

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**BETONARME BİNALARDA ZEMİN KAT YÜKSEKLİĞİNİN FARKLI
OLMASI DURUMUNDA DOLGU DUVARLARIN ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Özge ATEŞ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

OCAK 2023

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**BETONARME BİNALARDA ZEMİN KAT YÜKSEKLİĞİNİN FARKLI
OLMASI DURUMUNDA DOLGU DUVARLARIN ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Özge ATEŞ
(501181037)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Tülay AKSU ÖZKUL

OCAK 2023

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 501181037 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Özge ATEŞ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “BETONARME BİNALARDA ZEMİN KAT YÜKSEKLİĞİNİN FARKLI OLMASI DURUMUNDA DOLGU DUVARLARIN ETKİSİNİN İNCELENMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Tülay AKSU ÖZKUL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Turgut ÖZTÜRK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. İrfan COŞKUN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 28 Aralık 2022
Savunma Tarihi : 25 Ocak 2023



ÖNSÖZ

Bu çalışmanın yürütülmesi sırasında desteklerini esirgemeyen, bana değerli vaktini ayıran, her türlü bilgi ve deneyimlerini paylaşan, yaptığı değerli öneriler, gösterdiği yakın ilgi ve verdiği destek için tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Tülay AKSU ÖZKUL'a ve emeği geçen tüm öğretmenlerime teşekkürü bir borç bilir, en içten sevgi ve saygılarımı sunarım.

Eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, daima ilgi ve alakalarını üzerimde hissettiğim, her daim yanımda olup beni destekleyen, hayattaki ilk öğretmenlerim olan çok sevgili babam Recep KORKMAZ'a ve annem Beyhan KORKMAZ'a, çok sevgili abim Emre KORKMAZ'a ve her konuda desteğini aldığım çok sevgili eşim Uğur ATEŞ'e ve çok değerli arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Aralık 2022

Özge ATEŞ
İnşaat Mühendisi



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xiii
SEMBOLLER	xv
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xxiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xxv
ÖZET.....	xxvii
SUMMARY	xxxi
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Çalışmanın Amacı	4
1.2 Konu ile İlgili Literatür Araştırması.....	5
2. DEPREM ETKİSİNDEKİ DOLGU DUVARLI ÇERÇEVELER	13
2.1 Dolgu Duvarda Kullanılan Malzemeler	13
2.1.1 Boşluklu fabrika tuğlası	13
2.1.2 Gaz beton	14
2.2 Dolgu Duvar Özellikleri.....	14
2.3 Dolgu Duvarların Yapı Üzerindeki Olumlu ve Olumsuz Etkileri.....	17
2.4 Dolgu Duvarların Deprem Kuvveti Altında Davranışı ve Göçme Şekilleri	19
2.4.1 Köşe kırılması	21
2.4.2 Kayma kırılması.....	21
2.4.3 Diyagonal basınç kırılması.....	22
2.4.4 Diyagonal çekme kırılması	22
2.4.5 Çerçeve göçmesi	22
2.5 Dolgu Duvar Modelleme Yöntemleri	23
2.5.1 Makro modelleme	23
2.5.1.1 Tekli eşdeğer diyagonal basınç çubuğu modeli	24
2.5.1.2 Çoklu eşdeğer basınç çubuğu modeli.....	27
2.5.2 Mikro modelleme.....	28
3. TÜRKİYE DEPREM YÖNETMELİĞİ	31
3.1 Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi	31
3.2 Mod Birleştirme Yöntemi	39
3.3 Binalarda Düzensizlikler ve Yapılması Gerekli Kontroller	42
3.3.1 Planda düzensizlikler	42
3.3.1.1 A1 – Burulma düzensizliği	42
3.3.1.2 A2 – Döşeme süreksizliği	43
3.3.1.3 A3 – Planda çıkıntılar bulunması.....	44
3.3.2 Düşeyde düzensizlikler	44
3.3.2.1 B1 - Zayıf kat düzensizliği	44
3.3.2.2 B2 - Yumuşak kat düzensizliği	45
3.3.2.3 B3 – Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği	46

3.3.3 Görelî kat ötelemeleri kontrolü	46
3.3.4 İkinci mertebe etkilerin kontrolü	47
4. BETONARME BİNALAR	49
4.1 Model Binaların Tanıtılması.....	49
4.2 Döşemelerin Hesap ve Tasarımı.....	52
4.3 Dolgu Duvarların Modellenmesi.....	59
4.4 SAP2000 Programında Binaların Modellenmesi	61
4.5 Yük Kombinasyonları	64
4.6 Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemine Göre Düzensizlik Kontrolleri.....	67
4.6.1 Model 1, Model 3 ve Model 5 için kontroller	67
4.6.1.1 Görelî kat ötelemeleri kontrolü	67
4.6.1.2 İkinci mertebe etkilerin kontrolü.....	68
4.6.1.3 B1 - Zayıf kat düzensizliğı	69
4.6.1.4 B2 - Yumuşak kat düzensizliğı	69
4.6.1.5 A1 – Burulma düzensizliğı.....	70
4.6.2 Model 2, Model 4 ve Model 6 için kontroller	71
4.6.2.1 Görelî kat ötelemeleri kontrolü	71
4.6.2.2 İkinci mertebe etkilerin kontrolü.....	72
4.6.2.3 B1 - Zayıf kat düzensizliğı	73
4.6.2.4 B2 - Yumuşak kat düzensizliğı	73
4.6.2.5 A1 – Burulma düzensizliğı.....	74
5. DOLGU DUVAR MODELLEMESİNİN YAPI ÜZERİNDE ETKİLERİ	77
5.1 A Binası.....	77
5.1.1 Periyotlar	77
5.1.2 Kat yatay deplasmanları	77
5.1.3 Görelî kat ötelemeleri.....	78
5.1.4 Kat rijitlikleri.....	79
5.1.5 Etkin görelî kat ötelemesi/kat yüksekliğı	79
5.1.6 Burulma düzensizlik katsayısı.....	80
5.2 B Binası	81
5.2.1 Periyotlar	81
5.2.2 Kat yatay deplasmanları	81
5.2.3 Görelî kat ötelemeleri.....	82
5.2.4 Kat rijitlikleri.....	83
5.2.5 Etkin görelî kat ötelemesi/ kat yüksekliğı	83
5.2.6 Burulma düzensizlik katsayısı.....	84
5.3 C Binası	85
5.3.1 Periyotlar	85
5.3.2 Kat yatay deplasmanları	85
5.3.3 Görelî kat ötelemeleri.....	86
5.3.4 Kat rijitlikleri.....	87
5.3.5 Etkin görelî kat ötelemesi/kat yüksekliğı	87
5.3.6 Burulma düzensizlik katsayısı.....	88
6. ZEMİN KAT YÜKSEKLİK DEĞİŞİMİNİN YAPI ÜZERİNDE ETKİLERİ	89
6.1 Model 1 – Model 3 – Model 5 Sonuçlar ve Karşılaştırmalar	89
6.1.1 Kat ağırlıkları	89
6.1.2 Eşdeğer deprem yükleri ve eşdeğer kat kesme kuvvetleri	90
6.1.3 Periyotlar.....	91
6.1.4 Kat yatay deplasmanları	92

6.1.5 Görelî kat ötelemeleri.....	93
6.1.6 Kat rijitlikleri.....	94
6.1.7 Etkin görelî kat ötelemesi/kat yüksekliği.....	95
6.1.8 Burulma düzensizlik katsayısı	96
6.2 Model 2 – Model 4 – Model 6 Sonuçlar ve Karşılaştırmalar	97
6.2.1 Kat ağırlıkları	97
6.2.2 Eşdeğer deprem yükleri ve eşdeğer kat kesme kuvvetleri	97
6.2.3 Periyotlar	97
6.2.4 Kat yatay deplasmanları.....	98
6.2.5 Görelî kat ötelemeleri.....	100
6.2.6 Kat rijitlikleri.....	101
6.2.7 Etkin görelî kat ötelemesi/kat yüksekliği.....	102
6.2.8 Burulma düzensizlik katsayısı	103
7. TÜM MODELLERİN KARŞILAŞTIRILMASI	105
7.1 Periyotlar	105
7.2 Kat Yatay Deplasmanları	106
7.3 Görelî Kat Ötelemeleri	107
7.4 Kat Rijitlikleri	109
7.5 Etkin Görelî Kat Ötelemesi/Kat Yüksekliği.....	110
7.6 Burulma Düzensizlik Katsayısı	111
7.7 İç Kuvvetler.....	112
8. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	117
KAYNAKLAR	121
ÖZGEÇMİŞ.....	127



KISALTMALAR

AFAD : Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı

TBDY- 2018 : Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018





SEMBOLLER

$(\Delta_i^{(x)})_{\min}$	: Binanın i'inci katındaki minimum azaltılmış görelî kat ötelemesi (m)
$(\Delta_i^{(x)})_{\max}$	: Binanın i'inci katındaki maksimum azaltılmış görelî kat ötelemesi (m)
$(\Delta_i^{(x)})_{\text{ort}}$	: Binanın i'inci katındaki ortalama azaltılmış görelî kat ötelemesi (m)
$(E_d)^{(H)}$	: Doğrultu birleştirmesi uygulanmış tasarımı esas yatay deprem etkisi
$(E_d)^{(X)}$	: (X) doğrultusundaki depremin etkisi altında tasarımı esas deprem etkisi
$(E_d)^{(Y)}$	: (Y) doğrultusundaki depremin etkisi altında tasarımı esas deprem etkisi
$(E_d)^{(Z)}$	: (Z) doğrultusundaki depremin etkisi altında tasarımı esas deprem etkisi
$(V_{te})^{(X)}$	: (X) deprem doğrultusunda binanın tümüne etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti) (kN)
$(V_{tx})^{(X)}$	: Modal hesap yöntemlerinden biri ile x doğrultusu'nda elde edilen en büyük toplam deprem yükü (kN)
$(V_{txn,\max})^{(X)}$	: (X) deprem doğrultusu için binanın x eksenî doğrultusunda n'inci titreşim moduna ait enbüyük modal taban kesme kuvveti (kN)
$\bar{r}_n^{(X)}$	: n'inci doğal titreşim modunda (X) deprem doğrultusu için herhangi bir davranış büyüklüğüne (yerdeğiştirme, görelî kat ötelemesi, iç kuvvet bileşeni) karşı gelen tipik birim modal davranış büyüklüğü
γ_E	: Eşdeğer taban kesme kuvveti büyütmeye katsayısının belirlenmesinde kullanılan ampirik katsayı
$\Delta F_{NE}^{(X)}$	: (X) deprem doğrultusunda binanın N'inci katına (tepesine) etkiyen ek eşdeğer deprem yükü (kN)
Δi^x	: (X) deprem doğrultusunda herhangi bir kolon veya perde için, ardışık iki kat arasındaki yerdeğiştirme farkını ifade eden azaltılmış görelî kat ötelemesi (m)
$\sum A_e$	: Herhangi bir katta, gözönüne alınan deprem doğrultusunda etkili kesme alanı (m ²)
$\sum A_g$	: Herhangi bir katta, gözönüne alınan deprem doğrultusuna paralel doğrultuda perde olarak çalışan taşıyıcı sistem elemanlarının enkesit alanlarının toplamı (m ²)

ΣA_k	: Herhangi bir katta, gözönüne alınan deprem doğrultusuna paralel kargir dolgu duvar alanlarının (kapı ve pencere boşlukları hariç) toplamı (m ²)
ΣA_w	: Herhangi bir katta, kolon enkesiti etkin gövde alanlarının toplamı (m ²)
A1	: Burulma düzensizliği
A2	: Döşeme süreksizlikleri
A3	: Planda çıkıntılar bulunması
A_c	: Kolonun veya perde uç bölgesinin brüt enkesit alanı
a_d	: Eşdeğer basınç çubuğunun genişliği (mm)
B1	: Komşu katlar arası dayanım düzensizliği (Zayıf kat)
B2	: Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (Yumuşak kat)
B3	: Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği
BKS	: Bina kullanım sınıfı
BYS	: Bina yükseklik sınıfı
C_h	: İkinci mertebe hesabında kullanılan ampirik katsayı
C_t	: Ampirik doğal titreşim periyodu hesabında kullanılan katsayı
D	: Dayanım fazlalığı katsayısı
DD-1	: 50 yılda aşılma olasılığı %2 (tekrarlanma periyodu 2475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
DD-2	: 50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
DD-3	: 50 yılda aşılma olasılığı %50 (tekrarlanma periyodu 72 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
DD-4	: 50 yılda aşılma olasılığı %68 (tekrarlanma periyodu 43 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
d_{fi}^(X)	: (X) deprem doğrultusunda binanın hakim doğal titreşim periyodunun hesabında i'inci kata etki ettirilen fiktif yükten oluşan yerdeğiştirme (m)
d_m	: Duvar diyagonal uzunluğunu
DTS	: Deprem tasarım sınıfı
e	: %5'lik ek dışmerkezlik (m)
E_c	: Çerçeve betonunun elastisite modülü

E_d	: Doğrultu birleştirmesi uygulanmış tasarıma esas toplam deprem etkisi
E_d	: Dolgu duvarının elastisite modülü
E_m	: Dolgu duvarının elastisite modülü
E_x	: (X) doğrultusundaki depremin etkisi altında tasarıma esas deprem etkisi
E_y	: (Y) doğrultusundaki depremin etkisi altında tasarıma esas deprem etkisi
E_z	: (Z) doğrultusundaki depremin etkisi altında tasarıma esas deprem etkisi
F_1	: 1.0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayısı
f_{ck}	: Betonun karakteristik basınç dayanımı (MPa)
f_d	: Dolgu duvarının basınç dayanımı
$F_{fi}^{(X)}$	: (X) deprem doğrultusunda binanın hakim doğal titreşim periyodunun hesabında i'inci kata etki ettirilen fiktif yük (kN)
$F_{iE}^{(X)}$	: (X) deprem doğrultusunda i'inci kat kütle merkezine etkiyen eşdeğer deprem yükü (kN)
$f_{ixn,max}^{(X)}$	: (X) deprem doğrultusu için binanın x eksen doğrultusunda n'inci doğal titreşim modunda i'inci kata etkiyen enbüyük modal deprem yükü (kN)
F_s	: Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı
g	: Sabit yük (kN/m ²)
G	: Sabit yük etkisi
g	: Yerçekimi ivmesi
G_{duvar}	: Duvar yükü (kN/m)
G_{ek}	: Kaplama yükü (kN/m ²)
G_{kendi}	: Yapı ağırlığının hesabı için kullanılan yük tanımı
h	: Eleman yüksekliği
h_d	: Dolgu duvarının yüksekliği (mm)
h_f	: Döşeme kalınlığı (cm)
H_i	: Binanın bodrum katlarının üstündeki üst bölüm'de i'inci katın üst bölümün tabanından itibaren ölçülen yüksekliği (m)
h_i	: Binanın i'inci katının kat yüksekliği (m)
h_k	: Kolon boyu (mm)

H_N	: Binanın bodrum katlarının üstündeki üst bölüm'ünün toplam yüksekliği (m)
h_n	: Normal katın yüksekliği (m)
h_w	: Dolgu duvarının yüksekliği (mm)
h_z	: Zemin katın yüksekliği (m)
I	: Bina önem katsayısı
I_c	: Kolonun atalet momenti (mm^4)
I_k	: Kolonun atalet momenti (mm^4)
L_d	: Dolgu duvar genişliği, çerçeve açıklığı (mm)
L_{kisa}	: Döşemenin kısa doğrultuda, mesnet ortaları arasında kalan açıklığı
l_{sn}	: Döşemenin kısa doğrultudaki serbest açıklığı
L_{uzun}	: Döşemenin uzun doğrultuda, mesnet eksenleri arasında kalan açıklığı
M	: Döşeme uzun kenarının kısa kenarına oranı
M_a	: Kolon alt uç momenti
m_i	: i'inci katın toplam kütlesi (t)
$M_{oxn,max}^{(X)}$	: (X) deprem doğrultusu için binanın x eksenli doğrultusunda n'inci titreşim moduna ait enbüyük modal taban devrilme momenti (kNm)
m_t	: Binanın bodrum katlarının üstündeki üst bölüm'ünün toplam kütlesi (t)
$m_{txn}^{(X)}$	: (X) deprem doğrultusu için binanın x eksenli doğrultusunda n'inci titreşim moduna ait taban kesme kuvveti modal etkin kütlesi (t)
$M_{ü}$	: Kolon üst uç momenti
N	: Binanın bodrum katlarının üstündeki üst bölüm'deki toplam kat sayısı
n	: Hareketli yük katılım katsayısı
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
q	: Hareketli yük (kN/m^2)
Q	: Hareketli yük etkisi
R	: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı

$R_a(T)$	: Öngörülen süneklik kapasitesi ve periyoda bağlı Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı
r_d	: Dolgu duvarının köşegen uzunluğu (mm)
$r_{m,max}^{(X)}$	: m'inci doğal titreşim modunda (X) deprem doğrultusu için herhangi bir davranış büyüklüğüne (yerdeğiştirme, görelî kat ötelemesi, iç kuvvet bileşeni) karşı gelen tipik enbüyük modal davranış büyüklüğü
$r_{max}^{(X)}$	: (X) deprem doğrultusu için herhangi bir davranış büyüklüğüne (yerdeğiştirme, görelî kat ötelemesi, iç kuvvet bileşeni) karşı gelen birleştirilmiş tipik enbüyük modal davranış büyüklüğü
$r_{n,max}^{(X)}$	: n'inci doğal titreşim modunda (X) deprem doğrultusu için herhangi bir davranış büyüklüğüne (yerdeğiştirme, görelî kat ötelemesi, iç kuvvet bileşeni) karşı gelen tipik enbüyük modal davranış büyüklüğü
S_1	: 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı (boyutsuz)
$S_{ae}(T)$	: Yatay elastik tasarım spektral ivmesi (g)
$S_{aR}(T)$	: Azaltılmış tasarım spektral ivmesi (g)
S_{D1}	: 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı (boyutsuz)
S_{DS}	: Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı (boyutsuz)
S_s	: Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı (boyutsuz)
T	: Doğal titreşim periyodu (s)
T_A	: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu (s)
T_B	: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu (s)
t_d	: Dolgu duvarının kalınlığı (mm)
T_L	: Yatay elastik tasarım spektrumunda sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu (s)
T_m	: m'inci moda ait doğal titreşim periyodu (s)
T_n	: n'inci moda ait doğal titreşim periyodu (s)
T_P	: Binanın hakim doğal titreşim periyodu (s)
$T_P^{(X)}$	: (X) deprem doğrultusunda binanın hakim doğal titreşim periyodu (s)
T_{pA}	: Amprik olarak hesaplanan hakim doğal titreşim periyodu (s)
$u_i^{(X)}$	: (X) deprem doğrultusunda herhangi bir kolon veya perde için, i'inci kattaki azaltılmış yerdeğiştirme (m)

$V_i^{(X)}$	: (X) deprem doğrultusunda i'inci kattaki azaltılmış kat kesme kuvveti (kN)
w	: Eşdeğer basınç çubuğunun genişliği (mm)
w	: Sonlu eleman düğüm noktası j'ye etkiyen tekil kütle
W	: Yapı toplam ağırlığı (kN)
w_G	: Sonlu eleman düğüm noktası j'ye etkiyen bileşke sabit yük
w_k	: k'inci kata etkiyen toplam ağırlık (kN)
w_Q	: Sonlu eleman düğüm noktası j'ye etkiyen bileşke hareketli yük
ZB	: Yerel zemin sınıfı
α_s	: Döşeme sürekli kenar uzunlukları toplamının kenar uzunlukları toplamına oranı
β_{II}	: İkinci mertebe büyütme katsayısı
β_{mn}	: m'inci ve n'inci doğal titreşim periyotlarının oranı
$\beta_{tE}^{(X)}$	: Eşdeğer taban kesme kuvveti büyütme katsayısı
$\delta_i^{(X)}$	: (X) deprem doğrultusu için, binanın i'inci katındaki kolon veya perdeler için etkin görelî kat öteleme (m)
$\delta_{imax}^{(X)}$	: (X) deprem doğrultusu için, binanın i'inci katındaki etkin görelî kat ötelemelerinin kat içindeki en büyük değeri (m)
η_{bi}	: i'inci katta tanımlanan burulma düzensizliği katsayısı
$\eta_{bi,sınır}$	: i'inci katta tanımlanan burulma düzensizliği katsayısı sınır değeri
η_{ci}	: i'inci katta tanımlanan dayanım düzensizliği katsayısı
$\eta_{ci,sınır}$	: i'inci katta tanımlanan dayanım düzensizliği katsayısı sınır değeri
η_{ki}	: i'inci katta tanımlanan rijitlik düzensizliği katsayısı
$\eta_{ki,alt}$	: i'inci katta tanımlanan alt kat rijitlik düzensizliği katsayısı değeri
$\eta_{ki,max}$	: i'inci katta tanımlanan maksimum rijitlik düzensizliği katsayısı
$\eta_{ki,sınır}$	: i'inci katta tanımlanan rijitlik düzensizliği katsayısı sınır değeri
$\eta_{ki,üst}$	: i'inci katta tanımlanan üst kat rijitlik düzensizliği katsayısı değeri
θ	: Eşdeğer basınç çubuğunun yatay ile olan açısı

$\theta_{n,i}^{(X)}$	: (X) deprem doğrultusunda her bir i'inci kat için tanımlanan ikinci merteye gösterge değeri
$\theta_{n,max}^{(X)}$	: (X) deprem doğrultusunda tanımlanan maksimum ikinci merteye gösterge değeri
$\theta_{n,sınır}^{(X)}$	: (X) deprem doğrultusunda tanımlanan sınır ikinci merteye gösterge değeri
κ	: İzin verilen görelî kat ötelemelerinin tanımında betonarme ve çelik taşıyıcı sistemler için farklı olarak kullanılan katsayı
ρ_{mn}	: Tam karesel birleştirme kuralı'nda m'inci ve n'inci doğal titreşim modlarına ait çapraz korelasyon katsayısı
τ_d	: Dolgu duvarının kayma dayanımı
λ	: Görelî kat ötelemelerinin sınırlandırılmasında kullanılan ampirik katsayı
λ_d	: Eşdeğer basınç çubuğu katsayısı
λ_h	: Dolgu duvarın çerçeveye göre rölatif rijitliğini



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Farklı fabrika tuğlaları için basınç dayanımı deney sonuçları (Bayülke, 1980).....	15
Çizelge 2.2 : TBDY-2018'e göre çeşitli tuğla türlerine ait mekanik özellikler.....	17
Çizelge 3.1 : TBDY 2018'e göre eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabileceği binalar.	32
Çizelge 3.2 : Bina kullanım sınıfları ve bina önem katsayıları (TBDY-2018).....	33
Çizelge 3.3 : Deprem tasarım sınıfları (DTS) (TBDY-2018).	34
Çizelge 3.4 : Bina yükseklik sınıfları ve deprem tasarım sınıflarına göre tanımlanan bina yükseklik aralıkları (TBDY-2018).....	34
Çizelge 3.5 : Hareketli yük kütle katılım katsayısı (TBDY-2018).....	39
Çizelge 4.1 : Model binaların tanıtımı.	50
Çizelge 4.2 : Tasarım parametreleri.....	52
Çizelge 4.3 : Kolon taşıyıcı elemanlar için belirlenen kesit detayları.	55
Çizelge 4.4 : Dolgu duvar hesap detayları.	60
Çizelge 4.5 : Betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının etkin kesit rijitliği çarpanları.	62
Çizelge 4.6 : Model 1 için elde edilen değerler.	65
Çizelge 4.7 : Model 2 için elde edilen değerler.	65
Çizelge 4.8 : Model 3 için elde edilen değerler.	66
Çizelge 4.9 : Model 4 için elde edilen değerler.	66
Çizelge 4.10 : Model 5 için elde edilen değerler.	66
Çizelge 4.11 : Model 6 için elde edilen değerler.	66
Çizelge 4.12 : $h_z=3m$ Model 1 için görel kat ötelemeleri kontrolü.	67
Çizelge 4.13 : $h_z=4m$ Model 3 için görel kat ötelemeleri kontrolü.	67
Çizelge 4.14 : $h_z=5m$ Model 5 için görel kat ötelemeleri kontrolü.	68
Çizelge 4.15 : $h_z=3m$ Model 1 için ikinci mertebe etkilerin kontrolü.	68
Çizelge 4.16 : $h_z=4m$ Model 3 için ikinci mertebe etkilerin kontrolü.	68
Çizelge 4.17 : $h_z=5m$ Model 5 için ikinci mertebe etkilerin kontrolü	69
Çizelge 4.18 : Zayıf kat düzensizliği kontrolü.....	69
Çizelge 4.19 : $h_z=3m$ Model 1 için yumuşak kat düzensizliği kontrolü.....	69
Çizelge 4.20 : $h_z=4m$ Model 3 için yumuşak kat düzensizliği kontrolü.....	70
Çizelge 4.21 : $h_z=5m$ Model 5 için yumuşak kat düzensizliği kontrolü.....	70
Çizelge 4.22 : $h_z=3m$ Model 1 için burulma düzensizliği kontrolü.....	70
Çizelge 4.23 : $h_z=4m$ Model 3 için burulma düzensizliği kontrolü.....	71
Çizelge 4.24 : $h_z=5m$ Model 5 için burulma düzensizliği kontrolü.....	71
Çizelge 4.25 : $h_z=3m$ Model 2 için görel kat ötelemeleri kontrolü.	71
Çizelge 4.26 : $h_z=4m$ Model 4 için görel kat ötelemeleri kontrolü.	72
Çizelge 4.27 : $h_z=5m$ Model 6 için görel kat ötelemeleri kontrolü.	72
Çizelge 4.28 : $h_z=3m$ Model 2 için ikinci mertebe etkilerin kontrolü.	72

Çizelge 4.29 : $h_z=4\text{m}$ Model 4 için ikinci merteye etkilerin kontrolü.	73
Çizelge 4.30 : $h_z=5\text{m}$ Model 6 için ikinci merteye etkilerin kontrolü.	73
Çizelge 4.31 : $h_z=3\text{m}$ Model 2 için yumuşak kat düzensizliği kontrolü.	73
Çizelge 4.32 : $h_z=4\text{m}$ Model 4 için yumuşak kat düzensizliği kontrolü.	74
Çizelge 4.33 : $h_z=5\text{m}$ Model 6 için yumuşak kat düzensizliği kontrolü.	74
Çizelge 4.34 : $h_z=3\text{m}$ Model 2 için burulma düzensizliği kontrolü.	74
Çizelge 4.35 : $h_z=4\text{m}$ Model 4 için burulma düzensizliği kontrolü.	75
Çizelge 4.36 : $h_z=5\text{m}$ Model 6 için burulma düzensizliği kontrolü.	75
Çizelge 6.1 : Bina kat ağırlıkları.	89
Çizelge 6.2 : Katlara gelen kesme kuvveti (kN).	90



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Boşluklu dolgu duvarlı çerçeve (Yıldırım, 2009).	19
Şekil 2.2 : Yatay yük etkisinde dolgu duvarlı çerçevenin davranışı (Yalçın, 1999).	20
Şekil 2.3 : Dolgu duvar panelinin köşelerinde basınç gerilmesi nedeniyle çatlak oluşumu (Crisafulli, 1997).	21
Şekil 2.4 : Kayma gerilmesi sonucu duvarda oluşan kesme çatlakları (Toker, 2007).	21
Şekil 2.5 : Köşe kırılması ve diyagonal basınç kırılma türleri (Asteris ve diğ, 2011).	22
Şekil 2.6 : Diyagonal çekme çatlak oluşumu (Crisafulli, 1997).	22
Şekil 2.7 : Dolgu duvarın tekli eşdeğer diyagonal çubuk modeli ile temsili (Öztürkoğlu ve diğ, 2015; Beklen ve Çağatay, 2009).	24
Şekil 2.8 : Crisafulli tarafından kayma göçmesi beklenen dolgu duvarlı çerçeveler için önerilen model (Crisafulli, 1997).	27
Şekil 2.9 : Diyagonal çapraz çubuk modelinin düzenlenmiş durumu ve çoklu çubuk modelleri (Durmazgezer, 2013).	28
Şekil 2.10 : Dolgu duvarların çapraz diyagonal çubuklarla modellenmesi (Paulay ve Priestly, 1992).	28
Şekil 2.11 : Dolgu duvarlı çerçevenin sonlu eleman ağ modeli (Beklen ve Çağatay, 2009).	29
Şekil 3.1 : Yatay elastik tasarım spektral ivmelerinin titreşim periyoduna bağlı değişimi.	35
Şekil 3.2 : Katlara etkiyen deprem yüklerin gösterimi (TBDY-2018).	37
Şekil 3.3 : Burulma düzensizliği.	43
Şekil 3.4 : A2 türü düzensizlik durumu.	44
Şekil 3.5 : A3 türü düzensizlik durumu.	44
Şekil 3.6 : B3 türü düzensizlik durumu.	46
Şekil 4.1 : A, B ve C binalarına ait kat yükseklikleri.	49
Şekil 4.2 : Zemin (üstte) ve normal (altta) kat dolgu duvar yerleşimi.	51
Şekil 4.3 : Yatay elastik tasarım spektrumu grafiği (TBDY-2018).	63
Şekil 4.4 : Yatay deprem etkisi altında azaltılmış tasarım ivme spektrumu grafiği (TBDY-2018).	63
Şekil 4.5 : SAP2000 programında yapılan bina modellemeleri.	64
Şekil 5.1 : A binası yapı periyodu (s).	76
Şekil 5.2 : A binası kat yatay deplasmanları (mm).	77
Şekil 5.3 : A binası görel kat ötelemeleri (m).	77
Şekil 5.4 : A binası kat rijitlikleri.	78
Şekil 5.5 : A binası görel kat ötelemesi/kat yüksekliği.	79
Şekil 5.6 : A binası burulma düzensizliği katsayısı.	79
Şekil 5.7 : B binası yapı periyodu (s).	80
Şekil 5.8 : B binası kat yatay deplasmanları (mm).	81
Şekil 5.9 : B binası görel kat ötelemeleri (m).	81

Şekil 5.10 : B binası kat rijitlikleri.....	82
Şekil 5.11 : B binası etkin görelî kat ötelemesi/kat yüksekliği.....	83
Şekil 5.12 : Burulma düzensizlik katsayısı.....	83
Şekil 5.13 : C binası yapı periyodu.....	84
Şekil 5.14 : C binası kat yatay deplasmanları.....	85
Şekil 5.15 : C binası görelî kat ötelemeleri (m).....	85
Şekil 5.16 : C binası kat rijitlikleri.....	86
Şekil 5.17 : C binası etkin görelî kat ötelemesi/kat yüksekliği.....	87
Şekil 5.18 : C binası burulma düzensizliği katsayısı.....	87
Şekil 6.1 : Yapı ağırlıkları.....	88
Şekil 6.2 : Katlara gelen eşdeğer deprem kuvveti.....	89
Şekil 6.3 : Katlara gelen kesme kuvveti (kN).....	90
Şekil 6.4 : Yapı periyotları.....	90
Şekil 6.5 : En üst kat deplasmanları (mm).....	91
Şekil 6.6 : Zemin kat deplasmanları (mm).....	92
Şekil 6.7 : Kümülatif kat yatay deplasmanları (m).....	92
Şekil 6.8 : Görelî kat ötelemeleri (m).....	93
Şekil 6.9 : Tüm katlar için kat rijitlikleri.....	94
Şekil 6.10 : Zemin kat rijitlikleri.....	94
Şekil 6.11 : Etkin görelî kat ötelemesi/kat yüksekliği.....	95
Şekil 6.12 : Burulma düzensizliği katsayısı.....	96
Şekil 6.13 : Yapı periyotları.....	97
Şekil 6.14 : En üst kat yatay deplasmanları (mm).....	98
Şekil 6.15 : Zemin kat deplasmanları (mm).....	98
Şekil 6.16 : Kümülatif kat yatay deplasmanları (m).....	99
Şekil 6.17 : Görelî kat ötelemeleri (m).....	100
Şekil 6.18 : Tüm katlar için kat rijitlikleri.....	100
Şekil 6.19 : Zemin kat rijitlikleri.....	101
Şekil 6.20 : Etkin görelî kat ötelemesi/kat yüksekliği.....	102
Şekil 6.21 : Burulma düzensizliği katsayısı.....	103
Şekil 7.1 : Yapı periyotları.....	105
Şekil 7.2 : En üst kat yatay deplasmanları (mm).....	106
Şekil 7.3 : Zemin kat deplasmanları (mm).....	107
Şekil 7.4 : Kümülatif kat yatay deplasmanları (mm).....	107
Şekil 7.5 : Görelî kat ötelemeleri (m).....	108
Şekil 7.6 : Kat rijitlikleri (kN/m).....	110
Şekil 7.7 : Etkin görelî kat ötelemesi/kat yüksekliği.....	110
Şekil 7.8 : Etkin görelî kat ötelemesi/kat yüksekliği.....	112
Şekil 7.9 : Eşdeğer deprem yükü yöntemine göre kesme kuvveti.....	113
Şekil 7.10 : Eşdeğer deprem yükü yöntemine göre moment.....	113
Şekil 7.11 : Sol ve sağ uç kesme kuvveti değerleri.....	114
Şekil 7.12 : Sol ve sağ uç moment değerleri.....	115

BETONARME BİNALARDA ZEMİN KAT YÜKSEKLİĞİNİN FARKLI OLMASI DURUMUNDA DOLGU DUVARLARIN ETKİSİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Ülkemizin deprem bölgesinde yer alması, yapıların tasarımı ve buna bağlı olarak yapımının gerçekleştirilmesi sırasında deprem yüklerinin yapı üzerindeki etkilerinin dikkate alınmasını gerektirmektedir. Burada talep edilen herhangi bir deprem anındaki hasar ve kayıpları en aza indirmektir. Bu nedenle oluşacak büyük hasarların önüne geçilebilmesi için yapıların doğru ve uygun şekilde tasarlanması ve yapının olabildiğince gerçeğe yakın modellenmesi gereklidir.

Depreme dayanıklı yapı tasarımında taşıyıcı sistemin herhangi bir düzensizliğine sahip olması istenmez. Genellikle bireysel kullanımlardan kaynaklanan mimari nedenlerle veya zemin katlarının market, otopark, depo, işyeri gibi ticari kullanımlardan dolayı zemin kat, normal katlardan daha yüksek imal edilmekte ve mevcut duvarlar kaldırılmaktadır. Zemin katta dolgu duvarların bazılarının veya tümünün kaldırılması kat rijitliğini azaltmakta ve zemin katta rijitlik düzensizliğine, başka bir deyişle yumuşak kat düzensizliğine sebep olmaktadır. Ayrıca duvarların asimetrik yerleştirilmesi halinde kütle merkezi ile rijitlik merkezinin birbirinden uzaklaşması öngörülemeyen burulma düzensizliğine yol açabilmektedir. Zemin katın yüksekliğinin artırılması da yapıda zayıf kat düzensizliğine sebep olabilmektedir. Tüm bu istenmeyen durumlar yönetmelikler ile sınırlandırılmış ve bu olumsuz etkilerin ortadan kaldırılması mümkün kılınmıştır.

Dolgu duvarlar genellikle taşıyıcı elemanlar olarak düşünülmemekte ve yapıya sadece girişlerin üzerinde yayılı yük olarak hesaplara dahil edilmektedir. Taşıyıcı çerçeve sisteminde kolon ve giriş arası boşlukları dolduran dolgu duvarlar yatay yük etkisi altında oldukça önemli rol oynamaktadır. Betonarme yapıların tasarım süreçlerinde her ne kadar dolgu duvarların etkileri göz ardı edilse de yapılan çalışmalar dolgu duvarların yapı davranışına etkileri olduğunu açıkça ortaya koymuş ve bu etkiler ihmal edildiği takdirde yapıda öngörülemeyen hasarlar meydana getirebileceği belirtilmiştir. Dolgu duvarların etkisinin dikkate alınmadığı durumlarda analiz sonuçlarının gerçek değerleri temsil etmediği yapılan deneysel çalışmalar sonucunda görülmüştür. Ayrıca tasarımı yapılan yapının gerçekçi modellenenebilmesi için hesap analizlerinin dolgu duvarların taşıyıcı sistem üzerindeki etkisini göz önüne alacak şekilde yapılması gereklidir. Böylece dolgu duvar-çerçeve etkileşimi önem kazanmakta ve söz konusu etkileşimin uygun modellenmesi gündeme gelmektedir.

Deprem bölgesinde yer alan ülkemizde, yapıların tasarım ve projelendirme süreçlerinde dolgu duvarların etkisinin yeteri kadar dikkate alınıp alınmadığı sık sık tartışılmaktadır. Dolgu duvarların modelleme yöntemleri ve gerçeğe en uygun yöntemin araştırılması günümüze kadar birçok çalışmaya konu olmuştur. Ve bu konu ile ilgili yapılan çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır.

Dolgu duvarların, yapının yatay ve düşey yükler altında davranışına, rijitlik, taşıma kapasitesi, periyot ve enerji tüketme kapasitesi gibi önemli ve olumlu katkıları vardır. Yapı davranışında meydana getirdiği en önemli değişim dolgu duvarların yatay rijitliğinin ön plana çıkarak yapının serbest titreşim periyodunun azalması yönünde olmaktadır.

Dolgu duvarlar, malzeme mekanik özelliklerinin çok değişken olması yanında birçok parametreye göre farklılık göstermesi, imalat koşullarına ve temas yüzeylerine bağlılığı, modele yansıtılmasının kolay olmaması ve taşıyıcı olmamasından dolayı yapılan modellemelerde dikkate alınmamaktadır. Hesaplamalarda ise daha önce yapılan çalışmalar sonucu oluşturulan ampirik formüller kullanılmaktadır. Dolgu duvar davranışını tanımlarken bir diğer önemli özellik ise içerisinde boşluk olması durumudur. Daha önce yapılan çalışmalar mevcut boşluğun büyüklüğü ve bu boşluğun duvar içerisindeki konumuna göre dolgu duvarın yapıya olan etkilerinin değiştiğini göstermiştir. Ayrıca bant pencerelerin varlığı ya da farklı sebeplerle dolgu duvarların kolon boyunca süreklilik göstermediği ve kat yüksekliği boyunca devam ettirilmediği durumlarda kısa kolon etkisinin olduğu bilinmektedir. Bu gibi durumlarda kolon etkili boyu azalarak ve kolonun alt ucunda oluşması planlanan plastik kesit, gerçekte yarım duvarın bitim bölgesinde ortaya çıkarak kolonlarda oluşacak kesme kuvvetlerinde tasarımdan farklı artış meydana gelir. Literatüre bakıldığında tüm bu parametreleri doğru modelleyebilmek adına çok çeşitli ampirik formüller geliştirilmiştir.

Bu çalışmada Türkiye’de sıklıkla görülen zemin kat yüksekliğinin diğer katlara göre daha yüksek imal edilmesinin ve bunun yanı sıra zemin katta dolgu duvar yerleşiminin azaltılmasının betonarme yapılar üzerindeki etkisi incelenmiştir. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 (TBDY-2018)’e ve diğer standartlara uygun olarak ön boyutlandırılması ve tasarımı yapılan A binası, zemin kat yüksekliği değiştirilerek B ve C binaları oluşturulmuş, binaların İstanbul ile Sarıyer ilçesinde yer aldığı kabul edilmiştir. Yapılan seçimlerde eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulama sınırları dikkate alınmış olup, zayıf kat düzensizliği durumu dışında düzensizlik durumu mevcut değildir.

Modelleme için, mesafeleri 5 m olacak şekilde 6x6 açıklığa, toplam 900 m² taban alanına sahip ve (X)-(Y) doğrultusunda simetrik betonarme bina planı seçilmiştir. Zemin kat ve 7 normal kattan oluşan konut türü binalarda normal kat yükseklikleri tüm modellerde 3 m, zemin kat yüksekliği A binasında 3 m, B binasında 4 m, C binasında 5 m alınmıştır. Dolgu duvar yerleşimi ise tüm modellerde normal katlarda her giriş altında, zemin katta (X) ve (Y) doğrultularında sadece orta aksta olacak şekilde seçilmiştir. Zemin kat yükseklik değişiminin ve dolgu duvar modellemesinin yapılmasının etkilerinin araştırılması için taşıyıcı sistem boyutları tüm modellerde sabit tutulmuştur. SAP2000 programında üç boyutlu olarak oluşturulan 3 model, literatürde yer alan çok sayıda dolgu duvar modellemelerinden tekli eşdeğer basınç çubuğu yöntemi ile dolgu duvar modellemesi yapılarak tekrarlanmış, toplamda 6 model oluşturulmuştur. Boşluklu fabrika tuğla malzemesinin kullanıldığı duvarların modellemesi için TBDY-2018’de yer alan temsili basınç çubuk genişlik ve eşdeğer basınç çubuğu katsayısı denklemleri kullanılmış, duvar elastisite modülü olarak yine yönetmelikten ilgili değer alınmıştır. Dolgu duvarların boşluk içermediği kabul edilmiştir. İki ucu mafsallı olarak modellenen eşdeğer sanal basınç çubukları sadece basınç kuvvetine maruz kalabileceği için bu temsili çubukların çekme limitleri sıfırlanmıştır.

Oluşturulan modeller TBDY-2018’de yer alan doğrusal hesap yöntemlerinden eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılarak 6 model de analiz edilmiş, analiz sonuçlarına göre yapıların deprem davranışlarındaki değişiklikler yorumlanmıştır.

Analizler sonucunda zemin kat yüksekliğinin artması ile bina ağırlıklarında, periyotlarda, kat yatay deplasmanlarda, görelı kat ötelemelerinde, salınım, zemin kat kolon ve kiriş iç kuvvetleri değerlerinde artış, kat rijitliklerinde azalma gözlemlenmiştir. Değişiklik sonucu gözlemlenen kat rijitlik değerinin azalması ve buna bağlı kat ötelenmesinin artması durumu dolgu duvarsız binalarda dolgu duvarlı binalara göre daha fazla ön plana çıkmaktadır.

Dolgu duvar modellemesinin yapılması ile periyotlarda, kat yatay deplasmanlarda, görelı kat ötelemelerinde, salınım, burulma katsayısı, zemin kat kolon ve kiriş iç kuvvetleri değerlerinde azalma, kat rijitlik değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Dolgu duvarların içerisinde bulunduğu betonarme ereveyi ve dolayısıyla betonarme yapıyı rijitleştirmesi sonucu, bulunan periyot değerlerinin ve yatay deplasmanların azalması beklenen bir sonutur. Ayrıca dolgu duvar yerleşimi ve modellemesinin burulma üzerinde etkili olduğu tespit edilmiştir.



THE EFFECT OF INFILL WALLS IN REINFORCED CONCRETE BUILDINGS WITH DIFFERENT GROUND FLOOR HEIGHTS

SUMMARY

As our country is located in earthquake zone, the earthquake loads must be taken into consideration during the design of the structures as well as during the construction stage. The damages and losses during the earthquake should be reduced as much as possible and even they are damaged, structures should be usable following the repairs. Thus, during the design stage they should be modelled in a way which reflects the real-world conditions.

During the earthquake resistant building design, load bearing systems of the structure should not have any irregularities. However, due to the architectural constraints arising from household requirements or different spacing needs for parking lot, warehouses or commercial usages ground floors generally constructed with different heights than the other floors. Removal of some or all infill walls on the ground floors reduces floor stiffness and causes stiffness irregularities. In other words, this design causes weak story irregularities. Furthermore, if the walls are placed symmetrically, the divergence of the center of mass and the center of rigidity can lead to unpredictable torsional irregularities. Increasing the height of the ground floor can also cause weak floor irregularity in the building. All these undesirable situations are limited by regulations, and it is possible to eliminate these negative effects.

Infill walls are not generally considered as load-bearing elements and are only included in the calculations as a distributed load on the beams. In the load-bearing frame system, the infill walls that fill the spaces between columns and beams has a very important role under the effect of horizontal load. Although the effects of infill walls are ignored in the design processes of reinforced concrete structures, studies have clearly revealed that infill walls have effects on building behavior and it has been stated that if neglected, unpredictable damages can occur in the building. In cases where the effect of infill walls is neglected, it has been seen that the analysis results do not represent the actual values. In addition, in order to design a realistic structure, the calculation analyzes should be done in a way that takes into account the effect of the infill walls on the load-bearing system. Thus, the infill wall-frame interaction is important.

It is a topic that receives a lot of attention in our country, which is situated in an area prone to earthquakes; specifically, the question of whether or not the influence of infill walls is adequately considered during the processes of designing and projecting buildings. Numerous studies have been conducted on the issue of modeling techniques for infill walls and the investigation of which technique is the most applicable to real world conditions.

The behavior of the structure when subjected to horizontal and vertical loads can be significantly improved by the addition of infill walls, such as stiffness, bearing capacity, period, and energy consumption capacity, which provide substantial and

beneficial contributions. The most significant alteration in the behavior of the building is the decrease in the free vibration period of the structure.

As a result of the fact that the mechanical properties of the infill wall materials are highly variable and the wall properties vary according to a great number of parameters, e.g., dependance on the manufacturing process, surface conditions etc. they are very difficult to model. Considering the fact that they are not load bearing structures, they are generally omitted from calculations in modeling, empirical formulas that were derived from the findings of previous research are utilized. Another important feature when defining the infill wall behavior is the presence of voids. Previous studies have shown that the effects of the infill wall on the structure change according to the size of the existing space and the position of this space within the wall. In addition, it is known that the short column effect occurs when the infill walls do not show continuity along the column and are not continued throughout the story height due to the presence of band windows or for other reasons. In such cases, the effective length of the column decreases and the plastic section that is planned to be formed at the lower end of the column actually emerges at the end of the half wall, resulting in an increase in the shear forces that will occur in the columns, different from the design. Looking at the literature, a wide variety of empirical formulas have been developed in order to model all these parameters correctly.

Both the effect of having a ground floor height that is higher than the other floors, which is common in Turkey, and the effect of having a reduced amount of infill wall on the ground floor have been studied in this research. These two factors have an impact on the strength of reinforced concrete structures. Building A, which was pre-dimensioned and designed in accordance with the Turkish Building Earthquake Code (TBDY-2018) and other standards. Then, B and C buildings were formed by changing the ground floor height. It is assumed that the buildings are located in Istanbul and Sariyer district. In the selections made, the application limits of the equivalent earthquake load method were taken into account, and there is no irregularity except for the case of weak floor irregularity. In the model, the application limits of the equivalent earthquake load method were taken into account, and there is no irregularity except for the case of weak floor irregularity.

A reinforced concrete building plan with 6x6 openings, with a total floor area of 900 m² and symmetrical in the (X)-(Y) direction, was chosen with the span distances of 5m. All residential type buildings with a ground floor and seven conventional stories having the same standard floor height of three meters are used in the models. However, the ground floor height varies depending on the model, with three meters in Building A, four meters in Building B, and five meters in Building C. The infill wall placement was selected to be under each beam on normal floors and only in the middle axis in (X) and (Y) directions on the ground floor in all models. In order to investigate the effects of ground floor height change and infill wall modeling, the dimensions of the load bearing system were kept constant in all models. Three models, which were created in three dimensions using the SAP2000 software, were duplicated using infill wall modeling with the single equivalent compression strut approach, one of the numerous infill wall models described in the literature, resulting in the creation of a total of six models. Representative compression strut width and equivalent compression strut coefficient equations in TBDY-2018 were used for the modeling of the walls using hollow factory brick material, and the relevant value was taken from the regulation as the brick elasticity module. Equivalent imaginary compression strut

modeled as hinged at both ends can only be subjected to compressive force, so the tensile limits of these representative struts are zeroed.

Within the scope of this study, six models were analyzed by using Equivalent Earthquake Load Method described in TBDY-2018, which is one of the linear calculation methods available. The results of the analysis were used to interpret how the earthquake behavior of the structures changed depending on different ground floor heights and infill wall placements.

According to the findings of the analyses, an increase in the height of the ground floor was found to be associated with an increase in the building weights, periods, floor horizontal displacements, relative floor drifts, oscillation, ground floor column and beam internal forces values, as well as a decrease in floor rigidity. Another the result of height change is a lessening of the rigidity of the story as well as an increase in the floor drift, both of which are more noticeable in buildings that do not have infill walls as opposed to those that do have infill walls.

With the infill wall modeling, it was observed that there was a decrease in the periods, floor horizontal displacements, relative floor drifts, oscillation, torsion coefficient, ground floor column and beam internal forces values, and an increase in the floor stiffness values. It is an expected result that the period values and horizontal displacements found as a result of the infill walls stiffening the reinforced concrete frame, thus the reinforced concrete structure, decrease. In addition, infill wall placement and modeling were found to be effective on torsion.



1. GİRİŞ

Türkiye'nin büyük bir kısmı deprem bölgesinde bulunduğu gibi mevcut ve yapılması planlanan binalar deprem riski altındadır. Ülkemizde yaşanmış birçok yıkıcı depremde çok ciddi can ve mal kayıpları meydana gelmesi nedeniyle binaların deprem güvenliği daha da önemli bir hale gelmiştir.

Doğal afetlerin yapıda neden olacağı hasar miktarı, yapının savunmasızlığına bağlı olarak artacaktır. Binaların depreme dayanıklı olması ve deprem güvenliğinin sağlanması için sünekliğin, rijitliğin ve dayanımın sağlanması gerekir.

Ülkemizde sıklıkla, mağaza, işyeri, market, depo, otopark vb. kullanıma olanak tanımak amacıyla yapıların zemin katında mevcut duvarlar kaldırılmakta ve zemin kat normal katlardan daha yüksek imal edilmektedir. Katlar arası rijitlik düzensizliğine bağlı yumuşak kat düzensizliğine sıklıkla sebebiyet veren bu gibi katlar arası yükseklik farkı ve dolgu duvar yerleşimi, deprem meydana gelmesi halinde yapıda ağır hasarlara neden olup bazen yıkım ile sonuçlanmaktadır. Yönetmeliklerle bu durumun önüne geçilmeye çalışılarak yapıdaki düzensizliklerin giderilmesi amaçlanmıştır.

Yumuşak kat düzensizliği, Yönetmelikte herhangi bir i'inci kattaki ortalama görelî kat öteleme oranının bir üst veya bir alt kattaki ortalama görelî kat öteleme oranına bölünmesi ile tanımlanan rijitlik düzensizliği katsayısı η_{ki} 'nin 2,0'den fazla olması durumu olarak tanımlanmıştır (TBDY-2018).

Zayıf kat düzensizliği ise herhangi bir kattaki toplam etkili kesme alanının, bir üst kattaki toplam etkili kesme alanına oranı olarak tanımlanan dayanım düzensizliği katsayısı η_{ci} 'nin 0.80'den küçük olması durumu olarak tanımlanmıştır (TBDY-2018).

Tasarım aşamasında ve yapılan hesaplamalarda tüm yükün, kolon, perde ve kiriş, yani taşıyıcı elemanlar tarafından taşınması sebebiyle diğer yapı elemanlarının etkileri ihmal edilmektedir. Halbuki bu önemsiz oldukları anlamını taşımamaktadır. Dolgu duvarlar da bu şekilde ihmal edilen yapı elemanlarından biridir. Kolon veya kirişler kadar taşıyıcı olmasalar bile yapı üzerinde olumlu ve olumsuz etkileri mevcut olup, düşeydeki etkisi göz ardı edilebilir olsa bile yataydaki etkisi önemli düzeydedir.

Dolgu duvarlar yapıda genellikle birbirinden bağımsız alanlar oluşturmak için kullanıldığından yapıya sabit yük etkisi dışında bir etkisi olmayacağı düşünülmektedir. Ayrıca dolgu duvarların etkisini göz önüne alan kesin bir hesap yöntemi bulunmadığından yapısal modellemelerde göz ardı edilerek, malzeme ve dayanım özellikleri üzerinde durulmamaktadır. Oysaki çerçeve boşluklarının dolgu duvar ile dolu olması durumunda yapının davranışı, çerçevelerin boş olması durumuna göre oldukça farklılık göstermektedir. Üstelik deprem yükü etkidiğinde, yapıda yer alan dolgu duvarlar bağlı oldukları çerçeve ile birlikte çalışmaktadırlar.

Dolgu duvarların yapıya olan etkileri, duvar yapımında kullanılan malzemelerin mekanik özelliklerine, boyutlarına, bulunduğu yerin ölçülerine, kapı, pencere gibi boşluk içeriğine vb. göre farklılık göstermekte olup bu nedenle etkileri değişkendir ve modellemelerde daha önce yapılan çalışmalar sonucu oluşturulan ampirik formüller kullanılmaktadır.

Yapıda dolgu duvarların bulunması yapıya yatay ötelenme rijitliği kazandırarak, yatay yük taşıma kapasitesini, enerji tüketme kapasitesini, deprem performansını arttırmakta, yapı periyodunu ve yer değiştirme miktarını dolayısıyla sünekliğini azaltmaktadır (Akyürek ve diğ, 2017).

Yapının rijitliğinin artırılmasıyla deprem anında yapıda oluşacak yer değiştirmeleri ve hasarları azaltmak mümkündür. Dolgu duvarın sağladığı rijitlik artışının hesaplarda dikkate alınmaması, güvenli tarafta kalındığı varsayımını oluştursa da bazı durumlarda olumsuzluklara da neden olabilmektedir (Akyürek ve diğ, 2017).

Bu çalışma kapsamında da ele alınan, zemin katı dükkân, üst katları konut olarak tasarlanan çoğu binada, zemin kat dolgu duvarların kaldırılarak kat içi duvar hacimlerinin azaltılması, katın kesme kuvveti kapasitesini azaltarak zayıf kat oluşumuna, ayrıca taşıyıcı sistemi simetrik olan binalarda, dolgu duvar yerleşimlerinin simetrik olmaması durumunda yapı üzerindeki rijitlik dağılımını değiştirerek ilave burulma etkilerinin ortaya çıkmasına da neden olabilmektedir. Yani dağılımı ve oranı düzensiz dolgu duvar yerleşimi, yapıda ilave burulma, yumuşak kat düzensizliği, zayıf kat düzensizliği ve kısa kolon oluşumu gibi olumsuz etkilere de sahiptir (Beklen, 2009; Güder, 2012; Akyürek ve diğ., 2015). Bu nedenle tasarım ve yapısal çözümlemelerin gerçekçi olabilmesi için dolgu duvar etkilerinin dikkate alınması oldukça önemlidir.

Önceki dönemlerde yapılan çalışmalar dolgu duvarların, depremin başında yer değiştirmeler ve yapı rijitliğine olumlu yönde katkıları olduğu, depremin ilerleyen evrelerinde ise meydana gelecek çatlaklar sonucunda etkisini yitireceğini göstermiştir.

Dolgu duvarlar başlangıçta çok rijit davranış gösterdiklerinden betonarme çerçevenin yaptığı işin bir kısmını üstlenerek çerçevenin yükünü hafifletmektedir, fakat gevrek olduklarından çerçeveden önce ve bir anda göçmesi, deprem sırasında bir noktaya kadar taşıdığı yükün ani şekilde betonarme çerçeveye aktarılmasına neden olmaktadır. Bu durumda da betonarme çerçevede hasara neden olmaktadır. (Cengiz, 2018; Kaplan, 2008).

Özetle taşıyıcı sistemin, hem dolgu duvarın mevcut olduğu ve gerçeğe en yakın şekilde modellenmesi yapılmışken, hem de duvarın deprem sırasında göçerek etkilerini kaybetmişken yani duvar sadece sabit yük olarak yapıya etkirken analizinin yapılması ve deprem kuvvetlerini taşıyabilir kapasiteye sahip olması gerekir.

Yürürlükte olan TBDY-2018 deprem yönetmeliğine göre yapısal analizlerde dolgu duvar etkisi sadece kirişlere aktarılan sabit yük olarak dikkate alınmaktadır. Dolgu duvarların taşıyıcı sisteme olan etkisinin hesaba katılmadığı yönetmeliklerde genellikle sistemde duvar yerleşim yerlerine kısıtlamalar getirilmektedir. Mevcut yönetmelikte dolgu duvarların güçlendirilmesi bölümünde dolgu duvarların tanımlanması için kullanılabilecek bazı ifadeler yer verilmiştir. Fakat proje tasarımı seviyesinde, duvar katkısını hesaba katan metotlara yer verilmemektedir.

Yönetmelikte de belirtildiği üzere planda ve düşeyde düzensiz taşıyıcı sistemlerden olabildiğince kaçınılmalıdır. Depremde anında oluşacak davranışın öngörülebilmesi için taşıyıcı sistemin simetrik düzenlenmesi, kütle, rijitlik ve dayanım bakımından oluşabilecek dış merkezliklerin önüne geçilebilir olması gereklidir. Yönetmelikte deprem yer hareketinin planda tüm doğrultularda etkili olduğunun dikkate alınması, taşıyıcı sistem elemanlarının tercihen (X) ve (Y) doğrultusunda birbirine yakın dayanım ve rijitlikte düzenlenmesinin esas olduğu belirtilmektedir. Aksi takdirde oluşacak burulma düzensizliği taşıyıcı sistemi olumsuz etkileyecektir. Bu nedenle yeterli burulma dayanımının ve rijitliğin sağlanarak burulma düzensizliğinin ortadan kaldırılması gerekmektedir (TBDY-2018).

Özetle Yönetmelikte duvarların etkisi, duvarların sonradan planda asimetrik olarak kaldırılmasına bağlı olarak oluşabilecek olumsuzluklar, bunların önlenmesi ve komşu katlar arası dayanım düzensizliğinin engellenmesi şeklinde ele alınmaktadır.

Dolgu duvarların yapı planında asimetrik yerleşiminin neden olduğu burulma düzensizliğinin oluşmasıyla betonarme kolonların üzerine, hem yüklerin oluşturduğu kesme kuvveti hem de burulmadan dolayı oluşacak kesme kuvveti gelmekte ve kolonun bunu taşıyabilir özellikte olması gerekmektedir (Kaplan, 2008). Tasarım aşamasında dolgu duvarlar hesaba katılarak ayrıca düzensizlik durumunun kontrolü gerekmektedir.

Sonuç olarak yatay yük etkisi altında dolgu duvarlarda meydana gelen hasar, yatay yük taşımadığı düşünülen dolgu duvarların taşıyıcı çerçeve elemanlar ile etkileşimde olduğu anlamına gelir ki bu da deprem etkisindeki yapıda gerçek davranışın bilinmesi için dolgu duvarların yapısal analizlerde hesaba katılmasını gerektirir.

1.1 Çalışmanın Amacı

Bu çalışma ile TBDY-2018 deprem yönetmeliğine, TS-500 (2000) ve diğer standartlara göre boyutlandırılmış temsili bir binada zemin kat yükseklik değişiminin ve bu değişim ile birlikte dolgu duvar modellemesinin yapılmasının yapı üzerinde etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde (2018) binaların tasarımı ve değerlendirilmesi için doğrusal ve doğrusal olmayan hesap olmak üzere iki farklı yöntem yer almaktadır. Doğrusal hesap, dayanım esaslı, doğrusal olmayan hesap ise şekil değiştirme esaslı yöntemlerdir. Bu tez kapsamında doğrusal hesap yöntemlerinden eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılmıştır. Yapılan analizler için SAP2000 sonlu eleman programı kullanılmıştır.

Model olarak konut türü 6x6 açıklığa, toplam 900 m² taban alanına sahip ve (X)-(Y) doğrultusunda simetrik betonarme bina planı seçilmiştir. Açıklık mesafeleri 5 m, kat adedi 8 olarak alınmıştır. Yapılan seçimlerde eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulama sınırları dikkate alınmış olup binalarda zayıf kat düzensizliği durumu dışında düzensizlik durumu mevcut değildir.

İlk model, tüm kat yüksekliklerinin 3 m olarak alınması ile oluşturulmuştur. Zemin kat yükseklik değişiminin etkisinin gözlemlenmesi amacıyla diğer tüm parametreler aynı

kalacak şekilde zemin kat yüksekliği 4 m ve 5 m olarak iki model daha oluşturulmuştur. Oluşturulan üç modelinde çözümlenmesi, dolgu duvarların modellemede dikkate alınması durumları için tekrarlanarak toplamda 6 model oluşturulmuştur.

Boşluklu tuğla malzemesinin kullanıldığı dolgu duvarlar eşdeğer diyagonal basınç çubuğu yöntemiyle modellenmiştir. İki ucu mafsallı çubuk olarak modellenen, boşluk içermeyen ve sadece basınç kuvvetini taşıyabileceği düşünülen dolgu duvarların, temsili basınç çubuk genişlik ve eşdeğer basınç çubuğu katsayısı denklemleri TBDY-2018'den alınmıştır.

Analizler sonucunda zemin kat yüksekliğinin değişimi ve dolgu duvar modellemesinin söz konusu olduğu yapılarda bina ağırlıkları, yapı periyodu, kat kesme kuvvetleri, kat yatay deplasmanları, görelî kat ötelemeleri, kat rijitlikleri, etkin görelî kat ötelemesi/kat yüksekliği oranları, burulma düzensizlik katsayıları karşılaştırılarak değerlendirilmiş, çıkarımlarda bulunulmuştur.

1.2 Konu ile İlgili Literatür Araştırması

Önceki çalışmalarla, dolgu duvarların yapı üzerinde olumlu ve olumsuz etkileri olduğunu ortaya konmuş olup konuyla ilgili çeşitli modelleme yöntemleri geliştirilmiştir.

Bayülke (2003) tarafından yapılan çalışmada, betonarme çerçeveli yapıda farklı malzemeler kullanılarak oluşturulmuş dolgu duvarların, yapının davranışına etkileri gerçek depremlerden gözlemlenen örneklerle açıklanmaya çalışılmıştır. Dolgu duvar dayanım özellikleri ve bağlı olduğu parametreler ile ilgili bilgi verilmiş, betonarme çerçeve düzlemi içinde dolgu duvar davranışı ve hasar biçimleri tanımlanmaya çalışılmıştır. Ayrıca bölme duvarların yapı deprem davranışına olumlu ve olumsuz katkılarını olduğu belirtilmiştir. Dolgu duvar malzemesinin, harç dayanımı gibi etkilere göre duvarın sisteme katkısının değiştiğini, kullanılan ampirik formüller ile hafif depremlerde ve şiddetli depremlerin ilk saniyelerinde yapı davranışının daha doğru temsil edildiğini belirtilmiştir.

Köse ve Karşlıoğlu (2007) tarafından yapılan çalışmada, Kahramanmaraş'ta inşa edilen üç çok katlı betonarme binaların doğal modal periyot ve mod şekline olan etkileri incelenmiştir. Dolgu duvarların etkilerinin incelenmesi için binalar çıplak

çerçeve ve dolgu duvarlı olarak modellenmiştir. Dolgu duvarlar için çift eşdeğer sanal çapraz kullanıldığında, doğrusal modal analiz yöntemi ile bulunan mevcut üç binanın 1. periyotlarında en fazla %5,20 oranında azalma meydana gelirken, tek eşdeğer sanal çapraz kullanıldığında bulunan azalma çift eşdeğer sanal çapraz durumu için bulunan değerlerin yaklaşık yarısı kadardır ve doğal titreşim periyotlarının bulunmasında tek eşdeğer sanal çapraz kullanımının daha doğru analiz yöntemi olduğu belirtilmektedir.

Dönmez (2005) tarafından yapılan çalışmada, deprem etkisindeki çok katlı betonarme binalarda hasarın oluşmasında dolgu duvarların modellenmesi ve taşıyıcı sisteme katkısı araştırılmaktadır. Zemin kat dolgu duvarlarının kaldırılması durumunda bu kat için rijitlikte %58'lik azalma, dolgu duvarlarda boşluk olması durumunda ise yapı rijitliğinde %6 lık bir azalma görülmüştür. Tüm katlarda dolgu duvar olması durumu için yapılan analiz sonuçlarında, sırasıyla yapı doğal periyodunda ve maksimum yer değiştirmelerinde %51 ve %63'lük bir azalma, zemin kat duvarlarının kaldırılması ile yapılan analiz sonuçlarında ise %18 ve %32'lik bir azalma görülmüştür.

Toker (2007) tarafından yapılan çalışmada, bölme duvarlar göz önüne alınmadan incelenen ve depremde orta derecede hasar görmüş bir binanın, dolgu duvarlarının da modellemeye katılarak, güçlendirme öncesi ve sonrası durumlarına ait doğrusal olmayan dinamik çözümleme sonuçları karşılaştırılmıştır. 7 farklı deprem kaydına göre yapılan analizde güçlendirme öncesi ve sonrası için yapının duvarsız serbest titreşim periyotları sırasıyla $T_1 = 0.624$ sn ve $T_1 = 0.260$ sn iken, dolgu duvarlarının modellenmesi ile $T_1 = 0.469$ sn ve $T_1 = 0.244$ sn olarak hesaplanmış ve bu etkinin dolgu duvarın yatay rijitliğe katkısı sonucu olduğu belirtilmiştir. Göreli kat ötelenmelerinin maksimum değerleri için yaklaşık %34 ve %12 oranında azalma olduğu belirtilmiştir. Güçlendirme öncesi dolgu duvarlı ve duvarsız çözümlemelerde, farklı deprem kayıtlarına göre hesaplanan yer değiştirme değerlerinin elastik sınırın üzerinde olduğu, güçlendirme sonrası ise yapı davranışının elastik sınır dahilinde olduğu ve yapıya etkileyen kesme kuvveti taleplerinde ihmal edilemeyecek bir yükseliş olduğu tespit edilmiştir.

Beklen ve Çağatay (2009) tarafından yapılan çalışmada, farklı yükseklik ve açıklıktaki düzlem çerçevelerin SAP2000 programında duvarlı ve duvarsız modelleri incelenerek elde edilen deplasman değerleri yorumlanmıştır. Duvar modellemeleri için eşdeğer basınç çubuğu ve sonlu elemanlar yöntemleri kullanılmıştır. Analiz sonucunda dolgu duvarın eşdeğer basınç çubuğu ile modellenmesi sonucu boş çerçeveye göre

deplasman değerleri yaklaşık %65-%76 arasında, sonlu elemanlar ile modellenmesi sonucu boş çerçeveye göre deplasman değerleri yaklaşık %93-%96 arasında azalmıştır.

Aksoy ve Avşar (2015) tarafından yapılan çalışmada, 3 farklı duvar malzemesi için ve her bir duvar basınç dayanımı hesabında 2 farklı formül kullanılarak elde edilen dolgu duvar elastisite modülü değerleri ile hesaplanan eşdeğer basınç çubuğu özellikleri kullanılarak SAP2000’de oluşturulan analitik modellerin analizleri gerçekleştirilmiştir. Bina modeline eklenen eşdeğer basınç çubuklarının yatay kuvvetinin bir kısmını alması nedeniyle, kolonlara gelen kesme kuvvetlerinin azaldığı, dolgu duvarın modellendiği çerçeveye uzak olan kolonların kesme kuvvetlerinde artış olduğu tespit edilmiştir. Planda düzensiz yerleştirilmiş dolgu duvarların burulmaya sebebiyet vererek, bazı kolonlarda daha büyük kesme kuvvetinin oluşmasına neden olduğu belirtilmiş, dolgu duvar malzemesinin kalitesinin artması ile dolgu duvara aktarılacak deprem kuvvetlerinin arttığı, kolon kesme kuvvetlerinin azaldığı ifade edilmiştir. Modelin gerçeğe yakın şekilde kurulabilmesinde duvar dayanımının doğru bir şekilde tahmin edilmesinin önemi vurgulanmıştır.

Durgut ve diğ. (2021) tarafından yapılan çalışmada, yeni bir dolgu duvar modelleme tekniği olarak paralel iki basınç çubuklu dolgu duvar modeli önerilmiştir. Yapılan çalışmada tekli, ikili, üçlü, ikili çapraz, beşli ve bu çalışmada önerilen iki eşdeğer basınç çubuklu modeller kullanılmıştır. Tek eşdeğer basınç çubuklu analitik modellerde gerçeğe yakın bir davranış gözlenmemiştir. İki eşdeğer basınç çubuklu ve üç eşdeğer basınç çubuklu modellerin deney sonucuna en yakın değerleri verdiği ve öneri olarak sunulan ikili ya da literatürde tanımlı üçlü çapraz eşdeğer basınç çubuklu modellerin, duvarların doğru bir şekilde modele dahil edilmesi için daha etkili bir yöntem olduğu tespit edilmiştir.

Korkmaz ve Uçar (2006) tarafından yapılan çalışmada, düzensizlik içeren yapı sistemleri ele alınarak, alt kat yüksekliğinin diğer katlara göre daha yüksek ve dolgu duvarların mevcut olduğu betonarme yapıların deprem davranışındaki değişiklikleri incelenmiştir. Doğrusal olmayan statik itme analizleri yapılarak yapıların kapasite eğrileri, kat yatay yer değiştirmeleri, görelî kat ötelemeleri yorumlanmıştır. Yatay yer değiştirme değerleri incelendiğinde, yüksekliği fazla olan alt katta yer değiştirmelerin arttığı, kat yüksekliğinin arttırılmasıyla birlikte çerçevede dolgu duvarın bulunmaması durumunda analiz sonuçlarının olumsuz yönde değiştiiği ve yatay yer değiştirmelerin

aynı katta daha da belirgin bir şekilde arttığı belirtilmiştir. Alt kat yüksekliğinin artması ile taban kesme kuvvetinin, yapının karşılayabildiği deprem yükü değerinin azaldığı ifade edilmiştir.

Bayrak ve Bıkçe (2019) tarafından yapılan çalışmada, mevcut bir yapının SAP2000 programında dolgu duvar etkisini, sadece düşey yük ve hem düşey yük hem de eşdeğer basınç çubuğu modellemesi ile dikkate alarak yapılan analizlerde bulunan değerler karşılaştırılmıştır. Eşdeğer basınç çubuğu yönteminin kullanıldığı modelde, duvarların burulma ve yumuşak kat etkilerini, yapının performans noktasını arttırdığı ve ön görülemeyen deplasmanların oluşabileceği gözlemlenmiştir.

Çavdar ve diğ. (2020) tarafından yapılan çalışmada, düzensiz ve farklı oranda dolgu duvar yerleşiminin, modellemesinde eşdeğer basınç çubuğu yönteminin kullanıldığı binaların sismik davranışına olan etkileri araştırılmış, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemiyle 11 adet deprem kaydı kullanılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda dolgu duvarların mod şekilleri üzerinde etkili olduğu, dolgu duvar oranının artmasıyla görel kat ötelemelerinde ciddi azalmalar meydana geldiği tespit edilmiştir. Modeller arası yapılan karşılaştırma sonucunda dolgu duvarsız modele göre periyot değerleri arasında yaklaşık %47-%66 arasında fark olduğu görülmüştür. Dolgu duvarların dikkate alınmadığı modelde kirişlerin 5. katta %20'sinin sınırlı hasar bölgesinde, %80'in ise belirgin hasar bölgesinde olduğu, diğer modellerde ise aynı kat kirişler için tamamının sınırlı hasar bölgesinde olduğu tespit edilmiştir.

Sivri ve diğ. (2006) tarafından yapılan çalışmada, taşıyıcı eleman olarak hesaba katılmayan ve düzensiz yerleşime sahip dolgu duvarların, zemin kat yüksekliğinin diğer katlara göre yüksek olduğu yapının deprem davranışına etkileri konu edilmiştir. Yumuşak kattaki yer değiştirme değerlerinin arttığı ve buna bağlı olarak kesit tesirlerinin de arttığı, yapının daha güvensiz hale geldiği, duvarların düzenli yerleştirilmesi ile dayanım ve güvenilirliğin büyük ölçüde arttığı belirtilmiştir. Dolgu duvarların etkilerini ihmal eden yaklaşımların yapı güvenliğini azalttığı ifade edilmiştir.

Ertürkmen ve Çağatay (2016) tarafından yapılan çalışmada, farklı geometriye ve yumuşak kat, zayıf kat düzensizliklerine sahip 10 katlı, 5 farklı yapı, dolgu duvarlı ve duvarsız olarak her iki deprem yönü doğrultusunda eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda N katlı bir yapıda yumuşak kat

düzensizliği oluşum riskinin yapının 2. ve N-1. katlarında dolgu duvarların var olmaması nedeni ile ortaya çıkabileceği, dolgu duvarların hesaplarda mutlaka dikkate alınması gerektiği belirtilmiştir. Duvarların kaldırıldığı katlarda, kolon boyutlarının arttırılarak ya da oluşabilecek yatay deplasmanları karşılayacak ek perde elemanlar kullanılarak dayanımı arttırıcı birtakım önlemlerin alınması önerisinde bulunulmuştur.

Işık ve Özdemir (2017) tarafından yapılan çalışmada, ara normal kat yüksekliğinin diğer katlara nazaran farklı olması durumunun yapı performansına etkisinin incelenmesi amacıyla 6 katlı betonarme bir yapının 5. kat yüksekliği değiştirilmiştir. İlk hasarın meydana geldiği katın, kat yüksekliğinin diğer katlara göre değiştiği katta gerçekleştiği ve söz konusu ilk hasarların kolonda olduğu belirtilmiştir. Kat yüksekliğinin değişmediği yapıda ise ilk hasar kirişlerde gözlemlenmiştir. (X) ve (Y) doğrultularının her ikisi içinde zayıf katın bulunduğu yapıdaki maksimum yer değiştirme talepleri, kat yüksekliğinin eşit olduğu yapıdan (X) ve (Y) doğrultuları için sırasıyla %24 ve %38 daha düşük değerler almıştır.

Akyürek ve diğ. (2018) tarafından yapılan çalışmada, farklı açıklık ve kat adedine sahip dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız olarak tasarlanan betonarme binaların doğrusal elastik olmayan değerlendirme yöntemi ile analizi yapılarak dolgu duvar miktarı ve yerleşim farklılıklarının kapasite eğrisi, birinci doğal periyodu, hedef yer değiştirme istemi, birinci kat kolonlarına ait hasar dağılımı, bina performans seviyesi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Analizler sonucunda simetrik dolgu duvar yerleşimine sahip betonarme binaların simetrik olmayan binalara göre daha fazla yatay yük taşıma kapasitesine sahip olduğu, $A_{\text{duvar}}/A_{\text{kat}}$ oranının tepe yerdeğiştirme isteminin bina yüksekliğine oranı $(\Delta_{\text{hedef}}/H_{\text{bina}})$ arasında ve dolgu duvarlı binanın birinci moda ait doğal titreşim periyodunun dolgu duvarsız çerçeveli binanın periyoduna bölünmesi ile elde edilen oran arasında doğrusal bir ilişki olduğu ifade edilmiştir.

Sancioğlu ve diğ. (2022) tarafından yapılan çalışmada, boşluklu fabrika tuğlası ve gazbeton blok olmak üzere iki farklı dolgu duvar malzemesinin ve farklı duvar yerleşimlerinin betonarme çerçeveli taşıyıcı sisteme sahip 10 katlı simetrik bir yapıya etkisi 16 farklı model ile araştırılmıştır. Karşılaştırmalar sonucunda boşluklu fabrika tuğlası kullanılarak oluşturulan modellerin, gazbeton blok kullanılarak oluşturulan modellere göre daha az yatay ötelenme yaptığı ve dolgu duvarların genel olarak yapıda yatay ötelenmeleri, periyodu azalttığı görülmüştür. Ayrıca (X) ekseninde 6, (Y)

ekseninde 3 açıklık olan yapı modellerinde dolgu duvar yerleşiminin (Y) doğrultusundaki etkisinin daha fazla olduğu gözlenmiştir.

Kaplan (2008) tarafından yapılan çalışmada, farklı ülkelerin standartları karşılaştırılmış, dolgu duvarlardan kaynaklanan düzensizlikler belirtilerek, dolgu duvarların yapı üzerindeki etkileri özetlenmiştir. Dolgu duvarların taşıyıcı sisteme dahil edilmediği yeni projelerin depreme karşı gerekli emniyeti sağlamayacağını, binaların güçlendirilmesinde dolgu duvarların etkisini ihmal ederek sadece betonarme sistemi göz önüne alınmasının gerçek durumu temsil edemeyeceği belirtilmiştir.

Sayın ve diğ. (2004) tarafından yapılan çalışmada, dolgu duvarların çok katlı betonarme çerçevelerden oluşan yapıların yatay yükler altındaki davranışlarına olan etkileri incelenmiştir. Dolgu duvarlı çerçeve ile rijitlik davranışının yaklaşık 18 kat arttığı gözlemlenmiştir. Rijitlik ve ağırlık merkezinin değişmesi ile burulma düzensizliği oluşabilmektedir. Ayrıca dolgu duvar kalınlığı olarak mevcut tuğla kalınlığı, dolgu duvarın genişliği için ise diyagonal çubuk uzunluğunun $\frac{1}{4}$ 'ünün alınarak diyagonal basınç çubuğu ile modellemenin, laboratuvar çalışmalarıyla uyum sağladığı görülmüştür. Zemin katta dolgu duvarların kaldırılması veya üst katlara oranla daha az yoğunlukta olmasının, zemin kat kolonlarının deprem sırasında tasarım momentlerinden daha büyük momentlere maruz kalmasına neden olduğu belirtilmiştir.

Kızıloğlu (2006) tarafından yapılan çalışmada, deneysel çalışması yapılan bir binada değişik kat sayılarına göre dolgu duvar modelleri lineer ve nonlineer olarak hesaplanmıştır. Sonlu elemanlar yönteminin kullanılarak yapılan hesaplarda, ele alınan modellerle deneysel çalışmaların eşitliği sağlanmıştır. İki ucu mafsallı diyagonallerle modellenmiş ve rijitliği boşluk oranı, yükseklik, malzeme cinsi gibi çeşitli parametrelere göre hesaplanmış dolgu duvarların değişik kat sayılarına sahip yapılardaki etkisinin araştırılması için aynı yapının kat sayıları değiştirilmiştir. Dolgu duvarlı yapı periyotlarının, yalın çerçeveli sistem periyotlarına göre %70 oranında, taban kesme kuvveti veya yük taşıma kapasitesi için ise 4.5-5 kat değişiklik gösterdiği belirtilmiştir. İyi yapılmış dolgu duvarların depremin başlangıcında büyük etkisinin olduğu, dolgu duvarların çatlayarak sistem dışında kaldığında ise betonarme çerçevelerin etkin hale geldiği gözlemlenmiştir.

Tetik (2007) tarafından yapılan çalışmada, ele alınan ve Kırşehir ilinde bulunan 12 mevcut binada dolgu duvarların ve boşluk durumunun periyot üzerindeki etkisi

belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışma sonucunda dolgu duvarların boşluk içermemesi halinde, yapı periyodunda yaklaşık %60 oranında azalmalara neden olduğu, boşluk içermesi halinde periyot azalma oranının %37'ye düştüğü ve duvar alanı arttıkça yapı periyodunun duvar alanı ile ters orantılı değişim göstererek azaldığı gözlenmiştir.

Timurağaoğlu (2015) tarafından yapılan çalışmada, dolgu duvarın davranışının temsili için kullanılan tek, iki ve üç eşdeğer çubuklu modelleri karşılaştırılmış, dolgu duvarlı çerçevenin başlangıç rijitliğine en yakın sonuçların üç çubuklu model ile elde edildiği belirtilmiştir. İki eşdeğer çubuk modelinin duvarın davranışını genel olarak yansıttığı ancak çerçevede oluşan göçme türlerini tam olarak belirleyemediği, yine de tek çubuklu modele göre daha iyi yansıttığı belirtilmiştir.

Avcı (2018) tarafından yapılan çalışmada, 20 farklı gerçek ivme kaydı ile orta yükseklikteki betonarme yapılarda yumuşak kat düzensizliğinin yapı sismik davranışına etkisi doğrusal elastik olmayan zaman tanım alanında dinamik analiz yöntemi ile araştırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda zemin kat yüksekliğinin %25'e kadar arttırılmasının yapı sismik davranışında önemli bir değişikliğe neden olmadığı, %60 arttırılmasının ise tüm modellerde yumuşak kat mekanizması meydana gelmesine neden olduğu ve hasarların zemin katta yoğunlaştığı belirtilmiştir. Kapasite eğrileri incelendiğinde dolgu duvar etkisi ile bina akma dayanımında, %5-%9 oranları arasında artış gözlemlendiği ifade edilmiştir.

Paçacı Karahan (2018) tarafından yapılan çalışmada, yumuşak kat düzensizliğinin bulunmasının binanın deprem güvenliğindeki etkinliği artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile incelenmiştir. Dolgu duvarın etkisinin modele yansıtılması ile doğal periyod değeri ve hedef yerdeğiştirme istem değerlerinin azaldığı, birinci kat yüksekliğinin artması ile dolgu duvarın etkisinin daha fazla ortaya çıktığı belirtilmiştir. Ayrıca kat yüksekliğinin artması ile kat rijitliği ve kat ötelenmesi değerlerinde elde edilen farkın, dolgu duvarsız binalarda daha büyük olarak elde edildiği gözlemlenmiştir.

Işık ve diğ. (2016) tarafından yapılan çalışmada, zemin kat yüksekliğinin 4m, 5m ve 6m olarak değişiminin yapı performansına etkisi incelenmiştir. Statik itme yöntemi ile yapılan analizlerin sonucunda zemin kat yüksekliği arttıkça taban kesme kuvvetinde azalma ve tepe yer değiştirme talebinde artma meydana geldiği, çökme

mekanizmalarının yumuşak kattan dolayı oluşan tipik çökme mekanizmalarına benzediği gözlemlenmiştir.

Öztürkoğlu ve Uçar (2015) tarafından yapılan çalışmada, kısmi boşluklu dolgu duvarların betonarme çerçevelerin çeşitli parametre ve büyüklüklere olan etkisi araştırılmıştır. Dolgu duvarlar iki boyutlu sonlu elemanlar ile modellenmiş, rijitlik azaltma faktörü ile boşluk oranına bağlı eşdeğer basınç çubuğu genişliği belirlenmiştir. Yapılan analizler sonucunda boşluk oranları arttıkça rijitlik azaltma faktöründeki değişimin azaldığı, yük aktarımının en yoğun olduğu bölge olan köşegen üzerinde açılan boşlukların, açıklığın ortasında ve alt kenara dayalı olarak adım adım büyütülen boşluklara göre rijitlik azaltma faktörünü daha fazla etkilediği gözlemlenmiştir.

Özkaya (2018) tarafından yapılan çalışmada, dolgu duvarlı, dolgu duvarsız, zemin kat yüksekliğinin değiştiği ve zemin kat dolgu duvarlarının kaldırılması ile oluşan 6 modelin eşdeğer deprem yükü yöntemi ile incelenmesi yapılmıştır. Eşdeğer sanal basınç çubuğu yaklaşımı ile yapılan modellemeler sonucunda bulunan değerler karşılaştırıldığında, yatay deplasman değerleri için, giriş katın yüksekliğinin diğer katlara göre daha yüksek modellendiği yapılarda artışlar gözlenmiştir. Ayrıca yapıda bulunan perde elemanlar tarafından yatay deplasmanların engellediği, fakat bunların yapı planında simetrik olarak yerleştirilmemesi durumunda burulma düzensizliği oluşumuna neden olduğu gözlemlenmiştir. Dolgu duvarların ise deplasmanları azaltarak burulma düzensizliği oluşumunu azaltıcı etki yaptığı ve deprem etkisiyle başlayan ilk mafsallaşmanın duvar elemanlarında olduğu belirtilmiştir.

Karasu ve diğ. (2011) tarafından yapılan çalışmada, ilk katı yükseltilmiş betonarme bir bina ele alınarak, dolgu duvarların yapıların performansına olan etkisi incelenmiştir. Bu çalışma kapsamında binalar, dolgu duvarsız, iki ve üçüncü katları dolgu duvarlı ve tüm katları dolgu duvarlı olarak ele alınmıştır. Dolgu duvarlar yapı rijitliğini arttırdığı için yapı periyodu ve yanal yer değiştirmelerde azalma, taşıma kapasitesinde de büyük ölçüde artış görülmüştür. Dolgu duvarların yatay yük taşıması nedeniyle kolon ve kirişlerin kesit tesirleri de oldukça azalmıştır. Dolgu duvarsız yapıda kolonların büyük bölümü göçme sınırını aşarken, kirişler göçme sınırında kalmış, dolgu duvarlı yapıda ise kolonların çoğu göçme sınırında kalırken, kirişlerin hepsi minimum hasar sınırında kalmıştır.

2. DEPREM ETKİSİNDEKİ DOLGU DUVARLI ÇERÇEVELER

2.1 Dolgu Duvarda Kullanılan Malzemeler

Çerçeve sistemlerde genellikle taşıyıcı iskele boşlukları farklı yapı malzemeleri ile doldurularak, kolon ve kirişler tarafından çevrelenmiş yapı duvarları imal edilmektedir. Duvarlar mimari amaçla mekanları birbirinden ayırıp yapının dış çeperini oluştururken, yığma yapılarda taşıyıcılık, kısmi su, ısı ve ses yalıtımı, yapıyı dış tesirlerden koruma gibi işlevlere de sahiptirler.

Duvarlar, yapı materyallerinin bağlayıcı bir araç yardımıyla üst üste konmasıyla elde edilen, yapımında kullanılan malzeme çeşitliliği nedeniyle homojen olmayan ve uygulama farklılıkları olan düşey yapı elemanlarıdır. Bu nedenle kesin sonuç veren tek bir hesap modelinden bahsetmek zordur. Üstelik duvar düzleminde yer alan boşlukların oranı ve yerleşiminin de bu hesap modelinde dikkate alınması gereklidir. Bunun yerine, yapılan çalışmalar sonucu elde edilen çeşitli yaklaşımlar mevcuttur.

Yapılarda kullanılan yapay duvar malzemesi olarak tuğla, gaz beton, briket, cam tuğla, kerpiç blok, hazır panel vb. elemanları sayabiliriz. Bu elemanlar birbirinden sahip olduğu mekanik ve fiziksel özellikler, kullanım amaçları bakımından ayrılmaktadır.

Konut türü yapılarda en çok boşluklu tuğla ve gaz beton kullanımı mevcuttur. Yapılan bir çalışmaya göre boşluklu fabrika tuğlasının kullanıldığı modellerde gaz beton kullanılarak oluşturulan modellere göre daha az tepe noktası yatay ötelenme değerleri bulunmuştur. Buradan da kullanılan malzemeye göre elde edilen sonuçların değiştiği görülebilmektedir (Sancıoğlu ve diğ., 2022). Bu tez çalışması kapsamında duvar malzemesi olarak boşluklu fabrika tuğlası kullanılmıştır.

2.1.1 Boşluklu fabrika tuğlası

Kil bazlı toprağın yüksek sıcaklıklarda kontrollü pişirilmesi sonucu kimyasal reaksiyonlara maruz kalmasıyla şeklini değiştirmeyen, belirli mukavemete sahip bir ürün olarak oluşan tuğlalar, sert, gevrek ve ısıya dayanıklı malzemelerdir. Tuğlalar, eskiden beri bilinen, üretimi kolay ve ekonomik olarak bilinen bir yapı malzemesidir.

Tasarımda yapıya sadece ağırlık etkisi olduğu düşünöldüğünden, yüksek dayanım özellikleri aranmamaktadır.

Tuğlanın yapıldığı toprağın farklı ve homojen olmaması da tuğlanın basınç dayanımını etkilemektedir. Aynı alandan ve aynı fabrikadan üretilen tuğlaların özelliklerinin birbirinden farklı olması beklenen bir davranış olup dayanımları çok değişkendir.

Boşluklu olmaları halinde, hafif; boşluk oranına, boşluk biçimlerine ve yükleme yönüne bağılı olarak ise basınç dayanımları düşük olmaktadır. Piyasada değişik türlerde, farklı boyutlarda ve amaçlara yönelik üretilen tuğlalar mevcuttur.

Tuğla çeşitlerinden birisi olan yatay delikli tuğlaların taşıma özellikleri olmaz ve bölme duvar yapımında kullanılırken, düşey delikli tuğlalar yük taşıma amacıyla üretilip yığma yapılarda taşıyıcı duvarlarda kullanılmaktadırlar. Duvar yapımında tuğla malzemesi kullanılmasının en önemli dezavantajı ağır olmalarıdır ve yapıya fazladan yük bindirilmesine neden olurlar.

2.1.2 Gaz beton

Gaz beton hammadde olarak kuvarsit, çimento ve kireçten oluşmaktadır. Hava içeriğı yüksek bir yapı malzemesidir. Bilinen en önemli ve diğerlerinden ayıran özelliğı hafif, düşük yoğunluklu ve yüksek ısı ve ses yalıtımı özelliğine sahip olmasıdır. Hafif olması özelliğı ile yapıya gelen deprem kuvvetinin azalmasını sağlamaktadır. Kapalı gözenek yapısına sahiptir.

İmalat hızı da oldukça yüksektir ve kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Gaz betonun en önemli dezavantajı tuğlaya kıyasla daha maliyetli olmasıdır. Taşıyıcı özelliğe sahip panel tipleri de mevcuttur.

2.2 Dolgu Duvar Özellikleri

Dolgu duvarların etkilerinin doğru yansıtılması ve taşıyıcı sistem içerisinde tanımının doğru yapılabilmesi için öncelikle dolgu duvar karakteristiklerinin bilinmesi gerekmektedir.

Dolgu duvarlarda dayanım, eleman özelliklerinin yanı sıra, duvar blok elemanı ile harç arası ilişki ve işçilik kalitesinden başlamaktadır. Gerek duvar dolgu malzemesinin homojen olmayışı ve değişken özelliklere sahip olması, gerekse imalatın işçiliğe göre

değişkenlik göstermesi, dolgu duvarların homojen olmaması sonucunu getirmektedir. Bu durumda duvarın yönüne bağlı olarak elastisite modülü değişecektir.

Duvarların dayanımı yapı bloğu, harcın basınç ve çekme dayanımlarının yanı sıra kullanılan harcın aderans dayanımı, derz kalınlığı, işçilik, duvar kalınlığı, yapı bloğu boyutları ve su emme kapasitesi gibi birçok parametreye bağlı değişmektedir.

Duvar düzlemi içinde yüklerin derzlere dik gelmesi durumunda oluşan dayanım dolgu duvarın basınç dayanımı, yatay gelmesi durumunda kesme dayanımı olarak tanımlanmaktadır. Dolgu duvarın basınç dayanımı tuğla, harç dayanımı ve harç kalınlığına bağlı iken kesme dayanımı çoğunlukla tuğla ile harç malzemesi arasındaki aderansa bağlıdır.

Dolgu duvarlarda duvar yapı bloğu malzemelerini birbirine bağlamaya yarayan harç malzemesi daha esnektir. Yatay yüklemeler sırasında harçlar ile duvar malzemesi arasındaki aderans kuvveti harçta basınç, duvar malzemesinde ise çekme gerilmesi oluşturur. Dolgu duvarların deprem anında göstereceği davranış şekilleri ve oluşan şekil değiştirmeler harç ve duvar malzemesi etkileşimi ile ilgilidir.

Genellikle tuğla ya da yapı blok basınç dayanımının %25-50'si duvar basınç dayanımını oluşturur. Kesme dayanımı ise tuğla dolgu duvarlarda 0,75 ile 3,00 kg/cm² arasında değişmektedir (Bayülke, 2003). Gevrek olması dolayısıyla, önemli rijitlik ve dayanıma sahip olsa da deformasyon kapasitesi kısıtlıdır (Uçar ve Öztürkoğlu, 2018).

1964-1975 yılları arasında İmar ve İskan Bakanlığı Yapı Malzemesi Genel Müdürlüğü Laboratuvarlarında yapılan 74 farklı parti fabrika tuğlasının basınç dayanımı deneyleri sonuçları Çizelge 2.1'de verilmiştir (Bayülke, 1980).

Çizelge 2.1 : Farklı fabrika tuğlaları için basınç dayanımı deney sonuçları (Bayülke, 1980)

Cinsi	Deney Parti Sayısı	Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)	Deney Yapılan örnek Partileri İçinde Rastlanan Ortalama (MPa)	
			En Büyük	En Küçük
Dolu	9	226±129	500	116
Yatay Delikli	46	44±18	80	15
Tek	15	49±19	74	21
Blok	31	41 ±17	80	15
Düşey Delikli	19	195 ±50	290	80

Yapılan bu deneylerde her bir parti tuğla için basınç dayanımının standart sapmasının ortalama dayanıma oranı 0,20 ile 0,33 arasında değiştiği sonucuna varılmıştır (Bayülke, 1980).

Deprem anında duvarın çatlaması sonrasında, tuğlanın su emme kapasitesine bağlı olan aderans kaybolmakta ve dolgu duvarın kesme dayanımı sürtünme kuvveti sonucu oluşmaya başlamaktadır. Söz konusu çatlağın genişlemesiyle sürtünme alanı azalmakta ve böylece kesme dayanımı azalmaktadır.

Aydınlatma ihtiyacı, mekanlara giriş çıkış olanağının verilmesi, ticari amaçlı görsel oluşturulması gibi bazı nedenlerle bazı duvarlar taşıyıcı sistem boşluklarını tamamen doldurmayıp kısmi boşluklar içermektedirler. Bu tür duvarların, modellenmesi ve davranışı, tamamen dolu dolgu duvarlardan farklı olmaktadır. Bu durumlarda kısmi boşluklu duvarların modellenmesi, hesaplanacak rijitlik azaltma faktörüne bağlı ve temsili çubuk genişliği, boşluğun konumuna ve oranına bağlı olmaktadır (Asteris, 2003).

Yapılan bir çalışmaya göre pencere boşluklarının, yük aktarımının önemli oranda gerçekleştiği köşegen üzerinde açılması, çerçeve içerisindeki diğer yerleşimlerine göre rijitlik azalma faktörünü daha fazla etkilemektedir (Öztürkoğlu ve Uçar, 2015). Duvar içinde bulunan bu açıklıkların oranının da yapı davranışını etkileyeceği öngörülebilir. Bu nedenle dolgu duvarlar gibi, bu boşlukları da tasarım sırasında göz ardı etmek yapıya ait gerçek değerleri vermeyecek, yapıyı olduğundan fazla rijit gösterecektir.

Ayrıca dolgu duvarlarda dayanımı düşük ve gevrek malzeme kullanılması nedeniyle deprem sırasında dolgu duvarların çok erken hasar alması, duvarın yapı davranışına katkısını azaltarak çerçeve sistemi yalnız bırakacaktır (Timurağaoğlu, 2015). Kısacası taşıyıcı sistemin, dolgu duvar olması ve olmaması durumlarının her ikisi içinde kuvvetleri taşıyabilir kapasitede olmalıdır.

TBDY- 2018'e göre B1 zayıf kat düzensizlik kontrolünde dolgu duvarların çerçeveden bağımsız olması veya esnek derzler yapılması durumunda dolgu duvar kesit alanı hesaba katılmamaktadır.

TBDY-2018'de çeşitli tuğla türlerinin kullanılarak oluşturulan dolgu duvarlarda elastisite modülü, basınç ve kayma dayanımları için önerilen değerler Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.2 : TBDY-2018'e göre çeşitli tuğla türlerine ait mekanik özellikler.

Malzeme Cinsi	E_d (MPa)	f_d (MPa)	τ_d (MPa)
Boşluklu Fabrika Tuğlası	2000	3,0	0,20
Dolu Harman Tuğlası	2000	5,0	0,25
Gazbeton Blok	1000	2,5	0,20

Bu tez çalışması kapsamında kullanılan dolgu duvarlar için elastisite modülü 2000 MPa alınmıştır.

2.3 Dolgu Duvarların Yapı Üzerindeki Olumlu ve Olumsuz Etkileri

Dolgu duvarların yapı periyodu, rijitliği, yatay yük taşıma kapasitesi, sünekliği, enerji sönümleme kapasitesi, yatay ötelenme, kolon kesme kuvveti üzerindeki etkileri yapılan çalışmalarla desteklenmiştir. Deprem sırasında ilk önce hasar gören duvarlar, bu yapı elemanları tarafından enerjinin bir kısmının sönümlendiğini göstermektedir.

Dolgu duvar varlığı ve tasarım sırasında modellemelerinin yapılması, yapı rijitliğini arttırırken sistem periyodunu azaltmakta, böylece yatay ötelenmeleri azaltmaktadır (Dönmez, 2005).

Daha önce incelemesi yapılan bir binada modal analizler sonucunda, dolgu duvar modellemesinin yapıldığı modeller ile dolgu duvar modellemesinin yapılmadığı modeller karşılaştırıldığında, periyot değerleri arasında %45-%66 arası fark olduğu, dolgu duvar oranının artmasıyla görelî kat ötelemelerinde azalma olduğu görülmüştür (Çavdar ve diğ., 2020).

Yapılan bir çalışmaya göre de eşdeğer çubuk modeli kullanılarak modellenen dolgu duvarların, boş çerçeve ile karşılaştırılması sonucu deplasman değerlerinde %65-%76 arasında azalma gözlenmiştir. Sonlu elemanlar modellemesi ile de bu deplasman değerleri %93-%96 arasında azalmıştır (Beklen ve Çağatay, 2009).

Yapılarda yatay yük taşımayacağı düşünülen tüm duvarlar, deprem yükleri karşısında nispeten daha sünek davranan perde eleman gibi taşıma güçlerine ulaşana kadar yatay yük taşımaktadırlar. Betonarme çerçeve boşluğunu dolduran tuğla dolgu duvarların sınırlı da olsa yatay yük taşıma gücü vardır.

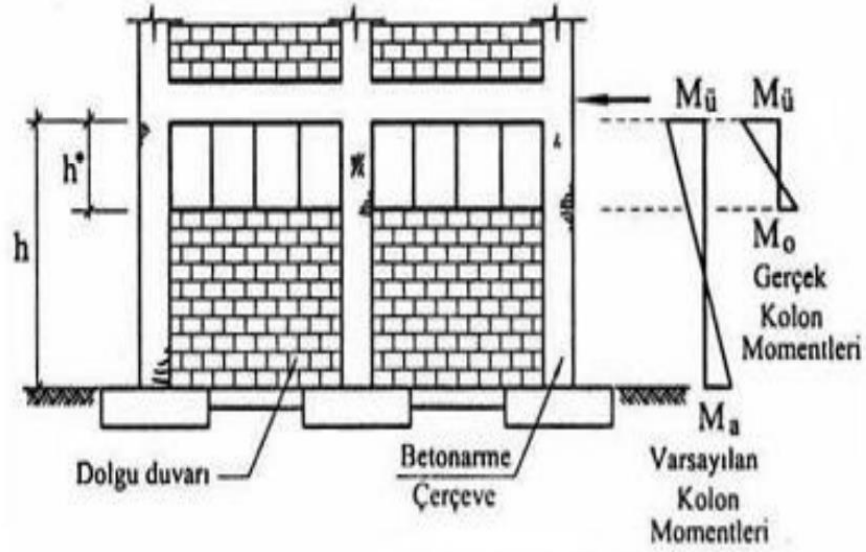
DBYBHY-2007'de yer alan Z3 ve Z1 yerel zemin sınıflarına ait iki zeminde yapılan araştırmaya göre, dolgu duvarların taşıyıcı sisteme dahil edilmediği modellerde, çerçeve kolonlarında oluşan kesme kuvvetleri toplamı taban kesme kuvvetine oranı 1

iken, dahil edildiği modellerde bu oran 1'den küçük bulunmuş, yani dolgu duvar modellemesi ile oluşan kolon kesme kuvvetlerinin azaldığı görülmüştür (Sağlıyan, 2018).

Tüm bu olumlu özelliklerine karşılık, yatay yükler altında yapının davranışını değiştirebilen dolgu duvarların yapı davranışı üzerinde olumsuz etkileri de mevcuttur. Örneğin; dolgu duvar yerleşiminin planda düzensiz olması sistemin rijitlik merkezini değiştirerek, kütle merkezinden ayrılmasıyla oluşacak eksantrisite sebebiyle ve tasarımda dolgu duvar etkilerinin ihmal edilmesiyle yapıda öngörülemeyen burulma etkileri meydana gelecektir (Dönmez, 2005). Burulma düzensizliği sonucunda taşıyıcı eleman olan kolonlara gelecek kesme kuvveti değeri de artmaktadır.

Dolgu duvarlarda mevcut olan boşluklar, dayanımı düşüreceğinden bu boşluklarında göz ardı edilmesi yapının olduğundan fazla rijit gözükmeye neden olacaktır. Diğer yandan, giriş katında dolgu duvarların diğer katlara göre daha az olması veya hiç olmaması komşu katlar arası rijitlik farkından dolayı yumuşak kat düzensizliğine neden olacaktır. Ortalama göreceli kat ötelemeleri oranı ile ilgili olan yumuşak kat düzensizliği, ticari amaçlarla dolgu duvarların kaldırılması sonucu deprem yükleri etkisi altında alt katların daha fazla yer değiştirmesine ve yapının ağır hasar görmesine neden olmaktadır.

Duvarların neden olduğu kısa kolon etkisi diğer önemli olumsuz özelliklerden biridir. Dolgu duvarların farklı sebeplerle kolon boyunca süreklilik göstermediği, kat yüksekliği boyunca devam ettirilmediği durumlarda kısa kolon etkisi oluşmaktadır. Mimari amaçla yarım duvarların yapılması, bant şeklinde pencerelerin kat duvar düzleminde var olması örnek olarak verilebilir. Bu gibi durumlarda kolon etkili boyu azalarak ve kolonun alt ucunda oluşması planlanan plastik kesit, gerçekte yarım duvarın bitim bölgesinde ortaya çıkarak kolonlarda oluşacak kesme kuvvetlerinde tasarımdan farklı artış meydana gelir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 : Boşluklu dolgu duvarlı çerçeve (Yıldırım, 2009).

Bahsedilen bu olumsuz özellikler depremlerde hasar gören yapılarda sıkça rastlanılan özelliklerdir.

2.4 Dolgu Duvarların Deprem Kuvveti Altında Davranışı ve Göçme Şekilleri

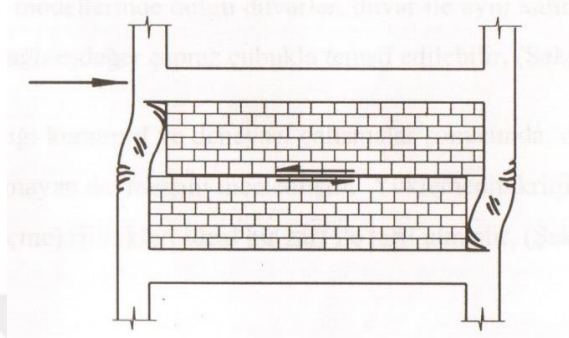
Dolgu duvarların kırılma davranışları tuğla ve harç gibi malzemelerin özelliklerine, çerçeve özelliklerine ve mimari amaçlı dolgu duvar bünyesinde bırakılan boşluk oranına bağlı olarak değişmektedir (İrtem ve diğ., 2005). Bu nedenle dolgu duvar çerçevelerde oluşacak göçme şeklinin tahmini, çerçevenin ve duvarın yanal rijitliği, boyutları gibi birçok parametreye bağlı olduğundan, oldukça zordur. Ortalama yük seviyelerinde dolgu duvar betonarme çerçeveden ayrı çalışarak diyagonal çubuk davranışı gösterir. Yükün fazlaşmasıyla duvarda göçme gözlemlenir.

Betonarme çerçevede meydana gelen hasar, yük uygulanan tarafta bulunan kolondaki çekmeden ya da kolon veya kirişte oluşan kesmeden kaynaklanmaktadır. Bu yük betonarme çerçeve tarafından karşılanabilecek düzeyde ise göçme olmadan hasar veya çatlak oluşumu görülür.

Önceki bölümlerde bahsedildiği gibi dolgu duvarlar taşıma gücüne ulaşana kadar perde duvar gibi davranmaktadır ve yatay deplasmanın artmasıyla bu davranış biçimi karmaşıklaşmaktadır. Genelde çerçeveye bir köşeden etkitilen yatay yük, ilgili köşe ile karşı çapraz köşe arasında oluşacak diyagonal basınç çubuğu tarafından

taşınmaktadır. Burada basınç gerilmelerinin oluşması, basınç çubuğuna dik doğrultuda çekme gerilmelerinin oluşmasına neden olacaktır.

Yatay yüklerin artması ile çerçeve taşıyıcı elemanlarında eğilme davranışı şeklinde deformasyon artarken dolgu duvarlarda şekil değiştirme kayma davranışı şeklinde görülmektedir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 : Yatay yük etkisinde dolgu duvarlı çerçevenin davranışı (Yalçın, 1999).

Hasar, çok yüksek olmayan deprem yüklerinin etkisi sırasında sıva çatlakları, dolgu duvar ile betonarme çerçeve arasında köşelerde oluşacak ayrılmalar ile başlayarak, deprem kuvvetinin etkisi arttıkça duvar düzleminde X biçiminde kesme çatlakları şeklinde oluşacaktır. Daha ileriki aşamalarda ise bu çatlaklar genişleyerek duvar parçaları dökülecek veya tümüyle göçerek son bulacaktır (Bayülke, 1980).

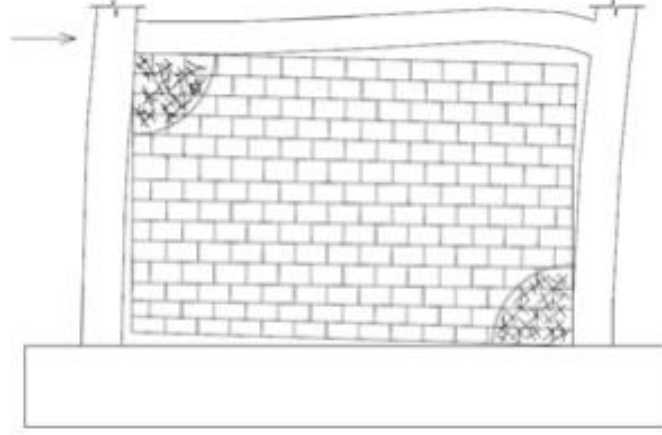
Duvarların hasar almasıyla ve işin sonunda göçmesiyle, tez kapsamı içerisinde anlatılan dolgu duvarların yapı davranışına katkıları giderek azalmakta ve sonunda sadece yük etkisi olarak kalmaktadır.

Göçme biçimlerinde harç ve tuğla dayanımının birbirine göre durumları da rol oynamaktadır. Tuğlanın basınç dayanımı harçtan az ise kırılma tuğlaların içinden geçecek şekilde, tersi durumda ise derzlerde yatay kesme şeklinde diyagonal çekme olarak oluşacaktır.

Farklı etki durumlarında dolgu duvarların göçme şekilleri farklılaşabilir. Fakat temel davranış biçimi tanımlamak mümkündür. Boşluksuz dolgu duvarlar için tanımları yapılabilecek göçme türleri aşağıdaki gibidir.

2.4.1 Köşe kırılması

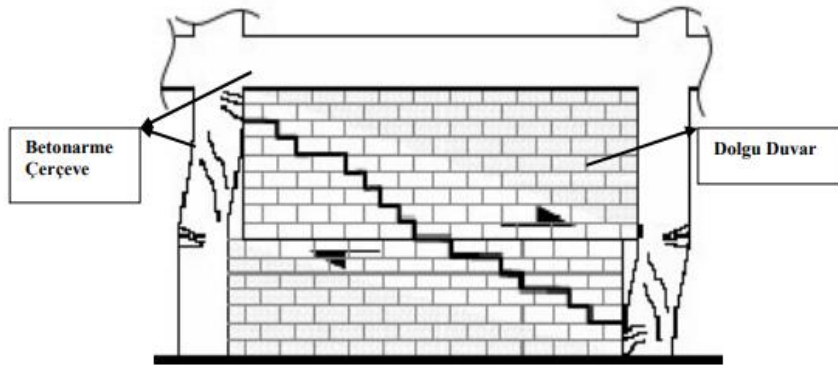
Dolgu duvarlı çerçeveye yatay yükün etki etmesi ile karşılıklı iki köşesinde oluşan diyagonal gerilmeler sonucu en az bir köşesinde meydana gelecek ezilme şeklinde ifade edilebilir (Şekil 2.3). Güçlü çerçeve-zayıf dolgu duvar birleşimlerinde bu kırılma türünü rastlanabilmektedir. En yaygın olarak görülen türdür.



Şekil 2.3 : Dolgu duvar panelinin köşelerinde basınç gerilmesi nedeniyle çatlak oluşumu (Crisafulli, 1997).

2.4.2 Kayma kırılması

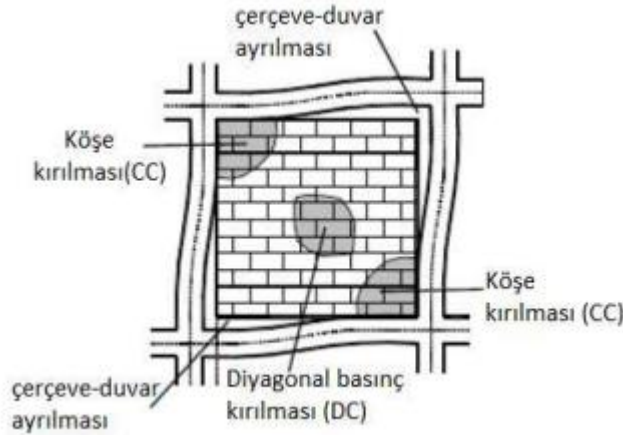
Yatay yüklerin etkisi altında, duvar orta bölümünde oluşacak kayma gerilmelerinin harcın dayanım değerini aşması ile derz boyunca kesilerek dolgu duvarda kayma kırılması meydana gelmektedir. Harcın bu alanda işlevini tamamen yitirmesi sonucunda duvarlar kesme kuvvetini taşıyamaz duruma gelecek, bulunduğu çerçevedeki kolonlarda eğilme momenti ve kesme kuvveti değerlerini arttıracaktır (Şekil 2.4). Zayıf derz-güçlü çerçeve durumlarında karşılaşılr.



Şekil 2.4 : Kayma gerilmesi sonucu duvarda oluşan kesme çatlakları (Toker, 2007).

2.4.3 Diyagonal basınç kırılması

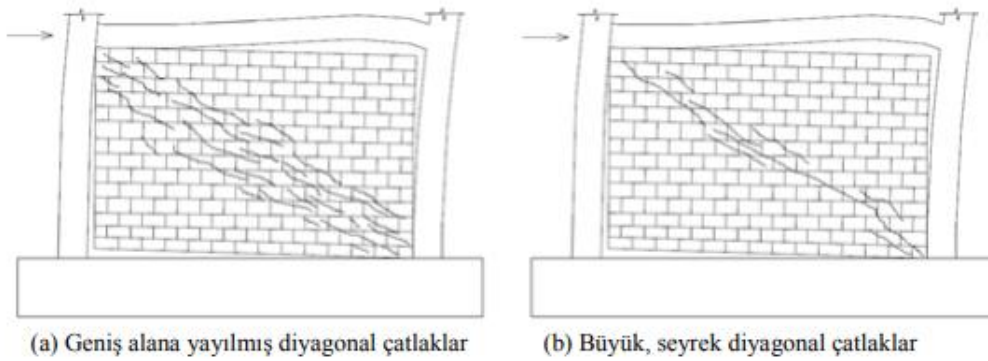
Dolgu duvarın diyagonal basınç bölgesi orta kısmında, yani kendi merkezinde meydana gelecek ezilme şeklinde ifade edilebilir. Zayıf dolgu duvarın düzlem dışı burkulması sonucu göçmesi ile oluşur (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 : Köşe kırılması ve diyagonal basınç kırılma türleri (Asteris ve diğ, 2011).

2.4.4 Diyagonal çekme kırılması

Zayıf çerçeve-güçlü dolgu duvar durumunda oluşabilecek olan bu tür, basınca maruz kalan yüklü iki diyagonal köşe boyunca oluşan çatlama şeklinde ifade edilir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6 : Diyagonal çekme çatlak oluşumu (Crisafulli, 1997).

2.4.5 Çerçeve göçmesi

Birleşim bölgesi zayıf çerçeve-rijit dolgu duvar durumunda oluşabilecek olan bu tür kolonlarda veya kolon-kiriş birleşimlerinde plastik mafsalların oluşması durumudur.

Dolgu duvarların boşluklu olması durumlarında diyagonal basınç çubuğunun oluşmadığı, söz konusu boşluğun iki tarafında iki tane basınç çubuğu olduğu yapılan çalışmalar sonucu ifade edilmiştir (Asteris, 2003; Asteris ve diğ, 2011; Mosalam ve diğ., 1997). Yaygın olarak görülen göçme türlerinin, diyagonal basınç çubuğu oluşan alanda boşluk olması durumunda oluşmadığı bilinmektedir (Asteris ve diğ, 2011). Kısacası boşluklu çerçevelerde davranış şekilleri tamamen değişmektedir.

2.5 Dolgu Duvar Modelleme Yöntemleri

Süre gelen zaman içinde birçok araştırmacı tarafından dolgu duvarların davranışları ve etkileri incelenmiş, bunların bina davranışına katkıları olduğu ve analizlere etkilerinin dahil edilmemesinin olumsuz sonuçlar doğurabileceği görülmüş, hesaba katılması gerektiği belirtilmiştir. Taşıyıcı sisteme bu etkilerin doğru yansıtılması için ayrıca farklı yaklaşımlar geliştirilmiştir. Fakat henüz kabul görmüş kesin bir yöntem bulunmamaktadır.

Dolgu duvarların sistem davranışına etkisinin araştırılması amacıyla kabul gören ve geliştirilen birçok yöntem mevcuttur. Bu yöntemleri mikro ve makro modeller olarak iki başlık altında sınıflandırabiliriz. Bunlardan duvarın bir bütün eleman olarak ele alındığı tür makro modelleme, sonlu eleman yönteminin kullanılarak çok sayıda eleman ile çözümün yapıldığı tür ise mikro modellemedir.

Söz konusu modellemelerde dolgu duvar etkisinin doğru ifadesi için betonarme çerçeve sistem ile dolgu duvar arasında ve duvarı oluşturan elemanlar arasında boşlukların olmadığı, kenetlenmelerin ve yük aktarımının tam yapılabildiği kabul edilmektedir. Bu çalışmada dolgu duvarlar modellenirken, homojen malzeme ve boşluksuz yapı olarak kabul edilmiş, eşdeğer sanal çubuk modeli kullanılmıştır.

2.5.1 Makro modelleme

Makro modellemeler, mikro modellemelere göre daha geniş çaplı analiz için kullanılmaktadır. Ayrıca büyük yapı sistemlerinde mikro modelleme uygulaması zor olacağı için makro modelleme yaklaşımı daha çok tercih edilmektedir.

Bu modellemelerde dolgu duvarlar bir bütün olarak hesaba katılmaktadır ve taşıyıcı özelliği olan elemanlar olarak ifade edilmektedir. Dolgu duvarlar makro modelleme yöntemlerinde genellikle diyagonal çubuk olarak temsil edilir.

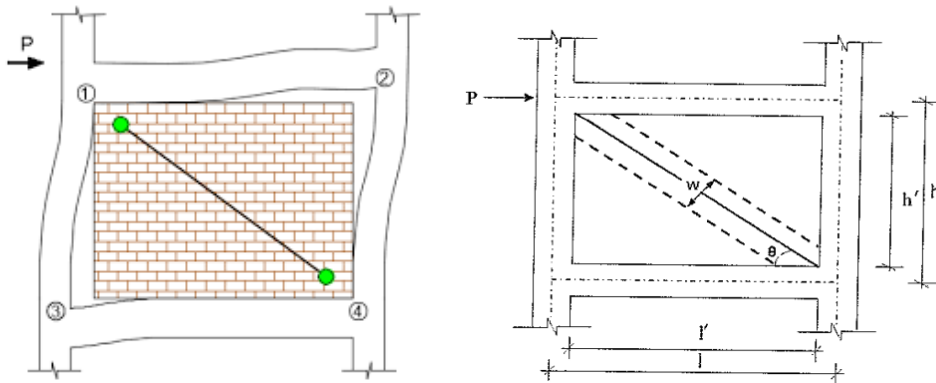
Dolgu duvarın reel dayanım ve rijitliğini temsil edecek eşdeğer diyagonal basınç çubuğunun geometrik ve mekanik özelliklerinin doğru belirlenmesi önemlidir. Dolgu duvar içerisinde bulunan kapı, pencere gibi boşluklar diyagonal rijitliği değiştirdiğinden dolgu duvarların çubuk elemanlar ile gösteriminde zorluklar yaşanmaktadır. Ayrıca bu modelleme yönteminin gerçeğe yakınlığı, sonlu elemanlar yöntemi kadar iyi sonuç vermemektedir.

2.5.1.1 Tekli eşdeğer diyagonal basınç çubuğu modeli

Bu yöntemler arasında bilinen en kolay ve en çok tercih edilen, yönetmelikte de yer verilen Polyakov (1960) tarafından geliştirilmiş olan çapraz basınç çubuk modelleridir. Bu metot dolgu duvarların boşluksuz olması durumunu içermektedir.

Çerçeveye etkitilen yatay yük seviyesinin arttırılmasıyla, şekli bozulmaya başlayan çerçevenin iki köşesinde, çekme direnci olmadığından, dolgu duvar ile çerçeve arasında ayrılma meydana gelirken diğer diyagonal iki köşe arasında, dolgu duvarların basınç çubuğu gibi davrandığı varsayılmaktadır.

Yatay yükün etkitildiği köşe ile karşı köşe arasında yerleştirilen ve sadece aksenal kuvvete çalışması için iki ucu mafsallı olarak dikkate alınan bu temsili çubuk, dolgu duvar tarafından yaratılan direnci idealleştirmektedir. Yatay yüklerin etkidiği yöne göre eşdeğer basınç çubuğunun yönü ayarlanmalıdır (Şekil 2.7).



Şekil 2.7 : Dolgu duvarın tekli eşdeğer diyagonal çubuk modeli ile temsili (Öztürkoğlu ve diğ, 2015; Beklen ve Çağatay, 2009).

Dolgu duvarı oluşturan malzemelerin mekanik özellikleri, dolgu duvar kalınlığı ve genişliği, söz konusu temsili çubuğun özelliklerini oluşturmaktadır. Eşdeğer çubuğun malzeme özellikleri ve kalınlığı dolgu malzemesiyle aynı kabul edilir. Bunun yanı sıra temel parametre olan basınç çubuğunun genişliğinin bu özelliklere göre hesaplanması gerekmektedir.

İki ucu mafsallı çubuk olarak temsili yapılan dolgu duvarın özellikleri çeşitli faktörlere bağlı olarak belirlenmektedir. Polyakov (1960) tarafından önerilen yatay yük altında dolgu duvarın eşdeğer basınç çubuğu ile temsili, hem mekanik ve geometrik özellikler bakımından hem de modelleme kolaylığı bakımından uygun görülmektedir. Polyakov (1960) çalışması baz alınarak daha sonraları yapılan çalışmalarda bu basınç çubuğunun özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır.

Holmes (1961) tarafından yapılan çalışmada, basınç çubuğunun genişliği belirlenmeye çalışılmış, denklem 2.1’de gösterilen yaklaşım yöntemi geliştirilmiştir.

$$w = \frac{d_m}{3} \quad (2.1)$$

burada, w: basınç çubuğu genişliği (mm) ve d_m : duvar diyagonal uzunluğunu (mm) ifade etmektedir.

Fakat çalışmalar bununla kalmamış, basınç çubuğu genişliği ile ilgili çeşitli hesap yöntemleri oluşturulmuştur. Farklı araştırmacılar tarafından önerilen makro modeller olarak da tanımlanan eşdeğer diagonal basınç çubuğu genişlik hesapları aşağıda özetlenmiştir.

Smith (1962) yaptığı çalışmada w/d_m oranının dolgu duvar uzunluğu/yüksekliği oranı olan (l/h) oranına bağlı olduğunu ve 0,10-0,25 arasında değiştiğini görmüştür. Smith ve Carter (1969) daha sonraki çalışmalarında dolgu duvarın çerçeveye göre rölatif rijitliğini (λ_h), l/h oranları arttıkça w/d_m oranının azaldığı ifade edilmiştir. Yani göreceli rijitlikteki farklılıkların diyagonal çubuk genişliğini değiştirdiğini belirtmiş ve rijitlik parametresini elde etmiştir.

Mainstone (1971) çelik çerçeveli yapılar için denklem 2.2’yi geliştirmiştir.

$$w = 0,16\lambda_h^{-0,3}d_m \quad (2.2)$$

Mainstone (1974) ayrıca aşağıda yer alan denklem 2.3-2.5’i geliştirmiştir.

$$w = 0,175\lambda_h^{-0,4}d_m \quad (2.3)$$

$$\lambda_h = \sqrt[4]{\frac{E_m t \sin 2\theta}{4E_c I_c h_w}} \quad (2.4)$$

$$\theta = \tan^{-1}(h_w/l) \quad (2.5)$$

burada, E_m : dolgu duvar elastisite modülü, t : dolgu duvar kalınlığı (mm), E_c : beton elastisite modülü, I_c : kolon atalet momenti, h_w : dolgu duvar yüksekliği, θ : eşdeğer basınç çubuğunun yatay ile olan açısını ifade etmektedir.

Liau ve Kwan (1984) yaptığı çalışmada çelik çerçevesel yapılar için denklem 2.6'yı geliştirmiştir.

$$w = \frac{0,95h_w \cos \theta}{\sqrt{\lambda_h}} \quad (2.6)$$

burada, λ_h : dolgu duvarın çerçeveye göre rölatif rijitliğini ifade etmektedir.

Pauley ve Prestley (1992) tarafından yapılan çalışma sonucu basınç çubuğu etkili genişliğini için denklem 2.7'yi geliştirmiştir. Söz konusu denklemde dolgu duvarın ya da çerçevenin özelliklerinin dikkate alınmadığı görölmektedir.

$$w = 0,25d_m \quad (2.7)$$

TBDY-2018'de basınç çubuğu etkili genişlik hesabı için önerilen denklem, 15. bölümde "Dolgu Duvarların Güçlendirilmesi" başlığı altında yer almaktadır (denklem 2.8-2.10). Yönetmelikte hesaplanması belirtilen λ_d katsayısı Smith ve Carter (1969) tarafından, a_d katsayısı Mainstone (1974) tarafından önerilmiştir.

$$a_d = 0.175(\lambda_d h_k)^{-0.4} r_d \quad (2.8)$$

$$\lambda_d = \left[\frac{E_d t_d \sin 2\theta}{4E_c I_k h_d} \right]^{\frac{1}{4}} \quad (2.9)$$

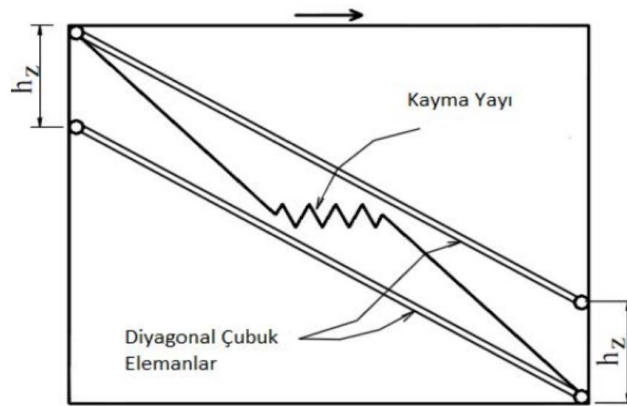
$$\theta = \tan^{-1} \left[\frac{h_d}{L_d} \right] \quad (2.10)$$

burada, a_d : basınç çubuğu genişliği, λ_d : eşdeğer basınç çubuğu katsayısı, h_k : kolon boyu, r_d : dolgu duvarının köşegen uzunluğu, E_d : dolgu duvar elastisite modülü, t_d : dolgu duvarının kalınlığı, I_k : kolon atalet momenti, h_d : dolgu duvar yüksekliği, L_d : çerçeve açıklığını ifade etmektedir.

2.5.1.2 Çoklu eşdeğer basınç çubuğu modeli

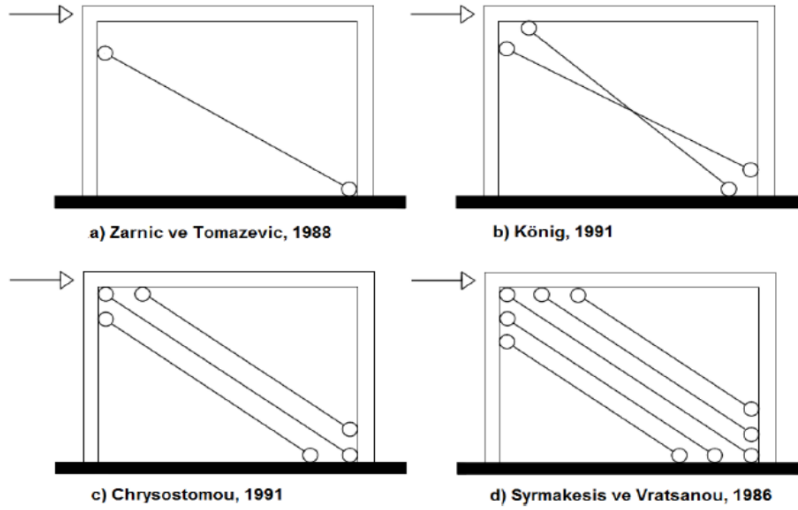
Dolgu duvar modellemesinde kullanılan bir diğer makro modelleme yöntemi ise çoklu eşdeğer basınç çubuklarının kullanımınıdır. Bazı araştırmacılar dolgu duvar davranışının tam olarak idealize edilebilmesi için aynı model üzerinde çoklu çubuk kullanılmasını önermişlerdir. Tekli basınç çubuğu kullanılması durumunda, çerçevede meydana gelen kesme kuvveti ve eğilme momenti, hasar tipleri ile gerçek davranıştan uzaklaştığı düşünülmektedir.

Crisafulli (1997) tarafından yapılan çalışmada, kayma yayı her iki yönde ve ikili diyagonal basınç çubuğu kullanılmıştır (Şekil 2.8). Yatay yük etkisine maruz kalan dolgu duvarlı çerçevelerde görülen hasar tiplerinden birinin de dolgu duvarda meydana gelen kayma göçmesi olduğu görülmüş ve geliştirilecek bir model ile bu mekanizma hesaba katılmaya çalışılmıştır. Dolgu duvarın kayma ve basınç etkileri çift diyagonal çubuk kullanılarak birbirinden ayrı olarak hesaba katılmak istenmiştir.

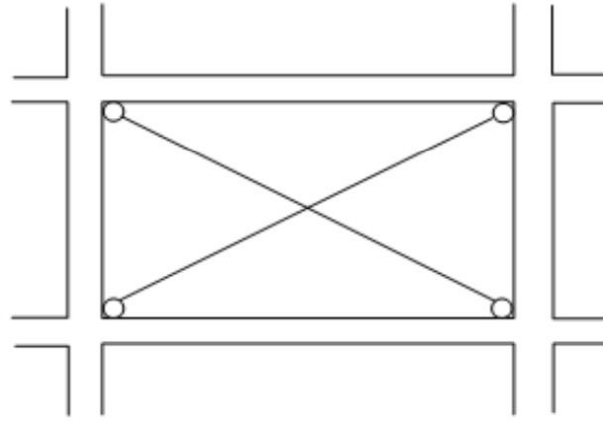


Şekil 2.8 : Crisafulli tarafından kayma göçmesi beklenen dolgu duvarlı çerçeveler için önerilen model (Crisafulli, 1997).

Diğer araştırmacılar da basınç bölgesinin davranışını daha iyi idealize edebilmek için aşağıda görseli yer alan çoklu eşdeğer diyagonal çubuk modellerini önermişlerdir (Şekil 2.9 ve Şekil 2.10).



Şekil 2.9 : Diyagonal çapraz çubuk modelinin düzenlenmiş durumu ve çoklu çubuk modelleri (Durmazgezer, 2013).

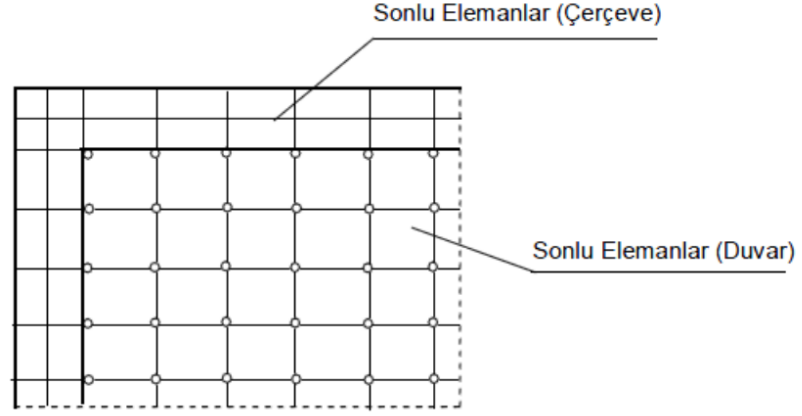


Şekil 2.10 : Dolgu duvarların çapraz diyagonal çubuklarla modellenmesi (Paulay ve Priestly, 1992).

2.5.2 Mikro modelleme

Detaylı analiz için kullanılan bu yöntem sonlu elemanlar yöntemine dayanmakta ve çok sayıda eleman içermektedir. Bu nedenle uzun hesaplama süresine ihtiyaç duyulmaktadır.

İlk olarak Mallick ve Savern (1967) tarafından mikro modelleme için sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. Bu modelleme türünde dolgular düzlem eleman, harçlar ara yüz elemanları veya tek boyutlu düğüm eleman, çerçeveler ise düzlem veya çubuk elemanı olarak tanımlanır (Şekil 2.11).



Şekil 2.11 : Dolgu duvarlı çerçevenin sonlu eleman ağ modeli (Beklen ve Çağatay, 2009).

Seçilen sonlu eleman boyutları küçülüp, eleman sayısı arttıkça analiz sonuçları daha da hassaslaşmaktadır, fakat hesaplama süresi uzamaktadır.



3. TÜRKİYE DEPREM YÖNETMELİĞİ

3.1 Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi

Ülkemizin büyük bir kısmı deprem bölgesinde yer aldığından deprem yükleri, yapı ile ilgili hesapların önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Hesaplamaların alt yapısında kabaca yapı kütlesi ile deprem ivmesinin çarpılması ile deprem kuvveti eldesi baz alınmaktadır. Bina kütlesi arttıkça deprem kuvveti etkisi de artacaktır.

Genel mühendislik yaklaşımında küçük şiddetli depremlerde binalarda hiç hasar oluşmaması, orta şiddetli depremlerde binalarda tamir edilebilir hasarların oluşması, büyük şiddetli depremlerde ise binalarda toptan göçme olmaması, kabul edilebilir miktarda hasar oluşması istenmektedir. Bina tasarımında baştan, binaların hasar alacağı kabul edilmekte, fakat hasarların oluşacağı yer ile ilgili yönetmelikle getirilen, örneğin kuvvetli kolon zayıf giriş gibi yönlendirmeler mevcuttur.

Yönetmelikte tasarım yaklaşımları yöntemleri dayanıma göre tasarım ve şekil değiştirmeye göre tasarım olarak ayrılmaktadır. Dayanıma göre tasarımda eşdeğer deprem yükü yöntemi, mod birleştirme yöntemi ve zaman tanım alanında mod toplama yöntemleri kullanılabilirken, şekil değiştirmeye göre tasarımda doğrusal olmayan itme yöntemleri ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi kullanılabilir.

TBDY-2018’de deprem yer hareketi düzeyleri tanımlanmıştır. Bu tanımlara göre;

Deprem yer hareketi düzeyi-1 (DD-1): 50 yılda aşılma ihtimali %2 ve 2475 yılda bir kere kendini tekrar etme ihtimali olan depremdir. En şiddetli deprem düzeyidir.

Deprem yer hareketi düzeyi-2 (DD-2): 50 yılda aşılma ihtimali %10 ve 475 yılda bir kere kendini tekrar etme ihtimali olan depremdir. Bu deprem yer hareketi, standart tasarım deprem yer hareketi olarak da adlandırılmaktadır.

Deprem yer hareketi düzeyi-3 (DD-3): 50 yılda aşılma ihtimali %50 ve 72 yılda bir kere kendini tekrar etme ihtimali olan sık depremdir.

Deprem yer hareketi düzeyi-4 (DD-4): 50 yılda aşılma ihtimali %68 (30 yılda aşılma olasılığı %50) ve 43 yılda bir kere kendini tekrar etme ihtimali olan çok sık depremdir.

TBDY-2018’de belirtilen yapı sistemlerinin deprem hesap yöntemlerinin biri de eşdeğer deprem yükü yöntemidir. Eşdeğer deprem yükü yönteminde adından da anlaşılacağı gibi gerçek deprem yükü yerine, gerçek depremi güvenli olacak şekilde temsil edecek büyüklükte bir statik yatay kuvvet tanımlanması ile hesaplar gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle yürürlükte olan ilgili yönetmelikte bu hesap yönteminin uygulanabileceği binalar sınırlandırılmıştır. Bunun nedeni, binanın yüksek olması durumunda 1. mod yerine, yüksek moddaki etkilerin binada daha etkili olmaya başlaması ve bunun eşdeğer deprem yükü yöntemi ile karşılanabilir bir durum olmamasıdır. Ayrıca binada burulma düzensizliği mevcut ise, bu binada burulma etkilerini devreye sokacağından burulma modu etkili olmaya başlamaktadır.

Eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabileceği binalar Çizelge 3.1’de verilmiştir. Bu kapsama girmeyen binalar yönetmelikte yer alan diğer hesap yöntemleri ile analiz edilmelidir.

Çizelge 3.1 : TBDY 2018’e göre eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabileceği binalar.

Bina Türü	İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfı	
	DTS = 1, la, 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	$BYS \geq 5$	$BYS \geq 6$

Tasarımda seçilecek binanın eşdeğer deprem yükü yöntemine uygunluğunun hesabı için ayrıca BKS sınıfının belirlenmesi gerekmektedir (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2 : Bina kullanım sınıfları ve bina önem katsayıları (TBDY-2018).

Bina Kullanım Sınıfı	Binanın Kullanım Amacı	Bina Önem Katsayısı (I)
BKS = 1	Deprem sonrası kullanımı gereken binalar, insanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar, değerli eşyanın saklandığı binalar ve tehlikeli madde içeren binalar a) Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri, vilayet, kaymakamlık ve belediye 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. Diğer binalar	1,2
BKS = 3	BKS=1 ve BKS=2 için verilen tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapılan, vb.)	1,0

Konut türü yapılarda bina kullanım sınıfı (BKS)=3, bina önem katsayısı (I)=1 alınmaktadır.

DD-2 tasarım deprem yer hareketi düzeyine göre alınacak S_{DS} değeri ve bina kullanım sınıfına göre DTS değeri hesap edilmelidir. Bu çalışma kapsamında İstanbul ili Sarıyer bölgesinde yapımı düşünülen bina için AFAD'ın ilgili sitesinden (Url-1) DD-2 deprem yer hareketi düzeyine göre çıktılar elde edilmiştir.

Burada, S_{DS} : kısa periyot için tasarım spektral ivme katsayısını ifade etmektedir. S_5 ve S_1 : harita spektral ivme katsayıları, F_5 ve F_1 : yerel zemin etki katsayıları ile aşağıdaki şekilde tasarım spektral ivme katsayılarına dönüştürülmektedir (denklem 3.1 ve 3.2). Söz konusu F değerleri Yönetmelikte ilgili tablolardan alınmaktadır.

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

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

burada, S_{D1} : 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısını ifade etmektedir.

Bu verilere göre $S_{DS} = 0,558$ alınmıştır. Bu durumda yapımı düşünülen bina BKS=3 için deprem tasarım sınıfı DTS=2 kapsamına girmektedir (Çizelge 3.3).

Çizelge 3.3 : Deprem tasarım sınıfları (DTS) (TBDY-2018).

DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyinde Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı (S_{DS})	Bina Kullanım Sınıfı	
	BKS = 1	BKS = 2,3
$S_{DS} < 0,33$	DTS = 4a	DTS = 4
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	DTS = 3a	DTS = 3
$0,50 \leq S_{DS} < 0,75$	DTS = 2a	DTS = 2
$0,75 \leq S_{DS}$	DTS = 1a	DTS = 1

Yine mevcut yönetmelikte bina yükseklik sınıfı BYS ifadelerinin sınıflandırılması yapılmış olup Çizelge 3.4'deki gibidir.

Çizelge 3.4 : Bina yükseklik sınıfları ve deprem tasarım sınıflarına göre tanımlanan bina yükseklik aralıkları (TBDY-2018).

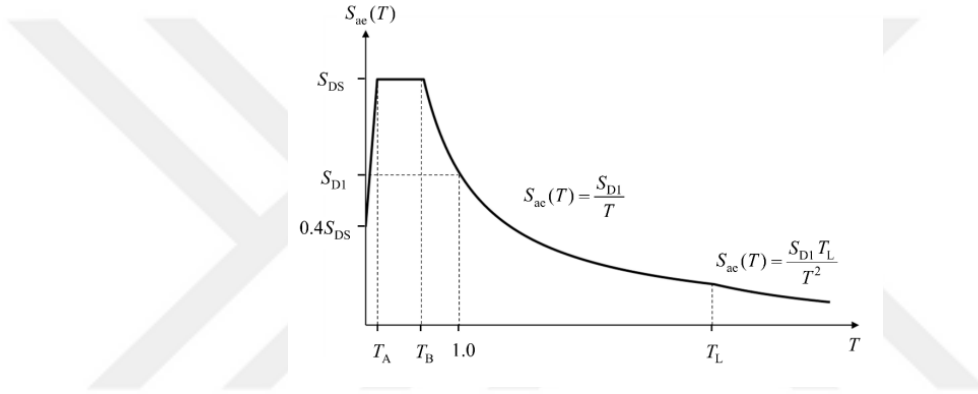
Bina Yükseklik Sınıfı	Bina Yükseklik Sınıfları ve Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları [m]		
	DTS= 1, 1a, 2,2a	DTS= 3,3a	DTS= 4,4a
BYS = 1	$H_N > 70$	$H_N > 91$	$H_N > 105$
BYS = 2	$56 < H_N \leq 70$	$70 < H_N \leq 91$	$91 < H_N \leq 105$
BYS = 3	$42 < H_N \leq 56$	$56 < H_N \leq 70$	$56 < H_N \leq 91$
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	$H_N \leq 7$	$H_N \leq 10,5$	

Burada, H_N ifadesi bina toplam yüksekliği belirtmekte ve BYS=1 olan binalar yüksek binalar olarak sınıflandırılmaktadır.

Bu çalışma kapsamında kullanılan bina yüksekliği, $h_z = 5 \text{ m}$ (zemin kat yüksekliği) için maksimum 26 m dir. Çizelge 3.4'e göre elde edilen değerlere bakılacak olunursa bina BYS=5 seviyesinde yer almaktadır ve gerekli koşullar sağlanmaktadır.

Yatay tasarım spektrumu köşe periyotları T_A ve T_B denklem 3.3'de verildiği gibi S_{DS} ve S_{D1} 'e bağlı olarak tanımlanır (Şekil 3.1) ve sabit yer değiştirme bölgesine geçiş periyodu $T_L = 6 \text{ s}$ alınmaktadır.

$$T_A = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad ; \quad T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.3)$$



Şekil 3.1 : Yatay elastik tasarım spektral ivmelerinin titreşim periyoduna bağlı değişimi.

Deprem yükü azaltma katsayısı aşağıda yer alan şekilde T_B ye bağlı olarak hesaplanmaktadır (denklem 3.4 ve 3.5). Çerçeve binalarda taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R), 8 olarak, dayanım fazlalığı katsayısı (D) ise 3 olarak alınmaktadır.

$$R_a(T) = \frac{R}{I} \quad T > T_B \quad (3.4)$$

$$R_a(T) = D + \left(\frac{R}{I} - D \right) \frac{T}{T_B} \quad T \leq T_B \quad (3.5)$$

$S_{ae}(T)$, DD-2 deprem yer hareketi için tanımlanan yatay elastik tasarım spektral ivmesini, T doğal titreşim periyodunu, $R_a(T)$ ise deprem yükü azaltma katsayısını ifade etmektedir.

Yatay elastik tasarım spektral ivmeleri ($S_{ae}(T)$), doğal titreşim periyoduna bağlı olarak yerçekimi ivmesi (g) cinsinden aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır (denklem 3.6).

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

$S_{aR}(T_P^{(X)})$, binanın (X) doğrultusundaki bina hakim doğal periyodu doğrultusunda hesaplanan azaltılmış tasarım spektral ivmesini göstermekte ve denklem 3.7’de verildiği şekilde hesaplanmaktadır.

$$S_{aR}(T) = \frac{S_{ae}(T)}{R_a(T)} \tag{3.7}$$

(X) deprem doğrultusu için binanın tümüne etkiyecek olan toplam eşdeğer deprem yükü, başka bir deyişle taban kesme kuvveti, denklem 3.8 yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$V_{tE}^{(X)} = m_t S_{aR}(T_P^{(X)}) \geq 0,04 m_t I S_{DS} g \tag{3.8}$$

burada, $V_{tE}^{(X)}$: (X) deprem doğrultusunda binanın tümüne etkiyen toplam eşdeğer deprem yükünü (taban kesme kuvveti), $T_P^{(X)}$: (X) deprem doğrultusunda binanın hakim doğal titreşim periyodu, m_t : binanın bodrum katlarının üstündeki üst bölüm’ünün toplam kütlesi, g : yer çekimi ivmesini ifade etmektedir.

Taban kesme kuvveti hesabı için denklemde yer alan (X) doğrultusundaki bina hakim doğal periyodu ($T_P^{(X)}$) için yönetmelikte aşağıda yer alan denkleme yer verilmiş, daha kesin bir hesap yapılmadıkça denklem 3.9 ile hesaplanması önerilmiştir.

$$T_P^{(X)} = 2\pi \left[\frac{\sum_{i=1}^N m_i d_{fi}^{(x)2}}{\sum_{i=1}^N F_{fi}^{(x)} d_{fi}^{(x)}} \right]^{1/2} \tag{3.9}$$

burada, m_i : i'inci katın toplam kütlesi, $d_{fi}^{(X)}$: (X) deprem doğrultusunda binanın hakim doğal titreşim periyodunun hesabında i'inci kata etki ettirilen fiktif yükten oluşan yerdeğiştirme, $F_{fi}^{(X)}$: (X) deprem doğrultusunda binanın hakim doğal titreşim periyodunun hesabında i'inci kata etki ettirilen fiktif yükü ifade etmektedir.

Denklem ile hesaplanacak hakim doğal titreşim periyodunun en büyük değeri $1,4 T_{pA}$ değerinden büyük olmayacaktır. Ampirik hakim doğal titreşim periyodu T_{pA} hesabı için bazı koşullar getirilmiştir.

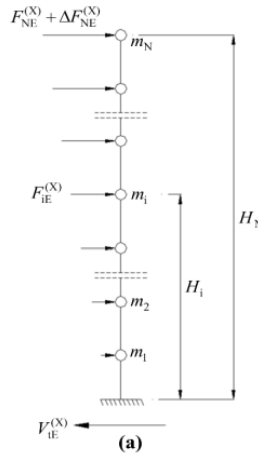
- 1- DTS=1, 1a, 2, 2a ve BYS $\geq$ 6
- 2- DTS=3, 3a, 4, 4a olan tüm binalarda

Yukarıda yer alan bu koşullar sağlandığı takdirde hakim doğal titreşim periyodu hesaplanmadan ampirik T_{pA} periyodu hesaba alınabilir. T_{pA} periyodunun hesap şekli denklem 3.10'da verilmiştir.

$$T_{pA} = C_t H_N^{(3/4)} \quad (3.10)$$

burada; C_t : ampirik doğal titreşim periyodu hesabında kullanılan katsayı, H_N : binanın bodrum katlarının üstündeki üst bölüm'ünün toplam yüksekliğini ifade etmektedir.

Burada yer alan C_t değeri sadece betonarme çerçevelerden oluşan binalarda 0,1 olarak alınmaktadır.



Şekil 3.2 : Katlara etkiyen deprem yüklerin gösterimi (TBDY-2018).

Hesaplanan, binanın tümüne etkiyecek toplam eşdeğer deprem yükü, katlara etkiyen deprem yüklerinin toplamı olarak ifade edilmektedir (Şekil 3.2). Yani bulunan taban kesme kuvvetinin katlara dağıtılması gerekmektedir. Dağıtım yapılırken bina en üst katına ek eşdeğer deprem yükü etkidiği varsayımı yapılmaktadır (denklem 3.11).

$$V_{tE}^{(X)} = \Delta F_{NE}^{(X)} + \sum_{i=1}^N F_{iE}^{(X)} \quad (3.11)$$

burada, $\Delta F_{NE}^{(X)}$: (X) deprem doğrultusunda binanın N'inci katına (tepesine) etkiyen ek eşdeğer deprem yükü, $F_{iE}^{(X)}$: (X) deprem doğrultusunda i'inci kat kütle merkezine etkiyen eşdeğer deprem yükünü ifade etmektedir.

Binanın en üst katına etkiyen ek eşdeğer deprem yükü ΔF_{NE} değeri denklem 3.12 kullanılarak bulunur.

$$\Delta F_{NE}^{(X)} = 0,0075 N V_{tE}^{(X)} \quad (3.12)$$

burada, N: binanın bodrum katlarının üstündeki üst bölüm'deki toplam kat sayısını ifade etmektedir.

$\Delta F_{NE}^{(X)}$ dışında kalan toplam eşdeğer deprem yükü en üst kat dahil olmak üzere katlara, denklem 3.13 ile dağıtılarak kat deprem kuvveti $F_{iE}^{(X)}$ elde edilir.

$$F_{iE}^{(X)} = (V_{tE}^{(X)} - \Delta F_{NE}^{(X)}) \frac{m_i H_i}{\sum_{j=1}^N m_j H_j} \quad (3.13)$$

burada, m_i : i'inci katın toplam kütlesi, H_i : binanın bodrum katlarının üstündeki üst bölüm'de i'inci katın üst bölümün tabanından itibaren ölçülen yüksekliğini ifade etmektedir.

Bulunan bu $F_{iE}^{(X)}$, kat kesme kuvveti kat içerisindeki elemanlara, kattaki düşey elemanların kesme rijitliğine orantılı olarak dağıtılır.

m_i ifadesi i'inci kat döşemesinin toplam kütlesi olarak, m_t binanın toplam kütlesi olarak tanımlanır (denklem 3.14).

$$m_t = \sum_{i=1}^N m_i \quad (3.14)$$

Kat ağırlık hesabı denklem 3.15 ile yapılmaktadır. w_G ve w_Q sabit yük ve hareketli yükü, n hareketli yük katılım katsayısını göstermektedir.

$$w = w_G + n w_Q \quad (3.15)$$

Çizelge 3.5'e göre hareketli yük katılım katsayısı n , konut yapıları için 0,3 alınmaktadır.

Çizelge 3.5 : Hareketli yük kütle katılım katsayısı (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

TBDY-2018 Yönetmeliği (X) ve (Y) doğrultularında tanımlanan depremlerden oluşan deprem etkilerinin birleştirilmesini ifade etmektedir (denklem 3.16).

$$\begin{aligned} E_d^{(H)} &= \pm E_d^{(X)} \pm 0,3 E_d^{(Y)} \\ E_d^{(H)} &= \pm 0,3 E_d^{(X)} \pm E_d^{(Y)} \end{aligned} \quad (3.16)$$

burada, $E_d^{(X)}$ ve $E_d^{(Y)}$: herhangi bir kesitte ayrı ayrı hesaplanan deprem etkilerini, $E_d^{(H)}$ ise doğru birleştirilmesi uygulanmış tasarıma esas yatay deprem etkisini simgelemektedir.

Ayrıca TBDY-2018'de yer alan 4.4.3.1 maddesi tanımı dışındaki binalarda düşey deprem etkisi $E_d^{(Z)}$ nin özel bir hesap yapılmaksızın, denklem 3.17 ile yaklaşık olarak hesaplanması belirtilmiştir.

$$E_d^{(Z)} \approx (2/3) S_{DS} G \quad (3.17)$$

burada, G : sabit yük etkisini ifade etmektedir.

3.2 Mod Birleştirme Yöntemi

Bu yöntem her bir serbest titreşim modunun deprem hareketine olan tepkisinin ayrı ayrı elde edilmesi ve çeşitli yöntemlerle birleştirilmesi ile sistem davranışının bilinmesi esasına dayanır. Tasarıma esas maksimum iç kuvvetlerin ve yer değiştirmelerin, binada yeterli sayıda doğal titreşim modunun her biri için hesaplanan maksimum katkıların istatistiksel olarak birleştirilmesi ile elde edilmektedir.

Herhangi bir titreşim modunda, herhangi bir davranış büyüklüğüne karşı gelen en büyük modal davranış büyüklüğü $r_{n,max}^{(X)}$ denklem 3.18 yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$r_{n,max}^{(X)} = \bar{r}_n^{(x)} S_{aR}(T_n) \quad (3.18)$$

burada, $\bar{r}_n^{(x)}$: birim modal davranış büyüklüğünü, $S_{aR}(T_n)$: n'inci doğal titreşim periyodu T_n için hesaplanan azaltılmış tasarım spektral ivmesini göstermektedir.

İç kuvvet bileşenleri, yerdeğiştirme ve görel kat ötelemesi gibi davranış büyüklüklerinin her biri için ayrı ayrı uygulanmak üzere hesaplanan en büyük modal katkıların birleştirilmesinde tam karesel birleştirme (CQC) ya da karelerinin toplamının karekökü (SRSS) yöntemleri kullanılabilir. Bu yöntemlerden uygun olanı seçilerek modal yer değiştirmelerden, gerçek yer değiştirme değerleri elde edilmektedir.

Tam Karesel Birleştirme kuralı denklem 3.19'da gösterilen şekilde yapılabilmektedir.

$$r_{max}^{(X)} = \sqrt{\sum_{m=1}^{YM} \sum_{n=1}^{YM} r_{m,max}^{(X)} \rho_{mn} r_{n,max}^{(X)}} \quad (3.19)$$

burada, $r_{m,max}^{(X)}$: m'inci doğal titreşim modunda (X) deprem doğrultusu için herhangi bir davranış büyüklüğüne (yerdeğiştirme, görel kat ötelemesi, iç kuvvet bileşeni) karşı gelen tipik enbüyük modal davranış büyüklüğü, ρ_{mn} : m ve n inci titreşim modlara ait çapraz korelasyon katsayısını göstermektedir ve hesabı TBDY-2018'de verilmektedir.

Karelerinin toplamının karekökü yöntemi ele alınan tüm modlar için m'inci ve n'inci doğal titreşim periyotları oranı $\beta_{mn} < 0,8$ olması durumunda kullanılabilir ve denklem 3.20'de gösterilen şekilde hesaplanmaktadır.

$$\beta_{mn} = \frac{T_m}{T_n} r_{max}^{(X)} = \sqrt{\sum_{n=1}^{YM} (r_{n,max}^{(X)})^2} \quad (3.20)$$

Hesaba katılması gereken yeterli titreşim mod sayısı (X) ve (Y) olmak üzere iki deprem doğrultusunda her bir mod için hesaplanan taban kesme kuvveti modal etkin kütleleri'nin toplamının bina toplam kütlelerinin %95'inden daha az olmaması kuralına göre belirlenecektir.

n'inci titreşim modunda, taşıyıcı sistemin maksimum taban kesme kuvveti ve buna karşı gelen maksimum taban devrilme momenti denklem 3.21 ve 3.22 yardımıyla hesaplanabilmektedir.

$$V_{txn,max}^{(X)} = \sum_{i=1}^N f_{ixn,max}^{(X)} = m_{txn}^{(X)} S_{aR}(T_n) \quad (3.21)$$

$$M_{oxn,max}^{(X)} = \sum_{n=1}^N f_{ixn,max}^{(X)} H_i \quad (3.22)$$

burada, $V_{txn,max}^{(X)}$: (X) deprem doğrultusu için binanın x eksenı doğrultusunda n'inci titreşim moduna ait enbüyük modal taban kesme kuvveti, $f_{ixn,max}^{(X)}$: (X) deprem doğrultusu için binanın x eksenı doğrultusunda n'inci doğal titreşim modunda i'inci kata etkiyen enbüyük modal deprem yükü, $m_{txn}^{(X)}$: (X) deprem doğrultusu için binanın x eksenı doğrultusunda n'inci titreşim moduna ait taban kesme kuvveti modal etkin kütlesi, $M_{oxn,max}^{(X)}$: (X) deprem doğrultusu için binanın x eksenı doğrultusunda n'inci titreşim moduna ait enbüyük modal taban devrilme momentini ifade etmektedir.

Herhangi bir deprem doğrultusu için denklem 3.23'de verilen ifadenin 1 den büyük olması, yani mod birleştirme yöntemi ile elde edilen en büyük toplam deprem yükü V_{tx} 'in, eşdeğer deprem yükü yönteminde hesaplanan bina toplam deprem yükü V_{tE} 'ye oranının aşağıda tanımlanan γ_E değerinden küçük olması durumunda hesaplanacak olan eşdeğer taban kesme kuvveti büyütme katsayısı $\beta_{tE}^{(X)}$ ile modal hesap yöntemi ile elde edilen iç kuvvet ve yer değiştirme büyüklükleri çarpılacaktır.

$$\beta_{tE}^{(X)} = \frac{\gamma_E V_{tE}^{(X)}}{V_{tx}^{(X)}} \geq 1 \quad (3.23)$$

burada, γ_E : eşdeğer taban kesme kuvveti büyütme katsayısının belirlenmesinde kullanılan ampirik katsayıyı ifade etmektedir.

TBDY-2018'e göre A1, B2 veya B3 türü düzensizliklerden en az birinin binada bulunması durumunda $\gamma_E = 0,90$, hiçbirinin binada bulunmaması durumunda $\gamma_E = 0,80$ alınacaktır.

3.3 Binalarda Düzensizlikler ve Yapılması Gerekli Kontroller

Yapılara etkiyen düşey ve yatay yüklerin temele kadar düzenli bir şekilde aktarımı düzenli bir taşıyıcı sistem ile sağlanmaktadır. Bu bölümde belirtilecek olan düzensizliklere sahip yapıların deprem performansı açısından düzenli binalar kadar etkili olmadığı bilinmekte ve bu nedenle deprem yönetmeliğinde konuyla ilgili bazı sınırlandırmalar yer almaktadır. Yönetmelikte bu düzensizlikler planda ve düşeyde olmak üzere iki başlık altında toplanmaktadır (TBDY-2018).

3.3.1 Planda düzensizlikler

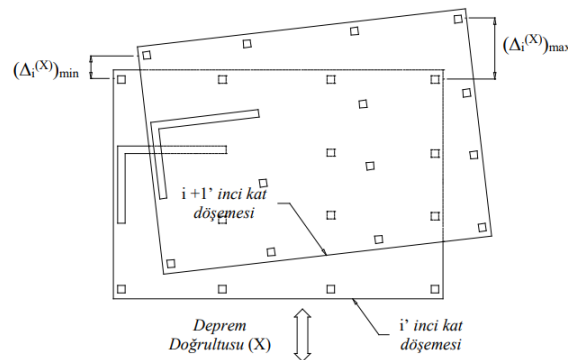
3.3.1.1 A1 – Burulma düzensizliği

TBDY-2018'e göre herhangi bir deprem doğrultusu için herhangi bir katta en büyük görel kat ötelemesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama görel ötelemeye oranını ifade eden burulma düzensizliği katsayısı η_{bi} 'nin 1.2'den büyük olması durumudur (denklem 3.24).

$$\eta_{bi} = \frac{(\Delta_i^x)_{max}}{(\Delta_i^x)_{ort}} > 1,2 \quad (3.24)$$

burada, η_{bi} : i'inci katta tanımlanan burulma düzensizliği katsayısı, $(\Delta_i^x)_{max}$: binanın i'inci katındaki maksimum azaltılmış görel kat ötelemesi, $(\Delta_i^x)_{ort}$: binanın i'inci katındaki ortalama azaltılmış görel kat ötelemesini ifade etmektedir.

Kabaca rijitlik merkezinin ağırlık merkezine yakın veya uzak olmasıyla ilgilidir. Rijitlik merkezi ile ağırlık merkezinin çakışması durumunda bina burulma etkisi göstermeyerek düzgün salınım yapar (Şekil 3.3).



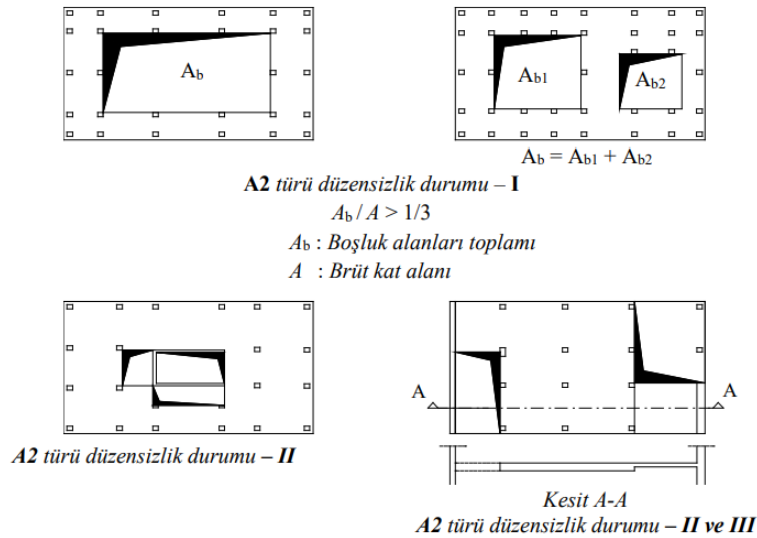
Şekil 3.3 : Burulma düzensizliği.

Tasarım aşamasında simetrik tasarım yapılmaması, taşıyıcı sistemde meydana gelen kesit kayıpları sonucunda rijitlik merkezi kaymakta ve rijitlik merkezine etkiyen deprem kuvveti, yapıyı ağırlık merkezinin bulunduğu düşey eksen etrafından döndürmeye çalışmaktadır. Bu durum da kolon ve perde gibi taşıyıcı sistem elemanlarında yüksek kesit zorlanmalarına sebebiyet verecektir.

3.3.1.2 A2 – Döşeme süreksizliği

Döşemeler, yatay yüklerin düşey taşıyıcı elemanlara aktarılmasında çok önemli rol oynar ve yük aktarmaları diyafram davranışı ile olur. Döşemeler genellikle düzlemi içinde rijit kabul edilir ve deprem yüklerini düşey taşıyıcı elemanlara güvenli bir şekilde aktarması beklenir. Döşemedeki boşluklar deprem kuvvetinin yapı elemanlarına aktarımını engelleyerek gerilme yığılmalarının oluşmasına neden olmaktadır. Döşemelerdeki boşluklar çok arttığı zaman döşemelerde rijit diyafram kabulü yapılamamaktadır.

Döşeme rijit ise, yani rijit diyafram olarak çalışıyorsa, yatay yükler altında kendi düzlemi içinde deforme olmadan rijit bir kütle gibi öteleme hareketi yapacaktır. Aksi halde rijit ötelemenin yanında şekil değiştirme de yapacaktır (Şekil 3.4). Bu nedenle planda döşemelerde, plan alanının 1/3 ünden fazla boşluk içermesi istenmemektedir.

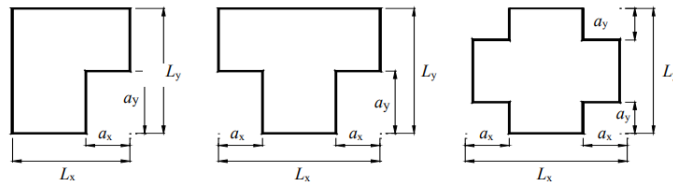


Şekil 3.4 : A2 türü düzensizlik durumu.

3.3.1.3 A3 – Planda çıkıntılar bulunması

Binaların plandaki tasarımları, yatay ve düşey yüklerin düşey elemanlara aktarımı konusunda oldukça önemlidir. Bina planında yer alan çıkıntılar, döşemenin rijit davranışını olumsuz etkilemektedir. Döşemelerde meydana gelebilecek ek zorlanmalardan kaçınmak için döşemelerin düzenli bir geometride seçilmesi önemlidir. Bu tür düzensizlik binada çıkıntı yapan kısımların her iki doğrultudaki boyutlarının binanın o doğrultudaki plan boyutunun %20'nden fazla olması durumudur (Şekil 3.5).

Bu gibi planların kullanılması durumunda binada burulma gibi düzensizliklerin yaşanması muhtemel olup dilatasyon ya da derz tanımlamaları ile bunların önüne geçilebilmektedir.



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

Şekil 3.5 : A3 türü düzensizlik durumu.

3.3.2 Düşeyde düzensizlikler

3.3.2.1 B1 - Zayıf kat düzensizliği

Binaların zemin kata ait dolgu duvarların ticari amaçla kaldırılması, üst katların genellikle konut olmasından kaynaklı duvar alanının fazla olması nedeniyle, zemin kat üst katlardan daha az kesme alanına sahip olmakta, bu da zayıf kat düzensizliğinin oluşmasına neden olmaktadır.

TBDY-2018'e göre zayıf kat düzensizliği herhangi bir deprem doğrultusunda, herhangi bir kattaki toplam etkili kesme alanının, bir üst kattaki toplam etkili kesme alanına oranı olan dayanım düzensizliği katsayısı η_{ci} 'nin 0,80'den az olması durumudur (denklem 3.25).

$$\eta_{ci} = \left[\frac{(\sum A_e)_i}{(\sum A_e)_{i+1}} \right] \leq 0,80 \quad (3.25)$$

burada, η_{ci} : i'inci katta tanımlanan dayanım düzensizliği katsayısı, $\sum A_e$: herhangi bir katta, gözönüne alınan deprem doğrultusunda etkili kesme alanını ifade etmektedir.

Herhangi bir kattaki etkili kesme alanı denklem 3.26'da gösterilen şekilde tanımlanmaktadır;

$$(\sum A_e)_i = (\sum A_w)_i + (\sum A_g)_i + 0,15 * (\sum A_k)_i \quad (3.26)$$

burada, $\sum A_w$: kolon en kesiti etkin gövde alanlarının toplamını, $\sum A_g$: deprem doğrultusunda paralel doğrultuda perde olarak çalışan taşıyıcı sistem elemanlarının en kesit alanlarının toplamını, $\sum A_k$: deprem doğrultusuna paralel dolgu duvar alanlarının toplamını ifade etmektedir.

Bu çalışmada modellenen binalarda 3. kat ve 6. katta olmak üzere iki yerde kolon kesitleri değişimi ve sadece zemin katında dolgu duvar oran değişimi söz konusudur. Söz konusu düzensizlik bu katlarda aranacaktır.

3.3.2.2 B2 - Yumuşak kat düzensizliği

Herhangi bir katın kolon uç deplasmanının, komşu katlardaki deplasmana göre farkı görelî kat ötelemesi olarak ifade edilmektedir. Deprem etkisinin güvenli bir şekilde taşınabilmesi için herhangi bir katta bulunan görelî kat ötelemesi değeri komşu katlardaki görelî kat ötelemesine oranının belirli sınır değeri geçmemesi gerekmektedir. Bu düzensizliğe genellikle zemin katların üst katlara göre daha yüksek tasarlanması örnek verilebilir.

TBDY-2018'e göre yumuşak kat düzensizliği herhangi bir deprem doğrultusu için i'inci kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranının bir üst veya bir alt kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranına bölünmesi ile tanımlanan rijitlik düzensizliği katsayısı η_{ki} 'nin 2,0'den fazla olması durumudur (denklem 3.27).

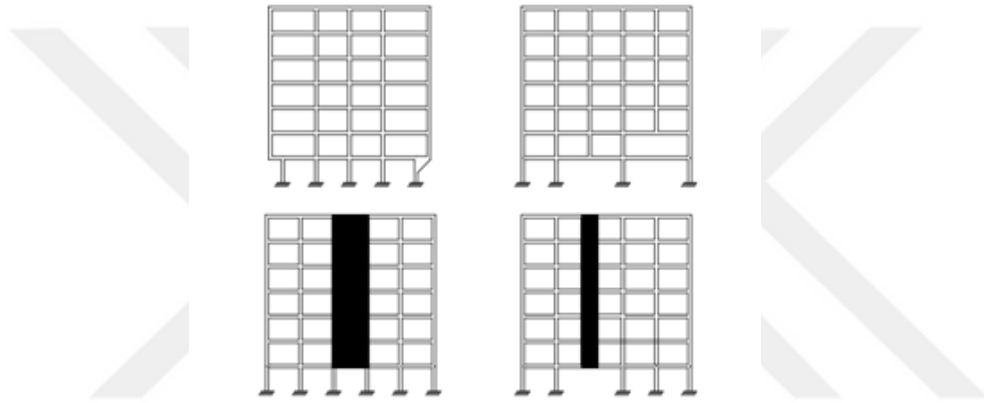
$$\eta_{ki} = \frac{\Delta_i^x / h_i}{\Delta_{i+1}^x / h_{i+1}} \text{ort} > 2 \quad (3.27)$$

burada, η_{ki} : i'inci katta tanımlanan rijitlik düzensizliği katsayısı, Δ_i^x : (X) deprem doğrultusunda herhangi bir kolon veya perde için, ardışık iki kat arasındaki

yerdeğiştirme farkını ifade eden azaltılmış görelı kat ötelemesi, h_i : binanın i 'inci katının kat yüksekliğini ifade etmektedir.

3.3.2.3 B3 – Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği

Taşıyıcı sistemde yer alan elemanların yükü doğru şekilde temele aktarmaları önemlidir. Deprem yönetmeliklerinde düşey elemanların süreksizliği konusunda bir takım önemli kısıtlamalar getirilmiştir. Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının bazı katlarda kaldırılarak kirişlere veya guseli kolonlara oturtulması, üst kattaki perdelerin kolonlara ya da açıklık ortasında kirişe oturtulması durumu olarak tanımlanmaktadır (şekil 3.6).



şekil 3.6 : B3 türü düzensizlik durumu.

3.3.3 Görelı kat ötelemeleri kontrolü

TBDY-2018 'e göre, görelı kat ötelemeleri, komşu katlar arasındaki, birbirine göre olan yer değiştirme farkını ifade etmektedir (denklem 3.28).

$$(\Delta_i)_{max} = u_i - u_{i-1} \quad (3.28)$$

burada; u_i ve u_{i-1} : i ' inci ve $(i-1)$ ' inci katlarında kolon uçlarında hesaptan elde edilen yatay deplasmanları göstermektedir.

Binanın i ' inci katındaki kolonlar için etkin görelı kat ötelemesi δ_i ile ifade edilmektedir (denklem 3.29).

$$\delta_i = \frac{R}{I} * \Delta_i \quad (3.29)$$

Deprem her bir doğrultusu için binanın her bir katındaki kolonlarında yukarıdaki formül ile hesaplanan ve kat içindeki en büyük değeri δ_{imax} , gevrek malzemeden yapılmış dolgu duvarların çerçeve elemanlarına bitişik olarak bağlanması durumunda denklem 3.30'da yer alan koşulu sağlamalıdır.

$$\lambda * \frac{\delta_{imax}}{h_i} \leq 0,008 * K \quad (3.30)$$

burada tanımlanan λ katsayısı binanın göz önüne alınan deprem doğrultusundaki hakim titreşim periyodu için DD-3 deprem yer hareketinin elastik tasarım spektral ivmesinin, DD-2 deprem yer hareketinin elastik tasarım spektral ivmesine oranıdır, h_i ise kat yüksekliğini ifade etmektedir. Betonarme binalarda $K=1$ alınmaktadır. Bu şartların sağlanmaması durumunda taşıyıcı sistemin rijitliği artırılarak deprem hesabı tekrarlanmalıdır.

Bu çalışma kapsamında DD-2 ve DD-3 için T_A ve T_B değerleri aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

DD-2 için;

$$\begin{aligned} S_{D1} &= 0,148, S_{DS} = 0,558 \\ T_A &= 0,2 * \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0,2 * \frac{0,148}{0,558} = 0,053 \text{ s} \\ T_B &= \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0,148}{0,558} = 0,2652 \text{ s} \end{aligned}$$

DD-3 için;

$$\begin{aligned} S_{D1} &= 0,062, S_{DS} = 0,213 \\ T_A &= 0,2 * \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0,2 * \frac{0,062}{0,213} = 0,058 \text{ s} \\ T_B &= \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0,062}{0,213} = 0,291 \text{ s} \end{aligned}$$

3.3.4 İkinci mertebe etkilerin kontrolü

TBDY-2018'e göre deprem doğrultusunda her bir kattaki ikinci mertebe gösterge değeri denklem 3.31 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$\theta_{II,i} = \left[\frac{(\Delta_i)_{ort} \sum_{k=i}^N w_k}{V_i h_i} \right] \quad (3.31)$$

burada, $\theta_{II,i}$: her bir i'inci kat için tanımlanan ikinci mertebe gösterge değeri, w_k : k'inci kata etkiyen toplam ağırlık, V_i : i'inci kattaki azaltılmış kat kesme kuvvetini ifade etmektedir.

Tüm katlar için hesaplanacak maksimum $\theta_{II,i}$ değeri, denklem 3.32'de verilen koşulu sağlamalıdır.

$$\theta_{II,max} \leq 0,12 \frac{D}{C_h R} \quad (3.32)$$

burada, $\theta_{II,max}$: maksimum ikinci mertebe gösterge değerini, R ve D: bina taşıyıcı sistemin taşıyıcı sistem davranış katsayısı ve dayanım fazlalığı katsayısını, C_h ise taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan davranışına bağlı katsayıyı ifade etmektedir.

C_h , betonarme binalarda 0,5 alınmaktadır. Tez çalışması kapsamında modellenen binamıza ait R katsayısı 8, D katsayısı 3'tür. Bu durumda $\theta_{II,max}$ değeri her kat için 0,09 değerinden küçük olmalıdır.

Tüm katlar için hesaplanan $\theta_{II,max}$ değerinin koşulu sağlamaması durumunda tüm iç kuvvetler aşağıda tanımlanan ikinci mertebe büyütme katsayısı $\beta_{II}^{(X)}$ ile çarpılarak arttırılmalıdır (denklem 3.33) veya taşıyıcı sistemin rijitliği arttırılarak deprem hesabı tekrarlanmalıdır.

$$\beta_{II}^{(X)} = 0,88 + \frac{C_h R}{D} \theta_{II,max}^{(X)} \geq 1 \quad (3.33)$$

4. BETONARME BİNALAR

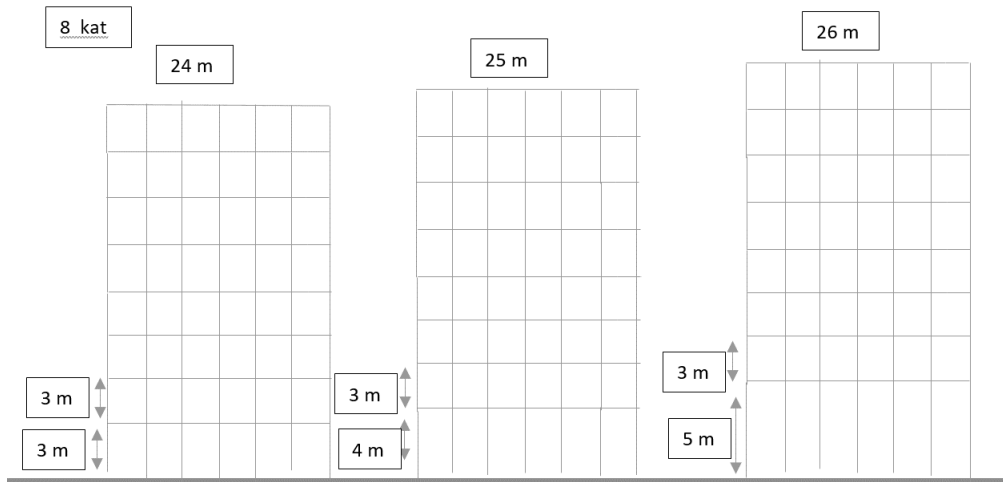
4.1 Model Binaların Tanıtılması

İstanbul ili, Sarıyer ilçesi bölgesinde, taşıyıcı sistemi betonarme çerçevelerden, zemin ve 7 normal kattan oluşan 8 katlı konut yapısı ele alınmıştır. Taşıyıcı elemanların ön boyutlandırılması TBDY-2018 ve diğer standartlar baz alınarak yapılmıştır. Yapıların üzerinde bulunduğu zemin ZB sınıfı olup tasarım deprem yer hareketi yüzeyi DD-2 olarak alınmıştır. Yapılarda C35 sınıfı beton ve B420C sınıfı betonarme çeliği kullanılmıştır.

Kolon kesitleri 1. ve 2. katta aynı olup diğer katlarda 3 katta bir kesit değişikliği yapılarak, etkilerin gözlemlenmesi amacıyla 3 binada da aynı kolon kesitleri kullanılmıştır.

Yapılan bu tez çalışmasında zemin kat yüksekliklerinin değişimi ve ayrıca bununla birlikte dolgu duvar modellemesinin yapı üzerinde etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

A, B ve C binaları birbirinden zemin kat yüksekliği farkıyla ayrılırken, yapılar (X) ve (Y) yönlerinde simetrik olup, kolon boyutları tüm modellerde aynı alınmıştır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 : A, B ve C binalarına ait kat yükseklikleri.

Normal kat yüksekliklerinin 3 m, zemin kat yüksekliğinin sırasıyla 3, 4 ve 5 m olduğu A, B ve C binaları, dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız olarak modellenerek toplamda 6 model oluşturulmuştur. Her modelin eşdeğer deprem yükü yöntemi ile analizi yapılmış, sonuçlar karşılaştırılarak yorumlanmıştır. Dolgu duvarlı modellerde “iki ucu mafsallı eşdeğer diyagonal basınç çubuğu” tekniği kullanılmıştır.

Mod birleştirme yönteminde taban kesme kuvvetinin eşdeğer deprem yükü yöntemine göre daha düşük elde edilmesi sebebiyle ileriki çalışmalarda eşdeğer deprem yükü yöntemi ile elde edilen sonuçlar baz alınmıştır.

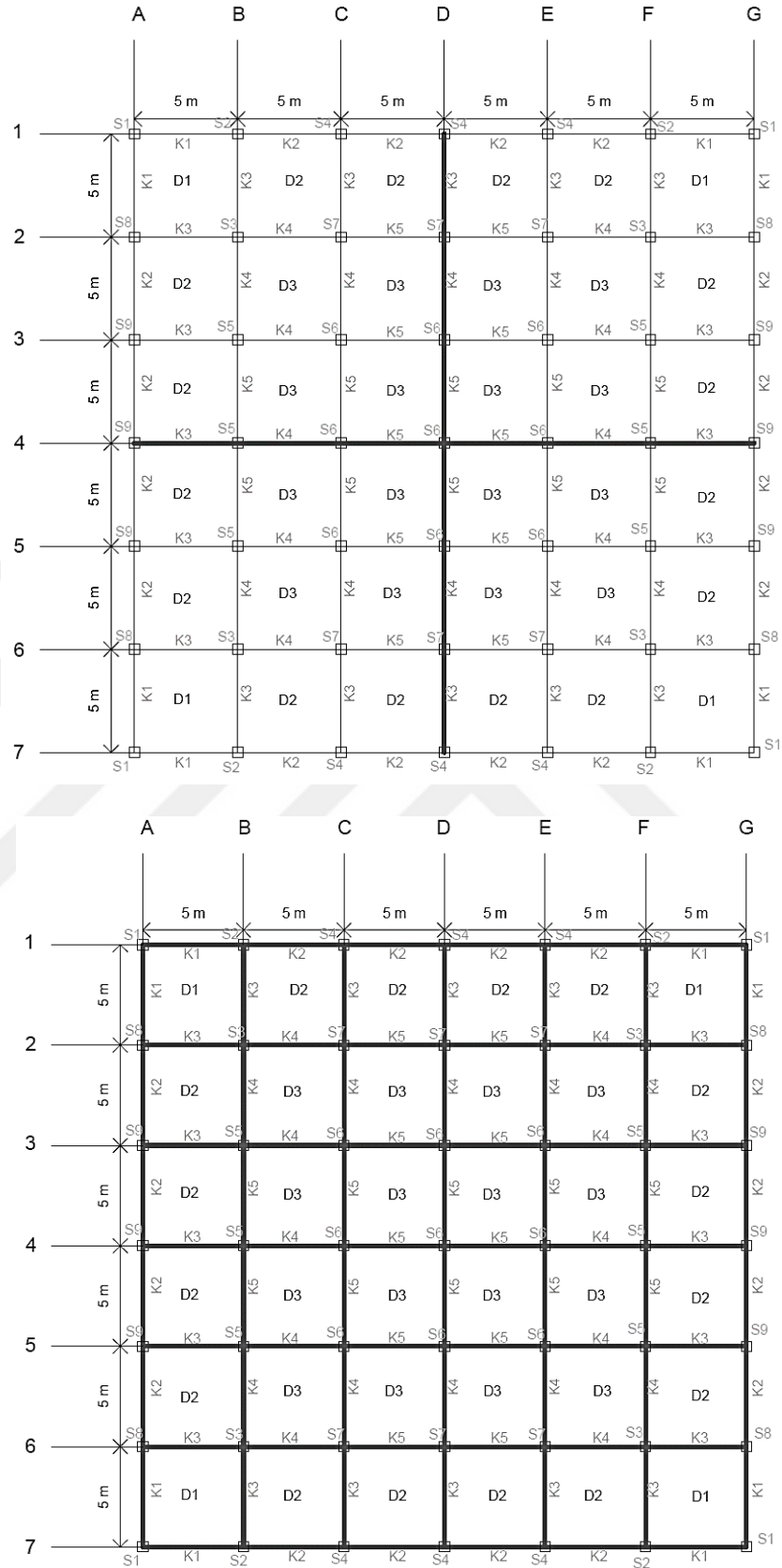
Modellemelere ait bilgiler aşağıdaki Çizelge 4.1’de yer almaktadır.

Çizelge 4.1 : Model binaların tanıtımı.

Model	Bina	Kat Adedi	$h_n=1.$ kat (m)	$h_n>2.$ kat (m)	Duvar Özelliği
Model 1	A Binası	8	3,6	3	Dolgu Duvarsız
Model 2		8	3,6	3	Dolgu Duvarlı
Model 3	B Binası	8	4,6	3	Dolgu Duvarsız
Model 4		8	4,6	3	Dolgu Duvarlı
Model 5	C Binası	8	5,6	3	Dolgu Duvarsız
Model 6		8	5,6	3	Dolgu Duvarlı

Model 1, Model 3 ve Model 5’te duvar ağırlıkları tasarım sırasında etkitilmiş olup, Model 2, Model 4 ve Model 6’da duvar yerleşimi değiştirilmeden, Şekil 4.2’de duvar yerleşimi gösterilen yerlerde eşdeğer diyagonal basınç çubuğu yöntemi ile dolgu duvar modellemesi yapılmıştır.

Yapının rijitlik merkezinin değişmesi sonucu burulma etkileri ile karşılaşılmaması amacıyla dolgu duvarlar yapı içerisinde simetrik olarak yerleştirilmiştir. Oluşturulan 6 modelde de düzensizlik kontrolleri yapılmış, zemin kat yükseklik değişimi ya da dolgu duvar modellemelerinden kaynaklı yapıda düzensizlik oluşmadığı, sınır değerler içinde kaldığı görülmüştür. Söz konusu binalarda sadece zemin katta dolgu duvarların kaldırılmasından kaynaklı zayıf kat düzensizliği mevcuttur.



Şekil 4.2 : Zemin (üstte) ve normal (altta) kat dolgu duvar yerleşimi.

Planlardan (Şekil 4.2) görülebileceği gibi, açıklık mesafeleri 5 m olan 6x6 açıklığa sahip bir simetrik betonarme bina planı seçilmiştir. Zemin katta sadece (X) ve (Y) doğrultularında orta akslarda 10 cm kalınlığında duvar yerleşimi yapılırken, normal katlarda her giriş altına, iç akslarda 10 cm, dış akslarda 20 cm kalınlığında olacak şekilde duvar yerleşimi yapılmıştır. Duvar malzemesi olarak yaygın kullanımı olan boşluklu fabrika tuğlası seçilmiştir. Duvar yükü, sıva yükü dahil, 20 cm kalınlık için 4,2 kN/m², 10 cm kalınlık için 2,5 kN/m² alınmıştır. Binalar 5 tip kolon, tek tip giriş ve tek tip döşemeye sahiptir.

Modellerde kullanılan tasarım parametreleri Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2 : Tasarım parametreleri.

A/B ve C Binaları			
	Malzeme	Beton Sınıfı:	Çelik Sınıfı:
		C35	B420C
	Beton Elastisite Modülü (MPa)	33000	
	Tuğla Dolgu Duvar Elastisite Modülü (MPa)	2000	
	Bina Taşıyıcı Sistem Sınıfı	Deprem etkilerinin tamamının moment aktaran süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçevelerle karşılandığı binalar	
	Yerel Zemin Sınıfı	ZB (Ta=0,053 s, Tb=0,2652 s)	
	Bina Kullanım Amacı	Zemin kat dükkan-Normal katlar konut	
	Kat Adedi	Zemin + 7 Normal kat	
	Bina Önem Katsayısı (I)	1	
	Bina Kullanım Sınıfı (BKS)	3	
	Deprem Tasarım Sınıfı (DTS)	2	
	Bina Yükseklik Sınıfı (BYS)	5	
	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R)	8	
	Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı (Ra(T))	8	
	Dayanım Fazlalığı Katsayısı (D)	3	
	Deprem Yer Hareketi Yüzeyi	DD-2	

4.2 Döşemelerin Hesap ve Tasarımı

Döşeme şekli denklem 4.1 kullanılarak belirlenmiştir.

$$m = L_{uzun}/L_{kisa} \quad (4.1)$$

burada, m: döşeme uzun kenarının kısa kenarına oranı, L_{uzun} : döşeme uzun kenarı, L_{kisa} : döşeme kısa kenarını ifade etmektedir.

$$m = \frac{5}{5} = 1, m \leq 2 ; \text{Çift doğrultuda çalışan döşeme}$$

Döşeme kalınlıkları denklem 4.2 ve 4.3 kullanılarak belirlenmiştir.

$$h \geq \frac{l_{sn}}{15 + \frac{20}{m}} \left(1 - \frac{\alpha_s}{4}\right) \text{ ve } h \geq 80 \text{ mm} \quad (4.2)$$

burada, h: döşeme kalınlığı, l_{sn} : döşemenin kısa doğrultudaki serbest açıklığını ifade etmektedir.

Kiriş boyutları her yerde 30x60 cm kabul edilmiştir.

$$l_s = 500 - 30 = 470 \text{ cm}$$

$$\alpha_s = \frac{\sum \text{Döşeme sürekli kenar uzunlukları}}{\sum \text{Kenar uzunlukları}} \quad (4.3)$$

$$D_1 \text{ için } \alpha_s = \frac{10}{20} = 0,5 \quad h \geq \frac{4700}{15 + \frac{20}{1}} \left(1 - \frac{0,5}{4}\right) \geq 117,5 \text{ mm}$$

$$D_2 \text{ için } \alpha_s = \frac{15}{20} = 0,75 \quad h \geq \frac{4700}{15 + \frac{20}{1}} \left(1 - \frac{0,75}{4}\right) \geq 109,10 \text{ mm}$$

$$D_3 \text{ için } \alpha_s = \frac{20}{20} = 1 \quad h \geq \frac{4700}{15 + \frac{20}{1}} \left(1 - \frac{1}{4}\right) \geq 100,71 \text{ mm}$$

Hesaplar sonucunda döşeme kalınlığı tüm katlarda $h_f = 12 \text{ cm}$ kabul edilmiştir.

Yapı elemanlarının boyutlandırılmasında, çatı katı döşemelerde sabit yük $g = 4,4 \text{ kN/m}^2$, hareketli yükler $q = 0,75 \text{ kN/m}^2$, normal katlarda döşemelerde sabit yük $g = 4,81 \text{ kN/m}^2$, hareketli yükler $q = 2 \text{ kN/m}^2$ alınmıştır.

Ayrıca, dolgu duvar yükü boşluklu tuğla duvar için dış duvarlarda 20 cm için $4,2 \text{ kN/m}^2$, iç duvarlarda 10 cm için $2,5 \text{ kN/m}^2$ olarak dikkate alınmış ve ilgili kirişlere aktarılmıştır.

Tez çalışması kapsamında tasarımı ve çözümlemesi yapılacak 3 binanın İstanbul ili, Sarıyer ilçesinde ve ZB zemin sınıfında bulunduğu varsayılmıştır. Bu bilgiler doğrultusunda TBDY-2018'de verilen deprem yer hareketi düzeyleri DD-2 ve DD-3 için AFAD Türkiye Deprem Tehlike Haritaları'ndan elde edilen değerler Bölüm 3.4'de verilen şekilde alınmıştır.

Binanın sonlu eleman modeli üç boyutlu olarak SAP2000 programında oluşturulmuştur. İncelenen 3 binanın da her iki doğrultuda simetrik olması dolayısıyla tek doğrultudaki deprem etkileri göz önüne alınmıştır.

Kirişlerin ön boyutlandırılmasında TBDY-2018’de verilen koşullar dikkate alınmıştır.

Bu koşullara göre;

- Kiriş gövde genişliği en az 250 mm olacaktır.
- Kiriş yüksekliği, döşeme kalınlığının 3 katından ve 300 mm’den daha az olmayacak, kiriş gövde genişliğinin 3.5 katından fazla olmayacaktır.

Bu koşullara göre kiriş boyutları 30x60 cm seçilmiştir.

Kolonların ön boyutlandırılmasında TBDY-2018’de verilen koşullar dikkate alınmıştır.

Bu koşullara göre;

- Dikdörtgen kesitli kolonların en küçük en kesit boyutu 300 mm’ den az olmayacaktır.
- Kolonun brüt en kesit alanı denklem 4.4 kullanılarak bulunacaktır.

$$A_c \geq N_{dm} / (0.4 * f_{ck}) \quad (4.4)$$

burada, A_c : kolonun veya perde uç bölgesinin brüt enkesit alanı, 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 büyüğünü ifade etmektedir.

Kolon normal kuvvetleri hesabında, kolonun kendi ağırlığı tahmin edilerek 10 kN kabul edilmiştir.

Normal kat yüksekliklerinin tüm modellerde aynı ve $h_n = 3$ m olmasından dolayı zemin kat yüksekliği $h_z = 3$ m için kolon ön boyutlandırması yapılarak $h_z = 4$ m ve $h_z = 5$ m için aynı en kesite sahip kolonlar kullanılmıştır. Bütün α değerleri 1,5 alınmıştır. Kolon en kesit boyutları ilk 2 katta aynı olmak üzere, diğer katlar arasında 3 katta bir değiştirilmiştir.

Kolon taşıyıcı elemanlar için belirlenen kesit detayları Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.3 : Kolon taşıyıcı elemanlar için belirlenen kesit detayları.

Kat	Kolon	Döşeme, g (kN)	Döşeme, q (kN)	Kiriş, g (kN)	Duvar, g (kN)	Kolon, g (kN)	$G=\sum g$ (kN)	$Q=\sum q$ (kN)	Bir Üst Kattan Gelen Yük (kN)	Toplam Hesap Yüklü, N_d (kN)	A_c (cm ²)	αA_c	Kesit Alanı (cm ²)	Kesit	Adet
8	S801	42,3	7,21	18	-	10	70,3	7,21	-	109,956	78,54	117,81	1225	35*35	4
	S802	68,2	11,63	27	-	10	105,2	11,63	-	165,888	118,4914	177,7371	1225	35*35	4
	S803	110	18,75	36	-	10	156	18,75	-	248,4	177,4286	266,1429	1600	40*40	4
	S804	68,2	11,63	27	-	10	105,2	11,63	-	165,888	118,4914	177,7371	1225	35*35	6
	S805	110	18,75	36	-	10	156	18,75	-	248,4	177,4286	266,1429	1600	40*40	6
	S806	110	18,75	36	-	10	156	18,75	-	248,4	177,4286	266,1429	1600	40*40	9
	S807	110	18,75	36	-	10	156	18,75	-	248,4	177,4286	266,1429	1600	40*40	6
	S808	68,2	11,63	27	-	10	105,2	11,63	-	165,888	118,4914	177,7371	1225	35*35	4
	S809	68,2	11,63	27	-	10	105,2	11,63	-	165,888	118,4914	177,7371	1225	35*35	6
7	S701	30,1	12,5	18	50,4	10	108,5	12,5	109,956	281,856	201,3257	301,9886	1225	35*35	4
	S702	60,13	25	27	65,4	10	162,53	25	165,888	433,43	309,5929	464,3893	1225	35*35	4
	S703	120,25	50	36	60	10	226,25	50	248,4	645,15	460,8214	691,2321	1600	40*40	4
	S704	60,13	25	27	65,4	10	162,53	25	165,888	433,43	309,5929	464,3893	1225	35*35	6
	S705	120,25	50	36	60	10	226,25	50	248,4	645,15	460,8214	691,2321	1600	40*40	6
	S706	120,25	50	36	60	10	226,25	50	248,4	645,15	460,8214	691,2321	1600	40*40	9
	S707	120,25	50	36	60	10	226,25	50	248,4	645,15	460,8214	691,2321	1600	40*40	6
	S708	60,13	25	27	65,4	10	162,53	25	165,888	433,43	309,5929	464,3893	1225	35*35	4
	S709	60,13	25	27	65,4	10	162,53	25	165,888	433,43	309,5929	464,3893	1225	35*35	6

Çizelge 4.3 (devam): Kolon taşıyıcı elemanlar için belirlenen kesit detayları.

Kat	Kolon	Döşeme, g (kN)	Döşeme, q (kN)	Kiriş, g (kN)	Duvar, g (kN)	Kolon, g (kN)	$G=\sum g$ (kN)	$Q=\sum q$ (kN)	Bir Üst Kattan Gelen Yük (kN)	Toplam Hesap Yüğü, N_d (kN)	A_c (cm ²)	αA_c	Kesit Alanı (cm ²)	Kesit	Adet
6	S601	30,1	12,5	18	50,4	10	108,5	12,5	281,856	453,756	324,1114	486,1671	1225	35*35	4
	S602	60,13	25	27	65,4	10	162,53	25	433,43	700,972	500,6943	751,0414	1225	35*35	4
	S603	120,25	50	36	60	10	226,25	50	645,15	1041,9	744,2143	1116,321	1600	40*40	4
	S604	60,13	25	27	65,4	10	162,53	25	433,43	700,972	500,6943	751,0414	1225	35*35	6
	S605	120,25	50	36	60	10	226,25	50	645,15	1041,9	744,2143	1116,321	1600	40*40	6
	S606	120,25	50	36	60	10	226,25	50	645,15	1041,9	744,2143	1116,321	1600	40*40	9
	S607	120,25	50	36	60	10	226,25	50	645,15	1041,9	744,2143	1116,321	1600	40*40	6
	S608	60,13	25	27	65,4	10	162,53	25	433,43	700,972	500,6943	751,0414	1225	35*35	4
	S609	60,13	25	27	65,4	10	162,53	25	433,43	700,972	500,6943	751,0414	1225	35*35	6
5	S501	30,1	12,5	18	50,4	10	108,5	12,5	453,756	625,656	446,8971	670,3457	1600	40*40	4
	S502	60,13	25	27	65,4	10	162,53	25	700,972	968,514	691,7957	1037,694	2025	45*45	4
	S503	120,25	50	36	60	10	226,25	50	1041,9	1438,65	1027,607	1541,411	2500	50*50	4
	S504	60,13	25	27	65,4	10	162,53	25	700,972	968,514	691,7957	1037,694	2025	45*45	6
	S505	120,25	50	36	60	10	226,25	50	1041,9	1438,65	1027,607	1541,411	2500	50*50	6
	S506	120,25	50	36	60	10	226,25	50	1041,9	1438,65	1027,607	1541,411	2500	50*50	9
	S507	120,25	50	36	60	10	226,25	50	1041,9	1438,65	1027,607	1541,411	2500	50*50	6
	S508	60,13	25	27	65,4	10	162,53	25	700,972	968,514	691,7957	1037,694	2025	45*45	4
	S509	60,13	25	27	65,4	10	162,53	25	700,972	968,514	691,7957	1037,694	2025	45*45	6

Çizelge 4.3 (devam): Kolon taşıyıcı elemanlar için belirlenen kesit detayları.

Kat	Kolon	Döşeme, g (kN)	Döşeme, q (kN)	Kiriş, g (kN)	Duvar, g (kN)	Kolon, g (kN)	$G=\sum g$ (kN)	$Q=\sum q$ (kN)	Bir Üst Kattan Gelen Yük (kN)	Toplam Hesap Yüklü, N_d (kN)	A_c (cm ²)	$\alpha \cdot A_c$	Kesit Alanı (cm ²)	Kesit	Adet
4	S401	30,1	12,5	18	50,4	10	108,5	12,5	625,656	797,556	569,6829	854,5243	1600	40*40	4
	S402	60,13	25	27	65,4	10	162,53	25	968,514	1236,056	882,8971	1324,346	2025	45*45	4
	S403	120,25	50	36	60	10	226,25	50	1438,65	1835,4	1311	1966,5	2500	50*50	4
	S404	60,13	25	27	65,4	10	162,53	25	968,514	1236,056	882,8971	1324,346	2025	45*45	6
	S405	120,25	50	36	60	10	226,25	50	1438,65	1835,4	1311	1966,5	2500	50*50	6
	S406	120,25	50	36	60	10	226,25	50	1438,65	1835,4	1311	1966,5	2500	50*50	9
	S407	120,25	50	36	60	10	226,25	50	1438,65	1835,4	1311	1966,5	2500	50*50	6
	S408	60,13	25	27	65,4	10	162,53	25	968,514	1236,056	882,8971	1324,346	2025	45*45	4
	S409	60,13	25	27	65,4	10	162,53	25	968,514	1236,056	882,8971	1324,346	2025	45*45	6
3	S301	30,1	12,5	18	50,4	10	108,5	12,5	797,556	969,456	692,4686	1038,703	1600	40*40	4
	S302	60,13	25	27	65,4	10	162,53	25	1236,056	1503,598	1073,999	1610,998	2025	45*45	4
	S303	120,25	50	36	60	10	226,25	50	1835,4	2232,15	1594,393	2391,589	2500	50*50	4
	S304	60,13	25	27	65,4	10	162,53	25	1236,056	1503,598	1073,999	1610,998	2025	45*45	6
	S305	120,25	50	36	60	10	226,25	50	1835,4	2232,15	1594,393	2391,589	2500	50*50	6
	S306	120,25	50	36	60	10	226,25	50	1835,4	2232,15	1594,393	2391,589	2500	50*50	9
	S307	120,25	50	36	60	10	226,25	50	1835,4	2232,15	1594,393	2391,589	2500	50*50	6
	S308	60,13	25	27	65,4	10	162,53	25	1236,056	1503,598	1073,999	1610,998	2025	45*45	4
	S309	60,13	25	27	65,4	10	162,53	25	1236,056	1503,598	1073,999	1610,998	2025	45*45	6

Çizelge 4.3 (devam): Kolon taşıyıcı elemanlar için belirlenen kesit detayları.

Kat	Kolon	Döşeme, g (kN)	Döşeme, q (kN)	Kiriş, g (kN)	Duvar, g (kN)	Kolon, g (kN)	$G=\sum g$ (kN)	$Q=\sum q$ (kN)	Bir Üst Kattan Gelen Yükl (kN)	Toplam Hesap Yüklü, N_d (kN)	A_c (cm ²)	$\alpha \cdot A_c$	Kesit Alanı (cm ²)	Kesit	Adet
2	S201	30,1	12,5	18	50,4	10	108,5	12,5	969,456	1141,356	815,2543	1222,881	2500	50*50	4
	S202	60,13	25	27	65,4	10	162,53	25	1503,598	1771,14	1265,1	1897,65	2500	50*50	4
	S203	120,25	50	36	60	10	226,25	50	2232,15	2628,9	1877,786	2816,679	3600	60*60	4
	S204	60,13	25	27	65,4	10	162,53	25	1503,598	1771,14	1265,1	1897,65	2500	50*50	6
	S205	120,25	50	36	60	10	226,25	50	2232,15	2628,9	1877,786	2816,679	3600	60*60	6
	S206	120,25	50	36	60	10	226,25	50	2232,15	2628,9	1877,786	2816,679	3600	60*60	9
	S207	120,25	50	36	60	10	226,25	50	2232,15	2628,9	1877,786	2816,679	3600	60*60	6
	S208	60,13	25	27	65,4	10	162,53	25	1503,598	1771,14	1265,1	1897,65	2500	50*50	4
	S209	60,13	25	27	65,4	10	162,53	25	1503,598	1771,14	1265,1	1897,65	2500	50*50	6
1	S101	30,1	12,5	18	50,4	10	108,5	12,5	1141,356	1313,256	938,04	1407,06	2500	50*50	4
	S102	60,13	25	27	65,4	10	162,53	25	1771,14	2038,682	1456,201	2184,302	2500	50*50	4
	S103	120,25	50	36	60	10	226,25	50	2628,9	3025,65	2161,179	3241,768	3600	60*60	4
	S104	60,13	25	27	65,4	10	162,53	25	1771,14	2038,682	1456,201	2184,302	2500	50*50	6
	S105	120,25	50	36	60	10	226,25	50	2628,9	3025,65	2161,179	3241,768	3600	60*60	6
	S106	120,25	50	36	60	10	226,25	50	2628,9	3025,65	2161,179	3241,768	3600	60*60	9
	S107	120,25	50	36	60	10	226,25	50	2628,9	3025,65	2161,179	3241,768	3600	60*60	6
	S108	60,13	25	27	65,4	10	162,53	25	1771,14	2038,682	1456,201	2184,302	2500	50*50	4
	S109	60,13	25	27	65,4	10	162,53	25	1771,14	2038,682	1456,201	2184,302	2500	50*50	6

4.3 Dolgu Duvarların Modellenmesi

Araştırmalarda karşılaşılan çeşitli dolgu duvar modelleme yöntemlerinden biri de dolgu duvarın temsili, iki ucu mafsallı eşdeğer diyagonal basınç çubuğu ile modellenmesidir. Bu modelleme yöntemi için de birçok araştırmacı tarafından farklı yaklaşım önerileri getirilmiştir.

Duvarın yapı sistemine davranışını gerçeğe daha yakın sonuçlar verecek modelin oluşturulması araştırmalara konu olmuş ve günümüzde çeşitli hesap yöntemleri yer almaktadır.

Daha önceden de bahsedildiği gibi dolgu duvar davranışı birçok parametreye bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle hesap yöntemleri de birbirinden ayrılabilir.

Dolgu duvarların temsili çubuk ile sisteme dahil edilmesini baz alan bu yöntemde dolgu duvarı oluşturan malzemelerin mekanik özellikleri, dolgu duvar kalınlığı ve genişliği, söz konusu temsili çubuğun özelliklerini oluşturmaktadır. Bunun yanı sıra basınç çubuğunun genişliğinin bu özelliklere göre hesaplanması gerekmektedir.

Dolgu duvarların modellenebilmesi için dolgu duvarı temsil edecek eşdeğer çubukların kalınlığı seçilen duvar kalınlığı olarak dikkate alınırken eşdeğer çubuk genişliğinin hesaplanması gerekmektedir. TBDY-2018 tarafından önerilen dekleme 4.5-4.7 kullanılarak temsili çubukların genişliği hesaplanmıştır.

$$a_d = 0.175(\lambda_d h_k)^{-0.4} r_d \quad (4.5)$$

$$\lambda_d = \left[\frac{E_d t_d \sin 2\theta}{4E_c I_k h_d} \right]^{\frac{1}{4}} \quad (4.6)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left[\frac{h_d}{L_d} \right] \quad (4.7)$$

TBDY-2018 deprem yönetmeliğinde belirtildiği üzere dolgu duvarın elastisite modülü boşluklu fabrika tuğlası için $E_d = 2000$ MPa alınmıştır. Dış cephe duvar kalınlığı 20 cm alınırken iç duvar kalınlıkları 10 cm alınmıştır.

Çizelge 4.4’de duvar isimleri, eşdeğer sanal çubuk boyutları ve ilgili hesap detayları verilmiştir.

Çizelge 4.4 : Dolgu duvar hesap detayları.

Duvar Adı	h_k (mm)	L_d (mm)	h_d (mm)	Kolon 1 (cmxcm)	Kolon 2 (cmxcm)	t_d (mm)	I_k (mm ⁴)	θ	$\sin 2\theta$	λ_d	r_d	a_d (mm)
D1z	3600	4450	3000	50x50	60x60	100	10800000000	0,593171	0,927003	0,000456	5366,796	770,0748
D2z	3600	4400	3000	60x60	60x60	100	10800000000	0,598419	0,930889	0,000457	5325,411	763,8169
D3	3000	4500	2400	50x50	50x50	200	5208333333	0,489957	0,83045	0,00067	5100	675,1042
D4	3000	4575	2400	40x40	45x45	200	3417187500	0,483126	0,822761	0,000743	5166,297	656,2676
D5	3000	4550	2400	45x45	45x45	200	3417187500	0,485383	0,825319	0,000743	5144,171	653,2542
D6	3000	4525	2400	45x45	50x50	100	5208333333	0,48766	0,827882	0,000563	5122,072	726,9153
D7	3000	4500	2400	50x50	50x50	100	5208333333	0,489957	0,83045	0,000563	5100	723,5587
D8	3000	4650	2400	35x35	35x35	200	1250520833	0,476467	0,815119	0,000952	5232,829	601,7077
D9	3000	4625	2400	35x35	40x40	100	2133333333	0,478668	0,817661	0,000701	5210,626	677,1791
D10	3000	4600	2400	40x40	40x40	100	2133333333	0,480887	0,820208	0,000702	5188,449	674,0872
D11z	4600	4450	4000	50x50	60x60	100	10800000000	0,732194	0,994344	0,000432	5983,519	795,5009
D12z	4600	4400	4000	60x60	60x60	100	10800000000	0,737815	0,995475	0,000432	5946,427	790,4798
D13z	5600	4450	5000	50x50	60x60	100	10800000000	0,843534	0,993248	0,000409	6693,467	841,2052
D14z	5600	4400	5000	60x60	60x60	100	10800000000	0,849141	0,991885	0,000408	6660,33	837,1557

Model binalarda kat yüksekliklerinin ve kolon kesit boyutlarının değişiyor olması sebebiyle 16 farklı duvar modeli oluşmaktadır. Birbirine çok yakın değerler olduğu görülerek ve eşdeğer basınç  ubukęu genişliği bu yakın değerler arasında ortalama alınarak 9 model ile modellenmiştir.

Bu kısımda hesaplanan temsili çubuk genişliği SAP2000 programında, çubuk eleman olarak programa dolgu duvar malzeme özelliklerini taşıyacak şekilde tanıtılmıştır. Deprem yükünün geliş yönü baz alınarak iki ucu mafsallı ve çekme kuvveti taşıyamayacak şekilde plan duvar yerleşimine bağlı yapı  er eve sistemine eklenmiştir.

Eşdeğer sanal basınç çubukları sadece basınç kuvvetine maruz kalabileceğinden bu çubukların çekme limiti sınırlandırılarak sadece basınç gerilmesine maruz bırakılmıştır.

4.4 SAP2000 Programında Binaların Modellenmesi

Taşıyıcı sistemi SAP2000 programında üç boyutlu olarak modellenen yapılarda, kolon ve kirişler çubuk eleman, döşemeler kabuk eleman alınmış, kat döşemelerinin rijit diyafram hareket yaptığı kabul edilmiş, yapı ve kat ağırlıkları programa hesaplatılmıştır.

SAP2000 programında aks tanımlamaları yapıldıktan sonra yapı analizi için 5 tip kolon, 1'er tip kiriş ve döşeme modeli oluşturulmuştur.

Döşemeler 12 cm kalınlığında kabuk eleman olarak modellenirken 2x2 elemanlara bölünmüştür.

Gerek kolon, kiriş gerekse döşeme elemanları modellenirken  izelge 4.5'de verilen etkin kesit rijitlik  arpanları dikkate alınmıştır.

Çizelge 4.5 : Betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının etkin kesit rijitliği çarpanları.

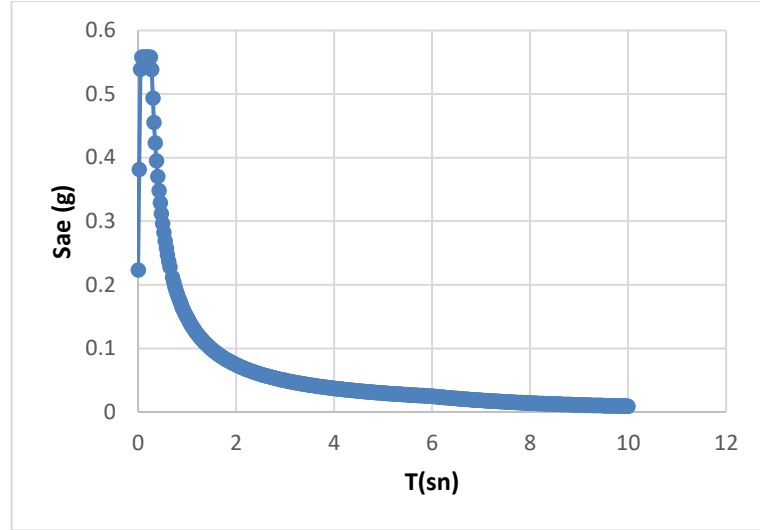
Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanı	Etkin Kesit Rijitliği Çarpanı	
Perde-Döşeme (Düzlem içi)	Eksenel	Kayma
Perde	0,50	0,50
Bodrum perdesi	0,80	0,50
Döşeme	0,25	0,25
Perde-Döşeme (Düzlem Dışı)	Eğilme	Kesme
Perde	0,25	1,00
Bodrum perdesi	0,50	1,00
Döşeme	0,25	1,00
Çubuk eleman	Eğilme	Kesme
Bağ kirişi	0,15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

Kirişlerinin üzerine dış akslarda $G_{duvar} = 10,08$ kN/m, iç akslarda $G_{duvar} = 6$ kN/m yayılı yük, döşeme üzerine $G_{ek} = 1,81$ kN/m² kaplama yükü, $Q = 2$ kN/m² hareketli yük etkiltilmiştir. Yapının ağırlığı G_{kendi} yük tanımlaması altında programa hesaplatılmıştır.

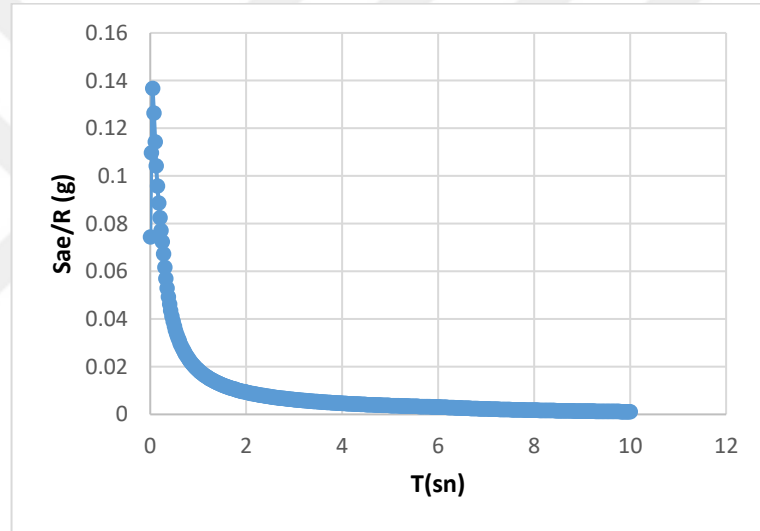
Ek olarak katlara etkiyen eşdeğer deprem kuvvetleri $\pm\%5$ dış merkezlik etkisi göz önüne alınarak etkiltilmiştir. Her iki yöne ait 1. mod titreşim periyot değerleri SAP2000 programına hesaplatılmıştır.

Mod birleştirme yönteminde kullanılmak üzere yönetmelikteki ilgili formüller yardımıyla T_A ve T_B değerleri ile bağlı olarak 0,025 s zaman aralıklarıyla 10 saniyeye kadar olan $S_{ae}(T)$ değerleri elde edilmiş ve $S_{ae}(T)$ -T yatay elastik spektrumu çizilmiştir (Şekil 4.3).

$S_{ae}(T)$ değerlerinin bu hesaplanan $R_a(T)$ değerlerine bölünmesi ile $S_{aR}(T)$ azaltılmış spektral tasarım ivme değerleri bulunmuş olur (Şekil 4.4).



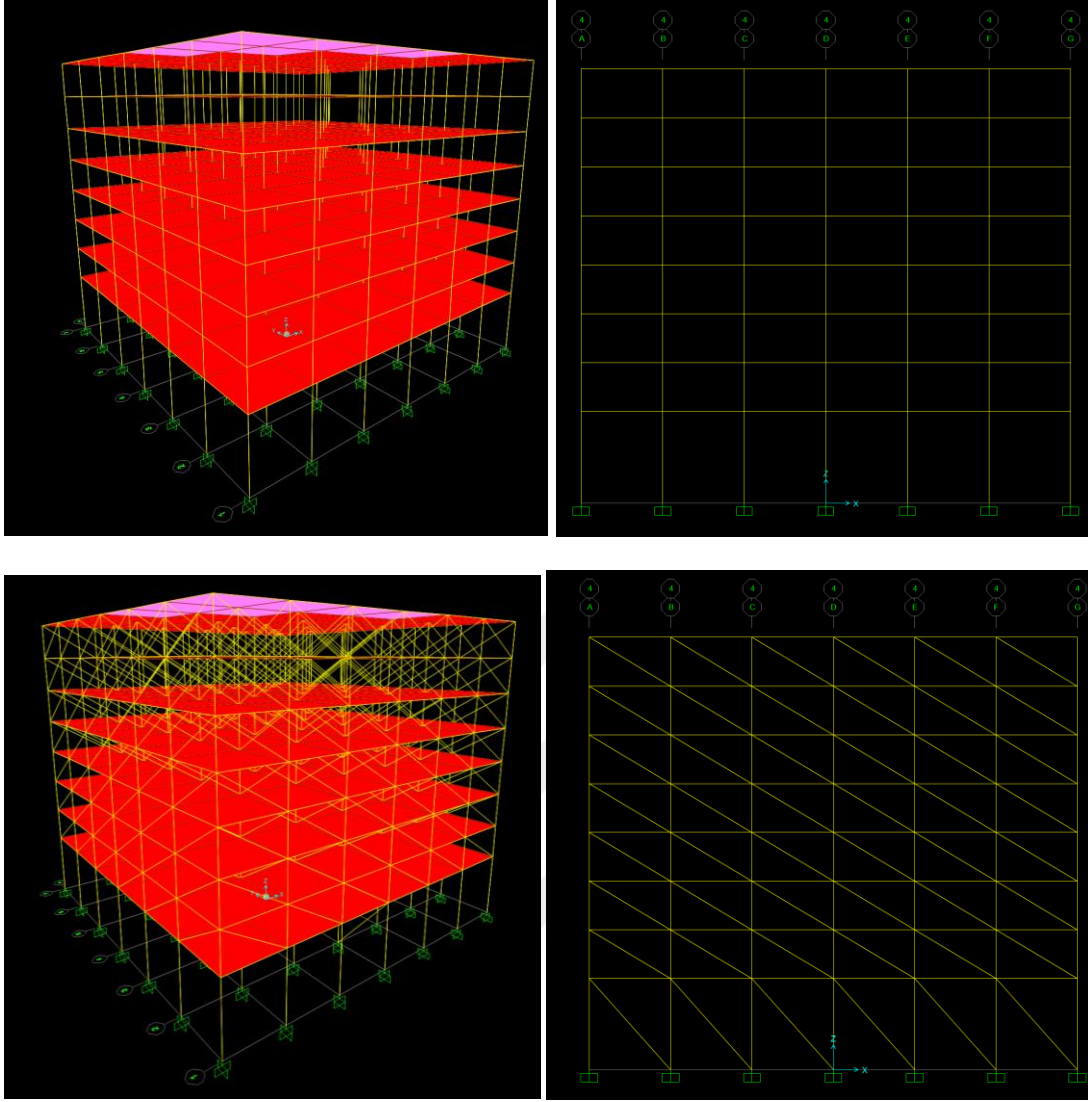
Şekil 4.3 : Yatay elastik tasarım spektrumu grafiği (TBDY-2018).



Şekil 4.4 : Yatay deprem etkisi altında azaltılmış tasarım ivme spektrumu grafiği (TBDY-2018).

Kat içerisinde toplam 49 adet kolon, 84 adet kiriş, 36 adet döşeme elemanı, tüm binada toplamda 441 adet düğüm noktası, 1064 adet çubuk eleman, 288 adet kabuk eleman yer almakta, 600 adet dolgu duvar modellemesi ile de çubuk eleman sayısı 1664 adet olmaktadır.

SAP2000 programından alınan bina modellerine ait görüntüler Şekil 4.5’de verilmiştir.



Şekil 4.5 : SAP2000 programında yapılan bina modellemeleri.

4.5 Yük Kombinasyonları

Analizleri yapılan binaların SAP2000 programında modellemesi sırasında programa tanımlamaları yapılan yük kombinasyonları aşağıda belirtilmiş olup, yük kombinasyonları için TBDY-2018 esas alınmış, belirtildiği üzere deprem kuvvetlerinin bir doğrultuda etki ederken diğer doğrultuda %30 oranında etki ettiği kabulü esas alınmıştır.

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

$$G + Q \pm E_x \pm 0,3E_y + 0,3E_z$$

$$G + Q \pm E_y \pm 0,3E_x + 0,3E_z$$

$$0,9G \pm E_x \pm 0,3E_y - 0,3E_z$$

$$0,9G \pm E_Y \pm 0,3E_X - 0,3E_Z$$

ENVELOPE - EŞDEĞER

Bu yük kombinasyonlarında;

G : Yapıdaki Sabit Yükleri

Q : Yapıdaki hareketli yükleri

E_X : Yapıya X doğrultusunda etki eden deprem kuvvetlerini

E_Y : Yapıya Y doğrultusunda etki eden deprem kuvvetlerini

E_Z : Yapıya Z doğrultusunda etki eden deprem kuvvetlerini

ENVELOPE- EŞDEĞER: Elverişsiz yükleme sonuçlarının eldesi için yapıya (X) ve (Y) yönünde etki eden yükleme kombinasyonlarının esas alınmasıyla oluşturulan, elverişsiz yükleme kombinasyonunu ifade etmektedir.

Modellemeler sonucu elde edilen değerler Çizelge 4.6-4.11’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.6 : Model 1 için elde edilen değerler.

Parametre	Sembol	Birim	Değerler
Periyot	T	s	1,36
Yatay Elastik Tasarım Spektral İvmesi	$S_{ae}(T)$	g	0,1088
Azaltılmış Tasarım Spektral İvmesi	$S_{aR}(T)$	g	0,0136
Yapı ağırlığı	W	kN	80930,7
Taban Kesme Kuvveti, Eşdeğer Yönt.	V_{te}	kN	1791,3
Taban Kesme Kuvveti, Modal Analiz	V_{tx}	kN	1433,254
Tepe Eşdeğer Deprem Kuvveti	ΔF_N	kN	107,478

Çizelge 4.7 : Model 2 için elde edilen değerler.

Parametre	Sembol	Birim	Değerler
Periyot	T	s	0,9
Yatay Elastik Tasarım Spektral İvmesi	$S_{ae}(T)$	g	0,164444
Azaltılmış Tasarım Spektral İvmesi	$S_{aR}(T)$	g	0,020556
Yapı ağırlığı	W	kN	80930,7
Taban Kesme Kuvveti, Eşdeğer Yönt.	V_{te}	kN	1791,3
Taban Kesme Kuvveti, Modal Analiz	V_{tx}	kN	1497,71
Tepe Eşdeğer Deprem Kuvveti	ΔF_N	kN	107,478

Çizelge 4.8 : Model 3 için elde edilen değerler.

Parametre	Sembol	Birim	Değerler
Periyot	T	s	1,451
Yatay Elastik Tasarım Spektral İvmesi	$S_{ae}(T)$	g	0,102
Azaltılmış Tasarım Spektral İvmesi	$S_{aR}(T)$	g	0,01275
Yapı ağırlığı	W	kN	81305,7
Taban Kesme Kuvveti, Eşdeğer Yönt.	V_{te}	kN	1795,5
Taban Kesme Kuvveti, Modal Analiz	V_{tx}	kN	1436,396
Tepe Eşdeğer Deprem Kuvveti	ΔF_N	kN	107,73

Çizelge 4.9 : Model 4 için elde edilen değerler.

Parametre	Sembol	Birim	Değerler
Periyot	T	s	1
Yatay Elastik Tasarım Spektral İvmesi	$S_{ae}(T)$	g	0,148
Azaltılmış Tasarım Spektral İvmesi	$S_{aR}(T)$	g	0,0185
Yapı ağırlığı	W	kN	81305,7
Taban Kesme Kuvveti, Eşdeğer Yönt.	V_{te}	kN	1795,5
Taban Kesme Kuvveti, Modal Analiz	V_{tx}	kN	1436,696
Tepe Eşdeğer Deprem Kuvveti	ΔF_N	kN	107,73

Çizelge 4.10 : Model 5 için elde edilen değerler.

Parametre	Sembol	Birim	Değerler
Periyot	T	s	1,569
Yatay Elastik Tasarım Spektral İvmesi	$S_{ae}(T)$	g	0,0943
Azaltılmış Tasarım Spektral İvmesi	$S_{aR}(T)$	g	0,011788
Yapı ağırlığı	W	kN	81680,7
Taban Kesme Kuvveti, Eşdeğer Yönt.	V_{te}	kN	1800
Taban Kesme Kuvveti, Modal Analiz	V_{tx}	kN	1440,032
Tepe Eşdeğer Deprem Kuvveti	ΔF_N	kN	108

Çizelge 4.11 : Model 6 için elde edilen değerler.

Parametre	Sembol	Birim	Değerler
Periyot	T	s	1,13
Yatay Elastik Tasarım Spektral İvmesi	$S_{ae}(T)$	g	0,130973
Azaltılmış Tasarım Spektral İvmesi	$S_{aR}(T)$	g	0,016372
Yapı ağırlığı	W	kN	81680,7
Taban Kesme Kuvveti, Eşdeğer Yönt.	V_{te}	kN	1800
Taban Kesme Kuvveti, Modal Analiz	V_{tx}	kN	1440,113
Tepe Eşdeğer Deprem Kuvveti	ΔF_N	kN	108

4.6 Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemine Göre Düzensizlik Kontrolleri

4.6.1 Model 1, Model 3 ve Model 5 için kontroller

4.6.1.1 Göreli kat ötelemeleri kontrolü

Model 1, Model 3 ve Model 5 için göreli kat ötelemeleri kontrolleri Çizelge 4.12-4.14’de verilmiştir. Gerekli şartlar sağlanmaktadır.

Çizelge 4.12 : $h_z=3m$ Model 1 için göreli kat ötelemeleri kontrolü.

Kat No	h_i	$\Delta_i=u_i-u_{i-1}$ $\delta_i=R\Delta_i/I$		$\lambda=0,41892$			
				$\kappa=1$			
		$\Delta_{i,max}$	$(\delta_i)_{max}$	$(\delta_i)_{max}/h_i$	$\lambda(\delta_i)_{max}/h_i$	$0,008$	κ
8	3	0,00096	0,00768	0,00256	0,001072435	<	0,008
7	3	0,00186	0,01488	0,00496	0,002077843	<	0,008
6	3	0,00269	0,02152	0,007173333	0,003005053	<	0,008
5	3	0,00243	0,01944	0,00648	0,002714602	<	0,008
4	3	0,00281	0,02248	0,007493333	0,003139107	<	0,008
3	3	0,00307	0,02456	0,008186667	0,003429558	<	0,008
2	3	0,00266	0,02128	0,007093333	0,002971539	<	0,008
1	3,6	0,00209	0,01672	0,004644444	0,001945651	<	0,008

Çizelge 4.13 : $h_z=4m$ Model 3 için göreli kat ötelemeleri kontrolü.

Kat No	h_i	$\Delta_i=u_i-u_{i-1}$ $\delta_i=R\Delta_i/I$		$\lambda=0,41892$			
				$\kappa=1$			
		$\Delta_{i,max}$	$(\delta_i)_{max}$	$(\delta_i)_{max}/h_i$	$\lambda(\delta_i)_{max}/h_i$	$0,008$	κ
8	3	0,00094	0,00752	0,002506667	0,001050093	<	0,008
7	3	0,00182	0,01456	0,004853333	0,002033158	<	0,008
6	3	0,00264	0,02112	0,00704	0,002949197	<	0,008
5	3	0,0024	0,0192	0,0064	0,002681088	<	0,008
4	3	0,00278	0,02224	0,007413333	0,003105594	<	0,008
3	3	0,0031	0,0248	0,008266667	0,003463072	<	0,008
2	3	0,00288	0,02304	0,00768	0,003217306	<	0,008
1	4,6	0,00361	0,02888	0,006278261	0,002630089	<	0,008

Çizelge 4.14 : $h_z=5\text{m}$ Model 5 için görelî kat ötelemeleri kontrolü.

Kat No	h_i	$\Delta_i=u_i-u_{i-1}$ $\delta_i=R\Delta_i/I$		$\lambda=0,41892$		
		$\Delta_{i,\max}$	$(\delta_i)_{\max}$	$(\delta_i)_{\max}/h_i$	$\kappa=1$	
					$\lambda(\delta_i)_{\max}/h_i$	$0,008 \kappa$
8	3	0,00093	0,00744	0,00248	0,001038922	< 0,008
7	3	0,00179	0,01432	0,004773333	0,001999645	< 0,008
6	3	0,00259	0,02072	0,006906667	0,002893341	< 0,008
5	3	0,00237	0,01896	0,00632	0,002647574	< 0,008
4	3	0,00276	0,02208	0,00736	0,003083251	< 0,008
3	3	0,00313	0,02504	0,008346667	0,003496586	< 0,008
2	3	0,0031	0,0248	0,008266667	0,003463072	< 0,008
1	5,6	0,00572	0,04576	0,008171429	0,003423175	< 0,008

4.6.1.2 İkinci mertebe etkilerin kontrolü

Model 1, Model 3 ve Model 5 için ikinci mertebe etkilerin kontrolü Çizelge 4.15-4.17’de verilmiştir. Gerekli şartlar sağlanmaktadır.

Çizelge 4.15 : $h_z=3\text{m}$ Model 1 için ikinci mertebe etkilerin kontrolü.

Kat No	h_i	$\Delta_{i,\text{ort}}$	W_k	V_i	$\theta_{II,\max}$	$\theta_{II,\max,\text{sınır}}$
8	3	0,00092	6573	357,835688	0,005633088	< 0,09
7	3	0,00178	16862,3	701,949238	0,014253117	< 0,09
6	3	0,00257	27151,6	998,269240	0,023300198	< 0,09
5	3	0,002325	37740,5	1254,03219	0,023323873	< 0,09
4	3	0,00269	48329,4	1460,60996	0,029669359	< 0,09
3	3	0,00293	58918,3	1618,00255	0,035564554	< 0,09
2	3	0,00254	69812	1729,32469	0,034179523	< 0,09
1	3,6	0,00199	80930,7	1791,3	0,024974428	< 0,09

Çizelge 4.16 : $h_z=4\text{m}$ Model 3 için ikinci mertebe etkilerin kontrolü.

Kat No	h_i	$\Delta_{i,\text{ort}}$	W_k	V_i	$\theta_{II,\max}$	$\theta_{II,\max,\text{sınır}}$
8	3	0,000905	6573	350,429466	0,005658357	< 0,09
7	3	0,00174	16862,3	685,826712	0,014260357	< 0,09
6	3	0,00252	27151,6	976,702200	0,02335138	< 0,09
5	3	0,002295	37740,5	1230,22916	0,023468378	< 0,09
4	3	0,00266	48329,4	1437,93800	0,029801054	< 0,09
3	3	0,00296	58918,3	1599,82871	0,036336842	< 0,09
2	3	0,002755	69812	1719,24243	0,037290079	< 0,09
1	4,6	0,003435	81305,7	1795,5	0,033814619	< 0,09

Çizelge 4.17 : $h_z=5m$ Model 5 için ikinci mertebe etkilerin kontrolü

Kat No	h_i	$\Delta_{i,ort}$	W_k	V_i	$\theta_{II,max}$	$\theta_{II,max,sınır}$
8	3	0,00089	6573	343,991261	0,00566872	< 0,09
7	3	0,001715	16862,3	671,745627	0,014350097	< 0,09
6	3	0,002475	27151,6	957,836303	0,023386115	< 0,09
5	3	0,002265	37740,5	1209,38042	0,023560889	< 0,09
4	3	0,00264	48329,4	1418,04770	0,029991849	< 0,09
3	3	0,00299	58918,3	1583,83814	0,037075699	< 0,09
2	3	0,00296	69812	1710,28979	0,040274562	< 0,09
1	5,6	0,005445	81680,7	1800	0,044122164	< 0,09

4.6.1.3 B1 - Zayıf kat düzensizliği

Duvar yerleşimi sabit tutulduğundan, tüm model binalar için zemin kat dolgu duvar oranı değişiminden kaynaklı zayıf kat düzensizliği mevcuttur (Çizelge 4.18).

Çizelge 4.18 : Zayıf kat düzensizliği kontrolü.

Kat No	$\sum(A_k)^X$	$\sum A_w$	$\sum A_e$	η_{ci}	$\eta_{ci,sınır}$
8	27	1,2525	5,302	-	> -
7	27	1,2525	5,302	1	> 0,8
6	27	1,2525	5,302	1	> 0,8
5	27	1,97	6,02	1,135313531	> 0,8
4	27	1,97	6,02	1	> 0,8
3	27	1,97	6,02	1	> 0,8
2	27	2,69	6,74	1,119601329	> 0,8
1	3	2,69	3,14	0,465875371	> 0,8

4.6.1.4 B2 - Yumuşak kat düzensizliği

Model 1, Model 3 ve Model 5 için yumuşak kat düzensizlik kontrol hesapları Çizelge 4.19-4.21’de verilmiştir. 3 binada da B2 türünde düzensizlik bulunmamaktadır.

Çizelge 4.19 : $h_z=3m$ Model 1 için yumuşak kat düzensizliği kontrolü.

Kat No	h_i	$\Delta_{i,max}$	$\Delta_{i,min}$	$\Delta_{i,ort}/h_i$	$\eta_{ki,alt}$	$\eta_{ki,üst}$	$\eta_{ki,max}$	$\eta_{ki,sınır}$
8	3	0,00096	0,00088	0,00031	0,5169	-	0,517	< 2
7	3	0,00186	0,0017	0,00059	0,6926	1,9348	1,935	< 2
6	3	0,00269	0,00245	0,00086	1,1054	1,4438	1,444	< 2
5	3	0,00243	0,00222	0,00078	0,8643	0,9047	0,905	< 2
4	3	0,00281	0,00257	0,00090	0,9181	1,1570	1,157	< 2
3	3	0,00307	0,00279	0,00098	1,1535	1,0892	1,154	< 2
2	3	0,00266	0,00242	0,00085	1,5317	0,8669	1,532	< 2
1	3,6	0,00209	0,00189	0,00055	-	0,6529	0,653	< 2

Çizelge 4.20 : $h_z=4\text{m}$ Model 3 için yumuşak kat düzensizliği kontrolü.

Kat No	h_i	$\Delta_{i,\max}$	$\Delta_{i,\min}$	$\Delta_{i,\text{ort}}/h_i$	$\eta_{ki,\text{alt}}$	$\eta_{ki,\text{üst}}$	$\eta_{ki,\max}$	$\eta_{ki,\text{sınır}}$
8	3	0,00094	0,00087	0,00030	0,5201	-	0,520	< 2
7	3	0,00182	0,00166	0,00058	0,6905	1,9227	1,923	< 2
6	3	0,00264	0,0024	0,00084	1,0980	1,4483	1,448	< 2
5	3	0,0024	0,00219	0,00077	0,8628	0,9107	0,911	< 2
4	3	0,00278	0,00254	0,00089	0,8986	1,1590	1,159	< 2
3	3	0,0031	0,00282	0,00099	1,0744	1,1128	1,113	< 2
2	3	0,00288	0,00263	0,00092	1,2298	0,9307	1,230	< 2
1	4,6	0,00361	0,00326	0,00075	-	0,8131	0,813	< 2

Çizelge 4.21 : $h_z=5\text{m}$ Model 5 için yumuşak kat düzensizliği kontrolü.

Kat No	h_i	$\Delta_{i,\max}$	$\Delta_{i,\min}$	$\Delta_{i,\text{ort}}/h_i$	$\eta_{ki,\text{alt}}$	$\eta_{ki,\text{üst}}$	$\eta_{ki,\max}$	$\eta_{ki,\text{sınır}}$
8	3	0,00093	0,00085	0,00030	0,5190	-	0,519	< 2
7	3	0,00179	0,00164	0,00057	0,6929	1,9270	1,927	< 2
6	3	0,00259	0,00236	0,00083	1,0927	1,4431	1,443	< 2
5	3	0,00237	0,00216	0,00076	0,8580	0,9152	0,915	< 2
4	3	0,00276	0,00252	0,00088	0,8829	1,1656	1,166	< 2
3	3	0,00313	0,00285	0,00100	1,0101	1,1326	1,133	< 2
2	3	0,0031	0,00282	0,00099	1,0148	0,9900	1,015	< 2
1	5,6	0,00572	0,00517	0,00097	-	0,9855	0,985	< 2

4.6.1.5 A1 – Burulma düzensizliği

Model 1, Model 3 ve Model 5 için burulma düzensizlik kontrol hesapları Çizelge 4.22-4.24’de verilmiştir. 3 binada da A1 türünde düzensizlik bulunmamaktadır.

Çizelge 4.22 : $h_z=3\text{m}$ Model 1 için burulma düzensizliği kontrolü.

Kat No	h_i	$\Delta_i = u_i - u_{i-1}$		$\Delta_{i,max}$	$\Delta_{i,min}$	$\Delta_{i,max}/\Delta_{i,ort}$	η_{bi}	$\eta_{bi,sınır}$
		$u_{i,max}$	$u_{i,min}$					
8	3	0,0186	0,01692	0,00096	0,00088	1,043478261	<	1,2
7	3	0,0176	0,01604	0,00186	0,0017	1,04494382	<	1,2
6	3	0,0158	0,01434	0,00269	0,00245	1,046692607	<	1,2
5	3	0,0131	0,01189	0,00243	0,00222	1,04516129	<	1,2
4	3	0,0106	0,00967	0,00281	0,00257	1,044609665	<	1,2
3	3	0,0078	0,0071	0,00307	0,00279	1,04778157	<	1,2
2	3	0,0048	0,00431	0,00266	0,00242	1,047244094	<	1,2
1	3,6	0,0021	0,00189	0,00209	0,00189	1,050251256	<	1,2

Çizelge 4.23 : $h_z=4m$ Model 3 için burulma düzensizliği kontrolü.

Kat No	h_i	$\Delta_i = u_i - u_{i-1}$		$\Delta_{i,max}$	$\Delta_{i,min}$	$\Delta_{i,max}/\Delta_{i,ort}$	η_{bi}	$\eta_{bi,sınır}$
		$u_{i,max}$	$u_{i,min}$					
8	3	0,0202	0,01837	0,00094	0,00087	1,038674033	<	1,2
7	3	0,0192	0,0175	0,00182	0,00166	1,045977011	<	1,2
6	3	0,0174	0,01584	0,00264	0,0024	1,047619048	<	1,2
5	3	0,0148	0,01344	0,0024	0,00219	1,045751634	<	1,2
4	3	0,0124	0,01125	0,00278	0,00254	1,045112782	<	1,2
3	3	0,0096	0,00871	0,0031	0,00282	1,047297297	<	1,2
2	3	0,0065	0,00589	0,00288	0,00263	1,045372051	<	1,2
1	4,6	0,0036	0,00326	0,00361	0,00326	1,050946143	<	1,2

Çizelge 4.24 : $h_z=5m$ Model 5 için burulma düzensizliği kontrolü.

Kat No	h_i	$\Delta_i = u_i - u_{i-1}$		$\Delta_{i,max}$	$\Delta_{i,min}$	$\Delta_{i,max}/\Delta_{i,ort}$	η_{bi}	$\eta_{bi,sınır}$
		$u_{i,max}$	$u_{i,min}$					
8	3	0,0224	0,02037	0,00093	0,00085	1,04494382	<	1,2
7	3	0,0215	0,01952	0,00179	0,00164	1,043731778	<	1,2
6	3	0,0197	0,01788	0,00259	0,00236	1,046464646	<	1,2
5	3	0,0171	0,01552	0,00237	0,00216	1,046357616	<	1,2
4	3	0,0147	0,01336	0,00276	0,00252	1,045454545	<	1,2
3	3	0,0120	0,01084	0,00313	0,00285	1,046822742	<	1,2
2	3	0,0088	0,00799	0,0031	0,00282	1,047297297	<	1,2
1	5,6	0,0057	0,00517	0,00572	0,00517	1,050505051	<	1,2

4.6.2 Model 2, Model 4 ve Model 6 için kontroller

4.6.2.1 Göreli kat ötelemeleri kontrolü

Model 2, Model 4 ve Model 6 için göreli kat ötelemeleri kontrolleri Çizelge 4.25-4.27’de verilmiştir. Gerekli şartlar sağlanmaktadır.

Çizelge 4.25 : $h_z=3m$ Model 2 için göreli kat ötelemeleri kontrolü.

		$\Delta_i=u_i-u_{i-1}$	$\delta_i=R\Delta_i/I$	$\lambda=0,41892$			
Kat No	h_i				$\kappa=1$		
		$\Delta_{i,max}$	$(\delta_i)_{max}$	$(\delta_i)_{max}/h_i$	$\lambda(\delta_i)_{max}/h_i$	$0,008$ κ	
8	3	0,00032	0,00256	0,000853333	0,000357478	<	0,008
7	3	0,00059	0,00472	0,001573333	0,000659101	<	0,008
6	3	0,00087	0,00696	0,00232	0,000971894	<	0,008
5	3	0,00089	0,00712	0,002373333	0,000994237	<	0,008
4	3	0,00105	0,0084	0,0028	0,001172976	<	0,008
3	3	0,00118	0,00944	0,003146667	0,001318202	<	0,008
2	3	0,00124	0,00992	0,003306667	0,001385229	<	0,008
1	3,6	0,00152	0,01216	0,003377778	0,001415019	<	0,008

Çizelge 4.26 : $h_z=4\text{m}$ Model 4 için görelî kat ötelemeleri kontrolü.

Kat No	h_i	$\Delta_i=u_i-u_{i-1}$	$\delta_i=R\Delta_i/I$	$\lambda=0,41892$			
		$\Delta_{i,\max}$	$(\delta_i)_{\max}$	$(\delta_i)_{\max}/h_i$	$\kappa=1$		0,008 κ
					$\lambda(\delta_i)_{\max}/h_i$		
8	3	0,00031	0,00248	0,000826667	0,000346307	<	0,008
7	3	0,00059	0,00472	0,001573333	0,000659101	<	0,008
6	3	0,00085	0,0068	0,002266667	0,000949552	<	0,008
5	3	0,00088	0,00704	0,002346667	0,000983066	<	0,008
4	3	0,00104	0,00832	0,002773333	0,001161805	<	0,008
3	3	0,00117	0,00936	0,00312	0,00130703	<	0,008
2	3	0,00133	0,01064	0,003546667	0,00148577	<	0,008
1	4,6	0,00268	0,02144	0,00466087	0,001952531	<	0,008

Çizelge 4.27 : $h_z=5\text{m}$ Model 6 için görelî kat ötelemeleri kontrolü.

Kat No	h_i	$\Delta_i=u_i-u_{i-1}$	$\delta_i=R\Delta_i/I$	$\lambda=0,41892$			
		$\Delta_{i,\max}$	$(\delta_i)_{\max}$	$(\delta_i)_{\max}/h_i$	$\kappa=1$		0,008 κ
					$\lambda(\delta_i)_{\max}/h_i$		
8	3	0,00031	0,00248	0,000826667	0,000346307	<	0,008
7	3	0,00058	0,00464	0,001546667	0,00064793	<	0,008
6	3	0,00084	0,00672	0,00224	0,000938381	<	0,008
5	3	0,00087	0,00696	0,00232	0,000971894	<	0,008
4	3	0,00102	0,00816	0,00272	0,001139462	<	0,008
3	3	0,00118	0,00944	0,003146667	0,001318202	<	0,008
2	3	0,00142	0,01136	0,003786667	0,00158631	<	0,008
1	5,6	0,00427	0,03416	0,0061	0,002555412	<	0,008

4.6.2.2 İkinci mertebe etkilerin kontrolü

Model 2, Model 4 ve Model 6 için ikinci mertebe etkilerin kontrolü Çizelge 4.28-4.30'de verilmiştir. Gerekli şartlar sağlanmaktadır.

Çizelge 4.28 : $h_z=3\text{m}$ Model 2 için ikinci mertebe etkilerin kontrolü.

Kat No	h_i	$\Delta_{i,\text{ort}}$	W_k	V_i	$\theta_{II,\max}$	$\theta_{II,\max,\text{sınır}}$
8	3	0,00031	6573	357,835688	0,001898106	< 0,09
7	3	0,00057	16862,3	701,949238	0,0045642	< 0,09
6	3	0,000835	27151,6	998,269240	0,007570298	< 0,09
5	3	0,000855	37740,5	1254,03219	0,008577166	< 0,09
4	3	0,001005	48329,4	1460,60996	0,011084649	< 0,09
3	3	0,00113	58918,3	1618,00255	0,013716023	< 0,09
2	3	0,001185	69812	1729,32469	0,015945959	< 0,09
1	3,6	0,001445	80930,7	1791,3	0,018134698	< 0,09

Çizelge 4.29 : $h_z=4m$ Model 4 için ikinci merteye etkilerin kontrolü.

Kat No	h_i	$\Delta_{i,ort}$	W_k	V_i	$\theta_{II,max}$	$\theta_{II,max,sınır}$
8	3	0,0003	6573	350,429466	0,001875698	< 0,09
7	3	0,00057	16862,3	685,826712	0,004671496	< 0,09
6	3	0,000815	27151,6	976,702200	0,007552133	< 0,09
5	3	0,000845	37740,5	1230,22916	0,008640862	< 0,09
4	3	0,001	48329,4	1437,93800	0,011203404	< 0,09
3	3	0,00112	58918,3	1599,82871	0,013749075	< 0,09
2	3	0,001275	69812	1719,24243	0,017257659	< 0,09
1	4,6	0,002535	81305,7	1795,5	0,024954893	< 0,09

Çizelge 4.30 : $h_z=5m$ Model 6 için ikinci merteye etkilerin kontrolü.

Kat No	h_i	$\Delta_{i,ort}$	W_k	V_i	$\theta_{II,max}$	$\theta_{II,max,sınır}$
8	3	0,0003	6573	343,991261	0,001910804	< 0,09
7	3	0,00056	16862,3	671,745627	0,004685746	< 0,09
6	3	0,000805	27151,6	957,836303	0,007606393	< 0,09
5	3	0,000835	37740,5	1209,38042	0,008685802	< 0,09
4	3	0,000985	48329,4	1418,04770	0,01119014	< 0,09
3	3	0,001125	58918,3	1583,83814	0,013949887	< 0,09
2	3	0,00136	69812	1710,28979	0,018504529	< 0,09
1	5,6	0,004035	81680,7	1800	0,03269659	< 0,09

4.6.2.3 B1 - Zayıf kat düzensizliği

Model 1, Model 3 ve Model 5 için yapılan düzensizlik kontrollerinde 3 binada da zemin kat dolgu duvar oranı değişikliği nedeniyle B1 türü zayıf kat düzensizliğinin var olduğu görülmüştür. Tüm modellerde dolgu duvar yerleşimi aynı olduğundan Model 2, 4 ve 6'nın sonuçları da aynı olup tüm modellerde zayıf kat düzensizliği mevcuttur.

4.6.2.4 B2 - Yumuşak kat düzensizliği

Model 2, Model 4 ve Model 6 için yumuşak kat düzensizlik kontrol hesapları Çizelge 4.31-4.33'de verilmiştir. 3 binada da B2 türünde düzensizlik bulunmamaktadır.

Çizelge 4.31 : $h_z=3m$ Model 2 için yumuşak kat düzensizliği kontrolü.

Kat No	h_i	$\Delta_{i,max}$	$\Delta_{i,min}$	$\Delta_{i,ort} / h_i$	$\eta_{ki,alt}$	$\eta_{ki,üst}$	$\eta_{ki,max}$	$\eta_{ki,sınır}$
8	3	0,00032	0,0003	0,00010	0,5439	-	0,544	< 2
7	3	0,00059	0,00055	0,00019	0,6826	1,8387	1,839	< 2
6	3	0,00087	0,0008	0,00028	0,9766	1,4649	1,465	< 2
5	3	0,00089	0,00082	0,00029	0,8507	1,0240	1,024	< 2
4	3	0,00105	0,00096	0,00034	0,8894	1,1754	1,175	< 2
3	3	0,00118	0,00108	0,00038	0,9536	1,1244	1,124	< 2
2	3	0,00124	0,00113	0,00040	0,9841	1,0487	1,049	< 2
1	3,6	0,00209	0,00189	0,00040	-	1,0162	1,016	< 2

Çizelge 4.32 : $h_z=4\text{m}$ Model 4 için yumuşak kat düzensizliği kontrolü.

Kat No	h_i	$\Delta_{i,\max}$	$\Delta_{i,\min}$	$\Delta_{i,\text{ort}}/h_i$	$\eta_{ki,\text{alt}}$	$\eta_{ki,\text{üst}}$	$\eta_{ki,\max}$	$\eta_{ki,\text{sınır}}$
8	3	0,00031	0,00029	0,00010	0,5263	-	0,526	< 2
7	3	0,00059	0,00055	0,00019	0,6994	1,9000	1,900	< 2
6	3	0,00085	0,00078	0,00027	0,9645	1,4298	1,430	< 2
5	3	0,00088	0,00081	0,00028	0,8450	1,0368	1,037	< 2
4	3	0,00104	0,00096	0,00033	0,8929	1,1834	1,183	< 2
3	3	0,00117	0,00107	0,00037	0,8784	1,1200	1,120	< 2
2	3	0,00133	0,00122	0,00043	0,7712	1,1384	1,138	< 2
1	4,6	0,00268	0,00239	0,00055	-	1,2967	1,297	< 2

Çizelge 4.33 : $h_z=5\text{m}$ Model 6 için yumuşak kat düzensizliği kontrolü.

Kat No	h_i	$\Delta_{i,\max}$	$\Delta_{i,\min}$	$\Delta_{i,\text{ort}}/h_i$	$\eta_{ki,\text{alt}}$	$\eta_{ki,\text{üst}}$	$\eta_{ki,\max}$	$\eta_{ki,\text{sınır}}$
8	3	0,00031	0,00029	0,00010	0,5357	-	0,536	< 2
7	3	0,00058	0,00054	0,00019	0,6957	1,8667	1,867	< 2
6	3	0,00084	0,00077	0,00027	0,9641	1,4375	1,438	< 2
5	3	0,00087	0,0008	0,00028	0,8477	1,0373	1,037	< 2
4	3	0,00102	0,00095	0,00033	0,8756	1,1796	1,180	< 2
3	3	0,00118	0,00107	0,00038	0,8272	1,1421	1,142	< 2
2	3	0,00142	0,0013	0,00045	0,6292	1,2089	1,209	< 2
1	5,6	0,00427	0,0038	0,00072	-	1,5894	1,589	< 2

4.6.2.5 A1 – Burulma düzensizliği

Model 2, Model 4 ve Model 6 için burulma düzensizlik kontrol hesapları Çizelge 4.34-4.36’da verilmiştir. 3 binada da A1 türünde düzensizlik bulunmamaktadır.

Çizelge 4.34 : $h_z=3\text{m}$ Model 2 için burulma düzensizliği kontrolü.

Kat No	h _i	$\Delta_i = u_i - u_{i-1}$		$\Delta_{i,max}$	$\Delta_{i,min}$	$\Delta_{i,max}/\Delta_{i,ort}$		$\eta_{bi,sınır}$
		u _{i,max}	u _{i,min}			η_{bi}		
8	3	0,0077	0,00701	0,00032	0,0003	1,032258065	<	1,2
7	3	0,0073	0,00671	0,00059	0,00055	1,035087719	<	1,2
6	3	0,0068	0,00616	0,00087	0,0008	1,041916168	<	1,2
5	3	0,0059	0,00536	0,00089	0,00082	1,040935673	<	1,2
4	3	0,0050	0,00454	0,00105	0,00096	1,044776119	<	1,2
3	3	0,0039	0,00358	0,00118	0,00108	1,044247788	<	1,2
2	3	0,0028	0,0025	0,00124	0,00113	1,046413502	<	1,2
1	3,6	0,0015	0,00137	0,00152	0,00137	1,051903114	<	1,2

Çizelge 4.35 : $h_z=4\text{m}$ Model 4 için burulma düzensizliği kontrolü.

Kat No	h_i	$\Delta_i=U_i-U_{i-1}$		$\Delta_{i,\max}$	$\Delta_{i,\min}$	$\Delta_{i,\max}/\Delta_{i,\text{ort}}$	η_{bi}	$\eta_{bi,\text{sınır}}$
		$U_{i,\max}$	$U_{i,\min}$					
8	3	0,0089	0,00807	0,00031	0,00029	1,033333333	<	1,2
7	3	0,0085	0,00778	0,00059	0,00055	1,035087719	<	1,2
6	3	0,0080	0,00723	0,00085	0,00078	1,042944785	<	1,2
5	3	0,0071	0,00645	0,00088	0,00081	1,041420118	<	1,2
4	3	0,0062	0,00564	0,00104	0,00096	1,04	<	1,2
3	3	0,0052	0,00468	0,00117	0,00107	1,044642857	<	1,2
2	3	0,0040	0,00361	0,00133	0,00122	1,043137255	<	1,2
1	4,6	0,0027	0,00239	0,00268	0,00239	1,057199211	<	1,2

Çizelge 4.36 : $h_z=5\text{m}$ Model 6 için burulma düzensizliği kontrolü.

Kat No	h_i	$\Delta_i=U_i-U_{i-1}$		$\Delta_{i,\max}$	$\Delta_{i,\min}$	$\Delta_{i,\max}/\Delta_{i,\text{ort}}$	η_{bi}	$\eta_{bi,\text{sınır}}$
		$U_{i,\max}$	$U_{i,\min}$					
8	3	0,0105	0,00952	0,00031	0,00029	1,033333333	<	1,2
7	3	0,0102	0,00923	0,00058	0,00054	1,035714286	<	1,2
6	3	0,0096	0,00869	0,00084	0,00077	1,043478261	<	1,2
5	3	0,0088	0,00792	0,00087	0,0008	1,041916168	<	1,2
4	3	0,0079	0,00712	0,00102	0,00095	1,035532995	<	1,2
3	3	0,0069	0,00617	0,00118	0,00107	1,048888889	<	1,2
2	3	0,0057	0,0051	0,00142	0,0013	1,044117647	<	1,2
1	5,6	0,0043	0,0038	0,00427	0,0038	1,058240397	<	1,2



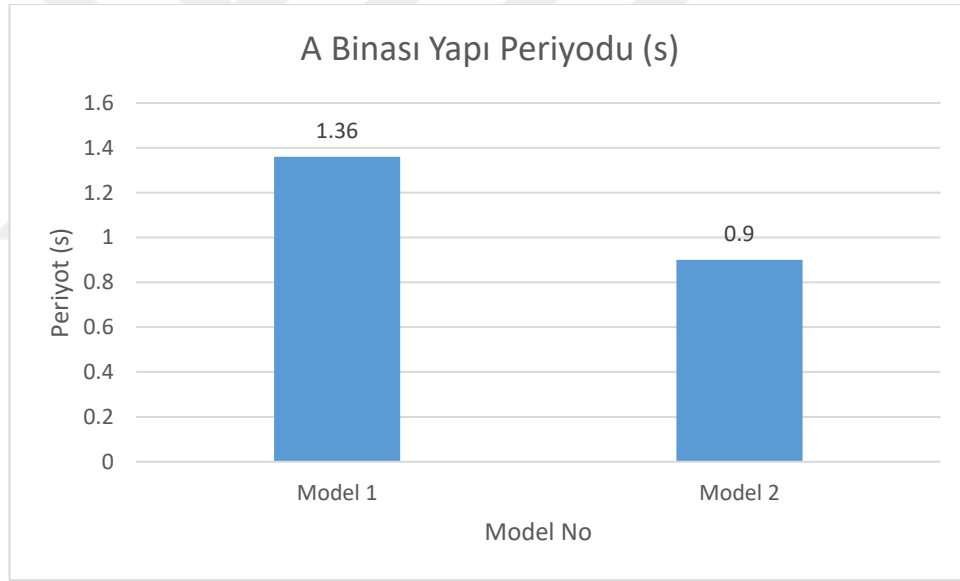
5. DOLGU DUVAR MODELLEMESİNİN YAPI ÜZERİNDE ETKİLERİ

5.1 A Binası

5.1.1 Periyotlar

Model 1 ve Model 2'ye ait elde edilen yapı periyot değerleri Şekil 5.1'de gösterilmektedir.

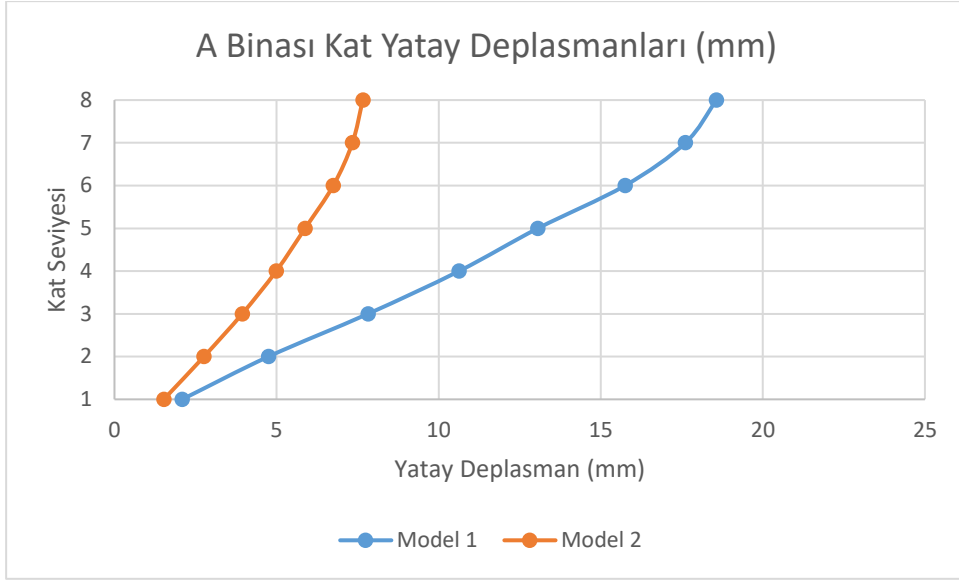
Zemin kat yüksekliği $h_z=3$ m olan A binasında, dolgu duvarsız modellemede yapı periyodu 1,36 s iken, dolgu duvar modellemesi yapılmasının ardından 0,9 s olarak elde edilmiştir. Yapılan modelleme ile yapı periyodu %33,82 azalmıştır.



Şekil 5.1 : A binası yapı periyodu (s).

5.1.2 Kat yatay deplasmanları

A binasında dolgu duvar modellemesinin yapıldığı ve yapılmadığı durumlara ait kat kümülatif yatay deplasman değerleri Şekil 5.2'de gösterilmektedir.

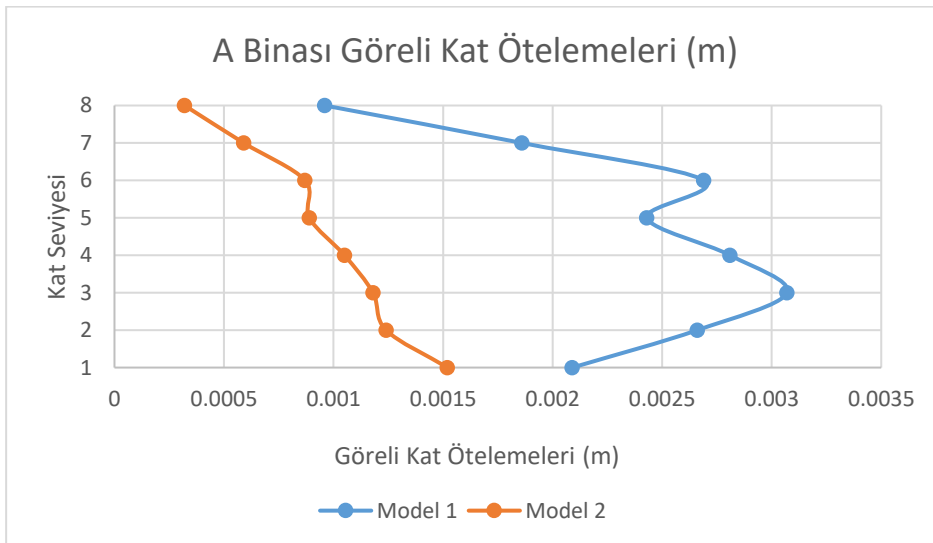


Şekil 5.2 : A binası kat yatay deplasmanları (mm).

Katların yapmış olduğu yatay deplasmanlar karşılaştırıldığında en üst katın yapmış olduğu deplasman Model 1’de 18,6 mm, Model 2’de 7,7 mm’dir. Zemin kat deplasman değerlerine bakılırsa, Model 1’de 2,1 mm, Model 2’de 1,5 mm bulunmuştur. Dolgu duvar modellemesinin yapılmasıyla maksimum kat yatay deplasman değerleri azalmıştır. Zemin kat yüksekliği $h_z=3$ m için bu oran en üst katta %58,60, zemin katta %28,57’dir.

5.1.3 Göreli kat ötelemeleri

Model 1’de zemin katın deplasman değeri, yapının toplam deplasman değerinin %11,29’unu, Model 2’de ise %19,48’ini oluşturmaktadır (Şekil 5.3).

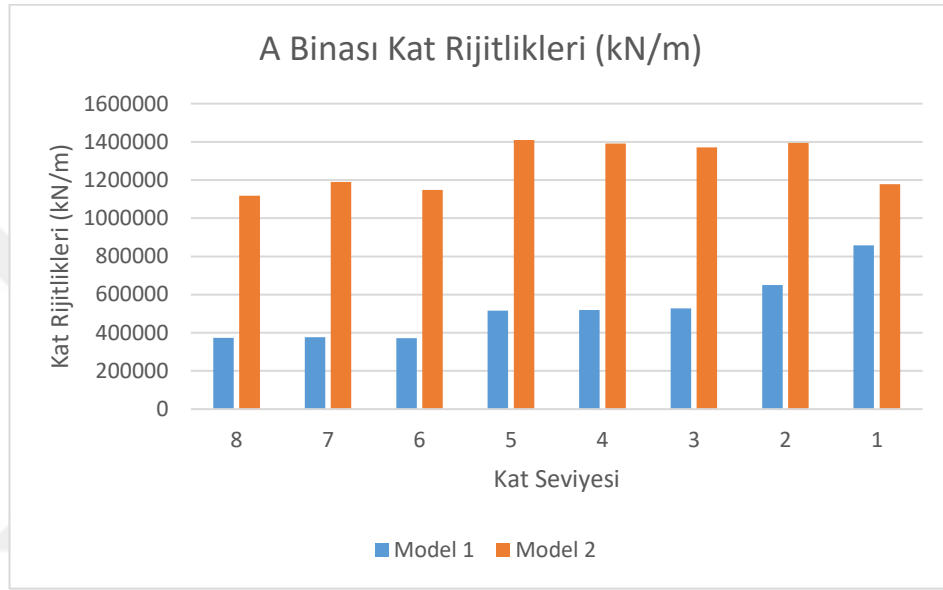


Şekil 5.3 : A binası göreli kat ötelemeleri (m).

5.1.4 Kat rijitlikleri

A binası için Model 1’de zemin kat rijitliği 857081 kN/m iken dolgu duvar modellemesi ile Model 2’de bu değer 1178487 kN/m elde edilmiştir.

Dolgu duvar modellemesinin yapılmasıyla dolgu duvar miktarının diğer katlara oranla daha az olduğu zemin katında kat rijitliğinde %37,50’lik artış söz konusudur. Duvar yoğunluğunun fazla olduğu diğer katlarda ise artış oranı gözle görülür biçimde fark yaratmaktadır (Şekil 5.4).

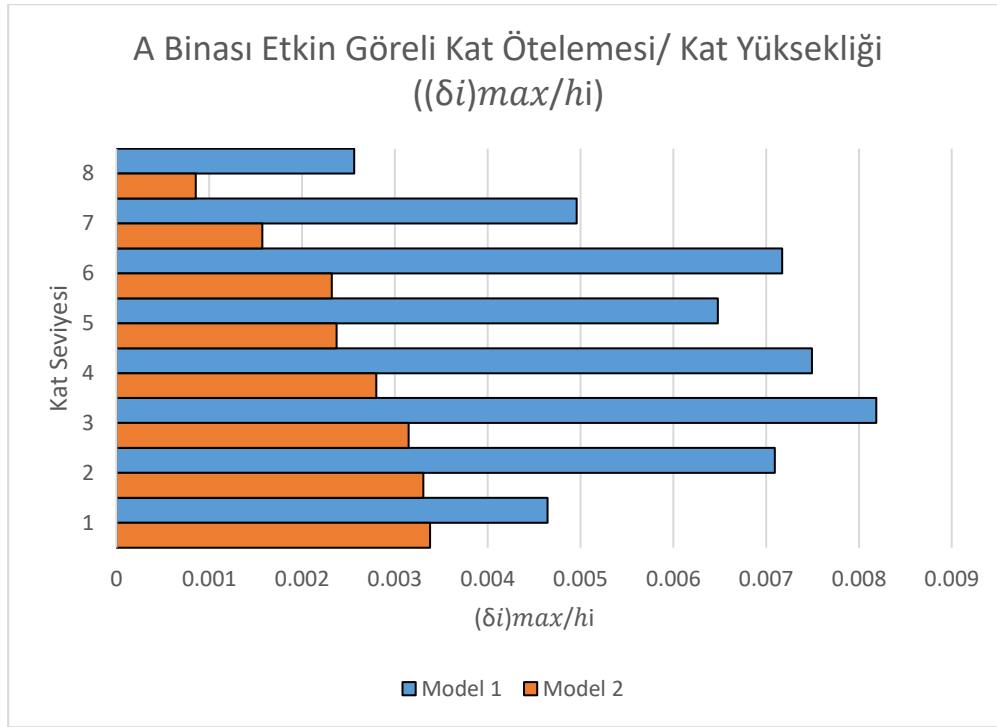


Şekil 5.4 : A binası kat rijitlikleri.

5.1.5 Etkin görelî kat ötelemesi/kat yüksekliği

A binasında dolgu duvar modellemesinin yapıldığı ve yapılmadığı durumlara ait etkin görelî kat ötelemesinin kat yüksekliğine oranı Şekil 5.5’de karşılaştırılmıştır.

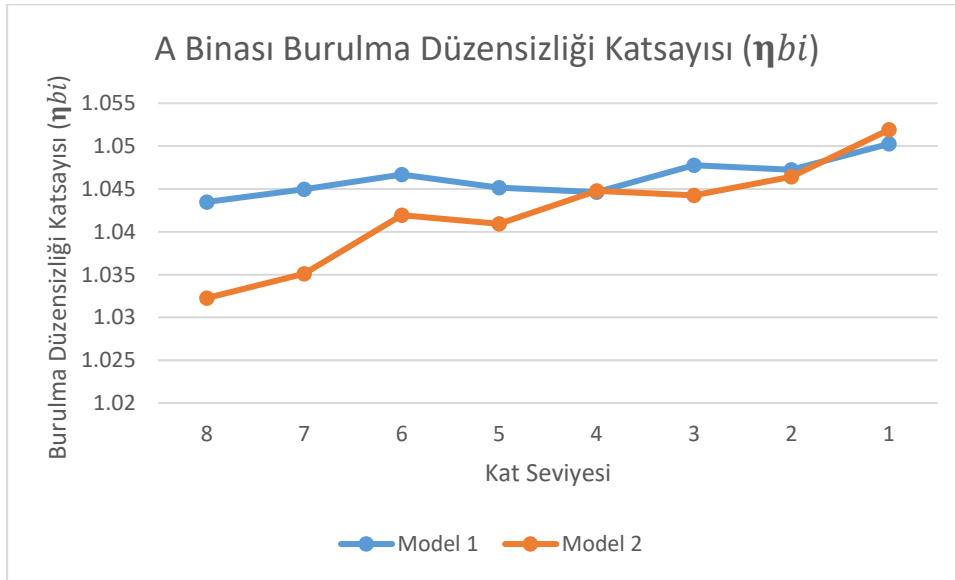
Zemin kat için salınım değerleri karşılaştırılacak olursa dolgu duvar modellemesinin yapılmasıyla, A binasında %27,27 azalma görülmüştür. Model 1’de maksimum salınım değeri kat 3’te elde edilirken, Model 2’de maksimum salınım değeri zemin katta elde edilmektedir. Model 1’de 3. kata kadar artış eğiliminde olan salınım oranı bu kattan sonra kolon kesit değışim yerlerine bağli olarak azalış eğilimindedir. Model 2’de ise zemin kattan üst katlara çıkıldıkça bu değerler azalmaktadır. Model 2’de zemin kat ve 2. kat arası salınım farkı %2,10’dur.



Şekil 5.5 : A binası görelî kat ötelemesi/kat yüksekliği.

5.1.6 Burulma düzensizlik katsayısı

A binası, dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız modellemelere ait değerlerin grafiksel olarak karşılaştırmaları Şekil 5.6’da verilmiştir.



Şekil 5.6 : A binası burulma düzensizliği katsayısı.

Grafikte de görüldüğü gibi burulma düzensizliği katsayıları arasındaki fark zemin katta minimum, en üst katta ise maksimumdur. Dolgu duvarın enerjiyi sönmüleyerek yanal hareketi azaltması ve katlar arası düzenli dağılım göstermesi nedeniyle etkisi en

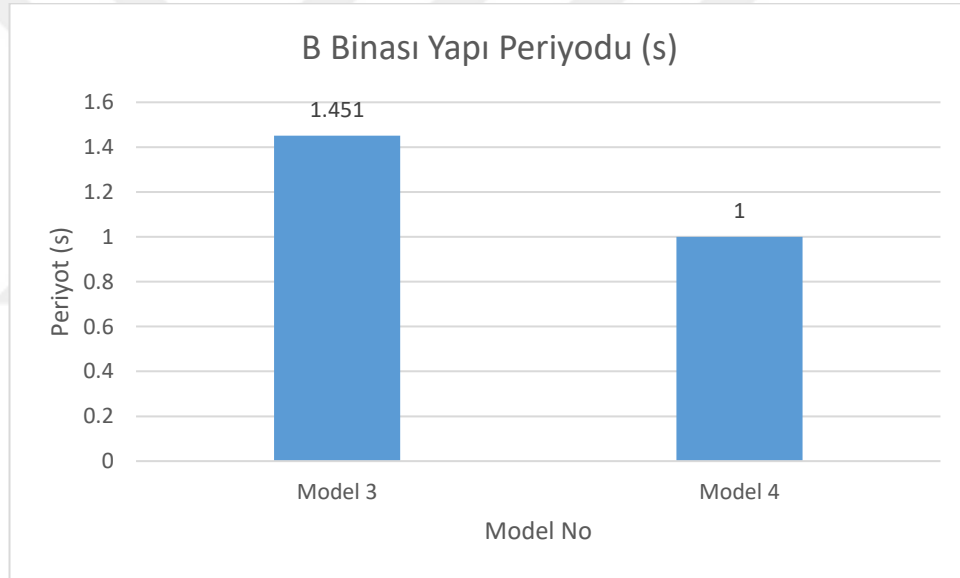
üst katta daha fazla görülmekte ve burulma düzensizliği kat sayısını önemli derecelerde azaltmaktadır. Tüm katlara ait burulma düzensizliği katsayıları 1,2 değerinin altında değerler almaktadır.

5.2 B Binası

5.2.1 Periyotlar

Model 3 ve Model 4'e ait elde edilen yapı periyot değerleri Şekil 5.7'de gösterilmektedir.

Zemin kat yüksekliği $h_z=4$ m olan B binasında, dolgu duvarsız modellemeye yapı periyodu 1,451 s iken, dolgu duvar modellemesi yapılmasının ardından 1 s olarak elde edilmiştir. Yapılan modelleme ile yapı periyodu %31,08 azalmıştır.



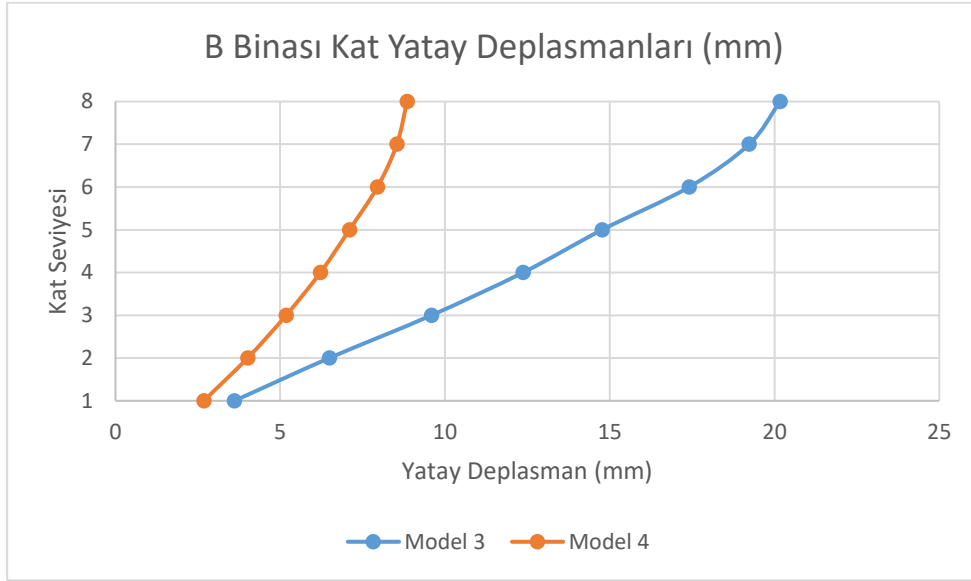
Şekil 5.7 : B binası yapı periyodu (s).

5.2.2 Kat yatay deplasmanları

B binasında dolgu duvar modellemesinin yapıldığı ve yapılmadığı durumlara ait kat kümülatif yatay deplasman değerleri Şekil 5.8'de gösterilmektedir.

Katların yapmış olduğu yatay deplasmanlar karşılaştırıldığında en üst katın yapmış olduğu deplasman Model 3'te 20,2 mm, Model 4'te 8,9 mm dir. Zemin kat deplasman değerlerine bakılırsa, Model 3'te 3,6 mm, Model 4'te 2,7 mm bulunmuştur. Dolgu duvar modellemesinin yapılmasıyla maksimum kat yatay deplasman değerleri

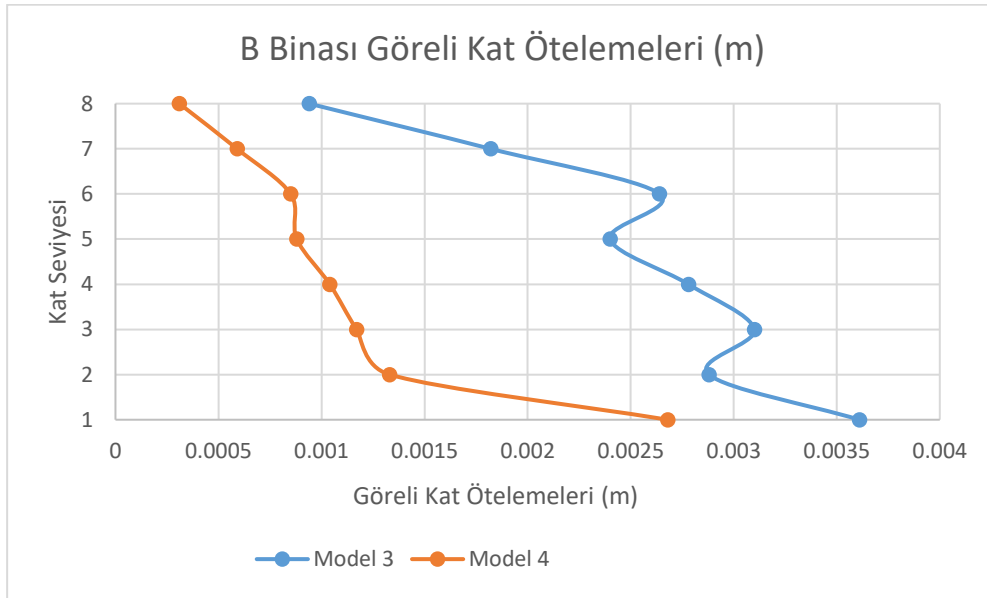
azalmıştır. Zemin kat yüksekliği $h_z=4$ m için bu oran en üst katta %55,94, zemin katta %25'dir.



Şekil 5.8 : B binası kat yatay deplasmanları (mm).

5.2.3 Göreli kat ötelemeleri

Model 3'te zemin katın deplasman değeri, yapının toplam deplasman değerinin %17,82'sini, Model 4'te ise %30,34'ünü oluşturmaktadır (Şekil 5.9).

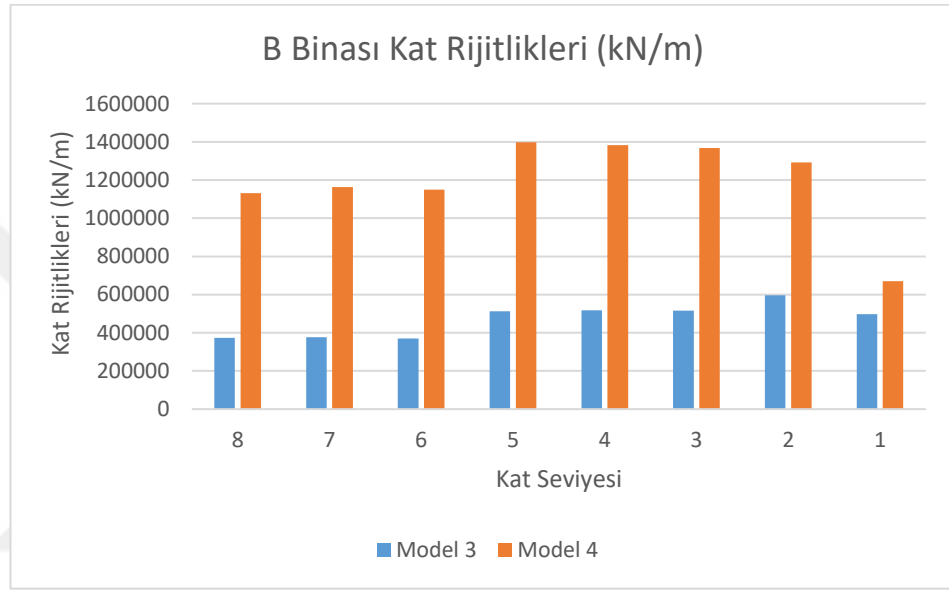


Şekil 5.9 : B binası göreli kat ötelemeleri (m).

5.2.4 Kat rijitlikleri

B binası için Model 3'te zemin kat rijitliği 497368 kN/m iken dolgu duvar modellemesi ile Model 4'te bu değer 669963 kN/m elde edilmiştir (Şekil 5.10).

Dolgu duvar modellemesinin yapılmasıyla dolgu duvar miktarının diğer katlara oranla daha az olduğu zemin katında kat rijitliğinde %34,7'lik artış söz konusudur. Duvar yoğunluğunun fazla olduğu diğer katlarda ise artış oranı gözle görülür biçimde fark yaratmaktadır.



Şekil 5.10 : B binası kat rijitlikleri.

5.2.5 Etkin görelî kat ötelemesi/ kat yüksekliği

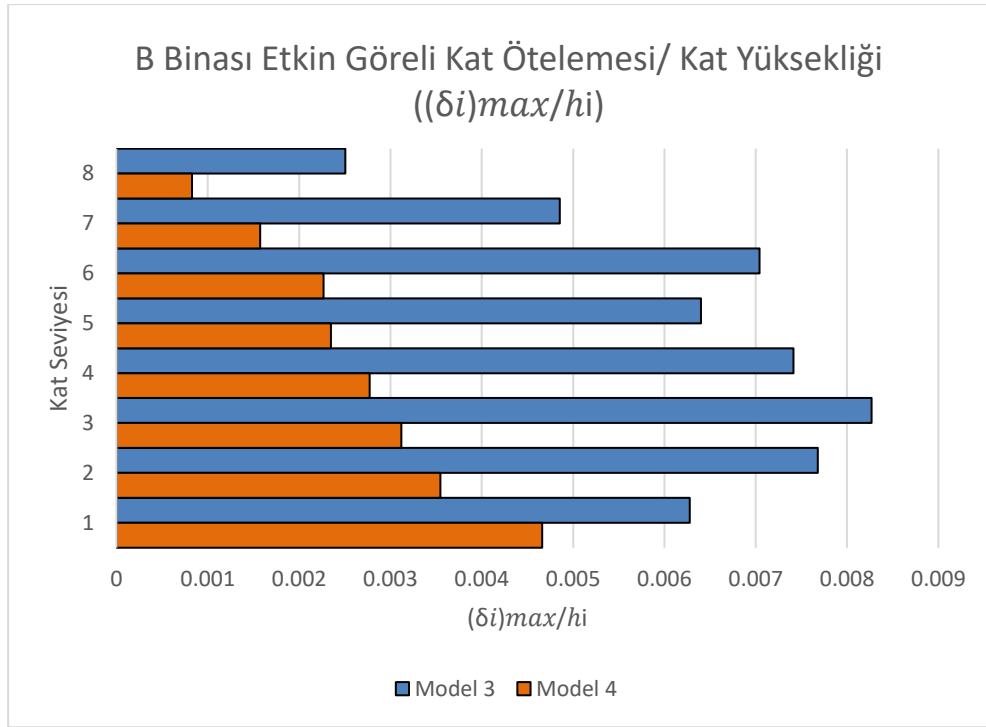
B binasında dolgu duvar modellemesinin yapıldığı ve yapılmadığı durumlara ait etkin görelî kat ötelemesinin kat yüksekliğine oranı Şekil 5.11'de karşılaştırılmıştır.

Zemin kat için salınım değerleri karşılaştırılacak olursa dolgu duvar modellemesinin yapılmasıyla, B binasında %25,76'lık azalma görülmüştür.

Model 3'te maksimum salınım değeri kat 3'te elde edilirken, Model 4'de maksimum salınım değeri zemin katta elde edilmektedir.

Model 3'te 3. kata kadar artış eğiliminde olan salınım oranı bu kattan sonra kolon kesit değişim yerlerine bağlı olarak azalış eğilimindedir. Model 4'te ise zemin kattan üst katlara çıkıldıkça bu değerler azalmaktadır.

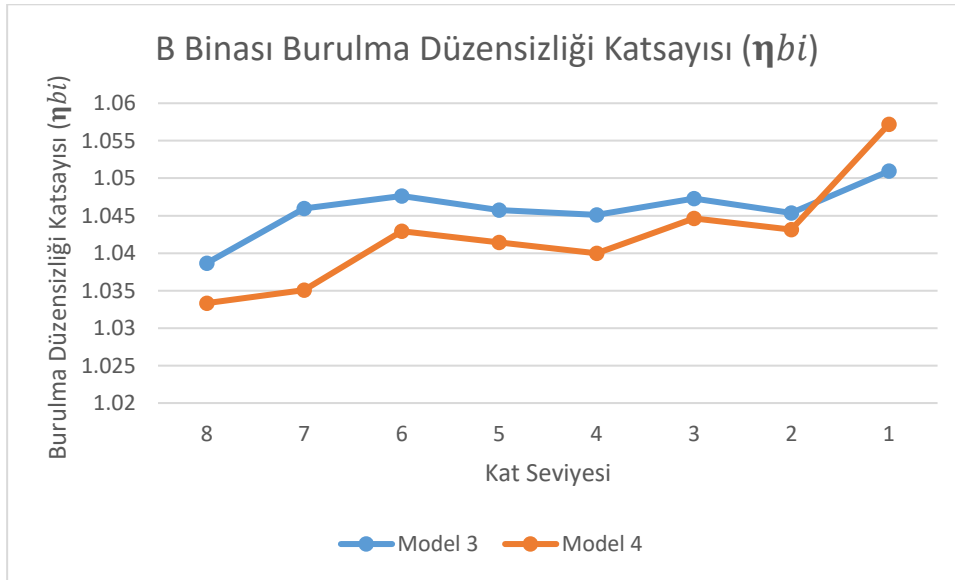
Model 4'te zemin kat ve 2. kat arası salınım farkı %23,90'dır.



Şekil 5.11 : B binası etkin görelî kat ötelemesi/kat yüksekliği.

5.2.6 Burulma düzensizlik katsayısı

B binası, dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız modellemelere ait değerlerin grafiksel olarak karşılaştırmaları Şekil 5.12’ de verilmiştir.



Şekil 5.12 : Burulma düzensizlik katsayısı.

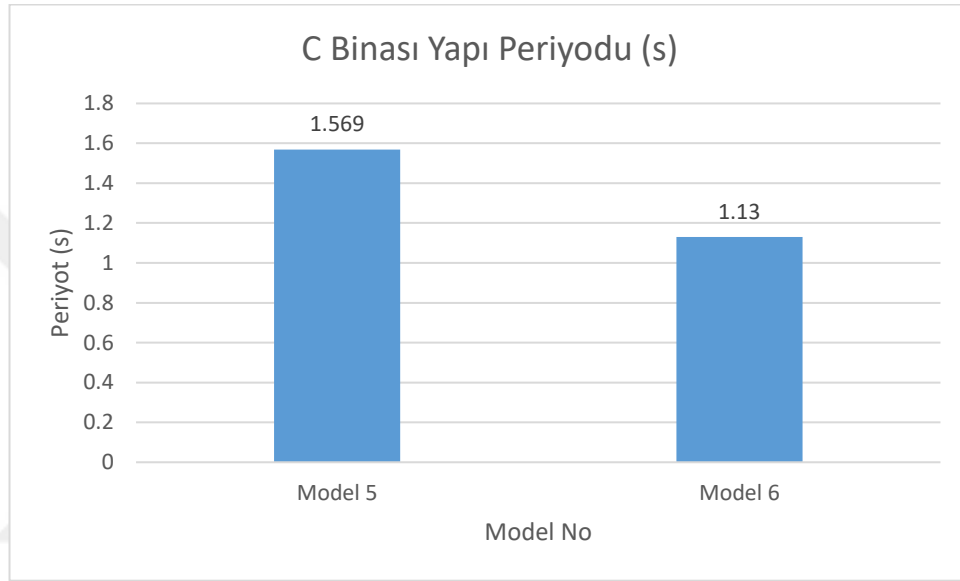
Grafikte de görüldüğü gibi burulma düzensizliği katsayıları arasındaki fark zemin katta açılmaya, en üst katta ise kapanmaya başlamıştır. Dolgu duvar modellemesi ile burulma düzensizliği katsayılarında 2. kattan itibaren ciddi bir azalma görülmektedir.

Tüm katlara ait burulma düzensizliği katsayıları 1,2 değerinin altında değerler almaktadır.

5.3 C Binası

5.3.1 Periyotlar

Model 5 ve Model 6'ya ait elde edilen yapı periyot değerleri Şekil 5.13'de gösterilmektedir.

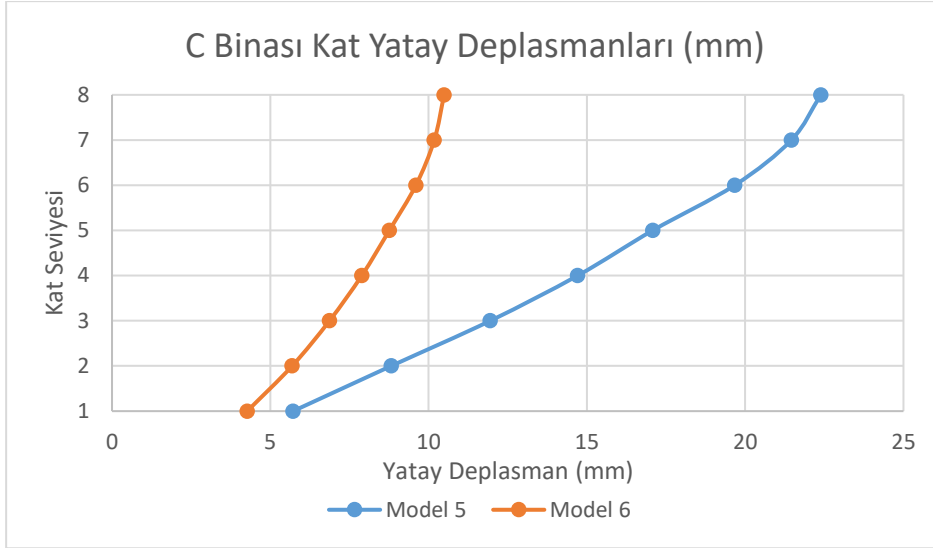


Şekil 5.13 : C binası yapı periyodu.

Zemin kat yüksekliği $h_z=5$ m olan C binasında, dolgu duvarsız modellemede yapı periyodu 1,569 s iken, dolgu duvar modellemesi yapılmasının ardından 1,13 s olarak elde edilmiştir. Yapılan modelleme ile yapı periyodu %27,98 azalmıştır.

5.3.2 Kat yatay deplasmanları

C binasında dolgu duvar modellemesinin yapıldığı ve yapılmadığı durumlara ait kat kümülatif yatay deplasman değerleri Şekil 5.14'de gösterilmektedir.

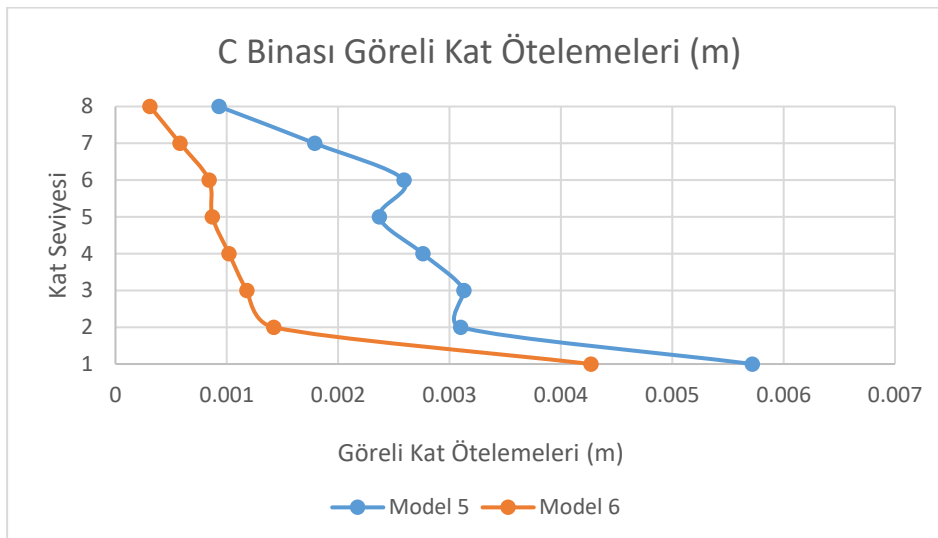


Şekil 5.14 : C binası kat yatay deplasmanları.

Katların yapmış olduğu yatay deplasmanlar karşılaştırıldığında en üst katın yapmış olduğu deplasman Model 5'te 22,4 mm, Model 6'da 10,5 mm'dir. Zemin kat deplasman değerlerine bakılırsa, Model 5'te 5,7 mm, Model 6'da 4,3 mm bulunmuştur. Dolgu duvar modellemesinin yapılmasıyla maksimum kat yatay deplasman değerlerinin azaldığı görülmektedir. Zemin kat yüksekliği $h_z=5$ m için bu oran en üst katta %53,12, zemin katta %24,56'dır.

5.3.3 Göreli kat ötelemeleri

Model 5'te zemin katın deplasman değeri, yapının toplam deplasman değerinin %25,45'sini, Model 6'da %40,95'ini oluşturmaktadır (Şekil 5.15).

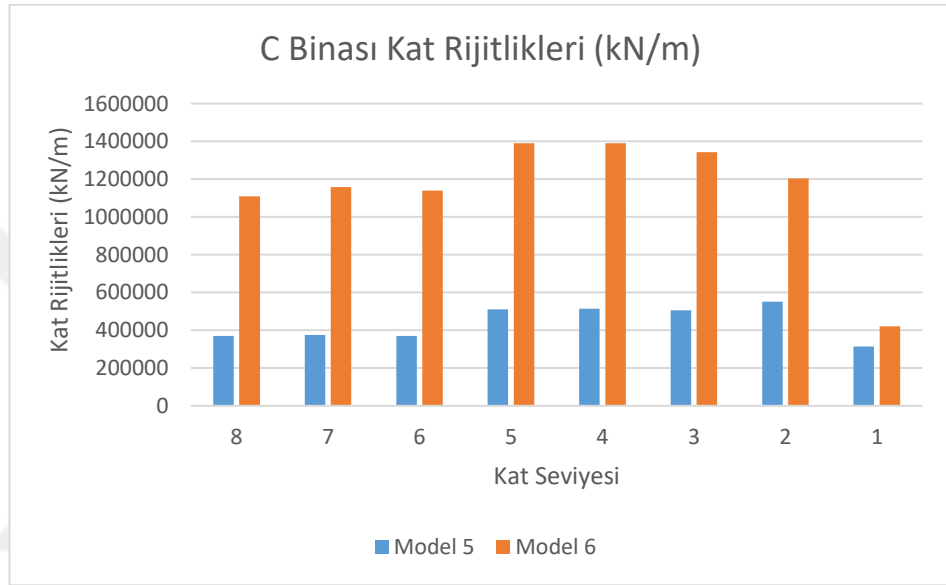


Şekil 5.15 : C binası göreli kat ötelemeleri (m).

5.3.4 Kat rijitlikleri

C binası için Model 5'te zemin kat rijitliği 314685 kN/m iken dolgu duvar modellemesi ile Model 6'da bu değer 421546 kN/m elde edilmiştir (Şekil 5.16).

Dolgu duvar modellemesinin yapılmasıyla dolgu duvar miktarının diğer katlara oranla daha az olduğu zemin katında kat rijitliğinde %33,95'lik artış söz konusudur. Duvar yoğunluğunun fazla olduğu diğer katlarda ise artış oranı gözle görülür biçimde fark yaratmaktadır.

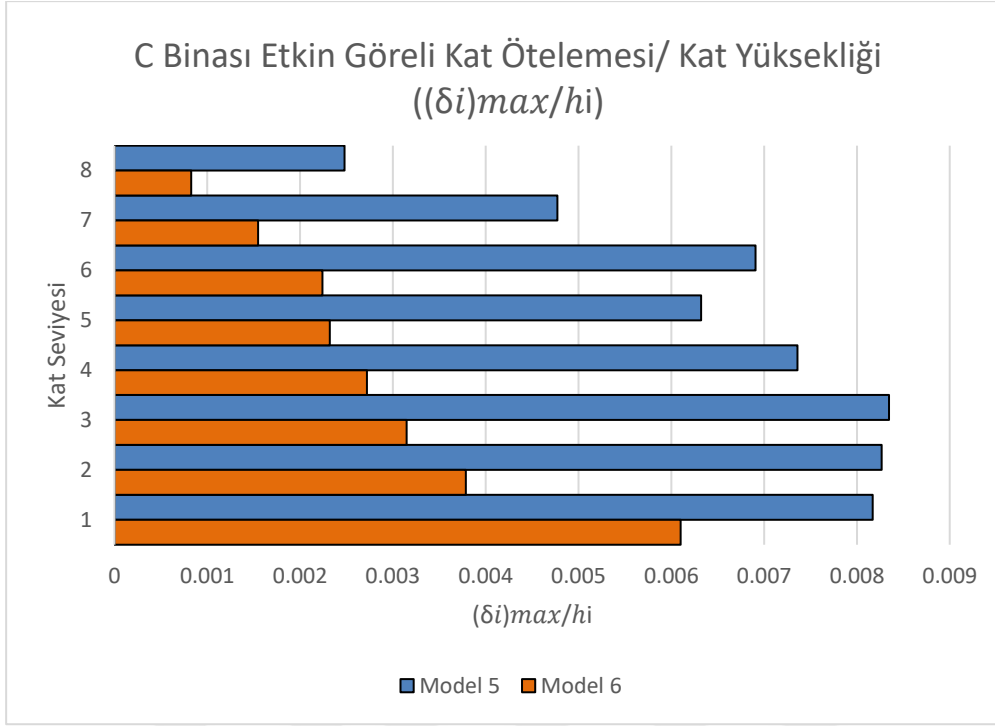


Şekil 5.16 : C binası kat rijitlikleri.

5.3.5 Etkin görelî kat ötelemesi/kat yüksekliği

C binasında dolgu duvar modellemesinin yapıldığı ve yapılmadığı durumlara ait etkin görelî kat ötelemesinin kat yüksekliğine oranı Şekil 5.17'de karşılaştırılmıştır.

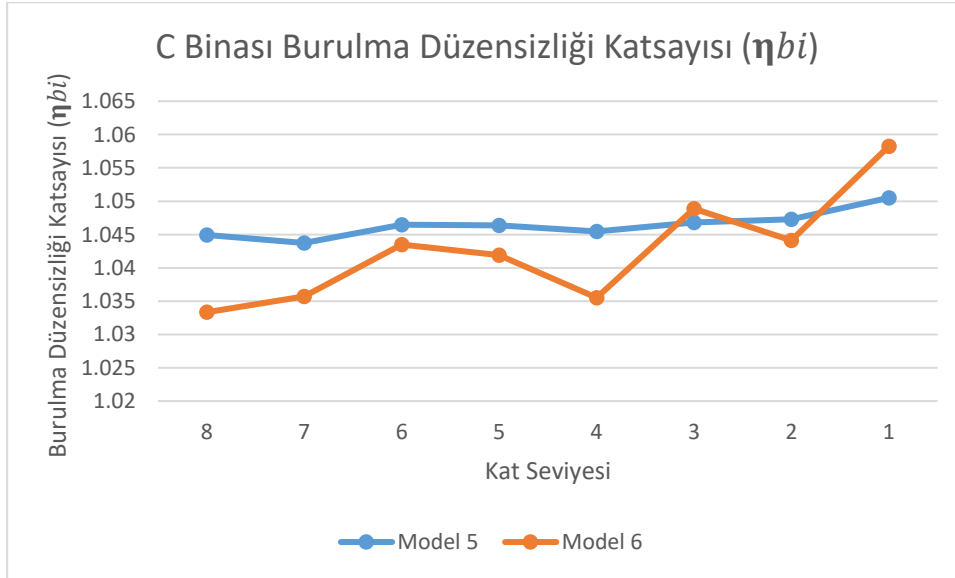
Zemin kat için salınım değerleri karşılaştırılacak olursa dolgu duvar modellemesinin yapılmasıyla, C binasında %25,35'lik azalma görülmüştür. Model 5'te maksimum salınım değeri kat 3'te elde edilirken, Model 6'da maksimum salınım değeri zemin katta elde edilmektedir. Model 5'te 3. kata kadar artış eğiliminde olan salınım oranı bu kattan sonra kolon kesit değişim yerlerine bağli olarak azalış eğilimindedir. Model 6'da ise zemin kattan üst katlara çıkıldıkça bu değerler azalmaktadır. Model 6'da zemin kat ve 2. kat arası salınım farkı %37,92'dir.



Şekil 5.17 : C binası etkin göreli kat ötelemesi/kat yüksekliği.

5.3.6 Burulma düzensizlik katsayısı

C binası, dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız modellemelere ait değerlerin grafiksel olarak karşılaştırmaları Şekil 5.18’de verilmiştir.



Şekil 5.18 : C binası burulma düzensizliği katsayısı.

Grafikte de görüldüğü gibi burulma düzensizliği katsayıları arasındaki fark zemin katta daha da fazlalaşmaktadır. Tüm katlara ait burulma düzensizliği katsayıları 1,2 değerinin altında değerler almaktadır.

6. ZEMİN KAT YÜKSEKLİK DEĞİŞİMİNİN YAPI ÜZERİNDE ETKİLERİ

6.1 Model 1 – Model 3 – Model 5 Sonuçlar ve Karşılaştırmalar

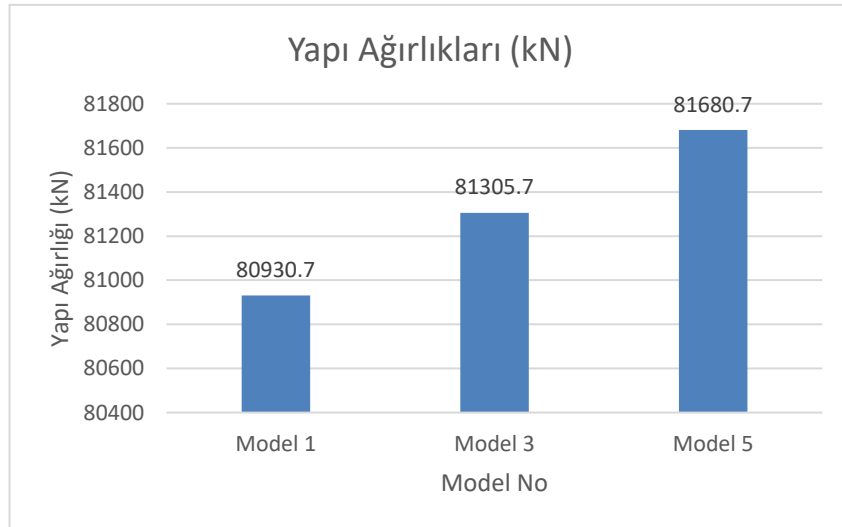
6.1.1 Kat ağırlıkları

SAP2000 programında yapılan modellemeler sonucunda kat ağırlıkları ve toplam bina ağırlıkları elde edilmiştir. Bu ağırlıklar Çizelge 6.1 ve Şekil 6.1’de verilmiştir.

Dolgu duvarsız modellerde duvarlar yük olarak etkitildiği için kat ve bina toplam ağırlıkları dolgu duvarlı modellerle aynıdır.

Çizelge 6.1 : Bina kat ağırlıkları.

Kat No	Kat Ağırlıkları		
	Model 1 ve 2	Model 3 ve 4	Model 5 ve 6
8	6573,0	6573,0	6573,0
7	10289,3	10289,3	10289,3
6	10289,3	10289,3	10289,3
5	10588,9	10588,9	10588,9
4	10588,9	10588,9	10588,9
3	10588,9	10588,9	10588,9
2	10893,7	10893,7	10893,7
1	11118,7	11493,7	11868,7
Toplam:	80930,7	81305,7	81680,7

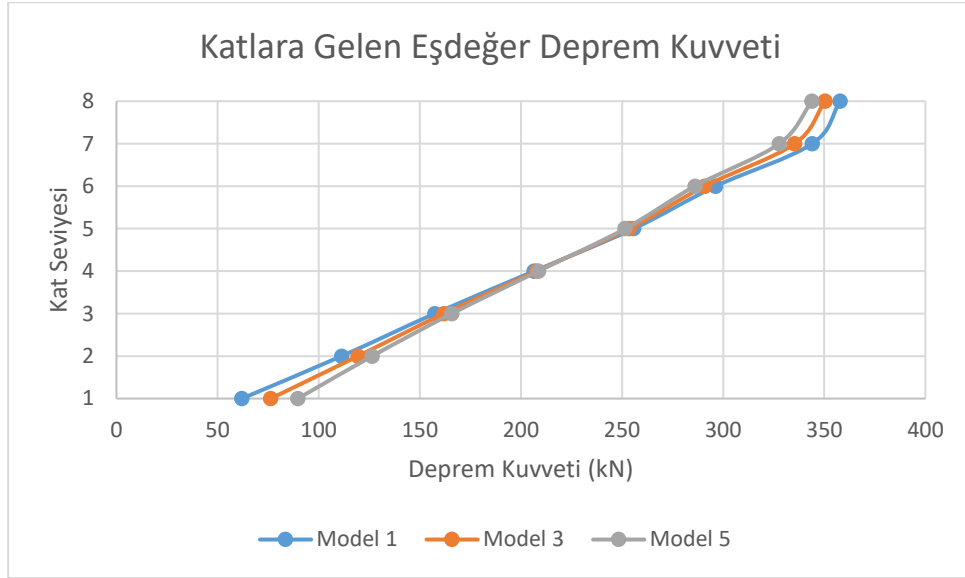


Şekil 6.1 : Yapı ağırlıkları.

Şekil 6.1’de zemin kat yüksekliği arttıkça bina toplam ağırlığının da arttığı görülmektedir.

6.1.2 Eşdeğer deprem yükleri ve eşdeğer kat kesme kuvvetleri

Katlara gelen eşdeğer deprem yükleri ve eşdeğer kat kesme kuvvetleri Şekil 6.2’de gösterilmiştir.



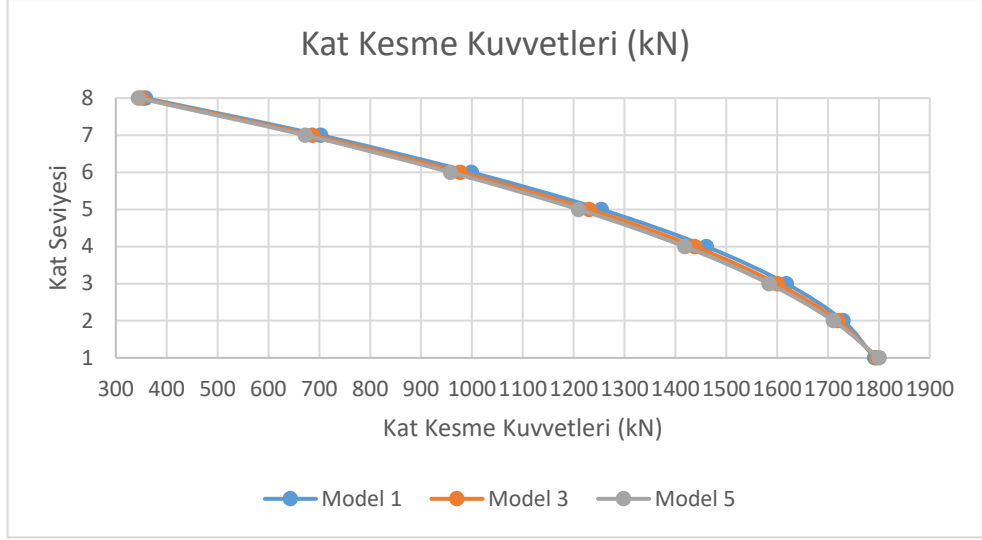
Şekil 6.2 : Katlara gelen eşdeğer deprem kuvveti.

Zemin kat yüksekliği ve yapı ağırlığı arttıkça, katlara gelen eşdeğer deprem kuvveti zemin katta artış gösterirken en üst katta buna bağlı düşüş göstermiştir.

Kat kesme kuvvetleri aşağıdaki Çizelge 6.2 ve Şekil 6.3’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.2 : Katlara gelen kesme kuvveti (kN).

Kat Yüksekliği	Model 1	Model 3	Model 5
8	357,8357	350,4295	343,9913
7	701,9492	685,8267	671,7456
6	998,2692	976,7022	957,8363
5	1254,032	1230,229	1209,38
4	1460,61	1437,938	1418,048
3	1618,003	1599,829	1583,838
2	1729,325	1719,242	1710,29
1	1791,3	1795,5	1800



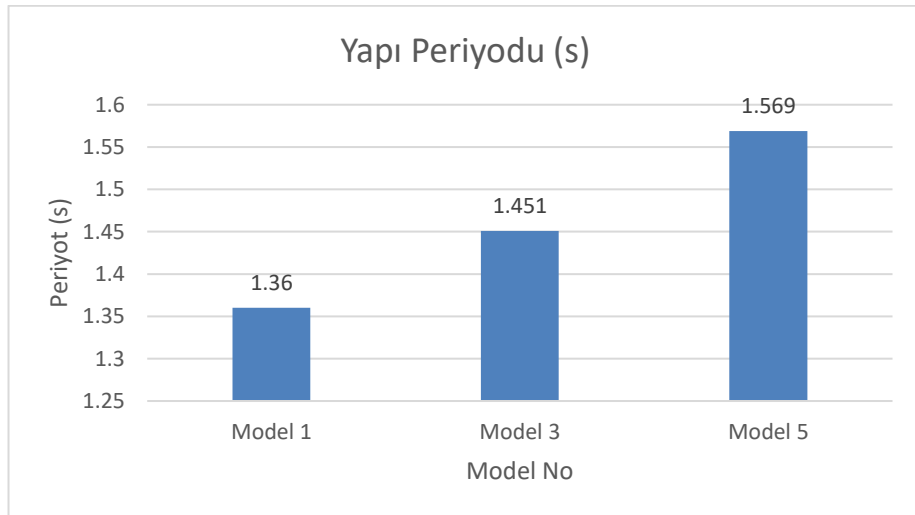
Şekil 6.3 : Katlara gelen kesme kuvveti (kN).

Zemin katta yükseklik arttıkça, bu katta meydana gelen kat kesme kuvveti artarken, normal katlarda düşüş eğilimi gözlemlenmiştir.

6.1.3 Periyotlar

Zemin kat yüksekliğinin $h_z=3$ m olduğu Model 1’de yapı periyodu 1,36 s, zemin kat yüksekliğinin $h_z=4$ m olduğu Model 3’de yapı periyodu 1,451 s, zemin kat yüksekliğinin $h_z=5$ m olduğu Model 5’de yapı periyodu 1,569 s olarak bulunmuştur. İncelenen yapının düzenli ve simetrik olmasından dolayı (X) ve (Y) doğrultularında periyot değerleri aynıdır.

Yapı yüksekliği arttıkça yapı periyodunun, sırasıyla zemin katın 1’er metre artmasıyla, %6,7 ve %8,13 oranında arttığı gözlemlenmiştir (Şekil 6.4).



Şekil 6.4 : Yapı periyotları.

6.1.4 Kat yatay deplasmanları

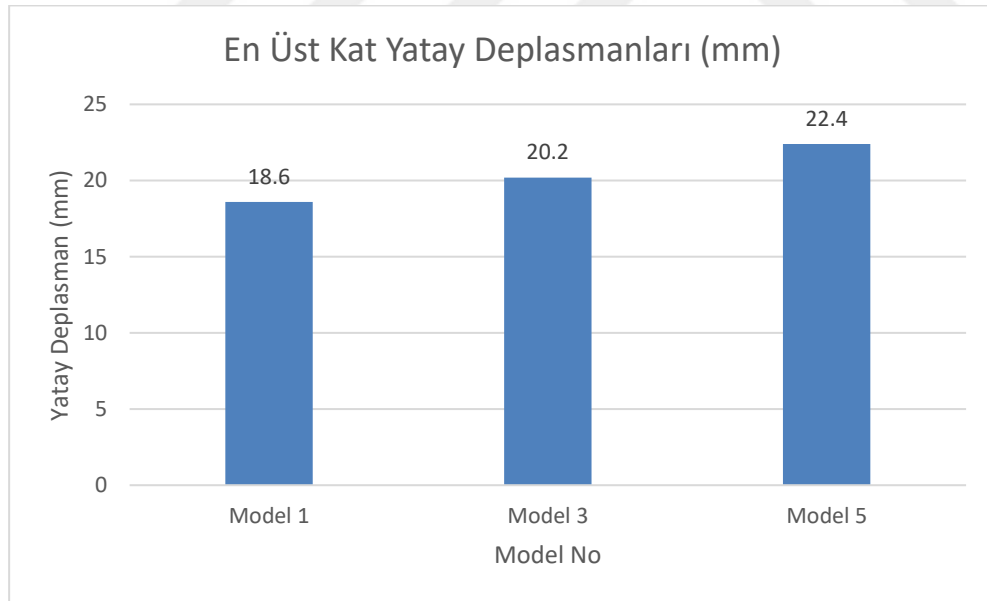
Belirtilen kat yer değiştirme değerleri, elverişsiz kombinasyonlar sonucu okunan yer değiştirme değerleridir.

Katların yapmış olduğu yatay deplasmanlar karşılaştırıldığında en üst katın yapmış olduğu deplasman Model 1’de 18,6 mm, Model 3’te 20,2 mm, Model 5’te 22,4 mm’dir. Zemin kat yüksekliğinin artmasına bağlı olarak yapı yüksekliğinin de artmış olması, en üst kat deplasmanları da arttırmaktadır.

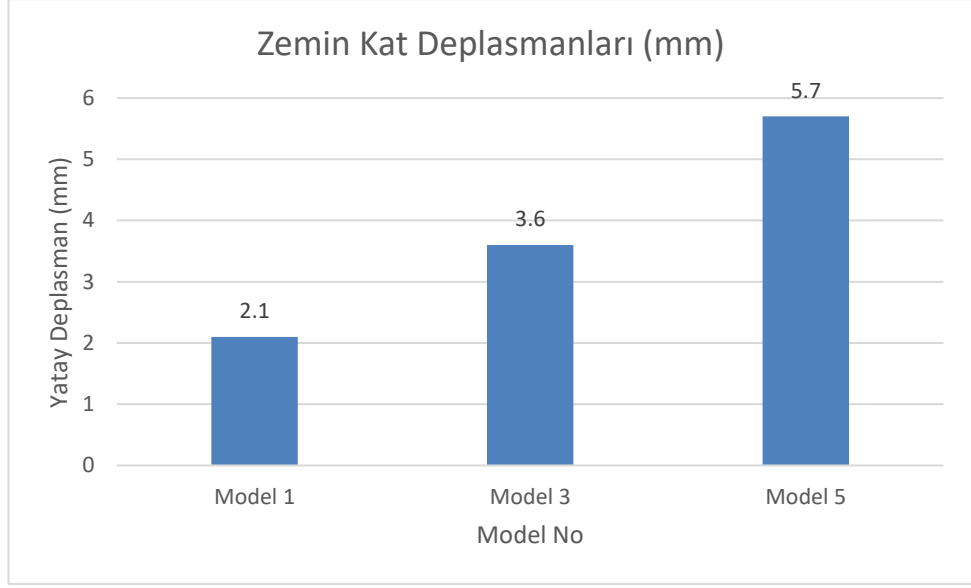
Maksimum yer değiştirme değerleri sırasıyla zemin kat yüksekliğinin 1’er metre artması durumunda karşılaştırılacak olunursa %8,6 ve %10,9 oranında artmıştır (Şekil 6.5).

Zemin kat deplasman değerlerine bakılırsa, $h_z=3$ m olan Model 1’de 2,1 mm, $h_z=4$ m olan Model 3’te 3,6 mm, $h_z=5$ m olan Model 5’te 5,7 mm bulunmuştur. Kat yüksekliğinin artması ilgili katta deplasman değerlerini de arttırmıştır.

Zemin kat yer değiştirme değerleri sırasıyla zemin kat yüksekliğinin 1’er metre artması durumunda karşılaştırılacak olunursa %71,43 ve %58,33 oranında artmıştır (Şekil 6.6).

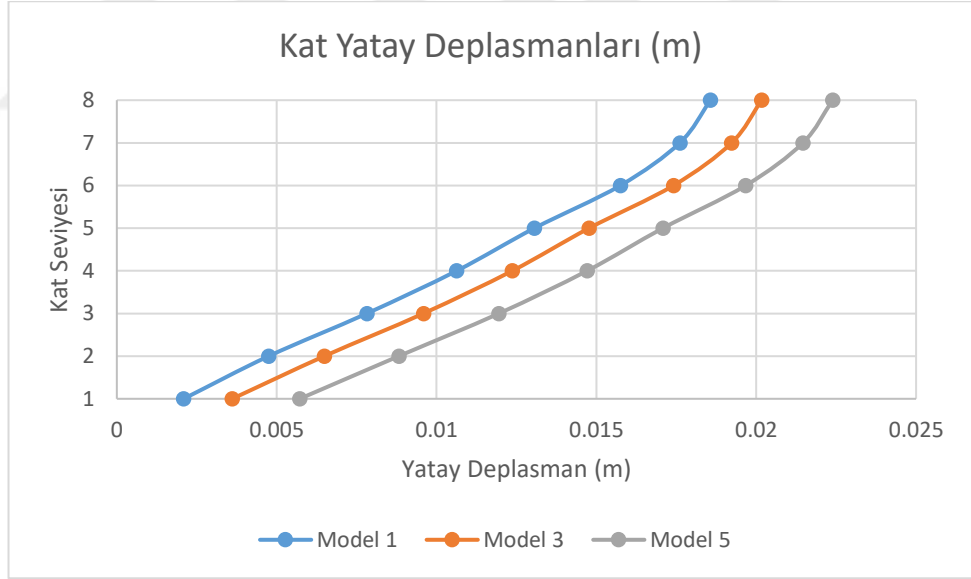


Şekil 6.5 : En üst kat deplasmanları (mm).



Şekil 6.6 : Zemin kat deplasmanları (mm).

Zemin kat yüksekliği değişen 3 yapının da kat kümülatif yatay deplasman değerleri aşağıdaki grafikte gösterilmektedir. Katların totalde yapmış olduğu deplasman Model 3 ve Model 5 için belirli oranlarda ötelenmiştir (Şekil 6.7).

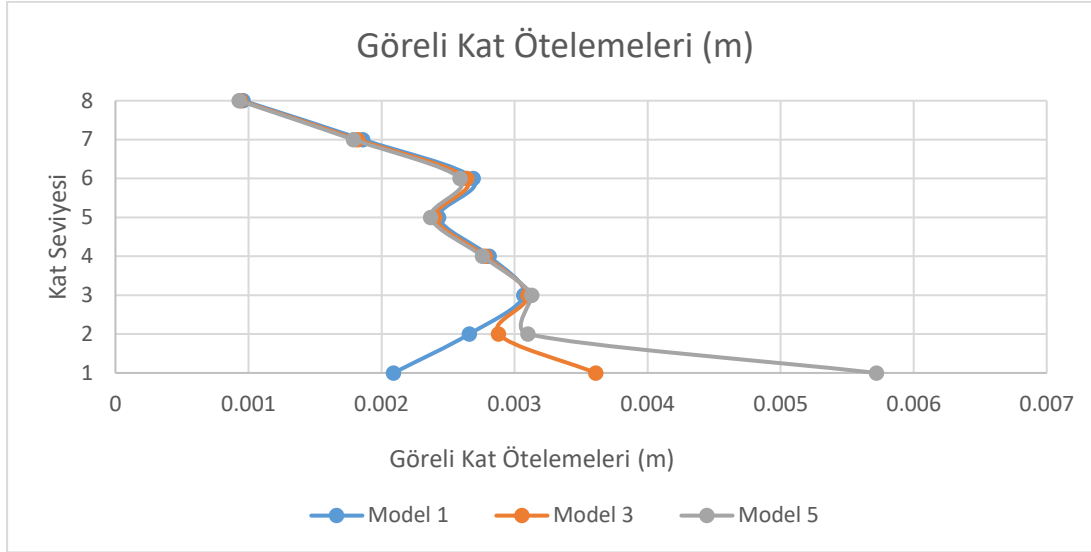


Şekil 6.7 : Kümülatif kat yatay deplasmanları (m).

6.1.5 Göreli kat ötelemeleri

Zemin kat yüksekliği değişen A, B ve C binalarının göreli kat ötelemeleri Şekil 6.8’de gösterilmektedir.

En büyük deplasman değeri en üst katta elde edilirken, en büyük görelî kat ötelemesi zemin katta elde edilmektedir. Kat yükseklik farkı ile bu değeri Model 1, Model 3 ve Model 5'teki farklılıkları açıkça görülmektedir (Şekil 6.8).



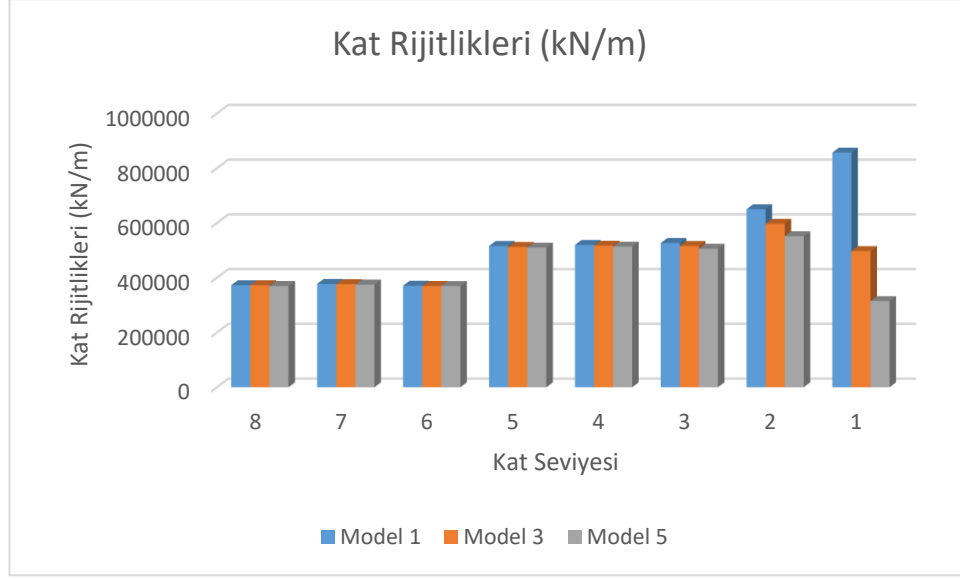
Şekil 6.8 : Görelî kat ötelemeleri (m).

Zemin kat yüksekliğinin arttırıldığı Model 3'te zemin katın deplasman değeri, yapının toplam deplasman değerinin %17,82'sini, Model 5'te ise %25,45'ini oluşturmaktadır. Deplasmanın bu kata yoğunlaşması sebebi ile üst katlarda görelî kat öteleme değeri daha küçük değeri almaktadır. Yumuşak kat oluşumuna doğru gidildiği takdirde o katın deplasmanı yapının tüm deplasman değerine yaklaşacağı varsayılmaktadır.

6.1.6 Kat rijitlikleri

Kat yer değıştirmeleri ve kat kesme kuvvetlerinin program ile elde edilmesi ve gerekli hesaplamaların yapılması sonucu kat rijitlikleri elde edilmiştir. Şekil 6.9'da kat yüksekliğinin kat rijitliği üzerindeki etkisi görülmektedir.

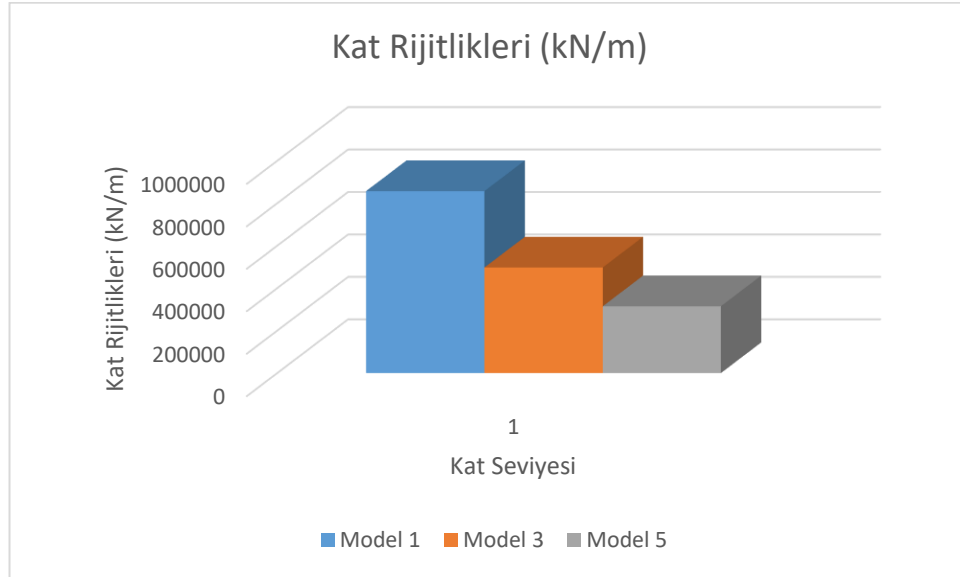
Zemin kat yüksekliğinin artması, kat rijitlik değerinin azalmasına ve kat ötelenmesinin artmasına neden olmaktadır. Kat rijitliğinin en çok değışim gösterdiği kat, yükseklik değışiminin olduğu zemin katta oluşmaktadır (Şekil 6.9).



Şekil 6.9 : Tüm katlar için kat rijitlikleri.

Kat yüksekliği arttıkça kat rijitlik değerleri sırasıyla zemin kat yüksekliğinin 1'er metre artması durumunda zemin katta %41,53 ve %36,68 azalmıştır (Şekil 6.10).

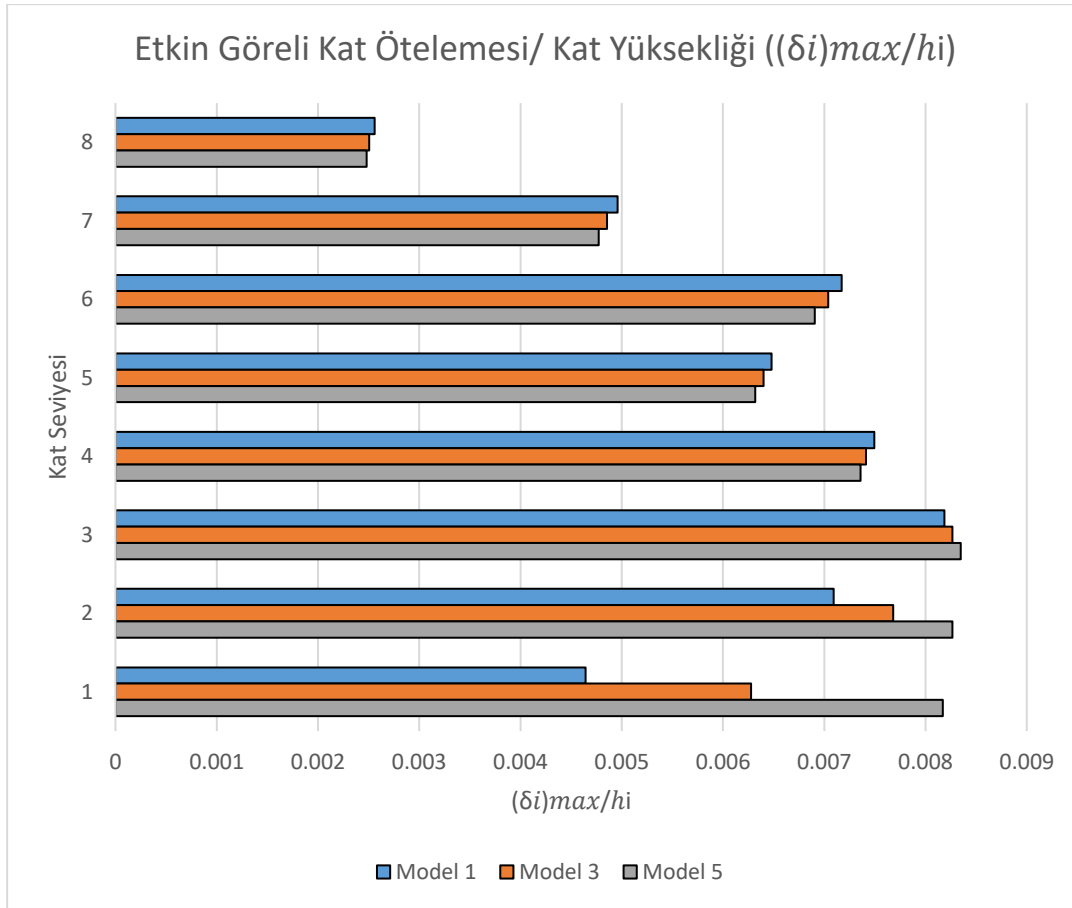
Katlar arası rijitlik farkı ilk 2 katta maksimum değerler alırken, diğer üst katlarda bu fark minimuma inmektedir.



Şekil 6.10 : Zemin kat rijitlikleri.

6.1.7 Etkin görelî kat ötelemesi/kat yüksekliği

A, B ve C binalarında zemin kat yüksekliğinin artması durumunda etkin görelî kat ötelemesinin kat yüksekliğine oranı Şekil 6.11'de karşılaştırılmıştır.



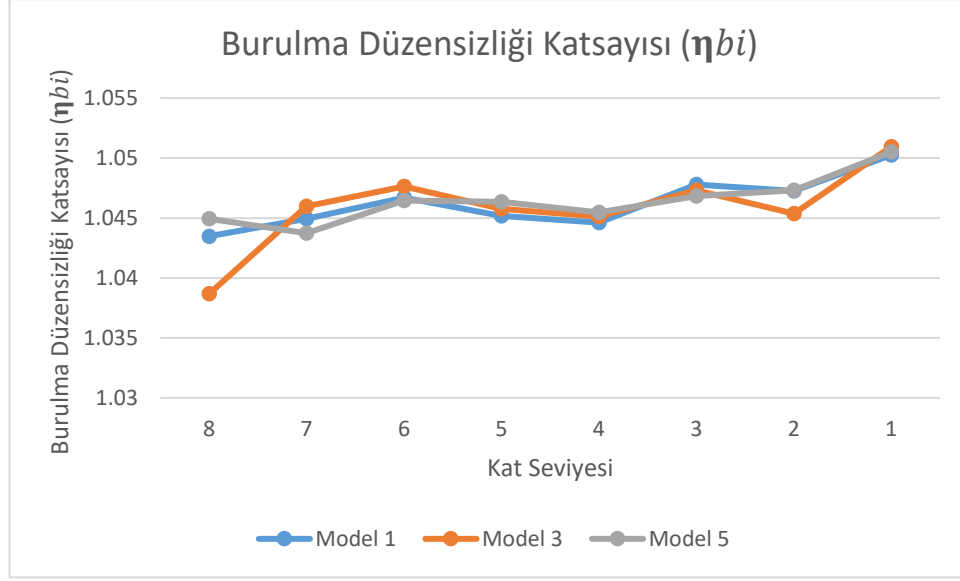
Şekil 6.11 : Etkin göreli kat ötelemesi/kat yüksekliği.

Zemin kat için salınım değerleri karşılaştırılacak olunursa, sırasıyla zemin kat yüksekliğinin 1'er metre artması durumunda %35,18 ve %30,15 artmıştır. Model 1, Model 3 ve Model 5'te maksimum salınım değerleri kat 3'te elde edilmektedir.

Katlar arası salınım farkı yine ilk 2 katta bariz şekilde görülürken, üst katlara gidildikçe bu fark azalmakta ve zemin kat yüksekliği arttıkça üst katlarda Model 1'e göre daha az salınım değeri elde edilmektedir. Zemin kat ve 2. kat arası salınım farkı Model 1'de %52,73, Model 3'te %22,33, Model 5'te %1,16'dır.

6.1.8 Burulma düzensizlik katsayısı

A, B ve C binaları dolgu duvarsız modellemelere ait değerlerin grafiksel olarak karşılaştırmaları Şekil 6.12'de verilmiştir.



Şekil 6.12 : Burulma düzensizliği katsayısı.

Grafikte de görüldüğü gibi burulma düzensizliği katsayıları arasındaki fark zemin katta minimum, en üst katta ise maksimumdur. Zemin kat yüksekliği arttıkça yatay deplasmanlar zemin katta yoğunlaşmış, bu nedenle de zemin kata ait burulma düzensizliği kat sayıları bir miktar artmıştır.

6.2 Model 2 – Model 4 – Model 6 Sonuçlar ve Karşılaştırmalar

6.2.1 Kat ağırlıkları

Dolgu duvar modellemesinin yapılmadığı 1, 3 ve 5 numaralı modellerde, duvar ağırlıkları yük olarak etkitilmiş olduğu için yapı ağırlıklarında modellemeden kaynaklı farklılık oluşmamaktadır.

6.2.2 Eşdeğer deprem yükleri ve eşdeğer kat kesme kuvvetleri

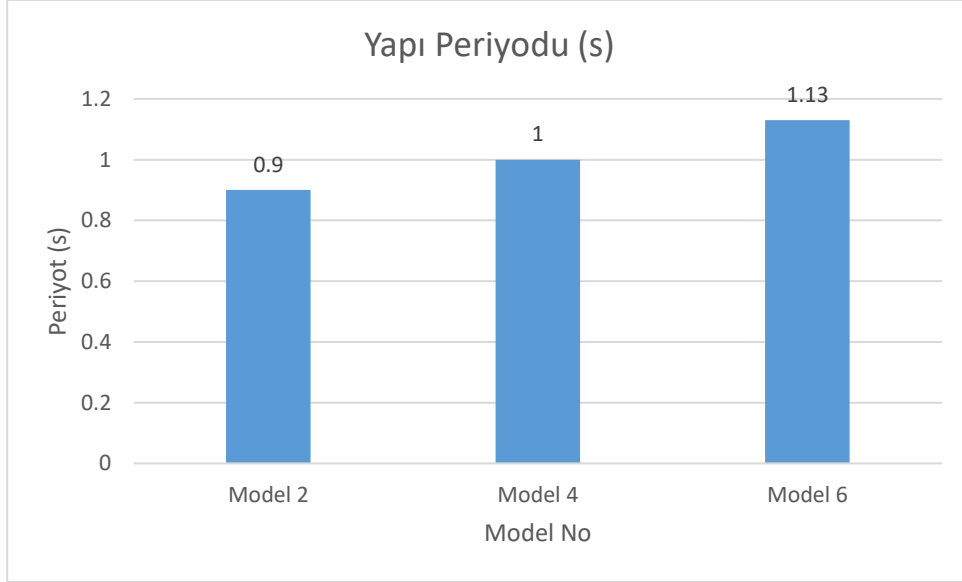
Dolgu duvar modellemesinin yapılmadığı 1, 3 ve 5 numaralı modellerde, duvar ağırlıkları yük olarak etkitilmiş olduğu için yapı ağırlıklarında ve dolayısıyla bu alanda modellemeden kaynaklı farklılık oluşmamaktadır.

6.2.3 Periyotlar

Zemin kat yüksekliğinin $h_z=3$ m olduğu Model 2’de yapı periyodu 0,9 s, zemin kat yüksekliğinin $h_z=4$ m olduğu Model 4’te yapı periyodu 1,0 s, zemin kat yüksekliğinin $h_z=5$ m olduğu Model 6’da yapı periyodu 1,13 s olarak bulunmuştur. İncelenen yapının

düzenli ve simetrik olmasından dolayı (X) ve (Y) doğrultularında periyot değerleri aynıdır.

Yapı yüksekliği arttıkça yapı periyodunun, sırasıyla zemin katın 1'er metre artmasıyla, %11,11 ve %13,0 oranında arttığı gözlemlenmiştir (Şekil 6.13).

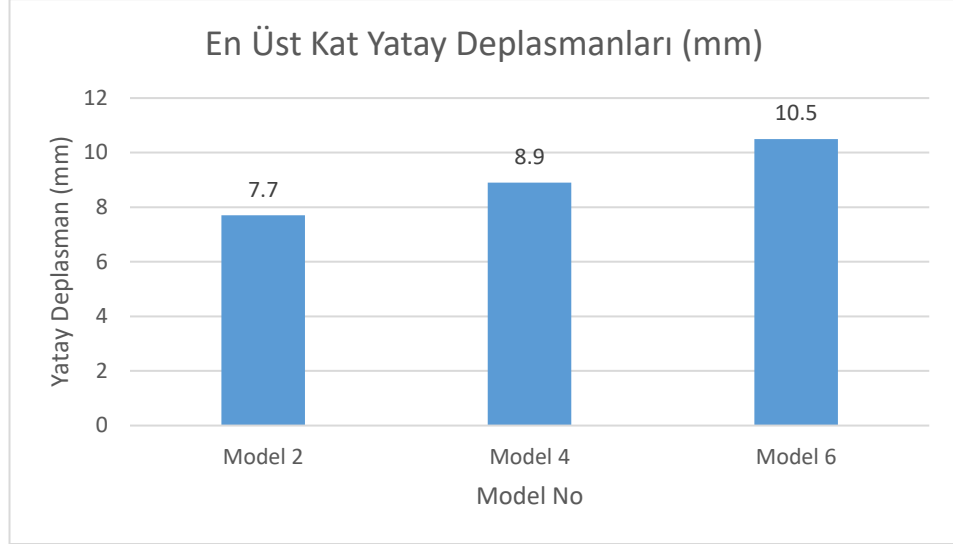


Şekil 6.13 : Yapı periyotları.

6.2.4 Kat yatay deplasmanları

Belirtilen kat yer değiştirme değerleri, elverişsiz kombinasyonlar sonucu okunan yer değiştirme değerleridir.

Katların yapmış olduğu yatay deplasmanlar karşılaştırıldığında en üst katın yapmış olduğu deplasman Model 2'de 7,7 mm, Model 4'te 8,9 mm, Model 6'da 10,5 mm'dir. Zemin kat yüksekliğinin artmasına bağlı olarak yapı yüksekliğinin de artmış olması, en üst kat deplasmanları da arttırmaktadır (Şekil 6.14).

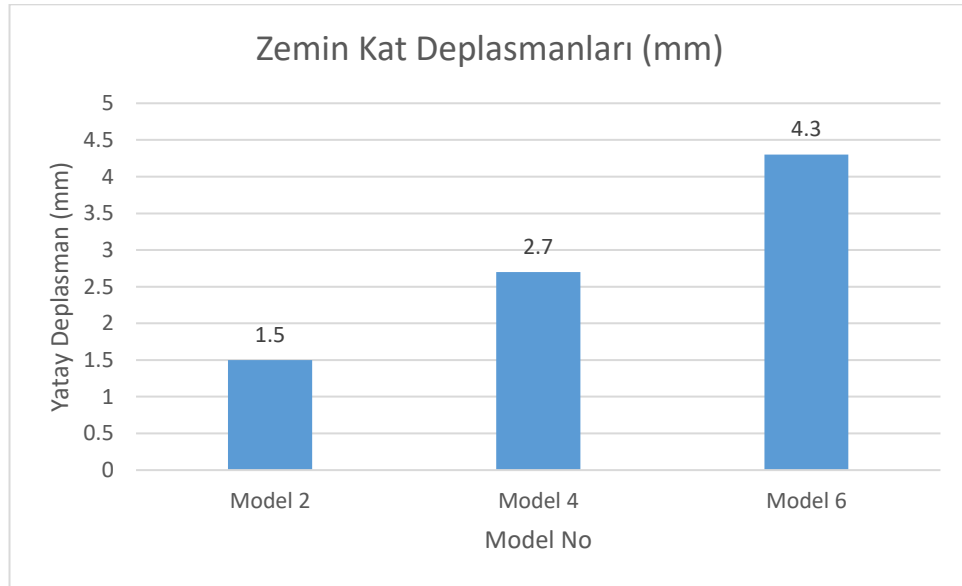


Şekil 6.14 : En üst kat yatay deplasmanları (mm).

Maksimum yer değiştirme değerleri sırasıyla zemin kat yüksekliğinin 1'er metre artması durumunda karşılaştırılacak olunursa %15,58 ve %17,98 oranında artmıştır.

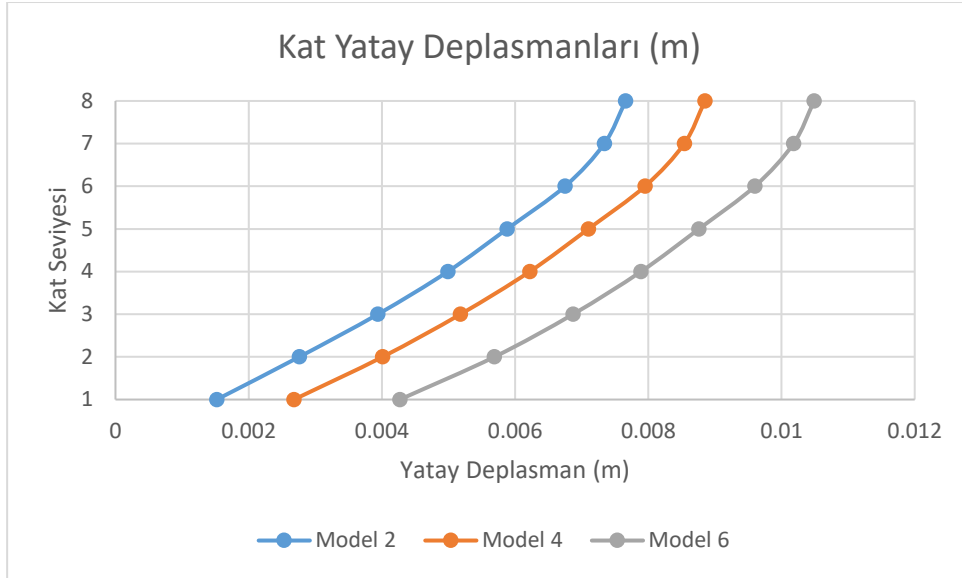
Zemin kat deplasman değerlerine bakılırsa, dolgu duvar modellemesinin yapılmış olduğu, $h_z=3$ m olan Model 2'de 1,5 mm, $h_z=4$ m olan Model 4'te 2,7 mm, $h_z=5$ m olan Model 6'da 4,3 mm bulunmuştur. Kat yüksekliğinin artması ilgili katta deplasman değerlerini de arttırmıştır.

Zemin kat yer değiştirme değerleri sırasıyla zemin kat yüksekliğinin 1'er metre artması durumunda karşılaştırılacak olunursa %80 ve %59,26 oranında artmıştır (Şekil 6.15).



Şekil 6.15 : Zemin kat deplasmanları (mm).

Zemin kat yüksekliği değişen ve dolgu duvar modellemesi yapılan 3 yapının da kat kümülatif yatay deplasman değerleri aşağıdaki grafikte gösterilmektedir. Katların totalde yapmış olduğu deplasman Model 4 ve Model 6 için belirli oranlarda ötelenmiştir (Şekil 6.16).



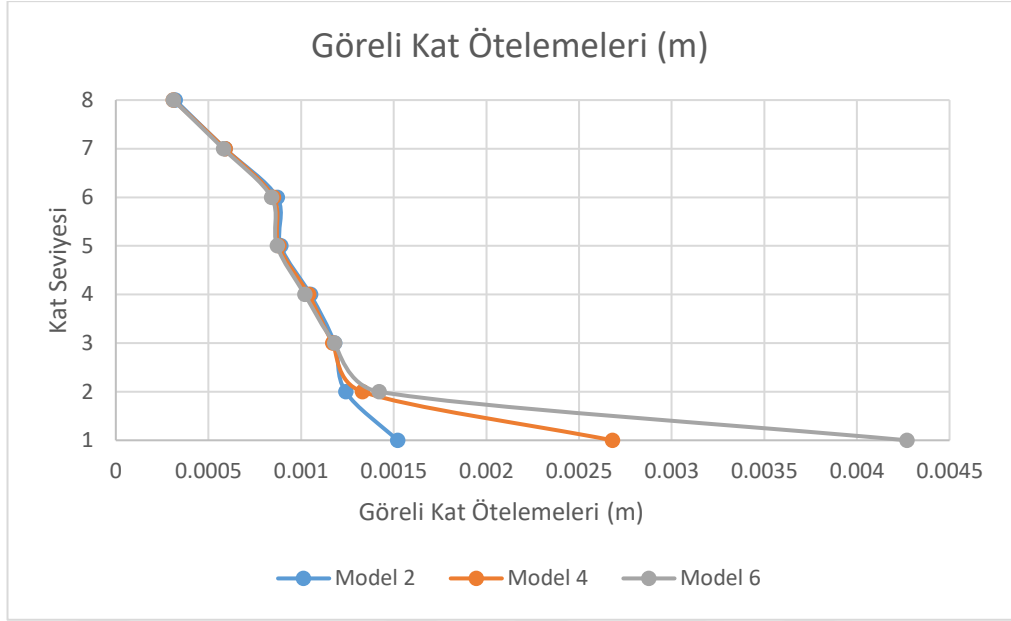
Şekil 6.16 : Kümülatif kat yatay deplasmanları (m).

6.2.5 Göreli kat ötelemeleri

Zemin kat yüksekliği değişen ve dolgu duvar modellemelerinin yapıldığı A, B ve C binalarının göreli kat ötelemeleri aşağıdaki grafikte gösterilmektedir.

En büyük deplasman değeri en üst katta elde edilirken, en büyük göreli kat ötelemesi zemin katta elde edilmektedir. Kat yükseklik farkı ile bu değerlerin Model 2, Model 4 ve Model 6'daki farklılıkları açıkça görülmektedir (Şekil 6.17).

Zemin kat yüksekliğinin arttırıldığı Model 4'te zemin katın deplasman değeri, yapının toplam deplasman değerinin %30,33'ünü, Model 6'da ise %40,95'ini oluşturmaktadır. Deplasmanın bu kata yoğunlaşması sebebi ile üst katlarda göreli kat öteleme değerleri Model 2'ye göre daha küçük değerler almaktadır. Yumuşak kat oluşumuna doğru gidildiği takdirde o katın deplasmanı yapının tüm deplasman değerine yaklaşacaktır.

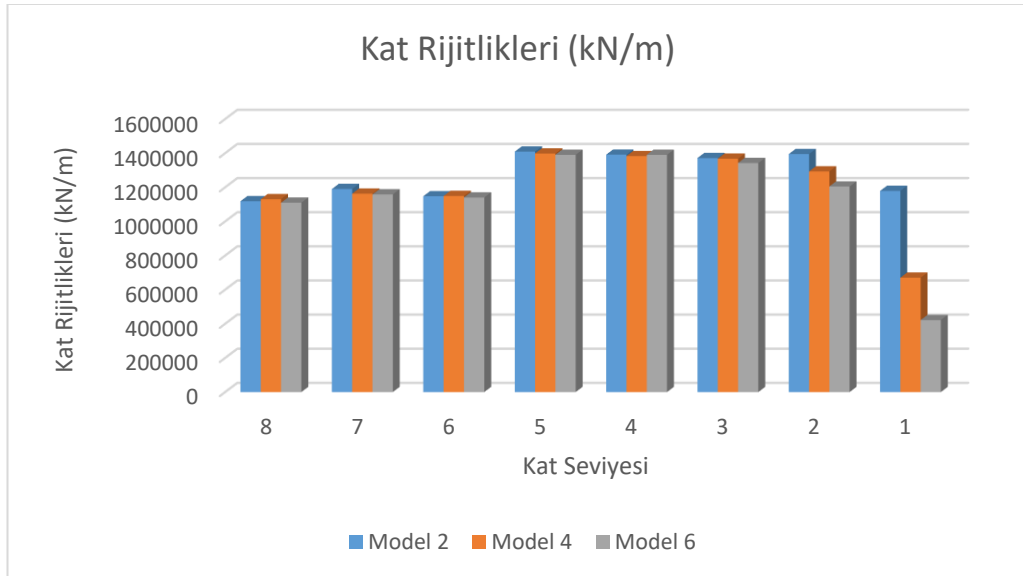


Şekil 6.17 : Görelî kat ötelemeleri (m).

6.2.6 Kat rijitlikleri

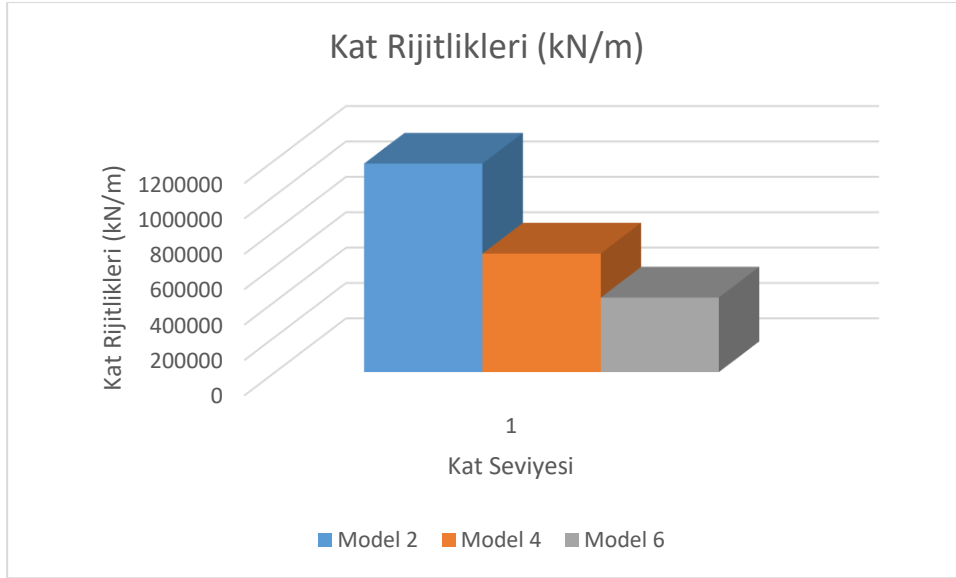
Aşağıda yer alan grafiklerden kat yüksekliğinin ve dolgu duvar modellemesinin kat rijitliği üzerindeki etkisi görülmektedir.

Zemin kat yüksekliğinin artması ile kat rijitlik değerleri azalmış ve kat ötelenmesinin artmıştır. Kat rijitliğinin en çok değişim gösterdiği kat, yükseklik değişiminin olduğu zemin katta oluşmaktadır (Şekil 6.18).



Şekil 6.18 : Tüm katlar için kat rijitlikleri.

Kat yüksekliği arttıkça kat rijitlik değerleri sırasıyla zemin kat yüksekliğinin 1'er metre artması durumunda %43,15 ve %37,08 azalmıştır (Şekil 6.19). Katlar arası rijitlik farkı ilk 2 katta maksimum değerler alırken, diğer üst katlarda bu fark minimuma inmektedir.



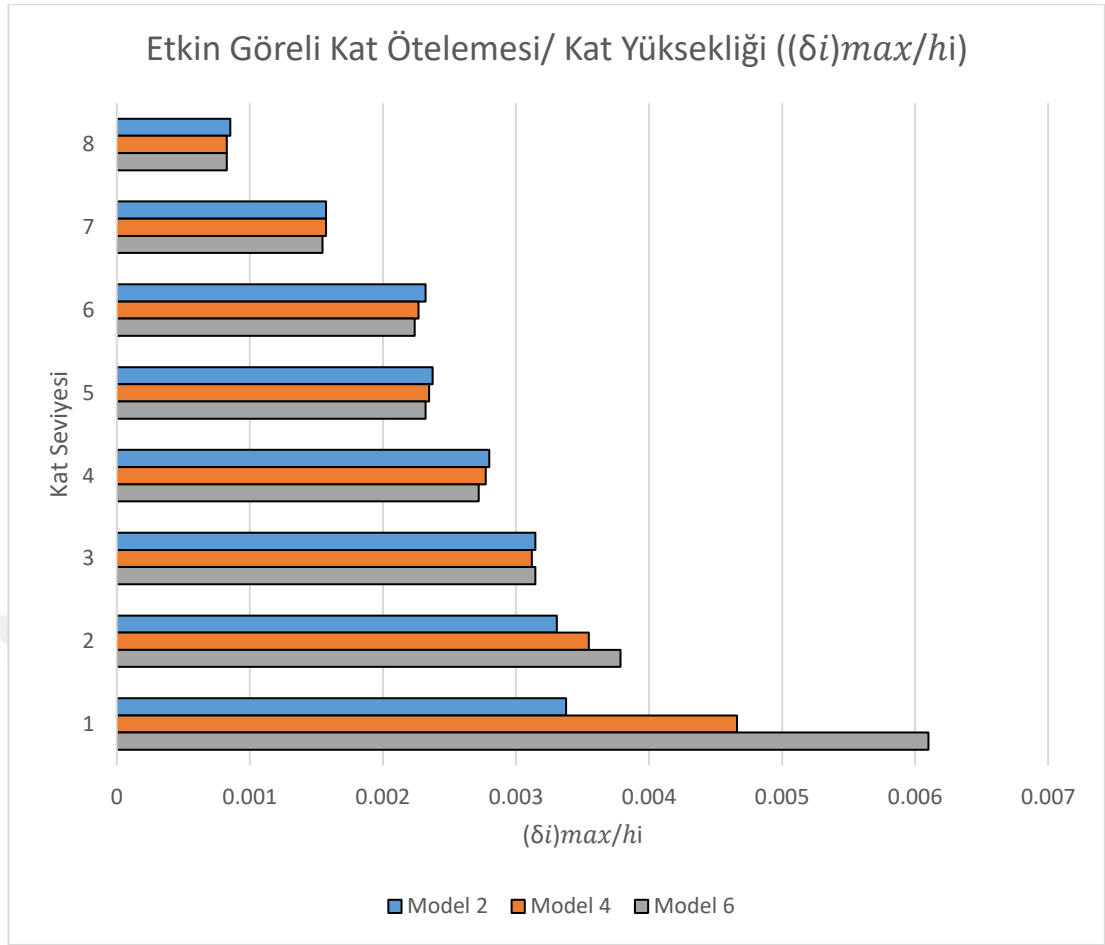
Şekil 6.19 : Zemin kat rijitlikleri.

6.2.7 Etkin görelî kat ötelemesi/kat yüksekliği

A, B ve C binalarında zemin kat yüksekliğinin artması ve dolgu duvar modellemesinin yapılması durumunda etkin görelî kat ötelemesinin kat yüksekliğine oranı Şekil 6.20'de karşılaştırılmıştır.

Zemin kat için salınım değerleri karşılaştırılacak olunursa, sırasıyla zemin kat yüksekliğinin 1'er metre artması durumunda %37,98 ve %30,88 artmıştır. Model 2, Model 4 ve Model 6'da maksimum salınım değerleri zemin katta elde edilmektedir.

Katlar arası salınım farkı yine ilk 2 katta bariz şekilde görülürken, üst katlara gidildikçe bu fark azalmakta ve zemin kat yüksekliği arttıkça üst katlarda Model 2'ye göre daha az salınım değeri elde edilmektedir. Zemin kat ve 2. kat arası salınım farkı Model 2'de %2,10, Model 4'te %23,90, Model 6'da %37,92'dir.

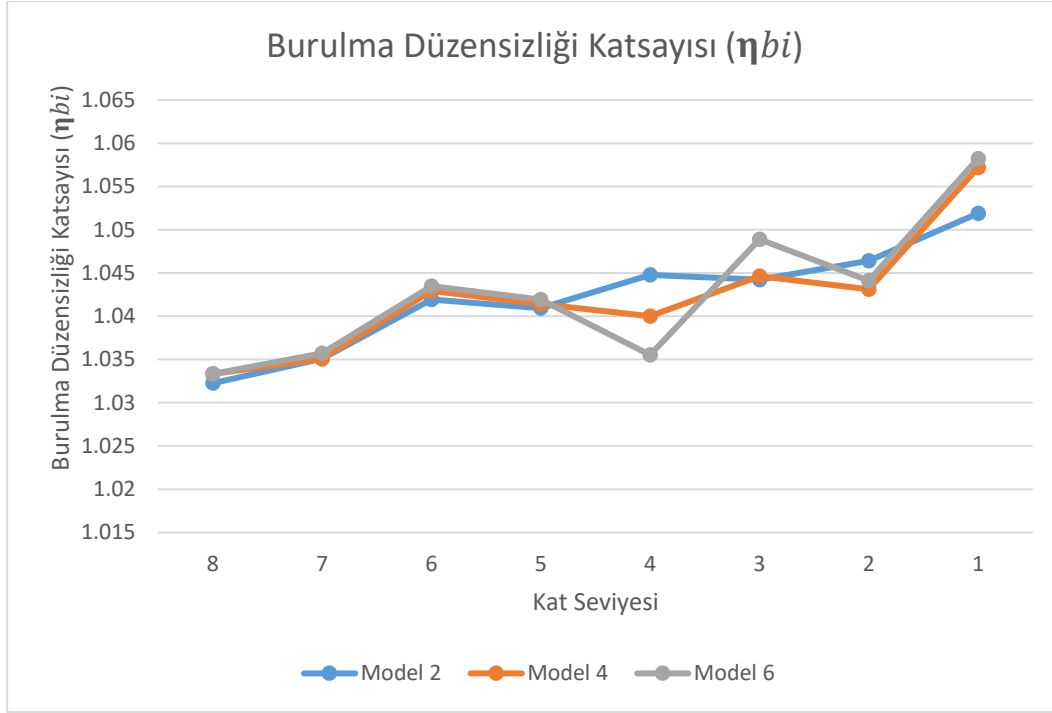


Şekil 6.20 : Etkin göreli kat ötelemesi/kat yüksekliği.

6.2.8 Burulma düzensizlik katsayısı

A, B ve C binaları dolgu duvarlı modellemelere ait değerlerin grafiksel olarak karşılaştırmaları Şekil 6.21’de verilmiştir.

Grafikte de görüldüğü gibi burulma düzensizliği katsayıları arasındaki fark zemin katta maksimum, en üst katta ise minimumdur. Dolgu duvarın enerjiiyi sönümleyerek yanal hareketi azaltması ve katlar arası düzenli dağılım göstermesi nedeniyle etkisi üst katlara doğru gidildikçe görülmekte ve zemin kat yüksekliğinin artması ile burulma düzensizlik katsayıları artmaktadır. Zemin katta düşeyde ilk düzensizlik durumunda fark daha fazla olurken, Model 4 ve Model 6 arasında, hali hazırda düzensizlik mevcudiyeti durumunda fark daha az olmaktadır.



Şekil 6.21 : Burulma düzensizliği katsayısı.

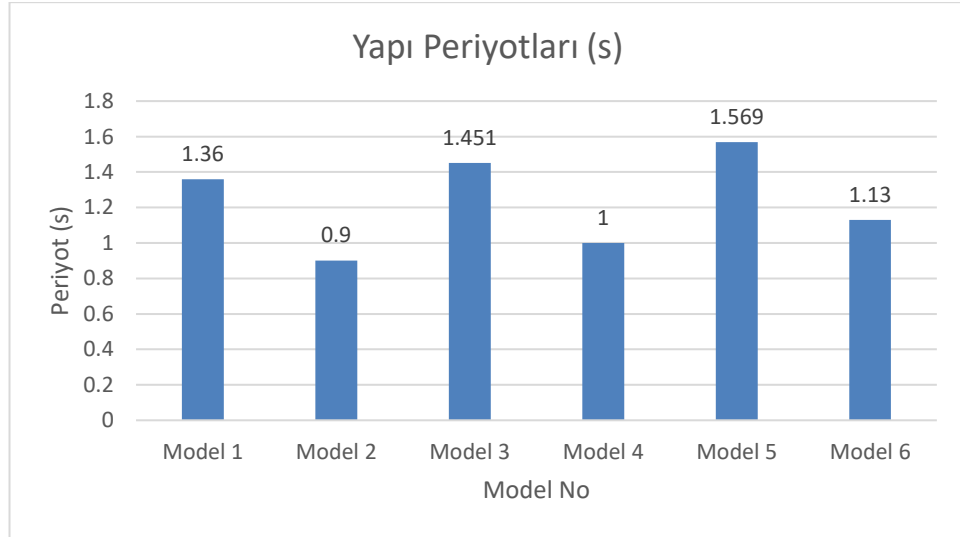
7. TÜM MODELLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

7.1 Periyotlar

Tasarımda yük taşımaması nedeniyle göz ardı edilen dolgu duvarların, yapının rijitliğini arttırması sebebiyle yapının periyodunda azalma oluşmaktadır.

Elde edilen değerler, kullanılan dolgu duvar malzemelerinin değişik mekanik özelliklere sahip olması sebebiyle değişkenlik gösterebilir. Bu nedenledir ki modellemede ölçümler yapılması sonucu elde edilen ampirik formüller kullanılmakta ve katkıları tam anlamıyla kabul görmüş değildir.

Deprem kuvvetlerinin devamı halinde dolgu duvarlarda oluşacak çatlaklar neticesinde yapının rijitliği azalacak, yapı periyodu artacaktır. Zemin kat yüksekliğinin değiştiği Model 3 ve Model 5'te, Model 1'e göre sırasıyla periyot değerleri %6,7 ve %8,13 artmışken, dolgu duvar modellemesinin yapıldığı Model 4 ve Model 6'da, Model 2'ye göre %11,11 ve %13 artmıştır (Şekil 7.1).



Şekil 7.1 : Yapı periyotları.

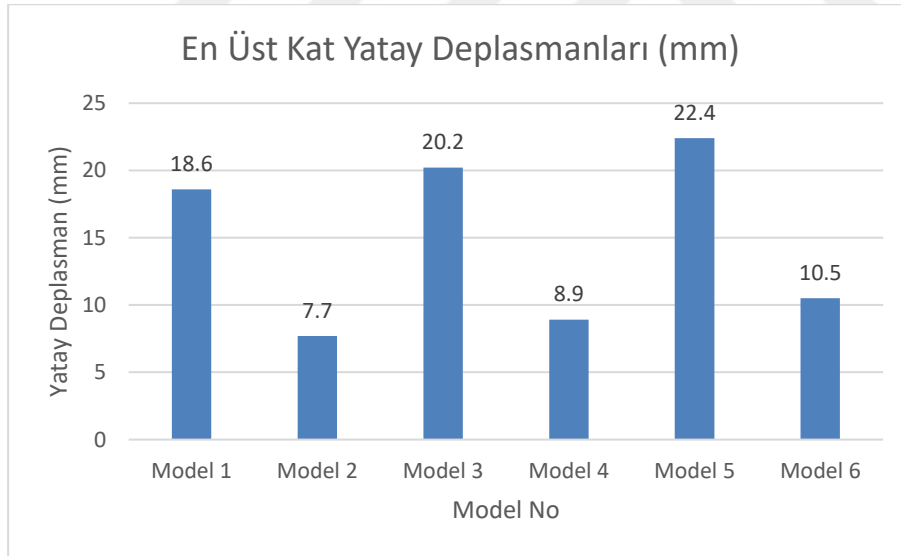
Dolgu duvar modellemesinin yapılmasıyla, yapı periyot değerlerinde, A binasında %33,8, B binasında %31,08, C binasında %27,98 azalma görülmüştür. Buradan da anlaşılabacağı gibi yükseklik arttıkça dolgu duvar modellemesinin etkisi azalmaktadır.

Yapılan tüm modellemeler karşılaştırılacak olursa zemin kat yüksekliği arttıkça yapı periyot değeri artarken, aynı yükseklikteki yapılarda dolgu duvar modellemesinin yapılması yapı periyot değerlerini azaltmaktadır.

7.2 Kat Yatay Deplasmanları

Zemin kat yüksekliğinin değiştiği Model 3 ve Model 5'te, Model 1'e göre sırasıyla zemin kat yatay deplasmanları %71,43 ve %58,33 artmışken, dolgu duvar modellemesinin yapıldığı Model 4 ve Model 6'da, Model 2'ye göre %80 ve %59,26 artmıştır.

En üst kat yatay deplasmanları ise aynı şekilde Model 1'e göre sırasıyla %8,6 ve %10,9 artmışken, Model 2'ye göre sırasıyla %15,58 ve %17,98 artmıştır. Yapıda meydana gelen ilk yükseklik değişiminde, diğer katlara göre oluşan ilk rijitlik farklılıklarında söz konusu artış oranları daha fazla gözlemlenmektedir. Katlar arası rijitlik farkının hali hazırda bulunduğu durumlarda oranlar arası çok büyük farklar gözlenmemiştir (Şekil 7.2).

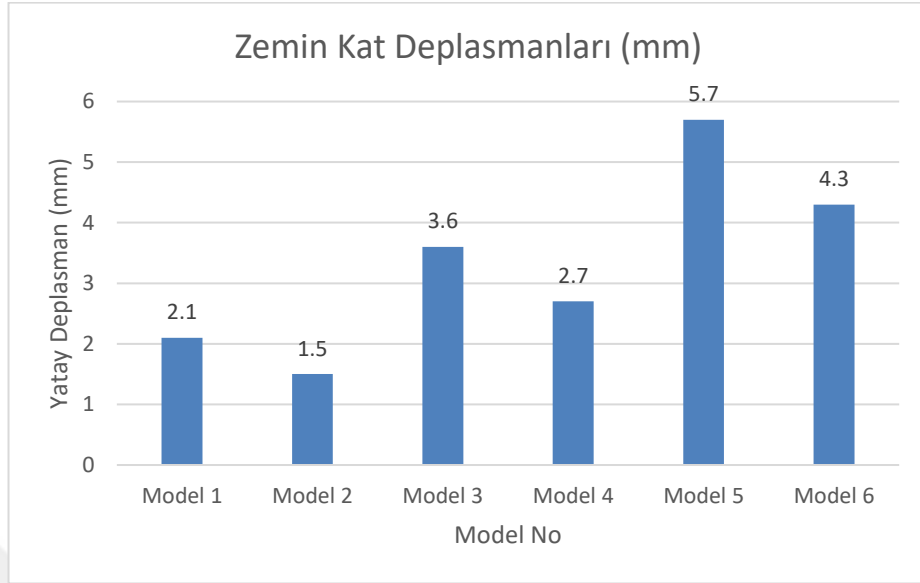


Şekil 7.2 : En üst kat yatay deplasmanları (mm).

Zemin kat yüksekliği artırılan modellerde maksimum yatay deplasman değerleri, aynı yükseklikteki yapılarda dolgu duvar modellemesinin yapılması ile en üst kat ve zemin kat yer değiştirme değerlerini ciddi oranda azaltmaktadır (Şekil 7.3).

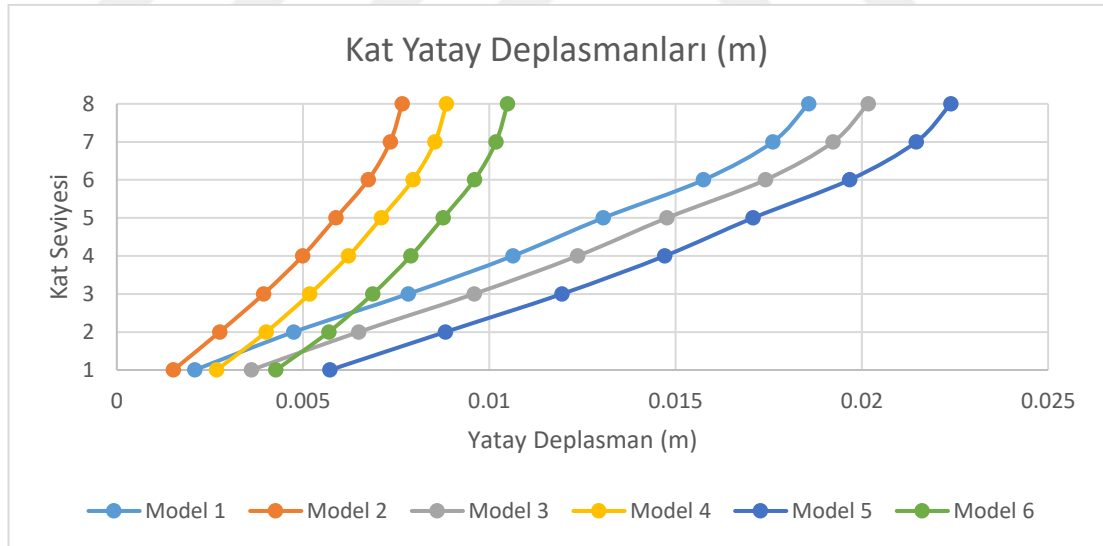
Üst kat yatay deplasman değerleri için bu oran A binasında %58,60, B binasında %55,94, C binasında %53,125, kat yüksekliğinin değiştiği zemin katta hesaplanan

deplasman değerleri için bu oran A binasında %28,57, B binasında %25, C binasında %24,56'dır.



Şekil 7.3 : Zemin kat deplasmanları (mm).

Zemin kat yüksekliği değişen ve dolgu duvar modellemesinin yapıldığı 3 yapının kat kümülatif yatay deplasman değerleri Şekil 7.4'de gösterilmektedir.



Şekil 7.4 : Kümülatif kat yatay deplasmanları (mm).

7.3 Göreli Kat Ötelemeleri

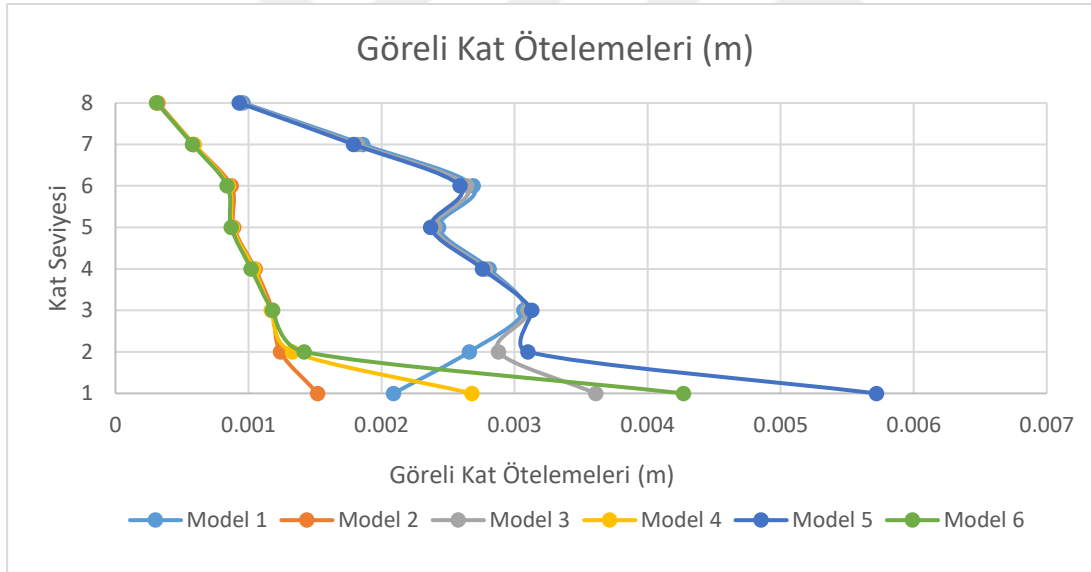
Zemin kat yüksekliğinin değiştiği Model 3 ve Model 5'te sırasıyla zemin katın deplasman değeri bina toplam deplasman değerinin %17,82 ve %25,45'ini oluştururken, dolgu duvar modellemesinin yapıldığı Model 4 ve Model 6'da %30,34

ve %40,95'ini oluşturmaktadır. Bunun nedeni dolgu duvar etkisi ile katlarda oluşan deplasmanların düzenli dağılım göstermesidir.

Zemin kat yüksekliğinin diğer kat yükseklikleri ile aynı olduğu Model 1 ve Model 2'de ise bu oranlar %11,29 ve %19,48 olmaktadır. Bu oranlar zemin kat dolgu duvar yerleşiminin diğer katlara göre az olmasının ve oluşan bu fark dolgu duvar modellemesinin yapı üzerindeki davranışına etkisini ortaya koymaktadır.

Duvar modellemesi yapılması ile sistemin toplam ve göreceli kat ötelenme değerleri önemli oranda azalmaktadır. Maksimum ötelenme değeri en üst katta elde edilirken, en büyük göreceli kat ötelenmesi zemin katta elde edilmektedir.

Zemin kat yüksekliği değişen ve dolgu duvar modellemesinin yapıldığı 3 yapının göreceli kat ötelemeleri Şekil 7.5'de gösterilmektedir. Görüleceği gibi zemin kat yüksekliği arttıkça dolgu duvarın etkisi azalmakta, diğer katlarda oluşan deplasmanlar düzenli dağılım göstermekte ve katlar arası göreceli kat ötelemeler daha az olmaktadır.



Şekil 7.5 : Göreceli kat ötelemeleri (m).

Şekil 7.5'de görüleceği gibi, yapının farklı seviyelerinde yatay deformasyon miktarı dolgu duvar dağılımına bağlı olmaktadır. 2. katta yer alan dolgu duvar miktarının 1. kata göre fazla olması ile, yatay yer değiştirmenin dolgu duvarın az olduğu katta yoğunlaştığı görülmektedir.

Göreceli kat deplasmanlarına ait maksimum değerlerin elde edildiği katlara bakılacak olunursa dolgu duvar modellemesinin yapılmadığı modellerde maksimum değer 3. katta meydana gelirken zemin kat yüksekliğinin artmasıyla bu maksimum değer zemin

kata doğru kaymış, 2. maksimum değer 3. katta devam etmiştir. Dolgu duvar modellemesinin yapıldığı modellere bakıldığında ise maksimum görelî kat deplasman değerleri zemin katta oluşmuş, kat yüksekliği artıkça bu değerlerde artmıştır.

Zemin kat yüksekliğinin artışı, 3. kata kadar görelî kat deplasmanlarını arttırmaya devam ederken, bu kattan sonra görelî kat deplasman değerlerinde yükseklik artışına bağılı olarak düşüş gözlenmektedir. Dolgu duvar miktarı eşit olan diğer katlarda ise yatay yer değıştirmenin düzenli dağılım gösterdiği ve katlar arası görelî kat ötelemelerinin daha az olduğu görülmektedir.

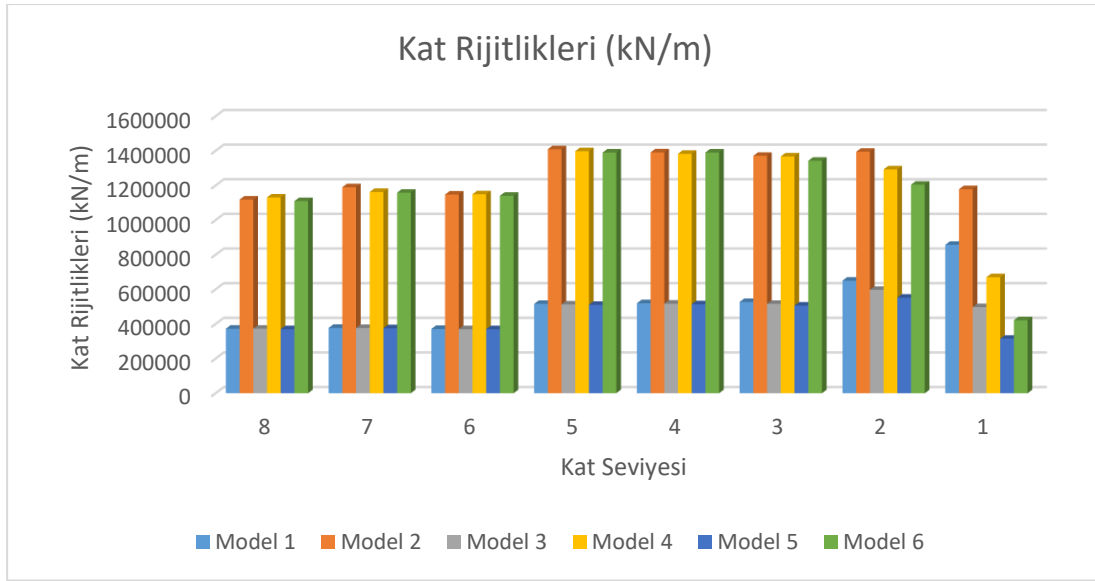
7.4 Kat Rijitlikleri

Zemin kat yüksekliğinin değıştiğı Model 3 ve Model 5'te, Model 1'e göre sırasıyla zemin katın rijitlik değeri %41,53 ve %36,68 azalırken, dolgu duvar modellemesinin yapıldığı Model 4 ve Model 6'da, Model 2'ye göre sırasıyla %43,15 ve %37,08 azalmıştır.

Zemin kat rijitlik değerleri dolgu duvar modellemesinin yapılmasıyla A binasında %37,50, B binasında %34,7, C binasında %33,95 oranında artmıştır.

Zemin kat yüksekliğinin artması ile kat rijitlik değerleri azalırken dolgu duvar modellemesinin yapılmasıyla, kat rijitliklerinde ciddi oranda artış olmuştur. Kat rijitliğinin en çok değışim gösterdiği kat, yükseklik değışiminin olduğu zemin katta oluşmaktadır.

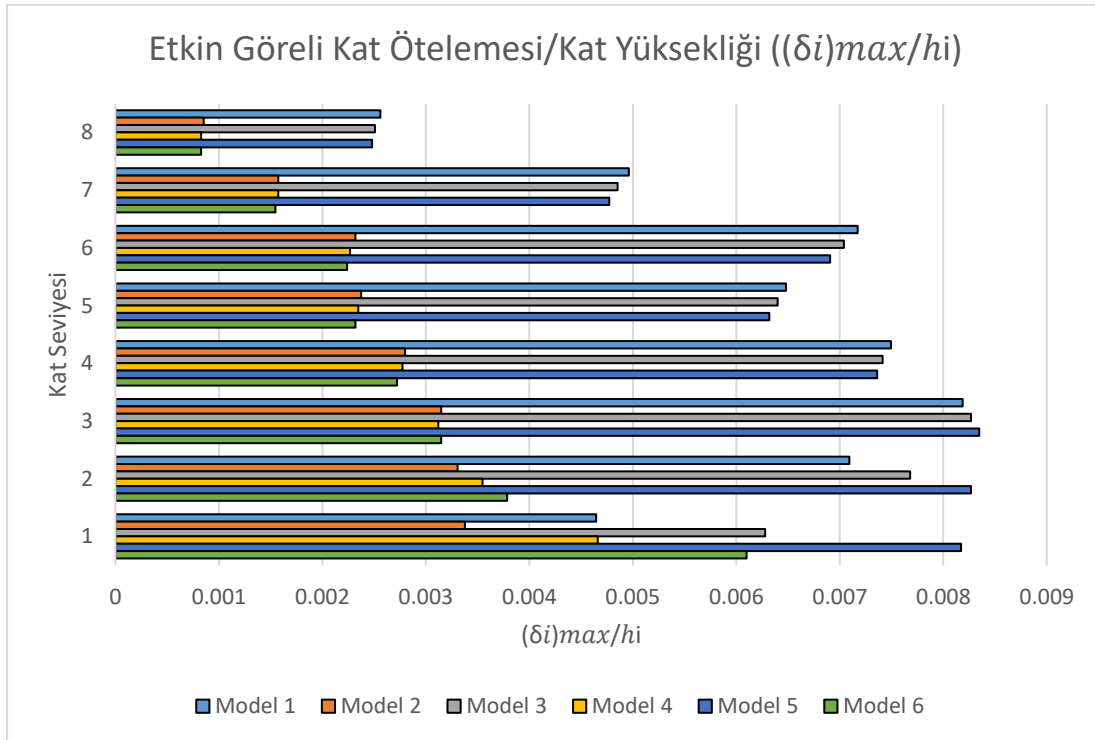
Şekil 7.6'da kat yüksekliğinin ve dolgu duvar etkisinin kat rijitliği üzerindeki etkisi görülmektedir. Grafikten de görüldüğü gibi zemin katta yükseklik arttıkça dolgu duvarın etkisi azalmaktadır.



Şekil 7.6 : Kat rijitlikleri (kN/m).

7.5 Etkin Görelî Kat Ötelemesi/Kat Yüksekliği

Şekil 7.7’de verilen değerler zemin kat için incelendiğinde maksimum etkin kat ötelemesi/ kat yüksekliği oranı önce dolgu duvar modellemesinin yapılmadığı modellerden başlamak üzere zemin kat yüksekliği azaldıkça büyükten küçüğe değerler almıştır.



Şekil 7.7 : Etkin görelî kat ötelemesi/kat yüksekliği.

Etkin görelî kat ötelemesinin kat yüksekliğine oranı, yapının süneklik ve enerji tüketme kapasitesine bağılı olarak değışkenlik göstermektedir. Zemin kat için salınım değeri karşılaştırılacak olursa dolgu duvar modellemesinin yapılmasıyla, A binasında %27,27, B binasında %25,76, C binasında %25,35'lik azalma görülmüştür.

Dolgu duvar modellemesinin yapılmadığı modellerde salınım değeriinde, zemin katta yüksekliğin artmasıyla sırasıyla %35,18 ve %30,15'lik bir artış görülmektedir. Buna karşılık üst katlardaki salınım oranları azalmaktadır. Dolgu duvar modellemesinin yapıldığı modellerde söz konusu artış değeri %37,98 ve %30,87 olmaktadır. Yani zemin kat yüksekliğinin artmasıyla ilk 3 katın salınım değeri artmış, dolgu duvar modellemesi yapılması ile azalmıştır.

Dolgu duvarlı modeller arasında zemin kat ile 2. kat arası salınım farkına bakılacak olunursa, A binasında %2,10, B binasında %23,90, C binasında %37,92 elde edilmiştir. Kat yükseklik farkı ile katlar arası salınım oranı ciddi artış göstermektedir.

Binalar arasında var olan zemin kat yükseklik farkı artıkça dolgu duvarın salınımına olan etkisi azalmaktadır. Yapı taşıyıcı sisteminde dolgu duvarların varlığı görelî kat ötelemesi/ kat yüksekliği oranını önemli derecede etkilemektedir.

7.6 Burulma Düzensizlik Katsayısı

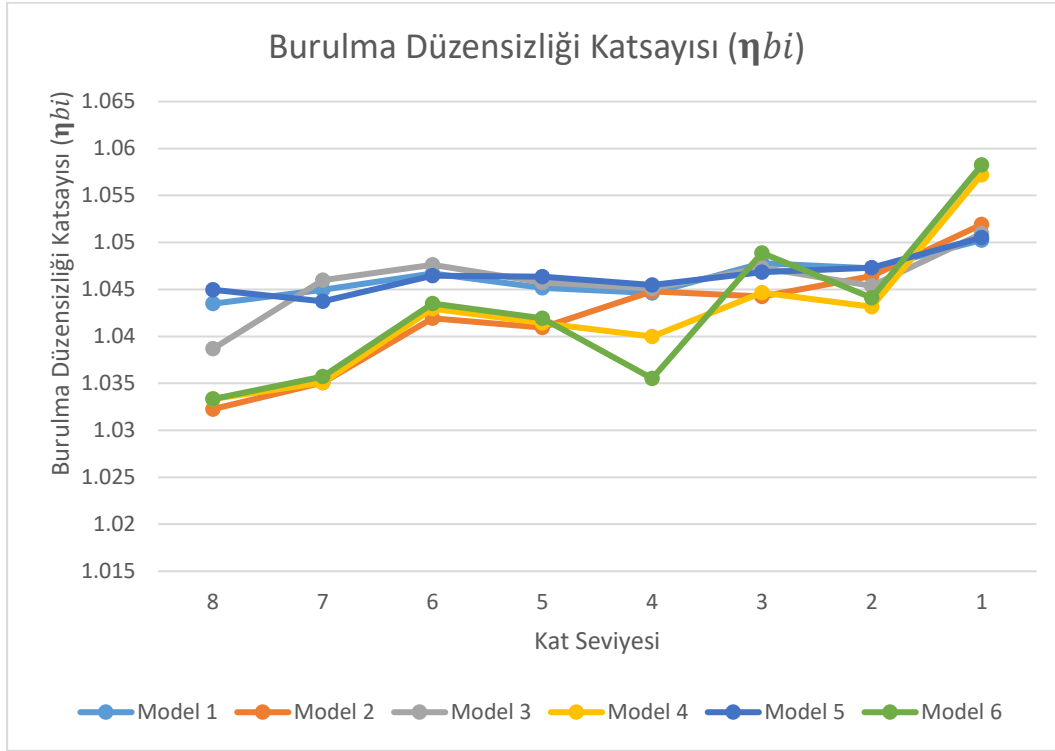
A, B ve C binaları, dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız modellemelere ait değeriin grafiksel olarak karşılaştırmaları Şekil 7.8'de verilmiştir.

Zemin katta dolgu duvarların kaldırılması ve diğeri katlara göre kesit alanının az olması yani söz konusu kattaki rijitlik farkı nedeniyle zemin katta burulma düzensizliği kat sayıları diğeri katlara göre daha yüksek elde edilmiştir. Dolgu duvar modellemesinin yapılması ile bu fark daha belirgin bir şekilde gözükmeğedir.

Burulma düzensizliği katsayısının, üst katlara doğru gidildikçe dolgu duvarlı modellerde dolgu duvarsız modellere göre daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Zemin kat yüksekliği arttıkça da bu katsayının arttığı görülmüştür.

Grafikte de görüldüğü gibi burulma düzensizliği katsayıları dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız modeller arasındaki fark zemin katta daha az, en üst katta ise daha fazladır. Dolgu duvar modellemesi ile kat deplasman değeriinin azalması dolayısıyla burulma

katsayısını ifade eden maksimum görelî kat ötelemesinin o katın ortalama görelî kat ötelemesine olan oranını azaltmaktadır.



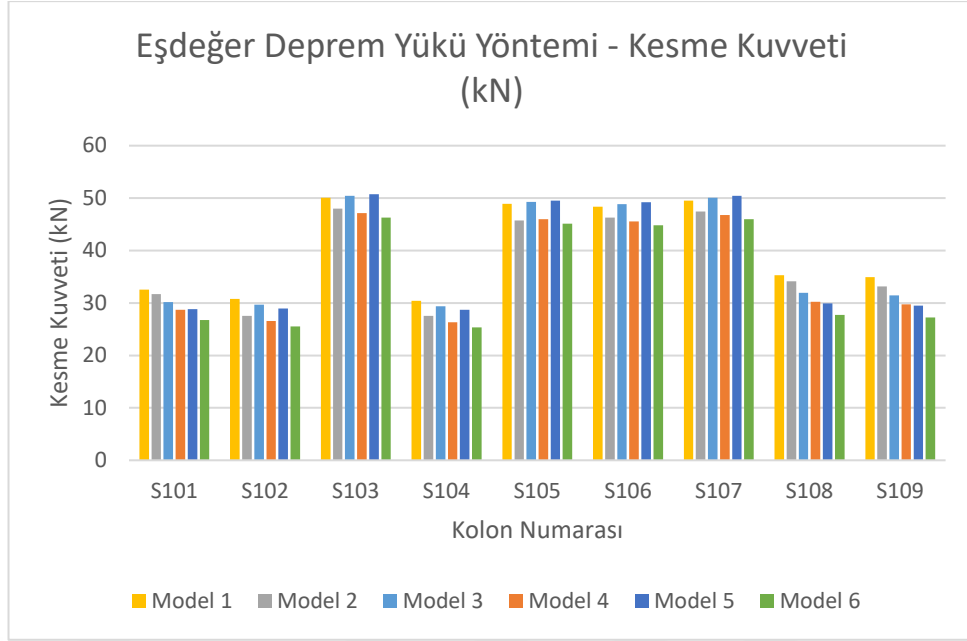
Şekil 7.8 : Burulma düzensizliği katsayısı.

7.7 İç Kuvvetler

Yapılan 3 bina 6 modellemede zemin kata ait iç kuvvetler karşılaştırılacak olunursa (Şekil 7.9);

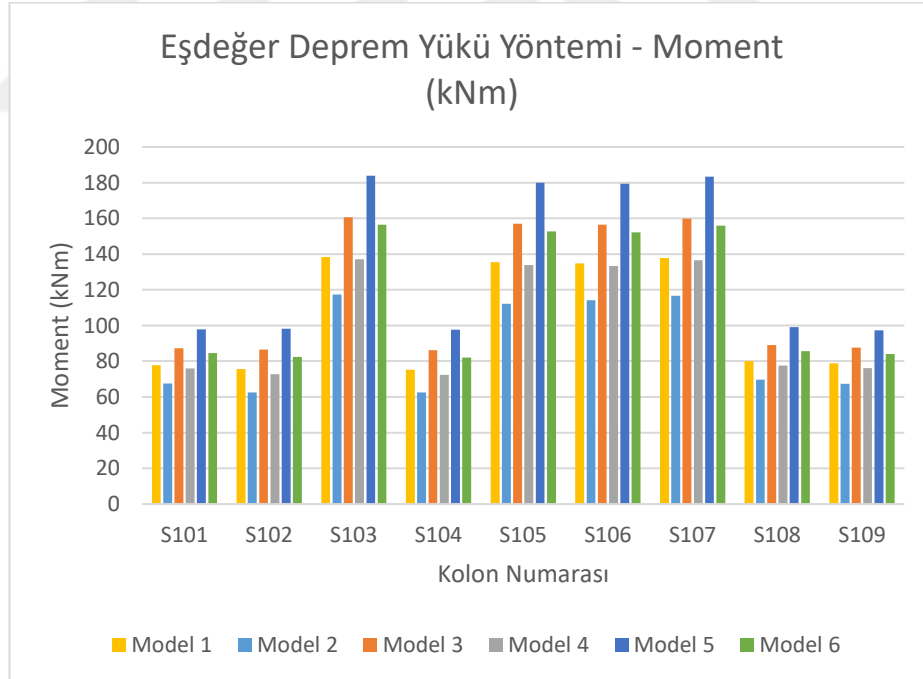
Dolgu duvar modellemesi yapılmasıyla zemin kat kolon kesme kuvvetlerinde azalma görülmüştür. Düşüş miktarlarının genel olarak S105, S106 ve S107 kolonlarında daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

Zemin kat yükseklik artışı ile birlikte S103, S105, S106 ve S107 kolonlarında kolon kesme kuvvetlerinde artış görülürken diğer kolonlarda azalma görülmüştür.



Şekil 7.9 : Eşdeğer deprem yükü yöntemine göre kesme kuvveti.

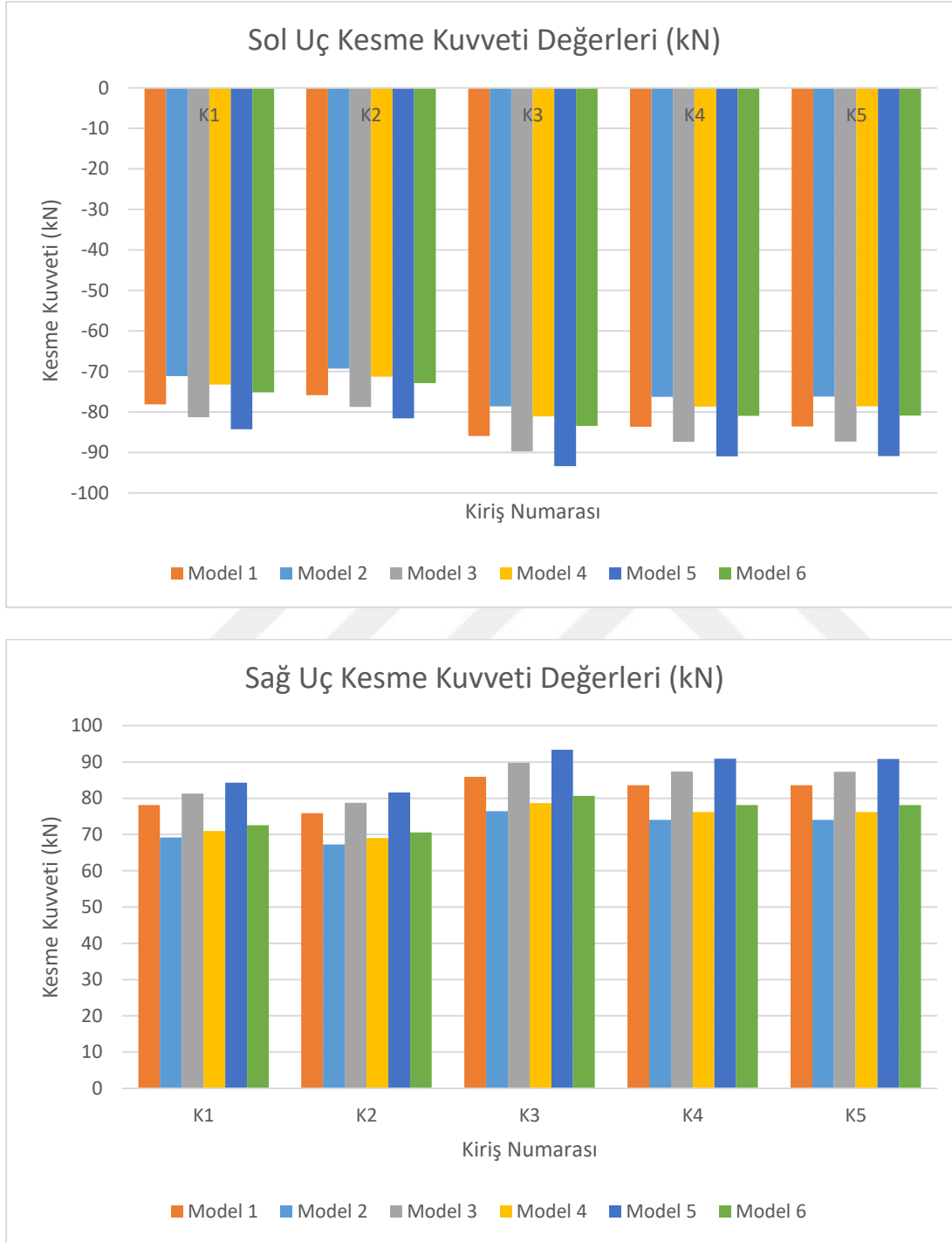
Dolgu duvar modellemesi yapılmasıyla kolon moment kuvvetlerinde azalış, yükseklik arttıkça ise artış görülmüştür (Şekil 7.10).



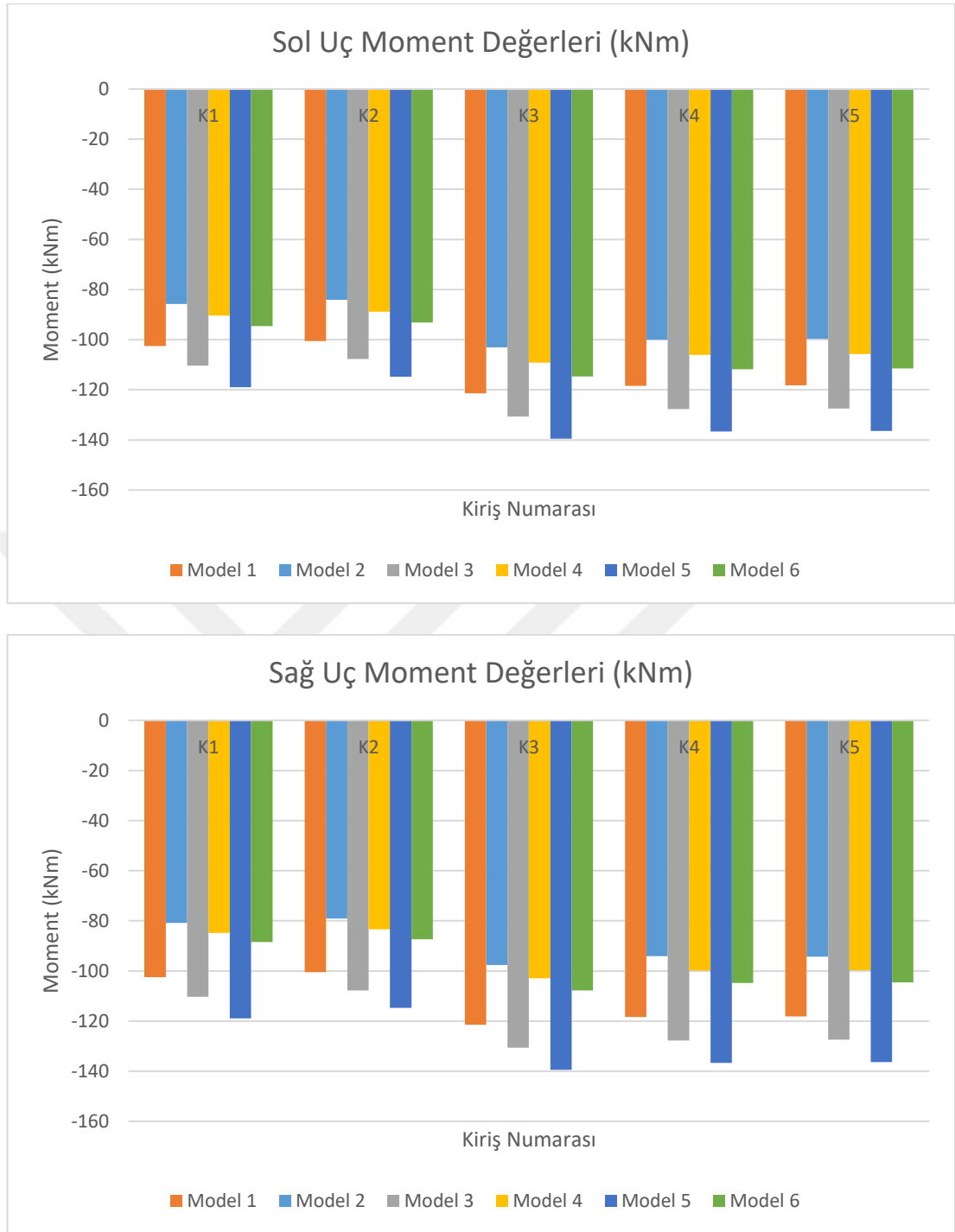
Şekil 7.10 : Eşdeğer deprem yükü yöntemine göre moment.

Zemin kat kirişlerine denk gelen iç kuvvetler EŞDEĞER-ENVELOPE yükleme durumundan okunarak aynı şekilde karşılaştırılmıştır.

Yükseklik arttıkça, kirişlerin sol ve sağ uç momentlerinin ve kesme kuvvetinin arttığı, duvar modellemesi yapılmasıyla bu değerlerin azaldığı görülmüştür (Şekil 7.11 ve 7.12).



Şekil 7.11 : Sol ve sağ uç kesme kuvveti değerleri.



Şekil 7.12 : Sol ve sağ uç moment değerleri.

Dolgu duvarların da yanal yük olan deprem kuvvetini taşımasından dolayı kolon ve kirişlerin kesit tesirleri oldukça azalmaktadır. Yanal yük taşıma kapasitesi bulunan dolgu duvarlar, artan deprem kuvveti ile bu taşıma kapasiteleri aşıldığında etkinliğini kaybedip hasar alacak ve en sonunda göçecektir. Böylesi durumda ise dolgu duvarların etkisi Model 1, Model 3 ve Model 5’te alındığı gibi sadece sabit yük olarak kalacak, kolon ve kiriş iç kuvvetleri bu modellerde bulunduğu gibi elde edilecektir. Bu nedenle

binalarda hem dolgu duvar modellemesinin yapıldığı hem de yapılmadığı durumların her ikisi de yapı analizine dahil edilmelidir.



8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, zemin kat yüksekliğinin değiştirildiği kullanım amacı konut olan 8 katlı A, B ve C binalarının SAP2000 programında üç boyutlu modelleri oluşturularak eşdeğer deprem yükü yöntemi ile çözümü yapılmıştır. Ayrıca aynı binalar, dolgu duvarların taşıyıcı sistem davranışına etkisini görmek için eşdeğer basınç çubuğu yöntemi ile dolgu duvar modellemesi yapılarak çözümler tekrarlanmıştır.

Zemin kat yükseklik değişiminin ve dolgu duvar modellemesinin yapı davranışı üzerindeki etkilerinin incelenmesi amacıyla tüm modellerde kolon ve kiriş boyutları, plan yerleşimleri aynı tutulmuş, yapılar (X) ve (Y) doğrultularında simetrik alınmıştır. Ayrıca zemin kat duvarlarının büyük çoğunluğu kaldırılarak yapıda düzensizlik yaratılmıştır.

Dolgu duvar modellemesi için TBDY-2018'de yer alan eşdeğer basınç çubuğu genişlik denklemleri ve elastisite modülü bilgileri kullanılmış, toplamda 9 farklı model ile yapı sistemine dahil edilmiştir.

Analizler sonucunda zemin kat yüksekliğinin değişimi ve dolgu duvar modellemesinin söz konusu olduğu yapılarda bina ağırlıkları, yapı periyodu, kat kesme kuvvetleri, kat yatay deplasmanları, görelî kat ötelemeleri, kat rijitlikleri, etkin görelî kat ötelemesi/kat yüksekliği oranları, burulma düzensizlik kat sayıları karşılaştırılarak değerlendirilmiş, çıkarımlarda bulunulmuştur.

Sonuç olarak dolgu duvar modellemesinin yapılması ile periyotlarda, kat yatay deplasmanlarda, görelî kat ötelemelerinde, salınım, burulma katsayısı, zemin kat kolon ve kiriş iç kuvvetleri değerlerinde azalma, kat rijitlik değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Zemin kat yüksekliğinin 1,33 katına çıkması sonucunda dolgu duvarlı modellerde yapı periyodu %11,1, en üst kat yatay deplasmanı %15,6, zemin kat yatay deplasmanı %80 artmış, zemin kat rijitliği ise %43,2 azalmıştır. Bu değerler zemin kat yüksekliğinin 1,66 katına çıkması durumunda ise sırasıyla %25,5 %36,4, %186,6 artmakta ve %64,2 azalmaktadır. Ayrıca zemin kat yüksekliği aynı, dolgu duvarsız ve dolgu duvarlı iki modele ait iç kuvvetler karşılaştırıldığında, dolgu duvar

modellemesi yapılan çerçeveye yaklaşıldıkça kolon iç kuvvetlerindeki azalma oranlarının arttığı gözlemlenmiştir.

Zemin kat yüksekliğinin artması ile bina ağırlıklarında, periyotlarda, kat yatay deplasmanlarda, görelî kat ötelemelerinde, salınım, zemin kat kolon ve giriş iç kuvvetleri değerlerinde artış, kat rijitliklerinde azalma gözlemlenmiştir. Değişiklik sonucu gözlemlenen kat rijitlik değerinin azalması ve buna bağılı kat ötelenmesinin artması durumu dolgu duvarsız binalarda dolgu duvarlı binalara göre daha ön plana çıkmaktadır. Zemin kat yüksekliğinin 1,33 katına çıkması sonucunda dolgu duvarsız modellerde yapı periyodu %6,7, en üst kat yatay deplasmanı %8,6, zemin kat yatay deplasmanı %71,4 artmış, zemin kat rijitliği ise %41,9 azalmıştır. Bu değerler zemin kat yüksekliğinin 1,66 katına çıkması durumunda ise sırasıyla %15, %20,4, %171,4 artmakta ve %63,3 azalmaktadır.

Yapılarda dolgu duvarın giriş katlarda olmaması veya kaldırılması durumunda ayrıca zemin kat yüksekliğinin diğer katlardan fazla olması durumunda yapı rijitliği azalarak sistemin yatay yükler altında davranışı olumsuz etkilenmektedir. Bu nedenle dolgu duvarların zemin katta olmadığı durumlarda da yapı davranışı incelenmeli ve tedbirler alınmalıdır. Yapılarda düzensizlik kontrolleri dolgu duvar modellemesinin yapıldığı binalarda ayrıca yapılmalıdır. Yapıda deprem sırasında oluşacak davranışın, dolgu duvar modellemesi yapılarak gerçeğe yakın olması sağlanmalıdır. Dolgu duvar mekanik özellikleri ile dolgu duvarların planda ve düşeyde yerleştiriliş şekilleri yapı davranışı üzerinde oldukça etkilidir. Dolayısıyla dolgu duvar özelliklerinin doğru bir şekilde tanımlanmasının ve dolgu duvarların modellemelerde dikkate alınmasının oldukça önemli olduğunu vurgulamak gerekir.

Dolgu duvar modellemesiyle yapının iç kuvvetlerinde oluşan azalmalar sayesinde taşıyıcı sistem elemanları daha ekonomik seçilebilir. Dolgu duvar malzemesinin kalitesinin artması ile de kolon kesme kuvvetlerindeki azalmalar daha da artacaktır.

Kütle ve rijitlik merkezlerinin, yapıda ilave burulma oluşturmaması, donatı alanlarını arttırmaması için karşılaştırılması gerekmektedir. Özel önlemler alınması ile de yapı savunma mekanizması yatay yüklere karşı daha güçlü hale getirilebilir.

Çerçeve açıklıklarını tam dolduran duvarların yüksek dayanımlı malzemeler ile imal edilmesi, yapıların yatay yük taşıma gücünü artıracakı söylenebilir. Herhangi bir deprem anında iyi yapılmış dolgu duvarların depremin başlangıcında büyük bir

dayanım göstereceğini, dolgu duvarlar sistem dışında kaldığında betonarme çerçevelerin etkin hale geleceğini söyleyebiliriz.

Buradan yola çıkarak, dolgu duvarların mekanik özellikleri belli bir yük taşıma kapasitesine getirilip sünek olması sağlanabilirse, yapıya kazandırdığı rijitlik sayesinde, dolgu duvarların güçlendirilmesi ile yapının dayanım ve güvenirliliği de artacaktır.

Birkaç örnek verilecek olunursa, yapılarda iç kısımlarda modifikasyonların çok olması nedeniyle, iç akslarda kullanılan duvarlar daha ince, taşıma yükünü arttırması sebebiyle de dış akslardaki duvarlar daha kalın kesitli seçilebilir. Deprem yüklerinin temele iletilmesi için de kalın kesit seçilen dış akstaki duvarların bodruma kadar devam ettirilmesi, yapının deprem anında hareketini azaltarak yapıya iyi yönde etki edecektir. Ayrıca duvar imalatında donatılı güçlendirilmiş malzemelerin kullanılması ile yapının dayanımı arttırılabilir.



KAYNAKLAR

- Aksoy, H., ve Avşar, Ö.** (2015). Dolgu duvarların betonarme çerçeve davranışına etkisinin basitleştirilmiş bir yöntemle dikkate alınması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21, 115-122. doi:10.5505/pajes.2014.52297.
- Akyürek, O., Tekeli, H., ve Demir, F.** (2015). Betonarme bina performansına dolgu duvarların etkisi. *Sekizinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul: 11-14 Mayıs.
- Akyürek, O., Tekeli, H., ve Demir, F.** (2017). Plandaki dolgu duvar yerleşiminin bina performansı üzerindeki etkisi. *International Journal of Engineering Research and Development*, 10 (1), 42-55. doi: 10.29137/umagd.419660
- Asteris, P.G.** (2003). Lateral stiffness of brick masonry infilled plane frames. *Journal of Structural Engineering*, 129:8, 1071-1079. doi: 10.1061/(ASCE)0733-9445(2003)129:8(1071).
- Asteris, P.G., Antoniou, S.T., Sophianopoulos, D.S., ve Chrysostomou, C.Z.** (2011). Mathematical macromodeling of infilled frames, state of the art. *Journal of Structural Engineering*. 137: 1508-1517.
- Avcı, I.** (2018). Orta yükseklikteki betonarme binada yumuşak kat düzensizliğinin doğrusal elastik olmayan dinamik analizle araştırılması. (Yüksek Lisans Tezi). Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Bayrak, O. F. ve Bikçe, M.** (2019). Dolgu duvarın yapısal düzensizliklere ve performansa etkisinin mevcut bir yapı üzerinde incelenmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 24 (3), 241-254. doi: 10.17482/uumfd.477760.
- Bayülke, N.** (1980). Yığma Yapılar. T.C İmar ve İskan Bakanlığı Deprem Araştırma Enstitüsü Başkanlığı.
- Bayülke, N.** (2003). Betonarme yapının dolgu duvarı. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, Sayı: 426, 85-98.
- Beklen, C.** (2009). *Binalarda dolgu duvar etkisinin incelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Beklen, C., ve Çağatay, İ.H.** (2009). Çerçevelerde dolgu duvar modellerinin incelenmesi. *Çukurova Üniversitesi Mimarlık Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 241(2), 1019-1011.
- Çavdar, Ö., Köse, G., ve Sunca, F.** (2020). Betonarme binaların deprem performanslarına dolgu duvarların etkisinin incelenmesi. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*. 25. 465-484. doi:10.17482/uumfd.658027.

- Cengiz, M.** (2018). *Betonarme yapıların deprem performanslarına tuğla dolgu duvarların etkisinin incelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa.
- Chrysostomou, C. Z.** (1991). *Effects of degrading infill walls on the nonlinear seismic response of two-dimensional steel frames*. (Doktora Tezi). Cornell University.
- Crisafulli, F.J.** (1997). *Seismic behaviour of reinforced concrete structures with masonry infills*. (Doktora Tezi). University of Canterbury, Department of Civil Engineering, Christchurch.
- Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY).** (2007). T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- Dönmez, S.** (2006). *Deprem etkisinde betonarme binalarda hasarın oluşmasında dolgu duvarların modellenmesi ve taşıyıcı sisteme katkısı* (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Durgut, İ., Tunaboyu, O., ve Avşar, Ö.** (2021). Investigation of infill wall modelling techniques on a substandard reinforced concrete frame. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 36. 147-161. doi:10.17341/gazimmfd.673866.
- Durmazgezer, E.** (2013). *Dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin deprem etkileri altındaki davranışının incelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Ertürkmen, D., ve Çağatay, İ. H.** (2016). Dolgu duvarlı yapılarda yumuşak kat ve zayıf kat düzensizliklerinin incelenmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31 (2), 269-278. doi: 10.21605/cukurovaummfd.310297.
- Güder, O.** (2012). *Dolgu duvarların yapısal analizlerde göz önüne alınmasının düşey düzensizlik ve deprem performansına etkileri*. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Holmes, M.** (1961). Steel frames with brickwork and concrete infilling. *Institution of Civil Engineers (ICE)*, 19: 473-478.
- Işık, E., Özdemir, M., ve Kutanis, M.** (2016). Farklı zemin kat yüksekliklerinin yapı performansına etkisi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 7(3), 445-454.
- Işık, E., ve Özdemir, M.** (2017). Normal kat yüksekliğinin farklı olması durumunda yapı performansının incelenmesi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6 (1), 98-106. doi:10.28948/ngumuh.297906.
- İrtem, E., Turker K., ve Hasgöl U.** (2005). Dolgu duvarlarının betonarme bina davranışına etkisi. *İTÜ Mühendislik Dergisi/d, cilt 4, sayı 4*, İstanbul.
- Kaplan, S. A.** (2008). Dolgu duvarların betonarme taşıyıcı sistem performansına etkisi. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, Sayı:452 – 2008/6, 49-62.

- Karasu, T. O., Erdem, R. T., Demir, A., ve Bağcı, M.** (2011). Yumuşak kat düzensizliği bulunan betonarme bir binanın performansının incelenmesi. *Celal Bayar University Journal of Science*, 7 (2), s.61-69.
- Kızıloğlu, M. Y.** (2006). *Deprem Etkisi Altında Dolgu Duvarların Betonarme Çerçeve Yapılar Üzerindeki Etkisi*. (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Korkmaz, A., ve Uçar, T.** (2006). Betonarme binaların deprem davranışında dolgu duvar etkisinin incelenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 8(1), 101–108.
- Korkmaz, A., ve Uçar, T.** (2006). Yumuşak kat düzensizliğinin betonarme binaların deprem davranışında etkisi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 11 (2).
- König, G.** (1991). The state of the art in earthquake engineering research. *Experimental and Numerical Methods in Earthquake Engineering*
- Köse, M.M. ve Karşoğlu, Ö.** (2007). Dolgu duvarların bina doğal modal periyot ve mod şekline olan etkileri. *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, Türkiye.
- Leuchars, J. M., ve Scrivener, J. C.** (1976). Masonry infill panels subjected to cyclic in-plane loading. *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, 9(2), s. 122-131.
- Liauw, T.C., ve Kwan, K.H.** (1984). Nonlinear behaviour of non-integral infilled frames. *Computers&Structures*, vol18, no3, s. 551-560
- Mainstone, R.J.** (1971). On the stiffness and strengths of infilled frames. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, (s. 57-90).
- Mainstone, R.J.** (1974) On the stiffness and strength of infilled frames, *Proc. Supplement, Trans. of Instn. of Civil Engrs.*, State University of New York.
- Mallick, D. V., ve Severn, R. T.** (1967). The behaviour of infilled frames under static loading. *Proceeding of the Institution of Civil Engineering*, 38(4), s.639-656.
- Mosalam, K.M., White, R.N., ve Gergely, P.** (1997). Static response of infilled frames using quasi-static experimentation. *Journal of Structural Engineering, ASCE* 123, 11, 1462-1469.
- Özkaya, E.** (2018). *Binalarda yumuşak kat oluşumunda dolgu duvarların etkisinin incelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi), Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa.
- Öztürkoğlu, O., ve Ucar, T.** (2015). Kısmi boşluklu dolgu duvarların betonarme çerçevelerin serbest ve zorlanmış titreşimine etkisinin araştırılması. 3. *Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, İzmir:14-16 Ekim.
- Paçacı Karahan, M.G.** (2018). *Betonarme binalarda zemin kat yüksekliği değişiminin bina performansına etkisi*. (Yüksek Lisans Tezi). Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

- Paulay, T., ve Priestley, M. J. N.** (1992). *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*, John Wiley & Sons Inc. 744s.
- Polyakov, S.V.** (1960). On the interaction between masonry filler walls and enclosing frame when loading in the plane of the wall. *Translation In Earthquake Engineering, Earthquake Engineering Research Institute (EERI)*, San Francisco.
- Sağlıyan, S.** (2018). Dolgu duvarların modellenme yaklaşımlarının betonarme çerçeve davranışına etkisi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 30 (2), 165-174.
- Sancioğlu, S., Soydoğan, H.F., ve Can, H.** (2022). Farklı dolgu duvar malzemelerinin ve planda yerleşimlerinin betonarme bir yapının davranışına etkisi. *International Journal of Engineering Research and Development*, 14 (2), 457-474. doi:10.29137/umagd.1028494.
- Sayın, B., Yıldızlar, B., ve Kaplan, S. A.** (2004). Betonarme Yapı Analizlerinde Dolgu Duvarların Modellenme Teknikleri. *Onyedinci Türkiye İnşaat Mühendisliği Teknik Kongre ve Sergisi*, İstanbul:15-17 Nisan.
- SAP 2000 V15.** (2015). *Integrated finite element analysis and design of structures*. Computer and Structures Inc. Berkeley, California.
- Sivri, M., Demir, F., ve Kuyucular, A.** (2009). Dolgu duvarlarının çerçeve yapının deprem davranışına ve göçme mekanizmasına etkisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. 10 (1), 109-115. doi:10.19113/sdufbed.56263.
- Smith, B. S.** (1962). Lateral stiffness of infilled frames. *ASCE Structural Division Journal*, pp.183- 199.
- Smith, B. S., ve Carter, C.** (1969). A method of analysis for infilled frames. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 44, s. 31-48.
- Syrmakezis, C. A., ve Vratsanou, V. Y.** (1986). Influence of infill walls to RC frames response. *In 8th European Conference on Earthquake Engineering*, (pp. 47-53). Istanbul, Turkey
- Tetik, D.** (2007). *Dolgu duvarların betonarme yapıların serbest titreşimine etkisi*. (Yüksek Lisans Tezi), Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Timurağaoğlu, M.Ö.** (2015). *Dolgu duvarlı çerçevelerin davranışının analitik ve sayısal yöntemlerle incelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi), Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Toker, A.** (2007). *Betonarme bir yapıda dolgu duvar etkisinin doğrusal olmayan dinamik hesap yöntemiyle incelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY).** (2018). T.C Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.
- TS 500** (2000). *Betonarme yapıların tasarımı ve yapım kuralları*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 498** (1987). *Yapı elemanlarının boyutlandırılmasında alınacak yüklerin hesap değerleri*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara

Uçar, T., ve Öztürkoğlu, O. (2018). Basınç Çubuğu Bünye Bağıntısının Boşluklu Dolgu Duvarlı Betonarme Çerçevelerin Artımsal İtme Analizine Etkisi. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 8 (1) , 227-241.

Url-1 <<https://tdth.afad.gov.tr/TDTH/main.xhtml>>, erişim tarihi 21 Ocak 2022.

Yalçın, E. (1999). *Dolgu duvarları ve konumlarının çok katlı betonarme yapıların deprem kuvvetleri altındaki davranışına etkileri*. (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Yıldırım, M. K. (2009). *Betonarme çerçeveli yapılarda dolgu duvar oranına göre yapı periyodunun değişiminin saptanması*. (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Zarnic, R., ve Tomazevic, M. (1985). *Study of the behaviour of masonry infilled reinforced concrete frames subjected to seismic loading*, Melbourne

Zarnic, R., ve Tomazevic, M. (1994). *Modeling of response of masonry infilled frames*, Viyana



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Özge ATEŞ

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2017, İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği
- **Lisans** : 2018, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği
- **Yüksek Lisans** : 2023, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, Yapı Mühendisliği