



**BETONARME BİR BİNADA
EŞDEĞER BASINÇ ÇUBUĞU YAKLAŞIMININ
ÇEVRESEL TİTREŞİM ÖLÇÜMLERİNDEN
YARARLANILARAK İRDELENMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

**Hasan Celil YELKEN
Eskişehir 2020**

**BETONARME BİR BİNADA EŞDEĞER BASINÇ ÇUBUĞU YAKLAŞIMININ
ÇEVRESEL TİTREŞİM ÖLÇÜMLERİNDEN YARARLANILARAK
İRDELENMESİ**

Hasan Celil YELKEN

Yüksek Lisans Tezi

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Bilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Onur KAPLAN

Eskişehir

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Ağustos 2020

ÖZET

BETONARME BİR BİNADA EŞDEĞER BASINÇ ÇUBUĞU YAKLAŞIMININ ÇEVRESEL TİTREŞİM ÖLÇÜMLERİNDEN YARARLANILARAK İRDELENMESİ

Hasan Celil YELKEN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Bilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Ağustos 2020

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Onur KAPLAN

Eşdeğer basınç çubuğu yaklaşımının gerçek binalarda ne denli etkin olduğunu araştıran çalışmalarda yaygın olarak başvurulmuş yöntem; binanın dinamik karakteristiklerinin çevresel titreşim ölçümleri ile belirlenmesi ve bu veriler kullanılarak binanın nümerik modelinin oluşturulmasıdır. Oluşturulan nümerik modelde dolgu duvarlar eşdeğer basınç çubuğu ile tanımlanmakta ve çeşitli irdelemeler yapılmaktadır. Çevresel titreşim ölçümü ile belirlenen bina temel periyotları referans alınmakta ve malzeme özellikleri güncellenerek; nümerik modelin periyotları ve mod şekilleri, çevresel titreşim ölçümü ile belirlenen bina temel periyotları ve mod şekilleri ile eşleştirilmeye çalışılmaktadır. Literatürdeki mevcut çalışmalar incelendiğinde; bu işlemin genelde bitmiş ve hatta iskân edilmiş binalarda yapılan çevresel titreşim ölçümleri ile yapıldığı görülmektedir. Tamamen bitmiş ve hatta iskân edilmiş bir binanın nümerik modelini oluşturmak ve bu modeli çevresel titreşim ölçümü sonuçlarına göre kalibre etmek, aynı anda birden çok parametrenin belirlenmesini gerektirdiğinden son derece güç hatta imkânsız olabilmektedir. Bu çalışmada bu sorunun üstesinden gelebilmek amacıyla, beş katlı betonarme bir binada, önce karkas aşamasında iken ve sonra dolgu duvarlar örülmüş fakat henüz sıvanmamış halde iken çevresel titreşim ölçümleri yapılmış ve binanın doğal periyotları ve mod şekilleri belirlenmiştir. Oluşturulan nümerik modeller, ölçüm sonuçlarıyla kalibre edilerek beton ve sıvasız dolgu duvar için elastisite modülü değerleri sırasıyla belirlenmiştir. İrdelenen binada, betonarme çerçeve içinde bulunan boşluksuz dolgu duvarlar belirlenmiş, bu duvarların betonarme çerçeveye rijit bağlı katı cisim olarak tanımlandığı nümerik model ile eşdeğer diyagonal basınç çubuklu nümerik model, periyot değerleri ve mod şekilleri bakımından karşılaştırılmıştır. Eşdeğer basınç

Çubuklu modelin burulma periyodunun %21, x yönü ötelenme periyodunun %9 ve y yönü ötelenme periyodunun %11 daha uzun olduğu görülmüştür. Ayrıca, eşdeğer diyagonal basınç çubuğu genişliği için literatürde önerilen farklı formüller kullanılarak nümerik modeller oluşturulmuş, bu nümerik modeller periyot ve mod şekilleri bakımından birbirleriyle karşılaştırılmış ve sonuçların birbirine çok yakın olduğu görülmüştür.

Anahtar Sözcükler: Dolgu Duvar, evresel titreşim lm, Temel periyot, Eşdeğer diyagonal basınç ubuęu



ABSTRACT

INVESTIGATION OF EQUIVALENT DIAGONAL STRUT APPROACH IN AN RC BUILDINGS BY USING AMBIENT VIBRATION MEASUREMENTS

Hasan Celil YELKEN

Department of Civil Engineering

Programme in Structure

Eskişehir Technical University, Institute of Graduate Programs, August 2020

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Onur KAPLAN

The method commonly used in studies investigating how effective the equivalent diagonal strut approach is in real buildings; Determining the dynamic characteristics of the building by ambient vibration measurements and composing a numerical model of the building using these data. In the composed numerical model, infill walls are defined with the equivalent diagonal strut approach, and various investigations are made. Fundamental building periods determined by ambient vibration measurement are taken as reference and material properties are updated; The periods and mode shapes of the numerical model are tried to be matched with the fundamental building periods and mode shapes determined by ambient vibration measurement. When the existing studies in the literature are examined; it is seen that this process is generally carried out by ambient vibration measurements conducted in completed buildings or even in the buildings that its residents are settled. Composing a numerical model of a fully finished or even an inhabited building and calibrating this model according to the ambient vibration measurement results can be extremely difficult, even impossible, as it requires determining more than one parameter at the same time. In this study, in order to overcome this problem, ambient vibration measurements were carried out in a five-story reinforced concrete building, first in the bare frame stage, and then when the infill walls were built but not yet plastered. The natural periods and mode shapes of the building were determined. The created numerical models were calibrated with the measurement results and the elasticity modulus of the concrete and unplastered infill wall were determined respectively. In the investigated building, the infill walls inside the reinforced concrete frames were determined and defined in the numerical model, in which these walls were defined as rigid bodies attached to the reinforced concrete frame, and the numerical model with the equivalent diagonal

strut approach were compared in terms of period values and mode shapes. It was observed that the torsional period of the equivalent diagonal strut model was 21% longer, the x-direction translational period was 9% and the y-direction translational period was 11% longer. Besides, numerical models were composed using different formulas suggested in the literature for the equivalent diagonal strut width, these numerical models were compared with each other in terms of period and mode shapes, and the results were found to be very close to each other.

Keywords: Infill wall, Ambient vibration measurement, Fundamental period, Equivalent diagonal strut.



TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması sırasında, bilgi ve birikimlerini benimle paylaşan, her türlü yol gösterici yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Onur KAPLAN'a, bilgi ve tecrübelerinden daima faydalandığım değerli hocam Prof. Dr. Yücel GÜNEY'e, çalışmayı titizlikle inceleyip görüş ve önerileri ile çalışmaya katkı sağlayan Dr. Öğr. Üyesi Onur TUNABOYU'na, çalışmada bana destek olan Araş. Gör. Canberk BOLAT'a, çalışma boyunca desteğini hiçbir şekilde benden esirgemeyen Mim. Buse BALOĞLU'na ve hayatım boyunca yanımda olan güzel aileme teşekkür ederim.

Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Bilim Dalı Yüksek Lisans öğrenimi süresince TÜBİTAK BİDEB 2210-A Yurt İçi Yüksek Lisans Burs Programı sayesinde almış olduğum karşılıksız burstan dolayı TÜBİTAK'a ayrıca teşekkürü bir borç bilirim.

Hasan Celil YELKEN

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 ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Eskişehir Teknik 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 sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Hasan Celil YELKEN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BAŞLIK SAYFASI	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR	vii
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
TABLolar DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
GÖRSELLER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xv
GİRİŞ	1
1. LİTERATÜR TARAMASI.....	3
2. ÇALIŞMANIN AMACI VE KAPSAMI.....	7
3. DOLGU DUVARLARI NÜMERİK MODELLEME YÖNTEMLERİ.....	10
3.1. Mikro Modelleme	10
3.2. Makro Modelleme	11
4. EŞDEĞER DİYAGONAL BASINÇ ÇUBUĞU GENİŞLİĞİ ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	13
5. DENEYSEL ÇALIŞMA	18
5.1. Mevcut Binanın Özellikleri	20
5.2. Çevresel Titreşim Ölçümü.....	23
5.2.1. Titreşim ölçümünde kullanılan cihazlar	24
5.2.2. Ölçüm verilerinin alınması ve işlenmesi.....	25
6. NÜMERİK UYGULAMA.....	29

6.1. Binanın Karkas Nümerik Modelinin Oluşturulması ve Kalibrasyonu.....	29
6.1.1. Binanın karkas nümerik modelinin modal analiz sonuçları	31
6.2. Binanın Sıvasız Bitmiş Dolgu Duvarlı Modelinin Oluşturulması ve Kalibrasyonu	33
6.2.1. Binanın sıvasız bitmiş dolgu duvarlı nümerik modelinin modal analizi ve sonuçları	36
6.3. Binanın Çerçeve İçi Boşluksuz Dolgu Duvarlı Nümerik Modelinin Oluşturulması.....	39
6.4. Binanın Çerçeve İçinde Yer Alan Eşdeğer Diyagonal Basınç Çubuklu Nümerik Modelinin Oluşturulması	41
6.5. Çerçeve İçi Boşluksuz Dolgu Duvarlı Nümerik Model İle Eşdeğer Diyagonal Basınç Çubuklu Nümerik Modelin Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	43
7. EŞDEĞER DİYAGONAL BASINÇ ÇUBUĞU İÇİN ÖNERİLEN FORMÜLLERİN MEVCUT BİNA İÇİN KARŞILAŞTIRILMASI.....	46
8. ÖRNEK BİR STATİK-BETONARME HESAP YAZILIMI İLE OLUŞTURULAN ÇERÇEVE İÇİ BOŞLUKSUZ DOLGU DUVARLI MODELİN İRDELENMESİ	53
9. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	56
KAYNAKÇA.....	58
ÖZGEÇMİŞ	

TABLÖLER DİZİNİ

Sayfa

Tablo 5.1. Güralp CMG-6TD hızölçer özellikleri	25
Tablo 6.1. Karkas nümerik modele ait kütle katılım yüzdeleri.....	32
Tablo 6.2. Binanın karkas haline ait periyot değerleri	33
Tablo 6.3. FEMA 356 (2000)'ya göre dolgu duvar basınç dayanımları.....	35
Tablo 6.4. Sıvasız bitmiş dolgu duvarlı nümerik modele ait kütle katılım yüzdeleri.....	38
Tablo 6.5. Sıvasız bitmiş dolgu duvarlı modele ait periyot değerleri	39
Tablo 6.6. Çerçeve içi dolgu duvarlı nümerik modellerin periyot karşılaştırması.....	44
Tablo 7.1. Mainstone (1974) ve Stafford Smith and Carter (1969) periyot sonuçları.....	47
Tablo 7.2. Mainstone (1974) ve Holmes (1961) periyot sonuçları	48
Tablo 7.3. Mainstone (1974) ve Paulay and Priestly (1992) periyot sonuçları.....	49
Tablo 7.4. Mainstone (1974) ve Liauw and Kwan (1984) periyot sonuçları.....	50
Tablo 7.5. Mainstone (1974) ve Durrani and Luo (1994) periyot sonuçları.....	51
Tablo 7.6. Eşdeğer diyagonal basınç çubuğu için periyot karşılaştırmaları	51
Tablo 8.1. Sta4Cad ile oluşturulan nümerik modellerin periyot değerleri.....	55
Tablo 8.2. Sta4Cad modelinin, Abaqus ile oluşturulan çerçeve içi boşluksuz dolgu duvarlı modeller ile karşılaştırılması	55

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Sonlu elemanlar ağ modeli (Uçar ve Öztürkoğlu, 2018).....	10
Şekil 3.2. Dolgu duvar için kullanılan eşdeğer diyagonal basınç çubuğu gösterimi.....	11
Şekil 3.3. Eşdeğer diyagonal basınç çubuğu genişliği için gerekli parametreler	12
Şekil 5.1. Tez çalışmasında izlenilen adımları içeren akış şeması	19
Şekil 5.2. Normal Kat Şematik Kalıp Planı.....	22
Şekil 5.3. Normal Kat Şematik Mimari Planı.....	22
Şekil 5.4. Operasyonel Model Analiz uygulama aşamaları.....	24
Şekil 5.5. Sensörlerin bina içerisindeki yerleşim planı	26
Şekil 5.6. Artemis yazılımı ile elde edilen spektral yoğunluk fonksiyonu	28
Şekil 6.1. Binanın karkas nümerik modeli	29
Şekil 6.2. Abaqus yazılımında betonun malzeme özellikleri	30
Şekil 6.3. Karkas nümerik modelin burulma modu.....	31
Şekil 6.4. Karkas nümerik modelin X yönü ötelenme modu.....	31
Şekil 6.5. Karkas nümerik modelin Y yönü ötelenme modu.....	32
Şekil 6.6. Binanın sıvasız bitmiş dolgu duvarlı nümerik modeli.....	34
Şekil 6.7. Abaqus yazılımında sıvasız dolgu duvarın malzeme özellikleri	36
Şekil 6.8. Sıvasız bitmiş dolgu duvarlı nümerik modelin burulma modu	37
Şekil 6.9. Sıvasız bitmiş dolgu duvarlı nümerik modelin Y yönü ötelenme modu.....	37
Şekil 6.10. Sıvasız bitmiş dolgu duvarlı nümerik modelin X yönü ötelenme modu.....	38
Şekil 6.11. (a) Binanın çerçeve içi boşluksuz dolgu duvarlarının plan üzerindeki yerleri (Zemin kat), (b) Binanın çerçeve içi boşluksuz dolgu duvarlarının plan üzerindeki yerleri (Normal kat)	40
Şekil 6.12. Binanın çerçeve içi boşluksuz dolgu duvarlı nümerik modeli	41
Şekil 6.13. Binanın eşdeğer diyagonal basınç çubuklu nümerik modeli.....	42
Şekil 6.14. Eşdeğer diyagonal basınç çubuklarının genişliklerinin gösterimi.....	42
Şekil 6.15. Çerçeve içi boşluksuz dolgu duvarlı nümerik modelin burulma modu.....	43
Şekil 6.16. Çerçeve içi boşluksuz dolgu duvarlı nümerik modelin X yönü ötelenme modu.....	43
Şekil 6.17. Çerçeve içi boşluksuz dolgu duvarlı nümerik modelin Y yönü ötelenme modu.....	44
Şekil 7.1. Stafford Smith and Carter (1969) ile oluşturulan nümerik model.....	46

Şekil 7.2. Holmes (1961) ile oluşturulan nümerik model.....	47
Şekil 7.3. Paulay and Priestly (1992) ile oluşturulan nümerik model	48
Şekil 7.4. Liauw and Kwan (1984) ile oluşturulan nümerik model	49
Şekil 7.5. Durrani and Luo (1994) ile oluşturulan nümerik model	50
Şekil 8.1. Sta4Cad ile oluşturulan karkas nümerik model.....	53
Şekil 8.2. Sta4Cad ile oluşturulan çerçeve içi boşluksuz dolgu duvarlı nümerik model ve dolgu duvarların yerleşimlerinin gösterimi	54



GÖRSELLER DİZİNİ

Sayfa

Görsel 5.1. Binanın karkas halinin görüntüsü	20
Görsel 5.2. Binanın sıvasız bitmiş dolgu duvarlı halinin görüntüsü	21
Görsel 5.3. Güralp CMG-6TD hızölçer ve diğer ekipmanlar (Kaplan, 2017)	25
Görsel 5.4. Sensörlerin kayıt öncesi senkronize ve kontrol edilmesi	27



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

d	: Dolgu duvar köşegen uzunluğu
DBYBHY	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
Ec	: Beton elastisite modülü
Einf	: Dolgu duvar elastisite modülü
FEMA	: Federal Emergency Management Agency
h	: Dolgu duvar yüksekliği
H	: Kiriş eksenleri arasında kalan kolon yüksekliği
Ib	: Kiriş atalet momenti
Ic	: Kolonun atalet momenti
l	: Dolgu duvar yatay uzunluğu
L	: Kolon eksenleri arasında kalan kiriş uzunluğu
OMA	: Operasyonel Modal Analiz
t	: Dolgu duvar ve eşdeğer diyagonal basınç çubuğu kalınlığı
w	: Eşdeğer diyagonal basınç çubuğu genişliği
λ	: Dolgu duvar ile çerçevenin göreceli rijitliğini ifade eden katsayı
θ	: Eşdeğer diyagonal basınç çubuğunun yatayla yaptığı açı
γ	: Dolgu duvarın rijitliğini ifade eden katsayı

1. GİRİŞ

Ülkemizde ve dünyada, betonarme binalardaki dolgu duvarlar, genellikle mimari bölümleri birbirinden ayırmak ve farklı yaşam alanları oluşturmak için kullanılmaktadır. Betonarme bina projelendirme aşamasında çalışan inşaat mühendisleri, dolgu duvarları yapısal olmayan elemanlar olarak değerlendirmektedir. Genellikle dolgu duvarlar, nümerik modellerde yalnızca kütle olarak dikkate alınmakta, dolgu duvarların binanın yatay rijitliğine olan katkısı ihmal edilmektedir. Konu ile ilgili yapılan çalışmalar, dolgu duvarların binanın yatay rijitliğine ve genel olarak betonarme binaların davranışına olumlu ya da olumsuz önemli etkilerinin olduğunu ve mutlaka nümerik modellemede göz önüne alınmaları gerektiğini göstermiştir.

Dolgu duvarların modellenmesine yönelik çalışmalar 1950'li yıllara dayanmaktadır. Araştırmacılar, dolgu duvarları nümerik çalışmalarda modellemek için eşdeğer diyagonal basınç çubuğu ve sonlu elemanlar yöntemini kullanmışlardır. Çalışmalarda, sonlu elemanlar yönteminin uygulanmasının zorluğundan dolayı eşdeğer diyagonal basınç çubuğu daha çok tercih edilmiştir. Eşdeğer diyagonal basınç çubuğu yaklaşımı, genel olarak laboratuvar ortamında oluşturulmuş ölçekli çerçeve deneylerinin sonuçlarına dayanarak geliştirilmiş bir yöntemdir. Konu ile ilgili yapılan ilk çalışmalarda, genelde çelik çerçeveler içinde kalan dolgu duvarlar modellenmeye çalışılmış, zaman içinde davranışı çelik çerçevelere göre daha karmaşık olan betonarme çerçeveler ile çalışmalar devam etmiştir.

Laboratuvar ortamında yapılan deneyler dışında, gerçek binalarda da dolgu duvarların binanın yatay rijitliğine katkısının irdelenmesi amacıyla ölçümler yapılabilmektedir. Bu ölçümlerden en yaygın kullanılanı Operasyonel Modal Analiz yöntemidir. Operasyonel Modal Analiz yönteminde; rüzgar, insan ve taşıt hareketleri gibi çevresel etkiler binanın titreşimine sebep olmakta, bu titreşimlere binanın verdiği tepki sinyalleri ölçülmekte ve bu sinyallerin spektral yoğunluk fonksiyonlarından binanın temel periyot değerleri ve mod şekilleri elde edilmektedir. Çevresel etkiler yardımıyla yapılan bu ölçüme Çevresel Titreşim Ölçümü adı verilmektedir.

Yapılan çalışmalar, binanın nümerik modelinin, binanın gerçek davranışına yakın bir davranış gösterebilmesi için nümerik modelde kullanılan malzemelerin gerçeğe yakın olarak modellenmesi gerektiğini ortaya koymuştur. Malzeme özellikleri, laboratuvar deneyleri ile belirlenebilmektedir. Ancak binanın inşa aşamasındaki bazı faktörler;

malzeme kalitesi, şantiyelerdeki uygulama farklılıkları, çevre koşulları ve uygulamayı yapan kişi gibi etkiler, laboratuvar ortamındaki durum ile şantiye ortamındaki durumun birbirinden farklı olmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle malzeme özelliklerinin yerinde yapılacak ölçümler ile belirlenebilmesi (tahmin edilebilmesi) gerekmektedir. Çevresel titreşim ölçümü sonuçları yardımıyla nümerik model sonuçları güncellenerek kullanılan malzemelerin özellikleri gerçeğe yakın olarak belirlenebilmektedir. Çevresel titreşim ölçümü sonuçları yardımıyla nümerik modelin güncellenme işlemi model kalibrasyonu olarak adlandırılmaktadır. Model kalibrasyonu ile iyileştirilen nümerik model, binanın dinamik davranışını gerçeğe yakın bir şekilde yansıtabilmektedir.



1. LİTERATÜR TARAMASI

Dolgu duvarların binanın davranışına olan etkisi birçok araştırmacı tarafından hem deneysel hem de nümerik olarak incelenmiştir. Bu çalışmalardan bir bölümü de binalarda gerçekleştirilen çevresel titreşim ölçümleri ile yapılan çalışmalardır. Çevresel titreşim ölçümleri ile binaların dinamik parametreleri belirlenerek dolgu duvarların bu parametreler üzerindeki etkileri irdelenmeye çalışılmıştır.

Tetik (2007) çalışmasında, ülkemizde sıkça rastlanan türde bir binanın boşluksuz ve boşluklu dolgu duvarlı nümerik modellerini üretmiştir. Dolgu duvarları eşdeğer diyagonal basınç çubuğu ile modellemiştir. Üretilen nümerik modellerin periyot sonuçlarını karşılaştırmıştır. Çalışmaya ek olarak, 12 adet binada çevresel titreşim ölçümü yapmış, bu binaların boşluksuz ve boşluklu dolgu duvarlı nümerik modellerini oluşturmuştur. Nümerik modellerin analiz sonuçlarını deneysel ölçüm sonuçlarıyla karşılaştırmıştır. Dolgu duvarların binanın dinamik davranışını büyük ölçüde etkilediği, binanın rijitliğini arttırdığı ve bunun sonucunda bina periyodunda azalmaya sebep olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Güler vd. (2008), 12 katlı betonarme bir binada karkas, sıvasız ve sıvalı dolgu duvarlı halde olmak üzere üç farklı durumda çevresel titreşim ölçümü yapmışlar ve periyot sonuçlarını elde etmişlerdir. Üç farklı durum için binanın nümerik modellerini oluşturmuşlardır. Bu kapsamda, dolgu duvarlar eşdeğer diyagonal basınç çubuğu ile modellenmiştir. Nümerik modellerin analizi sonucu bulunan periyot sonuçları ile deneysel olarak belirlenen periyot değerleri birbiriyle karşılaştırılmıştır. Sonuçlar doğrultusunda bir ampirik periyot formülü önerilmiştir. Çalışmada ek olarak, Tetik (2007)'nin çevresel titreşim ölçümü yaptığı beş adet bina seçilerek, ölçüm sonuçlarıyla önerilen ampirik formül sonuçları karşılaştırılmış, ampirik formülün uyumlu sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

Bayraktar vd. (2010) yaptıkları çalışmada, karkas, duvarlı ve tamamlanmış olmak üzere üç farklı binada çevresel titreşim ölçümü yapmışlar ve binaların temel periyotlarını, mod şekillerini ve sönüm oranlarını bulmuşlardır. Ampirik periyot bağıntılarıyla binaların birinci temel periyotlarını bulmuşlar ve deneysel sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Çalışma sonucunda, ampirik periyot bağıntıları kullanılarak hesaplanan birinci periyot değerlerinin, çevresel titreşim ölçümü sonucunda elde edilen birinci temel periyot değerlerinden yaklaşık %30 oranında daha düşük olduğu görülmüştür.

Demetriu vd. (2012), beş katlı dolgu duvarlı bir binada çevresel titreşim ölçümü yapmış, binanın temel periyotlarını ve mod şekillerini bulmuşlardır. Binanın nümerik modelini oluşturmuş ve modal analizini yapmışlardır. Deneysel olarak bulunan sonuçlar ile nümerik model sonuçları karşılaştırılmıştır. Çalışma sonunda, nümerik modelin deneysel sonuçlarla kalibre edilmesi ile binayı temsil eden gerçekçi bir nümerik modelinin ortaya konulabileceği sonucuna varılmıştır.

Al-Nimry vd. (2014), dolgu duvarlı betonarme binaların periyotlarını çevresel titreşim ölçümü, ampirik periyot formülleri ve nümerik analizler yardımıyla belirlemeye çalışmışlardır. Çalışmada, yüksekliği bir ile altı kat arasında değişen 15 adet binada çevresel titreşim ölçümleri yapılmıştır. Dolgu duvarlar eşdeğer diyagonal basınç çubuğu ile modellenerek binaların nümerik modelleri üretilmiş ve modal analizleri yapılmıştır. Çalışma sonucunda, nümerik modellerin periyot sonuçlarının, çevresel titreşim ölçümleri ve ampirik periyot formüllerinden elde edilen periyot sonuçlarıyla büyük farklar gösterdiği ortaya konmuştur.

Boru ve Kutanis (2015)'in yaptığı çalışmada, 1975 deprem yönetmeliğine göre tasarlanmış konut tipi betonarme bir bina incelenmiştir. Binada çevresel titreşim ölçümü yapılmış ve binanın temel periyotları ve sönüm oranları belirlenmiştir. Sonraki aşamada, binanın nümerik modeli oluşturularak modal analizi yapılmış ve bulunan sonuçlar birbiriyle karşılaştırılmıştır. Nümerik model deneysel sonuçlara göre kalibre edilmiştir. Sonuç olarak, çevresel titreşim ölçümü ile binaların gerçek dinamik özelliklerinin belirlenebileceği ve nümerik model kalibrasyonu ile binaları daha iyi şekilde temsil edebilen nümerik modeller elde edilebileceği sonucuna varılmıştır.

Aras (2015)'in çalışmasında 6 katlı betonarme bir bina incelenmiştir. Binada çevresel titreşim ölçümü yapılmış ve binanın temel periyotları ve mod şekilleri belirlenmiştir. Sonraki adımda, binanın dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız nümerik modelleri oluşturulmuş ve modal analizleri yapılmıştır. Nümerik model sonuçları ile çevresel titreşim ölçümü sonuçları karşılaştırılmıştır. Nümerik model, çevresel titreşim ölçümü sonuçlarıyla kalibre edilmiştir. Çalışma sonucunda, dolgu duvarların binanın dinamik özelliklerini belirlemede önemli rol oynadığı sonucuna varılmıştır.

Yetkin (2016), konut tipi betonarme bir binanın Operasyonel Modal Analiz yöntemiyle dinamik karakteristiklerini belirleyerek, gerçekçi bir nümerik modelini elde

etmeye çalışmıştır. Bu kapsamda, binada çevresel titreşim ölçümü yapılmıştır. Dolgu duvarlar eşdeğer diyagonal basınç çubuğu ile modellenerek binanın nümerik modeli üretilmiştir. Nümerik modelin modal analizi yapılmış, elde edilen periyot değerleri ve mod şekilleri, çevresel titreşim ölçümü sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Daha sonra çevresel titreşim ölçümü sonuçları ile nümerik modelde güncelleme yapılmıştır. Güncellenen nümerik model sonuçlarının, deneysel sonuçlar ile uyum içerisinde olduğu görülmüştür. Çalışma, Operasyonel Modal Analiz yöntemi ile betonarme binaların dinamik karakteristiklerinin elde edilebileceğini ve binaları temsil eden gerçekçi nümerik modellerin oluşturulabileceğini göstermiştir.

Soysal (2019)'ın çalışmasında, 10 katlı betonarme bir bina karkas halde iken çevresel titreşim ölçümü yapılmış ve binanın temel periyotları ve mod şekilleri belirlenmiştir. Aynı binanın dolgu duvarları, sıva, boya, duvar kaplamaları ve zemin kaplamaları tamamlanmış bir şekilde tekrar çevresel titreşim ölçümü yapılmıştır. Binanın farklı paket programlar yardımıyla nümerik modelleri üretilip modal analizleri yapılmıştır. Nümerik modellerin sonuçları ile deneysel sonuçlar birbiriyle karşılaştırılmıştır. Çalışma sonunda dolgu duvarların binanın düşey yükünü arttırmasına karşılık yatay rijitliğini de arttırdığından dolayı bina periyodunun düştüğü görülmüştür. Paket programların doğru sonuç vermesi için dolgu duvarların farklı dinamik etkilerinin de hesaba katılması gerektiği belirtilmiştir.

Sucar (2008) çalışma kapsamında, dört katlı bir betonarme bina tasarlamış ve 1975 deprem yönetmeliğine göre boyutlandırmış ve üç adet nümerik model üretmiştir. İlk nümerik model, dolgu duvarların sadece yük olarak hesaba katılacağı şekilde modellenmiştir. İkinci nümerik modelde, dolgu duvarlar eşdeğer diyagonal basınç çubuğu ile modellenmiştir. Üçüncü nümerik modelde ise zemin kattaki dolgu duvarlar ihmal edilecek şekilde dolgu duvarlar eşdeğer diyagonal basınç çubuğu ile modellenmiştir. Nümerik modeller, Eşdeğer Deprem Yüğü yöntemine göre analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda, dolgu duvarların taşıyıcı sistem davranışına olan etkilerinin incelenmesinde lineer olmayan hesap yöntemlerinin kullanılmasının gerçeğe daha yakın sonuçlar vereceği belirtilmiştir.

Tar (2010), beş katlı mevcut betonarme bir binanın dolgu duvarsız ve dolgu duvarlı nümerik modellerini oluşturarak periyotlarını karşılaştırmıştır. Bu doğrultuda, dolgu duvarları eşdeğer diyagonal basınç çubuğu ile modellemiş, basınç çubuğu için üç farklı

araştırmacı tarafından önerilen formülleri kullanarak farklı nümerik modeller üretmiştir. Nümerik modellerin analizi yapılmış ve periyot sonuçları karşılaştırılmıştır. Ek olarak, binanın kat sayısı artırılarak 10 ve 15 katlı nümerik modeller oluşturulmuştur. Oluşturulan nümerik modeller için, periyot ve kat yer değiştirmesi karşılaştırması yapılmıştır. Çalışma sonunda, nümerik modelin binayı gerçekçi şekilde temsil edebilmesi için, dolgu duvarın malzeme özelliklerinin doğru şekilde belirlenmesi gerektiği ortaya çıkmıştır.

Durmazgezer (2013) yaptığı çalışmada, dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız binaların çerçeve içi davranışını incelemiştir. Tek kat – tek açıklıklı, tek kat – iki açıklıklı, iki kat – iki açıklıklı ve beş kat – üç açıklıklı nümerik modeller oluşturmuştur. Dolgu duvarları modellemek için eşdeğer diyagonal basınç çubuğu (makro) modeli ve sonlu elemanlar ağ (mikro) modeli kullanmış ve bu modellerin karşılaştırmasını yapmıştır. Oluşturduğu nümerik modellerde, eşdeğer diyagonal basınç çubuğu için tekli, üçlü ve beşli çubuk modelleri kullanmıştır. Sonlu elemanlar ağ metoduna göre modellenen dolgu duvarlar için sonlu elemanlar ağ bölmelerinin sayısının artırılmasının ve eşdeğer diyagonal basınç çubuğu için basınç çubuğu sayısının artırılmasının nümerik modellerde daha hassas sonuçlar verdiği görülmüştür.

Aksoy ve Avşar (2015), dört katlı betonarme bir binada dolgu duvar etkisini araştırmışlardır. Çalışma kapsamında dolgu duvarsız, dolgu duvarlı ve kısmi dolgu duvarlı olmak üzere üç adet nümerik model oluşturulmuştur. Dolgu duvarlı nümerik modelde duvarlar, binanın kısa doğrultusunda yerleştirilmiştir. Kısmi dolgu duvarlı nümerik modelde ise duvarlar, binanın kısa doğrultusundaki en dış aksta yerleşmiştir. Nümerik modellerdeki dolgu duvarlar, eşdeğer diyagonal basınç çubuğu ile modellenmiştir. Oluşturulan nümerik modellerin modal analizi yapılarak, binanın dolgu duvarlı ve duvarsız nümerik modelleri arasındaki periyot değerleri, mod şekilleri ve kütle katılım oranları bulunmuştur. Kısmi dolgu duvarlı nümerik modelde ise burulma etkisi incelenmiş, dış aksta yerleştirilen dolgu duvarların bu akstaki kolonların kesme kuvvetlerinde artışa neden olduğu görülmüştür. Planda düzensiz yerleşen dolgu duvarların binada burulmaya sebep olabileceği ortaya konulmuştur.

2. ÇALIŞMANIN AMACI VE KAPSAMI

Literatür taraması bölümünde görüldüğü gibi birçok çalışmada dolgu duvarların betonarme binaların yatay rijitliğine olan katkısının belirlenebilmesi için çevresel titreşim ölçümlerinden faydalanılmıştır. Çevresel titreşim ölçümleri ile belirlenen dinamik parametreler, nümerik modellerin kalibrasyonu için kullanılmıştır. Kalibre edilmiş nümerik modeller, dolgu duvarların binanın yatay rijitliğine olan katkısının modellenmesi için yaygın olarak kullanılan eşdeğer diyagonal basınç çubuğu yaklaşımının irdelenmesi için son derece önemlidir.

Bir takım karşılaştırmalar yapmak için nümerik modellerden yararlanmak, bilimsel çalışmalarda sıkça başvurulmuş ve birçok durumda elzem olan bir yaklaşımdır. Fakat üretilen modellerin binanın gerçek davranışına yakınsayabilmesi için modellemede kullanılan geometri ve malzeme özellikleri (yoğunluk, elastisite modülü vb.) gibi parametrelerin gerçeğe yakın olarak belirlenebilmesi gerekmektedir. Çevresel titreşim ölçümlerinden yararlanarak yapılan model kalibrasyonunda, çevresel titreşim ölçümü ile belirlenen bina temel periyotları referans alınmakta, nümerik modelin periyotları ve mod şekilleri, çevresel titreşim ölçümü ile belirlenen bina temel periyotları ve mod şekilleri ile eşleştirilmeye çalışılmaktadır.

Binanın temel periyodunu etkileyen en önemli parametreler binanın kütlesi ve rijitliğidir. Dolayısıyla nümerik modelde binanın kütlelerinin ve rijitliğinin, gerçeğe en yakın şekilde tanımlanabilmesi gerekmektedir. Bu noktada modellenmek istenen bina, kütle ve rijitlik açısından karmaşıklıktıkça modelin kalibrasyonu zorlaşmaktadır. Karkas haldeki bir binada gerçekleştirilen çevresel titreşim ölçümü ile yapılan model kalibrasyonunda, eğer taşıyıcı sistem geometrisi doğru olarak modellenmiş ise beton yoğunluğunda büyük bir sapma olmayacağı kabulü ile beton elastisite modülü değeri, ölçüm ve nümerik modelin periyotları eşleştirilerek tahmin edilebilmektedir. Bununla beraber, tamamen bitmiş ve hatta iskân edilmiş bir binanın nümerik modelini oluşturmak ve bu modeli çevresel titreşim ölçümü sonuçlarına göre kalibre etmek son derece zor olmaktadır. Tamamen bitmiş bir binada, beton elastisite modülü ile birlikte duvar elastisite modülünün de belirlenmesi gerekmekte, ayrıca betonarme taşıyıcı sistem ve dolgu duvarlar dışında kalan; sıva, tesviye betonu, kaplama malzemeleri gibi ölü yüklerin ve bina hareketli yüklerinin, bina kütlesini belirlerken gerçeğe yakın bir şekilde

modellenmesi gerekmektedir. Aynı anda birden çok parametrenin belirlenmesi gereken bu durumda gerçekçi bir nümerik model üretmek oldukça zorlaşmaktadır.

Literatür taraması bölümünde de görüldüğü gibi, mevcut çalışmalarda genelde çevresel titreşim ölçümleri, iskân edilmiş binalarda gerçekleştirilmiştir. Bu durumda, binanın kütlelerini etkileyen tüm parametreleri modelleyerek dolgu duvar elastisite modülü değerinin gerçeğe yakın bir şekilde tahmin edilebilmesi çok zordur. Bu çalışmada, bu sorunun üstesinden gelebilmek amacıyla; betonarme bir bina, dolgu duvarları tamamlanmış ve sıvasız halde iken çevresel titreşim ölçümü yapılmış, böylece binaya etki eden ilave ölü ve hareketli yüklerden kaçınılarak sıvasız dolgu duvarın elastisite modülü değeri gerçeğe yakın olarak tahmin edilmeye çalışılmıştır. Çalışma kapsamında, Eskişehir ilinde yer alan beş katlı konut tipi betonarme bir binanın karkas ve sıvasız dolgu duvarlı halde iken çevresel titreşim ölçümleri yapılarak karkas ve sıvasız bitmiş dolgu duvarlı bina periyotları ve mod şekilleri belirlenmiştir. Binanın karkas halinin nümerik modeli oluşturulmuş ve modal analizi yapılmıştır. Binanın karkas nümerik modeli için çevresel titreşim ölçümü sonuçları dikkate alınacak şekilde, betonun elastisite modülü değeri tahmin edilerek, binanın karkas halinin temel periyodu ve mod şekilleri elde edilmiştir. Daha sonra binanın sıvasız bitmiş dolgu duvarlı halinin nümerik modeli oluşturulmuş ve modal analizi yapılmıştır. Binanın sıvasız bitmiş dolgu duvarlı nümerik modelinde beton elastisite modülü için daha önce bulunan değer kullanılmıştır. Sıvasız bitmiş dolgu duvarlı nümerik model için, çevresel titreşim ölçümü sonuçları dikkate alınarak, sıvasız dolgu duvar elastisite modülü değeri tahmin edilmiş ve binanın sıvasız bitmiş dolgu duvarlı halinin temel periyodu ve mod şekilleri elde edilmiştir. Sonraki aşamada, binanın mimari planı incelenerek betonarme çerçeveler arasındaki boşluksuz dolgu duvarlar belirlenmiş ve bu duvarların katı cisim olarak modellendiği çerçeve içi boşluksuz dolgu duvarlı nümerik model üretilmiştir. Bununla beraber, çerçeve içinde yer alan boşluksuz dolgu duvarlar, eşdeğer diyagonal basınç çubuğu ile modellenerek, eşdeğer basınç çubuklu nümerik model oluşturulmuştur. Oluşturulan iki nümerik modelde, beton ve sıvasız dolgu duvar elastisite modülü için daha önce tahmin edilen değerler kullanılmıştır. İki nümerik modelin modal analizleri yapılmış, periyot sonuçları ve mod şekilleri karşılaştırılmıştır. Daha sonra, eşdeğer diyagonal basınç çubuğu için literatürde farklı araştırmacılar tarafından önerilen genişlik formülleri kullanılarak farklı nümerik modeller oluşturulmuştur. Oluşturulan nümerik modellerin modal analizleri yapılmış ve periyot değerleri karşılaştırılmıştır. Çalışmaya ek olarak, inşaat mühendisleri

tarafından yaygın olarak kullanılan bir statik-betonarme hesap yazılımında, çerçeve içi boşluksuz dolgu duvarların yer aldığı bir nümerik model oluşturulmuştur. Yazılımın, dolgu duvarların rijitliğini ne ölçüde dikkate aldığı irdelenmiştir.

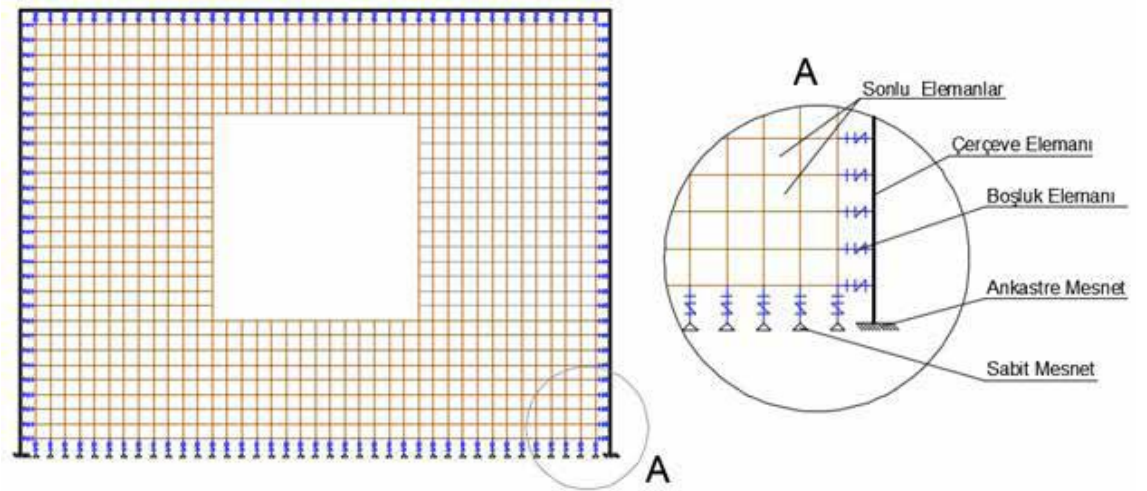


3. DOLGU DUVARLARI NÜMERİK MODELLEME YÖNTEMLERİ

Betonarme karkas binalarda dolgu duvarlar, mimari işlevleri belirlemek amacıyla bölme duvarlar olarak kullanılmaktadır. Analizlerde dolgu duvarların yapısal davranışa olan etkisi genelde dikkate alınmamaktadır. Gerçekte ise dolgu duvarlar binaların davranışını önemli ölçüde etkilemektedir. Araştırmacılar 1950’li yıllardan itibaren dolgu duvarları modellemek için farklı yöntemler geliştirmişlerdir. Bu yöntemler, mikro ve makro modeller olarak iki ana grupta toplanabilmektedir.

3.1. Mikro Modelleme

Mikro modelleme yöntemi, dolgu duvar – çerçeve etkileşimini gerçek anlamda detaylı bir şekilde yansıtmak için kullanılmaktadır. Her bir çerçeve içindeki dolgu duvar paneli sonlu elemanlar ağı ile modellenmektedir. Mikro modelleme yönteminde dolgu duvar panelindeki blokların ve harçların ayrı ayrı modellenmesi gerekmektedir. Şekil 3.1’de sonlu elemanlar ağı modeli gösterilmektedir.



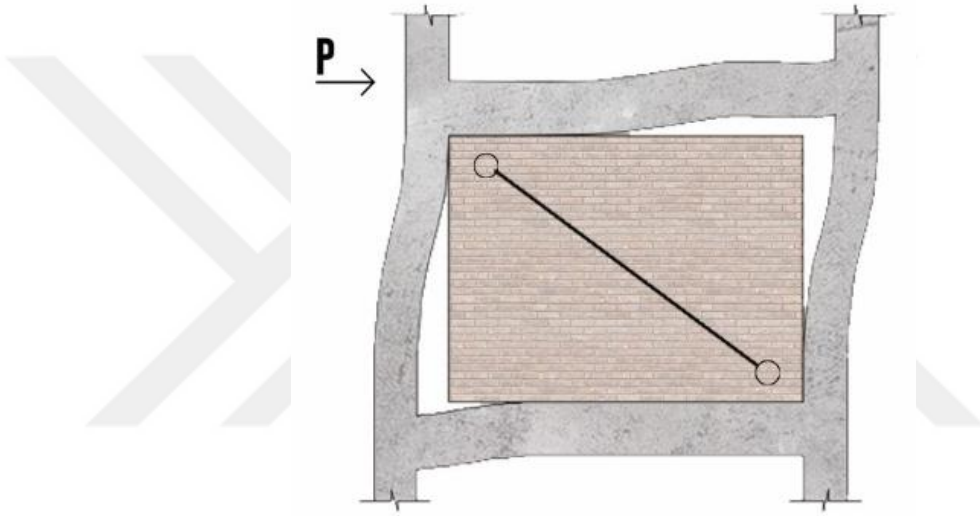
Şekil 3.1. Sonlu elemanlar ağı modeli (Uçar ve Öztürkoğlu, 2018)

Mikro modelleme için sonlu elemanlar yöntemi ilk olarak Mallick ve Savern (1967) tarafından kullanılmıştır. Sonlu elemanlar ağı ile çerçeve ve dolgu duvar etkileşimi modellenebilmekte, gerilme dağılımları belirlenebilmektedir. Dolgu duvar – çerçeve ara yüzünün doğru bir şekilde modellenmesi için en uygun sonlu eleman parçası seçilmelidir. Kullanılan sonlu elemanlar ağına bağlı olarak yapılan analizler uzun sürebilmektedir. Mikro modelleme yöntemi, dolgu duvarların yatay rijitliğe olan etkisini daha gerçekçi bir şekilde yansıtmaya rağmen, modelleme zorluğu ve yapılan analizlerin çok zaman

alması gibi dezavantajlarından dolayı araştırmacılar tarafından makro modelleme yöntemine göre daha az tercih edilmektedir.

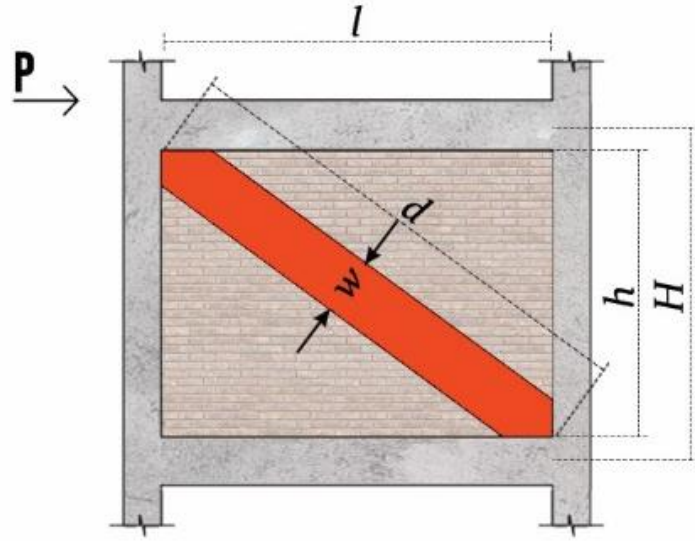
3.2. Makro Modelleme

Makro modelleme, çerçeve içindeki dolgu duvarı temsil eden diğer bir modelleme yöntemidir. Yatay yük etkisi altındaki çerçevedeki dolgu duvarın üzerindeki basınç gerilmesi yükün uygulandığı köşeden diğer köşeye doğru olmaktadır. Bu durumda çerçeve içindeki dolgu duvarın rijitliğini diyagonal olarak uzanan eşdeğer bir basınç çubuğu temsil etmektedir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Dolgu duvar için kullanılan eşdeğer diyagonal basınç çubuğu gösterimi

Eşdeğer diyagonal basınç çubuğunun malzeme özellikleri ve kalınlığı, dolgu duvar ile aynı alınmaktadır. Bu modelde asıl belirlenmesi gereken parametre basınç çubuğunun genişliğidir ve w ile gösterilmektedir. Şekil 3.3'te eşdeğer basınç çubuğu tanımlamak için gerekli parametreler yer almaktadır. Buradaki d dolgu duvarın köşegen uzunluğunu, l dolgu duvarın uzunluğunu, h dolgu duvarın yüksekliğini, H ise giriş eksenleri arasında kalan kolon yüksekliğini ifade etmektedir.



Şekil 3.3. Eşdeğer diyagonal basınç çubuğu genişliği için gerekli parametreler

Araştırmacılar, makro modellemenin mikro modelleme ile kıyaslandığında modellemenin kolay olması, analiz sürelerin kısa olması gibi nedenlerden dolayı eşdeğer diyagonal basınç çubuğu yöntemini daha çok kullanmışlardır. Baloevic vd. (2016) yaptıkları deneysel çalışmada mikro ve makro modelleme sonuçlarının birbiriyle uyumlu olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca birçok yönetmelikte eşdeğer diyagonal basınç çubuğu yöntemi kullanılarak dolgu duvarların modellenebileceği öngörülmektedir (DBYBHY (2007), FEMA 356 (2000)).

Bu tez çalışması kapsamında, literatürde sıklıkla kullanılması ve modelleme kolaylığından dolayı tekli eşdeğer diyagonal basınç çubuğu modeli ele alınacaktır.

4. EŞDEĞER DİYAGONAL BASINÇ ÇUBUĞU GENİŞLİĞİ ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Eşdeğer basınç çubuğu ile ilgili literatürdeki ilk çalışmalar Polyakov (1956)'ya dayanmaktadır. Polyakov yaptığı çalışmalarda, dolgu duvarlı bir çerçeveye düzlem içi yatay yükleme yapıldığında diyagonal olarak desteklenmiş bir sistem gözlemlemiştir. Bu kapsamda dolgu duvarın rijitliğini temsil eden “Eşdeğer Diyagonal Basınç Çubuğu” yönteminin kullanılmasının uygun olacağını belirtmiştir.

Holmes (1961), Polyakov (1956)'un yaptığı çalışmaları geliştirmiştir. Eşdeğer diyagonal basınç çubuğu genişliği için Denklem 4.1'i önermiştir. Buradaki d ifadesi dolgu duvarın diyagonal uzunluğunu belirtmektedir.

$$w = \frac{d}{3} \quad (4.1)$$

Stafford Smith ve Carter (1969), dolgu duvarın görelî rijitliğini temsil etmek için Denklem 4.2'de verilen bir λ katsayısı kullanmışlardır. Eşdeğer diyagonal basınç çubuğu genişliğinin bu katsayıya bağlı olduğunu belirtmişler, çubuk genişliği için Denklem 4.3'ü önermişlerdir. Denklem 4.4'te görülen θ değeri ise eşdeğer diyagonal basınç çubuğunun yatayla yaptığı açıyı göstermektedir.

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{E_{inf} \cdot t \cdot \sin 2\theta}{4 \cdot E_c \cdot I_c \cdot h}} \quad (4.2)$$

$$w = 0,58 \left(\frac{1}{h}\right)^{-0,445} (\lambda \cdot H)^{0,335} \cdot d \left(\frac{1}{h}\right)^{0,064} \quad (4.3)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{h}{l}\right) \quad (4.4)$$

Burada;

E_{inf} = Dolgu duvar elastisite modülü (N / mm²)

E_c = Çerçeve elastisite modülü (N / mm²)

t = Dolgu duvar ve eşdeğer diyagonal basınç çubuğu kalınlığı (mm)

θ = Eşdeğer diyagonal basınç çubuğunun yatayla yaptığı açı (derece)

I_c = Kolonun atalet momenti (mm⁴)

h = Dolgu duvar yüksekliği (mm)

l = Dolgu duvar uzunluğu (mm)

H = Kiriş eksenleri arasında kalan kolon yüksekliği (mm)

w = Eşdeğer diyagonal basınç çubuğu genişliği (mm)

Mainstone (1974), dolgu duvarlı çerçeveler için Stafford Smith ve Carter (1969)'ın önerdiği görelî rijitlik parametresi (λ) ni de kullanarak Denklem 4.5'i önermiştir.

$$w = 0,175(\lambda \cdot H)^{-0,4} \cdot d \quad (4.5)$$

Liau ve Kwan (1984), dolgu duvarlı çerçevelerin deneysel sonuçlarına dayanarak eşdeğer diyagonal basınç çubuğu genişliği için Denklem 4.6'yı önermişlerdir.

$$w = \frac{0,95 \cdot h \cdot \cos \theta}{\sqrt{\lambda \cdot h}} \quad (4.6)$$

Paulay ve Priestly (1992) yaptıkları çalışmada eşdeğer diyagonal basınç çubuğu genişliği için Denklem 4.7'nin yeterli olduğunu belirtmişlerdir.

$$w = 0,25 \cdot d \quad (4.7)$$

Durrani ve Luo (1994), dolgu duvar rijitliğini ifade eden γ parametresi tanımlamışlardır. Bu parametre ile eşdeğer diyagonal basınç çubuğu genişliğini ifade eden Denklem 4.8'i geliştirmişlerdir.

$$w = \gamma \cdot \sqrt{L^2 + H^2} \cdot \sin 2\theta \quad (4.8)$$

$$\gamma = 0,32 \cdot \sqrt{\sin 2\theta} \left[\frac{H^4 \cdot E_{inf} \cdot t}{m \cdot E_c \cdot I_c \cdot h} \right]^{-0,1} \quad (4.9)$$

$$m = 6 \left[1 + \frac{6 \cdot E_c \cdot I_b \cdot H}{\pi \cdot E_c \cdot I_c \cdot L} \right] \quad (4.10)$$

Burada;

w = Eşdeğer diyagonal basınç çubuğu genişliği (mm)

L = Çerçeveedeki iki kolonun eksenleri arasındaki kiriş uzunluğu (mm)

H = Kiriş eksenleri arasında kalan kolon yüksekliği (mm)

θ = Eşdeğer diyagonal basınç çubuğunun yatayla yaptığı açı (derece)

γ = Dolgu duvar rijitliğini ifade eden parametre

E_{inf} = Dolgu duvar elastisite modülü (N / mm²)

E_c = Çerçeve elastisite modülü (N / mm²)

I_c = Kolonun atalet momenti (mm⁴)

I_b = Kirişin atalet momenti (mm⁴)

t = Dolgu duvar ve eşdeğer diyagonal basınç çubuğu kalınlığı (mm)

h = Dolgu duvar yüksekliği (mm)

Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik (DBYBHY, 2007)'te dolgu duvarlar yedinci bölümde “Dolgu Duvarlarının Güçlendirilmesi İçin Yöntemler” başlığı altında yer almaktadır. Yönetmelikte dolgu duvar rijitliğini temsil eden λ_{duvar} parametresi, Stafford Smith ve Carter tarafından önerilen λ katsayısıdır. Eşdeğer diyagonal basınç çubuğu genişliği için kullanılan a_{duvar} ifadesi ise Mainstone (1974)'da

belirtilen genişlik (w) ifadesidir. Çubuğun eksenel rijitliği için ise Denklem 4.11 kullanılmaktadır.

$$a_{duvar} = 0,175(\lambda_{duvar} \cdot h_k)^{-0,4} \cdot r_{duvar} \quad (4.11)$$

$$\lambda_{duvar} = \left[\frac{E_{duvar} \cdot t_{duvar} \cdot \sin 2\theta}{4 \cdot E_c \cdot I_k \cdot h_{duvar}} \right]^{\frac{1}{4}} \quad (4.12)$$

$$k_{duvar} = \frac{a_{duvar} \cdot t_{duvar} \cdot E_{duvar}}{r_{duvar}} \quad (4.13)$$

Burada;

a_{duvar} = Eşdeğer diyagonal basınç çubuğu genişliği (mm)

λ_{duvar} = Dolgu duvar ve çerçeve görel rijitliğini ifade eden parametre

h_k = Kiriş eksenleri arasında kalan kolon yüksekliği (mm)

r_{duvar} = Eşdeğer diyagonal basınç çubuğu uzunluğu (mm)

E_{duvar} = Dolgu duvar elastisite modülü (N / mm²)

t_{duvar} = Dolgu duvar ve eşdeğer diyagonal basınç çubuğu kalınlığı (mm)

θ = Eşdeğer diyagonal basınç çubuğunun yatayla yaptığı açı (derece)

E_c = Çerçeve elastisite modülü (N / mm²)

I_k = Kolonun atalet momenti (mm⁴)

h_{duvar} = Dolgu duvar yüksekliği (mm)

k_{duvar} = Eşdeğer diyagonal basınç çubuğu eksenel rijitliği

Federal Emergency Management Agency (FEMA 356, 2000), dolgu duvarların binaların yapısal analizlerinde kullanımı çerçevesinde bilgiler içermektedir. Dolgu

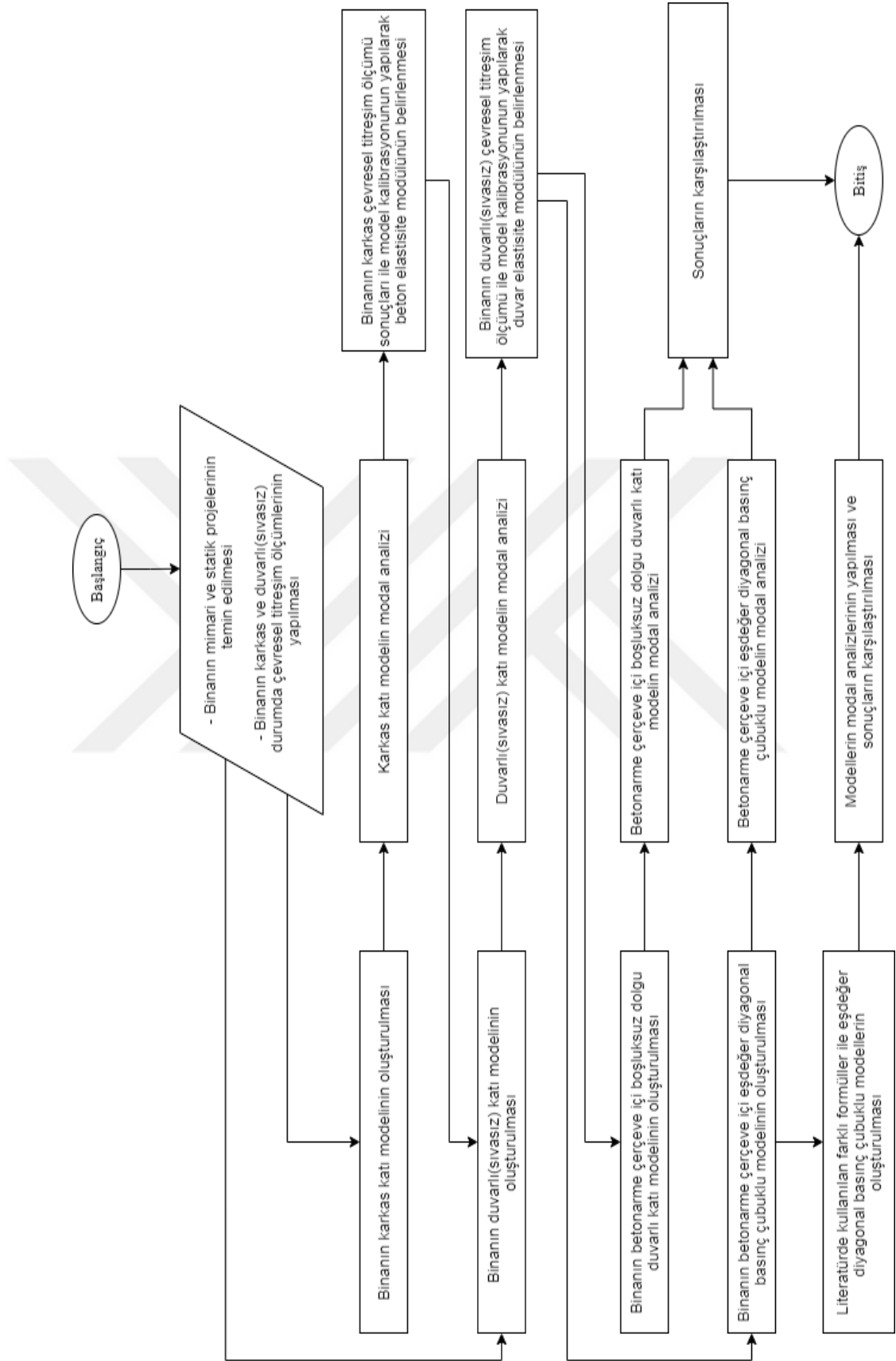
duvarlar, eşdeğer diyagonal basınç çubuğu ile modellenmektedir. Eşdeğer diyagonal basınç çubuğu için kullanılan genişlik formülü Denklem 4.5'te verilen Mainstone (1974) tarafından önerilen formüldür. Çubuk genişliği hesabı için gerekli olan λ katsayısı için ise Stafford Smith ve Carter (1969)'ın Denklem 4.2'de önerdiği formül kullanılmaktadır.



5. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu tez çalışması, konut tipi binalarda boşluksuz dolgu duvarların rijitliğe katkısının incelenmesi üzerinedir. Bu kapsamda, beş katlı bir betonarme binanın karkas ve sıvasız dolgu duvarlı durumlarında ayrı ayrı çevresel titreşim ölçümleri yapılmış, binanın nümerik modelleri oluşturulmuştur. Oluşturulan nümerik modellerde beton ve duvar elastisite modülü değerleri kalibre edilerek titreşim ölçümü ile bulunan sonuçlara yaklaşılmaya çalışılmıştır. Dolgu duvarları temsilen eşdeğer diyagonal basınç çubuğu kullanılmış ve araştırmacıların önerdiği farklı formüller birbiri ile kıyaslanmıştır. Oluşturulan farklı nümerik modeller üzerinden boşluksuz dolgu duvarların etkisi incelenmiştir. Tezde izlenilen yöntem Şekil 5.1'deki akış diyagramında gösterilmiştir.





Şekil 5.1. Tez çalışmasında izlenen adımları içeren akış şeması

5.1. Mevcut Binanın Özellikleri

Tez kapsamında, Eskişehir ili kent merkezinde bulunan betonarme bir bina incelenmiştir. Bina Zemin+4 kattan oluşmakta ve her katta dört daire bulunmaktadır. Binanın karkas ve sıvasız bitmiş dolgu duvarlı halleri sırasıyla Görsel 5.1 ve Görsel 5.2’de gösterilmektedir.

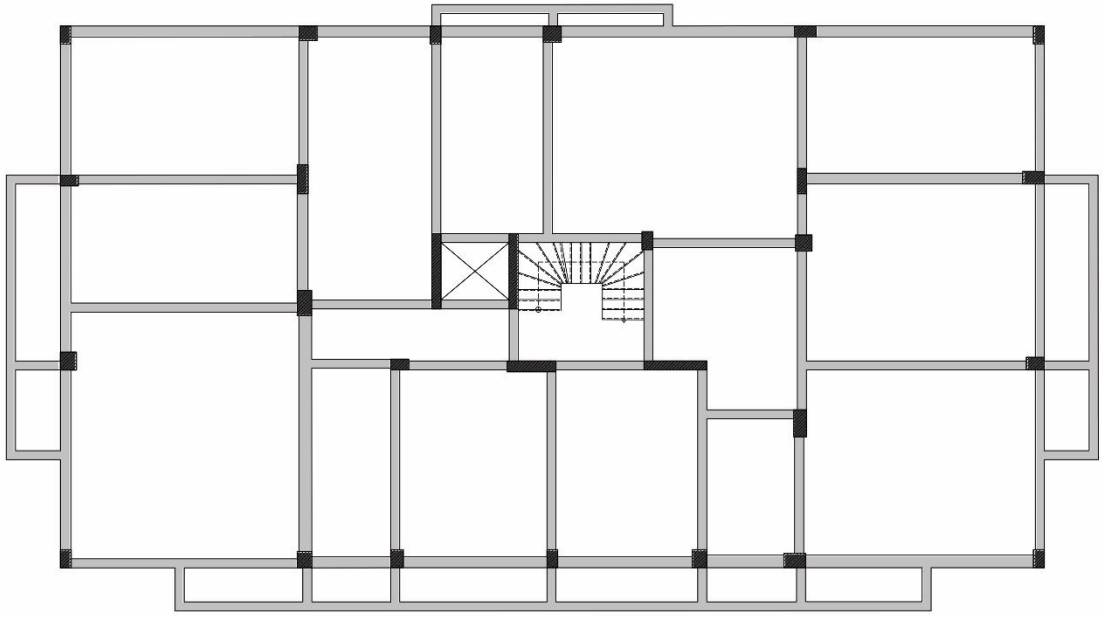


Görsel 5.1. *Binanın karkas halinin görüntüsü*



Görsel 5.2. *Binanın sıvasız bitmiş dolgu duvarlı halinin görüntüsü*

Binanın zemin kattaki kat yüksekliği 2,97 m ve kat alanı 413 m², normal katlarda ise kat yüksekliği 2,87 m ve kat alanı 466 m²'dir. Binanın uygulama projesine göre beton sınıfı C25/30, çelik sınıfı S420'dir. Planda, y yönündeki asansör perdeleri dışında bir adet x yönünde perde bulunmaktadır. Binanın sıvasız dolgu duvarlı halinin titreşim ölçümü yapıldığı sırada, mimari plana göre sadece zemin katta bulunan iki çerçevede dolgu duvar tamamlanmamıştır. Bu çerçevelerin biri tamamen boş, diğerinde beş sıra tuğla örülmüştür. Sıvasız bitmiş dolgu duvarlı nümerik model bu duruma göre modellenmiştir. Şekil 5.2'de binanın kat kalıp planı, Şekil 5.3'te ise binanın kat mimari planı gösterilmektedir.



Şekil 5.2. Normal Kat Şematik Kalıp Planı

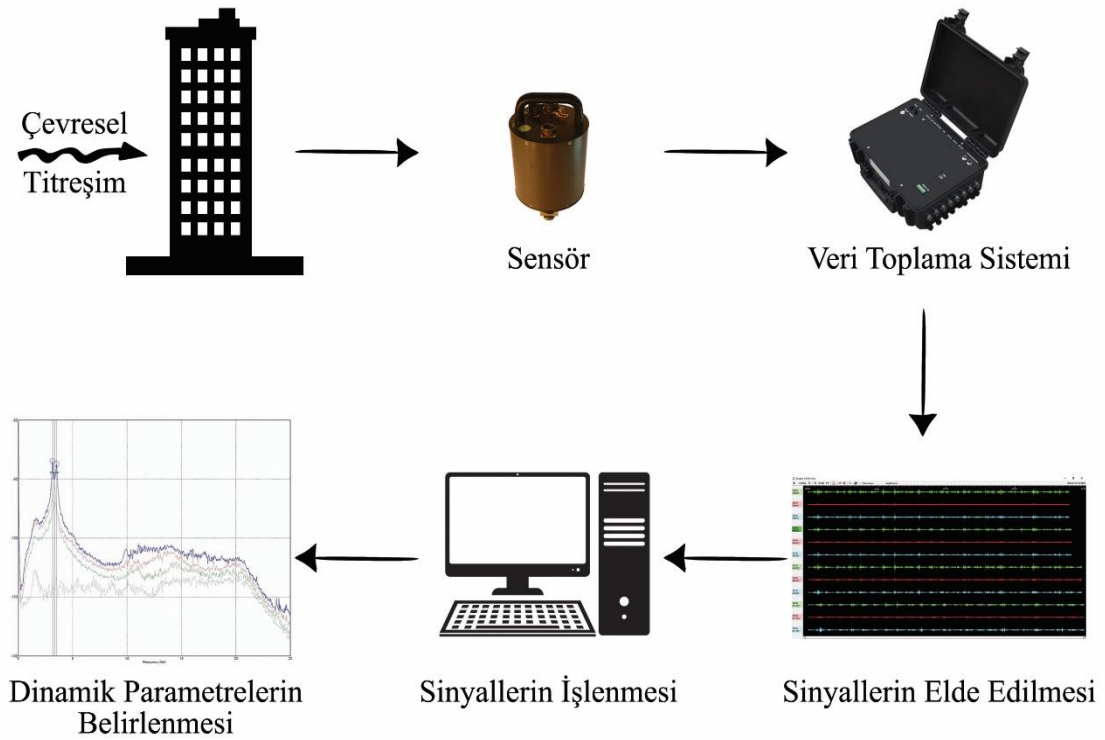


Şekil 5.3. Normal Kat Şematik Mimari Planı

5.2. Çevresel Titreşim Ölçümü

Titreşim ölçümleri, ölçüm yapılacak olan binada titreşime neden olan kaynağın türüne göre farklılık göstermektedir. Titreşim ölçümlerinde binayı bir uyarıcı etkisi altında dinleyebilmek için temel olarak iki yöntem kullanılmaktadır. Zorlanmış titreşim ölçümleri olarak da adlandırılan ilk yöntemde, uyarıcı olarak deprem hareketleri, patlamalar, titreşim yayan cihazlar veya ağırlık düşmesi gibi çeşitli kaynaklar kullanılmaktadır (Englekirk vd., 1967; Petrovski vd., 1973; Satake vd., 2003; Yu vd., 2007). Ancak bu yöntem çevreye rahatsızlık vermesi, güvenli olmaması, maliyetli olması ve zaman kaybına neden olması gibi olumsuzluklar içermektedir. Bu yöntemin olumsuzluklarından dolayı alternatif bir yöntem olarak çevresel titreşim ölçümü konsepti ortaya çıkmıştır. Çevresel titreşim ölçümünde, uyarıcı olarak çevresel etkiler (rüzgar, insan ve taşıt hareketleri, makine gürültüleri vb.) dikkate alınmaktadır. Yapının bu etkilere karşı verdiği tepkiler belirli sensörler yardımıyla ölçülür. Trifunac (1972) ve Hans vd., (2005)'nin yaptığı çalışmalar, zorlanmış titreşim ölçümleri ile çevresel titreşim ölçümlerinin sonuçlarının birbirini ile uyumlu olduğunu göstermiştir. Çevresel titreşim ölçümü, zorlanmış titreşim ölçümüne göre daha güvenli, düşük maliyetli, hızlı ve kolay olmasından dolayı binalarda (Ko ve Bao, 1985; Ivanonic ve Trifunac, 1995; Michel vd., 2008), köprülerde (Brownjohn vd., 1986; Ventura vd., 1995) ve barajlarda (Abdel-Ghaffar ve Scott, 1981) tercih edilmiştir. Beck vd., (1994) çevresel titreşim ölçümlerinin yapı sağlığı izleme sistemlerinde kullanılması gerektiğini belirtmişlerdir.

Titreşim ölçümü için kullanılan sensörler ile yapının çevre etkilerine karşı verdiği tepkiler sinyal olarak kaydedilmektedir. Kaydedilen sinyaller daha sonra işlenerek yapının frekans ve periyot değerleri, mod şekilleri ve sönüm oranı gibi parametreleri belirlenir. Yapılan bu işleme Operasyonel Modal Analiz (OMA) yöntemi adı verilmektedir. Operasyonel Modal Analiz'in uygulama aşamaları Şekil 5.4'te gösterilmektedir.



Şekil 5.4. Operasyonel Model Analiz uygulama aşamaları

Bu tez çalışması kapsamında, betonarme bir binada karkas ve sıvasız bitmiş dolgu duvarlı halde çevresel titreşim ölçümleri alınmış, OMA yöntemiyle binanın dinamik karakteristikleri belirlenmiş, binanın nümerik modelleri binanın OMA sonucu elde edilen dinamik karakteristikleri ile kalibre edilerek gerçek durumu yansıtan bir nümerik model elde edilmeye çalışılmıştır.

5.2.1. Titreşim ölçümünde kullanılan cihazlar

Bu çalışmada, Eskişehir Teknik Üniversitesi Yer ve Uzay Bilimleri Enstitüsü envanterinde yer alan dört adet üç eksenli Güralp CMG-6TD hızölçer cihazı kullanılmıştır. Görsel 5.3'te kullanılan cihaz ve ekipmanlar, Tablo 5.1'de ise cihaza dair özellikler görülmektedir.



Görsel 5.3. Güralp CMG-6TD hızölçer ve diğer ekipmanlar (Kaplan, 2017)

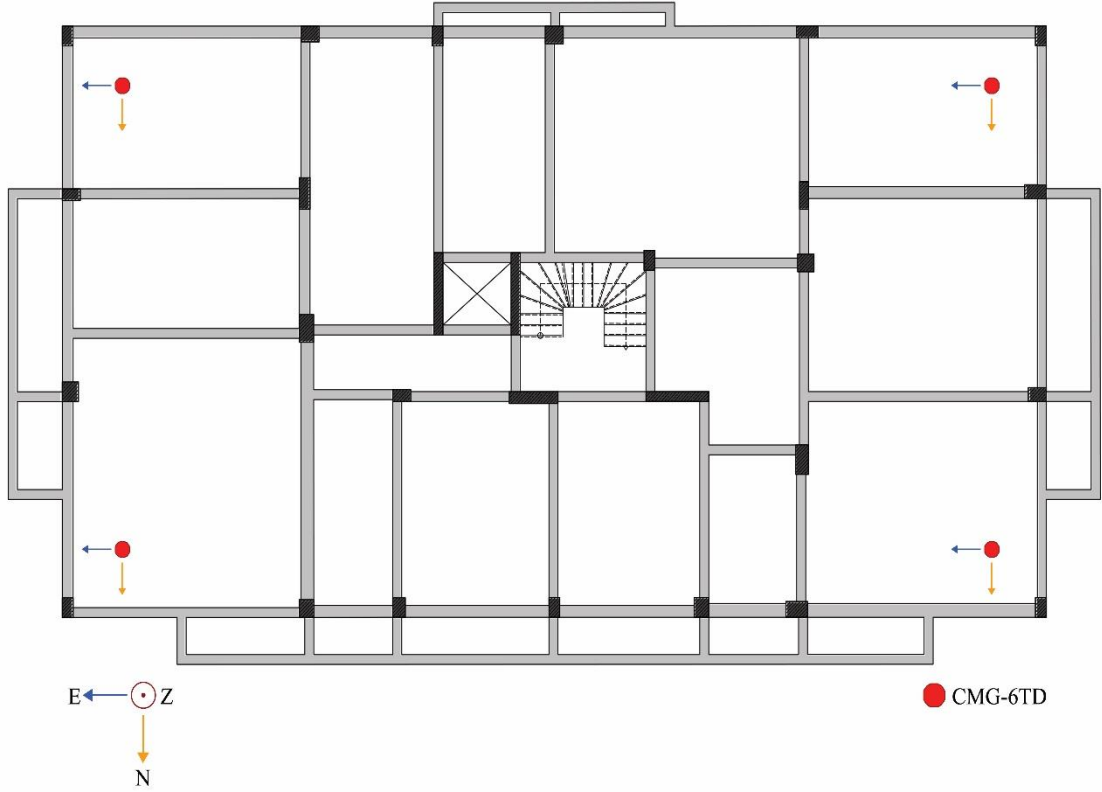
Tablo 5.1. Güralp CMG-6TD hızölçer özellikleri

Marka	Güralp
Model	CMG-6TD
Frekans Aralığı	30sn-100Hz ve 1Hz-100Hz
Çalışma Voltajı	10-36 Volt
Çıkış Hassasiyeti	2*1000 V/m/s
Depolama	Dahili Bellek (2Gb-16Gb)
Kayıt Ünitesi	Dahili 24-bit
Ağırlığı	3 kg

5.2.2. Ölçüm verilerinin alınması ve işlenmesi

Çevresel titreşim ölçümünün alınmasında kullanılan Güralp CMG-6TD hızölçer sensörü, Şekil 5.5’de görüldüğü gibi binanın son katına ve ulaşılabilen en köşedeki noktalara yerleştirilmiştir. Buradaki amaç, binanın ötelenme davranışıyla beraber burulma davranışının da belirlenmesidir. Sensörlerin mümkün olduğu kadar döşeme uçlarına konulmasına dikkat edilmiş, böylece döşemelerin tek başına oluşturabileceği mod şekillerinden kaçınılmıştır. Sensörlerin 12 Volt akü bağlantısı yapıldıktan sonra veri akışı ve kaydı başlamıştır. Dört adet sensörün aynı zamanda veri kaydetmesi için,

sensörlerin GPS ile uydu bağlantısı yapılarak cihaz saatleri ayarlanmış, cihazların birbirleri ile senkronize bir şekilde kayıt alması sağlanmıştır. Parolai ve Galiana-Merino (2006) çalışmasında, yapılan ölçümde otuz dakikalık kayıtlardan alınan sonuçların yeterli olacağını belirtmiştir. Kaydın kesilmesi veya çevresel diğer etmenler gibi olumsuz durumların yaşanması ihtimaline karşı sensörlerden birer saatlik ölçüm kaydı alınmıştır.



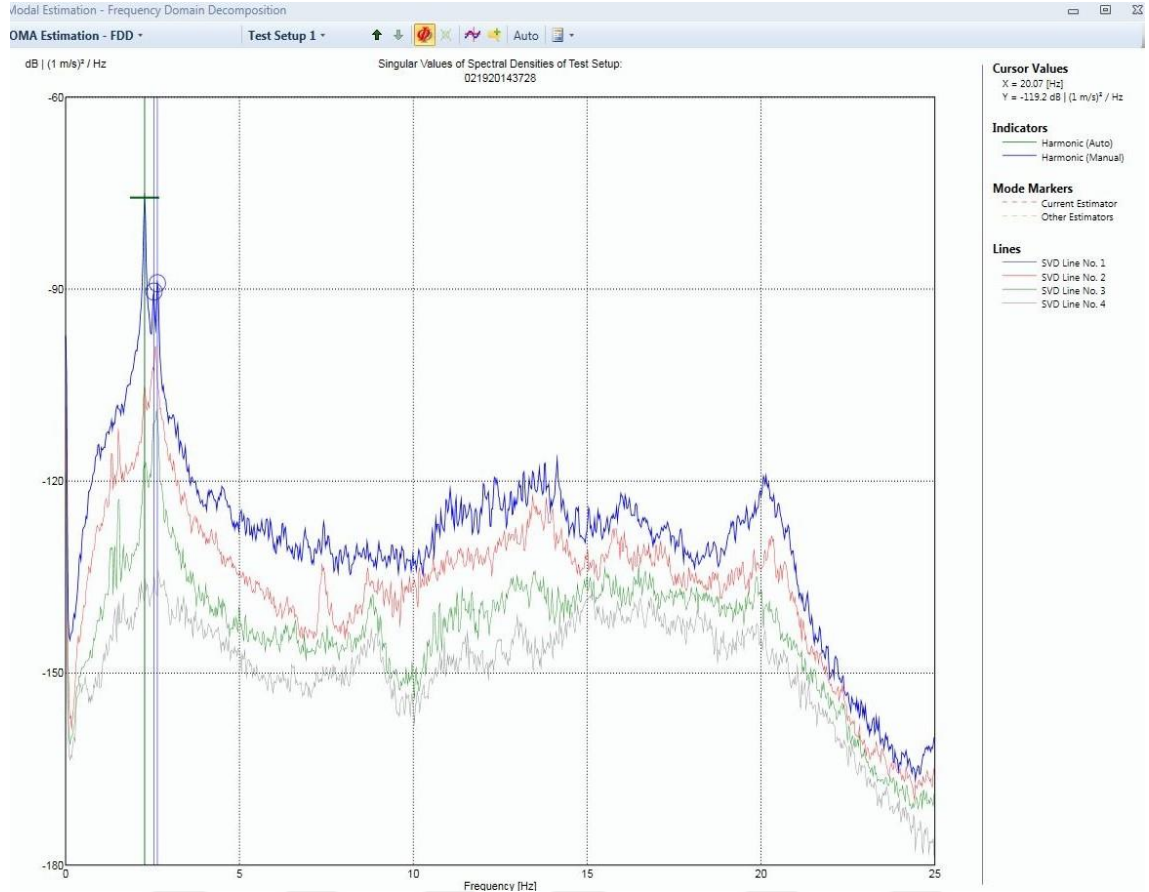
Şekil 5.5. Sensörlerin bina içerisindeki yerleşim planı

Sensörlerden alınan veri kaydı “.gcf” formatında kaydedilmektedir. “.gcf” uzantılı bu format “Scream” (<http-1>) yazılımı ile görüntülenebilmektedir. Kayıt başlamadan önce sensörlerin senkronizasyonu ve kontrolleri yazılımın yüklü olduğu bir bilgisayar yardımıyla yapılmaktadır. Görsel 5.4’te kayıt öncesi senkronizasyon ve kontrol işlemleri görülmektedir.



Görsel 5.4. Sensörlerin kayıt öncesi senkronize ve kontrol edilmesi

Çevresel titreşim ölçümü yapıldığı sırada çevrede ilave bir titreşim kaynağı (makine, motor vb.) olmamasına dikkat edilmiştir. Üç eksenli dört adet sensörden toplamda 12 adet sinyal verisi alınmıştır. Kayıt sonrası toplanan veriler üzerinde, Trifunac (1971)'in belirttiği gibi ortalama değerlerin çıkarılması (*base-line correction*) işlemi yapılmıştır. Titreşim sinyalleri Frekans Ortamında Ayrışım yöntemiyle “Artemis” ([http-3](http://3)) yazılımında işlenerek binanın temel periyot değerleri elde edilmiştir. Artemis yazılımı, CMG-6TD hızölçer cihazlarından elde edilen “.gcf” uzantılı verileri doğrudan işleyememektedir. Kaplan (2017) kapsamında geliştirilen bir yazılım ile “.gcf” uzantılı veriler “.txt” formatına dönüştürülerek Artemis yazılımında işlenebilmiştir. Bina nın gerçek mod şekilleri ile harmonik etkileri ayırt edebilmek için Brincker vd., (2001)'nin çalışmasında belirtilen harmonik belirleme (harmonic detection) yöntemi kullanılmıştır. Artemis yazılımı ile binanın temel periyot değerlerini veren pikler Şekil 5.6'da detaylı olarak görülebilmektedir. Bina nın x ve y yönleri için ötelenme periyotları ve burulma periyodu değerleri görülen piklerden elde edilmiştir.



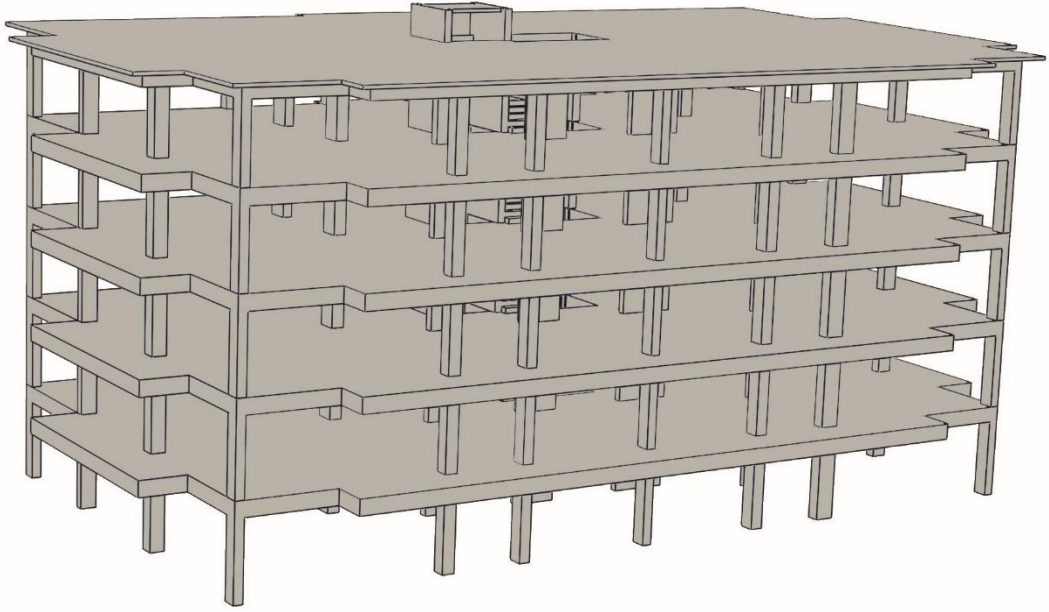
Şekil 5.6. Artemis yazılımıyla elde edilen spektral yoğunluk fonksiyonu

6. NÜMERİK UYGULAMA

Bu çalışma kapsamında incelenen betonarme binanın nümerik modelleri, dolgu duvarların rijitliğini de dikkate alarak Abaqus/CAE sonlu elemanlar yazılımı ile oluşturulmuştur. Nümerik modeller oluşturulurken binanın statik ve mimari planları kullanılmıştır. Taşıyıcı sistem ve dolgu duvarlar, binanın yerinde yapılan uygulamasına uygun olarak modellenmiştir.

6.1. Binanın Karkas Nümerik Modelinin Oluşturulması ve Kalibrasyonu

Binanın taşıyıcı sistemindeki kolon, kiriş ve döşeme elemanları Abaqus yazılımında katı model olarak modellenmiştir. Bütün birleşim yerleri rijit bağlı olarak kabul edilmiştir. Temel seviyesindeki kolonların alt uçları ankastre mesnet şeklinde modelleme yapılmıştır. Şekil 6.1’de binanın karkas modeli gösterilmektedir.

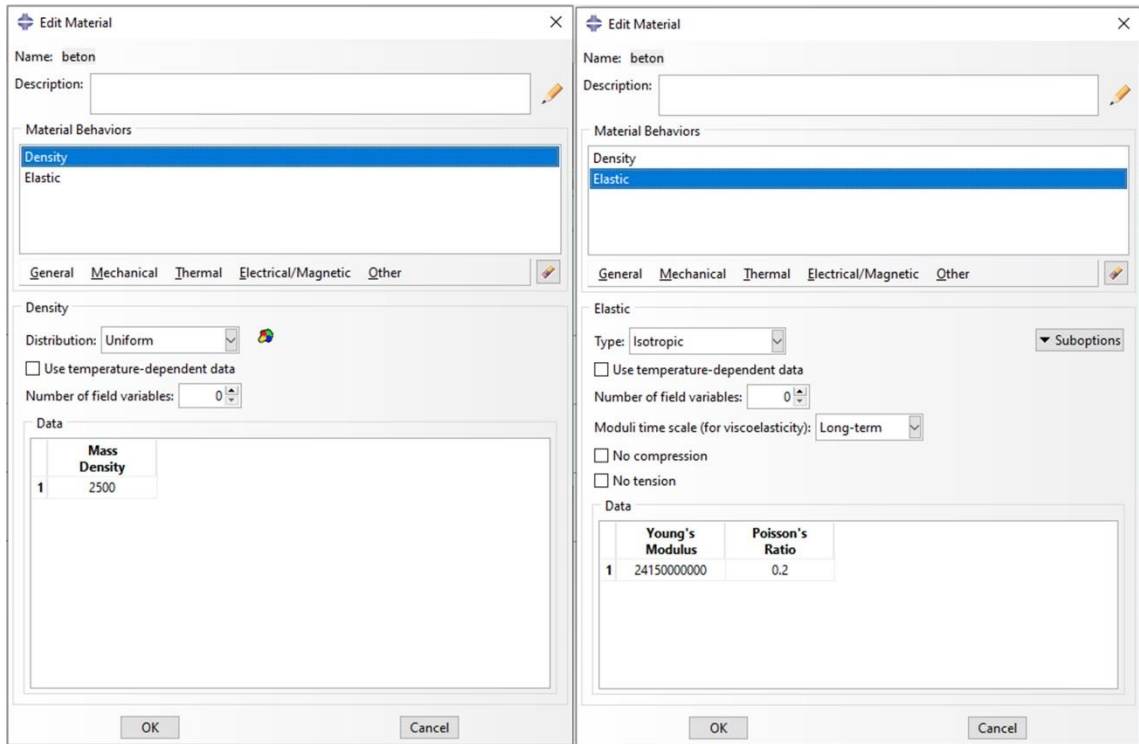


Şekil 6.1. Binanın karkas nümerik modeli

Binanın projesindeki beton sınıfı C25/30’dur. TS 500 (2000)’e göre, C25/30 beton sınıfı için verilen beton elastisite modülü değeri 30000 MPa’dır. Bu çalışma kapsamında, ilk etapta beton elastisite modülü değeri 25000 MPa olarak alınmıştır. Ayrıca nümerik modelde, beton yoğunluğu 2500 kg/m³ olarak alınmış ve nümerik modelin modal analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda bulunan periyot değerleri, çevresel titreşim ölçümüyle bulunan temel periyot değerleri ile karşılaştırılmıştır. Çevresel titreşim ölçümü

sonuçlarıyla beton elastisite modülü değeri kalibre edilerek tekrar analiz yapılmış ve binanın çevresel titreşim ölçümü ile bulunan temel periyot değerleri nümerik modelde elde edilmiştir. Karkas modelin analizi sonucunda, binanın beton elastisite modülü değeri 24150 MPa olarak belirlenmiştir. ACI 318-95 (1996)'da beton elastisite modülü değeri için Denklem 6.1 önerilmiştir. Denklem 6.1'de verilen f_c değeri, beton basınç dayanımını göstermektedir. Denklem 6.1 sonucunda bulunan beton elastisite modülü değeri, çalışma kapsamında bulunan beton elastisite modülü değeri ile örtüşmektedir. Bu çalışma kapsamında, diğer nümerik modellerin beton elastisite modülü değeri için, belirlenen değer (24150 MPa) kullanılacaktır. Şekil 6.2'de ise Abaqus yazılımına girilen betona ait malzeme özellikleri görülmektedir.

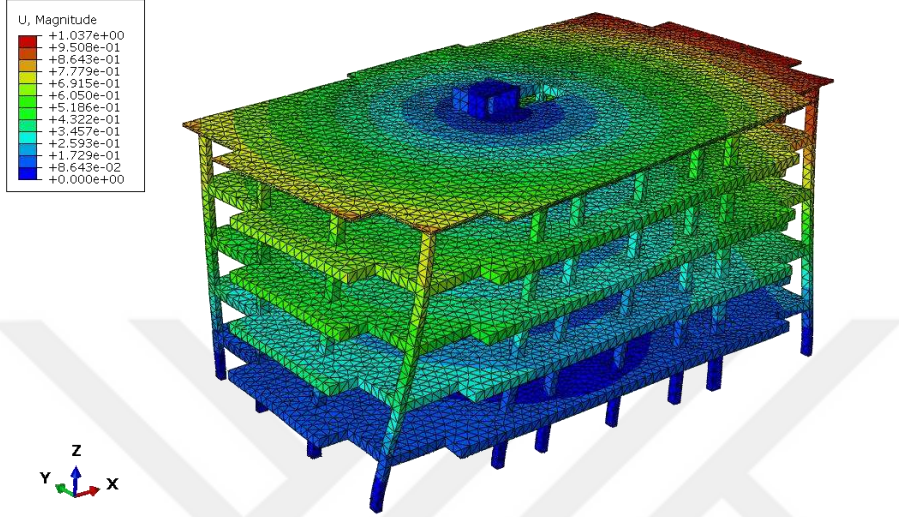
$$E_c = 4,73(f_c)^{1/2} \quad (6.1)$$



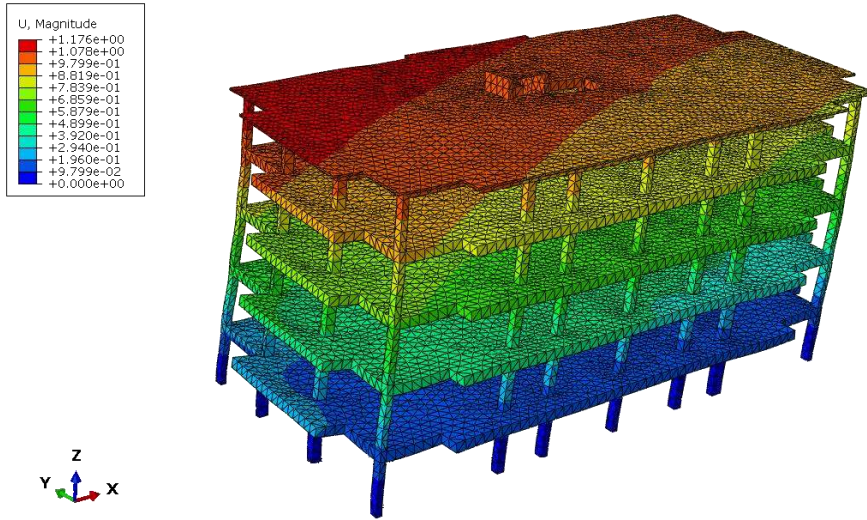
Şekil 6.2. Abaqus yazılımında betonun malzeme özellikleri

6.1.1. Binanın karkas nümerik modelinin modal analiz sonuçları

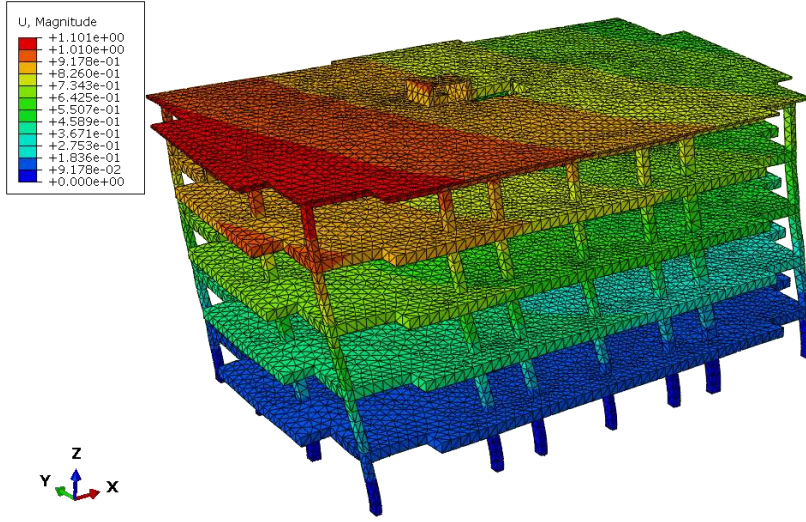
Binanın karkas nümerik modeli için yapılan kalibrasyon sonucunda, elde edilen mod şekilleri sırasıyla Şekil 6.3, Şekil 6.4 ve Şekil 6.5'te gösterilmiştir. Karkas nümerik modelin kütle katılım yüzdeleri Tablo 6.1'de verilmiştir.



Şekil 6.3. Karkas nümerik modelin burulma modu



Şekil 6.4. Karkas nümerik modelin X yönü ötelenme modu



Şekil 6.5. Karkas nümerik modelin Y yönü ötelenme modu

Tablo 6.1. Karkas nümerik modele ait kütle katılım yüzdeleri

	X Yönü Kütle Katılımı (%)	Y Yönü Kütle Katılımı (%)
X Yönü Ötelenme Modu	69	17
Y Yönü Ötelenme Modu	18	65

Çevresel titreşim ölçümü ile elde edilen mod şekilleri, nümerik modelin mod şekilleri ile aynıdır. Karkas nümerik modelin kalibrasyonun yapılmasıyla elde edilen periyot değerleri ile çevresel titreşim ölçümü ile bulunan periyot değerleri Tablo 6.2’de gösterilmiştir.

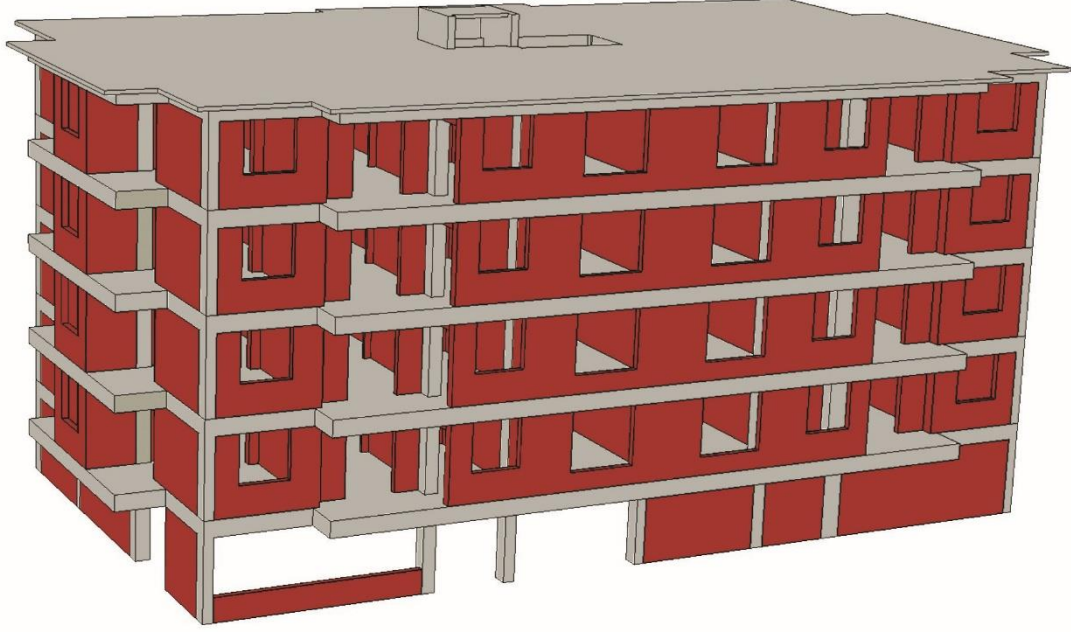
Tablo 6.2. *Binanın karkas haline ait periyot değerleri*

	Burulma Periyodu (s)	X Yönü Ötelenme Periyodu (s)	Y Yönü Ötelenme Periyodu (s)
(a) Çevresel Titreşim Ölçümü	0.440	0.394	0.379
(b) Nümerik Model	0.440	0.379	0.359
(%) Fark [(b-a)/a]	0	-4	-5

Kalibrasyon sırasında binanın karkas halinin doğal titreşim periyotlarının birincisi yani temel periyot baz alınmıştır. Çevresel titreşim ölçümü sonucunda belirlenen temel periyot ile nümerik modelin periyodu eşleştirilmeye çalışılmıştır. Binanın karkasına ait temel periyodun burulma periyodu olduğu görülmüştür. Tablo 6.2 incelendiğinde temel periyotların eşitlendiği, x ve y yönü ötelenme periyotları arasındaki farkın ise sırasıyla %4 ve %5 olduğu görülmektedir.

6.2. Binanın Sıvasız Bitmiş Dolgu Duvarlı Modelinin Oluşturulması ve Kalibrasyonu

Çalışmanın ikinci aşamasında incelenen binada, dolgu duvarları örülmüş ve henüz sıvanmamış durumdayken çevresel titreşim ölçümü yapılmıştır. Dolgu duvarlar, nümerik modelde katı cisim olarak ve çerçevelere rijit bağlı şekilde modellenmiştir. Şekil 6.6’da sıvasız bitmiş dolgu duvarlı nümerik model gösterilmektedir.



Şekil 6.6. *Binanın sıvasız bitmiş dolgu duvarlı nümerik modeli*

Sıvasız bitmiş dolgu duvarlı nümerik modelde beton yoğunluğu ve elastisite modülü değerleri, karkas nümerik modeldeki değerler baz alınarak sırasıyla, 2500 kg/m^3 ve 24150 MPa olarak alınmıştır. Sıvasız dolgu duvarın yoğunluğu için, sıvasız dolgu duvarın birim hacim ağırlığı hesaplanarak 1050 kg/m^3 değeri bulunmuş ve bu değer sıvasız dolgu duvar yoğunluğu olarak kabul edilmiştir. Sıvasız dolgu duvar elastisite modülü değerinin belirlenmesi için literatüre bakıldığında, dolgu duvar elastisite modülü değerinin yapılan çalışmalarda, $1000\text{-}5000 \text{ MPa}$ arasında değiştiği görülmektedir. Bu çalışmada ise başlangıç olarak sıvasız dolgu duvar elastisite modülü için 1000 MPa değeri alınmıştır. Daha sonra oluşturulan nümerik model için modal analiz yapılmıştır. Analiz sonucunda bulunan periyot değerleri ile çevresel titreşim ölçümüyle bulunan periyot değerleri birbiriyle karşılaştırılmıştır. Sıvasız bitmiş dolgu duvarlı nümerik model, çevresel titreşim ölçümü sonuçları ile kalibre edilerek sıvasız dolgu duvar için elastisite modülü değeri elde edilmiştir. Bu kapsamda sıvasız dolgu duvar için elastisite modülü değeri 400 MPa olarak belirlenmiştir. Sıvasız dolgu duvar için belirlenen elastisite modülü değeri, Bilir (2010)'in sıvasız yatay delikli tuğla duvar için yaptığı prizma deneyleri sonucunda bulunan elastisite modülünü değeri ile örtüşmektedir. Ayrıca FEMA 356 (2000)'da dolgu duvarların basınç dayanımı güçlü, orta ve zayıf olmak üzere üç farklı kategoride değerlendirilmiştir. Tablo 6.3'te FEMA 356 (2000)'e göre dolgu duvar basınç

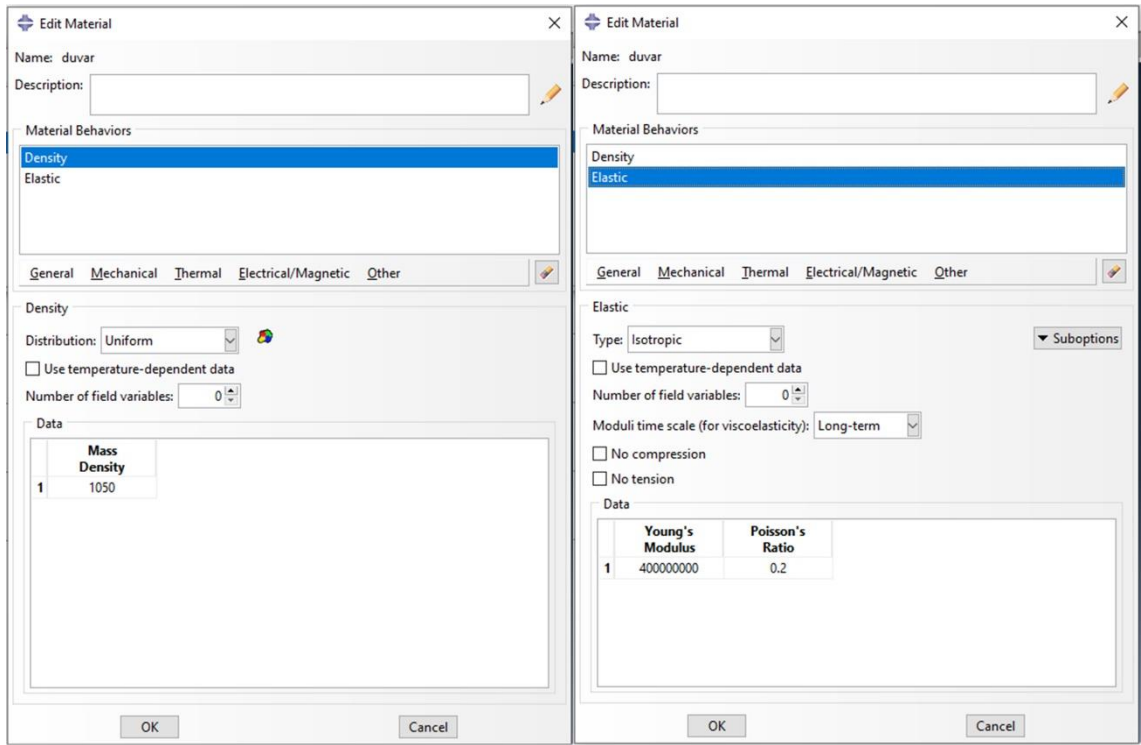
dayanımları gösterilmiştir. Bayülke (2011) çalışmasında DBYBHY (2007) ile FEMA 356 (2000)'i dolgu duvar basınç dayanımları yönünden karşılaştırmıştır. DBYBHY (2007)'de dolgu duvar basınç dayanımının 1.2 MPa ile 3.0 MPa arasında değiştiğini belirtmiştir. Bu bilgiler ışığında, çalışma kapsamındaki sıvasız dolgu duvarın, zayıf durumdaki dolgu duvar kategorisinde değerlendirilebileceği düşünülmüştür.

Tablo 6.3. FEMA 356 (2000)'ya göre dolgu duvar basınç dayanımları

	Güçlü Duvar (MPa)	Orta Duvar (MPa)	Zayıf Duvar (MPa)
Dolgu Duvar Basınç Dayanımı	6.3	4.2	2.1

DBYBHY (2007)'de ise duvar elastisite modülü için Denklem 7.2 önerilmiştir. Denklem 6.2'de verilen f_d değeri, dolgu duvarın basınç dayanımını belirtmektedir. Bu kapsamda sıvasız dolgu duvar, zayıf duvar kategorisinde değerlendirildiğinde Denklem 6.2 sonucunda bulunan duvar elastisite modülü değeri, çalışma kapsamında bulunan duvar elastisite modülü değeri ile uyuşmaktadır. Şekil 6.7'de ise Abaqus yazılımına girilen sıvasız dolgu duvar için malzeme özellikleri görülmektedir.

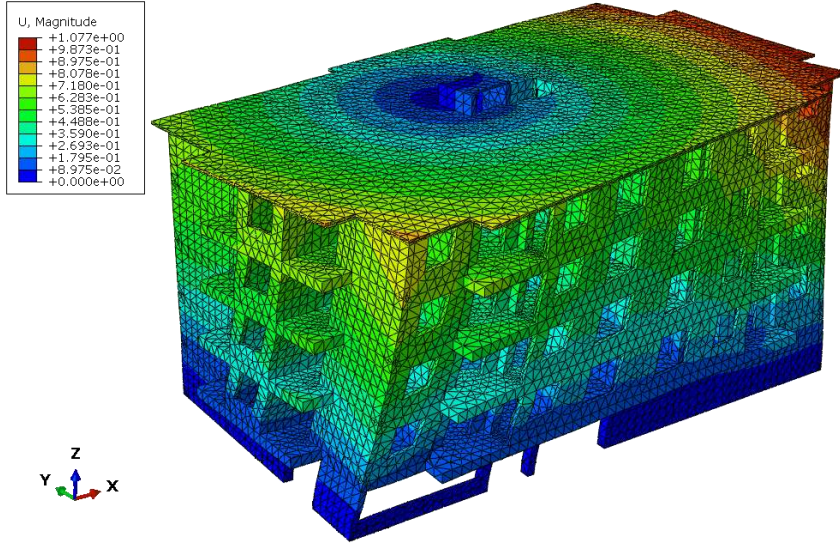
$$E_d = 200. f_d \quad (6.2)$$



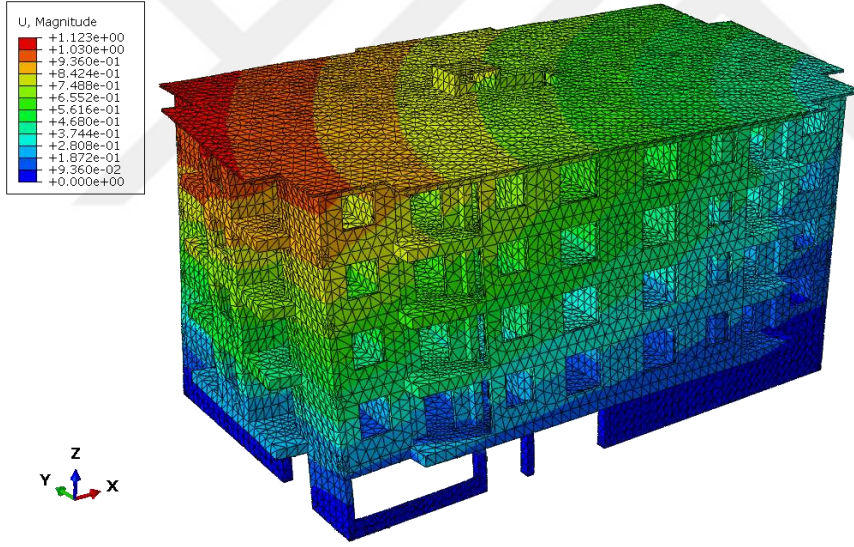
Şekil 6.7. Abaqus yazılımında sıvasız dolgu duvarın malzeme özellikleri

6.2.1. Binanın sıvasız bitmiş dolgu duvarlı nümerik modelinin modal analizi ve sonuçları

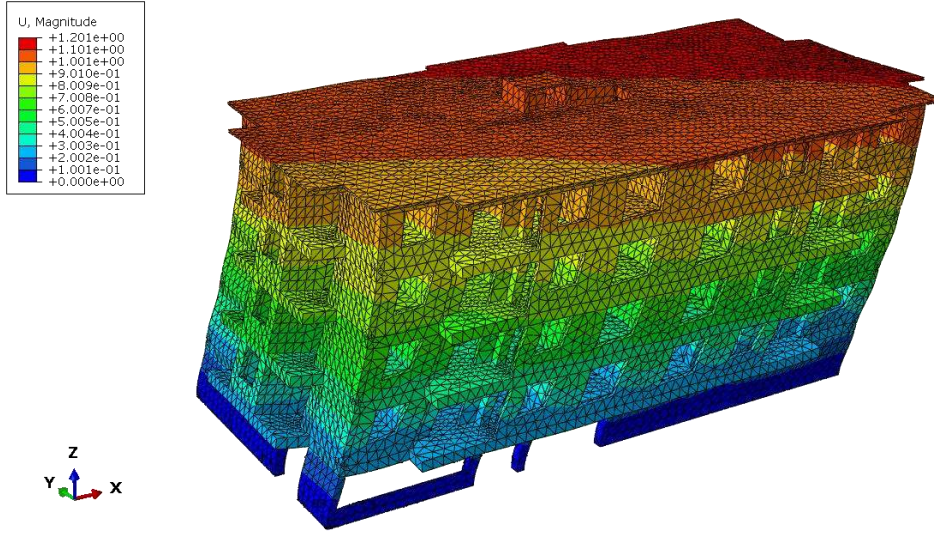
Binanın sıvasız bitmiş dolgu duvarlı nümerik modeli kullanılarak yapılan modal analiz kapsamındaki mod şekilleri sırasıyla Şekil 6.8, Şekil 6.9 ve Şekil 6.10'da gösterilmiştir. Sıvasız bitmiş dolgu duvarlı nümerik modelin kütle katılım yüzdeleri Tablo 6.4'te verilmiştir.



Şekil 6.8. Sıvasız bitmiş dolgu duvarlı nümerik modelin burulma modu



Şekil 6.9. Sıvasız bitmiş dolgu duvarlı nümerik modelin Y yönü ötelenme modu



Şekil 6.10. Sıvasız bitmiş dolgu duvarlı nümerik modelin X yönü ötelenme modu

Tablo 6.4. Sıvasız bitmiş dolgu duvarlı nümerik modele ait kütle katılım yüzdeleri

	X Yönü Kütle Katılımı (%)	Y Yönü Kütle Katılımı (%)
X Yönü Ötelenme Modu	63	26
Y Yönü Ötelenme Modu	21	59

Çevresel titreşim ölçümü ile elde edilen mod şekilleri, nümerik modelin mod şekilleri ile aynıdır. Sıvasız bitmiş dolgu duvarlı nümerik modelin kalibrasyonun yapılmasıyla elde edilen periyot değerleri ile çevresel titreşim ölçümü ile bulunan periyot değerleri Tablo 6.5’te karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

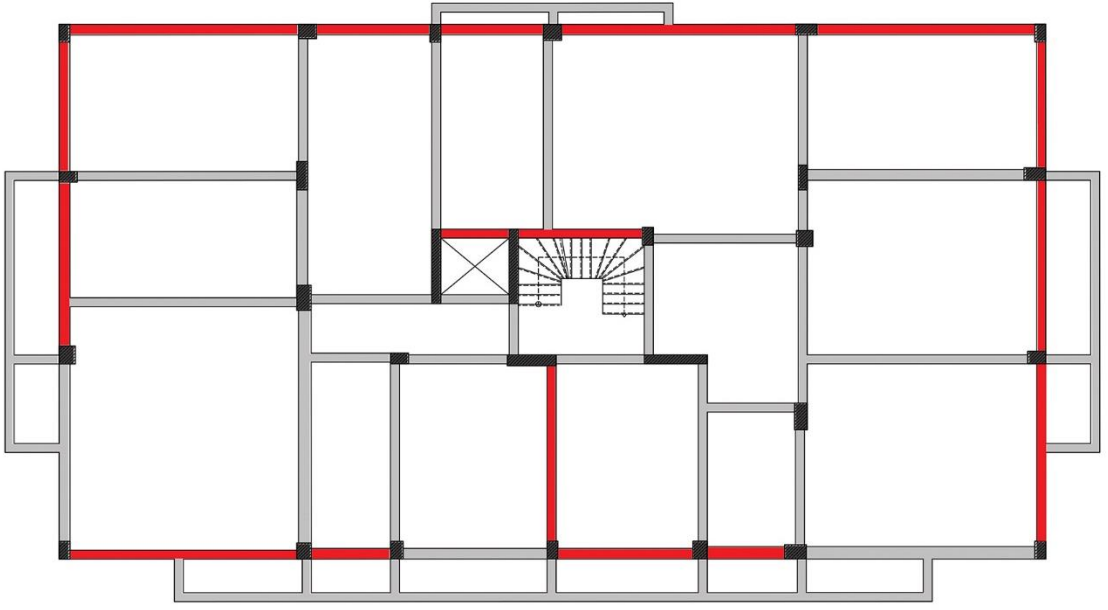
Tablo 6.5. Sıvasız bitmiş dolgu duvarlı modele ait periyot değerleri

	Burulma Periyodu (s)	Y Yönü Ötelenme Periyodu (s)	X Yönü Ötelenme Periyodu (s)
(a) Çevresel Titreşim Ölçümü	0.317	0.301	0.284
(b) Nümerik Model	0.317	0.301	0.297
(%) Fark [(b-a)/a]	0	0	-4

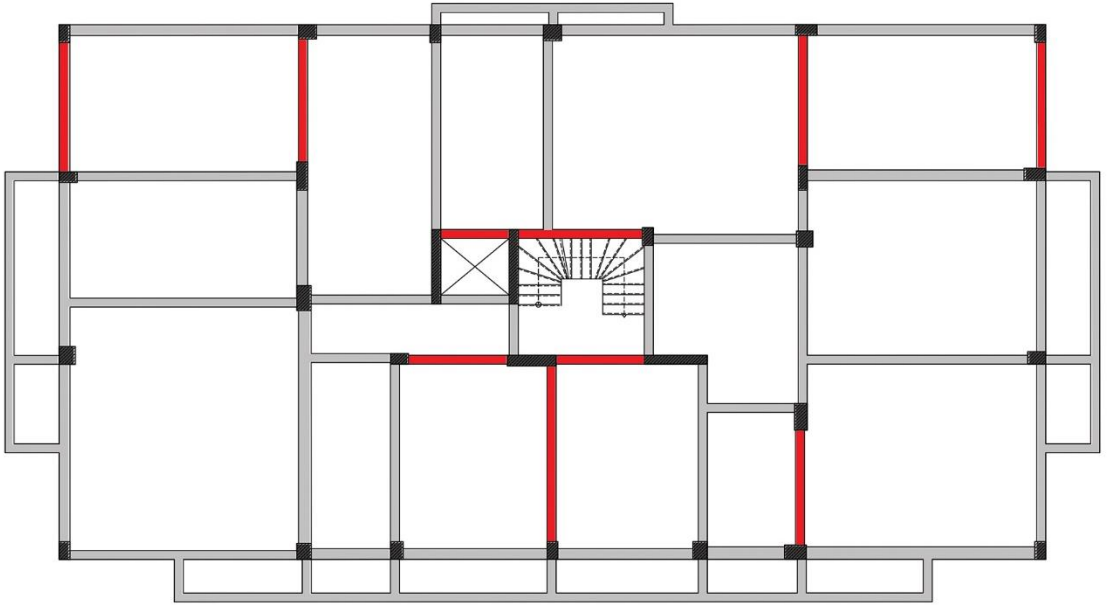
Kalibrasyon sırasında binanın sıvasız bitmiş dolgu duvarlı halinin doğal titreşim periyotlarının birincisi yani temel periyot baz alınmıştır. Çevresel titreşim ölçümü sonucunda belirlenen temel periyot ile nümerik modelin periyodu eşleştirilmeye çalışılmıştır. Binaın sıvasız bitmiş dolgu duvarlı haline ait temel periyodun burulma periyodu olduğu görülmüştür. Tablo 6.5 incelendiğinde temel periyotların ve y yönü ötelenme periyotlarının eşitlendiği, x yönü ötelenme periyotları arasındaki farkın ise %4 olduğu görülmektedir. Karkas modelin birinci mod şekli olan burulma, sıvasız bitmiş dolgu duvarlı modelde de aynıdır. Ancak karkas nümerik modelin ikinci mod şekli olan x yönü ötelenme, sıvasız bitmiş dolgu duvarlı nümerik modelde y yönü ötelenme olarak değişmiştir. Aynı şekilde karkas nümerik modelin üçüncü mod şekli olan y yönü ötelenme, sıvasız bitmiş dolgu duvarlı nümerik modelde x yönü ötelenme olarak değişmiştir. Mod şeklinin değişmesinde, dolgu duvarların plandaki yerleşimleri etkili olmuştur. Dolgu duvarların binanın periyodunu önemli ölçüde değiştirdiği görülmüştür.

6.3. Binaın Çerçeve İçi Boşluksuz Dolgu Duvarlı Nümerik Modelinin Oluşturulması

Binaın mimari planı incelenerek çerçeve içinde kalan boşluksuz dolgu duvarlar belirlenmiştir. Belirlenen dolgu duvarlar katı cisim olarak modellenerek çerçeve içi boşluksuz dolgu duvarlı nümerik model oluşturulmuştur. Kapı ve pencere boşlukları, modelleme zorluğu ve dolgu duvarın rijitliğini azalttığından dolayı dikkate alınmamıştır. Binaın betonarme çerçeveleri arasındaki boşluksuz dolgu duvarların yerleri Şekil 6.11’de kırmızıyla işaretlenmiştir. Binaın nümerik modeli ise Şekil 6.12’de gösterilmektedir. Binada yer alan boşluklu dolgu duvarların kütlesi, oluşturulan çerçeve içi boşluksuz dolgu duvarlı nümerik modele dahil edilmemiştir. Beton ve duvar elastisite modülü değerleri için, model kalibrasyonları sonucunda belirlenen beton ve duvar elastisite modülü değerleri kullanılmıştır.

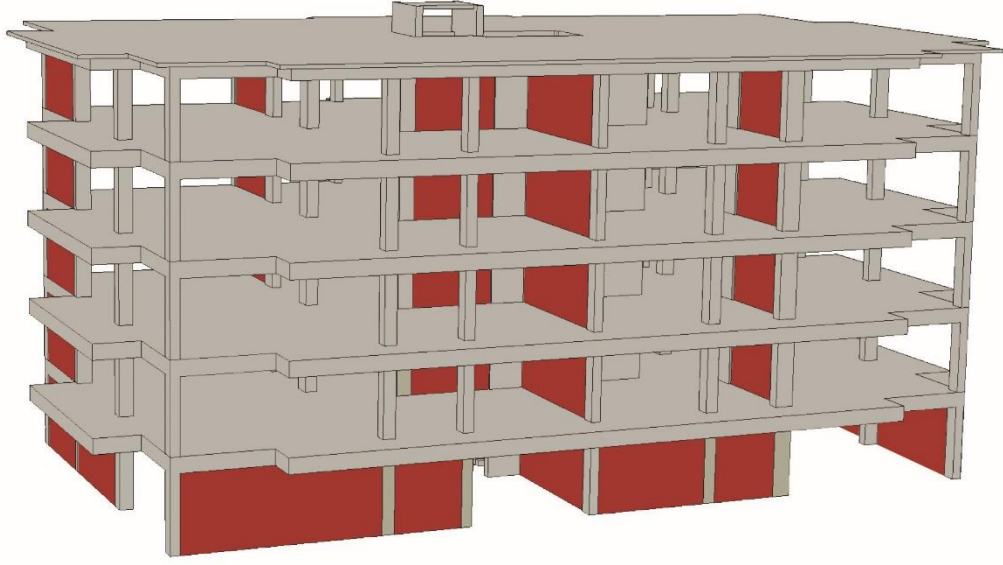


(a)



(b)

Şekil 6.11. (a) Binanın çerçeve içi boşluksuz dolgu duvarlarının plan üzerindeki yerleri (Zemin kat),
(b) Binanın çerçeve içi boşluksuz dolgu duvarlarının plan üzerindeki yerleri (Normal kat)



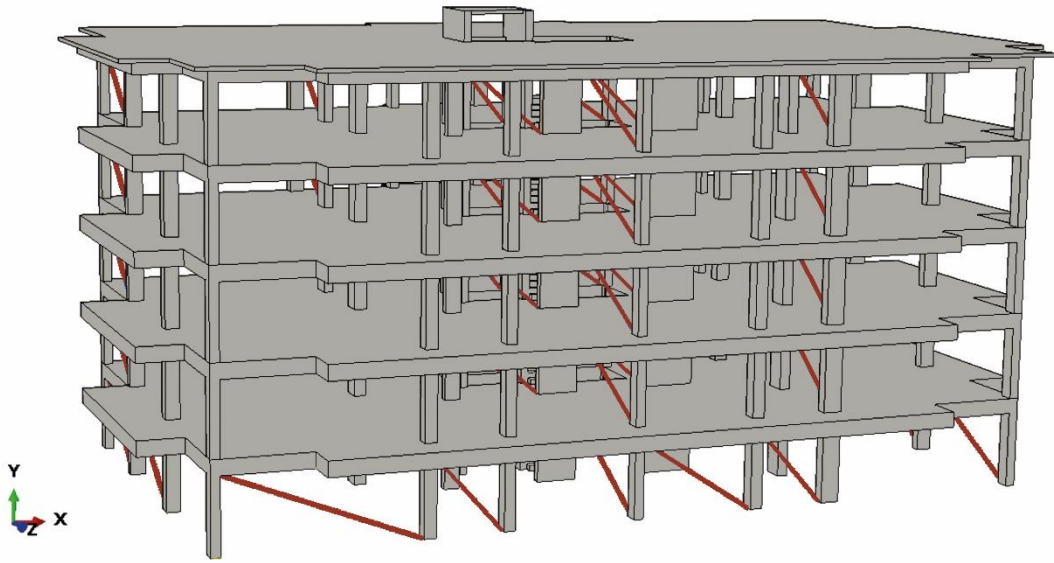
Şekil 6.12. *Binanın çerçeve içi boşluksuz dolgu duvarlı nümerik modeli*

6.4. Binanın Çerçeve İçinde Yer Alan Eşdeğer Diyagonal Basınç Çubuklu Nümerik Modelinin Oluşturulması

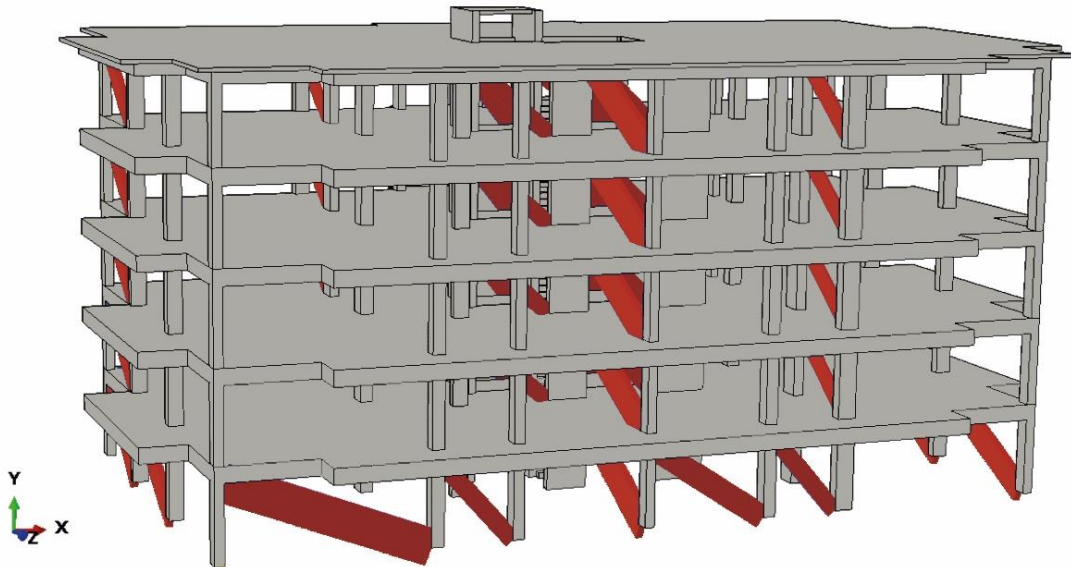
Binada çerçeve içinde kalan boşluksuz dolgu duvarların yerine, dolgu duvarları temsil eden eşdeğer diyagonal basınç çubukları tanımlanmıştır. Eşdeğer diyagonal basınç çubuğu için FEMA 356 (2000) ve DBYBHY (2007)'de önerilen Mainstone (1974)'un önerdiği Denklem 4.5 referans alınmıştır. Eşdeğer diyagonal basınç çubuğu tanımlamak için Timurağaoğlu (2019)'nün çalışmasında da kullandığı Abaqus yazılımında yer alan Multi-point constraints (MPCs) modeli uygulanmıştır.

Eşdeğer diyagonal basınç çubuğu tanımlanırken dolgu duvarın rijitliğinin yanında kütlelerinin de hesaba katılması gerekmektedir. Basınç çubukları, dolgu duvarın rijitliğini dikkate almakta, ancak kütlelerini dikkate almamaktadır. Bu nedenle, dolgu duvarın kütlelerinin ayrıca tanımlanması gerekmektedir. Bazı araştırmacılar, nümerik modellerde eşdeğer diyagonal basınç çubuğuna ek olarak, dolgu duvarın kütlelerini kirişlere yayılı yük olarak ya da rijitliği çok düşük fakat dolgu duvarın kütlelerini modelleyecek şekilde kabuk (*shell*) eleman olarak tanımlamışlardır (Köse, 2009). Bu çalışmada dolgu duvarın kütlesi, dolgu duvarın yoğunluğu artırılarak binaya etki ettirilmiştir. Daha önce sıvasız bitmiş dolgu duvarlı nümerik modelde dolgu duvar yoğunluğu 1050 kg/m^3 olarak bulunmuştur. Çerçeve içi boşluksuz dolgu duvar ile aynı kütleye sahip dolgu duvar için, eşdeğer diyagonal basınç çubuğu tanımlanırken kullanılan duvar yoğunluğu 2712 kg/m^3 olarak

belirlenmiştir. Böylece, çerçeve içi boşluksuz dolgu duvarlı nümerik modelde yer alan dolgu duvarların kütlesi ile eşdeğer diyagonal basınç çubuğu kullanılarak oluşturulan nümerik modeldeki dolgu duvar kütlesi birbirine eşit hale getirilmiştir. Bunun sonucunda, katı cisim olarak modellenen dolgu duvarlar ile eşdeğer diyagonal basınç çubuğu ile modellenen dolgu duvarların, binanın yatay rijitliğine olan etkisini görmek amaçlanmıştır. Şekil 6.13'te eşdeğer diyagonal basınç çubuklu model, Şekil 6.14'te ise basınç çubuklarının genişliklerinin görüldüğü model gösterilmektedir.



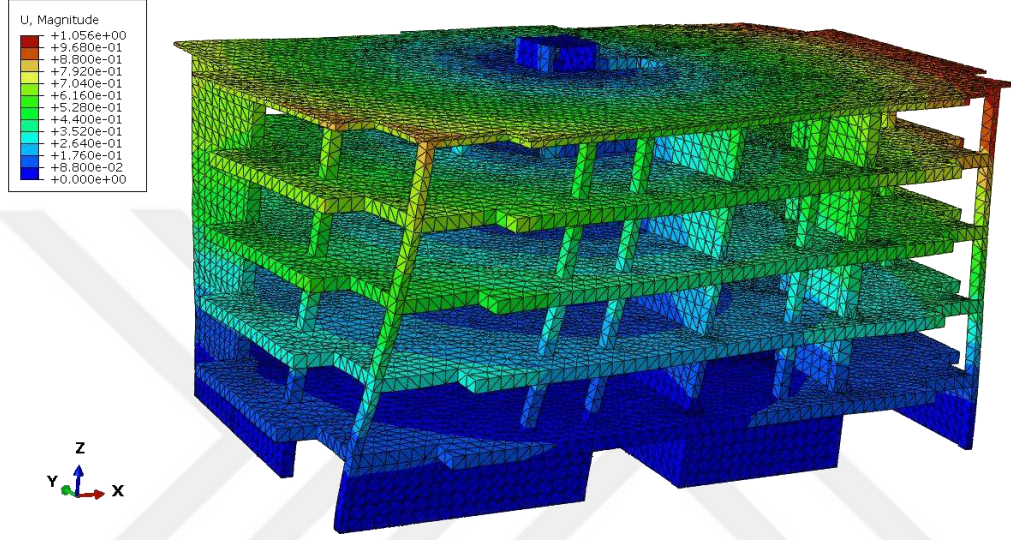
Şekil 6.13. *Binanın eşdeğer diyagonal basınç çubuklu nümerik modeli*



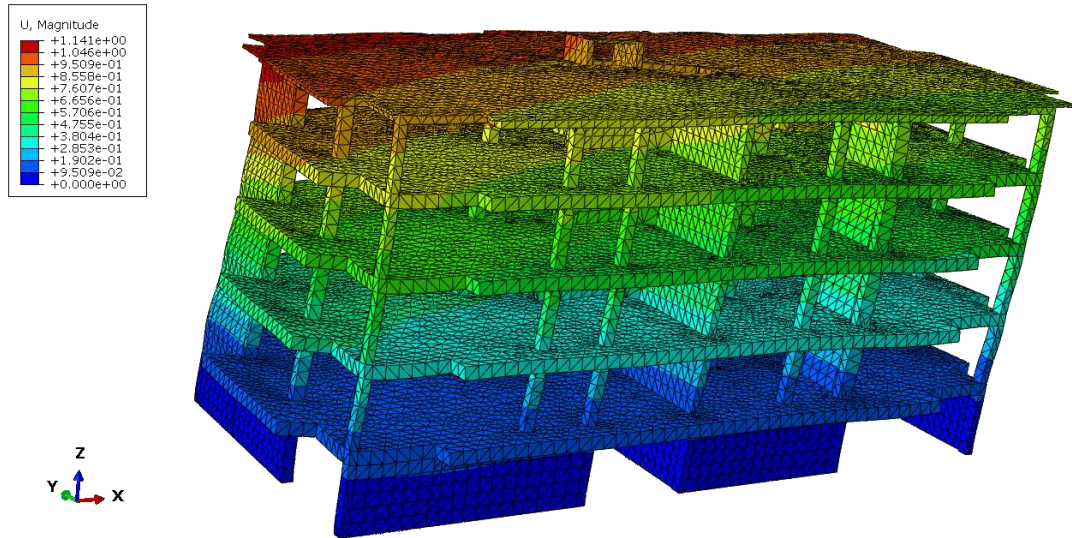
Şekil 6.14. *Eşdeğer diyagonal basınç çubuklarının genişliklerinin gösterimi*

6.5. Çerçeve İçi Boşluksuz Dolgu Duvarlı Nümerik Model İle Eşdeğer Diyagonal Basınç Çubuklu Nümerik Modelin Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

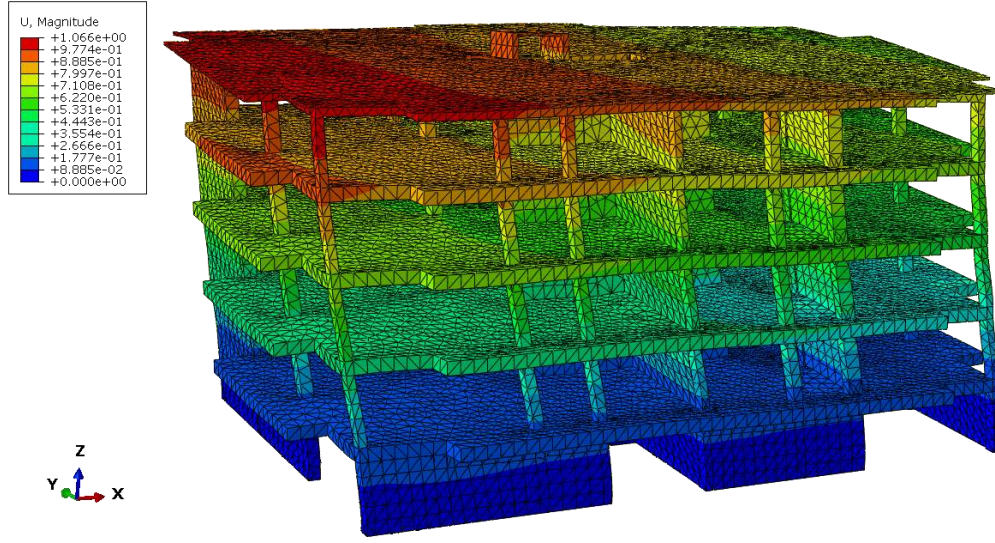
Abaqus yazılımında dolgu duvarların katı cisim olarak modellendiği, binanın çerçeve içi boşluksuz dolgu duvarlı nümerik modelinin, yapılan modal analiz sonucundaki mod şekilleri sırasıyla Şekil 6.15, Şekil 6.16 ve Şekil 6.17’de gösterilmektedir.



Şekil 6.15. Çerçeve içi boşluksuz dolgu duvarlı nümerik modelin burulma modu



Şekil 6.16. Çerçeve içi boşluksuz dolgu duvarlı nümerik modelin X yönü ötelenme modu



Şekil 6.17. Çerçeve içi boşluksuz dolgu duvarlı nümerik modelin Y yönü ötelenme modu

Dolgu duvarların katı cisim olarak modellendiği çerçeve içi dolgu duvarlı nümerik model ile dolgu duvarların eşdeğer diyagonal basınç çubuğu ile modellendiği nümerik modelin, analiz sonuçları ile elde edilen periyot değerlerinin karşılaştırılması Tablo 6.6’da gösterilmiştir.

Tablo 6.6. Çerçeve içi dolgu duvarlı nümerik modellerin periyot karşılaştırması

	Burulma Periyodu (s)	X Yönü Ötelenme Periyodu (s)	Y Yönü Ötelenme Periyodu (s)
(a) Dolgu Duvarlı Katı Model	0.357	0.337	0.321
(b) Eşdeğer Basınç Çubuklu Model (Mainstone, 1974)	0.432	0.369	0.356
(%) Fark [(b-a)/a]	21	9	11

Çerçeve içi boşluksuz dolgu duvarlı nümerik modelin periyot sonuçları referans alındığında, eşdeğer basınç çubuklu nümerik modelin periyotları ile burulma modunda %21, x yönü ötelenme modunda %9 ve y yönü ötelenme modunda ise %11’luk bir fark olduğu görülmüştür.

Dolgu duvarların katı cisim olarak modellendiği çerçeve içi boşluksuz dolgu duvarlı nümerik modelin mod şekilleri, Tablo 6.5’te görülen sıvasız bitmiş dolgu duvarlı nümerik modelin mod şekillerine göre farklılık göstermiştir. Sıvasız bitmiş dolgu duvarlı nümerik modelin ikinci mod şekli y yönü ötelenme iken, çerçeve içi boşluksuz dolgu

duvarlı nümerik modelin ikinci mod şekli x yönü ötelenme olmuştur. Modellerin üçüncü mod şekillerinde de değişiklik söz konusudur.

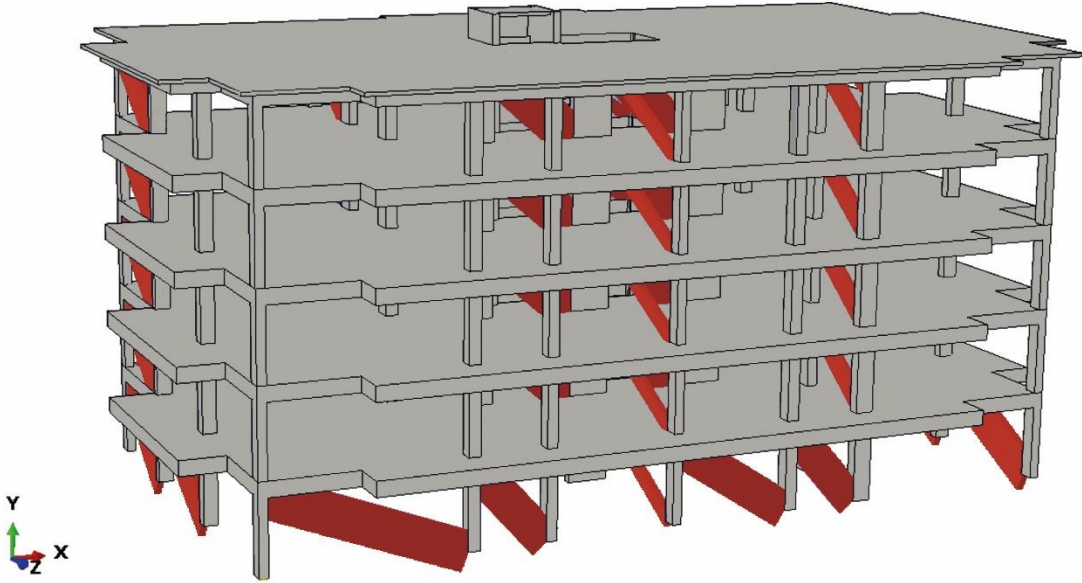
Eşdeğer diyagonal basınç çubuğu ile oluşturulan nümerik model sonuçları incelendiğinde, binanın karkas nümerik model periyotları ile karşılaştırıldığında eşdeğer basınç çubuklu nümerik modelin periyotlarında önemli bir azalma meydana gelmediği görülmektedir.



7. EŞDEĞER DİYAGONAL BASINÇ ÇUBUĞU İÇİN ÖNERİLEN FORMÜLLERİN MEVCUT BİNA İÇİN KARŞILAŞTIRILMASI

Çalışmanın bu bölümünde literatürde yer alan eşdeğer diyagonal basınç çubuğu için önerilen farklı formüllerin karşılaştırılması incelenmiştir. Daha önce incelenen Holmes (1961), Stafford Smith and Carter (1969), Mainstone (1974), Liauw and Kwan (1984), Paulay and Priestly (1992), Durrani and Luo (1994)'nın önerdikleri formüller baz alınmıştır. Araştırmacıların, eşdeğer basınç çubuğu için önerdikleri formüller kullanılarak nümerik modeller oluşturulmuştur. Oluşturulan nümerik modellerin modal analizleri yapılarak periyot değerleri ve mod şekilleri bulunmuştur. Bulunan sonuçlar sırasıyla, referans olarak alınan Mainstone (1974)'un sonuçlarıyla kıyaslanmıştır.

Stafford Smith and Carter (1969)'ın önerdiği Denklem 4.3 kullanılarak oluşturulan model Şekil 7.1'de gösterilmiştir. Analiz sonucunda bulunan periyot değerleri ve mod şekilleri ise Tablo 7.1'de karşılaştırılmıştır.

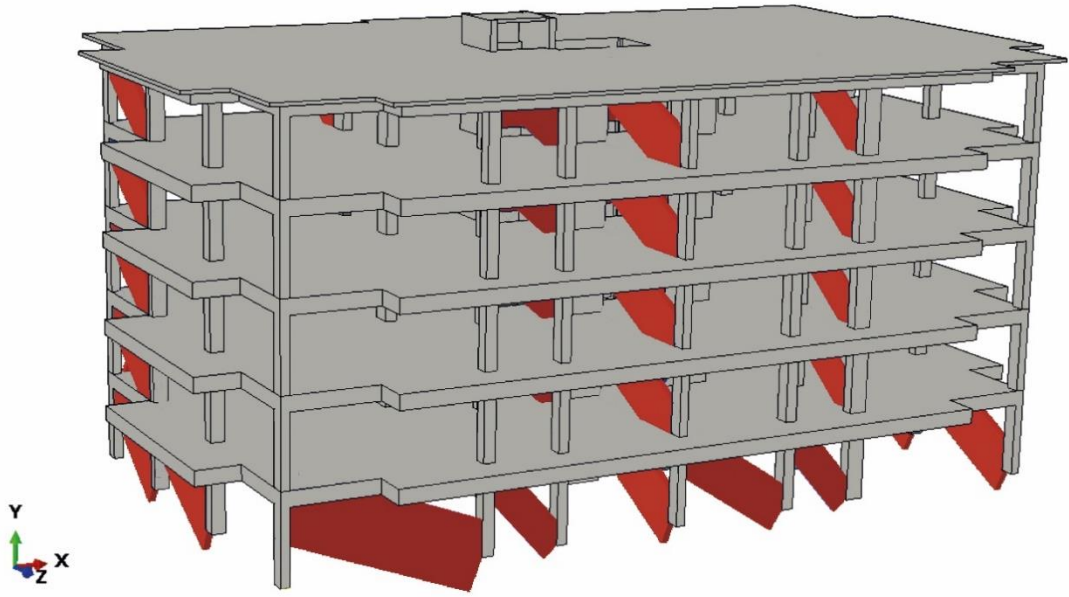


Şekil 7.1. Stafford Smith and Carter (1969) ile oluşturulan nümerik model

Tablo 7.1. Mainstone (1974) ve Stafford Smith and Carter (1969) periyot sonuçları

	Burulma Periyodu (s)	X Yönü Ötelenme Periyodu (s)	Y Yönü Ötelenme Periyodu (s)
(a) Mainstone (1974)	0.432	0.369	0.356
(b) Stafford Smith and Carter (1969)	0.426	0.372	0.358
(%) Fark [(b-a)/a]	-1	1	1

Holmes (1961)'in önerdiği Denklem 4.1 kullanılarak oluşturulan model Şekil 7.2'de gösterilmiştir. Analiz sonucunda bulunan periyot değerleri ve mod şekilleri ise Tablo 7.2'de karşılaştırılmıştır.

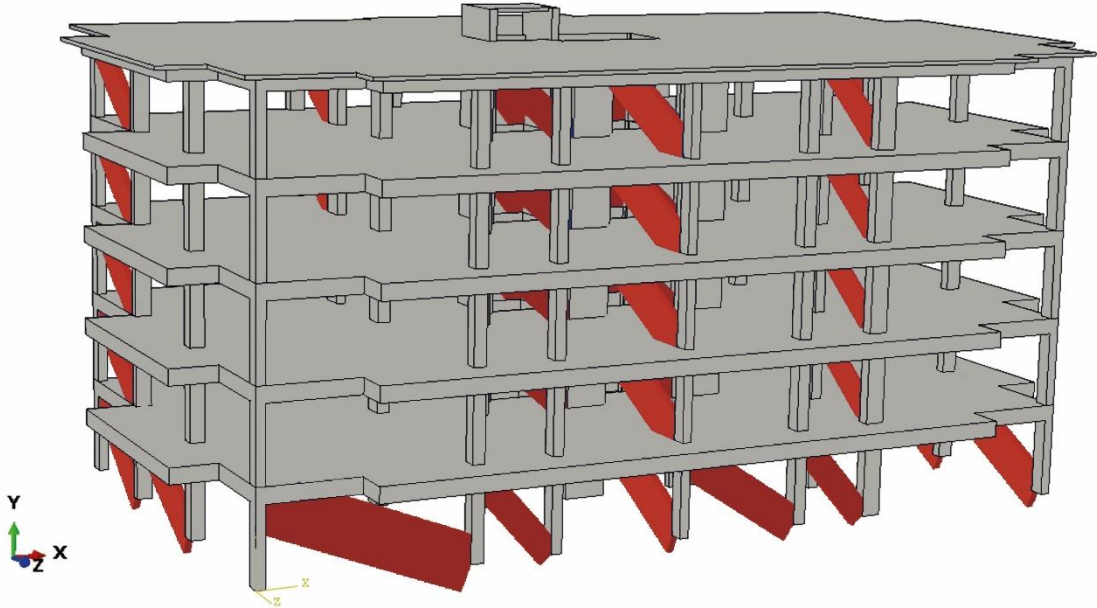


Şekil 7.2. Holmes (1961) ile oluşturulan nümerik model

Tablo 7.2. Mainstone (1974) ve Holmes (1961) periyot sonuçları

	Burulma Periyodu (s)	X Yönü Ötelenme Periyodu (s)	Y Yönü Ötelenme Periyodu (s)
(a) Mainstone (1974)	0.432	0.369	0.356
(b) Holmes (1961)	0.426	0.367	0.352
(%) Fark [(b-a)/a]	-1	-1	-1

Paulay and Priestly (1992)'in önerdiği Denklem 4.7 kullanılarak oluşturulan model Şekil 7.3'te gösterilmiştir. Analiz sonucunda bulunan periyot değerleri ve mod şekilleri ise Tablo 7.3'te karşılaştırılmıştır.

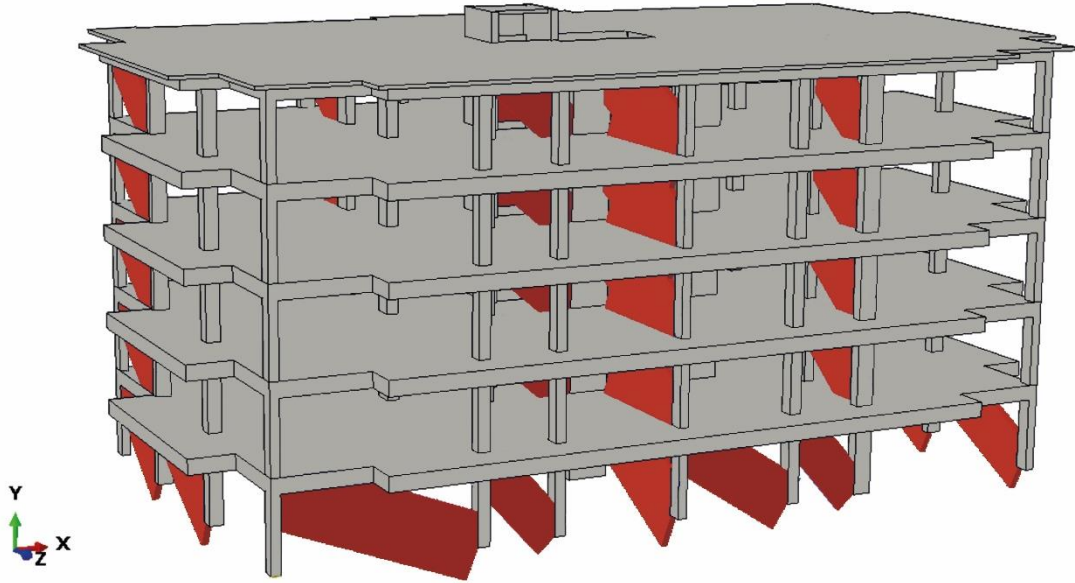


Şekil 7.3. Paulay and Priestly (1992) ile oluşturulan nümerik model

Tablo 7.3. Mainstone (1974) ve Paulay and Priestly (1992) periyot sonuçları

	Burulma Periyodu (s)	X Yönü Ötelenme Periyodu (s)	Y Yönü Ötelenme Periyodu (s)
(a) Mainstone (1974)	0.432	0.369	0.356
(b) Paulay and Priestly (1992)	0.428	0.368	0.354
(%) Fark [(b-a)/a]	-1	0	-1

Liauw and Kwan (1984)'in önerdiği Denklem 4.6 kullanılarak oluşturulan model Şekil 7.4'te gösterilmiştir. Analiz sonucunda bulunan periyot değerleri ve mod şekilleri ise Tablo 7.4'te karşılaştırılmıştır.

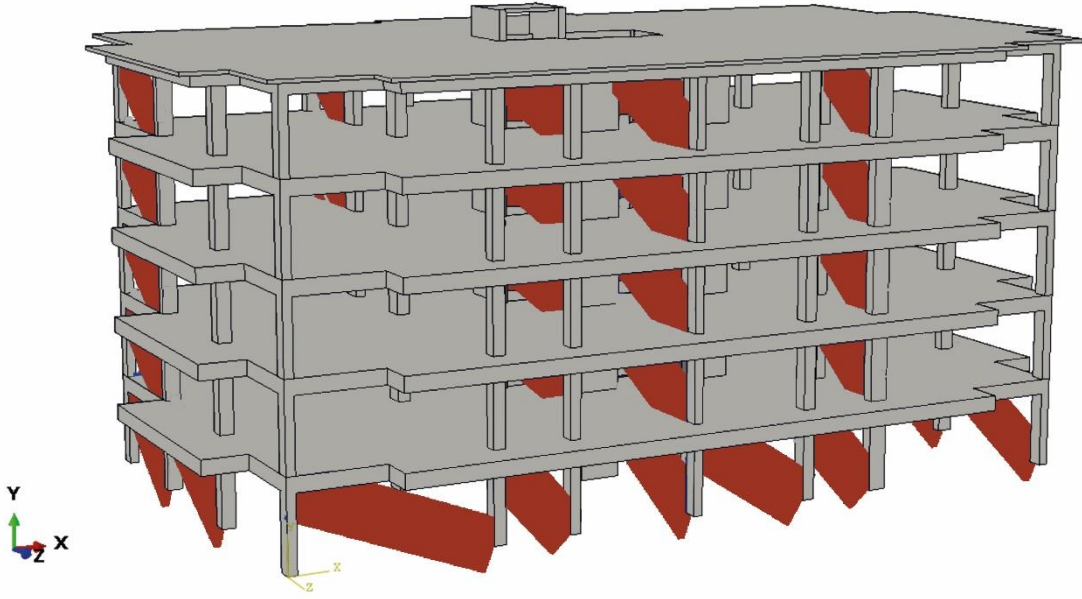


Şekil 7.4. Liauw and Kwan (1984) ile oluşturulan nümerik model

Tablo 7.4. Mainstone (1974) ve Liauw and Kwan (1984) periyot sonuçları

	Burulma Periyodu (s)	X Yönü Ötelenme Periyodu (s)	Y Yönü Ötelenme Periyodu (s)
(a) Mainstone (1974)	0.432	0.369	0.356
(b) Liauw and Kwan (1984)	0.426	0.367	0.349
(%) Fark [(b-a)/a]	-1	-1	-2

Durrani and Luo (1994)'nın önerdiği Denklem 4.8 kullanılarak oluşturulan model Şekil 7.5'te gösterilmiştir. Analiz sonucunda bulunan periyot değerleri ve mod şekilleri ise Tablo 7.5'te karşılaştırılmıştır.



Şekil 7.5. Durrani and Luo (1994) ile oluşturulan nümerik model

Tablo 7.5. Mainstone (1974) ve Durrani and Luo (1994) periyot sonuçları

	Burulma Periyodu (s)	X Yönü Ötelenme Periyodu (s)	Y Yönü Ötelenme Periyodu (s)
(a) Mainstone (1974)	0.432	0.369	0.356
(b) Durrani and Luo (1994)	0.425	0.368	0.353
(%) Fark [(b-a)/a]	-2	0	-1

Eşdeğer diyagonal basınç çubuğu ile oluşturulan nümerik modellerin periyot sonuçları ve mod şekilleri Tablo 7.6’da gösterilmiştir. Tablo 7.6 incelendiğinde, literatürde eşdeğer diyagonal basınç çubuğu için önerilen genişlik formülleri ile oluşturulan nümerik modellerin periyot değerlerinin birbirlerine yakın sonuçlar verdikleri, mod şekillerinin ise aynı oldukları görülmüştür.

Tablo 7.6. Eşdeğer diyagonal basınç çubuğu için periyot karşılaştırmaları

	Mainstone (1974)	Stafford Smith and Carter (1969)	Holmes (1961)	Paulay and Priestly (1992)	Liau and Kwan (1984)	Durrani and Luo (1994)
Burulma	0.432	0.426	0.426	0.428	0.426	0.425
X Yönü Ötelenme	0.369	0.372	0.367	0.368	0.367	0.368
Y Yönü Ötelenme	0.356	0.358	0.352	0.354	0.349	0.353

Eşdeğer diyagonal basınç çubuğu karşılaştırması sonuçları, literatürde eşdeğer basınç çubuğu genişliği için önerilen farklı formüller ile oluşturulan nümerik modellerin periyot değerlerinin birbirine yakın sonuçlar verdiğini göstermiştir. Elde edilen eşdeğer basınç çubuğu genişlikleri, birbirinden farklı olsa da periyot sonuçlarına bakıldığında aralarında %1 veya %2 mertebesinde küçük farklar bulunmuştur. Ortaya çıkan bu küçük farklar, eşdeğer basınç çubuk genişliklerinin farklı olmasından kaynaklanan rijitlik değişiminden dolayıdır.

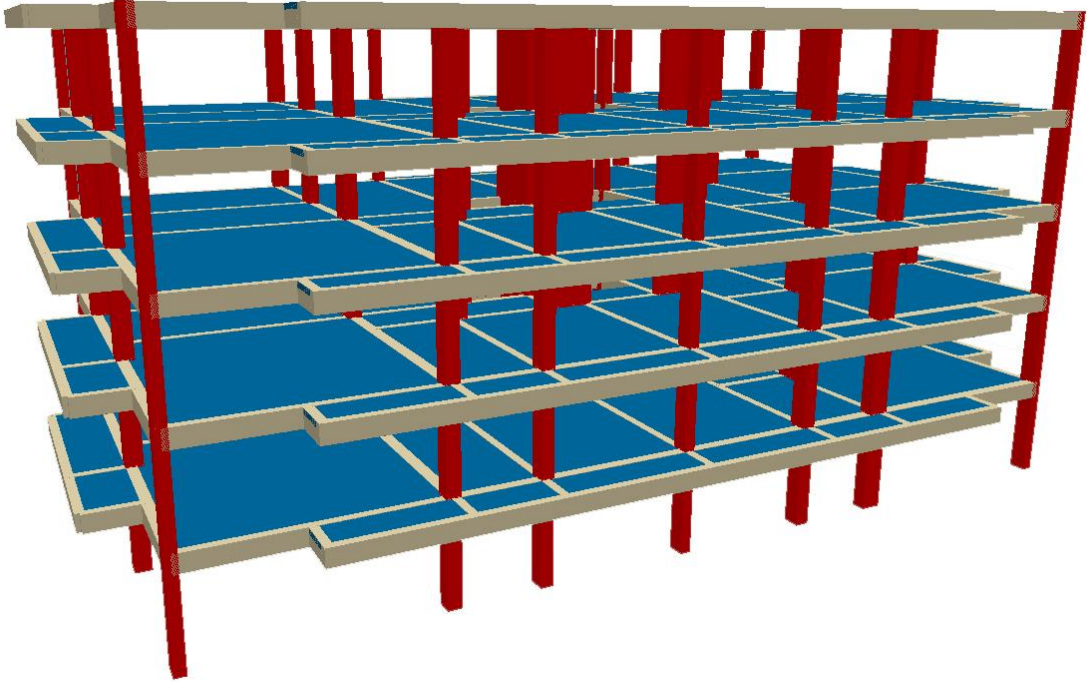
Mehrabi vd. (1996), deneysel olarak yaptıkları çalışmada, betonarme çerçeveler içine dolgu duvarlar yerleştirmiş ve çerçevelerin rijitliklerini incelemişlerdir. Dolgu

duvarları modellemek için, Holmes (1961) ve Stafford Smith ve Carter (1969)'ın önerdiği eşdeğer diyagonal çubuk yöntemini kullanmışlardır. Sonuçları incelediklerinde, Stafford Smith ve Carter (1969)'ın önerdiği yöntem ile bulunan rijitliklerin, deneysel olarak bulunan rijitliklerin yaklaşık yarısı olduğu görülmüştür. Önerilen diyagonal çubuk yönteminin gerçek sonuçları yansıtamadığı belirtilmiştir. Mehrabi vd. (1996)'nin sonuçları incelendiğinde, çalışma kapsamında bulunan sonuçların da benzer sonuçlar verdiği görülmüştür.

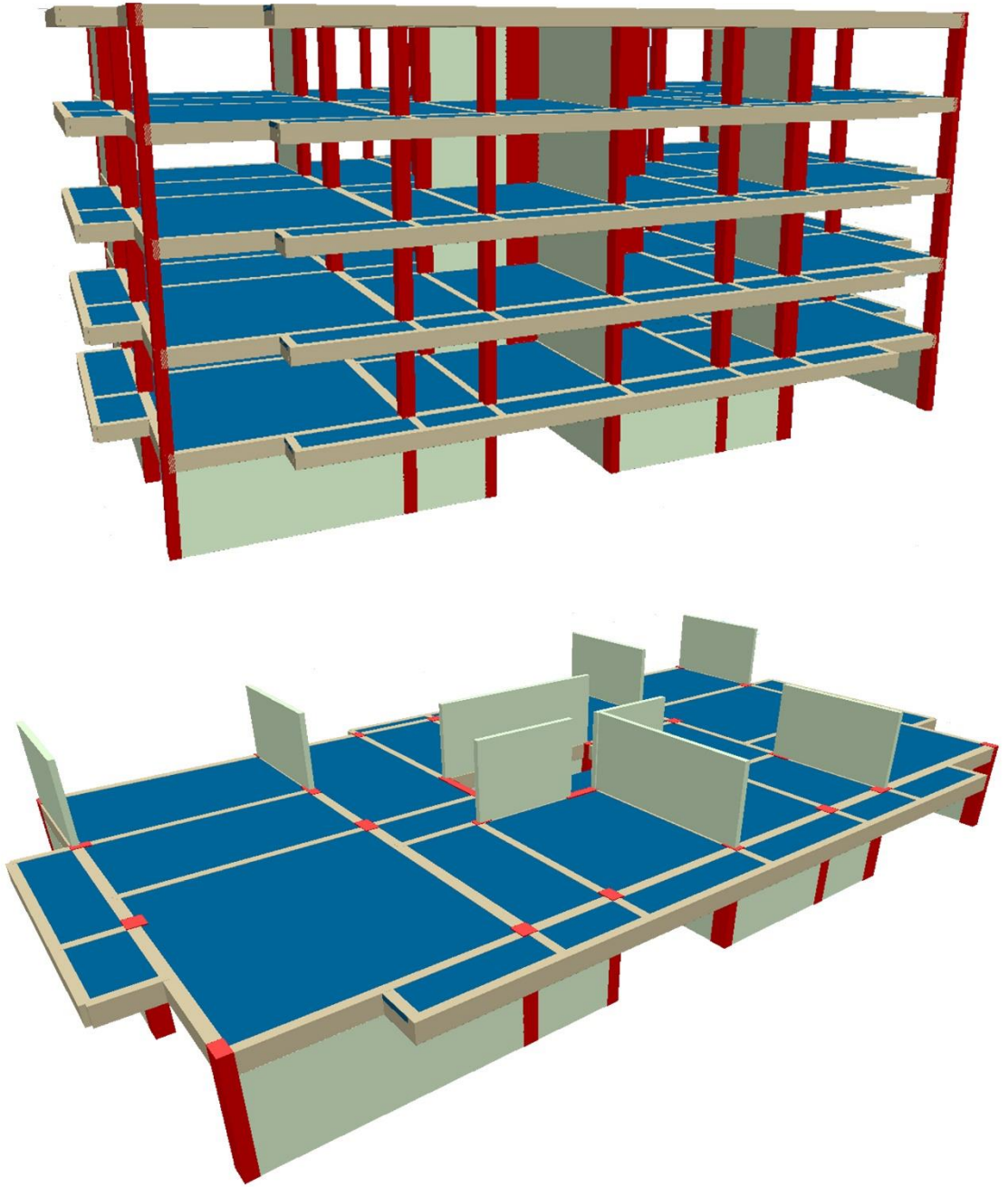


8. ÖRNEK BİR STATİK-BETONARME HESAP YAZILIMI İLE OLUŞTURULAN ÇERÇEVE İÇİ BOŞLUKSUZ DOLGU DUVARLI MODELİN İRDELENMESİ

Betonarme bina projelendirme aşamasında kullanılan statik-betonarme hesap yazılımları, dolgu duvarların binanın yatay rijitliğine olan etkisini dikkate almamakta, dolgu duvarları sadece kütle olarak binaya etki ettirmektedir. Yeni tasarlanan binalarda, kullanılan statik-betonarme hesap yazılımlarının dolgu duvarların rijitliğe etkisini ne ölçüde ele aldığını irdelemek amacıyla, binanın karkas ve çerçeve içi boşluksuz dolgu duvarlı nümerik modeli, inşaat mühendislerinin yaygın olarak kullandığı bir hesap yazılımı olan Sta4Cad v13.1 (2013) ile oluşturulmuştur. Şekil 8.1 ve Şekil 8.2’de sırasıyla karkas ve çerçeve içi boşluksuz dolgu duvarlı nümerik modeller gösterilmektedir. Nümerik modellerde kullanılacak beton ve duvar elastisite modülü değerleri için, çevresel titreşim ölçümü sonuçlarına göre kalibre edilerek bulunan beton ve sıvasız dolgu duvar elastisite modülü değerleri kullanılmıştır.



Şekil 8.1. Sta4Cad ile oluşturulan karkas nümerik model



Şekil 8.2. Sta4Cad ile oluşturulan çerçeve içi boşluksuz dolgu duvarlı nümerik model ve dolgu duvarların yerleşimlerinin gösterimi

Nümerik modellerde yapılan modal analiz sonuçları Tablo 8.1’de gösterilmektedir. Tablo incelendiğinde dolgu duvarlar, karkas nümerik modele eklendikten sonra periyot değerlerinde artış görülmüştür. Bunun nedeni, dolgu duvar kütleindeki artışın dolgu duvarların binanın yatay rijitliğine olan katkısını baskılamasından kaynaklanmaktadır.

Tablo 8.1. *Sta4Cad ile oluşturulan nümerik modellerin periyot değerleri*

	X Yönü Ötelenme Periyodu (s)	Burulma Periyodu (s)	Y Yönü Ötelenme Periyodu (s)
(a) Karkas	0.473	0.467	0.432
(b) Boşluksuz Dolgu Duvarlı	0.476	-	0.436
(%) Fark [(b-a)/a]	1	-	1

Sta4Cad yazılımı ile oluşturulan çerçeve içi boşluksuz dolgu duvarlı nümerik modelin sonuçları, Abaqus yazılımında dolgu duvarların katı cisim olarak modellendiği çerçeve içi boşluksuz dolgu duvarlı nümerik modelin ve eşdeğer diyagonal basınç çubuklu nümerik modelin sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Tablo 8.2’de sonuçlar gösterilmektedir.

Tablo 8.2. *Sta4Cad modelinin, Abaqus ile oluşturulan çerçeve içi boşluksuz dolgu duvarlı modeller ile karşılaştırılması*

	Burulma Periyodu (s)	X Yönü Ötelenme Periyodu (s)	Y Yönü Ötelenme Periyodu (s)
(a) Dolgu Duvarlı Katı Model	0.357	0.337	0.321
(b) Eşdeğer Basınç Çubuklu Model (Mainstone, 1974)	0.432	0.369	0.356
(c) Sta4Cad Modeli	-	0.476	0.430

Sta4Cad yazılımının analiz sonuç raporlarına bakıldığında, yazılımın dolgu duvarları modellerken FEMA 356 (2000) ve DBYBHY (2007)’de yer alan Denklem 4.11 ve Denklem 4.12’yi kullandığını görülmüştür. Ancak aynı yöntemin kullanıldığı eşdeğer diyagonal basınç çubuklu nümerik modelin sonuçlarına bakıldığında, Sta4Cad modelinin sonuçları ile arasında %20-29 arasında bir fark olduğu ortaya çıkmıştır.

9. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, Eskişehir kent merkezinde bulunan betonarme bir bina, karkas ve sıvasız tam dolgu duvarlı halde iken çevresel titreşim ölçümü yapılmıştır. Operasyonel Modal Analiz (OMA) ile binanın periyot değerleri ve mod şekilleri belirlenmiş, oluşturulan nümerik modellerin çevresel titreşim ölçüm sonuçlarıyla modal kalibrasyonu yapılmış ve beton ve sıvasız dolgu duvar için elastisite modülü değerleri belirlenmiştir. Binanın proje verileri incelenerek çerçeve içinde kalan boşluksuz dolgu duvarlar belirlenmiştir. Bu dolgu duvarların ilk olarak katı model olarak modellendiği nümerik model oluşturulmuştur. İkinci olarak dolgu duvarları temsil eden eşdeğer diyagonal basınç çubuklu nümerik model üretilmiştir. Oluşturulan iki nümerik model, periyot değerleri ve mod şekilleri bakımından birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Dolgu duvarlar için kullanılan eşdeğer diyagonal basınç çubuğu yönteminin, dolgu duvarların davranışını ne ölçüde yansıtabildiği belirlenmeye çalışılmıştır. Daha sonra literatürde yer alan eşdeğer diyagonal basınç çubuğu için önerilen genişlik formülleri ile oluşturulan nümerik modellerin periyot değerleri ve mod şekilleri bakımından karşılaştırılması yapılmıştır. Çalışmaya ek olarak, çerçeve içi boşluksuz dolgu duvarlı nümerik model, bina tasarımında kullanılan örnek bir statik-betonarme hesap yazılımı ile oluşturulmuştur. Hesap yazılımının, dolgu duvarların rijitliğe olan katkısını ne şekilde dikkate aldığı irdelenmiştir.

Binanın sıvasız bitmiş dolgu duvarlı haldeyken alınan çevresel titreşim kayıtları sonuçlarına göre elde edilen periyot değerlerinde, karkas halde alınan çevresel titreşim kayıtlarına göre bulunan periyot değerlerine göre %28 azalma meydana gelmiştir. Bu sonuç, dolgu duvarların binanın yatay rijitliğini önemli ölçüde arttırdığını göstermektedir.

Çalışma, Abaqus yazılımı ile oluşturulan karkas ve sıvasız bitmiş dolgu duvarlı nümerik modellerin mod şekillerinin, çevresel titreşim ölçümü ile bulunan binanın mod şekilleri ile uyumlu olduğu, temel periyotların kalibre edilmesiyle beraber ikinci ve üçüncü periyot değerleri arasında %4 ile %5 arasında değişen bir fark olduğunu, sonuçların birbiriyle tutarlı olduğunu göstermiştir.

Dolgu duvarların katı cisim olarak modellendiği çerçeve içi boşluksuz dolgu duvarlı nümerik model ile eşdeğer diyagonal basınç çubuklu nümerik model sonuçları karşılaştırıldığında mod şekillerinin birbiriyle uyumlu olduğu, periyot değerleri için birinci periyotta %21, ikinci periyotta %9, üçüncü periyotta ise %11'lik bir fark oluşmuştur.

Eşdeğer diyagonal basınç çubuğu için önerilen genişlik formülleri ile çerçeve içi boşluksuz dolgu duvarlı nümerik modeller üretilmiş ve bu nümerik modellerin karşılaştırması yapılmıştır. Bulunan sonuçların birbirleriyle uyum içerisinde olduğu görülmüştür. Ancak bu sonuçlar, binanın referans alınan çerçeve içi boşluksuz dolgu duvarlı nümerik modelinin periyot sonuçlarından uzaktır. Yapılan çalışma çerçevesinden bakıldığında, eşdeğer diyagonal basınç çubuğu ile modellenen dolgu duvarların, katı cisim olarak modellenen dolgu duvarlara göre rijitliği tam anlamıyla yansıtamadığını görülmüştür. Benzer çalışmaların sayısı arttırıldığında daha anlamlı sonuçların ortaya çıkacağı düşünülmektedir.

Eşdeğer diyagonal basınç çubuğu genişliği için literatürde önerilen formüller, çelik çerçeveli dolgu duvarlar üzerinde yapılan çalışmalarla geliştirilmiştir. Çelik çerçeveli sistemler ile yapılan çalışmalar, betonarme çerçeveler ile yapılan çalışmalara göre literatürde daha fazla yer almaktadır. Bunun sebebinin, betonarme çerçevelerin çelik çerçevelere göre daha karmaşık yapıda olması ve betonarme çerçeve davranışının çelik çerçevelere göre daha öngörülemez olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Eşdeğer diyagonal basınç çubuğu yaklaşımının daha sağlıklı sonuçlar vermesi açısından, benzer çalışmaların sayısının arttırılarak, betonarme binalarda daha fazla çalışma yapılması gerektiği düşünülmektedir.

Çalışmaya ek olarak, bina tasarımında yaygın olarak kullanılan bir statik-betonarme hesap yazılımı ile oluşturulan nümerik modelde, dolgu duvarlar modellendiğinde binanın periyot değerlerinde artış gözlenmiştir. Ancak gerçekte, dolgu duvarların rijitliği dikkate alındığında bina temel periyodu kısalmaktadır. Hesap yazılımının arka planında, dolgu duvarların eşdeğer diyagonal basınç çubuğu ile modellendiği görülmekte, ancak eşdeğer diyagonal basınç çubuklu nümerik model ile kıyaslandığında %20-29'luk farklar ortaya çıkmıştır. Bunun sebebi tam olarak anlaşılamamıştır. Bu yüzden, kullanılan statik-betonarme hesap yazılımlarının, dolgu duvarların rijitliğini ve binanın davranışına olan katkısını dikkate alıp almadığının irdelenmesi gerekmektedir.

Benzer çalışmaların sayısının arttırılarak, bu çalışmaların sonuçları doğrultusunda; betonarme binalara ait nümerik modellerde, dolgu duvarların eşdeğer diyagonal basınç çubuğu yaklaşımı ile daha gerçekçi bir şekilde modellenebileceği düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

- ABAQUS, Dassault Systems. ABAQUS CAE, Providence, RI. (2017).
- Abdel-Ghaffar, A. M., & Scott, R. (1981). Vibration tests of full-scale earth dam. *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, 241-269.
- ACI 318-95. (1996). *Building code requirements for structural concrete*. ACI Committee 318.
- Aksoy, H. B., & Avşar, Ö. (2015). Dolgu duvarların betonarme çerçeve davranışına etkisinin basitleştirilmiş bir yöntemle dikkate alınması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21(3), 115-122.
- Al-Nimry, H., Resheidat, M., & 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.
- Aras, F. (2015). Betonarme bir binada bölme duvarların bina dinamik özelliklerine olan etkilerinin incelenmesi. *3. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*. İzmir, Türkiye.
- Baloevic, G., Radnic, J., Matesan, D., Grgic, N., & Banovic, I. (2016). Comparison of developed numerical macro and micro masonry models for static and dynamic analysis of masonry-infilled steel frames. *Latin American Journal of Solids and Structures*, 13(12), 2251-2265.
- Bayraktar, A., Türker, T., Altunışık, A., Sevim, B., Şahin, A., & Özcan, D. (2010). Binanın dinamik parametrelerinin operasyonel modal analiz yöntemiyle belirlenmesi. *İMO Teknik Dergi*, 337, 5185-5205.
- Bayülke, N. (2011). Yığma yapıların deprem davranışı ve güvenliği. *1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*. Ankara, Türkiye.
- Beck, J., May, B., & Polidori, D. (1994). Determination of the modal parameters from ambient vibration data for structural health monitoring. *Proceeding First World Conference on Structural Control*. Los Angeles.
- Bilir, H. (2010). *Dolgu duvarların betonarme çerçeve sistemlere olan etkisinin incelenmesi*. Doktora Tezi, Adana: Çukurova Üniversitesi.

- Boru, E., & Kutanis , M. (2015). Çevrel titreşim kayıtları kullanılarak yapı dinamik parametrelerinin belirlenmesi. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 1, 59-66.
- Brincker, R., Zhang, L., & Andersen, P. (2001). Modal identification of output-only systems using frequency domain decomposition. *Smart Materials and Structures*, 10(3), 441-445.
- Brownjohn, J., Chandu, R., Dumanoglu, A., & Taylor, C. (1986). Ambient vibration testing on the Humber suspension bridge. *Proceeding of the 8th European Conference on Earthquake Engineering*. Lisbon.
- Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (2007). 26454 sayılı Resmi Gazete, Ankara.
- Durmazgezer, E. (2013). *Dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin deprem etkileri altındaki davranışının incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi.
- Durrani, A., & Luo, Y. (1994). Seismic retrofit of flat-slab buildings with masonry infills. *Proceedings from the NCEER workshop on seismic response of masonry infills*.
- Englekirk, R., & Matthiesen , R. (1967). Forced vibration of an eight-story reinforced concrete building. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 57(3), 421-436.
- FEMA 356. (2000). *Prestandart and Commentary for The Seismic Rehabilitation of Buildings*. Federal Emergency Management Agency, Washington.
- Güler, K., Yüksel, E., & Koçak, 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.
- Hans, S., Boutin, C., Ibraim, E., & Roussillon, P. (2005). In situ experiments and seismic analysis of existing buildings. Part I: Experimental investigation. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 34(12), 1513-1529.
- Holmes, M. (1961). Steel frames with brickwork and concrete infilling. *Proceeding of the Institution of Civil Engineers*, 19(4), 473-478.

- Ivanovic, S., & Trifunac, M. (1995). *Ambient vibration survey of full-scale structures using personal computers (with examples in Kaprielian Hall)*. Department of Civil Engineering, Report No: CE 95-05, University of Southern California, Los Angeles, California.
- Kaplan, O. (2017). *Orta yükseklikteki betonarme binaların temel periyotlarını çevresel titreşim ölçümleri ile belirlenmesi ve periyot bağıntısı önerilmesi*. Doktora Tezi, Eskişehir: Anadolu Üniversitesi.
- Ko, J., & Bao, Z.-W. (1985). *Ambient vibration measurements on existing tall buildings in Hong Kong*. Civil and Structural Engineering Department, Hong Kong Polytechnic, Hong Kong.
- Köse, M. M. (2009). Parameters affecting the fundamental period of RC buildings with infill wall. *Engineering Structure*, 31(1), 93-102.
- Liauw, T. C., & Kwan, K. H. (1984). Nonlinear behaviour of non-integral infilled frames. *Computers and Structures*, 18(3), 551-560.
- Mainstone, R. J. (1974). *Supplementary note on the stiffness and strengths of infilled frames*. Building Research Station, Current Paper 13/74, UK.
- Mallick, D. V., & Severn, R. T. (1967). The behaviour of infilled frames under static loading. *Proceeding of the Institution of Civil Engineering*, 38(4), 639-656.
- Mehrabi, A. B., Shing, P. B., Schuller, M. P., & Noland, J. L. (1996). Experimental evaluation of masonry-infilled RC frames. *Journal of Structural Engineering*, 122(3), 228-237.
- Michel, C., Gueguen, P., & Bard, P. -Y. (2008). Dynamic parameters of structures extracted from ambient vibration measurements: An aid for the seismic vulnerability assessment of existing buildings in moderate seismic hazard regions. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 28(8), 593-604.
- Parolai, S., & Galiana-Merino, J. J. (2006). Effect of transient seismic noise on estimates of H/V spectral ratios. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 96(1), 228-236.

- Paulay, T., & Priestly, M. J. (1992). *Seismic design of reinforced concrete and masonry*. John Wiley, New York.
- Petrovski, J., Jurukovski, D., & Paskalov, T. (1973). Dynamic properties of fourteen-story reinforced concrete building from full-scale forced vibration study and formulation of mathematical model. *Proceeding of Fifth World Conference on Earthquake Engineering*. Rome, Italy.
- Polyakov, S. V. (1956). Masonry in framed buildings (An investigation into the strength and stiffness of masonry infilling).
- Satake, N., Suda, K. -I., Arawaka, T., Sasaki, A., & Tamura, Y. (2003). Damping evaluation using full-scale data of buildings in Japan. *Journal of Structural Engineering*, 129(4), 470-478.
- Smith, B. S., & Carter, C. (1969). A method of analysis for infilled frames. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 44, 31-48.
- Soysal, E. (2019). *Betonarme bir binanın çevrel titreşim etkisindeki kayıtları ile dolgu duvarların incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Osmaniye: Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi.
- STA4CAD v13.1, STA Bilgisayar Mühendislik ve Müşavirlik Ltd. Şti. (2013).
- Sucar, İ. (2008). *Betonarme yapılarda yatay yükler etkisi altında dolgu duvarların taşıyıcı sistem davranışına etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir: Balıkesir Üniversitesi.
- Tar, İ. Ö. (2010). *Dolgu duvarların modellenmesinde kullanılan eşdeğer basınç çubuğu yöntemlerinin karşılaştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Timuağaoğlu, M. Ö. (2015). *Dolgu duvarlı çerçevelerin davranışının analitik ve sayısal yöntemlerle incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Bursa: Uludağ Üniversitesi.
- Trifunac, M. D. (1971). Zero Baseline Correction of Strong Motion Accelerograms. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 61(5), 1201-1211.
- Trifunac, M. D. (1972). Comparisons between ambient and forced vibration experiments. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 1(2), 133-150.

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

Uçar, T., & Öztürkoğlu, O. (2018). Basınç çubuğu bünye bağlantısının boşluklu dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin artımsal itme analizine etkisi. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 8(1), 227-241.

Ventura, C. E., Felber, A. J., & Stierner, S. F. (1995). Experimental investigations of Dynamics of Queensborough Bridge. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 9(2), 146-155.

Yetkin, M. (2016). *Betonarme yapıların çevresel titreşim verileri kullanılarak dinamik davranışının incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Elazığ: Fırat Üniversitesi.

Yu, E., Wallace, J. W., & Taciroglu, E. (2007). Parameter identification of framed structures using an improved finite element model-updating method. Part II: Application to experimental data. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 36(5), 641-660.

http-1: <https://www.guralp.com/sw/scream.shtml> (Erişim Tarihi: 12.08.2020).

http-2: <http://www.geopsy.org/index.html> (Erişim Tarihi: 12.08.2020).

http-3: <https://svibs.com/artemis-modal> (Erişim Tarihi: 12.08.2020).

ÖZGEÇMİŞ

ORCID NO: 0000-0003-4177-6481

Adı - Soyadı : Hasan Celil YELKEN

Yabancı Dil : İngilizce

Doğum Yeri ve Yılı : Eskişehir, 1994

E-Posta : celilyelken@gmail.com

Eğitim:

Yüksek Lisans : Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yapı Bilim Dalı (2017-2020)

Lisans : Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü (2012-2016)

Lise : Eskişehir Fatih Anadolu Lisesi (2008-2012)

İş Deneyimleri:

Proje Asistanı : Eskişehir Teknik Üniversitesi Yer ve Uzay Bilimleri Enstitüsü (2017-2018)

Şantiye Şefi : Ölce İnşaat Ltd. Şti. (2016-2017)