

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

BİNA TAŞIYICI SİSTEM DAVRANIŞININ FARKLI DÖŞEME TÜRLERİ İÇİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yılmaz KELEŞ

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : YAPI
Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Zeynep YAMAN

Kasım 2019

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİNA TAŞIYICI SİSTEM DAVRANIŞININ FARKLI
DÖŞEME TÜRLEİ İÇİN İNCELENMESİ**

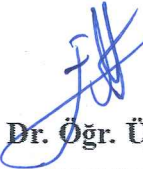
YÜKSEK LİSANS TEZİ

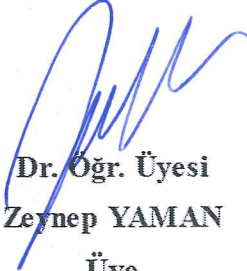
Yılmaz KELEŞ

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : YAPI

Bu tez 15.11.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.


Dr. Öğr. Üyesi
Hüseyin KASAP
Jüri Başkanı


Dr. Öğr. Üyesi
Elif BORU
Üye


Dr. Öğr. Üyesi
Zeynep YAMAN
Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Yılmaz KELEŞ

02.10.2019

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim ve özellikle bu çalışmanın ortaya çıkma sürecinde kıymetli zamanını ayıran bilgi ve tecrübesini paylaşarak değerli eleştirileri ile bana yol gösteren tez danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Zeynep YAMAN'a ve sayın jüri üyelerine teşekkür ederim. Ayrıca çalışmalarımın başlangıcından sonuna kadar ki her safhada değerli bilgilerini ve zamanını esirgmeden benimle paylaşan ve beni yönlendiren hocalarım Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin KASAP'a ve Dr. Öğr. Üyesi Elif AĞCAKOCA'ya teşekkür ederim.

Tüm öğrenim hayatım boyunca olduğu gibi, yüksek lisans tezi çalışmam sırasında da benden her türlü maddi manevi desteklerini esirgemeyen hep yanımda olan aileme teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ	xii
ÖZET.....	xvi
SUMMARY	xvii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
1.1. Literatürde Yapılan Çalışmalar.....	3
BÖLÜM 2.	
DÖŞEMELER HAKKINDA GENEL BİLGİLER	7
2.1. Kirişli Plak Döşemeler.....	8
2.2. Dişli Döşemeler	11
2.3. Kirişsiz Döşemeler.....	16
BÖLÜM 3.	
TBDY2018'e GÖRE MODELLEME.....	19
3.1. Malzeme Özellikleri.....	22
3.1.1. Beton malzemesi.....	22
3.1.2. Donatı çeliği malzemesi.....	23
3.2. Tasarıma Esas Yükler ve Yük Hesapları.....	23
3.2.1. Sabit yükler	23
3.2.2. Hareketli yükler	24

3.3. Deprem Yüğü.....	24
3.3.1. Deprem yer hareketi spektrumu	24
3.3.2. Yatay tasarım ivme spektrumu	25
3.3.3. Düşey elastik tasarım spektrumu.....	27
3.3.4. Bina kullanım sınıfı	28
3.3.5. Deprem tasarım sınıfı	29
3.3.6. Bina yüksekliğı ve bina yükseklik sınıfları	30
3.3.7. Bina performans hedefi	30
3.3.8. Taşıyıcı sistemlerin uygulama sınırları, taşıyıcı sistem davranış katsayıları ve dayanım fazlalığı katsayıları	31
3.3.9. Deprem yüğü azaltma katsayısı ve azaltılmış tasarım ivme spektrumu	32
3.3.10. Deprem hesap yöntemleri.....	33
3.3.11. Eşdeğer deprem yüğü yöntemi ve kat deprem yüğüleri	34
 BÖLÜM 4.	
SONLU ELEMEN MODELLERİ.....	35
4.1. Modellemedeki Kabuller ve Hesaplar	36
4.1.1. Rijit diyafram kabulü.....	36
4.1.2. TBDY'ye göre etkin kesit rijitliklerinin belirlenmesi	36
4.1.3. Yapı periyotlarının Sap2000 programı ile bulunması.....	39
4.1.4. Kat ağırlıklarının hesaplanması.....	41
4.1.5. Yüğü kombinasyonlarının Sap2000 programına girilmesi.....	43
4.2. 4 Katlı Model Yapılar.....	44
4.2.1. Tip4A bina çözümlemesi	44
4.2.1.1. Kirişli plak döşeme hesabı	46
4.2.1.2. Kirişler	46
4.2.1.3. Kolonlar	47
4.2.1.4. Perdeler	48
4.2.1.5. Deprem yüğülerinin eşdeğer deprem yüğüne göre hesabı	50
4.2.1.6. R ve D katsayılarının belirlenmesi.....	50

4.2.1.7. Taşıyıcı sistem davranış katsayısı ($R=6$) için kontrol ...	55
4.2.1.8. Kat ağırlıklarının hesaplanması	57
4.2.1.9. Bina periyodunun belirlenmesi	59
4.2.1.10. Deprem yüklerinin hesabı	61
4.2.1.11. Hesaplanan eşdeğer deprem yüklerinin Sap2000 programına girilmesi	64
4.2.1.12. Düzensizlik kontrolleri.....	66
4.2.1.13. A1 burulma düzensizliği kontrolü.....	68
4.2.1.14. Etkin görel kat ötelemelerinin kontrolü	69
4.2.1.15. Kolon iç kuvvetleri.....	73
4.2.1.16. Perde iç kuvvetleri	76
4.2.1.17. Deprem yüklerinin mod birleştirme yöntemine göre hesabı.....	78
4.2.1.18. Mod birleştirme yöntemi ile yapılan hesapların eşdeğer deprem yükü yöntemine göre ölçeklenmesi.....	81
4.2.2. Tip4B bina çözümlemesi	84
4.2.2.1. Kirişsiz döşeme ön boyutlandırılması.....	85
4.2.2.2. Bina periyodunun belirlenmesi	89
4.2.2.3. Kat ağırlıkları	90
4.2.2.4. Eşdeğer deprem yükü yöntemi ile doğrusal deprem hesabı	90
4.2.2.5. A1 burulma düzensizliği kontrolü.....	93
4.2.2.6. Etkin görel kat ötelemelerinin kontrolü	94
4.2.3. Tip4C bina çözümlemesi	96
4.2.3.1. Kaset döşemelerin ön boyutlandırılması.....	98
4.2.3.2. Bina periyodunun belirlenmesi	99
4.2.3.3. Kat ağırlıklarının hesaplanması	101
4.2.3.4. Eşdeğer deprem yükü yöntemi ile doğrusal deprem hesabı	101
4.2.3.5. A1 burulma düzensizliği kontrolü.....	105
4.2.3.6. Etkin görel kat ötelemelerinin kontrolü	106
4.2.4. Tip4D bina çözümlemesi	107

4.2.4.1. Kirişlerin ön boyutlandırılması	110
4.2.4.2. Asmolen döşeme ön boyutlandırılması	110
4.2.4.3. Kolonların ön boyutlandırılması	111
4.2.4.4. Perdelerin ön boyutlandırılması	113
4.2.4.5. Bina periyodunun belirlenmesi	114
4.2.4.6. Kat ağırlıkları	115
4.2.4.7. Eşdeğer deprem yükü yöntemi ile doğrusal deprem hesabı	116
4.2.4.8. Taşıyıcı sistem davranış katsayısının kontrolü.....	119
4.2.4.9. A1 burulma düzensizliği kontrolü.....	123
4.2.4.10. Etkin görelî kat ötelemelerinin kontrolü	124
4.3. Farklı Kat Yüksekliklerindeki Binaların Sonlu Eleman Modelleri	126
 BÖLÜM 5.	
SEM ANALİZ SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRMASI.....	130
5.1. Farklı Döşeme Tipleri Sonuçlarının Karşılaştırılması	130
5.2. Kat Yükseklikleri Değişiminin Sonuçlarının Karşılaştırılması	143
 BÖLÜM 6.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	154
 KAYNAKÇA	
EKLER.....	161
ÖZGEÇMİŞ	165

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

A_c	: Kolon net kesit alanı
BKS	: Bina kullanım sınıfı
BYS	: Bina yükseklik sınıfı
C_t	: Ampirik doğal titreşim periyodu hesabında kullanılan katsayı
D	: Dayanım fazlalığı katsayısı
DBYBHY	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007
e	: %5'lik ek dışmerkezlik
E.D.Y.Y	: Eşdeğer deprem yükü yöntemi
$E_d^{(Z)}$	: Tasarıma esas z yönündeki düşey deprem etkisi
f_{cd}	: Beton tasarım basınç dayanımı
f_{ctk}	: Betonun karakteristik çekme dayanımı
F_s	: Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı
F_1	: 1.0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayısı
$F_{iE}^{(X)}$	: X deprem yönünde i'inci kat kütle merkezine etkiyen eşdeğer deprem yükü (kN)
g	: Yerçekimi ivmesi ($g = 9,8067 \text{ m/s}^2$)
G	: Sabit yüklerin toplamı (kN)
H_N	: Bina toplam yüksekliği (m.)
h_i	: i'inci katın yüksekliği (m)
I	: Bina önem katsayısı
KH	: Kontrollü hasar
m_i	: i'inci katın toplam kütlesi
M.B.Y.	: Mod Birleştirme Yöntemi
M_{DEV}	: Betonarme perdenin tabanında deprem yüklerinden meydana gelen devrilme momenti (kNm)

$M_{ib}^{(X)}$	: i'inci katta ki x deprem doğrultusuna dik doğrultuda ek dış merkezlik etkisine karşı gelen ek kat burulma momenti (kNm)
M_o	: 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
S	: Kar yükü etkisi (kN)
$S_{ae}(T)$	: Yatay elastik tasarım spektral ivmesi (g)
$S_{aR}(T)$	: Azaltılmış tasarım spektral ivmesi (g)
S_{DS}	: Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı
T_A	: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu (sn.)
T_B	: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu (sn.)
T_L	: Yatay elastik tasarım spektrumunda sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu (sn.)
T_p	: Binanın hakim doğal titreşim periyodu (sn.)
T_{Pa}	: Amprik olarak hesaplanan hakim doğal titreşim periyodu (sn.)
TBDY2018	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
TS498	: Yapı Elemanlarının Boyutlandırmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri
TS500	: Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları
TDTH	: Türkiye Deprem Tehlikeleri Haritası
Q	: Hareketli yüklerin toplamı (kN)
$V_{tE}^{(X)}$	: X deprem doğrultusunda binanın tümüne etkiyen taban kesme kuvveti (kN)
$V_{tE}^{(Y)}$	: Y deprem doğrultusunda binanın tümüne etkiyen taban kesme kuvveti (kN)
$\Delta F_{NE}^{(X)}$	: X deprem yönünde binanın N'inci katına (tepesine) etkiyen ek eşdeğer deprem yükü (kN)
$\Delta F_{NE}^{(Y)}$	: Y deprem yönünde binanın N'inci katına (tepesine) etkiyen ek eşdeğer deprem yükü (kN)

W	: Hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak hesaplanan toplam yapı ağırlığı (kN)
$u_{i, \min}$	: Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için herhangi bir kolon veya perdede ki, i'inci kattaki en küçük yatay yer değiştirme (mm.)
$(\Delta_i)_{\min}$	: Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için ardışık iki kat arasındaki yer değiştirme farkını ifade eden en küçük azaltılmış görelî kat ötelemesi (mm.)
$(\Delta_i)_{\max}$	: Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için ardışık iki kat arasındaki yer değiştirme farkını ifade eden en büyük azaltılmış görelî kat ötelemesi (mm.)
$(\Delta_i)_{\text{ort.}}$	: Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için ardışık iki kat arasındaki yer değiştirme farkını ifade eden ortalama azaltılmış görelî kat ötelemesi (mm.)
η_{bi}	: i'inci katta burulma düzensizliği katsayısı, herhangi bir katta en büyük görelî kat ötelemesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama görelî kat ötelemesine oranı
κ	: İzin verilen görelî kat ötelemelerinin tanımında betonarme sistemler için kullanılan katsayı
λ	: Görelî kat ötelemelerinin sınırlandırılmasında kullanılan ampirik katsayı
$\delta_i^{(X)}$	: X deprem doğrultusu için binanın i' inci katındaki kolon veya perdeler için etkin görelî kat ötelemesi
$\delta_{i, \max}^{(X)}$	: X deprem doğrultusu için binanın i' inci katındaki kolon veya perdeler için etkin görelî kat ötelemelerinin kat içindeki en büyük değeri

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Tek doğrultuda da çalışan kirişli plak döşeme.....	9
Şekil 2.2. İki doğrultuda da çalışan kirişli plak döşeme	9
Şekil 2.3. Tek doğrultuda çalışan dişli döşeme.....	12
Şekil 2.4. İki doğrultuda çalışan dişli döşeme (kaset).....	14
Şekil 2.5. Kirişsiz döşeme.....	17
Şekil 3.1. Perdeli-çerçeve taşıyıcı sistemin aplikasyon planı	20
Şekil 3.2. Yatay elastik tasarım spektrumu.....	25
Şekil 3.3. DD-2 ve DD-3 deprem düzeyleri için tasarım ivme spektrumları.....	27
Şekil 3.4. Genel deprem parametreleri.....	28
Şekil 3.5. Bina kullanım sınıfları ve bina önem katsayıları (TBDY, 2018).....	29
Şekil 3.6. Deprem Tasarım Sınıfları (DTS) (TBDY, 2018).....	30
Şekil 3.7. BYS ve DTS'ye göre tanımlanan bina yükseklik aralıkları (TBDY, 2018).....	30
Şekil 3.8. DD-2 deprem düzeyi için bina performans hedefleri (TBDY, 2018).....	31
Şekil 4.1. Sap200 programında tam rijit diyafram ve yarı rijit diyaframların tanımlanması.....	36
Şekil 4.2. Betonarme taşıyıcı elemanların etkin kesit rijitlikleri (TBDY,2018)	37
Şekil 4.3. Sap2000 programına kolon ve kirişlerin etkin kesit rijitlikleri çarpanlarının girilmesi.....	37
Şekil 4.4. Sap2000 programına perde ve döşemelerin etkin kesit rijitlikleri çarpanlarının girilmesi	38
Şekil 4.5. Sap2000 programında kat kütlelerinin tanımlanması	40
Şekil 4.6. Sap2000 programında modal analiz ayarları	41
Şekil 4.7. Hareketli yük kütle katılım katsayısı (TBDY, 2018).....	42
Şekil 4.8. Tip4A normal kat kalıp planı.....	45
Şekil 4.9. Tip4A binasının 3 boyutlu hesap modeli	45

Şekil 4.10. Tip4A düşey yükler altında altıncı perde ve kolon yük alanları	47
Şekil 4.11. Sap2000 programından devrilme momentlerinin elde edilmesi	53
Şekil 4.12. Tip4A binasının kesit görünümü	57
Şekil 4.13. Sap2000 programında toplam bina ağırlığının bulunması.....	59
Şekil 4.14. Tip4A binasının Sap2000 programıyla bulunan birinci ve ikinci mod şekli	60
Şekil 4.15. Sap2000 programına eşdeğer deprem yüklerinin tanımlanması.....	64
Şekil 4.16. Sap2000 programında EXP deprem yüklemesi için kat seviyelerine yüklerin girilmesi	65
Şekil 4.17. Sap2000 programında kat seviyelerine girilmiş yüklere göre toplam taban kesme kuvvetleri.....	66
Şekil 4.18. Yerdeğiştirme değerlerinin bulunacağı uç köşe düğüm noktaları	67
Şekil 4.19. Sap2000 programında YZ düzleminde kat köşe düğüm noktalarına isimlendirme yapılması	67
Şekil 4.20. Sap2000 programında EXP yüklemesi için bina modelinin yerdeğiştirmiş şekli	72
Şekil 4.21. Sap2000 programında EYP yüklemesi için bina modelinin yerdeğiştirmiş şekli	73
Şekil 4.22. Sap2000 programında zaman-ivme fonksiyonunun tanımlanması.....	80
Şekil 4.23. Sap2000 programında ExSpec'in tanımlanması.....	81
Şekil 4.24. Sap2000 programında M.B.Y'ne göre taban kesme kuvvetlerinin elde edilmesi.....	82
Şekil 4.25. Tip4B binasının 3 boyutlu hesap modeli	84
Şekil 4.26. Tip4B normal kat kalıp planı	85
Şekil 4.27. Kirişsiz döşemelerde zımbalama etkisi.....	87
Şekil 4.28. Tip4C normal kat kalıp planı	96
Şekil 4.29. Tip4C binasının 3 boyutlu hesap modeli	97
Şekil 4.30. İki doğrultulu dişli döşeme (kaset) detayı.....	99
Şekil 4.31. Tip4C binasının Sap2000 programıyla bulunan birinci ve ikinci mod şekli	101
Şekil 4.32. Tip4D binasının 3 boyutlu hesap modeli	108
Şekil 4.33. Tip4D normal kat kalıp planı.....	109

Şekil 4.34. Asmolen döşeme detayı	111
Şekil 4.35. Tip4D düşey yükler altında perde ve kolon yük alanları	112
Şekil 4.36. Tip4D binasının Sap2000 programıyla bulunan birinci ve ikinci mod şekli	114
Şekil 4.37. Tipik normal kat kalıp planı.....	127
Şekil 4.38. Tip4A-3, Tip4A-3.5, Tip4A-4 binalarının üç boyutlu sonlu eleman modelleri	128
Şekil 4.39. Tip6A-3, Tip6A-3.5, Tip6A-4 binalarının üç boyutlu sonlu eleman modelleri	128
Şekil 4.40. Tip8A-3, Tip8A-3.5, Tip8A-4 binalarının üç boyutlu sonlu eleman modelleri	129
Şekil 5.1. TipA, TipB, TipC ve TipD yapılarının ağırlıkları	133
Şekil 5.2. TipA, TipB, TipC ve TipD yapılarının x yönü periyotları	134
Şekil 5.3. TipA, TipB, TipC ve TipD yapılarının y yönü periyotları	135
Şekil 5.4. TipA, TipB, TipC ve TipD yapılarının x yönü taban kesme kuvvetleri .	136
Şekil 5.5. TipA, TipB, TipC ve TipD yapılarının y yönü taban kesme kuvvetleri .	137
Şekil 5.6. TipA, TipB, TipC ve TipD yapılarındaki x yönü maksimum yatay yerdeğıştirmeler	139
Şekil 5.7. TipA, TipB, TipC ve TipD yapılarındaki y yönü maksimum yatay yerdeğıştirmeler	140
Şekil 5.8. TipA, TipB, TipC ve TipD yapılarındaki x yönü etkin görelî kat ötelemeleri.....	141
Şekil 5.9. TipA, TipB, TipC ve TipD yapılarındaki y yönü etkin görelî kat ötelemeleri.....	142
Şekil 5.10. Yapı periyotlarının karşılaştırılması	144
Şekil 5.11. Yapı ağırlıklarının karşılaştırılması	145
Şekil 5.12. X doğrultusu taban kesme kuvvetleri	147
Şekil 5.13. Y doğrultusu taban kesme kuvvetleri	148
Şekil 5.14. X doğrultusu maksimum yatay yerdeğıştirmeler	149
Şekil 5.15. Y doğrultusu maksimum yatay yerdeğıştirmeler	149
Şekil 5.16. X doğrultusu etkin görelî kat ötelemeleri	151
Şekil 5.17. Y doğrultusu etkin görelî kat ötelemeleri	152

TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. Döşeme tiplerine göre binaların isimlendirilmesi.....	21
Tablo 3.2. Döşeme tiplerine göre binaların taşıyıcı elemanlarının boyutları.....	21
Tablo 3.3. Kat yüksekliğinin değişimine göre binaların isimlendirilmesi ve taşıyıcı elemanların boyutları	22
Tablo 3.4. Sabit yük değerleri	24
Tablo 3.5. Hareketli ve kar yükü değerleri	24
Tablo 3.6. DD-2 ve DD-3 deprem düzeyleri için spektral değerler.....	26
Tablo 3.7. Bina taşıyıcı sistemleri için taşıyıcı sistem davranış katsayısı, dayanım fazlalığı katsayısı ve izin verilen bina yükseklik sınıfları	32
Tablo 3.8. Eşdeğer deprem yükü yöntemi'nin uygulanabileceği binalar (TBDY, 2018)	34
Tablo 4.1. Döşeme tiplerine göre binaların isimlendirilmesi.....	44
Tablo 4.2. Tip4A seçilen kolon ön boyutları	48
Tablo 4.3. Tip4A betonarme taşıyıcı elemanların boyutları	50
Tablo 4.4. Tip4A EXP ve EXN için TBDY Madde 4.3.2.4.a kontrolü	51
Tablo 4.5. Tip4A EYP ve EYN için TBDY Madde 4.3.2.4.a kontrolü	52
Tablo 4.6. Tip4A EYP ve EYN için TBDY Madde 4.3.2.4.b kontrolü	52
Tablo 4.7. Tip4A EYP ve EYN için TBDY Madde 4.3.2.4.b kontrolü.....	53
Tablo 4.8. Tip4A EXP ve EXN için Madde 4.3.4.5 kontrolü.....	54
Tablo 4.9. Tip4A EYP ve EYN için Madde 4.3.4.5 kontrolü.....	54
Tablo 4.10. Tip4A EXP ve EXN için TBDY Madde 4.3.2.4.a kontrolü	55
Tablo 4.11. Tip4A EYP ve EYN için TBDY Madde 4.3.2.4.a kontrolü	56
Tablo 4.12. Tip4A EXP ve EXN için TBDY Madde 4.3.2.4.b kontrolü.....	56
Tablo 4.13. Tip4A EYP ve EYN için TBDY Madde 4.3.2.4.b kontrolü.....	57
Tablo 4.14. Tip4A binasının kat ağırlıkları.....	58
Tablo 4.15. Tip4A kütle katılım oranları	60

Tablo 4.16. Tip4A X ve Y doğrultusu için %5 ek dışmerkezlilik ile hesaplanan eşdeğer deprem yükleri	64
Tablo 4.17. TİP4A X doğrultusunda A1 burulma düzensizliği kontrolü.....	69
Tablo 4.18. TİP4A Y doğrultusunda A1 burulma düzensizliği kontrolü.....	69
Tablo 4.19. Tip4A X doğrultusu için etkin görelî kat ötelemelerinin kontrolü	72
Tablo 4.20. Tip4A Y doğrultusu için etkin görelî kat ötelemelerinin kontrolü	73
Tablo 4.21. Zemin kat kolonlarda normal kuvvetleri ve M3 eğilme momentleri...	74
Tablo 4.22. Zemin kat kolonlarda normal kuvvetleri ve M2 eğilme momentleri...	75
Tablo 4.23. Zemin kat kolonlarında V2 kesme kuvvetleri.....	75
Tablo 4.24. Zemin kat kolonlarında V3 kesme kuvvetleri.....	76
Tablo 4.25. Zemin kat perdelerindeki normal kuvvetler ve M3 eğilme momentleri	77
Tablo 4.26. Zemin kat perdelerindeki normal kuvvetler ve M2 eğilme momentleri	77
Tablo 4.27. Zemin kat perdelerinde V2 kesme kuvvetleri.....	78
Tablo 4.28. Zemin kat perdelerinde V3 kesme kuvvetleri.....	78
Tablo 4.29. Zaman-ivme fonksiyonu (response spectrum function)	79
Tablo 4.30. E.D.Y.Y. ve M.B.Y.'nden elde edilen taban kesme kuvvetleri ve maksimum yerdeğiştirmeler	83
Tablo 4.31. Tip4B betonarme taşıyıcı elemanların boyutları	88
Tablo 4.32. Tip4B kütle katılım oranları	89
Tablo 4.33. Tip4B binasının kat ağırlıkları.....	90
Tablo 4.34. Tip4B X ve Y doğrultusu için %5 ek dışmerkezlilik ile hesaplanan eşdeğer deprem yükleri	93
Tablo 4.35. Tip4B X doğrultusunda A1 burulma düzensizliği kontrolü	94
Tablo 4.36. Tip4B Y doğrultusunda A1 burulma düzensizliği kontrolü	94
Tablo 4.37. Tip4B X doğrultusu için etkin görelî kat ötelemelerinin kontrolü	95
Tablo 4.38. Tip4B Y doğrultusu için etkin görelî kat ötelemelerinin kontrolü	95
Tablo 4.39. TİP4C betonarme taşıyıcı elemanların boyutları	99
Tablo 4.40. Tip4B kütle katılım oranları	100
Tablo 4.41. Tip4C binasının kat ağırlıkları.....	101

Tablo 4.42. Tip4C X ve Y doğrultusu için %5 ek dışmerkezlik ile hesaplanan eşdeğer deprem yükleri	105
Tablo 4.43. Tip4C X doğrultusunda A1 burulma düzensizliği kontrolü	105
Tablo 4.44. Tip4C Y doğrultusunda A1 burulma düzensizliği kontrolü	106
Tablo 4.45. Tip4C X doğrultusu için etkin görelî kat ötelemelerinin kontrolü	107
Tablo 4.46. Tip4C Y doğrultusu için etkin görelî kat ötelemelerinin kontrolü	107
Tablo 4.47. Tip4D seçilen kolon ön boyutları	112
Tablo 4.48. Tip4D betonarme taşıyıcı elemanların boyutları	113
Tablo 4.49. Tip4D kütle katılım oranları	115
Tablo 4.50. Tip4D binasının kat ağırlıkları.....	115
Tablo 4.51. Tip4D X ve Y doğrultusu için %5 ek dışmerkezlik ile hesaplanan eşdeğer deprem yükleri	119
Tablo 4.52. Tip4D EXP ve EXN için TBDY Madde 4.3.2.4.a kontrolü	120
Tablo 4.53. Tip4D EYP ve EYN için TBDY Madde 4.3.2.4.a kontrolü	120
Tablo 4.54. Tip4D EXP ve EXN için TBDY Madde 4.3.2.4.b kontrolü.....	121
Tablo 4.55. Tip4D EYP ve EYN için TBDY Madde 4.3.2.4.b kontrolü.....	121
Tablo 4.56. Tip4D EXP ve EXN için Madde 4.3.4.6 kontrolü.....	122
Tablo 4.57. Tip4D EYP ve EYN için Madde 4.3.4.6 kontrolü.....	123
Tablo 4.58. Tip4D X doğrultusunda A1 burulma düzensizliği kontrolü	123
Tablo 4.59. Tip4D Y doğrultusunda A1 burulma düzensizliği kontrolü	124
Tablo 4.60. Tip4D X doğrultusu için etkin görelî kat ötelemelerinin kontrolü	125
Tablo 4.61. Tip4D Y doğrultusu için etkin görelî kat ötelemelerinin kontrolü	125
Tablo 4.62. Tip4A, Tip4B, Tip4C ve Tip4D binalarının dinamik karakteristiklerinin karşılaştırılması	126
Tablo 4.63. Model isimlendirmeleri ve betonarme taşıyıcı elemanların boyutları .	126
Tablo 5.1. Döşeme tiplerine göre binaların isimlendirilmesi.....	130
Tablo 5.2. Döşeme tiplerine göre binaların taşıyıcı elemanlarının boyutları.....	131
Tablo 5.3. TipA, TipB, TipC ve TipD yapılarının deprem yükü azaltma katsayıları.....	131
Tablo 5.4. TipA, TipB, TipC ve TipD yapılarının azaltılmış tasarım spektral ivmeleri	132
Tablo 5.5. TipA, TipB, TipC ve TipD yapılarının ağırlıkları	132

Tablo 5.6. TipA, TipB, TipC ve TipD yapılarının periyotları	133
Tablo 5.7. TipA, TipB, TipC ve TipD yapılarının taban kesme kuvvetleri	136
Tablo 5.8. TipA, TipB, TipC ve TipD yapılarındaki maksimum yatay yerdeşiftmeler.....	138
Tablo 5.9. TipA, TipB, TipC ve TipD yapılarındaki etkin görelî kat ötelemeleri oranlarının kontrolü.....	141
Tablo 5.10. Model isimlendirmeleri ve betonarme taşıyıcı elemanların boyutları	143
Tablo 5.11. Yapı periyotlarının karşılaştırılması	143
Tablo 5.12. Yapı ağırlıklarının karşılaştırılması	144
Tablo 5.13. Yatay elastik tasarım spektral ivmelerinin karşılaştırılması	145
Tablo 5.14. Deprem yükü azaltma katsayılarının karşılaştırılması.....	146
Tablo 5.15. Azaltılmış tasarım spektral ivmelerinin karşılaştırılması	146
Tablo 5.16. Taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması	147
Tablo 5.17. Maksimum yatay yerdeşiftmeler	148
Tablo 5.18. X ve Y yönündeki etkin görelî kat ötelemeleri.....	150
Tablo 5.19. Etkin görelî kat ötelemeleri oranlarının kontrolü	153

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Kirişli döşeme, kirişsiz döşeme, asmolen döşeme, kaset döşeme, eşdeğer deprem yükü yöntemi, depreme dayanıklı betonarme yapı tasarımı, TBDY 2018

Deprem tüm dünyada kaçınılması mümkün olmayan bir doğal afet olmakla birlikte, insanlar için can ve mal kayıplarına neden olması, depreme dayanıklı yapılar tasarlayıp inşa edilerek ortadan kaldırılabilir. Monolitik ve rijit olmasından dolayı depremlerde en çok hasar gören ve göçmenin gözlemlendiği yapı türü betonarme yapılarıdır. Betonarme bir yapının depreme dayanıklı olarak tasarımında, yapının gerçek deprem etkileri veya olabileceği öngörülen tahmini deprem kuvvetleri etkisi altında yatay ve düşey yerdeğiştirmeleri ve periyotları incelenmektedir. Bu değerler yönetmeliklerin öngördüğü sınırları aşmayacak şekilde güvenli ve ekonomik yapı tasarımı gerçekleştirilmektedir. Literatürde, betonarme bir yapının yatay ve düşey yerdeğiştirmeleri ile periyotlarının belirlenmesinde, genel olarak, yapının çerçeve sistemini teşkil eden kiriş kolon ve perdelerin etkin rol oynadığı kabul edilsede, taşıyıcı sistemde tüm düşey ve yatay karakterli yükleri taşıyan ve nakleden plak sistemler olan döşemelerin de yapı davranışında etkin rol oynayabileceği belirlenmiştir. Ayrıca Türkiye Deprem Yönetmeliğinde (2018), taşıyıcı sistemin süneklik düzeyinin belirlenmesinde, döşeme plağının türü ve yük etkisi altındaki davranış şekli önem arz etmektedir. Bu nedenle tez çalışmasında farklı döşeme tiplerinin yapının deprem yükleri etkisi altındaki davranışına etkisi incelenmiştir.

Çalışmada kirişli plak, kirişsiz döşemeli, tek doğrultulu dişli (asmolen) döşemeli ve iki doğrultulu dişli (kaset) döşemeli yapı sistemlerinin deprem performanslarının karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla 4 farklı döşeme tipine göre TS500 ve TBDY (2018) esasları doğrultusunda 3,4 ve 5 katlı binalar modellenmiştir. Modellemesi yapılan binaların deprem hesaplamaları, eşdeğer deprem yükü yöntemine göre yapılmıştır. Yerel zemin sınıfı geoteknik rapordan ZD alınmıştır. Yapılan analizler sonucunda, binaların doğal titreşim periyotları, taban kesme kuvvetleri, maksimum yatay yerdeğiştirmeleri ve göreceli kat ötelemeleri karşılaştırılmıştır. Bina modellerinin analiz sonuçları incelenmiş ve kirişli plak döşemeli sistemlerin en optimum değerleri verdiği görülmüştür. Bu bağlamda kirişli plak döşemeli sistemlerde kat yüksekliği ve kat adedi değişiminin taşıyıcı sistem davranışına etkisini görebilmek maksadıyla 4-6-8 katlı, kat yükseklikleri de 3-3.5-4 metre olan bina modelleri oluşturulmuştur. Binaların deprem hesaplamaları Sap2000 sonlu elemanlar yazılımı ile yapılmıştır.

EXAMINING OF BUILDING BEARING SYSTEM BEHAVIOR FOR DIFFERENT SLAB TYPES

SUMMARY

Keywords: Beam slab, flat slab, ribbed (hollow block) slab, waffle slab, equivalent seismic load method, earthquake resistant reinforced concrete structure design, TBDY 2018

Although the earthquake is a natural disaster that cannot be avoided all over the world, the fact that the earthquake is a disaster causing loss of life and property for people can be eliminated by designing and constructing earthquake resistant structures. Due to its monolithic and rigid structure, the most damaged buildings during the earthquakes and the migrants are observed are reinforced concrete structures. In the earthquake resistant design of a reinforced concrete structure, the horizontal and vertical displacements and periods of the structure under the effect of the actual earthquake effects or the predicted earthquake forces are examined and a safe and economic structure design is carried out so as not to exceed the limits stipulated by the regulations. In the literature, although it is accepted that the beams columns and walls constituting the frame system play an effective role in determining the horizontal and vertical displacements and periods of a reinforced concrete structure, in general, all the vertical and horizontal loads carrying and transporting plaque systems in the structural behavior of it has been investigated that it can play an active role. Also in Turkey Building Earthquake Code (2018), in determining the ductility of the structural system, the type and shape of the slab behavior under impact load it is important. Therefore, the effect of different slab types on the behavior of the structure under the effect of earthquake loads was investigated in this thesis.

In this study, it is aimed to compare the earthquake performance of beamed slab, flat slab, one way ribbed (hollow block) slab and waffle slab construction systems. For this purpose, 3, 4 and 5 story buildings were modeled according to TS500 and TBDY (2018) principles according to 4 different slab types. Earthquake calculations of the modeled buildings were made according to the equivalent earthquake load method. It is assumed that the local soil class is taken from the geotechnical report ZD. As a result of the analysis, natural vibration periods, base shear forces, maximum horizontal displacements and relative floor shifts of the buildings were compared. The results of the analysis of the building models were examined and it was found that beamed slab systems gave the most appropriate values. In this context, in order to see the effect of floor height and number of floor changes on carrier system behavior, building models with 4-6-8 storeys and floor heights of 3-3.5-4 meters have been created. Earthquake calculations of the buildings were made with Sap2000 finite element software.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Ülkemiz tarihinin son yüzyılına bakıldığında deprem felaketlerinde çok fazla can ve mal kayıplarının olduğu bilinmektedir. Yerleşim alanlarında olası deprem zararlarının azaltılması ancak nitelikli ve depreme dayanıklı yapılar inşa ederek olmaktadır. Bu bağlamda ülkemizin kaçınılmaz bir gerçeği olan deprem felaketlerinden fiili durumlara göre yasal düzenlemeler yapılmak suretiyle maddi ve manevi zararların önlenmesi veya en aza indirgenmesi amaçlanmaktadır. Ülkemiz deprem yönetmelikleri tarihsel süreçlerine bakıldığında her ne kadar yeni veya revize edilmiş yasal düzenlemeler olsada fiiliyatta ne yazık ki can ve mal kayıplarının önemli ölçüde azalmasını sağlayacak etkin bir netice elde edilememiştir. Taslak metin olarak 2016 yılında yayınlanan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY2018), AFAD tarafından oluşturulan komisyonca hazırlanmış olup içeriğinde bazı düzenlemeler yapılarak 18 Mart 2018 tarihinde resmî gazetede yayınlanmış ve 1 Ocak 2019 tarihi itibarıyla yürürlüğe girmiştir. TBDY2018, deprem mühendisliğinde yaşanan gelişmeler doğrultusunda, ülkemizin giderek artan ve/veya değişen ihtiyaçları göz önünde bulundurularak hazırlanmıştır.

Yurdumuzda en çok tercih edilen yapı türü betonarme yapılardır. Betonarme yapıların diğer bina türlerine göre tercih nedenleri olarak, kullanım ömürlerinin uzun süreli olması, betonarmeyi oluşturan malzemelerin ham maddesinin kolay bulunabilmesi ve deprem yüklerine dayanıklı olması söylenebilir. Betonarme yapılarda kolon, kiriş, döşeme ve perde, taşıyıcı elemanlar olarak görev yapmaktadır. Bu taşıyıcı elemanlardan biri olarak da döşemelerin, yapının dinamik karakteristiklerinin belirlenmesinde önemli rolü olmaktadır.

Yapı tasarımında optimum çözümün bulunabilmesi için farklı döşeme tiplerinin değerlendirilmesi gerekmektedir. Betonarme yapıların tasarımında farklı döşeme tipleri kullanılarak, aynı yapı sistemi için alternatif seçenekler oluşturulabilir. Taşıyıcı sisteminde farklı döşeme tiplerinin kullanılması düşey ve yatay yüklerin taşınmasında farklılıklar oluşturmaktadır. Döşeme tiplerinin değişmesine bağlı olarak taşıyıcı sistemin deprem parametreleri değişkenlik göstermektedir. Deprem enerjisini tüketebilmenin en önemli yolu sünekliktir. Ön projelendirme safhasında binanın süneklik düzeyinin yönetmeliğin izin verdiği doğrultuda, hangi sınır değerler arasında kaldığı ve ne şekilde önlemler alınması gerektiğini seçilecek döşeme tipi belirlemektedir. Döşeme tipinin seçimi, deprem yönetmeliğine göre, taşıyıcı sistemin süneklik düzeyinin belirlenmesinde önem arz etmektedir (TBDY, 2018). Bu nedenle döşeme tiplerinin ve çalışma esaslarının inşaat mühendisleri tarafından iyi bilinmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, yatay yükler etkisi altında bulunan binalarda farklı döşeme sistemlerinin, yapının dinamik karakteristikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Çalışmadaki tüm bina modelleri Sap2000 (v20) sonlu elemanlar programı ile analiz edilerek, TBDY'ye göre ilgili tahkikler yapılmıştır. Tüm bina modellerinde kullanılan beton sınıfı C30/37, donatı çeliği sınıfı ise B420C'dir. Yapıların Sakarya Erenler ilçesinde yapılacağı ve zemin sınıflarının ZD olduğu kabulü yapılmıştır. Çalışmadaki tüm bina modellerinin temele ankastre mesnetlendiği varsayılmıştır ve temel hesabı tezin kapsamı dışında bırakılmıştır.

Tezin birinci bölümünde çalışma ile ilgili genel bilgiler verilmiş ve daha önceki çalışmalara değinilmiştir. İkinci bölümde döşemeler hakkında yönetmelik ve diğer kaynak kitaplardan alınan bilgiler verilmiştir. Üçüncü bölümde TBDY2018 esaslarına göre modelleme kuralları ve çalışmadaki tüm bina modelleriyle ilgili ortak genel bilgiler verilmiştir. Dördüncü bölümde çalışmaya konu olan 4 farklı döşeme tipine göre 4 katlı 4 adet binanın deprem hesaplamaları ve ilgili yönetmelik kontrolleri yapılmıştır. Dördüncü bölümde ayrıca 4 katlı kirişli plak döşemeli binanın deprem hesapları mod birleştirme yöntemine göre de hesaplanmış ve eşdeğer deprem yükü yöntemi ile elde edilen değerler ile kıyaslanmıştır. Dördüncü bölümün son kısmında

süneklik düzeyi yüksek perdeli-çerçeveleli kirişli plak döşemeli 4-6-8 katlı, kat yükseklikleri de 3-3.5-4 m olarak belirlenen 9 adet bina modelinin sonlu eleman modelleri gösterilmiştir. Beşinci bölümün birinci kısmında 4 farklı döşeme tipine göre 3-4-5 katlı binaların eşdeğer deprem yükü yöntemine göre doğal titreşim periyotları, taban kesme kuvvetleri, maksimum yatay yerdeğiştirmeleri ve görelî kat ötelemeleri gösterilmiş ve sonuçları yüzdesel oranda kıyaslanmıştır. Beşinci bölümün ikinci kısmında ise kirişli plak döşemeli, kat yükseklikleri 3-3.5-4 m. olan 9 adet bina modelinin doğal titreşim periyotları, taban kesme kuvvetleri, maksimum yatay yerdeğiştirmeleri ve görelî kat ötelemeleri gösterilmiş ve sonuçları yüzdesel oranda kıyaslanmıştır. Son bölümde ise yapılan çalışmalar neticesinde elde edilen genel sonuçlar ve öneriler verilmiştir.

1.1. Literatürde Yapılan Çalışmalar

Bansal ve Patidar yaptıkları çalışmalarında kirişsiz plak döşeme ve kaset döşeme kullanarak; kat yüksekliği 3,6 m ve bina oturum alanı 20 m x 20 m olarak tasarlanan 4 -8-12 katlı binalarda; yapıları sismik kuvvetler etkisinde statik itme analizini kullanarak (pushover analysis) taban kesme kuvvetleri, kat ötelemeleri ve maksimum yer değıştirmelerin etkisini incelemişlerdir (Bansal, Patidar 2016).

Bhina ve arkadaşları çalışmalarında kirişsiz döşeme (mantar döşeme) ve kirişli döşemeli yapıların maliyetlerini ve yatay kuvvetler altındaki davranışlarını karşılaştırmışlardır. İki binanın performansını değerlendirmek için, statik itme analizi (pushover analysis), zaman tanım alanında hesap (time history analysis) ve tepki spektrumu (response spectrum) yöntemlerini kullanmışlardır (Bhina ve ark., 2013).

Çağlarım'ın tez çalışmasında döşeme tiplerinin değışmesinden dolayı yapıda deprem etkilerinin karşılaması sırasında ortaya çıkan farklılıklar incelenmiştir. Döşemelerin rijit diyafram ve esnek döşeme kabulleri ile modellenmesinin binada ne tür farklar oluşturduğu irdelenmiştir. Rijit ve esnek diyafram kabullerini ABYYHY'de açıklanan A2 ve A3 tipi düzensizlik durumlarını kullanarak incelemiştir. Kat adedi fazla olan

binalarda rijit diyafram kabulünün esnek döşeme modellemesine kıyasla oldukça yakın sonuçlar verdiği elde edilmiştir (Çağlarım, 2002).

Demirok'un tez çalışmasında Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY) 2007'ye göre tasarlanan aynı mimari özelliklere sahip çok katlı binalarda farklı döşeme türlerinin taşıyıcı sisteme olan etkileri incelenmiştir. Bu çalışmada yapı taşıyıcı sistemleri hakkında bilgi verilmiş, süneklik düzeylerinden bahsedilmiş, planda düzensizliği bulunan yapılar anlatılmış ve DBYBHY'de bu tür yapıların inşası konusundaki hususlar incelenmiştir. 10 katlı bina üç değişik döşeme türü ile tasarlanmış, taşıyıcı elemanların boyutlandırılması yapılmış, modal analiz sonuçları incelenmiş, yapısal düzensizlik kontrolleri yapılmış ve üç bina için yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlar kıyaslanmış ve yorumlanmıştır (Demirok, 2009).

El-Shaer'ın çalışmasında 30 katlı betonarme yapıyı farklı döşeme sistemleriyle; kirişli döşeme, kirişsiz plak döşeme ve dişli döşeme olarak diğer parametreler aynı kalacak şekilde modelleyerek kat deplasmanlarını, bina devrilme momentlerini ve taban kesme kuvvetlerini karşılaştırmıştır (El-Shaer, 2013).

Özlü'nün tez çalışmasında Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY) 2007'ye göre tasarlanan çerçeve, perde çerçeve ve perdeli olmak üzere üç farklı taşıyıcı sistemde; döşeme sistemi olarak plak, dolgu bloklu dişli ve kirişsiz döşeme kullanılarak; kat adetleri 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 ve 50 olan binalar tasarlanmıştır. Tasarlanan bu binalarda yükleme koşulları (hareketli yük) 2 kN/m^2 , 3.5 kN/m^2 ve 5 kN/m^2 ; beton sınıfları C30, C35 ve C40 alınarak her yerel zemin sınıfı (Z1, Z2, Z3 ve Z4) ve her deprem bölgesi için hesaplamalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalardan elde edilen iki doğrultudaki maksimum yer değiştirmeleri, iki doğrultudaki maksimum etkin görel kat ötelemeleri, ikinci mertebe gösterge değeri, taşıyıcı sistem serbest titreşim periyodu, burulma ve rijitlik düzensizliği katsayısı bakımından karşılaştırılarak, bina taşıyıcı sistemlerinin davranışlarını incelenmiştir (Özlü, 2015).

Turan'ın tez çalışmasında 1 bodrum kat, 1 zemin kat ve 10 normal kattan oluşan, kat yükseklikleri 3 metre olan, 1. Derece Deprem Bölgesinde yapılacağı varsayılan çok katlı betonarme bir yapının Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY) 2007'ye göre tasarımı yapılmıştır. Deprem hesapları mod birleştirme yöntemi ve eşdeğer deprem yükü yöntemine göre Sap2000 sonlu elemanlar programı ile yapılmıştır. Bu iki deprem hesap yöntemiyle elde edilen sonuçlar irdelenmiş ve kıyaslanmıştır. Yapılan analizler sonucunda, eşdeğer deprem yükü yöntemine göre elde edilen taban kesme kuvveti, mod birleştirme yöntemi ile elde edilen değerden x doğrultusunda %5.4 ve y doğrultusunda %7.5 daha büyük olduğu bulunmuştur. (Turan, 2012).

Yaşoğlu'nun tez çalışmasında DBYBHY 2007'ye göre tasarlanan, aynı mimariye sahip farklı katlarda binalar tasarlanmış ve farklı taşıyıcı sistemlerde döşeme tiplerinin modellenmesi yapılmıştır. Farklı döşeme tiplerinin davranışa etkisi incelenmiş ve maliyet karşılaştırması yapılmıştır. Taşıyıcı sistemi çerçeve sistem olan 6 katlı yapı olarak ve perdeli-çerçeve sistem 12 katlı modellenerek tasarımı yapılmıştır. Sadece kirişsiz döşemeli bina modeli DBYBHY'de belli kısıtlandırmalar içerdiğinden perde ilave edilerek tasarımı yapılmıştır. Tüm analizler Etabs sonlu elemanlar programı ile yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre DBYBHY'de belirtilen kontroller yapılmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde yalnızca döşeme tipi değişimin etkisini görmek amacıyla üç farklı döşeme tipi için taşıyıcı sistem eleman boyutları aynı kalmak suretiyle tek bir plan seçilerek modellerin tasarımı yapılmıştır. Analizi yapılan tüm modellerin yapı ağırlığı, periyot, taban kesme kuvvetleri karşılaştırılmıştır. Çalışmanın birinci bölümündeki modellerinde beton ve donatı miktarları ve 1 normal kat için maliyetleri karşılaştırılmıştır. İkinci bölümdeki yapı modellerinde ise dinamik analizi yapılmış binaların iç kuvvet tesirleri incelenmiştir (Yaşoğlu, 2015).

Yeşilyurt'un tez çalışmasında farklı taşıyıcı sistemlere ve döşemelere sahip 18 adet çok katlı betonarme binanın deprem davranışları karşılaştırmalı olarak Etabs sonlu elemanlar programı kullanılarak incelenmiştir. Deprem hesaplamaları tasarım spektrumları dikkate alınarak mod birleştirme yöntemiyle yapılmıştır. Taşıyıcı sistemler çerçeve, tüp, perde-çerçeve sistemler olarak seçilmiştir. Döşeme sistemleri,

kirişli döşeme ve dişli döşeme olarak modellenmiştir. Tüm modellerin sonuçları kat bazında, kat kesme kuvvetleri, maksimum yer değiştirme değerleri, maksimum eğilme momentleri, maksimum kesme kuvvetleri ve 1.doğal titreşim periyotları bulunarak kıyaslanmıştır (Yeşilyurt, 2016).



BÖLÜM 2. DÖŞEMELER HAKKINDA GENEL BİLGİLER

Döşemeler iki boyutlu düzlemsel eleman olarak kabul edilen, kalınlığı diğer iki boyutuna göre oldukça düşük olan taşıyıcı yapı elemanlarıdır. Döşemelerin esas görevi düşey yükleri karşılamaktır ve bu düşey yükleri mesnetlendiği kirişlere, kolonlara ve perde duvarlara aktarmaktır. Döşemeler kendi yüklerini ve kendi düzlemlerine dik olarak üzerlerine gelen hareketli yükleri taşıyarak kirişler vasıtasıyla veya mesnetlendiği kolon ve/veya perde duvar gibi taşıyıcılara aktarırlar. Üzerlerindeki hareketli yükün çok fazla değişiklik göstermesi ve bunun hesaplanmasındaki güçlükler düşünülerek kural olarak yüklerin döşeme üstünde düzgün olarak etki ettiği varsayılır. Döşemelerin geçtikleri açıklar maruz kaldıkları yük miktarına göre farklılık göstermektedir. Küçük açıklıkların geçilmesi için daha basit sistemler ve döşeme tipleri kullanılırken büyük açıklıkların geçilmesinde daha komplike sistemler ve döşeme tipleri kullanılmaktadır.

Döşemelerin kendi düzlemleri içindeki etkilere karşı rijit olduğu varsayılır ve düzlem içi şekil değiştirmeleri ihmal edilir. Bu durumda depremden dolayı oluşacak yatay yüklerin düşey taşıyıcı elemanlara iletilmesi döşemelerin yatay rijitliğine bağlı olmaktadır. Betonarme hesaplarda boşluksuz döşemelerin şekil değiştirmede rijit diyafram olarak davrandığını ve kendi düzlemi için rijit yer değiştirdiği kabul edilmektedir. Yeterli kalınlıktaki boşluksuz döşemenin kendi düzlemi içinde iki yönde yatay yerdeğiştirme u_x , u_y ve düşey eksen etrafındaki dönme θ_z olmak üzere 3 hareketi vardır. Yapının depreme maruz kalması sırasında döşemelerde de şekil değiştirmeler olur ama nispeten diğer taşıyıcı elemanlara (perde, kolon) göre çok çok azdır.

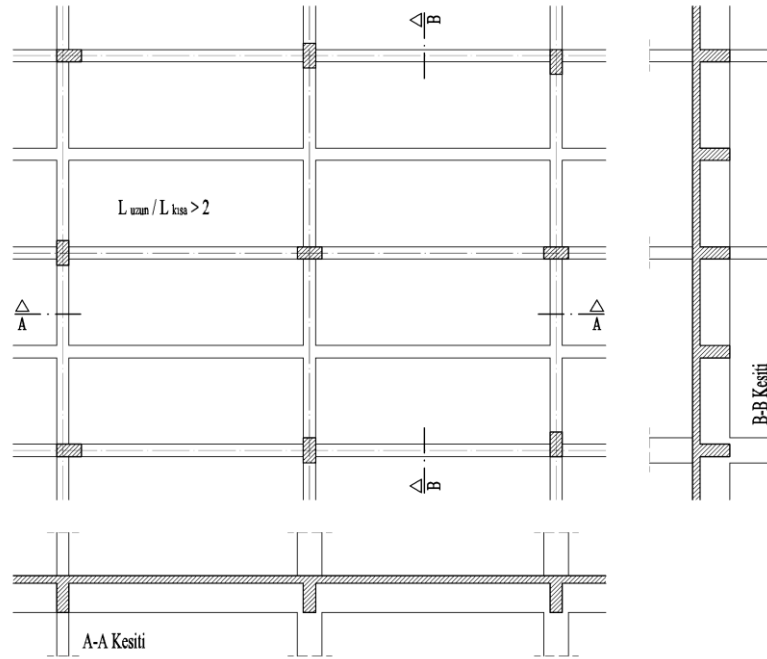
Döşemeler çalışma prensipleri ve mesnetlenme özelliklerine göre kirişli plak döşemeler, kirişsiz plak döşemeler, dişli döşemeler olarak sınıflandırılmaktadır.

Döşeme terimi kirişli ve kirişsiz döşemelerde sadece döşeme plağı, dişli döşemelerde ise dişlerle beraber döşeme plağını ifade etmektedir.

Döşemelerin modellenmesi ile ilgili ayrıntılı öneriler TBDY 4.bölümünde açıklanmıştır. TBDY Madde 4.5.6.2'ye göre A2 ve A3 tipi düzensizliklerin olduğu ve/veya döşemelerin rijit diyafram olarak çalıştığının varsayılmadığı yapılarda ve betonarme kirişsiz döşemeli yapılarda döşemeler iki boyutlu olarak sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmelidir. TBDY Madde 4.5.6.3'e göre A2 ve A3 tipi düzensizliklerin olmadığı ve düzlem içi önemli şekil değıştirmelerin ortaya çıkmayacağı planda düzenli binalarda, döşemeler rijit diyafram kabulü ile modellenebilir. TBDY Madde 4.5.6.4'e göre rijit diyafram modeli, ek dişmerkezlilik etkisinin göz önüne alınması için yapılacak hesapta da kullanılacaktır (TBDY, 2018).

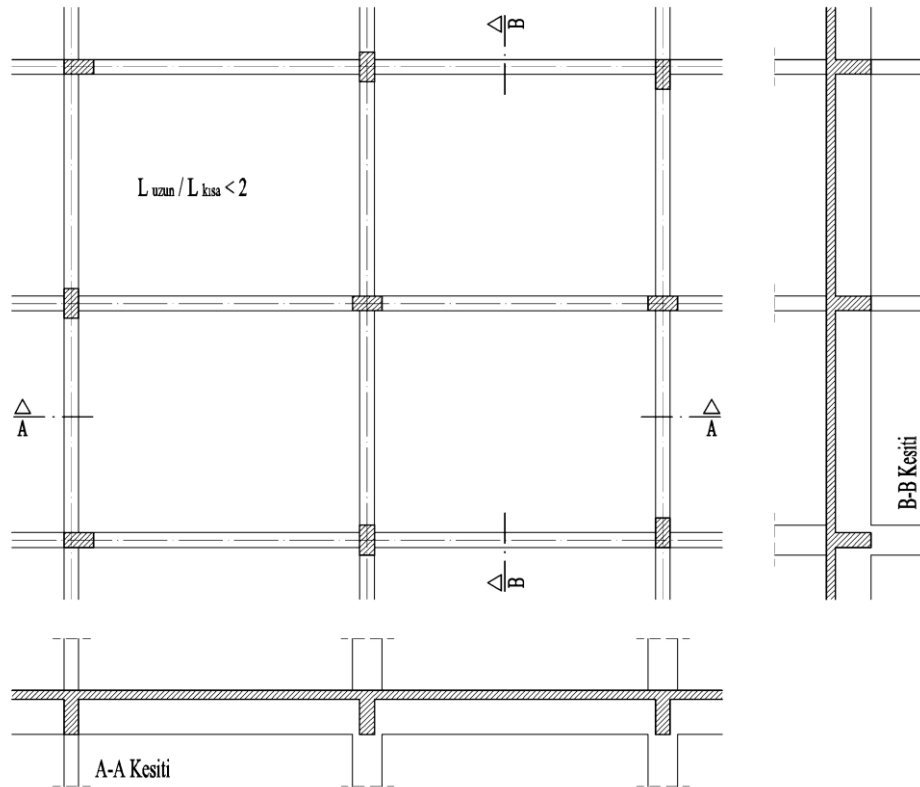
2.1. Kirişli Plak Döşemeler

Genellikle konut tipi binalarda sıklıkla tercih edilir. En az bir kenarı kirişe mesnetleneceğı gibi (örneğin balkon döşemesi) dört kenarından da kirişlere mesnetlenebilmektedir. Genellikle 12-20 cm kalınlığında olan plaklardır. Kirişli döşemeler uzun kenar açıklığının kısa kenar açıklığına oranına bağılı olarak tek doğrultuda çalışan kirişli döşemeler (Şekil 2.1.) ve çift doğrultuluda çalışan kirişli döşemeler (Şekil 2.2.) olarak sınıflandırılır. Kirişlere mesnetlenen döşemelerin uzun kenarının kısa kenarına oranı 2'den büyük olursa bu döşemelere tek doğrultulu çalışan kirişli döşemeler denir. Tek doğrultuda çalışan kirişli döşemelerde açıklıklar küçük olursa ekonomik olurlar, açıklıkların büyük olduğu durumlarda ekonomik değildir. Tek doğrultuda çalışan kirişli döşemelerde sadece kısa kenar yönünde çekme donatısı olarak donatı hesabı yapılır, bu donatılar kısa kenar doğrultusunda yerleştirilir. Diğer doğrultuda moment ve donatı hesabı yapılmaksızın yönetmeliğe göre dağıtma donatısı yerleştirilir. Dağıtma donatısının esas görevi büzölme ve sıcaklık gibi etkilerden dolayı oluşacak ek gerilmeleri karşılamaktır (Topçu, 2019).



Şekil 2.1. Tek doğrultuda da çalışan kirişli plak döşeme

Döşemelerin üzerine gelen yük arttıkça veya mesnetler arasındaki açıklık büyüdükçe yapılan hesaplarda döşeme kalınlığı da artmaktadır.



Şekil 2.2. İki doğrultuda da çalışan kirişli plak döşeme

Kirişli plak döşemelerin boyutlandırılması ve betonarme hesap esasları TS500’de açıklanmıştır.

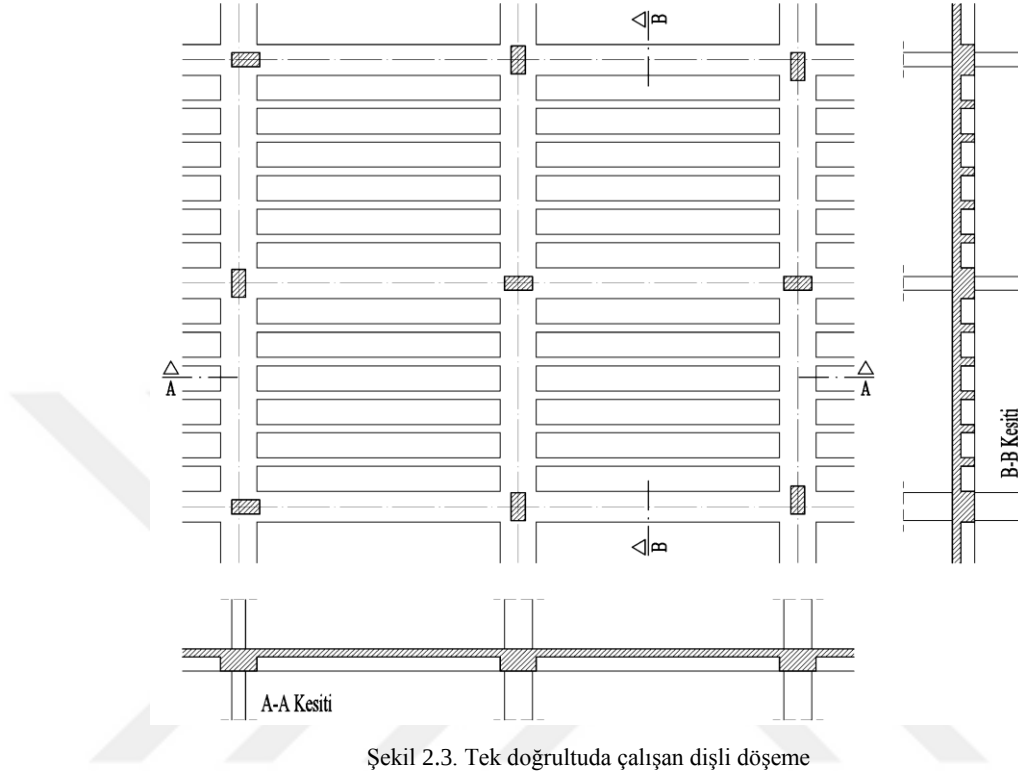
Kirişli döşemenin avantajları ve dezavantajları aşağıda sıralanmıştır;

- Büyük diyafram rijitliği sayesinde olası bir deprem hareketinde, depreme en fazla dayanıklılığı olan döşeme türüdür.
- Kiriş yüksekliğinin döşeme yüksekliğinden büyük olması sebebiyle döşeme alt seviyesinden tesisat boruları kiriş alt seviyesine inmek durumundadır. Bu tesisat geçişlerini zorlaştıran bir hâldir.
- İşçilik ve kalıp maliyeti diğer döşeme türlerine göre daha yüksektir.
- Kirişli döşemelerde büyük açıklıklar geçmek zordur.
- Plak kalınlığı nispeten az olduğundan taşıyıcı elemanların ölçüleri de ekonomik olarak hesaplanabilir. Böylelikle beton ve donatı açısından tasarruf sağlanabilmektedir.
- Kirişlerin yükseklik boyutları kat yüksekliğini azalttığından kullanımı olumsuz etkilemektedir.
- Kirişli döşemelerde genellikle duvarlar kirişlere oturur. Mimari oturma planı sonradan değiştirilmek istenirse başka bir deyişle duvar yerlerinin değişmesi durumunda, döşeme ortasına yapılacak bir duvar döşemede istenmeyen sehimlere ve hasarlara neden olabilmektedir.
- Konsol döşemeler için en uygun plak sistemidir.

2.2. Dişli Döşemeler

Birbirine paralel dişlerin herhangi bir doğrultuda ana kirişlere mesnetlenmesi ve dişlerin üzerine ince bir plak yapılmasıyla teşkil edilirler. Mesnet açıklıklarının fazla olduğu yapılarda kirişli plak döşemelerin ekonomik olmaması nedeniyle dişli döşemeler alternatif olarak düşünülebilmektedir. Dişli döşemelerin boyutları genellikle uygulamada ince plak kalınlığı 7-10 cm, diş genişliği 10-20 cm ve diş yüksekliği 32-50 cm olarak alınmaktadır. Dişler arasında temiz açıklık TS500’de 40-70 cm olarak belirtilmiştir. İnce plağın üstündeki ölü ve hareketli yükler dişlere aktarılır, dişler de yükleri ana kirişlere aktarır. Burada ana kiriş olarak bahsedilen kirişler, yastık kirişleridir. Yastık kirişleri literatürde yatık kirişler olarak da isimlendirilmektedir. Burada irdelenmesi gereken bir konu diş yönlerinin hangi doğrultuda olması gerektiğidir. Dişler kısa doğrultuda düzenlenirse diş açıklığı küçük olur dişler fazla zorlanmazlar ve dişlerin yükleri aktardığı küçük açıklıklı ana kirişler çok zorlanırlar ve ana kirişlerde büyük moment ve kesme kuvveti değerleri oluşur. Dişler uzun doğrultuda düzenlenirse diş açıklıkları büyük olur, dişler çok zorlanırlar moment ve kesme kuvveti değerleri büyük olur fakat dişlerin yükleri aktardığı büyük açıklıklı ana kirişler fazla zorlanmazlar. Yastık kirişleri olarak bahsedilen ana kirişlerin rijitlikleri zaten az olduğundan uygulamada yastık kirişlerin çok zorlanması istenmez bundan dolayı dişler genellikle uygulamada uzun doğrultuda düzenlenmektedir. Bir doğrultuda çalışan dişli döşemeler, uygulamada dişli/asmolen döşeme olarak adlandırılmaktadır (Şekil 2.3.). İki doğrultuda çalışan dişli döşemeler de uygulamada kaset/ızgara döşeme olarak adlandırılmaktadır. Dişli döşemelerde genellikle dişlerin arası dolgu malzemesi ile doldurulmaktadır. Uygulamada en sık kullanılan dolgu malzemeleri: boşluklu beton briket, boşluklu pişmiş kil, gaz beton ve köpüktür. Bu dolgu malzemelerinin statik taşıyıcı olarak hiçbir özellikleri yoktur, sadece yük hesaplarında dikkate alınırlar. Tek doğrultulu dişli döşemelerde dişler arasındaki boşlukların ağır dolgu malzemeleri yerine hafif dolgu malzemeleri ile doldurulması önerilmektedir böylelikle yapı ağırlığı azaltılmış olmaktadır. Dolgu malzemesi konulmasının öngörülmediği durumlarda dişlerin arasındaki boşluklar tesisat amaçlı kullanılabilir. Asmolen döşemeli sistemlerde planda altında duvar olan dış

akslardaki kirişlerin, normal kiriş olarak yapılması deprem açısından daha uygun olmaktadır (Topçu, 2019).



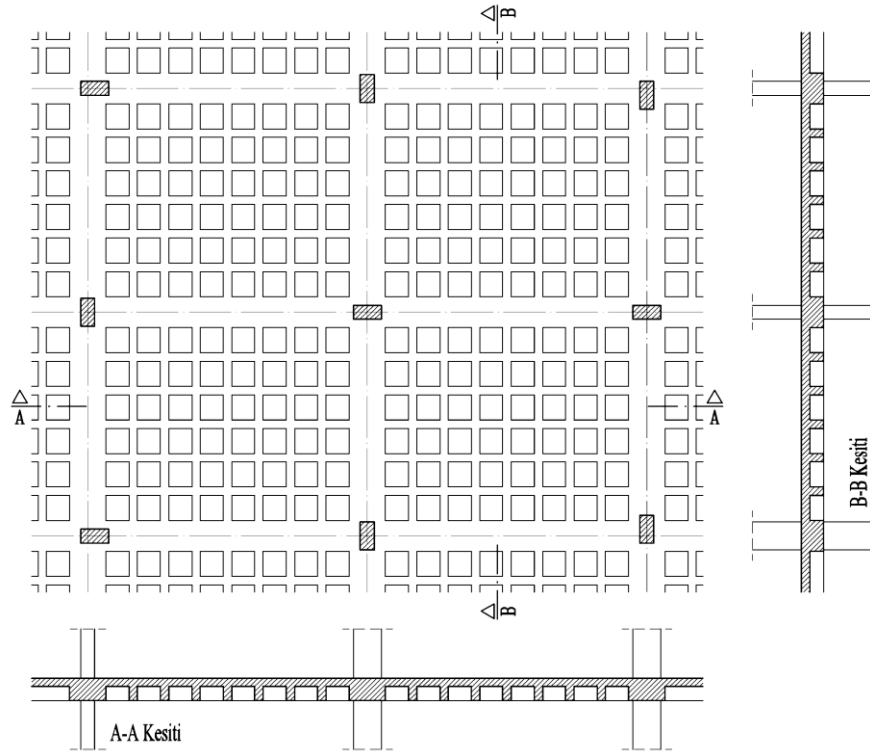
Şekil 2.3. Tek doğrultuda çalışan dişli döşeme

Nervürlü döşemelerde, nervür yönleri deprem yükünün kritik olduğu yöne paralel düzenlenmelidir. Nervür yönü döşemenin kısa kenarına dik olmalıdır. Döşeme planında mümkün mertebe tek doğrultuda nervürler düzenlenmelidir. Nervürlerin yönünün ani olarak değiştiği alanlarda çatlamlar meydana gelebilmektedir. Bir doğrultuda çalışan dişli döşemede, döşemeler arasındaki serbest açıklığın 4 metreden fazla olduğu durumda yönetmelik gereği 1 adet dişlere dik yönde enine diş (dağıtma dişi) yapımı zorunludur. Mesnet açıklığının 7 metreden fazla olması durumunda ise dişlere dik yönde 2 adet dağıtma dişi düzenlenir. Enine diş koyulmasının maksadı yükü olabildiğince tüm dişlere aynı oranda dağıtmak, plağın rijitliğini arttırmak ve çökmeleri azaltmaktır (Topçu, 2019).

TBDY, depremde kötü performans gösteren tek doğrultulu dişli (asmolen) döşemeli sistemler ile ilgili oldukça gerekli kısıtlamalar getirmiştir. TBDY'ye göre tek doğrultulu dişli (asmolen) döşemeli sistemlerin yüksek sünek olarak tasarlanmasına

izin verilmemektedir. Tek doğrultulu dişli (asmolen) döşemeli sistemler perde teşkil edilerek oluşturulacaksa süneklik düzeyi karma sistem olarak tasarlanabilmektedir. Tek doğrultulu dişli (asmolen) döşemeli bir sistem sadece kolonlar (perdesiz) teşkil edilerek süneklik düzeyi normal olarak tasarlanabilmektedir. TBDY'ye göre perde kullanmadan tek doğrultulu dişli (asmolen) döşemeli sistemler deprem tasarım sınıfları olarak sadece DTS=3 ve DTS=4 ve bina kullanım sınıfları olarak da BKS=2 ve BKS=3 olan binalarda, bir başka deyişle bina önem katsayısı 1 ve 1,2 olan binalarda kullanılabilmektedir. BKS=1 yani bina önem katsayısı 1.5 olan binalarda ise perde kullanmadan tek doğrultulu asmolen döşemeli sistem oluşturulmasına izin verilmemektedir. Perdesiz tek doğrultulu dişli (asmolen) sistem ile yapılacaksa yapı maksimum yüksekliği temel üst kotundan 17,5 metre olabilmektedir (bodrum kat var ise perde üst kotu üzerinden yükseklik hesaplanmaktadır). TBDY'ye göre deprem tasarım sınıfları $DTS = 1, 1a, 2, 2a$ olan perdeli asmolen döşemeli binalar için maksimum bina yüksekliği temel üst kotundan 17,5 metre olabilmektedir (TBDY, 2018).

Her iki doğrultuda nervürleri/dişleri yük taşıyacak biçimde ve aynı kesitte olan dişli döşemelere kaset döşeme denir. İki doğrultuda çalışan dişli döşeme (kaset) örnek kalıp planı Şekil 2.4.'te gösterilmiştir. Bir doğrultuda çalışan dişli döşemelerde ilgili genel kurallar, kaset döşemeler içinde geçerlidir. Kaset döşemeler genellikle sık kolon istenmeyen geniş hacimli mekânlarda büyük açıklıkları geçmek için kullanılmaktadır (otopark, sinema salonu vb.). Kaset döşemeler, yer yer ortası boşaltılmış iki doğrultuda çalışan kirişli döşemeler gibi düşünülebilir. Bu bağlamda kirişli döşemeler için geçerli yöntemlerin kaset döşemeler içinde geçerli olacağı söylenebilir (Doğangün, 2018).



Şekil 2.4. İki doğrultuda çalışan dişli döşeme (kaset)

TBDY’de kaset döşemeler ile ilgili herhangi bir kısıtlama bulunmamaktadır. İki doğrultuda çalışan döşemeler bir başka ifadeyle kaset döşemeler, kirişli plak döşemeler ile aynı kurallar çerçevesinde çözümleri yapılmaktadır.

Dişli döşemelerin döşemelerin boyutlandırılması ve betonarme hesap esasları TS500’de açıklanmıştır.

Dişli döşemelerin avantajları ve dezavantajları aşağıda sıralanmıştır;

- Dişli döşeme sistemlerinde yastık kirişlerin yatay rijitliklerinin ve eğilme rijitliklerinin az olmasından dolayı deprem performansları kötüdür. Yatay yerdeğiştirmeleri kirişli plak sistemlere nazaran daha fazladır.
- Kirişli plak döşemelere göre dişli döşeme sistemleri daha ağırdır bundan dolayı daha büyük deprem kuvvetlerine maruz kalırlar.
- Dişli döşemelerde yastık kirişlerinin yüksekliği düşük ve yapı, sık dişlerden oluşması sebebiyle ağır olduğundan ve böylelikle periyotlar da artacağından, deprem yükleri etkisinde yatay yerdeğiştirmeler büyük oluşabilir.

- Kalıp maliyeti kirişli plak döşemelere göre daha azdır ve kalıp imalat süresi hızlıdır. Sıva ve boya gören alanlar kirişli plak döşemelere göre az olduğundan maliyeti azaltır.
- Mimari görünüm olarak düz bir tavan görüntüsü sağlar, estetik görüntü açısından iyidir.
- Asmolen döşemeli sistemlerde boşluk (mekanik, tesisat vb.) oluşturmak kolaydır.
- Asmolen döşeme sistemleri ısı ve ses yalıtımında yüksek performans gösterir.
- Yatık kiriş yüksekliklerinin düşük ve genişliklerinin büyük olması sebebiyle bilhassa dar kolonlara mesnetlenen kirişlerde eğilme momentinin kolonlara aktarılması ve kesme kuvveti tesirleri kontrol edilmelidir.
- Kaset döşemeler kirişli plak döşemelere nazaran ciddi oranda beton tasarrufu sağlar.
- Kaset döşemeli sistemlerle büyük açıklıklar geçilebilir (8-10 m), kalıp işçiliği ve betondan sökülmesi kolaydır, kaset kalıpları tekrar tekrar sökülüp kullanılabilir.

Tek doğrultulu dişli döşemelerde olası bir deprem durumunda dişlerin yönünde döşeme rijit davranır. Dişlere dik gelen yöndeki deprem kuvvetinde, dişlerin yapının rijitliğine katkısı olmaz ve döşeme o yönde rijit davranış göstermez. Bir doğrultuda çalışan dişli döşemelerde dişler yükleri dişlerin dik olarak oturduğu ana kirişlere aktardığından dişlere paralel olan ana kirişlere döşemeden yük geçişi olmaz. Bundan dolayı dişi taşıyan ana kirişler, döşemeden yük aktarımının olmadığı ana kirişlere nispeten daha çok zorlanırlar.

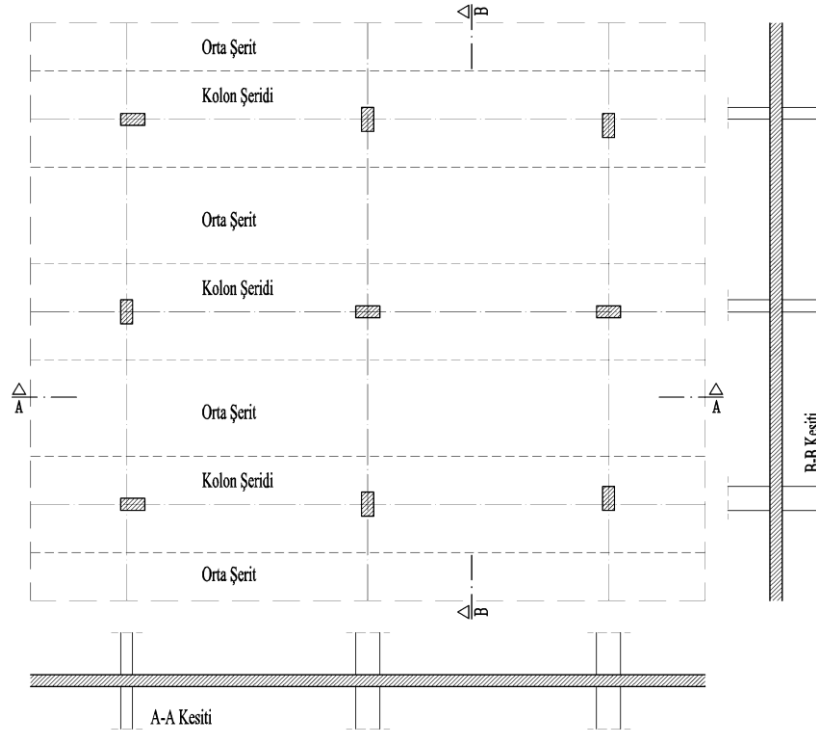
Uygulamada altında duvar bulunmayan yastık kiriş yükseklikleri de diş yüksekliğinde meydana geldiğinden; yüksekliği az ve çok geniş yastık kirişler oluşur. TBDY Madde 7.4.1.1'e göre kiriş genişliği mesnetlendiği kolon genişliği+kiriş yüksekliğini geçemeyeceğinden ve yüksekliği 30 cm'den küçük olamayacağından yapısal (konstrüktif) güçlükler sebepten olabilir.

TBDY Madde 4.3.4.3'e göre perdesiz dolgulu (asmolen) veya dolgusuz tek doğrultulu dişli döşemeli betonarme çerçevelerden oluşan taşıyıcı sistemler sünelik düzeyi

sınırlı taşıyıcı sistemler olarak sınıflandırılmıştır ve sadece DTS=3 ve DTS=4 olan binalarda kullanılacaktır. Bu tür taşıyıcı sistemler, süneklik düzeyi yüksek betonarme bağ kirişli (boşluklu) ve/veya boşluksuz perdeler veya süneklik düzeyi yüksek çelik dışmerkez ve/veya merkezi çaprazlı çerçeveler ile birlikte düzenlenerek süneklik düzeyi karma sistemler olarak yapılabilir. Perdesiz tek doğrultulu dişli döşemeli sistemler temel üst kotundan itibaren maksimum 17,5 metre yapılabilir (TBDY, 2018).

2.3. Kirişsiz Döşemeler

Kirişsiz döşemeler, etraflarında çevrili çevre kirişleri olmadığından üzerlerine gelen yükleri doğrudan kolonlara ve/veya perdelerle aktarırlar (Şekil 2.5.). Kirişsiz plak döşemelerde en önemli sorun kolon etrafında zımbalama kırılması riskidir. Bunu önlemek amacıyla kolon ile döşeme arasına tabla ve/veya başlık kullanılmaktadır. Kirişsiz döşemelerde kolon-döşeme birleşim alanlarında meydana gelen asal çekme gerilmeleri betonun çekme dayanımını aşabilmekte ve bu gerilmelere dik yönde çatlaklar meydana gelmektedir. Asal çekme gerilmeleri döşeme düzlemiyle 45° lik açı yaptığından çatlaklar da 45° lik açıyla oluşmaktadır. Sonuç olarak kolon döşemeyi ani ve gevrek bir şekilde zımbalama yaparak delmektedir. Zımbalama tahkiki için TS500'de formüller verilmiştir. Zımbalama dayanımı sağlanamadığı takdirde, plak kalınlığını artırmak, kolon/perde ebatlarını artırmak, beton kalitesini artırmak veya zımbalama donatısı kullanmak çözüm olabilir (Doğangün, 2018).



Şekil 2.5. Kirişsiz döşeme

TBDY'ye göre kirişsiz döşemeli binalarda perde teşkil edilmesi zorunlu hale gelmiştir. Perdeler planda olabildiğince x ve y yönünde simetrik ve dış akslara yakın yerleştirilmelidirler. Kirişsiz döşemeli binaların taşıyıcı sistemleri, kolonlar ve perdeler ile beraber düzenlenebilir, sadece perdeler ile oluşturulma zorunluluğu yoktur fakat TBDY'ye göre kirişsiz döşemeli binalarda, perdeler deprem yüklerinden dolayı oluşacak devrilme momentlerinin tamamını karşılamak zorundadır (TBDY, 2018). Kirişsiz döşemenin doğrudan perdeler ile mesnetlendiği alanlarda büyük tesirler oluşabilmektedir. Perdeler dış akslarda düzenlenmişse dış çevredeki kolon ile perdelerin bir kiriş ile birbirine bağlanması önerilmektedir. Böylelikle yatay yükler perdeye kirişler ile aktarılmış olur. Kirişsiz döşemeli sistemlerin dış akslarında kirişler yapılarak rijitlikleri artırılabilir.

TBDY Madde 4.3.4.4'e göre sadece kirişsiz döşemeleri içeren taşıyıcı sistemlerde, deprem etkilerinin tamamı betonarme binalarda süneklik düzeyi yüksek bağ kirişli (boşluklu) ve/veya boşluksuz perdeler veya süneklik düzeyi sınırlı boşluksuz perdeler tarafından karşılanacaktır. Bu tür sistemlerin hesabı iki aşamada yapılacaktır. Birinci aşama hesapta çerçeve kolonları alttan ve üstten mafsallı alınacaktır. İkinci aşama

hesapta ise bu elemanların bağlantıları monolitik olarak modellenenecektir. Perde, kolon, çapraz ve döşemelerdeki iç kuvvetler, iki aşamada elde edilenlerin elverişsiz olanı olarak hesaplanacaktır. Göreli kat ötelemeleri ikinci aşama hesaptan bulunacaktır (TBDY, 2018).

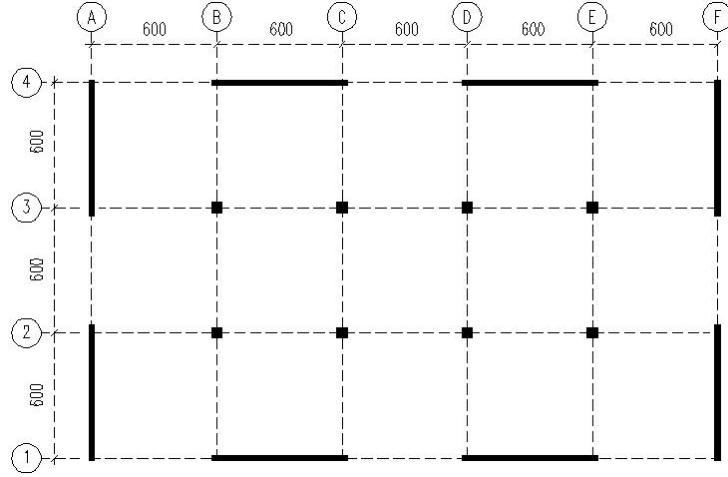
Kirişsiz döşemelerin boyutlandırılması ve betonarme hesap esasları “Betonarme Yapıların Tasarım ve Hesap Kuralları” olan “TS500” ’de belirtilmiştir.

Kirişsiz döşemelerin avantajları ve dezavantajları aşağıda sıralanmıştır;

- Mimari olarak düz bir tavan görünümü sağladığından estetikdir.
- Kalıp maliyeti az ve işçiliği kolaydır.
- Deprem yüklerini aktarmada kirişli plak döşemelere rijit davranış göstermezler ve daha dayanımsızlardır.
- Plak kalınlıkları kirişli plak döşemelere nazaran daha büyük olduğundan dolayı kat yüksekliğini olumsuz etkilemektedir.
- Kirişsiz döşemelerde en önemli durumlardan biri döşemenin kolonlara doğrudan oturmasından ötürü kolon başlarında meydana gelen zımbalama etkileridir. Kirişli döşemelerde yük, kirişsiz döşemeye göre, rijitliği yüksek kirişlerle kolonlara aktarıldığı için zımbalama riski oluşmaz. Kirişli plak döşemelere nazaran daha kalın plak kullanılacağından ses izolasyonu daha da artmaktadır.
- TBDY’ye göre kirişsiz döşemeli binalarda perde bulunmak zorundadır.

BÖLÜM 3. TBDY2018'e GÖRE MODELLEME

Bu bölümde TBDY'ye göre modelleme aşamaları ve çalışmadaki tüm bina modelleriyle ilgili ortak genel bilgiler verilmiştir. Tüm bina modelleri aynı mimarı oturma sahiptir. Plan x-x doğrultusunda 6 aks, y-y doğrultusunda 4 akstan oluşmaktadır. Tüm modellerin plandaki uzunlukları aks açıklıkları her iki yönde ve her açıklıkta 6 metre olmak üzere, x-x doğrultusunda akstan aksa 30 metre, y-y doğrultusunda akstan aksa 18 metredir. Plan geometrisi ortogonal olup, her iki yönde simetriktir. Perdeli-çerçeveli taşıyıcı sistemin aplikasyon planı Şekil 3.1.'de gösterilmiştir. Kolonlar ve perdeler planda x ve y eksenlerinde simetrik ve aynı oranda teşkil edildiğinden kütle merkezi ve rijitlik merkezi çakışmaktadır. Perdeler burulma düzensizliğini azaltmak için planda dış kenar akslarda düzenlenmiştir. Tüm bina modellerinde beton sınıfı 28 günlük silindirik basınç dayanımı 30 MPa olan C30 betonu ve donatı çeliği minimum akma dayanımı 420 MPa olan B420C çeliği seçilmiştir. Tüm bina modellerinin taşıyıcı elemanlarının ön boyutlandırılması için, TS500-2000 ve TBDY-2018 yönetmelik kurallarına uygun olarak eksenel yükler altında elle hesap yapılmış ve idecad statik v10 paket programıyla kontrol edilmiştir. Çalışmaya konu olan model binaların deprem hesapları Sap2000 sonlu elemanlar programıyla yapılmıştır.



Şekil 3.1. Perdeli-çerçevesel taşıyıcı sistemin aplikasyon planı

Deprem analizlerinde TBDY Madde 4.5.8.'de verilen etkin kesit rijitlikleri kullanılmıştır. Doğrusal hesaplar için taşıyıcı sistemlerin modellenmesiyle ilgili TBDY'deki kurallar dikkate alınmıştır. Yapıların hesap modelleri üç boyutlu olarak oluşturulmuştur ve birbirine dik iki yatay doğrultudaki deprem etkisi göz önüne alınmıştır. Sönüm oranı hesaplarda %5 alınmıştır. Temel hesabı tezin kapsamı dışında bırakılmıştır. Yerel zemin sınıfının, geoteknik rapordan ZD alındığı varsayılmıştır.

Döşeme tipinin değişmesinin taşıyıcı sistem davranışına etkisini görebilmek amacıyla tek tip planda (Şekil 3.1.) tasarlanmış 4 farklı döşeme tipi, kirişli plak döşeme, kirişsiz döşeme, tek doğrultulu dişli (asmolen) döşeme ve iki doğrultulu dişli (kaset) döşeme için 3-4-5 katlı modeller oluşturulmuş ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Çalışmadaki deprem hesap yöntemini belirlemek amacıyla deprem yönetmeliğinde belirtilmiş iki hesap yöntemi seçilmiştir. Bu iki yöntem; eşdeğer deprem yükü yöntemi ve mod birleştirme yöntemidir. Bu bağlamda 4 katlı kirişli plak döşemeli Tip4A binasının taban kesme kuvvetlerinin bulunması hem E.D.Y.Y.'ne hem de M.B.Y.'ne göre hesaplanmıştır. Yapılan analizler sonucunda çalışmada seçilen hesap yöntemi, daha güvenli sonuçlar verdiği için eşdeğer deprem yükü yöntemi olmuştur. Tasarlanan modellerin taşıyıcı sistemleri ekonomik olarak düşünülmüş ve yönetmelik kuralları da göz önüne alınarak uygulamada sık kullanılan boyutlarda seçilmiştir. Döşeme tiplerine göre binaların isimlendirilmesi ve taşıyıcı elemanların boyutları Tablo 3.1. ve Tablo 3.2.'de gösterilmiştir. Örneğin Tip5C ismi 5 katlı kaset döşemeli binayı ifade etmektedir.

Tablo 3.1. Döşeme tiplerine göre binaların isimlendirilmesi

Kat Adedi	Döşeme Tipi			
	Kirişli Plak Döşeme	Kirişsiz Döşeme	İki Doğ. Dışli (Kaset) Döşeme	Tek Doğ. Dışli (Asmolen) Döşeme
	TipA	TipB	TipC	TipD
3	Tip3A	Tip3B	Tip3C	Tip3D
4	Tip4A	Tip4B	Tip4C	Tip4D
5	Tip5A	Tip5B	Tip5C	Tip5D

Tablo 3.2. Döşeme tiplerine göre binaların taşıyıcı elemanlarının boyutları

Kat Adedi	Bina İsmi	Kiriş (cm)	Döşeme (cm)	Yastık Kiriş (cm)	Diş (cm)	Kolon (cm)	Perde (cm)	Kat Yük. (m)
3	Tip3A	25/60	15	-	-	50/50	650/25	3
	Tip3B	25/60	26	-	-			
	Tip3C	25/60	10	50/35	15/35			
	Tip3D	25/60	10	50/35	15/35			
4	Tip4A	25/60	15	-	-			
	Tip4B	25/60	26	-	-			
	Tip4C	25/60	10	50/35	15/35			
	Tip4D	25/60	10	50/35	15/35			
5	Tip5A	25/60	15	-	-			
	Tip5B	25/60	26	-	-			
	Tip5C	25/60	10	50/35	15/35			
	Tip5D	25/60	10	50/35	15/35			

Tablo 3.1.'deki bina modellerinin sonuçları incelenmiş ve kirişli plak döşemeli sistemlerin en optimum sonuçları verdiği görülmüştür. Bu bağlamda kirişli plak döşemeli sistemlerde kat yüksekliği ve kat adedi değişiminin taşıyıcı sistem davranışına etkisini görebilmek maksadıyla Şekil 3.1.'de gösterilmiş aplikasyon planı esas alınarak 4-6-8 katlı perdeli-çerçevesi 9 adet bina modelinin kat yüksekliklerinin 3-3.5-4 m. olması durumlarının E.D.Y.Y.'ne göre deprem hesaplamaları yapılmıştır. Kat yüksekliğinin değişimine göre binaların isimlendirilmesi ve taşıyıcı elemanların boyutları Tablo 3.3.'te gösterilmiştir.

Tablo 3.3. Kat yüksekliğinin değişimine göre binaların isimlendirilmesi ve taşıyıcı elemanların boyutları

Kat Yüksekliği (m)	Kat Adedi	İsimlendirme	Kolon (cm)	Perde (cm)	Kiriş (cm)	Döşeme (cm)
3	4	Tip4A-3	50/50	650/25	25/60	15
	6	Tip6A-3	60/60			
	8	Tip8A-3	70/70			
3,5	4	Tip4A-3,5	50/50			
	6	Tip6A-3,5	60/60			
	8	Tip8A-3,5	70/70			
4	4	Tip4A-4	50/50			
	6	Tip6A-4	60/60			
	8	Tip8A-4	70/70			

3.1. Malzeme Özellikleri

3.1.1. Beton malzemesi

28 günlük karakteristik basınç dayanımı 30 MPa olan C30 betonu seçilmiştir.

$$f_{ck} = 30 \text{ MPa} \quad f_{ctk} = 0,35\sqrt{f_{ck}} \text{ (MPa)} = 0,35\sqrt{30} = 1,91 \text{ MPa}$$

f_{ctk} = Beton karakteristik çekme dayanımı

TS500' den $f_{ctk} = 1,9 \text{ MPa}$ alınmıştır.

$$E_c \text{ (Elastisite Modülü)} = 3250\sqrt{f_{ck}} + 14000 \cong 31800 \text{ MPa}$$

TS500' den $E_c = 32000 \text{ MPa}$ alınmıştır.

Betonun malzeme güvenlik katsayısı $\gamma_{mc} = 1,50$ alınarak tasarım dayanımları elde edilmiştir.

$$f_{cd} = 30 / 1,5 = 20 \text{ MPa}, \quad f_{ctd} = 1,90 / 1,5 = 1,27 \text{ MPa}$$

Poisson oranı: $\nu = 0,20$

Kayma Modülü: $G_c = 0,40E_c = 0,40 * 32000 = 12800 \text{ MPa}$

3.1.2. Donatı çeliği malzemesi

Minimum akma dayanımı 420 MPa, çekme dayanımı, karakteristik akma dayanımının 1,15 ~ 1,35 katı arasında olan ve çekme dayanımına karşılık gelen birim şekil değiştirmesi %8 olan B420C çeliği seçilmiştir.

f_{yk} = Minimum akma dayanımı (MPa)

f_{su} = Minimum kopma dayanımı (MPa)

$f_{yk} = 420 \text{ MPa}$

E_s (Elastisite Modülü) = 200000 MPa

Donatı çeliği güvenlik katsayısı $\gamma_{mc} = 1,15$ alınarak tasarım dayanımları elde f_{yd} elde edilmiştir.

$f_{yd} = 420 \text{ (MPa)} / 1,15 = 365 \text{ MPa}$

3.2. Tasarıma Esas Yükler ve Yük Hesapları

3.2.1. Sabit yükler

Tüm bina modellerine etkileyen sabit yükler Tablo 3.4.'te gösterilmiştir. Duvar yükleri hesapların basitleştirilmesi amacıyla yayılı yüke çevrilerek birim alan için verilmiştir.

Tablo 3.4. Sabit yük değerleri

Bina modellerindeki sabit yük değerleri	
Betonarme elemanların birim hacim ağırlığı	25 kN/ m ³
Sıva + Kaplama (Normal Katlarda)	1,5 kN/ m ²
Asma Tavan + Tesisat (Normal Katlarda)	0,5 kN/ m ²
Duvar Yükü (Normal Katlarda)	2,8 kN/ m ²
Sıva + Kaplama (Çatı Katında)	1 kN/ m ²
Asma Tavan + Tesisat (Çatı Katında)	0,5 kN/ m ²

3.2.2. Hareketli yükler

Hareketli yükler ve kar yükleri TS498'e uygun olarak belirlenmiştir. Tüm bina modellerine etkiyen hareketli yükler ve kar yükü Tablo 3.5.'te gösterilmiştir.

Tablo 3.5. Hareketli ve kar yükü değerleri

Bina modellerindeki hareketli ve kar yükü değerleri	
Normal kat hareketli yükü	3,5 kN/ m ²
Çatı katı hareketli yükü	1,5 kN/ m ²
Çatı kar yükü	1 kN/ m ²

3.3. Deprem Yükü

3.3.1. Deprem yer hareketi spektrumu

Hesabı yapılacak bina modellerinin Sakarya ili Erenler ilçesinde yapılacağını varsayılmıştır.

Enlem = 40.7646390 ° Boylam = 30.3941670 °

DD-2 Deprem Hareketi Düzeyinde, Yatay Elastik Spektrumun elde edilmesi için gerekli olan kısa periyot harita spektral ivme katsayısı S_s ve 1,0 saniye periyot için harita spektral S_1 değerlerine “<https://tdth.afad.gov.tr/>” internet sitesinden elde edilmiştir. Detaylı sismik tehlike haritası raporu ekler bölümünde sunulmuştur.

3.3.2. Yatay tasarım ivme spektrumu

Herhangi bir deprem yer hareketi düzeyi için yatay elastik tasarım ivme spektrumunun ordinatları olan yatay elastik tasarım spektral ivmeleri $S_{ae}(T)$, doğal titreşim periyoduna bağlı olarak yerçekimi ivmesi (g) cinsinden Denklemler 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 ile tanımlanmıştır (Şekil 3.2.). Aşağıdaki denklemlerde S_{DS} ve S_{D1} tasarım spektral ivme katsayılarını, T doğal titreşim periyodunu, T_A ve T_B yatay tasarım spektrumu köşe periyotlarını, T_L sabit hız bölgesine geçiş periyodunu ifade etmektedir. Denklem 3.5'te gösterilen $T_L=6$ s. alınacaktır.

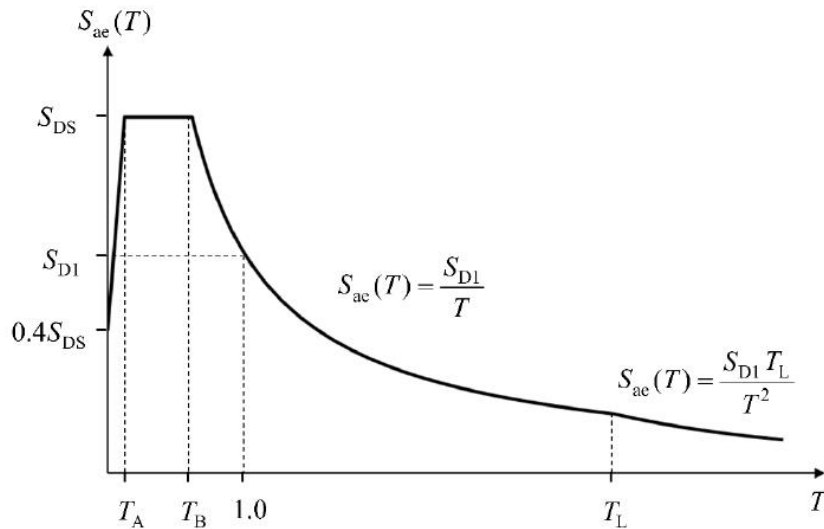
$$0 \leq T \leq T_A \Rightarrow S_{ae}(T) = \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_A}\right) \quad (3.1)$$

$$T_A \leq T \leq T_B \Rightarrow S_{ae}(T) = S_{DS} \quad (3.2)$$

$$T_B \leq T \leq T_L \Rightarrow S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T} \quad (3.3)$$

$$T_L \leq T \Rightarrow S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}T_L}{T^2} \quad (3.4)$$

$$T_A = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} ; T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} ; T_L = 6 \text{ s.} \quad (3.5)$$



Şekil 3.2. Yatay elastik tasarım spektrumu

Türkiye Deprem Tehlikeleri Haritası (TDTH)'dan alınan rapora göre harita spektral ivme değerleri S_S ve S_1 aşağıdaki gibidir.

$$S_S = 1,622$$

$$S_1 = 0,444$$

Geoteknik rapordan alındığı varsayılan zemin sınıfı ZD için TBDY Tablo 2.1'den Yerel Zemin Etki katsayıları F_S ve F_1 değerleri aşağıda gösterilmiştir.

$$F_S = 1,000$$

$$F_1 = 1,856$$

Tasarım ivme spektral ivme katsayıları:

$$S_{DS} = S_S F_S = 1,622 \times 1,000 = 1,622$$

$$S_{D1} = S_1 F_1 = 0,444 \times 1,856 = 0,824$$

Yatay tasarım spektrum köşe periyotları T_A ve T_B aşağıda hesaplanmıştır.

$$T_A = 0,2x \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0,2x \frac{0,824}{1,622} = 0,102 \text{ s.}$$

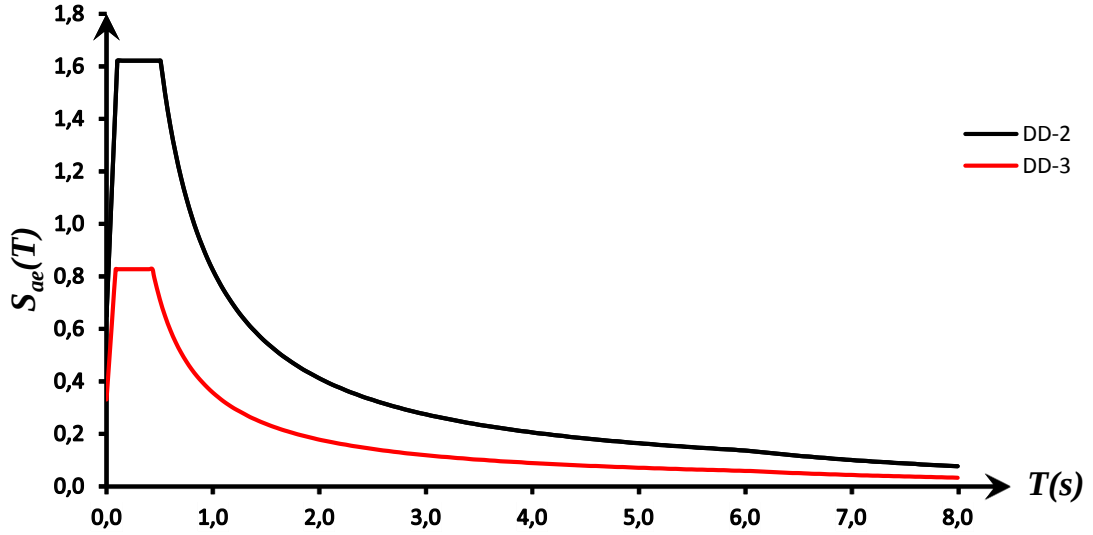
$$T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0,824}{1,622} = 0,508 \text{ s.}$$

Sakarya ili Erenler ilçesi sınırları içerisindeki konuma ait spektral değerler Tablo 3.6.'da verilmiştir. Model binaların inşa edileceği konumdaki zemin sınıfının ZD olduğu varsayılmıştır.

Tablo 3.6. DD-2 ve DD-3 deprem düzeyleri için spektral değerler

Deprem	Spektral Parametreler							
Düzeyi	S_S	S_1	F_S	F_1	S_{DS}	S_{D1}	T_A	T_B
DD-2	1,622	0,444	1	1,856	1,622	0,824	0,102	0,508
DD-3	0,643	0,156	1,256	2,288	0,827	0,327	0,086	0,432

Tablo 3.6.'daki sayısal verilerden ulaşılan spektrum grafikleri Şekil 3.3.'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3. DD-2 ve DD-3 deprem düzeyleri için tasarım ivme spektrumları

3.3.3. Düşey elastik tasarım spektrumu

TBDY Madde 4.4.3.2'ye göre tüm bina modelleri için düşey deprem etkisinin hesabı yaklaşık olarak Denklem 3.6'da verilen denklemden bulunmuştur.

$$E_d^{(Z)} \cong \frac{2}{3} S_{DS} G \quad (3.6)$$

Modellemesi yapılan binaların deprem parametreleri ve genel bilgileri Şekil 3.4.'te toplu olarak gösterilmiştir.

Arsa Koordinatları	Enlem = 40.764639 ° Boylam = 30.394167 °
Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DD-2
Yerel Zemin Sınıfı	ZD
Kısa Periyot Harita Spektral İvme Katsayısı	$S_s = 1,622$
1,0 Saniye Periyot Harita Spektral İvme Katsayısı	$S_1 = 0,444$
Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı	$S_{Ds} = 1,622$
1,0 Saniye Periyot İçin Tasarım Spektral İvme Katsayısı	$S_{D1} = 0,444$
Yatay Elastik Tasarım İvme Spektrumu Köşe Periyodu	$T_A = 0,102$
Yatay Elastik Tasarım İvme Spektrumu Köşe Periyodu	$T_B = 0,508$
En Büyük Yer İvmesi (g)	$PGA = 0,659$
En Büyük Yer Hızı (cm/sn)	$PGV = 53,480$
Bina Kullanım Sınıfı	BKS = 3
Bina Önem Katsayısı	$I = 1$

Şekil 3.4. Genel deprem parametreleri

3.3.4. Bina kullanım sınıfı

Deprem etkisindeki dizaynı yapılacak binanın kullanım özelliklerine bağlı olarak tanımlanan Bina Kullanım Sınıfları ile Bina Önem Katsayıları aşağıdaki Şekil 3.5.'te gösterilmiştir. Bina Kullanım Sınıfları, Deprem Tasarım Sınıfları'nın tanımında kullanılmaktadır (TBDY, 2018).

Bina Kullanım Sınıfı	Binanın Kullanım Amacı	Bina Önem Katsayısı (<i>I</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 yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları) b) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb. c) Müzeler d) Toksik, patlayıcı, 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

Şekil 3.5. Bina kullanım sınıfları ve bina önem katsayıları (TBDY, 2018)

3.3.5. Deprem tasarım sınıfı

TBDY Tablo 3.1’den konut/işyeri amaçlı kullanılacak binalar için BKS=3 alınmıştır. Bu kullanım sınıfına ait bina için Bina Önem Katsayısı $I=1$ olarak hesaplarda kullanılmıştır.

Bina modellerinin DD-2 deprem düzeyi için Kısa Periyot İvme Spektral Katsayısı $S_{DS}=1,622$ ’dir. BKS=3 göz önüne alındığında Şekil 3.6.’dan Deprem Tasarım Sınıfı DTS=1 elde edilir.

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
$0.33 \leq S_{DS} < 0.75$	DTS = 2a	DTS = 2
$0.75 \leq S_{DS}$	DTS = 1a	DTS = 1

Şekil 3.6. Deprem Tasarım Sınıfları (DTS) (TBDY, 2018)

3.3.6. Bina yüksekliği ve bina yükseklik sınıfları

Bina modelleri bodrumsuz olduğundan dolayı, bina yükseklikleri temel üst kotundan itibaren belirlenmektedir. Bina modellerinde farklı kat adetleri bulunmaktadır. Şekil 3.7.'den DTS=1 ve ilgili bina modelinin bina yüksekliği H_N için Bina Yükseklik Sınıfı BYS belirlenir.

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

Şekil 3.7. BYS ve DTS'ye göre tanımlanan bina yükseklik aralıkları (TBDY, 2018)

3.3.7. Bina performans hedefi

TBDY'ye göre DTS = 1 ve yeni yapılacak yerinde dökme betonarme binalar için normal performans hedefinin Kontrollü Hasar (KH) ve tasarım yaklaşımının da DD-2 deprem yer hareketi düzeyinde Dayanıma Göre Tasarım (DGT) olduğu elde edilmiştir (Şekil 3.8.).

Deprem Yer H. Düzeyi	DTS = 1,1a ⁽¹⁾ , 2, 2a ⁽¹⁾ , 3, 3a, 4, 4a		DTS = 1a ⁽²⁾ , 2a ⁽²⁾	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme Tasarım Yaklaşımı
DD-3	—	—	SH	ŞGDT
DD-2	KH	DGT ⁽⁵⁾	KH	DGT ^(3,4)
DD-1	—	—	KH	ŞGDT

⁽¹⁾ BYS > 3 olan binalarda uygulanacaktır.

⁽²⁾ BYS = 2,3 olan binalarda uygulanacaktır.

Şekil 3.8. DD-2 deprem düzeyi için bina performans hedefleri (TBDY, 2018)

3.3.8. Taşıyıcı sistemlerin uygulama sınırları, taşıyıcı sistem davranış katsayıları ve dayanım fazlalığı katsayıları

DGT çerçevesinde taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R) ve dayanım fazlalığı katsayısı (D), yerinde dökme betonarme taşıyıcı sistemler için, süneklik düzeyleride göz önüne alınarak Tablo 3.7.'de gösterilmiştir. Betonarme taşıyıcı sistemler Tablo 3.7.'de gösterildiği gibi süneklik düzeyleri açısından süneklik düzeyi yüksek taşıyıcı sistemler, süneklik düzeyi sınırlı taşıyıcı sistemler ve süneklik düzeyi karma taşıyıcı sistemler olarak üç sınıfa ayrılır. Bina döşemelerinde düzlem içinde etkiyen azaltılmış iç kuvvetlere, ilgili taşıyıcı sistem için Tablo 3.7.'de açıklanmış dayanım fazlalığı katsayısı uygulanır.

Tablo 3.7. Bina taşıyıcı sistemleri için taşıyıcı sistem davranış katsayısı, dayanım fazlalığı katsayısı ve izin verilen bina yükseklik sınıfları (TBDY, 2018)

A. YERİNDE DÖKME BETONARME BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİ			
A1. Süneklik Düzeyi Yüksek Taşıyıcı Sistemler	R	D	BYS
A11. Deprem etkilerinin tamamının moment aktaran süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçevelerle karşılandığı binalar	8	3	$BYS \geq 3$
A12. Deprem etkilerinin tamamının süneklik düzeyi yüksek bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdelerle karşılandığı binalar	7	2,5	$BYS \geq 2$
A13. Deprem etkilerinin tamamının süneklik düzeyi yüksek boşluksuz betonarme perdelerle karşılandığı binalar	6	2,5	$BYS \geq 2$
A14. 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	$BYS \geq 2$
A15. Deprem etkilerinin moment aktaran süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçeveler ile süneklik düzeyi yüksek boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar	7	2,5	$BYS \geq 2$
A16. 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	—
A2. Süneklik Düzeyi Karma Taşıyıcı Sistemler	R	D	BYS
A21. Deprem etkilerinin moment aktaran süneklik düzeyi sınırlı betonarme çerçeveler ile süneklik düzeyi yüksek bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar	6	2,5	$BYS \geq 4$
A22. Deprem etkilerinin moment aktaran süneklik düzeyi sınırlı betonarme çerçeveler ile süneklik düzeyi yüksek boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar	5	2,5	$BYS \geq 4$
A23. Deprem etkilerinin moment aktaran süneklik düzeyi sınırlı dolgulu (asmolen) veya dolgusuz tek doğrultulu dışlı döşemeli betonarme çerçeveler ile süneklik düzeyi yüksek bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar	6	2,5	$BYS \geq 6$
A24. Deprem etkilerinin moment aktaran süneklik düzeyi sınırlı dolgulu (asmolen) veya dolgusuz tek doğrultulu dışlı döşemeli betonarme çerçeveler ile süneklik düzeyi yüksek boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar	5	2,5	$BYS \geq 6$
A3. Süneklik Düzeyi Sınırlı Taşıyıcı Sistemler	R	D	BYS
A31. Deprem etkilerinin tamamının moment aktaran süneklik düzeyi sınırlı betonarme çerçevelerle karşılandığı binalar	4	2,5	$BYS \geq 7$
A32. Deprem etkilerinin tamamının süneklik düzeyi sınırlı boşluksuz betonarme perdelerle karşılandığı binalar	4	2	$BYS \geq 6$
A33. Deprem etkilerinin moment aktaran süneklik düzeyi sınırlı betonarme çerçeveler ile süneklik düzeyi sınırlı boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar	4	2	$BYS \geq 6$

3.3.9. Deprem yükü azaltma katsayısı ve azaltılmış tasarım ivme spektrumu

Doğrusal deprem yüklerinin azaltılmasında kullanılacak Deprem Yükü Azaltma Katsayısı $R_a(T)$, Denklem 3.7 ve Denklem 3.8 ile hesaplanır.

$$R_a(T) = \frac{R}{T} \quad T > T_B \quad (3.7)$$

$$R_a(T) = D + \left(\frac{R}{I} - D \right) \frac{T}{T_B} \quad T \leq T_B \quad (3.8)$$

Yatay doğrultuda azaltılmış deprem yüklerinin hesaplanabilmesi için kullanılacak azaltılmış tasarım ivme spektrumu Denklem 3.9 ile hesaplanır.

$$S_{aR}(T) = \frac{S_{ae}(T)}{R_a(T)} \quad (3.9)$$

Denklem 3.9'daki ifadelerde, $S_{ae}(T)$, DD-2 deprem yer hareketi için belirlenmiş yatay elastik tasarım spektral ivmesini, $R_a(T)$ ise Denklem 3.7 ve Denklem 3.8 ile tanımlanan Deprem Yükü Azaltma Katsayısı'nı göstermektedir.

3.3.10. Deprem hesap yöntemleri

Deprem yönetmeliğine göre Dayanıma Göre Tasarım kapsamında binaların yüksekliğine ve deprem tasarım sınıflarına göre 3 tip hesap yöntemi bulunmaktadır. Bu üç yöntemden en kesin sonucu zaman tanım alanında mod toplama yöntemi vermektedir.

1. Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi (E.D.Y.Y.)
2. Mod Birleştirme Yöntemi (M.B.Y.)
3. Zaman Tanım Alanında Mod Toplama Yöntemi

Mod birleştirme yöntemi ve zaman tanım alanında mod toplama yöntemi dinamik analiz yöntemleridir ve herhangi bir kısıtlama olmaksızın tüm taşıyıcı sistemlerde uygulanabilmektedir. E.D.Y.Y.'nde yatay deprem yükleri yapıya sürekli ve sabit olarak etkililiyormuş gibi düşünüldüğünden dolayı statik bir analiz yöntemidir. E.D.Y.Y. yönetmelikte belirtilen çeşitli düzensizlikleri içeren binalarda uygulanamamaktadır. Yönetmelikte E.D.Y.Y.'nin uygulanabileceği binalar belli şartlar ile sınırlandırılmıştır. E.D.Y.Y.'nin uygulanabileceği durumlar Tablo 3.8.'de gösterilmiştir.

Tablo 3.8. Eşdeğer deprem yükü yöntemi'nin uygulanabileceği binalar (TBDY, 2018)

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

3.3.11. Eşdeğer deprem yükü yöntemi ve kat deprem yükleri

X deprem yönünde, binanın tümüne etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti), $V_{tE}^{(X)}$ aşağıdaki Denklem 3.10 hesaplanır.

$$V_{tE}^{(X)} = m_t * S_{aR}(T_p^{(X)}) \geq 0,04 * S_{DS} * I * m_t * g \quad (3.10)$$

N kat adedi olmak üzere, binanın en üstteki katına gelen ek eşdeğer deprem yükü Denklem 3.11 ile hesaplanır.

$$\Delta F_{NE}^{(X)} = 0,0075 * N * V_{tE}^{(X)} \quad (3.11)$$

Kat seviyelerine etkiyen deprem yükleri Denklem 3.12 ile hesaplanır.

$$F_{iE}^{(X)} = (V_{tE}^{(X)} - \Delta F_{NE}^{(X)}) \frac{m_i * H_i}{\sum_{j=1}^N (m_j * H_j)} \quad (3.12)$$

Deprem yüklerinden binanın tabanında meydana gelen toplam devrilme momenti aşağıdaki Denklem 3.13 ile hesaplanır.

$$M_O^{(X)} = \sum_{i=1}^N * F_{iE}^{(X)} * H_i \quad (3.13)$$

Benzer şekilde Y doğrultusundaki eşdeğer deprem kuvvetleride bulunur.

BÖLÜM 4. SONLU ELEMAN MODELLERİ

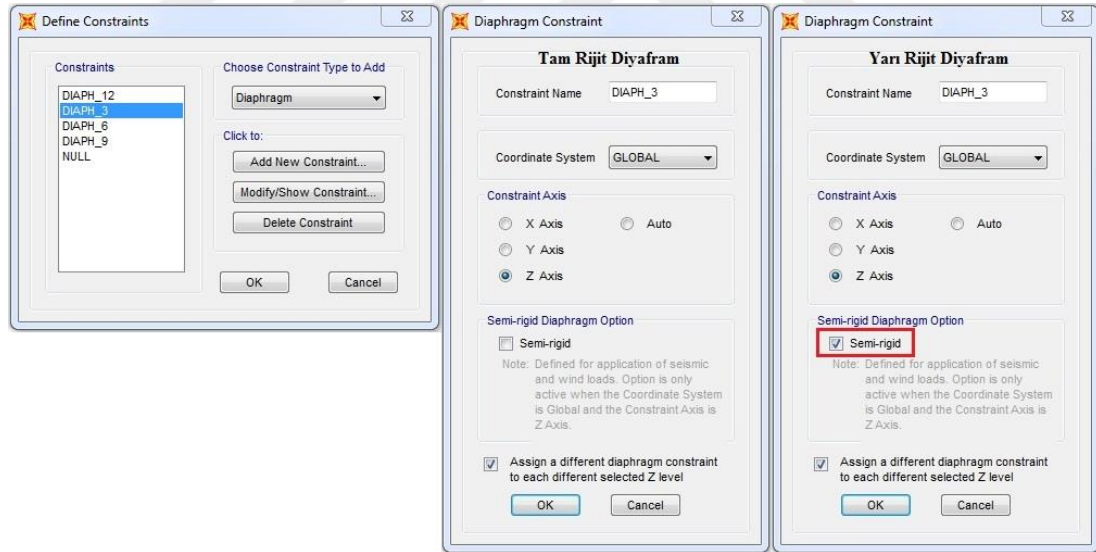
Çalışmadaki tüm yapıların deprem hesaplamaları Sap2000 sonlu elemanlar yazılımı ile yapılmıştır. Bina modellerindeki, kolonlar, kirişler, nervür kirişleri ve kaset kirişleri Sap2000 sonlu elemanlar programında çubuk (frame) eleman olarak modellenmiştir. Döşeme ve perdeler ise Sap2000 sonlu elemanlar programında kabuk (shell) eleman olarak modellenmiştir. Sonlu elemanlar metodu, yaklaşık bir metot olduğu için, perde ve döşeme elemanları çözüm açısından hassas sonuç alınabilecek sayıda dikdörtgen ve kare parçalara (mesh) bölünmüştür. Modelleme aşamasında yük akışının sağlıklı olması açısından perdelerin ve kolonların döşemeler ile birleştiği akslarda düğüm noktalarının çakıştırılmasına dikkat edilmiştir. ± 0.00 kotunda kolonlar ve perdeler, Sap2000 programında temele ankastre olarak mesnetlenmiştir.

Çalışmada dikkate alınan 4 farklı döşeme tipine göre ve kat adetleri 3-4-5 kat olmak üzere toplam 12 adet binanın sonuçları incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Ancak bu bölümde 4 farklı döşeme tipine göre sadece 4 katlı binaların hesaplamaları gösterilmiştir. Tip4A, Tip4B, Tip4C ve Tip4D binalarının Sap2000 sonlu elemanlar yazılımında modelleme aşamaları, deprem hesaplamaları ve sonuçları anlatılmıştır. Ayrıca son kısımda Tablo 3.3.'te isimlendirilmiş, taşıyıcı sistemi perdeli-çerçeveveli kirişli plak döşemeli olarak belirlenen kat adetleri 4-6-8 kat olmak üzere kat yükseklikleri de 3-3.5-4 m olan 9 adet bina ile ilgili genel ve ortak bilgiler verilmiş ve sonlu eleman modelleri gösterilmiştir.

4.1. Modellemedeki Kabuller ve Hesaplar

4.1.1. Rijit diyafram kabulü

Çalışmadaki deprem hesaplamaları yapılan kirişli plak döşeme modelleri ve iki doğrultulu dişli (kaset) döşeme modelleri tam rijit diyafram kabulü ile çözülmüştür. Kirişsiz döşeme modelleri ve tek doğrultulu dişli (asmolen) döşeme modelleri ise yarı rijit (semi-rigid) kabulü yapılarak analiz edilmiştir. Sap2000 programında “define” sekmesinde “joint constraints” kısmından rijit diyafram tanımı yapılmaktadır. Sap2000 programında “constraints” seçilen düğüm noktalarındaki belli serbestlik derecelerini birbirine bağlamak için kullanılmaktadır. Bu özellik rijit diyafram ve rijit kütle davranışlarını modellemek için kullanılmaktadır. Bu şekilde Sap2000 programında düğüm noktalarına rijit diyafram atanmaktadır. Sap200 programında tam rijit diyafram ve yarı rijit diyaframların tanımlanması Şekil 4.1.’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Sap200 programında tam rijit diyafram ve yarı rijit diyaframların tanımlanması

4.1.2. TBDY’ye göre etkin kesit rijitliklerinin belirlenmesi

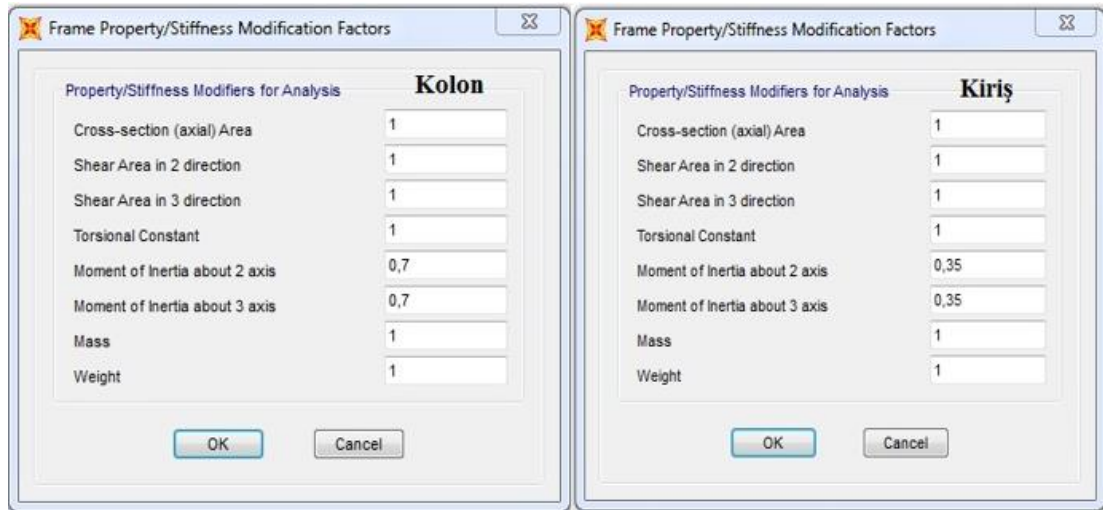
TBDY Madde 4.5.8.3’e göre etkin kesit rijitlikleri çarpanları, sadece deprem etkili yük birleşimleri içinde yer alan ve bu birleşimlere giren yükler altındaki hesaplarda uygulanmıştır (TBDY, 2018).

Betonarme taşıyıcı elemanların etkin kesit rijitlikleri çarpanları Şekil 4.2.'de gösterilmiştir.

Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanı	Etkin Kesit Rijitliği Çarpanı	
<i>Perde - Döşeme (Düzlem İçi)</i>	Eksenel	Kayma
Perde	0.50	0.50
Bodrum Perdesi	0.80	0.50
Döşeme	0.25	0.25
<i>Perde - Döşeme (Düzlem Dışı)</i>	Eğilme	Kesme
Perde	0.25	1.00
Bodrum Perdesi	0.50	1.00
Döşeme	0.25	1.00
<i>Çubuk Eleman</i>	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

Şekil 4.2. Betonarme taşıyıcı elemanların etkin kesit rijitlikleri (TBDY,2018)

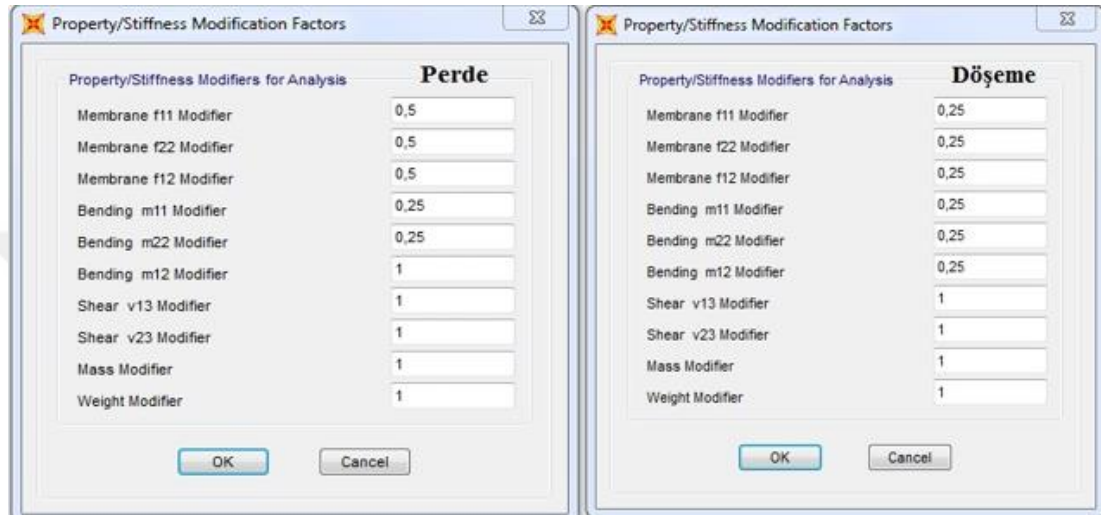
Tüm bina modelleri için betonarme elemanların etkin kesit rijitliklerinin çarpanlarının Sap2000 programında tanıtılması Şekil 4.3. ve Şekil 4.4.'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Sap2000 programına kolon ve kirişlerin etkin kesit rijitlikleri çarpanlarının girilmesi

Moment of inertia about 2 axis = Lokal 2 eksenindeki eğilme rijitlik çarpanı, TBDY Tablo 4.2'ye göre kolonlar için 0,70, kirişler için 0,35 alınmıştır.

Moment of inertia about 3 axis = Lokal 3 eksenindeki eğilme rijitlik çarpanı, TBDY Tablo 4.2'ye kolonlar için 0,70, kirişler için 0,35 alınmıştır.



Şekil 4.4. Sap2000 programına perde ve döşemelerin etkin kesit rijitlikleri çarpanlarının girilmesi

Membrane f11 Modifier = Lokal 1 eksenindeki düzlem içi aksenal rijitlik çarpanı, TBDY Tablo 4.2'ye göre perdeler ve döşemeler için 0,50 alınmıştır.

Membrane f22 Modifier = Lokal 2 eksenindeki düzlem içi aksenal rijitlik çarpanı, TBDY Tablo 4.2'ye göre perdeler için 0,50 döşemeler için 0,25 alınmıştır.

Membrane f12 Modifier = Plak elemanın düzlem içi kayma rijitlik çarpanı, TBDY Tablo 4.2'ye göre perdeler için 0,50 döşemeler için 0,25 alınmıştır.

Bending m11 Modifier = Lokal 1 eksenindeki eğilme rijitlik çarpanı, TBDY Tablo 4.2'ye göre perdeler ve döşemeler için 0,25 alınmıştır.

Bending m22 Modifier = Lokal 2 eksenindeki eğilme rijitlik çarpanı TBDY Tablo 4.2'ye göre perdeler ve döşemeler için 0,25 alınmıştır.

Bending m12 Modifier = Burulma rijitlik çarpanı, TBDY Tablo 4.2'ye göre döşemeler için 0,25 alınmıştır.

4.1.3. Yapı periyotlarının Sap2000 programı ile bulunması

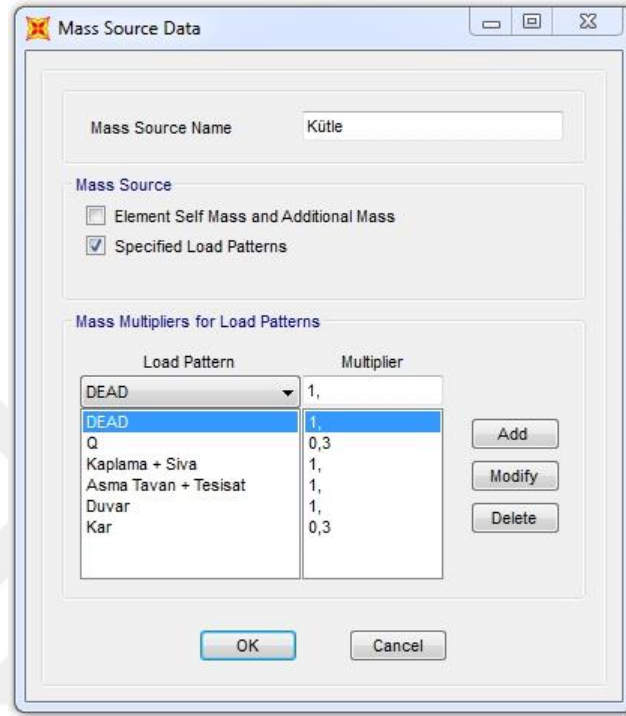
Periyot sadece kütle, rijitliğe ve sönümleye bağlı olarak değişir. Ampirik hâkim doğal titreşim periyodu Denklem 4.1 ile hesaplanır (TBDY, 2018).

$$T_{pA} = C_t H_N^{0,75} \quad (4.1)$$

Binanın üstteki denklem ile hesaplanan hâkim doğal titreşim periyodu $T_p^{(x)}$ 'in deprem hesabında göz önüne alınacak en büyük değeri, ampirik hâkim doğal titreşim periyodu T_{pA} 'nın 1.4 katından daha fazla olamaz. Taşıyıcı sistemi yalnız betonarme çerçevelerden oluşturulan yapılarda $C_t = 0,1$ alınır. Perdeli-çerçeveli binalarda $C_t = 0.07$ alınır (TBDY, 2018).

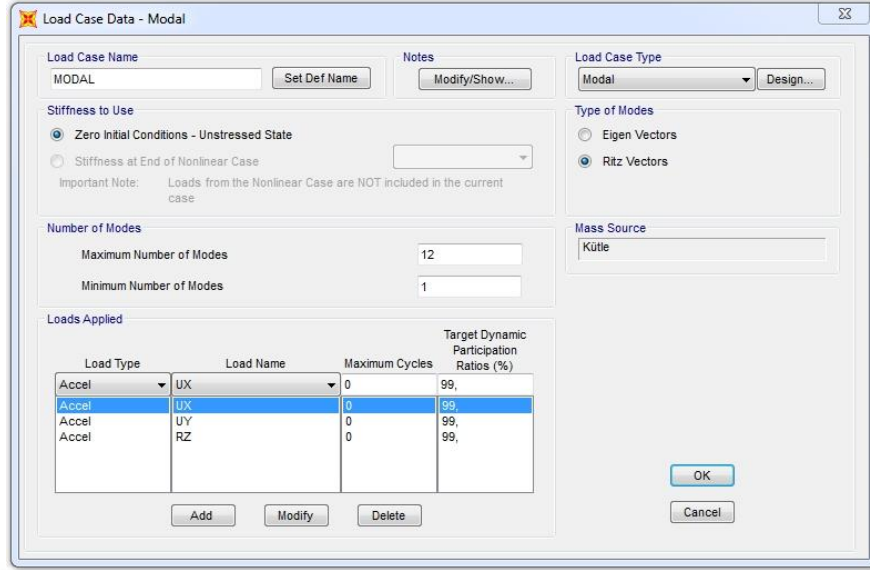
Tüm bina modellerinin X ve Y doğrultusundaki hâkim doğal titreşim periyotları T_x , T_y Sap2000 programında modal analiz yaptırılarak bulunmuştur. Sap2000 programında modal analiz, binanın dinamik modları eigen vektörleri veya ritz vektörleri kullanılarak hesaplanmaktadır. Tüm bina modellerinin periyotların bulunmasında ritz vektörleri kullanılmıştır. Doğal titreşim periyotlarının hesaplanabilmesi için Sap2000 programında "define" sekmesinden "mass source data" (kütle kaynağı) kısmında kütle tanımlamaları yapılmıştır. Programın içerisinde mass source data (kütle kaynağı) bölümünde sabit yükler, hareketli yükler ve kar yükleri tanımlanmıştır. Şekil 4.5.'te görülen dead (ölü) isimli yük taşıyıcı elemanların zati ağırlıklarıdır. Şekil 4.5.'te gösterilmiş "specified load patterns" seçeneği Sap2000'de yukarıda bahsedilen yükleme grupları için kütle hesabı yapılmasını sağlamaktadır. Sap2000 programı hesapladığı bu kütleleri, düğüm noktalarında topaklanmış kütle haline getirmektedir.

TBDY Madde 4.5.9'a göre kütlelerin belirlenmesinde sabit yüklerin tamamı, konut türü binalar için hareketli yüklerin %30'u ve kar yüklerinin %30' u dikkate alınmıştır (TBDY, 2018).



Şekil 4.5. Sap2000 programında kat kütlelerinin tanımlanması

Her bir katta X ve Y yönünde 2 adet öteleme ve Z eksen etrafında 1 adet dönme kütlesi olmak üzere toplam kütle sayısı 1 kat için 3 adettir, örneğin 4 katlı bina için Sap2000 programına $4 \times 3 = 12$ adet mod sayısı girilmiştir. TBDY Madde 4.8.1.2'ye göre modal hesap yöntemlerinde hesaba katılması gereken yeterli titreşim modu sayısı, modal etkin kütleleri toplamının binanın toplam kütlelerinin %95 inden az olmayacak şekilde belirlenmektedir (TBDY, 2018). Sap2000 programında modal analiz ayarları Şekil 4.6.'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Sap2000 programında modal analiz ayarları

4.1.4. Kat ağırlıklarının hesaplanması

Kütle, dinamik analiz yapılırken yapının eylemsizlik kuvvetlerinin bulunması için kullanılır. Depremden dolayı yapıda oluşacak yatay yüklerin hesaplanabilmesi için kat kütlelerinin dolayısıyla kat ağırlıklarının bulunması gerekmektedir. Kat ağırlıklarının hesaplanmasında çeşitli yaklaşımlar bulunmaktadır. Yönetmelikte kat ağırlıklarının bulunmasıyla ilgili kesin bir metot bulunmamaktadır. Hesaplamaları basitleştirmek amacıyla bazı kabuller yapılmıştır. Tüm bina modellerinde tüm kolonların, kirişlerin ve perdelerin ağırlık merkezleriyle bina akslarının kesiştiği ve duvarların oturduğu kirişlerin üstünde duvar akslarının kirişlerin akslarıyla kesiştiği kabul edilmiştir. Döşeme üzerindeki sabit ve hareketli yüklerin yapının akslarının arasındaki tüm alanlara etkidiği kabul edilmiştir. Tüm bina modellerinde iç ve dış akslarda duvar vardır. Kiriş bulunan bina modellerinde duvar yükleri Sap2000 programında kirişlerin üstüne çizgisel yük olarak etkilmiştir. Kirişsiz bina modellerinde ise bir normal kattaki toplam duvar yükleri hesaplanmış olup bu hesaplanan toplam duvar yükü bir kattaki döşeme alanına bölünerek, birim alana etkiyen yayılı yüke çevrilmiştir. Böylelikle Sap2000 programında döşeme üzerine bu duvar yükleri yayılı yük olarak etkilmiştir. Tüm modellerde en üst katlar çatı katı olarak isimlendirilmiştir. Çatı katlarında duvar bulunmamaktadır.

Model binalarda kar yükü de olduğundan dolayı binanın en üst katının kütlesi hesaplanırken, TBDY Madde 4.5.9'da Kütlelerin Modellenmesi başlığında Madde 4.5.9.2'de belirtilen kar yüklerinin %30'u da hesaba katılmıştır. Kar yükleri çatı katına etkimektedir. TBDY'de belirtilen hareketli yük kütle katılım katsayısı (n) değerleri Şekil 4.7.'de gösterilmiştir. Bina modellerinde hareketli yük katılım katsayısı 0,3 alınmıştır (TBDY, 2018).

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

Şekil 4.7. Hareketli yük kütle katılım katsayısı (TBDY, 2018)

Bir binanın deprem hesabında kullanılacak olan herhangi bir katının ağırlığı Denklem 4.2 ile bulunur.

$$w_i = G_i + n * Q_i \quad (4.2)$$

Üstteki denklemde, G_i sabit ve zati yükleri, Q_i hareketli yükleri ifade etmektedir. Bir yapının herhangi bir i . kat döşemesinin toplam kütlesi (m_i) aşağıdaki Denklem 4.3 ile hesaplanır.

$$m_i = \frac{w_i}{g} \quad (4.3)$$

Yapının toplam kütlesi (m_t), N kat adedi olmak üzere aşağıdaki Denklem 4.4 ile hesaplanır.

$$m_t = \sum_{i=1}^N * m_i \quad (4.4)$$

4.1.5. Yük kombinasyonlarının Sap2000 programına girilmesi

En elverişsiz kesit tesirlerini bulabilmek maksadıyla TS500 Madde 6.2.6'ya ve TBDY Madde 4.4.2'ye göre aşağıdaki yükleme kombinasyonları Sap2000 programına girilmiştir.

$$1,4G+1,6Q+1,6S$$

$$G+Q+0,2S\pm EX\pm 0,3EY+0,3EZ \quad \text{Örnek: } G+Q+0,2S+EXP+0,3EYP+0,3EZ$$

$$0,9G\pm EX\pm 0,3EY-0,3EZ \quad \text{Örnek: } 0,9G+EXP+0,3EYP+0,3EZ$$

$$G+Q\pm 0,2S\pm EY\pm 0,3EX+0,3EZ \quad \text{Örnek: } G+Q+0,2S+EYN+0,3EXP+0,3EZ$$

$$0,9G\pm EY\pm 0,3EX-0,3EZ \quad \text{Örnek: } 0,9G+EYP-0,3EXN-0,3EZ$$

ZARF (ENVELOPE)

G sabit ve ölü yükleri, Q hareketli yükleri, S kar yükünü, EX ve EY eşdeğer deprem yüklerini, EZ düşey deprem etkisini ifade etmektedir. EXP, x doğrultusunda + %5 dışmerkezlilik etkili eşdeğer deprem kuvvetini, EXN, x doğrultusunda - %5 dışmerkezlilik etkili eşdeğer deprem kuvvetini, EYP, y doğrultusunda + %5 dışmerkezlilik etkili eşdeğer deprem kuvvetini ve EYN, y doğrultusunda - %5 dışmerkezlilik etkili eşdeğer deprem kuvvetini ifade etmektedir.

Düşey deprem etkisi $E_d^{(Z)}$ TBDY Madde 4.4.3.2'ye göre yaklaşık olarak Denklem 4.5 ile hesaplanmıştır.

$$E_d^{(Z)} \cong \frac{2}{3} S_{DS} G \quad (4.5)$$

$S_{DS} = 1,622$ olduğundan;

$$E_d^{(Z)} = \frac{2}{3} \times 1,622 \times G = 1,081G$$

4.2. 4 Katlı Model Yapılar

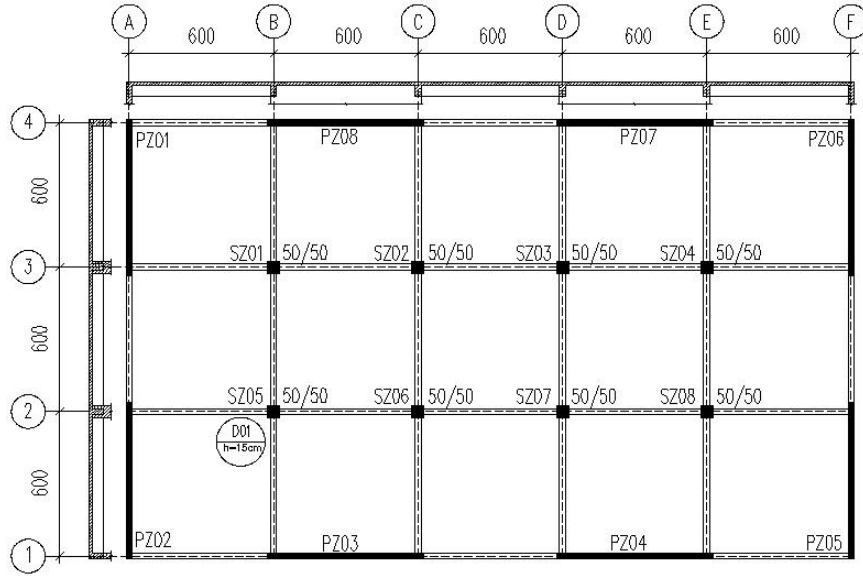
Bu bölümde 4 farklı döşeme tipine göre sadece 4 katlı binaların (Tablo 4.1.) deprem hesaplamaları gösterilmiştir.

Tablo 4.1. Döşeme tiplerine göre binaların isimlendirilmesi

Kat Adedi	Döşeme Tipi			
	Kirişli Plak Döşeme	Kirişsiz Döşeme	İki Doğ. Dışli (Kaset) Döşeme	Tek Doğ. Dışli (Asmolen) Döşeme
	TipA	TipB	TipC	TipD
3	Tip3A	Tip3B	Tip3C	Tip3D
4	Tip4A	Tip4B	Tip4C	Tip4D
5	Tip5A	Tip5B	Tip5C	Tip5D

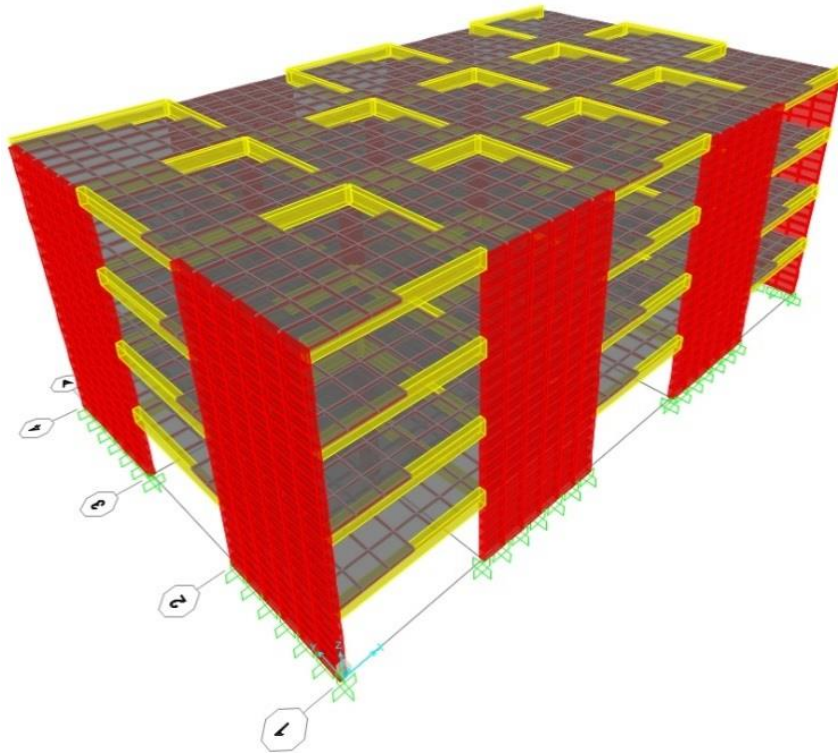
4.2.1. Tip4A bina çözümlemesi

Zemin ± 0.00 temel üst kot üstünden bina yüksekliği 12 metredir. Konut olarak kullanılacak olan yapının aks açıklıkları; x-x doğrultusunda 6 aks, y-y doğrultusunda 4 akstan oluşmaktadır. Bina geometrisini gösteren normal kat kalıp planı Şekil 4.8.'de gösterilmiştir. Deprem hesapları hem eşdeğer deprem yükü yöntemi ve hem mod birleştirme yöntemine ayrı ayrı yapılmıştır



Şekil 4.8. Tip4A normal kat kalıp planı

Yapının taşıyıcı sistemi süneklik düzeyi yüksek betonarme perdeler ile süneklik düzeyi yüksek moment aktaran betonarme çerçevelerden oluşturulmuştur. Binanın tüm katlarında döşemelerde boşluk ve planda düzensizlik durumları bulunmamaktadır. Yapının 3 boyutlu matematiksel hesap modeli Şekil 4.9.'da gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Tip4A binasının 3 boyutlu hesap modeli

4.2.1.1. Kirişli plak döşeme hesabı

TBDY 7. Bölümde döşemeler için minimum kalınlık için TS 500’de verilen koşulların geçerli olduğu belirtilmiştir. TS500 11. bölümde çift doğrultuda çalışan kirişli döşemeler için minimum döşeme kalınlığı h :

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

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

l_{sn} = Döşemenin ilgili doğrultudaki serbest açıklığını göstermektedir.

m = Döşemenin uzun kenarının kısa kenarına oranı

α_s = Döşemenin sürekli kenarlarının toplamının kenarların toplamına oranı

$$h \geq \frac{6000}{15 + \frac{20}{1}} \left(1 - \frac{1}{4}\right) = 129 \text{ mm}$$

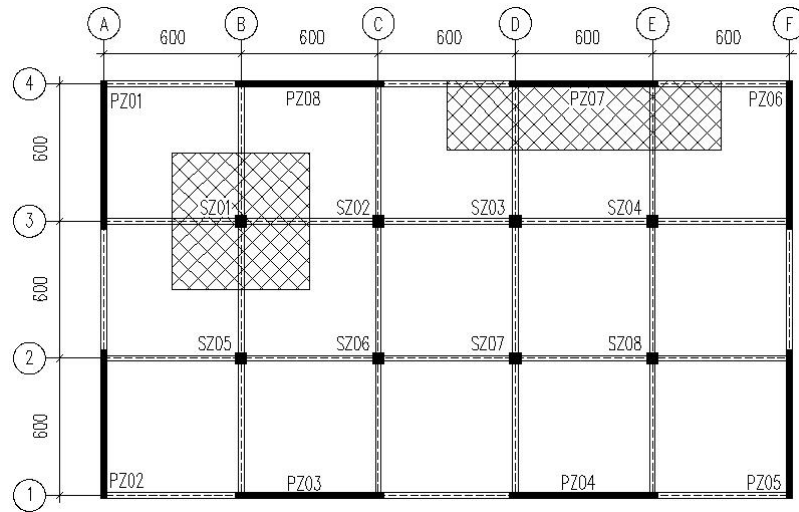
Döşeme kalınlığı 15 cm seçilmiştir.

4.2.1.2. Kirişler

Süneklik düzeyi yüksek kirişler için minimum enkesit boyutları TBDY Madde 7.4.1’de açıklanmıştır. Bu bağlamda kiriş genişliği minimum 25 cm seçilebilir. Kiriş gövde genişliği, kiriş yüksekliği ile kirişin birleştiği kolonun veya perdenin kirişe dik genişliğinin toplamını geçmeyecektir. Kiriş yüksekliği, döşeme kalınlığının 3 katından ve 30 cm’den daha az olamaz. Kiriş yüksekliği kiriş gövde genişliğinin 3,5 katından fazla olamaz. Belirtilen tüm şartlara bağlı olarak yapıdaki iç ve dış akslardaki tüm kirişlerin genişliği 25 cm ve kirişlerin yükseklikleri 60 cm olarak seçilmiştir.

4.2.1.3. Kolonlar

Süneklik düzeyi yüksek kolonlar için enkesit boyutları TBDY Madde 7.3.1’de açıklanmıştır. TBDY Madde 7.3.1.1’e göre dikdörtgen kesitli kolonların en küçük enkesit boyutu 300 mm’den ve dairesel kolonların çapı 350 mm’den küçük olmayacaktır. TS500’e göre artırılmış düşey yükler altında kolonların taşıyabileceği maksimum normal kuvvet $MaxN_d \leq 0,9 \times f_{cd} \times A_c$ koşulunu sağlamalıdır. Burada $MaxN_d$ yük etkilerinin birleşimlerinden hesaplanan tasarım eksenel basınç kuvvetlerinden en büyük olanıdır. A_c kolon net kesit alanını, f_{cd} beton basınç tasarım dayanımını ifade etmektedir. Kolonların yaklaşık olarak boyutlandırılmasında alan payı esası ile kolonların taşıdığı ölü ve hareketli yükler hesaplanmıştır. Ön boyutlandırma yapılacak olan kolonların etkileşim çizgisi belirlenir, etkileşim çizgileri yaklaşık olarak kolonun oturduğu döşemelerin açıklıklarının oluşturduğu alandır. Bu alan içinde kalan kirişlerin ve döşemelerin özağırlığı, döşemeden gelen sabit yükler ve hareketli yükler, duvar yükleri ve kolonun özağırlığı toplanır. Şekil 4.10.’da verilmiş planda örnek olarak SZ01 kolonunun alan payı gösterilmiş ve düşey yüklere göre hesapları yapılmıştır. Kolon boyutları tüm planda alan payı hesabında kullanılmak üzere 50x50 cm öngörülmüştür.



Şekil 4.10. Tip4A düşey yükler altında altıncı perde ve kolon yük alanları

Normal katlarda toplam sabit yük ağırlığı $\cong 352$ kN

Normal katlarda toplam hareketli yük ağırlığı = 126 kN

Çatı katında toplam sabit yük ağırlığı $\cong 253$ kN

Çatı katında toplam hareketli yük ağırlığı = 54 Kn

Tüm katlarda kolon boyutları 50x50 cm olarak seçilmiştir. Seçilen boyutlar TS500 Madde 7.4.1’de belirtilen $MaxN_d \leq 0,9 \times f_{cd} \times A_c$ koşulunu sağlamalıdır.

f_{cd} = Beton tasarım basınç dayanımı

$$f_{cd} = f_{ck} / 1,5 = 30 / 1,5 = 20 \text{ MPa} = 20000 \text{ kN/ m}^2$$

A_c = Kolonun tüm kesit beton alanı

$$A_c = 0,5 \times 0,5 = 0,25 \text{ m}^2$$

Seçilen kolon ön boyutları Tablo 4.2.’de gösterilmiştir.

Tablo 4.2. Tip4A seçilen kolon ön boyutları

Kat	Kot	G+Q (kN)	1,4G+1,6Q (kN)	$A_c \geq N_{1.4G+1.6Q} / 0,9f_{cd}$	Seçilen Kolon Ön Boyutu
3	12.0	307	441	0,02	50/50
2	9.0	785	1136	0,06	50/50
1	6.0	1263	1831	0,10	50/50
Z	3.0	1741	2526	0,14	50/50

Seçilen kolon boyutları TS500 Madde 7.4.1 ve TBDY Madde 7.3.1’de verilen enkesit koşullarını sağlamaktadır.

4.2.1.4. Perdeler

Perdeler yapılarda genellikle büyük kesme kuvvetlerini karşılamak ve deplasmanları (yer değiştirme) kontrol etmek amaçlı kullanılmaktadır. Bu nedenle perdelerin büyük rijitliğe sahip olması gerekmektedir. Yönetmelikte perde tanımı için boy/en şartı bulunmaktadır. Bu şarta uyan elemanlar perde eleman olarak kabul edilmektedir.

TBDY Madde 7.6.1.2'ye göre bir elemanın perde olabilmesi için boy/en oranının en az 6 oranını sağlaması gerekmektedir (TBDY, 2018).

TBDY Madde 7.6.1.1'e göre perdenin net enkesit alanı depremli durum için, $G+Q+E$ yüklemesi altında bulunan en büyük eksenel basınç kuvveti dikkate alınarak $A_c \geq N_{dm} / (0,35f_{ck})$ koşulunu sağlamalıdır (TBDY, 2018). Aşağıda depremsiz durum için eksenel yükler altında ($G+Q$) perdeye gelen normal kuvvet değerleri bulunmuş, eksenel gerilmeler kontrol edilmiş ve perde kalınlığının yeterli olduğuna karar verilmiştir. Bu hesaplama için perde kalınlığı TBDY Madde 7.6.1.2'de belirtilen minimum kalınlık sınır değeri 25 cm olarak kabul edilmiştir. Şekil 4.3.'te verilmiş planda PZ07 perdesinin alan payı esasına göre hesabı aşağıda yapılmıştır.

Normal katlarda toplam sabit yük ağırlığı $\cong 455$ kn

Normal katlarda hareketli yük ağırlığı = 126 kn

Çatı katında toplam sabit yük ağırlığı $\cong 356$ kN

Çatı katında toplam hareketli yük ağırlığı = 54 kN

Hesaplamalar sonucunda +0.00 kotunda temel üssü seviyesinde düşey yüklerden dolayı perdede meydana en büyük normal kuvvet 2151 kN'dur.

$$A_c \geq N_{dm} / (0,35f_{ck})$$

N_{dm} = Düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında (TS 498'de hareketli yükler için tanımlanmış olan hareketli yük azaltma katsayıları da dikkate alınarak) hesaplanan eksenel basınç kuvvetlerinin en büyüğü

$$A_c = \text{Perde gövde kesiti beton alanı, } 6,5\text{m} \times 0,25\text{m} = 1,625 \text{ m}^2$$

$$f_{ck} = \text{Beton karakteristik basınç dayanımı, C30/37 beton için } 30000 \text{ kN/ m}^2$$

$$N_{dm} / (A_c \times f_{ck}) = 2151 \text{ kN} / (1,625 \text{ m}^2 \times 30000 \text{ kN/ m}^2) = 0,04$$

Görüldüğü gibi en büyük eksenel kuvvetin meydana geldiği +0.00 temel üssü kotunda dahi depremsiz $G+Q$ düşey yükleri altında oluşan eksenel kuvvetin, betonun

karakteristik basınç dayanımına oranı (0,04), depremli durum için izin verilen sınır oranının (0,35) yaklaşık olarak dokuzda biri kadardır (TBDY, 2018).

Seçilen perde kalınlığı TBDY Madde 7.6.1'deki en kesit koşullarını sağlamaktadır.

Tip4A yapısındaki betonarme taşıyıcı elemanların boyutları toplu olarak Tablo 4.3.'te gösterilmiştir.

Tablo 4.3. Tip4A betonarme taşıyıcı elemanların boyutları

Kat	Perde (cm)	Kolon (cm)	Kiriş (cm)	Döşeme (cm)
Kat 3	650x25	50x50	25x60	15
Kat 2	650x25	50x50	25x60	15
Kat 1	650x25	50x50	25x60	15
Kat Z	650x25	50x50	25x60	15

4.2.1.5. Deprem yüklerinin eşdeğer deprem yüküne göre hesabı

Bina yükseklik sınıfı $BYS=6$ olduğundan dolayı, deprem hesapları için TBDY Tablo 4.4'e göre eşdeğer deprem yüküne göre hesap yapılabilir.

4.2.1.6. R ve D katsayılarının belirlenmesi

TBDY Tablo 4.1'den deprem etkilerinin moment aktaran süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçeveler ile süneklik düzeyi yüksek boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar için taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R=7$ ve Dayanım Fazlalığı Katsayısı $D=2,5$ olarak alınmıştır. TBDY Madde 4.3.2.4.a'ya göre taşıyıcı sistemde tek bir perdenin aldığı taban devrilme momenti M_{DEV} o doğrultuda binanın tümü için deprem yüklerinden meydana gelen toplam devrilme momenti M_O 'ın $1/3$ 'ünden fazla olamaz. TBDY Madde 4.3.2.4.b'ye göre binanın her bir kenar aksında yer alan perdelerin aldığı taban devrilme momenti M_{DEV} 'lerin toplamı, o doğrultuda binanın tümü için deprem yüklerinden meydana gelen toplam taban devrilme momenti M_O 'ın $1/6$ 'sından az olamaz. TBDY Madde 4.3.4.5'e göre perdelerin tabanında deprem yüklerinden dolayı meydana gelen devrilme momentlerinin toplamı, binanın tümü için deprem yüklerinden tabanda meydana gelen

toplam devrilme momentinin %40'ından az, %75'inden fazla olamaz. Sap2000 V-20 programının içerisinde TBDY yönetmeliği tanımlı olduğundan eşdeğer deprem yükleri (taban kesme kuvvetleri) programa hesaplatılmıştır. Eşdeğer deprem yükleri tanımlanırken x ve y doğrultusu için taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R=7$ olarak girilerek ön hesap yapılmıştır ve perdelerin tabanında meydana gelen devrilme momentleri bulunmuştur. Perdelerin tabanlarındaki kesme kuvvetlerini ve devrilme momentleri okuyabilmek için Sap2000 programının “section cut” (gruplandırma) menüsünden yararlanılmıştır. Aşağıdaki tablolarda TBDY Madde 4.3.2.4.a, TBDY Madde 4.3.2.4.b ve TBDY Madde 4.3.4.5 maddelerinin kontrolü tablolarda gösterilmiştir (TBDY, 2018).

TBDY Madde 4.3.2.4.a kontrolü:

EXP ve EYP deprem yüklemeleri için TBDY Madde 4.3.2.4.a kontrolü Tablo 4.4. ve Tablo 4.5.'te gösterilmiştir.

Tablo 4.4. Tip4A EXP ve EXN için TBDY Madde 4.3.2.4.a kontrolü

Perde İsmi	EXP +5 %			EXN-5 %		
	M_{DEV} (kNm)	$M_o / 3$ (kNm)	$M_o / 3 > M_{DEV}$	M_{DEV} (kNm)	$M_o / 3$ (kNm)	$M_o / 3 > M_{DEV}$
PZ03	15797	23774	✓	16606	23774	✓
PZ04	15797	23774	✓	16606	23774	✓
PZ07	16606	23774	✓	15797	23774	✓
PZ08	16606	23774	✓	15797	23774	✓

Tablo 4.4.'te görüldüğü üzere planda x eksenine paralel PZ03, PZ04, PZ07 ve PZ08 perdelerinin EXP ve EXN deprem yüklemeleri için TBDY Madde 4.3.2.4.a kontrolü sağlanmıştır.

Tablo 4.5. Tip4A EYP ve EYN için TBDY Madde 4.3.2.4.a kontrolü

Perde İsmi	EYP +5 %			EYN-5 %		
	M_{DEV} (kNm)	$M_o / 3$ (kNm)	$M_o / 3 > M_{DEV}$	M_{DEV} (kNm)	$M_o / 3$ (kNm)	$M_o / 3 > M_{DEV}$
PZ01	15239	23717	✓	17483	23717	✓
PZ02	15239	23717	✓	17483	23717	✓
PZ05	17483	23717	✓	15239	23717	✓
PZ06	17483	23717	✓	15239	23717	✓

Tablo 4.5.'te görüldüğü üzere planda y eksenine paralel PZ01, PZ02, PZ05 ve PZ06 perdelerinin EYP ve EYN deprem yüklemeleri için TBDY Madde 4.3.2.4.a kontrolü sağlanmıştır.

TBDY Madde 4.3.2.4.b kontrolü:

EXP ve EYP deprem yüklemeleri için TBDY Madde 4.3.2.4.b kontrolü Tablo 4.6. ve Tablo 4.7.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.6. Tip4A EYP ve EYN için TBDY Madde 4.3.2.4.b kontrolü

Perde İsmi	EXP +5 %			EXN-5 %		
	M_{DEV} (kNm)	$M_o / 6$ (kNm)	$M_{DEV} > M_o / 6$	M_{DEV} (kNm)	$M_o / 6$ (kNm)	$M_{DEV} > M_o / 6$
PZ03	15797	11887	✓	16606	11887	✓
PZ04	15797	11887	✓	16606	11887	✓
PZ07	16606	11887	✓	15797	11887	✓
PZ08	16606	11887	✓	15797	11887	✓

Tablo 4.6.'da görüldüğü üzere planda x eksenine paralel PZ03, PZ04, PZ07 ve PZ08 perdelerinin EXP ve EXN deprem yüklemeleri için TBDY Madde 4.3.2.4.b kontrolü sağlanmıştır.

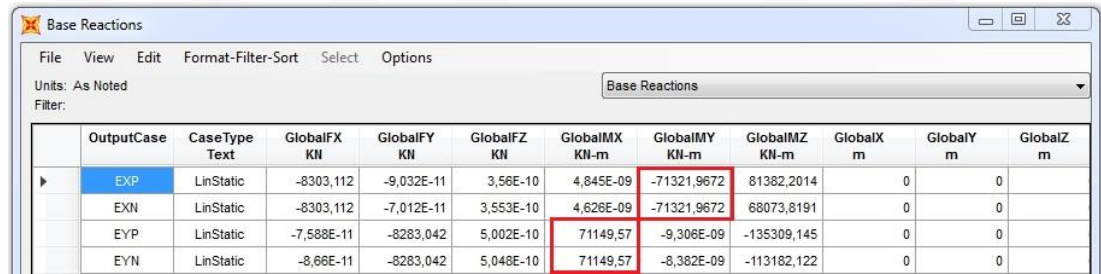
Tablo 4.7. Tip4A EYP ve EYN için TBDY Madde 4.3.2.4.b kontrolü

Perde İsmi	EYP +5 %			EYN-5 %		
	M_{DEV} (kNm)	$M_o / 6$ (kNm)	$M_{DEV} > M_o / 6$	M_{DEV} (kNm)	$M_o / 6$ (kNm)	$M_{DEV} > M_o / 6$
PZ01	15239	11858	✓	17483	11858	✓
PZ02	15239	11858	✓	17483	11858	✓
PZ05	17483	11858	✓	15239	11858	✓
PZ06	17483	11858	✓	15239	11858	✓

Tablo 4.7.'de görüldüğü üzere planda y eksenine paralel PZ01, PZ02, PZ05 ve PZ06 perdelerinin EYP ve EYN deprem yüklemeleri için TBDY Madde 4.3.2.4.b kontrolü sağlanmıştır.

TBDY Madde 4.3.4.5 kontrolü:

Sap2000 programına taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R=7$ girilerek binanın tümünde eşdeğer deprem yüklerinden dolayı meydana gelen toplam devrilme momentleri Şekil 4.11.'de gösterilmiştir.



	OutputCase	CaseType Text	GlobalFX KN	GlobalFY KN	GlobalFZ KN	GlobalMX KN-m	GlobalMY KN-m	GlobalMZ KN-m	GlobalX m	GlobalY m	GlobalZ m
►	EXP	LinStatic	-8303,112	-9,032E-11	3,56E-10	4,845E-09	-71321,9672	81382,2014	0	0	
	EXN	LinStatic	-8303,112	-7,012E-11	3,553E-10	4,626E-09	-71321,9672	68073,8191	0	0	
	EYP	LinStatic	-7,588E-11	-8283,042	5,002E-10	71149,57	-9,306E-09	-135309,145	0	0	
	EYN	LinStatic	-8,66E-11	-8283,042	5,048E-10	71149,57	-8,382E-09	-113182,122	0	0	

Şekil 4.11. Sap2000 programından devrilme momentlerinin elde edilmesi

Zemin katta X doğrultusundaki perdelerin (PZ03, PZ04, PZ07, PZ08) tabanında eşdeğer deprem kuvveti + 0,05 dışmerkezli EXP deprem yükünden dolayı meydana toplam devrilme momenti:

$$M_{DEV} = 15797 + 15797 + 16606 + 16606 = 64806 \text{ kNm}$$

Zemin katta X doğrultusundaki perdelerin (PZ03, PZ04, PZ07, PZ08) tabanında eşdeğer deprem kuvveti - 0,05 dışmerkezli EXN deprem yükünden dolayı meydana toplam devrilme momenti:

$$M_{DEV} = 16606+16606+15797+15797 = 64806 \text{ kNm}$$

Zemin katta Y doğrultusundaki perdelerin (PZ01, PZ02, PZ05, PZ06) tabanında eşdeğer deprem kuvveti + 0,05 dışmerkezli EYP deprem yükünden dolayı meydana toplam devrilme momenti:

$$M_{DEV} = 15239+15239+17483+17483= 65444 \text{ kNm}$$

Zemin katta Y doğrultusundaki perdelerin (PZ01, PZ02, PZ05, PZ06) tabanında eşdeğer deprem kuvveti - 0,05 dışmerkezli EYN deprem yükünden dolayı meydana toplam devrilme momenti:

$$M_{DEV} = 17483+17483+15239+15239= 65444 \text{ kNm}$$

Tablo 4.8. ve Tablo 4.9.'da TBDY Madde 4.3.4.5 kontrolleri gösterilmiştir.

Tablo 4.8. Tip4A EXP ve EXN için Madde 4.3.4.5 kontrolü

X				
Deprem - X	ΣM_{dev} (kNm)	M_o (kNm)	$\Sigma M_{DEV} < M_o$	$0,40M_o < \Sigma M_{DEV} < 0,75M_o$
X + %5 (EXP)	64806	71322	0,91	X
X - % 5 (EXN)	64806	71322	0,91	X

Tablo 4.9. Tip4A EYP ve EYN için Madde 4.3.4.5 kontrolü

Y				
Deprem - Y	ΣM_{dev} (kNm)	M_o (kNm)	$\Sigma M_{DEV} < M_o$	$0,40M_o < \Sigma M_{DEV} < 0,75M_o$
Y + %5 (EYP)	65444	71150	0,92	X
Y- %5 (EYN)	65444	71150	0,92	X

TBDY Madde 4.3.4.5'e göre $0,40M_o < \Sigma M_{DEV} < 0,75M_o$ bağıntısı için üst sınır şartı her iki doğrultuda da sağlanamamıştır. Tablo 4.8.'de görüldüğü gibi x doğrultusundaki deprem yüklerinin yüzde %91'ini x doğrultusundaki perdeler karşılamaktadır. Tablo 4.9.'da görüldüğü gibi Y doğrultusundaki deprem yüklerinin %92'sinde y doğrultusundaki perdeler karşılamaktadır. Bu yönetmelik tarafından izin verilmeyen bir durumdur. Bu sebeple TBDY Madde 4.3.4.5'de belirtilen üst sınır koşulunun sağlanamaması durumunda TBDY Tablo 4.1'de deprem etkilerinin tamamının süneklik düzeyi yüksek perdelerle durumlar için tanımlanan R ve D katsayıları ile izin verilen en üst BYS dikkate alınmıştır (TBDY, 2018).

Bu durumda TBDY Tablo 4.1'de belirtilen A13 kodlu deprem etkilerinin tamamının süneklik düzeyi yüksek boşluksuz betonarme perdeler karşılandığı binalar için $R=6$ ve $D=2,5$ olarak alınarak tüm hesaplar tekrarlanmıştır.

4.2.1.7. Taşıyıcı sistem davranış katsayısı ($R=6$) için kontrol

TBDY Tablo 4.1'de belirtilen A13 kodlu binalar için aşağıdaki tablolarda TBDY Madde 4.3.2.4.a ve TBDY Madde 4.3.2.4.b kontrolleri yapılmıştır. TBDY Madde 4.3.4.5 kontrolü sadece TBDY Tablo 4.1'de verilen A14 veya A15 kodlu binalar için yapılmaktadır.

TBDY Madde 4.3.2.4.a kontrolü: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R=6$ 'ya göre EXP ve EYP deprem yüklemeleri için TBDY Madde 4.3.2.4.a kontrolü Tablo 4.10. ve Tablo 4.11.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.10. Tip4A EXP ve EXN için TBDY Madde 4.3.2.4.a kontrolü

Perde İsmi	EXP +5 %			EXN-5 %		
	M_{DEV} (kNm)	$M_o / 3$ (kNm)	$M_o / 3 > M_{DEV}$	M_{DEV} (kNm)	$M_o / 3$ (kNm)	$M_o / 3 > M_{DEV}$
PZ03	17713	26657	✓	18620	26657	✓
PZ04	17713	26657	✓	18620	26657	✓
PZ07	18620	26657	✓	17713	26657	✓
PZ08	18620	26657	✓	17713	26657	✓

Tablo 4.10.'da görüldüğü üzere planda x eksenine paralel PZ03, PZ04, PZ07 ve PZ08 perdelerinin EXP ve EXN deprem yüklemeleri için TBDY Madde 4.3.2.4.a kontrolü sağlanmıştır.

Tablo 4.11. Tip4A EYP ve EYN için TBDY Madde 4.3.2.4.a kontrolü

Perde İsmi	EYP +5 %			EYN-5 %		
	M_{DEV} (kNm)	$M_o / 3$ (kNm)	$M_o / 3 > M_{DEV}$	M_{DEV} (kNm)	$M_o / 3$ (kNm)	$M_o / 3 > M_{DEV}$
PZ01	17092	26600	✓	19609	26600	✓
PZ02	17092	26600	✓	19609	26600	✓
PZ05	19609	26600	✓	17092	26600	✓
PZ06	19609	26600	✓	17092	26600	✓

Tablo 4.11.'de görüldüğü üzere planda y eksenine paralel PZ01, PZ02, PZ05 ve PZ06 perdelerinin EYP ve EYN deprem yüklemeleri için TBDY Madde 4.3.2.4.a kontrolü sağlanmıştır.

TBDY Madde 4.3.2.4.b kontrolü: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R=6$ 'ya göre EXP ve EYP deprem yüklemeleri için TBDY Madde 4.3.2.4.b kontrolü Tablo 4.12. ve Tablo 4.13.'te gösterilmiştir.

Tablo 4.12. Tip4A EXP ve EXN için TBDY Madde 4.3.2.4.b kontrolü

Perde İsmi	EXP +5 %			EXN-5 %		
	M_{DEV} (kNm)	$M_o / 6$ (kNm)	$M_{DEV} > M_o / 6$	M_{DEV} (kNm)	$M_o / 6$ (kNm)	$M_{DEV} > M_o / 6$
PZ03	17713	13329	✓	18620	13329	✓
PZ04	17713	13329	✓	18620	13329	✓
PZ07	18620	13329	✓	17713	13329	✓
PZ08	18620	13329	✓	17713	13329	✓

Tablo 4.12.'de görüldüğü üzere planda x eksenine paralel PZ03, PZ04, PZ07 ve PZ08 perdelerinin EXP ve EXN deprem yüklemeleri için TBDY Madde 4.3.2.4.b kontrolü sağlanmıştır.

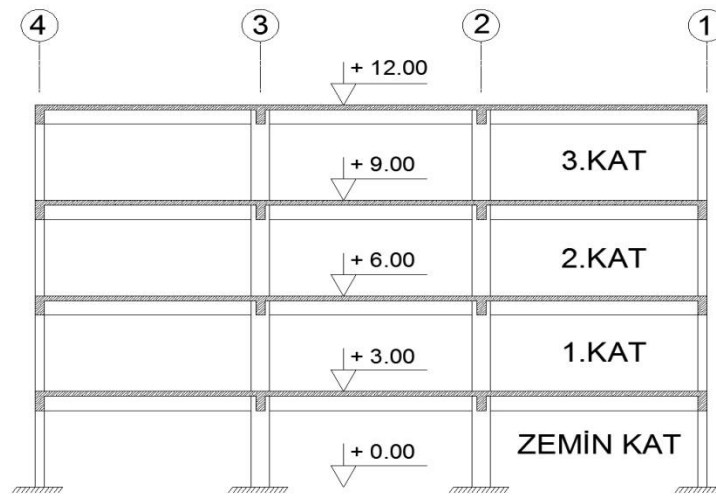
Tablo 4.13. Tip4A EYP ve EYN için TBDY Madde 4.3.2.4.b kontrolü

Perde İsmi	EYP +5 %			EYN-5 %		
	M_{DEV} (kNm)	$M_o / 6$ (kNm)	$M_{DEV} > M_o / 6$	M_{DEV} (kNm)	$M_o / 6$ (kNm)	$M_{DEV} > M_o / 6$
PZ01	17092	13300	✓	19609	13300	✓
PZ02	17092	13300	✓	19609	13300	✓
PZ05	19609	13300	✓	17092	13300	✓
PZ06	19609	13300	✓	17092	13300	✓

Tablo 4.13.'te görüldüğü üzere planda y eksenine paralel PZ01, PZ02, PZ05 ve PZ06 perdelerinin EYP ve EYN deprem yüklemeleri için TBDY Madde 4.3.2.4.b kontrolü sağlanmıştır.

4.2.1.8. Kat ağırlıklarının hesaplanması

Binanın en üst katı + 12.00 kotundaki 3. kattır. Çatı katı olarak da isimlendirilebilir. İç ve dış akslardaki tüm kirişlerin üzerinde duvar vardır. Duvar yüksekliği kiriş alt kotundan döşeme üst kotuna kadar 2,40 metredir. Çatı katında duvar bulunmamaktadır. Zemin katın duvarları temele oturduğundan, bu katın duvar ağırlıkları hesaplarda dikkate alınmamıştır. Bu binanın kat ağırlıklarının hesaplanması aşağıdaki gibi yapılmıştır. Binaın kesit görünümü Şekil 4.12.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.12. Tip4A binasının kesit görünümü

W_z = 1. kat duvarlarının ağırlığı + döşeme zati ağırlığı + döşeme üzerindeki yükler (ölü yükler ve hareketli yüklerin %30'u) + kiriş zati ağırlığı + zemin kat kolonlarının ve perdelerinin zati ağırlıklarının toplamı

W_1 = 2. kat duvarlarının ağırlığı + döşeme zati ağırlığı + döşeme üzerindeki yükler (ölü yükler ve hareketli yüklerin %30'u) + kiriş zati ağırlığı + 1.kat kolonlarının ve perdelerinin zati ağırlıklarının toplamı

W_2 = 3.kat duvarlarının ağırlığı + döşeme zati ağırlığı + döşeme üzerindeki yükler (ölü yükler ve hareketli yüklerin %30'u) + kiriş zati ağırlığı + 3.kat ve 2. kat kolonlarının yarı ağırlıkları toplamı + 2.kat kolonlarının ve perdelerinin zati ağırlıklarının toplamı

W_3 = Döşeme zati ağırlığı + döşeme üzerindeki yükler (ölü yükler ve hareketli yüklerin %30'u) + kiriş zati ağırlığı + 3.kat kolonlarının ve perdelerinin zati ağırlıklarının toplamı

$$m = W / g$$

$$g = 9,8067 \text{ m/s}^2$$

Tip4A binasının kat kütleleri, kat ağırlıkları ve toplam bina ağırlığı Tablo 4.14.'te gösterilmiştir.

Tablo 4.14. Tip4A binasının kat ağırlıkları

Kat İsmi	Kütle (ton)	Ağırlık W_i (kN)
3. Kat	513,9	5040
2. Kat	681,3	6681,6
1. Kat	681,3	6681,6
Zemin Kat	681,3	6681,6
Toplam	2557,9 ton	25084,8 kN

Deprem hesaplarında kullanılacak toplam yapı ağırlığı $W=25084,8$ kN olarak bulunmuştur.

The screenshot shows the 'Base Reactions' window in Sap2000. The 'OutputCase' is 'G+0,3Q+0,3S' and the 'CaseType' is 'Combination'. The 'GlobalFZ' value is 25084,68 KN, which is highlighted with a red box. Other values include GlobalFX: -2,151E-11, GlobalFY: -2,541E-11, GlobalMX: 225762,12, GlobalMY: -376270,2, GlobalMZ: -1,606E-10, GlobalX: 0, GlobalY: 0, and GlobalZ: 0.

OutputCase	CaseType	GlobalFX KN	GlobalFY KN	GlobalFZ KN	GlobalMX KN-m	GlobalMY KN-m	GlobalMZ KN-m	GlobalX m	GlobalY m	GlobalZ m
G+0,3Q+0,3S	Combination	-2,151E-11	-2,541E-11	25084,68	225762,12	-376270,2	-1,606E-10	0	0	0

Şekil 4.13. Sap2000 programında toplam bina ağırlığının bulunması

Sap2000 programında kontrol maksatlı yapının ağırlığı bulunmuştur. Analizden sonra düşey G+0,3Q+0,3S yükleme kombinasyonu için base reactions (taban reaksiyonları) bölümünden GlobalFz değeri, programa girilmiş malzeme özellikleri ve yüklere göre toplam yapı ağırlığını vermektedir. Şekil 4.13.'te bina ağırlığı hesabı ile Sap2000 programından bulunan sonucun aynı çıktığı görülmüştür.

4.2.1.9. Bina periyodunun belirlenmesi

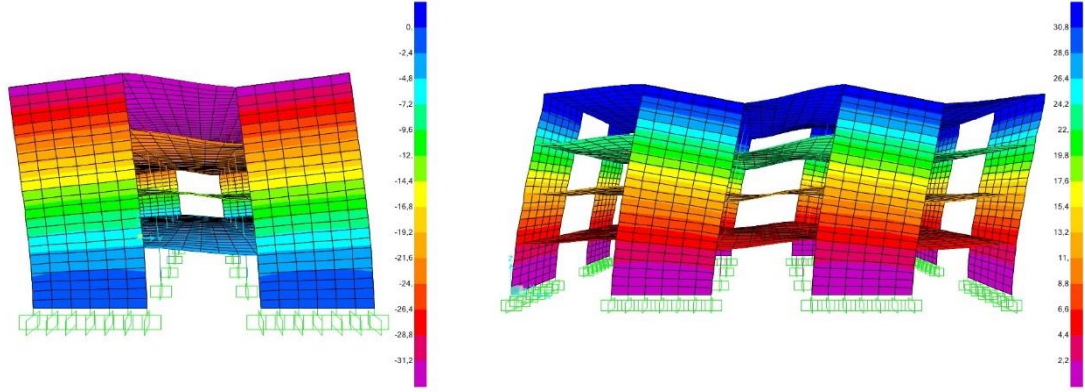
Modal analiz sonucu, binanın birinci moduna karşılık gelen Y doğrultusundaki doğal titreşim periyodu Sap2000 programında $T_p^{(Y)}$ 0,269 saniye bulunmuştur. Binanın ikinci moduna karşılık gelen X doğrultusundaki doğal titreşim periyodunda $T_p^{(X)}$ 0,267 saniye bulunmuştur. Binanın üçüncü modu beklendiği gibi burulma modu çıkmıştır.

TBDY Madde 4.7.3.2'ye göre analiz sonucu bulunan hâkim titreşim periyotları, ampirik hâkim doğal titreşim periyodu $T_{pA} = C_t H_N^{0,75}$ değerinin 1,4 katından fazla olamaz. TBDY Madde 4.7.3.4.a'ya göre taşıyıcı sistemi betonarme çerçeveli ve perdeli binalar için $C_t = 0,07$ alınmıştır (TBDY, 2018).

$$T_{pA} = C_t H_N^{0,75} = 0,07 \times 12^{0,75} = 0,45 \text{ saniye}$$

$1,4 \times T_{pA} = 1,4 \times 0,45 = 0,63$ saniye, analiz sonucu hesaplanan hâkim periyot değerlerinden ($T_p^{(X)}$, $T_p^{(Y)}$) büyük olduğundan eşdeğer deprem yükü hesaplarında $T_p^{(Y)} = 0,269$ s. ve $T_p^{(X)} = 0,267$ s. esas alınmıştır.

Tip4A binasının Sap2000 programıyla bulunan birinci ve ikinci mod şekli Şekil 4.14.'te gösterilmiştir.



Şekil 4.14. Tip4A binasının Sap2000 programıyla bulunan birinci ve ikinci mod şekli

TBDY Madde 4.8.1.2'ye göre modal hesap yöntemlerinde hesaba katılması gereken yeterli titreşim modu sayısı, modal etkin kütleleri toplamının binanın toplam kütlelerinin %95'inden az olmayacak şekilde belirlenmektedir (TBDY, 2018). Bu bağlamda binanın deprem hesapları eşdeğer deprem yükü yöntemine göre yapıldığından, x ve y yönünde Tablo 4.15.'te görüldüğü gibi 12 serbest titreşim modu için toplam kütle katılımı yönetmeliğe uygun olarak %97 olarak bulunmuştur.

Tablo 4.15. Tip4A kütle katılım oranları

Modal Kütle Katılım Oranları						
Analiz	Adım	Adım No	Periyot (sn.)	ToplamUX	ToplamUY	ToplamRZ
MODAL	Mod	1	0,269	0	0,7143	0
MODAL	Mod	2	0,267	0,7114	0,7143	0
MODAL	Mod	3	0,1696	0,7114	0,7143	0,6790
MODAL	Mod	4	0,1496	0,7114	0,7150	0,6790
MODAL	Mod	5	0,1485	0,7147	0,7150	0,6790
MODAL	Mod	6	0,1433	0,7147	0,7150	0,6840
MODAL	Mod	7	0,0922	0,7147	0,7150	0,7014
MODAL	Mod	8	0,0813	0,7841	0,7150	0,7014
MODAL	Mod	9	0,0805	0,7841	0,7883	0,7014
MODAL	Mod	10	0,0587	0,9713	0,7883	0,7014
MODAL	Mod	11	0,0582	0,9713	0,9721	0,7014
MODAL	Mod	12	0,0414	0,9713	0,9721	0,9529

4.2.1.10. Deprem yüklerinin hesabı

TBDY'ye göre her iki doğrultudaki toplam eşdeğer deprem yükleri (taban kesme kuvvetleri) V_{tE} aşağıdaki denklemler ile bulunmuştur.

$$V_{tE}^{(X)} = m_t S_{aR}(T_p^{(X)}) \geq 0,04 m_t I S_{DS} g$$

$$V_{tE}^{(Y)} = m_t S_{aR}(T_p^{(Y)}) \geq 0,04 m_t I S_{DS} g$$

Yatay spektrum köşe periyotları $T_A = 0,102$ s. $T_B = 0,508$ s.

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

$T_B = 0,508$ s. $> T_X = 0,267$ s. $> T_A = 0,102$ s. olduğundan:

X doğrultusunda yatay elastik tasarım spektral ivmesi $S_{ae}(T^{(X)}) = S_{DS} = 1,622$ g

$T_B = 0,508$ s. $> T_Y = 0,269$ s. $> T_A = 0,102$ s. olduğundan:

Y doğrultusunda yatay elastik tasarım spektral ivmesi $S_{ae}(T^{(Y)}) = S_{DS} = 1,622$ g

Deprem yükü azaltma katsayısı $R_a(T^{(X)})$, $T_B = 0,508$ s. $> T_X = 0,267$ s.

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

$$R_a(T^{(X)}) = 2,5 + \left(\frac{6}{1} - 2,5 \right) \frac{0,267}{0,508} = 4,34$$

Deprem yükü azaltma katsayısı $R_a(T^{(Y)})$, $T_B = 0,508$ s. $> T_Y = 0,269$ s.

$$R_a(T^{(Y)}) = 2,5 + \left(\frac{6}{1} - 2,5\right) \frac{0,269}{0,508} = 4,35$$

X doğrultusunda azaltılmış tasarım spektral ivmesi $S_{aR}(T^{(X)})$

$$S_{aR}(T^{(X)}) = \frac{S_{ae}(T^{(X)})}{R_a(T^{(X)})} = \frac{1,622g}{4,34} = 0,3737g$$

Y doğrultusunda azaltılmış tasarım spektral ivmesi $S_{aR}(T^{(Y)})$

$$S_{aR}(T^{(Y)}) = \frac{S_{ae}(T^{(Y)})}{R_a(T^{(Y)})} = \frac{1,622g}{4,35} = 0,3729g$$

X doğrultusundaki toplam eşdeğer deprem yükü

$$V_{tE}^{(X)} = 2557,9 \times 0,3737 \times 9,8067 = 9374 \text{ kN} \geq 0,04 \times 2557,9 \times 1 \times 1,622 \times 9,8067 = 1627 \text{ kN}$$

Y doğrultusundaki toplam eşdeğer deprem yükü

$$V_{tE}^{(Y)} = 2557,9 \times 0,3729 \times 9,8067 = 9354 \text{ kN} \geq 0,04 \times 2557,9 \times 1 \times 1,622 \times 9,8067 = 1627 \text{ kN}$$

Katlara etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin bulunması:

TBDY Madde 4.7.2'ye göre katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri aşağıdaki denklemler ile hesaplanır.

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

Binanın tepesine etkiyen ek eşdeğer deprem yükü $\Delta F_{NE}^{(X)}$ ve $\Delta F_{NE}^{(Y)}$:

$$\Delta F_{NE}^{(X)} = 0,0075 N V_{tE}^{(X)} \Rightarrow \Delta F_{NE}^{(X)} = 0,0075 \times 4 \times 9374 = 281,22 \text{ kN}$$

$$\Delta F_{NE}^{(Y)} = 0,0075 N V_{tE}^{(Y)} \Rightarrow \Delta F_{NE}^{(Y)} = 0,0075 \times 4 \times 9354 = 280,62 \text{ kN}$$

TBDY2019 Denklem 4.23'e göre katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri;

$$F_{iE} = (V_{tE} - \Delta F_{NE}) \frac{m_i H_i}{\sum_{j=1}^N m_j H_j} \text{ denkleminde bulunmuştur.}$$

X doğrultusu için:

$$F_3 = (9374 - 281,22) \frac{513,9 \times 12}{18430,2} = 3042 \text{ kN}$$

$$F_2 = (9374 - 281,22) \frac{681,3 \times 9}{18430,2} = 3025 \text{ kN}$$

$$F_1 = (9374 - 281,22) \frac{681,3 \times 6}{18430,2} = 2017 \text{ kN}$$

$$F_Z = (9374 - 281,22) \frac{681,3 \times 3}{18430,2} = 1008 \text{ kN}$$

Y doğrultusu için:

$$F_3 = (9354 - 280,62) \frac{513,9 \times 12}{18430,2} = 3037 \text{ kN}$$

$$F_2 = (9354 - 280,62) \frac{681,3 \times 9}{18430,2} = 3019 \text{ kN}$$

$$F_1 = (9354 - 280,62) \frac{681,3 \times 6}{18430,2} = 2012 \text{ kN}$$

$$F_Z = (9354 - 280,62) \frac{681,3 \times 3}{18430,2} = 1006 \text{ kN}$$

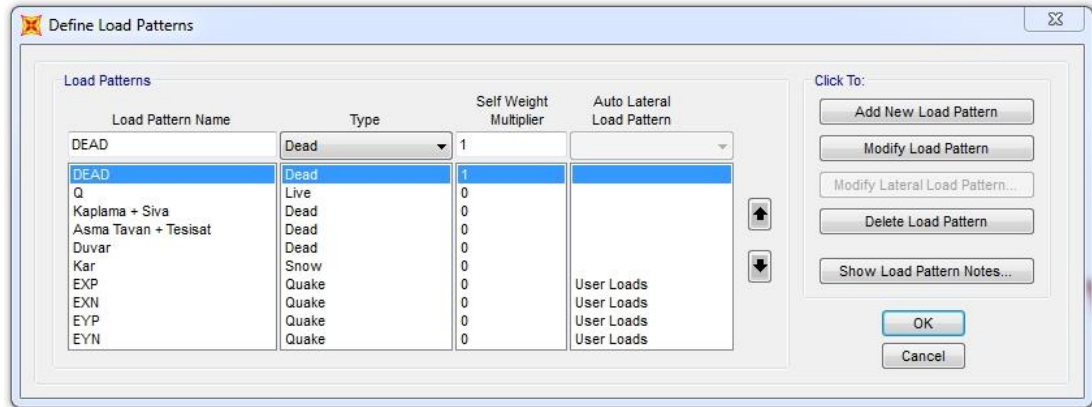
X ve Y doğrultusunda katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri Tablo 4.16.'da sunulmuştur.

Tablo 4.16. Tip4A X ve Y doğrultusu için %5 ek dışmerkezlilik ile hesaplanan eşdeğer deprem yükleri

Kat	h_i (m)	H_i (m)	m_i (ton)	$m_i \times H_i$	Oran	F_x (kN)	F_y (kN)
3	3	12	513,9	6166,8	0,3346	3324	3317
2	3	9	681,3	6131,7	0,3327	3025	3019
1	3	6	681,3	4087,8	0,2218	2017	2012
Z	3	3	681,3	2043,9	0,1109	1008	1006
Toplam			2557,9 ton	18430,2	1,0	9374 kN	9354 kN

4.2.1.11. Hesaplanan eşdeğer deprem yüklerinin Sap2000 programına girilmesi

Yukarıdaki tablolarda X ve Y doğrultusunda hesaplanan eşdeğer deprem yükleri (taban kesme kuvvetleri) ek dışmerkezlilik etkisi de göz önünde bulundurularak her kat seviyesinde Sap2000 programına girilmiştir. TBDY Madde 4.5.10'da ek dışmerkezliliklerin modellenmesiyle ilgili kurallar açıklanmıştır. Şekil 4.15.'te Sap2000 programında her bir kat için kat kütle merkezine 4 adet deprem yükü tanımlanmıştır. Kat döşemelerinin planda x ve y doğrultusunda simetrik olması ve yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalışması nedeniyle, eşdeğer deprem yüklerinin sadece kat kütle merkezinin $\pm\%5$ ek dışmerkezlilik kadar kaydırıldığı noktalara etkiltilmesi yeterlidir ve kat kütle merkezine etkiltilmesine gerek yoktur (TBDY, 2018).



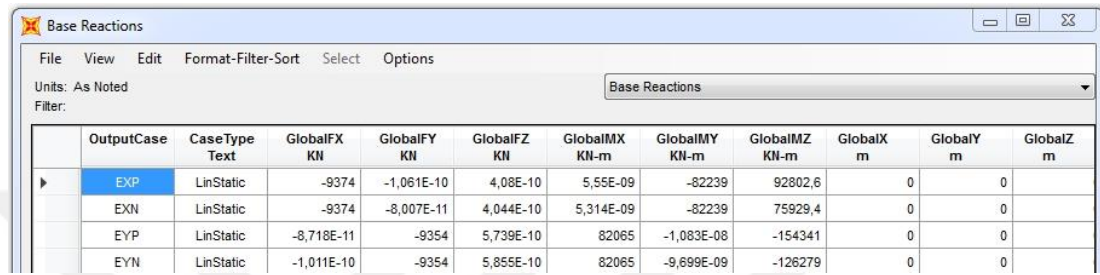
Şekil 4.15. Sap2000 programına eşdeğer deprem yüklerinin tanımlanması

EXP = X doğrultusunda + %5 dışmerkezlilik etkili eşdeğer deprem kuvveti

EXN = X doğrultusunda - %5 dışmerkezlilik etkili eşdeğer deprem kuvveti

EYP = Y doğrultusunda + %5 dışmerkezlilik etkili eşdeğer deprem kuvveti

Katlara etkiyen deprem kuvvetleri Sap2000 programına X ve Y doğrultusunda kat kütle merkezlerine (apply at center of mass) pozitif %5 dışmerkezli ile etkiyen ve kütle merkezlerine negatif %5 dışmerkezli ile etkiyen olmak üzere 4 adet yük girilmiştir. Analizden sonra her iki ana doğrultuda bina tabanında meydana gelen toplam taban kesme kuvvetleri Sap2000 programında ilgili yükler seçilerek “base reactions” sekmesinden kontrol edilmektedir (Şekil 4.17.).



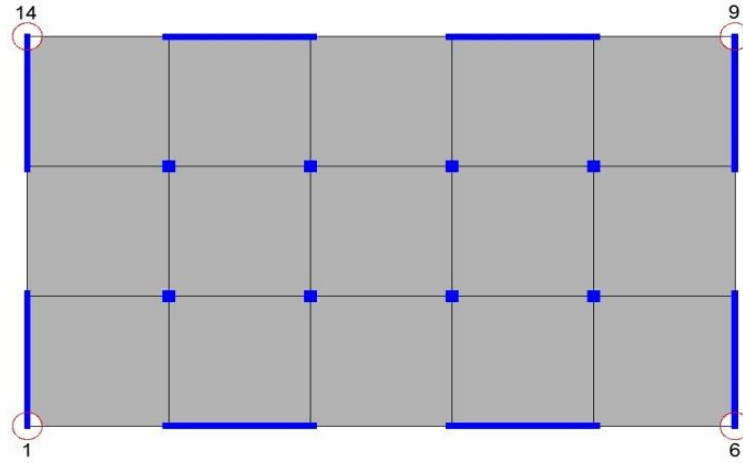
OutputCase	CaseType	GlobalFX KN	GlobalFY KN	GlobalFZ KN	GlobalMX KN-m	GlobalMY KN-m	GlobalMZ KN-m	GlobalX m	GlobalY m	GlobalZ m
EXP	LinStatic	-9374	-1,061E-10	4,08E-10	5,55E-09	-82239	92802,6	0	0	0
EXN	LinStatic	-9374	-8,007E-11	4,044E-10	5,314E-09	-82239	75929,4	0	0	0
EYP	LinStatic	-8,718E-11	-9354	5,739E-10	82065	-1,083E-08	-154341	0	0	0
EYN	LinStatic	-1,011E-10	-9354	5,855E-10	82065	-9,699E-09	-126279	0	0	0

Şekil 4.17. Sap2000 programında kat seviyelerine girilmiş yüklere göre toplam taban kesme kuvvetleri

4.2.1.12. Düzensizlik kontrolleri

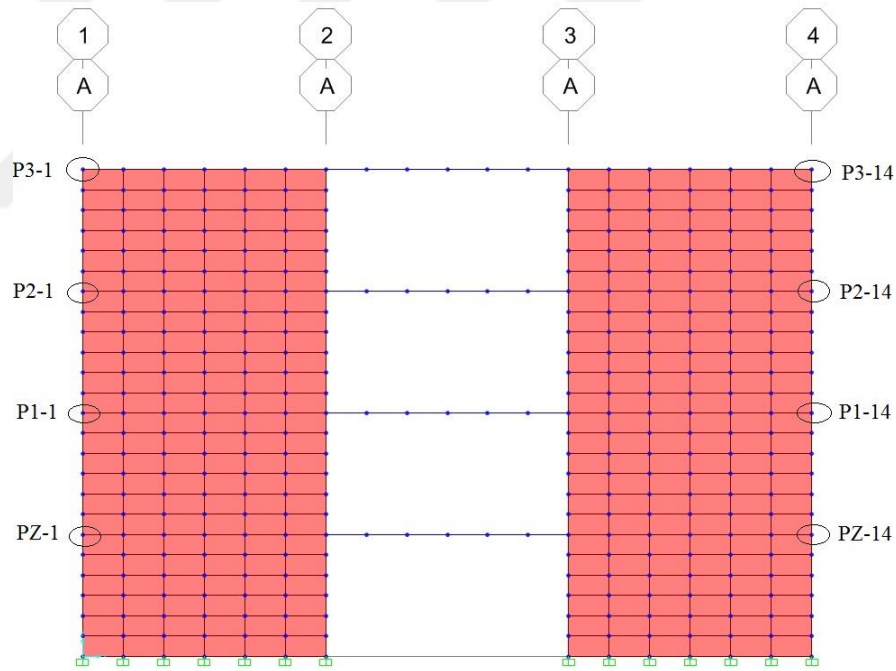
Binada A2 döşeme süreksizliği durumu, A3 planda çıktılar bulunması durumu, B1 komşu katlar katlar arası dayanım düzensizliği durumu, B2 komşu katlar arası rijitlik düzensizliği durumu, B3 taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği durumları, yapılan hesaplamalar ve kontroller sonucu bulunmamıştır. Aşağıda A1 burulma düzensizliğin tahkikleri tablolarda gösterilmiştir.

Bina x ve y yönünde simetrik olduğundan düzensizlik kontrolleri kat köşe noktalarındaki yerdeğiştirme değerleri okunarak yapılmıştır. Sap 2000 programında yerdeğiştirme değerlerini düzgün bir sıra ile bulabilmek için kat köşe düğüm noktalarına sırasıyla 1, 6, 9 ve 14 isimlendirmesi yapılmıştır. Şekil 4.18.'de yerdeğiştirme değerlerinin bulunacağı köşe düğüm noktaları gösterilmiştir.



Şekil 4.18. Yerdeğiştirme değerlerinin bulunacağı uç köşe düğüm noktaları

Örneğin zemin kattaki köşe noktalarına PZ-1, PZ-6, PZ-9 ve PZ-14, bir üst kat için P1-1, P1-6, P1-9, P1-14 isimleri verilmiştir (Şekil 4.19.).



Şekil 4.19. Sap2000 programında YZ düzleminde kat köşe düğüm noktalarına isimlendirme yapılması

Analizden sonra yapıdaki ilgili düğüm noktasına bağlanan tüm elemanlardan oluşan ve o düğüm noktasına yüklenen her tür yüklemelerden, dinamik etkilerden ve yük kombinasyonlarından meydana gelen ötelenme ve dönme değerleri global koordinat sistemindeki altı serbestlik derecesi yönünde pozitif ve negatif değerler için sap 2000 programında “joint displacements” başlığı altında görülmektedir. Bu bağlamda

eşdeğer deprem yüklemeleri EXP ve EYP için her katta yapıdaki 4 köşe uç düğüm noktalarındaki yatay ötelenmeler bulunmuştur.

4.2.1.13. A1 burulma düzensizliği kontrolü

A1 Burulma düzensizliği yönetmelikte birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük görelî kat ötelemesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama görelî ötelemeye oranını ifade eden burulma düzensizliği katsayısının η_{bi} 'nin 1,2'den büyük olması durumu olarak tanımlanmaktadır (TBDY, 2018).

$u_{i, \min}$ = Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için herhangi bir kolon veya perdedeki, i'inci kattaki en küçük yatay yer değiştirme

$u_{i, \max}$ = Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için herhangi bir kolon veya perdedeki, i'inci kattaki en büyük yatay yer değiştirme

$(\Delta_i)_{\min}$ = Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için ardışık iki kat arasındaki yer değiştirme farkını ifade eden en küçük azaltılmış görelî kat ötelemesi

$(\Delta_i)_{\max}$ = Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için ardışık iki kat arasındaki yer değiştirme farkını ifade eden en büyük azaltılmış görelî kat ötelemesi

$(\Delta_i)_{\text{ort.}}$ = Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için ardışık iki kat arasındaki yer değiştirme farkını ifade eden ortalama azaltılmış görelî kat ötelemesi

η_{bi} = i'inci katta burulma düzensizliği katsayısı, herhangi bir katta en büyük görelî kat ötelemesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama görelî kat ötelemesine oranı

$$\eta_{bi} = (\Delta_i^{(x)})_{\max} / (\Delta_i^{(x)})_{\text{ort}} = 1,2$$

Tablo 4.17. ve Tablo 4.18.'de EXP ve EYP eşdeğer deprem yükleri için her kat seviyesinde hesaplanmış burulma düzensizliği katsayısı η_{bi} gösterilmiştir.

Tablo 4.17. Tip4A X doğrultusunda A1 burulma düzensizliği kontrolü

KAT	$u_{i, \min}$ (mm)	$u_{i, \max}$ (mm)	$(\Delta_i)_{\min}$	$(\Delta_i)_{\max}$	$(\Delta_i)_{\text{ort.}}$	η_{bi}
3	12,19	12,895	3,694	3,910	3,80	1,03
2	8,496	8,985	3,686	3,900	3,79	1,03
1	4,810	5,085	3,098	3,276	3,19	1,03
Z	1,711	1,809	1,711	1,809	1,76	1,03

Tablo 4.17.'de x doğrultusunda EXP deprem yüklemesi için her katta η_{bi} katsayıları 1,2 değerinden küçük olduğundan A1 burulma düzensizliği bulunmamaktadır.

Tablo 4.18. Tip4A Y doğrultusunda A1 burulma düzensizliği kontrolü

KAT	$u_{i, \min}$ (mm)	$u_{i, \max}$ (mm)	$(\Delta_i)_{\min}$	$(\Delta_i)_{\max}$	$(\Delta_i)_{\text{ort.}}$	η_{bi}
3	11,732	13,686	3,568	4,167	3,87	1,08
2	8,164	9,519	3,551	4,143	3,85	1,08
1	4,613	5,376	2,977	3,469	3,22	1,08
Z	1,637	1,907	1,637	1,907	1,77	1,08

Tablo 4.18.'de y doğrultusunda EYP deprem yüklemesi için her katta η_{bi} katsayıları 1,2 değerinden küçük olduğundan A1 burulma düzensizliği bulunmamaktadır.

4.2.1.14. Etkin görel kat ötelemelerinin kontrolü

Etkin görel kat ötelemelerinin kontrolü TBDY Madde 4.9.1'e göre yapılmıştır. X ve Y doğrultusundaki eşdeğer deprem yükleri için binanın tüm katlarında, köşe noktalarındaki perdelerde azaltılmış görel kat ötelemesi (Δ_i) ve etkin görel kat ötelemesi ($\delta_{\max}$) aşağıdaki denklemlerle hesaplanmış ve kontrolleri yapılmıştır.

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

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

$$\lambda \frac{\delta_{i,max}^{(X)}}{h_i} \leq 0,008\kappa$$

Yukarıdaki denklemlerde:

h_i = Kat yüksekliği

$\delta_i^{(X)}$ = X deprem doğrultusu için binanın i' inci katındaki kolon veya perdeler için etkin görelî kat ötelemesi

$\delta_{i,max}^{(X)}$ = X deprem doğrultusu için binanın i' inci katındaki kolon veya perdeler için etkin görelî kat ötelemelerinin kat içindeki en büyük değeri

κ = İzin verilen görelî kat ötelemelerinin tanımında betonarme sistemler için kullanılan katsayı

R = Taşıyıcı sistem davranış katsayısı

I = Bina önem katsayısı

λ = Görelî kat ötelemelerinin sınırlandırılmasında kullanılan ampirik katsayı

$u_i^{(X)}$ = X deprem doğrultusunda herhangi bir kolon veya perde için, i' inci kattaki yatay yer değiştirme

$\Delta_i^{(X)}$ = X deprem doğrultusunda herhangi bir kolon veya perde için, ardışık iki kat arasındaki yer değiştirme farkını ifade eden azaltılmış görelî kat ötelemesi

Bina TBDY Madde 4.9.1.a'da belirtilen, gevrek malzemedan yapılmış boşluklu veya boşluksuz dolgu duvarlarının ve cephe elemanlarının çerçeve elemanlarına, aralarında herhangi bir derz veya bağlantı olmaksızın, tamamen bitişik olması maddesine uymaktadır. κ katsayısı betonarme binalar için 1 alınmıştır. λ katsayısı, DD-3 deprem

yer hareketinin elastik tasarım spektral ivmesinin, DD-2 deprem yer hareketinin elastik tasarım spektral ivmesine bölünmesiyle bulunmuştur. <https://tdth.afad.gov.tr/> isimli internet sitesinden aynı enlem ve boylam değerleri girilerek DD-3 deprem yer hareketi için elastik spektral ivme değerleri elde edilmiştir.

$$S_S = 0,643$$

$$S_1 = 0,156$$

DD-3 deprem yer hareketi için kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı:

$$F_S = 1,286$$

DD-3 deprem yer hareketi için 1,0 saniye periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı:

$$F_1 = 2,288$$

$$S_{DS} = F_S * S_S = 1,286 \times 0,643 = 0,827$$

$$S_{D1} = F_1 * S_1 = 2,288 \times 0,156 = 0,357$$

DD-3 deprem yer hareketi için yatay tasarım spektrumu köşe periyotları:

$$T_A = 0,2x \frac{0,357}{0,827} = 0,086 \text{ s.} \quad T_B = \frac{0,357}{0,827} = 0,432 \text{ s.}$$

DD-3 deprem yer hareketi için yatay elastik tasarım spektral ivmeleri;

$$S_{ae}(T^{(X)}) = S_{DS} = 0,827g \text{ ve } S_{ae}(T^{(Y)}) = S_{DS} = 0,827g \text{ hesaplanır.}$$

$$\lambda^{(X)} = \frac{S_{ae,DD3}(T_{1X})}{S_{ae,DD2}(T_{1X})} = \frac{0,827g}{1,622g} = 0,51$$

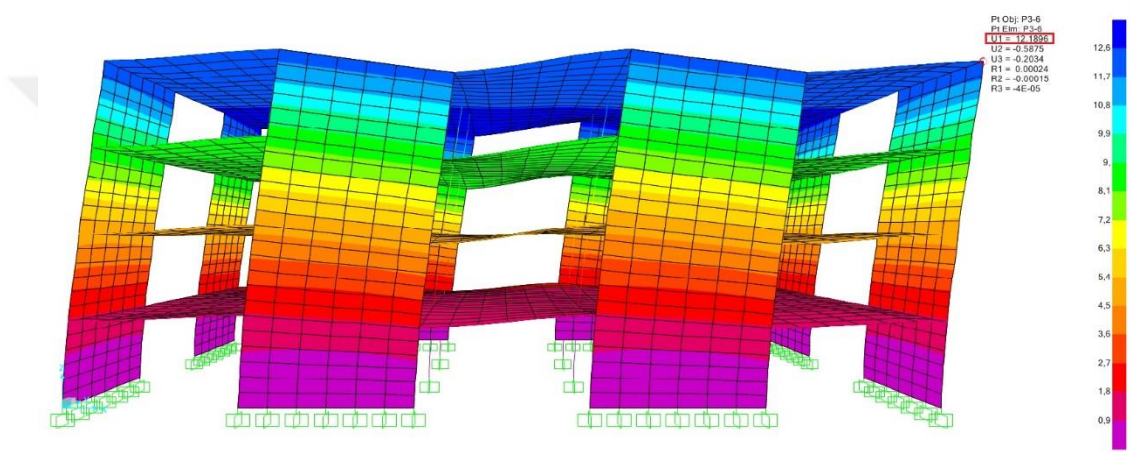
$$\lambda^{(Y)} = \frac{S_{ae,DD3}(T_{1Y})}{S_{ae,DD2}(T_{1Y})} = \frac{0,827g}{1,622g} = 0,51$$

$$\delta_{i,max}^{(X)} = \frac{R}{I} \Delta_{i,max}^{(X)}$$

$$\lambda \frac{\delta_{i,max}^{(X)}}{h_i} \leq 0,008\kappa \Rightarrow \lambda \frac{\frac{R}{I} \Delta_{i,max}^{(X)}}{h_i} \leq 0,008\kappa$$

$$R = 6 \rightarrow I = 1 \rightarrow \kappa = 1$$

EXP yüklemesi için bina modelinin yerdeğiştirmiş hali Şekil 4.20.'de gösterilmiştir. En üst kattaki en büyük yatay yerdeğiştirme değeri 12,89 mm olarak bulunmuştur.



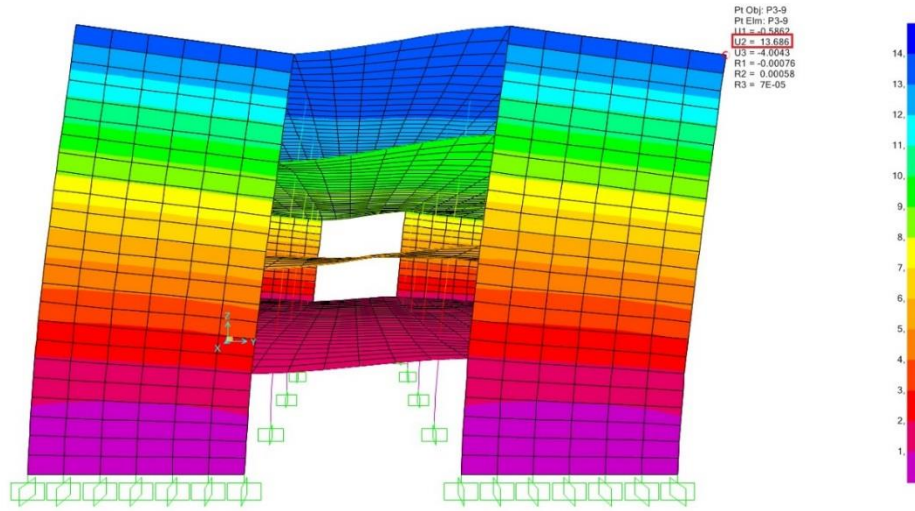
Şekil 4.20. Sap2000 programında EXP yüklemesi için bina modelinin yerdeğiştirmiş şekli

X doğrultusundaki EXP deprem yüklemesi için etkin görelî kat ötelemelerinin kontrolü Tablo 4.19.'da gösterilmiştir.

Tablo 4.19. Tip4A X doğrultusu için etkin görelî kat ötelemelerinin kontrolü

KAT	$u_{i,max}$ (cm)	$(\Delta_i)_{max}$ (cm)	$(\delta_i)_{max}$ (cm)	h_i (cm)	λ	$\lambda(\delta_i)_{max}/h_i$
3	1,289	0,391	2,346	300	0,51	0,00399
2	0,898	0,390	2,340	300	0,51	0,00398
1	0,508	0,328	1,966	300	0,51	0,00334
Z	0,181	0,181	1,085	300	0,51	0,00184

EYP yüklemesi için bina modelinin yerdeğiştirmiş hali Şekil 4.21.'de gösterilmiştir. 3.kattaki en büyük yatay yerdeğiştirme değeri 13,69 mm olarak bulunmuştur.



Şekil 4.21. Sap2000 programında EYP yüklemesi için bina modelinin yerdeğiştirmiş şekli

Y doğrultusundaki EYP deprem yüklemesi için etkin görelî kat ötelemelerinin kontrolü Tablo 4.20.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.20. Tip4A Y doğrultusu için etkin görelî kat ötelemelerinin kontrolü

KAT	$u_{i, \max}$ (cm)	$(\Delta_i)_{\max}$ (cm)	$(\delta_i)_{\max}$ (cm)	h_i (cm)	λ	$\lambda(\delta_i)_{\max}/h_i$
3	1,369	0,417	2,500	300	0,51	0,00425
2	0,952	0,414	2,486	300	0,51	0,00423
1	0,538	0,347	2,082	300	0,51	0,00354
Z	0,191	0,191	1,144	300	0,51	0,00194

Her bir deprem doğrultusu için her katta görelî kat ötelemeleri söz konusu deprem doğrultusundaki Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı, R ile çarpılarak etkin görelî kat ötelemeleri δ_i hesaplanmıştır. Her iki ana doğrultuda ve her hatta etkin görelî kat ötelemelerinin kat yüksekliğine oranı, yönetmeliğin izin verdiği sınır değer olan 0,008 değerinin altında bulunmuştur.

4.2.1.15. Kolon iç kuvvetleri

Eşdeğer deprem yükü yöntemine göre Sap2000 programına girilmiş olan 65 adet yükleme kombinasyonu için her bir kolonda en elverişsiz yüklemeler seçilerek en büyük değerlerdeki iç kuvvetler ve momentler çizelgelerde gösterilmiştir. Zarf yükleme kombinasyonunu doğrudan kullanmak yanlış sonuçlar verebilir düşüncesiyle

en elverişsiz yüklemeler her bir ayrı kolon için tek tek seçilmiştir. Sap2000 programında çubuk eleman olarak tanımlanan kolonların iç kuvvetleri ve momentleri bulunurken çubuk eleman lokal eksen takımı sağ el kuralı uygulanmıştır. Tüm katlar yerine sadece zemin kat kolon iç kuvvetleri gösterilmiştir. Kolonlara ait normal kuvvetler ve bu normal kuvvetlerden oluşan M2 ve M3 momentleri Tablo 4.21. ve Tablo 4.22.'de sunulmuştur. Kolonlar için ayrıca önem teşkil eden kesme kuvvetleri V2 ve V3'te Tablo 4.23. ve Tablo 4.24.'te gösterilmiştir.

Tablo 4.21.'de zemin kat kolonlarındaki en elverişsiz M3 eğilme momenti değerlerini veren kombinasyonlar ve bu eğilme momentlerini oluşturan normal kuvvetler gösterilmiştir.

Tablo 4.21. Zemin kat kolonlarda normal kuvvetleri ve M3 eğilme momentleri

Zemin Kat Kolon Adı	En Elverişsiz Değeri Veren Yük Birleşimi	Eğilme Momenti M3 (kNm)	Normal Kuvvet N (kN)
SZ01	G+Q+0.2S+EXP-0.3EYP+0.3EZ	90,194	-2322,242
SZ02	G+Q+0.2S-EXP+0.3EYP+0.3EZ	-83,247	-2249,266
SZ03	G+Q+0.2S+EXP+0.3EYN+0.3EZ	83,247	-2249,266
SZ04	G+Q+0.2S-EXP-0.3EYN+0.3EZ	-90,194	-2322,242
SZ05	G+Q+0.2S+EXN+0.3EYP+0.3EZ	90,194	-2322,242
SZ06	G+Q+0.2S-EXN-0.3EYP+0.3EZ	-83,247	-2249,266
SZ07	G+Q+0.2S+EXN-0.3EYN+0.3EZ	83,247	-2249,266
SZ08	G+Q+0.2S-EXN+0.3EYN+0.3EZ	-90,194	-2322,242

Tablo 4.22.'de zemin kat kolonlarındaki en elverişsiz M2 eğilme momenti değerlerini veren kombinasyonlar ve bu eğilme momentlerini oluşturan normal kuvvetler gösterilmiştir.

Tablo 4.22. Zemin kat kolonlarda normal kuvvetleri ve M2 eğilme momentleri

Zemin Kat Kolon Adı	En Elverişsiz Değeri Veren Yük Birleşimi	Eğilme Momenti M2 (kNm)	Normal Kuvvet N (kN)
SZ01	G+Q+0.2S-EYN-0.3EXP+0.3EZ	-88,731	-2384,093
SZ02	G+Q+0.2S-EYN+0.3EXN+0.3EZ	-89,216	-2246,924
SZ03	G+Q+0.2S-EYP-0.3EXN+0.3EZ	-89,216	-2246,924
SZ04	G+Q+0.2S-EYP+0.3EXP+0.3EZ	-88,731	-2384,093
SZ05	G+Q+0.2S+EYN-0.3EXN+0.3EZ	88,731	-2384,093
SZ06	G+Q+0.2S+EYN+0.3EXP+0.3EZ	89,216	-2246,924
SZ07	G+Q+0.2S+EYP-0.3EXP+0.3EZ	89,216	-2246,924
SZ08	G+Q+0.2S+EYP+0.3EXN+0.3EZ	88,731	-2384,093

Tablo 4.23.'te zemin kattaki kolonlarda en elverişsiz V2 kesme kuvvetlerini veren kombinasyonlar ve bu yükleme kombinasyonlarından oluşan V2 kesme kuvveti değerleri gösterilmiştir.

Tablo 4.23. Zemin kat kolonlarında V2 kesme kuvvetleri

Zemin Kat Kolon Adı	En Elverişsiz Değeri Veren Yük Birleşimi	Kesme Kuvveti V2 (kN)
SZ01	G+Q+0.2S+EXP-0.3EYP+0.3EZ	45,198
SZ02	G+Q+0.2S-EXP+0.3EYP+0.3EZ	-38,051
SZ03	G+Q+0.2S+EXP+0.3EYN+0.3EZ	38,051
SZ04	G+Q+0.2S-EXP-0.3EYN+0.3EZ	-45,198
SZ05	G+Q+0.2S+EXN+0.3EYP+0.3EZ	45,198
SZ06	G+Q+0.2S-EXN-0.3EYP+0.3EZ	-38,051
SZ07	G+Q+0.2S+EXN-0.3EYN+0.3EZ	38,051
SZ08	G+Q+0.2S-EXN+0.3EYN+0.3EZ	-45,198

Tablo 4.24.'te zemin kattaki kolonlarda en elverişsiz V3 kesme kuvvetlerini veren kombinasyonlar ve bu yükleme kombinasyonlarından oluşan V3 kesme kuvveti değerleri gösterilmiştir.

Tablo 4.24. Zemin kat kolonlarında V3 kesme kuvvetleri

Zemin Kat Kolon Adı	En Elverişsiz Değeri Veren Yük Birleşimi	Kesme Kuvveti V3 (kN)
SZ01	G+Q+0.2S-EYN-0.3EXP+0.3EZ	-41,485
SZ02	G+Q+0.2S-EYN+0.3EXN+0.3EZ	-43,681
SZ03	G+Q+0.2S-EYP-0.3EXN+0.3EZ	-43,681
SZ04	G+Q+0.2S-EYP+0.3EXP+0.3EZ	-41,485
SZ05	G+Q+0.2S+EYN-0.3EXN+0.3EZ	41,485
SZ06	G+Q+0.2S+EYN+0.3EXP+0.3EZ	43,681
SZ07	G+Q+0.2S+EYP-0.3EXP+0.3EZ	43,681
SZ08	G+Q+0.2S+EYP+0.3EXN+0.3EZ	41,485

4.2.1.16. Perde iç kuvvetleri

Perdeler Sap2000 programında kabuk (shell) eleman olarak modellenmiştir, bu nedenle Sap2000 programında perde iç kuvvetleri doğrudan kolonlarda olduğu gibi belirlenememektedir. Kabuk (shell) elemanların sonlu elemanlara bölünmesinden dolayı sonuçların her perde sonlu elemanındaki iç kuvvet değerlerini tek bir değer haline getirebilmek için perdelerin alt kotundaki düğüm noktaları ve düğüm noktalarının üstündeki sonlu perde elemanları seçilerek Sap2000 programında gruptama (section cut) yapılmıştır. Analiz öncesi zemin kat perdeleri gruplandırılarak en elverişsiz yüklemeler altında en büyük M2 ve M3 momentleri ve kesme kuvvetleri V2 ve V3 aşağıdaki tablolarda gösterilmiştir.

Tablo 4.25.'te zemin kat perdelerindeki en elverişsiz M3 eğilme momenti değerlerini veren kombinasyonlar ve bu eğilme momentlerini oluşturan normal kuvvetler gösterilmiştir.

Tablo 4.25. Zemin kat perdelerindeki normal kuvvetler ve M3 eğilme momentleri

Zemin Kat Perde Adı	En Elverişsiz Değeri Veren Yük Birleşimi	Eğilme Momenti M3 (kNm)	Normal Kuvvet N (kN)
PZ01	G+Q+0.2S-EXN-0.3EYP+0.3EZ	-93,88	-2209
PZ02	G+Q+0.2S-EXP+0.3EYP+0.3EZ	-93,88	-2209
PZ03	G+Q+0.2S-EXN-0.3EYP+0.3EZ	-19443,87	-2562
PZ04	G+Q+0.2S+EXN-0.3EYN+0.3EZ	19443,87	-2562
PZ05	G+Q+0.2S+EXN-0.3EYN+0.3EZ	93,88	-2209
PZ06	G+Q+0.2S+EXP+0.3EYN+0.3EZ	93,88	-2209
PZ07	G+Q+0.2S+EXP+0.3EYN+0.3EZ	19443,87	-2562
PZ08	G+Q+0.2S-EXP+0.3EYP+0.3EZ	-19443,87	-2562

Tablo 4.26.'da zemin kat perdelerindeki en elverişsiz M2 eğilme momenti değerlerini veren kombinasyonlar ve bu eğilme momentlerini oluşturan normal kuvvetler gösterilmiştir.

Tablo 4.26. Zemin kat perdelerindeki normal kuvvetler ve M2 eğilme momentleri

Zemin Kat Perde Adı	En Elverişsiz Değeri Veren Yük Birleşimi	Eğilme Momenti M2 (kNm)	Normal Kuvvet N (kN)
PZ01	G+Q+0.2S+EYN-0.3EXN+0.3EZ	20718,12	-2059
PZ02	G+Q+0.2S-EYN-0.3EXP+0.3EZ	-20718,12	-2059
PZ03	G+Q+0.2S-EYN+0.3EXN+0.3EZ	-96,25	-2631
PZ04	G+Q+0.2S-EYP-0.3EXN+0.3EZ	-96,25	-2631
PZ05	G+Q+0.2S+EYP+0.3EXN+0.3EZ	20718,12	-2059
PZ06	G+Q+0.2S-EYP+0.3EXP+0.3EZ	-20718,12	-2059
PZ07	G+Q+0.2S+EYP-0.3EXP+0.3EZ	96,25	-2631
PZ08	G+Q+0.2S+EYN+0.3EXP+0.3EZ	96,25	-2631

Tablo 4.27.'de zemin kat perdelerindeki en elverişsiz V2 kesme kuvvetlerini veren kombinasyonlar ve bu yükleme kombinasyonlarından oluşan V2 kesme kuvveti değerleri gösterilmiştir.

Tablo 4.27. Zemin kat perdelerinde V2 kesme kuvvetleri

Zemin Kat Perde Adı	En Elverişsiz Değeri Veren Yük Birleşimi	Kesme Kuvveti V2 (kN)
PZ01	$G+Q+0.2S-EXN-0.3EYP+0.3EZ$	-67,24
PZ02	$G+Q+0.2S-EXP+0.3EYP+0.3EZ$	-67,24
PZ03	$G+Q+0.2S+EXN-0.3EYN+0.3EZ$	2349,63
PZ04	$G+Q+0.2S-EXN-0.3EYP+0.3EZ$	-2349,63
PZ05	$G+Q+0.2S+EXN-0.3EYN+0.3EZ$	67,24
PZ06	$G+Q+0.2S+EXP+0.3EYN+0.3EZ$	67,24
PZ07	$G+Q+0.2S-EXP+0.3EYP+0.3EZ$	-2349,63
PZ08	$G+Q+0.2S+EXP+0.3EYN+0.3EZ$	2349,63

Tablo 4.28.'de zemin kat perdelerindeki en elverişsiz V2 kesme kuvvetlerini veren kombinasyonlar ve bu yükleme kombinasyonlarından oluşan V2 kesme kuvveti değerleri gösterilmiştir.

Tablo 4.28. Zemin kat perdelerinde V3 kesme kuvvetleri

Zemin Kat Kolon Adı	En Elverişsiz Değeri Veren Yük Birleşimi	Kesme Kuvveti V3 (kN)
PZ01	$G+Q+0.2S-EYN-0.3EXP+0.3EZ$	-2509,52
PZ02	$G+Q+0.2S+EYN-0.3EXN+0.3EZ$	2509,52
PZ03	$G+Q+0.2S-EYN+0.3EXN+0.3EZ$	-69,14
PZ04	$G+Q+0.2S-EYP-0.3EXN+0.3EZ$	-69,14
PZ05	$G+Q+0.2S-EYP+0.3EXP+0.3EZ$	-2509,52
PZ06	$G+Q+0.2S+EYP+0.3EXN+0.3EZ$	2509,52
PZ07	$G+Q+0.2S+EYP-0.3EXP+0.3EZ$	69,14
PZ08	$G+Q+0.2S+EYN+0.3EXP+0.3EZ$	69,14

4.2.1.17. Deprem yüklerinin mod birleştirme yöntemine göre hesabı

Herhangi bir deprem doğrultusu için deprem tasarım spektrumundan yararlanılarak göz önüne alınan her bir titreşim modunda davranış büyüklüklerinin en büyük değerleri modal hesap yöntemiyle hesaplanmaktadır. Bu yöntem de yapısal elemanlarda oluşacak iç kuvvetler azaltılmış ivme tepki spektrumunda yeteri kadar titreşim modu için hesaplanan modal kütle katılım oranları dikkate alınarak her bir modda oluşacak iç kuvvetlerin süperpoze edilmesiyle bulunmaktadır.

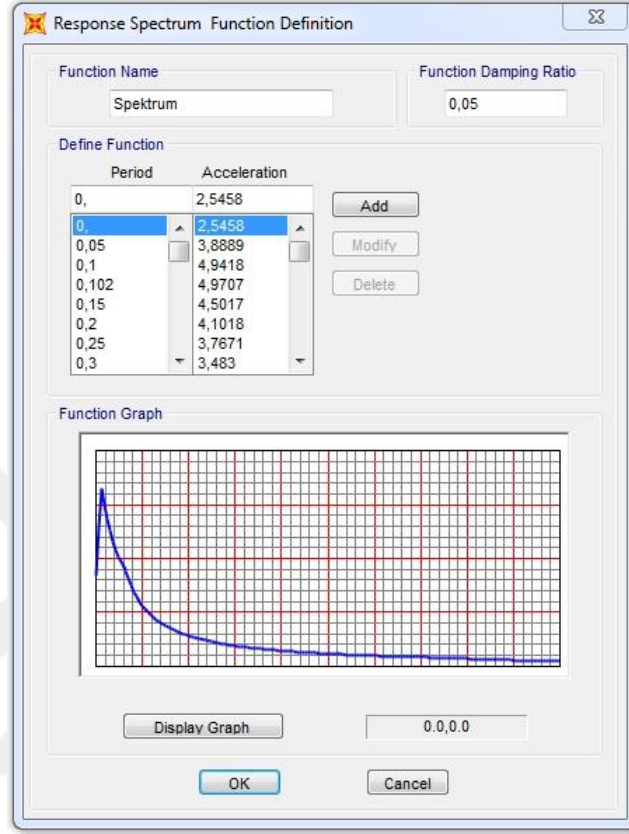
Mod birleştirme yöntemi, eşdeğer deprem yükü yöntemi gibi statik bir deprem hesabı olmadığından dolayı azaltılmış ivme-tepki spektrumu Sap2000 programına tanımlanarak mod birleştirme yöntemi uygulanmıştır. Her iki ana deprem doğrultusu binaya ait ivme tepki spektrumu manuel olarak oluşturulmuştur.

Tablo 4.29.'da Sap2000 programına girilen zaman-ivme fonksiyonu gösterilmiştir.

Tablo 4.29. Zaman-ivme fonksiyonu (response spectrum function)

Periyot	$S_{ae}(g)$	$R_a(T)$	$S_{ae}(T)/R_a(T)$	$g*S_{ae}(T)/R_a(T)$
0	0,649	2,50	0,260	2,546
0,05	1,128	2,84	0,397	3,889
0,10	1,607	3,19	0,504	4,942
0,10	1,622	3,20	0,507	4,971
0,15	1,622	3,53	0,459	4,502
0,20	1,622	3,88	0,418	4,102
0,25	1,622	4,22	0,384	3,767
0,30	1,622	4,57	0,355	3,483
0,35	1,622	4,91	0,330	3,239
0,40	1,622	5,26	0,309	3,026
0,45	1,622	5,60	0,290	2,840
0,50	1,622	5,94	0,273	2,676
0,51	1,622	6,00	0,270	2,651
0,55	1,498	6,00	0,250	2,448
0,60	1,373	6,00	0,229	2,244
0,65	1,268	6,00	0,211	2,072
0,70	1,177	6,00	0,196	1,924
0,75	1,099	6,00	0,183	1,796
0,80	1,030	6,00	0,172	1,683
0,85	0,969	6,00	0,162	1,584
0,90	0,916	6,00	0,153	1,497
0,95	0,867	6,00	0,145	1,417
1,00	0,824	6,00	0,137	1,347
1,05	0,785	6,00	0,131	1,283
1,10	0,749	6,00	0,125	1,224

Şekil 4.22.'de Sap2000 programında zaman-ivme fonksiyonunun tanımlandığı menü gösterilmiştir.



Şekil 4.22. Sap2000 programında zaman-ivme fonksiyonunun tanımlanması

Sap 2000 programında mod birleştirme yöntemiyle deprem hesabı için x ve y doğrultusunda, yükleme tipi "Response Spectrum" olan iki adet spektral yükleme tanımlanmıştır. X doğrultusundaki spektral yükleme ismi ExSpec, Y doğrultusundaki yükleme için de EySpec isminde Sap2000 programına "Load Case" olarak tanımlanmıştır. ExSpec yüklemesi için U1 (x yönü) seçilmiş, EySpec yüklemesi için de U2 (y yönü) seçilmiştir. Azaltılmış tasarım ivme spektrumunun yerçekimi ivmesi (g) ile çarpılarak Sap2000 programına fonksiyon olarak girilmesinden dolayı, her iki doğrultuda büyütme çarpanı (scale factor) 1 olarak girilmiştir. En büyük mod katkılarının birleştirilmesi için (CQC) tam karesel birleştirme kuralı uygulanmıştır ve sönüm oranı %5 alınmıştır. Yükleme tipi de ivme (acceleration) seçilmiştir. Bina planda simetrik olduğundan dolayı sadece pozitif %5 dış merkezlik göz önüne alınmıştır ve Sap2000 programına "eccentricity ratio" +0,05 olarak girilmiştir. Örnek

olarak Sap2000 programında ExSpec'in tanımlanması Şekil 4.23.'te gösterilmiştir. 12 adet mod için x ve y doğrultusundaki toplam öteleme serbestliği kütle katılımı %97 bulunmuş, dönme serbestliği kütle katılımı da %95 olarak bulunmuştur.

Load Case Data - Response Spectrum

Load Case Name: ExSpec [Set Def Name] [Modify/Show...]

Load Case Type: Response Spectrum [Design...]

Modal Combination

☒ CQC ☐ SRSS ☐ Absolute ☐ GMC ☐ NRC 10 Percent ☐ Double Sum

GMC f1: 1, GMC f2: 0, Periodic + Rigid Type: SRSS

Directional Combination

☒ SRSS ☐ CQC3 ☐ Absolute

Scale Factor: []

Mass Source

Previous (Kütle)

Diaphragm Eccentricity

Eccentricity Ratio: 0,05

Override Eccentricities: [Override...]

Modal Load Case

Use Modes from this Modal Load Case: MODAL

☒ Standard - Acceleration Loading ☐ Advanced - Displacement Inertia Loading

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	Spektrum	1,
Accel	U1	Spektrum	1,

[Add] [Modify] [Delete]

☐ Show Advanced Load Parameters

Other Parameters

Modal Damping: Constant at 0.05 [Modify/Show...]

[OK] [Cancel]

Şekil 4.23. Sap2000 programında ExSpec'in tanımlanması

4.2.1.18. Mod birleştirme yöntemi ile yapılan hesapların eşdeğer deprem yükü yöntemine göre ölçeklenmesi

Binanın Mod Birleştirme Yöntemine göre her iki doğrultudaki çözümü için taban kesme kuvvetleri programın "base reactions" bölümünden okunmuştur (Şekil 4.24.). TBDY Madde 4.8.4'e göre herhangi bir doğrultudaki Mod Birleştirme Yöntemi ile hesaplanan toplam deprem yükü (taban kesme kuvveti), Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ile hesaplanan toplam eşdeğer yükünden (taban kesme kuvveti) az olması halinde β_{Te} katsayısı ile çarpılacaktır (TBDY, 2018).

	OutputCase	CaseType	StepType	GlobalFX KN	GlobalFY KN	GlobalFZ KN	GlobalMX KN-m	GlobalMY KN-m	GlobalMZ KN-m	GlobalX m	GlobalY m
►	EXP	LinStatic		-9374	4,319E-11	4,89E-10	3,419E-09	-82239	92802,6	0	
	EYP	LinStatic		4,949E-11	-9354	5,448E-10	82065	-6,956E-09	-154341	0	
	ExSpec	LinRespSpec	Max	7185,266	3,206E-10	3,707E-10	4,149E-09	62799,2884	71416,0602	0	
	EySpec	LinRespSpec	Max	3,188E-10	7176,672	4,19E-10	61108,548	6,189E-09	118903,9896	0	

Şekil 4.24. Sap2000 programında M.B.Y.'ne göre taban kesme kuvvetlerinin elde edilmesi

$$\beta_{tE} = \frac{\gamma_E V_{tE}}{V_t} \geq 1$$

TBDY Tablo 3.6.'da belirtilen binada düzensizliklerden hiçbirinin bulunmaması durumu için $\gamma_E = 0,80$ alınmıştır.

$$\beta_{tE} = \frac{0,8V_{tE}}{V_t} \geq 1$$

β_{tE} = Eşdeğer taban kesme kuvveti büyütme katsayısı

V_t = Mod Birleştirme Yöntemi ile hesaplanan toplam deprem yükü (taban kesme kuvveti)

V_{tE} = Eşdeğer deprem yükü yöntemine göre hesaplanan deprem yükü (taban kesme kuvveti)

Mod Birleştirme Yöntemi kullanılarak yapılan analiz sonucunda her iki doğrultuda bulunan taban kesme kuvvetleri, eşdeğer deprem yöntemiyle bulunan taban kesme kuvvetlerinden küçük çıkmıştır. Mod Birleştirme Yöntemi ile Sap2000 programında X-X doğrultusundaki ExSpec spektral yüklemesi için bulunan toplam deprem yükü (taban kesme kuvveti) $V_{t,x} \cong 7185$ kN ve Y-Y doğrultusundaki EySpec spektral yüklemesi için bulunan toplam deprem yükü (taban kesme kuvveti) $V_{t,y} \cong 7177$ kN'dur. β_{tE} , eşdeğer taban kesme kuvveti büyütme katsayısı aşağıdaki şekilde bulunmuştur.

$$\beta_{tE,x} = \frac{0,8V_{tE,x}}{V_{t,x}} \geq 1 \Rightarrow \beta_{tE,x} = \frac{0,8 \times 9374}{7185} \cong 1,04 \Rightarrow \beta_{tE,x} \cong 1,04$$

$$\beta_{tE,y} = \frac{0,8V_{tE,y}}{V_{t,y}} \geq 1 \Rightarrow \beta_{tE,y} = \frac{0,8 \times 9354}{7177} \cong 1,04 \Rightarrow \beta_{tE,y} \cong 1,04$$

Hesaplanan bu büyütme katsayıları, x ve y yönündeki spektral deprem yüklemeleri (ExSpec ve EySpec) için ayrı ayrı Şekil 4.23.'te "scale factor" olarak gösterilen kısım yazılarak eşdeğer deprem yükü yöntemine göre ölçeklendirilmiş taban kesme kuvvetleri bulunmuştur.

$$V_{t,x} = 7473 \text{ kN}$$

$$V_{t,y} = 7464 \text{ kN}$$

Eşdeğer deprem yükü yöntemi (E.D.Y.Y.) ve mod birleştirme yöntemine (M.B.Y.) göre elde edilmiş taban kesme kuvvetleri ve bu taban kesme kuvvetlerinden dolayı yapının en üst katı olan 3. katta meydana gelen maksimum yerdeğışirmeler Tablo 4.30.'da gösterilmiştir.

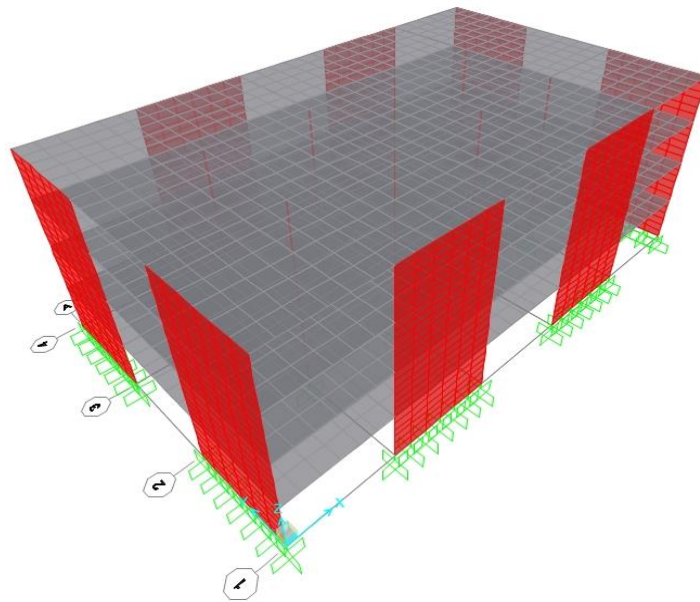
Tablo 4.30. E.D.Y.Y. ve M.B.Y.'nden elde edilen taban kesme kuvvetleri ve maksimum yerdeğışirmeler

Taban Kesme Kuvvetleri (kN)				Maksimum Yerdeğışirmeler (mm)			
E.D.Y.Y.		M.B.Y.		E.D.Y.Y.		M.B.Y.	
$V_{tE,x}$	$V_{tE,y}$	$V_{t,x}$	$V_{t,y}$	$u_{i, \max} - X$	$u_{i, \max} - Y$	$u_{i, \max} - X$	$u_{i, \max} - Y$
9374	9354	7473	7464	12,89	13,69	9,96	10,56

Tablo 4.30.'dan görüldüğü gibi taban kesme kuvvetleri yüzdesel olarak kıyaslandığında E.D.Y.Y.'nden elde edilen değerler M.B.Y.'nden elde edilen değerlere göre x ve y yönünde %20 daha büyüktür. Yapının en üst katındaki maksimum yerdeğışirmeler yüzdesel olarak kıyaslandığında, E.D.Y.Y.'nden elde edilen değerler M.B.Y.'nden elde edilen değerlere göre x ve y yönünde %23 daha büyüktür. Bu veriler değerlendirildiğinde eşdeğer deprem yükü hesap yönteminin daha güvenli sonuçlar verdiği görülmektedir. Bu bağlamda çalışmadaki tüm hesaplamalara E.D.Y.Y. ile devam edilmiştir.

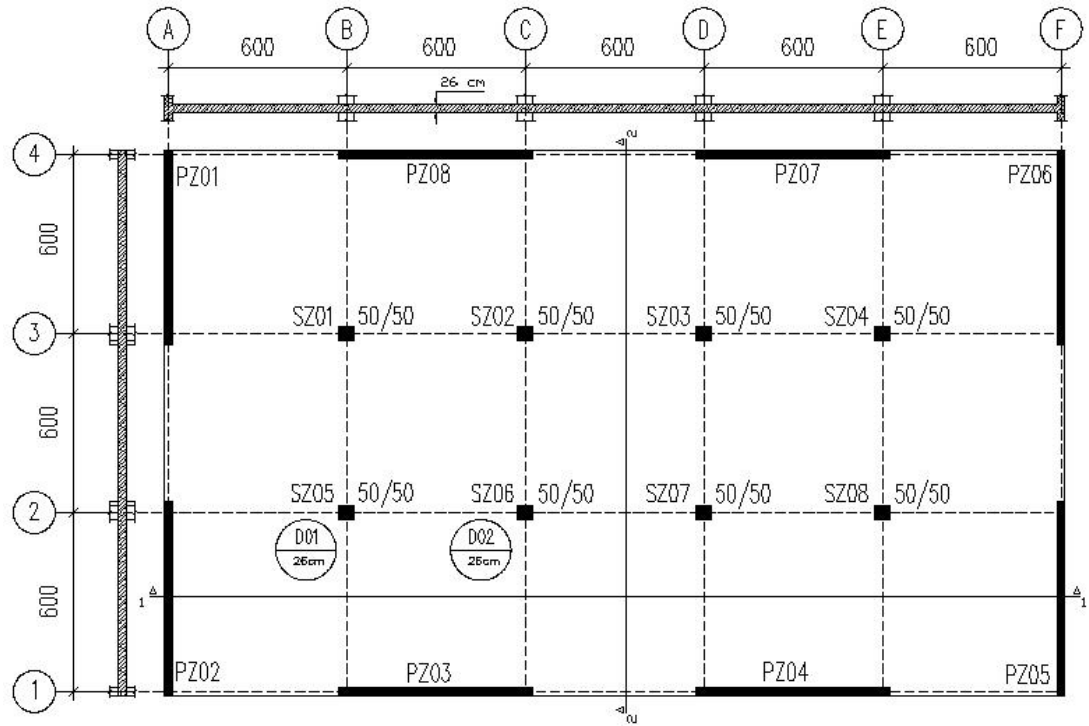
4.2.2. Tip4B bina çözümlemesi

Bina 4 katlıdır ve kat yüksekliği zemin kat dahil 3 metredir. Döşeme sistemi kirişsiz döşeme olarak belirlenmiştir. Binanın taşıyıcı sisteminin süneklik düzeyi yüksek perdeler ile kirişsiz döşemelerden oluşturulması öngörülmüştür. Döşemelerin perde ve kolonlara bağlandığı alanlarda kolon başlığı veya tabla yoktur. TBDY Madde 4.3.4.4'e göre sadece kirişsiz döşemeleri içeren taşıyıcı sistemlerde, deprem etkilerinin tamamı betonarme binalarda süneklik düzeyi yüksek bağ kirişli (boşluklu) ve/veya boşluksuz perdeler veya süneklik düzeyi sınırlı boşluksuz perdeler tarafından karşılanacaktır. Binanın süneklik düzeyi yüksek olarak tasarlanacağı için $BYS=6$ olduğundan, TBDY Tablo 4.1'den A13 tipi binalar için; deprem etkilerinin tamamının süneklik düzeyi yüksek boşluksuz betonarme perdelerle karşılandığı binalarda taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R = 6$ ve dayanım fazlalığı katsayısı $D = 2,5$ alınmıştır (TBDY, 2018). Kirişsiz plak döşeme yarı rijit diyafram kabulüyle çözülmüştür. Kolonlar ve perdeler önceki bölümlerde anlatıldığı gibi yönetmelik doğrultusunda boyutlandırılmış olup tüm katlarda kolonlar 50x50 cm boyutlarında ve perde kalınlıkları 25 cm olarak belirlenmiştir. Sap2000 programında taşıyıcı betonarme elemanların birleştiği düğüm noktaları monolitik olarak modellenmiştir. Yapının 3 boyutlu matematiksel hesap modeli Şekil 4.25.'te gösterilmiştir.



Şekil 4.25. Tip4B binasının 3 boyutlu hesap modeli

Yönetmelikteki Madde 4.3.2.4.a ve Madde 4.3.2.4.b perde devrilme momenti kontrolleri yapılmıştır ve taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R = 6$ 'nın kontrolleri sağladığı görülmüştür. Tip4B binasına ait normal kat kalıp Şekil 4.26.'da gösterilmiştir.



Şekil 4.26. Tip4B normal kat kalıp planı

4.2.2.1. Kirişsiz döşeme ön boyutlandırılması

Planda aks açıklıkları eşit ve 6 metredir bu bağlamda 6 metre açıklığı dikkate alınarak döşeme kalınlığı belirlenmiştir. TS500'de kirişsiz döşeme için verilen moment katsayıları yöntemine göre minimum döşeme kalınlığı 200 mm'den ve $\ell_l/30$ 'dan büyük olmalıdır.

ℓ_l = En büyük açıklık

h_f = Döşeme kalınlığı

$$h_f \geq \begin{cases} \text{minimum } 200 \text{ mm} \\ \frac{\ell_l}{30} = \frac{6,0}{30} = 0,2 \text{ m} = 200 \text{ mm} \end{cases}$$

Yukarıdaki yönetmelik koşullarından çıkan sonuca göre döşeme kalınlığı $h_f = 200$ mm seçilebilirdi. Kirişsiz döşemeler için çok önemli olan zımbalama etkisi göz önüne alınıp yapılan zımbalama tahkiklerinde 200 mm döşeme kalınlığının yetersiz olduğu görülmüştür. Yapılan zımbalama tahkiklerinde minimum döşeme kalınlığının 260 mm olduğu hesaplanmıştır.

Seçilen döşeme kalınlığı $\rightarrow h_f = 260$ mm

Zımbalama Denetimi:

Seçilen döşeme kalınlığına göre TS500 Madde 8.3'e göre SZ01 kolonunun zımbalama hesabı aşağıdaki denklemler ile yapılmıştır. Kirişsiz döşemelerde zımbalama etkisi Şekil 4.27.'de gösterilmiştir.

$$V_{pr} = \gamma * f_{ctd} * u_p * d$$

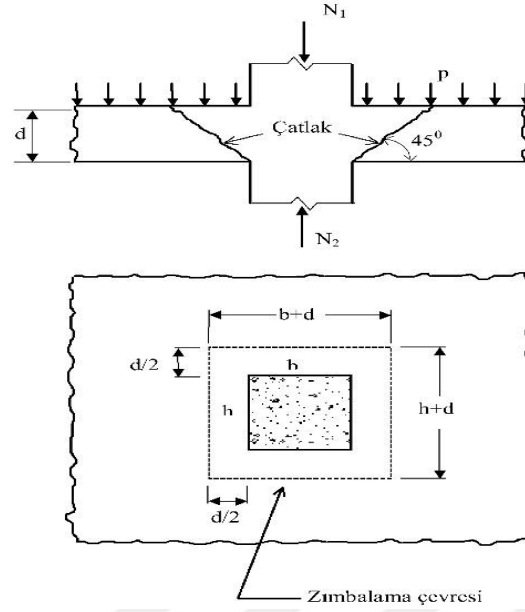
$$V_{pd} = N_2 - N_1 - F_a$$

$$F_a = p * (b + d) * (h + d)$$

$$F_d = N_2 - N_1 \text{ ya da } F_d = p * A_k$$

Zımbalama tahkikinin sağlanması için V_{pr} zımbalama dayanımının, V_{pd} tasarım zımbalama kuvvetinden büyük olması gerekmektedir.

$$V_{pr} \geq V_{pd}$$



Şekil 4.27. Kirişsiz döşemelerde zımbalama etkisi

Üstteki denklemlerde V_{pr} zımbalama dayanımını, V_{pd} tasarım zımbalama kuvvetini, b ve h kolon enkesit boyutlarını, d döşemenin iki doğrultudaki faydalı yüksekliklerinin ortalamasını, F_a zımbalama çevresi içinde kalan döşeme yükleri toplamını, F_d tasarım eksenel yükünü, A_k döşemeden kolona yük aktarımında etkili olan alanı, p zımbalama çevresi içinde kalan plak yüklerini, N_2 ve N_1 sırasıyla alt ve üst kat kolonlarındaki eksenel yükleri, γ eğilme etkisini yansıtan ve zımbalama dayanımını azaltan bir katsayı, u_p zımbalama çevresini ve f_{ctd} beton tasarım eksenel çekme dayanımını (C30 betonu için $f_{ctd}=1,27$ MPa) ifade etmektedir.

Hesap kolaylığı bakımından düşey yüklerin eğilme etkisi ihmal edilmiştir ve $\gamma = 1$ alınmıştır.

$$d = 24 \text{ cm}, b = 50 \text{ cm}, h = 50 \text{ cm}, A_k = 6 \times 6 = 36 \text{ m}^2$$

$$u_p = 2(b + d) + 2(h + d) = 2 * (0,50 + 0,24) + 2 * (0,50 + 0,24) = 2,96 \text{ m}^2$$

$$\text{Döşeme özağırlığı} = 0,26(\text{m}) \times 25(\text{kN/m}^3) = 6,5 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Kaplama ve sıva ağırlığından} = 1,5 \text{ kN/m}^2$$

Asma tavan ve tesisat ağırlığından = 0,5 kN/m²

Duvar ağırlığı (toplam duvar ağırlığı/alan) = 2,52 kN/m²

Hareketli yüklerden kolona gelen yükler = 3,5 kN /m²

Toplam sabit yük g = 11,02 kN/m²

Toplam hareketli yük q = 3,5 kN/m²

Tasarım yükü $p = 1,4g + 1,6q = 11,02 + 3,5 = 14,52$ kN /m² hesaplanır.

$$F_a = 14,52 * (0,50 + 0,24) * (0,50 + 0,24) \cong 21 \text{ kN}$$

$$F_d = 14,52 * 36 \cong 523 \text{ kN}$$

$$V_{pd} = 523 - 21 = 502 \text{ kN}$$

$$V_{pr} = 1 * 1270 * 2,96 * 0,24 \cong 902 \text{ kN}$$

$V_{pr} = 902 \text{ kN} \geq V_{pd} = 502 \text{ kN}$ olduğundan kesme donatısına gerek kalmadan zımbalama güvenliği sağlanmıştır.

Tip4B yapısındaki betonarme taşıyıcı elemanların boyutları toplu olarak Tablo 4.31.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.31. Tip4B betonarme taşıyıcı elemanların boyutları

Kat	Perde (cm)	Kolon (cm)	Döşeme (cm)
Kat 3	650x25	50x50	26
Kat 2	650x25	50x50	26
Kat 1	650x25	50x50	26
Kat Z	650x25	50x50	26

4.2.2.2. Bina periyodunun belirlenmesi

Modal analiz sonucu, binanın birinci moduna karşılık gelen Y doğrultusundaki hâkim doğal titreşim periyodu Sap2000 programında $T_p^{(Y)}$ 0,309 saniye bulunmuştur. Binanın ikinci moduna karşılık gelen X doğrultusundaki hâkim doğal titreşim periyodu ise $T_p^{(X)}$ 0,296 saniye bulunmuştur. Binanın üçüncü modu beklendiği gibi burulma modu çıkmıştır. TBDY Madde 4.7.3.2'ye göre analiz sonucu bulunan hâkim titreşim periyotları, ampirik hâkim doğal titreşim periyodu $T_{pA} = C_t H_N^{0,75}$ değerinin 1,4 katından fazla olamaz. TBDY Madde 4.7.3.4.a'ya göre taşıyıcı sistemi betonarme çerçeveli ve perdeli binalar için $C_t = 0,07$ alınmıştır (TBDY, 2018).

$$T_{pA} = C_t * H_N^{0,75} = 0,07 \times 12^{0,75} = 0,45 \text{ saniye}$$

$1,4 \times T_{pA} = 1,4 \times 0,45 = 0,63$ saniye, analiz sonucu hesaplanan hâkim periyot değerlerinden ($T_p^{(X)}$, $T_p^{(Y)}$) büyük olduğundan eşdeğer deprem yükü hesaplarında $T_p^{(Y)} = 0,309$ s. ve $T_p^{(X)} = 0,296$ s. esas alınmıştır. Kütle katılım oranları Tablo 4.32.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.32. Tip4B kütle katılım oranları

Modal Kütle Katılım Oranları						
Analiz	Adım	Adım No	Periyot (sn)	ToplamUX	ToplamUY	ToplamRZ
MODAL	Mod	1	0,309	0	0,7246	0
MODAL	Mod	2	0,296	0,7198	0,7246	0
MODAL	Mod	3	0,1833	0,7198	0,7246	0,6874
MODAL	Mod	4	0,1723	0,7198	0,7262	0,6874
MODAL	Mod	5	0,1664	0,7207	0,7262	0,6874
MODAL	Mod	6	0,1515	0,7207	0,7262	0,6976
MODAL	Mod	7	0,1177	0,7207	0,9195	0,6976
MODAL	Mod	8	0,0948	0,8460	0,9195	0,6976
MODAL	Mod	9	0,0910	0,8460	0,9195	0,7147
MODAL	Mod	10	0,0736	0,9790	0,9195	0,7147
MODAL	Mod	11	0,0674	0,9790	0,9710	0,7147
MODAL	Mod	12	0,0524	0,9790	0,9710	0,9528

TBDY Madde 4.8.1.2'ye göre modal hesap yöntemlerinde hesaba katılması gereken yeterli titreşim modu sayısı, modal etkin kütleleri toplamının binanın toplam kütlelerinin %95 inden az olmayacak şekilde belirlenmektedir. Bu bağlamda binanın deprem hesapları eşdeğer deprem yükü yöntemine göre yapıldığından x ve y yönünde 12 serbest titreşim modu için toplam kütle katılımı yönetmeliğe uygun olarak %97 olarak bulunmuştur (TBDY, 2018).

4.2.2.3. Kat ağırlıkları

Tip4B binasının kat kütleleri, kat ağırlıkları ve toplam yapı ağırlığı Tablo 4.33.'te gösterilmiştir.

Tablo 4.33. Tip4B binasının kat ağırlıkları

Kat İsmi	Kütle (ton)	Ağırlık W_i (kN)
3. Kat	596,5	5850
2. Kat	779,3	7643
1. Kat	779,3	7643
Zemin Kat	779,3	7643
Toplam	$\cong 2934,4$ ton	$\cong 28778$ kN

4.2.2.4. Eşdeğer deprem yükü yöntemi ile doğrusal deprem hesabı

Hesabı yapılacak bina $BYS=6$ olduğundan dolayı, deprem hesapları için TBDY Tablo 4.4'e göre eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanımı uygundur. TBDY'ye göre her iki doğrultudaki toplam eşdeğer deprem yükleri (taban kesme kuvvetleri) V_{tE} aşağıdaki denklemler ile bulunmuştur.

$$V_{tE}^{(X)} = m_t S_{aR}(T_p^{(X)}) \geq 0,04 m_t I S_{DS} g$$

$$V_{tE}^{(Y)} = m_t S_{aR}(T_p^{(Y)}) \geq 0,04 m_t I S_{DS} g$$

Yatay spektrum köşe periyotları $T_A = 0,102$ s. ve $T_B = 0,508$ s.

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

$T_B = 0,508 \text{ s.} > T_X = 0,296 \text{ s.} > T_A = 0,102 \text{ s.}$ olduğundan:

X doğrultusunda yatay elastik tasarım spektral ivmesi $S_{ae}(T^{(X)}) = S_{DS} = 1,622 \text{ g}$

$T_B = 0,508 \text{ s.} > T_Y = 0,309 \text{ s.} > T_A = 0,102 \text{ s.}$ olduğundan:

Y doğrultusunda yatay elastik tasarım spektral ivmesi $S_{ae}(T^{(Y)}) = S_{DS} = 1,622 \text{ g}$

Deprem yükü azaltma katsayısı $R_a(T^{(X)})$, $T_B = 0,508 \text{ s.} > T_X = 0,296 \text{ s.}$

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

$$R_a(T^{(X)}) = 2,5 + \left(\frac{5}{1} - 2,5\right) \frac{0,296}{0,508} = 4,539$$

Deprem yükü azaltma katsayısı $R_a(T^{(Y)})$, $T_B = 0,508 \text{ s.} > T_Y = 0,299 \text{ s.}$

$$R_a(T^{(Y)}) = 2,5 + \left(\frac{5}{1} - 2,5\right) \frac{0,309}{0,508} = 4,629$$

X doğrultusunda azaltılmış tasarım spektral ivmesi $S_{aR}(T^{(X)})$

$$S_{aR}(T^{(X)}) = \frac{S_{ae}(T^{(X)})}{R_a(T^{(X)})} = \frac{1,622 \text{ g}}{4,539} = 0,3573 \text{ g}$$

Y doğrultusunda azaltılmış tasarım spektral ivmesi $S_{aR}(T^{(Y)})$

$$S_{aR}(T^{(Y)}) = \frac{S_{ae}(T^{(Y)})}{R_a(T^{(Y)})} = \frac{1,622 \text{ g}}{4,629} = 0,35 \text{ g}$$

X doğrultusundaki toplam eşdeğer deprem yükü

$$V_{tE}^{(X)} = 2934,4 \times 0,3573 \times 9,8067 \cong 10283 \text{ kN} \geq 0,04 \times 2934,4 \times 1 \times 1,622 \times 9,8067 \cong 1867 \text{ kN}$$

Y doğrultusundaki toplam eşdeğer deprem yükü

$$V_{tE}^{(Y)} = 2934,4 \times 0,35 \times 9,8067 \cong 10084 \text{ kN} \geq 0,04 \times 2934,4 \times 1 \times 1,622 \times 9,8067 \cong 1867 \text{ kN}$$

Katlara etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin bulunması:

TBDY Madde 4.7.2'ye göre katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri aşağıdaki denklemler ile hesaplanmaktadır.

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

Binanın tepesine etkiyen ek eşdeğer deprem yükü $\Delta F_{NE}^{(X)}$ ve $\Delta F_{NE}^{(Y)}$:

$$\Delta F_{NE}^{(X)} = 0,0075 N V_{tE}^{(X)} \Rightarrow \Delta F_{NE}^{(X)} = 0,0075 \times 4 \times 10283 = 308 \text{ kN}$$

$$\Delta F_{NE}^{(Y)} = 0,0075 N V_{tE}^{(Y)} \Rightarrow \Delta F_{NE}^{(Y)} = 0,0075 \times 4 \times 10084 = 303 \text{ kN}$$

TBDY Denklemler 4.23'e göre katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri;

$$F_{iE} = (V_{tE} - \Delta F_{NE}) \frac{m_i H_i}{\sum_{j=1}^N m_j H_j} \text{ denkleminde bulunmuştur.}$$

X doğrultusu için:

$$F_3 = (10283 - 308) \times 0,3379 = 3370 \text{ kN}$$

$$F_2 = (10283 - 308) \times 0,3302 = 3302 \text{ kN}$$

$$F_1 = (10283 - 308) \times 0,2207 = 2201 \text{ kN}$$

$$F_Z = (10283 - 308) \times 0,1104 = 1101 \text{ kN}$$

Y doğrultusu için:

$$F_3 = (10084 - 303) \times 0,3379 = 3305 \text{ kN}$$

$$F_2 = (10084 - 303) \times 0,3302 = 3238 \text{ kN}$$

$$F_1 = (10084 - 303) \times 0,2207 = 2159 \text{ kN}$$

$$F_Z = (10084 - 303) \times 0,1104 = 1079 \text{ kN}$$

X ve Y doğrultusunda katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri Tablo 4.34.'te sunulmuştur.

Tablo 4.34. Tip4B X ve Y doğrultusu için %5 ek dışmerkezlik ile hesaplanan eşdeğer deprem yükleri

Kat	h_i (m)	H_i (m)	m_i (ton)	$m_i \times H_i$	Oran	F_X (kN)	F_Y (kN)
3	3	12	596,5	7158,4	0,3379	3679	3608
2	3	9	779,3	7014,1	0,3311	3302	3238
1	3	6	779,3	4676,1	0,2207	2201	2159
Z	3	3	779,3	2338,0	0,1104	1101	1079
Toplam			2934,4 ton	21186,6	1,0	10283 kN	10084 kN

4.2.2.5. A1 burulma düzensizliği kontrolü

Tablo 4.35. ve Tablo 4.36.'da EXP ve EYP eşdeğer deprem yükleri için her kat seviyesinde hesaplanmış burulma düzensizliği katsayısı η_{bi} gösterilmiştir.

$$\eta_{bi} = (\Delta_i^{(X)})_{max} / (\Delta_i^{(X)})_{ort} = 1,2$$

Tablo 4.35. Tip4B X doğrultusunda A1 burulma düzensizliği kontrolü

KAT	$u_{i, \min}$ (mm)	$u_{i, \max}$ (mm)	$(\Delta_i)_{\min}$	$(\Delta_i)_{\max}$	$(\Delta_i)_{\text{ort.}}$	η_{bi}
3	13,82	16,38	4,17	4,69	4,43	1,06
2	9,65	11,70	4,19	4,94	4,565	1,08
1	5,45	6,76	3,51	4,22	3,865	1,09
Z	1,95	2,54	1,95	2,54	2,245	1,13

Tablo 4.35.'te görüldüğü üzere x doğrultusundaki EXP deprem yüklemesi için her katta η_{bi} katsayıları 1,2 değerinden küçük olduğundan A1 burulma düzensizliği bulunmamaktadır.

Tablo 4.36. Tip4B Y doğrultusunda A1 burulma düzensizliği kontrolü

KAT	$u_{i, \min}$ (mm)	$u_{i, \max}$ (mm)	$(\Delta_i)_{\min}$	$(\Delta_i)_{\max}$	$(\Delta_i)_{\text{ort.}}$	η_{bi}
3	13,29	14,99	4,08	4,59	4,34	1,06
2	9,21	10,40	4,00	4,51	4,26	1,06
1	5,21	5,89	3,26	3,74	3,50	1,07
Z	1,95	2,15	1,95	2,15	2,05	1,05

Tablo 4.3.'da görüldüğü üzere y doğrultusundaki EYP deprem yüklemesi için her katta η_{bi} katsayıları 1,2 değerinden küçük olduğundan A1 burulma düzensizliği bulunmamaktadır.

4.2.2.6. Etkin görelî kat ötelemelerinin kontrolü

TBDY Madde 4.3.4.4'e göre kirişsiz döşemeleri içeren taşıyıcı sistemlerde görelî kat ötelemeleri taşıyıcı elemanların monolitik olarak modellendiği hesaptan elde edilmektedir (TBDY, 2018). Etkin görelî kat ötelemeleri her kat seviyesinde EXP ve EYP eşdeğer deprem yüklemeleri için aşağıdaki tablolarda gösterilmiştir.

$$\lambda^{(X)} = \frac{S_{ae,DD3}(T_{1X})}{S_{ae,DD2}(T_{1X})} = \frac{0,827g}{1,622g} = 0,51$$

$$\lambda^{(Y)} = \frac{S_{ae,DD3}(T_{1Y})}{S_{ae,DD2}(T_{1Y})} = \frac{0,827g}{1,622g} = 0,51$$

$$\lambda^{(X)} = 0,51$$

$$\lambda^{(Y)} = 0,51$$

$$\delta_{i,max}^{(X)} = \frac{R}{I} \Delta_{i,max}^{(X)}$$

$$\lambda \frac{\delta_{i,max}^{(X)}}{h_i} \leq 0,008\kappa \Rightarrow \lambda \frac{\frac{R}{I} \Delta_{i,max}^{(X)}}{h_i} \leq 0,008\kappa$$

$$R = 6 \rightarrow I = 1 \rightarrow \kappa = 1$$

X doğrultusundaki EXP deprem yüklemesi için etkin görelî kat ötelemelerinin kontrolü Tablo 4.37.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.37. Tip4B X doğrultusu için etkin görelî kat ötelemelerinin kontrolü

KAT	$u_{i,max}$ (cm)	$(\Delta_i)_{max}$ (cm)	$(\delta_i)_{max}$ (cm)	h_i (cm)	λ	$\lambda(\delta_i)_{max}/h_i$
3	1,638	0,469	2,81	300	0,51	0,0047
2	1,170	0,494	2,96	300	0,51	0,0050
1	0,676	0,422	2,53	300	0,51	0,0043
Z	0,254	0,254	1,52	300	0,51	0,0026

Y doğrultusundaki EYP deprem yüklemesi için etkin görelî kat ötelemelerinin kontrolü Tablo 4.38.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.38. Tip4B Y doğrultusu için etkin görelî kat ötelemelerinin kontrolü

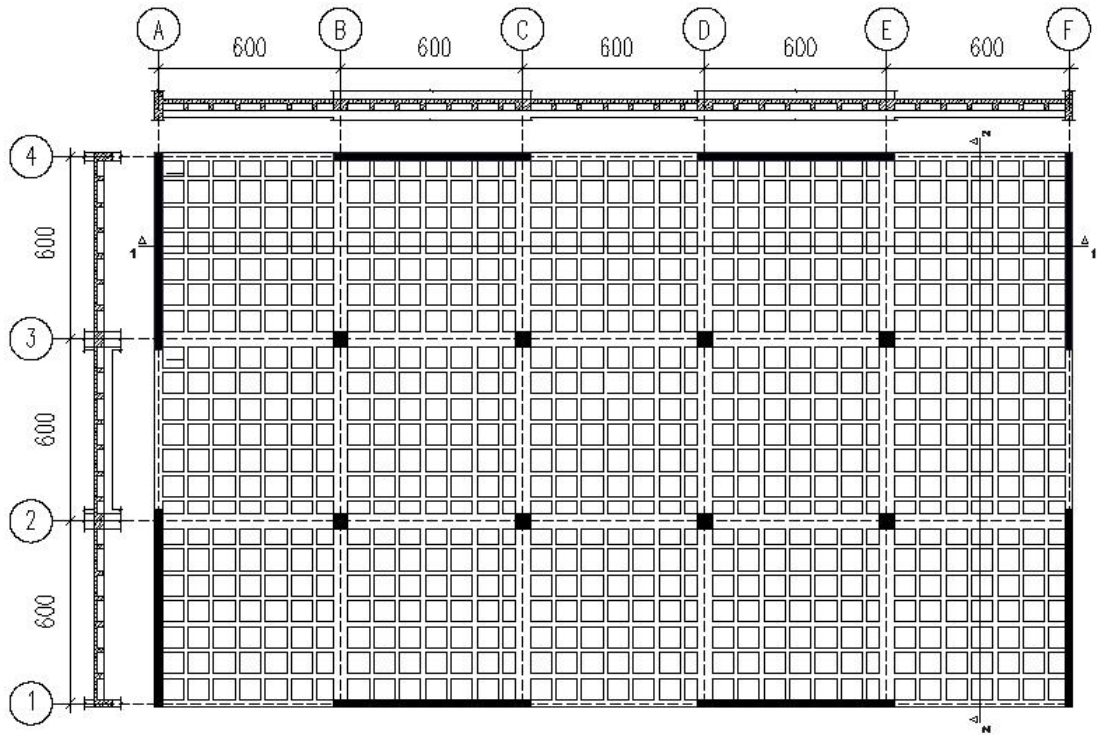
KAT	$u_{i,max}$ (cm)	$(\Delta_i)_{max}$ (cm)	$(\delta_i)_{max}$ (cm)	h_i (cm)	λ	$\lambda(\delta_i)_{max}/h_i$
3	1,499	0,459	2,75	300	0,51	0,0047
2	1,040	0,451	2,71	300	0,51	0,0046
1	0,589	0,374	2,24	300	0,51	0,0038
Z	0,215	0,215	1,29	300	0,51	0,0022

Her bir deprem doğrultusu için her katta azaltılmış görelî kat ötelemeleri söz konusu deprem doğrultusundaki Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı, R ile çarpılarak etkin

görelî kat ötelemeleri δ_i hesaplanmıştır. X doğrultusundaki EXP ve Y doğrultusundaki EYP deprem yüklemeleri için her hatta etkin görelî kat ötelemelerinin kat yüksekliğine oranı, yönetmeliğin izin verdiği sınır değeri olan 0,008 değeri altında bulunmuştur.

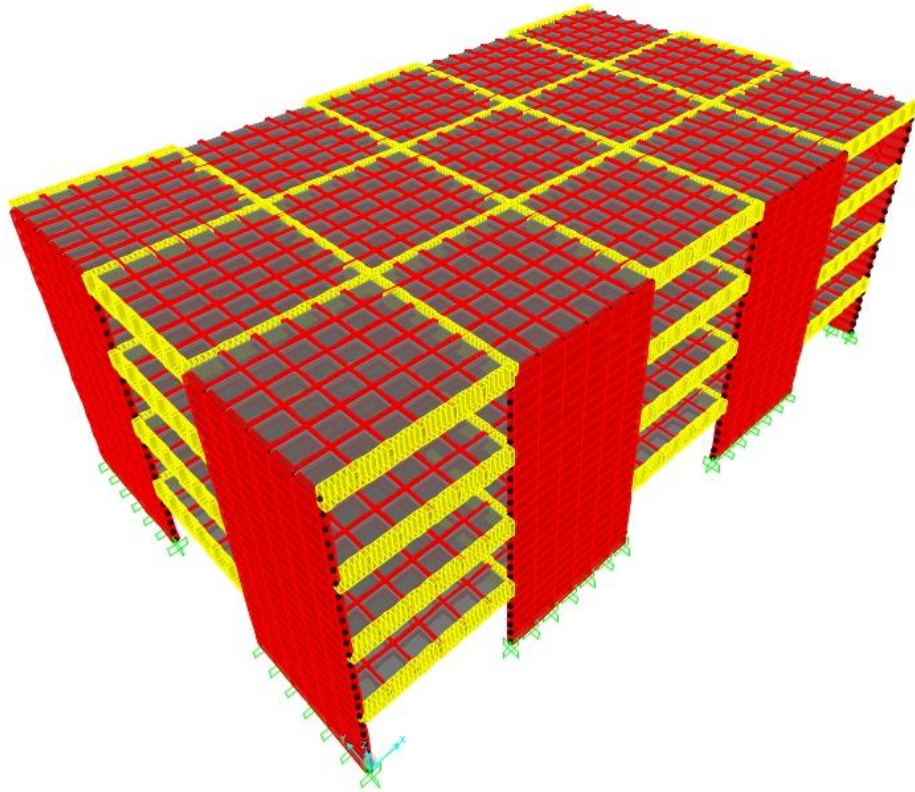
4.2.3. Tip4C bina çözümlemesi

Bina 4 katlıdır ve kat yükseklikleri 3 metredir. Döşeme sistemi iki doğrultuda çalışan dişli döşeme bir başka ifadeyle kaset döşemedir. Kaset kirişleri her iki ana doğrultuda rijit davranış gösterdiğinden ve döşemede düzensizlik durumları bulunmayıp planda simetrik olması nedeniyle döşeme sistemi tam rijit diyafram kabulüyle çözülmüştür. Binanın taşıyıcı sistemi süneklik düzeyi yüksek kolonlar ve süneklik düzeyi yüksek perdelerden oluşturulmuştur. TBDY Tablo 4.1'den A15 kodlu deprem etkilerinin moment aktaran süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçeveler ile süneklik düzeyi yüksek boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar için taşıyıcı sistem davranış katsayısı her iki ana doğrultuda $R = 7$ alınmıştır (TBDY, 2018). Tip4C binasının normal kat kalıp planı Şekil 4.28.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.28. Tip4C normal kat kalıp planı

Yapılan ön hesapta A15 kodlu binalar için TBDY Madde 4.3.4.5 kontrolünün sağlanamadığı görülmüştür. TBDY Madde 4.3.4.5'e göre perdelere gelen devrilme momentleri kontrolleri için taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R = 7$ 'ye göre ön hesap yapıldıktan sonra yönetmelik koşulu $0,40M_o < \Sigma M_{DEV} < 0,75M_o$ bağıntısı için üst sınır şartının her iki doğrultuda sağlanamadığı görülmüştür. Üst sınır koşulunun sağlanamaması nedeniyle yönetmeliğe göre taşıyıcı sistem davranış katsayısı TBDY Tablo 4.1'den A13 kodlu binalar için $R = 6$ seçilmiştir. Taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R = 6$ 'ya göre tüm deprem hesapları eşdeğer deprem yükü yöntemine tekrarlanmış ve A13 kodlu binalar için TBDY Madde 4.3.2.4.a ve Madde 4.3.2.4.b kontrollerinin sağlandığı görülmüştür (TBDY, 2018). İki doğrultuda çalışan kaset döşemeli sistemde dışlar arasındaki net açıklık 70 cm ve dış genişliği 15 cm olarak seçilmiştir. Dış akslardaki kirişler 25 cm genişliğinde olup 60 cm yüksekliğindedir. İç akslarda kolon ve perdeleri birbirine bağlayan yatık kirişler (yastık kirişleri) 50 cm genişliğinde ve 35 cm yüksekliğindedir. Plak kalınlığı 10 cm olarak seçilmiştir. Yapının üç boyutlu matematiksel modeli Şekil 4.29.'da gösterilmiştir.



Şekil 4.29. Tip4C binasının 3 boyutlu hesap modeli

TBDY Tablo 3.1'den konut amaçlı kullanılacak binalar için Bina Kullanım Sınıfı BKS = 3 olarak alınmıştır. Bu kullanım sınıfına ait bina için Bina Önem Katsayısı $I = 1$ olarak hesaplarda kullanılmıştır. TBDY Tablo 3.2'den BKS=3 ve $0,75 \leq S_{DS}$ durumu için Deprem Tasarım Sınıfı DTS=1 elde edilmiştir. TBDY Tablo 3.3'den DTS=1 ve bina yüksekliği 12 metre olduğundan $10,5 < H_N = 12m \leq 17,5$ Bina Yükseklik Sınıfı BYS = 6 elde edilmiştir. TBDY Tablo 3.4'den DTS = 1 ve yeni yapılacak yerinde dökme betonarme binalar için normal performans hedefinin Kontrollü Hasar (KH) ve tasarım yaklaşımında DD-2 deprem yer hareketi düzeyinde Dayanıma Göre Tasarım DGT olduğu elde edilmiştir (TBDY, 2018).

4.2.3.1. Kaset döşemelerin ön boyutlandırılması

İki doğrultuda çalışan dişli (kaset) döşemelere ilişkin sınır değerler aşağıda gösterilmiştir.

Dişler arasındaki serbest açıklık $e \leq 700 \text{ mm} \rightarrow$ Seçilen 700 mm.

Diş genişliği $b_w \geq 100 \text{ mm} \rightarrow$ Seçilen diş genişliği 150 mm.

Döşeme tabla (plak) kalınlığı $t \geq e/10$ sınır alt değer 70 mm seçilebilir.

Diş Derinliği:

$$\text{Zorunlu yükseklik: } h \geq \frac{L_{net}}{25} = \frac{(6000-500)}{25} = 220 \text{ mm}$$

$$\text{Kenar açıklık için sehim hesabı gerektirmeyen: } h \geq \frac{L_{net}}{18} = \frac{(6000-500)}{18} = 305 \text{ mm}$$

$$\text{İç açıklık için sehim hesabı gerektirmeyen: } h \geq \frac{L_{net}}{20} = \frac{(6000-500)}{20} = 275 \text{ mm}$$

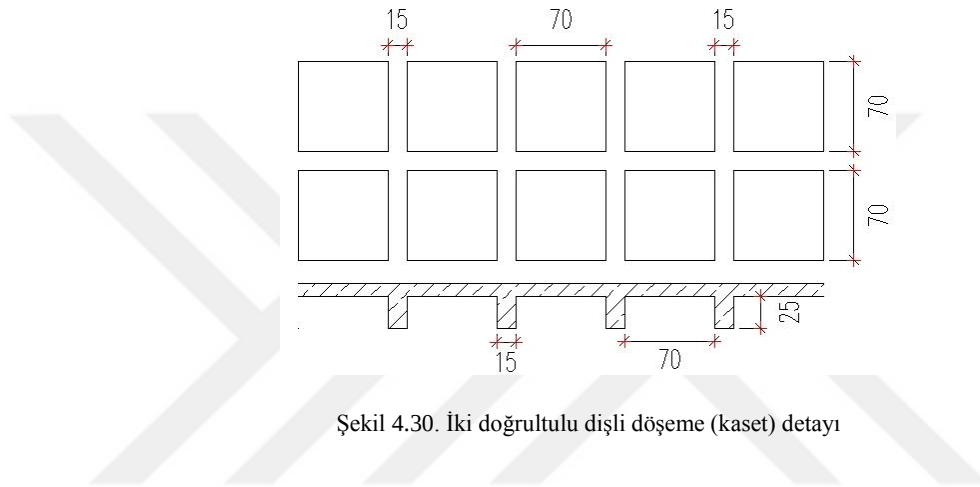
Seçilen diş derinliği $h=350 \text{ mm}$

Tabla Plak Kalınlığı:

$$t \geq \frac{e}{10} = \frac{700}{10} = 70 \text{ mm}$$

Seçilen plak kalınlığı $t=100 \text{ mm}$

İki doğrultulu dişli döşeme (kaset) detayı şekil 4.30.'da gösterilmiştir.



şekil 4.30. İki doğrultulu dişli döşeme (kaset) detayı

Tip4C yapısındaki betonarme taşıyıcı elemanların boyutları toplu olarak Tablo 4.39.'da gösterilmiştir.

Tablo 4.39. Tip4C betonarme taşıyıcı elemanların boyutları

Kat	Perde (cm)	Kolon (cm)	Kiriş (cm)	Yastık Kiriş (cm)	Diş (cm)	Döşeme (cm)
Kat 3	650x25	50x50	25x60	50x35	15x35	10
Kat 2	650x25	50x50	25x60	50x35	15x35	10
Kat 1	650x25	50x50	25x60	50x35	15x35	10
Kat Z	650x25	50x50	25x60	50x35	15x35	10

4.2.3.2. Bina periyodunun belirlenmesi

Modal analiz sonucu, binanın birinci moduna karşılık gelen Y doğrultusundaki hâkim doğal titreşim periyodu Sap2000 programında $T_p^{(Y)}$ 0,273 saniye bulunmuştur. Binanın ikinci moduna karşılık gelen X doğrultusundaki hâkim doğal titreşim periyodu da $T_p^{(X)}$

0,271 saniye bulunmuştur. TBDY Madde 4.7.3.2'ye göre analiz sonucu bulunan hâkim titreşim periyotları, ampirik hâkim doğal titreşim periyodu $T_{pA} = C_t H_N^{0,75}$ değerinin 1,4 katından fazla olamaz. TBDY Madde 4.7.3.4.a'ya göre taşıyıcı sistemi betonarme çerçeveli ve perdeli binalar için $C_t = 0,07$ alınmıştır (TBDY, 2018).

$$T_{pA} = C_t H_N^{0,75} = 0,07 \times 12^{0,75} = 0,45 \text{ saniye}$$

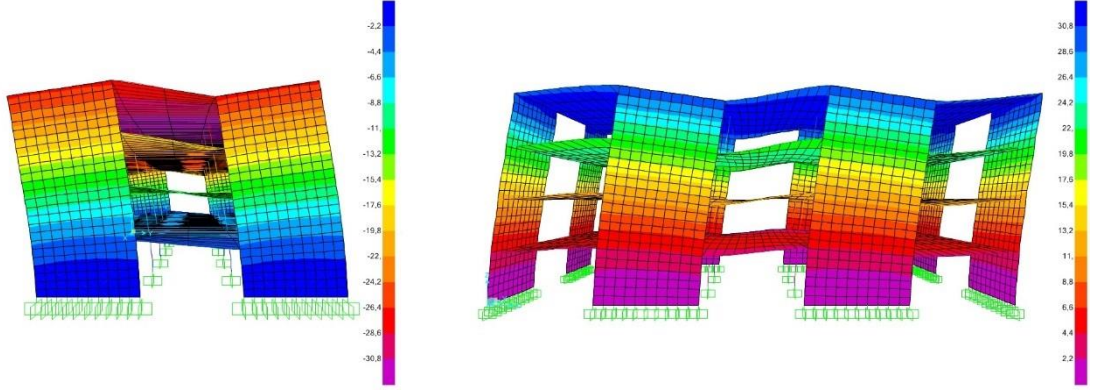
$1,4 \times T_{pA} = 1,4 \times 0,45 = 0,63$ saniye, analiz sonucu hesaplanan hâkim periyot değerlerinden ($T_p^{(X)}$, $T_p^{(Y)}$) büyük olduğundan eşdeğer deprem yükü hesaplarında $T_p^{(Y)} = 0,273$ s. ve $T_p^{(X)} = 0,271$ s. esas alınmıştır.

Tablo 4.40.'da görüldüğü gibi 12 serbest titreşim modu için toplam kütle katılımı yönetmeliğe uygun olarak x yönünde %97 ve y yönünde %98 olarak bulunmuştur.

Tablo 4.40. Tip4C kütle katılım oranları

Modal Kütle Katılım Oranları						
Analiz	Adım	Adım No	Periyot (sn)	ToplamUX	ToplamUY	ToplamRZ
MODAL	Mod	1	0,273	0	0,7188	0
MODAL	Mod	2	0,271	0,7182	0,7188	0
MODAL	Mod	3	0,171	0,7182	0,7188	0,6913
MODAL	Mod	4	0,114	0,7210	0,7188	0,6913
MODAL	Mod	5	0,112	0,7210	0,7188	0,6952
MODAL	Mod	6	0,103	0,7210	0,7202	0,6952
MODAL	Mod	7	0,075	0,7210	0,7202	0,7087
MODAL	Mod	8	0,072	0,8946	0,7202	0,7087
MODAL	Mod	9	0,071	0,8946	0,9151	0,7087
MODAL	Mod	10	0,048	0,9793	0,9151	0,7087
MODAL	Mod	11	0,043	0,9793	0,9831	0,7087
MODAL	Mod	12	0,041	0,9793	0,9831	0,9576

Tip4C binasının Sap2000 programıyla bulunan birinci ve ikinci mod şekli Şekil 4.31.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.31. Tip4C binasının Sap2000 programıyla bulunan birinci ve ikinci mod şekli

4.2.3.3. Kat ağırlıklarının hesaplanması

Tip4C binasının kat kütleleri, kat ağırlıkları ve toplam bina ağırlığı Tablo 4.41.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.41. Tip4C binasının kat ağırlıkları

Kat İsmi	Kütle (ton)	Ağırlık W_i (kN)
3. Kat	539,6	5291
2. Kat	719,8	7059
1. Kat	719,8	7059
Zemin Kat	719,8	7059
Toplam	$\cong 2699$ ton	$\cong 26468$ kN

4.2.3.4. Eşdeğer deprem yükü yöntemi ile doğrusal deprem hesabı

Hesabı yapılacak bina $BYS = 6$ olduğundan dolayı, deprem hesapları için TBDY Tablo 4.4'e göre eşdeğer deprem yükü kullanımı uygundur. TBDY'ye göre her iki doğrultudaki toplam eşdeğer deprem yükleri (taban kesme kuvvetleri) V_{tE} aşağıdaki denklemler ile bulunmuştur.

$$V_{tE}^{(X)} = m_t S_{aR}(T_p^{(X)}) \geq 0,04 m_t I S_{DS} g$$

$$V_{tE}^{(Y)} = m_t S_{aR}(T_p^{(Y)}) \geq 0,04 m_t I S_{DS} g$$

Yatay spektrum köşe periyotları $T_A = 0,102$ s. ve $T_B = 0,508$ s.

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

$T_B = 0,508$ s. $> T_X = 0,271$ s. $> T_A = 0,102$ s. olduğundan:

X doğrultusunda yatay elastik tasarım spektral ivmesi $S_{ae}(T^{(X)}) = S_{DS} = 1,622$ g

$T_B = 0,508$ s. $> T_Y = 0,273$ s. $> T_A = 0,102$ s. olduğundan:

Y doğrultusunda yatay elastik tasarım spektral ivmesi $S_{ae}(T^{(Y)}) = S_{DS} = 1,622$ g

Deprem yükü azaltma katsayısı $R_a(T^{(X)})$, $T_B = 0,508$ s. $> T_X = 0,271$ s.

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

$$R_a(T^{(X)}) = 2,5 + \left(\frac{6}{1} - 2,5\right) \frac{0,271}{0,508} = 4,367$$

Deprem yükü azaltma katsayısı $R_a(T^{(Y)})$, $T_B = 0,508$ s. $> T_Y = 0,273$ s.

$$R_a(T^{(Y)}) = 2,5 + \left(\frac{6}{1} - 2,5\right) \frac{0,273}{0,508} = 4,381$$

X doğrultusunda azaltılmış tasarım spektral ivmesi $S_{aR}(T^{(X)})$

$$S_{aR}(T^{(X)}) = \frac{S_{ae}(T^{(X)})}{R_a(T^{(X)})} = \frac{1,622g}{4,367} = 0,3714g$$

Y doğrultusunda azaltılmış tasarım spektral ivmesi $S_{aR}(T^{(Y)})$

$$S_{aR}(T^{(Y)}) = \frac{S_{ae}(T^{(Y)})}{R_a(T^{(Y)})} = \frac{1,622g}{4,381} = 0,37g$$

X doğrultusundaki toplam eşdeğer deprem yükü

$$V_{tE}^{(X)} = 2699 \times 0,3714 \times 9,8067 \cong 9831 \text{ kN} \geq 0,04 \times 2699 \times 1 \times 1,622 \times 9,8067 = 1717 \text{ kN}$$

Y doğrultusundaki toplam eşdeğer deprem yükü

$$V_{tE}^{(Y)} = 2699 \times 0,37 \times 9,8067 \cong 9800 \text{ kN} \geq 0,04 \times 2699 \times 1 \times 1,622 \times 9,8067 = 1717 \text{ kN}$$

Katlara etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin bulunması:

TBDY Madde 4.7.2'ye göre katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri aşağıdaki denklemler ile hesaplanmaktadır.

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

Binanın tepesine etkiyen ek eşdeğer deprem yükü $\Delta F_{NE}^{(X)}$ ve $\Delta F_{NE}^{(Y)}$:

$$\Delta F_{NE}^{(X)} = 0,0075 N V_{tE}^{(X)} \Rightarrow \Delta F_{NE}^{(X)} = 0,0075 \times 4 \times 9831 = 295 \text{ kN}$$

$$\Delta F_{NE}^{(Y)} = 0,0075 N V_{tE}^{(Y)} \Rightarrow \Delta F_{NE}^{(Y)} = 0,0075 \times 4 \times 9800 = 294 \text{ kN}$$

TBDY Denklem 4.23'e göre katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri;

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

X doğrultusu için:

$$F_3 = (9831 - 295) \times 0,333 = 3177 \text{ kN}$$

$$F_2 = (9831 - 295) \times 0,333 = 3179 \text{ kN}$$

$$F_1 = (9831 - 295) \times 0,222 = 2119 \text{ kN}$$

$$F_Z = (9831 - 295) \times 0,111 = 1060 \text{ kN}$$

Y doğrultusu için:

$$F_3 = (9800 - 294) \times 0,333 = 3167 \text{ kN}$$

$$F_2 = (9800 - 294) \times 0,333 = 3169 \text{ kN}$$

$$F_1 = (9800 - 294) \times 0,222 = 2113 \text{ kN}$$

$$F_Z = (9800 - 294) \times 0,111 = 1056 \text{ kN}$$

X ve Y doğrultusunda katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri Tablo 4.42.'de sunulmuştur.

Tablo 4.42. Tip4C X ve Y doğrultusu için %5 ek dışmerkezlik ile hesaplanan eşdeğer deprem yükleri

Kat	h_i (m)	H_i (m)	m_i (ton)	$m_i \times H_i$	Oran	F_X (kN)	F_Y (kN)
3	3	12	539,6	6474,7	0,333	3472	3461
2	3	9	719,8	6478,2	0,333	3179	3169
1	3	6	719,8	4318,8	0,222	2119	2113
Z	3	3	719,8	2159,4	0,111	1060	1056
Toplam			2699 ton	19431	1,0	9831 kN	9800

4.2.3.5. A1 burulma düzensizliği kontrolü

Burulma düzensizliği kontrolünün nasıl yapılacağı TBDY Madde 3.6.1’de açıklanmaktadır.

$$\eta_{bi} = (\Delta_i^{(X)})_{max} / (\Delta_i^{(X)})_{ort} = 1,2$$

Tablo 4.43. ve Tablo 4.44.’te EXP ve EYP eşdeğer deprem yükleri için her kat seviyesinde hesaplanmış burulma düzensizliği katsayısı η_{bi} gösterilmiştir.

Tablo 4.43. Tip4C X doğrultusunda A1 burulma düzensizliği kontrolü

KAT	$u_{i, min}$ (mm)	$u_{i, max}$ (mm)	$(\Delta_i)_{min}$	$(\Delta_i)_{max}$	$(\Delta_i)_{ort.}$	η_{bi}
3	12,40	13,12	3,73	3,94	3,84	1,03
2	8,67	9,18	3,74	3,97	3,86	1,03
1	4,93	5,21	3,17	3,34	3,26	1,03
Z	1,76	1,87	1,76	1,87	1,82	1,03

Tablo 4.43.’te görüldüğü üzere x doğrultusunda EXP deprem yüklemesi için her katta η_{bi} katsayıları 1,2 değerinden küçük olduğundan A1 burulma düzensizliği bulunmamaktadır.

Tablo 4.44. Tip4C Y doğrultusunda A1 burulma düzensizliği kontrolü

KAT	$u_{i, \min}$ (mm)	$u_{i, \max}$ (mm)	$(\Delta_i)_{\min}$	$(\Delta_i)_{\max}$	$(\Delta_i)_{\text{ort.}}$	η_{bi}
3	12,02	14,03	3,63	4,25	3,94	1,08
2	8,39	9,78	3,64	4,24	3,94	1,08
1	4,75	5,54	3,06	3,57	3,32	1,08
Z	1,69	1,97	1,69	1,97	1,83	1,08

Tablo 4.44.'te görüldüğü üzere doğrultusunda EYP deprem yüklemesi için her katta η_{bi} katsayıları 1,2 değerinden küçük olduğundan A1 burulma düzensizliği bulunmamaktadır.

4.2.3.6. Etkin görel kat ötelemelerinin kontrolü

Etkin görel kat ötelemeleri her kat seviyesinde EXP ve EYP eşdeğer deprem yüklemeleri için aşağıdaki tablolarda gösterilmiştir. Etkin görel kat ötelemelerinin kontrolü TBDY Madde 4.9.1'e göre yapılmıştır (TBDY, 2018).

$$\lambda^{(X)} = \frac{S_{ae,DD3}(T_{1X})}{S_{ae,DD2}(T_{1X})} = \frac{0,827g}{1,622g} = 0,51$$

$$\lambda^{(Y)} = \frac{S_{ae,DD3}(T_{1Y})}{S_{ae,DD2}(T_{1Y})} = \frac{0,827g}{1,622g} = 0,51$$

$$\lambda^{(X)} = 0,51$$

$$\lambda^{(Y)} = 0,51$$

$$\delta_{i,\max}^{(X)} = \frac{R}{I} \Delta_{i,\max}^{(X)}$$

$$\lambda \frac{\delta_{i,\max}^{(X)}}{h_i} \leq 0,008\kappa \Rightarrow \lambda \frac{\frac{R}{I} \Delta_{i,\max}^{(X)}}{h_i} \leq 0,008\kappa$$

$$R = 6 \rightarrow I = 1 \rightarrow \kappa = 1$$

X doğrultusundaki EXP deprem yüklemesi için etkin görelî kat ötelemelerinin kontrolü Tablo 4.45.'te gösterilmiştir.

Tablo 4.45. Tip4C X doğrultusu için etkin görelî kat ötelemelerinin kontrolü

KAT	$u_{i, \max}$ (cm)	$(\Delta_i)_{\max}$ (cm)	$(\delta_i)_{\max}$ (cm)	h_i (cm)	λ	$\lambda(\delta_i)_{\max}/h_i$
3	1,312	0,394	2,364	300	0,51	0,00402
2	0,918	0,397	2,382	300	0,51	0,00405
1	0,521	0,334	2,004	300	0,51	0,00341
Z	0,187	0,187	1,122	300	0,51	0,00191

Y doğrultusundaki EYP deprem yüklemesi için etkin görelî kat ötelemelerinin kontrolü Tablo 4.46.'da gösterilmiştir.

Tablo 4.46. Tip4C Y doğrultusu için etkin görelî kat ötelemelerinin kontrolü

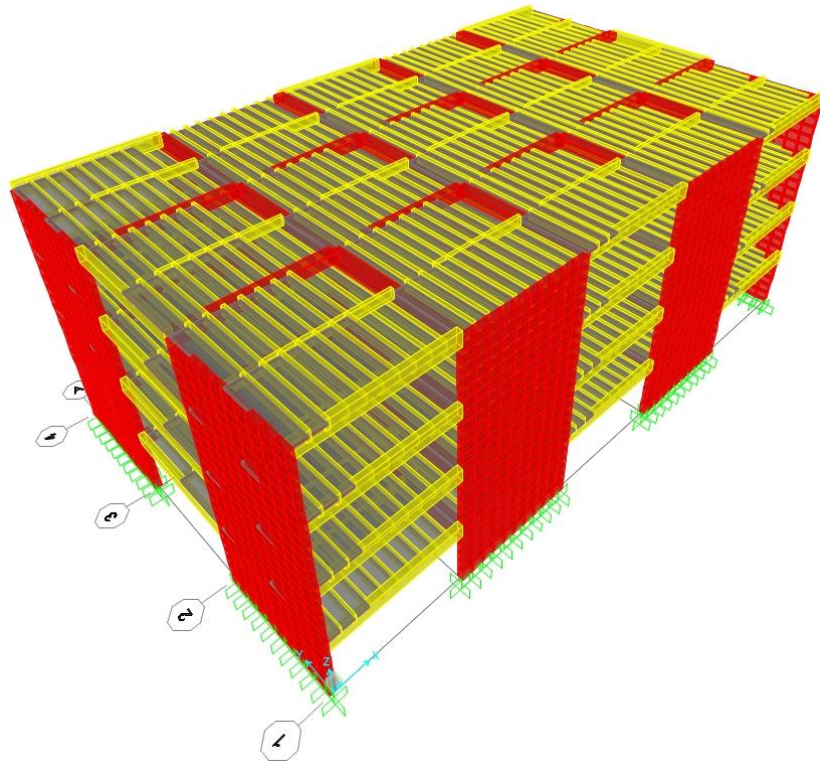
KAT	$u_{i, \max}$ (cm)	$(\Delta_i)_{\max}$ (cm)	$(\delta_i)_{\max}$ (cm)	h_i (cm)	λ	$\lambda(\delta_i)_{\max}/h_i$
3	1,403	0,425	2,55	300	0,51	0,00434
2	0,978	0,424	2,54	300	0,51	0,00432
1	0,554	0,357	2,14	300	0,51	0,00364
Z	0,197	0,197	1,18	300	0,51	0,00201

Her bir deprem doğrultusu için her katta azaltılmış görelî kat ötelemeleri söz konusu deprem doğrultusundaki Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı, R ile çarpılarak etkin görelî kat ötelemeleri δ_i hesaplanmıştır. X doğrultusundaki EXP ve Y doğrultusundaki EYP deprem yüklemeleri için her hatta etkin görelî kat ötelemelerinin kat yüksekliğine oranı, yönetmeliğin izin verdiği sınır değer olan 0,008 değerinin altında bulunmuştur.

4.2.4. Tip4D bina çözümlemesi

Bina 4 katlıdır ve kat yüksekliği zemin kat dâhil 3 metredir. Döşeme sistemi bir doğrultuda çalışan asmolen döşeme olarak belirlenmiştir. Tek yönlü çalışan asmolen döşemeli sistemde dışların doğrultusunda rijit diyafram davranışından söz edilebilir fakat dışlara dik yönde tam rijit diyafram davranışı kabulü doğru olmaz bu nedenle döşeme sistemi bir bütün olarak yarı rijit diyafram kabulüyle çözülmüştür. TBDY

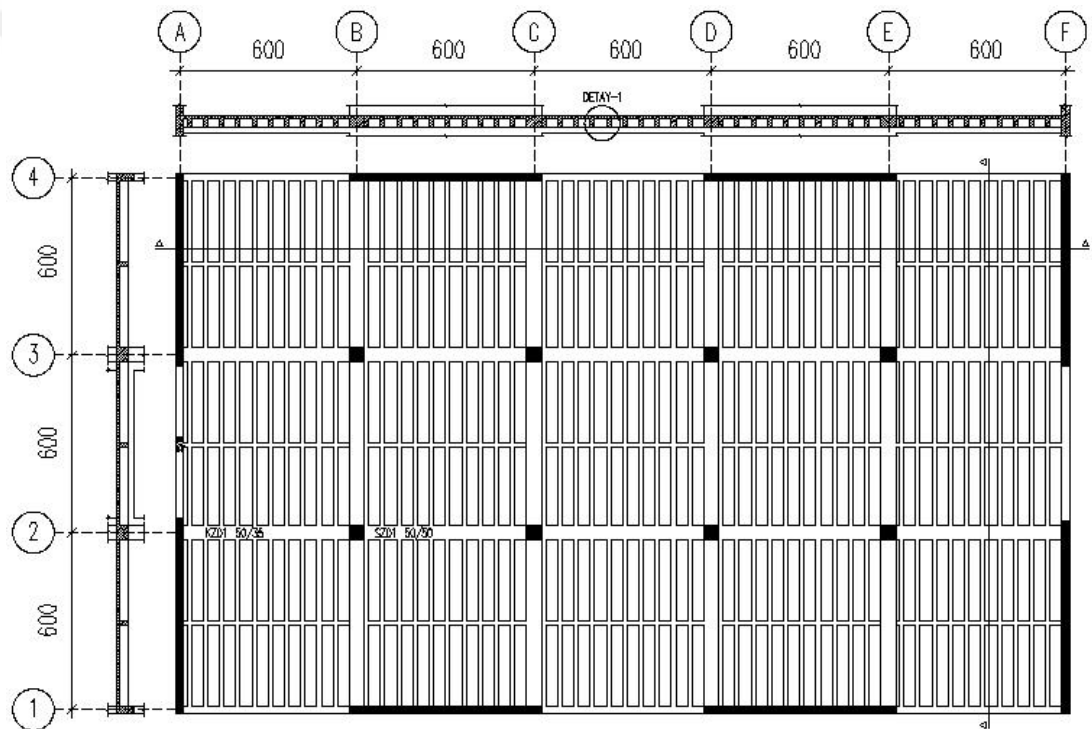
Madde 4.3.4.3’de belirtilen, tek doğrultulu dişli betonarme sistemler için binanın taşıyıcı sisteminin süneklik düzeyi karma olarak belirlenmiştir. TBDY Tablo4.1’den A24 kodlu deprem etkilerinin moment aktaran süneklik düzeyi sınırlı dolgulu (asmolen) veya dolgusuz tek doğrultulu dişli döşemeli betonarme çerçeveler ile süneklik düzeyi yüksek boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar için taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R = 5$ alınmıştır. TBDY Tablo 4.1’de A24 tipi sistemler için izin verilen bina yükseklik sınıfı $BYS \geq 6$ olarak verilmiştir. Bu maddeden anlaşıldığı üzere deprem tasarım sınıfları $DTS = 1, 1a, 2, 2a$ olan perdeli asmolen döşemeli binalar için maksimum bina yüksekliği temel üst kotundan 17,5 metre olabilir (TBDY, 2018). Tip4D binasının 3 boyutlu hesap modeli Şekil 4.32.’de gösterilmiştir.



Şekil 4.32. Tip4D binasının 3 boyutlu hesap modeli

Dişler (nervürler), binanın zayıf yönü y doğrultusuna paralel olacak şekilde düzenlenmiştir. Dişlerin üzerindeki plak kalınlığı 10 cm’dir. Dişler arasındaki serbest açıklık 40 cm ve diş genişliği 15 cm seçilmiştir. Dış akslardaki kirişler 25 cm genişliğinde olup 60 cm yüksekliğindedir. İç akslarda kolon ve perdeleri birbirine

bağlayan yatık kirişler (yastık kirişleri) 50 cm genişliğinde 35 cm yüksekliğindedir. Tip4D binasının normal kat kalıp planı Şekil 4.33.'te gösterilmiştir. Döşemeler arasındaki serbest açıklığın 4 metreden fazla olmasından dolayı yönetmelik gereği enine dış (dağıtma dışı) yapımı zorunludur. Enine dış koyulmasının maksadı yükü olabildiğince tüm dışlara aynı oranda dağıtmak, plağın rijitliğini arttırmak ve çökmeleri azaltmaktır. Enine dışlar döşemelerin tam ortasından geçecek şekilde düzenlenmiştir. Dışların arasına yüksek ısı yalıtımı sağlayan strafor asmolen malzemesi koyulmuştur. Strafor asmolen malzemesi birim hacim ağırlığı $\sim 0,1 \text{ kN/m}^3$ olduğundan yük hesabına dahil edilmemiştir.



Şekil 4.33. Tip4D normal kat kalıp planı

TBDY Tablo 3.1’den konut/işyeri amaçlı kullanılacak binalar için Bina Kullanım Sınıfı BKS= 3 olarak alınmıştır. Bu kullanım sınıfına ait bina için Bina Önem Katsayısı $I = 1$ olarak hesaplarda kullanılmıştır. TBDY Tablo 3.2’den BKS=3 ve $0,75 \leq S_{DS}$ durumu için Deprem Tasarım Sınıfı DTS=1 elde edilmiştir. TBDY Tablo3.3’den DTS=1 ve bina yüksekliği 12 metre olduğundan $10,5 < H_N = 12 \text{ m.} \leq 17,5$ Bina Yükseklik Sınıfı BYS = 6 elde edilmiştir. TBDY Tablo 3.4’den DTS = 1 ve yeni yapılacak yerinde dökme betonarme binalar için normal performans hedefinin

Kontrollü Hasar (KH) ve tasarım yaklaşımında DD-2 deprem yer hareketi düzeyinde Dayanıma Göre Tasarım DGT olduğu elde edilmiştir (TBDY, 2018).

4.2.4.1. Kirişlerin ön boyutlandırılması

Kirişler için minimum enkesit boyutları TBDY Madde 7.4.1’de açıklanmıştır. Bu bağlamda kiriş gövde genişliği en az 25 cm olacaktır. Kiriş gövde genişliği, kiriş yüksekliği ile kirişin birleştiği kolonun veya perdenin kirişe dik genişliğinin toplamını geçmeyecektir. Kiriş yüksekliği, döşeme kalınlığının 3 katından ve 30 cm’den daha az olmayacaktır. Kiriş yüksekliği kiriş gövde genişliğinin 3,5 katından fazla olmayacaktır. Belirtilen tüm şartlara bağlı olarak yapıdaki iç akslardaki yastık kirişlerinin genişliği 50 cm, yüksekliği de 35 cm ve dış akslardaki normal kirişlerin genişliği 25 cm, yükseklikleri de 60 cm olarak belirlenmiştir.

4.2.4.2. Asmolen döşeme ön boyutlandırılması

TBDY Madde 7.11.2’ ye göre deprem etkisi altındaki dolgulu ya da dolgusuz yerinde dökme dişli döşemeli sistemlerde plak kalınlığı 70 mm’den az olamaz (TBDY, 2018).

Bir doğrultuda çalışan dişli döşemelere ilişkin sınır değerler aşağıda gösterilmiştir.

Dişler arasındaki serbest açıklık $e \leq 700 \text{ mm}$

Diş genişliği $b_w \geq 100 \text{ mm} \rightarrow$ Seçilen diş genişliği $b_w \rightarrow 150 \text{ mm}$.

Döşeme tabla (plak) kalınlığı $t \geq e/10$, alt sınır 70 mm seçilebilir.

Diş derinliği:

$$\text{Zorunlu yükseklik: } h \geq \frac{L_{net}}{25} = \frac{(6000-500)}{25} = 220 \text{ mm}$$

Kenar açıklık için sehim hesabı gerektirmeyen: $h \geq \frac{L_{net}}{18} = \frac{(6000-500)}{18} = 305 \text{ mm}$

İç açıklık için sehim hesabı gerektirmeyen: $h \geq \frac{L_{net}}{20} = \frac{(6000-500)}{20} = 275 \text{ mm}$

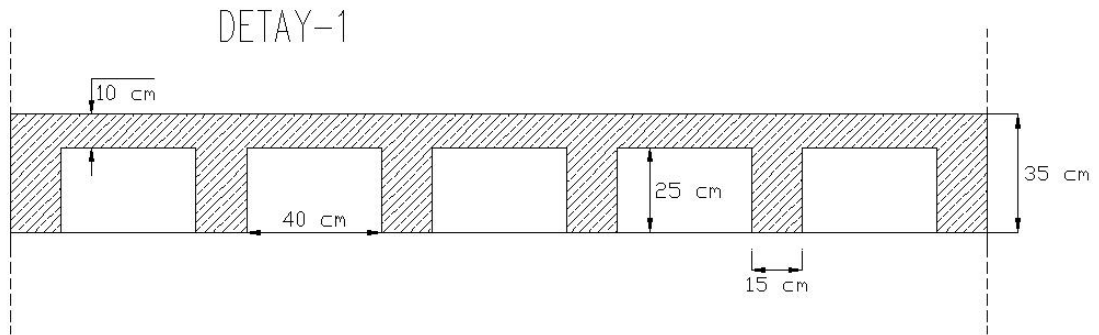
Seçilen dış derinliği $\rightarrow h = 350 \text{ mm}$

Tabla plak kalınlığı:

$$t \geq \frac{e}{10} = \frac{400}{10} = 40 \text{ mm}$$

Seçilen plak kalınlığı $\rightarrow t = 100 \text{ mm}$

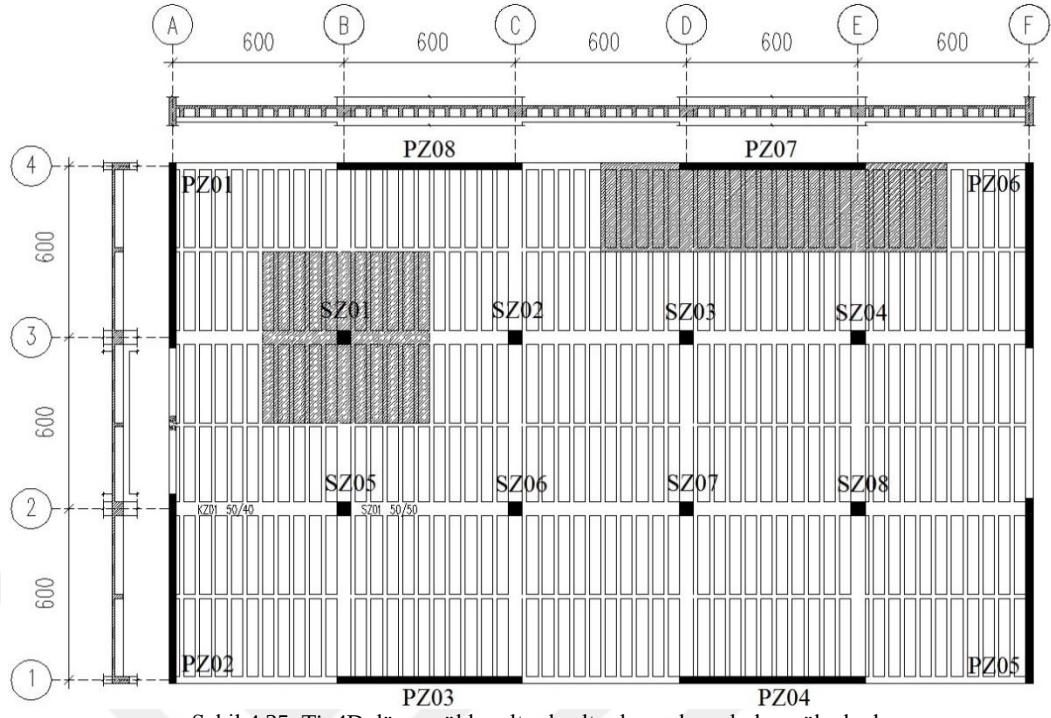
Asmolen döşeme detayı Şekil 4.34.'te gösterilmiştir.



Şekil 4.34. Asmolen döşeme detayı

4.2.4.3. Kolonların ön boyutlandırılması

Yapı geometrisi planda simetrik olduğundan binadaki tüm kolonlara aynı oranda yük etkimektedir. Şekil 4.35.'te verilen planda örnek olarak SZ01 kolonunun alan payı gösterilmiştir. SZ01 kolonu için seçilen ön boyutları Tablo 4.47.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.35. Tip4D düşey yükler altında altıncı perde ve kolon yük alanları

$MaxN_d \leq 0,9 \times f_{cd} \times A_c$ koşulu:

$$f_{cd} = f_{ck} / 1,5 = 30 / 1,5 = 20 \text{ MPa} = 20000 \text{ kN/ m}^2$$

$$A_c = 0,5 \times 0,5 = 0,25 \text{ m}^2$$

Tablo 4.47. Tip4D seçilen kolon ön boyutları

Kat	Kot	G+Q (kN)	1,4G+1,6Q (kN)	$A_c \geq N_{1,4G+1,6Q} / 0,9f_{cd}$	Seçilen Kolon Ön Boyutu
3	12.0	362	525	0,03	50/50
2	9.0	867	1257	0,07	50/50
1	6.0	1372	1989	0,11	50/50
Z	3.0	1877	2721	0,15	50/50

Seçilen kolon boyutları TS500 Madde 7.4.1 ve TBDY Madde 7.3.1’de verilen enkesit koşullarını sağlamaktadır.

4.2.4.4. Perdelerin ön boyutlandırılması

En fazla yük alan perdelerden PZ07 perdesinin alan payı yöntemine göre ön boyutlandırılması hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda +0.00 kotunda temel üssü seviyesinde düşey yüklerden (G+Q) dolayı PZ07 perdesinde meydana en büyük normal kuvvet 2371 kN'dur.

$$A_c \geq N_{dm} / (0,35f_{ck})$$

$$A_c = \text{Perde gövde kesiti beton alanı, } 6,5\text{m} \times 0,25\text{m} = 1,625 \text{ m}^2$$

$$f_{ck} = \text{Beton karakteristik basınç dayanımı, C30/37 beton sınıfı için } 30000 \text{ kN/ m}^2$$

$$N_{dm} / (A_c \times f_{ck}) = 2371 \text{ kN} / (1,625 \text{ m}^2 \times 30000 \text{ kN/ m}^2) \cong 0,05$$

Görüldüğü gibi en büyük eksenel kuvvetin meydana geldiği +0.00 temel üssü kotunda dahi depremsiz G+Q düşey yükleri altında oluşan eksenel kuvvetin, betonun karakteristik basınç dayanımına oranı (0,05), depremli durum için izin verilen sınır oranının (0,35) yaklaşık olarak yedide biri kadardır Seçilen perde kalınlığı TBDY Madde 7.6.1'deki en kesit koşullarını sağlamaktadır (TBDY, 2018).

Tip4D yapısındaki betonarme taşıyıcı elemanların boyutları toplu olarak Tablo 4.48.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.48. Tip4D betonarme taşıyıcı elemanların boyutları

Kat	Perde (cm)	Kolon (cm)	Kiriş (cm)	Yastık Kiriş (cm)	Diş (cm)	Döşeme (cm)
Kat 3	650x25	50x50	25x60	50x35	15x35	10
Kat 2	650x25	50x50	25x60	50x35	15x35	10
Kat 1	650x25	50x50	25x60	50x35	15x35	10
Kat Z	650x25	50x50	25x60	50x35	15x35	10

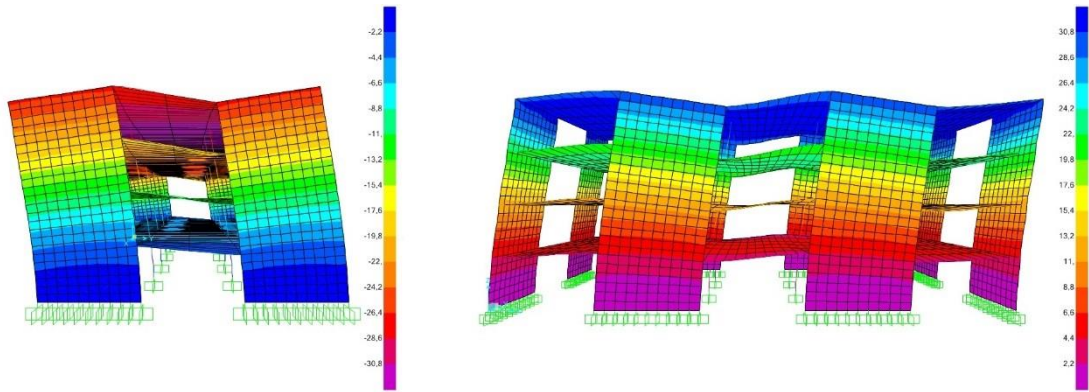
4.2.4.5. Bina periyodunun belirlenmesi

Modal analiz sonucu, binanın birinci moduna karşılık gelen Y doğrultusundaki hâkim doğal titreşim periyodu Sap2000 programında $T_p^{(Y)}$ 0,295 saniye bulunmuştur. Binaının ikinci moduna karşılık gelen X doğrultusundaki hâkim doğal titreşim periyodu da $T_p^{(X)}$ 0,285 saniye bulunmuştur. TBDY Madde 4.7.3.2'ye göre analiz sonucu bulunan hâkim titreşim periyotları, ampirik hâkim doğal titreşim periyodu $T_{pA} = C_t H_N^{0,75}$ değerinin 1,4 katından fazla olamaz. TBDY Madde 4.7.3.4.a'ya göre taşıyıcı sistemi betonarme çerçeve ve perdeli binalar için $C_t = 0,07$ alınmıştır (TBDY, 2018).

$$T_{pA} = C_t H_N^{0,75} = 0,07 \times 12^{0,75} = 0,45 \text{ saniye}$$

$1,4 \times T_{pA} = 1,4 \times 0,45 = 0,63$ saniye, analiz sonucu hesaplanan hâkim periyot değerlerinden ($T_p^{(X)}$, $T_p^{(Y)}$) büyük olduğundan eşdeğer deprem yükü hesaplarında $T_p^{(Y)} = 0,295$ s. ve $T_p^{(X)} = 0,285$ s. esas alınmıştır.

Tip4D binasının Sap2000 programıyla bulunan birinci ve ikinci mod şekli Şekil 4.36.'da gösterilmiştir.



Şekil 4.36. Tip4D binasının Sap2000 programıyla bulunan birinci ve ikinci mod şekli

TBDY Madde 4.8.1.2'ye göre modal hesap yöntemlerinde hesaba katılması gereken yeterli titreşim modu sayısı, modal etkin kütleleri toplamının binanın toplam kütlelerinin %95'inden az olmayacak şekilde belirlenmektedir (TBDY, 2018). Bu bağlamda binanın deprem hesapları eşdeğer deprem yükü yöntemine göre yapıldığından x ve y

yönünde Tablo 4.49.'da görüldüğü gibi 12 serbest titreşim modu için toplam kütle katılımı yönetmeliğe uygun olarak %97 olarak bulunmuştur.

Tablo 4.49. Tip4D kütle katılım oranları

Modal Kütle Katılım Oranları						
Analiz	Adım	Adım No	Periyot (sn)	ToplamUX	ToplamUY	ToplamRZ
MODAL	Mod	1	0,295	0	0,7389	0
MODAL	Mod	2	0,285	0,7185	0,7389	0
MODAL	Mod	3	0,178	0,7185	0,7389	0,6944
MODAL	Mod	4	0,156	0,7205	0,7389	0,6944
MODAL	Mod	5	0,132	0,7205	0,7389	0,7004
MODAL	Mod	6	0,129	0,7205	0,8965	0,7004
MODAL	Mod	7	0,100	0,7205	0,9352	0,7004
MODAL	Mod	8	0,095	0,9136	0,9352	0,7004
MODAL	Mod	9	0,072	0,9136	0,9352	0,7962
MODAL	Mod	10	0,064	0,9732	0,9352	0,7962
MODAL	Mod	11	0,048	0,9732	0,9761	0,7962
MODAL	Mod	12	0,048	0,9732	0,9761	0,9501

4.2.4.6. Kat ağırlıkları

Tip4D binasının kat kütleleri, kat ağırlıkları ve toplam bina ağırlığı Tablo 4.50.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.50. Tip4D binasının kat ağırlıkları

Kat İsmi	Kütle (ton)	Ağırlık W_i (kN)
3. Kat	539,6	5291
2. Kat	719,8	7059
1. Kat	719,8	7059
Zemin Kat	719,8	7059
Toplam	$\cong 2699$ ton	$\cong 26468$ kN

4.2.4.7. Eşdeğer deprem yükü yöntemi ile doğrusal deprem hesabı

Hesabı yapılacak bina BYS=6 olduğundan dolayı, deprem hesapları için TBDY Tablo 4.4'e göre eşdeğer deprem yükü kullanımı uygundur. TBDY'ye göre her iki doğrultudaki toplam eşdeğer deprem yükleri (taban kesme kuvveti) V_{tE} aşağıdaki denklemler ile bulunmuştur (TBDY, 2018).

$$V_{tE}^{(X)} = m_t S_{aR}(T_p^{(X)}) \geq 0,04 m_t I S_{DS} g$$

$$V_{tE}^{(Y)} = m_t S_{aR}(T_p^{(Y)}) \geq 0,04 m_t I S_{DS} g$$

Yatay spektrum köşe periyotları $T_A = 0,102$ s. ve $T_B = 0,508$ s.

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

$T_B = 0,508$ s. $> T_X = 0,285$ s. $> T_A = 0,102$ s. olduğundan:

X doğrultusunda yatay elastik tasarım spektral ivmesi $S_{ae}(T^{(X)}) = S_{DS} = 1,622$ g

$T_B = 0,508$ s. $> T_Y = 0,295$ s. $> T_A = 0,102$ s. olduğundan:

Y doğrultusunda yatay elastik tasarım spektral ivmesi $S_{ae}(T^{(Y)}) = S_{DS} = 1,622$ g

Deprem yükü azaltma katsayısı $R_a(T^{(X)})$, $T_B = 0,508$ s. $> T_X = 0,285$ s.

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

$$R_a(T^{(X)}) = 2,5 + \left(\frac{5}{1} - 2,5\right) \frac{0,285}{0,508} = 3,903$$

Deprem yükü azaltma katsayısı $R_a(T^{(Y)})$, $T_B = 0,508 \text{ s.} > T_Y = 0,295 \text{ s.}$

$$R_a(T^{(Y)}) = 2,5 + \left(\frac{5}{1} - 2,5\right) \frac{0,295}{0,508} = 3,952$$

X doğrultusunda azaltılmış tasarım spektral ivmesi $S_{aR}(T^{(X)})$

$$S_{aR}(T^{(X)}) = \frac{S_{ae}(T^{(X)})}{R_a(T^{(X)})} = \frac{1,622g}{3,903} = 0,4156g$$

Y doğrultusunda azaltılmış tasarım spektral ivmesi $S_{aR}(T^{(Y)})$

$$S_{aR}(T^{(Y)}) = \frac{S_{ae}(T^{(Y)})}{R_a(T^{(Y)})} = \frac{1,622g}{3,952} = 0,41g$$

X doğrultusundaki toplam eşdeğer deprem yükü:

$$V_{tE}^{(X)} = 2699 \times 0,4156 \times 9,8067 \cong 11001 \text{ kN} \geq 0,04 \times 2699 \times 1 \times 1,622 \times 9,8067 = 1717 \text{ kN}$$

Y doğrultusundaki toplam eşdeğer deprem yükü:

$$V_{tE}^{(Y)} = 2699 \times 0,41 \times 9,8067 \cong 10864 \text{ kN} \geq 0,04 \times 2699 \times 1 \times 1,622 \times 9,8067 = 1717 \text{ kN}$$

Katlara etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin bulunması:

TBDY Madde 4.7.2'ye göre katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri aşağıdaki denklemler ile hesaplanmaktadır.

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

Binanın tepesine etkiyen ek eşdeğer deprem yükü $\Delta F_{NE}^{(X)}$ ve $\Delta F_{NE}^{(Y)}$:

$$\Delta F_{NE}^{(X)} = 0,0075 N V_{tE}^{(X)} \Rightarrow \Delta F_{NE}^{(X)} = 0,0075 \times 4 \times 11001 = 330 \text{ kN}$$

$$\Delta F_{NE}^{(Y)} = 0,0075 N V_{tE}^{(Y)} \Rightarrow \Delta F_{NE}^{(Y)} = 0,0075 \times 4 \times 10864 = 326 \text{ kN}$$

TBDY Denklem 4.23'e göre katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri;

$$F_{iE} = (V_{tE} - \Delta F_{NE}) \frac{m_i H_i}{\sum_{j=1}^N m_j H_j} \text{ denkleminde bulunmuştur.}$$

X doğrultusu için:

$$F_3 = (11001 - 330) \times 0,333 = 3556 \text{ kN}$$

$$F_2 = (11001 - 330) \times 0,333 = 3558 \text{ kN}$$

$$F_1 = (11001 - 330) \times 0,222 = 2372 \text{ kN}$$

$$F_Z = (11001 - 330) \times 0,111 = 1186 \text{ kN}$$

Y doğrultusu için:

$$F_3 = (10864 - 326) \times 0,333 = 3511 \text{ kN}$$

$$F_2 = (10864 - 326) \times 0,333 = 3513 \text{ kN}$$

$$F_1 = (10864 - 326) \times 0,222 = 2342 \text{ kN}$$

$$F_z = (10864 - 326) \times 0,111 = 1171 \text{ kN}$$

X ve Y doğrultusunda katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri Tablo 4.51.'de sunulmuştur.

Tablo 4.51. Tip4D X ve Y doğrultusu için %5 ek dışmerkezlik ile hesaplanan eşdeğer deprem yükleri

Kat	h_i (m)	H_i (m)	m_i (ton)	$m_i \times H_i$	Oran	F_x (kN)	F_y (kN)
3	3	12	539,6	6474,7	0,333	3886	3837
2	3	9	719,8	6478,2	0,333	3558	3513
1	3	6	719,8	4318,8	0,222	2372	2342
Z	3	3	719,8	2159,4	0,111	1186	1171
Toplam			2699 ton	19431	1	11001 kN	10864 kN

4.2.4.8. Taşıyıcı sistem davranış katsayısının kontrolü

TBDY Tablo4.1'den A24 kodlu deprem etkilerinin moment aktaran süneklik düzeyi sınırlı dolgulu (asmolen) veya dolgusuz tek doğrultulu dişli döşemeli betonarme çerçeveler ile süneklik düzeyi yüksek boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalarda binanın x ve y doğrultusu için taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R = 5$ alınmıştır. TBDY 4.3.2.4.a ve TBDY 4.3.2.4.b kontrollerinin nasıl yapılacağı önceki bölümlerde açıklanmıştı. TBDY Madde 4.3.4.6'da betonarme süneklik düzeyi karma taşıyıcı sistemlerde, süneklik düzeyi yüksek boşluksuz betonarme perdelerin tabanında deprem yüklerinden meydana gelen devrilme momentlerinin toplamı, binanın tümü için deprem yüklerinden tabanda meydana gelen toplam devrilme momentinin %75'inden az olmayacaktır kuralının tahkiki aşağıda gösterilmiştir (TBDY, 2018). Planda X doğrultusundaki perdeler sırasıyla PZ03, PZ04, PZ07 ve PZ08 olarak isimlendirilmiştir. Planda Y doğrultusundaki perdelerde PZ01, PZ02, PZ05 ve PZ06 olarak isimlendirilmiştir.

X doğrultusunda EXP ve EXN deprem yüklemeleri için binanın tümünde meydana gelen toplam devrilme momentleri M_o , ayrı ayrı Sap2000 programında GlobalMy 96444 kNm bulunmuştur.

Y doğrultusunda EYP ve EYN deprem yüklemeleri için binanın tümünde meydana gelen toplam devrilme momenti M_O , ayrı ayrı Sap2000 programında GlobalMx 95226 kNm bulunmuştur.

TBDY Madde 4.3.2.4.a kontrolü:

Taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R=5$ 'ya göre EXP ve EYP deprem yüklemeleri için TBDY Madde 4.3.2.4.a kontrolü Tablo 4.52. ve Tablo 4.53.'te gösterilmiştir.

Tablo 4.52. Tip4D EXP ve EXN için TBDY Madde 4.3.2.4.a kontrolü

Perde İsmi	EXP +5 %			EXN-5 %		
	M_{DEV} (kNm)	$M_O / 3$ (kNm)	$M_O / 3 > M_{DEV}$	M_{DEV} (kNm)	$M_O / 3$ (kNm)	$M_O / 3 > M_{DEV}$
PZ03	21408	32148	✓	23137	32148	✓
PZ04	20738	32148	✓	21998	32148	✓
PZ07	22385	32148	✓	21143	32148	✓
PZ08	23738	32148	✓	21986	32148	✓

Tablo 4.52.'de görüldüğü üzere planda x eksenine paralel PZ03, PZ04, PZ07 ve PZ08 perdelerinin EXP ve EXN deprem yüklemeleri için TBDY Madde 4.3.2.4.a kontrolü sağlanmıştır.

Tablo 4.53. Tip4D EYP ve EYN için TBDY Madde 4.3.2.4.a kontrolü

Perde İsmi	EYP +5 %			EYN-5 %		
	M_{DEV} (kNm)	$M_O / 3$ (kNm)	$M_O / 3 > M_{DEV}$	M_{DEV} (kNm)	$M_O / 3$ (kNm)	$M_O / 3 > M_{DEV}$
PZ01	19945	31742	✓	23258	31742	✓
PZ02	20168	31742	✓	23669	31742	✓
PZ05	22197	31742	✓	18751	31742	✓
PZ06	21980	31742	✓	18642	31742	✓

Tablo 4.53.'te görüldüğü üzere planda y eksenine paralel PZ01, PZ02, PZ05 ve PZ06 perdelerinin EYP ve EYN deprem yüklemeleri için TBDY Madde 4.3.2.4.a kontrolü sağlanmıştır.

TBDY Madde 4.3.2.4.b kontrolü:

Taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R=5$ 'e göre EXP ve EYP deprem yüklemeleri için TBDY Madde 4.3.2.4.b kontrolü Tablo 4.54. ve Tablo 4.55.'te gösterilmiştir.

Tablo 4.54. Tip4D EXP ve EXN için TBDY Madde 4.3.2.4.b kontrolü

Perde İsmi	EXP +5 %			EXN-5 %		
	M_{DEV} (kNm)	$M_o / 6$ (kNm)	$M_{DEV} > M_o / 6$	M_{DEV} (kNm)	$M_o / 6$ (kNm)	$M_{DEV} > M_o / 6$
PZ03	21408	15871	✓	23137	15871	✓
PZ04	20738	15871	✓	21998	15871	✓
PZ07	22385	15871	✓	21143	15871	✓
PZ08	23738	15871	✓	21986	15871	✓

Tablo 4.54.'te görüldüğü üzere planda x eksenine paralel PZ03, PZ04, PZ07 ve PZ08 perdelerinin EXP ve EXN deprem yüklemeleri için TBDY Madde 4.3.2.4.b kontrolü sağlanmıştır.

Tablo 4.55. Tip4D EYP ve EYN için TBDY Madde 4.3.2.4.b kontrolü

Perde İsmi	EYP +5 %			EYN-5 %		
	M_{DEV} (kNm)	$M_o / 6$ (kNm)	$M_{DEV} > M_o / 6$	M_{DEV} (kNm)	$M_o / 6$ (kNm)	$M_{DEV} > M_o / 6$
PZ01	19945	16074	✓	23258	16074	✓
PZ02	20168	16074	✓	23669	16074	✓
PZ05	22197	16074	✓	18751	16074	✓
PZ06	21980	16074	✓	18642	16074	✓

Tablo 4.55.'te görüldüğü üzere planda y eksenine paralel PZ01, PZ02, PZ05 ve PZ06 perdelerinin EYP ve EYN deprem yüklemeleri için TBDY Madde 4.3.2.4.b kontrolü sağlanmıştır.

TBDY Madde 4.3.4.6 kontrolü:

Zemin katta X doğrultusundaki perdelerin (PZ03, PZ04, PZ07, PZ08) tabanında eşdeğer deprem kuvveti + 0,05 dışmerkezli EXP deprem yükünden dolayı meydana toplam devrilme momenti:

$$M_{DEV} = 21408 + 20738 + 22385 + 23738 = 88269 \text{ kNm}$$

Zemin katta X doğrultusundaki perdelerin (PZ03, PZ04, PZ07, PZ08) tabanında eşdeğer deprem kuvveti - 0,05 dışmerkezli EXN deprem yükünden dolayı meydana toplam devrilme momenti:

$$M_{DEV} = 23137 + 21998 + 21143 + 21986 = 88264 \text{ kNm}$$

Zemin katta Y doğrultusundaki perdelerin (PZ01, PZ02, PZ05, PZ06) tabanında eşdeğer deprem kuvveti + 0,05 dışmerkezli EYP deprem yükünden dolayı meydana toplam devrilme momenti:

$$M_{DEV} = 19945 + 20168 + 22197 + 21980 = 84290 \text{ kNm}$$

Zemin katta Y doğrultusundaki perdelerin (PZ01, PZ02, PZ05, PZ06) tabanında eşdeğer deprem kuvveti - 0,05 dışmerkezli EYN deprem yükünden dolayı meydana toplam devrilme momenti:

$$M_{DEV} = 23258 + 23669 + 18571 + 18642 = 84320 \text{ kNm}$$

Tablo 4.56. ve Tablo 4.57.'de TBDY Madde 4.3.4.6 kontrolleri gösterilmiştir.

Tablo 4.56. Tip4D EXP ve EXN için Madde 4.3.4.6 kontrolü

X				
Deprem - X	ΣM_{dev} (kNm)	M_o (kNm)	$\Sigma M_{DEV} / M_o$	$\Sigma M_{DEV} \geq 0,75 M_o$
X + %5 (EXP)	88269	96444	0,915	✓
X - %5 (EXN)	88264	96444	0,915	✓

Tablo 4.57. Tip4D EYP ve EYN için Madde 4.3.4.6 kontrolü

Y				
Deprem - Y	ΣM_{dev} (kNm)	M_o (kNm)	$\Sigma M_{DEV} / M_o$	$\Sigma M_{DEV} \geq 0,75 M_o$
Y + %5 (EYP)	84290	95226	0,885	✓
Y - %5 (EYN)	84320	95226	0,885	✓

Tablo 4.56. ve Tablo 4.57.'de görüldüğü üzere yönetmelik koşulu her iki ana doğrultu için sağlanmıştır.

4.2.4.9. A1 burulma düzensizliği kontrolü

Burulma düzensizliği kontrolünün nasıl yapılacağı TBDY Madde 3.6.1'de açıklanmıştır.

$$\eta_{bi} = (\Delta_i^{(X)})_{max} / (\Delta_i^{(X)})_{ort} = 1,2$$

Tablo 4.58. ve Tablo 4.59.'da EXP ve EYP eşdeğer deprem yükleri için her kat seviyesinde hesaplanmış burulma düzensizliği katsayısı η_{bi} gösterilmiştir.

Tablo 4.58. Tip4D X doğrultusunda A1 burulma düzensizliği kontrolü

KAT	$u_{i, min}$ (mm)	$u_{i, max}$ (mm)	$(\Delta_i)_{min}$	$(\Delta_i)_{max}$	$(\Delta_i)_{ort.}$	η_{bi}
3	14,38	17,18	4,36	5,14	4,75	1,08
2	10,02	12,04	4,32	5,08	4,70	1,08
1	5,70	6,96	3,62	4,34	3,98	1,09
Z	2,08	2,62	2,08	2,62	2,35	1,11

Tablo 4.58.'de görüldüğü üzere x doğrultusunda EXP deprem yüklemesi için her katta η_{bi} katsayıları 1,2 değerinden küçük olduğundan A1 burulma düzensizliği bulunmamaktadır.

Tablo 4.59. Tip4D Y doğrultusunda A1 burulma düzensizliği kontrolü

KAT	$u_{i, \min}$ (mm)	$u_{i, \max}$ (mm)	$(\Delta_i)_{\min}$	$(\Delta_i)_{\max}$	$(\Delta_i)_{\text{ort.}}$	η_{bi}
3	13,64	15,19	4,17	4,65	4,41	1,05
2	9,47	10,54	4,06	4,51	4,29	1,05
1	5,41	6,03	3,40	3,79	3,60	1,05
Z	2,01	2,24	2,01	2,24	2,13	1,05

Tablo 4.59.'da görüldüğü üzere y doğrultusunda EYP deprem yüklemesi için her katta η_{bi} katsayıları 1,2 değerinden küçük olduğundan A1 burulma düzensizliği bulunmamaktadır.

4.2.4.10. Etkin görelî kat ötelemelerinin kontrolü

Etkin görelî kat ötelemeleri her kat seviyesinde EXP ve EYP eşdeğer deprem yüklemeleri için aşağıdaki Tablo 4.60. ve Tablo 4.61.'de gösterilmiştir. Etkin görelî kat ötelemelerinin kontrolü TBDY Madde 4.9.1'e göre yapılmıştır.

$$\lambda^{(X)} = \frac{S_{ae,DD3}(T_{1X})}{S_{ae,DD2}(T_{1X})} = \frac{0,827g}{1,622g} = 0,51$$

$$\lambda^{(Y)} = \frac{S_{ae,DD3}(T_{1Y})}{S_{ae,DD2}(T_{1Y})} = \frac{0,827g}{1,622g} = 0,51$$

$$\lambda^{(X)} = 0,51$$

$$\lambda^{(Y)} = 0,51$$

$$\delta_{i,max}^{(X)} = \frac{R}{I} \Delta_{i,max}^{(X)}$$

$$\lambda \frac{\delta_{i,max}^{(X)}}{h_i} \leq 0,008\kappa \Rightarrow \lambda \frac{\frac{R}{I} \Delta_{i,max}^{(X)}}{h_i} \leq 0,008\kappa$$

$$R = 5 \rightarrow I = 1 \rightarrow \kappa = 1$$

X doğrultusundaki EXP deprem yüklemesi için etkin görelî kat ötelemelerinin kontrolü Tablo 4.60.'da gösterilmiştir.

Tablo 4.60. Tip4D X doğrultusu için etkin görelî kat ötelemelerinin kontrolü

KAT	$u_{i, \max}$ (cm)	$(\Delta_i)_{\max}$ (cm)	$(\delta_i)_{\max}$ (cm)	h_i (cm)	λ	$\lambda(\delta_i)_{\max}/h_i$
3	1,718	0,514	2,570	300	0,51	0,0044
2	1,204	0,508	2,540	300	0,51	0,0043
1	0,696	0,434	2,170	300	0,51	0,0037
Z	0,262	0,262	1,310	300	0,51	0,0022

Y doğrultusundaki EYP deprem yüklemesi için etkin görelî kat ötelemelerinin kontrolü Tablo 4.61.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.61. Tip4D Y doğrultusu için etkin görelî kat ötelemelerinin kontrolü

KAT	$u_{i, \max}$ (cm)	$(\Delta_i)_{\max}$ (cm)	$(\delta_i)_{\max}$ (cm)	h_i (cm)	λ	$\lambda(\delta_i)_{\max}/h_i$
3	1,519	0,465	2,33	300	0,51	0,0040
2	1,054	0,451	2,26	300	0,51	0,0038
1	0,603	0,379	1,90	300	0,51	0,0032
Z	0,224	0,224	1,12	300	0,51	0,0019

Her bir deprem doğrultusu için her katta azaltılmış görelî kat ötelemeleri söz konusu deprem doğrultusundaki Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı, R ile çarpılarak etkin görelî kat ötelemeleri δ_i hesaplanmıştır. X doğrultusundaki EXP ve Y doğrultusundaki EYP deprem yüklemeleri için her hatta etkin görelî kat ötelemelerinin kat yüksekliğine oranı, yönetmeliğin izin verdiği sınır değer olan 0,008 değerinin altında bulunmuştur.

4 farklı döşeme tipi için 4 katlı Tip4A, Tip4B, Tip4C ve Tip4D binalarının x ve y yönündeki doğal titreşim periyotları, taban kesme kuvvetleri, en üst kat için maksimum deplasmanları ve etkin görelî kat öteleme değerleri Tablo 4.62.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.62. Tip4A, Tip4B, Tip4C ve Tip4D binalarının dinamik karakteristiklerinin karşılaştırılması

Bina İsmi	Periyot (sn.)		Taban Kesme Kuvveti (kN)		Deplasman (mm)		Etkin Görelî Kat Ötelemeleri (mm)	
	T_x	T_y	$V_{tE,x}$	$V_{tE,y}$	$u_{i, \max-x}$	$u_{i, \max-y}$	$(\delta_i)_{\max-x}$	$(\delta_i)_{\max-y}$
Tip4A	0,267	0,269	9374	9354	12,89	13,68	23,46	25,02
Tip4B	0,296	0,309	10283	10084	16,38	14,99	28,14	27,54
Tip4C	0,271	0,273	9831	9800	13,12	14,03	23,70	25,50
Tip4D	0,285	0,295	11001	10864	17,18	15,19	25,70	23,25

Tablo 4.62.'den görüldüğü gibi en güvenli sonuçları veren döşeme tipi kirişli plak döşemedir. Aşağıda kirişli plak döşeme için farklı kat adedi ve farklı kat yüksekliklerine göre binaların dinamik karakteristiklerini belirlemek amacıyla genel bilgiler verilmiş olup 5. Bölümde hesap sonuçları karşılaştırılmıştır.

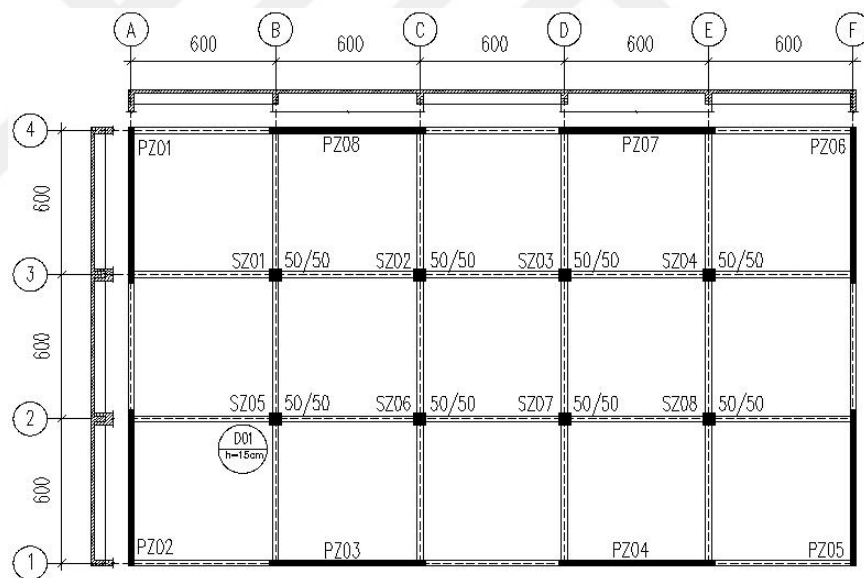
4.3. Farklı Kat Yüksekliklerindeki Binaların Sonlu Eleman Modelleri

Binalardaki kat adedi ve kat yüksekliği, binaların depreme karşı performanslarının belirlenmesinde göz önüne alınması gereken etkenlerdendir. Burada sözü edilen kat yüksekliğinden kasıt, döşeme üst kotundan bir üst katın döşeme üst katına olan mesafedir. 4-6-8 katlı modellerde perde kalınlıkları 25 cm seçilmiştir. Tüm taşıyıcı betonarme elemanlar TS500 ve TDBY'ye göre boyutlandırılmıştır. Kolon boyutları 4 katlı modellerde her katta 50x50 cm, 6 katlı modellerde her katta 60x60 cm ve 8 katlı modellerde her katta 70x70 cm'dir. Döşeme kalınlıkları tüm modellerde 15 cm olarak belirlenmiştir. Kiriş boyutları tüm modellerde her aks ve kat seviyesinde 25 cm genişliğinde olup 60 cm yüksekliğindedir. Model isimlendirmeleri ve betonarme taşıyıcı elemanların boyutları Tablo 4.63.'te topluca gösterilmiştir.

Tablo 4.63. Model isimlendirmeleri ve betonarme taşıyıcı elemanların boyutları

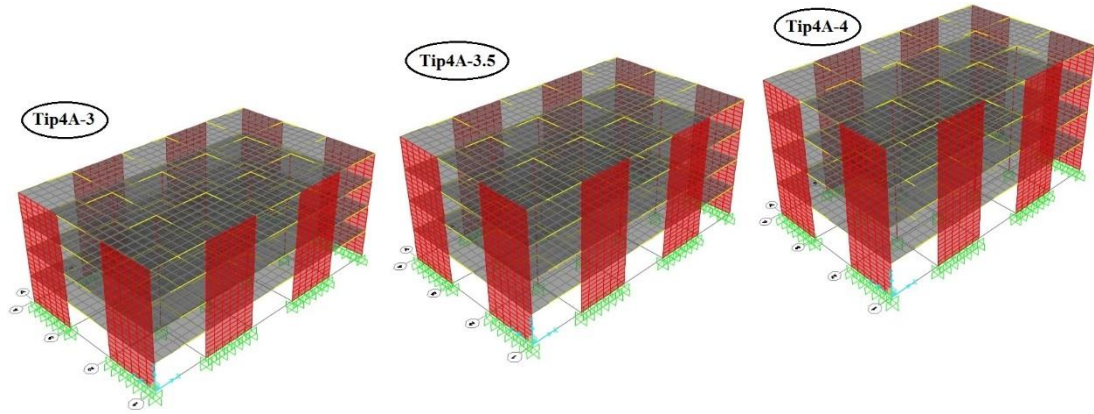
Kat Adedi	Model İsimlendirmeleri			Taşıyıcı Elemanların Boyutları (cm)			
	3 m.	3.5 m.	4 m.	Kolon	Perde	Döşeme	Kiriş
4	Tip4A-3	Tip4A-3.5	Tip4A-4	50/50			
6	Tip6A-3	Tip6A-3.5	Tip6A-4	60/60	650/25	15	25/60
8	Tip8A-3	Tip8A-3.5	Tip8A-4	70/70			

Döşemeler planda düzensizlik durumları olmadığından yönetmelikte belirtilen rijit diyafram kabulüyle çözülmüştür. Taşıyıcı sistem davranış katsayısı her iki ana doğrultuda yönetmelikte belirtilen A15 kodlu deprem etkilerinin moment aktaran süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçeveler ile süneklik düzeyi yüksek boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar için $R=7$ ve dayanım fazlalığı katsayısı $D=2,5$ alınmıştır (TBDY, 2018). $R=7$ için yapılan hesaplamalar sonucunda tüm bina modelleri için TBDY Madde 4.3.4.5 kontrolünün sağlanamadığı görülmüştür ve yönetmeliğin izin verdiği $R=6$ seçilerek tüm hesaplar tüm bina modelleri için tekrarlanmıştır. Taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R=6$ için TBDY Madde 4.3.2.4.a, TBDY Madde 4.3.2.4.b ve TBDY Madde 4.3.4.5’de belirtilen kontrollerin sağlandığı görülmüştür. Deprem analizlerinde yönetmelikte belirtilen etkin kesit rijitlikleri dikkate alınmıştır. Binaların tipik normal kat kalıp planı Şekil 4.37.’de gösterilmiştir.



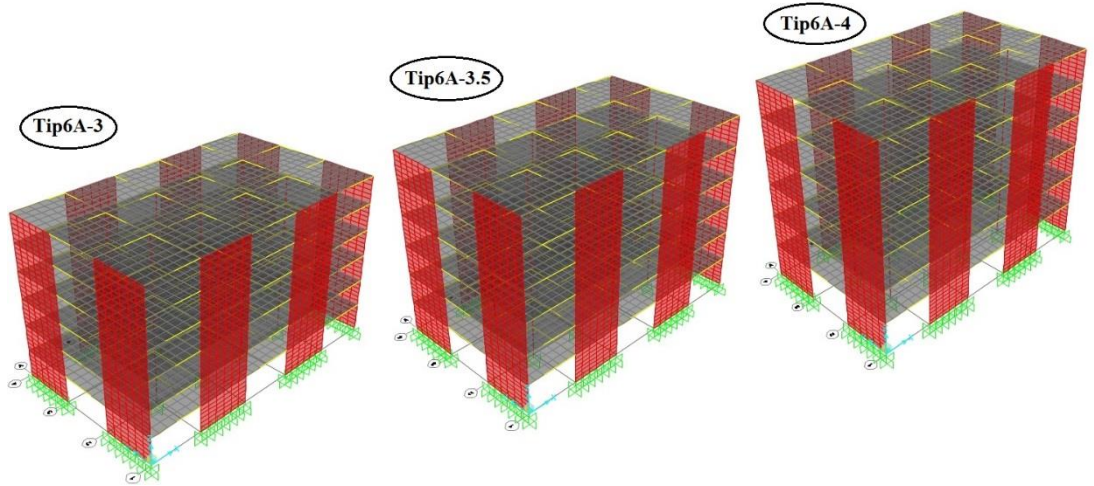
Şekil 4.37. Tipik normal kat kalıp planı

4 katlı kirişli plak döşemeli kat yüksekliği 3-3.5-4 m olan binaların 3 boyutlu hesap modelleri Şekil 4.38.'de gösterilmiştir.



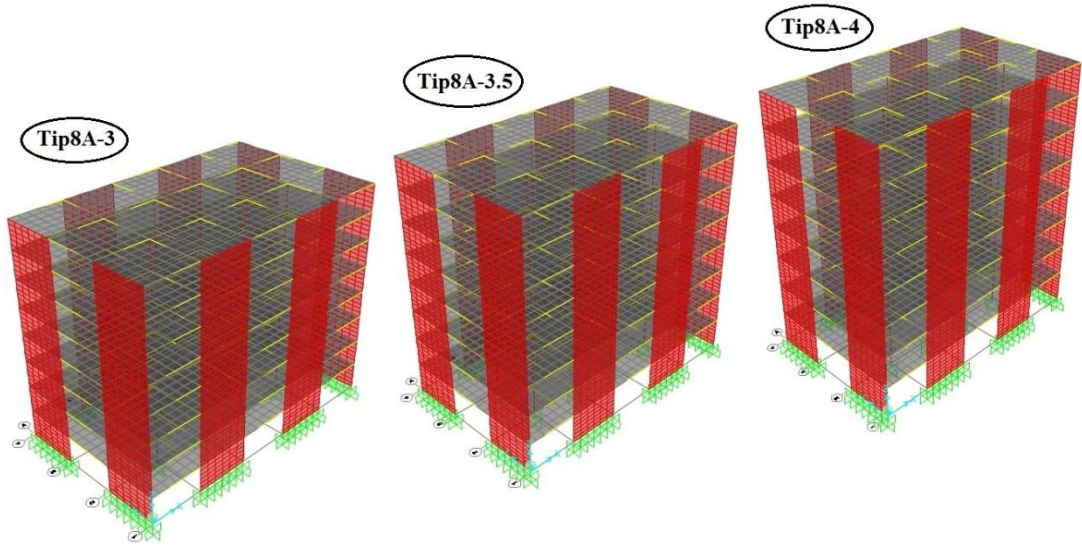
Şekil 4.38. Tip4A-3, Tip4A-3.5, Tip4A-4 binalarının üç boyutlu sonlu eleman modelleri

6 katlı kirişli plak döşemeli kat yüksekliği 3-3.5-4 m olan binaların 3 boyutlu hesap modelleri Şekil 4.39.'da gösterilmiştir.



Şekil 4.39. Tip6A-3, Tip6A-3.5, Tip6A-4 binalarının üç boyutlu sonlu eleman modelleri

8 katlı kirişli plak döşemeli kat yüksekliği 3-3.5-4 m olan binaların 3 boyutlu hesap modelleri Şekil 4.40.'da gösterilmiştir.



Şekil 4.40. Tip8A-3, Tip8A-3.5, Tip8A-4 binalarının üç boyutlu sonlu eleman modelleri

BÖLÜM 5. SEM ANALİZ SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRMASI

5.1. Farklı Döşeme Tipleri Sonuçlarının Karşılaştırılması

Bu bölümde deprem hesaplamaları eşdeğer deprem yükü yöntemine göre yapılmış, 4 farklı döşeme sistemine göre ve kat adetleri 3-4-5 katlı olmak üzere toplam 12 adet bina modelinin hesap sonuçları irdelenerek karşılaştırılmaları yapılmıştır. Tüm modellerde perde ve kolon ebatları aynı seçilmiştir. Kat yükseklikleri tüm modellerde 3 metredir. 4 farklı döşeme tipi; kirişli plak döşeme, tek doğrultulu dişli döşeme (asmolen) döşeme, iki doğrultulu dişli (kaset) döşeme ve kirişsiz döşeme için 4 katlı modellerin çözümleri 4. Bölüm’de detaylı gösterilmiştir. Döşeme tiplerine göre binaların isimlendirilmesi Tablo 5.1.’de gösterilmiştir.

Tablo 5.1. Döşeme tiplerine göre binaların isimlendirilmesi

Kat Adedi	Döşeme Tipi			
	Kirişli Plak Döşeme	Kirişsiz Döşeme	İki Doğ. Dişli (Kaset) Döşeme	Tek Doğ. Dişli (Asmolen) Döşeme
	TipA	TipB	TipC	TipD
3	Tip3A	Tip3B	Tip3C	Tip3D
4	Tip4A	Tip4B	Tip4C	Tip4D
5	Tip5A	Tip5B	Tip5C	Tip5D

Kat adetlerine ve döşeme tiplerine göre bina modellerinin isimlendirilmesi ve betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının boyutları Tablo 5.2.’de topluca gösterilmiştir.

Tablo 5.2. Döşeme tiplerine göre binaların taşıyıcı elemanlarının boyutları

Kat Adedi	Bina İsmi	Kiriş (cm)	Döşeme (cm)	Yastık Kiriş (cm)	Diş (cm)	Kolon (cm)	Perde (cm)	Kat Yük. (m)
3	Tip3A	25/60	15	-	-	50/50	650/25	3
	Tip3B	25/60	26	-	-			
	Tip3C	25/60	10	50/35	15/35			
	Tip3D	25/60	10	50/35	15/35			
4	Tip4A	25/60	15	-	-			
	Tip4B	25/60	26	-	-			
	Tip4C	25/60	10	50/35	15/35			
	Tip4D	25/60	10	50/35	15/35			
5	Tip5A	25/60	15	-	-			
	Tip5B	25/60	26	-	-			
	Tip5C	25/60	10	50/35	15/35			
	Tip5D	25/60	10	50/35	15/35			

Kirişli plak döşemeli TipA binalarının, kaset döşeme TipC binalarının ve kirişsiz döşemeli TipB binalarının taşıyıcı sistem davranış katsayıları, deprem yönetmeliğindeki ilgili kontroller yapılarak $R = 6$ alınmıştır. Tek doğrultulu dişli (asmolen) döşemeli TipD binalarının deprem yönetmeliğine göre taşıyıcı sistem davranış katsayıları $R = 5$ alınmıştır. Azaltılmış tasarım spektral ivmelerinin hesabında doğrudan kullanılan x ve y doğrultusundaki deprem yükü azaltma katsayıları 4 farklı döşeme tipine göre Tablo 5.3.'te gösterilmiştir.

Tablo 5.3. TipA, TipB, TipC ve TipD yapılarının deprem yükü azaltma katsayıları

Döşeme Tipi	3 Katlı		4 Katlı		5 Katlı	
	$R_a(T_x)$	$R_a(T_y)$	$R_a(T_x)$	$R_a(T_y)$	$R_a(T_x)$	$R_a(T_y)$
TipA	3,678	3,678	4,340	4,35	5,146	5,173
TipB	3,823	3,940	4,539	4,629	5,428	5,511
TipC	3,699	3,706	4,367	4,381	5,166	5,208
TipD	3,420	3,519	3,903	3,952	4,493	4,503

Döşeme türleri kendi içlerinde karşılaştırıldığında kat adedi arttıkça deprem yükü azaltma katsayılarının arttığı görülmektedir. Kat adetlerinin artmasıyla doğal titreşim periyotlarının arttığı bilinmektedir. Bu bağlamda deprem yükü azaltma katsayılarının periyotla doğru orantılı olduğu söylenebilir.

4 farklı döşeme türüne göre tasarımı yapılmış TipA, TipB, TipC ve TipD yapılarının azaltılmış tasarım spektral ivmeleri Tablo 5.4.'te gösterilmiştir.

Tablo 5.4. TipA, TipB, TipC ve TipD yapılarının azaltılmış tasarım spektral ivmeleri

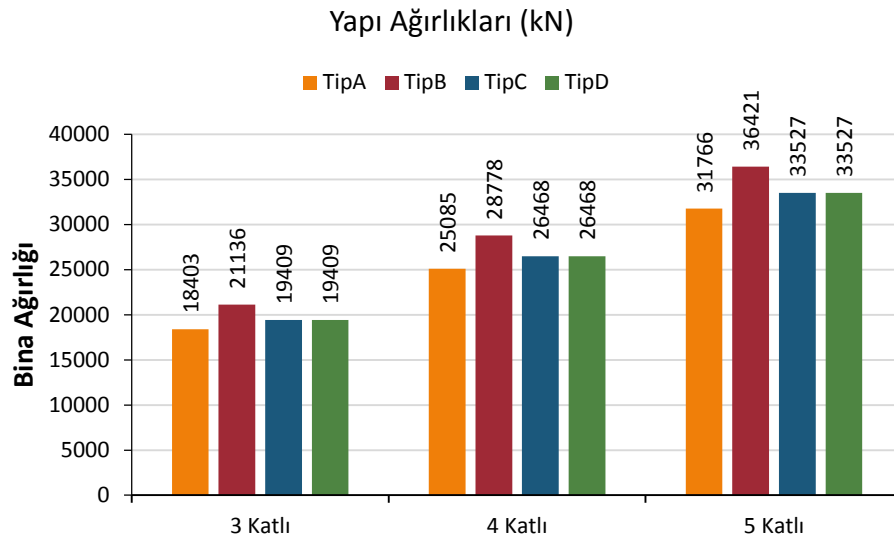
Döşeme Tipi	3 Katlı		4 Katlı		5 Katlı	
	$S_{aR}(T_X)$	$S_{aR}(T_Y)$	$S_{aR}(T_X)$	$S_{aR}(T_Y)$	$S_{aR}(T_X)$	$S_{aR}(T_Y)$
TipA	0,441	0,441	0,374	0,373	0,315	0,314
TipB	0,424	0,412	0,357	0,350	0,299	0,294
TipC	0,439	0,438	0,371	0,370	0,314	0,311
TipD	0,474	0,461	0,416	0,410	0,361	0,360

Döşeme tipleri kendi içlerinde karşılaştırıldığında kat sayısı arttıkça azaltılmış tasarım spektral ivmelerinin azaldığı görülmektedir.

TipA, TipB, TipC ve TipD bina modellerinin yapı ağırlıkları kat adetlerinin değişimine göre Şekil 5.1. ve Tablo 5.5.'te gösterilmiştir.

Tablo 5.5. TipA, TipB, TipC ve TipD yapılarının ağırlıkları

Döşeme Tipi	Yapı Ağırlıkları (kN)		
	3 Katlı	4 Katlı	5 Katlı
TipA	18403	25085	31766
TipB	21136	28778	36421
TipC	19409	26468	33527
TipD	19409	26468	33527



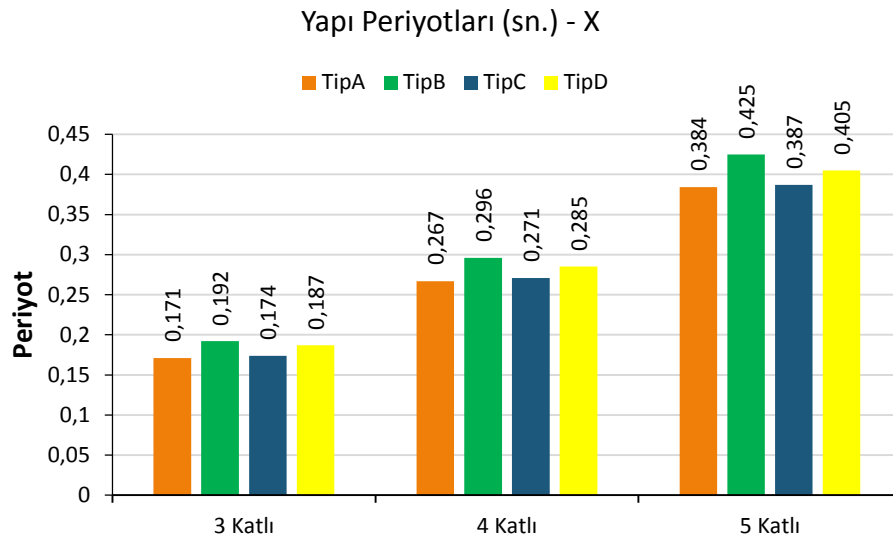
Şekil 5.1. TipA, TipB, TipC ve TipD yapılarının ağırlıkları

Bina ağırlıkları karşılaştırıldığında kirişsiz döşemeli TipB binaların en ağır ve kirişli plak döşemeli TipA binaların en hafif olduğu Şekil 5.1.'den görülmektedir. Asmolen döşemeli TipD binaları ile kaset döşemeli TipC binalarının ağırlıkları aynıdır. Yapı ağırlıkları yüzdesel olarak karşılaştırıldığında kirişsiz döşemeli TipB binalarının; kirişli plak döşemeli TipA binalarına göre %13, kaset döşemeli TipC binalarına oranla %8 ve tek doğrultulu dişli döşemeli TipD binalarına oranla %8 daha ağır olduğu elde edilmiştir.

4 farklı döşeme türüne ve kat adetlerinin farklı olmasına göre modellenen binaların x ve y yönündeki doğal titreşim periyotları Tablo 5.6., Şekil 5.2. ve Şekil 5.3.'te gösterilmiştir.

Tablo 5.6. TipA, TipB, TipC ve TipD yapılarının periyotları

Döşeme Tipi	X yönü – Periyot (sn.)			Y yönü – Periyot (sn.)		
	3 Katlı	4 Katlı	5 Katlı	3 Katlı	4 Katlı	5 Katlı
TipA	0,171	0,267	0,384	0,171	0,269	0,388
TipB	0,192	0,296	0,425	0,209	0,309	0,437
TipC	0,174	0,271	0,387	0,175	0,273	0,393
TipD	0,187	0,285	0,405	0,207	0,295	0,407

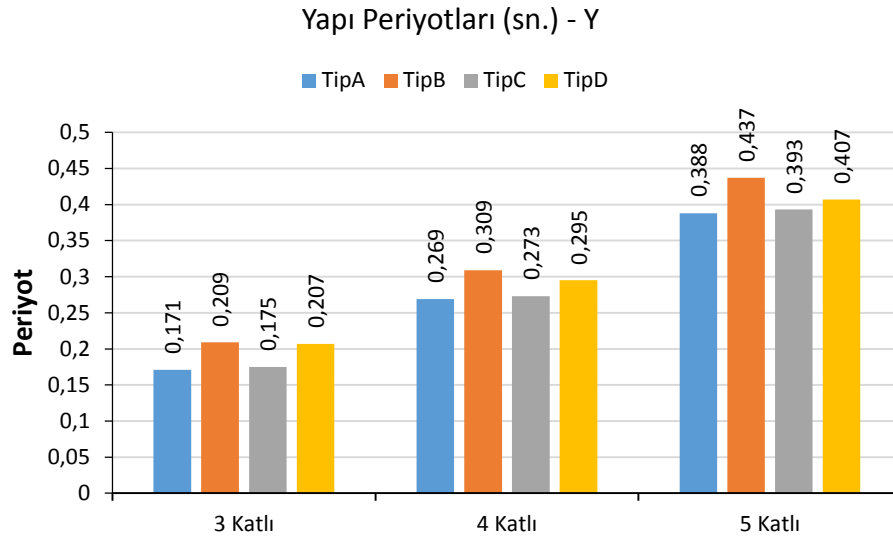


Şekil 5.2. TipA, TipB, TipC ve TipD yapılarının x yönü periyotları

3 katlı bina modellerinin x yönündeki doğal titreşim periyotları yüzdesel olarak karşılaştırıldığında Tip3B binasının; Tip3A binasına oranla %11, Tip3C binasına oranla %9 ve Tip3D binasına oranla %3 daha büyük periyoda sahip olduğu sonuçlardan elde edilmiştir.

4 katlı bina modellerinin X yönündeki doğal titreşim periyotları yüzdesel olarak karşılaştırıldığında Tip4B binasının; Tip4A binasına oranla %10, Tip4C binasına oranla %8 ve Tip4D binasına oranla %4 daha büyük periyoda sahip olduğu sonuçlardan elde edilmiştir.

5 katlı bina modellerinin x yönündeki doğal titreşim periyotları yüzdesel olarak karşılaştırıldığında Tip5B binasının; Tip5A binasına oranla %10, Tip5C binasına oranla %9 ve Tip5D binasına oranla %5 daha büyük periyoda sahip olduğu sonuçlardan elde edilmiştir.



Şekil 5.3. TipA, TipB, TipC ve TipD yapılarının y yönü periyotları

3 katlı modellerde y yönündeki doğal titreşim periyotları yüzdesel olarak karşılaştırıldığında, Tip3B binasının; Tip3A binasına oranla %18, Tip3C binasına oranla %16, Tip3D binasına oranla %1 daha büyük periyoda sahip olduğu sonuçlardan elde edilmiştir.

4 katlı modellerde y yönündeki doğal titreşim periyotları yüzdesel olarak karşılaştırıldığında, Tip4B binasının; Tip4A binasına oranla %13, Tip4C binasına oranla %12, Tip4D binasına oranla %5 daha büyük periyoda sahip olduğu sonuçlardan elde edilmiştir.

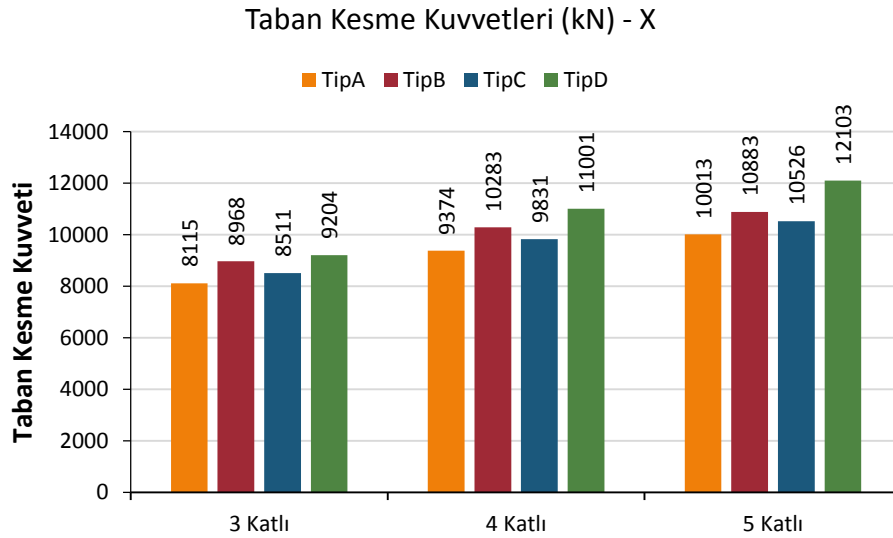
5 katlı modellerde y yönündeki doğal titreşim periyotları yüzdesel olarak karşılaştırıldığında, Tip5B binasının; Tip5A binasına oranla %11, Tip5C binasına oranla %10, Tip5D binasına oranla %7 daha büyük periyoda sahip olduğu sonuçlardan elde edilmiştir.

4 farklı döşeme türüne ve kat adetlerinin farklı olmasına göre modellenen TipA, TipB, TipC ve TipD binalarının yatay deprem kuvvetlerinden (EXP ve EYP) dolayı oluşan x ve y yönündeki toplam taban kesme kuvveti değerleri Tablo 5.7., Şekil 5.4. ve Şekil 5.5.'te gösterilmiştir.

Tablo 5.7. TipA, TipB, TipC ve TipD yapılarının taban kesme kuvvetleri

Döşeme	X yönü – Taban Kesme Kuv. (kN)			Y yönü – Taban Kesme Kuv. (kN)		
Tipi	3 Katlı	4 Katlı	5 Katlı	3 Katlı	4 Katlı	5 Katlı
TipA	8115	9374	10013	8115	9354	9960
TipB	8968	10283	10883	8701	10084	10720
TipC	8511	9831	10526	8495	9800	10442
TipD	9204	11001	12103	8947	10864	12077

Tablo 5.15.'den görüldüğü üzere x ve y yönündeki en büyük taban kesme kuvvetleri değerleri tek doğrultulu (asmolen) döşemeli TipD bina modellerinde olduğu görülmektedir. Asmolen döşemeli TipD bina modellerini, kirişsiz döşemeli TipB bina modelleri ve kaset döşemeli TipC bina modelleri takip etmektedir. En düşük kesme kuvveti değerleri kirişli plak döşemeli TipA bina modellerinde oluşmuştur. TipC ve TipD bina modellerinin yapı ağırlıkları aynı olmasına rağmen taban kesme kuvveti değerleri farklı sonuçlar vermiştir. Bunun nedeni kaset döşemeli sistemlerde nervürlerin planda iki doğrultuda düzenlenmesinden kaynaklı olarak periyotların doğrudan değişmesidir.



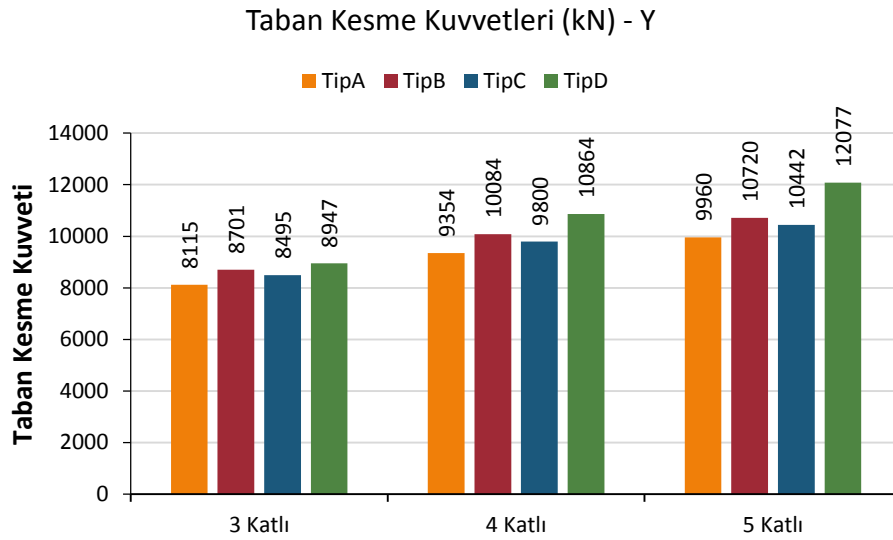
Şekil 5.4. TipA, TipB, TipC ve TipD yapılarının x yönü taban kesme kuvvetleri

3 katlı bina modellerinin x yönündeki taban kesme kuvvetleri yüzdesel olarak karşılaştırıldığında Tip3D binasının; Tip3A binasına oranla %12, Tip3C binasına

oranla %8 ve Tip3B binasına oranla %3 daha büyük taban kesme kuvvetine sahip olduğu sonuçlardan elde edilmiştir.

4 katlı bina modellerinin x yönündeki taban kesme kuvvetleri yüzdesel olarak karşılaştırıldığında Tip4D binasının; Tip4A binasına oranla %15, Tip4C binasına oranla %11 ve Tip4B binasına oranla %7 daha büyük taban kesme kuvvetine sahip olduğu elde edilmiştir.

5 katlı bina modellerinin x yönündeki taban kesme kuvvetleri yüzdesel olarak karşılaştırıldığında Tip5D binasının; Tip5A binasına oranla %17, Tip5C binasına oranla %13 ve kirişsiz döşemeli Tip5B binasına oranla %10 daha büyük taban kesme kuvvetine sahip olduğu sonuçlardan elde edilmiştir.



Şekil 5.5. TipA, TipB, TipC ve TipD yapılarının y yönü taban kesme kuvvetleri

3 katlı bina modellerinin y yönündeki taban kesme kuvvetleri yüzdesel olarak karşılaştırıldığında Tip3D binasının; Tip3A binasına oranla %9, Tip3C binasına oranla %5 ve Tip3B binasına oranla %3 daha büyük taban kesme kuvvetine sahip olduğu sonuçlardan elde edilmiştir.

4 katlı bina modellerinin y yönündeki taban kesme kuvvetleri yüzdesel olarak karşılaştırıldığında Tip4D binasının; Tip4A binasına oranla %14, Tip4C binasına

oranla %10 ve Tip4B binasına oranla %7 daha büyük taban kesme kuvvetine sahip olduğu sonuçlardan elde edilmiştir.

4 katlı bina modellerinin y yönündeki taban kesme kuvvetleri yüzdesel olarak karşılaştırıldığında Tip5D binasının; Tip5A binasına oranla %18, Tip5C binasına oranla %14 ve Tip5B binasına oranla %11 daha büyük taban kesme kuvvetine sahip olduğu sonuçlardan elde edilmiştir.

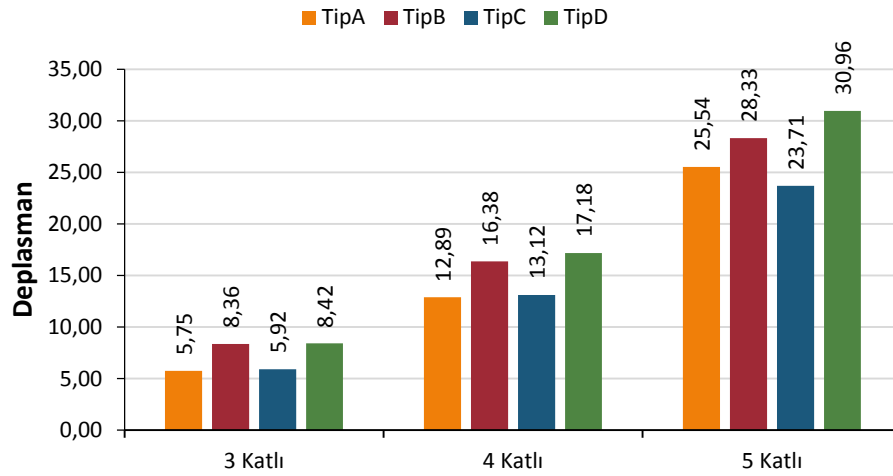
X ve Y yönündeki EXP ve EYP deprem yüklerinden oluşan maksimum yatay yerdeğiştirmeler Şekil 5.6., Şekil 5.7. ve Tablo 5.8.'de gösterilmiştir.

Tablo 5.8. TipA, TipB, TipC ve TipD yapılarındaki maksimum yatay yerdeğiştirmeler

Döşeme	X yönü – Deplasman (mm)			Y yönü – Deplasman (mm)		
Tipi	3 Katlı	4 Katlı	5 Katlı	3 Katlı	4 Katlı	5 Katlı
TipA	5,75	12,89	25,54	6,08	13,68	25,09
TipB	8,36	16,38	28,33	6,58	14,99	27,74
TipC	5,92	13,12	23,71	6,28	14,03	25,52
TipD	8,42	17,18	30,96	6,70	15,19	28,69

Tablo 5.16.'da görüldüğü üzere x ve y yönündeki en büyük deplasman değerleri tek doğrultulu dişli döşemeli TipD bina modellerinde, en küçük deplasman değerlerinin ise kirişli plak döşemeli TipA bina modellerinde olduğu görülmektedir. Kirişsiz döşemeli TipB ve tek doğrultulu dişli döşemeli (asmolen) TipD binalarının deplasman değerlerinin birbirine yakın olduğu Tablo 5.8.'den görülmektedir.

X Doğrultusu Maksimum Yatay Yerdeğiştirmeler (mm)



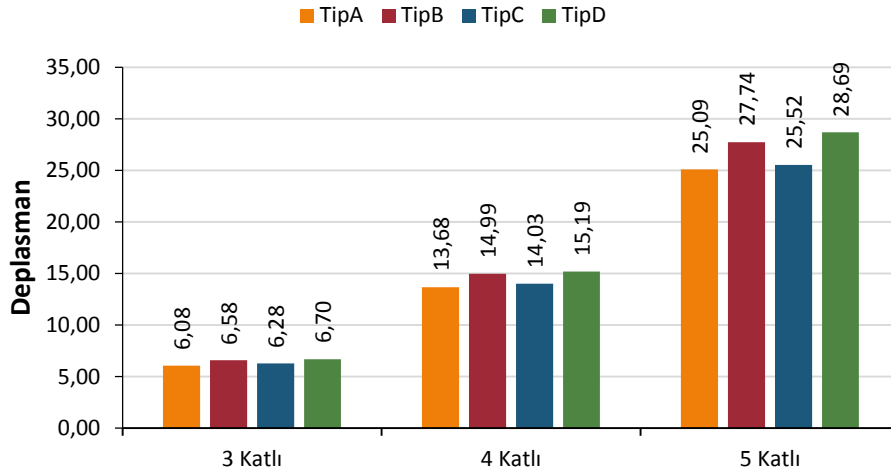
Şekil 5.6. TipA, TipB, TipC ve TipD yapılarındaki x yönü maksimum yatay yerdeğiştirmeler

3 katlı bina modellerinin en üst katlarında x yönündeki maksimum yatay yerdeğiştirme değerleri yüzdesel olarak karşılaştırıldığında Tip3D binasının; Tip3A binasına oranla %32, Tip3C binasına oranla %30 ve Tip3B binasına oranla %1 daha büyük yerdeğiştirme yaptığı sonuçlardan elde edilmiştir

4 katlı bina modellerinin en üst katlarında x yönündeki maksimum yatay yerdeğiştirme değerleri yüzdesel olarak karşılaştırıldığında Tip4D binasının; Tip4A binasına oranla %25, Tip4C binasına oranla %24 ve Tip4B binasına oranla %5 daha büyük yerdeğiştirme yaptığı sonuçlardan elde edilmiştir.

5 katlı bina modellerinin en üst katlarında x yönündeki maksimum yatay yerdeğiştirme değerleri yüzdesel olarak karşılaştırıldığında Tip5D binasının; Tip5A binasına oranla %18, Tip5C binasına oranla %23 ve Tip5B binasına oranla %8 daha büyük yerdeğiştirme yaptığı sonuçlardan elde edilmiştir.

Y Doğrultusu Maksimum Yatay Yerdeğiştirmeler (mm)



Şekil 5.7. TipA, TipB, TipC ve TipD yapılarındaki y yönü maksimum yatay yerdeğiştirmeler

3 katlı bina modellerinin en üst katlarında y yönündeki maksimum yatay yerdeğiştirme değerleri yüzdesel olarak karşılaştırıldığında Tip3D binasının; Tip3A binasına oranla %9, Tip4C binasına oranla %6 daha büyük yerdeğiştirme yaptığı elde edilmiştir. Tip3D ve Tip3B binalarının yaptığı deplasmanlar çok yakın değerlerde çıkmıştır.

4 katlı bina modellerinin en üst katlarında y yönündeki maksimum yatay yerdeğiştirme değerleri yüzdesel olarak karşılaştırıldığında Tip4D binasının; Tip4A binasına oranla %10, Tip4C binasına oranla %8 daha büyük yerdeğiştirme yaptığı elde edilmiştir. Tip4D ve Tip4B binalarının yaptığı deplasmanlar çok yakın değerlerde çıkmıştır.

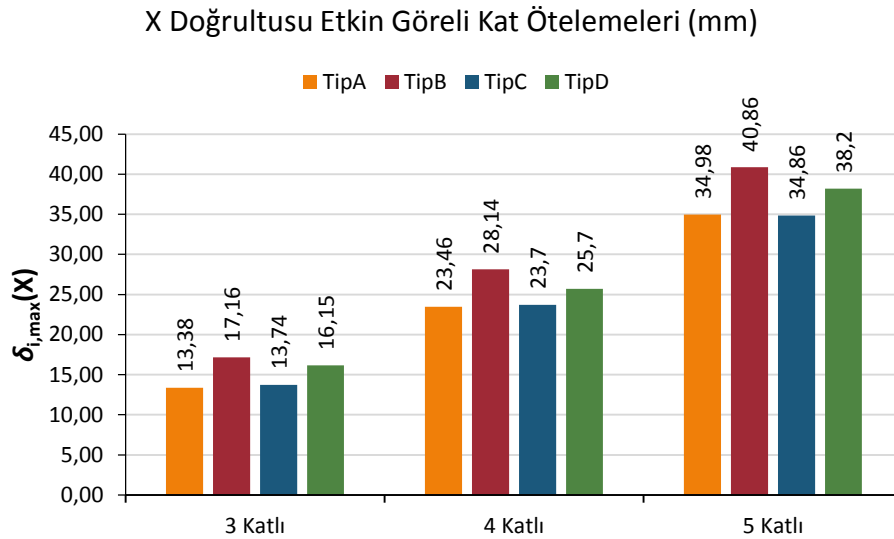
5 katlı bina modellerinin en üst katlarında y yönündeki maksimum yatay yerdeğiştirme değerleri yüzdesel olarak karşılaştırıldığında Tip5D binasının; Tip5A binasına oranla %13, Tip5C binasına oranla %11 ve Tip5B binasına oranla %3 daha büyük yerdeğiştirme yaptığı sonuçlardan elde edilmiştir.

Binalara ait en üst katların x ve y doğrultusunda yapmış oldukları etkin görelî kat ötelemeleri oranlarının kontrolü Tablo 5.9.'da gösterilmiştir. Etkin görelî kat ötelemeleri değerlerinin birbirleri ile karşılaştırılması Şekil 5.8. ve Şekil 5.9.'da sunulmuştur. Tüm bina modelleri için her iki doğrultuda etkin görelî kat ötelemelerinin

kat yüksekliğine oranı, yönetmeliğin izin verdiği sınır değer olan 0,008 değerinin altında bulunmuştur.

Tablo 5.9. TipA, TipB, TipC ve TipD yapılarındaki etkin görel kat ötelemeleri oranlarının kontrolü

Döşeme Tipi	X yönü			Y yönü		
	3 Katlı	4 Katlı	5 Katlı	3 Katlı	4 Katlı	5 Katlı
	$\lambda(\delta_i)_{\max}/h_i$	$\lambda(\delta_i)_{\max}/h_i$	$\lambda(\delta_i)_{\max}/h_i$	$\lambda(\delta_i)_{\max}/h_i$	$\lambda(\delta_i)_{\max}/h_i$	$\lambda(\delta_i)_{\max}/h_i$
TipA	0,00227	0,00399	0,00595	0,00242	0,00425	0,00638
TipB	0,00292	0,00478	0,00695	0,00262	0,00468	0,00712
TipC	0,00234	0,00403	0,00593	0,00249	0,00434	0,00644
TipD	0,00275	0,00437	0,00649	0,00219	0,00395	0,00607

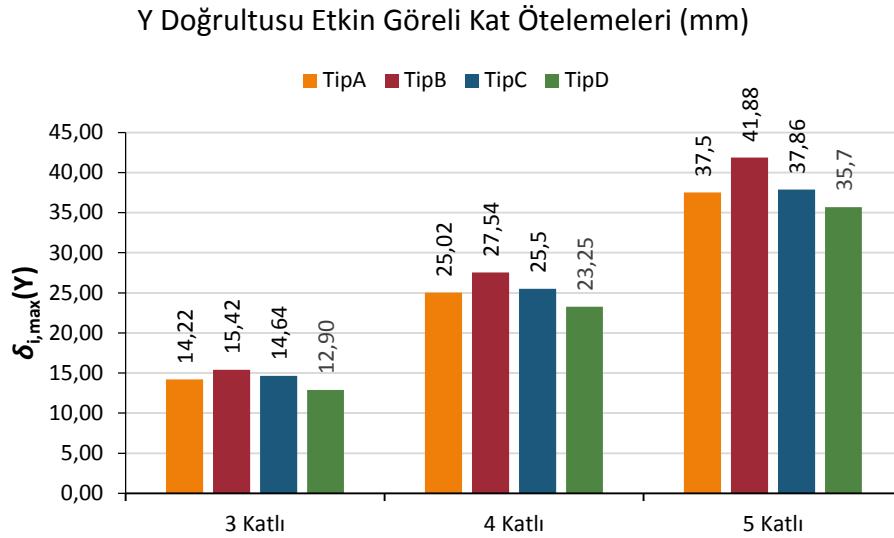


Şekil 5.8. TipA, TipB, TipC ve TipD yapılarındaki x yönü etkin görel kat ötelemeleri

3 katlı bina modellerinin en üst katlarında x yönündeki etkin görel kat öteleme değerleri yüzdesel olarak karşılaştırıldığında Tip3B binasının; Tip3A binasına oranla %22, Tip3C binasına oranla %20 ve Tip3D binasına oranla %6 daha fazla olduğu sonuçlardan elde edilmiştir.

4 katlı bina modellerinin en üst katlarında x yönündeki etkin görel kat öteleme değerleri yüzdesel olarak karşılaştırıldığında Tip4B binasının; Tip4A binasına oranla %17, Tip4C binasına oranla %16 ve Tip4D binasına oranla %9 daha fazla olduğu sonuçlardan elde edilmiştir.

5 katlı bina modellerinin en üst katlarında x yönündeki etkin görelî kat öteleme değerleri yüzdesel olarak karşılaştırıldığında Tip5B binasının; Tip5A binasına oranla %14, Tip5C binasına oranla %15 ve Tip5D binasına oranla %7 daha fazla olduğu sonuçlardan elde edilmiştir.



Şekil 5.9. TipA, TipB, TipC ve TipD yapılarındaki y yönü etkin görelî kat ötelemeleri

3 katlı bina modellerinin en üst katlarında y yönündeki etkin görelî kat öteleme değerleri yüzdesel olarak karşılaştırıldığında Tip3B binasının; Tip3A binasına oranla %8, Tip3C binasına oranla %5 ve Tip3D binasına oranla %16 daha fazla olduğu sonuçlardan elde edilmiştir.

4 katlı bina modellerinin en üst katlarında y yönündeki etkin görelî kat öteleme değerleri yüzdesel olarak karşılaştırıldığında Tip4B binasının; Tip4A binasına oranla %9, Tip4C binasına oranla %7 ve Tip4D binasına oranla %16 daha fazla olduğu sonuçlardan elde edilmiştir.

5 katlı bina modellerinin en üst katlarında y yönündeki etkin görelî kat öteleme değerleri yüzdesel olarak karşılaştırıldığında Tip5B binasının; Tip5A binasına oranla %10, Tip5C binasına oranla %10 ve Tip5D binasına oranla %15 daha fazla olduğu sonuçlardan elde edilmiştir.

5.2. Kat Yükseklikleri Değişiminin Sonuçlarının Karşılaştırılması

Bu bölümde deprem hesaplamaları eşdeğer deprem yükü yöntemine göre yapılmış planda simetrik 4-6-8 katlı perdeli çerçeve sünelik düzeyleri yüksek taşıyıcı sistemlere sahip kirişli plak döşemeli 9 adet bina modelinin kat yüksekliklerinin 3-3.5-4 m olması durumlarının sonuçları incelenmiş ve kıyaslanmıştır.

Kat yükseklikleri 3-3.5-4 m olmak üzere ve her kat seviyesinde boyutların değişmediği kabulü ile tasarlanan bina modellerine ait betonarme taşıyıcı elemanların boyutları ve isimlendirmeleri toplu olarak Tablo 5.10.'da verilmiştir.

Tablo 5.10. Model isimlendirmeleri ve betonarme taşıyıcı elemanların boyutları

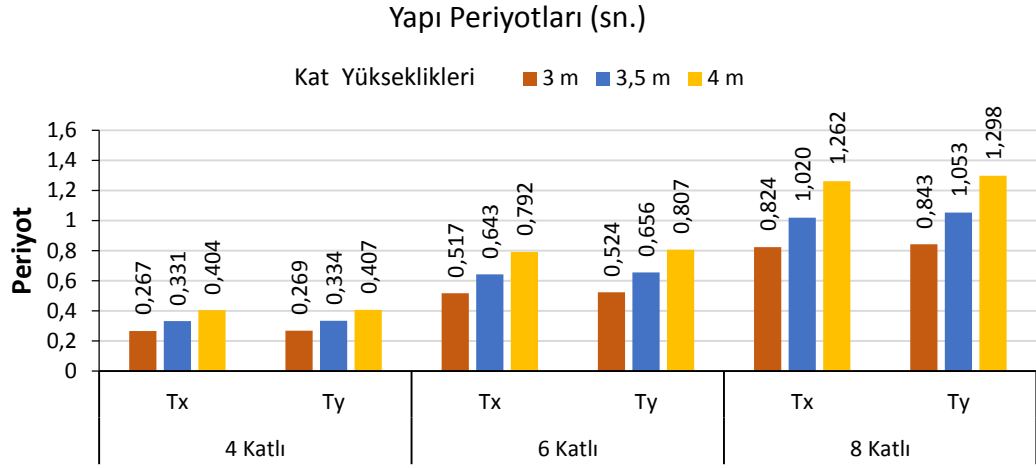
Kat Adedi	Model İsimlendirmeleri			Taşıyıcı Elemanların Boyutları (cm)			
	3 m.	3.5 m.	4 m.	Kolon	Perde	Döşeme	Kiriş
4	Tip4A-3	Tip4A-3.5	Tip4A-4	50/50			
6	Tip6A-3	Tip6A-3.5	Tip6A-4	60/60	650/25	15	25/60
8	Tip8A-3	Tip8A-3.5	Tip8A-4	70/70			

Tüm bina modellerinin birinci modaları y doğrultusu, ikinci modları x doğrultusu ve üçüncü modları burulmalı olarak çıkmıştır.

4-6-8 katlı bina modellerinin kat yüksekliklerine göre periyotlarının değişimi Şekil 5.10. ve Tablo 5.11.'de gösterilmiştir.

Tablo 5.11. Yapı periyotlarının karşılaştırılması

Kat Yüksekliği	X yönü – Periyot (sn.)			Y yönü – Periyot (sn.)		
	4 Katlı	6 Katlı	8 Katlı	4 Katlı	6 Katlı	8 Katlı
3,0 m	0,267	0,517	0,824	0,269	0,524	0,843
3,5 m	0,331	0,643	1,020	0,334	0,656	1,053
4,0 m	0,404	0,792	1,262	0,407	0,807	1,298



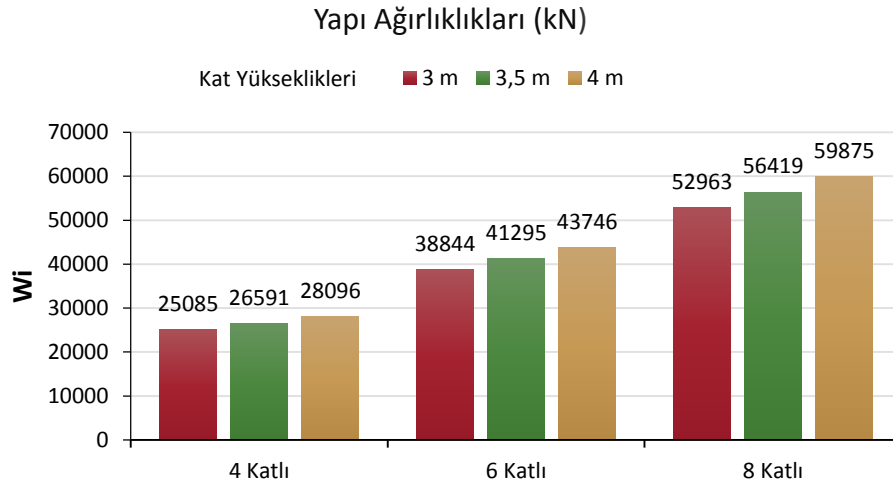
Şekil 5.10. Yapı periyotlarının karşılaştırılması

Şekil 5.10.'dan görüldüğü gibi kat adedi ve kat yüksekliği arttıkça yapıların doğal titreşim periyotlarının arttığı görülmektedir.

Yapı ağırlıklarının karşılaştırılması Tablo 5.12. ve Şekil 5.11.'de gösterilmiştir.

Tablo 5.12. Yapı ağırlıklarının karşılaştırılması

Kat	Yapı Ağırlıkları (kN)		
Yüksekliği	4 Katlı	6 Katlı	8 Katlı
3,0 m	25085	38844	52963
3,5 m	26591	41295	56419
4,0 m	28096	43746	59875



Şekil 5.11. Yapı ağırlıklarının karşılaştırılması

Kat adetlerinin ve kat yüksekliklerinin değişimine göre yapı ağırlıkları grafikte verilmiştir. Kat adedi ve kat yüksekliği arttıkça yapı ağırlıklarının arttığı gözlenmiştir. Kat adetlerinin ve kat yüksekliklerinin değişimine göre, azaltılmış tasarım spektral ivmesi hesabında doğrudan kullanılan x ve y doğrultusundaki yatay elastik tasarım spektral ivmeleri Tablo 5.13.'te gösterilmiştir.

Tablo 5.13. Yatay elastik tasarım spektral ivmelerinin karşılaştırılması

Kat Yüksekliği	4 Katlı		6 Katlı		8 Katlı	
	$S_{ae}(T_X)$	$S_{ae}(T_Y)$	$S_{ae}(T_X)$	$S_{ae}(T_Y)$	$S_{ae}(T_X)$	$S_{ae}(T_Y)$
3,0 m	1,622	1,622	1,594	1,573	1,000	0,977
3,5 m	1,622	1,622	1,281	1,256	0,808	0,783
4,0 m	1,622	1,622	1,040	1,021	0,653	0,635

Kat adetlerinin ve kat yüksekliklerinin değişimine göre, azaltılmış tasarım spektral ivmesi hesabında doğrudan kullanılan x ve y doğrultusundaki deprem yükü azaltma katsayıları Tablo 5.14.'te gösterilmiştir.

Tablo 5.14. Deprem yükü azaltma katsayılarının karşılaştırılması

Kat Yüksekliği	4 Katlı		6 Katlı		8 Katlı	
	$R_a(T_X)$	$R_a(T_Y)$	$R_a(T_X)$	$R_a(T_Y)$	$R_a(T_X)$	$R_a(T_Y)$
3,0 m	4,340	4,350	6	6	6	6
3,5 m	4,781	4,801	6	6	6	6
4,0 m	5,283	5,304	6	6	6	6

Deprem yükü azaltma katsayıları kıyaslandığında Tip4A bina modellerinde diğer modellere göre küçük değerlerde olduğu tablodan görülmektedir. Tip6A ve Tip8A modellerinde deprem yükü azaltma katsayısı 6 bulunmuştur. 6 katlı ve 8 katlı modellerde x ve y yönündeki doğal titreşim periyotları, yatay tasarım spektrumu köşe periyodu T_B 'den ($T \geq T_B$) büyük bulunmuştur. Deprem yönetmeliğine göre $T \geq T_B$ olması durumunda deprem yükü azaltma katsayısı, taşıyıcı sistem davranış katsayısının bina önem katsayısına bölünerek bulunmaktadır.

Kat adetlerinin ve kat yüksekliklerinin değişimine göre, taban kesme kuvvetlerinin hesaplanmasında doğrudan kullanılan x ve y doğrultusundaki azaltılmış tasarım spektral ivmeleri Tablo 5.15.'te gösterilmiştir.

Tablo 5.15. Azaltılmış tasarım spektral ivmelerinin karşılaştırılması

Kat Yüksekliği	4 Katlı		6 Katlı		8 Katlı	
	$S_{aR}(T_X)$	$S_{aR}(T_Y)$	$S_{aR}(T_X)$	$S_{aR}(T_Y)$	$S_{aR}(T_X)$	$S_{aR}(T_Y)$
3,0 m	0,3737	0,3729	0,2656	0,2621	0,1667	0,1629
3,5 m	0,3393	0,3378	0,2136	0,2093	0,1346	0,1304
4,0 m	0,3070	0,3058	0,1734	0,1702	0,1088	0,1058

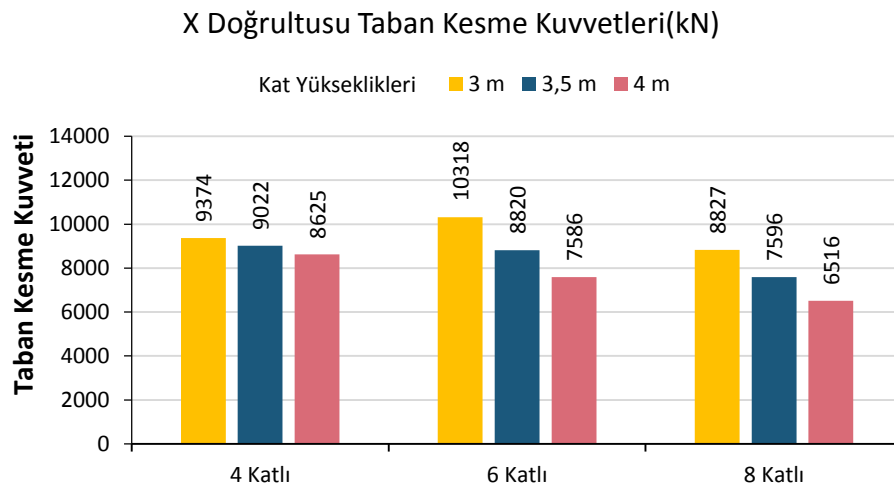
Tüm modeller dikkate alındığında Tablo 5.16.'dan görüldüğü üzere azaltılmış tasarım spektral ivmesinin en büyük değeri Tip3A-4 bina modelidir.

Her iki doğrultudaki taban kesme kuvvetleri Şekil 5.12., Şekil 5.13. ve Tablo 5.16.'da gösterilmiştir.

Tablo 5.16. Taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması

Kat Yüksekliği	X yönü – Taban Kesme Kuv. (kN)			Y yönü – Taban Kesme Kuv. (kN)		
	4 Katlı	6 Katlı	8 Katlı	4 Katlı	6 Katlı	8 Katlı
3,0 m	9374	10318	8827	9354	10180	8628
3,5 m	9022	8820	7596	8983	8645	7358
4,0 m	8625	7586	6516	8592	7445	6335

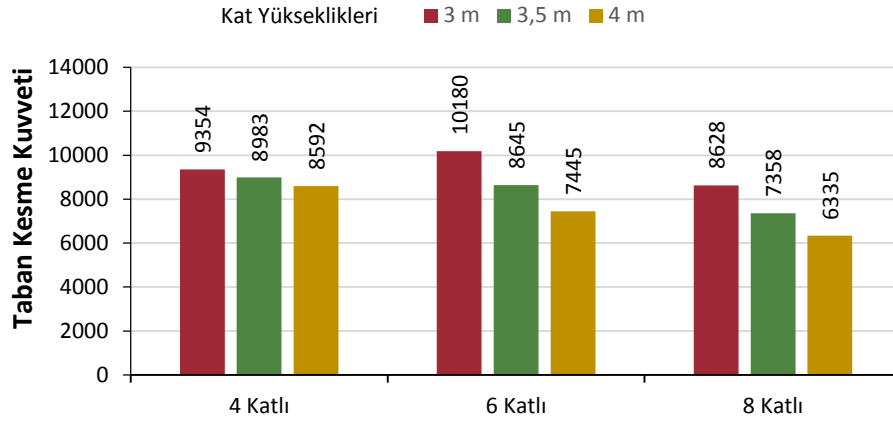
Şekil 5.12.'de x doğrultusundaki %5 pozitif dışmerkezli EXP eşdeğer deprem yüklemesi için kat yükseklikleri ve kat adetlerinin değişimine göre taban kesme kuvvetleri gösterilmiştir.



Şekil 5.12. X doğrultusu taban kesme kuvvetleri

Şekil 5.13.'te y doğrultusundaki %5 pozitif dışmerkezli EYP eşdeğer deprem yüklemesi için kat yükseklikleri ve kat adetlerinin değişimine göre taban kesme kuvvetleri gösterilmiştir.

Y Doğrultusu Taban Kesme Kuvvetleri (kN)



Şekil 5.13. Y doğrultusu taban kesme kuvvetleri

Kat adedi sabit tutularak kıyaslama yapıldığında, kat yüksekliklerinin azalmasıyla taban kesme kuvvetlerinin arttığı gözlenmiştir. Bunun nedeni kat yüksekliği azaldıkça doğal titreşim periyotlarının azalmasıdır. Şekil 5.12. ve Şekil 5.13.'ten görüldüğü üzere her iki yöndeki en büyük taban kesme kuvvetlerinin Tip6A-3 bina modelinde olduğu görülmektedir. Tip8A bina modellerinde yapı ağırlıkları Tip6A bina modellerine göre büyük olmasına rağmen taban kesme kuvvetleri ters orantılı olarak daha küçük çıkmıştır. Bunun nedeni azaltılmış tasarım spektral ivmelerinin 8 katlı modellerde 6 katlı modellere göre daha küçük değerlerde olmasıdır.

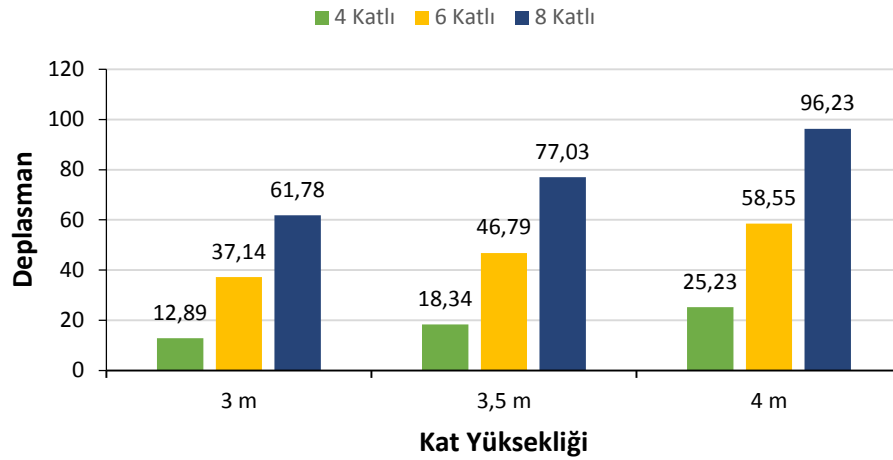
X ve Y doğrultusundaki maksimum yerdeğiştirmeler Tablo 5.17.'de gösterilmiştir.

Tablo 5.17. Maksimum yatay yerdeğiştirmeler

Kat Yüksekliği	X yönü – Deplasman (mm)			Y yönü – Deplasman (mm)		
	4 Katlı	6 Katlı	8 Katlı	4 Katlı	6 Katlı	8 Katlı
3,0 m	12,89	37,14	61,78	13,69	39,66	66,61
3,5 m	18,34	46,79	77,03	19,56	50,31	83,91
4,0 m	25,23	58,55	96,23	26,85	62,74	104,43

X doğrultusundaki EXP depreminden oluşan binaların en üst katlarındaki maksimum yatay yerdeğiştirmeler Şekil 5.14.'te gösterilmiştir.

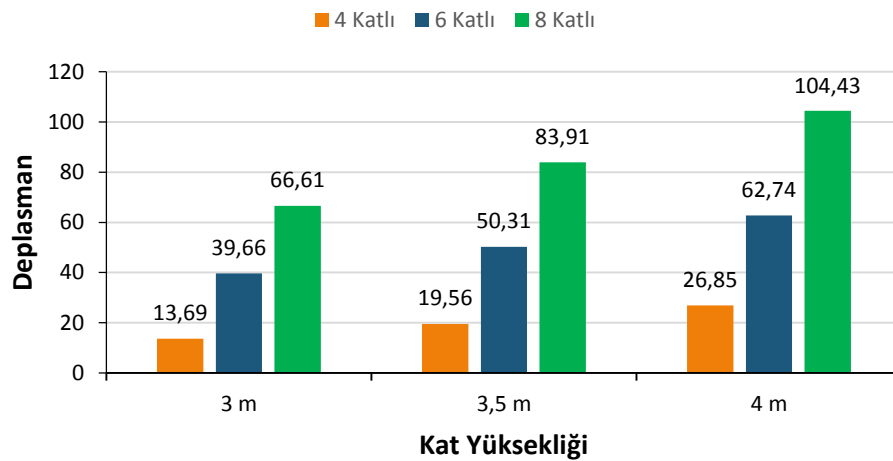
X doğrultusu Maksimum Yatay Yerdeğiştirmeler (mm)



Şekil 5.14. X doğrultusu maksimum yatay yerdeğiştirmeler

Y doğrultusundaki EYP depreminden oluşan binaların en üst katlarındaki maksimum yatay yerdeğiştirmeler Şekil 5.15.'te gösterilmiştir.

Y Doğrultusu Maksimum Yatay Yerdeğiştirmeler (mm)



Şekil 5.15. Y doğrultusu maksimum yatay yerdeğiştirmeler

4 katlı modellerde kat yüksekliğinin 3-3.5-4 m olması durumlarında, x ve y yönündeki maksimum yatay yerdeğiştirme değerleri sonuçları yüzdesel olarak kıyaslandığında, Tip4A-4 binasının; Tip4A-3 binasına oranla %49 ve Tip4A-3.5 binasına oranla %27 daha büyük olduğu sonuçlardan elde edilmiştir.

6 katlı modellerde kat yüksekliğinin 3-3.5-4 m olması durumlarında, x ve y yönündeki maksimum yatay yerdeğiştirme değerleri sonuçları yüzdesel olarak kıyaslandığında, Tip6A-4 binasının; Tip6A-3 binasına oranla %37 ve Tip6A-3.5 binasına oranla %20 daha büyük olduğu sonuçlardan elde edilmiştir.

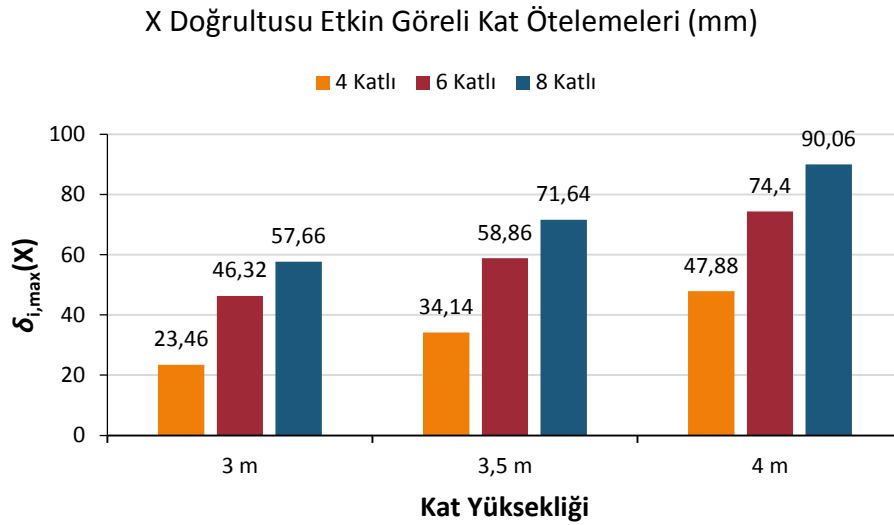
8 katlı modellerde kat yüksekliğinin 3-3.5-4 m olması durumlarında, x ve y yönündeki maksimum yatay yerdeğiştirme değerleri sonuçları yüzdesel olarak kıyaslandığında, Tip8A-4 binasının; Tip8A-3 binasına oranla %36 ve Tip8A-3.5 binasına oranla %20 daha büyük olduğu sonuçlardan elde edilmiştir.

X ve Y yönündeki etkin görelî kat ötelemeleri Şekil 5.16., Şekil 5.17. ve Tablo 5.18.'de gösterilmiştir.

Tablo 5.18. X ve Y yönündeki etkin görelî kat ötelemeleri

Kat Yüksekliği	X yönü			Y yönü		
	Etkin Görelî Kat Ötelemeleri (mm)			Etkin Görelî Kat Ötelemeleri (mm)		
	4 Katlı	6 Katlı	8 Katlı	4 Katlı	6 Katlı	8 Katlı
3,0 m	23,46	46,32	57,66	21,42	49,86	62,88
3,5 m	34,14	58,86	71,64	36,60	63,90	79,32
4,0 m	47,88	74,40	90,06	51,18	80,46	99,06

X doğrultusundaki EXP depremi için bina modellerinin en üst katlarındaki etkin görelî kat ötelemelerinin kat içindeki en büyük değerleri $\delta_{i, \max}$ Şekil 5.16.'da gösterilmiştir.



Şekil 5.16. X doğrultusu etkin görelî kat ötelemeleri

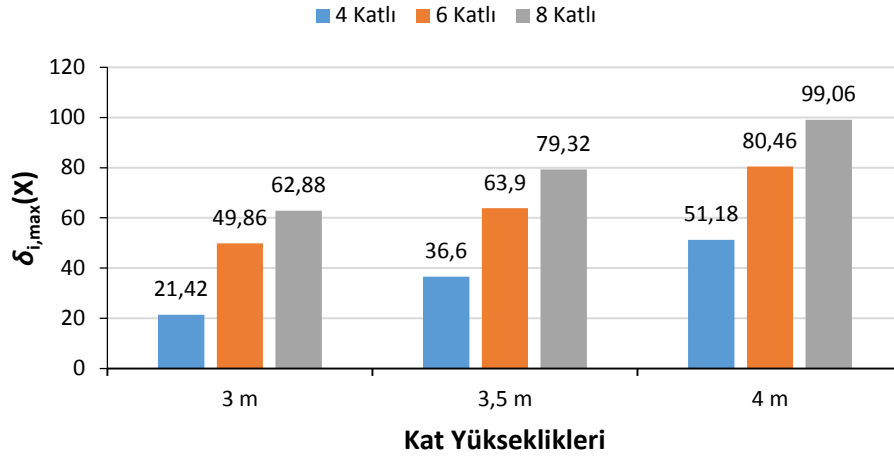
4 katlı modellerde kat yüksekliğinin 3-3.5-4 m olması durumlarında, x yönündeki maksimum etkin görelî kat ötelemeleri değerleri yüzdesel olarak kıyaslandığında, Tip4A-4 binasının; Tip4A-3 binasına oranla %51 ve Tip4A-3.5 binasına oranla %29 daha büyük olduğu sonuçlardan elde edilmiştir.

6 katlı modellerde kat yüksekliğinin 3-3.5-4 m olması durumlarında, x yönündeki maksimum etkin görelî kat ötelemeleri değerleri yüzdesel olarak kıyaslandığında, Tip6A-4 binasının; Tip6A-3 binasına oranla %38 ve Tip6A-3.5 binasına oranla %21 daha büyük olduğu sonuçlardan elde edilmiştir.

8 katlı modellerde kat yüksekliğinin 3-3.5-4 m olması durumlarında, x yönündeki maksimum etkin görelî kat ötelemeleri değerleri yüzdesel olarak kıyaslandığında, Tip8A-4 binasının; Tip8A-3 binasına oranla %36 ve Tip8A-3.5 binasına oranla %20 daha büyük olduğu sonuçlardır.

Y doğrultusundaki EYP depremi için bina modellerinin en üst katlarındaki etkin görelî kat ötelemelerinin kat içindeki en büyük değerleri $\delta_{i,max}$ Şekil 5.17.'de gösterilmiştir.

Y Doğrultusu Etkin Görelî Kat Ötelemeleri (mm)



Şekil 5.17. Y doğrultusu etkin görelî kat ötelemeleri

4 katlı modellerde kat yüksekliğinin 3-3.5-4 m olması durumlarında, y yönündeki maksimum etkin görelî kat ötelemeleri değerleri yüzdesel olarak kıyaslandığında, Tip4A-4 binasının; Tip4A-3 binasına oranla %58 ve Tip4A-3.5 binasına oranla %28 daha büyük olduğu elde edilmiştir.

6 katlı modellerde kat yüksekliğinin 3-3.5-4 m olması durumlarında, y yönündeki maksimum etkin görelî kat ötelemeleri değerleri yüzdesel olarak kıyaslandığında, Tip6A-4 binasının; Tip6A-3 binasına oranla %38 ve Tip6A-3.5 binasına oranla %21 daha büyük olduğu elde edilmiştir.

8 katlı modellerde kat yüksekliğinin 3-3.5-4 m olması durumlarında, y yönündeki maksimum etkin görelî kat ötelemeleri değerleri yüzdesel olarak kıyaslandığında, Tip8A-4 binasının; Tip8A-3 binasına oranla %37 ve Tip8A-3.5 binasına oranla %20 daha büyük olduğu elde edilmiştir.

Tüm bina modellerinde en üst katlar bazında x ve y yönündeki etkin görelî kat ötelemelerinin oranları Tablo 5.19.'da gösterilmiştir.

Tablo 5.19. Etkin görel kat ötelemeleri oranlarının kontrolü

Kat Yüksekliği	X- Etkin görel kat ötelemeleri kontrolü			Y- Etkin görel kat ötelemeleri kontrolü		
	$(\lambda=0,51) \quad \lambda(\delta_i)_{\max}/h_i$			$(\lambda=0,51) \quad \lambda(\delta_i)_{\max}/h_i$		
	4 Katlı	6 Katlı	8 Katlı	4 Katlı	6 Katlı	8 Katlı
3,0 m	0,00399	0,00787	0,00980	0,00364	0,00848	0,01069
3,5 m	0,00497	0,00858	0,01044	0,00533	0,00931	0,01156
4,0 m	0,00610	0,00949	0,01148	0,00653	0,01026	0,01263

Tablo 5.19.'da görüldüğü üzere bazı bina modellerinde etkin görel kat ötelemelerinin kat yüksekliğine oranı, yönetmeliğin izin verdiği üst sınır olan 0,008 değerinin üstünde kalmıştır. 4 katlı modellerin her iki doğrultuda, üç farklı kat yüksekliğindeki etkin görel kat öteleme oranları yönetmeliğin izin verdiği 0,008 değerinin altında kalmıştır. 6 katlı; Tip6A-3, Tip6A-3.5, Tip6A-4 ve 8 katlı; Tip8A-3, Tip8A-3.5, Tip8A-4 bina modellerinde ise yönetmelik koşulu sağlanamamıştır.

BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışmadaki tüm bina modelleri Sap2000 (v20) sonlu elemanlar programı ile analiz edilerek, TBDY'ye göre ilgili tahkikler yapılmıştır. Tüm bina modellerinde kullanılan beton sınıfı C30/37, donatı çeliği sınıfı ise B420C'dir. Yapıların Sakarya Erenler ilçesinde yapılacağı ve zemin sınıflarının ZD olduğu kabulü yapılmıştır. Çalışmadaki tüm bina modellerinin temele ankastre mesnetlendiği varsayılmıştır ve temel hesabı tezin kapsamı dışında bırakılmıştır.

Depremden dolayı oluşacak yatay yüklerin düzgün dağılması ancak döşemenin rijitliğinin büyük olması ile mümkündür böylelikle gerçek bir diyafram davranışından söz edilebilmektedir. Çalışmadaki deprem hesaplamaları yapılan kirişli plak döşemeli ve kaset döşemeli yapılar tam rijit diyafram kabulü yapılarak analiz edilmiştir. Kirişsiz döşeme modelleri ve tek doğrultulu dişli (asmolen) döşeme modelleri ise yarı rijit (semi-rigid) kabulü yapılarak analiz edilmiştir. Tek doğrultulu dişli (asmolen) döşemeli sistemlerde dişlerin doğrultusunda rijit diyafram davranışından söz edilebilir fakat dişlere dik yönde tam rijit diyafram davranışı kabulü doğru olmaz bu nedenle bu tip döşeme sistemlerinin bir bütün olarak yarı rijit diyafram kabulüyle hesap yapılması önerilir. Kirişsiz döşemeli sistemler de döşeme plağı kirişler ile birlikte düzenlenmediğinden deprem anında kolaylıkla şekil değiştirebilirler bu nedenle bu tip döşemelerde yarı rijit diyafram kabulü yapılarak hesap yapılması önerilir.

Çalışmadaki 4 katlı kirişli plak döşemeli Tip4A binasının taban kesme kuvvetlerinin hesaplanması hem eşdeğer deprem yükü yöntemine göre hem mod birleştirme yöntemine göre yapılmıştır. Eşdeğer deprem yükü yöntemine göre bulunan taban kesme kuvvetlerinin mod birleştirme yöntemine göre bulunan değerlerden her iki doğrultuda %23 daha fazla olduğu sonuçlardan görülmüştür. Eşdeğer deprem yükü yönteminin tüm bina kütlelerini hesaba katması gereği taban kesme kuvvetlerinin mod

birleştirme yöntemine göre daha büyük sonuçlar vermesi doğal bir durumdur. Bu bağlamda mod birleştirme yöntemine göre elde edilen sonuçların daha ekonomik olduğu söylenebilir.

Döşeme tiplerinin değişmesinin bina periyotlarına olan etkisi incelendiğinde x ve y yönündeki en büyük periyotların kirişsiz döşemeli TipB bina modellerinde olduğu sonuçlardan elde edilmiştir. Kirişsiz döşemeli bina periyotlarının büyük çıkması yatay rijitliklerinin diğer döşeme türlerine nazaran az olmasından dolayıdır. İkinci sırada tek doğrultulu dişli (asmolen) döşemeli TipD bina modelleri, üçüncü sırada kaset döşemeli TipC bina modelleri ve en düşük periyotların kirişli plak döşemeli TipA bina modellerinde olduğu sonuçlardan elde edilmiştir. Kirişli plak döşemeli TipA ve kaset döşemeli TipC binalarının periyotları birbirine çok yakın çıkmıştır.

Döşeme tiplerinin değişmesinin taban kesme kuvvetlerine olan etkisi incelendiğinde x ve y yönündeki en büyük taban kesme kuvveti değerlerinin TipD bina modellerinde olduğu sonuçlardan elde edilmiştir. İkinci sırada TipB bina modelleri, üçüncü sırada TipC ve en düşük taban kesme kuvveti değerlerinin de TipA bina modellerinde olduğu sonuçlardan elde edilmiştir.

X ve Y yönündeki en büyük deplasman değerleri tek doğrultulu dişli döşemeli TipD bina modellerinde, en küçük deplasman değerlerinin de kirişli plak döşemeli TipA bina modellerinde olduğu sonuçlardan elde edilmiştir. Kirişsiz döşemeli TipB ve tek doğrultulu dişli döşemeli (asmolen) TipD binalarının deplasman değerlerinin birbirine yakın olduğu sonuçlardan görülmüştür. Kirişli plak döşemeli TipA ve kaset döşemeli TipC binalarının da her iki yöndeki deplasman değerleri birbirine yakın sonuçlar vermiştir.

Farklı döşeme tipleri ile modellenmiş binaların sonuçları incelendiğinde kirişli plak döşemeli sistemlerin en optimum sonuçları verdiği görülmüştür. Bu bağlamda kirişli plak döşemeli sistemlerde kat yüksekliği ve kat adedinin değişiminin taşıyıcı sistem davranışına etkisini görebilmek maksadıyla tek tip planda 4-6-8 katlı süneklik düzeyi yüksek perdeli-çerçevesi 9 adet bina modelinin kat yüksekliklerinin 3-3.5-4 m. olması

durumlarının E.D.Y.Y.'ne göre deprem hesaplamaları yapılmıştır. Analiz sonuçları değerlendirildiğinde kat adedi ve kat yüksekliği arttıkça yapıların doğal titreşim periyotlarının arttığı görülmüştür. Kat adedinin artmasıyla periyotlar yükselmekte ve bunun sonucu olarak yapı rijitliği azalmaktadır. Yapı rijitliğinin az olması ile büyük yerdeğiştirmeler meydana gelebilmektedir, büyük yerdeğiştirmelerde taşıyıcı sistemde ikinci mertbe tesirlerinin oluşmasına neden olabilmektedir. Yapı rijitliğinin arttırılması için gerekli önlemler alınmalıdır. Bilindiği gibi mevcut betonarme perdelerin ve kolonların sayısının artırılmasıyla ve/veya planda uygun şekilde yerleştirilmesiyle yapı rijitliği artırılabilir. Perdelerin yüksek rijitliği sayesinde katlar arası deplasmanlar azaltılabilmektedir. Planda uygun olmayan perde yerleşiminin ve gereksiz sayıda perde konulmasının burulma düzensizliğine neden olabileceği de unutulmamalıdır. Burada dikkat edilmesi gereken bir diğer husus, yapının inşa edileceği arsanın zemin hâkim periyodu ile yapı doğal titreşim periyodu birbirine yakın değerlerde olmamalıdır. Yapı doğal titreşim periyodu ile zemin hâkim periyodu birbirine yakın olursa rezonans durumu oluşabilir. Zemin hâkim periyodu değiştirilemeyeceğine göre yapı titreşim periyodu değiştirilerek rezonans durumundan kaçınılabilir. Rezonans durumu oluşmaması için büyük periyotlu yapılar küçük periyotlu zeminler üzerinde, küçük periyotlu yapılarda büyük periyotlu zeminler üzerinde yapılarak daha güvenli bir tasarım gerçekleştirilebilir. Kat adedi sabit tutularak kıyaslama yapıldığında, kat yüksekliklerinin azalmasıyla taban kesme kuvvetlerinin arttığı gözlenmiştir. Bunun nedeni kat yüksekliği azaldıkça doğal titreşim periyotlarının azalmasıdır. Tüm bina modelleri için taban kesme kuvvetleri kıyaslandığında, en büyük taban kesme kuvvetinin 3 metre kat yüksekliği olan 6 katlı Tip6A-3 bina modelinde olduğu görülmüştür. Tip8A bina modellerinde yapı ağırlıklarının Tip6A bina modellerine göre büyük olmasına rağmen taban kesme kuvvetleri ters orantılı olarak daha küçük çıkmıştır. Bunun nedeni azaltılmış tasarım spektral ivmelerinin Tip8A bina modellerinde, Tip6A bina modellerine göre daha küçük değerlerde olmasıdır. Tip6A ve Tip8A modellerinde x ve y yönündeki doğal titreşim periyotları, yatay tasarım spektrumu köşe periyodu T_B 'den ($T \geq T_B$) büyük bulunmuştur. Deprem yönetmeliğine göre $T \geq T_B$ olması durumunda deprem yükü azaltma katsayısı, taşıyıcı sistem davranış katsayısının bina önem katsayısına bölünerek bulunmaktadır. Tüm bina modellerinde kat yüksekliği ve kat adedi arttıkça

maksimum yatay yer değiştirmelerin ve etkin görelı kat ötelemelerinin, doğru orantılı olarak büyüdüğü görölmüştür. En büyük taban kesme kuvvetlerinin 6 katlı Tip6A binalarında oluşmasına rağmen en büyük deplasmanlar Tip8A binalarında oluşmuştur. Tip4A bina modellerinin her iki doğrultuda, üç farklı kat yüksekliğindeki etkin görelı kat öteleme oranları yönetmeliğin izin verdiği 0,008 değerinin altında kalmıştır. Tip6A ve Tip8A bina modellerinde ise yönetmelik koşulu sağlanamamıştır. TBDY'ye göre Dayanıma Göre Tasarım (DGT) kapsamında betonarme taşıyıcı elemanlarının modellenmesinde etkin kesit rijitlikleri çarpanları kullanılması sonucunda daha büyük deplasmanlar ve şekil değiştirmeler oluşmaktadır. Bu şekil değiştirmeleri ve deplasmanları yönetmeliğin izin verdiği değerlerde sınırlamak için daha büyük kesitler seçilmesi gerekmektedir. Görelı kat ötelemelerinin azaltılabilmesi için çözüm olarak yatay yüklerin (deprem yükleri) azaltılması gerekmektedir. Yatay yüklerin esas kaynağı da yapı kütlesidir. Görelı kat ötelemelerinde sorun hangi doğrultuda ise yapı rijitliğinin ilgili yönde artırılması gerekmektedir. İlgili yönde ki kolon ve/veya perdelerin boyutları büyüölerek ve taşıyıcı elemanları (perde, kolon) birbirine bağlayan kirişlerin yüksek yapılması ile yapı rijitliği artırılabilir. Perdelerin, mümkün mertebe rijitlik merkezine uzak olacak şekilde dış akslarda konumlandırılması önerilmektedir. Beton sınıfının yükseltilmesi de rijitliği artırıcı başka bir yöntemdir. Kat yüksekliklerinin her katta aynı olması önerilmektedir. Kat yüksekliklerinin azaltılması da görelı kat ötelemelerini yönetmeliğin izin verdiği sınırlarda tutabilmek için başka bir çözümdür.

Bu çalışmada planda simetrik düzensizlik durumlarının bulunmadığı, perdeleri dış akslara konumlandırılmış ve kütle merkezi ile rijitlik merkezinin çakıştırıldığı bir kat planına göre tüm modellerin deprem hesapları yapılmıştır, bir başka ifade ile en elverişli durumlar göz önüne alınmıştır. Buradan çıkarılacak sonuç şudur, daha olumsuz koşullar altında daha farklı ve olumsuz sonuçların elde edileceği muhakkaktır. Bu çalışmadan elde edilen veriler göstermiştir ki, deprem etkisi altındaki binalarda yapının analiz sonuçlarını etkileyen önemli değişkenler bulunmaktadır. Bunlar; yapı kütlesi, yapı rijitliği ve kat yüksekliğidir. Farklı döşeme tiplerinin seçilmesi sonucunda da bina ağırlığı ve rijitliğinde farklılıklar oluşmaktadır. Bu bağlamda yapılan hesaplamalar sonucunda göröldü ki model binalar aynı mimari kat

planına sahip olsada davranış bakımından farklı yapılar oluşmaktadır. Yapı dizaynı yaparken bu değişkenlerin yapıya getirecekleri olumlu ve olumsuz tesirleri dikkate alınmalıdır. Böylelikle binaların deprem afeti yaşanmadan önce, depremdeki davranışları da tahmin edilebilir ve kontrol altına alınabilir.



KAYNAKÇA

Akbaş, B., Bozer A., Doran, B., Şenol, E., 2019, Yapı Mühendisliği Problemlerinde Sap2000 Uygulamaları, İstanbul, Birsen Yayınevi.

Bansal, A., Patidar, A. 2016. Pushover analysis of multistorey buildings having flat slab and grid slab. International Journal of Engineering Science Invention Research & Development; Vol. II Issue VII.

Bhina, M.R., Banerjee, A., Paul, D.K. 2013. Assessment of Different Aspects of R.C. Flat-Slab Building Over Normal R.C. Frame Building. International Conference on Structural Engineering and Construction Management At Sri Lanka.

Çağlarım, M. 2002. Betonarme çok katlı yapılarda döşeme türünün taşıyıcı sisteme etkileri. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.

Demirok, A. 2009. Perdeli çerçeve taşıyıcı sisteme sahip bir betonarme yapıda farklı döşeme türlerinin davranışa etkisi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.

Doğangün, A. 2018. Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı. İstanbul, Birsen Yayınevi.

El-Shaer, M. A. 2013. Seismic load analysis of different r.c. slab systems for tall building. Article published in International Journal of Current Engineering and Technology, Vol.3, No.5, ISSN 2277 – 4106.

ideCAD Statik (V10)., ideYAPI, İstanbul.

Özlü, B. 2015. Çok katlı betonarme binalarda taşıyıcı sistem türlerinin davranışlarının incelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.

Özmen, G., Orakdoğan, E., Darılmaz K. 2018. Örneklerle Sap2000-V20. İstanbul, Birsen Yayınevi.

Sap2000 (V20). Integrated Software for Structural Analysis and Design. Computers and Structures, Inc., California, USA.

TBDY, 2018, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.

Topçu, A., 2019, Betonarme-II sunu ders notları, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir. <https://mmf2.ogu.edu.tr/atopcu/>, Erişim Tarihi: 10.07.2019.

TS498, 1997, Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS500, 2000. Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Turan, D. 2012. Betonarme bir yapının eşdeğer deprem yükü yöntemi ve mod birleştirme yöntemine göre tasarımı. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) Eğitim El Kitabı, 2018. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Ankara.

Yaşoğlu, F.G. 2015. Taşıyıcı sistemleri farklı olan betonarme yapılarda döşeme türlerinin davranışa etkisi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.

Yeşilyurt, A. 2016. Farklı döşeme ve taşıyıcı sistemlere sahip çok katlı betonarme binaların deprem davranışlarının incelenmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.

<https://tdth.afad.gov.tr/> Erişim Tarihi: 12.05.2019.

EKLER

EK 1: Sismik tehlike haritası detay raporu



Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması

Kullanıcı Girdileri

Rapor Başlığı:	Erenler	
Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DD-2	50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
Yerel Zemin Sınıfı	ZD	Orta sıkı - sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları
Enlem:	40.764627°	
Boylam	30.39418°	

Çıktılar

$S_s = 1.622$	$S_1 = 0.444$	$PGA=0.659$	$PGV=53.482$
---------------	---------------	-------------	--------------

S_s : Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

S_1 : 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

PGA : En büyük yer ivmesi [g]

PGV : En büyük yer hızı [cm/sn]

Yerel Zemin Sınıfları

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

Yerel Zemin Etki Katsayıları

Yerel Zemin Sınıfı	Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_s					
	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.50$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.00$	$S_s = 1.25$	$S_s \geq 1.50$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ZC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
ZD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
ZE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır.					

Yerel Zemin Sınıfı ZD ve $S_s = 1.622$ için $F_s = 1.000$

Yerel Zemin Sınıfı	1.0 saniye periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_1					
	$S_1 \leq 0.10$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.30$	$S_1 = 0.40$	$S_1 = 0.50$	$S_1 \geq 0.60$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
ZD	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7
ZE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2.0
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır.					

Yerel Zemin Sınıfı ZD ve $S_1 = 0.444$ için $F_1 = 1.856$

Tasarım Spektral İvme Katsayıları

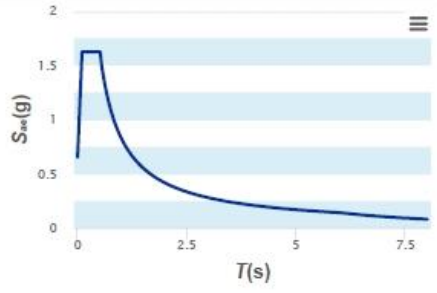
$$S_{DS} = S_S F_S = 1.622 \times 1.000 = 1.622$$

$$S_{D1} = S_1 F_1 = 0.444 \times 1.856 = 0.824$$

S_{DS} : Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

S_{D1} : 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

Yatay Elastik Tasarım Spektrumu



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

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

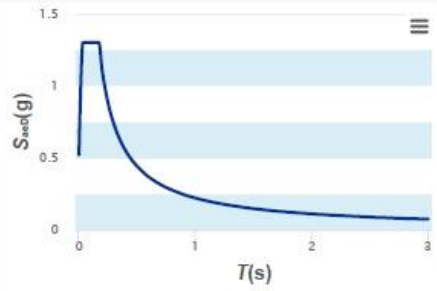
$$S_{oe}(T) = \frac{S_{D1}}{T} \quad (T_B \leq T \leq T_L)$$

$$S_{oe}(T) = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \quad (T_L \leq T)$$

$$T_A = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad T_L = 6s$$

$$T_A = 0.102 \text{ (s)} \quad T_B = 0.508 \text{ (s)} \quad T_L = 6.000 \text{ (s)}$$

Düşey Elastik Tasarım Spektrumu



$$S_{oeD}(T) = \left(0.32 + 0.48 \frac{T}{T_{AD}}\right) S_{DS} \quad (0 \leq T \leq T_{AD})$$

$$S_{oeD}(T) = 0.8 S_{DS} \quad (T_{AD} \leq T \leq T_{BD})$$

$$S_{oeD}(T) = 0.8 S_{DS} \frac{T_{BD}}{T} \quad (T_{BD} \leq T \leq T_{LD})$$

$$T_{AD} = \frac{T_A}{3} \quad T_{BD} = \frac{T_B}{3} \quad T_{LD} = \frac{T_L}{2}$$

$$T_{AD} = 0.034 \text{ (s)} \quad T_{BD} = 0.169 \text{ (s)} \quad T_{LD} = 3.000 \text{ (s)}$$

ÖZGEÇMİŞ

Yılmaz KELEŞ, 24.03.1989'da Trabzon'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini İstanbul'da tamamladı. 2008 yılında İstanbul Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2008 yılında başladığı Ondokuzmayıs Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nü 2013 yılında bitirdi. 2014 yılında Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başladı. Çeşitli şirketlerde mühendis olarak görev yaptı. Halen Sakarya'da ikamet etmekte, çalışma yaşamını ve yüksek lisans çalışmalarını sürdürmektedir.