

T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**TAŞIYICI SİSTEM PARAMETRELERİ İLE DÜŞÜK VE ORTA
YÜKSEKLİKTEKİ BETONARME BİNALARDA ELASTİK PERİYOT HESABI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Abdullah YİĞİT
DANIŞMAN: Dr. Öğr. Üyesi Barış ERDİL
İKİNCİ DANIŞMAN: Doç.Dr. İsmail AKKAYA

VAN-2020

T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**TAŞIYICI SİSTEM PARAMETRELERİ İLE DÜŞÜK VE ORTA
YÜKSEKLİKTEKİ BETONARME BİNALARDA ELASTİK PERİYOT HESABI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Abdullah YİĞİT

Bu çalışma Van YYÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı tarafından FYL-2019-8644 No' lu proje ile desteklenmiştir.

VAN-2020

KABUL VE GÖNAY SAYFASI

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Dr. Öğr. Üyesi Barış ERDİL danışmanlığında, Abdullah YİĞİT tarafından sunulan "Taşıyıcı Sistem Parametreleri ile Düşük ve Orta Yükseklikteki Betonarme Binalarda Elastik Periyot Hesabı" isimli bu çalışma Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili hükümleri gereğince 06/12/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile başarılı bulunmuş ve Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. İlker KAZAZ

İmza: 

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Barış ERDİL

İmza: 

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Fuat KORKUT

İmza: 

Üye:

İmza:

Üye:

İmza:

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih vesayılı kararı ile onaylanmıştır.

İmza

.....
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atf yapıldığını bildiririm.

İmza

Abdullah YİĞİT

ÖZET

TAŞIYICI SİSTEM PARAMETRELERİ İLE DÜŞÜK VE ORTA YÜKSEKLİKTEKİ BETONARME BİNALARDA ELASTİK PERİYOT HESABI

YİĞİT, Abdullah

Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Barış ERDİL

İkinci Danışman: Doç. Dr. İsmail AKKAYA

Ocak 2020, 86 sayfa

Betonarme binaların ön tasarımı sırasında binaya etkiyebileceği düşünülen sismik yatay deprem kuvvetinin hesabı, önceden belirlenen binanın doğal titreşim periyodu ile doğrudan ilişkilidir. Bir çok ülkenin deprem yönetmeliklerinde çoğunlukla bina kat sayısına veya bina toplam yüksekliğine bağlı olarak doğal periyot bağıntısı elde edilmektedir. Fakat sadece bina yüksekliği veya bina kat sayısı dikkate alındığında periyot hesabı hatalı tasarımlara yol açabilmektedir. Çünkü periyot, kütle ve rijitlikle ilişkilidir. Kütle bina ağırlığına eşdeğer olarak kabul edilebilir. Fakat rijitlik bina boyutlarına, taşıyıcı eleman boyutlarına ve miktarına, beton malzemesi özelliklerine, kat yüksekliğine, dolgu duvar miktarına ve özelliklerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bu tez çalışmasında çerçevesi ve/veya perde duvarlı binaların rijitliğini ve kütlelerini etkileyen faktörlerin yer aldığı teorik bir doğal periyot bağıntısı üretilmiştir. Bu bağıntı elde edilmeden önce Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi yerleşim alanında yer alan düşük yükseklikteki binalar bilgisayar ortamında modellenerek aynı binalardan elde edilen mikrotremor ölçümleri ile karşılaştırılmış ve binaların modellenmesi aşamasında dolgu duvarların önemli bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Bu çıkarımdan yola çıkılarak Van ilinde yer alan orta yükseklikteki binalar dolgu duvar içerecek şekilde modellenerek dinamik analizleri yapılmıştır. Tez kapsamında üretilen bağıntı düşük ve orta yükseklikteki bina modellerinden elde edilen doğal periyotlarla ve literatürde yer alan diğer doğal periyot bağıntıları ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar neticesinde binaların dolgu duvarlı olacak şekilde modellenmesinin gerekli olduğu, tez kapsamında önerilen periyot bağıntısının rijitlik ve kütleyle dikkate alması sebebi ile diğer bağıntılardan nispeten daha güvenilir sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler:Betonarme bina, Deprem, Dolgu duvar, Elastik periyot.



ABSTRACT

ELASTIC PERIOD CALCULATION USING STRUCTURAL SYSTEM PARAMETERS FOR LOW AND MEDIUM HEIGHT REINFORCED CONCRETE BUILDINGS

YİĞİT, Abdullah

M.Sc. Thesis, Civil Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Barış ERDİL

Co-Supervisor: Assoc. Prof. Dr. İsmail AKKAYA

January 2020, 86 Pages

The calculation of the seismic horizontal earthquake force which is thought to have an effect on the building during the preliminary design of the reinforced concrete buildings is directly related to the predetermined natural vibration period of building. The natural period equation in the earthquake codes of many countries is mostly given depending on the number of floors or the height of the building. However, the calculation of the period considering only the height of the building or the number of floors can lead to faulty designs. Because the period is related to mass and stiffness. Mass can be considered equivalent to building weight. But, the stiffness varies depending on the building dimensions, vertical reinforced concrete element dimensions and quantity, concrete material properties, floor height, infill wall quantity and properties. In this thesis study, a theoretical natural period equation including the factors affecting the stiffness and mass of framed and/or shear walled buildings, is developed before obtaining the equation, low-rise buildings located in the settlement area of Van Yüzüncü Yıl University were modeled by computer and compared with microtremor measurements recorded from the same buildings and it was determined that infill walls had a significant effect on the modeling stage of the buildings. Based on this inference, modeling infill walls in the mid-rise buildings located in Van province dynamic analyzes were performed. The equation produced within the scope of the thesis was compared with the natural periods obtained from low and medium height building models and the other natural period relations in the literature. As a result of the comparisons, it is determined that the buildings should be modeled as infill walls and the period equation proposed in the thesis scope gives relatively more reliable results than the other relations due to the consideration of rigidity and mass.

Keywords: Earthquake, Elasticperiod, Infillwall, Reinforced concrete building.



ÖNSÖZ

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı programı kapsamında bu yüksek lisans tez çalışması BAP tarafından FYL-2019-8644 no'lu proje ile gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmaya BAP tarafından FYL-2019-8644 no'lu proje ile maddi destek katkısı sağlandığından dolayı teşekkür ederim.

Bu tez çalışmamda ve yüksek lisans öğrenimim boyunca her türlü ilgi ve yardımını esirgemeyen danışmanlarım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Barış ERDİL ve Doç. Dr. İsmail AKKAYA hocalarıma teşekkür ederim. Ayrıca Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümü hocalarıma teşekkür ederim.

2019

Abdullah YİĞİT



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT	iii
ÖN SÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELER LİSTESİ	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xv
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Amaç ve Kapsam	1
2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ	3
2.1. Dolgu Duvarların Doğal Periyot Üzerine Etkisi.....	3
2.1.1. Dolgu duvarların yatay yük taşıma kapasitesine etkisi	4
2.1.2. Dolgu duvarların rijitliğe etkisi	6
2.1.3. Dolgu duvarların enerji yutma kapasitesine etkisi	6
2.1.4. Dolgu duvarların davranış şekilleri	6
2.1.5. Dolgu duvarların yapı davranışına olumsuz etkileri	10
2.1.6. Dolgu duvarların modellenmesi	13
2.1.6.1. Diyagonal eşdeğer basınç çubuğu (Makro model) modeli	14
2.1.6.2. Sonlu elemanlar modeli (Mikro model)	21
2.1.7. Dolgu Duvarların boşluk etkisi	22
2.2. Yapı Yüksekliği ile Doğal Periyot Arasındaki İlişki	24
2.3. Betonarme Perdeli ve Çerçeveli Yapılarda Doğal Periyot	25
2.4. Plan Boyutları ile Doğal Periyot Arasındaki İlişki	30
2.5. Doğal Periyot Bağlılıkları	33
2.5.1. Literatürdeki bazı doğal periyot bağıntıları.....	33
2.5.2. Deprem yönetmeliklerinde yer alan bazı doğal periyot bağıntıları.....	38
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	41
3.1. Materyal	41
3.2. Yöntem.....	45

	Sayfa
3.2.1. Binaların modellenmesi	45
3.2.2. Mikrotremor yöntemi	47
3.2.3. Üç boyutlu bina analizinin mikrotremor periyotları ile kalibrasyonu.....	51
4. BULGULAR	55
4.1. Elde Edilen Doğal Titreşim Periyodu	55
4.2. Bina Toplam Yüksekliğinin Doğal Periyot Üzerindeki Etkisi	64
4.3. Taşıyıcı Eleman Miktarının Doğal Periyot Üzerindeki Etkisi	65
4.4. Beton Basınç Dayanımının Doğal Periyot Üzerindeki Etkisi.....	66
4.5. Asal Doğrultu Uzunlukları Oranının Doğal Periyot Üzerindeki Etkisi	67
5. TARTIŞMA.....	69
5.1. Literatür ve Deprem Yönetmeliklerinde Ele Alınan Parametre Türleri	70
5.2. Doğal Periyot Bağlılarının Karşılaştırılması	72
5.2.1. Literatürde mevcut olan bağıntılar ile karşılaştırma	72
5.2.2. Deprem yönetmeliklerinden elde edilen doğal periyotların karşılaştırılması	74
5.3. Bina Toplam Yüksekliği Açısından Doğal Periyotların Karşılaştırılması.....	75
5.4. Mikrotremor Periyotları ile Sunulan bağıntı Periyotlarının Karşılaştırılması	76
5.5. Sunulan Bağıntı İle Ek Bina Analiz Periyotlarının Karşılaştırılması	77
6. SONUÇ.....	79
KAYNAKLAR.....	81
ÖZ GEÇMİŞ.....	85

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Kısa kolondan dolayı kolon kesme kuvvetindeki değişim (Erdil ve Ceylan, 2018).....	13
Çizelge 2.2. Yığma taşıyıcı duvarların karakteristik basınç dayanımı, f_k (MPa) (TBDY, 2018).....	21
Çizelge 2.3. Çerçeve ve perde yerleşim tiplerine göre x ve y yönlerindeki doğal periyotları(Othman, 2017)	27
Çizelge 2.4. Boşluklu PM1 modelinin x ve y yönlerindeki periyotları (Othman, 2017).....	29
Çizelge 2.5. Doğal periyodu tahmin etmek için kullanılan düzeltme katsayıları.....	35
Çizelge 2.6. a_1 , a_2 , a_3 düzeltme faktörü değerleri	35
Çizelge 2.7. UBC ve EC8' de verilen C_t katsayısı değerleri.....	38
Çizelge 2.8. TBDY-2018'de verilen C_t katsayısı değerleri	39
Çizelge 3.1. İlk referans betonarme bina bilgileri	43
Çizelge 3.2. Bağntı kontrolü için kullanılan ek binalar.....	44
Çizelge 3.3. Hareketli yük kütle katılım katsayısı (TBDY-2018).....	46
Çizelge 3.4. Mikrotremor ve yapısal analiz sonucu elde edilen periyot değerleri	49
Çizelge 5.1. Literatürdeki araştırmacıların bağntılarında ele aldığı parametre türleri ..	71
Çizelge 5.2. Deprem yönetmeliklerindeki periyot hesabında kullanılan parametre türleri.....	71
Çizelge 5.3. Şekil 5.1'deki bağntılardan elde edilen hata oranları	73
Çizelge 5.4. Şekil 5.2.'deki bağntılardan elde edilen hata oranları	75
Çizelge 5.5. Bağntı kontrolü için kullanılan ek binalar.....	78

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. İdealleştirilmiş çerçevenin üç farklı durumu için kesme kuvveti değişimi (Kodur ve ark., 1995'den değiştirilerek alınmıştır).....	4
Şekil 2.2. Tekrarlı ve yön değiştiren yükleme sonucu taban kesme kuvvetlerinin değişimi (Govindan ve ark. 1986).	5
Şekil 2.3. Dolgu duvarların köşe ezilmesi davranışı.	7
Şekil 2.4. Dolgu duvarların yatay kayma kırılması.	8
Şekil 2.5. Dolgu duvarların çapraz çatlama davranışı.	8
Şekil 2.6. Dolgu duvarların düzlem dışı kırılması.....	9
Şekil 2.7. Dolgu duvarların çerçeve göçmesi davranışı.	9
Şekil 2.8. Yapı davranışında burulma etkisi a. deprem yüklerinin kütle merkezine etkimesi, b. rijitlik etrafında dönmesi, c. iki merkezin çakışması durumu (Doğangün, 2014).....	10
Şekil 2.9. Yumuşak kat etkisinden dolayı göçen binalar (ODTÜ-DMAM, 2012).....	11
Şekil 2.10. Kısa kolon hasarları (Topçu, 2012).	12
Şekil 2.11. Kısa kolon etkisini belirlemek için kullanılan modeller (Erdil ve Ceylan, 2018).....	12
Şekil 2.12. Dolgu duvarların eşdeğer basınç çubuğu modeli.	14
Şekil 2.13. Araştırmacıya göre dolgu duvarlı çerçeve yapıların w/dinf oranı (Bazan ve Meli, 1980).	17
Şekil 2.14. Dolgu duvar modelleme metotları a. tek fazlı modelleme, b. çift fazlı modelleme, c. üç fazlı modelleme (Lourenço, 2002).	22
Şekil 2.15. Boşluk miktarı ile doğal periyodun değişimi (Asteris ve ark. 2012).	23
Şekil 2.16. Yapı periyodunun ampirik bağıntılarla karşılaştırılması (Chiauzzi ve ark., 2012'den değiştirilerek alınmıştır).....	25
Şekil 2.17. Çerçevesiz ve perdeli-çerçevesiz bina kalıp planı (Othman, 2017).....	27
Şekil 2.18. Perdeli modellerin titreşim periyotlarının çerçevesiz modelin periyoduna oranı (Othman, 2017).....	28

Şekil	Sayfa
Şekil 2.19. 5 katlı PM1 perde modelinde %10, %20, %30 oranında bırakılan boşluk miktarları (Othman, 2017).	29
Şekil 2.20. Boşluklu PM1 modellerin periyotlarının çerçevesi sistemin periyoduna oranı (Orthman, 2017).	29
Şekil 2.21. 8 ve 14 katlı çerçevenin doğal periyoduna açıklık mesafesinin etkisi a. 8 katlı dolgusuz çerçeve, b. 8 katlı dolgulu çerçeve, c. 14 katlı dolgusuz çerçeve, d. 14 katlı dolgulu çerçeve (Asteris ve ark. 2017).....	31
Şekil 2.22. 8 katlı betonarme çerçevenin doğal periyodu üzerine açıklık sayısının etkisi a. yalın çerçeve, b. dolgu duvarlı çerçeve (Asteris ve ark. 2017).	32
Şekil 2.23. Seçilen parametrelere ilişkin doğal periyodun hassas analizi (Kose, 2009).	33
Şekil 2.24. Mevcut doğal periyot bağıntılarının incelenmesi.	40
Şekil 3.1. Dolgu duvarsız dikdörtgen şekilli betonarme binaların üç boyutlu modeli. ...	44
Şekil 3.2. Dolgu duvarlı dikdörtgen şekilli betonarme binaların üç boyutlu modeli.	44
Şekil 3.3. Mikrotremor ölçüm cihazı, ekipmanları ve örnek kayıt.	50
Şekil 3.4. Örnek mikrotremor ölçüm sonuçları.	50
Şekil 3.5. Dolgu duvarsız modellerin periyotlarının mikrotremor sonuçları ile karşılaştırılması.	52
Şekil 3.6. Dolgu duvarsız ve dolgu duvarlı betonarme binaların doğal periyotlarının karşılaştırılması.	53
Şekil 3.7. Dolgu duvarlı modellerin periyotlarının mikrotremor sonuçları ile karşılaştırılması.	54
Şekil 4.1. Düzeltilmemiş bağıntı ile yapı analiz periyotlarının karşılaştırılması.	58
Şekil 4.2. β katsayısındaki değişime karşılık oluşan hata oranları.	60
Şekil 4.3. $\beta = 0.25$ değerinin seçilmesi durumunda doğal periyotların karşılaştırılması.	61
Şekil 4.4. γ katsayısındaki değişime karşılık oluşan hata oranları.	62
Şekil 4.5. $\gamma = 0.025$ değerinin seçilmesi durumunda doğal periyotların karşılaştırılması.	62

Şekil	Sayfa
Şekil 4.6. $\beta = 0.25$ ve $\gamma = 0.08$ değerlerinin seçilmesi durumunda doğal periyotların karşılaştırılması.	63
Şekil 4.7. Bina toplam yüksekliği ile doğal periyot arasındaki ilişki.	64
Şekil 4.8. Taşıyıcı eleman miktarı ile doğal periyot arasındaki ilişki.	66
Şekil 4.9. Beton basınç dayanımı ile doğal periyot arasındaki ilişki.	67
Şekil 4.10. Asal doğrultu uzunlukları oranı ile doğal periyot arasındaki ilişki.	68
Şekil 5.1. Literatürdeki periyot bağıntıları ile analiz periyotlarının karşılaştırılması. ...	73
Şekil 5.2. Deprem yönetmelikleri ile analiz periyotlarının karşılaştırılması.	75
Şekil 5.3. Doğal periyot bağıntılarının bina toplam yüksekliğine bağlı değişimleri.	76
Şekil 5.4. Mikrotremor ile yapısal analiz periyotlarının karşılaştırılması.	77
Şekil 5.5. Bağıntı periyotları ile ek bina analiz periyotlarının karşılaştırılması.	78



SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
A_a	Dolgu duvar alanının boşluk alanına oranı
A_b	Kirişin kesit alanı
A_c	Kolon alanı, m^2
A_e	Dolgu duvar uzunluğunun boşluk uzunluğuna oranı
A_{floor}	Birinci kat alanı, m^2
A_{inf}	Yatay düzlemde dolgu duvar alanı
A_t	Bir kattaki taşıyıcı elemanların alanı, m^2
A_{sw}	Perde duvar alanı, m^2
A_w	Dolgu duvar alanı, m^2
a_h	Göçme anındaki kolon-duvar temas uzunluğu
a_L	Göçme anındaki kiriş-duvar temas uzunluğu
a_w	Dolgu duvar alanının boşluk alanına oranı
a_1	Açıklık mesafesi için düzeltme faktörü
a_2	Açıklık sayısı için düzeltme faktörü
a_3	Dolgu duvar miktarı için düzeltme faktörü
B_x	Kısa yöndeki açıklık sayısı
B_y	Uzun yöndeki açıklık sayısı
C_t	Betonarme çer çeve ve çelik yapılar için sayısal katsayı
C_1, C_2, C_3, C_4	Sabit katsayı
c	Poisson oranına bağlı bir katsayı
$d_{\text{inf}}, r_{\text{inf}}$	Eşdeğer basınç çubuğu uzunluğu
E	Beton malzemesi elastisite modülü
$(E)_e$	Etkin eğilme rijitliği
$E_{\text{inf}}, E_{\text{me}}$	Dolgu duvar elastisite modülü

Simgeler

Açıklamalar

E_{col}	Kolon elastisite modül ü
E_c	Çerçevenin young modül ü
E_{fe}	Çerçeve malzemesinin beklenen elastisite modül ü
E_t	Dolgu duvar rijitliği
F	Çerçeve tipi
f_c	Beton basınç dayanımı, t/m^2
f_k	Dolgu duvar basınç dayanımı
G	Zati yük
G_{inf}	Dolgu duvar kayma modül ü
H	Bina toplam yüksekliği
h_{col}	Kolon yüksekliği
H_{inf}	Dolgu duvar yüksekliği
I	Dolgu duvarların toplam panel alanına oranı
I_p	Kutupsal atalet momenti
I_c, I_{col}	Kolon atalet momenti
I_b	Kiriş atalet momenti
k	Yapı rijitliği
kN	Kilo Newton
L_{inf}	Kolondan kolona dolgu duvar uzunluğu
L, B	Açıklık mesafesi
L_x	X yönündeki bina uzunluğu
L_y	Y yönündeki bina uzunluğu
m	Binanın toplam kütlesi
MPa	Mega Pascal
n	Hareketli yük katılım katsayısı
R	Deprem yükü azaltma katsayısı
r_{ac}	Dolgu duvarlardaki boşluk miktarı
S	Perde duvarların toplam kat alanına yüzdelik oranı
T	Doğal titreşim periyodu
T_u	Uzun doğrultudaki periyot

Simgeler

Açıklamalar

T_k	Kısa doğrultudaki periyot
t, t_{inf}	Dolgu duvar et kalınlığı
z	Ampirik bir sabit katsayı
W	Bina ağırlığı
w	Eşdeğer basınç çubuğu genişliği
Q	Hareketli yük
z	Temas mesafesi
λ_h	Dolgu duvarlı çerçevenin rölatif rijitlik katsayısı
θ	Diyagonal çubuğu ile çerçeve yatayı arasında kalan açı
β	Boyutsuz bir parametre
γ, m	Rijitlik parametreleri
ν_{inf}	Dolgu duvar için Poisson oranı
β	Uzun kenar ölçüsünün kısa kenar ölçüsüne oranı(Eş. 2.17)
ρ_{as}	Kısa kenar perde duvar alanının toplam kat alanına oranı
ρ_{al}	Uzun kenar perde duvar alanının toplam kat alanına oranı
ρ_{min}	Minimum perde duvar alanının toplam kat alanına oranı
$C, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6$	Sabit bir katsayı
m	Metre
m^2	Metre kare
m^3	Metre küp
γ, β, α	Sabit katsayı

Kısaltmalar

Açıklamalar

BSLJ-1987	The Building Standard Law of Japan
DBYBHY-2007	Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik -2007
EC8	Euro Code 8
FEMA	Federal Emergency Management Agency

Kısaltmalar

Açıklamalar

IS-2002	India Standard CriteriaforEarthquakeResistant Design of Structures
KM	Kayma Merkezi
NBC-1995	NatioanlBuidingCode
ODTÜ	Orta Doğu Teknik Üniversitesi
RM	Rijitlik Merkezi
RMS	RootMeanSquare
SAP2000	Structure Analysis Programme-2000
TBDY	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
TS498	Türk Standardı 498
TDY-1998	Türkiye Deprem Yönetmeliği-1998
UBC97	UniformBuilding Code-97

1. GİRİŞ

Betonarme binaların deprem davranışını belirlemede kullanılan dinamik karakteristikler arasındaki en önemli parametrelerden birisi doğal titreşim periyodudur. Binaların doğal titreşim periyodu, deprem performansının değerlendirmesinde ve eşdeğer deprem yükü hesaplama aşamasında kullanılan en temel parametrelerden bir tanesidir. Yapı stoğundaki betonarme binaların deprem performansının değerlendirilmesi bakımından, bina doğal periyodunu tahmin etmek için basitleştirilmiş ampirik bağıntılar çok önemli rol oynar. Çünkü yapının sanal ortamda detaylı modeli daima mevcut olmayabilir.

Doğal periyot, kütle katılım oranına ve yapı rijitliğine bağlıdır. Bu nedenle, doğal periyot üzerinde değişiklik gösterebilen, taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanların varlığı ve diğer etkili parametreler dikkatli bir şekilde hesaba katılmalıdır.

Bina toplam yüksekliği veya bina kat sayısı dolgu duvarlı betonarme binaların doğal periyoduna etki eden en temel etkenlerdir. Aynı zamanda doğal periyoda etki eden farklı başka parametrelerde bulunmaktadır. Bunlar; taşıyıcı sistemleri oluşturan elemanların miktarı, açıklık sayısı ve mesafesi bir diğer ifade ile bina doğrultuları, dolgu duvar boşluk ve doluluk miktarı, bunun yanı sıra dolgu duvar rijitliği, birim hacim ağırlığı, ve dayanımı gibi parametreler olarak sıralanabilir.

Dolgu duvarlı betonarme binaların doğal titreşim periyodunu belirlemek için dünya çapında mevcut deprem yönetmeliklerinde ampirik periyot formüller veya farklı yaklaşımlar mevcuttur. Yaklaşımların bazılarında dolgu duvar etkisi hesaba katılmış, bazılarında ise katılmamıştır. Yine bazı standartlarda ve yönetmeliklerde doğal periyot bina kat sayısının veya bina toplam yüksekliğinin bir fonksiyonu olarak verilmiştir.

1.1. Amaç ve Kapsam

Bu çalışmada hedef, betonarme bir binada bulunan taşıyıcı sistem elemanlarının kesit özellikleri, binanın asal doğrultu uzunlukları, dolgu duvar etkisi ve bina kat yüksekliğini barındıran parametreler ile ampirik doğal periyot bağıntısı elde etmektir. Doğal titreşim periyodunun oluşturulmak istenmesinin sebebi bina doğal periyodunun

hızlı bir şekilde bulunmasıyla sismik deprem yükü hesabı işleminde kolaylık sağlamaktır. Ayrıca ülkemizde deprem yönetmeliklerinde ihmal edilen dolgu duvarların veya diğer etkili parametrelerin bina doğal titreşim periyodu üzerinde ne denli etkiye sahip olduğu gerçeğini araştırmaktır. Bu amaca ulaşabilmek için öncelikle Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi yerleşim alanında yer alan dolgu duvarlı betonarme binalar SAP2000 (Structure Analysis Programme 2000) paket programı ortamında mevcut proje bilgileri esas alınarak modellenmiştir. Daha sonra bu binalardan alınan mikrotremor ölçümleri sonucu elde edilen periyot değerleri, bilgisayar modellerinden bulunan periyot değerleri ile kıyaslanmıştır. Periyotların birbirinden farklı olması durumunda mikrotremor periyot değerleri gerçek periyot değerleri olarak kabul edilerek bilgisayar ortamında dolgu duvarlar diyagonal eşdeğer basınç çubuğu ile modellenerek bina modeli kalibre edilmiştir (Bölüm 3.2.3.). Kalibrasyon neticesinde bilgisayar modellerindeki önemli ayrıntıların kaydedilmesi ile farklı özelliklere sahip bina modelleri oluşturularak her bir parametrenin doğal titreşim periyodu üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Analizler sonucunda çalışmada kullanılan parametrelerin diğerine nazaran daha etkili olduğu ortaya çıkarılarak etkili parametrelerin yer aldığı ampirik bir doğal periyot bağıntısı oluşturulmuştur.

2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ

Betonarme binaların doğal titreşim periyodunu güvenilir bir şekilde hesaplayabilmek için periyoda etki eden etmenlerin bilinmesi gerekmektedir. Bu etmenler, bina toplam yüksekliği (bodrum kat hariç), bina kat sayısı, betonarme çerçeve ve perde duvar taşıyıcı sistem parametreleri, dolgu duvar özellikleri ve kalıp planı asal doğrultu ölçüleri gibi ifadeler birçok araştırmacının inceleme alanına girmiştir. İncelemeler sonucunda yukarıda bahsi geçen parametrelerin etki dereceleri belirtilmiş ve bazı araştırmacılar bu parametreleri bir denklem üzerinde kombine ederek bir periyot bağıntısını ortaya çıkarmıştır (Hong ve Hwang-2000, Goel ve Chopra-2000, Balkaya ve Kalkan-2003, Crowley ve Pinho-2006, Amanat ve Hoque-2006, Guler ve ark.-2008, Kose-2009, Nyarko ve ark.-2012, Hatzigeorgiou ve Kanapitsas-2013, Asteris ve ark.-2017).

Tez çalışmasının bu bölümünde dolgu duvarlı betonarme yapıların doğal periyodu üzerinde geçmişte araştırmacıların yaptığı çalışmalar ve belli ülkelerin deprem standartlarında geçen doğal periyot bağıntılarına değinilmiştir. Doğal periyodu etkileyen faktörler literatür ışığında ayrıca tartışılmıştır.

2.1. Dolgu Duvarların Doğal Periyot Üzerine Etkisi

Dolgu duvarlar büyük düzlem içi rijitliklere sahip olmaları sebebi ile bina davranışına yatay deprem yüklemelerinin ilk anlarında önemli katkılar vermekte, daha sonra gevrek olmaları sebebi ile çatlayarak katkıları azalmaktadır. Dolayısıyla binanın nispeten elastik davrandığı düşük titreşimlerde doğal periyot üzerinde önemli etkilere sahip olabilmektedir. Dolgu duvarlar genellikle bölme, kaplama gibi problemlerin çözümü olarak kullanılması ile birlikte ani kırılğan yani gevrek bir malzemedan imal edilen yapı elemanları olarak ele alınmaktadır.

Dolgu duvarlar betonarme çerçeve sistemlerde dünya çapında kullanılmasına rağmen, doğal titreşim periyodu hesabında veya yapıların sayısal analizinde çok nadiren kullanılmaktadır. Betonarme çerçevelerde kaplama, dolgu ve bölme mahiyetinde kullanılan tuğla, briket veya gaz beton duvarlar, uygulandığı yapıların yatay yük

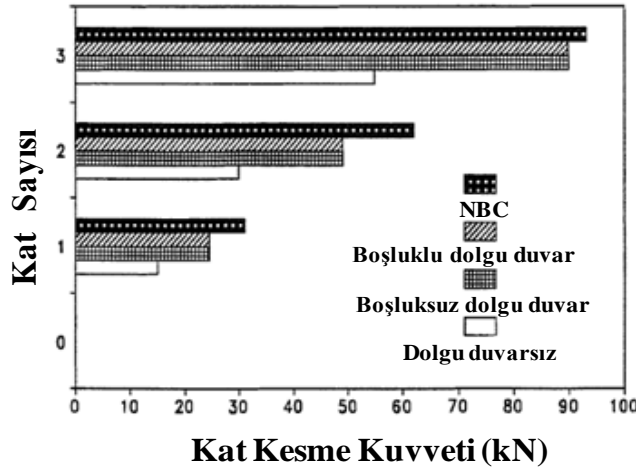
kapasitesini değiştirme konusunda bir rol oynadığı verilen araştırmacıların yapmış olduğu çalışmalarda belirtilmiştir.

Aynı zamanda bu araştırmacılar tarafından yapılmış olan deneysel ve kuramsal çalışmalarda dolgu duvarların yapı rijitliğini artırdığı da belirtilmiştir. Ancak kapı ve pencere gibi boşlukları bulunan dolgu duvarlı ereve sistemlerin rijitliği, boşluksuz kabul edilen dolgu duvarlı ereve sistemlerden daha az olarak belirlenmiştir (Bertoldi-1994, Asteris-2012). Yapı rijitliğini artırmanın yanında araştırmacılar tarafından yapının enerji yutma ve sönüm kapasitesini de arttırdığı ifade edilmektedir (Govindan ve ark.-1986, Dowrick-1987).

Aşağıdaki bölümlerde öncelikle dolgu duvarların betonarme binaların davranışına etkileri tartışılacak, daha sonra dolgu duvarların yapısal modellerde nasıl ele alındığı irdelenecektir.

2.1.1. Dolgu duvarların yatay yük taşıma kapasitesine etkisi

Kodur ve ark. (1995) dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız betonarme çerçevelerin yapısal analiz çözümünü yaparak dolgu duvarlı çerçevenin kat kesme kuvvetlerinin dolgu duvarsız çerçevelerden nispeten daha büyük çıktığını tespit etmiştir. Yapılan çalışmanın şematik grafiği şekil 2.1'de verilmektedir.

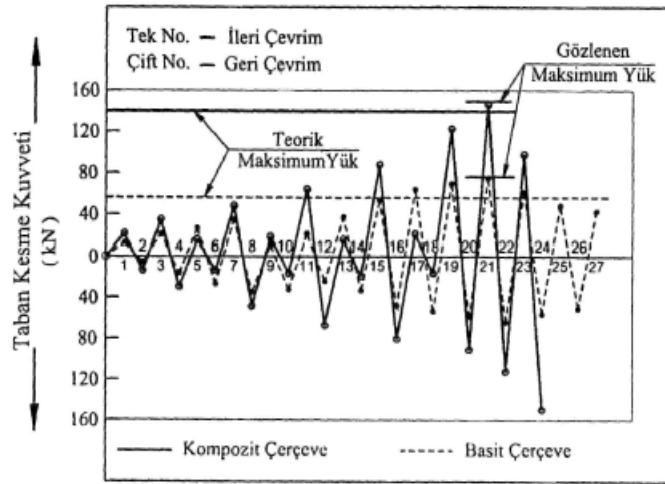


şekil 2.1. İdealleştirilmiş çerçevenin üç farklı durumu için kesme kuvveti değişimi (Kodur ve ark., 1995'den değiştirilerek alınmıştır).

Yıldırım (2009) tarafından bildirildiğine göre kompozit çerçeveler üzerinde çalışmalar yapan Mehrabi ve ark.(1996), boşluklu ve boşluksuz tuğlalardan oluşan ayrı dolgu duvar sistemlerini ele almıştır. Yaptıkları çalışmalarda boşluklu tuğla duvarlı çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesinin basit çerçeveye göre 2.1 kat, boşluksuz tuğla duvarlı çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesinin ise basit çerçeveye göre 3.2 kat daha fazla olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Yıldırım (2009) tarafından bildirildiğine göre Negro ve Verzeletti, (1996), dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin hesabında dolgu duvarlar ihmal edilmektedir. Ancak dolgu duvarlar yapının yatay yük taşıma kapasitesini etkilemektedir. Dolgu duvarlı kompozit yapının yatay yük taşıma kapasitesinin betonarme yapıya oranla 1.5 kat daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

Yıldırım (2009) tarafından bildirildiğine göre Govindan ve ark. (1986), tek açıklıklı ve 7 katlı betonarme çerçeve örnekleri üzerinde yaptıkları deneylerde dolgu duvarlı çerçevelerin basit çerçeveye göre 2 kat daha fazla yük taşıma kapasitesine sahip olduğunu gözlemlemiştir. Şekil 2.2'de yapılan deney sırasında farklı çevrimler boyunca, her iki deney numunesinin taban kesme kuvvetlerinin değişimi gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Tekrarlı ve yön değiştiren yükleme sonucu taban kesme kuvvetlerinin değişimi (Govindan ve ark. 1986).

2.1.2. Dolgu duvarların rijitliğe etkisi

Govindan ve ark. (1986) tarafından yapılan çalışmalarında çerçeveye uygulanan tekrarlı yükler altında rijitliklerin değişiminde, yükleme başlangıcında dolgu duvarlı çerçeve basit çerçeveden yaklaşık 5 kat daha rijittir. Çalışmada, çevrimsel yükleme sonucunda çatlakların artması ile rijitlikte önemli bir azalma görülmektedir.

Dowrick (1987) yaptığı çalışmada dolgu duvarların yapının rijitliğini artırdığı ve yapının yatayda ve düşeyde rijitlik dağılımını değiştirdiği ifade edilmektedir.

Negro ve Verzeletti (1996) deneylerinde çerçevelerin en üst katta oluşan maksimum yerdeğiştirmeleri karşılaştırıldığında, dolgu duvarlı çerçevede oluşan maksimum deplasmanın basit çerçeveye göre 2.6 kat daha az olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, basit çerçeveye göre dolgu duvarlı çerçevelerin yatay yükler altında çok daha yüksek rijitliğe sahip oldukları belirlenmiştir.

2.1.3. Dolgu duvarların enerji yutma kapasitesine etkisi

Enerji yutma kapasitesi, betonarme çerçeve sisteme uygulanan yükleme esnasında yük-deformasyon eğrisi altında kalan alan olarak ifade edilmektedir.

Govindan ve ark. (1986) yaptıkları deneyler sonucunda dolgu duvarlı çerçevelerin basit çerçeveye göre enerji yutma miktarlarının fazla olduğunu tespit etmişlerdir.

Dowrick (1987) yaptığı çalışmada dolgu duvarların yapının enerji yutma kapasitelerini oldukça arttırdığını ifade etmektedir.

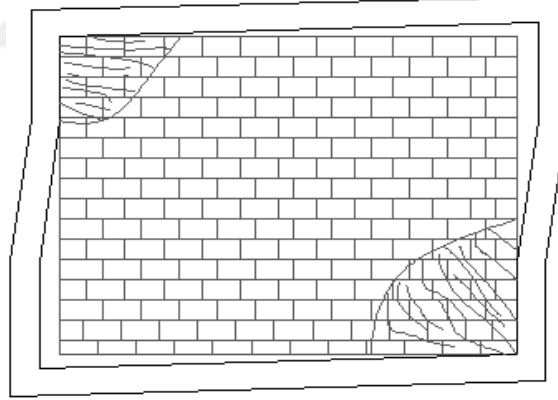
2.1.4. Dolgu duvarların davranış şekilleri

Dolgu duvarların imal edildiği malzeme oldukça gevrek olduğundan dolayı uygulandığı betonarme çerçevelere kıyasla daha az esnekliğe sahiptir. Bu sebeple depremin ilk yıkıcı sahnesinde temas halinde olan çerçevelerin hareketine uyum sağlayamadığından ötürü duvarda büyük çatlaklar meydana gelir ve bu çatlaklar zamanla dolgu duvarların göçmesine yol açar. Aşağıda bahsi geçen bu hasar şekilleri dolgu duvar ve betonarme çerçevenin özellikleri bakımından değişmektedir. Sucar (2008)

tarafından bildirildiğine göre FEMA-306 (1998)'da yapılan birçok deneysel çalışmalar neticesinde ve gerçek deprem yükü etkisine maruz kalmış dolgu duvarların davranış biçimleri gözlemlenmiş ve sonuçta dolgu duvarlar için tanımlanan beş farklı göçme tipi aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

Köşe kırılması:

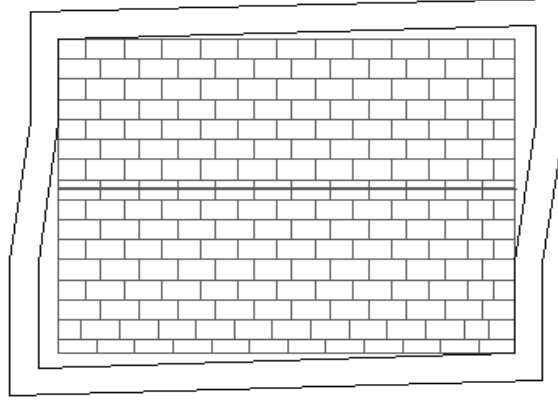
Dolgu duvarın herhangi bir köşe noktası belli bir yük altında kaldığı zaman köşelerinde gerilme yığılması oluşmaya başlar. Bu durum köşelerdeki dolgu malzemelerini sıkışmaya maruz bırakarak ezilmelerine neden olmaktadır (Şekil 2.3). Güçlü kolon-kiriş birleşimlerinde köşe ezilmesi küçük bir bölge üzerinde gerçekleşirken, zayıf kolon-kiriş birleşimlerinde köşe ezilmesi daha büyük bir alanda gerçekleşmektedir. Böylece hasar beton çerçeveye de ulaşabilir. Katlar arası yer değiştirmeler arttığı zaman köşe noktalarındaki dolgu malzemelerinin tamamen bozulması nedeniyle gözle görünür bir dolgu duvar köşe kırılması olayı gerçekleşir.



Şekil 2.3. Dolgu duvarların köşe ezilmesi davranışı.

Yatay kayma kırılması:

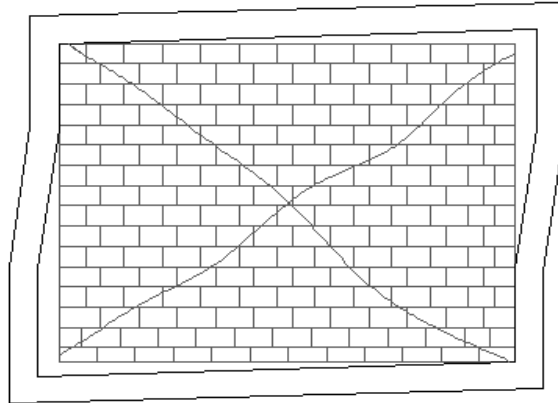
Dolgu duvarlardaki bu göçme şekli diğer göçme şekilleri ile birlikte olur. Dolgu duvarların yatay şekilde hareket etmesiyle oluşur. Dolgu malzemelerinde bağlayıcı olarak kullanılan harç tabakasının kayma gerilmelerine karşı direncini yitirmesi sonucunda yatay kayma kesilmeleri oluşmaktadır. Bu tip yatay kayma güçlü çerçeveler ile zayıf harç tabakası kullanılan dolgu duvarlarda ortaya çıkmaktadır (Şekil 2.4)



Şekil 2.4. Dolgu duvarların yatay kayma kırılması.

Çapraz çatlama:

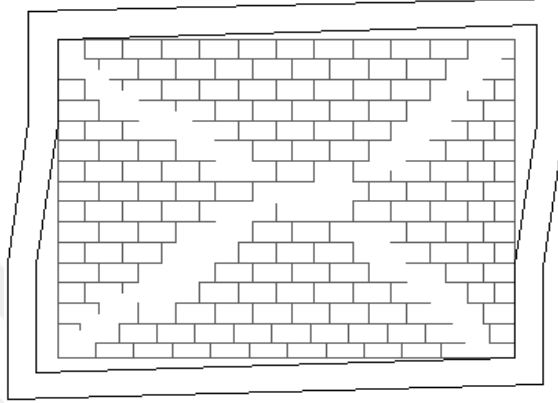
Dolgu duvarlı betonarme çerçeve düzlem içi yanal yükleme etkisinde kaldığında duvar köşegenleri boyunca yüksek basınç gerilmeleri meydana gelir. Oluşan gerilme birim şekil değiştirme miktarı, dolgu malzemesinin çatlama birim şekil değiştirme değerini aştığı anda dolgu duvarda çapraz çatlamlar oluşur. Dolgunun merkezinden başlayan bu çatlaklar basınç çaprazlarına eşdeğer bir şekilde ilerleme gösterir. Çoğunlukla zayıf kolon-kiriş birleşim noktası veya zayıf çerçeve ile birleşen rijit dolgu duvarlar neticesinde oluşur (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Dolgu duvarların çapraz çatlama davranışı.

Çapraz kırılma:

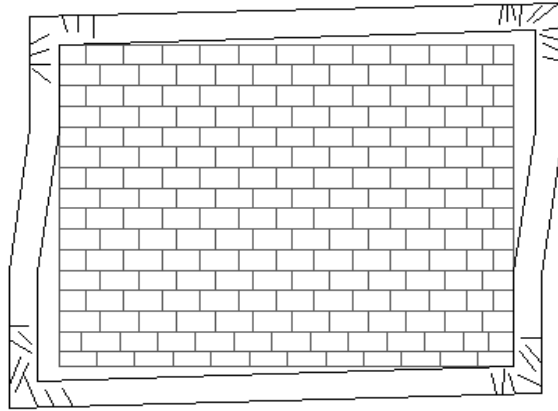
Dolgu duvarlarda düzlem dışı kırılma türü yapı ancak yüksek şiddetteki depreme maruz kaldığında görülebilir. Duvar çapraz basınç bölgesinde zorlanmaya çalışıldığında orta bölgesinin kırılması şeklinde oluşmaya başlar. Bu tip göçme şekli, narin dolgu duvarların düzlem dışı burkulmasıyla ortaya çıkmaktadır (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. Dolgu duvarların düzlem dışı kırılması.

Çerçeve göçmesi:

Dolgu duvarda önemli bir hasar meydana gelmeden kolon-kiriş birleşiminde plastik mafsallık oluşması durumunda ortaya çıkan davranış şeklidir (Şekil 2.7). Bu tür göçmeler daha çok kolon-kiriş birleşim noktaları zayıf fakat çerçeve elemanları ve dolgu duvarı güçlü olan yapılarda meydana gelmektedir.



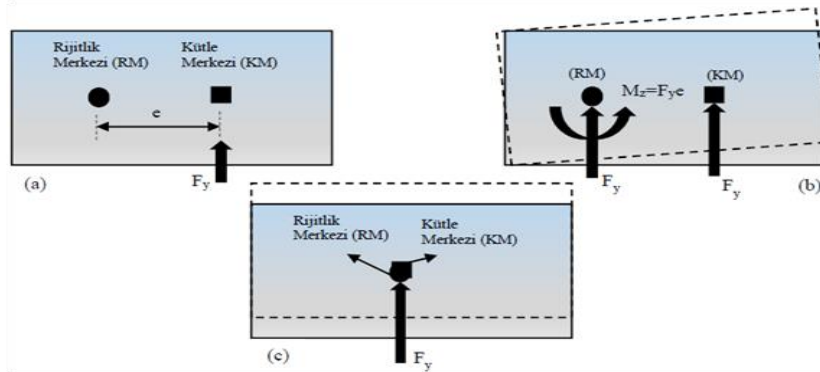
Şekil 2.7. Dolgu duvarların çerçeve göçmesi davranışı.

2.1.5. Dolgu duvarların yapı davranışına olumsuz etkileri

Birçok mühendis tarafından yapı analizi ve tasarımı sırasında dolgu duvar etkisi göz ardı edilmektedir. Çünkü tasarımcıya göre dolgu duvarın bina performansına sadece olumlu etkisi vardır. Yani dolgu duvar ihmal edilirse güvenli tarafta kalınacağı düşüncesi vardır. Bu nedenle düzensiz yerleştirilen dolgu duvarların statik analize etkisi göz önünde tutulmayarak, yapıda oluşabilecek burulma, yumuşak kat ve kısa kolon etkisi gibi birçok olumsuz davranışların oluşmasına neden olmaktadır. Deprem sonrası ağır hasarlı binalarda ve göçen binalarda dolgu duvarların olumsuz etkisi açıkça görülebilmektedir. Aşağıda dolgu duvarların betonarme yapıların davranışa olumsuz etkileri üzerine en temel olumsuz etkilerden söz edilmektedir.

Burulma etkisi:

Doğangün (2014)'e göre yatay yüklere maruz kalan bir yapıda, burulmanın meydana gelmemesi için rijitlik merkezi (RM) ile kütle merkezinin (KM) çakışması gerekmektedir. Simetrik çerçeveye sahip bir planda dolgu duvarlar simetrik yerleştirilmediği takdirde rijitlik merkezi ile kütle merkezi farklı yerlerde konumlanır (Şekil 2.8a). Böyle bir durumda kütle merkezi ile rijitlik merkezi arasında oluşan mesafe kadar burulma momenti yapıya etki eder (Şekil 2.8b). Şayet rijitlik merkezi ile kütle merkezi çakışması durumunda yapıda eşit bir öteleme meydana gelir ve burulma momenti oluşumu söz konusu olmaz (Şekil 2.8c).



Şekil 2.8. Yapı davranışında burulma etkisi a. deprem yüklerinin kütle merkezine etkimesi, b. rijitlik etrafında dönmesi, c. iki merkezin çakışması durumu (Doğangün, 2014).

Yumuşak kat etkisi:

Betonarme yapıların zemin katları genellikle ticari amaçlı veya oto park yerine kullanılması ve diğer geri kalan katların dolgu duvar ile örülmesi nedeniyle yumuşak kat sorunu ortaya çıkmaktadır. Bu durumda dolgu duvarlı katlar ile dolgu duvarsız katlar arasında rijitlik bakımından bir farklılığın oluşması öngörülmektedir. Böyle bir durumda yapı olası bir deprem yüküne maruz kaldığında önemli hasarlar ortaya çıkması beklenmektedir.

23 Ekim 2011 Van depreminden ($M_w=7.1$) sonra dolgu duvarlı betonarme binaların birçoğu yumuşak kat etkisinden dolayı ciddi hasarla karşı karşıya kalmıştır (Şekil 2.9). Orta Doğu Teknik Üniversitesi Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi (ODTÜ-DMAM) tarafından bu depremle ilgili yazılan raporda, en önemli bulgulardan biri dolgu duvarların yapı sistemlerinin davranışı üzerinde oynayabileceği etkinin büyüklüğüdür.



Şekil 2.9. Yumuşak kat etkisinden dolayı göçen binalar (ODTÜ-DMAM,2012).

Kısa kolon etkisi:

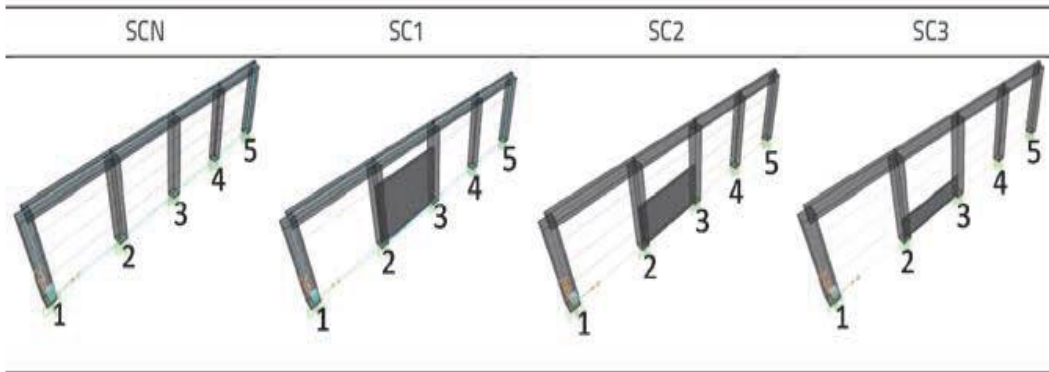
Dolgu duvarlarda farklı amaçlarla açılan pencere boşlukları nedeniyle dolgu duvarlarla temas halinde olan kolonlarda kısa kolon etkisi görülmektedir. Kısa kolona maruz kalan kolonlar belli bir mesafeye kadar dolgu duvar tarafından desteklenirken kolonun serbest kalan boyu kısalmakta ve rijitliği normal kolona göre artmaktadır.

Taşıyıcı elemanlar deprem yüküne, rijitlikleri oranında maruz kalacağı için rijitliği artan kolona daha fazla kesme kuvveti etkiyecektir. Tasarım aşamasında bu durum hesapta düşünülmediği için tasarım kesme kuvveti, kısa kolona gelen kesme kuvvetinden küçük çıkacağından yapıda ciddi hasarlar meydana gelebilmektedir (Şekil 2.10).



Şekil 2.10. Kısa kolon hasarları (Topçu, 2012).

Erdil ve Ceylan, (2018) tarafından Şekil 2.11'de görüldüğü gibi bir kolonun kesme kuvveti üzerinde kısa kolon etkisini incelemek için dört basit çerçeve modellenmiştir.



Şekil 2.11. Kısa kolon etkisini belirlemek için kullanılan modeller (Erdil ve Ceylan, 2018).

Şekil 2.11 incelendiğinde SCN çerçevesinde kısa kolon yoktur ve aynı zamanda referans model olarak düşünülmüştür. SC1, SC2 ve SC3 çerçevelerindeki kısa kolonlar sırasıyla 1 m, 2 m ve 3 m yüksekliğe sahiptir. Diğer kolonlar 4m yüksekliğe sahiptir.

Çerçeve düzlemi içinde sabit bir yatay kuvvet sol üst uçlarına etki etmiş ve çerçeve analiz edilmiştir. Analiz sonucunda SC1, SC2 ve SC3 çerçevelerindeki 2 ve 3 no'lu kolonlar kısa kolon etkisi görülen kolonlar olarak belirlenmiştir. Yapılan analizler sonucunda elde edilen verilerden oluşan ilişki Çizelge 2.1'de verilmektedir. Çizelgeden görüleceği gibi kolon kesme kuvvetindeki maksimum fark 1.53, fakat ortalama kolon kesme kuvveti yaklaşık 1.3 oranında artmaktadır.

Çizelge 2.1. Kısa kolondan dolayı kolon kesme kuvvetindeki değişim (Erdil ve Ceylan, 2018)

	Kolon kesme kuvveti (kN)				Kolon kesme kuvvetindeki değişim		
	SCN	SC1	SC2	SC3	SC1/SCN	SC2/SCN	SC3/SCN
Kolon 2	36.66	55.92	48.34	44.26	1.53	1.32	1.21
Kolon 3	33.93	48.49	44.71	41.31	1.43	1.32	1.22
Kolon kesme kuvvetindeki ortalama değişim					1.48	1.32	1.21

2.1.6. Dolgu duvarların modellenmesi

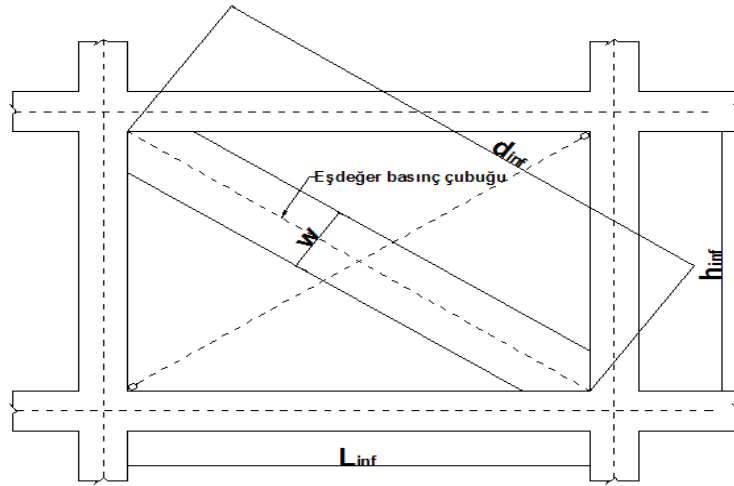
Tuğla, briket ve gaz beton gibi çeşitli inşaat malzemelerinden örülen dolgu duvarların betonarme çerçeveli yapılar üzerindeki etkilerini test etmek için paket programlar aracılığıyla makro ve mikro modeller olarak adlandırılan eşdeğer basınç çubuğu ve sonlu elemanlar yöntemleri kullanılmaktadır. Sonlu elemanlar metodunda dolgu duvarlar çubuk elemandan ziyade panel elemanlar olarak modellenmektedir. Bu yöntemi kullanmanın en önemli avantajı dolgu duvarların çerçeve sınırları içindeki davranışlarının incelenbilmesidir. Eşdeğer basınç çubuğu yönteminde ise modelleme yapılırken literatürde mevcut olan bir, iki ve üç eşdeğer basınç çubuklu modeller kullanılmaktadır. Literatür araştırması sonucu çubukların modellenmesi için gerekli temel terimler olan çubuk genişliği (w), temas mesafesi (z) ve rijitlik katsayısı (λ_h) ile ilgili birçok araştırmacı tarafından çeşitli bağıntılar öne sürülmüştür. Yine temsil edilen dolgu duvarların imal edildiği malzeme özellikleri olarak elastisite modülü ve malzeme basınç dayanımı modelleme aşamasında gerekli bilgiler arasında bulunmaktadır. Malzeme özellikleri her ülkenin standardına göre farklılık göstermektedir. Yukarıda söz

konusu olan terimlerin kalibrasyonu için daha önceden dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız betonarme çerçeveler üzerinde birçok araştırmacı tarafından deneysel çalışmalar yapılmıştır. Eşdeğer basınç çubuğu yönteminin en önemli dezavantajı dolgu duvarların davranış şekilleri bu yöntemle incelenememektedir. Fakat eşdeğer basınç çubuğu yöntemi ile dolgu duvarların yapı çerçevesi üzerindeki rijitlik , periyot değişimi ve kesit tesirleri etkileri daha kolay belirlenebilmektedir. Bu sebeple eşdeğer basınç çubuğu yöntemi hem pratik hem de daha az zamanda çözüm olanağı vermektedir.

2.1.6.1. Diyagonal eşdeğer basınç çubuğu (Makro model) modeli

Dolgu duvarlı çerçeve sistemlerin araştırmacılar tarafından çalışılmaya başlandığı günden bugüne kadar öne sürülen birkaç farklı model olsa da, birçok araştırmacı tarafından kanıtlanmış eşdeğer basınç çubuğu metodu dolgu duvarların çerçeve üzerindeki etkilerini doğru yansıtabilmektedir. Bu metod ilk olarak Polyakov (1960) tarafından önerilmiştir (Şekil 2.12). Daha sonra bu model birçok araştırmacı tarafından deneysel ve kuramsal olarak çalışılmıştır.

Bu model için gerekli veriler; eşdeğer basınç çubuğu genişliği (w), eşdeğer basınç çubuğu uzunluğu (d_{inf}), rijitlik katsayısı (λ_h), dolgu malzemesi dayanımı, elastisite modülü ve birim hacim ağırlık. Modelleme aşamasında gerçek değerlerin bilinmesinin gerekli olduğu bu veriler için kapsamlı bilgi aşağıda verilmektedir.



Şekil 2.12. Dolgu duvarların eşdeğer basınç çubuğu modeli.

2.1.6.1.1. Rijitlik katsayısı ve etkili genişlik

Betonarme yapılarda dolgu duvarların eşdeğer diyagonal basınç çubuğu yöntemine göre modellenmesinde etkili genişlik (w) kavramı çok büyük önem teşkil etmektedir. Bu sebeple etkili genişliğin duvarı daha iyi temsil etmesi amacı ile araştırmacılar tarafından birçok çalışmalar yürütülmüştür. Araştırmacıların yapmış oldukları çalışmalar Abdelkareem ve ark. (2013) tarafından yürütülmüş çalışmadan esinlenerek ele alınmıştır.

Polyakov (1960) tarafından ilk olarak ortaya çıkarılan bu modelde, dolgu duvarlar yatay yük altında basınç yüküne maruz bırakılarak analiz edilmiş ve dolgu duvarlı çerçevesel yapı sistemlerin yanal basınç yükü etkisinde eşdeğer basınç çubuğu şeklinde tasarlanmasının mümkün olduğu sonucuna varılmıştır. Holmes (1961) bu metot üzerinde çalışarak dolgu duvarda kullanılan malzeme özelliklerini ve dolgu duvar kalınlığını bir eşdeğer basınç çubuğuna aktararak modellemiş ve bu çubuğun genişliği üzerinde çalışarak dolgu duvarı temsil eden bir bağıntı ortaya çıkarmıştır. Eş. 2.1'de verilen bağıntıda, diyagonal basınç çubuğu genişliğinin w , diyagonal basınç çubuğu uzunluğunun d_{inf} , üçte biri kadar olduğunu ifade etmiştir.

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

Smith ve Carter (1969) tarafından çerçeve ve dolgu duvar rijitliklerine bağlı olarak diyagonal eşdeğer basınç çubuğu genişliği için bir teorik bağıntı sunulmuştur. Eş.2.2'de bu bağıntı verilmektedir.

$$w = 0.58 \left(\frac{1}{H_{inf}} \right)^{-0.445} * (\lambda_h * H_{inf})^{0.335 * d_{inf}} * \left(\frac{1}{H_{inf}} \right)^{0.064} \quad (2.2)$$

$$\lambda_h = \sqrt{\frac{E_{inf} * t_{inf} * \sin 2\theta}{4 * E_c * I_c * H_{inf}}}$$

t_{inf} , H_{inf} ve E_{inf} sırasıyla dolgu duvarın kalınlığı, yüksekliği ve elastisite modülü, θ diyagonal basınç çubuğu ile çerçeve yatayı arasında kalan açı, E_c kolon elastisite modülü, I_c kolon atalet momenti, H bina toplam yüksekliği ve λ_h dolgu duvarlı çerçevenin rölatif rijitliğini hesaba katan boyutsuz bir parametredir.

Mainstone (1971), tuğla duvarlı çerçeve modeller üzerine analizler yaparak diyagonal eşdeğer basınç çubuğu etkili genişliği ile ilgili Eş.2.3'te verilen bir bağıntıyı elde etmiştir. Onun bu yaklaşımı dolgu duvarların hem çerçeve rijitliğine hem de nihai dayanımına katkı sağladığı tahmininde bulunmaktadır.

$$w = 0.16 * d_{inf} * (\lambda_h * H_{inf})^{-0.3} \quad (2.3)$$

Mainstone ve Weeks (1974) deneysel ve analitik verilere dayalı diyagonal basınç çubuğunun genişlik hesabı için Eş.2.4'te verilen ampirik bir denklem sunmuşlardır.

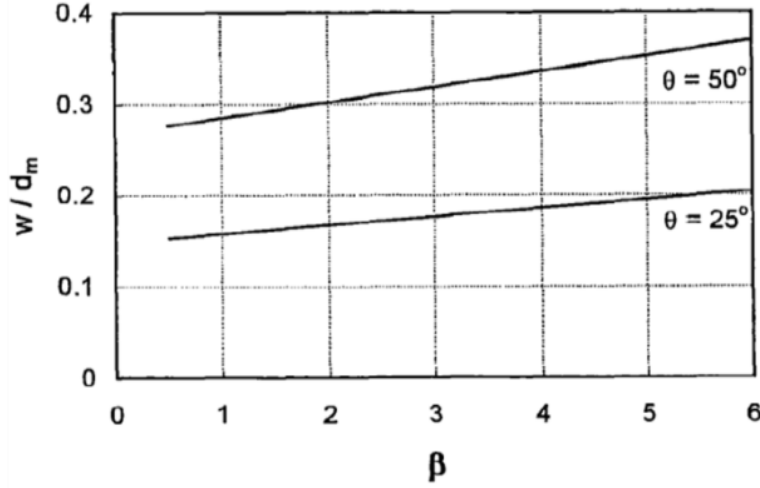
$$w = 0.175 * d_{inf} * (\lambda_h * H_{inf})^{-0.4} \quad (2.4)$$

Bazan ve Meli (1980) tek açıklıklı, tek katlı dolgu duvarlı çerçeveler için sonlu eleman çalışmaları bazında, w eşdeğer çubuk genişliğini hesaplamak için Eş.2.5'te verilen ampirik bir ifade önermişlerdir.

$$w = (0.35 + 0.22 * \beta) H_{inf} \quad (2.5)$$

$$\beta = \frac{E_c * A_c}{G_{inf} * A_{inf}}$$

β boyutsuz bir parametre, A_c kolonun toplam alanı, $A_{inf} = (L_{inf} * t)$ yatay düzlemde dolgu duvar alanı, G_{inf} dolgu duvarın kayma modülüdür. Şekil 2.13.'de Eş.2.5'e göre w/d_{inf} oranı örnek gösterilmektedir. Grafik eksenlerinde bilinmeyenler ($\theta = 50^\circ$ ve $\theta = 25^\circ$) iki farklı parametreye bağlı olduğu için bu sonuçları eşitlikteki ifadelerle karşılaştırmak zordur.



Şekil 2.13. Araştırmacıya göre dolgu duvarlı çerçeve yapıların w/d_{inf} oranı (Bazan ve Meli, 1980).

Liau ve Kwan (1984), analitik ve deneysel çalışmalara bağlı olarak Eş. 2.6'da verilen denklemi önermişlerdir.

$$w = \frac{0.95 * H_{inf} * \cos \theta}{\sqrt{\lambda_h * H_{inf}}} \quad (2.6)$$

Paulay ve Priestley (1992), tarafından yapılan çalışma sonucunda eşdeğer basınç çubuğu genişliğinin yüksek bir değer alması durumunda daha rijit bir yapı elde edileceğinden daha yüksek deprem kuvvetine yol açacağını ifade etmişlerdir. Araştırmacılar, yapı tasarımı için Eş. 2.7' de verilen kullanışlı ortalama sonuçlar veren bir bağıntı önermişlerdir.

$$w = 0.25 * d_{inf} \quad (2.7)$$

Durrani ve Luo (1994), Mainstone (1971)'in sunduğu denklemlere bağlı olarak dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin yatay yük tepkisini analiz ederek diyagonal çubuğun etkili genişliği için uygun bir denklem önermişlerdir. Bu denklem Eş. 2.8'de verilmektedir.

$$w = \gamma * \sqrt{L^2 + H^2} * \sin 2\theta \quad ; \quad m = 6 * \left[1 + \frac{6 * E_c * I_b * H}{\pi * E_c * I_c * L} \right]$$

$$\gamma = 0.32 * \sqrt{\sin 2\theta} * \left[\frac{H^4 * E_{inf} * t}{m * E_c * I_c * H_{inf}} \right]^{-0.1} \quad (2.8)$$

L kolondan kolona çerçevenin uzunluğu, I_b , kiriş atalet momenti, γ , m rijitlik parametleridir.

FEMA (1998) ve TBDY (2018) yönetmelikleri diyagonal eşdeğer basınç çubuğunun etkili genişlik, diyagonal çubuk uzunluğu ve çerçeve ile temasta bulunan dolgu duvar kalınlığı ile temsil edildiğini belirtmektedir. Her iki yönetmelikte eşdeğer basınç çubuğunun etkili genişliği için aynı bağıntıları önermektedir. Bu bağıntılar Eş. 2.9'da verilmektedir.

$$w = 0.175 * r_{inf} * (\lambda_h * h_{col})^{-0.4} \quad (2.9)$$

$$\lambda_h = \left[\frac{E_{me} * t_{inf} * \sin 2\theta}{4 * E_{fe} * I_{col} * h_{inf}} \right]^{\frac{1}{4}}, \quad \theta = \tan\left(\frac{h_{inf}}{L_{inf}}\right)^{-1}$$

Burada L_{inf} dolgu duvar uzunluğu, h_{inf} dolgu duvar yüksekliği, I_{col} kolon atalet momenti, E_{fe} çerçeve malzemesinin beklenen elastisite modülü, E_{me} dolgu malzemesinin beklenen elastisite modülü, r_{inf} diyagonal çubuk uzunluğu, h_{col} kolon yüksekliği,

Hendry (1998), kompozit bir yapıda yatay yük direncine katkı sağlayan dolgu duvarı temsil edecek olan eşdeğer diyagonal basınç çubuğu genişliği ile ilgili bir bağıntı önermiştir (Eş. 2.10).

$$w = 0.5 * \sqrt{a_h^2 + a_L^2} \quad (2.10)$$

$$a_h = \frac{\pi}{2} \left[\frac{4 * E_c * I_c * H_{inf}}{E_{inf} * t * \sin 2\theta} \right]^{\frac{1}{4}} \quad \text{ve} \quad a_L = \pi \left[\frac{4 * E_c * I_b * L_{inf}}{E_{inf} * t * \sin 2\theta} \right]^{\frac{1}{4}}$$

a_h , a_L duvarın ilk göçme anındaki sırasıyla kolon-duvar ve kiriş-duvar temas uzunluğudur.

Papia ve ark. (2008), Eş 2.11'de verildiği gibi diyagonal çubukların etkili genişliği için ampirik bir bağıntı geliştirmişlerdir.

$$w = \frac{c}{z} * \frac{1}{\lambda_1} * d_{inf}$$

$$c = 0.249 - 0.0116v_{inf} + 0.567v_{inf}^2$$

$$\lambda_h = \frac{E_{inf} * t * H_{inf}}{E_c * A_c} * \left(\frac{H_{inf}^2}{L_{inf}^2} + \frac{A_c * L_{inf}}{4 * A_b * H_{inf}} \right) \quad (2.11)$$

$$\frac{L_{inf}}{H_{inf}} = 1 \text{ ise } z = 1 ; \quad \frac{L_{inf}}{H_{inf}} \geq 1.5 \text{ ise } z = 1.125$$

E_c çerçevenin Young modülü, A_c kolonun kesit alanı, A_b kirişin kesit alanı, v_{inf} dolgu duvar için poisson oranı, c poisson oranına bağlı sabit bir katsayı ve z ampirik bir sabit katsayıdır.

2.1.6.1.2. Dolgu duvar elastisite modülü

Betonarme çerçevesel yapıların doğal periyodunu doğrudan etkilediğinden, dolgu duvarların elastisite modülünün bilinmesi önemlidir.

Bu parametrenin hesabı için literatürde malzeme basınç dayanımı ile dolgu duvar elastisite modülü arasındaki ilişkiyi belirten farklı yaklaşımlar bulunmaktadır. Dolgu duvar birden fazla malzemedan imal edildiği için heterojen bir yapıya sahip olmasının elastisite modülü de dolgu duvarın her noktasında farklılık göstermektedir. Tuğla elemanlı dolgu duvarın elastisite modülü bir çok faktörden etkilenmektedir. Dönmez (2005) bu etkenlerin tuğla duvar dayanımı ve yüksekliği, harç tabakası kalınlığı ve basınç dayanımı, duvar üzerindeki örtü maksatlı kullanılan koruyucu malzemelerin (sıva, boya) dayanımı ve kalınlığı vb. bağlı olarak değişiklik gösterdiğini ifade etmiştir.

FEMA-356 (2000) elastisite modülü hesabı için iki maddeden herhangi birinin uygulanmasını istemektedir. Birincisi mevcut duvardan test prizmaları çıkarılacak, basınç gerilmelerinde test edilecek ve deformasyonlar elastisite modülü değerlerini belirlemek için ölçülecektir. İkinci maddede ise taşıyıcı eleman olmayan dolgu duvarların elastisite modülü $550 * f_k$ bağıntısı kullanılarak hesaplanacaktır. Bu tez kapsamında dolgu duvarların modelleme aşamasında diyagonal eşdeğer basınç çubuğu elemanları için FEMA-356 yönetmeliğinde önerilen ikinci maddedeki bağıntı esas alınmıştır.

DBYBHY (2007)'de ise elastisite modülü $200 * f_k$ bağıntısına bağlı olarak verilmektedir.

TBDY (2018)'e göre dolgu duvarın elastisite modülü ya esas alınan şartnamelerdeki deneyler uygulanarak belirlenmeli ya da deneyler yapılmadığı durumlarda yapısal çözümleme için $750 * f_k$ bağıntısındaki değere eşit alınmalı olarak ifade edilmektedir.

2.1.6.1.3. Dolgu duvar basınç dayanımı

Dolgu duvar basınç dayanımı, eşdeğer basınç çubuğu dayanımını temel bir şekilde kontrol eden bir parametredir. Dönmez (2005) tarafından ifade edildiği üzere dolgu duvarların dayanımı, tuğla veya beton blok, harcın basınç ve çekme dayanımları olmak üzere, harcın yapay taş ile olan aderans dayanımı, duvar işçiliği, derz kalınlığı, kullanılan malzemenin birim boyutları, kullanılan harcın tazeliği, kullanılan malzemenin su muhtevası ve yapı kaba ve ince inşaatı aşamasında bilinmeyen ya da nümerik olarak belirtilmeyen etkenlere bağlı olarak değişmektedir. FEMA-356 (2000)'e göre dolgu duvarların basınç dayanımları eğer duvar kötü haldeyse 2.1 MPa'dan fazla, orta haldeyse 4.13 MPa'dan fazla, iyi haldeyse 6.2 MPa'dan fazla alınmaması gerektiği ifade edilmiştir.

TBDY (2018)'e göre yığma taşıyıcı duvarların basınç dayanımı ya duvar numuneleri üzerinde belli deney testlerine tabii tutulması yoluyla ya da kargir birim ve harç üzerinde yapılacak ayrı deneylerden sağlanan basınç dayanımları ile belirlenmektedir (Çizelge 2.2).

Çizelge 2.2. Yığma taşıyıcı duvarların karakteristik basınç dayanımı, f_k (MPa) (TBDY, 2018)

Birim-Birim Sınıfı	Harç sınıfı	Harç basınç dayanımı, f_m (MPa)*	Kargir birim basınç dayanımı, f_b (MPa)					
			5	10	15	20	25	30
Grup I	Genel Amaçlı Harç	M10-M20	3.4-4.2	5.5-6.8	7.3-9.0	8.9-11.0	10.4-12.9	11.9-14.6
		M2.5-M9	2.2-3.3	3.6-5.3	4.8-7.1	5.9-8.7	6.9-10.1	7.8-11.5
Grup II ve Kesme taş	Genel Amaçlı Harç	M1-M2	1.7-2.1	2.8-3.4	3.7-4.5	4.5-5.5	5.2-6.4	5.9-7.3
		M10-M20	2.8-3.4	4.5-5.5	6.0-7.4	7.3-9.0	8.5-10.5	9.7-12.0
		M2.5-M9	1.8-2.7	3.0-4.4	3.9-5.8	4.8-7.1	5.6-8.3	6.4-9.4
		M1-M2	1.4-1.7	2.3-2.8	3.0-3.7	3.7-4.5	4.3-5.3	4.9-6.0
Kil (Grup I)			2.9	5.3	7.5	9.6	11.6	13.5
Kil (Grup II)			2.2	3.5	4.7	5.7	6.7	7.6
Beton (Grup I), Gazbeton	İnce tabakalı harç**		3.1	5.7	8	10.2	12.3	14.4
Beton (Grup II)			2.6	4.6	6.5	8.3	10	11.7

(*) Harçlar M harfini takip eden rakam MPa cinsinden karakteristik basınç dayanımlarını gösterecek şekilde isimlendirilmiştir.

(**) İnce tabakalı harç, birimler arası harç tabakası 0.5 mm ile 3.0 mm olan harç.

2.1.6.2. Sonlu elemanlar modeli (Mikro model)

Sonlu elemanlar metodunda dolgu duvar kabuk eleman olarak tasarlanmaktadır. Kabuk elemanlar, sonlu eleman olarak nitelendirilen belli ölçü mesafelerinde küçük parçalara bölünmektedir. Sonlu elemanlarda seçilen ölçü değerleri küçüldükçe yapısal analiz kısmı daha hassas sonuçlar vermekte ve analiz süresi uzamaktadır.

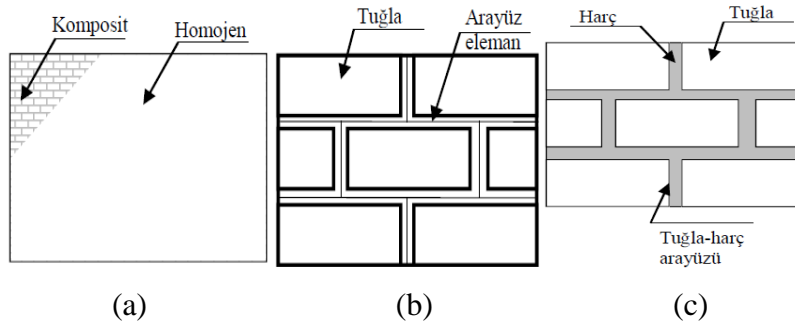
Buna karşın kabuk eleman modelleme aşamasında daha fazla işlem yüküne tabi tutulmaktadır. Dolgu duvarlar kompozit bir yapı elemanı olduğu için sonlu elemanlar metodu ile modellenmesinde farklı malzemelerin kullanılmasına ihtiyaç duymaktadır. Örneğin, çerçeve için kiriş elemanlar, duvar paneli için kabuk elemanlar ve dolgu ile

çerçeve arasındaki etkileşimi yansıtmak için ara yüzey elemanları gibi. Bu yöntemin dolgu duvarların davranışlarını, çatlama ile ilgili lokal etkiyi, ezilmeyi ve etkileşim bağlantısını açığa kavuşturmada önemli avantajları vardır. Timurağaoğlu (2015) tarafından bildirildiğine göre Lourenço (2002), dolgu duvarların üç farklı şekilde modellenebileceğini ifade etmiştir. Bu modeller Şekil 2.14'de verilmektedir.

Tek fazlı modelleme: Tuğla-harç etkileşimi homojen, izotropik ve anizotropik bir şekilde modellenir (Şekil 2.14a). Bu modelleme tipi yüksek katlı yapılar için uygun görülürken, tüm göçme tiplerini yansıtmadığı için küçük kabuk elemanların detaylı gerilme analizleri için uygun görülmemektedir.

İki fazlı modelleme: Tuğla sürekli elemanlar ile tasarlanırken, harç ve tuğla-harç etkileşimi ise süreksiz elemanlar olarak tasarlanmaktadır (Şekil 2.14b).

Üç fazlı modelleme: Tuğla ile harç sürekli elemanlardan tasarlanırken, tuğla-harç etkileşimi süreksiz elemanlardan tasarlanmaktadır. Bu modelleme tipi daha gerçekçi sonuçlar vermesine rağmen analiz kısmı daha uzun süre zarfında gerçekleşmektedir (Şekil 2.14c).



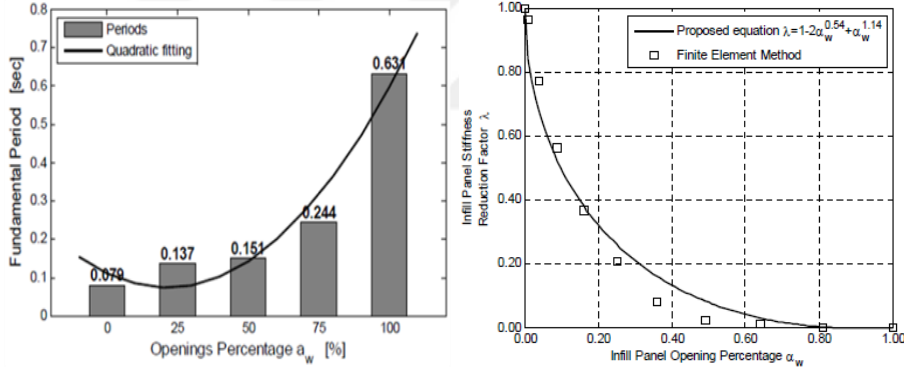
Şekil 2.14. Dolgu duvar modelleme metodları a. tek fazlı modelleme, b. çift fazlı modelleme, c. üç fazlı modelleme (Lourenço, 2002).

2.1.7. Dolgu duvarların boşluk etkisi

Dolgu duvarlı çerçeveler genellikle büyük boşluklara sahip olmasına rağmen, araştırmacılar boşluksuz dolgu duvar üzerine odaklanmıştır. Dolgu duvar, çerçeveli yapıların rijitliğini artırır. Ancak dolgu duvarda boşlukların varlığı yatay rijitliği azaltır.

Şekil 2.15'deki grafik boşluk yüzdeliği ile periyot arasındaki değişimi göstermektedir. Boşluk miktarının artması durumunda çerçeve yapının rijitliğindeki azalmadan dolayı, beklenildiği gibi periyotta da artış meydana gelmektedir. Periyotların böyle değişimi tabii tutulan deprem yönetmelikleri tarafından önerilen ampirik doğal periyot bağıntıları kullanılarak hesaba katılmamaktadır. Çünkü önerilen ampirik bağıntılarda dolgu duvar etkisi hesaba katılmadığı için ve bu bağıntılar yüksekliğe veya bina kat sayısına bağlı olarak esas alındığı için dolgu duvarlı çerçeve yapının gerçek periyodunu elde etmek mümkün olmamaktadır.

Asteris (2012) dolgu duvarlardaki boşluk miktarının, yatay rijitlik üzerindeki etkisini araştırmak için sonlu elemanlar tekniğini kullanmıştır. Daha sonra diyagonal eşdeğer basınç çubuğuna boşluk miktarı etkisini yansıtmak için boşluk yüzdeliğini bir fonksiyon olarak dolgu duvar rijitlik azaltma faktörüne (λ_h) parametre olarak eklemiştir. Elde edilen bağıntı Eş. 2.12'de bir formülasyon olarak verilmekte olup, grafiksel olarak ise Şekil 2.15'de verilmektedir.



Şekil 2.15. Boşluk miktarı ile doğal periyodun değişimi (Asteris ve ark. 2012).

$$\lambda_h = 1 - 2 * a_w^{0.54} + a_w^{1.14} \quad (2.12)$$

a_w dolgu duvar alanının boşluk alanına oranıdır.

Crowley ve Pinho (2006) tarafından yapılan çalışmada belirtildiğine göre Bertoldi (1994)'nin yaptığı çalışmada dolgu duvarlardaki boşlukların yanal rijitlik üzerindeki etkisini hesaba katmak için Eş. 2.13'teki gibi verilen bağıntı önermiştir. Verilen bağıntıda $r_{ac} \cong 0.4$ denkliği alınabileceği belirtilmiştir. Bu tez çalışması

kapsamında örnek bina modellemelerinde boşluk miktarını yansıtmak için aşağıda verilen Eş.2.13'teki bağıntı kullanılmıştır.

$$r_{ac} = 0.78 * e^{-0.322 * \ln A_a} + 0.93 * e^{-0.762 * \ln A_e} \quad (2.13)$$

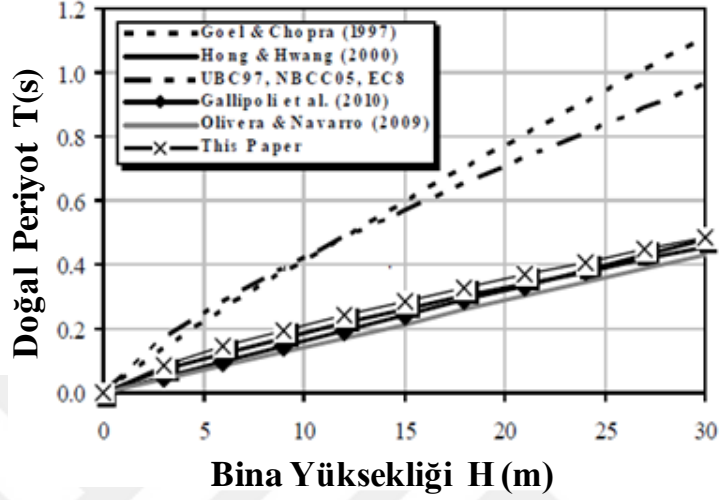
Bağıntıda r_{ac} , boşluk oranı, A_a dolgu duvar alanının boşluk alanına oranı, A_e dolgu duvar uzunluğunun boşluk uzunluğuna oranıdır.

2.2. Yapı Yüksekliği ile Doğal Periyot Arasındaki İlişki

Bina toplam yüksekliği ile bina doğal periyodu arasındaki ilişkiyi veren basit ampirik bağıntılar çoğu deprem yönetmeliğinde mevcuttur. Aynı zamanda birçok araştırmacılar tarafından sadece bina toplam yüksekliğine bağlı olarak var olan periyot bağıntıları üzerinde çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Fakat sadece yükseklikle ilişkili periyot bağıntıları ile elde edilen sonuç ve bilgisayar programları ile yapılan yapısal analiz sonucunda elde edilen periyot değerleri karşılaştırıldığında kat yüksekliği düşük olan betonarme yapıların doğal periyotları nispeten aynı çıkarken, bina yüksekliği artan yapılarda bu iki periyot arasında büyük farklar ortaya çıkmaktadır. Buradan hareketle yüksek katlı yapılarda, doğal periyot hesabı için sadece yükseklik veya kat sayısı içermeyen periyot bağıntılarını kullanmanın tasarımcıya yanlış periyot sonucu vereceği sonucuna ulaşılabilir. Bu durum, eşdeğer deprem yükü hesabında taban kesme kuvvetlerini doğrudan etkilemektedir. Kat yüksekliği ile ilişkili ampirik periyot bağıntılarının doğru sonuçlar vermemesinin nedeni, bağıntıda yapı planının x ve y asal doğrultu uzunlukları yani atalet momentinin yer almaması, yapı kütlesi ve yapı rijitliğinin kullanılmıyor olmasıdır. Aynı şekilde deprem yönetmeliklerinde verilen yapı periyodu formülleri ile yapılan periyot hesaplarında yapının taşıyıcı sistemlerinin etkisi yeteri kadar görülmemektedir. Bununla beraber, aynı bina yüksekliğine sahip binaların taşıyıcı sistemleri tamamen çerçeve elemanlarından, tamamen perde duvarlardan veya perdeli-çerçevelerden oluşan yapıların periyotları yaklaşık ampirik formüllerle hesaplanırsa, taban kesme kuvvetleri yaklaşık aynı sonucu vermesi beklenmektedir.

Chiauzzi ve ark. (2012) tarafından yapılan çalışmada Kanada'da incelenen betonarme binalarda elde edilen titreşim verileri ile Goel ve Chopra (1997), Hong ve

Hwang (2000), Gallipoli ve ark. (2010), Olivera ve Navarro (2009)'nun doğal titreşim periyot denklemleri ve UBC97, NBCC05, EC8 deprem yönetmeliklerindeki doğal titreşim periyot denklemleri arasında karşılaştırma verilmektedir (Şekil 2.16).



Şekil 2.16. Yapı periyodunun ampirik bağıntılarla karşılaştırılması (Chiauzzi ve ark., 2012'den değiştirilerek alınmıştır).

Şekil 2.16'da bina doğal periyotlarının bina yüksekliği ile olan ilişkisi verilmektedir. Grafikten anlaşılacağı gibi bu bağıntılara bağlı olarak hesaplanan doğal periyotlar önemli farklılıklar içermektedir. Özellikle Olivera ve Navarro (2009) tarafından sunulan bağıntıda 30 m toplam yüksekliğe sahip binanın periyodu diğerlerine nazaran daha düşük tahmin edilmiştir. Diğer bir yandan Goel ve Chopra (1997) tarafından sunulan bağıntı, yapı periyodunun en yüksek değerine sahip ve tüm bağıntıların en üst sınırındadır. Hong ve Hwang (2000), Gallipoli ve ark. (2010), Olivera ve Navarro, Chiauzzi ve ark. (2012) tarafından önerilen bağıntılarda binanın toplam yüksekliği düşünüldüğünden, doğal periyot hesabı benzer sonuçlar vermektedir.

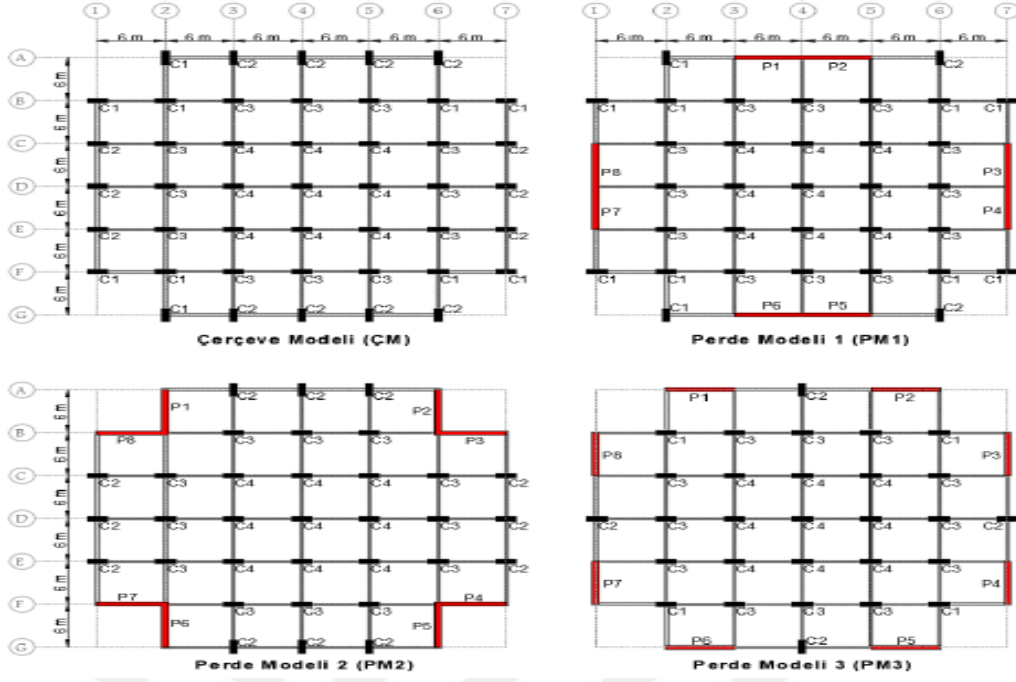
2.3. Betonarme Perdeli ve Çerçeve Yapılarda Doğal Periyot

Bir binanın doğal titreşim periyodu, tasarım kesme kuvvetlerini hesaplamak için deprem yönetmeliklerinde özelleştirilen denklemlerle belirlenir. Deprem yönetmelikleri taşıyıcı sistem elemanlarının malzeme bilgisine (çelik, betonarme vb.), bina tipine (çerçeve, perde duvarlı, perdeli-çerçeve vb.) ve genel boyutlara bağlı olan ampirik

formüller kullanılması gerekliliğini zorunlu kılmaktadır. Kolon, perde duvar ve dolgu duvarlar sistemde yatay yük taşıyan elemanlar olarak bilinmektedir. Çerçeve sistemler, kiriş ve kolonların meydana getirdiği taşıyıcı sistemlerdir. Betonarme çerçeve sistem modelinde kirişleri bağlayan kolonların kütsüz oldukları ve yapının kat kütlelerinin döşeme seviyelerinde toplu bir şekilde olduğu kabulü varsayılır. Bu durumda elastik kolon ve kirişlerin oluşturduğu ve her kat hizasında toplu halde kütsesi bulunan bir çerçeve meydana gelir. Genelde kolonların yatay yönde yerdeğiştirme yapabildiği fakat düşey yönde boy değişiminin olmadığı kabul edilir. Kolonların yatay yön de yerdeğiştirmeleri, kolon boyutları ve kolonda kullanılan malzeme bilgisi ile yatay yöndeki deprem kesme kuvvetlerine bağlı olarak değişir. Bu sayılan parametreler aynı zamanda kolon rijitliğini etkilemektedir. Kolon yatay yerdeğiştirmesinin büyük olması, kolon rijitliğinin düşük ve dolayısıyla doğal periyot rijitliğe bağlı olarak büyük çıkması anlamına gelmektedir. Doğal periyodun büyük olması, yapı tasarımı için hesaplanan taban kesme kuvveti değerinin küçük olmasına yol açmaktadır.

Perdeli veya perdeli- çerçeve taşıyıcı sistemler hem yatay yükün karşılanması hem yapı rijitliğini artırma hususunda çerçeve yapılarından daha başarılıdır. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli husus betonarme perdelerin sistemde önemli düzeyde burulmaya sebebiyet vermeyecek şekilde konumlandırılmalarıdır. Çünkü, perdelerin plandaki yerleşimi yapı davranışını etkilediği gibi yapının x ve y asal eksen takımındaki doğal periyodunu da doğrudan etkilemektedir. Bağ kirişleri ile birbirine bağlanan boşluklu perde duvarlar, boşluksuz perdeler göre nispeten daha az rijitliğe sahiptir. Böylelikle boşluklu perde duvarlı çerçeve yapıların doğal periyodu, boşluksuz perde duvarlı çerçeve yapılara göre daha büyük olabilmektedir. Önceden bahsedilen kolon rijitliğine etki eden faktörler, perde duvar taşıyıcı elemanlar için de geçerlidir.

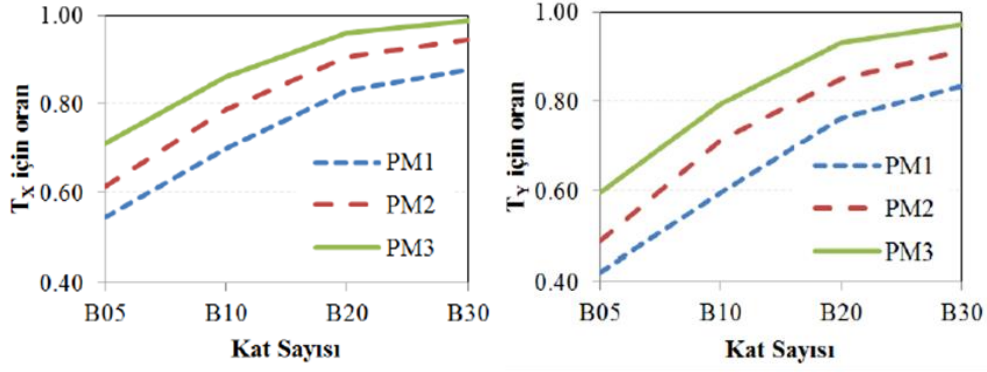
Othman (2017), çok katlı betonarme yapılarda perdelerin planda yerleşimi ve perdelerdeki belli oranlarda boşluk miktarının doğal periyotlar üzerindeki etkisini araştırmıştır. Çerçeve (ÇM) ve üç farklı perde yerleşim (PM1, PM2, PM3) yerine ait betonarme kalıp planı Şekil 2.17'de verilmektedir. Bu üç farklı perde modeli ve tamamen çerçeve ile modellenen binalarda kat sayıları 5, 10, 20, 30 şeklinde artırılarak Çizelge 2.3'de x ve y yönlerindeki doğal periyot değerleri hesaplanmıştır. Şekil 2.18'de periyot değerleri grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.17. Çerçevesel ve perdeli-çerçevesel bina kalıp planı (Othman, 2017).

Çizelge 2.3. Çerçeve ve perde yerleşim tiplerine göre x ve y yönlerindeki doğal periyotları (Othman, 2017)

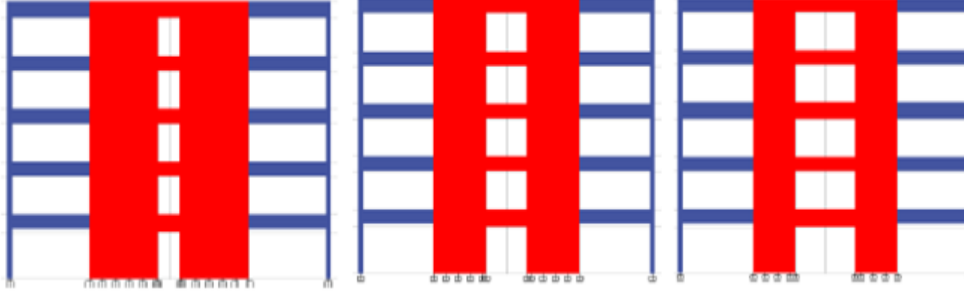
Modeller	T_x (s)				Oran			
	B05	B10	B20	B30	B05	B10	B20	B30
ÇM	0.525	0.9	1.603	2.324	1	1	1	1
PM1	0.286	0.629	1.331	2.039	0.545	0.699	0.83	0.877
PM2	0.323	0.709	1.452	2.198	0.615	0.788	0.906	0.946
PM3	0.373	0.776	1.542	2.294	0.71	0.862	0.962	0.987
Modeller	T_y (s)				Oran			
	B05	B10	B20	B30	B05	B10	B20	B30
ÇM	0.739	1.202	2.033	2.804	1	1	1	1
PM1	0.311	0.717	1.551	2.34	0.421	0.597	0.763	0.835
PM2	0.361	0.858	1.729	2.56	0.488	0.714	0.85	0.913
PM3	0.441	0.956	1.894	2.728	0.597	0.795	0.932	0.973



Şekil 2.18. Perdeli modellerin titreşim periyotlarının çerçeveli modelin periyoduna oranı (Othman, 2017).

Othman (2017) tarafından verilen Çizelge 2.3 incelendiğinde x ve y yönleri için doğal periyot değerinin PM1 yapısında en küçük olduğu görülmektedir. Böyle olmasının asıl nedeni PM1 modelindeki perde duvar uzun kenar boyutlarının diğer iki modele göre daha büyük olmasıdır. Aynı şekilde PM2 ile PM3 modelleri arasındaki x ve y yönlerindeki periyot kıyaslandığında PM2 modelindeki perdelerin "L" şeklinde bitişik çalışıyor olması ve PM3 modelindeki perdelerin her iki yön doğrultusu için "I" şeklinde çalışıyor olmasından dolayı "L" şeklindeki perdenin atalet momentinin "I" şeklindeki perdenin atalet momentinden büyük olması sebebi ile PM3 yapısında daha büyük periyotlar elde edilmiştir. Dolayısıyla atalet momenti ile rijitlik arasında doğru orantı olduğu için atalet momenti büyük olan perdenin rijitliği büyük, periyodu küçük çıkmaktadır. Perdelerin plandaki yerleşimine göre etkin sıralaması PM1, PM2, PM3 şeklinde olmaktadır. Diğer yandan kat sayısının artmasıyla perdeli modellerin doğal periyotları, çerçeveli modelin doğal periyoduna doğru yaklaştığı görülmektedir. Yani, kat sayısı arttıkça veya bina toplam yüksekliği arttıkça, yapı rijitliği ciddi bir şekilde azalmakta artık perdelerin rijitlik üzerindeki etkileri azalış göstermekte ve buna bağlı olarak modellerin birinci doğal periyotları artma eğilimi göstermektedir.

Yine Othman (2017) tarafından PM1 perde modeline %10, %20 ve %30 boşluk oranı uygulanarak elde edilen modeller Şekil 2.19'da verilmektedir. Çizelge 2.4'te PM1 perde modeline uygulanan boşluk oranına göre elde edilen doğal periyot değerleri sunulmakta ve Şekil 2.20'de grafiksel gösterimi verilmektedir.

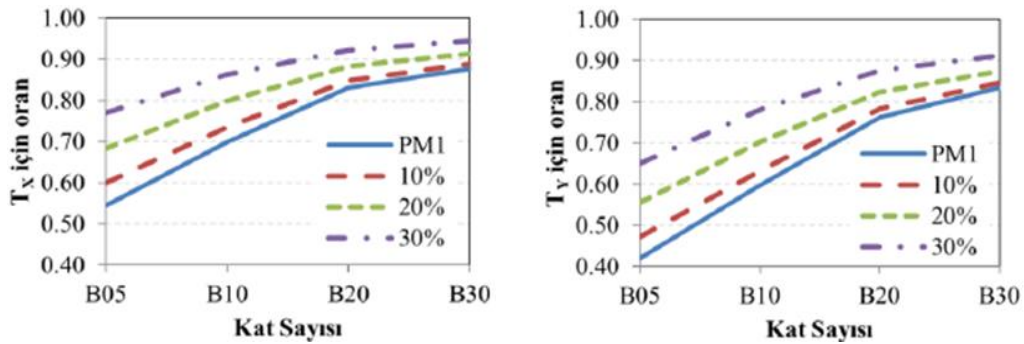


Şekil 2.19. 5 katlı PM1 perde modelinde %10, %20, %30 oranında bırakılan boşluk miktarları (Othman, 2017).

Çizelge 2.4. Boşluklu PM1 modelinin x ve y yönlerindeki periyotları (Othman, 2017)

Modeller	T_x (s)				Oran			
	B05	B10	B20	B30	B05	B10	B20	B30
ÇM	0.525	0.9	1.603	2.324	1	1	1	1
PM1	0.286	0.629	1.331	2.039	0.545	0.699	0.83	0.877
PM1 %10	0.315	0.662	1.359	2.068	0.6	0.736	0.848	0.89
PM1 %20	0.359	0.719	1.415	2.125	0.684	0.799	0.883	0.914
PM1 %30	0.404	0.777	1.479	2.195	0.77	0.863	0.923	0.944

Modeller	T_y (s)				Oran			
	B05	B10	B20	B30	B05	B10	B20	B30
ÇM	0.739	1.202	2.033	2.804	1	1	1	1
PM1	0.311	0.717	1.551	2.34	0.421	0.597	0.763	0.835
PM1 %10	0.349	0.761	1.59	2.375	0.472	0.633	0.782	0.847
PM1 %20	0.411	0.844	1.674	2.452	0.556	0.702	0.823	0.874
PM1 %30	0.481	0.939	1.78	2.557	0.651	0.781	0.876	0.912



Şekil 2.20. Boşluklu PM1 modellerin periyotlarının çerçevesi sistemin periyoduna oranı (Orthman, 2017).

Çizelge 2.4'te verilen değerler incelendiğinde, beklenildiği gibi perdelerde boşluk oranı artması ile yapının doğal titreşim periyodunun arttığı gözlenmektedir.

Örneğin; boşluk bulunmayan PM1 perde modelinin periyodunun çerçeve modelinin periyoduna oranı x yönü için 0.545 iken, ardından perdede açılan boşluk oranına göre bu değerler 0.600, 0.684 ve 0.770 seviyesine çıkmaktadır. Boşluk oranının artmasıyla birlikte ayrıca kat sayısının artması sonucu oluşan periyot değerleri, çerçevesel modelin periyot değerine doğru yaklaşmaktadır.

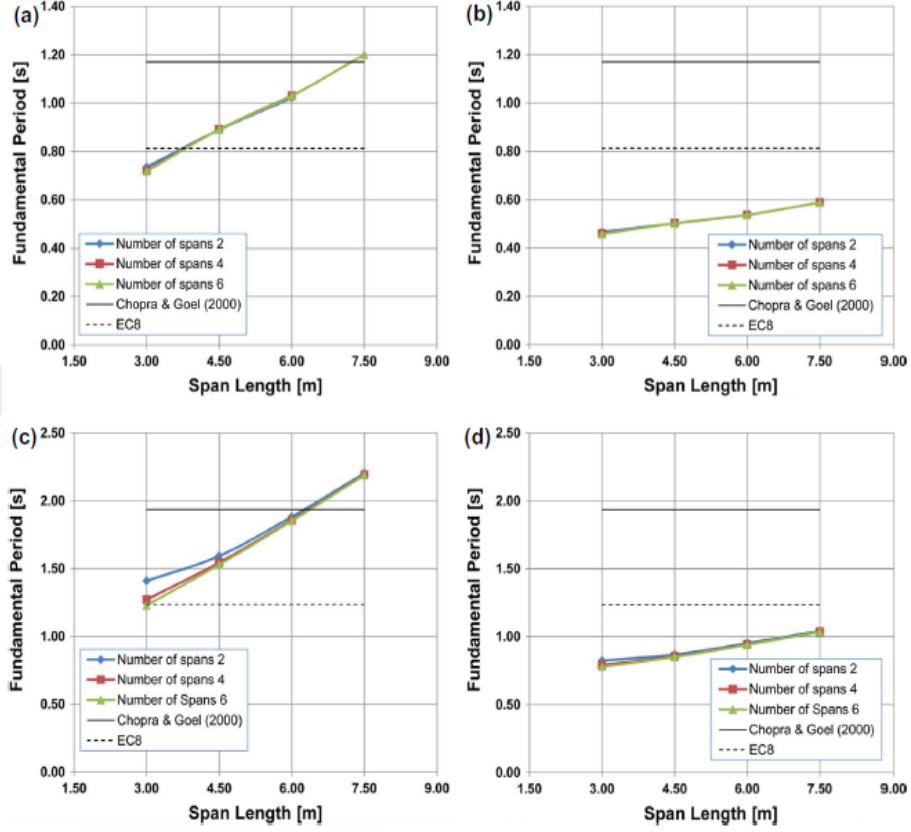
Goel ve Chopra (1997, 1998) tarafından hem çerçevesel yapılar için hem perdeli yapılar için geçmişte yaşanan depremlerde ölçülen mevcut periyotlar kullanılarak, tasarım için ampirik formüller geliştirilmiş ve doğrulamak için uygulaması yapılmıştır. UBC-1997 yönetmeliğinde verilen periyot bağıntısı, depremden sonra ölçülen bu periyot değerlerinden daha kısa periyot değerleri elde etmek için kalibre edilmiştir.

2.4. Plan Boyutları ile Doğal Periyot Arasındaki İlişki

Binanın enine ve boyuna doğrultularını oluşturan açıklık sayısı ve açıklık mesafesi tasarlanan mimari plana göre değişiklik göstermektedir. Binanın her iki doğrultusundaki mesafelerin artması veya azalması nedeniyle bina planının kutupsal atalet momenti direkt etkilenmektedir. Bu nedenle binanın dikdörtgen, kare, dairesel mimari plan şekline sahip olması, binanın çıkıntılı olması nedeniyle çokgen görünümde olması gibi etkiler mimari planın polar atalet momenti ile doğrudan ilişkilidir. Ancak planın kutupsal atalet momenti ile binanın bütünsel sistem rijitliği arasında doğru bir orantı olduğu rijitlik bağıntıları üzerinden yola çıkarak söylenebilir. Yani bina planının atalet momentinin artması veya azalması aynı zamanda bina rijitliğinin artması veya azalması ile eşdeğer anlam kazanmaktadır. Dolayısıyla bina planının atalet momenti, bina rijitliği aracılığıyla bina doğal periyodu ile dolaylı bir şekilde etkileşim halinde bulunmaktadır. Deprem yönetmeliklerinden ve araştırmacılar tarafından önerilen yükseklik/kat sayısı ile ilişkili bağıntılar ile doğal periyot hesabının yapılması ve bina doğrultularını bünyesine dahil eden bir bağıntı ile doğal periyot hesabı yapılması noktasında elde edilen iki periyot değeri arasında az da olsa bir fark oluşması beklenir. Bu konu üzerine sınırlı sayıda araştırma yürütülmüştür.

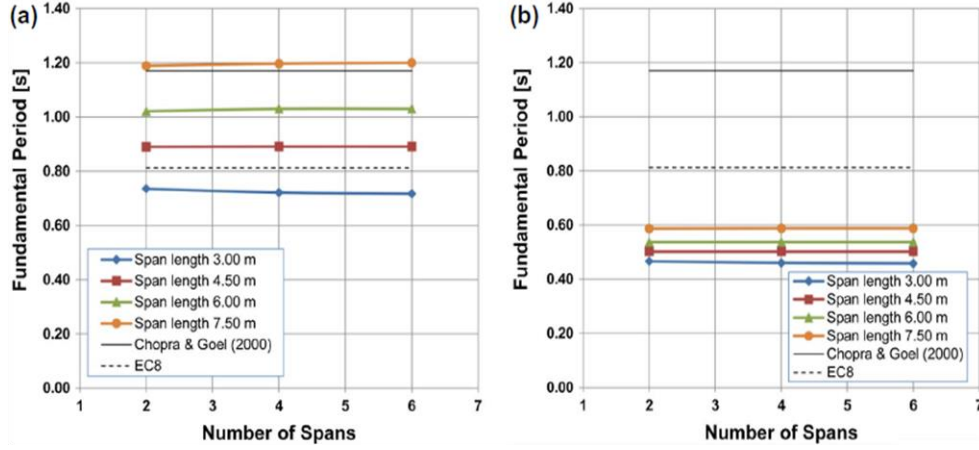
Asteris ve ark. (2017) 8 ve 14 katlı çerçeve binalarda dolgulu ve dolgusuz modeller oluşturularak, 2, 4 ve 6 açıklık sayısına sahip ve 3, 4.5, 6 ve 7.5 açıklık mesafesine sahip binalar üzerinde çalışmalar yürütülmüştür. Bu çalışmada 8 ve 14 katlı

dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız çerçevenin doğal periyodu üzerindeki açıklık mesafesinin etkisi Şekil 2.21'de verilmektedir. Açıklık sayısına karşı belirlenen titreşim periyodu arasındaki ilişki ise Şekil 2.22'de sunulmaktadır.



Şekil 2.21. 8 ve 14 katlı çerçevenin doğal periyoduna açıklık mesafesinin etkisi a. 8 katlı dolgunsuz çerçeve, b. 8 katlı dolgulu çerçeve, c. 14 katlı dolgunsuz çerçeve, d. 14 katlı dolgulu çerçeve (Asteris ve ark. 2017).

Şekil 2.21'de 8 ve 14 katlı dolgulu ve dolgunsuz çerçevelerin 3, 4.5, 6 ve 7.5 m açıklık mesafesine karşı belirlenen doğal periyotları arasındaki ilişki gösterilmektedir. Aynı zamanda bu periyotlar, EC8 ve Goel ve Chopra (2000) denklemleri ile bulunan periyotlarla ayrıca karşılaştırılmıştır. Şekil 2.21'e göre açıklık mesafesi arttıkça, betonarme çerçevelerin periyodu artmaktadır. 4.5 m'den 6 m'ye kadar açıklıklı 8 katlı dolgunsuz çerçevenin ve 3 m'den 6 m'ye kadar açıklıklı 14 katlı dolgunsuz çerçevenin doğal periyodunun, Goel ve Chopra (2000) ve EC8 ile bulunan periyotların aralığı içinde kaldığı görülmüştür (Şekil 2.21a ve c). Goel ve Chopra (2000) ile EC8 bağıntıları açıklık mesafesine ilişkin bir parametre içermediği için bulunan periyot değerleri sabittir (Şekil 2.21).

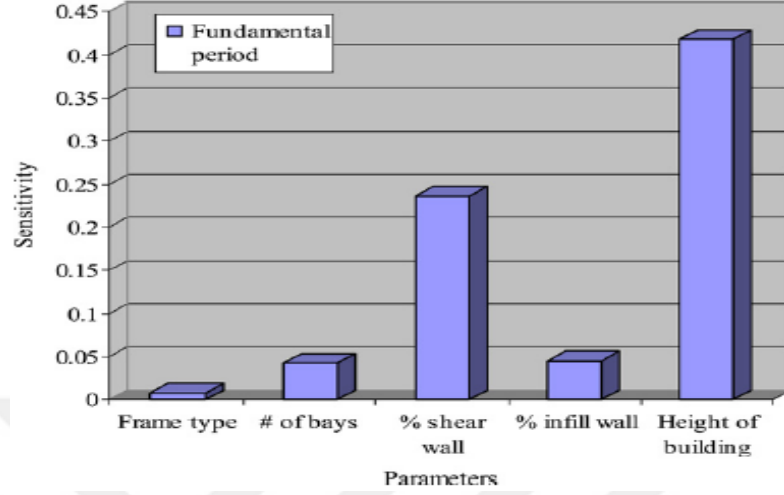


Şekil 2.22. 8 katlı betonarme çerçevenin doğal periyodu üzerine açıklık sayısının etkisi a. yalın çerçeve, b. dolgu duvarlı çerçeve (Asteris ve ark. 2017).

Yukarıdaki grafik incelendiğinde eşdeğer analiz yardımıyla elde edilen doğal periyot EC8 ile Goel ve Chopra (2000)'nin önerdiği periyotlarla karşılaştırılmıştır. Şekil 2.22'ye dayanarak açıklık sayısının, dolgu duvarlı çerçeve bir binanın doğal periyodunu etkilemediği söylenebilir. 4.5 ile 6 m açıklık mesafesine sahip 8 katlı dolgu duvarsız çerçeve binanın modal analiz sonucunda elde edilen periyot, EC8 ve Goel ve Chopra (2000) ile bulunan periyotlar aralığı içinde kaldığı Şekil 2.22'de görülmektedir. Diğer yandan, Şekil 2.24b'de gösterildiği gibi hesaplanan doğal periyodun değerleri, Goel ve Chopra (2000) ve EC8 denklemleri ile hesaplanarlardan çok daha küçük olduğu görülmektedir. Goel ve Chopra (2000) ile EC8 denklemlerinde açıklık sayısı ile ilgili herhangi bir terim içermediğinden periyot değerleri sabit kalmaktadır.

Kose (2009) tarafından yapılan çalışmada betonarme çerçevelerin doğal periyoduna etki eden dolgu duvar, bina yüksekliği, açıklık sayısı, çerçeve tipi, perde duvar alanının kat alanına oranı, dolgu panellerin toplam panellerin sayısına oranı gibi parametreler araştırılmıştır. Çalışmasında betonarme çerçevelerin doğal periyoduna etki eden etkenlerin içinde barındığı uygun bir bağıntı sunulmuştur. Yapılan çalışmada bina modellerinin periyoduna etki eden açıklık sayısı ile ilgili sonuç kısmı Şekil 2.23'de olduğu gibi verilmektedir. Şekilden görüleceği üzere bina yüksekliği modellerin periyoduna etki eden temel parametre olmaktadır. Perde duvarların yüzdeliği, yapılan analizlere bağlı olarak en önemli ikinci parametre olmaktadır. Model periyoduna etki eden faktörler arasında en az etkiye sahip faktör çerçeve tipi olmaktadır. Dolgu

duvarların yüzdeliği ve açıklıkların sayısı bina doğal periyoduna neredeyse aynı etkiye sahiptir.



Şekil 2.23. Seçilen parametrelere ilişkin doğal periyodun hassas analizi (Kose, 2009).

2.5. Doğal Periyot Bağlıları

Betonarme binalarda deprem tasarım yükü hesabı yapılırken tasarımcı mühendisler betonarme yapıların doğal titreşim periyoduna ihtiyaç duyarlar. Her ülkenin deprem şartnamelerinde doğal titreşim periyodunu kolay ve hızlı bir biçimde hesaplayabilmek için bina toplam yüksekliğinin veya bina katsayısının bir fonksiyonu olan bağıntılar kullanıma sunulmuştur. Aşağıdaki bölümlerde hem araştırmacıların hem de çeşitli ülkelerin deprem yönetmeliğinde var olan periyot bağıntıları verilmektedir.

2.5.1. Literatürdeki bazı doğal periyot bağıntıları

Betonarme binaların doğal titreşim periyotlarının belirlenmesi amacı ile bazı araştırmacılar tarafından analitik çalışmalar neticesinde periyot bağıntıları bulunmuştur. Literatür taraması sonucu tespit edilen doğal periyot bağıntıları aşağıda yazarları ile birlikte verilmektedir.

Goel ve Chopra (2000) 1971 San Fernando depremi ile başlayan ve 1994 yılında Northridge depremi ile son bulan 8 büyüklüğündeki California depremi esnasında deprem kayıtlarından ölçülen binaların doğal titreşim periyodundaki mevcut verileri

kullanarak yönetmelikte mevcut olan periyot bağıntısı ile karşılaştırmışlardır. Daha sonra deprem kayıtlarından ölçülen verilerle daha iyi bir korelasyon oluşturmak için yönetmelikteki formül ü geliştirmek adına yeni bir bağıntı ileri sürmüşlerdir. Elde edilen bağıntı Asteris ve ark. (2017) tarafından yapılan çalışmadan alınmış olup Eş. 2.14'de verilmektedir.

$$T = 0.067 * H^{0.9} \quad (2.14)$$

Hong ve Hwang (2000) yaptıkları çalışmada Taiwan'da 21 adet betonarme çerçeveli bina modeli analiz ettikten sonra regresyon analizi yardımıyla sabit katsayı ifadelerini tespit etmek amacıyla denemeler yapmış ve daha sonra H, bina yüksekliğine bağlı bir periyot bağıntısı önermişlerdir (Eş. 2.15).

$$T = 0.0294 * H^{0.804} \quad (2.15)$$

Balkaya ve Kalkan (2003), tünel kalıp tekniği ile inşa edilen perde duvar ağırlıklı taşıyıcı sisteme sahip betonarme binaların temel periyodunu bulabilmek için çeşitli yapısal ve mimari parametreleri hesaba katarak alternatif bir bağıntı önermişleridir (Eş. 2.16).

$$T = C * h^{b_1} * \beta^{b_2} * \rho_{as}^{b_3} * \rho_{al}^{b_4} * \rho_{min}^{b_5} * J^{b_6}, \quad J = I_{xx} + I_{yy} \quad (2.16)$$

Burada T doğal periyot, J kutupsal atalet momenti, I_{xx} x-ekseni yönündeki atalet momenti, I_{yy} y-ekseni yönündeki atalet momenti, h binanın toplam yüksekliği, β uzun kenar ölçüsünün kısa kenar ölçüsüne oranı, ρ_{as} kısa kenar perde duvar alanının toplam kat alanına oranı, ρ_{al} uzun kenar perde duvar alanının toplam kat alanına oranı, ρ_{min} minimum perde duvar alanının toplam kat alanına oranı, C, b_1 , b_2 , b_3 , b_4 , b_5 , b_6 regresyon analizi tarafından belirlenen parametrelerdir. Bu parametreler Çizelge 2.5'de verilmektedir.

Çizelge 2.5. Doğal periyodu tahmin etmek için kullanılan düzeltme katsayıları

Plan tipi	C	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	b ₅	b ₆
Kare	0.158	1.4	0.972	0.812	1.165	-0.719	0.13
Dikdörtgen	0.001	1.455	0.17	-0.485	-0.195	0.17	-0.094

Amanat ve Hoque (2006), açıklık mesafesi, açıklık sayısı, dolgu duvarların yüzdelik miktarı ve bina geometrisinin farklı koşulları altında sonlu elemanlar modelleme yardımıyla betonarme binaların doğal titreşim periyodunu araştırmak için çalışmalar yapmış ve bu çalışmalar neticesinde dolgu duvarlı betonarme binaların doğal periyodunu hesaplayabilmek için bir bağıntı önermişlerdir (Eş. 2.17).

$$T = a_1 * a_2 * a_3 * C_t * h^{3/4} \quad (2.17)$$

Burada C_t betonarme çerçevesiz binalar için sayısal katsayı (0.073), a_1 açıklık mesafesi için düzeltme faktörü, a_2 açıklık sayısı için düzeltme faktörü, a_3 , dolgu duvar miktarı için düzeltme faktörüdür. a_1, a_2, a_3 düzeltme faktörleri Çizelge 2.6'da verilmektedir.

Çizelge 2.6. a_1, a_2, a_3 düzeltme faktörü değerleri

Açıklık mesafesi (m)	a_1 faktörü	Açıklık sayısı	a_2 faktörü	Dolgu duvar miktarı (%)	a_3 faktörü
4	0.87	2	1.2	20	1.2
5	0.93	3	1.1	40	1.08
6	1	4 ve üstü	1	50	1
7	1.07			60	0.91
8	1.16			80	0.82

Crowley ve Pinho (2006) tarafından dolgu duvarlı betonarme binalarda çatlamış kesit özelliği düşünülerek farklı yükseklikteki binalar analiz edilmiştir. Ardından elde edilen periyot değerleri regresyon analizine tabi tutularak bir bilinmeyenli periyot bağıntısı elde edilmiştir. Ortaya çıkarılan denklem Eş. 2.18'de olduğu gibi verilmektedir.

$$T = 0.055 * H \quad (2.18)$$

Guler ve ark. (2008) analitik ve deneysel yaklaşımlar ile çerçeve tipi yapısal sisteme sahip betonarme binaların titreşim periyodunu bulabilmek için dolgu duvarların doğal periyot üzerindeki etkisini de hesaba katarak yükseklik ile bağlantılı bir periyot bağıntısını elde etmişlerdir (Eş. 2.19).

$$T = 0.026 * H^{0.9} \quad (2.19)$$

Kose (2009) tarafından 189 adet betonarme çerçevenin doğal periyoduna etki eden farklı parametreleri araştırmak için sonlu elemanlar metodu yardımıyla üç boyutlu model analizi yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda Eş.2.20'de verilen parametrelerle ilişkili periyot bağıntısını elde etmiştir.

$$T = 0.0935 + 0.0301 * H + 0.0156 * B + 0.0039 * F - 0.1656 * S - 0.0232 * I \quad (2.20)$$

Eşitlikte H bina yüksekliği, B açıklık sayısı, F çerçeve tipi (dolgu duvarlı çerçeveler için 1, yumuşak kat mevcut olan çerçeveler için 2, dolgunsuz çerçeveler için 3 alınmalı), S perde duvarların toplam kat alanına oranı (%), I dolgu duvarların toplam panel alanına oranıdır.

Nyarko ve ark. (2012) tarafından yapının düşünülen yönünü hesaba katarak düzenli betonarme çerçevelerin doğal periyotları için yeni bir bağıntı üretilmiştir. Betonarme binaların 600 farklı modeli üzerinde doğrusal olmayan regresyon analizi algoritması uygulanarak yapılan çalışmada elde edilen denklemin son hali Eş. 2.21 eşitliğinde verilmektedir.

$$T = C_1 * N^{C_2} + C_3 * \left(\frac{B_x}{B_y}\right)^{C_4} \quad (2.21)$$

X yönü için $C_1 = 0.0368$, $C_2 = 1.2805$, $C_3 = 0.2077$, $C_4 = -0.0824$

Y yönü için $C_1 = 0.0407$, $C_2 = 1.2773$, $C_3 = 0.1707$, $C_4 = -0.1145$

Burdan C_1, C_2, C_3 ve C_4 sabit bilinmeyen katsayıları x ve y asal eksen yönlerine göre değişmektedir. B , düşünülen yöne paralel bina açıklık sayısı, N , kat sayısı, B_x , Uzun yöndeki açıklık sayısı, B_y , kısa yöndeki açıklık sayısıdır.

Hatzigeorgiou ve Kanapitsas (2013) tarafından farklı özelliklere sahip 20 farklı gerçek betonarme bina projeleri ele alınarak yapı çözümleme paket programlarında iç ve dış cephelerdeki dolgu duvar etkileri göz önünde bulundurularak üç boyutlu model tasarımı yapmış ve analiz etmişlerdir. Yapılan analizler sonucunda elde edilen periyot bilgileri ve regresyon analizi yardımı ile H , toplam bina yüksekliği parametresine bağlı bir bağıntı elde etmişlerdir (Eş. 2.22).

$$T = 0.075 * H^{0.75} \quad (2.22)$$

Asteris ve ark. (2017) betonarme yapıların doğal titreşim periyoduna etki eden, kat sayısı, açıklık sayısı, açıklık mesafesi, dolgu duvar rijitliği ve dolgu duvardaki boşluk miktarı parametrelerini araştırmıştır. Bu parametrelerin sonuçlarına dayalı olarak titreşim periyodunu tahmin etmek için regresyon analizi yardımıyla yeni bir denklem önermişlerdir (Eş. 2.23).

$$\begin{aligned} T = & (0.55407 + 0.5679 * \sqrt{H} - 0.00048 * L - 0.00027 * a_w - 0.00425 * E_t \\ & + 0.00202 * \sqrt{H} * L + 0.00016 * \sqrt{H} * a_w - 0.00032 * \sqrt{H} * E_t \\ & + 0.00013 * L * a_w - 0.00017 * L * E_t + 0.00010 * a_w * E_t)^5 \end{aligned} \quad (2.23)$$

Denklemden H bina yüksekliği (m), L açıklık mesafesi (m), a_w boşluk yüzdesi (dolgunsuz çerçevelerde %100, tamamen dolgulu çerçevelerde %0), E_t dolgu duvar rijitliği (dolgu duvar elastisite modülü ve dolgu duvar et kalınlığı) (10^5 kN/m) olarak verilmiştir.

2.5.2. Deprem yönetmeliklerinde yer alan bazı doğal periyot bağıntıları

The Building Standard Law of Japan (BSLJ-1987) yönetmeliğinde binaların doğal titreşim periyodu hesabı için hem çelik yapılar hem de betonarme yapıların için sabit bir kat sayısı ve bina yüksekliğini içeren bir bağıntı sunulmaktadır (Eş. 2.24).

$$T = h * (0.02 + 0.01 * \alpha) \quad (2.24)$$

Eşitlikte α , betonarme binalar için “0” (sıfır), çelik yapılar için “1” (bir) alınmaktadır.

Kanada'nın National Building Code (NBC-1995) yönetmeliği binaların doğal titreşim periyodunu hesaplayabilmek için Eş. 2.25 ifadesinde N, katsayısına bağlı bağıntı kullanılmaktadır.

$$T = 0.1 * N \quad (2.25)$$

Uniform Building Code (UBC-1997) ve Earthquake Design of Structures (EC8)'da yapıların doğal periyot hesabı için Eş. 2.26'daki yaklaşım önerilmektedir. Eşitlikteki C_t katsayısı bina taşıyıcı özelliklerine bağlı olarak Çizelge 2.7'de verilmektedir.

$$T = C_t * H^{\frac{3}{4}} \quad (2.26)$$

Çizelge 2.7. UBC ve EC8' de verilen C_t katsayısı değerleri

	Çelik çerçeveler	Betonarme çerçeveler	Diğer binalar
$C_t(UBC)$	0.0853	0.0731	0.0488
$C_t(EC8)$	0.085	0.075	0.05

India Standard Criteria for Earthquake Resistant Design of Structures (IS-2002) tarafından betonarme binaların doğal titreşim periyodu hesabında bina toplam yüksekliği ve bina asal doğrultu uzunlukları ile ilgili bir bağıntı sunulmuştur. Belirtilen doğal titreşim periyodu bağıntısı Eş. 2.27'de verilmektedir.

$$T = 0.09 * \frac{H}{\sqrt{d}} \quad (2.27)$$

Eş. 2.27'deki bağıntıda H, bina toplam yüksekliğini, d, bina planı asal doğrultu uzunluklarını ifade etmektedir.

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY-2007)'e göre bodrum katlar hariç kat sayısı $N < 13$ olmak koşulu ile Eş. 2.28'de verilen ifade kullanılmaktaydı..

$$T = 0.1 * N \quad (2.28)$$

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) ise hakim doğal periyot hesabı için UBC97 ve EC8 yönetmeliklerinde yer alan periyot bağıntısı kullanılmış fakat C_t katsayısında değişiklikler yapılmıştır. Sunulan bağıntı Eş. 2.29'da önerilen C_t katsayısı Çizelge 2.8'de verilmektedir.

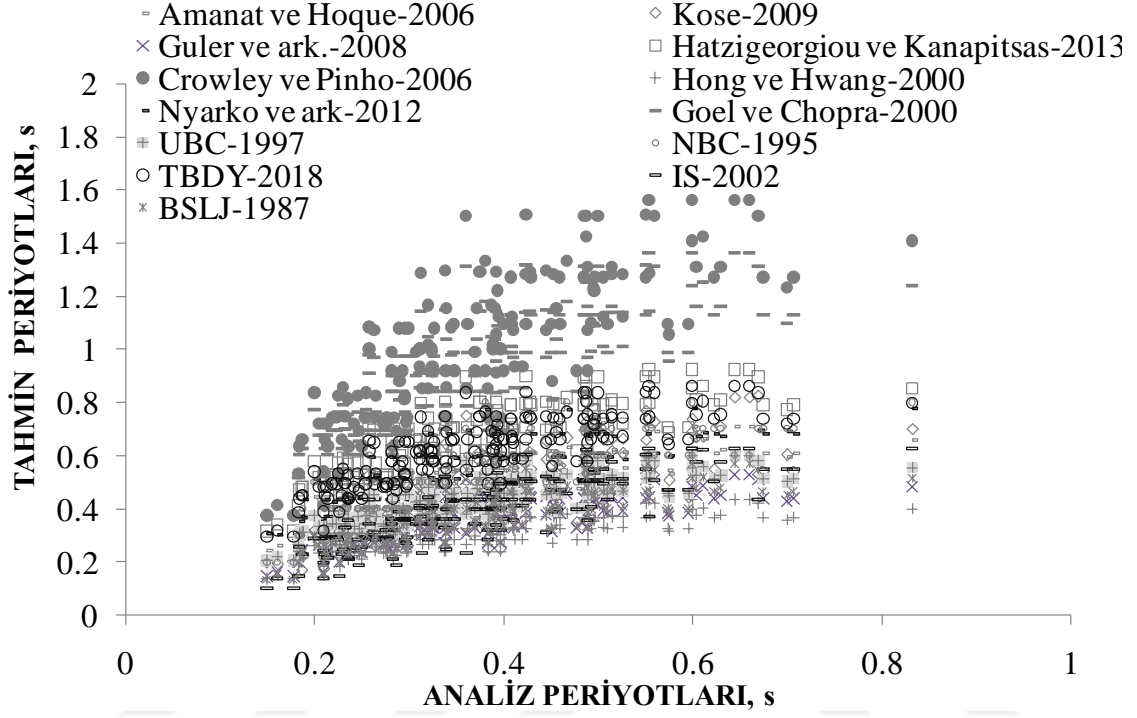
$$T = C_t * H^{\frac{3}{4}} \quad (2.29)$$

Çizelge 2.8. TBDY-2018'de verilen C_t katsayısı değerleri

	Çelik çerçeveler	Betonarme çerçeveler	Diğer binalar
C_t	0.08	0.1	0.07

Literatürde ve deprem yönetmeliklerinde mevcut olan doğal periyot bağıntıları nihai referans modelleri kullanılarak her bir binanın en büyük doğal periyot değerleri elde edilmiştir. Elde edilen doğal periyot değerleri Şekil 2.24'de gösterilmektedir. Şekilden görüleceği üzere seçilen periyot bağıntıları ile yapılan incelemede her bir binanın doğal periyot değerleri birbirinden farklı değerler almaktadır. Seçilen bağıntılar yardımıyla oluşan doğal periyot verileri arasında Crowley ve Pinho-2006 tarafından sunulan bağıntı en yüksek periyot değerlerini vererek en üst sınır aralığını oluşturmaktadır. Ayrıca Hong ve Hwang-2000 tarafından sunulan bağıntı ise oluşan doğal periyot verilerinin alt sınırını oluşturmaktadır. Hatzigeorgiou ve Kanapitsas-2013, TBDY-2018, NBC-1995, IS-2002 ve Amanat ve Hoque-2006 bağıntıları seçilen nihai

referans binaların doğal periyotlarının elde edilmesinde yaklaşık olarak aynı değerleri vermektedir.



Şekil 2.24. Mevcut doğal periyot bağıntılarının incelenmesi.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi yerleşim alanında ve Van merkezinde bulunan yapıların bir kısmı bu tez kapsamında örnek betonarme bina olarak referans alınarak, bu binalar üzerinde periyot hesabı çalışması yapılmıştır. Bu binaların tümü 2011 yılında Van'da meydana gelen depremden sonra hasar görmüş olup güçlendirilme istenmiş binalar kategorisindedir. Binaların güçlendirme öncesi ve güçlendirme sonrası durumları dikkate alınarak bilgisayar ortamında yapısal çözümleme programında modelleri oluşturulmuştur. Oluşturulan modellerin tümü yapısal özellikleri bakımından birbirinden farklı olmaktadır. Farklı dikdörtgen geometriye sahip binaların modellerinin tamamlanması ile toplamda 43 adet dolgu duvarlı betonarme bina olarak ilk referans modeli oluşturulmuştur. Elde edilen ilk referans modellerin kat sayılarının 1 kat, 2 kat ve 3 kat artırılması ile toplamda model sayısı 172'ye çıkartılarak, sabit katsayılı bilinmeyenlerin belirlenmesi için hedeflenen bağıntının kalibrasyonunda kullanılmıştır. Bunlara ek olarak farklı geometrik özelliklere sahip 2 adet 5 katlı, 2 adet 7 katlı ve 1 adet 8 katlı betonarme bina, elde edilen bağıntının kontrolü için ele alınmıştır (Çizelge 3.2.). Toplamda 177 adet dolgu duvarlı betonarme bina nihai referans model olarak ele alınmıştır. Nihai referans modellerinin kat sayıları, düşük ve orta yükseklikteki betonarme binalar sınıfında analizler yapıldığından en düşük 2 kat, en yüksek 8 katlı olarak modeller oluşturulmuştur. Oluşturulan sanal modeller hizmet vermekte olan mevcut yapılardan türetildiği için kullanılan taşıyıcı elemanların çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitlikleri ve mevcut malzeme dayanımları esas alınmıştır. Bu binaların doğal periyotlarına etki eden parametreler arasında binanın uzun ve kısa doğrultudaki plan uzunlukları, bina taşıyıcı sistemleri içeren kolon ve perde duvar alanı, binanın toplam yüksekliği ve binada kaplama veya bölme amacı için kullanılan tuğla, gaz beton vb. malzemeden örülen dolgu duvar miktarını incelemek için ele alınmıştır. İncelenen betonarme binaların her birinin plan uzunluğu uzun ve kısa doğrultularda birbirinden farklı değerlere sahip olmaktadır. Tüm binaların taşıyıcı eleman sistemleri perde duvar, kolon, kiriş ve döşemelerden oluşmaktadır. Binaların çerçeve sistemini oluşturan

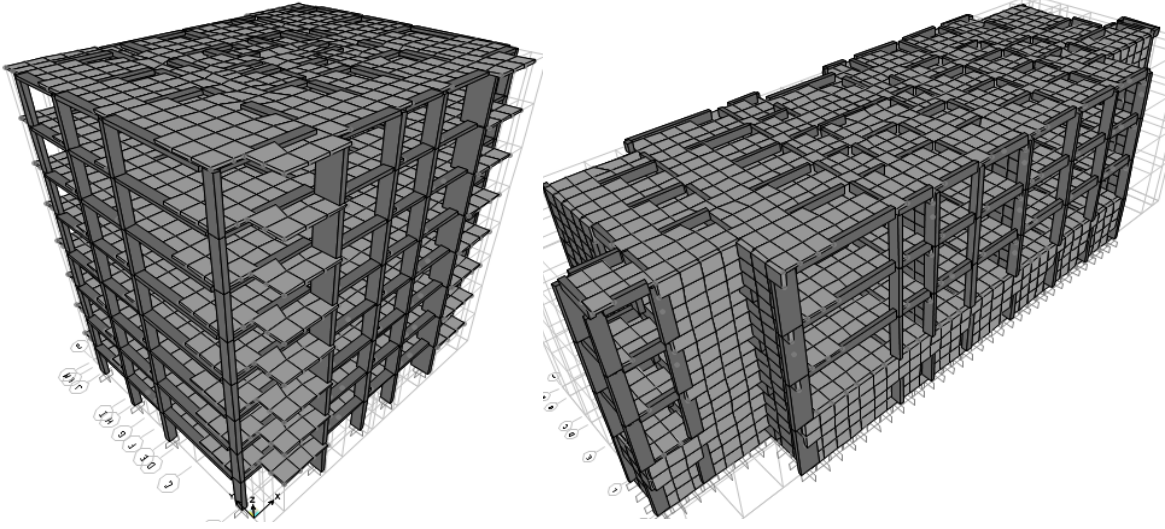
kolonların, plandaki yerleşim şekilleri ve boyutları iç ve dış akslardaki konumlarına göre birbirinden farklı pozisyonda olmaktadır. Modele tabi tutulan tüm binaların döşeme kalınlıkları gerçek projenin aslına uygun bir şekilde tanımlanması yapılmış ve aynı zamanda gerçek davranışını sergilemesi için döşemenin her iki doğrultusunda 1'er metrelik sonlu elemanlara bölme işlemi gerçekleştirilmiştir. Aynı şekilde perde duvar elemanları kabuk eleman olarak modellendiğinden dolayı 1'er metrelik sonlu elemanlara bölünmüştür. Örnek binaların statik projelerinde belirtilen yerlere ve ölçüsüne göre tanımlanan kirişler, boyut olarak tüm yapılarda birçok farklı değerler almaktadır. Taşıyıcı eleman olarak nitelendirilmeyen dolgu duvar elemanların genişliği (t), dolgu duvarların mevcut olduğu iç akslarda 15 cm, dış akslarda ise 20-30 cm arasında değişmektedir. Örnek binalarda mevcut zati ve hareketli yük halleri hem projeye uyularak hem de TS498'de belirtilen hususlar çerçevesinde tanımlanmıştır. Zati yük sınıfında nitelendirilen tuğla duvarların birim hacim ağırlığı, tuğla duvar kalınlığı ve tuğla duvar yüksekliği için gerekli hesaplar yapılarak iç akslarda (oda, salon, mutfak vb. bölme amaçlı olduğundan tuğla kalınlığı düşük) duvarların mevcut olduğu kirişlere 7 kN/m, dış akslardaki kirişlere yani dış cephelerdeki (kaplama amaçlı olduğundan tuğla kalınlığı fazla) kirişlere 9 kN/m olarak tanımlanmıştır. Ek döşeme yükü (kaplama yükü; sıva, tesviye vb.) gerekli hesaplamalar yapılarak 3 kN/m² olarak tüm döşemelere yüklenmiştir. Son katta yer alan çatı kısmı, yük halinde 3 kN/m² olarak belirlenmiş olup son kattaki döşemeye atanmıştır. Hareketli yük durumu için incelenen tüm örnek binaların mimari projeleri esas alınarak bölmelere ayrılan döşemelerin kullanım şekli (oda, koridor, büro, sınıf vb.) her kat için tespit edilmiş ve inceleme doğrultusunda gerekli yükler atanmıştır. Bu işlemler sonucunda modellenen ilk referans betonarme dolgu duvarlı binaların taşıyıcı sistem elemanların kesit alanları, kullanılan malzemelerin elastisite modülü ile beton basınç dayanımı ve kalıp planı asal doğrultu uzunlukları Çizelge 3.1.'de detaylı bir şekilde verilmektedir. Referans alınan dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız betonarme çerçeve binalara temsilen iki tane dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız betonarme bina örnekleri Şekil 3.1 ve Şekil 3.2'de verilmektedir.

Çizelge 3.1. İlk referans betonarme bina bilgileri

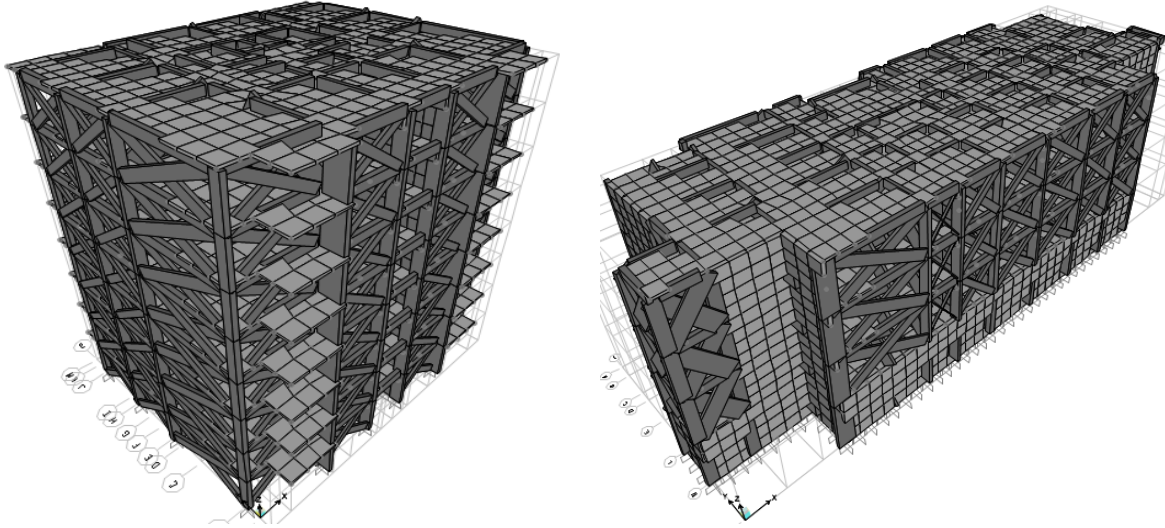
Bina No	Bina yüksekliği	Kat sayısı	Beton basınç dayanımı	Elastisite modülü	Plan uzunlukları		Kolon Kesit alanı		Perde duvar kesit alanı	
	H m	N	F _c MPa	E MPa	L _x m ²	L _y m ²	A _{cx} m ²	A _{cy} m ²	A _{swx} m ²	A _{swy} m ²
1	14.8	4	12	17320	24.9	14	3	4.7	5.7	7.7
2	15.6	4	11	16583	43.2	32	10	9.9	15.8	18.9
3	13.5	4	19	21794	17.5	17	2.8	0.4	4.9	4.4
4	13.5	4	18	21213	14.3	16.2	1	2.9	2.2	2.5
5	13.5	4	15	19365	34.3	17	4.9	0.7	9.8	8.8
6	13.5	4	19	21794	17.5	17	2.8	0.4	4.9	4.4
7	13.5	4	18	21213	14.3	16.2	1	2.9	2.2	2.5
8	13.5	4	15	19365	34.8	17.3	4.9	0.7	9.8	8.8
9	11.6	3	11	16583	33.9	23.4	4.5	5.7	14.4	12.3
10	11.6	3	10	15811	39.9	23.4	4.5	5.7	14.4	12.3
11	13.1	3	11	16583	33.9	23.4	4.5	5.7	14.4	12.3
12	13.1	3	13	18028	39.9	23.4	4.5	5.7	14.4	12.3
13	11.6	3	25	25000	48.3	16.5	6.5	5.5	7	10.5
14	12	3	10	15811	36.4	22.4	2.6	5	15.1	15.7
15	12	4	14	18708	52.5	22.4	3.5	9.7	18.7	18.7
16	15.2	5	11	16583	52.5	22.4	3.5	9.7	18.7	18.7
17	7.5	2	14	18708	28	24	3.2	2.2	4.4	7.9
18	13.6	4	9	15000	28.2	13.7	4.4	3.1	5.1	7
19	13.6	4	10	15811	28.2	13.7	4.4	3.1	5.1	7
20	16	5	11	16583	13.5	20.4	1.8	3.7	4.6	2.8
21	6.8	2	9	15000	36	36	6.8	9.7	7.1	7.7
22	13.1	3	11	16583	33	16.7	0.2	10.4	7.9	9
23	13.1	3	9	15000	33	16.7	0.2	10.4	7.9	9
24	14.8	4	12	17320	24.9	14	3	4.7	2.6	4.8
25	15.6	4	11	16583	43.2	32	5	6.6	4.2	8.7
26	13.5	4	19	21794	17.5	17	2.8	0.4	4.9	4.4
27	13.5	4	18	21213	14.3	16.2	1	2.9	0	1.3
28	13.5	4	15	19365	34.3	17	4.9	0.7	9.8	8.8
29	13.5	4	19	21794	17.5	17	2.8	0.4	4.9	4.4
30	13.5	4	18	21213	14.3	16.2	1	2.9	0	1.3
31	13.5	4	15	19365	34.8	17.3	4.9	0.7	9.8	8.8
32	11.6	3	25	25000	48.3	16.5	6.5	5.5	0.9	6.2
33	12	3	10	15811	36.4	22.4	2.6	5	12.2	9.7
34	12	4	14	18708	52.5	22.4	3.5	9.7	11.7	12.7
35	15.2	5	11	16583	52.5	22.4	3.5	9.7	11.7	12.7
36	7.5	2	14	18708	28	24	3.2	2.2	2.7	1.7
37	13.6	4	9	15000	28.2	13.7	4.4	3.1	1.6	3
38	13.6	4	10	15811	28.2	13.7	4.4	3.1	1.6	3
39	9.8	3	8	14142	31.2	19.5	2.9	2.7	0.8	4.1
40	16	5	11	16583	13.5	20.4	1.8	3.7	0.7	2.8
41	6.8	2	9	15000	36	36	6.8	9.7	3.7	4.7
42	13.1	3	11	16583	33	16.7	0.2	10.4	4.8	2.3
43	13.1	3	9	15000	33	16.7	0.2	10.4	4.8	2.3

Çizelge 3.2. Bağntı kontrolü için kullanılan ek binalar

Bina No	Bina yüksekliği	Kat sayısı	Beton basınç dayanımı	Elastisite modül ü	Plan uzunlukları		Kolon kesit alanı		Perde duvar kesit alanı	
	H m	N	F_c MPa	E MPa	L_x m ²	L_y m ²	A_{cx} m ²	A_{cy} m ²	A_{swx} m ²	A_{swy} m ²
1	13.8	5	13	18027	24.3	13.2	1.3	3	4	8.2
2	23.3	8	16.2	20124	21.4	16.9	1.6	4.5	0.4	2.9
3	21.5	7	6.2	12450	21	13.7	0.3	7.8	0.3	0.6
4	21	7	8.2	14317	22.4	26.9	3.5	4.7	0.4	1
5	14	5	12	17320	14.9	14.3	1.3	3.3	4.4	4



Şekil 3.1. Dolgu duvarsız dikdörtgen şekilli betonarme binaların üç boyutlu modeli.



Şekil 3.2. Dolgu duvarlı dikdörtgen şekilli betonarme binaların üç boyutlu modeli.

3.2. Yöntem

Referans alınan tüm dolgu duvarlı betonarme binalar, mevcut rölöve projeleri ve güçlendirilmiş projeleri esas alınarak SAP2000 (Structural Analysis Program-2000) programı vasıtasıyla üç boyutlu olarak modellenmiştir. Analizler sırasında Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) "Bölüm 15-Mevcut Yapıların değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesi" bölümünde yer alan "Bölüm 15.5-Doğrusal Elastik Hesap Yöntemleri ile Deprem Hesabı" esas alınmıştır. Tüm modelleme, analiz ve değerlendirme çalışmaları bu bölümde öngörülenler doğrultusunda yürütülmüştür. Referans tutulan örnek dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız betonarme binaların üç boyutlu modelleri bir önceki sayfada Şekil 3.1. ve Şekil 3.2'de sunulmaktadır.

3.2.1. Binaların modellenmesi

Yapısal analiz sürecinde ele alınan ana konular aşağıda özetlenmektedir.

- ❖ Yapının üç boyutlu analizi için sonlu elemanlar modeli hazırlanmıştır. Kiriş ve kolon taşıyıcı sistemler iki düğüm noktalı çubuk elemanlar kullanılarak modellenmiştir. Perde ve döşeme sistemleri dört düğüm noktalı kabuk elemanlardan modellenmiştir. Düşey taşıyıcı sistemleri oluşturan kolon ve perde elemanların zemin ile etkileşimde bulunan alt uçlarına ankastre mesnetler atanarak yatay ötelenmelere ve dönmelere karşı tutulu hale getirilmiştir.
- ❖ Taşıyıcı sistemlerin tanımlandığı elemanların her bir ucunda 6 serbestlik dereceli düğüm noktaları oluşturulmuştur.
- ❖ Üç boyutlu modele dayalı dinamik analiz ile yapıların kısa ve uzun doğrultulardaki doğal titreşim periyotları tespit edilmiştir.
- ❖ Yapının hizmet ömrü boyunca maruz kalabileceği düşey yüklerin belirlenmesi için "TS498 Yapı Elemanların Boyutlandırılmasında Alınacak Yükler" esas alınmıştır. Belirlenen zati ve hareketli yükler uygun yük halleri kullanılarak yapıya uygulanmıştır.
- ❖ Yapının doğal titreşim periyodu bina toplam kütesine bağlı olarak değiştiğinden dolayı yapıda mevcut olan yüklerin doğal periyoda etki

etmesi için (G+nQ) kombinasyonu kullanılmıştır. Modellerde kullanılan hareketli yük katılım katsayısı(n) okul için 0.6, konut yapılar için 0.3 alınmıştır (Çizelge 3.3.).

- ❖ Eğilme etkisindeki betonarme elemanlarda çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitlikleri $(EI)_e$ kullanılmıştır. Kiriş için $(EI)_e=0.35(EI)_o$, kolonlar için $(EI)_e=0.70(EI)_o$ ve döşeme ile perde duvar taşıyıcı elemanlar için $(EI)_e=0.25(EI)_o$ kullanılmıştır.
- ❖ Her kattaki döşemelerin konumlarına göre her kat için tüm düğüm noktalarında rijit diyaframı oluşturulmuştur.
- ❖ Mevcut elemanlar için malzeme dayanımları ile ilgili tasarım yönetmeliklerinde verilen malzeme katsayıları uygulanmadan doğrudan mevcut malzeme dayanımları ve elastisite modülleri kullanılmıştır.

Çizelge 3.3. Hareketli yük kütle katılım katsayısı (TBDY-2018)

Binanın Kullanım Amacı	n
Depo, antrepo, vb.	0.8
Okul, öğrenci yurdu, spor tesisi, sinema, tiyatro, konser salonu, ibadethane, lokanta, mağaza, vb.	0.6
Konut, işyeri, otel, hastane, otopark, vb.	0.3

Tez çalışmasının asıl amacı olan yapı taşıyıcı sistem parametreleri ile düşük ve orta katlı betonarme binaların periyot değerlerini tahmin etmek için teorik bir periyot bağıntısı oluşturulmaya çalışılmıştır. Teorik periyot bağıntısı için aşağıdaki prosedür takip edilmiştir:

- ❖ $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$ genel periyot bağıntısı kullanılarak, bina kütle ve rijitliğini basit şekilde temsil edecek ifadelerle teorik periyot bağıntısı oluşturulmuştur.
- ❖ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi yerleşim alanında bulunan 43 adet bina mevcut güçlendirilmiş durumları dikkate alınarak üç boyutlu olarak öncelikle dolgu duvar dikkate alınmadan modellenmiş ve modal analizler yapılmıştır.

- ❖ Analizler sonrasında elde edilen doğal titreşim periyotları aynı binalardan Doç. Dr. İsmail Akkaya tarafından alınan mikrotremor ölçümleri ile kıyaslanmıştır.
- ❖ Kıyaslama neticesinde mikrotremor ölçümleri ile analiz sonuçlarının çok farklı olması durumunda mikrotremor ölçümleri doğru kabul edilerek modeller dolgu duvarlı olarak tekrar oluşturulmuş ve buna göre analizler tekrarlanmıştır. Buradaki maksat teorik periyot bağıntısının karşılaştırılacağı modal analiz sonuçlarının güvenilirliğini artırmaktır.
- ❖ Daha sonra mikrotremor ölçümlerinin mevcut olmadığı diğer aynı model parametreleri kullanılarak dolgu duvarlı olacak şekilde modellenmiştir.
- ❖ Modal analizler sonucu elde edilen doğal titreşim periyotları teorik periyot bağıntısı ile karşılaştırılmıştır.
- ❖ Karşılaştırma sonucunda gerekli kalibrasyonlar yapılarak düşük ve orta yükseklikteki betonarme binalar için güvenilir periyot bağıntısı önerilmiştir.
- ❖ Daha sonra elde edilen bağıntı Bölüm 2.5'de sunulan farklı parametrelere hem literatürdeki araştırmacıların hem de bazı ülkelerin deprem yönetmeliklerindeki doğal periyot bağıntıları ile karşılaştırılmıştır.

3.2.2. Mikrotremor yöntemi

Zemin hakim titreşim periyodu/frekansı ve büyümesini belirlemeye yönelik olan mikrotremor yöntemi mikro titreşimlerin kaydedilmesi temeline dayanan ve yaygın olarak kullanılan pratik bir yöntemdir. Aktif kaynak kullanılmaması, düşük maliyetli olması, veri toplama ekipmanlarının kolay taşınabilir ve kurulabilir olması, yoğun yerleşim alanlarında uygulama kolaylığı sağlaması, hızlı veri değerlendirme, her zaman ve her yerde ölçülebilmesinin yanı sıra geniş bir frekans bandında (0.01-50 Hz) enerji içermesi gibi avantajlarından dolayı uygulamalı jeofizik ve mühendislik uygulamalarında sıklıkla kullanılan bir yöntem olmuştur.

Doğal ve yapay etkenlerden kaynaklanan, genlikleri 0.01~1 mikron arasında ve periyotları 0.05s ile 2s aralığında değişen yer titreşimlerine mikrotremor (titreşimcik) adı verilir. (Kanai ve Tanaka, 1954,1961; Nakamura, 1989; Okada, 2003). Mikrotremor

kaynağı, depremler veya yapay patlamalar olmayan, yerküre üzerinde kalıcı olarak gözlenen ve seyahat eden rastgele sismik titreşimler olarak tanımlanabilir. Bu titreşimler başlıca trafik, endüstri makineleri, rüzgar, okyanus dalgaları, jeotermal reaksiyonlar, küçük magnitüdü yer sarsıntıları gibi etkenler nedeniyle oluşmaktadır, gündüzleri gecedan daha aktif olup dalga biçimleri düzensizdir. Deprem Mühendisliği ve Sismoloji konularında çalışan araştırmacılar bu olgu için daha çok çevresel gürültü (ambient vibrations) kavramını kullanmaktadır.

Yerleşim alanlarının hakim periyot/frekans ve büyütme haritalarının yapılması sağlıklı yapılaşma alanlarının oluşturulması için büyük önem taşımaktadır. Bu sayede yerleşim alanları için hem riskli bölgeler belirlenebilir hem de her türlü yapının proje ve tasarım aşamasında, zemin hakim periyodunun bilinmesi ile yıkılmaya sebep olan rezonans olayından kaçınmaya olanak sağlanabilir. Mikrotremor yöntemi, dinamik zemin parametrelerinin ve değişimlerinin belirlenebilmesinde oldukça önemli bir yer tutmaktadır.

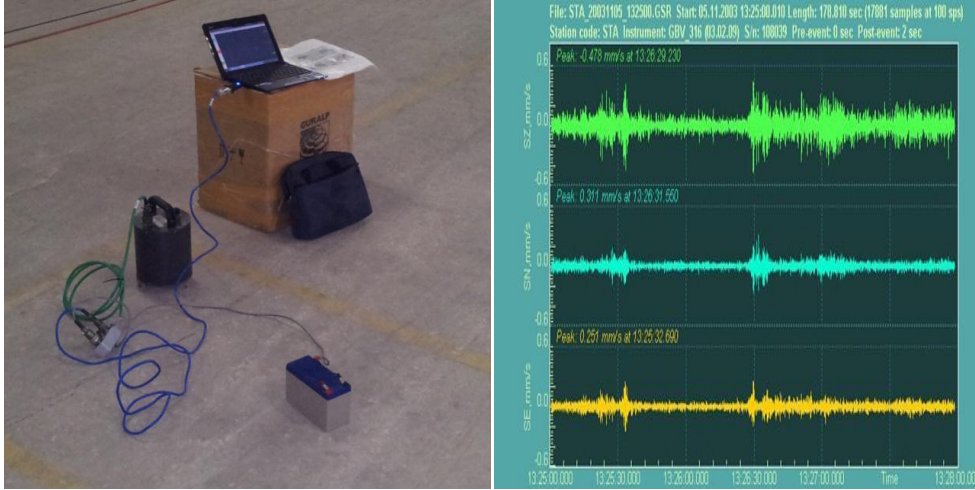
Bu çalışmada Kuvaterner yaşlı, güncel çökeller üzerine kurulu olan ve aktif deprensellik etkisi altında bulunan Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi yerleşkesi içerisinde yer alan farklı amaçlarla kullanılan binaların yapı-zemin ilişkileri ve yapı periyotları incelenmiştir. Ölçümlerde Güralp CMG-6TD marka hız ölçer mikrotremor cihazı ve ekipmanları kullanılmıştır (Şekil 3.3). Mikrotremor verilerinin değerlendirilmesinde yatay bileşenin düşey bileşene spektral oranı (Nakamura Yöntemi, H/V oranı veya Tek istasyon mikrotremor) yöntemi kullanılmıştır. Mikrotremor kayıtları 30-60 dk boyunca ve 100 Hz örnekleme aralığı ile alınmıştır. Her bir veri zaman ortamında elde edilen üç bileşen mikrotremor kayıtlarından oluşmaktadır. Veri işleminde, verilerinin trend etkisi giderilmiş, 0,1-20 Hz aralığında bant geçişli süzgeç uygulanmış, 25-30 sn'lik pencereler seçilerek %5 cosinüstaper uygulanmıştır. Her bir pencere için Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) uygulanarak her bir bileşene ait genlik spektrumları elde edilmiştir (Şekil 3.4). Elde edilen spektrumlara Konno-Ohmachi yuvarlatması uygulanmıştır (band genişliği 40 seçilerek). Sonuç olarak yatay bileşenlerin düşey bileşene oranı hesaplanarak H/V spektral oranları elde edilmiştir (Şekil 3.4).

Tez çalışması kapsamında 23 adet betonarme binanın mikrotremor ölçümleri sonucu doğu-batı ve kuzey-güney yönleri dikkate alınarak her kat için doğal periyot değerleri elde edilmiştir. Daha sonra elde edilen mikrotremor periyotları yapının her iki

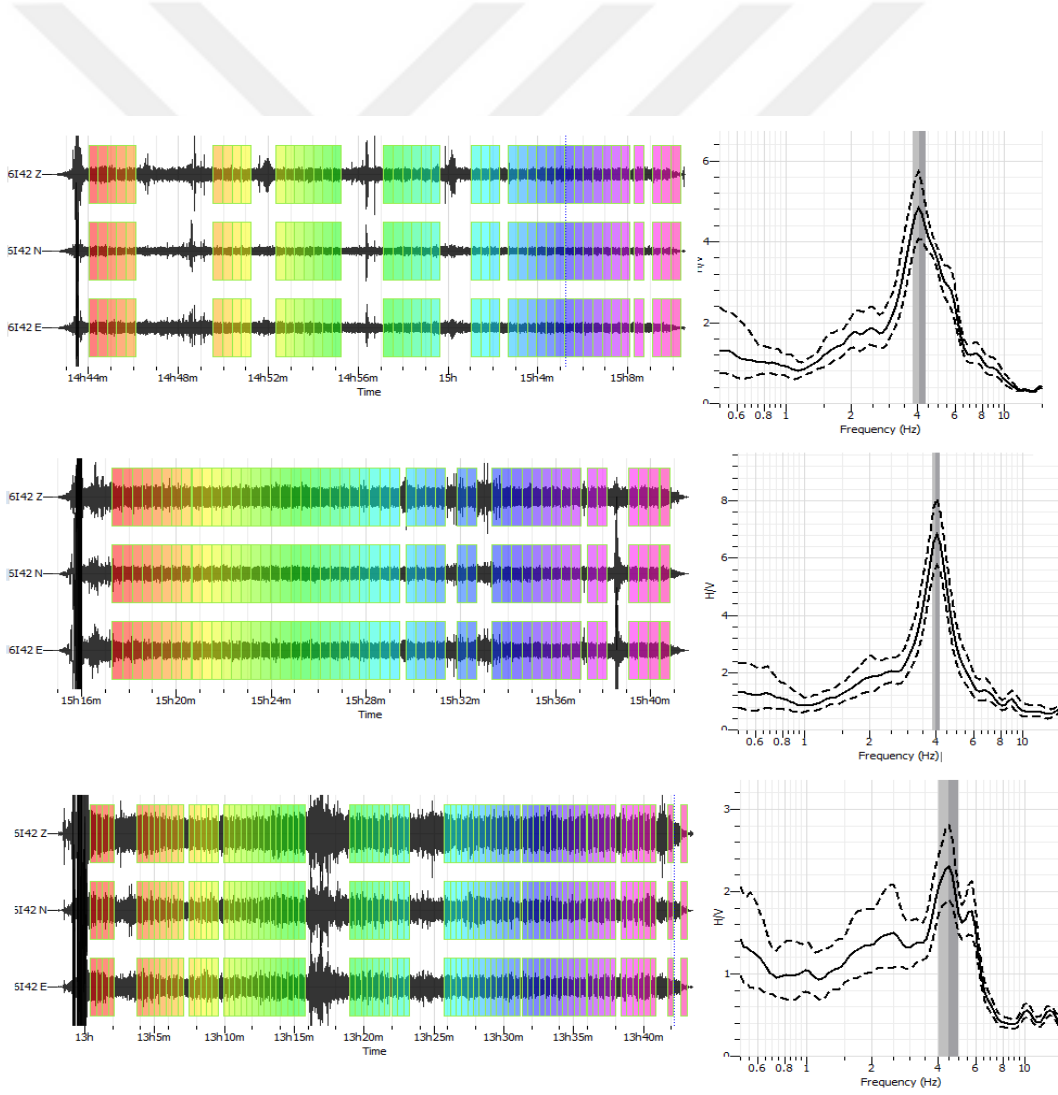
asal doğrultularına (x,y) dönüştürülmüş ve maksimum olan periyot değerleri elde edilerek karşılaştırma amaçlı kullanılmıştır. Her iki yöntem sonucunda elde edilen doğal periyot değerleri dönüştürülen yönler ile beraber Çizelge 3.4.'de verilmektedir.

Çizelge 3.4. Mikrotremor ve yapısal analiz sonucu elde edilen periyot değerleri

Bina No	Mikrotremor Periyotları	Mikrotremor Yönleri	Analiz Periyotları	Eksen Doğrultuları
1	0.18	Kuzey-G üney	0.16	Y-y ön ü
2	0.19	Kuzey-G üney	0.15	Y-y ön ü
3	0.2	Kuzey-G üney	0.21	Y-y ön ü
4	0.2	Kuzey-G üney	0.24	Y-y ön ü
5	0.23	Kuzey-G üney	0.21	Y-y ön ü
6	0.23	Kuzey-G üney	0.24	Y-y ön ü
7	0.16	Doğu-Batı	0.18	Y-y ön ü
8	0.2	Kuzey-G üney	0.19	Y-y ön ü
9	0.19	Kuzey-G üney	0.21	Y-y ön ü
10	0.19	Kuzey-G üney	0.21	Y-y ön ü
11	0.22	Doğu-Batı	0.24	Y-y ön ü
12	0.29	Doğu-Batı	0.23	Y-y ön ü
13	0.27	Doğu-Batı	0.28	X-y ön ü
14	0.27	Doğu-Batı	0.28	X-y ön ü
15	0.27	Kuzey-G üney	0.25	Y-y ön ü
16	0.23	Doğu-Batı	0.22	X-y ön ü
17	0.23	Doğu-Batı	0.28	X-y ön ü
18	0.23	Kuzey-G üney	0.22	Y-y ön ü
19	0.2	Kuzey-G üney	0.19	Y-y ön ü
20	0.25	Kuzey-G üney	0.23	Y-y ön ü
21	0.24	Doğu-Batı	0.23	Y-y ön ü
22	0.26	Kuzey-G üney	0.20	Y-y ön ü
23	0.23	Doğu-Batı	0.29	X-y ön ü



Şekil 3.3. Mikrotremor ölçüm cihazı, ekipmanları ve örnek kayıt.

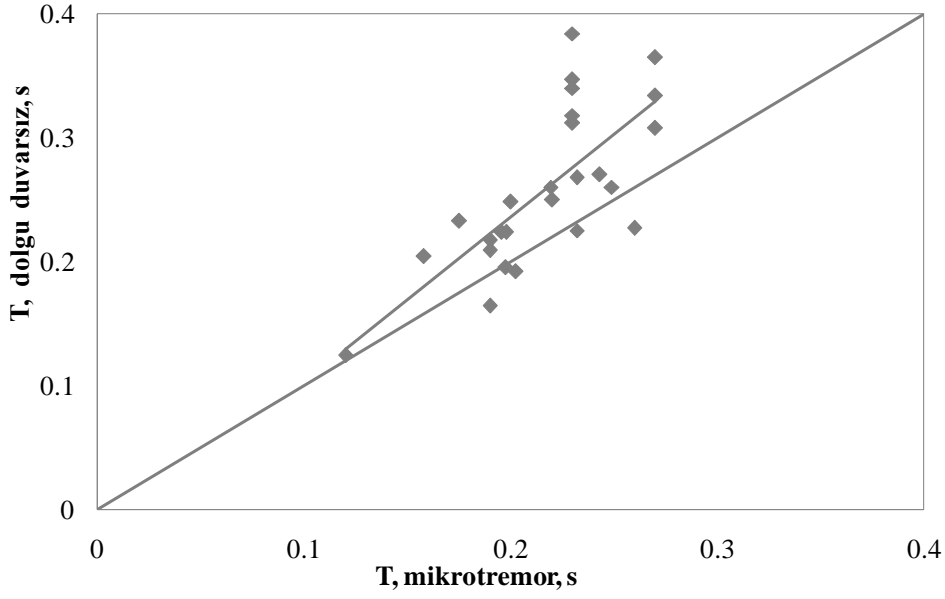


Şekil 3.4. Örnek mikrotremor ölçüm sonuçları.

3.2.3. Üç boyutlu bina analizinin mikrotremor periyotları ile kalibrasyonu

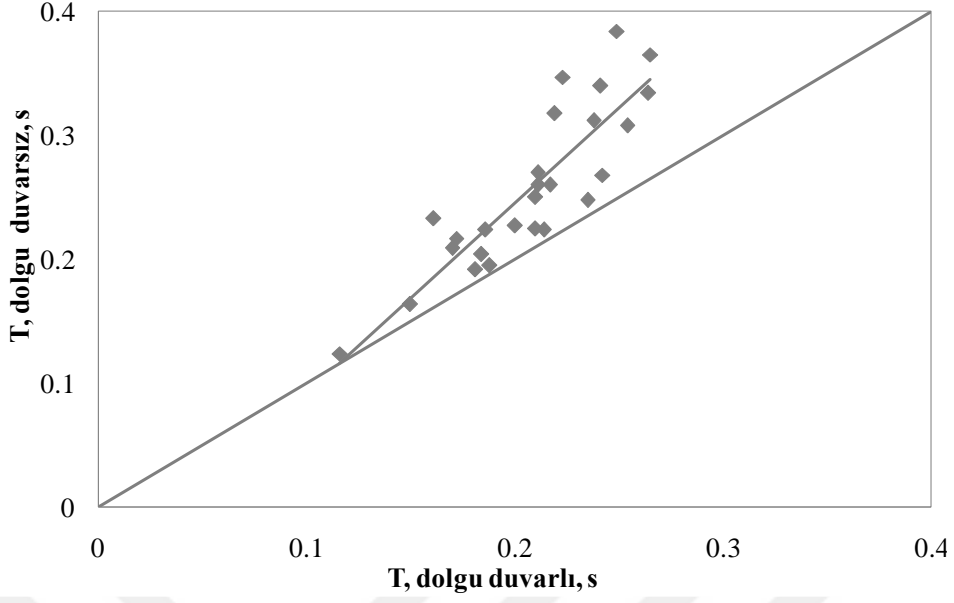
Dolgu duvarlar genellikle kaplama, bölme amaçlı mimari sorunların çözümü olarak kullanıldığı için betonarme yapılarda temel taşıyıcı elemanlar olarak nitelendirilmemektedir. Dolgu duvarlar yapı analizlerinde genellikle modellenmeyip, sadece bir kütle olarak dikkate alınmaktadır. Bu bölümde yapılan analizlerde dolgu duvarlar hem kütle olarak hem de program ortamında modellenerek rijitlik bakımından dikkate alınmıştır. Dolayısıyla elde edilen doğal periyot değerlerinden yola çıkarak, kütle ve rijitlik açısından önemi açığa çıkarılmıştır.

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi yerleşim alanında bulunan ve kat sayısı 2 ile 5 kat arasında değişen güçlendirilmiş 23 adet bina başlangıç analizleri ve model kalibrasyonu amacı ile ele alınmıştır. Bu binalarda ilk olarak dolgu duvarın rijitlik ve yük taşıma katkısı ihmal edilmiş, sisteme yük olarak aktarılmış ve analizler yapılmıştır. Analizler neticesinde elde edilen doğal titreşim periyotları Doç. Dr. İsmail Akkaya tarafından aynı binalardan alınan mikrotremor ölçümleri ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada mikrotremor ölçümlerinden sağlanan doğal periyotların yapıların gerçek periyodunu temsil ettiği varsayılmıştır. Şekil 3.5 mikrotremor kayıtları sonrası elde edilen doğal periyotlar ile dolgu duvarın modellenmediği durumda elde edilen analiz periyotlarını karşılaştırmalı olarak vermektedir. Şekilden görüleceği üzere dolgu duvarsız modellerden elde edilen periyotlar ile mikrotremor sonuçları arasında bir ilişki olduğu fakat yapısal analizlerden elde edilen periyotların daha büyük olduğu görülebilir. Bu durum iki problemden kaynaklanmaktadır: ya yapısal analizlerdeki kütleler fazladır ya da rijitlikler düşüktür. Dolgu duvarlar modellerde kütle olarak hesaba katıldığından ikinci alternatifin daha olanaklı olduğu varsayılarak hesaplar güncellenmiştir.



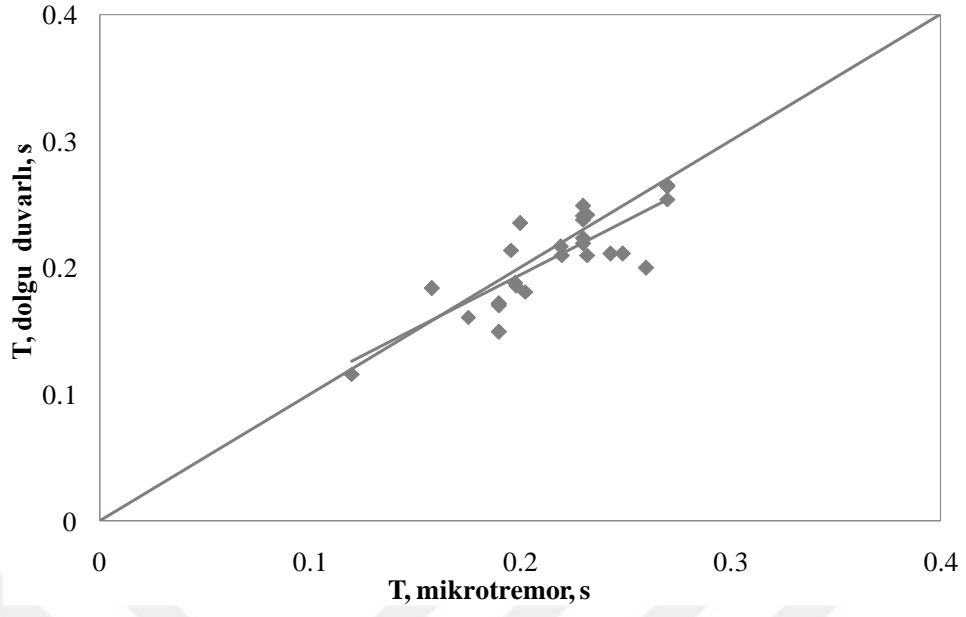
Şekil 3.5. Dolgu duvarsız modellerin periyotlarının mikrotremor sonuçları ile karşılaştırılması.

Güncellenen dolgu duvarlar diyagonal eşdeğer basınç çubuğu olarak ele alınmıştır. Dolgu duvarların modellenmesi sırasında kullanılan parametreler olarak eşdeğer basınç çubuğu genişliği, dolgu duvar elastisite modülü, dolgu duvar basınç dayanımı ve dolgu duvar birim hacim ağırlığı ele alınmıştır. Diyagonal eşdeğer basınç çubukları iki ucu mafsallı çapraz iki eleman olarak modellenmektedir. Ele alınan referans betonarme binaların dolgu duvar bölümü modellenirken, mimari projeler dikkate alınarak sadece dolgu duvarların mevcut olduğu akslarda modeller yapılmıştır. Diyagonal eşdeğer basınç çubuğu genişliği için önerilen birçok bağıntılar arasında hem pratiklik hem de ortalama değer elde edilmesi açısından bölüm 2.1.6.1.1'de verilen Eş. 2.7'deki bağıntı kullanılmıştır. Dolgu duvar basınç dayanımı ve elastisite modülü parametreleri için bölüm 2.1.6.1.2'de verilen FEMA356 (2000)'da belirtilen $550f_m$ bağıntısı ve $f_m = 4.13 MPa$ şartı kullanılmıştır. Uysal ve ark. (2013) tarafından belirtilen tuğla malzemeli dolgu duvar birim hacim ağırlıkları $8 kN/m^3$ olarak ele alınmıştır. Dolgu duvarlarda açılan kapı, pencere nedeniyle oluşan boşluk miktarı modellerde etkisini yansıtmak için bölüm 2.1.7'de verilen Eş. 2.13'deki bağıntı kullanılmıştır. Aşağıda dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız modellerden elde edilen doğal periyot değerleri Şekil 3.6'da karşılaştırmalı olarak verilmektedir.



Şekil 3.6. Dolgu duvarsız ve dolgu duvarlı betonarme binaların doğal periyotlarının karşılaştırılması.

Dolgu duvarlı olarak modellenen binalardan elde edilen doğal periyotlar mikrotremor sonuçları ile karşılaştırıldığında Şekil 3.7'den görüleceği üzere periyotların birbirine yaklaştığı, aradaki farkın küçüldüğü görülmüştür. Bu grafik sebebi ile bu çalışma kapsamında modellenecek betonarme binalarda dolgu duvarlar eşdeğer basınç çubuğu olarak ele alınacak bütün modellerde duvar özellikleri (uzunluk, duvar boşluğu, malzeme vs.) modellere yansıtılacaktır. Bu yüzden nihai binaların dolgu duvar modeli için kullanılan hem eşdeğer basınç çubuğu yöntemi hem de bu yöntemde kullanılan parametrelerin uygun olduğu kanısına varılmıştır.



Şekil 3.7. Dolgu duvarlı modellerin periyotlarının mikrotremor sonuçları ile karşılaştırılması.

4. BULGULAR

Tez çalışması kapsamında nihai referans olarak ele alınan 177 adet tuğla dolgu duvarlı betonarme bina modeli tasarlanarak modal analize tabi tutulmuştur. Bunun yanı sıra tuğla dolgu duvar elemanlarını bina modeline yansıtmak için duvarlar çapraz iki mafsallı eşdeğer diyagonal basınç çubuğu şeklinde modellenmiştir. Dolgu duvarlı betonarme binaların modellenmesi için SAP2000 sonlu elemanlar programı kullanılmıştır.

SAP2000 programında modellenen her bir bina için modal analiz yapıldıktan sonra binanın asal eksenleri etrafında oluşan hakim doğal titreşim periyot değerleri belirlenmiştir. Her binanın doğal titreşim periyodu belirlendikten doğal titreşim periyodu bağıntısının nasıl elde edildiği, hangi adımlarda nasıl varsayımlar yapıldığı veya hangi bağıntıdan esinlenip yola çıkıldığı ayrıntılı bir şekilde anlatılmaktadır.

Aynı zamanda yükseklik veya kat sayısı, beton basınç dayanımı, kolon, perde duvar ve dolgu duvar miktarlarının doğal titreşim periyoduna olan etkileri irdelenerek grafiksel karşılaştırmalar yapılmıştır.

Bununla birlikte dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız betonarme binalardan elde edilen periyot değerleri ile önceden kaydedilmiş miktortremor doğal titreşim periyot değerleri oluşturulan modellerin doğruluğunu test etmek amacıyla kullanılarak modellerin kalibrasyonu yapılmıştır.

4.1. Elde Edilen Doğal Titreşim Periyodu

Betonarme binaların doğal titreşim periyodunun doğru bir şekilde belirlenebilmesi için öncelikle periyoda etki eden taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan parametrelerin bilinmesi gereklidir. Çünkü, bir binanın doğal titreşim periyodunun doğru tespit edilememesi durumunda binanın tasarım deprem kuvveti hesabı yanlış yapılacağından düşey taşıyıcı elemanların yatay kesme kuvveti talepleri doğru bir şekilde tespit edilemeyecektir. Örneğin; ABYBHY-1998, DBYBHY-2007, veya TBDY-2018 Deprem Yönetmeliklerinde yalnız bina yüksekliği veya bina kat sayısına bağlı tek parametrelili bir doğal titreşim periyot bağıntısı bulunmaktadır. Bu bağıntılarla

hesaplanan periyot değeri ile kolon etkisi, perde duvar etkisi, dolgu duvar etkisi gibi bir çok parametreyi içinde barındıran periyot bağıntıları ile hesaplanan periyot değerleri karşılaştırıldığında, tek parametreliliğe elde edilen değer ile fark çok yüksek çıkmaktadır. Bu fark ön tasarım sürecini etkileyerek tasarım aşamasının uzamasına sebep olmaktadır. Ön tasarım sürecini kısaltmak ve tasarım öncesi güvenilir bir periyot bağıntısı bulmak amacı ile bina doğal titreşim periyoduna etki eden çok parametreliliğe bir periyot bağıntısı fikri ortaya atılmış ve bağıntının teorik altyapısı açıklanmıştır. Elde edilecek denklemin ilk adımında Eş. 4.1'de verilen periyot bağıntısı ele alınmıştır.

$$T = 2\pi * \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (4.1)$$

Eş. 4.1'de T, periyodu, m, kütleyi, k, rijitliği ifade etmektedir. Formüldeki değişkenler betonarme bir binanın özelliklerine benzetilerek yapı periyodu en sade biçimde ifade edilmeye çalışacaktır.

Binanın toplam kütlesi(m), hesaplanırken rijit bodrum katın üstündeki bütün katlar ele alınmış, birim metrekare ağırlığı (G+nQ) 1.2 t/m² olarak varsayılmış (Erdil ve Ceylan, 2019), kat ağırlığı kat alanının birim ağırlık ile çarpımı şeklinde basitleştirilmiştir (Eş. 4.2). Bina yatay rijitliği hususunda ise bina alt ucu ankastre üst ucu serbest olan bir konsol kolona benzetilerek basitleştirilmiştir. Bu varsayımlar sonucunda kütle ve rijitlik bağıntılarının formüle edilmiş hali Eş. 4.2'de olduğu gibi verilmektedir.

$$m = 1.2 * N * A_{\text{floor}} \quad , \quad k = \frac{3 * EI}{L^3} \quad (4.2)$$

Burada N, bina kat sayısını, A_{floor} (m²), zemin kat üzerindeki kat alanını (yani 1. kat alanı), E(t/m²), mevcut betonun elastisite modülünü, I, bina mimari planın atalet momentini, L, bina toplam kat yüksekliğini (bodrum kat hariç) ifade etmektedir.

Eş. 4.2'de verilen ifadeler Eş.4.1'de yerine yazılırsa, Eş. 4.3.'teki gibi ifade elde edilir.

$$T = 2\pi * \sqrt{\frac{1.2 * N * A_{floor}}{\frac{3 * EI}{L^3}}} \quad (4.3)$$

Eş. 4.3' de verilen $A_{floor}(m^2)$, yerine bina planının asal uzunlukları çarpımı veya birinci kat alanını ifade eden Eş. 4.4, L, yerine bina toplam yüksekliği, eşdeğer deprem yükü ağırlık merkezi yüksekliği olarak $0.7H(m)$, E, beton malzemesi elastisite modülünü temsil eden Eş.4.5, I, bina mimari planın düzeltilmiş atalet momenti yerine Eş. 4.6'daki ifadeler yazılarak Eş. 4.7 elde edilir.

$$A_{floor} = L_x * L_y \quad (4.4)$$

$$E = 5000 * \sqrt{f_c} \quad (4.5)$$

$$I = \frac{1}{12} * [L_y * L_x^3] * \frac{A_t}{A_{floor}} \quad (4.6)$$

$$T = 2\pi * \sqrt{\frac{1.2 * N * L_x * L_y}{3 * 5000 * \sqrt{f_c} * \frac{1}{12} * [L_y * L_x^3] * \frac{A_t}{L_x * L_y} * \frac{1}{(0.7H)^3}}} \quad (4.7)$$

Yukarıda verilen denklemlerde kullanılan L_x (m), bina planının x eksenine doğrultusundaki uzunluk, L_y (m), bina planının y eksenine doğrultusundaki uzunluk, $f_c(t/m^2)$, beton malzemesi basınç dayanımı, $A_t(m^2)$, bir kattaki perde duvar, $A_{sw}(m^2)$ ve kolon kesit alanları, $A_c(m^2)$ ile boşluksuz dolgu duvar alanlarının, $A_w(m^2)$ toplamı şeklinde ifade edilir. $A_t(m^2)$ alanını bulmak için aşağıda Eş. 4.8'de verilen bağıntı kullanılır.

$$A_{t(i)} = A_{c(i)} + A_{sw(i)} + 0.1 * A_{w(i)} \quad (4.8)$$

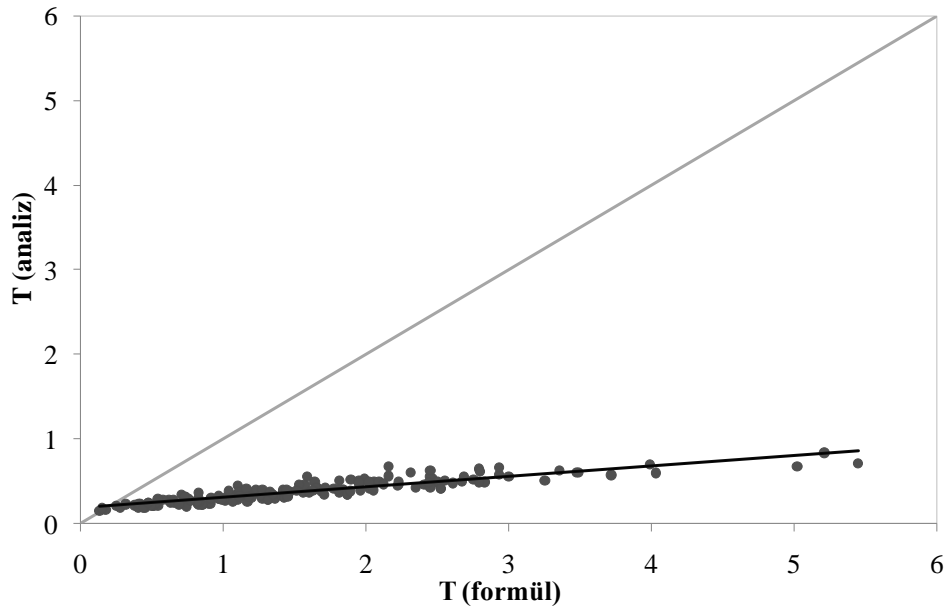
Bağıntıdaki i alt indis ifadesi yerine binanın x ve y asal doğrultuları için elde edilen $A_{t(x)}$ ve $A_{t(y)}$ terimlerini belirtmektedir. Eş. 4.7'deki ifadede sadeleştirme işlemi yapıp en yalın hali yazılması durumunda Eş. 4.9'daki bağıntı oluşmuş olur.

$$T = 2\pi * \sqrt{\frac{0.00033 * N * H^3 * L_y}{\sqrt{f_c} * L_x * A_t}} \quad (4.9)$$

Eş. 4.9'da yalın hali verilen bağıntının karekök içerisindeki sayısal değerler dışarı çıkartılarak gerekli işlemlerin yapılması durumunda Eş. 4.10'daki ifade elde edilmektedir.

$$T = 0.114 * \sqrt{\frac{N * H^3 * L_y}{\sqrt{f_c} * A_t * L_x}} \quad (4.10)$$

172 adet referans betonarme binalar üzerinde Eş. 4.10'daki bağıntı uygulanmış ve her iki asal doğrultu için doğal periyot değerleri arasında maksimum olan ele alınmıştır. Düzeltilmemiş bağıntıdan elde edilen periyot değerleri ile yapısal analiz sonucunda elde edilen periyot değerleri karşılaştırılmıştır (Şekil 4.1.). Şekilden görüleceği üzere elde edilen bağıntının düzeltilmemiş hali, yapısal analiz periyot değerlerinden çok daha büyük periyot değerlerine sahip olduğu sonucuna ulaşılabilir. Dolayısıyla her iki yöntemin periyot değerlerinin birbirine yakın çıkması için elde edilen düzeltilmemiş bağıntı revize edilerek en nihai hali verilmeye çalışılmıştır.



Şekil 4.1. Düzeltilmemiş bağıntı ile yapı analiz periyotlarının karşılaştırılması.

Eş.4.10'daki bağıntıda H ile N parametreleri arasında ilişki olduğundan sadece H parametresi kullanılmıştır. Bağıntıda bazı düzeltmeler yapmak için karekök ifadesi β gibi bir üssel terimli bir bilinmeyenle belirtilmiş olsun ve bağıntıda verilen sayısal değerleri içinde barındıran bir bilinmeyen olarak γ çarpanı eklenmiş olsun. Bilinmeyen sabit ifadelerin eklenmiş hali Eş.4.11'de verilmektedir. Bu sabit bilinmeyen ifadeler, 172 adet dolgu duvarlı betonarme bina modellerin yapısal analizlerinden elde edilen doğal titreşim periyot değerleri üzerinden istatistiksel bir hata metodu olan RMS (Root Mean Square, Karekök ortalama hata) metodu kullanılarak belirlenmeye çalışılmıştır. Bu aşamada kullanılan istatistiksel RMS hata metodu bağıntısı Eş. 4.12'de sunulmaktadır.

$$T = \gamma * H * \left[\frac{L_y}{\sqrt{f_c} * A_t * L_x} \right]^\beta \quad (4.11)$$

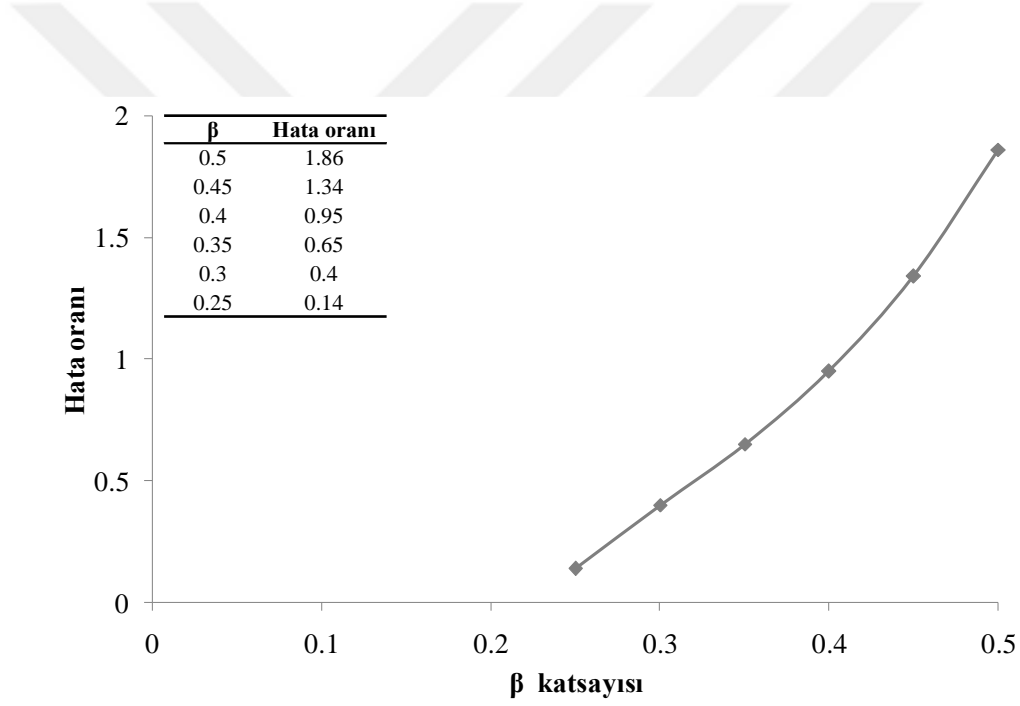
$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_1^n (T_{\text{formül}} - T_{\text{analiz}})^2}{n}} \quad (4.12)$$

Yukarıda verilen $T_{\text{formül}}$, elde edilen bağıntı ile bulunan periyot değerini, T_{analiz} , program aracılığı ile bina modelinin çözümlenmesinden elde edilen periyot değerini ve n ise ele alınan toplam betonarme bina sayısını göstermektedir.

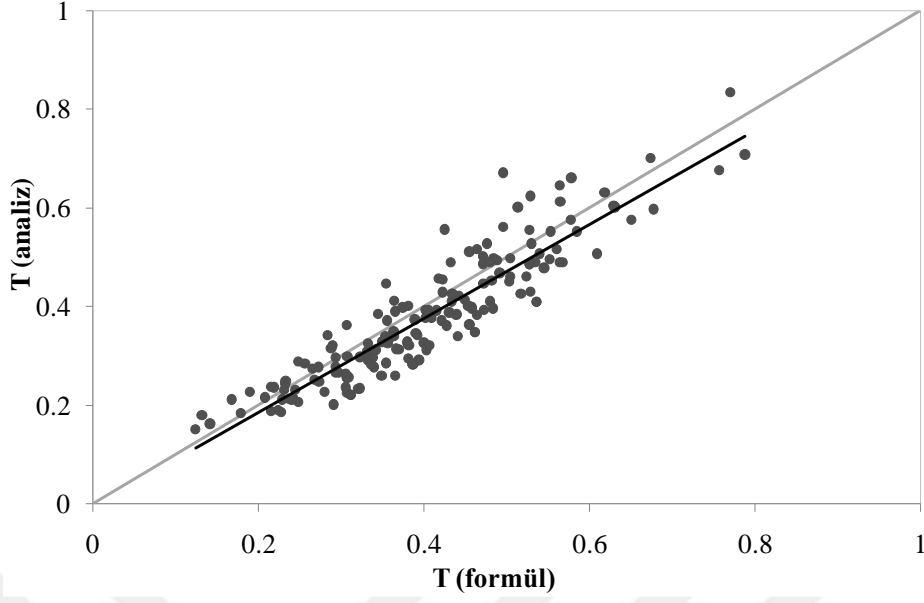
172 adet referans modellerin yapısal analizi sonucunda elde edilen doğal titreşim periyot değerleri kullanılarak yukarıda tanımlanan β , γ sabit katsayılı bilinmeyenleri bulmak için Eş. 4.11'de belirtilen bağıntı kullanılmıştır. Bu bilinmeyen ifadelere fiktif değerler verilerek deneme yanılma yolu ile analiz edilmiştir. Her iki bilinmeyen ifadeler için ayrı analizler yapılarak ortaya çıkan ayrıntının incelenmesi sonucunda her iki bilinmeyen alabileceği en uygun değerler seçilmiştir. İstatistiksel metottan elde edilen hata oranları ve bu hata oranlarına bağlı olarak elde edilen doğal periyotlar arasındaki ilişki grafikler eşliğinde incelenerek önemli ayrıntılar verilmiştir. Yapılan analizin ilk aşamasında γ bilinmeyen ifadesi sabit tutulup, β bilinmeyen ifadesi için en uygun değer seçilmiş, ardından β bilinmeyen ifadesi sabit tutulup, γ bilinmeyen ifadesi için analizler yapılarak en uygun değer seçilmiştir. Bilinmeyen ifadelerin belirlenmesi için aşağıda verilen adımlar izlenmiştir.

1) $\gamma = 0.114$ olması durumunda;

Bilinmeyen ifadelerden γ sabit tutulup β katsayısındaki değişen değerlere karşılık oluşan istatistiksel hata oranı değişimi incelenmiştir (Şekil 4.2.). İnceleme sonucunda minimum hata oranına karşılık elde edilen β katsayısının değeri Eş. 4.11'deki bağıntıda yerine yazılarak doğal periyottaki değerler elde edilmiştir. Bağıntıdan elde edilen periyot ile modal analiz sonucunda elde edilen periyot değerleri karşılaştırılmıştır (Şekil 4.3.). Şekil 4.3'ten görüleceği üzere bağıntıdan elde edilen doğal periyot değerlerinin simetri çizgisi etrafında uygun bir biçimde kümelenmesi üzerine minimumu hata oranı 0.14 değerine karşılık gelen $\beta = 0.25$ olarak kabul edilmiştir.



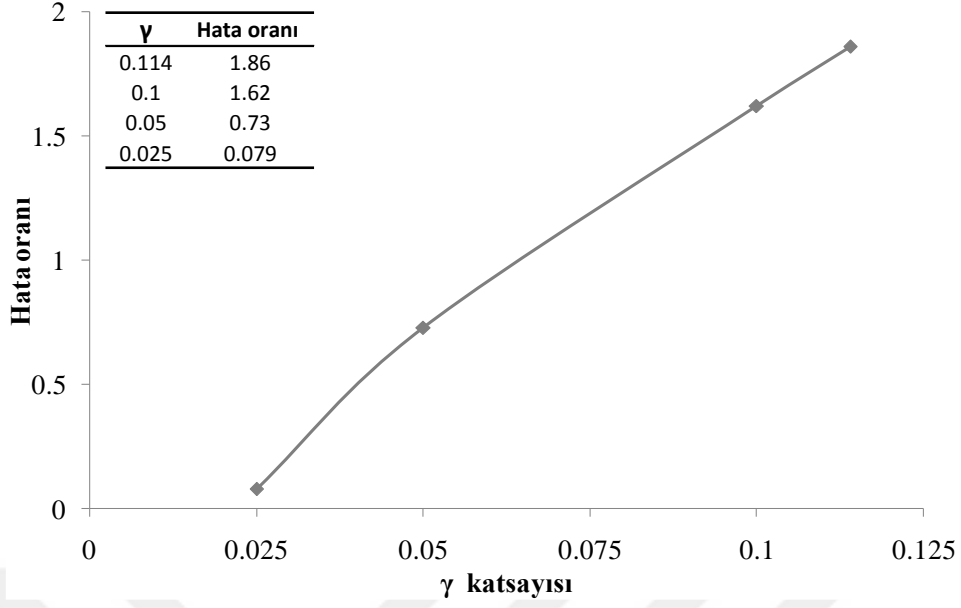
Şekil 4.2. β katsayısındaki değişime karşılık oluşan hata oranları.



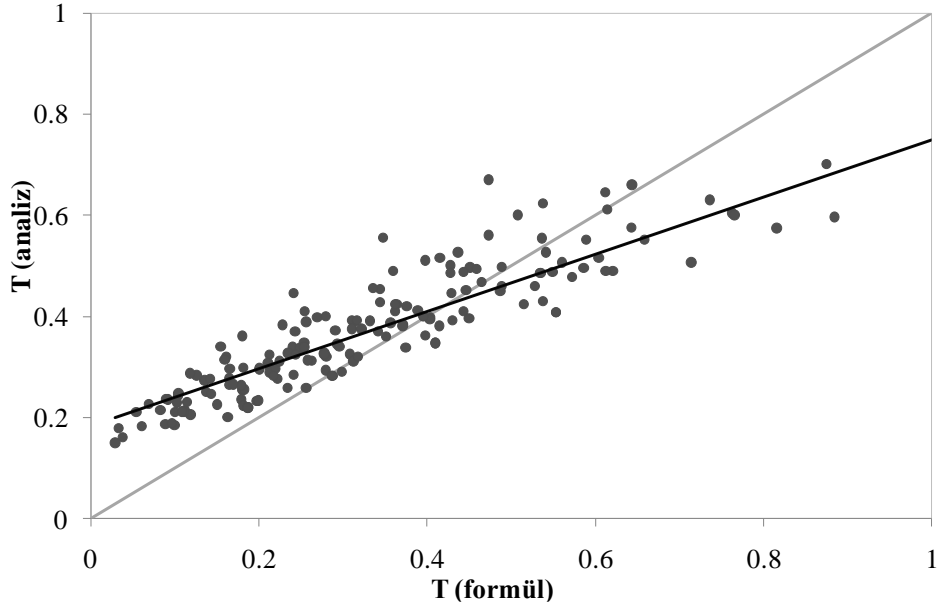
Şekil 4.3. $\beta = 0.25$ değerinin seçilmesi durumunda doğal periyotların karşılaştırılması.

2) $\beta = 0.5$ olması durumunda;

Sabit katsayılı bilinmeyen ifadelerden β sabit tutulup γ katsayısındaki değişen değerlere karşılık oluşan istatistiksel hata oranı değişimi incelenmiştir (Şekil 4.4.). İnceleme sonucunda minimum hata oranına karşılık elde edilen γ katsayısının değeri Eş. 4.11'deki bağıntıda yerine yazılarak doğal periyottaki değerler elde edilmiştir. Bağıntıdan elde edilen periyot ile modal analiz sonucunda elde edilen periyot değerleri karşılaştırılmıştır (Şekil 4.5.). Şekil 4.5'den görüleceği üzere bağıntıdan elde edilen doğal periyot değerlerinin analiz periyotlarına göre düşük yükseklikteki binalarda (0.1-0.5 sn) düşük değerler verirken, orta yükseklikteki binalarda (0.5-1.2 sn) yüksek değerler vermektedir. Dolayısıyla minimum hata oranına karşılık gelen sabit γ katsayısı için doğal periyotların karşılaştırma grafiğine (Şekil 4.5) göre uygun olmadığı anlaşılmaktadır. γ katsayısı için tekrar deneme-yanılma analizi yapıp en uygun değer seçilecektir.



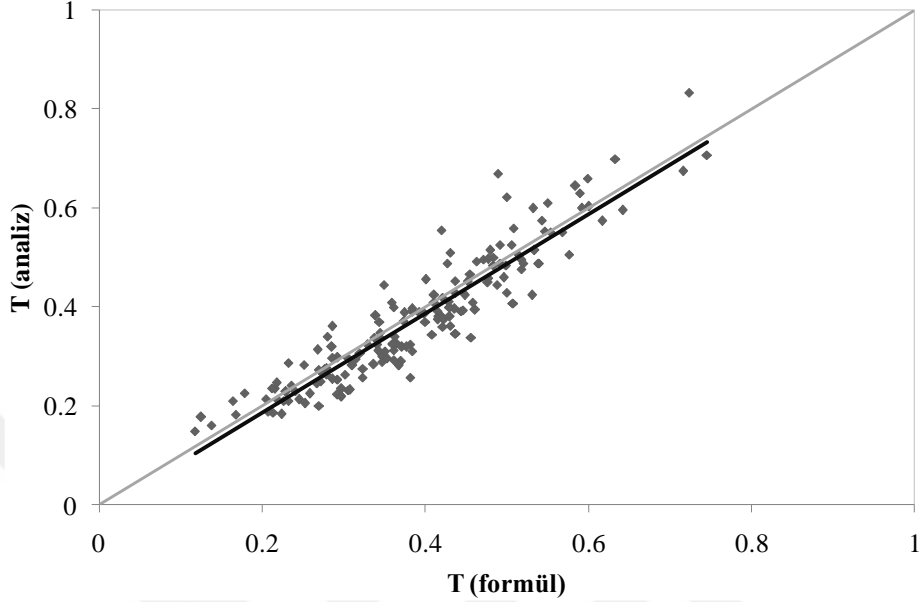
Şekil 4.4. γ katsayısındaki değişime karşılık oluşan hata oranları.



Şekil 4.5. $\gamma = 0.025$ değerinin seçilmesi durumunda doğal periyotların karşılaştırılması.

Sabit katsayılı bilinmeyenler için hata oranı = 0.05 değerlerine karşılık gelen $\beta = 0.25$ ve $\gamma = 0.08$ değerlerinin seçilmesi durumunda oluşan analiz periyotları ile bağıntıdan elde edilen periyot değerleri karşılaştırılmıştır (Şekil 4.6.). Şekilden görüleceği üzere β , γ bilinmeyen ifadeleri için seçilen değerler bir önceki seçilen değerlere göre daha kabul edilebilir bir sonuç vermektedir. Çünkü analizden elde edilen

periyot değerleri ile formülden elde edilen periyot değerleri birbirine daha yakın çıkmaktadır.



Şekil 4.6. $\beta = 0.25$ ve $\gamma = 0.08$ değerlerinin seçilmesi durumunda doğal periyotların karşılaştırılması.

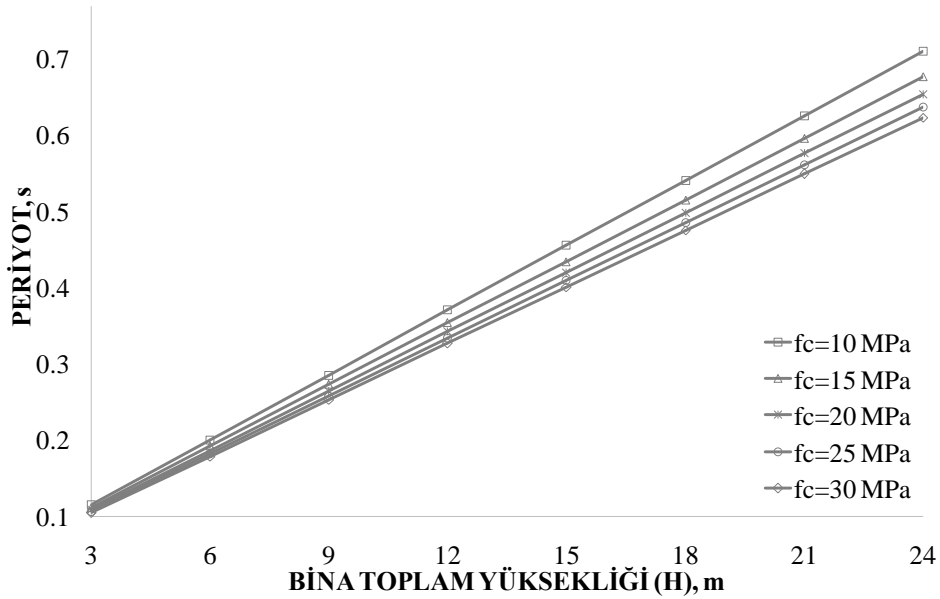
Şekil 4.6'daki dağılım grafiğinin ve elde edilen sabitlerin ($\beta = 0.25$, $\gamma = 0.08$) en uygun dağılım ilişkisi verdiği kabul edilmiştir. O halde bilinmeyen ifadeler formüle yerleştirilmesi halinde Eş. 4.13'te verildiği gibi hedeflenen doğal periyot bağıntısının nihai hali elde edilmiş olur.

$$T_{(i)} = 0.08 * H * \left[\frac{L_{(j)}}{\sqrt{f_c} * A_{t(i)} * L_{(i)}} \right]^{0.25} \quad i : x \text{ veya } y \quad j : y \text{ veya } x \quad (4.13)$$

Eş. 4.13'te verilen doğal titreşim periyot bağıntısı, 2 ile 8 kat arasındaki düşük ve orta yükseklikteki dolgu duvarlı betonarme binaların doğal periyot hesabı için önerilen bağıntının genel halini ifade etmektedir. Bağıntıda H, m, L_x , m, L_y , m, A_t , m², f_c ise t/m² cinsinden yazılarak kullanılacaktır. (i,j) sıralı ikilisinde i alt indisi x (veya y) yönünü alması durumunda j alt indisi y (veya x) yönünü almaktadır.

4.2. Bina Toplam Yüksekliğinin Doğal Periyot Üzerindeki Etkisi

Betonarme binaların doğal titreşim periyodu üzerinde en etkili parametre bina toplam yüksekliği veya bina kat sayısıdır. Bu bölümde bina toplam yüksekliğinin doğal titreşim periyodu üzerindeki etkisini incelemek için kare geometrik plana sahip 5 adet betonarme bina ele alınmıştır. Her bir binanın beton malzemesinin basınç dayanımları farklı değerlere sahip olmaktadır. Elde edilen doğal titreşim periyodu bağıntısında geri kalan diğer terimler A_t , taşıyıcı eleman alanı, L_x/L_y , bina planının x ve y asal doğrultu uzunlukları oranı Eş. 4.13'te verilen bağıntıda sabit tutularak bina toplam yüksekliğinin doğal periyot üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. İnceleme yapılırken, bina toplam yüksekliği ile bina kat sayısı arasında bir ilişki olduğu düşünülerek her bir kat için bina kat yüksekliği 3'er metre artırılmıştır. Bina toplam yüksekliği ile bina doğal titreşim periyotları arasındaki ilişkiyi veren grafik Şekil 4.7'de verilmektedir. Grafikten görüleceği üzere bina toplam yüksekliği arttıkça doğal titreşim periyodu yaklaşık lineer bir şekilde artmaktadır. Beton basınç dayanımı arttıkça doğal titreşim periyodu azalmaktadır. Bina toplam yüksekliği düşük olduğu (6 m) noktada beton basınç dayanımlarından kaynaklı doğal titreşim periyotları arasındaki fark düşük olurken, bina toplam yüksekliğinin büyük olduğu (24 m) noktada beton basınç dayanımlarından dolayı doğal titreşim periyotları arasındaki fark yüksek olmaktadır.

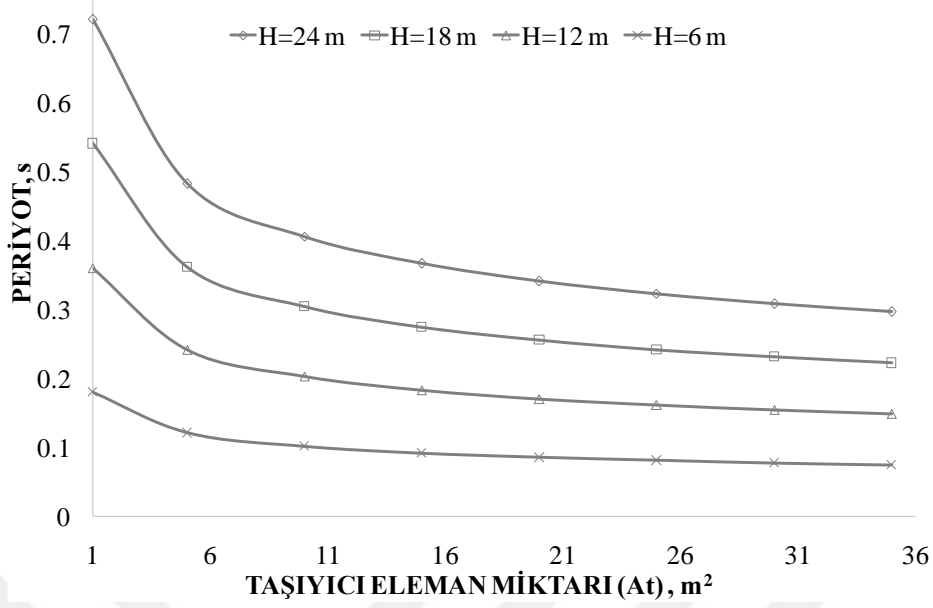


Şekil 4.7. Bina toplam yüksekliği ile doğal periyot arasındaki ilişki.

4.3. Taşıyıcı Eleman Miktarının Doğal Periyot Üzerindeki Etkisi

Taşıyıcı eleman miktarının doğal periyot üzerindeki etkisi incelenmiştir. İnceleme doğrultusunda kare planlı 4 adet betonarme bina ele alınmıştır. Kare planlı binalar incelendiğinden tüm aşamalarda $L_y/L_x = 1$ olarak ele alınmıştır. İlk aşamada $A_t = 1 \text{ m}^2$ alınmış ve daha sonra her adımda 5 m^2 kolon kesit alanı arttırılarak işlem yapılmıştır. En son aşamada $A_c = 35 \text{ m}^2$ seçilmiş olup doğal titreşim periyotları elde edilmiştir. Değişken olarak ele alınan parametre dışında kalan diğer parametreler ise sabit olarak tutulmuştur. Bunların yanında doğal periyot üzerindeki taşıyıcı eleman miktarı araştırılırken farklı kat yükseklikleri olması durumu için 6, 12, 18 ve 24 m yükseklikteki betonarme binalar seçilerek incelemelerde bulunulmuştur. Yapılan analizler sonucunda elde edilen veriler arasındaki ilişki Şekil 4.8'te verilmektedir.

Grafik incelendiğinde 6, 12, 18 ve 24 m yükseklikteki betonarme binalar için taşıyıcı eleman miktarı arttıkça, binanın doğal titreşim periyodunun azaldığı görülmektedir. Aynı zamanda bina kat sayısının artması ile doğal titreşim periyodunda artış meydana geldiği görülmektedir. Bina yüksekliğinin düşük olduğu (6 m) betonarme binalarda taşıyıcı eleman miktarının artışı ile doğal periyot değerlerinde az bir düşüş meydana gelirken, bina yüksekliğinin yüksek olduğu (24 m) betonarme binalarda taşıyıcı eleman miktarının artması ile doğal periyot değerlerinde daha yüksek bir düşüş meydana gelmektedir. Düşük yüksekliğe sahip binalarda yüksekliğin az olması sebebi ile bina rijitliği kolon alanı ve rijitliğinden daha az etkilenmekte, aksine nispeten daha yüksek katlı binalardaki rijitlik kaybı kolon alanı ve rijitliği arttıkça kapatılmaktadır. Bu sebeplerden ötürü 24 m yükseklikteki binalarda kolon alanı arttıkça periyotlar daha hızlı düşüş göstermiştir.

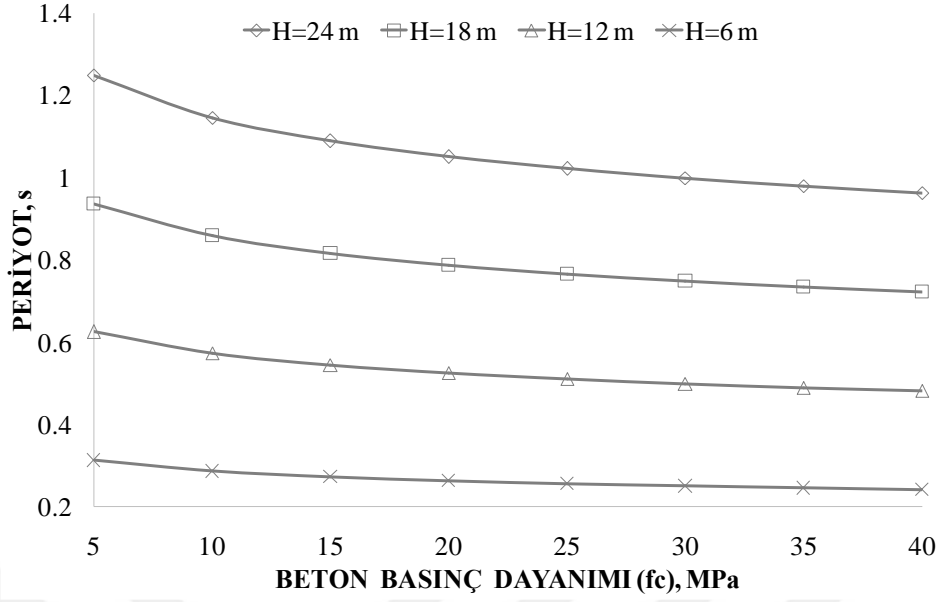


Şekil 4.8. Taşıyıcı eleman miktarı ile doğal periyot arasındaki ilişki.

4.4. Beton Basınç Dayanımının Doğal Periyot Üzerindeki Etkisi

Beton basınç dayanımının bina doğal titreşim periyodu üzerindeki etkisini incelemek için 4 adet kare plana sahip betonarme bina ele alınmıştır. Bu aşamada elde edilen periyot bağıntısındaki A_t , taşıyıcı eleman alanı, L_x/L_y , bina planının x ve y asal eksenleri doğrultusundaki uzunlukları oranı, H(m) bina toplam yüksekliği parametreleri ile beton basınç dayanımını arasında birbirini etkileyen bir ilişki olmadığı belirlenmiştir. Buna bağlı olarak sadece beton basınç dayanımı artırılarak binaların doğal titreşim periyodu üzerindeki etkisi incelenmiştir. Dolayısı ile ilk aşamada beton basınç dayanımı 5 MPa alınarak işlem yapılmaya başlanmıştır. Daha sonra seçilen ilk beton basınç dayanımına 5'er MPa eklenerek işlemlere devam edilmiş olup 40 MPa olunca yapılan işlemler sonlandırılmıştır. Analiz aşamasında 6, 12, 18 ve 24 m yükseklikteki betonarme binaların olması durumu için beton basınç dayanımı incelenmiştir. Yapılan analiz sonucunda elde edilen grafik Şekil 4.9.'de verilmektedir.

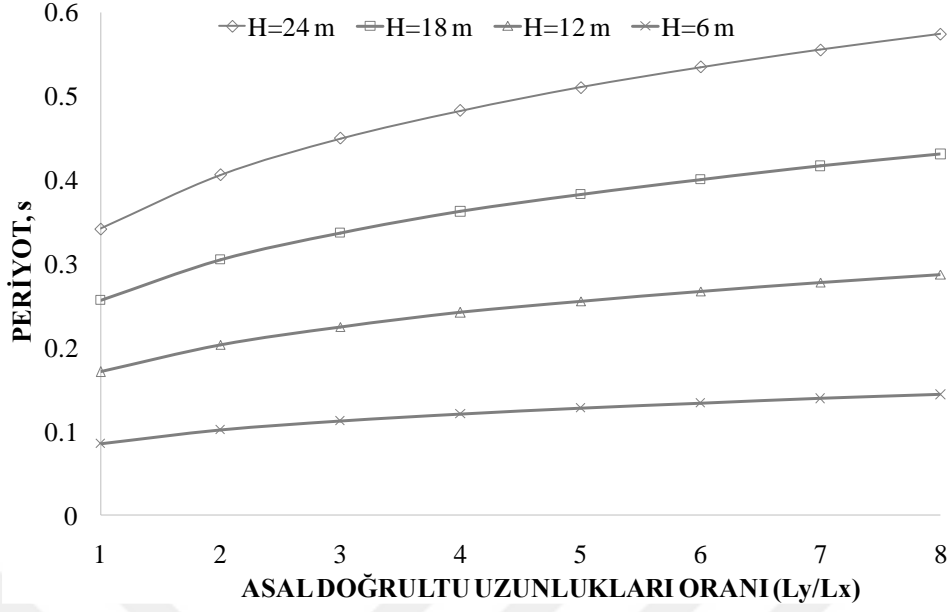
Verilen grafiğin incelenmesi durumunda beton malzemesinin basınç dayanımı binaların doğal titreşim periyodu üzerinde azaltıcı yönde bir etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Fakat bina yüksekliğinin düşük olduğu (6 m) betonarme binalarda azaltıcı etkisi daha düşük iken, bina yüksekliğinin yüksek olduğu (24 m) betonarme binalarda bu etki daha büyük olmaktadır.



Şekil 4.9. Beton basınç dayanımı ile doğal periyot arasındaki ilişki.

4.5. Asal Doğrultu Uzunlukları Oranının Doğal Periyot Üzerindeki Etkisi

Teorik bağıntı elde edilirken periyoda etki eden diğer parametreler ile birlikte ayrıca betonarme binaların asal doğrultu uzunlukları dikkate alınmıştır. Araştırma doğrultusunda 4 adet dikdörtgen planlı betonarme bina ele alınmıştır. Asal doğrultu uzunlukları oranı ilk aşamada 1 alınmış, daha sonra 1'er değer artırarak 8 adımda incelemeler yapılmıştır. Her bir bina için uygulanan bağıntıda sadece binanın her iki yöndeki asal doğrultu uzunlukları değişmektedir. Yani diğer etki parametreleri ile asal doğrultu uzunlukları arasında bir ilişki olmadığı düşünülmüştür. Analizler neticesinde asal doğrultu uzunlukları oranındaki değişimin doğal periyot üzerindeki etkiyi belirten grafik Şekil 4.10'da verilmektedir.



Şekil 4.10. Asal doğrultu uzunlukları oranı ile doğal periyot arasındaki ilişki.

Yukarıda verilen grafik incelendiği zaman elde edilen doğal periyot bağıntısına göre asal doğrultu uzunlukları oranının yapı rijitliği üzerinde artırıcı bir rolü olduğundan betonarme binaların doğal titreşim periyodunu azalttığı anlaşılmaktadır. Ancak binaların toplam yüksekliklerine göre periyot azalımı değişiklik göstermektedir. Örneğin, 24 m yükseklikteki betonarme bina üzerindeki asal doğrultu uzunluklarının etkisi ile 6 m yükseklikteki bir binanın doğal periyodu üzerindeki etkisi aynı olmadığı doğru parçasının eğimlerine bakarak açık bir şekilde görülmektedir.

5. TARTIŞMA

Dolgu duvarlı betonarme binaların doğal titreşim periyodu birçok yapısal parametrelerden etkilenmektedir. Bu yapı parametreleri bina toplam yüksekliği veya bina kat sayısı, binanın düşey taşıyıcı elemanlarını oluşturan kolon ve perde duvar miktarları, taşıyıcı eleman olarak nitelendirilmeyip yapı rijitliğine ilk deprem sahnesinde önemli katkı sağlayan dolgu duvar miktarı, birim hacim ağırlığı, basınç dayanımı ve elastisite modülü, beton malzemesinin özellikleri olarak basınç dayanımı ve elastisite modülü, bina planının asal doğrultu uzunlukları gibi dolaylı bir şekilde etki etmektedir. Ancak doğrudan yapı doğal periyot değişimine etki sağlayan parametreler ise yalnızca yapı kütlesi ve yapı rijitliği etkenleridir.

Bu bölümde elde edilen bağıntı literatürde bahsi geçen Goel ve Chopra (2000), Hong ve Hwang (2000), Balkaya ve Kalkan (2003), Amanat ve Hoque (2006), Crowley ve Pinho (2006), Guler ve ark. (2008), Kose (2009), Nyarko ve ark. (2012), Hatzigeorgiou ve Kanapitsas (2013) ve Asteris ve ark (2017) gibi araştırmacıların önerdiği periyot bağıntıları ile karşılaştırılmıştır. Aynı zamanda Unifrom Building Code (UBC), National Building Code (NBC-1995), India Standard (IS), Building Standard Law of Japan (BSLJ) ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) gibi ülkelerin deprem yönetmeliklerinde verilen doğal titreşim periyot bağıntıları ile karşılaştırmalar yapılmıştır.

Literatürdeki bazı araştırmacılar bina toplam yüksekliği parametresini ele alarak doğal periyot bağıntısı elde ederken, bazı araştırmacılar ise bina toplam yüksekliği veya bina kat sayısı parametresi ile birlikte doğal periyoda etki eden diğer parametreleri de dahil etmektedir. Aynı şekilde ülkelerin deprem yönetmeliklerinde de bu durum geçerlidir. Yani bazı ülke yönetmelikleri sadece bina kat sayısı ile veya bina toplam yüksekliği ile doğal periyot bağıntısı sunarken, bazı ülkelerin deprem yönetmelikleri ise yüksekliğin yanında bina planı asal doğrultuları, perde duvar kesit alanı ve dolgu duvar alanı gibi parametreleri de dahil etmektedir. Bundan dolayı hangi araştırmacının veya hangi deprem yönetmeliğinin daha güvenilir doğal periyot değeri verdiği konusunda belirsizlikler bulunmaktadır. Bu tezin asıl amacı da bu tür belirsizliklerden yola çıkarak model kalibrasyonları, güvenilir olduğu kabul edilen mikrotremor sonuçları ile yapmak,

teorik periyot bağıntısını esas alarak kütle ve rijitlik için basit formülasyonlar oluşturmak ve nihayetinde güvenilir bir doğal periyot bağıntısı elde etmektir.

Bunlarla birlikte daha önceden bahsedilen literatürdeki bazı araştırmacıların doğal titreşim periyot bağıntıları ve bazı ülkelerin deprem yönetmelikleri ile doğal periyoda etki eden kolon kesit alanı, bina toplam yüksekliği, beton basınç dayanımı, perde duvar miktarı ve dolgu duvar miktarı gibi parametreler incelenerek her biri kendi içinde karşılaştırılmıştır.

5.1. Literatür ve Deprem Yönetmeliklerinde Ele Alınan Parametre Türleri

Literatürdeki araştırmacılar elde ettikleri bağıntılarda farklı parametreler kullanılmaktadır. Goel ve Chopra (2000), Hong ve Hwang (2000), Crowley ve Pinho (2006), Guler ve ark. (2008) ve Hatzigeorgiou ve Kanapitsas (2013) araştırmacıları tarafından yalnızca bina toplam yüksekliği olarak tek bir parametre dolgu duvarlı betonarme binaların doğal titreşim periyodu hesabında kullanılmıştır. Aynı şekilde deprem yönetmeliklerinin çoğunda da doğal periyot sadece bina toplam yüksekliği veya kat sayısına bağlı olarak verilmektedir. Fakat her bir bağıntıda (C_1) olarak ifade edilen sabit katsayılı çarpan değerleri birbirinden farklı olmaktadır. Balkaya ve Kalkan (2003) ve Kose (2009) tarafından geliştirilen bağıntıda bina toplam yüksekliği, perde duvar miktarı, dolgu duvar miktarı ve bina açıklık sayısı ve uzunluğu olmak üzere 4 farklı parametre kullanılmaktadır. Amanat ve Hoque (2006) ile Asteris ve ark. (2017) tarafından önerilen bağıntılarda 3 farklı parametre kullanılmıştır. Son olarak Nyarko ve ark. (2012) tarafından geliştirilen bağıntıda bina kat sayısı ve bina açıklık sayısı ve açıklık mesafesi olmak üzere 2 farklı parametre üzerinden dolgu duvarlı betonarme binaların doğal titreşim periyotları hesaplanması için bir bağıntı önerilmektedir. Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2'de literatürde araştırmacılar tarafından önerilen ve deprem yönetmeliklerinde kullanılan parametreler karşılaştırmalı olarak verilmektedir.

Çizelge 5.1. Literatürdeki araştırmacıların bağıntılarında ele aldığı parametre türleri

	Bina toplam yüksekliği	Bina kat sayısı	Taşıyıcı eleman miktarı	Dolgu duvar miktarı	Bina asal doğrultu uzunlukları	Bina açıklık sayısı veya mesafesi	Beton dayanımı
Goel ve Chopra (2000)	x						
Hong Hwang (2000)	x						
Balkaya ve Kalkan (2003)	x		x	x		x	
Amanat ve Hoque (2006)	x			x		x	
Crowley ve Pinho (2006)	x						
Guler ve ark. (2008)	x						
Kose (2009)	x		x	x		x	
Nyarko ve ark. (2012)		x				x	
Hatzigeorgiou ve Kanapitsas (2013)	x						
Asteris ve ark. (2017)	x			x		x	
Sunulan Bağntı (2019)	x		x	x	x		x

Çizelge 5.2. Deprem yönetmeliklerindeki periyot hesabında kullanılan parametre türleri

	Bina toplam yüksekliği	Bina kat sayısı	Perde duvar	Dolgu duvar	Kolon alanı	Bina asal doğrultu uzunluğu	Beton dayanımı
UniformBuildngCode (UBC)	x						
NationalBuildingCode (NBC)		x					
Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018)	x						
India Standard (IS-2002)	x					x	
TheBuilding Standard Law of Japan (BSLJ)	x						

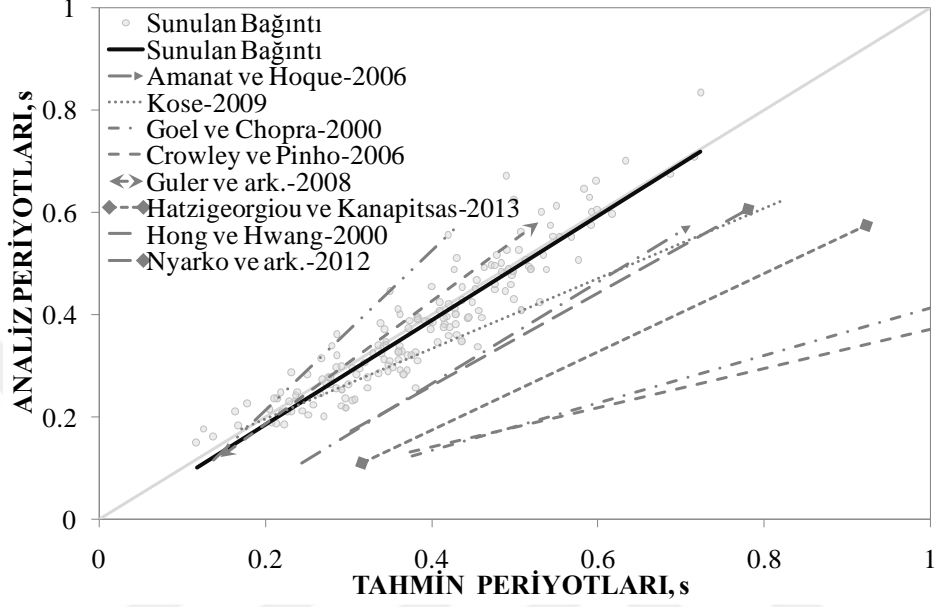
5.2. Doğal Periyot Bağıntılarının Karşılaştırılması

Hem literatürde hem de deprem yönetmeliklerinde betonarme binalar için önerilen doğal titreşim periyot bağıntıları ve bu çalışmada önerilen periyot bağıntısı, yapısal analiz sonucunda elde edilen doğal periyotlarla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma işlemi 177 adet nihai referans bina modeli üzerinden yapılmıştır.

5.2.1. Literatürde mevcut olan bağıntılar ile karşılaştırma

Literatürde yer alan doğal periyot bağıntıları incelendiğinde bağıntılarının bir çok parametre içerdiği belirlenmiştir. Bazı bağıntılarda aynı, bazı bağıntılarda ise farklı parametreleri birleştiren Goel ve Chopra (2000), Hong ve Hwang (2000), Amanat ve Hoque (2006), Crowley ve Pinho (2006), Guler ve ark. (2008), Kose (2009), Nyarko ve ark. (2012), Hatzigeorgiou ve Kanapitsas (2013) tarafından bulunan bağıntılar ve tez çalışması kapsamında elde edilen periyot bağıntısı 177 adet binanın analiz periyotları ile kıyaslanmıştır (Şekil 5.1). Karşılaştırma maksatlı kullanılan bağıntılardan elde edilen istatistiksel hata oranları tespit edilmiş olup Çizelge 5.3.'de verilmektedir. Şekil 5.1 grafiği incelendiğinde verilen bütün bağıntılarının birbirinden farklı periyot değerlerine sahip olduğu anlaşılabilir. Ayrıca Goel ve Chopra (2000), Crowley ve Pinho (2006), bağıntılarında elde edilen periyotlar analiz periyotlarından çok daha büyük değerler vererek en üst sınırı oluşturmaktadır. Aynı şekilde Hatzigeorgiou ve Kanapitsas (2013), Nyarko ve ark. (2012), Amanat ve Hoque (2006), bağıntılarında elde edilen eğim çizgisi simetri çizgisinin alt bölgesinde sürekli artan bir eğimle analiz periyotlarından daha büyük değerler vermektedir. Kose (2009) bağıntısı 0.1 ile 0.3s periyot aralığına kadar analiz periyotlarına göre ortalama değerler verirken, 0.3s değerinden sonra analiz periyotlarından sürekli daha büyük değerler vermektedir. Guler ve ark. (2008), Hong ve Hwang (2000) bağıntılarını 0.1 ile 0.3s aralığındaki düşük periyotlarda analiz periyotlarına göre ortalama değerler vermesine rağmen, 0.3s'den sonra verilen eğim çizgisi simetri çizgisinin üst bölgesinde kalarak analiz periyotlarına göre düşük değerler vermektedir. Literatürden seçilen bağıntılarının incelenmesi sonucu elde edilen periyot değerlerinin oluşturduğu dağılım grafiği incelenmesi üzerine sadece sunulan bağıntılardan elde edilen eğim çizgisi simetri çizgisine çok yakın paralel bir şekilde ilerlediği

görülmektedir. Geri kalan diğer bağıntıların eğim çizgilerinin simetri çizgisine yakın bir noktada paralellikleri görülmemektedir.



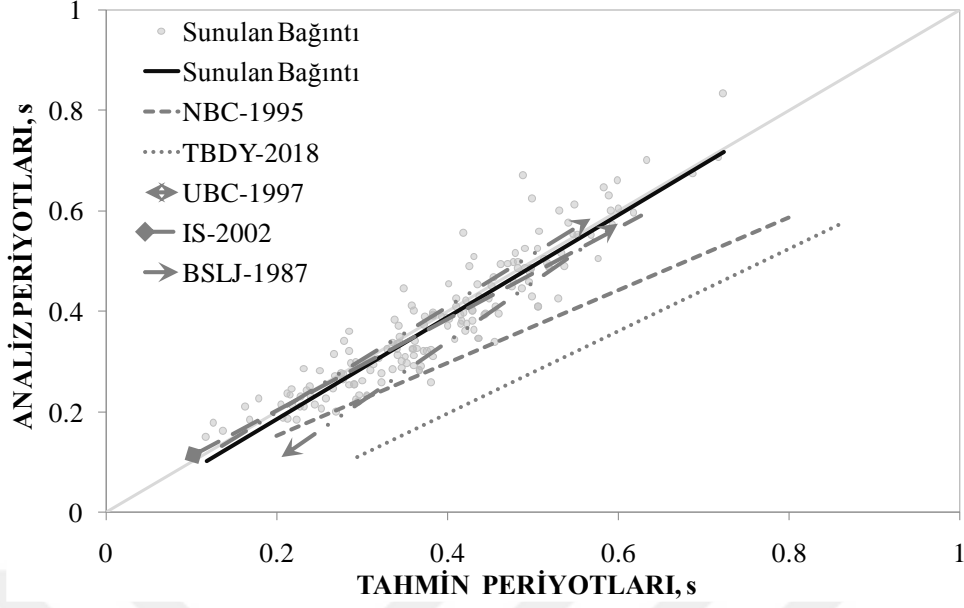
Şekil 5.1. Literatürdeki periyot bağıntıları ile analiz periyotlarının karşılaştırılması.

Çizelge 5.3. Şekil 5.1'deki bağıntılardan elde edilen hata oranları

Bağıntılar	Hata Oranları
Sunulan bağıntı	0.05
Guler ve ark.-2008	0.09
Hong ve Hwang-2000	0.12
Kose-2009	0.13
Amanat ve Hoque-2006	0.16
Nyarko ve ark.-2012	0.17
Hatzigeorgiou ve Kanapitsas-2013	0.30
Goel ve Chopra-2000	0.57
Crowley ve Pinho-2006	0.67

5.2.2. Deprem yönetmeliklerinden elde edilen doğal periyotların karşılaştırılması

Her ülkenin kendi deprem yönetmeliğinde yatay taban kesme kuvvetinin hesaplanmasında kullanılan doğal titreşim periyodu bağıntıları mevcuttur. Ancak çoğu deprem yönetmeliğinde betonarme binalar için önerilen doğal titreşim periyodu bağıntıları birbirinden farklı olmaktadır. Dolayısıyla farklı ülkelerin farklı doğal periyot bağıntıları ele alınarak bir parametrelili, iki parametrelili ve sunulan bağıntı gibi 4 parametrelili eşitliklerden sağlanan doğal periyot değerleri arasında nasıl bir fark oluştuğunu incelemek için karşılaştırma grafiklerinin çizilmesi uygun görülmüştür. Karşılaştırma yapılırken Unifrom Building Code (UBC-1997), National Building Code (NBC-1995), India Standard (IS-2002), Building Standard Law of Japan (BSLJ-1987) ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) esas alınarak dağılım grafiği çizilmiştir. Çizilen grafik Şekil 5.2.'de gösterilmektedir. Deprem yönetmeliklerinden seçilen bağıntılardan elde edilen istatistiksel hata oranları Çizelge 5.4.'de olduğu gibi verilmektedir. Şekil 5.2. dağılım grafiği incelendiği zaman verilen bağıntılar arasında birbirinden farklı istatistiksel hata oranlarına sahip olmakla birlikte en uygun periyot değerleri veren sunulan bağıntı olarak görülebilir. Aynı şekilde sunulan bağıntı ile diğer bağıntıların istatistiksel hata oranları birbirinden farklı değerlere sahip olmakla birlikte her bir bağıntının eğim çizgileri simetri çizgisine göre birbirinden farklı noktada ilerlemektedir. TBDY-(2018)'deki bağıntı, analiz periyotlarına göre en yüksek doğal periyot değerlerini vermekle birlikte elde edilen periyotların en üst sınırını oluşturmaktadır. NBC-(1995)'teki bağıntının eğim çizgisi simetri çizgisinin alt bölgesinde kalarak analiz periyotlarından daha büyük değerler vermektedir. UBC-(1997) yönetmeliğindeki bağıntı ise analiz periyotlarına göre 0.1-0.5s arasındaki periyotlarda daha yüksek periyot, 0.5-1.0s arasındaki periyotlarda ise analiz periyotlarına daha yakın değerler vermektedir. IS-(2002) bağıntısının eğim çizgisi simetri çizgisine yakın noktada paralellik göstermesine rağmen, elde edilen hata oranı sunulan bağıntıya göre yüksek çıkmaktadır. Aynı şekilde BSLJ-(1987) bağıntısının eğim çizgisi simetri çizgisine yakın bir şekilde ilerlerken, istatistiki hata oranı sunulan bağıntıya göre yüksek çıkmaktadır.



Şekil 5.2. Deprem yönetmelikleri ile analiz periyotlarının karşılaştırılması.

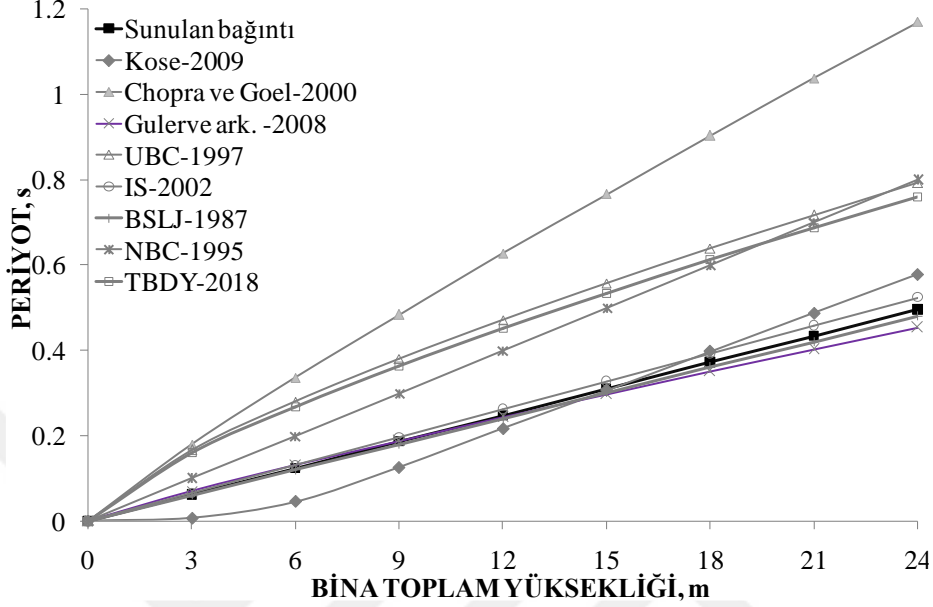
Çizelge 5.4. Şekil 5.2.'deki bağıntılardan elde edilen hata oranları

Bağıntılar	Hata Oranları
Sunulan bağıntı	0.05
IS-2002	0.08
BSLJ-1987	0.08
UBC-1997	0.10
NBC-1995	0.16
TBDY-2018	0.26

5.3. Bina Toplam Yüksekliği Açısından Doğal Periyotların Karşılaştırılması

Bina toplam yüksekliği bakımından araştırmacıların önerdiği ve deprem yönetmeliklerinde mevcut olan doğal periyot bağıntıları bu tez kapsamında önerilen bağıntı ile karşılaştırılmıştır. Bina toplam yüksekliği ve bina kat sayısı terimleri değişken tutularak bir adet betonarme bina üzerinden hesaplar yapılmıştır. Aynı şekilde seçilen bağıntılar bir, iki veya çok parametrelili bağıntılar olmasına özen gösterilerek seçim yapılmıştır. Bağıntılarda bilinmeyen parametrelerin formülde yerine konarak

hesaplama işlemi yapıldıktan sonra hepsinin bir arada kıyaslandığı grafik Şekil 5.3'te gösterilmektedir.



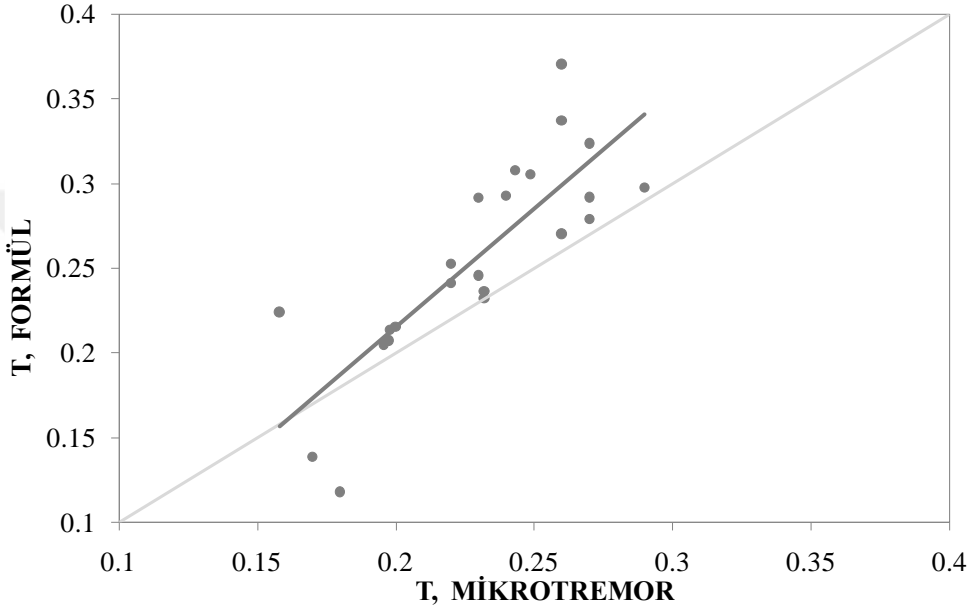
Şekil 5.3. Doğal periyot bağıntılarının bina toplam yüksekliğine bağlı değişimleri.

Yukarıda verilen bina toplam yüksekliği-doğal periyot grafiği incelenmesi durumunda verilen bütün bağıntıların yüksekliğe bağlı olarak artan periyot önerdikleri görülmektedir. Ancak bu değişimin üst sınırını Chopra ve Goel (2000) bağıntısı oluştururken, alt sınır şartını Guler ve ark. (2008) bağıntısı oluşturmaktadır. BSLJ-1987, IS-2002, Kose (2009), tez kapsamında önerilen bağıntı ve Guler ve ark. (2008) bağıntıları ile elde edilen doğal periyotlar bina toplam yüksekliğine bağlı olarak artarak birbirlerine yakın değerler vermektedir. TBDY-2018, NBC-1995 ve UBC-1997 bağıntıları kendi aralarında yaklaşık değerler vermekte ve bu üç bağıntı, tez kapsamında önerilen bağıntıdan daha yüksek değerler vermektedir.

5.4. Mikrotremor Periyotları ile Sunulan Bağıntı Periyotlarının Karşılaştırılması

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi yerleşim alanında bulunan ve kat sayısı 2 ile 5 kat arasında değişen güçlendirilmiş 23 adet betonarme binanın doğal titreşim periyotları Sayın Doç. Dr. İsmail Akkaya tarafından mikrotremor yöntemi ile tespit edilmiştir. Aynı binalar dikkate alınarak bu tez kapsamında elde edilen bağıntı ile doğal periyot

değerleri elde edilmiştir. Analitik ve deneysel yöntemlerle belirlenen doğal periyotlar karşılaştırma amaçlı olarak Şekil 5.4'de verilmiştir. Şekilde görüleceği üzere Analitik yollarla türetilen bağıntının, binanın gerçek periyot değerlerini temsil eden mikrotremor periyotları ile karşılaştırıldığında büyük oranda birbiri ile uyumlu olduğu anlaşılabilir. Çünkü elde edilen bağıntı ile mikrotremor arasında RMS hata metodu uygulanması ile elde edilen istatistiksel hata oranı 0.045 olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.4. Mikrotremor ile yapısal analiz periyotlarının karşılaştırılması.

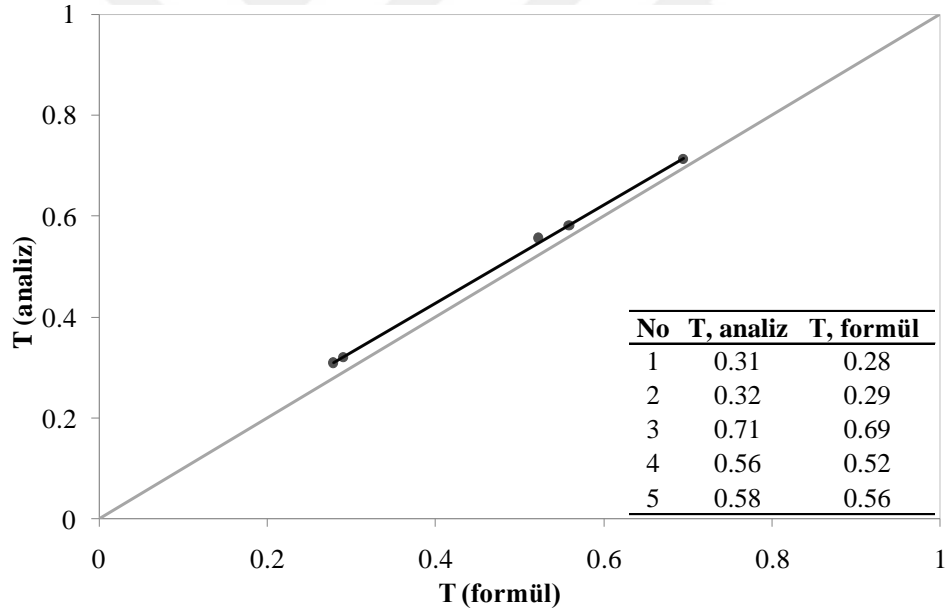
5.5. Sunulan Bağıntı İle Ek Bina Analiz Periyotlarının Karşılaştırılması

Düşük ve orta yükseklikteki betonarme binaların doğal periyot hesabı için elde edilen bağıntının kontrolünü yapmak maksadı ile 5 adet farklı geometrik plana ve kat sayısına sahip betonarme bina ele alınmıştır. Bu binalardan 1 adet 8 katlı, 2 adet 7 katlı ve 2 adet 5 katlı olarak farklı yüksekliğe sahip binalar seçilmiştir (Çizelge 5.5.). Bu binaların modelleme aşamasında esas alınan koşullar veya izlenen adımlar ilk referans alınan bina modellerinde olduğu gibi bir yol izlenmiştir. Ek binaların sanal ortamda modelleri tamamlandıktan sonra yapısal çözümleme analizleri yapılmıştır. Analiz sonucunda modellerin x ve y yönündeki maksimum doğal titreşim periyotları elde edilmiştir. Elde edilen doğal titreşim periyotları ile sunulan bağıntıdan elde edilen doğal periyot değerleri karşılaştırılmıştır (Şekil 5.5.). Şekil 5.5.'den görüleceği üzere bağıntı

kontrolü amaçlı modellenen binalardan elde edilen doğal periyotlar ile sunulan bağıntıdan elde edilen doğal periyot değerlerinin birbirine yakın sonuçlar verdiği görülebilir.

Çizelge 5.5. Bağıntı kontrolü için kullanılan ek binalar

Bina No	Bina yüksekliği	Kat sayısı	Beton basınç dayanımı	Elatisite modülü	Plan uzunlukları		Kolon kesit alanı		Perde duvar kesit alanı	
	H m	N	F_c MPa	E MPa	L_x m ²	L_y m ²	A_{cx} m ²	A_{cy} m ²	A_{swx} m ²	A_{swy} m ²
1	13.8	5	13	18027	24.3	13.2	1.3	3	4	8.2
2	23.3	8	16.2	20124	21.4	16.9	1.6	4.5	0.4	2.9
3	21.5	7	6.2	12450	21	13.7	0.3	7.8	0.3	0.6
4	21	7	8.2	14317	22.4	26.9	3.5	4.7	0.4	1
5	14	5	12	17320	14.9	14.3	1.3	3.3	4.4	4



Şekil 5.5. Bağıntı periyotları ile ek bina analiz periyotlarının karşılaştırılması.

6. SONUÇ

Dolgu duvarlı betonarme binaların doğal titreşim periyotları hesaplanırken, genellikle deprem yönetmeliklerinde verilen tek parametrelili bağıntılar kullanılmaktadır. Bina toplam yüksekliği veya bina kat sayısı parametresine bağlı olarak hesaplanan doğal periyotlar kat sayısının artması ile çoğunlukla artmaktadır. Dolayısı ile betonarme binaların doğal titreşim periyotlarına etki eden bina toplam yüksekliği haricindeki diğer parametreler ihmal edilmektedir.

Tez çalışmasında öncelikle referans olarak kullanılacak yapısal analiz sonuçlarının güvenilirliği test edilmiştir. Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi yerleşim alanında yer alan belirli sayıdaki binalar dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız olarak modellenerek dinamik analizleri yapılmış. Analizler sonucunda bulunan periyotlar mikrotremor ölçümleri ile karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalar neticesinde modellerde dolgu duvarların yer alması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Bu çalışma kapsamında hem bağıntının elde edilmesi sırasında hem de elde edilen bağıntının doğruluk kontrolü yapılması sırasında toplamda nihai referans model olarak 177 adet bina ele alınmıştır. Binaların tamamı dolgu duvarlı olarak modellenmiştir. Elde edilmeye çalışılan bağıntı, kütle ve rijitlik parametresinin bir fonksiyonu olan basit periyot bağıntısı üzerinden yola çıkarak geliştirilmiştir. Bağıntının geliştirilmesi aşamasında ele alınan betonarme binaların bazı parametreleri için birkaç varsayım veya kabul yapılmıştır. Aynı zamanda bu aşamada deprem yönetmeliklerinde verilen elastisite modülü, taşıyıcı elemanların toplam alanı gibi bazı bağıntılar da formül türetme sırasında kullanılmıştır. Nihayetinde bina toplam yüksekliği, beton basınç dayanımı, taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanların toplam alanı (kolon, perde duvar ve dolgu duvar) ve bina planı asal doğrultu uzunluklarına bağlı olarak doğal periyotların hesaplanması için teorik bir bağıntı geliştirilmiştir. Bir başka deyişle tezin asıl amacı olan düşük ve orta yükseklikteki dolgu duvarlı betonarme binaların taşıyıcı eleman parametreleri ile doğal titreşim periyodu hesabı için bir bağıntı elde edilmiştir. Elde edilen periyot bağıntısındaki RMS hata miktarı 177 adet bina için 0.05 bulunmuştur.

Deprem yönetmeliklerinde verilen doğal periyot bağıntılarında dolgu duvarın önemi her ne kadar göz ardı edilse de binaların yatay rijitlikleri veya doğal periyotları

üzerinde bir etkisi olduğu yapılan bina modelleri çalışması neticesinde açığa kavuşturulmuştur.

Yapılan bu tez çalışması sonucunda elde edilen doğal periyot bağıntısının literatürde ve çeşitli ülkelerin deprem yönetmeliklerinde mevcut olan doğal periyot bağıntıları ile karşılaştırması yapılmıştır. Yapılan karşılaştırma itibarı ile hem literatürde hem de deprem yönetmeliklerinde sadece bina toplam yüksekliğine veya bina kat sayısına bağlı olarak verilen bağıntıların, yapısal analiz sonuçları ile yakın değerler vermediği hatta çoğunlukla kat sayısı arttığı durumda daha yüksek değerler verdiği sonucu ortaya çıkarılmıştır. Ayrıca bina toplam yüksekliğine bağlı bağıntılarda her türlü yapı çeşidi (örneğin çerçeve, çerçeve-perdeli veya perdeli binalar) için aynı periyot değeri elde edilirken, tez kapsamında önerilen bağıntı ile doğal periyot hesaplandığında yapı türüne göre birbirinden farklı değerler elde edilmektedir.

Hem literatür hem de deprem yönetmeliklerinden seçilen bağıntıların incelenen 177 adet nihai referans modelin karşılaştırmaları sonucu tez kapsamında önerilen bağıntının diğer bağıntılardan daha iyi sonuç verdiği belirlenmiştir.

Sonuç olarak tez kapsamında binanın kütlesi ve rijitliği basit formüller ile temsil edilerek düşük ve orta yükseklikteki (2-8 katlı) betonarme binalar için teorik bir doğal titreşim periyodu bağıntısı elde edilmiş ve önerilen periyot bağıntısının güvenilir sonuçlar verdiği hem mikrotremor hem de yapısal analiz sonuçlarından tespit edilmiştir. Unutulmamalıdır ki önerilen periyot bağıntısı doğal titreşim periyodu (bir başka deyişle elastik periyot) içindir ve en fazla 8 katlı betonarme binalar için kullanılabilir. Daha fazla kata sahip bina verisi bulunması durumunda önerilen bağıntı test edilip geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

- Abdelkareem, K. H., Abdel Sayed, F. K., Ahmed, M. H., AL- Mekhlafy, N., 2013. Equivalent strut width for modeling R.C. infilled frames. *Journal of Engineering Sciences*, **41**: 851-866.
- Amanat, K. M., Hoque, E., 2006. A rationale for determining the natural period of R.C. building frames having infill. *Engineering Structures*, **28**: 495–502.
- ODTÜ-DMAM, 2012. *Van Depremi Sismik ve Yapısal Hasara İlişkin Saha Gözlemleri, Teknik Rapor*, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi, Ankara.
- Asteris, P. G., Giannopoulos, I. P., Chrysostomou, C. Z., 2012. Modelling of infilled frames with openings. *The Open Construction and Building Technology Journal*, **6**: 81-91.
- Asteris, P. G., Repapis, C. C., Repapi, E. V., Cavaleri, L., 2017. Fundamental period of infilled reinforced concrete frame structures. *Structure and Infrastructure Engineering*, **7**: 929-941.
- Balkaya, C., Kalkan, E., 2003. Estimation of fundamental periods of shear wall dominant building structure. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **32**: 985-998.
- Bazan, B., Meli, R., 1980. Seismic analysis of structures with masonry walls. *In 7th World Conference. on Earthquake Engineering, Vol.5, International Association of Earthquake Engineering (IAEE)*. Tokyo. 633-640.
- Bertoldi, S.H., Decanini, L.D., Santini, S., Via, G., 1994. Analytical models in infilled frames. *Proceedings of the 10th European Conference in Earthquake Engineering*. 28 August-2 September 1994, Vienna. 1533-1538.
- Chiauzzi, L., Masi, A., Mucciarelli, M., Cassidy, J. F., Kutyn, K., Traber, J., Ventura, C., Yao, F., 2012. Estimate of fundamental period of reinforced concrete buildings: code provisions vs. experimental measures in victoria and vancouver (BC Canada). *15th World Conference on Earthquake Engineering 2012(15 WCEE)*. 24-28 September 2012, Lisbon, Portugal. 17741-17750.
- Chopra, A. K., Goel, R. K., 2000. Building period formulas for estimating seismic displacements. *Earthquake Spectra*, **16**: 533–536.
- Crowley, H., Pinho, R., 2006. Simplified equations for estimating the period of vibration of existing buildings. *First European Conference on Earthquake Engineering and Sismology*. 3-8 September 2006, Geneva, Switzerland. 1122.
- DBYBHY, 2007. *Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik*, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- Doğangün, A., 2014. *Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı*. 11. baskı. Birsen Yayınevi, İstanbul. 844.
- Dowrick, D. J., 1987, *Earthquake Resistant Design for Engineers and Architects*. Second edition. John Wiley & Sons, New York. 540.
- Dönmez, S., 2005. *Deprem Etkisinde Betonarme Binalarda Hasarın Oluşmasında Dolgu Duvarların Modellenmesi ve Taşıyıcı Sisteme Katkısı* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Durrani, A. J., Luo, Y. H., 1994, Seismic retrofit of flat-slab buildings with masonry infills. *NCEER Workshop on Seismic Response of Masonry Infills*. 4-5 February 1994, San Francisco, California. 1-8.
- Erdil, B., Ceylan, H., 2018. Comparison of walk-down procedures in evaluating seismic vulnerability of RC buildings in Turkey. *3rd International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2018)*. 24-26 Ekim 2018, Adana. 357-361.
- Erken, S., 2012. *Betonarme Yapıların Taşıyıcı Sistem Seçiminde Farklı Perde Yerleşiminin Davranışa Etkisi* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Earthquake Resistant Design of Structures (Eurocode 8), 1993. European Committee For Standardization , Brussels.
- FEMA 306. 1998. *Federal Emergency Management Agency*, Evaluation of earthquake damaged concrete and masonry wall buildings, Basic procedures manual.
- FEMA 356, 2000. *Federal Emergency Management Agency*, Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings.
- Goel, R. K., Chopra, A. K., 1997. Period formulas for moment-resisting frame buildings. *Journal of Structural Engineering*, **123**: 1454-1461.
- Goel, R. K., Chopra, A. K., 1998. Period formulas for shear wall buildings. *Journal of Structural Engineering*, **124**: 426-433.
- Govindan, P., Lakshmiathy, M., Santhakumar, A. R., 1986. Ductility of infilled frames. *Journal of American Concrete Institute*, **83**: 567-576.
- Guler, K., Yuksel, E., Kocak, A., 2008. Estimation of the fundamental vibration period of existing RC buildings in Turkey Utilizing Ambient Vibration Records. *Journal of Earthquake Engineering*, **12**: 140-150.
- Hatzigeorgiou, G. D., Kanapitsas, G., 2013. Evaluation of fundamental period of low-rise and mid-rise reinforced concrete buildings. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, **42**:1599-1616.
- Hendry, A. W., 1998. *Structural Masonry*, Second edition. Macmillan Press, London. 308.
- Holmes, M., 1961. Steel frames with brickwork and concrete infilling. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, **19**: 473-478.
- Hong, L. L., Hwang, W. L., 2000. Empirical formula for fundamental vibration periods of reinforced concrete buildings in Taiwan. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **29**: 327-337.
- Indian Standard Criteria for Earthquake Resistant Design of Structures (IS 1893: Part 1), 2002, Part 1 *General Provisions and Buildings* (Fifth Revision), Bureau of Indian Standards, New Delhi.
- Kanai, K., 1961. An Empirical Formula for the Spectrum of Strong Earthquake motions. *Bulletin Earthquake Research Institute, University of Tokyo*, **39**: 85-95.
- Kodur, V. K. R., Erki. M. A., Quenneville, J. H. P., 1995. Sismic design and analysis of masonry-infilled frames. *Canadian Journal of Civil Engineering*, **22**: 576-587.
- Kose, M. M., 2009. Parameters affecting the fundamental period of RC frame with infill walls. *Engineering Structures*, **31**: 93-102.
- Liauw, T. C., Kwan, K. H., 1984. Nonlinear behavior of non-integral infilled frames. *Computers & Structures*, **18**: 551-560.
- Lourenço, P. B., 2002. Computations on historic masonry structures. *Program Structure Engineering*, **4**: 301-319.

- Mainstone, R. J., 1971. On the stiffness and strength of infilled frames, *Proceeding of the Institution of Civil Engineers*, **4**: 57-90.
- Mainstone, R. J., Weeks, G. A., 1974. The influence of bounding frame on the racking stiffness and strength of brick walls. *in Proceedings of the 2nd International Brick Masonry Conference, Building Research Establishment*. 1970, Watford, England. 165-171.
- Mehrabi, A. B., Shing, P. B., Schuller, M. P., Noland, J. L., 1996. Experimental evaluation of masonry infilled RC frames, *Journal of Structural Engineering*, **12**: 228-237.
- Ministry of construction, 1987. *The Building Standard Law of Japan (BSLJ)*, Japan.
- Morales, M. D., 2000. *Fundamental Period of Vibration For Reinforced Concrete Buildings* (Master thesis). University of Ottawa, Master of Applied Sciences, Ottawa.
- Nakamura, Y., 1989. A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. *Railway Technical Research Institute, Quarterly Reports*, **30**: 25-33.
- Negro, P., Verzeletti, G., 1996. Effect of infills on the global behaviour of R/C frames energy considerations from pseudo-dynamic tests. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **25**: 753-773.
- Nyarko, H. M., Moric, D., Draganic, H., 2012. New direction based (fundamental) periods of RC frames using genetic algorithms. *15th World Conference on Earthquake Engineering (15 WCEE)*. 24-28 September 2012, Lisbon.
- Okada, H., Suto, K., 2003. 2003. *The Microtremor Survey Method*. Society of Exploration Geophysicists, 12, Japan. 150.
- Othman, K. M., 2017. *Çok Katlı Betonarme Yapılarda Perdelerin Planda Yerleşiminin ve Perdelerdeki Boşlukların Deprem Davranışına Etkisi* (Yüksek Lisans Tezi). Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Öktem, O., 2003. *Betonarme Çerçeve Sistemlerin Lineer Olmayan Hesabı ve Dolgu duvarların Modellenmesi* (Yüksek lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Papia, M., Amato, G., Cavaleri, L., Fossetti, M., 2008. Infilled frames influence of vertical load on the equivalent diagonal strut model. *in The 14th World Conference on Earthquake Engineering*. 12-17 October 2008, Beijing, China. 479-501.
- Paulay, T., Priestley, M., 1992. *Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings*. Jhon Wiley & Sons, New York. 768.
- 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.
- SAP2000, (2019). *Structural Analysis Program-2000*, Computers and Structures, Inc., v.19.0.0, Berkeley, CA, USA.
- Smith, S. B., Carter, C., 1969. A method of analysis for infill frames. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, **44**: 31-48.
- Sucar, İ., 2008. *Betonarme Binalarda Yatay Yükler Etkisi Altında Dolu Duvarların Taşıyıcı Sistem Davranışına Etkisi* (Yüksek lisans Tezi). Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- TBDY, 2018 *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği*, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.

- Timurağaoğlu, M., Ö., 2015. *Dolgu Duvarlı Çerçevelerin Davranışının Analitik ve Sayısal Yöntemlerle İncelenmesi* (Yüksek lisans Tezi). Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Topcu, A., 2014. Taşıyıcı sistem düzensizlikleri, doğrular, yanlışlar, hasarlar. http://mmf2.ogu.edu.tr/atopcu/index_dosyalar/Dersler/Betonarme2/Sunular/Betonarme_2_3. Erişim tarihi: (14.010.2019).
- TS498, 1987. *Yapı Elemanların Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Uniform Building Code (UBC97), 1997. *Structural Engineering Design Provisions, International Conference of Building Officials. Volume 2*. California.
- Uysal, K. E., Özkul, T. A., 2013. Betonarme binalarda dolgu duvarların deprem etkisi altındaki davranışının incelenmesi. XVIII. Ulusal Mekanik Kongresi. 26-30 Ağustos 2013, Manisa. 644-655.
- Yıldırım, K. M., 2009. *Betonarme Çerçevesiz Yapılarda Dolgu Duvar Oranına Göre Yapı Periyodunun Değişiminin Saptanması* (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Gündüz, Y., 2019. *Betonarme Binalar İçin Gerekli Güçlendirme Perde Duvar Miktarının Hesabı* (Yüksek Lisans Tezi). Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.

ÖZ GEÇMİŞ

1995 yılında Diyarbakır ilinde doğdu. İlköğrenimini Vali Ünal Erkan İlköğretim Okulu'nda ve Lise öğrenimini Ergani Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2013 yılında Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne yerleşti. 2017 yılında mezun olduğu İnşaat Mühendisliği Bölümünde aynı yıl içerisinde Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans eğitimine başladı.





T.C
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
LİSANSÜSTÜ TEZ ORJİNALLİK RAPORU

Tarih: 17/01/2020

Tez Başlığı / Konusu: Taşıyıcı Sistem Parametreleri ile Düşük ve Orta Yükseklikteki Betonarme Binalarda Elastik Periyot Hesabı

Yukarıda başlığı/konusu belirlenen tez çalışmamın Kapak sayfası, Giriş, Ana bölümler ve Sonuç bölümlerinden oluşan toplam 86 sayfalık kısmına ilişkin, 17/01/2020 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından turnitin intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtreleme uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı **% 1 (yüzde bir)** dir.

Uygulanan filtreler aşağıda verilmiştir:

- Kabul ve onay sayfası hariç,
- Teşekkür hariç,
- İçindekiler hariç,
- Simge ve kısaltmalar hariç,
- Gereç ve yöntemler hariç,
- Kaynakça hariç,
- Alıntılar hariç,
- Tezden çıkan yayınlar hariç,
- 7 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç (Limit inatch size to 7 words)

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Lisansüstü Tez Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılmasına İlişkin Yönergeyi inceledim ve bu yönergede belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini bilgilerinize arz ederim.

17/01/2020

Adı Soyadı: Abdullah YİĞİT

Öğrenci No: 17910001020

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Programı: İnşaat Mühendisliği

Statüsü: Y. Lisans Doktora

DANIŞMAN ONAYI
UYGUNDUR

Dr. Öğr. Üyesi Barış ERDİL

(Unvan, Ad Soyad, İmza)

ENSTİTÜ ONAYI
UYGUNDUR

(Unvan, Ad Soyad, İmza)