BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ❖ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇOK KATLI BETONARME BİR BİNANIN 2007 VE 2018 TÜRK DEPREM YÖNETMELİKLERİ HÜKÜMLERİNE GÖRE TASARIM VE ANALİZİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa Mücahit KÜÇÜK

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

EYLÜL 2020

BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ❖ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇOK KATLI BETONARME BİR BİNANIN 2007 VE 2018 TÜRK DEPREM YÖNETMELİKLERİ HÜKÜMLERİNE GÖRE TASARIM VE ANALİZİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa Mücahit KÜÇÜK
(171082902)
ORCID: 0000-0003-2372-7790

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. İsa YÜKSEL
ORCID: 0000-0002-5176-9990

EYLÜL 2020

20.04.2016 tarihli Resmi Gazete'de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, Bursa Teknik Üniversitesi'nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere göre uygun rapor alınmıştır.

İNTİHAL BEYANI

Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belgelediğimi, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

Öğrencinin Adı Soyadı: Mustafa Mücahit KÜÇÜK

İmzası: 

Fedakar annem ve babama,

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitim hayatım boyunca ve tez çalışması süresince engin bilgi birikimi ve tecrübelerini hiçbir zaman benden esirgemeyen, çalışmalarımın her aşamasında bulunduğu öneri ve uyarıları ile bana yol gösteren ve tüm sorularımı sabırla cevaplayan saygıdeğer danışman hocam Prof. Dr. İsa YÜKSEL'e çok teşekkür ederim.

Lisans ve lisansüstü eğitimim süresince derslerini aldığım ve üzerimde emeği olan tüm hocalarıma minnetlerimi sunarım.

Profesyonel meslek hayatımda kendisinden hem teknik hem etik konularda çok şey öğrendiğim, verdiğim tüm kararlarda arkamda duran Sayın İnş. Müh. Deniz SİVRİ'ye teşekkür etmeyi borç bilirim.

Son olarak, her zaman olduğu gibi tez çalışmam süresince de maddi manevi tüm destekleri ile yanımda olan aileme teşekkür ederim.

Eylül 2020

Mustafa Mücahit KÜÇÜK
(İnşaat Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **vii**
İÇİNDEKİLER ..... **viii**
KISALTMALAR ..... **xii**
SEMBOLLER ..... **xiv**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xviii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xxi**
ÖZET ..... **xxiii**
COMPARISON OF THE DESIGN AND ANALYSIS OF A MULTI-STOREY CONCRETE BUILDING ACCORDING TO THE PROVISIONS OF THE TURKISH SEISMIC CODES ..... **xxv**
SUMMARY ..... **xxv**
1.GİRİŞ **1**
1.1 Tezin Amacı 2
1.2 Tezin Kapsamı 2
2. TÜRKİYE'DE DEPREM, DEPREM YÖNETMELİKLERİ VE DEPREM BÖLGESİ HARİTALARI **3**
2.1 Türkiye'nin Deprem Gerçeği 3
2.2 Geçmişten Günümüze Deprem Yönetmelikleri 6
2.2.1 Zelzele mıntıkalarında yapılacak inşaata ait İtalyan yapı talimatnamesi (ZMYİİYT-1940) 8
2.2.2 Zelzele mıntıkaları muvakkat yapı talimatnamesi (ZMMYT-1944) 8
2.2.3 Türkiye yersarsıntısı bölgeleri yapı yönetmeliği (TYBYY-1949) 9
2.2.4 Yersarsıntısı bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelik (YBYYHY-1953) 11
2.2.5 Afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelik (ABYYHY-1962) 12
2.2.6 Afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelik (ABYYHY-1968) 14
2.2.7 Afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelik (ABYYHY-1975) 15
2.2.8 Afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelik (ABYYHY-1998) 17
2.3 Geçmişten Günümüze Deprem Bölgeleri Haritaları 18
2.3.1 Yersarsıntısı bölgeleri haritası (YBH-1945) 19
2.3.2 Yersarsıntısı bölgeleri haritası (YBH-1947) 20
2.3.3 Türkiye deprem bölgeleri haritası (TDBH-1963) 21
2.3.4 Türkiye deprem bölgeleri haritası (TDBH-1972) 21
2.3.5 Türkiye deprem bölgeleri haritası (TDBH-1996) 22
2.3.6 Türkiye deprem tehlike haritası (TDTH-2018) 23
3. DEPREM ETKİSİ ALTINDA BETONARME BİNALAR ÖZELİNDE 2007 VE 2018 YÖNETMELİKLERİNİN İNCELENMESİ **25**

3.1 Değişiklik İhtiyacı 25
3.2 Genel Hükümler 26
3.2.1 Kapsam 26
3.2.2 Özel konularda tasarım gözetimi ve kontrolü 26
3.3 Deprem Yer Hareketi 27
3.3.1 Deprem yer hareketi düzeyleri 27
3.3.2 Deprem yer hareketi spektrumları 27
3.3.2.1 Harita spektral ivme katsayıları ve tasarım spektral ivme katsayıları 27
3.3.2.2 Yerel zemin etki katsayıları 28
3.3.2.3 Yatay elastik tasarım spektrumu 29
3.3.2.4 Düşey elastik tasarım spektrumu 32
3.4 Deprem Etkisi Altında Binaların Değerlendirme ve Tasarım Esasları 33
3.4.1 Bina kullanım sınıfları ve önem katsayıları 33
3.4.2 Deprem tasarım sınıfları 34
3.4.3 Bina yüksekliği ve bina yükseklik sınıfları 35
3.4.4 Bina performans düzeyleri 35
3.4.5 Bina performans hedefleri ve tasarım yaklaşımları 37
3.4.6 Düzensiz binalar ve düzensizlik tanımları 38
3.4.6.1 Planda düzensizlik – A1 burulma düzensizliği 39
3.4.6.2 Planda düzensizlik – A2 döşeme süreksizlikleri 39
3.4.6.3 Planda düzensizlik – A3 planda çıkıntılar olması durumu 40
3.4.6.4 Düşeyde düzensizlik – B1 zayıf kat düzensizliği 41
3.4.6.5 Düşeyde düzensizlik – B2 yumuşak kat düzensizliği 41
3.4.6.6 Düşeyde düzensizlik – B3 düşey eleman süreksizliği 42
3.4.6.7 Düzensiz binalara ilişkin koşullar 42
3.5 Depreme Etkisi Altında Binaların Dayanıma Göre Tasarım İlkeleri ... 43
3.5.1 Dayanıma göre tasarım yaklaşımının tanım ve kapsamı 44
3.5.2 Deprem yükü katsayıları 44
3.5.2.1 Deprem yükü azaltma katsayısı ($R_a(T)$) 44
3.5.2.2 Taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R) ve dayanım fazlalığı katsayısı (D) 45
3.5.3 Taşıyıcı sistemlerin süneklik düzeyleri ile ilgili genel şartlar 47
3.5.4 Deprem etkisinin tanımlanması ve diğer etkilerle birleştirilmesi . 49
3.5.4.1 Azaltılmış tasarım ivme spektrumu 49
3.5.4.2 Yatay deprem etkilerinin kombinasyonu 49
3.5.4.3 Düşey deprem etkisi 50
3.5.4.4 Deprem etkisi ve diğer etkilerle kombinasyonu 51
3.5.5 Yapısal sistemin modellenmesi ile ilgili kurallar 51
3.5.5.1 Betonarme elemanların etkin kesit rijitlikleri 52
3.5.6 DGT kapsamındaki doğrusal hesap metotları 52
3.5.6.1 Hesap metodunun seçimi 53
3.5.6.2 Eşdeğer deprem yükü yöntemi 53
3.5.6.3 Modal hesap yöntemleri 58
3.5.6.4 Göreli kat ötelemelerinin sınırlandırılası ve ikinci mertebe etkileri 62
3.6 Depreme Etkisi Altında Binaların Şekil Değiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım İlkeleri 64
3.6.1 Şekil değiştirmeye göre tasarım yaklaşımının tanımı ve kapsamı 64
3.6.2 Doğrusal olmayan davranış modelleri 65

3.6.2.1 Yığılı plastik davranış (plastik mafsal) modeli 65
3.6.2.2 Yayılı plastik davranış modeli 65
3.6.3 Doğrusal olmayan hesap yöntemleri 66
4. SAYISAL UYGULAMA - BETONARME BİR BİNANIN DBYBHY-2007 VE TBDY-2018'e GÖRE TASARIM VE ANALİZİ 67
4.1 Genel Bilgiler 67
4.1.1 Yapı genel bilgileri 67
4.1.2 Kullanılan yönetmelikler 69
4.1.3 Kullanılan malzemeler 69
4.1.4 Yükler ve yük kombinasyonları 70
4.1.4.1 Düşey yükler 70
4.1.4.2 Kullanılacak yük kombinasyonları 71
4.1.5 Taşıyıcı sistem elemanlarının ön boyutlandırılması 73
4.1.5.1 Döşemelerin ön boyutlandırılması 74
4.1.5.2 Kirişlerin ön boyutlandırılması 76
4.1.5.3 Kolon ön boyutlandırması 77
4.1.5.4 Perdelerin ön boyutlandırılması 82
4.2 Çok Katlı Betonarme Binanın DBYBHY-2007'ye Göre Tasarım ve Analizi 86
4.2.1 Bina modelleme bilgileri 86
4.2.2 Modal analiz ile bina hakim periyotları ve kat kütlelerinin bulunması 88
4.2.3 Hesap yönteminin belirlenmesi 92
4.2.4 Eşdeğer deprem yükü yöntemi ile hesap 93
4.2.4.1 Deprem ve zemin parametrelerinin belirlenmesi 93
4.2.4.2 Eşdeğer deprem yüklerinin hesaplanması 95
4.2.4.3 Eşdeğer deprem yükü yöntemi ile taşıyıcı sistem davranış katsayısı tahkiki 97
4.2.4.4 Eşdeğer deprem yükü yöntemi ile düzensizlik kontrolleri 99
4.2.5 Mod birleştirme yöntemi ile hesap 105
4.2.5.1 Azaltılmış tasarım ivme spektrumunun SAP2000'de tanımlanması 105
4.2.5.2 Yükleme durumlarının SAP2000'de oluşturulması ve analizi 106
4.2.5.3 Mod birleştirme yöntemi ile taşıyıcı sistem davranış katsayısı tahkiki 107
4.2.5.4 Taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması 108
4.2.6 Göreli kat ötelemelerinin ve ikinci mertebe etkilerinin kontrolü 108
4.2.6.1 Etkin göreli kat ötelemelerinin hesaplanması ve sınırlandırılması 109
4.2.6.2 İkinci mertebe etkilerinin kontrolü 110
4.2.7 Betonarme tasarım aşaması 111
4.2.7.1 Örnek kiriş tasarımı ve donatılandırılması 111
4.2.7.2 Örnek kolon tasarımı ve donatılandırılması 116
4.2.7.3 Örnek perde tasarımı ve donatılandırılması 122
4.3 Çok Katlı Betonarme Binanın TBDY-2018'e Göre Tasarım ve Analizi 126
4.3.1 Bina modelleme bilgileri 126
4.3.2 Modal analiz ile bina hakim periyotları ve kat kütlelerinin bulunması 129

4.3.3 Deprem ve zemin parametrelerinin belirlenmesi 132
4.3.3.1 Zemin parametrelerinin belirlenmesi 132
4.3.3.2 Deprem parametrelerinin belirlenmesi..... 132
4.3.4 Hesap yönteminin belirlenmesi..... 134
4.3.5 Eşdeğer deprem yükü yöntemi ile hesap..... 135
4.3.5.1 Eşdeğer deprem yüklerinin hesabı ve katlara dağılımı 135
4.3.5.2 Eşdeğer deprem yükü yöntemi ile taşıyıcı sistem davranış katsayısı tahkiki..... 138
4.3.5.3 Eşdeğer deprem yükü yöntemi ile düzensizlik kontrolleri... 140
4.3.6 Mod birleştirme yöntemi ile hesap..... 146
4.3.6.1 Azaltılmış tasarım ivme spektrumunun SAP2000'de tanımlanması 146
4.3.6.2 Yükleme durumlarının SAP2000'de oluşturulması ve analizi 147
4.3.6.3 Mod birleştirme yöntemi ile taşıyıcı sistem davranış katsayısı tahkiki..... 148
4.3.6.4 Taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması..... 149
4.3.6.5 Göreli kat ötelemelerinin ve ikinci mertebe etkilerinin kontrolü 150
4.3.7 Düşey deprem etkisinin belirlenmesi 154
4.3.8 Betonarme tasarım aşaması..... 155
4.3.8.1 Örnek kiriş tasarımı ve donatılandırılması..... 155
4.3.8.2 Örnek kolon tasarımı ve donatılandırılması..... 159
4.3.8.3 Örnek perde tasarımı ve donatılandırılması 165
5. BULGULAR VE ANALİZ SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI 169
5.1 Bina Doğal Titreşim Periyotlarının Karşılaştırılması 169
5.2 Tasarım İvme Spektrumlarının Karşılaştırılması..... 170
5.3 Taban Kesme ve Kat Kesme Kuvvetlerinin Karşılaştırılması 172
5.4 Kat Deplasmanlarının Karşılaştırılması 175
5.5 Planda Ve Düşeyde Düzensizliklerin Karşılaştırılması 179
5.6 Etkin Göreli Kat Ötelemelerinin Karşılaştırılması..... 179
5.7 İkinci Mertebe Etkilerinin Karşılaştırılması..... 180
5.8 Elemanların Tasarım Sonuçlarının Değerlendirilmesi..... 181
5.8.1 Örnek kiriş tasarım sonuçlarının karşılaştırılması..... 182
5.8.2 Örnek kolon tasarım sonuçlarının karşılaştırılması..... 182
5.8.3 Örnek perde tasarım sonuçlarının karşılaştırılması..... 183
6. SONUÇ VE ÖNERİLER..... 185
KAYNAKLAR 188
ÖZGEÇMİŞ..... 190

KISALTMALAR

ABYYHY : Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
AFAD : Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
BDTİM : Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi
BKS : Bina Kullanım Sınıfı
BYS : Bina Yükseklik Sınıfı
CG : Can Güvenliği
CQC : Complete Quadratic Combination
DBYBHY : Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
DD : Deprem Düzeyi
DGT : Dayanıma Göre Tasarım
DTS : Deprem Tasarım Sınıfı
EDYY : Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi
ESLM : Equivalent Seismic Load Method
GÖ : Göçmenin Önlenmesi
HK : Hemen Kullanım
KH : Kontrollü Hasar
KK : Kesintisiz Kullanım
KRDAE : Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü
MBY : Mod Birleştirme Yöntemi
MCM : Mode Combination Method
SH : Sınırlı Hasar
SRSS : Square Root of Sum of Squares
ŞGDT : Şekil Değiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım
TBDY : Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
TBSC : Turkish Building Seismic Code
TDBH : Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası
TDTH : Türkiye Deprem Tehlike Haritası
TEHM : Turkish Earthquake Hazard Map
TS : Türk Standartı
TSC : Turkish Seismic Code

TYBYY **:** Türkiye Yersarsıntısı Bölgeleri Yapı Yönetmeliği

YBH **:** Yersarsıntısı Bölgeleri Haritası

YBYYHY **:** Yersarsıntısı Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik

ZMMYT **:** Zelzele Mıntıkaları Muvakkat Yapı Talimatnamesi

ZMYİİYT **:** Zelzele Mıntıkalarında Yapılacak İnşaata ait İtalyan Yapı Talimatnamesi

SEMBOLLER

F_S	: Kısa periyot bölgesi yerel zemin etki katsayısı
g	: Yerçekimi ivmesi [m/s^2]
$S_{ae}(T)$	: Yatay elastik tasarım spektral ivmesi [g]
$S_{aeD}(T)$	: Düşey elastik tasarım spektral ivmesi [g]
$S_{de}(T)$	: Yatay elastik tasarım spektral yerdeğiştirmesi [g]
S_{DS}	: Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı
S_S	: Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı
T	: Doğal titreşim periyodu [s]
T_A, T_B	: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodları [s]
T_{AD}, T_{BD}	: Düşey elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodları [s]
T_L	: Yatay elastik tasarım spektrumunda sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu [s]
T_{LD}	: Düşey elastik tasarım spektrumunda sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu [s]
T_p	: Binanın hakim periyodu [s]
$(V_S)_{30}$	: Üst 30 metredeki ortalama kayma dalgası hızı [m/s]
H_N	: Bina toplam yüksekliği [m]
h_i	: Binanın i'inci katının kat yüksekliği [m]
I	: Bina önem katsayısı
$\sum A_e$	: Bir kattaki söz konusu deprem doğrultusunda etkili kesme alanı [m^2]
$\sum A_g$	: Bir kattaki söz konusu deprem doğrultusuna paralel doğrultuda perde olarak çalışan elemanların enkesit alanları toplamı [m^2]
$\sum A_k$	: Bir kattkai söz konusu deprem doğrultusuna paralel dolgu duvar alanlarının toplamı [m^2]
$\sum A_w$	: Bir kattak kolon enkesiti etkin gövde alanlarının toplamı [m^2]
$(\Delta_i^{(X)})_{ort}$	: Bina i'inci katındaki ortalama azaltılmış göreli kat ötelemesi [m]
$(\Delta_i^{(X)})_{max}$	: Bina i'inci katındaki maksimum azaltılmış göreli kat ötelemesi [m]
η_{bi}	: i'inci katta hesaplanan burulma düzensizliği katsayısı
η_{ci}	: i'inci katta hesaplanan dayanım düzensizliği katsayısı
η_{ki}	: i'inci katta hesaplanan rijitlik düzensizliği katsayısı
C_h	: İkinci mertebe hesabında kullanılan katsayı

D : Dayanım fazlalığı katsayısı

D_{bi} : Ek dışmerkezlik büyütme katsayısı

$d_{fi}^{(X)}$: (X) doğrultusunda hakim periyodun hesabında i'inci kata etki ettirilen fiktif yükten oluşan yerdeğiştirme [m]

E_d : Doğrultu birleştimesi uygulanmış tasarıma esas toplam deprem etkisi

$E_d^{(H)}$: Doğrultu birleştimesi uygulanmış tasarıma esas yatay deprem etkisi

$E_d^{(X)}$: (X) doğrultusunda tasarıma esas deprem etkisi

$E_d^{(Y)}$: (Y) doğrultusunda tasarıma esas deprem etkisi

$E_d^{(Z)}$: (Z) doğrultusunda tasarıma esas deprem etkisi

$F_{fi}^{(X)}$: (X) doğrultusunda binanın hakim periyodunun hesabında i'inci kata etki ettirilen fiktif yük [kN]

$F_{ie}^{(X)}$: (X) doğrultusunda i'inci kat kütle merkezine etkiyen eşdeğer deprem yükü [kN]

e : % 5'lik ek dışmerkezlik [m]

G : Sabit yük etkisi

H : Yatay zemin itkisi etkisi

H_w : Toplam perde yüksekliği [m]

L_w : Perdenin plandaki boyu [m]

M_{DEV} : Betonarme perdenin tabanında deprem yüklerinden kaynaklı oluşan devrilme momenti [kNm]

M_o : Binanın tümü için deprem yüklerinden kaynaklı tabanda oluşan toplam devrilme momenti [kNm]

$M_o^{(X)}$: (X) doğrultusunda binanın tümü için deprem yüklerinden tabanda meydana gelen toplam devrilme momenti [kNm]

n : Hareketli yük katılım katsayısı

R : Taşıyıcı sistem davranış katsayısı

$R_a(T)$: Deprem yükü azaltma katsayısı

Q : Hareketli yük etkisi

S : Kar yükü etkisi

$S_{aR}(T)$: Azaltılmış tasarım spektral ivmesi [g]

T_n : n'inci moda ait doğal titreşim periyodu [s]

T_{pA} : Amprik olarak hesaplanan hakim periyodu [s]

$T_p^{(X)}$: (X) doğrultusunda binanın hakim periyodu [s]

$V_i^{(X)}$: (X) doğrultusunda i'inci kattaki azaltılmış kat kesme kuvveti [kN]

$V_{tE}^{(X)}$: (X) doğrultusunda binaya etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü [kN]

$V_{tx}^{(X)}$: Modal hesap yöntemleri ile x doğrultusunda elde edilen en büyük toplam deprem yükü [kN]

$\mathbf{B_{tE}^{(X)}}$ **:** Eşdeğer taban kesme kuvveti büyütme katsayısı

$\mathbf{\Delta F_{NE}^{(X)}}$ **:** (X) deprem doğrultusunda binanın N'inci katına etkiyen ek eşdeğer deprem yükü [kN]

$\mathbf{\Delta_i^{(X)}}$ **:** (X) doğrultusunda azaltılmış göreli kat ötelemesi [m]

$\mathbf{\delta_i^{(X)}}$ **:** (X) doğrultusunda binanın i'inci katında kolon veya perdeler için etkin göreli kat ötelemesi [m]

$\mathbf{\delta_{i,max}^{(X)}}$ **:** (X) doğrultusunda binanın i'inci katındaki etkin göreli kat ötelemelerinin maksimum değeri [m]

$\mathbf{\gamma_E}$ **:** Eşdeğer taban kesme kuvveti büyütme katsayısının hesabında kullanılan ampirik katsayı

$\mathbf{\lambda}$ **:** Göreli kat ötelemelerinin sınırlandırılmasında kullanılan ampirik katsayı

$\mathbf{\kappa}$ **:** İzin verilen göreli kat ötelemelerinin tanımında betonarme binalar için kullanılan katsayı

$\mathbf{\theta_{II,i}^{(X)}}$ **:** (X) doğrultusunda her bir i'inci kat için tanımlanan ikinci mertebe gösterge değeri

$\mathbf{\theta_{II,max}^{(X)}}$ **:** (X) doğrultusunda tanımlanan maksimum ikinci mertebe gösterge değeri

d **:** Kiriş faydalı yüksekliği

$\mathbf{b_w}$ **:** Kiriş gövde genişliği

$\mathbf{f_{cd}}$ **:** Beton tasarım basınç dayanımı

$\mathbf{f_{ck}}$ **:** Beton karakteristik basınç dayanımı

$\mathbf{f_{ctd}}$ **:** Beton tasarım çekme dayanımı

$\mathbf{f_{yd}}$ **:** Donatı tasarım akma dayanımı

$\mathbf{f_{yk}}$ **:** Donatı karakteristik akma dayanımı

$\mathbf{f_{ywk}}$ **:** Enine donatı karakteristik akma dayanımı

$\mathbf{f_{ywd}}$ **:** Enine donatı tasarım akma dayanımı

$\mathbf{H_{cr}}$ **:** Perde kritik yüksekliği

$\mathbf{h_k}$ **:** Kiriş yüksekliği

$\mathbf{L_n}$ **:** Kolon net yüksekliği veya kiriş net açıklığı

$\mathbf{E_c}$ **:** Beton elastisite modülü

$\mathbf{L_l}$ **:** Döşeme uzun kenar uzunluu

$\mathbf{L_s}$ **:** Döşeme kısa kenar uzunluğu

$\mathbf{L_{sn}}$ **:** Döşeme serbest açıklığı

$\mathbf{M_a}$ **:** Kolon alt ucunda kesme kuvveti hesabında kullanılan moment

$\mathbf{M_ü}$ **:** Kolon üst ucunda kesme kuvveti hesabında kullanılan moment

$\mathbf{\rho_{sh}}$ **:** Perde yatay gövde donatısı hacimsel oranı

Ø **:** Donatı çapı

B_v : Perde kesme kuvveti büyütme katsayısı

V_r : Taşıyıcı eleman kesme kuvveti dayanımı

V_e : Taşıyıcı eleman tasarıma esas kesme kuvveti

V_{dy} : Düşey yüklerden kaynaklı basit kiriş kesme kuvveti

V_d : Yük katsayıları ile faktörlenmiş düşey yükler ve deprem yüklerinden kaynaklı hesaplanan kesme kuvveti

V_c : Kesme kuvveti dayanımına beton katkısı

N_d : Yük katsayıları ile faktörlenmiş düşey yükler ve deprem yüklerinden kaynaklı hesaplanan eksenel kuvvet

N_{dm} : Düşey ve deprem yüklerinden kaynaklı hesaplanan eksenel basınç kuvvetlerinin maksimumu

M_{pi} : Kiriş sol ucunda hesaplanan kapasite momenti

M_{pj} : Kiriş sağ ucunda hesaplanan kapasite momenti

M_{ri} : Kiriş sol ucunda hesaplanan taşıma gücü momenti

M_{rj} : Kiriş sağ ucunda hesaplanan taşıma gücü momenti

M_{ra} : Kolon alt ucunda hesaplanan taşıma gücü momenti

$M_{rü}$: Kolon üst ucunda hesaplanan taşıma gücü momenti

$A(T)$: Spektral ivme katsayısı

A_o : Etkin yer ivmesi katsayısı

$S(T)$: Spektrum katsayısı

M_{pa} : Kolon alt ucunda hesaplanan kapasite momenti

$M_{pü}$: Kolon üst ucunda hesaplanan kapasite momenti

V_t : Binaya etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü

V_{tB} : MBY'ne göre hesaplanan toplam deprem yükü

s : Enine donatı aralığı

A_{sw} : Enine donatı toplam kesit alanı

V_{cr} : Kesmede çatlama dayanımı

γ_{mc} : Beton malzeme katsayısı

γ_{ms} : Çelik malzeme katsayısı

ρ_{min} : Minimum donatı oranı

d' : Basınç donatısı merkezinden ölçülen beton örtüsü

F_1 : 1.0 saniye periyot yerel zemin etki katsayısı

S_{D1} : 1.0 saniye periyot tasarım spektral ivme katsayısı

S_1 : 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1: Deprem yönetmeliklerinin tarihsel gelişimine paralel sismik olaylar…..**7**
Çizelge 2.2: TYBYY-1949'a göre yeni yapılacak binaların maks. yüksekliği ve kat adetleri ……**10**
Çizelge 2.3: YBYYHY-1953'e göre deprem katsayısının (C) değerleri ...…….....**12**
Çizelge 2.4: YBYYHY-1953'e göre hareketli yük katsayısının (n) değerleri…….**12**
Çizelge 2.5: AFBYYHY-1962'ye göre C_0 değerinin yapı yüksekliği ile değişimi…..**13**
Çizelge 2.6: AFBYYHY-1962'ye göre n1 çarpanının değeri…….....**13**
Çizelge 3.1: TBDY-2018'de kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayıları….**28**
Çizelge 3.2: TBDY-2018'de 1.0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayıları……**28**
Çizelge 3.3: DBYBHY-2007'ye göre etkin yer ivmesi katsayısı (A_o)…….....**29**
Çizelge 3.4: DBYBHY-2007'ye göre bina önem katsayısı (I)……**29**
Çizelge 3.5: DBYBHY-2007'ye göre spektrum karakteristik periyotları (TA, TB)…**30**
Çizelge 3.6: TBDY-2018'de bina kullanım sınıfları ve önem katsayıları……**34**
Çizelge 3.7: TBDY-2018'e göre deprem tasarım sınıfları (DTS)……**34**
Çizelge 3.8: TBDY-2018'e göre bina yükseklik sınıfları…….……..**35**
Çizelge 3.9: DBYBHY-2007'ye göre binalar için öngörülen minimum performans hedefleri…….. **37**
Çizelge 3.10: İlk defa yapılacak yerinde dökme betonarme, prefabrik betonarme ve çelik binalar (BYS ≥ 2)……**38**
Çizelge 3.11: İlk defa yapılacak veya mevcut yüksek binalar (BYS = 1)……**38**
Çizelge 3.12: Mevcut yerinde dökme betonarme, prefabrik betonarme ve çelik binalar (BYS ≥ 2)…… **38**
Çizelge 3.13: DBYBHY-2007'ye göre betonarme taşıyıcı sistemlerde davranış katsayısı (R)…… **46**
Çizelge 3.14: TBDY-2018'e göre göre betonarme taşıyıcı sistemlerde davranış katsayısı (R), dayanım fazlalığı katsayısı (D) ve izin verilen bina yükseklik sınıfları..**47**
Çizelge 3.15: TBDY-2018'e göre taşıyıcı elemanların etkin kesit rijitlik katsayıları..**52**
Çizelge 3.16: DBYBHY-2007'ye göre eşdeğer deprem yükü yönteminin kullanılabileceği binalar……..**53**
Çizelge 3.17: TBDY-2018'e göre eşdeğer deprem yükü yönteminin kullanılabileceği binalar…… **53**
Çizelge 3.18: DBYBHY-2007'ye göre hareketli yük katılım katsayısı (n)…….……**54**
Çizelge 4.1: Çok katlı betonarme binanın özellikleri……..**67**
Çizelge 4.2: Çok katlı betonarme binada kullanılacak beton ve donatı çeliği özellikleri…… **69**
Çizelge 4.3: Yapısal çözümlemede kullanılacak yük kombinasyonları……..**72**
Çizelge 4.4: Çok katlı betonarme binaya ait döşeme ön boyutlandırma işlemi…….…**75**
Çizelge 4.5: Çok katlı betonarme binaya ait kiriş ön boyutlandırma işlemi……**77**
Çizelge 4.6: Kolon ön boyutlandırma işlemi için belirlenen düşey yükler……**78**
Çizelge 4.7: Kolon ön boyutları……...……..**82**

Çizelge 4.8: Perde ön boyutlandırma işlemi için belirlenen düşey yükler……..**85**
Çizelge 4.9: Perde ön boyutları……...**85**
Çizelge 4.10: Bina periyotları ve modal katkılar……**88**
Çizelge 4.11: Bina kat ağırlıkları ve toplam ağırlığı……..……..**92**
Çizelge 4.12: DBYBHY-2007'ye göre zemin grupları……...**94**
Çizelge 4.13: DBYBHY-2007'ye göre yerel zemin sınıfları……..**94**
Çizelge 4.14: X doğrultusunda katlara etki eden eşdeğer deprem yükleri ve taban kesme kuvvetleri…… **96**
Çizelge 4.15: Y doğrultusunda katlara etki eden eşdeğer deprem yükleri ve taban kesme kuvvetleri…… **97**
Çizelge 4.16: Perde taban kesme kuvvetleri ile R katsayısı tahkiki…….……**99**
Çizelge 4.17: EX yüklemesi altında A1 burulma düzensizliği kontrolü……**100**
Çizelge 4.18: EXP-EXN yüklemesi altında A1 burulma düzensizliği kontrolü……**100**
Çizelge 4.19: EY yüklemesi altında A1 burulma düzensizliği kontrolü……**101**
Çizelge 4.20: EYP-EYN yüklemesi altında A1 burulma düzensizliği kontrolü……**101**
Çizelge 4.21: EX yüklemesi altında B2 tipi düzensizliği kontrolü……**103**
Çizelge 4.22: EXP-EXN yüklemesi altında B2 komşu katlar arası rijitlik düzensizliği kontrolü……**103**
Çizelge 4.23: EY yüklemesi altında B2 komşu katlar arası rijitlik düzensizliği kontrolü……**104**
Çizelge 4.24: EYP-EYN yüklemesi altında B2 komşu katlar arası rijitlik düzensizliği kontrolü……**104**
Çizelge 4.25: Azaltılmış tasarım ivme spektrumu değerleri…….……**105**
Çizelge 4.26: Perde taban kesme kuvvetleri ile R katsayısı tahkiki…….……**107**
Çizelge 4.27: EDYY ve MBY taban kesme kuvvetleri karşılaştırması……**108**
Çizelge 4.28: X doğrultusu göreli kat ötelemeleri kontrolü…….……**109**
Çizelge 4.29: Y doğrultusu göreli kat ötelemeleri kontrolü…….……..**109**
Çizelge 4.30: X doğrultusu ikinci mertebe etkilerinin kontrolü……**110**
Çizelge 4.31: Y doğrultusu ikinci mertebe etkilerinin kontrolü……**110**
Çizelge 4.32: K204 kirişinin boyuna donatı seçimi……...**111**
Çizelge 4.33: S06 kolonunun boyuna donatı seçimi…….……**117**
Çizelge 4.34: Bina periyotları ve modal katkılar……...**129**
Çizelge 4.35: Bina kat kütleleri ve toplam kütlesi……**131**
Çizelge 4.36: TBDY-2018'e göre yerel zemin sınıfları ve teknik özellikleri……**132**
Çizelge 4.37: X-Y doğrultularında katlara etki eden eşdeğer deprem yükleri ve taban kesme kuvvetleri…….. **136**
Çizelge 4.38: X ve Y doğrultularında bina taban devrilme momentlerinin hesaplanması……**138**
Çizelge 4.39: EX yüklemesi altında A1 burulma düzensizliği kontrolü……**141**
Çizelge 4.40: EXP-EXN yüklemesi altında A1 burulma düzensizliği kontrolü……**141**
Çizelge 4.41: EY yüklemesi altında A1 burulma düzensizliği kontrolü……**142**
Çizelge 4.42: EYP-EYN yüklemesi altında A1 burulma düzensizliği kontrolü……**142**
Çizelge 4.43: EX yüklemesi altında B2 komşu katlar arası rijitlik düzensizliği kontrolü……**144**
Çizelge 4.44: EXP-EXN yüklemesi altında B2 komşu katlar arası rijitlik düzensizliği kontrolü……**144**
Çizelge 4.45: EY yüklemesi altında B2 komşu katlar arası rijitlik düzensizliği kontrolü……**145**
Çizelge 4.46: EYP-EYN yüklemesi altında B2 komşu katlar arası rijitlik düzensizliği kontrolü……**145**

Çizelge 4.47: Azaltılmış tasarım ivme spektrumu değerleri…….……**146**
Çizelge 4.48: EDYY ve MBY taban kesme kuvvetleri karşılaştırması……**150**
Çizelge 4.49: X doğrultusunda etkin göreli kat ötelemelerinin kontrolü……...**152**
Çizelge 4.50: Y doğrultusunda etkin göreli kat ötelemelerinin kontrolü……...**152**
Çizelge 4.51: X doğrultusu ikinci mertebe etkilerinin kontrolü……**153**
Çizelge 4.52: Y doğrultusu ikinci mertebe etkilerinin kontrolü……**154**
Çizelge 4.53: K204 kirişinin boyuna donatı seçimi……..**155**
Çizelge 4.54: S06 kolonunun boyuna donatı seçimi……..**161**
Çizelge 5.1: DBYBHY-2007 ve TBDY-2018 bina hakim periyotları……...**169**
Çizelge 5.2: Planda ve düşeyde düzensizlik durumlarının karşılaştırılması……..**179**
Çizelge 5.3: Örnek kirişin tasarım sonuçlarının karşılaştırılması……..**182**
Çizelge 5.4: Örnek kolonun tasarım sonuçlarının karşılaştırılması……...**182**
Çizelge 5.5: Örnek perdenin tasarım sonuçlarının karşılaştırılması……..**183**

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Türkiye ve çevresinde büyüklüğü M ≥ 4.0 olan depremlerin dağılımı... .... **4**
Şekil 2.2: 1939 Erzincan Depremi. **5**
Şekil 2.3 : 1999 Gölcük Depremi **5**
Şekil 2.4: Sieberg (1932) tarafından hazırlanan deprem bölgeleri haritası **19**
Şekil 2.5: 1945 Yersarsıntısı Bölgeleri Haritası **20**
Şekil 2.6: 1947 Yersarsıntısı Bölgeleri Haritası **20**
Şekil 2.7: 1963 Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası **21**
Şekil 2.8: 1972 Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası **22**
Şekil 2.9: 1996 Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası **23**
Şekil 2.10: Yeni Türkiye Deprem Tehlike Haritası **24**
Şekil 3.1: DBYBHY-2007'ye göre tasarım ivme spektrumu **30**
Şekil 3.2: TBDY-2018'e göre yatay ivme spektrumu **31**
Şekil 3.3: TBDY-2018'e göre yatay yer değiştirme spektrumu **32**
Şekil 3.4: TBDY-2018'e göre düşey ivme spektrumu **33**
Şekil 3.5: DBYBHY-2007'ye göre bina performans düzeyleri **36**
Şekil 3.6: TBDY-2018'e göre bina performans düzeyleri **37**
Şekil 3.7: TBDY-2018'e göre burulma düzensizliği durumu **39**
Şekil 3.8: TBDY-2018'e göre A2 türü düzensizlik durumları **40**
Şekil 3.9: TBDY-2018'e göre A3 türü düzensizlik durumları **41**
Şekil 3.10: TBDY-2018'e göre B3 türü düzensizlik durumları **43**
Şekil 3.11: Eleman asal eksen doğrultularındaki iç kuvvetler **50**
Şekil 3.12: DBYBHY-2007'ye göre toplam eşdeğer deprem yükünün katlara dağılımı **55**
Şekil 3.13: TBDY-2018'e göre toplam eşdeğer deprem yükünün katlara dağılımı .. **56**
Şekil 3.14: DBYBHY-2007'ye göre deprem yüklerinin uygulanma noktaları **57**
Şekil 3.15: Yığılı ve yayılı plastik davranış modelleri **66**
Şekil 4.1: Çok katlı betonarme binaya ait kalıp planı. **68**
Şekil 4.2: Çok katlı betonarme binanın SAP2000 modeli. **87**
Şekil 4.3: Binanın 1. Modu (X yönünde ötelenme). **90**
Şekil 4.4: Binanın 2. Modu (Y yönünde ötelenme). **91**
Şekil 4.5: Binanın 3. Modu (Burulma). **91**
Şekil 4.6: SAP2000 programına deprem yüklerinin girilmesi. **98**
Şekil 4.7: Azaltılmış tasarım ivme spektrumunun SAP2000'e girilmesi. **106**
Şekil 4.8: SAP2000 programında deprem yüklemelerinin oluşturulması. **107**
Şekil 4.9: SAP2000 ile kiriş boyuna donatı miktarının hesaplanması. **112**
Şekil 4.10: DBYBHY-2007'ye göre kesme donatısında kullanılacak kuvvetler **113**
Şekil 4.11: S06 kolonuna ait tüm katlardaki N_{dm}/ A_c x f_{ck} değerleri. **116**
Şekil 4.12: SAP2000 ile kolon boyuna donatı miktarının hesaplanması. **117**
Şekil 4.13: Süneklik düzeyi yüksek kolonlarda M_a ve $M_ü$ momentlerinin hesabı .. **119**
Şekil 4.14: SAP2000 ile kolonların kirişlerden güçlü olma koşulunun tahkiki. **119**
Şekil 4.15: P02 perdesinin SAP2000'de modellenmesi. **124**
Şekil 4.16: P02 perdesine ait N-M etkileşim diyagramı. **124**

Şekil 4.17: SAP2000'de kolon etkin kesit rijitliğinin tanımlanması. **127**
Şekil 4.18: SAP2000'de kiriş etkin kesit rijitliğinin tanımlanması. **127**
Şekil 4.19: SAP2000'de perde etkin kesit rijitliğinin tanımlanması. **128**
Şekil 4.20: SAP2000'de döşeme etkin kesit rijitliğinin tanımlanması. **128**
Şekil 4.21: TDTH interaktif uygulaması ile deprem parametrelerinin belirlenmesi (DD-2). **133**
Şekil 4.22: SAP2000 programına deprem yüklerinin girilmesi..... **139**
Şekil 4.23: Azaltılmış tasarım ivme spektrumunun SAP2000'e girilmesi. **147**
Şekil 4.24: SAP2000 programında deprem yüklemelerinin oluşturulması. **148**
Şekil 4.25: SAP2000 programında deprem yüklemelerinin β_{tE} katsayısı ile büyütülmesi. **150**
Şekil 4.26: TDTH interaktif uygulaması ile deprem parametrelerinin belirlenmesi (DD-3). **151**
Şekil 4.27: SAP2000 ile kiriş boyuna donatı miktarının hesaplanması. **156**
Şekil 4.28: S06 kolonuna ait tüm katlardaki N_{dm}/ A_c x f_{ck} değerleri. **160**
Şekil 4.29: SAP2000 ile kolon boyuna donatı miktarının hesaplanması. 160
Şekil 4.30: SAP2000 ile kolonların kirişlerden güçlü olma koşulunun tahkiki. **162**
Şekil 4.31: P02 perdesinin SAP2000'de modellenmesi. **167**
Şekil 4.32: P02 perdesine ait N-M etkileşim diyagramı. **167**
Şekil 5.1: Titreşim modlarına karşılık gelen periyotların karşılaştırılması. **170**
Şekil 5.2: Tasarım ivme spektrumlarının karşılaştırılması. **171**
Şekil 5.3: Zemin sınıfına göre tasarım ivme spektrumu değişimi. **172**
Şekil 5.4: X doğrultusunda EDYY taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması. ... **172**
Şekil 5.5: Y doğrultusunda EDYY taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması. ... **173**
Şekil 5.6: X doğrultusunda MBY taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması. 173
Şekil 5.7: Y doğrultusunda MBY taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması. **174**
Şekil 5.8: X doğrultusunda EDYY kat deplasmanlarının karşılaştırılması. **175**
Şekil 5.9: Y doğrultusunda EDYY kat deplasmanlarının karşılaştırılması. **176**
Şekil 5.10: X doğrultusunda MBY kat deplasmanlarının karşılaştırılması. **176**
Şekil 5.11: Y doğrultusunda MBY kat deplasmanlarının karşılaştırılması. **177**
Şekil 5.12: X doğrultusu kat deplasmanlarının karşılaştırılması (EDYY-MBY).... **178**
Şekil 5.13: Y doğrultusu kat deplasmanlarının karşılaştırılması (EDYY-MBY).... **178**
Şekil 5.14: Maksimum etkin göreli kat öteleme değerlerinin karşılaştırılması. **179**
Şekil 5.15: İkinci mertebe gösterge değerlerinin karşılaştırılması. **181**

ÇOK KATLI BETONARME BİR BİNANIN 2007 VE 2018 TÜRK DEPREM YÖNETMELİKLERİ HÜKÜMLERİNE GÖRE TASARIM VE ANALİZİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

ÖZET

18 Mart 2018 tarihinde yürürlüğe giren TBDY-2018 ile Türkiye, yayınlandığı tarihe kadarki en kapsamlı ve en güncel deprem yönetmeliğine sahip olmuştur. TBDY-2018, kendinden önceki versiyonu olan DBYBHY-2007 ile benzer esas ve usulleri benimsemesine rağmen, gerek kapsadığı konular gerekse çağın isterlerine uygun yapısı ile çok farklı bir konuma evrilmiştir. Bu tez çalışması ile her iki deprem yönetmeliği arasındaki farkları betonarme binalar açısından somut bir şekilde ele alabilmek amacıyla, konut türündeki çok katlı betonarme bir binanın analizi ve tasarımı, DBYBHY-2007 ve TBDY-2018 deprem yönetmelikleri uyarınca karşılaştırmalı olarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada sadece deprem yönetmeliklerinden değil, TS-500, TS-498 ve TS-ISO 9194 gibi standartlardan da faydalanılmıştır.

Tez çalışması, giriş yapılan ilk bölüm, Türkiye'de deprem gerçeğinin ve deprem yönetmeliklerinin anlatıldığı ikinci bölüm, söz konusu deprem yönetmeliklerinin incelendiği ve karşılaştırıldığı üçüncü bölüm, örnek binaya ait sayısal uygulamanın yapıldığı dördüncü bölüm ve yapılan incelemeler ve sayısal uygulamaya ait çıktıların karşılaştırılarak değerlendirildiği son bölüm olmak üzere toplam 5 bölümden oluşmaktadır.

Söz konusu bina, her birinin yüksekliği 3 m olan toplam 15 kat ile 45 m yüksekliğe ve 1050 m^2 kat oturum alanına sahiptir. Betonarme perdeli çerçeve taşıyıcı sistem ve kirişli plak döşeme tipi kullanlan binada beton sınıfı C35/45; çelik sınıfı S420 olarak seçilmiştir. Binadaki taşıyıcı eleman boyutları katlara göre değişim göstermeyecek şekilde belirlenmiştir. Binanın Bursa ilinde, 40.185071/29.104772 koordinatlarında inşa edileceği kabul edilmiştir. Binanın oturacağı zeminin yerel zemin sınıfı DBYBHY-2007 için Z2; TBDY-2018 için ZB olarak seçilmiştir. Bina her iki yönde süneklik seviyesi yüksek olacak şekilde tasarlanmıştır. DBYBHY-2007 için binanın konumu 1. derece deprem bölgesi olarak kabul edilirken, TBDY-2018 için gerekli parametrelere AFAD'a ait TDTH-2018 interaktif websitesi üzerinden erişilmiştir.

Yapılan sayısal uygulamada DGT yaklaşımı benimsenerek deprem hesaplarında doğrusal yöntemler olan EDYY ile MBY kullanılmıştır. Tasarım depremi olarak her iki yönetmelik için 50 yılda aşılma olasılığı % 10 olan standart deprem yer hareketi dikkate alınmıştır. Binanın her bir yönetmeliğe göre üç boyutlu modelinin kurulması ile yapısal çözümleme işlemi SAP2000 programı ile yapılmıştır. Binanın düzensizlik kontrolleri EDYY kullanılarak gerçekleştirilirken, etkin göreli kat ötelemeleri ve ikinci mertebe etkileri kontrolü ile kesin tasarımlarının yapılmasında MBY kullanılmıştır.

Bu çalışma sonunda yapılan değerlendirmeyle TBDY-2018'de deprem etkisinin, DBYBHY-2007'ye göre daha gerçekçi bir şekilde ele alındığı sonucuna ulaşılmıştır. Özellikle TBDY-2018'de etkin kesit rijitliklerinin kullanılması, tasarım ivme spektrumunun değişmesi, spektral ivmelerin coğrafi koordinatlara göre belirlenmesi, düşey deprem etkisinin hesaba katılması, dayanım fazlalığı katsayısının kullanılması ve yerel zemin sınıflarının yenilenmesi bu duruma etki eden en önemli faktörler olarak göze çarpmaktadır.

Anahtar kelimeler: 2007 Türk Deprem Yönetmeliği, 2018 Türk Bina Deprem Yönetmeliği, deprem hesabı, betonarme binaların tasarımı, deprem tehlike haritası.

COMPARISON OF THE DESIGN AND ANALYSIS OF A MULTI-STOREY CONCRETE BUILDING ACCORDING TO THE PROVISIONS OF THE TURKISH SEISMIC CODES TSC-2007 AND TBSC-2018

SUMMARY

Turkey has had the most comprehensive and modern seismic code with the promulgation of TBSC-2018 in 18 March 2018. Although TBSC-2018 has adopted similar principles and procedures as its predecessor, TSC-2007, it has evolved into a very different position, both with the topics it covers and with its structure suitable for the demands of the era. In order to tangibly address the differences between both seismic codes in terms of concrete buildings, the analysis and design of a multi-storey reinforced concrete building in residential type has been carried out comparatively in accordance with TSC-2007 and TBSC-2018 seismic codes. In this study, not only the seismic codes, but also Turkish Standards such as TS-500, TS-498 and TS-ISO 9194 were used.

This study consists of 5 chapters where introduction part constitutes the first chapter, explanation of earthquake fact and evolution of seismic codes in Turkey part constitutes the second chapter, comparison and examination of mentioned seismic codes part constitutes the third chapter, numerical application of sample building part constitutes the fourth chapter and assessment of the outputs of numerical applications part constitutes the last chapter.

The building has 15 floors with a height of 3 meters each and a total floor area of 1050 m^2. The building has reinforced concrete structural frame with shear walls and conventional solid slabs. For the building, the concrete class has been selected as C35/45 and steel grade has been seleceted as S420. The bearing element sizes in the building have been kept constant throughout the floors. It is assumed that the building will be built in Bursa in the coordinates of 40.185071/29.104772. The local site class of the ground on which the building will be is chosen as Z2 for TSC-2007 and ZB for TBSC-2018. While the location of the building is considered to be the 1st degree seismic zone for TSC-2007, the necessary parameters for TBSC-2018 were accessed via the AFAD's TEHM-2018 interactive website.

In the numerical application, the force based approach was followed and the linear earthquake load calculation methods such as ESLM and MCM were used. As the design earthquake, the standard earthquake ground motion, which has a 10% probability to be exceedance in 50 years for both regulations, has been taken into consideration. The establishment of the three-dimensional model of the building and the structural analysis process was carried out with the SAP2000 computer software. While the structural irregularity checks of the building are carried out using ESLM, final designs of members, control of maksimum relative storey drifts and control of second-order effects were carried out by using MCM.

As a result of the evaluation made at the end of this study, it was concluded that the earthquake effect in TBSC-2018 was handled more realistically than TSC-2007. Especially in TBSC-2018, using the effective cross-section stiffness, changing the design response spectrum, determining the spectral accelerations according to the geographical coordinates, taking into account the vertical earthquake load, using the overstrength factor and the renewal of the local site classes are the most important factors affecting this situation.

Keywords: 2007 Turkish Seismic Code, 2018 Turkish Building Seismic Code, earthquake load calculations, design of reinforced concrete buildings, earthquake hazard map.

1.GİRİŞ

Deprem, belirsiz ve kesin olarak öngörülemeyen bir karakteristiğe sahiptir. Günümüzde depremin ne zaman, hangi şiddette, nerede, hangi büyüklükte ve hangi derinlikte gerçekleşeceğini % 100 kesinlikte bilmek mümkün değildir. Depremin bu öngörülmesi güç karakteristiği yüzünden deprem tehlikesi altındaki yerlerde yaşanan can ve mal kayıpları ülke ekonomilerini ve gelişimlerini çok büyük ölçüde etkilemektedir. İnsan kaynağının ve milli servetin korunması için deprem zararlarının azaltılması, yaşamın bu tehlikeden en az etkilenmesi için her ülke kendine göre çareler aramaktadır. Deprem yönetmelikleri böyle bir ihtiyaçtan doğmuş ve zaman içinde gelişerek deprem güvenli yapı üretiminde önemli bir belge haline gelmiştir.

Türkiye, bulunduğu coğrafi konum itibariyle tektonik hareketlere açık bir ülkedir ve bu nedenle birçok deprem yaşamıştır. Yaşanan depremler sonucu oluşan can ve mal kayıpları sonucunda Türkiye'de, 1939'dan günümüze kadar deprem zararlarını azaltmak için, kısaca deprem yönetmeliği denilebilecek birçok düzenleme hayata geçirilmiştir. Son olarak, 1998 yılında oldukça kapsamlı ve çağdaş bir deprem yönetmeliği yürürlüğe konulmuş, günümüze gelinceye kadar bu yönetmelik iki defa daha değişmiştir. Her değişimde kapsamı ve içeriğindeki hesap ve yapım kuralları geliştirilmiştir.

Ülkemizde en son yayınlanan ulusal deprem yönetmelikleri, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY-2007) ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018)'dir. DBYBHY-2007, genel hatlarıyla Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY-1998) üzerinden yapılan bir güncellemeyken; TBDY-2018 ile DBYBHY-2007'ye göre benzer esas ve usullerin yanında birçok yenilik getirilmiştir. Ayrıca TBDY-2018 ile eş zamanlı yayınlanan Türkiye Deprem Tehlike Haritası (TDTH-2018), önceki deprem yönetmeliklerine kılavuzluk eden Türkiye Deprem Bölgeleri Haritaları'nın yerini almış, çağın gerekliliklerine uygun şekilde interaktif tabanlı ve coğrafi koordinat esaslı bir harita olarak karşımıza çıkmıştır.

1.1 Tezin Amacı

Bu tez çalışmasının amacı, örnek olarak ele alınan çok katlı betonarme bir bina planı kullanılarak DBYBHY-2007 ve TBDY-2018 yönetmeliklerini karşılaştırmaktır. Yapılacak karşılaştırma yönetmeliklerdeki esasların, usullerin ve hesap yöntemlerinin karşılaştırılması ile her iki yönetmeliğe göre yapılacak tasarım ve analiz uygulamalarını içermektedir. Bu çalışma ile TBDY-2018'in getirdiği yenilikler ve DBYBHY-2007'ye göre farklı yönleri, sayısal bir uygulama üzerinden ele alınarak hem teorik hem pratik anlamda literatüre katkı sağlanması amaçlanmıştır.

1.2 Tezin Kapsamı

Tezin kapsamı çok katlı fakat yüksek bina sınıfına girmeyen betonarme binalarla sınırlı tutulmuştur. Bu sebeple bina türü dışında kalan yapı türleri ve betonarme taşıyıcı sistemin dışındaki taşıyıcı sistem türleri ile ilgili bilgilere yer verilmemiştir.

Tezin 2. Bölümü'nde, Türkiye'de deprem kavramı, deprem bölgeleri haritaları ve deprem yönetmelikleri ile ilgili genel ve tarihsel bilgiler verilmiştir. 3. Bölüm'de, her iki yönetmelikte yer alan betonarme binalar için depreme dayanıklı tasarım esas ve usulleri karşılaştırmalı olarak açıklanmıştır. Ancak bu bölümde ana konudan sapmamak amacıyla yönetmeliklerde yer alan tüm bölümlere değinilmemiş; yalnızca bu çalışmada kullanılacak kavramlar, kurallar ve yaklaşımlara yer verilmiştir. Tezin 4. Bölümü'nde, yönetmeliklere göre örnek binanın taşıyıcı elemanlarının ön tasarımları, taşıyıcı sistem modellenmesi, deprem hesapları, gerekli kontroller ve örnek elemanların kesin tasarımı yine karşılaştırmalı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Tezin 5. Bölümü'nde, yapılan sayısal uygulamalar sonucunda elde edilen verilerin karşılaştırılması ve değerlendirilmesine yer verilmiştir.

2. TÜRKİYE'DE DEPREM, DEPREM YÖNETMELİKLERİ VE DEPREM BÖLGESİ HARİTALARI

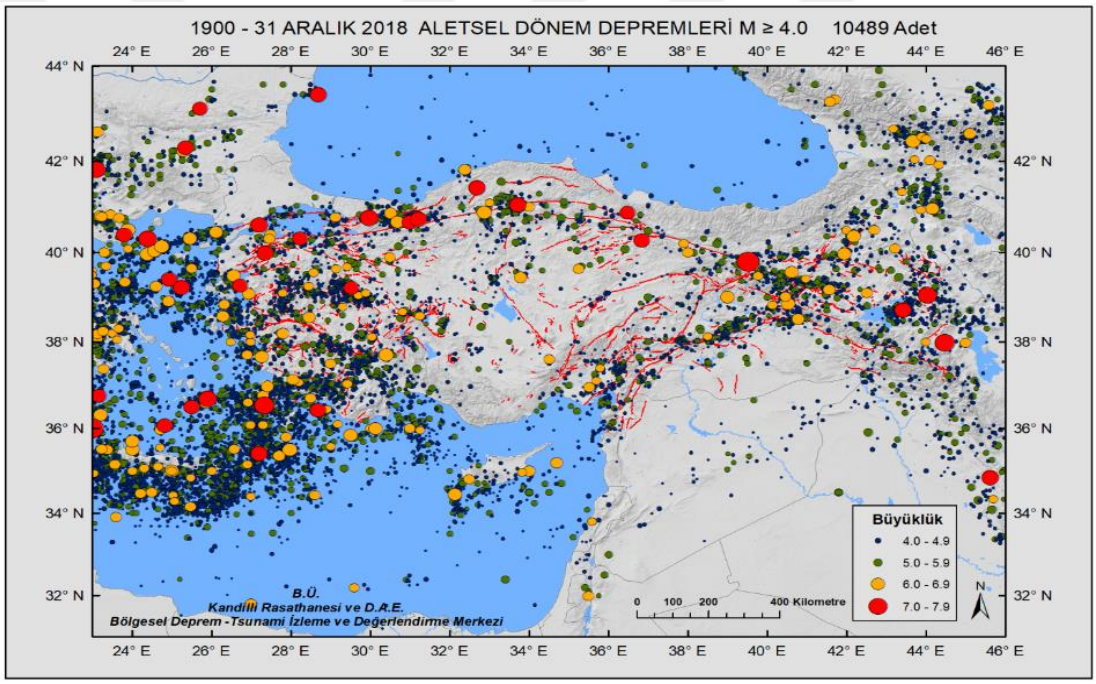
2.1 Türkiye'nin Deprem Gerçeği

Türkiye, büyük bir kısmı aktif deprem kuşağı (Akdeniz ve Alp-Himalaya) üzerinde bulunan ve her zaman deprem tehlike ve riskine açık bir ülkedir. Türkiye, doğuda Bingöl Karlıova'dan başlayıp batıda Tekirdağ civarına kadar devam eden Kuzey Anadolu Fayı, güneyde Hatay civarından başlayıp yine Erzincan civarında Kuzey Anadolu Fayı ile kesişen Doğu Anadolu Fayı ve batıda irili ufaklı birçok faydan oluşan Ege Graben Sistemi gibi büyük fay hatlarına ev sahipliği yapmaktadır. Bu ana fay sistemlerinin yanı sıra Ecemiş Fayı, Tuz Gölü Fayı, Niksar-Erbaa Fayı, Keskin Fayı ve Sultandağı Fayı gibi irili ufaklı pek çok aktif fayı da sınırları içerisinde bulundurmaktadır [1].

Türkiye topraklarının hemen hepsi, deprem tehlikesine açık alanlardan oluşmaktadır. Bu tehlikenin can ve mal güvenliği açısından önemli bir risk taşıdığı da bilinmektedir. İnsanoğlu tarih boyunca yaşamak için; alüvyonlu, su kaynaklarına ve termal kaynaklara erişimi kolay olan bölgeleri seçmiş, zemin ve fay hareketliliği açısından elverişsiz olan bu alanlarda yerleşim ve nüfus yoğunlaşmıştır. Türkiye için de durum benzer olup, nüfusun yaklaşık % 98'i deprem tehlikesi bulunan alanlarda yaşamaktadır. Ayrıca bu bölgelerde; sanayi tesisleri, petrol rafinerileri, enerji santralleri, köprüler, tüneller, hastaneler, okullar ve toplu konutlar gibi önemli yapılar yoğunlaşmıştır. Özellikle başta İstanbul, İzmir, Bursa, Kocaeli olmak üzere, şehirlerin yer aldığı ve yoğun yapılaşma ile kentleşmenin olduğu bu alanlarda, depremin yıkıcı etkilerinin kırsal alanlardaki basit ve dağınık yerleşimlere oranla çok daha fazla olacağı bilinmektedir.

Türkiye yeryüzünde meydana gelen depremlerin önemli bir kısmına ev sahipliği yapan en etkin deprem kuşaklarından birinde bulunması sebebiyle, geçmişten günümüze yaşanan birçok deprem sonucunda binlerce can ve mal kaybına uğramıştır. Türkiye'de 5.5 ve üzeri büyüklükte deprem üretme kapasitesine sahip diri fay veya fay segmenti sayısının 485 olduğu bilinmektedir [2]. Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve

Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE) Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi (BDTİM) verilerine göre ülkemizde ve yakın çevresinde 1900-2018 yılları arasında büyüklüğü M ≥ 4.0 olan toplam 10.000'in üzerinde deprem meydana gelmiştir. Bu depremlerin dağılımı ve aktif fay doğrultuları arasındaki paralellik Şekil 2.1'de görülmektedir. Yine aynı tarih aralığında, T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) Deprem Dairesi Başkanlığı kayıtlarına göre büyük deprem olarak kabul edilebilecek (M ≥ 5.0) yaklaşık 1500'ün üzerinde deprem meydana gelmiştir. Türkiye'de 1900'lu yılların başlarından itibaren tutulan kayıtlara, yapılan çalışmalara ve çeşitli kaynaklara göre farklılık göstermekle birlikte yaşanmış olan depremler sonucunda, 90.000'in üzerinde can kaybı ve 780.000'e yakın ağır hasarlı bina olduğu tahmin edilmektedir.



Şekil 2.1: Türkiye ve çevresinde büyüklüğü M ≥ 4.0 olan depremlerin dağılımı [3].

1900-2014 yılları arasında meydana gelen depremler incelendiğinde, can ve mal kaybına neden olan en fazla depremin 5.5 - 5.9 magnitüd aralığında meydana geldiği, en çok can kaybı ve bina hasarının ise sırasıyla 7.5 - 7.9 ve 7.0 - 7.4 magnitüd aralığında yaşandığı tespit edilmiştir. Ayrıca Türkiye'deki 81 ilin 55'inde (%68) can kaybı ve/veya yapısal hasarın meydana geldiği, can kaybı ve hasarlı bina sayısı bakımından sayısal olarak en çok kayıp yaşayan ilk beş bölge, büyükten küçüğe doğru; Doğu Anadolu, Marmara, Karadeniz, Ege, Akdeniz bölgeleri olarak sıralanmıştır [4].

Türkiye'de meydana gelen depremlerde en fazla can ve mal kaybı 1939 Erzincan (Şekil 2.2) ve 1999 Marmara Depremi'nde (Şekil 2.3) yaşanmıştır. 27 Aralık 1939 tarihinde Kuzey Anadolu Fay Hattı'nın doğu kısmında Erzincan merkezli M_S=7.9/M_L=7.2 büyüklüğünde gerçekleşen depremde resmi kaynaklara göre 32.962 kişi hayatını kaybetmiş, 116.720 bina yıkılmıştır [5]. Erzincan Depremi sadece Türkiye tarihinde değil, dünya tarihinde de yaşanan en yıkıcı depremlerden biri olarak kayıtlara geçmiştir.



Şekil 2.2: 1939 Erzincan Depremi [6].

Bir diğer katastrofik deprem ise 17 Ağustos 1999 sabahı merkez üssü Kocaeli/Gölcük olan M_W=7.6/M_S=7.8 büyüklüğündeki 45 saniye süren ve tüm Marmara Bölgesi'ni etkileyen Gölcük Depremi'dir (Şekil 2.3). Resmi kaynaklara göre depremde 17.480 vatandaş hayatını kaybetmiş, 285.211 ev ile 42.902 iş yeri hasar görmüş, 133.683 bina çökmüş ve 600.000 kişi evsiz kalmıştır [7].



Şekil 2.3 : 1999 Gölcük Depremi [8].

2.2 Geçmişten Günümüze Deprem Yönetmelikleri

1939 Erzincan Depremi'nin olduğu tarihe kadar Türkiye'de inşaat işleri belirli bir bilgi birikimi olmasına karşın genelde usta-çırak ilişkisine dayalı geleneksel yöntemlerle yapılmaktaydı. Bu dönemde, inşaat alanında somut fen ve sanat kurallarına göre yazılmış yönetmelik ve kitapların ışığında bir denetimden söz etmek mümkün değildi. Erzincan Depremi sonrasında bu alanda hissedilen eksiklik ve farkındalık ile deprem etkileri, basit hesap yöntemleri, malzeme-zemin ve yapım kurallarını içeren yapı inşasına ait bir yönetmelik/talimatname arayışına girilmiştir.

Deprem sonrasında ilk defa ABD, Japonya, İtalya, Yunanistan gibi ülkelerde yapılan çalışmalar ve uygulanan standartlar incelenmiş olup 1937 yılından itibaren İtalya tarafından kullanılmakta olan "Zelzele Mıntıkalarında Yapılacak İnşaata ait İtalyan Yapı Talimatnamesi" Türkçe'ye çevrilmiş ve Nafia Vekâleti tarafından 1940 yılında yayımlanmıştır [1]. Bu alanda ülkemizde yapılan ilk çalışma olan bu çeviriden sonra yine 1940 yılında, bu yönetmelik baz alınarak hazırlanan "Zelzele Mıntıkaları Muvakkat Yapı Talimatnamesi" yürürlüğe sokulmuş, daha sonra 1942 ve 1944 yıllarında revize edilerek yurt genelinde uygulamaya konulmuştur. 1942 Erbaa, 1943 Adapazarı-Hendek, 1943 Lâdik ve 1944 Gerede gibi büyük, can ve mal kaybının fazla olduğu depremlerin kısa sayılabilecek bir zaman dilimi içinde art arda meydana gelmesi sonucunda 22 Temmuz 1944 tarih ve 4623 sayılı "Yersarsıntısından Evvel ve Sonra Alınacak Tedbirler Hakkında Kanun" Resmi Gazete 'de yayınlanmıştır. Bu kanun, deprem tehlike ve riskinin tayin edilmesinin yanı sıra, deprem tehlikesine maruz bölgelerin haritalarının ve listelerinin çıkarılması, merkezi ve mahalli idarelerin deprem sonrasındaki faaliyetleri ve örgütlenmeleri, yapılaşmaların nasıl muayene ve tetkik edileceği ve ilgili konulardaki cezai hükümleri içeren ilk yasal düzenleme olmuştur.

İlerleyen süreçte bu kanuna dayanarak sırasıyla 1949, 1953, 1962, 1968, 1975, 1998, 2007 ve son olarak 2018 yıllarında dünyadaki güncel gelişmelere ve ülkemizin ihtiyaçlarına bağlı olarak deprem yönetmelikleri güncellenip geliştirilmiştir. Bu alanda günümüze kadar yayınlanmış olan yönetmelikler ve ülkemizde gerçekleşen büyük depremler arasındaki paralelliği gösteren kronolojik liste Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1: Deprem yönetmeliklerinin tarihsel gelişimine paralel sismik olaylar [3].

Tarih	Gerçekleştiği Yer	Büyüklük	Can Kaybı
1939	ERZİNCAN	7.9	32962
1940	Zelzele Mıntıkalarında Yapılacak İnşaata ait İtalyan Yapı Talimatnamesi		
1942	Erbaa (TOKAT)	7	3000
1943	Lâdik (SAMSUN)	7.2	4000
1944	Gerede (BOLU)	7.2	3959
1944	Zelzele Mıntıkaları Muvakkat Yapı Talimatnamesi		
1946	Varto-Hınıs (MUŞ)	5.9	839
1949	Karlıova (BİNGÖL)	6.7	450
1949	Türkiye Yersarsıntısı Bölgeleri Yapı Yönetmeliği		
1953	Yenice (ÇANAKKALE)	7.2	265
1953	Yersarsıntısı Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik		
1957	Fethiye (MUĞLA)	7.1	67
1962	Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik		
1966	Varto (MUŞ)	6.9	2396
1967	Mudurnu (ADAPAZARI)	6.8	89
1968	Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik		
1970	Gediz (KÜTAHYA)	7.2	1086
1971	BİNGÖL	6.8	878
1975	Lice (DİYARBAKIR)	6.6	2385
1975	Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik		
1976	Muradiye (VAN)	7.5	3840
1983	ERZURUM-KARS	6.9	1155
1992	ERZİNCAN	6.8	653
1995	Dinar (AFYON)	6.1	90
1998	Ceyhan (ADANA)	6.2	146
1998	Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik		
1999	Gölcük (KOCAELİ)	7.8	17480
1999	DÜZCE	7.5	763
2003	BİNGÖL	6.4	176
2005	Sığacık Körfezi (İZMİR)	5.9	-
2007	Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik		
2010	Başyurt-Karakoçan (ELAZIĞ)	6.1	42
2011	VAN	7.2	644
2011	Edremit (VAN)	5.6	40
2018	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018)		

2.2.1 Zelzele mıntıkalarında yapılacak inşaata ait İtalyan yapı talimatnamesi (ZMYİİYT-1940)

İlk ulusal deprem yönetmeliği yayınlandığı zamanda Türkiye'deki yapı stoğunun çoğunlukla kâgir yapılardan oluşması, betonarme ve çelik binaların yaygın olmaması ile deprem mühendisliğine ait bilgi ve tecrübenin kısıtlı olması sebebiyle bu yönetmelik genellikle yığma yapılar üzerine konstrüktif kurallardan bahsetmektedir. Betonarme veya çelik yapılara ait sayısal hesaplamalar yer almamaktadır.

ZMYİİYT-1940, 1. ve 2. deprem bölgelerinden bahsetmiş, açıklanan yapım kuralları ve talimatlar 1. ve 2. deprem bölgeleri için ayrı ayrı düzenlenmiştir. Zemin ve temeller konusunda sayısal hesaplamaya girmeden binaların sert ve sağlam zemin üzerine yapılması, en azından radyejeneral temel teşkil edilmesi, işçilik kalitesinin yüksek tutulması gibi hususlar yer alırken; kullanılacak malzemeler ve zemin emniyet gerilme kavramı gibi detaylara da yüzeysel de olsa değinilmiştir. Binalardaki azami kat adedi ve yükseklik konusunda sınırlardan bahsedilen bu yönetmelikte cezai durumlara yer verilmiştir. Temeller, kemerler, döşemeler, tavanlar, merdivenler, kapılar ve pencereler için mimari detaylardan bahsedilmiştir.

Doğal olarak deprem hesabı ile ilgili günümüzdeki yeni yaklaşımlar bu yönetmelikte yer almamıştır. Yönetmeliğe göre yapıya etkiyecek yatay kuvvet, bina yüksekliği ve kat adedinden bağımsız olarak bina ağırlığı ve deprem bölgesine göre değişen bir katsayı cinsinden (Denklem 2.1) ifade edilmiştir. Ayrıca hesap yapılırken dikey ve yatay deprem etkilerinin ortak etkisinin göz önünde bulundurulmayacağına dikkat çekilmiştir [9].

$$F = C \times W \tag{2.1}$$

Denklem 2.1'de F; binaya etkiyen yatay kuvveti, W; binanın ağırlığını, C; birinci derece deprem bölgeleri için 0.10; ikinci derece deprem bölgeleri için 0.05 olarak alınacak olan katsayıyı göstermektedir [9].

2.2.2 Zelzele mıntıkaları muvakkat yapı talimatnamesi (ZMMYT-1944)

İtalyan Talimatnamesi esas alınarak hazırlanan ZMMYT-1944'ün 1. bölümünde ruhsat alma işlemlerine değinilmiş ve cezai hükümlerden bahsedilmiştir. 2. bölümde binaların yapılacağı temel zeminlerine ait hükümlere yer verilmiş; kaymaya müsait, yumuşak, sulu/bataklık ve çok eğimli arazilerde inşaat yapmanın yasak olduğundan

söz edilmiştir. 3. bölümde çatı döşeme üst kotuyla bina önündeki yaya kaldırımı üst kotu arası düşey mesafe olarak tanımlanan bina yüksekliği, binanın taşıyıcı sistemine ve kat sayısına bağlı olarak belirlenmiş ve çizelge halinde sunulmuştur.

ZMMYT-1944'te binaların deprem kuvvetlerini karşılayabilecek kapasitede inşa edilmesi, depremin yatay etkisinin düşey etkisinden daha büyük ve ciddi olduğu, taşıyıcı sistemi farklı iki yapının bitişik nizamda inşa edilmemesi gerektiği ve taşıyıcı elemanların birbirine iyi bağlanıp deprem altında yekpare çalışması gerektiği vurgulanmıştır.

Deprem dolayısıyla etkiyecek yatay kuvvet, binanın zati ağırlığı ile en olumsuz durumu teşkil edecek hareketli yüklerin yarısının toplamının deprem katsayısı ile çarpılması şeklinde ifade edilmiştir. Eğer rüzgâr kuvvetleri göz önüne alınacaksa, bu toplama rüzgâr kuvvetinin yarısı eklenerek hesap yapılması gerektiği vurgulanmıştır (Denklem 2.2). Ayrıca hesap yapılırken dikey ve yatay deprem etkilerinin ortak etkisinin göz önünde bulundurulmayacağına değinilmiştir [10].

$$F = C \text{ x } \left(G + \frac{P}{2}\right) + \frac{W}{2} \tag{2.2}$$

Denklem 2.2'de F; binaya etkiyen yatay kuvveti, G; binanın ağırlığını, P; binadaki hareketli yükü, W; binaya etkiyecek olan rüzgâr yükünü ve C; binanın bulunduğu bölgeden bağımsız olan 0.10 katsayısını göstermektedir [10].

2.2.3 Türkiye yersarsıntısı bölgeleri yapı yönetmeliği (TYBYY-1949)

TYBYY-1949'da ağırlıklı olarak mimari detaylara yer verilmiş, yeni yapı yapılması yasak olan arazilerden bahsedilmiş; dik yarlara, heyelana müsait bölgelere ve yıkılma tehlikesine açık arazilere inşaat yapmanın yasak olduğu belirtilmiştir. Devamında yapı yüksekliği tanımlanmış, yapılacak olan binaların bulunduğu deprem bölgesine ve taşıyıcı sistemin türüne göre sahip olabileceği maksimum kat sayısı ve bina yüksekliği değerleri tablo halinde verilmiştir (Çizelge 2.2). Yönetmelikte kat yüksekliği, iki döşeme üst kotu arasındaki fark olarak tanımlanmış olup yapının cinsi fark etmeksizin azami 5.00 m ile sınırlandırılmıştır.

Çizelge 2.2: TYBYY-1949'a göre yeni yapılacak binaların maks. yüksekliği ve kat adetleri [11].

	Birinci Derece Deprem Bölgeleri		İkinci Derece Deprem Bölgeleri	
	Bina Yüksekliği (m)	Kat Adedi	Bina Yüksekliği (m)	Kat Adedi
Tuğla, kesme taş, briket duvarlı kâgir yapılar	12.50	3	16.00	4
Moloz taş duvarlı kâgir yapılar	9.00	2	9.00	2
Yarım kâgir, hımış (ahşap iskeletli ve içi harçlı kâgir dolgulu) yapılar	7.50	2	9.00	2
Ahşap, yarım ahşap yapılar	5.00	1	7.50	2
Kerpiç yapılar	3.50	1	3.50	1

TYBYY-1949'a göre kısmen veya tamamen bitişik yapılacak olan yapılarda veya aynı zamanda farklı yapısal sisteme sahip olacak şekilde inşa edilecek yapılarda bırakılacak derzlerden bahsedilmiştir. Yapısal tasarımların tercihen kapalı bir kare veya dikdörtgen şekli teşkil edecek şekilde yapılması ile L, U, E, H, T şeklindeki yapıların dilatasyonlarla dikdörtgenlere ayrılması vurgulanmıştır. Ayrıca yapıların mimari ve statik planlarının, yapının eksenlerine göre sadece şekil bakımından simetrik olması değil; kütle ve rijitliklerinin de bu simetriye uyması gerektiği belirtilmiştir. "*Binaların ağırlık merkezi ile rijitlik merkezi intibak etsin veya birbirine mümkün mertebe yakın tutulsun*" ifadesinden de yönetmeliklerde ilk defa burulma düzensizliğine atıfta bulunulduğu görülmektedir. Ana duvarların ve takviye ayakların katlarda üst üste gelmesi kuralı ise düşey eleman süreksizliği ile ilgili bir ifadedir.

TYBYY-1949'da temellerle ilgili olarak kazık ve radyejeneral temeller, münferit ve mütemadi temeller, sömel ve bağ kirişi gibi terimlere kısaca değinilmiş olup taşıma gücü yöntemlerinden veya herhangi bir başka hesaplamadan bahsedilmemiştir.

Yapıların statik hesapları adlı bölümde, yapının herhangi bir parçasına etki edecek yatay kuvvetle ilgili bir denkleme yer verilmiştir (Denklem 2.3). Yapıların düşey deprem etkisi yerine yatay deprem etkisine göre tahkik edilmesi gerektiği vurgulanmış, yatay deprem etkisinin her iki yönde de etki edeceği ama binanın bu iki yönlü etkiye aynı anda maruz kalmayacağı kabul edilmiştir. Yapının çeşitli parçalarında hesap yapılırken düşey yüklerle beraber yatay deprem kuvveti ile birlikte yarım şiddette rüzgâr kuvveti veya düşey yüklerle beraber tam şiddette rüzgâr kuvvetinden hangi durum daha olumsuz etkilere sebep oluyorsa o durumun dikkate

alınacağı hükmüne yer verilmiştir. Ayrıca yönetmelikte deprem hesaplarında malzemenin normal emniyet gerilmeleri % 50 arttırılabilir ifadesi yer almaktadır [11].

$$F = C \times (G + nP) \tag{2.3}$$

Denklem 2.3'te F; söz konusu parçaya etkiyen yatay kuvveti, G; parçanın zati ağırlığını, P; parçaya etki eden hareketli yükü, n; hareketli yük katsayısını (yapının kullanım amacına göre 0.33-1.00 arası değişmektedir), C; 1. derece deprem bölgelerinde 0.04-0.02 arası; 2. derece deprem bölgelerinde 0.03-0.01 arası alınacak katsayıyı göstermektedir [11].

2.2.4 Yersarsıntısı bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelik (YBYYHY-1953)

YBYYHY-1953, daha önceki yönetmelikler gibi ağırlıklı olarak yığma yapıların mimari kurallarından bahsetmiş; kısaca verilen yatay deprem kuvveti hesabından başka bir sayısal analize dayandırılmamıştır. Ayrıca betonarme veya çelik yapılara ait taşıma gücü yöntemleri, eleman boyutlandırılması, gerilme-şekil değiştirme durumları, deprem hesap yöntemleri veya günümüzde kullanılan diğer yaklaşımlara yer verilmemiştir.

YBYYHY-1953'te temel ve bodrum duvarları, kapı-pencere boşlukları ve lentoları, taşıyıcı kemerler, taşıyıcı döşemeler, yapıların konsol kısımları, bölme ve dolgu duvarlar, çatı ve teraslara ait sadece konstrüktif kurallar yer almaktadır.

YBYYHY-1953'e göre burulma etkilerine karşı, yapıların mimari ve statik projelerinde yer alan taşıyıcıların şekil, kütle ve rijitlik kavramları açısından simetrik olması gerekmektedir. Yapı yatay kesitlerinin mümkün olduğu kadar basit ve kapalı bir sistem teşkil edecek kare veya dikdörtgen şeklinde olması gerektiği belirtilmiştir. Ayrıca L, U, E, H, T şeklindeki binalarda, farklı zamanlarda bitişik nizamda yapılacak binalarda ve aynı zamanda farklı zemin türleri üzerine inşa edilecek bitişik yapılarda dilatasyon derzi şart koşulmuştur. Yine yönetmeliğe göre her katta taşıyıcı duvarlar ve takviye ayakların düşey konumda bir süreklilik sağlaması gerektiği belirtilmiştir.

Yapıların statik hesapları ile ilgili bölümde, yapıların düşey etkilerden ziyade yatay deprem etkilerine göre tahkik edileceği ve bu yatay etkilerin yapıya aynı anda olmamak kaydıyla her iki doğrultuda etkiyeceği kabul edilmiştir. Yapının çeşitli parçalarında hesap yapılırken düşey yüklerle beraber yatay deprem kuvveti ile birlikte

yarım şiddette rüzgâr kuvveti veya düşey yüklerle beraber tam şiddette rüzgâr kuvvetinden hangi durum daha olumsuz etkilere sebep oluyorsa o durum dikkate alınacaktır. Deprem hesabında, betonarme elemanların normal emniyet gerilmelerinin % 50 oranında artırılmasına izin verilmiştir. Yapının herhangi bir parçasına etkiyen yatay deprem kuvveti Denklem 2.4'te verilmiştir [12].

$$F = C \times (G + nP) \tag{2.4}$$

Denklem 2.4'te F; söz konusu parçaya etki eden yatay kuvveti, C; deprem katsayısını (bkz. Çizelge 2.3), G; parçaya etki eden ölü yüklerin toplamını, n; hareketli yük katsayısını (bkz. Çizelge 2.4), P; parçaya etki eden hareketli yüklerin toplamını ifade etmektedir [12].

Çizelge 2.3: YBYYHY-1953'e göre deprem katsayısının (C) değerleri [12].

Zemin Durumu	'Birinci Derece Deprem Bölgeleri	İkinci Derece Deprem Bölgeleri
Yerlikaya kalınlığı 1 metreden fazla olan zeminler	0.02	0.01
Asgari kalınlığı 3 metre olan sert killi zeminler	0.03	0.02
Üstteki iki sınıf dışında kalan zeminler	0.04	0.03

Çizelge 2.4: YBYYHY-1953'e göre hareketli yük katsayısının (n) değerleri [12].

Sinema, tiyatro, otel, kahvehane, fabrika vb. umumi toplantı ve işyeri mekanlarında	1
Resmi yapılarda	1/2
Meskenlerde	1/3

2.2.5 Afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelik (ABYYHY-1962)

ABYYHY-1962 kapsamı itibariyle önceki yönetmeliklerden farklı olarak, depreme maruz yapılar hakkındaki esaslara ek ilk defa binalarda yangına karşı alınacak tedbirlere ve su baskınına maruz bölgelerde yapılacak yapılar hakkındaki hükümlere yer verilmiştir.

AFBYYHY-1962, önceki yönetmeliklerle benzer şekilde yapı temelleri, temel ve bodrum duvarları, kapı-pencere boşlukları ve lentoları, taşıyıcı kemerler, taşıyıcı döşemeler, yapıların konsol kısımları, bölme-dolgu duvarlar, çatılar ve teraslara ait konstrüktif kuralları içermektedir.

Yönetmeliğin statik hesaplar ile ilgili bölümde, yapıların düşey etkilerden ziyade yatay deprem etkilerine göre tahkik edileceği ve bu yatay etkilerin yapıya aynı anda

olmamak kaydıyla her iki doğrultuda etkiyeceği kabul edilmiştir. Ayrıca yapının çeşitli parçalarında hesap yapılırken düşey yüklerle beraber yatay deprem kuvveti ile birlikte yarım şiddette rüzgâr kuvveti veya düşey yüklerle beraber tam şiddette rüzgâr kuvvetinden hangi durum daha olumsuz etkilere sebep oluyorsa o durum dikkate alınacaktır. Deprem hesabında, malzemelerin normal emniyet gerilmelerinin % 50 oranında artırılmasına izin verilmiştir. Yapıda herhangi bir parçaya etkiyen yatay deprem kuvveti Denklem 2.5 ile hesaplanır [13].

$$F = C \times (G + nP) \tag{2.5}$$

Denklem 2.5'te F; söz konusu parçaya etki eden yatay kuvveti, C; deprem katsayısını (bkz. Denklem 2.6), G; parçaya etki eden ölü yüklerin toplamını, n; kullanım amacına bağlı hareketli yük katsayısını (0.5-1.0), P; parçaya etki eden hareketli yüklerin toplamını ifade etmektedir [13].

$$C = C_0 \times n_1 \times n_2 \tag{2.6}$$

Denklem 2.6'da C_0; yapı yüksekliğine bağlı katsayıyı (bkz. Çizelge 2.5), n_1; taşıyıcı sistem ve cinsine göre değişen katsayıyı (bkz. Çizelge 2.6), n_2; 1. ve 2. derece deprem bölgeleri için sırasıyla 1.0 ve 0.6 olarak alınacak çarpanı ifade eder [13].

Çizelge 2.5: AFBYYHY-1962'ye göre C0 değerinin yapı yüksekliği ile değişimi [13].

Yapı Yüksekliği (m)	C_0 Değeri
H < 16	$C_0 = 0.06$
16 < H < 22	$C_0 = 0.07$
22 < H < 28	$C_0 = 0.08$
28 < H < 34	$C_0 = 0.09$
34 < H < 40	$C_0 = 0.10$

* C_0 değeri, bina yüksekliği 40.00 metreyi aştıktan sonra her 3.00 metrede 0.01 kadar arttırılır

Çizelge 2.6: AFBYYHY-1962'ye göre n1 çarpanının değeri [13].

Zemin Cinsi	Çelik Yapılar	Betonarme Yapılar
Sert ve kayalık zemin	0.6	0.8
Orta sertlikte zemin	0.8	0.9
Yumuşak zemin	1.0	1.0

2.2.6 Afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelik (ABYYHY-1968)

ABYYHY-1968, 1963 Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası baz alınarak hazırlanmış olup yayınlandığı tarihe kadarki en kapsamlı yönetmelik olmuştur. Yönetmelikte, deprem bölgelerinde yapılacak yapılara ek olarak su baskını ve yangın afetlerinden korunmaya yönelik tedbirlere de yer verilmiştir.

ABYYHY-1968'te, ülkemizde yaygınlaşan betonarme binaların, gelişen teknolojinin ve modern yaklaşımların da etkisiyle önceki yönetmeliklerden çok daha farklı hükümler getirilmiştir. İlk kez dinamik hesap yöntemleri işaret edilmiş ve yüksekliği 44 m'den fazla betonarme yapılar için dinamik yöntemlerin kullanılacağı belirtilmiştir. Betonarme taşıyıcı elemanlarla ilgili ilk kez sınırlamalar getirilmiş, kolonların her katta sürekli olması, en küçük kolon kenarının 24 cm'den ve kat yüksekliğinin 1/20'sinden az olamayacağı belirtilmiştir. Betonarme perdelerin her katta sürekli olması ve kalınlıklarının 20 cm'den ve kat yüksekliğinin 1/25'nden az olmayacağı öngörülmüştür. Döşemelerin kalınlığı en az 10 cm, çatı döşemelerinde ise en az 8 cm olarak belirlenmiştir. Kiriş kesitleri en az 15x30 cm olarak belirlenmiş olup, yükseklikleri bağlı oldukları döşeme kalınlığının 3 katından daha fazla olacaktır hükmünde bulunulmuştur. Taşıyıcı elemanların boyutlandırılmasının yanında donatı ile alakalı kurallara da değinilmiştir.

Deprem sebepli yanal kuvvetlerin birbirine dik iki doğrultuda ama farklı zamanlarda yapıya etkiyeceği kabul edilmiştir. Yönetmelikte, etkiyecek yanal kuvvetlerin katlara döşeme seviyesinden uygulanacağı öngörülerek hesap yapılacak ibaresi yer almaktadır. Deprem hesaplarında beton ve çelik malzemelerinin emniyet gerilmelerinin % 50 arttırılabileceği belirtilmiştir. Deprem sebebiyle binaya etkiyecek toplam deprem kuvveti Denklem 2.7'deki gibi hesaplanır [14].

$$F = C \times W \tag{2.7}$$

Denklem 2.7'de C; deprem katsayısını (bkz. Denklem 2.8), W; toplam bina ağırlığını (bkz. Denklem 2.9) göstermektedir.

$$C = C_0 \times \alpha \times \beta \times \gamma \tag{2.8}$$

$$W = \sum W_i = \sum G_i + n_i P_i \tag{2.9}$$

Denklem 2.8'de C_0; birinci, ikinci ve üçüncü deprem bölgeleri için sırasıyla 0.06, 0.04, 0.02 değerlerini alan deprem bölge katsayısını, α; zemin tipine göre 0.80-1.20 arası değer alan zemin katsayısını, β; kullanım önemine göre 1.00-1.50 arası değer alan bina önem katsayısını gösterir. γ; dinamik katsayısıdır ve yapının periyotuna göre Denklem 2.10 ve 2.11'deki gibi hesaplanır. Denklem 2.9'da W_i; kat ağırlığını, n_i; hareketli yük katsayısını, G_i; zati yükleri, P_i; hareketli yükleri göstermektedir [14].

$$T < 0.5 \text{ s için } \gamma = 1 \tag{2.10}$$

$$T > 0.5 \text{ s için } \gamma = \frac{0.5}{T} \tag{2.11}$$

Denklem 2.10 ve 2.11'de T, bina periyotu (s) olup daha geçerli yöntemler kullanılmadıkça Denklem 2.12'deki formülle hesaplanır [14].

$$T = \frac{0.09H}{\sqrt{D}} \tag{2.12}$$

Denklem 2.12'de H ve D sırasıyla bina toplam yüksekliğini (m) ve etkiyen deprem kuvvetinin doğrultusundaki bina genişliğini (m) göstermektedir [14].

Toplam yanal deprem kuvveti F, bina yüksekliği boyunca katlara Denklem 2.13 kullanılarak dağıtılabilir. Denklem 2.13'te F_i; kata etkiyen yanal kuvveti, h_i; söz konusu katın temelden yüksekliğini, W_i; kat ağırlığını gösterir [14].

$$F_i = F\frac{W_i h_i}{\sum W_i h_i} \tag{2.13}$$

2.2.7 Afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelik (ABYYHY-1975)

Yayınlandığı tarihe göre başarılı sayılabilecek olan ABYYHY-1975, 20 yılı aşkın bir süre boyunca yürürlükte kalmış olup barındırdığı yaklaşım ve kurallarla literatürde önemli bir yere sahiptir. 1972 tarihli "Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası" esas alınarak hazırlanan yönetmelikte ülkemizdeki bölgeler birinci, ikinci, üçüncü, dördüncü ve tehlikesiz olmak üzere 5 sınıfa ayrılmıştır. Su baskını, yangın ve deprem afetlerinden korunma olarak 3 doğal afetten bahseden ABYYHY-1975 özellikle betonarme yapılar konusunda detaylı kurallara sahiptir.

ABYYHY-1975'te birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde B225'den daha düşük sınıfta betonun kullanılmasına ve deprem bölgelerinde vibratör ve betoniyer olmadan beton dökümüne izin verilmemiştir. Temellerdeki bağ kirişleri için deprem bölgesi ve zemin cinsine bağlı olarak boyutlandırma ve donatılandırma için minimum koşullar verilmiştir. Dikdörtgen kolonların en küçük kenarının 25 cm'den ve kat yüksekliğinin 1/20'sinden küçük; geniş kenarın dar kenara oranının ise 3'ten daha büyük olamayacağı belirtilmiştir. Dairesel kolonlarda minimum çap 30 cm olarak belirlenmiştir. Kolonlardaki boyuna donatı yüzdeleri ρ_{min} ve ρ_{max} değerleri sırasıyla 0.01 ve 0.04 olarak sınırlandırılmıştır. Kullanılacak donatı çelik sınıfı, bindirme boyları, enine donatı koşulları, kolon sarılma bölgeleri, kolon-kiriş birleşme bölgeleri gibi önemli konular üzerinde durulmuştur. Betonarme perde genişliği 15 cm ve kat yüksekliğinin 1/20'sinden daha az olmayacak şekilde belirlenmiştir. Ayrıca perdelerle ilgili minimum donatı alanları, donatı aralıkları, bırakılacak boşluklar ve uç bölgeleri ile ilgili çeşitli kurallardan bahsedilmiştir. Döşemelerin normal katlarda 10 cm, çatı katında ise minimum 8 cm kalınlığa sahip olacağı öngörülmüştür. Çerçeve kirişleri için minimum kesit ebatları 20x30 cm olarak belirlenmiş olup boyuna donatı oranı donatı sınıfına bağlı olarak 0.003-0.005 arası olarak belirlenmiştir.

Deprem etkilerine göre hesaplar taşıyıcı sistemin düzenli veya düzensiz oluşuna göre ikiye ayrılmış ve yüksekliği 75 metreyi geçen yapılar için dinamik hesap yöntemleri işaret edilmiştir. Deprem hesaplarında beton ve çelik malzemelerinin emniyet gerilmelerinin en fazla % 33 arttırılabileceği belirtilmiştir. Yapıların boyutlandırılmasında kullanılacak yatay yük F, Denklem 2.14'teki bağıntı ile hesaplanır [15].

$$F = C \times W \tag{2.14}$$

Denklem 2.14'te C; deprem katsayısını (bkz. Denklem 2.15), W; toplam bina ağırlığını (bkz. Denklem 2.16) gösterir [15].

$$C = C_0 \times K \times S \times I \tag{2.15}$$

$$W = \sum W_i = \sum G_i + n_i P_i \tag{2.16}$$

Denklem 2.15'te C_0; deprem bölgesine göre 0.1-0.03 arası değerler alan deprem bölge katsayısını, I; yapı cinsine bağlı olarak 1.00-1.50 arası değişen yapı önem katsayısını,

K; yapı taşıyıcı sistemine bağlı 0.60-3.00 arası değişen yapı tipi katsayısını, S; yapının doğal (T) ve zemin hâkim (T_0) periyotuna bağlı olan ve Denklem 2.17 ile hesaplanan yapı dinamik katsayısını ifade eder. Denklem 2.16'da W_i; kat ağırlığını, n_i; hareketli yük katsayısını, G_i; zati yükleri, P_i; hareketli yükleri göstermektedir [15].

$$S = \frac{1}{|0.8+T-T_0|} \tag{2.17}$$

Denklem 2.17'de bina doğal periyotu T, Denklem 2.12 ile hesaplanabilirken; zemin hâkim periyotu 'T_0' zemin cinsine bağlı ortalama 0.25-0.80 saniye arası değerler alır.

Toplam yanal deprem kuvveti F, bina yüksekliği boyunca katlara Denklem 2.18 kullanılarak dağıtılabilir. Denklem 2.18'de F_i; kata etkiyen yanal kuvveti, h_i; söz konusu katın temelden yüksekliğini, W_i; kat ağırlığını gösterir. F_t, yapının en üst kat düzeyine uygulanacak münferit kuvveti göstermekte olup yapı yüksekliğinin yapının deprem doğrultusuna paralel genişliğine oranına ve toplam yanal deprem kuvvetine bağlı olarak hesaplanır [15].

$$F_i = (F-F_t)\frac{W_i h_i}{\sum W_i h_i} \tag{2.18}$$

2.2.8 Afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelik (ABYYHY-1998)

20 yılı aşkın bir süre yürürlükte kalan ABYYHY-1975'den sonra 1998 yılında yürürlüğe konan ABYYHY-1998, biriken bilgi, tecrübe ve yapılan akademik çalışmaların bir ürünüdür. Türk deprem yönetmeliklerinin tarihine bakıldığında devrim olarak nitelendirilebilen bu yönetmeliğin, dünyadaki diğer yönetmelikler de düşünülürse gayet emniyetli bir yaklaşım içinde olduğu görülmektedir. Su baskını, yangın afeti ve deprem afetinden korunma olarak 3 konuya ait kuralların bulunduğu yönetmeliğin kapsamında betonarme (yerinde dökülmüş ve öngerilmeli veya öngerilmesiz prefabrike), çelik, ahşap ve yığma kâgir yapılar yer almaktadır.

ABYYHY-1998'te planda ve düşey doğrultuda düzensizlikler çizimler ve tablolarla açıklanmış, ilk defa düzensizlik tiplerinin kontrolüne ilişkin bağıntılara yer verilmiştir. Ardından yapıya etkiyecek deprem kuvvetlerinin hesabı için spektral ivme katsayısı, etkin yer ivmesi katsayısı, bina önem katsayısı, spektrum katsayısı, spektrum karakteristik periyotları, deprem yükü azaltma katsayısı ve taşıyıcı sistem davranış katsayısı gibi kavramların açıklamaları ve denklemleri verilmiştir. Hesap yöntemleri

olarak eşdeğer deprem yükü yöntemi, mod birleştirme yöntemi ve zaman tanım alanında hesap yöntemlerine yer verilmiştir.

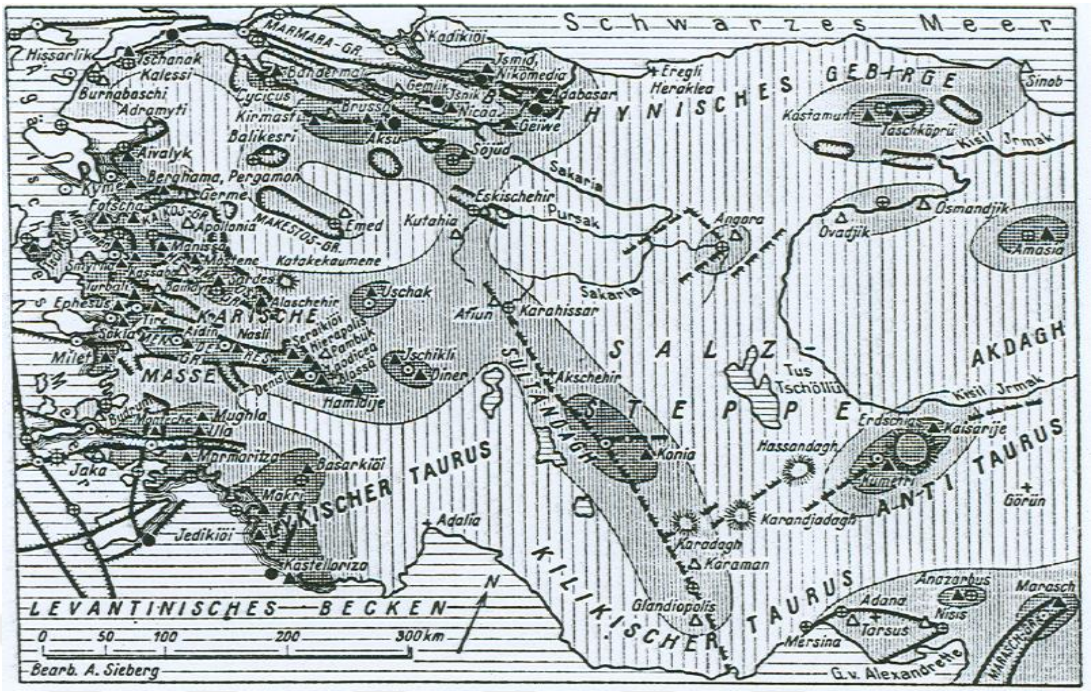
ABYYHY-1998'in betonarme binalar için depreme dayanıklı tasarım kuralları bölümünde kolonlar, kirişler, döşemeler ve perdeler için enkesit boyutları, boyuna ve enine donatı koşulları, düğüm noktaları, sarılma bölgeleri ve diğer kurallar tüm yönleriyle incelenmiştir. Betonarme taşıyıcı sistemler süneklik düzeyi yüksek, süneklik düzeyi normal ve karma sistemler olarak sınıflandırılmıştır.

ABYYHY-1998'te yapı temellerinin oturacağı zeminlere ait zemin grupları ve yerel zemin sınıfları gibi parametreler tablolar halinde verilmiştir. Kazıklı temellere ve temel bağ kirişlerine ilişkin minimum koşulların belirlendiği yönetmelikte duvar altı temelleriyle ilgili kurallar da bulunmaktadır. Ayrıca dayanma (istinat) yapılarına etkiyecek toprak basıncının hesaplanmasına yönelik hükümler de bulunmaktadır.

Bu çalışmada, 2007 ve 2018 deprem yönetmeliklerinin karşılaştırılması bölümünde her iki deprem yönetmeliğinin benzer ve farklı yönleri ayrıntılı şekilde ele alınacaktır. ABYYHY-1998 yönetmeliğinin büyük oranda DBYYHY-2007 ile benzer ilke, yaklaşım ve yöntemleri içermesi sebebiyle burada ayrıntılı şekilde anlatılmayacaktır.

2.3 Geçmişten Günümüze Deprem Bölgeleri Haritaları

Deprem yönetmeliği konusundaki çalışmalarla paralel olarak, ülkemizdeki bölgelerin deprem tehlike ve risklerinin belirlenmesine yönelik çalışmalar da yapılmıştır. Türkiye için resmi olarak onaylanmamış ilk deprem bölgeleri haritası August Heinrich Sieberg (1932) tarafından hazırlanmıştır (Şekil 2.4). Bu haritanın yanı sıra resmi olarak onaylanmamış diğer haritalara ise Pamir (1948), İpek vd. (1965), Tabban (1969), Ergin ve Güçlü (1971), Yarar vd. (1980), Ketin (1982), Erdik vd. (1985), Eyidoğan ve Güçlü (1993), Erdik vd. (1999), TEFER (2001) gibi araştırmacıların yaptığı çalışmalar örnek verilebilir [16].



Şekil 2.4: Sieberg (1932) tarafından hazırlanan deprem bölgeleri haritası [16].

Resmi olarak onaylanan ve yayınlanan deprem bölgeleri haritasının ilki 1945 yılında "Yersarsıntıları Bölgeleri Haritası" adıyla yayınlanmıştır. Deprem bölgeleri haritaları, deprem mühendisliği, jeofizik, jeoloji gibi ilgili bilimlerdeki gelişmeler ile tarihsel ve aletsel dönemdeki deprem kayıtlarının da artmasıyla 1945 yılından sonra 1947, 1963,1972 ve 1996 değişmiştir. Son olarak, 18 Mart 2018 tarihinde TBDY-2018 ile birlikte Resmi Gazete'de yayınlanan Türkiye Deprem Tehlike Haritası (TDTH-2018) 1 Ocak 2019 tarihinde yeni yönetmelikle birlikte yürürlüğe konmuştur.

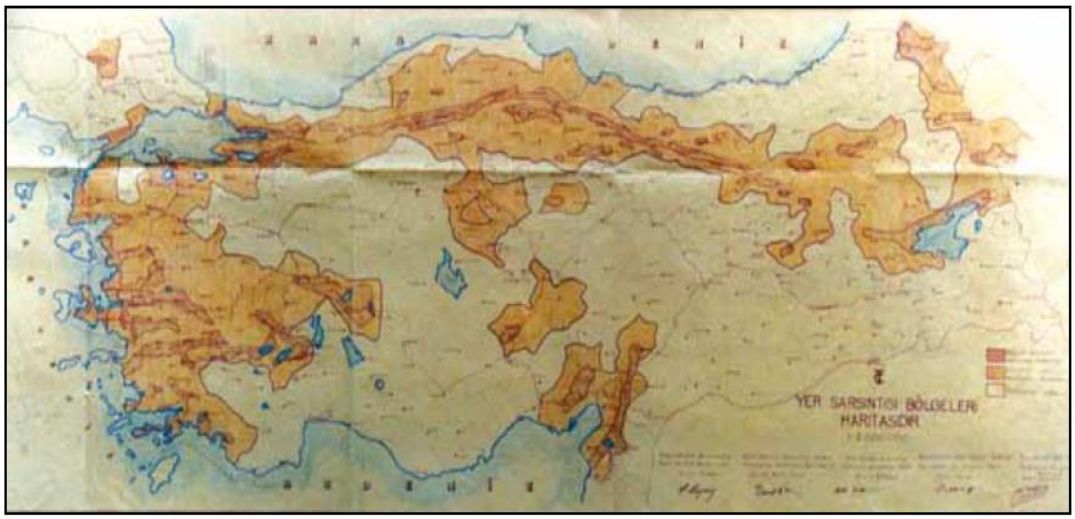
2.3.1 Yersarsıntısı bölgeleri haritası (YBH-1945)

Bayındırlık ve Milli Eğitim Bakanlıklarınca eldeki mevcut verilere ek olarak Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi ve İstanbul Rasathanesi Müdürlüğü çalışmalarından faydalanarak 1/2.000.000 ölçekli olarak hazırlamış olduğu harita Şekil 2.5'te gösterilmiştir.

Hazırlanan bu haritaya göre Türkiye:

I. Büyük hasara uğramış bölgeler
II. Tehlikeli yersarsıntısı bölgeleri
III. Tehlikesiz bölgeler

olmak üzere üç farklı bölgeye ayrılmıştır [17].



Şekil 2.5: 1945 Yersarsıntısı Bölgeleri Haritası [17].

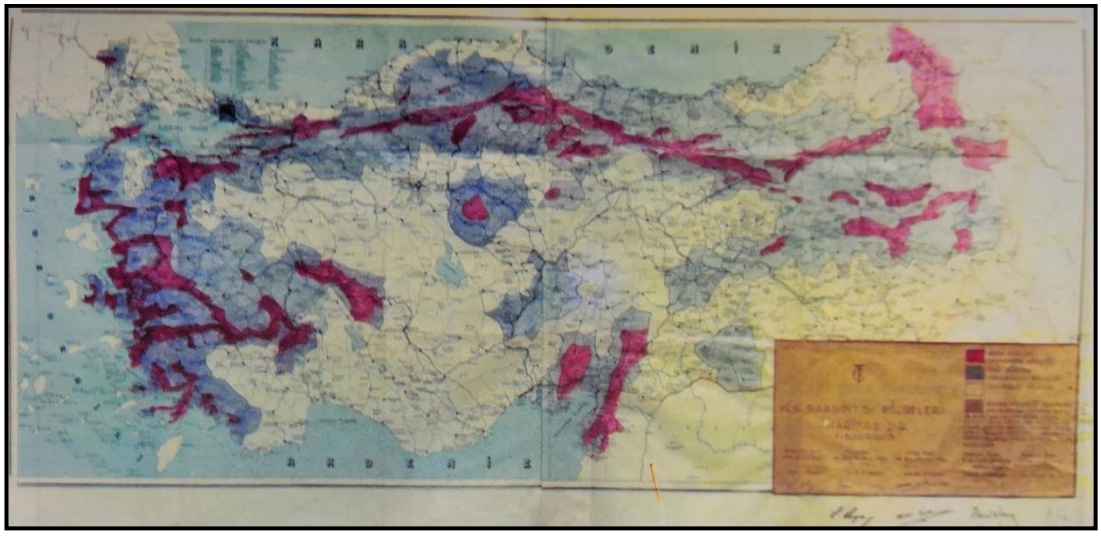
2.3.2 Yersarsıntısı bölgeleri haritası (YBH-1947)

İlk haritanın yayınlanmasından sonra yapılan incelemeler ve geri dönüşler sonucunda bazı değişiklikler yapılması uygun görülmüş, Bakanlar Kurulu kararıyla 1/2.000.000 ölçekli yeni harita yürürlüğe girmiştir (Şekil 2.6). Hazırlanan bu haritaya göre Türkiye:

I. Birinci derece yersarsıntısı bölgeleri
II. İkinci derece yersarsıntısı bölgeleri
III. Tehlikesiz bölgeler

olmak üzere üç bölgeye ayrılmıştır [17].

Bu haritada dikkat çeken en önemli detay, İstanbul ve civarının ikinci derece yersarsıntısı bölgesi olarak sınıflandırılmış olmasıdır.



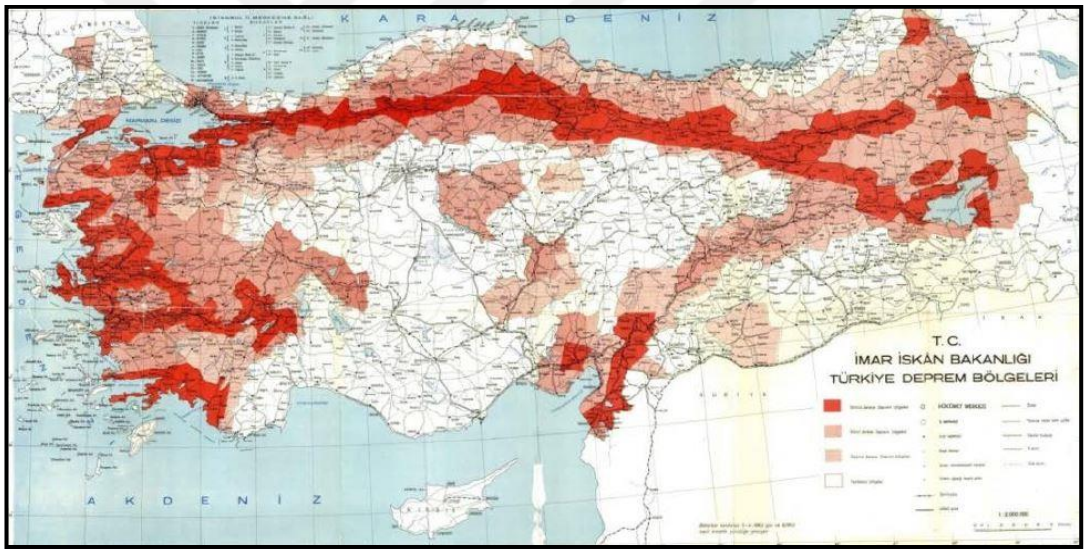
Şekil 2.6: 1947 Yersarsıntısı Bölgeleri Haritası [17].

2.3.3 Türkiye deprem bölgeleri haritası (TDBH-1963)

1948 yılında yürürlüğe konan haritanın yayınlandığı tarih itibariyle eldeki bilgi ve tecrübenin eksik olması, daha çok yabancı kaynaklara dayanılarak hazırlanması ve deprem bölgeleri arasında ani geçişler ve eksik derecelendirmelerin yapılması yüzünden yeni bir haritanın hazırlanılmasına ihtiyaç duyulmuştur [1]. 1963 yılında Bakanlar Kurulu kararıyla 1/2.000.000 ölçekli yeni deprem bölgeleri haritası yürürlüğe konmuştur Şekil 2.7'de verilen bu haritaya göre Türkiye:

I. Birinci derece deprem bölgeleri
II. İkinci derece deprem bölgeleri
III. Üçüncü derece deprem bölgeleri
IV. Tehlikesi bölgeler

olmak üzere dört farklı bölgeye ayrılmıştır [18].



Şekil 2.7: 1963 Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası [18].

2.3.4 Türkiye deprem bölgeleri haritası (TDBH-1972)

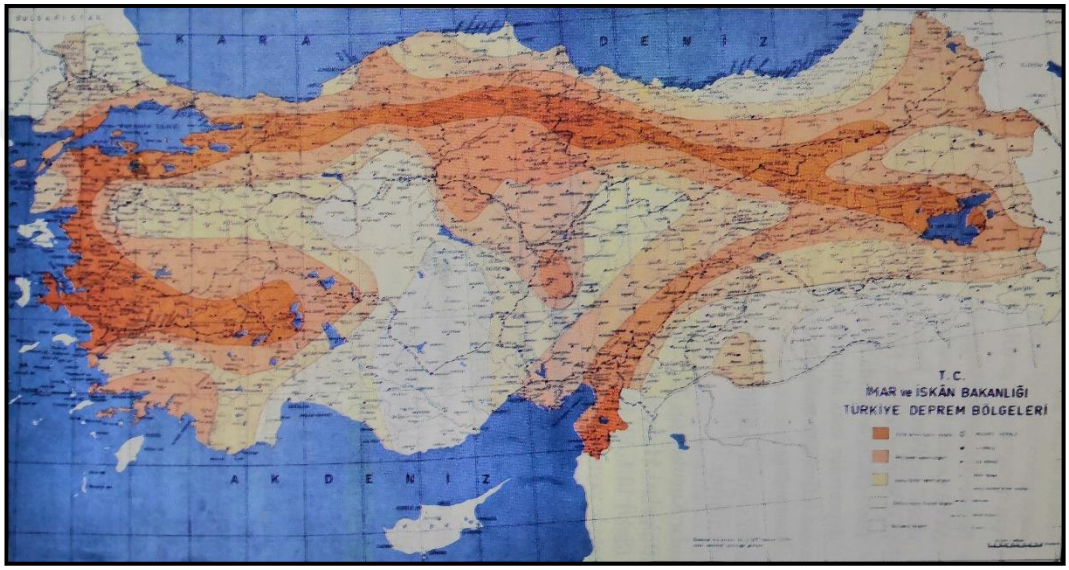
1963 tarihli haritanın bilimsel araştırmalardan ziyade, hatalı deprem kayıtlarına ve kişilerin önsezilerine dayanmış olması, bölgelendirmede belli bir kuralın takip edilmeyişi, deprem bölgeleri arasında süreksizliklerin bulunması, tehlikesiz olarak atfedilen yerlerde büyük depremlerin meydana gelmesi sebeplerden ötürü İmar ve İskân Bakanlığı yeni bir haritanın hazırlanmasını uygun görmüştür [17].

Yeni haritanın hazırlanmasında deprem katalogları, episantr haritaları, tektonik haritalar ve şiddet haritalarından yararlanılmıştır. 1972 yılında Bakanlar Kurulu

kararıyla 1/1.850.000 ölçekli olarak yürürlüğe giren harita Şekil 2.8'de verilmiştir. Bu haritaya göre Türkiye:

I. Birinci derece deprem bölgeleri (IX ve daha büyük şiddette bulunan bölgeler)
II. İkinci derece deprem bölgeleri (VIII şiddetinde bulunan bölgeler)
III. Üçüncü derece deprem bölgeleri (VII şiddetinde bulunan bölgeler)
IV. Dördüncü derece deprem bölgeleri (VI şiddetinde bulunan bölgeler)
V. Tehlikesiz bölgeler

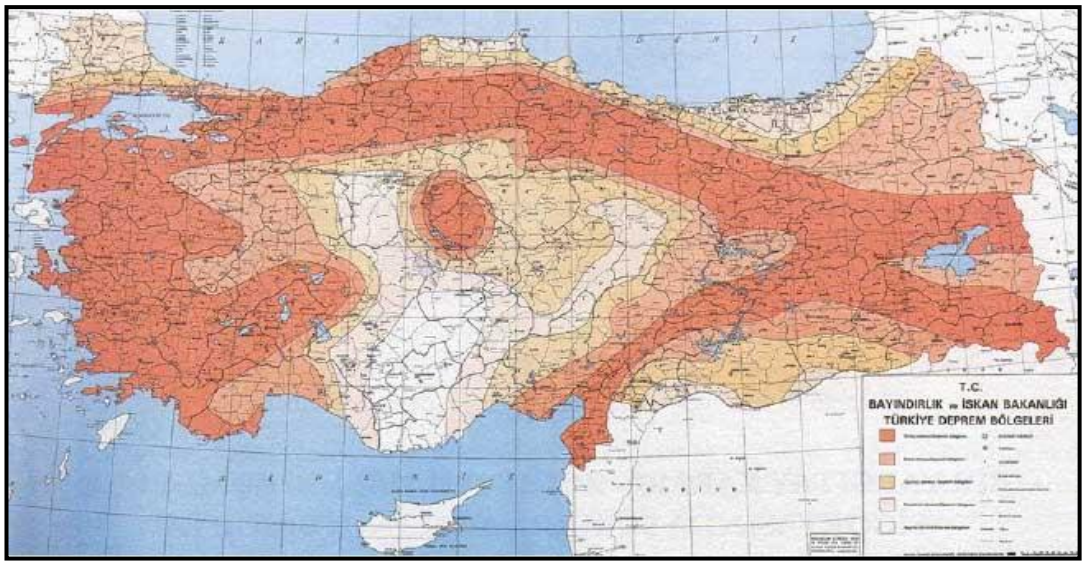
olmak üzere beş farklı bölgeye ayrılmıştır [19].



Şekil 2.8: 1972 Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası [19].

2.3.5 Türkiye deprem bölgeleri haritası (TDBH-1996)

1996 yılında Bayındırlık ve İskân Bakanlığı tarafından yayınlanan bu harita, önceki haritalardan farklı olarak olasılık hesapları ve yer ivmeleri esas alınarak hazırlanmıştır. Harita, ülkemizde gelecek 50 yılda aşılma ihtimali % 10 olan yer ivmelerini göstermektedir. Bir diğer deyişle 475 yıllık bir tekrarlanma periyotuna göre tasarlanan bir yapı, 50 yıl içerisinde % 90 ihtimalle bu yüklemeye maruz kalmayacaktır. Şekil 2.9'da gösterildiği gibi, harita üzerinde il ve ilçe sınırları, göller, barajlar ve demiryolları görülebilmekte ve bu alanların hangi deprem bölgesine girdiği okunabilmektedir.



Şekil 2.9: 1996 Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası [20].

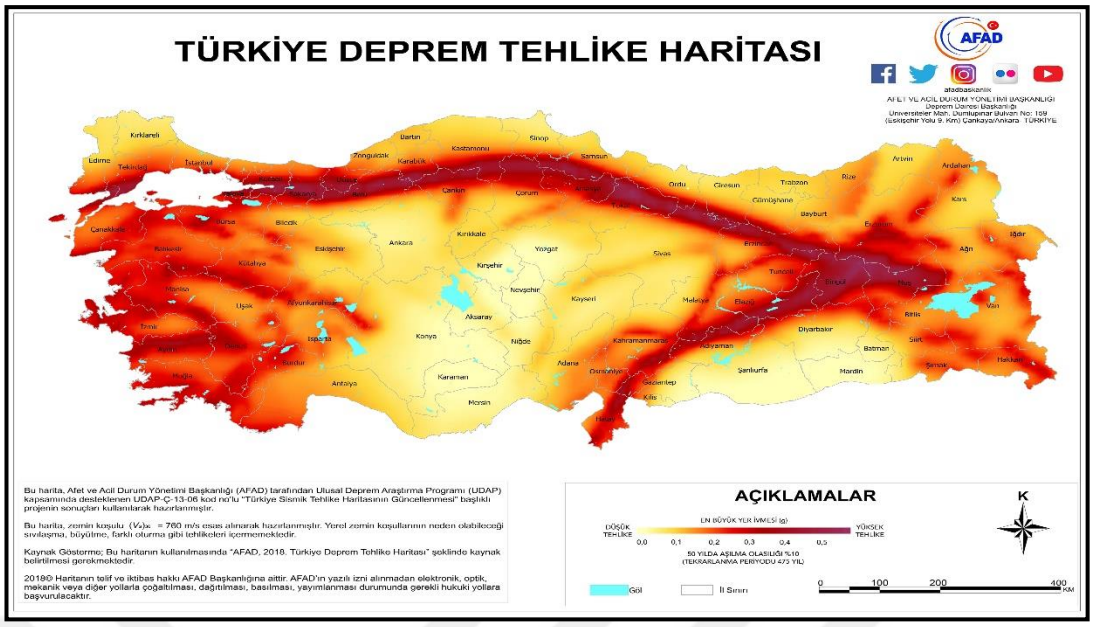
Bu haritaya göre Türkiye:

I. Birinci derece deprem bölgeleri (Yer ivmesi 0.40 g ve daha büyük bölgeler)
II. İkinci derece deprem bölgeleri (Yer ivmesi 0.30-0.40 g arasında olan bölgeler)
III. Üçüncü derece deprem bölgeleri (Yer ivmesi 0.20-0.30 g arasında olan bölgeler)
IV. Dördüncü derece deprem bölgeleri (Yer ivmesi 0.10-0.20 g arasında olan bölgeler)
V. Beşinci derece deprem bölgeleri (Yer ivmesi 0.10 g'den küçük bölgeler)

olmak üzere beş bölgeye ayrılmıştır. Deprem yönetmeliklerinde açıklanan elastik deprem yüklerinin tanımlanması bölümünde, etkin yer ivmesi katsayıları bu bölgelere göre seçilmektedir [20].

2.3.6 Türkiye deprem tehlike haritası (TDTH-2018)

Yeni Türkiye Deprem Tehlike Haritası, 1996 Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası'nın yayınlanmasından sonra geçen yaklaşık 20 yıllık sürede sismik tehlike hesap yöntemlerindeki gelişmeler, deprem kayıtlarındaki artış, gelişen ve güncellenen deprem katalogları, güncellenen Türkiye Diri Fay Haritası (MTA-2012) ve yer hareketinin tahmini konularındaki ilerlemeler ışığında hazırlanmıştır. Şekil 2.10'da gösterilen TDTH-2018, 18 Mart 2018 tarihinde TBDY-2018 ile Resmi Gazete'de yayınlanmış olup 1 Ocak 2019'dan beri yürürlüktedir.



Şekil 2.10: Yeni Türkiye Deprem Tehlike Haritası [21].

Yapılan çalışma sonucunda, 50 yılda aşılma olasılığı sırasıyla %68, %50, %10 ve %2 olan 43, 72, 475 ve 2475 yıllık tekrarlanma periyotlarına sahip deprem yer hareketi düzeyleri baz alınarak, pik yer ivmesi (PGA), pik yer hızı (PGV) ile %5 sönüm oranına sahip 0.2 sn ve 1.0 sn'deki spektral ivmeler cinsinden deprem tehlike haritaları hazırlanmıştır. Böylece eski haritada deprem tehlikesinin sadece bir yer hareketi düzeyinde tanımlanırken; TDTH-2018'de deprem tehlikesi dört farklı düzeyde tanımlanmış olmaktadır. Burada adı geçen boyutsuz harita spektral ivme katsayıları, yerel zemin etkilerini de içerecek şekilde yerel zemin etki katsayıları ile çarpılarak tasarım spektral ivme katsayılarına dönüştürülür. Daha sonra yatay ve düşey elastik tasarım spektrumları, elde edilen bu tasarım spektral ivme katsayılarından yararlanılarak tanımlanabilir [21].

TDTH-2018' de ayrıca deprem bölgeleri kavramı ortadan kaldırılmış, yerine harita üzerinde en büyük yer ivmesi değerlerine yer verilmiştir. Bir diğer ifadeyle, deprem bölgeleri haritaları konsepti artık terkedilmiş olup; coğrafi koordinat esaslı kontur haritası konsepti benimsenmiştir. Harita üzerinde yer alan renkler ivme değerlerini göstermektedir ve rengin açık sarıdan koyuya doğru gidişi, tehlikenin düşükten yükseğe doğru artışını ifade etmektedir.

3. DEPREM ETKİSİ ALTINDA BETONARME BİNALAR ÖZELİNDE 2007 VE 2018 YÖNETMELİKLERİNİN İNCELENMESİ

3.1 Değişiklik İhtiyacı

Yapıları ve kullanıcılarını deprem etkilerinden korumak amacıyla depreme dayanıklı yapıların tasarımı, analizi ve performans değerlendirmesi esas ve usullerini belirleyen kurallar bütününe kısaca "deprem yönetmeliği" denmektedir. Yönetmelikler de diğer her şey gibi zamanla geçerliliğini kaybetmekte ve çağın gerektirdiği değişimlere ve ilerlemelere ayak uydurmak zorundadır.

Türkiye'de yeni deprem yönetmeliği hazırlanıp yayınlanmadan önce yürürlükte olan Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY-2007), selefi ABYYHY-1998 esas alınarak hazırlanmış olup birkaç bölümün eklenip çıkarılması gibi ufak çaplı değişimler dışında aynı kalmıştır. Aradan geçen zamanda, Türkiye'de yapı stoğunun karmaşık ihtiyaçları, deprem mühendisliğindeki son gelişmeler ve yapı inşa metotlarındaki yeni teknolojilerin etkisiyle DBYBHY-2007'nin değiştirilmesi ihtiyacı doğmuştur.

Türkiye'de yapı türlerinin çeşitliliğinin artması, DBYBHY-2007'de birçok türe yer verilmemiş olması, çelik yapılar gibi bazı alanlarda ise hesap esaslarının zaman içinde değişmesi, performans esaslı tasarım ve değerlendirme yöntemlerinin gelişmesi gibi nedenlerle DBYBHY-2007'nin yapı türü anlamında yetersiz kalmasına neden olmuştur. Diğer taraftan Türkiye'nin değişen deprem tehlike haritası ve geoteknik mühendisliğindeki gelişmeler de hesaba katıldığında DBYBHY-2007 yerine yeni bir deprem yönetmeliği konulması gerekliliği ortaya çıkmıştır.

Yeni ulusal deprem yönetmeliği hazırlıkları, AFAD Deprem Danışma Kurulu tarafından uygulamaya konulan Ulusal Deprem Stratejisi ve Eylem Planı (UDSEP 2012-2023) uyarınca 2012 yılında başlamıştır. 2016'da Ankara'da mühendislik kamuoyuna sunulan yönetmelik taslağı, yapılan değişiklik çalışmalarını müteakiben tarafından AFAD'a sunulmuştur [22]. TBDY-2018, 18 Mart 2018 tarihinde yayınlanmış ve 1 Ocak 2019 tarihinden itibaren yürürlüğe konmuştur.

3.2 Genel Hükümler

3.2.1 Kapsam

TBDY-2018, DBYBHY-2007'ye göre çok daha kapsamlı bir yönetmelik olarak ortaya çıkmıştır. DBYBHY-2007 sadece 7 bölümden oluşmakta iken, TBDY-2018 toplam 17 bölümden oluşmaktadır. Bu yönetmelikte, DBYBHY-2007'deki betonarme (yerinde dökme ve önüretimli), çelik ve yığma binalara ait esas ve usullere ek olarak hafif çelik yapılar, ahşap yapılar, yüksek binalar ve deprem yalıtımlı binalar için de esas ve usullere yer verilmiştir. Geoteknik hesap esasları da genişletilerek yeniden düzeltilmiştir.

3.2.2 Özel konularda tasarım gözetimi ve kontrolü

TBDY-2018'e göre özel uzmanlık bilgisi gerektiren konularda, proje başlangıcından bitimine kadar olan süreçteki tüm tasarım aşamalarında alanında yetkin mühendislerden "tasarım gözetimi ve kontrolü" hizmeti alınma zorunluluğu getirilmiştir. Türkiye'de ilk defa bir deprem yönetmeliğinde böyle bir zorunluluk yer almaktadır. Tasarım gözetimi ve denetimi hizmetlerini yerine getirecek mühendislerin eğitimleri, mesleki yetkinlikleri, tecrübeleri ve bunların belgelendirilmesi ile hizmetin yürütülmesine ait kurallar Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından belirlenir [23].

Tasarım gözetimi ve kontrolü hizmetine tabi konular TBDY-2018'de aşağıdaki gibi sunulmuştur:

a) Sahaya Özel Deprem Tehlikesi Analizleri
b) Zaman Tanım Alanında Deprem Yer Hareketlerinin Tanımlanması
c) Sahaya Özel Zemin Davranışı Analizleri
d) Çok Modlu İtme Yöntemleri ve Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi İle Deprem Hesabı
e) Yüksek Bina Taşıyıcı Sistemlerinin Deprem Hesabı ve Tasarımı
f) Yalıtımlı Bina Taşıyıcı Sistemlerinin Deprem Hesabı ve Tasarımı
g) Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Yapı-Kazık-Zemin Etkileşimi Hesapları

3.3 Deprem Yer Hareketi

3.3.1 Deprem yer hareketi düzeyleri

TBDY-2018'de deprem yer hareketi kavramı ilk defa 4 farklı düzeyde tanımlanmıştır.

a) Deprem Yer Hareketi Düzeyi-1 (DD-1): Çok nadir görülen deprem yer hareketini ifade eder. 50 yılda aşılma olasılığı % 2, tekrarlanma periyotu 2475 yıl olan en büyük yer hareketi olarak tanımlanır.

b) Deprem Yer Hareketi Düzeyi-2 (DD-2): Nadir görülen deprem yer hareketini ifade eder. 50 yılda aşılma olasılığı % 10, tekrarlanma periyotu 475 yıl olan standart tasarım deprem yer hareketi olarak tanımlanır. Bu deprem düzeyi, DBYBHY-2007'de tüm yeni binaların tasarımı için kullanılmaktaydı.

c) Deprem Yer Hareketi Düzeyi-3 (DD-3): Sık görülen gelen deprem yer hareketini ifade eder. 50 yılda aşılma olasılığı % 50, tekrarlanma periyotu 72 yıl olan deprem yer hareketi olarak tanımlanır.

d) Deprem Yer Hareketi Düzeyi-4 (DD-4): Çok sık görülen deprem yer hareketini ifade eder. 50 yılda aşılma olasılığı % 68, tekrarlanma periyotu 43 yıl olan servis deprem yer hareketi olarak tanımlanır.

3.3.2 Deprem yer hareketi spektrumları

Yapılara etkiyen deprem yüklerinin tanımlanmasında, deprem yönetmeliklerinde bulunan tasarım spektrum grafiklerinden yararlanılır.

DBYBHY-2007'de % 5 sönüm oranı için tanımlanan elastik ivme spektrumunun oluşturulmasında, etkin yer ivmesi katsayısı ve yerel zemin sınıflarına bağlı parametreler kullanılmaktaydı.

TBDY-2018 ile deprem yer hareketi spektrumu, bir önceki bölümde açıklanan deprem düzeyleri altında % 5 sönüm oranı için harita spektral ivme katsayıları ve yerel zemin etki katsayılarına bağlı olarak veya sahaya özel deprem tehlikesi analizleri ile tanımlanmaktadır.

3.3.2.1 Harita spektral ivme katsayıları ve tasarım spektral ivme katsayıları

TBDY-2018'e göre deprem etkisi altındaki binaların tasarımında kullanılan yatay ve düşey elastik tasarım spektrumları, tasarım spektral ivme katsayıları kullanılarak

tanımlanmaktadır. Tasarım spektral ivme katsayıları S_{DS} ve S_{D1}, Denklem 3.1 ve 3.2'deki gibi hesaplanır.

$$S_{DS} = S_S.F_S \tag{3.1}$$

$$S_{D1} = S_1.F_1 \tag{3.2}$$

Denklem 3.1 ve 3.2'de yer alan S_S ve S_1; sırasıyla kısa ve 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayılarını, F_S ve F_1; sırasıyla kısa ve 1.0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayılarını göstermektedir. Yerçekimi ivmesine göre boyutsuz hale getirilen harita spektral ivme katsayıları, yapılacak olan binanın coğrafi konumuna göre dört farklı deprem düzeyi için TDTH-2018'de tanımlanırken, yerel zemin etki katsayıları da Bölüm 3.3.2.2'de sunulmuştur.

3.3.2.2 Yerel zemin etki katsayıları

Yerel zemin etki katsayıları F_S ve F_1, TBDY-2018 Bölüm-16'da verilen yerel zemin sınıflarına bağlı olarak sırasıyla Çizelge 3.1 ve 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.1: TBDY-2018'de kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayıları [23].

Yerel Zemin	Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı, F_S					
Sınıfı	$S_S \leq 0.25$	$S_S = 0.50$	$S_S = 0.75$	$S_S = 1.00$	$S_S = 1.25$	$S_S \geq 1.50$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ZC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
ZD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
ZE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
ZF	Sahaya özgü zemin davranışı belirlenecektir					

Çizelge 3.2: TBDY-2018'de 1.0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayıları [23].

Yerel Zemin	1.0 saniye periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı, F_1					
Sınıfı	$S_1 \leq 0.10$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.30$	$S_1 = 0.40$	$S_1 = 0.50$	$S_1 \geq 0.60$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ZC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
ZD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
ZE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
ZF	Sahaya özgü zemin davranışı belirlenecektir					

Çizelge 3.1 ve 3.2'de harita spektral ivme katsayılarının sadece bazı değerleri verilmiştir. Yönetmelikte, bu değerlerin dışındaki ara değerler için doğrusal enterpolasyon yapılabileceği belirtilmiştir.

3.3.2.3 Yatay elastik tasarım spektrumu

DBYBHY-2007'de deprem yüklerinin hesabında kullanılan spektral ivme katsayısı, A(T), Denklem 3.3'teki bağıntı ile hesaplanır.

$$A(T) = A_0 I S(T) \tag{3.3}$$

Denklem 3.3'te A_0; etkin yer ivmesini (bkz. Çizelge 3.3), I; bina önem katsayısını (bkz. Çizelge 3.4), S(T); spektrum katsayısını ifade eder.

Çizelge 3.3: DBYBHY-2007'ye göre etkin yer ivmesi katsayısı (A_0) [24].

Deprem Bölgesi	A_0
1	0.40
2	0.30
3	0.20
4	0.10

Çizelge 3.4: DBYBHY-2007'ye göre bina önem katsayısı (I) [24].

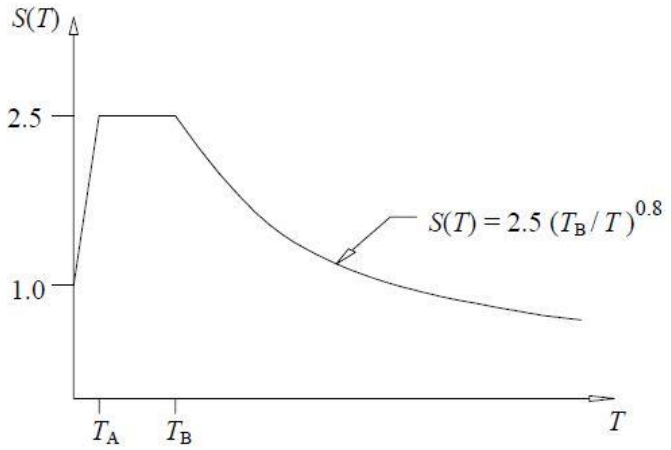
Bina Kullanım Amacı veya Türü	I
Deprem sonrası kullanımı gereken binalar ve tehlikeli madde içeren binalar	
a) Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri,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

DBYBHY-2007'ye göre elastik spektral ivme, $S_{ae}(T)$, ise spektral ivme katsayısının yerçekimi ivmesi ile çarpılması şeklinde Denklem 3.4'teki gibi ifade edilmiştir.

$$S_{ae}(T) = A(T)g \tag{3.4}$$

DBYBHY-2007'ye göre spektrum katsayısı S(T), bina doğal periyotu T ile spektrumun karakteristik periyotları olan T_A ve T_B kullanılarak Denklem 3.5 ile hesaplanır (Şekil 3.1). Bu şekilde hesaplanan spektrum katsayıları, spektrum grafiğinin ordinatını oluşturur.

$$\begin{aligned} 0 \le T \le T_A \qquad & S(T) = 1 + 1.5(T/T_A) \\ T_A < T \le T_B \qquad & S(T) = 2.5 \\ T_B < T \qquad & S(T) = 2.5(T_B/T)^{0.8} \end{aligned} \tag{3.5}$$



Şekil 3.1: DBYBHY-2007'ye göre tasarım ivme spektrumu [24].

Denklem 3.5'teki T_A ve T_B değerleri zemin sınıfına bağlı olarak Çizelge 3.5'te sunulmuştur.

Çizelge 3.5: DBYBHY-2007'ye göre spektrum karakteristik periyotları (TA, TB) [24].

Yerel Zemin Sınıfı	T_A (saniye)	T_B (saniye)
Z1	0.10	0.30
Z2	0.15	0.40
Z3	0.15	0.60
Z4	0.20	0.90

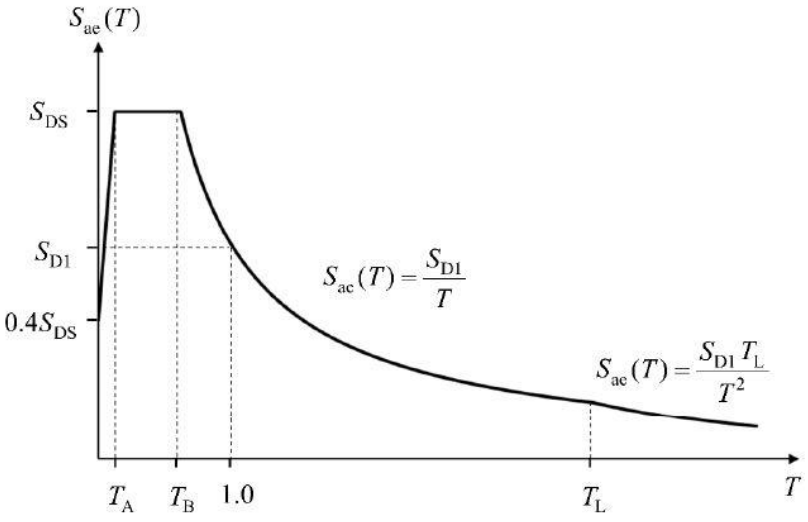
TBDY-2018'de ise yatay ivme spektrumunun ordinatını, Denklem 3.6 ile hesaplanan yatay spektral ivme, $S_{ae}(T)$, değerleri oluşturur (Şekil 3.2). Bu değerler, binanın doğal periyotuna bağlı olarak yerçekimi ivmesi, g, cinsinden ifade edilmiştir. Dolayısıyla $S_{ae}(T)$ değerleri, yer çekimi ivmesiyle çarpıldığı zaman, yatay spektral ivmeler m/s^2 cinsinden ifade edilmiş olur.

$$
\begin{aligned}
&0 \le T \le T_A && S_{ae}(T) = \left(0.4 + 0.6\frac{T}{T_A}\right) S_{DS} \\
&T_A \le T \le T_B && S_{ae}(T) = S_{DS} \\
&T_B \le T \le T_L && S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T} \\
&T_L \le T && S_{ae}(T) = \frac{S_{D1} T_L}{T^2}
\end{aligned}
\tag{3.6}
$$

Denklem 3.6'da S_{DS} ve S_{D1}; Bölüm 3.3.2.1'de açıklanan spektral ivme katsayılarını, T; binanın doğal periyotunu göstermektedir. Yatay ivme spektrumunun köşe periyotları olan T_A ve T_B değerleri, S_{DS} ve S_{D1} cinsinden Denklem 3.7 ile hesaplanır.

$$
T_A = 0.2\frac{S_{D1}}{S_{DS}} \;\; ; \;\; T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \tag{3.7}
$$

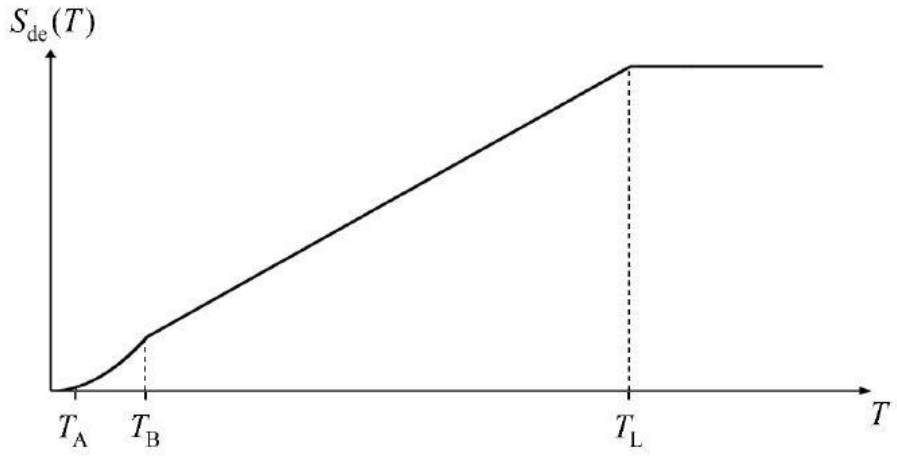
Spektrum eğrisinde, sabit yer değiştirmeye geçiş noktasındaki periyot değeri olan T_L, 6 saniye olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.2: TBDY-2018'e göre yatay ivme spektrumu [23].

TBDY-2018'e göre yatay yerdeğiştirme spektrumunun ordinatını, Denklem 3.8 ile hesaplanan spektral yer değiştirme, $S_{de}(T)$, değerleri oluşturur (Şekil 3.3). Bu değerler, binanın doğal periyotuna bağlı olarak metre (m) cinsinden ifade edilmiştir.

$$S_{de}(T) = \frac{T^2}{4\pi^2} g S_{ae}(T) \tag{3.8}$$



Şekil 3.3: TBDY-2018'e göre yatay yer değiştirme spektrumu [23].

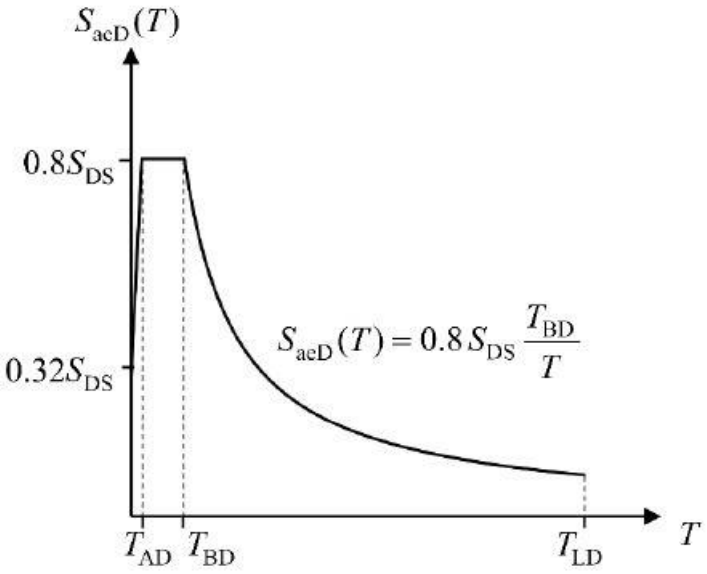
3.3.2.4 Düşey elastik tasarım spektrumu

DBYBHY-2007'den önemli bir farklılık olarak, TBDY-2018'de, yatay ivme spektrumuna ek olarak, düşey ivme spektrumuna da yer verilmiştir. Düşey ivme spektrumunun ordinatını, Denklem 3.9 ile hesaplanan düşey spektral ivme, $S_{aeD}(T)$, değerleri oluşturur (Şekil 3.4). Bu değerler, binanın periyotuna ve kısa periyot spektral ivme katsayısına bağlı olarak yerçekimi ivmesi, g, cinsinden ifade edilmiştir.

$$\begin{aligned} 0 \le T \le T_{AD} \qquad & S_{aeD}(T) = (0.32 + 0.48\frac{T}{T_{AD}})S_{DS} \\ T_{AD} \le T \le T_{BD} \qquad & S_{aeD}(T) = 0.8 S_{DS} \\ T_{BD} \le T \le T_{LD} \qquad & S_{aeD}(T) = 0.8 S_{DS}\frac{T_{BD}}{T} \end{aligned} \tag{3.9}$$

Denklem 3.9'da düşey ivme spektrumunun apsisleri olan T_{AD} ve T_{BD} ile T_{LD} değerleri, yatay ivme spektrumunun apsisleri olan T_A, T_B ve T_L cinsinden Denklem 3.10'daki bağıntı ile bulunur.

$$T_{AD} = \frac{T_A}{3} \; ; T_{BD} = \frac{T_B}{3} \; ; T_{LD} = \frac{T_L}{2} \qquad (3.10)$$



Şekil 3.4: TBDY-2018'e göre düşey ivme spektrumu [23].

3.4 Deprem Etkisi Altında Binaların Değerlendirme ve Tasarım Esasları

3.4.1 Bina kullanım sınıfları ve önem katsayıları

DBYBHY-2007'de, yapılacak olan binanın deprem anındaki ve sonrasındaki hizmet amacına ve önemine göre deprem yükünü arttıracak olan bina önem katsayısı değerleri, Çizelge 2.10'da verilmişti.

TBDY-2018'de bina önem katsayısının yanında, yeni bir kavram olan bina kullanım sınıfı, (BKS), değerleri Çizelge 3.6'da gösterildiği gibi verilmiştir. Bina kullanım sınıfı değerleri, Bölüm 3.4.2'de açıklanan deprem tasarım sınıflarını belirlemede kullanılır.

Çizelge 3.6: TBDY-2018'de bina kullanım sınıfları ve önem katsayıları [23].

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

3.4.2 Deprem tasarım sınıfları

TBDY-2018'e göre, DD-2 deprem düzeyi altında depreme dayanıklı yapı tasarımı için kullanılacak olan Deprem Tasarım Sınıfları, (DTS), kısa periyot spektral ivme katsayısı ve bina kullanım sınıfına bağlı olarak Çizelge 3.7'ye göre tanımlanacaktır.

Çizelge 3.7: TBDY-2018'e göre deprem tasarım sınıfları (DTS) [23].

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

3.4.3 Bina yüksekliği ve bina yükseklik sınıfları

TBDY-2018'e göre bina yüksekliği, H_N, binanın tabanı referans alınarak ölçülen yükseklik olarak belirtilmiştir. Bina tabanı olarak referans alınacak noktanın belirlenmesi ise aşağıdaki şartlara tabi olacaktır:

a) Bina bodrumunun, rijit perdelerle en az üç tarafından sarılı olması,

b) Binanın bodrum katları dahil tüm bina için hesaplanan doğal periyotun, bodrum katlar hariç tüm bina için hesaplanan doğal periyota oranının 1.1'den küçük olması ($T_{p,tüm} \leq 1.1\ T_{p,üst}$).

Yukarıda verilen şartları sağlayan bodrumlu binalarda bina tabanı, bodrum perdeleri üzerindeki döşeme üst kotu olarak kabul edilir. Bu koşullara uymayan bodrumlu veya bodrumsuz binalarda bina tabanı, temel üst kotu olarak kabul edilir.

TBDY-2018'de binalar, sahip oldukları yükseklikler ve deprem tasarım sınıfları açısından sekiz kategoriye ayrılmıştır (Çizelge 3.8).

Çizelge 3.8: TBDY-2018'e göre bina yükseklik sınıfları [23].

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

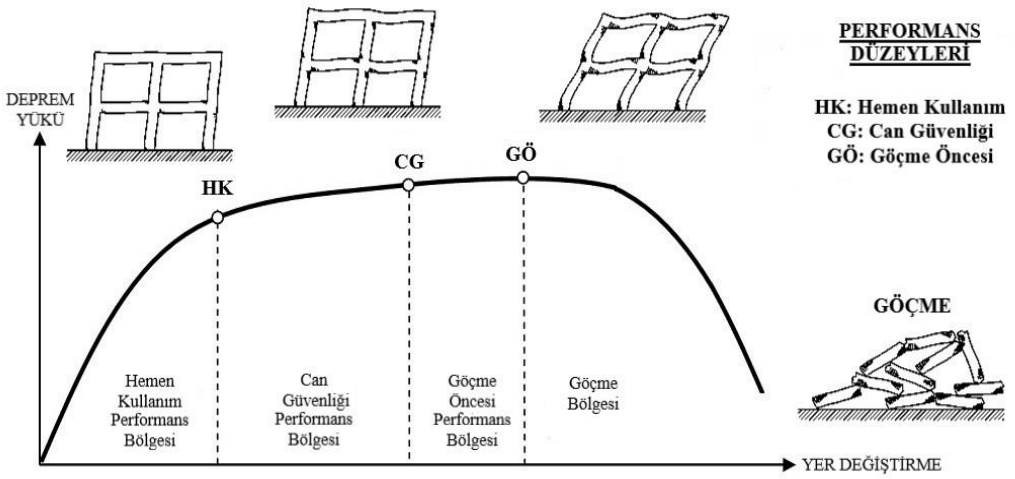
Çizelge 3.8'e göre BYS=1 kategorisine giren binalar "Yüksek Binalar" olarak adlandırılacak ve tasarımında TBDY-2018 Bölüm 13'te verilen ilave özel kurallar geçerli olacaktır.

3.4.4 Bina performans düzeyleri

DBYBHY-2007 Bölüm-7'de açıklanan kurallar uyarınca yalnız mevcut binaların değerlendirilmesi amacıyla kullanılan bina performans düzeyleri, TBDY-2018 ile

mevcut binaların yanı sıra yeni yapılacak olan binalarda da önemli bir tasarım kriteri olacaktır.

Deprem etkisi altında yapıda oluşması öngörülen hasar sınırlarına göre tanımlanan bina performans düzeyleri, DBYBHY-2007'de hemen kullanım (HK) performans düzeyi, can güvenliği (CG) performans düzeyi ve göçme öncesi (GÖ) performans düzeyi olarak üç farklı seviyede tanımlanmıştı (Şekil 3.5).



Şekil 3.5: DBYBHY-2007'ye göre bina performans düzeyleri [24].

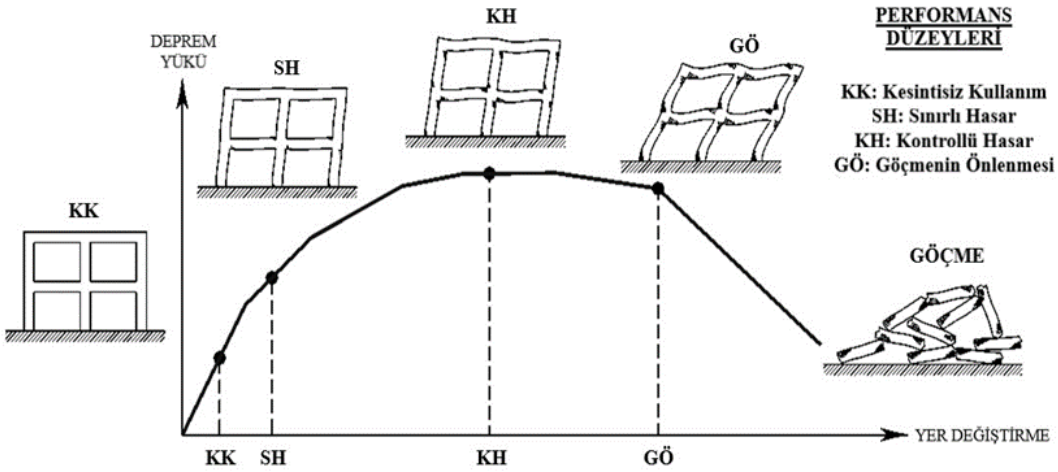
TBDY-2018'de performans düzeyleri ise Şekil 3.6'da gösterildiği gibi kesintisiz kullanım (KK) performans düzeyi, sınırlı hasar (SH) performans düzeyi, kontrollü hasar (KH) performans düzeyi ve göçmenin önlenmesi (GÖ) performans düzeyi olmak üzere dört başlıkta verilmiştir. Bu performans düzeyleri şöyle tanımlanmaktadır:

a) Kesintisiz Kullanım (KK) Performans Düzeyi: Belirlenen bu düzeyde, yapısal sistem elemanlarında hasar oluşmadığı veya hasarın göz ardı edilebilecek kadar küçük olduğu varsayılır.

b) Sınırlı Hasar (SH) Performans Düzeyi: Belirlenen bu düzeyde, yapısal sistem elemanlarında oluşan hasarın ve lineer olmayan davranışın sınırlı olduğu varsayılır.

c) Kontrollü Hasar (KH) Performans Düzeyi: Belirlenen bu düzeyde, can güvenliğinin korunması koşuluyla yapısal sistem elemanlarında çok ciddi olmayan, geri döndürülebilir hasarın oluştuğu varsayılır.

d) Göçmenin Önlenmesi (GÖ) Performans Düzeyi: Belirlenen bu düzeyde, yapısal sistem elemanlarında yıkıcı hasarın meydana geldiği fakat binada kısmi veya tümden göçmeye izin verilmediği varsayılır.



Şekil 3.6: TBDY-2018'e göre bina performans düzeyleri [23].

3.4.5 Bina performans hedefleri ve tasarım yaklaşımları

DBYBHY-2007'de mevcut veya güçlendirilmesi yapılacak olan binalarda deprem performansının tanımlanması amacıyla kullanılacak deprem düzeyleri ve öngörülen minimum performans hedefleri, bina kullanım amacı ve türü ile depremin aşılma olasılığına bağlı olarak Çizelge 3.9 ile verilmiştir.

Çizelge 3.9: DBYBHY-2007'ye göre binalar için öngörülen minimum performans hedefleri [24].

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

TBDY-2018'de bina performans hedefleri ve uygulanacak değerlendirme/tasarım yaklaşımı, deprem düzeyleri ve deprem tasarım sınıflarına bağlı olarak sırasıyla Çizelge 3.10, Çizelge 3.11 ve Çizelge 3.12 ile verilmiştir.

Çizelge 3.10: İlk defa yapılacak yerinde dökme betonarme, prefabrik betonarme ve çelik binalar (BYS ≥ 2) [23].

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

Çizelge 3.11: İlk defa yapılacak veya mevcut yüksek binalar (BYS = 1) [23].

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

Çizelge 3.12: Mevcut yerinde dökme betonarme, prefabrik betonarme ve çelik binalar (BYS ≥ 2) [23].

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

TBDY-2018'e göre, Çizelge 3.10, Çizelge 3.11 ve Çizelge 3.12 ile verilmeyen yığma, ahşap ve hafif çelik binalar için, DD-2 deprem düzeyinde kontrollü hasar (KH) performans hedefi sağlanacak ve bu yapıların tasarımı dayanıma göre tasarım (DGT) yaklaşımı ile yapılacaktır.

3.4.6 Düzensiz binalar ve düzensizlik tanımları

İyi ve tutarlı bir tasarımın önemli koşullarından biri, binalarda düzensizliğe sebep olabilecek durumlardan kaçınmaktır. Bu sebeple deprem yönetmeliklerimizde düzensizlik tanımları yapılmış ve bu tanımlamalara ait analitik bağıntılara yer verilmiştir.

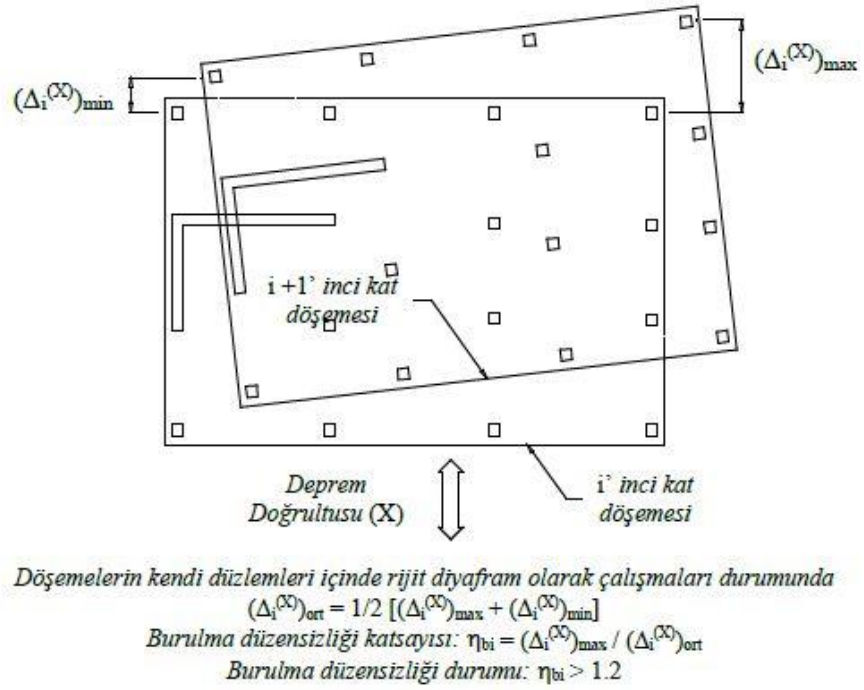
TBDY-2018'de düzensiz binalara ait tanım ve bağıntılar, DBYBHY-2007'ye göre çok küçük farklılıklar dışında aynı kalmıştır.

3.4.6.1 Planda düzensizlik – A1 burulma düzensizliği

TBDY-2018'de burulma düzensizliği, DBYBHY-2007 ile aynı şekilde, bir katta bir doğrultudaki maksimum göreli yerdeğiştirme $(\Delta_i^{(X)})_{max}$ ile o katta aynı doğrultudaki ortalama göreli yerdeğiştirmenin $(\Delta_i^{(X)})_{ort}$ oranının 1.2'den büyük olması durumu olarak tanımlanmıştır (Şekil 3.7). Bu oran, $\eta_{bi,}$ Denklem 3.11'daki bağıntı ile ifade edilmiştir.

$$\eta_{bi} = \frac{(\Delta_i^{(X)})_{max}}{(\Delta_i^{(X)})_{ort}} > 1.2 \qquad (3.11)$$

Bir kattaki göreli kat yerdeğiştirmelerinin bulunması, ± % 5 ek dışmerkezlik etkileri de hesaba katılarak TBDY-2018 Bölüm 4.7'deki kurallar uyarınca yapılacaktır.



Şekil 3.7: TBDY-2018'e göre burulma düzensizliği durumu [23].

3.4.6.2 Planda düzensizlik – A2 döşeme süreksizlikleri

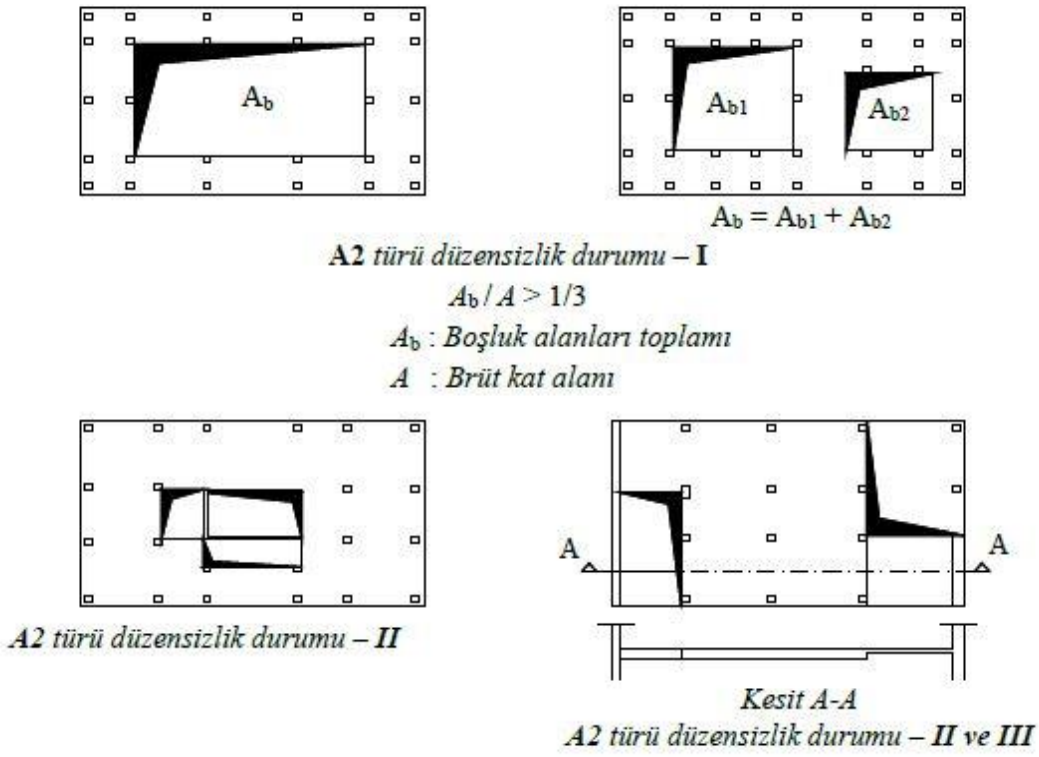
TBDY-2018'de döşeme süreksizlikleri düzensizliği, DBYBHY-2007 ile aynı şekilde tanımlanmıştır. Bu tanımlamalara göre, binanın herhangi bir katındaki döşemesinde

aşağıda verilen durumlara rastlanılması durumunda (Şekil 3.8), yapıda A2 türü düzensizliğin olduğu kabul edilir.

I) Merdiven boşlukları, asansör boşlukları ve diğer tüm boşlukların alanları toplamının, kat brüt alanının üçte birinden fazla olması durumu,

II) Deprem yüklerinin, düşey taşıyıcılara emniyetli bir şekilde iletilmesini zorlaştıran lokal boşlukların olması durumu,

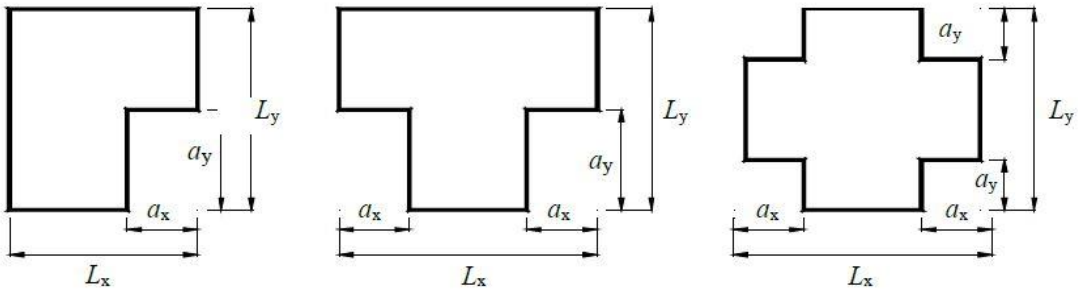
III) Düzlem içerisinde ani rijitlik ve dayanım düşüşlerinin olması durumu.



Şekil 3.8: TBDY-2018'e göre A2 türü düzensizlik durumları [23].

3.4.6.3 Planda düzensizlik – A3 planda çıkıntılar olması durumu

TBDY-2018'de planda çıkıntıların bulunması kaynaklı oluşan düzensizlik, DBYBHY-2007 ile aynı şekilde tanımlanmıştır. Bu tanıma göre, birbirine dik iki doğrultuda binada var olan çıkıntıların uzunluklarının, o katta iki doğrultudaki plan uzunluklarının % 20'sinden fazla olması durumunda (Şekil 3.9), yapıda A3 türü düzensizliğin olduğu kabul edilir.



A3 *türü düzensizlik durumu:*
$a_x > 0.2\ L_x$ *ve aynı zamanda* $a_y > 0.2\ L_y$

Şekil 3.9: TBDY-2018'e göre A3 türü düzensizlik durumları [23].

3.4.6.4 Düşeyde düzensizlik – B1 zayıf kat düzensizliği

TBDY-2018'de zayıf kat düzensizliği, DBYBHY-2007 ile aynı tanımla, birbirine dik iki deprem doğrultusundan biri için bir katın toplam etkili kesme alanı ile bir üst katın toplam etkili kesme alanını oranının 0.80'den küçük olması durumu olarak tanımlanmıştır. Bu oran, $\eta_{ci,}$ Denklem 3.12'deki bağıntı ile ifade edilmiştir.

$$\eta_{ci} = \frac{(\sum A_e)_i}{(\sum A_e)_{i+1}} < 0.80 \qquad (3.12)$$

TBDY-2018'de herhangi bir kat için etkili kesme alanı, $(\Sigma A_e)_i$, Denklem 3.13 ile verilmiştir.

$$(\sum A_e)_i = (\sum A_w)_i + (\sum A_g)_i + (0.15 \sum A_k)_i \qquad (3.13)$$

Komşu katlar arası dayanım düzensizliği konusunda, TBDY-2018 Bölüm 4.9.1.3 (b)' de tanımlanan duvarlar için Denklem 3.13'te verilen A_k değeri, DBYBHY-2007'den farklı olarak sıfır alınacaktır.

3.4.6.5 Düşeyde düzensizlik – B2 yumuşak kat düzensizliği

TBDY-2018'e göre birbirine dik iki deprem doğrultusunun birinde, bir kattaki ortalama göreli kat yerdeğiştirmesi oranının, bir üst veya alt kattaki ortalama göreli kat yerdeğiştirmesi oranına bölünmesi ile bulunan değerin 2.0'dan fazla olması durumu olarak tanımlanmıştır. Bu değer $\eta_{ki,}$ Denklem 3.14'teki bağıntılar ile ifade edilmiştir. TBDY-2018'de komşu katlar arası rijitlik düzensizliği kontrolü yapılacak katlara, DBYBHY-2007'den farklı olarak bodrum katlar dahil edilmemiştir.

$$\eta_{ki}=\left(\frac{\Delta_i^{(X)}}{h_i}\right)_{ort}/\left(\frac{\Delta_{i+1}^{(X)}}{h_{i+1}}\right)_{ort}>2.0$$

$$\eta_{ki}=\left(\frac{\Delta_i^{(X)}}{h_i}\right)_{ort}/\left(\frac{\Delta_{i-1}^{(X)}}{h_{i-1}}\right)_{ort}>2.0 \quad (3.14)$$

Bir kattaki göreli kat yerdeğiştirmelerinin bulunması, ± % 5 ek dışmerkezlik etkileri de hesaba katılarak TBDY-2018 Bölüm 4.7'deki kurallar uyarınca yapılacaktır.

3.4.6.6 Düşeyde düzensizlik – B3 düşey eleman süreksizliği

Taşıyıcı sistemin verimli bir çerçeve düzeninde çalışması ve yüklerin kesintisiz olarak zemine kadar iletilebilmesi için, düşey taşıyıcıların (kolon ve perdelerin) süreklilik arz etmesi gereklidir. TBDY-2018 ve DBYBHY-2007 yönetmeliklerinde aynı şekilde tanımlanan düşey elemanların süreksizliğinden kaynaklı düzensizlik, düşey taşıyıcıların bazı katlarda kaldırılması, kirişlere veya kolon guselerinin üstüne veya ucuna oturtulması; ya da üst kattaki perdelerin alt kattaki kolonlara oturtulması olarak ifade edilmiştir (Şekil 3.10).

3.4.6.7 Düzensiz binalara ilişkin koşullar

A1 ve B2 türü düzensizlikler, TBDY-2018 Bölüm 4.6'da açıklanan doğrusal hesap yönteminin seçiminde kullanılan düzensizliklerdir.

TBDY-2018'e göre A2 ve A3 türü düzensizlikleri içeren yapılarda, döşemeler kendi düzlemleri içerisinde sismik kuvvetleri düşey taşıyıcılara emniyetli bir şekilde iletebildiğini gösterecek ve iki boyutlu levha (membran) veya kabuk sonlu elemanlar kullanılarak modellenecektir. DBYBHY-2007'de bu koşul sadece birinci ve ikinci derece deprem bölgeleri için tanımlanmış olup levha veya kabuk elemanlarla modellemeye ilişkin bir detaya yer verilmemiştir.

B1 türü düzensizlik içeren binalarda, bir kattaki dolgu duvar alanları toplamı üst kattakine kıyasla fazla ise, η_{ci} oranı bulunurken dolgu duvarlar dikkate alınmayacaktır. η_{ci} oranının en düşük olduğu kat için $0.60 \leq (\eta_{ci})_{min} \leq 0.80$ aralığında taşıyıcı sistem davranış katsayısı, $1.25(\eta_{ci})_{min}$ değeri ile çarpılıp depremin her iki doğrultusunda binaya uygulanacaktır. Fakat η_{ci} oranı hiçbir suretle 0.60'tan küçük olmayacaktır. Aksi halde zayıf katın dayanımı ve rijitliği arttırılıp deprem hesapları tekrarlanacaktır.

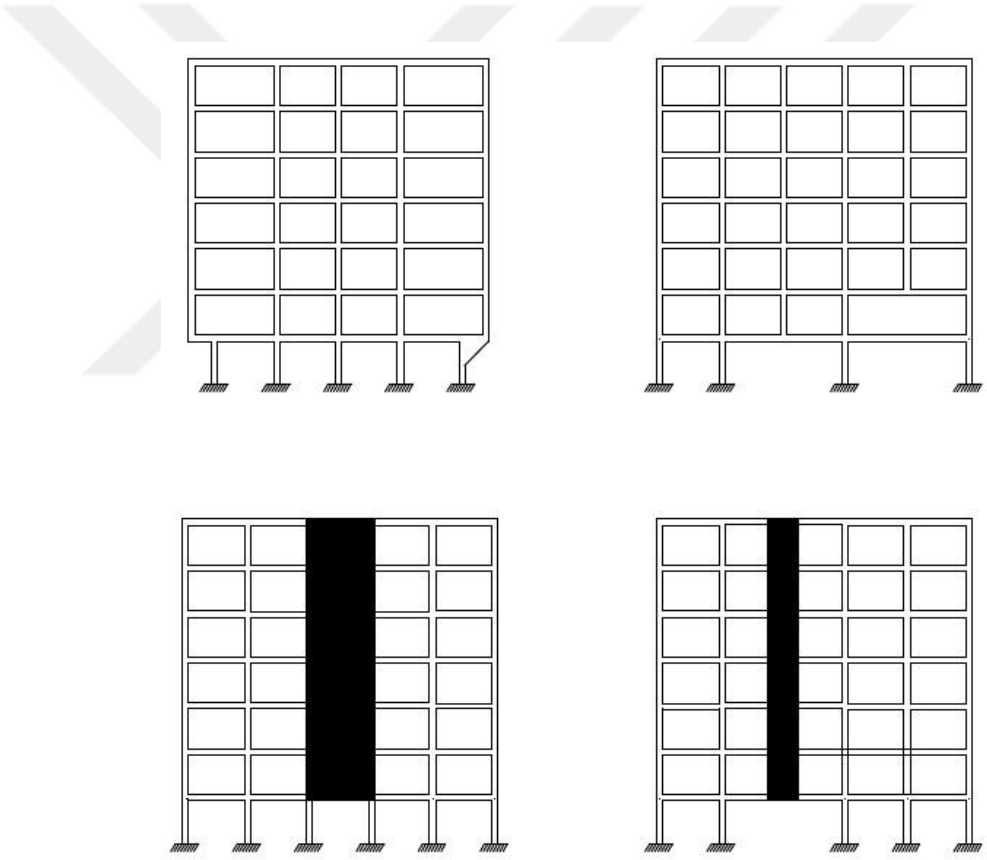
B3 türü düzensizlik içeren binalara ait şartlar aşağıda verilmiştir.

a) Kolonların bir katta konsol kirişlere veya kolon guselerine oturtulmasına izin verilmemiştir.

b) İki uçtan mesnetlenmiş bir kirişe oturan kolonların bulunması durumunda, TBDY-2018'e göre düşey deprem hesabı yapılması yeterli olacaktır. DBYBHY-2007'de bu madde için, bu tipteki kirişlerin kesitinde ve düğüm noktalarına bağlı diğer kiriş ve kolonların kesitinde tüm iç kuvvetlerin % 50 arttırılması öngörülmüştür.

c) Perdelerin alt katlarda bulunan kolonlara oturtulmasına izin verilmemiştir.

d) Perdelerin bir kattaki kirişlerin üstüne açıklık ortasında yer alacak şekilde oturtulmasına izin verilmemiştir.



Şekil 3.10: TBDY-2018'e göre B3 türü düzensizlik durumları [23].

3.5 Depreme Etkisi Altında Binaların Dayanıma Göre Tasarım İlkeleri

DBYBHY-2007'de, geçerli hesap metodu olarak dayanıma (kuvvete) göre tasarım yaklaşımı benimsenmiş olup, tasarım yaklaşımları konusunda detaylı bir sınıflandırmaya gidilmemiştir.

TBDY-2018 ile birlikte ağırlıklı hesap metodu olarak dayanıma (kuvvete) göre tasarım yaklaşımı işaret edilmesine karşın deprem etkisi altındaki binalar için tasarımda kullanılacak esas ve usuller, dayanıma göre tasarım (DGT) ve şekil değiştirmeye göre tasarım (ŞGDT) olarak iki farklı şekilde sınıflandırılmış ve anlatılmıştır.
Bu tezde dayanıma göre tasarım yaklaşımı kullanılacak olduğundan bu yaklaşımdan detaylı olarak bahsedilecektir. Diğer tasarım yöntemi olan şekil değiştirmeye göre tasarım yaklaşımına ise kısaca değinilecektir.

3.5.1 Dayanıma göre tasarım yaklaşımının tanım ve kapsamı

TBDY-2018'e göre dayanıma göre tasarımda, seçilen bir performans hedefi doğrultusunda yapı özellikleri ve süneklik kapasitesine göre azaltılmış deprem yükleri hesaplanır. Daha sonra, hesaplanan deprem yükleri kullanılarak sistemin doğrusal deprem analizi gerçekleştirilir. Yapılan analiz sonucunda elde edilen eleman iç kuvvetleri, deprem dışındaki yüklerden kaynaklı iç kuvvetlerle kombine edilerek dayanım gereksinimleri bulunur. Son olarak, elemanların dayanım gereksinimleri ve sahip oldukları dayanım kapasiteleri karşılaştırılıp; dayanım kapasitelerinin, dayanım gereksinimlerinden büyük olduğu ve göreli kat yerdeğiştirmelerinin limitler dâhilinde kaldığı gösterilerek tasarım bitirilir.

TBDY-2018'de, dayanıma göre tasarım ilkeleri ile kapasite tasarım ilkeleri birlikte uygulanır. Çünkü tek başına DGT yaklaşımı, yapıda sünek güç tükenmesini garanti etmez. Yapının sünek davranışı için ayrıca kapasite tasarım ilkelerine bağlı gerekli koşulları de sağlaması gerekmektedir. Bu koşullara TBDY-2018'in çeşitli bölümlerinde değinilmiştir.

TBDY-2018'e göre DGT yaklaşımı, yüksek binalar ile deprem yalıtımlı binaların tasarımı ve mevcut binaların değerlendirilmesi ile güçlendirilmesi konuları haricinde yönetmelikte adı geçen diğer bina tiplerinin tasarımında ana hesap metodu olarak seçilmiştir. Yüksek ve yalıtımlı binaların tasarımında, DGT ilkelerinden yerel olarak faydalanılacaktır.

3.5.2 Deprem yükü katsayıları

3.5.2.1 Deprem yükü azaltma katsayısı ($R_a(T)$)

DBYBHY-2007'de, elastik deprem yüklerinin azaltılmasında kullanılacak olan deprem yükü azaltma katsayısı, $R_a(T)$, Denklem 3.15'teki bağıntı ile ifade edilmiştir.

Denklem 3.15'te R; taşıyıcı sistem davranış katsayısını (bkz. Çizelge 3.13), T; bina doğal periyotunu ve T_A; spektrum köşe periyotunu gösterir.

$$0 \leq T \leq T_A \qquad R_a(T) = 1.5+(R-1.5)\frac{T}{T_A}$$
$$T_A < T \qquad R_a(T) = R \tag{3.15}$$

TBDY-2018'de ise dayanıma göre tasarım yapılırken, seçilen bir performans hedefi doğrultusunda hesaplanan elastik deprem yüklerinin azaltılmasında kullanılacak olan deprem yükü azaltma katsayısı, $R_a(T)$, Denklem 3.16 ile verilen bağıntılarla tanımlanmıştır.

$$T > T_B \qquad R_a(T) = \frac{R}{I}$$
$$T \leq T_B \qquad R_a(T) = D + (R/I - D)\frac{T}{T_b} \tag{3.16}$$

Denklem 3.16'da R; taşıyıcı sistem davranış katsayısını (bkz. Çizelge 3.14), D; dayanım fazlalığı katsayısını (bkz. Çizelge 3.14), I; bina önem katsayısını, T; bina doğal periyotunu ve T_b; spektrum köşe periyotunu ifade eder.

TBDY-2018 ve DBYBHY-2007'deki deprem yükü azaltma katsayılarının bulunmasına ilişkin verilen denklemler, büyük oranda benzer olmakla birlikte birtakım farkları da içermektedir. Bu farklar aşağıdaki gibi sıralanabilir [22].

a) DBYBHY-2007'deki R yerine, TBDY-2018'de R/I kullanılmıştır.

b) DBYBHY-2007'deki T_A yerine, TBDY-2018'de T_B kullanılmıştır.

c) DBYBHY-2007'deki 1.5 katsayısı yerine, TBDY-2018'de D katsayısı kullanılmıştır.

Yukarıdaki farklara ek olarak, TBDY-2018'de, DBYBHY-2007 ve daha önceki yönetmeliklerden farklı olarak, kapsamdaki tüm bina taşıyıcı sistemleri için, bunların süneklik düzeyleri de dikkate alınarak yükseklik uygulama sınırları getirilmiştir [22].

3.5.2.2 Taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R) ve dayanım fazlalığı katsayısı (D)

Yapısal taşıyıcı sistemlerde kullanılan malzemeler, pratikte doğrusal davranış sergilemekten uzaktır. Taşıyıcı sistem davranış katsayısı R, doğrusal hesap metotları

kullanılırken, sistemin doğrusal olmayan davranışının göz önüne alınmasına yardımcı olan bir azaltma faktörü olarak tanımlanır.

Dayanım fazlalığı katsayısı D ise, akma dayanımının tasarım dayanımına oranla fazlalığını ifade eden bir katsayıdır. Bu katsayının kullanılmasındaki temel gaye, sünek olmayan davranışa karşı gelen iç kuvvetlerin, azaltılmış tasarım dayanımı seviyesinden akma dayanımı seviyesine, yani pratikteki dayanım seviyesine getirilmesidir. Böylece özellikle betonarme elemanlarda istenilen kesme dayanımına ulaşılmakta ve sistemde göçmeye sebebiyet verebilecek gevrek kesme hasarı engellenmektedir [22].

DBYBHY-2007'de dayanım fazlalığı katsayısı D, isimlendirilmeden kullanılmış olup, taşıyıcı sistem davranış katsayısı R, Çizelge 3.13 ile verilmiştir.

Çizelge 3.13: DBYBHY-2007'ye göre betonarme taşıyıcı sistemlerde davranış katsayısı (R) [24].

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

TBDY-2018'de R ve D katsayıları, DBYBHY-2007'dekine kıyasla çok daha ayrıntılı bir şekilde ele alınmış olup farklı taşıyıcı sistem türleri ve süneklik kapasitelerine göre Çizelge 3.14'te verilmiştir. R ve D katsayıları için, taşıyıcı sistem özelliklerine göre bazı özel koşullar verilmiştir. Bu koşullar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

a) Rijit perdelerle çevrili bodrum katlarının bulunduğu sistemlerde, o bölümler için (R/I)=2.5 ve D=1.5 kabul edilecektir.

b) DTS=1, 1a, 2, 2a olan betonarme perdeli binalarda, bir perdenin karşılayacağı taban devrilme momenti M_{DEV}, aynı doğrultudaki binanın toplam taban devrilme momenti M_O'nun üçte birinden fazla olması veya binanın kenar akslarından birinde bulunan bir perdenin karşılayacağı taban devrilme momenti M_{DEV}'in aynı doğrultudaki binanın

toplam taban devrilme momenti M_O'nun altıda birinden az olması durumunda, R yerine (4/5)R alınacak olup D katsayısında bir değişikliğe gidilmeyecektir.

Çizelge 3.14: TBDY-2018'e göre göre betonarme taşıyıcı sistemlerde davranış katsayısı (R), dayanım fazlalığı katsayısı (D) ve izin verilen bina yükseklik sınıfları [23].

Bina Taşıyıcı Sistemi	R	D	BYS
1. Yerinde Dökme Betonarme Bina Taşıyıcı Sistemleri			
1.1. Süneklik Düzeyi Yüksek Taşıyıcı Sistemler			
1.1.1. Deprem etkilerinin tamamının moment aktaran *süneklik düzeyi yüksek* betonarme çerçevelerle karşılandığı binalar	8	3	BYS ≥ 3
1.1.2. Deprem etkilerinin tamamının *süneklik düzeyi yüksek* bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdelerle karşılandığı binalar	7	2.5	BYS ≥ 2
1.1.3. Deprem etkilerinin tamamının *süneklik düzeyi yüksek* boşluksuz betonarme perdelerle karşılandığı binalar	6	2.5	BYS ≥ 2
1.1.4. Deprem etkilerinin moment aktaran *süneklik düzeyi yüksek* betonarme çerçeveler ile *süneklik düzeyi yüksek* bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar	8	2.5	BYS ≥ 2
1.1.5. Deprem etkilerinin moment aktaran *süneklik düzeyi yüksek* betonarme çerçeveler ile *süneklik düzeyi yüksek* boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar	7	2.5	BYS ≥ 2
1.1.6. Deprem etkilerinin tamamının çatı düzeyindeki bağlantıları mafsallı olan ve yüksekliği 12 m'yi geçmeyen *süneklik düzeyi yüksek* betonarme kolonlar tarafından karşılandığı tek katlı binalar	3	2	-

TBDY-2018'de, Çizelge 3.14'te verilen D katsayısının uygulanmasına dair koşullar aşağıdaki gibi sunulmuştur:

a) Yüksek veya sınırlı sünek davranış sergilemesi öngörülen elemanların azaltılmış iç kuvvetlerinin bulunmasında D=1 alınacaktır.

b) Sünek olmayan davranış sergilemesi öngörülen elamanların azaltılmış iç kuvvetlerinin bulunmasında D > 1 alınacaktır.

3.5.3 Taşıyıcı sistemlerin süneklik düzeyleri ile ilgili genel şartlar

DBYBHY-2007'ye göre birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde, taşıyıcı sistemi salt betonarme çerçeveden oluşan binaların yüksek süneklik seviyesine sahip olacak şekilde, Çizelge 3.4'e göre I = 1.5, 1.4 olan binaların ise yüksek veya karma süneklik seviyesine sahip olacak şekilde tasarlanacağı belirtilmiştir. Ayrıca taşıyıcı sisteminde

perde bulunmayan normal süneklik seviyesindeki binalara, ancak belirli koşullar dahilinde üçüncü ve dördüncü derece deprem bölgelerinde izin verilir.

TBDY-2018'e göre, DTS = 1a, 2a, 3a, 4a olan binaların, sınırlı süneklik seviyesine sahip olacak şekilde tasarlanmasına; BYS ≤ 6 ve DTS = 1a, 2a olan binaların ise karma süneklik seviyesine sahip olacak şekilde tasarlanmasına izin verilmemiştir. Ayrıca sınırlı süneklik seviyesine sahip salt betonarme çerçeveli sistemlerin tasarımına, yalnızca DTS = 3, 4 olan binalarda izin verilmektedir.

DBYBHY-2007'de yüksek süneklik seviyesine sahip olacak şekilde tasarlanan binalarda, yüksek sünekliğin her iki deprem doğrultusu için göz önüne alınması gerektiği belirtilmiştir. Bir doğrultuda yüksek veya karma, diğer doğrultuda normal süneklik seviyesine sahip olan sistemler, normal süneklik seviyesine sahip sistemler olarak kabul edilecektir. Ayrıca, depremin iki dik doğrultusu için farklı R katsayılarının seçilebileceği belirtilmiştir.

TBDY-2018'e göre, depremin iki dik doğrultusu için süneklik seviyeleri eşdeğer olmalıdır. Fakat bu iki doğrultuda farklı R ve D katsayıları kullanılabilir.

TBDY-2018'e göre taşıyıcı sistemi yüksek süneklik seviyesine sahip boşluklu veya boşluksuz betonarme perdeler ve moment aktaran çerçevelerle teşkil edilen binalarda, perdelerin tabanında oluşan deprem kaynaklı devrilme momentlerinin toplamı M_{DEV} ve bina tabanında oluşan toplam devrilme momenti M_O arasındaki ilişki, Denklem 3.17 ile verilmiştir.

$$0.40M_O < \sum M_{DEV} < 0.75M_O \qquad (3.17)$$

Denklem 3.17'ye göre üst sınırın aşılması durumunda, Çizelge 3.14'te deprem etkilerinin salt yüksek süneklik seviyesine sahip perdelerle taşındığı durumlar için verilen R ve D katsayıları ile BYS değeri kullanılacaktır. Öte yandan alt sınır sağlanamadığı takdirde, Çizelge 3.14'teki R ve D katsayılarında aynı kalacak fakat BYS değerinin bir fazlası kullanılacaktır.

3.5.4 Deprem etkisinin tanımlanması ve diğer etkilerle birleştirilmesi

3.5.4.1 Azaltılmış tasarım ivme spektrumu

DBYBHY-2007'de mod birleştirme ile hesap yöntemi için, herhangi bir titreşim modunda dikkate alınacak azaltılmış tasarım spektral ivmesi $S_{aR}(T)$, Denklem 3.18'deki bağıntı ile ifade edilmiştir.

$$S_{aR}(T_n) = \frac{S_{ae}(T_n)}{R_a(T_n)} \tag{3.18}$$

TBDY-2018'de ise eşdeğer deprem yükü ve mod birleştirme ile hesap metotları için, azaltılmış tasarım ivme spektrumunun ordinatı olan azaltılmış tasarım spektral ivmesi $S_{aR}(T)$, herhangi bir doğal periyot değeri için Denklem 3.19'daki bağıntı ile verilmiştir.

$$S_{aR}(T) = \frac{S_{ae}(T)}{R_a(T)} \tag{3.19}$$

Denklem 3.18 ve 3.19'da $S_{ae}(T)$; Denklem 3.4 ve 3.6 ile ifade edilen elastik spektral ivmelerini, $R_a(T)$; Denklem 3.15 ve 3.16 ile ifade edilen deprem yükü azaltma katsayılarını gösterir.

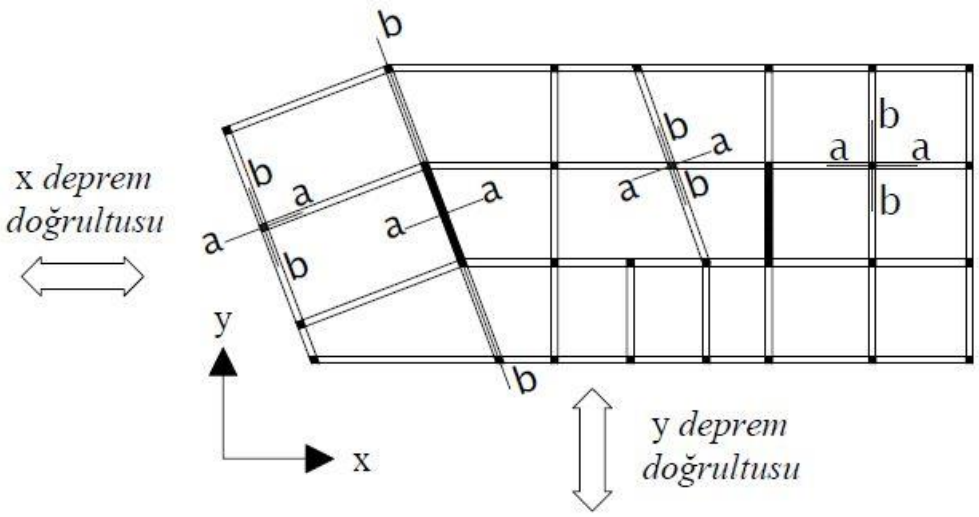
3.5.4.2 Yatay deprem etkilerinin kombinasyonu

DBYBHY-2007'ye göre x ve y doğrultularında etki eden deprem etkilerinin birleştirilmesi, Denklem 3.20 ile verilen doğrultu birleştirme bağıntılarıyla yapılmaktaydı (Şekil 3.11).

$$\begin{aligned} B_a &= \pm B_{ax} \pm 0.30B_{ay} \qquad & B_a &= \pm 0.30B_{ax} \pm B_{ay} \\ B_b &= \pm B_{bx} \pm 0.30B_{by} \qquad & B_b &= \pm 0.30B_{bx} \pm B_{by} \end{aligned} \tag{3.20}$$

TBDY-2018'de, eşdeğer deprem yükü ve mod birleştirme yöntemleriyle kullanılacak x ve y doğrultularında etki eden deprem etkilerinin, $E_d^{(X)}$ ve $E_d^{(Y)}$, birleştirilmesi, Denklem 3.21 ile verilen doğrultu birleştirme bağıntılarıyla yapılacaktır. Denklem 3.21'de $E_d^{(H)}$; birleştirilmiş yatay deprem etkisini göstermektedir.

$$\begin{aligned} E_d^{(H)} &= \pm E_d^{(X)} \pm 0.3E_d^{(Y)} \\ E_d^{(H)} &= \pm 0.3E_d^{(X)} \pm E_d^{(Y)} \end{aligned} \tag{3.21}$$



Şekil 3.11: Eleman asal eksen doğrultularındaki iç kuvvetler.

3.5.4.3 Düşey deprem etkisi

Deprem kuvvetlerine maruz binaların tasarımında, düşey deprem etkisi ilk defa TBDY-2018 ile göz önüne alınacaktır. Buna göre DTS = 1, 1a, 2, 2a olan ve aşağıda belirtilen elemanların bulunduğu binalarda düşey deprem hesabı, elemanlar özelinde düşey elastik ivme spektrumu kullanılarak mod birleştirme yöntemi ile yapılacaktır. Yapılacak hesaplarda, bütün taşıyıcı sistemler için R/I = 1 ve D = 1 kabul edilecektir.

a) 20 m'den daha büyük açıklığa sahip kirişler ve 5 m'den daha büyük açıklığa sahip konsollar

b) Kolonların oturduğu kirişler

c) Eğik kolonlar

TBDY-2018'de, yukarıda belirtilen elemanlar haricindeki taşıyıcı elemanlarda ve yukarıda belirtilen tanımlama haricindeki binalarda düşey deprem etkisi $E_d^{(Z)}$, Denklem 3.22 ile verilmiştir. Denklem 3.22'de G; sabit yük etkisini, S_{DS}; kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısını ifade etmektedir.

$$E_d^{(Z)} \approx (2/3) S_{DS} G \tag{3.22}$$

Düşey deprem etkisi, pratikte daha sık karşılaşılacak olan durumlar için bu bağıntı kullanılarak eşdeğer-statik bir yöntemle ele alınmış olacaktır [22].

3.5.4.4 Deprem etkisi ve diğer etkilerle kombinasyonu

Bir binayı oluşturan yapısal elemanlar, deprem yüklerinin yanı sıra ölü yükler, hareketli yükler, rüzgâr yükü, kar yükü ve yatay zemin yükleri ile bunların birleştirilmesi sonucunda oluşan yük kombinasyonları dikkate alınarak tasarlanır.

DBYBHY-2007'de, deprem etkilerinin diğer etkilerle birleştirilerek iç kuvvetlerin bulunmasında kullanılan yük kombinasyonları Denklem 3.23, 3.24, 3.25 ve 3.26 ile verilmiştir.

$$G + Q \pm E_X \pm 0.3E_Y \tag{3.23}$$

$$G + Q \pm 0.3E_X \pm E_Y \tag{3.24}$$

$$0.9G \pm E_X \pm 0.3E_Y \tag{3.25}$$

$$0.9G \pm 0.3E_X \pm E_Y \tag{3.26}$$

TBDY-2018'de yapısal elemanların tasarımında göz önüne alınacak yük kombinasyonları Denklem 3.27 ve 3.28 ile tanımlanmıştır.

$$G + Q + 0.2S + E_d^{(H)} + 0.3E_d^{(Z)} \tag{3.27}$$

$$0.9G + H + E_d^{(H)} - 0.3E_d^{(Z)} \tag{3.28}$$

Denklem 3.27 ve 3.28'de yer alan G; ölü yükleri, Q; hareketli yükleri, S; kar yükünü, H; yatay zemin itkisini, $E_d^{(H)}$; birleştirilmiş yatay deprem etkisini ve $E_d^{(Z)}$; düşey deprem etkisini göstermektedir. Görüldüğü üzere TBDY-2018'de kombinasyon temelde DBYBHY-2007'de verilenlere benzer olmakla birlikte kar yükü, düşey deprem yükü ve yatay zemin itkileri de göz önüne alınmaktadır.

3.5.5 Yapısal sistemin modellenmesi ile ilgili kurallar

TBDY-2018'in önceki deprem yönetmeliklerinden en dikkat çekici farklarından birisi, DGT yaklaşımında doğrusal hesapta kullanılacak modelleme kurallarının her bir taşıyıcı eleman için ayrıntılı bir şekilde ele alınmasıdır.

TBDY-2018'de genel modelleme kurallarının yanında, kiriş ve kolonların modellenmesi, boşluksuz ve boşluklu perdelerin modellenmesi, bodrum perdelerinin modellenmesi, normal ve geçiş kat döşemelerinin modellenmesi, taşıyıcı elemanların

etkin kesit rijitliklerinin verilmesi, kütlelerin modellenmesi ve ek dışmerkezlik etkisinin modellenmesi konularında detaylı açıklamalara yer verilmiştir.

3.5.5.1 Betonarme elemanların etkin kesit rijitlikleri

Eğilme etkisi altında betonarme elemanlarda irili ufaklı çatlaklar meydana gelir ve bu çatlaklar kılcal düzeyde kalsa bile eleman kesitlerinde önemli oranda rijitlik azalmasına sebep olur. Doğrusal elastik hesaplarda, çatlamış kesit özellikleri etkin kesit rijitlikleri vasıtasıyla dikkate alınırsa, iç kuvvet dağılımları daha gerçekçi olarak hesaplanır ve doğrusal hesap ile elde edilen şekil değiştirmelerin daha isabetli olarak kestirilmesi sağlanır [25].

TBDY-2018'e göre, DGT kapsamında taşıyıcı elemanların modellenmesinde kullanılacak etkin kesit rijitliği çarpanları Çizelge 3.15'te verilmiştir.

Çizelge 3.15: TBDY-2018'e göre taşıyıcı elemanların etkin kesit rijitlik katsayıları [23].

Taşıyıcı Eleman	Etkin Kesit Rijitlik Katsayısı	
Perde – Döşeme (Düzlem İçi)	**Eksenel**	**Kayma**
Perde	0.50	0.50
Bodrum perdesi	0.80	0.50
Döşeme	0.25	0.25
Perde-Döşeme (Düzlem Dışı)	**Eğilme**	**Kesme**
Perde	0,25	1.00
Bodrum perdesi	0,50	1.00
Döşeme	0,25	1.00
Çubuk Eleman	**Eğilme**	**Kesme**
Bağ kirişi	0.15	1.00
Çerçeve kirişi	0.35	1.00
Çerçeve kolonu	0.70	1.00
Perde (eşdeğer çubuk)	0.50	0.50

3.5.6 DGT kapsamındaki doğrusal hesap metotları

DBYBHY-2007'de deprem hesap metotları, eşdeğer deprem yükü yöntemi, mod birleştirme yöntemi ve zaman tanım alanında hesap yöntemleri olmak üzere üç sınıfta incelenmiştir. Bu tezde, doğrusal hesap metotları olan eşdeğer deprem yükü yöntemi ve mod birleştirme yöntemine değinilecektir.

TBDY-2018'de deprem hesap metotları, eşdeğer deprem yükü yöntemi, modal hesap yöntemleri, itme yöntemleri ve zaman tanım alanında hesap yöntemleri olmak üzere

dört sınıfta incelenmiştir. Bu tezde, DGT yaklaşımı çerçevesinde doğrusal hesap metotları olan eşdeğer deprem yükü yöntemi ve modal hesap yöntemlerine değinilecektir.

3.5.6.1 Hesap metodunun seçimi

DBYBHY-2007'ye göre mod birleştirme yöntemi tüm binaların deprem hesabında kullanılabilirken, eşdeğer deprem yükü yönteminin kullanılabilmesi bazı sınırlamalar vardır. Bu sınırlamalar Çizelge 3.16 ile gösterilmiştir.

Çizelge 3.16: DBYBHY-2007'ye göre eşdeğer deprem yükü yönteminin kullanılabileceği binalar [24].

Deprem Bölgesi	Bina Türü	Bina Yükseklik Sınırı
1,2	Her bir katta burulma düzensizliği katsayısı $\eta_{bi} \leq 2.0$ olan binalar	$H_N \leq 25$ m
1,2	Her bir katta burulma düzensizliği katsayısı $\eta_{bi} \leq 2.0$ olan ve B2 türü düzensizliğin olmadığı binalar	$H_N \leq 40$ m
3,4	Tüm binalar	$H_N \leq 40$ m

TBDY-2018'e göre modal hesap yöntemleri (Mod Birleştirme Yöntemi veya Mod Toplama Yöntemi), bina türü yapılarda belirli bir sınırlamaya tabi olmadan kullanılabilirken, eşdeğer deprem yükü yönteminin kullanılabilmesi Çizelge 3.17'de gösterilen sınırlamalar getirilmiştir.

Çizelge 3.17: TBDY-2018'e göre eşdeğer deprem yükü yönteminin kullanılabileceği binalar [23].

Bina Türü	İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfı	
	DTS = 1, 1a, 2, 2a	DTS = 3, 3a, 4, 4a
Her bir katta burulma düzensizliği katsayısı $\eta_{bi} \leq$ 2.0 olan ve B2 türü düzensizliğin olmadığı binalar	BYS $\geq$ 4	BYS $\geq$ 5
Diğer binalar	BYS $\geq$ 5	BYS $\geq$ 6

3.5.6.2 Eşdeğer deprem yükü yöntemi

Toplam eşdeğer deprem yükünün belirlenmesi

DBYBHY-2007'ye göre herhangi bir deprem doğrultusunda, binaya etki eden toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti), V_t, Denklem 3.29 ile verilen bağıntı ile hesaplanmakta idi. Denklem 3.29'da T_1; binanın birinci periyotunu (bkz. Denklem 3.41), W; bina toplam ağırlığını (bkz. Denklem 3.30) ifade eder. Denklem 3.30'daki

w_i, her bir katın ağırlığını göstermekte olup Denklem 3.31'de verilen bağıntı ile hesaplanır. Denklem 3.31'de yer alan n, hareketli yük katılım katsayısını göstermekte olup Çizelge 3.18'de sunulmuştur.

$$V_t = \frac{WA(T_1)}{R_a(T_1)} \geq 0.10 A_o I W \tag{3.29}$$

$$W = \sum_{i=1}^{N} w_i \tag{3.30}$$

$$w_i = g_i + nq_i \tag{3.31}$$

Çizelge 3.18: DBYBHY-2007'ye göre hareketli yük katılım katsayısı (n) [24].

Bina Kullanım Amacı	n
Depo, antrepo, vb.	0.80
Okul, yurt, spor tesisi, sinema, tiyatro, konser salonu, garaj, mağaza, vb.	0.60
Konut, işyeri, otel, hastane, vb.	0.30

TBDY-2018'e göre X ve Y doğrultularında etki edecek olan toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti), $V_{tE}^{(X)}$, Denklem 3.32 ile hesaplanır. Burada X doğrultusu için verilen bağıntılar, depremin diğer dik doğrultusu olan Y doğrultusu için de kullanılacaktır.

$$V_{tE}^{(X)} = m_t S_{aR}(T_p^{(X)}) \geq 0.04 m_t I S_{DS} g \tag{3.32}$$

Denklem 3.32'de $S_{aR}(T_p^{(X)})$; X doğrultusundaki bina hakim periyotu $T_p^{(X)}$ (bkz. Denklem 3.42) kullanılarak Denklem 3.19 ile bulunan azaltılmış tasarım spektral ivmesini ve m_t; toplam bina kütlesini (bkz. Denklem 3.33) gösterir. Denklem 3.33'de m_i göz önüne alınan kat döşemesinin kütlesidir.

$$m_t = \sum_{i=1}^{N} m_i \tag{3.33}$$

Katlara etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin bulunması

DBYBHY-2007'de, Denklem 3.29 ile hesaplanan toplam taban kesme kuvveti V_t, her bir katın alacağı deprem yükleri cinsinden Denklem 3.34 ile hesaplanabilir. Denklem

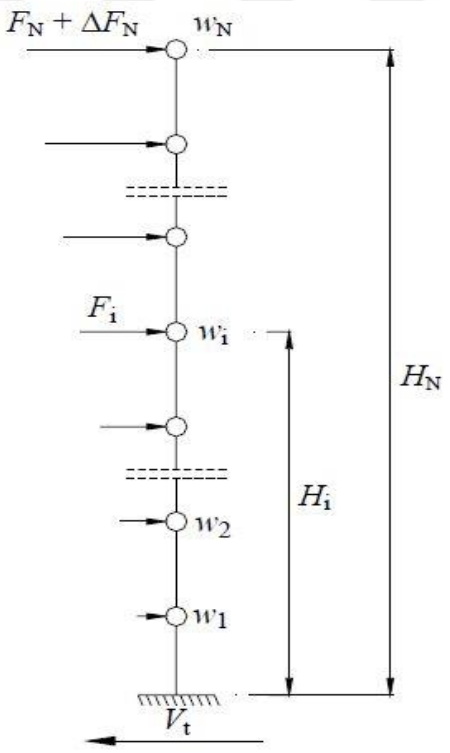
3.34'te ΔF_N, binanın tepesine (N'inci kat) etki eden ilave deprem yükünü gösterir ve Denklem 3.35'teki bağıntı ile hesaplanır.

$$V_t = \Delta F_N + \sum_{i=1}^{N} F_i \tag{3.34}$$

$$\Delta F_N = 0.0075 N V_t \tag{3.35}$$

Toplam taban kesme kuvvetinin ΔF_N haricindeki kısmı, N'inci kat dâhil olmak kaydıyla binada bulunan tüm katlara Denklem 3.36'daki bağıntı kullanılarak dağıtılabilir (Şekil 3.12).

$$F_i = (V_t - \Delta F_N) \frac{w_i H_i}{\sum_{j=1}^{N} w_j H_j} \tag{3.36}$$



Şekil 3.12: DBYBHY-2007'ye göre toplam eşdeğer deprem yükünün katlara dağılımı [24].

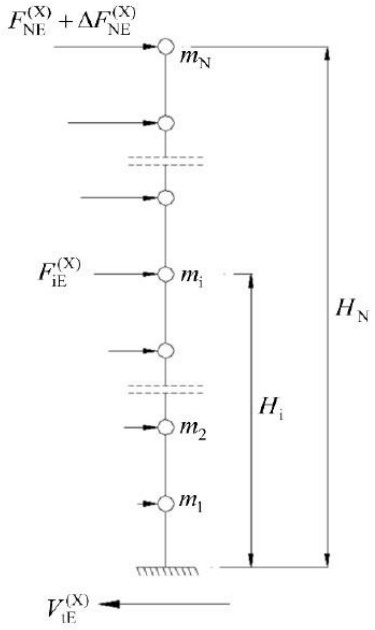
TBDY-2018'e göre Denklem 3.32 ile hesaplanan toplam taban kesme kuvveti $V_{tE}^{(X)}$, her bir katın alacağı deprem yükleri cinsinden Denklem 3.37 ile hesaplanabilir. Denklem 3.37'de $\Delta F_{NE}^{(X)}$, binanın tepesine (N'inci kat) etki eden ilave deprem yükünü gösterir ve Denklem 3.38'deki bağıntı ile hesaplanır.

$$V_{tE}^{(X)} = \Delta F_{NE}^{(X)} + \sum_{i=1}^{N} F_{iE}^{(X)} \tag{3.37}$$

$$\Delta F_{NE}^{(X)} = 0.0075 N V_{tE}^{(X)} \tag{3.38}$$

Toplam taban kesme kuvvetinin $\Delta F_{NE}^{(X)}$ haricindeki kısmı, N'inci kat dâhil olmak kaydıyla binada bulunan tüm katlara Denklem 3.39'daki bağıntı kullanılarak dağıtılabilir (Şekil 3.13).

$$F_{iE}^{(X)} = (V_{tE}^{(X)} - \Delta F_{NE}^{(X)}) \frac{m_i H_i}{\sum_{j=1}^{N} m_j H_j} \tag{3.39}$$

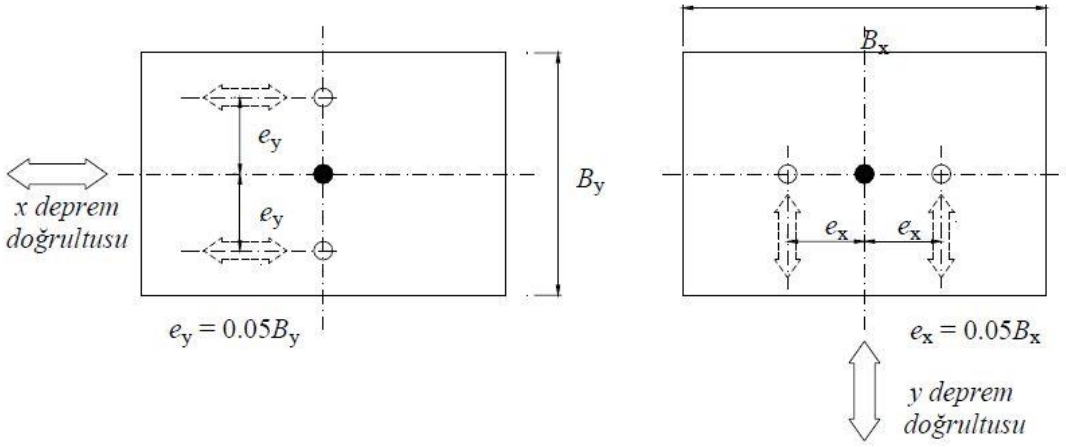


Şekil 3.13: TBDY-2018'e göre toplam eşdeğer deprem yükünün katlara dağılımı [23].

DBYBHY-2007'ye göre, döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram davranışı gösterdiği binalarda Denklem 3.36 ile hesaplanan F_i değerleri, hesap yapılan deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat uzunluğunun ± % 5'i oranında kaydırılması ile bulunan noktalar ile kat kütle merkezlerine etki ettirilmekteydi (Şekil 3.14).

TBDY-2018'e göre, döşemelerin rijit diyafram olarak modellenmesi halinde Denklem 3.39 ile hesaplanan $F_{iE}^{(X)}$ değeri, hesap yapılan deprem doğrultusunda binanın i'nci katındaki ana düğüm noktasına etki ettirilecektir. Etki ettirilen bu deprem yükleri,

hesap yapılan deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat uzunluğunun ± % 5'i oranında kaydırılacak ve bu durumlar için deprem hesapları tekrarlanır.



Şekil 3.14: DBYBHY-2007'ye göre deprem yüklerinin uygulanma noktaları [24].

TBDY-2018'e göre, deprem yükleri kaynaklı bina tabanında oluşan toplam devrilme momenti $M_o^{(X)}$, Denklem 3.40 ile verilen bağıntı ile bulunabilir.

$$M_o^{(x)} = \sum_{i=1}^{N} F_{iE}^{(X)} H_i \tag{3.40}$$

Bina hakim doğal periyotunun bulunması

DBYBHY-2007'ye göre eşdeğer deprem yükü yönteminin kullanılması halinde, göz önüne alınan doğrultudaki bina hakim periyotu T_1, Denklem 3.41'de verilen bağıntı ile hesaplanandan daha büyük kabul edilmeyecektir.

$$T_1 = 2\pi \left(\frac{\sum_{i=1}^{N} m_i d_{fi}^2}{\sum_{i=1}^{N} F_{fi} d_{fi}} \right)^{0.5} \tag{3.41}$$

Denklem 3.41'de F_{fi} söz konusu kata uygulanan fiktif yükü ifade eder ve Denklem 3.36'daki $(V_t - \Delta F_N)$ yerine herhangi bir birim değer konularak bulunur.

TBDY-2018'e göre eşdeğer deprem yükü yönteminin kullanılması halinde, göz önüne alınan (X) doğrultusundaki bina hakim periyotu $T_p^{(X)}$, daha isabetli bir yöntemle hesaplanmadıkça Denklem 3.42'de verilen bağıntı ile hesaplanabilir.

$$T_p^{(X)}=2\pi\left(\frac{\sum_{i=1}^{N} m_i d_{fi}^{(X)2}}{\sum_{i=1}^{N} F_{fi}^{(X)} d_{fi}^{(X)}}\right)^{0.5} \quad (3.42)$$

Denklem 3.42'de $F_{fi}^{(X)}$ söz konusu kata uygulanan fiktif yükü ifade eder ve Denklem 3.39'daki ($V_{tE}^{(X)} - \Delta F_{NE}^{(X)}$) yerine herhangi bir birim değer konularak bulunur.

Eşdeğer deprem yükü yönteminde burulma hesabı

DBYBHY-2007 ve TBDY-2018'e göre binanın herhangi bir katında A1 tipi burulma düzensizliği söz konusuysa, $1.2 < \eta_{bi} < 2.0$ şartını sağlamak kaydıyla bu katta uygulanacak ±%5 ek dışmerkezlik, göz önüne alınan iki deprem doğrultusu için Denklem 3.43'te verilen D_{bi} katsayıyla çarpılarak arttırılır.

$$D_{bi}=\left(\frac{\eta_{bi}}{1.2}\right)^2 \quad (3.43)$$

3.5.6.3 Modal hesap yöntemleri

DBYBHY-2007 ve TBDY-2018'de anlatılan eşdeğer deprem yükü yönteminin kapsamı dışında kalan binalarda doğrusal deprem hesabı, modal davranışı baz alan modal hesap yöntemleri ile yapılır.

Modal hesap yöntemleri, azaltılmış tasarım spektrumu ile hesaba dayalı mod birleştirme yöntemi ve zaman tanım alanında hesaba dayalı mod toplama yöntemleri olarak ikiye ayrılır. DBYBHY-2007'de mod toplama yöntemine yer verilmemiştir.

Mod birleştirme yöntemi

DBYBHY-2007'de mod birleştirme yönteminde, maksimum iç kuvvetler ve yerdeğiştirmeler, binada yeterli sayıda doğal titreşim modunun her biri için hesaplanan maksimum katkıların istatiksel olarak birleştirilmesi ile bulunur [24].

DBYBHY-2007'ye göre n'inci modda dikkate alınacak azaltılmış ivme spektrumu ordinatı Denklem 3.18 ile bulunur.

DBYBHY-2007'ye göre göz önüne alınacak dinamik serbestlik dereceleri için, döşemelerin rijit diyafram davranışı gösterdiği binalarda, her katta iki dik doğrultudaki iki yatay serbestlik derecesi ile kütle merkeziyle çakışan düşey eksene göre dönme

serbestlik derecesi dikkate alınır [24]. Serbestlik dereceleri için her kat özelinde modal deprem yükleri bulunacak ve bu yükler Şekil 3.14'teki gibi etki ettirilir.

DBYBHY-2007'de yeterli titreşim modu sayısı, X ve Y deprem doğrultularında, her mod için bulunan etkin kütlelerin (M_{xn} ve M_{yn}) toplamının bina toplam kütlesinin (Σm_i) % 90'ından daha düşük olmaması şartına göre hesaplanır (Denklem 3.44).

$$\sum_{n=1}^{Y} M_{xn} = \sum_{n=1}^{Y} \frac{L_{xn}^2}{M_n} \geq 0.90 \sum_{i=1}^{N} m_i$$
$$\sum_{n=1}^{Y} M_{yn} = \sum_{n=1}^{Y} \frac{L_{yn}^2}{M_n} \geq 0.90 \sum_{i=1}^{N} m_i \quad (3.44)$$

Denklem 3.44'te yer alan L_{xn}, L_{yn} ve modal kütle M_n ifadeleri, döşemelerin rijit diyafram davranışı gösterdiği binalar için Denklem 3.45 ve 3.46'daki bağıntılarla bulunabilir.

$$L_{xn} = \sum_{i=1}^{N} m_i \Phi_{xin}$$
$$L_{yn} = \sum_{i=1}^{N} m_i \Phi_{yin} \quad (3.45)$$

$$M_n = \sum_{i=1}^{N} (m_i \Phi_{xin}^2 + m_i \Phi_{yin}^2 + m_{\theta i} \Phi_{\theta in}^2) \quad (3.46)$$

Denklem 3.46'da Φ_{xin}; n'inci mod şeklinin i'inci katta x doğrultusundaki yatay bileşeni, Φ_{yin}; n'inci mod şeklinin i'inci katta y doğrultusundaki yatay bileşeni, $\Phi_{\theta in}$; n'inci mod şeklinin i'inci katta düşey eksene göre dönme bileşeni olarak ifade edilmektedir.

DBYBHY-2007'de binaya etki eden kesit tesirlerinin hesabı için her bir titreşim modu için bulunan ve simultane olmayan en büyük katkıların istatiksel şekilde birleştirilmesi amacıyla takip edilecek yöntemler aşağıdaki gibi verilmiştir.

a) $T_m < T_n$ olmak koşuluyla, herhangi iki titreşim modunun doğal periyotları her zaman $T_m / T_n < 0.80$ şartını sağlaması halinde, en büyük mod katkılarının birleştirilmesi için "Karelerin Toplamının Kare Kökü (SRSS) Kuralı" uygulanabilir.

b) İlk koşulun sağlanmadığı durumlarda, en büyük mod katkılarının birleştirilmesi için "Tam Karesel Birleştirme (CQC) Kuralı" takip edilecektir. CQC kuralı uygulanırken göz önüne alınacak çapraz korelasyon sayılarının bulunmasında, modal sönüm oranları tüm modlar için % 5 alınacaktır.

TBDY-2018'de mod birleştirme yönteminde, göz önüne alınan deprem doğrultusunda deprem tasarım spektrumu kullanılarak her bir titreşim modunda davranış büyüklüklerinin maksimum değerleri modal hesap yöntemi ile elde edilir. Yeterli sayıda mod için hesaplanan ve simultane olmayan maksimum modal davranış büyüklükleri istatiksel metotlarla birleştirilir ve maksimum davranış büyüklüklerinin yaklaşık değerleri bulunur [23].

TBDY-2018'e göre döşemelerin rijit diyafram davranışı gösterdiği binalarda, serbestlik dereceleri olarak bir katın kütle merkezinde iki dik doğrultuda tanımlanan yerdeğiştirmeler ve kütle merkeziyle çakışan düşey eksene göre dönme göz önüne alınacaktır. Bu serbestlik derecelerine ilişkin kat kütlesi m_i ve kat kütle eylemsizlik momenti $m_{i\theta}$ tanımlanmıştır [23].

TBDY-2018'de yeterli titreşim modu sayısı, X ve Y deprem doğrultularında, her mod için bulunan taban kesme kuvveti etkin kütlelerinin ($m_{txn}^{(X)}$ ve $m_{tyn}^{(Y)}$) toplamının bina toplam kütlesinin (m_t) % 95'inden daha düşük olmaması şartına göre hesaplanacaktır (Denklem 3.47). Katkısı % 3'ten fazla olan tüm modlar dikkate alınacaktır.

Mod birleştirme yöntemi ile ilgili detaylı açıklamalara TBDY-2018 EK 4B'de yer verilmiştir.

$$\sum_{n=1}^{YM} m_{txn}^{(X)} \geq 0.95 m_t$$
$$\sum_{n=1}^{YM} m_{tyn}^{(Y)} \geq 0.95 m_t \qquad (3.47)$$

Mod toplama yöntemi

TBDY-2018'de mod toplama yönteminde, depremin simultane şekilde iki yatay doğrultuda etki etmesinin dikkate alınması durumunda, her titreşim modundaki modal davranış büyüklükleri zaman tanım alanında modal hesap yöntemi ile hesaplanır. Yeterli sayıda mod için hesaplanan simultane modal davranış büyüklüklerinin zaman

tanım alanında direkt toplanması ile davranış büyüklüklerinin zamana göre değişimi ve tasarımda kullanılmak üzere maksimum değerleri elde edilir [23]. Mod toplama yönteminde mod katkıları doğrudan zaman tanım alanında toplandığı için istatistiksel metotlarla mod birleştirme yapılmasına gerek yoktur. Ek olarak, iki birbirine dik yatay doğrultuda simultane yer hareketi bileşenlerinin dikkate alınması nedeniyle doğrultu birleştirme yapılmasına da gerek kalmamaktadır.

Mod toplama yöntemi ile ilgili detaylı açıklamalara TBDY-2018 EK 4B'de verilmiştir.

Hesaplanan büyüklüklerin eşdeğer taban kesme kuvvetine göre büyütülmesi

DBYBHY-2007'ye göre istatiksel metotlarla birleştirilerek bulunan toplam bina deprem yükü V_{tB}'nin eşdeğer toplam taban kesme kuvveti V_t'ye oranının, β katsayısından küçük olması halinde ($V_{tB} < \beta V_t$), mod birleştirme yöntemiyle hesaplanan tüm büyüklükler Denklem 3.48'e göre büyütülecektir.

$$B_D = \frac{\beta V_t}{V_{tB}} B_B \tag{3.48}$$

Denklem 3.48'deki β katsayısı, binada A1, B2 veya B3 tipi düzensizliklerden en az birisi varsa 0.90; bu düzensizliklerden hiçbiri yoksa 0.80 kabul edilecektir. B_B, mod katkılarının birleştirilmesi ile bulunan herhangi büyüklüğü ve B_D büyütülmüş değeri ifade eder.

DBYBHY-2007 ile aynı mantıkla, TBDY (2018)'e göre de bir deprem doğrultusu (X) için $V_{tx}^{(X)} < \gamma_E V_{tE}^{(X)}$ olması halinde modal hesap yöntemleri kullanılarak bulunan tüm büyüklükler, Denklem 3.49'da verilen eşdeğer taban kesme kuvveti büyütme katsayısı $\beta_{tE}^{(X)}$ ile çarpılarak büyütülecektir.

$$\beta_{tE}^{(X)} = \frac{\gamma_E V_{tE}^{(X)}}{V_{tx}^{(X)}} \geq 1 \tag{3.49}$$

Denklem 3.49'da $V_{tE}^{(X)}$; eşdeğer taban kesme kuvvetini (bkz. Denklem 3.32), $V_{tx}^{(X)}$; modal hesap yöntemleri kullanılarak X doğrultusunda hesaplanan deprem yükünü, γ_E; binada A1, B2 veya B3 tipi düzensizliklerinden en az birisinin olması halinde 0.90, hiçbirinin bulunmaması halinde 0.80 kabul edilecek çarpanı gösterir.

3.5.6.4 Göreli kat ötelemelerinin sınırlandırılası ve ikinci mertebe etkileri

Etkin göreli kat ötelemelerinin hesabı ve sınırlandırılması

DBYBHY-2007'de bir düşey taşıyıcı eleman için, takip eden iki kat arası yerdeğiştirme farkını gösteren azaltılmış göreli kat ötelemesi Δ_i, Denklem 3.50'de verilen bağıntı ile hesaplanır. Denklem 3.50'de d_i ve d_{i-1}, hesap yapılacak doğrultuda yapının (i) ve (i-1)'inci katlarında, azaltılmış deprem yükleri kullanılarak, göz önüne alınan düşey elemanların uç noktalarında bulunan yatay yerdeğiştirmeleri ifade etmektedir.

$$\Delta_i = d_i - d_{i-1} \tag{3.50}$$

DBYBHY-2007'ye göre yapının i'inci katında, herhangi bir düşey taşıyıcı elemanın etkin göreli kat ötelemesi δ_i, Denklem 3.51 ile bulunur.

$$\delta_i = R\Delta_i \tag{3.51}$$

DBYBHY-2007'ye göre yapının i'inci katında bulunan düşey elemanların δ_i değerlerinin o kattaki maksimumları olan $(\delta_i)_{max}$ değerleri, Denklem 3.52'de belirtilen şartı sağlamalıdır.

$$\frac{(\delta_i)_{max}}{h_i} \leq 0.02 \tag{3.52}$$

TBDY-2018'de etkin göreli kat ötelemelerinin hesaplanması ve sınırlandırılması, DBYBHY-2007 ile benzer bir yaklaşımla açıklanmıştır. Buna göre, bir doğrultuda (örneğin X) herhangi bir düşey taşıyıcı eleman için, takip eden iki kat arası yerdeğiştirme farkını gösteren azaltılmış göreli kat ötelemesi $\Delta_i^{(X)}$, Denklem 3.53'teki bağıntı ile hesaplanacaktır. Denklem 3.53'te $u_i^{(X)}$ ve $u_{i-1}^{(X)}$, hesap yapılacak doğrultuda (örneğin X) yapının (i) ve (i-1)'inci katlarında, azaltılmış deprem yükleri kullanılarak, göz önüne alınan düşey elemanların uç noktalarında bulunan yatay yerdeğiştirmeleri ifade etmektedir.

$$\Delta_i^{(X)} = u_i^{(X)} - u_{i-1}^{(X)} \tag{3.53}$$

TBDY-2018'e göre yapının i'inci katında, herhangi bir düşey taşıyıcı elemanın etkin göreli kat ötelemesi $\delta_i^{(X)}$, Denklem 3.54 ile bulunur.

$$\delta_i^{(X)} = \frac{R}{I}\Delta_i^{(X)} \tag{3.54}$$

TBDY-2018'e göre yapının i'inci katında bulunan düşey elemanların δ_i değerlerinin o kattaki maksimumları olan $(\delta_i)_{max}$ değerleri, Denklem 3.55'te belirtilen şartı sağlamalıdır.

$$\lambda\frac{\delta_{imax}^{(X)}}{h_i} \leq 0.008\kappa \tag{3.55}$$

Denklem 3.55'te λ; DD-3 deprem yer hareketine ait elastik tasarım spektral ivmenin, DD-2 deprem yer hareketine ait elastik tasarım spektral ivmesine oranını, κ; betonarme yapılarda 1, çelik yapılarda 0.5 olarak alınacak katsayıyı ifade eder.

Her iki yönetmelik de, Denklem 3.52 ve 3.55'teki şartların sağlanamaması halinde, sistem rijitliğinin yükseltilmesini ve deprem hesaplarının yenilenmesini istemektedir.

İkinci mertebe etkileri

Çeşitli yükler altında taşıyıcı sistemin şekil değiştirmemiş durumu göz önüne alınarak yapılan taşıyıcı sistem hesabı, esasen birinci mertebe hesap olarak tanımlanır. Öte yandan hesaplarda deforme olmuş şeklin dikkate alınması, taşıyıcı sistemde ek büyüklüklerin (iç kuvvetler, yerdeğiştirmeler, vb.) hesaplanabilmesine olanak sağlar. Yatay yükler altında düşey elemanlarda oluşan yatay deformasyonların (göreli kat ötelemeleri) neticesi olan ikinci mertebe etkilerin hesaplanması ve tasarımda gözönüne alınması, DBYBHY-2007 ile TBDY- 2018'de benzer yaklaşık yöntemlerde rijit diyafram kabulü yapılarak ve burulma etkileri ihmal edilerek tanımlanır [22].

DBYBHY-2007'ye göre ikinci mertebe gösterge değeri θ_i'nin Denklem 3.56'daki şartı sağlaması halinde, ikinci mertebe etkileri ilgili şartnameler uyarınca değerlendirilmesi öngörülmüştür. Denklem 3.56'da $(\Delta_i)_{ort}$, göz önüne alınan kata ait düşey elemanlarda hesaplanan azaltılmış göreli kat ötelemelerinin o kattaki ortalama değerini ifade eder.

$$\theta_i = \frac{(\Delta_i)_{ort}\sum_{j=1}^{N} w_j}{V_i h_i} \leq 0.12 \tag{3.56}$$

TBDY-2018'e göre seçilen deprem doğrultusunda (örneğin X) her katta ikinci mertebe gösterge değeri $\theta_{IIi}^{(X)}$, Denklem 3.57 ile verilen bağıntı ile hesaplanacaktır. Denklem

3.57'de $(\Delta_i^{(X)})_{ort}$, göz önüne alınan kata ait düşey elemanlarda hesaplanan azaltılmış göreli kat ötelemelerinin o kattaki ortalama değerini ifade eder.

$$\theta_{II,i}^{(X)} = \frac{(\Delta_i^{(X)})_{ort} \sum_{k=i}^{N} w_k}{V_i^{(X)} h_i} \tag{3.57}$$

TBDY-2018'e göre tüm katlar için bulunan $\theta_{IIi}^{(X)}$ değerlerinin en büyüğü $\theta_{IImax}^{(X)}$ Denklem 3.58 ile verilen şartı sağlarsa, ikinci mertebe etkileri iç kuvvetlerin hesabında dikkate alınmayabilir. Denklem 3.58'de R; taşıyıcı sistem davranış katsayısını, D; dayanım fazlalığı katsayısını, C_h; betonarme binalarda 0.5 olarak alınacak katsayıyı ifade eder.

$$\theta_{IImax}^{(X)} \leq 0.12 \frac{D}{C_h R} \tag{3.58}$$

TBDY-2018'e göre $\theta_{IImax}^{(X)}$ değerinin Denklem 3.58'deki şartı sağlamadığı durumlarda tüm iç kuvvetler, Denklem 3.59 ile verilen ikinci mertebe büyütme katsayısı $\beta_{II}^{(X)}$ kullanılarak arttırılacaktır.

$$\beta_{II}^{(X)} = 0.88 + \frac{C_h R}{D} \theta_{IImax}^{(X)} \geq 1 \tag{3.59}$$

3.6 Depreme Etkisi Altında Binaların Şekil Değiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım İlkeleri

3.6.1 Şekil değiştirmeye göre tasarım yaklaşımının tanımı ve kapsamı

Deprem etkisi altındaki binaların tasarımı için kullanılan iki temel yaklaşımdan biri olan şekil değiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım (ŞGDT) yaklaşımı, DBYBHY-2007'de yalnızca mevcut binaların değerlendirilmesinde kullanılırken; TBDY-2018'de yeni bina tasarımında ve mevcut binaların değerlendirilmesinde kullanılacaktır.

TBDY-2018'e göre ŞGDT yaklaşımında belirlenen performans hedefleri ışığında doğrusal olmayan hesap yaklaşımları kullanılarak elde edilen şekil değiştirme ve iç kuvvet isterleri, sistemin sahip olduğu şekil değiştirme ve iç kuvvet kapasiteleri ile karşılaştırılır. Daha sonra kapasitelerin isterlerin altında olduğu gösterilerek değerlendirme veya tasarım tamamlanır. Sistem kapasitelerinin isterlerden düşük

olması durumunda, eleman boyutları revize edilerek gerekli koşullar sağlanıncaya kadar hesap adımları yinelenir ve şekil değiştirmeye göre tasarım tamamlanır.

3.6.2 Doğrusal olmayan davranış modelleri

Yapısal sistem elemanlarının çeşitli yükler etkisinde gerilme-şekil değiştirme ilişkilerinin, elastik bölge ötesindeki karakteristiklerini tanımlamak için kullanılan doğrusal olmayan davranış modelleri yığılı ve yayılı davranış modelleridir.

3.6.2.1 Yığılı plastik davranış (plastik mafsal) modeli

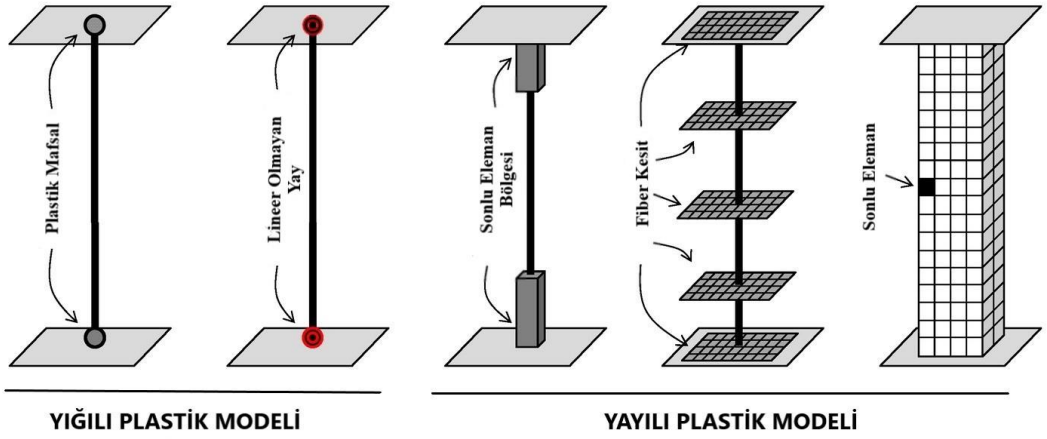
Toplam şekil değiştirmelerin doğrusal şekil değiştirmelere oranı olarak tanımlanan süneklik oranının büyük olduğu ve doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin küçük bir bölgeye yayıldığı sistemlerde, doğrusal olmayan eğilme şekil değiştirmelerin plastik mafsal adı verilen belirli kesitlerde yığıldığı (Şekil 3.15), bunun dışında kalan bölgelerde sistemin doğrusal elastik davrandığı kabul edilebilir [26].

TBDY-2018'e göre kolon ve kirişler çubuk sonlu elemanlar olarak modellenir ve plastik deformasyonların düzgün yayılı şekilde gerçekleştiği varsayılır. Eleman üzerinde plastikleşmenin gerçekleşeceği segmentin isabetli bir şekilde belirlenmesi için plastik mafsal boyu tanımı yapılmış ve belirlenmesine ait koşullara yer verilmiştir.

3.6.2.2 Yayılı plastik davranış modeli

Yayılı plastik mafsal modeli, yapısal eleman kesitlerinin çekirdek betonun, kabuk betonun ve donatının izlendiği lif (fiber) elemanlara bölünerek eleman kesiti içinde ve eleman uzunluğu boyunca yayılı doğrusal olmayan davranışın tahmin edildiği davranış modelidir (Şekil 3.15) [27].

TBDY-2018'e göre yayılı plastik davranış modeli kolon, kiriş ve perde elemanlarında doğrusal olmayan davranış modeli olarak kullanılabilmektedir. Bu modele göre, eleman boyunca plastik mafsal oluşumu eleman uçlarıyla sınırlı kalmayıp eleman boyunca herhangi bir noktada gerçekleşmekte ve doğrusal olmayan davranış, kesit liflerindeki gerilmeler ve şekil değiştirmeler vasıtasıyla tanımlanmaktadır. Böylece yapısal elemanların kesit davranışları daha isabetli bir şekilde belirlenebilmektedir.



Şekil 3.15: Yığılı ve yayılı plastik davranış modelleri [28].

3.6.3 Doğrusal olmayan hesap yöntemleri

TBDY-2018 kapsamında ŞGDT yaklaşımına göre kullanılacak doğrusal olmayan hesap yöntemleri, doğrusal olmayan itme yöntemleri ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemidir. İtme yöntemleri tek modlu ve çok modlu itme yöntemleri olarak ikiye ayrılır. Tek modlu itme yöntemleri BYS ≥ 5 olan ve belirli şartları sağlayan binalar için kullanılabilirken; çok modlu itme yöntemleri BYS ≥ 2 olan tüm binalar için kullanılabilir. Zaman tanım alanında hesap yöntemi ise deprem hesabında tüm binalar için kullanılabilirken; TBDY Bölüm 13 uyarınca yüksek binaların (BYS =1) deprem hesaplarında kullanılması zorunludur.

4. SAYISAL UYGULAMA - BETONARME BİR BİNANIN DBYBHY-2007 VE TBDY-2018'e GÖRE TASARIM VE ANALİZİ

4.1 Genel Bilgiler

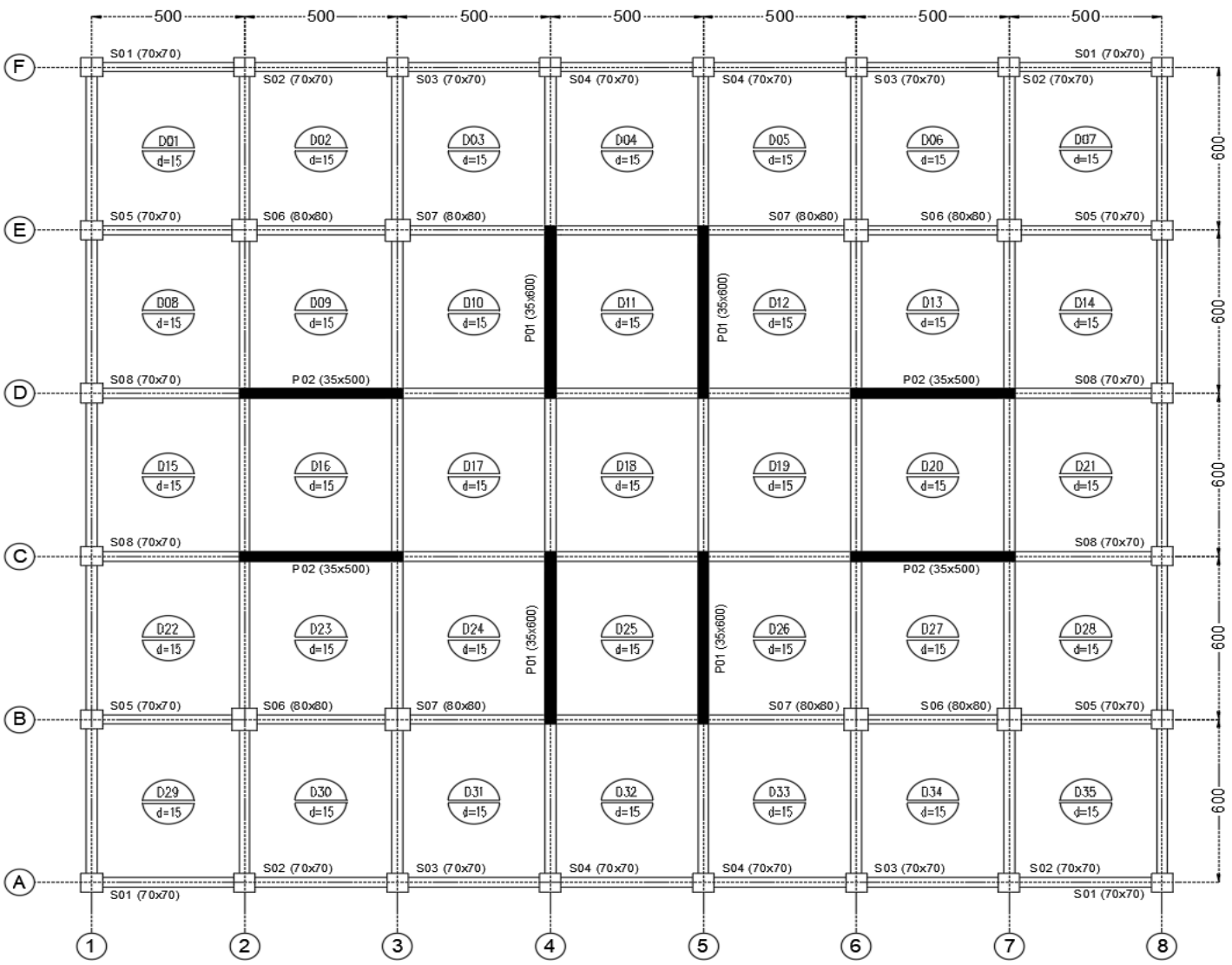
4.1.1 Yapı genel bilgileri

Bu tez çalışması kapsamında 15 katlı betonarme bir binanın DBYBHY-2007'ye ve TBDY-2018'e göre tasarım ve analizi, karşılaştırmalı olarak yapılacaktır. Bu amaçla, ilk önce anılan her iki deprem yönetmeliğinin ve diğer ilgili yönetmeliklerin esas ve usullerine uygun tek bir tasarım modeli oluşturulacaktır. Daha sonra, oluşturulan bu model SAP2000 [29] bilgisayar yazılımıyla her bir deprem yönetmeliği için ayrı ayrı çözümlenecek ve sonuçlar yine her iki yönetmelik için ayrı ayrı derlenip karşılaştırılacaktır. Son olarak, iki çözümden örnek olarak seçilen birer adet taşıyıcı elemanın kesin tasarımı ve donatı detaylandırması yapılacak ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılacaktır.

Bu tez kapsamında kullanılacak olan çok katlı betonarme binanın kalıp planı, taşıyıcı elemanlarına ön boyutların verilmesi doğrultusunda Şekil 4.1'de gösterildiği gibi çizilmiştir. Binaya ait diğer karakteristik bilgilere Çizelge 4.1'de yer verilmiştir.

Çizelge 4.1: Çok katlı betonarme binanın özellikleri.

Kullanım amacı	Konut
Lokasyon	Bursa
Bina boyutları	30.00 x 35.00 m
Kat alanı	1050 m^2
Kat Sayısı	15
Kat yüksekliği	3 m
Yapı yüksekliği	45 m
Taşıyıcı sistem	Betonarme perdeli çerçeve
Döşeme tipi	Kirişli plak
Beton sınıfı	C35/45
Çelik sınıfı	S420



Şekil 4.1: Çok katlı betonarme binaya ait kalıp planı.

4.1.2 Kullanılan yönetmelikler

Bu tez kapsamında yapılacak olan yapısal tasarım ve analiz çalışmasında, DBYBHY-2007, TBDY-2018, Betonarme Yapıların Tasarım ve Kuralları (TS500-2000) ve Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri (TS498-1997) yönetmelik ve standartlarından yararlanılacaktır.

4.1.3 Kullanılan malzemeler

Betonarme yerinde dökme binalarda kullanılacak betonlar için belirlenen minimum beton sınıfı, DBYBHY-2007'de C20/25; TBDY-2018'de C25/30 olarak belirtilmiştir. DBYBHY-2007'de C50/60'tan; TBDY-2018'de ise C80/95'ten daha yüksek basınç dayanımlı betonlar yönetmeliklerin kapsamları dışında bırakılmıştır.

Hem DBYBHY-2007 hem TBDY-2018'e göre TS-500 [30]'deki tanımla uygun olarak kalite denetimi sağlanmış, bakımı yapılmış ve vibratörle yerleştirilmiş beton kullanılması zorunludur. Her iki yönetmelikte de kendiliğinden yerleşen beton için vibratör uygulaması zorunlu kılınmamıştır.

Donatı çeliği ile ilgili olarak, DBYBHY-2007'de etriye, çiroz ve döşeme donatısı dışındaki donatı türlerinde nervürlü çelik kullanımı zorunlu tutulmuşken; TBDY-2018'de tüm donatı türlerinde nervürlü çelik kullanımı zorunludur. DBYBHY-2007'ye göre bazı durumlar haricinde S420'den daha yüksek dayanımlı donatı çeliği kullanılamazken; TBDY-2018'e göre TS-708'de verilen B420C ve B500C donatı çelikleri kullanılacaktır. Ancak çeliğin çekme dayanımının akma dayanımına oranı 1.35'ten küçük olması ($R_m/R_e < 1.35$) ve eşdeğer karbon oranının % 0.55'i aşmaması durumunda S420 çeliği TBDY-2018 kapsamındaki betonarme binalarda kullanılabilir.

Bu çalışma kapsamında modellenecek olan çok katlı betonarme binada kullanılması öngörülen malzeme özellikleri aşağıda Çizelge 4.2. ile verildiği gibidir.

Çizelge 4.2: Çok katlı betonarme binada kullanılacak beton ve donatı çeliği özellikleri.

Beton (C35/40)		Donatı (S420)	
f_{ck} (MPa)	35	f_{yk} (MPa)	420
γ_{mc}	1.5	γ_{ms}	1.15
f_{cd} (MPa)	23	f_{yd} (MPa)	365
E (MPa)	33000	E (MPa)	200000

4.1.4 Yükler ve yük kombinasyonları

Betonarme yapı tasarımında taşıyıcı sistem seçiminden sonraki adım, yapıya kullanım ömrü boyunca etki edecek yüklerin belirlenmesidir. Belirlenen yüklerin isabetli bir şekilde tespit edilmesi, hem taşıyıcı elemanların yeterli dayanıma sahip olacak şekilde tasarlanmasına, hem de eleman boyutlarının fayda/maliyet açısında optimum düzeyde olmasına olanak sağlar.

Bir binaya servis ömrü süresince etki edecek yükler aşağıda verildiği gibidir.

a) Kalıcı yükler (G): yapı öz ağırlığı ve daimi kalıcı imalatların yükleri

b) Hareketli yükler (Q): insanlar, eşyalar, makine ve teçhizatlar, kar yükü

c) Yatay yükler: rüzgâr yükü (W), deprem yükü (E), yatay toprak itkisi (H), sıvı itkisi

d) Diğer yükler (T): Sıcaklık farkı değişimleri, büzülme-sünme, buz yükü, yerel oturma kaynaklı yükler

4.1.4.1 Düşey yükler

Bu çalışma kapsamında çeşitli yüklerin belirlenmesinde TS-498 [31]; malzeme yoğunluklarının seçiminde ise TS ISO-9194 [32] standartları kullanılmıştır. Kat döşemelerindeki yükler, normal katlar ve çatı katı olarak iki kısımda belirlenmiştir. Çatı katı için belirlenen hareketli yüküne kar yükü de dâhil edilmiştir. Ayrıca dış duvarlardan ve iç bölme duvarlardan kaynaklı yükler, üzerlerinde bulundukları kirişlere şerit yayılı yük olarak etki ettirilmiştir. Yapıda balkon veya herhangi başka çıkıntı bulunmamaktadır.

Normal kat döşemelerinde sabit yükler:

Öz ağırlık: (0.15 m) x (25 kN/m^3) = 3.75 kN/m^2

Tesviye betonu: (0.05 m) x (22 kN/m^3) = 1.1 kN/m^2

Kaplama: (0.02 m) x (10 kN/m^3) = 0.2 kN/m^2

Tavan sıvası: (0.02 m) x (20 kN/m^3) = 0.4 kN/m^2

Toplam sabit yük (G) = 5.45 kN/m^2

Normal kat döşemelerinde hareketli yükler:

Hareketli yük: 2 kN/m^2

Toplam hareketli yük (Q) = 2 kN/m^2

Çatı katı döşemesinde sabit yükler:

Öz ağırlık: (0.15 m) x (25 kN/m^3) = 3.75 kN/m^2

Tavan sıvası: (0.02 m) x (20 kN/m^3) = 0.4 kN/m^2

Çatı kaplama ve izolasyon: 0.80 kN/m^2

Toplam sabit yük (G) = 4.95 kN/m^2

Çatı katı döşemesinde hareketli yükler:

Hareketli yük: 2 kN/m^2

Toplam hareketli yük (Q) = 2 kN/m^2

Normal katlarda dış duvar yükü:

Gazbeton bloklar: (0.25 m) x (7.20 kN/m^3) = 1.8 kN/m^2

Duvar net yüksekliği: 2.30 m

Toplam şerit yük = (2.30 m) x (1.8 kN/m^2) = 4.2 kN/m

Normal katlarda iç bölme duvar yükü:

Gazbeton bloklar: (0.15 m) x (7.20 kN/m^3) = 1.08 kN/m^2

Duvar net yüksekliği: 2.30 m

Toplam şerit yük = (2.30 m) x (1.08 kN/m^2) = 2.5 kN/m

4.1.4.2 Kullanılacak yük kombinasyonları

Kesit tesirlerinin belirlenmesinde en elverişsiz durumu bulmak için kullanılan yük kombinasyonları, TS-500, DBYBHY-2007 ve TBDY-2018 şartnameleri ışığında Çizelge 4.3'te verildiği gibi hazırlanmıştır.

Yük kombinasyonlarının hazırlanmasında, deprem yönetmeliklerinde belirtilen deprem analizlerinin birbirine dik iki eksen boyunca yapılması, eleman asal eksen doğrultularındaki kesit tesirleri için verilen ortak etki formülleri ve ek dış merkezlilikler gibi etkenler dikkate alınmıştır.

Çizelge 4.3: Yapısal çözümlemede kullanılacak yük kombinasyonları.

1.4G + 1.6Q			
G + Q ± E		0.9G ± E	
DBYBHY-2007	TBDY-2018	DBYBHY-2007	TBDY-2018
G +Q + EXP + 0.3EYP	G +Q + EXP + 0.3EYP + 0.3EZ	0.9G + EXP + 0.3EYP	0.9G + EXP + 0.3EYP – 0.3EZ
G + Q + EXP - 0.3EYP	G + Q + EXP - 0.3EYP + 0.3EZ	0.9G + EXP - 0.3EYP	0.9G + EXP - 0.3EYP – 0.3EZ
G + Q – EXP + 0.3EYP	G + Q – EXP + 0.3EYP + 0.3EZ	0.9G - EXP + 0.3EYP	0.9G - EXP + 0.3EYP – 0.3EZ
G + Q – EXP - 0.3EYP	G + Q – EXP - 0.3EYP + 0.3EZ	0.9G - EXP - 0.3EYP	0.9G - EXP - 0.3EYP – 0.3EZ
G +Q + EXN + 0.3EYP	G +Q + EXN + 0.3EYP + 0.3EZ	0.9G + EXN + 0.3EYP	0.9G + EXN + 0.3EYP – 0.3EZ
G + Q + EXN - 0.3EYP	G + Q + EXN - 0.3EYP + 0.3EZ	0.9G + EXN - 0.3EYP	0.9G + EXN - 0.3EYP – 0.3EZ
G + Q – EXN + 0.3EYP	G + Q – EXN + 0.3EYP + 0.3EZ	0.9G - EXN + 0.3EYP	0.9G - EXN + 0.3EYP – 0.3EZ
G + Q – EXN - 0.3EYP	G + Q – EXN - 0.3EYP + 0.3EZ	0.9G - EXN - 0.3EYP	0.9G - EXN - 0.3EYP – 0.3EZ
G +Q + EXP + 0.3EYN	G +Q + EXP + 0.3EYN + 0.3EZ	0.9G + EXP + 0.3EYN	0.9G + EXP + 0.3EYN – 0.3EZ
G + Q + EXP - 0.3EYN	G + Q + EXP - 0.3EYN + 0.3EZ	0.9G + EXP - 0.3EYN	0.9G + EXP - 0.3EYN – 0.3EZ
G + Q – EXP + 0.3EYN	G + Q – EXP + 0.3EYN + 0.3EZ	0.9G - EXP + 0.3EYN	0.9G - EXP + 0.3EYN – 0.3EZ
G + Q – EXP - 0.3EYN	G + Q – EXP - 0.3EYN + 0.3EZ	0.9G - EXP - 0.3EYN	0.9G - EXP - 0.3EYN – 0.3EZ
G +Q + EXN + 0.3EYN	G +Q + EXN + 0.3EYN + 0.3EZ	0.9G + EXN + 0.3EYN	0.9G + EXN + 0.3EYN – 0.3EZ
G + Q + EXN - 0.3EYN	G + Q + EXN - 0.3EYN + 0.3EZ	0.9G + EXN - 0.3EYN	0.9G + EXN - 0.3EYN – 0.3EZ
G + Q – EXN + 0.3EYN	G + Q – EXN + 0.3EYN + 0.3EZ	0.9G - EXN + 0.3EYN	0.9G - EXN + 0.3EYN – 0.3EZ
G + Q – EXN - 0.3EYN	G + Q – EXN - 0.3EYN + 0.3EZ	0.9G - EXN - 0.3EYN	0.9G - EXN - 0.3EYN – 0.3EZ
G +Q + EYP + 0.3EXP	G +Q + EYP + 0.3EXP + 0.3EZ	0.9G + EYP + 0.3EXP	0.9G + EYP + 0.3EXP – 0.3EZ
G + Q + EYP - 0.3EXP	G + Q + EYP - 0.3EXP + 0.3EZ	0.9G + EYP - 0.3EXP	0.9G + EYP - 0.3EXP – 0.3EZ
G + Q – EYP + 0.3EXP	G + Q – EYP + 0.3EXP + 0.3EZ	0.9G– EYP + 0.3EXP	0.9G– EYP + 0.3EXP – 0.3EZ
G + Q – EYP - 0.3EXP	G + Q – EYP - 0.3EXP + 0.3EZ	0.9G– EYP - 0.3EXP	0.9G– EYP - 0.3EXP – 0.3EZ

Çizelge 4.3 (devam): Yapısal çözümlemede kullanılacak yük kombinasyonları.

1.4G + 1.6Q			
G + Q ± E		**0.9G ± E**	
DBYBHY-2007	**TBDY-2018**	**DBYBHY-2007**	**TBDY-2018**
G +Q + EYN + 0.3EXP	G +Q + EYN + 0.3EXP + 0.3EZ	0.9G + EYN + 0.3EXP	0.9G + EYN + 0.3EXP – 0.3EZ
G + Q + EYN - 0.3EXP	G + Q + EYN - 0.3EXP + 0.3EZ	0.9G + EYN - 0.3EXP	0.9G + EYN - 0.3EXP – 0.3EZ
G + Q – EYN + 0.3EXP	G + Q – EYN + 0.3EXP + 0.3EZ	0.9G – EYN + 0.3EXP	0.9G – EYN + 0.3EXP – 0.3EZ
G + Q – EYN - 0.3EXP	G + Q – EYN - 0.3EXP + 0.3EZ	0.9G – EYN - 0.3EXP	0.9G – EYN - 0.3EXP – 0.3EZ
G +Q + EYP + 0.3EXN	G +Q + EYP + 0.3EXN + 0.3EZ	0.9G + EYP + 0.3EXN	0.9G + EYP + 0.3EXN – 0.3EZ
G + Q + EYP - 0.3EXN	G + Q + EYP - 0.3EXN + 0.3EZ	0.9G + EYP - 0.3EXN	0.9G + EYP - 0.3EXN – 0.3EZ
G + Q – EYP + 0.3EXN	G + Q – EYP + 0.3EXN + 0.3EZ	0.9G – EYP + 0.3EXN	0.9G – EYP + 0.3EXN – 0.3EZ
G + Q – EYP - 0.3EXN	G + Q – EYP - 0.3EXN + 0.3EZ	0.9G – EYP - 0.3EXN	0.9G – EYP - 0.3EXN – 0.3EZ
G +Q + EYN + 0.3EXN	G +Q + EYN + 0.3EXN + 0.3EZ	0.9G + EYN + 0.3EXN	0.9G + EYN + 0.3EXN – 0.3EZ
G + Q + EYN - 0.3EXN	G + Q + EYN - 0.3EXN + 0.3EZ	0.9G + EYN - 0.3EXN	0.9G + EYN - 0.3EXN – 0.3EZ
G + Q – EYN + 0.3EXN	G + Q – EYN + 0.3EXN + 0.3EZ	0.9G – EYN + 0.3EXN	0.9G – EYN + 0.3EXN – 0.3EZ
G + Q – EYN - 0.3EXN	G + Q – EYN - 0.3EXN + 0.3EZ	0.9G – EYN - 0.3EXN	0.9G – EYN - 0.3EXN – 0.3EZ

Çizelge 4.3'te EXP; X yönünde + % 5 dış merkezlikli yüklemeyi, EXN; X yönünde - % 5 dış merkezlikli yüklemeyi, EYP; Y yönünde + % 5 dış merkezlikli yüklemeyi, EYN; Y yönünde - % 5 dış merkezlikli yüklemeyi, EZ; düşey deprem yüklemesini göstermektedir. Burada her bir dış merkezli yüklemenin pozitif ve negatif durumları da göz önüne alınarak toplamda her bir yönetmelik için 64 adet depremli yük kombinasyonu oluşturulmuştur.

4.1.5 Taşıyıcı sistem elemanlarının ön boyutlandırılması

Bu bölümde, çok katlı betonarme binanın taşıyıcı düşey ve yatay elemanlarının ön boyutlandırmaları TS-500, DBYBHY-2007 ve TBDY-2018 yönetmelikleri doğrultusunda yapılacaktır.

4.1.5.1 Döşemelerin ön boyutlandırılması

Bu çalışma kapsamında analizi ve tasarımı yapılacak binada kullanılacak döşeme tipi, kirişli plak döşeme olarak belirlenmiştir. Bu bölümde, binada kullanılacak her bir döşemenin kalınlığı yönetmelikler ışığında belirlenecektir.

TS-500'e göre döşeme uzun kenarının kısa kenarına oranı (m) 2'den büyük olan (m= L_l / L_s > 2) döşemeler tek doğrultuda çalışan döşemeler olarak tanımlanırken; dört kenarı mesnetli ve uzun kenarının kısa kenarına oranı (m) 2 veya daha küçük olan (m= L_l / L_s ≤ 2) döşemeler çift doğrultuda çalışan döşemeler olarak tanımlanır. Tek doğrultuda çalışan plak döşemelerin kalınlık hesapları için gerekli formüller Denklem 4.1'de; çift doğrultuda çalışan döşemelerin minimum kalınlığı için kullanılan bağıntı Denklem 4.2'de verilmiştir.

$$h_f \geq l_{sn}/25 \text{ (basit mesnetli, tek açıklıklı döşemelerde)}$$

$$h_f \geq l_{sn}/30 \text{ (sürekli döşemelerde)} \qquad (4.1)$$

$$h_f \geq l_{sn}/12 \text{ (konsol döşemelerde)}$$

$$h_f \geq 80 \text{ mm}$$

$$h_f \geq \frac{l_{sn}}{15+\frac{20}{m}}\left(1-\frac{\alpha_s}{4}\right) \qquad (4.2)$$

$$h_f \geq 80 \text{ mm}$$

Denklem 4.1 ve 4.2'de l_{sn}, döşemelerin kısa kenar doğrultusundaki serbest açıklığı ifade eder. Denklem 4.2'deki α_s ise döşeme sürekli kenar uzunlukları toplamının kenar uzunlukları toplamına oranını ifade eder.

Yukarıda verilen bilgiler doğrultusunda ön boyutlandırılması yapılan toplam 35 adet döşemeye ait bilgiler Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4: Çok katlı betonarme binaya ait döşeme ön boyutlandırma işlemi.

Poz	L_l (m)	L_s (m)	m	Tip	L_{sn} (m)	Sürekli Kenar Uz. Top.(m)	Kenar Uz. Top.(m)	α_s	h_{min} (cm)	h_f (cm)
D01	6.00	5.00	1.20	Ç.D	4.65	11.00	22.00	0.50	12.85	15
D02	6.00	5.00	1.20	Ç.D	4.65	17.00	22.00	0.77	11.85	15
D03	6.00	5.00	1.20	Ç.D	4.65	17.00	22.00	0.77	11.85	15
D04	6.00	5.00	1.20	Ç.D	4.65	17.00	22.00	0.77	11.85	15
D05	6.00	5.00	1.20	Ç.D	4.65	17.00	22.00	0.77	11.85	15
D06	6.00	5.00	1.20	Ç.D	4.65	17.00	22.00	0.77	11.85	15
D07	6.00	5.00	1.20	Ç.D	4.65	11.00	22.00	0.50	12.85	15
D08	6.00	5.00	1.20	Ç.D	4.65	16.00	22.00	0.73	12.01	15
D09	6.00	5.00	1.20	Ç.D	4.65	22.00	22.00	1.00	11.01	15
D10	6.00	5.00	1.20	Ç.D	4.65	22.00	22.00	1.00	11.01	15
D11	6.00	5.00	1.20	Ç.D	4.65	22.00	22.00	1.00	11.01	15
D12	6.00	5.00	1.20	Ç.D	4.65	22.00	22.00	1.00	11.01	15
D13	6.00	5.00	1.20	Ç.D	4.65	22.00	22.00	1.00	11.01	15
D14	6.00	5.00	1.20	Ç.D	4.65	16.00	22.00	0.73	12.01	15
D15	6.00	5.00	1.20	Ç.D	4.65	16.00	22.00	0.73	12.01	15
D16	6.00	5.00	1.20	Ç.D	4.65	22.00	22.00	1.00	11.01	15
D17	6.00	5.00	1.20	Ç.D	4.65	22.00	22.00	1.00	11.01	15
D18	6.00	5.00	1.20	Ç.D	4.65	22.00	22.00	1.00	11.01	15
D19	6.00	5.00	1.20	Ç.D	4.65	22.00	22.00	1.00	11.01	15
D20	6.00	5.00	1.20	Ç.D	4.65	22.00	22.00	1.00	11.01	15
D21	6.00	5.00	1.20	Ç.D	4.65	16.00	22.00	0.73	12.01	15
D22	6.00	5.00	1.20	Ç.D	4.65	16.00	22.00	0.73	12.01	15
D23	6.00	5.00	1.20	Ç.D	4.65	22.00	22.00	1.00	11.01	15
D24	6.00	5.00	1.20	Ç.D	4.65	22.00	22.00	1.00	11.01	15
D25	6.00	5.00	1.20	Ç.D	4.65	22.00	22.00	1.00	11.01	15
D26	6.00	5.00	1.20	Ç.D	4.65	22.00	22.00	1.00	11.01	15
D27	6.00	5.00	1.20	Ç.D	4.65	22.00	22.00	1.00	11.01	15
D28	6.00	5.00	1.20	Ç.D	4.65	16.00	22.00	0.73	12.01	15
D29	6.00	5.00	1.20	Ç.D	4.65	11.00	22.00	0.50	12.85	15
D30	6.00	5.00	1.20	Ç.D	4.65	17.00	22.00	0.77	11.85	15
D31	6.00	5.00	1.20	Ç.D	4.65	17.00	22.00	0.77	11.85	15
D32	6.00	5.00	1.20	Ç.D	4.65	17.00	22.00	0.77	11.85	15
D33	6.00	5.00	1.20	Ç.D	4.65	17.00	22.00	0.77	11.85	15
D34	6.00	5.00	1.20	Ç.D	4.65	17.00	22.00	0.77	11.85	15
D35	6.00	5.00	1.20	Ç.D	4.65	11.00	22.00	0.50	12.85	15

4.1.5.2 Kirişlerin ön boyutlandırılması

Kirişler yükleme ve mesnetlenme koşullarına bağlı olarak eğilme momenti, kesme kuvveti, eksenel kuvvetler ve burulma momentlerini alabilirler. TS-500'e göre bir elemanın kiriş olarak boyutlandırılabilmesi için tasarım eksenel basınç kuvveti N_d'nin Denklem 4.3 ile verilen şartı sağlaması gerekmektedir.

$$N_d \leq 0.1 f_{ck} A_c \tag{4.3}$$

Denklem 4.3'te f_{ck}; beton karakteristik basınç dayanımını, A_c; kiriş kesit alanını ifade eder.

TS-500'de kiriş boyutları ile ilgili sınır değerler Denklem 4.4'teki bağıntılarla ifade edilmiştir.

$$\begin{aligned} b_w &\geq 200 \text{ mm} \\ b_w &\leq b_k + h_k \\ h_k &\geq 300 \text{ mm} \\ h_k &\geq 3h_f \end{aligned} \tag{4.4}$$

Denklem 4.4'te h_k; kiriş yüksekliğini, b_w; kiriş gövde genişliğini ve b_k; kirişin mesnetlendiği kolon genişliğini ifade eder.

DBYBHY-2007 ve TBDY-2018 yönetmeliklerine göre süneklik düzeyi yüksek kiriş boyutları ile ilgili sınır değerler Denklem 4.5'teki bağıntılarla ifade edilmiştir.

$$\begin{aligned} b_w &\geq 250 \text{ mm} \\ b_w &\leq b_k + h_k \\ h_k &\geq 300 \text{ mm} \\ h_k &\geq 3h_f \\ h_k &\leq 3.5 b_w \end{aligned} \tag{4.5}$$

Uygulamada kiriş ön boyutlandırma işleminde kiriş yükseklikleri sehim hesabı gerektirmeyecek şekilde seçilir. Kiriş yüksekliği, kiriş hesap açıklığı (L) cinsinden

basit bir bağıntı ile Çizelge 4.5'teki gibi hesaplanır ve kullanılabilirlik sınır durumu için sehim hesabı gerektirmeyecek yüksekliklerden daha büyük seçilebilir. Bu yükseklik çoğu zaman taşıma gücü sınır durumu için de yeterli olmaktadır [33].

Çizelge 4.5: Çok katlı betonarme binaya ait kiriş ön boyutlandırma işlemi.

Kiriş Tipi	Kiriş hesap açıklığı (cm)	Kullanılacak bağıntı	Kiriş yüksekliği (cm)	Seçilen yükseklik (cm)	Kiriş gövde genişliği (cm)
Sürekli kirişlerin kenar açıklığındaki kiriş	600 cm	h_k= L/12	600/12=50	(h_k) = 70 cm	b_w=70/2=35

4.1.5.3 Kolon ön boyutlandırması

Düşey ve yatay kuvvetler etkisindeki kolonlarda, normal kuvvet, kesme kuvveti, eğilme ve burulma momentleri ortaya çıkabilir. Bir binada kolonların yalnızca normal kuvvetler etkisinde kalma ihtimali çok düşüktür. Fakat kolonların ön boyutlandırılmasında, çoğunlukla normal kuvvetler dikkate alınır.

Her bir kolonun alacağı normal kuvvet, kolon çevresinde çizilecek etkili yük alanı kullanılarak hesaplanır. Her kolona ait etkili alandaki yükler, döşemeden gelen sabit ve hareketli yükler, kiriş özağırlığı, duvar ağırlıkları ve kolonun özağırlığından oluşmaktadır.

Tez çalışması kapsamındaki çözülen binanın planı X ve Y eksenlerine göre simetrik olduğundan, sadece S01, S02, S03, S04, S05, S06, S07, S08 kolonlarına ait eksenel yük hesapları yapılacaktır.

Aşağıda, örnek olarak S01 kolonuna etkiyen yüklerin hesap şekli verilmiştir. S01, S02, S03, S04, S05, S06, S07, S08 kolonları eksenel yük değerleri, Çizelge 4.6'da sunulmuştur.

Orta katlarda S01 kolonu için:

Döşeme Ölü Yükü: (5.45 kN/m^2) x (2.50 m) x (3.00 m) = 40.875 kN

Döşeme Hareketli Yükü: (2 kN/m^2) x (2.50 m) x (3.00 m) = 15 kN

Kiriş Özağırlığı: (0.35 m) x (0.55 m) x (25 kN/m^3) x (2.50 + 3.00) = 26.47 kN

Dış Kirişlerde Duvar Yükü: (4.2 kN/m) x (2.50 + 3.00) = 23.1 kN

Kolon Özağırlığı: 45 kN (Öngörülen yük)

Toplam Ölü Yük: 135.45 kN

Toplam Hareketli Yük: 15 kN

Tasarım Yükü: 1.4G + 1.6Q = 1.4 x (135.45) + 1.6 x (15) = 213.63 kN

Çatı katı haricindeki her bir katta, üst katlardan gelen sabit ve hareketli yükler de hesaba katılmıştır.

Çizelge 4.6: Kolon ön boyutlandırma işlemi için belirlenen düşey yükler.

Kat No	Kolon Adı	Döşeme G (kN)	Döşeme Q (kN)	Kiriş (kN)	Duvar (kN)	Kolon (kN)	Üst Kat G (kN)	Üst Kat Q (kN)	Toplam G (kN)	Toplam Q (kN)	Eks. Yük. N_d (kN)
15	S01	37.13	15.00	26.47	0.00	45.00	0.00	0.00	108.59	15.00	176.03
	S02	74.25	30.00	38.50	0.00	45.00	0.00	0.00	157.75	30.00	268.85
	S03	74.25	30.00	38.50	0.00	45.00	0.00	0.00	157.75	30.00	268.85
	S04	74.25	30.00	38.50	0.00	45.00	0.00	0.00	157.75	30.00	268.85
	S05	74.25	30.00	40.91	0.00	45.00	0.00	0.00	160.16	30.00	272.22
	S06	148.50	60.00	52.94	0.00	45.00	0.00	0.00	246.44	60.00	441.01
	S07	148.50	60.00	52.94	0.00	45.00	0.00	0.00	246.44	60.00	441.01
	S08	74.25	30.00	40.91	0.00	45.00	0.00	0.00	160.16	30.00	272.22
14	S01	40.88	15.00	26.47	23.10	45.00	108.59	15.00	244.04	30.00	389.65
	S02	81.75	30.00	38.50	28.50	45.00	157.75	30.00	351.50	60.00	588.10
	S03	81.75	30.00	38.50	28.50	45.00	157.75	30.00	351.50	60.00	588.10
	S04	81.75	30.00	38.50	28.50	45.00	157.75	30.00	351.50	60.00	588.10
	S05	81.75	30.00	40.91	31.45	45.00	160.16	30.00	359.26	60.00	598.97
	S06	163.50	60.00	52.94	27.50	45.00	246.44	60.00	535.38	120.00	941.53
	S07	163.50	60.00	52.94	27.50	45.00	246.44	60.00	535.38	120.00	941.53
	S08	81.75	30.00	40.91	31.45	45.00	160.16	30.00	359.26	60.00	598.97
13	S01	40.88	15.00	26.47	23.10	45.00	244.04	30.00	379.48	45.00	603.27
	S02	81.75	30.00	38.50	28.50	45.00	351.50	60.00	545.25	90.00	907.35
	S03	81.75	30.00	38.50	28.50	45.00	351.50	60.00	545.25	90.00	907.35
	S04	81.75	30.00	38.50	28.50	45.00	351.50	60.00	545.25	90.00	907.35
	S05	81.75	30.00	40.91	31.45	45.00	359.26	60.00	558.37	90.00	925.72
	S06	163.50	60.00	52.94	27.50	45.00	535.38	120.00	824.31	180.00	1442.04
	S07	163.50	60.00	52.94	27.50	45.00	535.38	120.00	824.31	180.00	1442.04
	S08	81.75	30.00	40.91	31.45	45.00	359.26	60.00	558.37	90.00	925.72
12	S01	40.88	15.00	26.47	23.10	45.00	379.48	45.00	514.93	60.00	816.90
	S02	81.75	30.00	38.50	28.50	45.00	545.25	90.00	739.00	120.00	1226.60
	S03	81.75	30.00	38.50	28.50	45.00	545.25	90.00	739.00	120.00	1226.60
	S04	81.75	30.00	38.50	28.50	45.00	545.25	90.00	739.00	120.00	1226.60
	S05	81.75	30.00	40.91	31.45	45.00	558.37	90.00	757.48	120.00	1252.47
	S06	163.50	60.00	52.94	27.50	45.00	824.31	180.00	1113.25	240.00	1942.55
	S07	163.50	60.00	52.94	27.50	45.00	824.31	180.00	1113.25	240.00	1942.55
	S08	81.75	30.00	40.91	31.45	45.00	558.37	90.00	757.48	120.00	1252.47

Çizelge 4.6 (devam): Kolon ön boyutlandırma işlemi için belirlenen düşey yükler.

Kat No	Kolon Adı	Döşeme G (kN)	Döşeme Q (kN)	Kiriş (kN)	Duvar (kN)	Kolon (kN)	Üst Kat G (kN)	Üst Kat Q (kN)	Toplam G (kN)	Toplam Q (kN)	Eks. Yük. N_d (kN)
11	S01	40.88	15.00	26.47	23.10	45.00	514.93	60.00	650.37	75.00	1030.52
	S02	81.75	30.00	38.50	28.50	45.00	739.00	120.00	932.75	150.00	1545.85
	S03	81.75	30.00	38.50	28.50	45.00	739.00	120.00	932.75	150.00	1545.85
	S04	81.75	30.00	38.50	28.50	45.00	739.00	120.00	932.75	150.00	1545.85
	S05	81.75	30.00	40.91	31.45	45.00	757.48	120.00	956.58	150.00	1579.21
	S06	163.50	60.00	52.94	27.50	45.00	1113.25	240.00	1402.19	300.00	2443.06
	S07	163.50	60.00	52.94	27.50	45.00	1113.25	240.00	1402.19	300.00	2443.06
	S08	81.75	30.00	40.91	31.45	45.00	757.48	120.00	956.58	150.00	1579.21
10	S01	40.88	15.00	26.47	23.10	45.00	650.37	75.00	785.81	90.00	1244.14
	S02	81.75	30.00	38.50	28.50	45.00	932.75	150.00	1126.50	180.00	1865.10
	S03	81.75	30.00	38.50	28.50	45.00	932.75	150.00	1126.50	180.00	1865.10
	S04	81.75	30.00	38.50	28.50	45.00	932.75	150.00	1126.50	180.00	1865.10
	S05	81.75	30.00	40.91	31.45	45.00	956.58	150.00	1155.69	180.00	1905.96
	S06	163.50	60.00	52.94	27.50	45.00	1402.19	300.00	1691.13	360.00	2943.58
	S07	163.50	60.00	52.94	27.50	45.00	1402.19	300.00	1691.13	360.00	2943.58
	S08	81.75	30.00	40.91	31.45	45.00	956.58	150.00	1155.69	180.00	1905.96
9	S01	40.88	15.00	26.47	23.10	45.00	785.81	90.00	921.26	105.00	1457.76
	S02	81.75	30.00	38.50	28.50	45.00	1126.50	180.00	1320.25	210.00	2184.35
	S03	81.75	30.00	38.50	28.50	45.00	1126.50	180.00	1320.25	210.00	2184.35
	S04	81.75	30.00	38.50	28.50	45.00	1126.50	180.00	1320.25	210.00	2184.35
	S05	81.75	30.00	40.91	31.45	45.00	1155.69	180.00	1354.79	210.00	2232.71
	S06	163.50	60.00	52.94	27.50	45.00	1691.13	360.00	1980.06	420.00	3444.09
	S07	163.50	60.00	52.94	27.50	45.00	1691.13	360.00	1980.06	420.00	3444.09
	S08	81.75	30.00	40.91	31.45	45.00	1155.69	180.00	1354.79	210.00	2232.71
8	S01	40.88	15.00	26.47	23.10	45.00	921.26	105.00	1056.70	120.00	1671.38
	S02	81.75	30.00	38.50	28.50	45.00	1320.25	210.00	1514.00	240.00	2503.60
	S03	81.75	30.00	38.50	28.50	45.00	1320.25	210.00	1514.00	240.00	2503.60
	S04	81.75	30.00	38.50	28.50	45.00	1320.25	210.00	1514.00	240.00	2503.60
	S05	81.75	30.00	40.91	31.45	45.00	1354.79	210.00	1553.90	240.00	2559.46
	S06	163.50	60.00	52.94	27.50	45.00	1980.06	420.00	2269.00	480.00	3944.60
	S07	163.50	60.00	52.94	27.50	45.00	1980.06	420.00	2269.00	480.00	3944.60
	S08	81.75	30.00	40.91	31.45	45.00	1354.79	210.00	1553.90	240.00	2559.46
7	S01	40.88	15.00	26.47	23.10	45.00	1056.70	120.00	1192.14	135.00	1885.00
	S02	81.75	30.00	38.50	28.50	45.00	1514.00	240.00	1707.75	270.00	2822.85
	S03	81.75	30.00	38.50	28.50	45.00	1514.00	240.00	1707.75	270.00	2822.85
	S04	81.75	30.00	38.50	28.50	45.00	1514.00	240.00	1707.75	270.00	2822.85
	S05	81.75	30.00	40.91	31.45	45.00	1553.90	240.00	1753.01	270.00	2886.21
	S06	163.50	60.00	52.94	27.50	45.00	2269.00	480.00	2557.94	540.00	4445.11
	S07	163.50	60.00	52.94	27.50	45.00	2269.00	480.00	2557.94	540.00	4445.11
	S08	81.75	30.00	40.91	31.45	45.00	1553.90	240.00	1753.01	270.00	2886.21

Çizelge 4.6 (devam): Kolon ön boyutlandırma işlemi için belirlenen düşey yükler.

Kat No	Kolon Adı	Döşeme G (kN)	Döşeme Q (kN)	Kiriş (kN)	Duvar (kN)	Kolon (kN)	Üst Kat G (kN)	Üst Kat Q (kN)	Toplam G (kN)	Toplam Q (kN)	Eks. Yük. N_d (kN)
6	S01	40.88	15.00	26.47	23.10	45.00	1192.14	135.00	1327.59	150.00	2098.62
	S02	81.75	30.00	38.50	28.50	45.00	1707.75	270.00	1901.50	300.00	3142.10
	S03	81.75	30.00	38.50	28.50	45.00	1707.75	270.00	1901.50	300.00	3142.10
	S04	81.75	30.00	38.50	28.50	45.00	1707.75	270.00	1901.50	300.00	3142.10
	S05	81.75	30.00	40.91	31.45	45.00	1753.01	270.00	1952.11	300.00	3212.96
	S06	163.50	60.00	52.94	27.50	45.00	2557.94	540.00	2846.88	600.00	4945.63
	S07	163.50	60.00	52.94	27.50	45.00	2557.94	540.00	2846.88	600.00	4945.63
	S08	81.75	30.00	40.91	31.45	45.00	1753.01	270.00	1952.11	300.00	3212.96
5	S01	40.88	15.00	26.47	23.10	45.00	1327.59	150.00	1463.03	165.00	2312.24
	S02	81.75	30.00	38.50	28.50	45.00	1901.50	300.00	2095.25	330.00	3461.35
	S03	81.75	30.00	38.50	28.50	45.00	1901.50	300.00	2095.25	330.00	3461.35
	S04	81.75	30.00	38.50	28.50	45.00	1901.50	300.00	2095.25	330.00	3461.35
	S05	81.75	30.00	40.91	31.45	45.00	1952.11	300.00	2151.22	330.00	3539.71
	S06	163.50	60.00	52.94	27.50	45.00	2846.88	600.00	3135.81	660.00	5446.14
	S07	163.50	60.00	52.94	27.50	45.00	2846.88	600.00	3135.81	660.00	5446.14
	S08	81.75	30.00	40.91	31.45	45.00	1952.11	300.00	2151.22	330.00	3539.71
4	S01	40.88	15.00	26.47	23.10	45.00	1463.03	165.00	1598.48	180.00	2525.87
	S02	81.75	30.00	38.50	28.50	45.00	2095.25	330.00	2289.00	360.00	3780.60
	S03	81.75	30.00	38.50	28.50	45.00	2095.25	330.00	2289.00	360.00	3780.60
	S04	81.75	30.00	38.50	28.50	45.00	2095.25	330.00	2289.00	360.00	3780.60
	S05	81.75	30.00	40.91	31.45	45.00	2151.22	330.00	2350.33	360.00	3866.46
	S06	163.50	60.00	52.94	27.50	45.00	3135.81	660.00	3424.75	720.00	5946.65
	S07	163.50	60.00	52.94	27.50	45.00	3135.81	660.00	3424.75	720.00	5946.65
	S08	81.75	30.00	40.91	31.45	45.00	2151.22	330.00	2350.33	360.00	3866.46
3	S01	40.88	15.00	26.47	23.10	45.00	1598.48	180.00	1733.92	195.00	2739.49
	S02	81.75	30.00	38.50	28.50	45.00	2289.00	360.00	2482.75	390.00	4099.85
	S03	81.75	30.00	38.50	28.50	45.00	2289.00	360.00	2482.75	390.00	4099.85
	S04	81.75	30.00	38.50	28.50	45.00	2289.00	360.00	2482.75	390.00	4099.85
	S05	81.75	30.00	40.91	31.45	45.00	2350.33	360.00	2549.43	390.00	4193.20
	S06	163.50	60.00	52.94	27.50	45.00	3424.75	720.00	3713.69	780.00	6447.16
	S07	163.50	60.00	52.94	27.50	45.00	3424.75	720.00	3713.69	780.00	6447.16
	S08	81.75	30.00	40.91	31.45	45.00	2350.33	360.00	2549.43	390.00	4193.20
2	S01	40.88	15.00	26.47	23.10	45.00	1733.92	195.00	1869.36	210.00	2953.11
	S02	81.75	30.00	38.50	28.50	45.00	2482.75	390.00	2676.50	420.00	4419.10
	S03	81.75	30.00	38.50	28.50	45.00	2482.75	390.00	2676.50	420.00	4419.10
	S04	81.75	30.00	38.50	28.50	45.00	2482.75	390.00	2676.50	420.00	4419.10
	S05	81.75	30.00	40.91	31.45	45.00	2549.43	390.00	2748.54	420.00	4519.95
	S06	163.50	60.00	52.94	27.50	45.00	3713.69	780.00	4002.63	840.00	6947.68
	S07	163.50	60.00	52.94	27.50	45.00	3713.69	780.00	4002.63	840.00	6947.68
	S08	81.75	30.00	40.91	31.45	45.00	2549.43	390.00	2748.54	420.00	4519.95

Çizelge 4.6 (devam): Kolon ön boyutlandırma işlemi için belirlenen düşey yükler.

Kat No	Kolon Adı	Döşeme G (kN)	Döşeme Q (kN)	Kiriş (kN)	Duvar (kN)	Kolon (kN)	Üst Kat G (kN)	Üst Kat Q (kN)	Toplam G (kN)	Toplam Q (kN)	Eks. Yük. N_d (kN)
1	S01	40.88	15.00	26.47	23.10	45.00	1869.36	210.00	2004.81	225.00	3166.73
	S02	81.75	30.00	38.50	28.50	45.00	2676.50	420.00	2870.25	450.00	4738.35
	S03	81.75	30.00	38.50	28.50	45.00	2676.50	420.00	2870.25	450.00	4738.35
	S04	81.75	30.00	38.50	28.50	45.00	2676.50	420.00	2870.25	450.00	4738.35
	S05	81.75	30.00	40.91	31.45	45.00	2748.54	420.00	2947.64	450.00	4846.70
	S06	163.50	60.00	52.94	27.50	45.00	4002.63	840.00	4291.56	900.00	7448.19
	S07	163.50	60.00	52.94	27.50	45.00	4002.63	840.00	4291.56	900.00	7448.19
	S08	81.75	30.00	40.91	31.45	45.00	2748.54	420.00	2947.64	450.00	4846.70

Kolonlarda gevrek kırılma oluşumunun engellenmesi için yönetmelikler normal kuvvetlere bir üst sınır getirilmiştir. TS-500, DBYBHY-2007 ve TBDY-2018 yönetmeliklerinde süneklik düzeyi yüksek kolonlar için normal kuvvetlerin sınırlandırılmasıyla ilgili verilen bağıntılar Denklem 4.6'da gösterilmiştir.

$$N_d \leq 0.60 f_{ck} A_c \quad \text{(TS-500)}$$

$$N_{dm} \leq 0.50 f_{ck} A_c \quad \text{(DBYBHY-2007)} \qquad (4.6)$$

$$N_{dm} \leq 0.40 f_{ck} A_c \quad \text{(TBDY-2018)}$$

Denklemde 4.6'da N_d; yük kombinasyonlarından hesaplanan tasarım eksenel kuvvetini; N_{dm}, düşey yüklerin ve deprem yüklerinin ortak etkisi altındaki maksimum eksenel basınç kuvvetini; A_c, kolon net kesit alanını ifade eder.

Süneklik düzeyi yüksek kolon enkesit boyutları ile ilgili olarak, TS-500 ve DBYBHY-2007'de dikdörtgen kesitli kolonlarda kesit genişliğinin 250 mm'den az olamayacağı; TBDY-2018'de ise dikdörtgen kesitli kolonlarda kesit genişliğinin 300 mm'den az olamayacağı belirtilmiştir.

Bu bilgiler ve Çizelge 4.6 ile verilen tasarım eksenel kuvvetleri doğrultusunda, aşağıda 1. kattaki S01 kolonunun boyutlandırılması aşağıda gösterilmiş olup, diğer tüm kolonların ön boyutlandırması Çizelge 4.7 ile sunulmuştur.

1. katta S01 kolonu için:

$A_c \geq N_{dm} / 0.40 f_{ck}$

$A_c \geq (3166.73 \text{ kN}) / (0.40 \times 35000 \text{ kPa}) = 0.23 \text{ m}^2$

Seçilen kolon boyutları 70 x 70 cm (A_c = 0.49 $m^2 \geq$ 0.23 m^2)

b ≥ 300 mm, (TBDY-2018 koşulu)

350 mm ≥ 300 mm (TBDY-2018 koşulu)

Binada kullanılacak kolonların tümü kare kesit seçilmiştir. Tüm kolonlar, en kritik düşey yüklerin bulunduğu 1. kattaki eksenel yük değerlerine göre boyutlandırılmış ve tüm katlarda kolon boyutları aynı seçilmiştir.

Çizelge 4.7: Kolon ön boyutları.

Kolon	N_d (kN)	f_{ck} (kPa)	Gerekli Alan (m^2)	Seçilen Boyut (cm x cm)	Alan (m^2)
S01	3166.73	35000	0.23	70 x 70	0.49
S02	4738.35	35000	0.34	70 x 70	0.49
S03	4738.35	35000	0.34	70 x 70	0.49
S04	4738.35	35000	0.34	70 x 70	0.49
S05	4846.70	35000	0.35	70 x 70	0.49
S06	7448.19	35000	0.53	80 x 80	0.64
S07	7448.19	35000	0.53	80 x 80	0.64
S08	4846.70	35000	0.35	70 x 70	0.49

4.1.5.4 Perdelerin ön boyutlandırılması

Kolonların yanında diğer düşey taşıyıcı eleman olan betonarme perdeler, binaların yatay rijitliğini arttırarak ötelemelerin sınırlandırılmasında önemli rol oynarlar. Binalara servis ömrü boyunca etki edecek deprem ve rüzgâr yükleri gibi yatay kuvvetlerin büyük bir bölümü bu perdeler tarafından karşılanır.

TS-500 ve DBYBHY-2007'de betonarme perdeler, planda uzun kenarın (L_w), kısa kenara (b_w) oranı minimum 7 olan düşey taşıyıcı elemanlar olarak tanımlanırken; TBDY-2018'de bu oran 6'ya indirilmiştir.

TS-500, DBYBHY-2007 ve TBDY-2018'e göre süneklik düzeyi yüksek betonarme perde kalınlığı (b_w) koşulları, Denklem 4.7'de verilen bağıntılarla tanımlanmıştır. Denklem 4.7'de h_i, kat yüksekliğini ifade etmektedir.

$$b_w \geq 150 \text{ mm} \qquad \text{(TS-500)}$$

$$b_w \geq h_i / 20 \text{ ve } 200 \text{ mm} \qquad \text{(DBYBHY-2007)} \qquad (4.7)$$

$$b_w \geq h_i/16 \text{ ve } 250 \text{ mm} \qquad \text{(TBDY-2018)}$$

TBDY-2018'de süneklik düzeyi yüksek perdeler için belirlenecek net enkesit alanı, kolonlarda uygulanan mantıkla paralel şekilde, düşey yüklerin ve deprem yüklerinin ortak etkisi altındaki maksimum eksenel basınç kuvveti (N_{dm}) ve beton sınıfına bağlı olarak Denklem 4.8'deki gibi verilmiştir.

$$A_c \geq N_{dm} / (0.35 f_{ck}) \quad \text{(TBDY-2018)} \tag{4.8}$$

DBYBHY-2007 ve TBDY-2018'e göre toplam perde yüksekliği (H_w)'nin, plandaki perde uzunluğu (L_w)'ye oranı 2'den büyük olduğu durumlarda ($H_w/L_w > 2$) perde uç bölgeleri oluşturulması gereklidir. Uç bölgeleri, perde kendi kalınlığı içinde veya perdeye birleşen diğer bir perdenin içinde teşkil edilebilir.

DBYBHY-2007 ve TBDY-2018'e göre temel üst kotundan, ya da, perdelerin boyunun plandaki uzunluklarının % 20'den daha fazlası kadar küçüldükleri noktadan itibaren kritik perde yüksekliği (H_{cr}) belirlenecektir. Kritik perde yüksekliğinin belirlenmesi ile ilgili sınırlar Denklem 4.9 ile verilmiştir. Toplam perde yüksekliği H_w, temel üstünden ölçülen toplam perde yüksekliğini ifade eder.

$$2L_w \geq H_{cr} \geq \max[L_w : H_w/6] \tag{4.9}$$

Bu tez çalışması kapsamında kullanılacak bina planında, bodrum ve zemin kat perdeleri kullanılmamıştır. Bina orta bölgesine yakın şekilde konumlandırılan iki farklı boyutta 8 adet perde düşünülmüş olup tüm perdeler planda X ve Y eksenlerine göre simetrik şekilde yerleştirilmiştir.

Perde en kesitlerinin ön boyutlandırılmasında kullanılacak düşey yükler, perde çevrelerinde çizilecek etkili yük alanı kullanılarak hesaplanabilir. Her perdeye ait etkili alandaki yükler, döşeme sabit ve hareketli yükleri, kiriş ağırlıkları, duvar ağırlıkları ve perdenin kendi ağırlığından oluşmaktadır.

Tez çalışması kapsamındaki binanın planı X ve Y eksenlerine göre simetrik olduğu için, sadece P01 ve P02 perdelerine ait yük hesaplamalarının yapılması yeterlidir.

Aşağıda, örnek olarak P01 perdesine etkiyen yüklerin hesaplanmasına yer verilmiştir. Tüm katlarda P01 ve P02 perdelerine etkiyen düşey yük değerleri, Çizelge 4.8 ile sunulmuştur.

Orta katlarda P01 perdesi için:

Döşeme Ölü Yükü: (5.45 kN/m^2) x (5.00 m) x (12.00 m) = 327 kN

Döşeme Hareketli Yükü: (2 kN/m^2) x (5.00 m) x (12.00 m) = 120 kN

Kiriş Öz Yükü: (0.35 m) x (0.55 m) x (25 kN/m^3) x (16.00 m) = 77 kN

İç Kirişlerde Duvar Yükü: (2.5 kN/m) x (16.00 m) = 40 kN

Perde Öz Yükü: 150 kN (Öngörülen yük)

Toplam Ölü Yük: 594 kN

Toplam Hareketli Yük: 120 kN

Toplam Tasarım Yükü: 1.4G + 1.6Q = 1.4 x (594) + 1.6 x (120) = 1023.6 kN

Yukarıda hesaplanan yüklere ek olarak, çatı katı haricindeki her bir katta, üst katlardan gelen sabit ve hareketli yükler de hesaba katılmıştır. Tüm katlarda P01 ve P02 perdelerine etkiyecek düşey yükler Çizelge 4.8 ile verilmiştir.

Çizelge 4.8 ile verilen tasarım eksenel kuvvetleri doğrultusunda, aşağıda 1. kattaki P01 perdesinin boyutlandırılması işlemine yer verilmiştir. Tüm perdelerin ön boyutları Çizelge 4.9 ile sunulmuştur.

1. katta P01 perdesi için:

$A_c \geq N_{dm} / 0.35 f_{ck}$

$A_c \geq$ (15256.00 kN) / (0.35 x 35000 kPa) = 1.25 m^2

Seçilen perde boyutları 35 x 600 cm (A_c = 2.1 $m^2 \geq$ 1.25 m^2)

$b_w \geq$ 250 mm, (TBDY-2018 koşulu)

350 mm ≥ 250 mm (TBDY-2018 koşulu)

Çizelge 4.8: Perde ön boyutlandırma işlemi için belirlenen düşey yükler.

Kat No	Perde Adı	Döşeme G (kN)	Döşeme Q (kN)	Kiriş (kN)	Duvar (kN)	Kolon (kN)	Üst Kat G (kN)	Üst Kat Q (kN)	Toplam G (kN)	Toplam Q (kN)	Eks. Yük. N_d (kN)
15	P01	297.00	120.00	77.00	0.00	150.00	0.00	0.00	524.00	120.00	925.60
	P02	297.00	120.00	81.81	0.00	150.00	0.00	0.00	528.81	120.00	932.34
14	P01	327.00	120.00	77.00	40.00	150.00	524.00	120.00	1118.00	240.00	1949.20
	P02	327.00	120.00	81.81	42.50	150.00	528.81	120.00	1130.13	240.00	1966.18
13	P01	327.00	120.00	77.00	40.00	150.00	1118.00	240.00	1712.00	360.00	2972.80
	P02	327.00	120.00	81.81	42.50	150.00	1130.13	240.00	1731.44	360.00	3000.01
12	P01	327.00	120.00	77.00	40.00	150.00	1712.00	360.00	2306.00	480.00	3996.40
	P02	327.00	120.00	81.81	42.50	150.00	1731.44	360.00	2332.75	480.00	4033.85
11	P01	327.00	120.00	77.00	40.00	150.00	2306.00	480.00	2900.00	600.00	5020.00
	P02	327.00	120.00	81.81	42.50	150.00	2332.75	480.00	2934.06	600.00	5067.69
10	P01	327.00	120.00	77.00	40.00	150.00	2900.00	600.00	3494.00	720.00	6043.60
	P02	327.00	120.00	81.81	42.50	150.00	2934.06	600.00	3535.38	720.00	6101.53
9	P01	327.00	120.00	77.00	40.00	150.00	3494.00	720.00	4088.00	840.00	7067.20
	P02	327.00	120.00	81.81	42.50	150.00	3535.38	720.00	4136.69	840.00	7135.36
8	P01	327.00	120.00	77.00	40.00	150.00	4088.00	840.00	4682.00	960.00	8090.80
	P02	327.00	120.00	81.81	42.50	150.00	4136.69	840.00	4738.00	960.00	8169.20
7	P01	327.00	120.00	77.00	40.00	150.00	4682.00	960.00	5276.00	1080.00	9114.40
	P02	327.00	120.00	81.81	42.50	150.00	4738.00	960.00	5339.31	1080.00	9203.04
6	P01	327.00	120.00	77.00	40.00	150.00	5276.00	1080.00	5870.00	1200.00	10138.00
	P02	327.00	120.00	81.81	42.50	150.00	5339.31	1080.00	5940.63	1200.00	10236.88
5	P01	327.00	120.00	77.00	40.00	150.00	5870.00	1200.00	6464.00	1320.00	11161.60
	P02	327.00	120.00	81.81	42.50	150.00	5940.63	1200.00	6541.94	1320.00	11270.71
4	P01	327.00	120.00	77.00	40.00	150.00	6464.00	1320.00	7058.00	1440.00	12185.20
	P02	327.00	120.00	81.81	42.50	150.00	6541.94	1320.00	7143.25	1440.00	12304.55
3	P01	327.00	120.00	77.00	40.00	150.00	7058.00	1440.00	7652.00	1560.00	13208.80
	P02	327.00	120.00	81.81	42.50	150.00	7143.25	1440.00	7744.56	1560.00	13338.39
2	P01	327.00	120.00	77.00	40.00	150.00	7652.00	1560.00	8246.00	1680.00	14232.40
	P02	327.00	120.00	81.81	42.50	150.00	7744.56	1560.00	8345.88	1680.00	14372.23
1	P01	327.00	120.00	77.00	40.00	150.00	8246.00	1680.00	8840.00	1800.00	15256.00
	P02	327.00	120.00	81.81	42.50	150.00	8345.88	1680.00	8947.19	1800.00	15406.06

Çizelge 4.9: Perde ön boyutları.

Perde	N_d (kN)	f_{ck} (kPa)	Gerekli Alan (m^2)	Seçilen Boyut (cm x cm)	Alan (m^2)
P01	15256.00	35000	1.25	35 x 600	2.1
P02	15406.06	35000	1.26	35 x 500	1.75

4.2 Çok Katlı Betonarme Binanın DBYBHY-2007'ye Göre Tasarım ve Analizi

DBYBHY-2007'ye göre yeni yapılacak bir binada uygulanacak depreme dayanıklı yapı tasarım felsefesi; hafif deprem etkisi altında binalarda yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda hasar oluşmaması, orta büyüklükteki deprem etkisi altında binalarda yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda hasarın sınırlı ve onarılabilir düzeyde kalması, şiddetli deprem etkisi altında ise binalarda can güvenliğinin temini için kalıcı yapısal hasarın sınırlandırılmasıdır.

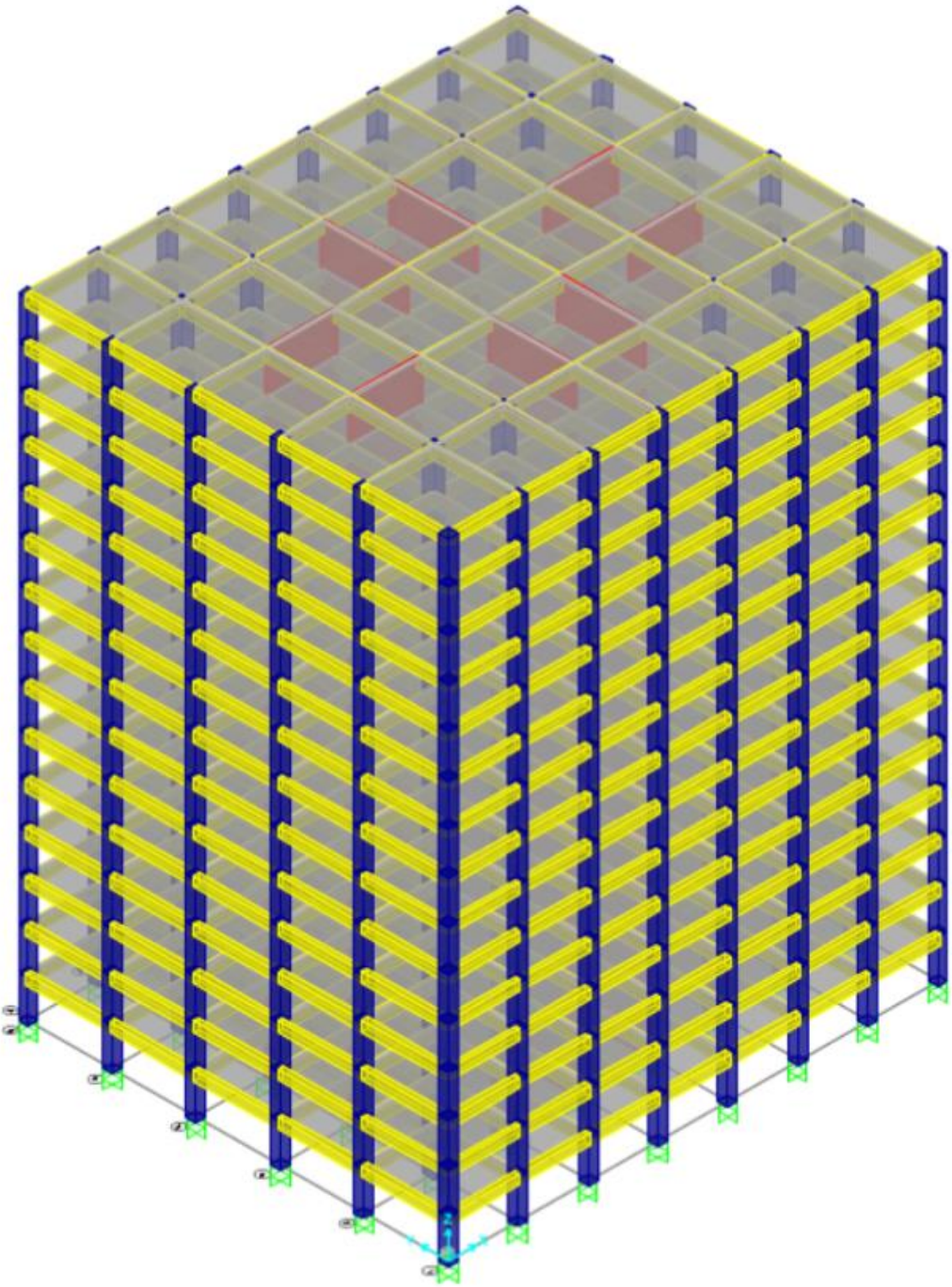
DBYBHY-2007'ye göre bir binada deprem yüklerini taşıyacak olan her bir eleman, bu yükleri temel zeminine kadar sürekli ve emniyetli bir şekilde iletecek düzeyde yeterli rijitlik, kararlılık ve dayanıma sahip olmalıdır.

DBYBHY-2007'de yeni yapılacak binaların hesaplarında kullanılacak tasarım depremi, şiddetli depreme karşılık gelen ve bina önem katsayısı I=1 olan yapılar için 50 yıllık bir sürede aşılma olasılığı % 10 olan depremdir.

4.2.1 Bina modelleme bilgileri

Bu tez kapsamında tasarımı yapılan çok katlı betonarme binaya ait tasarım ve analiz adımları, Şekil 4.1'de verilen kalıp planı ve Çizelge 4.1'de verilen bina genel özellikleri doğrultusunda SAP2000 bilgisayar programı aracılığıyla gerçekleştirilmiştir.

Tez konusu binada kullanılacak tüm elemanlar için ön boyutlandırma işlemi yapıldıktan sonra, binanın üç boyutlu modeli SAP2000 bilgisayar yazılımı kullanılarak hazırlanmıştır. Bu modelleme çalışması kapsamında programda öncelikle bina aksları yerleştirilmiştir. Daha sonra binada kullanılacak C35/45 sınıfı beton ve S420 türü donatı çeliğinin malzeme özellikleri ve tüm taşıyıcı elemanların kesit tanımlamaları yapılmıştır. Bu aşamada, kolon ve kirişler çubuk (Frame) eleman olarak; perde ve döşemeler kabuk (Shell) eleman olarak tanımlanmıştır. Bina modeli çizilip eleman atamaları yapıldıktan sonra, alan elemanlara (perde ve döşemeler) ait hesaplarda daha isabetli sonuçların elde edilmesi amacıyla bu elemanlar sonlu sayıda küçük parçalara bölünmüştür. Bu işlemi takiben her kat seviyesinde düğüm noktalarının yatay yükler altında ortak hareketini sağlamak için rijit diyafram ataması yapılmıştır. Son olarak düşey elemanlara zemin seviyesinde ankastre mesnet tanımı yapılarak bina modeli hazır hale getirilmiştir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2: Çok katlı betonarme binanın SAP2000 modeli.

Bina modeli eleman ön boyutları ile oluşturulduktan sonra SAP2000 programında, mod şekilleri, bina hakim periyotları ve kat kütlelerinin belirlenmesi için Modal Analiz, katlara etkiyecek deprem kuvvetleri ve taban kesme kuvvetlerinin tayini için Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ile Analiz ve mod şekillerinin katkılarının birleştirildiği mod birleştirme yöntemi için Spektrum Analiz yöntemleri kullanılmıştır.

Daha önce belirlenen yük kombinasyonları da programda girilerek kesit tesirleri ile yer değiştirmeler bulunmuş ve gerekli kontroller yapılmıştır.

4.2.2 Modal analiz ile bina hakim periyotları ve kat kütlelerinin bulunması

Modal analizde, X ve Y eksenlerinde ötelenme; Z ekseni etrafında dönme serbestliği için her katta 3 adet olmak üzere 15 katlı yapıda toplam 45 adet mod göz önüne alınmıştır. Ayrıca bu analiz ile DBYBHY-2007'de belirtilen hesaba katılacak kütle katılım oranının birbirine dik iki deprem doğrultusunun her birinde % 90'dan fazla olması şartı kontrol edilmiştir. Hesaba katılacak etkin kütlelerin toplamı % 90 şartını sağlamazsa, hesaplarda dikkate alınacak mod sayısı arttırılarak hesabın tekrarlanması gerekmektedir. Yapılan analiz sonucunda elde edilen bina periyotları ve kütle katılım oranları Çizelge 4.10 ile verilmiştir.

Çizelge 4.10: Bina periyotları ve modal katkılar.

Analiz Türü	Mod No	Periyot	UX	UY	RZ	Toplam UX	Toplam UY	Toplam RZ
MODAL	1	1.04684	0.74757	0	0	0.74757	0	0
MODAL	2	1.01384	0	0.73573	0	0.74757	0.73573	0
MODAL	3	0.98152	0	0	0.80592	0.74757	0.73573	0.80592
MODAL	4	0.32229	2.633E-19	8.566E-19	0.09885	0.74757	0.73573	0.90477
MODAL	5	0.31779	0.12521	7.535E-16	2.261E-17	0.87279	0.73573	0.90477
MODAL	6	0.29885	4.59E-17	0.13112	1.18E-18	0.87279	0.86684	0.90477
MODAL	7	0.18709	4.497E-16	4.521E-16	0.03617	0.87279	0.86684	0.94094
MODAL	8	0.16427	0.04708	1.173E-18	8.521E-16	0.91987	0.86684	0.94094
MODAL	9	0.14986	1.47E-16	0.05077	6.331E-17	0.91987	0.91762	0.94094
MODAL	10	0.14078	1.218E-16	1.375E-16	3.976E-17	0.91987	0.91762	0.94094
MODAL	11	0.13763	0.00049	1.763E-14	2.322E-14	0.92035	0.91762	0.94094
MODAL	12	0.13424	5.9E-15	0.00151	4.169E-16	0.92035	0.91913	0.94094
MODAL	13	0.13114	3.987E-15	5.977E-14	0.00002285	0.92035	0.91913	0.94096
MODAL	14	0.13002	3.826E-18	5.691E-17	0.0192	0.92035	0.91913	0.96016
MODAL	15	0.11239	9.968E-15	9.485E-14	2.366E-15	0.92035	0.91913	0.96016
MODAL	16	0.10587	0.02336	5.047E-15	8.53E-16	0.94371	0.91913	0.96016
MODAL	17	0.10558	1.98E-14	2.217E-14	1.308E-17	0.94371	0.91913	0.96016
MODAL	18	0.10551	2.551E-14	0.00034	5.536E-15	0.94371	0.91947	0.96016
MODAL	19	0.10437	0.00114	5.502E-15	2.301E-16	0.94486	0.91947	0.96016
MODAL	20	0.09838	2.01E-15	1.161E-17	0.01169	0.94486	0.91947	0.97185
MODAL	21	0.09464	5.576E-14	0.02232	1.011E-15	0.94486	0.94178	0.97185
MODAL	22	0.09462	0.00292	5.656E-13	4.274E-14	0.94778	0.94178	0.97185
MODAL	23	0.09186	2.216E-16	1.358E-13	0.0002	0.94778	0.94178	0.97206

Çizelge 4.10 (devam): Bina periyotları ve modal katkılar.

Analiz Türü	Mod No	Periyot	UX	UY	RZ	Toplam UX	Toplam UY	Toplam RZ
MODAL	24	0.08894	6.408E-13	0.00652	4.113E-14	0.94778	0.94831	0.97206
MODAL	25	0.08851	8.642E-14	9.363E-14	5.719E-14	0.94778	0.94831	0.97206
MODAL	26	0.08780	3.157E-14	3.646E-14	5.166E-15	0.94778	0.94831	0.97206
MODAL	27	0.08538	4.36E-15	3.778E-14	0.00042	0.94778	0.94831	0.97247
MODAL	28	0.08167	2.156E-16	8.988E-06	3.505E-15	0.94778	0.94831	0.97247
MODAL	29	0.08075	3.302E-05	1.211E-15	2.642E-14	0.94782	0.94831	0.97247
MODAL	30	0.07805	2.381E-15	8.983E-17	0.00777	0.94782	0.94831	0.98025
MODAL	31	0.07800	2.23E-13	1.204E-05	2.426E-14	0.94782	0.94833	0.98025
MODAL	32	0.07708	1.642E-13	1.262E-13	2.928E-14	0.94782	0.94833	0.98025
MODAL	33	0.07417	0.01496	1.418E-15	3.567E-16	0.96277	0.94833	0.98025
MODAL	34	0.07354	0.00072	2.83E-13	9.375E-17	0.96349	0.94833	0.98025
MODAL	35	0.07130	0.00023	1.439E-14	2.334E-16	0.96372	0.94833	0.98025
MODAL	36	0.07106	3.136E-14	3.292E-16	8.162E-15	0.96372	0.94833	0.98025
MODAL	37	0.07101	3.572E-14	2.459E-15	5.645E-06	0.96372	0.94833	0.98025
MODAL	38	0.06871	2.685E-14	5.937E-14	2.655E-06	0.96372	0.94833	0.98026
MODAL	39	0.06863	5.119E-14	8.605E-14	2.472E-14	0.96372	0.94833	0.98026
MODAL	40	0.06854	9.52E-14	0.0000629	2.913E-16	0.96372	0.94839	0.98026
MODAL	41	0.06853	5.408E-06	1.901E-14	1.31E-16	0.96372	0.94839	0.98026
MODAL	42	0.06848	1.332E-14	1.032E-14	2.565E-06	0.96372	0.94839	0.98026
MODAL	43	0.06759	8.621E-14	8.452E-15	9.389E-16	0.96372	0.94839	0.98026
MODAL	44	0.06744	3.989E-13	7.009E-06	6.666E-16	0.96372	0.94840	0.98026
MODAL	45	0.06733	2.115E-13	0.00287	4.473E-15	0.96372	0.95126	0.98026

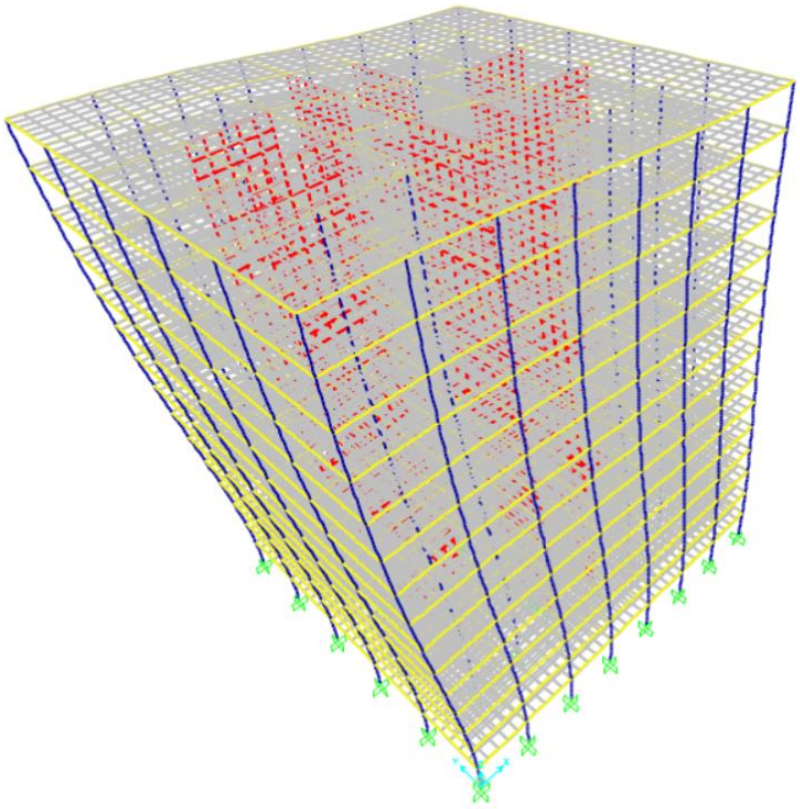
Çizelge 4.10'da verilen bilgiler ışığında binanın 1. modunun % 74.76'lık katkı ile X yönünde ötelenme olduğu; binanın 2. modunun % 73.57'lük katkı ile Y yönünde ötelenme olduğu ve 3. modunun % 80.59'lik katkı ile burulma olduğu görülmektedir. Binanın ilk üç mod şekli sırasıyla Şekil 4.3, Şekil 4.4 ve Şekil 4.5 ile verilmiştir.

Çizelge 4.10'a bakıldığında, harekete katılan toplam kütle oranının X yönünde % 96.37; Y yönünde % 95.13 olmasıyla DBYBHY-2007'de verilen asgari % 90 şartının sağlandığı görülmektedir.

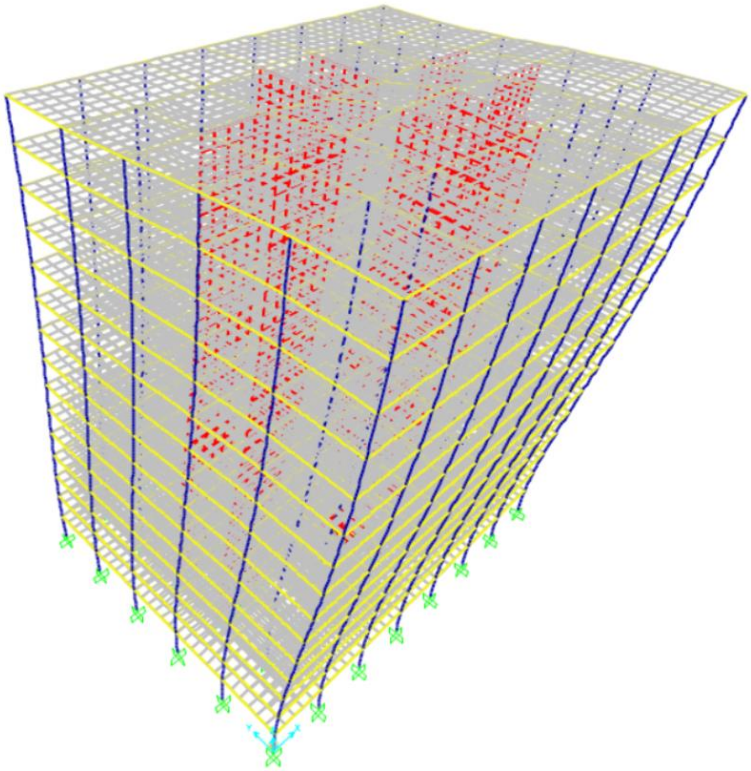
Binanın birinci doğal titreşim periyotu, X yönünde ötelenme modunda 1.05 sn; binanın ikinci doğal titreşim periyotu, Y yönünde ötelenme modunda 1.01 sn olarak bulunmuştur. Binada bulunan X yönlü perdelerin Y yönlü perdelere kıyasla daha küçük olması, X yönündeki rijitliğin Y yönündeki rijitlikten daha düşük olmasını sağlamıştır. Dolayısıyla binanın X yönündeki periyotunun Y yönündeki periyotundan büyük olması beklenen bir durumdur.

DBYBHY-2007 Bölüm 2.7.4'de, bodrum katlar göz önüne alınmaksızın kat adedi N > 13 olan binalarda doğal periyotun, 0.1N değerinden daha büyük alınmayacağı belirtilmektedir. Bu noktada modal analiz sonucu elde edilen X ve Y yönlü bina hakim periyotlarının, DBYBHY-2007'de verilen bu şartı sağladığı görülmektedir (T_{max} =15 x 0.1=1.5 sn).

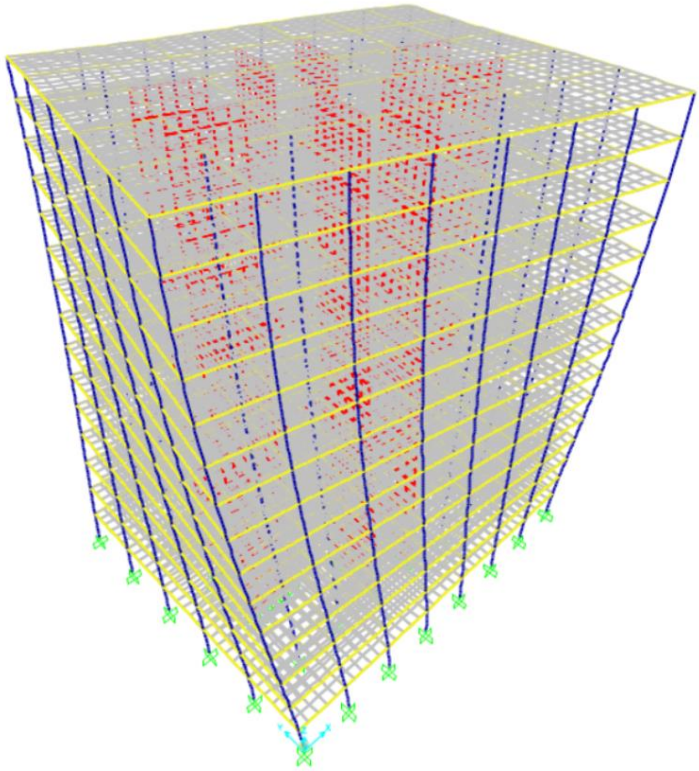
Bulunan her iki yöndeki periyotlar, daha sonra Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemiyle katlara etkiyecek deprem kuvvetlerinin ve taban kesme kuvvetlerinin hesabında kullanılmıştır.



Şekil 4.3: Binanın 1. Modu (X yönünde ötelenme).



Şekil 4.4: Binanın 2. Modu (Y yönünde ötelenme).



Şekil 4.5: Binanın 3. Modu (Burulma).

Yapılan analizin bu aşamasında, bina sadece düşey yükler gözetilerek çözümlenmiştir. Bu noktada binada bulunan yapısal taşıyıcı elemanların öz ağırlıkları program aracılığıyla hesaplanmış olup, önceden belirlenen ilave ölü ve hareketli yükler ise kiriş ve döşemelere ayrıca etki ettirilmiştir. Daha sonra yalnızca düşey yükler (G ve Q) etkisi altında çözümleme yapılmış ve bina toplam ağırlığı ve kat ağırlıkları Çizelge 4.11'deki gibi hesaplanmıştır. Deprem hesabı için katların ve binanın toplam ağırlığı bulunurken DBYBHY-2007 Tablo 2.7'de belirtilen hareketli yük katılım katsayısı bina konut türü yapı olduğundan 0.30 olarak seçilmiştir (G+0.3Q).

Bulunan her katın ağırlıkları ve bina toplam ağırlığı, daha sonra Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemiyle katlara etkiyecek deprem kuvvetlerinin ve taban kesme kuvvetlerinin hesabında kullanılmıştır.

Çizelge 4.11: Bina kat ağırlıkları ve toplam ağırlığı.

Kat No	Kat Kütlesi ($kN.s^2/m$)	Yerçekimi İvmesi (m/s^2)	Kat Ağırlığı (kN)	Kümülatif Kütle ($kN.s^2/m$)	Kümülatif Ağırlık (kN)
15	1500.52	9.80665	14715.07	1500.52	14715.07
14	1676.06	9.80665	16436.53	3176.58	31151.61
13	1676.06	9.80665	16436.53	4852.64	47588.14
12	1676.06	9.80665	16436.53	6528.7	64024.68
11	1676.06	9.80665	16436.53	8204.76	80461.21
10	1676.06	9.80665	16436.53	9880.82	96897.74
9	1676.06	9.80665	16436.53	11556.88	113334.28
8	1676.06	9.80665	16436.53	13232.94	129770.81
7	1676.06	9.80665	16436.53	14909	146207.34
6	1676.06	9.80665	16436.53	16585.06	162643.88
5	1676.06	9.80665	16436.53	18261.12	179080.41
4	1676.06	9.80665	16436.53	19937.18	195516.95
3	1676.06	9.80665	16436.53	21613.24	211953.48
2	1676.06	9.80665	16436.53	23289.3	228390.01
1	1793.81	9.80665	17591.27	25083.11	245981.28

4.2.3 Hesap yönteminin belirlenmesi

Bölüm 3.5.6.1'de açıklandığı üzere, DBYBHY-2007'ye göre Mod Birleştirme Yöntemi, tüm binaların deprem hesaplarında kullanılabilirken; Eşdeğer Deprem Yükü Yönteminin kullanılması bazı sınırlamalara tabidir.

Çizelge 3.16 ile verilen sınırlamalara bakıldığında, toplam yüksekliği 40 metreden büyük binalar için Eşdeğer Deprem Yükü Yönteminin kullanılmasına DBYBHY-2007'de izin verilmemektedir. Dolayısıyla, bu tez kapsamında tasarımı ve analizi yapılacak olan çok katlı betonarme binanın deprem yükleri altında kesit tesirleri ile yerdeğiştirmelerinin bulunması, gerekli kontrollerinin sağlanması ve tasarımının yapılmasında kullanılacak olan doğrusal yöntem, Mod Birleştirme Yöntemidir.

Mod Birleştirme Yönteminin yanında, Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ile binaya etkiyecek toplam deprem kuvveti ve bu kuvvetin katlara dağılımı hesaplanacaktır. Böylece taşıyıcı sistem davranış katsayısının ve Mod Birleştirme Yöntemi ile elde edilecek bina toplam deprem kuvvetinin kontrollerinde Eşdeğer Deprem Yükü Yönteminden faydalanılacaktır. Bunlara ek olarak, DBYBHY-2007'de verilen planda ve düşey doğrultuda düzensizlik tiplerinin kontrolleri de Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ile yapılacaktır.

4.2.4 Eşdeğer deprem yükü yöntemi ile hesap

Binaya etki edecek eşdeğer deprem kuvvetleri, birbirine dik iki deprem doğrultusu için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bu aşamada takip edilen adımların sırası, Bölüm 3.5.6.2.'de açıklanan adımlara paraleldir. Modal analiz sonucunda bulunan binanın doğal titreşim periyotları ve kat ağırlıkları, eşdeğer deprem yükü yönteminde doğrudan kullanılmıştır.

4.2.4.1 Deprem ve zemin parametrelerinin belirlenmesi

DBYBHY-2007'ye göre yerel zemin sınıflarının belirlenmesinde referans alınan zemin grupları, Çizelge 4.12'de verildiği gibidir.

DBYBHY-2007'ye göre spektrum karakteristik periyotlarının belirlenmesinde kullanılacak olan yerel zemin sınıfları, Çizelge 4.13 ile verilmiştir.

Analizi yapılacak binanın Bursa ilinde olduğu kabul edilmiştir. Bina temelinin oturacağı zemin sınıfı Çizelge 4.12'den ve Çizelge 4.13'ten yararlanılarak Z2 olarak kabul edilmiştir.

DBYBHY-2007'de geçerli olan deprem bölgeleri kavramına göre Bursa, 1. Derece deprem bölgesinde yer almaktadır.

Çizelge 4.12: DBYBHY-2007'ye göre zemin grupları [24].

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, ayrışmamış sağlam metamorfik kayaçlar, sert çimentolu tortul kayaçlar	-	-	> 1000	> 1000
	2. Çok sıkı kum, çakıl	> 50	85 – 100	-	> 700
	3. Sert kil ve siltli kil	> 32	-	> 400	> 700
B	**1.** Tüf ve aglomera gibi gevşek volkanik kayaçlar, süreksizlik düzlemleri bulunan ayrışmış çimentolu tortul kayaçlar	-	-	500–1000	700-1000
	2. Sıkı kum, çakıl	30 – 50	65 – 85	-	400 – 700
	3. Çok katı kil ve siltli kil	16 - 32	-	200 – 400	300 – 700
C	**1.** Yumuşak süreksizlik düzlemleri ulunan çok ayrışmış metamorfik kayaçlar, çimentolu tortul kayaçlar	-	-	< 500	400 – 700
	2. Orta sıkı kum, çakıl	10 – 30	35 – 65	-	200 – 400
	3. Katı kil ve siltli kil	8 – 16	-	100 – 200	200 – 300
D	**1.** YSS yüksek olan yumuşak, kalın alüvyon tabakaları	-	-	-	< 200
	2. Gevşek kum	< 10	< 35	-	< 200
	3. Yumuşak kil, siltli kil	< 8	-	< 100	< 200

Çizelge 4.13: DBYBHY-2007'ye göre yerel zemin sınıfları [24].

Yerel Zemin Sınıfı	Çizelge 4.12'ye 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	$15 \text{ m} < h_1 \leq 50$ 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

Binanın süneklik koşuluna ilişkin olarak, bina her iki yatay deprem doğrultusunda da yüksek sünek olacak şekilde düşünülmüştür. Bu doğrultuda Çizelge 3.13 kullanılarak seçilecek taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R), yerinde dökme binalarda deprem yüklerinin çerçeveler ile boşluksuz ve/veya boşluklu perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar için R = 7 olarak belirlenmiştir. DBYBHY-2007'ye göre bu tip sistemlerde R = 7'nin kullanılabilmesi için, boşluksuz perdelerin tabanında deprem kaynaklı kesme kuvvetlerinin toplamı, binanın tümü için meydana gelen toplam taban kesme kuvvetinin % 75'inden fazla olmamalıdır ($\alpha_s \leq 0.75$). Aksi halde $0.75 < \alpha_s < 1.0$ aralığında olacak R katsayısı, yerinde dökme betonarme binalar için $R = 10 - 4\ \alpha_s$ bağıntısı kullanılarak hesaplanacaktır. Seçilen davranış katsayısının (R) kontrolü, eşdeğer deprem yükleri altında yapılan analiz sonucunda gerçekleştirilmiştir.

4.2.4.2 Eşdeğer deprem yüklerinin hesaplanması

X doğrultusundaki deprem yüklerinin hesaplanması:

X doğrultusunda hakim periyot: $T_x = 1.05$ sn

Etkin Yer İvmesi Katsayısı: $A_0 = 0.40$; (1. Derece Deprem Bölgesi)

Bina Önem Katsayısı: $I = 1.0$; (Konut Türü Yapı)

Spektrum karakteristik periyotları: $T_A = 0.15$ sn, $T_B = 0.40$ sn ; (Z2 zemin sınıfı)

Spektrum Katsayısı: $S(T_x) = 2.5 \times (T_B / T_x)^{0.8} = 2.5 \times (0.40/1.047)^{0.8} = 1.158$; ($T_B < T_x$)

Spektral İvme Katsayısı: $A(T_x) = A_0 \times I \times S(T_x) = (0.40 \times 1 \times 1.158) = 0.4632$

Bina toplam ağırlığı: $W = 245981.3$ kN

Deprem Yükü Azaltma Katsayısı: $R_a(T_x) = R = 7$; ($T_A < T_x$)

Toplam Eşdeğer Deprem Yükü: $V_{tx} = [W \times A(T_x)] / [R_a(T_x)] \geq 0.10 \times A_0 \times I \times W$

$V_{tx} = (245981.28 \times 0.4632) / 7 = 16277$ kN $\geq (0.10 \times 0.40 \times 1 \times 245981.28) = 9839.25$ kN

Toplam eşdeğer deprem yükü V_{tx}, her kata kat hizalarında etki edecek şekilde dağıtılabilir. Bunun için öncelikli olarak binanın en üst katına etki edecek ek eşdeğer deprem yükü (ΔF_{Nx}) hesaplanmalıdır.

Ek eşdeğer deprem yükü: $\Delta F_{Nx} = 0.0075 \times N \times V_{tx} = 0.0075 \times 15 \times 16277 = 1831.16$ kN

X doğrultusunda toplam eşdeğer deprem yükünün katlara dağılımı Çizelge 4.14 ile sunulmuştur.

Çizelge 4.14: X doğrultusunda katlara etki eden eşdeğer deprem yükleri ve taban kesme kuvvetleri.

Kat	W_i (kN)	H_i (m)	$W_i \times H_i$	$W_i \times H_i / \sum W_i \times H_i$	V_{tx} (kN)	ΔF_{Nx} (kN)	F_i (kN)	V_i (kN)
15	14715.07	45	662178.35	0.1133	16277	1831.16	3468.24	3468.24
14	16436.53	42	690334.42	0.1181	16277	1831.16	1706.69	5174.94
13	16436.53	39	641024.82	0.1097	16277	1831.16	1584.79	6759.72
12	16436.53	36	591715.22	0.1013	16277	1831.16	1462.88	8222.60
11	16436.53	33	542405.62	0.0928	16277	1831.16	1340.97	9563.57
10	16436.53	30	493096.01	0.0844	16277	1831.16	1219.07	10782.64
9	16436.53	27	443786.41	0.0759	16277	1831.16	1097.16	11879.80
8	16436.53	24	394476.81	0.0675	16277	1831.16	975.25	12855.05
7	16436.53	21	345167.21	0.0591	16277	1831.16	853.35	13708.40
6	16436.53	18	295857.61	0.0506	16277	1831.16	731.44	14439.84
5	16436.53	15	246548.01	0.0422	16277	1831.16	609.53	15049.37
4	16436.53	12	197238.41	0.0338	16277	1831.16	487.63	15537.00
3	16436.53	9	147928.80	0.0253	16277	1831.16	365.72	15902.72
2	16436.53	6	98619.20	0.0169	16277	1831.16	243.81	16146.53
1	17591.27	3	52773.80	0.0090	16277	1831.16	130.47	16277.00

Y doğrultusundaki deprem yüklerinin hesaplanması:

Y doğrultusunda hakim periyot: $T_y = 1.01$ sn

Etkin Yer İvmesi Katsayısı: $A_0 = 0.40$; (1. Derece Deprem Bölgesi)

Bina Önem Katsayısı: $I = 1.0$; (Konut Türü Yapı)

Spektrum karakteristik periyotları: $T_A = 0.15$ sn, $T_B = 0.40$ sn ; (Z2 zemin sınıfı)

Spektrum Katsayısı: $S(T_y) = 2.5 \times (T_B / T_y)^{0.8} = 2.5 \times (0.40/1.014)^{0.8} = 1.188$; ($T_B < T_y$)

Spektral İvme Katsayısı: $A(T_y) = A_0 \times I \times S(T_y) = 0.40 \times 1 \times 1.188 = 0.4752$

Bina toplam ağırlığı: $W = 245981.3$ kN

Deprem Yükü Azaltma Katsayısı: $R_a(T_y) = R = 7$; ($T_A < T_y$)

Toplam Eşdeğer Deprem Yükü: $V_{ty} = [W \times A(T_y)] / [R_a(T_y)] \geq 0.10 \times A_0 \times I \times W$

V_{ty} = (245981.28 x 0.4752) / 7 = 16698 kN ≥ 0.10 x 0.40 x 1 x 245981.28 = 9839.25 kN

Toplam eşdeğer deprem yükü V_{ty}, her kata kat hizalarında etki edecek şekilde dağıtılabilir. Bunun için öncelikli olarak binanın en üst katına etki edecek ek eşdeğer deprem yükü (ΔF_{Ny}) hesaplanmalıdır.

Ek eşdeğer deprem yükü: ΔF_{Ny} = 0.0075 x N x V_{ty} = 0.0075 x 15 x 16698 = 1878.53 kN

Y doğrultusunda toplam eşdeğer deprem yükünün katlara dağılımı Çizelge 4.15 ile sunulmuştur.

Çizelge 4.15: Y doğrultusunda katlara etki eden eşdeğer deprem yükleri ve taban kesme kuvvetleri.

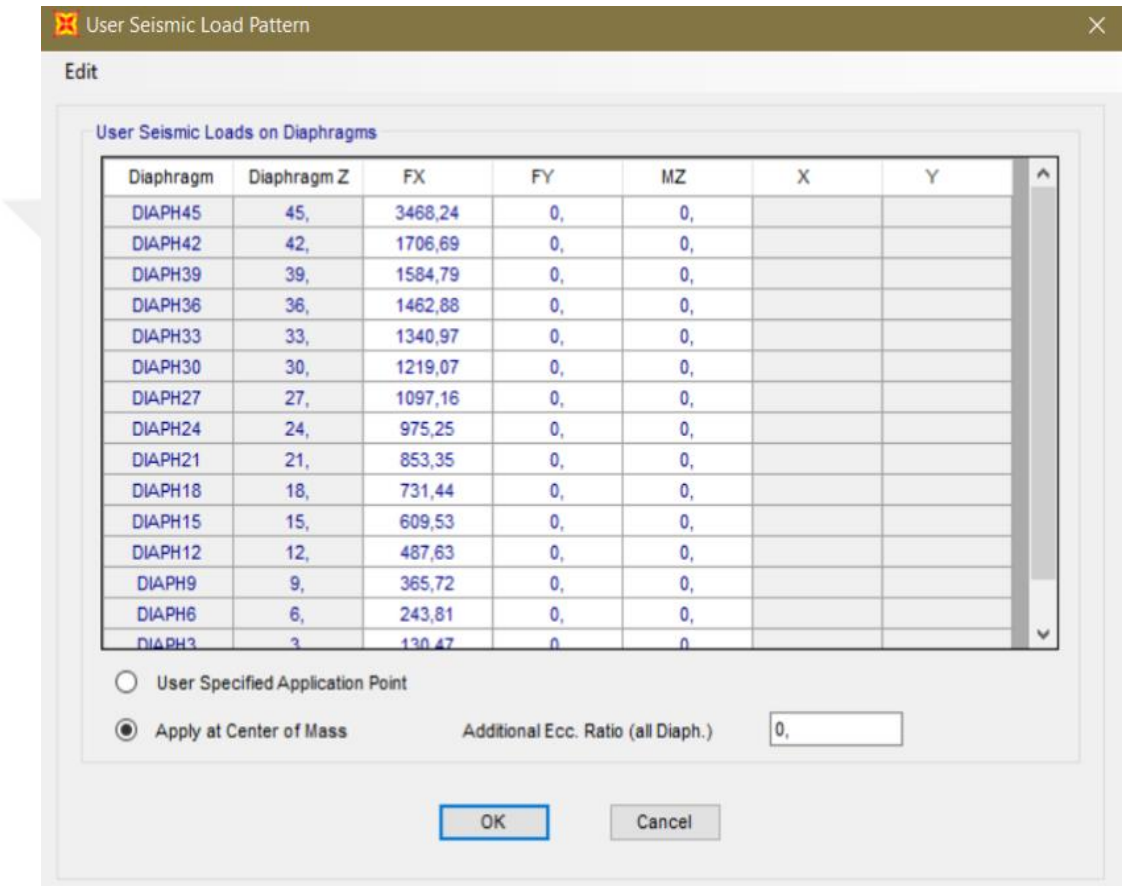
Kat	W_i (kN)	H_i (m)	W_i x H_i	W_i x H_i / ∑ W_i x H_i	V_{tx} (kN)	ΔF_{Nx} (kN)	F_i (kN)	V_i (kN)
15	14715.07	45	662178.35	0.1133	16698	1878.53	3557.95	3557.95
14	16436.53	42	690334.42	0.1181	16698	1878.53	1750.83	5308.79
13	16436.53	39	641024.82	0.1097	16698	1878.53	1625.77	6934.56
12	16436.53	36	591715.22	0.1013	16698	1878.53	1500.72	8435.28
11	16436.53	33	542405.62	0.0928	16698	1878.53	1375.66	9810.94
10	16436.53	30	493096.01	0.0844	16698	1878.53	1250.60	11061.53
9	16436.53	27	443786.41	0.0759	16698	1878.53	1125.54	12187.07
8	16436.53	24	394476.81	0.0675	16698	1878.53	1000.48	13187.54
7	16436.53	21	345167.21	0.0591	16698	1878.53	875.42	14062.96
6	16436.53	18	295857.61	0.0506	16698	1878.53	750.36	14813.32
5	16436.53	15	246548.01	0.0422	16698	1878.53	625.30	15438.62
4	16436.53	12	197238.41	0.0338	16698	1878.53	500.24	15938.86
3	16436.53	9	147928.80	0.0253	16698	1878.53	375.18	16314.04
2	16436.53	6	98619.20	0.0169	16698	1878.53	250.12	16564.15
1	17591.27	3	52773.80	0.0090	16698	1878.53	133.85	16698.00

4.2.4.3 Eşdeğer deprem yükü yöntemi ile taşıyıcı sistem davranış katsayısı tahkiki

Bölüm 4.2.4.2'de taban kesme kuvvetleri (V_{tx} ile V_{ty}) hesaplarında, taşıyıcı sistem davranış katsayısı R = 7 olarak alınmıştı. Eşdeğer Deprem Yükü taban kesme kuvvetlerinin Mod Birleştirme taban kesme kuvvetleri ile karşılaştırılması ve gerekli düzensizlik kontrollerin istenilen şekilde yapılması için bu bölümde R katsayısının tahkiki gerçekleştirilecektir.

Gerekli tahkikin yapılabilmesi için SAP2000 programı ile boşluksuz perdelerin tabanında deprem kaynaklı kesme kuvvetlerinin toplamı ile binanın tümü için meydana gelen toplam taban kesme kuvvetinin belirlenmesi gereklidir.

DBYBHY-2007'ye göre, döşemelerin rijit diyafram davranışı gösterdiği binalarda Çizelge 4.14'te ve Çizelge 4.15'te hesaplanan F_i değerleri, hesap yapılan deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat uzunluğunun + % 5'i ve - % 5'i oranında kaydırılması ile bulunan noktalar ile kat kütle merkezlerine uygulanmıştır. SAP2000 programında, EX, EXP, EXN, EY, EYP ve EYN olmak üzere toplam 6 adet deprem yüklemesi yapılmış olup EX yüklemesine ait örnek ekran görüntüsü Şekil 4.6. ile verilmiştir.



Şekil 4.6: SAP2000 programına deprem yüklerinin girilmesi.

SAP2000 programında yapılan analizler sonucunda R katsayı kontrolüne ait işlemler, Çizelge 4.16 ile verilmiştir. Çizelge 4.16'da verilen bilgilere göre, eşdeğer deprem yükünün hesaplamasında kullanılan bina davranış katsayısı R = 7 olarak alınabilir.

Çizelge 4.16: Perde taban kesme kuvvetleri ile R katsayısı tahkiki.

Yükleme Tipi	Perde	V_{perde} (kN)	$\sum V_{perde}$ (kN)	V_t (kN)	α_s	R
EX	SCP01	483.99	11230.55	16277	0.690	7
	SCP02	10746.56				
EXP	SCP01	483.99	11230.55	16277	0.690	7
	SCP02	10746.56				
EXN	SCP01	483.99	11230.55	16277	0.690	7
	SCP02	10746.56				
EY	SCP01	12043.57	12406.23	16698	0.743	7
	SCP02	362.66				
EYP	SCP01	12043.57	12406.23	16698	0.743	7
	SCP02	362.66				
EYN	SCP01	12043.57	12406.23	16698	0.743	7
	SCP02	362.66				

4.2.4.4 Eşdeğer deprem yükü yöntemi ile düzensizlik kontrolleri

Bu bölümde, DBYBHY-2007'de açıklanan A tipi planda düzensizlik durumları (A1, A2, A3) ve B tipi düşey doğrultuda düzensizlik durumları (B1, B2, B3) ait kontroller yapılmıştır. Düzensizlik kontrollerinde takip edilecek adımlar, Bölüm 3.4.6'da detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

A1 tipi burulma düzensizliği kontrolü

Burulma düzensizliği kontrolü, X ve Y deprem doğrultularında ek dış merkezlik etkileri de gözetilerek EX, EXP-EXN, EY, EYP-EYN yüklemeleri için gerçekleştirilmiştir. Her bir düzensizlik kontrolü, sırasıyla Çizelge 4.17, Çizelge 4.18, Çizelge 4.19 ve Çizelge 4.20 ile sunulmuştur.

Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi birinde, bir katta A1 burulma düzensizliği katsayısının sınır değeri olan 1.2'yi aşması durumunda, eşdeğer deprem yükünün katlara etki ettirilmesinde dikkate alınan ± %5 ek dış merkezlik oranı arttırılmalıdır. Denklem 3.43 ile verilen D_{bi} katsayısı hesaplanarak yeni ek dışmerkezlik oranı belirlenmeli ve bu ek dışmerkezlik doğrultusunda tasarıma esas kesit tesirleri hesaplanmalıdır.

Çizelge 4.17: EX yüklemesi altında A1 burulma düzensizliği kontrolü.

Kat	Yükleme	$(d_i)_{max}$ (mm)	$(d_i)_{min}$ (mm)	$(\Delta_i)_{max}$ (mm)	$(\Delta_i)_{min}$ (mm)	$(\Delta_i)_{ort}$ (mm)	η_{bi}
15	EX	34.446	34.446	1.609	1.609	1.609	1.000
14	EX	32.837	32.837	1.782	1.782	1.782	1.000
13	EX	31.055	31.055	1.970	1.970	1.970	1.000
12	EX	29.085	29.085	2.170	2.170	2.170	1.000
11	EX	26.915	26.915	2.362	2.362	2.362	1.000
10	EX	24.553	24.553	2.536	2.536	2.536	1.000
9	EX	22.017	22.017	2.683	2.683	2.683	1.000
8	EX	19.334	19.334	2.797	2.797	2.797	1.000
7	EX	16.537	16.537	2.870	2.870	2.870	1.000
6	EX	13.667	13.667	2.884	2.884	2.884	1.000
5	EX	10.783	10.783	2.832	2.832	2.832	1.000
4	EX	7.951	7.951	2.681	2.681	2.681	1.000
3	EX	5.270	5.270	2.388	2.388	2.388	1.000
2	EX	2.882	2.882	1.883	1.883	1.883	1.000
1	EX	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	1.000

Çizelge 4.17'ye bakıldığında, burulma düzensizliği katsayısı η_{bi} her katta sınır değer olan 1.2'den küçüktür. EX yüklemesi altında A1 burulma düzensizliği gözlenmemiştir.

Çizelge 4.18: EXP-EXN yüklemesi altında A1 burulma düzensizliği kontrolü.

Kat	Yükleme	$(d_i)_{max}$ (mm)	$(d_i)_{min}$ (mm)	$(\Delta_i)_{max}$ (mm)	$(\Delta_i)_{min}$ (mm)	$(\Delta_i)_{ort}$ (mm)	η_{bi}
15	EXP-EXN	37.687	31.205	1.690	1.528	1.609	1.050
14	EXP-EXN	35.997	29.677	1.893	1.670	1.782	1.063
13	EXP-EXN	34.104	28.007	2.111	1.831	1.971	1.071
12	EXP-EXN	31.993	26.176	2.336	2.003	2.170	1.077
11	EXP-EXN	29.657	24.173	2.552	2.172	2.362	1.080
10	EXP-EXN	27.105	22.001	2.749	2.323	2.536	1.084
9	EXP-EXN	24.356	19.678	2.915	2.451	2.683	1.086
8	EXP-EXN	21.441	17.227	3.047	2.548	2.798	1.089
7	EXP-EXN	18.394	14.679	3.132	2.604	2.868	1.092
6	EXP-EXN	15.262	12.075	3.161	2.609	2.885	1.096
5	EXP-EXN	12.101	9.466	3.118	2.547	2.833	1.101
4	EXP-EXN	8.983	6.919	2.970	2.391	2.681	1.108
3	EXP-EXN	6.013	4.528	2.676	2.100	2.388	1.121
2	EXP-EXN	3.337	2.428	2.155	1.612	1.884	1.144
1	EXP-EXN	1.182	0.816	1.182	0.816	0.999	1.183

Çizelge 4.18'e bakıldığında, burulma düzensizliği katsayısı η_{bi} her katta sınır değer olan 1.2'den küçüktür. EXP-EXN yüklemesi altında A1 burulma düzensizliği gözlenmemiştir. EXP ve EXN yüklemesi altında elde edilen öteleme değerleri aynı olduğu için düzensizlik kontrolü ortak bir tabloda sunulmuştur.

Çizelge 4.19: EY yüklemesi altında A1 burulma düzensizliği kontrolü.

Kat	Yükleme	$(d_i)_{max}$ (mm)	$(d_i)_{min}$ (mm)	$(\Delta_i)_{max}$ (mm)	$(\Delta_i)_{min}$ (mm)	$(\Delta_i)_{ort}$ (mm)	η_{bi}
15	EY	33.789	33.789	1.724	1.724	1.724	1.000
14	EY	32.065	32.065	1.877	1.877	1.877	1.000
13	EY	30.188	30.188	2.042	2.042	2.042	1.000
12	EY	28.146	28.146	2.218	2.218	2.218	1.000
11	EY	25.928	25.928	2.391	2.391	2.391	1.000
10	EY	23.537	23.537	2.545	2.545	2.545	1.000
9	EY	20.992	20.992	2.674	2.674	2.674	1.000
8	EY	18.318	18.318	2.765	2.765	2.765	1.000
7	EY	15.553	15.553	2.810	2.810	2.810	1.000
6	EY	12.743	12.743	2.794	2.794	2.794	1.000
5	EY	9.949	9.949	2.702	2.702	2.702	1.000
4	EY	7.247	7.247	2.509	2.509	2.509	1.000
3	EY	4.738	4.738	2.184	2.184	2.184	1.000
2	EY	2.554	2.554	1.678	1.678	1.678	1.000
1	EY	0.876	0.876	0.876	0.876	0.876	1.000

Çizelge 4.19'a bakıldığında, burulma düzensizliği katsayısı η_{bi} her katta sınır değer olan 1.2'den küçüktür. EY yüklemesi altında A1 burulma düzensizliği gözlenmemiştir.

Çizelge 4.20: EYP-EYN yüklemesi altında A1 burulma düzensizliği kontrolü.

Kat	Yükleme	$(d_i)_{max}$ (mm)	$(d_i)_{min}$ (mm)	$(\Delta_i)_{max}$ (mm)	$(\Delta_i)_{min}$ (mm)	$(\Delta_i)_{ort}$ (mm)	η_{bi}
15	EYP-EYN	38.315	29.263	1.838	1.611	1.725	1.066
14	EYP-EYN	36.477	27.652	2.033	1.721	1.877	1.083
13	EYP-EYN	34.444	25.931	2.237	1.846	2.042	1.096
12	EYP-EYN	32.207	24.085	2.450	1.987	2.219	1.104
11	EYP-EYN	29.757	22.098	2.656	2.124	2.390	1.111
10	EYP-EYN	27.101	19.974	2.843	2.248	2.546	1.117
9	EYP-EYN	24.258	17.726	2.998	2.350	2.674	1.121
8	EYP-EYN	21.260	15.376	3.113	2.417	2.765	1.126
7	EYP-EYN	18.147	12.959	3.179	2.440	2.810	1.132
6	EYP-EYN	14.968	10.519	3.179	2.409	2.794	1.138
5	EYP-EYN	11.789	8.110	3.100	2.304	2.702	1.147
4	EYP-EYN	8.689	5.806	2.914	2.105	2.510	1.161
3	EYP-EYN	5.775	3.701	2.586	1.782	2.184	1.184
2	EYP-EYN	3.189	1.919	2.057	1.298	1.678	1.226
1	EYP-EYN	1.132	0.621	1.132	0.621	0.877	1.292

Çizelge 4.20'ye bakıldığında, burulma düzensizliği katsayısı η_{bi} en alt iki katta sınır değer olan 1.2'yi aşmıştır. EYP-EYN yüklemesi altında A1 burulma düzensizliği gözlenmiştir. EYP ve EYN yüklemesi altında elde edilen öteleme değerleri aynı olduğu için düzensizlik kontrolü ortak bir tabloda sunulmuştur.

Y yönünde burulma düzensizliği gözlendiği için, ± %5 olan ek dışmerkezlik oranı büyütülmüştür.

$D_{bi} = (1.292 / 1.2)^2 = 1.16$

$e' = e \times D_{bi} = 0.05 \times 1.16 = 0.058$

A2 tipi döşeme süreksizliklerinin kontrolü

Tez konusu bina planında herhangi bir merdiven boşluğu, asansör boşluğu veya yerel boşluk bulunmamaktadır. Her katta döşemelerin toplam alanları birbirine eşittir. Bir katta toplam boşluk alanı A_b, brüt kat alanı A olmak üzere A2 tipi düzensizlik kontrolü aşağıdaki gibi sağlanmıştır.

$A_b / A = 0 < 1/3$

Dolayısıyla binada A2 tipi düzensizlik söz konusu değildir.

A3 tipi planda çıkıntılar bulunması durumu kontrolü

Tez konusu bina planında herhangi bir çıkıntı bulunmadığından dolayı binada A3 tipi düzensizlik söz konusu değildir.

B1 komşu katlar arası dayanım düzensizliği kontrolü

B1 tipi düzensizlik kontrolünde, göz önüne alınan deprem doğrultusunda herhangi bir katta bulunan kolon ve perde gibi düşey taşıyıcı elemanlar ile dolgu duvarların etkili kesme alanları, bir üst kattaki etkili kesme alanlarıyla karşılaştırılır. Tez konusu binanın tüm düşey taşıyıcı ve bölme duvar etkili kesme alanları her katta sabit olduğu için, binada B1 tipi düzensizlik söz konusu değildir.

B2 komşu katlar arası rijitlik düzensizliği kontrolü

Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği kontrolü, X ve Y deprem doğrultularında ek dış merkezlik etkileri de gözetilerek EX, EXP-EXN, EY, EYP-EYN yüklemeleri için gerçekleştirilmiştir. Her bir düzensizlik kontrolü, sırasıyla Çizelge 4.21, Çizelge 4.22, Çizelge 4.23 ve Çizelge 4.24 ile sunulmuştur.

Her bir katta oluşan ortalama göreli kat ötelemesi değerleri kullanılarak hesaplanan rijitlik düzensizliği katsayısı $\eta_{ki} > 2.0$ olması durumunda, binada yumuşak kat oluştuğu kabul edilir.

Çizelge 4.21: EX yüklemesi altında B2 komşu katlar arası rijitlik düzensizliği kontrolü.

Kat	h_i (mm)	$(\Delta_i)_{ort}$ (mm)	$(\Delta_i/h_i)_{ort}$	$\eta_{ki} = (\Delta_i/h_i)_{ort} / (\Delta_{i+1}/h_{i+1})_{ort}$	$\eta_{ki} = (\Delta_i/h_i)_{ort} / (\Delta_{i-1}/h_{i-1})_{ort}$
15	3000	1.609	0.000536	-	0.903
14	3000	1.782	0.000594	1.108	0.905
13	3000	1.970	0.000657	1.105	0.908
12	3000	2.170	0.000723	1.102	0.919
11	3000	2.362	0.000787	1.088	0.931
10	3000	2.536	0.000845	1.074	0.945
9	3000	2.683	0.000894	1.058	0.959
8	3000	2.797	0.000932	1.042	0.975
7	3000	2.870	0.000957	1.026	0.995
6	3000	2.884	0.000961	1.005	1.018
5	3000	2.832	0.000944	0.982	1.056
4	3000	2.681	0.000894	0.947	1.123
3	3000	2.388	0.000796	0.891	1.268
2	3000	1.883	0.000628	0.789	1.885
1	3000	0.999	0.000333	0.531	-

Çizelge 4.21'de gösterildiği üzere rijitlik düzensizliği katsayısı η_{ki} her katta sınır değer olan 2.0'dan küçüktür. EX yüklemesi altında B2 tipi düzensizlik gözlenmemiştir.

Çizelge 4.22: EXP-EXN yüklemesi altında B2 komşu katlar arası rijitlik düzensizliği kontrolü.

Kat	h_i (mm)	$(\Delta_i)_{ort}$ (mm)	$(\Delta_i/h_i)_{ort}$	$\eta_{ki} = (\Delta_i/h_i)_{ort} / (\Delta_{i+1}/h_{i+1})_{ort}$	$\eta_{ki} = (\Delta_i/h_i)_{ort} / (\Delta_{i-1}/h_{i-1})_{ort}$
15	3000	1.609	0.000536	-	0.903
14	3000	1.782	0.000594	1.107	0.904
13	3000	1.971	0.000657	1.106	0.909
12	3000	2.170	0.000723	1.101	0.919
11	3000	2.362	0.000787	1.089	0.931
10	3000	2.536	0.000845	1.074	0.945
9	3000	2.683	0.000894	1.058	0.959
8	3000	2.798	0.000933	1.043	0.975
7	3000	2.868	0.000956	1.025	0.994
6	3000	2.885	0.000962	1.006	1.019
5	3000	2.833	0.000944	0.982	1.057
4	3000	2.681	0.000894	0.946	1.122
3	3000	2.388	0.000796	0.891	1.268
2	3000	1.884	0.000628	0.789	1.885
1	3000	0.999	0.000333	0.530	-

Çizelge 4.22'de gösterildiği üzere rijitlik düzensizliği katsayısı η_{ki} her katta sınır değer olan 2.0'dan küçüktür. EXP-EXN yüklemesi altında B2 tipi düzensizlik gözlenmemiştir.

Çizelge 4.23: EY yüklemesi altında B2 komşu katlar arası rijitlik düzensizliği kontrolü.

Kat	h_i (mm)	$(\Delta_i)_{ort}$ (mm)	$(\Delta_i/h_i)_{ort}$	$\eta_{ki} = (\Delta_i/h_i)_{ort} / (\Delta_{i+1}/h_{i+1})_{ort}$	$\eta_{ki} = (\Delta_i/h_i)_{ort} / (\Delta_{i-1}/h_{i-1})_{ort}$
15	3000	1.724	0.000575	-	0.918
14	3000	1.877	0.000626	1.089	0.919
13	3000	2.042	0.000681	1.088	0.921
12	3000	2.218	0.000739	1.086	0.928
11	3000	2.391	0.000797	1.078	0.939
10	3000	2.545	0.000848	1.064	0.952
9	3000	2.674	0.000891	1.051	0.967
8	3000	2.765	0.000922	1.034	0.984
7	3000	2.810	0.000937	1.016	1.006
6	3000	2.794	0.000931	0.994	1.034
5	3000	2.702	0.000901	0.967	1.077
4	3000	2.509	0.000836	0.929	1.149
3	3000	2.184	0.000728	0.870	1.302
2	3000	1.678	0.000559	0.768	1.916
1	3000	0.876	0.000292	0.522	-

Çizelge 4.23'te gösterildiği üzere rijitlik düzensizliği katsayısı η_{ki} her katta sınır değer olan 2.0'dan küçüktür. EY yüklemesi altında B2 tipi düzensizlik gözlenmemiştir.

Çizelge 4.24: EYP-EYN yüklemesi altında B2 komşu katlar arası rijitlik düzensizliği kontrolü.

Kat	h_i (mm)	$(\Delta_i)_{ort}$ (mm)	$(\Delta_i/h_i)_{ort}$	$\eta_{ki} = (\Delta_i/h_i)_{ort} / (\Delta_{i+1}/h_{i+1})_{ort}$	$\eta_{ki} = (\Delta_i/h_i)_{ort} / (\Delta_{i-1}/h_{i-1})_{ort}$
15	3000	1.725	0.000575	-	0.919
14	3000	1.877	0.000626	1.088	0.919
13	3000	2.042	0.000681	1.088	0.920
12	3000	2.219	0.000740	1.087	0.928
11	3000	2.390	0.000797	1.077	0.939
10	3000	2.546	0.000849	1.065	0.952
9	3000	2.674	0.000891	1.050	0.967
8	3000	2.765	0.000922	1.034	0.984
7	3000	2.810	0.000937	1.016	1.006
6	3000	2.794	0.000931	0.994	1.034
5	3000	2.702	0.000901	0.967	1.077
4	3000	2.510	0.000837	0.929	1.149
3	3000	2.184	0.000728	0.870	1.302
2	3000	1.678	0.000559	0.768	1.914
1	3000	0.877	0.000292	0.523	-

Çizelge 4.24'te gösterildiği üzere rijitlik düzensizliği katsayısı η_{ki} her katta sınır değer olan 2.0'dan küçüktür. EYP-EYN yüklemesi altında B2 tipi düzensizlik gözlenmemiştir.

B3 taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği kontrolü

Tez konusu binanın tüm katlarında düşey taşıyıcı elemanlar süreklilik teşkil etmektedir. Ayrıca hiçbir katta kirişlere veya guseli kolonların üstüne veya ucuna denk gelen kolon bulunmamaktadır. Dolayısıyla binada B3 tipi düzensizlik söz konusu değildir.

4.2.5 Mod birleştirme yöntemi ile hesap

Bu yöntemde taşıyıcı elemanlarda kesit tesirleri, azaltılmış tepki spektrumu kullanılarak, yeterli sayıda titreşim modunun her birinde oluşacak maksimum tesirlerin SAP2000 programında süperpoze edilmesiyle bulunur.

4.2.5.1 Azaltılmış tasarım ivme spektrumunun SAP2000'de tanımlanması

SAP2000 programında tepki spektrum fonksiyonu tanımlamak için gerekli olan parametreler Çizelge 4.25'te verilmiştir. Bu yöntem ile oluşturulacak tepki spektrumunun belirlenmesi, Bölüm 3.5.4.1'de açıklanmıştır. Spektrum oluşturulurken kullanılacak spektrum ölçek çarpanı, $A_0.I.g = 3.924$ olarak alınmıştır.

Çizelge 4.25 ile verilen azaltılmış tasarım ivme spektrumu değerleri, SAP2000 programında Şekil 4.7'de gösterildiği gibi fonksiyon olarak tanımlanmıştır.

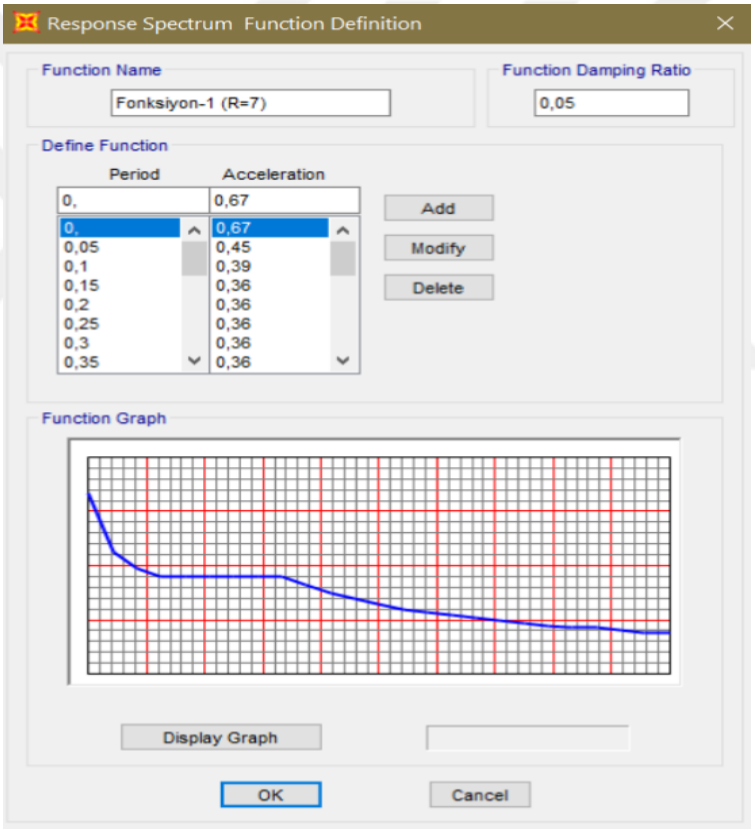
Çizelge 4.25: Azaltılmış tasarım ivme spektrumu değerleri.

T (sn)	S(T)	$R_a(T)$	$S(T) / R_a(T)$	T (sn)	S(T)	$R_a(T)$	$S(T) / R_a(T)$
0.00	1.00	1.50	0.67	0.65	1.70	7.00	0.24
0.05	1.50	3.33	0.45	0.70	1.60	7.00	0.23
0.10	2.00	5.17	0.39	0.75	1.51	7.00	0.22
0.15	2.50	7.00	0.36	0.80	1.44	7.00	0.21
0.20	2.50	7.00	0.36	0.85	1.37	7.00	0.20
0.25	2.50	7.00	0.36	0.90	1.31	7.00	0.19
0.30	2.50	7.00	0.36	0.95	1.25	7.00	0.18
0.35	2.50	7.00	0.36	1.00	1.20	7.00	0.17
0.40	2.50	7.00	0.36	1.05	1.16	7.00	0.17
0.45	2.28	7.00	0.33	1.10	1.11	7.00	0.16
0.50	2.09	7.00	0.30	1.15	1.07	7.00	0.15
0.55	1.94	7.00	0.28	1.20	1.04	7.00	0.15
0.60	1.81	7.00	0.26	-	-	-	-

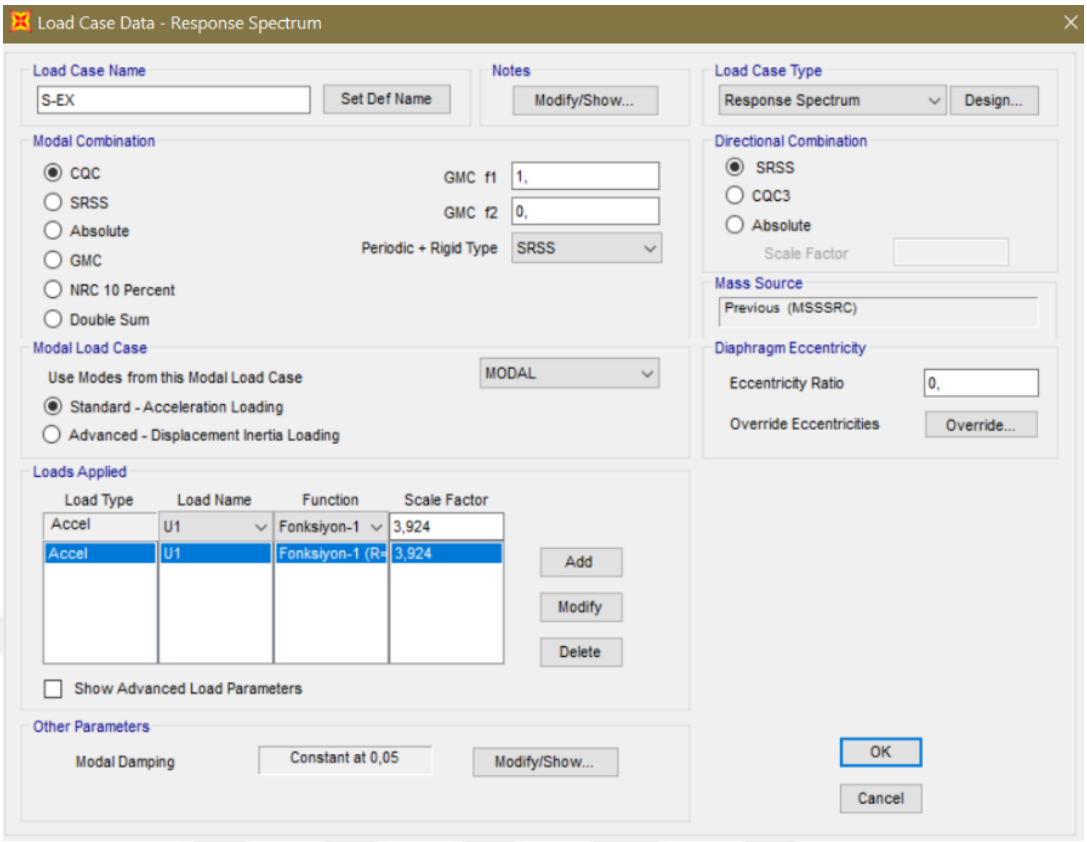
4.2.5.2 Yükleme durumlarının SAP2000'de oluşturulması ve analizi

Bu adımda deprem yükleri, "Load Case" menüsünden birbirine dik iki deprem doğrultusu için S-EX ve S-EY adlarında tanımlanmıştır. S-EX yüklemesi için etkime doğrultusu U1; S-EY yüklemesi için etkime doğrultusu U2 olarak belirlenmiştir. Her iki doğrultudaki yükleme için spektrum ölçek çarpanı 3.924 olarak girilmiştir. Sabit modal sönümleme oranı, program tarafından 0.05 olarak tanımlanmıştır. S-EX yüklemesine ait örnek ekran görüntüsü, Şekil 4.8'de verilmiştir.

DBYBHY-2007'ye göre ek dışmerkezlik etkisinin göz önüne alınması için ± %5 eksantrisite uygulanacak yüklemeler, S-EXP, S-EXN, S-EYP, S-EYN olmak üzere 4 grupta tanımlanmıştır.



Şekil 4.7: Azaltılmış tasarım ivme spektrumunun SAP2000'e girilmesi.



Şekil 4.8: SAP2000 programında deprem yüklemelerinin oluşturulması.

4.2.5.3 Mod birleştirme yöntemi ile taşıyıcı sistem davranış katsayısı tahkiki

Taşıyıcı sitem davranış katsayısı R = 7 olarak kabul edilmiştir. R katsayısının tahkiki, binanın Mod Birleştirme Yöntemi ile hesaplanan deprem kuvvetleri altında perde ve bina tabanında oluşan kesme kuvvetleri kullanılarak Çizelge 4.26 ile verilmiştir.

Çizelge 4.26: Perde taban kesme kuvvetleri ile R katsayısı tahkiki.

Yükleme Tipi	Perde	V_{perde} (kN)	$\sum V_{perde}$ (kN)	V_{tB} (kN)	α_s	R
S-EX	SCP01	394.57	9310.46	13434	0.693	7
	SCP02	8915.89				7
S-EXP	SCP01	394.57	9310.46	13434	0.693	7
	SCP02	8915.89				7
S-EXN	SCP01	394.57	9310.46	13434	0.693	7
	SCP02	8915.89				7
S-EY	SCP01	9658.92	9944.21	13329	0.746	7
	SCP02	285.29				7
S-EYP	SCP01	9658.92	9944.21	13329	0.746	7
	SCP02	285.29				7
S-EYN	SCP01	9658.92	9944.21	13329	0.746	7
	SCP02	285.29				7

Çizelge 4.26'da verilen bilgilere göre, Mod Birleştirme Yöntemi hesaplamasında kullanılan bina davranış katsayısı R = 7 olarak alınabilir. Yapılan R katsayısın tahkiki sonunda R = 7'den farklı bir sonuç elde edilseydi, davranış katsayısı ve dolayısıyla deprem yükü azaltma katsayısı R_a'nın değiştirilmesi ve azaltılmış tepki spektrumunun yeniden oluşturularak deprem hesabının tekrar edilmesi gerekirdi.

4.2.5.4 Taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması

DBYBHY-2007'ye göre birbirine dik iki deprem doğrultusunun her birinde, Eşdeğer Deprem Yükü yöntemi kullanılarak hesaplanan taban kesme kuvvetleri (V_t) ile Mod Birleştirme Yöntemi kullanılarak hesaplanan taban kesme kuvvetleri (V_{tB}) karşılaştırılmalıdır. Karşılaştırma sonucuna göre yapılacak büyütme işleminde kullanılacak β katsayısı, binada A1, B2 veya B3 türü düzensizliklerinden en az biri varsa 0.90; yoksa 0.80 alınacaktır.

Taban kesme kuvvetlerine ait karşılaştırma ve büyütme işlemi, Çizelge 4.27 ile verilmiştir. Binada B2 veya B3 türü düzensizlik bulunmamaktadır. Öte yandan, X yönünde A1 burulma düzensizliği bulunmadığı için β = 0.80; Y yönünde A1 burulma düzensizliği bulunduğu için β = 0.90 olarak alınmıştır.

Çizelge 4.27: EDYY ve MBY taban kesme kuvvetleri karşılaştırması.

Deprem Doğrultusu	V_t (kN)	V_{tB} (kN)	V_{tB} / V_t	β	βV_t (kN)	βV_t / V_{tB}
X	16277	13434	0.825	0.80	13021.6	-
Y	16698	13329	0.798	0.90	15028.2	1.13

Çizelge 4.27'de, X deprem doğrultusunda V_{tB} / V_t oranı β katsayısından büyük olduğu için Mod Birleştirme Yöntemi ile hesaplanacak kesit tesirlerinde herhangi bir faktörleme işlemi yapılmamıştır. Y doğrultusunda Mod Birleştirme Yöntemi ile hesaplanacak kesit tesirleri, SAP2000 programında "Scale Factor" olarak girilen 3.924'ün 1.13 ile çarpılmasıyla büyütülmüştür.

4.2.6 Göreli kat ötelemelerinin ve ikinci mertebe etkilerinin kontrolü

Bu bölümde, MBY ile deprem hesabı sonuçlarına göre etkin göreli kat ötelemelerinin hesaplanması ve sınırlandırılması ile ikinci mertebe etkilerinin kontrolleri gerçekleştirilmiştir.

4.2.6.1 Etkin göreli kat ötelemelerinin hesaplanması ve sınırlandırılması

Tez kapsamında Bölüm 3.5.6.4'te açıklandığı üzere, DBYBHY-2007 kuralları ışığında yapılan etkin göreli kat ötelemelerinin kontrolü sırasıyla Çizelge 4.28 ve Çizelge 4.29 ile verilmiştir.

Çizelge 4.28: X doğrultusu göreli kat ötelemeleri kontrolü.

Kat	$(d_i)_{max}$ (mm)	$(\Delta_i)_{max}$	h_i (mm)	$(\gamma_i)_{max}$	$(\gamma_i)_{max} / h_i$
15	28.595	1.104	3000	7.728	0.0026
14	27.491	1.266	3000	8.862	0.0030
13	26.225	1.450	3000	10.15	0.0034
12	24.775	1.642	3000	11.494	0.0038
11	23.133	1.828	3000	12.796	0.0043
10	21.305	2.002	3000	14.014	0.0047
9	19.303	2.159	3000	15.113	0.0050
8	17.144	2.294	3000	16.058	0.0054
7	14.850	2.400	3000	16.8	0.0056
6	12.450	2.469	3000	17.283	0.0058
5	9.981	2.482	3000	17.374	0.0058
4	7.499	2.414	3000	16.898	0.0056
3	5.085	2.221	3000	15.547	0.0052
2	2.864	1.832	3000	12.824	0.0043
1	1.032	1.032	3000	7.224	0.0024

Çizelge 4.29: Y doğrultusu göreli kat ötelemeleri kontrolü.

Kat	$(d_i)_{max}$ (mm)	$(\Delta_i)_{max}$	h_i (mm)	$(\gamma_i)_{max}$	$(\gamma_i)_{max} / h_i$
15	32.131	1.346	3000	9.422	0.0031
14	30.785	1.519	3000	10.633	0.0035
13	29.266	1.708	3000	11.956	0.0040
12	27.558	1.907	3000	13.349	0.0044
11	25.651	2.103	3000	14.721	0.0049
10	23.548	2.286	3000	16.002	0.0053
9	21.262	2.450	3000	17.15	0.0057
8	18.812	2.587	3000	18.109	0.0060
7	16.225	2.688	3000	18.816	0.0063
6	13.537	2.742	3000	19.194	0.0064
5	10.795	2.727	3000	19.089	0.0064
4	8.068	2.622	3000	18.354	0.0061
3	5.446	2.385	3000	16.695	0.0056
2	3.061	1.952	3000	13.664	0.0046
1	1.109	1.109	3000	7.763	0.0026

Çizelge 4.28 ve Çizelge 4.29'a göre binadaki tüm katlarda $(\gamma_i)_{max} / h_i$ değerlerinin maksimum sınır değer olan 0.02'den küçük olduğu görülmektedir. Dolayısıyla X ve Y doğrultularında göreli kat ötelemeleri sınırlandırılmıştır.

4.2.6.2 İkinci mertebe etkilerinin kontrolü

Bölüm 3.5.6.4'te açıklandığı üzere, DBYBHY-2007 kuralları ışığında yapılan ikinci mertebe etkilerinin kontrolü sırasıyla Çizelge 4.30 ve Çizelge 4.31 ile verilmiştir.

Çizelge 4.30: X doğrultusu ikinci mertebe etkilerinin kontrolü.

Kat	$(\Delta_i)_{ort}$ (mm)	w_j (kN)	$\sum w_j$ (kN)	V_i (kN)	h_i (mm)	θ_i
15	1.076	14715.07	14715.07	2059.54	3000	0.0026
14	1.225	16436.53	31151.61	3847.26	3000	0.0033
13	1.394	16436.53	47588.14	5288.77	3000	0.0042
12	1.573	16436.53	64024.68	6504.12	3000	0.0052
11	1.747	16436.53	80461.21	7536.95	3000	0.0062
10	1.908	16436.53	96897.74	8422.49	3000	0.0073
9	2.053	16436.53	113334.28	9218.80	3000	0.0084
8	2.175	16436.53	129770.81	9958.33	3000	0.0094
7	2.269	16436.53	146207.34	10653.21	3000	0.0104
6	2.326	16436.53	162643.88	11320.03	3000	0.0111
5	2.328	16436.53	179080.41	11948.43	3000	0.0116
4	2.251	16436.53	195516.95	12502.44	3000	0.0117
3	2.053	16436.53	211953.48	12960.15	3000	0.0112
2	1.668	16436.53	228390.01	13289.17	3000	0.0096
1	0.920	17591.27	245981.28	13434.00	3000	0.0056

Çizelge 4.31: Y doğrultusu ikinci mertebe etkilerinin kontrolü.

Kat	$(\Delta_i)_{ort}$ (mm)	w_j (kN)	$\sum w_j$ (kN)	V_i (kN)	h_i (mm)	θ_i
15	1.304	14715.07	14715.07	2362.75	3000	0.0027
14	1.456	16436.53	31151.61	4420.01	3000	0.0034
13	1.625	16436.53	47588.14	6039.04	3000	0.0043
12	1.805	16436.53	64024.68	7362.16	3000	0.0052
11	1.982	16436.53	80461.21	8495.44	3000	0.0063
10	2.146	16436.53	96897.74	9482.44	3000	0.0073
9	2.292	16436.53	113334.28	10355.37	3000	0.0084
8	2.410	16436.53	129770.81	11165.77	3000	0.0093
7	2.494	16436.53	146207.34	11951.02	3000	0.0102
6	2.529	16436.53	162643.88	12703.86	3000	0.0108
5	2.499	16436.53	179080.41	13397.96	3000	0.0111
4	2.380	16436.53	195516.95	14018.74	3000	0.0111
3	2.135	16436.53	211953.48	14542.13	3000	0.0104
2	1.711	16436.53	228390.01	14907.51	3000	0.0087
1	0.944	17591.27	245981.28	15062.00	3000	0.0051

Çizelge 4.30 ve Çizelge 4.31 incelendiğinde, binadaki tüm katlarda θ_i değerlerinin DBYBHY-2007'de maksimum sınır değer olan 0.12'den küçük olduğu görülmektedir.

4.2.7 Betonarme tasarım aşaması

Bu bölümde, iki deprem yönetmeliği arasında kıyas yapılabilmesi amacıyla seçilen birer adet kiriş, kolon ve perde elemanının betonarme tasarımları yapılmıştır.

Tasarım çalışmasında, Mod Birleştirme Yöntemi ile SAP2000 programında yapılan analiz sonucu bulunan iç kuvvetler kullanılmıştır. Her bir elemanda oluşan en elverişsiz iç kuvvetin bulunabilmesi amacıyla Bölüm 4.1.4.2'de verilen yük kombinasyonları SAP2000 programında tanımlanmıştır. Ayrıca, tüm yük kombinasyonları dahil edilerek bir adet zarf (Envelope) kombinasyonu oluşturulmuş, bu sayede her bir elemanda maksimum ve minimum iç kuvvetler elde edilmiştir. Elde edilen iç kuvvetler ve yönetmelikler ışığında, sırasıyla bir adet kiriş, bir adet kolon ve bir adet perdenin tasarımı ve donatı detaylandırması yapılmıştır.

4.2.7.1 Örnek kiriş tasarımı ve donatılandırılması

Tasarımı yapılacak örnek kiriş, binanın X doğrultusundaki A aksı üzerinde bulunan; Y doğrultusundaki 4 ve 5 aksları arasında uzanan 2. kattaki K204 kirişidir.

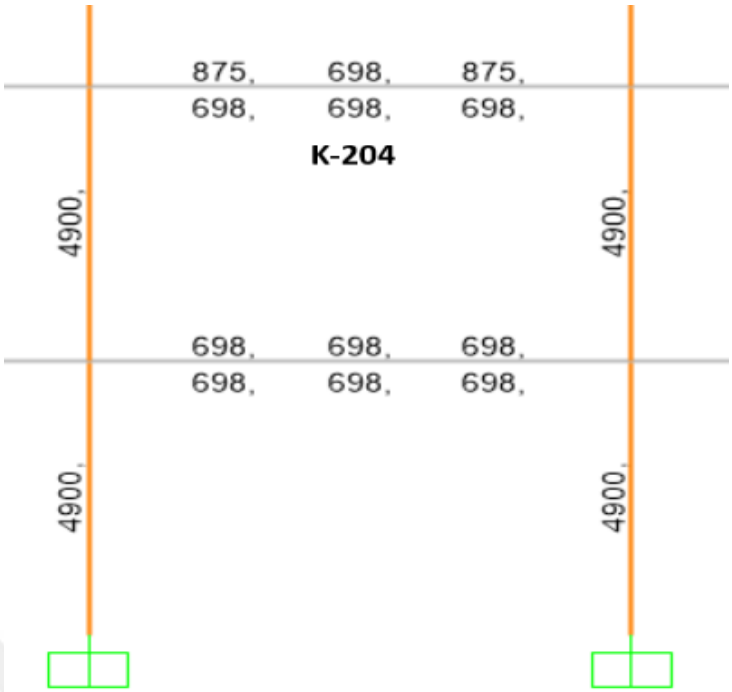
Kiriş eğilme tasarımı ve boyuna donatı hesabı

2. katta yer alan K204 kirişi sürekli bir kiriştir. K204'ün hesap açıklığı 5 metre olup net açıklığı 4.30 metredir. Sol ve sağ uçlarından 70 x 70 ebatlarında kolonlara mesnetlenmiştir.

SAP2000 programı yardımıyla, bir yapıdaki kolon veya kirişlerde donatı gereksinimleri hesaplanabilir. Örnek kiriş K204 için, gerekli boyuna açıklık ve mesnet donatı oranları, SAP2000 programında TS-500 ilkeleri kullanılarak Şekil 4.9'da gösterildiği gibi hesaplanmıştır. Şekil 4.9 ile gösterilen donatı alanları mm^2 cinsinden verilmiştir. Kiriş üzerinde yazan donatı alanı kesitteki üst donatıyı; kiriş altında yazan donatı alanı kesitteki alt donatıyı ifade eder. Gereksinim duyulan boyuna donatı miktarına uygun donatı seçimi Çizelge 4.32 ile verilmiştir.

Çizelge 4.32: K204 kirişinin boyuna donatı seçimi.

		Donatı Gereksinimi			Seçilen Donatı			
Kat	Kiriş	Alt Donatı (mm^2)	Sol Mesnet Üst Donatı (mm^2)	Sağ Mesnet Üst Donatı (mm^2)	Alt (Açıklık) Donatısı	Üst (Montaj) Donatısı	Sol Mesnet Ek Donatısı	Sağ Mesnet Ek Donatısı
2	K204	698	875	875	4 Ø 16	4 Ø 16	1 Ø 12	1 Ø 12



Şekil 4.9: SAP2000 ile kiriş boyuna donatı miktarının hesaplanması.

Donatı seçimi yapıldıktan sonra, TS-500'e ve DBYBHY-2007'ye göre gerekli kontroller sağlanmalıdır.

TS-500'e ve DBYBHY-2007'ye göre kirişlerde çekme donatısı oranı ρ, Denklem 4.10 ile verilen limitler dahilinde olmalıdır.

$$0.02 \geq \rho = \frac{A_s}{b_w d} \geq 0.8 \frac{f_{ctd}}{f_{yd}} \qquad (4.10)$$

Denklem 4.10'a göre, K204 kirişi için:

$0.02 \geq \rho = (804) / (350 \text{ x } 660) = 0.00348 \geq 0.8 \text{ x } (1.4 / 365) = 0.00307$

DBYBHY-2007'ye göre boyuna donatı çapının minimum değeri 12 mm'dir. Ayrıca kiriş alt ve üst bölgelerinde, en az iki donatı açıklık boyunca devam edecektir. Çizelge 4.32 incelendiğinde, bu şartların sağlandığı görülmektedir.

DBYBHY-2007'ye göre birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde yapılacak binalardaki kirişlerde, kirişlerin kolonlara mesnetlendiği bölgelerdeki alt donatı miktarı üst donatı miktarının yarısından fazla olmalıdır. Çizelge 4.32 incelendiğinde, bu şartın sağlandığı görülmektedir.

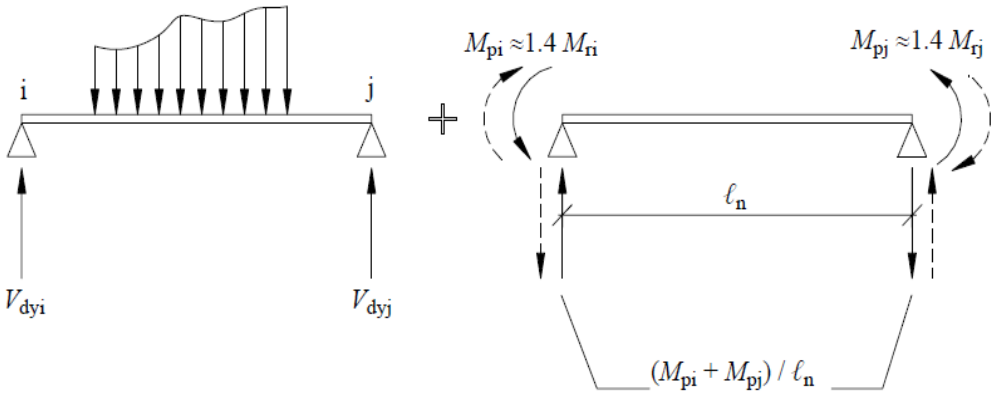
Kiriş kesme güvenliği kontrolü ve enine donatı hesabı

Deprem esnasında kiriş uçlarında akma kaynaklı plastik mafsallar oluşacağı öngörülmektedir. Deprem enerjisinin büyük oranda sönümlenmesi, oluşacak bu plastik mafsallarda gerçekleşmelidir. Dolayısıyla bu bölgelerdeki sünekliği ve kesme dayanımını arttırmak için DBYBHY-2007, kolon yüzünden başlayarak açıklığa doğru kiriş yüksekliğinin iki katı kadar uzunluktaki kısımda deprem etriyelerinden oluşan sarılma bölgeleri oluşturulmasını şart koşmaktadır. Bu bölgedeki etriye aralıkları kiriş yüksekliğinin dörtte birini (h_k / 4), en küçük boyuna donatı çapının 8 katını ve 150 mm'yi geçmeyecektir. Sarılma bölgesi dışında kalan kiriş orta bölgelerinde minimum donatı koşulları için TS-500'de verilen kurallar takip edilecektir.

DBYBHY-2007'ye göre depremli durumlarda enine donatı hesabında esas alınacak kesme kuvveti, kiriş uçlarındaki moment kapasiteleri kullanılarak bulunur. Tasarıma esas kesme kuvveti V_e, depremin soldan sağa veya sağdan sola etkimesini göz önüne alarak ve en elverişsiz sonucu verecek şekilde Denklem 4.11'deki bağıntıyla hesaplanır (Şekil 4.10).

$$V_e = V_{dy} \pm (M_{pi}+M_{pj})/l_n \qquad (4.11)$$

Denklem 4.11'de V_{dy}; kirişte düşey yüklerden kaynaklı basit kiriş hesap kesme kuvvetini, M_{pi} ve M_{pj}; kiriş uçlarındaki kapasite momentlerini gösterir. Kiriş kapasite momentleri, taşıma gücü momentleri kullanılarak yaklaşık olarak $M_{pi} \sim 1.4\ M_{ri}$ ve $M_{pj} \sim 1.4\ M_{rj}$ şeklinde hesaplanabilir. Taşıma gücü momentleri (M_{ri} ve M_{rj}), kiriş uç bölgelerinde çekmenin altta veya üstte olması durumuna göre beton tasarım basınç dayanımı ve donatı tasarım akma dayanımı kullanılarak ayrı ayrı hesaplanır.



Şekil 4.10: DBYBHY-2007'ye göre kesme donatısında kullanılacak kuvvetler [24].

$M_{pi1} = 1.4M_{ri1} = A_s \times f_{yd} \times (d\text{-}d') = 1.4 \times (917\ mm^2) \times (365\ MPa) \times (620\ mm) = 290.5$ kNm

$M_{pj1} = 1.4M_{rj1} = A_s \times f_{yd} \times (d\text{-}d') = 1.4 \times (804\ mm^2) \times (365\ MPa) \times (620\ mm) = 254.7$ kNm

$M_{pi2} = 1.4M_{ri2} = A_s \times f_{yd} \times (d\text{-}d') = 1.4 \times (804\ mm^2) \times (365\ MPa) \times (620\ mm) = 254.7$ kNm

$M_{pj2} = 1.4M_{rj2} = A_s \times f_{yd} \times (d\text{-}d') = 1.4 \times (917\ mm^2) \times (365\ MPa) \times (620\ mm) = 290.5$ kNm

$V_{dy} = 58$ kN

$V_{e1} = V_{dy} + (M_{pi1} + M_{pj1}) / l_n = 58 + (290.5 + 254.7) / 4.30 = 184.8$ kN

$V_{e2} = V_{dy} + (M_{pi2} + M_{pj2}) / l_n = 58 + (254.7 + 290.5) / 4.30 = 184.8$ kN

$V_e = V_{e1} = V_{e2} = 184.8$ kN

Denklem 4.11 ile hesaplanan V_e kesme kuvveti için, DBYBHY-2007'de bir üst sınır öngörülmüştür. Bu üst sınır, Denklem 4.12 ile verilmiştir. Eğer Denklem 4.12 ile verilen şart sağlanmazsa, kesit boyutları büyütülerek hesap adımları tekrarlanmalıdır.

$$V_e \leq 0.22 f_{cd} b_w d \qquad (4.12)$$

Bu noktada Denklem 4.12 ile verilen şart, aşağıda hesaplandığı üzere sağlanmıştır.

$V_e = 184.8$ kN $< 0.22 \times (23\ MPa) \times (350\ mm) \times (660\ mm) = 1168.86$ kN

DBYBHY-2007'ye göre V_e kesme kuvveti ile etriye hesabı gerçekleştirilirken betonun kesme dayanımı V_c, TS-500 ilkelerince bulunacaktır. Fakat süneklik düzeyi yüksek kirişlerin sarılma bölgelerinde Denklem 4.13 ile verilen şartın oluşması durumunda, beton kesme katkısı $V_c = 0$ alınacaktır.

$$V_e - V_{dy} \geq 0.5 V_d \qquad (4.13)$$

Denklem 4.13'te hesap kesme kuvveti V_d, depremli yük birleşiminden elde edilen kesme kuvvetidir ve $V_d = 225.86$ kN olarak SAP2000'den alınmıştır. Bu noktada Denklem 4.13 ile verilen şart, aşağıda hesaplandığı üzere sağlandığı için kiriş sarılma bölgesinde $V_c = 0$ alınacaktır.

$V_e - V_{dy} = 184.8 - 58 = 126.8$ kN $> 0.5 \times V_d = 0.5 \times 225.86 = 112.93$ kN

Hem kiriş sarılma bölgesinde hem de kiriş orta bölgesinde $V_r \geq V_e$ sağlanmalıdır.

Sarılma bölgesinde $V_c = 0$ alınmıştır. Buna göre sarılma bölgesinde tüm kesme dayanımı, etriyelerden sağlanacaktır.

$V_r = V_c + V_w \geq V_e$

$V_w \geq V_e$

$(A_{sw} / s) \times f_{ywd} \times d \geq V_e$

Etriye olarak iki kollu Ø8/100 mm donatı seçilirse ($A_{sw} = 100.5$ mm^2):

$V_w = (100.5 / 100) \times 365 \times 660 = 242$ kN $> V_e = 184.8$ kN

Etriye aralığı, TS-500'de verilen 150 mm'den ve kiriş faydalı yüksekliğin dörtte biri olan 165 mm'den küçüktür. TS-500'e göre minimum kesme donatısı kontrolü de aşağıdaki gibi sağlanmıştır.

$(A_{sw} / s) > 0.3 \times (f_{ctd} / f_{ywd}) \times b_w$

$(100.5 / 100) = 1.005 > 0.3 \times (1.38 / 365) \times 350 = 0.4$

Kiriş sarılma bölgesi dışında kalan orta bölge için etriye hesabında, V_c hesaplanmalıdır.

$V_c = 0.8V_{cr} = 0.8 \times 0.65 \times 1.38 \times 350 \times 660 = 165.8$ kN

$V_r = V_c + V_w \geq V_e$

$V_w \geq V_e - V_c$

$(A_{sw} / s) \times f_{ywd} \times d \geq V_e - V_c$

Etriye olarak iki kollu Ø8/200 mm donatı seçilirse ($A_{sw} = 100.5$ mm^2):

$V_w = (100.5 / 200) \times 365 \times 660 = 121$ kN $> V_e - V_c = 184.8 – 165.8 = 19$ kN

Etriye aralığı, TS-500'de verilen kiriş faydalı yüksekliğin yarısı olan 330 mm'den küçüktür. TS-500'e göre minimum kesme donatısı kontrolü de aşağıdaki gibi sağlanmıştır.

$(A_{sw} / s) > 0.3 \times (f_{ctd} / f_{ywd}) \times b_w$

$(100.5 / 200) = 0.5025 > 0.3 \times (1.38 / 365) \times 350 = 0.4$

Sonuç olarak, K204 kirişinde sarılma bölgesi etriyesi olarak iki kollu Ø8/100 mm; orta bölge etriyesi olarak iki kollu Ø8/200 mm donatı düzeni tercih edilmiştir.

4.2.7.2 Örnek kolon tasarımı ve donatılandırılması

Tasarımı yapılacak örnek kolon, binanın X doğrultusundaki B aksı üzerinde; Y doğrultusundaki 2 aksı üzerinde bulunan 2. kattaki S06 (80 x 80) kolonudur.

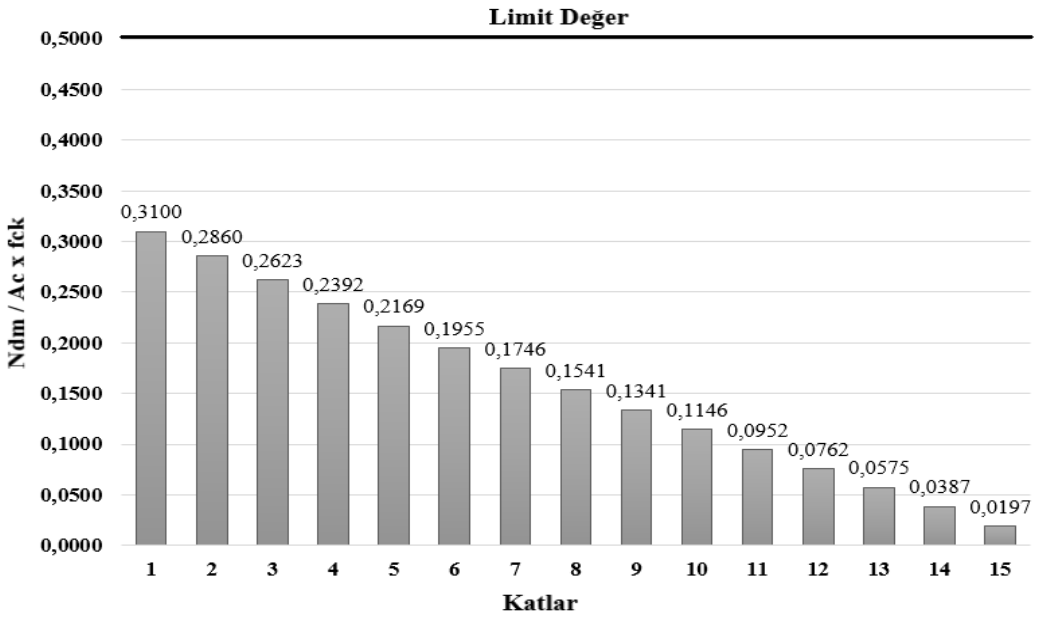
Öncelikli olarak düşey yükler ile birlikte deprem etkileri altında hesaplanan maksimum eksenel basınç kuvvetinin kontrolü yapılmıştır. SAP2000'den N_{dm} = 6407 kN olarak okunmuştur. DBYBHY-2007'ye göre $N_{dm}/ (A_c \times f_{ck}) < 0.5$ olmalıdır.

(6407000 N) / (640000 mm^2) x (35 MPa) = 0.29 < 0.5

TS-500'de belirtilen $N_d < 0.9 f_{cd} A_c$ şartının da sağlandığı aşağıda yapılan hesaplama ile gösterilmiştir.

6407 kN < (0.9) x (23 MPa) x (640000 mm^2) = 13248 kN

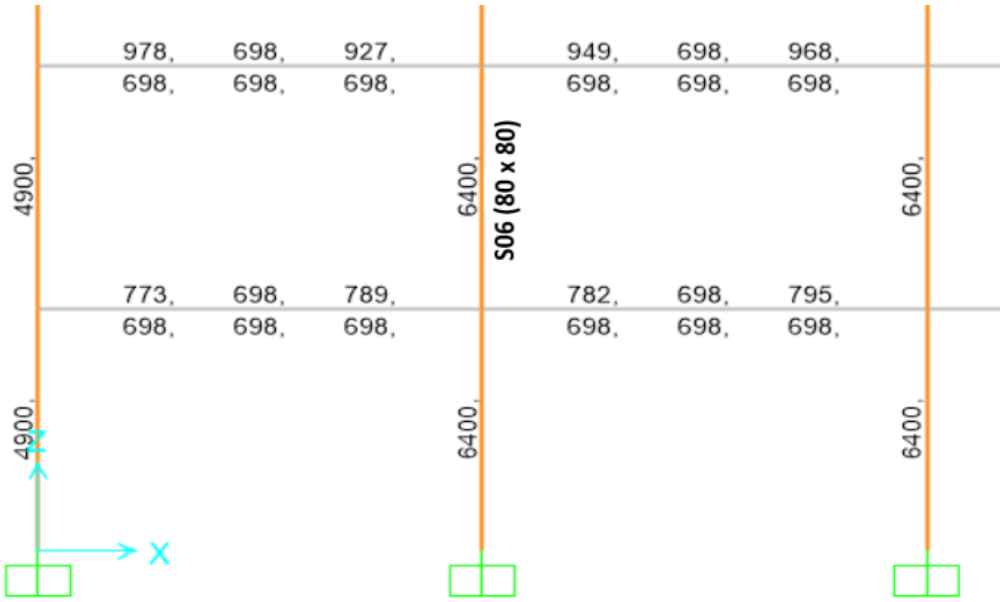
S06 kolonunun tüm katlardaki eksenel yük kontrolü, Şekil 4.10 ile verilmiştir. Şekil 4.10'da görüldüğü üzere tüm katlarda $N_{dm}/ A_c \times f_{ck}$ oranı 0.5'den küçüktür.



Şekil 4.11: S06 kolonuna ait tüm katlardaki $N_{dm}/ A_c \times f_{ck}$ değerleri.

Kolon boyuna donatı hesabı

SAP2000 programı ile, bir yapıdaki kolon veya kirişlerde donatı gereksinimleri hesaplanabilir. S06 kolonu için gerekli boyuna donatı oranları, SAP2000 programında TS-500 ilkeleri kullanılarak Şekil 4.11'de gösterildiği gibi hesaplanmıştır.



Şekil 4.12: SAP2000 ile kolon boyuna donatı miktarının hesaplanması.

Şekil 4.11 ile gösterilen donatı alanları mm^2 cinsinden verilmiştir. Kolon üzerinde yazan donatı alanı kesitteki boyuna donatıyı ifade eder. Donatı miktarı incelendiğinde, SAP2000 tarafından minimum donatının yeterli kabul edildiği görülmektedir.

TS-500'e göre kolonlarda donatı miktarı, kolon en kesit alanının % 1'inden az; % 4'ünden fazla olamaz. Ayrıca yönetmeliklerde en küçük boyuna donatı Ø14 mm olarak belirlenmiştir. Bu bilgiler ışığında gereksinim duyulan boyuna donatı miktarına uygun donatı seçimi Çizelge 4.33 ile verilmiştir.

Çizelge 4.33: S06 kolonunun boyuna donatı seçimi.

Kat	Kolon	Gerekli Donatı (mm^2)	Seçilen Donatı	Seçilen Donatı (mm^2)	ρ
2	S06	6400	20 Ø22	7602	0.0119

Kolon kesme güvenliği kontrolü ve enine donatı hesabı

Kirişlerde olduğu gibi, kolonlarda da DBYBHY-2007'de açıklanan kolon sarılma bölgeleri ve kolon orta bölgeleri teşkil edilecektir. Kolon sarılma bölgeleri, etriyelerin sıklaştığı alt ve üst uçlar olarak tanımlanır. Hem kolon sarılma bölgelerinde hem orta bölgesinde özel deprem etriye ve çirozlarının kullanılması zorunludur.

DBYBHY-2007'ye göre kolon sarılma bölgelerinin uzunluğu kolon kesitinin büyük boyutundan, 500 mm'den ve kolon serbest yüksekliğinin 1/6'sından küçük

olmayacaktır. Ayrıca etriye sıklaştırma bölgelerinde etriye aralığı kolon kesitinin küçük boyutunun 1/3'ünden ve 100 mm'den büyük; 50 mm'den daha küçük olamaz. Kolonlarda kullanılacak en küçük etriye çapı Ø8 mm olarak belirlenmiştir.

DBYBHY-2007'ye göre deprem bölgelerinde inşa edilecek süneklik düzeyi yüksek bina kolonlarında etriye hesabına esas alınacak kesme kuvveti V_e, Denklem 4.14 ile verilen bağıntı ile hesaplanır.

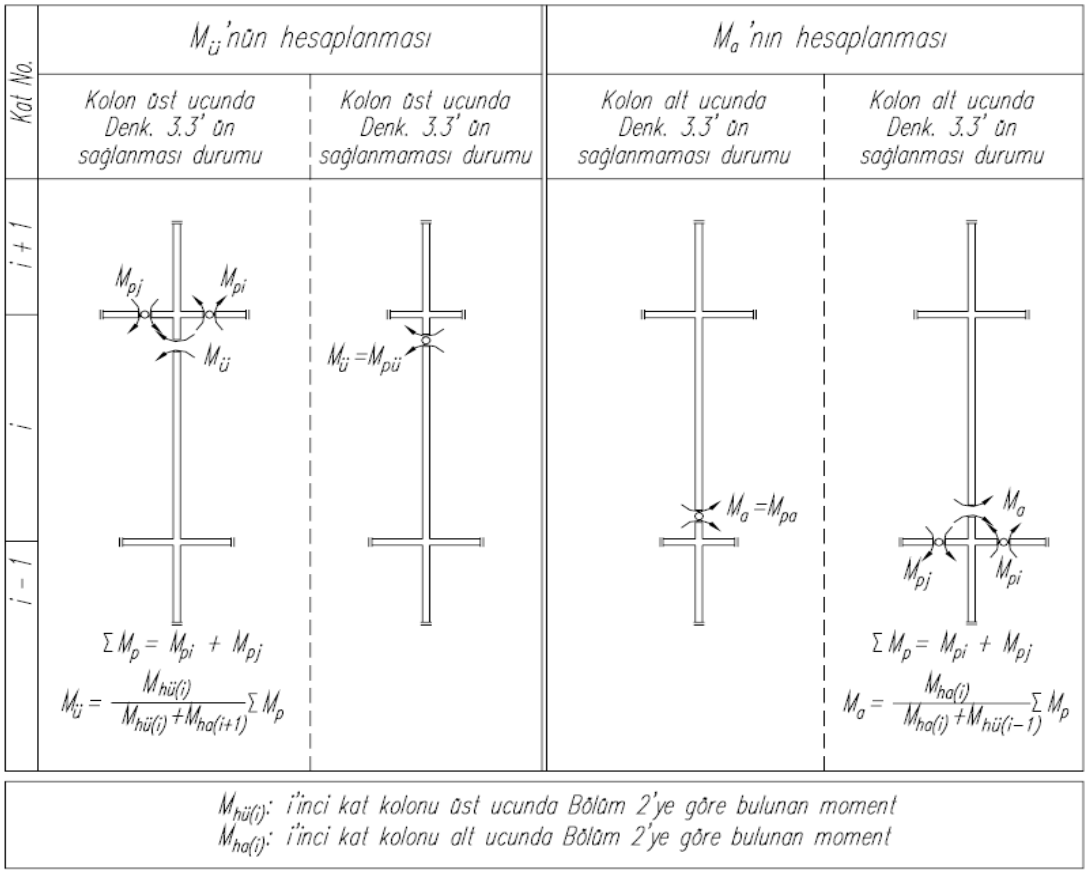
$$V_e = (M_a + M_{ü}) / l_n \tag{4.14}$$

Denklem 4.14'te M_a ve $M_{ü}$; plastik mafsallar kolon uçlarında oluşuyorsa (kirişlerin kolonlardan güçlü olması) kolon moment kapasiteleri ($M_{pa} \sim 1.4\ M_{ra}$ ve $M_{pü} \sim 1.4\ M_{rü}$) olarak; plastik mafsallar kirişlerde oluşuyorsa (kolonların kirişlerden güçlü olması) kiriş uçlarındaki moment kapasitelerinden kolonlara aktarılan pay olarak hesaba katılacaktır (Şekil 4.12).

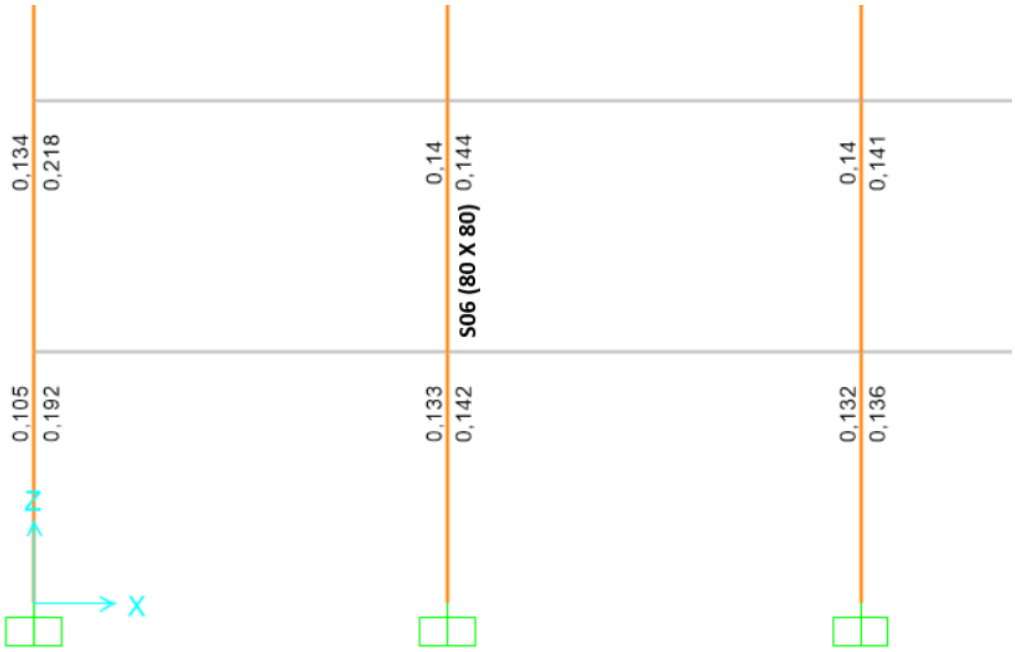
M_a ve $M_{ü}$ momentleri için, binadaki kolon kiriş birleşim noktalarında kolonların kirişlerden güçlü olma koşulu tahkik edilmelidir. SAP2000 programı yardımıyla kolonların kirişlerden güçlü olma şartı tahkik edilmiştir. Şekil 4.13'te, her bir birleşim noktasındaki $1.2(M_{ri} + M_{rj}) / (M_{ra} + M_{rü})$ değerleri gösterilmiştir. Bu değerlerin 1'den küçük olması, kolonların kirişlerden güçlü olduğu anlamına gelmektedir. Bu koşul binadaki tüm birleşim noktalarında tahkik edilmiş olup sadece örnek kolonun görüntüsü sunulmuştur.

Binanın düğüm noktalarında kolonlar kirişlerden güçlü olduğu için, dağıtılacak olan kiriş moment kapasiteleri toplamı Denklem 4.15 ile bulunacaktır. Burada kiriş kapasite momentleri, taşıma gücü momentleri kullanılarak yaklaşık olarak $M_{pi} \sim 1.4\ M_{ri}$ ve $M_{pj} \sim 1.4\ M_{rj}$ şeklinde hesaplanabilir. Bu işlem depremin her iki yönü için tekrarlanacak ve maksimum $\sum M_p$ değeri dikkate alınacaktır.

$$\sum M_p = M_{pi} + M_{pj} \tag{4.15}$$



Şekil 4.13: Süneklik düzeyi yüksek kolonlarda M_a ve $M_ü$ momentlerinin hesabı [24].



Şekil 4.14: SAP2000 ile kolonların kirişlerden güçlü olma koşulunun tahkiki.

2. kattaki S06 kolonu için düğüm noktalarında dağıtılacak olan kiriş kapasite momentleri, kiriş taşıma gücü momentlerinden aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

Kolon üst ucuna birleşen kirişlerde:

$M_{pi1} = 1.4M_{ri1} = A_s \times f_{yd} \times (d-d') = 1.4 \times (804\ mm^2) \times (365\ MPa) \times (620\ mm) = 254.7$ kNm

$M_{pj1} = 1.4M_{rj1} = A_s \times f_{yd} \times (d-d') = 1.4 \times (958\ mm^2) \times (365\ MPa) \times (620\ mm) = 303.5$ kNm

$M_{pi2} = 1.4M_{ri2} = A_s \times f_{yd} \times (d-d') = 1.4 \times (958\ mm^2) \times (365\ MPa) \times (620\ mm) = 303.5$ kNm

$M_{pj2} = 1.4M_{rj2} = A_s \times f_{yd} \times (d-d') = 1.4 \times (804\ mm^2) \times (365\ MPa) \times (620\ mm) = 254.7$ kNm

Kolon alt ucuna birleşen kirişlerde:

$M_{pi1} = 1.4M_{ri1} = A_s \times f_{yd} \times (d-d') = 1.4 \times (804\ mm^2) \times (365\ MPa) \times (620\ mm) = 254.7$ kNm

$M_{pj1} = 1.4M_{rj1} = A_s \times f_{yd} \times (d-d') = 1.4 \times (804\ mm^2) \times (365\ MPa) \times (620\ mm) = 254.7$ kNm

$M_{pi2} = 1.4M_{ri2} = A_s \times f_{yd} \times (d-d') = 1.4 \times (804\ mm^2) \times (365\ MPa) \times (620\ mm) = 254.7$ kNm

$M_{pj2} = 1.4M_{rj2} = A_s \times f_{yd} \times (d-d') = 1.4 \times (804\ mm^2) \times (365\ MPa) \times (620\ mm) = 254.7$ kNm

Buna göre dağıtılacak olan kiriş kapasite momentleri toplamı:

$\sum M_p = Mp_i + Mp_j = 303.5 + 254.7 = 558.2$ kNm (Kolon üst ucunda dağıtılacak)

$\sum M_p = Mp_i + Mp_j = 254.7 + 254.7 = 509.4$ kNm (Kolon alt ucunda dağıtılacak)

Kolon kesitleri her katta aynı olduğu için, bu momentlerin alt ve üst kolon uçlarına eşit dağıldığı kabul edilebilir [33].

$M_ü = 558.2 / 2 = 279$ kNm

$M_a = 509.4 / 2 = 255$ kNm

$V_e = (M_ü + M_a) / l_n = (279 + 255) / 2.85 = 187.4$ kN

Denklem 4.14 ile hesaplanan V_e kesme kuvveti için, DBYBHY-2007'de bir üst sınır öngörülmüştür. Bu üst sınır, Denklem 4.16 ile verilmiştir.

$$V_e \leq 0.22 f_{cd} A_w \tag{4.16}$$

Bu noktada Denklem 4.16 ile verilen şart, aşağıda hesaplandığı üzere sağlanmıştır.

V_e = 187.4 kN < 0.22 x 23 x 800 x 800 /1000 = 3238.4 kN

DBYBHY-2007'ye göre V_e kesme kuvveti ile etriye hesabı gerçekleştirilirken betonun kesme dayanımı V_c, TS-500 ilkelerince bulunacaktır. Fakat süneklik düzeyi yüksek kolonların sarılma bölgelerinde Denklem 4.17 ile verilen şartların sağlanması durumunda, beton kesme katkısı $V_c = 0$ alınacaktır.

$$V_e \geq 0.5 V_d$$
$$N_d \leq 0.05 A_c f_{ck} \tag{4.17}$$

Denklem 4.17'te hesap kesme kuvveti V_d, depremli yük birleşiminden elde edilen kesme kuvvetidir ve V_d = 281.5 kN olarak SAP2000'den alınmıştır. Aşağıda hesaplandığı üzere, Denklem 4.17 ile verilen şartlardan ilki sağlanıp ikincisi sağlanmadığı için kolon sarılma bölgesinde beton katkısı dikkate alınacaktır.

V_e = 187.4 kN > 0.5 x V_d = 0.5 x 281.5 = 140.75 kN

N_d = 6407 kN > 0.05$A_c f_{ck}$ = 0.05 x 640000 x 35 = 1120 kN

Hem kolon sarılma bölgesinde hem de kolon orta bölgesinde $V_r \geq V_e$ sağlanmalıdır.

Sarılma bölgesinde beton katkısı dikkate alınmıştır. Buna göre sarılma bölgesinde kesme dayanımı etriyelerden ve betondan sağlanacaktır.

$V_r = V_c + V_w \geq V_e$

$V_{cr} = 0.65 \text{ x } f_{ctd} \text{ x } b_w \text{ x } d$

$V_c = 0.8 V_{cr}$ = 0.8 x 0.65 x 1.38 x 800 x 760 = 436 kN

$V_w = (A_{sw} / s) \text{ x } f_{ywd} \text{ x } d$

Etriye olarak dört kollu Ø12/75 mm donatı seçilirse (A_{sw} = 452 mm^2):

V_w = (452 / 75) x 365 x 760 = 1672 kN

V_r = 436 + 1672 = 2108 kN ≥ V_e = 187.4 kN

DBYBHY-2007 Bölüm 3.3.4.1'de belirtilen, sarılma bölgelerinde kullanılacak minimum toplam enine donatı alanı ($N_d > 0.20 f_{ck} A_c$) şartı sağlanmıştır.

Sarılma bölgesindeki etriye aralığı, DBYBHY-2007'de verilen 100 mm ve kolon kısa kenarının üçte biri olan 266 mm sınırlamasına uymaktadır.

Kolon sarılma bölgesi dışında kalan orta bölge için etriye olarak dört kollu Ø12/150 mm seçilirse (A_{sw} = 452 mm^2):

$V_r = V_c + V_w \geq V_e$

V_w = (452 / 150) x 365 x 760 = 836 kN

V_r = 436 + 836 = 1272 kN ≥ V_e = 187.4 kN

Sonuç olarak, S06 kolonunda sarılma bölgesi etriyesi olarak dört kollu Ø12/75 mm; orta bölge etriyesi olarak dört kollu Ø12/150 mm donatı düzeni tercih edilmiştir.

4.2.7.3 Örnek perde tasarımı ve donatılandırılması

Tasarımı yapılacak örnek perde, binanın X doğrultusundaki C aksı üzerinde; Y doğrultusundaki 2 ve 3 aksları arasında bulunan 2. Kattaki P02 (35 x 500) perdesidir. P02 perdesi boşluksuz (bağ kirişsiz) bir perde olup süneklik düzeyi yüksek olarak tasarlanmıştır.

Bu tez kapsamında Bölüm 4.1.5.4'te perde enkesit boyutları, uç bölgeleri ve kritik perde yüksekliği ilişkin deprem yönetmeliklerindeki koşullardan bahsedilmiştir. Bu koşullar ışığında P02 perdesi için:

Perde kalınlığı, b_w = 350 mm

Perde uzunluğu, L_w = 5000 mm

Perde yüksekliği, H_w = 15 x (3000 mm) = 45000 mm

Kritik perde yüksekliği, H_{cr} = 9000 mm olmaktadır. $H_{cr} \geq L_w$ = 5000 mm, $H_{cr} \geq H_w$ / 6 = 45000 /6 =7500 mm ve $H_{cr} \leq 2L_w$ = 10000 mm şartlarını sağlamaktadır.

H_w / L_w = 45000 / 5000 = 9 > 2 olduğu için, P02 perdesinde uç bölgeleri oluşturulacaktır. DBYBHY-2007'ye göre bu uç bölgelerindeki perde kalınlığı, kat yüksekliğinin 1/15'inden ve 200 mm'den fazla olmalıdır. Ayrıca kritik perde yüksekliği boyunca uç bölgesi uzunluğu, perde uzunluğunun (L_w) %20'sinden ve perde kalınlığının (b_w) 2 katından az olmayacaktır. Kritik perde yüksekliği dışındaki

bölgelerde uç bölgesi uzunluğu için bu sınırların yarısı kabul edilmektedir. Verilen bu bilgilere göre P02 perdesi uç bölgesi boyutları aşağıdaki gibi seçilmiştir.

Kritik perde yüksekliği boyunca: $L_u = 1000$ mm $\geq 2b_w = 700$ mm ve $0.2L_w = 1000$ mm

Kritik perde yüksekliği dışında: $L_u = 500$ mm $\geq b_w = 350$ mm ve $0.1L_w = 500$ mm

DBYBHY-2007'ye göre perde gövde bölgesinin her yüzünde yatay ve düşey toplam donatı alanı, gövde bölgesi enkesit alanının 0.0025'inden fazla olmalıdır. Ayrıca bu bölgede düzenlenecek yatay ve düşey donatı aralıklarının maksimum değeri 250 mm olarak belirtilmiştir.

DBYBHY-2007'ye göre perde uç bölgelerinde, kritik perde yüksekliği boyunca yerleştirilecek düşey donatı toplam alanı perde enkesit alanının 0.002'den az olmayacaktır. Bu oran kritik yükseklik dışında 0.001 olarak kabul edilmiştir. Bu bölgelerde düşey donatı miktarı en az 4Ø14 olmalıdır. Perde uç bölgeleri kolonlara benzer şekilde enine donatılarla sarılacaktır. Yönetmelikte en küçük enine donatı Ø8 mm olarak belirlenmiştir. Enine donatı aralığının en büyük değeri, kritik perde yüksekliği boyunca 100 mm; kritik perde yüksekliği dışında 200 mm olarak sınırlandırılmıştır. Ayrıca bu aralık değeri, perde kalınlığının yarısından daha düşük olacaktır.

P02 perdesi 2. katta yer aldığı için ve $H_{cr} = 9$ m olarak bulunduğundan dolayı tüm perde kritik yükseklik içindedir. Bu durumda DBYBHY-2007'ye göre, kritik perde yüksekliği boyunca aynı kalacak şekilde perde tabanında hesaplanacak eğilme momentleri, tasarım eğilme momentlerine eşit alınabilir. Buna göre perde tasarım kesit tesirleri, SAP2000'den aşağıda verildiği gibi okunmuştur.

$N_d = 16013$ kN, $V_d = 2465$ kN, $M_d = 17356$ kNm

Perde uç bölgesi düşey donatı hesabı:

$A_s \geq 0.002 b_w L_w = 0.002 \times 350 \times 5000 = 3500$ mm^2

Seçilen donatı 14 Ø20 = 4398 mm^2 ≥ 3500 mm^2

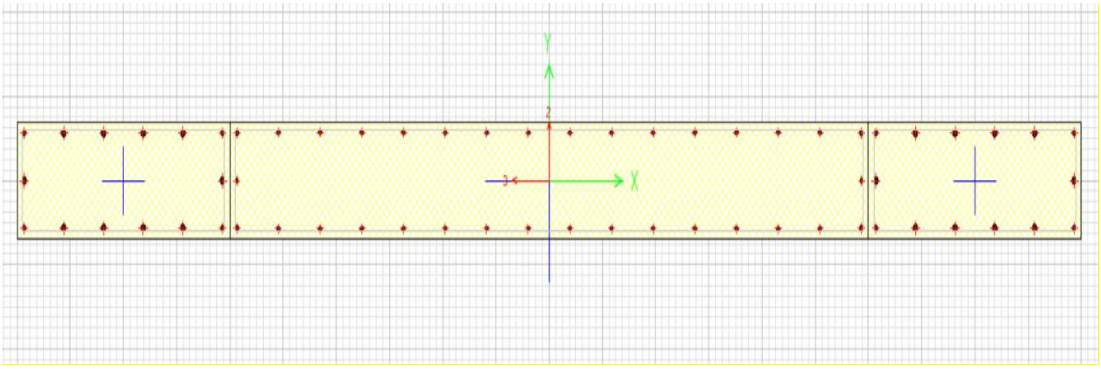
Perde gövde bölgesi düşey donatı hesabı:

$A_v \geq 0.0025 b_w (L_w - 2L_u)$

$A_v \geq 0.0025 \times 350 \times 3000 = 2625$ mm^2

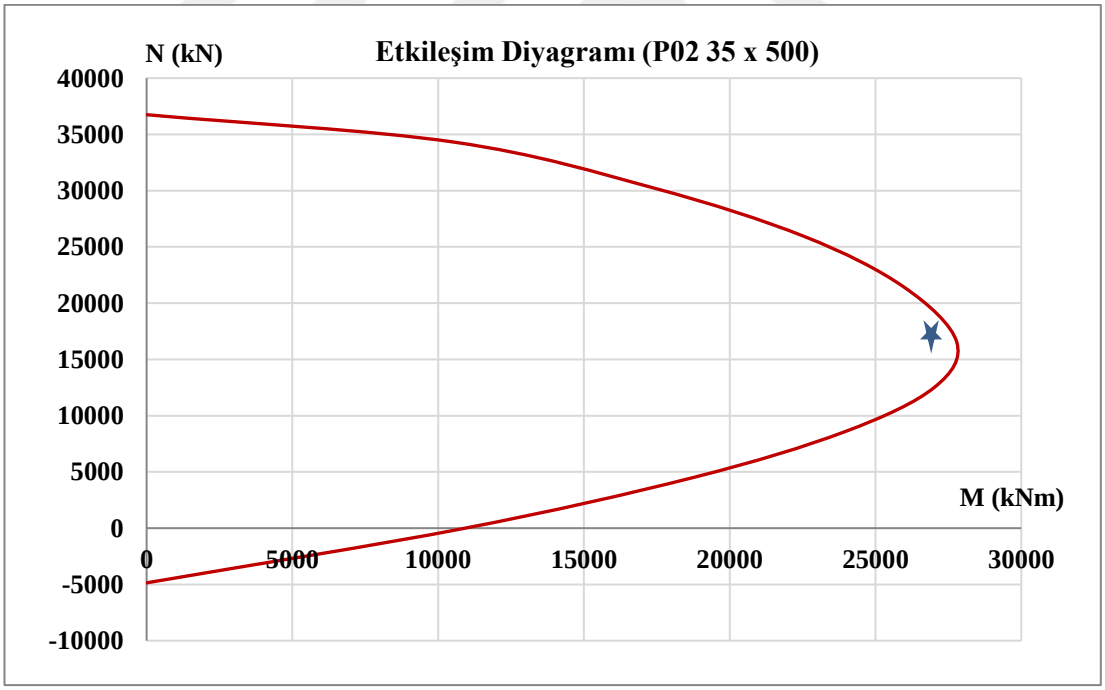
Seçilen donatı 34 Ø14 / 200 mm = 5234 $mm^2 \geq 2625$ mm^2

Seçilen donatılar ve kesit boyutları ışığında P02 perdesi, SAP2000 programında "Section Designer" bölümünde oluşturulmuştur (Şekil 4.14).



Şekil 4.15: P02 perdesinin SAP2000'de modellenmesi.

Perde modellendikten sonra N-M ikili değerlerine ait karşılıklı etkileşim diyagramı Şekil 4.15'te gösterildiği gibi çizilmiştir. Etkileşim diyagramında N = 16013 kN eksenel yük değerindeki taşıma gücü moment M_r = 27679 kNm olarak okunmuştur.



Şekil 4.16: P02 perdesine ait N-M etkileşim diyagramı.

Tasarım eğilme momenti M_d = 17356 kNm değeri, kesit taşıma gücü momenti M_r = 27679 kNm değerinden küçük olduğu için yapılan tasarım güvenlidir.

Perde kesme güvenliği kontrolü

Perde uç bölgesi enine donatı seçimi

DBYBHY-2007 isterleri doğrultusunda uç bölgelerinde enine donatı Ø10/100 mm olarak seçilmiştir. P02 perdesi tümüyle kritik yükseklik içinde yer aldığı için perde yüksekliği boyunca Ø10/100 enine donatısı kullanılacaktır.

Perde gövde bölgesi yatay donatı hesabı:

$A_h \geq 0.0025 b_w (L_w - 2L_u)$

$A_h \geq 0.0025 \text{ x } 350 \text{ x } 3000 = 2625 \text{ mm}^2$

Seçilen donatı iki yüzde toplam 60 Ø16/ 100 mm = 12060 $\text{mm}^2 \geq 2625 \text{ mm}^2$

DBYBHY-2007'ye göre perde kesitlerinde kesme dayanımı V_r, Denklem 4.18 ile verilmiştir. Denklem 4.18'de A_{ch}; boşluksuz perdenin brüt enkesit alanını, ρ_{sh}; perde gövdesindeki yatay donatıların hacimsel oranını ifade eder.

$$V_r = A_{ch}(0.65 f_{ctd} + \rho_{sh} f_{ywd}) \tag{4.18}$$

Seçilen yatay donatı iki yüzde Ø16 / 100 mm

$\rho_{sh} = (2 \text{ x } 201) / (350 \text{ x } 100) = 0.0115$

$V_r = 350 \text{ x } 5000 \text{ x } (0.65 \text{ x } 1.38 + 0.0115 \text{ x } 365) = 8915 \text{ kN}$

DBYBHY-2007'ye göre $H_w / L_w > 2$ olan perdeler için enine donatı hesabında esas alınacak kesme kuvveti V_e, Denklem 4.19 ile verilen bağıntıyla hesaplanacaktır. Denklem 4.19'da dinamik büyütme katsayısı $\beta_v = 1.5$ olarak alınacaktır. Daha kesin hesaplamada bulunulmadığı takdirde $(M_p)_t = 1.25(M_r)_t$ alınacaktır.

$$V_e = \beta_v \frac{(M_p)_t}{(M_d)_t} V_d \tag{4.19}$$

$V_e = 1.5 \text{ x } [(1.25 \text{ x } 27679) / (17356)] \text{ x } 2465 = 7371 \text{ kN}$

DBYBHY-2007'ye göre Denklem 4.19 ile bulunan V_e kesme kuvveti, Denklem 4.20 ile verilen şartı sağlamalıdır.

$$V_e \leq 0.22 A_{ch} f_{cd} \tag{4.20}$$

V_e =7371 kN ≤ 0.22 x 350 x 5000 x 23 = 8855 kN

V_r = 8915 kN > V_e = 7371 kN

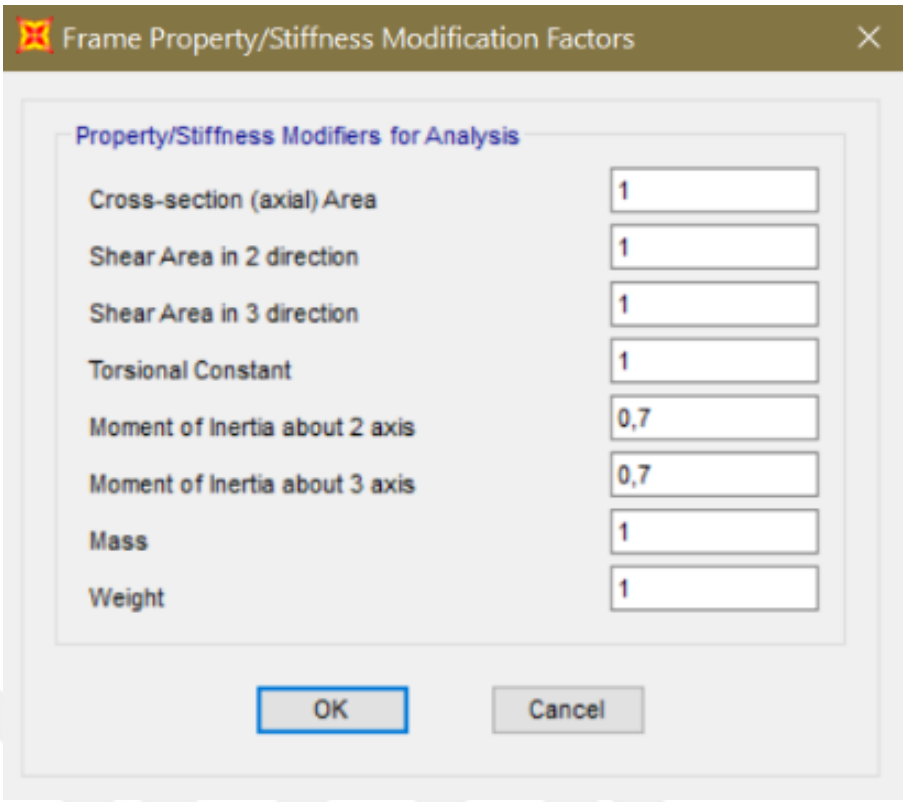
Perde kesme güvenliği sağlanmıştır.

4.3 Çok Katlı Betonarme Binanın TBDY-2018'e Göre Tasarım ve Analizi

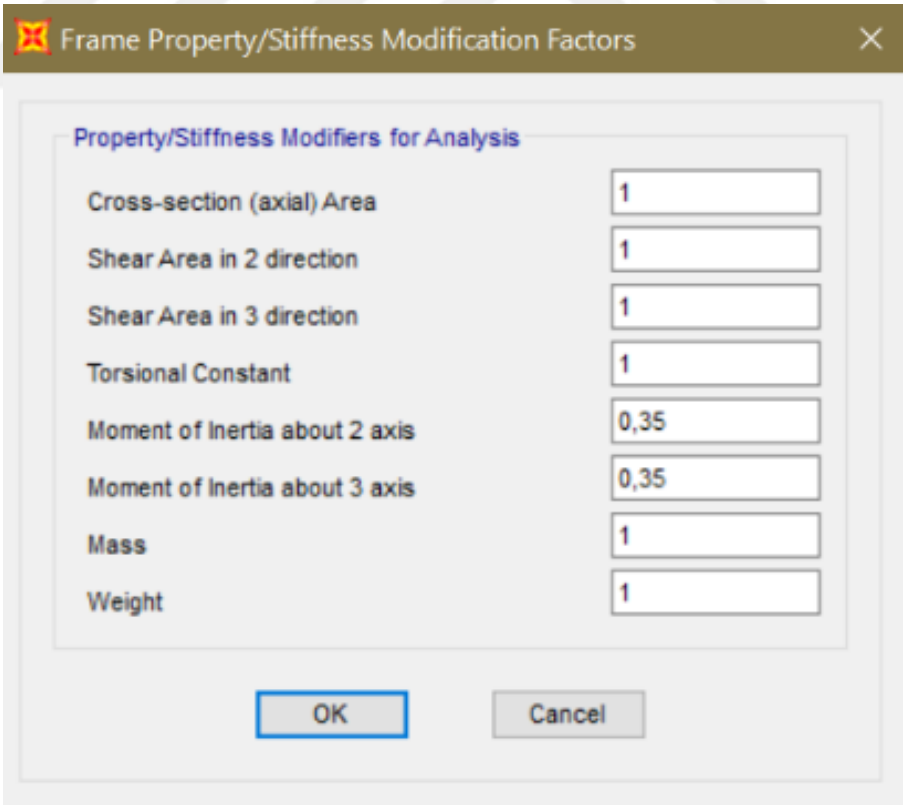
TBDY-2018'e göre bir binada deprem yüklerini taşıyacak olan her bir eleman, bu yükleri temel zeminine kadar devamlı ve emniyetli bir şekilde iletecek düzeyde yeterli rijitlik, süneklik ve dayanıma sahip olmalıdır. Ayrıca yeni yapılacak binalarda taşıyıcı sistemlerin sade, mümkün olduğunca düzenli ve simetrik olarak tasarlanması ile taşıyıcı sistemlerde hiperstatiklik özelliğinin sağlanması gibi faktörler tasarım aşamalarında göz önünde bulundurulacaktır.

4.3.1 Bina modelleme bilgileri

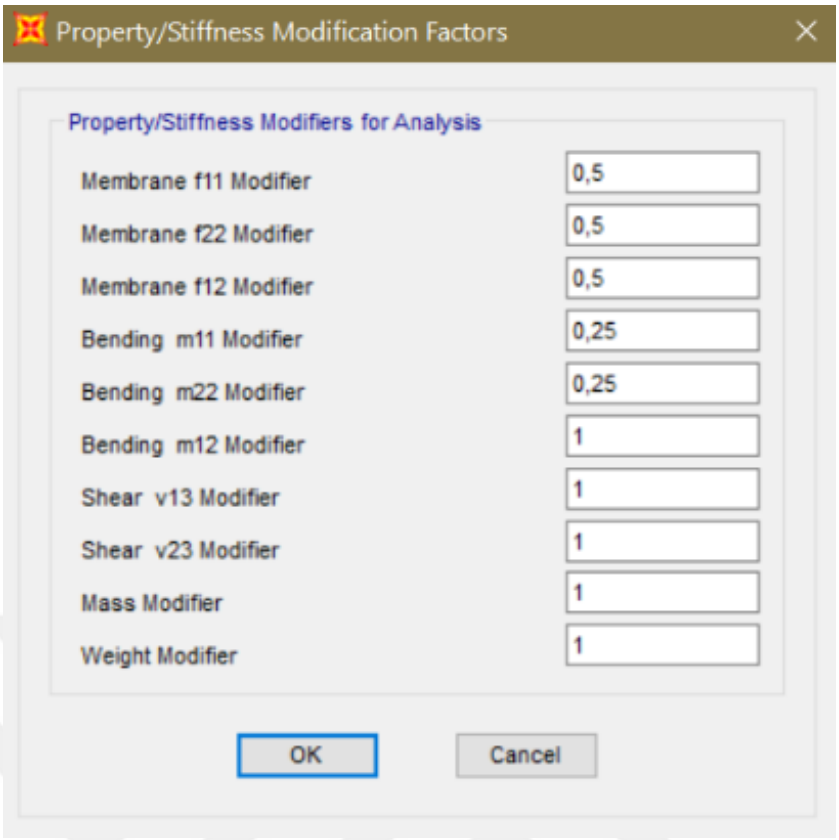
Bina modeli oluşturulurken, TBDY-2018 Bölüm 4.5'de verilen modelleme kuralları baz alınmıştır. Tezde sayısal uygulamaya konu binada kullanılacak tüm elemanlar için ön boyutlandırma işlemi yapıldıktan sonra, binanın üç boyutlu modeli SAP2000 bilgisayar yazılımı kullanılarak hazırlanmıştır. Bu modelleme çalışması kapsamında öncelikle bina aksları programda yerleştirilmiştir. Daha sonra binada kullanılacak C35/45 sınıfı beton ve S420 türü donatı çeliğinin malzeme özellikleri ve tüm elemanların kesit tanımlamaları yapılmıştır. Kesit tanımlarında kolon ve kirişler çubuk (Frame) sonlu eleman olarak; perde ve döşemeler kabuk (Shell) eleman olarak tanımlanmıştır. Ek olarak perde ve çubuk elemanlara ait etkin kesit rijitlikleri, tez kapsamında Bölüm 3.5.5.1'de verilen bilgiler doğrultusunda kesitlere tanımlanmıştır. SAP2000'de elemanlara etkin kesit rijitliği çarpanlarının atanması, sırasıyla Şekil 4.16, Şekil 4.17, Şekil 4.18 ve Şekil 4.19 ile gösterildiği gibi yapılmıştır. Bina modeli çizilip eleman atamaları yapıldıktan sonra, alan elemanlara (perde ve döşemeler) ait hesaplarda daha isabetli sonuçların elde edilmesi amacıyla bu elemanlar sonlu sayıda küçük parçalara bölünmüştür. Sonlu eleman boyutları, kesit tesirlerinin dağılımının istenilen doğrulukta elde edilmesini sağlayacak şekilde belirlenmiştir. Bu işlemin ardından her kat seviyesinde düğüm noktalarının yatay yükler altında ortak hareketini sağlamak için rijit diyafram ataması yapılmıştır. Son olarak düşey elemanlara zemin seviyesinde ankastre mesnet tanımı yapılarak bina modeli hazır hale getirilmiştir (Şekil 4.2).



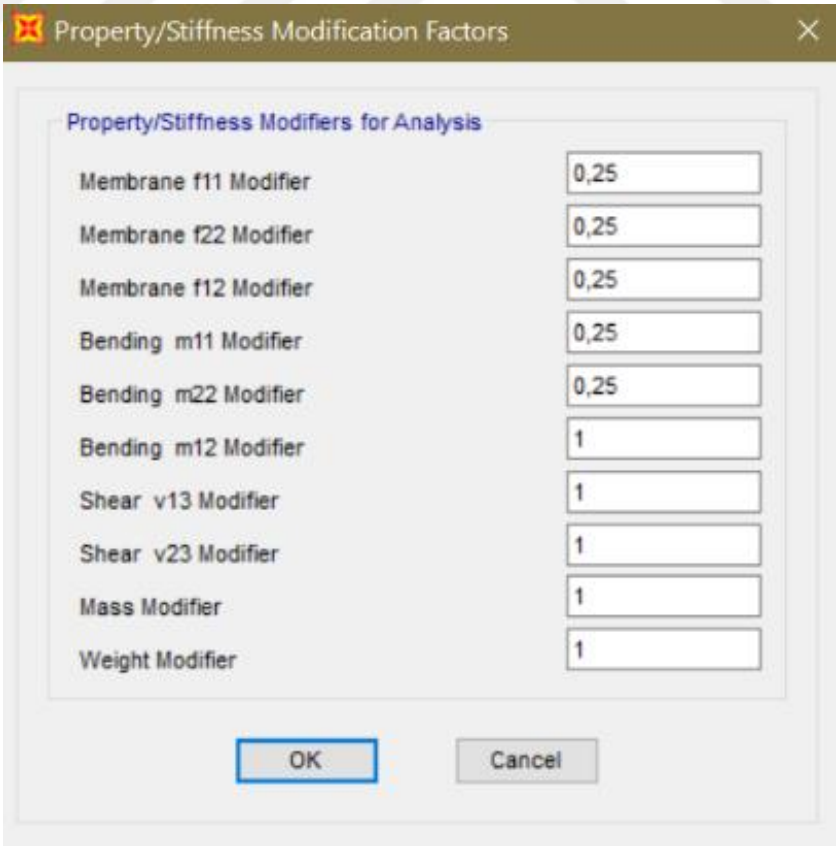
Şekil 4.17: SAP2000'de kolon etkin kesit rijitliğinin tanımlanması.



Şekil 4.18: SAP2000'de kiriş etkin kesit rijitliğinin tanımlanması.



Şekil 4.19: SAP2000'de perde etkin kesit rijitliğinin tanımlanması.



Şekil 4.20: SAP2000'de döşeme etkin kesit rijitliğinin tanımlanması.

Bina modeli eleman ön boyutları ile oluşturulduktan sonra SAP2000 programında, mod şekilleri, bina hakim periyotları ve kat kütlelerinin belirlenmesi için Modal Analiz, katlara etkiyecek deprem kuvvetleri ve taban kesme kuvvetlerinin tayini için Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ile Analiz ve mod şekillerinin katkılarının birleştirildiği mod birleştirme yöntemi için Spektrum Analiz yapılmıştır. Daha önce belirlenen yük kombinasyonları da programda girilerek kesit tesirleri ile yer değiştirmeler bulunmuş ve gerekli kontroller yapılmıştır.

4.3.2 Modal analiz ile bina hakim periyotları ve kat kütlelerinin bulunması

Modal analizde, X ve Y eksenlerinde ötelenme; Z ekseni etrafında dönme serbestliği için her katta 3 adet olmak üzere 15 katlı yapıda toplam 45 adet mod göz önüne alınmıştır. Ayrıca bu analiz ile TBDY-2018'de belirtilen hesaba katılacak kütle katılım oranının birbirine dik iki deprem doğrultusunun her birinde % 95'ten fazla olması şartı kontrol edilmiştir. Hesaba katılacak etkin kütlelerin toplamı % 95 şartını sağlamazsa, hesaplarda dikkate alınacak mod sayısı arttırılarak hesabın tekrarlanması gerekmektedir. Yapılan analiz sonucunda elde edilen bina periyotları ve kütle katılım oranları Çizelge 4.34 ile verilmiştir.

Çizelge 4.34: Bina periyotları ve modal katkılar.

Analiz Türü	Mod No	Periyot	UX	UY	RZ	Toplam UX	Toplam UY	Toplam RZ
MODAL	1	1.2820	0.75909	0	0	0.75909	0	0
MODAL	2	1.2526	0	0.74841	0	0.75909	0.74841	0
MODAL	3	1.1581	0	0	0.80871	0.75909	0.74841	0.80871
MODAL	4	0.3970	0.11958	0	0	0.87868	0.74841	0.80871
MODAL	5	0.3813	0	0	0.09806	0.87868	0.74841	0.90677
MODAL	6	0.3786	0	0.12416	0	0.87868	0.87257	0.90677
MODAL	7	0.2224	0	0	0.0355	0.87868	0.87257	0.94228
MODAL	8	0.2107	0.04487	0	0	0.92355	0.87257	0.94228
MODAL	9	0.1955	0	0.04916	0	0.92355	0.92173	0.94228
MODAL	10	0.1669	7.665E-07	0	0	0.92355	0.92173	0.94228
MODAL	11	0.1575	0	8.492E-05	0	0.92355	0.92181	0.94228
MODAL	12	0.1380	0.02428	0	0	0.94782	0.92181	0.94228
MODAL	13	0.1319	0	8.531E-06	1.108E-19	0.94782	0.92182	0.94228
MODAL	14	0.1292	0.0004	0	0	0.94823	0.92182	0.94228
MODAL	15	0.1255	0	0.02542	0	0.94823	0.94724	0.94228
MODAL	16	0.1191	0.00127	3.244E-19	1.071E-18	0.94950	0.94724	0.94228
MODAL	17	0.1148	7.868E-17	0.00226	6.724E-16	0.94950	0.94950	0.94228
MODAL	18	0.1088	2.257E-10	3.546E-05	1.558E-11	0.94950	0.94953	0.94228
MODAL	19	0.1073	1.724E-05	6.637E-09	1.029E-12	0.94952	0.94953	0.94228
MODAL	20	0.1053	5.966E-08	3.844E-06	1.792E-09	0.94952	0.94954	0.94228

Çizelge 4.34 (devam): Bina periyotları ve modal katkılar.

Analiz Türü	Mod No	Periyot	UX	UY	RZ	Toplam UX	Toplam UY	Toplam RZ
MODAL	21	0.10146	0.00455	1.039E-07	5.266E-11	0.95407	0.94954	0.94228
MODAL	22	0.09999	0.00233	4.346E-05	9.118E-10	0.95641	0.94958	0.94228
MODAL	23	0.09948	0.0012	0.00015	4.227E-10	0.95761	0.94973	0.94228
MODAL	24	0.09707	0.00021	0.00083	8.016E-10	0.95782	0.95055	0.94228
MODAL	25	0.09552	0.00348	0.00012	1.039E-10	0.96130	0.95068	0.94228
MODAL	26	0.09405	0.00431	0.0000745	4.351E-10	0.96562	0.95075	0.94228
MODAL	27	0.09279	0.00046	0.00011	8.459E-10	0.96607	0.95086	0.94228
MODAL	28	0.08789	7.43E-09	0.01563	2.943E-12	0.96607	0.96648	0.94228
MODAL	29	0.07487	0.0094	5.89E-06	1.835E-11	0.97547	0.96649	0.94228
MODAL	30	0.07420	0.00069	0.00015	2.659E-10	0.97617	0.96664	0.94228
MODAL	31	0.07009	0.00032	0.00021	1.025E-11	0.97649	0.96685	0.94228
MODAL	32	0.06791	5.411E-06	0.0101	6.925E-12	0.97649	0.97695	0.94228
MODAL	33	0.06055	0.00703	9.026E-06	1.511E-11	0.98353	0.97696	0.94228
MODAL	34	0.05630	0.0000817	0.00546	1.575E-10	0.98361	0.98242	0.94228
MODAL	35	0.05201	0.00211	0.00196	6.147E-10	0.98572	0.98438	0.94228
MODAL	36	0.04974	0.00354	0.00171	2.266E-10	0.98925	0.98609	0.94228
MODAL	37	0.04506	0.00117	0.00372	5.781E-10	0.99042	0.98981	0.94228
MODAL	38	0.04137	0.00382	0.00137	9.337E-11	0.99424	0.99119	0.94228
MODAL	39	0.03756	0.00096	0.00365	5.429E-10	0.99520	0.99483	0.94228
MODAL	40	0.03302	0.00309	0.00083	7.996E-11	0.99829	0.99566	0.94228
MODAL	41	0.03028	0.00033	0.0029	3.697E-10	0.99862	0.99857	0.94228
MODAL	42	0.02306	0.00036	0.00029	1.476E-11	0.99898	0.99886	0.94228
MODAL	43	0.01937	0.00016	0.00028	1.169E-09	0.99914	0.99914	0.94228
MODAL	44	0.01036	0.00038	0.00013	8.03E-11	0.99952	0.99927	0.94228
MODAL	45	0.00846	0.00012	0.00035	1.466E-09	0.99964	0.99962	0.94228

Çizelge 4.34'te verilen bilgiler ışığında binanın 1. Modunun % 75.91'lik katkı ile X yönünde ötelenme olduğu; binanın 2. Modunun % 74.84'lük katkı ile Y yönünde ötelenme olduğu ve 3. Modunun % 80.87'lik katkı ile burulma olduğu görülmektedir. Binanın ilk üç mod şekli sırasıyla Şekil 4.3, Şekil 4.4 ve Şekil 4.5 ile verilen şekiller ile aynıdır.

Çizelge 4.34'e bakıldığında, harekete katılan toplam kütle oranının X yönünde % 99.96; Y yönünde % 99.96 olmasıyla TBDY-2018'de verilen % 95 şartının sağlandığı görülmektedir.

Binanın birinci doğal titreşim periyotu, X yönünde ötelenme modunda 1.28 sn; binanın ikinci doğal titreşim periyotu, Y yönünde ötelenme modunda 1.25 sn olarak bulunmuştur. Binada bulunan X yönlü perdelerin Y yönlü perdelere kıyasla daha küçük olması, X yönlü rijitliğin Y yönlü rijitlikten daha düşük olmasını sağlamıştır.

Dolayısıyla binanın X yönündeki periyotunun Y yönündeki periyotundan büyük olması beklenen bir durumdur.

TBDY-2018 Bölüm 4.7.3'te, Eşdeğer Deprem Yükü Yönteminde dikkate alınacak bina hakim periyotu T_p için bir üst sınır öngörülmüştür. Buna göre binada hesaplanan hakim periyot T_p, Denklem 4.21 ile verilen ampirik hakim periyotu T_{pA}'nın 1.4 katını geçmeyecektir. Denklem 4.21'de C_t katsayısı, karma taşıyıcı sistemler için 0.07 alınacaktır.

$$T_{pA} = C_t H_N^{3/4} \tag{4.21}$$

Modal analiz ile SAP2000 programından elde edilen X ve Y yönü hakim periyotları, $T_p^{(X)} = 1.28$ sn ve $T_p^{(Y)} = 1.25$ sn olarak bulunmuştur.

$T_{pA} = 0.07 \times (45)^{0.75} = 1.22$ sn

$T_p^{(X)} = 1.28$ sn; $T_p^{(Y)} = 1.25$ sn $< 1.4T_{pA} = 1.4 \times 1.22 = 1.71$ sn

Yapı hesap modelinden bulunan bina hakim periyotları ampirik hakim periyotunun 1.4 katından küçük olduğu için Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemiyle katlara etkiyecek deprem kuvvetlerinin ve taban kesme kuvvetlerinin hesabında kullanılmıştır.

Yapılan analiz çalışmasının bu aşamasında, bina sadece düşey yükler gözetilerek çözümlenmiştir. Bu noktada binada bulunan yapısal taşıyıcı elemanların öz ağırlıkları program aracılığıyla hesaplanmış olup, önceden belirlenen ilave ölü ve hareketli yükler ise kiriş ve döşemelere ayrıca etki ettirilmiştir. Daha sonra yalnızca düşey yükler (G ve Q) etkisi altında çözümleme yapılmış ve bina toplam ağırlığı ve kat ağırlıkları Çizelge 4.35'deki gibi hesaplanmıştır. Bina toplam ağırlığı ve kat ağırlıkları bulunurken TBDY-2018 Tablo 4.3'te belirtilen hareketli yük katılım katsayısı konut türü yapılar için 0.30 olarak seçilmiştir (G+0.3Q).

Bulunan her katın ağırlıkları ve bina toplam ağırlığı, daha sonra Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemiyle katlara etkiyecek deprem kuvvetlerinin ve taban kesme kuvvetlerinin hesabında kullanılmıştır.

Çizelge 4.35: Bina kat kütleleri ve toplam kütlesi.

Kat	Kat Ağırlığı (kN)	Kat Kütlesi (t)	Bina Ağırlığı (kN)	Bina Kütlesi (t)
15	14715.1	1500.52		
14 - 2	16436.5	1676.06	245981.3	25083.11
1	17591.3	1793.81		

4.3.3 Deprem ve zemin parametrelerinin belirlenmesi

4.3.3.1 Zemin parametrelerinin belirlenmesi

TBDY-2018'e göre tasarım spektral ivme katsayılarının hesaplanmasında kullanılacak yerel zemin sınıfları ve bu sınıflara ait yapısal özellikler, Çizelge 4.36 ile sunulmuştur.

Çizelge 4.36: TBDY-2018'e göre yerel zemin sınıfları ve teknik özellikleri [23].

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	Üst 30 metrede ortalama		
		$(V_s)_{30}$ [m/s]	$(N_{60})_{30}$ [darbe/30 cm]	$(c_u)_{30}$ [kPa]
ZA	Sağlam, sert kayalar	> 1500	-	-
ZB	Az ayrışmış, orta sağlam kayalar	760 - 1500	-	-
ZC	Çok sıkı kum - çakıl, sert kil, ayrışmış kayalar	360 – 760	> 50	> 250
ZD	Orta sıkı kum - çakıl, çok katı kil	180 - 360	15 - 50	70 – 250
ZE	Gevşek kum - çakıl, yumuşak-katı kil veya PI > 20 ve w > %40 olan 3 metreden kalın yumuşak kil tabakası (c_u < 25 kPa)	< 180	< 15	< 70
ZF	Sahaya özel etüd gereken zeminler: 1) Deprem etkisi altında çökme ve göçme riskine sahip zeminler 2) Toplam kalınlığı 3 metreden büyük turba-organik içerikli killer 3) Toplam kalınlığı 8 metreden büyük ve PI > 50 olan killer 4) Çok kalın (> 35 m) yumuşak-orta katı killer			

Tez konusu bina temelinin oturacağı zemin sınıfı Çizelge 4.36'dan yararlanılarak ZB olarak kabul edilmiştir.

4.3.3.2 Deprem parametrelerinin belirlenmesi

Tasarım spektral ivme katsayılarının belirlenmesi

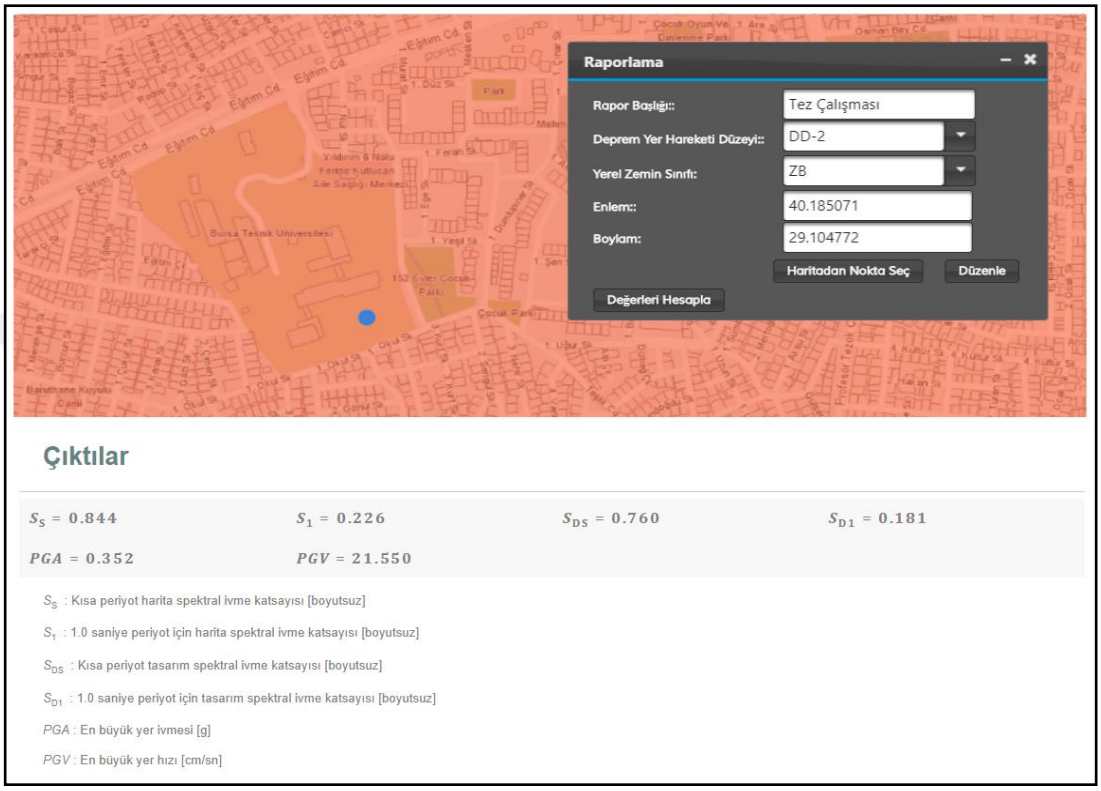
Tasarımı ve analizi yapılacak binanın Bursa'nın Yıldırım ilçesi 152 Evler Mahallesi'nde yer alması planlanmıştır. Deprem hesaplarında kullanılacak elastik tasarım spektrumları için gerekli olan spektral ivme katsayılarına, T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı'na ait https://tdth.afad.gov.tr/TDTH/main.xhtml web sitesi üzerinden ulaşılmaktadır. Bu web sitesi üzerinden DD-2 deprem yer hareketi düzeyi ve ZB zemin sınıfına göre deprem parametreleri aşağıdaki gibi belirlenmiştir (Şekil 4.20).

Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı: S_S = 0.844

1.0 saniye periyot harita spektral ivme katsayısı: S_1 = 0.226

Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı: S_{DS} = 0.760

1.0 saniye periyot tasarım spektral ivme katsayısı: S_{D1} = 0.181



Şekil 4.21: TDTH interaktif uygulaması ile deprem parametrelerinin belirlenmesi (DD-2).

Bina kullanım sınıfı ve bina önem katsayısının belirlenmesi

Konut tipindeki tez konusu bina için, Çizelge 3.6'ya göre bina kullanım sınıfı BKS = 3, bina önem katsayısı I = 1.0 olarak belirlenmiştir.

Deprem tasarım sınıfının belirlenmesi

Bina kullanım sınıfı BKS = 3 için, deprem düzeyi DD-2 olan Çizelge 3.7'de S_{DS} = 0.76 değeri kullanılarak deprem tasarım sınıfı DTS = 1 olarak belirlenmiştir.

Bina yükseklik sınıfının belirlenmesi

Bina toplam yüksekliği H_N = 45 m ve deprem tasarım sınıfı DTS = 1 için, Çizelge 3.8'e göre bina yükseklik sınıfı BYS = 3 olarak belirlenmiştir.

Bina performans hedefinin ve tasarım yaklaşımının belirlenmesi

Bina yükseklik sınıfı BYS = 3 olan yeni yapılacak yerinde dökme betonarme binada, deprem tasarım sınıfı DTS = 1 için; Çizelge 3.10'a göre DD-2 deprem düzeyi altında kontrollü hasar (KH) performans hedefi ve dayanıma göre tasarım yaklaşımı (DGT) belirlenmiştir.

Bina süneklik düzeyinin belirlenmesi

TBDY-2018'e göre her iki deprem doğrultusunda taşıyıcı sistemin süneklik düzeyi aynı olmalıdır. Binanın süneklik koşuluna ilişkin olarak, bina her iki yatay deprem doğrultusunda da yüksek sünek olacak şekilde düşünülmüştür.

Taşıyıcı sistem davranış katsayısı ve dayanım fazlalığı katsayısının belirlenmesi

TBDY-2018'e göre her iki deprem doğrultusunda taşıyıcı sistemin süneklik düzeyi aynı olmalıdır. Fakat iki deprem doğrultusunda farklı R ve D katsayıları kullanılabilir. Tez konusu binanın taşıyıcı sistemi, her iki deprem doğrultusunda süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçeveler ile süneklik düzeyi yüksek boşluksuz betonarme perdelerden oluşmaktadır. Buna göre Çizelge 3.14 kullanılarak her iki doğrultuda taşıyıcı sistem davranış katsayısı R =7; dayanım fazlalığı katsayısı D =2.5 olarak belirlenmiştir. Çizelge 3.14'e göre bu seçimde bina yükseklik sınıfı BYS = 3, istenilen bina yükseklik şartını sağlamaktadır.

Seçilen davranış katsayısının (R) kontrolü, bina modeli Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ile analiz edildikten sonra elde edilecek kesit tesirlerine göre Bölüm 3.5.2.2'de ve Bölüm 3.5.3'te açıklanan kurallar uyarınca gerçekleştirilmiştir.

4.3.4 Hesap yönteminin belirlenmesi

TBDY-2018'e göre Modal Hesap Yöntemleri, DGT yaklaşımı çerçevesindeki tüm binaların deprem hesaplarında kullanılabilirken; Eşdeğer Deprem Yükü Yönteminin kullanılması bazı sınırlamalara tabidir.

Çizelge 3.17 ile verilen sınırlamalara bakıldığında, BYS = 3 olan binalar için Eşdeğer Deprem Yükü Yönteminin kullanılmasına izin verilmediği görülmektedir. Dolayısıyla, bu tez kapsamında tasarımı yapılacak olan çok katlı betonarme binanın deprem yükleri altında kesit tesirleri ile yerdeğiştirmelerinin bulunması, gerekli

kontrollerinin sağlanması ve tasarımının yapılmasında kullanılacak olan doğrusal yöntem, Mod Birleştirme Yöntemidir.

Mod Birleştirme Yönteminin yanında, Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ile binaya etkiyecek toplam deprem kuvveti ve bu kuvvetin katlara dağılımı hesaplanacaktır. Böylece taşıyıcı sistem davranış katsayısının ve Mod Birleştirme Yöntemi ile elde edilecek bina toplam deprem kuvvetinin kontrollerinde Eşdeğer Deprem Yükü Yönteminden faydalanılacaktır. Bunlara ek olarak, TBDY-2018'de verilen planda ve düşey doğrultuda düzensizlik tiplerinin kontrolleri de Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ile yapılacaktır.

4.3.5 Eşdeğer deprem yükü yöntemi ile hesap

Binaya etki edecek eşdeğer deprem kuvvetleri, birbirine dik iki deprem doğrultusu (X ve Y) için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bu aşamada takip edilen adımların sırası, Bölüm 3.5.6.2.'de açıklanan adımlara paraleldir. Modal analiz sonucunda bulunan binanın doğal titreşim periyotları ve kat ağırlıkları, eşdeğer deprem yükü yönteminde doğrudan kullanılmıştır.

4.3.5.1 Eşdeğer deprem yüklerinin hesabı ve katlara dağılımı

X doğrultusundaki eşdeğer deprem yükünün hesaplanması:

Deprem yer hareketi düzeyi: DD-2

Yerel Zemin Sınıfı: ZB

Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı: $S_{DS} = 0.760$

1.0 saniye periyot tasarım spektral ivme katsayısı: $S_{D1} = 0.181$

Bina Önem Katsayısı: I = 1.0 ; (Konut Türü Yapı)

Taşıyıcı sistem davranış katsayısı: R = 7

Dayanım fazlalığı katsayısı: D = 2.5

X doğrultusunda hakim periyot: $T_p^{(X)} = 1.28$ sn

Yatay tasarım spektrumu köşe periyotu: $T_A = 0.2(S_{D1} / S_{DS}) = 0.2 \times (0.181 / 0.760) = 0.05$ sn

Yatay tasarım spektrumu köşe periyotu: $T_B = S_{D1} / S_{DS} = (0.181 / 0.760) = 0.24$ sn

Yatay elastik tasarım spektral ivmesi: $S_{ae}(T_p^{(X)}) = S_{D1} / T_p^{(X)} = (0.181 / 1.28) = 0.14$ g

Deprem Yükü Azaltma Katsayısı: $R_a(T_p^{(X)}) = R / I = (7 / 1) = 7$; $(T_p^{(X)} > T_B)$

Azaltılmış tasarım spektral ivmesi: $S_{aR}(T_p^{(X)}) = S_{ae}(T_p^{(X)}) / R_a(T_p^{(X)}) = (0.14/7)=0.02$ g

Bina toplam kütlesi: $m_t = 25083.11$ t

Toplam Eşdeğer Deprem Yükü: $V_{tE}^{(X)} = m_t\, S_{aR}(T_p^{(X)}) \geq 0.04\, m_t\, I\, S_{DS}$ g

$V_{tE}^{(X)} = 25083.11 \times 0.02 \times 9.807 = 4920$ kN $< 0.04 \times 25083.11 \times 1 \times 0.760 \times 9.807 = 7478$ kN

X doğrultusunda hesaplanan eşdeğer deprem yükü, TBDY-2018'de verilen minimum eşdeğer deprem yükünden küçük olduğu için hesaplarda minimum eşdeğer deprem yükü kullanılacaktır.

$V_{tE}^{(X)} = 0.04 \times 25083.11 \times 1 \times 0.760 \times 9.807 = 7478$ kN

Toplam eşdeğer deprem yükü $V_{tE}^{(X)}$, her kata kat hizalarında etki edecek şekilde dağıtılabilir. Bunun için öncelikli olarak binanın en üst katına etki edecek ek eşdeğer deprem yükü ($\Delta F_{NE}^{(X)}$) hesaplanmalıdır.

Ek eşdeğer deprem yükü: $\Delta F_{NE}^{(X)} = 0.0075\, N\, V_{tE}^{(X)} = 0.0075 \times 15 \times 7478 = 841.28$ kN

X doğrultusunda toplam eşdeğer deprem yükünün katlara dağılımı Çizelge 4.37 ile sunulmuştur.

Çizelge 4.37: X-Y doğrultularında katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri ve taban kesme kuvvetleri.

Kat	m_i (t)	H_i (m)	$m_i \times H_i$	$m_i \times H_i / \sum m_i \times H_i$	$V_{tE}^{(X)}$ (kN)	$\Delta F_{NE}^{(X)}$ (kN)	$F_{iE}^{(X)}$ (kN)	$V_{iE}^{(X)}$ (kN)
15	1500.52	45	67523.40	0.1133	7478	841.28	1593.39	1593.39
14	1676.06	42	70394.52	0.1181	7478	841.28	784.09	2377.48
13	1676.06	39	65366.34	0.1097	7478	841.28	728.08	3105.56
12	1676.06	36	60338.16	0.1013	7478	841.28	672.08	3777.64
11	1676.06	33	55309.98	0.0928	7478	841.28	616.07	4393.71
10	1676.06	30	50281.80	0.0844	7478	841.28	560.06	4953.78
9	1676.06	27	45253.62	0.0759	7478	841.28	504.06	5457.83
8	1676.06	24	40225.44	0.0675	7478	841.28	448.05	5905.89
7	1676.06	21	35197.26	0.0591	7478	841.28	392.05	6297.93
6	1676.06	18	30169.08	0.0506	7478	841.28	336.04	6633.97
5	1676.06	15	25140.90	0.0422	7478	841.28	280.03	6914.00
4	1676.06	12	20112.72	0.0338	7478	841.28	224.03	7138.03
3	1676.06	9	15084.54	0.0253	7478	841.28	168.02	7306.05
2	1676.06	6	10056.36	0.0169	7478	841.28	112.01	7418.06
1	1793.81	3	5381.43	0.0090	7478	841.28	59.94	7478.00

Y doğrultusundaki eşdeğer deprem yükünün hesaplanması:

Deprem yer hareketi düzeyi: DD-2

Yerel Zemin Sınıfı: ZB

Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı: $S_{DS} = 0.760$

2.0 saniye periyot tasarım spektral ivme katsayısı: $S_{D1} = 0.181$

Bina Önem Katsayısı: I = 1.0 ; (Konut Türü Yapı)

Taşıyıcı sistem davranış katsayısı: R = 7

Dayanım fazlalığı katsayısı: D = 2.5

Y doğrultusunda hakim periyot: $T_p^{(Y)} = 1.25$ sn

Yatay tasarım spektrumu köşe periyotu: $T_A = 0.2(S_{D1} / S_{DS}) = 0.2 \text{ x } (0.181 / 0.760) = 0.05$ sn

Yatay tasarım spektrumu köşe periyotu: $T_B = S_{D1} / S_{DS} = (0.181 / 0.760) = 0.24$ sn

Yatay elastik tasarım spektral ivmesi: $S_{ae}(T_p^{(Y)}) = S_{D1} / T_p^{(Y)} = (0.181 / 1.25) = 0.145g$

Deprem Yükü Azaltma Katsayısı: $R_a(T_p^{(Y)}) = R / I = (7 / 1) = 7$; $(T_p^{(Y)} > T_B)$

Azaltılmış tasarım spektral ivmesi: $S_{aR}(T_p^{(Y)}) = S_{ae}(T_p^{(Y)}) / R_a(T_p^{(Y)}) = (0.145 / 7) = 0.021$ g

Bina toplam kütlesi: $m_t = 25083.11$ t

Toplam Eşdeğer Deprem Yükü: $V_{tE}^{(Y)} = m_t \, S_{aR}(T_p^{(Y)}) \geq 0.04 \, m_t \, I \, S_{DS} \, g$

$V_{tE}^{(Y)} = 25083.11 \text{ x } 0.021 \text{ x } 9.807 = 5166 \text{ kN} < 0.04 \text{ x } 25083.11 \text{ x } 1 \text{ x } 0.760 \text{ x } 9.807 = 7478 \text{ kN}$

Y doğrultusunda hesaplanan eşdeğer deprem yükü, TBDY-2018'de verilen minimum eşdeğer deprem yükünden küçük olduğu için hesaplarda minimum eşdeğer deprem yükü kullanılacaktır.

$V_{tE}^{(Y)} = 0.04 \text{ x } 25083.11 \text{ x } 1 \text{ x } 0.760 \text{ x } 9.807 = 7478 \text{ kN}$

Toplam eşdeğer deprem yükü $V_{tE}^{(Y)}$, her kata kat hizalarında etki edecek şekilde dağıtılabilir. Bunun için öncelikli olarak binanın en üst katına etki edecek ek eşdeğer deprem yükü ($\Delta F_{NE}^{(Y)}$) hesaplanmalıdır.

Ek eşdeğer deprem yükü: $\Delta F_{NE}^{(Y)} = 0.0075 \text{ N } V_{tE}^{(Y)} = 0.0075 \text{ x } 15 \text{ x } 7478 = 841.28 \text{ kN}$

Y doğrultusunda toplam eşdeğer deprem yükü, X doğrultusundaki toplam eşdeğer yüküne eşit olduğundan, Y doğrultusundaki deprem kuvvetlerinin katlara dağılımı Çizelge 4.37 ile verilen dağılım ile aynıdır.

4.3.5.2 Eşdeğer deprem yükü yöntemi ile taşıyıcı sistem davranış katsayısı tahkiki

Bölüm 4.3.5.1'de taban kesme kuvvetleri ($V_{tE}^{(X)}$ ile $V_{tE}^{(Y)}$) hesaplarında, taşıyıcı sistem davranış katsayısı R = 7 olarak kabul edilmişti. Eşdeğer Deprem Yükü taban kesme kuvvetlerinin Mod Birleştirme taban kesme kuvvetleri ile karşılaştırılması ve gerekli düzensizlik kontrollerin istenilen şekilde yapılması için bu bölümde R katsayısının tahkiki gerçekleştirilecektir.

TBDY-2018'e göre gerekli tahkikin yapılabilmesi için öncelikli olarak her iki deprem yönünde deprem kuvvetlerinden kaynaklı bina tabanında oluşan toplam devrilme momentleri hesaplanmalıdır. Bina taban devrilme momenti M_O, Denklem 4.22 ile verildiği üzere kat deprem kuvvetlerinin söz konusu katın bina tabanına mesafesiyle çarpılmasından elde edilir.

$$M_O^{(X,Y)} = \sum F_{iE}^{(X,Y)} H_i \qquad (4.22)$$

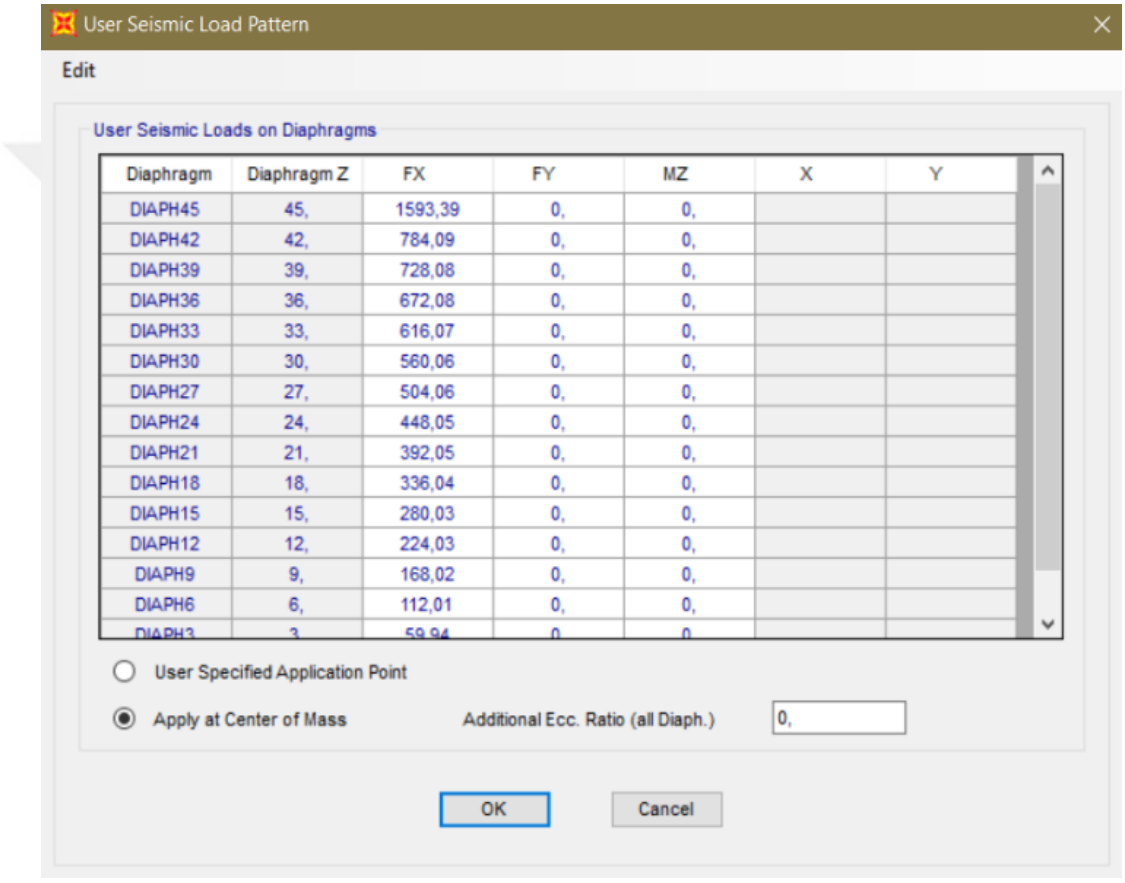
Denklem 4.22 ile X ve Y yönlerinde hesaplanan bina taban devrilme momentleri $M_O^{(X)}$ ve $M_O^{(Y)}$ değerleri, Çizelge 4.38 ile verilmiştir.

Çizelge 4.38: X ve Y doğrultularında bina taban devrilme momentlerinin hesaplanması.

Kat	H_i (m)	$F_{iE}^{(X)}$ (kN)	$F_{iE}^{(Y)}$ (kN)	H_i x $F_{iE}^{(X)}$ (kNm)	H_i x $F_{iE}^{(Y)}$ (kNm)
15	45	1593.39	1593.39	71702.55	71702.55
14	42	784.09	784.09	32931.78	32931.78
13	39	728.08	728.08	28395.26	28395.26
12	36	672.08	672.08	24194.78	24194.78
11	33	616.07	616.07	20330.33	20330.33
10	30	560.06	560.06	16801.93	16801.93
9	27	504.06	504.06	13609.56	13609.56
8	24	448.05	448.05	10753.23	10753.23
7	21	392.05	392.05	8232.95	8232.95
6	18	336.04	336.04	6048.69	6048.69
5	15	280.03	280.03	4200.48	4200.48
4	12	224.03	224.03	2688.31	2688.31
3	9	168.02	168.02	1512.17	1512.17
2	6	112.01	112.01	672.08	672.08
1	3	59.94	59.94	179.82	179.82
TOPLAM		7478	7478	242253.94	242253.94

Çizelge 4.38'e göre $\sum M_O^{(X)} = \sum M_O^{(Y)} = 242253.94$ kNm olarak hesaplanmıştır.

SAP2000 programı ile perdelerin aldığı deprem yüklerinden oluşan devrilme momentleri M_{DEV}'lerin hesaplanması için, Çizelge 4.37'de hesaplanan F_{iE} değerleri, hesap yapılan deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat uzunluğunun +%5'i ve -%5'i oranında kaydırılması ile bulunan noktalar ile kat kütle merkezlerine uygulanmıştır. SAP2000 programında, EX, EXP, EXN, EY, EYP ve EYN olmak üzere toplam 6 adet deprem yüklemesi yapılmış olup EX yüklemesine ait örnek ekran görüntüsü Şekil 4.21 ile verilmiştir.



Şekil 4.22: SAP2000 programına deprem yüklerinin girilmesi.

TBDY-2018'e göre tek bir perdede oluşacak taban devrilme momenti M_{DEV}, aynı deprem doğrultusundaki bina toplam devrilme momenti M_O'un üçte birinden az olmalıdır. Bu doğrultuda SAP2000'den alınan P01 ve P02 perdelerinin taban devrilme momentlerinin kontrolü aşağıdaki gibidir.

X doğrultusunda P01: $M_{DEV} = 59.3$ kNm $< M_O / 3 = 242253.94 / 3 = 80751.3$ kNm

Y doğrultusunda P01: $M_{DEV} = 10482.7$ kNm $< M_O / 3 = 242253.94 / 3 = 80751.3$ kNm

X doğrultusunda P02: $M_{DEV} = 7608.5$ kNm $< M_O / 3 = 242253.94 / 3 = 80751.3$ kNm

Y doğrultusunda P02: M_{DEV} = 43.8 kNm< M_O / 3 = 242253.94 / 3 = 80751.3 kNm

TBDY-2018'e göre perde tabanlarında deprem yüklerinden oluşan devrilme momentleri toplamı, aynı doğrultudaki bina toplam devrilme momentinin % 40'ı ile % 75'i arasında olmalıdır. Bu koşulda alt sınırın sağlanamaması durumunda, Çizelge 3.14 ile verilen R ve D katsayılarında bir değişikliğe gidilmeyecek fakat izin verilen maksimum BYS'nin bir fazlası göz önüne alınacaktır.

X doğrultusunda $\sum M_{DEV}$ = (59.3 + 7608.5) x 4 = 30671.2 kNm

$\sum M_{DEV}$ / M_O = 30671.2 / 242253.94 = 0.13

Y doğrultusunda $\sum M_{DEV}$ = (10482.7 + 43.8) x 4 = 42106 kNm

$\sum M_{DEV}$ / M_O = 42106 / 242253.94 = 0.17

Bu durumda, TBDY-2018'de belirlenen % 40 alt sınır sağlanamamıştır. R ve D katsayılarında bir değişiklik yapılmayacaktır. Fakat Çizelge 3.14 ile verilen izin verilen maksimum BYS ≥ 3 olacaktır. Bu durumda tez konusu binada BYS = 3 olduğu için işlemlere R = 7 ve D = 2.5 alınarak devam edilmiştir.

4.3.5.3 Eşdeğer deprem yükü yöntemi ile düzensizlik kontrolleri

Bu bölümde, TBDY-2018'de açıklanan A tipi planda düzensizlik durumları (A1, A2, A3) ve B tipi düşey doğrultuda düzensizlik durumları (B1, B2, B3) ait kontroller yapılmıştır. Düzensizlik kontrollerinde takip edilecek adımlar, Bölüm 3.4.6'da detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

A1 tipi burulma düzensizliği kontrolü

Burulma düzensizliği kontrolü, X ve Y deprem doğrultularında ek dış merkezlik etkileri de gözetilerek EX, EXP-EXN, EY, EYP-EYN yüklemeleri için gerçekleştirilmiştir. Her bir düzensizlik kontrolü, sırasıyla Çizelge 4.39, Çizelge 4.40, Çizelge 4.41 ve Çizelge 4.42 ile sunulmuştur.

Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi birinde, bir katta A1 burulma düzensizliği katsayısının sınır değeri olan 1.2'yi aşması durumunda, eşdeğer deprem yükünün katlara etki ettirilmesinde dikkate alınan ± %5 ek dış merkezlik oranı arttırılmalıdır. Denklem 3.43 ile verilen D_{bi} katsayısı hesaplanarak yeni ek dışmerkezlik oranı belirlenmeli ve bu ek dışmerkezlik doğrultusunda tasarıma esas kesit tesirleri hesaplanmalıdır.

Çizelge 4.39: EX yüklemesi altında A1 burulma düzensizliği kontrolü.

Kat	Yükleme	$(d_i)_{max}$ (mm)	$(d_i)_{min}$ (mm)	$(\Delta_i^{(X)})_{max}$ (mm)	$(\Delta_i^{(X)})_{min}$ (mm)	$(\Delta_i^{(X)})_{ort}$ (mm)	η_{bi}
15	EX	23.320	23.320	0.990	0.990	0.990	1.000
14	EX	22.330	22.330	1.124	1.124	1.124	1.000
13	EX	21.206	21.206	1.265	1.265	1.265	1.000
12	EX	19.941	19.941	1.413	1.413	1.413	1.000
11	EX	18.528	18.528	1.554	1.554	1.554	1.000
10	EX	16.974	16.974	1.681	1.681	1.681	1.000
9	EX	15.293	15.293	1.792	1.792	1.792	1.000
8	EX	13.501	13.501	1.881	1.881	1.881	1.000
7	EX	11.620	11.620	1.943	1.943	1.943	1.000
6	EX	9.677	9.677	1.972	1.972	1.972	1.000
5	EX	7.705	7.705	1.957	1.957	1.957	1.000
4	EX	5.748	5.748	1.881	1.881	1.881	1.000
3	EX	3.867	3.867	1.709	1.709	1.709	1.000
2	EX	2.158	2.158	1.387	1.387	1.387	1.000
1	EX	0.771	0.771	0.771	0.771	0.771	1.000

Çizelge 4.39'a bakıldığında, burulma düzensizliği katsayısı η_{bi} her katta sınır değer olan 1.2'den küçüktür. EX yüklemesi altında A1 burulma düzensizliği gözlenmemiştir.

Çizelge 4.40: EXP-EXN yüklemesi altında A1 burulma düzensizliği kontrolü.

Kat	Yükleme	$(d_i)_{max}$ (mm)	$(d_i)_{min}$ (mm)	$(\Delta_i^{(X)})_{max}$ (mm)	$(\Delta_i^{(X)})_{min}$ (mm)	$(\Delta_i^{(X)})_{ort}$ (mm)	η_{bi}
15	EXP-EXN	25.386	21.254	1.040	0.939	0.990	1.051
14	EXP-EXN	24.346	20.315	1.194	1.054	1.124	1.062
13	EXP-EXN	23.152	19.261	1.354	1.177	1.266	1.070
12	EXP-EXN	21.798	18.084	1.518	1.308	1.413	1.074
11	EXP-EXN	20.280	16.776	1.674	1.433	1.554	1.078
10	EXP-EXN	18.606	15.343	1.817	1.547	1.682	1.080
9	EXP-EXN	16.789	13.796	1.939	1.645	1.792	1.082
8	EXP-EXN	14.850	12.151	2.039	1.722	1.881	1.084
7	EXP-EXN	12.811	10.429	2.110	1.775	1.943	1.086
6	EXP-EXN	10.701	8.654	2.147	1.797	1.972	1.089
5	EXP-EXN	8.554	6.857	2.139	1.776	1.958	1.093
4	EXP-EXN	6.415	5.081	2.065	1.696	1.881	1.098
3	EXP-EXN	4.350	3.385	1.894	1.524	1.709	1.108
2	EXP-EXN	2.456	1.861	1.564	1.211	1.388	1.127
1	EXP-EXN	0.892	0.650	0.892	0.650	0.771	1.157

Çizelge 4.40'a bakıldığında, burulma düzensizliği katsayısı η_{bi} her katta sınır değer olan 1.2'den küçüktür. EXP-EXN yüklemesi altında A1 burulma düzensizliği

gözlenmemiştir. EXP ve EXN yüklemesi altında elde edilen öteleme değerleri aynı olduğu için düzensizlik kontrolü ortak bir tabloda sunulmuştur.

Çizelge 4.41: EY yüklemesi altında A1 burulma düzensizliği kontrolü.

Kat	Yükleme	$(d_i)_{max}$ (mm)	$(d_i)_{min}$ (mm)	$(\Delta_i^{(Y)})_{max}$ (mm)	$(\Delta_i^{(Y)})_{min}$ (mm)	$(\Delta_i^{(Y)})_{ort}$ (mm)	η_{bi}
15	EY	22.641	22.641	1.044	1.044	1.044	1.000
14	EY	21.597	21.597	1.162	1.162	1.162	1.000
13	EY	20.435	20.435	1.288	1.288	1.288	1.000
12	EY	19.147	19.147	1.422	1.422	1.422	1.000
11	EY	17.725	17.725	1.550	1.550	1.550	1.000
10	EY	16.175	16.175	1.670	1.670	1.670	1.000
9	EY	14.505	14.505	1.769	1.769	1.769	1.000
8	EY	12.736	12.736	1.847	1.847	1.847	1.000
7	EY	10.889	10.889	1.895	1.895	1.895	1.000
6	EY	8.994	8.994	1.904	1.904	1.904	1.000
5	EY	7.090	7.090	1.865	1.865	1.865	1.000
4	EY	5.225	5.225	1.759	1.759	1.759	1.000
3	EY	3.466	3.466	1.561	1.561	1.561	1.000
2	EY	1.905	1.905	1.233	1.233	1.233	1.000
1	EY	0.672	0.672	0.672	0.672	0.672	1.000

Çizelge 4.41'e bakıldığında, burulma düzensizliği katsayısı η_{bi} her katta sınır değer olan 1.2'den küçüktür. EY yüklemesi altında A1 burulma düzensizliği gözlenmemiştir.

Çizelge 4.42: EYP-EYN yüklemesi altında A1 burulma düzensizliği kontrolü.

Kat	Yükleme	$(d_i)_{max}$ (mm)	$(d_i)_{min}$ (mm)	$(\Delta_i^{(Y)})_{max}$ (mm)	$(\Delta_i^{(Y)})_{min}$ (mm)	$(\Delta_i^{(Y)})_{ort}$ (mm)	η_{bi}
15	EYP-EYN	25.453	19.829	1.112	0.975	1.044	1.066
14	EYP-EYN	24.341	18.854	1.259	1.067	1.163	1.083
13	EYP-EYN	23.082	17.787	1.407	1.168	1.288	1.093
12	EYP-EYN	21.675	16.619	1.565	1.278	1.422	1.101
11	EYP-EYN	20.110	15.341	1.715	1.387	1.551	1.106
10	EYP-EYN	18.395	13.954	1.853	1.486	1.670	1.110
9	EYP-EYN	16.542	12.468	1.969	1.569	1.769	1.113
8	EYP-EYN	14.573	10.899	2.063	1.632	1.848	1.117
7	EYP-EYN	12.510	9.267	2.123	1.666	1.895	1.121
6	EYP-EYN	10.387	7.601	2.142	1.666	1.904	1.125
5	EYP-EYN	8.245	5.935	2.112	1.618	1.865	1.132
4	EYP-EYN	6.133	4.317	2.010	1.508	1.759	1.143
3	EYP-EYN	4.123	2.809	1.813	1.309	1.561	1.161
2	EYP-EYN	2.310	1.500	1.474	0.993	1.234	1.195
1	EYP-EYN	0.836	0.507	0.836	0.507	0.672	1.245

Çizelge 4.42'ye bakıldığında, burulma düzensizliği katsayısı η_{bi} en alt katta sınır değer olan 1.2'yi aşmıştır. EYP-EYN yüklemesi altında A1 burulma düzensizliği gözlenmiştir. EYP ve EYN yüklemesi altında elde edilen öteleme değerleri aynı olduğu için düzensizlik kontrolü ortak bir tabloda sunulmuştur.

Y yönünde burulma düzensizliği gözlendiği için, ± %5 olan ek dışmerkezlik oranı büyütülmüştür.

$D_{bi} = (1.245 / 1.2)^2 = 1.08$

$e' = e \times D_{bi} = 0.05 \times 1.08 = 0.054$

A2 tipi döşeme süreksizliklerinin kontrolü

Tez konusu bina planında herhangi bir merdiven boşluğu, asansör boşluğu veya yerel boşluk bulunmamaktadır. Her katta döşemelerin toplam alanları birbirine eşittir. Bir katta toplam boşluk alanı A_b, brüt kat alanı A olmak üzere A2 tipi düzensizlik kontrolü aşağıdaki gibi sağlanmıştır.

$A_b / A = 0 < 1/3$

Dolayısıyla binada A2 tipi düzensizlik söz konusu değildir.

A3 tipi planda çıkıntılar bulunması durumu kontrolü

Tez konusu bina planında herhangi bir çıkıntı bulunmadığından dolayı binada A3 tipi düzensizlik söz konusu değildir.

B1 komşu katlar arası dayanım düzensizliği kontrolü

B1 tipi düzensizlik kontrolünde, göz önüne alınan deprem doğrultusunda herhangi bir katta bulunan kolon ve perde gibi düşey taşıyıcı elemanlar ile dolgu duvarların etkili kesme alanları, bir üst kattaki etkili kesme alanlarıyla karşılaştırılır. Tez konusu binanın tüm düşey taşıyıcı ve bölme duvar etkili kesme alanları her katta sabit olduğu için, binada B1 tipi düzensizlik söz konusu değildir.

B2 komşu katlar arası rijitlik düzensizliği kontrolü

Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği kontrolü, X ve Y deprem doğrultularında ek dış merkezlik etkileri de gözetilerek EX, EXP-EXN, EY, EYP-EYN yüklemeleri için gerçekleştirilmiştir. Her bir düzensizlik kontrolü, sırasıyla Çizelge 4.43, Çizelge 4.44, Çizelge 4.45 ve Çizelge 4.46 ile sunulmuştur.

Her bir katta oluşan ortalama göreli kat ötelemesi değerleri kullanılarak hesaplanan rijitlik düzensizliği katsayısı $\eta_{ki} > 2.0$ olması durumunda, binada yumuşak kat oluştuğu kabul edilir.

Çizelge 4.43: EX yüklemesi altında B2 komşu katlar arası rijitlik düzensizliği kontrolü.

Kat	h_i (mm)	$(\Delta_i^{(X)})_{ort}$ (mm)	$(\Delta_i^{(X)}/h_i)_{ort}$	$\eta_{ki} = (\Delta_i^{(X)}/h_i)_{ort} / (\Delta_{i+1}^{(X)}/h_{i+1})_{ort}$	$\eta_{ki} = (\Delta_i^{(X)}/h_i)_{ort} / (\Delta_{i-1}^{(X)}/h_{i-1})_{ort}$
15	3000	0.990	0.000330	-	0.881
14	3000	1.124	0.000375	1.135	0.889
13	3000	1.265	0.000422	1.125	0.895
12	3000	1.413	0.000471	1.117	0.909
11	3000	1.554	0.000518	1.100	0.924
10	3000	1.681	0.000560	1.082	0.938
9	3000	1.792	0.000597	1.066	0.953
8	3000	1.881	0.000627	1.050	0.968
7	3000	1.943	0.000648	1.033	0.985
6	3000	1.972	0.000657	1.015	1.008
5	3000	1.957	0.000652	0.992	1.040
4	3000	1.881	0.000627	0.961	1.101
3	3000	1.709	0.000570	0.909	1.232
2	3000	1.387	0.000462	0.812	1.799
1	3000	0.771	0.000257	0.556	-

Çizelge 4.43'te gösterildiği üzere rijitlik düzensizliği katsayısı η_{ki} her katta sınır değer olan 2.0'dan küçüktür. EX yüklemesi altında B2 tipi düzensizlik gözlenmemiştir.

Çizelge 4.44: EXP-EXN yüklemesi altında B2 komşu katlar arası rijitlik düzensizliği kontrolü.

Kat	h_i (mm)	$(\Delta_i^{(X)})_{ort}$ (mm)	$(\Delta_i^{(X)}/h_i)_{ort}$	$\eta_{ki} = (\Delta_i^{(X)}/h_i)_{ort} / (\Delta_{i+1}^{(X)}/h_{i+1})_{ort}$	$\eta_{ki} = (\Delta_i^{(X)}/h_i)_{ort} / (\Delta_{i-1}^{(X)}/h_{i-1})_{ort}$
15	3000	0.990	0.000330	-	0.880
14	3000	1.124	0.000375	1.136	0.888
13	3000	1.266	0.000422	1.126	0.896
12	3000	1.413	0.000471	1.117	0.910
11	3000	1.554	0.000518	1.099	0.924
10	3000	1.682	0.000561	1.083	0.939
9	3000	1.792	0.000597	1.065	0.953
8	3000	1.881	0.000627	1.049	0.968
7	3000	1.943	0.000648	1.033	0.985
6	3000	1.972	0.000657	1.015	1.007
5	3000	1.958	0.000653	0.993	1.041
4	3000	1.881	0.000627	0.961	1.100
3	3000	1.709	0.000570	0.909	1.232
2	3000	1.388	0.000463	0.812	1.800
1	3000	0.771	0.000257	0.556	-

Çizelge 4.44'te gösterildiği üzere rijitlik düzensizliği katsayısı η_{ki} her katta sınır değer olan 2.0'dan küçüktür. EXP-EXN yüklemesi altında B2 tipi düzensizlik gözlenmemiştir.

Çizelge 4.45: EY yüklemesi altında B2 komşu katlar arası rijitlik düzensizliği kontrolü.

Kat	h_i (mm)	$(\Delta_i^{(Y)})_{ort}$ (mm)	$(\Delta_i^{(Y)}/h_i)_{ort}$	$\eta_{ki} = (\Delta_i^{(Y)}/h_i)_{ort} / (\Delta_{i+1}^{(Y)}/h_{i+1})_{ort}$	$\eta_{ki} = (\Delta_i^{(Y)}/h_i)_{ort} / (\Delta_{i-1}^{(Y)}/h_{i-1})_{ort}$
15	3000	1.044	0.000348	-	0.898
14	3000	1.162	0.000387	1.113	0.902
13	3000	1.288	0.000429	1.108	0.906
12	3000	1.422	0.000474	1.104	0.917
11	3000	1.550	0.000517	1.090	0.928
10	3000	1.670	0.000557	1.077	0.944
9	3000	1.769	0.000590	1.059	0.958
8	3000	1.847	0.000616	1.044	0.975
7	3000	1.895	0.000632	1.026	0.995
6	3000	1.904	0.000635	1.005	1.021
5	3000	1.865	0.000622	0.980	1.060
4	3000	1.759	0.000586	0.943	1.127
3	3000	1.561	0.000520	0.887	1.266
2	3000	1.233	0.000411	0.790	1.835
1	3000	0.672	0.000224	0.545	-

Çizelge 4.45'te gösterildiği üzere rijitlik düzensizliği katsayısı η_{ki} her katta sınır değer olan 2.0'dan küçüktür. EY yüklemesi altında B2 tipi düzensizlik gözlenmemiştir.

Çizelge 4.46: EYP-EYN yüklemesi altında B2 komşu katlar arası rijitlik düzensizliği kontrolü.

Kat	h_i (mm)	$(\Delta_i^{(Y)})_{ort}$ (mm)	$(\Delta_i^{(Y)}/h_i)_{ort}$	$\eta_{ki} = (\Delta_i^{(Y)}/h_i)_{ort} / (\Delta_{i+1}^{(Y)}/h_{i+1})_{ort}$	$\eta_{ki} = (\Delta_i^{(Y)}/h_i)_{ort} / (\Delta_{i-1}^{(Y)}/h_{i-1})_{ort}$
15	3000	1.044	0.000348	-	0.897
14	3000	1.163	0.000388	1.115	0.903
13	3000	1.288	0.000429	1.107	0.906
12	3000	1.422	0.000474	1.104	0.917
11	3000	1.551	0.000517	1.091	0.929
10	3000	1.670	0.000557	1.076	0.944
9	3000	1.769	0.000590	1.060	0.958
8	3000	1.848	0.000616	1.044	0.975
7	3000	1.895	0.000632	1.025	0.995
6	3000	1.904	0.000635	1.005	1.021
5	3000	1.865	0.000622	0.980	1.060
4	3000	1.759	0.000586	0.943	1.127
3	3000	1.561	0.000520	0.887	1.266
2	3000	1.234	0.000411	0.790	1.837
1	3000	0.672	0.000224	0.544	-

Çizelge 4.46'da gösterildiği üzere rijitlik düzensizliği katsayısı η_{ki} her katta sınır değer olan 2.0'dan küçüktür. EYP-EYN yüklemesi altında B2 tipi düzensizlik gözlenmemiştir.

B3 taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği kontrolü

Tez konusu binanın tüm katlarında düşey taşıyıcı elemanlar süreklilik teşkil etmektedir. Ayrıca hiçbir katta kirişlere veya guseli kolonların üstüne veya ucuna denk gelen kolon bulunmamaktadır. Dolayısıyla binada B3 tipi düzensizlik söz konusu değildir.

4.3.6 Mod birleştirme yöntemi ile hesap

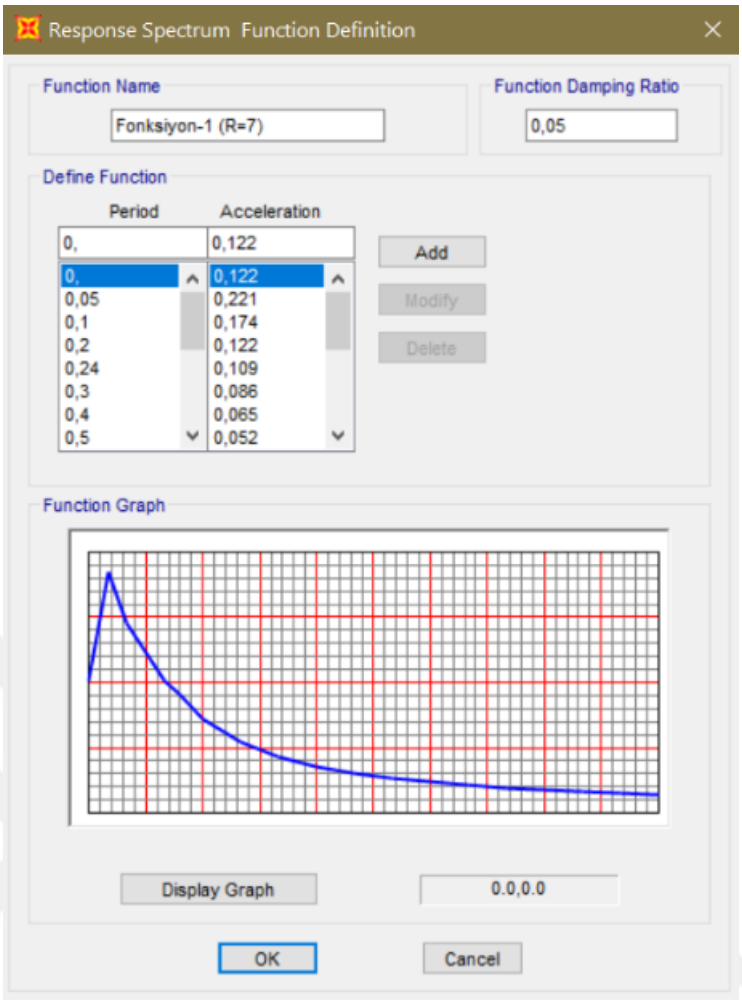
Bu yöntemde taşıyıcı elemanlarda kesit tesirleri, azaltılmış tepki spektrumu kullanılarak, yeterli sayıda titreşim modunun her birinde oluşacak maksimum tesirlerin SAP2000 programında süperpoze edilmesiyle bulunur.

4.3.6.1 Azaltılmış tasarım ivme spektrumunun SAP2000'de tanımlanması

Çizelge 4.47 ile verilen azaltılmış tasarım ivme spektrumu değerleri, SAP2000 programında Şekil 4.22'de gösterildiği gibi fonksiyon olarak tanımlanmıştır.

Çizelge 4.47: Azaltılmış tasarım ivme spektrumu değerleri.

T (sn)	$S_{ae}(T)$	$R_a(T)$	$S_{aR}(T)$
0.00	0.304	2.500	0.122
0.05	0.760	3.438	0.221
0.10	0.760	4.375	0.174
0.20	0.760	6.250	0.122
0.24	0.760	7.000	0.109
0.30	0.603	7.000	0.086
0.40	0.452	7.000	0.065
0.50	0.362	7.000	0.052
0.60	0.301	7.000	0.043
0.70	0.258	7.000	0.037
0.80	0.226	7.000	0.032
0.90	0.201	7.000	0.029
1.00	0.181	7.000	0.026
1.10	0.164	7.000	0.023
1.20	0.151	7.000	0.022
1.30	0.139	7.000	0.020
1.40	0.129	7.000	0.018
1.50	0.121	7.000	0.017

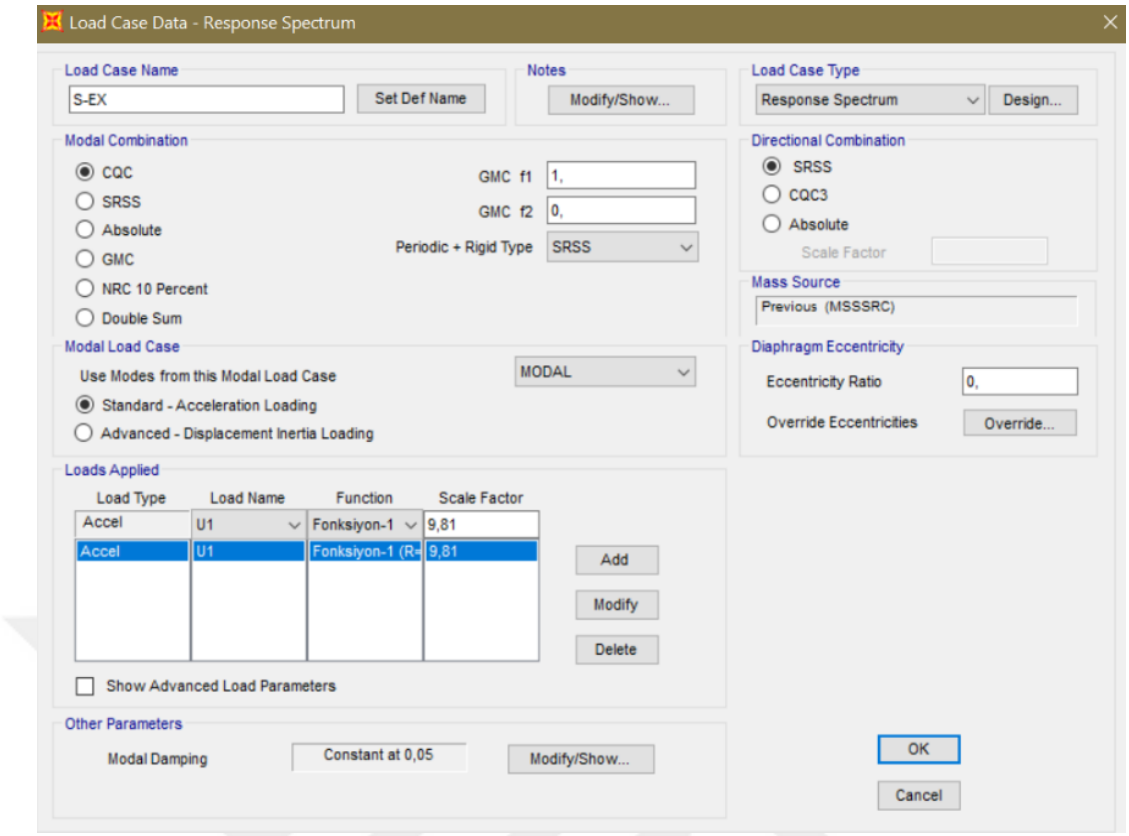


Şekil 4.23: Azaltılmış tasarım ivme spektrumunun SAP2000'e girilmesi.

4.3.6.2 Yükleme durumlarının SAP2000'de oluşturulması ve analizi

Bu adımda deprem yükleri, "Load Case" menüsünden birbirine dik iki deprem doğrultusu için S-EX ve S-EY adlarında tanımlanmıştır. S-EX yüklemesi için etkime doğrultusu U1; S-EY yüklemesi için etkime doğrultusu U2 olarak belirlenmiştir. Her iki doğrultudaki yükleme için ölçek çarpanı g = 9.81 m/s^2 olarak girilmiştir. Sabit modal sönümleme oranı, program tarafından 0.05 olarak tanımlanmıştır. S-EX yüklemesine ait örnek ekran görüntüsü, Şekil 4.23'te verilmiştir.

TBDY-2018'e göre ek dışmerkezlik etkisinin göz önüne alınması için ± %5 eksantrisite uygulanacak yüklemeler, S-EXP, S-EXN, S-EYP, S-EYN olmak üzere 4 grupta tanımlanmıştır.



Şekil 4.24: SAP2000 programında deprem yüklemelerinin oluşturulması.

4.3.6.3 Mod birleştirme yöntemi ile taşıyıcı sistem davranış katsayısı tahkiki

Taşıyıcı sitem davranış katsayısı R = 7 olarak alınmıştır. R katsayısının tahkiki, binanın Mod Birleştirme Yöntemi ile hesaplanan deprem kuvvetleri altında perde ve bina tabanında oluşan devrilme momentleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

TBDY-2018'e göre tek bir perdede oluşacak taban devrilme momenti M_{DEV}, aynı deprem doğrultusundaki bina toplam devrilme momenti M_O'un üçte birinden az olmalıdır. SAP2000 program ile yapılan analiz sonucu binada oluşan toplam devrilme momentleri $\sum M_O^{(X)}$ = 118793 kNm; $\sum M_O^{(Y)}$ = 121493 kNm olarak okunmuştur. Bu doğrultuda SAP2000'den alınan P01 ve P02 perdelerinin taban devrilme momentlerinin kontrolü aşağıdaki gibidir.

X doğrultusunda P01: M_{DEV} = 36 kNm < M_O / 3 = 118793 / 3 = 39597.7 kNm

Y doğrultusunda P01: M_{DEV} = 6077 kNm < M_O / 3 = 121493 / 3 = 40497.7 kNm

X doğrultusunda P02: M_{DEV} = 4363 kNm < M_O / 3 = 118793 / 3 = 39597.7 kNm

Y doğrultusunda P02: M_{DEV} = 27 kNm < M_O / 3 = 121493 / 3 = 40497.7 kNm

TBDY-2018'e göre perde tabanlarında deprem yüklerinden oluşan devrilme momentleri toplamı, aynı doğrultudaki bina toplam devrilme momentinin % 40'ı ile % 75'i arasında olmalıdır. Bu koşulda alt sınırın sağlanamaması durumunda, Çizelge 3.14 ile verilen R ve D katsayılarında bir değişikliğe gidilmeyecek fakat izin verilen maksimum BYS'nin bir fazlası göz önüne alınacaktır.

X doğrultusunda $\sum M_{DEV}$ = (36 + 4363) x 4 = 17596 kNm

$\sum M_{DEV} / M_O$ = 17596 / 118793 = 0.15

Y doğrultusunda $\sum M_{DEV}$ = (6077 + 27) x 4 = 24416 kNm

$\sum M_{DEV} / M_O$ = 24416 / 121493 = 0.20

TBDY-2018'de belirlenen % 40 alt sınır sağlanamamıştır. R ve D katsayılarında bir değişiklik yapılmayacaktır. Fakat Çizelge 3.14 ile verilen izin verilen maksimum BYS ≥ 3 olacaktır. Bu durumda tez konusu binada BYS = 3 olduğu için işlemlere R = 7 ve D = 2.5 alınarak devam edilmiştir. Yapılan R katsayısın tahkiki sonunda R = 7'den farklı bir sonuç elde edilseydi, davranış katsayısı ve dolayısıyla deprem yükü azaltma katsayısı R_a'nın değiştirilmesi ve azaltılmış tepki spektrumunun yeniden oluşturularak deprem hesabının tekrar edilmesi gerekirdi.

4.3.6.4 Taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması

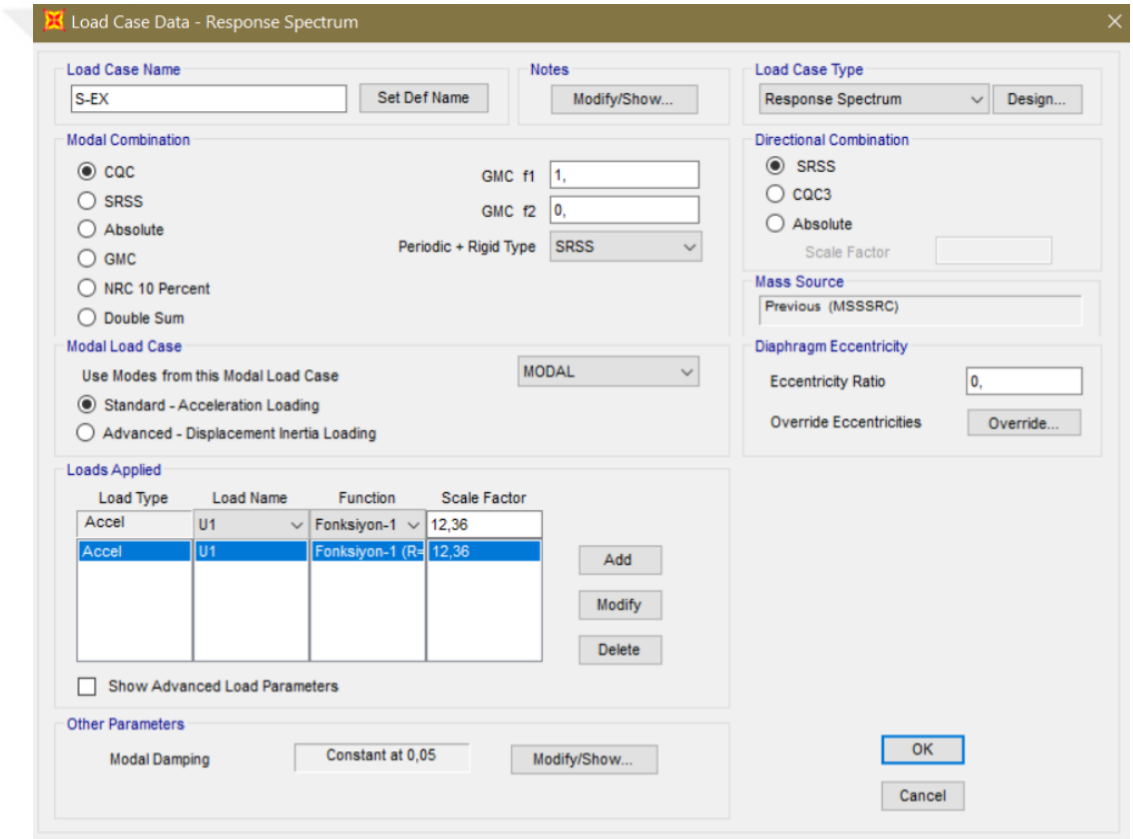
TBDY-2018'e göre birbirine dik iki deprem doğrultusunun her birinde, Eşdeğer Deprem Yükü yöntemi kullanılarak hesaplanan taban kesme kuvvetleri ($V_{tE}^{(X)}$ ve $V_{tE}^{(Y)}$) ile Mod Birleştirme Yöntemi kullanılarak hesaplanan taban kesme kuvvetleri ($V_{tx}^{(X)}$ ve $V_{ty}^{(Y)}$) karşılaştırılmalıdır. Karşılaştırma sonucuna göre Denklem 3.49 ile verilen β_{tE} katsayısı kullanılarak iç kuvvet değerlerinde ve yer değiştirme değerlerinde gerekli büyütmeler yapılmalıdır. Karşılaştırma işleminde kullanılacak γ_E çarpanı, binada A1, B2 veya B3 türü düzensizliklerinden en az biri varsa 0.90; yoksa 0.80 alınacaktır.

Taban kesme kuvvetlerine ait karşılaştırma ve büyütme işlemi, Çizelge 4.48 ile verilmiştir. Binada B2 veya B3 türü düzensizlik bulunmamaktadır. Öte yandan, X yönünde A1 burulma düzensizliği bulunmadığı için γ_E = 0.80; Y yönünde A1 burulma düzensizliği bulunduğu için γ_E = 0.90 olarak alınmıştır.

Çizelge 4.48: EDYY ve MBY taban kesme kuvvetleri karşılaştırması.

Deprem Doğrultusu	$V_{tE}^{(X-Y)}$ (kN)	$V_{t(x-y)}^{(X-Y)}$ (kN)	$V_{t(x-y)}^{(X-Y)}$/ $V_{tE}^{(X-Y)}$	γ_E	$\beta_{tE}^{(X)}$
X	7478	4757	0.636	0.80	1.26
Y	7478	4980	0.666	0.90	1.36

Çizelge 4.48 ile hesaplanan β_{tE} katsayıları kullanılarak, X doğrultusunda Mod Birleştirme Yöntemi ile hesaplanacak kesit tesirleri, SAP2000 programında "Scale Factor" olarak girilen 9.81'in 1.26 ile çarpılmasıyla; Y doğrultusunda hesaplanacak kesit tesirleri, "Scale Factor" olarak girilen 9.81'in 1.36 ile çarpılmasıyla büyütülmüştür (Şekil 4.24).



Şekil 4.25: SAP2000 programında deprem yüklemelerinin β_{tE} katsayısı ile büyütülmesi.

4.3.6.5 Göreli kat ötelemelerinin ve ikinci mertebe etkilerinin kontrolü

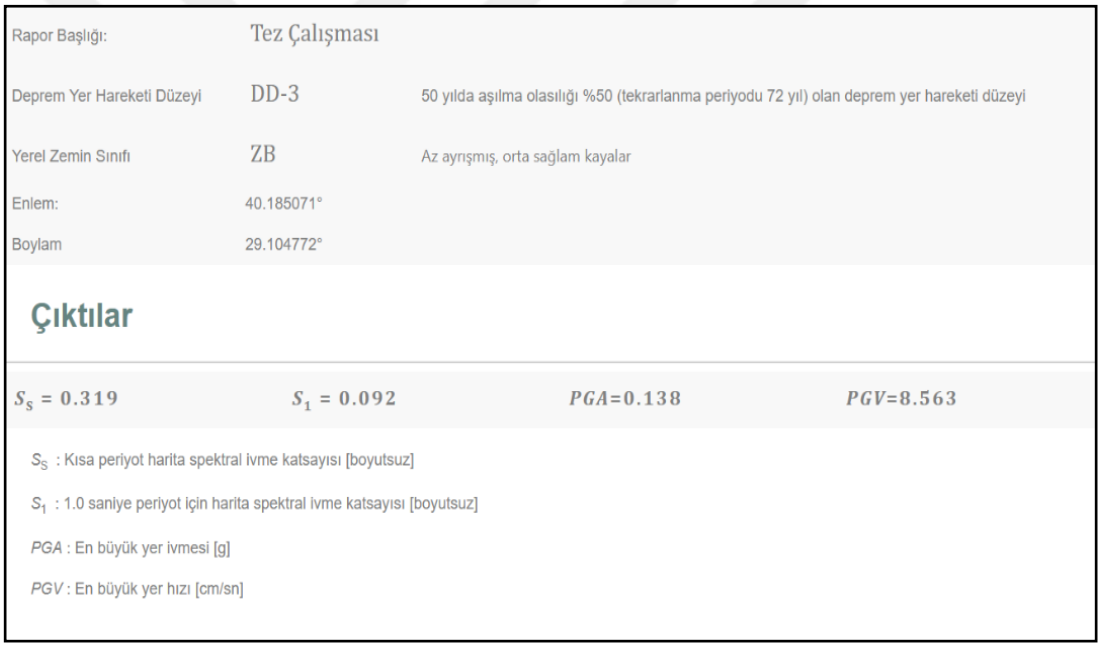
Bu bölümde, Mod Birleştirme Yöntemi ile deprem hesabı sonuçlarına göre etkin göreli kat ötelemelerinin hesaplanması ve sınırlandırılması ile ikinci mertebe etkilerinin kontrolleri gerçekleştirilmiştir. Gerekli kontrollerin sağlanmasında, SAP2000 programı ile yapılan analiz sonucunda bulunan yerdeğiştirme değerleri kullanılmıştır.

Etkin göreli kat ötelemelerinin hesaplanması ve sınırlandırılması

TBDY-2018 kuralları ışığında yapılacak etkin göreli kat ötelemelerinin kontrolünde izlenecek adımlar, tez kapsamında Bölüm 3.5.6.4'te açıklanmıştır.

Tez konusu binada dolgu duvar ve cephe elemanlarının taşıyıcı sistem çerçevesine, esnek derz veya benzeri bağlantılar olmadan bitişik olarak imal edildiği kabul edilmiştir. Buna göre herhangi bir deprem doğrultusunda göz önüne alınan kattaki en büyük etkin göreli kat ötelemesi değeri, Denklem 3.55 ile verilen koşulu sağlayacaktır.

Denklem 3.55'te λ katsayısının hesaplanması için, https://tdth.afad.gov.tr/TDTH/main.xhtml web sitesi üzerinden DD-3 deprem yer hareketi düzeyi ve ZB zemin sınıfına göre deprem parametreleri aşağıdaki gibi belirlenmiştir (Şekil 4.25).



Şekil 4.26: TDTH interaktif uygulaması ile deprem parametrelerinin belirlenmesi (DD-3).

DD-3 deprem yer hareketi için elastik tasarım spektral ivmelerinin hesabı aşağıdaki gibi yapılmıştır.

Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı: $S_{DS} = 0.287$

1.0 saniye periyot tasarım spektral ivme katsayısı: $S_{D1} = 0.074$

Yatay elastik tasarım spektral ivmesi: $S_{ae}(T_p^{(X)}) = S_{D1} / T_p^{(X)} = (0.074 / 1.28) = 0.058g$

Yatay elastik tasarım spektral ivmesi: $S_{ae}(T_p^{(Y)}) = S_{D1} / T_p^{(Y)} = (0.074 / 1.25) = 0.059g$

DD-2 deprem yer hareketi için elastik tasarım spektral ivmeleri daha önceki bölümlerde $S_{ae}(T_p^{(X)}) = 0.141$ g; $S_{ae}(T_p^{(Y)}) = 0.145$ g olarak hesaplanmıştır.

X doğrultusunda: $\lambda^{(X)} = 0.058 / 0.141 = 0.411$, Y doğrultusunda: $\lambda^{(Y)} = 0.059 / 0.145 = 0.407$

Denklem 3.55'te κ katsayısı betonarme binalarda $\kappa = 1$ olarak dikkate alınacaktır.

Yukarıda verilen bilgiler doğrultusunda TBDY-2018'e göre etkin göreli kat ötelemelerinin kontrolü Çizelge 4.49 ve Çizelge 4.50 ile verilmiştir.

Çizelge 4.49: X doğrultusunda etkin göreli kat ötelemelerinin kontrolü.

Kat	$(d_i)_{max}$ (mm)	$(\Delta_i)_{max}$	$(\delta_i)_{max}$	h_i (mm)	λ	$[\lambda \times (\delta_i)_{max}] / h_i$
15	17.571	0.593	4.151	3000	0.411	0.00057
14	16.978	0.697	4.879	3000	0.411	0.00067
13	16.281	0.809	5.663	3000	0.411	0.00078
12	15.472	0.925	6.475	3000	0.411	0.00089
11	14.547	1.039	7.273	3000	0.411	0.00100
10	13.508	1.146	8.022	3000	0.411	0.00110
9	12.362	1.249	8.743	3000	0.411	0.00120
8	11.113	1.343	9.401	3000	0.411	0.00129
7	9.770	1.427	9.989	3000	0.411	0.00137
6	8.343	1.498	10.486	3000	0.411	0.00144
5	6.845	1.550	10.85	3000	0.411	0.00149
4	5.295	1.567	10.969	3000	0.411	0.00150
3	3.728	1.522	10.654	3000	0.411	0.00146
2	2.206	1.356	9.492	3000	0.411	0.00130
1	0.850	0.850	5.95	3000	0.411	0.00082

Çizelge 4.50: Y doğrultusunda etkin göreli kat ötelemelerinin kontrolü.

Kat	$(d_i)_{max}$ (mm)	$(\Delta_i)_{max}$	$(\delta_i)_{max}$	h_i (mm)	λ	$[\lambda \times (\delta_i)_{max}] / h_i$
15	20.374	0.727	5.089	3000	0.407	0.00069
14	19.647	0.839	5.873	3000	0.407	0.00080
13	18.808	0.959	6.713	3000	0.407	0.00091
12	17.849	1.086	7.602	3000	0.407	0.00103
11	16.763	1.213	8.491	3000	0.407	0.00115
10	15.550	1.336	9.352	3000	0.407	0.00127
9	14.214	1.453	10.171	3000	0.407	0.00138
8	12.761	1.560	10.92	3000	0.407	0.00148
7	11.201	1.655	11.585	3000	0.407	0.00157
6	9.546	1.730	12.11	3000	0.407	0.00164
5	7.816	1.781	12.467	3000	0.407	0.00169
4	6.035	1.789	12.523	3000	0.407	0.00170
3	4.246	1.727	12.089	3000	0.407	0.00164
2	2.519	1.539	10.773	3000	0.407	0.00146
1	0.980	0.980	6.86	3000	0.407	0.00093

Çizelge 4.49 ve Çizelge 4.50 incelendiğinde, binada her iki yönde tüm katlarda [λ x $(\delta_i)_{max}$] / h_i değerlerinin TBDY-2018'de maksimum sınır değer olarak verilen 0.008'den küçük olduğu görülmektedir. Dolayısıyla X ve Y doğrultularında göreli kat ötelemeleri sınırlandırılmıştır.

İkinci mertebe etkilerinin kontrolü

TBDY-2018 kuralları ışığında yapılacak ikinci mertebe etkilerinin kontrolünde izlenecek adımlar, tez kapsamında Bölüm 3.5.6.4'te açıklanmıştır.

Birbirine dik deprem doğrultularında her bir katta, Denklem 3.57 kullanılarak ikinci mertebe gösterge değerleri $\theta_{II,i}^{(X-Y)}$, Çizelge 4.51 ve Çizelge 4.52 ile gösterildiği gibi hesaplanmıştır. İkinci mertebe gösterge değerleri hesaplandıktan sonra Denklem 3.58 ile verilen bağıntı vasıtasıyla kontrol edilmiştir. Denklem 3.58'de D = 2.5, R = 7 ve C_h = 0.5 olarak alınmıştır.

Çizelge 4.51: X doğrultusu ikinci mertebe etkilerinin kontrolü.

Kat	$(\Delta_i)_{ort}$ (mm)	w_j (kN)	$\sum w_j$ (kN)	V_i (kN)	h_i (mm)	θ_i
15	0.568	14715.07	14715.07	1393.13	3000	0.0020
14	0.661	16436.53	31151.61	2176.20	3000	0.0032
13	0.761	16436.53	47588.14	2656.24	3000	0.0045
12	0.863	16436.53	64024.68	3018.18	3000	0.0061
11	0.965	16436.53	80461.21	3324.77	3000	0.0078
10	1.059	16436.53	96897.74	3607.31	3000	0.0095
9	1.148	16436.53	113334.28	3859.73	3000	0.0112
8	1.228	16436.53	129770.81	4092.48	3000	0.0130
7	1.299	16436.53	146207.34	4325.71	3000	0.0146
6	1.355	16436.53	162643.88	4550.12	3000	0.0161
5	1.393	16436.53	179080.41	4776.09	3000	0.0174
4	1.396	16436.53	195516.95	5029.71	3000	0.0181
3	1.338	16436.53	211953.48	5327.20	3000	0.0177
2	1.167	16436.53	228390.01	5657.76	3000	0.0157
1	0.712	17591.27	245981.28	5993.78	3000	0.0097

Tüm katlarda $\theta_{II,i}^{(X)} < 0.12 \text{ x } [D / (C_h \text{ x } R)]$ olmalıdır.

X doğrultusunda tüm katlarda $\theta_{II,i}^{(X)} < 0.12 \text{ x } [2.5 / (0.5 \text{ x } 7)] = 0.086$ şartı sağlanmıştır.

Çizelge 4.52: Y doğrultusu ikinci mertebe etkilerinin kontrolü.

Kat	$(\Delta_i)_{ort}$ (mm)	w_j (kN)	$\sum w_j$ (kN)	V_i (kN)	h_i (mm)	θ_i
15	0.690	14715.07	14715.07	1614.16	3000	0.0021
14	0.784	16436.53	31151.61	2517.72	3000	0.0032
13	0.886	16436.53	47588.14	3024.01	3000	0.0047
12	0.994	16436.53	64024.68	3415.71	3000	0.0062
11	1.102	16436.53	80461.21	3737.18	3000	0.0079
10	1.206	16436.53	96897.74	4029.44	3000	0.0097
9	1.302	16436.53	113334.28	4301.72	3000	0.0114
8	1.389	16436.53	129770.81	4558.35	3000	0.0132
7	1.462	16436.53	146207.34	4806.40	3000	0.0148
6	1.517	16436.53	162643.88	5050.60	3000	0.0163
5	1.545	16436.53	179080.41	5310.92	3000	0.0174
4	1.533	16436.53	195516.95	5612.59	3000	0.0178
3	1.451	16436.53	211953.48	5966.57	3000	0.0172
2	1.257	16436.53	228390.01	6375.10	3000	0.0150
1	0.774	17591.27	245981.28	6771.58	3000	0.0094

Tüm katlarda $\theta_{II,i}^{(Y)} < 0.12 \times [D / (C_h \times R)]$ olmalıdır.

Y doğrultusunda tüm katlarda $\theta_{II,i}^{(Y)} < 0.12 \times [2.5 / (0.5 \times 7)] = 0.086$ şartı sağlanmıştır.

Sonuç olarak X ve Y doğrultularında istenilen şartlar sağlandığı için, TBDY-2018'e göre, ikinci mertebe etkilerinin tasarıma esas kesit tesirlerinin hesabında dikkate alınması gerekli değildir.

4.3.7 Düşey deprem etkisinin belirlenmesi

TBDY-2018'e göre betonarme binaların deprem hesaplarında düşey deprem etkisinin nasıl dikkate alınacağı, tez kapsamında Bölüm 3.5.4.3'te anlatılmıştır.

Bu tez çalışmasında düşey deprem etkisi $E_d^{(Z)}$, ilave bir hesap yapılmadan Denklem 3.22 ile verilen bağıntı kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$E_d^{(Z)} = (2/3)S_{DS}G = (2/3) \times 0.760 = 0.51\ G$

TBDY-2018'e göre düşey deprem etkisi $0.3E_d^{(Z)} = 0.153\ G$ olarak depremli yük kombinasyonlarında sabit yüklere eklenecektir.

4.3.8 Betonarme tasarım aşaması

Tez çalışması kapsamında bu bölümde, iki deprem yönetmeliği arasında kıyas yapılabilmesi amacıyla seçilen birer adet kiriş, kolon ve perde elemanının betonarme tasarımları yapılmıştır.

Tasarım çalışmasında, Mod Birleştirme Yöntemi ile SAP2000 programında yapılan analiz sonucu bulunan iç kuvvetler kullanılmıştır. Her bir elemanda oluşan en elverişsiz iç kuvvetin bulunabilmesi amacıyla Bölüm 4.1.4.2'de verilen yük kombinasyonları SAP2000 programında tanımlanmıştır. Ayrıca, tüm yük kombinasyonları dahil edilerek bir adet zarf (Envelope) kombinasyonu oluşturulmuş, bu sayede her bir elemanda maksimum ve minimum iç kuvvetler elde edilmiştir.

Elde edilen iç kuvvetler ve yönetmelikler ışığında, sırasıyla bir adet kiriş, bir adet kolon ve bir adet perdenin tasarımı ve donatı detaylandırması yapılmıştır.

4.3.8.1 Örnek kiriş tasarımı ve donatılandırılması

Tasarımı yapılacak örnek kiriş, binanın X doğrultusundaki A aksı üzerinde bulunan; Y doğrultusundaki 4 ve 5 aksları arasında uzanan 2. kattaki K204 kirişidir.

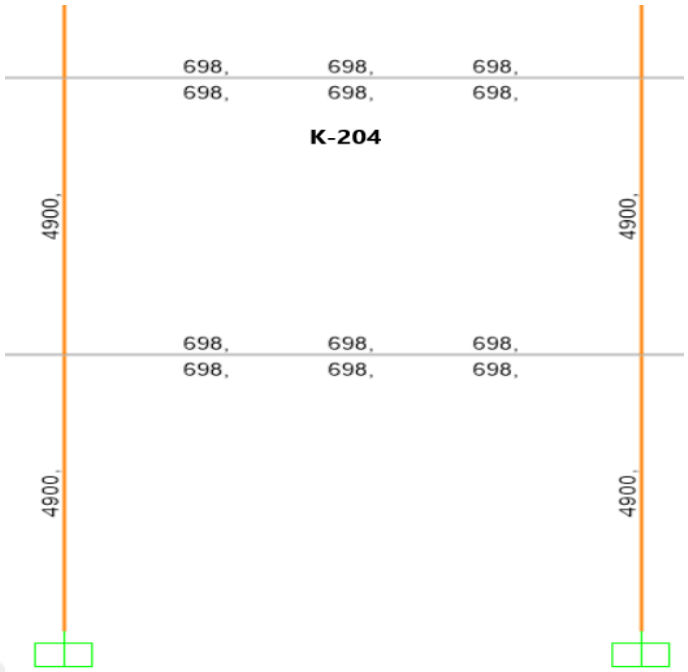
Kiriş eğilme tasarımı ve boyuna donatı hesabı

Örnek kiriş K204'ün hesap açıklığı 5 metre olup net açıklığı 4.30 metredir. Sol ve sağ uçlarından 70 x 70 ebatlarında kolonlara mesnetlenmiştir.

SAP2000 programı yardımıyla, bir yapıdaki kolon veya kirişlerde donatı gereksinimleri hesaplanabilir. Örnek kiriş K204 için, gerekli boyuna açıklık ve mesnet donatı oranları, SAP2000 programında TS-500 ilkeleri kullanılarak Şekil 4.26'da gösterildiği gibi hesaplanmıştır. Şekil 4.26 ile gösterilen donatı alanları mm^2 cinsinden verilmiştir. Kiriş üzerinde yazan donatı alanı kesitteki üst donatıyı; kiriş altında yazan donatı alanı kesitteki alt donatıyı ifade eder. Gereksinim duyulan boyuna donatı miktarına uygun donatı seçimi Çizelge 4.53 ile verilmiştir.

Çizelge 4.53: K204 kirişinin boyuna donatı seçimi.

		Donatı Gereksinimi			Seçilen Donatı			
Kat	Kiriş	Alt Donatı (mm^2)	Sol Mesnet Üst Donatı (mm^2)	Sağ Mesnet Üst Donatı (mm^2)	Alt (Açıklık) Donatısı	Üst (Montaj) Donatısı	Sol Mesnet Ek Donatısı	Sağ Mesnet Ek Donatısı
2	K204	698	698	698	4 Ø 16	4 Ø 16	-	-



Şekil 4.27: SAP2000 ile kiriş boyuna donatı miktarının hesaplanması.

Donatı seçimi yapıldıktan sonra, TS-500'e ve TBDY-2018'e göre gerekli kontroller sağlanmalıdır.

TS-500'e ve TBDY-2018'e göre kirişlerde çekme donatısı oranı ρ, Denklem 4.10 ile verilen limitler dahilinde olmalıdır.

Denklem 4.10'a göre, K204 kirişi için:

$0.02 \geq \rho = (804) / (350 \times 660) = 0.00348 \geq 0.8 \times (1.4 / 365) = 0.00307$

TBDY-2018'e göre boyuna donatı çapının minimum değeri 12 mm'dir. Ayrıca kiriş alt ve üst bölgelerinde, en az iki donatı açıklık boyunca devam edecektir. Çizelge 4.53 incelendiğinde, bu şartların sağlandığı görülmektedir.

TBDY-2018'e göre DTS = 1, 1a, 2, 2a olan yeni yapılacak binalardaki kirişlerde, kirişlerin kolonlara mesnetlendiği bölgelerdeki alt donatı miktarı, üst donatı miktarının yarısından fazla olmalıdır. Çizelge 4.53 incelendiğinde, bu şartın sağlandığı görülmektedir.

Kiriş kesme güvenliği kontrolü ve enine donatı hesabı

Deprem esnasında kiriş uçlarında akma kaynaklı plastik mafsallar oluşacağı bilinmektedir. Deprem enerjisinin büyük oranda sönümlenmesi, oluşacak plastik mafsallarda gerçekleşmelidir. Dolayısıyla bu bölgelerdeki sünekliği ve kesme

dayanımını arttırmak için TBDY-2018, kolon yüzünden başlayarak kiriş yüksekliğinin iki katı kadar mesafedeki bölgede deprem etriyelerinden oluşan sarılma bölgeleri oluşturulmasını şart koşmaktadır. Bu bölgedeki etriye aralıkları kiriş yüksekliğinin dörtte birini (h_k / 4), en küçük boyuna donatı çapının 8 katını ve 150 mm'yi geçmeyecektir. Sarılma bölgesi dışında kalan kiriş orta bölgelerinde minimum donatı koşulları için TS-500'de verilen kurallar takip edilecektir.

TBDY-2018'e göre depremli durumlarda enine donatı hesabında esas alınacak kesme kuvveti, kiriş uçlarındaki moment kapasiteleri kullanılarak bulunur. Tasarıma esas kesme kuvveti V_e, DBYBHY-2007 ile aynı mantıkla, depremin soldan sağa veya sağdan sola etkimesini göz önüne alarak ve en elverişsiz sonucu verecek şekilde Denklem 4.11'deki bağıntıyla hesaplanır (Şekil 4.10).

$M_{pi1} = 1.4M_{rj1} = A_s \times f_{yd} \times (d\text{-}d') = 1.4 \times (804\ mm^2) \times (365\ MPa) \times (620\ mm) = 254.7$ kNm

$M_{pj1} = 1.4M_{rj1} = A_s \times f_{yd} \times (d\text{-}d') = 1.4 \times (804\ mm^2) \times (365\ MPa) \times (620\ mm) = 254.7$ kNm

$M_{pi2} = 1.4M_{rj1} = A_s \times f_{yd} \times (d\text{-}d') = 1.4 \times (804\ mm^2) \times (365\ MPa) \times (620\ mm) = 254.7$ kNm

$M_{pj2} = 1.4M_{rj1} = A_s \times f_{yd} \times (d\text{-}d') = 1.4 \times (804\ mm^2) \times (365\ MPa) \times (620\ mm) = 254.7$ kNm

$V_{dy} = 58$ kN

$V_{e1} = V_{dy} + (M_{pi1} + M_{pj1}) / l_n = 58 + (254.7 + 254.7) / 4.30 = 176.5$ kN

$V_{e2} = V_{dy} + (M_{pi2} + M_{pj2}) / l_n = 58 + (254.7 + 254.7) / 4.30 = 176.5$ kN

$V_e = V_{e1} = V_{e2} = 176.5$ kN

Düşey yüklerle birlikte D katsayısı ile büyütülmüş deprem kuvvetlerinden hesaplanan kesme kuvveti, SAP2000'de 293 kN olarak hesaplanmıştır. Bu değer $V_e = 176.5$ kN değerinden daha büyük olduğu için, kiriş etriye hesabında $V_e = 176.5$ kN değeri dikkate alınacaktır.

Denklem 4.11 ile hesaplanan V_e kesme kuvveti için, TBDY-2018'de bir üst sınır öngörülmüştür. Bu üst sınır, Denklem 4.23 ile verilmiştir. Eğer Denklem 4.23 ile verilen şart sağlanmazsa, kesit boyutları büyütülerek hesap adımları tekrarlanmalıdır.

$$V_e \leq 0.85 b_w d \sqrt{f_{ck}} \quad (4.23)$$

Bu noktada Denklem 4.23 ile verilen şart, aşağıda hesaplandığı üzere sağlanmıştır.

V_e = 176.5 kN < 0.85 x 350 mm x 660 mm x $\sqrt{35}$ = 1161.6 kN

TBDY-2018'e göre V_e kesme kuvveti ile etriye hesabı gerçekleştirilirken betonun kesme dayanımı V_c, TS-500 ilkelerince bulunacaktır. Fakat süneklik düzeyi yüksek kirişlerin sarılma bölgelerinde Denklem 4.13 ile verilen şartın oluşması durumunda, beton kesme katkısı $V_c = 0$ alınacaktır.

Denklem 4.13'te hesap kesme kuvveti V_d, depremli yük birleşiminden elde edilen kesme kuvvetidir ve V_d = 165.2 kN olarak SAP2000'den alınmıştır. Bu noktada Denklem 4.13 ile verilen şart, aşağıda hesaplandığı üzere sağlandığı için kiriş sarılma bölgesinde $V_c = 0$ alınacaktır.

$V_e - V_{dy}$ = 176.5 – 58 = 118.5 kN > 0.5 x V_d = 0.5 x 165.2 = 82.6 kN

Hem kiriş sarılma bölgesinde hem de kiriş orta bölgesinde $V_r \geq V_e$ sağlanmalıdır.

Sarılma bölgesinde $V_c = 0$ alınmıştır. Buna göre sarılma bölgesinde tüm kesme dayanımı, etriyelerden sağlanacaktır.

$V_r = V_c + V_w \geq V_e$

$V_w \geq V_e$

$(A_{sw} / s) \times f_{ywd} \times d \geq V_e$

Etriye olarak iki kollu Ø8/100 mm donatı seçilirse (A_{sw} = 100.5 mm^2):

V_w = (100.5 / 100) x 365 x 660 = 242 kN > V_e = 176.5 kN

Etriye aralığı, TS-500'de verilen 150 mm'den ve kiriş faydalı yüksekliğin dörtte biri olan 165 mm'den küçüktür. TS-500'e göre minimum kesme donatısı kontrolü de aşağıdaki gibi sağlanmıştır.

$(A_{sw} / s) > 0.3 \times (f_{ctd} / f_{ywd}) \times b_w$

(100.5 / 100) = 1.005 > 0.3 x (1.38 / 365) x 350 = 0.4

Kiriş sarılma bölgesi dışında kalan orta bölge için etriye hesabında, V_c hesaplanmalıdır.

$V_c = 0.8 V_{cr}$ = 0.8 x 0.65 x 1.38 x 350 x 660 = 165.8 kN

$V_r = V_c + V_w \geq V_e$

$V_w \geq V_e - V_c$

$(A_{sw} / s) \times f_{ywd} \times d \geq V_e - V_c$

Etriye olarak iki kollu Ø8/200 mm donatı seçilirse ($A_{sw} = 100.5$ mm^2):

$V_w = (100.5 / 200) \times 365 \times 660 = 121$ kN $> V_e - V_c = 176.5 - 165.8 = 10.7$ kN

Etriye aralığı, TS-500'de verilen kiriş faydalı yüksekliğin yarısı olan 330 mm'den küçüktür. TS-500'e göre minimum kesme donatısı kontrolü de aşağıdaki gibi sağlanmıştır.

$(A_{sw} / s) > 0.3 \times (f_{ctd} / f_{ywd}) \times b_w$

$(100.5 / 200) = 0.5025 > 0.3 \times (1.38 / 365) \times 350 = 0.4$

Sonuç olarak, K204 kirişinde sarılma bölgesi etriyesi olarak iki kollu Ø8/100 mm; orta bölge etriyesi olarak iki kollu Ø8/200 mm donatı düzeni tercih edilmiştir.

4.3.8.2 Örnek kolon tasarımı ve donatılandırılması

Tasarımı yapılacak örnek kolon, binanın X doğrultusundaki B aksı üzerinde; Y doğrultusundaki 2 aksı üzerinde bulunan 2. kattaki S06 (80 x 80) kolonudur.

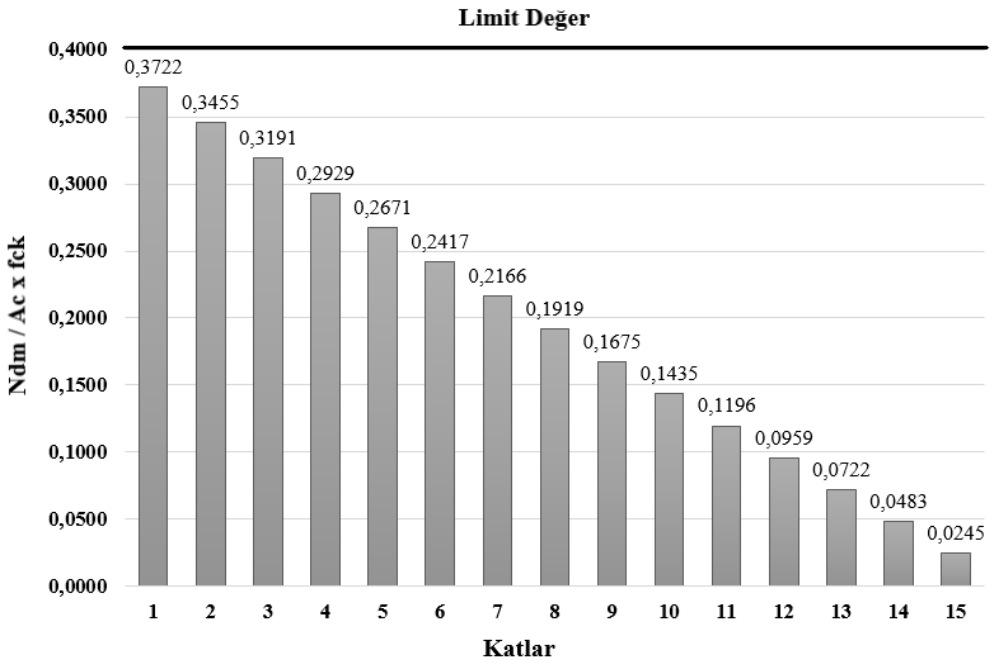
Öncelikli olarak düşey yükler ile birlikte deprem etkileri altında hesaplanan maksimum eksenel basınç kuvvetinin kontrolü yapılmıştır. SAP2000'den $N_{dm} = 7740$ kN olarak okunmuştur. TBDY-2018'e göre $N_{dm} / (A_c \times f_{ck}) < 0.4$ olmalıdır.

$(7740000$ N$) / (640000$ mm$^2) \times (35$ MPa$) = 0.35 < 0.4$

TS-500'de belirtilen $N_d < 0.9 f_{cd} A_c$ şartının da sağlandığı aşağıda yapılan hesaplama ile gösterilmiştir.

7740 kN $< (0.9) \times (23$ MPa$) \times (640000$ mm$^2) = 13248$ kN

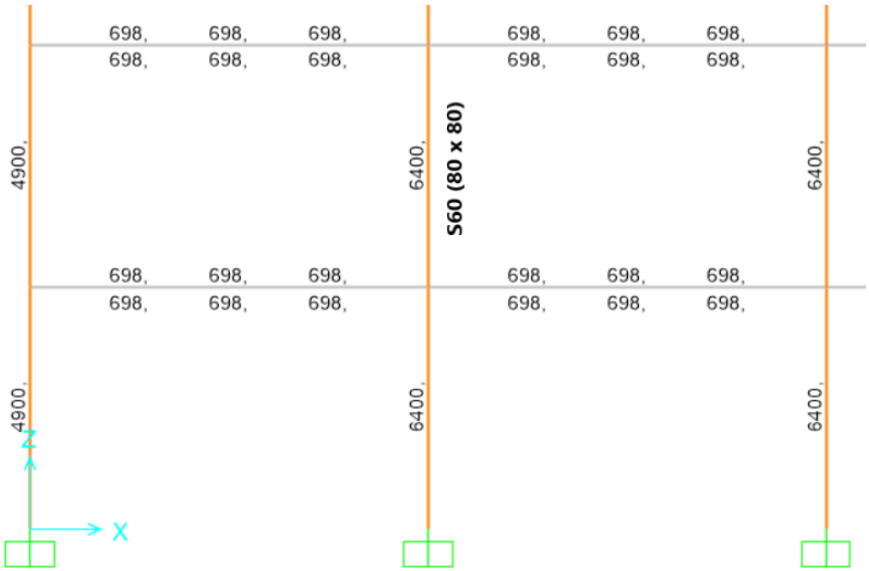
S06 kolonunun tüm katlardaki eksenel yük kontrolü, Şekil 4.27 ile verilmiştir. Şekil 4.27'de görüldüğü üzere tüm katlarda $N_{dm} / A_c \times f_{ck}$ oranı 0.4'den küçüktür.



Şekil 4.28: S06 kolonuna ait tüm katlardaki N_{dm}/ A_c x f_{ck} değerleri.

Kolon boyuna donatı hesabı

SAP2000 programı yardımıyla örnek kolon S06 için gerekli boyuna donatı oranları, SAP2000 programında TS-500 ilkeleri kullanılarak Şekil 4.28'de gösterildiği gibi hesaplanmıştır.



Şekil 4.29: SAP2000 ile kolon boyuna donatı miktarının hesaplanması.

Şekil 4.28 ile gösterilen donatı alanları mm^2 cinsinden verilmiştir. Kolon üzerinde yazan donatı alanı kesitteki boyuna donatıyı ifade eder. Donatı miktarı incelendiğinde, SAP2000 tarafından minimum donatının yeterli kabul edildiği görülmektedir.

TS-500'e göre kolonlarda donatı miktarı, kolon en kesit alanının % 1'inden az; % 4'ünden fazla olamaz. Ayrıca yönetmeliklerde en küçük boyuna donatı Ø14 mm olarak belirlenmiştir. Bu bilgiler ışığında gereksinim duyulan boyuna donatı miktarına uygun donatı seçimi Çizelge 4.54 ile verilmiştir.

Çizelge 4.54: S06 kolonunun boyuna donatı seçimi.

Kat	Kolon	Gerekli Donatı (mm^2)	Seçilen Donatı	Seçilen Donatı (mm^2)	ρ
2	S06	6400	20 Ø22	7602	0.0119

Kolon kesme güvenliği kontrolü ve enine donatı hesabı

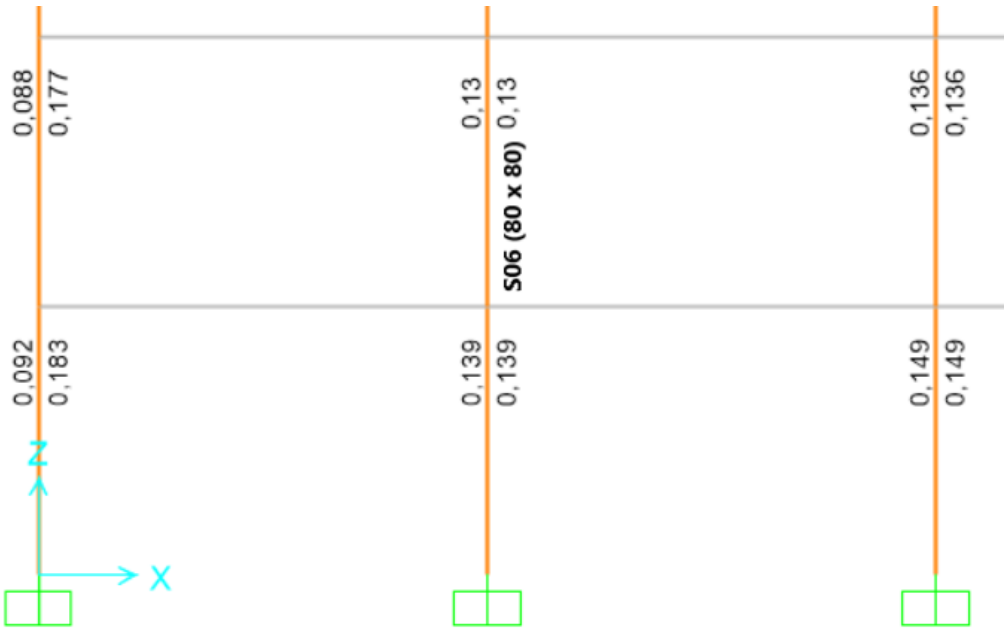
Kirişlerde olduğu gibi, kolonlarda da TBDY-2018'de açıklanan kolon sarılma bölgeleri ve kolon orta bölgeleri teşkil edilecektir. Kolon sarılma bölgeleri, etriyelerin sıklaştığı alt ve üst uçlar olarak tanımlanır. Hem kolon sarılma bölgelerinde hem orta bölgesinde deprem etriyelerinin ve çirozlarının kullanılması zorunludur.

TBDY-2018'e göre kolon sarılma bölgelerinin uzunluğu, kolon kesitinin büyük boyutunun 1.5 katından, 500 mm'den ve kolon serbest yüksekliğinin 1/6'sından küçük olmayacaktır. Ayrıca etriye sıklaştırma bölgelerinde etriye aralığı, kolon kesitinin küçük boyutunun 1/3'ünden, boyuna donatı çapının 6 katından ve 150 mm'den daha büyük; 50 mm'den daha küçük olamaz. Kolonlarda kullanılacak en küçük etriye çapı Ø8 mm olarak belirlenmiştir.

TBDY-2018'e göre deprem bölgelerinde inşa edilecek süneklik düzeyi yüksek bina kolonlarında etriye hesabına esas alınacak kesme kuvveti V_e, DBYBHY-2007 ile aynı mantıkla Denklem 4.14 ile verilen bağıntı ile hesaplanır.

M_a ve $M_ü$ momentleri için, binadaki kolon kiriş birleşim noktalarında kolonların kirişlerden güçlü olma koşulu tahkik edilmelidir. SAP2000 programı yardımıyla kolonların kirişlerden güçlü olma şartı tahkik edilmiştir. Şekil 4.29'da, her bir birleşim noktasındaki $1.2(M_{ri} + M_{rj}) / (M_{ra} + M_{rü})$ değerleri gösterilmiştir. Bu değerlerin 1'den küçük olması, kolonların kirişlerden güçlü olduğu anlamına gelmektedir. Bu koşul

binadaki tüm birleşim noktalarında tahkik edilmiş olup sadece örnek kolonun görüntüsü sunulmuştur.



Şekil 4.30: SAP2000 ile kolonların kirişlerden güçlü olma koşulunun tahkiki.

Binanın düğüm noktalarında kolonlar kirişlerden güçlü olduğu için, dağıtılacak olan kiriş moment kapasiteleri toplamı Denklem 4.15 ile bulunacaktır.

2. kattaki S06 kolonu için düğüm noktalarında dağıtılacak olan kiriş kapasite momentleri, kiriş taşıma gücü momentlerinden aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

Kolon üst ucuna birleşen kirişlerde:

$M_{pi1} = 1.4M_{ri1} = A_s \times f_{yd} \times (d-d') = 1.4 \times (804\ mm^2) \times (365\ MPa) \times (620\ mm) = 254.7$ kNm

$M_{pj1} = 1.4M_{rj1} = A_s \times f_{yd} \times (d-d') = 1.4 \times (804\ mm^2) \times (365\ MPa) \times (620\ mm) = 254.7$ kNm

$M_{pi2} = 1.4M_{ri2} = A_s \times f_{yd} \times (d-d') = 1.4 \times (804\ mm^2) \times (365\ MPa) \times (620\ mm) = 254.7$ kNm

$M_{pj2} = 1.4M_{rj2} = A_s \times f_{yd} \times (d-d') = 1.4 \times (804\ mm^2) \times (365\ MPa) \times (620\ mm) = 254.7$ kNm

Kolon alt ucuna birleşen kirişlerde:

$M_{pi1} = 1.4M_{ri1} = A_s \times f_{yd} \times (d\text{-}d') = 1.4 \times (804\ mm^2) \times (365\ MPa) \times (620\ mm) = 254.7$ kNm

$M_{pj1} = 1.4M_{rj1} = A_s \times f_{yd} \times (d\text{-}d') = 1.4 \times (804\ mm^2) \times (365\ MPa) \times (620\ mm) = 254.7$ kNm

$M_{pi2} = 1.4M_{ri2} = A_s \times f_{yd} \times (d\text{-}d') = 1.4 \times (804\ mm^2) \times (365\ MPa) \times (620\ mm) = 254.7$ kNm

$M_{pj2} = 1.4M_{rj2} = A_s \times f_{yd} \times (d\text{-}d') = 1.4 \times (804\ mm^2) \times (365\ MPa) \times (620\ mm) = 254.7$ kNm

Buna göre dağıtılacak olan kiriş kapasite momentleri toplamı:

$\sum M_p = Mp_i + Mp_j = 254.7 + 254.7 = 509.4$ kNm (Kolon üst ucunda dağıtılacak)

$\sum M_p = Mp_i + Mp_j = 254.7 + 254.7 = 509.4$ kNm (Kolon alt ucunda dağıtılacak)

Kolon kesitleri her katta aynı olduğu için, bu momentlerin alt ve üst kolon uçlarına eşit dağıldığı kabul edilebilir [33].

$M_ü = 509.4 / 2 = 255$ kNm

$M_a = 509.4 / 2 = 255$ kNm

$V_e = (M_ü + M_a) / l_n = (255 + 255) / 2.85 = 179$ kN

Düşey yüklerle birlikte D katsayısı ile büyütülmüş deprem kuvvetlerinden hesaplanan kesme kuvveti, SAP2000'de 397 kN olarak hesaplanmıştır. Bu değer $V_e = 179$ kN değerinden daha büyük olduğu için, kolon etriye hesabında $V_e = 179$ kN değeri dikkate alınacaktır.

Denklem 4.14 ile hesaplanan V_e kesme kuvveti için TBDY-2018'de birtakım sınırlamalar öngörülmüştür. Buna göre V_e kesme kuvveti, düşey yükler ile deprem yüklerinden oluşan V_d kesme kuvvetinden küçük alınmayacaktır. SAP2000 programında $V_d = 163$ kN olarak okunmuştur. $V_e = 179$ kN > $V_d = 163$ kN olduğu için hesaplara V_e ile devam edilmiştir. Bu şarta ek olarak V_e kesme kuvveti, Denklem 4.24 ile verilen şartı da sağlamalıdır. Eğer Denklem 4.24 ile verilen şart sağlanmazsa, kesit boyutları büyütülerek hesap adımları tekrarlanmalıdır.

$$V_e \leq 0.85 A_w \sqrt{f_{ck}} \qquad (4.24)$$

Bu noktada Denklem 4.24 ile verilen şart, aşağıda hesaplandığı üzere sağlanmıştır.

$V_e = 179\ kN < 0.85 \times 800 \times 800 \times \sqrt{35} = 3218\ kN$

TBDY-2018'e göre V_e kesme kuvveti ile etriye hesabı gerçekleştirilirken betonun kesme dayanımı V_c, TS-500 ilkelerince bulunacaktır. Fakat süneklik düzeyi yüksek kolonların sarılma bölgelerinde Denklem 4.17 ile verilen şartların sağlanması durumunda, beton kesme katkısı $V_c = 0$ alınacaktır.

Denklem 4.17'te hesap kesme kuvveti V_d, depremli yük birleşiminden elde edilen kesme kuvvetidir ve V_d = 163 kN olarak SAP2000'den alınmıştır. Aşağıda hesaplandığı üzere, Denklem 4.17 ile verilen şartlardan ilki sağlanıp ikincisi sağlanmadığı için kolon sarılma bölgesinde beton katkısı dikkate alınacaktır.

$V_e = 179\ kN > 0.5 \times V_d = 0.5 \times 163 = 81.5\ kN$

$N_d = 7740\ kN > 0.05 A_c f_{ck} = 0.05 \times 640000 \times 35 = 1120\ kN$

Hem kolon sarılma bölgesinde hem de kolon orta bölgesinde $V_r \geq V_e$ sağlanmalıdır.

Sarılma bölgesinde beton katkısı dikkate alınmıştır. Buna göre sarılma bölgesinde kesme dayanımı etriyelerden ve betondan sağlanacaktır.

$V_r = V_c + V_w \geq V_e$

$V_{cr} = 0.65 \times f_{ctd} \times b_w \times d$

$V_c = 0.8 V_{cr} = 0.8 \times 0.65 \times 1.38 \times 800 \times 760 = 436\ kN$

$V_w = (A_{sw} / s) \times f_{ywd} \times d$

Etriye olarak dört kollu Ø12/75 mm donatı seçilirse ($A_{sw} = 452\ mm^2$):

$V_w = (452 / 75) \times 365 \times 760 = 1672\ kN$

$V_r = 436 + 1672 = 2108\ kN \geq V_e = 179\ kN$

TBDY-2018 Bölüm 7.3.4'te belirtilen minimum toplam enine donatı alanı ($N_d > 0.20 f_{ck} A_c$ durumu) sağlanmıştır.

Etriye aralığı, TBDY-2018'de verilen 150 mm ve kolon kısa kenarının üçte biri olan 266 mm sınırlamasına uymaktadır.

Kolon sarılma bölgesi dışında kalan orta bölge için etriye olarak dört kollu Ø12/150 mm seçilirse ($A_{sw} = 452\ mm^2$):

$V_r = V_c + V_w \geq V_e$

V_w = (452 / 150) x 365 x 760 = 836 kN

V_r = 436 + 836 = 1272 kN ≥ V_e = 179 kN

Sonuç olarak, S06 kolonunda sarılma bölgesi etriyesi olarak dört kollu Ø12/75 mm; orta bölge etriyesi olarak dört kollu Ø12/150 mm donatı düzeni tercih edilmiştir.

4.3.8.3 Örnek perde tasarımı ve donatılandırılması

Tasarımı yapılacak örnek perde, binanın X doğrultusundaki C aksı üzerinde; Y doğrultusundaki 2 ve 3 aksları arasında bulunan 2. Kattaki P02 (35 x 500) perdesidir. P02 perdesi boşluksuz (bağ kirişsiz) bir perde olup süneklik düzeyi yüksek olarak tasarlanmıştır.

Bu tez kapsamında Bölüm 4.1.5.4'te perde enkesit boyutları, uç bölgeleri, kritik perde yüksekliği ve eksenel yük sınırlamalarına ilişkin deprem yönetmeliklerindeki şartlardan bahsedilmiştir. Bu şartlar ışığında P02 perdesi için:

Perde kalınlığı, b_w = 350 mm

Perde uzunluğu, L_w = 5000 mm

Perde yüksekliği, H_w = 15 x (3000 mm) = 45000 mm

Kritik perde yüksekliği, H_{cr} = 9000 mm; $H_{cr} \geq H_w$ /6, $H_{cr} \geq L_w$ ve $H_{cr} \leq 2\ L_w$ şartlarını sağlamaktadır.

TBDY-2018'e göre H_w / L_w = 45000 / 5000 = 9 > 2 olduğu için, P02 perdesinde uç bölgeleri oluşturulacaktır. Uç bölgelerindeki perde enkesit alanı, perde kalınlığı (b_w) ile uç bölgesi uzunluğunun (L_u) çarpımından daha küçük olmamalıdır. Kritik perde yüksekliği boyunca uç bölgesi uzunluğu, perde uzunluğunun (L_w) %20'sinden ve perde kalınlığının (b_w) 2 katından az olmayacaktır. Kritik perde yüksekliği dışındaki bölgelerde uç bölgesi uzunluğu için bu sınırların yarısı kabul edilmektedir. Verilen bu bilgilere göre P02 perdesi uç bölgesi boyutları aşağıdaki gibi seçilmiştir.

Kritik perde yüksekliği boyunca: L_u = 1000 mm ≥ $2b_w$ =700 mm ve $0.2L_w$ = 1000 mm

Kritik perde yüksekliği dışında: L_u = 500 mm ≥ b_w =350 mm ve $0.1L_w$ = 500 mm

TBDY-2018'e göre perde gövde bölgesinin her yüzünde yatay ve düşey toplam donatı alanı, gövde bölgesi enkesit alanının 0,0025'inden fazla olmalıdır. Ayrıca bu bölgede düzenlenecek yatay ve düşey donatı aralıklarının maksimum değeri 250 mm olarak belirtilmiştir.

TBDY-2018'e göre perde uç bölgelerinde kritik perde yüksekliği boyunca yerleştirilecek düşey donatının toplam alanı, perde enkesit alanının 0.002'sinden az olmayacaktır. Bu oran kritik yükseklik dışında 0.001 olarak kabul edilmiştir. Bu bölgelerde düşey donatı miktarı en az 4Ø14; düşey donatı oranı en fazla 0.03 olmalıdır.

TBDY-2018'e göre perde uç bölgeleri kolonlara benzer şekilde enine donatılarla sarılacaktır. Yönetmelikte en küçük enine donatı Ø8 mm olarak belirlenmiştir. Uç bölgelerinde kritik perde yüksekliği boyunca enine donatı aralığının en büyük değeri 150 mm; en küçük değeri 50 mm olarak belirlenmiştir. Ayrıca bu aralık değeri boyuna donatı çapının 6 katından ve perde kalınlığının üçte birinden daha düşük olacaktır. Kritik perde yüksekliği dışında enine donatı aralığı, perde kalınlığı ve 200 mm'den küçük olacaktır.

P02 perdesi 2. katta yer aldığı için ve H_{cr} = 9 m olarak bulunduğundan dolayı tüm perde kritik yükseklik içindedir. Bu durumda TBDY-2018'e göre, kritik perde yüksekliği boyunca aynı kalacak şekilde perde tabanında hesaplanacak eğilme momentleri, tasarım eğilme momentlerine eşit alınabilir. Buna göre perde tasarım kesit tesirleri, SAP2000'den aşağıda verildiği gibi okunmuştur.

N_d = 14600 kN, V_d = 1075 kN, M_d = 6179 kNm

Perde uç bölgesi düşey donatı hesabı:

$A_s \geq 0.002 b_w L_w = 0.002 \text{ x } 350 \text{ x } 5000 = 3500 \text{ mm}^2$

Seçilen donatı 14 Ø20/200 mm = 4398 $\text{mm}^2 \geq 3500 \text{ mm}^2$

$\rho = [4398 / (350 \text{ x } 1000)] = 0.013 < 0.03$

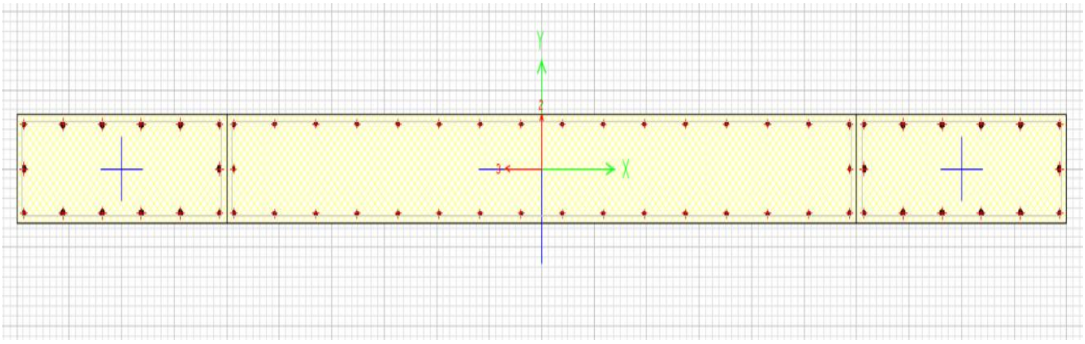
Perde gövde bölgesi düşey donatı hesabı:

$A_v \geq 0.0025 b_w (L_w - 2L_u)$

$A_v \geq 0.0025 \text{ x } 350 \text{ x } 3000 = 2625 \text{ mm}^2$

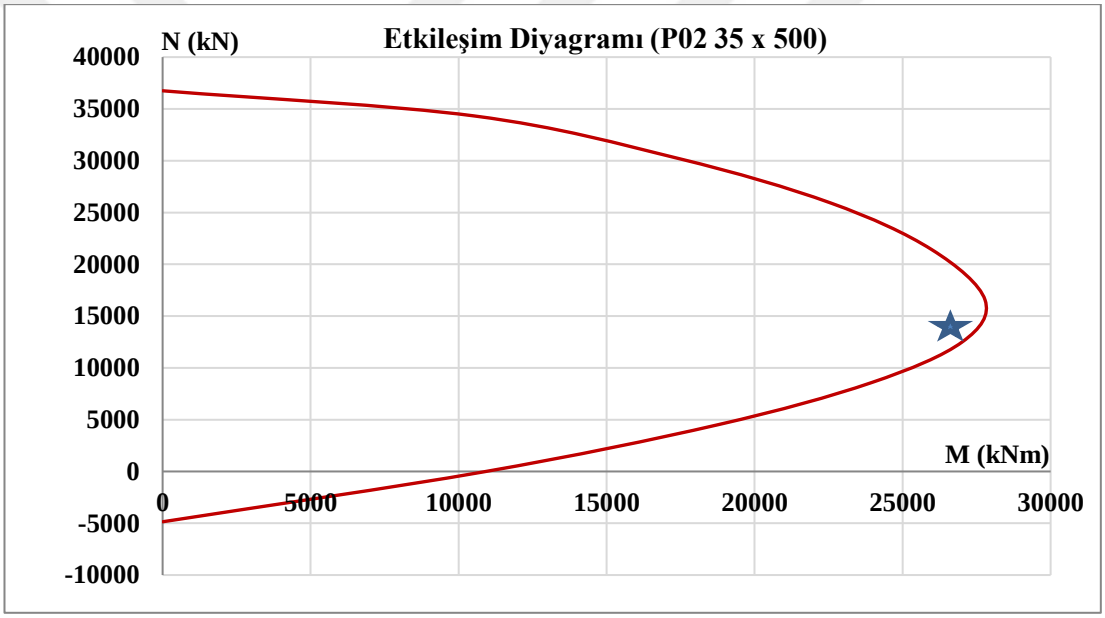
Seçilen donatı 34 Ø14/200 mm = 5234 $\text{mm}^2 \geq 2625 \text{ mm}^2$

Seçilen donatılar ve kesit boyutları doğrultusunda P02 perdesi, SAP2000 programında "Section Designer" bölümünde oluşturulmuştur (Şekil 4.30).



Şekil 4.31: P02 perdesinin SAP2000'de modellenmesi.

Perde modellendikten sonra N-M ikili değerlerine ait karşılıklı etkileşim diyagramı Şekil 4.31'de gösterildiği gibi çizilmiştir. Etkileşim diyagramında N = 14600 kN eksenel yük değerindeki taşıma gücü moment M_r = 27411 kNm olarak okunmuştur.



Şekil 4.32: P02 perdesine ait N-M etkileşim diyagramı.

Tasarım eğilme momenti M_d = 6179 kNm değeri, kesit taşıma gücü momenti M_r = 27411 kNm değerinden küçük olduğu için yapılan tasarım güvenlidir.

Perde kesme güvenliği kontrolü

Perde uç bölgesi enine donatı seçimi

TBDY-2018 isterleri doğrultusunda uç bölgelerinde enine donatı Ø10/100 mm olarak seçilmiştir. P02 perdesi tümüyle kritik yükseklik içinde yer aldığı için perde yüksekliği boyunca Ø10/100 enine donatısı kullanılacaktır.

Perde gövde bölgesi yatay donatı hesabı:

$A_h \geq 0.0025 b_w (L_w - 2L_u)$

$A_h \geq 0.0025 \text{ x } 350 \text{ x } 3000 = 2625 \text{ mm}^2$

Seçilen donatı iki yüzde toplam 60 Ø12/ 100 mm = 6786 $\text{mm}^2 \geq 2625 \text{ mm}^2$

TBDY-2018'de perde kesitlerinde kesme dayanımı V_r, DBYBHY-2007 ile aynı şekilde Denklem 4.18'deki gibi ifade edilmiştir. Denklem 4.18'de A_{ch}; boşluksuz perdenin brüt enkesit alanını, ρ_{sh}; perde gövdesindeki yatay donatıların hacimsel oranını ifade etmektedir.

Perde gövde bölgesi seçilen donatı yatay donatı iki yüzde Ø12 / 100 mm

$\rho_{sh} = (2 \text{ x } 113) / (350 \text{ x } 100) = 0.0065$

$V_r = 350 \text{ x } 5000 \text{ x } (0.65 \text{ x } 1.38 + 0.0065 \text{ x } 365) = 5722 \text{ kN}$

TBDY-2018'e göre $H_w / L_w > 2$ olan perdeler için enine donatı hesabında esas alınacak kesme kuvveti V_e, DBYBHY-2007 ile aynı şekilde Denklem 4.19'daki gibi ifade edilmiştir. Denklem 4.19'da dinamik büyütme katsayısı $\beta_v = 1.5$ olarak alınacaktır. Daha kesin hesaplamada bulunulmadığı takdirde $(M_p)_t \leq 1.25(M_r)_t$ alınacaktır. Ayrıca yönetmelikte, Denklem 4.19 ile hesaplanan V_e kesme kuvvetinin, düşey yüklerle beraber 1.2D ile arttırılmış deprem etkilerinden hesaplanan kesme kuvvetinden büyük olması durumunda V_e yerine bu kesme kuvvetinin dikkate alınacağı belirtilmiştir.

$V_e = 1.5 \text{ x } [(1.25 \text{ x } 27411) / (6179)] \text{ x } 1075 = 8941 \text{ kN}$

Düşey yüklerle beraber 1.2D ile arttırılmış deprem etkilerinden hesaplanan kesme kuvveti, SAP2000 programında V = 3221 kN olarak okunmuştur. Bu kesme kuvveti V_e = 8941 kN değerinden daha küçük olduğu için yönetmelik uyarınca hesaplarda V = 3221 kN değeri dikkate alınmıştır.

$V_r = 5722 \text{ kN} > V = 3221 \text{ kN}$

Perde kesme güvenliği sağlanmıştır

5. BULGULAR VE ANALİZ SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Çok katlı betonarme bir binanın karşılaştırmalı analizi ve tasarımı için, bu tez çalışmasının 3. Bölümü'nde DBYBHY-2007 ve TBDY-2018 yönetmeliklerindeki hesap ve tasarım ilkeleri açıklanmış, 4. Bölüm'de ise, örnek binanın analizi ve tasarımı, DBYBHY-2007 ve TBDY-2018 yönetmeliklerine uygun olacak şekilde yapılmıştır. Bu bölümünde ise, yapılan analiz sonuçları karşılaştırılmış ve örnek bina özelinde DBYBHY-2007 ve TBDY-2018 yönetmeliklerinden kaynaklanan farklılıklar vurgulanmıştır.

5.1 Bina Doğal Titreşim Periyotlarının Karşılaştırılması

4. Bölümde örnek binanın DBYBHY-2007 ve TBDY-2018 yönetmeliklerine göre yapılan modal analizlerle her bir moda karşılık gelen serbest titreşim periyotları bulunmuştur. Modal analiz sonucunda elde edilen X ve Y yönlerindeki hakim periyotların karşılaştırılması Çizelge 5.1'de; her bir moda karşılık gelen periyotların dağılımı ise Şekil 5.1'de gösterilmiştir.

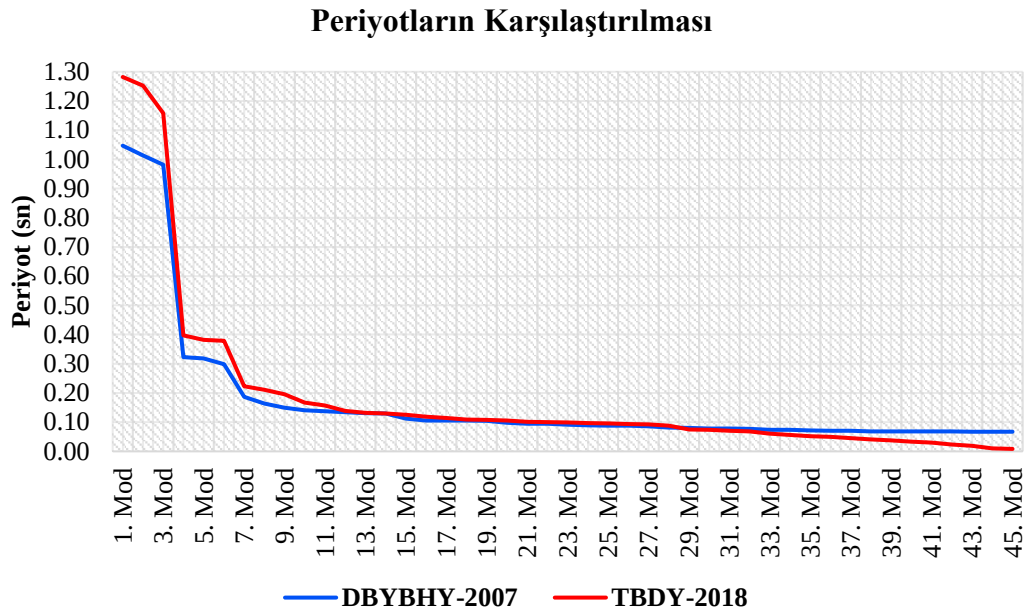
Çizelge 5.1: DBYBHY-2007 ve TBDY-2018 bina hakim periyotları.

Periyot	DBYBHY-2007	TBDY-2018
T_x (saniye)	1.047	1.282
T_y (saniye)	1.014	1.253

Çizelge 5.1 incelendiğinde, TBDY-2018'e göre hesaplanan bina doğal periyotlarının, DBYBHY-2007'ye göre hesaplanan bina doğal periyotlarına göre % 20 - 25 oranında yüksek hesaplandığı görülmektedir.

DBYBHY-2007'ye ve TBDY-2018'e göre modal analizi yapılan binanın özellikleri, her iki analiz için aynı olmasına karşın periyotlarda değişiklik gözlenmiştir. Oysa her iki yönetmelik de aynı bağıntıyı kullanmaktadır. Bu durumda ortaya çıkan fark hesap yönteminden kaynaklanmamaktadır. Bina periyotunu etkileyen faktörler, binanın kütlesi ve rijitliğidir. Binanın kütlesi değişmediği için, periyot değişimine etki eden faktörün bina rijitliği olduğu sonucu çıkarılabilir. TBDY-2018'de etkin kesit

rijitliklerinin kullanılması, bina hakim periyotlarının DBYBHY-2007'ye göre hesaplanan bina hakim periyotlarından büyük olmasına neden olmuştur.



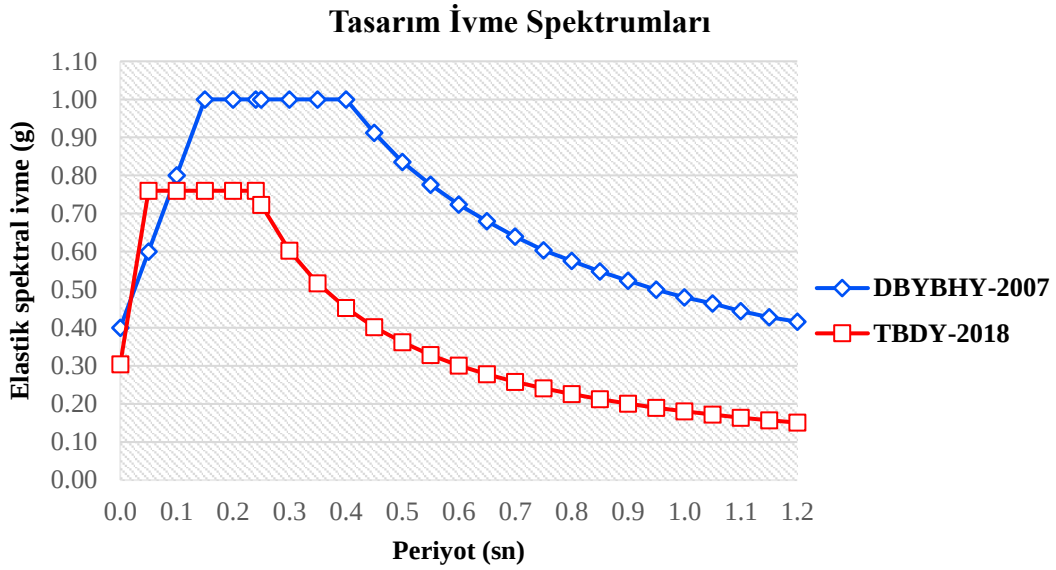
Şekil 5.1: Titreşim modlarına karşılık gelen periyotların karşılaştırılması.

5.2 Tasarım İvme Spektrumlarının Karşılaştırılması

DBYBHY-2007'de tasarım ivme spektrumunu etkileyen en önemli deprem parametresi, dört farklı deprem bölgesine göre değişen A_0 etkin yer ivmesi katsayısıdır. TBDY-2018'de tasarım ivme spektrumunu etkileyen en önemli deprem parametreleri ise coğrafi koordinatlara göre değişen S_S ve S_1 harita spektral ivme katsayılarıdır. DBYBHY-2007'de verilen tasarım ivme spektrumu incelendiğinde (Şekil 3.1), ivme değerlerinin, spektrumun arttığı ve sabit kaldığı bölgelerde zemin özelliklerinden bağımsız belirli değerler arasında kaldığı; spektrumun azaldığı bölgede zemin özelliklerine göre değiştiği görülmektedir. TBDY-2018'de verilen tasarım ivme spektrumuna bakıldığında (Şekil 3.2) ise, spektrumun tüm bölgelerindeki ivme değerleri zemin özelliklerine göre değişebilmektedir.

Örnek binanın bulunduğu konum, zemin özellikleri ve deprem parametrelerine göre değişiklik gösteren tasarım ivme spektrumlarının karşılaştırılması, Şekil 5.2'de gösterilmiştir. Görüldüğü üzere TBDY-2018, ivme spektrumunun en büyük değerinde % 24 oranında daha düşük değer vermektedir. Benzer şekilde, sabit ivme, sabit hız ve sabit deplasman bölgelerine karşılık gelen $S_{ae}(g)$ değerleri arasında da benzer düzeyde

fark oluşmuştur. Bu farkların seçilen zemin cinsinden önemli oranda etkilendiği için ortaya çıktığı da açıktır. TBDY-2018'de yapının yapılacağı yer için doğrudan değerler veriliyorken, DBYBHY-2007'de deprem bölgesi kavramı üzerinden gidilmektedir.

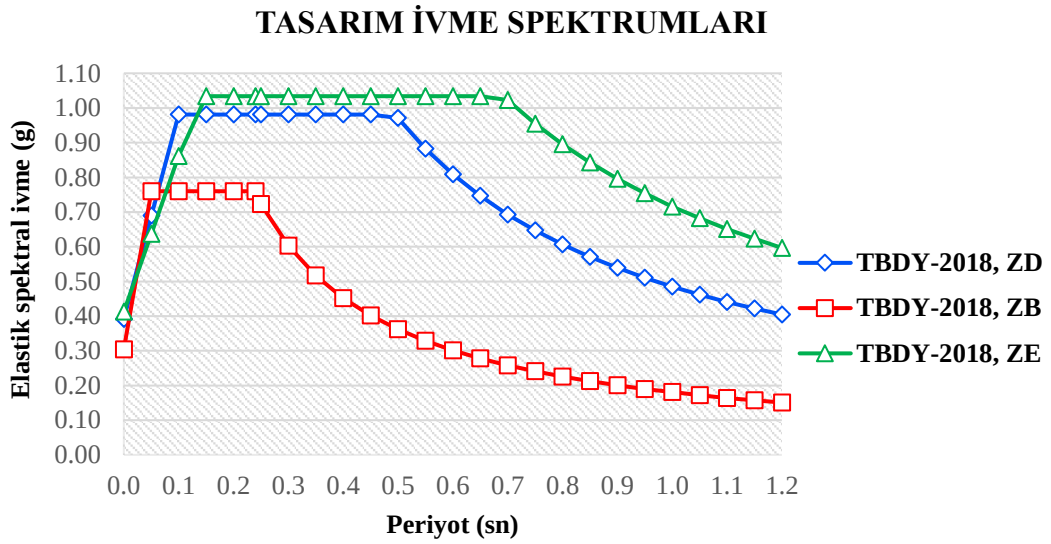


Şekil 5.2: Tasarım ivme spektrumlarının karşılaştırılması.

Zemin sınıfının tasarım ivme spektrumuna etkisini irdelemek amacıyla, tez çalışmasında kullanılan ZB yerel zemin sınıfı ile birlikte ZD ve ZE zemin sınıfları için yapılan karşılaştırma, Şekil 5.3'te gösterilmiştir.

Şekil 5.3 incelendiğinde, spektral ivmelerin en büyük değerlerinin zemin sınıfına bağlı olarak değiştiği görülmektedir. DBYBHY-2007'de ise spektral ivmelerin en büyük değerinin, zemin sınıfından bağımsız olarak sabit olduğu bilinmekteydi (Şekil 3.1).

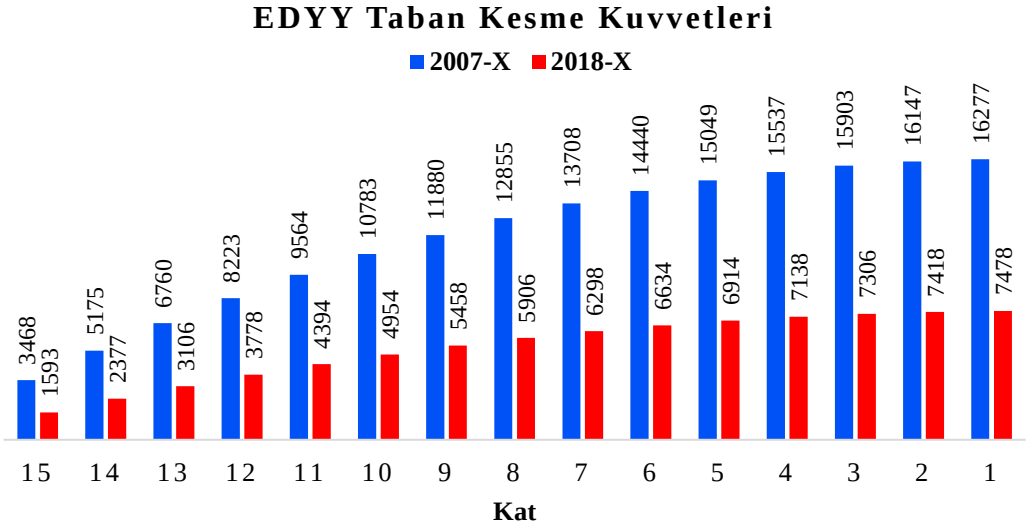
Şekil 5.3'ten çıkarılacak bir diğer sonuç, sağlam zeminden zayıf zemine doğru geçildikçe (ZB-ZD-ZE), spektrum köşe periyotları (T_A ve T_B) arasında kalan düzlüğün genişlemesidir. Ayrıca ZE zemin sınıfı için maksimum spektral ivme değerleri, ZB zemin sınıfı için maksimum spektral ivme değerlerinden yaklaşık % 35 daha fazla çıkmıştır. TBDY-2018'de maksimum spektral ivmelerin ve dolayısıyla belirlenecek deprem etkilerinin zemin sınıflarından doğrudan etkilenmesi, zemin etüdü çalışmalarının yapısal tasarım için ne denli önem arz ettiğini göstermektedir.



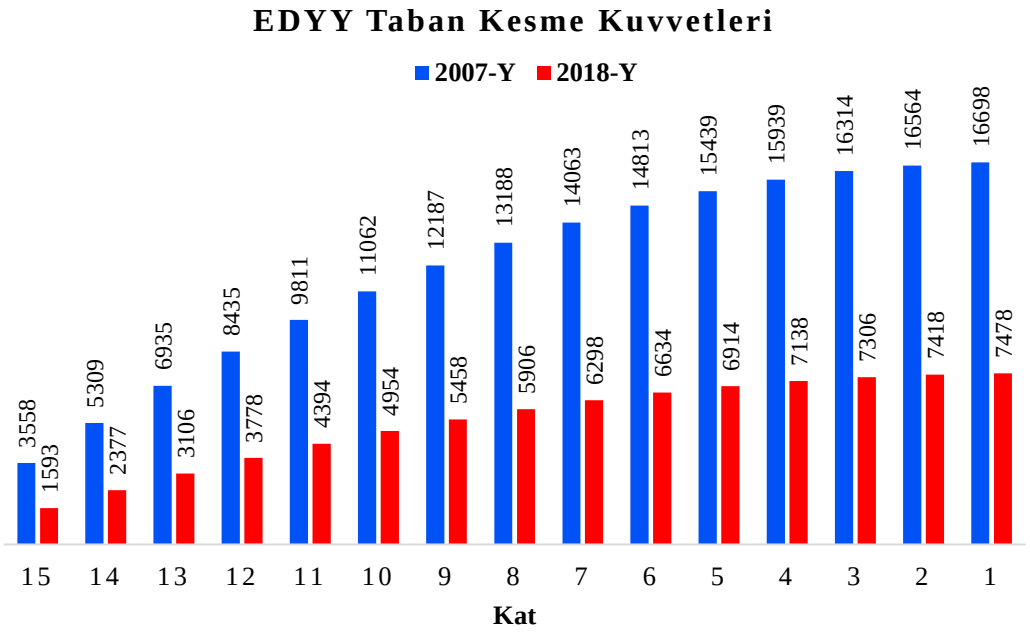
Şekil 5.3: Zemin sınıfına göre tasarım ivme spektrumu değişimi.

5.3 Taban Kesme ve Kat Kesme Kuvvetlerinin Karşılaştırılması

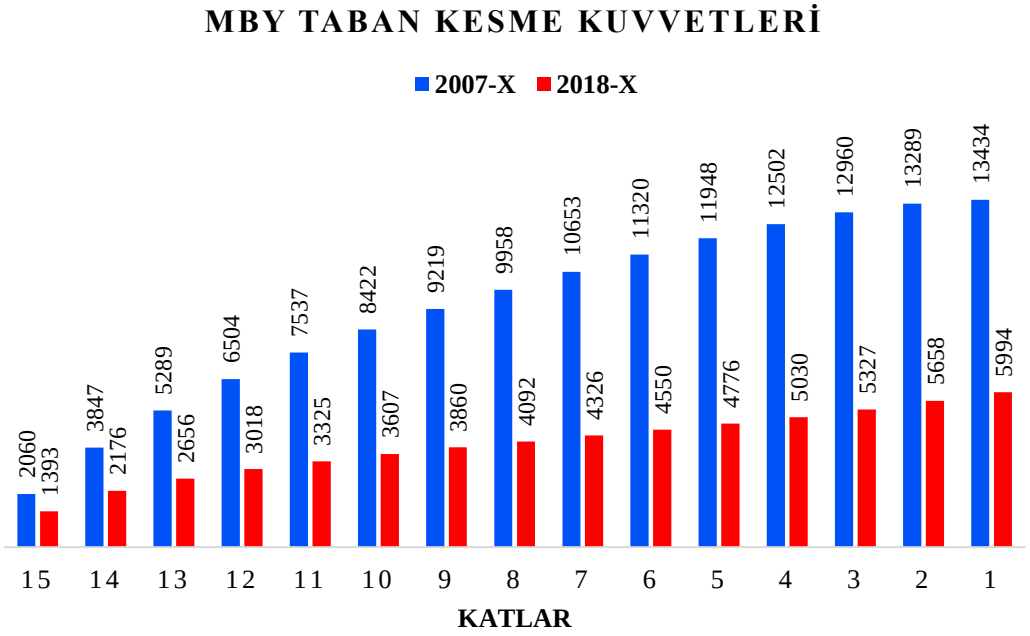
Tez çalışması kapsamında, Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ile Mod Birleştirme Yöntemi kullanılarak her iki deprem yönetmeliğine göre taban kesme kuvvetleri hesaplanmıştır. Yapılan tüm analizler birbirine dik iki deprem doğrultusu için gerçekleştirilmiştir. Binaya etkiyen taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması, her iki hesap yöntemi için X ve Y doğrultularında sırasıyla Şekil 5.4, Şekil 5.5, Şekil 5.6 ve Şekil 5.7 ile gösterildiği gibi yapılmıştır.



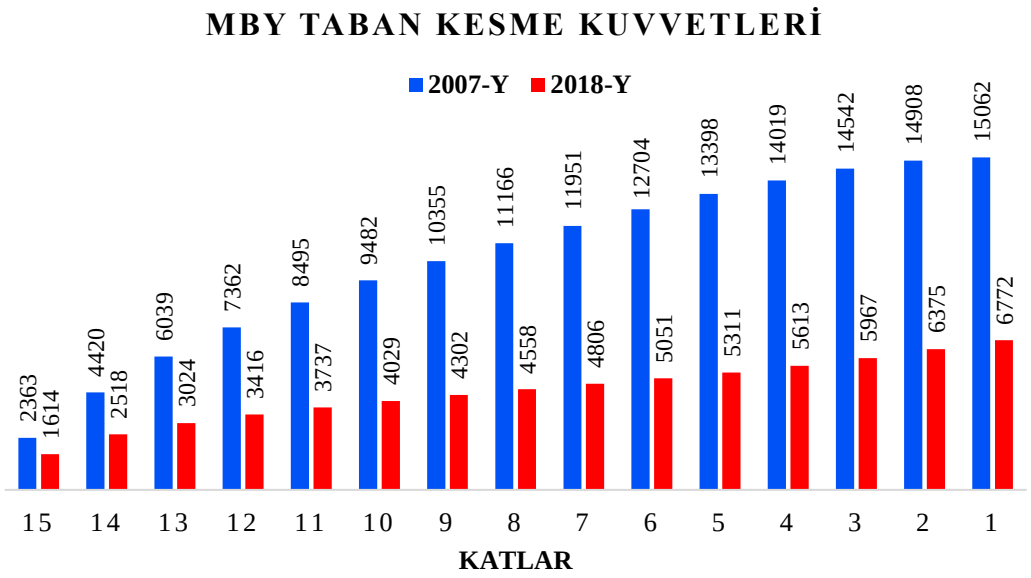
Şekil 5.4: X doğrultusunda EDYY taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması.



Şekil 5.5: Y doğrultusunda EDYY taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması.



Şekil 5.6: X doğrultusunda MBY taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması.



Şekil 5.7: Y doğrultusunda MBY taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması.

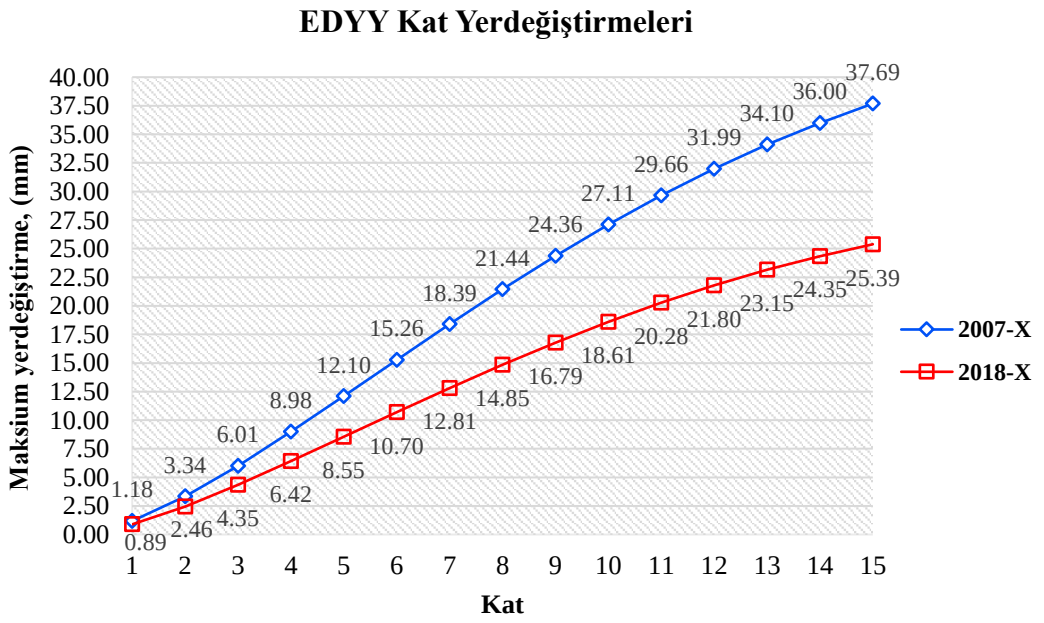
Şekil 5.4, Şekil 5.5, Şekil 5.6 ve Şekil 5.7 incelendiğinde, DBYBHY-2007'ye göre hesaplanan taban kesme kuvvetlerinin, TBDY-2018'e göre hesaplanan taban kesme kuvvetlerinden % 120 civarında daha büyük olduğu görülmektedir. Şekil 5.2'de verildiği üzere DBYBHY-2007 spektral ivme değerleri, TBDY-2018 spektral ivme değerlerinden büyüktür. TBDY-2018'de zemin parametrelerinin daha kapsamlı verilerle hesaplara katılması ve TBDY-2018'de etkin kesit rijitliklerinin kullanılması gibi etkenler bu durumun sebepleri olarak gösterilebilir. Fakat iki yönetmelik arasındaki bu farkın, binanın kütlesi, rijitliği, periyotları, taşıyıcı sistemi ve kat sayısı gibi yapısal özelliklerinin yanında bulunduğu bölgedeki zemin özelliklerine bağlı olarak da ciddi bir değişim göstereceği unutulmamalıdır. Özellikle zemin sınıfı kötüleştikçe, TBDY-2018'in DBYBHY-2007'ye kıyasla daha güvenli tarafta kalacağı bilinmektedir.

Grafikler incelendiğinde, hesap yöntemi fark etmeksizin Y doğrultusundaki taban kesme kuvvetlerinin X doğrultusundaki taban kesme kuvvetlerine eşit veya çoğunlukla daha büyük olduğu görülmektedir. Binanın Y doğrultusundaki rijitliğinin X doğrultusundaki rijitliğinden büyük olması, dolayısıyla Y doğrultusundaki periyotun X doğrultusundaki periyota göre küçük olması, binanın Y doğrultusunda daha fazla deprem kuvveti almasına yol açmıştır.

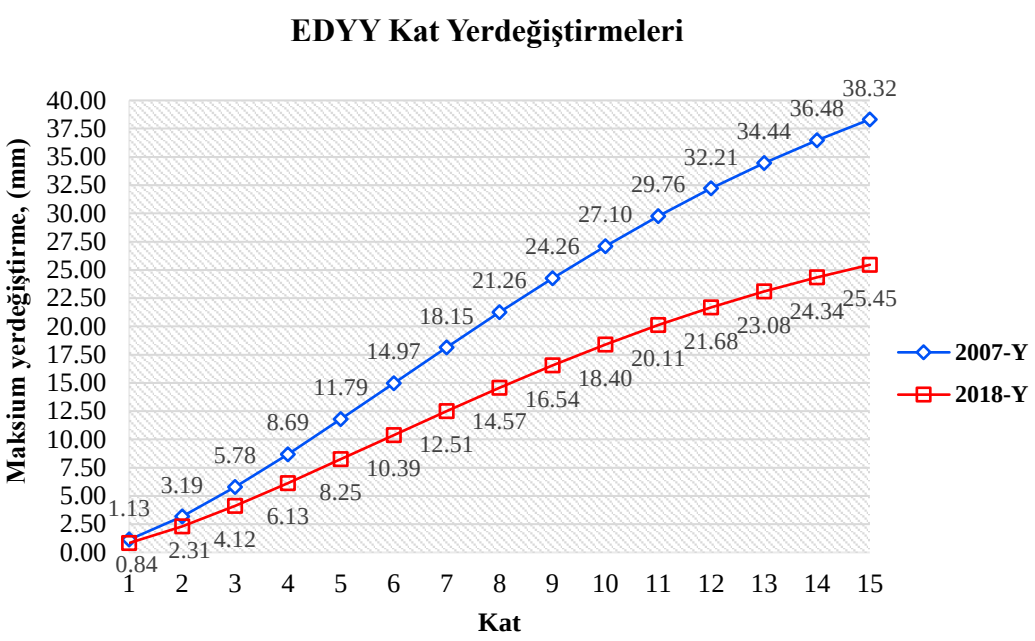
Yapılan analiz sonuçlarında, EDYY ile hesaplanan taban kesme kuvvetleri, MBY ile hesaplanan taban kesme kuvvetlerinden % 15 - 25 mertebelerinde daha büyük değerler almıştır. Bu durumun sebebi, EDYY'de binanın tek bir hakim periyotuna tüm kütlesi katılarak hesap yapılıyorken; MBY'de her bir moda katılan kütlelerin ayrı ayrı katkıları toplanarak hesap yapılması gösterilebilir. Bir diğer deyişle, MBY'de binanın tüm kütlesi, her bir moda karşılık gelen periyotlara katılarak bir nevi dağıtılırken; EDYY'de binanın en büyük periyotu üzerinden binanın tüm kütlesi kullanılarak hesap yapılır. Ama gerçekte durum EDYY'deki gibi değildir. Örnek olarak bu çalışmada bina hakim periyota kütle katılım oranı % 75 - 80 civarında gerçekleşmiştir. Oysa EDYY, hakim periyota kütle katılım oranını % 100 olarak varsaymaktadır. Haliyle iki yöntem arası böyle bir farkın ortaya çıkması beklenen bir durumdur.

5.4 Kat Deplasmanlarının Karşılaştırılması

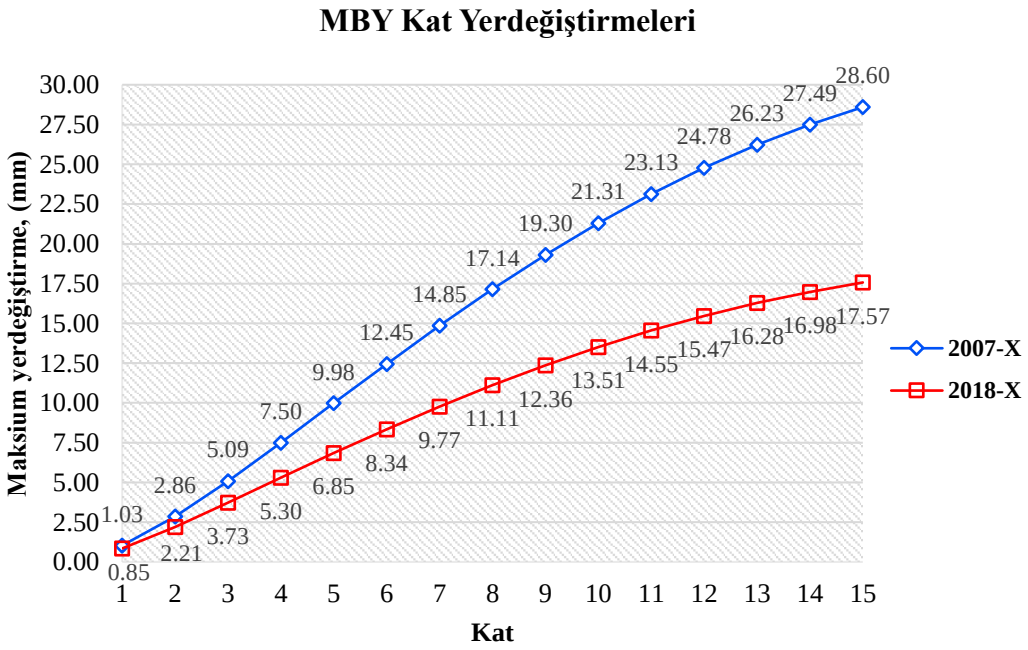
4. Bölümde, EDYY ve MBY ile hesaplanan deprem kuvvetleri altında oluşan maksimum ve minimum kat deplasmanları belirlenmiştir. Bu bölümde katlarda oluşan yanal yerdeğiştirme değerleri karşılaştırılmıştır. EDYY kullanılarak hesaplanan maksimum kat yerdeğiştirmelerinin karşılaştırılması Şekil 5.8'de ve 5.9'da; MBY kullanılarak hesaplanan maksimum kat yerdeğiştirmelerinin karşılaştırılması Şekil 5.10'da ve 5.11'de verilmiştir.



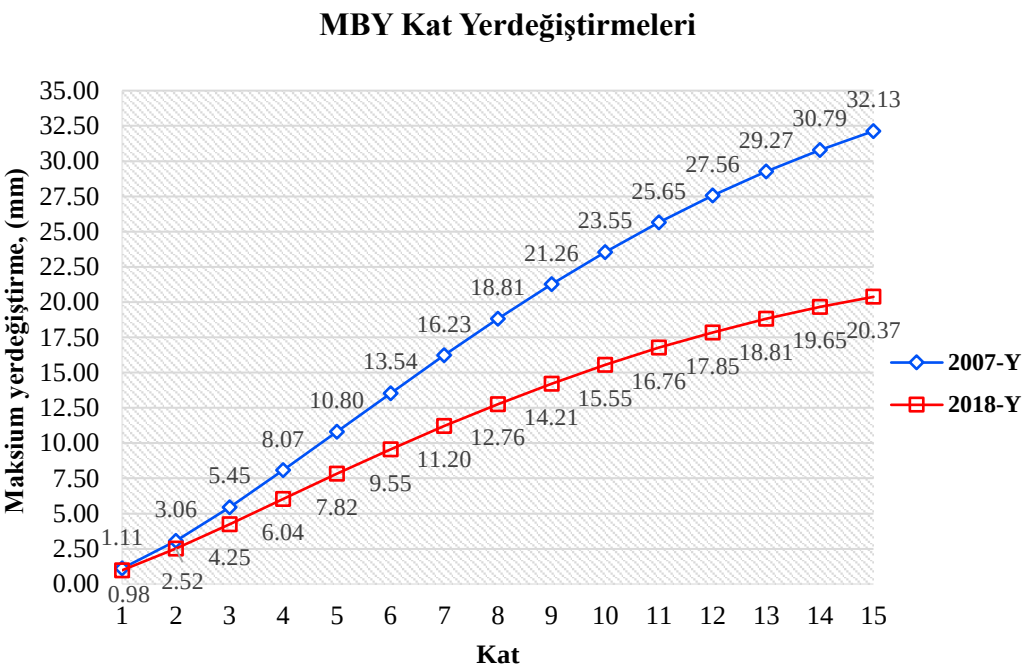
Şekil 5.8: X doğrultusunda EDYY kat deplasmanlarının karşılaştırılması.



Şekil 5.9: Y doğrultusunda EDYY kat deplasmanlarının karşılaştırılması.



Şekil 5.10: X doğrultusunda MBY kat deplasmanlarının karşılaştırılması.



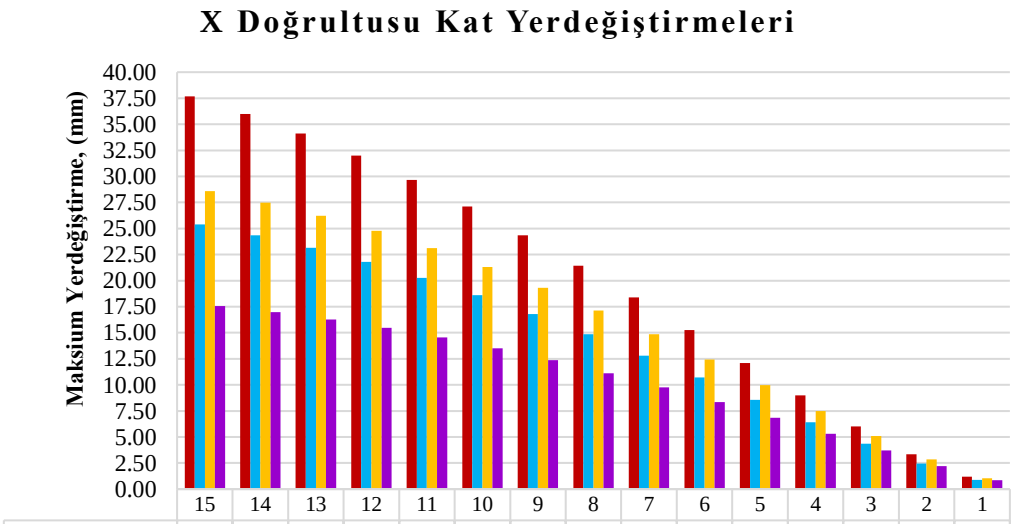
Şekil 5.11: Y doğrultusunda MBY kat deplasmanlarının karşılaştırılması.

Şekil 5.8, Şekil 5.9, Şekil 5.10 ve Şekil 5.11, incelendiğinde, kat yerdeğiştirmelerinin, katlara etkiyen deprem kuvvetleri ile doğru orantılı olduğu görülmektedir. Bir başka deyişle, deprem kuvvetlerinin DBYBHY-2007'de daha büyük değerler alması, kat yerdeğiştirme değerlerinin de TBDY-2018'e göre daha büyük çıkmasına yol açmıştır.

İki yönetmeliğe göre hesaplanan en büyük kat yerdeğiştirmeleri arasındaki fark, 1. kattan 15. kata doğru çıkıldıkça açılmaktadır. Bu fark binanın 1. katında EDYY için % 30 mertebelerindeyken; MBY için % 20 mertebelerindedir. Binanın 15. katına gelindiğinde bu fark EDYY için % 50 mertebelerindeyken; MBY için % 60 mertebelerinde olmaktadır. Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği bulunmayan, tüm katlarda taşıyıcı eleman boyutları ve kat yükseklikleri aynı olan örnek binada yerdeğiştirme değerleri arasında farkların ortaya çıkması, binada tabandan yukarıya doğru artan deprem kuvvetleri ile açıklanabilir.

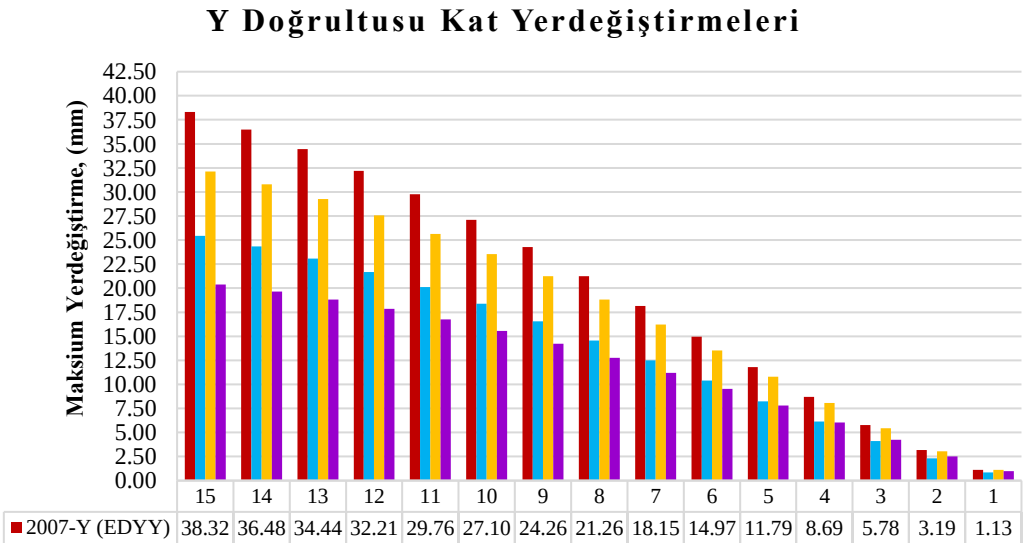
Ayrıca EDY ile hesaplanan deprem yüklerinin, MBY ile hesaplanan deprem yüklerinden büyük olması, kat yerdeğiştirme değerlerinin dağılımından da incelenebilmektedir.

Y doğrultusunda hesaplanan deprem yüklerinin X doğrultusunda hesaplanan deprem yüklerine göre büyük olması, Y doğrultusunda hesaplanan kat yerdeğiştirmelerinin X doğrultusunda hesaplananlara göre büyük olmasına sebep olmuştur. Şekil 5.12'deki ve Şekil 5.13'teki karşılaştırma özetleri, bulunan sonuçları destekler niteliktedir.



	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
2007-X (EDYY)	37.69	36.00	34.10	31.99	29.66	27.11	24.36	21.44	18.39	15.26	12.10	8.98	6.01	3.34	1.18
2018-X (EDYY)	25.39	24.35	23.15	21.80	20.28	18.61	16.79	14.85	12.81	10.70	8.55	6.42	4.35	2.46	0.89
2007-X (MBY)	28.60	27.49	26.23	24.78	23.13	21.31	19.30	17.14	14.85	12.45	9.98	7.50	5.09	2.86	1.03
2018-X (MBY)	17.57	16.98	16.28	15.47	14.55	13.51	12.36	11.11	9.77	8.34	6.85	5.30	3.73	2.21	0.85

Şekil 5.12: X doğrultusu kat deplasmanlarının karşılaştırılması (EDYY-MBY).



	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
2007-Y (EDYY)	38.32	36.48	34.44	32.21	29.76	27.10	24.26	21.26	18.15	14.97	11.79	8.69	5.78	3.19	1.13
2018-Y (EDYY)	25.45	24.34	23.08	21.68	20.11	18.40	16.54	14.57	12.51	10.39	8.25	6.13	4.12	2.31	0.84
2007-Y (MBY)	32.13	30.79	29.27	27.56	25.65	23.55	21.26	18.81	16.23	13.54	10.80	8.07	5.45	3.06	1.11
2018-Y (MBY)	20.37	19.65	18.81	17.85	16.76	15.55	14.21	12.76	11.20	9.55	7.82	6.04	4.25	2.52	0.98

Şekil 5.13: Y doğrultusu kat deplasmanlarının karşılaştırılması (EDYY-MBY).

5.5 Planda Ve Düşeyde Düzensizliklerin Karşılaştırılması

4. Bölümde planda ve düşeyde düzensizlikler ile ilgili gerekli kontroller yapılmıştır. Bu bölümde, söz konusu 6 adet düzensizliğe ait yönetmelikler özelinde karşılaştırmalar yapılmıştır (Çizelge 5.2).

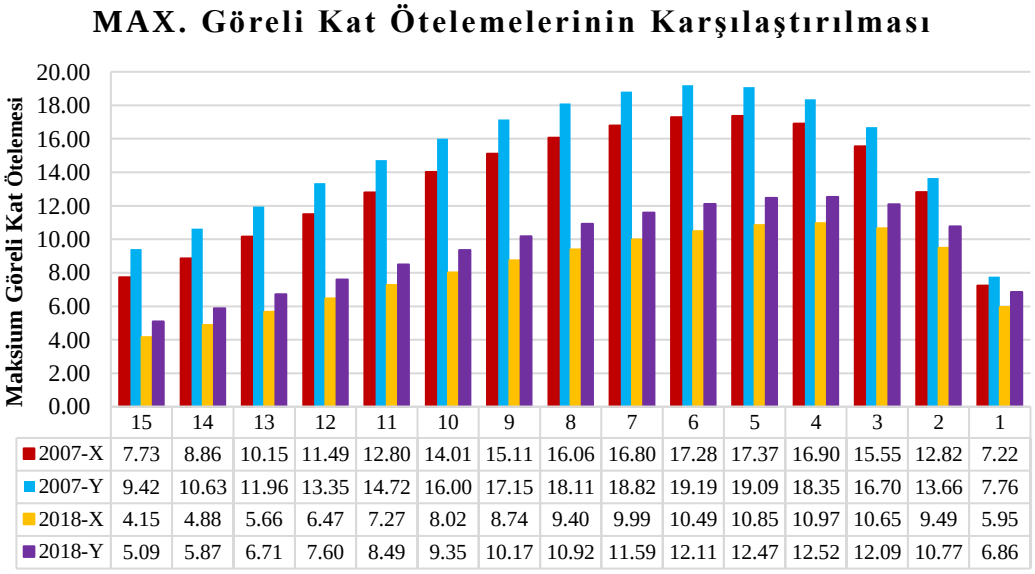
Çizelge 5.2: Planda ve düşeyde düzensizlik durumlarının karşılaştırılması.

	A1 Tipi	A2 Tipi	A3 Tipi	B1 Tipi	B2 Tipi	B3 Tipi
DBYBHY-2007	VAR	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK
TBDY-2018	VAR	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK

Planda ve düşeyde düzensizlik tanımları ve düzensizlik hesapları, DBYBHY-2007'de ve TBDY-2018'de aynı olduğundan düzensizlik kontrollerinde beklendiği üzere bir farklılık oluşmamıştır.

5.6 Etkin Göreli Kat Ötelemelerinin Karşılaştırılması

4. Bölümde, DBYBHY-2007'ye ve TBDY-2018'e göre etkin göreli kat ötelemelerinin kontrolü MBY kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, etkin göreli kat ötelemelerinin kat içindeki maksimum değerleri, her iki yönetmelik için de belirlenen sınır değerlerin altında kalmıştır. Tezin bu bölümünde, etkin göreli kat ötelemelerinin kat içindeki maksimum değerleri yönetmelikler özelinde karşılaştırılmıştır. Oluşturulan grafiksel karşılaştırmaya ait görsel, Şekil 5.14 ile verilmiştir.



	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
2007-X	7.73	8.86	10.15	11.49	12.80	14.01	15.11	16.06	16.80	17.28	17.37	16.90	15.55	12.82	7.22
2007-Y	9.42	10.63	11.96	13.35	14.72	16.00	17.15	18.11	18.82	19.19	19.09	18.35	16.70	13.66	7.76
2018-X	4.15	4.88	5.66	6.47	7.27	8.02	8.74	9.40	9.99	10.49	10.85	10.97	10.65	9.49	5.95
2018-Y	5.09	5.87	6.71	7.60	8.49	9.35	10.17	10.92	11.59	12.11	12.47	12.52	12.09	10.77	6.86

Şekil 5.14: Maksimum etkin göreli kat öteleme değerlerinin karşılaştırılması.

Bilindiği üzere DBYBHY-2007'de etkin göreli kat ötelemeleri standart tasarım depremine göre sınırlandırılırken; TBDY-2018'de etkin göreli kat ötelemeleri DD-3 Deprem Yer Hareketine göre sınırlandırılmaktadır. Bir başka deyişle, yapılan sınırlandırma işlemi Sınırlı Hasar (SH) performans hedefi gözetilerek gerçekleştirilmektedir. Bu azalmayı ifade eden λ katsayısı, tezin 4. Bölümü'nde yaklaşık 0.4 olarak hesaplanmıştı. Ayrıca TBDY-2018'de çatlamış kesitlere ait rijitlik değerlerinin kullanılması sebebiyle, aynı şartlar altında TBDY-2018'e göre hesaplanacak deplasman değerlerinin, DBYBHY-2007'ye göre hesaplanacak deplasman değerlerinden daha büyük çıkması beklenmektedir.

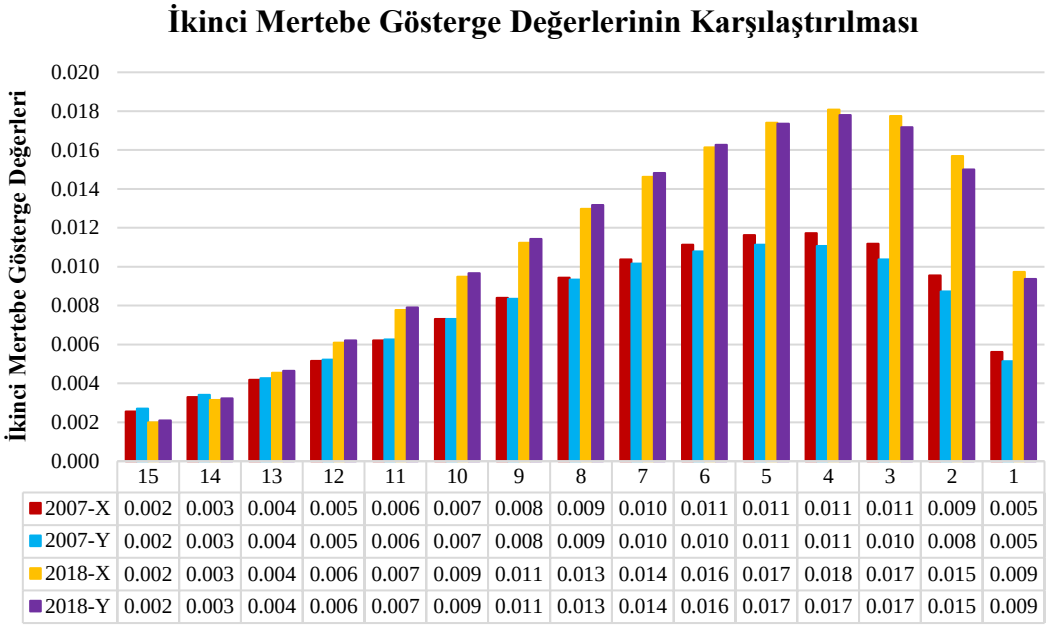
Şekil 5.14'ten görüleceği üzere maksimum göreli kat ötelemesinin katlara göre değişimi genel davranış itibariyle değişmemektedir. En büyük göreli kat öteleme değerleri 5-6. Katlarda ortaya çıkmaktadır. İki yönetmeliğin buradaki farkı sayısal değerler üzerinde olup, TBDY-2018 yönetmeliğinde tüm katlar için daha düşük bulunmaktadır. İlk üç kat için sayısal değerlerin farkı az iken (1. katta x ve y yönleri için %18-12) üst katlarda görece daha fazladır (6. katta x ve y yönleri için %39-37).

TBDY-2018'de etkin kesit rijitlikleri kullanılmasına rağmen kat ötelemesi değerlerinin DBYBHY-2007'ye kıyasla daha düşük çıkması, hesaplanan deprem kuvvetlerinin TBDY-2018'de çok daha düşük (% 120 oranında) olmasına bağlanabilir.

Binanın Y doğrultusundaki rijitliği X doğrultusundaki rijitliğinden fazla olmasına rağmen, Y doğrultusundaki etkin göreli kat ötelemesi değerleri X doğrultusuna kıyasla % 15 - 20 daha büyük çıkmıştır. Yine benzer şekilde, bu duruma Y doğrultusundaki deprem kuvvetlerinin, X doğrultusundaki deprem kuvvetlerinden daha büyük olması sebep olmuştur.

5.7 İkinci Mertebe Etkilerinin Karşılaştırılması

Tezin bu bölümünde, ikinci mertebe gösterge değerleri yönetmelikler özelinde karşılaştırılmıştır. İkinci mertebe gösterge değerleri, her iki yönetmelik için de belirlenen sınır değerlerin altında kalmıştır. Oluşturulan grafiksel karşılaştırmaya ait görsel, Şekil 5.15 ile verilmiştir.



	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
2007-X	0.002	0.003	0.004	0.005	0.006	0.007	0.008	0.009	0.010	0.011	0.011	0.011	0.011	0.009	0.005
2007-Y	0.002	0.003	0.004	0.005	0.006	0.007	0.008	0.009	0.010	0.010	0.011	0.011	0.010	0.008	0.005
2018-X	0.002	0.003	0.004	0.006	0.007	0.009	0.011	0.013	0.014	0.016	0.017	0.018	0.017	0.015	0.009
2018-Y	0.002	0.003	0.004	0.006	0.007	0.009	0.011	0.013	0.014	0.016	0.017	0.017	0.017	0.015	0.009

Şekil 5.15: İkinci mertebe gösterge değerlerinin karşılaştırılması.

Her iki yönetmelikte de ikinci mertebe gösterge değerlerinin hesaplanmasına ilişkin bağıntılar aynıdır. Bu bağıntılara göre ikinci mertebe gösterge değeri, azaltılmış ortalama göreli kat ötelemesi değeri ile doğru orantılıyken; kat bazındaki taban kesme kuvveti ile ters orantılıdır.

Şekil 5.15 incelendiğinde, binanın son iki katına kadar TBDY-2018'e göre hesaplanan ikinci mertebe gösterge değerlerinin DBYBHY-2007'ye göre hesaplananlardan daha büyük olduğu görülmektedir. DBYBHY-2007'ye göre kat öteleme değerlerinin daha büyük olmasına karşın ikinci mertebe gösterge değerlerinin daha küçük çıkmasının sebebi, DBYBHY-2007'ye göre hesaplanan taban kesme kuvvetlerinin oransal bazda daha büyük olmasıdır. Fakat 14. ile 15. katlarda DBYBHY-2007'ye göre hesaplanan ikinci mertebe gösterge değerleri TBDY-2018'e göre hesaplanan değerleri geçmiştir. Son iki katta ortaya çıkan bu değişimin sebebi ise Bölüm 5.4'te açıklandığı üzere son iki katta deplasman değerlerindeki farkın açılmasıdır.

5.8 Elemanların Tasarım Sonuçlarının Değerlendirilmesi

4. Bölüm'de yapılan analiz ve tasarım işlemlerinin karşılaştırılmasına dair son adım, örnek olarak seçilen taşıyıcı elemanların donatı tasarımlarının karşılaştırılmasıdır. Bu bölümde örnek kiriş, kolon, perde ve döşemelere ait donatı tasarımlarının karşılaştırılması iki yönetmelik özelinde gerçekleştirilmiştir.

5.8.1 Örnek kiriş tasarım sonuçlarının karşılaştırılması

Tasarımı yapılan örnek kiriş, binanın X doğrultusundaki A aksı üzerinde bulunan; Y doğrultusundaki 4 ve 5 aksları arasında uzanan 2. kattaki K204 kirişidir. Tasarıma ait değerlerin, yönetmeliklere göre karşılaştırması Çizelge 5.3 ile verilmiştir.

Çizelge 5.3: Örnek kirişin tasarım sonuçlarının karşılaştırılması.

Karşılaştırma Parametresi	DBYBHY-2007	TBDY-2018
Sol üst gereken mesnet donatı (mm^2)	875	698
Sağ üst gereken mesnet donatı (mm^2)	875	698
Açıklık alt gereken donatı (mm^2)	698	698
Açıklık üst gereken donatı (mm^2)	698	698
Sol üst mesnet seçilen donatı	4 Ø16 + 1 Ø12	4 Ø16
Sağ üst mesnet seçilen donatı	4 Ø16 + 1 Ø12	4 Ø16
Açıklık alt seçilen donatı	4 Ø16 (Tüm kiriş boyunca)	4 Ø16 (Tüm kiriş boyunca)
Açıklık üst seçilen donatı	4 Ø16 (Tüm kiriş boyunca)	4 Ø16 (Tüm kiriş boyunca)
Seçilen enine donatı	Ø8/100 ve Ø8/200	Ø8/100 ve Ø8/200

DBYBHY-2007'ye göre hesaplanan deprem kuvvetlerinin TBDY-2018'e kıyasla daha büyük olması, Çizelge 5.3'te K204 kirişinin donatı gereksinimlerine de yansımıştır. Kiriş boyuna donatı gereksinimleri açıklıkta değişmezken, daha kritik bir bölge olarak bilinen mesnet bölgelerinde iki yönetmelik arasında farklılık gözlenmiştir.

Ayrıca tasarıma esas kesme kuvveti V_e, DBYBHY-2007 için TBDY-2018'e göre daha büyük çıkmasına rağmen bu fark enine donatı seçimini etkilememiştir.

5.8.2 Örnek kolon tasarım sonuçlarının karşılaştırılması

Tasarımı yapılan örnek kolon, binanın X doğrultusundaki B aksı üzerinde; Y doğrultusundaki 2 aksı üzerinde bulunan 2. kattaki S06 (80 x 80) kolonudur. Tasarıma ait değerlerin, yönetmeliklere göre karşılaştırması Çizelge 5.4 ile verilmiştir.

Çizelge 5.4: Örnek kolonun tasarım sonuçlarının karşılaştırılması.

Karşılaştırma Parametresi	DBYBHY-2007	TBDY-2018
Eksenel Yük (kN)	6407	7740
Gereken boyuna donatı (mm^2)	6400	6400
Seçilen boyuna donatı (mm^2)	20 Ø22	20 Ø22
Seçilen enine donatı	Ø12/75 ve Ø12/150	Ø12/75 ve Ø12/150

Çizelge 5.4 incelendiğinde, TBDY-2018'e göre hesaplanan eksenel yük değerinin DBYBHY-2007'ye kıyasla % 20 oranında daha büyük çıktığı görülmektedir. Aynı düşey yükler ve kalıp planı için bu farklılığın oluşmasının sebebi, TBDY-2018'de düşey deprem etkisinin depremli kombinasyonlarda sabit yüklere eklenmesidir.

S06 kolonunda her iki yönetmelik için gereken boyuna donatı miktarının, TS-500'de belirtilen minimum donatı (% 1) kadar olduğu görülmektedir. DBYBHY-2007 için hesaplanan kesit tesirlerinin TBDY-2018'e göre daha büyük olması, örnek kolon için hesaplanan boyuna donatı gereksinimini değiştirmemiştir. Fakat bu durumun kolon enkesit alanına veya kolonun bulunduğu kata göre değişebileceği unutulmamalıdır.

Ayrıca tasarıma esas kesme kuvveti V_e, DBYBHY-2007 için TBDY-2018'e göre daha büyük çıkmasına rağmen bu farkın enine donatı seçimini etkileyecek kadar büyük olmadığı görülmektedir. Yine de DBYBHY-2007'ye göre hesaplanan hesap ve tasarım kesme kuvvetlerinin, TBDY-2018'e göre hesaplananlardan fazla olduğunu belirtmekte yarar vardır.

5.8.3 Örnek perde tasarım sonuçlarının karşılaştırılması

Tasarımı yapılan örnek perde, binanın X doğrultusundaki C aksı üzerinde; Y doğrultusundaki 2 ve 3 aksları arasında bulunan 2. Kattaki P02 (35 x 500) perdesidir. Tasarıma ait değerlerin, yönetmeliklere göre karşılaştırması Çizelge 5.5 ile verilmiştir.

Çizelge 5.5: Örnek perdenin tasarım sonuçlarının karşılaştırılması.

Karşılaştırma Parametresi	DBYBHY-2007	TBDY-2018
Uç bölgesi gereken düşey donatı (mm^2)	3500	3500
Uç bölgesi seçilen düşey donatı	14 Ø20	14 Ø20
Gövde bölgesi gereken düşey donatı (mm^2)	2625	2625
Gövde bölgesi seçilen düşey donatı	34 Ø14	34 Ø14
Gövde bölgesi gereken yatay donatı (mm^2)	2625	2625
Gövde bölgesi seçilen yatay donatı	60 Ø16 /100	60 Ø12 /100
Uç bölgesi seçilen enine donatı	Ø10/100	Ø10/100

Çizelge 5.5 incelendiğinde, her iki yönetmeliğe göre yapılan perde tasarımları arasında çok belirgin farkların bulunmadığı görülmektedir. Bunun sebebi, perde uç bölgesi düşey ve enine donatısı ile gövde bölgesi düşey ve enine donatılarının hesaplandığı bağıntıların her iki yönetmelikte de benzer olmasıdır. Bir başka deyişle bu bağıntılar,

eleman iç kuvvetlerinden bağımsız eleman kesitlerinin yüzdesel karşılıkları olduğundan donatı seçimleri de benzer çıkmıştır.

Gövde bölgesi için seçilen yatay donatıda gözlenen farklılığın sebebi, tasarıma esas kesme kuvveti değerlerinin, perdenin kapasite ve tasarım momentlerine bağlı olarak değişmesidir. Tasarıma esas kesme kuvvetinin DBYBHY-2007'de büyük değer alması, gövde bölgesi yatay donatısında daha büyük çaplı donatı kullanılmasına sebep olmuştur.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, DBYBHY-2007 ve TBDY-2018 yönetmelik hükümlerini betonarme binaların tasarım ve analizi yönünden karşılaştırmak amacıyla konut türündeki 15 katlı bir örnek bina üzerinde çalışılmıştır. Her iki yönetmeliğe göre yapılan hesaplarda, aradaki farkın daha net anlaşılabilmesi amacıyla örnek binanın kalıp planı değiştirilmeden kullanılmıştır. Yapılan çalışmalarda deprem yönetmeliklerinin yanında TS-500, TS-498 ve TS-ISO 9194 standartlarından da yararlanılmıştır. Yapılan bu çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar, aşağıdaki gibidir.

a) TBDY-2018, gerek kapsamı gerekse getirdiği yenilikler ile bu zamana kadar yayınlanan en gelişmiş ulusal deprem yönetmeliğidir. TBDY-2018 ile birlikte yayınlan TDTH-2018 ise deprem bölgeleri haritaları içinde devrim niteliğinde bir çalışma olarak göze çarpmaktadır. Yapılan yönetmelik karşılaştırması ve sayısal uygulama sonuçları göz önüne alındığında, TBDY-2018'in DBYBHY-2007'ye göre deprem tehlikesini daha gerçekçi ortaya koyduğu görülmektedir.

b) TBDY-2018'de etkin kesit rijitliklerinin kullanılması, binanın dinamik karaktersitiğini önemli ölçüde etkilemiştir. Örnek olarak bina hakim periyotlarının DBYBHY-2007'ye göre % 20 - 25 oranında büyük çıkması gösterilebilir.

c) DBYBHY-2007'ye göre hesaplanan tasarım ivme spektrumunun en büyük değeri, TBDY-2018'e göre hesaplananlardan % 24 oranında büyük çıkmıştır. DBYBHY-2007'de maksimum spektral ivme değerleri zemin sınıfına bağlı değilken; TBDY-2018'de bağlıdır. TBDY-2018 için maksimum spektral ivme değerleri arası fark, sağlam zeminden zayıf zemine doğru artacaktır. Ayrıca, zemin zayıfladıkça spektrum köşe periyotları arası düzlüğün genişlemesi, binayı deprem tehlikesine daha uzun süre maruz bırakcaktır. Bu sebeple özellikle TBDY-2018'e göre bina tasarımlarında, zemin etüdü parametrelerinin ve yerel zemin sınıfının doğru belirlenmesi, binanın alacağı deprem kuvvetlerini doğrudan etkilemektedir.

d) DBYBHY-2007'ye göre hesaplanan taban kesme kuvvetleri, TBDY-2018'e göre hesaplananlardan % 120 oranında büyük bulunmuştur. DBYBHY-2007'de tasarım

ivme spektrumu değerlerinin daha büyük olması ve TBDY-2018'de etkin kesit rijitliklerinin kullanılması, bu duruma neden olmuştur. Ayrıca seçilen zemin sınıfları değiştikçe bu farkın artıp/azalacağı unutulmamalıdır.

e) Yönetmelikten bağımsız olarak binanın Y doğrultusundaki taban kesme kuvvetleri, X doğrultusunda taban kesme kuvvetlerinden daha büyük çıkmıştır.

f) Taban kesme kuvvetleri konusunda kullanılan yöntemin de burada farka neden olduğu görülmüştür. EDYY'ne göre hesaplanan taban kesme kuvvetleri, MBY'ye göre hesaplananlardan % 15 - 25 oranında daha fazla bulunmuştur.

g) DBYBHY-2007'ye uygun hesaplanan kat yerdeğiştirmeleri, TBDY-2018'e kıyasla daha büyük hesaplanmıştır. Bu fark binanın 1. katında % 20 – 30 civarındayken; 15. katta % 50 – 60 civarında olup, arada önemli bir değişim görülmüştür. TBDY-2018'de etkin kesit rijitlikleri kullanılması sebebiyle, kat yerdeğiştirme değerlerinin DBYBHY-2007'den daha büyük çıkması beklenir. Öte taraftan, deprem kuvvetlerinin DBYBHY-2007'de çok daha büyük sonuçlar alması, bu durumu tersine çevirmiştir. Deprem kuvvetleri ile benzer şekilde Y doğrultusundaki kat yerdeğiştirme değerleri, X doğrultusunda hesaplananlardan büyük bulunmuştur.

h) Her iki yönetmelikte planda ve düşeyde düzensizlik tanımları ve bağıntıları benzer olduğundan, iki yönetmeliğe göre düzensizlikler açısından bir fark gözlenmemiştir. Maksimum göreli kat ötelemeleri her iki yönetmelikte de katlara göre değişmekle beraber DBYBHY-2007'de daha büyük değerler almıştır. İkinci mertebe gösterge değerleri kat kesme kuvvetleri ile ters orantılı olduğundan, binanın son iki katına kadar TBDY-2018'de daha büyük sonuçlar almıştır.

ı) Kiriş tasarımında, açıklık donatı gereksinimi yeni yönetmeliğe göre değişmezken, kritik bölgeler olan mesnetlerde DBYBHY-2007'ye kıyasla boyuna donatı gereksinimi artmıştır. Kiriş enine donatı gereksiniminde bir fark gözlenmemiştir. Kolon boyuna donatısı olarak TS-500'de verilen minimum donatı oranı her iki yönetmelik için de yeterli görünmektedir. Kolon enine donatı seçiminde ise bir fark gözlenmemiştir. Kolonların kirişlerden güçlü olması koşulu tüm birleşim noktalarında sağlanmıştır. Perde uç bölgesi düşey ve enine donatı kriterleri yönetmeliklerde aynı olduğunda donatı seçimleri benzerdir. Perde gövde bölgesi yatay donatı gereksinimleri aynı olmasına rağmen DBYBHY-2007'ye göre tasarıma esas kesme kuvvetinin büyük olması donatı seçimini etkilemiştir.

Bu çalışmanın deprem yönetmeliğinin karşılaştırılmasına akademik olarak katkı yapmanın yanında, pratikte uygulanacak projelere de kaynaklık etmesi amaçlanmıştır. Yapılan bu çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar ışığında yapılacak öneriler aşağıdaki gibidir.

a) Çalışma sonunda elde edilen veriler, seçilen binanın kalıp planına, taşıyıcı sistem türüne, kat sayısına, zemin cinsine vb. birçok etkene bağlı olup yalnızca çalışmaya özgüdür. Bu tez çalışmasına benzer şekilde iki yönetmelik arasındaki farklar, farklı kalıp planları, farklı zemin türleri ve farklı deprem parametrelerini içeren binalar için irdelenebilir.

b) Bu tez çalışmasına benzer şekilde iki yönetmelik arasındaki farklar, simetrik olmayan ve/veya yapısal düzensizlikler bulunduran binalar için de yapılması önerilmektedir.

c) Ayrıca bina yükseklik sınıfına göre "Yüksek Bina" kategorisine giren binalar için de benzer bir çalışma yürütülebilir.

Unutulmamalıdır ki, deprem etkilerinin minimize edilmesi yalnızca gelişmiş ve güncel deprem yönetmeliklerinin yayınlanması ile değil; yönetmelik kurallarının projelerde ve sahada harfiyen uygulanması, kontrol edilmesi, ulusal ve uluslararası standartlara uygun malzeme kullanımı ve yetişmiş kalifiye insan gücü ile mümkün olmaktadır.

KAYNAKLAR

[1] **Pampal, S. & Özmen, B.** (2007). *Türkiye'nin deprem gerçeği: deprem bölgeleri haritaları ve deprem yönetmeliklerinin tarihsel gelişimi.* Ankara: Ümit Ofset Matbaacılık.

[2] **Url-1** <https://www.jmo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=5774&tipi=2>, erişim tarihi 14.11.2019.

[3] **Url-2** <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/tr/>, erişim tarihi 17.11.2019.

[4] **Bikçe, M.** (2015). Türkiye'de hasara ve can kaybına neden olan deprem listesi (1900-2014). *3. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı,* Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye: Ekim (14-16).

[5] **Url-3** <https://deprem.afad.gov.tr/tarihteBuAy?id=65>, erişim tarihi 27.11.2019.

[6] **Url-4** <http://mimoza.marmara.edu.tr/~avni/ERZiNCAN/deprem/2.htm>, erişim tarihi 28.11.2019.

[7] **Url-5** <https://deprem.afad.gov.tr/tarihteBuAy?id=37>, erişim tarihi 01.12.2019.

[8] **Url-6** < https://www.star.com.tr/yasam/17-agustos-depremi-kac-siddetinde-yasandi-17-agustos-depremi-kac-kisi-oldu-haber-1483211/>, erişim tarihi 06.12.2019.

[9] **Yüngül, N.** (1940). Zelzele Mıntıkalarında Yapılacak İnşaata Ait İtalyan Yapı Talimatnamesi Çevirisi. *T.C. Nafia Vekaleti Neşriyatı*, *Seri:2, Sayı:10*.

[10] **ZMMYT** (1944). Zelzele Mıntıkaları Muvakkat Yapı Talimatnamesi. *T.C. Nafia Vekaleti,* Ankara.

[11] **TYBYY** (1949). Türkiye Yersarsıntısı Bölgeleri Yapı Yönetmeliği. *Güney Matbaacılık ve Gazetecilik T.A.O,* Ankara.

[12] **YBYYHY** (1953). Yersarsıntısı Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik. *T.C. Bayındırlık Vekaleti*, Ankara.

[13] **ABYYHY** (1962). Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik. *T.C. İmar ve İskân Bakanlığı,* Ankara.

[14] **ABYYHY** (1968). Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik. *T.C. İmar ve İskân Bakanlığı*, Ankara.

[15] **ABYYHY** (1975). Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik. *T.C. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı,* Ankara.

[16] **Pampal, S. & Özmen, B.** (2007). Türkiye deprem bölgeleri haritalarının gelişimi. *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı,* İstanbul, Türkiye, 105-115.

[17] **Özmen, B. & Pampal, S.** (2017). Türkiye deprem bölgeleri haritalarının evrimi. *4. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı,* Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye: Ekim (11-13).

[18] **Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası.** (1963). *T.C. İmar ve İskân Bakanlığı,* Ankara.

[19] **Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası.** (1972). *T.C. İmar ve İskân Bakanlığı,* Ankara.

[20] **Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası. (**1996). *T.C. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı,* Ankara.

[21] **TDTH** (2018). Türkiye Deprem Tehlike Haritası. *T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı,* Ankara.

[22] **Aydınlıoğlu, M.N., Celep, Z., Özer, E., Özaydın, K.** (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği Eğitim El Kitabı Açıklamalar ve Uygulama Örnekleri. *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası,* İstanbul.

[23] **TBDY** (2018) . Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. *Çevre ve Şehircilik Bakanlığı,* Ankara.

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

[25] **Sucuoğlu, H.** (2019). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde Başlıca Yenilikler. *Türk Deprem Araştırma Dergisi*, *1*(1), 63-75.

[26] **Özer, E.** (2009). Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmayan Analizi – Ders Notları. *İstanbul Teknik Üniversitesi*, İstanbul.

[27]. **Yon, B., & Calayir, Y.** (2014). Effects of confinement reinforcement and concrete strength on nonlinear behaviour of RC buildings. *Computers and Concrete, 14*(3), 279-297.

[28] **Astroza, R., Ebrahimian, H., & Conte, J. P.** (2015). Material parameter identification in distributed plasticity FE models of frame-type structures using nonlinear stochastic filtering. *Journal of Engineering Mechanics, 141*(5), 04014149.

[29] **SAP2000** (Version 20.0) [Computer Software] Integrated software for structural analysis and design program. *Computers and Structures Inc.*, Berkeley, California.

[30] **TS-500** (2000). Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları. *Türk Standartlar Enstitüsü,* Ankara.

[31] **TS-498** (1997). Yapı elemanlarının boyutlandırılmasında alınacak yüklerin hesap değerleri. *Türk Standartlar Enstitüsü,* Ankara.

[32] **TS-ISO 9194** (1997). Yapıların projelendirilme esasları – taşıyıcı olan ve olmayan elemanlar depolanmış malzemeler – yoğunluk. *Türk Standartlar Enstitüsü,* Ankara.

[33] **Ersoy, U.** & **Özcebe, G.** (2017). *Betonarme: Temel İlkeler TS-500-2000 ve Türk Deprem Yönetmeliğine (1998) Göre Hesap (Gözden Geçirilmiş VII. Baskı)*. İstanbul: Evrim Yayınevi.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad **:** Mustafa Mücahit Küçük

Doğum Tarihi ve Yeri **:** 05.09.1992 Salihli/MANİSA

E-posta **:** mucahit.kucuk@aol.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** **:** 2017, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, (3.05/4.00)
- **Yüksek Lisans** **:** 2020, Bursa Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, Yapı Mühendisliği, (4.00/4.00)

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- İnşaat mühendisi, ÇYT&Metikar İnşaat A.Ş. (2017-2018)
- İnşaat mühendisi, Sanko Enerji, (2018-2019)
- İnşaat mühendisi, PTT A.Ş. Genel Müdürlüğü, (2019 – devam)