

**ORTA YÜKSEKLİKTEKİ BETONARME BİNALARIN TEMEL  
PERİYOTLARININ ÇEVRESEL TİTREŞİM ÖLÇÜMLERİ İLE  
BELİRLENMESİ VE PERİYOT BAĞINTISI ÖNERİLMESİ**

**Onur KAPLAN**

**DOKTORA TEZİ**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Prof. Dr. Yücel GÜNEY**

**İkinci Danışman: Prof. Dr. Adem DOĞANGÜN**

**Eskişehir**

**Anadolu Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Aralık, 2017**

*Bu Tez Çalışması BAP Komisyonunca kabul edilen 1208F133 no.lu proje kapsamında desteklenmiştir.*

## JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Onur KAPLAN'ın "Orta Yükseklikteki Betonarme Binaların Temel Periyotlarının Çevresel Titreşim Ölçümleri ile Belirlenmesi ve Periyot Bağıntısı Önerilmesi" başlıklı tezi 25/12/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek "Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği"nin ilgili maddeleri uyarınca, İnşaat Mühendisliği Anabilim dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

	<u>Unvanı – Adı Soyadı</u>	<u>İmza</u>
Üye (Tez Danışmanı)	Prof. Dr. Yücel GÜNEY	.....
Üye	Prof. Dr. Berkan ECEVİTOĞLU	.....
Üye	Prof. Dr. Yunus ÖZÇELİKÖRS	.....
Üye	Prof. Dr. Eşref ÜNLÜOĞLU	.....
Üye	Doç. Dr. Özgür AVŞAR	.....

Prof. Dr. Ersin YÜCEL  
Enstitü Müdürü

## ÖZET

# ORTA YÜKSEKLİKTEKİ BETONARME BİNALARIN TEMEL PERİYOTLARININ ÇEVRESEL TİTREŞİM ÖLÇÜMLERİ İLE BELİRLENMESİ VE PERİYOT BAĞINTISI ÖNERİLMESİ

Onur KAPLAN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aralık, 2017

Danışman: Prof. Dr. Yücel GÜNEY

İkinci Danışman: Prof. Dr. Adem DOĞANGÜN

Deprem yüklerinin kuvvet tabanlı olarak belirlendiği yöntemlerde deprem kuvveti, binanın birinci doğal titreşim periyodu olan temel periyoda bağlı olarak bulunmaktadır. Binaların temel periyotları, binaların nümerik modelleri üzerinde yapılan özdeğer analizleri ve mevcut binalarda yapılan çevresel titreşim ölçümleri ile bulunabilmektedir. Nümerik modellerde, dolgu duvarların binanın yatay rijitliğine olan katkısı çoğu zaman ihmal edilmektedir. Dolgu duvarların bina rijitliğine olan katkısı dikkate alınmadan yapılan nümerik analizlerle bulunan temel periyotlar, binalarda yapılan çevresel titreşim ölçümleri ile bulunan periyotlardan çok daha uzun olmaktadır. Gerçek durumu yansıtmayan uzun temel periyot, kuvvet tabanlı deprem hesabında olması gerekenden küçük bir deprem yükü ile tasarım yapılmasına neden olmaktadır. Bu çalışmada, Eskişehir kent merkezinde bulunan ve kat adetleri dört ve altı arasında değişen, inşaatı yeni tamamlanmış, 24 adet konut tipi, ayrıık nizam betonarme binanın temel periyotları, çevresel titreşim ölçümleri ile belirlenmiştir. Binaların nümerik modelleri dolgu duvarların binanın yatay rijitliğine katkısı dikkate alınmadan oluşturularak, temel periyotlar, modeller üzerinde yapılan özdeğer analizleri ile belirlenmiş ve ölçüm sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Çevresel titreşim ölçümü ile belirlenen 24 adet betonarme binaya ait temel periyotların, bina yüksekliği ile ilişkisi araştırılmış ve irdelenen binalar ile aynı özelliklerdeki betonarme binaların temel periyodunu, bina yüksekliğine bağlı olarak tahmin eden bir bağıntı önerilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Temel periyot, Çevresel titreşim ölçümü, Betonarme, Dolgu duvar

## ABSTRACT

### PROPOSAL OF AN EMPIRICAL EQUATION BY MEANS OF AMBIENT VIBRATION MEASUREMENTS FOR FUNDAMENTAL VIBRATION PERIODS OF MID-RISE RC BUILDINGS

Onur KAPLAN

Department of Civil Engineering

Anadolu University, Graduate School of Science, December, 2017

Supervisor: Prof. Dr. Yücel GÜNEY

Co-Supervisor: Prof. Dr. Adem DOĞANGÜN

The base shear force is determined according to the fundamental period of the building in force-based design methods. Fundamental period of a building can be calculated by eigenvalue analysis, which is conducted in a numerical model of the building. It can also be determined by ambient vibration measurements (AVM) that are conducted at existing buildings. In numerical models, the contribution of infill walls to lateral stiffness of the building is mostly ignored. Fundamental periods which are calculated from numerical analysis, in which the contribution of infill walls to lateral stiffness of the building is ignored, are much longer than those, which are determined by AVM. Overestimation of the fundamental period in forced-based design, causes to design with a base shear force, that is smaller than it should be. In this study, 24 reinforced concrete, residential buildings' fundamental periods were determined by AVM. The buildings are located in Eskisehir and number of floors change between four and six. Fundamental periods of the buildings were also calculated by eigenvalue analysis without considering the contribution of infill walls to lateral stiffness of the buildings and were compared to those which were determined by AVM. Relations between fundamental periods of surveyed 24 buildings, which were determined by ambient vibration measurements and their heights were investigated. An equation was proposed for the buildings which they have same characteristics with the surveyed buildings in this study to estimate the fundamental period of a building with respect to its height.

**Keywords:** Fundamental period, Ambient vibration measurement, Infill wall

## TEŞEKKÜR

Beni bu konuda çalışmaya teşvik eden, desteğini her zaman yanımda hissettiğim, bilgi ve tecrübelerinden daima yararlandığım danışman hocam; Prof. Dr. Yücel GÜNEY'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Çalışmanın her aşamasında, bu alandaki çok değerli bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan, yoğun programı içinde ne zaman ihtiyaç duysam, bana zaman ayıran ve yol gösteren değerli hocam; Prof. Dr. Adem DOĞANGÜN'e şükranlarımı sunarım.

Çalışmayı büyük bir titizlikle inceleyerek, çok değerli görüş ve önerileri ile büyük katkı sağlayan değerli hocam; Doç. Dr. Özgür AVŞAR'a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma kapsamında irdelenen binalardan gerekli izinlerin alınması konusunda Eskişehir'de yapı denetim firmalarında, proje bürolarında, inşaat şirketlerinde faaliyet gösteren firma sahibi ya da çalışanı, inşaat mühendisi, mimar ve yüklenici arkadaşlarımdan çok büyük desteği olmuştur. Hepsine teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmanın her aşamasında büyük bir özveri ile her zaman bana destek olan yüksek lisans öğrencileri, değerli kardeşlerim; İnş. Müh. Canberk BOLAT ve İnş. Müh. Celil YELKEN'e teşekkürlerimi sunarım.

Desteğini her an yanımda hissettiğim, tüm zorlukları benimle birlikte göğüsleyen, bana her zaman inanan ve varlığıyla bana güç veren hayat arkadaşım Gordana KAPLAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Manevi desteklerini hep yanımda hissettiğim anneme, babama, kardeşim ve ailesine ve beni her zaman motive eden Makedonya'daki aileme şükranlarımı sunarım.

Onur KAPLAN

## **ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ**

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilemeyen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmamın Anadolu Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara razı olduğumu bildiririm.

Onur KAPLAN

## İÇİNDEKİLER

BAŞLIK SAYFASI.....	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	ii
ÖZET .....	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR .....	v
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ .....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
TABLO DİZİNİ.....	x
ŞEKİL DİZİNİ .....	xi
GÖRSELLER DİZİNİ .....	xviii
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xx
1. GİRİŞ .....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI .....	4
2.1. Mevcut Yönetmeliklerdeki Periyot Bağlılıkları .....	4
2.1.1. Dünyanın farklı bölgelerindeki deprem yönetmeliklerinde kullanılan temel periyot bağlantıları.....	4
2.1.2. Türkiye deprem yönetmeliklerinde temel periyot bağlantıları .....	6
2.2. Bilimsel Çalışmalar Kapsamında Önerilen Periyot Bağlılıkları.....	9
2.3. Dolgu Duvarların Bina Periyodu Üzerine Etkilerini İrdeleyen Çalışmalar .....	24
3. TEZİN AMACI VE KAPSAMI.....	30
4. DENEYSEL YÖNTEM.....	32
4.1. Çalışma Alanı .....	32
4.2. Titreşim Ölçümünde Kullanılan Yöntem .....	36
4.2.1. Çevresel titreşim ölçümünde kullanılan sensörlerin seçimi.....	39

4.3. Çevresel Titreşim Ölçümü Verilerinin Toplanması ve İşlenmesi .....	52
<b>5. ÇEVRESEL TİTREŞİM ÖLÇÜMÜ SONUÇLARI.....</b>	<b>57</b>
5.1. BN01.....	57
5.2. BN02.....	60
5.3. BN03.....	63
5.4. BN04.....	66
5.5. BN05.....	69
5.6. BN06.....	72
5.7. BN07.....	75
5.8. BN08.....	78
5.9. BN09.....	81
5.10. BN10.....	84
5.11. BN11.....	87
5.12. BN12.....	90
5.13. BN13.....	93
5.14. BN14.....	96
5.15. BN15.....	99
5.16. BN16.....	102
5.17. BN17.....	105
5.18. BN18.....	108
5.19. BN19.....	111
5.20. BN20.....	114
5.21. BN21.....	117
5.22. BN22.....	120
5.23. BN23.....	123
5.24. BN24.....	126
5.25. Çevresel Titreşim Ölçümü Sonuçlarının Özeti.....	129

<b>6. NÜMERİK MODELLEME .....</b>	<b>132</b>
<b>6.1. BN01 Kodlu Bina Nümerik Modelleri Üzerinde İrdemeler .....</b>	<b>132</b>
<b>6.2. Nümerik Modelleme Sonuçları .....</b>	<b>138</b>
<b>6.3. Nümerik Modelleme Sonuçlarının İrdelenmesi.....</b>	<b>157</b>
<b>7. TEMEL PERİYOT BAĞINTISININ ÖNERİLMESİ .....</b>	<b>165</b>
<b>7.1. İstatistiksel Çalışma ile Temel Periyot Yükseklik Bağıntısının Önerilmesi .....</b>	<b>167</b>
<b>7.2. Farklı Bağıntılarla Bulunan Temel Periyotların Karşılaştırılması .....</b>	<b>178</b>
<b>8. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>188</b>
<b>KAYNAKÇA .....</b>	<b>193</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>203</b>

## TABLO DİZİNİ

### Sayfa

<b>Tablo 2.1.</b> Denklem 2.2'nin uygulandığı ülkeler ve yapı tipleri (Crowley ve Pinho, 2010).....	5
<b>Tablo 2.2.</b> Açıklık uzunluğu modifikasyon katsayısı, $\alpha_1$ (Amanat ve Hoque 2006).....	25
<b>Tablo 2.3.</b> Açıklık sayısı modifikasyon katsayısı, $\alpha_2$ (Amanat ve Hoque 2006) .....	25
<b>Tablo 2.4.</b> Duvar miktarı (%) modifikasyon katsayısı, $\alpha_3$ (Amanat ve Hoque 2006) ...	25
<b>Tablo 4.1.</b> Sensör karşılaştırma tablosu .....	41
<b>Tablo 4.2.</b> Teras döşemesinin düşey doğrultudaki titreşim periyotları .....	45
<b>Tablo 4.3.</b> BN01 kodlu binanın karkas aşamasındaki ilk üç mod periyotları .....	48
<b>Tablo 4.4.</b> BN01 kodlu binanın duvarları örülü durumdayken ilk üç mod periyotları...	49
<b>Tablo 5.1.</b> İrdelenen binaların temel periyotları ve yapısal özellikleri.....	130
<b>Tablo 5.1.</b> İrdelenen binaların temel periyotları ve yapısal özellikleri (devam) .....	131
<b>Tablo 6.1.</b> İrdelenen binaların eşdeğer deprem yükü yöntemine uygunluğu.....	159
<b>Tablo 6.2.</b> Çevresel titreşim ölçümü ve Sta4Cad yazılımları ile bulunan temel periyotların karşılaştırılması .....	160
<b>Tablo 6.3.</b> Çevresel titreşim ölçümü ve SAP 2000 yazılımları ile bulunan temel periyotların karşılaştırılması .....	161
<b>Tablo 6.4.</b> Çevresel titreşim ölçümü ile bulunan temel periyotlar ile Rayleigh Yöntemi ile bulunan periyotların karşılaştırılması .....	162
<b>Tablo 6.5.</b> Çevresel titreşim ölçümü ve nümerik model ile bulunan temel modların hareket yönleri .....	164
<b>Tablo 7.1.</b> Bağımlı değişken temel periyot için normallik testleri.....	168
<b>Tablo 7.2.</b> Orijinden geçen doğrusal regresyon “ANOVA” tablosu .....	169
<b>Tablo 7.3.</b> Orijinden geçen doğrusal regresyon “Katsayılar” tablosu .....	170
<b>Tablo 7.4.</b> Kalıntı değerleri için normallik testleri.....	170
<b>Tablo 7.5.</b> Betonarme çerçevesel binaların periyot ve yükseklikleri.....	172
<b>Tablo 7.6.</b> Betonarme çerçevesel ve perdeli binaların periyot ve yükseklikleri .....	174
<b>Tablo 7.7.</b> Z2 sınıfı zemin üzerinde bulunan binaların periyot ve yükseklikleri .....	175
<b>Tablo 7.8.</b> Z3 sınıfı zemin üzerinde bulunan binaların periyot ve yükseklikleri .....	176

## ŞEKİL DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 2.1. Gallipoli vd., (2010) periyot-yükseklik grafiği.....	14
Şekil 2.2. Gallipoli vd., (2010) tarafından önerilen bağıntının Eurocode 8 (EN-1998-1, 2004) bağıntısı ve Navarro vd., (2007) ile karşılaştırılması .....	15
Şekil 2.3. Farklı hasar seviyeleri için önerilen periyot-yükseklik bağıntılarının yönetmelik bağıntıları ile karşılaştırılması (Ditommasso vd., 2013).....	17
Şekil 4.1. Çevresel titreşim ölçümü yapılan binaların kat adetlerinin dağılımı .....	32
Şekil 4.2. Çevresel titreşim ölçümü yapılan 24 adet binanın çalışma alanındaki dağılımı.....	33
Şekil 4.3. Çevresel titreşim ölçümü yapılan 24 adet binanın jeolojik birimler üzerinde dağılımı (Pekkan vd., 2015) .....	34
Şekil 4.4. Operasyonel Modal Analiz akış şeması.....	37
Şekil 4.5. CMG-5TCDE ivmeölçerler için SNR grafiği.....	50
Şekil 4.6. CMG-6TD hızölçerler için SNR grafiği.....	50
Şekil 4.7. Çevresel titreşim ölçümlerinde uygulanan sensör yerleşim düzeni .....	52
Şekil 4.8. Geopsy yazılımı ile elde edilmiş ortalama genlik spektrumu .....	54
Şekil 4.9. Artemis yazılımında GFOAY ile elde edilmiş spektral yoğunluk fonksiyonu ve ilk üç mod şekilleri.....	56
Şekil 5.1. (a) BN01 normal kat şematik kalıp planı, (b) BN01 normal kat mimari planı.....	58
Şekil 5.2. BN01 kodlu binanın Artemis yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği .....	59
Şekil 5.3. BN01 kodlu binanın Geopsy yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği .....	59
Şekil 5.4. (a) BN02 normal kat şematik kalıp planı, (b) BN02 normal kat mimari planı.....	61
Şekil 5.5. BN02 kodlu binanın Artemis yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği .....	62
Şekil 5.6. BN02 kodlu binanın Geopsy yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği .....	62
Şekil 5.7. (a) BN03 normal kat şematik kalıp planı, (b) BN03 normal kat mimari planı.....	64

<b>Şekil 5.8.</b> BN03 kodlu binanın Artemis yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği .....	65
<b>Şekil 5.9.</b> BN03 kodlu binanın Geopsy yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği .....	65
<b>Şekil 5.10.</b> (a) BN04 normal kat şematik kalıp planı, (b) BN04 normal kat mimari planı.....	67
<b>Şekil 5.11.</b> BN04 kodlu binanın Artemis yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği .....	68
<b>Şekil 5.12.</b> BN04 kodlu binanın Geopsy yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği .....	68
<b>Şekil 5.13.</b> (a) BN05 normal kat şematik kalıp planı, (b) BN05 normal kat mimari planı.....	70
<b>Şekil 5.14.</b> BN05 kodlu binanın Artemis yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği .....	71
<b>Şekil 5.15.</b> BN05 kodlu binanın Geopsy yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği .....	71
<b>Şekil 5.16.</b> (a) BN06 normal kat kalıp planı, (b) BN06 normal kat mimari planı.....	73
<b>Şekil 5.17.</b> BN06 kodlu binanın Artemis yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği .....	74
<b>Şekil 5.18.</b> BN06 kodlu binanın Geopsy yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği .....	74
<b>Şekil 5.19.</b> (a) BN07 normal kat şematik kalıp planı, (b) BN07 normal kat mimari planı.....	76
<b>Şekil 5.20.</b> BN07 kodlu binanın Artemis yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği .....	77
<b>Şekil 5.21.</b> BN07 kodlu binanın Geopsy yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği .....	77
<b>Şekil 5.22.</b> (a) BN08 normal kat kalıp planı, (b) BN08 normal kat mimari planı.....	79
<b>Şekil 5.23.</b> BN08 kodlu binanın Artemis yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği .....	80
<b>Şekil 5.24.</b> BN08 kodlu binanın Geopsy yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği .....	80
<b>Şekil 5.25.</b> (a) BN09 normal kat kalıp planı, (b) BN09 normal kat mimari planı.....	82

<b>Şekil 5.26.</b> BN09 kodlu binanın Artemis yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği .....	83
<b>Şekil 5.27.</b> BN09 kodlu binanın Geopsy yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği .....	83
<b>Şekil 5.28.</b> (a) BN10 normal kat kalıp planı, (b) BN10 normal kat mimari planı.....	85
<b>Şekil 5.29.</b> BN10 kodlu binanın Artemis yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği .....	86
<b>Şekil 5.30.</b> BN10 kodlu binanın Geopsy yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği .....	86
<b>Şekil 5.31.</b> (a) BN11 normal kat şematik kalıp planı, (b) BN11 normal kat mimari planı.....	88
<b>Şekil 5.32.</b> BN11 kodlu binanın Artemis yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği .....	89
<b>Şekil 5.33.</b> BN11 kodlu binanın Geopsy yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği .....	89
<b>Şekil 5.34.</b> (a) BN12 normal kat şematik kalıp planı, (b) BN12 normal kat mimari planı.....	91
<b>Şekil 5.35.</b> BN12 kodlu binanın Artemis yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği .....	92
<b>Şekil 5.36.</b> BN12 kodlu binanın Geopsy yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği .....	92
<b>Şekil 5.37.</b> (a) BN13 normal kat kalıp planı, (b) BN13 normal kat mimari planı.....	94
<b>Şekil 5.38.</b> BN13 kodlu binanın Artemis yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği .....	95
<b>Şekil 5.39.</b> BN13 kodlu binanın Geopsy yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği .....	95
<b>Şekil 5.40.</b> (a) BN14 normal kat kalıp planı, (b) BN14 normal kat mimari planı.....	97
<b>Şekil 5.41.</b> BN14 kodlu binanın Artemis yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği .....	98
<b>Şekil 5.42.</b> BN14 kodlu binanın Geopsy yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği .....	98
<b>Şekil 5.43.</b> (a) BN15 normal kat şematik kalıp planı, (b) BN15 normal kat mimari planı.....	100

<b>Şekil 5.44.</b> BN15 kodlu binanın Artemis yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği .....	101
<b>Şekil 5.45.</b> BN15 kodlu binanın Geopsy yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği .....	101
<b>Şekil 5.46.</b> (a) BN16 normal kat kalıp planı, (b) BN16 normal kat mimari plan.....	103
<b>Şekil 5.47.</b> BN16 kodlu binanın Artemis yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği .....	104
<b>Şekil 5.48.</b> BN16 kodlu binanın Geopsy yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği .....	104
<b>Şekil 5.49.</b> (a) BN17 normal kat şematik kalıp planı, (b) BN17 normal kat mimari planı.....	106
<b>Şekil 5.50.</b> BN17 kodlu binanın Geopsy yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği .....	107
<b>Şekil 5.51.</b> (a) BN18 normal kat kalıp planı, (b) BN18 normal kat mimari planı.....	109
<b>Şekil 5.52.</b> BN18 kodlu binanın Artemis yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği .....	110
<b>Şekil 5.53.</b> BN18 kodlu binanın Geopsy yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği .....	110
<b>Şekil 5.54.</b> (a) BN19 normal kat kalıp planı, (b) BN19 normal kat mimari planı.....	112
<b>Şekil 5.55.</b> BN19 kodlu binanın Artemis yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği .....	113
<b>Şekil 5.56.</b> BN19 kodlu binanın Geopsy yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği .....	113
<b>Şekil 5.57.</b> (a) BN20 normal kat kalıp planı, (b) BN20 normal kat mimari planı.....	115
<b>Şekil 5.58.</b> BN20 kodlu binanın Artemis yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği .....	116
<b>Şekil 5.59.</b> BN20 kodlu binanın Geopsy yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği .....	116
<b>Şekil 5.60.</b> (a) BN21 normal kat şematik kalıp planı, (b) BN21 normal kat mimari planı.....	118
<b>Şekil 5.61.</b> BN21 kodlu binanın Artemis yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği .....	119

<b>Şekil 5.62.</b> BN21 kodlu binanın Geopsy yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği .....	119
<b>Şekil 5.63.</b> (a) BN22 normal kat şematik kalıp planı, (b) BN22 normal kat mimari planı.....	121
<b>Şekil 5.64.</b> BN22 kodlu binanın Artemis yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği .....	122
<b>Şekil 5.65.</b> BN22 kodlu binanın Geopsy yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği .....	122
<b>Şekil 5.66.</b> (a) BN23 normal kat şematik kalıp planı, (b) BN23 normal kat mimari planı.....	124
<b>Şekil 5.67.</b> BN23 kodlu binanın Artemis yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği .....	125
<b>Şekil 5.68.</b> BN23 kodlu binanın Geopsy yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği .....	125
<b>Şekil 5.69.</b> (a) BN24 normal kat kalıp planı, (b) BN24 normal kat mimari planı.....	127
<b>Şekil 5.70.</b> BN24 kodlu binanın Artemis yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği .....	128
<b>Şekil 5.71.</b> BN24 kodlu binanın Geopsy yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği .....	128
<b>Şekil 6.1.</b> BN01 kodlu bina Sta4Cad modeli ekran görüntüsü.....	133
<b>Şekil 6.2.</b> BN01 kodlu bina Probina modeli özdeğer analizi sonuçları .....	133
<b>Şekil 6.3.</b> SAP 2000 modeli modal analiz sonucu .....	134
<b>Şekil 6.4.</b> BN01 kodlu binanın Abaqus modeli ekran görüntüsü .....	136
<b>Şekil 6.5.</b> Duvarların rijitliğe katkısının dikkate alındığı Abaqus modeli modal analiz sonucu.....	136
<b>Şekil 6.6.</b> Duvarların yalnızca kütle olarak dikkate alındığı Abaqus modeli modal analiz sonucu.....	137
<b>Şekil 6.7.</b> BN01 kodlu binanın farklı yöntemlerle belirlenen temel periyotlarının DBYBHY (2007) tasarım spektrumu üzerinde gösterimi .....	138
<b>Şekil 6.8.</b> BN02 kodlu binanın farklı yöntemlerle belirlenen temel periyotlarının DBYBHY (2007) tasarım spektrumu üzerinde gösterimi .....	140
<b>Şekil 6.9.</b> BN03 kodlu binanın farklı yöntemlerle belirlenen temel periyotlarının DBYBHY (2007) tasarım spektrumu üzerinde gösterimi .....	141

<b>Şekil 6.10.</b> BN04 kodlu binanın farklı yöntemlerle belirlenen temel periyotlarının DBYBHY (2007) tasarım spektrumu üzerinde gösterimi .....	141
<b>Şekil 6.11.</b> BN05 kodlu binanın farklı yöntemlerle belirlenen temel periyotlarının DBYBHY (2007) tasarım spektrumu üzerinde gösterimi .....	142
<b>Şekil 6.12.</b> BN06 kodlu binanın farklı yöntemlerle belirlenen temel periyotlarının DBYBHY (2007) tasarım spektrumu üzerinde gösterimi .....	143
<b>Şekil 6.13.</b> BN07 kodlu binanın farklı yöntemlerle belirlenen temel periyotlarının DBYBHY (2007) tasarım spektrumu üzerinde gösterimi .....	143
<b>Şekil 6.14.</b> BN08 kodlu binanın farklı yöntemlerle belirlenen temel periyotlarının DBYBHY (2007) tasarım spektrumu üzerinde gösterimi .....	144
<b>Şekil 6.15.</b> BN09 kodlu binanın farklı yöntemlerle belirlenen temel periyotlarının DBYBHY (2007) tasarım spektrumu üzerinde gösterimi .....	145
<b>Şekil 6.16.</b> BN10 kodlu binanın farklı yöntemlerle belirlenen temel periyotlarının DBYBHY (2007) tasarım spektrumu üzerinde gösterimi .....	145
<b>Şekil 6.17.</b> BN11 kodlu binanın farklı yöntemlerle belirlenen temel periyotlarının DBYBHY (2007) tasarım spektrumu üzerinde gösterimi .....	146
<b>Şekil 6.18.</b> BN12 kodlu binanın farklı yöntemlerle belirlenen temel periyotlarının DBYBHY (2007) tasarım spektrumu üzerinde gösterimi .....	147
<b>Şekil 6.19.</b> BN13 kodlu binanın farklı yöntemlerle belirlenen temel periyotlarının DBYBHY (2007) tasarım spektrumu üzerinde gösterimi .....	147
<b>Şekil 6.20.</b> BN14 kodlu binanın farklı yöntemlerle belirlenen temel periyotlarının DBYBHY (2007) tasarım spektrumu üzerinde gösterimi .....	148
<b>Şekil 6.21.</b> BN15 kodlu binanın farklı yöntemlerle belirlenen temel periyotlarının DBYBHY (2007) tasarım spektrumu üzerinde gösterimi .....	149
<b>Şekil 6.22.</b> BN16 kodlu binanın farklı yöntemlerle belirlenen temel periyotlarının DBYBHY (2007) tasarım spektrumu üzerinde gösterimi .....	149
<b>Şekil 6.23.</b> BN17 kodlu binanın farklı yöntemlerle belirlenen temel periyotlarının DBYBHY (2007) tasarım spektrumu üzerinde gösterimi .....	150
<b>Şekil 6.24.</b> BN18 kodlu binanın farklı yöntemlerle belirlenen temel periyotlarının DBYBHY (2007) tasarım spektrumu üzerinde gösterimi .....	151
<b>Şekil 6.25.</b> BN19 kodlu binanın farklı yöntemlerle belirlenen temel periyotlarının DBYBHY (2007) tasarım spektrumu üzerinde gösterimi .....	151

<b>Şekil 6.26.</b> BN20 kodlu binanın farklı yöntemlerle belirlenen temel periyotlarının DBYBHY (2007) tasarım spektrumu üzerinde gösterimi .....	152
<b>Şekil 6.27.</b> BN21 kodlu binanın farklı yöntemlerle belirlenen temel periyotlarının DBYBHY (2007) tasarım spektrumu üzerinde gösterimi .....	153
<b>Şekil 6.28.</b> BN22 kodlu binanın farklı yöntemlerle belirlenen temel periyotlarının DBYBHY (2007) tasarım spektrumu üzerinde gösterimi .....	153
<b>Şekil 6.29.</b> BN23 kodlu binanın farklı yöntemlerle belirlenen temel periyotlarının DBYBHY (2007) tasarım spektrumu üzerinde gösterimi .....	154
<b>Şekil 6.30.</b> BN24 kodlu binanın farklı yöntemlerle belirlenen temel periyotlarının DBYBHY (2007) tasarım spektrumu üzerinde gösterimi .....	155
<b>Şekil 6.31.</b> İrdelenen binaların titreşim ölçümü ve nümerik model ile bulunan temel periyotlarının tasarım spektrumları üzerinde dağılımı .....	156
<b>Şekil 6.32.</b> Elastik tasarım ivme spektrumu (DBYBHY, 2007) .....	157
<b>Şekil 7.1.</b> Çevresel titreşim ölçümleri yapılan binaların periyotları ve yükseklikleri ..	167
<b>Şekil 7.2.</b> Bağımlı değişken temel periyodun normal dağılım histogramı .....	168
<b>Şekil 7.3.</b> Kalıntı değerlerinin normal dağılım histogramı .....	171
<b>Şekil 7.4.</b> Orta yükseklikteki betonarme binaların temel periyot-yükseklik ilişkisi .....	171
<b>Şekil 7.5.</b> Betonarme çerçevesiz binaların temel periyot-yükseklik ilişkisi .....	173
<b>Şekil 7.6.</b> Betonarme perdeli ve çerçevesiz binaların temel periyot-yükseklik ilişkisi ..	174
<b>Şekil 7.7.</b> Z2 sınıfı zemin üzerindeki binaların temel periyot-yükseklik ilişkisi .....	176
<b>Şekil 7.8.</b> Z3 sınıfı zemin üzerindeki binaların temel periyot-yükseklik ilişkisi .....	177
<b>Şekil 7.9.</b> Tez çalışması ile önerilen bağıntının Avrupa'daki diğer bağıntılarla karşılaştırılması .....	180
<b>Şekil 7.10.</b> Hasarlı ve hasarsız binaların karşılaştırılması (Ditommaso vd., 2013) .....	181
<b>Şekil 7.11.</b> Farklı hasar seviyeleri için önerilen periyot-yükseklik bağıntıları (Ditommaso vd., 2013) .....	183
<b>Şekil 7.12.</b> Temel periyot-yükseklik ilişkisi açısından Türkiye'deki durum .....	185
<b>Şekil 7.13.</b> Nümerik modelleme ve Rayleigh Yöntemi ile bulunan periyotların dağılımı .....	186
<b>Şekil 8.1.</b> Tez çalışması kapsamında önerilen temel periyot-yükseklik bağıntısı .....	189

## GÖRSELLER DİZİNİ

### Sayfa

<b>Görsel 2.1.</b> St. Anastasia kilisesi çan kulesi ve spektrum grafikleri (Herak ve Herak, 2009).....	13
<b>Görsel 2.2.</b> a) Ölçüm yapılan binanın fotoğrafı b) Fourirer genlik spektrumu c) Sönüm eğrisi (Salameh vd., 2016).....	23
<b>Görsel 2.3.</b> Tek katlı, tek açıklıklı deney çerçevesinin üç farklı aşamada titreşim ölçümleri (Arslan ve Durmuş, 2014) .....	29
<b>Görsel 4.1.</b> Çevresel titreşim ölçümü yapılan binalardan bazıları.....	35
<b>Görsel 4.2.</b> Güralp CMG-6TD hızölçer ve yardımcı ekipmanları.....	39
<b>Görsel 4.3.</b> Güralp CMG-5TCDE ivmeölçer ve yardımcı ekipmanları.....	40
<b>Görsel 4.4.</b> TDG Sensebox 7021 ivmeölçer ve TDG Testbox 2010 veri toplama ünitesi .....	40
<b>Görsel 4.5.</b> Çevresel titreşim ölçümleri yapılan açık teras (Bursa).....	43
<b>Görsel 4.6.</b> CMG-5TCDE ve Uludağ Üniversitesi ivmeölçerinin (KB12VD) beton yüzeyi üzerine aplikasyonu .....	44
<b>Görsel 4.7.</b> Fayans kaplama üzerine yerleştirilen CMG-5TCDE ivmeölçer .....	45
<b>Görsel 4.8.</b> BN01 kodlu bina karkas aşamasında iken CMG-5TCDE ivmeölçerler ile çevresel titreşim ölçümü.....	46
<b>Görsel 4.9.</b> BN01 kodlu bina karkas aşamasında iken TDG-7021 ivmeölçerler ile çevresel titreşim ölçümü.....	47
<b>Görsel 4.10.</b> GPS Anteni ve kablosu .....	48
<b>Görsel 4.11.</b> BN01 kodlu binanın duvarları örülü iken CMG-5TCDE ivmeölçerler ve CMG-6TD hızölçerler ile çevresel titreşim ölçümü.....	49
<b>Görsel 4.12.</b> Çevresel titreşim ölçümü öncesi CMG-6TD hızölçerlerin hazırlanması...53	
<b>Görsel 5.1.</b> BN01 kodlu binanın genel görünüşü .....	57
<b>Görsel 5.2.</b> BN02 kodlu binanın genel görünüşü .....	60
<b>Görsel 5.3.</b> BN03 kodlu binanın genel görünüşü .....	63
<b>Görsel 5.4.</b> BN04 kodlu binanın genel görünüşü .....	66
<b>Görsel 5.5.</b> BN05 kodlu binanın genel görünüşü .....	69
<b>Görsel 5.6.</b> BN06 kodlu binanın genel görünüşü .....	72
<b>Görsel 5.7.</b> BN07 kodlu binanın genel görünüşü .....	75
<b>Görsel 5.8.</b> BN08 kodlu binanın genel görünüşü .....	78

<b>Görsel 5.9.</b> BN09 kodlu binanın genel görünüşü .....	81
<b>Görsel 5.10.</b> BN10 kodlu binanın genel görünüşü .....	84
<b>Görsel 5.11.</b> BN11 kodlu binanın genel görünüşü .....	87
<b>Görsel 5.12.</b> BN12 kodlu binanın genel görünüşü .....	90
<b>Görsel 5.13.</b> BN13 kodlu binanın genel görünüşü .....	93
<b>Görsel 5.14.</b> BN14 kodlu binanın genel görünüşü .....	96
<b>Görsel 5.15.</b> BN15 kodlu binanın genel görünüşü .....	99
<b>Görsel 5.16.</b> BN16 kodlu binanın genel görünüşü .....	102
<b>Görsel 5.17.</b> BN17 kodlu binanın genel görünüşü .....	105
<b>Görsel 5.18.</b> BN18 kodlu binanın genel görünüşü .....	108
<b>Görsel 5.19.</b> BN19 kodlu binanın genel görünüşü .....	111
<b>Görsel 5.20.</b> BN20 kodlu binanın genel görünüşü .....	114
<b>Görsel 5.21.</b> BN21 kodlu binanın genel görünüşü .....	117
<b>Görsel 5.22.</b> BN22 kodlu binanın genel görünüşü .....	120
<b>Görsel 5.23.</b> BN23 kodlu binanın genel görünüşü .....	123
<b>Görsel 5.24.</b> BN24 kodlu binanın genel görünüşü .....	126
<b>Görsel 7.1.</b> Ditommaso vd., (2013)'e göre hasarlı binalar.....	182

## SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ

$ABYBHY$	: Afet Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
$A_0$	: Etkin yer ivme katsayısı
$A_t$	: Birinci doğal titreşim periyodunun hesabında kullanılan eşdeğer alan ( $m^2$ )
$A_{wj}$	: Binanın temel üstündeki ilk katında $j$ 'inci perdenin brüt enkesit alanı ( $m^2$ )
$ÇTD$	: Çevresel Titreşim Deneyi
$DBYBHY$	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
$E$	: Elastisite modülü
$E_c$	: Beton Elastisite modülü
$E_d$	: Duvar Elastisite modülü
$GFOAY$	: Geliştirilmiş Frekans Ortamında Ayrışım Yöntemi
$H$	: Binanın bodrum katlarının üstündeki bölümünün yüksekliği
$I$	: Bina önem katsayısı
$k$	: Rijitlik
$l_{wj}$	: Binanın temel üstündeki ilk katında $j$ 'inci perdenin, gözönüne alınan deprem doğrultusunda çalışan uzunluğu (m)
$m$	: Kütle
$N$	: Kat adedi
$P$	: Olasılık, test istatistiği
$R_a(T)$	: Deprem yükü azaltma katsayısı
$R$	: Pearson korelasyon katsayısı
$S(T)$	: Spektrum karakteristik katsayısı
$T$	: Periyot
$T_A, T_B$	: Spektrum karakteristik periyotları
$T_0$	: Çevresel titreşim deneyi ile belirlenen bina temel periyodu
$T_1$	: Yönetmeliklerde tanımlı ampirik bağıntılar ile belirlenen bina temel periyodu
$T_h$	: Depremde hasar görmüş binanın temel periyodu
$T_M$	: Modal analiz ile belirlenen bina temel periyodu
$T_R$	: Rayleigh metodu ile belirlenen bina temel periyodu
$T_{akma}$	: Elastik ötesi davranış sınırındaki binanın temel periyodu
$USCGS$	: Amerikan Ulusal Kıyı ve Jeodezik Araştırmalar Kurumu
$V_t$	: Taban kesme kuvveti

$W$  : Toplam bina ağırlığı  
 $ZTD$  : Zorlanmış Titreşim Deneyi  
 $\eta_{bi}$  : Burulma düzensizliği katsayısı



## 1. GİRİŞ

Deprem, kaçınılmaz bir doğa olayıdır. Depremlerin ne zaman ve hangi büyüklükte olacakları bilinmemekte ve ortaya çıkaracağı sonuçlar öngörülememektedir. Deprem, fırtına, sel vb. diğer doğa olaylarının afete dönüşmeleri yaşam alanlarına olan etkileri ile ilgilidir. Yerleşimin ve binaların bulunmadığı bir bölgede deprem tehlikesi olabilir fakat böyle bir yerde deprem olsa bile bu olayın bir afete dönüşme riski bulunmamaktadır. Depremlerin afete dönüşmesinin en önemli nedeni, depreme dayanıklı olmayan binaların yıkılarak veya ağır hasar görerek can ve mal kayıplarına neden olmasıdır (Kaplan, 2017).

Tüm çağdaş deprem yönetmelikleri ve ülkemizde yürürlükte olan “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY, 2007)” in temel ilkesi, binanın yapıldığı bölgede olabilecek hafif şiddetli depremlerde binanın yapısal elemanlarında herhangi bir hasar oluşmamasıdır. Orta şiddetteki depremlerde yapısal ve yapısal olmayan elemanlardaki hasarın onarılabilir (sınırlı) düzeyde kalması ve şiddetli depremlerde ise binanın yıkılmadan ayakta kalabilmesi ve can güvenliğinin sağlanması amacıyla kalıcı hasar oluşumunun sınırlandırılmasıdır.

Hedeflenen bu amaçlara ulaşılabilmesinin, yani depreme dayanıklı yapı tasarımının yapılabilmesinin yolu, binaya deprem sırasında etki edecek yatay yükün doğru tahmin edilebilmesinden geçmektedir. Depreme dayanıklı yapı tasarımı yönetmeliklerinde, deprem yüklerinin belirlenmesinde kullanılan yöntemlerden biri olan eşdeğer yatay deprem yükü yaklaşımının en önemli parametresi, binanın birinci doğal titreşim periyodudur (temel periyot) (Salameh vd., 2016). Eşdeğer deprem yükü yönteminde kullanılan tasarım spektrumu, temel periyodun bir fonksiyonudur (Hong ve Hwang, 2000; Pan, Goh ve Megawati, 2014). Yeni bir bina projelendirilirken veya mevcut bir binanın deprem performansı belirlenirken binanın ilgili temel periyodunun ve dolayısıyla deprem yükünün ya da deplasman talebinin doğru bir şekilde belirlenmesi çok önemlidir. Temel periyot, binanın nümerik modeli üzerinde dinamik analiz (özdeğer analizi) yapılarak, Rayleigh Yöntemi kullanılarak, yönetmeliklerde ve bilimsel çalışmalarda tanımlanmış çeşitli ampirik bağıntılarla (Darılmaz, 2014) ve deneysel modal analiz yöntemi ile belirlenebilir.

Binanın temel periyodu ve mod şekilleri gibi dinamik karakteristikleri, binanın nümerik modeli üzerinden belirlenebilmektedir. Fakat çoğu durumda oluşturulan nümerik modeller gerçek yapı davranışını tam olarak temsil edememektedir (Türker, 2011). Bazı durumlarda nümerik modellerin gerçekçi olmamasının nedenleri malzeme

özelliklerinin, özellikle elastisite modülünün ( $E$ ) doğru tanımlanmasındaki ve dolgu duvarların taşıyıcı sistem rijitliğine olan katkısının modellenmesindeki güçlüklerdir.

Mevcut bir binanın temel periyodunu belirlemenin bir diğer yolu deneysel modal analiz yöntemini kullanmaktır. Deneysel modal analiz yöntemi, bir sistemin dinamik karakteristiklerinin ölçümlere dayanan deneysel bir yaklaşımla belirlenmesi işlemidir. Yöntemin esası, sistemin etkilendiği doğal ya da yapay titreşimlere verdiği tepkinin ölçülmesine dayanmaktadır. Deneysel modal analiz uygulamaları, sistemi titreştirmek amacıyla oluşturulan etkinin bilinip bilinmemesine bağlı olarak Deneysel Modal Analiz ve Operasyonel Modal Analiz olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Deneysel Modal Analiz yönteminde, dinamik karakteristikleri belirlenmek istenen sisteme yerleştirilen sensörler (ivmeölçer veya hızölçer) ile sistemden toplanan titreşim sinyalleri analiz edilmektedir. Deney yapılırken sistemden toplanan sinyallerle birlikte sistemde titreşime neden olan sinyaller de kaydedilir ise bu deneye Zorlanmış Titreşim Deneyi (ZTD), dinamik karakteristiklerin belirlenmesi için yapılan analizlere ise Deneysel Modal Analiz denilmektedir. Operasyonel Modal Analiz yönteminde ise sistemin rüzgâr, trafik gürültüsü, insan hareketi gibi çevresel etkilere verdiği tepkiler analiz edilmektedir. Bu yöntemde sistemi etkileyen titreşim sinyallerinin değerlerinin bilinmesine gerek yoktur. Yöntemde, çevreden gelen rastgele titreşimlere sistemin verdiği tepkiler ölçüldüğü için Çevresel Titreşim Deneyi (ÇTD) olarak adlandırılmaktadır (Şahin, 2009; Türker, 2011).

Nümerik modellerde dolgu duvarların rijitliğe olan katkısı çoğu zaman ihmal edilmektedir. Dolgu duvarların bina rijitliğine olan katkısı dikkate alınmadan yapılan nümerik analizlerle bulunan temel periyotların, deneysel modal analiz yöntemleri (gerçek binalarda yapılan titreşim ölçümleri) ile bulunan temel periyotlardan çok daha uzun olduğu birçok araştırmacı tarafından vurgulanmıştır (Crowley ve Pinho, 2010; Masi ve Vona, 2009; Al-Nimry vd., 2014). Uzun temel periyot, kuvvet tabanlı deprem hesabı yöntemlerinde elastik tasarım spektrumundan düşük bir spektrum karakteristik katsayısı seçimine ve dolayısıyla göreceli olarak daha küçük bir deprem yükü ile tasarım yapılmasına neden olmaktadır.

Bu nedenle modern yönetmeliklerin çoğunda binanın temel titreşim periyodunun belirlenmesinde veya sınırlandırılmasında kullanılmak üzere geliştirilmiş ampirik, yarı-ampirik veya teorik bağıntılar bulunmaktadır. Bu bağıntılar, gerçek binalar üzerinde yapılan titreşim ölçümleri kullanılarak geliştirilmişlerdir. Ayrıca son yıllarda birçok araştırmacı, gerek bireysel çalışmalar gerekse çeşitli fonlar tarafından desteklenen

araştırma projeleri kapsamında dünyanın değişik bölgelerindeki binalar üzerinde yapmış oldukları ölçüm sonuçları üzerinden, istatistiksel yöntemler kullanarak yaklaşık periyot bağıntıları önermişlerdir. Bu tür bağıntılar, bağıntı önerilirken kullanılan veri setindeki binaların özelliklerine bağlı olarak, hem kuvvete dayalı yöntemlerle yeni bina tasarımında kullanılan elastik temel periyotların belirlenmesinde veya kontrolünde hem de büyük ölçekli (kent ölçeğinde) mevcut binaların deprem performanslarının belirlenmesi çalışmalarında kullanılmaktadırlar.

Konu ile ilgili literatürdeki çalışmalar incelendiğinde; çeşitli araştırmacılar tarafından önerilen bağıntıların, bağıntı önerilirken kullanılan binaların bulunduğu bölgelerdeki bina yapım teknikleri, kullanılan yapı malzemeleri, yerel zemin özellikleri gibi birçok nedenlerle farklılıklar gösterdiği görülmüştür. Dolayısıyla bu bağıntıların, kullanılacağı ülkenin veya bölgenin bina stokuna uygun olması gerekmektedir. Bu konuda ülkemizde yapılan çalışmalar incelendiğinde, nümerik modeller üzerinde yapılan çalışmalar ile ülkemizdeki bazı bina tiplerinin temel periyotlarını belirlemeyi hedefleyen sınırlı sayıda çalışma olsa da gerçek binalarda yapılan titreşim ölçümlerine dayalı bir periyot bağıntısının önerildiği bir çalışmanın bulunmadığı görülmüştür.

Bu çalışmada, Eskişehir kent merkezinde bulunan ve kat adetleri 4-6 arasında değişen (Ülkemizde ve Eskişehir’de bulunan en yaygın konut tipidir: TÜİK 2011 verilerine göre Türkiye nüfusunun %25,5’i, Eskişehir nüfusunun ise %27,9’u 4 ve 5 katlı binalarda yaşamaktadır), inşaatı yeni tamamlanmış, iskân aşamasındaki 24 adet konut tipi, ayırık nizam betonarme binanın elastik temel periyotları, düşük genlikli çevresel titreşim ölçümleri kayıtlarından faydalanılarak belirlenmiştir. Ölçümlerde hızölçerler kullanılmıştır. Binaların temel periyotları, Geliştirilmiş Frekans Ortamında Ayrışım Yöntemi (GFOAY) ile belirlenmiştir. Binaların nümerik modelleri, uygulamada yapıldığı gibi dolgu duvarların binanın yatay rijitliğine katkısı dikkate alınmadan oluşturularak, temel periyotlar modeller üzerinde yapılan özdeğer analizleri ve DBYBHY (2007)’de tanımlanan Rayleigh yöntemi ile belirlenmiştir. Rayleigh yöntemi ile ve dolgu duvarlar dikkate alınmadan yapılan nümerik modeller ile hesaplanan temel periyotlar ile çevresel titreşim ölçümleri ile belirlenen periyotlar arasındaki farklar irdelenmiştir. Ölçülen 24 adet betonarme binaya ait temel periyotların, bina yüksekliği ile ilişkisi araştırılmıştır. Regresyon analizi ile binanın temel periyodunu, bina yüksekliğine bağlı olarak belirleyen bir bağıntı önerilmiştir. Önerilen bağıntı, çeşitli yönetmeliklerdeki ve literatürdeki mevcut bağıntılarla karşılaştırılarak sonuçlar tartışılmıştır.

## 2. LİTERATÜR TARAMASI

Tez çalışması ile ilgili literatür, mevcut yönetmeliklerdeki periyot bağıntıları, bilimsel çalışmalar ve araştırma projeleri kapsamında önerilen periyot bağıntıları ve dolgu duvarların bina periyodu üzerine etkileri olmak üzere üç bölümde irdelenmiştir.

### 2.1. Mevcut Yönetmeliklerdeki Periyot Bağıntıları

Binanın temel titreşim periyodu, binaya deprem sırasında gelecek olan yatay deprem yükünün belirlenmesindeki en önemli parametrelerden biridir. Tek serbestlik dereceli bir yapının saniye biriminde periyodu ( $T$ ), kütle ( $m$ ) ve rijitliğine ( $k$ ) bağlı olarak denklem 2.1 ile ifade edilir.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (2.1)$$

Denklem 2.1’de görüldüğü gibi binanın periyodu binanın kütlesi ile doğru orantılı, bina rijitliği ile ise ters orantılıdır. Binanın temel periyodu, hem yeni bina tasarımında hem de mevcut binaların deprem performansının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Temel periyot, binanın nümerik modeli üzerinde özdeğer analizi yapılarak hesaplanabilir. Nümerik modellemenin zorluklarından biri, binayı oluşturan yapı elemanlarının malzeme özelliklerinin doğru tanımlanmasıdır. Bir diğer zorluk ise dolgu duvarlar, cephe elemanları vb. yapısal olmayan elemanların bina rijitliğine olan katkılarının modellenmesidir. Özellikle mevcut binaların sismik performansının değerlendirilmesi çalışmalarında en önemli problem binaların projelerine ulaşmaktır. Bu zorlukları aşabilmenin yolu, mevcut binalarda yapılan deneysel ölçümlere dayanarak belirlenmiş ampirik formüllerden faydalanmaktır. Birçok ülkenin deprem yönetmeliklerinde; teorik, ampirik ve yarı ampirik periyot bağıntıları kullanılmaktadır.

#### 2.1.1. Dünyanın farklı bölgelerindeki deprem yönetmeliklerinde kullanılan temel periyot bağıntıları

Yaklaşık periyot belirleme bağıntılarında temel periyot genellikle bina yüksekliğine bağlı olarak bulunmaktadır. Denklem 2.2’de verilen bağıntıda ise temel periyot, bina yüksekliği ( $H$ ) ile birlikte binanın deprem doğrultusundaki boyutu ( $D$ ) ile de ilişkilendirilmektedir.

$$T_1 = C_t \frac{H}{\sqrt{D}} \quad (2.2)$$

Bu formül, yalnız kesme deformasyonları dikkate alınan bir konsol kirişin temel periyot denklemine dayanmaktadır (Crowley ve Pinho, 2010). Bağıntıda yer alan  $C_t$  katsayısı ilk olarak Carder (1937) tarafından hesaplanmıştır. Carder (1937) 1933 Long Beach depreminden sonra 212 adet yığma ve çelik binanın çevresel titreşim deneylerinin sonuçları üzerinde çalışmıştır (Michel vd., 2010). Bu çalışma Housner ve Brady (1963) tarafından sonuçlandırılmıştır (Salameh vd., 2016). ATC3-06 (1978)'de betonarme perde duvarlı binalar için  $H$  ve  $D$ 'nin birimi metre olmak üzere  $C_t$  değeri 0,09 olarak önerilmiştir. Bu bağıntı birçok farklı ülkenin yönetmeliklerinde, farklı tiplerdeki binaların periyotlarını belirlemek amacıyla kullanılmıştır. Tablo 2.1'de bu ülkeler ve bağıntının hangi bina tiplerinde kullanıldığı görülmektedir.

**Tablo 2.1.** Denklem 2.2'nin uygulandığı ülkeler ve yapı tipleri (Crowley ve Pinho, 2010)

Ülke, Yıl	Denklem 2.2'nin uygulandığı bina tipleri
Arnavutluk, 1989	Rijit dolgu duvarlarında deprem kuvveti karşıladığı betonarme binalar
Cezayir, 1988	Rijit dolgu duvarlı veya betonarme perde duvarlı çelik veya betonarme çerçeveler
Kanada, 1995	Çerçevesel binalar dışında tüm binalar
Kolombiya, 1984	Çerçevesel binalar dışında tüm binalar
Küba, 1995	Betonarme çerçevesel ve perde duvarlı binalar
Mısır, 1988	Çerçevesel binalar dışında tüm binalar
Etiyopya, 1983	Yatay kuvvetlerin çerçeveler tarafından karşılandığı binalar dışında tüm binalar
Hindistan, 1984	Çerçevesel binalar veya yatay yüklerin betonarme perde duvarlar tarafından karşılandığı binalar dışında kalan binalar
İran, 1988	Çerçevesel binalar dışında tüm binalar
İsrail, 1975	Yatay yüklerin betonarme çerçeveler tarafından taşındığı binalar
İtalya, 1986 ve 1996	Çerçevesel binalar (Denklem 2.2'de $C_t = 0,1$ alınır.)
Peru, 1977	Çerçevesel ve asansör çevresinde betonarme perde duvar bulunan binalar
Venezuela, 1982	Betonarme çerçevesel ve perde duvarlı binalar

Deprem yönetmeliklerinde yaygın olarak kullanılan bir diğer bağıntı denklem 2.3'te görülmektedir. Formül ilk olarak ATC3-06 (ATC, 1978)'de kullanılmıştır. Bağıntı, Rayleigh metodu esas alınarak üretilmiştir (Chopra, 1995). Bağıntı teorik olarak şu kabullere dayanmaktadır: eşdeğer statik yatay kuvvetler bina yüksekliği boyunca doğrusal olarak dağılmaktadır, taban kesme kuvveti  $T^{2/3}$  ile doğru orantılıdır ve rijitliğin

yüksekliğe bağlı doğrusal dağılımı nedeniyle görelî kat ötelenmeleri uniformdur (Goel ve Chopra, 1997).

$$T_1 = C_t H^{3/4} \quad (2.3)$$

ATC3-06 (ATC, 1978), UBC-1997 (UBC, 1997), SEAOC-96 (SEAOC, 1996) ve NEHRP-94 (NEHRP, 1994) gibi amerîkan yönetmeliklerinin hepsinde, salt çerçevesel betonarme ve çelik binalar (yatay kuvvetlerin yalnızca çerçeveler tarafından taşındığı binalar) için denklem 2.3'teki bağıntı kullanılmaktadır. ATC3-06 (ATC, 1978)'de çerçeve sistemli betonarme binalar için  $C_t$  katsayısı, 0,075'tir.  $C_t$  katsayısı, 1971 San Fernando depremi sırasında periyot ölçümü yapılan binalardan elde edilen veriler ile hesaplanmıştır. "H" ise metre cinsinden binanın temel seviyesi üzerinde kalan kısmının yüksekliğidir. Eurocode 8 (EN-1998-1, 2004) aynı bağıntıyı 40 m'den yüksek olmayan salt çerçevesel betonarme binalar için  $C_t = 0,075$ , çerçeve sistemli çelik binalar için  $C_t = 0,085$  ve tüm diğer binalar için  $C_t = 0,050$  katsayısı ile kullanılmaktadır. UBC-1997 (UBC, 1997)'de salt çerçevesel betonarme binalar için  $C_t = 0,073$ , çerçeve sistemli çelik binalar için  $C_t = 0,085$  ve betonarme perdeli binalar için  $C_t = 0,050$  kullanılmaktadır. Ayrıca, Denklem 2.3,  $C_t = 0,075$  katsayısı ile Cezayir 1988, Küba 1994, El Salvador 1989, İsrail 1995, Güney Kore 1988, Panama 1994 ve Filipinler 1992 yönetmeliklerinde kullanılmıştır (Crowley ve Pinho, 2010).

Bazı yönetmeliklerde ise çok daha basit bir yaklaşımla, binanın temel periyodu ile kat adedi ( $N$ ) arasında doğrusal bir ilişki kuran denklem 2.4 kullanılmaktadır. Yatay yüklerin tamamının çerçeveler tarafından taşındığı betonarme veya çelik binalarda kullanılan bağıntı, betonarme perde duvarlı binalar için uygun değildir (Housner ve Brady, 1963).

$$T_1 = \frac{N}{10} \quad (2.4)$$

Denklem 2.5'te verilen formül ise Japon deprem yönetmeliği (BSLJ) 2011'de yer alan temel periyodun kat adedine bağılı olarak belirlendiği bir diğer formüldür.

$$T_1 = \frac{N}{27} \quad (2.5)$$

### 2.1.2. Türkiye deprem yönetmeliklerinde temel periyot bağıntıları

Ülkemizde de geçmiş yıllarda ve şu anda yürürlükte olan deprem yönetmeliklerinde, binaların elastik temel periyotlarının yaklaşık olarak belirlenmesi ile ilgili hükümler bulunmaktadır. Afet Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 1975

(ABYBHY, 1975) incelendiğinde; binanın yatay deprem kuvvetinin, kuvvete dayalı doğrusal elastik tasarım yöntemlerinden biri olan eşdeğer yatay deprem yükü yöntemi ile belirlendiği görülmüştür. Eşdeğer yatay deprem yükünün belirlenebilmesi için gerekli olan elastik temel periyodun denklem 2.2 ile ya da aşağıda verilen denklem 2.6 ile hesaplanarak, iki değer arasından küçük olanının kullanılması gerekmektedir (ABYBHY, 1975).

$$T_1 = (0,07 \sim 0,10) N \quad (2.6)$$

Yönetmelikte, denklem 2.6'da yer alan 0,07 ve 0,10 katsayıları arasında hangi değer kullanılacağı ile ilgili “*Bu denklemin katsayısı olan (0,07 ~ 0,10) rijitlik derecesine göre saptanır.*” denilmekte fakat rijitlik derecesinin nasıl saptanacağı belirtilmemektedir. Afet Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 1997 (ABYBHY,1997) temel periyodun hesabında birkaç farklı durumun kontrolünü zorunlu tutmaktadır. Birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde  $H \leq 25 m$  olan binalar ile üçüncü ve dördüncü derece deprem bölgelerinde eşdeğer deprem yükü yönteminin kullanılabildiği tüm binaların temel periyotları denklem 2.3 ile ya da denklem 2.7 ile hesaplanabilir (ABYBHY, 1997)

$$T_1 = 2\pi \left[ \frac{\sum_i^N m_i d_{fi}^2}{\sum_i^N F_{fi} d_{fi}} \right]^{1/2} \quad (2.7)$$

Denklem 2.7 Rayleigh Yöntemi olarak da bilinmektedir (Masi ve Vona, 2009). Burada  $m_i$ , i'inci katın kütlesi,  $F_{fi}$  ise i'inci kata etkiyen fiktif yükü göstermektedir. Fiktif yük, tasarımcı tarafından seçilen bir birim yükün katlara kat kütleleri oranında dağıtılması ile bulunmaktadır. Her kata ait fiktif yük, göz önüne alınan deprem doğrultusunda kütle merkezine etki ettirilmektedir.  $d_{fi}$ , bu yükler etkisinde, her katta kütle merkezinde deprem doğrultusunda oluşan yer değiştirmeleri ifade etmektedir.

Birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde  $H > 25 m$  olan binalar ile üçüncü ve dördüncü derece deprem bölgelerinde eşdeğer deprem yükü yönteminin kullanılmadığı binaların temel periyotları hem denklem 2.3 ile hem de 2.7 ile hesaplanmalıdır. Denklem 2.3 ile hesaplanan temel periyot  $T_1 > 1,0 s$  ise denklem 2.7 ile hesaplanan temel periyot denklem 2.3 ile hesaplanan değer 1,3 katından fazla olmamalıdır (ABYBHY, 1997).

ABYBHY, 1997'de denklem 2.3'teki  $C_t$  değeri binanın taşıyıcı sistemine bağlı olarak aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

a) Deprem yüklerinin tamamının perdeler tarafından taşındığı binalarda  $C_t$  denklem 2.8 ile hesaplanacaktır.

$$C_t = 0,075/A_t^{1/2} \leq 0,05 \quad (2.8)$$

$A_t$  eşdeğer alanı, denklem 2.9'a göre bulunacaktır. Denklem 2.9'daki  $(l_{wj}/H)$  oranının en büyük değeri 0,9 olacaktır.

$$A_t = \sum_j A_{wj} [0,2 + (l_{wj}/H)^2] \quad (2.9)$$

b) Taşıyıcı sistemi sadece betonarme çerçevelerden veya dışmerkez çaprazlı çelik perdelerden oluşan binalarda  $C_t = 0,07$ , taşıyıcı sistemi sadece çelik çerçevelerden oluşan binalarda  $C_t = 0,08$ , diğer tüm binalarda ise  $C_t = 0,05$  alınacaktır (ABYBHY, 1997).

Şu anda ülkemizde yürürlükte olan deprem yönetmeliği DBYBHY, 2007'dir. DBYBHY, 2007'ye göre yatay deprem yükünün doğrusal elastik olarak, kuvvete dayalı yöntemlerden eşdeğer deprem yükü yöntemine göre hesaplandığı binalarda; temel periyodun, denklem 2.7 ile hesaplanan değeri aşmaması gerektiği belirtilmiştir. Ayrıca, denklem 2.7 ile hesaplanan değerden bağımsız olarak, bodrum katlar hariç kat adedi  $N > 13$  olan binalarda temel periyodun,  $0,1 N$ 'den daha büyük alınmaması gerektiği ifade edilmektedir (DBYBHY, 2007). Görüldüğü gibi DBYBHY, 2007'de temel periyot hesabı için denklem 2.3'te dâhil olmak üzere herhangi bir yaklaşık bağıntı kullanılmamaktadır. Denklem 2.7 ve  $0,1 N$  ifadesi temel periyodu hesaplamak için değil kontrol etmek ve sınırlandırmak için kullanılmaktadır. Tasarımcılar binanın temel periyodunu, uygulamada sık kullanılan sonlu elemanlar yazılımları ile yaptıkları nümerik modeller üzerinde özdeğer analizi yaparak bulmaktadırlar. Bu noktada en önemli sorun, mühendislerin dolgu duvarları yalnız kütle olarak dikkate alması, duvarların binanın yatay rijitliğine olan katkısının göz ardı edilmesidir. Crowley ve Pinho (2010) benzer durumun Avrupa'da da bulunduğunu, Eurocode 8 (EN-1998-1, 2004)'e göre tasarım yapan mühendislerin dolgu duvarların binanın yatay rijitliğine katkısını dikkate almadıklarını ve bu durumun gerçekçi olmayan uzun temel periyotlar bulunmasına ve dolayısıyla güvensiz tarafta kalacak şekilde düşük deprem kuvvetine göre tasarım yapılmasına neden olduğunu belirtmişlerdir. Tez çalışması kapsamında binalarda yapılan ölçümler ile bulunan periyotlar, uygulamada kullanılan sonlu elemanlar yazılımları ile

duvarların rijitliğe katkısı dikkate alınmadan yapılan analizler ile karşılaştırıldığında; binalarda ölçülen periyotların çok daha kısa olduğu ve DBYBHY, 2007’de kullanılan periyodu sınırlama yöntemlerinin de bazı durumlarda güvensiz tarafta kaldığı görülmüştür. Bu konunun beraberinde getirdiği sorunlar Bölüm 6’da detaylı olarak irdelenmiştir.

2018 yılında yürürlüğe girmesi beklenen deprem yönetmeliği taslağı da incelenmiştir. Bu taslakta, temel periyodun DBYBHY, 2007’de olduğu gibi denklem 2.7 ile hesaplanan değerden ve  $0,04 H$ ’dan daha uzun alınamayacağı belirtilmektedir.

## 2.2. Bilimsel Çalışmalar Kapsamında Önerilen Periyot Bağlıları

Son yıllarda binaların temel periyotlarının basitleştirilmiş yöntemlerle belirlenmesi amacıyla çok sayıda deneysel ve nümerik çalışmalar yapılmış, araştırma projeleri gerçekleştirilmiştir. Özellikle bina tiplerine bağlı olarak, binanın yüksekliği ve temel periyodu arasındaki ilişkiyi ifade eden ampirik bağıntılar üzerinde çalışılmıştır.

Kobayashi, Seo ve Midorikawa (1986) 1985 Mexico City depreminden sonra, depremde hasar görmeyen 5 ve 30 kat arası 20 adet betonarme binanın temel periyotlarını ve sönüm oranlarını mikrotremör ölçümlerinden yararlanarak belirlemişlerdir. Ölçülen binaların temel periyotları üzerinde yaptıkları çalışmalar sonucunda denklem 2.10’da verilen bağıntıyı elde etmişlerdir. Depremde en çok hasar gören binaların, temel periyotları 0,5 ve 2,0 s arasında değişen binalar olduğunu görmüşlerdir.

$$T_0 = 0,105 N \quad (2.10)$$

Midorikawa (1990) Şili’de yürüttüğü çalışmada; Santiago’da 107 adet ve Vina Del Mar’da 21 adet betonarme binada titreşim ölçümleri yapılarak binaların temel periyotları ve sönüm oranları belirlenmiştir. Çalışma sonunda önerilen temel periyot bağıntısı denklem 2.11’de verilmiştir.

$$T_0 = 0,049 N \quad (2.11)$$

Lagomarsino (1993) 52 adet betonarme binanın düşük genlikli çevresel titreşim ölçümü kayıtları üzerinde yaptığı çalışma sonucunda betonarme binaların temel periyotlarının belirlenmesinde kullanılmak üzere, metre biriminde bina yüksekliği ve temel periyot arasında denklem 2.12’de verilen ilişkiyi tanımlamıştır.

$$T_0 = H/55 \quad (2.12)$$

Kobayashi vd., (1996) bir Japon-İspanyol araştırma projesi kapsamında, Granada, İspanya’da bulunan betonarme binaların dinamik karakteristiklerini belirlemek amacıyla 21 adet betonarme binada çevresel titreşim ölçümleri gerçekleştirmişlerdir. Bu ölçümler sonucunda bulunan elastik temel periyot değerleri ile binaların kat adetleri arasında denklem 2.13’te gösterilen doğrusal ilişkiyi ortaya koymuşlardır.

$$T_0 = 0,05 N \quad (2.13)$$

Bulunan bu bağıntı, Granada bölgesinin deprem zarar azaltma programında, hasar görebilirlik ve risk analizlerinde kullanılmıştır.

Goel ve Chopra (1997), 1971 San Fernando depremi ile 1994 Northridge depremi arasında gerçekleşen, bu iki depremle birlikte toplam sekiz adet Kaliforniya depremi sırasında binalarda ölçülen titreşim kayıtlarından yararlanarak, betonarme çerçevesel binaların kuvvete dayalı tasarımında kullanılacak temel periyotlarını tahmin etmek için denklem 2.14’teki bağıntıyı önermişlerdir. Önerilen bağıntı, kuvvete dayalı tasarımda kullanılacağı için, güvenli tarafta kalmak amacıyla titreşim ölçümleri ile bulunan temel periyotlar ve yükseklik arasındaki ilişkiyi en iyi ifade eden eğriden bir standart sapma çıkarılarak bulunmuştur (kuvvete dayalı tasarımda güvenli tarafta kalan periyotlar göreceli olarak daha kısa periyotlardır).

$$T_1 = 0,0466 H^{0,9} \quad (2.14)$$

Chopra ve Goel (2000), Goel ve Chopra (1997) verilerini kullanarak bu kez betonarme çerçevesel mevcut binaların deprem performansının deplasmana (şekil değiştirmeye) dayalı olarak belirlenmesinde kullanılmak üzere binanın akmış yani elastik ötesi periyodunu tahmin etmek amacıyla denklem 2.15’te verilen bağıntıyı önermişlerdir. Önerilen bağıntı, deprem performansının deplasmana dayalı olarak belirlenmesinde kullanılacağı için, güvenli tarafta kalmak amacıyla titreşim ölçümleri ile bulunan temel periyotlar ve yükseklik arasındaki ilişkiyi en iyi ifade eden eğriye bir standart sapma eklenerek bulunmuştur (deplasmana dayalı performans değerlendirmesinde periyot uzadıkça deplasman talebi artacağından deplasmanı güvenli tarafta belirleyen periyotlar göreceli olarak daha uzun periyotlardır (Crowley ve Pinho, 2004)).

$$T_{akma} = 0,067 H^{0,9} \quad (2.15)$$

Salameh vd., (2016)'nin aktarımına göre kat adedi ve temel periyot arasında doğrusal ilişki kuran diğer çalışmalar şu şekilde özetlenebilir: Enomoto vd., (1999)'nin İspanya'da yaptıkları çalışmada Almeria'daki 34 adet betonarme binanın verileri ile  $T_0 = 0,05 N$  bağıntısı önerilmiştir. İspanya'da yürütülmüş olan bir diğer çalışmada Espinoza (1999) Barselona'da 25 adet binanın temel periyotları üzerinden  $T_0 = 0,089 N + 0,032$  formülünü ortaya koymuştur. Enomoto vd., (2000) Venezuela, Caracas'da 57 adet betonarme binada yapılan titreşim ölçümleri ile  $T_0 = 0,06 N$  bağıntısını önermişlerdir. Sanchez vd., (2002) İspanya, Adra'da 39 adet betonarme bina ile ve Navarro vd., (2002) İspanya, Granada'da 89 adet betonarme bina ile yapılan çalışmalarında  $T_0 = 0,049 N$  sonucuna varmışlardır. 28 adet betonarme binanın temel periyotları kullanılarak, Messele ve Tadese (2002) tarafından Etiyopya'da yapılan çalışmada temel periyot ve kat adedi arasında kurulan ilişki  $T_0 = 0,057 N$  olmuştur. Oliveira (2004) Portekiz, Lizbon'da yaptığı çalışmada 193 betonarme bina ile çalışmıştır. Önerilen bağıntı,  $T_0 = 0,042 N$ 'dir. Navarro ve Oliveira (2004) Lizbon'da yaptıkları çalışmada 37 adet betonarme bina üzerinde çalışmışlardır. Temel periyot ile kat adedi arasında kurulan ilişki  $T_0 = 0,045 N$  şeklindedir.

Warnitchai (2004) Bangkok (Tayland) şehrinin deprem tehlikesini belirlemek amacıyla gerçekleştirdiği çalışmada, bölge zeminleri üzerinde 150'nin üzerinde noktada çevresel titreşim ölçümleri yapmıştır. Nakamura H/V (Nakamura, 1989) tekniğini kullanarak, Tayland körfezi yakınlarında zemin hâkim periyotlarının 1,0 s ile 1,2 s arasında değiştiğini belirlemiştir. Aynı çalışma kapsamında 50 adet betonarme binada da çevresel titreşim deneyleri yapılarak binaların temel periyotları belirlemiş ve temel periyotlarla bina yüksekliği arasındaki ilişki denklem 2.16 ile ifade edilmiştir.

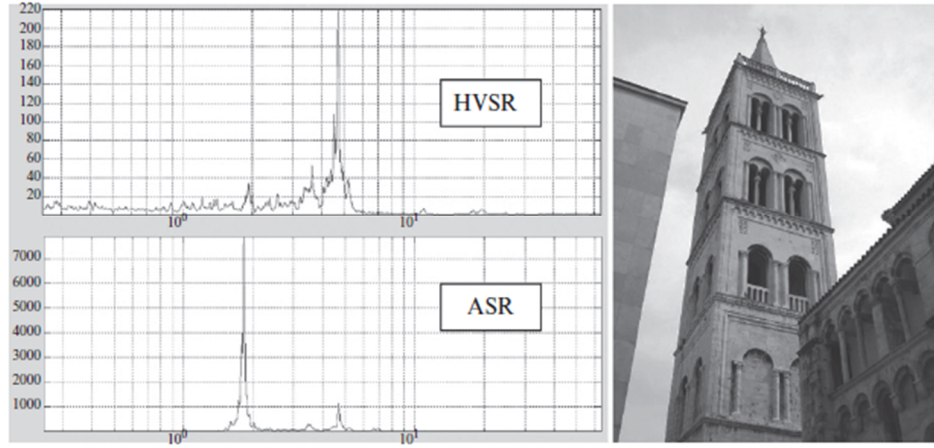
$$T_0 = 0,019 H \quad (2.16)$$

1993 ve 1994 yıllarında İspanya'nın Adra şehrinde gerçekleşen depremlerde en fazla hasarın dört ve beş katlı betonarme binalarda gerçekleştiği görülmüştür. Navarro vd., (2007) Adra şehrinde zemin özelliklerinin betonarme bina davranışına etkilerinin belirlenmesi için bir çalışma yürütmüşlerdir. Çalışma kapsamında, jeomorfolojik ve jeolojik incelemeler gerçekleştirilerek detaylı bir yer yüzeyi yapısı haritası elde edilmiştir. 160 noktada yapılan mikrotremör ölçümü verileri, Nakamura tekniği kullanılarak bölgenin zemin hâkim periyodu haritasına dönüştürülmüştür. Ayrıca, kat adetleri, iki ve dokuz arasında değişen 38 adet betonarme binanın en son katlarında, üç eksenli

hızölçerler ile çevresel titreşim ölçümleri gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonucunda benzer özellikteki binaların temel periyotlarının belirlenmesinde kullanılmak üzere, korelasyon katsayısı ( $R$ ) 0,96 ve ortalama standart sapması 0,04 olan denklem 2.17'deki bağıntı önerilmiştir.

$$T_0 = (0,049 \pm 0,001)N \quad (2.17)$$

Herak ve Herak (2009) Hırvatistan'ın Zagreb ve Ston şehirlerinde gerçekleştirdikleri çalışmada, hem zemin hâkim periyotlarını ve zemin özelliklerini belirlemek için çalışmalar yapmışlar hem de 100 adet betonarme binada çevresel titreşim ölçümleri gerçekleştirmişlerdir. Yatay ve düşey spektral oran (HVSR) tekniği ile yapmış oldukları analizlerde Zagreb çevresinde 100 m'den daha kalın bir alüvyon tabakası bulunduğunu belirlemişlerdir. Binalarda yapılan ölçümlerin %75'i Zagreb'de gerçekleştirilmiştir. Her binada en az bir ölçüm gerçekleştirilmiştir. Ölçümler, mümkün olduğunca binaların en üst katında yapılmaya çalışılmıştır. Ölçüm süreleri 16-20 dakika arasında değişmektedir. Binalarda ölçüm yapılan cihaz ile her ölçümden önce veya sonra bina yakınında, zemin üzerinde titreşim ölçümleri de yapılmıştır. Bu ölçümlerin binadan uzaklığının, mümkün olduğunca en az bina yüksekliği kadar olmasına çalışılmıştır. Çalışmada, Herak ve Herak (2009) zemin hâkim periyodu çalışmalarında çok yaygın kullanılan HVSR tekniğinin binalar için kullanımını önermediklerini belirterek, gerekçelerini Zadar bölgesinde bulunan St. Anastasia kilisesinin 60 m yüksekliğindeki çan kulesinde gerçekleştirdikleri analizlerle açıklamışlardır. Görsel 2.1'de St. Anastasia kilisesi çan kulesine ait HVSR ve genlik spektrum oranı (ASR) teknikleri ile oluşturulan spektrum grafikleri arasındaki farklılık görülmektedir.



**Görsel 2.1.** St. Anastasia kilisesi çan kulesi ve spektrum grafikleri (Herak ve Herak, 2009)

Çevresel titreşim ölçümü yapılan 100 adet betonarme binanın titreşim kayıtlarını ASR tekniği ile analiz etmişlerdir. Çalışma sonucunda, betonarme binaların temel periyotları (s) ile bina yüksekliği (m) arasında denklem 2.18’de görülen bağıntı önerilmiştir.

$$T_0 = 0,013 H \quad (2.18)$$

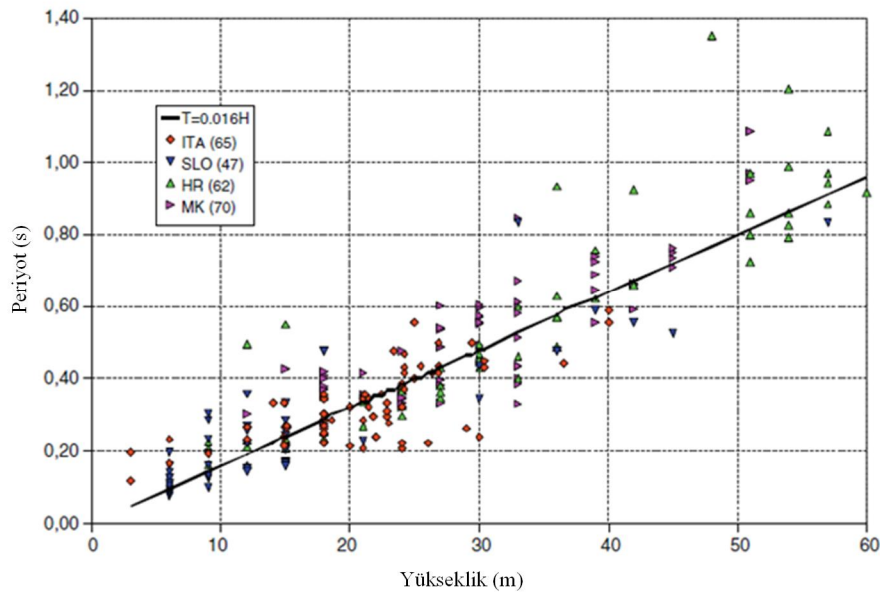
Gallipoli vd., (2009) çalışmalarını iki bölüme ayırmışlardır. Birinci bölümde, İtalya, Melfi’de bulunan beş katlı betonarme bir binada Ocak 2006 ve Haziran 2006 arasında titreşim ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler, binanın en üst katında ve giriş katında gerçekleştirilmiştir. Bu süre içinde büyüklükleri  $M = 2,9$  ve  $M = 3,0$  olan iki deprem sırasında binada titreşim ölçümleri alınmıştır. Deprem sırasında alınan ölçümler ile çevresel titreşim ölçümlerinin sonuçları karşılaştırılmış ve sonuçların birbirine çok yakın çıktığı değerlendirilmiştir. Potenza, Senigallia ve Melfi kentlerinde 65 adet betonarme binada çevresel titreşim ölçümleri yapılmıştır. Titreşim kayıtlarının analizleri dört farklı yöntem ile yapılmış ve bu yöntemler birbiri ile karşılaştırılmıştır. Titreşim ölçümleri ile belirlenen, binaların temel periyotları (s) ile yükseklikleri (m) arasındaki ilişki incelenmiş ve denklem 2.19’daki bağıntı önerilmiştir.

$$T_0 = 0,016 H \quad (2.19)$$

Önerilen bağıntı, bu alandaki benzer çalışmalarda önerilen bağıntıların bazıları ve çeşitli ülke yönetmeliklerinde bulunan bağıntıların bazıları ile karşılaştırılmıştır. Önerilen bağıntı ile yapılan temel periyot tahminlerinin, İspanya, Tayvan ve Azerbaycan için önerilen bağıntılar ile yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Ayrıca teorik periyot-yükseklik bağıntıları ile tahmin edilen temel periyotların, deneysel yöntemlerle belirlenen

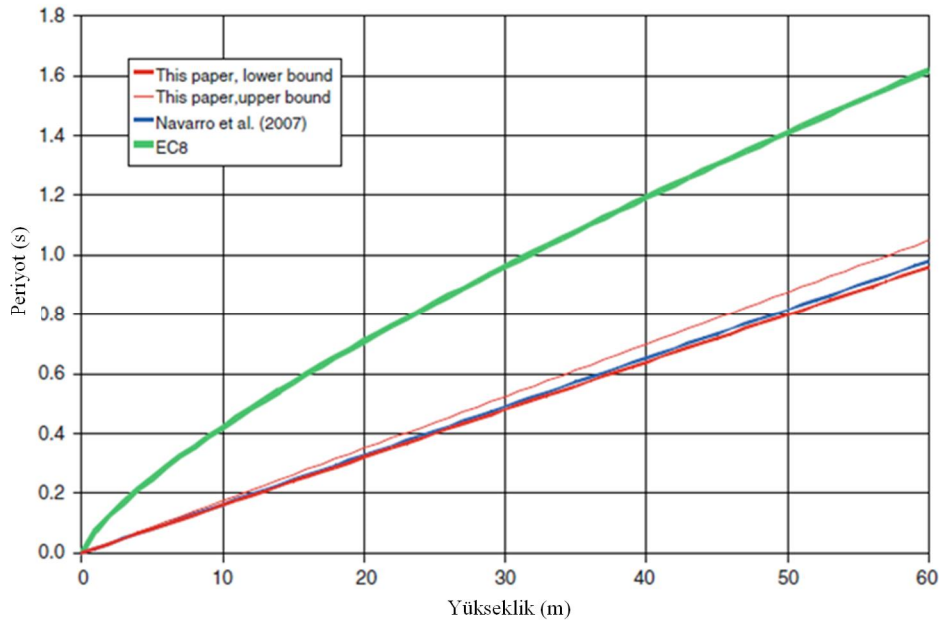
periyotlardan çok daha uzun olduğunu belirtmişlerdir. Bu durumun nedeni olarak, dolgu duvarların betonarme çerçeve davranışına olan etkileri vurgulanmış ve yapı-zemin etkileşiminin de göz önüne alınması gerektiğine dikkat çekilmiştir.

Gallipoli vd., (2010) Kuzey Atlantik Anlaşması Örgütü (NATO) destekli bir araştırma projesi kapsamında; üç yıllık bir süre içinde, dört Avrupa ülkesinde 244 adet betonarme binada çevresel titreşim ölçümleri gerçekleştirmişlerdir. Çalışma kapsamında; İtalya'da 65 adet, Slovenya'da 47 adet, Hırvatistan'da 62 adet ve Makedonya'da 70 adet binada ölçümler yapılmıştır. Ölçüm yapılan binaların kat adetleri 1 ile 20 arasında değişmektedir. Binalarda 10'ar dakikalık ölçümler gerçekleştirilmiştir. Örnekleme frekansı 128 Hz'dir. Binalarda gerçekleştirilen ölçümler, yapı-zemin etkileşimini de içermektedirler. Yani ölçülen titreşimler bina ve binanın üzerine inşa edildiği zeminin (bina-zemin sisteminin) dinamik karakteristiklerini yansıtmaktadır. Binaların çoğu betonarme çerçeveli binalardır, az sayıda da betonarme perde duvarlı bina bulunmaktadır. Dört ülkedeki binalar incelendiğinde, bina tiplerinin birbirine çok benzediği yalnızca kat adetleri arasında farklar olduğu görülmüştür. İtalya ve Slovenya'daki binalar iki ve beş kat arasında değişirken, Makedonya ve Hırvatistan'da ölçülen binaların daha yüksek olduğu görülmüştür. Temel periyot ve bina yükseklikleri arasındaki ilişki açısından dört ülkedeki durumun da birbirine çok benzediği belirlenmiştir. Şekil 2.1'de ölçülen 244 adet binanın yükseklik ve periyotları arasındaki ilişki görülmektedir. Düz siyah çizgi çalışmada önerilen  $T_0 = 0,016 H$  bağıntısını temsil etmektedir.



Şekil 2.1. Gallipoli vd., (2010) periyot-yükseklik grafiği

Binaların temel periyotları ile yükseklikleri arasında yapılan istatistiksel çalışma sonucunda; Gallipoli vd., (2009)'nin daha önce İtalya'da 65 betonarme bina ile yapmış oldukları çalışmada bulunan denklem 2.18'deki doğrusal ilişkinin bu veri seti için de geçerli olduğu görülmüştür. Önerilen bağıntı, Navarro vd., (2007) tarafından önerilen bağıntı ve Eurocode 8 (EN-1998-1, 2004)'deki bağıntı ile karşılaştırılmıştır. Önerilen bağıntının Navarro vd., (2007) tarafından İspanya'nın güneyinde yapılan çalışma ile önerilen bağıntı ile uyumlu olduğu, Eurocode 8 (EC8) ile ise çok farklı olduğu görülmüştür (Şekil 2.2). Önerilen bağıntı ile bulunan temel periyotların EC8 bağıntısı ile bulunan temel periyotlardan çok daha kısa olduğu görülmüştür. Gallipoli vd., (2010), bu farkın ne yapı-zemin etkileşimi ile ne de titreşim ölçümlerinin düşük genlikli çevresel titreşimlerle yapılmış olması ile açıklanamayacağını, EC8'in temel periyotları olması gerekenden daha uzun tahmin ettiğini belirtmişlerdir.



**Şekil 2.2.** Gallipoli vd., (2010) tarafından önerilen bağıntının Eurocode 8 (EN-1998-1, 2004) bağıntısı ve Navarro vd., (2007) ile karşılaştırılması

Oliveira ve Navarro (2010) Portekiz'de 1997'den itibaren çok sayıda betonarme binada titreşim ölçümleri gerçekleştirmişlerdir. 130 adet tuğla dolgu duvarlı betonarme binada yapmış oldukları çevresel titreşim ölçümlerini analiz ederek binaların temel periyotlarını belirlemişlerdir. Ölçüm ile belirlenen temel periyotlar ile bina yüksekliklerini ilişkilendirerek, tuğla dolgu duvarlı betonarme binaların temel periyotlarının tahmin edilmesi için denklem 2.20'deki formülü önermişlerdir.

$$T_0 = 0,013 H \quad (2.20)$$

Michel vd., (2010) Fransa'nın Grenoble kentinden 60 adet betonarme ve yığma binada çevresel titreşim ölçümleri yapmışlardır. Bu verileri, Farsi ve Bard (2004)'ın yine Grenoble'da yapmış olduğu ölçümler ve Dunand (2005)'in Nice (Fransa) kentinde yapmış olduğu ölçümlerin verileri ile birleştirerek 114 binanın verilerini içeren bir veri tabanı oluşturmuşlardır (Michel vd., 2010). Ölçülen binaların temel periyotları belirlenerek, binaların temel periyotları ve yükseklik verileri kullanılarak çoklu regresyon analizleri yapılmıştır. Regresyon analizleri sonucunda, temel periyodun yükseklikle olan ilişkisini denklem 2.20'deki bağıntı ile kat adedi ile olan ilişkisini ise kat yüksekliğinin üç metre olduğu kabulü ile denklem 2.21'deki bağıntı ile ifade etmişlerdir.

$$T_0 = 0,039 N \quad (2.21)$$

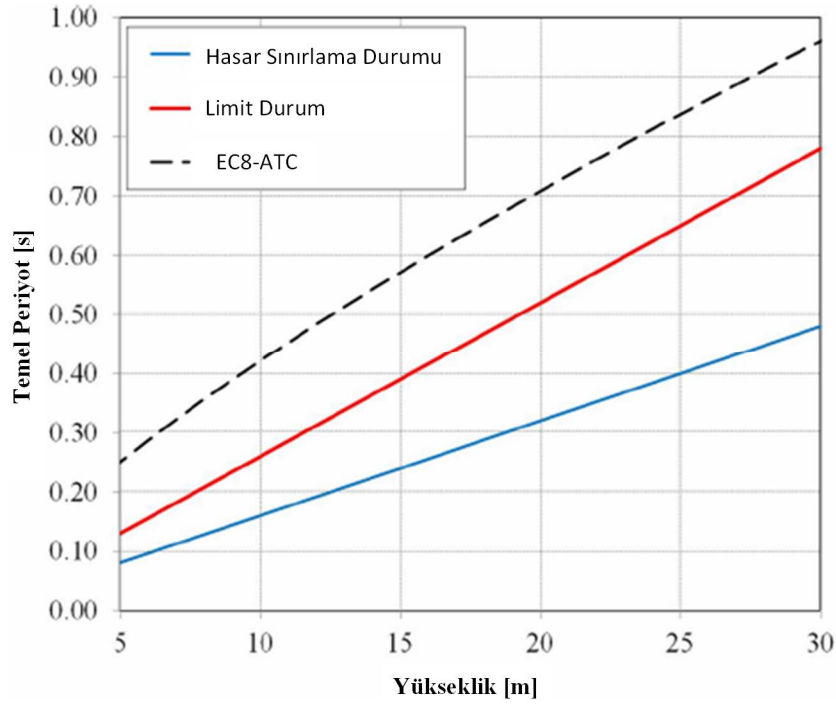
Ditommaso, Gallipoli ve Muccieralli (2013)'ne göre 2009 L'Aquila (İtalya) depremi, bazı yönetmeliklerde yer alan temel periyot belirleme bağıntılarının sonuçlarının deneysel sonuçlarla ne denli uyumsuz olduğunu göstermiştir. Çalışma kapsamında, 2009 L'Aquila depreminden sonra çeşitli düzeylerde hasarlı ve hasarsız 68 adet betonarme binanın ortogonal doğrultularındaki temel periyotları çevresel titreşim ölçümü kayıtlarından yararlanılarak bulunmuştur. Binalar, EMS 98 (Gruenthal, 1998) (Avrupa Sismik Hasar Ölçeği)'e göre hasar seviyelerine bağlı olarak dört gruba ayrılmıştır. Her grup içindeki binaların, temel periyotları ve yükseklikleri arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Hasar seviyesi düşük olan binalar için ortaya konulan temel periyot-yükseklik ilişkisinin daha önceki çalışmalarda İtalya ve Avrupa'daki hasarsız binalar için ortaya konulan periyot-yükseklik ilişkileri ile uyumlu olduğu ve bu bağıntılar ile yüksekliğe bağlı olarak tahmin edilen periyotların, yönetmeliklerdeki bağıntılar ile tahmin edilen periyotlardan çok kısa olduğu görülmüştür. Hasar seviyesi yüksek olan grubun verileri kullanılarak elde edilen periyot-yükseklik bağıntısı ile tahmin edilen periyotların bile yönetmeliklerdeki periyot tahmin bağıntılarından oldukça kısa olduğunu ortaya koymuşlardır. Hasarsız ve az hasarlı betonarme binaların bulunduğu grup için önerilen temel periyot tahmin bağıntısı denklem 2.22'de görülmektedir.

$$T_0 = 0,016 H \quad (2.22)$$

Hasarlı betonarme binalar için önerilen temel periyot tahmin bağıntısı ise denklem 2.23'te görülmektedir.

$$T_h = 0,026 H \quad (2.23)$$

Şekil 2.3’de çalışmada farklı hasar seviyeleri için önerilen periyot tahmin bağıntılarının bazı yönetmeliklerdeki bağıntılar ile karşılaştırılması görülmektedir. Şekil 2.3’deki mavi çizgi, bu çalışmada önerilen ve kuvvete dayalı tasarımda elastik sınıra karşılık gelen periyotları temsil etmektedir. Kırmızı ile gösterilen çizgi ise mevcut binaların değerlendirilmesi veya güçlendirilmesinde kullanılması önerilen yani elastik ötesi davranış sınırını temsil eden periyot-yükseklik ilişkisini ifade etmektedir. Grafikte görüldüğü gibi yönetmelik bağıntıları, elastik ötesi davranış sınırı olarak nitelendirilen sınırdan daha uzun temel periyotlar bulunmasına neden olmaktadır.



**Şekil 2.3.** Farklı hasar seviyeleri için önerilen periyot-yükseklik bağıntılarının yönetmelik bağıntıları ile karşılaştırılması (Ditommasso vd., 2013)

Guillier vd., (2014) Peru’nun başkenti Lima’da 344 adet dolgu duvarlı betonarme binada çevresel titreşim ölçümleri gerçekleştirmişlerdir. Binaların en üst katlarında hızölçerler kullanılarak 15’er dakikalık kayıtlar alınmıştır. Fast Fourier dönüşümleri yapılarak ölçülen sinyallere ait Fourier genlik spektrumları elde edilmiş ve binaların ortogonal doğrultularına ait temel periyotlar belirlenmiştir. Belirlenen temel periyotlarla, binaların fiziksel özellikleri arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Yapılan doğrusal çoklu

regresyon analizleri sonucunda binaların plan boyutları ile temel periyot arasında ilişki olmadığı görülmüştür. Temel periyot ile bina yüksekliği arasındaki ilişki ise binalar bazı kriterlere göre gruplandırılarak ifade edilmiştir. Bu kriterlerden en önemlisi binanın yapım tarihidir. 1974 yılında Lima’da gerçekleşen  $M_w = 8,1$  büyüklüğündeki deprem ve sonrasında yürürlüğe giren deprem yönetmeliği bir milat olarak kabul edilmiş ve binalar 1974 öncesi ve sonrası yapılan betonarme binalar olarak ayrılmıştır. Bir diğer kriter ise kat adedi olmuştur. Dört kata kadar olan betonarme binalar ve beş kat ve üzeri kat adedine sahip betonarme binalar olmak üzere iki ayrı grup yapılmıştır. Bu kriterler dikkate alınarak önerilen temel periyot bağıntıları denklem 2.24’te görülmektedir.

$$\begin{aligned}
 T_0 &= \frac{N}{24} \text{ Beş kattan daha az katlı binalar} \\
 T_0 &= \frac{N}{15} \text{ Beş kat ve üzeri, 1975’den önce yapılmış binalar} \\
 T_0 &= \frac{N}{24} \text{ Beş kat ve üzeri, 1975’den sonra yapılmış binalar}
 \end{aligned}
 \tag{2.24}$$

Vidal vd., (2014) çalışmalarında İspanya’nın Lorca kentinde 11 Mayıs 2011’de meydana gelen depremden etkilenmiş olan orta yükseklikteki bazı betonarme binalarda çevresel titreşim ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ölçümler, 59 adet hasarsız betonarme bina ve 34 adet hasarlı betonarme binada yapılmıştır. Ölçülen sinyaller üzerinde Fast Fourier dönüşümleri yapılarak binaların ortogonal doğrultulardaki periyotları ve sönüm oranları belirlenmiştir. Belirlenen periyotlarla, kat adetleri arasındaki ilişki araştırılmıştır. Hasarsız betonarme binalar için önerilen temel periyot bağıntısı denklem 2.25’te görülmektedir.

$$T_0 = (0,054 \pm 0,002) N \tag{2.25}$$

Hasarlı betonarme binalar için önerilen kat adedine bağlı temel periyot denklemi ise denklem 2.26’da verilmiştir.

$$T_h = (0,075 \pm 0,002) N \tag{2.26}$$

Tayvan’da gerçekleştirdikleri çalışmada Hong ve Hwang (2000) 21 adet salt çerçeveli betonarme binada ölçümler gerçekleştirmişlerdir. Bir yapı sağlığı izleme çalışması kapsamında, 27 kanallı bir ivmeölçer ağı ile izlenen bu binalar beş yıllık dönem içinde çeşitli genliklerdeki bazı depremlere maruz kalmışlardır. Her binada temel seviyesinde ölçülen kayıtlar yer uyarımı, kat seviyelerinde ölçülen kayıtlar ise bina tepkisi olarak değerlendirilmiştir. Ölçülen titreşim kayıtlarından yararlanarak binaların temel

periyotları belirlenmiştir. Yapılan doğrusal regresyon analizleri sonucunda temel periyot ile bina yüksekliği arasında denklem 2.27’de verilen bağıntı bulunmuştur. Şu ana kadar sözü edilen çalışmalarda, periyot ve yükseklik arasında kurulan doğrusal ilişkiler yerine Hong ve Hwang (2000), bina temel periyodunu daha önce değinilen bazı yönetmeliklerde olduğu gibi üstel bir fonksiyon ile belirlemeyi önermişlerdir.

$$T_1 = 0,0294 H^{0,804} \quad (2.27)$$

Hong ve Hwang (2000) ayrıca binanın temel periyodu ile binanın deprem doğrultusuna paralel boyutu arasındaki ilişkiyi de araştırmış ve denklem 2.28’deki bağıntıyı önermişlerdir.

$$T_1 = 0,0344 \frac{H^{0,803}}{D^{0,0429}} \quad (2.28)$$

Hong ve Hwang (2000) denklem 2.26’deki bağıntı ile bulunan sonuçları, Goel ve Chopra (1997)’nin önerdiği bağıntı ile bulunan sonuçlar ile karşılaştırmıştır. Sonuç olarak, Tayvan’daki binaların, Kaliforniya’daki binalardan daha rijit olduğu sonucuna varmışlardır. Bu durumun nedeninin iki ülkenin bina yapım uygulamaları arasındaki farklardan kaynaklandığı belirtilmiştir. Kaliforniya’da yapılan binalarda iç duvarların genellikle kuru duvar (alçıpan vb. panel bölme duvarlar) olarak adlandırılan duvar sistemi ile yapıldığı ifade edilmiştir. Tayvan’da ise iç duvarlarda tuğla hatta bazen beton paneller kullanıldığı ve bu nedenle Tayvan’daki binaların daha rijit olduğu sonucuna varılmıştır.

Gilles ve McClure (2008) Kanada, Montreal’de sekiz adet betonarme perde duvarlı binada çevresel titreşim ölçümleri gerçekleştirmişlerdir. Hızölçerler kullanılarak yapılan ölçümlerde alınan kayıtlar, frekans ortamında ayrışım yöntemi ile analiz edilerek binalara ait temel periyotlar belirlenmiştir. Çalışmanın amacı National Building Code of Canada 2005 (NBCC 2005)’te bulunan temel periyot bağıntılarının değerlendirilmesi ve yeni bir bağıntı önerilmesidir. Perde duvarlı betonarme bir binanın temel periyodunu, bina yüksekliğine bağlı olarak tahmin etmek için önerilen bağıntı denklem 2.29’da verilmiştir.

$$T_0 = 0,018 H^{1,007} \quad (2.29)$$

Chiauzzi vd., (2012) Kanada’nın Victoria ve Vancouver kentlerinde toplam 12 adet betonarme binada çevresel titreşim ölçümleri yapmışlardır. Ölçümler binanın en üst katında, giriş katında ve bina çevresinde zemin üzerinde yapılmıştır. Üç eksenli hızölçerler kullanılmış ve 128 Hz örnekleme aralığı ile 12’şer dakikalık kayıtlar

alınmıştır. Ölçülen binaların temel periyotları, bina yüksekliklerinin fonksiyonu olarak denklem 2.30'da görüldüğü gibi ifade edilmiştir.

$$T_0 = 0,037 H^{0,76} \quad (2.30)$$

Masi ve Vona (2009), çalışmalarında mevcut yaklaşık temel periyot bağıntılarını irdelenmişler ve Avrupa'da bulunan depreme dayanıklı olarak tasarlanmamış betonarme binalarda kullanılmak üzere yeni bir temel periyot-yükseklik bağıntısı önermişlerdir. Çalışmada hem nümerik modellerden hem de çevresel titreşim ölçümü verilerinden yararlanılmıştır. Depreme dayanıklı olarak tasarlanmayan binaları temsil etmek üzere, çeşitli yapısal düzensizlikleri (düşey düzensizlikler) de bulunan bina modelleri üretilmiş ve analiz edilmiştir. Ayrıca daha önce Gallipoli vd., (2006) tarafından çevresel titreşim ölçümleri yapılan İtalya'da bulunan 50 adet betonarme binanın temel periyotları da çalışma kapsamında irdelenmiştir. Nümerik modeller ve deneysel çalışmaların sonuçları kullanılarak; depreme dayanıklı olarak tasarlanmamış, dolgu duvarlı betonarme binalar için denklem 2.31'deki ilişki önerilmiştir.

$$T_0 = 0,055 H \quad (2.31)$$

Singapur, arazi azlığı nedeniyle nüfusun %80'inden fazlasının çok katlı konut tipi binalarda yaşadığı bir ülkedir. Deprem tehlikesi çok yüksek olmayan bir ülke olmasına karşın, Sumatra (Endonezya) kaynaklı depremlerin tehdidi altındadır. Pan, Goh ve Megawati (2014) Singapur'daki çok katlı binaların temel periyotları ve yükseklikleri arasındaki ilişkiyi belirleyebilmek amacıyla kat adetleri dört ve otuz arasında değişen 116 adet binada çevresel titreşim ölçümleri gerçekleştirmişlerdir. Binaların bulunduğu zemin özellikleri de dikkate alınarak yapılan regresyon analizleri sonucunda temel periyot ve yükseklik arasındaki ilişkiyi zemin tipine bağlı olarak tahmin eden bağıntılar tanımlanmıştır. Çalışmada çeşitli zemin türleri gruplandırılarak, yumuşak ve sert zeminler olmak üzere iki kategori tanımlanmıştır. Yumuşak zemin üzerindeki binaların temel periyodunu tahmin etmek için önerilen bağıntı denklem 2.32'de görülmektedir.

$$T_0 = 0,0372 H^{0,8325} \quad (2.32)$$

Sert zemin üzerindeki binaların yükseklikleri ve temel periyotları arasındaki ilişki ise denklem 2.33'te verilmiştir.

$$T_0 = 0,0244 H^{0,8840} \quad (2.33)$$

Pan, Goh ve Megawati (2014) irdeledikleri binalar için yaptıkları değerlendirmede yumuşak zemindeki binaların temel periyotlarının sert zemindeki binaların temel periyotlarından %40 daha uzun olduğunu belirtmişlerdir. Çalışma kapsamında, sürekli olarak titreşim ölçümleri alınan 19 adet binanın 30 Eylül 2009 Sumatra depremi sırasındaki tepkileri ölçülmüştür. Büyüklüğü  $M_w = 7,6$  olan deprem Singapur'dan 460 km uzakta gerçekleşmiştir. Singapur'da ana kaya üzerinde ölçülen en büyük yer ivmesi  $0,44 \text{ cm/s}^2$  olmuştur. Singapur'da zayıf yer hareketine neden olan bu depremde binalarda nonlineer davranış beklenmemektedir. Binalarda bu deprem sırasında alınan titreşim kayıtları kullanılarak belirlenen periyotlarla denklem 2.32 ve 2.33 kullanılarak tahmin edilen periyotlar karşılaştırılmış ve periyotlar arasındaki farkın %12'nin altında olduğu görülmüştür.

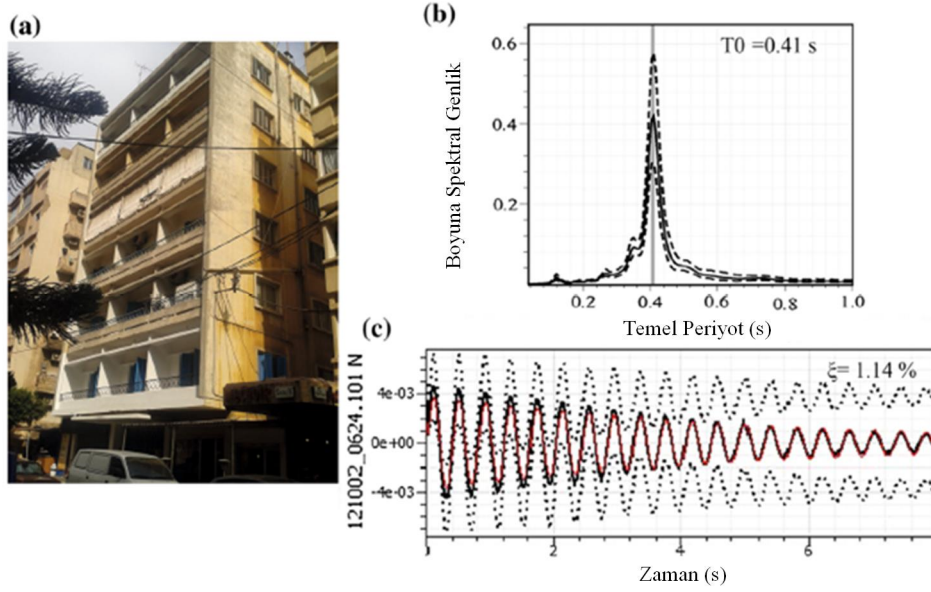
Al-Nimry vd., (2014) Ürdün'de 29 adet dolgu duvarlı betonarme binanın dinamik davranışını irdelemiştir. Binaların en üst katlarına yerleştirilen sensörler ile çevresel titreşim ölçümleri yapılmıştır. Binaların temel periyotları belirlenerek, Ürdün yönetmeliği (JNBC, 2005) ve bazı diğer yönetmeliklerde önerilen bağıntılar ile bulunan periyotlar ile karşılaştırılmıştır. Ölçümler ile bulunan periyotlar ve bina yükseklikleri kullanılarak yapılan regresyon analizleri sonucunda denklem 2.34'te verilen ilişki bulunmuştur.

$$T_0 = 0,0291 H^{0,71} \quad (2.34)$$

Salameh vd., (2016) Lübnan'ın başkenti Beyrut'un deprem riski ve hasar görülebilirlik değerlendirmesi çalışmaları kapsamında 330 adet betonarme binada titreşim ölçümleri gerçekleştirmişlerdir. Beyrut yakın çevresinde bulunan faylar nedeniyle sismik tehlikesi yüksek bir bölgededir. Yoğun şehirleşme ve depreme dayanıklı bina tasarımındaki eksiklikler de deprem tehlikesinin gerçekleşmesi durumunda oluşabilecek riskleri arttırmaktadır. Titreşim ölçümlerinde hızölçerler kullanılmıştır. Ölçümler binaların çatı katlarında yapılmış ve 15 dakikalık kayıtlar alınmıştır. Temel periyotlar, binanın iki ortogonal doğrultusunda, fourier genlik spektrumlarındaki en yüksek pikler seçilerek belirlenmiştir (Görsel 2.2). Temel periyotların, binaların yükseklikleri, plan boyutları ve yaşları gibi özellikleri ile korelasyonu araştırılmıştır. Yalnızca bina yüksekliğinin periyotla belirgin bir ilişkisi olduğu sonucuna varılmıştır. Çalışma kapsamında zemin temel frekanslarının da belirlenebilmesi amacıyla 615 noktada mikrotremör ölçümleri yapılmıştır. Zeminler temel frekanslarına göre kaya zeminler ve yumuşak zeminler olmak

üzere iki sınıfa ayrılmıştır. Belirgin bir H/V piki olmayan ya da H/V pik frekansı 20 Hz'den büyük olan zeminler kaya zemin olarak kabul edilmiştir. H/V pik frekansı (temel frekansı) 20 Hz'den küçük olan zeminler ise yumuşak zeminler olarak sınıflandırılmıştır.





**Görsel 2.2.** a) Ölçüm yapılan binanın fotoğrafı b) Fourier genlik spektrumu c) Sönüm eğrisi (Salameh vd., 2016)

Çalışmada, kaya zemin olarak sınıflandırılan bölgelerde bulunan binaların temel periyodunu tahmin etmek için önerilen bağıntı denklem 2.35'te görülmektedir.

$$T_0 \approx N/23 \quad (2.35)$$

Yumuşak zemin olarak sınıflandırılan bölgelerde bulunan binaların temel periyodunu tahmin etmek için önerilen bağıntı ise denklem 2.36'da verilmiştir.

$$T_0 \approx N/18 \quad (2.36)$$

Kaya ve yumuşak zemin sınıflandırması yapılmaksızın tüm veri için yapılan istatistiksel çalışmada ise denklem 2.37'deki bağıntı elde edilmiştir.

$$T_0 \approx N/19 \quad (2.37)$$

Önerilen bağıntılar kullanılarak tahmin edilen periyotlar ile Lübnan'da yürürlükte olan deprem yönetmeliğinde kullanılan  $T_0 = C_t H^{3/4}$  ifadesi ile bulunan periyotlar karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak yönetmelikte bir revizyon yapılarak, Beyrut ve çevresinin bina karakteristiğini daha iyi yansıtan, deneysel verilere dayanan bazı düzenlemeler yapılması önerilmiştir.

Doğrusal elastik, kuvvete dayalı bina tasarımında kullanılan periyot elastik temel periyottur. Temel periyodun küçük olması genel olarak güvenli tarafta kalındığı anlamına gelmektedir. Deplasmana dayalı tasarımda ya da mevcut bir yapının performansının

değerlendirilmesinde ise periyot uzadıkça deplasman talebi artmakta, bir başka deyişle tasarımda kullanılan temel periyodun büyük olması güvenli tarafta kaldığı anlamına gelmektedir. Bu durumda dikkate alınması gereken periyot elastik ötesi durumdaki periyot olmalıdır. Bu bölüme kadar irdelenen literatürdeki çalışmalar kuvvete dayalı tasarımda (eşdeğer deprem yükü yöntemi ya da mod birleştirme yöntemi) kullanılan elastik temel periyodun tahmin edilebilmesine yönelik çalışmalardan oluşmaktaydı. Elastik temel periyot kullanılarak belirlenen deplasman talebi olması gerekenden daha düşük olacak yani güvensiz tarafta kalınmış olacaktır. Crowley ve Pinho (2004) ise çalışmalarında mevcut yapıların deprem performansının deplasmana dayalı olarak belirlenmesinde kullanılması gereken periyodun tahmin edilebilmesi için bir periyot bağıntısı önermişlerdir. Çalışma, İtalya, Romanya, Yunanistan ve Portekiz’de bulunan 17 adet gerçek bina modellenerek yürütülmüştür. Binaların nümerik modelleri üzerinde özdeğer analizi, doğrusal olmayan statik analiz (pushover analizi) ve dinamik analiz (zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz) yapılarak periyot bağıntısı önerilmeye çalışılmıştır. Sonuç olarak mevcut yapıların deprem performansının deplasmana dayalı olarak değerlendirilmesinde kullanılmak üzere, akmış yani elastik ötesi durumdaki periyodu belirlemek amacıyla denklem 2.38’deki bağıntı önerilmiştir.

$$T_{akma} = 0,1 H \quad (2.38)$$

Görüldüğü gibi denklem 2.38’deki bağıntı ile bulunan periyot önerilen diğer bağıntılar ile bulunan periyotlardan çok daha uzun olacaktır.

### **2.3. Dolgu Duvarların Bina Periyodu Üzerine Etkilerini İrdeleyen Çalışmalar**

Nümerik bina modelleri kullanılarak binaların temel periyotları belirlenirken dolgu duvarlar ve diğer yapısal olmayan elemanlar, genelde yalnızca kütle olarak hesaba katılmaktadır. Dolgu duvarların bina rijitliğine dolayısıyla bina periyoduna olan katkısı ihmal edilmektedir. Dolgu duvarların kütle olarak dikkate alınıp rijitliğe olan katkısının dikkate alınmaması, binanın periyodunu gerçekçi olmayan biçimde uzatmaktadır.

Amanat ve Hoque (2006) dolgu duvarların betonarme binaların temel periyotları üzerine etkilerini irdelemek amacıyla; kat adetleri, kat yükseklikleri, dolgu duvar miktarları, açıklıkları farklı çok sayıda betonarme binanın üç boyutlu nümerik modellerini oluşturmuşlardır. Bu modeller üzerinde yapılan özdeğer analizleri ile belirlenen temel periyotlar literatürdeki mevcut bağıntılar ile bulunan periyotlar ile

karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir. Sonuç olarak dolgu duvarlı betonarme binaların temel periyotlarının tahmin edilmesinde kullanılmak üzere denklem 2.40'daki bağıntı önerilmiştir.

$$T_0 = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 C_t H^{3/4} \quad (2.40)$$

Denklem 2.40'daki  $C_t$  katsayısı, betonarme çerçeve binalar için 0,073 alınacaktır.  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  ve  $\alpha_3$  katsayıları ise Tablo 2.2, Tablo 2.3 ve Tablo 2.4'te görülmektedir.

**Tablo 2.2.** Açıklık uzunluğu modifikasyon katsayısı,  $\alpha_1$  (Amanat ve Hoque, 2006)

Açıklık (m)	$\alpha_1$
4	0,87
5	0,93
6	1,00
7	1,07
8	1,16

**Tablo 2.3.** Açıklık sayısı modifikasyon katsayısı,  $\alpha_2$  (Amanat ve Hoque, 2006)

Açıklık sayısı	$\alpha_2$
2	1,20
3	1,10
4 ve daha fazla	1,00

**Tablo 2.4.** Duvar miktarı (%) modifikasyon katsayısı,  $\alpha_3$  (Amanat ve Hoque, 2006)

Duvar miktarı (%)	$\alpha_3$
20	1,20
40	1,08
50	1,00
60	0,91
80	0,82

Tetik (2007), dolgu duvarların binanın periyoduna olan etkisini irdelediği çalışmasında, öncelikle tipik bir betonarme çerçeve binaların nümerik modeli üzerinden duvar alanı değiştirilerek yapılan analizlerle periyodun değişimi irdelenmiştir. Nümerik modellerde dolgu duvarlar, iki ucu mafsallı çubuk olarak tanımlanmıştır. Ayrıca, Kırşehir ilinde bulunan 12 adet betonarme binanın nümerik modelleri ve çevresel titreşim ölçümleri kullanılarak dolgu duvarların bina periyoduna etkileri incelenmiştir. Dolgu

duvarların bina rijitliğini önemli ölçüde arttırdığı ve bina periyodunda kısalmaya neden olduğu belirtilmiştir. Dolgu duvarların bina periyodunda %50-%70'e varan kısalmaya neden olduğu sonucuna varmışlardır.

Güler, Yüksel ve Koçak (2008), betonarme binalarda temel periyot ve yükseklik arasındaki ilişkiyi irdelemişlerdir. Dolgu duvarların bina temel periyoduna etkisini incelemek amacıyla, 12 katlı betonarme bir binanın temel periyodu, üç farklı inşaat aşamasında çevresel titreşim yöntemi ile ölçülmüştür. Ölçümler, bina karkas halinde iken, duvarları örüldükten sonra ve sıva tamamlandıktan sonra yapılmış ve temel periyotlar karşılaştırılmıştır. Duvarların ve sıvanın binanın periyodunu belirgin şekilde düşürdüğü sonucuna varmışlardır. Ölçümlerin yapıldığı binanın nümerik modeli oluşturulmuş ve bu modelden kat adetleri 4'ten 11'e kadar olan ve kat adetlerine bağlı olarak kolon boyutları değişen 8 farklı bina modeli türetilmiştir. Bina modellerinde duvarlar eşdeğer basınç çubuğu olarak tanımlanmıştır. Türetilen binaların nümerik modelleri analiz edilerek bulunan temel periyotlar ile bina yükseklikleri arasındaki ilişkiye bağlı olarak denklem 2.41'de görülen bağıntı önerilmiştir.

$$T_0 = 0,026 H^{0,90} \quad (2.41)$$

Önerilen bu bağıntı ile Tetik (2007)'nin titreşim ölçümü yaptığı binalardan beş adedinin periyotlarını tahmin ederek, bunları ölçülen periyotlar ile karşılaştırmışlardır. Rölatif hata oranının yaklaşık %13 olduğunu belirtmişlerdir. Denklem 2.41'de görülen bağıntı önerilirken kullanılan binanın titreşim periyotlarının düşük genlikli çevresel titreşim etkileri altında ölçüldüğü gerekçesiyle, bina tasarımında kullanılması gereken periyodun, denklem 2.41 ile bulunan periyodu, Goel ve Chopra (1997) ve UBC-1997 (UBC, 1997)'nin deprem sırasında yapılan ölçümler ile bulunan periyot değerlerine yaklaştırmak için denklem 2.42 ile belirlenmesi gerektiği ifade edilmiştir.

$$T_1 = 1,75 (0,026 H^{0,90}) \quad (2.42)$$

Ancak, Goel ve Chopra (1997) ve UBC-1997 (UBC, 1997)'deki bağıntıların inşaat pratiği Türkiye'den çok farklı olan Kaliforniya'daki betonarme çerçeveli binalar için geliştirildiği unutulmamalıdır.

Köse (2009), bina yüksekliği, çerçeve açıklığı sayısı, perde duvar alanının kat alanına oranı, dolgu duvar oranı ve çerçeve tipinin binanın temel periyoduna etkisini irdelemiştir. Çalışma kapsamında, seçilen parametreleri içeren 189 adet nümerik bina modeli üretilmiş ve üç boyutlu olarak sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilmiştir. Dolgu duvarlı

betonarme bina modellerinin periyotlarının, duvarsız olanlardan %5 ile 10 arasında daha kısa olduğu belirtilmiştir. Modeller ile bulunan temel periyotlar bazı yönetmeliklerdeki ampirik bağıntılar ile bulunan periyotlarla da karşılaştırılmıştır ve sonuç olarak temel periyodun tahmin edilebilmesi için denklem 2.43’de verilen bağıntı önerilmiştir.

$$T_0 = 0,1367 + 0,0301 H - 0,1663 S - 0,0305 I \quad (2.43)$$

Denklem 2.43’deki “*H*” parametresi bina yüksekliğini, “*S*” perde duvar alanının kat alanına oranını, “*I*” ise dolgu duvar alanının toplam panel alanına oranını ifade etmektedir.

Koçak ve Yıldırım (2011), dolgu duvarların betonarme binaların periyotlarına etkisini irdemişlerdir. Bu amaçla 3, 6, 9 ve 11 katlı nümerik bina modelleri oluşturmuşlar ve analiz etmişlerdir. Bina modellerinde farklı duvar alanı ve yerleşimi kombinasyonları yaparak duvarların binaların periyotlarına olan etkilerini incelemişlerdir. Çalışma sonunda, duvarlar dikkate alınmadan belirlenmiş salt çerçevenin periyodu ile duvarlar dikkate alındığı durumdaki periyot arasındaki farkı yüzde olarak ifade eden denklem 2.44’deki bağıntı ortaya koyulmuştur.

$$\Delta T = 69,1 A_k^{1,08} \quad (2.44)$$

$\Delta T$ , duvarlı ve duvarsız periyot arasındaki yüzde farkı,  $A_k$  ise kolon alanları ve dolgu duvar alanları toplamını ifade etmektedir. Dolgu duvarlı betonarme binaların temel periyodunun tahmin edilmesinde kullanılmak üzere denklem 2.45’deki bağıntıyı önermişlerdir.

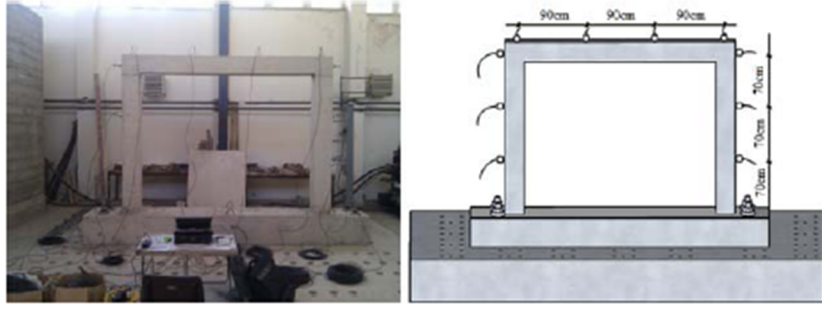
$$T_d = T_c (1 - \Delta T/100) \quad (2.45)$$

$T_d$ , dolgu duvarlı bina temel periyodu,  $T_c$  ise binanın dolgu duvarsız çerçeve sisteminin periyodudur.

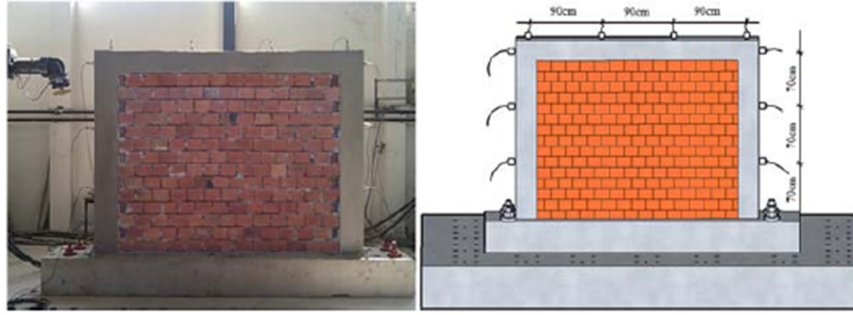
Özcan (2011), binaların dinamik özelliklerinin titreşim ölçümleri ile belirlenmesini irdelediği çalışmasının bir bölümünde dolgu duvarların bina davranışına etkilerini irdelenmiştir. Çalışma kapsamında irdelenen binalardan bazılarında dolgu duvarsız ve dolgu duvarlı olarak titreşim ölçümleri yapılmıştır. Ayrıca bu binaların nümerik modelleri üzerinde modal analizler gerçekleştirilmiş ve dolgu duvarların bina periyoduna etkisi incelenmiştir. Dolgu duvar katkısı nedeniyle doğal titreşim periyotlarında %10 ile %52 arasında kısalma olduğunu belirtmişlerdir.

Hatzigeorgiou ve Kanapitsas (2013), yapısal eleman olmadıkları için genelde nümerik modellemede dikkate alınmayan dolgu duvarların katkısını da içeren bir temel periyot bağıntısı önermeyi hedeflemişlerdir. Bu amaçla, Yunanistan'da inşa edilmiş 20 adet betonarme binanın üç boyutlu nümerik modellerini hazırlamışlardır. Modeller üzerinde özdeğer analizi yaparak binaların temel periyotları belirlenmiştir. Modellerde dolgu duvarların rijitliğe dolayısıyla temel periyoda olan katkısı göz önüne alınmıştır. Binanın üzerine inşa edildiği zeminin temel periyoda etkisini irdeleyebilmek amacıyla yapı-zemin etkileşimi de modellenmeye çalışılmıştır.

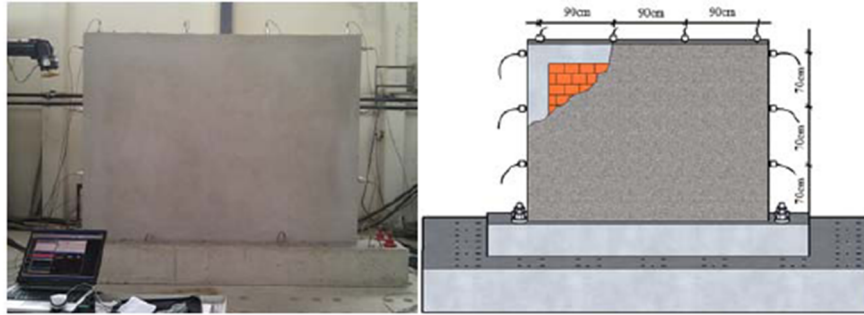
Arslan ve Durmuş (2014), yaptıkları deneysel çalışmada; tek katlı ve tek açıklıklı betonarme bir çerçevede ivmeölçerler kullanarak çevresel titreşim ölçümleri yapmışlardır. Çerçevenin içine dolgu duvarlar örüldükten sonra ve örülen duvarlar sıvandıktan sonra titreşim ölçümleri tekrarlanmıştır. Çevresel titreşim kayıtları, Geliştirilmiş Frekans Ortamında Ayrışım Yöntemi (GFOAY) ve Stokastik Altalan Belirleme Yöntemleri (SABY) ile analiz edilerek çerçevenin doğal periyotları, mod şekilleri ve sönüm oranlarını belirlemişlerdir. Görsel 2.3'te deney sistemi görülmektedir.



a) Boş çerçevede çevresel titreşim ölçümü



b) Duvarlı çerçevede çevresel titreşim ölçümü



c) Sıvalı çerçevede çevresel titreşim ölçümü

**Görsel 2.3.** Tek katlı, tek açıklıklı deney çerçevesinin üç farklı aşamada titreşim ölçümleri (Arslan ve Durmuş, 2014)

Çalışma sonucunda, dolgu duvarların ve sıvanın çerçevenin rijitliğini, mod şekillerini ve sönüm oranlarını değiştirdiğini görmüş ve özellikle dolgu duvarların binaların nümerik modellerinde dikkate alınması gerektiğini belirtmişlerdir.

### 3. TEZİN AMACI VE KAPSAMI

Literatürde betonarme binaların temel periyotlarının yaklaşık olarak belirlenmesine yönelik olarak yapılan çalışmalar incelendiğinde; önerilen periyot bağıntılarının herhangi bir bölgede kullanılabilmesi için bağıntı geliştirilirken kullanılan örnek binaların o bölgenin bina karakteristiğini doğru yansıtmamasının çok önemli olduğu görülmüştür. Betonarme taşıyıcı sistemde kullanılan malzemenin kalitesi ve buna bağlı olarak elastisite modülü değişkenlik gösterebileceği gibi taşıyıcı olmayan elemanların malzemeleri ve uygulama biçimleri de çok çeşitlilik göstermektedir. Örneğin Amerika'nın Kaliforniya eyaletinde bulunan betonarme binalarda dış duvarlar çoğu zaman cam cephe elemanlarıyla, iç bölme duvarlar ise genelde alçıpan vb. panellerle yapılmaktadır. Ülkemizde ise bölme duvar malzemesi olarak genelde tuğla bloklar kullanılmakta ve çoğu durumda tuğla blokların üzerine çimento harçlı sıva uygulanmaktadır (özellikle dış cephe ve ıslak hacim duvarlarında). Bu iki farklı uygulamadaki dolgu duvarların bina rijitliğine, dolayısıyla binanın temel periyoduna etkileri çok farklıdır. Bölgesel olarak farklılaşan bu yapı malzemesi ve uygulama örneklerini çoğaltmak mümkündür.

Dünyadaki çeşitli deprem yönetmeliklerinde kullanılan bağıntıların sınırlı sayıdaki kaynaktan (Amerika Birleşik Devletleri'nde yapılan bazı ölçümlerden veya teorik bazı yaklaşımlardan) beslendiği görülmektedir. Dünyanın çeşitli bölgelerinde, o bölgelerde bulunan betonarme binalar üzerinde yapılan deneysel ölçümlere dayanarak belirlenen temel periyot bağıntılarının önerildiği ve bu bağıntılar ile bulunan sonuçların büyük çoğunlukla mevcut yönetmeliklerdeki bağıntılarla bulunan sonuçlarla örtüşmediği görülmüştür. Bir bölgede yaygın olarak bulunan ve o bölgenin bina yapma geleneklerini ve kullanılan malzeme özelliklerini yansıtan tipik betonarme binalar üzerinde yapılan ölçümlere dayalı olarak belirlenen temel periyot bağıntıları, doğal olarak bağıntı önerilirken kullanılan binalarla benzer özellikteki binalarda daha gerçekçi sonuçlar vermektedir.

Ülkemizde ise bu konuda; Güler, Yüksel ve Koçak (2008)'ın önerdiği bir bağıntı bulunmaktadır. Bu bağıntı önerilirken, yalnızca bir adet betonarme binada çevresel titreşim ölçümü yapılmıştır. Binanın nümerik modeli oluşturulmuş ve bu modelden kat adetleri 4'ten 11'e kadar olan ve kat adetlerine bağlı olarak kolon boyutları değişen 8 farklı bina modeli türetilmiştir. Bina modelleri üzerinde yapılan dinamik analizler sonucu bulunan periyotlar kullanılarak yaklaşık bir temel periyot bağıntısı önerilmiştir. Koçak ve Yıldırım (2011) ise mevcut yapılar üzerinde herhangi bir titreşim ölçümü

yapmamışlardır. 3, 6, 9 ve 11 katlı nümerik bina modelleri oluşturmuşlardır. Bina modellerinde farklı duvar alanı ve yerleşimi kombinasyonları yaparak duvarların binaların periyotlarına olan etkilerini inceleyerek bir periyot bağıntısı önermişlerdir. Güler, Yüksel ve Koçak (2008) ve Koçak ve Yıldırım (2011) önerdikleri temel periyot bağıntıları ile buldukları sonuçları, Tetik (2007)'nin çalışması kapsamında titreşim ölçümleri yaptığı binaların sonuçları ile karşılaştırmışlardır.

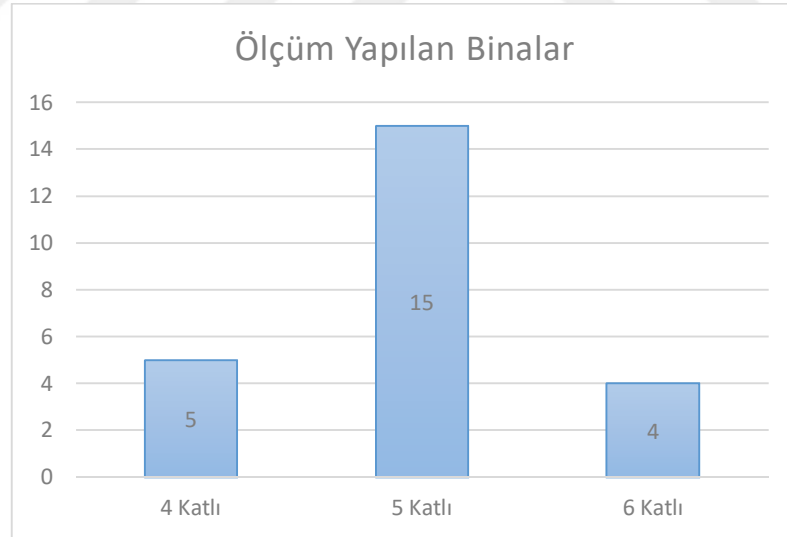
Görüldüğü gibi ülkemizdeki mevcut çalışmalar genellikle nümerik modelleme üzerine kurgulanmıştır. Sistemantik ve çok sayıda betonarme binada titreşim ölçümü yapılarak önerilmiş bir temel periyot bağıntısı bulunmamaktadır. Çalışmanın amacı, Türkiye'de nüfusun büyük çoğunluğunun yaşadığı, en yaygın konut tipi olan orta yükseklikteki, ayırık nizam betonarme binaların kuvvete dayalı yöntemlerle tasarımında kullanılmak üzere, gerçek binalarda yapılan çevresel titreşim ölçümü verilerine dayanarak geliştirilmiş bir elastik temel periyot-yükseklik bağıntısı önermektir. Bu doğrultuda, Eskişehir kent merkezinde bulunan ve kat adetleri 4-6 arasında değişen (Ülkemizde ve Eskişehir'de bulunan en yaygın konut tipidir: TÜİK 2011 verilerine göre Türkiye nüfusunun %25,5'i, Eskişehir nüfusunun ise %27,9'u 4 ve 5 katlı binalarda yaşamaktadır), inşaatı yeni tamamlanmış, iskân aşamasındaki 24 adet konut tipi, ayırık nizam betonarme binanın elastik temel periyotları, düşük genlikli çevresel titreşim ölçümleri kayıtlarından faydalanılarak belirlenmiştir. Ölçümlerde hızölçerler kullanılmıştır. Binaların temel periyotları, Geliştirilmiş Frekans Ortamında Ayrışım Yöntemi (GFOAY) ile elde edilen spektral yoğunluk fonksiyonları üzerinde "peak picking" yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Binaların nümerik modelleri, uygulamada yapıldığı gibi dolgu duvarların binanın yatay rijitliğine katkısı dikkate alınmadan oluşturularak, temel periyotlar modeller üzerinde yapılan özdeğer analizleri ve DBYBHY'de (2007) tanımlanan Rayleigh yöntemi ile belirlenmiştir. Rayleigh yöntemi ile ve dolgu duvarlar dikkate alınmadan yapılan nümerik modeller ile hesaplanan temel periyotlar ile çevresel titreşim ölçümleri ile belirlenen periyotlar arasındaki farklar irdelenmiştir. Ölçülen 24 adet betonarme binaya ait temel periyotların, bina yüksekliği ile ilişkisi araştırılmıştır. Regresyon analizi ile binanın temel periyodunu, bina yüksekliğine bağlı olarak belirleyen bir bağıntı önerilmiştir. Önerilen bağıntı, çeşitli yönetmeliklerdeki ve literatürdeki mevcut bağıntılarla karşılaştırılarak sonuçlar tartışılmıştır.

#### 4. DENEYSSEL YÖNTEM

Bu bölümde çalışma alanı, çalışma alanının jeolojisi ve çevresel titreşim ölçümü yapılan binaların çalışma alanı içindeki dağılımı ile ilgili bilgiler verilecektir. Ayrıca, ölçümlerin yapıldığı binaların nasıl belirlendiği ve bu binalarda ölçüm izinlerinin nasıl alındığı, binalarla ilgili hangi belgelerin, hangi kaynaklardan edinildiği ile ilgili detaylar aktarılacaktır. Binalarda yapılan titreşim ölçümlerinin hangi yöntemle ve hangi cihazlarla yapıldığı ve titreşim verilerinin analizinde kullanılan yöntemlerle ilgili bilgiler verilecektir.

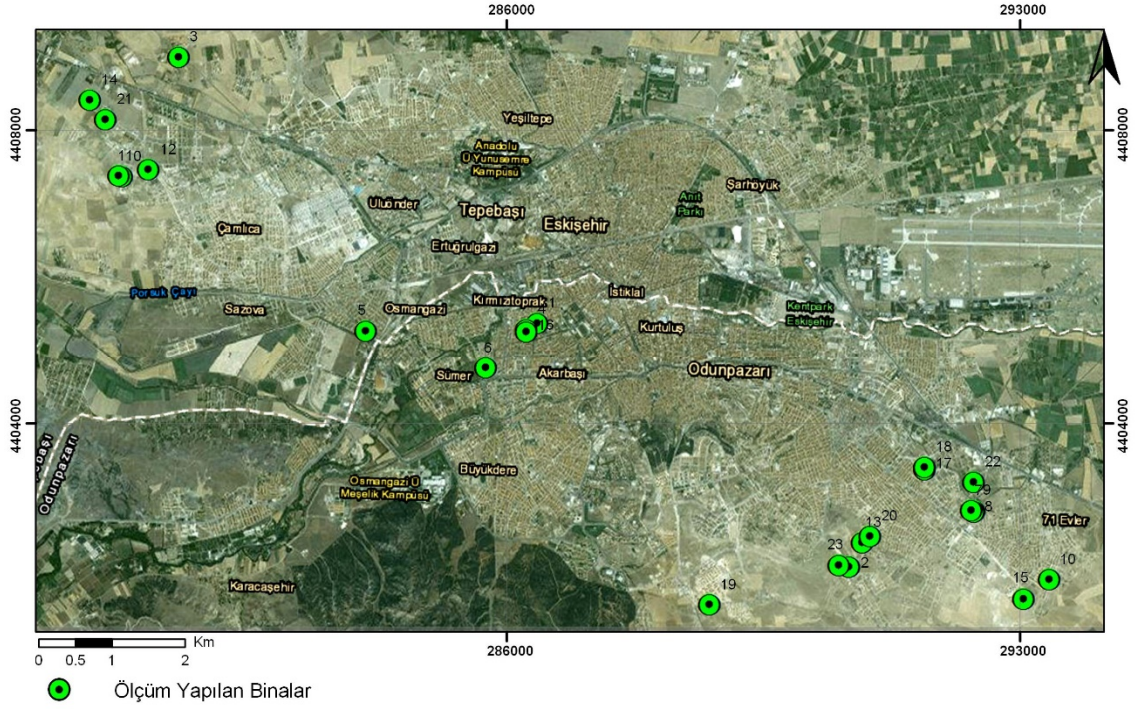
##### 4.1. Çalışma Alanı

Tez çalışması, Eskişehir şehir merkezinde bulunan kat adetleri 4 ve 6 arasında değişen 24 adet ayrık nizam, konut tipi betonarme binada yapılan titreşim ölçümleri ve bu binaların, ölçümler sonucunda belirlenen temel periyotları ile bina yükseklikleri arasındaki ilişkileri kapsamaktadır. Şekil 4.1'de çevresel titreşim ölçümü yapılan binaların kat adetlerinin dağılımı görülmektedir.



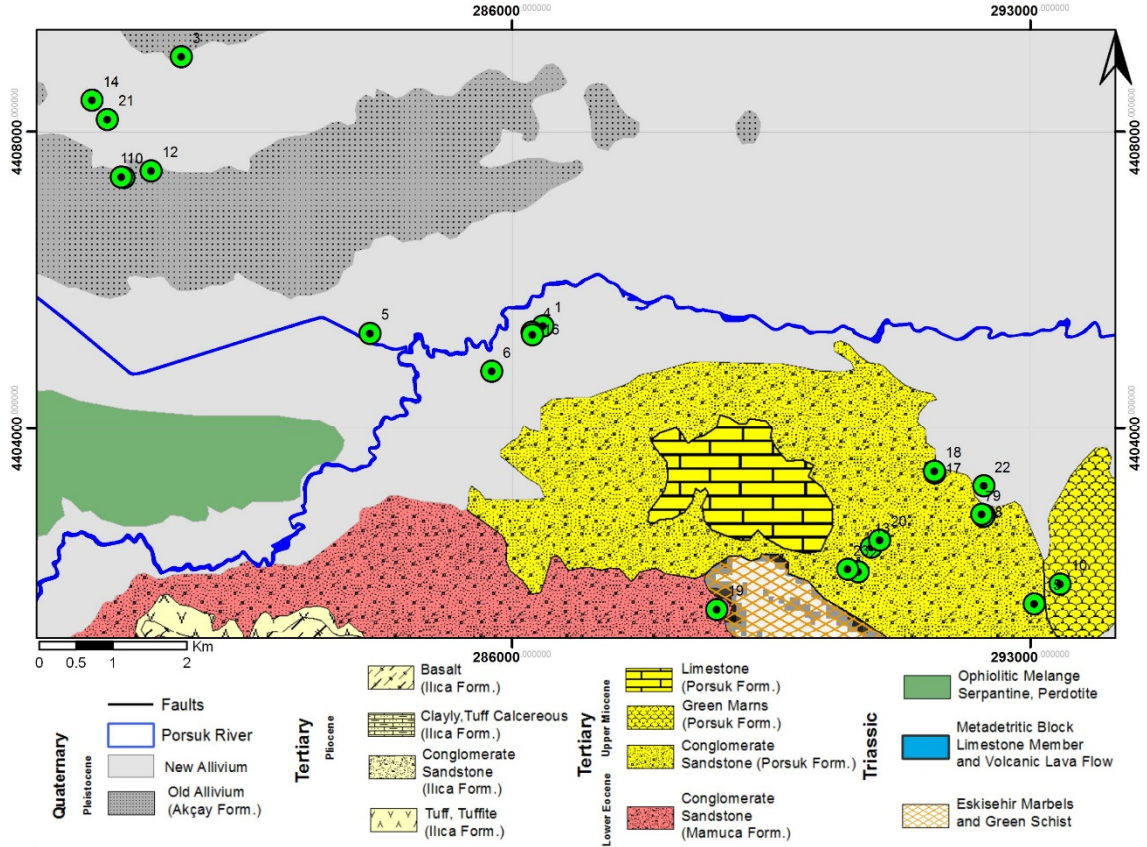
Şekil 4.1. Çevresel titreşim ölçümü yapılan binaların kat adetlerinin dağılımı

Çalışma, Eskişehir'in Odunpazarı ve Tepebaşı belediyeleri sınırları içinde gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.2'de çevresel titreşim ölçümü yapılan binaların çalışma alanı içindeki dağılımı görülmektedir.



**Şekil 4.2.** Çevresel titreşim ölçümü yapılan 24 adet binanın çalışma alanındaki dağılımı

Şekil 4.3'te ise çevresel titreşim ölçümü yapılan binaların bölgedeki jeolojik birimler üzerinde nasıl dağıldığı görülmektedir. Şekil 4.3 incelendiğinde binaların 12 adedinin alüvyon ve eski alüvyon birimler üzerinde bulunduğu, diğer 12 adedinin ise konglomera-kumtaşı birimler üzerinde bulunduğu görülmektedir. Şekil 4.3'te görülen jeoloji haritası Pekkan vd., (2015)'nin geliştirdikleri Orhan vd. (2007)'nin Eskişehir Jeoloji Haritası'dır.



**Şekil 4.3.** Çevresel titreşim ölçümü yapılan 24 adet binanın jeolojik birimler üzerinde dağılımı (Pekkan vd., 2015)

Çevresel titreşim ölçümleri, ayrıık nizam binalarda yapılmıştır. Bitişik nizam binalarda yapılan ölçümlerde, komşu bina ile ölçülen bina arasındaki dilatasyon özelliklerine bağlı olarak az ya da çok etkileşim oluşmaktadır. Ölçümler ile alınan kayıtların, bu etkilerden temizlenmesi bazı durumlarda mümkün olamamaktadır. Salameh vd., (2016) Beyrut şehir merkezinde gerçekleştirdikleri çalışmada bu zorluğa değinmişlerdir. Çalışma alanı içinde ölçüm yapılacak bina bulmak ve bina ilgililerinden gerekli izni almak kolay olmamıştır. Özellikle iskânın oluşmuş olduğu, insanların içinde hali hazırda yaşıyor olduğu binalarda ölçüm yapmak birkaç zorluğu içermektedir. Birinci ve en önemlisi, bina sahipleri ve yöneticilerinin çeşitli endişelerle (Binamızda problem çıkarsa ne yaparız? Çevreden ölçüm yapıldığını görenler binamızla ilgili şüphe duyarlar mı? Ölçüm için binamıza girecek olan insanlara güvenebilir miyiz? vb.) ölçüm için izin vermemesidir. Bir diğer zorluk, içinde insanların yaşadığı binalara, cihazları taşımak, yerleştirmek, ölçüm hazırlıklarını yapmak vb. operasyonel zorluklardır. Bunun yanında, çalışma kapsamında binaların nümerik modelleri de oluşturulacağından, mimari ve statik-betonarme projelerin de temin edilmesi gerekmektedir. Eski binaların projelerinin temin edilmesi de

çok güç hatta bazı durumlarda imkânsız olmaktadır. Bu zorluklar nedeniyle, iskân aşamasına gelmiş fakat henüz insanların taşınmadığı, yeni binalar tercih edilmiştir. Yeni binalarda, yukarıda sayılan sorunların çoğu ile karşılaşılmamıştır. Öncelikle bina sakinleri ve yönetimi gibi bir durum olmadığı için binada ölçüm izni almak için yüklenici ve/veya bina sahibinin izni yeterli olmaktadır. Bina ve dairelere giriş çıkış ve dolayısıyla ölçüm için yapılan operasyonel faaliyet çok daha kolay olmaktadır. Yeni binaların projelerini temin etmekte eski binalara göre daha kolaydır. Yeni binaların tercih edilmesinin en önemli nedenlerinden biri de önerilecek olan temel periyot bağıntısının, yeni binaların tasarımında kullanılmak üzere elastik temel periyotları belirlemeye yönelik olmasıdır. Çevresel titreşim ölçümü yapılan binaların bulunması, gerekli izinlerin alınması ve ilgili projelerin temin edilmesinde, Eskişehir’de yapı denetim firmalarında, proje bürolarında, inşaat şirketlerinde faaliyet gösteren firma sahibi ya da çalışanı, inşaat mühendisi, mimar ve yüklenicilerin çok büyük desteği olmuştur. Görsel 4.1’de çalışma kapsamında çevresel titreşim ölçümü yapılan binaların bazılarının fotoğrafları görülmektedir.

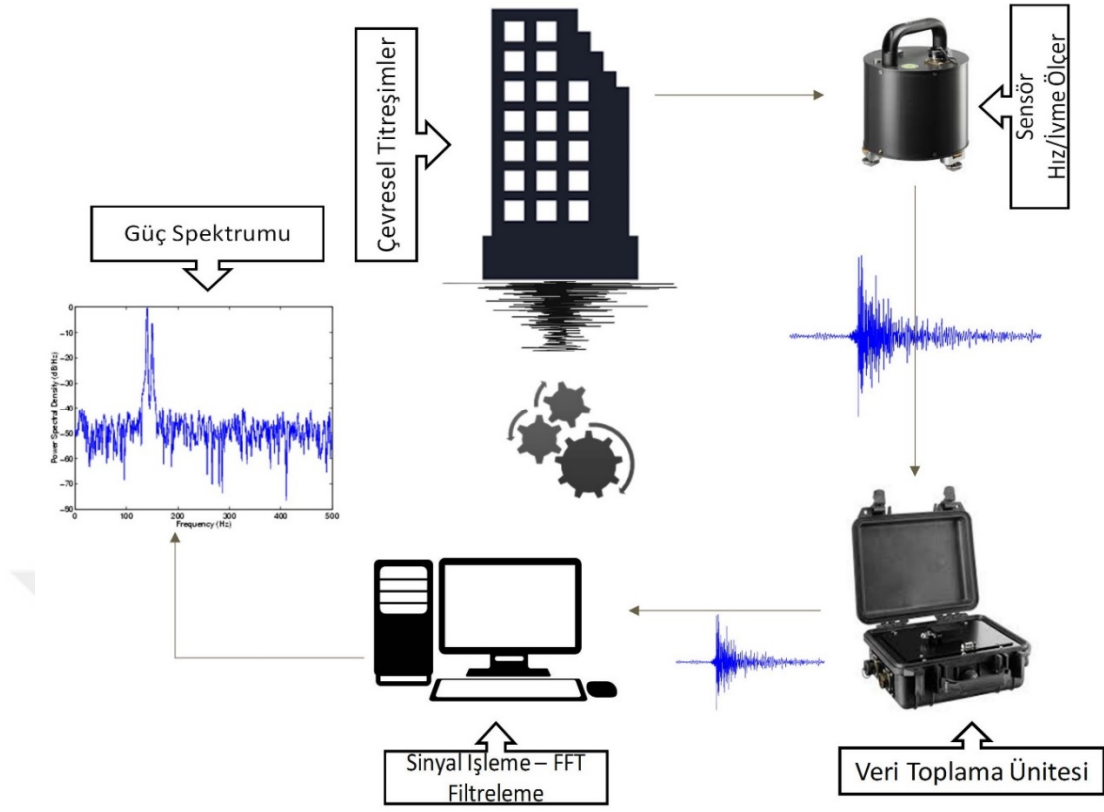


**Görsel 4.1.** Çevresel titreşim ölçümü yapılan binalardan bazıları

## 4.2. Titreşim Ölçümünde Kullanılan Yöntem

Mevcut binaların temel periyotlarının belirlenmesi için kullanılan en yaygın yöntem binalarda ivmeölçerler ya da hızölçerler kullanarak titreşim ölçümleri gerçekleştirmektir. Titreşim ölçümleri, ölçüm yapılacak olan binada titreşime neden olan kaynağın türüne göre farklılık göstermektedir. Bu titreşimler bazen deprem gibi doğal bir kaynaktan dolayı oluşurken (Celebi, 1996; Todorovska, 2009) sıklıkla patlama, ağır bir cismin düşürülmesi, titreşim çekici veya salınım yapan bir sarkaç gibi yapay kaynaklar ile üretilen titreşimler kullanılmaktadır (Trifunac, 1972; Crowley ve Pinho, 2004). Zorlanmış titreşim ölçümleri olarak da bilinen bu yöntemler ölçüm yapılacak binada ve çevresinde yaşayanları rahatsız eden, pahalı ve zaman alıcı yöntemlerdir. Zorlanmış titreşim ölçümlerinin bu dezavantajları bir alternatif yöntem arayışını doğurmuştur. Çevresel titreşim ölçümü konsepti ilk olarak Amerikan Ulusal Kıyı ve Jeodezik Araştırmalar Kurumu (USCGS)'nun Kaliforniya ve Montana eyaletlerindeki binalarda yaptığı titreşim ölçümleri sırasında ortaya koyulmuştur (Carder, 1937). Çevresel titreşim ölçümü, rüzgâr, insan aktiviteleri, trafik ve makine gürültüleri vb. düşük genlikli çevresel uyaranların binalarda meydana getirdiği titreşimlerin ölçülmesi esasına dayanmaktadır. Çevresel titreşim ölçümleri, hızlı, kolay, ucuz ve güvenilir olması (Asten, 1978; Asten ve Henstridge, 1984; Bonnefoy vd., 2006) ve hem binalarda (Trifunac, 1972; Farsi ve Bard, 2004; Mikael vd., 2013) hem de zemin ölçümlerinde (Nakamura, 1989; Lachetl ve Bard, 1994; Haghshenas vd., 2008) kullanılabilir olması nedeniyle hızla dünya çapında yaygınlaşmıştır. Trifunac (1972), çevresel titreşim ölçümü ile bulunan temel periyot ve sönüm oranlarının, zorlanmış titreşim ölçümleri ile bulunan temel periyot ve sönüm oranları ile uyumlu olduğu ve çevresel titreşim ölçümünün uygulama açısından çok daha pratik olduğunu belirtmiştir (Salameh vd., 2016).

Çevresel titreşim deneyinde sistemin rüzgâr, trafik gürültüsü, insan hareketi gibi çevresel etkilere verdiği tepkiler ölçülmektedir. Bu yöntemde sistemi etkileyen titreşimlerin genliklerinin ve zamanla değişimlerinin bilinmesine gerek yoktur. Çevresel titreşim etkileri altındaki bir sisteme, sensörler (ivmeölçerler veya hızölçerler) yerleştirilerek tepki sinyallerinin ölçülmesi işlemine çevresel titreşim ölçümü, ölçülen sinyallerin frekans ortamında ya da zaman ortamında işlenerek, temel periyot, mod şekilleri, sönüm oranı gibi dinamik parametrelerinin belirlenmesi işlemine ise Operasyonel Modal Analiz (OMA) denilmektedir. Şekil 4.4'te Operasyonel Modal Analiz'in nasıl uygulandığını gösteren bir akış şeması görülmektedir.



Şekil 4.4. Operasyonel Modal Analiz akış şeması

Literatür taraması bölümünde görüldüğü gibi mevcut temel periyot bağıntılarının çoğu çevresel titreşim ölçümü verileri kullanılarak geliştirilmiştir. Sınırlı sayıdaki çalışmada ise titreşimleri sürekli izlenen binalarda, deprem sırasında yapılan titreşim ölçümleri kullanılarak temel periyot bağıntısı önerilmiştir. Salameh vd., (2016)'ne göre çevresel titreşim ölçümü ile bulunan temel periyotlar, büyük genlikli sismik etkiler altında gerçekleştirilen zorlanmış titreşim ölçümleri ile bulunan temel periyotlar ile karşılaştırıldığında, binalarda ciddi düzeyde hasar görülmemesine rağmen yüksek genlikli titreşimler altındaki periyotların %10 ile 30 arasında uzadığı görülmüştür (McVerry ve Beck, 1983; Bard vd., 1992; Celebi, 1996; Satake ve Yokota, 1996; Meli vd., 1998; Irie ve Nakamura 2000; Mucciarelli vd., 2004; Michel, 2007). Periyotlardaki bu uzamanın, teorik olarak çatlamamış kabul edilen betonarme kesitlerde hali hazırda bulunan çatlakların yüksek genlikli titreşimler sırasında genişleyerek, etkin kesit alanının küçülmesi nedeniyle rijitlikte oluşan azalmaya bağlı olduğu değerlendirilmektedir (Michel vd., 2010).

Doğrusal elastik, kuvvete dayalı bina tasarımında temel periyodun küçük olması genel olarak deprem kuvvetinin belirlenmesinde güvenli tarafta kaldığı anlamına

gelmektedir. Kuvvete dayalı tasarımda elastik temel periyodun kullanılması uygundur. Deplasmana dayalı tasarımda ya da mevcut bir binanın deprem performansının deplasmana bağlı olarak değerlendirilmesinde ise periyot uzadıkça deplasman talebi artacağından tasarımda kullanılan temel periyodun büyük olması güvenli tarafta kaldığı anlamına gelmektedir. Mevcut bir binanın deprem performansının belirlenmesinde dikkate alınması gereken periyot elastik ötesi durumdaki periyot olmalıdır (Crowley ve Pinho, 2004). Tez çalışması kapsamında, doğrusal elastik, kuvvete dayalı bina tasarımında kullanılmak üzere bir periyot bağıntısı önerilmesi amaçlanmaktadır. Bu nedenle, çalışma kapsamında irdelenen binaların elastik temel periyotlarının belirlenmesi hedeflenmektedir. Gallipoli vd., (2009)'a göre çevresel titreşim ölçümleri ile bulunan temel periyotlar, binanın doğrusal elastik davranışını güvenilir bir şekilde temsil etmektedir. Çevresel titreşim ölçümü ile belirlenen temel periyotların bina, temel ve binanın oturduğu zemininin oluşturduğu sistemin dinamik davranışını çok iyi yansıttığını belirtmişlerdir. Ayrıca bu ölçümlerin, dolgu duvarların varlığı, pozisyonları ve özelliklerinin de etkilerini içerdiklerini vurgulamışlardır. Michel vd., (2010) çevresel titreşim ölçümü ile bulunan periyodun, stabil ve güvenilir bir deneysel veri olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmaları kapsamında irdeledikleri binalarda çevresel titreşim ölçümleri ile buldukları temel periyot-yükseklik bağıntısının kuvvete dayalı bina tasarımında güvenle kullanılabileceğini ifade etmişlerdir.

Bu çalışmada, binaların temel periyotları düşük genlikli çevresel titreşim ölçümleri ile alınan kayıtlar analiz edilerek belirlenmiştir. Bina-zemin etkileşimini belirlemeye yönelik bir çalışma yapılmamıştır. Ölçülen titreşimler, binanın betonarme taşıyıcı sistemi, dolgu duvarlar vb. yapısal olmayan elemanlar ve binanın oturduğu zeminin oluşturduğu bütün yapısal sistemi temsil etmektedir. Ölçüm yapılan binalarda, henüz insanlar yaşamaya başlamadığı için, yapılan titreşim ölçümleri ile bulunan temel periyotlar, binada oluşacak olan hareketli yüklerin etkisini içermemektedir.

#### 4.2.1. Çevresel titreşim ölçümünde kullanılan sensörlerin seçimi

Anadolu Üniversitesi Yer ve Uzay Bilimleri Enstitüsü envanterinde, binalarda çevresel titreşim ölçümlerinde kullanılan üç farklı sensör tipi bulunmaktadır. Dört adet üç eksenli ve dâhili veri toplama ünitesi Güralp CMG-5TCDE ivmeölçer, dört adet üç eksenli ve dâhili veri toplama ünitesi Güralp CMG-6TD hızölçer ve sekiz adet tek eksenli TDG Sensebox 7021 ivmeölçer ve 8 kanallı Testbox 2010 veri toplama ünitesi bulunmaktadır. Görsel 4.2’de Güralp CMG-6TD hızölçer ve yardımcı ekipmanları, Görsel 4.3’de Güralp CMG-5TCDE ivmeölçer ve yardımcı ekipmanları, Görsel 4.4’de ise TDG Sensebox 7021 ivmeölçer ve Testbox 2010 veri toplama ünitesi görülmektedir.



**Görsel 4.2.** *Güralp CMG-6TD hızölçer ve yardımcı ekipmanları*



**Görsel 4.3.** *Güralp CMG-5TCDE ivmeölçer ve yardımcı ekipmanları*



**Görsel 4.4.** *TDG Sensebox 7021 ivmeölçer ve TDG Testbox 2010 veri toplama ünitesi*

Operasyonel Modal Analiz yönteminde sensör seçimi birçok açıdan çok önemlidir. Öncelikle kullanılacak sensörlerin frekans aralığının çevresel titreşim ölçümleri yapılacak olan binaların frekans aralığına uygun olması gerekmektedir. Bir diğer önemli faktör ise ölçüm hassasiyetidir. Hassasiyet, ivmeölçerlerde ölçülen ivmeye karşılık, hızölçerlerde ise ölçülen hıza karşılık, cihazın üretebildiği elektrik voltajını ifade etmektedir ( $V/g$ ,  $V/ms^{-1}$ ). Kullanılacak sensörün hassasiyetinin yüksek olması istenir fakat hassasiyet arttıkça cihaz boyutu da büyümektedir. Cihazın boyutunun büyük veya küçük olması ve montaj şekli de cihazın ölçüme uygunluğunu etkilemektedir. Bazı cihazlar ölçüm yapılacak binanın yapı elemanlarına dübel ve vida ile monte edilirken, bazıları da yapıştırılmaktadır. Bazı cihazlar ise montaj yapılmadan yalnızca zemin üzerine konularak kullanılmaktadır. Ayrıca, çalışma sıcaklığı, sensörün ölçebileceği maksimum ivme ya da hız değeri de diğer önemli parametrelerdir. Tablo 4.1’de Yer ve Uzay Bilimleri Enstitüsü envanterinde bulunan üç sensörün bazı önemli teknik özellikleri verilmiştir.

**Tablo 4.1.** Sensör karşılaştırma tablosu

Marka	TDG	Güralp	Güralp
Model	Sensebox 7021	CMG-5TCDE	CMG-6TD
Eksen Sayısı	1	3	3
Sensör Tipi	Kuvvet geri beslemeli ivmeölçer	Kuvvet geri beslemeli ivmeölçer	Kuvvet geri beslemeli hızölçer
Çalışma Sıcaklığı	-40 +65°C	-20 +75 °C	-20 +65 °C
Frekans Aralığı	0,1 – 120 Hz	0 – 100 Hz	0,03 Hz – 100 Hz
Örnekleme Aralığı	200 Hz	100 Hz	100 Hz
Hassasiyet	2,4 V/g	10,2 V/g	2400 V/ms <sup>-1</sup> (2*1200 V/ms <sup>-1</sup> )
Veri Toplama Ünitesi	Harici (24-Bit)	Dâhili (24-Bit)	Dâhili (24-Bit)
Veri Depolama	Harici Disk	Dâhili Disk	Dâhili Disk
Ağırlık	0,5 kg	3.5 kg	3 kg

Tez çalışması kapsamında ölçüm yapılması planlanan 4-6 katlı konut tipi betonarme binaların temel periyotlarının 0,1 s. ile 1 s. (1 Hz – 10 Hz) arasında değişebileceği öngörülmektedir. Tablo 4.1’de görüldüğü gibi her üç sensörün de ölçüm yapabileceği frekans aralığı, öngörülen frekans aralıklarına uygundur. Bina titreşimlerinin ölçülmesinde kullanılması planlanan sensörleri insan kulağına benzetir ve binaların çıkardığı seslerin işitmeye çalışıldığını varsayarsak, mevcut sensörlerin üçünün de binaların çıkaracağı sesleri duyabileceğini ifade edebiliriz. Bu noktada, önemli olan olgu sesin ne kadar net işitilebildiği ve çevreden gelen diğer seslerden ne kadar ayırt edilebildiğidir. Örneğin bir kaynaktan çıkan sesin ne sesi olduğunu bazı insanlar ayırt edebilirken bazı insanlar sesi duymalarına rağmen duydukları sesin ne sesi olduğunu ayırt edemezler. Titreşim sensörlerinde de aynı durum söz konusudur. Sensörlerin bu konudaki üstünlüklerini belirleyen parametrelerin başında cihazın hassasiyetinin ve sinyalin gürültüye oranının (signal to noise ratio / SNR) yüksek olması gelmektedir. Sensör seçiminde etkili olan bir diğer önemli ölçüt ise tek bir cihaz ile kaç doğrultuda ölçüm yapılabildiği, yani eksen sayısıdır. Diğer önemli kıstaslar ise cihazın fiziksel boyutları, montaj kolaylığı vb. operasyonel detaylardır. Bu konuda literatürde sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Bunlardan en kapsamlısı Guillier vd. (2008)’nin 12 sayısallaştırıcı (veri toplama ünitesi) ve 18 sensör (ivmeölçer ve hızölçerler) üzerinde yaptıkları karşılaştırma çalışmasıdır. Yaptıkları karşılaştırma sonunda genel olarak sayısallaştırıcıların daha kararlı olduğu fakat ölçümler üzerinde sensörlerin etkilerinin daha karmaşık olduğu ve bazı durumlarda sorunlara neden olabildiği sonucuna varılmıştır. Hızölçerlerin, yüksek hassasiyetleri nedeniyle, ivmeölçerlere kıyasla daha iyi sonuçlar verdiği karşılaştırmalar olduğu belirtilmiştir. Çalışma kapsamında envantere bulunan sensörlerden hangilerinin kullanılacağını belirlemek amacıyla yukarıda sayılan kıstaslar göz önünde bulundurularak bir dizi ölçüm gerçekleştirilmiştir. İlk ölçümde, mevcut sensörlere ilave olarak, Uludağ Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümüne ait KB12VD modeli tek eksenli ivmeölçer cihazı da karşılaştırma amaçlı olarak kullanılmıştır.

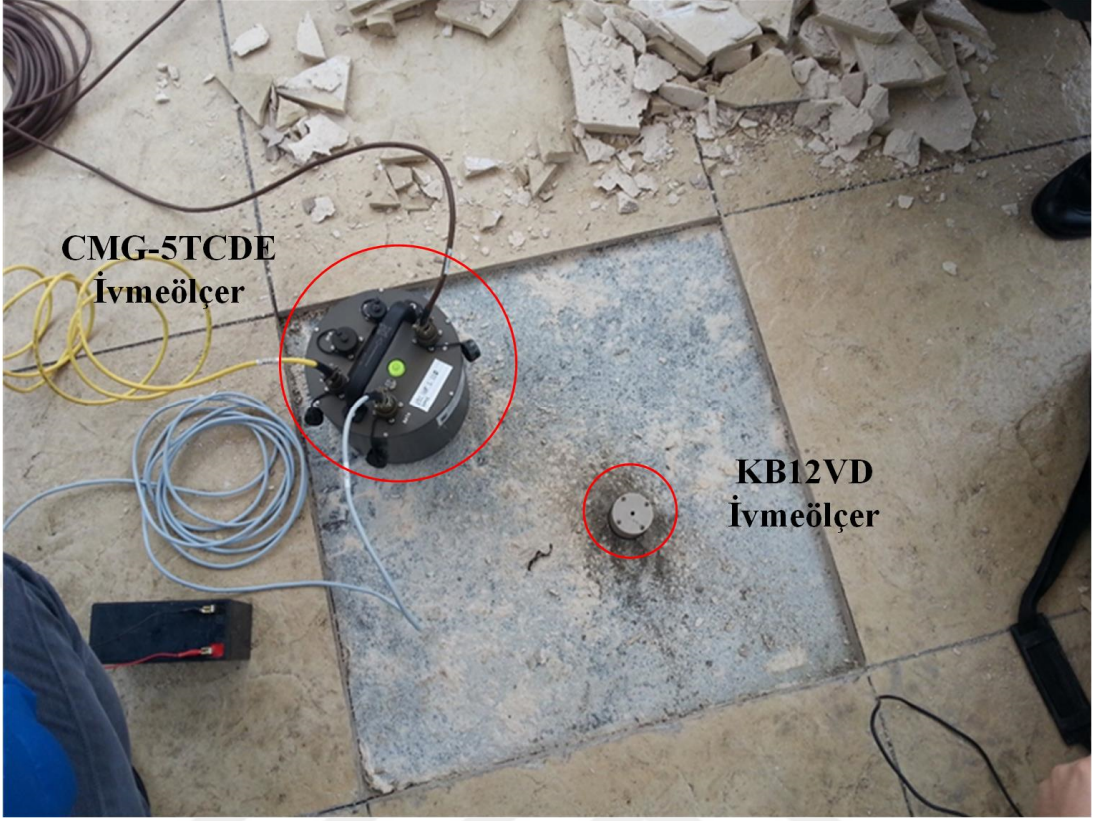
#### ***4.2.1.1. KB12VD ivmeölçer ile CMG-5TCDE ivmeölçerlerin karşılaştırılması***

Karşılaştırma ölçümlerinden ilki, çalışma kapsamında yapılacak olan ölçümlerde, ölçüm yapılan binalara hiçbir zarar vermeden ölçüm yapabilmek amacıyla, sensörleri yapı elamanlarına vidalama, yapıştırma vb. yöntemlerle bağlamadan ölçüm yapıp yapılamayacağını irdelemek için yapılmıştır. Uludağ Üniversitesi İnşaat Mühendisliği

Bölümü ile ortak yürütülen çalışmada, Bursa şehir merkezinde yer alan bir otelin, büyük açıklıklı konferans salonunun üstünde yer alan, Görsel 4.5’te görülen açık terasta çevresel titreşim ölçümleri yapılmıştır. Fayans ile kaplı olan terasta, fayanslardan bir tanesi alınarak beton yüzey ortaya çıkarılmıştır. Beton yüzey matkapla delinerek Uludağ Üniversitesi’ne ait KB12VD modeli tek eksenli ivmeölçer düşey ekseninde titreşim ölçümü yapacak şekilde dübel ve vida kullanılarak monte edilmiştir. Uludağ Üniversitesi sensörünün hemen yanına CMG-5TCDE ivmeölçerlerden bir tanesi çıplak beton yüzeyi üzerine montaj yapılmadan konulmuştur (Görsel 4.6).



**Görsel 4.5.** Çevresel titreşim ölçümleri yapılan açık teras (Bursa)



**Görsel 4.6.** *CMG-5TCDE ve Uludağ Üniversitesi ivmeölçerinin (KB12VD) beton yüzeyi üzerine uygulaması*

Tez çalışması kapsamında ölçüm yapılacak binalarda fayansların kaldırılarak sensörlerin beton yüzey üzerine konulma imkânı olmayacağı bilindiğinden, bir diğer CMG-5TCDE ivmeölçer fayans kaplamanın üzerine montaj yapılmaksızın konulmuştur (Görsel 4.7). Bu ölçüm sistemi sayesinde, beton yüzeye ankrajlanan KB12VD modeli ivmeölçer ile bulunan periyot sonuçları referans kabul edilerek, beton üzerinde ve fayans kaplama üzerinde montaj yapılmadan konulan CMG-5TCDE ivmeölçerler ile elde edilen periyot sonuçları ile karşılaştırılmıştır.



**Görsel 4.7.** Fayans kaplama üzerine yerleştirilen CMG-5TCDE ivmeölçer

Üç ivmeölçer ile eş zamanlı olarak alınan çevresel titreşim ölçümü verileri frekans ortamında ayrışım yöntemi ile analiz edilerek, teras döşemesinin düşey doğrultudaki titreşim periyotları Tablo 4.2’de gösterilmiştir.

**Tablo 4.2.** Teras döşemesinin düşey doğrultudaki titreşim periyotları

	1.Mod Periyodu (s)	2. Mod Periyodu (s)
(a) KB12VD (Betona monte edilmiş)	0,1814	0,1362
(b) CMG-5TCDE (Beton üzerinde)	0,1805	0,1359
(c) CMG-5TCDE (Fayans üzerinde)	0,1805	0,1383
(%) (b-a)/a	-0,5	-0,2
(%) (c-a)/a	-0,5	1,5
(%) (c-b)/b	-	1,7

Betona ankrajlanan KB12VD ivmeölçeri referans kabul edildiğinde, hem beton yüzey üzerine hem de fayans kaplama üzerine konulan CMG-5TCDE ivmeölçerler ile bulunan periyotların betona ankrajlanmış olan referans ivmeölçer ile bulunan sonuçlar ile çok

yakın olduğu görülmüştür. Ayrıca, beton üzerine konulan CMG-5TCDE ivmeölçer ile fayans üzerine konulan CMG-5TCDE ivmeölçer ile birinci mod periyodu için aynı sonucun bulunduğu görülmüştür. Bu karşılaştırmanın sonucu, CMG-5TCDE ivmeölçerlerin montaj gerektirmeden kaplama üzerine konularak uygulanabileceği görülmüştür. Bu durumun ölçümlerin yapılacağı binalarda, bina sahiplerinden izin alabilmeyi kolaylaştıracağı değerlendirilmiştir.

İki farklı karşılaştırma çalışması daha yapılmıştır. Birinci çalışmada, TDG Sensebox 7021 (TDG-7021) ivmeölçer ile CMG-5TCDE ivmeölçerler karşılaştırılmıştır. İkinci çalışmada ise CMG-6TD hızölçerler ile CMG-5TCDE ivmeölçerler karşılaştırılmıştır.

#### **4.2.1.2. TDG-7021 ivmeölçerler ile CMG-5TCDE ivmeölçerlerin karşılaştırılması**

Tez çalışması kapsamında ölçüm yapılan binalardan biri olan BN01 kodlu dört katlı konut tipi betonarme bina karkas aşamasında iken TDG-7021 ivmeölçerler ile CMG-5TCDE ivmeölçerlerin eş zamanlı olarak kullanıldığı bir ölçüm gerçekleştirilmiştir. Binanın son katında betonarme döşeme üzerinde binanın dört köşesine üç eksenli CMG-5TCDE ivmeölçerler Görsel 4.8’de görüldüğü gibi koyulmuştur.



**Görsel 4.8.** BN01 kodlu bina karkas aşamasında iken CMG-5TCDE ivmeölçerler ile çevresel titreşim ölçümü

Eş zamanlı olarak sekiz adet tek eksenli TDG-7021 ivmeölçer ise son kat kolonlarının üst uçlarına (kiriş seviyesinde) dübel ve vida ile monte edilmiştir. TDG-7021 ivmeölçerler, kablolar ile sekiz kanallı Testbox-2010 veri toplama ünitesine bağlanmıştır (Görsel 4.9).



**Görsel 4.9.** BN01 kodlu bina karkas aşamasında iken TDG-7021 ivmeölçerler ile çevresel titreşim ölçümü

TDG-7021 ivmeölçerlerin yapı elemanlarına montajı ve veri toplama ünitesine kablolar ile bağlantı işlemi hem zor hem de zaman alıcıdır. TDG sisteminde kablolama işlemi, hem verilerin eş zamanlı olarak toplanması hem de veri toplama ünitesine aktarılması için zorunludur. Özellikle, cihazların yapı elemanlarına dübel ile montajlanması, ölçüm yapılması planlanan ince işleri tamamlanmış binalarda, bina sahiplerinden izin alınması konusunda dezavantaj oluşturmaktadır. CMG-5TCDE ivmeölçerlerde ise montaj gerekmediği gibi herhangi bir kablolama işlemine de gereksinim bulunmamaktadır. Veriler, cihazların dâhili hafızalarında depolanmaktadır. Eş zamanlı ölçüm alma işlemi ise küresel konumlama sistemi (GPS) senkronizasyonu ile sağlanmaktadır. Görsel 4.10'da CMG-5TCDE ivmeölçerlerin zaman senkronizasyonunda kullanılan GPS anteni ve kablosu görülmektedir.



**Görsel 4.10.** GPS Anteni ve kablosu

BN01 kodlu bina karkas aşamasındayken TDG-7021 ve CMG-5TCDE ivmeölçerleri ile belirlenen ilk üç mod periyotları Tablo 4.3'te sunulmuştur. İvmeölçerler binanın dört köşesine yerleştirildiği için burulma davranışı da belirlenebilmiştir. Periyotlar incelendiğinde sonuçların birbirine çok yakın olduğu görülmektedir.

**Tablo 4.3.** BN01 kodlu binanın karkas aşamasındaki ilk üç mod periyotları

	X yönü Periyodu (s)	Y yönü Periyodu (s)	Burulma Periyodu (s)
(a) TDG-7021	0,2652	0,2008	0,2124
(b) CMG-5TCDE	0,2659	0,2047	0,2155
(%) (b-a)/a	0,3	1,9	1,6

TDG-7021 ve CMG-5TCDE ivmeölçerler arasında yapılan karşılaştırmada, CMG-5TCDE ivmeölçerlerin montaj ve kablolama ihtiyacı olmadığı için çok daha pratik olduğu görülmüştür. CMG-5TCDE ivmeölçerler ile deney sisteminin kurulması işlemi, TDG-7021 ivmeölçerlere göre yaklaşık üç kat daha hızlıdır. Ayrıca tez çalışması kapsamında iskân aşamasındaki yeni binalarda ölçümler yapılacağından dübel kullanılarak ivmeölçer montajı yapılmasının, bina sahiplerinden izin alınmasını zorlaştıracığı da değerlendirilmiştir.

#### 4.2.1.3. CMG-5TCDE ivmeölçerler ile CMG-6TD hızölçerlerin karşılaştırılması

BN01 kodlu binanın duvarları örülmüş durumdayken CMG-5TCDE ivmeölçerler ile CMG-6TD hızölçerlerin eş zamanlı olarak kullanıldığı bir ölçüm gerçekleştirilmiştir. Binanın en son katında, binanın dört köşe noktasında yan yana yerleştirilen üç eksenli CMG-5TCDE ivmeölçerler ile CMG-6TD hızölçerler Görsel 4.11’de görülmektedir.



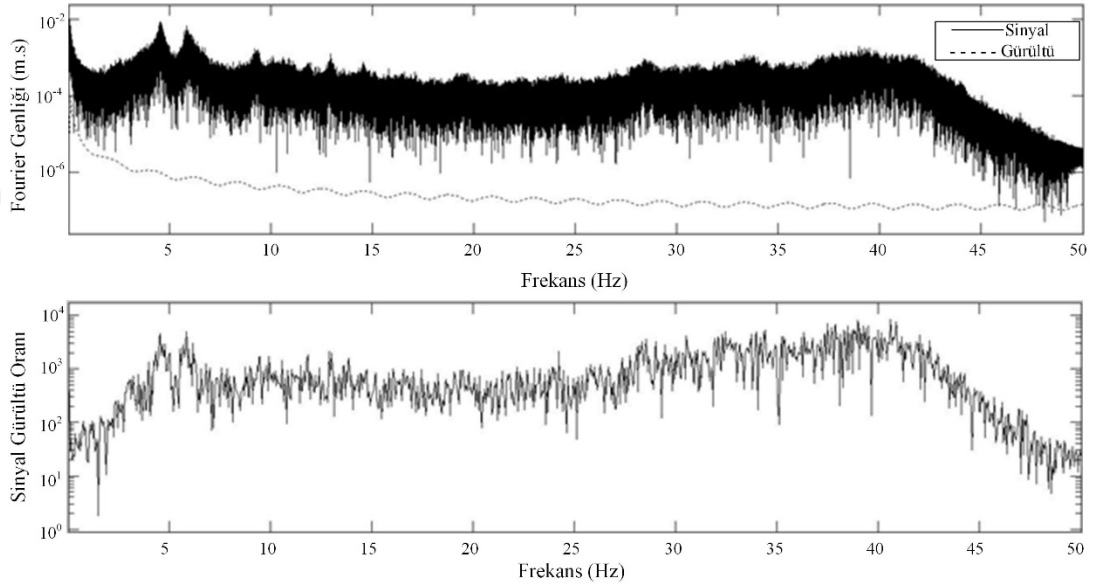
**Görsel 4.11.** BN01 kodlu binanın duvarları örülü iken CMG-5TCDE ivmeölçerler ve CMG-6TD hızölçerler ile çevresel titreşim ölçümü

BN01 kodlu binada duvarlar örülü durumdayken CMG-5TCDE ivmeölçerler ve CMG-6TD hızölçerler ile belirlenen ilk üç mod periyotları Tablo 4.4’te görülmektedir.

**Tablo 4.4.** BN01 kodlu binanın duvarları örülü durumdayken ilk üç mod periyotları

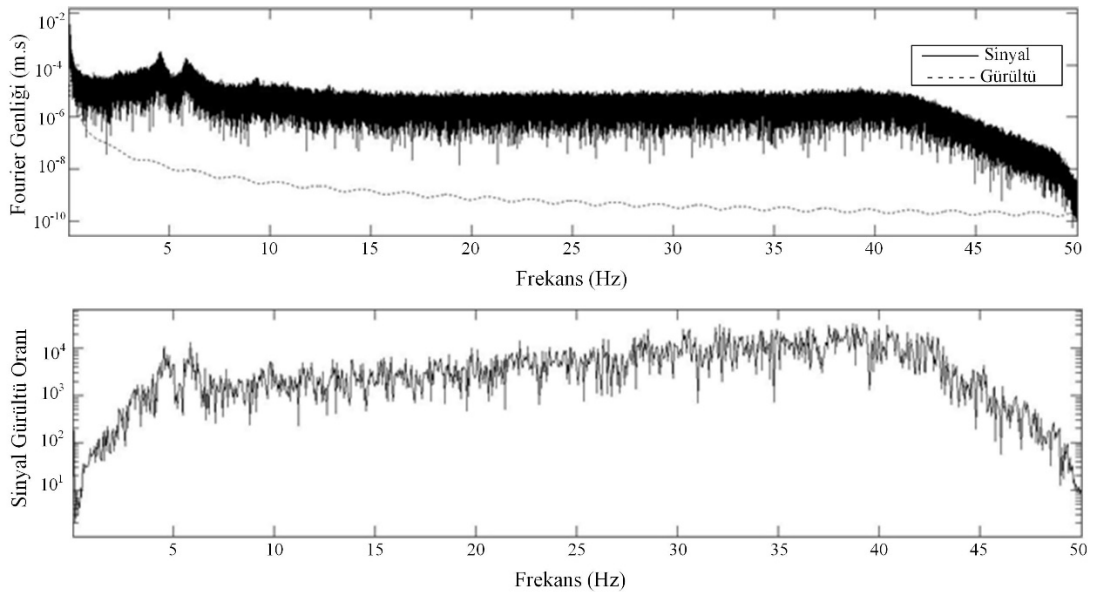
	X yönü Periyodu (s)	Y yönü Periyodu (s)	Burulma Periyodu (s)
(a) CMG-6TD	0,2203	0,1626	0,1706
(b) CMG-5TCDE	0,2203	0,1626	0,1706
(%) (b-a)/a	0	0	0

Tablo 4.4'te görüldüğü gibi, CMG-5TCDE ivmeölçer ve CMG-6TD hızölçer ile eş zamanlı olarak yapılan çevresel titreşim ölçümü sonucunda alınan verilerin frekans ortamında analizi sonucunda bulunan ilk üç mod periyotlarının birbiri ile tam olarak örtüştüğü görülmüştür. Bu ölçümde iki sensör grubu, sensör seçiminde önemli kriterlerden biri olan sinyal-gürültü oranı (SNR) açısından da karşılaştırılmıştır. CMG-5TCDE ivmeölçerlerden birine ait SNR grafiği Şekil 4.5'te görülmektedir.



**Şekil 4.5.** CMG-5TCDE ivmeölçerler için SNR grafiği

CMG-6TD hızölçerlerden birine ait SNR grafiği ise Şekil 4.6'da görülmektedir.



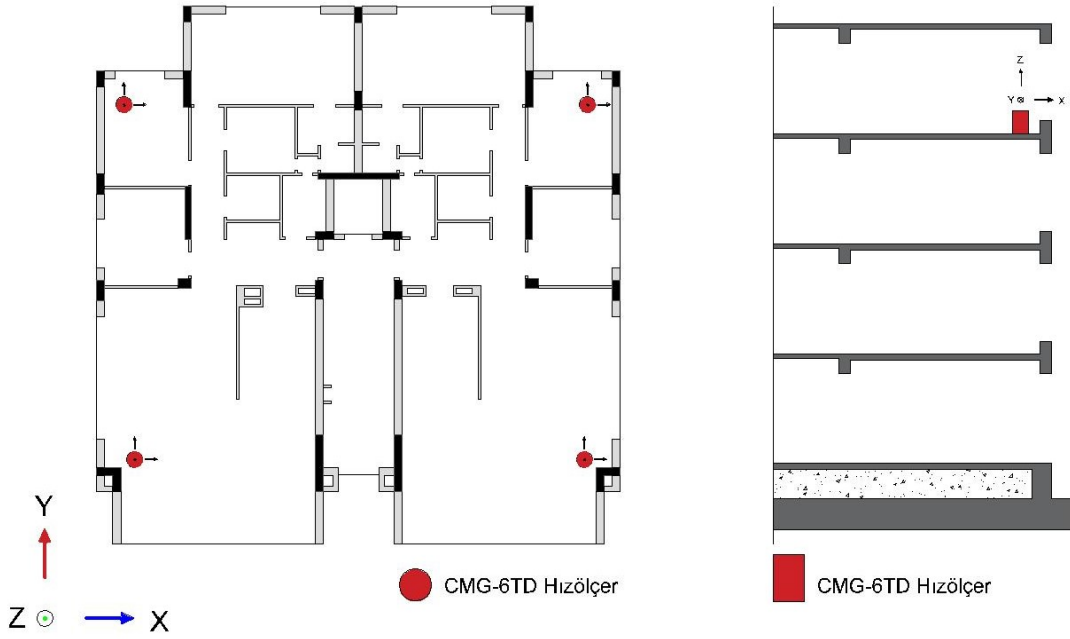
**Şekil 4.6.** CMG-6TD hızölçerler için SNR grafiği

Şekil 4.5 ve Şekil 4.6’da görüldüğü gibi her iki sensörde de yüksek frekanslardaki SNR oranı, düşük frekanslara göre daha yüksektir. Ölçüm yapılan binanın titreşim frekanslarında (5 Hz civarı) ve daha yüksek frekanslarda ise hızölçere ait SNR oranının ivmeölçere göre daha yüksek olduğu görülmektedir. CMG-5TCDE ivmeölçerler ile CMG-6TD hızölçerlerin karşılaştırıldığı bu son ölçüm ile sensör seçimi için yapılan çalışmalar tamamlanmış ve aşağıda özetlenen bulgulara ulaşılmıştır.

İrdelenen üç sensörün de ölçüm yapılacak olan binaların temel periyotlarını güvenilir bir şekilde belirleyebileceği görülmüştür. TDG-7021 ivmeölçerler yapı elemanlarına dübel ve vida ile veya yapıştırılarak montajlanmak zorundadır. Sıvası ve boyası tamamlanmış olan iskân aşamasındaki binalarda ölçüm yapılacağı düşünüldüğünde, bu durumun ölçüm yapılacak olan binalarda, bina sahiplerinden izin almayı güçleştireceği değerlendirilmiştir. Ayrıca, TDG-7021 ivmeölçerlerin yapı elemanlarına montajı ve veri toplama ünitesine kablolar ile bağlantı işlemi hem zor hem de zaman alıcıdır. TDG-7021 serisi tek eksenli ivmeölçerler, yukarıda sayılan göreceli dezavantajları nedeniyle bu çalışma için uygun bulunmasalar da, küçük boyutları ve düşey yüzeylere monte edilebilir olmaları nedeniyle bazı özel durumlarda daha avantajlı olabilecekleri düşünülmektedir. CMG-5TCDE ivmeölçerler ile CMG-6TD hızölçerler arasında operasyonel açıdan bir fark bulunmamaktadır. Her iki sensör de ölçüm yapılacak olan binaya herhangi bir zarar vermeden, zemin kaplaması üzerine konularak (montaj yapılmadan) titreşim ölçümü yapabilmektedir. İki sensörün karşılaştırıldığı çalışmada binanın ilk üç modları aynı bulunmuş fakat buna ek olarak CMG-6TD hızölçerlerin SNR oranlarının CMG-5TCDE ivmeölçerlerden daha yüksek olduğu görülmüştür. Sonuç olarak bu çalışmada yapılacak olan çevresel titreşim ölçümlerinde, CMG-6TD hızölçerlerin kullanılmasına karar verilmiştir.

### 4.3. Çevresel Titreşim Ölçümü Verilerinin Toplanması ve İşlenmesi

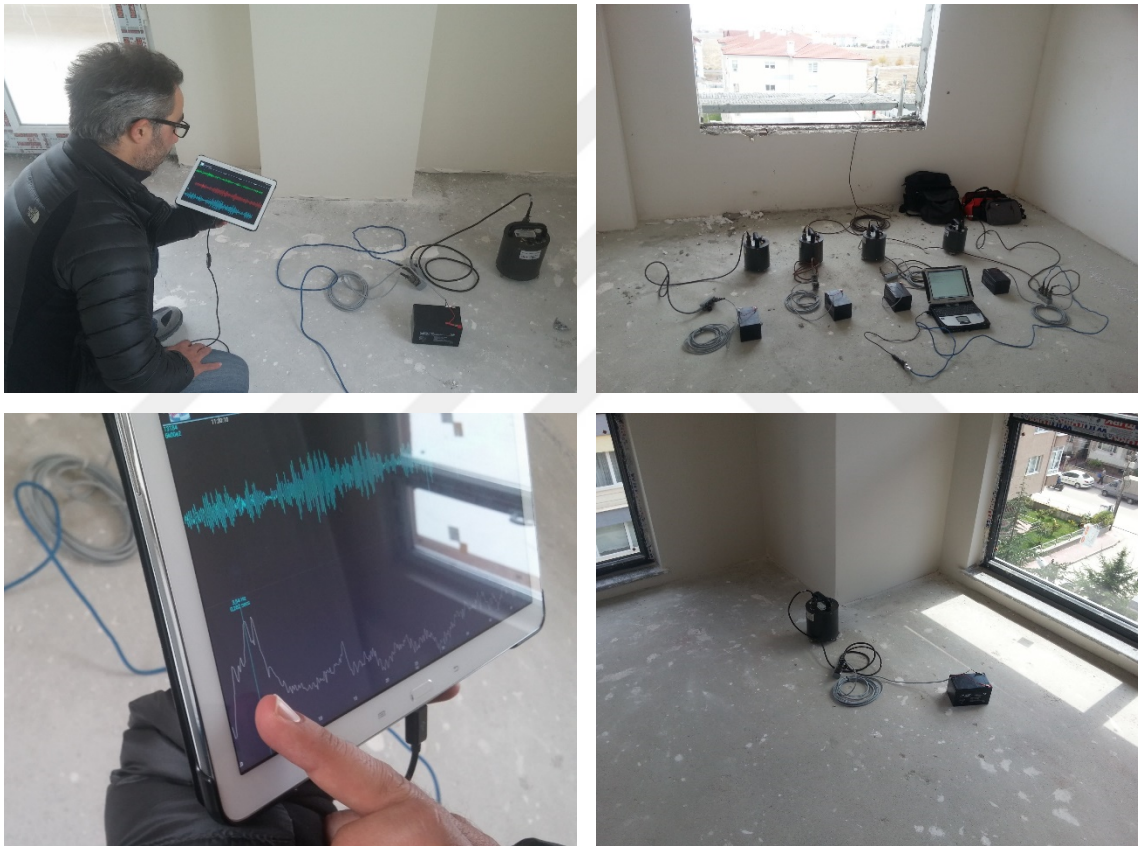
Çevresel titreşim ölçümleri Şekil 4.7’de gösterildiği şekilde, hızölçer sensörler, ölçüm yapılacak olan binanın, erişilebilen en son katına ve binada eğer varsa burulma davranışını belirleyebilmek amacıyla binanın dört köşesine yerleştirilmiştir. En üstteki betonarme tabliyenin üstünde çatı örtüsü bulunduğu için, sensörler bir alt kata yerleştirilmiştir. Sensörler, döşeme üzerinde kolon kiriş birleşim bölgelerine yakın yerleştirilerek döşeme modlarının düşey etkilerinden korunulmuştur. Çalışma kapsamında her binada, dört adet CMG-6TD hızölçer (sismometre) ile 100 Hz örnekleme aralığı ile birer saatlik çevresel titreşim ölçümü kayıtları yapılmıştır. Gallipoli vd., (2010) en az on dakikalık kaydın yeterli olacağını belirtmiş fakat sinyal işleme aşamasında kaydın bozulmuş yada olağan dışı bölümlerinin çıkarılabilmesi için kayıt süresinin operasyonel koşullar da göz önüne alınarak olabildiğince uzun olmasını tavsiye etmişlerdir.



Şekil 4.7. Çevresel titreşim ölçümlerinde uygulanan sensör yerleşim düzeni

CMG-6TD hızölçerler 12 V’luk akü desteği ile çalışmaktadır. Cihaz aküye bağlandığı andan itibaren veri almaya ve kaydetmeye başlamaktadır. CMG-6TD hızölçerler, titreşim verisini “.gcf” formatında (güralp compressed format) cihazın dâhili belleğine kaydetmektedir. Cihaz aküye bağlandıktan sonra ölçüm sırasında kullanılan dört adet sensörün aynı anda veri almalarını sağlayabilmek için cihazlar GPS uyduları ile senkronize edilmektedir. Cihazın veri formatı olan “.gcf” uzantılı kayıtlar “Scream”

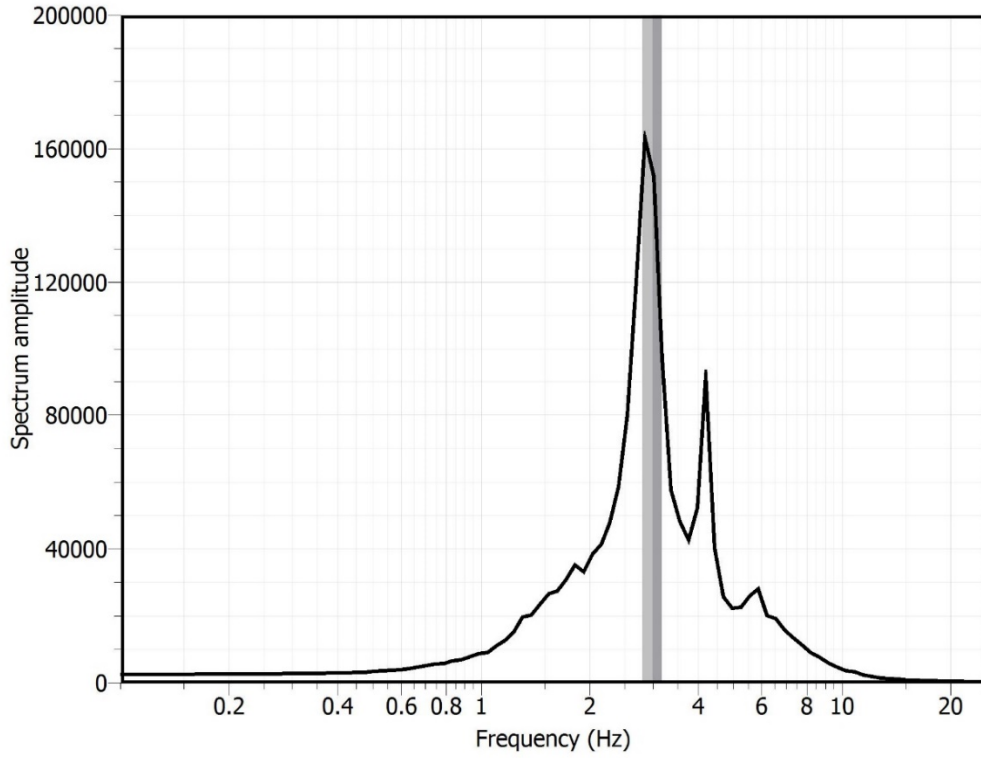
<http://www.guralp.com/sw/scream.shtml> (Erişim Tarihi: 09.12.2017) yazılımını kullanarak görüntülenebilmektedir. Ölçüme başlamadan önce yapılan senkronizasyon işleminin ve cihazın kontrolü Scream yazılımının yüklü olduğu bir taşınabilir bilgisayar yardımı ile yapılmaktadır. Görsel 4.12’de çevresel titreşim ölçümü öncesinde CMG-6TD hızölçerlerin Scream yazılımı ile GPS senkronizasyonu ve son kontrollerinin yapılması görülmektedir. CMG-6TD hızölçerler üç bileşenlidir. Görsel 4.12’de sol üstte görülen fotoğrafta yeşil renkle görülen sinyaller düşey bileşen ile alınan kaydı, kırmızı ve mavi renkler ise sırasıyla kuzey ve doğu bileşenlerinde alınan kayıtları göstermektedir.



**Görsel 4.12.** Çevresel titreşim ölçümü öncesi CMG-6TD hızölçerlerin hazırlanması

Çevresel titreşim ölçümü sırasında, ölçüm yapılan ortamdaki olağan çevresel titreşim kaynakları dışında harmonik bir hareketi olan motor, pompa, jeneratör vb. cihazların etkilerinden sakınılmaya çalışılmıştır. CMG-6TD hızölçerler ile alınan “.gcf” uzantılı kayıtlar SESAME projesi kapsamında geliştirilen açık kaynaklı “Geopsy” [www.geopsy.org](http://www.geopsy.org) (Erişim Tarihi: 09.12.2017) yazılımı ile frekans ortamında analiz edilmiştir. Sinyal işleme, 0,1 – 25 Hz aralığında yapılmıştır. Toplam dört sensörden alınan 12 bileşenli sinyaller üzerinde ilk olarak sinyallerden ortalama değerlerin çıkarılması

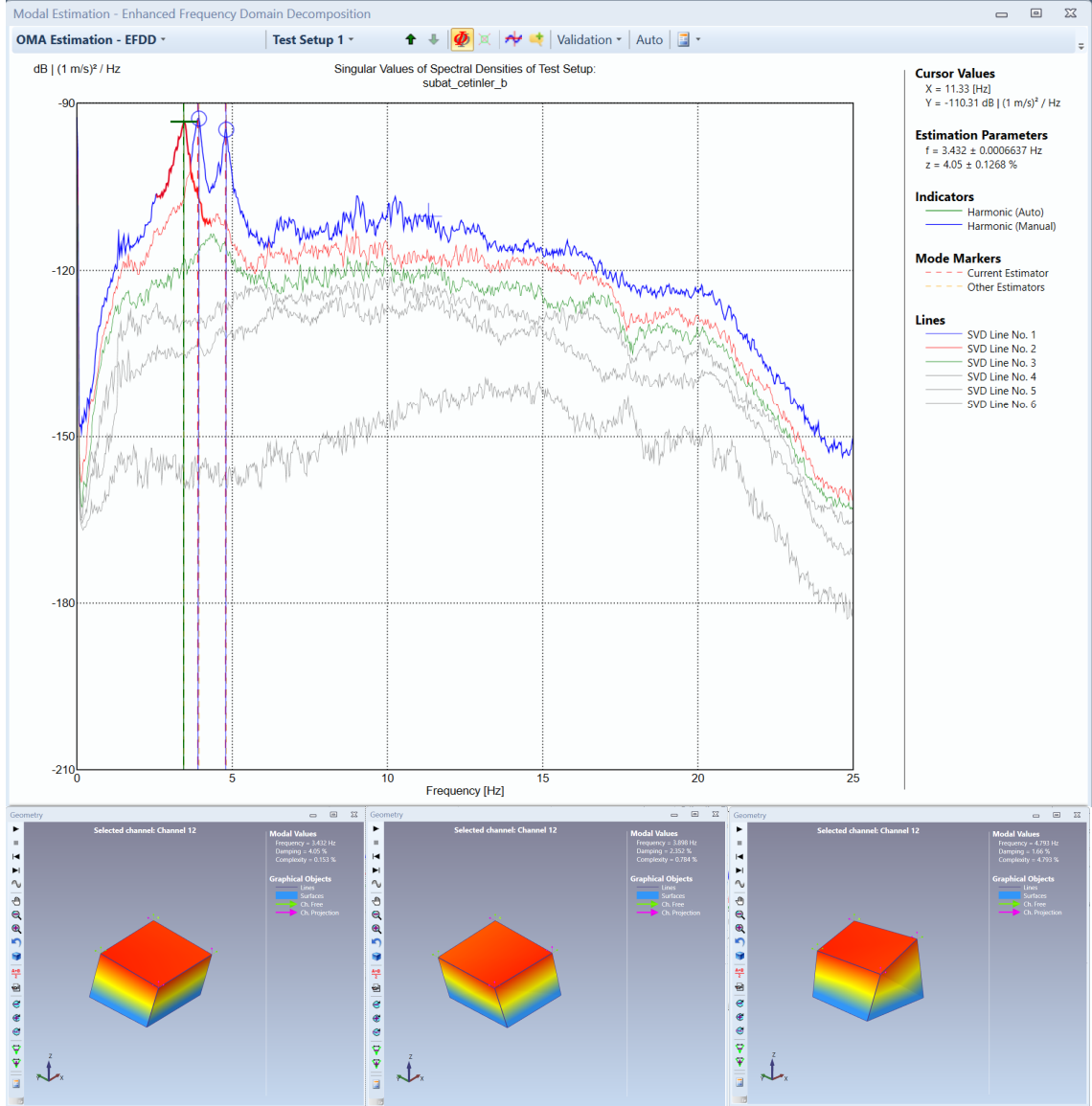
(Baseline-Correction) işlemi yapılmıştır. Çevresel titreşim ölçümü yapılan binaların frekans aralıklarını içine alacak şekilde 0,5 – 10 Hz aralığında Butterworth bant geçişli filtre ile birinci dereceden filtreleme işlemi yapılmıştır. Filtrelenmiş sinyaller üzerinde 25 saniyelik sabit pencereler otomatik olarak seçilmiştir. Her bir pencere için Fourier genlik spektrumları hesaplanmış ve bunların ortalamaları alınarak ortalama Fourier genlik spektrumu elde edilmiştir. Temel periyotlar, Geopsy yazılımının Fast Fourier Dönüşüm (FFD) eğrileri üzerinden en yüksek piki otomatik seçme özelliği kullanılarak belirlenmiştir. Seçilen pikler görsel olarak da kontrol edilmiştir. Şekil 4.8’de örnek bir ortalama genlik spektrumu görülmektedir. Geopsy yazılımı tarafından belirlenen temel frekans açık gri renk ile gösterilmiştir.



**Şekil 4.8.** Geopsy yazılımı ile elde edilmiş ortalama genlik spektrumu

Çevresel titreşim ölçümü yapılan 24 adet binanın temel periyotları ARTeMIS Modal 3.6.0.3 (2014) yazılımı ile de belirlenmiş ve Geopsy yazılımı ile bulunan periyotlarla karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Artemis yazılımı CMG-6TD hızölçerlerin veri formatı olan “.gcf” formatındaki verileri işleyememektedir. Tez çalışması kapsamında, “.gcf” formatlı veriyi Artemis yazılımının işleyebileceği “.txt” formatına dönüştüren bir yazılım geliştirilmiştir. Çevresel titreşim kayıtları “.txt” uzantısına dönüştürüldükten

sonra Artemis yazılımında Geliştirilmiş Frekans Ortamında Ayırışım Yöntemi ile analiz edilmiştir. Artemis yazılımı ile mod şekillerinin de belirlenebilmesi sayesinde ölçülen bina sistemine ait olan pikler ve dolayısıyla temel periyotlar daha iyi ayırt edilebilmiştir. Artemis yazılımında, binalara ait gerçek modlar ile harmonik etkilerin ayırt edilebilmesi için “harmonic detection” (harmonik belirleme) aracı kullanılmıştır. Brincker vd., (2001)’de belirtildiği gibi, spektral yoğunluk fonksiyonundaki tekil değer çizimlerinin hepsi gözlemlenerek, aynı frekansta tüm tekil değerlerde pik veren harmonikler ayıklanmıştır. Ayrıca gerçek modların, kompleks modlardan ayırt edilebilmesi için, Artemis yazılımında seçilen her mod için çizilen “complexity plots” (komplekslik çizimlerinden) de yararlanılmıştır. Tüm binalar için Geopsy yazılımı ile de kontrollü bir şekilde temel periyotlar belirlenmiştir. Şekil 4.9’da Artemis yazılımında elde edilmiş örnek bir spektral yoğunluk fonksiyonu ve belirlenen ilk üç mod görülmektedir. Binalara ait temel periyotlar belirlenirken, x-yönü ötelenme, y-yönü ötelenme ve burulma modlarının temel periyotlarından, rijitliği en düşük yani periyodu en uzun olanı, binanın temel periyodu olarak alınmıştır.



Şekil 4.9. Artemis yazılımında GFOAY ile elde edilmiş spektral yoğunluk fonksiyonu ve ilk üç mod şekilleri

## 5. ÇEVRESEL TİTREŞİM ÖLÇÜMÜ SONUÇLARI

Bu bölümde, çevresel titreşim ölçümü yapılan 24 adet bina ile ilgili detaylı bilgiler ve binalarda yapılan çevresel titreşim ölçümleri sonucu Artemis ve Geopsy yazılımları ile bulunan, binalara ait temel periyotlar sunulacaktır.

### 5.1. BN01

BN01 kodlu bina, ayırık nizam, 4 katlı konut tipi betonarme bir binadır. Deprem yükleri betonarme perdeler ve çerçeveler tarafından karşılanmaktadır. Bina, zemin etüt raporuna göre DBYBHY (2007)'de tanımlanan Z3 ( $T_a = 0,15 s ; T_b = 0,60 s$ ) sınıfı zemin üzerinde bulunmaktadır. Bölüm 4, Şekil 4.3'te bulunan jeoloji haritasına göre eski alüvyon birim üzerindedir. Normal kat yüksekliği 2,83 m, toplam bina yüksekliği 11,29 m'dir. Şekil 5.1'de gösterilen koordinat eksenine göre X doğrultusunda çalışan perde en kesit alanı 0,75 m<sup>2</sup>, Y doğrultusunda çalışan perde en kesit alanı ise 2,24 m<sup>2</sup>'dir. Toplam taşıyıcı sistem en kesit alanı 7,78 m<sup>2</sup>'dir. Görsel 5.1'de BN01 kodlu binanın genel görünüşü görülmektedir.

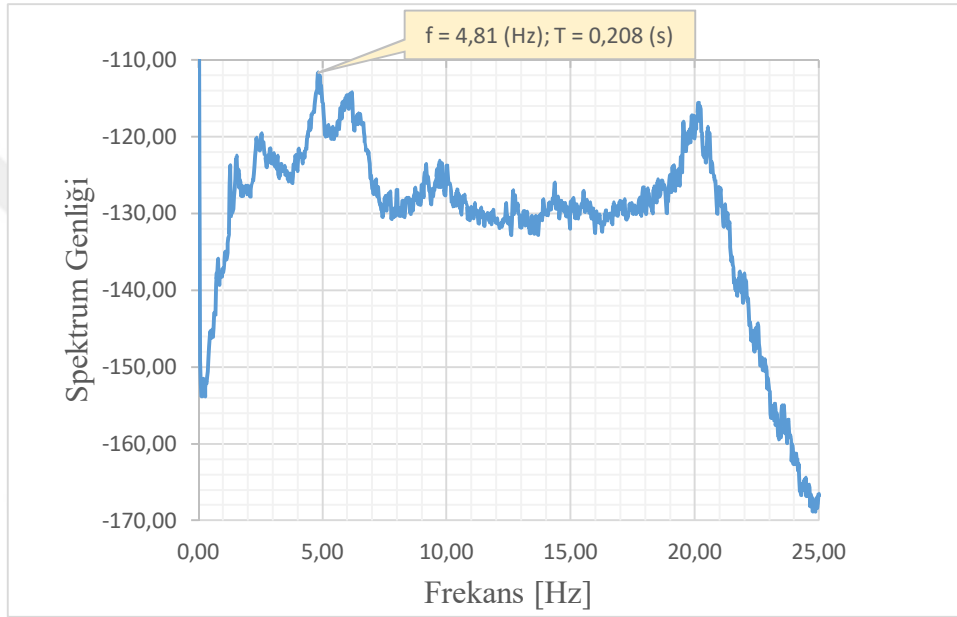


**Görsel 5.1.** BN01 kodlu binanın genel görünüşü

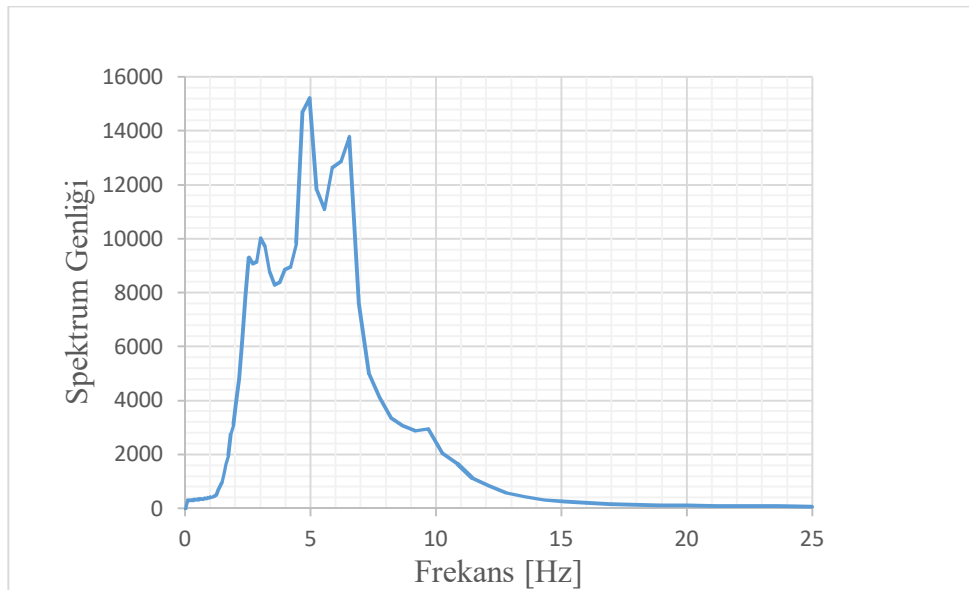
Şekil 5.1'de BN01 kodlu binanın normal kat kalıp ve normal kat mimari planları verilmiştir.



Şekil 5.2 ve Şekil 5.3'te BN01 kodlu binanın sırasıyla Artemis ve Geopsy yazılımları kullanılarak elde edilen spektrum grafikleri görülmektedir. Spektrum grafikleri üzerinde hem Artemis hem de Geopsy yazılımları ile yapılan otomatik pik seçimleri, temel periyot için en yüksek genlikli 0,208 s periyodunu işaret etmiştir. Ayrıca, Artemis yazılımında bulunan her bir pikin mod şekillerini izleme olanağı kullanılarak manuel yapılan irdelemeler sonucunda da BN01 kodlu binanın çevresel titreşim ölçümü ile bulunan temel periyodunun  $T_0 = 0,208$  s olduğu değerlendirilmiştir.



Şekil 5.2. BN01 kodlu binanın Artemis yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği



Şekil 5.3. BN01 kodlu binanın Geopsy yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği

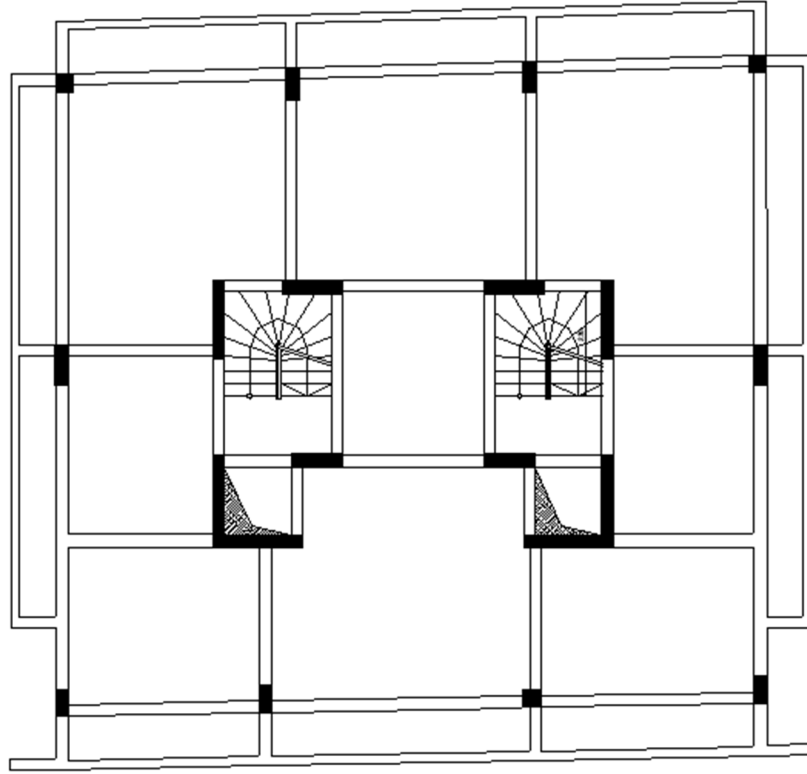
## 5.2. BN02

BN02 kodlu bina, ayırık nizam, 6 katlı konut tipi betonarme bir binadır. Deprem yükleri betonarme perdeler ve çerçeveler tarafından karşılanmaktadır. Bina, zemin etüt raporuna göre DBYBHY (2007)'de tanımlanan Z3 ( $T_a = 0,15 s$ ;  $T_b = 0,60 s$ ) sınıfı zemin üzerinde bulunmaktadır. Bölüm 4, Şekil 4.3'te bulunan jeoloji haritasına göre alüvyon birim üzerindedir. Normal kat yüksekliği 2,85 m, toplam bina yüksekliği 17,37 m'dir. Şekil 5.4'te gösterilen koordinat eksenine göre X doğrultusunda çalışan perde en kesit alanı 1,00 m<sup>2</sup>, Y doğrultusunda çalışan perde en kesit alanı ise 1,78 m<sup>2</sup>'dir. Toplam taşıyıcı sistem en kesit alanı 6,26 m<sup>2</sup>'dir. Görsel 5.2'de BN02 kodlu binanın fotoğrafı görülmektedir.

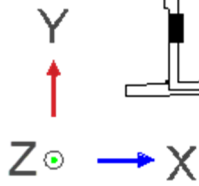
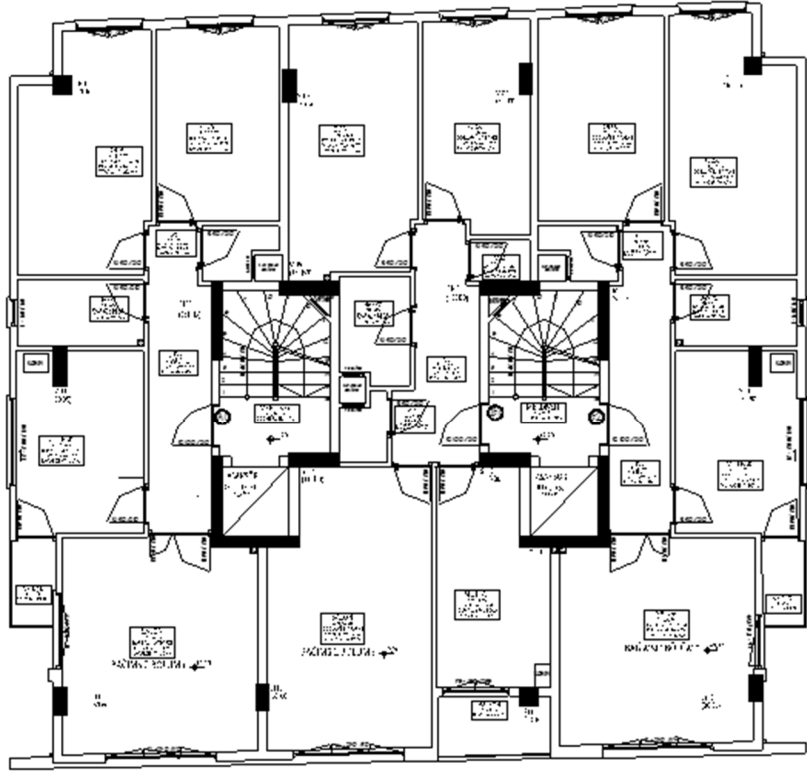


Görsel 5.2. BN02 kodlu binanın genel görünüşü

Şekil 5.4'de BN02 kodlu binanın normal kat kalıp ve normal kat mimari planları verilmiştir.



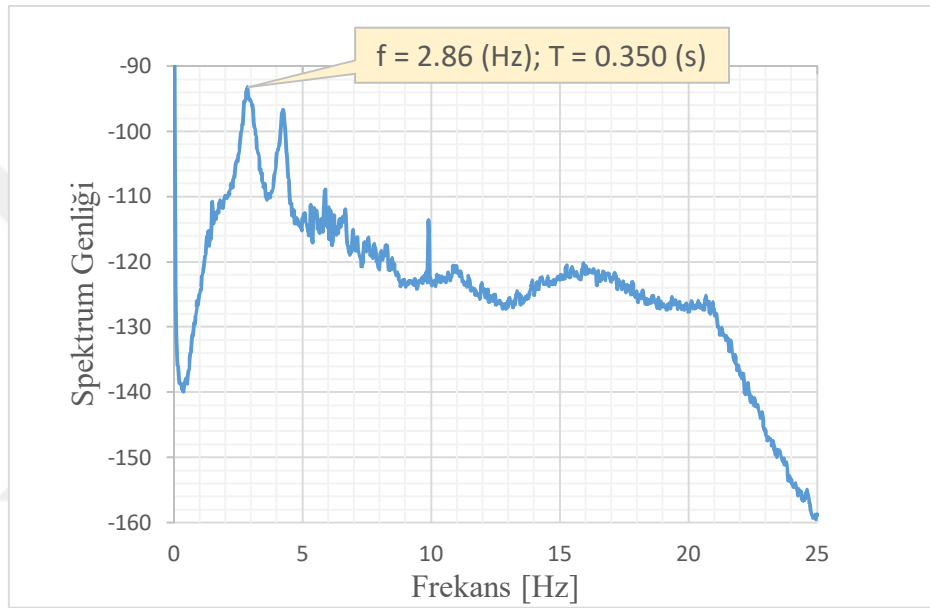
(a)



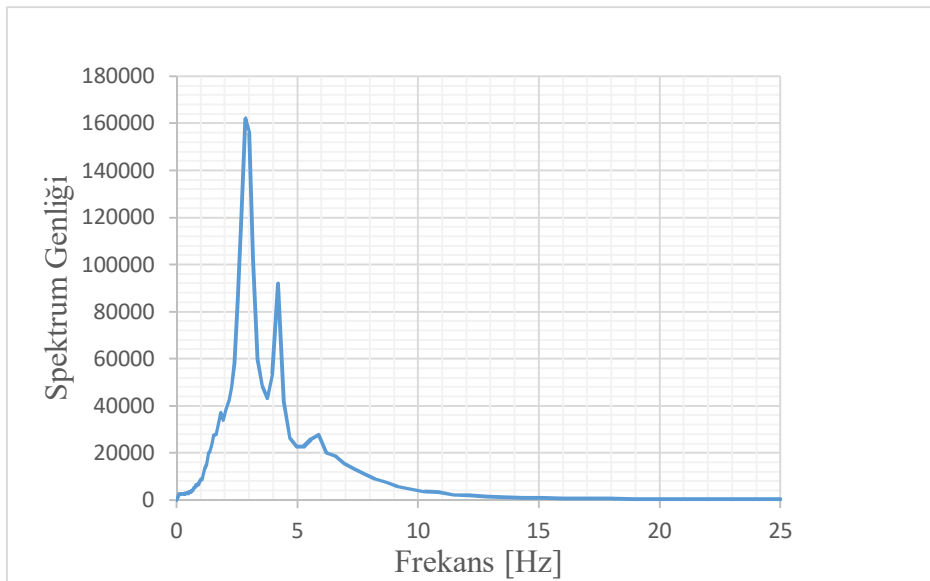
(b)

Şekil 5.4. (a) BN02 normal kat şematik kalıp planı, (b) BN02 normal kat mimari planı

Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'da BN02 kodlu binanın sırasıyla Artemis ve Geopsy yazılımları kullanılarak elde edilen spektrum grafikleri görülmektedir. Spektrum grafikleri üzerinde hem Artemis hem de Geopsy yazılımları ile yapılan otomatik pik seçimleri, temel periyot için en yüksek genlikli 0,350 s periyodunu işaret etmektedir. Ayrıca, Artemis yazılımında bulunan her bir pikin mod şekillerini izleme olanağı kullanılarak, manuel yapılan irdelemeler sonucunda da BN02 kodlu binanın çevresel titreşim ölçümü ile bulunan temel periyodunun  $T_0 = 0,350$  s olduğu değerlendirilmiştir.



Şekil 5.5. BN02 kodlu binanın Artemis yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği



Şekil 5.6. BN02 kodlu binanın Geopsy yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği

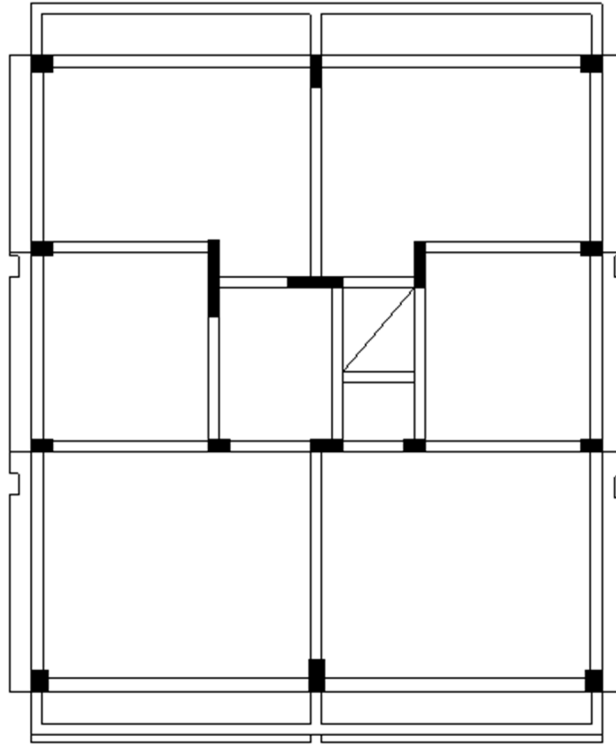
### 5.3. BN03

BN03 kodlu bina, ayırık nizam, 5 katlı konut tipi betonarme bir binadır. Deprem yükleri betonarme perdeler ve çerçeveler tarafından karşılanmaktadır. Bina, zemin etüt raporuna göre DBYBHY (2007)'de tanımlanan Z2 ( $T_a = 0,15 s$ ;  $T_b = 0,40 s$ ) sınıfı zemin üzerinde bulunmaktadır. Bölüm 4, Şekil 4.3'te bulunan jeoloji haritasına göre Konglomera-Kumtaşı birim üzerindedir. Normal kat yüksekliği 2,87 m, toplam bina yüksekliği 14,35 m'dir. Şekil 5.7'de gösterilen koordinat eksenine göre X doğrultusunda çalışan perde bulunmamaktadır, Y doğrultusunda çalışan perde en kesit alanı ise 0,44 m<sup>2</sup>'dir. Toplam taşıyıcı sistem en kesit alanı 3,40 m<sup>2</sup>'dir. Görsel 5.3'de BN03 kodlu binanın fotoğrafı görülmektedir.

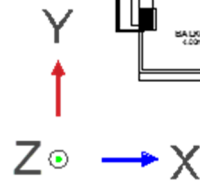
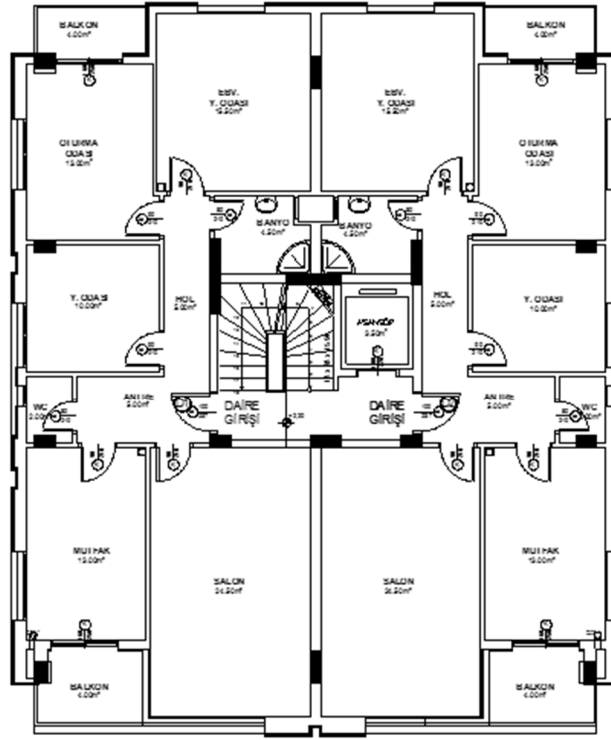


**Görsel 5.3.** BN03 kodlu binanın genel görünüşü

Şekil 5.7'de BN03 kodlu binanın normal kat kalıp ve normal kat mimari planları verilmiştir.



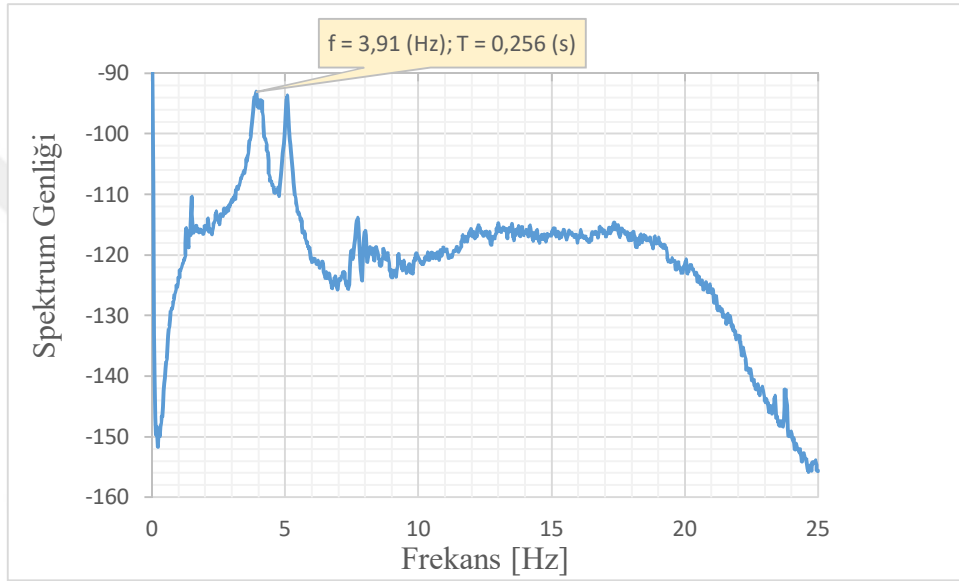
(a)



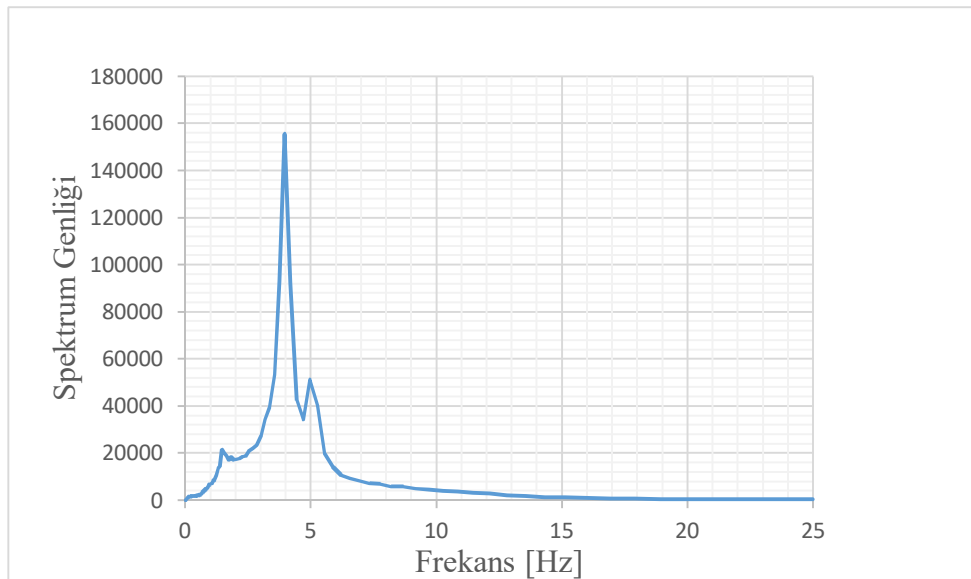
(b)

Şekil 5.7. (a) BN03 normal kat şematik kalıp planı, (b) BN03 normal kat mimari planı

Şekil 5.8 ve Şekil 5.9’da BN03 kodlu binanın sırasıyla Artemis ve Geopsy yazılımları kullanılarak elde edilen spektrum grafikleri görülmektedir. Spektrum grafikleri üzerinde hem Artemis hem de Geopsy yazılımları ile yapılan otomatik pik seçimleri, temel periyot için en yüksek genlikli 0,256 s periyodunu işaret etmektedir. Ayrıca, Artemis yazılımında bulunan her bir pikin mod şekillerini izleme olanağı kullanılarak, manuel yapılan irdelemeler sonucunda da BN03 kodlu binanın çevresel titreşim ölçümü ile bulunan temel periyodunun  $T_0 = 0,256$  s olduğu değerlendirilmiştir.



**Şekil 5.8.** BN03 kodlu binanın Artemis yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği



**Şekil 5.9.** BN03 kodlu binanın Geopsy yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği

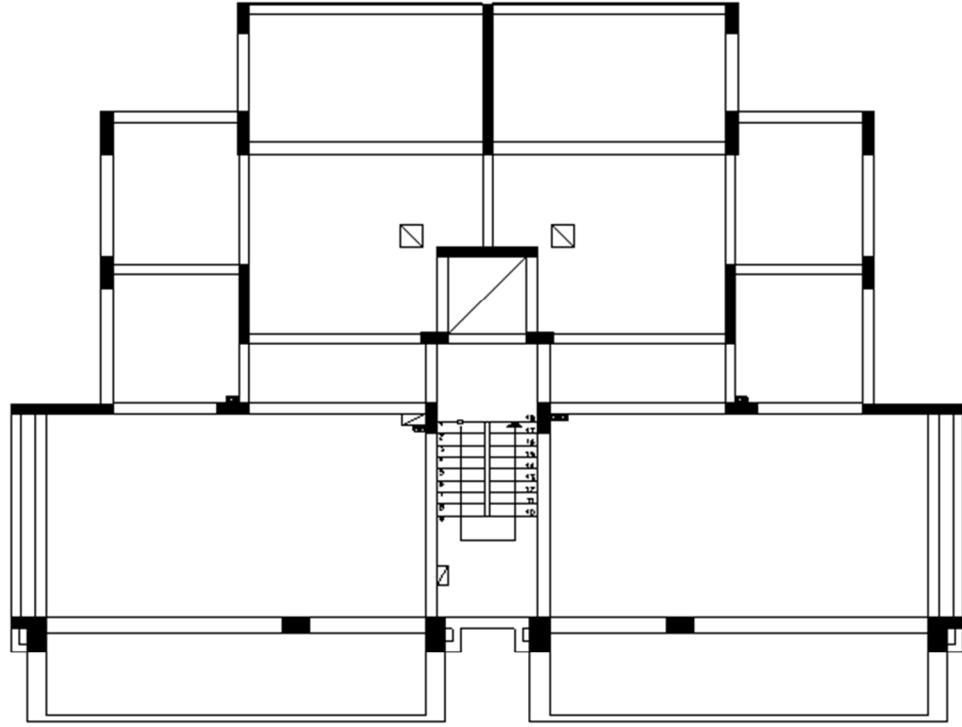
#### 5.4. BN04

BN04 kodlu bina, ayırık nizam, 4 katlı konut tipi betonarme bir binadır. Deprem yükleri betonarme perdeler ve çerçeveler tarafından karşılanmaktadır. Bina, zemin etüt raporuna göre DBYBHY (2007)'de tanımlanan Z2 ( $T_a = 0,15 s ; T_b = 0,40 s$ ) sınıfı zemin üzerinde bulunmaktadır. Bölüm 4, Şekil 4.3'te bulunan jeoloji haritasına göre alüvyon birim üzerindedir. Normal kat yüksekliği 2,83 m, toplam bina yüksekliği 11,29 m'dir. Şekil 5.10'da gösterilen koordinat eksenine göre X doğrultusunda çalışan perde en kesit alanı 1,95 m<sup>2</sup>, Y doğrultusunda çalışan perde en kesit alanı ise 1,99 m<sup>2</sup>'dir. Toplam taşıyıcı sistem en kesit alanı 10,20 m<sup>2</sup>'dir. Görsel 5.4'de BN04 kodlu binanın fotoğrafı görülmektedir.

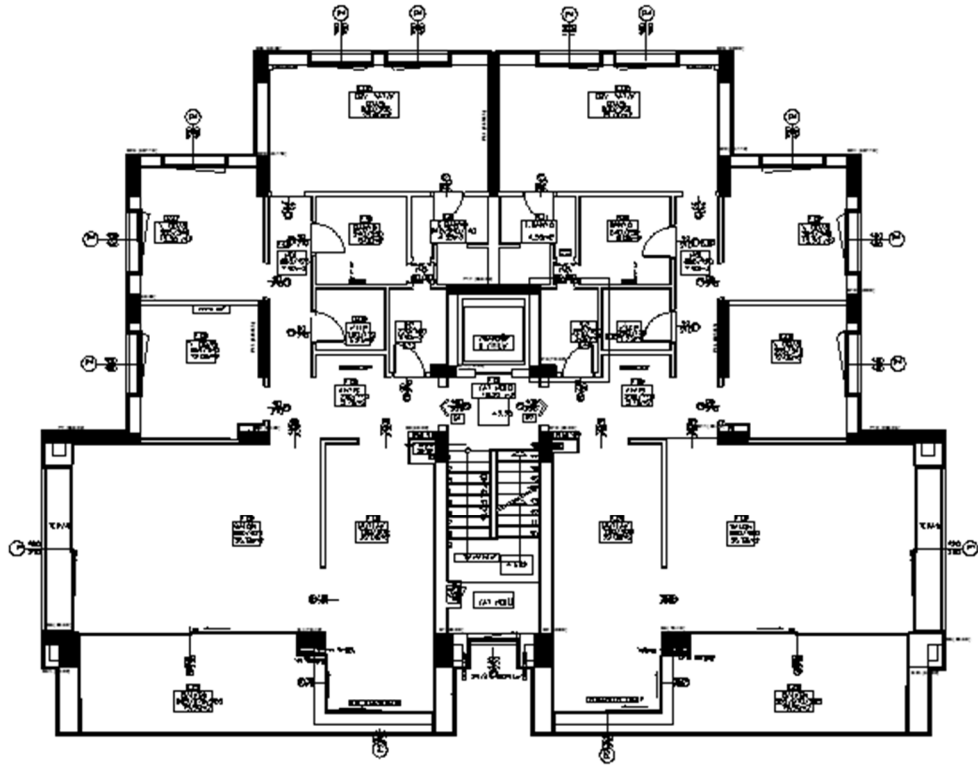


**Görsel 5.4.** BN04 kodlu binanın genel görünüşü

Şekil 5.10'da BN04 kodlu binanın normal kat kalıp ve normal kat mimari planları verilmiştir.



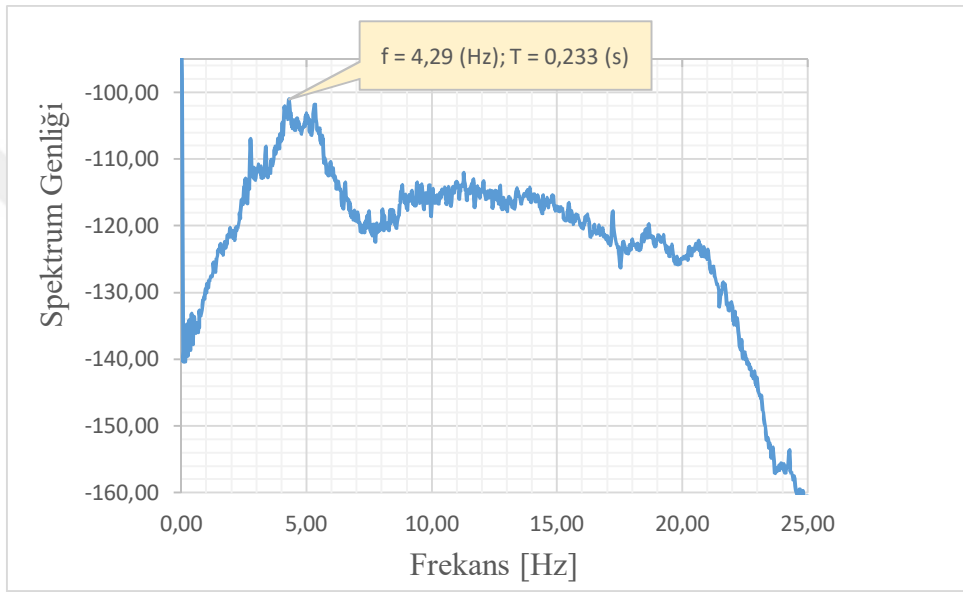
(a)



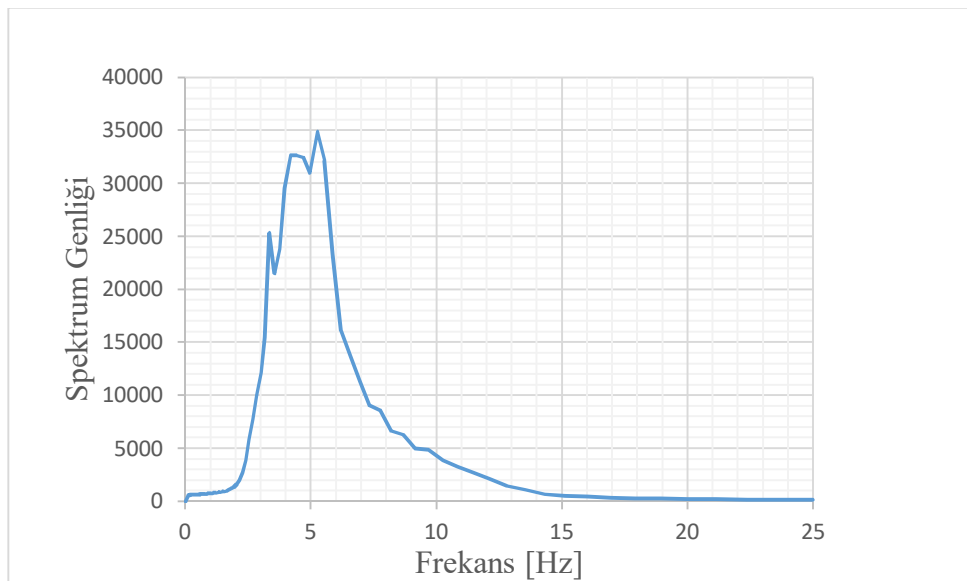
(b)

Şekil 5.10. (a) BN04 normal kat şematik kalıp planı, (b) BN04 normal kat mimari planı

Şekil 5.11 ve Şekil 5.12’de BN04 kodlu binanın sırasıyla Artemis ve Geopsy yazılımları kullanılarak elde edilen spektrum grafikleri görülmektedir. Spektrum grafikleri üzerinde hem Artemis hem de Geopsy yazılımları ile yapılan otomatik pik seçimleri, temel periyot için en yüksek genlikli 0,233 s periyodunu göstermektedir. Ayrıca, Artemis yazılımında bulunan her bir pikin mod şekillerini izleme olanağı kullanılarak manuel yapılan irdellemeler sonucunda da BN04 kodlu binanın çevresel titreşim ölçümü ile bulunan temel periyodunun  $T_0 = 0,233$  s olduğu belirlenmiştir.



Şekil 5.11. BN04 kodlu binanın Artemis yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği



Şekil 5.12. BN04 kodlu binanın Geopsy yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği

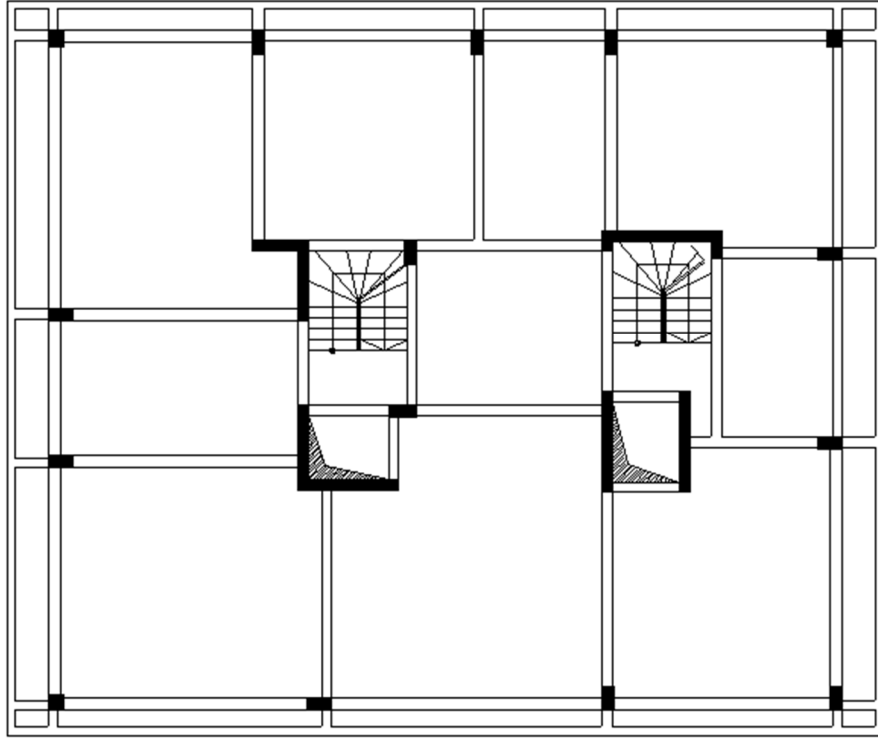
## 5.5. BN05

BN05 kodlu bina, ayırık nizam, 5 katlı konut tipi betonarme bir binadır. Deprem yükleri betonarme perdeler ve çerçeveler tarafından karşılanmaktadır. Bina, zemin etüt raporuna göre DBYBHY (2007)'de tanımlanan Z3 ( $T_a = 0,15 s ; T_b = 0,60 s$ ) sınıfı zemin üzerinde bulunmaktadır. Bölüm 4, Şekil 4.3'te bulunan jeoloji haritasına göre alüvyon birim üzerindedir. Normal kat yüksekliği 2,85 m, toplam bina yüksekliği 14,25 m'dir. Şekil 5.13'te gösterilen koordinat eksenine göre X doğrultusunda çalışan perde en kesit alanı 1,18 m<sup>2</sup>, Y doğrultusunda çalışan perde en kesit alanı ise 2,21 m<sup>2</sup>'dir. Toplam taşıyıcı sistem en kesit alanı 6,70 m<sup>2</sup>'dir. Görsel 5.5'de BN05 kodlu binanın fotoğrafı görülmektedir.

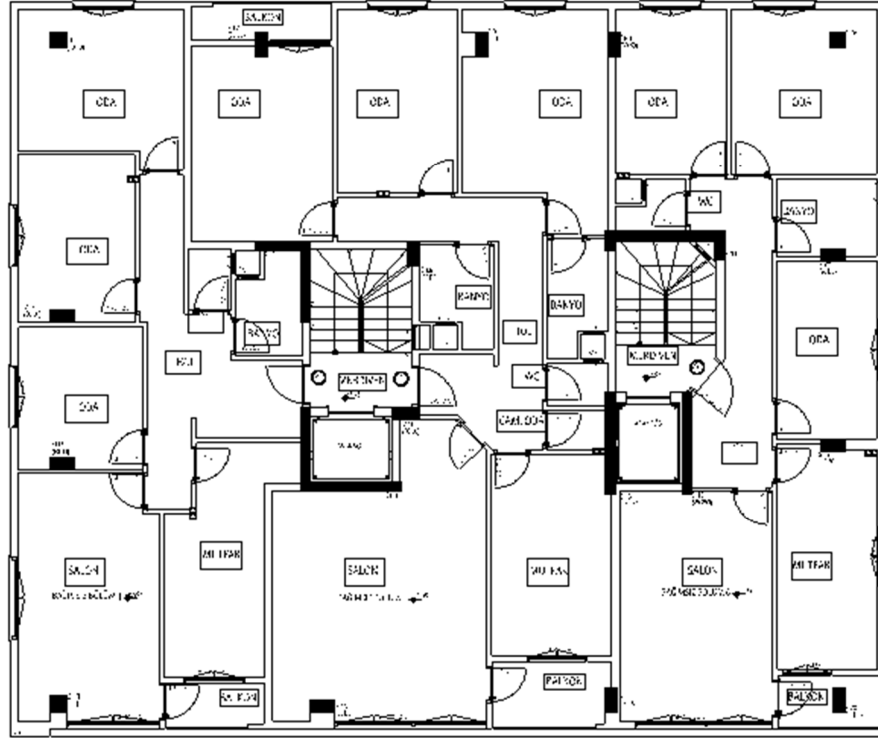


**Görsel 5.5.** BN05 kodlu binanın genel görünüşü

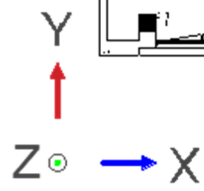
Şekil 5.13'te BN05 kodlu binanın normal kat kalıp ve normal kat mimari planları verilmiştir.



(a)

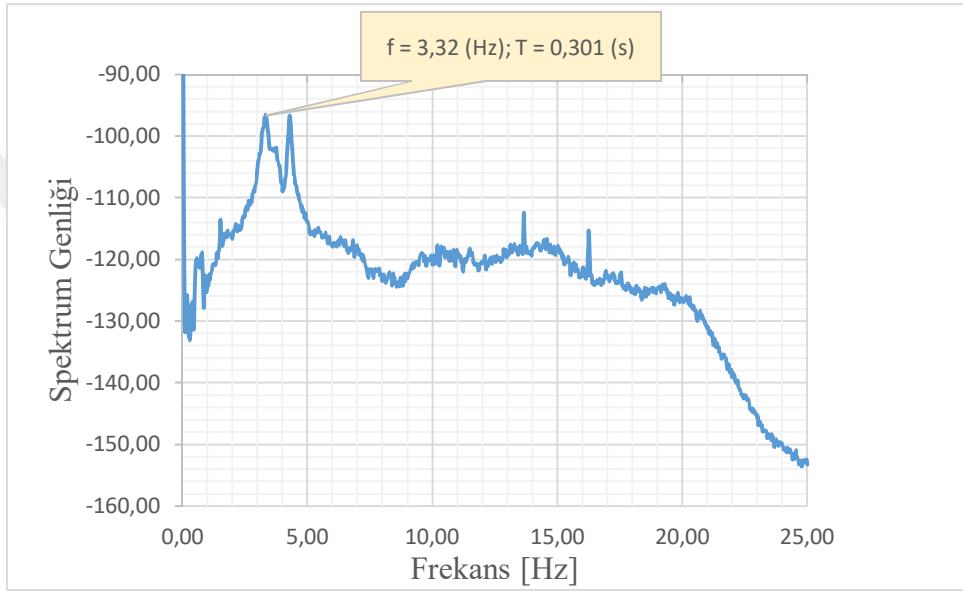


(b)

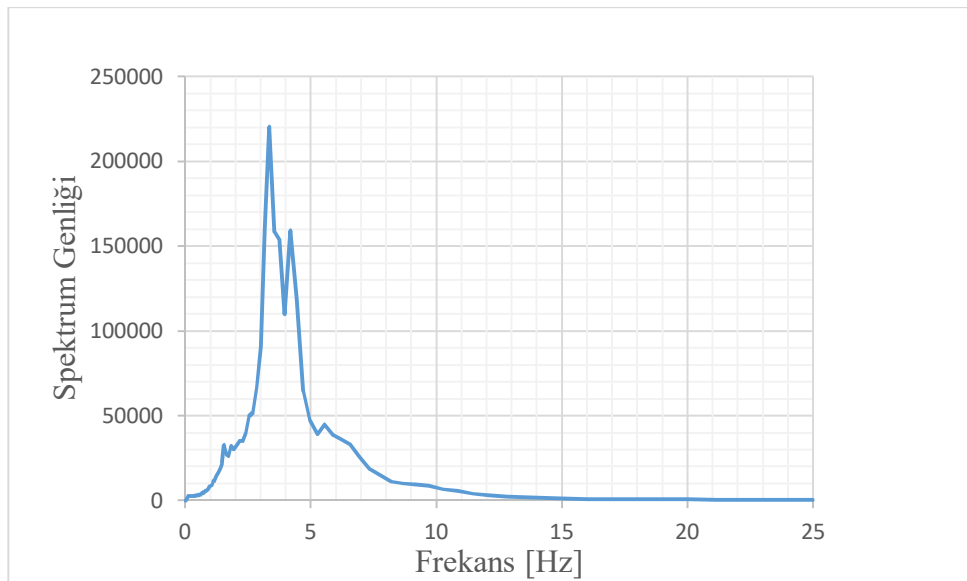


Şekil 5.13. (a) BN05 normal kat şematik kalıp planı, (b) BN05 normal kat mimari planı

Şekil 5.14 ve Şekil 5.15'te BN05 kodlu binanın sırasıyla Artemis ve Geopsy yazılımları kullanılarak elde edilen spektrum grafikleri görülmektedir. Spektrum grafikleri üzerinde hem Artemis hem de Geopsy yazılımları ile yapılan otomatik pik seçimleri, temel periyot için en yüksek genlikli 0,301 s periyodunu göstermektedir. Ayrıca, Artemis yazılımında bulunan her bir pikin mod şekillerini izleme olanağı kullanılarak manuel yapılan irdelemeler sonucunda da BN05 kodlu binanın çevresel titreşim ölçümü ile bulunan temel periyodunun  $T_0 = 0,301$  s olduğu belirlenmiştir.



Şekil 5.14. BN05 kodlu binanın Artemis yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği



Şekil 5.15. BN05 kodlu binanın Geopsy yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği

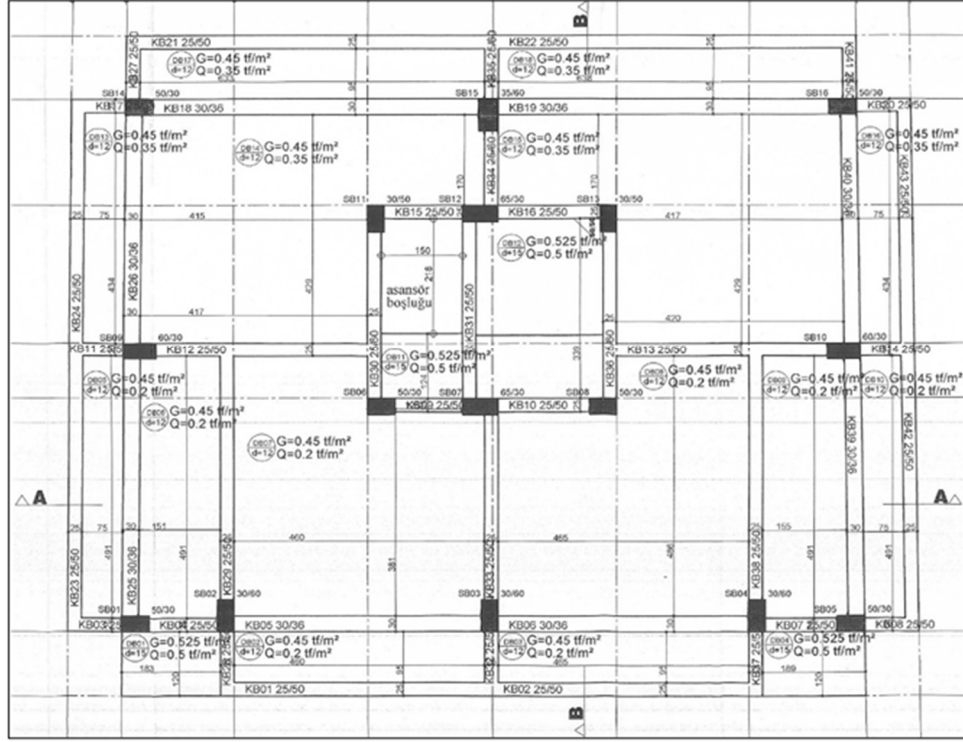
## 5.6. BN06

BN06 kodlu bina, ayırık nizam, 6 katlı konut tipi betonarme bir binadır. Deprem yükleri betonarme çerçeveler tarafından karşılanmaktadır. Bina, zemin etüt raporuna göre DBYBHY (2007)'de tanımlanan Z3 ( $T_a = 0,15 s$ ;  $T_b = 0,60 s$ ) sınıfı zemin üzerinde bulunmaktadır. Bölüm 4, Şekil 4.3'te bulunan jeoloji haritasına göre alüvyon birim üzerindedir. Normal kat yüksekliği 2,87 m, toplam bina yüksekliği 17,18 m'dir. Toplam taşıyıcı sistem en kesit alanı 6,70 m<sup>2</sup>'dir. Görsel 5.6'da BN06 kodlu binanın fotoğrafı görülmektedir.

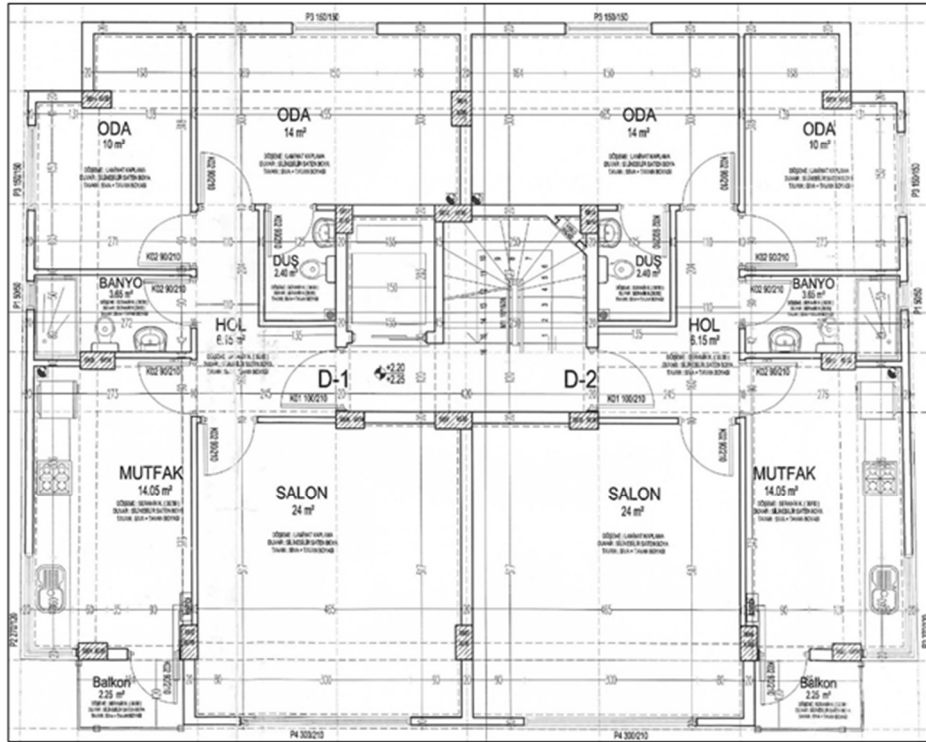


Görsel 5.6. BN06 kodlu binanın genel görünüşü

Şekil 5.16'da BN06 kodlu binanın normal kat kalıp ve normal kat mimari planları verilmiştir.



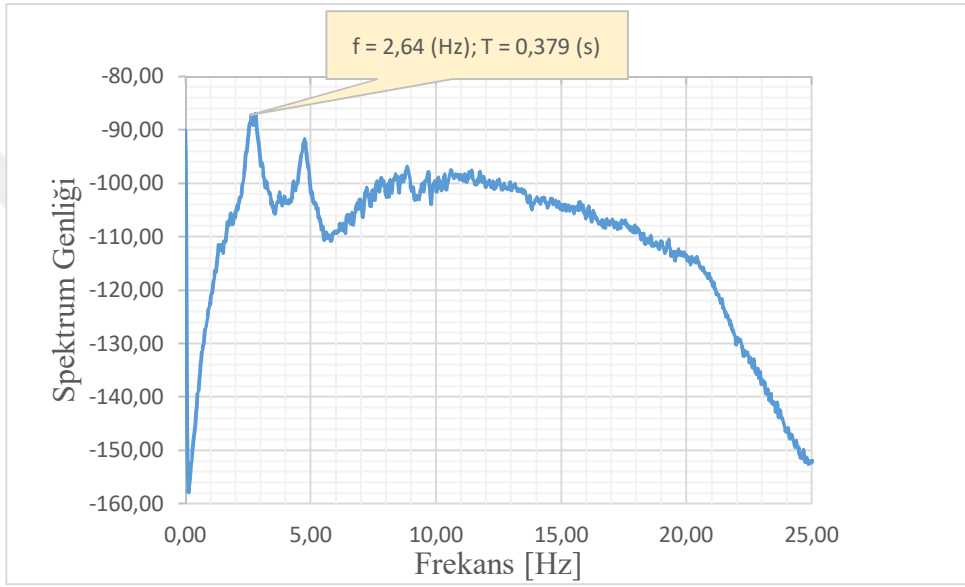
(a)



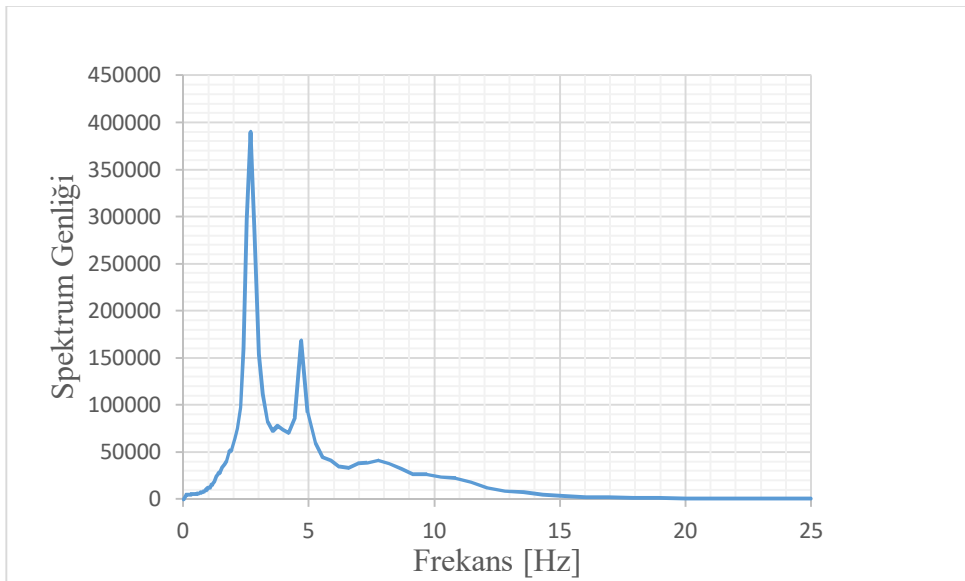
(b)

Şekil 5.16. (a) BN06 normal kat kalıp planı, (b) BN06 normal kat mimari planı

Şekil 5.17 ve Şekil 5.18’de BN06 kodlu binanın sırasıyla Artemis ve Geopsy yazılımları kullanılarak elde edilen spektrum grafikleri görülmektedir. Spektrum grafikleri üzerinde hem Artemis hem de Geopsy yazılımları ile yapılan otomatik pik seçimleri, temel periyot için en yüksek genlikli 0,379 s periyodunu göstermektedir. Ayrıca, Artemis yazılımında bulunan her bir pikin mod şekillerini izleme olanağı kullanılarak manuel yapılan irdelemeler sonucunda da BN06 kodlu binanın çevresel titreşim ölçümü ile bulunan temel periyodunun  $T_0 = 0,379$  s olduğu belirlenmiştir.



Şekil 5.17. BN06 kodlu binanın Artemis yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği



Şekil 5.18. BN06 kodlu binanın Geopsy yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği

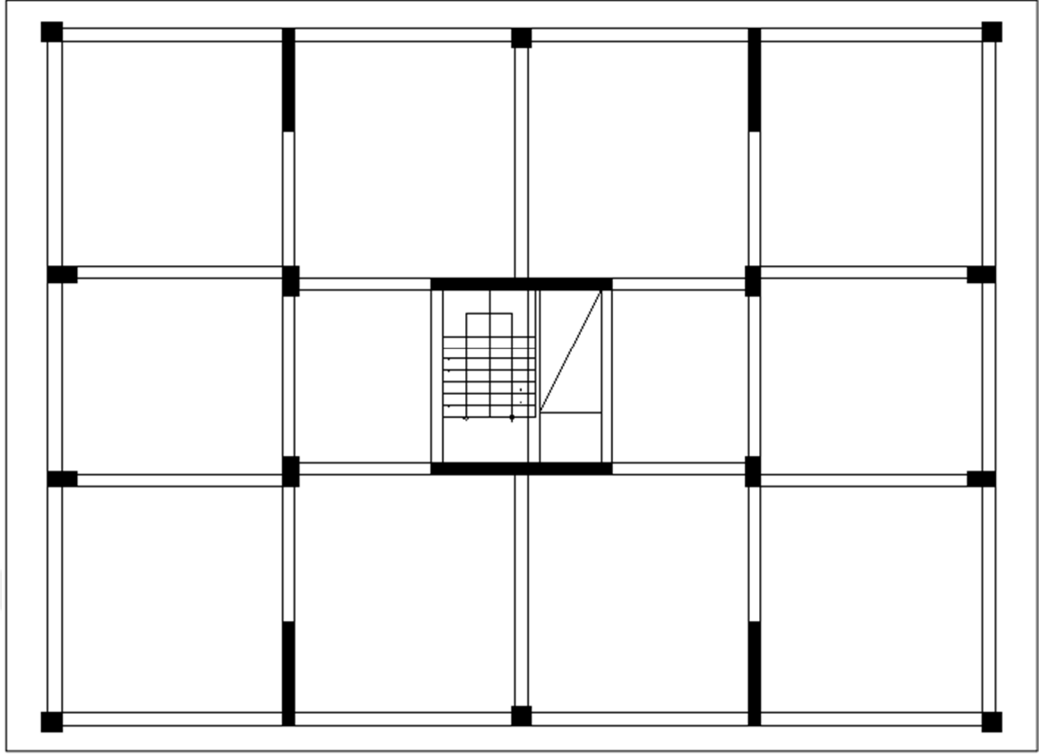
## 5.7. BN07

BN07 kodlu bina, ayırık nizam, 6 katlı konut tipi betonarme bir binadır. Deprem yükleri betonarme perdeler ve çerçeveler tarafından karşılanmaktadır. Bina, zemin etüt raporuna göre DBYBHY (2007)'de tanımlanan Z3 ( $T_a = 0,15 s ; T_b = 0,60 s$ ) sınıfı zemin üzerinde bulunmaktadır. Bölüm 4, Şekil 4.3'te bulunan jeoloji haritasına göre alüvyon birim üzerindedir. Normal kat yüksekliği 2,90 m, toplam bina yüksekliği 17,40 m'dir. Şekil 5.19'da gösterilen koordinat eksenine göre X doğrultusunda çalışan perde en kesit alanı 2,82 m<sup>2</sup>, Y doğrultusunda çalışan perde en kesit alanı ise 3,24 m<sup>2</sup>'dir. Toplam taşıyıcı sistem en kesit alanı 9,96 m<sup>2</sup>'dir. Görsel 5.7'de BN07 kodlu binanın fotoğrafı görülmektedir.

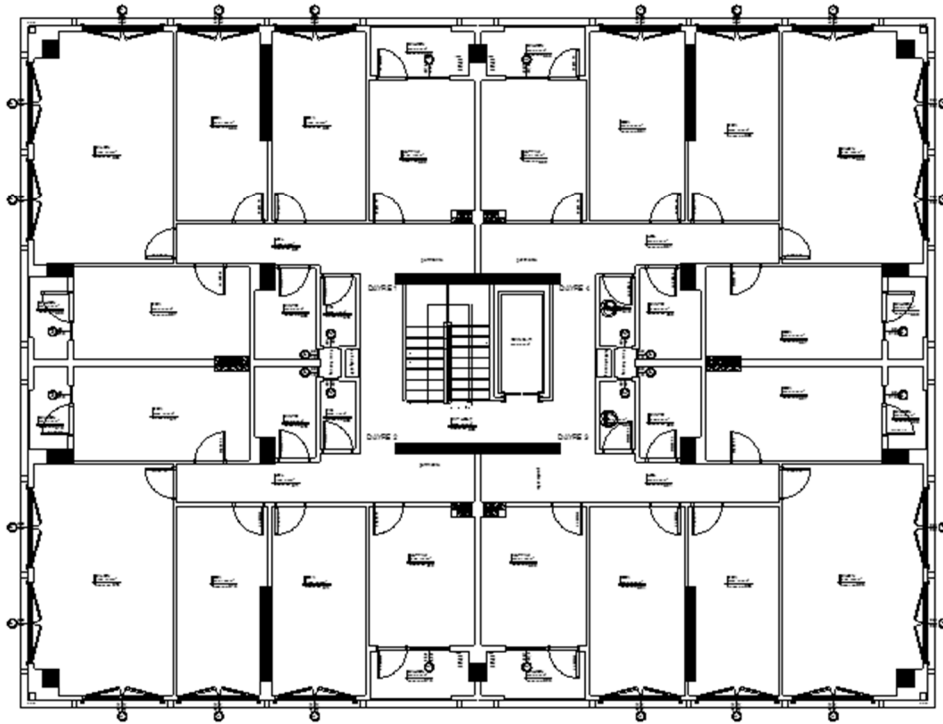


**Görsel 5.7.** BN07 kodlu binanın genel görünüşü

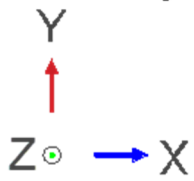
Şekil 5.19'da BN07 kodlu binanın normal kat kalıp ve normal kat mimari planları verilmiştir.



(a)

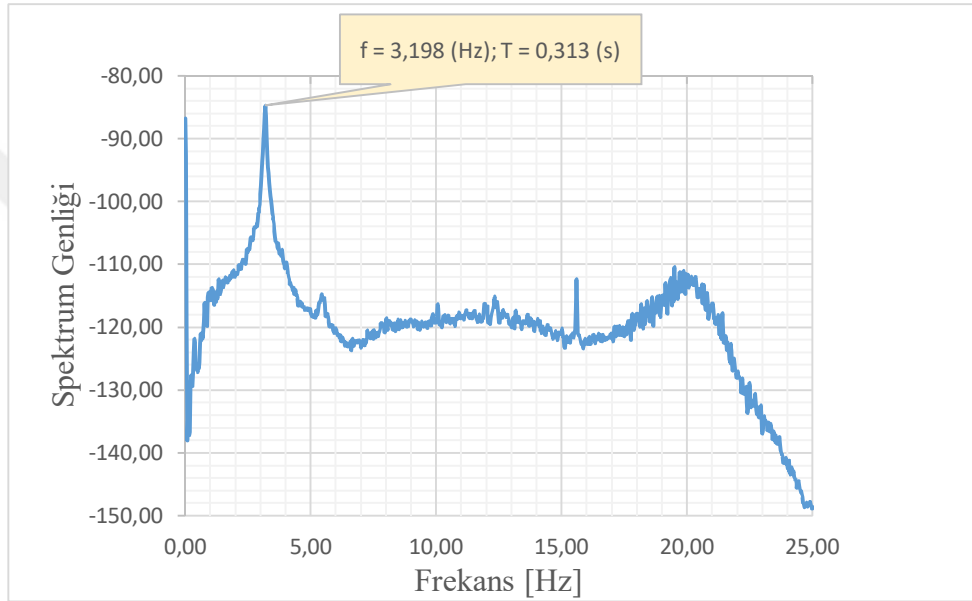


(b)

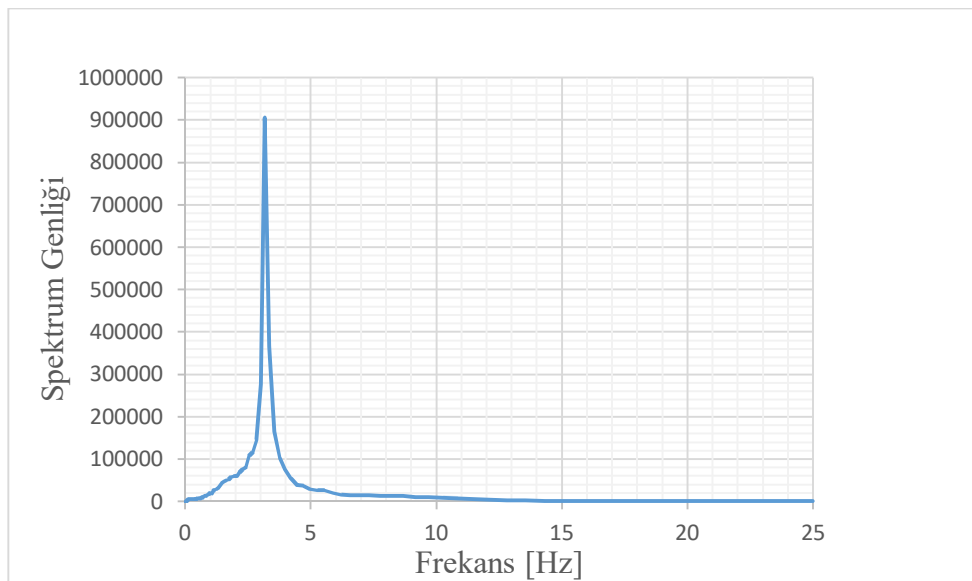


Şekil 5.19. (a) BN07 normal kat şematik kalıp planı, (b) BN07 normal kat mimari planı

Şekil 5.20 ve Şekil 5.21’de BN07 kodlu binanın sırasıyla Artemis ve Geopsy yazılımları kullanılarak elde edilen spektrum grafikleri görülmektedir. Spektrum grafikleri üzerinde hem Artemis hem de Geopsy yazılımları ile yapılan otomatik pik seçimleri, temel periyot için en yüksek genlikli 0,313 s periyodunu göstermektedir. Ayrıca, Artemis yazılımında bulunan her bir pikin mod şekillerini izleme olanağı kullanılarak manuel yapılan irdelemeler sonucunda da BN07 kodlu binanın çevresel titreşim ölçümü ile bulunan temel periyodunun  $T_0 = 0,313$  s olduğu belirlenmiştir.



Şekil 5.20. BN07 kodlu binanın Artemis yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği



Şekil 5.21. BN07 kodlu binanın Geopsy yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği

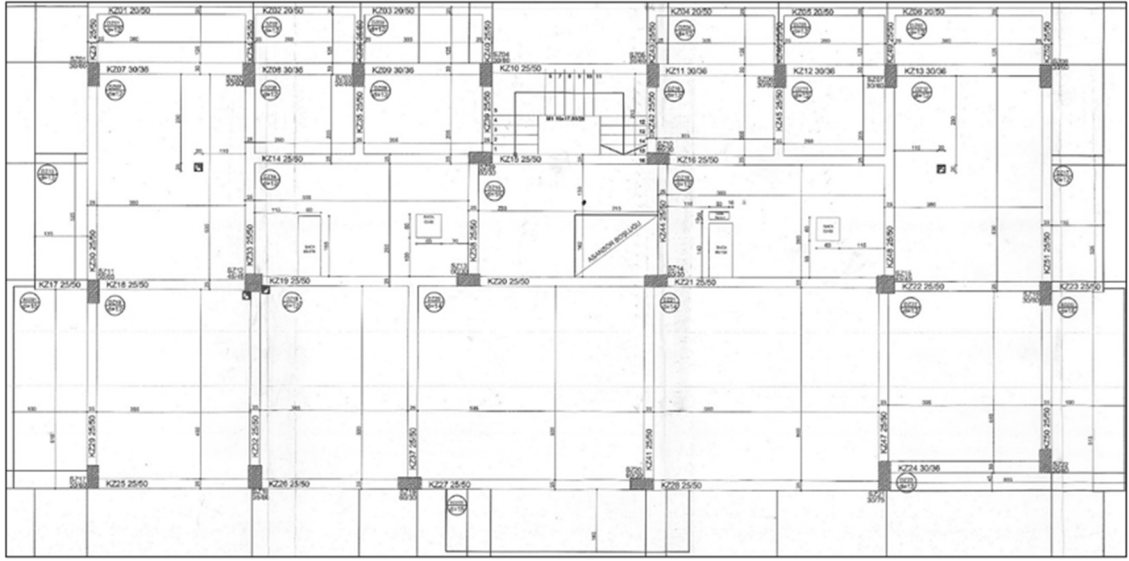
## 5.8. BN08

BN08 kodlu bina, ayırık nizam, 5 katlı konut tipi betonarme bir binadır. Deprem yükleri betonarme çerçeveler tarafından karşılanmaktadır. Bina, zemin etüt raporuna göre DBYBHY (2007)'de tanımlanan Z2 ( $T_a = 0,15 s$ ;  $T_b = 0,40 s$ ) sınıfı zemin üzerinde bulunmaktadır. Bölüm 4, Şekil 4.3'te bulunan jeoloji haritasına göre Konglomera-Kumtaşı birim üzerindedir. Normal kat yüksekliği 2,87 m, toplam bina yüksekliği 14,18 m'dir. Binanın toplam taşıyıcı sistem en kesit alanı 6,49 m<sup>2</sup>'dir. Görsel 5.8'de BN08 kodlu binanın fotoğrafı görülmektedir.

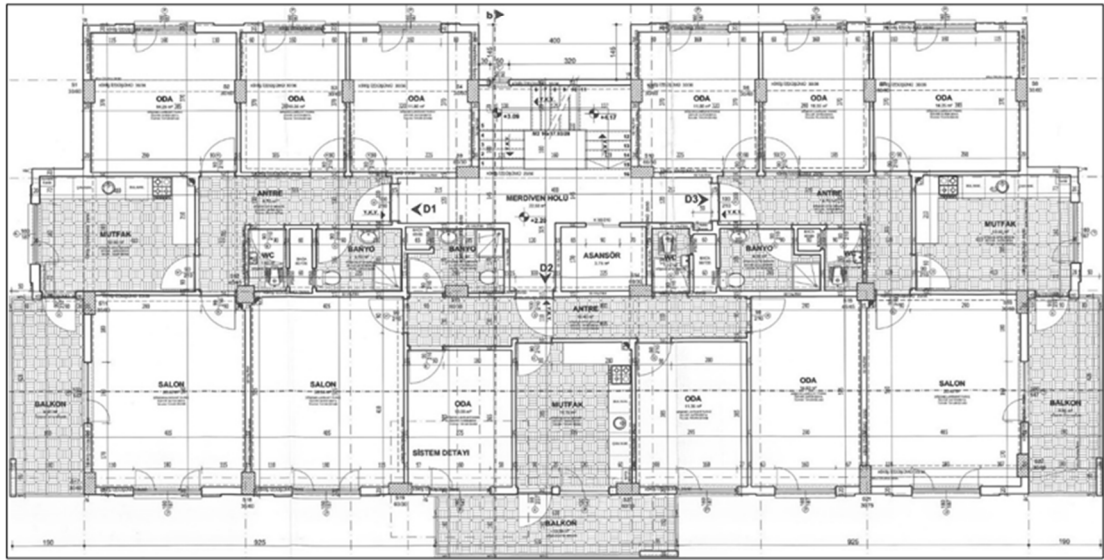


**Görsel 5.8.** BN08 kodlu binanın genel görünüşü

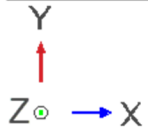
Şekil 5.22'de BN08 kodlu binanın normal kat kalıp ve normal kat mimari planları verilmiştir.



(a)

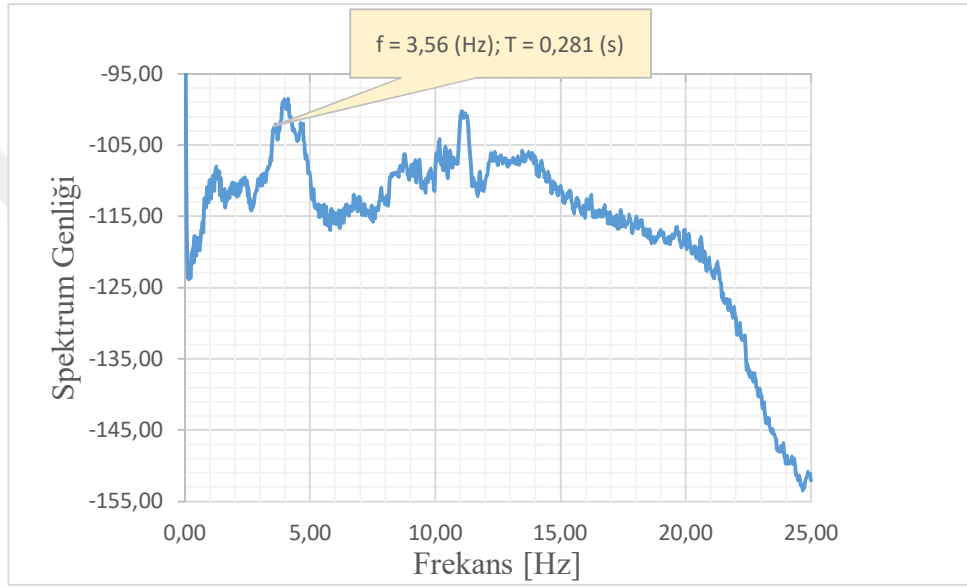


(b)

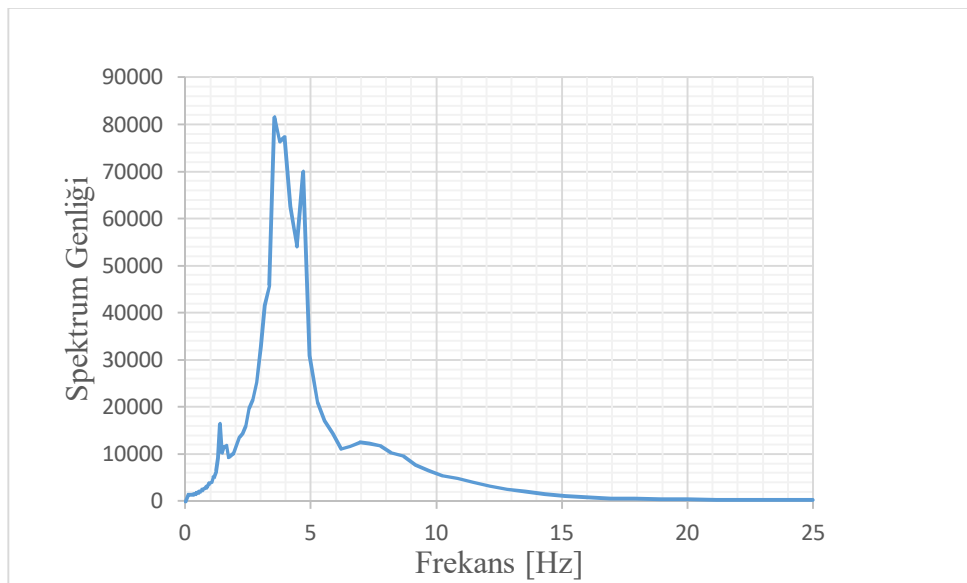


Şekil 5.22. (a) BN08 normal kat kalıp planı, (b) BN08 normal kat mimari planı

Şekil 5.23 ve Şekil 5.24’de BN08 kodlu binanın sırasıyla Artemis ve Geopsy yazılımları kullanılarak elde edilen spektrum grafikleri görülmektedir. Spektrum grafikleri üzerinde hem Artemis hem de Geopsy yazılımları ile yapılan otomatik pik seçimleri, temel periyot için en yüksek genlikli 0,281 s periyodunu göstermektedir. Ayrıca, Artemis yazılımında bulunan her bir pikin mod şekillerini izleme olanağı kullanılarak manuel yapılan irdelemeler sonucunda da BN08 kodlu binanın çevresel titreşim ölçümü ile bulunan temel periyodunun  $T_0 = 0,281$  s olduğu belirlenmiştir.



Şekil 5.23. BN08 kodlu binanın Artemis yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği



Şekil 5.24. BN08 kodlu binanın Geopsy yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği

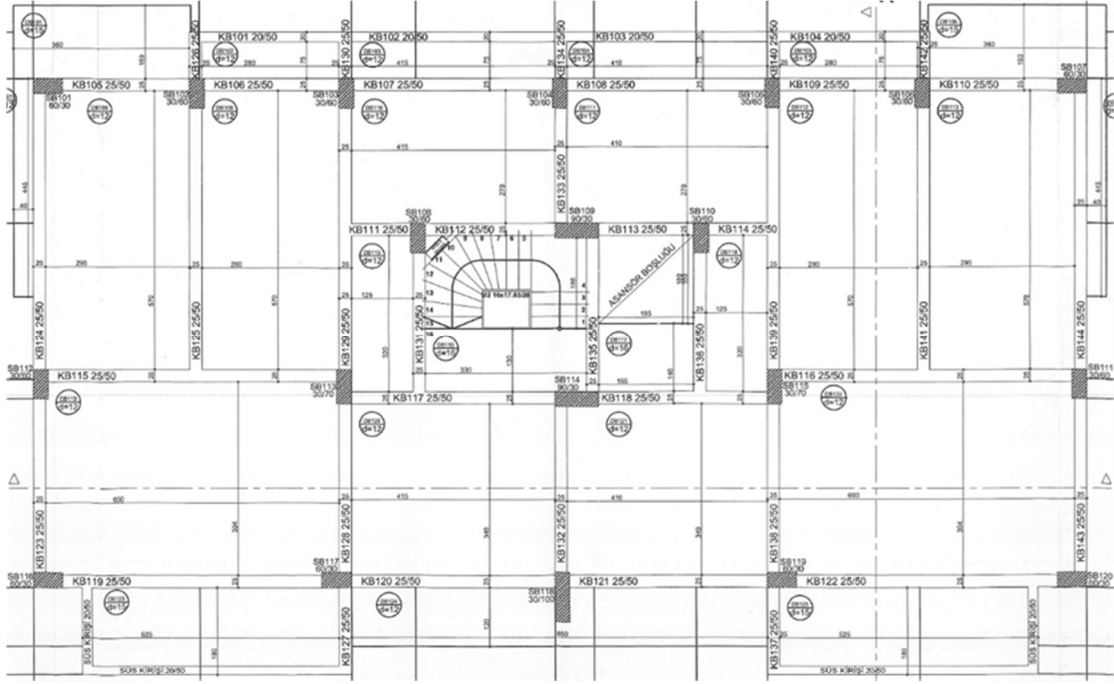
## 5.9. BN09

BN09 kodlu bina, ayırık nizam, 5 katlı konut tipi betonarme bir binadır. Deprem yükleri betonarme çerçeveler tarafından karşılanmaktadır. Bina, zemin etüt raporuna göre DBYBHY (2007)'de tanımlanan Z2 ( $T_a = 0,15 s$ ;  $T_b = 0,40 s$ ) sınıfı zemin üzerinde bulunmaktadır. Bölüm 4, Şekil 4.3'te bulunan jeoloji haritasına göre Konglomera-Kumtaşı birim üzerindedir. Normal kat yüksekliği 2,87 m, toplam bina yüksekliği 14,35 m'dir. Toplam taşıyıcı sistem en kesit alanı 3,96 m<sup>2</sup>'dir. Görsel 5.9'da BN09 kodlu binanın fotoğrafı görülmektedir.

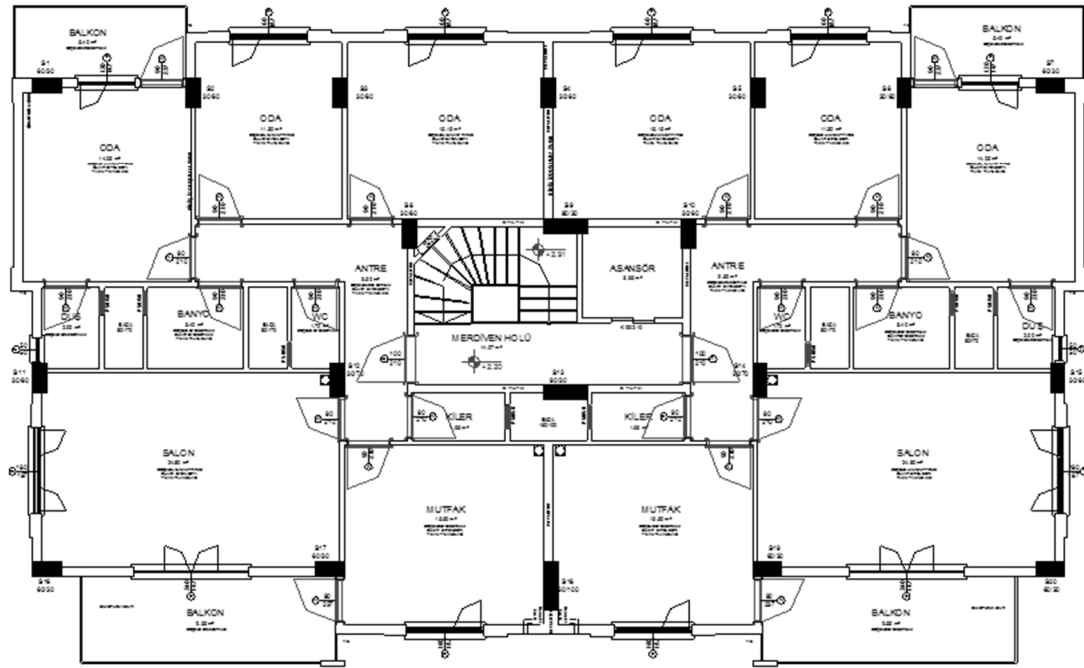


**Görsel 5.9.** BN09 kodlu binanın genel görünüşü

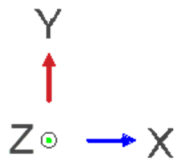
Şekil 5.25'de BN09 kodlu binanın normal kat kalıp ve normal kat mimari planları verilmiştir.



(a)

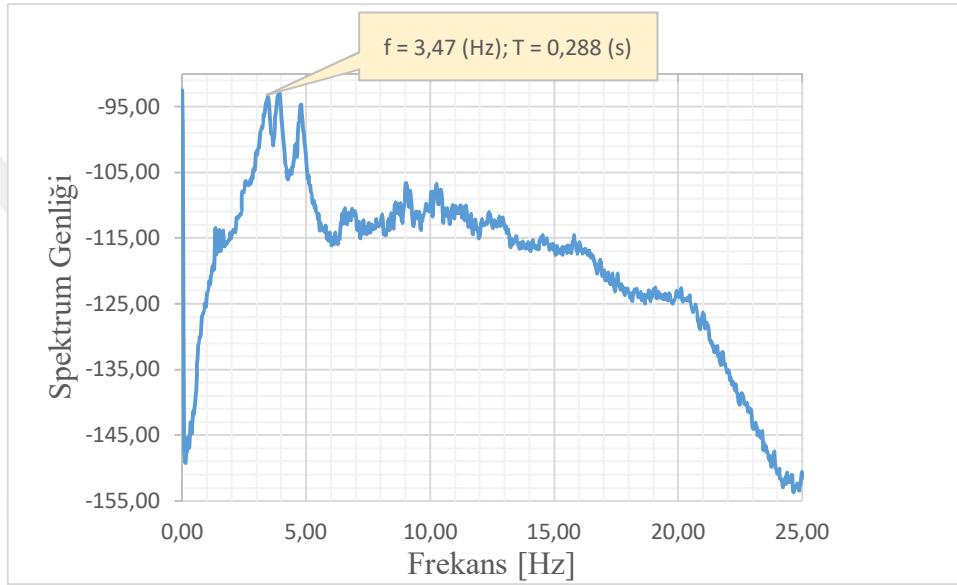


(b)

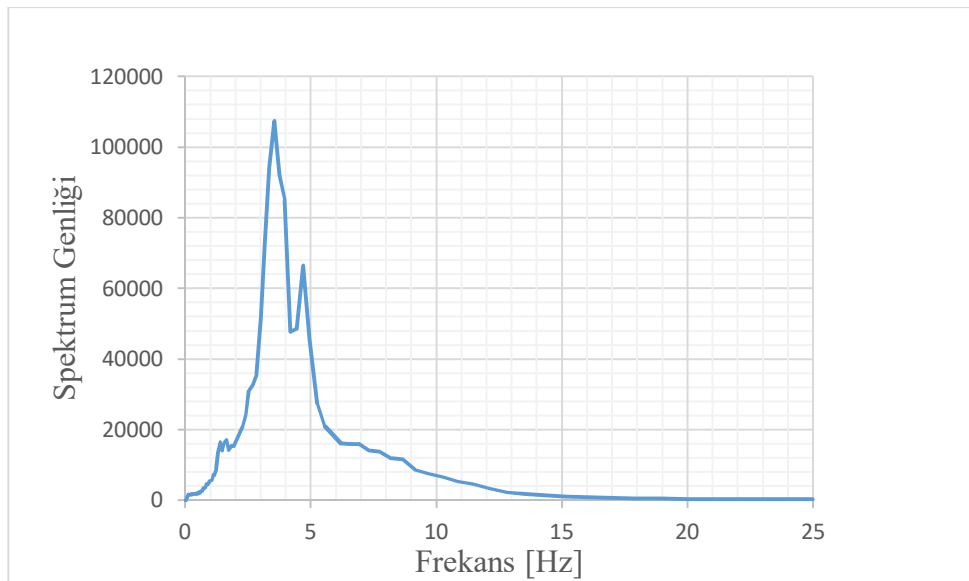


Şekil 5.25. (a) BN09 normal kat kalıp planı, (b) BN09 normal kat mimari planı

Şekil 5.26 ve Şekil 5.27’de BN09 kodlu binanın sırasıyla Artemis ve Geopsy yazılımları kullanılarak elde edilen spektrum grafikleri görülmektedir. Spektrum grafikleri üzerinde hem Artemis hem de Geopsy yazılımları ile yapılan otomatik pik seçimleri, temel periyot için en yüksek genlikli 0,288 s periyodunu göstermektedir. Ayrıca, Artemis yazılımında bulunan her bir pikin mod şekillerini izleme olanağı kullanılarak manuel yapılan irdellemeler sonucunda da BN09 kodlu binanın çevresel titreşim ölçümü ile bulunan temel periyodunun  $T_0 = 0,288$  s olduğu belirlenmiştir.



Şekil 5.26. BN09 kodlu binanın Artemis yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği



Şekil 5.27. BN09 kodlu binanın Geopsy yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği

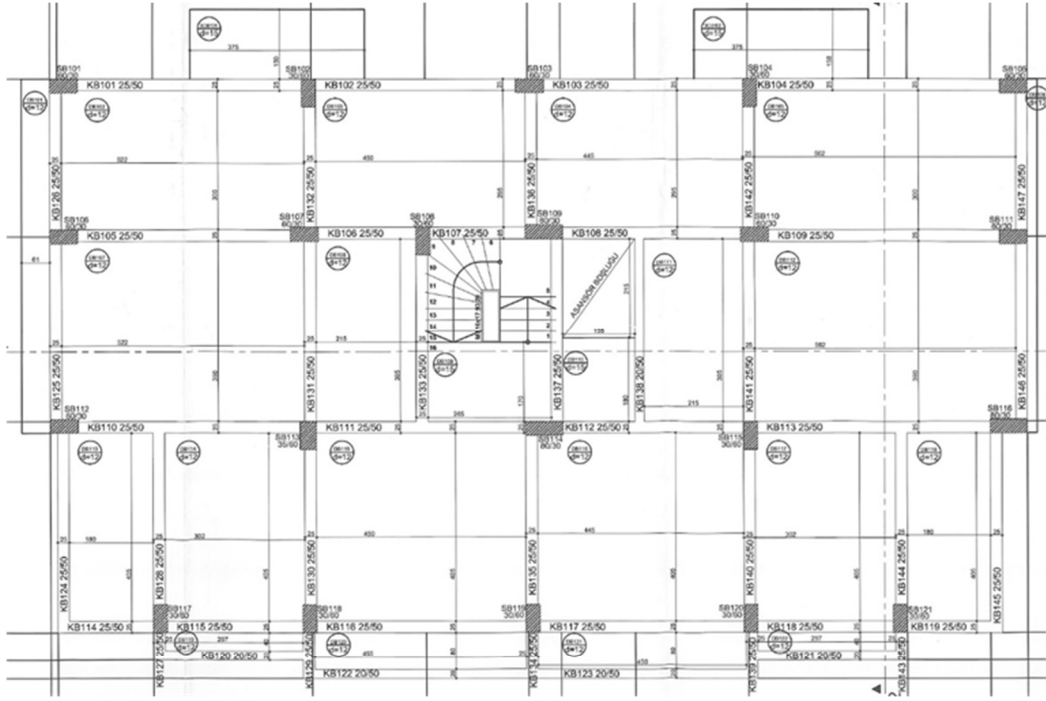
### 5.10. BN10

BN10 kodlu bina, ayırık nizam, 5 katlı konut tipi betonarme bir binadır. Deprem yükleri betonarme çerçeveler tarafından karşılanmaktadır. Bina, zemin etüt raporuna göre DBYBHY (2007)'de tanımlanan Z2 ( $T_a = 0,15 s$ ;  $T_b = 0,40 s$ ) sınıfı zemin üzerinde bulunmaktadır. Bölüm 4, Şekil 4.3'te bulunan jeoloji haritasına göre Konglomera-Kumtaşı birim üzerindedir. Normal kat yüksekliği 2,87 m, toplam bina yüksekliği 14,35 m'dir. Toplam taşıyıcı sistem en kesit alanı 3,96 m<sup>2</sup>'dir. Görsel 5.10'da BN10 kodlu binanın fotoğrafı görülmektedir.

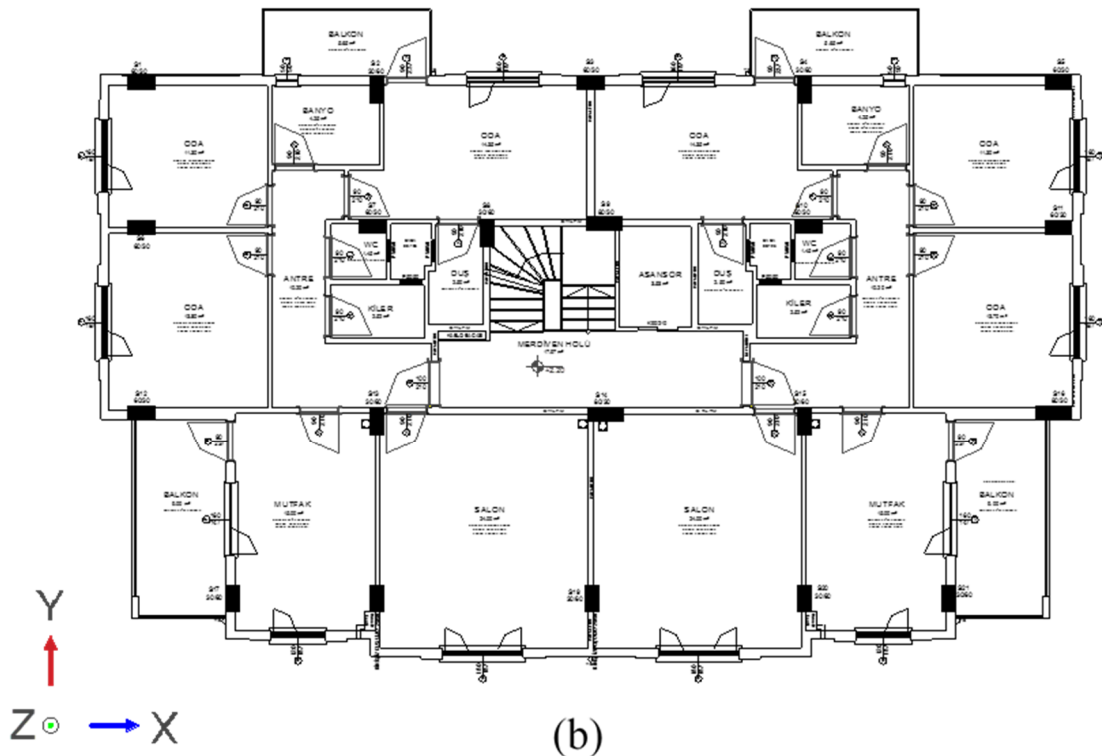


**Görsel 5.10.** BN10 kodlu binanın genel görünüşü

Şekil 5.28'de BN10 kodlu binanın normal kat kalıp ve normal kat mimari planları verilmiştir.



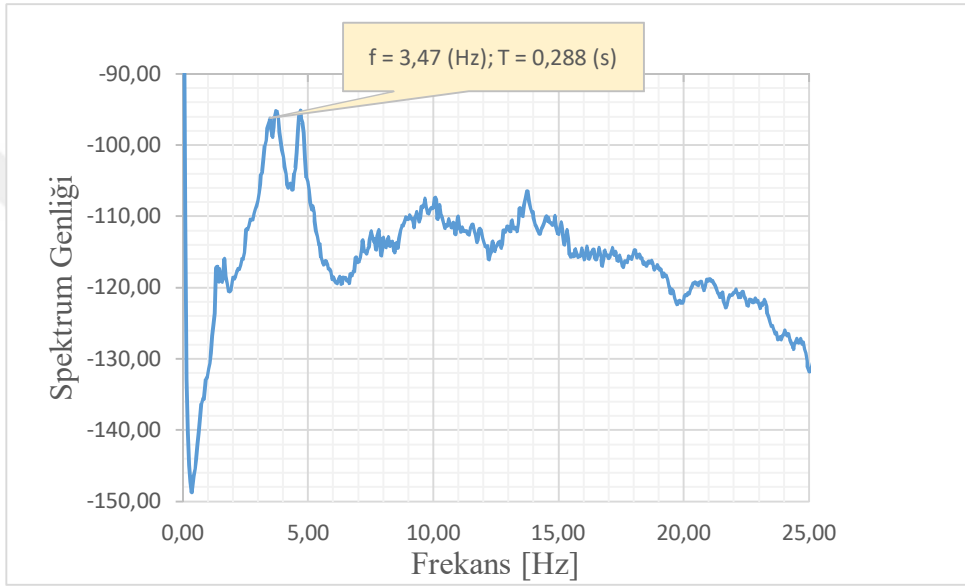
(a)



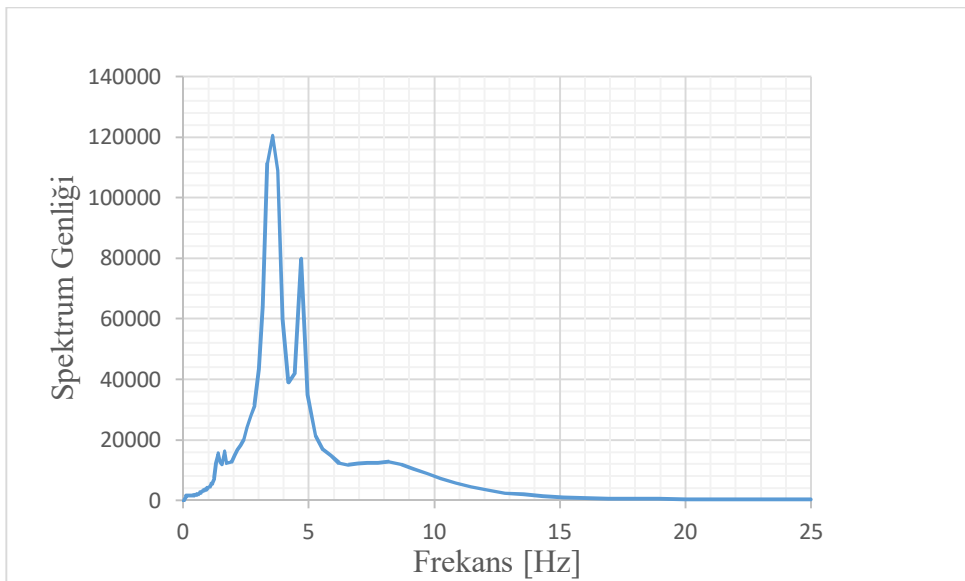
(b)

Şekil 5.28. (a) BN10 normal kat kalıp planı, (b) BN10 normal kat mimari planı

Şekil 5.29 ve Şekil 5.30’da BN10 kodlu binanın sırasıyla Artemis ve Geopsy yazılımları kullanılarak elde edilen spektrum grafikleri görülmektedir. Spektrum grafikleri üzerinde hem Artemis hem de Geopsy yazılımları ile yapılan otomatik pik seçimleri, temel periyot için en yüksek genlikli 0,288 s periyodunu göstermektedir. Ayrıca, Artemis yazılımında bulunan her bir pikin mod şekillerini izleme olanağı kullanılarak manuel yapılan irdelemeler sonucunda da BN10 kodlu binanın çevresel titreşim ölçümü ile bulunan temel periyodunun  $T_0 = 0,288$  s olduğu belirlenmiştir.



Şekil 5.29. BN10 kodlu binanın Artemis yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği



Şekil 5.30. BN10 kodlu binanın Geopsy yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği

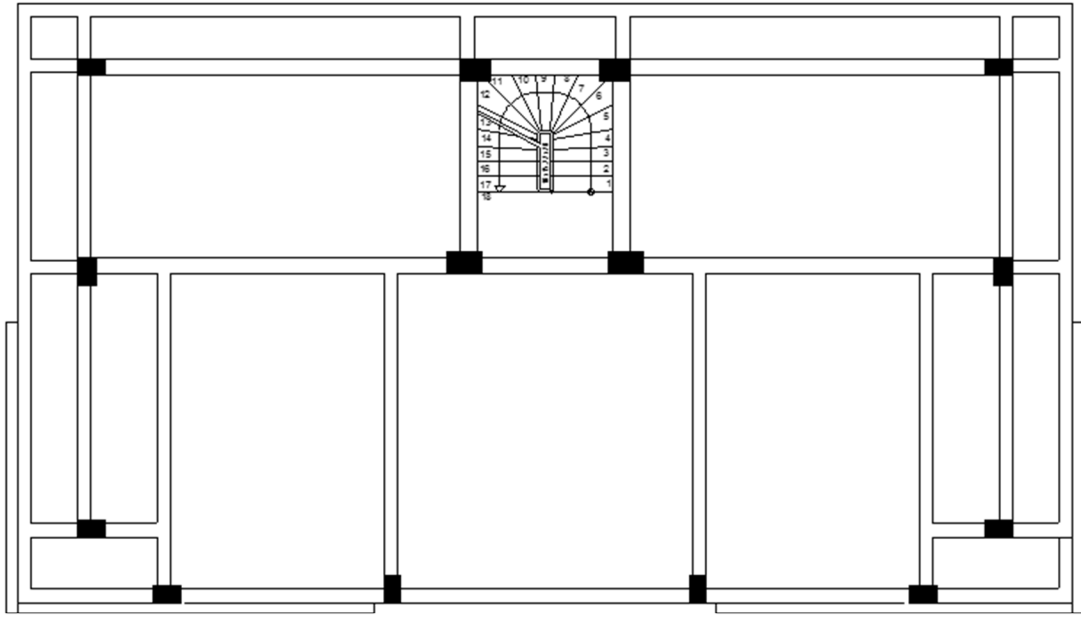
### 5.11. BN11

BN11 kodlu bina, ayırık nizam, 4 katlı konut tipi betonarme bir binadır. Deprem yükleri betonarme çerçeveler tarafından karşılanmaktadır. Bina, zemin etüt raporuna göre DBYBHY (2007)'de tanımlanan Z3 ( $T_a = 0,15 s ; T_b = 0,60 s$ ) sınıfı zemin üzerinde bulunmaktadır. Bölüm 4, Şekil 4.3'te bulunan jeoloji haritasına göre Yeşil ve alacalı Marnlar birimi üzerindedir. Normal kat yüksekliği 2,83 m, toplam bina yüksekliği 11,32 m'dir. Toplam taşıyıcı sistem en kesit alanı 2,61 m<sup>2</sup>'dir. Görsel 5.11'de BN11 kodlu binanın fotoğrafı görülmektedir.

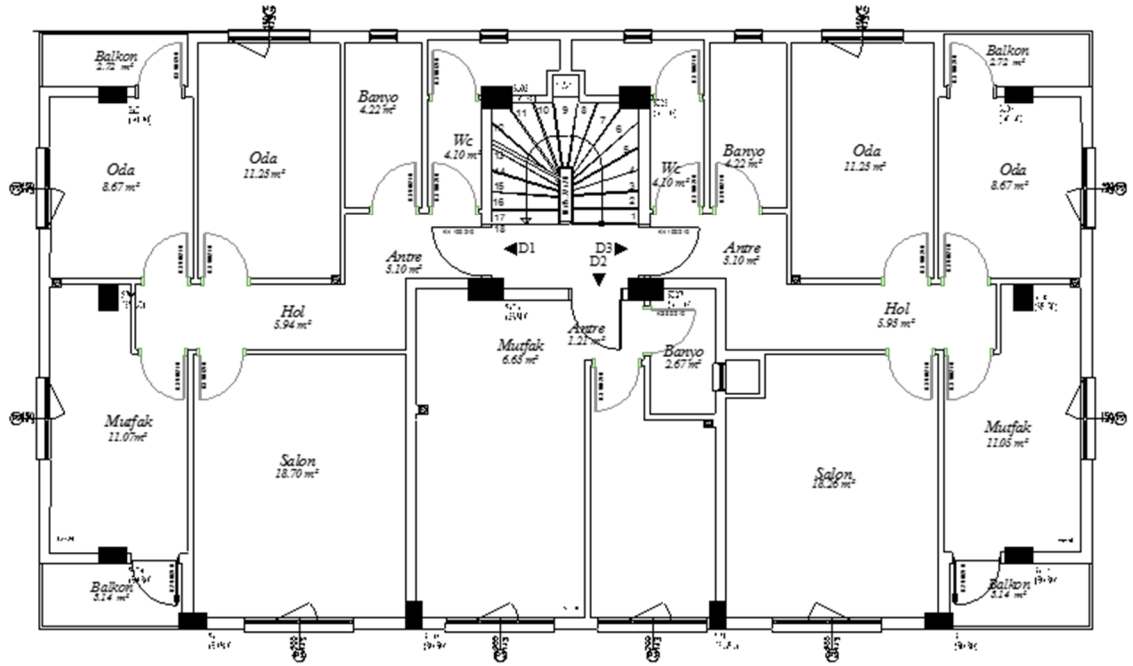


**Görsel 5.11.** BN11 kodlu binanın genel görünüşü

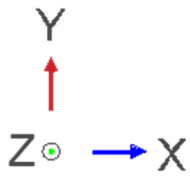
Şekil 5.31'de BN11 kodlu binanın normal kat kalıp ve normal kat mimari planları verilmiştir.



(a)

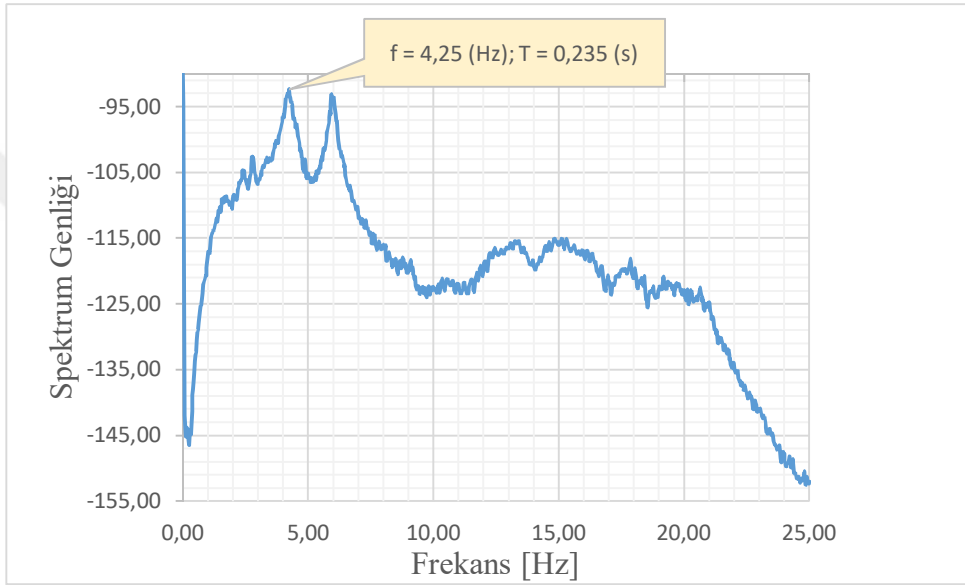


(b)

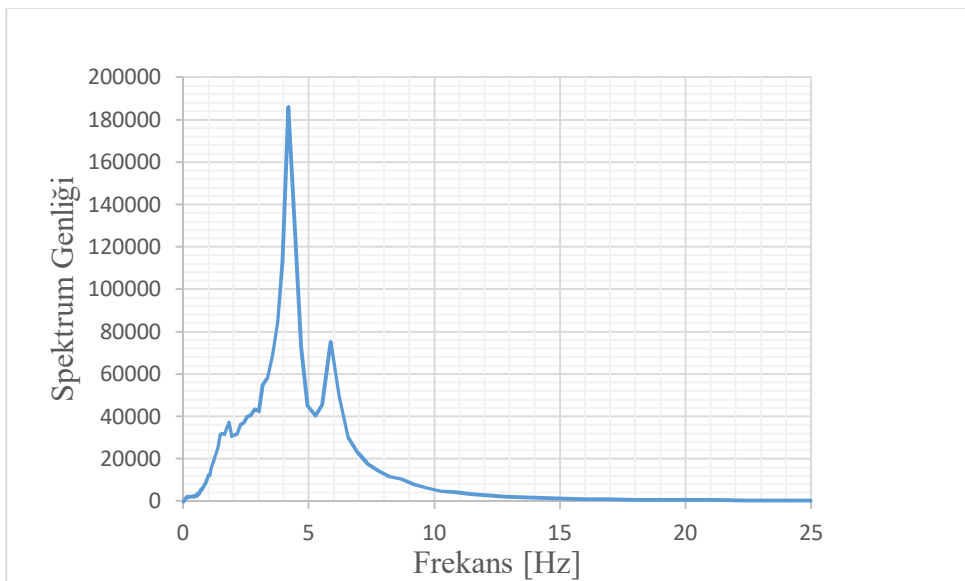


Şekil 5.31. (a) BN11 normal kat şematik kalıp planı, (b) BN11 normal kat mimari planı

Şekil 5.32 ve Şekil 5.33’de BN11 kodlu binanın sırasıyla Artemis ve Geopsy yazılımları kullanılarak elde edilen spektrum grafikleri görülmektedir. Spektrum grafikleri üzerinde hem Artemis hem de Geopsy yazılımları ile yapılan otomatik pik seçimleri, temel periyot için en yüksek genlikli 0,235 s periyodunu göstermektedir. Ayrıca, Artemis yazılımında bulunan her bir pikin mod şekillerini izleme olanağı kullanılarak manuel yapılan irdelemeler sonucunda da BN11 kodlu binanın çevresel titreşim ölçümü ile bulunan temel periyodunun  $T_0 = 0,235$  s olduğu belirlenmiştir.



Şekil 5.32. BN11 kodlu binanın Artemis yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği



Şekil 5.33. BN11 kodlu binanın Geopsy yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği

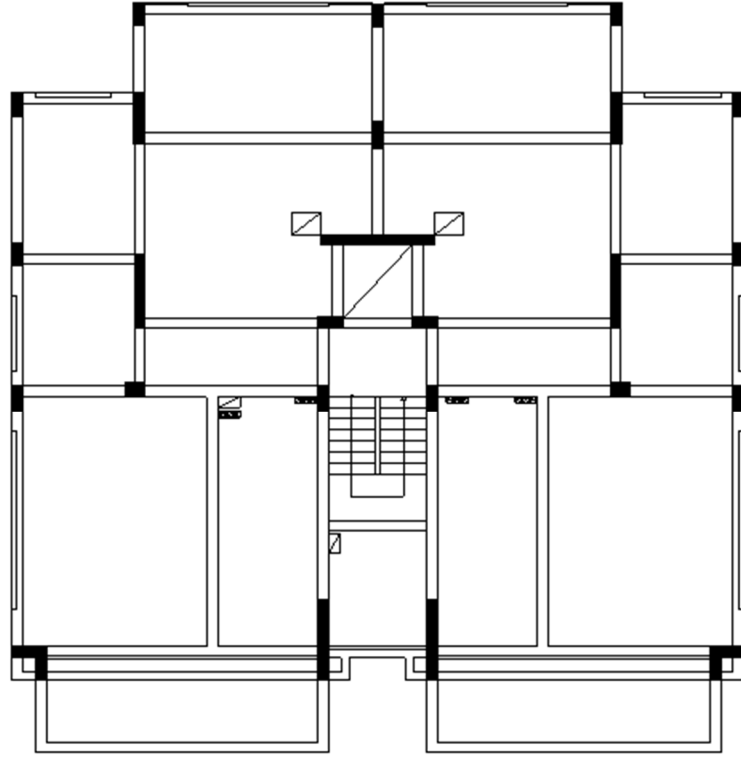
### 5.12. BN12

BN12 kodlu bina, ayırık nizam, 5 katlı konut tipi betonarme bir binadır. Deprem yükleri betonarme perdeler ve çerçeveler tarafından karşılanmaktadır. Bina, zemin etüt raporuna göre DBYBHY (2007)'de tanımlanan Z3 ( $T_a = 0,15 s ; T_b = 0,60 s$ ) sınıfı zemin üzerinde bulunmaktadır. Bölüm 4, Şekil 4.3'te bulunan jeoloji haritasına göre alüvyon birim üzerindedir. Normal kat yüksekliği 2,83 m, toplam bina yüksekliği 14,12 m'dir. Şekil 5.34'te gösterilen koordinat eksenine göre X doğrultusunda çalışan perde en kesit alanı 0,75 m<sup>2</sup>, Y doğrultusunda çalışan perde en kesit alanı ise 2,24 m<sup>2</sup>'dir. Toplam taşıyıcı sistem en kesit alanı 8,03 m<sup>2</sup>'dir. Görsel 5.12'de BN12 kodlu binanın fotoğrafı görülmektedir.

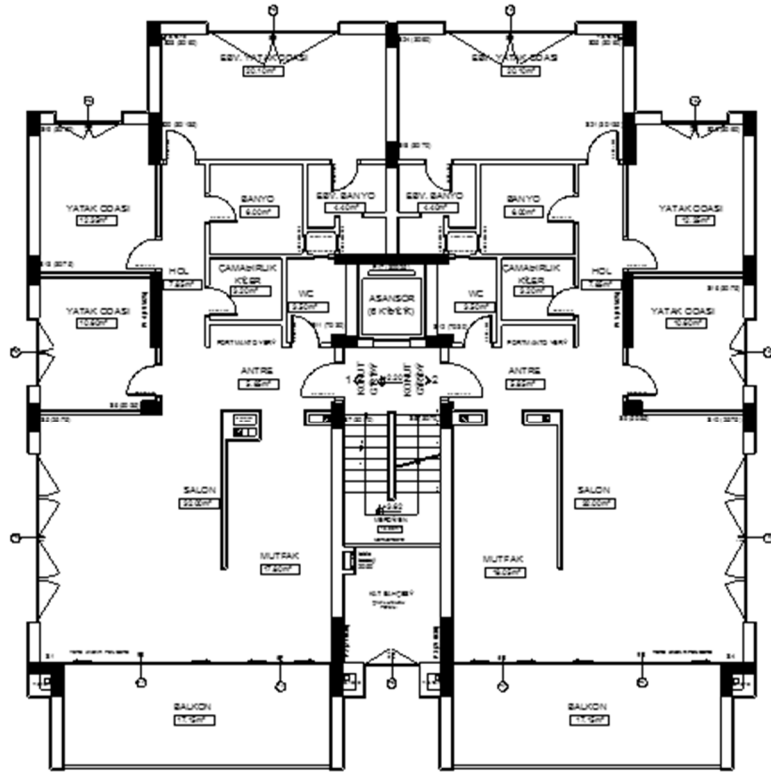


**Görsel 5.12.** BN12 kodlu binanın genel görünüşü

Şekil 5.34'te BN12 kodlu binanın normal kat kalıp ve normal kat mimari planları verilmiştir.



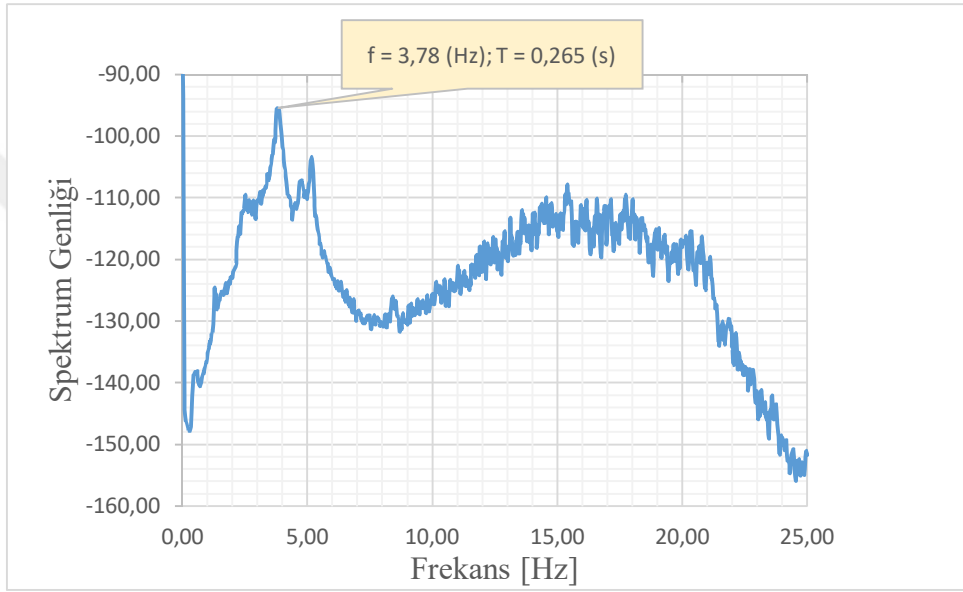
(a)



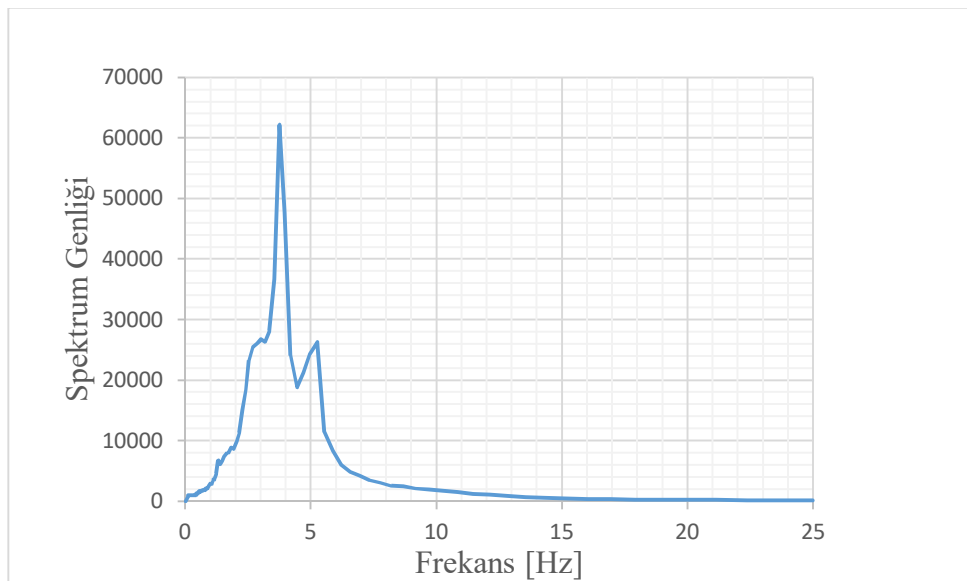
(b)

Şekil 5.34. (a) BN12 normal kat şematik kalıp planı, (b) BN12 normal kat mimari planı

Şekil 5.35 ve Şekil 5.36’da BN12 kodlu binanın sırasıyla Artemis ve Geopsy yazılımları kullanılarak elde edilen spektrum grafikleri görülmektedir. Spektrum grafikleri üzerinde hem Artemis hem de Geopsy yazılımları ile yapılan otomatik pik seçimleri, temel periyot için en yüksek genlikli 0,265 s periyodunu göstermektedir. Ayrıca, Artemis yazılımında bulunan her bir pikin mod şekillerini izleme olanağı kullanılarak manuel yapılan irdelemeler sonucunda da BN12 kodlu binanın çevresel titreşim ölçümü ile bulunan temel periyodunun  $T_0 = 0,265$  s olduğu belirlenmiştir.



Şekil 5.35. BN12 kodlu binanın Artemis yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği



Şekil 5.36. BN12 kodlu binanın Geopsy yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği

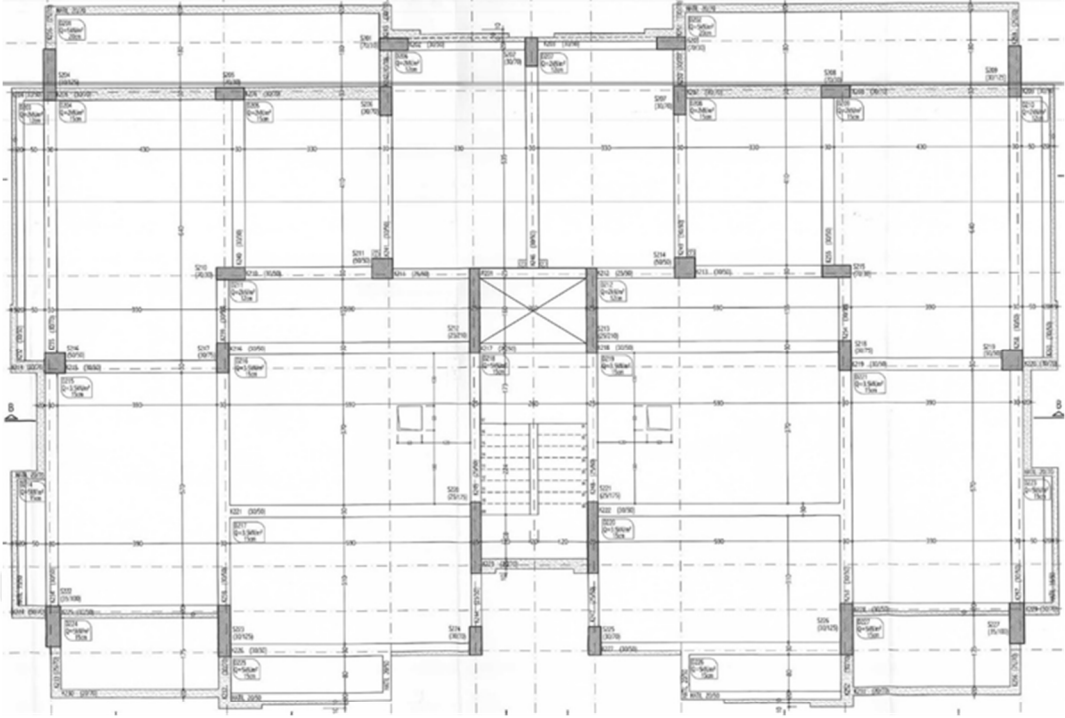
### 5.13. BN13

BN13 kodlu bina, ayırık nizam, 6 katlı konut tipi betonarme bir binadır. Deprem yükleri betonarme perdeler ve çerçeveler tarafından karşılanmaktadır. Bina, zemin etüt raporuna göre DBYBHY (2007)'de tanımlanan Z2 ( $T_a = 0,15 s ; T_b = 0,40 s$ ) sınıfı zemin üzerinde bulunmaktadır. Bölüm 4, Şekil 4.3'te bulunan jeoloji haritasına göre eski alüvyon birim üzerindedir. Normal kat yüksekliği 2,80 m, toplam bina yüksekliği 16,80 m'dir. Şekil 5.37'de gösterilen koordinat eksenine göre X doğrultusunda çalışan perde bulunmamaktadır, Y doğrultusunda çalışan perde en kesit alanı ise 1,93 m<sup>2</sup>'dir. Toplam taşıyıcı sistem en kesit alanı 7,89 m<sup>2</sup>'dir. Görsel 5.13'te BN13 kodlu binanın fotoğrafı görülmektedir.

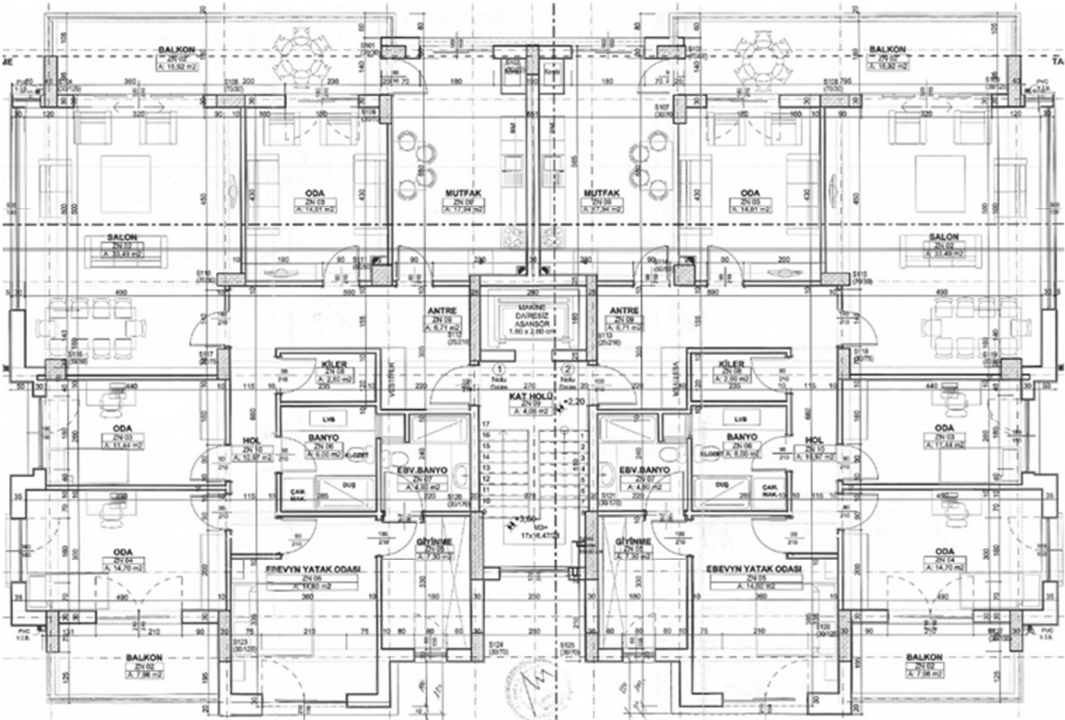


**Görsel 5.13.** BN13 kodlu binanın genel görünüşü

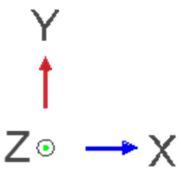
Şekil 5.37'de BN13 kodlu binanın normal kat kalıp ve normal kat mimari planları verilmiştir.



(a)

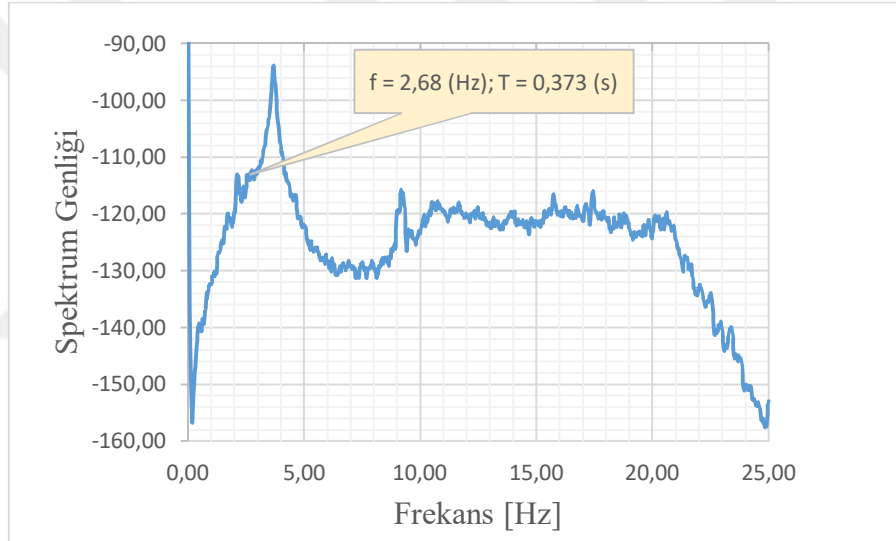


(b)

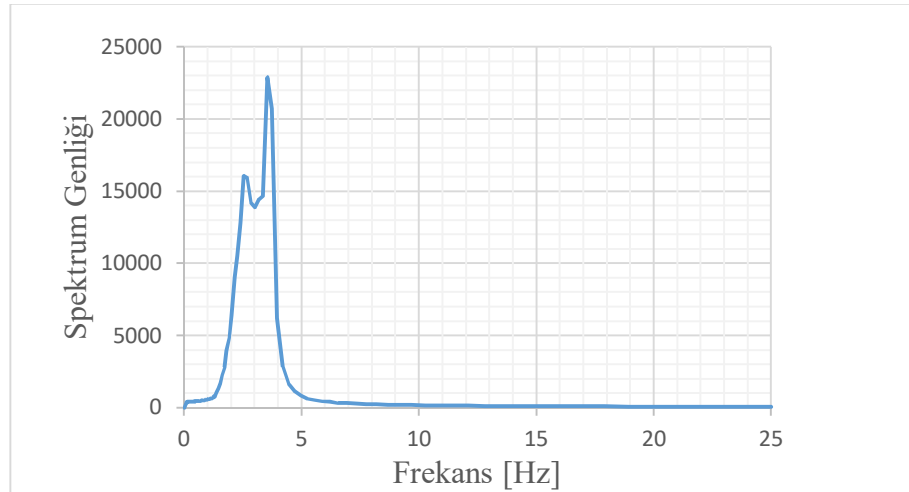


Şekil 5.37. (a) BN13 normal kat kalıp planı, (b) BN13 normal kat mimari planı

Şekil 5.38 ve Şekil 5.39’da BN13 kodlu binanın sırasıyla Artemis ve Geopsy yazılımları kullanılarak elde edilen spektrum grafikleri görülmektedir. Şekil 5.38’de verilen Artemis yazılımı ile bulunan spektrum grafiği irdelendiğinde 0,270 s’de belirgin bir pik gözlenmiştir. Şekil 5.39’daki Geopsy yazılımı ile elde edilen spektrum grafiğinde ise 0,270 s’deki pik genliğe ek olarak 0,373 s’de başka bir güçlü pik gözlenmiştir. Geopsy yazılımında otomatik pik seçiminde temel periyot olarak 0,373 s’deki bu pik yazılım tarafından temel periyot olarak belirlenmiştir. Bunun üzerine Artemis yazılımında manuel olarak ilgili periyot irdelendiğinde bu periyotta belirgin bir X yönü ötelenme hareketi olduğu görülmüştür. Sonuç olarak, BN13 kodlu binanın temel periyodunun  $T_0 = 0,373$  s olduğu değerlendirilmiştir.



Şekil 5.38. BN13 kodlu binanın Artemis yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği



Şekil 5.39. BN13 kodlu binanın Geopsy yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği

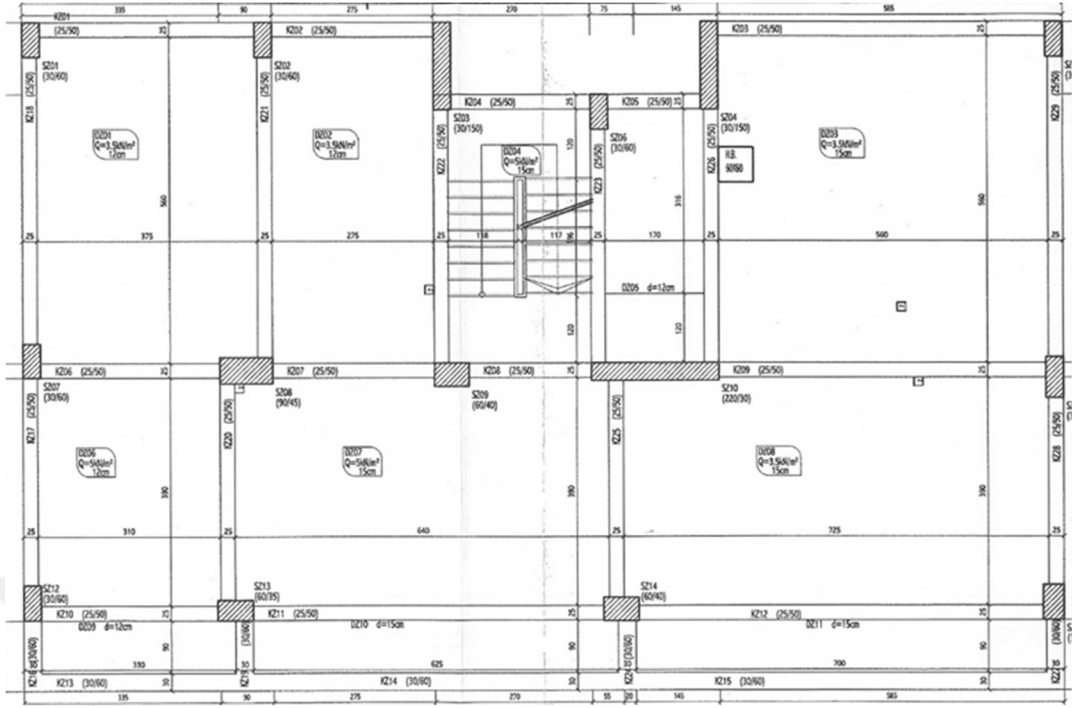
#### 5.14. BN14

BN14 kodlu bina, ayırık nizam, 5 katlı konut tipi betonarme bir binadır. Deprem yükleri betonarme perdeler ve çerçeveler tarafından karşılanmaktadır. Bina, zemin etüt raporuna göre DBYBHY (2007)'de tanımlanan Z2 ( $T_a = 0,15 s ; T_b = 0,40 s$ ) sınıfı zemin üzerinde bulunmaktadır. Bölüm 4, Şekil 4.3'te bulunan jeoloji haritasına göre Konglomera-Kumtaşı birimi üzerindedir. Normal kat yüksekliği 2,87 m, toplam bina yüksekliği 11,35 m'dir. Binanın giriş katının üç cephesinde arazideki eğimden dolayı rijit dolgu perdeleri bulunmaktadır. Bu nedenle, bina yüksekliği belirlenirken dolgu perdelerinin üstünde kalan bölüm dikkate alınmıştır. Şekil 5.40'da gösterilen koordinat eksenine göre X doğrultusunda çalışan perde en kesit alanı  $0,66 m^2$ 'dir. Y doğrultusunda çalışan perde bulunmamaktadır. Toplam taşıyıcı sistem en kesit alanı  $4,16 m^2$ 'dir. Görsel 5.14'te BN14 kodlu binanın fotoğrafı görülmektedir.

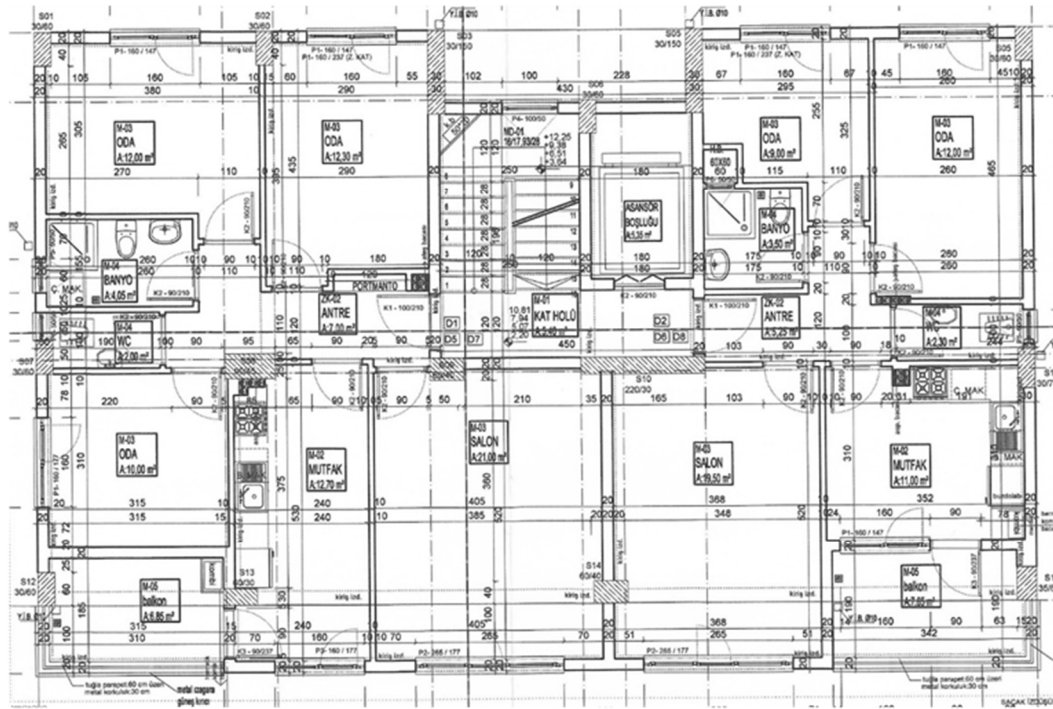


**Görsel 5.14.** BN14 kodlu binanın genel görünüşü

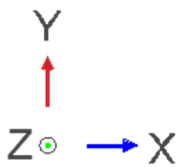
Şekil 5.40'da BN14 kodlu binanın normal kat kalıp ve normal kat mimari planları verilmiştir.



(a)

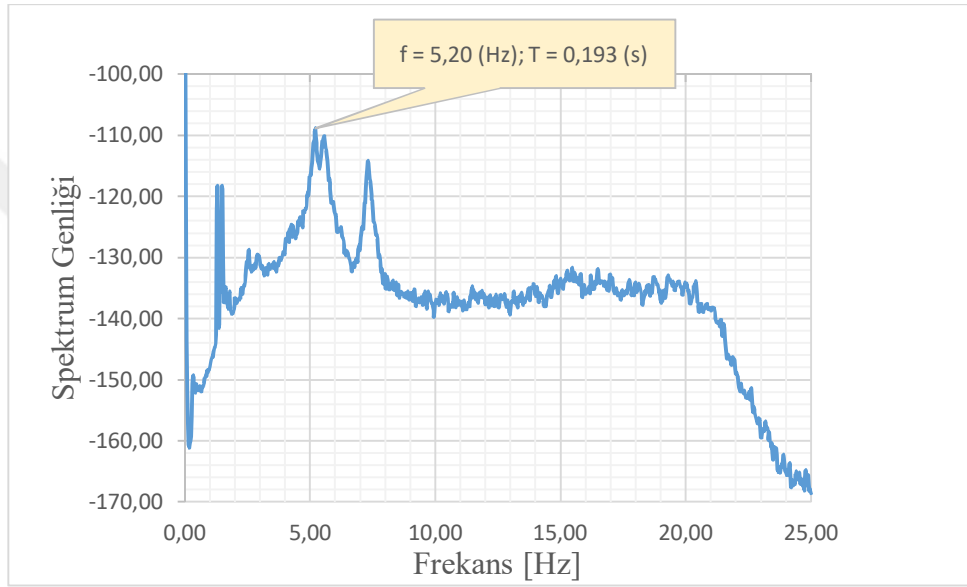


(b)

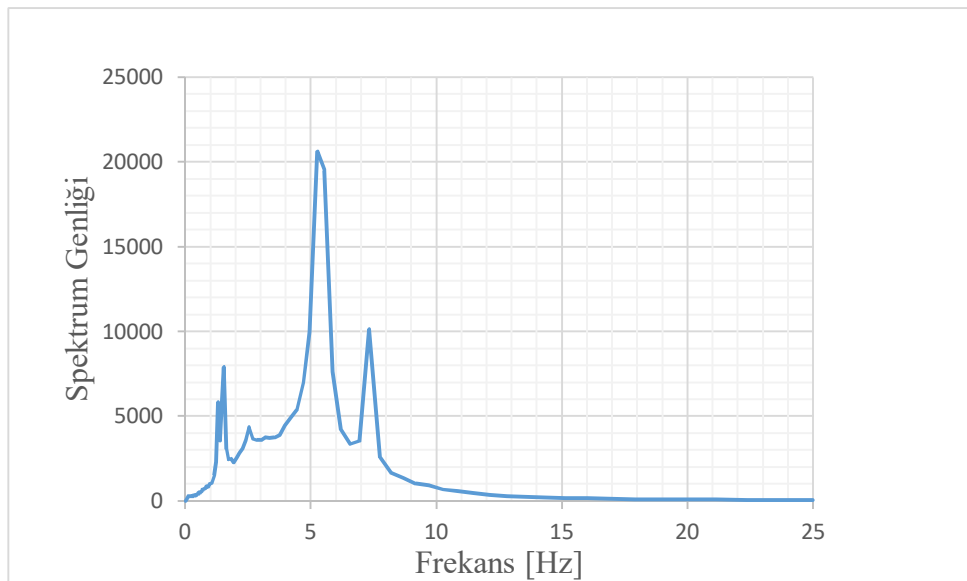


Şekil 5.40. (a) BN14 normal kat kalıp planı, (b) BN14 normal kat mimari planı

Şekil 5.41 ve Şekil 5.42’de BN14 kodlu binanın sırasıyla Artemis ve Geopsy yazılımları kullanılarak elde edilen spektrum grafikleri görülmektedir. Spektrum grafikleri üzerinde hem Artemis hem de Geopsy yazılımları ile yapılan otomatik pik seçimleri, temel periyot için en yüksek genlikli 0,193 s periyodunu göstermektedir. Ayrıca, Artemis yazılımında bulunan her bir pikin mod şekillerini izleme olanağı kullanılarak manuel yapılan irdellemeler sonucunda da BN14 kodlu binanın çevresel titreşim ölçümü ile bulunan temel periyodunun  $T_0 = 0,193$  s olduğu belirlenmiştir.



Şekil 5.41. BN14 kodlu binanın Artemis yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği



Şekil 5.42. BN14 kodlu binanın Geopsy yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği

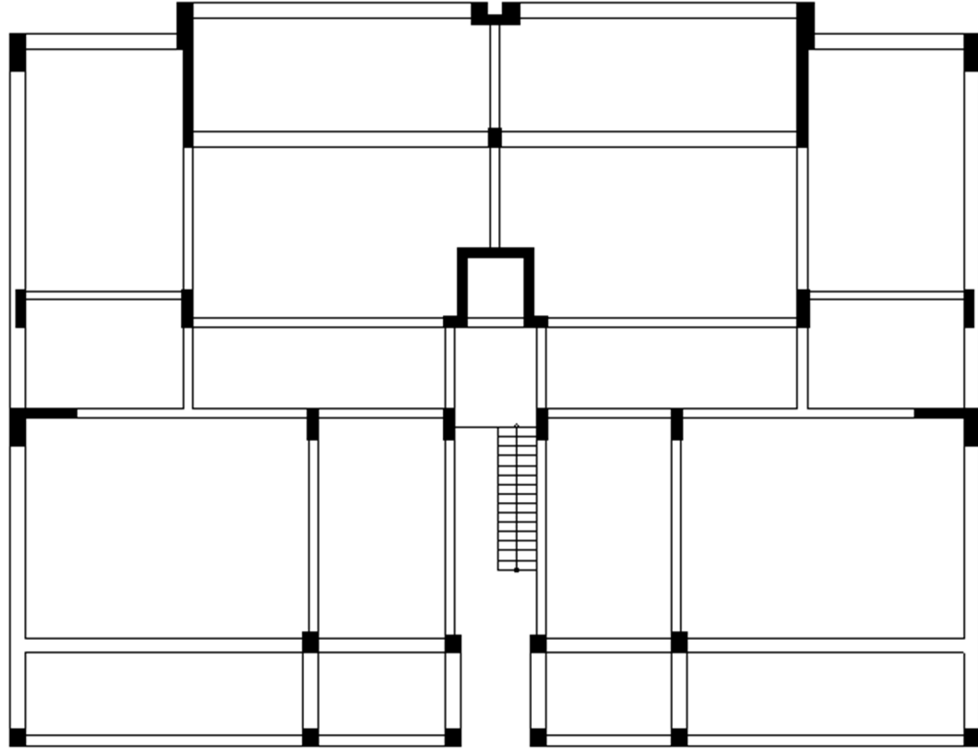
### 5.15. BN15

BN15 kodlu bina, ayırık nizam, 4 katlı konut tipi betonarme bir binadır. Deprem yükleri betonarme perdeler ve çerçeveler tarafından karşılanmaktadır. Bina, zemin etüt raporuna göre DBYBHY (2007)'de tanımlanan Z3 ( $T_a = 0,15 s ; T_b = 0,60 s$ ) sınıfı zemin üzerinde bulunmaktadır. Bölüm 4, Şekil 4.3'te bulunan jeoloji haritasına göre alüvyon birim üzerindedir. Normal kat yüksekliği 3,30 m, toplam bina yüksekliği 12,70 m'dir. Şekil 5.43'te gösterilen koordinat eksenine göre X doğrultusunda çalışan perde en kesit alanı 1,98 m<sup>2</sup>, Y doğrultusunda çalışan perde en kesit alanı ise 4,26 m<sup>2</sup>'dir. Toplam taşıyıcı sistem en kesit alanı 16,12 m<sup>2</sup>'dir. Görsel 5.15'de BN15 kodlu binanın fotoğrafı görülmektedir.

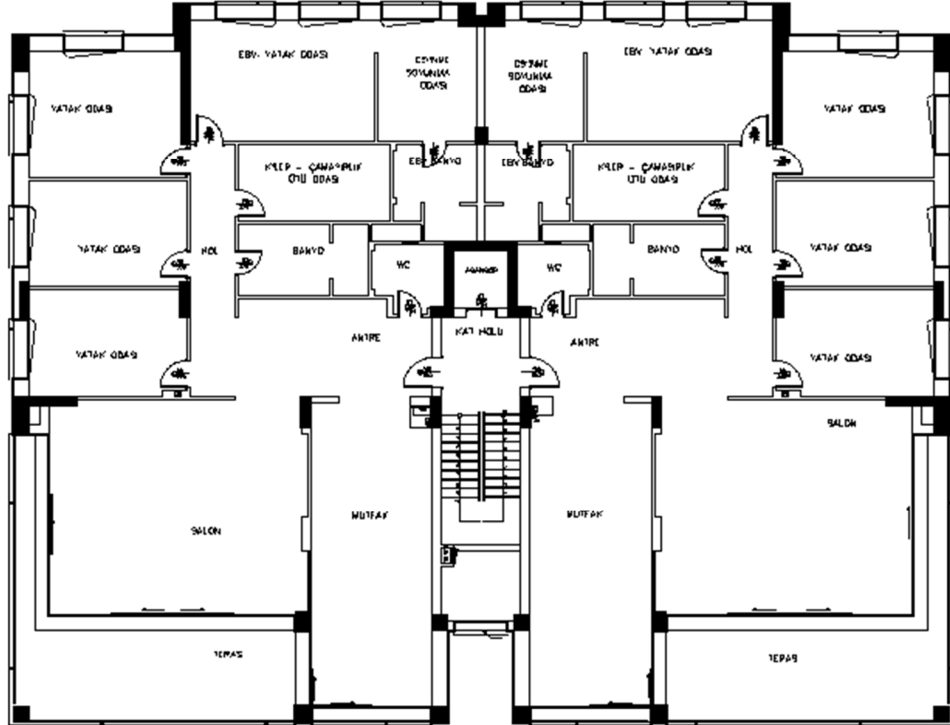


**Görsel 5.15.** BN15 kodlu binanın genel görünüşü

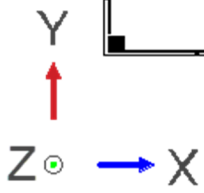
Şekil 5.43'te BN15 kodlu binanın normal kat kalıp ve normal kat mimari planları verilmiştir.



(a)

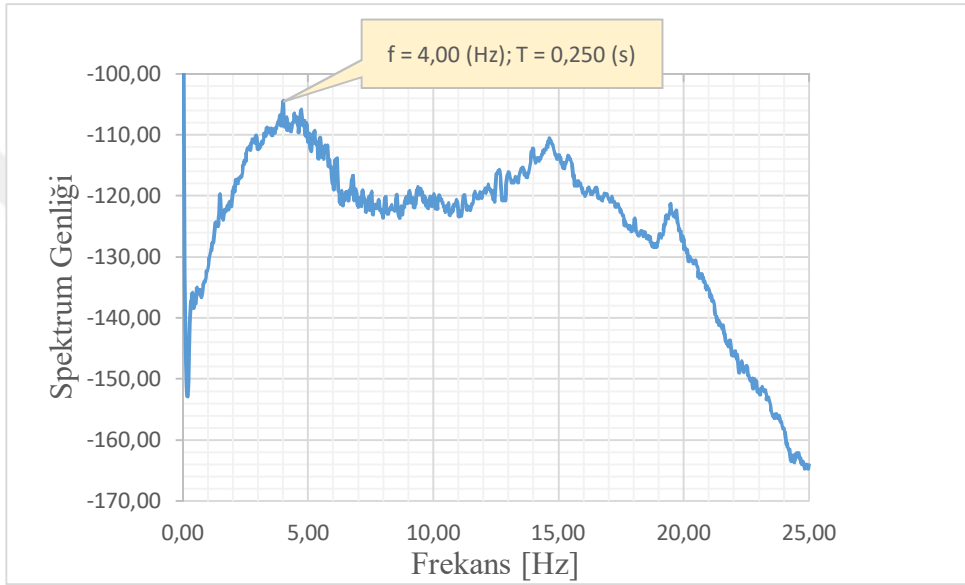


(b)

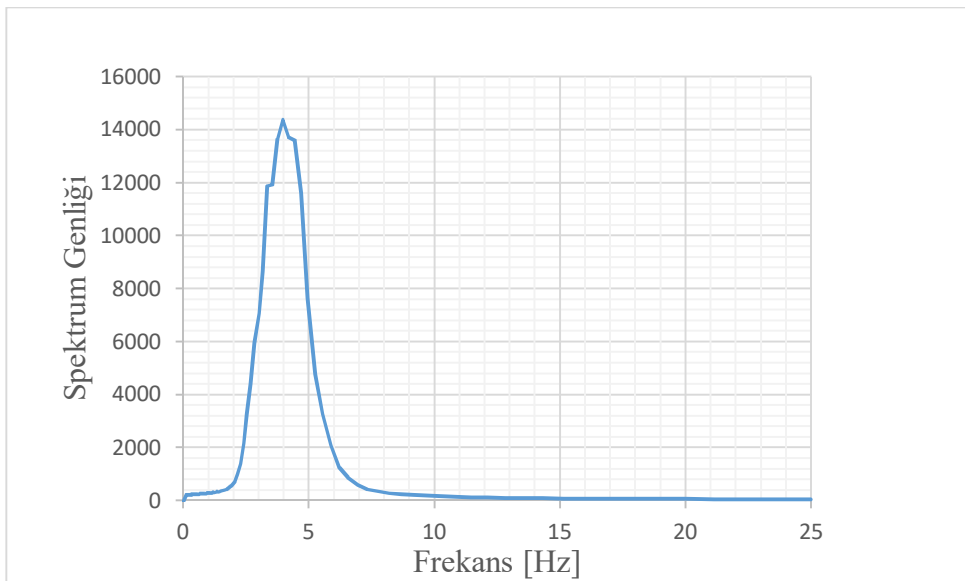


Şekil 5.43. (a) BN15 normal kat şematik kalıp planı, (b) BN15 normal kat mimari planı

Şekil 5.44 ve Şekil 5.45’da BN15 kodlu binanın sırasıyla Artemis ve Geopsy yazılımları kullanılarak elde edilen spektrum grafikleri görülmektedir. Spektrum grafikleri üzerinde hem Artemis hem de Geopsy yazılımları ile yapılan otomatik pik seçimleri, temel periyot için en yüksek genlikli 0,250 s periyodunu göstermektedir. Ayrıca, Artemis yazılımında bulunan her bir pikin mod şekillerini izleme olanağı kullanılarak manuel yapılan irdelemeler sonucunda da BN15 kodlu binanın çevresel titreşim ölçümü ile bulunan temel periyodunun  $T_0 = 0,250$  s olduğu belirlenmiştir.



Şekil 5.44. BN15 kodlu binanın Artemis yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği



Şekil 5.45. BN15 kodlu binanın Geopsy yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği

### 5.16. BN16

BN16 kodlu bina, ayırık nizam, 5 katlı konut tipi betonarme bir binadır. Deprem yükleri betonarme perdeler ve çerçeveler tarafından karşılanmaktadır. Bina, zemin etüt raporuna göre DBYBHY (2007)'de tanımlanan Z2 ( $T_a = 0,15 s ; T_b = 0,40 s$ ) sınıfı zemin üzerinde bulunmaktadır. Bölüm 4, Şekil 4.3'te bulunan jeoloji haritasına göre Konglomera-Kumtaşı birim üzerindedir. Normal kat yüksekliği 2,85 m, toplam bina yüksekliği 14,25 m'dir. Şekil 5.46'da gösterilen koordinat eksenine göre X doğrultusunda çalışan perde en kesit alanı  $0,96 m^2$ 'dir, Y doğrultusunda çalışan perde bulunmamaktadır. Toplam taşıyıcı sistem en kesit alanı  $5,31 m^2$ 'dir. Görsel 5.16'da BN16 kodlu binanın fotoğrafı görülmektedir.

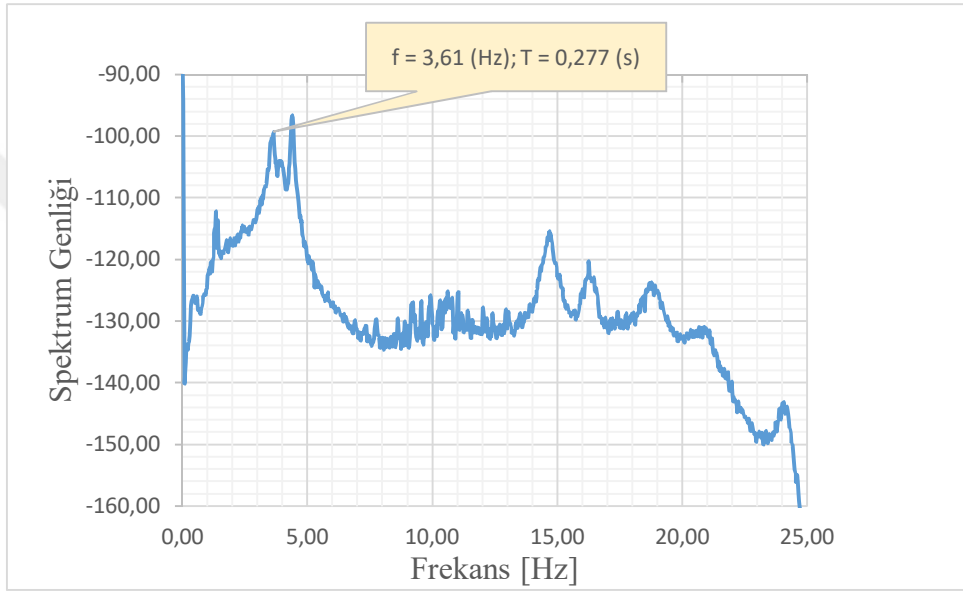


**Görsel 5.16** BN16 kodlu binanın genel görünüşü

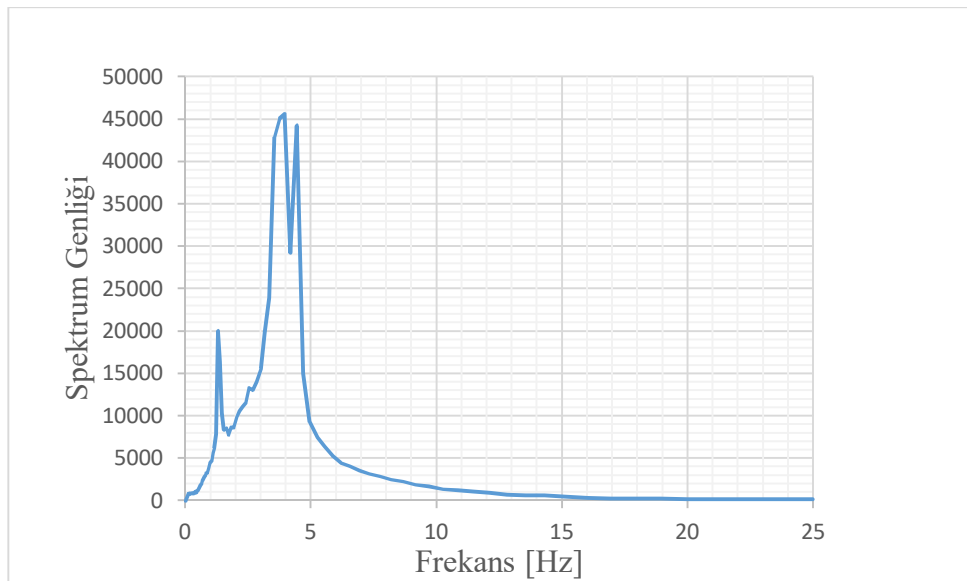
Şekil 5.46'da BN16 kodlu binanın normal kat kalıp ve normal kat mimari planları verilmiştir.



Şekil 5.47 ve Şekil 5.48’de BN16 kodlu binanın sırasıyla Artemis ve Geopsy yazılımları kullanılarak elde edilen spektrum grafikleri görülmektedir. Spektrum grafikleri üzerinde hem Artemis hem de Geopsy yazılımları ile yapılan otomatik pik seçimleri, temel periyot için en yüksek genlikli 0,277 s periyodunu göstermektedir. Ayrıca, Artemis yazılımında bulunan her bir pikin mod şekillerini izleme olanağı kullanılarak manuel yapılan irdelemeler sonucunda da BN16 kodlu binanın çevresel titreşim ölçümü ile bulunan temel periyodunun  $T_0 = 0,277$  s olduğu belirlenmiştir.



Şekil 5.47. BN16 kodlu binanın Artemis yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği



Şekil 5.48. BN16 kodlu binanın Geopsy yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği

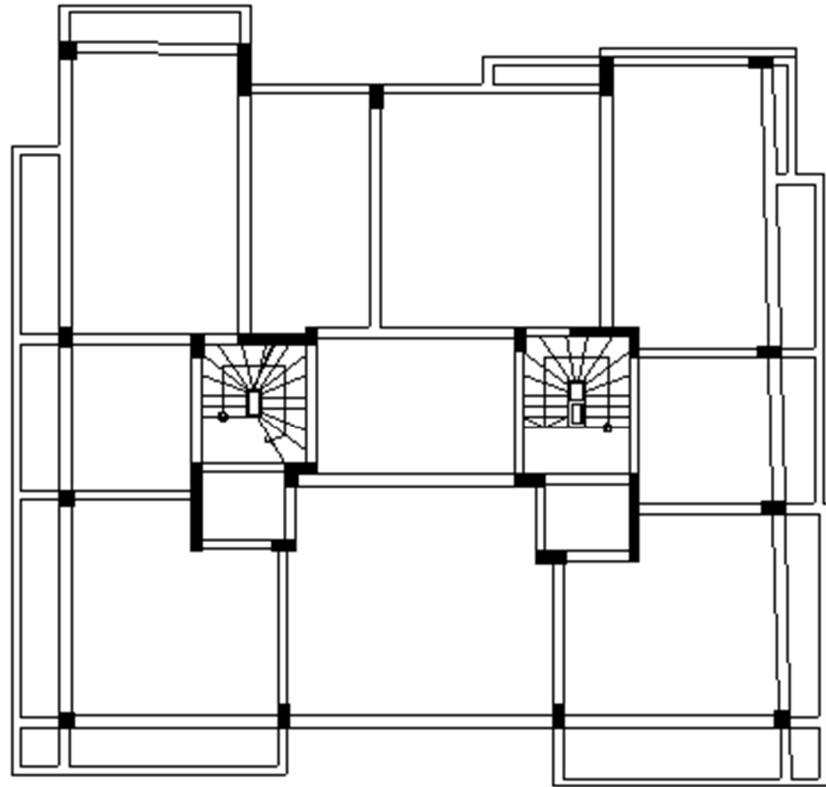
### 5.17. BN17

BN17 kodlu bina, ayırık nizam, 5 katlı konut tipi betonarme bir binadır. Deprem yükleri betonarme perdeler ve çerçeveler tarafından karşılanmaktadır. Bina, zemin etüt raporuna göre DBYBHY (2007)'de tanımlanan Z3 ( $T_a = 0,15 s ; T_b = 0,60 s$ ) sınıfı zemin üzerinde bulunmaktadır. Bölüm 4, Şekil 4.3'te bulunan jeoloji haritasına göre alüvyon birim üzerindedir. Normal kat yüksekliği 2,85 m, toplam bina yüksekliği 14,10 m'dir. Şekil 5.49'da gösterilen koordinat eksenine göre X doğrultusunda çalışan perde en kesit alanı 0,94 m<sup>2</sup>, Y doğrultusunda çalışan perde en kesit alanı ise 1,11 m<sup>2</sup>'dir. Toplam taşıyıcı sistem en kesit alanı 6,18 m<sup>2</sup>'dir. Görsel 5.17'de BN17 kodlu binanın fotoğrafı görülmektedir.

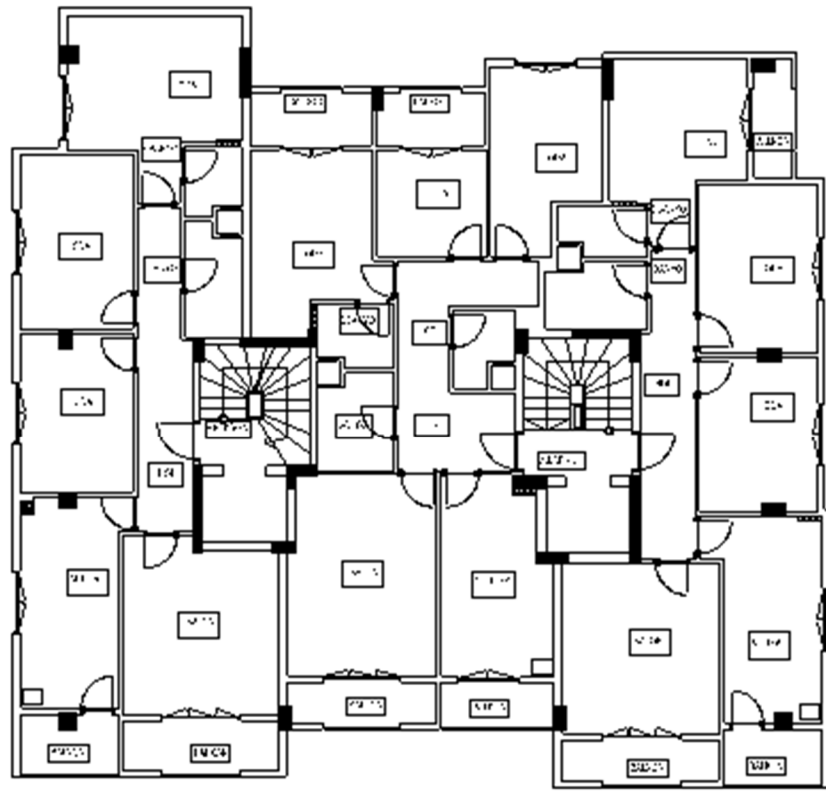


Görsel 5.17. BN17 kodlu binanın genel görünüşü

Şekil 5.49'da BN17 kodlu binanın normal kat kalıp ve normal kat mimari planları verilmiştir.



(a)

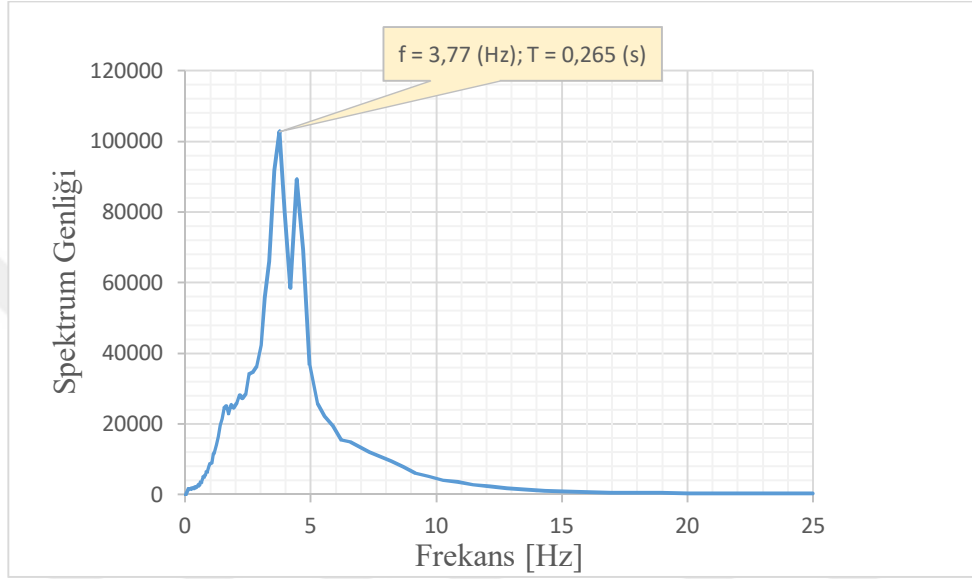


(b)



Şekil 5.49. (a) BN17 normal kat şematik kalıp planı, (b) BN17 normal kat mimari planı

Şekil 5.50’de BN17 kodlu binanın Geopsy yazılımı kullanılarak elde edilen spektrum grafiği görülmektedir. BN17 kodlu binanın “.gcf” uzantılı çevesel titreşim ölçümü kaydı “.txt” uzantısına dönüştürülemediğinden Artemis yazılımında irdelenememiştir. Geopsy yazılımı ile elde edilen spektrum grafiği üzerinde yapılan otomatik pik seçimi ve manuel kontrol sonucunda binanın temel periyodu  $T_0 = 0,265$  s olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.50. BN17 kodlu binanın Geopsy yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği

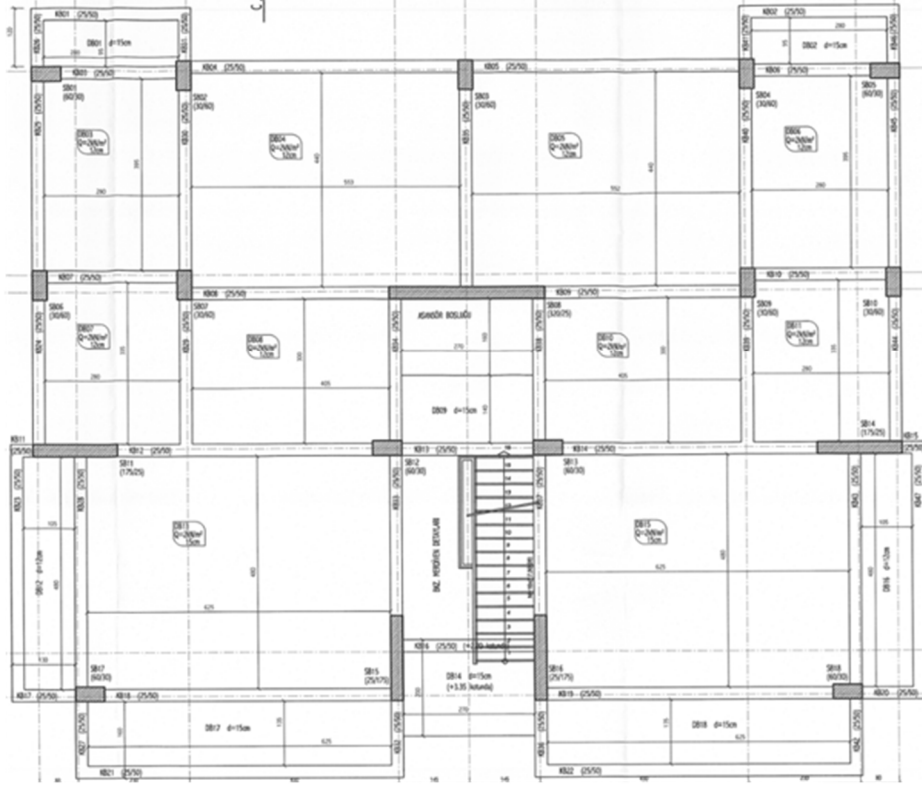
### 5.18. BN18

BN18 kodlu bina, ayırık nizam, 5 katlı konut tipi betonarme bir binadır. Deprem yükleri betonarme perdeler ve çerçeveler tarafından karşılanmaktadır. Bina, zemin etüt raporuna göre DBYBHY (2007)'de tanımlanan Z3 ( $T_a = 0,15 s ; T_b = 0,60 s$ ) sınıfı zemin üzerinde bulunmaktadır. Bölüm 4, Şekil 4.3'te bulunan jeoloji haritasına göre ise Konglomera-Kumtaşı birim üzerindedir. Normal kat yüksekliği 3,00 m, toplam bina yüksekliği 14,80 m'dir. Şekil 5.51'de gösterilen koordinat eksenine göre X doğrultusunda çalışan perde en kesit alanı 1,68 m<sup>2</sup>'dir. Y doğrultusunda çalışan perde en kesit alanı ise 0,88 m<sup>2</sup>'dir. Toplam taşıyıcı sistem en kesit alanı 4,89 m<sup>2</sup>'dir. Görsel 5.18'de BN18 kodlu binanın fotoğrafı görülmektedir.

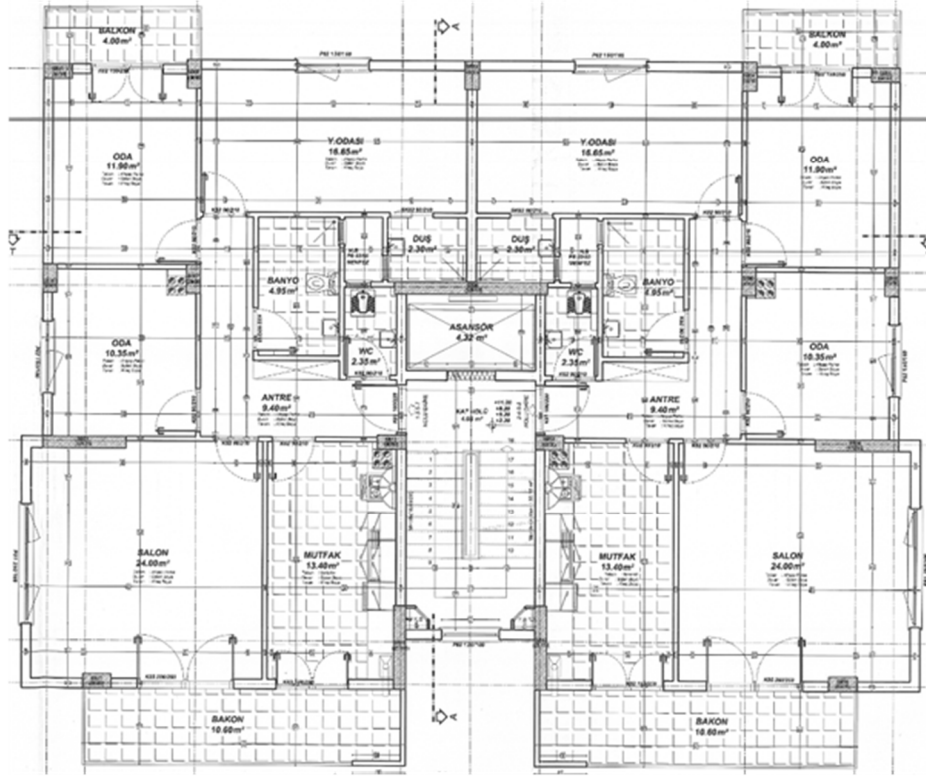


**Görsel 5.18.** BN18 kodlu binanın genel görünüşü

Şekil 5.51'de BN18 kodlu binanın normal kat kalıp ve normal kat mimari planları verilmiştir.



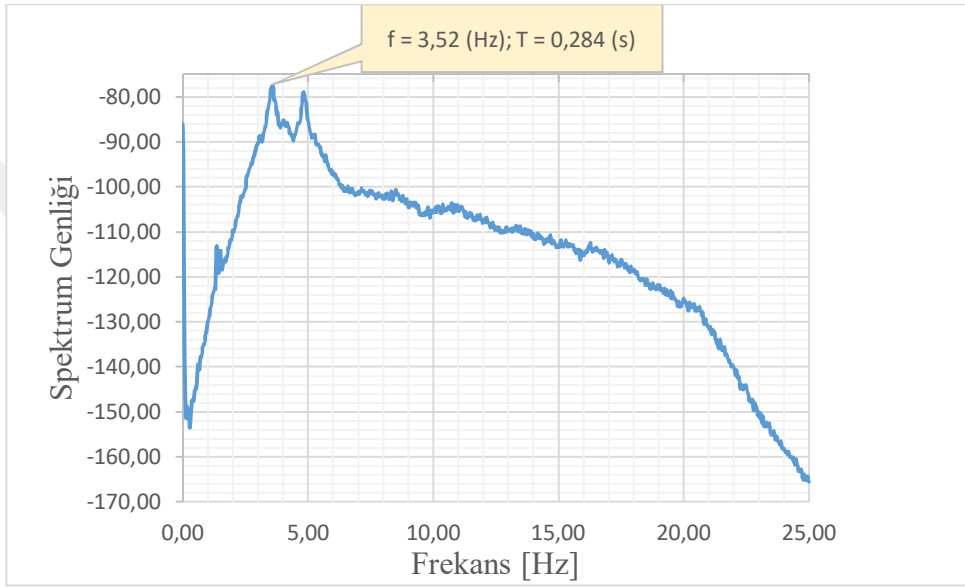
(a)



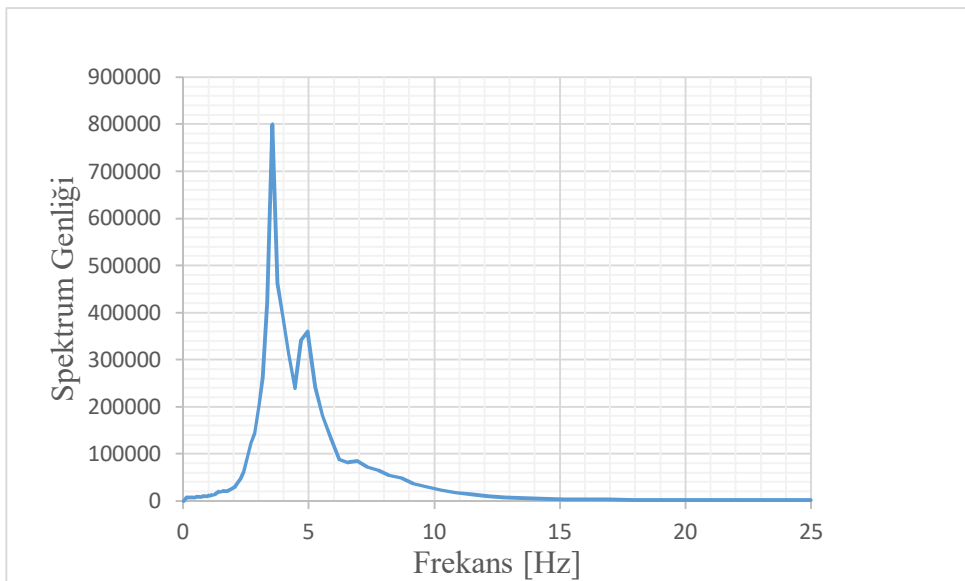
(b)

Şekil 5.51. (a) BN18 normal kat kalıp planı, (b) BN18 normal kat mimari planı

Şekil 5.52 ve Şekil 5.53'te BN18 kodlu binanın sırasıyla Artemis ve Geopsy yazılımları kullanılarak elde edilen spektrum grafikleri görülmektedir. Spektrum grafikleri üzerinde hem Artemis hem de Geopsy yazılımları ile yapılan otomatik pik seçimleri, temel periyot için en yüksek genlikli 0,284 s periyodunu göstermektedir. Ayrıca, Artemis yazılımında bulunan her bir pikin mod şekillerini izleme olanağı kullanılarak manuel yapılan irdellemeler sonucunda da BN18 kodlu binanın çevresel titreşim ölçümü ile bulunan temel periyodunun  $T_0 = 0,284$  s olduğu belirlenmiştir.



Şekil 5.52. BN18 kodlu binanın Artemis yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği



Şekil 5.53. BN18 kodlu binanın Geopsy yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği

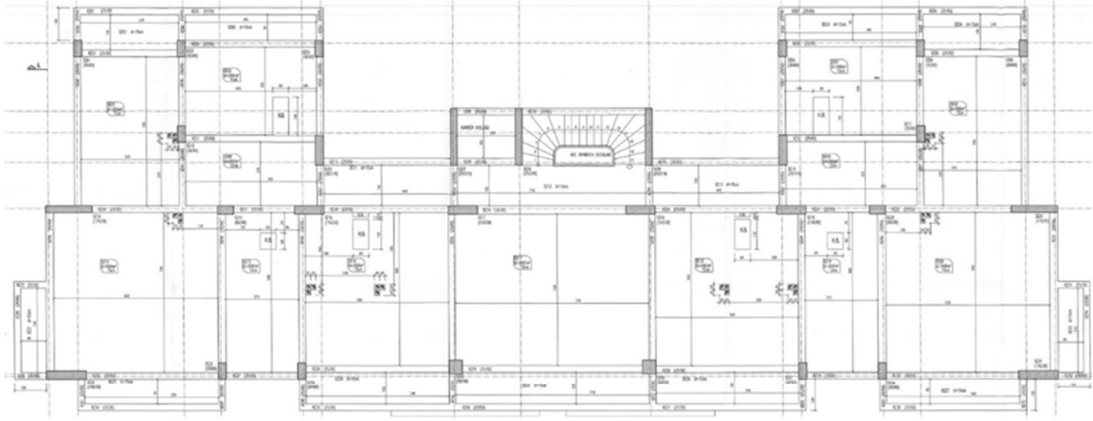
### 5.19. BN19

BN19 kodlu bina, ayırık nizam, 5 katlı konut tipi betonarme bir binadır. Deprem yükleri betonarme perdeler ve çerçeveler tarafından karşılanmaktadır. Bina, zemin etüd raporuna göre DBYBHY (2007)'de tanımlanan Z3 ( $T_a = 0,15 s ; T_b = 0,60 s$ ) sınıfı zemin üzerinde bulunmaktadır. Bölüm 4, Şekil 4.3'te bulunan jeoloji haritasına göre ise Konglomera-Kumtaşı birim üzerindedir. Normal kat yüksekliği 3,00 m, toplam bina yüksekliği 14,80 m'dir. Şekil 5.54'te gösterilen koordinat eksenine göre X doğrultusunda çalışan perde en kesit alanı 0,88 m<sup>2</sup>'dir. Y doğrultusunda çalışan perde en kesit alanı ise 1,58 m<sup>2</sup>'dir. Toplam taşıyıcı sistem en kesit alanı 8,35 m<sup>2</sup>'dir. Görsel 5.19'da BN19 kodlu binanın fotoğrafı görülmektedir.

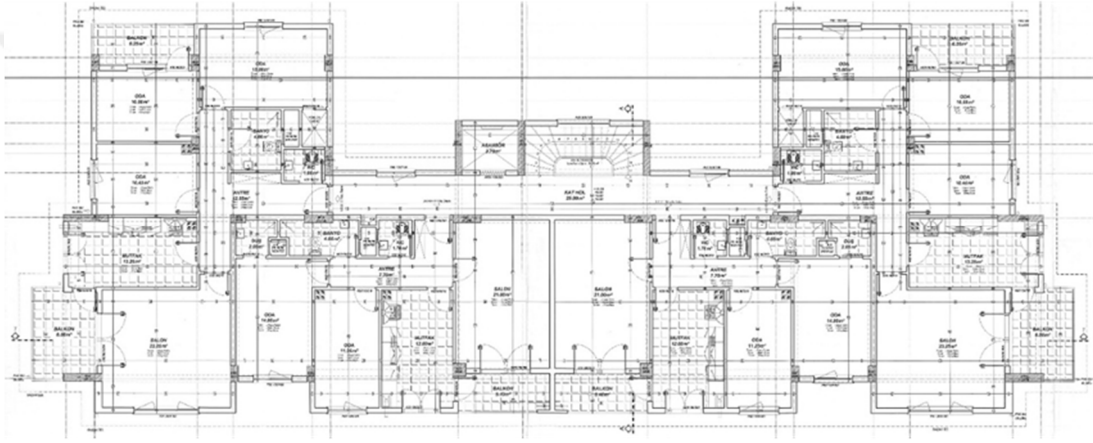


**Görsel 5.19.** BN19 kodlu binanın genel görünüşü

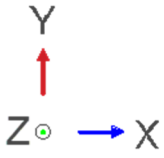
Şekil 5.54'te BN19 kodlu binanın normal kat kalıp ve normal kat mimari planları verilmiştir.



(a)

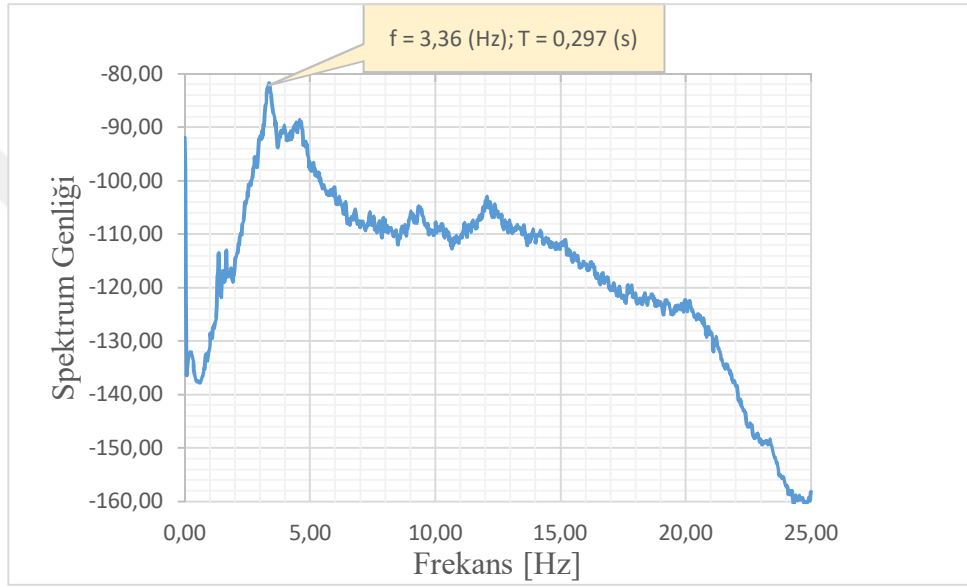


(b)

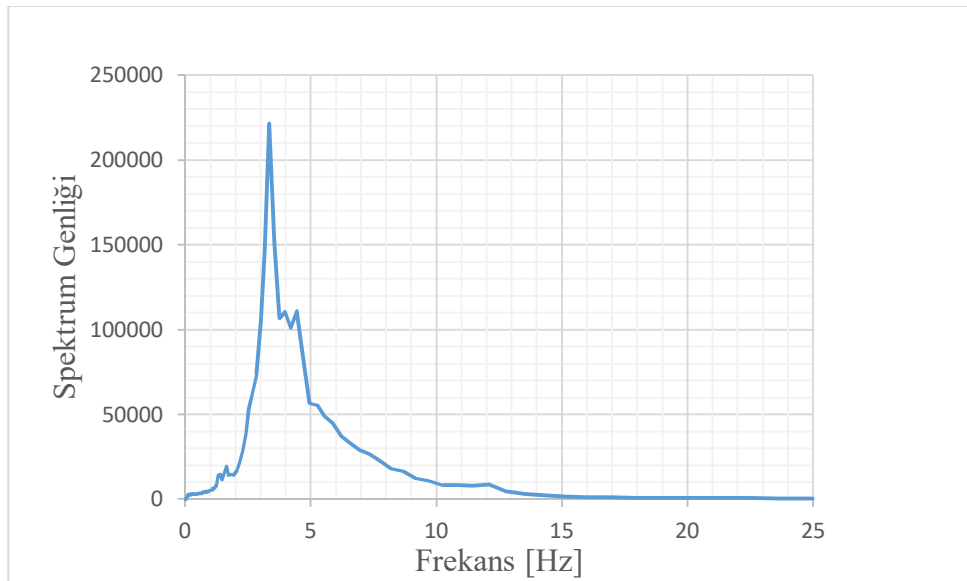


Şekil 5.54. (a) BN19 normal kat kalıp planı, (b) BN19 normal kat mimari planı

Şekil 5.55 ve Şekil 5.56’da BN19 kodlu binanın sırasıyla Artemis ve Geopsy yazılımları kullanılarak elde edilen spektrum grafikleri görülmektedir. Spektrum grafikleri üzerinde hem Artemis hem de Geopsy yazılımları ile yapılan otomatik pik seçimleri, temel periyot için en yüksek genlikli 0,297 s periyodunu göstermektedir. Ayrıca, Artemis yazılımında bulunan her bir pikin mod şekillerini izleme olanağı kullanılarak manuel yapılan irdelemeler sonucunda da BN19 kodlu binanın çevresel titreşim ölçümü ile bulunan temel periyodunun  $T_0 = 0,297$  s olduğu belirlenmiştir.



Şekil 5.55. BN19 kodlu binanın Artemis yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği



Şekil 5.56. BN19 kodlu binanın Geopsy yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği

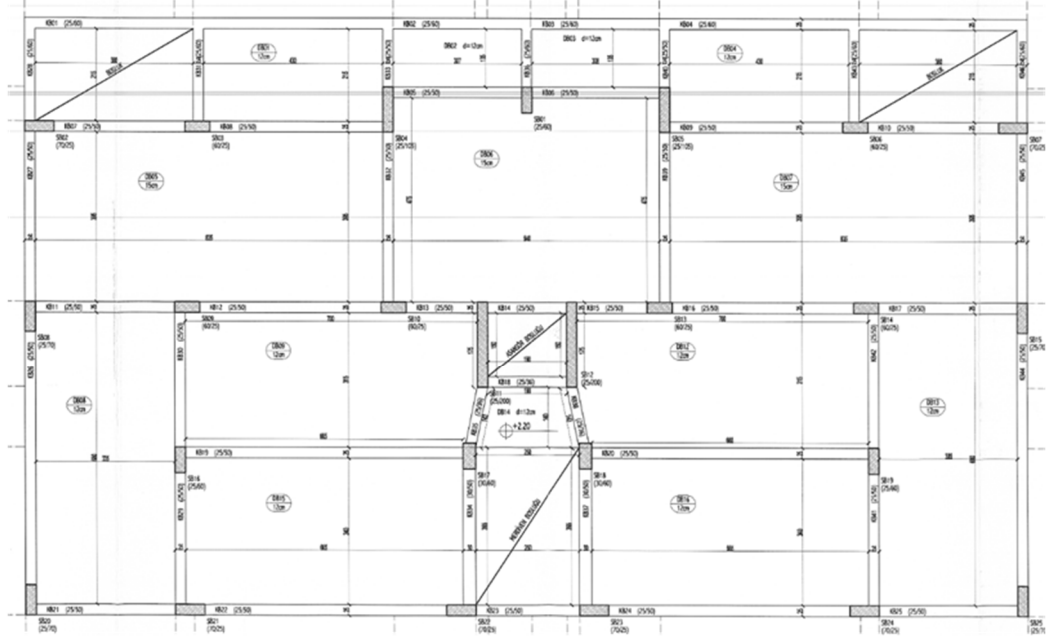
## 5.20. BN20

BN20 kodlu bina, ayırık nizam, 5 katlı konut tipi betonarme bir binadır. Deprem yükleri betonarme perdeler ve çerçeveler tarafından karşılanmaktadır. Bina, zemin etüt raporuna göre DBYBHY (2007)'de tanımlanan Z2 ( $T_a = 0,15 s ; T_b = 0,40 s$ ) sınıfı zemin üzerinde bulunmaktadır. Bölüm 4, Şekil 4.3'te bulunan jeoloji haritasına göre Konglomera-Kumtaşı birim üzerindedir. Normal kat yüksekliği 2,87 m, toplam bina yüksekliği 14,18 m'dir. Şekil 5.57'de gösterilen koordinat eksenine göre X doğrultusunda çalışan perde bulunmamaktadır. Y doğrultusunda çalışan perde en kesit alanı ise 1,00 m<sup>2</sup>'dir. Toplam taşıyıcı sistem en kesit alanı 4,89 m<sup>2</sup>'dir. Görsel 5.20'de BN20 kodlu binanın fotoğrafı görülmektedir.

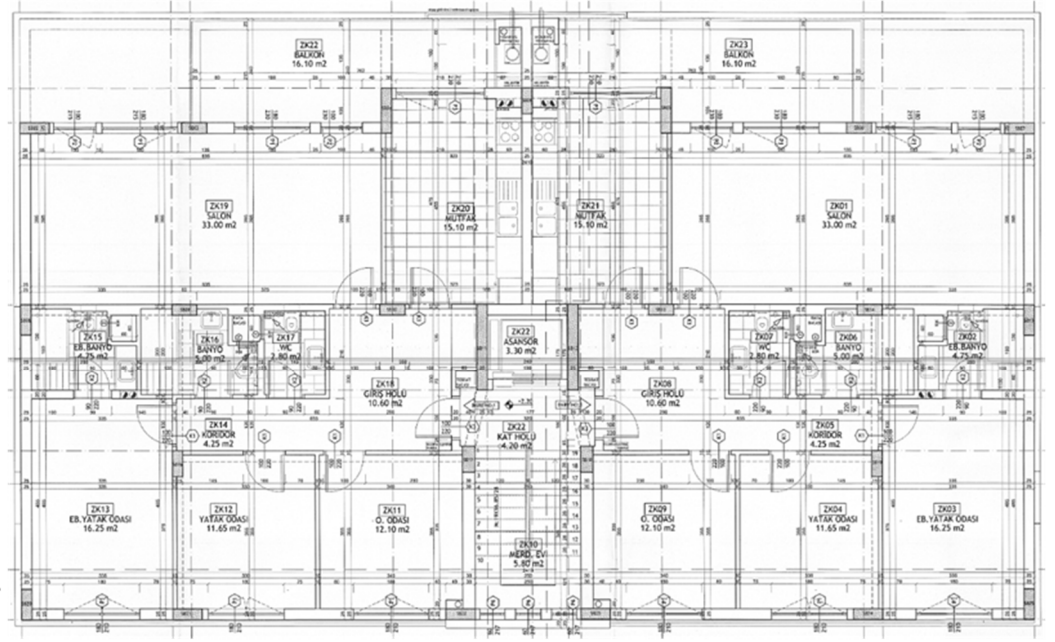


**Görsel 5.20.** BN20 kodlu binanın genel görünüşü

Şekil 5.57'de BN20 kodlu binanın normal kat kalıp ve normal kat mimari planları verilmiştir.



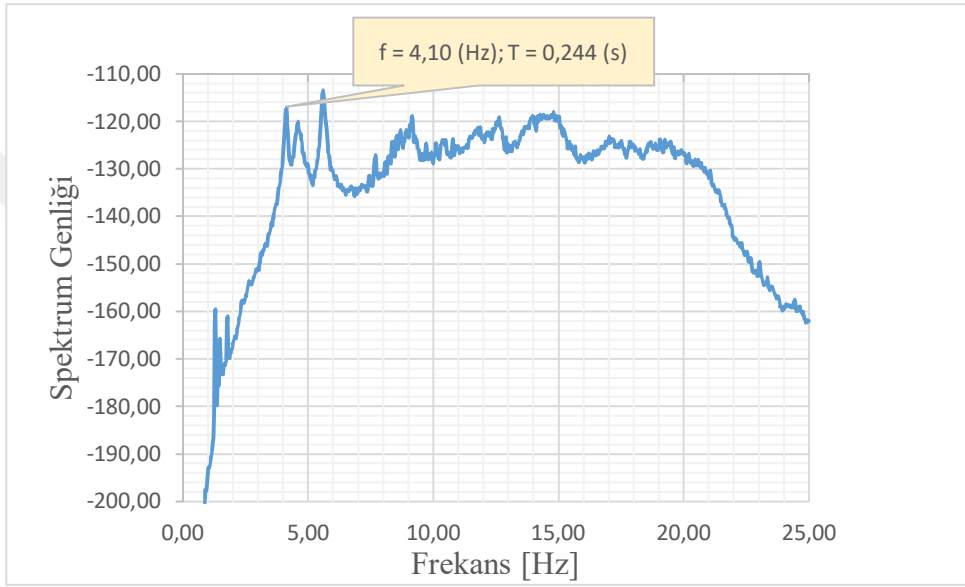
(a)



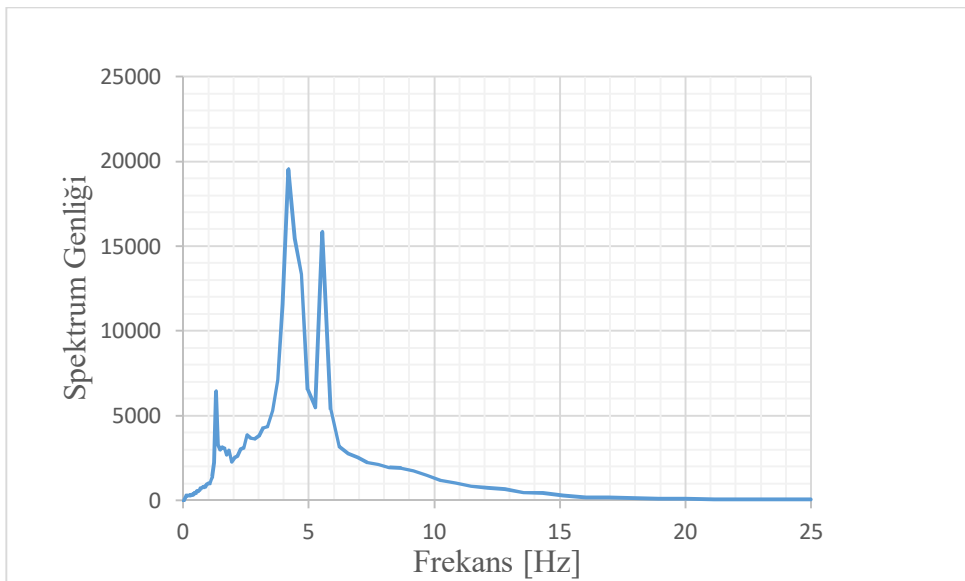
(b)

Şekil 5.57. (a) BN20 normal kat kalıp planı, (b) BN20 normal kat mimari planı

Şekil 5.58 ve Şekil 5.59’da BN20 kodlu binanın sırasıyla Artemis ve Geopsy yazılımları kullanılarak elde edilen spektrum grafikleri görülmektedir. Spektrum grafikleri üzerinde hem Artemis hem de Geopsy yazılımları ile yapılan otomatik pik seçimleri, temel periyot için en yüksek genlikli 0,244 s periyodunu göstermektedir. Ayrıca, Artemis yazılımında bulunan her bir pikin mod şekillerini izleme olanağı kullanılarak manuel yapılan irdelemeler sonucunda da BN20 kodlu binanın çevresel titreşim ölçümü ile bulunan temel periyodunun  $T_0 = 0,244$  s olduğu belirlenmiştir.



Şekil 5.58. BN20 kodlu binanın Artemis yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği



Şekil 5.59. BN20 kodlu binanın Geopsy yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği

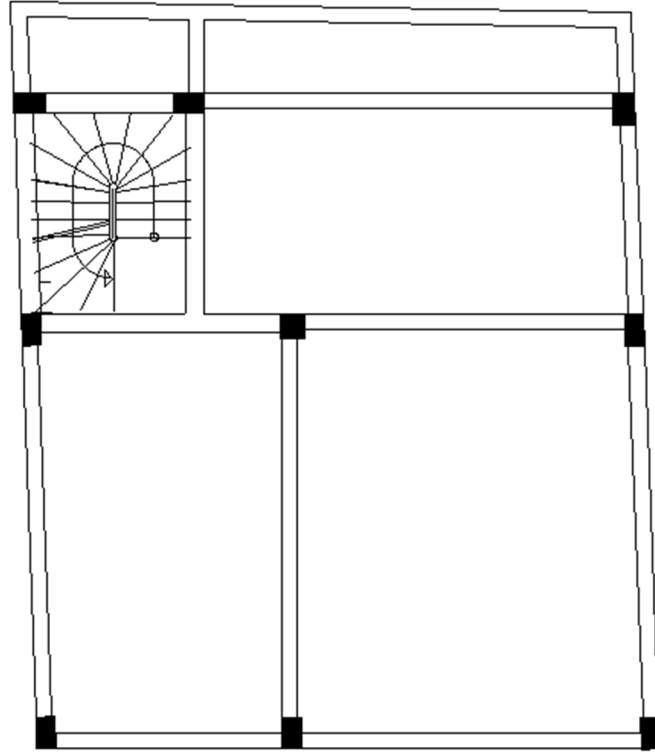
### 5.21. BN21

BN21 kodlu bina, ayırık nizam, 4 katlı konut tipi betonarme bir binadır. Deprem yükleri betonarme çerçeveler tarafından karşılanmaktadır. Bina, zemin etüt raporuna göre DBYBHY (2007)'de tanımlanan Z3 ( $T_a = 0,15 s$ ;  $T_b = 0,40 s$ ) sınıfı zemin üzerinde bulunmaktadır. Bölüm 4, Şekil 4.3'te bulunan jeoloji haritasına göre Konglomera-Kumtaşı birim üzerindedir. Normal kat yüksekliği 2,83 m, toplam bina yüksekliği 11,32 m'dir. Toplam taşıyıcı sistem en kesit alanı 1,39 m<sup>2</sup>'dir. Görsel 5.21'de BN21 kodlu binanın fotoğrafı görülmektedir.

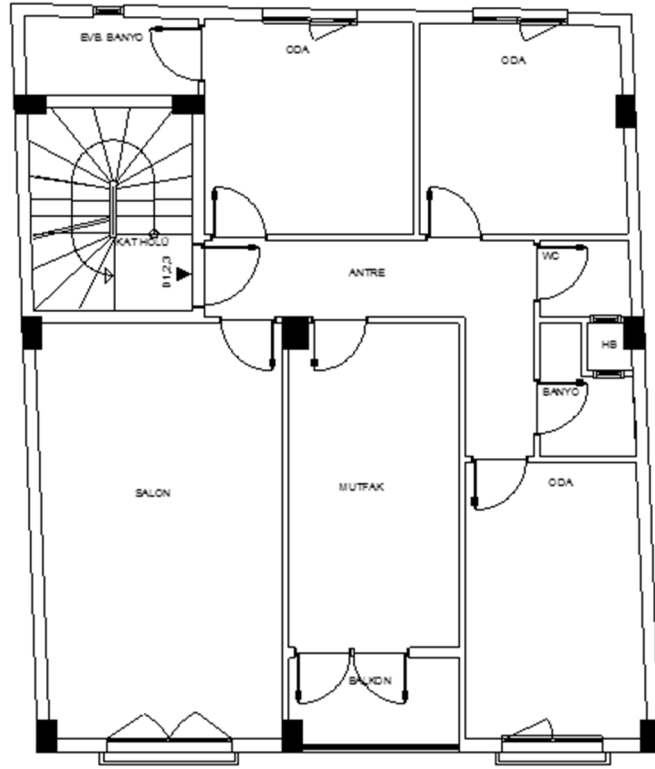


Görsel 5.21. BN21 kodlu binanın genel görünüşü

Şekil 5.60'da BN21 kodlu binanın normal kat kalıp ve normal kat mimari planları verilmiştir.



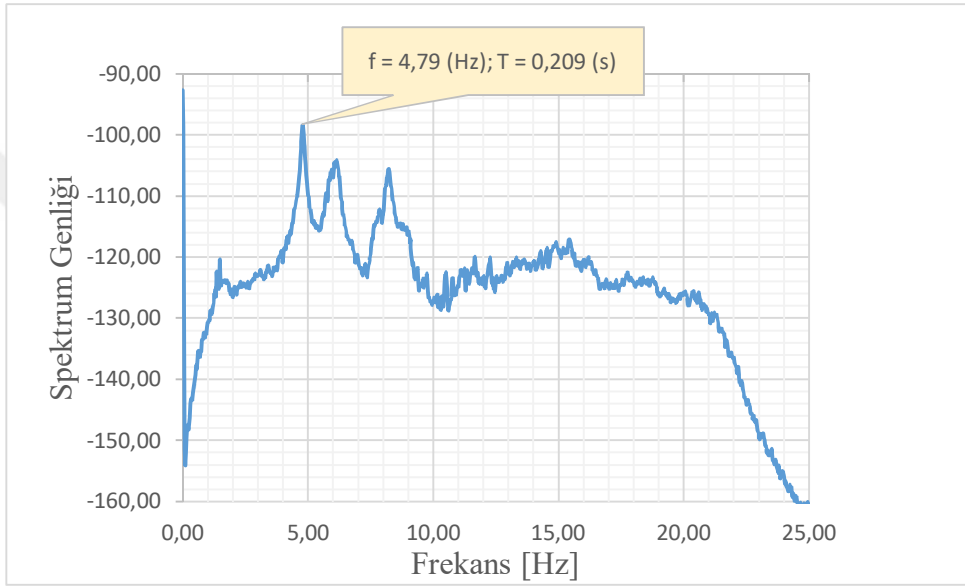
(a)



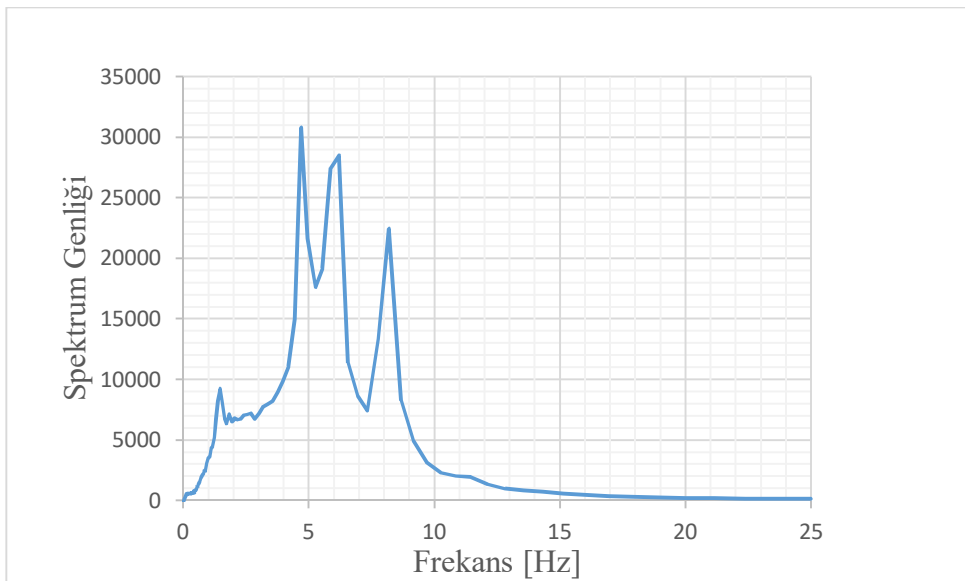
(b)

Şekil 5.60. (a) BN21 normal kat şematik kalıp planı, (b) BN21 normal kat mimari planı

Şekil 5.61 ve Şekil 5.62’de BN21 kodlu binanın sırasıyla Artemis ve Geopsy yazılımları kullanılarak elde edilen spektrum grafikleri görülmektedir. Spektrum grafikleri üzerinde hem Artemis hem de Geopsy yazılımları ile yapılan otomatik pik seçimleri, temel dönem için en yüksek genlikli 0,209 s periyodunu göstermektedir. Ayrıca, Artemis yazılımında bulunan her bir pikin moda şekillerini izleme olanağı kullanılarak manuel yapılan irdelemeler sonucunda da BN21 kodlu binanın çevresel titreşim ölçümü ile bulunan temel periyodunun  $T_0 = 0,209$  s olduğu belirlenmiştir.



Şekil 5.61. BN21 kodlu binanın Artemis yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği



Şekil 5.62. BN21 kodlu binanın Geopsy yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği

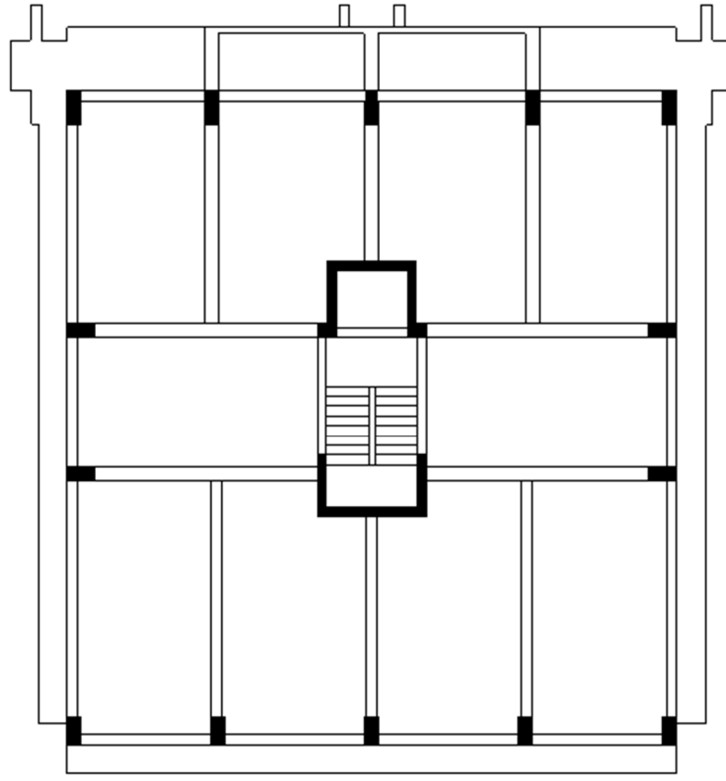
## 5.22. BN22

BN22 kodlu bina, ayırık nizam, 5 katlı konut tipi betonarme bir binadır. Deprem yükleri betonarme perdeler ve çerçeveler tarafından karşılanmaktadır. Bina, zemin etüt raporuna göre DBYBHY (2007)'de tanımlanan Z3 ( $T_a = 0,15 s ; T_b = 0,60 s$ ) sınıfı zemin üzerinde bulunmaktadır. Bölüm 4, Şekil 4.3'te bulunan jeoloji haritasına göre alüvyon birim üzerindedir. Normal kat yüksekliği 3,00 m, toplam bina yüksekliği 15,00 m'dir. Şekil 5.63'te gösterilen koordinat eksenine göre X doğrultusunda çalışan perde en kesit alanı 1,40 m<sup>2</sup>'dir. Y doğrultusunda çalışan perde en kesit alanı ise 1,95 m<sup>2</sup>'dir. Toplam taşıyıcı sistem en kesit alanı 8,57 m<sup>2</sup>'dir. Görsel 5.22'da BN22 kodlu binanın fotoğrafı görülmektedir.

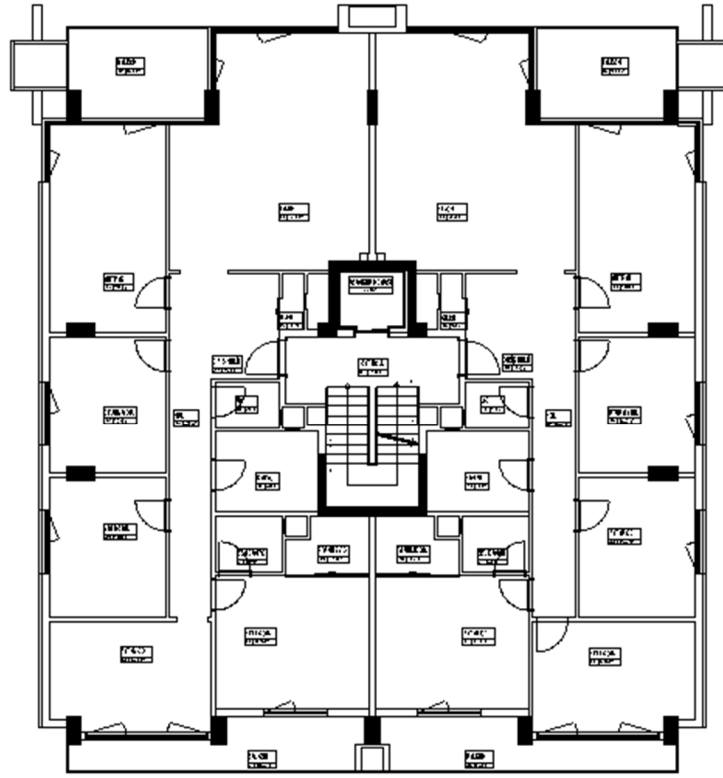


**Görsel 5.22.** BN22 kodlu binanın genel görünüşü

Şekil 5.63'te BN22 kodlu binanın normal kat kalıp ve normal kat mimari planları verilmiştir.



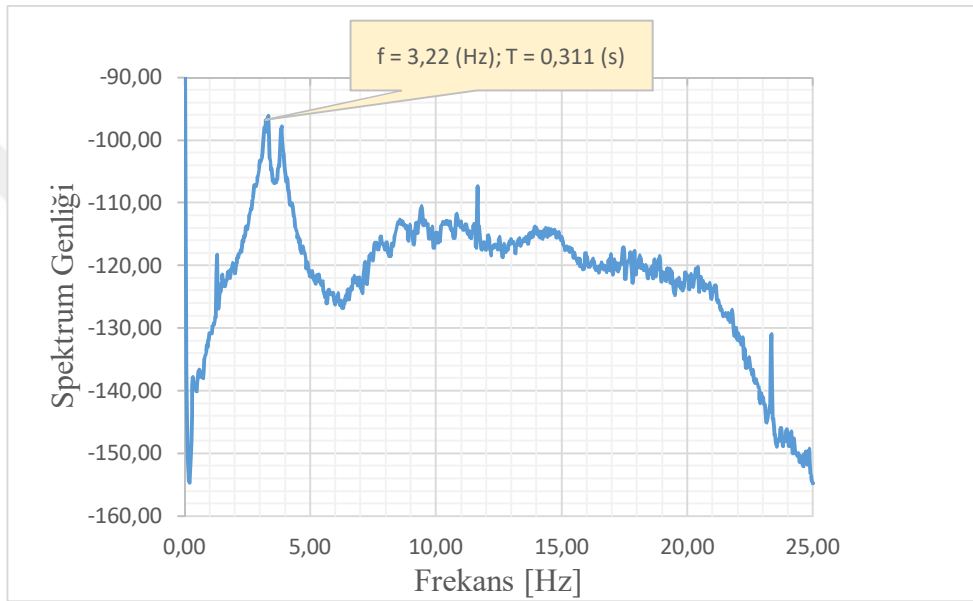
(a)



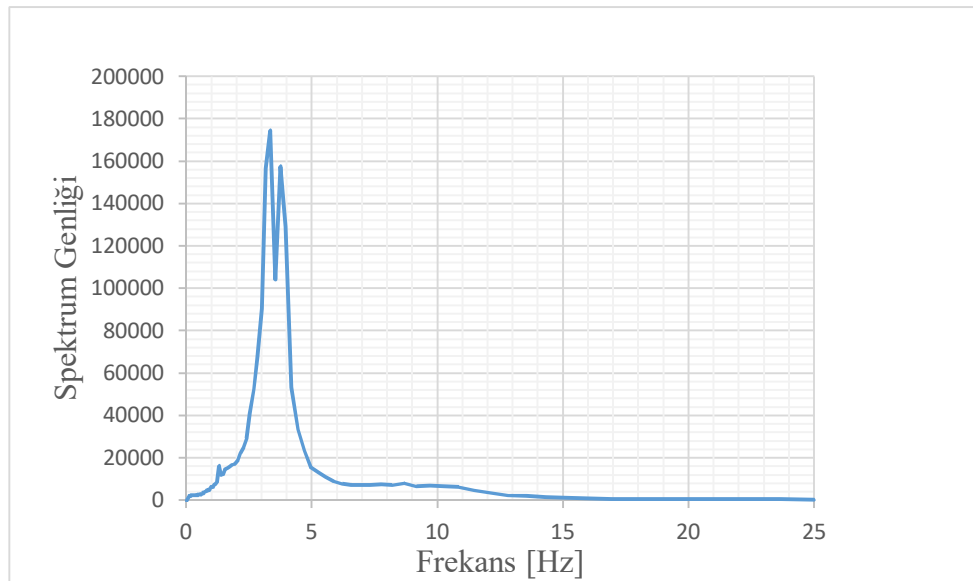
(b)

Şekil 5.63. (a) BN22 normal kat şematik kalıp planı, (b) BN22 normal kat mimari planı

Şekil 5.64 ve Şekil 5.65’de BN22 kodlu binanın sırasıyla Artemis ve Geopsy yazılımları kullanılarak elde edilen spektrum grafikleri görülmektedir. Spektrum grafikleri üzerinde hem Artemis hem de Geopsy yazılımları ile yapılan otomatik pik seçimleri, temel dönem için en yüksek genlikli 0,311 s periyodunu göstermektedir. Ayrıca, Artemis yazılımında bulunan her bir pikin moda şekillerini izleme olanağı kullanılarak manuel yapılan irdelemeler sonucunda da BN22 kodlu binanın çevresel titreşim ölçümü ile bulunan temel periyodunun  $T_0 = 0,311$  s olduğu belirlenmiştir.



Şekil 5.64. BN22 kodlu binanın Artemis yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği



Şekil 5.65. BN22 kodlu binanın Geopsy yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği

### 5.23. BN23

BN23 kodlu bina, ayırık nizam, 5 katlı konut tipi betonarme bir binadır. Deprem yükleri betonarme perdeler ve çerçeveler tarafından karşılanmaktadır. Bina, zemin etüt raporuna göre DBYBHY (2007)'de tanımlanan Z2 ( $T_a = 0,15 s ; T_b = 0,60 s$ ) sınıfı zemin üzerinde bulunmaktadır. Bölüm 4, Şekil 4.3'te bulunan jeoloji haritasına göre alüvyon birim üzerindedir. Normal kat yüksekliği 2,87 m, toplam bina yüksekliği 14,19 m'dir. Şekil 5.66'da gösterilen koordinat eksenine göre X doğrultusunda çalışan perde en kesit alanı 0,58 m<sup>2</sup>'dir, Y doğrultusunda çalışan perde bulunmamaktadır. Toplam taşıyıcı sistem en kesit alanı 4,46 m<sup>2</sup>'dir. Görsel 5.23'de BN23 kodlu binanın fotoğrafı görülmektedir.

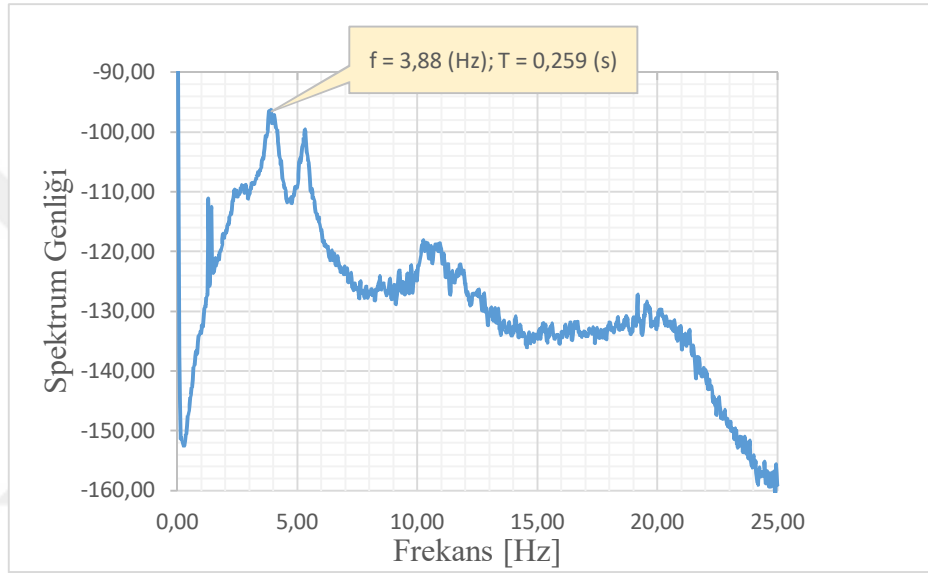


Görsel 5.23. BN23 kodlu binanın genel görünüşü

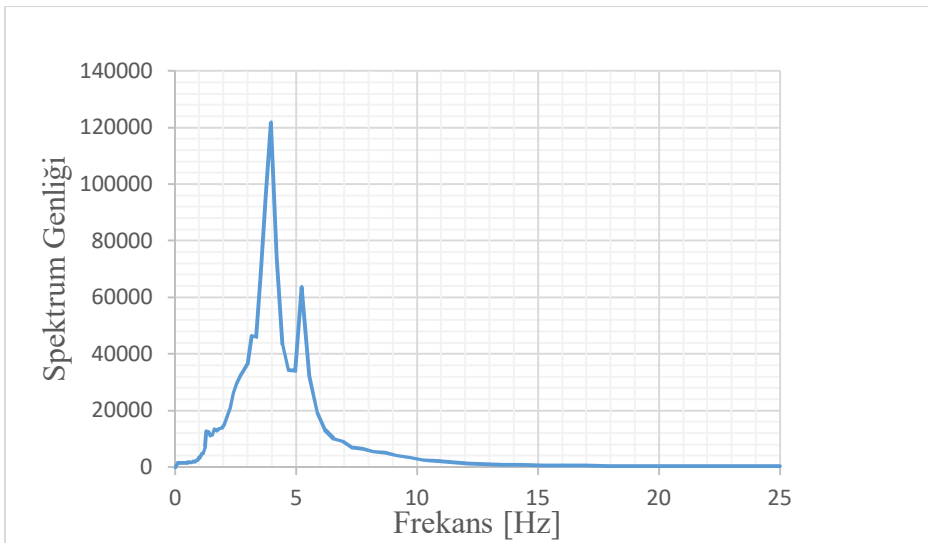
Şekil 5.66'da BN23 kodlu binanın normal kat kalıp ve normal kat mimari planları verilmiştir.



Şekil 5.67 ve Şekil 5.68’de BN23 kodlu binanın sırasıyla Artemis ve Geopsy yazılımları kullanılarak elde edilen spektrum grafikleri görülmektedir. Spektrum grafikleri üzerinde hem Artemis hem de Geopsy yazılımları ile yapılan otomatik pik seçimleri, temel periyot için en yüksek genlikli 0,259 s periyodunu göstermektedir. Ayrıca, Artemis yazılımında bulunan her bir pikin mod şekillerini izleme olanağı kullanılarak manuel yapılan irdellemeler sonucunda da BN23 kodlu binanın çevresel titreşim ölçümü ile bulunan temel periyodunun  $T_0 = 0,259$  s olduğu belirlenmiştir.



Şekil 5.67. BN23 kodlu binanın Artemis yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği



Şekil 5.68. BN23 kodlu binanın Geopsy yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği

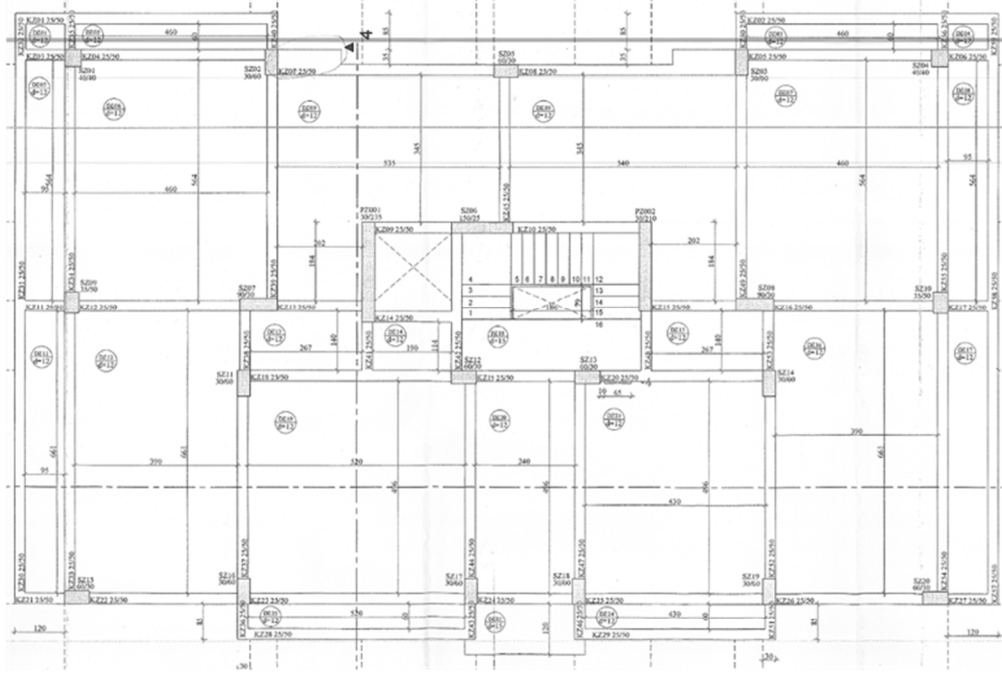
#### 5.24. BN24

BN24 kodlu bina, ayırık nizam, 5 katlı konut tipi betonarme bir binadır. Deprem yükleri betonarme perdeler ve çerçeveler tarafından karşılanmaktadır. Bina, zemin etüt raporuna göre DBYBHY (2007)'de tanımlanan Z2 ( $T_a = 0,15 s ; T_b = 0,40 s$ ) sınıfı zemin üzerinde bulunmaktadır. Bölüm 4, Şekil 4.3'te bulunan jeoloji haritasına göre Konglomera-Kumtaşı birim üzerindedir. Normal kat yüksekliği 2,87 m, toplam bina yüksekliği 14,35 m'dir. Şekil 5.69'da gösterilen koordinat eksenine göre X doğrultusunda çalışan perde bulunmamaktadır. Y doğrultusunda çalışan perde en kesit alanı ise 1,34 m<sup>2</sup>'dir. Toplam taşıyıcı sistem en kesit alanı 5,26 m<sup>2</sup>'dir. Görsel 5.24'te BN24 kodlu binanın fotoğrafı görülmektedir.

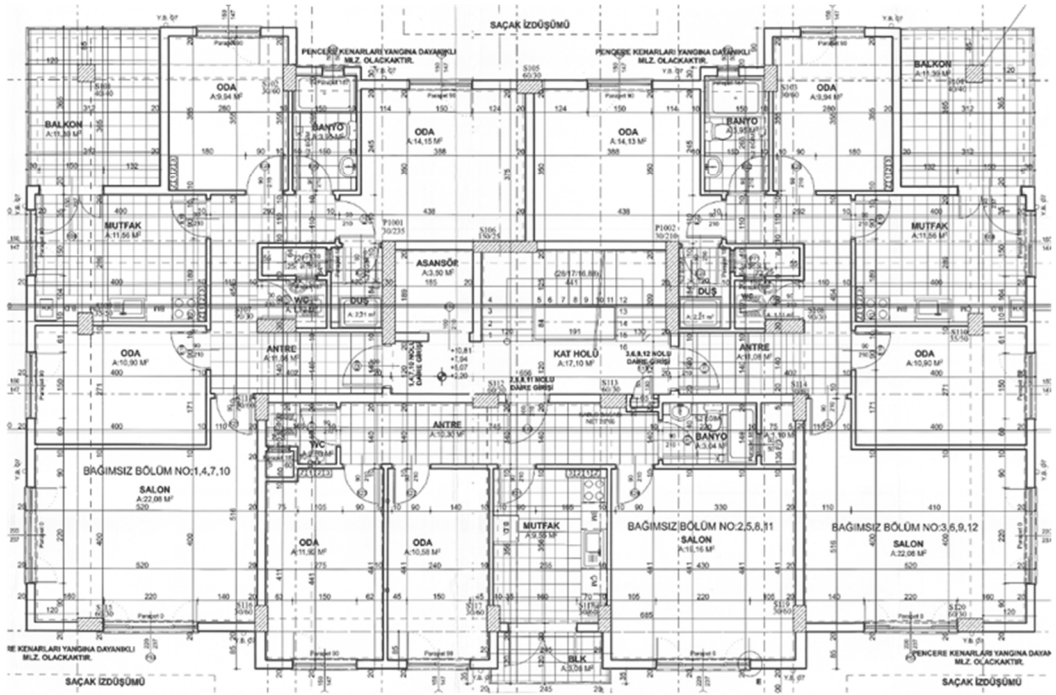


**Görsel 5.24.** BN24 kodlu binanın genel görünüşü

Şekil 5.69'da BN24 kodlu binanın normal kat kalıp ve normal kat mimari planları verilmiştir.



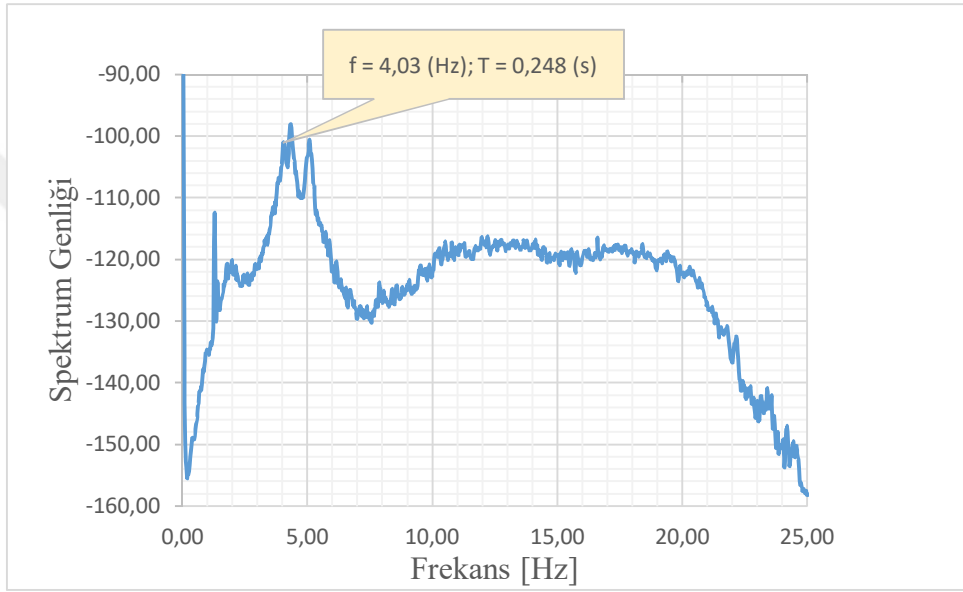
(a)



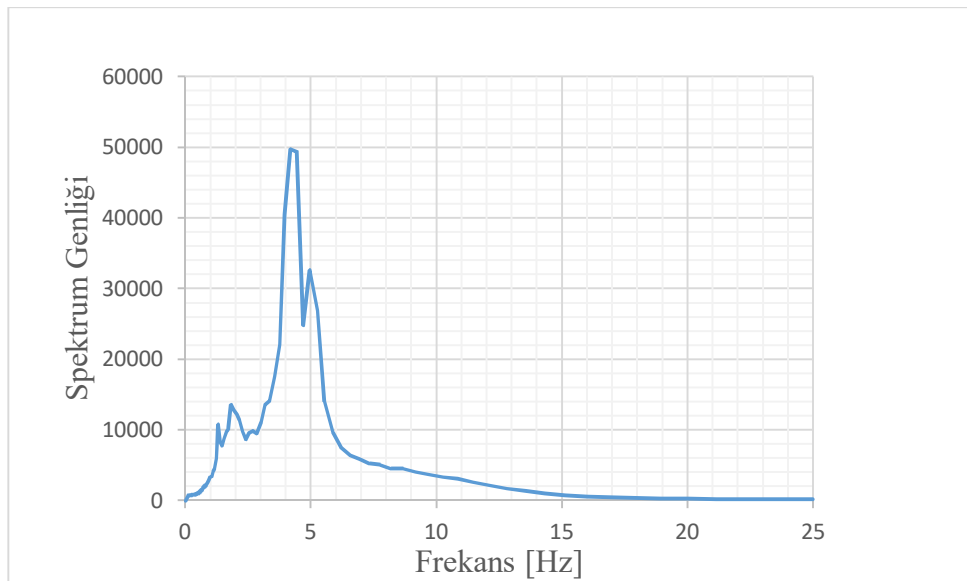
(b)

Şekil 5.69. (a) BN24 normal kat kalıp planı, (b) BN24 normal kat mimari planı

Şekil 5.70 ve Şekil 5.71’de BN24 kodlu binanın sırasıyla Artemis ve Geopsy yazılımları kullanılarak elde edilen spektrum grafikleri görülmektedir. Spektrum grafikleri üzerinde hem Artemis hem de Geopsy yazılımları ile yapılan otomatik pik seçimleri, temel periyot için en yüksek genlikli 0,248 s periyodunu göstermektedir. Ayrıca, Artemis yazılımında bulunan her bir pikin mod şekillerini izleme olanağı kullanılarak manuel yapılan irdelemeler sonucunda da BN24 kodlu binanın çevresel titreşim ölçümü ile bulunan temel periyodunun  $T_0 = 0,248$  s olduğu belirlenmiştir.



Şekil 5.70. BN24 kodlu binanın Artemis yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği



Şekil 5.71. BN24 kodlu binanın Geopsy yazılımı kullanılarak üretilen spektrum grafiği

### 5.25. Çevresel Titreşim Ölçümü Sonuçlarının Özeti

24 adet betonarme binada yapılan çevresel titreşim ölçümleri sonucunda bulunan, binalara ait temel periyotlar ve binaların bazı yapısal özellikleri Tablo 5.1’de özetlenmiştir. İrdelenen binaların giriş katları genelde garaj olduğu için bu katlardaki bölme ve dolgu duvar miktarı, normal katlara oranla daha azdır. Bu nedenle irdelenen binaların giriş katlarındaki görelî ötelenmeler daha büyüktür. Tablo 5.1’de kritik kat olarak nitelenen katlar, görelî ötelenmelerin en büyük ve dolgu duvarların yatay rijitliğe katkısının en yüksek olduğu giriş katlarıdır.



**Tablo 5.1. İrdelenen binaların temel periyotları ve yapısal özellikleri**

Bina No	Kat Adedi	Bina Yüksekliği (m)	Zemin Sınıfı	Beton Sınıfı	X Yönü Perde Duvar Alanı(m <sup>2</sup> )	Y Yönü Perde Duvar Alanı(m <sup>2</sup> )	Ölçülen Temel Periyot (s)	Taşıyıcı Sistem Kesit Alanı (m <sup>2</sup> )	X Yönü Kritik Kat Duvar Alanı (m <sup>2</sup> )	Y Yönü Kritik Kat Duvar Alanı (m <sup>2</sup> )	X Yönü Normal Kat Duvar Alanı (m <sup>2</sup> )	Y Yönü Normal Kat Duvar Alanı (m <sup>2</sup> )	Normal Kat Alanı (m <sup>2</sup> )
BN01	4	11.29	Z3	C25/30	0.75	2.24	0,208 (x)	7.78	6.19	17.20	6.81	16.67	372.48
BN02	6	17.37	Z3	C25/30	1.00	1.78	0,353 (x)	6.26	2.69	8.78	6.70	14.68	304.20
BN03	5	14.35	Z2	C30/37	-	0.44	0,256 (x)	3.40	7.56	5.49	7.47	12.56	243.82
BN04	4	11.29	Z2	C25/30	1.95	1.99	0,233 (x)	10.20	8.48	17.40	8.17	14.75	386.40
BN05	5	14.25	Z3	C25/30	1.18	2.21	0,301 (x)	6.70	3.78	7.47	10.51	18.13	396.03
BN06	6	17.18	Z3	C25/30	-	-	0,379 (x)	2.70	4.53	5.51	6.68	9.26	194.68
BN07	6	17.40	Z3	C30/37	2.82	3.24	0,315 (b)	9.96	6.72	15.77	12.04	18.14	511.56
BN08	5	14.35	Z2	C25/30	-	-	0,281 (y)	4.08	4.75	7.85	12.07	12.16	334.91
BN09	5	14.35	Z2	C25/30	-	-	0,288 (y)	3.96	5.48	7.96	9.60	9.19	281.65
BN10	5	14.35	Z2	C25/30	-	-	0,288 (x)	3.96	3.44	8.19	10.88	8.79	292.50
BN11	4	11.32	Z3	C25/30	-	-	0,235 (x)	2.61	4.68	7.35	6.53	11.22	211.77
BN12	5	14.12	Z3	C25/30	0.75	2.24	0,265 (x)	8.03	6.24	18.16	7.21	17.20	372.48
BN13	6	16.80	Z2	C25/30	-	1.93	0,373 (x)	7.89	14.93	9.08	12.54	12.12	420.36
BN14	5	11.35	Z2	C25/30	0.66	-	0,193 (x)	4.16	1.13	3.43	7.00	8.95	203.24
BN15	4	12.70	Z3	C30/37	1.98	4.26	0,250 (x)	16.12	15.63	20.47	16.21	19.07	725.34
BN16	5	14.25	Z2	C25/30	0.96	-	0,277 (y)	5.31	5.71	5.83	8.55	12.25	309.55
BN17	5	14.10	Z3	C25/30	0.94	1.11	0,265 (x)	6.18	4.94	11.51	12.80	17.65	387.70
BN18	5	14.80	Z3	C25/30	1.68	0.88	0,284 (y)	4.89	4.35	4.87	7.31	9.91	256.65
BN19	5	14.80	Z3	C30/37	0.88	1.58	0,297 (b)	8.35	17.29	11.54	19.19	18.48	471.20
BN20	5	14.18	Z2	C25/30	-	1.00	0,244 (x)	4.89	7.54	8.29	8.32	13.25	334.99
BN21	4	11.32	Z2	C25/30	-	-	0,209 (x)	1.39	2.81	5.43	4.46	6.54	117.81
BN22	5	15.00	Z3	C25/30	1.40	1.95	0,311 (x)	8.57	4.36	9.48	7.26	13.53	400.68

**Tablo 5.1.** İrdelenen binaların temel periyotları ve yapısal özellikleri (devam)

Bina No	Kat Adedi	Bina Yüksekliği (m)	Zemin Sınıfı	Beton Sınıfı	X Yönü Perde Duvar Alanı(m <sup>2</sup> )	Y Yönü Perde Duvar Alanı(m <sup>2</sup> )	Ölçülen Temel Periyot (s)	Taşıyıcı Sistem Kesit Alanı (m <sup>2</sup> )	X Yönü Kritik Kat Duvar Alanı (m <sup>2</sup> )	Y Yönü Kritik Kat Duvar Alanı (m <sup>2</sup> )	X Yönü Normal Kat Duvar Alanı (m <sup>2</sup> )	Y Yönü Normal Kat Duvar Alanı (m <sup>2</sup> )	Normal Kat Alanı (m <sup>2</sup> )
BN23	5	14.19	Z3	C25/30	0.58	-	0,259 (x)	4.46	5.43	7.02	7.69	8.91	242.73
BN24	5	14.35	Z2	C25/30	-	1.34	0,247 (y)	0.62	8.28	7.66	14.27	12.83	326.86

(x) Temel mod hareketi x-yönünde ötelenme

(y) Temel mod hareketi y-yönünde ötelenme

(b) Temel mod hareketi z-ekseni etrafında burulma

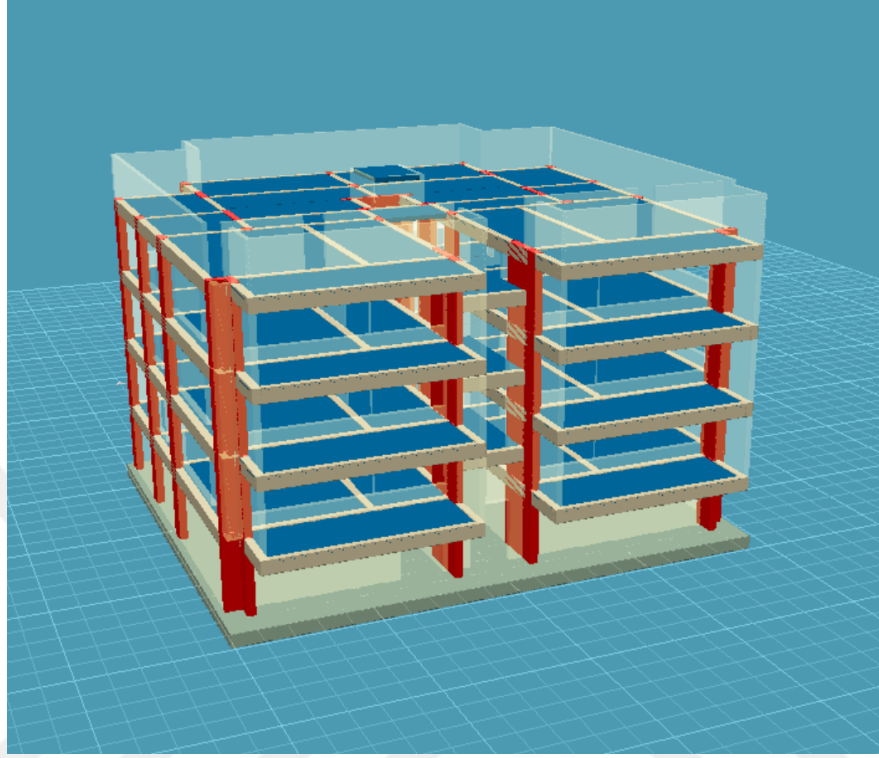
## 6. NÜMERİK MODELLEME

Çevresel titreşim ölçümleri yapılan 24 adet binanın nümerik modelleri, dolgu duvarların binanın yatay rijitliğine katkısı dikkate alınmadan oluşturularak, dolgu duvarlar dikkate alınmadan yapılan nümerik modeller ile hesaplanan temel periyotlarla, çevresel titreşim ölçümleri ile belirlenen periyotlar arasındaki farklar irdelenmiştir. Yeni tasarlanan betonarme binaların nümerik modelleme ile bulunan temel periyotlarını irdelleyerek gerçek binalarda çevresel titreşim ölçümleri yapılarak bulunan temel periyotlarla karşılaştırabilmek amacıyla, nümerik modeller ülkemizde inşaat mühendisleri tarafından yaygın olarak kullanılan Sta4Cad v.13.1 (2013) yazılımı kullanılarak oluşturulmuştur. Sta4Cad yazılımı ile oluşturulan modeller, Sta4Cad yazılımının SAP2000 Ultimate v.15 (2011) yazılımına model aktarma özelliğinden faydalanılarak SAP2000 yazılımına aktarılmış ve nümerik modellerin modal analizleri SAP2000 yazılımı ile de yapılarak temel periyotlar her iki yazılımla da belirlenmiştir. Ayrıca SAP2000 modelleri kullanılarak, DBYBHY (2007)'ye göre eşdeğer deprem yükü yöntemine göre hesapta temel periyodun kontrolü amacıyla kullanılması zorunlu olan Rayleigh yöntemine göre de temel periyotlar belirlenmiştir.

### 6.1. BN01 Kodlu Bina Nümerik Modelleri Üzerinde İrdemeler

BN01 kodlu binanın nümerik modeli Sta4Cad yazılımı ile oluşturulmuştur. Sta4Cad yazılımının SAP2000 yazılımına model aktarma özelliği kullanılarak binanın SAP2000 modeli de elde edilmiştir. Model oluşturulurken, binanın statik-betonarme proje müellifinden temin edilen kalıp planları ve mimari planlar kullanılmıştır. Taşıyıcı sistem elemanları ve dolgu duvarlar aynen projelerinde olduğu gibi modellenmiştir. Ayrıca, BN01 kodlu bina karkas seviyesinden, iskân aşamasına kadar takip edilerek projesine uygun olarak yapıldığı gözlenmiştir. BN01 kodlu binanın projesindeki beton sınıfı C25/30'dur. Beton yoğunluğu  $25 \text{ kN/m}^3$  olarak alınmıştır. C25/30 beton sınıfı için elastisite modülü ( $E_c$ ) değeri TS 500 (2000)'de  $30000 \text{ MPa}$ 'dır. C25/30 beton sınıfı için Sta4Cad yazılımında elastisite modülü değeri  $30250 \text{ MPa}$ 'dır ve değiştirilemez. Yazılımda dolgu duvar yoğunluğu ise  $10 \text{ kN/m}^3$ 'tür. Uygulamada çalışan mühendislerin, projelerinde bu varsayılan değeri değiştirmedikleri bilindiğinden bu değerle modele devam edilmiştir. Dinamik analiz brüt en kesit rijitliğine göre yapılmıştır. Rijit diyafram kabulü yapılmıştır. Bütün birleşimler rijit kabul edilmiştir, temel seviyesindeki mesnetler

ankastredir. Şekil 6.1’de BN01 kodlu binanın Sta4Cad modelinin ekran görüntüsü görülmektedir.



Şekil 6.1. BN01 kodlu bina Sta4Cad modeli ekran görüntüsü

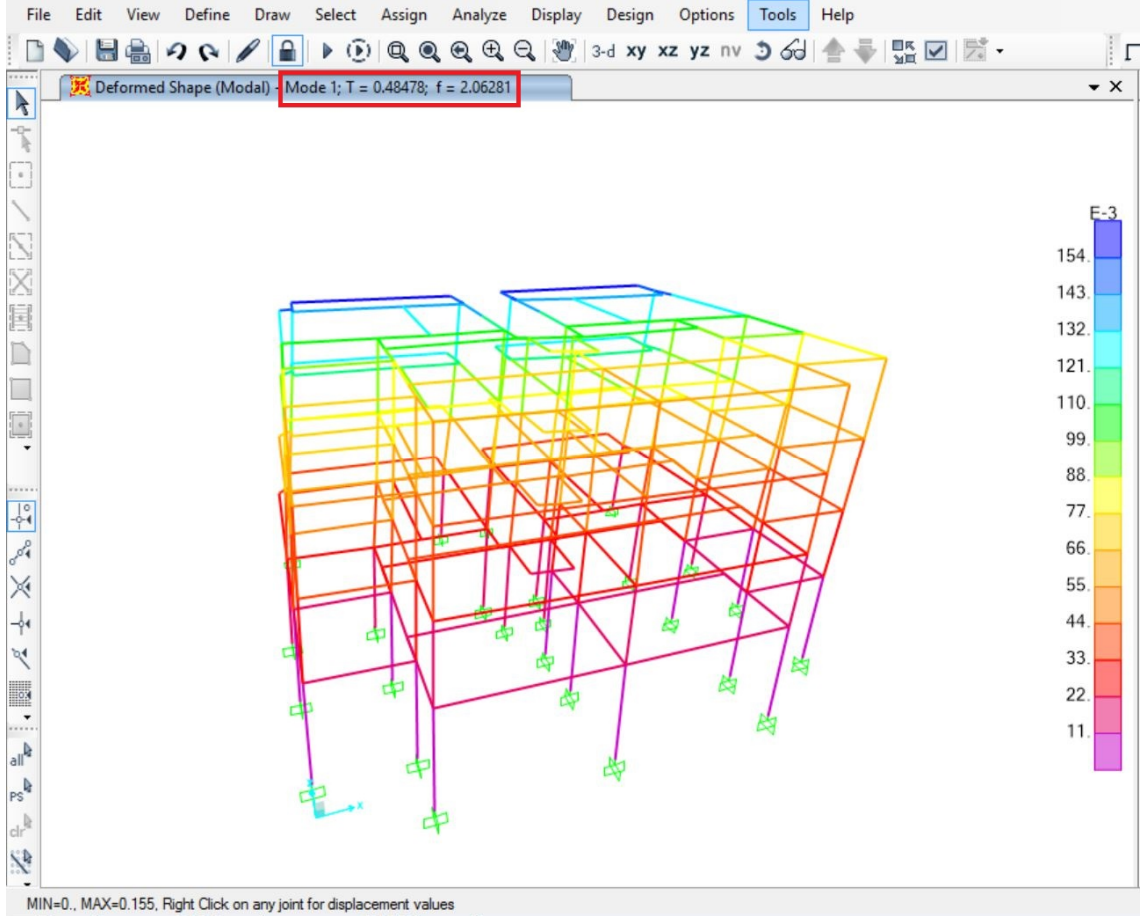
Sta4Cad yazılımında bina modelinin özdeğer analizi ile bulunan temel periyot,  $T_{Mx} = 0,440$  s’dir. Proje müellifinden alınan bilgilere göre, BN01 kodlu binanın statik-betonarme projesi, ülkemizde yaygın olarak kullanılan bir diğer yazılım olan Probina yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Şekil 6.2’de BN01 kodlu bina için Probina yazılımı ile yapılan özdeğer analizi sonuçlarının bir bölümü görülmektedir. Buna göre, Probina yazılımında bina modelinin özdeğer analizi ile bulunan temel periyot,  $T_{Mx} = 0,450$  s’dir.

Probina Orion 17.0 (04.2012) / Sayfa: 00-1

DEPREM HESABI SONUÇLARI				
DEPREM HESABI SONUÇLARI				
3-BOYUTLU SONLU ELEMANLAR PROGRAMI				
PROBINA ORION				
SÜRÜM 3.7 (Haziran 2012)				
ÖZDEĞER SİSTEM PARAMETRELERİ				
DEĞERLEME SAYISI	:	700		
KÜTLE SAYISI	:	56		
ÖZDEĞER SAYISI	:	12		
GÜBSPACE İTERASYON	:	3		
ÖZDEĞERLER VE FREKANSLAR				
MODE	PERİYOD	FREKANS	ACISALFREKANS	ÖZDEĞER
SAYISI	(SN)	(C/SN)	(RAD/SN)	(RAD/SN)**2
1	0.440460	2.270381	13.917867	194.264180
2	0.343947	2.905100	18.278537	334.104922
3	0.289901	3.449459	21.673591	469.744546
4	0.253217	4.115778	26.925935	600.293899
5	0.226525	4.416047	30.994096	693.241370
6	0.206018	4.857093	35.252325	816.226084
7	0.188379	5.308478	39.767684	958.378005
8	0.173721	5.765094	44.544743	1120.688005
9	0.161669	6.236625	49.587097	1299.221005
10	0.151881	6.719132	54.893733	1493.081005
11	0.143886	7.211630	60.464803	1702.261005
12	0.137293	7.713127	66.299304	1926.761005

Şekil 6.2 BN01 kodlu bina Probina modeli özdeğer analizi sonuçları

Sta4Cad modelinden SAP2000 yazılımına aktarılan model (bütün analiz parametreleri aynıdır ve dinamik analiz brüt en kesit rijitliğine göre yapılmıştır) üzerinde yapılan modal analiz sonucunda ise temel periyot,  $T_{Mx} = 0,484$  s olarak bulunmuştur. Şekil 6.3'te SAP 2000 modelinin temel periyot sonucu görülmektedir.



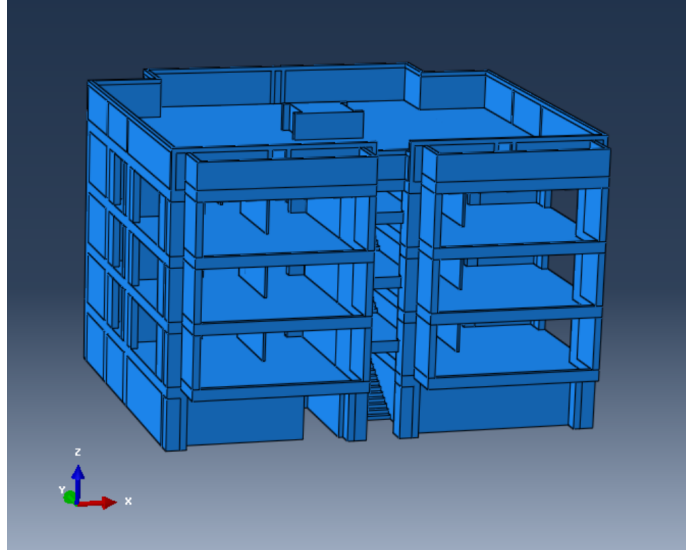
Şekil 6.3. SAP 2000 modeli modal analiz sonucu

Son olarak, BN01 kodlu binanın Rayleigh periyotları SAP 2000 yazılımı modeli ile hesaplanmıştır. DBYBHY 2007'ye göre; deprem kuvvetleri eşdeğer deprem yükü yöntemi ile hesaplanan binalarda bulunan temel periyodun, Bölüm 2'de denklem 2.7 ile verilen Rayleigh periyodundan daha küçük olup olmadığı kontrol edilmelidir. BN01 kodlu bina için X ve Y doğrultularındaki Rayleigh periyotları SAP 2000 modelinden yararlanılarak bulunmuştur. Seçilen fiktif kuvvet, kat kütleleri ve yükseklikleri oranında katlara dağıtılmış, bulunan kat kuvvetleri binanın kat kütle merkezlerinden etki edecek şekilde bir kez X doğrultusunda, bir kez de Y doğrultusunda uygulanmıştır. Bulunan deplasmanlar, kat kuvvetleri ve kat kütleleri denklem 2.7'de yerine konularak Rayleigh

periyotları belirlenmiştir. Buna göre  $T_{1x} = 0,454 s$  ve  $T_{1y} = 0,328 s$  olarak bulunmuştur.

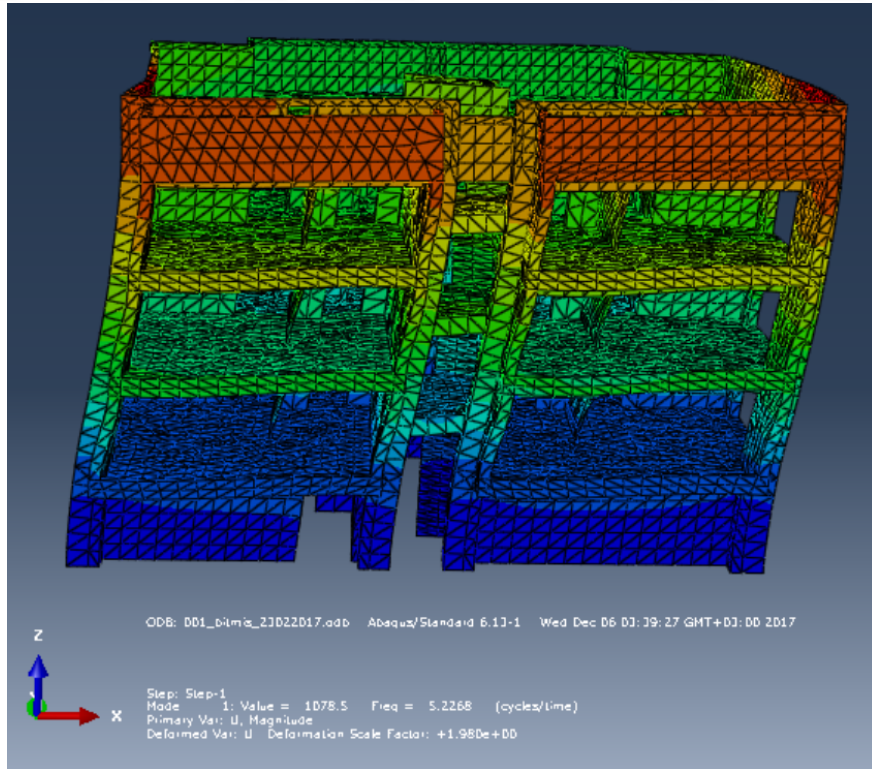
BN01 kodlu bina için uygulamada kullanılan statik-betonarme hesap yazılımlarının modal analiz sonuçlarının birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. BN01 kodlu binanın çevresel titreşim ölçümü verilerinin frekans ortamında analiz edilmesi ile belirlenen temel periyodu ise  $T_0 = 0,208 s$ 'dir. Görüldüğü gibi binada ölçülen değer, uygulamada yaygın olarak kullanılan statik-betonarme hesap yazılımları ile bulunan değerlerden çok daha kısadır. Bu durumun nedeni, yazılımlarda dolgu duvarların binanın yatay rijitliğine olan katkısı dikkate alınmadan yapılan modal analizlerdir. Bu bina modellerinde, dolgu duvarlar yalnızca kütle olarak bina modelinde bulunmakta fakat binanın yatay rijitliğine hiç katkı vermemektedir. Bu nedenle binada oluşacak gerçek durumdan daha uzun bir temel periyot bulunmaktadır.

Bina modellerinde dolgu duvarların rijitliklerinin de dikkate alınmasının bina temel periyoduna etkisini irdelemek amacıyla, BN01 kodlu binanın nümerik modeli Abaqus/CAE 2017 yazılımı ile dolgu duvarların rijitlikleri de dikkate alınarak oluşturulmuştur. Modelde beton yoğunluğu ve elastisite modülü, uygulamada kullanılan diğer yazılımlar ile oluşturulan modellerde olduğu gibi sırasıyla,  $25 \text{ kN/m}^3$  ve  $30250 \text{ MPa}$  alınmıştır. Duvarlar katı cisim olarak modellenmiş ve çerçevelere rijit bağlı oldukları kabul edilmiştir. Duvar yoğunluğu  $10 \text{ kN/m}^3$ , duvar elastisite modülü ( $E_d$ ), ise Demirel vd., 2015'te gerçekleştirilen prizma deneyleri sonucunda belirlenmiş olan  $2045 \text{ MPa}$  değeri baz alınarak yaklaşık olarak  $2000 \text{ MPa}$  alınmıştır. Dinamik analiz brüt en kesit rijitliklerine göre yapılmıştır. Rijit diyafram kabulü yapılmıştır. Bütün birleşimler rijit kabul edilmiştir, temel seviyesindeki mesnetler ankastredir. Şekil 6.4'te BN01 kodlu binanın Abaqus modeli görülmektedir.



Şekil 6.4. BN01 kodlu binanın Abaqus modeli ekran görüntüsü

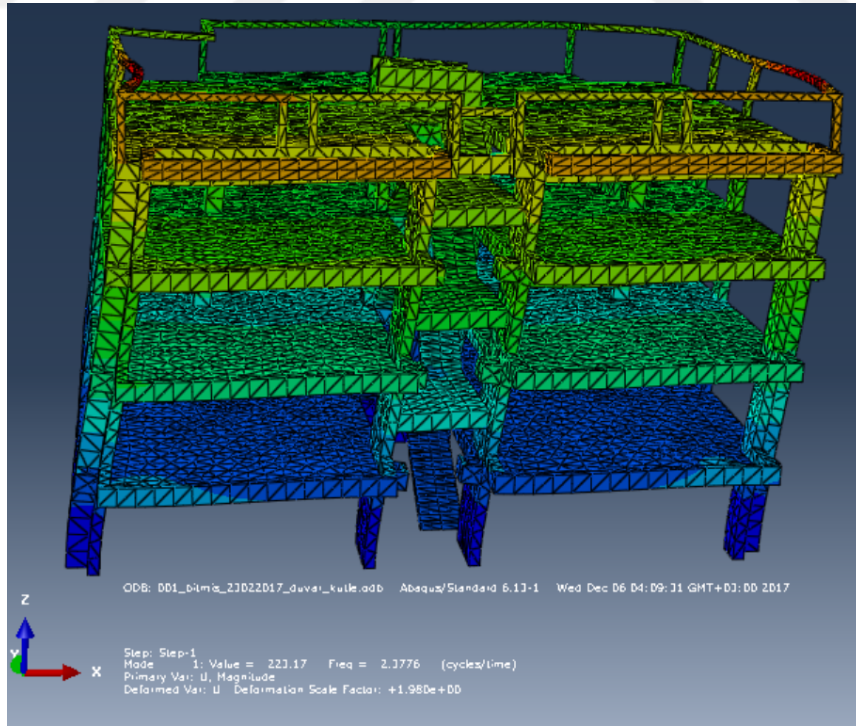
Abaqus yazılımında dolgu duvarların rijitliğe katkısının dikkate alındığı bina modelinin özdeğer analizi ile bulunan temel periyot,  $T_{Mx} = 0,191$  s ( $f = 5,226$  Hz)'dir. Şekil 6.5'te duvarların binanın yatay rijitliğine katkısının dikkate alındığı Abaqus modelinin temel periyot sonucu görülmektedir.



Şekil 6.5. Duvarların rijitliğe katkısının dikkate alındığı Abaqus modeli modal analiz sonucu

Bulunan periyot, çevresel titreşim ölçümü yapılarak bulunan temel periyoda ( $T_{0x} = 0,208$  s) çok yakındır. Model kalibrasyonu yapılarak, yani elastisite modülleri belli sınırlar içinde değiştirilerek ölçüm ile bulunan temel periyodun yakalanabileceği açıktır, fakat çalışmanın amacı bu değildir. Bu model dolgu duvarların rijitliğe olan katkısı dikkate alındığında, binada ölçülen gerçek temel periyot değerine yaklaşılabilceğini göstermektedir.

Aynı model üzerinde duvarların rijitlikleri sıfırlanıp, duvarlar yalnızca kütle olarak bırakılarak, uygulamada sık kullanılan yazılımlardaki modal analiz şartlarına ulaşılmak istenmiştir. Ancak Abaqus yazılımında duvar rijitlikleri sıfır alınarak modal analiz yapıldığında, sistemin ilk modları sıfır rijitlikten dolayı duvarlarda çıkmıştır. Binanın gerçek modları çok gerilerde kaldığı için sonuçlar görüntülenememiştir. Bunun üzerine duvarlar kaldırılarak duvarların toplam kütlesi betonarme karkas sisteme uniform olarak eklenerek ulaşılmak istenen durum modellenmiştir. Bu durumda dolgu duvarlar kütle olarak binada bulunmakta fakat binanın yatay rijitliğine hiç katkı vermemektedir. Şekil 6.6'da duvarların yalnızca kütle olarak dikkate alındığı modelin modal analiz sonucu görülmektedir.

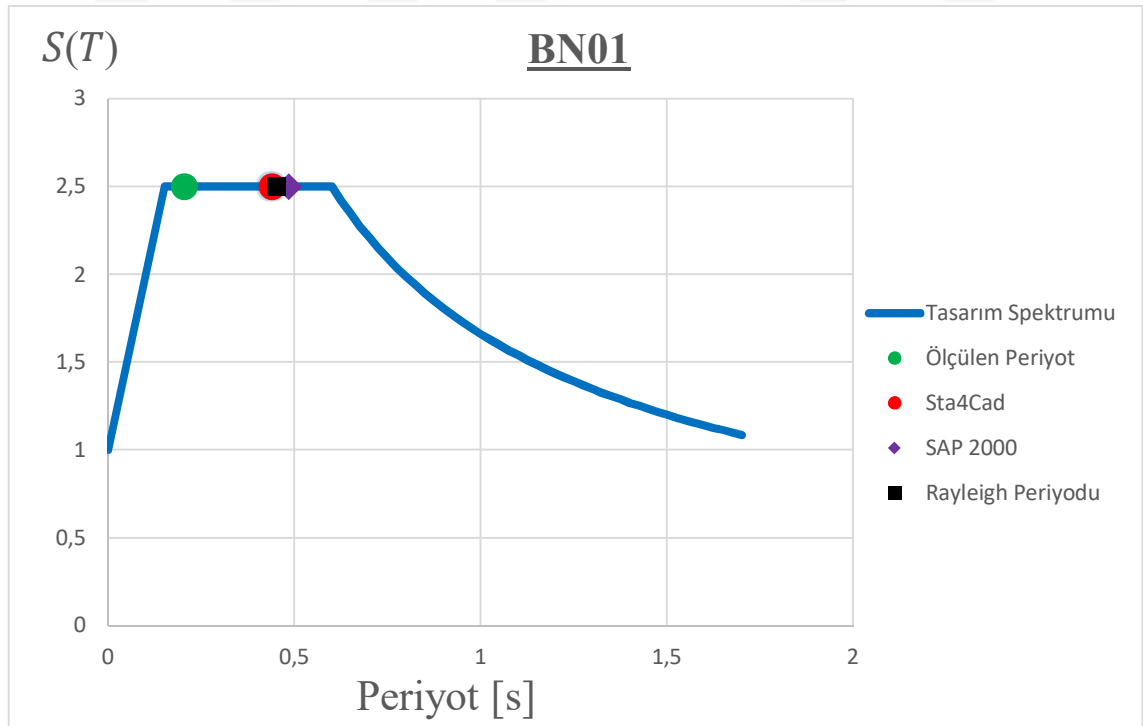


Şekil 6.6 Duvarların yalnızca kütle olarak dikkate alındığı Abaqus modeli modal analiz sonucu

Abaqus yazılımında duvarların yalnızca kütle olarak dikkate alındığı bina modelinin özdeğer analizi ile bulunan temel periyodu,  $T_{Mx} = 0,420$  s ( $f = 2,377$  Hz)'dir. Görüldüğü gibi bu değer uygulamada kullanılan yazılımlar ile bulunan temel periyot sonuçlarına yakın çıkmıştır. Uygulamada çalışan ve piyasada yaygın olarak kullanılan yazılımları kullanan inşaat mühendislerinin genelde merdivenleri nümerik modellere dâhil etmedikleri bilinmektedir. Bu nedenle, Sta4Cad ve SAP 2000 modellerinde merdivenler bulunmamaktadır. Ancak, Abaqus yazılımında merdivenler de modele dâhil edilmiştir. Modal analiz sonucunda, Abaqus yazılımı ile bulunan periyodun biraz daha kısa çıkmasının nedeninin, merdivenin binanın yatay rijitliğine olan katkısı olduğu değerlendirilmektedir.

## 6.2. Nümerik Modelleme Sonuçları

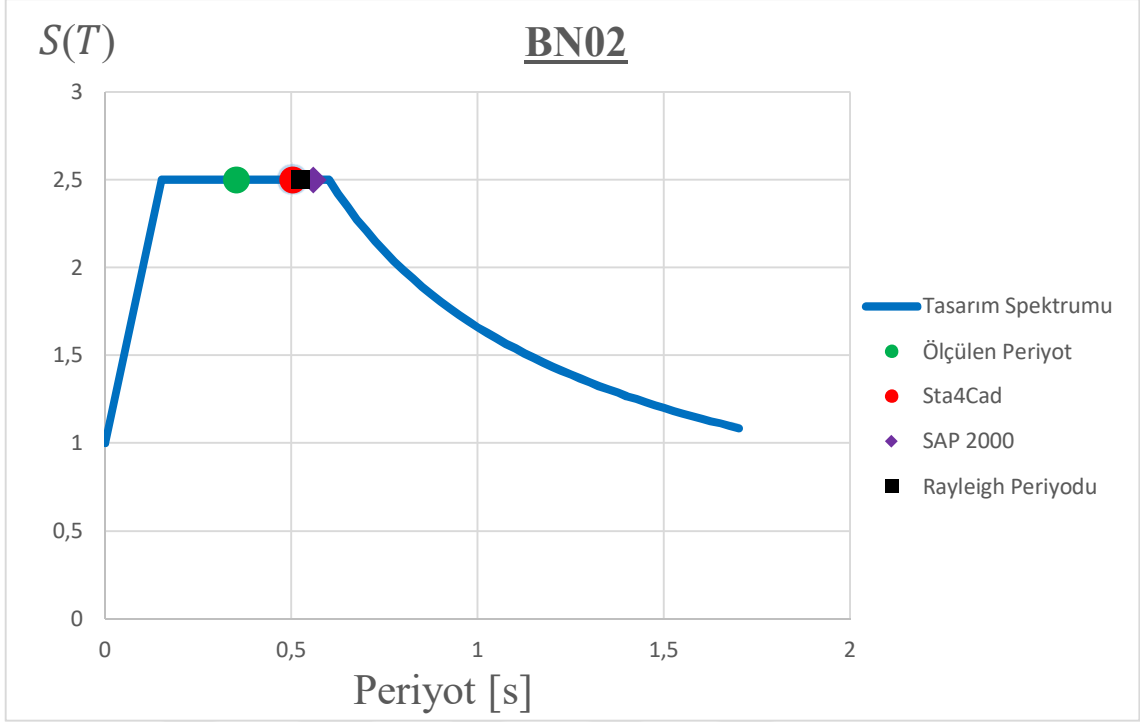
BN01 kodlu binanın, çevresel titreşim ölçümü, Sta4Cad, SAP 2000 ve Rayleigh yöntemleri ile bulunan temel periyotları DBYBHY (2007)'de tanımlanan tasarım spektrumu üzerinde gösterilmiştir (Şekil 6.7). BN01 kodlu bina, zemin etüt raporuna göre Z3 ( $T_a = 0,15$  s ;  $T_b = 0,60$  s) sınıfı zemin üzerindedir.



Şekil 6.7. BN01 kodlu binanın farklı yöntemlerle belirlenen temel periyotlarının DBYBHY (2007) tasarım spektrumu üzerinde gösterimi

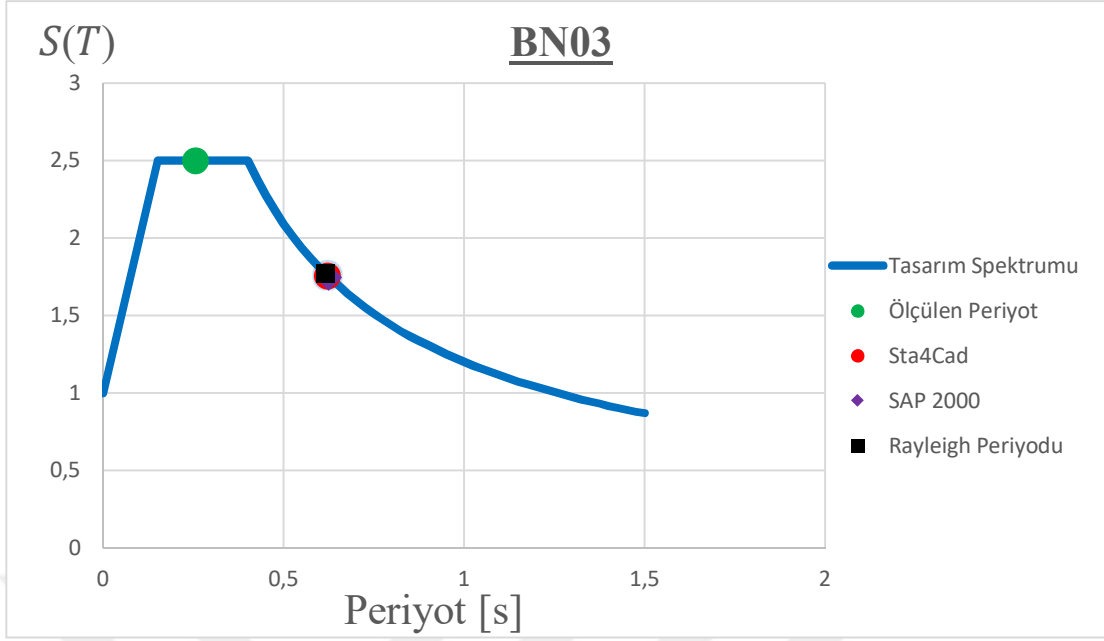
Şekil 6.7'deki tasarım spektrumu incelendiğinde, dört farklı yöntemle belirlenen temel periyotların tamamı için Spektrum Karakteristik Katsayısı'nın  $S(T) = 2,5$  olduğu görülmektedir. Fakat binada yapılan titreşim ölçümü ile bulunan temel periyot referans kabul edildiğinde, diğer yöntemlerle bulunan periyotların yaklaşık olarak %50 daha uzun olduğu görülmektedir. Bu durumun nedeni, Sta4Cad, SAP 2000 yazılımları ve Rayleigh yöntemi ile temel periyotlar belirlenirken dolgu duvarların yalnızca kütle olarak dikkate alınması, duvarların binanın yatay rijitliğine olan katkısının değerlendirmeye alınmamasıdır. Ülkemizde şu anda uygulamada çalışan proje mühendislerinin, özellikle bu çalışmada irdelenen 4-6 katlı konut tipi betonarme binaların temel periyotlarını belirlerken dolgu duvarların binanın yatay rijitliğine olan katkısını dikkate almadıkları bilinmektedir. BN01 kodlu binanın dört farklı yöntemle belirlenen temel periyotlarının tamamı için Spektrum Karakteristik Katsayısı  $S(T) = 2,5$  olmuştur. Bu durum Z3 zemin sınıfının tasarım spektrumundaki geniş periyot aralığından ( $T_a = 0,15 s ; T_b = 0,60 s$ ) kaynaklanmıştır. Özellikle tasarım spektrumunda en büyük spektrum karakteristik katsayısı  $S(T) = 2,5$  sahanlığının dar olduğu Z1 ( $T_a = 0,10 s ; T_b = 0,30 s$ ) ve Z2 ( $T_a = 0,15 s ; T_b = 0,40 s$ ) sınıfı zeminlerde bulunan binalarda, ölçülen periyot ile hesaplanan periyotlar arasındaki bu farkın güvensiz tarafta kalacak şekilde küçük  $S(T)$  katsayılarının seçimine neden olacağı değerlendirilmektedir.

BN02 kodlu binanın, çevresel titreşim ölçümü, Sta4Cad, SAP 2000 ve Rayleigh yöntemleri ile bulunan temel periyotları DBYBHY (2007)'de tanımlanan tasarım spektrumu üzerinde gösterilmiştir (Şekil 6.8). BN02 kodlu bina, zemin etüt raporuna göre Z3 ( $T_a = 0,15 s ; T_b = 0,60 s$ ) sınıfı zemin üzerindedir.



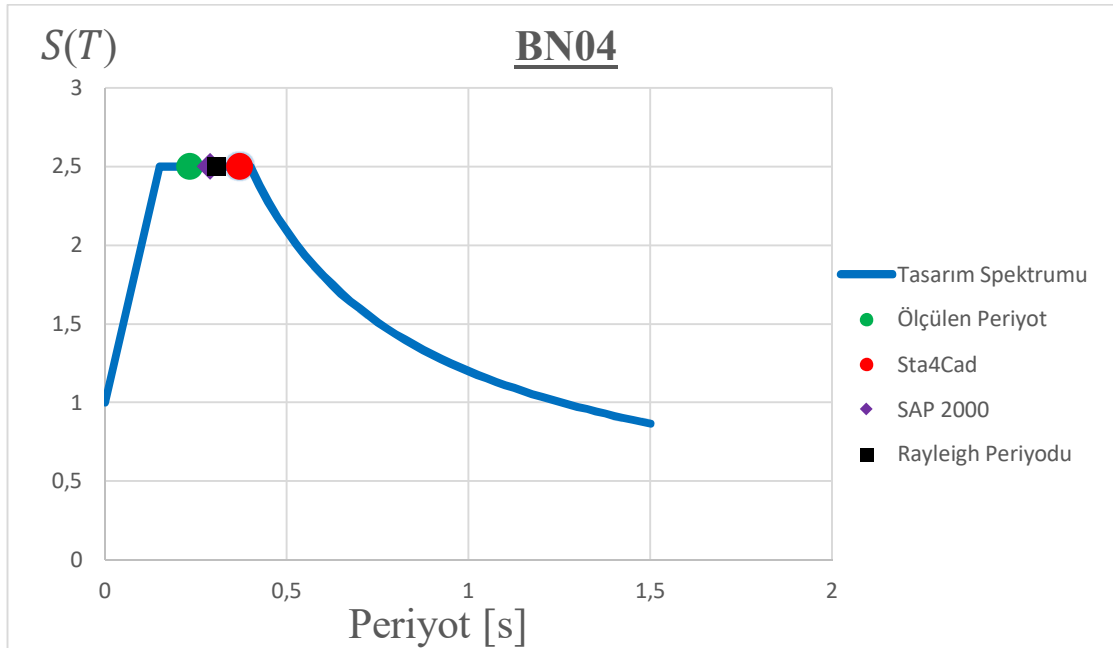
**Şekil 6.8.** BN02 kodlu binanın farklı yöntemlerle belirlenen temel periyotlarının DBYBHY (2007) tasarım spektrumu üzerinde gösterimi

BN03 kodlu binanın, çevresel titreşim ölçümü, Sta4Cad, SAP 2000 ve Rayleigh yöntemleri ile bulunan temel periyotları DBYBHY (2007)'de tanımlanan tasarım spektrumu üzerinde gösterilmiştir (Şekil 6.9). BN03 kodlu bina, zemin etüt raporuna göre Z2 ( $T_a = 0,15 s ; T_b = 0,40 s$ ) sınıfı zemin üzerindedir.



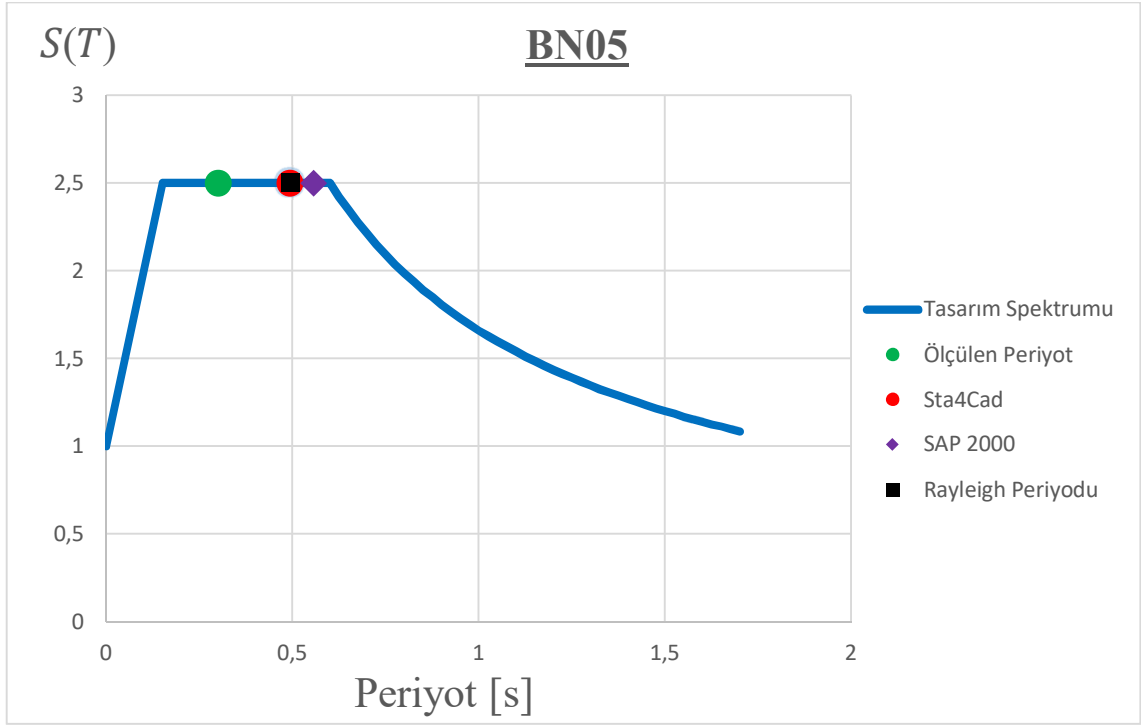
Şekil 6.9. BN03 kodlu binanın farklı yöntemlerle belirlenen temel periyotlarının DBYBHY (2007) tasarım spektrumu üzerinde gösterimi

BN04 kodlu binanın, çevresel titreşim ölçümü, Sta4Cad, SAP 2000 ve Rayleigh yöntemleri ile bulunan temel periyotları DBYBHY (2007)'de tanımlanan tasarım spektrumu üzerinde gösterilmiştir (Şekil 6.10). BN04 kodlu bina, zemin etüt raporuna göre Z2 ( $T_a = 0,15 s ; T_b = 0,40 s$ ) sınıfı zemin üzerindedir.



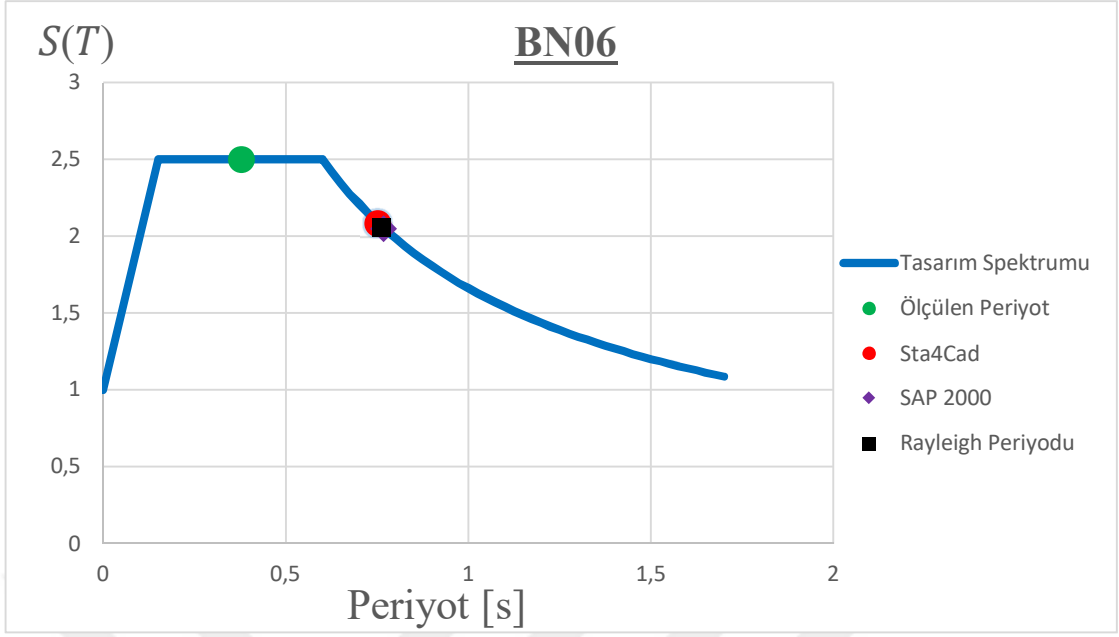
Şekil 6.10. BN04 kodlu binanın farklı yöntemlerle belirlenen temel periyotlarının DBYBHY (2007) tasarım spektrumu üzerinde gösterimi

BN05 kodlu binanın, çevresel titreşim ölçümü, Sta4Cad, SAP 2000 ve Rayleigh yöntemleri ile bulunan temel periyotları DBYBHY (2007)'de tanımlanan tasarım spektrumu üzerinde gösterilmiştir (Şekil 6.11). BN05 kodlu bina, zemin etüt raporuna göre Z3 ( $T_a = 0,15 s ; T_b = 0,60 s$ ) sınıfı zemin üzerindedir.



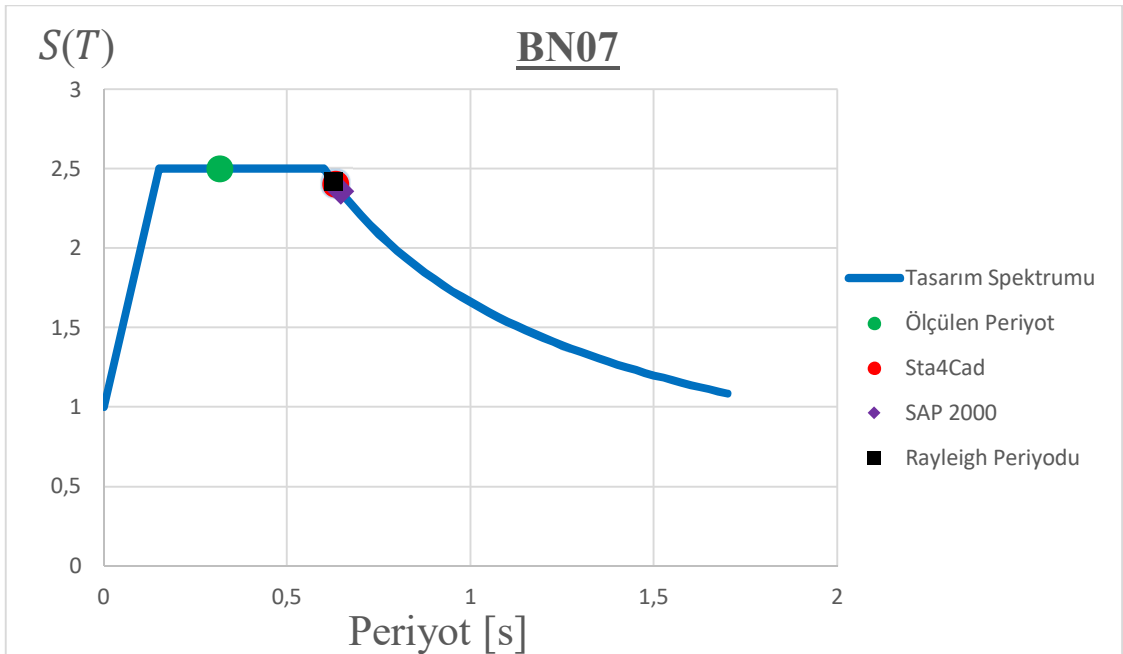
Şekil 6.11. BN05 kodlu binanın farklı yöntemlerle belirlenen temel periyotlarının DBYBHY (2007) tasarım spektrumu üzerinde gösterimi

BN06 kodlu binanın, çevresel titreşim ölçümü, Sta4Cad, SAP 2000 ve Rayleigh yöntemleri ile bulunan temel periyotları DBYBHY (2007)'de tanımlanan tasarım spektrumu üzerinde gösterilmiştir (Şekil 6.12). BN06 kodlu bina, zemin etüt raporuna göre Z3 ( $T_a = 0,15 s ; T_b = 0,60 s$ ) sınıfı zemin üzerindedir.



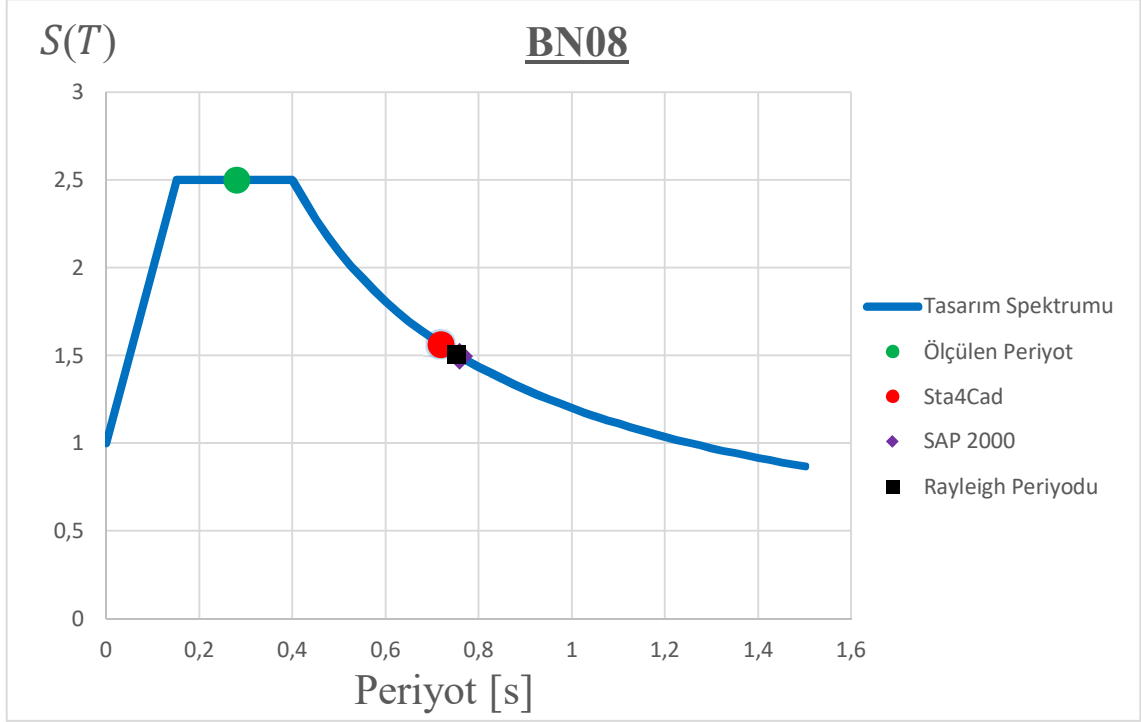
**Şekil 6.12.** BN06 kodlu binanın farklı yöntemlerle belirlenen temel periyotlarının DBYBHY (2007) tasarım spektrumu üzerinde gösterimi

BN07 kodlu binanın, çevresel titreşim ölçümü, Sta4Cad, SAP 2000 ve Rayleigh yöntemleri ile bulunan temel periyotları DBYBHY (2007)'de tanımlanan tasarım spektrumu üzerinde gösterilmiştir (Şekil 6.13). BN07 kodlu bina, zemin etüt raporuna göre Z3 ( $T_a = 0,15$  s ;  $T_b = 0,60$  s) sınıfı zemin üzerindedir.



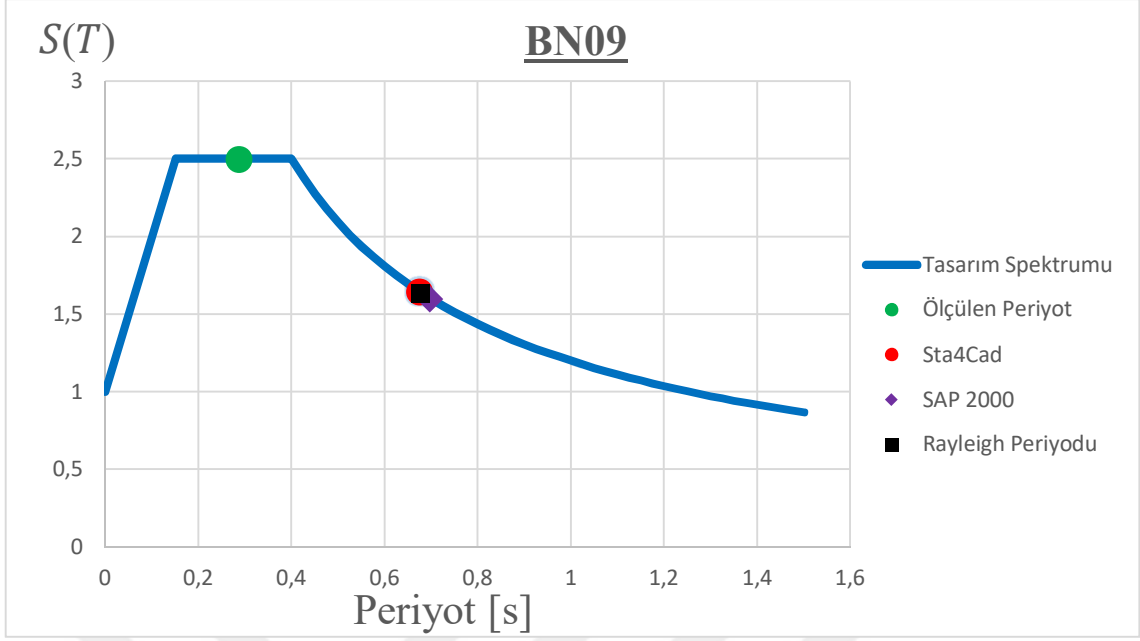
**Şekil 6.13** BN07 kodlu binanın farklı yöntemlerle belirlenen temel periyotlarının DBYBHY (2007) tasarım spektrumu üzerinde gösterimi

BN08 kodlu binanın, çevresel titreşim ölçümü, Sta4Cad, SAP 2000 ve Rayleigh yöntemleri ile bulunan temel periyotları DBYBHY (2007)'de tanımlanan tasarım spektrumu üzerinde gösterilmiştir (Şekil 6.14). BN08 kodlu bina, zemin etüt raporuna göre Z2 ( $T_a = 0,15 s ; T_b = 0,40 s$ ) sınıfı zemin üzerindedir.



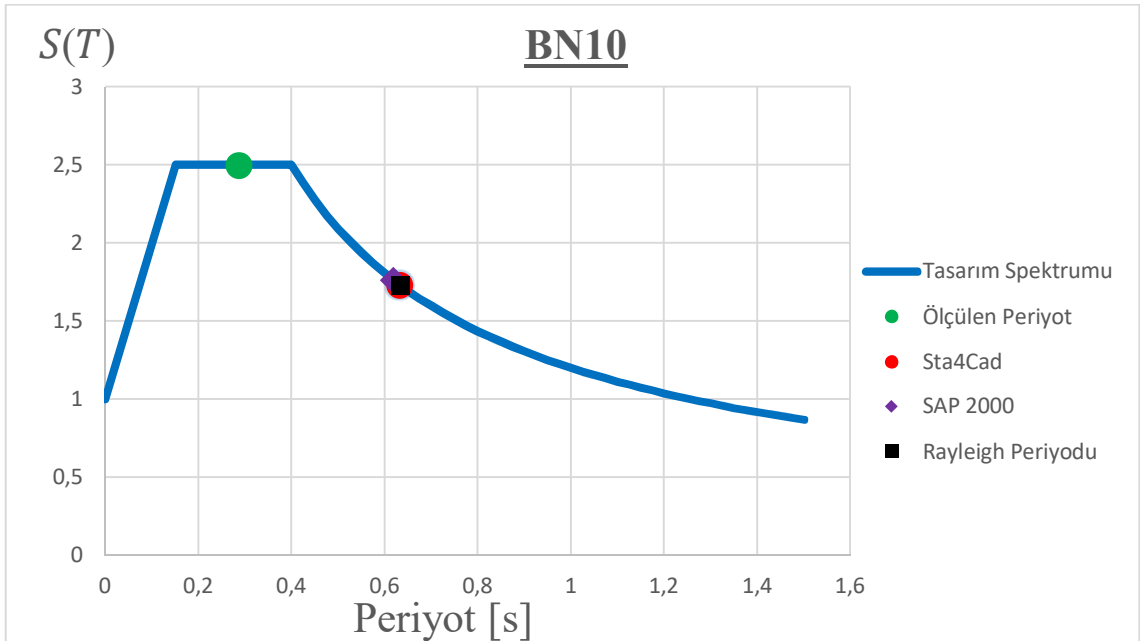
Şekil 6.14. BN08 kodlu binanın farklı yöntemlerle belirlenen temel periyotlarının DBYBHY (2007) tasarım spektrumu üzerinde gösterimi

BN09 kodlu binanın, çevresel titreşim ölçümü, Sta4Cad, SAP 2000 ve Rayleigh yöntemleri ile bulunan temel periyotları DBYBHY (2007)'de tanımlanan tasarım spektrumu üzerinde gösterilmiştir (Şekil 6.15). BN09 kodlu bina, zemin etüt raporuna göre Z2 ( $T_a = 0,15 s ; T_b = 0,40 s$ ) sınıfı zemin üzerindedir.



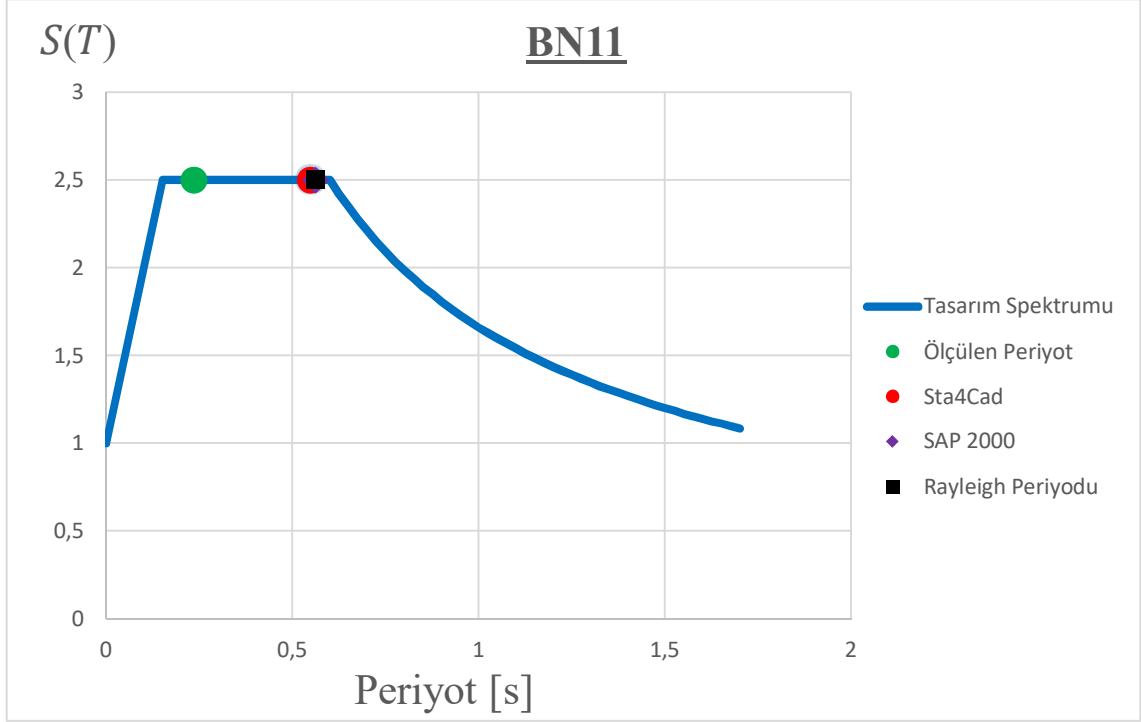
**Şekil 6.15.** BN09 kodlu binanın farklı yöntemlerle belirlenen temel periyotlarının DBYBHY (2007) tasarım spektrumu üzerinde gösterimi

BN10 kodlu binanın, çevresel titreşim ölçümü, Sta4Cad, SAP 2000 ve Rayleigh yöntemleri ile bulunan temel periyotları DBYBHY (2007)'de tanımlanan tasarım spektrumu üzerinde gösterilmiştir (Şekil 6.16). BN10 kodlu bina, zemin etüt raporuna göre Z2 ( $T_a = 0,15 s ; T_b = 0,40 s$ ) sınıfı zemin üzerindedir.



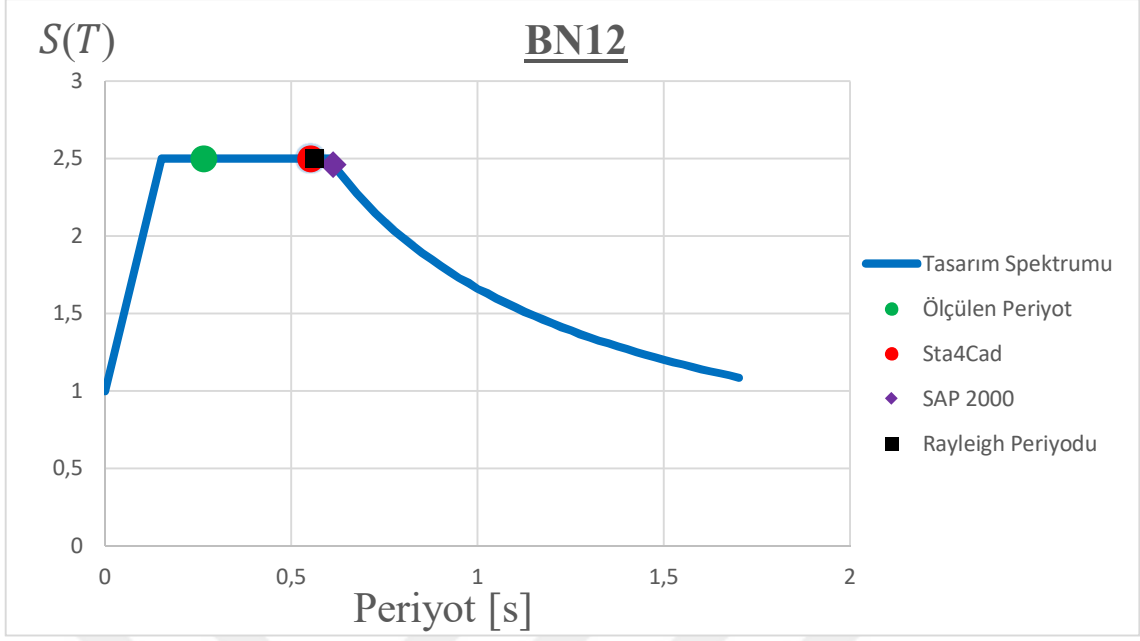
**Şekil 6.16.** BN10 kodlu binanın farklı yöntemlerle belirlenen temel periyotlarının DBYBHY (2007) tasarım spektrumu üzerinde gösterimi

BN11 kodlu binanın, çevresel titreşim ölçümü, Sta4Cad, SAP 2000 ve Rayleigh yöntemleri ile bulunan temel periyotları DBYBHY (2007)'de tanımlanan tasarım spektrumu üzerinde gösterilmiştir (Şekil 6.17). BN11 kodlu bina, zemin etüt raporuna göre Z3 ( $T_a = 0,15 s ; T_b = 0,60 s$ ) sınıfı zemin üzerindedir.



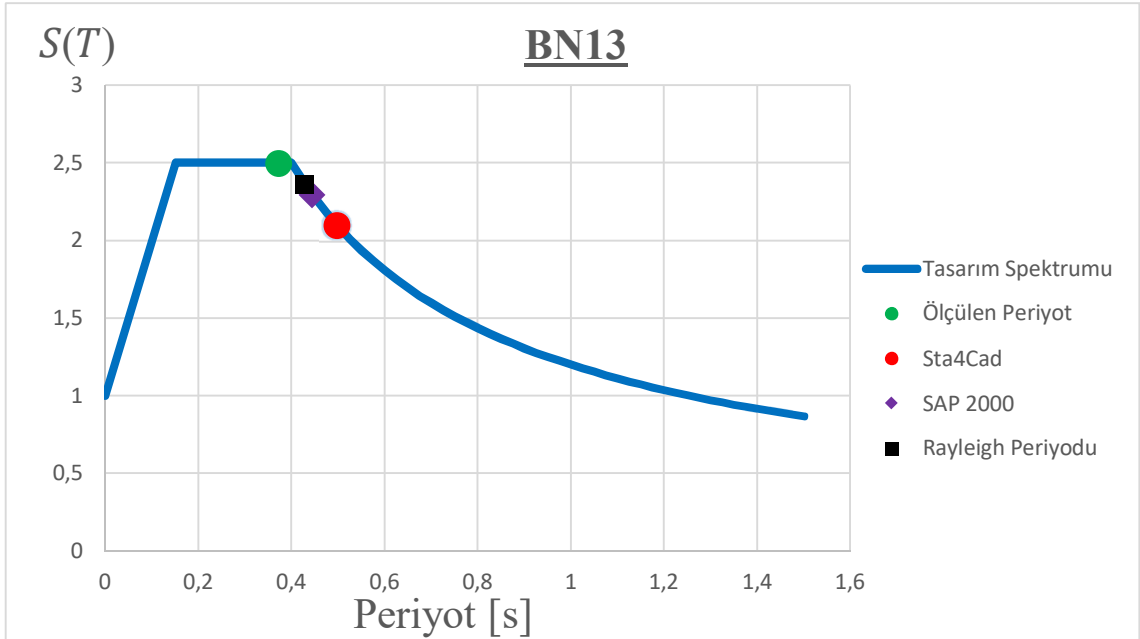
Şekil 6.17. BN11 kodlu binanın farklı yöntemlerle belirlenen temel periyotlarının DBYBHY (2007) tasarım spektrumu üzerinde gösterimi

BN12 kodlu binanın, çevresel titreşim ölçümü, Sta4Cad, SAP 2000 ve Rayleigh yöntemleri ile bulunan temel periyotları DBYBHY (2007)'de tanımlanan tasarım spektrumu üzerinde gösterilmiştir (Şekil 6.18). BN12 kodlu bina, zemin etüt raporuna göre Z3 ( $T_a = 0,15 s ; T_b = 0,60 s$ ) sınıfı zemin üzerindedir.



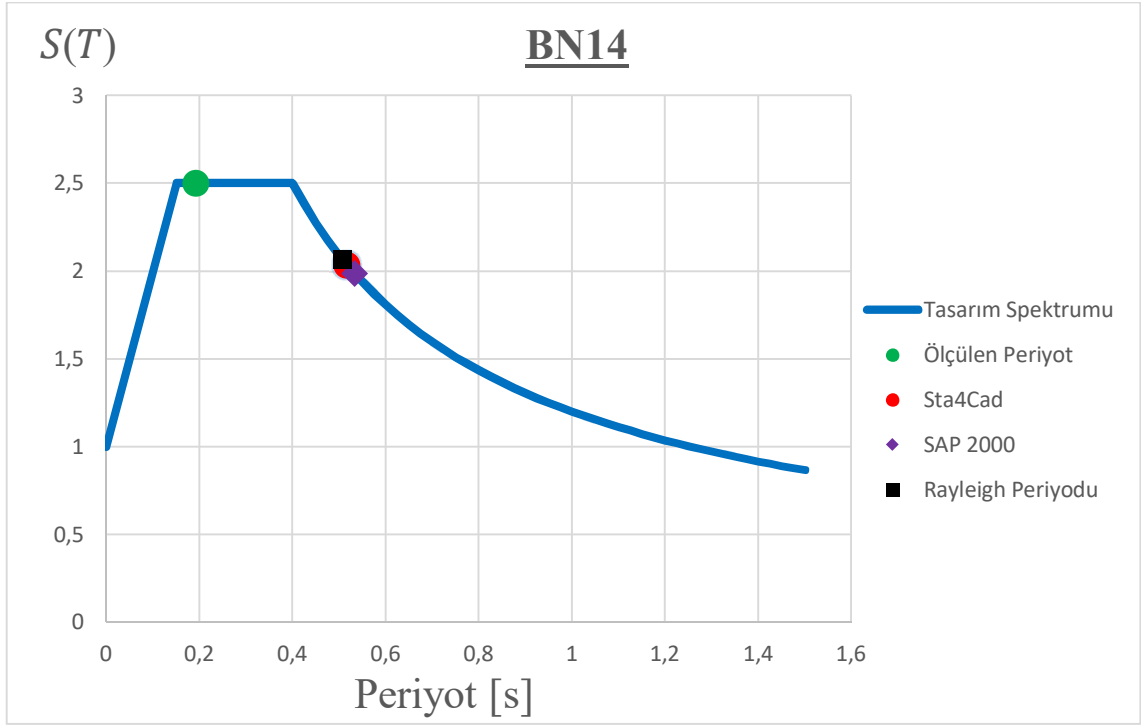
Şekil 6.18. BN12 kodlu binanın farklı yöntemlerle belirlenen temel periyotlarının DBYBHY (2007) tasarım spektrumu üzerinde gösterimi

BN13 kodlu binanın, çevresel titreşim ölçümü, Sta4Cad, SAP 2000 ve Rayleigh yöntemleri ile bulunan temel periyotları DBYBHY (2007)'de tanımlanan tasarım spektrumu üzerinde gösterilmiştir (Şekil 6.19). BN13 kodlu bina, zemin etüt raporuna göre Z2 ( $T_a = 0,15 s ; T_b = 0,40 s$ ) sınıfı zemin üzerindedir.



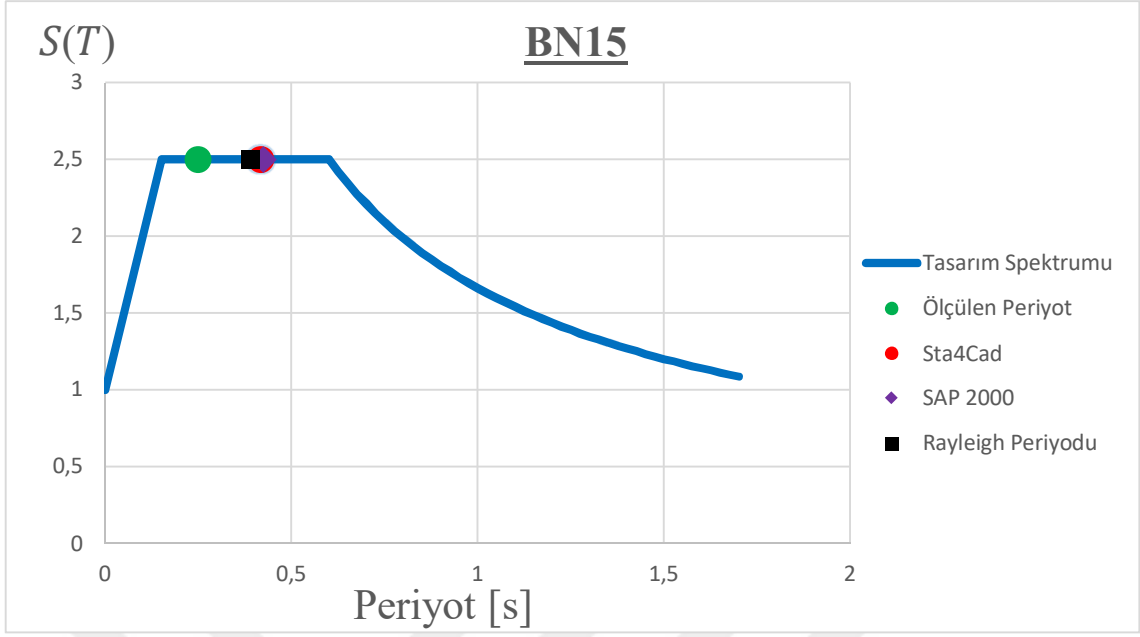
Şekil 6.19. BN13 kodlu binanın farklı yöntemlerle belirlenen temel periyotlarının DBYBHY (2007) tasarım spektrumu üzerinde gösterimi

BN14 kodlu binanın, çevresel titreşim ölçümü, Sta4Cad, SAP 2000 ve Rayleigh yöntemleri ile bulunan temel periyotları DBYBHY (2007)'de tanımlanan tasarım spektrumu üzerinde gösterilmiştir (Şekil 6.20). BN14 kodlu bina, zemin etüt raporuna göre Z2 ( $T_a = 0,15 s ; T_b = 0,40 s$ ) sınıfı zemin üzerindedir.



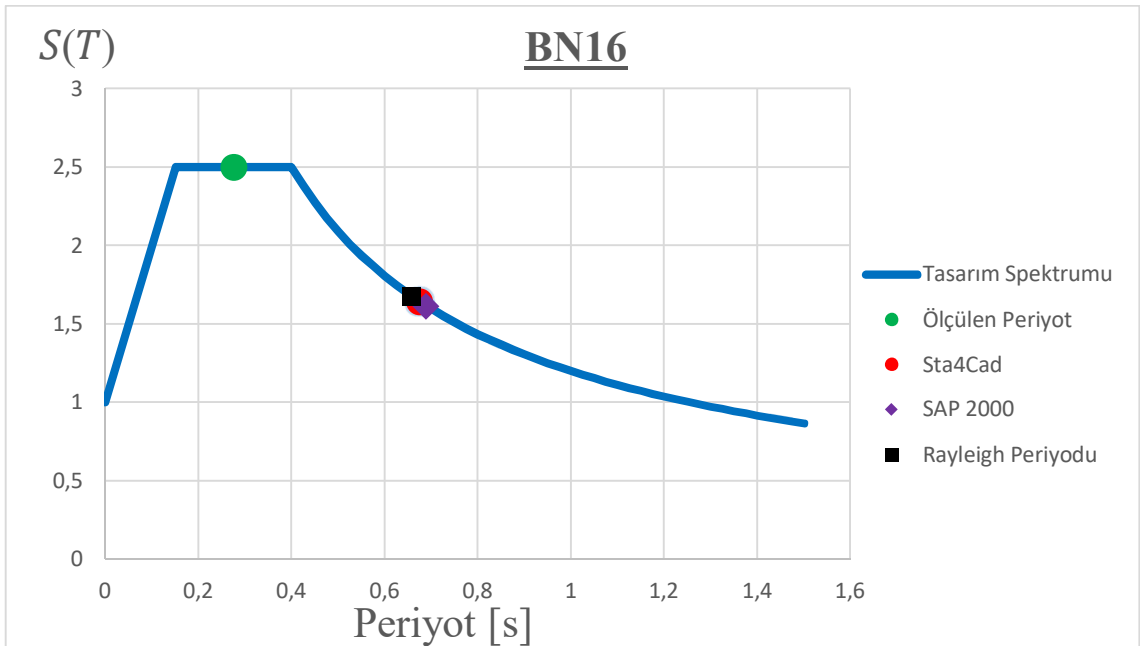
**Şekil 6.20.** BN14 kodlu binanın farklı yöntemlerle belirlenen temel periyotlarının DBYBHY (2007) tasarım spektrumu üzerinde gösterimi

BN15 kodlu binanın, çevresel titreşim ölçümü, Sta4Cad, SAP 2000 ve Rayleigh yöntemleri ile bulunan temel periyotları DBYBHY (2007)'de tanımlanan tasarım spektrumu üzerinde gösterilmiştir (Şekil 6.21). BN15 kodlu bina, zemin etüt raporuna göre Z3 ( $T_a = 0,15 s ; T_b = 0,60 s$ ) sınıfı zemin üzerindedir.



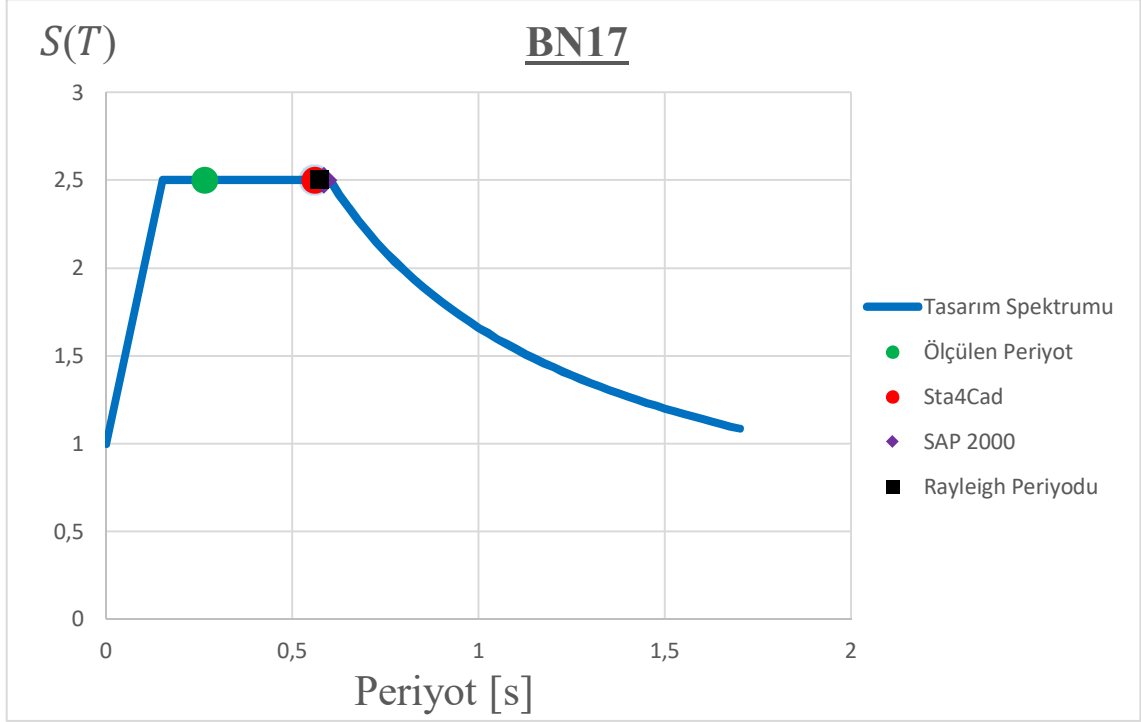
**Şekil 6.21.** BN15 kodlu binanın farklı yöntemlerle belirlenen temel periyotlarının DBYBHY (2007) tasarım spektrumu üzerinde gösterimi

BN16 kodlu binanın, çevresel titreşim ölçümü, Sta4Cad, SAP 2000 ve Rayleigh yöntemleri ile bulunan temel periyotları DBYBHY (2007)'de tanımlanan tasarım spektrumu üzerinde gösterilmiştir (Şekil 6.22). BN16 kodlu bina, zemin etüt raporuna göre Z2 ( $T_a = 0,15 s ; T_b = 0,40 s$ ) sınıfı zemin üzerindedir.



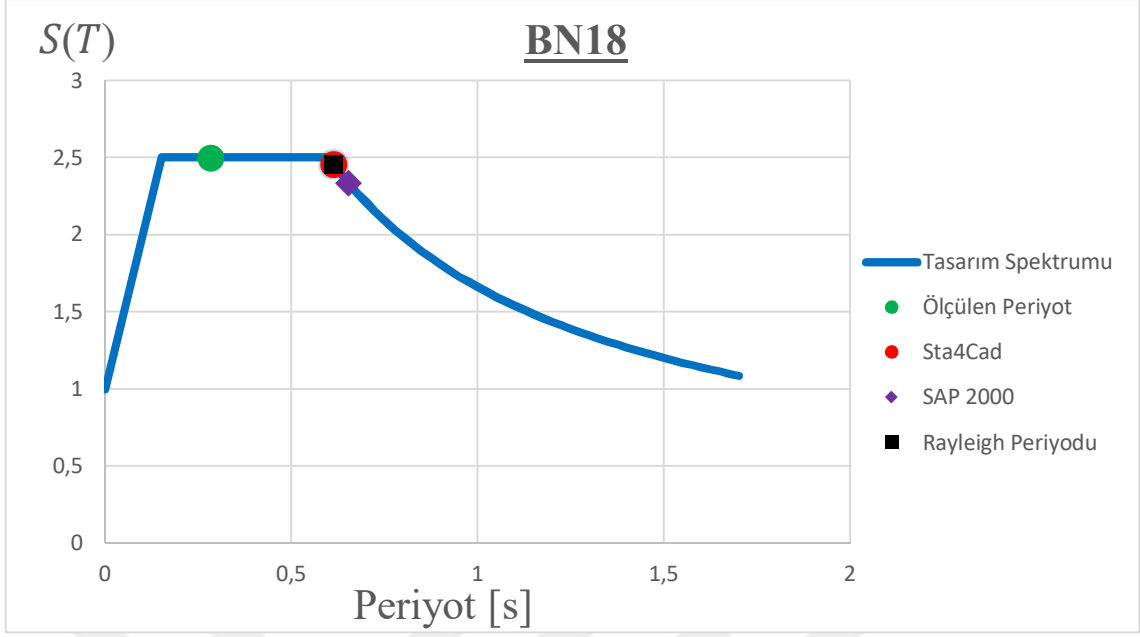
**Şekil 6.22.** BN16 kodlu binanın farklı yöntemlerle belirlenen temel periyotlarının DBYBHY (2007) tasarım spektrumu üzerinde gösterimi

BN17 kodlu binanın, çevresel titreşim ölçümü, Sta4Cad, SAP 2000 ve Rayleigh yöntemleri ile bulunan temel periyotları DBYBHY (2007)'de tanımlanan tasarım spektrumu üzerinde gösterilmiştir (Şekil 6.23). BN17 kodlu bina, zemin etüt raporuna göre Z3 ( $T_a = 0,15 s ; T_b = 0,60 s$ ) sınıfı zemin üzerindedir.



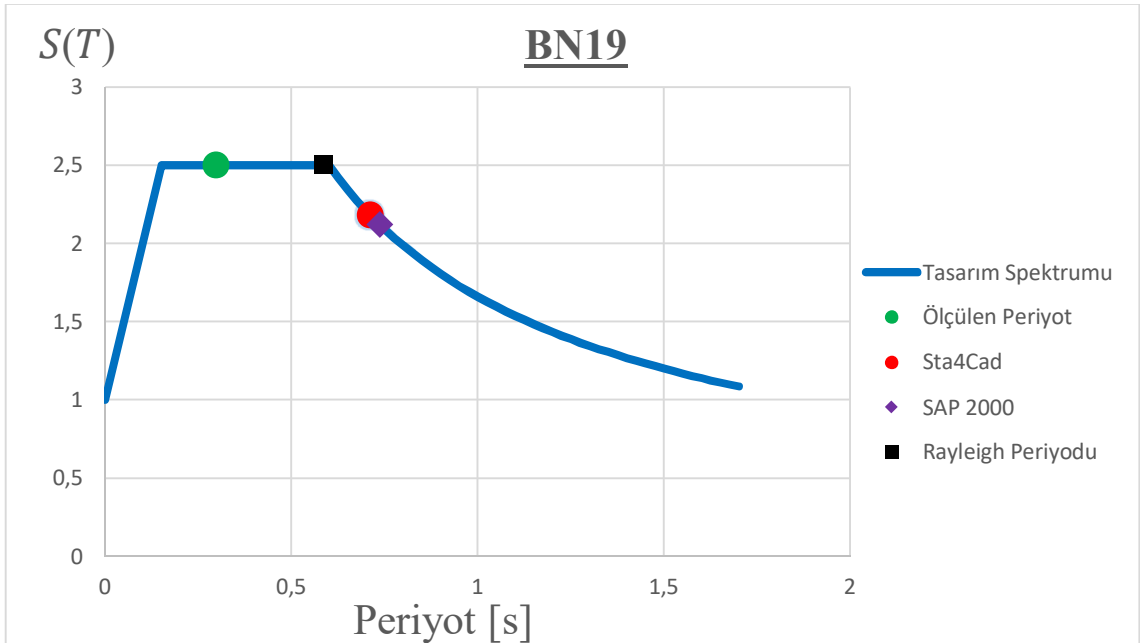
**Şekil 6.23.** BN17 kodlu binanın farklı yöntemlerle belirlenen temel periyotlarının DBYBHY (2007) tasarım spektrumu üzerinde gösterimi

BN18 kodlu binanın, çevresel titreşim ölçümü, Sta4Cad, SAP 2000 ve Rayleigh yöntemleri ile bulunan temel periyotları DBYBHY (2007)'de tanımlanan tasarım spektrumu üzerinde gösterilmiştir (Şekil 6.24). BN18 kodlu bina, zemin etüt raporuna göre Z3 ( $T_a = 0,15 s ; T_b = 0,60 s$ ) sınıfı zemin üzerindedir.



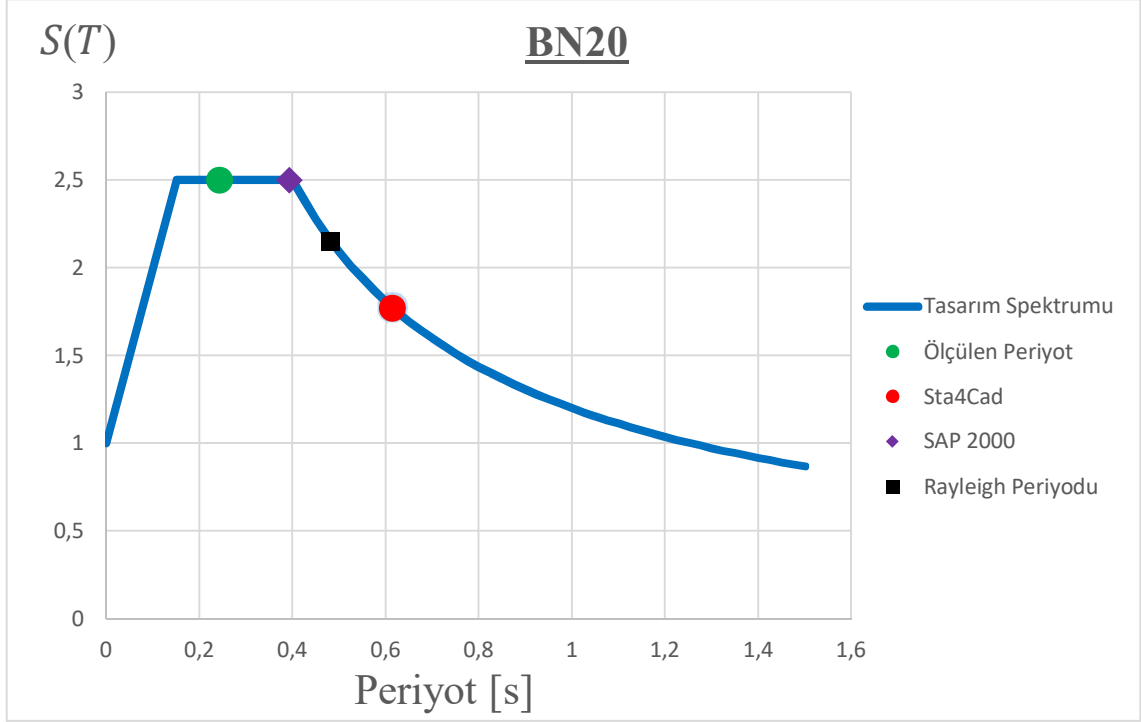
**Şekil 6.24.** BN18 kodlu binanın farklı yöntemlerle belirlenen temel periyotlarının DBYBHY (2007) tasarım spektrumu üzerinde gösterimi

BN19 kodlu binanın, çevresel titreşim ölçümü, Sta4Cad, SAP 2000 ve Rayleigh yöntemleri ile bulunan temel periyotları DBYBHY (2007)'de tanımlanan tasarım spektrumu üzerinde gösterilmiştir (Şekil 6.25). BN19 kodlu bina, zemin etüt raporuna göre Z3 ( $T_a = 0,15$  s ;  $T_b = 0,60$  s) sınıfı zemin üzerindedir.



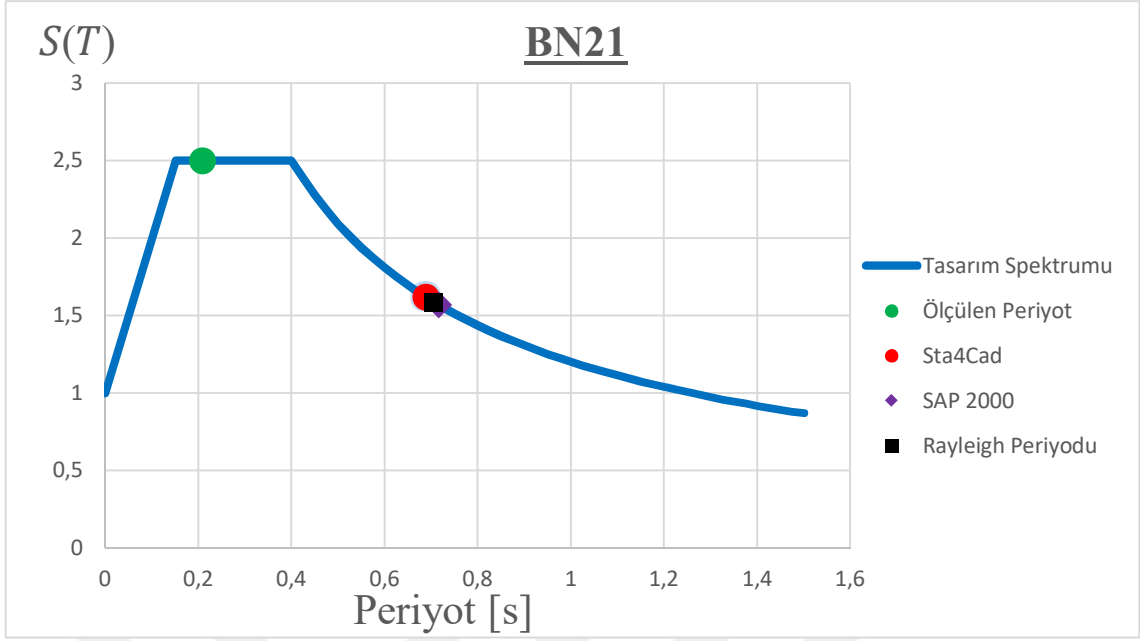
**Şekil 6.25.** BN19 kodlu binanın farklı yöntemlerle belirlenen temel periyotlarının DBYBHY (2007) tasarım spektrumu üzerinde gösterimi

BN20 kodlu binanın, çevresel titreşim ölçümü, Sta4Cad, SAP 2000 ve Rayleigh yöntemleri ile bulunan temel periyotları DBYBHY (2007)'de tanımlanan tasarım spektrumu üzerinde gösterilmiştir (Şekil 6.26). BN20 kodlu bina, zemin etüt raporuna göre Z2 ( $T_a = 0,15$  s ;  $T_b = 0,40$  s) sınıfı zemin üzerindedir.



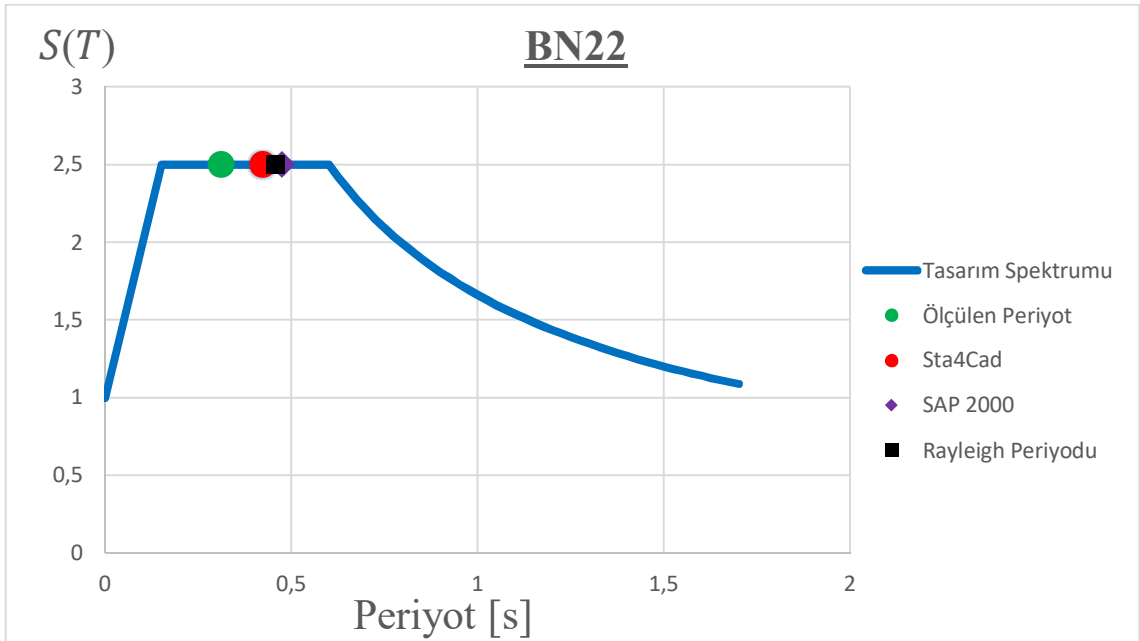
**Şekil 6.26.** BN20 kodlu binanın farklı yöntemlerle belirlenen temel periyotlarının DBYBHY (2007) tasarım spektrumu üzerinde gösterimi

BN21 kodlu binanın, çevresel titreşim ölçümü, Sta4Cad, SAP 2000 ve Rayleigh yöntemleri ile bulunan temel periyotları DBYBHY (2007)'de tanımlanan tasarım spektrumu üzerinde gösterilmiştir (Şekil 6.27). BN21 kodlu bina, zemin etüt raporuna göre Z2 ( $T_a = 0,15$  s ;  $T_b = 0,40$  s) sınıfı zemin üzerindedir.



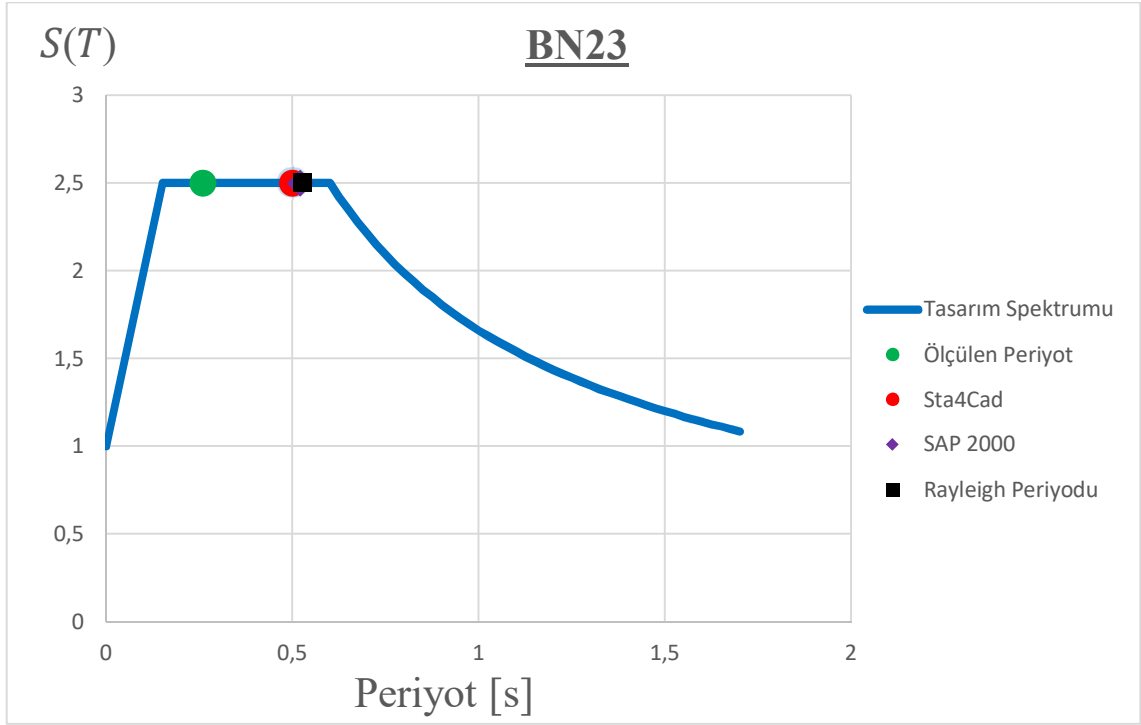
**Şekil 6.27.** BN21 kodlu binanın farklı yöntemlerle belirlenen temel periyotlarının DBYBHY (2007) tasarım spektrumu üzerinde gösterimi

BN22 kodlu binanın, çevresel titreşim ölçümü, Sta4Cad, SAP 2000 ve Rayleigh yöntemleri ile bulunan temel periyotları DBYBHY (2007)'de tanımlanan tasarım spektrumu üzerinde gösterilmiştir (Şekil 6.28). BN22 kodlu bina, zemin etüt raporuna göre Z3 ( $T_a = 0,15 s ; T_b = 0,60 s$ ) sınıfı zemin üzerindedir.



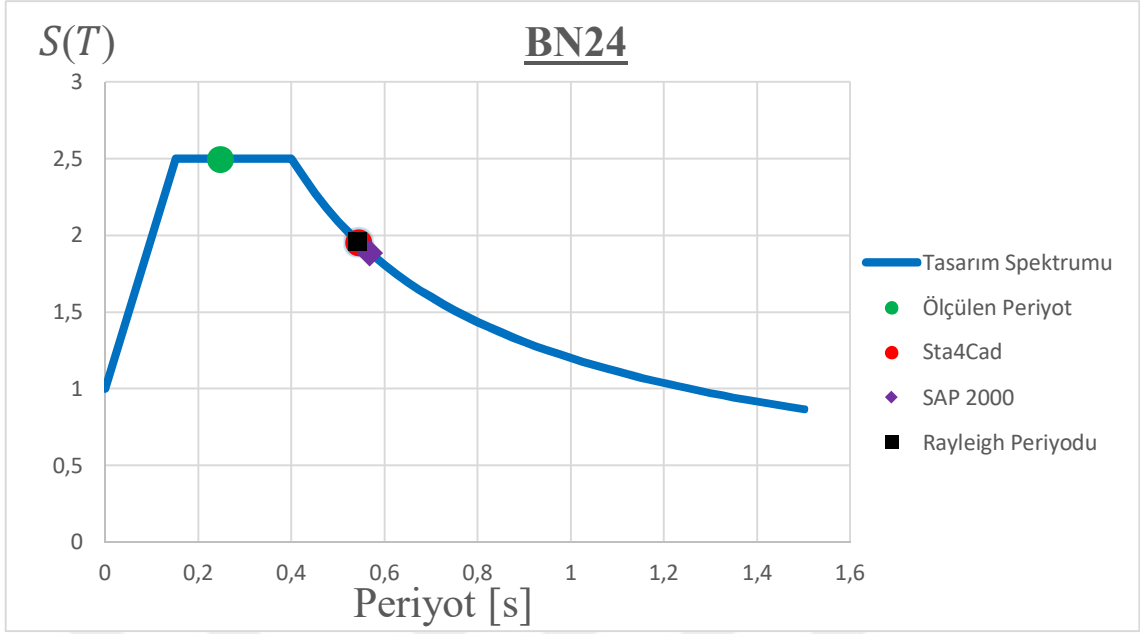
**Şekil 6.28.** BN22 kodlu binanın farklı yöntemlerle belirlenen temel periyotlarının DBYBHY (2007) tasarım spektrumu üzerinde gösterimi

BN23 kodlu binanın, çevresel titreşim ölçümü, Sta4Cad, SAP 2000 ve Rayleigh yöntemleri ile bulunan temel periyotları DBYBHY (2007)'de tanımlanan tasarım spektrumu üzerinde gösterilmiştir (Şekil 6.29). BN23 kodlu bina, zemin etüt raporuna göre Z3 ( $T_a = 0,15 s ; T_b = 0,60 s$ ) sınıfı zemin üzerindedir.



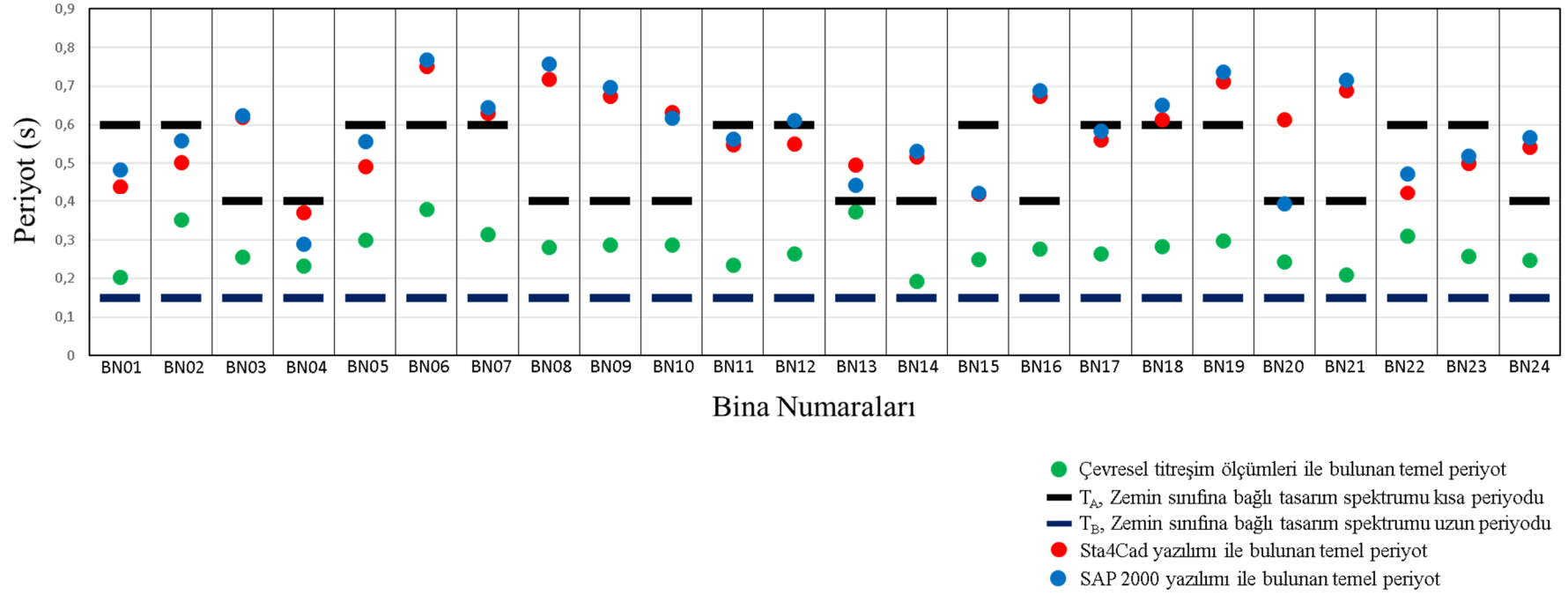
**Şekil 6.29.** BN23 kodlu binanın farklı yöntemlerle belirlenen temel periyotlarının DBYBHY (2007) tasarım spektrumu üzerinde gösterimi

BN24 kodlu binanın, çevresel titreşim ölçümü, Sta4Cad, SAP 2000 ve Rayleigh yöntemleri ile bulunan temel periyotları DBYBHY (2007)'de tanımlanan tasarım spektrumu üzerinde gösterilmiştir (Şekil 6.30). BN24 kodlu bina, zemin etüt raporuna göre Z3 ( $T_a = 0,15 s ; T_b = 0,60 s$ ) sınıfı zemin üzerindedir.



**Şekil 6.30.** BN24 kodlu binanın farklı yöntemlerle belirlenen temel periyotlarının DBYBHY (2007) tasarım spektrumu üzerinde gösterimi

Şekil 6.31’de 24 adet binanın nümerik modelleri üzerinde yapılan dinamik analizler ve çevresel titreşim ölçümleri ile bulunan periyotlarının tasarım spektrumları üzerindeki dağılımları özetlenmiştir.



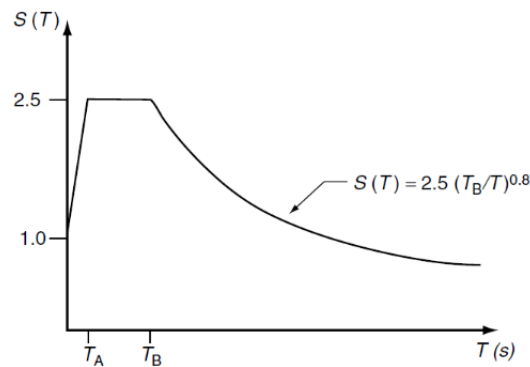
Şekil 6.31. İrdelenen binaların titreşim ölçümü ve nümerik model ile bulunan temel periyotlarının tasarım spektrumları üzerinde dağılımı

### 6.3. Nümerik Modelleme Sonuçlarının İrdelenmesi

Kuvvete dayalı bina tasarımında bina periyodu kısaldıkça spektral ivme ve buna bağlı olarak taban kesme kuvveti artmaktadır. Kısa periyotlar için daha büyük deprem kuvvetlerine göre tasarım yapıldığından, tasarımda görel olarak daha kısa periyotlar için güvenli tarafta kalındığı kabul edilmektedir (Masi ve Vona, 2009; Michel vd., 2010; Crowley ve Pinho, 2010). DBYBHY (2007)'de bulunan ve yeni binaların tasarımında bazı sınırlamalar dâhilinde kullanılabilen, doğrusal elastik, kuvvete dayalı bir yöntem olan Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi'ne göre taban kesme kuvveti denklem 6.1'e göre bulunmaktadır.

$$V_t = \frac{W A_0 I S(T)}{R_a(T)} \quad (6.1)$$

Denklem 6.1'de  $V_t$ , taban kesme kuvveti (deprem kuvveti),  $W$ , toplam bina ağırlığı,  $A_0$ , etkin yer ivme katsayısı,  $I$ , bina önem katsayısı,  $S(T)$ , spektrum karakteristik katsayısı ve  $R_a(T)$  ise deprem yükü azaltma katsayısıdır. Denklem 6.1'de görüldüğü gibi spektrum karakteristik katsayısı  $S(T)$  büyüdükçe tasarımda kullanılan deprem kuvveti de doğru orantılı olarak artmakta,  $S(T)$  küçüldüğünde ise deprem kuvveti azalmaktadır. Şekil 6.32'de DBYBHY (2007)'de bulunan spektrum karakteristik katsayısı  $S(T)$ 'nin yerel zemin sınıflarına ve bina periyoduna bağlı değişimini gösteren grafik görülmektedir.  $T_A$  ve  $T_B$  binanın yapılacağı zemin sınıfına bağlı spektrum karakteristik periyotlarıdır.



Şekil 6.32. Elastik tasarım ivme spektrumu (DBYBHY, 2007)

DBYBHY (2007)'de Şekil 6.32'deki elastik tasarım ivme spektrumu, doğrusal elastik, kuvvete dayalı tasarım yöntemlerinden hem Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi (Statik) için hem de Mod Birleştirme Yöntemi (Dinamik) için kullanılmaktadır. Şekil 6.32'deki grafikte görüldüğü gibi bina periyodunun  $T_B$ 'den büyük değerleri için, periyot uzadıkça

$S(T)$  katsayısı küçülmekte ve dolayısıyla kuvvete dayalı tasarımda kullanılacak deprem kuvveti azalmaktadır. Ayrıca, binanın temel periyodu yalnızca  $S(T)$  katsayısını etkilememekte, ek olarak 0 ile  $T_A$  arasındaki bina temel periyotları için  $R_d(T)$  katsayısı da azalmaktadır.

Çalışma kapsamında irdelenen binalardan, Z2 sınıfı zemin üzerinde bulunan binaların çoğunda ve Z3 sınıfı zemin üzerinde olan binaların bazılarında çevresel titreşim ölçümü ile bulunan temel periyotlara göre  $S(T) = 2,5$  olurken, nümerik modelleme ile bulunan temel periyotlar çok daha uzun olduğu için  $S(T) = 2,5$  sahanlığının dışında yani güvensiz tarafta kalmışlardır. Örneğin Şekil 6.15'te tasarım spektrumu verilen BN09 kodlu bina için, çevresel titreşim ölçümü ile bulunan periyoda göre  $S(T) = 2,5$ 'tur. Sta4Cad ve SAP 2000 yazılımları ile bulunan temel periyotlara göre ise sırasıyla  $S(T) = 1,64$  ve  $S(T) = 1,60$  olacaktır. Bu durumda bu örnek için, dolgu duvarların rijitliğe katkısı dikkate alınmadan bulunan deprem kuvvetinin, dolgu duvarlar dikkate alınarak bulunan deprem kuvvetinden yaklaşık %35 daha küçük olacağı görülmektedir.

DBYBHY (2007)'ye göre kuvvete dayalı tasarım yöntemlerinden Mod Birleştirme Yöntemi tüm binalarda uygulanabilirken, Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nin kullanımı, planda ve düşeyde bazı düzensizliklerin varlığı ve deprem bölgelerine bağlı olarak tanımlanan limit bina yükseklikleri ile sınırlanmıştır. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nin uygulanabileceği binalar; planda ve düşeyde düzenli, deprem sırasında bina davranışının binanın birinci titreşim modu tarafından belirlendiği, yüksek modların katkılarının düşük olduğu kabul edilen binalardır. Tablo 6.1'de, çalışma kapsamında irdelenen binalarda DBYBHY (2007)'ye göre Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nin uygulanabilirliği incelenmiştir. BN06 kodlu bina dışındaki tüm binalarda Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nin uygulanabileceği görülmüştür. BN06 kodlu binanın en üst kat dış cephe kolonları eğik olarak yapılan, uygulamada "mansart kat" olarak anılan kata sahip olduğu ve bu kattaki görelî ötelenmelerden dolayı binada B2 düzensizliği bulunduğu görülmüştür.

**Tablo 6.1.** İrdelenen binaların eşdeğer deprem yükü yöntemine uygunluğu

Bina No	B2 Düzensizliği	Tüm Katlarda $\eta_{bi} \leq 2,0$	Bina Yüksekliği* (m)	Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemine Göre Hesap
BN01	Yok	✓	$11,29 \leq 25$	Uygun
BN02	Yok	✓	$17,37 \leq 25$	Uygun
BN03	Yok	✓	$14,35 \leq 25$	Uygun
BN04	Yok	✓	$11,29 \leq 25$	Uygun
BN05	Yok	✓	$14,25 \leq 25$	Uygun
BN06	Var	✓	$17,18 \leq 25$	Uygun Değil
BN07	Yok	✓	$17,40 \leq 25$	Uygun
BN08	Yok	✓	$14,35 \leq 25$	Uygun
BN09	Yok	✓	$14,35 \leq 25$	Uygun
BN10	Yok	✓	$14,35 \leq 25$	Uygun
BN11	Yok	✓	$11,32 \leq 25$	Uygun
BN12	Yok	✓	$14,12 \leq 25$	Uygun
BN13	Yok	✓	$16,80 \leq 25$	Uygun
BN14	Yok	✓	$11,35 \leq 25$	Uygun
BN15	Yok	✓	$12,70 \leq 25$	Uygun
BN16	Yok	✓	$14,25 \leq 25$	Uygun
BN17	Yok	✓	$14,10 \leq 25$	Uygun
BN18	Yok	✓	$14,80 \leq 25$	Uygun
BN19	Yok	✓	$14,80 \leq 25$	Uygun
BN20	Yok	✓	$14,18 \leq 25$	Uygun
BN21	Yok	✓	$11,32 \leq 25$	Uygun
BN22	Yok	✓	$15,00 \leq 25$	Uygun
BN23	Yok	✓	$14,19 \leq 25$	Uygun
BN24	Yok	✓	$14,35 \leq 25$	Uygun

\*Bütün binalar 2. derece deprem bölgesinde olduğu için bina yükseklikleri 25 m ile karşılaştırılmıştır.

DBYBHY (2007)'ye göre Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi'nin kullanıldığı binalarda binanın temel periyodu, Rayleigh Yöntemi ile bulunan periyotla karşılaştırılmalı ve iki değer arasından küçük olan değer alınmalıdır. Rayleigh yöntemi ile periyot hesabında da dolgu duvarların binanın yatay rijitliğine katkısı dikkate alınmamaktadır. Hesaplanan Rayleigh periyotları irdelendiğinde; Rayleigh yöntemi ile hesaplanan periyotların ölçülen periyotlardan ortalama %108 daha uzun olduğu görülmüştür (Bkz. Tablo 6.4). Deprem kuvvetinin hesaplanmasında güvenli tarafta kalmak amacıyla bina periyodunun Rayleigh periyodu ile sınırlandırılmasının, Rayleigh yöntemi ile periyot hesabı yapılırken de dolgu duvarların binanın yatay rijitliğine etkisinin dikkate alınmamasından dolayı yeterli olmadığı değerlendirilmektedir.

Tablo 6.2’de çevresel titreşim ölçümü ile bulunan temel periyotlar ile Sta4Cad yazılımı ile oluşturulan nümerik model ile bulunan temel periyotlar karşılaştırılmıştır. Çevresel titreşim ölçümü sonuçları referans kabul edilerek, Sta4Cad yazılımı ile bulunan temel periyotlar ile çevresel titreşim ölçümü ile bulunan temel periyotlar arasındaki farklar yüzde olarak sunulmuştur.

**Tablo 6.2.** Çevresel titreşim ölçümü ve Sta4Cad yazılımları ile bulunan temel periyotların karşılaştırılması

Bina No	(a) Çevresel Titreşim Ölçümü Temel Periyotları (s)	(b) Sta4Cad Yazılımı Temel Periyotları (s)	(b-a)/a %
BN01	0,204	0,440	116
BN02	0,353	0,504	43
BN03	0,256	0,621	143
BN04	0,233	0,371	59
BN05	0,301	0,493	64
BN06	0,379	0,752	98
BN07	0,315	0,631	100
BN08	0,281	0,719	156
BN09	0,288	0,675	134
BN10	0,288	0,633	120
BN11	0,235	0,549	134
BN12	0,265	0,552	108
BN13	0,373	0,497	33
BN14	0,193	0,517	168
BN15	0,250	0,419	67
BN16	0,277	0,675	144
BN17	0,265	0,561	112
BN18	0,284	0,613	116
BN19	0,297	0,712	140
BN20	0,244	0,614	152
BN21	0,209	0,689	230
BN22	0,311	0,423	36
BN23	0,259	0,500	93
BN24	0,247	0,544	120

Tablo 6.2 incelendiğinde, çevresel titreşim ölçümü ile bulunan temel periyotlar ile Sta4Cad yazılımı ile bulunan temel periyotlar arasındaki farkların ortalamasının %112 olduğu görülmüştür. Tablo 6.3’te çevresel titreşim ölçümü ile bulunan temel periyotlar ile SAP 2000 yazılımı ile oluşturulan nümerik model ile bulunan temel periyotlar karşılaştırılmıştır. Çevresel titreşim ölçümü sonuçları referans kabul edilerek, SAP 2000

yazılımı ile bulunan temel periyotlar ile çevresel titreşim ölçümü ile bulunan temel periyotlar arasındaki farklar yüzde olarak sunulmuştur.

**Tablo 6.3.** Çevresel titreşim ölçümü ve SAP 2000 yazılımları ile bulunan temel periyotların karşılaştırılması

Bina No	(a) Çevresel Titreşim Ölçümü Temel Periyotları (s)	(b) SAP 2000 Yazılımı Temel Periyotları (s)	(b-a)/a %
BN01	0,204	0,485	138
BN02	0,353	0,559	58
BN03	0,256	0,625	144
BN04	0,233	0,289	24
BN05	0,301	0,557	85
BN06	0,379	0,768	103
BN07	0,315	0,645	105
BN08	0,281	0,759	170
BN09	0,288	0,697	142
BN10	0,288	0,618	115
BN11	0,235	0,563	140
BN12	0,265	0,611	131
BN13	0,373	0,444	19
BN14	0,193	0,533	176
BN15	0,250	0,424	70
BN16	0,277	0,689	149
BN17	0,265	0,584	120
BN18	0,284	0,653	130
BN19	0,297	0,737	148
BN20	0,244	0,394	61
BN21	0,209	0,716	243
BN22	0,311	0,474	52
BN23	0,259	0,521	101
BN24	0,247	0,567	130

Tablo 6.3 incelendiğinde, çevresel titreşim ölçümü ile bulunan temel periyotlar ile SAP 2000 yazılımı ile bulunan temel periyotlar arasındaki farkların ortalamasının %115 olduğu görülmüştür. Tablo 6.4'te çevresel titreşim ölçümü ile bulunan temel periyotlar ile Rayleigh Yöntemi ile bulunan periyotlar karşılaştırılmıştır. Çevresel titreşim ölçümü sonuçları referans kabul edilerek, Rayleigh Yöntemi ile bulunan periyotlar ile çevresel titreşim ölçümü ile bulunan temel periyotlar arasındaki farklar yüzde olarak sunulmuştur.

**Tablo 6.4.** Çevresel titreşim ölçümü ile bulunan temel periyotlar ile Rayleigh Yöntemi ile bulunan periyotların karşılaştırılması

Bina No	(a) Çevresel Titreşim Ölçümü Temel Periyotları (s)	(b) Rayleigh Yöntemi Periyotları (s)	(b-a)/a %
BN01	0,204	0,454	123
BN02	0,353	0,524	48
BN03	0,256	0,616	141
BN04	0,233	0,307	32
BN05	0,301	0,496	65
BN06	0,379	0,764	102
BN07	0,315	0,626	99
BN08	0,281	0,753	168
BN09	0,288	0,678	136
BN10	0,288	0,635	120
BN11	0,235	0,562	139
BN12	0,265	0,562	112
BN13	0,373	0,430	15
BN14	0,193	0,508	163
BN15	0,250	0,389	56
BN16	0,277	0,658	138
BN17	0,265	0,573	116
BN18	0,284	0,613	116
BN19	0,297	0,588	98
BN20	0,244	0,483	98
BN21	0,209	0,707	238
BN22	0,311	0,459	48
BN23	0,259	0,527	104
BN24	0,247	0,541	119

Tablo 6.4 incelendiğinde, çevresel titreşim ölçümü ile bulunan temel periyotlar ile Rayleigh Yöntemi ile bulunan periyotlar arasındaki farkların ortalamasının %108 olduğu görülmüştür.

Tablo 6.2, Tablo 6.3 ve Tablo 6.4'te görüldüğü gibi nümerik modellemede dolgu duvarların binanın yatay rijitliğine katkısının dikkate alınmaması, gerçekçi olmayan uzun temel periyotların bulunmasına ve görel olarak güvensiz tarafta kalan deprem kuvvetleri ile hesap yapılmasına neden olmaktadır. Crowley ve Pinho (2010) çalışmalarında aynı konuya değinmişler ve aynı problemin Avrupa'da da bulunduğunu vurgulamışlardır. Crowley ve Pinho (2010)'ya göre, Eurocode 8 (EN-1998-1, 2004) dolgu duvarları yapısal olmayan elemanlar olarak niteleyerek, tasarımda dolgu duvarların binanın dayanımına olan katkısının dikkate alınmamasına izin vermektedir. Eurocode 8 (EN-1998-1, 2004)'in

modelleme bölümünde ise, dolgu duvarların binanın yatay rijitliğine olan çok önemli katkısının ise dikkate alınması gerektiği belirtilmekte fakat tasarımcı mühendise bu katkının nasıl dikkate alınacağı ile ilgili bir yönlendirme ve düzenleme yapılmamaktadır. Crowley ve Pinho (2010), Eurocode 8 (EN-1998-1, 2004)'de dolgu duvarların rijitliğe katkısının nasıl dikkate alınacağı ile ilgili bir yönlendirme olmaması nedeniyle, Eurocode 8 (EN-1998-1, 2004)'e göre tasarım yapan mühendislerin, dolgu duvarların dayanıma olan katkısı ile birlikte binanın yatay rijitliğine olan katkısını da dikkate almadıklarını belirtmişlerdir. Bu durumun gerçekçi olmayan uzun temel periyotlar bulunmasına ve dolayısıyla güvensiz tarafta kalacak şekilde düşük deprem kuvvetine göre tasarım yapılmasına neden olduğuna dikkat çekmişlerdir. Bu bağlamda, Eurocode 8 (EN-1998-1, 2004)'in muhtemel güncellemelerinde dikkate alınmak üzere bazı öneriler ortaya koymuşlardır.

Dolgu duvarların nümerik modellerde dikkate alınmamasının ortaya çıkardığı bir diğer önemli sorun, çevresel titreşim ölçümleri ve nümerik modelleme ile bulunan mod şekilleri incelendiğinde ortaya çıkmıştır. Dolgu duvarların bina içindeki dağılımı ve alanları binanın modal davranışını etkilemektedir. Tablo 6.5'te görüldüğü üzere irdelenen binaların çoğunda, dolgu duvarların yalnızca yük olarak dikkate alındığı nümerik modellerde yapılan modal analiz sonucunda bulunan temel mod yönleri, çevresel titreşim ölçümü verileri analiz edilerek bulunan temel mod yönlerinden farklıdır. Dolgu duvarların temel mod hareket yönüne etkilerini incelemek için yapılan çalışmalarda; bazı binaların bina boyutlarına ve taşıyıcı sistem elemanlarının ataletlerine bağlı olarak zayıf yönü X yönü olmasına karşın, çevresel titreşim ölçümü sonuçlarına göre ilk mod hareketinin Y yönünde ötelenme olduğu görülmüştür. Binalar ayrıntılı olarak incelendiğinde, özellikle kritik kattaki duvar miktarı ve yönünün bu durum üzerinde çok etkili olduğu görülmüştür. Kritik katta (görelî ötelenmelerin en büyük olduğu ve dolgu duvarların yatay rijitliğe katkısının en yüksek olduğu giriş katı) içi dolgu duvar ile dolu betonarme çerçeve sayısının X yönünde daha fazla olduğu ve bu nedenle binanın birinci titreşim modu hareketinin Y yönünde olduğu değerlendirilmiştir. Tablo 6.5'te görülen 12 adet binanın nümerik modellemeye göre temel mod şekli burulma iken çevresel titreşim ölçümlerine göre ötelenme olduğu görülmektedir. Dolgu duvarların rijitliğe katkısının dikkate alınmadığı bir nümerik model üzerinden binanın deprem davranışı ile ilgili değerlendirme yapmanın gerçekçi olamayacağı görülmektedir.

**Tablo 6.5.** Çevresel titreşim ölçümü ve nümerik model ile bulunan temel modların hareket yönleri

Bina No	Temel Mod Hareket Yönü	
	Sta4Cad	Çevresel Titreşim Ölçümü
BN01	X - Yönü	X - Yönü
BN02	Burulma	Y - Yönü
BN03	Burulma	X - Yönü
BN04	X - Yönü	X - Yönü
BN05	Burulma	X - Yönü
BN06	Burulma	X - Yönü
BN07	Burulma	Burulma
BN08	X - Yönü	Y - Yönü
BN09	Burulma	Y - Yönü
BN10	Burulma	X - Yönü
BN11	Y - Yönü	X - Yönü
BN12	X - Yönü	X - Yönü
BN13	Burulma	X - Yönü
BN14	Y - Yönü	X - Yönü
BN15	X - Yönü	X - Yönü
BN16	Burulma	Y - Yönü
BN17	Burulma	X - Yönü
BN18	Burulma	Y - Yönü
BN19	Burulma	Burulma
BN20	X - Yönü	X - Yönü
BN21	X - Yönü	X - Yönü
BN22	Y - Yönü	X - Yönü
BN23	Burulma	X - Yönü
BN24	Burulma	Y - Yönü

## 7. TEMEL PERİYOT BAĞINTISININ ÖNERİLMESİ

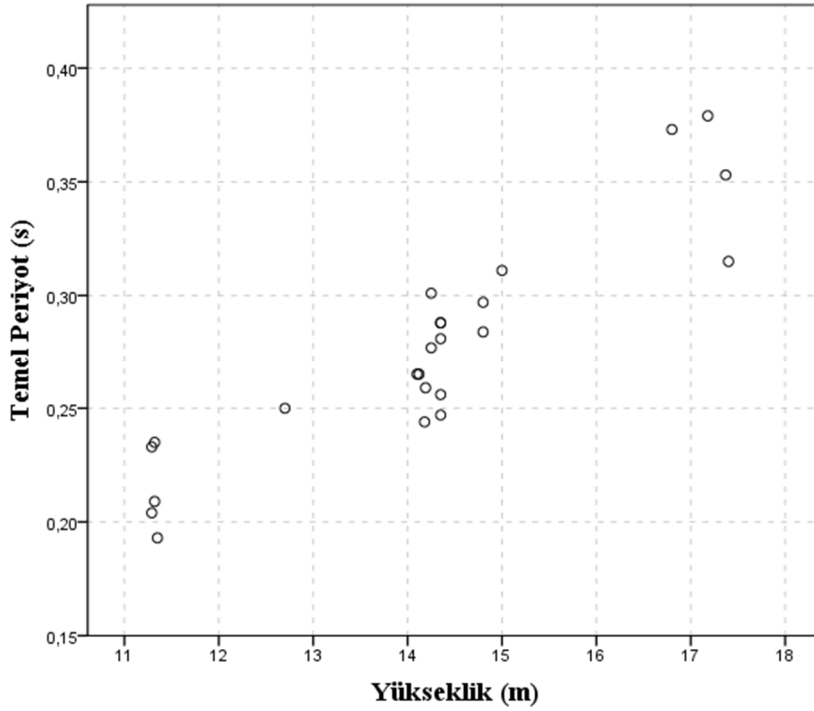
Bazı yönetmeliklerde Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nin kullanıldığı “basit” binalarda temel periyodun ampirik veya teorik, yaklaşık bağıntılarla belirlenmesine izin verilmektedir. Bölüm 6.3'te sunulan tespitler doğrultusunda, depreme dayanıklı tasarımı yapılacak olan binaların nümerik modellerinde, dolgu duvarlar dikkate alınamıyorsa ve binalar yapılırken dolgu duvarların uygun elemanlarla betonarme çerçevelerden yalıtılmayacağı biliniyorsa, ampirik bağıntı kullanarak temel periyodun tahmin edilmesinin daha gerçekçi bir yaklaşım olduğu değerlendirilmektedir. Çünkü ampirik bağıntılar gerçek binalarda yapılan titreşim ölçümlerine dayanılarak önerilmektedir. Burada önemli olan nokta kullanılması önerilen bağıntının, binanın yapılacağı bölgedeki inşaat pratiğine uygun, aynı türdeki binalar için önerilmiş bir bağıntı olmasıdır. Literatürde bu konudaki çalışmalar incelendiğinde; hemen hepsinin motivasyonunun aynı olduğu görülmektedir. Genelde, bu çalışmalarda eleştirilen durum, çalışmanın yürütüldüğü ülkede veya bölgede yürürlükte olan yönetmelikteki ampirik temel periyot bağıntıları ile bulunan periyotların, bu ülke veya bölgelerde çevresel titreşim ölçümleri sonucunda bulunan temel periyotlardan farklı olmasıdır. Ditommaso vd., (2013), İtalya'da 2009 L'Aquila depreminden sonra hasarlı ve hasarsız betonarme binalarda yaptıkları çevresel titreşim ölçümleri sonucunda her iki tür bina grubu için bulunan periyotları Eurocode 8 (EN-1998-1, 2004)'de bulunan yaklaşık periyot bağıntısı ile karşılaştırmışlardır. Çalışma kapsamında hasarlı betonarme binalar için önermiş oldukları bağıntı ile bulunan periyotların bile Eurocode 8 (EN-1998-1, 2004)'de bulunan yaklaşık “elastik” (tasarım için önerilen) temel periyot bağıntısı ile bulunan periyotlardan oldukça kısa olduğunu ortaya koymuşlar ve bu durumu eleştirmişlerdir. Çalışma sonunda yaptıkları değerlendirmede; Eurocode 8 (EN-1998-1, 2004)'de bulunan betonarme çerçeveli binalar için önerilen yaklaşık bağıntı da dâhil olmak üzere, dünyanın farklı ülkelerinde kullanılan yaklaşık bağıntıların çoğunluğunun Goel ve Chopra (1997)'de önerilen bağıntıdan türemiş olduğunu belirtmişlerdir. Goel ve Chopra (1997) önerdikleri bağıntıyı ABD'nin Kaliforniya eyaletindeki betonarme çerçeveli binalarda çeşitli depremler sırasında yapılan ölçümlere dayanarak ortaya koymuşlardır. Kaliforniya'daki inşaat pratiği, İtalya'da ve Avrupa'daki diğer ülkelerdeki inşaat pratiğinden çok farklıdır. Kaliforniya'da bölme duvarlar, kuru duvar olarak adlandırılan alçıpan vb. binanın yatay rijitliğine katkısı olmayan panellerle yapılırken, Avrupa'da son derece rijit yığma bloklar kullanılmaktadır. Esasen, Goel ve Chopra (1997) çalışmalarında bu konuya dikkat

çekerek “*Bu çalışmada bulunan öneriler Kaliforniya’daki binalardan elde edilen verilere dayanılarak yapıldığından, ABD’nin farklı sismik bölgelerinde ve tasarım pratiği Kaliforniya’dan çok farklı olan dünyadaki farklı bölgelerdeki binalar için temkinli bir şekilde uygulanmalıdır.*” şeklinde uyarıda bulunmuşlardır. Hong ve Hwang (2000)’ın Tayvan’da gerçekleştirdiği çalışma bu uyarının haklılığını ortaya koyan çalışmalardan biri olmuştur. Hong ve Hwang (2000) Tayvan’da çeşitli depremler sırasında 21 adet betonarme çerçeve binada yapmış oldukları titreşim ölçümleri sonucunda önerdikleri bağıntıyı, Goel ve Chopra (1997) tarafından önerilen bağıntı ile karşılaştırmışlardır. Karşılaştırma sonucunda, Tayvan’daki betonarme binaların dolgu duvarlarında rijit tuğlalar ve hatta inşaat hızını arttırabilmek amacıyla bazı durumlarda beton paneller kullanılmasından dolayı Kaliforniya’daki benzer binalardan çok daha rijit oldukları sonucuna varılmıştır.

Bu bağlamda; tez çalışmasının literatür taraması bölümünde de görüldüğü üzere, dünyanın her bölgesinden bilim insanları kendi yaşadıkları coğrafyadaki inşaat pratiğine uygun, o bölgelerdeki mevcut binalarda yapılan ölçümlere dayanan yaklaşık periyot bağıntıları önermeye çalışmaktadır. Ülkemizdeki mevcut çalışmalar ise genellikle nümerik modelleme üzerine kurgulanmıştır. Sistemik ve çok sayıda betonarme binada titreşim ölçümü yapılarak önerilmiş bir temel periyot bağıntısı bulunmamaktadır. Bu nedenle, Türkiye’de nüfusun büyük çoğunluğunun yaşadığı, en yaygın konut tipi olan orta yükseklikteki, ayırık nizam betonarme binaların kuvvete dayalı yöntemlerle tasarımında kullanılmak üzere, 24 adet yeni betonarme binada yapılan çevresel titreşim ölçümü verilerine dayanarak geliştirilmiş bir elastik temel periyot-yükseklik bağıntısı önerilmiştir.

### 7.1. İstatistiksel Çalışma ile Temel Periyot Yükseklik Bağıntısının Önerilmesi

Bu bölümde, çevresel titreşim ölçümleri ile bulunan temel periyotlar ve binaların yükseklikleri arasındaki ilişki SPSS v.24 (IBM, 2016) ve Excel (Microsoft, 2016) yazılımları kullanılarak araştırılmıştır. Orta yükseklikteki, ayırık nizam betonarme binaların kuvvete dayalı yöntemlerle tasarımında kullanılmak üzere elastik temel periyodu yaklaşık olarak tahmin eden bir bağıntı önerilmesi amaçlanmaktadır. Eskişehir kent merkezinde bulunan ve kat adetleri 4-6 arasında değişen inşaatı yeni tamamlanmış, iskân aşamasındaki 24 adet konut tipi, ayırık nizam betonarme binanın elastik temel periyotları, düşük genlikli çevresel titreşim ölçümleri kayıtlarından faydalanılarak belirlenmiştir. Çevresel titreşim ölçümleri yapılan binaların periyotlarının, bina yükseklikleri ile değişimini gösteren grafik Şekil 7.1’de verilmiştir.



Şekil 7.1. Çevresel titreşim ölçümleri yapılan binaların periyotları ve yükseklikleri

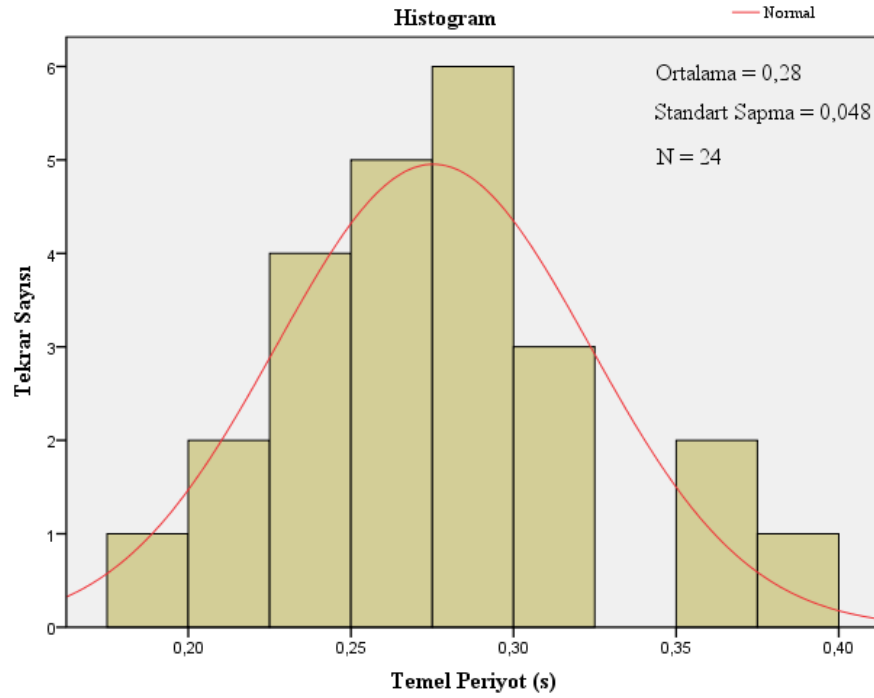
Şekil 7.1’de görülen grafiğe göre, bağımlı değişken periyot ile bağımsız değişken yükseklik arasındaki ilişkinin Pearson korelasyon katsayısı,  $R = 0.895$ ’tir. Buna göre, periyot ve yükseklik değişkenleri arasında pozitif, doğrusal ve güçlü bir ilişki bulunmaktadır. Bu noktada, veri setinin doğrusal regresyon için uygunluğunu irdelemek amacıyla normallik testi yapılarak bağımlı değişken olan temel periyodun normal dağılım

gösterip göstermediği araştırılmıştır. SPSS yazılımı ile Kolmogorov-Smirnov ve Shapiro-Wilk yöntemlerine göre yapılan normallik testlerinin her ikisinde de anlamlılık düzeyi “P” (olasılık, test istatistiği) 0,05’in üzerinde çıkmıştır ( $P \geq 0,05$ ). Normallik testi sonuçları Tablo 7.1’de, ve bağımlı değişken olan temel periyot verilerinin normal dağıldığını gösteren histogram Şekil 7.2’de görülmektedir.

**Tablo 7.1.** Bağımlı değişken temel periyot için normallik testleri

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	İstatistik	df	Anlamlılık Düzeyi (P)	İstatistik	df	Anlamlılık Düzeyi (P)
Temel Periyot (s)	0,105	24	0,200*	0,962	24	0,473

\*. Anlamlılık düzeyinin alt sınırı  
a. Lilliefors Anlamlılık Düzeltmesi



**Şekil 7.2.** Bağımlı değişken temel periyodun normal dağılım histogramı

Bağımlı değişken olan temel periyot verilerinin normal dağılıyor olması, temel periyot ve yükseklik arasındaki ilişkinin doğrusal bir model ile açıklanabileceğini göstermektedir. Literatürde, temel periyot ve yükseklik arasındaki ilişki genelde denklem 7.1 ve 7.2’de gösterilen formlarda ifade edilmektedir.

$$T = \alpha H^\beta \quad (7.1)$$

$$T = \alpha H \quad (7.2)$$

24 adet binanın çevresel titreşim ölçümleri ile bulunan temel periyot verileri normal dağıldığı ve dolayısıyla veriler doğrusal model için uygun olduğundan denklem 7.2'deki model seçilerek regresyon analizi yapılmıştır. Doğrusal regresyon analizinde kullanılan genel model denklem 7.3'te görüldüğü gibidir.

$$T = \alpha H + \beta \quad (7.3)$$

Ancak, yüksekliğin sıfır olduğu durumda temel periyodunda sıfır olmasının gerektiği açıktır. Bu nedenle doğrusal regresyon analizinde denklem 7.2'de görülen model kullanılmıştır. Bu model ile yapılan doğrusal regresyon, sabitsiz doğrusal regresyon ya da orijinden geçen doğrusal regresyon olarak anılmaktadır. Ditommaso vd., (2013) ve Gallipoli vd. (2010)'da doğrusal regresyon analizinde denklem 7.2'de kullanılan modeli aynı yaklaşım ile seçmişlerdir. Literatür taraması bölümünde görüldüğü gibi bu model araştırmacılar tarafından çok yaygın olarak kullanılmaktadır.

Denklem 7.2 kullanılarak gerçekleştirilen sabitsiz doğrusal regresyon analizi sonucunda elde edilen Anova ve Katsayılar tabloları sırasıyla Tablo 7.2 ve Tablo 7.3'de görülmektedir.

**Tablo 7.2.** Orijinden geçen doğrusal regresyon "ANOVA" tablosu

ANOVA <sup>a,b</sup>						
Model		Kareler Toplamı	df	Kareli Ortalama	F	Anlamlılık Düzeyi (P)
1	Regresyon	1,862	1	1,862	4006,582	2,61114E-27 <sup>c</sup>
	Kalıntı	0,011	23	0,000465		
	Toplam	1,873 <sup>d</sup>	24			

a. Bağımlı Değişken: Temel Periyot (s)

b. Orijinden Geçen Doğrusal Regresyon

c. Bağımsız Değişken: Yükseklik (m)

d. Bu kareler toplamı sabit için düzeltilmemiştir. Çünkü orijinden geçen regresyonda sabit sıfırdır.

Doğrusal regresyonun anlamlılık düzeyi  $P = 2,61114E-27 \leq 0,001$  olduğu için kurulan model, önemli ve anlamlıdır.

**Tablo 7.3.** Orijinden geçen doğrusal regresyon “Katsayılar” tablosu

		Katsayılar <sup>a,b</sup>				
Model		Standardize Edilmemiş Katsayılar		Standardize Katsayılar	t	Sig.
		B	Std. Hata	Beta		
1	Yükseklik (m)	0,0195	0,000309	0,997	63,298	2,61114E-27

a. Bağımlı Değişken: Temel Periyot (s)

b. Orijinden Geçen Doğrusal Regresyon

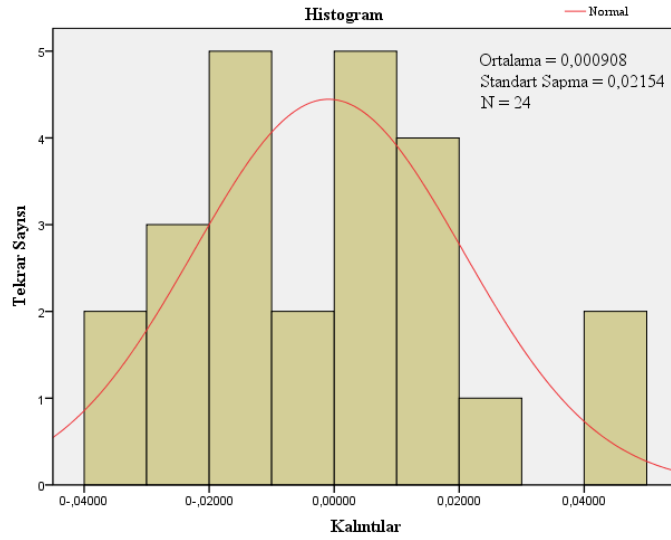
Regresyon analizi sonunda Tablo 7.3’teki “Katsayılar” tablosuna göre denklem 7.2’de görülen “ $T = \alpha H$ ” bağıntısında bina yüksekliği ile çarpım durumundaki “ $\alpha$ ” katsayısı 0,0195 olarak bulunmuştur. Regresyon analizinde, sonucun anlamlılığını gösteren bir diğer kontrolde “Kalıntı” (Residual) adı verilen ve ölçülen gerçek değerler ile önerilen doğrusal model ile bulunan değerler arasındaki farkı ifade eden büyüklüktür. Kalıntıların normal dağılım göstermesi ve ortalamalarının sıfıra yakın çıkması kurulan modelin doğrusal, güçlü ve anlamlı olduğunu gösterir. Tablo 7.4’te sonuçları sunulan Kolmogorov-Smirnov ve Shapiro-Wilk yöntemlerine göre yapılan normallik testlerinin her ikisinde de anlamlılık düzeyi “ $P$ ” 0,05’in üzerinde çıkmıştır ( $P \geq 0,05$ ). Şekil 7.3’te görülen histogramda “Kalıntı” değerlerinin normal dağılıma uyduğu ve ortalamalarının 0,000908 olduğu görülmektedir.

**Tablo 7.4.** Kalıntı değerleri için normallik testleri

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	İstatistik	df	Anlamlılık Düzeyi (P)	İstatistik	df	Anlamlılık Düzeyi (P)
Kalıntılar	0,086	24	0,200*	0,959	24	0,418

\*. Anlamlılık düzeyinin alt sınırı

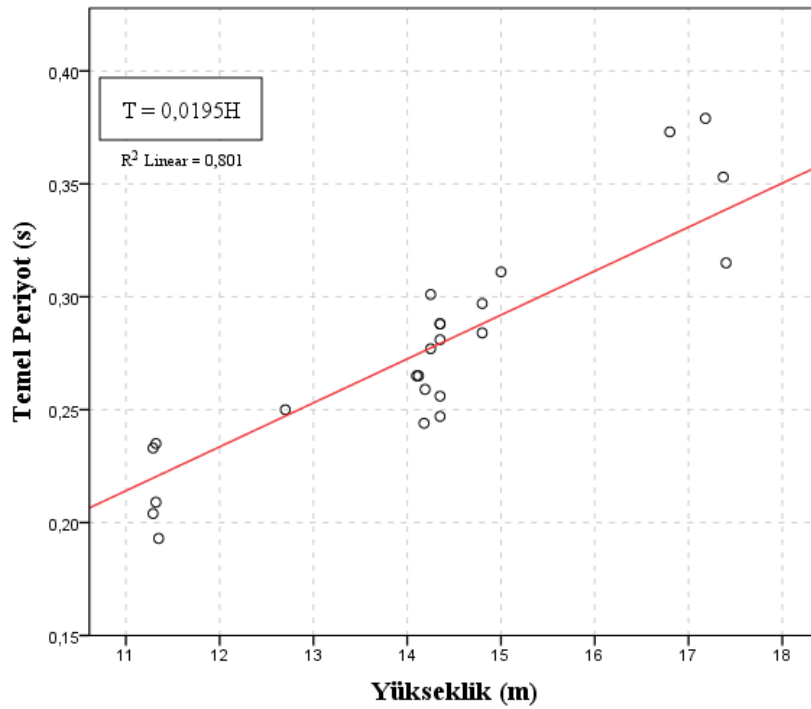
a. Lilliefors Anlamlılık Düzeltmesi



**Şekil 7.3.** Kalıntı değerlerinin normal dağılım histogramı

Yapılan kontroller sonunda, kurulan modelin doğrusal, güçlü ve anlamlı olduğu değerlendirilmiştir. Orta yükseklikteki, ayırık nizam betonarme binaların kuvvete dayalı yöntemlerle tasarımında kullanılmak üzere, binanın elastik temel periyodunu bina yüksekliğine göre yaklaşık olarak tahmin etmek için önerilen bağıntı denklem 7.4'te sunulmuştur.

$$T_0 = 0,0195 H \quad (7.4)$$



**Şekil 7.4.** Orta yükseklikteki betonarme binaların temel periyot-yükseklik ilişkisi

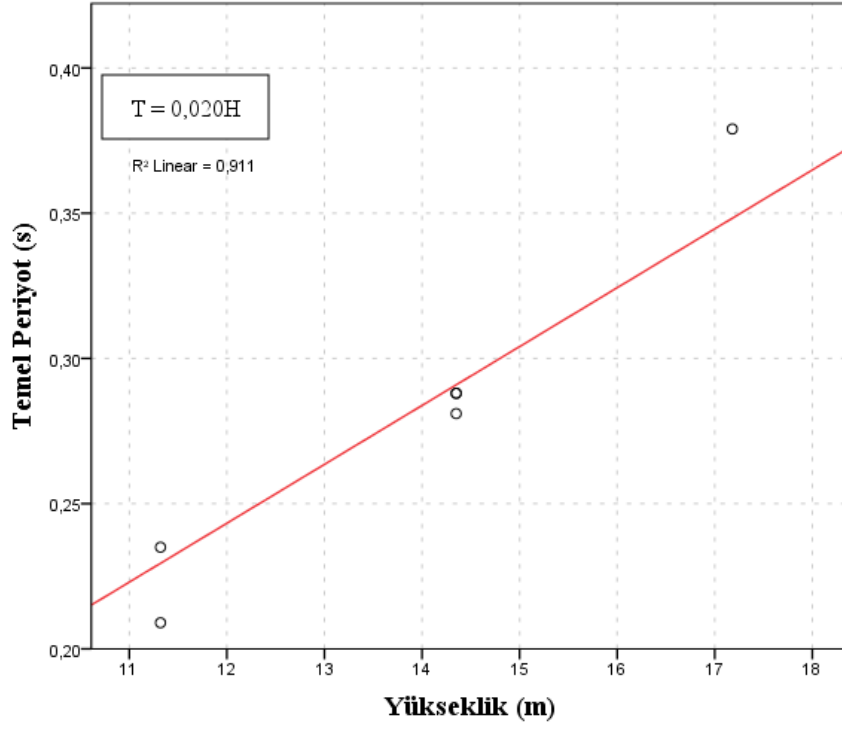
Önerilen doğrusal bağıntı için  $R^2 = 0,801$ 'dir. Regresyon analizinde, genelde bağımsız değişken sayısı arttıkça kurulan modelin bağımlı değişkeni açıklama gücü yani  $R^2$  değeri artmaktadır. Tek değişkenli bir regresyon analizi için oldukça yüksek bir değer olan  $R^2=0,801$  değeri önerilen ilişkiadaki tek değişken olan bina yüksekliğinin, bağımlı değişken olan bina periyodunu çok iyi açıkladığını (değişiminde çok etkili olduğunu) göstermektedir.

İrdelenen 24 adet betonarme bina, betonarme perdeli ve çerçevesel ve betonarme çerçevesel binalar ile Z2 ve Z3 sınıfı zeminler üzerinde bulunan binalar olmak üzere gruplanabilir. Bu grupelemaya göre 6 adet betonarme çerçevesel bina ve 18 adet betonarme perdeli ve çerçevesel bina bulunmaktadır. Zemin sınıfına göre yapılan gruplandırmaya göre ise 11 adet betonarme bina Z2 sınıfı zemin üzerinde, 13 adet betonarme bina ise Z3 sınıfı zemin üzerinde bulunmaktadır. Bu grupların her biri için, binaların yükseklikleri ve periyotları arasındaki ilişkiler araştırılarak, mevcut veri seti için zemin sınıfının ve betonarme perdelerin etkisi irdelenmeye çalışılmıştır. Bu bölümde daha önce 24 binanın tamamının bulunduğu veri seti için yapılan istatistiksel kontrollerin tamamı 6, 11, 13 ve 18 binadan oluşan dört veri seti içinde yapılmıştır. Doğrusal regresyon için gereken normal dağılım şartları sağlanmış ve regresyon analizi ve katsayılar için anlamlılık değerleri uygundur. Tüm veri setleri için kullanılan model denklem 7.2'de verilen doğrusal modeldir. Tablo 7.5'te betonarme çerçevesel binaların çevresel titreşim ölçümü ile bulunan temel periyotları ve bina yükseklikleri görülmektedir.

**Tablo 7.5.** Betonarme çerçevesel binaların periyot ve yükseklikleri

Bina No	Çevresel Titreşim Ölçümü Temel Periyot (s)	Yükseklik (m)
BN06	0,379	17,18
BN08	0,281	14,35
BN09	0,288	14,35
BN10	0,288	14,35
BN11	0,235	11,32
BN21	0,209	11,32

Şekil 7.5'te irdelenen binalar içindeki betonarme çerçevesel binaların çevresel titreşim ölçümleri ile bulunan temel periyotları ve binaların yükseklikleri arasındaki ilişki görülmektedir.



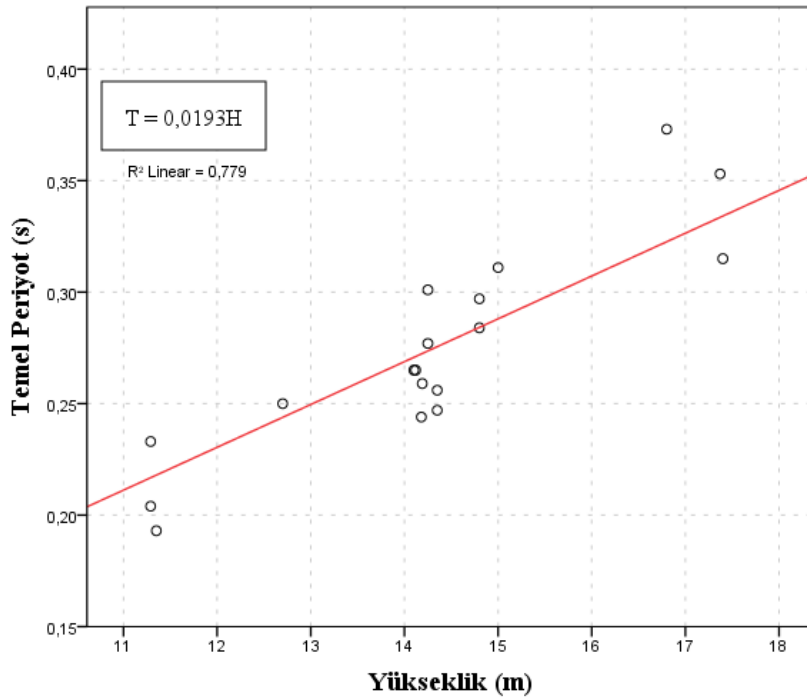
Şekil 7.5. Betonarme çerçevesel binaların temel periyot-yükseklik ilişkisi

Beklendiği gibi yükseklik değişkeninin çarpanı bir miktar büyümüştür. İrdelenen binalar içinde betonarme çerçevesel bina sayısının az olması ortaya çıkan tabloyu yorumlamayı güçleştirmektedir. Tablo 7.6'da betonarme perdeli ve çerçevesel binaların çevresel titreşim ölçümü ile bulunan temel periyotları ve bina yükseklikleri görülmektedir.

**Tablo 7.6.** Betonarme perdeli ve çerçevesiz binaların periyot ve yükseklikleri

Bina No	Çevresel Titreşim Ölçümü Temel Periyot (s)	Yükseklik (m)
BN01	0,204	11,29
BN02	0,353	17,37
BN03	0,256	14,35
BN04	0,233	11,29
BN05	0,301	14,25
BN07	0,315	17,40
BN12	0,265	14,12
BN13	0,373	16,80
BN14	0,193	11,35
BN15	0,250	12,70
BN16	0,277	14,25
BN17	0,265	14,10
BN18	0,284	14,80
BN19	0,297	14,80
BN20	0,244	14,18
BN22	0,311	15,00
BN23	0,259	14,19
BN24	0,247	14,35

Şekil 7.6’da irdelenen binalar içindeki betonarme perdeli ve çerçevesiz binaların çevresel titreşim ölçümleri ile bulunan temel periyotları ve binaların yükseklikleri arasındaki ilişki görülmektedir.



**Şekil 7.6** Betonarme perdeli ve çerçevesiz binaların temel periyot-yükseklik ilişkisi

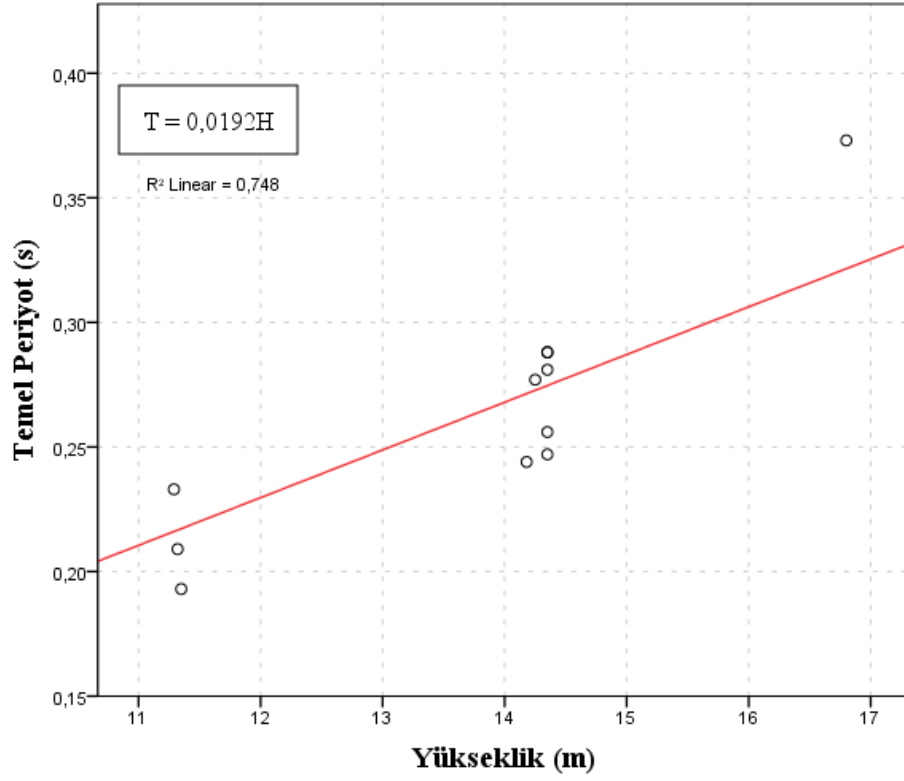
Betonarme perdeli ve çerçevesiz binaların bulunduğu 18 binalık grup için ortaya çıkan ilişki  $T = 0,0193H$  olmuştur. Betonarme çerçevesiz binalar için  $T = 0,020H$  olarak ortaya çıkan ilişkiye kıyasla daha kısa periyot tahmin edileceği açıktır. Fakat bu iki bağıntı ile tahmin edilen periyotlar birbirine çok yakın olacaktır.

Tablo 7.7’de Z2 sınıfı zemin üzerinde bulunan binaların çevresel titreşim ölçümü ile bulunan temel periyotları ve bina yükseklikleri görülmektedir.

**Tablo 7.7.** Z2 sınıfı zemin üzerinde bulunan binaların periyot ve yükseklikleri

Bina No	Çevresel Titreşim Ölçümü Temel Periyot (s)	Yükseklik (m)
BN03	0,256	14,35
BN04	0,233	11,29
BN08	0,281	14,35
BN09	0,288	14,35
BN10	0,288	14,35
BN13	0,373	16,80
BN14	0,193	11,35
BN16	0,277	14,25
BN20	0,244	14,18
BN21	0,209	11,32
BN24	0,247	14,35

Tablo 7.7’de bulunan Z2 sınıfı zeminler üzerinde bulunan binalardan BN08, BN09, BN10 ve BN21 betonarme çerçevesiz binalardır. Yani irdelenen binalar içindeki 6 adet betonarme çerçevesiz binanın 4 tanesi Z2 sınıfı zemin üzerinde bulunmaktadır. Şekil 7.7’de irdelenen binalar içindeki Z2 sınıfı zemin üzerinde bulunan binaların çevresel titreşim ölçümleri ile bulunan temel periyotları ve binaların yükseklikleri arasındaki ilişki görülmektedir.



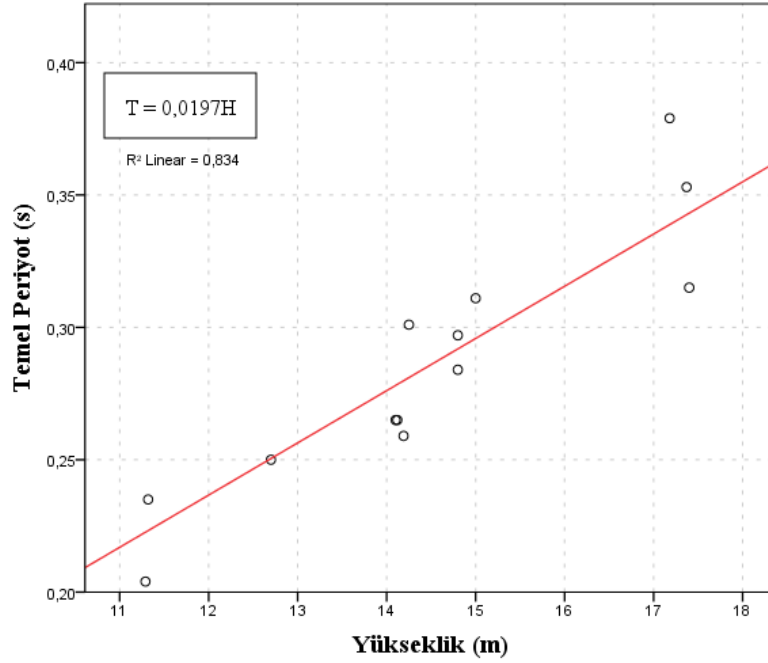
Şekil 7.7. Z2 sınıfı zemin üzerindeki binaların temel periyot-yükseklik ilişkisi

Tablo 7.8’de Z3 sınıfı zemin üzerinde bulunan binaların çevresel titreşim ölçümü ile bulunan temel periyotları ve bina yükseklikleri görülmektedir.

Tablo 7.8. Z3 sınıfı zemin üzerinde bulunan binaların periyot ve yükseklikleri

Bina No	Çevresel Titreşim Ölçümü Temel Periyot (s)	Yükseklik (m)
BN01	0,204	11,29
BN02	0,353	17,37
BN05	0,301	14,25
BN06	0,379	17,18
BN07	0,315	17,40
BN11	0,235	11,32
BN12	0,265	14,12
BN15	0,250	12,70
BN17	0,265	14,10
BN18	0,284	14,80
BN19	0,297	14,80
BN22	0,311	15,00
BN23	0,259	14,19

Z3 sınıfı zeminler üzerinde bulunan binalardan BN06 ve BN11 betonarme çerçevesi binalardır. Yani irdelenen binalar içindeki 6 adet betonarme çerçevesi binanın 2 tanesi Z3 sınıfı zemin üzerinde bulunmaktadır. Şekil 7.8’de irdelenen binalar içindeki Z3 sınıfı zemin üzerinde bulunan binaların çevresel titreşim ölçümleri ile bulunan temel periyotları ve binaların yükseklikleri arasındaki ilişki görülmektedir.



Şekil 7.8. Z3 sınıfı zemin üzerindeki binaların temel periyot-yükseklik ilişkisi

Z3 sınıfı zeminin Z2 sınıfı zemine göre yumuşak yapısı nedeniyle, Z3 sınıfı zeminlerde bulunan binaların periyotlarının, Z2 sınıfı zeminler üzerinde bulunan binalara göre daha uzun olması beklenir. Z2 ve Z3 sınıfı zeminler üzerinde bulunan binaların temel periyot yükseklik ilişkileri birlikte değerlendirildiğinde, ortaya çıkan bağıntılarda kayda değer bir fark görülmemektedir. Z3 sınıfı zeminlerde bulunan binaların periyotları az da olsa daha uzun çıkmıştır fakat bina yükseklikleri incelendiğinde Z3 sınıfı zemin üzerinde bulunan binaların yükseklik ortalamasının 14,50 m, Z2 sınıfı zemin üzerinde bulunan binaların yükseklik ortalamasının ise 13,72 m olduğu görülmüştür. Sonuç olarak Z3 sınıfı zemin üzerinde bulunan binaların az da olsa daha uzun periyotlu olmasına neden olan durum zemin özellikleri yerine veri setleri arasındaki ortalama bina yüksekliği farkları olabilir.

## 7.2. Farklı Bağıntılarla Bulunan Temel Periyotların Karşılaştırılması

Tez çalışması kapsamında önerilen bağıntı, dünyanın çeşitli bölgelerinden araştırmacılar tarafından önerilmiş olan ve bazı deprem yönetmeliklerinde bulunan benzer bağıntılar ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar yapılırken deprem yönetmeliklerinde bulunan ampirik bağıntılarla ve yüksek genlikli titreşim ölçümleri (deprem sırasında yapılan titreşim ölçümleri) sonuçları kullanılarak önerilen bağıntılarla tahmin edilmeye çalışılan periyotlar  $T_1$ , çevresel titreşim ölçümlerinden yararlanılarak önerilen bağıntılar ile bulunan elastik temel periyotlar  $T_0$ , mevcut binaların deprem performansının belirlenmesi için kullanılan ve elastik ötesi davranışı temsil eden periyotlar ise  $T_{akma}$  ile gösterilmişlerdir.

Salameh vd., (2016)'ya göre çevresel titreşim ölçümü ile bulunan temel periyotlar, büyük genlikli sismik etkiler altında gerçekleştirilen zorlanmış titreşim ölçümleri ile bulunan temel periyotlar ile karşılaştırıldığında, binalarda ciddi düzeyde hasar görülmemesine rağmen yüksek genlikli titreşimler altındaki periyotların %10 ile 30 arasında uzadığı görülmüştür (McVerry ve Beck, 1983; Bard vd., 1992; Celebi, 1996; Satake ve Yokota, 1996; Meli vd., 1998; Irie ve Nakamura 2000; Mucciarelli vd., 2004; Michel, 2007). Periyotlardaki bu uzamanın, teorik olarak çatlamamış kabul edilen betonarme kesitlerde hali hazırda bulunan çatlakların yüksek genlikli titreşimler sırasında genişleyerek, etkin kesit alanının küçülmesi nedeniyle rijitlikte oluşan azalmaya bağlı olduğu değerlendirilmektedir (Michel vd., 2010).

Yüksek genlikli etkiler ile birlikte binadaki hasar arttıkça periyodun uzadığı bilinmektedir. Fakat yüksek genlikli etkiler altında binalarda titreşim ölçümleri gerçekleştirilebilmesi için çok sayıda binanın ivmeölçer ya da hızölçer sensörler ile donatılarak, takip edilmesi ve binalarda yüksek genlikli titreşimlere neden olacak depremler sırasında titreşim ölçümleri alınması gerekmektedir. Bu yöntemi uygulamak çeşitli nedenlerle her ülkede mümkün olmamıştır. Ülkemizde de bu şekilde bir çalışma yapılmamıştır. ABD'de bu yöntemle yapılmış ölçümlerle önerilen bağıntılar bulunmaktadır. Bu ölçümler, 1971 San Fernando depremi ile başlamıştır. Teorik olarak Rayleigh Yöntemi'ne dayanan denklem 7.1'deki bağıntıda ATC3-06 (ATC, 1978) ve UBC-1997 (UBC, 1997)'de betonarme binalar için kullanılan  $C_t = 0,073$  katsayısı 1971 San Fernando depreminde yapılan ölçümlere dayanarak belirlenmiştir.

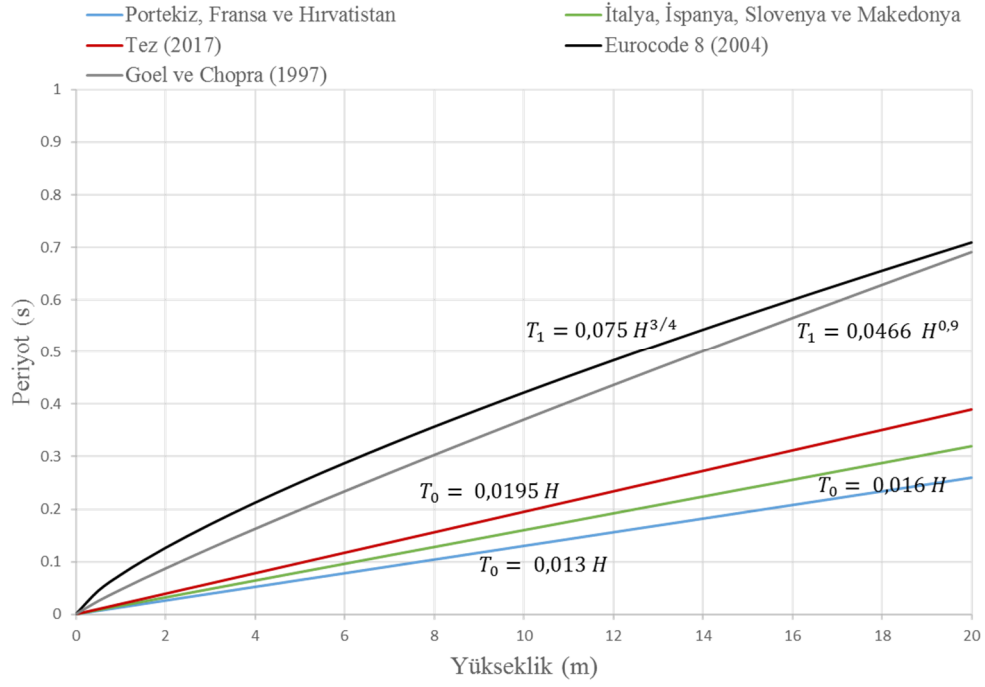
$$T_1 = C_t H^{3/4} \quad (7.1)$$

Goel ve Chopra (1997), 1971 San Fernando depreminden başlayarak 1994 Northridge depremine kadar geçen sürede, bu iki deprem ile birlikte sekiz Kaliforniya depremi sırasında binalarda ölçülen titreşim kayıtlarını kullanarak betonarme çerçeveli binalar için denklem 7.2'deki bağıntıyı önermişlerdir.

$$T_1 = 0,0466 H^{0,9} \quad (7.2)$$

Tez çalışmasının önceki bölümlerinde de değinildiği üzere, Kaliforniya için önerilen ve o bölgedeki betonarme binalar için uygun olan bu yaklaşımlar, inşaat pratiği ve binalarda kullanılan yapı malzemeleri çok farklı olan bölgeler için uygun değildir. Fakat dünyanın başka bölgelerinde deprem sırasında yapılmış ölçümler bulunmamasından olsa gerek dünyanın çeşitli bölgelerinde kullanılan birçok deprem yönetmeliğindeki bağıntılar ABD'de yapılan ölçümlerle önerilen bağıntılardan türetilmiştir. Örneğin, Eurocode 8 (EN-1998-1, 2004)'de 40 m'den yüksek olmayan betonarme binalar için denklem 7.1'deki bağıntı  $C_t = 0,075$  katsayısı ile kullanılmaktadır. Avrupa'daki betonarme çerçeveli binalar, ABD'de sözü edilen bağıntılar geliştirilirken önerilen binalardan daha az katlı ve özellikle dolgu duvarlarında çok daha rijit malzemeler kullanılması nedeniyle daha rijit dolayısıyla kısa periyotlu binalardır. Bu nedenle Eurocode 8 (EN-1998-1, 2004)'deki bu uygulama birçok araştırmacı tarafından eleştirilmiştir (Gallipoli vd., 2010; Crowley ve Pinho, 2010, Ditommaso vd., 2013).

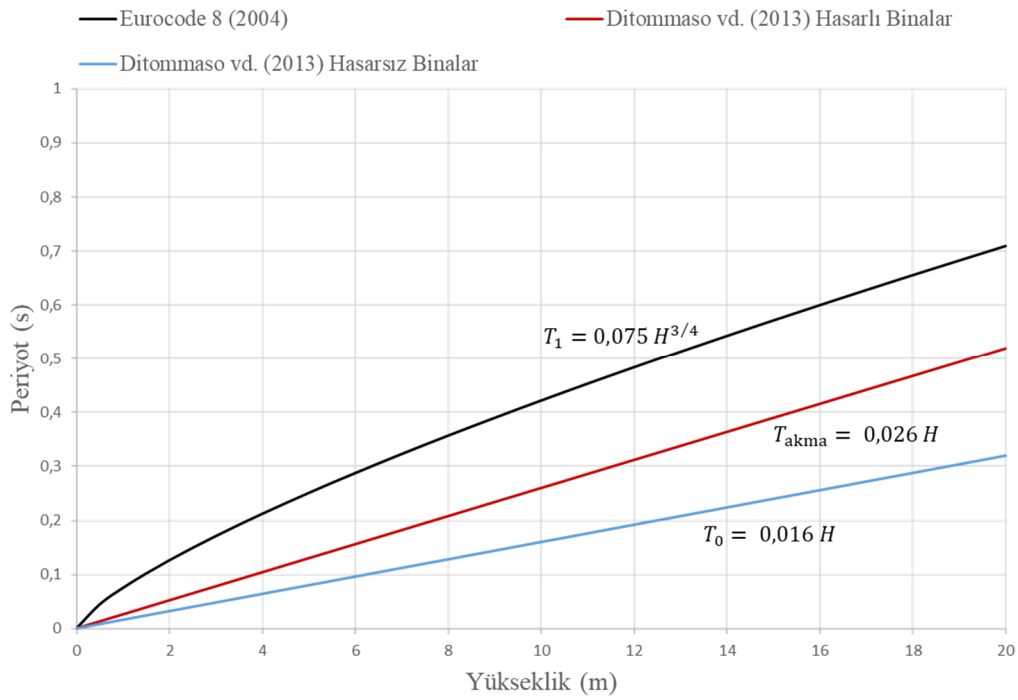
Avrupa'daki çeşitli ülkelerdeki betonarme binaların çevresel titreşim ölçümleri ile bulunan elastik temel periyot-yükseklik ilişkileri ile çalışma kapsamında irdelenen ülkemizdeki betonarme binaların periyot-yükseklik ilişkileri karşılaştırılmıştır (Şekil 7.9).



Şekil 7.9. Tez çalışması ile önerilen bağıntının Avrupa'daki diğer bağıntularla karşılaştırılması

Şekil 7.9'da görüldüğü gibi, Avrupa'nın çeşitli ülkelerindeki binalar, tez çalışması kapsamında irdelenen binalara göre daha kısa periyotlu olsalarda aynı grupta değerlendirilebilirler. Fakat bu noktada tez çalışması kapsamında irdelenen binaların iskân aşamasındaki yeni binalar olduğunu hatırlatmakta yarar vardır. Ülkemizdeki mevcut yapı stokunun durumunun daha farklı olabileceği değerlendirilmektedir. Grafikler incelendiğinde, Goel ve Chopra (1997)'nin Kaliforniya binaları için önerdiği bağıntı ve Eurocode 8 (EN-1998-1, 2004)'de 40 m'den yüksek olmayan betonarme binaların kuvvete dayalı tasarımında kullanılmak üzere önerilen bağıntılar ile bulunacak periyotların, Avrupa'daki ve ülkemizdeki betonarme binaların çevresel titreşim ölçümleri ile bulunan elastik temel periyotlarından çok daha uzun olduğu görülmektedir. Yalnız, Şekil 7.9'da verilmiş olan çevresel titreşim ölçümü ile bulunan periyotların deprem sırasında uzayacağı bilinmektedir. Avrupa ve Türkiye'de deprem sırasında yapılmış titreşim ölçümlerini içeren bir çalışma bulunmamaktadır. Ancak, Ditommaso vd., (2013)'ün çalışması Avrupa'daki betonarme binaların deprem sırasındaki periyotları ile ilgili fikir vermektedir. Ditommaso vd., (2013) 2009 L'Aquila ( $M_w = 6,3$ , 294 can kaybı, 1179 yaralı) depreminden sonra çeşitli düzeylerde hasarlı ve hasarsız 68 adet betonarme binanın temel periyotları çevresel titreşim ölçümü kayıtlarından yararlanılarak bulunmuştur. Binalar, EMS 98 (Gruenthal, 1998) (Avrupa Sismik Hasar Ölçeği)'e göre

hasar seviyelerine bağlı olarak dört gruba ayrılmıştır. Her grup içindeki binaların, temel periyotları ve yükseklikleri arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Hasar seviyesi düşük olan binalar için ortaya konulan temel periyot-yükseklik ilişkisinin daha önceki çalışmalarda İtalya ve Avrupa'daki hasarsız binalar için ortaya konulan periyot-yükseklik ilişkileri ile uyumlu olduğu görülmüştür. Hasar seviyesi yüksek olan grubun verileri kullanılarak elde edilen periyot-yükseklik bağıntısı ile tahmin edilen periyotların dahi Eurocode 8 (EN-1998-1, 2004)'deki periyot tahmin bağıntısı ile bulunan periyotlardan oldukça kısa olduğu belirlenmiştir (Şekil 7.10).



Şekil 7.10. Hasarlı ve hasarsız binaların karşılaştırılması (Ditommaso vd., 2013)

Hasarsız ve az hasarlı betonarme binaların bulunduğu grup için önerilen temel periyot tahmin bağıntısı denklem 7.2'de görülmektedir.

$$T_0 = 0,016 H \quad (7.2)$$

Hasarlı betonarme binalar için önerilen temel periyot tahmin bağıntısı ise denklem 7.3'te görülmektedir.

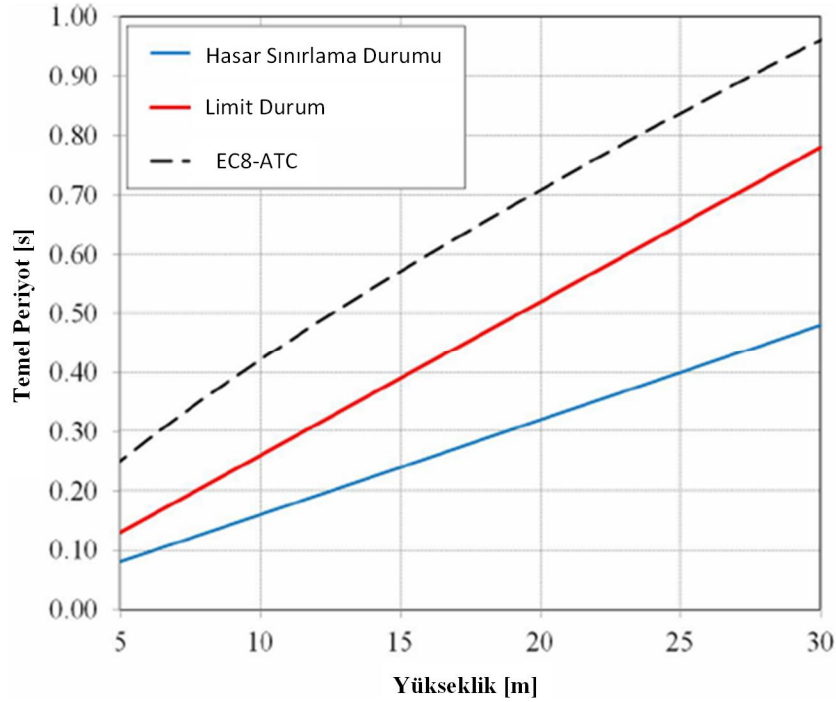
$$T_{akma} = 0,026 H \quad (7.3)$$

Ditomaso vd., (2013)'te depremden sonra irdelenen binaların hasar seviyeleri EMS 98 (Gruenthal, 1998)'e göre belirlenmiştir. Hasarsız olarak değerlendirilen binalar, yalnızca çerçeve elamanları üzerindeki sıvada ince çatlakların bulunduğu ve bölme ve dolgu duvarlarda ince çatlakların olduğu binalardır. Bu binalar, Ditomaso vd., (2013) tarafından Eurocode 8-3 (CEN, 2005)'e göre “hasarın sınırlandırılması seviyesi”nde tanımlanan binalar olduğu belirtilmiştir. Bu seviye, DBYBHY (2007)'ye göre “hemen kullanım” olarak değerlendirilebilir. Hasarlı binalar ise, kritik katında kolon ve kolon kiriş birleşim bölgelerinde çatlaklar bulunan, pas payının döküldüğü, boyuna donatıların burkulduğu, bölme ve dolgu duvarlarda geniş çatlakların bulunduğu ve bazı dolgu duvarların yıkıldığı, kolon, kiriş ve perdelerinde çatlaklar bulunan, fayans vb. gevrek kaplamanın kırıldığı ve sıvanın döküldüğü binalar olarak tanımlanmıştır. Eurocode 8-3 (CEN, 2005)'te ise bu binalar “belirgin hasar (limit durum)” olarak tanımlanmıştır. Ditomaso vd. (2013) bu hasar seviyesini “nihai limit seviye” (can güvenliği performans düzeyi) olarak değerlendirmiş ve ilgili seviyedeki periyotları “yield (akmış)” periyot olarak kabul etmişlerdir. Görsel 7.1'de Ditomaso vd., (2013)'ne göre hasarlı olarak gruplandırılan binalardan bazılarındaki hasar durumları görülmektedir.



**Görsel 7.1.** *Ditomaso vd., (2013)'e göre hasarlı binalar*

Şekil 7.11’de Ditommaso vd., (2013) tarafından tanımlanan, hasar sınırlama (hemen kullanım) ve limit durum (can güvenliği) seviyeleri olarak değerlendirilen periyotların Eurocode 8 (EN-1998-1, 2004)’in önerdiği bağıntı ile bulunan periyotlardan çok kısa olduğu ve Eurocode 8 (EN-1998-1, 2004) bağıntısının güvenli tarafta kalmadığı görülmektedir.



Şekil 7.11. Farklı hasar seviyeleri için önerilen periyot-yükseklik bağıntıları (Ditommaso vd., 2013)

Goel ve Chopra (1997)’ya göre bir binanın kuvvete dayalı tasarımında kullanılacak temel periyodun belirlenmesi için en uygun periyot değeri, kuvvetli bir yer hareketi ile sarsılmış fakat elastik ötesi davranışa geçmemiş bir binada ölçülen periyottur. Ditommaso vd. (2013)’te hasarlı olarak değerlendirilen binalar ise elastik ötesi davranışa geçmiştir.  $T_{akma} = 0,026 H$  formülü ile hesaplanan periyotlar akmış sistemin periyotlarıdır. Goel ve Chopra (1997)’ya göre kuvvete dayalı tasarımda kullanılması gereken temel periyotlar bu periyotlardan daha da kısa olmalıdır.

Bu değerlendirmeler ışığında, yüksekliği sınırlandırılmış “basit” binaların kuvvete dayalı tasarımında çevresel titreşim ölçümü verilerine dayanarak belirlenmiş elastik temel periyotların kullanılması durumunda, güvenli tarafta kalınarak, hemen kullanım ve can güvenliği performans düzeyleri arasında bir sonucun alınabileceği değerlendirilmektedir. Daha uzun periyotlara göre tasarım yapılması durumunda ise güvenli tarafta kalmama

tehlikesi ortaya çıkacaktır. Literatürde irdelenen konu ile ilgili çalışmaların büyük çoğunluğunda da bu yaklaşım önerilmekte ve mevcut yönetmelikler eleştirilmektedir.

Ülkemizde ise; DBYBHY (2007)'de kuvvete dayalı tasarımda Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nde kullanılabilecek herhangi bir yaklaşık periyot bağıntısı tanımlanmamıştır. Nümerik model ile bulunan periyotların, Rayleigh Yöntemi ile bulunan periyotlarla karşılaştırılması ve küçük olan periyoda göre tasarım yapılması gerekmektedir. Ayrıca, kat adedi ( $N$ ) bodrum kat hariç 13'ten fazla olan binalarda temel periyot  $0.1N$ 'den daha büyük olmayacaktır. 2018 yılında yürürlüğe girmesi öngörülen deprem yönetmeliği taslağında ise Rayleigh Yöntemi'ne ek olarak, temel periyodun  $T_1 = 0,04 H$ 'tan büyük olmaması gerekmektedir.

Ülkemizde, bina temel periyotlarının bina yüksekliği ile ilişkisi üzerine yapılmış Güler vd. (2008)'nin çalışmasında 12 katlı betonarme bir binada çevresel titreşim ölçümleri yapılmış ve binanın nümerik modeli oluşturulmuştur. Bu modelden kat adetleri 4'ten 11'e kadar olan ve kat adetlerine bağılı olarak kolon boyutları değışen 8 farklı bina modeli türetilmiştir. Türetilen binaların nümerik modelleri analiz edilerek bulunan temel periyotlar ile bina yükseklikleri arasındaki ilişkiye bağılı olarak denklem 7.4'te görülen bağıntı önerilmiştir.

$$T_0 = 0,026 H^{0,90} \quad (7.4)$$

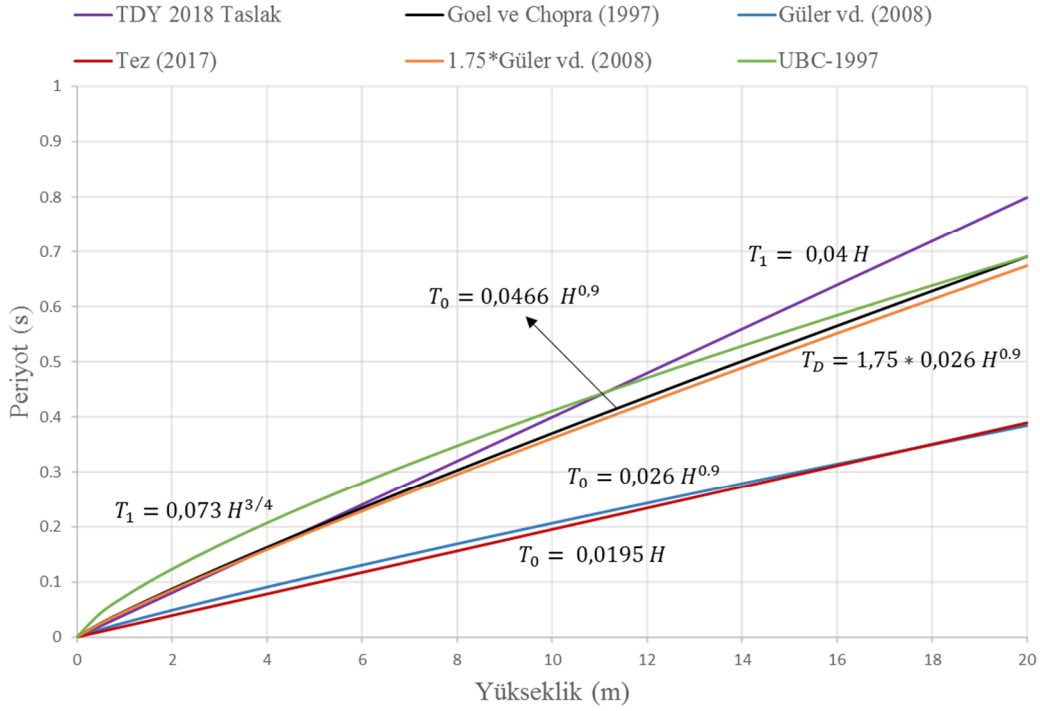
Güler vd. (2008) denklem 7.4'te görülen bağıntı önerilirken kullanılan binanın titreşim periyotlarının düşük genlikli çevresel titreşim etkileri altında ölçüldüğü gerekçesiyle, bina tasarımında kullanılması gereken periyodun, denklem 7.4 ile bulunan periyodu Goel ve Chopra (1997) ve UBC-1997 (UBC, 1997)'de bulunan ve deprem sırasında yapılan ölçümler ile belirlenen periyot değerlerine yaklaştırmak için denklem 7.5 ile belirlenmesi gerektiği ifade edilmiştir.

$$T_D = 1,75 (0,026 H^{0,90}) \quad (7.5)$$

Ancak, Goel ve Chopra (1997) ve UBC-1997 (UBC, 1997)'deki bağıntıların inşaat pratiği Türkiye'den çok farklı olan Kaliforniya'daki betonarme çerçevesel binalar için geliştirildiği unutulmamalıdır. Ayrıca, Güler vd. (2008)'deki bu yaklaşım Michel vd. (2010) tarafından UBC-1997 (UBC, 1997)'deki periyotların gerçek temel periyotları yansıtmadığı gerekçesiyle eleştirilmiştir.

Şekil 7.12'de çalışma kapsamında önerilen doğrusal periyot-yükseklik ilişkisi ile Güler vd. (2008) tarafından önerilen üstel ifadenin birbirine çok yakın sonuçlar verdiği

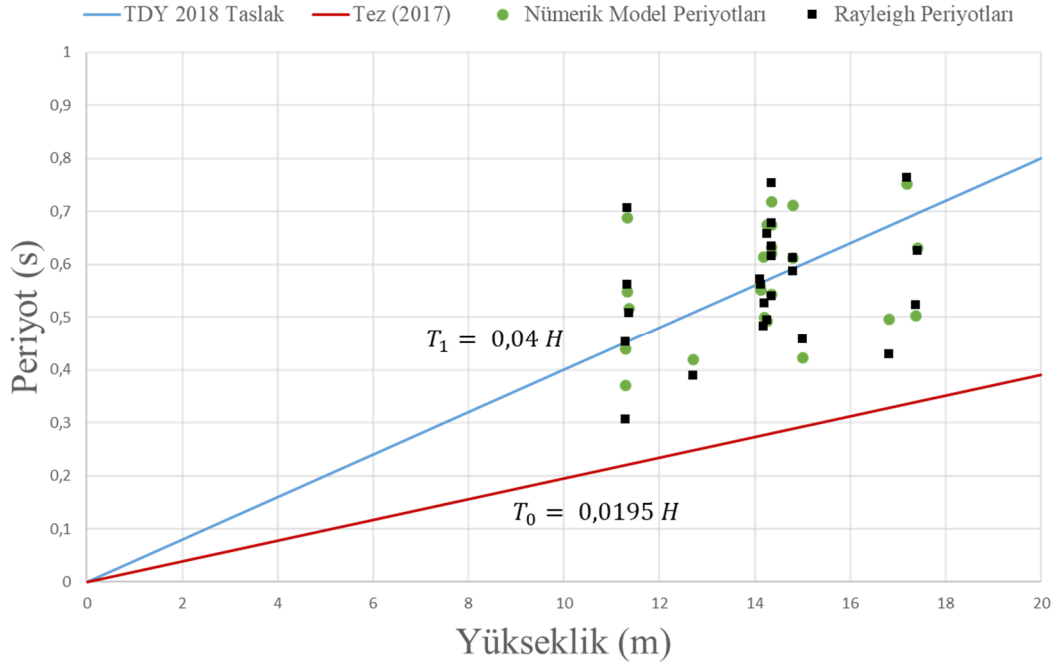
görülmektedir. Ancak, Güler vd. (2008) bulduğu sonuçları 1,75 ile çarparak, Goel ve Chopra (1997) ve UBC-1997 (UBC, 1997) sonuçlarına yaklaştırmaya çalışmıştır. Kaliforniya'daki betonarme binalar için geliştirilmiş olan bu bağıntılar, Türkiye'de ve Avrupa'daki rijit dolgu duvarları olan az katlı betonarme binalar için uygun değildir ve kuvvete dayalı tasarımda güvenli tarafta olmayan sonuçlar ortaya çıkaracaktır.



Şekil 7.12 Temel periyot-yükseklik ilişkisi açısından Türkiye'deki durum

Şekil 7.12'de 2018 yılında yürürlüğe girmesi öngörülen deprem yönetmeliği taslağında bulunan  $T_1 = 0,04 H$  bağıntısı da sunulmuştur. Şekil 7.12'de görüldüğü üzere  $T_1 = 0,04 H$  bağıntısı ile bulunan periyotlar, Goel ve Chopra (1997) ve UBC-1997 (UBC, 1997) ile bulunan periyotlara çok yakın ve çalışma kapsamında çevresel titreşim ölçümü verilerine dayanarak önerilen elastik temel periyot bağıntısı ile bulunan periyotlardan çok uzundur.

Şekil 7.13'te çalışma kapsamında irdelenen 24 adet yeni betonarme binada gerçekleştirilen çevresel titreşim ölçümlerinin sonuçları doğrultusunda önerilen doğrusal periyot-yükseklik ilişkisi, aynı binalar için dolgu duvarların rijitliğe katkısı dikkate alınmadan yapılan nümerik modeller ile bulunan periyotlar ve Rayleigh Yöntemi'ne göre bulunan periyotlar sunulmuştur.



Şekil 7.13. Nümerik modelleme ve Rayleigh Yöntemi ile bulunan periyotların dağılımı

Şekil 7.13'te görüldüğü üzere, dolgu duvarların binanın yatay rijitliğine katkısı dikkate alınmadan yalnızca kütle olarak dikkate alınarak yapılan nümerik modelleme ile bulunan periyotlar, çevresel titreşim ölçümü ile bulunan periyotlardan çok daha uzundur. Rayleigh Yöntemi'nde de dolgu duvarlar kütle olarak dikkate alınmakta, rijitliğe katkıları ihmal edilmektedir. Bu nedenle Rayleigh Yöntemi ile hesaplanan periyotlar da çevresel titreşim ölçümü ile bulunan periyotlardan çok daha uzundur.

Dolgu duvarların çerçeve sisteminden yalıtılmadığı binalarda, depremin ilk anlarında ve elastik ötesi davranışa geçilene kadar, duvarların sistemin yatay rijitliğine katkı vereceği kabul edilebilir. Bu yüzden dolgu duvarların katkısı hiç dikkate alınmadan belirlenen temel periyoda göre kuvvete dayalı tasarım yapıldığında güvenli tarafta kalınacağı söylenemez. Şekil 7.13 incelendiğinde, 2018'de yürürlüğe girmesi öngörülen deprem yönetmeliği taslağındaki  $T_1 = 0,04 H$  ifadesinin neredeyse duvarların yatay rijitliğe katkısının hiç dikkate alınmadığı durumu temsil ettiği görülmektedir.

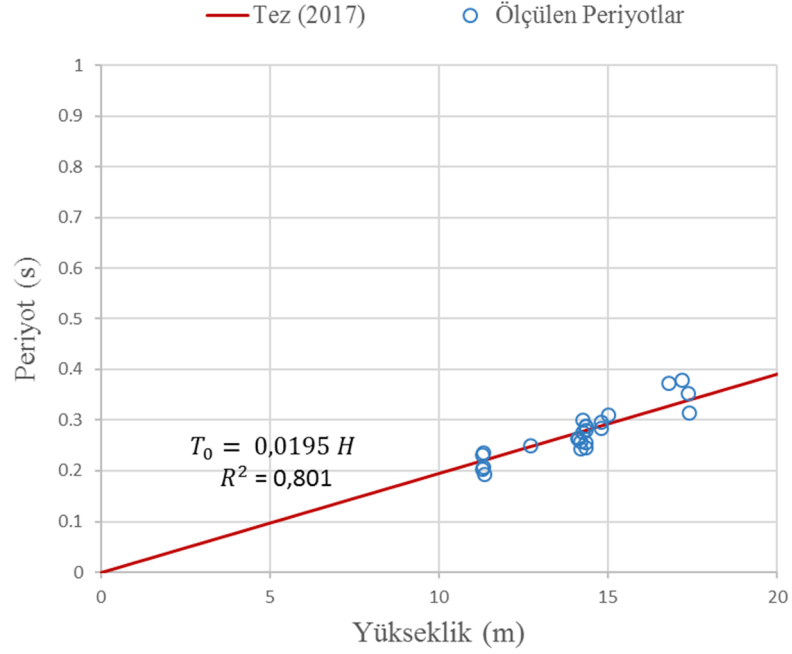
Ditommaso vd., (2013)'ün L'Aquila depreminden sonra yaptığı çalışmanın bulguları doğrultusunda değerlendirme yapıldığında; tez çalışması kapsamında irdelenen binalar için çizilebilecek "olası hasarlı durum" periyot-yükseklik ilişkisini temsil eden doğrusal çizginin,  $T_0 = 0,0195 H$  ile  $T_1 = 0,04 H$  çizgileri arasında olacağı düşünülmektedir. Bu çizginin binanın temel periyodu açısından can güvenliği sınırını temsil edeceği kabul

edilirse, kuvvete dayalı tasarımda güvenli tarafta kalınabilmesi için bu sınıırn altında bir periyoda göre tasarım yapılması gerekmektedir. Bu sınıır şü an için belirleme imkânı bulunmadığından, çalışma kapsamında irdelenen, Türkiye nüfusunun %25'ten fazlasının içinde yaşadığı 4-6 katlı (yüksekliğı 20 m'yi geçmeyen), dolgu duvarların çerçeve sisteminden yalıtılmadığı, "basit" betonarme binalar için kuvvete dayalı tasarımda, tez çalışması kapsamında önerilen  $T_0 = 0,0195 H$  bağıntısı ile bulunan temel periyotların kullanılması önerilmektedir.



## 8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Eskişehir kent merkezinde bulunan ve kat adetleri 4-6 arasında değişen (Ülkemizde ve Eskişehir’de bulunan en yaygın konut tipidir: TÜİK 2011 verilerine göre Türkiye nüfusunun %25,5’i, Eskişehir nüfusunun ise %27,9’u 4 ve 5 katlı binalarda yaşamaktadır), inşaatı yeni tamamlanmış, iskân aşamasındaki 24 adet konut tipi, ayırık nizam betonarme binanın elastik temel periyotları, düşük genlikli çevresel titreşim ölçümleri kayıtlarından faydalanılarak belirlenmiştir. Bina-zemin etkileşimini belirlemeye yönelik bir çalışma yapılmamıştır. Ölçülen titreşimler, binanın betonarme taşıyıcı sistemi, dolgu duvarlar vb. yapısal olmayan elemanları ve binanın oturduğu zeminin oluşturduğu bütün yapısal sistemi temsil etmektedir. Ölçüm yapılan binalarda, henüz insanlar yaşamaya başlamadığı için, yapılan titreşim ölçümleri ile bulunan temel periyotlar, binada oluşacak olan hareketli yüklerin etkisini içermemektedir. Ölçümlerde hızölçerler kullanılmıştır. Binaların temel periyotları, Geliştirilmiş Frekans Ortamında Ayırışım Yöntemi (GFOAY) ile belirlenmiştir. Binaların nümerik modelleri, uygulamada yapıldığı gibi dolgu duvarların binanın yatay rijitliğine katkısı dikkate alınmadan oluşturularak, temel periyotlar modeller üzerinde yapılan özdeğer analizleri ve DBYBHY (2007)’de tanımlanan Rayleigh yöntemi ile belirlenmiştir. Rayleigh yöntemi ile ve dolgu duvarlar dikkate alınmadan yapılan nümerik modeller ile hesaplanan temel periyotların, çevresel titreşim ölçümleri ile belirlenen periyotlardan ne denli farklı olduğu gösterilmiştir. Çevresel titreşim ölçümü yapılan 24 adet betonarme binaya ait temel periyotların, bina yüksekliği ile ilişkisi araştırılmıştır. Doğrusal Regresyon Analizi ile binanın temel periyodunu, bina yüksekliğine bağlı olarak tahmin eden Şekil 8.1’de görülen bağıntı önerilmiştir.



**Şekil 8.1.** Tez çalışması kapsamında önerilen temel periyot-yükseklik bağıntısı

Çevresel titreşim ölçümü sonuçları kullanılarak önerilen bağıntı, Avrupa'nın çeşitli ülkelerinde aynı yöntem ile önerilen bağıntılar ile karşılaştırılmıştır. Çalışma kapsamında irdelenen, inşaatı yeni tamamlanmış olan iskân aşamasındaki binaların rijitliklerinin, Avrupa ülkelerindeki yaş ortalaması yüksek binalardan daha düşük olduğu görülmüştür.

Tez çalışması kapsamında önerilen bağıntı, 2018 yılında yürürlüğe girmesi öngörülen deprem yönetmeliği taslağında bulunan  $T_1 = 0,04 H$  bağıntısı ile karşılaştırılmıştır. Taslağa göre, Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'ne göre tasarımda, temel periyodun Rayleigh Yöntemi ile bulunan periyot ve  $T_1 = 0,04 H$  bağıntısı ile bulunan periyottan büyük olmaması gerekmektedir. Bu anlamda,  $T_1 = 0,04 H$  bağıntısı, Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'ne göre tasarımda güvenli tarafta kalınabilmesi için bir güvenlik bariyeri niteliği taşımaktadır. Ancak bu bağıntı ile bulunacak olan periyodun çok uzun olduğu ve bu periyotla yapılacak olan tasarımda güvenli tarafta kalınmamış olacağı değerlendirilmektedir. Dolgu duvarları çerçeve sisteminden yalıtılmamış betonarme binaların kuvvete dayalı tasarımında, temel periyodun  $T_0 = 0,0195 H$  bağıntısı ile tahmin edilmesi ya da sınırlanması durumunda güvenli tarafta kalınacağı öngörülmektedir. Dolgu duvarların uygun detaylandırma kullanılarak çerçeve sisteminden yalıtıldığı ve sistemde yalnızca yük/kütle olarak bulunduğu binaların

tasarımında hesaplanan periyotların ise  $T_1 = 0,04 H$  bağıntısı ile sınırlandırılabilceği düşünülmektedir.

Çalışma kapsamında önerilen  $T_0 = 0,0195 H$  bağıntısı ile Güler vd., (2008) tarafından önerilen  $T_0 = 0,026 H^{0,90}$  ifadesinin birbirine çok yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Ancak Güler vd., (2008) kuvvete dayalı tasarımda  $T_D = 1,75 * 0,026 H^{0,90}$  bağıntısının kullanılmasını önermektedir. Bu bağıntı doğrultusunda deprem kuvveti belirlendiğinde güvenli tarafta kalınmamış olacağı düşünülmektedir.

İrdelenen 24 binalık envanter içinde bulunan betonarme binalar, betonarme perdeli ve çerçeveli binalar ve betonarme çerçeveli binalar olarak iki gruba ayrıldığında, betonarme perdeli ve çerçeveli binaların bulunduğu grup için bulunan periyotların daha kısa olduğu görülmüştür. Binalar zemin sınıflarına göre Z2 ve Z3 sınıfı zeminler üzerinde bulunan binalar olarak ayrıldıklarında ise, Z3 sınıfı zemin üzerindeki betonarme binaların periyotlarının daha uzun olduğu belirlenmiştir.

Çevresel titreşim ölçümü ile bulunan temel periyotlar ile dolgu duvarların rijitliğe katkısı dikkate alınmadan yapılan nümerik modelleme ile bulunan temel periyotlar arasındaki farkların ortalamasının %112 olduğu görülmüştür. Çevresel titreşim ölçümü ile bulunan periyotların, Z2 sınıfı zemin üzerinde bulunan binaların tamamında  $T_a = 0,15 s$  ile  $T_b = 0,40 s$  aralığında, Z3 sınıfı zemin üzerinde bulunan binaların tamamında ise  $T_a = 0,15 s$  ile  $T_b = 0,60 s$  aralığında yani elastik tasarım spektrumunda en yüksek spektrum karakteristik katsayısı olan  $S(T) = 2,5$  sahanlığında olduğu görülmüştür. Nümerik modelleme ile bulunan temel periyotlar ise irdelenen binaların 13 tanesinde bu sahanlığın dışında kalmıştır. Bu durum nümerik modelleme ile bulunan temel periyoda göre hesaplanan deprem kuvvetinin güvenli tarafta olmadığı sonucunu ortaya koymaktadır. Nümerik modelleme ile bulunan deprem kuvvetinin, çevresel titreşim ölçümü sonuçlarına göre olması gereken deprem kuvvetinden %46 daha küçük olduğu durumla karşılaşılmıştır.

Çevresel titreşim ölçümü ile bulunan temel periyotlar ile Rayleigh Yöntemi ile bulunan temel periyotlar arasındaki farkların ortalamasının da %108 olduğu görülmüştür.

İrdelenen binaların çoğunda, dolgu duvarların yalnızca yük olarak dikkate alındığı nümerik modellerde yapılan modal analiz sonucunda bulunan temel mod yönlerinin, çevresel titreşim ölçümü verileri analiz edilerek bulunan temel mod yönlerinden farklı olduğu görülmüştür. 12 adet binanın nümerik modellemeye göre temel mod şekli burulma iken çevresel titreşim ölçümlerine göre ötelenme olduğu belirlenmiştir. Dolgu duvarların

binanın yatay rijitliğine katkısının dikkate alınmadığı bir nümerik model üzerinden binanın deprem davranışı ile ilgili değerlendirme yapmanın gerçekçi olamayacağı değerlendirilmektedir.

İrdelenen 24 betonarme bina içinde yalnızca bir binada B2 düzensizliği bulunmuştur. Diğer tüm binalar Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nin uygulanabileceği binalardır.

Örnek bina için ProBina, Sta4Cad ve SAP 2000 yazılımları ile dolgu duvarların binanın yatay rijitliğine katkısı dikkate alınmadan yapılan nümerik modellerle bulunan temel periyotların birbirine çok yakın oldukları görülmüştür. Uygulamada çalışan ve piyasada yaygın olarak kullanılan yazılımları kullanan inşaat mühendislerinin genelde merdivenleri de nümerik modellere dâhil etmedikleri bilinmektedir. Bu nedenle, hazırlanan Sta4Cad ve SAP 2000 modellerinde merdivenler bulunmamaktadır. Ancak, Abaqus yazılımında merdivenler de modele dâhil edilmiştir. Dolgu duvarların binanın yatay rijitliğine katkısının dikkate alınmadığı nümerik modellerde yapılan modal analiz sonucunda, Abaqus yazılımı ile bulunan periyot, Sta4Cad ve SAP 2000 yazılımları ile bulunan periyotlardan yaklaşık %6 daha kısadır. Abaqus yazılımı ile bulunan periyodun daha kısa çıkmasının nedeninin, merdivenin binanın yatay rijitliğine olan katkısı olduğu değerlendirilmektedir.

Örnek bir binada, duvarların katı cisim olarak modellendiği ve betonarme çerçeveye rijit bağı kabul edildiği Abaqus yazılımı modeli ile yapılan özdeğer analizi ile bulunan temel periyodun, çevresel titreşim ölçümü ile bulunan temel periyoda çok yakın olduğu gözlenmiştir. Bu sonuç, modellemede dolgu duvarların binanın yatay rijitliğine katkısı dikkate alındığında, çevresel titreşim ölçümü ile bulunan binanın gerçek periyotlarına yakın sonuçların elde edilebileceğini göstermektedir.

Tez çalışması kapsamında edinilen tecrübe doğrultusunda; betonarme bir binanın nümerik modelinde, dolgu duvarların binanın yatay rijitliğine katkısı dikkate alınmamış, duvarlar yalnızca kütle olarak modellenmiş ise uygulamada bu binanın dolgu duvarlarının betonarme çerçeveden uygun detaylarla yalıtılması önerilmektedir. Eğer uygulamada dolgu duvarların betonarme çerçeveden yalıtılmayacağı biliniyorsa, nümerik modellemede dolgu duvarların binanın yatay rijitliğine olan katkısı dikkate alınmalıdır. Bu doğrultuda; deprem yönetmeliğinin yeni versiyonlarında; dolgu duvarların binanın yatay rijitliğine katkısının modellenmesi ile ilgili yaptırımların bulunması önerilmektedir.

Ülkemizde statik-betonarme proje üretiminde kullanılan yazılımların, dolgu duvarların ve diğer yapısal olmayan elemanların binanın deprem davranışına etkilerini,

modellemede ne denli dikkate alabildiğinin irdelenmesinde yarar görülmektedir. Ayrıca genel olarak bu yazılımların bütün yönleri ile irdelenebilmesi için bir yazılım yönetmeliği ve yazılımları denetleyen kanuni bir mekanizmanın kurulması önerilmektedir.

Tez çalışması kapsamında yapılan çalışmanın daha fazla sayıda binada titreşim ölçümü yapılarak geliştirilmesi gerekmektedir. Buna ek olarak, farklı özelliklerdeki (iskânın oluşmuş olduğu binalar, bitişik nizam binalar, düzensiz binalar vb.) ve farklı kat adetlerine sahip bina grupları için de benzer çalışmaların yapılarak mevcut stoktaki binaların temel periyot ve yükseklik ilişkilerinin belirlenmesi önerilmektedir.

Çalışma kapsamında önerilen temel periyot-yükseklik bağıntısı, kuvvete dayalı hesap yöntemleri ile yeni bina tasarımında kullanılmak üzere önerilmiştir. Burada kullanılan temel periyot “elastik” temel periyottur. Mevcut binaların deprem performansının belirlenmesinde ya da şekil değiştirmeye dayalı yöntemler ile bina tasarımında kullanılması gereken temel periyot ise akmış (yield) periyotlardır. Özellikle, kent ölçeğinde gerçekleştirilecek deprem performansı belirleme çalışmalarında ihtiyaç duyulacak olan akmış periyot-yükseklik ilişkilerinin geliştirilmesi için de çalışmalar yapılması çok yararlı olacaktır.

## KAYNAKÇA

- ABAQUS (2017). Dassault Systèmes. ABAQUS CAE 2017, Providence, RI.
- ABYBHY, 1975. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- ABYBHY, 1997. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- Al-Nimry, H., Resheidat, M. ve Al-Jamal, M. (2014). Ambient vibration testing of low and medium rise infilled RC frame buildings in Jordan. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 59, 21-29.
- Amanat, K. M. ve Hoque, E. (2006). A rationale for determining the natural period of RC building frames having infill. *Engineering structures*, 28(4), 495-502.
- Arslan, M. E. ve Durmus, A. (2014). Modal parameter identification of in-filled RC frames with low strength concrete using ambient vibration. *Structural Engineering and Mechanics*, 50(2), 137-149.
- ARTEMIS Modal 3.6.0.3., (2014). Structural Vibration Solutions A/S. <http://www.svibs.com>
- Asten, M. W. (1978). Geological control on the three-component spectra of Rayleigh-wave microseisms. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 68(6), 1623-1636.
- Asten, M. W., ve Henstridge, J. D. (1984). Array estimators and the use of microseisms for reconnaissance of sedimentary basins. *Geophysics*, 49(11), 1828-1837.
- ATC3-06 (1978) Tentative provisions for the development of seismic regulations for buildings. *ReportNo.ATC3-06*, Applied Technology Council, Palo Alto, CA
- Bard, P. Y., Afra, H. ve Argoul, P. (1992). Dynamic behaviour of buildings: experimental results from strong motion data. *Recent advances in earthquake engineering and structural dynamics*, 441-478.

- Bonnefoy-Claudet, S., Cotton, F. ve Bard, P. Y. (2006). The nature of noise wavefield and its applications for site effects studies: A literature review. *Earth-Science Reviews*, 79(3), 205-227.
- Brincker, R., Zhang, L. ve Andersen, P. (2001). Output-only modal analysis by frequency domain decomposition. In *Proceedings of the international seminar on modal analysis* (Vol. 2, pp. 717-724). KU Leuven; 1998.
- Building Standard Law of Japan (BSLJ) (2011) The Building Center of Japan, The Building Standard Law of Japan
- Carder, D. S. (1937). Observed vibrations of bridges. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 27(4), 267-303.
- Celebi, M. (1996). Comparison of damping in buildings under low-amplitude and strong motions. *Journal of wind engineering and industrial aerodynamics*, 59(2-3), 309-323.
- CEN, (2005). Eurocode 8: Design provisions for earthquake of structures part 1–4: strengthening and repair of buildings, European Prestandard ENV 1998-1-4, Comitee European de Normalisation, Brussels.
- 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). In *Proceedings of the 15th world conference on earthquake engineering, paper reference* (Vol. 3033).
- Chopra, A. K. (1995). *Dynamics of structures* (Vol. 3, p. 339). New Jersey: Prentice hall.
- Chopra, A. K., ve Goel, R. K. (2000). Building period formulas for estimating seismic displacements. *Earthquake Spectra*, 16(2), 533-536.
- Crowley, H. ve Pinho, R. (2004). Period-height relationship for existing European reinforced concrete buildings. *Journal of Earthquake Engineering*, 8(spec01), 93-119.

- Crowley, H. ve Pinho, R. (2010). Revisiting Eurocode 8 formulae for periods of vibration and their employment in linear seismic analysis. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 39(2), 223-235.
- CSI (2011), SAP2000 Ultimate (v15.0.0)-Structural Analysis Program, Computer & Structures, Inc., Berkeley, California, USA.
- Darılmaz, K. (2014). *Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımına Giriş*. İstanbul: Computers&Engineering Software&Consulting Yapı Yazılımı Yayınları.
- Demirel, İ. O., Yakut, A., Binici, B., Canbay, E. (2015). Betonarme Çerçevelerde Dolgu Duvar Etkisinin İncelenmesi Üzerine Deneysel Çalışma. 3. *Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, İzmir, Türkiye*.
- Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 6 Mart 2007 tarih ve 26454 sayılı Resmî Gazete.
- Ditommaso, R., Gallipoli, M. R. ve Mucciarelli, M. (2013). Evaluation and considerations about fundamental periods of damaged reinforced concrete buildings. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13(7), 1903.
- Enomoto, T., Navarro, M., Sanchez, F., Vidal, F., Seo, K., Luzon, F., Garcia, J., Martin, J., Romacho, M. (1999). Evaluacion del comportamiento de los edificios en Almeria mediante el analisis del ruido ambiental. 1a Asamblea Hispano-Lusa. Aguadulce, Almeria, Spain (İspanyolca).
- Enomoto, T., Schmitz, M., Abeki, N., Masaki, K., Navarro, M., Rocavado, V., Sanchez, A. (2000). Seismic risk assessment using soil dynamics in Caracas, Venezuela. In *Proceedings of the 12th World Conference on earthquake engineering, Auckland, New Zeland*.
- Espinoza, B. F. (1999). *Determinación de características dinámicas de estructuras*. PhD Thesis. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya (İspanyolca).
- Eurocode 8 - EN 1998-1. (2004). *Design of structures for earthquake resistance*. European Standard.

- Farsi, M.N. ve Bard, P.Y. (2004). Estimation des periodes propres de batiments et vulnérabilité du bati existant dans l'agglomération de Grenoble. *Revue Francaise de Genie Civil* 8(2-3):149-179 (Fransızca).
- Gallipoli, M., Mucciarelli, M., and Vona, M. (2006). Stima di alcuni parametri principali degli edifici con metodi speditivi, GNGTS – 25 Convegno Nazionale, Roma 28-30 novembre 2006 (İtalyanca).
- Gallipoli, M. R., Mucciarelli, M. ve Vona, M. (2009). Empirical estimate of fundamental frequencies and damping for Italian buildings. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 38(8), 973-988.
- Gallipoli, M. R., Mucciarelli, M., Šket-Motnikar, B., Zupančić, P., Gosar, A., Prevolnik, S., Herak, M., Stipcevic, J., Herak, D., Milutinovic, Z. ve Olumćeva, T. (2010). Empirical estimates of dynamic parameters on a large set of European buildings. *Bulletin of earthquake engineering*, 8(3), 593-607.
- Gilles, D. ve McClure, G. (2008). Development of a period database for buildings in Montreal using ambient vibrations. In *Proceedings of the 14th world conference on earthquake engineering*.
- Goel, R. K. ve Chopra, A. K. (1997). Period formulas for moment-resisting frame buildings. *Journal of Structural Engineering*, 123(11), 1454-1461.
- Gruenthal, G. (Ed.) (1998). European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98), European Seismological Commission, sub commission on Engineering Seismology, working Group Macroseismic Scales. Conseil de l'Europe, Cahiers du Centre Europ'een de G'eodynamique et de S'eismologie, Volume 15, Luxembourg.
- Guillier, B., Atakan, K., Chatelain, J. L., Havskov, J., Ohrnberger, M., Cara, F., Duval, A. M., Zacharopoulos, S., Teves-Costa, P. ve SESAME Team. (2008). Influence of instruments on the H/V spectral ratios of ambient vibrations. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 6(1), 3-31.
- Guillier, B., Chatelain, J. L., Tavera, H., Perfettini, H., Ochoa, A., Herrera, B. (2014). Establishing Empirical Period Formula for RC Buildings in Lima, Peru: Evidence

- for the Impact of Both the 1974 Lima Earthquake and the Application of the Peruvian Seismic Code on High-Rise Buildings. *Seismological Research Letters*.
- Guler, K., Yuksel, E. ve Kocak, A. (2008). Estimation of the fundamental vibration period of existing RC buildings in Turkey utilizing ambient vibration records. *Journal of Earthquake Engineering*, 12(S2), 140-150.
- Haghshenas, E., Bard, P. Y., Theodulidis, N., ve SESAME WP04 Team. (2008). Empirical evaluation of microtremor H/V spectral ratio. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 6(1), 75-108.
- Hatzigeorgiou, G. D. ve Kanapitsas, G. (2013). Evaluation of fundamental period of low-rise and mid-rise reinforced concrete buildings. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 42(11), 1599-1616.
- Herak, M. ve Herak, D. (2009). Recent measurements of ambient vibrations in free-field and in buildings in Croatia. In *Coupled Site and Soil-Structure Interaction Effects with Application to Seismic Risk Mitigation* (pp. 293-304). Dordrecht, Springer.
- Hong, L. L. ve Hwang, W. L. (2000). Empirical formula for fundamental vibration periods of reinforced concrete buildings in Taiwan. *Earthquake engineering & structural dynamics*, 29(3), 327-337.
- Housner, G. W. ve Brady, A. G. (1963). Natural periods of vibration of buildings. *Journal of Engineering Mechanics Division*, 89(4):31–68
- IBM, (2016). SPSS statistics for windows, version 24, IBM Corporation, Armonk, N.Y., USA.
- Irie, Y., ve Nakamura, K. (2000). Dynamic characteristics of a r/c building of five stories based on microtremor measurements and earthquake observations. In *12th world conference of earthquake engineering (WCEE), Auckland, Australia*.
- Jordanian National Building Council (2005). Jordanian National Building Code for Earthquake-Resistant Buildings, Amman, Jordan.

- Kaplan, O. (2017). Deprem ve Binalar. M. Tün (Ed.), *Temel Afet Bilgisi* içinde (s. 166-201). Eskişehir: Anadolu Üniversitesi Açıköğretim Yayınları.
- Kobayashi, H., Seo, K., Midorikawa, S. (1986). Estimated strong ground motions in Mexico city. *The Mexico Earthquake, Factors Involved and Lessons Learned* (ASCE); 55–69.
- Kobayashi, H., Vidal, F., Feriche, D., Samano, T., ve Alguacil, G. (1996). Evaluation of dynamic behaviour of building structures with microtremors for seismic microzonation mapping. In *Proceedings of the 11th world conference in earthquake engineering, Acapulco, México*.
- Koçak, A. ve Yıldırım, M. K. (2011). Effects of infill wall ratio on the period of reinforced concrete framed buildings. *Advances in Structural Engineering*, 14(5), 731-743.
- Kose, M. M. (2009). Parameters affecting the fundamental period of RC buildings with infill walls. *Engineering Structures*, 31(1), 93-102.
- Lachetl, C. ve Bard, P. Y. (1994). Numerical and theoretical investigations on the possibilities and limitations of Nakamura's technique. *Journal of Physics of the Earth*, 42(5), 377-397.
- Lagomarsino, S. (1993). Forecast models for damping and vibration periods of buildings. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 48(2-3), 221-239.
- Masi, A., ve Vona, M. (2009). Estimation of the period of vibration of existing RC building types based on experimental data and numerical results. In *Increasing seismic safety by combining engineering technologies and seismological data* (pp. 207-225). Dordrecht, Springer.
- McVerry, G. H. ve Beck, J. L. (1983). Structural identification of JPL building 180 using optimally synchronized earthquake records. Report No EERL 83-01, Pasadena, California

- Meli, R., Faccioli, E., Muria-Vila, D., Quaas, R. ve Paolucci, R. (1998). A study of site effects and seismic response of an instrumented building in Mexico City. *Journal of earthquake engineering*, 2(01), 89-111.
- Messele, H., ve Tadese, K. (2002). The study of seismic behaviour buildings located on different site in Addis Ababa (Ethiopia) by using microtremors and analytical procedure. Joint study on microtremors and seismic microzonation in earthquake countries. In *Workshop to Exchange Research Information, Hakone-Gora, Kanagawa, Japan*.
- Michel, C. (2007). *Vulnérabilité Sismique de l'échelle du bâtiment à celle de la ville- Apport des techniques expérimentales in situ-Application à Grenoble* (Doctoral dissertation, Université Joseph-Fourier-Grenoble I).
- Michel, C., Guéguen, P., Lestuzzi, P., Bard, P. Y. (2010). Comparison between seismic vulnerability models and experimental dynamic properties of existing buildings in France. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 8(6), 1295-1307.
- Midorikawa, S. (1990). Ambient vibration tests of buildings in Santiago and Vina del Mar. A Report of the Chile-Japan Joint Study Project on Seismic Desing of Structures, *The Japan International Co-operation Agency*.
- Mikael, A., Gueguen, P., Bard, P. Y., Roux, P. ve Langlais, M. (2013). The analysis of long-term frequency and damping wandering in buildings using the Random Decrement Technique. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 103(1), 236-246.
- Mucciarelli, M., Masi, A., Gallipoli, M. R., Harabaglia, P., Vona, M., Ponso, F. ve Dolce, M. (2004). Analysis of RC building dynamic response and soil-building resonance based on data recorded during a damaging earthquake (Molise, Italy, 2002). *Bulletin of the Seismological Society of America*, 94(5), 1943-1953.
- Nakamura, Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. *Railway Technical Research Institute, Quarterly Reports*, 30(1).

- Navarro M, Sa'nchez F, Feriche M, Vidal F, Enomoto T, Iwatate T, Matsuda I, Maeda T (2002) Statistical estimation for dynamic characteristics of existing buildings in Granada, Spain, using microtremors. *Struct Dyn Eurodyn 1*, 807–812.
- Navarro, M., ve Oliveira, C. S. (2004). Evaluation of dynamic characteristics of reinforced concrete buildings in the City of Lisbon. *Proceedings of the 4th assembly of the Portuguese–Spanish of geodesy and geophysics, Figueira da Foz, Portugal*.
- Navarro, M., Vidal, F., Enomoto, T., Alcalá, F. J., García-Jerez, A., Sánchez, F. J., Abeki, N. (2007). Analysis of the weightiness of site effects on reinforced concrete (RC) building seismic behaviour: The Adra town example (SE Spain). *Earthquake engineering & structural dynamics*, 36(10), 1363-1383.
- NBCC (2005). National Building Code of Canada 2005. National Research Council of Canada, Ottawa, Ontario.
- NEHRP (1994). Recommended provisions for the development of seismic regulations for new buildings. Building Seismic Safety Council. Washington. D.C.
- Oliveira CS (2004) Actualizacaodas bases-de-dados sobre frequencias proprias de estruturas de edificios, pontes, viadutos e passagens de peoes a partir de medicoes expeditas in situ. In *5th Portuguese conference on earthquake engineering, University of Minho, Guimaraes (Portekizce)*.
- Oliveira, C. S. ve Navarro, M. (2010). Fundamental periods of vibration of RC buildings in Portugal from in-situ experimental and numerical techniques. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 8(3), 609-642.
- Orhan, A., Seyrek, E. ve Tosun, H. (2007). A probabilistic approach for earthquake hazard assessment of the Province of Eskisehir, Turkey. *Natural Hazards and Earth System Science*, 7(5), 607-614.
- Özcan, G. (2013). *Yapıların Dinamik Özelliklerinin Mikrotremor Ölçümleri ile Belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Denizli: Pamukkale Üniversitesi.

- Pan, T. C., Goh, K. S. ve Megawati, K. (2014). Empirical relationships between natural vibration period and height of buildings in Singapore. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 43(3), 449-465.
- Pekkan, E., Tun, M., Guney, Y., ve Mutlu, S. (2015). Integrated seismic risk analysis using simple weighting method: the case of residential Eskisehir, Turkey. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 15(6), 1123.
- Salameh, C., Guillier, B., Harb, J., Cornou, C., Bard, P. Y., Voisin, C., Mariscal, A. (2016). Seismic response of Beirut (Lebanon) buildings: instrumental results from ambient vibrations. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 14(10), 2705-2730.
- Sánchez, F. J., Navarro, M., García, J. M., Enomoto, T., Vidal, F. (2002). Evaluation of seismic effects on buildings structures using microtremor measurements and simulation response. *Structural Dynamics, Eurodyn2002*, 2, 1003-1008.
- Satake, N., ve Yokota, H. (1996). Evaluation of vibration properties of high-rise steel buildings using data of vibration tests and earthquake observations. *Journal of wind engineering and industrial aerodynamics*, 59(2-3), 265-282.
- Şahin, A. (2009). *Yapıların Deneysel ve Operasyonel Modal Analizleri için Sayısal Sinyal İşleme, Dinamik Karakteristik Belirleme ve Sonlu Eleman Model İyileştirme Yazılımları: SignalCAD - ModalCAD - FemUP*. Doktora Tezi. Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi.
- SEAOC (1996). Recommended lateral force requirements and commentary. Seismological Committee. Structural Engineers Association of California, San Francisco, California.
- STA4CAD v13.1, STA Bilgisayar Mühendislik ve Müşavirlik Ltd.Şti., 2013.
- Tetik, D. (2007). *Dolgu Duvarların Betonarme Yapıların Serbest Titreşimine Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Trifunac, M. D. (1972). Comparisons between ambient and forced vibration experiments. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 1(2), 133-150.

Todorovska, M. I. (2009). Seismic interferometry of a soil-structure interaction model with coupled horizontal and rocking response. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 99(2A), 611-625.

TS 500. (2000). *Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları*. Türk Standartları Enstitüsü

Türker, T. (2011). *Çevresel Titreşim Verileri Kullanılarak Yapıların Hasar Durumlarının Tespiti ve Değerlendirilmesi*. Doktora Tezi. Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi.

Uniform Building Code (UBC), (1997). International conference of building officials, Whittier, California, USA.

Warnitchai, P. (2004). Development of seismic design requirements for buildings in Bangkok against the effects of distant large earthquakes. In *Proceedings of the 13th world conference on earthquake engineering, Vancouver*.

**http-1:** [http://www.teknikdestek.com.tr/tr/urun/13/sensebox702x-703x-?category\\_id=8](http://www.teknikdestek.com.tr/tr/urun/13/sensebox702x-703x-?category_id=8) (Erişim Tarihi: 24.11.2017)

**http-2:** <http://www.guralp.com/documents/DAS-T60-0002.pdf> (Erişim Tarihi: 24.11.2017)

**http-3:** <http://www.guralp.com/documents/DAS-050-0007.pdf> (Erişim Tarihi: 24.11.2017)

**http-4:** <http://www.guralp.com/sw/scream.shtml> (Erişim Tarihi: 09.12.2017)

**http-5:** [www.geopsy.org](http://www.geopsy.org) (Erişim Tarihi: 09.12.2017)

## ÖZGEÇMİŞ

Adı-Soyadı : Onur KAPLAN  
Yabancı Dil : İngilizce  
Doğum Yeri ve Yılı : Ankara, 1980  
E-Posta : onur\_kaplan@anadolu.edu.tr

### Eğitim ve Mesleki Geçmişi:

- 2004, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü
- 2007, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı A.B.D.
- 2004-2005, İnşaat Mühendisi, Şiba Mühendislik
- 2005-2007, İnşaat Mühendisi, Yöntem Yapı Denetim A. Ş.
- 2008-2009, İnşaat Mühendisi, Anıl Prefabrik
- 2009-2010, İnşaat Mühendisi, Akropol Mühendislik
- 2010-2013, Sigorta Eksperi, Onur Kaplan Sigorta Eksperlik Hizmetleri

### Yayınları ve Bilimsel/Sanatsal Faaliyetleri:

- Kaplan, O., Güney, Y., Topcu, A., & Özçelikors, Y. (2017). A rapid seismic safety assessment method for mid-rise reinforced concrete buildings. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 1-27.
- Cengiz, A. E., Güney, Y., Kaplan, O., Topçu, A., Özçelikörs, Y., & Ekin, E. (2012). Structural Defects of Existing RC Buildings in Eskisehir Province. In *Applied Mechanics and Materials* (Vol. 147, pp. 145-148). Trans Tech Publications.

### Mesleki Birlik/Dernek/Kuruluş Üyelikleri:

- 2004, İnşaat Mühendisleri Odası, Eskişehir
- 2015, Türkiye Deprem Mühendisleri Derneği