ22 (4562 mm^2)
P03	934	30	14010	5604	19614	52Φ22 (19767 mm^2)
P04	685	30	10275	4110	14385	38Φ22 (14445 mm^2)
P05	30	457	6855	2742	9597	26Φ22 (9883 mm^2)
P06	30	457	6855	2742	9597	26Φ22 (9883 mm^2)
P07	30	457	6855	2742	9597	26Φ22 (9883 mm^2)
P08	30	267	4005	1602	5607	18Φ20 (5655 mm^2)
P09	30	267	4005	1602	5607	18Φ20 (5655 mm^2)
P10	30	267	4005	1602	5607	18Φ20 (5655 mm^2)
P11	30	267	4005	1602	5607	18Φ20 (5655 mm^2)
P12	30	267	4005	1602	5607	18Φ20 (5655 mm^2)
P13	210	30	3150	1260	4410	12Φ22 (4562 mm^2)
P14	210	30	3150	1260	4410	12Φ22 (4562 mm^2)

4.2.3 Donatı metraj ve maliyeti

Zemin kat kolon ve perdeleri ile zemin kat tavanı kirişleri için hesaplanan donatı miktarı belirlenmiş ve yapının bir katı için donatı maliyeti çıkarılmıştır. Sonuçlar Çizelge 4.25'te verilmiştir.

Çizelge 4.25 : Zemin katta donatı metraj ve maliyeti.

Yapı Elemanı	Donatı Miktarı [ton]	Birim Fiyat [TL/ton]	Maliyet [TL]
Kiriş	5,070	1325	6718
Kolon	6,923		9173
Perde	5,112		6774
Toplam	17,105		22665

4.3 Amerikan Yönetmeliklerine Göre Hesap

4.3.1 Deprem hesabı

4.3.1.1 Eşdeğer deprem yükü yöntemi hesapları

Hesapta kullanılan parametreler Çizelge 4.26'da verilmiştir. İstanbul için S_S = 1,33g ve S_1 = 0,53g olarak verilmiştir [19].

Eşdeğer deprem yükünün hesaplanmasında kullanılmış olan yapının her iki yöndeki doğal periyotları, binanın tabanı zemin kat döşemesi olarak alınarak yaklaşık formülle hesaplanmıştır.

Modal analiz kullanılarak hesaplanan yapı periyoduna göre oluşan eşdeğer deprem yükleri ise Çizelge 4.27'de verilmiştir.

Sistem çözümü yapılırken modal analizle hesaplanan yapı periyotları kullanılmış olup kontroller yapılırken güvenli tarafta kalmak amacıyla yaklaşık formülle hesaplanan yapı periyotları kullanılmıştır. Yaklaşık formülle hesaplanan yapı periyotları, modal analizle elde edilenlere kıyasla daha küçük çıkmış ve söz konusu yapı için daha büyük eşdeğer deprem yüklerinin oluşmasına neden olmuştur.

Çizelge 4.26 : Eşdeğer deprem yükü yöntemi ile hesap.

Sismik Tasarım Sınıfı	D
S_S ve S_1	1,33g ve 0,53g
F_a ve F_v	1 ve 1,5
S_{MS}	$S_{MS} = F_a S_S$ =1*1,33g = 1,33g
S_{DS}	$S_{DS} = 2/3 S_{MS}$ = 2/3*1,33g = 0,887g
S_{M1}	$S_{M1} = F_v S_1$ = 1*0,53g = 0,795g
S_{D1}	$S_{D1} = 2/3 S_{M1}$ = 2/3*0,795 = 0,53g
Bina Önem Katsayısı	I = 1
Yapı Davranış Katsayısı	R = 7
T_{1x}	$T_{1x} = C_t h_n^x = 0{,}0488*(33)^{0,75}$ = 0,672 s
T_{1y}	$T_{1y} = C_t h_n^x = 0{,}0488*(33)^{0,75}$ = 0,672 s
C_{sx}	$C_{sx} = S_{D1}/[T*(R/I)]$ = 0,53/[0,672*(7/1)]=0,1127
C_{sy}	$C_{sy} = S_{D1}/[T*(R/I)]$ = 0,53/[0,672*(7/1)]=0,1127
W	107930,93 kN
V_x	$V_x = C_{sx}$*W = 12162,377 kN
V_y	$V_y = C_{sx}$*W = 12162,377 kN

Çizelge 4.27 : Modal analiz sonuçları kullanıldığında EDYY ile hesap.

T_{1x}	T_{1x} = 0,821 s
T_{1y}	T_{1y} = 0,922 s
C_{sx}	$C_{sx} = S_{D1}/[T*(R/I)]$ = 0,53/[0,821*(7/1)] = 0,0922
C_{sy}	$C_{sy} = S_{D1}/[T*(R/I)]$ = 0,53/[0,922*(7/1)] = 0,0821
W	107930,93 kN
V_x	$V_x = C_{sx}$*W = 9953,609 kN
V_y	$V_y = C_{sx}$*W = 8863,246 kN

Eşdeğer deprem yükünün ± %5 ek dışmerkezlik etkisiyle katlara dağıtılması Çizelge 4.28'de verilmiştir. Modal analiz kullanılarak hesaplanan yapı periyoduna göre oluşan eşdeğer deprem yüklerinin katlara dağıtılması ise Çizelge 4.29'da verilmiştir.

Çizelge 4.28 : Eşdeğer deprem yükünün katlara dağıtılması.

Kat	**h_i (m)**	**H_i (m)**	**w_i (kN)**	**$w_i*H_i^k$**	**Oran**	**F_{ix} [kN]**	**F_{iy} [kN]**
10	3	33	7111,07	7743955,23	0,184	2236,40	2236,40
9	3	30	9775,99	8798391	0,209	2540,92	2540,92
8	3	27	9775,99	7126696,71	0,169	2058,14	2058,14
7	3	24	9999,86	5759919,36	0,137	1663,43	1663,43
6	3	21	9999,86	4409938,26	0,105	1273,56	1273,56
5	3	18	9999,86	3239954,64	0,077	935,68	935,68
4	3	15	9999,86	2249968,5	0,053	649,78	649,78
3	3	12	10317,11	1485663,84	0,035	429,05	429,05
2	3	9	10317,11	835685,91	0,020	241,34	241,34
1	3	6	10317,11	371415,96	0,009	107,26	107,26
Z	3	3	10317,11	92853,99	0,002	26,82	26,82
Toplam			107930,93	42114443,4	1	12162,38	12162,38

Çizelge 4.29 : Modal analiz sonuçları kullanıldığında EDY'nin katlara dağıtılması.

Kat	h_i (m)	H_i (m)	w_i (kN)	$w_i*H_i^k$	Oran	F_{ix} [kN]	F_{iy} [kN]
10	3	33	7111,07	7743955,23	0,184	1830,258	1629,763
9	3	30	9775,99	8798391	0,209	2079,471	1851,676
8	3	27	9775,99	7126696,71	0,169	1684,371	1499,858
7	3	24	9999,86	5759919,36	0,137	1361,338	1212,211
6	3	21	9999,86	4409938,26	0,105	1042,274	928,099
5	3	18	9999,86	3239954,64	0,077	765,753	681,869
4	3	15	9999,86	2249968,5	0,053	531,773	473,520
3	3	12	10317,11	1485663,84	0,035	351,132	312,667
2	3	9	10317,11	835685,91	0,020	197,512	175,875
1	3	6	10317,11	371415,96	0,009	87,783	78,167
Z	3	3	10317,11	92853,99	0,002	21,946	19,542
Toplam			107930,93	42114443,4	1	9953,609	8863,246

4.3.1.2 Tasarımda kullanılan yük birleşimleri

Amerikan yönetmeliklerine göre tasarımda kullanılan yük birleşimleri şu şekildedir:

1,2G+1,6Q

1,2G+0,5Q±EXP±0,3EYP

1,2G+0,5Q±EXP±0,3EYN

1,2G+0,5Q±EXN±0,3EYP

1,2G+0,5Q±EXN±0,3EYN

1,2G+0,5Q±EYP±0,3EXP

1,2G+0,5Q±EYP±0,3EXN

1,2G+0,5Q±EYN±0,3EXP

1,2G+0,5Q±EYN±0,3EXN

0,9G±EXP±0,3EYP

0,9G±EXP±0,3EYN

0,9G±EXN±0,3EYP

0,9G±EXN±0,3EYN

4.3.1.3 Taşıyıcı sistem çözümü

Taşıyıcı sistem, Amerikan yönetmeliklerine göre tanımlanan yük kombinasyonları için eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılarak SAP2000'de çözülmüş ve kesit

tesirleri elde edilmiştir. Elverişsiz durumlar için elde edilen sonuçlar yorumlanmış ve gerekli kontroller yapılmıştır.

4.3.1.4 Düzensizliklerin kontrolü

Burulma düzensizliğinin kontrolü yapılmış ve ek dışmerkezlik etkileri göz önüne alınarak hesaplanan maksimum göreli kat ötelemesinin ortalama göreli kat ötelemesine oranı 1,2'den büyük çıkmadığından yapıda burulma düzensizliği olmadığı anlaşılmıştır. Sonuçlar Çizelge 4.30'da verilmiştir.

Yapının plandaki boyutları göz önüne alındığında, x doğrultusunda girintili kenar uzunluğu 9,58 m > 0,15*28,2 m = 4,23 m ve y doğrultusunda girintili kenar uzunluğu 9,59 m > 0,15*29,46 m = 4,419 m olduğundan yapıda girintili köşe düzensizliği mevcuttur.

Yapı geometrisi incelendiğinde yapıda, planda düzensizlik durumlarından döşeme süreksizlik düzensizliği ve düşey elemanların akstan sapma düzensizliği bulunmadığı görülmektedir.

Çizelge 4.30 : Burulma düzensizliğinin kontrolü.

X Doğrultusu								
Kat	**$d_{i\text{-}min}$ [m]**	**$d_{i\text{-}maks}$ [m]**	**$d_{i\text{-}ort}$ [m]**	**$\Delta_{i\text{-}min}$ [m]**	**$\Delta_{i\text{-}maks}$ [m]**	**$\Delta_{i\text{-}ort}$ [m]**	**$\Delta_{i\text{-}maks} / \Delta_{i\text{-}ort}$**	**Düzensizlik**
10	0,047639	0,056641	0,052140	0,004128	0,004786	0,004457	1,074	YOK
9	0,043511	0,051855	0,047683	0,004325	0,005091	0,004708	1,081	YOK
8	0,039186	0,046764	0,042975	0,004482	0,005351	0,004917	1,088	YOK
7	0,034704	0,041413	0,038059	0,004484	0,005388	0,004936	1,092	YOK
6	0,030220	0,036025	0,033123	0,004550	0,005513	0,005032	1,096	YOK
5	0,025670	0,030512	0,028091	0,004545	0,005541	0,005043	1,099	YOK
4	0,021125	0,024971	0,023048	0,004468	0,005453	0,004961	1,099	YOK
3	0,016657	0,019518	0,018088	0,004186	0,005068	0,004627	1,095	YOK
2	0,012471	0,014450	0,013461	0,003979	0,004795	0,004387	1,093	YOK
1	0,008492	0,009655	0,009074	0,003674	0,004372	0,004023	1,087	YOK
Z	0,004818	0,005283	0,005051	0,004818	0,005283	0,005051	1,046	YOK
Y Doğrultusu								
Kat	**$d_{i\text{-}min}$ [m]**	**$d_{i\text{-}maks}$ [m]**	**$d_{i\text{-}ort}$ [m]**	**$\Delta_{i\text{-}min}$ [m]**	**$\Delta_{i\text{-}maks}$ [m]**	**$\Delta_{i\text{-}ort}$ [m]**	**$\Delta_{i\text{-}maks} / \Delta_{i\text{-}ort}$**	**Düzensizlik**
10	0,042600	0,057958	0,050279	0,003736	0,004860	0,004298	1,131	YOK
9	0,038864	0,053098	0,045981	0,003898	0,005200	0,004549	1,143	YOK
8	0,034966	0,047898	0,041432	0,004026	0,005492	0,004759	1,154	YOK
7	0,030940	0,042406	0,036673	0,004092	0,005607	0,004850	1,156	YOK
6	0,026848	0,036799	0,031824	0,004163	0,005771	0,004967	1,162	YOK
5	0,022685	0,031028	0,026857	0,004143	0,005803	0,004973	1,167	YOK
4	0,018542	0,025225	0,021884	0,004061	0,005710	0,004886	1,169	YOK
3	0,014481	0,019515	0,016998	0,003827	0,005309	0,004568	1,162	YOK
2	0,010654	0,014206	0,012430	0,003555	0,004945	0,004250	1,164	YOK
1	0,007099	0,009261	0,008180	0,003148	0,004370	0,003759	1,163	YOK
Z	0,003951	0,004891	0,004421	0,003951	0,004891	0,004421	1,106	YOK

Kütle dağılım düzensizliği kontrol edilmiş ve herhangi bir kat kütlesi, komşu kat kütlesinin 1,5 katından fazla olmadığından kütle dağılım düzensizliği olmadığı görülmüştür. Sonuçlar Çizelge 4.31'de verilmiştir.

Bina genel bilgileri ve DBYBHY'ye göre yapılan hesaplar göz önüne alındığında, binada düşey doğrultuda bir düzensizlik olmadığı görülmektedir.

Çizelge 4.31 : Kütle dağılım düzensizliğinin kontrolü.

Kat	**Kütle m_i [kNs^2/m]**	**m_i/m_{i+1}**
10	724,88	-
9	996,53	1,375
8	996,53	1
7	1019,35	1,023
6	1019,35	1
5	1019,35	1
4	1019,35	1
3	1051,69	1,032
2	1051,69	1
1	1051,69	1
Z	1051,69	1
B	1106,10	1,052

4.3.1.5 Etkin göreli kat ötelemelerinin kontrolü

Etkin göreli kat ötelemelerinin kontrolü **(4.8)** denklemine göre yapılmaktadır.

$$\Delta_{maks} \leq 0{,}02 h_{sx} \qquad \textbf{(4.8)}$$

(4.8) denkleminde h_{sx} binanın x seviyesindeki kat için kat yüksekliğini göstermektedir.

Etkin yer değiştirmeler **(4.9)** denklemiyle hesaplanır.

$$\delta_x = \frac{C_d \, \delta_{xe}}{I} \qquad \textbf{(4.9)}$$

(4.9) denkleminde δ_x x seviyesindeki etkin yer değiştirmeyi, C_d yer değiştirme büyütme katsayısını, δ_{xe} x seviyesinde elastik hesap sonucu elde edilmiş yer değiştirmeyi göstermektedir.

Söz konusu bina için C_d değeri 5,5 olarak alınmıştır.

Etkin göreli kat ötelemelerinin kontrolü eşdeğer deprem yükleri altında, ek dışmerkezlik etkileri göz önüne alınarak yapılmıştır. Sonuçlar Çizelge 4.32'de verilmiş olup yönetmelik koşulu sağlanmıştır.

Çizelge 4.32 : Etkin göreli kat ötelemelerinin kontrolü.

X Doğrultusu					
Kat	**h [m]**	**$\delta_{xe\text{-}maks}$ [m]**	**$\delta_{x\text{-}maks} = C_d\,\delta_{xe}/I$ [m]**	**Δ_{maks} [m]**	**Δ_{maks}/h**
10	3,00	0,056641	0,3115255	0,02632	0,0088
9	3,00	0,051855	0,2852025	0,02800	0,0093
8	3,00	0,046764	0,2572020	0,02943	0,0098
7	3,00	0,041413	0,2277715	0,02963	0,0099
6	3,00	0,036025	0,1981375	0,03032	0,0101
5	3,00	0,030512	0,1678160	0,03048	0,0102
4	3,00	0,024971	0,1373405	0,02999	0,0100
3	3,00	0,019518	0,1073490	0,02787	0,0093
2	3,00	0,014450	0,0794750	0,02637	0,0088
1	3,00	0,009655	0,0531025	0,02405	0,0080
Z	3,00	0,005283	0,0290565	0,02906	0,0097
Y Doğrultusu					
Kat	**h [m]**	**$\delta_{xe\text{-}maks}$ [m]**	**$\delta_{x\text{-}maks} = C_d\,\delta_{xe}/I$ [m]**	**Δ_{maks} [m]**	**Δ_{maks}/h**
10	3,00	0,057958	0,3187690	0,02673	0,0089
9	3,00	0,053098	0,2920390	0,02860	0,0095
8	3,00	0,047898	0,2634390	0,03021	0,0101
7	3,00	0,042406	0,2332330	0,03084	0,0103
6	3,00	0,036799	0,2023945	0,03174	0,0106
5	3,00	0,031028	0,1706540	0,03192	0,0106
4	3,00	0,025225	0,1387375	0,03141	0,0105
3	3,00	0,019515	0,1073325	0,02920	0,0097
2	3,00	0,014206	0,0781330	0,02720	0,0091
1	3,00	0,009261	0,0509355	0,02404	0,0080
Z	3,00	0,004891	0,0269005	0,02690	0,0090

4.3.1.6 İkinci mertebe etkilerin kontrolü

İkinci mertebe etkilerin kontrolü **(4.10)** denklemiyle yapılır.

$$\theta = \frac{P_x \Delta}{V_x h_{sx} C_d} \leq \min\left(\frac{0,5}{\beta C_d}\,;\, 0,25\right) \qquad \textbf{(4.10)}$$

(4.10) denkleminde P_x binanın x seviyesindeki toplam düşey yükü, V_x binanın x seviyesindeki toplam kat kesme kuvvetini ifade etmektedir. β ilgili katta kat kesme

kuvvetinin kat kesme kapasitesine oranıdır ve güvenli tarafta kalmak amacıyla 1 olarak alınabilir.

Etkin göreli kat ötelemelerinin kontrolü eşdeğer deprem yükleri altında, ek dışmerkezlik etkileri göz önüne alınarak yapılmıştır. Üst sınır $0,5/(\beta C_d)$ = 0,0909 olarak alınmıştır ve her katta yönetmelik koşulu sağlanmıştır. Sonuçlar Çizelge 4.33'te verilmiştir.

Çizelge 4.33 : İkinci mertebe etkilerin kontrolü.

X Doğrultusu					
Kat	**h [m]**	**Δ_{maks}/C_d [m]**	**P_x [kN]**	**V_x [kN]**	**θ**
10	3,00	0,00478545	7111,07	2236,4	0,005072
9	3,00	0,00509091	16887,06	4777,32	0,005999
8	3,00	0,00535091	26663,05	6835,46	0,006957
7	3,00	0,00538727	36662,91	8498,89	0,007747
6	3,00	0,00551273	46662,77	9772,45	0,008774
5	3,00	0,00554182	56662,63	10708,13	0,009775
4	3,00	0,00545273	66662,49	11357,91	0,010668
3	3,00	0,00506727	76979,60	11786,96	0,011031
2	3,00	0,00479455	87296,71	12028,3	0,011599
1	3,00	0,00437273	97613,82	12135,56	0,011724
Z	3,00	0,00528364	107930,93	12162,38	0,015629
Y Doğrultusu					
Kat	**h [m]**	**Δ_{maks}/C_d [m]**	**P_x [kN]**	**V_x [kN]**	**θ**
10	3,00	0,00486000	7111,07	2236,4	0,005151
9	3,00	0,00520000	16887,06	4777,32	0,006127
8	3,00	0,00549273	26663,05	6835,46	0,007142
7	3,00	0,00560727	36662,91	8498,89	0,008063
6	3,00	0,00577091	46662,77	9772,45	0,009185
5	3,00	0,00580364	56662,63	10708,13	0,010237
4	3,00	0,00571091	66662,49	11357,91	0,011173
3	3,00	0,00530909	76979,60	11786,96	0,011558
2	3,00	0,00494545	87296,71	12028,3	0,011964
1	3,00	0,00437091	97613,82	12135,56	0,011719
Z	3,00	0,00489091	107930,93	12162,38	0,014468

4.3.1.7 Mod birleştirme yöntemi hesapları

Bu çalışmada mod birleştirme yöntemiyle çözüm sonuçları verilmemiş olup mod birleştirme yöntemi ile analiz yapılacak olması durumunda kullanılacak olan parametreler şu şekildedir:

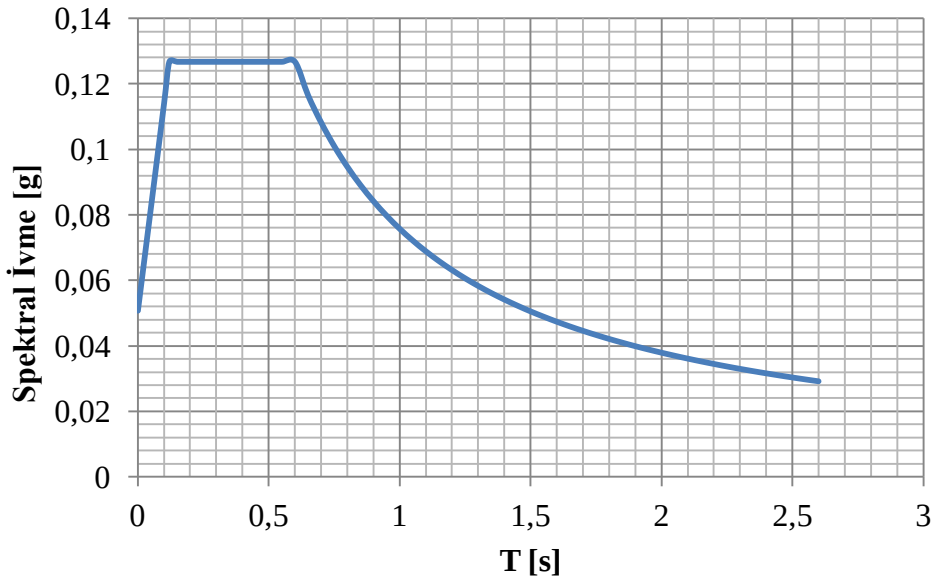
Sismik Tasarım Sınıfı: D (S_{DS} = 0,887 ve S_{D1} = 0,53)

Spektrum Köşe Periyotları: $T_0 = 0{,}2S_{D1}/S_{DS}$ =0,12 s ve $T_S = S_{D1}/S_{DS}$=0,60 s

Bina Önem Katsayısı: I=1

Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı: R=7

Bu bilgiler doğrultusunda oluşturulmuş azaltılmış ivme spektrumu Şekil 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.3 : Amerikan yönetmeliklerine göre azaltılmış ivme spektrumu.

4.3.2 Kesit tasarımlarının yapılması

Bu kısımda Amerikan yönetmeliklerine göre zemin kat tavan kirişleri ile zemin kattaki kolon ve perdeler için eğilme tasarımları yapılmıştır. Kirişler için taşıma gücü azaltma katsayısı Φ=0,9 olup kolon ve perdeler için Φ=0,65 değerini alır.

4.3.2.1 Kiriş kesitlerinin tasarımı

Zemin kat tavanı kirişlerinin eğilme tasarımı yapılmış olup donatılarda pilye uygulanmamıştır. Pas payı 30 mm alınmıştır. Minimum ve maksimum donatı oranları şu şekildedir:

Kirişin altı ve üstü için geçerli minimum donatı oranı: maks($0,25\sqrt{f_{ck}}/f_{yk}$; $1,4/f_{yk}$)

Maksimum donatı oranı: 0,025

ACI318-08 Madde 10.5.1 ve 10.5.3 incelendiğinde sıradan moment karşılayıcı çerçeveler için dikdörtgen bir kesitte eğilme için minimum çekme donatısı; maks($0,25\sqrt{f_{ck}}b_w d/f_{yk}$; $1,4b_w d/f_{yk}$) veya $4/3*A_{s,gerekli}$ değerlerinden küçük olanıyla hesaplanır.

Sonuçlar x doğrultusu için Çizelge 4.34'te belirtilmiştir.

Çizelge 4.34 : X doğrultusu kiriş boyuna donatıları.

Kesit	$A_{s,\ hesap}$ [mm^2]	Donatı
K101 sol üst mesnet	618	2Φ14+3Φ14 (770 mm^2)
K101 sol alt mesnet	447	3Φ14 (462 mm^2)
K101 açıklık	313	3Φ14 (462 mm^2)
K101-K102 üst	657	2Φ14+3Φ14 (770 mm^2)
K101-K102 alt	431	3Φ14 (462 mm^2)
K102 açıklık	299	2Φ14 (308 mm^2)
K102-K103 üst	1118	2Φ14+5Φ16 (1313 mm^2)
K102-K103 alt	776	4Φ14+2Φ14 (924 mm^2)
K103 açıklık	570	4Φ14 (616 mm^2)
K103 sağ üst mesnet	1134	2Φ14+5Φ16 (1313 mm^2)
K103 sağ alt mesnet	570	4Φ14 (616 mm^2)
K104 sol üst mesnet	1020	2Φ14+4Φ16 (1112 mm^2)
K104 sol alt mesnet	570	4Φ14 (616 mm^2)
K104 açıklık	570	4Φ14 (616 mm^2)
K104-K105 üst	1090	2Φ14+4Φ16 (1112 mm^2)
K104-K105 alt	605	4Φ14 (616 mm^2)
K105 açıklık	489	4Φ14 (616 mm^2)
K105-K106 üst	830	2Φ14+4Φ14 (924 mm^2)
K105-K106 alt	620	4Φ14+1Φ14 (770 mm^2)
K106 açıklık	374	3Φ14 (462 mm^2)
K106 sağ üst mesnet	803	2Φ14+4Φ14 (924 mm^2)
K106 sağ alt mesnet	525	3Φ14+1Φ14 (616 mm^2)
K107 sol üst mesnet	1255	2Φ14+5Φ16 (1313 mm^2)
K107 sol alt mesnet	607	4Φ14 (616 mm^2)
K107 açıklık	545	4Φ14 (616 mm^2)
K107-K108 üst	1254	2Φ14+5Φ16 (1313 mm^2)
K107-K108 alt	770	4Φ14+1Φ14 (770 mm^2)
K108 açıklık	570	4Φ14 (616 mm^2)
K108 sağ üst mesnet	864	2Φ14+4Φ14 (924 mm^2)
K108 sağ alt mesnet	796	4Φ14+2Φ14 (924 mm^2)
K109 sol üst mesnet	1297	2Φ14+5Φ16 (1313 mm^2)
K109 sol alt mesnet	627	4Φ14+1Φ14 (770 mm^2)

Çizelge 4.34 (devam) : X doğrultusu kiriş boyuna donatıları.

Kesit	$A_{s,\ hesap}$ [mm^2]	Donatı
K109 açıklık	570	4Φ14 (616 mm^2)
K109-K110 üst	1249	2Φ14+5Φ16 (1313 mm^2)
K109-K110 alt	792	4Φ14+2Φ14 (924 mm^2)
K110 açıklık	570	4Φ14 (616 mm^2)
K110-K111 üst	799	2Φ14+4Φ14 (924 mm^2)
K110-K111 alt	614	4Φ14 (616 mm^2)
K111 açıklık	330	3Φ14 (462 mm^2)
K111 sağ üst mesnet	273	2Φ14 (308 mm^2)
K111 sağ alt mesnet	143	3Φ14 (462 mm^2)
K113 sol üst mesnet	570	2Φ14+2Φ14 (616 mm^2)
K113 sol alt mesnet	556	4Φ14 (616 mm^2)
K113 açıklık	595	4Φ14 (616 mm^2)
K113 sağ üst mesnet	702	2Φ14+3Φ14 (770 mm^2)
K113 sağ alt mesnet	709	4Φ14+1Φ14 (770 mm^2)
K112 sol üst mesnet	1044	2Φ14+5Φ14 (1078 mm^2)
K112 sol alt mesnet	621	4Φ14+1Φ14 (770 mm^2)
K112 açıklık	558	4Φ14 (616 mm^2)
K112-K114 üst	570	2Φ14+2Φ14 (616 mm^2)
K112-K114 alt	570	4Φ14 (616 mm^2)
K114 açıklık	556	4Φ14 (616 mm^2)
K114-K115 üst	570	2Φ14+2Φ14 (616 mm^2)
K114-K115 alt	570	4Φ14 (616 mm^2)
K115 açıklık	271	2Φ14 (308 mm^2)
K115-K116 üst	139	2Φ14 (308 mm^2)
K115-K116 alt	119	2Φ14 (308 mm^2)
K116 açıklık	58	2Φ14 (308 mm^2)
K116-K117 üst	130	2Φ14 (308 mm^2)
K116-K117 alt	130	2Φ14 (308 mm^2)
K117 açıklık	232	2Φ14 (308 mm^2)
K117-K118 üst	722	2Φ14+3Φ14 (770 mm^2)
K117-K118 alt	627	4Φ14+1Φ14 (770 mm^2)
K118 açıklık	529	4Φ14 (616 mm^2)
K118 sağ üst mesnet	990	2Φ14+5Φ14 (1078 mm^2)
K118 sağ alt mesnet	666	4Φ14+1Φ14 (770 mm^2)
K119 sol üst mesnet	1366	2Φ14+5Φ18 (1580 mm^2)
K119 sol alt mesnet	659	4Φ14+1Φ14 (770 mm^2)
K119 açıklık	570	4Φ14 (616 mm^2)
K119-K120 üst	1179	2Φ14+5Φ16 (1313 mm^2)
K119-K120 alt	701	4Φ14+1Φ14 (770 mm^2)
K120 açıklık	567	4Φ14 (616 mm^2)
K120-K121 üst	874	2Φ14+4Φ14 (924 mm^2)
K120-K121 alt	788	4Φ14+2Φ14 (924 mm^2)
K121 açıklık	428	3Φ14 (462 mm^2)
K121-K122 üst	660	2Φ14+3Φ14 (770 mm^2)
K121-K122 alt	450	3Φ14 (462 mm^2)
K122 açıklık	344	3Φ14 (462 mm^2)

Çizelge 4.34 (devam) : X doğrultusu kiriş boyuna donatıları.

Kesit	$A_{s,\ hesap}$ [mm^2]	Donatı
K122-K123 üst	810	2Φ14+4Φ14 (924 mm^2)
K122-K123 alt	570	4Φ14 (616 mm^2)
K123 açıklık	422	3Φ14 (462 mm^2)
K123-K124 üst	833	2Φ14+4Φ14 (924 mm^2)
K123-K124 alt	570	4Φ14 (616 mm^2)
K124 açıklık	523	4Φ14 (616 mm^2)
K124 sağ üst mesnet	1018	2Φ14+5Φ14 (1078 mm^2)
K124 sağ alt mesnet	570	4Φ14 (616 mm^2)
K125 sol üst mesnet	1159	2Φ14+5Φ16 (1313 mm^2)
K125 sol alt mesnet	570	4Φ14 (616 mm^2)
K125 açıklık	570	4Φ14 (616 mm^2)
K125-K126 üst	1232	2Φ14+5Φ16 (1313 mm^2)
K125-K126 alt	760	4Φ14+1Φ14 (770 mm^2)
K126 açıklık	570	4Φ14 (616 mm^2)
K126-K127 üst	995	2Φ14+5Φ14 (1078 mm^2)
K126-K127 alt	760	4Φ14+1Φ14 (770 mm^2)
K127 açıklık	529	4Φ14 (616 mm^2)
K127-K128 üst	1062	2Φ14+5Φ14 (1078 mm^2)
K127-K128 alt	585	4Φ14 (616 mm^2)
K128 açıklık	408	3Φ14 (462 mm^2)
K128 sağ üst mesnet	824	2Φ14+4Φ14 (924 mm^2)
K128 sağ alt mesnet	538	4Φ14 (616 mm^2)
K129 sol üst mesnet	1095	2Φ14+4Φ16 (1112 mm^2)
K129 sol alt mesnet	741	4Φ14+1Φ14 (770 mm^2)
K129 açıklık	552	4Φ14 (616 mm^2)
K129-K130 üst	934	2Φ14+5Φ14 (1078 mm^2)
K129-K130 alt	759	4Φ14+1Φ14 (770 mm^2)
K130 açıklık	423	3Φ14 (462 mm^2)
K130-K131 üst	959	2Φ14+5Φ14 (1078 mm^2)
K130-K131 alt	773	3Φ14+3Φ14 (924 mm^2)
K131 açıklık	537	4Φ14 (616 mm^2)
K131-K132 üst	1012	2Φ14+5Φ14 (1078 mm^2)
K131-K132 alt	877	5Φ14+1Φ14 (924 mm^2)
K132 açıklık	707	5Φ14 (770 mm^2)
K132 sağ üst mesnet	939	2Φ14+5Φ14 (1078 mm^2)
K132 sağ alt mesnet	844	5Φ14+1Φ14 (924 mm^2)

Amerikan yönetmelikleri kullanılarak eşdeğer deprem yükü yöntemine göre çözümleme yapıldığında, y doğrultusu için zemin katta hesaplanan kiriş boyuna donatıları Çizelge 4.35'te verilmiştir.

Çizelge 4.35 : Y doğrultusu kiriş boyuna donatıları.

Kesit	$A_{s,\ hesap}$ [mm^2]	Donatı
K133 sol üst mesnet	619	2Φ14+3Φ14 (770 mm^2)
K133 sol alt mesnet	406	3Φ14 (462 mm^2)
K133 açıklık	506	4Φ14 (616 mm^2)
K133-K134 üst	938	2Φ14+5Φ14 (1078 mm^2)
K133-K134 alt	587	4Φ14 (616 mm^2)
K134 açıklık	472	4Φ14 (616 mm^2)
K134-K135 üst	965	2Φ14+5Φ14 (1078 mm^2)
K134-K135 alt	570	4Φ14 (616 mm^2)
K135 açıklık	509	4Φ14 (616 mm^2)
K135-K136 üst	1052	2Φ14+5Φ14 (1078 mm^2)
K135-K136 alt	593	4Φ14 (616 mm^2)
K136 açıklık	480	4Φ14 (616 mm^2)
K136-K137 üst	846	2Φ14+4Φ14 (924 mm^2)
K136-K137 alt	570	4Φ14 (616 mm^2)
K137 açıklık	501	4Φ14 (616 mm^2)
K137-K138 üst	933	2Φ14+5Φ14 (1078 mm^2)
K137-K138 alt	607	4Φ14 (616 mm^2)
K138 açıklık	498	4Φ14 (616 mm^2)
K138 sağ üst mesnet	606	2Φ14+2Φ14 (616 mm^2)
K138 sağ alt mesnet	398	3Φ14 (462 mm^2)
K139 sol üst mesnet	1225	2Φ14+5Φ16 (1313 mm^2)
K139 sol alt mesnet	594	4Φ14 (616 mm^2)
K139 açıklık	568	4Φ14 (616 mm^2)
K139-K140 üst	1095	2Φ14+4Φ16 (1112 mm^2)
K139-K140 alt	628	4Φ14+1Φ14 (770 mm^2)
K140 açıklık	526	4Φ14 (616 mm^2)
K140-K141 üst	795	2Φ14+4Φ14 (924 mm^2)
K140-K141 alt	656	4Φ14+1Φ14 (770 mm^2)
K141 açıklık	339	3Φ14 (462 mm^2)
K141-K142 üst	897	2Φ14+4Φ14 (924 mm^2)
K141-K142 alt	570	4Φ14 (616 mm^2)
K142 açıklık	466	4Φ14 (616 mm^2)
K142-K143 üst	946	2Φ14+5Φ14 (1078 mm^2)
K142-K143 alt	570	4Φ14 (616 mm^2)
K143 açıklık	398	3Φ14 (462 mm^2)
K143-K144 üst	933	2Φ14+5Φ14 (1078 mm^2)
K143-K144 alt	718	4Φ14+1Φ14 (770 mm^2)
K144 açıklık	570	4Φ14 (616 mm^2)
K144-K145 üst	1089	2Φ14+4Φ16 (1112 mm^2)
K144-K145 alt	597	4Φ14 (616 mm^2)
K145 açıklık	570	4Φ14 (616 mm^2)
K145 sağ üst mesnet	1246	2Φ14+5Φ16 (1313 mm^2)
K145 sağ alt mesnet	603	4Φ14 (616 mm^2)
K146 sol üst mesnet	1053	2Φ14+5Φ14 (1078 mm^2)
K146 sol alt mesnet	570	4Φ14 (616 mm^2)
K146 açıklık	535	4Φ14 (616 mm^2)

Çizelge 4.35 (devam) : Y doğrultusu kiriş boyuna donatıları.

Kesit	$A_{s,\ hesap}$ [mm^2]	Donatı
K146-K147 üst	1263	2Φ14+5Φ16 (1313 mm^2)
K146-K147 alt	752	4Φ14+1Φ14 (770 mm^2)
K147 açıklık	570	4Φ14 (616 mm^2)
K147-K148 üst	1057	2Φ14+5Φ14 (1078 mm^2)
K147-K148 alt	954	4Φ14+3Φ14 (1078 mm^2)
K148 açıklık	339	3Φ14 (462 mm^2)
K148 sağ üst mesnet	570	2Φ14+2Φ14 (616 mm^2)
K148 sağ alt mesnet	589	4Φ14 (616 mm^2)
K149 sol üst mesnet	1144	2Φ14+5Φ16 (1313 mm^2)
K149 sol alt mesnet	1201	6Φ16 (1206 mm^2)
K149 açıklık	599	4Φ14 (616 mm^2)
K149 sağ üst mesnet	661	2Φ14+3Φ14 (770 mm^2)
K149 sağ alt mesnet	628	4Φ14+1Φ14 (770 mm^2)
K150 sol üst mesnet	832	2Φ14+4Φ14 (924 mm^2)
K150 sol alt mesnet	730	4Φ14+1Φ14 (770 mm^2)
K150 açıklık	570	4Φ14 (616 mm^2)
K150-K151 üst	1230	2Φ14+5Φ16 (1313 mm^2)
K150-K151 alt	794	4Φ14+2Φ14 (924 mm^2)
K151 açıklık	562	4Φ14 (616 mm^2)
K151 sağ üst mesnet	1058	2Φ14+5Φ14 (1078 mm^2)
K151 sağ alt mesnet	570	4Φ14 (616 mm^2)
K152 sol üst mesnet	1182	2Φ14+5Φ16 (1313 mm^2)
K152 sol alt mesnet	573	4Φ14 (616 mm^2)
K152 açıklık	563	4Φ14 (616 mm^2)
K152-K153 üst	1067	2Φ14+5Φ14 (1078 mm^2)
K152-K153 alt	570	4Φ14 (616 mm^2)
K153 açıklık	469	4Φ14 (616 mm^2)
K153-K154 üst	807	2Φ14+4Φ14 (924 mm^2)
K153-K154 alt	710	4Φ14+1Φ14 (770 mm^2)
K154 açıklık	328	3Φ14 (462 mm^2)
K154 sağ üst mesnet	319	2Φ14+1Φ14 (462 mm^2)
K154 sağ alt mesnet	341	3Φ14 (462 mm^2)
K155 sol üst mesnet	1007	2Φ14+5Φ14 (1078 mm^2)
K155 sol alt mesnet	1011	5Φ14+2Φ14 (1078 mm^2)
K155 açıklık	701	5Φ14 (770 mm^2)
K155 sağ üst mesnet	325	2Φ14+1Φ14 (462 mm^2)
K155 sağ alt mesnet	325	3Φ14 (462 mm^2)
K156 sol üst mesnet	786	2Φ14+4Φ14 (924 mm^2)
K156 sol alt mesnet	662	4Φ14+1Φ14 (770 mm^2)
K156 açıklık	570	4Φ14 (616 mm^2)
K156-K157 üst	1174	2Φ14+5Φ16 (1313 mm^2)
K156-K157 alt	668	4Φ14+1Φ14 (770 mm^2)
K157 açıklık	570	4Φ14 (616 mm^2)
K157 sağ üst mesnet	1273	2Φ14+5Φ16 (1313 mm^2)
K157 sağ alt mesnet	616	4Φ14 (616 mm^2)
K158 sol üst mesnet	570	2Φ14+2Φ14 (616 mm^2)

Çizelge 4.35 (devam) : Y doğrultusu kiriş boyuna donatıları.

Kesit	$A_{s,\ hesap}$ [mm^2]	Donatı
K158 sol alt mesnet	364	3Φ14 (462 mm^2)
K158 açıklık	467	4Φ14 (616 mm^2)
K158-K159 üst	902	2Φ14+4Φ14 (924 mm^2)
K158-K159 alt	593	4Φ14 (616 mm^2)
K159 açıklık	479	4Φ14 (616 mm^2)
K159-K160 üst	1785	2Φ14+5Φ20 (1879 mm^2)
K159-K160 alt	939	4Φ14+2Φ14 (924 mm^2)
K160 açıklık	593	4Φ14 (616 mm^2)
K160 sağ üst mesnet	570	2Φ14+2Φ14 (616 mm^2)
K160 sağ alt mesnet	776	4Φ14+2Φ14 (924 mm^2)
K161 sol üst mesnet	1094	2Φ14+4Φ16 (1112 mm^2)
K161 sol alt mesnet	1106	6Φ16 (1206 mm^2)
K161 açıklık	647	5Φ14 (770 mm^2)
K161 sağ üst mesnet	570	4Φ14 (616 mm^2)
K161 sağ alt mesnet	570	4Φ14 (616 mm^2)
K162 sol üst mesnet	817	2Φ14+4Φ14 (924 mm^2)
K162 sol alt mesnet	669	4Φ14+1Φ14 (770 mm^2)
K162 açıklık	570	4Φ14 (616 mm^2)
K162-K163 üst	1173	2Φ14+5Φ16 (1313 mm^2)
K162-K163 alt	758	4Φ14+1Φ14 (770 mm^2)
K163 açıklık	554	4Φ14 (616 mm^2)
K163 sağ üst mesnet	968	2Φ14+5Φ14 (1078 mm^2)
K163 sağ alt mesnet	570	4Φ14 (616 mm^2)
K164 sol üst mesnet	413	2Φ14+1Φ14 (462 mm^2)
K164 sol alt mesnet	304	2Φ14 (308 mm^2)
K164 açıklık	410	3Φ14 (462 mm^2)
K164-K165 üst	772	2Φ14+4Φ14 (924 mm^2)
K164-K165 alt	570	3Φ14+1Φ14 (616 mm^2)
K165 açıklık	402	3Φ14 (462 mm^2)
K165-K166 üst	773	2Φ14+4Φ14 (924 mm^2)
K165-K166 alt	505	3Φ14+1Φ14 (616 mm^2)
K166 açıklık	355	3Φ14 (462 mm^2)
K166-K167 üst	876	2Φ14+4Φ14 (924 mm^2)
K166-K167 alt	628	4Φ14+1Φ14 (770 mm^2)
K167 açıklık	524	4Φ14 (616 mm^2)
K167-K168 üst	1051	2Φ14+5Φ14 (1078 mm^2)
K167-K168 alt	570	4Φ14 (616 mm^2)
K168 açıklık	570	4Φ14 (616 mm^2)
K168 sağ üst mesnet	1161	2Φ14+5Φ16 (1313 mm^2)
K168 sağ alt mesnet	570	4Φ14 (616 mm^2)
K169 sol üst mesnet	838	2Φ14+4Φ14 (924 mm^2)
K169 sol alt mesnet	547	4Φ14 (616 mm^2)
K169 açıklık	464	4Φ14 (616 mm^2)
K169-K170 üst	905	2Φ14+4Φ14 (924 mm^2)
K169-K170 alt	570	4Φ14 (616 mm^2)
K170 açıklık	385	3Φ14 (462 mm^2)
K170-K171 üst	715	2Φ14+3Φ14 (770 mm^2)
K170-K171 alt	469	3Φ14+1Φ14 (616 mm^2)
K171 açıklık	422	3Φ14 (462 mm^2)
K171-K172 üst	847	2Φ14+4Φ14 (924 mm^2)
K171-K172 alt	570	3Φ14+1Φ14 (616 mm^2)
K172 açıklık	456	3Φ14 (462 mm^2)
K172 sağ üst mesnet	570	2Φ14+2Φ14 (616 mm^2)
K172 sağ alt mesnet	350	3Φ14 (462 mm^2)

4.3.2.2 Kolon kesitlerinin tasarımı

Amerikan yönetmeliklerine göre zemin kat kolonlarının eğilme tasarımları yapılmıştır. Pas payı 40 mm olarak alınmıştır. Minimum ve maksimum boyuna donatı miktarları şu şekildedir:

Minimum donatı: 0,01 A_c

Maksimum donatı: 0,06 A_c

Hesaplar sonucunda tüm kolonlarda minimum donatı seçilmiştir. Sonuçlar, Türk yönetmeliklerine göre yapılan tasarımla aynıdır.

4.3.2.3 Perde kesitlerinin tasarımı

Perde kesitleri, perdelerin tabanında elde edilen en elverişsiz moment değerine göre tasarlanmıştır. Boyutsuz moment değerleri çok küçük çıktığından perde uç bölgelerinde minimum donatı kullanılmıştır. Gövde donatıları da minimum donatılı olarak hesaplanmış ve seçilen donatılar Çizelge 4.36'da verilmiştir. Kullanılan minimum donatı miktarları şu şekildedir:

Perde uç bölgesinde minimum donatı: $0{,}0025A_{perde}$

Perde gövdesinde minimum donatı: $0{,}0025A_{perde}$

Çizelge 4.36 : Zemin katta perde boyuna donatıları.

Perde	Boyut [cm x cm]		Minimum Donatı [mm^2]			Seçilen Donatı
			Perde Uç Bölgesi Toplamı	Perde Gövdesi	Toplam	
P01	210	30	3150	1575	4725	16Φ20 (5027 mm^2)
P02	210	30	3150	1575	4725	16Φ20 (5027 mm^2)
P03	934	30	14010	7005	21015	56Φ22 (21287 mm^2)
P04	685	30	10275	5138	15413	42Φ22 (15966 mm^2)
P05	30	457	6855	3428	10283	28Φ22 (10644 mm^2)
P06	30	457	6855	3428	10283	28Φ22 (10644 mm^2)
P07	30	457	6855	3428	10283	28Φ22 (10644 mm^2)
P08	30	267	4005	2003	6008	16Φ22 (6082 mm^2)
P09	30	267	4005	2003	6008	16Φ22 (6082 mm^2)
P10	30	267	4005	2003	6008	16Φ22 (6082 mm^2)
P11	30	267	4005	2003	6008	16Φ22 (6082 mm^2)
P12	30	267	4005	2003	6008	16Φ22 (6082 mm^2)
P13	210	30	3150	1575	4725	16Φ20 (5027 mm^2)
P14	210	30	3150	1575	4725	16Φ20 (5027 mm^2)

4.3.3 Donatı metraj ve maliyeti

Zemin kat kolon ve perdeleri ile zemin kat tavanı kirişleri için hesaplanan donatı miktarı belirlenmiş ve yapının bir katı için donatı maliyeti çıkarılmıştır. Sonuçlar Çizelge 4.37'de verilmiştir.

Çizelge 4.37 : Zemin katta donatı metraj ve maliyeti.

Yapı Elemanı	**Donatı Miktarı [ton]**	**Birim Fiyat [TL/ton]**	**Maliyet [TL]**
Kiriş	4,405	1325	5837
Kolon	6,923		9173
Perde	5,544		7346
Toplam	16,872		22355

5. HESAP SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Bu bölümde aynı yapı için üç ayrı yönetmeliğe göre elde edilen sonuçların karşılaştırılması amaçlanmıştır.

5.1 Yapı Periyotlarının Karşılaştırılması

Modal analiz, Eurocode 8'de söz konusu yapı için periyot hesabında kullanılmasına izin verilmiş yaklaşık formül ve ASCE/SEI 7'de verilmiş olan yaklaşık formülle hesaplanmış yapı periyotlarının karşılaştırılması Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1 : Yapı periyotlarının karşılaştırılması.

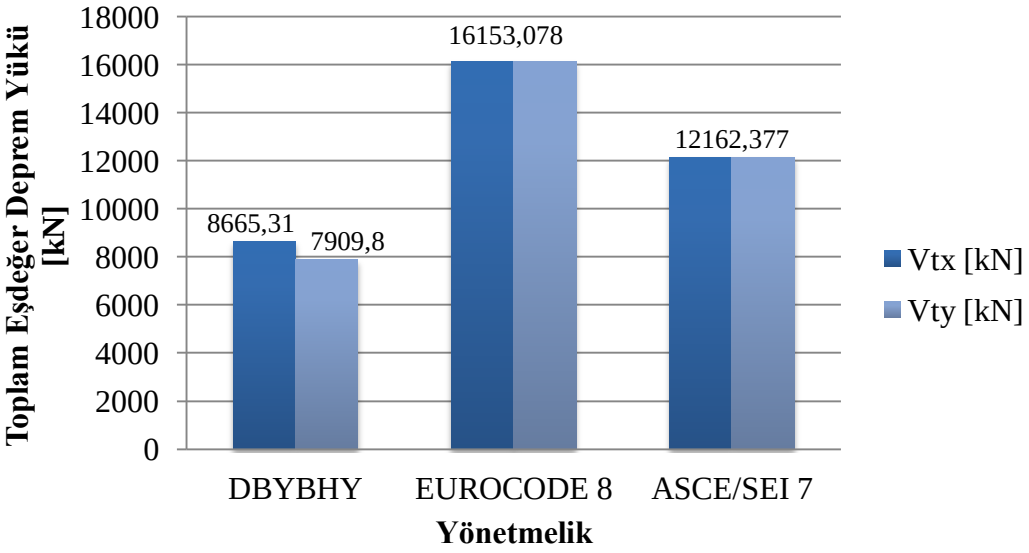
	Modal Analiz	**Eurocode 8 (Yaklaşık Formül)**	**ASCE/SEI 7 (Yaklaşık Formül)**
$\mathbf{T_{1x}}$ **[s]**	0,821	0,688	0,672
$\mathbf{T_{1y}}$ **[s]**	0,922	0,688	0,672

Çizelge 5.1'de görüleceği üzere, Eurocode 8 ve ASCE/SEI 7'de verilen yaklaşık formüllerle hesaplanan yapı periyotları, birbirlerine oldukça yakın çıkmıştır.

5.2 Taban Kesme Kuvvetlerinin Karşılaştırılması

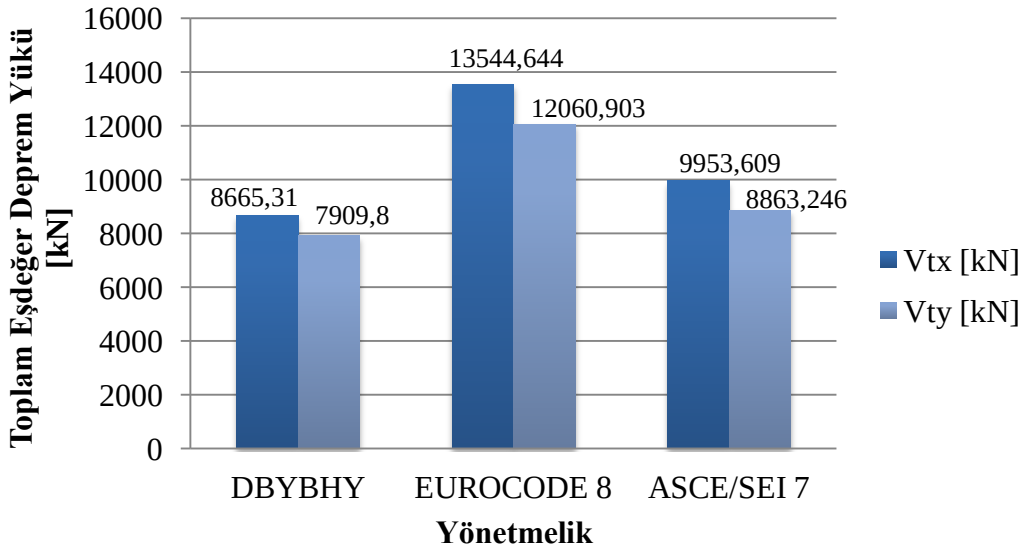
Her üç yönetmelik dahilinde eşdeğer deprem yükü yöntemi ile yapılan hesapta, x ve y doğrultularında elde edilen taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması Şekil 5.1'de verilmiştir.

Eşdeğer deprem yükü yöntemiyle hesap yapıldığında, yapıda oluşan en büyük taban kesme kuvveti her iki doğrultu için de Eurocode 8'de elde edilmiştir. Eurocode 8'e göre hesaplanan değer, ASCE/SEI 7'ye göre hesaplanan değerin 1,33 katı iken DBYBHY'ye göre hesaplanan değerin x doğrultusunda 1,86 katı ve y doğrultusunda 2,04 katıdır. ASCE/SEI 7'ye göre hesaplanan değer ise DBYBHY'ye göre hesaplanan değerin x doğrultusunda 1,40 katı iken, y doğrultusunda 1,54 katıdır.



Şekil 5.1 : Yaklaşık formüllerle hesaplanan periyotlar kullanılarak EDYY taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması.

Sonuçların bu şekilde elde edilmesinde hesaplanan periyot değerlerinin farklı olmasının etkisi olduğu açıktır. Karşılaştırmanın daha iyi yapılabilmesi amacıyla modal analizden elde edilen periyot değerlerine göre taban kesme kuvvetleri her bir yönetmeliğe göre tekrar hesaplanmış ve böylece ASCE/SEI 7 ve Eurocode 8'e göre hesapta yaklaşık yöntemle hesaplanan periyot yerine her iki doğrultu için de farklı periyot değerleri kullanılarak x ve y doğrultularında farklı taban kesme kuvvetleri elde edilmiştir. Bu şekilde elde edilen sonuçlar Şekil 5.2'de verilmiştir.



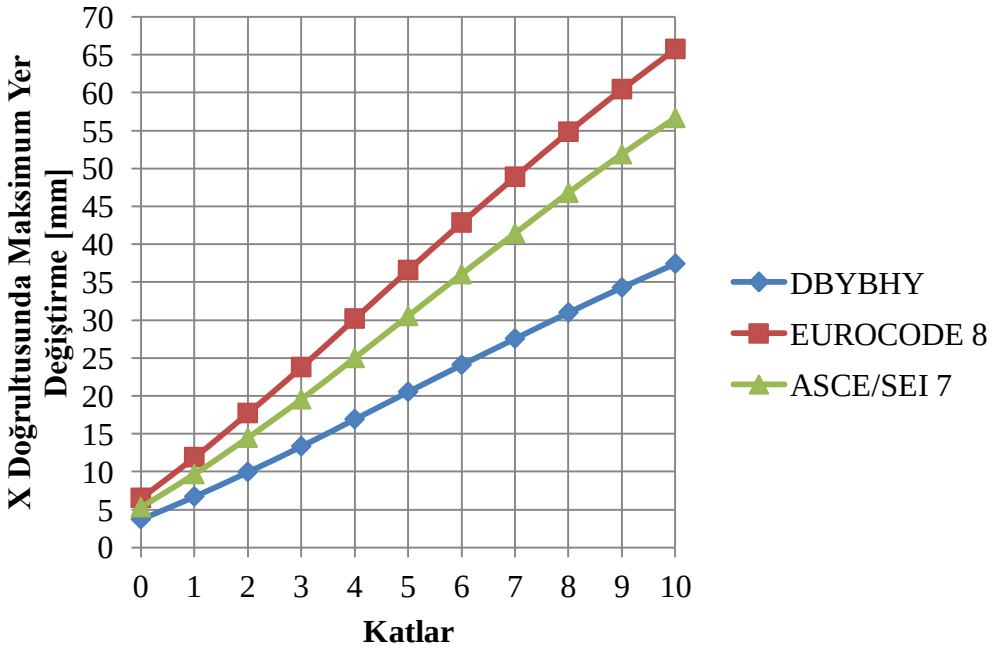
Şekil 5.2 : Modal analizle elde edilen periyotlar kullanılarak EDYY ile elde edilen taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması.

Bu durumda da toplam eşdeğer deprem yükü en fazla Eurocode 8'e göre yapılan hesapta oluşurken, en küçük değerler DBYBHY'ye göre yapılan hesaplarda elde edilmiştir. Burada Eurocode 8'den elde edilen sonuç, DBYBHY taban kesme kuvvetinin x doğrultusunda 1,56 katı, y doğrultusunda 1,52 katı olmuştur. Bu sonucun elde edilmesinde hesapta kullanılan parametrelerin (yapı davranış katsayısı gibi) farklı olması etkili olmuştur. Eurocode 8'den elde edilen sonuç, ASCE/SEI 7'ye göre hesaplanan değerin her iki doğrultu için de 1,36 katı olmuştur. ASCE/SEI 7'den elde edilen değerler ise DBYBHY'den elde edilen değerin x doğrultusunda 1,15 katı iken, y doğrultusunda 1,12 katıdır.

5.3 Yer Değiştirmelerin ve Maksimum Göreli Ötelemelerin Karşılaştırılması

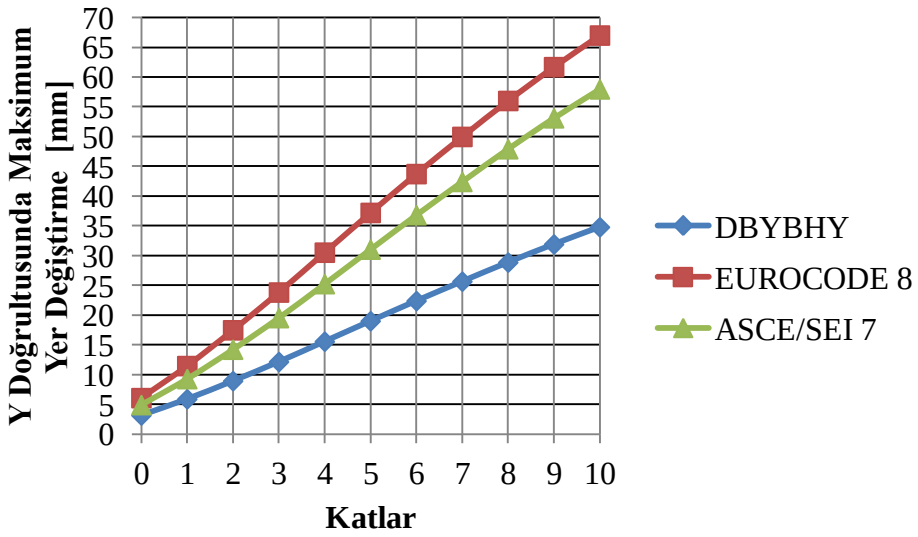
Türk, Avrupa ve Amerikan yönetmeliklerine göre, ek dışmerkezlik etkileri göz önüne alınarak etkitilmiş olan eşdeğer deprem yükleri altında elde edilen maksimum yer değiştirmeler, minimum yer değiştirmeler ve maksimum göreli öteleme değerleri karşılaştırılmıştır.

Yapıda x doğrultusunda elde edilen maksimum yer değiştirmelerin karşılaştırılması Şekil 5.3'te, y doğrultusunda elde edilen maksimum yer değiştirmelerin karşılaştırılması Şekil 5.4'te verilmiştir.



Şekil 5.3 : X doğrultusunda maksimum yer değiştirmelerin karşılaştırılması.

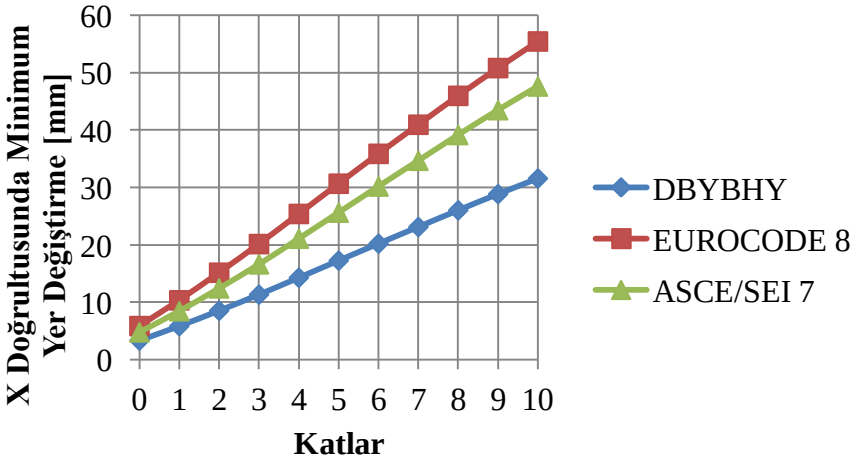
X doğrultusunda 10. katta elde edilen maksimum yer değiştirme değerleri; DBYBHY'ye göre 37,413 mm, Eurocode 8'e göre 65,737 mm, ASCE/SEI 7'ye göre 56,641 mm olmuştur. Eurocode 8 sonucu ASCE/SEI sonucundan %16,06, DBYBHY sonucundan %75,71 daha fazladır.



Şekil 5.4 : Y doğrultusunda maksimum yer değiştirmelerin karşılaştırılması.

Y doğrultusunda 10. katta elde edilen maksimum yer değiştirme değerleri; DBYBHY'ye göre 34,779 mm, Eurocode 8'e göre 67,008 mm, ASCE/SEI 7'ye göre 57,958 mm olmuştur. Eurocode 8 sonucu ASCE/SEI sonucundan %15,61 ve DBYBHY sonucundan %92,67 daha fazladır.

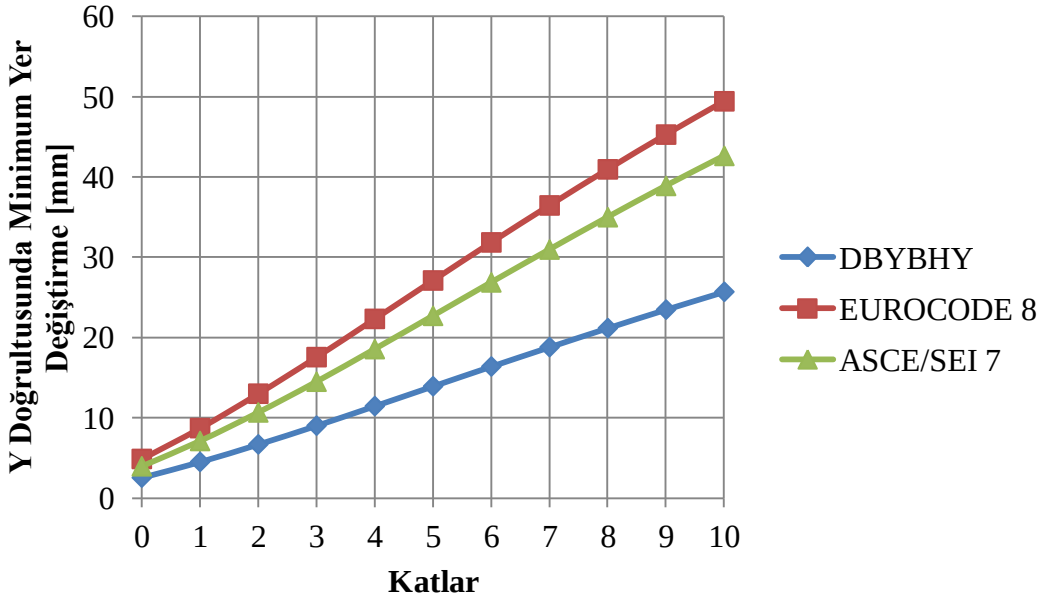
X doğrultusunda minimum yer değiştirmelerin karşılaştırılması Şekil 5.5'te verilmiştir.



Şekil 5.5 : X doğrultusunda minimum yer değiştirmelerin karşılaştırılması.

X doğrultusunda zemin katta elde edilen minimum yer değiştirme değerleri; DBYBHY'ye göre 3,38 mm, Eurocode 8'e göre 5,903 mm, ASCE/SEI 7'ye göre 4,818 mm olmuştur. Eurocode 8 sonucu ASCE/SEI 7 sonucundan %22,52, DBYBHY sonucundan %74,64 daha fazladır.

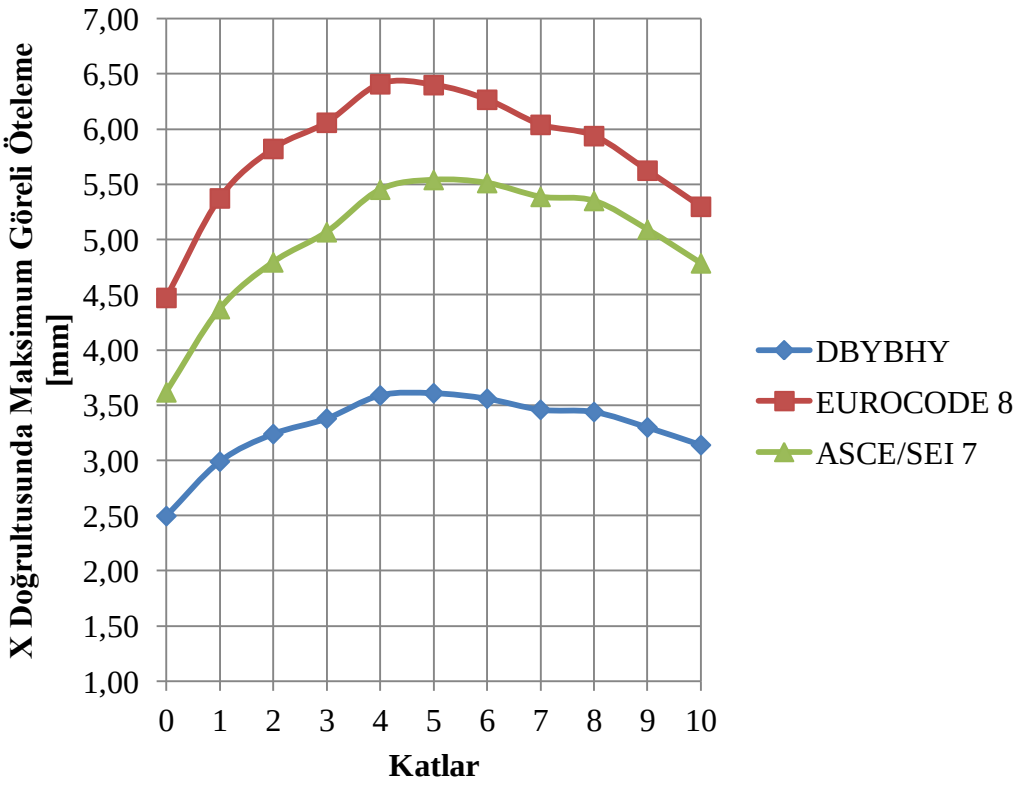
Y doğrultusunda minimum yer değiştirmelerin karşılaştırılması Şekil 5.6'da verilmiştir.



Şekil 5.6 : Y doğrultusunda minimum yer değiştirmelerin karşılaştırılması.

Y doğrultusunda zemin katta elde edilen minimum yer değiştirme değerleri; DBYBHY'ye göre 2,538 mm, Eurocode 8'e göre 4,861 mm, ASCE/SEI 7'ye göre 3,951 mm olmuştur. Eurocode 8 sonucu ASCE/SEI 7 sonucundan %23,03, DBYBHY sonucundan %91,53 daha fazladır.

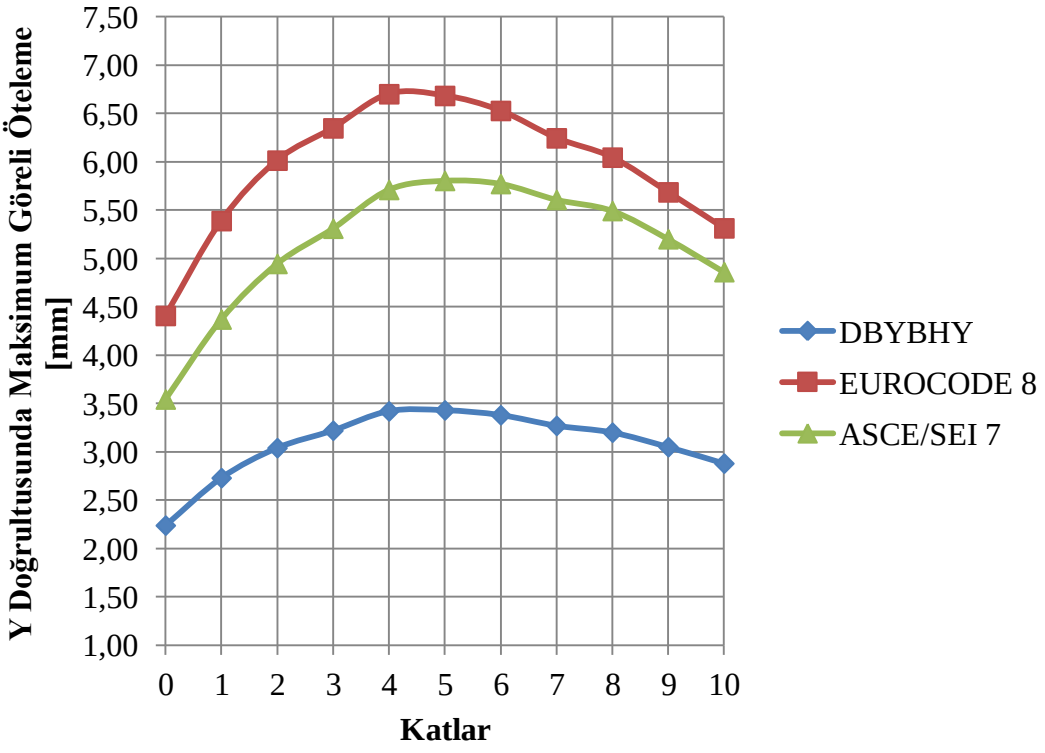
X doğrultusunda maksimum göreli ötelemelerin karşılaştırılması Şekil 5.7'de, y doğrultusunda maksimum göreli ötelemelerin karşılaştırılması Şekil 5.8'de verilmiştir.



Şekil 5.7 : X doğrultusunda maksimum göreli ötelemelerin karşılaştırılması.

X doğrultusunda maksimum göreli ötelemelerin en büyük değerleri 5. katta elde edilmiştir. X doğrultusunda maksimum göreli ötelemenin en büyük değeri DBYBHY'ye göre 3,61 mm, Eurocode 8'e göre 6,41 mm, ASCE/SEI 7'ye göre 5,54 mm bulunmuştur. Eurocode 8'e göre hesaplanan değer DBYBHY'ye göre hesaplanan değerden %77,51 ve ASCE/SEI 7'ye göre hesaplanan değerden %15,67 daha fazladır.

X doğrultusunda maksimum göreli ötelemelerin en küçük değerleri tabanda elde edilmiştir. X doğrultusunda maksimum göreli ötelemenin en küçük değeri DBYBHY'ye göre 2,497 mm, Eurocode 8'e göre 4,473 mm, ASCE/SEI 7'ye göre 3,618 mm bulunmuştur. Eurocode 8'e göre hesaplanan değer DBYBHY'ye göre hesaplanan değerden %79,13, ASCE/SEI 7'ye göre hesaplanan değerden %23,63 daha fazladır.



Şekil 5.8 : Y doğrultusunda maksimum göreli ötelemelerin karşılaştırılması.

Y doğrultusunda maksimum göreli ötelemelerin en büyük değerleri 5. katta elde edilmiştir. Y doğrultusunda maksimum göreli ötelemenin en büyük değeri DBYBHY'ye göre 3,43 mm, Eurocode 8'e göre 6,7 mm, ASCE/SEI 7'ye göre 5,803 mm bulunmuştur. Eurocode 8'e göre hesaplanan değer DBYBHY'ye göre hesaplanan değerden %95,34, ASCE/SEI 7'ye göre hesaplanan değerden %15,46 daha fazladır.

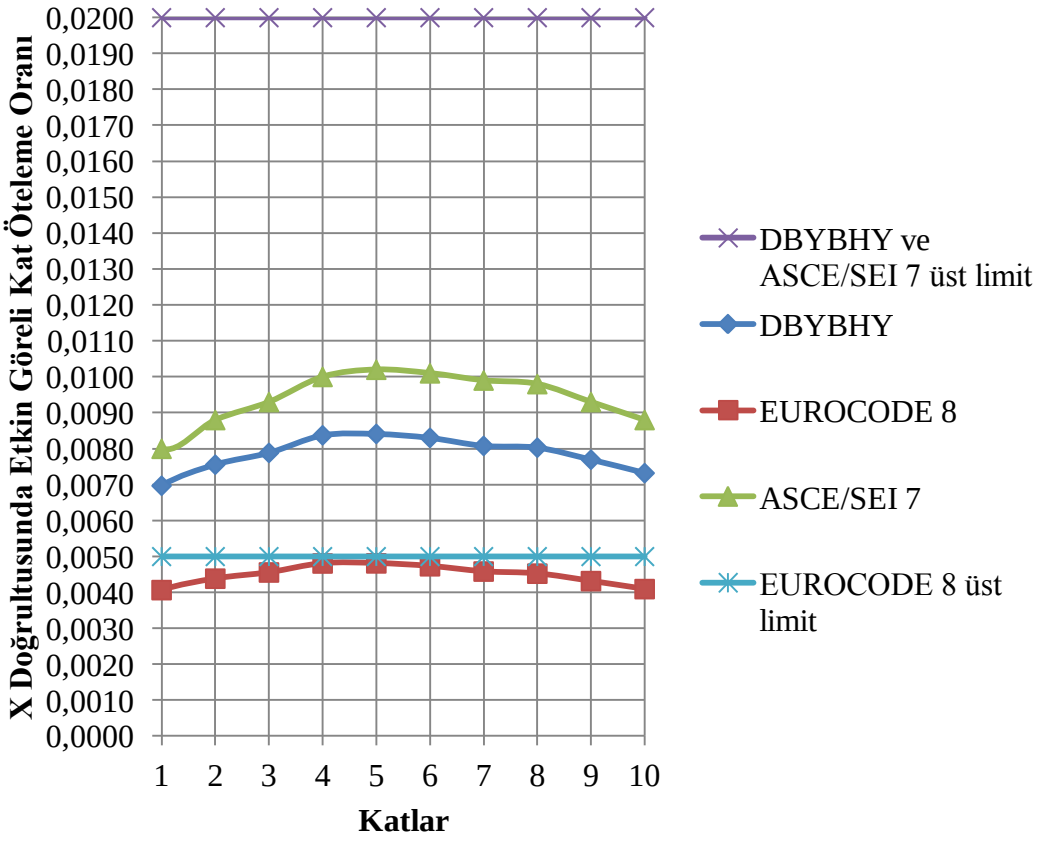
Y doğrultusunda maksimum göreli ötelemelerin en küçük değerleri tabanda elde edilmiştir. Y doğrultusunda maksimum göreli ötelemenin en küçük değeri DBYBHY'ye göre 2,239 mm, Eurocode 8'e göre 4,407 mm, ASCE/SEI 7'ye göre 3,543 mm bulunmuştur. Eurocode 8'e göre hesaplanan değer DBYBHY'ye göre hesaplanan değerden %96,83, ASCE/SEI 7'ye göre hesaplanan değerden %24,39 daha fazladır.

5.4 Etkin Göreli Kat Öteleme Oranlarının Karşılaştırılması

Etkin göreli kat öteleme oranı olarak, ilgili katta etkin göreli öteleme değerinin kat yüksekliğine oranı ifade edilmektedir. Bu değer hesaplanırken DBYBHY'de ve Eurocode 8'de yer değiştirmeler yapı davranış katsayısıyla çarpılmaktadır, ancak

Eurocode 8'de kat ötelemeleri kontrol edilirken kattaki ortalama değer göz önünde bulundurulmakta olup elde edilen sonuç daha sık periyotlu bir deprem etkisi dikkate alınarak azaltılmaktadır. ASCE/SEI 7'ye göre hesaplamalarda ise yer değiştirmeler deplasman büyütme katsayısıyla çarpılarak arttırılırken elde edilen sonuç bina önem katsayısına bölünmektedir.

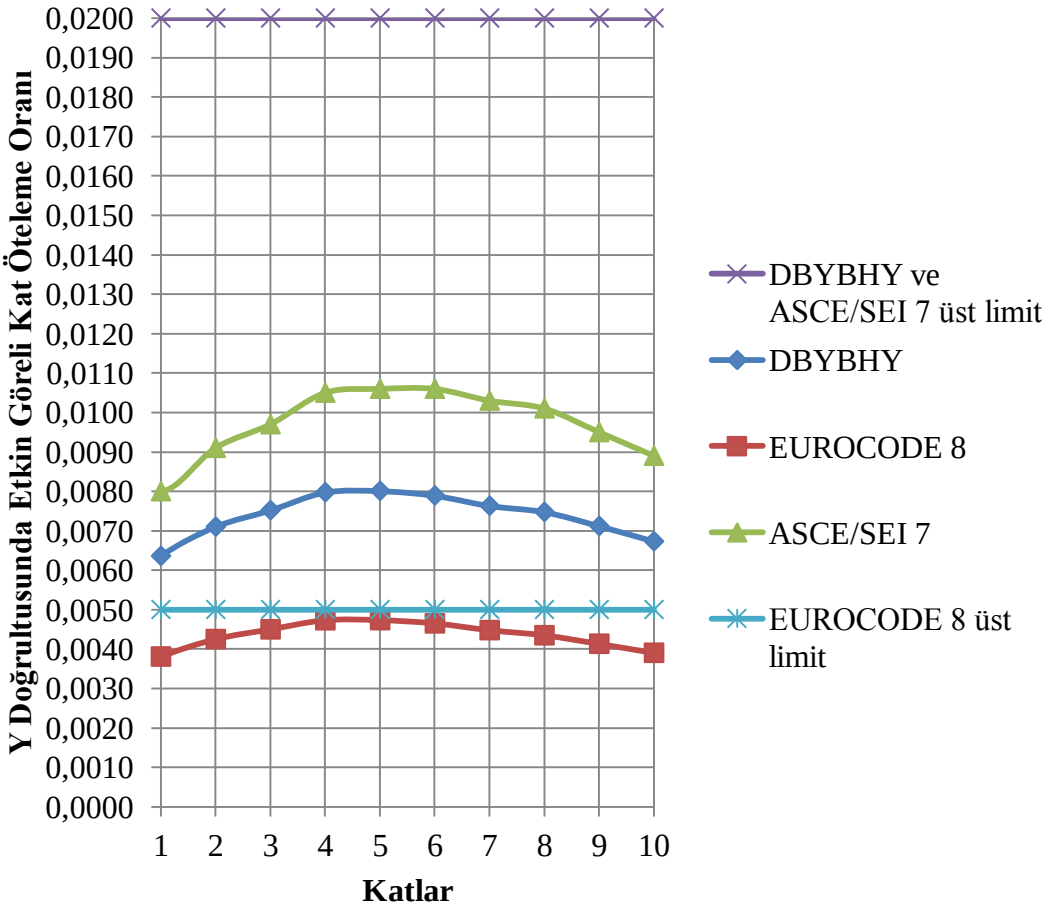
X doğrultusunda etkin göreli kat öteleme oranlarının karşılaştırılması Şekil 5.9'da, y doğrultusunda etkin göreli kat öteleme oranlarının karşılaştırılması Şekil 5.10'da verilmiştir.



Şekil 5.9 : X doğrultusunda etkin göreli kat öteleme oranlarının karşılaştırılması.

DBYBHY ve ASCE/SEI 7 için etkin göreli kat öteleme oranlarında aşılmaması istenen üst sınır 0,02 iken Eurocode 8'de bu değer 0,005 olmaktadır. Bu açıdan bakıldığında Eurocode 8'de daha sık periyotlu bir depremin etkisinin göz önünde bulundurulmasıyla tasarım depreminin yapıda oluşturacağı etkiler azaltılmış ve etkin göreli kat öteleme oranlarının çok daha düşük seviyede kalması sağlanmıştır.

X doğrultusunda etkin göreli kat öteleme oranları 5. katta en büyük değerini almaktadır. Burada, DBYBHY'ye göre hesaplanan değer 0,008414 iken Eurocode 8'e göre hesaplanan değer 0,00481 ve ASCE/SEI 7'ye göre hesaplanan değer 0,0102 olmuştur. ASCE/SEI 7'de elde edilen değer, DBYBHY sonucunun 1,21 katı olup Eurocode 8'de elde edilen değerin 2,12 katı olmaktadır.



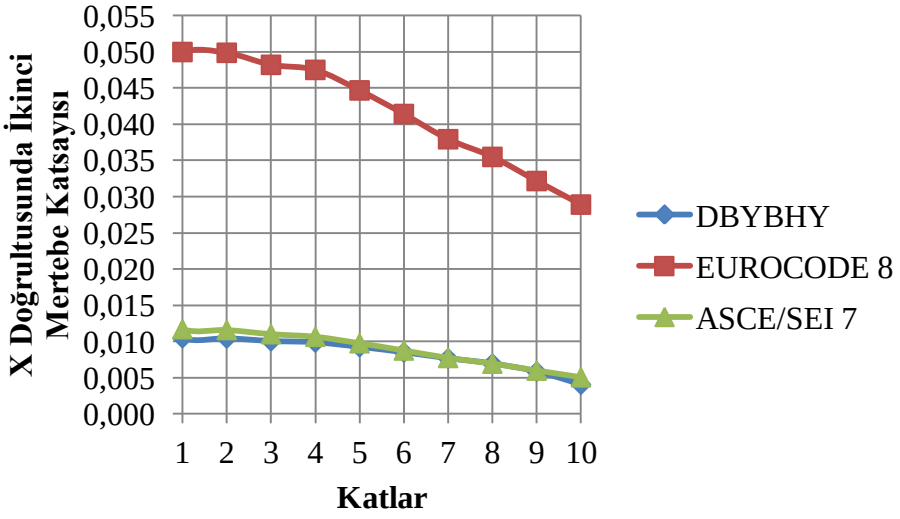
Şekil 5.10 : Y doğrultusunda etkin göreli kat öteleme oranlarının karşılaştırılması.

Y doğrultusunda da etkin göreli kat öteleme oranları 5. katta en büyük değerini almaktadır. Burada, DBYBHY'ye göre hesaplanan değer 0,008009 iken Eurocode 8'e göre hesaplanan değer 0,00473 ve ASCE/SEI 7'ye göre hesaplanan değer 0,0106 olmuştur. ASCE/SEI 7'de elde edilen değer, DBYBHY sonucunun 1,32 katı olup Eurocode 8'de elde edilen değerin 2,24 katı olmaktadır.

Her iki doğrultuda da ASCE/SEI 7 sonuçları DBYBHY sonuçlarından büyük çıkmaktadır, bu durumun oluşmasında ek dışmerkezlik etkileri altında ortaya çıkan eşdeğer deprem yüklerinin ASCE/SEI 7'de daha büyük çıkması etkilidir.

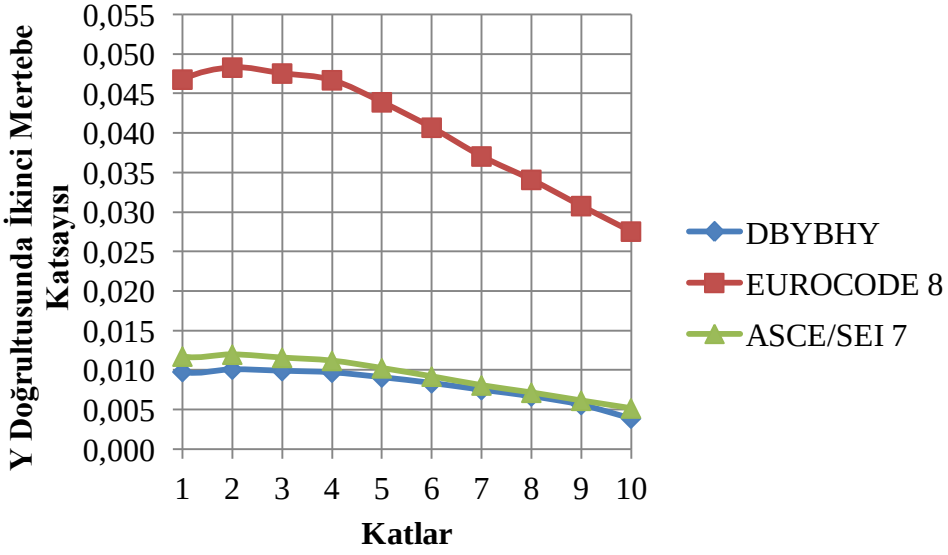
5.5 İkinci Mertebe Etkilerin Karşılaştırılması

İkinci mertebe etkilerin x doğrultusu için karşılaştırılması Şekil 5.11'de, y doğrultusu için karşılaştırılması Şekil 5.12'de verilmiştir.



Şekil 5.11 : X doğrultusunda ikinci mertebe etkilerin karşılaştırılması.

Şekil 5.11'de x doğrultusunda ikinci mertebe etkilerin en büyük değerleri 1. katta olup DBYBHY'ye göre hesapta 0,01048 iken, Eurocode 8'e göre hesapta 0,04997 ve ASCE/SEI 7'ye göre hesapta 0,011724 olmuştur.



Şekil 5.12 : Y doğrultusunda ikinci mertebe etkilerin karşılaştırılması.

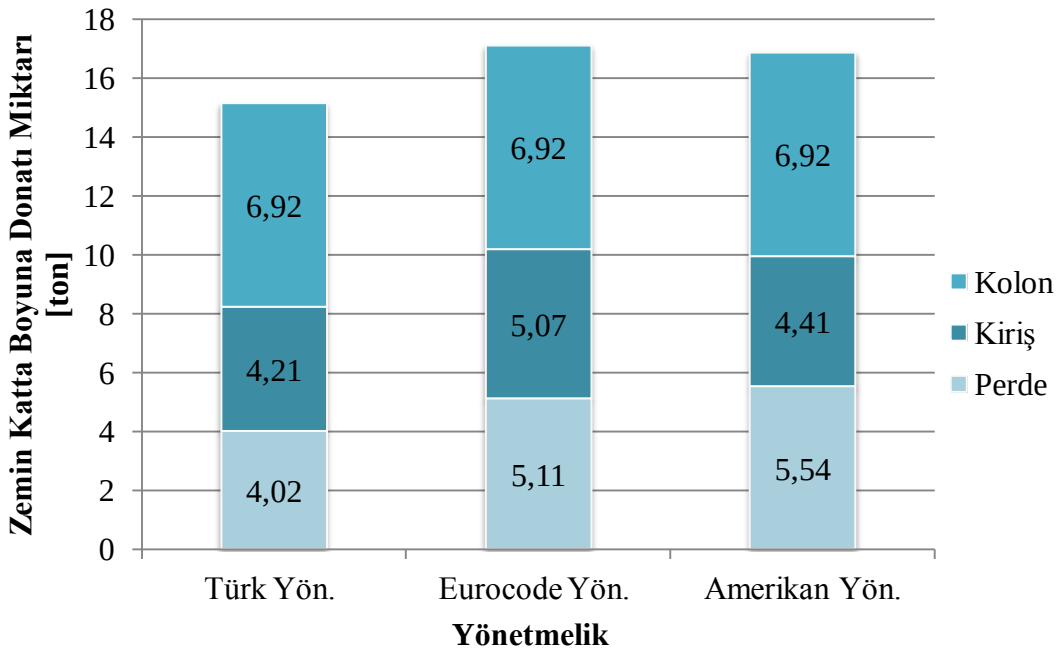
Y doğrultusunda en büyük değerler 2. katta elde edilmiştir. İkinci mertebe etkilerin en büyük değerleri DBYBHY'ye göre hesapta 0,01008 iken, Eurocode 8'e göre hesapta 0,0483 ve ASCE/SEI 7'ye göre hesapta 0,011964 olmuştur.

İkinci mertebe etkilerin hesabında her iki doğrultuda da DBYBHY ve ASCE/SEI 7 birbirine yakın sonuçlar vermiştir.

5.6 Donatı Metraj ve Maliyetinin Karşılaştırılması

Üç farklı yönetmelik esas alınarak zemin kat tavan kirişleri ile zemin kat kolon ve perdeleri için hesaplanan boyuna donatı miktarları ve maliyetleri karşılaştırılmıştır.

Boyuna donatı miktarlarının karşılaştırılması Şekil 5.13'te verilmiştir.

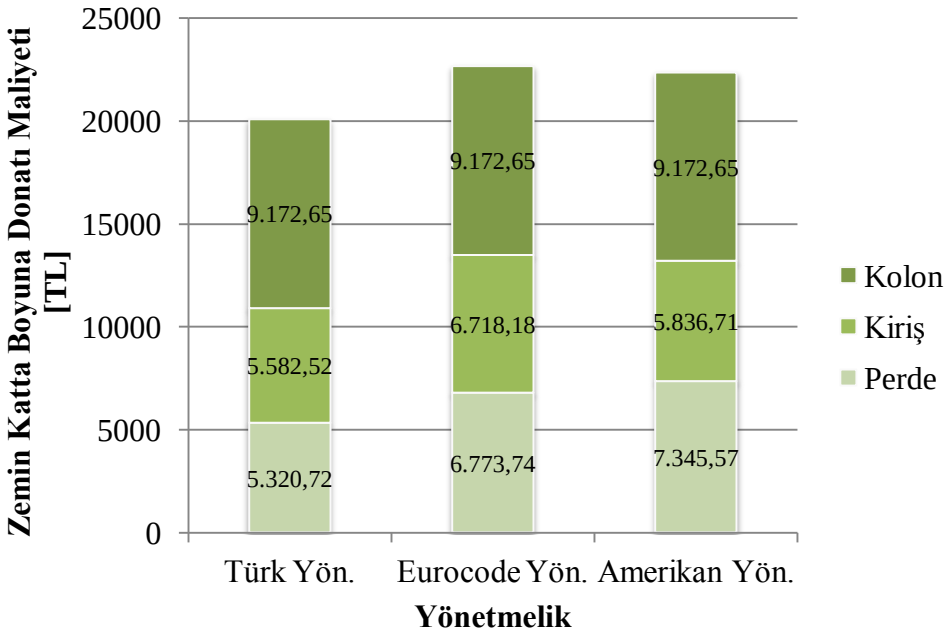


Şekil 5.13 : Zemin kat için hesaplanan boyuna donatı miktarlarının karşılaştırılması.

Zemin kat için hesaplanan gerekli toplam boyuna donatı miktarları karşılaştırıldığında, en büyük donatı miktarının Eurocode yönetmeliklerine göre yapılan hesapta elde edildiği görülmektedir. Bu sonucun elde edilmesinde yapıya etkiyen eşdeğer deprem yükünün yönetmeliklere göre farklılık göstermesinin yanı sıra, minimum donatı koşulları da etkili olmuştur.

Kolon ve perdelerdeki boyuna donatı miktarlarının hesaplanmasında yönetmeliklerdeki minimum donatı koşulları belirleyici olmuştur. Kolonlar için minimum donatı oranları her üç yönetmelik için de aynı olduğundan kolon donatıları yönetmelikler arasında değişiklik göstermezken, perdeler için Amerikan yönetmeliklerine göre hesap en elverişsiz sonucu vermiştir.

Farklı yönetmeliklere göre hesaplanan zemin kat kolon, kiriş ve perdelerindeki boyuna donatı maliyetleri Şekil 5.14'te sunulmuştur. En fazla maliyet Eurocode yönetmelikleri esas alınarak yapılan tasarımda elde edilirken, en düşük maliyet Türk yönetmeliklerine göre yapılan tasarımda elde edilmiştir.



Şekil 5.14 : Zemin kat için hesaplanan boyuna donatı maliyetlerinin karşılaştırılması.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada planda düzensiz, çok katlı, perdeli ve çerçeveli taşıyıcı sisteme sahip betonarme bir yapının Türk, Avrupa ve Amerikan yönetmeliklerine göre tasarımının yapılarak sonuçların karşılaştırılması amaçlanmıştır. Yapılarda düzensizlik bulunması, istenmeyen bir durum olup bu durumdan mümkün olduğunca kaçınılması önerilmektedir. Zaman zaman uygulamada karşılaşmak zorunda kalınan düzensiz binalarda, düzensizliğin oluşturacağı olumsuz etkileri azaltmak adına birtakım önlemler alınması gerekmektedir. İncelenen yapıda planda çıkıntıların bulunması durumu olarak tanımlanan düzensizlik mevcuttur. Bu çalışmada planda L şekline sahip bir yapı incelenmiş olup söz konusu çıkıntılar çok büyük bir etki yaratmasa da, bu tür yapılarda deprem derzlerinin uygulanarak düzensizliğin ortadan kaldırılması iyi bir çözümdür. Bu boşluklar yapıyı ayırarak yapının birden fazla bağımsız yapı gibi çalışmasını sağlayacaktır; ancak ayrılan bölümlerin deprem gibi etkilerle yapacağı yer değiştirmeler sonucunda birbirlerine hasar vermemeleri için deprem derzinin de uygun miktarda bırakılması gerekmektedir. Yönetmeliklerce belirtilen minimum şartlara uyulmak kaydıyla bırakılan derz boşlukları hesaplarda kolaylık getirirken ekonomiklik de sağlayacaktır.

Üç farklı yönetmeliğe göre eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılarak yapılan tasarımda düzensizlikler, etkin göreli ötelemeler ve ikinci mertebe etkiler kontrol edilmiş ve zemin kat için yapı elemanlarında gereken boyuna donatı miktarları hesaplanarak bu kat için boyuna donatı maliyeti çıkarılmıştır. Çalışmaya esas olan yapıda eşdeğer deprem yükü yöntemine göre en elverişsiz sonuçları veren yönetmelik Eurocode yönetmelikleri olup buna uygun olarak yapılan tasarımda en güvenli tarafta kalınırken ekonomiklikten uzaklaşılmaktadır.

İlgili bina için Türk yönetmeliklerindeki yapı davranış katsayısı, düzensizlik kontrolleri, taşıma gücü limit durumuna göre hesapta yapılan kabuller Amerikan yönetmeliklerindeki koşullarla paralellik gösterirken, Eurocode ve Amerikan yönetmeliklerine göre tasarım sonuçları birbirine yakın çıkmıştır. Türk yönetmeliklerine göre yapılan tasarım sonuçları diğer iki yönetmeliğe göre yapılan

tasarımlardan daha küçük değerler vermiş ve en az maliyetli tasarım Türk yönetmeliklerine göre yapılan tasarımda ortaya çıkmıştır.

KAYNAKLAR

[1] **Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY)** (2007). *T.C. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı*, Ankara.

[2] **Özmen, G.** (2008). Mod Birleştirme Yöntemi Sonuçlarının Eşdeğer Deprem Yüklerine Dönüştürülmesi. *İMO Teknik Dergi*. Sf. 4509 – 4520.

[3] **Zorbozan, M.** (t.y.). Betonarme Yapı Tasarımı-Deprem Hesabı Ders Notları, Yıldız Teknik Üniversitesi.

[4] **Aka, İ. ve Keskinel, F., Arad, T.S.** (1996). Betonarme Yapı Elemanları, Birsen Yayınevi.

[5] **Döndüren, M. S., Karaduman A., Çöğürcü, M. T., Altın, M.** (2007). Yapılarda Burulma Düzensizliği. *Teknik-Online Dergi*. Cilt ***6***, Sayı 1, Sf. 42 – 52.

[6] **Demir, A. ve Dönmez, D.** (2008). Çok Katlı Yapılarda Burulma Düzensizliğine Etki Eden Faktörler. *C.B.Ü. Fen Bilimleri Dergisi*. Cilt ***4***, Sayı 1, Sf. 31 – 36.

[7] **Yedikardeş, U.** (2010). *Deprem yönetmeliğine göre yapılardaki A2 düzensizlik durumunun incelenmesi ve perde yerleşiminin düzensizliğe etkisi,* (yüksek lisans tezi), Çukurova Üniversitesi, Adana.

[8] **Özmen, G., Orakdöğen, E., Darılmaz, K.** (2009). Örneklerle SAP 2000 – V12, Birsen Yayınevi.

[9] **TS 500** (2000). Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

[10] **TS EN 1998-1** (2005). Depreme dayanıklı yapıların tasarımı – bölüm 1: genel kurallar,sismik etkiler ve binalar için kurallar (Eurocode 8), *Türk Standartları Enstitüsü,* Ankara.

[11] **TS EN 1992 1-1** (2009). Beton yapıların tasarımı – bölüm 1-1: genel kurallar ve binalara uygulanacak kurallar (Eurocode 2), *Türk Standartları Enstitüsü,* Ankara.

[12] **TS EN 1990** (2009). Yapı tasarım esasları (Eurocode), *Türk Standartları Enstitüsü,* Ankara.

[13] **ASCE/SEI 7-10** (2010). Minimum design loads for buildings and other structures, *Structural Engineering Institute of the American Society of Civil Engineers*, Reston, VA.

[14] **2012 International Building Code (IBC)** (2011). *International Code Council*, Washington, DC.

[15] **Topçu, A.** (t.y.). Betonarme II Ders Notları, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi.

[16] **TS 498** (1987). Yapı elemanlarının boyutlandırılmasında alınacak yüklerin hesap değerleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

[17] **Betonarme Tablo ve Abaklar** (2008). *İTÜ İnşaat Fakültesi Betonarme Yapılar Çalışma Grubu,* İstanbul.

[18] **Url-1** <http://www.icdas.com.tr/icdas/yurtici_fiyat_tr.htm>, alındığı tarih: 12.04.2013.

[19] **Url-2** <https://geohazards.usgs.gov/secure/designmaps/ww/application.php>, alındığı tarih: 06.03.2013.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Saadet Gökçe GÖK

Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul, 14.07.1988

E-Posta: saadet.gokce.gok@hotmail.com

Lisans: İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü (Şubat, 2011)

İstanbul Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü (Şubat, 2012) – Çift Anadal Programı

Mesleki Deneyim ve Ödüller: İTÜ İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü 2010-2011 Fakülte ve Bölüm İkincilikleri