

**İKİ BETONARME BİNADA BAĞ KİRİŞLERİ ETKİSİNİN  
OPERASYONEL MODAL ANALİZ VE SONLU ELEMAN  
YÖNTEMLERİYLE BELİRLENMESİ**

Tolga Akbaş  
171412201

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Yapı-Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı  
Yapı Deprem Mühendisliği Yüksek Lisans Programı  
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Seyit Çeribaşı  
İkinci Danışman: Doç. Dr. Fuat Aras

İstanbul  
T.C. Maltepe Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Ocak, 2020



**İKİ BETONARME BİNADA BAĞ KİRİŞLERİ ETKİSİNİN  
OPERAYONEL MODAL ANALİZ VE SONLU ELEMAN  
YÖNTEMLERİYLE BELİRLENMESİ**

Tolga Akbaş

171412201

Orcid: 0000-0003-0059-2504

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Yapı-Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı  
Yapı Deprem Mühendisliği Yüksek Lisans Programı  
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Seyit Çeribaşı  
İkinci Danışman: Doç. Dr. Fuat Aras




İstanbul  
T.C. Maltepe Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Ocak, 2020



# JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

## JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

TOLGA AKBAŞ'ın "İki Betonarme Binada Bağ Kirişleri Etkisinin Operasyonel Modal Analiz Ve Sonlu Eleman Yöntemleriyle Belirlenmesi" başlıklı tezi 29.01.2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek "Maltepe Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği" nin ilgili maddeleri uyarınca Yapı-Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans/Doktora tezi oy birliğiyle/oy çokluğuyla, başarılı/başarısız olarak kabul edilmiştir.

Unvanı, Adı ve Soyadı	İmza
Üye (Tez Danışmanı) Dr. Öğr. Üyesi Seyit ÇERİBAŞI	
Üye Prof. Dr. Barış SEVİM	
Üye Dr. Öğr. Üyesi Ayşe Elif ÖZSOY ÖZBAY	



Prof. Dr. Belma AKŞİT  
Enstitü Müdürü V.

# ETİK İLKE VE KURALLARA UYUM BEYANI

 maltepe üniversitesi	<b>LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ</b> <b>ETİK İLKE VE KURALLARA</b> <b>UYUM BEYANI</b>	Doküman No	FR-178
		İlk Yayın Tarihi	01.03.2018
		Revizyon Tarihi	23.01.2020
		Revizyon No	01
		Sayfa	1

29/01/2020

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bulguların sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilmeyen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; çalışmamın Maltepe Üniversitesinde kullanılan "bilimsel intihal tespit programı" ile tarandığını ve öngörülen standartları karşıladığını beyan ederim.

Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara razı olduğumu bildiririm.



Tolga Akbaş

Hazırlayan: Enstitü Sekreterliği

Onaylayan: Kalite Yönetim Koordinatörlüğü

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimimde desteklerini esirgemeyen, tez çalışmam esnasında kıymetli zamanlarını benimle paylaşan ve bu çalışmanın yolunu açan danışman hocalarım Doç. Dr. Fuat Aras ve Dr. Öğr. Üyesi Seyit Çeribaşı'na teşekkürü bir borç bilir, saygılarımı sunarım.

“116M254” numaralı Bilimsel Araştırma Projesi'nde tez çalışması boyunca yüksek lisans bursiyeri olarak çalışarak maddi destek almama imkân sağlayan Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumuna (TÜBİTAK) teşekkür ederim.

Tüm desteğiyle her zaman yanımla olan, tezime bilgisiyle katkı sunan kıymetli eşim ve aynı zamanda meslektaşım Aylin Akbaşı'a müteşekkir olduğumu belirtmek isterim.

Hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen annem İmren Akbaşı ile babam Ali Akbaşı'a minnet ve şükranlarımı sunarım.

Tolga Akbaşı

Ocak 2020

## ÖZ

# İKİ BETONARME BİNADA BAĞ KİRİŞLERİ ETKİSİNİN OPERASYONEL MODAL ANALİZ VE SONLU ELEMAN YÖNTEMLERİYLE BELİRLENMESİ

Tolga Akbaş  
Yüksek Lisans Tezi  
Yapı-Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı  
Yapı Deprem Mühendisliği Yüksek Lisans Programı  
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Seyit Çeribaşı  
İkinci Danışman: Doç. Dr. Fuat Aras  
Maltepe Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, 2020

Birbirine yakın olarak inşa edilen binalarda yatay bağlantı elemanları kullanılarak binaların birbirine bağlandığı durumlarla çokça karşılaşmaktadır fakat ülkemizde böyle yapıların dinamik davranışları ile yapılmış çalışma sayısı çok azdır. Bu tez çalışmasında, İstanbul ilinde 1976 yılında inşa edilen, A ve B Bloklarından oluşan, ikiz ve kat seviyelerinde bağ kirişleriyle birbirine bağlı betonarme binalar ele alınmıştır. Yapıları birbirine bağlayan bağ kirişlerinin küçük ve büyük titreşimler altında, yapıların dinamik davranışına olan etkisini ortaya çıkarmak amacıyla, tam ölçekli deneysel ve sayısal çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışma kapsamında, rüzgâr ve trafik gibi çevresel etkilerle yapıda oluşan titreşimlerin kayıt altına alınıp işlenmesi prensibine dayanan operasyonel modal analiz tekniği kullanılırken, sayısal çalışma kapsamında ise sonlu elemanlar yönteminden yararlanılmıştır.

Bağ kirişlerinin yapı dinamik karakteristiklerine olan etkisini deneysel olarak ortaya çıkarabilmek için öncelikle yapılar birbirine bağ kirişleriyle bağlıyken her iki binada ayrı ayrı olmak üzere operasyonel modal analiz gerçekleştirilmiştir. Sonrasında bağ kirişleri kırılarak yapılar birbirinden ayrılmış ve her iki binada yine ayrı ayrı olmak üzere operasyonel modal analiz tekrarlanmıştır. Çevresel etkilerle oluşan titreşimlerin kaydedilip analiz edilmesiyle, yapı dinamik karakteristiklerini temsil eden doğal frekanslar ile mod şekilleri, yapıların bağlı ve ayrık olduğu durumlar için ayrı ayrı olarak elde edilmiştir. Elde edilen sonuçların karşılaştırılmasıyla, bağ kirişlerinin yapı dinamik karakteristiklerine olan etkisi deneysel olarak ortaya çıkarılmıştır.

Deneysel yöntemlerle elde edilen yapı dinamik karakteristiklerinin geçerliliği sayısal yöntemlerle elde edilen sonuçlara göre daha doğru kabul edilir. Sayısal modal analiz yöntemiyle bağ kirişleri etkisini ortaya çıkarmak amacıyla, deneysel olarak elde edilen yapı dinamik karakteristiklerini temsil eden en uygun sayısal modeli elde etmek için, yapıların beş farklı sonlu eleman modeli oluşturulmuştur.

Dolgu duvarların kütleli sonlu eleman modellerinin hepsinde yapısal analizlere dâhil edilirken, rijitlik özellikleri farklı şekilde yapısal analizlere dâhil edilmiştir. Dolgu duvarların rijitlik özellikleri, birinci sonlu eleman modelinde göz önünde bulundurulmazken, ikinci sonlu eleman modelinde kabuk eleman olarak, üçüncü, dördüncü ve beşinci sonlu eleman modellerinde ise iki ucu mafsallı eşdeğer sanal basınç çubuğu olarak yapısal analizlere dâhil edilmiştir. Üçüncü, dördüncü ve beşinci sonlu eleman modellerinde dolgu duvarların iki ucu mafsallı eşdeğer sanal basınç çubuğu olarak yapısal analizlere dâhil edilmesine rağmen birbirinden ayrılma sebebi boşluklu dolgu duvarların varlığıdır. Bu modellerde boşluklu dolgu duvarlar farklı modelleme teknikleriyle yapısal analizlere dâhil edilmiştir.

Oluşturulan beş farklı sonlu eleman modellerinin modal analizleri gerçekleştirilmiş, ilk üç modun frekans değerleri ve mod şekilleri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, operasyonel modal analiz yöntemiyle elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma işlemi için A Blok binası ele alınmış ve bağ kirişleri kırıldıktan sonra gerçekleştirilmiş olan operasyonel modal analiz sonuçları kullanılmıştır. Elde edilen sonuçların değerlendirilmesiyle, deneysel yöntemle elde edilen sonuçlara ikinci sonlu eleman modelinin frekans değerleri, dördüncü sonlu eleman modelinin ise mod şekilleri en yakın sonucu vermiştir.

İkinci ve dördüncü sonlu eleman modelleri kullanılarak A ve B Bloklarından oluşan binaların bağ kirişleriyle bağlı sonlu eleman modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan sonlu eleman modelinin modal analizi gerçekleştirilmiştir. Sonrasında bağ kirişleri kaldırılarak, A ve B Bloğun ayrı ayrı olmak üzere modal analizleri gerçekleştirilmiştir. Bağlı ve ayrık olma durumları için elde edilen sonuçların karşılaştırılmasıyla sayısal modal analiz yöntemiyle bağ kirişlerinin yapı dinamik karakteristiklerine olan etkisi ortaya çıkarılmıştır.

Aktif fay hatları bulunan ülkemizde sık sık depremler meydana gelmektedir. Bu sebeple, son olarak bu bölümde, ülkemizde oluşan depremlerin yer ivme kayıtları kullanılarak, bağ kirişlerin deprem performansı ve bağ kirişlerinin diğer yapısal elemanların deprem performansına olan etkisi araştırılmıştır. Bağ kirişlerinin diğer yapısal elemanların deprem performansına olan etkisini anlamak amacıyla, yapısal elemanların deprem performansı, binaların bağlı ve ayrık olma durumları için ayrı ayrı olarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerle belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar karşılaştırılmasıyla bağ kirişlerin yapısal elemanların deprem performansına olan etkisi ortaya çıkarılmıştır.

Binaların birbirlerine bağ kirişleriyle bağlanmasıyla, operasyonel modal analiz yöntemiyle, küçük titreşimler altında, yapıların birlikte hareket etme eğilimde olduğu, sonlu eleman yöntemiyle ise deprem yükleri altında yapısal elemanların davranışlarında bazı değişiklikler meydana geldiği ortaya çıkarılmıştır.

**Anahtar Sözcükler:** Bağ kirişleri, İkiz betonarme binalar, Operasyonel modal analiz, Dinamik davranış, Dinamik karakteristikler, Dolgu duvarların modellenmesi, Sayısal modal analiz, Gerçek deprem kayıtlarının ölçeklenmesi, Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz, Yapısal elemanların deprem performansı.



## **ABSTRACT**

# **DETERMINATION OF THE EFFECTS OF COUPLED BEAMS IN TWO REINFORCED CONCRETE BUILDINGS BY USING OPERATIONAL MODAL ANALYSIS AND FINITE ELEMENT METHODS**

Tolga Akbaş

Master Thesis

Department of Structures and Earthquake Engineering

Structures and Earthquake Engineering Programme

Advisor: Assistant Professor, Seyit Çeribaşı

Second Adviser: Associate Professor Dr. Fuat Aras

Maltepe University Graduate School, 2020

In buildings constructed close to each other, there are many situations where the buildings are connected to each other by using horizontal connection elements, but there are very few studies on the dynamic behavior of the buildings constructed as interconnected in our country. In this thesis study, two existing identical six storey reinforced concrete buildings which are connected to each other by coupling beams on their floor levels and constructed in Istanbul at 1976, is used. Full scale experimental and numerical studies have been carried out in order to reveal the effect of coupling beams connecting the structures to the dynamic behavior of the structures under small and large vibrations. Operational modal analysis technique, which is based on the principle of recording and processing of vibrations in the structure due to environmental effects such as wind and traffic, has been used in the experimental study, and finite element method has been used in the numerical study.

In order to determine the effect of coupled beams on the dynamic characteristics of the structure, firstly operational modal analysis was carried out separately in both buildings when the structures were connected with coupled beams. Then, the coupling beams were removed and twin buildings were separated from each other. After separation, operational modal analysis was repeated separately in both buildings. By recording and analyzing the vibrations caused by environmental effects, natural frequencies and mode shapes that representing the dynamic characteristics of the structure are obtained for the situations where the structures are connected and discrete. By comparing the obtained results, the effect of the coupled beams on the dynamic characteristics of the structure was determined experimentally.

The validity of the dynamic characteristics of the structures obtained by experimental methods is considered more accurate than the results obtained by numerical methods. In order to reveal the effect of coupled beams by numerically, five different finite element models of the structures have been formed in order to obtain the most appropriate numerical model representing the dynamic characteristics of the structure obtained by experimental method.

The mass of the infill walls was included in the structural analysis in all of the finite element models, whereas the stiffness characteristics were included in the structural analysis in

a different way. Stiffness properties of the infill walls are not included in the first finite element model. The stiffness properties are included in the structural analysis as the shell element in the second finite element model, and idealized as a two - edge hinged diagonal equivalent pressure bar in the third, fourth and fifth finite element models. In the third, fourth and fifth finite element models, although the infill walls are included in the structural analysis as a two - edge hinged diagonal equivalent pressure bar, the reason for the separation of the finite element models from each other is the presence of hollow fill walls. In these models, hollow infill walls were included in the structural analysis with different modeling techniques.

Modal analysis of five different finite element models were performed and frequency values and mode shapes of the first three modes were obtained. The results obtained were compared with the results obtained by operational modal analysis method. Block A building was used for the comparison process and operational modal analysis results after the coupled beams was broken were used. By evaluating the obtained results, the frequency values of the second finite element model and the mode shapes of the fourth finite element model gave the closest result to the results obtained by the experimental method.

The finite element models of the buildings consisting of blocks A and B, connected by coupled beams, were created using the second and fourth finite element models. Modal analysis of the finite element models was performed. Then, the coupled beams were removed and modal analyses of Block A and Block B were performed separately. By comparing the results obtained for the connected and discrete states of the buildings, the effect of the coupled beams on the dynamic characteristics of the structure was revealed by numerical modal analysis method.

Earthquakes occur frequently in our country due to the presence of active fault lines. For this reason, in this section, the earthquake performance of coupled beams and the effect of coupled beams on earthquake performance of other structural elements are investigated by using ground acceleration records of earthquakes in our country. In order to understand the effect of coupled beams on the earthquake performance of other structural elements, the earthquake performance of the structural elements was determined separately by non-linear within the scope of time definition method for the connected and discrete states of the buildings. By comparing the obtained results, the effect of coupled beams on the earthquake performance of structural elements was revealed.

As the buildings become interconnected with the coupled beams, it is revealed that the structures tend to move together with the operational modal analysis method under small vibrations, while some changes in the behavior of the structural elements have been revealed by the finite element method under earthquake loads.

**Keywords:** Coupled beams, Twin reinforced concrete buildings, Operational modal analysis, Dynamic behaviour, Dynamic characteristics, Modeling of infill walls, Numerical modal analysis, Scaling real earthquake records, Non-linear within the scope of time definition method, Seismic performance of structural elements.

# İÇİNDEKİLER

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI .....	ii
ETİK İLKE VE KURALLARA UYUM BEYANI .....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
ÖZ .....	v
ABSTRACT.....	vii
İÇİNDEKİLER .....	ix
TABLolar LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	xiii
KISALTMALAR.....	xvi
ÖZGEÇMİŞ .....	xix
BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	1
1.1. Bağlı Yapılar ile İlgili Yapılmış Bazı Çalışmalar.....	2
1.1.1. Dünya’da Bulunan Bazı Bağlı Yapı Örnekleri .....	6
1.1.2. Türkiye’de Bulunan Bazı Bağlı Yapı Örnekleri .....	7
1.2. Operasyonel Modal Analiz Yöntemi Kullanılarak Yapılmış Bazı Çalışmalar .....	7
1.3. Amaç .....	11
BÖLÜM 2. YÖNTEM .....	12
2.1. Yapı Dinamik Karakteristiklerinin Belirlenmesi .....	12
2.1.1. Yapı Dinamik Karakteristiklerinin Sayısal Olarak Belirlenmesi.....	12
2.1.1.1. Tek Serbestlik Dereceli Sistemler.....	13
2.1.1.1.1. Tek Serbestlik Dereceli Sistemler İçin Hareket Denklemi .....	14
2.1.1.1.2. Hareket Denklemi: Mesnetlerin Titreşimi (Taban Sarsması) .....	16
2.1.1.1.3. Sönümlemesiz Serbest Titreşimler.....	17
2.1.1.2. Çok Serbestlik Dereceli Sistemler .....	18
2.1.1.2.1. Kütle-Yay-Sönümleyici Sistemi .....	18
2.1.1.2.2. Sönümlemesiz Serbest Titreşimler.....	19
2.1.2. Yapı Dinamik Karakteristiklerinin Deneysel Olarak Belirlenmesi .....	20
2.1.2.1. Geleneksel Deneysel ve Operasyonel Modal Analiz.....	20
2.1.2.2. Operasyonel Modal Analiz Uygulama Alanları .....	21
2.1.2.3. Operasyonel Modal Analiz Yöntemiyle Ölçüm .....	21
2.1.3. Dinamik Karakteristiklerinin Karşılaştırılması.....	23
2.1.3.1. Frekanslarının Karşılaştırılması .....	24
2.1.3.2. Mod Şekillerinin Karşılaştırılması.....	24
2.2. Yapılara Etkiyen Deprem Kuvvetleri .....	24
2.2.1. Elastik Tepki Spektrumları .....	25
2.2.2. TBDY-2018 Kapsamında Yatay Elastik Tasarım Spektrumu .....	25
2.2.3. TBDY-2018 Kapsamında Doğrusal Deprem Hesabı.....	27
2.3. Dolgu Duvarların Yapı Dinamik Özelliklerine Etkisi ve Modellenmesi .....	29
2.3.1. TBDY-2018 Kapsamında Dolgu Duvarlar .....	32
2.3.2. Dolgu Duvarları Modelleme Teknikleri .....	33
2.3.2.1. Dolgu Duvarların Sonlu Elemanlar ile Modellenmesi .....	34
2.3.2.2. Dolgu Duvarların Eşdeğer Sanal Basınç Çubuğu ile Modellenmesi .....	34
2.3.2.3. Kısmi Boşluklu Dolgu Duvarların Modellenmesi .....	35
2.4. TBDY-2018 Kapsamında Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme .....	36
2.4.1. Binalardan Bilgi Toplanması .....	36

2.4.2. Malzeme Modelleri.....	37
2.4.2.1. Sargılı ve Sargısız Beton Modelleri.....	37
2.4.2.2. Donatı Çeliği Modeli.....	38
2.4.3. Doğrusal Olmayan Davranış Modelleri.....	39
2.4.3.1. Yığılı Plastik Davranış Modeli.....	39
2.4.4. Doğrusal Olmayan Hesap İçin Modelleme Kuralları.....	41
2.4.4.1. Genel Modelleme Kuralları.....	41
2.4.4.2. Kiriş ve Kolonların Modellenmesi.....	41
2.4.4.3. Taşıyıcı Sistem Elemanlarının Etkin Kesit Rijitlikleri.....	42
2.4.5. Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri.....	43
2.4.5.1. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap.....	43
2.4.5.1.1. Deprem Kayıtlarının Seçimi ve Ölçeklendirilmesi.....	43
2.4.5.1.2. Basit Ölçeklendirme Yöntemi ile Ölçeklendirme.....	44
2.4.6. Deprem Etkisinin Tanımlanması ve Diğer Etkilerle Birleştirilmesi.....	45
2.4.7. Betonarme Elemanların Plastik Dönme Sınırları.....	46
2.4.8. Şekildeğiştirmelerin ve İç Kuvvetlerin Değerlendirilmesi.....	46
2.4.9. Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri.....	47
2.4.10. Mevcut Binanın Deprem Performansının Belirlenmesi.....	48
2.5. Sayısal ve Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Yazılımlar.....	49
2.5.1. SAP2000 Yazılımı.....	49
2.5.2. ARTeMIS Yazılımı.....	50
<b>BÖLÜM 3. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEMELER.....</b>	<b>51</b>
3.1. Giriş.....	51
3.2. A ve B Bloktan Oluşan Betonarme Binalar.....	51
3.2.1. Betonarme Binaların Beton Sınıfını Belirleme Çalışmaları.....	57
3.2.2. Betonarme Binaların Bölme Duvar Özellikleri.....	57
3.2.3. Betonarme Binaların Zemin Özellikleri.....	58
3.3. Bağ Kirişleri Etkilerinin Deneysel Olarak Elde Edilmesi.....	59
3.3.1. Yapılar Birbiriyle Bağlıyken Elde Edilen Sonuçlar.....	62
3.3.2. Yapılar Birbirinden Ayrıyken Elde Edilen Sonuçlar.....	63
3.3.3. Bağ Kirişi Kırımının Bloklar Üzerine Etkileri.....	64
3.4. Betonarme Yapıların Sonlu Eleman Modellerinin Oluşturulması.....	67
3.4.1. Model 1.....	68
3.4.2. Model 2.....	69
3.4.3. Model 3.....	70
3.4.4. Model 4.....	71
3.4.5. Model 5.....	72
3.4.6. Model 3, 4 ve 5'te Kullanılan Eşdeğer Basınç Çubuklarının Özellikleri.....	73
3.5. A Blok Binası için Elde Edilen Deneysel ve Sayısal Modal Analiz Sonuçları.....	73
3.5.1. A Blok Binası Deneysel Modal Analiz Sonuçları.....	73
3.5.2. A Blok Binası "Model 1" Sayısal Modal Analiz Sonuçları.....	77
3.5.3. A Blok Binası "Model 2" Sayısal Modal Analiz Sonuçları.....	78
3.5.4. A Blok Binası "Model 3" Sayısal Modal Analiz Sonuçları.....	79
3.5.5. A Blok Binası "Model 4" Sayısal Modal Analiz Sonuçları.....	80
3.5.6. A Blok Binası "Model 5" Sayısal Modal Analiz Sonuçları.....	81
3.6. A Blok Binasının Deneysel ile Sayısal Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	82
3.6.1. Frekansların Karşılaştırılması.....	82

3.6.2. Mod Şekillerinin Karşılaştırılması.....	85
3.7. Bağ Kirişleri Etkilerinin Modal Analiz Yöntemiyle İncelenmesi .....	87
3.7.1. Model 2 ve Analiz Sonuçları .....	87
3.7.2. Model 4 ve Analiz Sonuçları .....	89
3.8. Bağ Kirişleri Etkilerinin Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi ile İncelenmesi .....	91
3.8.1. Malzeme ve Kesit Özelliklerinin Tanımlanması .....	91
3.8.2. Plastik Mafsal Tanımlamaları ve Elemanlara Atanması.....	97
3.8.3. Zaman Tanım Alanında Analiz.....	102
3.8.3.1. Deprem Kaydı Seçimi.....	103
3.8.3.2. Seçilen Yer İvme Kayıtlarının Ölçeklendirilmesi .....	104
3.8.3.3. Doğrusal Olmayan Yüklemenin Tanımlanması .....	107
3.8.4. Analiz Sonuçları .....	110
3.8.4.1. Bağ Kirişlerin Performans Düzeyleri .....	111
3.8.4.2. Bağ Kirişleriyle Bağlanan Kolonların Performans Düzeyleri .....	112
3.8.4.3. Zemin Kattaki Kolonların Performans Düzeyleri.....	114
3.8.4.4. Bağ Kirişleri Doğrultusundaki Kolonların Performans Düzeyleri .....	116
3.8.4.5. Bağlı ve Ayrık Yapıların Taban Kesme Kuvvetleri .....	118
BÖLÜM 4. SONUÇ VE ÖNERİLER .....	121
KAYNAKÇA.....	128

## TABLULAR LİSTESİ

Tablo 1. Donatı çeliklerine ait bilgiler .....	38
Tablo 2. Katların sahip olduğu kolon ve kiriş boyutları .....	55
Tablo 3. Bağ kirişi kırımının A Blok binası üzerine etkileri .....	65
Tablo 4. Bağ kirişi kırımının B Blok binası üzerine etkileri .....	65
Tablo 5. Bitişik ve ayırık durum bloklar arası frekans farkı .....	66
Tablo 6. Bitişik ve ayırık durum bloklar arası frekans farkı değişimi .....	67
Tablo 7. Model 2, 3 ve 4'te kullanılan eşdeğer basınç çubuklarının kalınlıkları .....	73
Tablo 8. A Blok binasının modal değerleri .....	75
Tablo 9. Model 1'in modal değerleri .....	77
Tablo 10. Model 2'nin modal değerleri .....	78
Tablo 11. Model 3'ün modal değerleri .....	79
Tablo 12. Model 4'ün modal değerleri .....	80
Tablo 13. Model 5'in modal değerleri .....	81
Tablo 14. Deneysel - sayısal frekans değerlerinin karşılaştırması .....	82
Tablo 15. Birinci periyot değerlerine denk gelen tasarım spektral ivme değerleri .....	83
Tablo 16. A Blok (bağlı binalar) binasının modal değerleri .....	88
Tablo 17. B Blok (bağlı binalar) binasının modal değerleri .....	88
Tablo 18. A Blok (ayırık binalar) binasının modal değerleri .....	89
Tablo 19. B Blok (ayırık binalar) binasının modal değerleri .....	90
Tablo 20. Mevcut malzeme bilgisi .....	91
Tablo 21. Kolon eksenel yük değerleri .....	95
Tablo 22. Kolon etkin kesit rijitliklerinin bulunması .....	96
Tablo 23. Kiriş etkin kesit rijitliklerinin bulunması .....	96
Tablo 24. Seçilen deprem kayıtları .....	103
Tablo 25. Bağ kirişlerinde 22 adet analizden elde edilen plastik dönme değerleri .....	111
Tablo 26. Plastik mafsal sınır değerleri ve bağ kirişlerin performansları .....	112
Tablo 27. A Blok binasında bağ kirişleriyle bağlanan kolonların performansları .....	113
Tablo 28. B Blok binasında bağ kirişleriyle bağlanan kolonların performansları .....	113
Tablo 29. A Blok zemin kat kolonlarında performans düzeyi değişen kolonlar .....	114
Tablo 30. Bodrum kat bağ kirişi doğrultusundaki kolonların performansları .....	117
Tablo 31. Zemin kat bağ kirişi doğrultusundaki kolonların performansları .....	117
Tablo 32. 1. Normal kat bağ kirişi doğrultusundaki kolonların performansları .....	117
Tablo 33. Bağlı ve ayırık durumları için oluşan en büyük taban kesme kuvvetleri .....	120

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. (a) Gökyüzü köprüsüyle bağlanan yapılar; (b) Rulmanlar (Lee & diğ., 2010) ...	4
Şekil 2. (a) Sarsma masası ve ölçeklenmiş model; (b) Damperler (Lu & diğ., 2007).....	5
Şekil 3. Dünya’da bulunan bazı bağlı yapı örnekleri (Wood, 2011) .....	6
Şekil 4. Türkiye’de bulunan bazı bağlı yapı örnekleri.....	7
Şekil 5. Tek serbestlik dereceli sistem; etkiyen kuvvet $p(t)$ .....	13
Şekil 6. Dış dinamik yük $p(t)$ ’ye maruz kalan sönümlemeli TDS sistem.....	14
Şekil 7. Kütleyle etkiyen dinamik kuvvetler.....	14
Şekil 8. Taban sarsmasına maruz kalan sönümlemeli TDS sistem.....	16
Şekil 9. (a) İki serbestlik dereceli sistem; (b) Serbest cisim diyagramları .....	18
Şekil10. (a) Ölçülen yapı; (b) Operasyonel modal analiz yöntemi.....	21
Şekil 11. Tez çalışması kapsamında kullanılan ivmeölçer .....	22
Şekil 12. Tepki spektrumunun grafiksel gösterimi (Darılmaz, 2019) .....	25
Şekil 13. Yatay elastik tasarım ivme spektrumu.....	26
Şekil 14. Türkiye deprem tehlike haritası .....	26
Şekil 15. Yer kaydı ve deprem tehlike haritalarıyla elde edilen ivme spektrumları.....	27
Şekil 16. Duvar ayırma sonrasında yapı içinden görünüş (Aras, 2018b) .....	30
Şekil 17. Yönetmelikler ile deneysel elde edilen hâkim periyot değerleri (Aras, 2019)	31
Şekil 18. Modelin karkas, tuğlalı ve sıvalı durumu (Türker ve Bayraktar, 2017) .....	32
Şekil 19. Duvarda oluşan basınç bölgesi ve iki ucu mafsalı eşdeğer basınç çubuğu ....	34
Şekil 20. Boşluk oranı ve konumuna bağlı rijitlik değişimi (Öztürkoğlu ve diğ., 2015)	36
Şekil 21. Sargısız ve sargılı beton malzemeler için gerilme-şekildeğiştirme grafiği ....	37
Şekil 22. Donatı çeliğinin gerilme-şekildeğiştirme grafiği.....	38
Şekil 23. Takeda modeli (Darılmaz, 2019).....	41
Şekil 24. Deprem kaydı spektrumunun ölçeklenmesi (Darılmaz, 2019).....	44
Şekil 25. Kesit hasar sınırları ve bölgeleri (Celep, 2018).....	47
Şekil 26. Kesit hasar durumlarından bina performans düzeyine geçiş (Celep, 2014) ....	48
Şekil 27. Taşıyıcı sistem (bina) performans sınırları ve bölgeleri (Celep, 2018).....	48
Şekil 28. SAP2000 ekranı, incelenen örnek bir yapı .....	50
Şekil 29. ARTeMIS ekranı, incelenen örnek bir yapı.....	50
Şekil 30. İncelenen betonarme binalar .....	51
Şekil 31. Yapının A-A kesiti.....	52
Şekil 32. Zemin kat taşıyıcı sistem planı .....	53
Şekil 33. Normal katlar taşıyıcı sistem planı .....	53
Şekil 34. Ön ve arka bölümde bulunan bağ kirişleri.....	54
Şekil 35. Normal kat bazı kirişlerin açıklımları.....	55
Şekil 36. Normal katlar kolon aplikasyon planı .....	56
Şekil 37. A Blok 4. Normal kat beton karot numunesi sonucu .....	57
Şekil 38. Basınç testi ve göçen numune (Aras, 2018c) .....	58
Şekil 39. Başlangıç kayma dayanımı için yükleme kesme göçmesi (Aras, 2018c).....	58

Şekil 40. Kırılan bağ kirişleri.....	59
Şekil 41. Elde edilen ayırık binalar .....	59
Şekil 42. Binanın herhangi bir katından ölçüm alınması .....	60
Şekil 43. Binanın 5. Normal katından x yönünde dört köşeden alınan ivme kayıtları ...	61
Şekil 44. İvmeölçer konumları.....	61
Şekil 45. A Blok binasının X ve Y yönündeki baskın frekansları (bağlı binalar) .....	62
Şekil 46. B Blok binasının X ve Y yönündeki baskın frekansları (bağlı binalar) .....	63
Şekil 47. A Blok binasının X ve Y yönündeki baskın frekansları (ayırık binalar) .....	64
Şekil 48. B Blok binasının X ve Y yönündeki baskın frekansları (ayırık binalar) .....	64
Şekil 49. Dolgu duvarların sisteme sadece kütesinin dâhil edildiği SAP2000 modeli..	69
Şekil 50. Dolgu duvarların kabuk eleman olarak modellenmesi, Model 2.....	69
Şekil 51. Rijitlik azaltma faktörünün boşluk yüzdesine göre değişimi (Asteris, 2003) .	70
Şekil 52. Dolgu duvarların basınç çubuğu olarak modellenmesi, Model 3 .....	71
Şekil 53. Dolgu duvarların basınç çubuğu olarak modellenmesi, Model 4.....	71
Şekil 54. Dolgu duvarların basınç çubuğu olarak modellenmesi, Model 5.....	72
Şekil 55. A Blok binası için SYTD gösterimi .....	74
Şekil 56. A Blok binası için 3 boyutlu olarak elde edilen mod şekilleri .....	75
Şekil 57. A Blok binası için elde edilen modal deplasman değerleri .....	76
Şekil 58. Model 1 için elde edilen modal deplasman değerleri .....	77
Şekil 59. Model 2 için elde edilen modal deplasman değerleri .....	78
Şekil 60. Model 3 için elde edilen modal deplasman değerleri .....	79
Şekil 61. Model 4 için elde edilen modal deplasman değerleri .....	80
Şekil 62. Model 5 için elde edilen modal deplasman değerleri .....	81
Şekil 63. TDTH web arayüzüne verilerin girilmesi.....	83
Şekil 64. Birinci periyot değerlerine denk gelen tasarım spektral ivme değerleri.....	84
Şekil 65. A Blok binası için elde edilen modal yerdeğiştirme değerleri .....	85
Şekil 66. A Blok binası için elde edilen modal yerdeğiştirme değerleri .....	86
Şekil 67. A Blok binası için elde edilen modal yerdeğiştirme değerleri .....	86
Şekil 68. Model 2 ile modellenen bağlı yapılar .....	88
Şekil 69. Model 4 ile modellenen bağlı yapılar .....	89
Şekil 70. Betonun birim uzama özelliklerinin tanımlanması.....	92
Şekil 71. Donatı çeliğinin birim uzama özelliklerinin tanımlanması .....	92
Şekil 72. “Section Designer” ile kesit tanımlama.....	93
Şekil 73. Moment – eğrilik grafiğinin kesitler için elde edilmesi .....	94
Şekil 74. Kolon (a) ve kiriş (b) eğilme rijitliği azaltma katsayılarının tanımlanması ....	97
Şekil 75. Kolon elemanları için plastik mafsala tanımlanması .....	98
Şekil 76. Kolon elemanlarda plastik mafsala özellikleri .....	98
Şekil 77. Kolon elemanlarda plastik mafsala ait tanımlamalar .....	99
Şekil 78. Kolon elemanlarda plastik mafsal P-M etkileşim yüzeyi seçimi .....	100
Şekil 79. Kiriş elemanlarda plastik mafsal oluşturulması ve tanımlamalar.....	101
Şekil 80. Nonlineer düşey yükleme durumu tanımlanması .....	102



Şekil 81. Sta4Cad deprem ölçekleme menüsü.....	104
Şekil 82. Kocaeli merkez depremi, gerçek ivme kaydı, doğu-batı.....	105
Şekil 83. Kocaeli merkez depremi, ölçeklenmiş ivme kaydı, doğu-batı .....	105
Şekil 84. Kocaeli merkez depremi, gerçek ve ölçeklenmiş ivme kaydı, doğu-batı.....	106
Şekil 85. Ölçeklenmemiş, ölçeklenmiş ve tasarım spektrumları .....	106
Şekil 86. Tüm deprem kayıtlarının her iki yatay bileşenlerinin spektrumları .....	107
Şekil 87. Deprem kaydı tanımlama menüsü .....	107
Şekil 88. Ölçeklenmiş deprem kaydı .....	108
Şekil 89. Zaman tanım alanında hesap için yük durumu oluşturulması .....	108
Şekil 90. Rayleigh sönümünün hesaplandığı menü .....	109
Şekil 91. Newmark sayısal integrasyon yönteminin tanımlanması .....	110
Şekil 92. A Blok zemin kat kolonlarında performans düzeyi değişen kolonlar .....	115
Şekil 93. Bağ kirişlerinin bulunduğu aksın XZ düzlem görüntüsü.....	116
Şekil 94. Normal kat planında bağ kirişleri doğrultusunda bulunan kolonlar .....	116
Şekil 95. A Blok binası taban kesme kuvvetinin zamana göre değişimi .....	119
Şekil 96. B Blok binası taban kesme kuvvetinin zamana göre değişimi .....	119
Şekil 97. A ve B Blok binalarının taban kesme kuvvetinin zamana göre değişimi.....	120

## KISALTMALAR

$T_{pA}$	: Ampirik olarak hesaplanan hâkim doğal titreşim periyodu [s]
$C_t$	: Ampirik doğal titreşim periyodu hesabında kullanılan katsayı
$H_N$ yüksekliği [m]	: Binanın bodrum katlarının üstündeki üst bölümünün toplam yüksekliği [m]
$S_{ae}(T)$	: Yatay elastik tasarım spektral ivmesi [g]
$R$	: Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı
$R_a(T)$ Azaltma Katsayısı	: Öngörülen süneklik kapasitesi ve periyoda bağlı Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı
$S_{aR}(T)$	: Azaltılmış tasarım spektral ivmesi [g]
$S_{DS}$	: Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
$S_{D1}$	: 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
$S_S$	: Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
$S_1$	: 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
$T_A$	: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu [s]
$T_B$	: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu [s]
$V_{te}$ kesme kuvveti) [kN]	: Binanın tümüne etkileyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti) [kN]
$m_t$ kütlesi [t]	: Binanın bodrum katlarının üstündeki üst bölümünün toplam kütlesi [t]
$f_I$	: Atalet kuvveti
$f_D$	: Viskoz sönümleme kuvveti
$f_S$	: Elastik yay kuvveti
$f_0$	: Doğal titreşim frekansı
$T_0$	: Doğal titreşim periyodu

$\omega_0$	: Açısal doğal frekans
FFT	: Fast Fourier Transform
GFOA	: Geliştirilmiş Frekans Ortamında Ayrışım
SYTD	: Spektral Yoğunlukların Tekil Değerleri
$f^d$	: Deneysel elde edilen frekans değeri
$f^s$	: Sayısal elde edilen frekans değeri
$\Delta$	: Frekans değişim oranı
TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
BC	: Building Code
FEMA	: Federal Emergency Management Agency
NBC	: National Building Code
UBC	: Uniform Building Code
$a_d$	: Eşdeğer basınç çubuğunun genişliği [mm]
$\lambda_d$	: Eşdeğer basınç çubuğu katsayısı
$h_k$	: Kolon boyu [mm]
$r_d$	: Dolgu duvarının köşegen uzunluğu [mm]
$E_d$	: Dolgu duvarının elastisite modülü
$t_d$	: Dolgu duvarının kalınlığı [mm]
$E_c$	: Çerçeve betonunun elastisite modülü
$I_k$	: Kolonun atalet momenti [mm <sup>4</sup> ]
$h_d$	: Dolgu duvarının yüksekliği [mm]
$\theta$	: Eşdeğer basınççubuğunun yatay ile olan açısı
G	: Sabit yük etkisi
Q	: Hareketli yük etkisi

$Q_e$	: Etkin hareketli yük etkisi
$n$	: Hareketli yük katılım katsayısı
$E_d^H$ etkisi	: Doğrultu birleştirmesi uygulanmış tasarıma esas yatay deprem etkisi
$L_p$	: Plastik mafsal boyu [m]
$(EI)_e$	: Yığılı plastik davranışına göre modellenen kolon, kiriş, bağ kirişi veya perdenin etkin kesit rijitliği
$M_y$	: Etkin akma momenti [kNm]
$L_s$	: Kesme açıklığı [m]
$\theta_y$	: Taşıyıcı sistemin akma dayanımı
$\phi_y$	: Akma eğriliği [ $m^{-1}$ ]
$\phi_u$	: Göçme öncesi eğrilik [ $m^{-1}$ ]
$h$	: Kesit yüksekliği [m]
$d_b$	: Boyuna donatı çapı (çekmede ortalama) [m]
$f_{ye}$	: Çeliğin ortalama (beklenen) akma dayanımı [MPa]
$f_{ce}$	: Betonun ortalama (beklenen) basınç dayanımı [MPa]
GÖ	: Göçme Öncesi Hasar
KH	: Kontrollü Hasar
SH	: Sınırlı Hasar
$\theta_p^{(GÖ)}$ dönme sınırı [rad]	: Göçmenin Önlenmesi performans düzeyi için izin verilen plastik dönme sınırı [rad]
$\theta_p^{(KH)}$ dönme sınırı [rad]	: Kontrollü Hasar performans düzeyi için izin verilen plastik dönme sınırı [rad]
$\theta_p^{(SH)}$ sınırı [rad]	: Sınırlı Hasar performans düzeyi için izin verilen plastik dönme sınırı [rad]

# ÖZGEÇMİŞ

**Tolga Akbaş**

## **Yapı Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı**

### **Eğitim**

<i>Derece</i>	<i>Yıl</i>	<i>Üniversite, Enstitü, Anabilim Dalı</i>
Y.Ls.	2020	Maltepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı
Ls.	2016	Işık Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Lise	2011	Özel Marmara Koleji

### **İş/İstihdam**

<i>Yıl</i>	<i>Görev</i>
2017	Yapısal Tasarım Mühendisi. Alim Proje
2016 - 2017	Şantiye Şefi. Fasad Mühendislik
2015	Stajyer. Metal Yapı
2014	Stajyer. Yapı Merkez

### **Mesleki Birlik/Dernek Üyelikleri**

<i>Yıl</i>	<i>Kurum</i>
2016 - Üye:	TMMOB /İnşaat Mühendisleri Odası

### **Alınan Burs ve Ödüller**

<i>Yıl</i>	<i>Burs</i>
2019	Yüksek Lisans Bursiyeri / TÜBİTAK / Proje No: 116M254.

### **Yayımlar ve Diğer Bilimsel Faaliyetler**

Deneysel Modal Analiz Çalıştayı, Konuşmacı, İstanbul, Türkiye, Haziran 2019

İki Binayı Kat Seviyelerinde Bağlayan Betonarme Kirişlerin Dinamik Özelliklere Olan Etkilerinin Araştırılması / Aras F., Çeribaşı S., Akbaş T. / 5. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Ankara, Türkiye, Ekim 2019.

### **Kişisel Bilgiler**

Doğum yeri ve yılı	: İstanbul, 1992	Cinsiyet: E
Yabancı diller	: İngilizce (çok iyi);	
GSM / e-posta	: 0 (533) 923 60 64 / tolga-akbas@hotmail.com	

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

“Titreşimler, mekanik veya yapısal sistemlerin bir denge konumuna göre salınımlarıdır. Titreşimler, dış bir kaynaktan sisteme aktarılan enerjinin, ataletli bir elemanı denge konumundan ayırmasıyla meydana gelir. Kontrol edilmezse, titreşim yıkıcı durumlara neden olabilir. Depremler ve hatta rüzgâr kaynaklı titreşimlerin oluşturduğu büyük dinamik gerilmeler sebebiyle yapısal yıkımlar meydana gelebilir.” (Kelly, 2016).

Yapıların dinamik yükler etkisi altındaki yapısal davranışları, yapıların ayırt edici özelliği olan kendi dinamik karakteristikleriyle ilgilidir. Yapıların dinamik karakteristikleri olan frekans (periyot), mod şekli ve sönüm oranı yapının mevcut yapısal özelliklerine, sınır şartlarına, malzeme özelliklerine bağlı olarak ortaya çıkar. Dinamik karakteristikler deneysel veya sayısal yöntemler kullanılarak belirlenebilmektedir. Bu tez çalışması kapsamında deneysel yöntemlerden, günümüzde sıklıkla kullanılan operasyonel modal analiz yönteminden yararlanılırken, sayısal yöntemlerden ise sonlu eleman yönteminden yararlanılmıştır.

Deneysel olarak elde edilen dinamik özellikler sayısal olarak elde edilenlere göre daha doğru kabul edilir. Çünkü sayısal modal analiz yönteminde inşa aşamasındaki kusurlar, inşa aşamasından sonra kullanımı sırasında farklı yüklemelerden meydana gelen kalıcı deformasyonlar, mesnet çökmesi, malzeme dayanımındaki değişim, yapı elemanlarında oluşan yorulma, maruz kalınan depremlerden kaynaklı oluşan hasarlar gibi önemli durumlar göz önünde bulundurulamayabilir veya kesin bir şekilde tespit edilemeyebilir. Bu sebeple sonlu elemanlar yöntemiyle oluşturulan modellerin modal analizinden elde edilen yapı dinamik karakteristikleri, deneysel modal analiziyle elde edilen yapı dinamik karakteristiklerini temsil etmesi gerekir. Bundan dolayı, iki yöntemden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmalı ve elde edilen farklılıklar, sonlu eleman modelinde güncelleme yapılarak en aza indirilmelidir.

Mevcut bir yapının, yapısal bağlantı elemanlarıyla, başka bir yapıyla bağlı duruma gelmesiyle birlikte, yapının sahip olduğu dinamik karakteristiklerinin değişkenlik göstermesi beklenir. Yapıların birbirine bağlı ve birbirinden ayrık olma durumları için modal analizler gerçekleştirilip, elde edilen yapı dinamik karakteristiklerinin karşılaştırılmasıyla, bağlantı elemanlarının yapı dinamik karakteristiklerine olan etkisi ortaya çıkarılabilir.

Mevcut bir yapının, yapısal bağlantı elemanlarıyla, başka bir yapıyla bağlı duruma gelmesiyle birlikte değişen yapı dinamik karakteristiklerinden dolayı, yapı dinamik davranışının da değişkenlik göstermesi beklenir. Deprem gibi büyük titreşimler altında, birbirine bağlı ve birbirinden ayırık yapıların yapısal elemanlarının deprem performansları ayrı ayrı incelenerek elde edilen sonuçların karşılaştırılmasıyla, bağlantı elemanlarının yapısal elemanların deprem performansına olan etkisi ortaya çıkarılabilir.

### **1.1. Bağlı Yapılar ile İlgili Yapılmış Bazı Çalışmalar**

Binaların birbirine bağlanma sebepleri incelendiğinde, bu bağlantıların mimari ihtiyaçları karşılama, yangın ve diğer acil durumlarda kaçışın mümkün olabilmesi, deprem ve rüzgâr gibi dinamik yükler altında davranışın iyileştirilmesi ve performansın artırılması gibi amaçlar ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada, bağlı yapılarla ilgili daha önce yapılmış olan çalışmalar ve ulaşılan sonuçlar sunulmuştur.

İlk olarak (Klein, Cusano & Stukel, 1972) Amerika’da iki yüksek binayı birleştirme kavramını 1970’lerin başında önermişlerdir. 1976 yılında (Kunieda, 1976) Japonya’da çoklu yapıları birleştirme kavramını önermiştir. (Klein & Healy, 1987) iki binayı serbest bırakabilen ve çekme yükü taşıyan kablolarla birleştirerek, belirli dağılım kontrol kuvvetleri sağlamak için temel yarı aktif bir yaklaşım sunmuşlardır. Tek bir bağlantı ile birleştirilen yapıların kontrol edilebilirliğini sağlamak için farklı birincil doğal frekanslara sahip olması gerektiğini gözlemlemişlerdir. Ayrıca, binaların birbirine tepe bölgesine yakın bir yerlerde bağlanmasını önermişlerdir çünkü bu bölgede titreşim modlarının büyük olasılıkla sıfır olmayan genliklere sahip olacağını belirtmişlerdir. (Graham, 1994) tek serbestlik dereceli bağlı yapıların pasif kontrole ek olarak, aktif doğrusal kuadratik regülâtör ile birleştiğinde tepkilerin azalacağı sonucuna varmıştır.

Yüksek ve az katlı binaların pasif kontrol stratejileriyle bağlı hale getirilmesi üzerine çalışmalar yapılmıştır. (Gurley & diğerleri., 1994), (Kamagata, Miyajima & Seto, 1996), (Fukuda, Matsumoto & Seto, 1996), (Sakai & diğerleri., 1999) uzun esnek yapıların pasif bağlantılarla bağlanması üzerine çalışırken, (Luco & Wong, 1994), (Luco & Barros, 1998), (Xu, He & Ko, 1999), (Ko, Ni & Ying, 1999) az katlı yapıların pasif araçlarla bağlanması üzerine çalışmışlardır. Çalışmaların hepsinde, rüzgâr ve sismik uyarımlar altında tepkilerin azaltılmasında olumlu sonuçlar elde etmişlerdir.

Bunlara ek olarak, (Fukuda, Matsumoto & Seto, 1996) ile (Klein & Healy, 1987) bağlantının titreşimin modunun olduğu düğüm noktasına bağlanmasıyla, bu titreşimin bağlantı elemanı ile kontrol edilmeyeceğini belirtmişler ve bağlantı noktası için yapı yüksekliği boyunca seçilecek konumun önemini vurgulamışlardır.

Aktif birleşimli bina stratejileri esnek yapılar için detaylıca incelenmiştir. (Seto, 1994), (Seto, 1996), (Seto & diğerleri., 1994), (Seto, Toba & Matsumoto, 1995), (Haramoto, Seto & Koike, 1999), (Matsumoto, Doi & Seto, 1999), (Mitsuta & Seto, 1992), (Mitsuta & diğerleri., 1994), (Hori & Seto, 1999), (Yamada & diğerleri., 1994) yüksek katlı yapılarda daha hassas olan yüksek periyotlu titreşim modlarını kontrol etmek amaçlı aktif bağlantılarla ilgili çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. İki ve üç adet bağlı yapıyı ele alarak, ilk iki modda kontrolü sayısal ve deneysel çalışmalarla başarıyla elde etmişlerdir.

(Zhu, Wen & Iemura, 2001), (Christenson & Jr, 1999), (Christenson, Jr & Johnson, 2000) ve (Christenson, 2001) yarı aktif birleşimli bağlı yapılar üzerine sayısal olarak çalışmışlardır. Elde ettikleri sonuçlardan, yarı aktif birleşimli bağlantılarla elde edilen performans düzeyinin göz ardı edilemeyecek derecede olduğunu vurgulamışlardır.

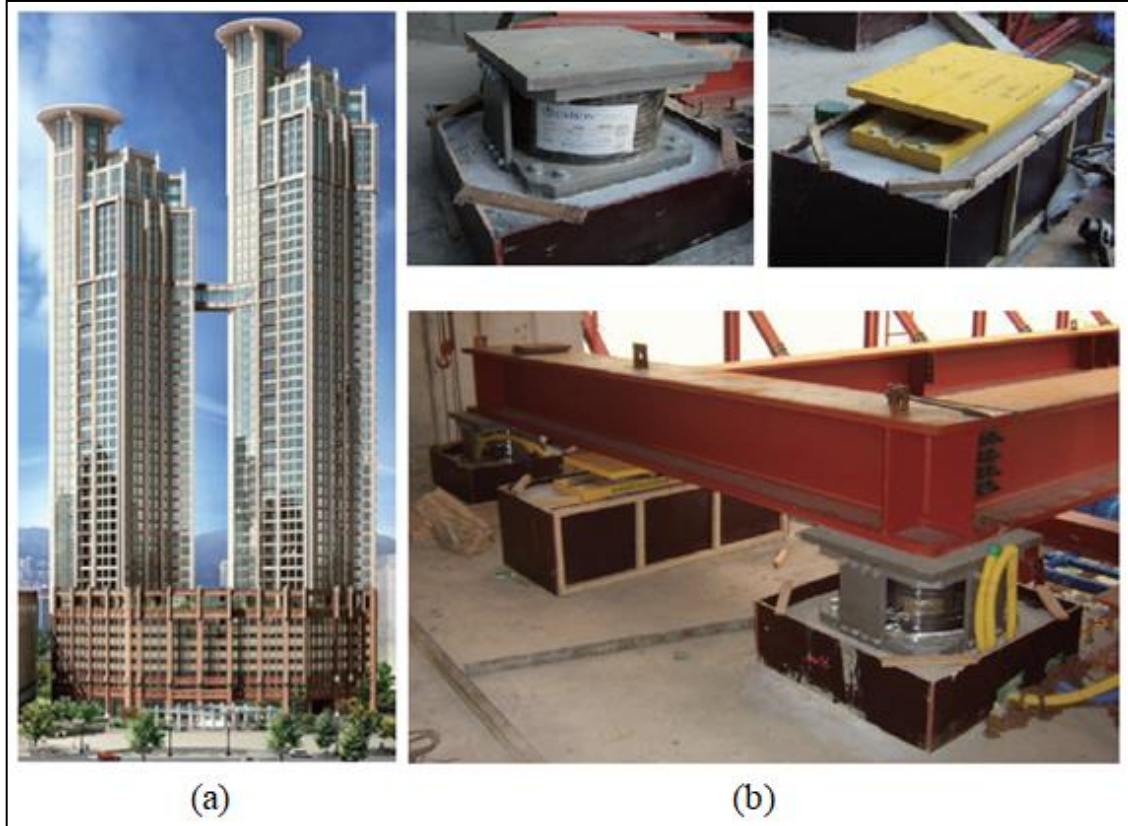
(Christenson & diğerleri., 2006) yapı konfigürasyonunun ve yapıların bağlanma konumunun etkisini göz önünde bulundurarak, esnek yapıları aktif ve pasif bağlantılarla bağlayarak sismik yükler altında analiz etmiş ve elde edilen sonuçları karşılaştırarak açıklamıştır. Aktif ve pasif bağlantının performanslarını birbirine yakın olarak elde etmişlerdir.

(Abbood & diğerleri., 2018) çalışmalarında çerçeve-perde sistemlerinden oluşan 40 katlı ikiz betonarme yapıları ele almışlardır. Bu yapıları bağlayan yapısal bağlantı elemanlarının etkisini sonlu elemanlar yöntemiyle araştırmışlardır. Bağlantı kirişlerinin etkisini ortaya çıkarmak amacıyla, yapıyı bağlantı kirişsiz ve bağlantı kirişlerle yapıları farklı kat yüksekliklerinde bağlayarak elde ettiği modelleri, doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz ederek, elde ettiği sonuçları karşılaştırmışlardır. Bağlantı elemanlarının yapısal davranışı değiştirdiği sonucunu elde etmişlerdir.



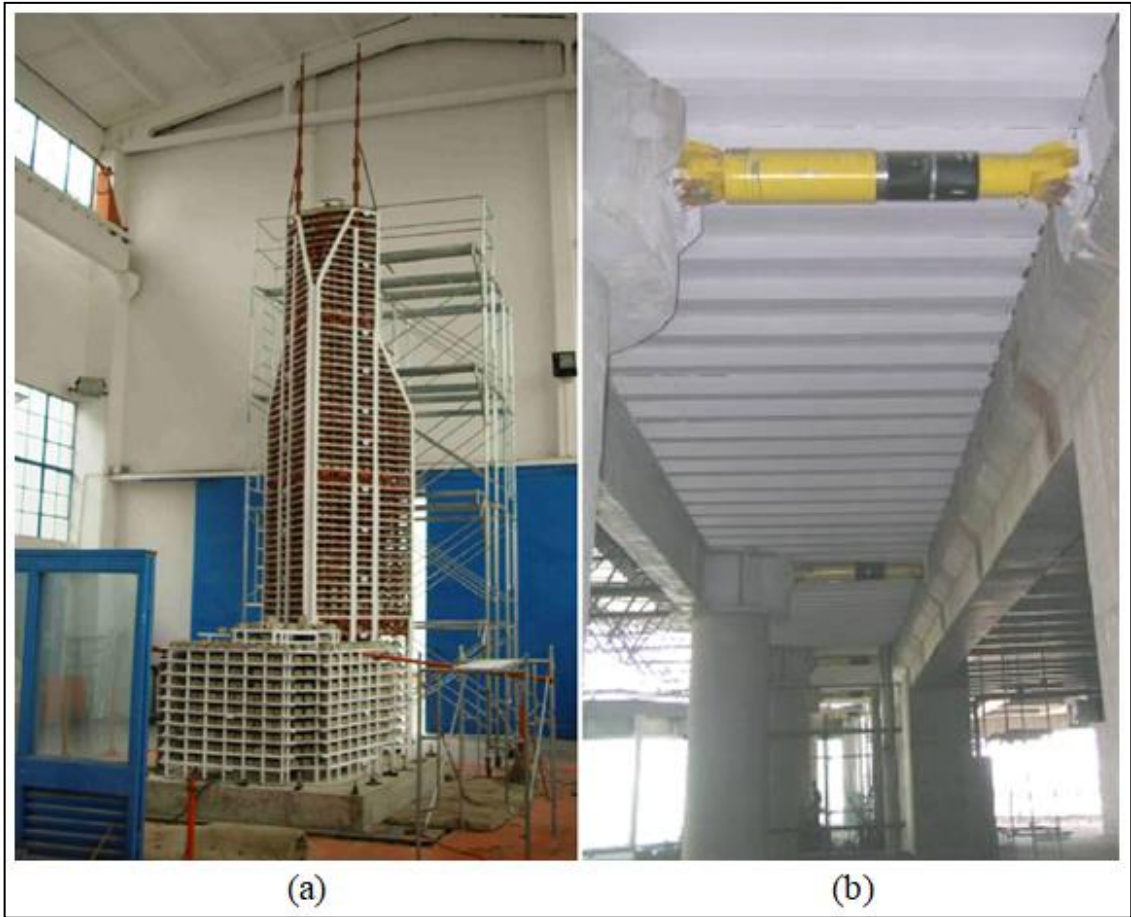
(Basili, Angelis & Fraraccio, 2013) laboratuvar ortamında 1:5 ölçekle inşa ettikleri, dört ve iki katlı çelik yapıları ele almışlardır. Bu yapılar ikinci kat seviyesinde MR rulman ile birbirine bağlanmıştır. Yapıları bağlantı elemanını pasif ve yarı aktif bağlantılarla sarsma tabla etkisinde inceleyerek, tepkilerin azaltılmasında pasif bağlantıların, yarı aktif bağlantılara göre daha efektif olduğunu elde etmişlerdir.

(Lee, Kim & Ko, 2010) çalışmalarında Kore’de inşa edilen, gökyüzü köprüsüyle birbirine bağlanan 42 ve 49 katlı iki binayı ele almışlardır (Şekil 1). Gökyüzü köprüsü ile binalar arasında bağlantı kurşun kauçuk ve doğrusal hareketli rulmanlar ile tasarlamışlardır. Sayısal modeli, deprem ve rüzgâr tüneli testlerinden elde edilen rüzgâr titreşimlerini zaman tanım alanda doğrusal olmayan analizlerle incelemişlerdir. Yapıların gökyüzü köprüsüyle bağlı olma ve bağlı olmama durumları için yapıların yerdeğiştirme, ivme ve rulmanların tepkileri ile gökyüzü köprü elamanlarında oluşan kuvvetleri elde etmişlerdir. Gökyüzü köprüsünün yapıların sönüm oranlarını arttırdığı ve dinamik tepkiyi azalttığı sonuçları elde etmişlerdir.



Şekil 1. (a) Gökyüzü köprüsüyle bağlanan yapılar; (b) Rulmanlar (Lee & diğ., 2010)

(Lu & diğeri., 2007) 10 katlı ve 49 m yüksekliğinde podyum yapısında oluşacak burulma etkilerini azaltmak amacıyla, podyum yapısıyla birlikte yanı başında inşa edilecek olan 60 katlı ve 333 m yüksekliğindeki ana binayı viskoz sıvı damperleriyle bağlayarak deprem yükleri altında analiz etmişlerdir. Bağlantı damperlerin burulma etkilerini efektif bir şekilde ortadan kaldırdığı sonucunu elde etmişlerdir. Ayrıca ana binanın deprem performansının geliştiğini belirtmişlerdir. Bu çalışmalar neticesinde, her biri maksimum 600 kN kapasiteye sahip 40 adet bağlantı viskoz sıvı damperleriyle (Şekil 2b) podyum binası ile ana bina bağlı olarak (Şekil 2) inşa edilmiş ve 2005 yılında kullanıma açılmıştır.



Şekil 2. (a) Sarsma masası ve ölçeklenmiş model; (b) Damperler (Lu & diğ., 2007)

### 1.1.1. Dünya’da Bulunan Bazı Bağlı Yapı Örnekleri

Dünya üzerinde birbirine bağlı olarak inşa edilen birçok yapı bulunmaktadır. Şekil 3 bu şekilde inşa edilmiş olan bazı yapıları sunmaktadır.



Şekil 3. Dünya’da bulunan bazı bağlı yapı örnekleri (Wood, 2011)

Bu yapıların hangi tarihte inşa edildiği, adı ve hangi ülkede bulunduğu soldan sağa ilerlenmesiyle şu şekilde sıralanabilir:

“2001, Twin Towers, Austria, Maksimiliano Fuksas”, “2003, Marriott Apartments, Dubai”, “2003, Kyobo Tower, Seoul, Mario Botta”, “2003, Highlight Tower, Munich, Murphy Jahn”, “2004, Chong No, Seoul, Rafael Vinoly”, “2005, El Faro Tower, Buenos Aires, Dujovne-Hirsh”, “2006, Ten Towers Munich, Kiessler & Partner”, “2006, Nina Tower, Hong Kong, CDI”, “2008, Fusionopolis, Singapore, Kisho Kurukawa”, “2009, Pinnacle @ Duxton, Singapore, ARCStudios”, “2009 Linked Hbrid, Beeijing, Steven Holl”, “2010, Marina Bay Sands, Singapore, Moshe Safdie” (Wood, 2011).



### 1.1.2. Türkiye’de Bulunan Bazı Bağlı Yapı Örnekleri

Türkiye’de inşa edilmiş olan bazı bağlı yapılar Şekil 4’te sunulmaktadır.



Şekil 4. Türkiye’de bulunan bazı bağlı yapı örnekleri

### 1.2. Operasyonel Modal Analiz Yöntemi Kullanılarak Yapılmış Bazı Çalışmalar

Operasyonel modal analiz tekniği ile yapılar üzerinde oluşan titreşimler ivmeölçer aracılığıyla kaydedilir. Kaydedilen sinyallerin analizleri gerçekleştirilerek, yapıları dinamik karakteristikleri olan doğal frekans (periyot) değerleri, mod şekilleri ile sönüm oranları elde edilebilmektedir. Bu teknik giderek daha da yaygınlaşmaktadır. Aşağıda bu teknik kullanılarak yapılmış bazı çalışmalar sunulmuştur:

(Aras, 2018a) çalışmasında “İstanbul Medeniyet Üniversitesi Yaya Üst Geçidi” olarak bilinen köprüyü ele almıştır. Öngörülen prekast kiriş kullanılarak inşa edilmiş olan köprüünün, döşeme betonu dökülmeden önce ve döküldükten sonra operasyonel modal analiz yöntemiyle köprü modal davranışını inceleyerek önemli sonuçlar elde etmiştir.

(Sevim & diğlerleri., 2010) laboratuvar şartlarında oluşturulan kemer barajın dinamik özelliklerini, farklı su seviyeleri için, deneysel olarak belirlemiştir.

(Türker, 2014) çalışmasında, betonarme bir temelini 20 kat küçülterek tasarlamıştır. Tasarladığı temelin dinamik özelliklerini farklı zemin koşullarında elde etmiştir.

(Altunışık & diğlerleri., 2015) çalışmalarında laboratuvar ortamında inşa edilmiş ve hasar görmüş olan kemer barajın karbon fiber takviyeli polimer ile güçlendirilmesinin dinamik özelliklere olan katkısını araştırmışlardır.

(Boru, 2015) iki katlı X ve Y yönünde tek açıklıklı betonarme test binası inşa etmiş ve deneysel modal analiz ile yapılabilecek hataları en aza indirmek amacıyla ivmeölçerler için dokuz farklı yerleşim deneyerek en uygun ivmeölçer konumlandırmasına karar vermiştir. Sekiz adet binayı ele alarak, deneysel sonuçlara göre sayısal model güncelleştirmenin ardından deprem performanslarını belirlemiştir.

(Güneş, 2017) yığma yapının dinamik özelliklerini operasyonel modal analiz ve sonlu eleman yöntemleriyle elde etmiştir. Sayısal sonuçları deneysel sonuçları baz alarak güncellemiştir. 1 saatlik ölçüm ile risk teşkil ettiği düşünülen yapıların mevcut dinamik durumu hakkında bilgi sahibi olunabileceğini belirtmiştir.

(Birinci, 2010) çalışmasında taş kemer köprülerin dinamik karakteristiklerini operasyonel modal analiz ve sonlu eleman yöntemleriyle elde etmiştir. Operasyonel modal analiz yönteminin, karmaşık malzeme ve geometriye sahip olan yapıların dinamik özelliklerinin belirlenmesinde güvenle kullanılabileceği sonucuna varmıştır.

(Kudu & diğlerleri., 2015) üç katlı çelik yapı modeli üzerinde operasyonel modal analiz tekniğini kullanarak modal sönüm oranlarını ölçüm süresine, frekans aralığına ve örnekleme oranına bağlı olarak farklı iki farklı yöntem kullanarak elde etmişlerdir.

(Ağcakoca & diğlerleri., 2014) bir petek kiriş, bir kafes kiriş ve bir dolu gövdeli kiriş olmak üzere 3 adet çerçeveden oluşan yapıları operasyonel modal analiz ve sonlu eleman yöntemlerini kullanarak sonuçları değerlendirmişlerdir.

(Beyen, 2005) depremde hasar alan tarihi İstanbul Fatih Camii'nin üzerine kurulan bir gözlem ağı ile çevresel titreşim testi gerçekleştirip dinamik karakteristiklerini belirlemiştir. Muhtemelen hasar alan yapısal elemanları açığa çıkarmıştır ve güçlendirmenin yapılmasını önermiştir.

(Livaoğlu & diğerleri., 2016) 7 adet minareyi ele alarak çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Minarelerin sonlu eleman modelini, deneysel sonuçlara göre kalibre etmişlerdir. Minareler için doğal titreşim periyot değerini eşdeğer yüksekliğine, en kesit alanına ve deneysel test sonuçlarına bağlı olarak sunan formül önermişlerdir.

(Ercan & Nuhoglu, 2015) Roma tarzında inşa edilen ve yerel ulaşımın kapsamında kullanılan üç açıklıklı yığma taş kemer köprüünün sonlu eleman modelini deneysel sonuçlara göre güncellemiş ve şiddetli deprem yükleri altında performansını belirlemişlerdir. Y yönünde en büyük açıklığa sahip orta kemerde tabliyeye dik doğrultuda çatlak formunda hasar beklediklerini belirtmişlerdir.

(Hökelekli, 2015) Hafsa Sultan Cami'nin sayısal modelini kurmuş, operasyonel modal analiz kapsamında elde ettiği sonuçlar kapsamında sayısal modelde kullandığı elastisite modülünü değiştirerek en uygun sayısal modeli elde etmiştir. Güncellenmiş ve güncellenmemiş modellerin deprem analizlerini gerçekleştirmiştir.

(Çalık & diğerleri., 2015) ahşaptan yapılan Masele Camisi ve minaresinin restorasyon öncesi ve restorasyon sonrası durumlarına ait dinamik karakteristikleri operasyonel modal analiz yöntemiyle belirlemişlerdir. Restorasyon sonrası cami ve minarenin doğal frekanslarında sırasıyla yaklaşık %24 ve %27 artış gözlemlemişlerdir.

(Çoruhlu, 2017) çalışmasında Doğu Karadeniz Bölgesi'nde bulunan farklı geometrik özelliklere sahip otuz adet tarihi taş kemer köprüyü ele almıştır. Geometrik boyutlara bağlı olarak frekans, yerdeğiştirme ve gerilme değerlerinin hesabı için formüller ortaya koymuştur.

(Mısır & diğerleri., 2017) çalışmalarında duvarların düzlem dışı stabilite kaybına öncülük eden hasar limitlerini belirlemek adına oluşturdukları sonlu eleman modelini deneysel sonuçlarla güncellemişlerdir.

(Türker, 2011) çalışmasında çelik konsol kiriş, iki boyutlu çerçeve, betonarme tek ve üç katlı bina, köprü ile baraj modellerini ele almıştır. Çevresel titreşim altında elde ettiği dinamik karakteristikleri dikkate alarak, modeller üzerinde gerçekleştirilen farklı hasar durumları için her bir modelde hasarın varlığını, yerini ve yapıların davranışına olan etkisini ortaya koymuştur.

(Demirtaş, Bayraktar & Dumanoglu, 2017) çalışmalarında yakın ve uzak deprem yer hareketine maruz kalan betonarme yapının deprem davranışına çevresel titreşim kayıtlarına bağlı olarak gerçekleştirilen model iyileştirmenin etkileri araştırmışlardır.

(Hu, Lam & Yang, 2017) bir ana bölüm ile ana bölüme göre hacmi küçük olan tamamlayıcı bölümün koridorlarla birbirine bağlanmasıyla oluşan yapının dinamik özelliklerini operasyonel modal analiziyle ortaya çıkarmışlardır. Oluşturduğu sayısal modeli Bayesian model güncelleme tekniğini kullanarak güncellemişlerdir.

### 1.3. Amaç

Bu tez çalışmasında, birbirinin simetriği olarak inşa edilen ve aynı zamanda bağ kirişleriyle her kat seviyesinde birbirine bağlı olan betonarme binalarda, bağ kirişlerinin dinamik yükler altında, yapıların dinamik özelliklerine olan etkileri tam ölçekli deneysel ve sayısal yöntemlerle ortaya çıkarılması amaçlanmıştır. Bu amaçla cevaplandırılmaya çalışılan sorular şu şekilde sıralanabilir:

- Operasyonel modal analiz yöntemiyle yapı dinamik karakteristikleri olan doğal frekanslar (periyotlar) ve mod şekilleri nasıl elde edilir?
- Bağ kirişlerinin tam ölçekli deneysel çalışmalar ile elde edilen yapıların dinamik karakteristiklerine olan etkisi nedir?
- Betonarme binada dolgu duvarların rijitlik özelliklerinin sonlu eleman modelinde yapısal analize dâhil edilmemesiyle elde edilen yapı dinamik karakteristikleri, operasyonel modal analiz yöntemiyle elde edilen yapı dinamik karakteristiklerini ne derece temsil etmektedir?
- Betonarme binada dolgu duvarların rijitlik özelliklerinin sonlu eleman modelinde yapısal analize hangi yöntemle dâhil edilmesiyle elde edilen yapı dinamik karakteristikleri, operasyonel modal analiz yöntemiyle elde edilen yapı dinamik karakteristiklerini en iyi şekilde temsil etmektedir?
- Bağ kirişlerinin sayısal modal analiz yöntemiyle elde edilen yapıların dinamik karakteristiklerine olan etkisi nedir? Deneysel olarak elde edilen etki sayısal olarak elde edilebilmiş midir?
- SAP2000 paket programında şekildeğiştirmeye göre değerlendirme kapsamında, zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemiyle yapısal analizlerin gerçekleştirilebilmesi için yapılması gereken işlem adımları nelerdir?
- Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi ile yapılan deprem hesabında, şekildeğiştirmeye göre değerlendirme yaklaşımıyla elde edilen bağ kirişlerinin deprem performans düzeyleri nedir?
- Bağ kirişleriyle bağlı binalar ile bağ kirişlerinden bağımsız aynı binaların zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi ile yapılan deprem hesabında, şekildeğiştirmeye göre değerlendirme yaklaşımı kullanılarak elde edilen yapısal elemanların deprem performanslarında ne gibi değişiklikler meydana gelmektedir?



## BÖLÜM 2. YÖNTEM

### 2.1. Yapı Dinamik Karakteristiklerinin Belirlenmesi

Mühendislik yapılarının dinamik yükler altındaki yapısal davranışları, doğal frekans (periyot), mod şekli ve sönüm oranı olarak tanımlanan dinamik karakteristiklere bağlı olarak belirlenmektedir. Yapıların dinamik karakteristiklerinin belirlenmesi sayısal veya deneysel modal analiz yöntemleri ile gerçekleştirilebilmektedir.

#### 2.1.1. Yapı Dinamik Karakteristiklerinin Sayısal Olarak Belirlenmesi

Binaların dinamik karakteristiklerinden olan hâkim doğal titreşim periyodu için birçok yöntemde birinci titreşim periyodu için yaklaşık yöntemler mevcuttur.

Aşağıda TBDY-2018'e göre, taşıyıcı sistem türü ve kat yüksekliğine bağlı olarak, ampirik hâkim doğal titreşim periyodu sunulmaktadır:

$$T_{pA} = C_t H_N^{3/4} \quad (2.1)$$

Binaların dinamik karakteristikleri ayrıca sayısal yöntemlerle de elde edilebilmektedir. Sayısal yöntemler sayesinde, yapının rijitlik ve kütle özellikleri kullanılarak serbest titreşim denkleminin çözümüyle yapının doğal titreşim frekansları (periyotları) ile mod şekilleri belirlenebilir ve yapı dinamik davranışı hakkında bilgi sahibi olunabilir. Dinamik karakteristiklerin belirlenmesinde sayısal modelleme için birçok program mevcuttur ve bu programlar genellikle sonlu eleman (SE) yöntemini kullanmaktadır.

Sayısal modelin oluşturulması için yapı geometrisine, eleman boyutlarına, malzeme özelliklerine ve sınır şartlarına ihtiyaç vardır. Yapının sayısal modeli sonlu eleman yöntemiyle hesap yapan programlarda oluşturulduktan modal (serbest titreşim) analizi gerçekleştirilir ve binaya ait modal parametreler elde edilir.

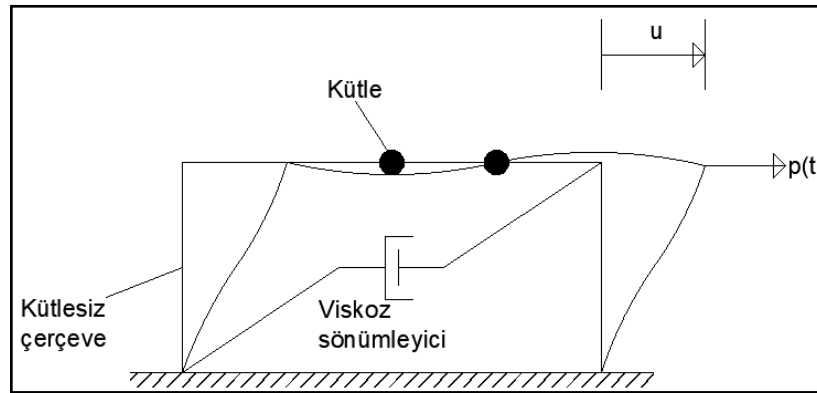
Aşağıda dinamik karakteristiklerin sönümlemesiz tek ve çok serbestlik dereceli sistemler için elde edilişi sunulmaktadır.

### 2.1.1.1. Tek Serbestlik Dereceli Sistemler

Şekil 5'te niteliksel olarak gösterilen sistem, çatı seviyesinde toplanmış bir m kütlesi, rijitliklik sağlayan bir çerçeve ve titreşim enerjisini yutan viskoz bir sönümleyiciden oluşmaktadır. Kiriş ve kolonlarda boy değişimi olmadığı varsayılmaktadır.

Bu sistem, tek katlı bir çerçevenin idealleştirilmiş biçimi olarak değerlendirilebilir. Gerçek bir yapının her elemanı (kiriş, kolon, duvar vb.), yapının eylemsizlik (kütle), şekildeğişimine direnç (rijitlik veya esneklik) ve enerji yutma (sönüm) özelliklerine katkıda bulunur. Oysa idealleştirilmiş sistemde bu özelliklerin her biri, üç farklı ve katkısız bileşene indirgenir: kütle bileşeni, rijitlik bileşeni ve sönüm bileşeni.

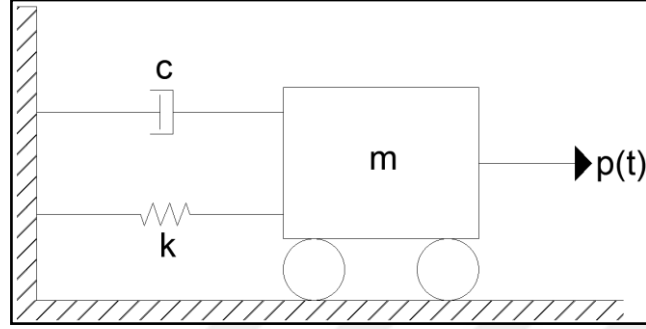
Sistemdeki tüm kütlelerin yerdeğiştirmiş konumlarını başlangıç konumlarına göre belirlemek için gereken bağımsız değişkenlerinin sayısına, sistemin dinamik çözümlemedeki serbestlik derecesi (SD) denir (Chopra, 2015). Şekil 5'te görülen, yalnız zorlama yönünde hareket etmek üzere kısıtlanmış tek katlı çerçeveyi değerlendirdiğimizde; statik çözümleme sırasında çerçevenin yanal rijitliğini belirlemek için, yanal öteleme ve iki düğüm noktasının dönmelerinden oluşan toplam üç serbestliği hesaba katmak gerekir. Buna karşın, dinamik çözümleme için kütle tek bir noktada, genellikle de çatı seviyesinde toplanmış olarak idealleştirildiğinde, yapının yalnızca bir serbestliği olur: yanal ötelenme. Bu nedenle bu modele tek serbestlik dereceli sistem (TDS) denir.



Şekil 5. Tek serbestlik dereceli sistem; etkiyen kuvvet  $p(t)$

### 2.1.1.1.1. Tek Serbestlik Dereceli Sistemler İçin Hareket Denklemi

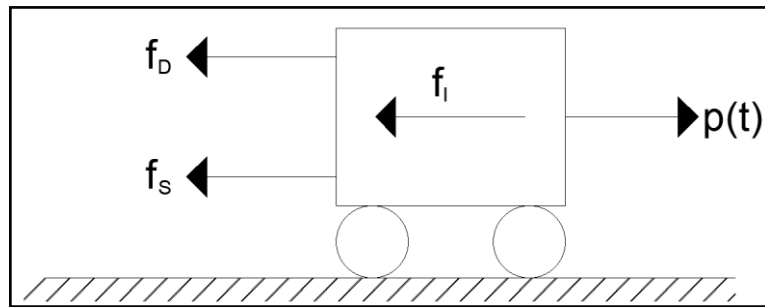
Şekil 6'daki gibi bir TDS sistemin dinamik tepkisi hareket denklemi tarafından kontrol edilir. Hareket denklemini elde etmek için basit, kuvvet denge yaklaşımı kullanılabilir.



Şekil 6. Dış dinamik yük  $p(t)$ 'ye maruz kalan sönümlenmeli TDS sistem

Bir TDS sistemin kütlesine dinamik yükleme yapıldığı zaman, hareket etme eğilimi kütlenin ataleti ve yay ile sönümleyici içinde gelişen kuvvetler tarafından kısıtlanır. Bu nedenle, pozitif  $x$  yönünde etkiyen  $p(t)$  dış kuvvetine negatif  $x$  yönünde karşı koyan üç kuvvet vardır (Şekil 7): atalet kuvveti  $f_I$ , viskoz sönümleme kuvveti  $f_D$  ve elastik yay kuvveti  $f_S$ . Hareket denklemi bu kuvvetlerin dinamik dengesi cinsinden ifade edilebilir (Kramer, 2003):

$$f_I(t) + f_D(t) + f_S(t) = p(t) \quad (2.2)$$



Şekil 7. Kütleyle etkiyen dinamik kuvvetler

Bu kuvvetler, kütlenin hareketi cinsinden de ifade edilebilir. Newton'un ikinci yasasına göre, bir kütle üzerine etkiyen atalet kuvveti o kütlenin momentum değişim hızına eşittir. Kütlesi sabit olan sistemde aşağıdaki gibi olur:

$$f_I(t) = \frac{d}{dt} \left( m \frac{du(t)}{dt} \right) = m \frac{d^2u(t)}{dt^2} = m\ddot{u}(t) \quad (2.3a)$$

Viskoz bir sönümleyici için sönümlenme kuvveti kütlenin hızı ile orantılıdır:

$$f_D(t) = c \frac{du(t)}{dt} = c\dot{u}(t) \quad (2.3b)$$

Yay ile sağlanan kuvvet de, yay rijitliği ile yerdeğiştirme miktarının çarpımına eşittir:

$$f_S(t) = ku(t) \quad (2.3c)$$

Atalet kuvveti ivme ile orantılıdır ve oransallık sabiti kütledir. Viskoz sönümlenme kuvveti hız ile orantılıdır ve oransallık sabiti sönümlemedir. Yay kuvveti de yerdeğiştirme ile orantılıdır ve oransallık sabiti yay katsayısıdır.

(2.3) eşitliklerini (2.2)'deki yerlerine koyarak, TDS sistem için hareket denklemini aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$m\ddot{u}(t) + c\dot{u}(t) + ku(t) = p(t) \quad (2.4)$$

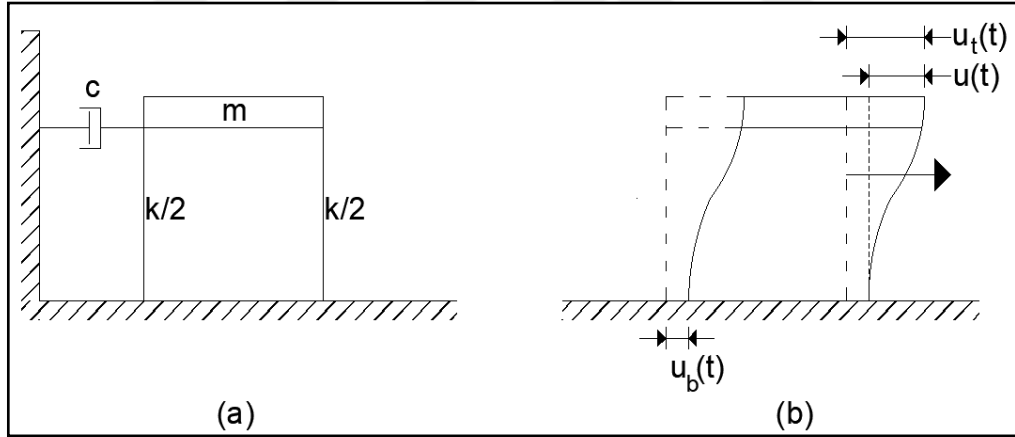
### 2.1.1.1.2. Hareket Denklemi: Mesnetlerin Titreşimi (Taban Sarsması)

Deprem mühendisliği problemlerinde dinamik yükleme çoğu zaman dinamik dış yükler yerine bir sistemin desteklerinin titreşiminden gelir. Böyle sistemlerin dinamik tepkisini değerlendirmek için, taban sarsmasından ileri gelen yükleme için, bir hareket denkleminin geliştirilmesi gereklidir. Şekil 8a’da gösterilen TDS sistemi ele alalım.  $u_b(t)$  taban dinamik sarsmasına maruz kaldığı zaman şekil değiştirecek ve belirli bir  $t$  zamanındaki görünümü Şekil 8b’deki gibi olacaktır. Kütlenin toplam yerdeğiştirmesi  $u_t(t)$ , taban yerdeğiştirmesi  $u_b(t)$  ve tabana göre kütlein göreceli yerdeğiştirmesi  $u(t)$  olmak üzere iki kısma ayrılabilir. Şekil 8b’deki notasyonu kullanarak; hareket denklemi,

$$m\ddot{u}_t(t) + c\dot{u}(t) + ku(t) = 0 \quad (2.5)$$

Veya  $\ddot{u}_t(t) = \ddot{u}_b(t) + \ddot{u}(t)$  yerdeğiştirmesini yaparak,

$$m\ddot{u}(t) + c\dot{u}(t) + ku(t) = -m\ddot{u}_b \quad (2.6)$$



Şekil 8. Taban sarsmasına maruz kalan sönümlenmeli TDS sistem

Şeklinde yazılabilir.

“Başka bir ifadeyle; sistemin taban sarsmasına tepkisi o sistemin tabanının sabit olduğu ve kütlein de  $p(t) = -m\ddot{u}_b(t)$  dış yüklemesine maruz kaldığı durumdaki tepkiye eşdeğerdir. Bu nedenle, dış yüklemeye maruz kalan bir TDS sistemin tepkisinde kullanılan herhangi bir çözüm, sistemin taban sarsmasına tepkisini değerlendirmede kullanılabilir.” (Kramer, 2003).

### 2.1.1.1.3. Sönümlemesiz Serbest Titreşimler

Sönümleme olmadığı zaman hareket denklemi (sönümlemesiz serbest titreşim için) aşağıdaki gibi olur:

$$m\ddot{u} + ku = 0 \quad (2.7)$$

İki tarafı da kütleyle bölersek,

$$\ddot{u} + \frac{k}{m}u = 0 \quad (2.8)$$

Olur. Bu diferansiyel denklemin çözümü:

$$u = C_1 \sin \sqrt{\frac{k}{m}}t + C_2 \cos \sqrt{\frac{k}{m}}t \quad (2.9)$$

Olup, burada;  $C_1$  ve  $C_2$  sabitlerinin değeri, sistemin başlangıç şartlarına bağlıdır.  $\sqrt{(k/m)}$  büyüklüğü sönümlemesiz sistemin doğal dairesel frekansını temsil eder:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (2.10)$$

Doğal frekans  $f_0$  ve doğal titreşim  $T_0$  aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (2.11)$$

$$T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (2.12)$$

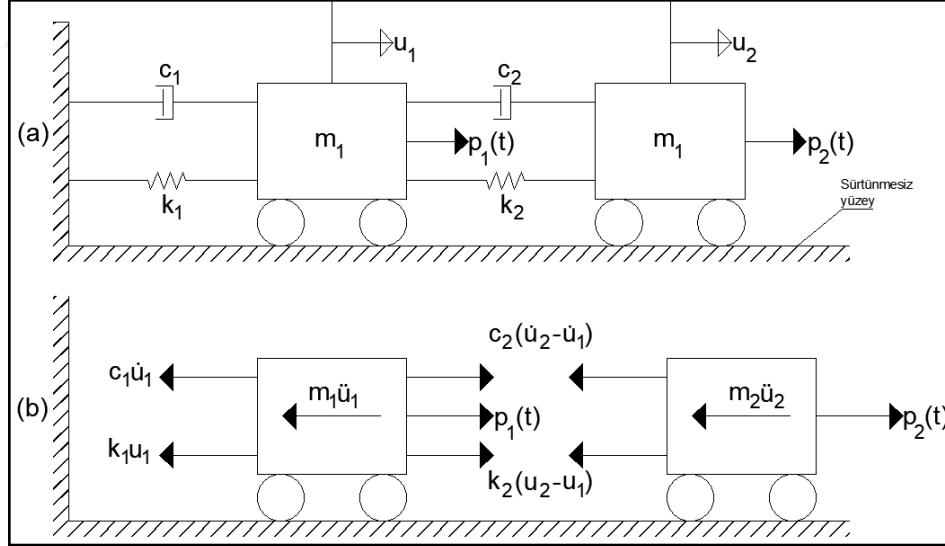
Sönümsüz sistemin bir serbest titreşim döngüsünü tamamlaması için geçen süreye sistemin doğal titreşim periyodu denir. Birimi saniyedir. Frekans genellikle saniye başına devir olarak ifade edilir. Birimi hertz (kısaltılmışı Hz) dir. Titreşim hareketi dairesel hareket olarak gösterilirse, açısal doğal frekans  $\omega_0$ , birim zamanda taranan açıyı gösterir. Birimi rad/s dir. Doğal titreşim özellikleri  $\omega_0$ ,  $T_0$  ve  $f_0$  yapının yalnız kütle ve rijitlik özelliklerine bağlıdır. Aynı kütleli iki TDS sistemden daha rijit olanının daha yüksek doğal frekansı ve daha kısa doğal periyodu olur.

### 2.1.1.2. Çok Serbestlik Dereceli Sistemler

“Bir sistemin hareket halinde bulunduğu konum, eğer birden fazla parametre ile belirlenebiliyorsa, bu tür sistem çok serbestlik dereceli olarak isimlendirilir. Sistemin serbestlik derecesi, hareket halindeki konumunu tam olarak belirlemek için gerekli ve yeterli bağımsız hareket türüne eşittir. Böyle bir sistem, serbestlik derecesi sayısı kadar birbirinden bağımsız hareket türüne sahiptir. Sistemin hareketini, serbestlik derecesi kadar yazılacak diferansiyel denklem yönetir. Hareket denklemleri, sisteme etkileyen atalet kuvvetleri, sönün etkileri ve şekildeğiştirme sonucu meydana gelen elastik kuvvetlerle, varsa dış kuvvetlerin dengesinden ibarettir.” (Celep, 2018).

#### 2.1.1.2.1. Kütle-Yay-Sönümleyici Sistemi

İki serbestlik dereceli sistemin yaygın gösterimi, Şekil 9a'daki gibi birbirine doğrusal yay ve sönümleyicilerle bağlı iki kütle ile bunların üzerine dışarıdan etkileyen  $p_1(t)$  ve  $p_2(t)$  kuvvetlerinden oluşur. Herhangi bir anda kütlelere etkileyen tüm kuvvetler serbest cisim diyagramlarında gösterilmiştir (Şekil 9b).



Şekil 9. (a) İki serbestlik dereceli sistem; (b) Serbest cisim diyagramları

Sistemin dinamik davranışını belirleyen hareket denklemleri, tek serbestlik dereceli sisteminkinin genelleştirilmesi olarak yazılabilir:

$$m\ddot{u}(t) + c\dot{u}(t) + ku(t) = p(t) \quad (2.13)$$

### 2.1.1.2.2. Sönümlemesiz Serbest Titreşimler

“Serbest titreşim deyimi, yapının herhangi bir dinamik zorlama (kuvvet ya da mesnet oynaması) olmadan yaptığı titreşim hareketini ifade eder. Böyle bir hareket, yapıya başlangıçta bir yerdeğişimi ve/veya hız kazandırıp onu denge konumundan uzaklaştırarak başlatılır.” (Chopra, 2015).

Sönümlemesiz serbest titreşimlerde sönümlenme matrisinin tüm terimleri sıfırdır ve bu durumda hareket denklemi aşağıdaki şekle dönüşür:

$$m\ddot{u}(t) + ku(t) = 0 \quad (2.14)$$

Her kütle için (derece serbestliğinin) harmonik olduğu kabul edilirse,

$$u(t) = U \sin(\omega t + \theta) \quad (2.15)$$

Olur. Burada, U: yerdeğiştirme genliklerini içeren bir vektör ve  $\theta$ : yapının her katındaki (veya her derece serbestliği için) faz açılarını içeren bir vektördür. (2.15) eşitliğinin iki kere türevini almak suretiyle,

$$\ddot{u}(t) = -\omega^2 U \sin(\omega t + \theta) = -\omega^2 u(t) \quad (2.16)$$

Elde edilir. Yerdeğiştirme [(2.15) eşitliği] ve ivme [(2.16) eşitliği] bağlantılarını hareket denklemindeki [(2.14) eşitliği] yerine konmasıyla,

$$-m\omega^2 U \sin(\omega t + \theta) + kU \sin(\omega t + \theta) = 0 \quad (2.17)$$

Veya

$$[k - \omega^2 m]U = 0 \quad (2.18)$$

Elde edilir. Bu son denklem, U bilinmeyeninden oluşan bir cebirsel denklemi ifade eder.  $U=0$ 'dan başka değerler veren çözümler sadece,

$$\det(k - \omega^2) = |k - \omega^2| = 0 \quad (2.19)$$

Durumunda elde edilir. (2.19) eşitliği sistemin frekans denklemidir (veya karakteristik denklemdir). N serbestlik derecesindeki bir sistem için bu denklem  $\omega^2$ 'de N. Derece bir polinom verir. Frekans denklemlerinin N kökleri  $\{\omega_1^2, \omega_2^2, \omega_3^2, \omega_N^2\}$  dış yüklerin olmadığı durumda sönümlemesiz sistemin salınabildiği frekansları temsil eder. Bu frekanslara sistemin doğal frekansları denir.



Doğal frekans değerlerinin küçükten büyüğü doğru sıralanması sonucunda elde edilen en küçük frekans değeri yapının temel frekansı olarak adlandırılır.

“N serbestlik dereceli sistemin N doğal titreşim frekansına karşılık gelen N tane bağımsız U vektörü vardır; bunlara doğal titreşim modu ya da doğal titreşimin mod şekli denir. Bu vektörler, özvektörler, karakteristik vektörler ya da olağan modlar olarak da bilinir. Doğal sıfatı, bu titreşim özelliklerinin serbest titreşime ait olduklarını vurgulamak için kullanılır ve bu özellikler yalnız kütle ve rijitlik özelliklerine dayanır.” (Chopra, 2015).

### **2.1.2. Yapı Dinamik Karakteristiklerinin Deneysel Olarak Belirlenmesi**

Dış etkiyle yapılar üzerinde oluşan titreşimlere gösterilen tepkinin ölçülmesi ve ölçüm verilerinden yapı dinamik parametrelerinin belirlenmesi amacıyla kullanılan yöntemler deneysel modal analiz yöntemleri olarak bilinmektedir.

Deneysel Modal Analiz yöntemi ile ilk çalışmalar 1940’lı yıllarda uzay ve astronomi bilimlerinde, daha sonra havacılık, makine ve otomotiv sektörlerinde gerçekleştirilmiştir. 1980’li yıllarda Zorlanmış Titreşim Yöntemi, 1990’lı yıllarda ise Çevresel Titreşim Yöntemi inşaat mühendisliği yapılarında kullanılmaya başlanmıştır. (Ewins, 2009), (Ramos, 2007), (Sevim, 2010).

#### **2.1.2.1. Geleneksel Deneysel ve Operasyonel Modal Analiz**

Deneysel modal analiz yöntemi yapıya etkiyen kuvvetin bilinip bilinmemesine göre, geleneksel deneysel modal analiz yöntemi ve operasyonel modal analiz yöntemi olmak üzere ikiye ayrılır.

Geleneksel deneysel modal analiz yönteminde titreşim kaynağı olarak zorlamalı etkilerle oluşan titreşimlerden yararlanılırken, operasyonel moda analiz yönteminde rüzgâr, taşıt, insan yükü gibi çevresel etkilerle oluşan titreşimlerden yararlanılmaktadır. Operasyonel modal analiz yönteminin ölçümlerinde çevresel titreşimler kullanıldığından dolayı bu yöntem çevresel titreşim testi olarak da adlandırılmaktadır. Geleneksel deneysel modal analiz yöntemi etki-tepki ölçümüne dayalı bir dinamik analiz olup, operasyonel modal analiz yöntemi ise sadece tepki ölçümüne dayalı bir dinamik analizdir.

### 2.1.2.2. Operasyonel Modal Analiz Uygulama Alanları

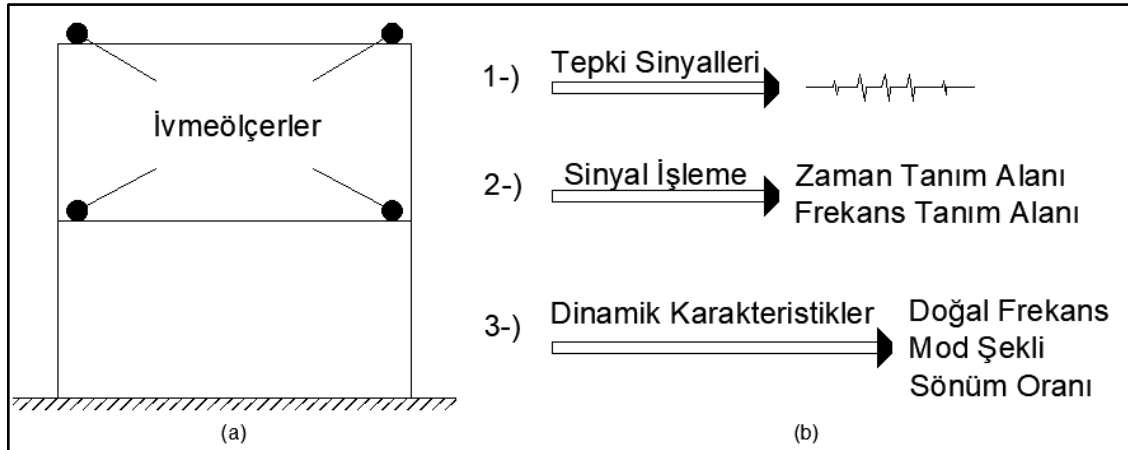
Makine parçalarının titreşim analizlerinden büyük mühendislik yapılarındaki titreşimlerin analizine kadar birçok alanda operasyonel modal analiz yöntemi kullanılmaktadır (Türker, 2011). Bu yöntem,

- Yapıların inşası tamamlandıktan sonra, projelendirilmesi aşamasında elde edilen dinamik karakteristiklerin gerçekte sağlanıp sağlanmadığının belirlenmesinde,
- Sonlu eleman modellerinin deneysel sonuçlara göre güncelleştirilmesinde,
- Yapısal hasarların ortaya çıkartılmasında,
- Güçlendirilen yapının güçlendirme etkisinin ortaya çıkartılmasında,
- Yapısal sağlığın izlenmesinde

Kullanılabilmektedir.

### 2.1.2.3. Operasyonel Modal Analiz Yöntemiyle Ölçüm

Dinamik karakteristiklerin deneysel olarak belirlenmesinde, yapı üzerinde çeşitli noktalara hassas ivmeölçerler yerleştirilmekte ve ivmeölçerler tarafından kaydedilen tepki sinyallerinin zaman veya frekans tanım alanlarında işlenmesiyle dinamik karakteristikler elde edilmektedir. Çevresel Titreşim Yöntemi'ne göre yapıların dinamik karakteristiklerinin nasıl belirlendiğini gösteren akış şeması Şekil 10'da verilmektedir.



Şekil10. (a) Ölçülen yapı; (b) Operasyonel modal analiz yöntemi

Çevresel titreşim verileri altında gerçekleştirilen operasyonel modal analiz yönteminde bazı kabuller yapılmaktadır. Bunlar;

- ⇒ Sınır şartlarının ve malzeme özelliklerinin değişmediği,
- ⇒ Lineer davranış sergilendiği yani yapıda oluşan titreşimlerin küçük olduğu,
- ⇒ Yapının herhangi bir noktasındaki davranışın tüm yapıyı temsil ettiği

Şeklindedir.

Ölçümlerden doğru sonuçları elde edebilmek adına ivmeölçerleri doğru konumlandırmak, uygun frekans aralığı seçmek ve ölçüm yapılan frekans aralığında yapıda oluşan rezonansları temin edebilecek kadar uzun süre ölçüm almak gerekir. Ayrıca ölçümlerden elde edilen sonuçları değerlendirirken, ölçülen yapının dinamik davranışı hakkında genel mühendislik bilgisine sahip olmak gerekir.

Tez çalışması kapsamında kullanılan ivmeölçerler Şekil 11’de gösterilmiştir. SARA, Acebox marka ivmeölçer kullanılmıştır. Aynı anda 3 eksenle ölçüm alabilen ivmeölçerin ivme aralığı  $\pm 2g$ , gürültü seviyesi  $< 20ng/\sqrt{Hz}$ , çalışma sıcaklığı  $-20/+70^{\circ}C$ , frekans aralığı 1-600 Hz ve boyutları 205\*107\*107 mm dir.



Şekil 11. Tez çalışması kapsamında kullanılan ivmeölçer

İvmeölçer aracılığıyla kaydedilen yapının titreşim sinyalleri kablo aracılığıyla bilgisayara aktarılır. Aktarılan sinyaller yazılımlar kullanılarak işlenir.

Frekans ortamına dayalı yöntemlerden literatürde sıklıkla kullanılanları şunlardır; “Piklerin Seçilmesi, Frekans Ortamında Ayrışım, Geliştirilmiş Frekans Ortamında Ayrışım”. Zaman ortamına dayalı yöntemlerden ise literatürde sıklıkla kullanılanı “Stokastik Altalan Belirleme” yöntemidir.

Frekans alanında çalışan yöntemler tepki sinyaline ait güç spektral yoğunluk fonksiyonlarının tekil değer ayrışımına dayalı yöntemler olup modal parametrelerin tahmini piklerin seçilmesi ile gerçekleştirilmektedir.

Zaman tanım alanında gelen sinyaller, Fourier dönüşümlerinden yararlanılmasıyla frekans tanım alanına dönüştürülebilir. Sinyallerin zaman ortamından, FFT (Fast Fourier Transform) dönüşümleriyle frekans ortamına geçirilmeleriyle binanın baskın frekansları ve bu frekansların güç yoğunlukları elde edilir. Doğal frekans değerlerinin küçükten büyüğe doğru sıralanması sonucunda elde edilen en küçük frekans temel frekans, bu frekansa karşılık gelen ve yapının titreştiğinde hangi geometrik konumda olduğunun bilgisini veren şekilde birinci mod şekli olarak adlandırılır. Elde edilen frekansların güç yoğunlukları da yapının mod şekillerinin bulunması için kullanılır.

Frekans ortamına dayalı yöntemlerde frekans ve mod şekillerine ilave olarak sönüm oranları da elde edilmek isteniyorsa “Geliştirilmiş Frekans Ortamında Ayrışım” yöntemi kullanılmalıdır.

Tez kapsamında yapılan deneysel çalışmalarda dinamik karakteristiklerin belirlenmesinde operasyonel modal analiz yöntemi ve frekans alanında çalışan yöntemlerden Piklerin Seçilmesi ile ARTEMIS paket programında kullanılabilen Geliştirilmiş Frekans Ortamında Ayrışım yöntemi kullanılmıştır.

### **2.1.3. Dinamik Karakteristiklerinin Karşılaştırılması**

Sayısal ve deneysel modal analiz yöntemiyle elde edilen dinamik karakteristiklerden frekans değerleri karşılaştırılmıştır.

### 2.1.3.1. Frekanslarının Karşılaştırılması

Deneysel ve sayısal olarak elde edilen frekanslar aşağıdaki denklem yardımıyla karşılaştırılmıştır.

$$\Delta = \left| \frac{f^d - f^s}{f^s} \right| \quad (2.20)$$

Deneysel modal analiz ile elde edilen frekans değeri  $f^d$ , sayısal modal analiz ile elde edilen frekans değeri  $f^s$  ve frekanslardaki değişim oranı  $\Delta$  ile gösterilmiştir.

### 2.1.3.2. Mod Şekillerinin Karşılaştırılması

Mod şekilleri, modal yerdeğiştirmelerinin birleştirilmesiyle meydana gelmektedir. Bu tez çalışmasında, deneysel ve sayısal analizlerden elde edilen modal deplasman değeri, mod şekillerinin tepe noktası deplasmanı bir olacak şekilde ölçeklendirilmiş ve bu değeriyle mod şekilleri karşılaştırılmıştır.

## 2.2. Yapılara Etkiyen Deprem Kuvvetleri

“Deprem yer kabuğunda biriken mekanik enerjinin boşalmasıdır. Yer kabuğu sıcaklık ve basınç nedeni ile akıcı bir kıvamı olan magmanın üzerinde yüzmektedir. Magma içinde ısı akımları vardır. Isı akımları yer kabuğunu harekete zorlamaktadır.” (Bayülke, 2012).

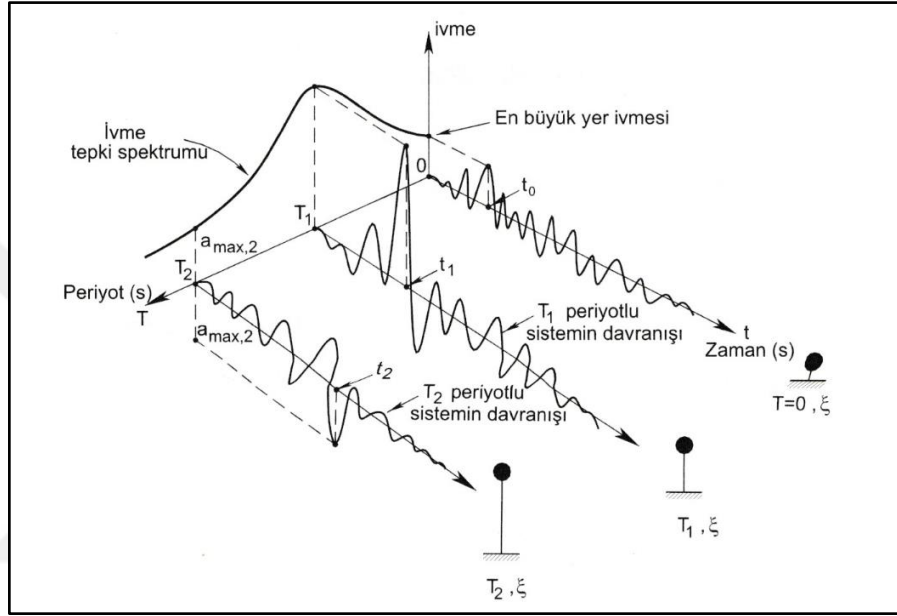
“Yeryüzünü oluşturan plakalar birbirlerine göre göreceli hareket ederken gerilme birikimi oluşur ve bu gerilmeler yeterli büyüklüğe ulaştığında dış kabuğu yırtar. Bu yırtılma fay olarak adlandırılan zayıf düzlem boyunca devam eder. Biriken gerilmeler enerji ortaya çıkarır ve yerkürede titreşim dalgaları oluşturur. Bu dalgaların yayılarak geçtikleri ortamları ve yer yüzeyini sarsma olayına deprem adı verilmektedir.” (Darılmaz, 2019).

“Yapının temelini konuştandığı zemin, deprem etkisi ile dinamik olarak ve tersinir şekilde ötelenmelere maruz kalır. Bu ötelenmelerin büyüklüğü, zamana bağılı olarak değişir. Yapı kütesinin ataleti bu harekete karşı koyarak yapıda yatay ve düşey doğrultularda atalet kuvvetlerinin oluşmasına neden olur. Yani dinamik zorlamaya karşı, yapı da, dinamik bir tepki gösterir. Yapının kütesinde, zamana bağılı olarak, büyüklü küçüklü yerdeğiştirmeler, hızlar ve ivmeler oluşur.” (Atımtay, 2009).

Yapıların deprem enerjisinden ne kadar pay alacağı yapının doğal periyoduna bağılıdır. Bu alışveriş Tepki Spektrumları’nda ifadesini bulur.

### 2.2.1. Elastik Tepki Spektrumları

Tepki spektrumu, aynı sönüm oranına (örneğin  $\xi = 0.05$ ) fakat farklı doğal titreşim periyotlarına sahip tek serbestlik dereceli sistemlerin belirli bir deprem kaydı etkisinde, oluşan zemin hareketine karşı gösterdiği en büyük tepkilerin (en büyük yerdeğiştirme, hız, ivme veya diğer büyüklükler) grafiğidir. Yatay eksen periyot ve frekansı, düşey eksen ise en büyük tepkiyi göstermektedir. (Şekil 12) (Darılmaz, 2019).



Şekil 12. Tepki spektrumunun grafiksel gösterimi (Darılmaz, 2019)

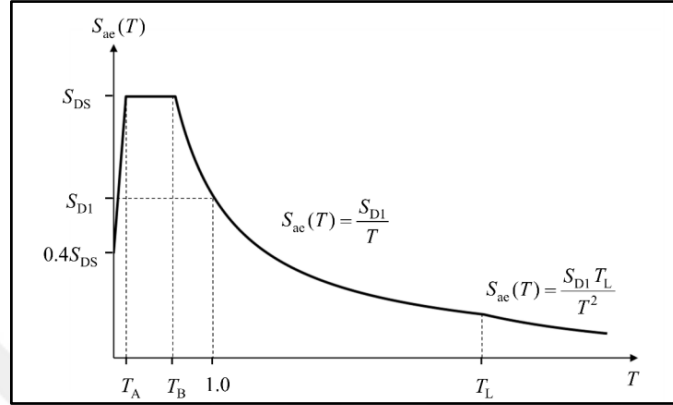
Oluşmuş her bir depremin, yer ivme kayıtları kullanılarak, elastik deprem etkilerinin belirlenmesinde kullanılmak üzere tepki spektrum grafiği oluşturulabilir. Bu elde edilen grafik her bir deprem kaydı için farklılık gösterir ve ayrıca yerel zemin koşullarından etkilenir.

### 2.2.2. TBDY-2018 Kapsamında Yatay Elastik Tasarım Spektrumu

Yönetmeliğimizde tanımlanan yatay elastik tasarım spektrumu, uygun birçok deprem kaydının kullanılmasıyla oluşturulur.

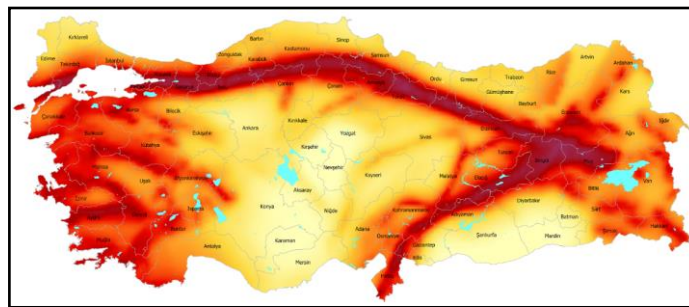
“Deprem yer hareketi spektrumları, belirli bir deprem yer hareketi düzeyi için referans zemin koşulları esas alınarak %5 sönüm oranı için, harita spektral ivme katsayılarına ve yerel zemin etki katsayılarına bağlı olarak standart biçimde veya özel deprem tehlikesi analizleriyle özel olarak tanımlanırlar.” (Darılmaz, 2019).

Göz önüne alınan herhangi bir deprem yer hareketi düzeyi için yatay elastik tasarım ivme spektrumunun ordinatları olan yatay elastik tasarım spektral ivmeleri  $S_{ae}(T)$ , doğal titreşim periyoduna bağlı olarak yerçekimi ivmesi [g] cinsinden Şekil 13'te tanımlanmıştır. Tanımlanan bu değer yapıların deprem hesabında kullanılır.



Şekil 13. Yatay elastik tasarım ivme spektrumu

Yatay elastik tasarım spektrumları tasarım spektral ivme katsayıları kullanılarak tanımlanır. Deprem Tehlike Haritaları'nda (<https://tdth.afad.gov.tr/>) (Şekil 14) alınabilen ve her konum için değişkenlik gösteren boyutsuz katsayılar olan  $S_S$  ve  $S_1$  harita spektral ivme katsayılarının, yerel zemin etki katsayılarıyla çarpılmasıyla tasarımda kullanılacak ivme katsayıları olan  $S_{DS}$  ve  $S_{D1}$  elde edilir. Yatay tasarım spektrumu köşe periyotları  $T_A$  ve  $T_B$ ,  $S_{DS}$  ve  $S_{D1}$  bağlı olarak elde edilir.

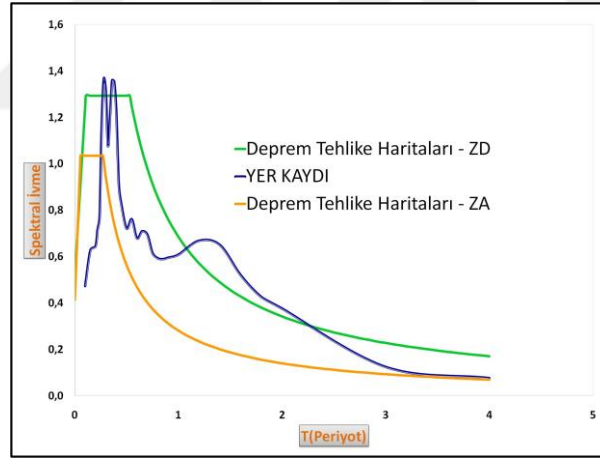


Şekil 14. Türkiye deprem tehlike haritası

Şekil 15'te yer ivme kaydı kullanılarak %5 sönüm oranı için Newmark-Beta ortalama ivme yöntemiyle oluşturulan tepki spektrumu, yer ivme kaydının alındığı nokta için Deprem Tehlike Haritaları kullanılarak ZA ve ZD zemin sınıfı için elde

edilen yatay elastik tasarım spektrumu birlikte gösterilmektedir. Zemin sınıflarına bağılı olarak elastik spektral ivme grafiği değişkenlik gösterdiği görülmektedir. Ayrıca yer ivme kaydı kullanılarak %10 sönüm oranı oluşturulmuş olsaydı, spektral ivme değerleri belirgin bir azalma gösterecekti.

Şekil 15 spektral ivme değerlerinin incelenmesiyle, deprem kaydı kullanılarak oluşturulmuş yatay ivme tepki spektrumunda çok yakın iki periyoda sahip yapılarda farklı ivmeler oluşacağı anlaşılmaktadır. Bu durum iki yakın periyotlu yapıda farklı deprem kuvvetleri oluşacağını gösterir. Deprem Tehlike Haritaları ZA ve ZD zemin sınıfı ile yer ivme kaydı kullanılarak elde edilen tepki ivme spektrumunun karşılaştırılmasıyla bazı periyot değerleri için yapıda daha fazla ivme oluştuğu, bazı periyotlar için ise daha az ivme oluştuğu görülmektedir. Daha fazla ivme oluşmasına sebep olan periyot değerleri için daha fazla deprem kuvveti oluşacakken, daha az ivme oluşmasına sebep olan periyot değeri için ise yapıda daha az deprem kuvvetleri oluşacağı anlaşılmaktadır.



Şekil 15. Yer kaydı ve deprem tehlike haritalarıyla elde edilen ivme spektrumları

### 2.2.3. TBDY-2018 Kapsamında Doğrusal Deprem Hesabı

Dayanıma göre tasarım hesabında deprem yüklerinin hesaplanması için Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile Modal Hesap Yöntemleri sunulur. Her zaman tek başına kullanılmasına izin verilmeyen Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nin uygulandığı tüm binalarda binanın tümüne etkiyen eşdeğer deprem yüğü aşağıdaki formülle belirlenmektedir:



$$V_{tE} = m_t S_{aR}(T) \quad (2.21)$$

Burada  $V_{tE}$  gözönüne alınan deprem doğrultusunda, binanın tümüne etkiyen toplam eşdeğer deprem yükünü (taban kesme kuvvetini) ifade eder.  $S_{aR}(T)$  Azaltılmış Tasarım Spektrum İvmesi'ni ifade eder.  $S_{aR}(T)$  göz önüne alınmış deprem doğrultusunda doğal titreşim periyodu baz alınarak hesaplanan  $S_{ae}$  ivmesinin Dayanıma Göre Tasarım'da taşıma gücü yaklaşımı ile kesit tasarımı için, her bir taşıyıcı sistem türü için seçilen belirli bir sabit süneklik kapasitesine karşı gelen Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı  $R_a(T)$ 'ye bölünmesi ile hesaplanır.

Modal Hesap Yöntemleri'nde ise Eş Değer Deprem Yüğü Yöntemi'nde olduğu gibi yapının tek bir titreşim değerine denk gelen spektral ivme katsayısı ve bütün kütlelerin kullanılmasıyla değil, yapının sahip olduğu her bir doğal titreşim periyodu için ayrı bir ivme ile o titreşim periyoduna katılan kütle hesap edilerek deprem kuvvetleri hesaplanır. Sonuç olarak deprem kuvvetleri hesaplanmasında yapının kütleleriyle sahip olduğu doğal titreşim periyoduna etkiyen ivme değerleri kullanılır.

Daha kesin bir hesap yapılmadıkça, göz önüne alınan deprem doğrultusunda binanın hâkim doğal titreşim periyodu Denk.(2.22) yardımıyla hesaplanır. Denk.(2.22) ile hesaplanan hâkim doğal titreşim periyodunun deprem hesabında göz önüne alınacak en büyük değeri ampirik hâkim doğal titreşim periyodunu ifade eden ve Denk.(2.1)'de sunulan  $T_{pA}$  değerinin 1.4 katından büyük olmasına izin verilmez.

$$T = 2\pi \left[ \frac{\sum_{i=1}^N m_i d_{fi}^2}{\sum_{i=1}^N F_{fi} d_{fi}} \right]^{1/2} \quad (2.22)$$

Denk.(2.22)'in pay ve paydasının  $i$ 'inci kata etki ettirilen fiktif yükten oluşan yerdeğiştirmeyi ifade eden  $d_{fi}$ 'nin karesine bölünmesiyle;

$$T = 2\pi \left[ \frac{\sum_{i=1}^N m_i}{\sum_{i=1}^N F_{fi}/d_{fi}} \right]^{1/2} \quad (2.23)$$

Elde edilir. Burada " $\sum_{i=1}^N F_{fi}/d_{fi}$ " değeri yapının ötelenme rijitliğini temsil eder. Yapının periyodu, Denk.(2.12) ve Denk.(2.23)'ten anlaşılacağı üzere kütlelerin rijitliğe oranına bağlı olarak hesap edilir.

### 2.3. Dolgu Duvarların Yapı Dinamik Özelliklerine Etkisi ve Modellenmesi

Barınma ve ticari amaçlı kullanımlarda dolgu duvarlı betonarme çerçeveli sistemler daha çok rağbet görmektedirler. Dolgu duvarlar, betonarme binaların yapısal analizinde sadece ölü yük olarak dikkate alınmakta ve bu duvarların rijitlik özellikleri hesap modeline genellikle dâhil edilmemektedir.

“Dolgu duvarların varlığı bir depremin başında, daha doğrusu düşük deprem yatay yük düzeylerinde, yapının periyodunu kısaltır. Deprem sonucu duvarların çatlayıp hasarın başlaması ve giderek artması ile yapının periyodu uzamakta ve yalnızca taşıyıcı sistem dikkate alınarak bulunmuş periyoduna yaklaşmaktadır. Bir diğer deyişle dolgu duvarın yapının titreşim periyoduna katkısı, dolgu duvar rijitlik ve kütlesi olan bir elemandan yalnızca kütlesi olan bir elemana doğru dönüştüğü için, azalmaktadır. Deprem sırasında yapı periyodundaki değişimler de yapıya gelen deprem yükünün düzeyini değiştirmektedir.” (Bayülke, 2012).

Dolgu duvarların taşıyıcı sistem ile etkileşimleri, sistemin dinamik karakterini değiştirip yapısal bir eleman gibi çalıştıkları deneysel çalışmalarla da saptanmıştır.

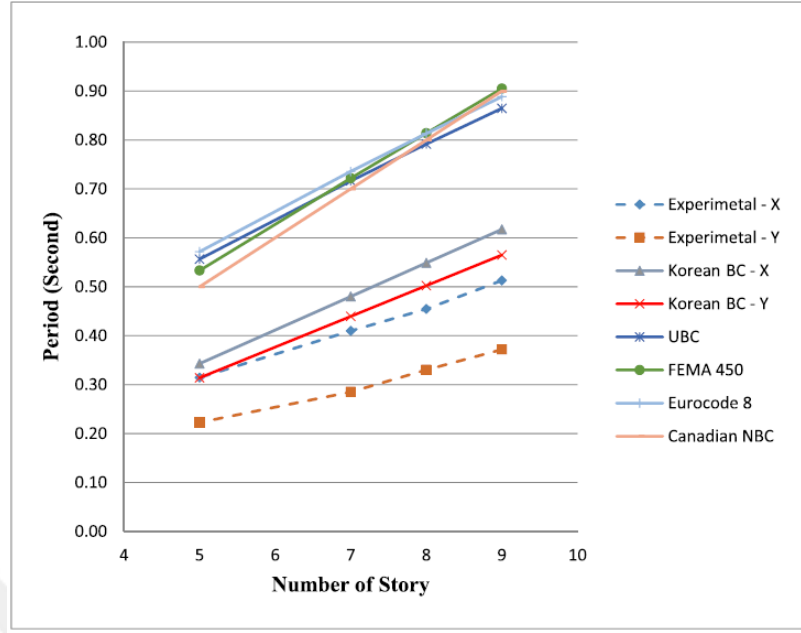
(Aras, 2018b) çalışmasında dolgu duvarların betonarme yapıların dinamik özelliklerine olan etkisini elde etmek için mevcut bir betonarme binayı kullanmıştır. Yapıda titreşim analizlerini gerçekleştirdikten sonra zemin kattaki duvarların çerçeveye olan etkisini kesmiştir (Şekil 16) ve titreşim analizlerini tekrarlamıştır. Mevcut yapının birinci modu X yönü ve ikinci modu Y yönü ötelenmeyken, zemin katta duvarların çerçeveden ayrılmasıyla birinci mod Y yönü ve ikinci mod X yönü ötelenme olmuştur. Birinci modda ki frekans değerinin %57, ikinci modda ki frekans değerinin %33 ve burulma olan üçüncü modda ki frekans değerinin %63 artış gösterdiğini ortaya koymuştur.



Şekil 16. Duvar ayırma sonrasında yapı içinden görünüş (Aras, 2018b)

(Bayraktar & diğerleri., 2010) yaptıkları çalışmada altı katlı betonarme bir binayı ele alarak dinamik karakteristiklerini farklı inşa aşamasında operasyonel modal analiz yöntemiyle elde etmişlerdir. Karkas ve tuğlalı durumlar için elde ettikleri sonuçları değerlendirdiklerinde, binanın tamamen tuğla örülü olmasının frekansları yaklaşık %50 oranında arttırdığını belirlemişlerdir.

(Aras, 2019) 9 katlı betonarme binanın dinamik özelliklerini, yapıda katların sırayla yıkılmasını değerlendirerek, yıkım aşamalarında binayı operasyonel modal analiz tekniğiyle gözetlemiştir. Yapının sırasıyla 9, 8, 7, 5 katlı olma durumu için birinci hâkim titreşim periyodunu deneysel olarak elde etmiştir. Elde ettiği periyot sonuçlarını, yaklaşık bağıntı ile birinci hâkim titreşim periyodu tanımlayan Fema 450, Eurocode 8, NBC, UBC ve Kore yönetmelikleri ile elde ettiği değerlerle karşılaştırmıştır (Şekil 17). Kore yönetmeliği hariç diğer yönetmeliklerle elde edilen periyot değerleri, deneysel sonuçların ortalama 2 katı kadar fazladır. Kore yönetmeliğinin X yönü yeterli yaklaşım göstermesine rağmen, deneysel sonuçlardan büyük çıkmıştır. Yazar bu durumu, yönetmeliklerde ki bağıntıların dolgu duvarların rijitliğe olan katkısını ihmal etmesine bağlamıştır. Bu durumun sonucu olarak küçük büyüklükteki depremlerde, yani dolgu duvarların varlığını devam ettirdiği depremlerde, yapılara hesaplanan deprem kuvvetlerinden daha fazlası geleceğinin altını çizmiştir.



Şekil 17. Yönetmelikler ile deneysel elde edilen hâkim periyot değerleri (Aras, 2019)

(Türker & Bayraktar, 2015) yaptıkları çalışmada standartlarda önerilen betonarme yapı şartlarını sağlayacak 1/2 ölçekli 3 katlı model inşa etmişlerdir. Modelin mesnetlerinin tam ankastre olmasını sağlayabilmek adına, modele 50 cm kalınlığında radye temel yapmışlardır. Şekil 18’de gösterilen her bir inşa aşaması için yapı frekanslarını (periyotlarını), mod şekillerini ve sönüm oranlarını operasyonel modal analizi yöntemiyle elde etmişlerdir. Yapı karkas durumdan tuğlalı duruma geldiğinde ilk iki modda ki frekans değerleri yaklaşık iki kat artarken, tuğlalı durumdan sıvalı duruma gelmesiyle ise yaklaşık 1.25 kat artmıştır. Üçüncü modda ki frekans değeri ise karkas durumdan tuğlalı duruma geçtiğinde 2 kattan fazla ve yine karkas durumdan sıvalı duruma geçtiğinde 3 kattan fazla artış gösterdiğini elde etmişlerdir. Mod şekillerini göz önüne aldıklarında, karkas durumda ilk üç modu sırasıyla boyuna öteleme, enine öteleme ve burulma modları elde ederken, tuğlalı ve sıvalı durumda ilk üç modu sırasıyla enine öteleme, boyuna öteleme ve burulma olarak bulmuşlardır. Birinci ve ikinci modun yerdeğiştirmesinin sebebini tuğla ve sıvanın enine sağladığı rijitlik katkısının boyuna sağladığı rijitlik katkısından fazla olmasına bağlamışlardır. Yapı geometrisi incelendiğinde bu durum doğrulanmaktadır. Sönüm oranlarını karşılaştırdıklarında ise, tuğlalı ve sıvalı yapının sönüm oranlarının, karkas yapıdan yüksek olduğunu elde etmişlerdir.



Şekil 18. Modelin karkas, tuğlalı ve sıvalı durumu (Türker ve Bayraktar, 2017)

Düşük genlikli titreşimler altında kaydedilen titreşim sinyallerinin işlenmesiyle yapılan deneysel çalışmalardan, elde edilen yapı periyot veya frekans değerlerinin incelenmesiyle, dolgu duvarların yapıların dolgu duvarsız konumundaki rijitliğini 2-4 kat arttırabildiği yukarıdaki deneysel çalışmalarla gösterilmiştir. Aslında dolgu duvarlarının rijitliğe olan katkısı daha büyüktür çünkü duvarlar yapı ağırlığını da attırırlar. Yapı ağırlığının artmasıyla yapı periyodu artar. Bu durumda rijitlik artışının sağladığı periyot azalmasının bir kısmı kütlelerin sebep olduğu periyot artışını karşılamış olur. Ölçülen rijitlik artışı geriye kalan rijitlik artışıdır. Ayrıca dolgu duvarların, yapıların dinamik karakteristiklerinden olan sönüm oranlarında ve mod şekillerinde de bazı değişiklikler meydana getirebileceği anlaşılmaktadır.

### 2.3.1. TBDY-2018 Kapsamında Dolgu Duvarlar

Yapısal çözümler yapılırken dolgu duvarları, düşey yük etkisi olarak statik hesaplarda, kütle olarak da dinamik hesaplarda göz önünde bulundurulmaktaydı. TBDY-2018'in yürürlüğe girmesiyle birlikte dolgu duvarların hesaplara dâhil edilmesi gereken bir durum TBDY-2018 Madde 6.3.1. ile ortaya çıkmıştır. Madde 6.3.1. şu şekildedir:

“Yapısal olmayan eleman veya donanımın ağırlığı bulunduğu katın toplam ağırlığının %10’undan büyük ise, eleman veya donanım bina taşıyıcı sisteminin bir parçası olarak kabul edilecektir. Bu durumda eleman veya donanımın kütlesi ile binaya bağlantısının rijitlik özellikleri, bina taşıyıcı sisteminin deprem hesabında göz önüne alınacaktır.”

Deprem hesabında dolgu duvarın rijitliğe katkısının ihmal edilmesiyle elde edilen yapı hâkim doğal titreşim periyodu  $T$  değeri, Şekil 13 yatay elastik tasarım ivme spektrum grafiğinde bulunan  $T_B$  değerinden büyükse eğer, yapının yatay yük hesabında tasarım spektrumunda genliğin azaldığı bir bölgeden seçilen bir değer kullanılmış olacaktır. Dolgu duvarın rijitliğe katkısının dâhil edilmesiyle birlikte  $T$  değeri küçülecek ve yapı daha yüksek bir deprem yüküne göre tasarlanacaktır. Genel olarak orta yüksekli yapıların yapı hâkim titreşim periyotlarının  $T_A$  ve  $T_B$  arasında veya  $T_B$ 'den büyük olduğunu göz önünde bulundurursak, bu maddeyle birlikte hâkim titreşim periyodu  $T_B$ 'den büyük olan yapıların daha büyük deprem yüküyle tasarlanmasını sağlamıştır. Yapı hâkim titreşim periyot değerinin daha doğru hesaplanmasıyla, hafif büyüklükteki depremlerde taşıyıcı olmayan eleman hasarının ve mimari hasarın önüne geçilmiş olur.

TBDY-2018 dolgu duvarları ağırlığının toplam kat ağırlığının %10'unu aşması durumunda dolgu duvarın rijitlik özelliğinin dikkate alınması gerektiğini belirtmiştir. Bu durumla birlikte dolgu duvarların nasıl modelleneceği sorusu oluşmuştur fakat TBDY-2018 dolgu duvarların nasıl modelleneceği hakkında bir yöntem sunmamıştır.

TBDY-2018 15.10. "Betonarme Binaların Güçlendirilmesi" bölümünün alt bölümü olan "Bölme Duvarların Güçlendirilmesi" bölümünde güçlendirme yöntemi olarak Madde 15C.2.'de "Dolgu Duvarların Hasır Çelik Donatılı Özel Sıva İle Güçlendirilmesi" yöntemi sunulmuştur. Bu bölümün içerisinde "15.C.2.1 – Modelleme Esasları" alt maddesiyle dolgu duvarlarının deprem yönünde basınç kuvveti alan eşdeğer köşegen çubuk elemanı ile temsil edileceği açıklanmıştır.

### **2.3.2. Dolgu Duvarları Modelleme Teknikleri**

Dolgu duvarların yapı dinamik özelliklerine olan etkisinin açıklanmasıyla, uygun sayısal modeli elde etmek için duvarların rijitlik özelliklerinin de sisteme dâhil edilmesi gerekir.

Bu tez kapsamında duvarların sayısal modele rijitlik özelliklerinin dâhil edilmesi, duvarların kabuk (shell) eleman ve basınç çubuğu olarak modellenmesiyle sağlanmıştır.

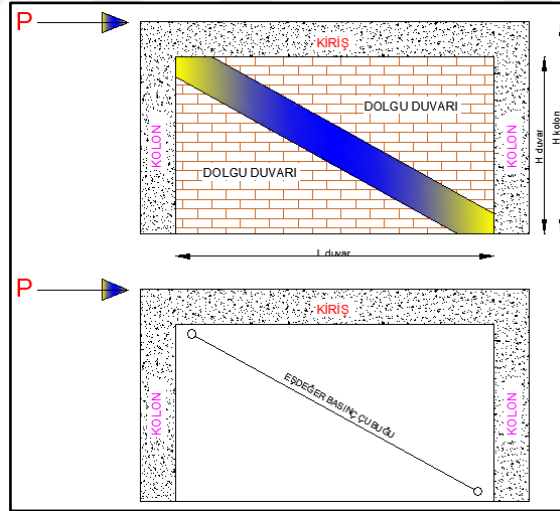
### 2.3.2.1. Dolgu Duvarların Sonlu Elemanlar ile Modellenmesi

Bu yaklaşımda dolgu duvarlar kabuk (shell) eleman olarak düşünülmekte ve sonlu eleman adı verilen küçük parçalara bölünerek hesap modelinde tanımlanmaktadır. Sonlu eleman boyutları küçüldükçe, analiz süresi uzar fakat sonuçlar gerçeğe daha çok yaklaşır. Tez kapsamında dolgu duvarların kabuk eleman olarak modellenmesinde, dolgu duvarlar, homojen ve izotrop olarak yani tuğla ve harç özellikleri birleştirilerek, kompozit malzeme olarak düşünülmüş ve bu şekilde sayısal analizlere dâhil edilmiştir.

### 2.3.2.2. Dolgu Duvarların Eşdeğer Sanal Basınç Çubuğu ile Modellenmesi

“Yatay yük seviyesinin küçük değerleri için betonarme çerçeve ve dolgu duvar birlikte hareket etmektedir. Sistemdeki yatay yerdeğistirmeler arttıkça, çerçeve eğilme modunda hareket etmekte ve dolgu duvarlar buna engel olmaya çalışmaktadırlar. Yükün artırılmasıyla dolgu duvar kolon-kiriş birleşim bölgelerinde açılmalar oluşmakta ve dolgu duvar üzerinde çapraz basınç çubuğu oluşmaktadır.” (Kaltakçı & Arslan, 2005).

Şekil 19’da yatay yük etkisi altında dolgu duvarda oluşan basınç bölgesi gösterilmiştir.



Şekil 19. Duvarda oluşan basınç bölgesi ve iki ucu mafsallı eşdeğer basınç çubuğu

Dolgu duvarların basınç çubuğu olarak modellenmesiyle ilgili bugüne kadar birçok çalışma yapılmıştır (Polyakov, 1956), (Holmes, 1961), (Smith & Carter, 1969), (Mainstone, 1971), (Liau & Kwan, 1984), (Moghaddami & Dowling, 1988), (Paulay & Priestley, 1992), (Al-Chaar, 2002), (Bayülke, 2003), (Özçelik, 2019).

Duvarların basınç çubuğu olarak modellenmesinde, TBDY-2018 Madde 15C.2.'de "Dolgu Duvarların Hasır Çelik Donatılı Özel Sıva İle Güçlendirilmesi" bölümünde güçlendirilen duvarlar için "15.C.2.1 – Modelleme Esasları, (a)" kısmındaki formüller kullanılarak eşdeğer basınç çubuğu genişliği elde edilmiştir. Benzer formül FEMA 356 (2000)'da da yer almaktadır.

Bu yöntemle göre modellemede, eşdeğer basınç çubuğu kalınlığı dolgu duvarın kalınlığına eşit kabul edilir. Basınç çubuğu genişliği  $a_d$  Denk.(2.24) ile hesaplanır.

$$a_d = 0.175(\lambda_d h_k)^{-0.4} r_d \quad (2.24)$$

Burada  $a_d$  çubuk genişliği (mm),  $h_k$  kolon boyu (mm),  $r_d$  dolgu duvarı köşegen uzunluğudur (mm).  $\lambda_d$  Denk.(2.25) ile hesaplanır:

$$\lambda_d = \left[ \frac{E_d t_d \sin 2\theta}{4E_c I_k h_d} \right]^{\frac{1}{4}} \quad (2.25)$$

Denk.(2.25)'de  $E_d$  ve  $E_c$  dolgu duvarı ve çerçeve betonunun elastisite modülü  $t_d$  ve  $h_d$  duvarın kalınlığı ve yüksekliği (mm),  $I_k$  kolonun atalet momenti (mm<sup>4</sup>) ve  $\theta$  köşegenin yatay ile olan açısıdır.

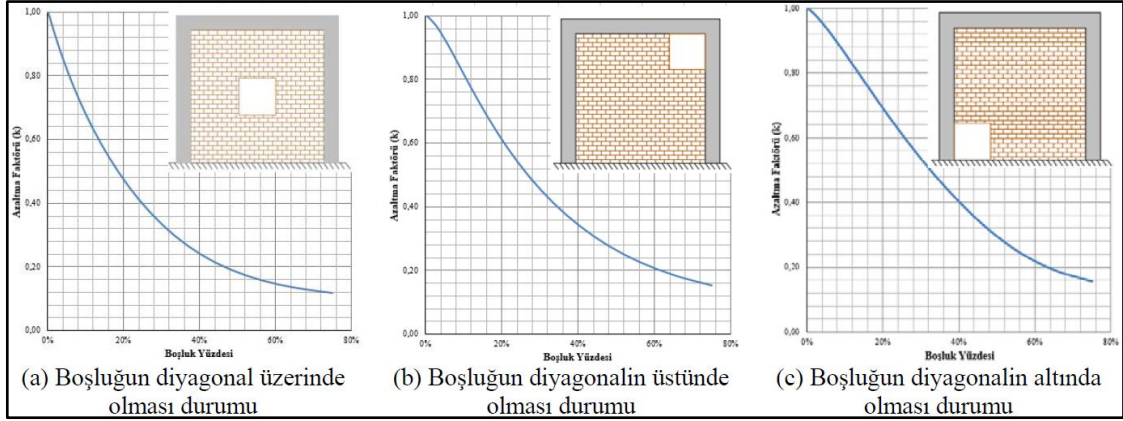
### 2.3.2.3. Kısmi Boşluklu Dolgu Duvarların Modellenmesi

Dolgu duvarlar betonarme çerçeveyi tamamen doldurabildiği gibi iç ortamın aydınlatılması, yapıya, odalara giriş çıkışların yapılması ve mimari ihtiyaçlara bağlı olarak kısmi boşluklu olabilmektedir. Bu tez kapsamında kullanılan yapılarda birçok boşluklu dolgu duvar bulunmaktadır. Bu boşluklu duvarların rijitlik özellikleri hesaba dâhil edebilmek için yapılmış çalışmalar bulunmaktadır.

(Asteris, 2003) çalışmasında yatay yükler altında bir katlı ve bir açıklıklı, çok katlı boşluklu ve boşluksuz çerçeveyi ele alarak sayısal çalışmalar gerçekleştirmiş ve boşluk yerine ve konumuna bağlı olarak rijitlik azaltma faktörü sunmuştur.

(Öztürkoğlu, Uçar & Yeşilce, 2015) çalışmalarında tek katlı ve tek açıklıklı bir betonarme çerçeve kullanarak rijitlik azaltma faktörünü, dolgu duvar içinde açılan boşluğun konumuna ve oranına bağlı olarak elde etmişlerdir (Şekil 20).





Şekil 20. Boşluk oranı ve konumuna bağlı rijitlik değişimi (Öztürkoğlu ve diğ., 2015)

## 2.4. TBDY-2018 Kapsamında Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme

“Mevcut binaların taşıyıcı sistem elemanlarının, doğrusal ötesi iç kuvvet-şekildeğiştirme (momenti ve eğrilik gibi) bağıntıları, beton ve donatının gerilme ve birim kısalma/uzama bağıntıları kullanılarak yapılabilir. Bina için öngörülen performans hedefine uygun olarak seçilen düşey yükler ve deprem etkisi altında taşıyıcı sistemin doğrusal ötesi davranış da göz önüne alınarak analizi yapılır. Sünek davranışa sahip kesit ve elemanlarda oluşan ‘şekildeğiştirme talebi’ ve gevrek elemanlarda oluşan ‘dayanım talebi’ elde edilir. Bu değerler ilgili kesitin ve elemanın ‘şekildeğiştirme ve dayanım kapasiteleri’ ile karşılaştırılır ve elde edilen sonuçlar değerlendirilir.” (Celep, 2018).

### 2.4.1. Binalardan Bilgi Toplanması

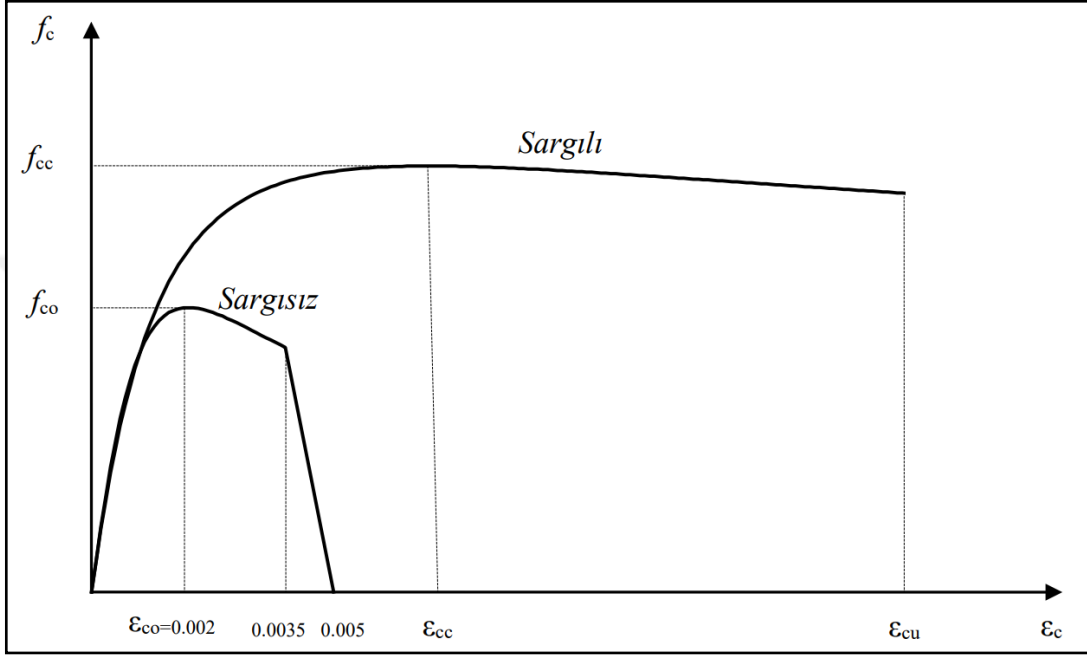
Mevcut binaların taşıyıcı sistem elemanlarının kapasitelerinin belirlenmesinde ve deprem dayanımlarının değerlendirilmesinde kullanılacak eleman detayları ve boyutları ile taşıyıcı sistem geometrisine ve malzeme özelliklerine ilişkin bilgiler, binaların projelerinden ve raporlarından, binada yapılacak gözlem ve ölçümlerden, binadan alınacak malzeme örneklerine uygulanacak deneylerden elde edilir.

Binalardan bilgi toplanması kapsamında yapılacak işlemler, yapısal sistemin tanımlanması, bina geometrisinin, temel sisteminin ve zemin özelliklerinin saptanması, varsa mevcut hasarın ve evvelce yapılmış olan değişiklik ve/veya onarımların belirlenmesi, eleman boyutlarının ölçülmesi, malzeme özelliklerinin saptanması, sahada derlenen tüm bu bilgilerin binanın varsa projesine uygunluğunun kontrolüdür.

## 2.4.2. Malzeme Modelleri

### 2.4.2.1. Sargılı ve Sargısız Beton Modelleri

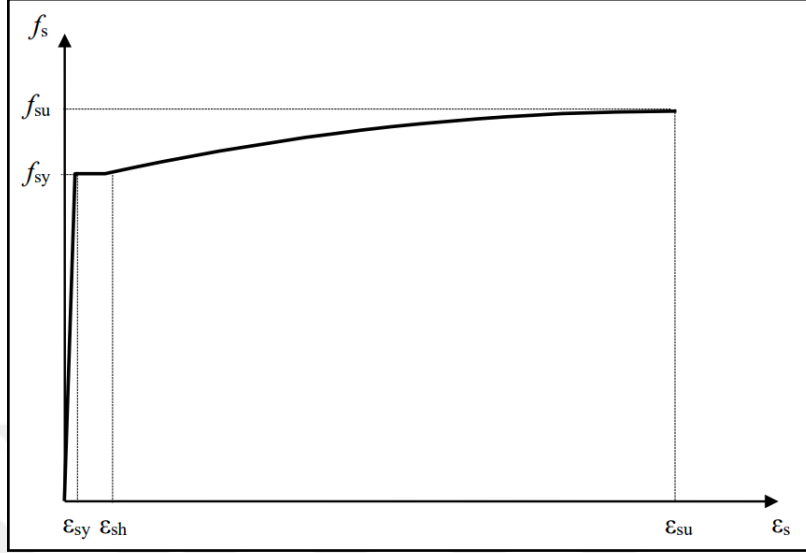
Sargılı ve sargısız beton için aşağıdaki gerilme-şekildeğiştirme grafiği tanımlanmıştır (Şekil 21).



Şekil 21. Sargısız ve sargılı beton malzemeler için gerilme-şekildeğiştirme grafiği

### 2.4.2.2. Donatı Çeliği Modeli

Donatı çeliği için gerilme-şekildeğiştirme grafiği tanımlanmıştır (Şekil 22).



Şekil 22. Donatı çeliğinin gerilme-şekildeğiştirme grafiği

Donatı çeliklerine ait diğer bilgiler Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Donatı çeliklerine ait bilgiler

Kalite	$f_{sy}(Mpa)$	$\epsilon_{sy}$	$\epsilon_{sh}$	$\epsilon_{su}$	$f_{su}/f_{sy}$
S220	220	0.0011	0.011	0.12	1.20
S420	420	0.0021	0.008	0.08	1.15 – 1.35
B420C	420	0.0021	0.008	0.08	1.15 – 1.35
B500C	500	0.0025	0.008	0.08	1.15 – 1.35

### 2.4.3. Doğrusal Olmayan Davranış Modelleri

#### 2.4.3.1. Yığılı Plastik Davranış Modeli

Deneysel çalışmaların ve gerçek binalarda yapılan gözlemlerin ortaya koyduğu gibi, kalıcı şekil değiştirmeler bazı durumlarda iç kuvvetlerin ve şekil değiştirmelerin büyük olduğu bir bölgede yığılabilmektedir (Yüksel, 1998).

“Kalıcı şekil değiştirmelerin yığıldığı bölge, eğilme momentinin en büyük olduğu kesitler ile yakın çevresi olabileceği gibi, ani kesit değişiminin yaşandığı bölge de olabilir. Kalıcı şekil değiştirmelerin yayıldığı bölge uzunluğunun etkili kesit yüksekliği düzeyinde veya daha küçük olduğu dikkat çekmektedir. Ayrıca, şekil değiştirmeler eleman üzerinde bir bölgede yığıldıkça, geriye kalan bölümlerdeki şekil değiştirmelerin elastik sınırı fazla aşmadığı ve bu bölgede elastik eğrinin doğruya yakın kalabildiği de gözlenmektedir.” (Karadoğan & diğerleri., 2015).

Yapıda oluşan hasar anlamına gelen kalıcı şekil değiştirmelerin elemanın küçük bir bölgesinde toplanması ve iyi bir yaklaşımla diğer bölgelerin elastik davranış içinde kalacağını varsayılması, hesapları basitleştirmeye yönelik plastik mafsal hipotezi olarak bilinmektedir (Hodge, 1967).

Çerçeve (çubuk) sonlu elemanları olarak modellenebilen kolon, kiriş ve enkesit şekli dikdörtgen, I, T, L, U veya C olan perdeler, plandaki en büyük perde kolu uzunluğunun toplam perde yüksekliğine oranının 1/2’yi aşmadığı durumlarda, eksenli enkesit ağırlık merkezinden geçen betonarme perdelerde, doğrusal olmayan davranış modeli olarak Yığılı Plastik Davranış (Plastik Mafsal) Modeli kullanılabilir.

Yığılı Plastik Davranış Modeli’nde iç kuvvetlerin plastik kapasitelerine eriştiği sonlu uzunluktaki bölgeler boyunca, plastik şekil değiştirmelerin düzgün yayılı biçimde oluştuğu varsayılır. Plastik mafsal boyu olarak adlandırılan plastik şekil değiştirme bölgesinin uzunluğu ( $L_p$ ), çalışan doğrultudaki kesit boyutu(h)’nin yarısına eşit alınır ( $L_p \approx 0.5h$ ).

Yığılı plastik şekil değiştirmeyi temsil eden plastik mafsalın, sayısal olarak plastik şekil değiştirme bölgesinin ortasına yerleştirilmesi gerekir. Ancak pratik

uygulamalarda kiriş ve kolonlar için net açıklıkların uçlarına, perdeler için ise ilgili katta perde alt ucuna konulmasına izin verilir.

Betonarme plastik mafsal kesitlerinin etkin akma momentlerinin tanımlanmasına ilişkin koşullar aşağıda (a), (b), (c)'de verilmiştir:

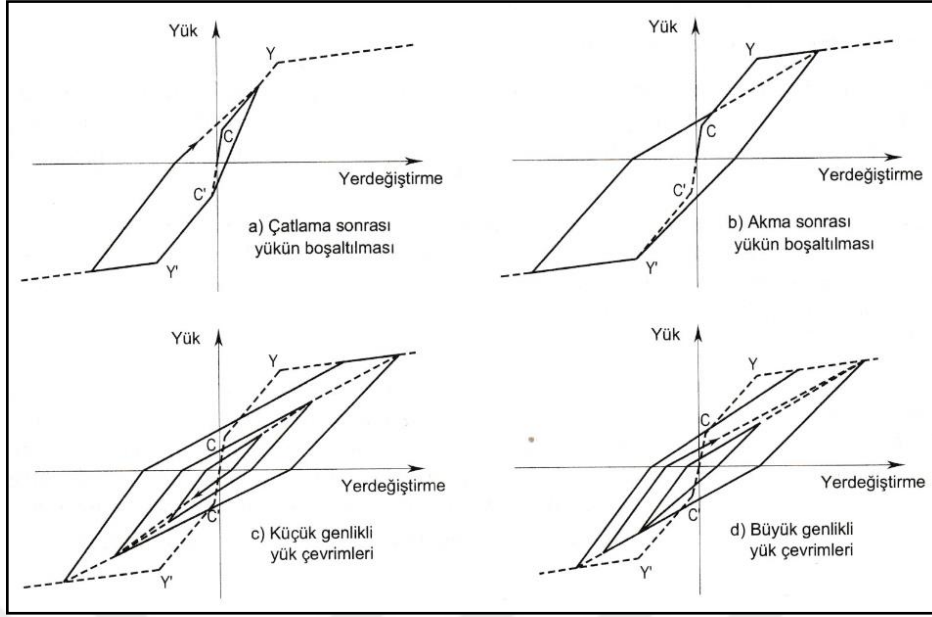
(a) Malzeme dayanımları mevcut binaların şekil değiştirmeye göre değerlendirilmesinde beton ve donatı çeliğinin mevcut dayanımları alınır.

(b) Etkin akma momentinin hesabında betonun basınç birim şekil değiştirmesi 0.0035, donatı çeliğinin birim şekil değiştirmesi ise 0.01 alınabilir.

(c) Etkin akma momentinin hesabında düşey yüklerden meydana gelen eksenel kuvvetler dikkate alınır.

Betonarme ve çelik kesitlerin iki doğrulu iç kuvvet-plastik şekil değiştirme bağıntılarında pekleşme etkisi (plastik dönme artışına bağlı olarak plastik momentin artışı) terk edilebilir.

Zaman tanım alanında yapılacak doğrusal olmayan deprem hesabında çevrimsel davranış modeli olarak, betonarme taşıyıcı sistemler için ise önceki maksimuma yönelimli model veya çevrim içi rijitlik azalmasına olanak sağlamak üzere, ondan türetilmiş modeller (Örneğin Takeda modeli, Şekil 23) kullanılabilir.



Şekil 23. Takeda modeli (Darılmaz, 2019)

## 2.4.4. Doğrusal Olmayan Hesap İçin Modelleme Kuralları

### 2.4.4.1. Genel Modelleme Kuralları

Bina taşıyıcı sistemleri daima üç boyutlu olarak modellenir. Birbirine dik iki yatay doğrultudaki deprem etkisi daima göz önüne alınır. Doğrusal sönüm oranı, aksi belirtilmedikçe, %5 alınır. Eksenel kuvvetlerin şekil değiştirmiş taşıyıcı sistemde meydana getirdiği ikinci mertbe etkileri göz önüne alınır.

### 2.4.4.2. Kiriş ve Kolonların Modellenmesi

Kiriş ve kolonlar, çerçeve (çubuk) sonlu elemanları olarak modellenir. Doğrusal olmayan davranış, elemanların uçlarında tanımlanan sonlu plastik şekil değiştirme bölgelerinde göre yığılı plastik davranış modeli ile veya yayılı plastik davranış modelleri ile modellenebilir. Uygulamada yığılı plastik mafsal modelinin kullanımı genel olarak yeterli kabul edilmektedir.

Kolon ve kirişlerin birleştiği düğüm noktalarında altı serbestlik derecesinin tümü göz önüne alınmalıdır. Döşemelerin rijit diyafram olarak modellenmesi durumunda, bu serbestlik derecelerinin rijit harekete karşı gelenleri kaldırılır.

Kolon ve kirişlerde plastik mafsallar, kolon-kiriş birleşim bölgesinin hemen dışına, diğer deyişle kolon veya kirişlerin net açıklıklarının uçlarına konulabilir. Ancak, düşey yüklerin etkisinden ötürü kiriş açıklıklarında da plastik mafsalların oluşabileceği göz önüne alınmalıdır. Uçlardaki plastik mafsalların arasında kalan uzunluk boyunca betonarme kolon ve kirişler doğrusal elemanlar olarak modellenir. Bu elemanlarda etkin kesit rijitlikleri kullanılır.

#### 2.4.4.3. Taşıyıcı Sistem Elemanlarının Etkin Kesit Rijitlikleri

Yığılı plastik davranışına göre modellenen kolon, kiriş, bağ kirişi ve perdelerin etkin kesit rijitlikleri Denk.(2.26)'ya göre belirlenir.

$$(EI)_e = \frac{M_y L_s}{\theta_y} \frac{1}{3} \quad (2.26)$$

$M_y$  ve  $\theta_y$  elemanın uçlarında tanımlanan plastik mafsalların etkin akma momentleri ile akma dönmelerinin ortalamalarını göstermektedir.  $L_s$  kesme açıklığına (kesitte moment ve kesme kuvvet oranı) karşı gelmektedir. Kolon ve kirişlerde yaklaşık olarak açıklığın yarısı alınabilir. Denk.(2.26)'da yer alan plastik mafsal akma dönmesi  $\theta_y$ , Denk.(2.27) ile hesaplanır.

$$\theta_y = \frac{\phi_y L_s}{3} + 0.0015\eta \left( 1 + 1.5 \frac{h}{L_s} \right) + \left( \frac{\phi_y d_b f_{ye}}{8\sqrt{f_{ce}}} \right) \quad (2.27)$$

Burada  $\phi_y$  plastik mafsal kesitindeki etkin akma eğriliğini göstermektedir. Kiriş ve kolonlarda  $\eta = 1$ , perdelerde ise  $\eta = 0.5$  alınır.  $h$  kesit yüksekliğidir. Akma durumu için donatı sıyrılması dönmesini ifade eden son terimde yer alan  $d_b$  mesnede (düğüm noktasına veya temele) kenetlenen donatı çeliklerinin ortalama çapını,  $f_{ce}$  ve  $f_{ye}$  ise betonun ortalama (beklenen) basınç dayanımı ile donatının ortalama akma dayanımını göstermektedir.

## 2.4.5. Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri

Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım kapsamında kullanılacak doğrusal olmayan hesap yöntemleri, İtme Yöntemleri ile Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi'dir.

### 2.4.5.1. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap, deprem yer hareketinin etkisi altında taşıyıcı sistemin hareket denklemlerini ifade eden diferansiyel denklem takımının zaman artımları ile adım adım doğrudan integrasyonuna karşı gelir. Bu işlem sırasında, doğrusal olmayan davranış nedeni ile sistem rijitlik matrisinin zamanla değişimi göz önüne alınır.

Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi, tüm binaların deprem hesabında kullanılabilir. Yöntemde deprem etkisi, ölçeklendirilen deprem yer hareketleri olarak göz önüne alınır.

#### 2.4.5.1.1. Deprem Kayıtlarının Seçimi ve Ölçeklendirilmesi

Zaman tanım alanında yapılacak doğrusal olmayan hesaplarda en az onbir deprem yer hareketi takımı kullanılmalıdır. Birbirine dik yatay iki doğrultudaki ivme kayıtları taşıyıcı sistemin (X) ve (Y) asal eksenleri doğrultusunda aynı anda birlikte etki ettirilir. Daha sonra ivme kayıtlarının eksenleri 90° döndürülerek hesap tekrarlanır.

TBDY-2018'e göre bina taşıyıcı sistemlerinin bir veya iki boyutlu ve üç boyutlu deprem hesabında gerekli deprem yer hareketlerinin tanımlanması için kullanılacak deprem kayıtlarının seçimi ve basit ölçeklendirme yöntemi ile ölçeklendirilmesi için uygulanması gerekli kurallar aşağıda tanımlanmıştır.

Bina taşıyıcı sistemlerinin zaman tanım alanında deprem hesabında kullanılacak deprem kayıtlarının seçimi, tasarıma esas deprem yer hareketi düzeyi ile uyumlu deprem büyüklükleri, fay uzaklıkları, kaynak mekanizmaları ve yerel zemin koşulları dikkate alınarak yapılmalıdır. Binanın bulunduğu bölgede tasarıma esas deprem yer hareketi düzeyi ile uyumlu geçmiş deprem kayıtlarının mevcut olması durumunda



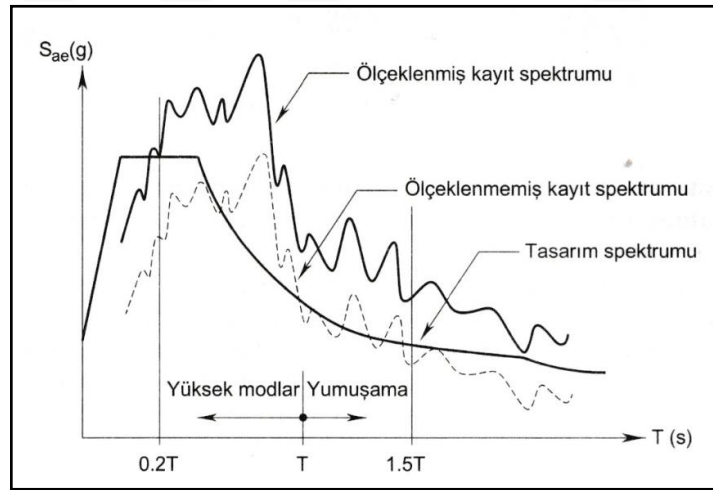
öncelikle bu kayıtlar kullanılmalıdır. Sahaya özel deprem tehlikesine en fazla katkıda bulunan depremlere ait büyüklük ve fay uzaklığı bilgilerinin belirlenmesi için deprem tehlikesi ayırıştırma işleminden yararlanılabilir.

Bir veya iki boyutlu hesap için seçilecek deprem kayıtlarının ve üç boyutlu hesap için seçilecek deprem kaydı takımlarının sayısı en az onbir olmalıdır. Aynı depremden seçilecek kayıt veya kayıt takımı sayısı üçü geçmemelidir.

#### 2.4.5.1.2. Basit Ölçeklendirme Yöntemi ile Ölçeklendirme

Zaman tanım alanında hesapta kullanılacak deprem yer hareketleri, seçilen deprem kayıtlarından basit ölçeklendirme yöntemi ile aşağıdaki şekilde elde edilebilir:

(a)  $T_p$  binanın hâkim doğal titreşim periyodu olmak üzere, bir veya iki boyutlu hesap için seçilen tüm kayıtlara ait spektrumların ortalamasının  $0.2T_p$  ve  $1.5T_p$  periyotları arasındaki genliklerinin, tasarım spektrumunun aynı periyot aralığındaki genliklerinden daha küçük olmaması kuralına göre, deprem yer hareketlerinin genlikleri ölçeklendirilmelidir (Örn: Şekil 24).



Şekil 24. Deprem kaydı spektrumunun ölçeklenmesi (Darılmaz, 2019)

(b) Üç boyutlu hesap için seçilen her bir deprem kaydı takımının iki yatay bileşenine ait spektrumların kareleri toplamının karekökü alınarak bileşke yatay spektrum elde edilecektir. Seçilen tüm kayıtlara ait bileşke spektrumların ortalamasının  $0.2T_p$  ve  $1.5T_p$  periyotları arasındaki genliklerinin, tasarım spektrumunun aynı periyot

aralığındaki genliklerine oranının 1.3'ten daha küçük olmaması kuralına göre deprem yer hareketi bileşenlerinin genlikleri ölçeklendirilir. Her iki yatay bileşenin ölçeklendirilmesi aynı ölçek katsayıları ile yapılır.

#### 2.4.6. Deprem Etkisinin Tanımlanması ve Diğer Etkilerle Birleştirilmesi

Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım kapsamında, Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi'nde deprem etkisi, ölçeklendirilen deprem yer hareketleri olarak göz önüne alınır.

Taşıyıcı sistem elemanlarının değerlendirilmesinde esas alınmak üzere, deprem etkisinin, düşey yük etkisi ile birleşimi Denk.(2.28)'de tanımlanmıştır:

$$G + Q_e + E_d^H \quad (2.28)$$

Yukarıdaki bağıntıda G sabit yük etkisini göstermektedir. Etkin hareketli yük etkisi, hareketli yük kütle katılım katsayısı n kullanılarak  $Q_e = nQ$  olarak hesaplanır.

Doğrusal olmayan hesap yöntemleri ile yapılacak deprem hesabından önce, statik düşey yüklerin taşıyıcı sisteme artımsal olarak uygulandığı doğrusal olmayan statik hesap yapılır. Mevcut binaların değerlendirilmesinde bu hesaptan elde edilen iç kuvvetler ve şekildeğiştirmeler yatay deprem hesabında başlangıç değerleri olarak göz önüne alınır.

Doğrusal olmayan yatay deprem hesabının zaman tanım alanında yapılması durumunda, yatayda birbirine dik (X) ve (Y) doğrultularındaki deprem bileşenleri birlikte eş zamanlı olarak tanımlandığından, birleştirilmiş yatay deprem etkisi  $E_d^H$ , bu hesap sonucunda doğrudan elde edilmektedir.

Taşıyıcı sistem elemanlarında doğrusal olmayan davranışa ilişkin enerji tüketimi dışında, doğrusal çalışan yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda oluşan dinamik enerji kaybı, hareket denklemlerinde viskoz sönüm matrisi ile temsil edilir. Viskoz sönüm matrisi, Rayleigh Orantılı Sönüm Matrisi veya Modal Sönüm Matrisi olarak oluşturulur.

Sünek davranışa sahip elemanlarda değerlendirmeye esas şekildeğiştirme talepleri ile sünek davranışa sahip olmayan elemanlarda değerlendirmeye esas iç kuvvet

talepleri, yapılan analizlerin (en az  $2 \times 11 = 22$  analiz) her birinden elde edilen sonuçların en büyük mutlak değerlerinin ortalaması olarak hesaplanır.

#### 2.4.7. Betonarme Elemanların Plastik Dönme Sınırları

Plastik şekildeğişirmelerin meydana geldiği betonarme sünek kiriş ve kolon elemanlarında, çeşitli kesit hasar sınırlarına göre izin verilen plastik dönme üst sınırları (kapasiteleri) 2.4.8’de tanımlanmıştır.

#### 2.4.8. Şekildeğişirmelerin ve İç Kuvvetlerin Değerlendirilmesi

Göçmenin Önlenmesi (GÖ) Performans Düzeyi için yapılacak performans değerlendirmesinde kullanılmak üzere, betonarme bina elemanlarında yığılı plastik davranış modeline göre hesaplanan plastik dönmeler için izin verilen sınır, kesite etkiyen aksel kuvvet ve beton ve donatı çeliği modelleri dikkate alınarak yapılacak eğrilik analizi sonucunda Denk.(2.29) ile hesaplanır.

$$\theta_p^{(GÖ)} = \frac{2}{3} \left[ (\phi_u - \phi_y) L_p \left( 1 - 0.5 \frac{L_p}{L_s} \right) + 4.5 \phi_u d_b \right] \quad (2.29)$$

Burada  $\phi_u$ , beton ve donatı çeliği birim şekildeğişirmeleri ile Şekil 21 ve Şekil 22’de verilen beton ve donatı çeliği modellerinden yararlanılarak ve kesite etkiyen aksel kuvvet dikkate alınarak yapılan analizden elde edilen göçme öncesi toplam eğriliğini göstermektedir.

Kontrollü Hasar (KH) Performans Düzeyi için yapılacak performans değerlendirmesinde kullanılmak üzere, betonarme bina elemanlarında plastik dönme  $\theta_p^{(KH)}$  sınırları, Göçmenin Önlenmesi performans düzeyi için Denk.(2.30)’da tanımlanmıştır:

$$\theta_p^{(KH)} = 0.75 \theta_p^{(GÖ)} \quad (2.30)$$

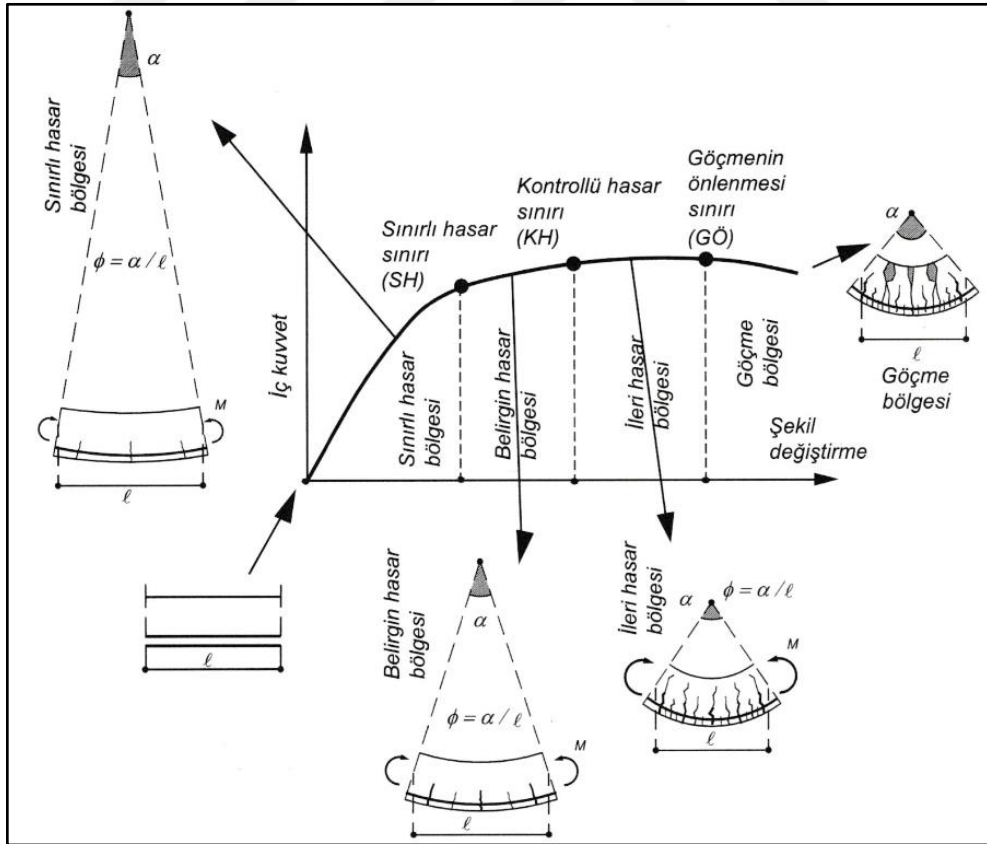
Etkin kesit rijitlikleri kullanılarak yapılan hesapta SH performans düzeyi için taşıyıcı sistemde plastik mafsall oluşumuna izin verilmeyecektir, Denk.(2.31):

$$\theta_p^{(SH)} = 0 \quad (2.31)$$

## 2.4.9. Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri

Kesitler davranışlarına göre sünek ve gevrek olarak ayrılırlar. Sünek bir kesitteki iç kuvvet ve şekildeğiştirme (örneğin eğilme momenti ve eğrilik) ilişkisi Şekil 25'te verilmiştir (Celep, 2018). Sünek elemanlar için kesit düzeyinde üç hasar durumu ve hasar sınırı tanımlanmıştır. Bunlar Sınırlı Hasar (SH), Kontrollü Hasar (KH) ve Göçme Öncesi Hasar (GÖ) durumları ve bunların sınır değerleridir. Sınırlı hasar ilgili kesitte sınırlı miktarda elastik ötesi davranışı, kontrollü hasar kesit dayanımının güvenli olarak sağlanabileceği elastik ötesi davranışı, göçme öncesi hasar durumu ise kesitte ileri düzeyde elastik ötesi davranışı tanımlamaktadır. Gevrek olarak hasar gören elemanlarda bu sınıflandırma geçerli değildir.

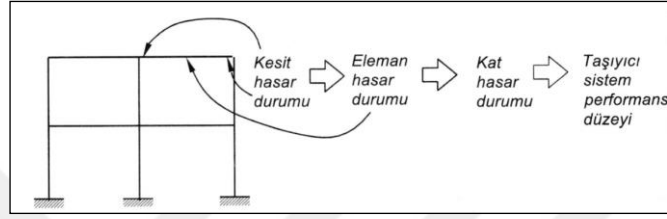
Kritik kesitlerinin hasarı SH'a ulaşmayan elemanlar Sınırlı Hasar Bölgesi'nde, SH ile KH arasında kalan elemanlar Belirgin Hasar Bölgesi'nde, KH ile GÖ arasında kalan elemanlar İleri Hasar Bölgesi'nde, GÖ'yü aşan elemanlar ise Göçme Bölgesi'nde yer alırlar (Şekil 25).



Şekil 25. Kesit hasar sınırları ve bölgeleri (Celep, 2018)

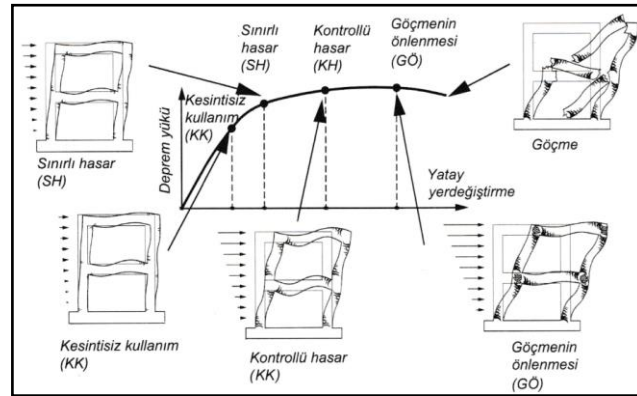
## 2.4.10. Mevcut Binanın Deprem Performansının Belirlenmesi

Bir kesitte, kesit etkisi artarken, şekildeğiştirmeler artar ve artma miktarına bağlı olarak elastik ötesi şekildeğiştirmeler ortaya çıkar. Binanın sağladığı performans durumunu, taşıyıcı sistem elemanlarının kesitlerinde oluşan hasarlar etkiler. Kesit hasar sınırından eleman hasar sınırı elde edildiği gibi, eleman hasar sınırlarından taşıyıcı sistem performans düzeyleri tanımlanır. Bu tanımlar aşağıdaki gibi özetlenebilir (Şekil 26):



Şekil 26. Kesit hasar durumlarından bina performans düzeyine geçiş (Celep, 2014)

Mevcut binaların deprem performansı, uygulanan deprem etkisi altında binada oluşması beklenen hasarların durumu ile ilişkili olup dört farklı hasar durumu esas alınarak tanımlanır. Doğrusal olmayan hesap yönteminin uygulanmasından sonra eleman performanslarına karar verilmesi ile bina deprem performans düzeyi belirlenir. Binaların deprem performans düzeyleri; sınırlı hasar performans düzeyi, kontrollü hasar performans düzeyi, göçmenin önlenmesi performans düzeyi ve göçme durumudur (Şekil 27). Değerlendirmelerin binanın her iki doğrultusu ile her katı için ayrı yapılması gerekir.



Şekil 27. Taşıyıcı sistem (bina) performans sınırları ve bölgeleri (Celep, 2018)

## 2.5. Sayısal ve Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Yazılımlar

### 2.5.1. SAP2000 Yazılımı

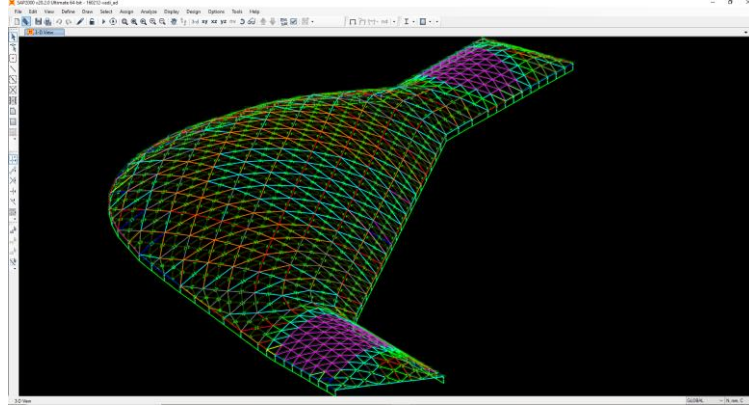
“SAP2000 yazılımı, yapı sistemi modellerinin geliştirilmesi, analizi ve boyutlandırılması için kullanılan Genel Amaçlı bir programdır. Program Windows ortamında çalışmakta ve tüm işlemler özel Grafik Kullanıcı Arayüzü yardımı ile SAP2000 ekranı üzerinde gerçekleştirilmektedir.”(Özmen, Orakdöğen & Darılmaz, 2018).

SAP2000 programı ile basit, karmaşık, iki veya üç boyutlu mühendislik yapılarının (çerçeve, bina, stadyum, baraj, köprü, tarihi yapılar vb.) statik, dinamik, lineer ve lineer olmayan davranışları belirlenebilmektedir (Altunışık, Ateş & Adanur, 2018).

SAP2000 sonlu elemanlar programı ile herhangi bir mühendislik yapı sisteminin (Şekil 28) yapısal davranışının elde edilmesi için, genel olarak, aşağıdaki adımlar izlenmektedir:

- Sistem Modelinin Oluşturulması
- Malzeme Özelliklerinin Tanımlanması
- Kesit Özelliklerinin Tanımlanması
- Kesit Özelliklerinin Atanması
- Mesnet Koşullarının Tanımlanması
- Yük Tipleri, Yükleme Durumları ve Yük Birleşimlerinin Tanımlanması
- Yüklerin Atanması
- Çözüm (Analiz)

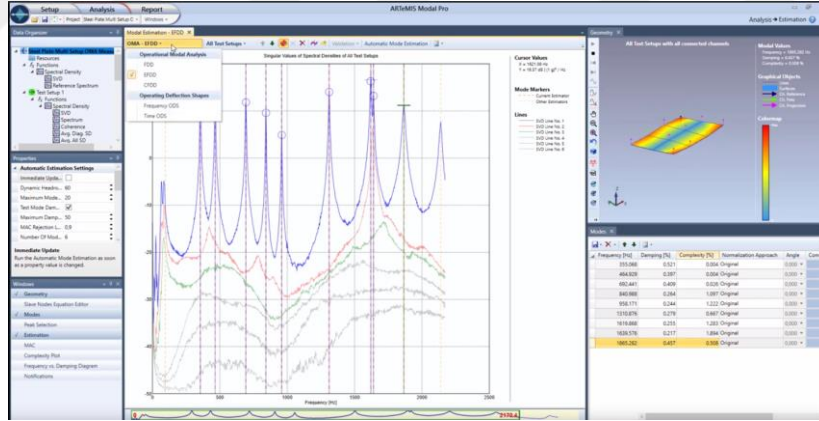
SAP2000 programının sistem analizinde 1 boyutlu elemanlar (Frame) için Matris Yerdeğiştirme Yöntemi (1 Boyutlu Sonlu Eleman Yöntemi), 2 ve 3 boyutlu elemanlar için Sonlu Elemanlar (SE) Yöntemini kullanmaktadırlar (Doran & diğerleri., 2019).



Şekil 28. SAP2000 ekranı, incelenen örnek bir yapı

## 2.5.2. ARTeMIS Yazılımı

Ölçülüp kaydedilen titreşim sinyallerini işleyerek yapının modal parametrelerinin (frekans, mod şekli, sönüm oranı) elde edilmesini sağlayan bir modal analiz yazılımıdır. Şekil 29’da ARTeMIS programında incelenen örnek bir yapı sunulmaktadır.



Şekil 29. ARTeMIS ekranı, incelenen örnek bir yapı

ARTeMIS programı üç ana kısımdan oluşur; Setup, Analysis ve Report. Yapı dinamik özelliklerini elde etmek için Setup menüsünden yapı geometrisi tanımlanır. Analysis kısmından, ivmeölçerlerin titreşim kayıtlarını aldığı andaki konumları yapı geometrisine uygun olarak tanımlanır. Sinyallerin analizi programda kullanılabilen frekans veya zaman tanım alanında algoritmalarla gerçekleştirilir. ARTeMIS programının en önemli özelliklerinden biri mod şekillerinin 3 boyutlu olarak sunabilmesidir.

## **BÖLÜM 3. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEMELER**

### **3.1. Giriş**

Sunulun bu çalışma gerçek yapılar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada bağ kirişlerinin binaların dinamik özelliklerine olan etkileri tam ölçekli deneysel ve sayısal çalışmalarla araştırılmıştır. Bu araştırma için, İstanbul'da kentsel dönüşüm uygulamaları kapsamında yıkılmayı bekleyen, birbirlerine her kat seviyesinde ön ve arka bölgede olmak üzere bağ kirişleri ile bağlı, altı katlı, A ve B Blok olmak üzere iki bloktan oluşan ikiz betonarme binalar kullanılmıştır.

### **3.2. A ve B Bloktan Oluşan Betonarme Binalar**

Çalışma kapsamında deney binası olarak kullanılan yapılar 1974 yılında projelendirilmiş ve bu yapıların inşası 1976 yılında tamamlanmıştır. Yapılar bir bodrum kat, bir zemin kat ve dört normal kat olmak üzere altı kattan oluşmaktadır. Bodrum katta kapıcı dairesi ile sığınak mevcuttur ve etrafında betonarme perde yoktur fakat 50 cm genişliğinde dolgu duvar vardır. Zemin ve normal katlar üçer bağımsız bölümden oluşmaktadır. Ayrıca normal katların hepsi dört taraftan çıkmalara sahiptir. Şekil 30 incelenen binaları göstermektedir.



Şekil 30. İncelenen betonarme binalar



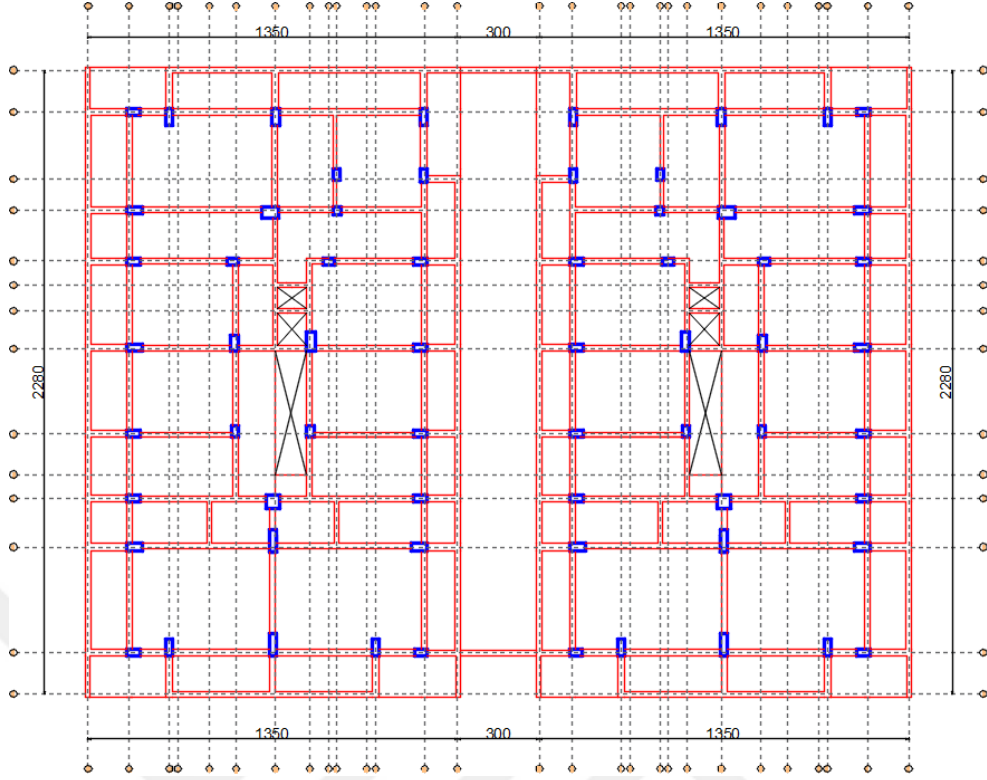
Sayısal çalışmalar yapmak amacıyla yapıların taşıyıcı sistem planları hazırlama çalışmaları yapılmıştır. Bunun için Kadıköy Belediyesi'nden yapıların projeleri temin edilmiştir. Örnek olması amacıyla Şekil 31'de belediyeden temin edilen projenin A-A kesiti sunulmaktadır. Kesitin incelenmesiyle kat yüksekliklerinin normal katlar için 2.9 m, bodrum kat için ise 2.5 m olduğu anlaşılmaktadır.



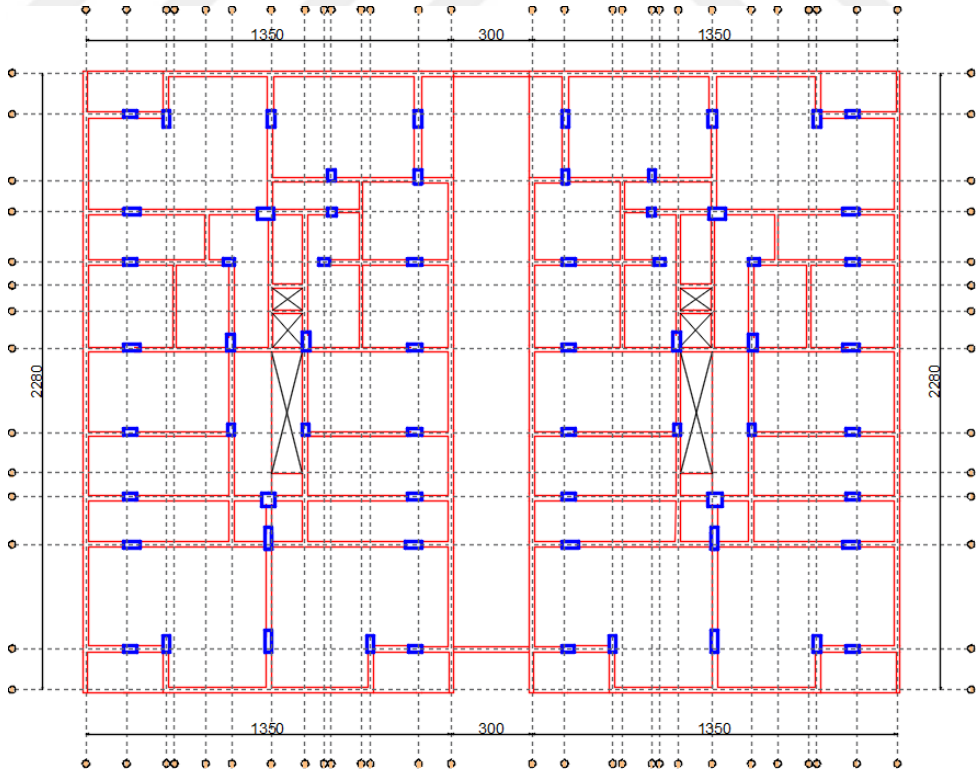
Şekil 31. Yapının A-A kesiti

En uygun taşıyıcı sistem planını elde etmek amacıyla, temin edilen projenin doğruluğu yerinde yapılan incelemelerle tespit edilmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda zemin katta yapıların arka bölümüne çıkma yapılarak katların büyütüldüğü tespit edilmiştir ve bu gibi tespit edilen değişiklikler sayısal modele dâhil edilmiştir.

İncelemelerden sonra elde edilen planlar bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Şekil 32 zemin katın taşıyıcı sistem planını ve Şekil 33 ise normal katların taşıyıcı sistem planını göstermektedir.



Şekil 32. Zemin kat taşıyıcı sistem planı



Şekil 33. Normal katlar taşıyıcı sistem planı

Yapıları döşeme seviyesinde, ön ve arka bölüm olmak üzere bağlayan toplam on adet bağlantı kirişi vardır. Bunların net açıklığı üç metredir. Şekil 34 yapıların ön ve arka bölümünde bulunan bağlantı kirişlerini göstermektedir.



Şekil 34. Ön ve arka bölümde bulunan bağ kirişleri

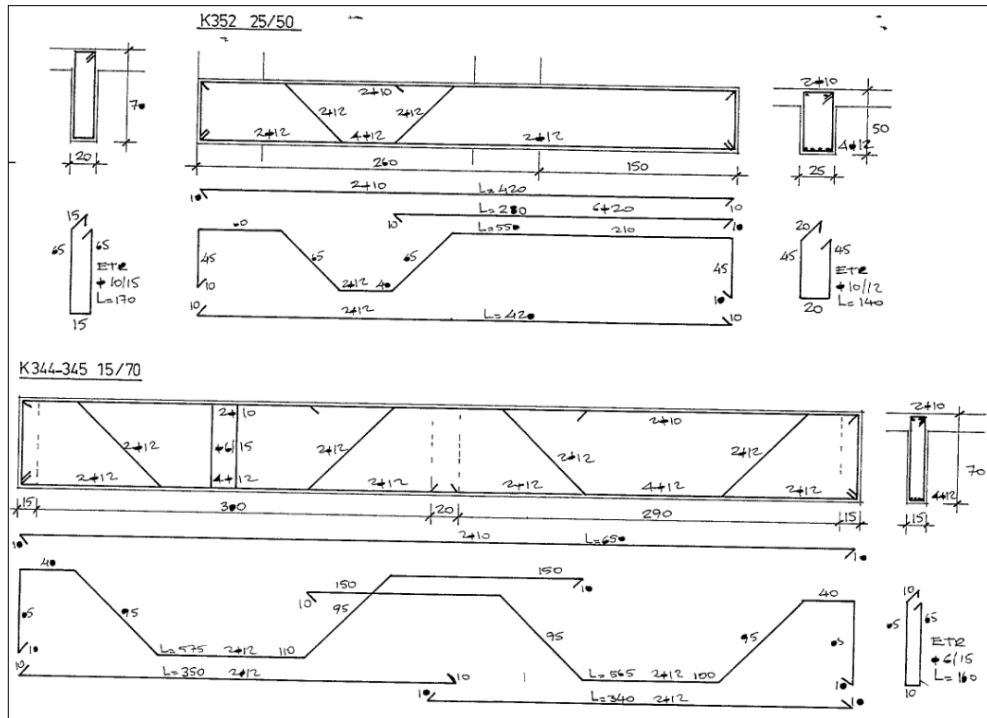
Yapıların taşıyıcı sistemi kolon, kiriş ve kirişli döşeme sisteminden oluşmaktadır. Temel sistemi bağ kirişli tekil temel ile sürekli temellerden oluşmaktadır. Bazı kolonların boyutları katlar yükseldikçe küçülürken bazı kolonların boyutları değişmemektedir. Aynı şekilde bazı kirişlerin boyutları da katlara göre değişiklik göstermektedir. Yapıların sahip olduğu kolon ve kiriş boyutları ise Tablo 2’de sunulmuştur. İki blokta toplam 384 adet kolon, 955 adet ise kiriş vardır.

Ayrıca belediyeden alınan projelerin incelenmesiyle yapının Türkiye Köprü ve İnşaat Cemiyeti Betonarme Şartnamesi, DIN 1055 ve DIN 1045 standartları baz alınarak projelendirildiği anlaşılmıştır. Beton sınıfı olarak B160 ve çelik sınıfı olarak da nervürlü olan ST1 sınıf çelik kullanılmıştır. Çelik için kullanılan ST1 simgesi 1981 yılına kadar kullanılmıştır. Akma dayanımı  $2200 \text{ kg/cm}^2$  dir.

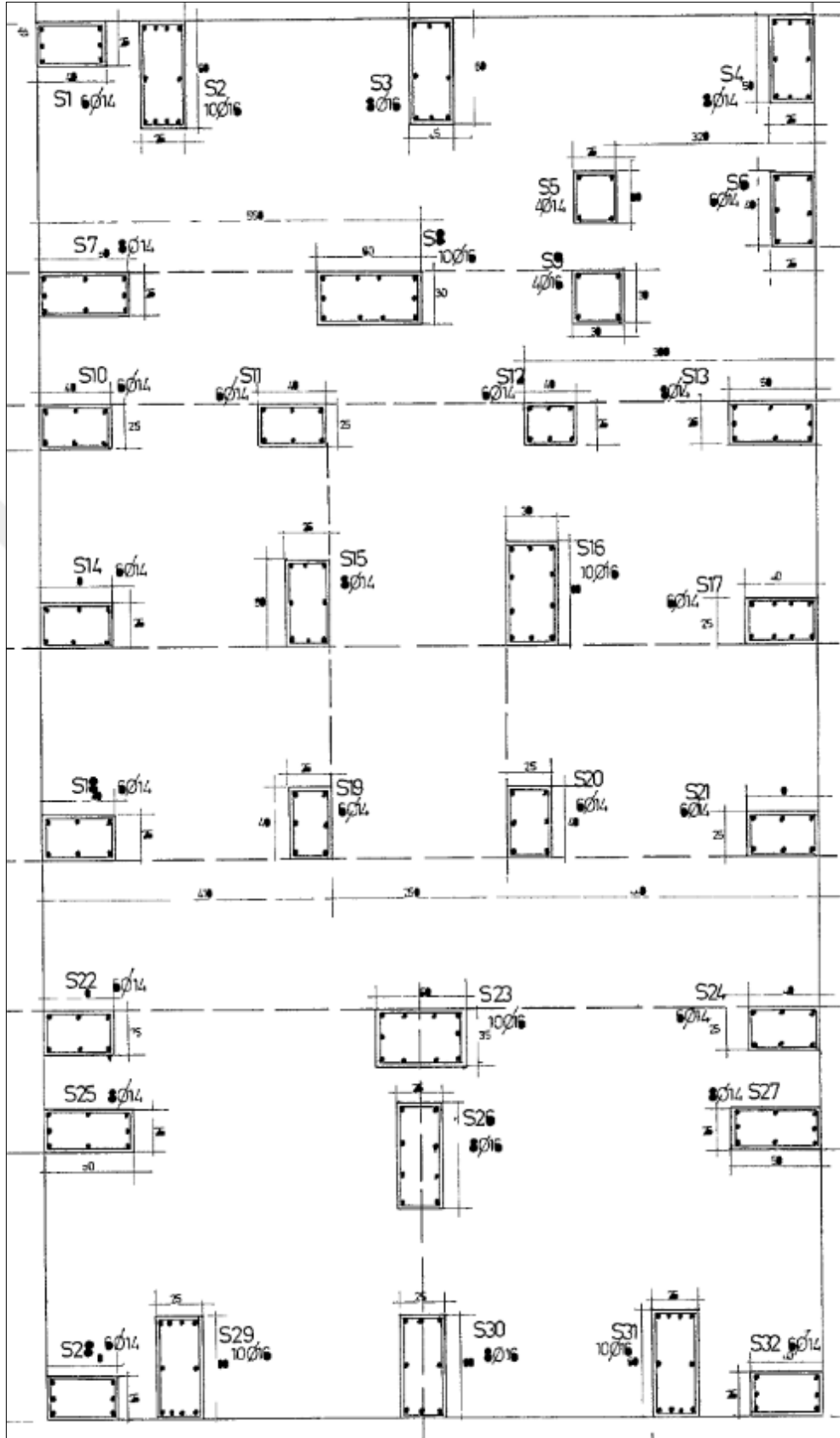
Tablo 2. Katların sahip olduğu kolon ve kiriş boyutları

Kat	Kolon Boyutları	Kiriş Boyutları
Bodrum Kat	25x40, 25x50, 25x60, 25x90, 30x30, 30x60, 30x90, 35x60, 40x25, 50x25, 50x50, 60x25, 60x30, 60x40	50x15, 50x20, 60x25
Zemin Kat	25x40, 25x50, 25x60, 25x80, 30x30, 30x60, 30x70, 40x25, 50x25, 50x45, 60x25, 60x40	50x15, 50x20, 50x25, 70x15, 70x20
Normal Katlar	25x30, 25x40, 25x50, 25x60, 30x30, 30x60, 40x25, 50x25, 50x35, 60x25, 60x30	50x15, 50x20, 50x25, 70x15, 70x20, 70x25

Ayrıca belediyeden temin edilen projeden örnek olması amacıyla Şekil 35'te normal kata ait bazı kiriş açılımları ile Şekil 36'da normal katların kolon aplikasyon planı sunulmaktadır. Temin edilen projede bütün katların kolon aplikasyon planları ve kiriş açılımları mevcuttur. Yapıların performans değerlendirmesinde ihtiyaç duyulacak olan kesit detayları için bu plan ve açılımlardan faydalanılmıştır.



Şekil 35. Normal kat bazı kirişlerin açılımları



Şekil 36. Normal katlar kolon aplikasyon planı

### 3.2.1. Betonarme Binaların Beton Sınıfını Belirleme Çalışmaları

Beton özelliklerinin belirlenebilmesi için her bloğun her katından 3 adet karot alınmıştır. Alınan karot numunelerinin ortalaması binaların beton basınç dayanımı olarak alınmış ve TS500'de bulunan Denk.(3.1) yardımıyla beton elastisite modülü hesaplanmıştır.

$$E_c = 3250\sqrt{f_c} + 14000 \quad (3.1)$$

Yapılan deneyler sonucunda A Blok Binasının ortalama beton basınç mukavemeti 16.11 MPa, B Blok Binasının ortalama beton basınç mukavemeti 15.10 MPa olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara dayanarak A Blok Binasının beton elastisite modülü 27000 MPa, B Blok Binasının ortalama beton elastisite modülü 26600 MPa olarak belirlenmiştir.

Şekil 37'de laboratuvar tarafından verilen raporun bir kat için olanı sunulmaktadır.

KAROT NUMUNESİ BASINÇ DAYANIM DENEY RAPORU							
PROJE ADI / YAPI SAHİBİ / YÜKLENİCİ	Doç. Dr. Fuat Aras, 116M254 Tübitak Projesi kapsamında iki adet binanın beton özelliklerinin belirlenmesi						
DENEYİ TALEP EDEN FIRMA	İstanbul Medeniyet Üni. Rektörlüğü BAP Birimi (116M254 nolu Tübitak projesi)						
YAPININ ADRESİ	Kozyatağı Mah. Paşazade Sok. No:12, Kadıköy, İstanbul						
ADA-PAFTA-PARSEL	1439/17/158						
RAPOR TARİHİ / RAPOR NO	02.08.2018 K123		BAKANLIK RAPOR NO		15335768		
LABORATUVAR NO	K123-18						
SAYFA NO	02						
BETON SINIFI	-						
BETONUN YAŞI	-						
NUMUNE ALIM TARİHİ	30.07.2018						
NUMUNENİN LAB. GELİŞ TARİHİ	30.07.2018						
DENEY TARİHİ	02.08.2018						
NO	NUMUNENİN ALINDIĞI YAPI ELEMANI	ÇAP (mm)	AĞIRLIK (gr)	NUMUNE ALANI (mm <sup>2</sup> )	BAŞLIKLAMA SONRASI YÜKSEKLİK (mm)	KIRILMA YÜKÜ (N)	EŞDEĞER DAYANIM (N/mm <sup>2</sup> )
	A BLOK 4.KAT	84	985	5542	85	66400,0	12,0
	A BLOK 4.KAT	84	905	5542	85	33800,0	6,1
	A BLOK 4.KAT	84	955	5542	83	55800,0	10,1

Şekil 37. A Blok 4. Normal kat beton karot numunesi sonucu

### 3.2.2. Betonarme Binaların Bölme Duvar Özellikleri

Yapıların iç ve dış bölme duvarlarının farklı kalınlıkta tuğlalardan örüldüğü görülmüştür. Bu durum sayısal modellerde göz önüne alınmıştır.



(Aras, 2018c) tez kapsamında çalışılan yapılar ile yaklaşık aynı zamanda inşa edilmiş başka bir betonarme konut yapısının dolgu duvarları üzerinde deneysel çalışmalar gerçekleştirerek (Şekil 38, 39), dolgu duvarların mekanik özelliklerini elde etmiştir. Duvar birim hacim ağırlığını  $9.45 \text{ kN/m}^3$  ve elastisite modülünü  $3400 \text{ MPa}$  olarak elde edilmiştir. Üzerinde çalışma yaptığı yapının dolgu duvarların mekanik özellikleri ve tuğla örme tekniği, bu tez çalışması kapsamında kullanılan yapıların dolgu duvarları mekanik özellikleri ve tuğla örme tekniği ile uyduğundan, tez kapsamında oluşturulan sonlu eleman modellerinde duvar birim hacim ağırlığı  $9.45 \text{ kN/m}^3$ , elastisite modülü ise  $3400 \text{ MPa}$  olarak alınmıştır.



Şekil 38. Basınç testi ve göçen numune (Aras, 2018c)



Şekil 39. Başlangıç kayma dayanımı için yükleme kesme göçmesi (Aras, 2018c)

### 3.2.3. Betonarme Binaların Zemin Özellikleri

Betonarme binaların bulunduğu parselin yan parselinde bulunan yapı için deneysel sonuçlarla elde edilmiş olan değerler belediyeden temin edilmiştir. Bu değerlere göre yerel zemin sınıfı B, düşey yatak katsayısı  $3156 \text{ t/m}^3$ , emniyet gerilmesi  $2.63 \text{ kg/cm}^2$ , yeraltı su seviyesi  $4.8 \text{ m}$  ve önerilen temel derinliği  $3.35 \text{ m}$  dir.

### 3.3. Bağ Kirişleri Etkilerinin Deneysel Olarak Elde Edilmesi

Bağ kirişlerinin yapı dinamik özelliklerine olan etkisini operasyonel modal analizi yöntemiyle ortaya çıkarmak için öncelikle yapılar bağ kirişleri ile birbirine bağlıyken yapıların titreşimleri kaydedilmiştir. Daha sonra ise bağ kirişleri kesilerek yapıların birbiriyle olan bağlantısı ortadan kaldırılmış ve yapıların titreşimleri tekrardan kaydedilmiştir. Şekil 40 kırılan bağ kirişlerini ve Şekil 41 elde edilen ayrıık binaları göstermektedir.



Şekil 40. Kırılan bağ kirişleri



Şekil 41. Elde edilen ayrıık binalar



“Deneysel modal analiz yöntemiyle yapıların dinamik özelliklerinin belirlenmesi için çalışılan yapının serbestlik derecesi kadar ölçümün alınması gerekmektedir. Betonarme binaların en bilinen özelliklerinden birisi olan ve döşemeler tarafından sağlanan rijit kat sayesinde, kat seviyeleri birbirine bağlı olarak hareket eder ve binadan alınması gereken ölçüm sayısı azalır.” (Aras, 2018b).

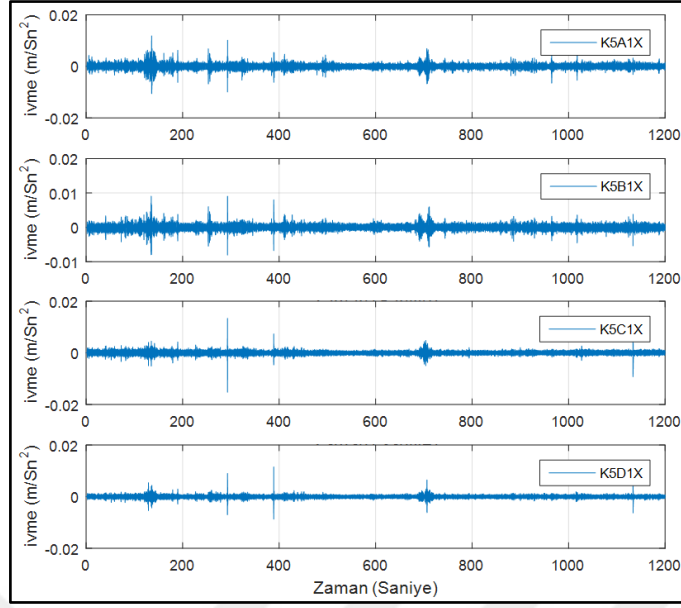
Çalışma kapsamında yapılarda oluşan titreşimleri kaydetmek için beş adet SARA, Acebox kuvvetli yer hareketi ölçer üç eksenli ivmeölçerler kullanılmıştır. İvme kayıtları saniyede 200 örnek olacak şekilde her bir ölçüm için 20 dakikalık süre ile alınmıştır. Şekil 42 binadan kayıt alan ivmeölçeri göstermektedir.



Şekil 42. Binanın herhangi bir katından ölçüm alınması

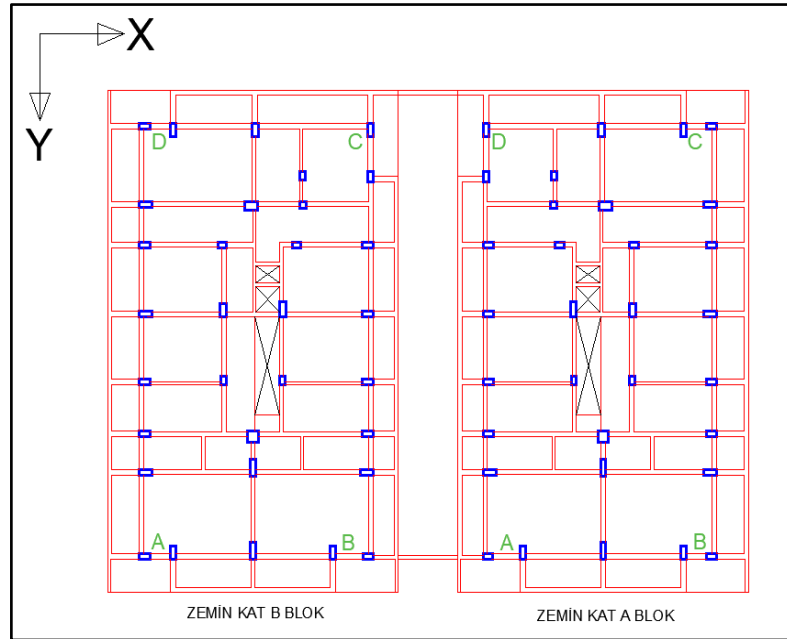
Beş ivmeölçerden bir tanesi referans sensörü olarak sabit konumlandırılmış, diğer dört ivmeölçer ise her katta dört köşe noktasından ölçüm alınarak gezdirilmiştir. Beş set ölçümle bir blok için dinamik tanımlama gerçekleştirilmiştir.

Üç eksenli ivmeölçerlerle her kat seviyesinde, iki köşe noktasından alınacak titreşim kayıtları binanın tüm dinamik özelliklerinin ortaya çıkarılması için yeterlidir ancak çalışılan yapılar TÜBİTAK projesi kapsamında hasar tespiti çalışması için de kullanılacak olduğundan dolayı her kat seviyesinde bina dört köşesinden de ölçüm alınmıştır. Şekil 43 binanın 5. katından X yönünde A, B, C ve D köşelerinden alınan ivme kayıtlarını göstermektedir.



Şekil 43. Binaanın 5. Normal katından x yönünde dört köşeden alınan ivme kayıtları

Dinamik tanımlama ve alınan ölçümlerin kontrol edilebilmesi için binaların her bir köşesi A, B, C ve D harfleriyle isimlendirilmiştir. A Blok için beşinci kat A köşesi (5A) referans noktası olarak alınırken, B Blok için beşinci kat B köşesi (5B) referans noktası alınmıştır. Bu noktalar iki blokta birbirinin karşısına gelen noktalardır. Şekil 44 ivmeölçer konumlarını yapı planlarında göstermektedir.

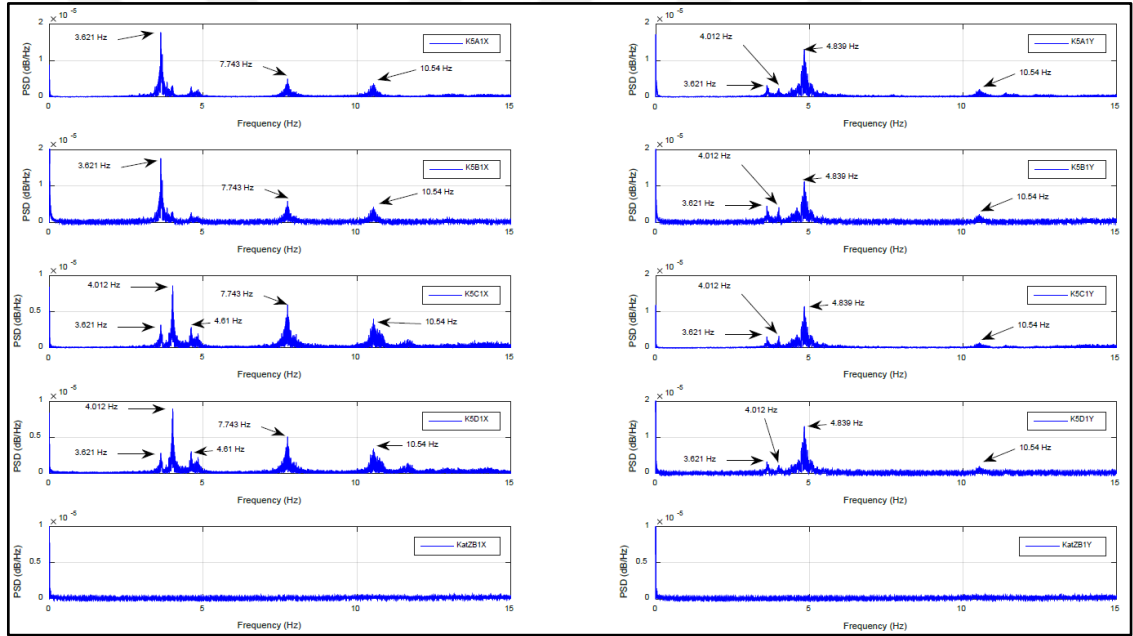


Şekil 44. İvmeölçer konumları

### 3.3.1. Yapılar Birbiriyle Bağlıken Elde Edilen Sonuçlar

Ölçümler sonunda elde edilen ivme kayıtları Tepe Noktası Seçimi (Peak Picking) yöntemiyle değerlendirilmiştir.

Şekil 45'in incelenmesiyle A Blok binasının X yönünde baskın frekansları 3.621 Hz, 4.012 Hz, 4.61 Hz, 7.743 Hz ve 10.54 Hz olduğu görülmüştür. Binanın Y yönündeki baskın frekansları ise 3.621 Hz, 4.012 Hz, 4.61 Hz ve 4.839 Hz dir. Her iki yönde görülen ortak frekanslar binanın her iki doğrultuda da modal yerdeğiştirmeye sahip olduğunun göstergesidir yani burulma modunu temsil etmektedir ancak frekans güçleri arasında büyüklük farklılıkları vardır. Bu nedenle bu modlar tam burulma modu değildir. Deplasman modları ve burulma modları beraber görülmektedir.



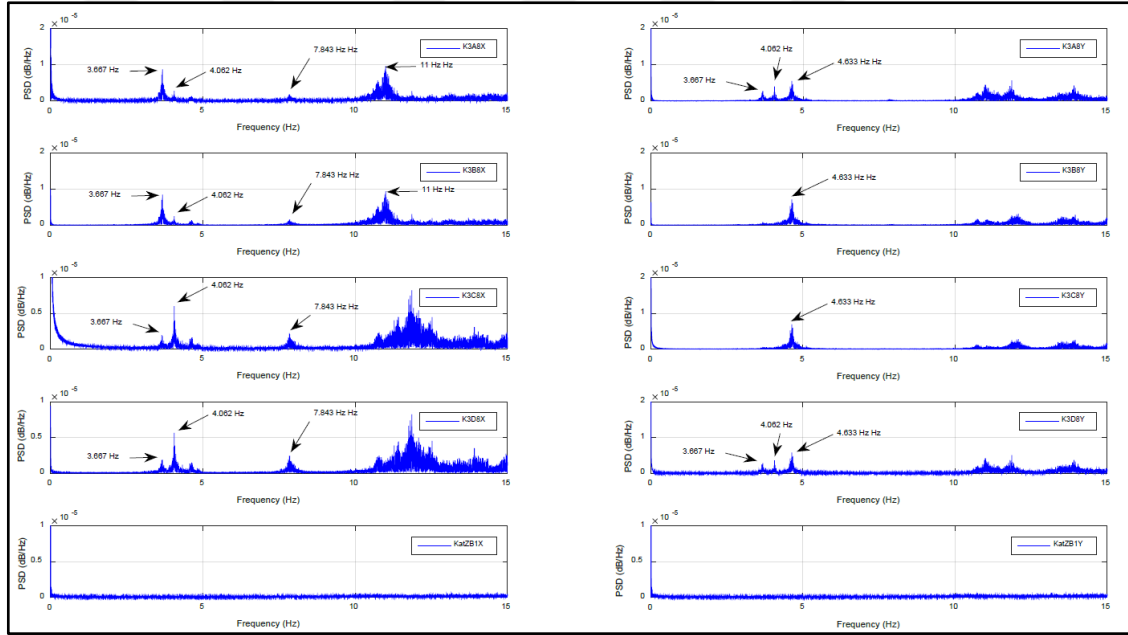
Şekil 45. A Blok binasının X ve Y yönündeki baskın frekansları (bağlı binalar)

Mod şekillerini ortaya çıkarmak amacıyla Şekil 45'te elde edilen baskın frekansların güç yoğunluklarını incelersek eğer birinci mod için, X ve Y yönünde aynı değerlerde baskın frekans elde edilmiştir fakat X yönünde, A ve B köşelerinde güç yoğunluğunun çok baskın olduğu görülmektedir. Bu durum yapının ön yüzünün X yönünde hareketini ifade etmektedir.

İkinci modda ise yine X ve Y yönünde aynı değerde baskın frekans elde edilmiştir fakat X yönünde, C ve D köşelerinde güç yoğunluğunun çok baskın olduğu görülmektedir. Bu durum yapının arka yüzünün X yönünde hareketini ifade etmektedir.

Üçüncü modda da X ve Y yönünde aynı değerde baskın frekans elde edilmiştir fakat Y yönündeki güç yoğunluğu tüm köşelerde baskındır bu yüzden bu mod için yapının Y yönü hareketi diyebiliriz. X ve Y yönünde aynı değerde elde edilen baskın frekanslar tüm modların burulma modu da içerdiğinin belirtisidir.

Şekil 46 B Blok binası için elde edilen baskın frekans değerlerinin incelenmesiyle X yönü için A Blok binası ile çok yakın olduğu, Y yönü için ise belirgin bir fark olduğu anlaşılmıştır. B Blok binasının mod şekilleri A blok binası ile aynıdır.

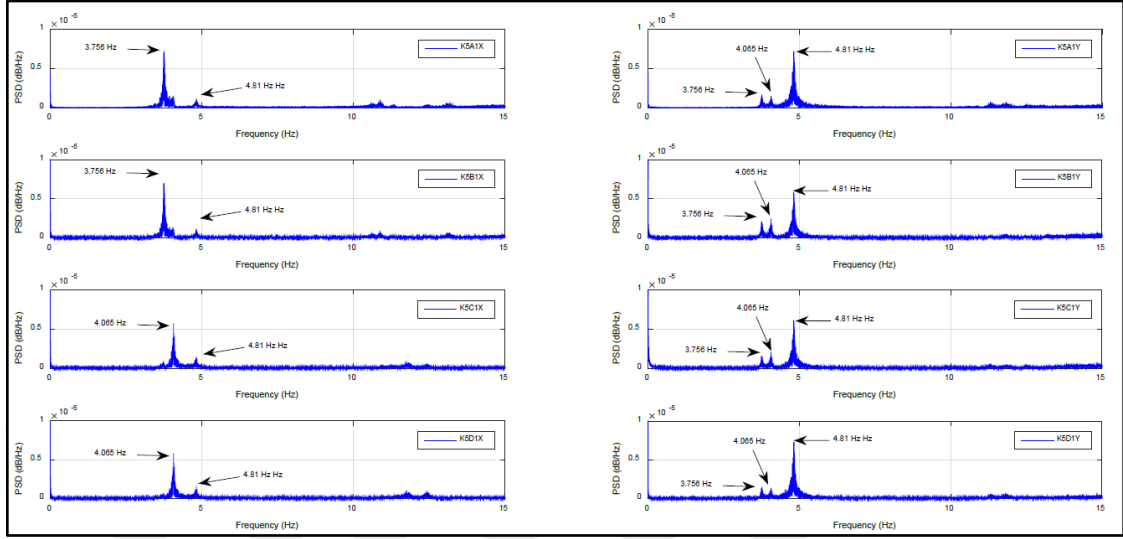


Şekil 46. B Blok binasının X ve Y yönündeki baskın frekansları (bağlı binalar)

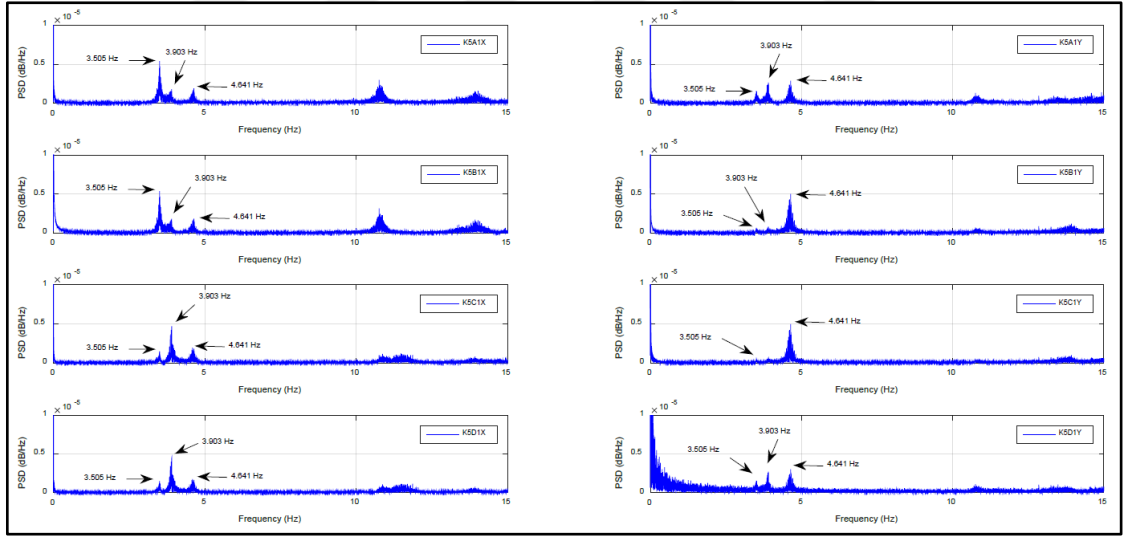
### 3.3.2. Yapılar Birbirinden Ayrıken Elde Edilen Sonuçlar

Şekil 47 ve Şekil 48 A ve B Blok binalarının ayrıık olma durumları için binalardan elde edilen kayıtları frekans ortamında göstermektedir. Bağ kirişi kırımından sonra mod şekilleri aynı kalmıştır. A Blok binasının baskın frekansları, 3.756 Hz, 4.065

Hz ve 4.81 Hz olarak gerçekleşirken, B Blok binasının frekansları 3.505 Hz, 3.903 Hz ve 4.691 Hz olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 47. A Blok binasının X ve Y yönündeki baskın frekansları (ayrık binalar)



Şekil 48. B Blok binasının X ve Y yönündeki baskın frekansları (ayrık binalar)

### 3.3.3. Bağ Kirişi Kırımının Bloklar Üzerine Etkileri

Tablo 3'ün incelenmesiyle bağ kirişi kırıldıktan sonra A Blok binasında birinci ve ikinci frekans değerlerinin sırasıyla %3.7 ve %1.2 arttığı, üçüncü frekans değerinin ise %0.5 azaldığı görülmektedir.

Tablo 4'in incelenmesiyle bağ kirişi kırıldıktan sonra B Blok binasında birinci ve ikinci frekans değerlerinin sırasıyla %4.4 ve %3.9 azaldığı, üçüncü frekans değerinin ise %0.2 arttığı görülmektedir.

Tablo 3. Bağ kirişi kırımının A Blok binası üzerine etkileri

Mod	Mod Tanımı (Bitişik ve Ayrık Durumlar için)	Bitişik Durum Frekansı	Ayrık Durum Frekansı	Değişim %
1.	Bina Ön Yüzü X Yönünde Hareketi	3.621 Hz	3.756 Hz	+ 3.7
2.	Bina Ön Yüzü X Yönünde Hareketi	4.012 Hz	4.056 Hz	+ 1.2
3.	Binanın Y Yönünde Hareketi	4.839 Hz	4.81 Hz	- 0.5

Tablo 4. Bağ kirişi kırımının B Blok binası üzerine etkileri

Mod	Mod Tanımı (Bitişik ve Ayrık Durumlar için)	Bitişik Durum Frekansı	Ayrık Durum Frekansı	Değişim %
1.	Bina Ön Yüzü X Yönünde Hareketi	3.667 Hz	3.505 Hz	- 4.4
2.	Bina Ön Yüzü X Yönünde Hareketi	4.062 Hz	3.903 Hz	- 3.9
3.	Binanın Y Yönünde Hareketi	4.633 Hz	4.641 Hz	+ 0.2

Yapıların birbirinden ayrılmasıyla; bağ kirişinin kendi doğrultuları olan X yönü hareketinin hâkim olduğu ilk iki modda A Blok binasının baskın frekanslarının artış gösterdiği, B Blok binasının baskın frekanslarının ise azalış gösterdiği anlaşılmaktadır. Y yönünde hareket olan üçüncü modda ise iki blok için de kayda değer bir değişim olmamıştır. A Blok binasının daha yüksek frekansa sahip olması bu binanın B Blok

binasına göre daha yüksek rijitliğe sahip olması anlamına gelmektedir. Binalarda yapılan beton malzeme çalışmalarıyla bu durum doğrulanmıştır.

Tablo 5. Bitişik ve ayırık durum bloklar arası frekans farkı

Mod	A Blok Bitişik Durum Frekans	B Blok Bitişik Durum Frekans	Fark
1.	3.621 Hz	3.667 Hz	0.046
2.	4.012 Hz	4.062 Hz	0.05
3.	4.839 Hz	4.633 Hz	0.206
Mod	A Blok Ayırık Durum Frekans	B Blok Ayırık Durum Frekans	Fark
1.	3.756 Hz	3.505 Hz	0.251
2.	4.056 Hz	4.903 Hz	0.847
3.	4.81 Hz	4.641 Hz	0.169

Tablo 5 yapıların bağ kirişleriyle bağlı olması durumunda birinci, ikinci ve üçüncü modda A ve B Bloklarının frekansları arasındaki fark ile ayırık olması durumunda birinci, ikinci ve üçüncü modda A ve B Bloklarının frekansları arasındaki farkı sunmaktadır.

Tablo 6 Tablo 5’da elde edilen frekans farkı değerlerinin değişimini göstermektedir. Blokların bağlı ve ayırık durumda sahip olduğu frekans farkı değerinin ilk iki modda önemi bir değişim gösterdiği görülmektedir. Birinci modda frekans farkı değeri 5.45 kat artış gösterirken, ikinci modda frekans farkı değeri 16.94 kat artış göstermiştir. Üçüncü modda ise frekans farkı değişimi çok az değişiklik göstermiştir. Bu durum bağ kirişlerin kendi doğrultuları olan X doğrultusunda yapıların dinamik özelliklerini etkilediğinin göstergesidir. Birbirine bağlı A Blok binası ve B Blok binasının, bağlanma yönünde aynı frekanslara sahip olmaları nedeniyle, bağlanmanın bu binaların ortak hareket etme ve yardımlaşmaya neden olduğu sonucuna varılabilir.

Tablo 6. Bitişik ve ayrıık durum bloklar arası frekans farkı değişimi

Mod	Frekans Farklarındaki Değişim
1.	5.45
2.	16.94
3.	0.805

### 3.4. Betonarme Yapıların Sonlu Eleman Modellerinin Oluşturulması

Bu tez çalışmasında sonlu eleman modelleri SAP2000 programı kullanılarak oluşturulmuştur. Kolon ve kirişler çubuk eleman, döşeme ise kabuk eleman olarak modellenmiştir. A ve B Bloktan oluşan betonarme binalar temel seviyesinde ankastre mesnetli kabul edilmiştir çünkü zemine konulan ivmeölçerlerden herhangi bir baskın frekans değeri elde edilmemiştir.

Bu çalışmanın amacı bağ kirişlerinin yapı dinamik özelliklerine olan etkisini deneysel ve sayısal olarak ortaya çıkarmaktır. Bağ kirişlerinin deneysel olarak etkisi operasyonel modal analiz yöntemiyle elde edildikten sonra, sayısal modal analiz yöntemiyle de elde edilebilmesi için, deneysel olarak elde edilen yapı dinamik özelliklerini en iyi şekilde temsil eden sonlu eleman modeli elde edilmeye çalışılmıştır. Bu sebeple “Bölüm 2.3.” ‘Dolgu Duvarların Yapı Dinamik Karakteristiklerine Olan Etkisi’ ile açıklanan deneysel çalışmalar ve “Bölüm 2.3.1.” ‘TBDY-2018 Kapsamında Dolgu Duvarlar’ bölümünde açıklanan madde 6.3.1. tekrar hatırlanmalıdır:

“Yapısal olmayan eleman veya donanımın ağırlığı bulunduğu katın toplam ağırlığının %10’undan büyük ise, eleman veya donanım bina taşıyıcı sisteminin bir parçası olarak kabul edilecektir. Bu durumda eleman veya donanımın kütlesi ile binaya bağlantısının rijitlik özellikleri, bina taşıyıcı sisteminin deprem hesabında göz önüne alınacaktır”.

Bu amaçla dolgu duvarların bulunduğu kattaki kütleleri hesaplanmış ve katın toplam ağırlığının %10’undan fazla olduğu tespit edilmiştir.



Dolgu duvarlarla ilgili yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlardan, TBDY-2018'in getirdiği zorunluluktan ve en uygun sayısal modeli elde etme isteğinden dolayı dolgu duvarların 5 farklı sonlu eleman modeli oluşturulmuştur.

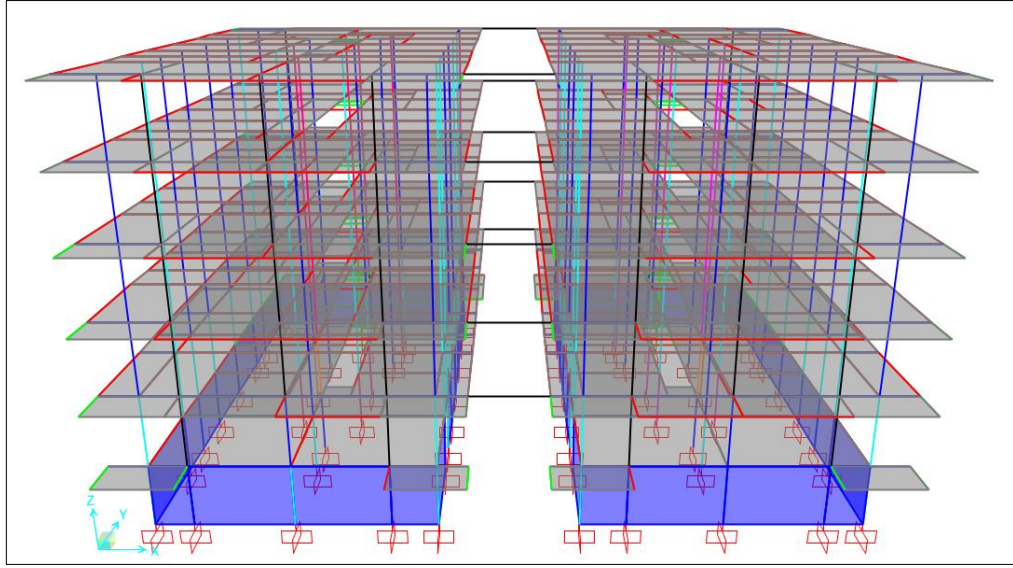
Model 1'de dolgu duvarlar bodrum kat hariç olmak üzere bütün yapıda sadece kütle olarak göz önünde bulundurulmuştur. Model 2'de dolgu duvarlar kabuk eleman olarak modellenirken Model 3, 4 ve 5'te eşdeğer basınç çubuğu olarak modellenmiştir. Eşdeğer basınç çubuğu olarak modellemede Model 3, 4 ve 5 olarak ayrılmasının temel sebebi boşluğa sahip olan dolgu duvarlardır. Boşluğu olmayan duvarlar Model 3, 4 ve 5'te aynı kalınlık ve genişliğe sahip eşdeğer basınç çubuklarıyla temsil edilmiştir.

Model 1, 2, 3, 4 ve 5'te dolgu duvar modelleme detayları sırayla aşağıda açıklanmıştır.

### **3.4.1. Model 1**

Bu modelde, bodrum kat hariç olmak üzere bütün katlarda dolgu duvarların rijitlik özellikleri sonlu eleman modeline dâhil edilememiştir. Dolgu duvarlar yapısal analizlere sadece kütle olarak dâhil edilmiştir.

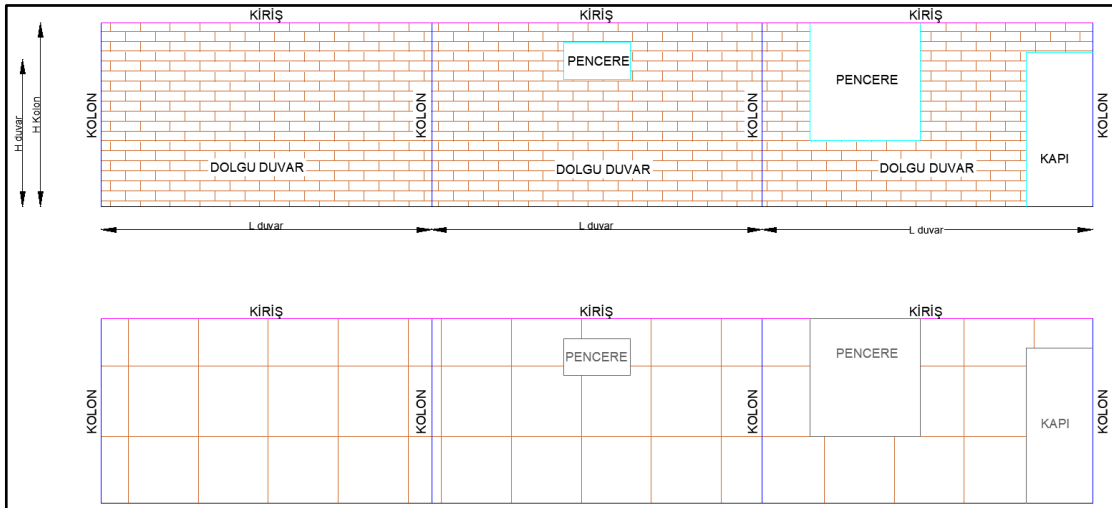
Gerçekte yapılar bodrum tabliyesi seviyesine kadar toprağa gömülü olduğundan ve bodrum katta dolgu duvarların kalınlığı 50 cm olduğundan, bodrum kat duvarları, modal deplasman değerinin gerçekte de olduğu gibi küçük çıkması için sayısal analize kabuk eleman olarak modellenerek dâhil edilmiştir. Şekil 49'da oluşturulan sonlu eleman modeli sunulmuştur.



Şekil 49. Dolgu duvarların sisteme sadece kütesinin dâhil edildiği SAP2000 modeli

### 3.4.2. Model 2

Bu modelde bütün dolgu duvarlar kabuk eleman olarak modellenmiştir. Kapı, pencere boşlukları nizami olarak modellenmiş, iç ve dış duvar kalınlık farkı modele yansıtılmıştır. Kabuk elemanının malzemesi olarak Bölüm 3.2.2.'de sunulan duvar malzeme özelliklerinden yararlanılarak duvar malzemesi tanımlanmıştır. Şekil 50'de bu yönetime göre modelleme örneği sunulmuştur.

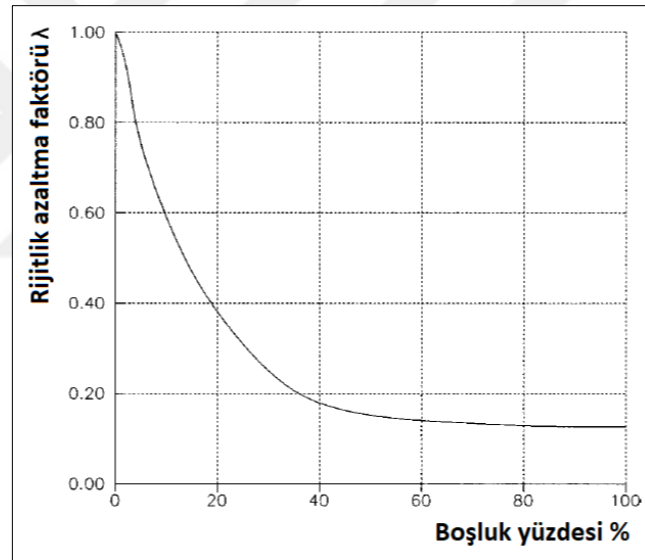


Şekil 50. Dolgu duvarların kabuk eleman olarak modellenmesi, Model 2

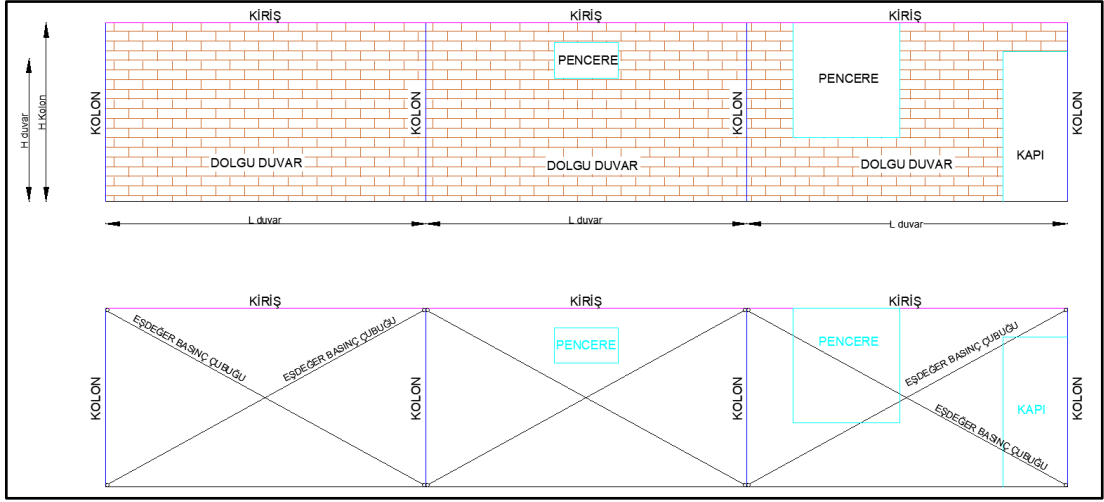
### 3.4.3. Model 3

Bu modelde boşluksuz dolgu duvarlar iki ucu mafsallı, çapraz eşdeğer basınç çubuğu olarak modellenmiştir. Basınç çubuğu kalınlığı dolgu duvar kalınlığına eşit alınmış, basınç çubuğu genişliği için Denk.(2.24) ve (2.25)'ten yararlanılmıştır.

Bu modelde kısmi boşluklu dolgu duvarların rijitlikleri Şekil 51'de gösterilen Asteris'in elde ettiği azaltma katsayısı faktörüyle azaltılarak sisteme dâhil edilmiştir. Bu yöntemde öncelikle kısmi boşluğa sahip bütün dolgu duvarların basınç çubuk genişlikleri boşluksuz düşünülerek hesaplanır. Tam dolu duvarlar için elde edilen eşdeğer basınç çubuğu genişliği, boşluk yüzdesine bağlı olarak, birden küçük pozitif bir katsayı olan rijitlik azaltma faktörüyle çarpılarak azaltılır. Şekil 52'de bu yöntemle göre modelleme örneği sunulmuştur.



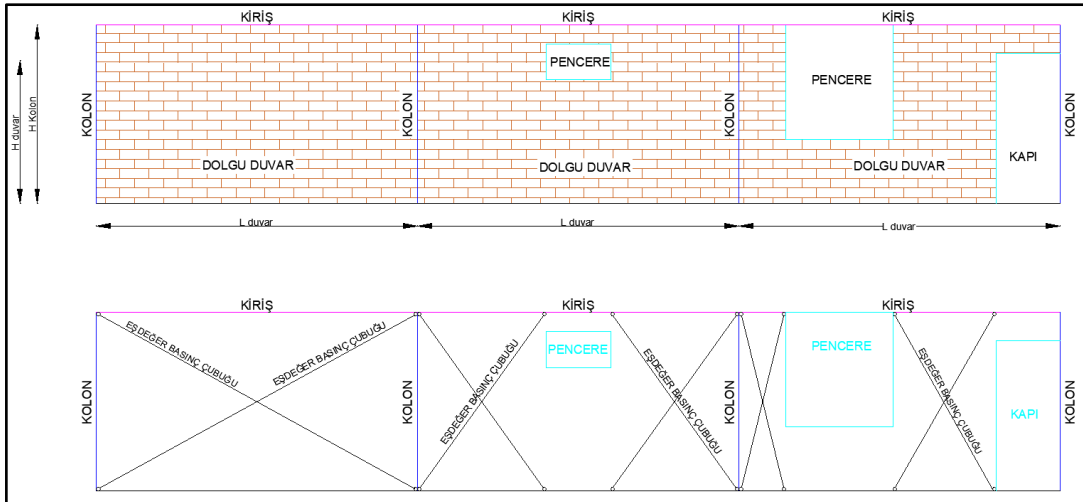
Şekil 51. Rijitlik azaltma faktörünün boşluk yüzdesine göre değişimi (Asteris, 2003)



Şekil 52. Dolgu duvarların basınç çubuğu olarak modellenmesi, Model 3

### 3.4.4. Model 4

Bu modelde boşluksuz dolgu duvarlar iki ucu mafsallı, çapraz eşdeğer basınç çubuğu olarak modellenmiştir. Basınç çubuğu kalınlığı dolgu duvar kalınlığına eşit alınmış, basınç çubuğu genişliği için Denk.(2.24) ve (2.25)'ten yararlanılmıştır. Dolgu duvarda kısmi boşluk bulunması durumunda boşluğun sağı ve solu ayrı ayrı eşdeğer çapraz basınç çubuğu olarak modellenmiştir. Şekil 53'te bu yönteme göre modelleme örneği sunulmuştur.



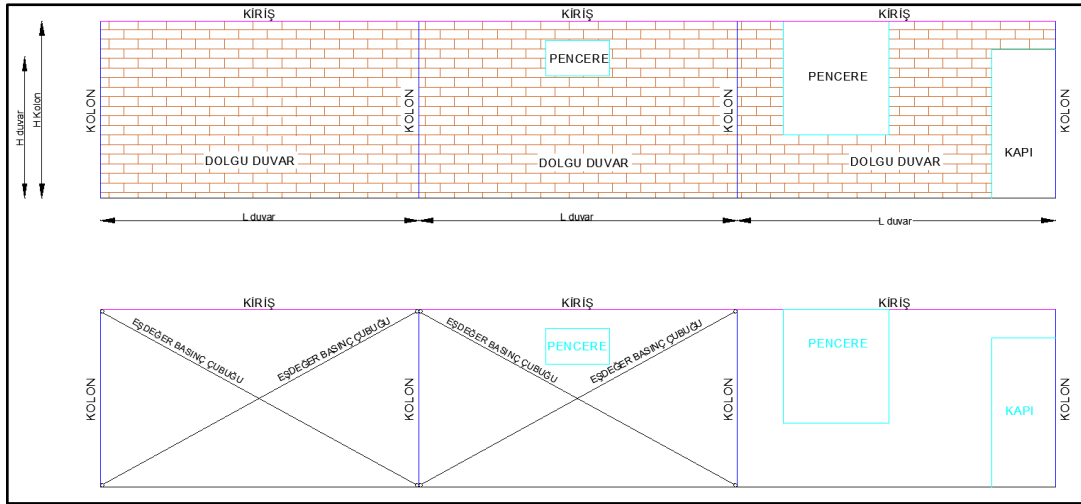
Şekil 53. Dolgu duvarların basınç çubuğu olarak modellenmesi, Model 4

### 3.4.5. Model 5

TBDY – 2018 Madde 15C.2.’de “Dolgu Duvarların Hasır Çelik Donatılı Özel Sıva İle Güçlendirilmesi” bölümünde güçlendirilen duvarlar için “ 15.C.2.1 – Modelleme Esasları “ kısmında güçlendirilen duvarların rijitlik özelliklerinin temsil edilebilmesi için iki adet şart sunmuştur. Bu şartlar şunlardır:

- ✓ “Yapı modelinde betonarme çerçeve içinde düzenlenmiş ve köşegen uzunluğunun kalınlığına oranı 30’dan küçük olan dolgu duvarlar göz önüne alınacaktır.”
- ✓ “Duvar yüzey alanına oranı %10’u geçmeyen boşlukların bulunduğu duvarların yapı modeline katılmasına, boşlukların konumu köşegen basınç çubuğu oluşumunu engellememesi koşuluyla izin verilebilir.”

Bu modelde, mevcut dolgu duvarların bu şartları sağlaması durumunda rijitlik özellikleri iki ucu mafsallı, eşdeğer basınç çubuğuyla çaprazlı olarak sisteme dâhil edilmiştir. Eşdeğer basınç çubuğu kalınlığı dolgu duvar kalınlığına eşit alınmış, basınç çubuğu genişliği için Denk.(2.24) ve (2.25)’ten yararlanılmıştır. Şekil 54’te bu yöntemle göre modelleme örneği sunulmuştur.



Şekil 54. Dolgu duvarların basınç çubuğu olarak modellenmesi, Model 5

### 3.4.6. Model 3, 4 ve 5'te Kullanılan Eşdeğer Basınç Çubuklarının Özellikleri

Model 3, 4 ve 5'te kullanılan ve dolgu duvarlarını temsil eden iki ucu mafsallı eşdeğer basınç çubuklarının kalınlık ve genişlik değerleri Tablo 7'de sunulmuştur.

Tablo 7. Model 2, 3 ve 4'te kullanılan eşdeğer basınç çubuklarının kalınlıkları

Duvar Cinsi	Kalınlık (mm)	Genişlik (mm)
İç Duvarlar	100 mm	301, 303, 304, 306, 308, 310, 312, 314, 317, 321, 331, 332, 333, 339, 344, 347, 349, 350, 351, 353, 355, 356, 357, 361, 365, 392, 395, 445, 453, 470, 474, 482, 485, 526, 535, 560, 653
Dış Duvarlar	200 mm	283, 293, 302, 307, 308, 309, 310, 311, 312, 313, 314, 316, 318, 320, 324, 326, 328, 332, 333, 338, 339, 357, 370, 394, 395, 442, 443, 449, 450, 480, 517, 518, 522, 523, 526, 531, 532
Bodrum Kat Duvarları	500 mm	313, 328, 365, 372, 416, 426, 433, 469, 476, 492, 495, 656

### 3.5. A Blok Binası için Elde Edilen Deneysel ve Sayısal Modal Analiz Sonuçları

Sayısal olarak oluşturulan beş modelden elde edilen sonuçları deneysel sonuçlarla karşılaştırma işlemi bir blok ele alınarak gerçekleştirilmiştir. Karşılaştırmalar için A Blok binası seçilmiştir.

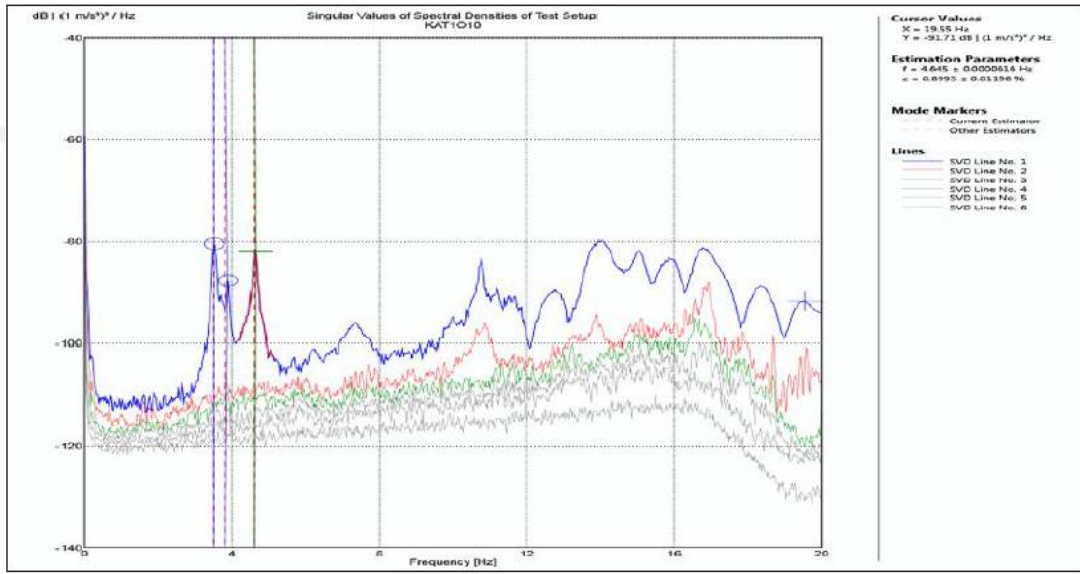
Karşılaştırma işleminde kullanılacak deneysel sonuçlar için ARTeMIS paket programında kullanılabilen “Gelişmiş Frekans Ortamında Ayırışım” tekniği tercih edilerek yapı frekans ve modal deplasman değerleri kullanılmıştır.

#### 3.5.1. A Blok Binası Deneysel Modal Analiz Sonuçları

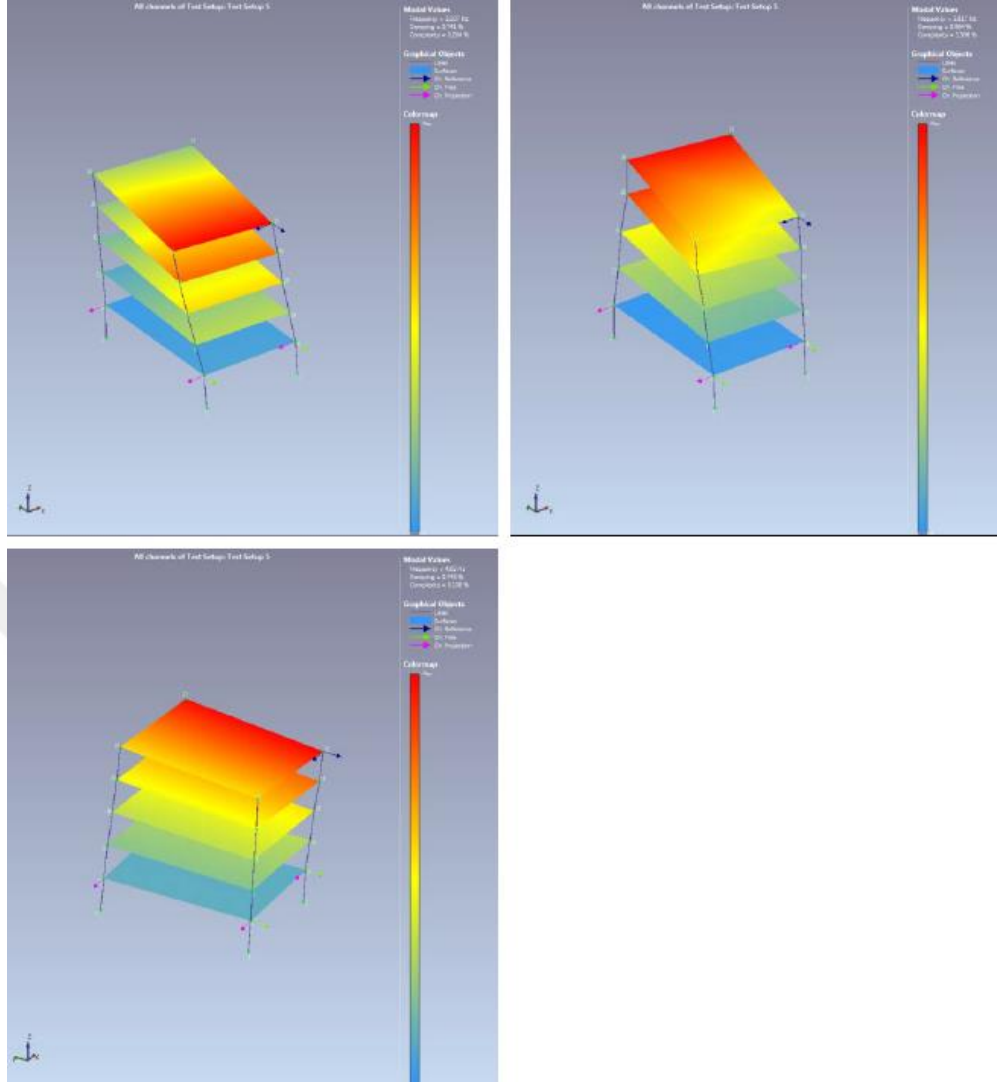
Bağ kirişleri kırıldıktan sonra A Blok binasından alınan titreşim kayıtlarını ARTeMIS Modal Pro. 6.0. yazılımında kullanılabilen olan “Geliştirilmiş Frekans

Ortamında Ayrıştırma” tekniğiyle sonuçlar elde edilmiştir. Baskın frekanslar 0 – 20 Hz aralığında belirlenerek gösterilmiş ve 0 – 10 Hz aralığındaki modlar detaylı olarak resmedilerek açıklanmıştır.

A Blok binasından alınan ölçümler sonucunda elde edilen Spektral Yoğunlukların Tekil Değerleri, SYTD (Singular Values of Spektral Densities, SV of SD) Şekil 55’te gösterilmiştir. Ayrıca Şekil 56 elde edilen ilk üç modu göstermektedir. Tablo 8 elde edilen modal parametreleri göstermektedir.



Şekil 55. A Blok binası için SYTD gösterimi



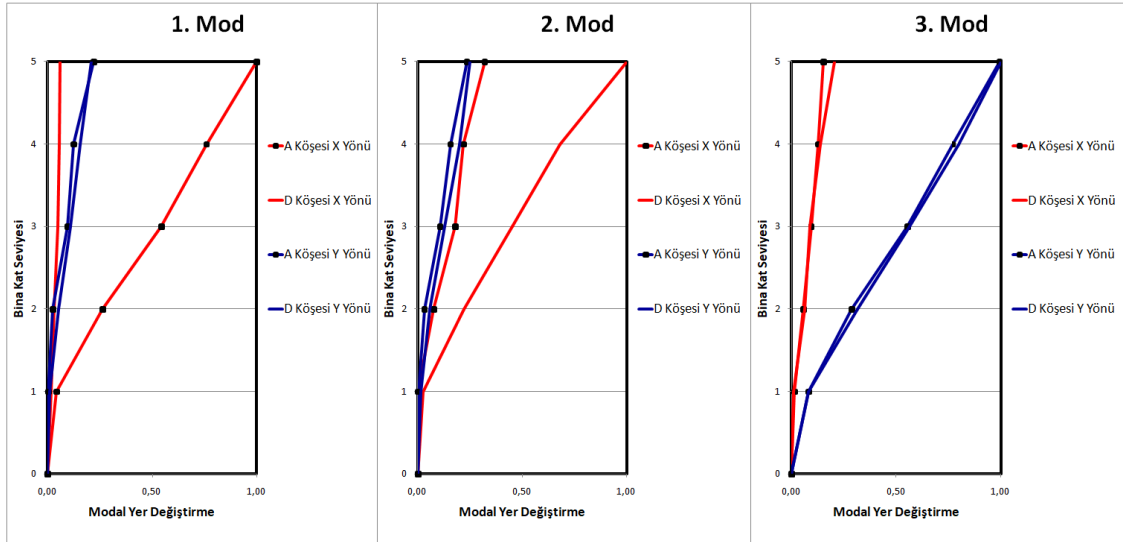
Şekil 56. A Blok binası için 3 boyutlu olarak elde edilen mod şekilleri

Tablo 8. A Blok binasının modal değerleri

Mod	Frekans (Hz)	Periyot (Sn)	Açıklama
1	3.762	0.265	Burulma, Bina ön yüzünün X yönü hareketi
2	4.019	0.248	Burulma, Bina arka yüzünün X yönü hareketi
3	4.818	0.207	Binanın Y yönünde hareketi



A, B, C ve D köşeleri Şekil 44’te de gösterildiği gibi yapı dört köşesini ifade etmektedir. A ve B köşesi yapının ön yüzünü, C ve D köşesi ise yapının arka yüzünü temsil etmektedir. Mod şekillerinin elde edilmesi için yapının ön ve arka yüzünden sağ veya sol köşenin X ve Y yönündeki modal deplasmanlarının alınması yeterlidir. Bu çalışma kapsamında ön yüzden A köşesinin, arka yüzden D köşesinin, mod şekillerinin tepe noktası deplasmanı bir olacak şekilde ölçeklendirilmesiyle elde edilen, modal yerdeğiştirme değerleri kullanılmıştır. Bu kapsamda Şekil 57’nin incelenmesiyle birinci modda A köşesinin X yönü deplasmanı yani yapının ön yüzünün X yönü hareketi, ikinci modda C köşesinin X yönü deplasmanı yani yapının arka yüzünün X yönü hareketi olduğu anlaşılmaktadır fakat A köşesinin X yönü deplasmanı daha belirgindir. Daha önce Tepe Seçimi yöntemiyle elde edilen sonuçlardan da anlaşıldığı üzere bu modlar burulma da içermektedir. Üçüncü modun Y yönü olduğu ise açıktır.



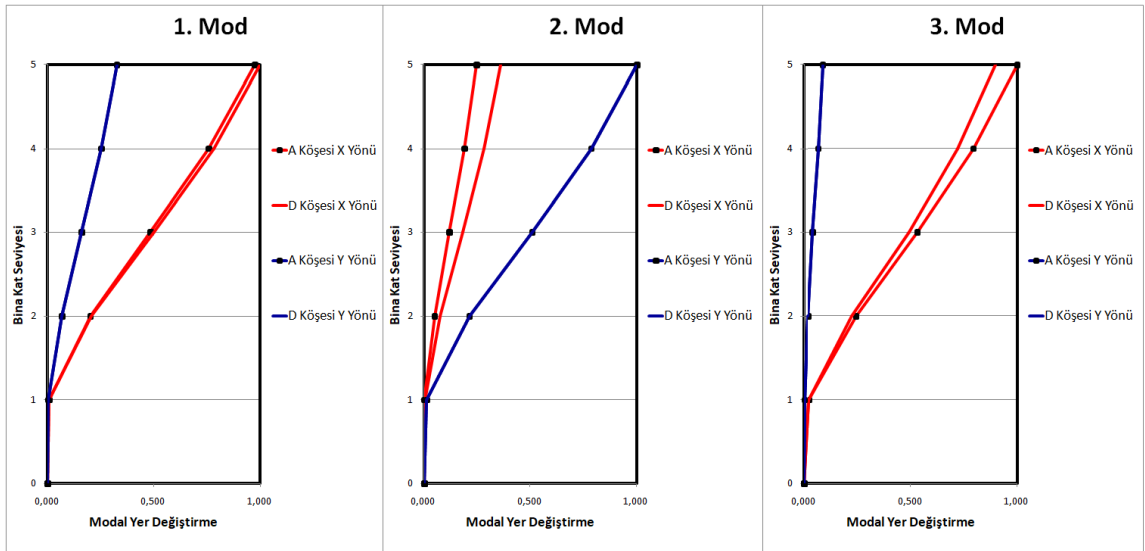
Şekil 57. A Blok binası için elde edilen modal deplasman değerleri

### 3.5.2. A Blok Binası “Model 1” Sayısal Modal Analiz Sonuçları

Tablo 9 Model 1’in modal değerlerini göstermektedir. Şekil 58 Model 1’in birinci, ikinci ve üçüncü mod için A ve D noktasının tepe noktası deplasmanı bir olacak şekilde ölçeklendirilmesiyle elde edilen X ve Y yönü modal yerdeğiştirmelerini göstermektedir.

Tablo 9. Model 1’in modal değerleri

Mod No	Frekans (Hz)	Periyot (Sn)	Kütle Katılımı		
			UX	UY	RZ
1	1.356	0.737	0.001	0.054	<b>0.63</b>
2	1.507	0.663	0.003	<b>0.640</b>	0.051
3	1.606	0.622	<b>0.710</b>	0.002	0.001



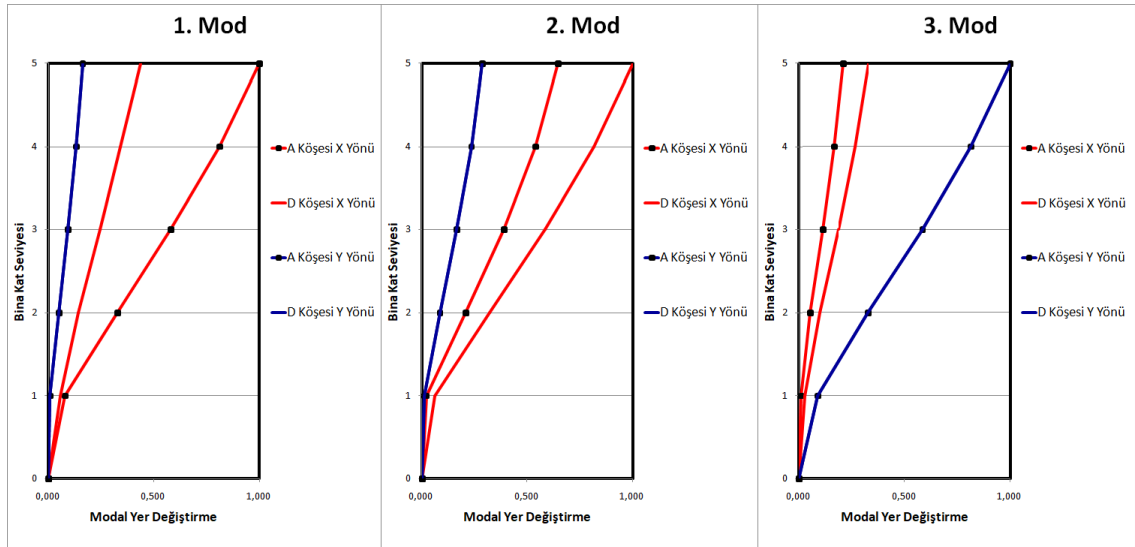
Şekil 58. Model 1 için elde edilen modal deplasman değerleri

### 3.5.3. A Blok Binası “Model 2” Sayısal Modal Analiz Sonuçları

Tablo 10 Model 2'nin modal değerlerini göstermektedir. Şekil 59 Model 2'nin birinci, ikinci ve üçüncü mod için A ve D noktasının tepe noktası deplasmanı bir olacak şekilde ölçeklendirilmesiyle elde edilen X ve Y yönü modal yerdeğiştirmelerini göstermektedir.

Tablo 10. Model 2'nin modal değerleri

Mod No	Frekans (Hz)	Periyot (Sn)	Kütle Katılımı		
			UX	UY	RZ
1	3.699	0.270	<b>0.695</b>	0.001	0.066
2	4.178	0.239	0.060	0.048	<b>0.648</b>
3	4.746	0.210	0.004	<b>0.718</b>	0.04



Şekil 59. Model 2 için elde edilen modal deplasman değerleri

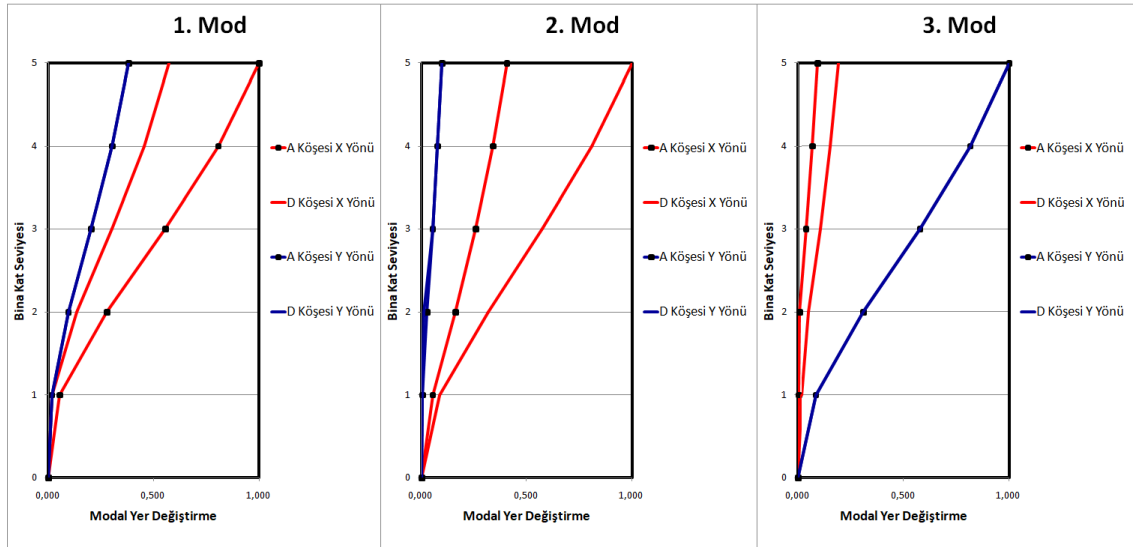
### 3.5.4. A Blok Binası “Model 3” Sayısal Modal Analiz Sonuçları

Tablo 11 Model 3’ün modal değerlerini göstermektedir. Şekil 60 Model 3’ün birinci, ikinci ve üçüncü mod için A ve D noktasının tepe noktası deplasmanı bir olacak şekilde ölçeklendirilmesiyle elde edilen X ve Y yönü modal yerdeğiştirmelerini göstermektedir.

Bu sonlu eleman modelinde dolgu duvarları temsil eden toplam 576 adet eşdeğer basınç çubuğu kullanılmıştır.

Tablo 11. Model 3’ün modal değerleri

Mod No	Frekans (Hz)	Periyot (Sn)	Kütle Katılımı		
			UX	UY	RZ
1	2.193	0.455	0.078	0.006	<b>0.660</b>
2	2.404	0.415	<b>0.700</b>	0.005	0.150
3	2.794	0.357	0.002	<b>0.760</b>	0.009



Şekil 60. Model 3 için elde edilen modal deplasman değerleri

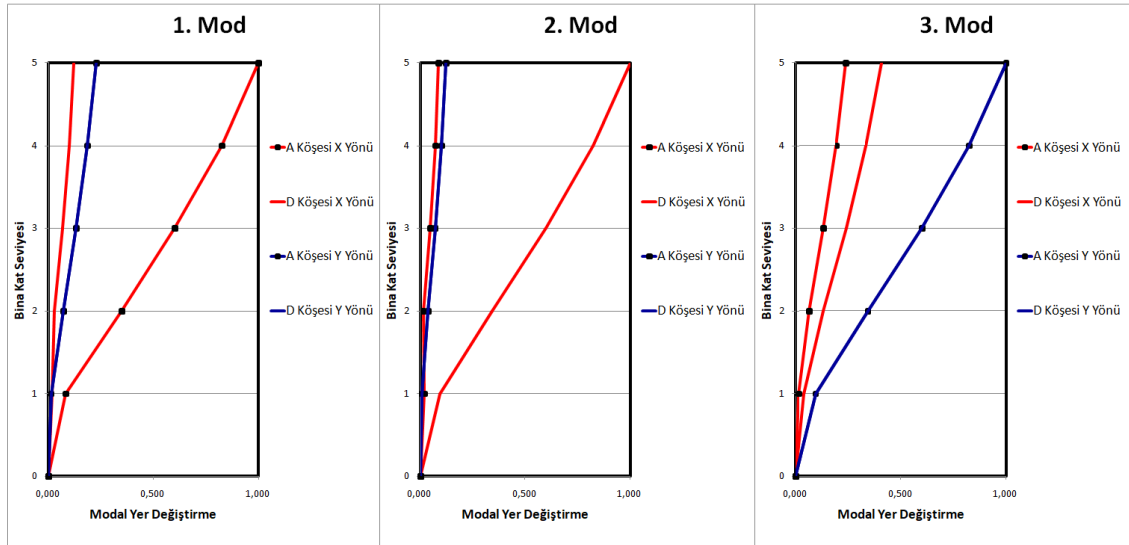
### 3.5.5. A Blok Binası “Model 4” Sayısal Modal Analiz Sonuçları

Tablo 12 Model 4’ün modal değerlerini göstermektedir. Şekil 61 Model 4’ün birinci, ikinci ve üçüncü mod için A ve D noktasının tepe noktası deplasmanı bir olacak şekilde ölçeklendirilmesiyle elde edilen X ve Y yönü modal yerdeğiştirmelerini göstermektedir.

Bu sonlu eleman modelinde dolgu duvarları temsil eden toplam 794 adet eşdeğer basınç çubuğu kullanılmıştır.

Tablo 12. Model 4’ün modal değerleri

Mod No	Frekans (Hz)	Periyot (Sn)	Kütle Katılımı		
			UX	UY	RZ
1	2.194	0.455	<b>0.389</b>	0.016	<b>0.387</b>
2	2.337	0.427	<b>0.397</b>	0.060	<b>0.326</b>
3	2.553	0.391	0.008	<b>0.713</b>	0.064



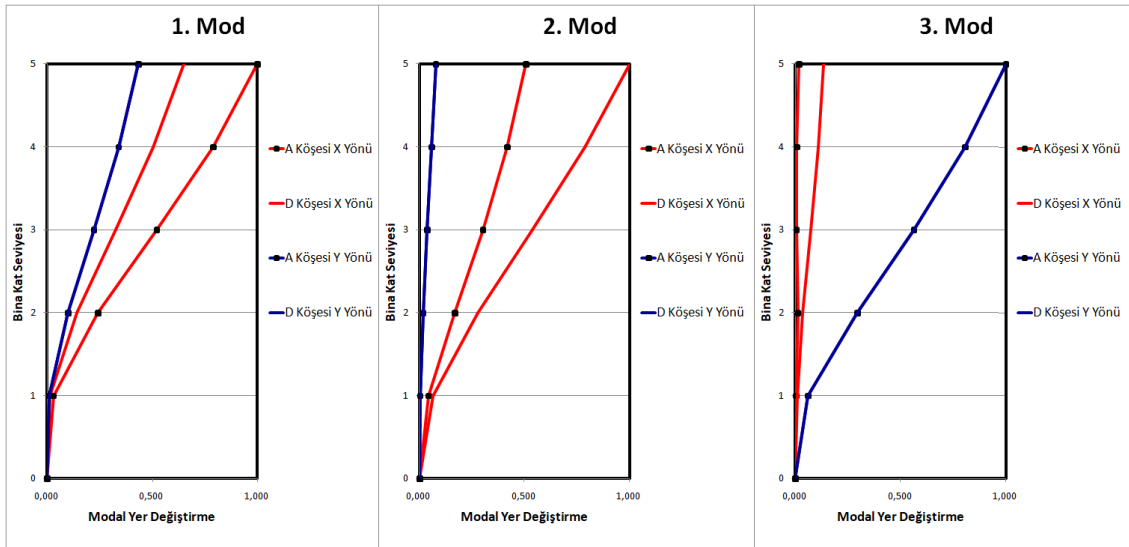
Şekil 61. Model 4 için elde edilen modal deplasman değerleri

### 3.5.6. A Blok Binası “Model 5” Sayısal Modal Analiz Sonuçları

Tablo 13 Model 5’in modal değerlerini göstermektedir. Şekil 62 Model 5’in birinci, ikinci ve üçüncü mod için A ve D noktasının tepe noktası deplasmanı bir olacak şekilde ölçeklendirilmesiyle elde edilen X ve Y yönü modal yerdeğiştirmelerini göstermektedir.

Tablo 13. Model 5’in modal değerleri

Mod No	Frekans (Hz)	Periyot (Sn)	Kütle Katılımı		
			UX	UY	RZ
1	1.598	0.625	0.047	0.001	<b>0.663</b>
2	1.978	0.505	<b>0.699</b>	0.004	0.040
3	2.257	0.443	0.003	<b>0.745</b>	0.002



Şekil 62. Model 5 için elde edilen modal deplasman değerleri

### 3.6. A Blok Binasının Deneysel ile Sayısal Sonuçlarının Karşılaştırılması

#### 3.6.1. Frekansların Karşılaştırılması

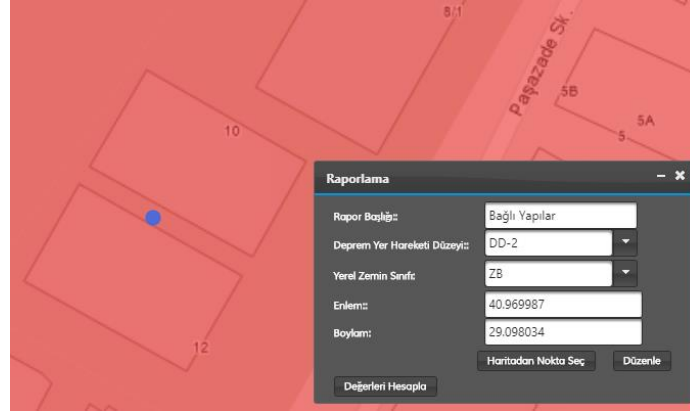
Tablo 14 A Blok deneysel yöntemden elde edilen frekans değerlerinin sayısal yöntemlerle elde edilen frekans değerleriyle karşılaştırılmasını sunmaktadır.

Tablo 14. Deneysel - sayısal frekans değerlerinin karşılaştırması

Mod	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5
	Frekans Farkı (%)	Frekans Farkı (%)	Frekans Farkı (%)	Frekans Farkı (%)	Frekans Farkı (%)
1	% 63.95	<b>% 1.67</b>	% 41.70	% 41.67	% 57.52
2	% 62.50	<b>% 3.95</b>	% 40.18	% 41.85	% 50.78
3	% 66.66	<b>% 1.49</b>	% 42	% 47	% 53.15

Tablo 14'ün incelenmesiyle dolgu duvarların kabuk eleman olarak modellenmesiyle oluşturulan sonlu eleman modelinin doğal frekans değerleri, deneysel sonuçlarla elde edilen doğal frekans değerlerine çok yakın olarak elde edilmiştir. Birinci ve üçüncü modda %2'nin altında, üçüncü modda ise %4 ün altında çıkmıştır. Bu oluşan farklılıklar yeterli yaklaşım sağlamakla birlikte, beton veya dolgu duvar malzemesi için daha uygun elastisite modülü tanımlanmasıyla daha da aza indirilebilir.

Yapının yatay elastik tasarım spektrumu Deprem Tehlike Haritaları'ndan (<https://tdth.afad.gov.tr/>) faydalanılarak (Şekil 63) elde edilmiştir.



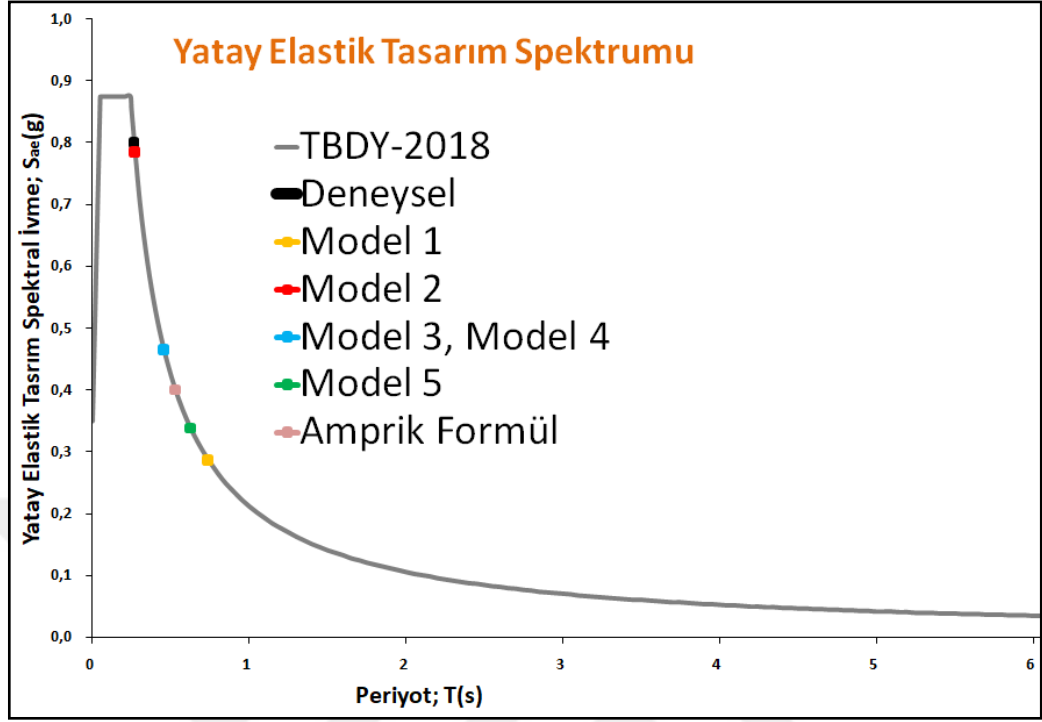
Şekil 63. TDTH web arayüzüne verilerin girilmesi

DeneySEL ve sonlu eleman modelleri modal analizi sonucunda elde edilen birinci periyot değerine denk gelen  $S_{ae}$  değerleri Tablo 15 ve spektrum üzerinde (Şekil 64 üzerinde) gösterilmiştir. Ayrıca bu gösterimlere yapının taşıyıcı sistem türü ve kat yüksekliğine bağlı olarak elde edilen ampirik hâkim doğal titreşim periyodu ve bunun 1.4 katına denk gelen  $S_{ae}$  değeri de eklenmiştir.

Tablo 15. Birinci periyot değerlerine denk gelen tasarım spektral ivme değerleri

	Periyot	Yatay Elastik Tasarım Spektral İvme, $S_{ae}$
DeneySEL	0.265	0.800
Model 1	0.737	0.287
Model 2	0.270	0.785
Model 3	0.455	0.465
Model 4	0.455	0.465
Model 5	0.625	0.338
Ampirik	0.530	0.400
1.4 Ampirik	0.742	0.286





Şekil 64. Birinci periyot değerlerine denk gelen tasarım spektral ivme değerleri

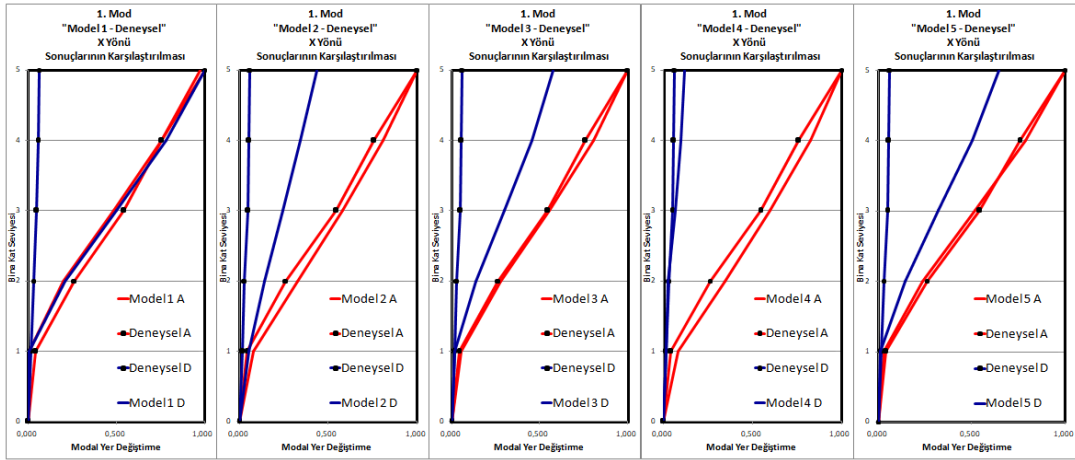
Bu değerler incelendiğinde deneysel yöntemin birinci periyot değeri kullanılarak elde edilen spektral ivme değerinin, yapının dolgu duvarlarının sadece kütle olarak sisteme dâhil edilmesiyle oluşturulan Model 1'in birinci periyot değeri kullanılarak elde edilen spektral ivmeden 2.78 kat, Model 5'ten 2.36 kat, Ampirik yaklaşımdan 2 kat, Model 3 ve 4'ten 1.7 kat fazla olduğu görülmektedir.

Buradan anlaşılmaktadır ki, birinci titreşim periyoduna bağlı deprem yükü hesaplanarak tasarım yapılması durumunda, dolgu duvarların kabuk eleman olarak modellenmesi dışında başka bir yöntemle modellenmesi veya daha da önemlisi modellenmemesi durumunda, çok ciddi miktarda az deprem yükü hesaplanarak tasarım gerçekleştirilmiş olmaktadır. Bu durum operasyonel modal analiz yöntemini önemini açıkça ortaya koymaktadır.

### 3.6.2. Mod Şekillerinin Karşılaştırılması

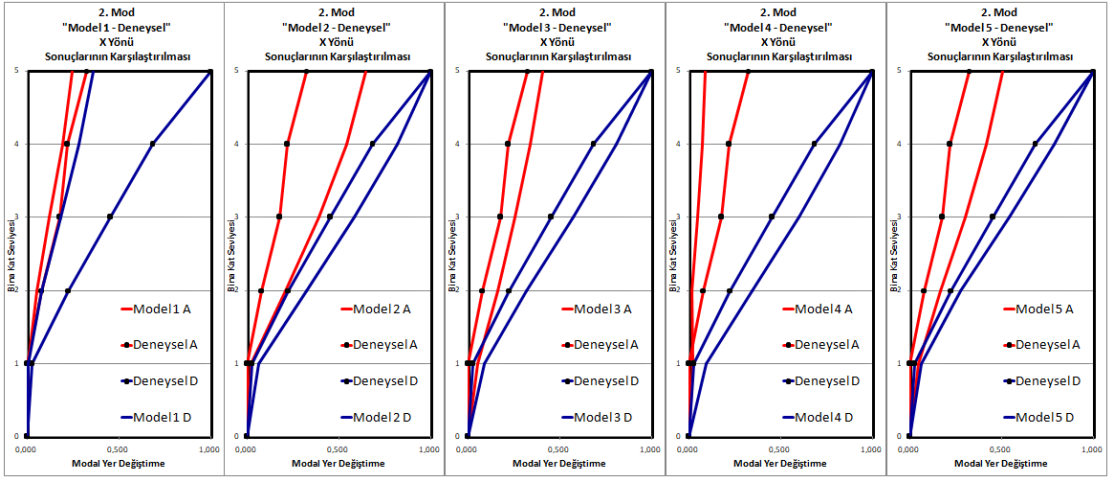
Karşılaştırma için A ve D köşelerinde oluşan modal deplasman değerleri kullanılmıştır. Deneysel sonuçların incelenmesiyle, birinci ve ikinci modda X yönü, üçüncü modda ise Y yönü modal deplasman değerleri baskındır. Bu sebeple birinci ve ikinci modda X yönü, üçüncü modda ise Y yönü modal deplasman değerleri karşılaştırılmıştır.

Birinci modda A ve D köşesinin X yönü bire normalize edilen deneysel ve sayısal modal deplasman değerleri karşılaştırıldıklarında, en iyi uyumun “Model 4” ile elde edildiği görülmektedir (Şekil 65). Model 2, Model 3 ve Model 5’in sonuçları birbirine yakındır ve genel anlamıyla ön yüzündeki X yönü modal deplasman değerinin daha baskın olmasından dolayı yeterli yaklaşımı kabul ettiği düşünülebilir. Dolgu duvarların sadece kütle olarak sisteme dâhil edildiği model olan Model 1’in birinci modunun burulma olduğu görülmektedir ve deneysel sonuçlarla elde edilen mod şeklini yeterince temsil etmediği söylenebilir.



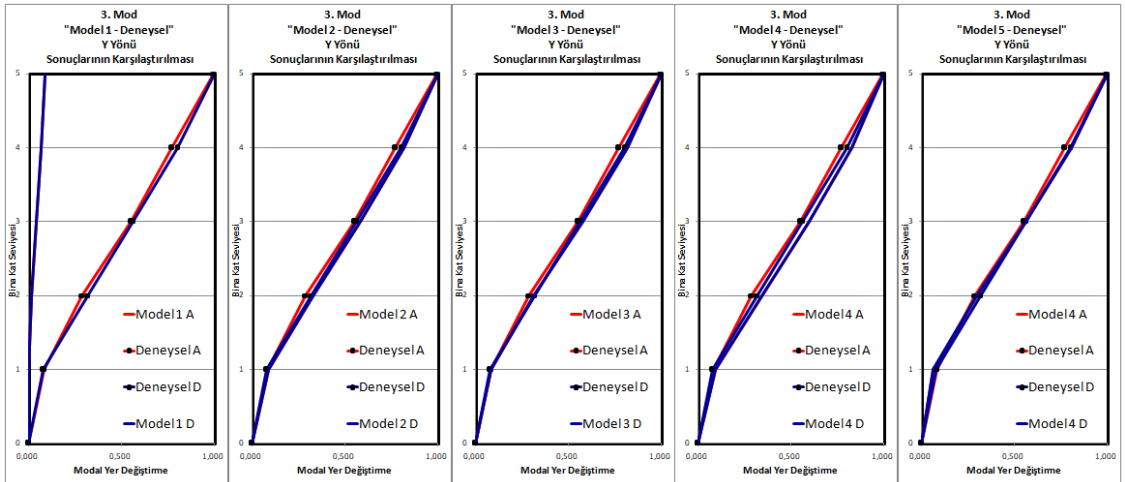
Şekil 65. A Blok binası için elde edilen modal yerdeğiştirme değerleri

İkinci modda A ve D köşesinin X yönü bire normalize edilen deneysel ve sayısal modal deplasman değerleri karşılaştırıldıklarında en iyi uyumu Model 3 yakaladığı anlaşılmaktadır (Şekil 66). Ayrıca Model 4 ve Model 5’in de Model 3’e çok yakın uyum yakaladığı görülmektedir. Model 2’de için de Model 3 ve Model 4’e yakın sonuçlar elde edilmiştir fakat Model 1’in yani dolgu duvarların rijitlik özellikleri göz önünde bulundurulmamasıyla mod şekli temsil edilememiştir.



Şekil 66. A Blok binası için elde edilen modal yerdeğiştirme değerleri

Üçüncü modda A ve D köşesinin Y yönü bire normalize edilen deneysel ve sayısal modal deplasman değerleri karşılaştırıldıklarında (Şekil 67), Model 2, Model 3, Model 4 ve Modal 5'in deneysel sonuçlarla çok iyi uyum yakaladığı görülmektedir. Model 1'in yani dolgu duvarların rijitlik özellikleri göz önünde bulundurulmayan modelin üçüncü modu X yönü olduğundan deneysel sonuçları temsil edemediği açıktır.



Şekil 67. A Blok binası için elde edilen modal yerdeğiştirme değerleri

Birinci, ikinci ve üçüncü modda A ve D köşesinin bire normalize edilen deneysel ve sayısal modal deplasman değerleri karşılaştırılmasıyla elde edilen en önemli sonuç dolgu duvarların rijitlik özelliklerinin yapısal analizlere dâhil edilmemesiyle deneysel sonuçlara uygun mod şekillerinin elde edilemediğidir.

### **3.7. Bağ Kirişleri Etkilerinin Modal Analiz Yöntemiyle İncelenmesi**

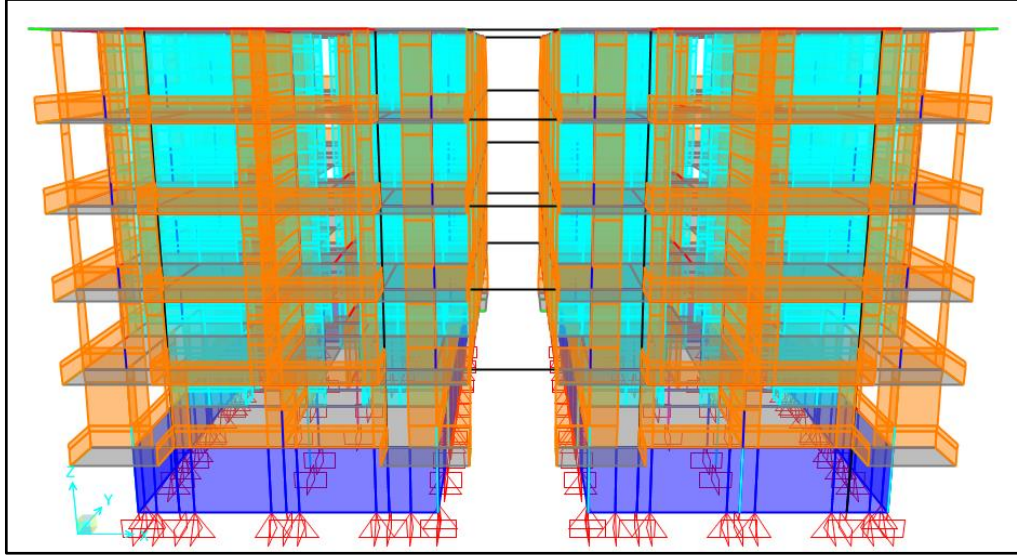
Operasyonel modal analiz yöntemiyle elde edilen frekans değerlerine en yakın frekans değerleri, sayısal yöntemlerden dolgu duvarların kabuk eleman olarak modellenmesiyle yani Model 2 ile elde edilmiştir. Fark değeri, ilk üç mod için %4'un altında kalmıştır.

Operasyonel modal analiz yöntemiyle elde edilen mod şekilleri, birinci modda ki uyumun göz önünde bulundurulmasıyla birlikte Model 4 ile en iyi temsil edilmiştir.

Model 2 ve Model 4 sonlu eleman modelleri ele alınarak, A ve B Blokların bağ kirişleriyle bağlı olarak sayısal modelleri oluşturulmuştur. Sonrasında bağ kirişleri kaldırılarak A ve B Blok yapıları ayrı ayrı ele alınmıştır. Bağlı ve ayrık modellerin modal analiz sonuçları incelenerek bağ kirişleri etkisi modal analiz yöntemiyle ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır.

#### **3.7.1. Model 2 ve Analiz Sonuçları**

Şekil 68 “Model 2” ile modellenen bağlı yapıları göstermektedir. Yapıların bağlamasıyla elde edilen modelde, yapılar tek bir model olarak düşünüleceğinden, bağlı olma durumu için ortak modal değerler elde edilmiştir. Modal analiz gerçekleştirildikten sonra A ve B Bloğun modal analizi ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Tablo 16 A Blok binasının modal değerlerini, Tablo 17 ise B Blok binasının modal değerlerini göstermektedir.



Şekil 68. Model 2 ile modellenen bağlı yapılar

Tablo 16. A Blok (bağlı binalar) binasının modal değerleri

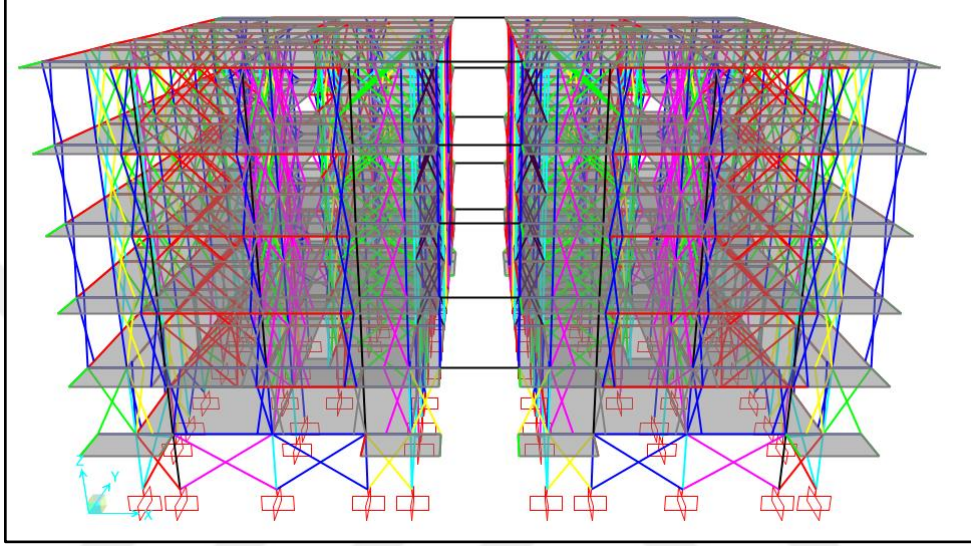
Mod	A Blok ile B Blok Bağlı, Frekans Değeri (Hz.)	A Blok ile B Blok Ayrı, A Blok Frekans Değeri (Hz.)	Değişim (%)
1	3.749	3.699	- 1.33
2	4.284	4.178	- 2.47
3	4.703	4.746	+ 0.91

Tablo 17. B Blok (bağlı binalar) binasının modal değerleri

Mod	A Blok ile B Blok Bağlı, Frekans Değeri (Hz.)	A Blok ile B Blok Ayrı, B Blok Frekans Değeri (Hz.)	Değişim(%)
1	3.749	3.685	- 1.71
2	4.284	4.166	- 2.75
3	4.703	4.738	+ 0.74

### 3.7.2. Model 4 ve Analiz Sonuçları

Şekil 69 Model 4 ile modellenen bağlı yapıları göstermektedir. Modal analiz gerçekleştirildikten sonra A ve B Bloğun modal analizi ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Tablo 18 A Blok binasının modal değerlerini, Tablo 19 ise B Blok binasının modal değerlerini göstermektedir.



Şekil 69. Model 4 ile modellenen bağlı yapılar

Tablo 18. A Blok (ayrık binalar) binasının modal değerleri

Mod	A Blok ile B Blok Bağlı, Frekans Değeri (Hz.)	A Blok ile B Blok Ayrı, A Blok Frekans Değeri (Hz.)	Değişim (%)
1	2.243	2.194	- 2.18
2	2.394	2.337	- 2.38
3	2.525	2.553	+ 1.10

Tablo 19. B Blok (ayrık binalar) binasının modal değerleri

Mod	A Blok ile B Blok Bağlı, Frekans Değeri (Hz.)	A Blok ile B Blok Ayrı, B Blok Frekans Değeri (Hz.)	Değişim%
1	2.243	2.171	- 3.20
2	2.394	2.326	- 2.84
3	2.525	2.546	+ 0.83

Model 2 ile Model 4'ün bağı olarak oluşturulmuş sonlu eleman modellerinde bağı kirişlerinin kaldırılmasıyla, A ve B Bloğun ikisinin de ilk iki modunun frekans değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Bu durumda yapıların rijitliklerinde azalma olduğunun göstergesidir. Deneysel sonuçlarda olduğu gibi, A Blok binasının frekans değerinde artma, B Blok binasının frekans değerinde azalma meydana gelmemiştir.

Her iki yöntemde, yapılar ayrıldıktan sonraki frekans değerlerinin karşılaştırılmasıyla, A Blok binasının frekans değerlerinin beton elastisite modülün daha fazla olmasından dolayı daha büyük çıkması beklenir. İlk üç modda ki sonuçlar incelendiğinde A Blok binasının frekans değerlerinin daha fazla olduğu görülmektedir (Tablo 18, Tablo 19).

Bağı kirişlerinin kaldırılmasıyla, ilk üç modda ki mod şekillerinin SAP2000 paket programında 3D olarak incelenmesiyle, herhangi bir değişiklik meydana gelmediği anlaşılmıştır.

### 3.8. Bağ Kirişleri Etkilerinin Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi ile İncelenmesi

Bu bölümde bağ kirişlerinin yapısal elemanların deprem performansına olan etkilerinin ortaya çıkarılması amaçlanmıştır. Bu amaçla A ve B Blok binaları ele alınarak, binaların birbirleri ile bağlı ve birbirlerinden ayrı olma durumları için ayrı ayrı olarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi ile analizleri gerçekleştirilmiş ve TBDY-2018 şekildeğiştirmeye göre değerlendirme kapsamında performansları değerlendirilmiştir. Yapılan analizler SAP2000 v.20.2.0 paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu programda aşağıda yapılan işlemlerden sonra analizler gerçekleştirilmiştir.

#### 3.8.1. Malzeme ve Kesit Özelliklerinin Tanımlanması

Kolon ve kirişlere atanacak olan plastik mafsalların etkin akma momenti-akma dönmesi ilişkisinin belirlenmesi için SAP2000 içinde yer alan “Section Designer” yazılımı kullanılmıştır.

Kesit özellikleri aşağıdaki sıra izlenerek tanımlanmıştır:

Malzeme özellikleri tanımlanması: Beton ve donatıya ait mevcut değerler girilmiştir (Tablo 20).

Tablo 20. Mevcut malzeme bilgisi

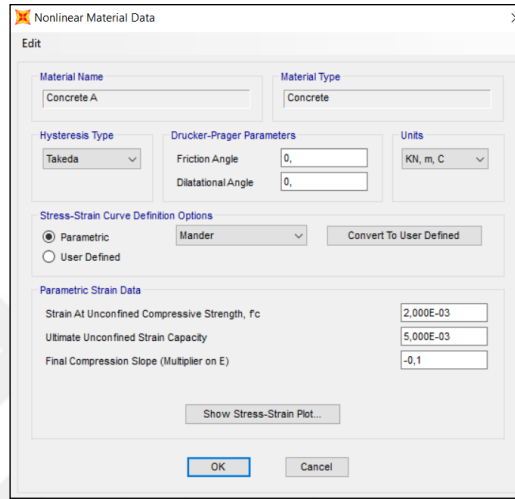
Blok	Beton, $f_{ce}$ (MPa)	Beton Elastisite Modülü (Mpa)	Donatı, $f_{ye}$ (Mpa)
A Blok	16.11	27000	220
B Blok	15.10	26600	220

Sargısız beton modelinin tanımlanması: Standart malzeme tanımlama ekranında “Switch to Advanced Property Display” seçeneği seçilir. Açılan ekranda “Modify/Show Properties” sekmesine tıklanır.



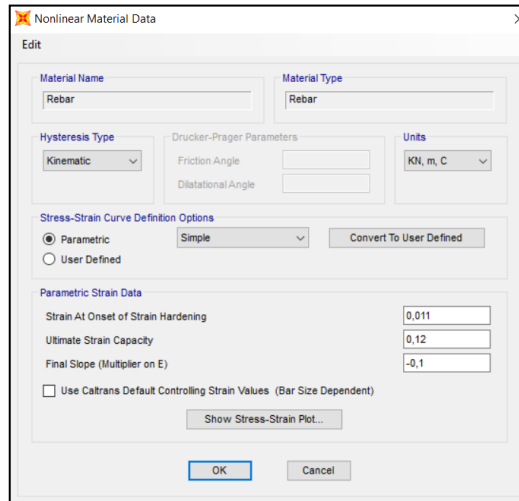
Açılan ekranda “Advanced Material Property Data” sekmesine tıklanır. Açılan “Nonlinear Material Data” ekranında “Parametric Strain Data” bölümündeki değerler Şekil 70’teki gibi girilir. Burada girilen 0.002 ve 0.005 değeri TBDY-2018’de sargısız beton malzemesi için tanımlanan gerilme-şekildeğiştirme grafiğinden gelmektedir (Şekil 21).

“Show Stress-Strain Plot” sekmesine basılarak grafik de çizdirilebilir.



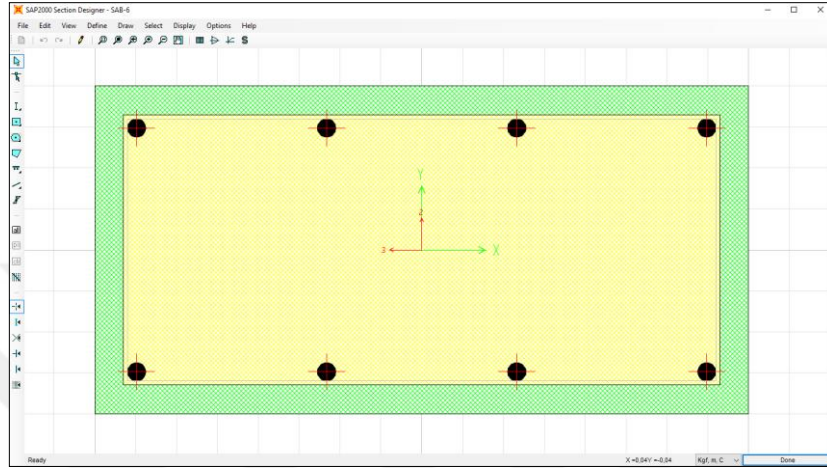
Şekil 70. Betonun birim uzama özelliklerinin tanımlanması

Beton malzeme için aynı adımlar izlenerek S220 donatı çeliği için TBDY-2018 de tanımlanan (Şekil 22) birim uzama özellikleri kullanılarak tanımlanır (Şekil 71).




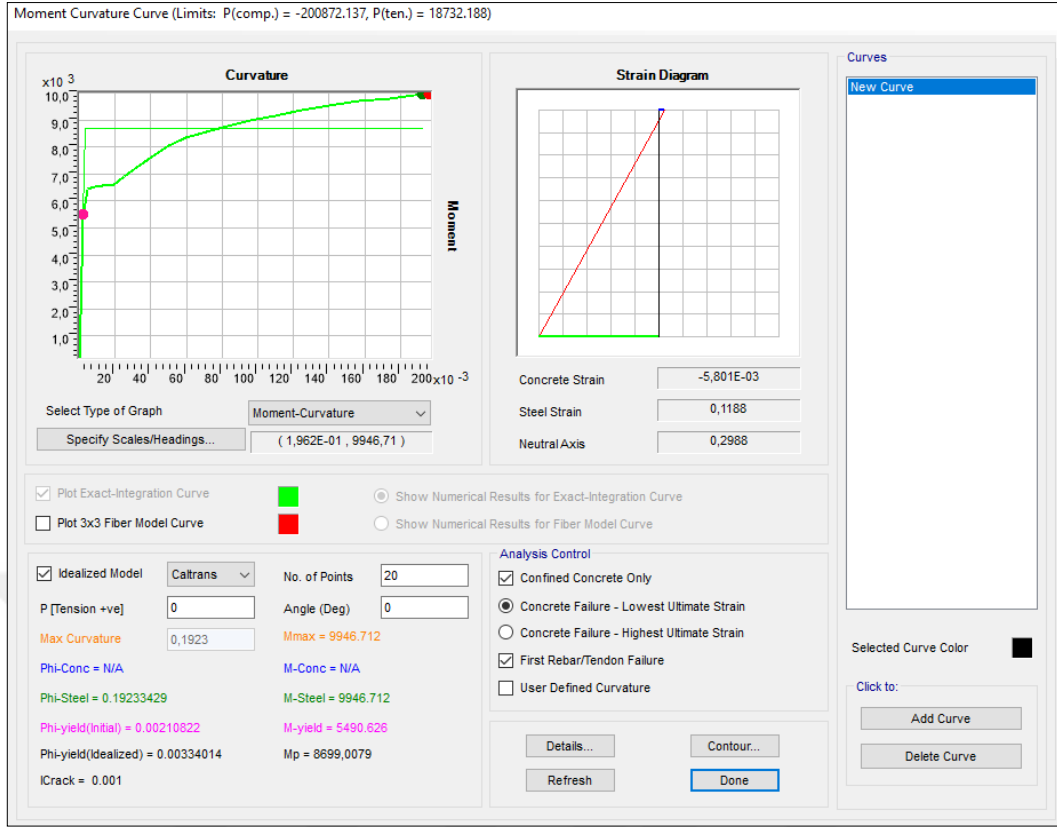
Şekil 71. Donatı çeliğinin birim uzama özelliklerinin tanımlanması

Malzeme özellikleri tanımlandıktan sonra betonarme kesitler tanımlanır. “Define / Section Properties / Frame Sections / Add New Property / Other” seçenekleri ile “Section Designer” kısmına ulaşılır. Taşıyıcı sistem elemanları olan kolon ve kirişlerin donatı detayları belediyeden alınan proje kullanılarak bu bölümde oluşturulmuştur. Şekil 72 bu proje kapsamında oluşturulan herhangi bir kolonu göstermektedir.



Şekil 72. “Section Designer” ile kesit tanımlama

Kesite ait özellikler yatay menüde bulunmaktadır. Kolon ve kirişlerin etkin kesit rijitliklerin hesaplanabilmesi için, öncelikle, akma momenti ve akma eğriliği değerlerine ihtiyaç vardır. Bu amaçla yatay menüde yer alan  ikonuna tıklanır. Açılan ekranda (Şekil 73) yapıda moment – eğrilik grafiği çizdirilmesi için “Idealized Model” kutucuğu işaretlenir. Bu ekranda pembe renk ile gösterilen “M-yield” akma momenti değerini, “Phi-yield (Initial)” ise akma eğriliği değerini ifade etmektedir. Bu değerler “P [Tension +ve]” kısmına aksenal yük değeri girilmesiyle değişkenlik gösterir.



Şekil 73. Moment – eğrilik grafiğinin kesitler için elde edilmesi

Plastik davranışına göre modellenen kolon kesitlerinin etkin kesit rijitliklerini elde etmek için, öncelikle Denk.(2.26) ile plastik mafsal akma dönmesini ifade eden  $\theta_y$  değerleri hesaplanır. Denk.(2.26)'de kullanılan ve akma eğriliğini ifade eden  $\phi_y$  değeri, hesap yapılan kesitin moment-eğrilik grafiğinden (Şekil 73) alınır.

Denk.(2.26)'de  $L_s$  açıklığın yarısı,  $h$  ise kesitin yüksekliği olarak alınır. Donatı çeliklerin ortalama çapını ifade eden  $d_b$  değeri kesit donatısına göre elde edilir.  $\eta$  değeri 1 alınır. Betonun mevcut basınç dayanımı ile donatının mevcut akma dayanımını gösteren  $f_{ce}$  ve  $f_{ye}$  değerleri için Tablo 20'den faydalanılmıştır.

$\theta_y$  değeri hesaplandıktan sonra, hesap yapılan kesit için, moment eğrilik grafiğinden kesitin akma momenti değeri alınarak Denk.(2.27) ile etkin kesit rijitliği hesaplanır.

Kolonlar için moment taşıma kapasitesi eksenel yüke bağlı olarak değiştiği için moment-eğrilik grafiği kolonun eksenel yüküne göre çizdirilmelidir. Bu husus göz önünde bulundurularak bütün kolonların moment-eğrilik grafikleri ölü ve hareketli yüklerden (G + nQ yük kombinasyonundan) meydana gelen eksenel kuvvetler (Tablo 21) göz önünde bulundurularak çizdirilmiştir.

Tablo 21. Kolon eksenel yük değerleri

Bodrum Kat Kolon	P	Zemin Kat Kolon	P	1.Normal Kat Kolon	P	2.Normal Kat Kolon	P	3.Normal Kat Kolon	P	4.Normal Kat Kolon	P
SBB-1 0 G+0.3Q Combination	-433	SBZ-2 0 G+0.3Q Combination	-399	SB1N-1 0 G+0.3Q Combination	-306	SB2N-1 0 G+0.3Q Combination	-228	SB3N-1 0 G+0.3Q Combination	-155	SB4N-1 0 G+0.3Q Combination	-86
SBB-2 0 G+0.3Q Combination	-518	SBZ-2 0 G+0.3Q Combination	-430	SB1N-2 0 G+0.3Q Combination	-352	SB2N-2 0 G+0.3Q Combination	-270	SB3N-2 0 G+0.3Q Combination	-181	SB4N-2 0 G+0.3Q Combination	-88
SBB-3 0 G+0.3Q Combination	-845	SBZ-3 0 G+0.3Q Combination	-674	SB1N-3 0 G+0.3Q Combination	-519	SB2N-3 0 G+0.3Q Combination	-389	SB3N-3 0 G+0.3Q Combination	-263	SB4N-3 0 G+0.3Q Combination	-140
SBB-4 0 G+0.3Q Combination	-682	SBZ-4 0 G+0.3Q Combination	-563	SB1N-4 0 G+0.3Q Combination	-449	SB2N-4 0 G+0.3Q Combination	-339	SB3N-4 0 G+0.3Q Combination	-231	SB4N-4 0 G+0.3Q Combination	-125
SBB-5 0 G+0.3Q Combination	-343	SBZ-5 0 G+0.3Q Combination	-291	SB1N-5 0 G+0.3Q Combination	-230	SB2N-5 0 G+0.3Q Combination	-171	SB3N-5 0 G+0.3Q Combination	-115	SB4N-5 0 G+0.3Q Combination	-59
SBB-6 0 G+0.3Q Combination	-454	SBZ-5 0 G+0.3Q Combination	-387	SB1N-6 0 G+0.3Q Combination	-307	SB2N-6 0 G+0.3Q Combination	-231	SB3N-6 0 G+0.3Q Combination	-154	SB4N-6 0 G+0.3Q Combination	-74
SBB-7 0 G+0.3Q Combination	-653	SBZ-7 0 G+0.3Q Combination	-572	SB1N-7 0 G+0.3Q Combination	-456	SB2N-7 0 G+0.3Q Combination	-344	SB3N-7 0 G+0.3Q Combination	-233	SB4N-7 0 G+0.3Q Combination	-122
SBB-8 0 G+0.3Q Combination	-843	SBZ-8 0 G+0.3Q Combination	-715	SB1N-8 0 G+0.3Q Combination	-573	SB2N-8 0 G+0.3Q Combination	-433	SB3N-8 0 G+0.3Q Combination	-292	SB4N-8 0 G+0.3Q Combination	-150
SBB-9 0 G+0.3Q Combination	-306	SBZ-9 0 G+0.3Q Combination	-283	SB1N-9 0 G+0.3Q Combination	-254	SB2N-9 0 G+0.3Q Combination	-195	SB3N-9 0 G+0.3Q Combination	-132	SB4N-9 0 G+0.3Q Combination	-68
SBB-10 0 G+0.3Q Combination	-514	SBZ-10 0 G+0.3Q Combination	-479	SB1N-10 0 G+0.3Q Combination	-384	SB2N-10 0 G+0.3Q Combination	-288	SB3N-10 0 G+0.3Q Combination	-195	SB4N-10 0 G+0.3Q Combination	-102
SBB-11 0 G+0.3Q Combination	-408	SBZ-11 0 G+0.3Q Combination	-348	SB1N-11 0 G+0.3Q Combination	-284	SB2N-11 0 G+0.3Q Combination	-217	SB3N-11 0 G+0.3Q Combination	-147	SB4N-11 0 G+0.3Q Combination	-75
SBB-12 0 G+0.3Q Combination	-364	SBZ-12 0 G+0.3Q Combination	-276	SB1N-12 0 G+0.3Q Combination	-213	SB2N-12 0 G+0.3Q Combination	-164	SB3N-12 0 G+0.3Q Combination	-110	SB4N-12 0 G+0.3Q Combination	-54
SBB-13 0 G+0.3Q Combination	-569	SBZ-13 0 G+0.3Q Combination	-504	SB1N-13 0 G+0.3Q Combination	-398	SB2N-13 0 G+0.3Q Combination	-300	SB3N-13 0 G+0.3Q Combination	-203	SB4N-13 0 G+0.3Q Combination	-108
SBB-14 0 G+0.3Q Combination	-594	SBZ-14 0 G+0.3Q Combination	-517	SB1N-14 0 G+0.3Q Combination	-397	SB2N-14 0 G+0.3Q Combination	-299	SB3N-14 0 G+0.3Q Combination	-202	SB4N-14 0 G+0.3Q Combination	-106
SBB-15 0 G+0.3Q Combination	-655	SBZ-15 0 G+0.3Q Combination	-548	SB1N-15 0 G+0.3Q Combination	-431	SB2N-15 0 G+0.3Q Combination	-323	SB3N-15 0 G+0.3Q Combination	-218	SB4N-15 0 G+0.3Q Combination	-115
SBB-16 0 G+0.3Q Combination	-762	SBZ-16 0 G+0.3Q Combination	-656	SB1N-16 0 G+0.3Q Combination	-546	SB2N-16 0 G+0.3Q Combination	-418	SB3N-16 0 G+0.3Q Combination	-290	SB4N-16 0 G+0.3Q Combination	-162
SBB-17 0 G+0.3Q Combination	-536	SBZ-17 0 G+0.3Q Combination	-462	SB1N-17 0 G+0.3Q Combination	-356	SB2N-17 0 G+0.3Q Combination	-267	SB3N-17 0 G+0.3Q Combination	-180	SB4N-17 0 G+0.3Q Combination	-94
SBB-18 0 G+0.3Q Combination	-525	SBZ-18 0 G+0.3Q Combination	-467	SB1N-18 0 G+0.3Q Combination	-367	SB2N-18 0 G+0.3Q Combination	-277	SB3N-18 0 G+0.3Q Combination	-188	SB4N-18 0 G+0.3Q Combination	-99
SBB-19 0 G+0.3Q Combination	-493	SBZ-19 0 G+0.3Q Combination	-402	SB1N-19 0 G+0.3Q Combination	-329	SB2N-19 0 G+0.3Q Combination	-250	SB3N-19 0 G+0.3Q Combination	-168	SB4N-19 0 G+0.3Q Combination	-85
SBB-20 0 G+0.3Q Combination	-424	SBZ-20 0 G+0.3Q Combination	-356	SB1N-20 0 G+0.3Q Combination	-296	SB2N-20 0 G+0.3Q Combination	-232	SB3N-20 0 G+0.3Q Combination	-165	SB4N-20 0 G+0.3Q Combination	-98
SBB-21 0 G+0.3Q Combination	-511	SBZ-21 0 G+0.3Q Combination	-446	SB1N-21 0 G+0.3Q Combination	-344	SB2N-21 0 G+0.3Q Combination	-258	SB3N-21 0 G+0.3Q Combination	-173	SB4N-21 0 G+0.3Q Combination	-90
SBB-22 0 G+0.3Q Combination	-480	SBZ-22 0 G+0.3Q Combination	-433	SB1N-22 0 G+0.3Q Combination	-344	SB2N-22 0 G+0.3Q Combination	-261	SB3N-22 0 G+0.3Q Combination	-177	SB4N-22 0 G+0.3Q Combination	-92
SBB-23 0 G+0.3Q Combination	-859	SBZ-23 0 G+0.3Q Combination	-737	SB1N-23 0 G+0.3Q Combination	-594	SB2N-23 0 G+0.3Q Combination	-447	SB3N-23 0 G+0.3Q Combination	-302	SB4N-23 0 G+0.3Q Combination	-155
SBB-24 0 G+0.3Q Combination	-468	SBZ-24 0 G+0.3Q Combination	-420	SB1N-24 0 G+0.3Q Combination	-344	SB2N-24 0 G+0.3Q Combination	-264	SB3N-24 0 G+0.3Q Combination	-179	SB4N-24 0 G+0.3Q Combination	-93
SBB-25 0 G+0.3Q Combination	-657	SBZ-25 0 G+0.3Q Combination	-579	SB1N-25 0 G+0.3Q Combination	-461	SB2N-25 0 G+0.3Q Combination	-346	SB3N-25 0 G+0.3Q Combination	-235	SB4N-25 0 G+0.3Q Combination	-122
SBB-26 0 G+0.3Q Combination	-851	SBZ-26 0 G+0.3Q Combination	-699	SB1N-26 0 G+0.3Q Combination	-548	SB2N-26 0 G+0.3Q Combination	-411	SB3N-26 0 G+0.3Q Combination	-277	SB4N-26 0 G+0.3Q Combination	-145
SBB-27 0 G+0.3Q Combination	-618	SBZ-27 0 G+0.3Q Combination	-538	SB1N-27 0 G+0.3Q Combination	-421	SB2N-27 0 G+0.3Q Combination	-315	SB3N-27 0 G+0.3Q Combination	-212	SB4N-27 0 G+0.3Q Combination	-110
SBB-28 0 G+0.3Q Combination	-468	SBZ-28 0 G+0.3Q Combination	-406	SB1N-28 0 G+0.3Q Combination	-313	SB2N-28 0 G+0.3Q Combination	-234	SB3N-28 0 G+0.3Q Combination	-160	SB4N-28 0 G+0.3Q Combination	-89
SBB-29 0 G+0.3Q Combination	-500	SBZ-29 0 G+0.3Q Combination	-444	SB1N-29 0 G+0.3Q Combination	-364	SB2N-29 0 G+0.3Q Combination	-278	SB3N-29 0 G+0.3Q Combination	-187	SB4N-29 0 G+0.3Q Combination	-90
SBB-30 0 G+0.3Q Combination	-771	SBZ-30 0 G+0.3Q Combination	-681	SB1N-30 0 G+0.3Q Combination	-532	SB2N-30 0 G+0.3Q Combination	-401	SB3N-30 0 G+0.3Q Combination	-271	SB4N-30 0 G+0.3Q Combination	-143
SBB-31 0 G+0.3Q Combination	-510	SBZ-31 0 G+0.3Q Combination	-454	SB1N-31 0 G+0.3Q Combination	-375	SB2N-31 0 G+0.3Q Combination	-286	SB3N-31 0 G+0.3Q Combination	-193	SB4N-31 0 G+0.3Q Combination	-97
SBB-32 0 G+0.3Q Combination	-464	SBZ-32 0 G+0.3Q Combination	-400	SB1N-32 0 G+0.3Q Combination	-308	SB2N-32 0 G+0.3Q Combination	-231	SB3N-32 0 G+0.3Q Combination	-156	SB4N-32 0 G+0.3Q Combination	-84

Kolon kesitlerinin diğer yönünde de etkin kesit rijitlik değerinin hesaplanması için, hesap yapılan kesit için, Şekil73'te görülen "Angle (Deg)" kısmına 90 yazılır ve kesitin diğer yönü için elde edilen akma momenti ile akma eğriliği değerleri kullanılarak yukarıdaki gibi işlem adımları tekrarlanarak hesaplanır. Hesaplamalar Excel programıyla yapılmıştır. Tablo 22'de A Blok binası bodrum katta bulunan bazı kolonlarının X ve Y yönleri için etkin kesit rijitlikleri (EI)<sub>e</sub> değerlerinin elde edildiği sunulmuştur. A ve B Blokte bulunan toplam 394 adet kolonun etkin kesit rijitlik değeri, eksenel yükler göz önünde bulundurularak bu şekilde elde edilmiştir.

Tablo 22. Kolon etkin kesit rijitliklerinin bulunması

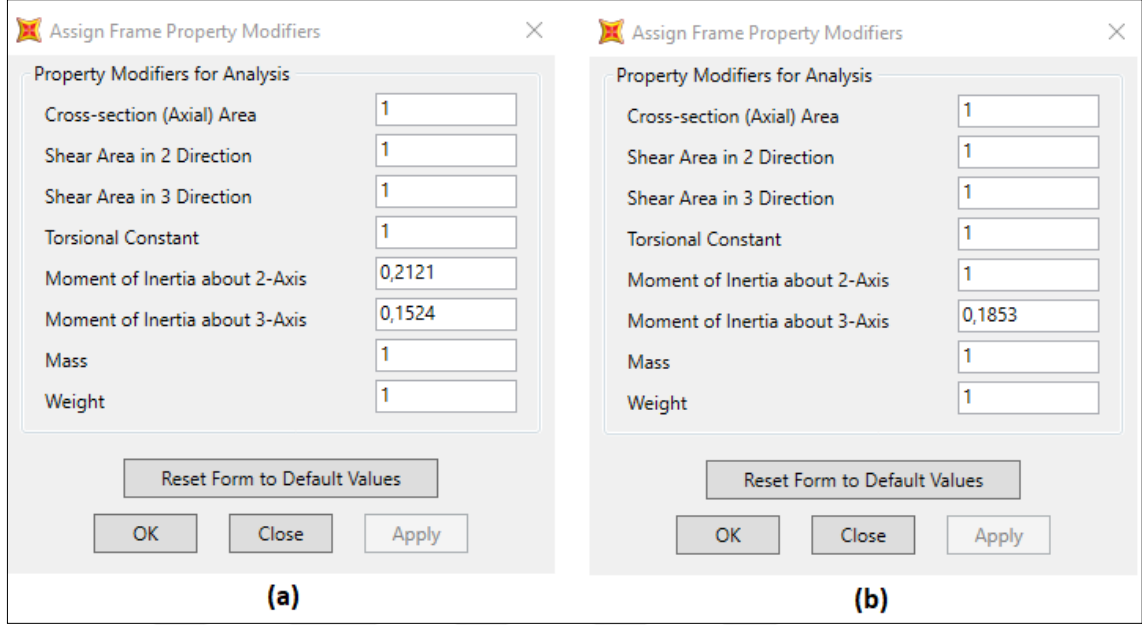
η		Blok	f <sub>ye</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	f <sub>ce</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	Elastisite Modülü (kN/m <sup>2</sup> )											
1		B Blok	220	15,1	26600000	$\theta_y = \frac{\phi_y L_s}{3} + 0.0015 \eta \left( 1 + 1.5 \frac{h}{L_s} \right) + \frac{\phi_y d_b f_{ye}}{8 \sqrt{f_{ce}}} \quad (EI)_e = \frac{M_y L_s}{\theta_y 3}$										
		A Blok	220	16,11	27000000											
		Bağ Kiriş	220	15,605	26800000											
Betonarme Detayları														M2	M3	
Kolonlar	Boyutlar	Boyuna Don.	Etriye	Net Açıklık	Ls	b (m)	h (m)	I (m <sup>4</sup> )	EI(A Blok)	Phi-yield	My	θ <sub>y</sub>	(EI) <sub>e</sub>	Eğilme Rijitliği Azaltma Katsayısı		
SAB-1	x-x	50X25	8Q14	6Q17	2,5	1,25	0,25	0,5	0,000651042	17578,125	0,01035239	54,6	0,007706506	2952,05126	0,1679	0,1564
	y-y						0,5	0,25	0,002604167	70312,5	0,0046426	114,285	0,004329739	10998,06543		
SAB-2	x-x	25X60	10Q16	6Q17	2,5	1,25	0,6	0,25	0,0045	121500	0,00387416	185,815	0,003988934	19409,42764	0,1597	0,1653
	y-y						0,25	0,6	0,00078125	21093,75	0,01072267	68,822	0,008223239	3487,170059		
SAB-3	x-x	30X60	10Q18	6Q17	2,5	1,25	0,6	0,3	0,0054	145800	0,00431824	227,2	0,004371821	21653,82782	0,1485	0,1771
	y-y						0,3	0,6	0,00135	36450	0,00953809	119,787	0,007730506	6456,401271		

Plastik davranışına göre modellenen kiriş kesitlerinin etkin kesit rijitliklerini elde etmek için, kolonlardan farklı olarak, normal kuvvet değeri “0” alınarak, pozitif ve negatif moment yönünde, moment-eğrilik çizdirilir. Bunun için “Angle (Deg)” kutusuna 0 ve 180 değerleri girilir, akma momenti ve eğrilik büyüklükleri her iki yön için belirlenir. Plastik mafsalın akma dönmesinin hesabında bu değerlerin ortalaması kullanılır. Hesaplamalar Excel programı yardımıyla yapılmıştır. Tablo 23’te B Blok binasının bodrum katında bulunan bazı kirişler için etkin kesit rijitliklerin elde edilmesi sunulmuştur. A ve B Bloкта bulunan toplam 480 adet kirişin etkin kesit rijitlik değeri bu şekilde elde edilmiştir. A ve B Bloкта toplam 956 kiriş bulunmasına rağmen 480 adet etkin kesit rijitlik değeri hesaplanmasının sebebi normal kat benzerliğidir.

Tablo 23. Kiriş etkin kesit rijitliklerinin bulunması

η		Blok	f <sub>ye</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	f <sub>ce</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	Elastisite Modülü (kN/m <sup>2</sup> )													
1		B Blok	220	15,1	26600000	$\theta_y = \frac{\phi_y L_s}{3} + 0.0015 \eta \left( 1 + 1.5 \frac{h}{L_s} \right) + \frac{\phi_y d_b f_{ye}}{8 \sqrt{f_{ce}}} \quad (EI)_e = \frac{M_y L_s}{\theta_y 3}$												
		A Blok	220	16,11	27000000													
		Bağ Kiriş	220	15,605	26800000													
Betonarme Detayları														M3				
B Blok Kirişler	Boyutlar	Net Açıklık	Ls	b (m)	h (m)	I (m <sup>4</sup> )	EI(B Blok)	db	φ (0)+	φ (180)-	φ (ort)	My+(0)	My-(180)	My(ort)	θ <sub>y</sub>	(EI) <sub>e</sub>	Eğilme Rijitliği Azaltma Katsayısı	
KB-220(25/50)	x-x	25x50	1,2	0,6	0,5	0,25	0,002604167	69270,83333	0,012	0,00307125	0,00298252	0,003026885	37,514	32,283	34,899	0,004226719	1651,328241	0,0238
KB109(25/50)	x-x	25x50	1,475	0,7375	0,5	0,25	0,002604167	69270,83333	0,012	0,00304152	0,00295838	0,00299995	37,9	32,521	35,211	0,004007061	2160,165376	0,0312
KB110(25/50)	x-x	25x50	3,875	1,9375	0,5	0,25	0,002604167	69270,83333	0,012	0,00304152	0,00295838	0,00299995	37,9	32,521	35,211	0,004262263	5742,744215	0,0829
KB110(25/50)	x-x	25x50	3,675	1,8375	0,5	0,25	0,002604167	69270,83333	0,012	0,00304152	0,00295838	0,00299995	37,9	32,521	35,211	0,004193864	5535,170076	0,0799

Kolonlar ve kirişler için hesaplanan etkin kesit rijitlik değerleri, kesitin brüt eğilme rijitliği hesaplanarak bu değerlere bölünür ve eğilme rijitliği azaltma katsayısı kolonlar (Tablo 22) ve kirişler (Tablo 23) için elde edilir. Kolonlar ve kirişler için elde edilen tüm bu değerler kesit özelliklerini değiştirme menüsünde “Assign / Frame / Assign Frame Property Modifiers” her bir kesit için ayrı ayrı olmak üzere ilgili kutularına yazılır (Şekil 74).

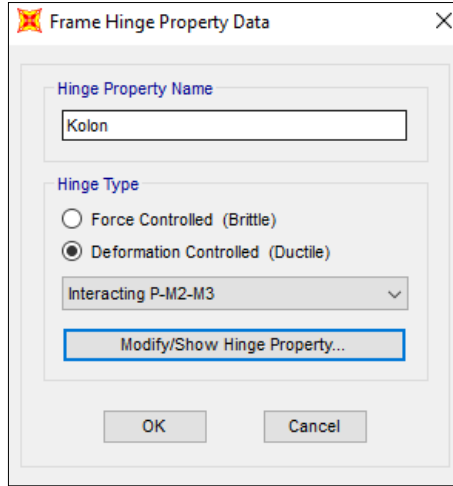


Şekil 74. Kolon (a) ve kiriş (b) eğilme rijitliği azaltma katsayılarının tanımlanması

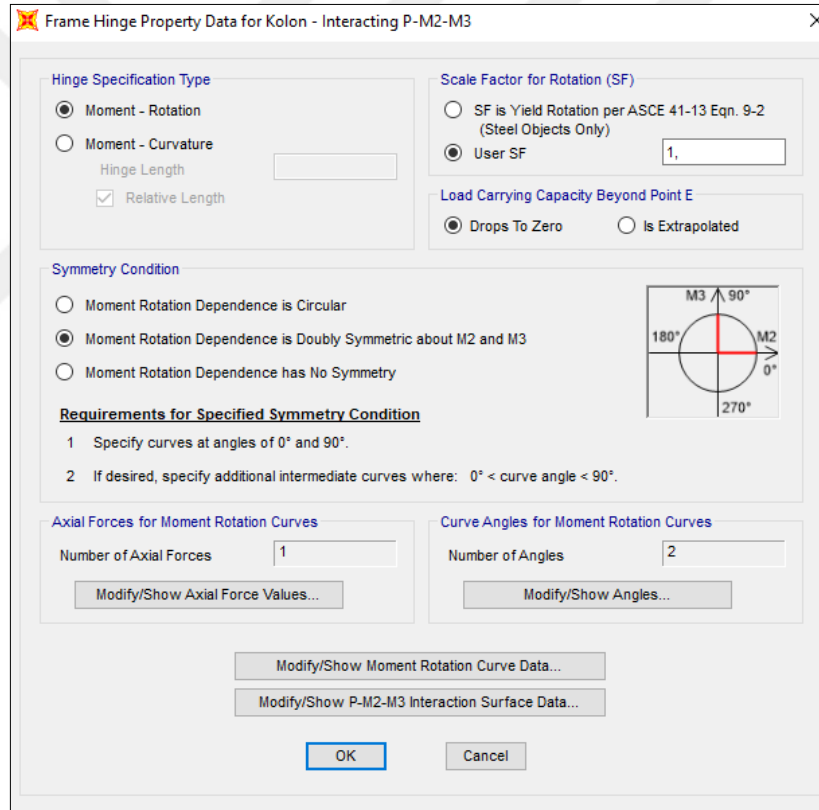
### 3.8.2. Plastik Mafsal Tanımlamaları ve Elemanlara Atanması

Kirişler için eğilme momenti mafsalı (M) tanımlanması yeterli iken kolonlarda eksenel kuvvet ile iki eksendeki eğilme momenti etkileri dikkate alınarak (P-M-M) mafsalı tanımlanması gerekmektedir.

“Define / Section Properties / Hinge Properties” menüsü kullanılarak deformasyon kontrollü P-M-M mafsalı kolon için oluşturulur (Şekil 75) ve mafsal özellikleri girilir (Şekil 76). Kolonların ana eksenine göre simetrikliği belirlenerek simetri koşulları düzenlenir.



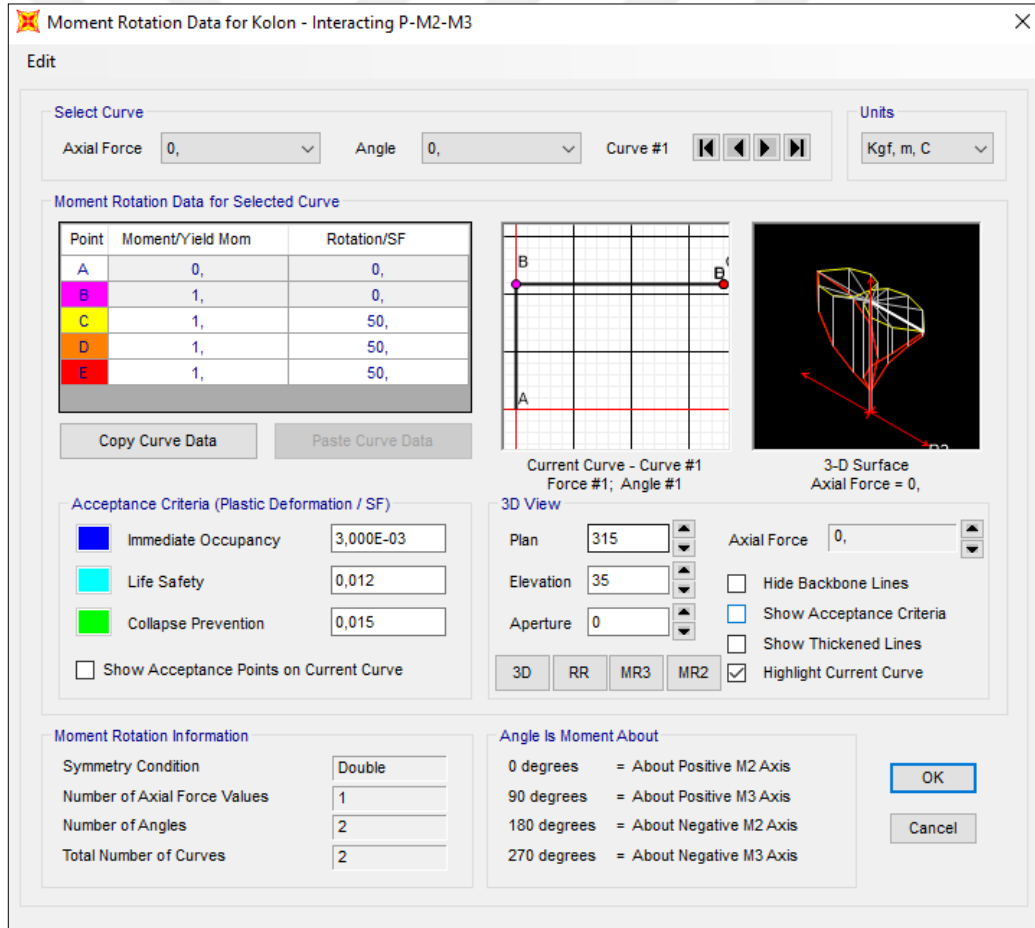
Şekil 75. Kolon elemanları için plastik mafsal tanımlanması



Şekil 76. Kolon elemanlarda plastik mafsal özellikleri

“Modify/Show Moment Rotation Curve Data” menüsüne girildiğinde mafsalın moment-dönme ilişkisi tanımlanabilir (Şekil 77). TBDY-2018’e göre kesitte plastik dönme akma momentine ulaşıldıktan sonra başlar ve kesit akma momentine değeri kadar

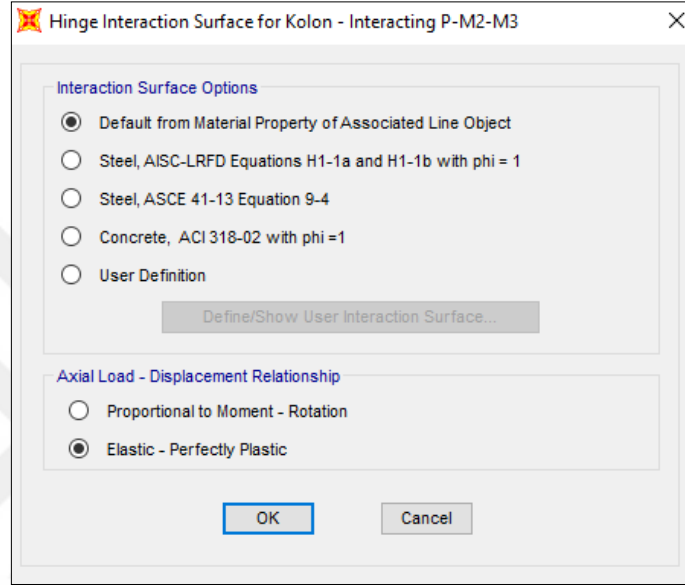
elastik dönme yapar. SAP2000 yazılımındaki plastik mafsal tanımında; A noktası başlangıç olup, B noktasına kadar elastik davranış gerçekleştiği kabul edilir. C noktası plastik dönmenin olacağı bölgedir. D ve E noktaları, akma sonrasında ilave kapasite kullanılmadığı halde C ile aynı kabul edilir. Kesitin ne kadar döneceği bilinmediği için, dönmenin akma dönmesine oranı büyük bir değer verilerek analizin kesilmeden tamamlanması sağlanabilir (TPB, 2018). Momentin akma momentine oranı, ek kapasite olmayacağı durumda 1'e eşittir. "Acceptance Criteria (Plastic-Deformation / SF)" alanındaki performans hedefleri, plastik dönme sınırının belirli oranları olarak girildiğinde plastik mafsalın kapasite sınırları doğrudan tespit edilebilir. Tez çalışması kapsamında, söz konusu sınırlar Excel programı ile hesaplanarak kesitlerin performansları belirlenmiştir.



Şekil 77. Kolon elemanlarda plastik mafsala ait tanımlamalar



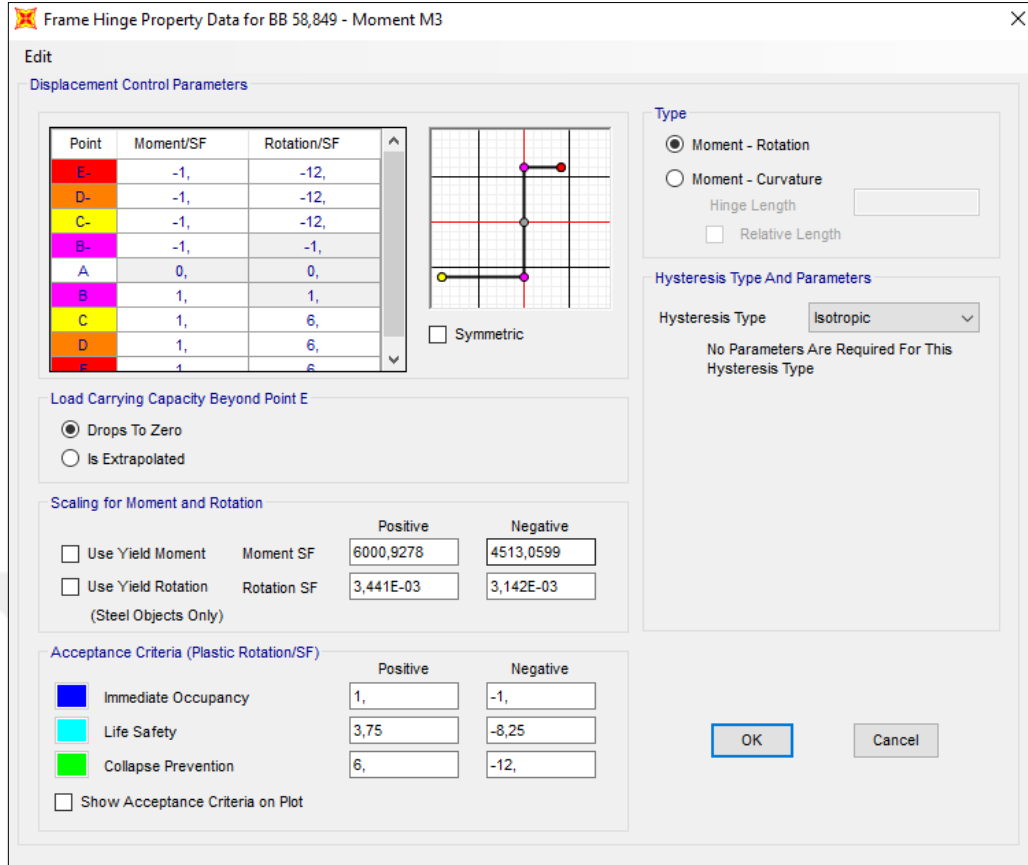
Şekil 76’da verilen plastik mafsal menüsünden “Modify/Show P-M2-M3 Interaction Surface” alt menüsüne girilirse, P-M2-M3 yüzeylerinin (eksenel kuvvet-moment eğrileri) tanımlanma biçimlerine ulaşılır (Şekil 78). Tez kapsamında kullanılan modelde tüm kesitler Section Designer yazılımı ile oluşturulduğundan, P-M etkileşim yüzeyleri doğrudan elde edilir. Bu aşamada, betonarme kesitin ekstenel yük altında elastik şekildeğiştirme yaptığı kabul edilmektedir.



Şekil 78. Kolon elemanlarda plastik mafsal P-M etkileşim yüzeyi seçimi

Kirişlerin her iki ucuna atanacak plastik mafsalların tanımı için “Define/Section Properties/Hinge Properties” menüsü kullanılarak şekildeğiştirme kontrollü moment M3 mafsalı oluşturulur.

Mafsal özelliklerini tanımlamak üzere “Modify/Show Hinge Property” alt menüsüne tıklanır. Plastik mafsal tipi “Moment-Rotation” olarak seçilerek ilişkisi Şekil 79’daki gibi tanımlanır. Bu menüdeki “Scaling for Moment and Rotation” bölümünde, “Section Designer” yazılımıyla gerçekleştirilen kesit analizlerinden elde edilen pozitif ve negatif akma momentleri “Moment SF”, bu akma değerlerinin sahip olduğu akma eğriliği değerleri “Rotation SF” olarak girilir. A ve B Blok bulunan kirişler için toplam 152 farklı plastik mafsal tanımlaması yapılmıştır.



Şekil 79. Kiriş elemanlarda plastik mafsall oluşturulması ve tanımlamalar

Kolon ve kiriş elemanlar için tanımlanan plastik mafsallar, kolonların alt ve üst uçlarına, kirişlerin ise sağ ve sol uçlarına “Assign / Frame / Hinges” menüsüne girilerek atanmıştır.

### 3.8.3. Zaman Tanım Alanında Analiz

Doğrusal olmayan yöntemlerde yapıya ilk olarak düşey yükler etkililir. Elde edilen iç kuvvetler ile şekildeğiştirmeler, başlangıç değerleri olarak göz önüne alınır. Bu durumdan kaynaklı nonlineer statik olarak ayrı bir yükleme tanımlanması gerekir. Ölü ve hareketli yükleri içeren bu yükleme Şekil 80'deki gibi tanımlanmıştır.

Load Case Data - Nonlinear Static

Load Case Name: PUSH-G

Load Case Type: Static

Initial Conditions:  Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

Analysis Type:  Nonlinear

Modal Load Case: All Modal Loads Applied Use Modes from Case (MODAL)

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	DEAD	1,
Load Pattern	LL	0,3

Other Parameters: Load Application: Full Load; Results Saved: Final State Only; Nonlinear Parameters: Default

Buttons: Add, Modify, Delete, OK, Cancel

Şekil 80. Nonlineer düşey yükleme durumu tanımlanması

### 3.8.3.1. Deprem Kaydı Seçimi

Hesapta kullanılacak gerçek deprem kayıtları AFAD veri tabanından elde edilmiş ve bu kayıtlarla ilgili detaylar Tablo 24’te sunulmuştur.

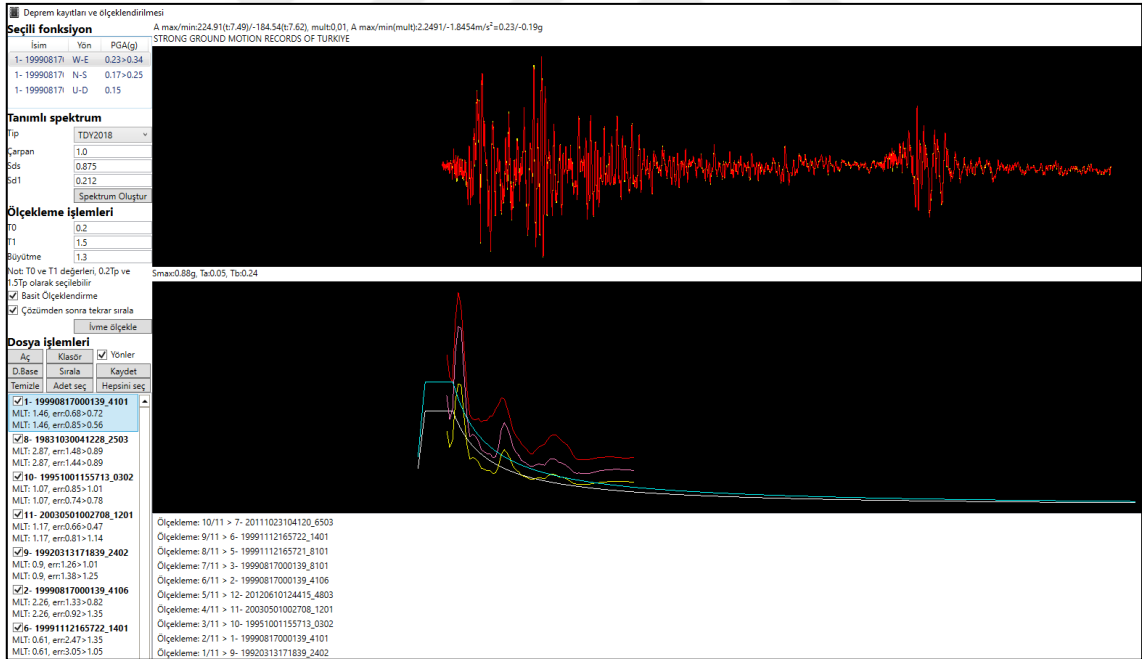
Tablo 24. Seçilen deprem kayıtları

Kayıt No	Yer	Tarih	Büyükük	Derinlik
19990817000139_4101	Kocaeli Merkez	17/08/1999	7.4Md	15.9 km
19990817000139_4106	Kocaeli Gebze	17/08/1999	7.4Md	15.9 km
19990817000139_8101	Düzce Merkez	17/08/1999	7.4Md	15.9 km
19991112165721_8101	Düzce Merkez	12/11/1999	7.2Md	11 km
19991112165722_1401	Bolu Merkez	12/11/1999	7.2Md	11 km
20111023104120_6503	Van Muradiye	23/10/2011	6.7Md	19.02 km
19831030041228_2503	Erzurum Horasan	30/10/1983	6.0 ML	16 km
19920313171839_2402	Erzincan Merkez	13/03/1992	6.1 ML	23 km
19951001155713_0302	Afyon Dinar	01/10/1995	6.0 ML	5 km
20030501002708_1201	Bingöl Merkez	01/05/2003	6.1 Md	6 km
20120610124415_4803	Muğla Fethiye	10/06/2012	6.0 ML	6.82 km

### 3.8.3.2. Seçilen Yer İvme Kayıtlarının Ölçeklendirilmesi

Elde edilen yer ivme kayıtları, TBDY-2018 gereği, ölçeklendirilmeden kullanılamaz. Ölçeklendirme detayları bölüm 2.4.5.1.1.'de açıklanmıştır. Elde edilen kayıtların ölçeklendirme işlemi Sta4Cad paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İşlem adımları şu şekildedir:

Sta4CAD ana ekranından “Yapı Performans Analizi” menüsüne girilir. Buradan “Deprem Ölçekleme” menüsüne tıklanarak Şekil 81’deki ekran açılır. Öncelikle “Tanımlı spektrum” kısmına, belirli bir deprem yer hareketi düzeyi için, bulunduğu konum ve zemin özelliklerine göre bağlı olarak elde edilen  $S_{DS}$  ve  $S_{D1}$  tasarım spektral ivme katsayıları girilir. Sonrasında tasarım ivme spektrumu oluşturulur. “Dosya işlemleri” kısmında elde edilen yer hareketi kayıtları getirilir. “Ölçekleme işlemi” kısmına ölçekleme aralığı ile büyütme değeri girildikten sonra “İvme ölçekle” butonuna tıklanılmasıyla tüm kayıtlar ölçeklenmiş olur.



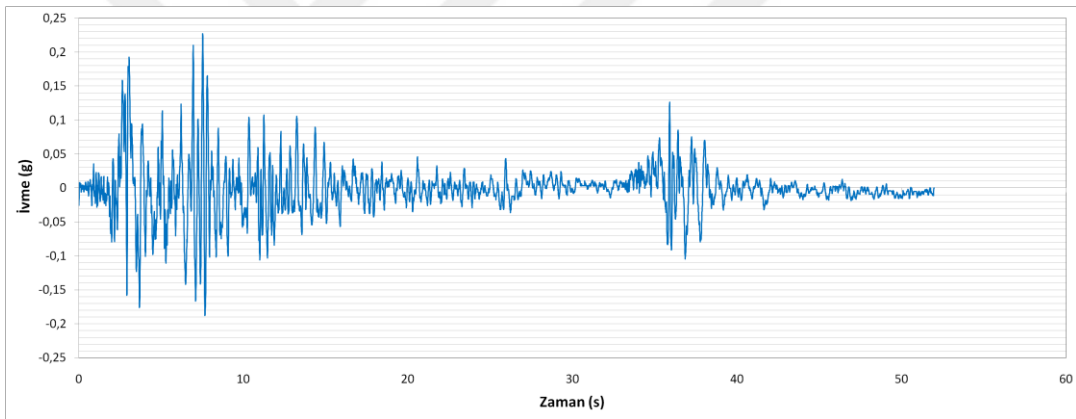
Şekil 81. STA4Cad deprem ölçekleme menüsü

Yönetmelik, üç boyutlu hesap için, seçilen deprem kayıtlarının iki yatay bileşenine ait spektrumların karelerinin toplamının karekökü alınarak bileşke yatay spektrum oluşturulmasını ve tüm kayıtlar için oluşturulan bileşke spektrumların

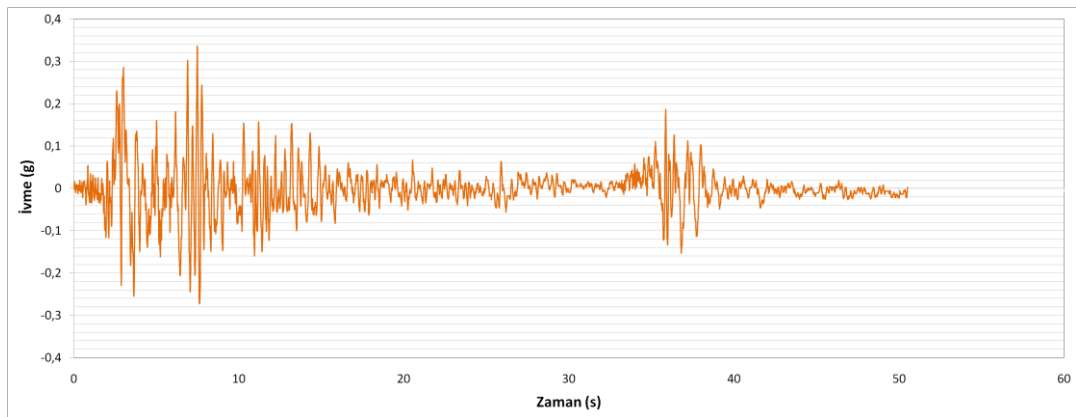
ortalamasının  $0.2T_p$  ve  $1.5T_p$  periyotları arasındaki genliklerinin, tasarım spektrumu aynı periyot aralığındaki genliklere oranının 1.3'ten daha küçük olmama kuralını belirtmiştir. Bu sebeple ölçekleme işlemi kısmında  $t_0$  alanına 0.2,  $T_1$  alanına 1.5 ve büyütme alanına 1.3 yazılır.

Sta4Cad ölçeklenen kayıtların, tasarım spektrumuna uyumluluk derecesini düzenleyerek en uyumluyu en başta olacak şekilde verir. Elde edilen ölçeklenmiş yer ivme kayıtları ve ölçeklenmiş spektrumlar “Kaydet” butonu ile kaydedilebilir.

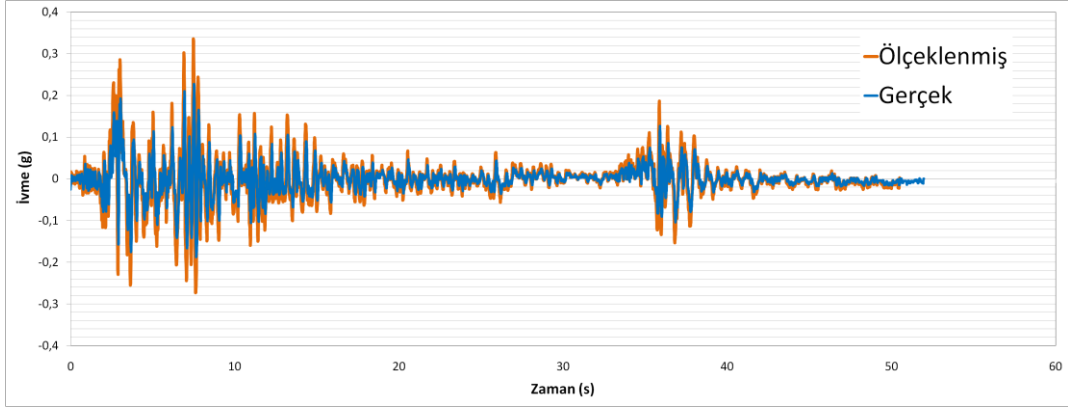
Örnek olması kaydıyla, tasarımla spektrumuyla en iyi uyumu sağlayan yer ivme kaydının (Kocaeli Merkez, Doğu-Batı) ölçeklenmemiş ve ölçeklenmiş ivme kayıtları Şekil 82, 83 ve 84'te gösterilmiştir. Şekil 84'ten anlaşıldığı üzere, gerçek ivme kaydının genlikleri büyütülerek ölçekleme işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 82. Kocaeli merkez depremi, gerçek ivme kaydı, doğu-batı

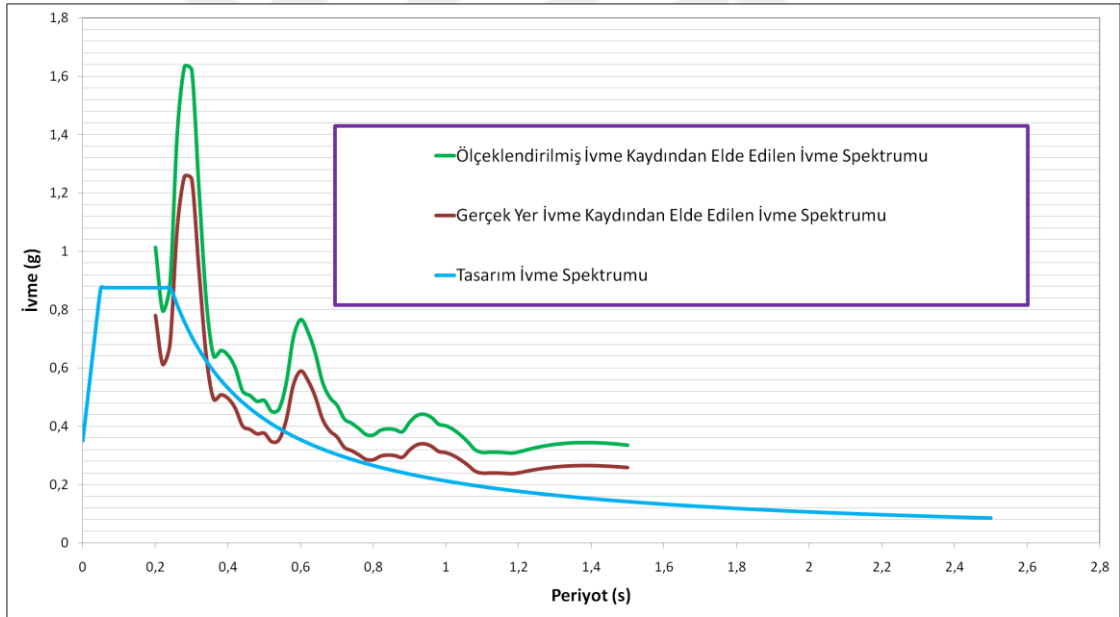


Şekil 83. Kocaeli merkez depremi, ölçeklenmiş ivme kaydı, doğu-batı



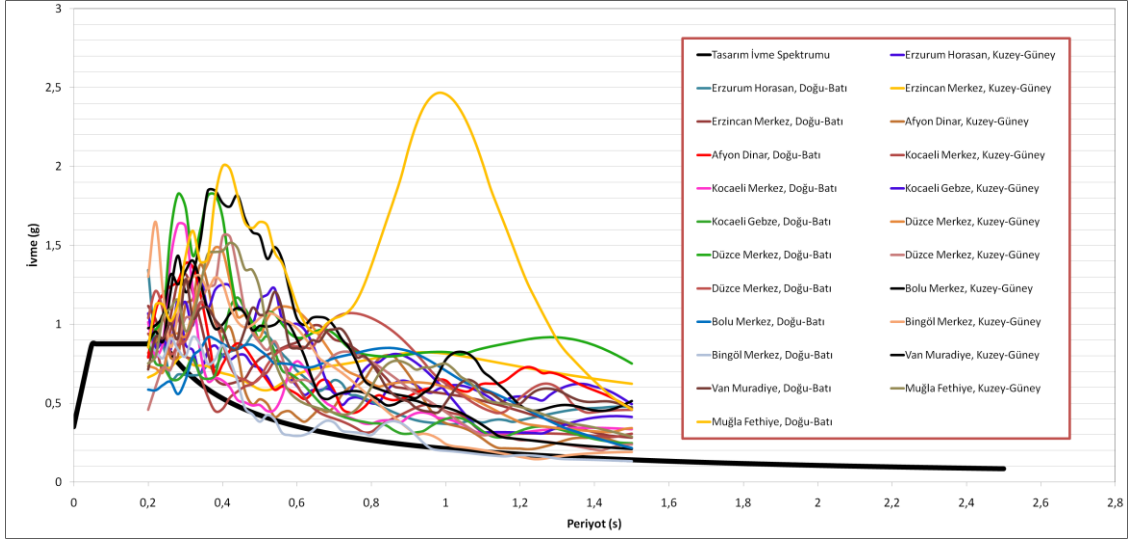
Şekil 84. Kocaeli merkez depremi, gerçek ve ölçeklenmiş ivme kaydı, doğu-batı

Aynı kaydın (Kocaeli Merkez, Doğu-Batı) ölçeklenmemiş ivme spektrumu ve ölçeklenmiş ivme spektrumu tasarım spektrumuyla aynı grafikte üzerinde gösterilmiştir (Şekil 85).



Şekil 85. Ölçeklenmemiş, ölçeklenmiş ve tasarım spektrumları

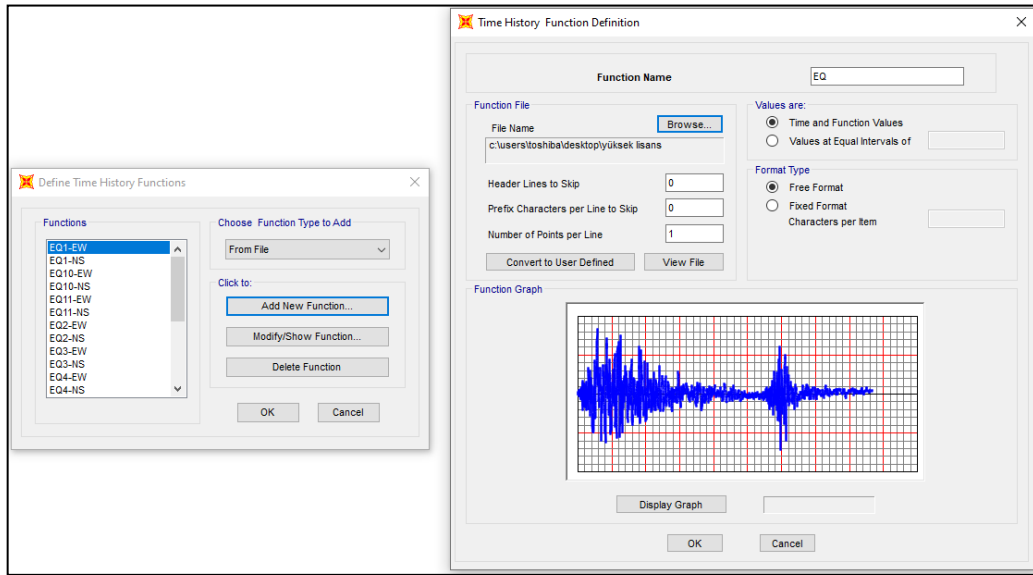
11 adet deprem kaydı takımından elde edilen 22 adet deprem yer ivme kaydının ölçeklendirilmiş ivme spektrumu ile tasarım ivme spektrumu karşılaştırması Şekil 86'da sunulmuştur.



Şekil 86. Tüm deprem kayıtlarının her iki yatay bileşenlerinin spektrumları

### 3.8.3.3. Doğrusal Olmayan Yüklemenin Tanımlanması

Ölçeklenmiş kaydın SAP2000 programına yüklenmesi için Define / Functions / Time History menüsüne gidilerek “Choose Function Type to Add” kısmından “From File” seçeneği seçilir (Şekil 87). Açılan pencerede “Time and Function Values” seçeneği seçilerek zaman ve ivme sütunlarından oluşan ölçeklenmiş ivme kayıtları (Şekil 87) getirilir.



Şekil 87. Deprem kaydı tanımlama menüsü



Kullanılan kayıt sırasıyla zaman ve ivme sütunlarından oluşmaktadır. Zaman saniye, ivme ise g birimindedir. Örnekleme aralığı 0.01 saniyedir (Şekil 88). Çalışma kapsamında kullanılan 22 adet kaydın hepsinin örnekleme aralığı 0.01 saniyedir.

Dosya	Düzen	Biçim	Görünüm	Yardım
0		0,00362551031665581		
0,01		0,0166825728693882		
0,02		0,00642801918830933		
0,03		0,013403066443955		
0,04		-0,00133169958030241		
0,05		0,00692744732446475		
0,06		0,00689734862268597		
0,07		0,0068930143755019		
0,08		0,0139497553649813		
0,09		0,0038800961468243		
0,1		0,00271971237906289		

Şekil 88. Ölçeklenmiş deprem kaydı

Analiz için yeni bir yükleme durumu oluşturulması gerekir (Şekil 89). Bu menüde yüklemenin ismi, başlangıç koşulu olarak dikkate alınacak yükleme, deprem kaydının etiketleneceği doğrultu, birimi, seçilen deprem kaydının adım sayısı, kaydın örnekleme aralığı, yük durumu ve diğer parametreler tanımlanır.

**Load Case Data - Nonlinear Direct Integration History**

Load Case Name: EQ11-1 [Set Def Name] Notes: [Modify/Show...]

Load Case Type: Time History [Design...]

Initial Conditions:

- Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State
- Continue from State at End of Nonlinear Case [PUSH-G]

Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Modal Load Case: Use Modes from Case [MODAL]

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	EQ11-EW	9,81
Accel	U2	EQ11-NS	9,81

[Add] [Modify] [Delete]

Show Advanced Load Parameters

Time Step Data:

- Number of Output Time Steps: 15000
- Output Time Step Size: 0,01

Other Parameters:

- Damping: [Proportional] [Modify/Show...]
- Time Integration: [Newmark] [Modify/Show...]
- Nonlinear Parameters: [User Defined] [Modify/Show...]

History Type:

- Transient  Consider Collapse
- Periodic

Mass Source: [G+0.3Q]

[OK] [Cancel]

Şekil 89. Zaman tanım alanında hesap için yük durumu oluşturulması

Birbirine dik yatay iki doğrultudaki ivme kayıtları taşıyıcı sistemin (X) ve (Y) asal eksenleri doğrultusunda aynı anda birlikte etki ettirilmiştir (Şekil 89). Daha sonra ivme kayıtlarının eksenleri 90 derece döndürülerek, yani U1 yönünde kullanılan kayıt U2 yönünde, U2 yönünde kullanılan kayıt U1 yönünde ayrı bir yükleme olarak tanımlanarak, hesap tekrarlanmıştır.

Yük durumu olarak “Time History” ve “Direct Integration” seçilir. “P-Delta” seçeneği de kullanılabilir fakat analiz süresini çok fazla uzattığından pek tercih edilmez.

Oluşturulan yükleme durumunda Rayleigh sönümü kullanılacaktır. Şekil 89’da “Other Parameters” alt menüsünde “Damping” bölümüne girilir. Bu bölümde periyoda bağlı sönüm değerleri girilir. İlk periyot olarak yapı hâkim periyodu, ikinci periyot olarak da modal kütlelerin %95’ten büyük kısmının katıldığı modun periyodu yazılır. “Recalculate Coefficients” sekmesine tıklanarak sönüm katsayıları %5 sönüm oranı için hesaplanır (Şekil 90).

Direct Integration Damping

Viscous Proportional Damping

Direct Specification

Specify Damping by Period

Specify Damping by Frequency

Mass Proportional Coefficient

Stiffness Proportional Coefficient

0,3107 1/sec

3,535E-03 sec

Period Frequency Damping

First 1,768 sec 0,05

Second 0,254 sec 0,05

Recalculate Coefficients

Additional Modal Damping

Include Additional Modal Damping

Modal Load Case

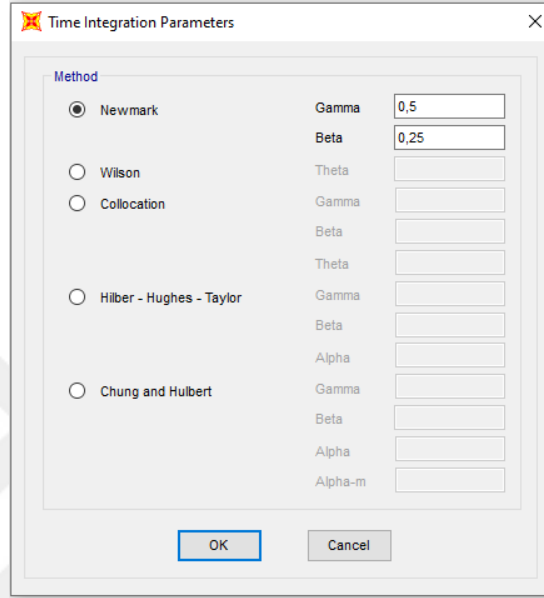
Maximum Considered Modal Frequency

Modify/Show Modal Damping Parameters...

OK Cancel

Şekil 90. Rayleigh sönümünün hesaplandığı menü

Sayısal integrasyon yöntemlerinden Newmark, sabit ortalama ivme yöntemi kullanılmıştır. Ortalama ivmeyi ifade eden  $\Gamma=1/2$  ve  $\beta=1/4$  değerlerinin veri girişleri Şekil 91’de gösterilmiştir. Newmark sayısal integrasyonunun çözümlenmesi sırasında yapı mühendisliğinde sayısal stabiliteyi daha iyi sağlamasından dolayı sabit ortalama ivme yöntemi genelde tercih edilmektedir (Darılmaz, 2019), (Kürkçü, 2019).



Şekil 91. Newmark sayısal integrasyon yönteminin tanımlanması

### 3.8.4. Analiz Sonuçları

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi ile binaların bağlı ve ayrık olma durumları için yapılan analiz sonuçlarının değerlendirilmesi; ilk bölümde bağ kirişlerinin performans düzeyleri, ikinci bölümde bağ kirişlerinin bağlandığı kolonların performans düzeyleri, üçüncü bölümde zemin kat kolonlarının performans düzeyleri, dördüncü bölümde bağ kirişlerinin doğrultusunda bulunan kolonların performans düzeyleri ve son olarak beşinci bölümde binaların taban kesme kuvvetleri elde edilerek gerçekleştirilmiştir.

### 3.8.4.1. Bağ Kirişlerin Performans Düzeyleri

Ön ve arka bölümde bulunan bağ kirişlerinde gerçekleştirilen 22 adet analizden elde edilen plastik dönme değerleri (rad.) Tablo 25’te sunulmaktadır. En büyük plastik dönme değer Kocaeli depreminde (EQ 2-2) oluşmuştur.

Ön bölümde bulunan bağ kirişlerinde plastik dönme sadece 4. Normal katta oluşmamıştır. Arka bölümde bulunan bağ kirişlerinde ise sadece 1. Normal katta plastik dönme gerçekleşmiştir ve sadece 5 adet deprem kaydı analizinde plastik dönme oluşmuştur. Bu durumun sebebini anlamak için Şekil 32 ve 33 tekrar incelenirse eğer, yapının ön bölümünde bulunan bağ kirişlerin direkt kolonlarla bağlantı sağladığı fakat arka bölümünde olan bağ kirişlerin çıkmaları birleştiren kirişlerle bağlantıda olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 25. Bağ kirişlerinde 22 adet analizden elde edilen plastik dönme değerleri

	Bağ Kirişleri	EQ 1-1	EQ 1-2	EQ 2-1	EQ 2-2	EQ 3-1	EQ 3-2	EQ 4-1	EQ 4-2	EQ 5-1	EQ 5-2	EQ 6-1	EQ 6-2	EQ 7-1	EQ 7-2	EQ 8-1	EQ 8-2	EQ 9-1	EQ 9-2	EQ 10-1	EQ 10-2	EQ 11-1	EQ 11-2		
556	4. Normal H1 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	4. Normal H2 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	4. Normal H1 180	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	4. Normal H2 180	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	3. Normal H1 0	0.001271	0.001013	0.00237	0.002378	0.003825	0.000592	0	0.004136	0.001075	0.000696	0.000887	0.001398	0.001442	0.003035	0.00425	0.000747	0.003546	0.00081	0.003946	0.002511	0.005182	0.000277	0	
	3. Normal H2 0	0.000914	0.004509	0.001809	0.000963	0.000803	0.001459	0.000372	0.00108	0.002196	0.003371	0.002486	0.005653	0.003542	0.002203	0.00191	0.003919	0.003091	0.004628	0.004746	0.003185	0.004954	0.002774	0	
	3. Normal H1 180	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	3. Normal H2 180	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2. Normal H1 0	0.005313	0.003642	0.00531	0.006615	0.007285	0.001969	0.001946	0.009945	0.005293	0.003316	0.003862	0.005346	0.002676	0.004554	0.006622	0.0002662	0.004911	0.00518	0.005636	0.006027	0.00597	0.002012	0	
	2. Normal H2 0	0.003727	0.006355	0.006899	0.004565	0.003953	0.005491	0.000772	0.005566	0.006063	0.001158	0.005526	0.006802	0.005211	0.00473	0.006214	0.004157	0.006044	0.007133	0.007976	0.006232	0.00772	0.003519	0	
	2. Normal H1 180	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2. Normal H2 180	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
69	1. Normal H1 0	0.006039	0.005094	0.009208	0.009915	0.010061	0.006045	0.004977	0.007033	0.006512	0.008215	0.008047	0.009612	0.005373	0.003598	0.008456	0.005074	0.008646	0.009005	0.007971	0.009427	0.007417	0.006529	0	
	1. Normal H2 0	0.006726	0.008804	0.009824	0.008951	0.008821	0.008872	0.00278	0.003497	0.005676	0.009449	0.007204	0.006799	0.00919	0.008376	0.007053	0.007097	0.007955	0.009266	0.007371	0.010561	0.006187	0	0	
	1. Normal H1 180	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	1. Normal H2 180	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Zemin H1 0	0.007182	0.006079	0.015276	0.014634	0.012642	0.008018	0.004696	0.010844	0.006826	0.010887	0.009184	0.0142	0.006195	0.007265	0.010354	0.006945	0.011943	0.012325	0.012223	0.011337	0.006718	0.006424	0	
	Zemin H2 0	0.011378	0.008972	0.01498	0.016967	0.011213	0.011251	0.00589	0.003455	0.006895	0.012491	0.008299	0.013185	0.005365	0.009552	0.011207	0.008744	0.010375	0.014804	0.013762	0.011782	0.013205	0.007145	0	
	Zemin H1 180	0.002201	0.005522	0.00536	0.00747	0.002309	0.001312	0	0	-0.003384	0	0.004007	0	0.000322	0.002217	0	0.00157	0.004951	0.003862	0.002127	0.003829	0	0	0	
	Zemin H2 180	0	0	0.005935	-0.005738	0.003141	0	0	0.002242	0	-0.002076	0.000104	0.005072	0	0	0.00149	0	0.002542	0.002369	0.003633	0.002037	0	0	0	
	4. Normal H1 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	4. Normal H2 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	4. Normal H1 180	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	4. Normal H2 180	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
995	3. Normal H1 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	3. Normal H2 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	3. Normal H1 180	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	3. Normal H2 180	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2. Normal H1 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2. Normal H2 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2. Normal H1 180	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2. Normal H2 180	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	1. Normal H1 0	0	0	0.001551	0.000156	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000086	0	0.000336	0	0	0	0
	1. Normal H2 0	0	0	0.001251	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000583	0	0	0.00018	0	0	0
	1. Normal H1 180	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	1. Normal H2 180	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
159	Zemin H1 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Zemin H2 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Zemin H1 180	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Zemin H2 180	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Bağ kirişlerin performans düzeylerini belirlemek için öncelikle 22 adet analizden elde edilen en büyük şekilgeçirme taleplerinin ortalamaları alınmıştır. Sonrasında bağ kirişlerin Denk.(2.33) ile  $\theta_p^{(G\ddot{O})}$  ve buna bağlı olarak Denk.(2.35) ile  $\theta_p^{(KH)}$  plastik dönme sınır değerleri elde edilmiştir. Taleplerin ortalama değerleri plastik dönme sınır değerleri ile karşılaştırılarak bağ kirişlerin performans düzeyleri elde edilmiştir (Tablo 26). Göçme öncesi eğriliği ifade eden  $\phi_u$  değeri “Section Designer” yazılımından elde edilmiştir ve bu değer Şekil 73’te “Phi-Conc” bölümünde yazan değerdir.

Tablo 26. Plastik mafsal sınır değerleri ve bağ kirişlerin performansları

$$\theta_p^{(G\ddot{O})} = \frac{2}{3} \left[ (\phi_u - \phi_y) L_p \left( 1 - 0.5 \frac{L_p}{L_s} \right) + 4.5 \phi_u d_b \right] \quad \theta_p^{(KH)} = 0.75 \theta_p^{(G\ddot{O})} \quad \theta_p^{(SH)} = 0$$

Bağ Kirişleri	Ortalama	$\phi_u$	$\phi_y$	$L_p$	$L_s$	$d_b$	$\theta_p^{(G\ddot{O})}$	$\theta_p^{(KH)}$	$\theta_p^{(SH)}$	KESİT HASAR BÖLGELERİ	KESİT HASAR DURUMLAR
4. Normal H1 0	0	0,14370522	0,002925228	0,25	1,5	0,016	0,028405905	0,021304429	0	SINIRLI HASAR BÖLGESİ	SINIRLI HASAR
4. Normal H2 0	0	0,14370522	0,002925228	0,25	1,5	0,016	0,028405905	0,021304429	0	SINIRLI HASAR BÖLGESİ	SINIRLI HASAR
4. Normal H1 180	0	0,07584085	0,00361701	0,25	1,5	0,016	0,014674559	0,011005919	0	SINIRLI HASAR BÖLGESİ	SINIRLI HASAR
4. Normal H2 180	0	0,07584085	0,00361701	0,25	1,5	0,016	0,014674559	0,011005919	0	SINIRLI HASAR BÖLGESİ	SINIRLI HASAR
3. Normal H1 0	0,002171682	0,14370522	0,002925228	0,25	1,5	0,016	0,028405905	0,021304429	0	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	KONTROLLÜ HASAR
3. Normal H2 0	0,002753045	0,14370522	0,002925228	0,25	1,5	0,016	0,028405905	0,021304429	0	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	KONTROLLÜ HASAR
3. Normal H1 180	0	0,07584085	0,00361701	0,25	1,5	0,016	0,014674559	0,011005919	0	SINIRLI HASAR BÖLGESİ	SINIRLI HASAR
3. Normal H2 180	0	0,07584085	0,00361701	0,25	1,5	0,016	0,014674559	0,011005919	0	SINIRLI HASAR BÖLGESİ	SINIRLI HASAR
2. Normal H1 0	0,004593727	0,14370522	0,002925228	0,25	1,5	0,016	0,028405905	0,021304429	0	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	KONTROLLÜ HASAR
2. Normal H2 0	0,005490591	0,14370522	0,002925228	0,25	1,5	0,016	0,028405905	0,021304429	0	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	KONTROLLÜ HASAR
2. Normal H1 180	0	0,07584085	0,00361701	0,25	1,5	0,016	0,014674559	0,011005919	0	SINIRLI HASAR BÖLGESİ	SINIRLI HASAR
2. Normal H2 180	0	0,07584085	0,00361701	0,25	1,5	0,016	0,014674559	0,011005919	0	SINIRLI HASAR BÖLGESİ	SINIRLI HASAR
1. Normal H1 0	0,007375182	0,14370522	0,002925228	0,25	1,5	0,016	0,028405905	0,021304429	0	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	KONTROLLÜ HASAR
1. Normal H2 0	0,007541455	0,14370522	0,002925228	0,25	1,5	0,016	0,028405905	0,021304429	0	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	KONTROLLÜ HASAR
1. Normal H1 180	0	0,07584085	0,00361701	0,25	1,5	0,016	0,014674559	0,011005919	0	SINIRLI HASAR BÖLGESİ	SINIRLI HASAR
1. Normal H2 180	0	0,07584085	0,00361701	0,25	1,5	0,016	0,014674559	0,011005919	0	SINIRLI HASAR BÖLGESİ	SINIRLI HASAR
Zemin H1 0	0,009645318	0,14370522	0,002925228	0,25	1,5	0,016	0,028405905	0,021304429	0	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	KONTROLLÜ HASAR
Zemin H2 0	0,010515773	0,14370522	0,002925228	0,25	1,5	0,016	0,028405905	0,021304429	0	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	KONTROLLÜ HASAR
Zemin H1 180	0,001748864	0,07584085	0,00361701	0,25	1,5	0,016	0,014674559	0,011005919	0	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	KONTROLLÜ HASAR
Zemin H2 180	0,000943318	0,07584085	0,00361701	0,25	1,5	0,016	0,014674559	0,011005919	0	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	KONTROLLÜ HASAR
4. Normal H1 0	0	0,14370522	0,002925228	0,25	1,5	0,016	0,028405905	0,021304429	0	SINIRLI HASAR BÖLGESİ	SINIRLI HASAR
4. Normal H2 0	0	0,14370522	0,002925228	0,25	1,5	0,016	0,028405905	0,021304429	0	SINIRLI HASAR BÖLGESİ	SINIRLI HASAR
4. Normal H1 180	0	0,07584085	0,00361701	0,25	1,5	0,016	0,014674559	0,011005919	0	SINIRLI HASAR BÖLGESİ	SINIRLI HASAR
4. Normal H2 180	0	0,07584085	0,00361701	0,25	1,5	0,016	0,014674559	0,011005919	0	SINIRLI HASAR BÖLGESİ	SINIRLI HASAR
3. Normal H1 0	0	0,14370522	0,002925228	0,25	1,5	0,016	0,028405905	0,021304429	0	SINIRLI HASAR BÖLGESİ	SINIRLI HASAR
3. Normal H2 0	0	0,14370522	0,002925228	0,25	1,5	0,016	0,028405905	0,021304429	0	SINIRLI HASAR BÖLGESİ	SINIRLI HASAR
3. Normal H1 180	0	0,07584085	0,00361701	0,25	1,5	0,016	0,014674559	0,011005919	0	SINIRLI HASAR BÖLGESİ	SINIRLI HASAR
3. Normal H2 180	0	0,07584085	0,00361701	0,25	1,5	0,016	0,014674559	0,011005919	0	SINIRLI HASAR BÖLGESİ	SINIRLI HASAR
2. Normal H1 0	0	0,14370522	0,002925228	0,25	1,5	0,016	0,028405905	0,021304429	0	SINIRLI HASAR BÖLGESİ	SINIRLI HASAR
2. Normal H2 0	0	0,14370522	0,002925228	0,25	1,5	0,016	0,028405905	0,021304429	0	SINIRLI HASAR BÖLGESİ	SINIRLI HASAR
2. Normal H1 180	0	0,07584085	0,00361701	0,25	1,5	0,016	0,014674559	0,011005919	0	SINIRLI HASAR BÖLGESİ	SINIRLI HASAR
2. Normal H2 180	0	0,07584085	0,00361701	0,25	1,5	0,016	0,014674559	0,011005919	0	SINIRLI HASAR BÖLGESİ	SINIRLI HASAR
1. Normal H1 0	0,0000968	0,14370522	0,002925228	0,25	1,5	0,016	0,028405905	0,021304429	0	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	KONTROLLÜ HASAR
1. Normal H2 0	0,0000915	0,14370522	0,002925228	0,25	1,5	0,016	0,028405905	0,021304429	0	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	KONTROLLÜ HASAR
1. Normal H1 180	0	0,07584085	0,00361701	0,25	1,5	0,016	0,014674559	0,011005919	0	SINIRLI HASAR BÖLGESİ	SINIRLI HASAR
1. Normal H2 180	0	0,07584085	0,00361701	0,25	1,5	0,016	0,014674559	0,011005919	0	SINIRLI HASAR BÖLGESİ	SINIRLI HASAR
Zemin H1 0	0	0,14370522	0,002925228	0,25	1,5	0,016	0,028405905	0,021304429	0	SINIRLI HASAR BÖLGESİ	SINIRLI HASAR
Zemin H2 0	0	0,14370522	0,002925228	0,25	1,5	0,016	0,028405905	0,021304429	0	SINIRLI HASAR BÖLGESİ	SINIRLI HASAR
Zemin H1 180	0	0,07584085	0,00361701	0,25	1,5	0,016	0,014674559	0,011005919	0	SINIRLI HASAR BÖLGESİ	SINIRLI HASAR
Zemin H2 180	0	0,07584085	0,00361701	0,25	1,5	0,016	0,014674559	0,011005919	0	SINIRLI HASAR BÖLGESİ	SINIRLI HASAR

Bağ kirişlerin performans düzeyleri incelendiğinde ileri hasar veya göçme bölgesinde bağ kirişi bulunmadığı anlaşılmaktadır. Bağ kirişlerinde meydana gelen plastik dönme değerlerini kendi aralarında değerlendirilmesiyle en büyük dönmenin ön bölümde bulunan zemin katta meydana geldiği anlaşılmaktadır.

### 3.8.4.2. Bağ Kirişleriyle Bağlanan Kolonların Performans Düzeyleri

Bu bölümde binaların ön yüzünde bulunan bağ kirişleriyle bağlanan kolonlar ele alınmıştır. Öncelikle yapılar bağılyken A ve B Blokta bulunan ve bağ kirişleriyle birbirine bağlanan kolonların performans düzeyleri belirlenmiştir. Sonrasında bağ kirişleri kaldırılmış, A ve B Bloğun ayrı ayrı analizleri gerçekleştirilerek bağ kirişleriyle bağlı olan kolonların ayrı ayrı olarak performans düzeyleri belirlenmiştir. Elemanların performans düzeyini belirlemek için, bağ kirişinde en büyük plastik dönmenin

gerçekleştiği Kocaeli depreminin (EQ 2-2) ölçülenmiş yer ivme kayıtları kullanılmıştır. Tablo 27 A Bloğun, Tablo 28 ise B Bloğun bağ kirişleriyle bağlı ve ayrık olma durumları için elde edilen performans düzeylerini sunmaktadır. Kolonun alt ve üst ucunca farklı normal kuvvet değeri olacağından, alt ve üst uç için ayrı ayrı  $\phi_u$  ve  $\phi_y$  değerleri elde edilmiş ve farklı performans seviyeleri elde edildiği durumlar oluşmuştur.

Tablo 27. A Blok binasında bağ kirişleriyle bağlanan kolonların performansları

KOLONLAR	Bağlı	Ayrık	Fark	$\phi_u$	$\phi_y$	Lp	Ls	db	$\theta_p(GÖ)$	$\theta_p(KH)$	$\theta_p(SH)$	Bağlı	Ayrık
	EQ 2-2	EQ 2-2	EQ 2-2									KESİT HASAR BÖLGELERİ	KESİT HASAR BÖLGELERİ
SA4N-32 R2 ÜST	0,000	0	0,000	0,31443392	0,00778317	0,125	1,45	0,014	0,037658978	0,028244234	0	SINIRLI HASAR BÖLGESİ	SINIRLI HASAR BÖLGESİ
SA4N-32 R3 ÜST	0,000081	0,000049	0,000	0,26859696	0,00438214	0,2	1,45	0,014	0,044080153	0,033060115	0	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ
SA4N-32 R2 ALT	0,00	0	0,001	0,29893222	0,00781646	0,125	1,45	0,014	0,035769125	0,026826844	0	SINIRLI HASAR BÖLGESİ	SINIRLI HASAR BÖLGESİ
SA4N-32 R3 ALT	0,002496	0,001394	0,001	0,26371545	0,00442769	0,2	1,45	0,014	0,043263495	0,032447621	0	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ
SA3N-32 R2 ÜST	0,000731	0,000325	0,000	0,22554073	0,00843948	0,125	1,45	0,014	0,026784664	0,020088498	0	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ
SA3N-32 R3 ÜST	0,003576	0,001079	0,002	0,18521619	0,00487941	0,2	1,45	0,014	0,030165715	0,022624286	0	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ
SA3N-32 R2 ALT	0,005382	0,003806	0,002	0,22394469	0,00851375	0,125	1,45	0,014	0,026584437	0,019938328	0	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ
SA3N-32 R3 ALT	0,005567	0,004479	0,001	0,17083894	0,00488449	0,2	1,45	0,014	0,027776478	0,020832358	0	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ
SA2N-32 R2 ÜST	0,035736	0,051181	-0,015	0,18003895	0,00914933	0,125	1,45	0,014	0,02118861	0,015891457	0	GÖÇME BÖLGESİ	GÖÇME BÖLGESİ
SA2N-32 R3 ÜST	0,034358	0,053247	-0,019	0,12662306	0,00532581	0,2	1,45	0,014	0,020375758	0,015281819	0	GÖÇME BÖLGESİ	GÖÇME BÖLGESİ
SA2N-32 R2 ALT	0,036435	0,034617	0,002	0,17847499	0,00921302	0,125	1,45	0,014	0,020993133	0,015744849	0	GÖÇME BÖLGESİ	GÖÇME BÖLGESİ
SA2N-32 R3 ALT	0,035706	0,02985	0,006	0,12454854	0,00537526	0,2	1,45	0,014	0,020024963	0,015018722	0	GÖÇME BÖLGESİ	GÖÇME BÖLGESİ
SA1N-32 R2 ÜST	0,089776	0,075272	0,015	0,15170013	0,00996441	0,125	1,45	0,014	0,017673607	0,013255205	0	GÖÇME BÖLGESİ	GÖÇME BÖLGESİ
SA1N-32 R3 ÜST	0,074422	0,054637	0,020	0,09806105	0,00568117	0,2	1,45	0,014	0,015586411	0,011689808	0	GÖÇME BÖLGESİ	GÖÇME BÖLGESİ
SA1N-32 R2 ALT	0,128257	0,129456	-0,001	0,15054838	0,01004601	0,125	1,45	0,014	0,017526885	0,013145164	0	GÖÇME BÖLGESİ	GÖÇME BÖLGESİ
SA1N-32 R3 ALT	0,128982	0,125785	0,003	0,09669189	0,00572666	0,2	1,45	0,014	0,015353295	0,011514971	0	GÖÇME BÖLGESİ	GÖÇME BÖLGESİ
SAZ-32 R2 ÜST	0,021479	0,020664	0,001	0,14662696	0,01007569	0,125	1,45	0,014	0,017047119	0,012785339	0	GÖÇME BÖLGESİ	GÖÇME BÖLGESİ
SAZ-32 R3 ÜST	0,024418	0,023434	0,001	0,06941741	0,00451904	0,25	1,45	0,014	0,012799478	0,009599609	0	GÖÇME BÖLGESİ	GÖÇME BÖLGESİ
SAZ-32 R2 ALT	0,022929	0,035168	-0,012	0,14527819	0,01013248	0,125	1,45	0,014	0,016878389	0,012658792	0	GÖÇME BÖLGESİ	GÖÇME BÖLGESİ
SAZ-32 R3 ALT	0,029727	0,032733	-0,003	0,06668804	0,0045507	0,25	1,45	0,014	0,012264343	0,009198257	0	GÖÇME BÖLGESİ	GÖÇME BÖLGESİ

Tablo 28. B Blok binasında bağ kirişleriyle bağlanan kolonların performansları

KOLONLAR	Bağlı	Ayrık	Fark	$\phi_u$	$\phi_y$	Lp	Ls	db	$\theta_p(GÖ)$	$\theta_p(KH)$	$\theta_p(SH)$	Bağlı	Ayrık
	EQ 2-2	EQ 2-2	EQ 2-2									KESİT HASAR BÖLGELERİ	KESİT HASAR BÖLGELERİ
SB4N-32 R2 ÜST	0	0	0	0,30787338	0,00784113	0,125	1,45	0,014	0,036855667	0,027641751	0	SINIRLI HASAR BÖLGESİ	SINIRLI HASAR BÖLGESİ
SB4N-32 R3 ÜST	0	0	0	0,26612737	0,00442384	0,2	1,45	0,014	0,043664684	0,032748513	0	SINIRLI HASAR BÖLGESİ	SINIRLI HASAR BÖLGESİ
SB4N-32 R2 ALT	0	0	0	0,29151819	0,00787907	0,125	1,45	0,014	0,034861539	0,026146154	0	SINIRLI HASAR BÖLGESİ	SINIRLI HASAR BÖLGESİ
SB4N-32 R3 ALT	0	0	0	0,25313914	0,0044822	0,2	1,45	0,014	0,041499602	0,031124701	0	SINIRLI HASAR BÖLGESİ	SINIRLI HASAR BÖLGESİ
SB3N-32 R2 ÜST	0,000644	0,000764	-0,00012	0,22444357	0,00855659	0,125	1,45	0,014	0,026641756	0,019981317	0	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ
SB3N-32 R3 ÜST	0,00252	0,001571	0,000949	0,18045504	0,0049205	0,2	1,45	0,014	0,029369606	0,022027205	0	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ
SB3N-32 R2 ALT	0,000502	0,001409	-0,00091	0,22265213	0,00863561	0,125	1,45	0,014	0,026417362	0,019813021	0	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ
SB3N-32 R3 ALT	0,002799	0,004048	-0,00125	0,16930951	0,00493781	0,2	1,45	0,014	0,027515762	0,020636822	0	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ
SB2N-32 R2 ÜST	0,034317	0,032373	0,001944	0,17882347	0,0092894	0,125	1,45	0,014	0,021029466	0,0157721	0	GÖÇME BÖLGESİ	GÖÇME BÖLGESİ
SB2N-32 R3 ÜST	0,032304	0,038468	-0,00616	0,12487404	0,0054145	0,2	1,45	0,014	0,02007417	0,015055627	0	GÖÇME BÖLGESİ	GÖÇME BÖLGESİ
SB2N-32 R2 ALT	0,032394	0,03637	-0,00398	0,17706585	0,009358	0,125	1,45	0,014	0,020810021	0,015607516	0	GÖÇME BÖLGESİ	GÖÇME BÖLGESİ
SB2N-32 R3 ALT	0,030334	0,036921	-0,00659	0,12327492	0,00543844	0,2	1,45	0,014	0,019805523	0,014854143	0	GÖÇME BÖLGESİ	GÖÇME BÖLGESİ
SB1N-32 R2 ÜST	0,084412	0,054389	0,030023	0,15185251	0,01017068	0,125	1,45	0,014	0,01767571	0,013256782	0	GÖÇME BÖLGESİ	GÖÇME BÖLGESİ
SB1N-32 R3 ÜST	0,077795	0,054231	0,023564	0,09663181	0,00579264	0,2	1,45	0,014	0,015335123	0,011501342	0	GÖÇME BÖLGESİ	GÖÇME BÖLGESİ
SB1N-32 R2 ALT	0,131773	0,120343	0,01143	0,15052909	0,01022921	0,125	1,45	0,014	0,017509928	0,013132446	0	GÖÇME BÖLGESİ	GÖÇME BÖLGESİ
SB1N-32 R3 ALT	0,131001	0,122796	0,008205	0,09492698	0,00584561	0,2	1,45	0,014	0,01504531	0,011283983	0	GÖÇME BÖLGESİ	GÖÇME BÖLGESİ
SBZ-32 R2 ÜST	0,021442	0,023238	-0,0018	0,14611684	0,01024965	0,125	1,45	0,014	0,016971144	0,012728358	0	GÖÇME BÖLGESİ	GÖÇME BÖLGESİ
SBZ-32 R3 ÜST	0,024387	0,0255	-0,00111	0,06730363	0,00459871	0,25	1,45	0,014	0,01237664	0,00928248	0	GÖÇME BÖLGESİ	GÖÇME BÖLGESİ
SBZ-32 R2 ALT	0,026818	0,032846	-0,00603	0,14455366	0,01031113	0,125	1,45	0,014	0,016775938	0,012581954	0	GÖÇME BÖLGESİ	GÖÇME BÖLGESİ
SBZ-32 R3 ALT	0,017578	0,02923	-0,01165	0,06679866	0,00462437	0,25	1,45	0,014	0,012274617	0,009205962	0	GÖÇME BÖLGESİ	GÖÇME BÖLGESİ

A ve B Blok binalarının bağ kirişleriyle bağlanan kolonlarının bağ kirişleriyle bağlı ve ayrık olma durumları için elde edilen performans düzeylerinin incelenmesiyle kolonların performans düzeylerinde herhangi bir değişiklik meydana gelmediği anlaşılmaktadır. Dönme miktarları küçük miktarlarda azalma ve artış göstermiştir.



### 3.8.4.3. Zemin Kattaki Kolonların Performans Düzeyleri

Bu bölümde A Blok binasının zemin katında bulunan 32 adet kolon ele alınmıştır. Zemin kat kolonlarının performans düzeyleri Kocaeli deprem (EQ 2-2) ölçeklenmiş yer ivme kaydı kullanılarak, yapıların bağlı ve ayırık olma durumu için ayrı ayrı olarak elde edilmiştir.

Bir kolon için X ve Y yönünün alt ve üst ucu için dört farklı plastik dönme değeri elde edilir. Zemin katta bulunan 32 adet kolon için toplamda 128 farklı plastik dönme değeri elde edilmiştir. A Bloğun bağlı durumdan ayırık duruma geçmesiyle 58 plastik dönme değerinde artma gerçekleşirken, 70 plastik dönme değerinde azalma gerçekleşmiştir. Dönme miktarındaki farkın mutlak değerlerinin ortalaması 0.0012'dir. Dönme miktarındaki farkın yüzdesel değeri %5.1'dir.

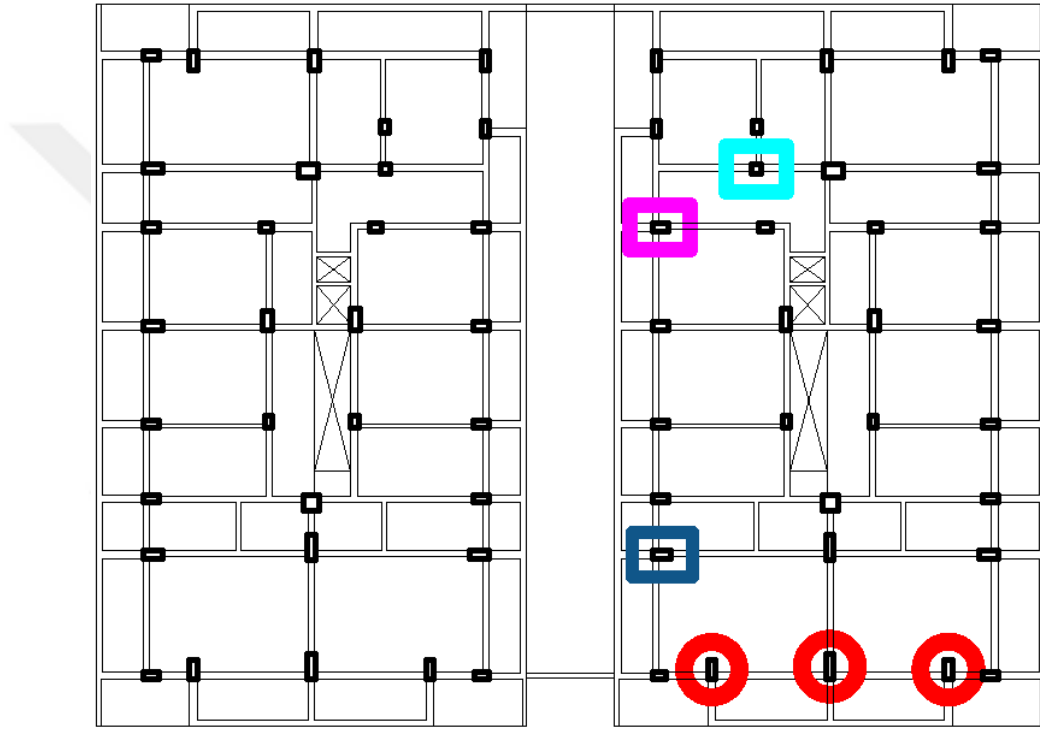
Zemin kat kolonlarının 26 tanesinin 4 farklı plastik dönme değeri için performans düzeyleri, bağlı ve ayırık olma durumları için tamamıyla göçmedir. Kalan 6 adet kolonun performans düzeylerinde bazı farklılıklar oluşmuştur ve Tablo 29'da sunulmuştur. 4 farklı durumdan en olumsuz performans düzeyi kolonun performans düzeyi olarak değerlendirilirse eğer 32 adet kolonun da performans düzeyi göçme olmaktadır.

Tablo 29. A Blok zemin kat kolonlarında performans düzeyi değişen kolonlar

KOLONLAR	Bağlı A			Ayrık A			Fark			Bağlı			Ayrık		
	EQ 2-2	EQ 2-2	EQ 2-2	$\phi_u$	$\phi_y$	$t_p$	$L_s$	$db$	$\theta_p(GÖ)$	$\theta_p(KH)$	$\theta_p(SH)$	KESİT HASAR BÖLGELERİ	KESİT HASAR BÖLGELERİ		
SAZ-31 R2 ÜST	0,018269	0,017419	0,000850	0,07375469	0,00372039	0,3	1,45	0,016	0,0160981	0,012073575	0	GÖÇME BÖLGESİ	GÖÇME BÖLGESİ		
SAZ-31 R3 ÜST	0,020000	0,023680	-0,003680	0,2202486	0,01029042	0,125	1,45	0,016	0,027314288	0,020485716	0	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	İLERİ HASAR BÖLGESİ		
SAZ-31 R2 ALT	0,017008	0,015719	0,001289	0,07339236	0,00374014	0,3	1,45	0,016	0,016012197	0,012009148	0	GÖÇME BÖLGESİ	İLERİ HASAR BÖLGESİ		
SAZ-31 R3 ALT	0,021484	0,024712	-0,003228	0,21842449	0,01034388	0,125	1,45	0,016	0,02707701	0,020307758	0	İLERİ HASAR BÖLGESİ	İLERİ HASAR BÖLGESİ		
SAZ-30 R2 ÜST	0,018475	0,018053	0,000422	0,05629076	0,00280534	0,4	1,45	0,016	0,014997455	0,011248091	0	GÖÇME BÖLGESİ	GÖÇME BÖLGESİ		
SAZ-30 R3 ÜST	0,018514	0,022936	-0,004422	0,18400818	0,0104369	0,125	1,45	0,016	0,022673206	0,017004904	0	İLERİ HASAR BÖLGESİ	GÖÇME BÖLGESİ		
SAZ-30 R2 ALT	0,018867	0,018486	0,000381	0,05595793	0,00282241	0,4	1,45	0,016	0,014901043	0,011175782	0	GÖÇME BÖLGESİ	GÖÇME BÖLGESİ		
SAZ-30 R3 ALT	0,024799	0,025272	-0,000473	0,18184894	0,01051424	0,125	1,45	0,016	0,022391214	0,016793411	0	GÖÇME BÖLGESİ	GÖÇME BÖLGESİ		
SAZ-29 R2 ÜST	0,020161	0,020550	-0,000389	0,07525049	0,00370351	0,3	1,45	0,016	0,016441137	0,012330853	0	GÖÇME BÖLGESİ	GÖÇME BÖLGESİ		
SAZ-29 R3 ÜST	0,018242	0,024157	-0,005915	0,22185081	0,0102376	0,125	1,45	0,016	0,027523168	0,020642376	0	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	İLERİ HASAR BÖLGESİ		
SAZ-29 R2 ALT	0,020006	0,021001	-0,000995	0,07375469	0,00372039	0,3	1,45	0,016	0,0160981	0,012073575	0	GÖÇME BÖLGESİ	GÖÇME BÖLGESİ		
SAZ-29 R3 ALT	0,022172	0,022838	-0,000666	0,2202486	0,01029042	0,125	1,45	0,016	0,027314288	0,020485716	0	İLERİ HASAR BÖLGESİ	İLERİ HASAR BÖLGESİ		
SAZ-27 R2 ÜST	0,025905	0,024902	0,001003	0,18677181	0,0107065	0,125	1,45	0,016	0,023004738	0,017253553	0	GÖÇME BÖLGESİ	GÖÇME BÖLGESİ		
SAZ-27 R3 ÜST	0,026118	0,031051	-0,004933	0,07053242	0,00389395	0,3	1,45	0,016	0,015334523	0,011500892	0	GÖÇME BÖLGESİ	GÖÇME BÖLGESİ		
SAZ-27 R2 ALT	0,023039	0,021958	0,001081	0,18592227	0,01077791	0,125	1,45	0,016	0,022890522	0,017167891	0	GÖÇME BÖLGESİ	İLERİ HASAR BÖLGESİ		
SAZ-27 R3 ALT	0,015591	0,021174	-0,005583	0,07018162	0,00391846	0,3	1,45	0,016	0,015250388	0,011437791	0	GÖÇME BÖLGESİ	GÖÇME BÖLGESİ		
SAZ-13 R2 ÜST	0,024567	0,022921	0,001646	0,18180983	0,01126881	0,125	1,45	0,016	0,022326048	0,016744536	0	GÖÇME BÖLGESİ	GÖÇME BÖLGESİ		
SAZ-13 R3 ÜST	0,024704	0,027548	-0,002844	0,07875213	0,00499714	0,25	1,45	0,016	0,015012902	0,011259677	0	GÖÇME BÖLGESİ	GÖÇME BÖLGESİ		
SAZ-13 R2 ALT	0,022343	0,019473	0,002870	0,17840356	0,01137046	0,125	1,45	0,016	0,021882821	0,016412115	0	GÖÇME BÖLGESİ	İLERİ HASAR BÖLGESİ		
SAZ-13 R3 ALT	0,025689	0,025779	-0,000090	0,07821526	0,00503349	0,25	1,45	0,016	0,014899832	0,011174874	0	GÖÇME BÖLGESİ	GÖÇME BÖLGESİ		
SAZ-9 R2 ÜST	0,020659	0,018340	0,002319	0,17617847	0,00823778	0,15	1,45	0,016	0,024381977	0,018286483	0	İLERİ HASAR BÖLGESİ	İLERİ HASAR BÖLGESİ		
SAZ-9 R3 ÜST	0,028468	0,027513	0,000955	0,17617847	0,00823778	0,15	1,45	0,016	0,024381977	0,018286483	0	GÖÇME BÖLGESİ	GÖÇME BÖLGESİ		
SAZ-9 R2 ALT	0,019158	0,019387	-0,000229	0,17469433	0,00828076	0,15	1,45	0,016	0,024165925	0,018124444	0	İLERİ HASAR BÖLGESİ	İLERİ HASAR BÖLGESİ		
SAZ-9 R3 ALT	0,029725	0,022927	0,006798	0,17469433	0,00828076	0,15	1,45	0,016	0,024165925	0,018124444	0	GÖÇME BÖLGESİ	İLERİ HASAR BÖLGESİ		

Tablo 29'un incelenmesiyle 31, 30 ve 29 numaralı kolonların X ve üst bölümünde hasar seviyesinin yapıların ayrılmasıyla arttığı görülmüştür. Belirgin hasar performans düzeyinde olan 31 ve 29 numaralı kolonlar ileri hasar, ileri hasar bölgesinde olan 30 numaralı kolon göçme bölgesi performans düzeyine geçmiştir.

Bu kolonlar Şekil 100'de soldan sağa 31, 30 ve 29 olmak üzere kırmızı renk ile yuvarlak içine alınmıştır. Bu kolonların bağ kirişleriyle aynı doğrultuda olduğu görülmektedir.

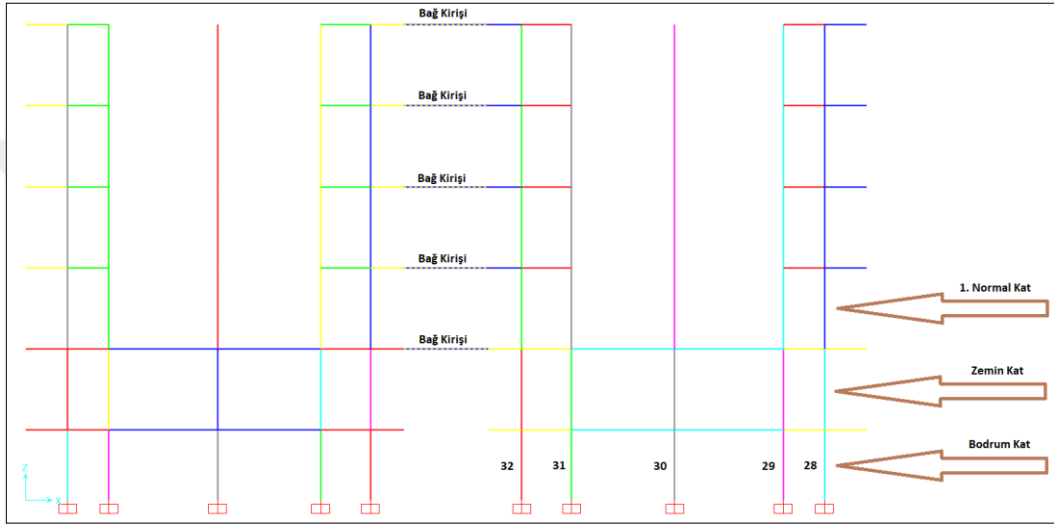


Şekil 92. A Blok zemin kat kolonlarında performans düzeyi değişen kolonlar

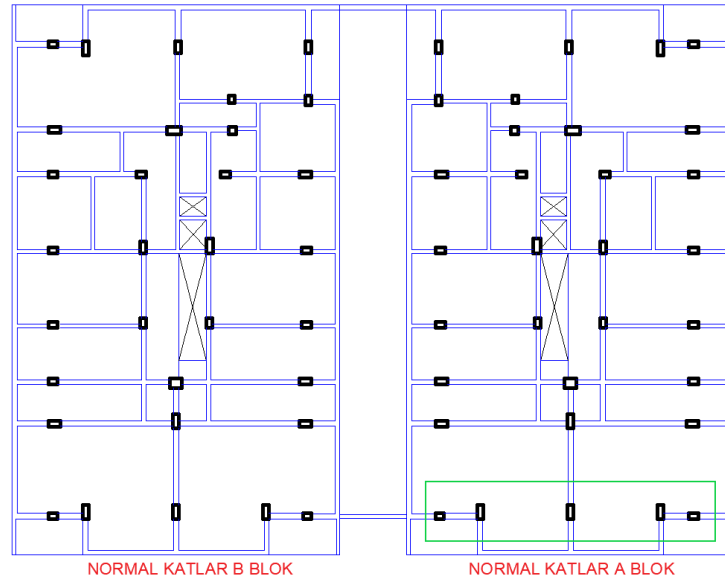


### 3.8.4.4. Bağ Kirişleri Doğrultusundaki Kolonların Performans Düzeyleri

Bu bölümde A Blok binasının ön tarafta ki bağ kirişlerinin doğrultusunda bulunan bodrum, zemin ve 1. Normal kat kolonları ele alınmıştır. Ele alınan kolonlar ve numaraları (32, 31, 30, 29, 28) Şekil 93 (XZ düzlemi) ve Şekil 94’te dikdörtgen içine alınarak gösterilmiştir. Bu kolonların deprem performansları 22 adet deprem kaydı kullanılarak yapıların bağlı ve ayrıık olma durumları için elde edilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır (Tablo 30, 31, 32).



Şekil 93. Bağ kirişlerinin bulunduğu aksın XZ düzlem görüntüsü



Şekil 94. Normal kat planında bağ kirişleri doğrultusunda bulunan kolonlar

Tablo 30. Bodrum kat bağ kirişi doğrultusundaki kolonların performansları

KOLONLAR	Bağlı A		Ayrık A		Bağlı									Ayrık		FARK (AYRIK-BAĞLI)	%
	Ortalama	Ortalama	$\phi_u$	$\phi_y$	$L_p$	$L_s$	$d_b$	$\theta_p(GÖ)$	$\theta_p(KH)$	$\theta_p(SH)$	KESİT HASAR BÖLGELERİ	KESİT HASAR BÖLGELERİ					
SAB-32 R2 ÜST	0,001584	0,002025	0,136583	0,010525	0,125	1,25	0,014	0,015716	0,011787	0	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	0,00044	21,757			
SAB-32 R3 ÜST	0,002582	0,004023	0,063159	0,004711	0,25	1,25	0,014	0,011420	0,008565	0	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	0,00144	35,816			
SAB-32 R2 ALT	0,004936	0,004904	0,135862	0,010589	0,125	1,25	0,014	0,015624	0,011718	0	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	-0,00003	0,646			
SAB-32 R3 ALT	0,006439	0,007715	0,062592	0,004737	0,25	1,25	0,014	0,011307	0,008480	0	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	0,00128	16,528			
SAB-31 R2 ÜST	0,000260	0,000348	0,071439	0,003837	0,3	1,25	0,016	0,015327	0,011495	0	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	0,00009	25,450			
SAB-31 R3 ÜST	0,001190	0,001396	0,185497	0,010607	0,125	1,25	0,016	0,022749	0,017062	0	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	0,00021	14,784			
SAB-31 R2 ALT	0,002578	0,002600	0,071123	0,003857	0,3	1,25	0,016	0,015253	0,011440	0	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	0,00002	0,838			
SAB-31 R3 ALT	0,004818	0,005002	0,184506	0,010668	0,125	1,25	0,016	0,022618	0,016964	0	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	0,00018	3,677			
SAB-30 R2 ÜST	0,000357	0,000371	0,049311	0,002479	0,45	1,25	0,018	0,014184	0,010638	0	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	0,00001	3,919			
SAB-30 R3 ÜST	0,001663	0,001926	0,182296	0,010444	0,125	1,25	0,018	0,023449	0,017587	0	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	0,00026	13,667			
SAB-30 R2 ALT	0,004141	0,004223	0,049067	0,002492	0,45	1,25	0,018	0,014107	0,010580	0	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	0,00008	1,939			
SAB-30 R3 ALT	0,005905	0,006335	0,180415	0,010510	0,125	1,25	0,018	0,023193	0,017395	0	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	0,00043	6,779			
SAB-29 R2 ÜST	0,000225	0,000241	0,072295	0,003818	0,3	1,25	0,016	0,015522	0,011642	0	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	0,00002	6,909			
SAB-29 R3 ÜST	0,000949	0,001135	0,186846	0,010546	0,125	1,25	0,016	0,022926	0,017194	0	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	0,00019	16,413			
SAB-29 R2 ALT	0,002763	0,002996	0,071857	0,003837	0,3	1,25	0,016	0,015421	0,011566	0	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	0,00023	7,756			
SAB-29 R3 ALT	0,004511	0,004780	0,185907	0,010606	0,125	1,25	0,016	0,022802	0,017101	0	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	0,00027	5,631			
SAB-28 R2 ÜST	0,001401	0,001524	0,136118	0,010565	0,125	1,25	0,016	0,016473	0,012355	0	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	0,00012	8,056			
SAB-28 R3 ÜST	0,002244	0,002472	0,062801	0,004727	0,25	1,25	0,016	0,011726	0,008794	0	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	0,00023	9,212			
SAB-28 R2 ALT	0,004752	0,005392	0,135507	0,010621	0,125	1,25	0,016	0,016391	0,012293	0	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	0,00064	11,868			
SAB-28 R3 ALT	0,006406	0,006890	0,062288	0,004750	0,25	1,25	0,016	0,011620	0,008715	0	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	0,00048	7,020			

Ortalama Fark % 10,9

Tablo 31. Zemin kat bağ kirişi doğrultusundaki kolonların performansları

KOLONLAR	Bağlı A		Ayrık A		Bağlı									Ayrık		FARK (AYRIK-BAĞLI)	%
	Ortalama	Ortalama	$\phi_u$	$\phi_y$	$L_p$	$L_s$	$d_b$	$\theta_p(GÖ)$	$\theta_p(KH)$	$\theta_p(SH)$	KESİT HASAR BÖLGELERİ	KESİT HASAR BÖLGELERİ					
SAZ-32 R2 ÜST	0,011908	0,010035	0,146346	0,010073	0,125	1,45	0,014	0,017013	0,012760	0	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	-0,00187	15,726			
SAZ-32 R3 ÜST	0,008965	0,008456	0,069328	0,004519	0,25	1,45	0,014	0,012782	0,009587	0	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	-0,00051	5,676			
SAZ-32 R2 ALT	0,010003	0,009498	0,145003	0,010130	0,125	1,45	0,014	0,016845	0,012634	0	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	-0,00051	5,054			
SAZ-32 R3 ALT	0,008462	0,009872	0,066537	0,004549	0,25	1,45	0,014	0,012235	0,009176	0	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	İLERİ HASAR BÖLGESİ	0,00141	16,660			
SAZ-31 R2 ÜST	0,004991	0,003993	0,073755	0,003720	0,3	1,45	0,016	0,016098	0,012074	0	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	-0,00100	19,999			
SAZ-31 R3 ÜST	0,006134	0,005503	0,220249	0,010290	0,125	1,45	0,016	0,027314	0,020486	0	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	-0,00063	10,294			
SAZ-31 R2 ALT	0,005881	0,004775	0,073392	0,003740	0,3	1,45	0,016	0,016012	0,012009	0	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	-0,00111	18,818			
SAZ-31 R3 ALT	0,007384	0,007450	0,218424	0,010344	0,125	1,45	0,016	0,027077	0,020308	0	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	0,00007	0,899			
SAZ-30 R2 ÜST	0,006645	0,005857	0,056291	0,002805	0,4	1,45	0,016	0,014997	0,011248	0	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	-0,00079	11,858			
SAZ-30 R3 ÜST	0,007361	0,007215	0,184008	0,010437	0,125	1,45	0,016	0,022673	0,017005	0	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	-0,00015	1,988			
SAZ-30 R2 ALT	0,007307	0,006549	0,059598	0,002822	0,4	1,45	0,016	0,014901	0,011176	0	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	-0,00076	10,366			
SAZ-30 R3 ALT	0,008788	0,008605	0,181849	0,010514	0,125	1,45	0,016	0,022391	0,016793	0	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	-0,00018	2,080			
SAZ-29 R2 ÜST	0,005019	0,004784	0,075323	0,003705	0,3	1,45	0,016	0,016457	0,012343	0	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	-0,00024	4,691			
SAZ-29 R3 ÜST	0,005815	0,005777	0,220209	0,010243	0,125	1,45	0,016	0,027547	0,020660	0	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	-0,00004	0,653			
SAZ-29 R2 ALT	0,005774	0,005291	0,074060	0,003723	0,3	1,45	0,016	0,016167	0,012125	0	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	-0,00048	8,373			
SAZ-29 R3 ALT	0,006835	0,006782	0,220360	0,010296	0,125	1,45	0,016	0,027328	0,020496	0	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	-0,00005	0,771			
SAZ-28 R2 ÜST	0,010480	0,010153	0,145308	0,010117	0,125	1,45	0,014	0,016883	0,012662	0	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	-0,00033	3,114			
SAZ-28 R3 ÜST	0,008385	0,008043	0,066645	0,004544	0,25	1,45	0,014	0,012257	0,009193	0	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	-0,00034	4,079			
SAZ-28 R2 ALT	0,010131	0,010082	0,144044	0,010168	0,125	1,45	0,014	0,016725	0,012544	0	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	-0,00005	0,482			
SAZ-28 R3 ALT	0,008284	0,008355	0,066213	0,004566	0,25	1,45	0,014	0,012170	0,009127	0	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	BELİRGİN HASAR BÖLGESİ	0,00007	0,860			

Ortalama Fark % 7,1

Tablo 32. 1. Normal kat bağ kirişi doğrultusundaki kolonların performansları

KOLONLAR	Bağlı A		Ayrık A		Bağlı									Ayrık		FARK (AYRIK-BAĞLI)	%
	Ortalama	Ortalama	$\phi_u$	$\phi_y$	$L_p$	$L_s$	$d_b$	$\theta_p(GÖ)$	$\theta_p(KH)$	$\theta_p(SH)$	KESİT HASAR BÖLGELERİ	KESİT HASAR BÖLGELERİ					
SAN-32 R2 ÜST	0,018140	0,019614	0,151700	0,009964	0,125	1,45	0,014	0,0176736	0,0132552	0	GÖÇME HASAR BÖLGESİ	GÖÇME HASAR BÖLGESİ	0,00147	7,516			
SAN-32 R3 ÜST	0,028551	0,026844	0,098061	0,005681	0,2	1,45	0,014	0,0155864	0,0116898	0	GÖÇME HASAR BÖLGESİ	GÖÇME HASAR BÖLGESİ	-0,00171	6,359			
SAN-32 R2 ALT	0,023458	0,024903	0,150548	0,010046	0,125	1,45	0,014	0,0175269	0,0131452	0	GÖÇME HASAR BÖLGESİ	GÖÇME HASAR BÖLGESİ	0,00144	5,801			
SAN-32 R3 ALT	0,026937	0,026023	0,096692	0,005727	0,2	1,45	0,014	0,0153533	0,0115150	0	GÖÇME HASAR BÖLGESİ	GÖÇME HASAR BÖLGESİ	-0,00091	3,509			
SAN-31 R2 ÜST	0,014988	0,016073	0,082023	0,003600	0,3	1,45	0,016	0,0179991	0,0134994	0	İLERİ HASAR BÖLGESİ	İLERİ HASAR BÖLGESİ	0,00108	6,748			
SAN-31 R3 ÜST	0,028178	0,026060	0,234781	0,009849	0,125	1,45	0,016	0,0292059	0,0219044	0	İLERİ HASAR BÖLGESİ	İLERİ HASAR BÖLGESİ	-0,00212	8,126			
SAN-31 R2 ALT	0,015172	0,015942	0,081309	0,003614	0,3	1,45	0,016	0,0178342	0,0133757	0	İLERİ HASAR BÖLGESİ	İLERİ HASAR BÖLGESİ	0,00077	4,836			
SAN-31 R3 ALT	0,026732	0,025125	0,230407	0,009936	0,125	1,45	0,016	0,0286402	0,0214802	0	İLERİ HASAR BÖLGESİ	İLERİ HASAR BÖLGESİ	-0,00161	6,396			
SAN-30 R2 ÜST	0,019924	0,021056	0,070775	0,003878	0,3	1,45	0,016	0,0153925	0,0115444	0	GÖÇME HASAR BÖLGESİ	GÖÇME HASAR BÖLGESİ	0,00113	5,378			
SAN-30 R3 ÜST	0,029253	0,028387	0,187366	0,010657	0,125	1,45	0,016	0,0230846	0,0173134	0	GÖÇME HASAR BÖLGESİ	GÖÇME HASAR BÖLGESİ	-0,00087	3,051			
SAN-30 R2 ALT	0,017530	0,018641	0,070395	0,003904	0,3	1,45	0,016	0,0153015	0,0114761	0	GÖÇME HASAR BÖLGESİ	GÖÇME HASAR BÖLGESİ	0,00111	5,960			
SAN-30 R3 ALT	0,027551	0,025965	0,186434	0,010735	0,125	1,45	0,016	0,0225993	0,0172195	0	GÖÇME HASAR BÖLGESİ	GÖÇME HASAR BÖLGESİ	-0,00159	6,108			
SAN-29 R2 ÜST	0,014420	0,015646	0,082902	0,003587	0,3	1,45	0,016	0,0182014	0,0136511	0	İLERİ HASAR BÖLGESİ	İLERİ HASAR BÖLGESİ	0,00123	7,837			
SAN-29 R3 ÜST	0,027180	0,026131	0,241936	0,009750	0,125	1,45	0,016	0,0301278	0,0225959	0	İLERİ HASAR BÖLGESİ	İLERİ HASAR BÖLGESİ	-0,00105	4,016			
SAN-29 R2 ALT	0,014834	0,016148	0,082251	0,003601	0,3	1,45	0,016	0,0180507									

Elde edilen sonuçların incelenmesiyle kolonların performans düzeylerinde bir değişiklik meydana gelmemiştir. Sadece iki kolonda, kolonun genel performans düzeyini değiştirmeyecek iki değişiklik meydana gelmiştir:

- 1- Zemin katta ki 32 numaralı kolonun R3 ve alt bölgesinde, A Blok B Bloktan ayrıken, ileri hasar performans düzeyi, yapıların bağlanmasıyla belirgin hasar performans düzeyine geçmiştir.
- 2- 1. Normal katta ki 28 numaralı kolonun R2 ve üst bölgesinde, A Blok B Bloktan ayrıken, göçme hasar performans düzeyi, yapıların bağlanmasıyla ileri hasar performans düzeyine geçmiştir.

Dönme miktarındaki farkın mutlak değerlerinin ortalaması bodrum kat kolonları için 0.0003, zemin kat kolonları için 0.0005 ve 1. Normal kat kolonları 0.00136'dır.

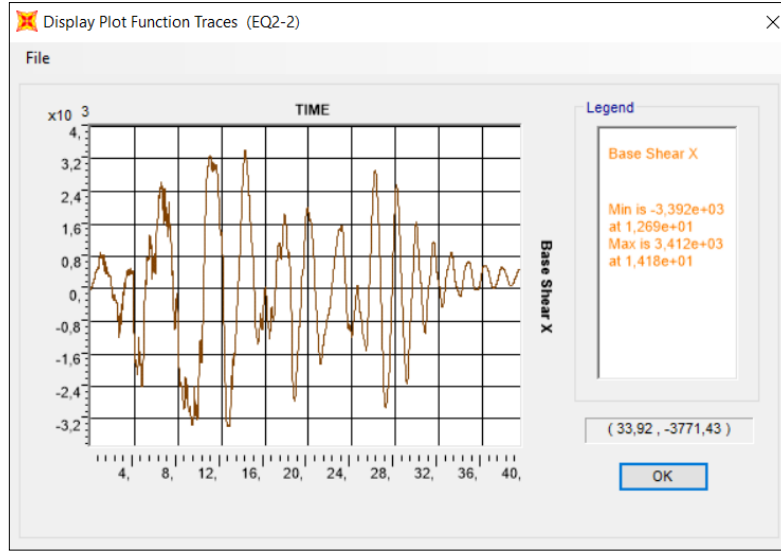
Dönme miktarındaki farkın yüzdesel olarak değeri bodrum kat kolonları için %10.9, zemin kat kolonları için %7.1 ve 1. Normal kat kolonları %6.2'dir.

Yapıların bağlanmasıyla bodrum kat kolonlarının plastik dönme değerleri genel olarak azalırken, zemin kat kolonlarının plastik dönme değerleri genel olarak artmıştır.

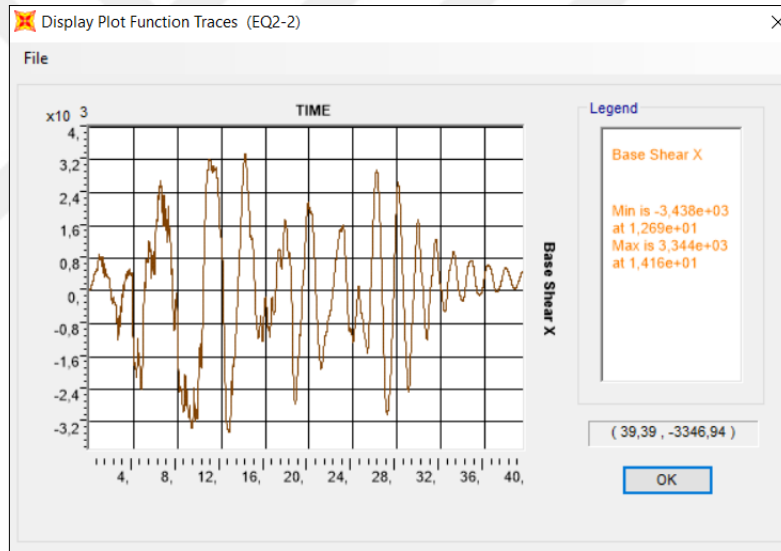
Yapıların bağlanmasıyla 1. Normal kat kolonlarının bağ kirişi yönünde plastik dönme değerleri artarken, diğer yönde plastik dönme değerleri azalmıştır.

#### **3.8.4.5. Bağlı ve Ayrık Yapıların Taban Kesme Kuvvetleri**

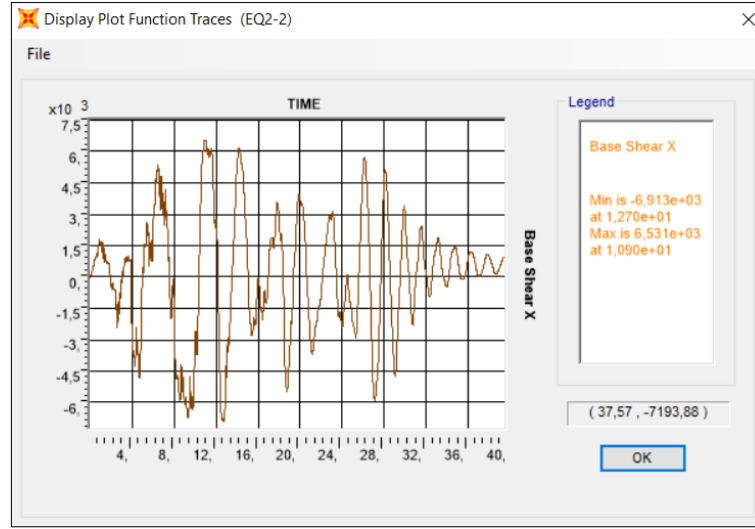
A ve B Bloklarının birbirinden ayrık olarak elde edilen taban kesme kuvvetlerinin zamana göre değişimi sırasıyla Şekil 95 ve Şekil 96'da, A ve B Blok binalarının bağlı olmasıyla elde edilen taban kesme kuvvetinin zamana göre değişimi ise Şekil 97'de verilmiştir. (A ve B Blok binalarının bağlı olmasıyla yapı tek bir yapı olacağından dolayı A ve B Blok için ayrı ayrı olarak taban kesme kuvveti değil, tek bir taban kesme kuvveti elde edilmiştir.)



Şekil 95. A Blok binası taban kesme kuvvetinin zamana göre değişimi



Şekil 96. B Blok binası taban kesme kuvvetinin zamana göre değişimi



Şekil 97. A ve B Blok binalarının taban kesme kuvvetinin zamana göre değişimi

A Blok binasında oluşan en büyük kuvvet 3412 kN dur. B Blok binasında oluşan en büyük kuvvet 3438 kN dur. A ve B Blok binalarının bağ kirişleriyle bağlı olması durumunda elde edilen en büyük kuvvet ise 6913 kN dur.

A Blok binasında oluşan en büyük kuvvet ile B Blok binasında oluşan en büyük kuvveti toplarsak, A ile B Bloğun bağlı olmasıyla elde edilen en büyük kuvvetten daha az olduğu görülmektedir (Tablo 33). Bu durum, bu deprem kaydı için, bağ kirişlerinin taban kesme kuvvetinde artışa sebep olduğunu ifade etmektedir.

Tablo 33. Bağlı ve ayırık durumları için oluşan en büyük taban kesme kuvvetleri

Durum	Ayrık		Bağlı
Blok	A Blok (kN)	B Blok (kN)	A ve B Blok (kN)
En Büyük Kuvvet	3412	3438	6913
	6850		6913

## BÖLÜM 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Binalar farklı nedenlerle birbirlerine bağlı olarak sıklıkla inşa edilmektedirler. Yapılan tez çalışmasında, A ve B Blok olmak üzere iki bloktan oluşan, kentsel dönüşüm uygulamaları kapsamında yıkılmayı bekleyen, 1976 yılında İstanbul'da inşa edilmiş, bağ kirişleriyle birbirine her kat seviyesinde ikişer adet kiriş ile bağlı, altı katlı ve ikiz olan betonarme binalarda, bağ kirişlerinin yapıların dinamik davranışına olan etkisi tam ölçekli deneysel ve sayısal yöntemlerle araştırılmıştır. Deneysel olarak operasyonel modal analiz, sayısal olarak sonlu eleman yöntemlerinden yararlanılmıştır.

Bağ kirişlerinin yapı dinamik davranışına olan etkilerini ortaya çıkarmak amacıyla, yapıların bağlı ve ayrık olma durumları için analizler ayrı ayrı olarak gerçekleştirilmiştir. Bağlı ve ayrık olma durumları için elde edilen sonuçların karşılaştırılmasıyla, bağ kirişlerinin yapı dinamik özelliklerine olan etkisi ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır.

İlk olarak bağ kirişlerinin yapı dinamik karakteristiklerine olan etkisi deneysel yöntemlerden operasyonel modal analiz yöntemiyle araştırılmıştır. Bu amaçla yapılar bağ kirişleriyle birbirine bağlıyken, her iki blokta ayrı ayrı olmak üzere operasyonel modal analiz gerçekleştirilmiştir. Sonrasın bağ kirişleri kesilerek yapılar birbirinden ayrılmış ve her iki blokta ayrı ayrı olmak üzere operasyonel modal analiz tekrarlanmıştır. Bağlı ve ayrık olma durumları için elde edilen yapı dinamik karakteristiklerinin karşılaştırılmasıyla, bağ kirişlerinin yapı dinamik karakteristiklerine olan etkisi ortaya çıkarılmıştır.

İkinci olarak, bağ kirişlerinin yapı dinamik karakteristiklerine olan etkisi sayısal modal analiz yöntemiyle araştırılmıştır. Bu amaçla, öncelikle, operasyonel modal analiz yöntemiyle elde edilen yapı dinamik karakteristiklerini temsil eden en uygun sayısal model elde edilmeye çalışılmıştır. Bundan dolayı dolgu duvarların rijitlik özellikleri farklı tekniklerle modellenip yapısal analizlere dâhil edilerek en uygun sayısal model elde edilmeye çalışılmış ve operasyonel modal analiz sonuçlarını en iyi temsil eden sayısal modeller üzerinde analizler gerçekleştirilmiştir. Bağlı ve ayrık olarak elde edilen yapı dinamik karakteristiklerinin karşılaştırılmasıyla, bağ kirişlerinin yapı dinamik karakteristiklerine olan etkisi irdelenmiştir.

Üçüncü ve son olarak, bağ kirişlerinin yapısal elemanların deprem performansına olan etkisi zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi ile TBDY-2018 şekildeğiştirmeye göre değerlendirme kapsamında araştırılmıştır. Bu amaçla A ve B Blok binaları ele alınmış, birbirleriyle bağlı ve birbirlerinden ayrık olma durumları için yapısal elemanların deprem performansları belirlenmiş ve sonuçların karşılaştırılmasıyla bağ kirişlerinin yapısal elemanların deprem performansına olan etkisi ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır.

Operasyonel modal analiz sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

- Öncelikle, binalar birbirine bağlıyken, mod şeklinin X yönü olduğu birinci ve ikinci modlarda frekans değerleri birbirine çok yakındır. Üçüncü mod olan Y yönünde ise belirgin bir fark vardır. Bu nedenle bağ kirişlerin kendi doğrultuları olan X doğrultusunda yapıların dinamik özelliklerini etkiledikleri açıktır.
- Bağ kirişlerinin yıkımından sonra, mod şeklinin X yönü olduğu birinci ve ikinci modlarda A Blok binasının baskın frekanslarında artma, B Blok binasının baskın frekanslarında azalma belirgin bir şekilde tespit edilmiştir.
- Aynı mimari plan ve statik taşıyıcı sisteme sahip olan binalardan A Blok binasının daha yüksek frekanslara sahip olması bu binanın B Blok binasına göre daha yüksek rijitliğe sahip olması anlamına gelir. Binalarda yapılan beton malzeme çalışmalarıyla bu durum doğrulanmıştır.
- Bağ kirişlerinin yıkımından sonra, mod şeklinin Y yönü olduğu üçüncü modda A ve B Bloğun frekans değerlerinde çok küçük miktarda değişim gerçekleşmiştir.
- Birbirine bağlı A Blok binası ve B Blok binasının, bağlanma yönünde aynı frekanslara sahip olmaları nedeniyle, bağlanmanın bu binalarda ortak hareket etme ve yardımlaşmaya neden olduğu sonucuna varılabilir.
- Bağ kirişlerinin yıkımından sonra binaların mod şekillerinde bir değişiklik meydana gelmediği anlaşılmıştır.

A Blok binasının B Blok binasından ayrılmasından sonra A Blok binasında gerçekleştirilen operasyonel modal analiz sonuçları ile A Blok binasında dolgu duvarların rijitlik özelliklerinin yapısal analize farklı tekniklerle dâhil edilmesiyle oluşturulan beş farklı sonlu eleman modellerinde gerçekleştirilen sayısal modal analiz sonuçlarının karşılaştırılmasıyla elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

- Dolgu duvarların rijitlik özelliklerinin yapısal analizlere dâhil edilmemesiyle oluşturulan modelin modal analizi sonucunda elde edilen periyot değerleri, operasyonel modal analiz yöntemiyle elde edilen periyot değerlerinden, birinci mod için 2.79, ikinci mod için 2.67 ve üçüncü mod için 3 kat daha büyük elde edilmiştir.
- Deprem etkisi altında binaların dayanıma göre tasarım hesaplarında, yapılara etkitilecek deprem yüklerinin hesabında yatay elastik tasarım spektral ivme değerleri kullanılır ve bu değerler yapıların hâkim titreşim periyoduna bağlı olarak belirlenir. Operasyonel modal analiz yöntemiyle elde edilen birinci titreşim periyot değerine karşılık gelen spektral ivme değeri, dolgu duvarların rijitlik özelliklerinin yapısal analizlere dâhil edilmemesiyle oluşturulan sonlu eleman modelinin modal analizinden elde edilen birinci titreşim periyot değerine karşılık gelen spektral ivme değerinden 2.79 kat daha büyük elde edilmiştir. Birinci titreşim periyoduna bağlı olarak deprem yükünün hesaplanması durumunda, dolgu duvarların rijitliklerinin yapısal analizlere dâhil edilmemesiyle, spektral ivme değerine bağlı olarak 2.79 kat daha az deprem yükü hesaplanarak tasarım gerçekleştirilmiş olur.
- Birinci titreşim periyoduna bağlı olarak deprem yükünün hesaplanması durumunda, dolgu duvarların rijitlik özelliklerinin basınç çubuğu olarak yapısal analizlere dâhil edilmesiyle oluşturulan üçüncü, dördüncü ve beşinci sonlu eleman modellerinde spektral ivme değerlerine bağlı olarak sırasıyla 1.72, 1.72 ve 2.36 kat daha az deprem yükü hesaplanarak tasarım gerçekleştirilmiş olur.
- Birinci titreşim periyoduna bağlı olarak deprem yükünün hesaplanması durumunda, dolgu duvarların rijitlik özelliklerinin yapısal analizlere kabuk eleman olarak dâhil edilmesiyle oluşturulan ikinci sonlu eleman modelinde spektral ivme değerine bağlı olarak 1.019 kat daha az deprem yükü hesaplanarak tasarım gerçekleştirilmiş olur.
- Dolgu duvarların kabuk eleman olarak modellenmesiyle oluşturulan sonlu eleman modelinin modal analiz sonucunda ilk üç mod için elde edilen frekans değerleri ile operasyonel modal analizi sonucunda elde edilen ilk üç mod frekans değerleri



arasındaki fark sırasıyla %1.67, %3.95 ve %1.49'dur. Dolgu duvarların kabuk eleman olarak modellenmesiyle deneysel sonuçlara en yakın frekans değerleri elde edilmiştir ve elde edilen uyum çok iyi mertebededir.

- Dolgu duvarların basınç çubuğu olarak modellenmesiyle oluşturulan sonlu eleman modellerinin modal analizleri sonuçlarında ilk üç mod için elde edilen frekans değerleri ile operasyonel modal analizi sonucunda elde edilen ilk üç mod frekans değerleri arasındaki farkın ortalaması sırasıyla Model 3, Model 4 ve Model 5 için %41.29, %43.51 ve %53.82 dir.
- Dolgu duvarların rijitlik özelliklerinin yapısal analizlere dâhil edilmemesiyle oluşturulan modelin modal analizi sonucunda ilk üç mod için elde edilen frekans değerleri ile operasyonel modal analizi sonucunda elde edilen ilk üç modun frekans değerleri arasındaki farkın ortalaması %64.37 dir.
- Operasyonel modal analizi sonucunda A Blok binasının birinci modu binanın ön yüzünün X yönü hareketi, ikinci modu binanın arka yüzünün X yönü hareketi ve üçüncü modu Y yönü hareketidir. Dolgu duvarların rijitliklerinin yapısal analizlere dâhil edilmemesiyle oluşturulan sonlu eleman modelinin modal analiz sonucunda A Blok binasının birinci modu burulma, ikinci modu Y yönü hareketi ve üçüncü modu X yönü hareketidir. Buradan, dolgu duvarların yapısal analizlere dâhil edilmemesiyle oluşturulan sonlu eleman modelinin mod şekilleri operasyonel modal analiz yöntemiyle elde edilen mod şekillerini temsil edemediği anlaşılmaktadır.
- Dolgu duvarların rijitlik özelliklerinin yapısal analizlere dâhil edilmesiyle oluşturulan tüm modellerin mod şekilleri, operasyonel modal analiz ile elde edilen mod şekillerini genel olarak temsil ettiği söylenebilir.
- Operasyonel modal analiz yöntemiyle elde edilen birinci mod şekli, dolgu duvarların rijitlik özelliklerinin yapısal analizlere basınç çubuğu ve boşluğa sahip olan duvarların rijitlik özelliklerinin sağındaki ve solundaki duvarlarında ayrı ayrı olarak basınç çubuğu olarak modellenmesiyle yani dolgu duvarların Yöntem 4 modellenmesiyle elde edilen mod şekliyle en iyi uyumu yakalamıştır.

Dolgu duvarların “Model 2” ve “Model 4” tekniği kullanılarak modellenmesiyle oluşturulan bağlı binaların modal analizi gerçekleştirilmiştir. Sonrasında bağ kirişleri kaldırılarak A ve B Blok binalarının ayrı ayrı modal analiz gerçekleştirilmiştir. Bağlı ve ayrıık modellerin modal analiz sonuçlarının karşılaştırılmasıyla elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır;

- ❖ Bağ kirişlerinin kaldırılmasıyla birlikte her iki blokta da, mod şeklinin X yonü olduğu birinci ve ikinci modların sahip olduğu frekans değerleri azalmıştır.
- ❖ Operasyonel modal analizle elde edilen, bağ kirişleriyle yapıların birbirine bağlanmasıyla birlikte, mod şeklinin X yonü olduğu frekans değerlerinde A Blok binası için azalma, B Blok binası için artmayla yardımlaşarak ortak hareket etme durumu, sayısal modal analiz yontemiyle elde edilememiştir.

Bağ kirişlerinin yapısal elemanların deprem performansına olan etkisinin zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yontemi ile yapılan deprem hesabından elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

- o 22 adet oleklenmiş yer ivme kaydı kullanılarak yapıların ön bolumünde bulunan bağ kirişleri için elde edilen plastik donme taleplerinin en buyuk mutlak değerlerinin ortalaması sonucunda ileri hasar veya gome bolgesinde bağ kirişi bulunmadığı anlaşılmaktadır. Arka bolumde bulunan ve çıkmaları bağlayan bağ kirişlerinde ise sadece 1. Normal kat kirişinde ve 22 adet kaydın 5 tanesinde hasar oluşmuştur. 22 kaydın ortalaması alındığında ise neredeyse hiç hasar oluşmağı soylenebilmektedir.
- o Kocaeli depreminin oleklenmiş yer ivme kaydı kullanılarak, binaların ön bolumünde bulunan bağ kirişlerinin bağlandığı A ve B Blok bina kolonlarının, bağlı ve ayrıık olma durumu için ayrı ayrı elde edilen deprem performans duzeylerinde herhangi bir değişiklik meydana gelmemiştir.
- o Kocaeli depreminin oleklenmiş yer ivme kaydı kullanılarak zemin katta bulunan toplam 32 adet kolonun deprem performansları bağlı ve ayrıık durum için elde edilmiştir. A Bloğun bağlı durumdan ayrıık duruma geçmesiyle 58 plastik donme değerinde artma gerçekleşirken, 70 plastik donme değerinde azalma gerçekleşmiştir. Donme miktarındaki farkın mutlak değerlerinin ortalaması 0.0012'dir. Farkın yuzdesel olarak değeri %5.1dir. A Bloğun bağlı durumdan ayrıık duruma geçmesiyle 6 adet kolonun deprem performans duzeyinde değişiklik meydana gelmiştir.

Yapıların bağlanmasıyla 3 adet kolonun performans düzeyinde azalma (2 adet Y yönü ve kolonun alt ucu, 1 adet X yönü ve kolonun alt ucu), diğer 3 adet kolonda ise performans düzeyinde artma (X yönü ve kolonun üst ucu) meydana gelmiştir. Performans düzeyi artan kolonlar bağ kirişlerinin doğrultusunda bulunan kolonlardır fakat kolonlar için X ve Y ile alt ve üst ucu olmak üzere 4 farklı performans düzeyi elde edildiğinden, performans düzeyinde elde edilen değişiklikler kolonun genel deprem performans düzeyinde değişiklik meydana getirmemiştir.

- Binaların ön bölgesinde bulunan bağ kirişleri doğrultusundaki bodrum, zemin ve 1. Normal kat kolonların deprem performans düzeyleri, A Bloğun B Blok ile bağlı ve ayırık olma durumları için belirlenmiştir. 22 adet ölçeklenmiş yer ivme kaydı kullanılarak elde edilen plastik dönme taleplerinin en büyük mutlak değerlerinin ortalaması sonucunda kolonların genel deprem performans düzeylerinde herhangi bir değişiklik meydana gelmemiştir. Yapıların bağlanmasıyla bodrum kat kolonlarının plastik dönme değerleri genel olarak azalırken, zemin kat kolonlarının plastik dönme değerleri genel olarak artmıştır. 1. Normal katta ise kolonlarının bağ kirişi yönünde plastik dönme değerleri artarken, diğer yönde plastik dönme değerleri azalmıştır. Bağlı ve ayırık durum için elde edilen dönme miktarındaki farkın mutlak değerlerinin ortalaması bodrum kat kolonları için 0.0003, zemin kat kolonları için 0.0005 ve 1. Normal kat kolonları 0.00136'dır. Yüzdesele olarak ise sırasıyla %10.9, %7.1 ve %6.2'dir.
- Bağ kirişlerin yapısal elemanların plastik dönme değerlerinde yani yapısal davranışta değişiklik yarattığı fakat kolonların genel performans düzeylerinde değişiklik meydana getirmediği söylenebilir.
- A ve B Bloklarının birbirinden ayırık olarak elde edilen en büyük taban kesme kuvvetlerinin toplamının A ve B Blok binalarının bağlı olmasıyla elde edilen en büyük taban kesme kuvvetinden daha az olduğu anlaşılmıştır yani yapıların bağ kirişleriyle bağlanmasıyla taban kesme kuvvetinde artış meydana gelmiştir.

Tez kapsamında yapılan çalışmalardan çıkarılan sonuçların değerlendirilmesiyle yapılan bazı öneriler aşağıda sunulmaktadır:

- Çalışılan yapıların bir bloğunun bir katında 32 adet kolon bulunmaktadır. Daha az kolonu bulunan, ikiz olmayan veya malzeme dayanımları arasında daha büyük farklar olan bağlı yapılarda, bağ kirişlerinin yeri, sayısı, geometrik ve donatı özellikleri değiştirilerek yapısal elemanların deprem performansına olan etkisi ayrıca araştırılmalıdır.
- Dolgu duvarların rijitlik özelliklerinin yapısal analizlere nasıl bir modelleme tekniği ile dâhil edileceği deprem yönetmeliğimizde açıkça belirtilmelidir.



## KAYNAKÇA

- Abbood, Imar Shakir, Mahir Mahmud, Ammar Nasiri Hanoon, Mohd Saleh Jaafar & Mohamed H. Mussa. "Seismic Response Analysis of Linked Twin Tall Buildings with Structural Coupling," **International Journal of Civil Engineering and Technology**. 9, 11: 208-219, 2018.
- Ağcakoca, Elif, Serdar Kuyuk Hüseyin, Muharrem Aktaş, Elif Boru O. & Erkan Çelebi. "Field Experiment on Steel Industrial Building with Ambient Vibration," *Second European Conference on Earthquake Engineering and Seismology*: 25-29. İstanbul: 2014.
- Al-Chaar, Ghassan. *Evaluating Strength and Stiffness of Unreinforced Masonry Infill Structures*. US Army Corps of Engineers. Engineer Research and Development Center, 2002.
- Altunışık, Ahmet Can, Şevket Ateş & Süleyman Adanur. **İnşaat Mühendisliğinde SAP2000 Uygulamaları**. Trabzon: Dynamic Academy Yazılım İnşaat San. Ltd. Şti., 2018
- Altunışık, Ahmet Can, Murat Günaydın, Barış Sevim, Alemdar Bayraktar & Süleyman Adanur. "CFRP Composite Retrofitting Effect on the Dynamic Characteristics of Arch Dams," **Soil Dynamics and Earthquake Engineering**. 74: 1-9, 2015.
- Aras, Fuat. "Modal Testing of an Isolated Overpass Bridge in Its Construction Stages," **The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering**. 13, 1: 67-76, 2018a.
- Aras, Fuat. "Betonarme Binalarda Bölme Duvar Etkilerinin Tam Ölçekli Deneylerle Araştırılması," **İMO Teknik Dergi**. 29: 8651-8667, 2018b.
- Aras, Fuat. "Laboratory Tests and Vibration Surveys for the Mechanical Properties of Infill Walls," **Journal of Performance of Constructed Facilities**. 32, 1: 04017117, 2018c.
- Aras, Fuat. "Monitoring the Dynamic Properties of a Nine-Story Reinforced Concrete Building During its Demolition," **Structural Control & Health Monitoring**. 26, 11, 2019.
- ARTEMIS Modal 6.0. "Structural Vibration Solutions A/S". Denmark, Aalborg East, 2019.
- Asteris, Panagiotis G. "Lateral Stiffness of Brick Masonry Infilled Plane Frames," **Journal of Structural Engineering**. 129, 8: 1071-1079, 2003.
- Atımtay, Ergin. **Depremde Çökmeyen Bina Nedir? Nasıl Projelendirilir?** Ankara: 2009

- Basili, Michela, Maurizio De Angelis & Giancarlo Fraraccio. "Shaking Table Experimentation on Adjacent Structures Controlled by Passive and Semi-Active MR Dampers," **Journal of Sound and Vibration**. 332: 3113-3133, 2013.
- Bayraktar, Alemdar, Temel Türker, Ahmet Can Altunışık, Barış Sevim, Abdurrahman Şahin & D. Mehmet Özcan. "Binaların Dinamik Parametrelerinin Operasyonel Modal Analiz Yöntemiyle Belirlenmesi," **İMO Teknik Dergi**. 37: 5185-5205, 2010.
- Bayülke, Nejat. "Betonarme Yapının Dolgu Duvarı," **Türkiye Mühendislik Haberleri**. 4, 426: 85-98, 2003.
- Bayülke, Nejat. **Zemin ve Betonarme Yapı Deprem Davranışı**. Evrim Yayınevi ve Bilgisayar San. Tic. Ltd. Şti., 2012
- Beyen, Kemal. "Fatih Camii Yapısal Davranışının ve Dinamik Özelliklerinin Çevrel Ölçüm Verileri Işığında Tanımlanması," *Deprem Sempozyumu: 778-787*. Kocaeli: 2005.
- Birinci, Fatma. *Taş Kemer Köprülerin Sonlu Eleman Modellerinin Operasyonel Modal Analiz Yöntemiyle İyileştirilmesi*. "Yüksek Lisans Tezi," Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010.
- Boru, Elif. *Yapı Tanı Teknikleri ile Sonlu Eleman Modelleri Güncellenmiş Binaların Deprem Performans Analizi*. "Doktora Tezi," Sakarya: Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2015.
- Celep, Zekai. **Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış ve Çözümleme**. 3. Baskı. İstanbul: Beta Dağıtım, 2014
- Celep, Zekai. **Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı**. 6. Baskı. İstanbul: Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş., 2018
- Chopra, Anil K. **Yapı Dinamiği, Teori ve Deprem Mühendisliği Uygulamaları**. 4. Baskı. Çev.: Hilmi Luş. Palme Yayıncılık, 2015
- Christenson, Richard E. *Semiactive Control of Civil Structures for Natural Hazard Mitigation: Numerical and Experimental Studies*. "Doktora Tezi," Indiana: Notre Dame Üniversitesi, 2001.
- Christenson, Richard E. & Billie F. Spencer Jr. "Coupled Building Control Using 'Smart' Dampers," *13th Engineering Mechanics Division Conf.*: Baltimore: 1999.
- Christenson, Richard E., B. F. Spencer Jr., Erik A. Johnson & K. Seto. "Coupled Building Control Considering the Effects of Building/Connector Configuration," **Journal of Structural Engineering**. 132, 6: 853-863, 2006.

- Christenson, Richard E., Billie F. Spencer Jr & E.A. Johnson. "Coupled Building Control Using 'Smart' Damping Strategies," *SPIE Smart Structures and NDE Symposia*: Newport Beach: 2000.
- Çalık, İsmet, Alemdar Bayraktar, Temel Türker & Ömer İskender Tuluk. "Ahşap Cami ve Minarelerin Dinamik Karakteristiklerine Restorasyon Etkisinin Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi," *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, 5. Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu*: 313-328. 2015.
- Çoruhlu, Berna. *Doğu Karadeniz Bölgesindeki Tek Açıklıklı Kemer Köprüler İçin Doğal Frekans, Yer Değiştirme ve Gerilme Formülleri*. "Yüksek Lisans Tezi," Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2017.
- Darılmaz, Kutlu. **Depreme Dayanıklı Binaların Tasarımına Giriş**. İstanbul: Birsen Yayın Dağıtım Ltd. Şti., 2019
- Demirtaş, Betül, Alemdar Bayraktar & Aydın Dumanoglu. "Model Updating Effects on the Seismic Behavior of Tall Buildings under Far and Near-Fault Ground Motions," **Research on Engineering Structures & Materials**. 3, 2: 99-112, 2017.
- Doran, Bilge, Ali Bozer, Bülent Akbaş & Erkan Şenol. **Yapı Mühendisliği Problemlerinde SAP2000 Uygulamaları**. İstanbul: Birsen Yayın Dağıtım Ltd. Şti., 2019
- Ercan, Emre & Ayhan Nuhuğlu. "Üç Açıklıklı Tarihi Yığma Köprünün Yapısal Davranışının Belirlenmesi," *3.Köprüler Viyadükler Sempozyumu*: 92-105. Bursa: 2015.
- Eurocode 8. "Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings," Brussels, European Committee for Standardization, 2004.
- Ewins, D. J. **Modal Testing: Theory, Practice and Application**. London: Research Studies Press Ltd., 2009
- FEMA 356. "Pre-Standard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings," USA: Federal Emergency Management Agency, 2000.
- Fukuda, Yuichi, Yukito Matsumoto & Kazuto Seto. "Bending and Torsional Vibration Control of Flexible Structures Arranged in Parallel," *3rd. International Conference on Motion and Vibration Control*: Chiba: 1996.
- Graham, M. C. *Design Strategies for Coupling Buildings*. "Yüksek Lisans Tezi," Cambridge: Massachusetts Institute of Technology, 1994.
- Gurley, K., A. Kareem, L.A. Bergman, E.A. Johnson & R.E. Klein. "Coupling Tall Buildings for Control of Response to Wind," *Structural Safety & Reliability*: 1553-1560. Rotterdam: 1994.

- Güneş, Sinem. *Operasyonel Modal Analiz Tekniği ile Yığma Yapıların Dinamik Davranışının Belirlenmesi*. "Yüksek Lisans Tezi," Ankara: Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2017.
- Haramoto, H., K. Seto & Y. Koike. "Active Vibration Control of Triple Flexible Structures Arranged in Parallel," *Pioneering International Symposium on MOVIC in Mechantronics*: Tokyo: 1999.
- Hodge, Philip G. **Yapıların Plastik Analizi**. Çev.: Erdoğan Şuhubi & Vural Cinemre. 1967
- Holmes, Malcolm. "Steel Frames with Brickwork and Concrete Infilling," **Proceedings of the Institution of Civil Engineers**. 19, 4: 473-478, 1961.
- Hori, N. & K. Seto. "Vibration Control of Flexible Space Structures Based on Reduced Order Model Method and Filtered LQ Control Theory," *Pioneering International Symposium on MOVIC in Mechantronics*: 187-192. Tokyo: 1999.
- Hökelekli, Emin. *Manisa Hafsa Sultan Camii Deprem Davranışının Operasyonel Modal Analiz Yöntemiyle İncelenmesi*. "Doktora Tezi," Manisa: Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2015.
- Hu, Jun, Heung-Fai Lam & Jia-Hua Yang. "Operational Modal Identification and Finite Element Model Updating of a Coupled Building Following Bayesian Approach," **Structural Control Health Monitoring**. 25, 2, 2017.
- Kaltakçı, M.Y. & M. H. Arslan. "Taşıyıcı Olmayan Tuğla Dolgu Duvarların Yapı Davranış Katsayısına Olan Etkisinin İncelenmesi," *Deprem Sempozyumu*: 598-605. Kocaeli: 2005.
- Kamagata, K., K. Miyajima & K. Seto. "Optimal Design of Damping Devices for Vibration Control of Parallel Structures," *3rd. International Conference on Motion and Vibration Control*: 334-339. Chiba: 1996.
- Karadoğan, Faruk, Sumru Pala, Ercan Yüksel & Yavuz Durgun. **Yapı Mühendisliğine Giriş Yapısal Çözümleme Cilt 2**. İstanbul: Birsen Yayınevi Ltd. Şti., 2015
- Kelly, S. Graham. **Mekanik Titreşimler: Teori ve Uygulamalar**. Çev.: Ömer Gündoğdu, Gürkan Şakar, Zeki Kırıl, Levent Malgaca, & Hasan Öztürk. Palme Yayıncılık, 2016
- Klein, R.E., C. Cusano & J. Stukel. "Investigation of a Method to Stabilize Wind Induced Oscillations in Large Structures," **American Society of Mechanical Engineers**. 1972.
- Klein, R.E. & M.D. Healy. "Semi-Active Control of Wind Induced Oscillations in Structures," *Proceedings of the Second International Symposium on Structural Control*: 354-369. Ontario: 1987.



- Ko, J. M., Y. Q. Ni & Z. G. Ying. "Dynamic Response of Adjacent Buildings Coupled with Nonlinear Hysteretic Dampers under Random Seismic Excitation," *Proc., Seminar on New Seismic Design Methodologies for Tall Building*: 111-122. Pekin: 1999.
- Kramer, Steven L. **Geoteknik Deprem Mühendisliği**. 1. Baskı. Çev.: Kamil Kayabalı. Gazi Kitapevi Tic. Ltd. Şti., 2003
- Kudu, Fatma Nur, Şenay Uçak, Gökhan Osmançikli, Temel Türker & Alemdar Bayraktar. "Estimation of Damping Ratios of Steel Structures by Operational Modal Analysis Method," **Journal of Constructional Steel Research**. 112: 61-68, 2015.
- Kunieda, M. "Earthquake Prevent Design and Earthquake Proof," **The Japan Society of Mechanical Engineers**. 79, 689: 86-91, 1976.
- Kürkçü, Ferit. *20 Katlı Betonarme Bir Yapının Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne Göre Tasarımı ve Deprem Performansının Belirlenmesi*. "Yüksek Lisans Tezi," İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2019.
- Lee, Dong-Guen, Hyun-Su Kim & Hyun Ko. "Evaluation of Coupling-Control Effect of a Sky-Bridge for Adjacent Tall Buildings," **The Structural Design of Tall and Special Buildings**. 21: 311-328, 2010.
- Liau, T. C. & K. H. Kwan. "Non-Linear Behaviour of Non-Integral Infilled Frames," **Computers & Structures**. 18, 3: 551-560, 1984.
- Livaoğlu, Ramazan, Mehmet Hüdayi Baştürk, Adem Doğançün & Cavit Serhatoğlu. "Effect of Geometric Properties on Dynamic Behavior of Historic Masonry Minaret," **KSCE Journal of Civil Engineering**. 20, 6: 2392-2402, 2016.
- Luco, Juan Enrique & Francisco C. P. De Barros. "Optimal Damping Between Two Adjacent Elastic Structures," **Earthquake Engineering & Structural Dynamics**. 27, 7: 649-659, 1998.
- Luco, J. E. & H. L. Wong. "Control of the Seismic Response of Adjacent Structures," *Proceedings of the First World Conference on Structural Control*: 21-30. Los Angeles: 1994.
- Lu, Xilin, Zhiguo Gong, Dagen Weng & Xiaosong Ren. "The Application of a New Structural Control Concept for All Tall Building with Large Podium Structure," **Engineering Structures**. 29: 1833-1844, 2007.
- Mainstone, R. J. "On the Stiffness and Strengths of Infilled Frames," **Proceedings of the Institution of Civil Engineers**. 49, 2, 1971.

- Matsumoto, Y., F. Doi & K. Seto. "Vibration Control for Multiple Building Structures Connected with Active Bridges," *Proceedings of Pioneering International Symposium on MOVIC in Mechantronics*: Tokyo: 1999.
- Mısır, İbrahim Serkan, Özgür Özçelik, Erkan Durmazgezer, Umut Yücel, Carmen Amaddeo, Fikret Kuran, Ercan Tuna, Gökhan Yücel & İsmael B. Youssouf. "Tarihi Yiğma Binaları Oluşturan Üç Tabakalı Taş Yiğma Duvarların Düzlemdışı Etkilere Göre Modal Kalibrasyonu: İsabey Camii Örneği," *Uluslararası Katılımlı 6. Tarihi Yapıların Korunması ve Güçlendirme Sempozyumu*: 483-492. 2017.
- Mitsuta, Shinji, Eiji Okawa, Kazuto Seto & Hiroyuki Ito. "Active Vibration Control of Structures Arranged in Paralled," **JSME International Journal**. 37, 3: 436-443, 1994.
- Mitsuta, S. & K. Seto. "Active Vibration Control of Structures Arranged in Parallel," *Fist International Conference on Motion and Vibration Control (MOVIC)*: 146-151. Yokohama: 1992.
- Moghaddami, H. & P. Dowling. "Earthquake Resistant Design of Brick Infilled Frames," *Proceedings of the Eighth International Brick and Block Masonry Conference*: 774-784. Dublin: 1988.
- Özçelik, Muhammed Hidayet. *Tuğla Dolgu Duvarlar için Eşdeğer Diyagonal Çubuk Genişliğinin Belirlenmesi*. "Yüksek Lisans Tezi," Ankara: Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2019.
- Özmen, Günay, Engin Orakdöğen & Kutlu Darılmaz. **Örneklerle SAP2000 v20**. İstanbul: Birsen Yayınevi Ltd. Şti., 2018
- Öztürkoğlu, Onur, Taner Uçar & Yusuf Yeşilce. "Kısmi Boşluklu Dolgu Duvarların Betonarme Binaların Deprem Davranışına Etkisinin İncelenmesi," *Uluslararası Burdur Deprem ve Çevre Sempozyumu*: 2015.
- Paulay, T. & M. N. N. Priestley. **Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings**. USA: John Wiley, 1992
- Polyakov, S. **Masonry in Framed Buildings : An Investigation into the Strength and Stiffness of Masonry Infilling**. Çev.: G.L. Cairns. Moscow: 1956
- Ramos, J. L. F. S. *Damage Idendification on Masonry Structures Based on Vibration Signatures*. "Doktora Tezi," University of Minho, 2007.
- Sakai, D., S. Sugino, K. Seto, R. E. Christenson & B. F. Jr. Spencer. "Vibration Control of Parallel Structures Connected with Passive Devices by GA," *ASME Design Engineering Technical Conf.*: Las Vegas: 1999.
- SAP2000 v.20.2. "Yapısal Analiz Programı," USA: Computers and Structures, Inc., 2019.

- Seto, K. "Vibration Control Method for Flexible Structures Arranged in Parallel," *First World Conference on Structural Control*: 62-71. Los Angeles: 1994.
- Seto, K. "A Structural Control Method of the Vibration of Flexible Buildings in Response to Large Earthquakes and Strong Winds," *Proceedings of the 35th IEEE Conference on Decision and Control*: 658-663. Kobe: 1996.
- Seto, K., Y. Toba & Y. Matsumoto. "Reduced order Modeling and Vibration Control Methods for Flexible Structures Arranged in Parallel," *Proceedings of the American Control Conference*: 2344-2348. Seattle: 1995.
- Seto, K., Y. Toba, Y. Matsumoto & F. Doi. "Vibration Control of Flexible Structures Arranged in Parallel," *Second International Conference on Motion and Vibration Control (MOVIC)*: 138-143. Yokohama: 1994.
- Sevim, Barış. *Kemer Barajların Dinamik Davranışlarının Sonlu Eleman ve Deneysel Modal Analiz Yöntemleriyle Belirlenmesi*. "Doktora Tezi," Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010.
- Sevim, Barış, Alemdar Bayraktar, Ahmet Can Altunışık, Süleyman Adanur & Mehmet Akköse. "Determination of Water Level Effects on the Dynamic Characteristics of a Prototype Arch Dam Model using Ambient Vibration Testing," **Experimental Techniques**. 36, 1: 72-82, 2010.
- Smith, B. S. & C. Carter. "A Method of Analysis for Infilled Frames," **Proceedings of the Institution of Civil Engineers**. 44, 1: 31-48, 1969.
- STA4Cad V14. "Yapısal Analiz Programı," Türkiye, İstanbul: Sta Bilgisayar Mühendislik ve Müşavirlik Ltd. Şti., 2019.
- TPB. **:Beton Prefabrikasyon El Kitabı: Tasarım, Üretim ve Montaj Esaslar**. Ed. Günkut Barka, Hakan Ataköy, & Ercan Yüksel. Ankara: Türkiye Prefabrik Birliği, 2018
- TS500. "Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları," Ankara: Türk Standartları Enstitüsü, 2000.
- Türker, Temel. *Çevresel Titreşim Verileri Kullanılarak Yapıların Hasar Durumlarının Tespiti ve Değerlendirilmesi*. "Doktora Tezi," Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2011.
- Türker, Temel. "Ambient Vibration Test Of Building Base Slab For Different Ground Conditions," **Measurement**. 52: 77-84, 2014.
- Türker, Temel & Alemdar Bayraktar. "Vibration Based Modal Testing of a Scaled Reinforced Concrete Building for Construction Stages," **Bulletin of Earthquake Engineering**. 15, 8: 3399-3416, 2015.
- Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. "Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı İçin Kurallar," Ankara: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2018.

"Türkiye Deprem Tehlike Haritası - Afad," T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil DurumYönetimi Deprem Dairesi Başkanlığı, [https:// tdth.afad.gov.tr](https://tdth.afad.gov.tr). 2018. (1 Ocak 2019).

Wood, Antony. "Rethinking Evacuation: Rethinking Cities," **Council on Tall Buildings and Urban Habitat**. 3, 2011.

Xu, Y. L., Q. He & J. M. Ko. "Dynamic Response of Damper Connected Adjacent Buildings under Earthquake Excitation," **Engineering Structures**. 21: 135-148, 1999.

Yamada, Y., N. Ikawa, H. Yokoyama & E. Tachibana. "Active Control of Structures Using the Joining Member with Negative Stiffness," *First Conference on Structural Control*: 41-49. Pasadena: 1994.

Yüksel, Ercan. *Bazı Düzensizlikler İçeren Üç Boyutlu Büyük Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmayan Çözümlemesi*. "Doktora Tezi," İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1998.

Zhu, H., Y. Wen & H. Iemura. "A Study on Interaction Control for Seismic Response of Parallel Structures," **Computers & Structures**. 79: 231-242, 2001.