

T.C.
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YAPI-ZEMİN ETKİLEŞİMİNİN BETONARME SANAYİ
BACALARININ DİNAMİK DAVRANIŞINA ETKİSİ

Muhammet SARI

TEZ DANIŞMANI

Doç. Dr. Erol YILMAZ

II. DANIŞMAN

Prof. Dr. Ahmet Can ALTUNIŞIK

JÜRİ ÜYELERİ

Doç. Dr. Murat GÜNAYDIN

Doç. Dr. Murat YAYLACI

Dr. Öğr. Üyesi Eren KÖMÜRLÜ

RİZE-2020

Her Hakkı Saklıdır

ÖNSÖZ

Bu çalışma Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

“Yapı-Zemin Etkileşiminin Betonarme Sanayi Bacalarının Dinamik Davranışına Etkisi” isimli tez çalışmasını bana öneren ve her aşamasında gerek bilgi ve tecrübelerini gerekse manevi desteğini benden esirgemeyen, teze beraber başladığımız Hocam Sayın Prof. Dr. Ahmet Can ALTUNIŞIK’a ve sonrasında danışmanlığımı üstlenen Hocam Sayın Doç. Dr. Erol YILMAZ’a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamda tecrübelerini benimle paylaşan Sayın Dr. Öğr. Üyesi Hasan SESLİ’ye teşekkür ederim.

Lisansüstü eğitim sürecimde her zaman yanımda olan gerek tez çalışmam gerekse diğer çalışmalarında her türlü desteğini benden esirgemeyen “Dynamic Academy” ailesinin bütün değerli üyelerine çok teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimine birlikte başladığımız ve her aşamasında birbirimize destek olduğumuz değerli arkadaşlarım Arş. Gör. Esin ERTÜRK, Arş. Gör. Hasan Oğulcan MARANGOZ ve İnş. Müh. Mehveş MERAL’e teşekkür ederim.

Öğrenim hayatım süresince bana her türlü desteği veren ve yanımda olan babam İlyas SARI’ya, annem Fatma SARI’ya, ablam Elif SARI GÖRAL’e ve kardeşim Mustafa SARI’ya teşekkür eder ve bu çalışmanın yeni çalışmalara öncülük etmesini ve Ülkemize faydalı olmasını temenni ederim.

Muhammet SARI

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Tarafımdan hazırlanan “Yapı-Zemin Etkileşiminin Betonarme Sanayi Bacalarının Dinamik Davranışına Etkisi” başlıklı bu tezi, Yükseköğretim Kurulu Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesindeki hususlara uygun olarak hazırladığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal işlemi kabul ettiğimi beyan ederim. 13/07/2020



Muhammet SARI

Uyarı: Bu tezde kullanılan özgün ve/veya başka kaynaklardan sunulan içeriğin kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

YAPI-ZEMİN ETKİLEŞİMİNİN BETONARME SANAYİ BACALARININ DİNAMİK DAVRANIŞINA ETKİSİ

Muhammet SARI

**Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi
Danışmanı: Doç. Dr. Erol YILMAZ**

Ülkemizde ve dünyada sanayi sektörünün gelişimi hem üreticiler hem de tüketiciler için önemli bir rol oynamaktadır. Bu nedenle, çeşitli amaçlar ve yöntemlerle farklı yapı malzemeleri kullanılarak ihtiyaçları karşılayacak hassas yapım ticari ve sanayi yapıları inşa edilmiş ve bu yapıların uzun yıllar boyunca hizmet etmesi arzulanmıştır. İleri mühendislik bilgisi ve tecrübe gerektiren bu yapılar inşa edilirken birçok parametre göz önünde bulunduruldu. Bu tezin amacı hem Ülkemiz hem de işletmeler için önemli bir yere sahip olan sanayi bacalarının dinamik davranışına yapı-zemin etkileşiminin etkisinin incelenmesidir. Bu nedenle, 1999 yılında Türkiye'nin kuzeybatısında meydana gelen Kocaeli depreminde ciddi bir şekilde hasar alan/yıkılan bir betonarme sanayi bacası örnek olarak seçilmiştir. Seçilen bu yapının farklı zemin tipleri (sert, orta sert ve yumuşak) üzerindeki dinamik davranışı ANSYS sonlu eleman programıyla sayısal olarak incelenmiştir. Yapılan çalışmalardan yapının dinamik karakteristikleri (mod şekilleri ve frekans) ile yapıda meydana gelen gerilme, şekil değiştirme ve yer değiştirmeler elde edilmiş ve karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir. Bu çalışma ile betonarme sanayi bacalarının dinamik davranışında sınır şartlarının ve yapı-zemin etkileşiminin önemi vurgulanmıştır.

2020, 91 sayfa

Anahtar Kelimeler: Doğrusal Dinamik Analiz, Sanayi Bacaları, Yapı-Zemin Etkileşimi

ABSTRACT

EFFECT OF SOIL-STRUCTURE INTERACTION ON DYNAMIC BEHAVIOR OF REINFORCED CONCRETE INDUSTRY CHIMNEYS

Muhammet SARI

**Recep Tayyip Erdogan University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering
Master Thesis
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Erol YILMAZ**

The development of the industrial sector in Turkey and in the world plays an important role for both producers and consumers. Therefore, precision-built commercial and industrial structures were built to meet needs by using different building materials by various purposes and methods, and these structures were desired to serve for many years. While constructing these structures that require advanced engineering knowledge and experience, many parameters were considered. The aim of this thesis is to investigate the effect of soil-structure interaction on dynamic behavior of industrial chimneys, which have an important place for Turkey and businesses. Thus, a reinforced concrete industrial chimney that was strictly damaged/destroyed by the 1999 Kocaeli earthquake occurred in northwestern Turkey was selected as an example. The dynamic behavior of this selected structure on different soil types (hard, medium and soft) was numerically studied by ANSYS finite element program. From the works done, structure's dynamic characteristics (mode shapes and frequency) and the stresses, strains and displacements occurring in the structure were gained and studied comparatively. In this study, the importance of boundary conditions and soil-structure interaction in the dynamic behavior of concrete industrial chimneys was emphasized.

2020, 91 pages

Keywords: Linear Dynamic Analysis, Industrial Chimneys, Soil-Structure Interaction

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	I
TEZ ETİK BEYANNAMESİ	II
ÖZET	III
ABSTRACT	IV
İÇİNDEKİLER	V
ŞEKİLLER DİZİNİ	VII
TABLolar DİZİNİ	X
SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ	XI
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. Literatür Özeti	2
1.2.1. Narin Yapıların Yapısal Davranışlarının Belirlenmesi İle İlgili Yapılan Çalışmalar	2
1.2.2. Yapı-Zemin Etkileşimi İle İlgili Yapılan Çalışmalar	6
1.3. Yapı-Zemin Etkileşim Modelleri	14
1.3.1. Ayrık Model	14
1.3.2. Elastik Zemin Modelleri	15
1.3.2.1. Bir Parametrelili Zemin Modeli	15
1.3.2.2. İki Parametrelili Zemin Modelleri	17
1.3.3. Geliştirilmiş Vlasov Zemin Modeli	20
1.3.4. Sonlu Eleman Modeli	22
1.4. Viskoz Sınır Şartı	23
1.5. Viskoz Sınırlı Yapı-Zemin Sisteminin Hareket Denklemi	25
1.6. Bacaların Tarihsel Gelişimi, Yapım Amaçları ve Türleri	25
1.7. Betonarme Bacalarla İlgili Yapılan Çalışmalar	28
1.8. Betonarme Baca Kısımları	30
1.8.1. Baca Temelleri	30
1.8.2. Baca Gövdesi	31
1.8.3. Baca Kaplamaları	31
1.9. Betonarme Bacalara Etki Eden Yükler	32
1.9.1. Sabit (Ölü) Yükler	32

1.9.2.	Rüzgâr Yükleri	35
1.9.3.	Sıcaklık Değişiminden Kaynaklanan Yükler	35
1.9.4.	Deprem Yükleri.....	36
1.10.	Newmark Yöntemine Göre Zaman Tanım Alanında Dinamik Analiz.....	36
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR	39
2.1.	Sanayi Bacasının Geometrik Özellikleri.....	39
2.2.	Sanayi Bacasının Sonlu Eleman Modelinin Oluşturulması	40
3.	BULGULAR	43
3.1.	Modal Analiz ve Dinamik Karakteristiklerin Belirlenmesi	43
3.2.	Doğrusal Dinamik Davranışların Belirlenmesi	46
3.2.1.	Ankastre Mesnetli Durum Analizi.....	47
3.2.1.1.	Yer Değiştirmeler	47
3.2.1.2.	Asal Gerilmeler	47
3.2.1.3.	Asal Şekil Değiştirmeler	49
3.2.2.	Yapı-Sert Zemin Etkileşimli Durum Analizi	52
3.2.2.1.	Yer Değiştirmeler	52
3.2.2.2.	Asal Gerilmeler	52
3.2.2.3.	Asal Şekil Değiştirmeler	54
3.2.3.	Yapı-Orta Sert Zemin Etkileşimli Durum Analizi	57
3.2.3.1.	Yer Değiştirmeler	57
3.2.3.2.	Asal Gerilmeler	57
3.2.3.3.	Asal Şekil Değiştirmeler	59
3.2.4.	Yapı-Yumuşak Zemin Etkileşimli Durum Analizi.....	62
3.2.4.1.	Yer Değiştirmeler	62
3.2.4.2.	Asal Gerilmeler	62
3.2.4.3.	Asal Şekil Değiştirmeler	64
4.	TARTIŞMA ve SONUÇLAR	69
5.	ÖNERİLER.....	71
	KAYNAKLAR	72
	EKLER	77
	ÖZGEÇMİŞ	91

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.	Deprem sonucu yıkılan bir betonarme sanayi bacası örneği	1
Şekil 2.	Yapı ve zemine ait ayırık model	15
Şekil 3.	Winkler zemin modeline göre yer değiştirmeler.....	16
Şekil 4.	Filonenko-Borodich zemin modeline göre yer değiştirmeler	18
Şekil 5.	Pasternak zemin modeli.....	19
Şekil 6.	Vlasov zemin modeli.....	19
Şekil 7.	Elastik zemine oturan bir plak	20
Şekil 8.	Yapı-zemin etkileşiminin sonlu elemanlarla gösterimi.....	23
Şekil 9.	Sonlu eleman modellerinde viskoz sınır şartlarının gösterimi.....	24
Şekil 10.	Farklı malzeme türleri kullanılarak yapılmış baca örnekleri	26
Şekil 11.	Betonarme bacalarda kullanılan temel tipleri	31
Şekil 12.	Sabit yük hesabında kullanılan bir baca dilimi	32
Şekil 13.	Betonarme bacaya ait kesit ve görünüşler	40
Şekil 14.	Bacaya ait ankastre mesnetli ve yapı-zemin etkileşimli sonlu eleman modelleri	42
Şekil 15.	Ankastre mesnetli baca modeline ait mod şekilleri ve frekanslar.....	43
Şekil 16.	Sert zemine oturan baca modeline ait mod şekilleri ve frekanslar.....	44
Şekil 17.	Orta sert zemine oturan baca modeline ait mod şekilleri ve frekanslar	44
Şekil 18.	Yumuşak zemine oturan baca modeline ait mod şekilleri ve frekanslar	45
Şekil 19.	Düzce istasyonunda kaydedilen Kocaeli depreminin yatay bileşeninin ivme kaydı (KOCAELI_DZC270).....	46
Şekil 20.	(a) Ankastre mesnetli sonlu eleman modelinden elde edilen yer değiştirme kontur diyagramı ve (b) maksimum yer değiştirmenin zamana bağlı değişimi.....	47
Şekil 21.	Ankastre mesnetli sonlu eleman modelinden elde edilen maksimum asal gerilme kontur diyagramları	48
Şekil 22.	Ankastre mesnetli sonlu eleman modelinden elde edilen minimum asal gerilme kontur diyagramları	49
Şekil 23.	Ankastre mesnetli sonlu eleman modelinden elde edilen maksimum ve minimum asal gerilmelerin zamanla değişimi	49
Şekil 24.	Ankastre mesnetli sonlu eleman modelinden elde edilen maksimum asal şekil değiştirme kontur diyagramları.....	50
Şekil 25.	Ankastre mesnetli sonlu eleman modelinden elde edilen minimum asal şekil değiştirme kontur diyagramları.....	51

Şekil 26.	Ankastre mesnetli sonlu eleman modelinden elde edilen maksimum ve minimum asal şekil değiştirmelerin zamanla değişimi	51
Şekil 27.	(a) Yapı-sert zemin etkileşimli sonlu eleman modelinden elde edilen yer değiştirme kontur diyagramı ve (b) maksimum yer değiştirmenin zamana bağlı değişimi.....	52
Şekil 28.	Yapı-sert zemin etkileşimli sonlu eleman modelinden elde edilen maksimum asal gerilme kontur diyagramları	53
Şekil 29.	Yapı-sert zemin etkileşimli sonlu eleman modelinden elde edilen minimum asal gerilme kontur diyagramları.....	54
Şekil 30.	Yapı-sert zemin etkileşimli sonlu eleman modelinden elde edilen maksimum ve minimum asal gerilmelerin zamanla değişimi	54
Şekil 31.	Yapı-sert zemin etkileşimli sonlu eleman modelinden elde edilen maksimum asal şekil değiştirme kontur diyagramları.....	55
Şekil 32.	Yapı-sert zemin etkileşimli sonlu eleman modelinden elde edilen minimum asal şekil değiştirme kontur diyagramları.....	56
Şekil 33.	Yapı-sert zemin etkileşimli sonlu eleman modelinden elde edilen maksimum ve minimum asal şekil değiştirmelerin zamanla değişimi.....	56
Şekil 34.	(a) Yapı-orta sert zemin etkileşimli sonlu eleman modelinden elde edilen yer değiştirme kontur diyagramı ve (b) maksimum yer değiştirmenin zamana bağlı değişimi	57
Şekil 35.	Yapı-orta sert zemin etkileşimli sonlu eleman modelinden elde edilen maksimum asal gerilme kontur diyagramları	58
Şekil 36.	Yapı-orta sert zemin etkileşimli sonlu eleman modelinden elde edilen minimum asal gerilme kontur diyagramları.....	59
Şekil 37.	Yapı-orta sert zemin etkileşimli sonlu eleman modelinden elde edilen maksimum ve minimum asal gerilmelerin zamanla değişimi	59
Şekil 38.	Yapı-orta sert zemin etkileşimli sonlu eleman modelinden elde edilen maksimum asal şekil değiştirme kontur diyagramları.....	60
Şekil 39.	Yapı-orta sert zemin etkileşimli sonlu eleman modelinden elde edilen minimum asal şekil değiştirme kontur diyagramları.....	61
Şekil 40.	Yapı-orta sert zemin etkileşimli sonlu eleman modelinden elde edilen maksimum ve minimum asal şekil değiştirmelerin zamanla değişimi.....	61
Şekil 41.	(a) Yapı-yumuşak zemin etkileşimli sonlu eleman modelinden elde edilen yer değiştirme kontur diyagramı ve (b) maksimum yer değiştirmenin zamana bağlı değişimi	62
Şekil 42.	Yapı-yumuşak zemin etkileşimli sonlu eleman modelinden elde edilen maksimum asal gerilme kontur diyagramları	63
Şekil 43.	Yapı-yumuşak zemin etkileşimli sonlu eleman modelinden elde edilen minimum asal gerilme kontur diyagramları.....	64
Şekil 44.	Yapı-yumuşak zemin etkileşimli sonlu eleman modelinden elde edilen maksimum ve minimum asal gerilmelerin zamanla değişimi	64

Şekil 45. Yapı-yumuşak zemin etkileşimli sonlu eleman modelinden elde edilen maksimum asal şekil değiştirme kontur diyagramları.....	65
Şekil 46. Yapı-yumuşak zemin etkileşimli sonlu eleman modelinden elde edilen minimum asal şekil değiştirme kontur diyagramları.....	66
Şekil 47. Yapı-yumuşak zemin etkileşimli sonlu eleman modelinden elde edilen maksimum ve minimum asal şekil değiştirmelerin zamanla değişimi.....	66
Şekil 48. Sayısal analizlerden elde edilen yer değiştirme, asal gerilme ve asal şekil değiştirme sonuçları arasındaki farkların grafiksel gösterimi	68



TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Çeşitli zeminler için yatak katsayıları	16
Tablo 2. Baca diliminin hesabında kullanılan Simpson katsayıları	34
Tablo 3. Baca gövdesinde bulunan açıklık ölçüleri	39
Tablo 4. Bacanın geometrik özellikleri	39
Tablo 5. Sonlu eleman modelinde kullanılan baca modelinin malzeme özellikleri	41
Tablo 6. Sonlu eleman modelinde kullanılan zeminlerin malzeme özellikleri	41
Tablo 7. Sayısal analizlerden elde edilen frekans değerleri	45
Tablo 8. Sayısal analizlerden elde edilen yer değiştirmeler	67
Tablo 9. Sayısal analizlerden elde edilen asal gerilmeler ve asal şekil değiştirmeler ..	67

SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ

A	Sönümleyicinin Tanımlandığı Yüzey Alanı
C_n	Normal Sönüm Katsayısı
C_t	Teğetsel Sönüm Katsayısı
$[C]$	Sönüm Matrisi
D_e	Plak Eğilme Rijitliği
E_s	Zemin Elastisite Modülü
G_s	Zemin Kayma Modülü
H	Yükseklik
k	Elastik Yay Sabiti
$[K]$	Rijitlik Matrisi
$[M]$	Kütle Matrisi
$\{P\}$	Yük Vektörü
q	Zemin Tepki Fonksiyonu
T	Zar Çekme Kuvveti
$\{U\}$	Yer Değiştirme Vektörü
$\{\dot{U}\}$	Hız Vektörü
$\{\ddot{U}\}$	İvme Vektörü
V_p	P Dalgası Hızı
V_s	Kayma Dalgası Hızı
$\{V\}$	Viskoz Sönüm Kuvveti Vektörü
w	Düşey Yer Değiştirme
σ	Normal Gerilme
τ	Kayma Gerilmesi
ρ	Birim Hacim Ağırlık
Δ^2	Laplace Operatörü
$2t$	Zemin Kayma Parametresi
ν_s	Zemin Poisson Oranı
γ	Zemin Yüzey Parametresi
$\phi(z)$	Düşey Yer Değiştirme Fonksiyonu

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Geçmişten günümüze gelişen inşaat teknolojisi ile yapı stokunda büyük oranda artış meydana gelmiştir. Çeşitli amaçlar için inşa edilen yapılar bazı alanlarda yetersiz kalmış ve farklı nedenlerden dolayı bizleri daha yüksek ve narin yapılar yapmaya yönlendirmiştir. Kule tipi yapılar olarak da adlandırılan bu yapı çeşitleri, sosyal yaşam, ulaşım, iletişim, ibadethaneler ve sanayi tesisleri gibi pek çok alanda karşımıza çıkabilmektedir. Bu alanlardan biri olan üretim sektörü, Sanayi Devrimi ile büyük bir gelişime uğramış, mevcut ihtiyaçları karşılamak amacıyla nükleer santraller ve endüstriyel fabrikalar kurulmuştur. Kurulan sanayi tesislerinde atık gazların ortamdan uzaklaştırılmasını sağlamak amacıyla bacalar inşa edilmektedir. Hava kirliliğinin önlenmesi için atık gazların atmosfere yeryüzünden uzakta bırakılması gerekliliği, bacaların uzun ve narin bir yapıya sahip olmalarına neden olmaktadır. Farklı uzunluk ve malzeme kullanılarak inşa edilen bacalar nem, düşük-yüksek sıcaklık, zararlı gaz, rüzgâr ve deprem gibi çeşitli etkilere maruz kalmaktadır. Hatta bu etkiler sonucunda yapılar hasar almakta ve tasarım ömürlerini tamamlamadan yıkılabilmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Deprem sonucu yıkılan bir betonarme sanayi bacası örneği (Gould vd. 2004)

Ülkemizin aktif deprem kuşağında yer alması nedeniyle güvenilir yapı tasarımlarında deprem etkisi çok önemli bir yere sahiptir. Özellikle uzun ve narin baca yapılarının yapısal davranışlarının dinamik karakteristiklere bağlı olarak değişmesi, göz

önünde bulundurulması gereken bir durumdur. Deneysel ve sayısal yöntemler kullanılarak belirlenebilen dinamik karakteristikler sayısal yöntemde yapı geometrisi, malzeme özellikleri ve mesnet şartları kullanılarak oluşturulan sonlu eleman modellerinin modal analizleri sonucunda elde edilebilmektedir.

Mesnet şartlarının dinamik karakteristikler üzerinde önemli bir etkiye sahip olması nedeniyle, yapının üzerinde bulunduğu zemin ortamı etkisinin sadece temel tasarımlarında göz önünde bulundurulması yapı davranışının belirlenmesinde birtakım hataların oluşmasına neden olabilmektedir. Yapılan tasarımlarda sadece yapının ele alınması ve rijit ankastre mesnetli kabul edilmesi yapının davranışını yorumlamada yetersiz kalabilir. Çünkü, zeminin yapı üzerindeki farklı etkileri sonucunda yapının göstereceği tepkiler de değişmektedir. Bu nedenle, yapı davranışlarının sonsuz zemin ortamını da içerecek şekilde belirlenmesi güvenilirlik açısından büyük bir önem arz etmektedir. Özellikle narin baca yapılarının dinamik davranışlarında yapı-zemin etkileşiminin dikkate alınması ve zeminin yapı üzerindeki etkilerinin de değerlendirilmesi gerekmektedir. Zemin ortamının karmaşık bir yapıya sahip olması ve çeşitli parametrelere bağlı olarak değişim göstermesi yapı sistemi ile zemin arasındaki ilişkiyi belirlemede zorluklar çıkarmaktadır. Bu nedenle farklı yapı-zemin etkileşim modelleri ortaya atılarak son zamanlarda daha gerçeği yansıtan, güvenilir zemin modelleri üzerinde çalışmalar yapılmaktadır.

1.2. Literatür Özeti

1.2.1. Narin Yapıların Yapısal Davranışlarının Belirlenmesi İle İlgili Yapılan Çalışmalar

D'Ambrisi vd. (2012), yaptıkları bu çalışmada 12. yüzyılda İtalya'da inşa edilen ve başlangıçta 31,5 m yüksekliğe sahipken 1575 yılında üzerine çan odasının eklenmesiyle 41,8 m'ye ulaşan Soncino tarihi yığma kulesinin sismik performansını incelemişlerdir. Yapılan çalışmanın amacı, bu tarz tarihi yapıların çevresel titreşim testleri kullanılarak sayısal model iyileştirmelerinin yapılması ve kullanılan analiz türüne göre deprem davranışlarının belirlenmesidir. Bu nedenle çalışma kapsamında doğrusal olmayan statik ve dinamik analizler yapılmış olup, elde edilen sonuçlar İtalya yönetmelikleriyle kıyaslanarak kulenin deprem hassasiyeti ve risk değerlendirmesi

yapılmıştır.

Altunışık (2013), yapmış olduğu bu çalışmada, 45,8 m yüksekliğindeki bir betonarme cami minaresinin deprem davranışını ANSYS sonlu eleman programını kullanarak incelemiştir. Bu çalışmada, minarenin üç farklı bölgesine sarılan toplam kalınlığı 6 mm olan dört kat lifli polimer kompozitin deprem davranışına etkisi karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir.

Casolo vd. (2013), yaptıkları bu çalışmada, İtalya'nın kıyı kesimindeki Po vadisinde bulunan, kullanım amaçları değişken olup farklı zamanlarda inşa edilen 10 adet kuleyi incelemiştir. Aynı bölgede ve hemen hemen aynı mekanik özelliklere sahip farklı geometrideki kulelerin aynı deprem esnasında göstereceği davranışlar arasındaki farklılıkları elde etmeyi ve bunları kıyaslamayı amaçlamışlardır. Bunun için 4 yapay ivme kaydı kullanarak toplamda 40 adet dinamik analiz gerçekleştirmiş ve elde edilen sonuçları grafik ve şekil üzerinde göstererek sunmuşlardır. Analizler sonucunda narinlik ve taban kesme alanlarının sismik hassasiyet üzerinde önemli bir rol oynadığı, ayrıca yerel geometrik değişiklikler ile kulenin çan bulundurmasına bağlı olarak davranışlarda büyük farklılıkların meydana geldiği sonucuna varmışlardır.

Acito vd. (2014), yaptıkları bu çalışmada İtalya'nın Finale Emilia şehrinde bulunan ve 20-29 Mayıs 2012 tarihlerinde meydana gelen depremlerden dolayı zarar gören bir saat kulesini incelemiştir. İlk depremden sonra saat kulesinin yarısı göçmüş, diğer yarısı ise tehlike oluşturabilecek şekilde ayakta kalmıştır. İkinci depremden sonra da yapı neredeyse tamamen göçmüştür. Bu saat kulesinin deprem yükleri altında davranışını incelemek amacıyla üç boyutlu sonlu eleman modeli oluşturulmuştur. İtalyan yönetmeliklerine bağlı olarak Strand-7 programında doğrusal olmayan statik ve ABAQUS programı kullanarak da doğrusal olmayan dinamik analizleri gerçekleştirmişlerdir. Elde edilen sonuçlarla birlikte yapıyı incelemiş ve kırılma mekanizmalarına bağlı olarak kulenin asıl yıkılma nedeninin yapı malzemelerinin mekanik özelliklerinin çok zayıf olması ve malzemeler arasında bulunan kohezyonun yeterli olmadığından kaynaklandığını belirtmişlerdir.

Preciado (2015), yapmış olduğu bu çalışmada, tüm kule tiplerinde ve donatısız narin yığma yapılarda kullanılabilecek bir deprem hassasiyet değerlendirme yaklaşımı sunmaktadır. Avrupa kulelerinin özelliklerini yansıtan dört adet üç boyutlu sonlu eleman modeli kullanarak yaklaşımını doğrulamaya çalışmıştır. Doğrusal olmayan statik itme analizi kullanarak gerçekleştirdiği analizler sonucunda, yığma yapının düşük

çekme gerilmesi alabildiği ve büyük açıklıklı boşlukların yapının deprem davranışını büyük ölçüde etkilediği görülmüştür. Ayrıca yapılan bu çalışmada düzlem içi ve düzlem dışı davranışlar da dikkate alınmıştır.

Valente ve Milani (2016), İtalya'nın kuzeydoğu bölgesinde bulunan 8 adet tarihi yığma kulenin yatay yükler altındaki doğrusal olmayan statik ve gerçek ivme kaydı ile dinamik analizlerini üç boyutlu sonlu eleman modeli yardımıyla gerçekleştirmişlerdir. Yapılan bu çalışmada, kulelerin deprem performanslarını farklı geometrik özelliklere bağlı olarak elde etmişlerdir. Doğrusal olmayan statik ve dinamik analizlerle deprem güvenliklerini değerlendirmişlerdir. Elde ettikleri analiz sonuçlarını karşılaştırarak doğrusal olmayan statik analizin bu tür çalışmalardaki etkinliğini değerlendirmeyi amaçlamış ve sunmuşlardır.

Zheng vd. (2017), yaptıkları bu çalışmada deprem esnasında yüksek güç iletim kulelerinde meydana gelen hasar ve yıkılmaları kulelerin farklı eleman göçme kurallarına, farklı yer hareketlerine ve farklı kule yüksekliklerine bağlı olarak incelemişler ve elde ettikleri sonuçları kıyaslamışlardır. Çalışma sonucunda, farklı deprem dalgalarında farklı yıkılmalar gözlemlenmiş ve yapılan statik itme analizi ile dinamik analizlerin birbirinden çok farklı sonuçlar doğurabileceği belirtilerek sismik göçme zafiyet eğrisi çizilmiştir.

Bayraktar vd. (2018) yaptıkları bu çalışmada, 639 yılında Diyarbakır'da inşa edilen 42,9 m yüksekliğindeki tarihi yığma Ulu Cami minaresine düşey deprem hareketinin etkisini incelemişlerdir. Minarenin üç boyutlu sonlu eleman modelini oluşturarak zaman tanım alanında doğrusal ve doğrusal olmayan analizler gerçekleştirmişlerdir. Yığma yapıya ait mekanik özellikleri tanımlarken taş ve harcın özelliklerini kullanmışlardır. Dinamik analizlerin yapılmasında ise 1 Mayıs 2003 Bingöl depremini kullanarak analizler sonucunda sadece yatay deprem bileşeni ve yatay ile düşey deprem bileşeninin aynı anda uygulanması durumuna göre, yapıya ait yer değiştirmeler, minimum ve maksimum asal gerilmeler ile şekil değiştirmeler elde edilmiştir. Doğrusal olmayan analizlerde beton plastik hasar modeli kullanılmış ve yapılan çalışma ile düşey deprem bileşeninin yatay deprem bileşeniyle birlikte kullanılması durumunda yapının hasar yüzdesini ve dağılımını etkilediği sonucuna varılmıştır.

Invernizzi vd. (2019) yaptıkları bu çalışmada, İtalya'nın Bolonya şehrinde bulunan ve tarihi yığma yapı olan Asinelli Kulesi'ni basitten karmaşığa doğru üç farklı

şekilde modelleyerek sonlu eleman analizlerini gerçekleştirmiş ve dinamik davranışlarını elde etmişlerdir. Davranışların belirlenmesinde rüzgâr, deprem ve şehir trafik yükleri dikkate alınmıştır. Ayrıca akustik emisyonla izleme sonuçları da sunulmuş ve bu sonuçlar sayısal model sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Yapıda bulunan hasar ve çatlaklardan kaynaklanan anizotrop yığılma modeline ait formülasyon da bu çalışmada sunulmuştur.

Genç vd. (2019), 1894 yılında Çorum'da inşa edilen tarihi yığılma saat kulesi üzerinde çalışmışlardır. Çevresel titreşim ölçümleri ile deneysel olarak elde etmiş oldukları dinamik karakteristik özellikleri, ANSYS sonlu eleman programında modelledikleri üç boyutlu kulenin dinamik karakteristiklerinin güncellenmesinde kullanmışlardır. Gerçeği yansıtan sonlu eleman modeli üzerinde, sahaya özel deprem spektrumları ve bunların ölçeklendirilmesiyle elde ettikleri deprem verilerini kullanarak sayısal analizler gerçekleştirmişlerdir. Yapılan bu çalışma ile yapının deprem davranışı belirlenmiş ve analiz sonuçları değerlendirilerek sunulmuştur.

Bartoli vd. (2019), yaptıkları bu çalışmada İtalya'da bulunan tarihi yığılma Chigi kulesinin yapısal davranışını incelemişlerdir. Toplam yüksekliği 26,9 m olan ve kare kesite sahip bu kule, güney cephesinde 16,4 m, doğu ve kuzey cephelerinde ise 13,5 m yüksekliğinde yığılma yapılarla çevrilidir. Çalışmanın temelini oluşturan kulenin serbest veya çevresindeki binalarla tutulu olma durumlarının yapısal davranış üzerindeki etkisini sayısal olarak incelemişlerdir. Kule yapısına doğrusal kinematik analiz uygulayarak yapıda meydana gelen hasarları araştırmışlardır. Sayısal analizlerden elde etmiş oldukları sonuçları karşılaştırmalı olarak sunmuşlardır.

Micelli ve Cascardi (2020), İtalya'da bulunan ve yaklaşık 14. yüzyıl sonlarında inşa edilerek 1875 yılından sonra ulusal anıt özelliği taşıyan tarihi yığılma çan kulesi üzerinde çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Kare kesitli beş temel gövde parçasından oluşan kuleye ait geometrik özellikleri ve hasar bölgelerini uzaktan kumandalı gözlem aracıyla elde ederek MIDAS sonlu eleman programına aktarmışlardır. Yapının malzeme özelliklerini ise yapılan çeşitli arazi çalışmaları neticesinde elde ederek kuleye dinamik analiz, doğrusal olmayan statik ve kinematik analizler uygulamışlardır. Yapılan çalışmalar sonucunda çan kulesinin deprem davranışını değerlendirerek birtakım güçlendirme önerisinde bulunmuşlardır.

Zanni vd. (2020), yapmış oldukları bu çalışmada tarihi silindirik su kulesinin dinamik davranışlarını kulenin narin yapıdaki ayaklarını ve tank ile suyun etkileşimini

dikkate alarak incelemişlerdir. Silindirik veya kare tankların sahip oldukları muayene bacalarıyla birlikte parametrik sonlu eleman modellerini oluşturarak elde edilen sonuçların karşılaştırmasını sunmuşlardır.

1.2.2. Yapı-Zemin Etkileşimi İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Doğangün vd. (2007), narin yapılardan olan minare tipi yapıların deprem etkisi altındaki davranışlarını yapı-zemin etkileşimine bağlı olarak incelemek amacıyla sayısal çalışmalar yapmışlardır. 30 m yüksekliğinde bir minare örneğini ele alarak ANSYS sonlu eleman programında minarenin gövdesi ile merdivenlerini alan eleman, zemini ise katı hacim eleman olarak modellemişlerdir. Zeminin modellenmesinde üç farklı zemin türü ve dalgayı yansıtmayan viskoz sönümleyiciler kullanmışlardır. Yapılan çalışmalar sonucunda minare türü narin yapıların yer değiştirmelerinin yumuşak zeminlerde artması gerektiğini belirtmişlerdir. Ancak, yapmış oldukları analiz sonucunda yer değiştirmelerde büyük bir artış meydana gelmediğinden farklı zemin türleri ve temel şartları için daha fazla örneğin yapılmasını önermişlerdir.

Camata vd. (2008), İtalya’da bulunan 19 m yüksekliğindeki tarihi çan kulesinin statik ve dinamik yükler altındaki analizlerini yapı güvenliğini belirlemek amacıyla ABAQUS programını kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Yığma yapı özelliğindeki kulenin yapı malzemesi ve temel zemininin özelliklerini teyit etmek amacıyla birtakım saha deneyleri yapmışlardır. Yapının gerçek davranışını temsil eden sayısal modelin elde edilmesinde çevresel titreşim testlerinin de kullanıldığı bu çalışmada, zemin tabakalarının deprem yer hareketlerinin yapı üzerine olan etkisini önemli ölçüde değiştirebileceğini sunmuş oldukları değerlerle belirtmişlerdir.

Rayhani ve El Naggar (2012) bu çalışmada, yapı-zemin etkileşimini incelemeyi ve temellerin sismik tepkilerini ölçmeyi amaçlamışlardır. Deneysel ve teorik kısımlardan oluşan çalışmalarında deney düzeneği için iki tabakalı killi zemin kullanılmış ve bu düzeneğe sarsma tablası aracılığıyla çeşitli deprem dalgaları uygulamışlardır. Ayrıca, FLAC3D programı ile bu çalışmanın sayısal modelini oluşturarak, yapı temeli üzerinde depremin karakteristik etkilerini analizler yaparak incelemişlerdir. Yapılan çalışmalar sonucunda, genellikle rijitliği daha zayıf olan zeminde kabarmaların daha fazla olduğu ve özellikle bu kabarmaların küçük deprem hareketlerinde meydana geldiğini, zeminde tabakalanma olması durumunun yapı-zemin

etkileşimi üzerinde büyük bir etkisi olduğunu belirtmişlerdir.

Çakır ve Livaoğlu (2013) yapmış oldukları bu çalışmada, Erzincan'da bulunan bir dikkörtgen depoyu incelemişlerdir. Deponun dolgu ve su temaslı olma durumu için ANSYS programında üç boyutlu sonlu eleman modellerini oluşturmuşlardır. Sayısal sonuçların gerçek yapı değerleriyle uyumlu olabilmesi için depo üzerinde deneysel titreşim ölçümleri de gerçekleştirilmiş ve yapıya ait dinamik karakteristikler elde edilmiştir.

Durmuş (2013) yapmış olduğu tez çalışmasında, betonarme silindirik silo tipi yapıların stok malzemesi ve yapı-zemin etkileşimini dikkate alarak deprem davranışını incelemiştir. Analitik çözümler ve ANSYS sonlu eleman programı yardımıyla sayısal analizler gerçekleştirmiştir. Bu analizlerde çeşitli parametreler; silo cidarlarının esnek ve rijit olması, siloların farklı narinlik oranlarına sahip olması, silo temelinin zemine göre farklı konumlarda yer alması ve yapı-zemin etkileşiminde farklı zemin koşulları olarak seçilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda, betonarme silindirik siloların deprem davranışında stok malzemesi ve yapı-zemin etkileşiminin son derece önemli olduğu ve benzer çalışmalarda bu durumların dikkate alınması gerektiği belirtilmiştir.

Livaoğlu (2014) yapmış olduğu bu çalışmada, sayısal ve deneysel yöntemler uygulayarak yapı-zemin etkileşimi ve yüksek sıcaklık değerlerinin bacalara etkisini incelemiştir. Bu amaçla, Samsun'da bulunan 52 m yüksekliğindeki çelik fabrika bacası seçilmiş ve incelemeler fabrikanın çalışmaya başlamasından önce ve sonra tekrarlanmıştır. Çevresel titreşim testleri yardımıyla yapının kullanıma başlamadan öncesi ve sonrası için dinamik karakteristikleri (frekans, mod şekli ve sönüm oranı) elde edilmiştir. Deneysel ölçüm verileri referans alınarak sayısal analiz modellerinde iyileştirmeler yapılmıştır. Yapının ankastre mesnetli olarak ve arazi deneyleri yardımıyla zemin türü ve özellikleri belirlenerek yapı-zemin-kazık etkileşimi altında sayısal analizleri ANSYS sonlu eleman programında yapılmıştır. Analizlerde, 1999 yılında meydana gelen Marmara Depremi'nin İzmit-Yarımca istasyonuna ait kuzey-güney deprem ivme kaydı bileşeni kullanılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda, sıcaklığın etkisinin çelik bacanın dayanımını %4 azalttığı gözlemlenmiş ve analizlerde yapı-zemin etkileşiminin dikkate alınması gerektiğini vurgulamıştır.

Güler ve Hamder (2014), yanal toprak basıncı etkisinde bulunan bir binanın iki ve üç boyutlu sonlu eleman modellerini DIANA programında yaparak yapının sadece üzerinde bulunduğu zemin etkisinde değil, aynı zamanda binaya gelebilecek yanal

etkiler altında da incelemişlerdir. Yapı üzerinde statik ve dinamik analizler gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmalarının sonucunda, binaya statik ve dinamik olarak etkiyen yanal toprak basınçlarının zemin ve binanın malzeme özelliklerinin yanı sıra bina şekline de bağlı olduğunu belirtmişlerdir.

Ghandil ve Behnamfar (2015), yapı-zemin etkileşiminde kullanılmak üzere basit bir yöntem geliştirmişlerdir. Yakın alan metodu adını verdikleri bu yöntemin, zeminin kayma modülünü azaltarak doğrusal olmayan yapı-zemin etkileşim analizlerinde daha doğru sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Bu yaklaşımı doğrulamak adına deprem kayıtlarını ölçeklendirerek tasarım spektrumu oluşturmuş ve SAP2000 sonlu eleman programında kum ve kilden oluşan iki ayrı zemin üzerinde farklı kat sayısına sahip binaların dinamik analizlerini gerçekleştirmişlerdir.

Çakır (2015) yapmış olduğu bu çalışmada, konsol istinat duvarlarının deprem davranışına dolgu malzeme özelliğinin etkisini incelemiştir. Bu amaçla, dört farklı toprak dolgu etkisinde konsol duvar-zemin ve temel sistemi için ANSYS sonlu eleman programı kullanılarak zaman tanım alanında analizler gerçekleştirmiştir. Dalga enerji sönümlemesinde kohezyonsuz ve elastoplastik özellikte tanımlamış olduğu zemine viskoz sönümleyiciler uygulayarak yapay sınır şartları oluşturmuştur. Yapılan çalışmalar sonucunda, konsol istinat duvarına ait yer değiştirme ve gerilmeler elde edilmiş olup, bu tarz konsol istinat duvarı yapılarının deprem davranışlarının farklı dolgu türlerine göre değişiklik gösterdiği ve tasarımlarda bu etkileşimlerin dikkate alınması gerektiği belirtilmiştir.

Çakır ve Dağ (2015), limit denge prensibine dayanan ve istinat duvarlarında kullanılan Mononobe-Okabe yaklaşımının yaygın olarak kullanılmasına rağmen dalga yayılımı ve yapı-zemin etkileşimini içermediğini belirterek istinat duvarlarını dinamik yükler altında incelemişlerdir. Beş farklı zemin türü ile iki farklı duvar kalınlığına bağlı olarak üç boyutlu sonlu eleman modeli üzerinde yapmış oldukları sayısal analizlerin sonucunda, istinat duvarlarının yer değiştirmeleri ile kritik kesitlerindeki gerilmeleri elde etmiş ve bu değerleri karşılaştırmışlardır.

Behnamfar ve Banizadeh (2016) yapmış oldukları bu çalışmada, farklı yumuşaklıktaki iki zemin üzerine oturan 3, 5, 6, 8 ve 9 kat yüksekliğine sahip betonarme binaların yapısal davranışlarını sayısal yöntemlerle incelemişlerdir. Çalışma kapsamında, farklı kat yüksekliğindeki yapıların çerçeve sistem ve perde sistemi içermeye durumlarına göre aralarında oluşan farklılıkları binalarla uyumlu olarak seçilen 200

deprem kaydı kullanarak araştırmışlardır. Seçilen deprem kayıtlarını ölçekleyerek binalarda doğrusal olmayan dinamik analizler gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonucunda, yapı-zemin etkileşimine bağlı olarak yapı elemanlarında meydana gelen plastik mafsallaşma değerlerini ve yapıların deprem kırılğanlığının ve hasar bölgelerinin zemin türüne ve taşıyıcı sisteme göre nasıl değişiklik gösterdiğini sunmuşlardır.

Luo vd. (2016) yaptıkları bu çalışmada, zemin-kazık-yapı etkileşiminin dinamik tepkilerini üç boyutlu sonlu eleman modeli üzerinde incelemişlerdir. Zeminin doğrusal ve doğrusal olmayan modellerini kullanarak zemin-kazık ara yüzü ve zemin dilatasyon açısının doğrusal olmayan etkilerinin sistemin dinamik davranışına olan etkisini araştırmışlardır. Yapılan çalışma sonucunda, sistemin dinamik davranışının zemin-kazık etkileşiminden oldukça fazla etkilendiği belirtilmiştir.

Kılıçer (2016) yapmış olduğu bu çalışmada, 12 katlı betonarme bir yapının zemininde rijit temel, Winkler yay modeli ve Geliştirilmiş Vlasov modellerini kullanmış, yapının modelini SAP2000 sonlu eleman programında oluşturmuş ve 1999 Kocaeli depremini de kullanarak sayısal analizler gerçekleştirmiştir. Yapılan analiz ve çalışmalar sonucunda, farklı zemin modelleme teknikleri kullanarak yapıda meydana gelen periyot, taban kesme kuvveti, kolon eğilme momenti, kolon eksenel kuvveti ile yapıda meydana gelen yatay yer değiştirmeleri karşılaştırmıştır.

Krishnamoorthy ve Anita (2016), sürtünmeli sarkaç sistemli bir yapının yapı-zemin etkileşimini dikkate alarak sayısal model üzerinde analizler gerçekleştirmişlerdir. Yakın fay ve uzak fay depremlerinin kullanıldığı bu parametrik çalışmada; zeminin esneklik etkisinin, deprem türünün, deprem yer hareketi frekans içeriğinin, sürtünme katsayılarının, bina kat sayıları ve yapı periyotlarının izolatörlü ve yapı-zemin etkileşimli sistemler üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda, yapı-zemin etkileşiminin sürtünmeli sarkaç sistemli yapılarda önemli bir yere sahip olduğu ve bu etkileşimin özellikle deprem tipinden ve deprem yer hareketinin frekans içeriğinden çok etkilendiğini belirtmişlerdir.

Farahani vd. (2016) yapmış oldukları bu çalışmada, beton rijitliği azalmış ve üç ortogonal yer hareketi bileşenine maruz nükleer enerji santralinin yapı-zemin etkileşimini dikkate alarak üç boyutlu sonlu eleman modelinin sismik analizini gerçekleştirmişlerdir. Yer hareketine maruz olan ve rijitlikleri zamanla azalan beton yapıları için iki farklı düşey ve yatay sonlu eleman modeli ile bunların kareleri toplamının karekökü yöntemi ile birleştirilmesini içeren yeni bir teknik geliştirmişlerdir.

Kavitha vd. (2016) yaptıkları bu çalışmada, zemine gömülü tek bir beton kazığın basit harmonik dinamik yük altındaki davranış farklılıklarını sayısal olarak incelemişlerdir. Bunun için PLAXIS3D programını kullanmış ve farklı zemin türü, kazık çapı, kazık başlığı ve başlık üzerindeki kütleye göre çeşitli analizler gerçekleştirmişlerdir. Yapılan çalışma ile kazık ve zemin arasındaki ilişkiye bağlı olarak farklı kombinasyonlar altında elde ettikleri sonuçları kıyaslamışlardır.

Mortezaei ve Motaghi (2016), İran'da bulunan ve UNESCO dünya mirası listesine de girmeye hak kazanmış olan Gbnad-e Qabus Kulesi üzerinde çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Kulenin sayısal analizlerini zemin parametrelerini de kullanarak ABAQUS sonlu eleman programında yapmışlardır. Statik ve dinamik analizlerin yer aldığı bu çalışmada, farklı frekans içerikli yedi adet deprem kaydı kullanmışlardır. Yapıya ve zemine ait malzeme özelliklerini yerinde yapılan saha çalışmaları ile belirlemiş ve aktif deprem bölgesinde bulunan yapıdan elde ettikleri sonuçları karşılaştırmışlardır.

Casolo vd. (2017), toplam yüksekliği 27 m olan örnek bir yığma kulenin doğrusal olmayan malzeme davranışını ve yapı-zemin etkileşimini içeren sonlu eleman modelini ABAQUS programında oluşturarak analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Zemini modellerken elastik dalgaları yansıtmayan sınır şartları kullanmış ve yapıda oluşacak hasarları incelemişlerdir. Yapılan modal analizler sonucunda, zemin özelliklerinin kulenin doğal titreşim modlarını değiştirdiğini ve yapı hasar senaryoları üzerinde zeminin deforme olmasının etkili olduğunu belirtmişlerdir.

Östlund vd. (2017) yaptıkları bu teorik çalışmada, dinamik yapı zemin etkileşimini yüksek hızlı tren demiryolu köprü ayaklarının oturduğu plak temeller üzerinde incelemişlerdir. ABAQUS sonlu eleman programı kullanılarak zemini merkezinde köprü temelinin olduğu dairesel plak şeklinde modelleyerek zeminin etrafına sönümleyici sınırlar uygulamışlardır. Yapılan analizler sonucunda, yapı-zemin etkileşiminin bu tarz demiryolu köprüleri üzerinde önemli bir yere sahip olduğunu ve köprü tasarımında sönüm oranını büyük oranda arttırdığını belirtmişlerdir.

Güllü ve Karabekmez (2017) bu çalışmada, Gaziantep'te bulunan tarihi yığma taş özeliğindeki Kurtuluş Camisi'nin yakın fay ve uzak fay depremleri etkisindeki davranışlarını karşılaştırmayı amaçlamışlardır. Bu amaçla SAP2000 programında caminin üç boyutlu sonlu eleman modelini oluşturarak sabit mesnetli ve yapı-zemin etkileşimini dikkate alacak şekilde farklı sınır şartlarıyla zaman tanım alanında dinamik

analizler gerçekleştirmişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda, uzak fay hareketinin de en az yakın fay hareketi kadar cami üzerinde önemli tepkilere neden olabileceğini ve bu tarz tarihi cami yapılarında uzak fayın da yakın fay ile birlikte göz önünde bulundurulması gerektiğini belirtmişlerdir.

Aydın ve Er (2017) bu çalışmada, yapılması planlanan silindirle sıkıştırılmış beton baraj için yapı-zemin-rezervuar etkisini incelemek amacıyla iki boyutlu sonlu eleman modeli oluşturmuş ve altı adet deprem kaydı kullanarak baraj modelinin dinamik analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonucunda, baraj gövdesinin belirli noktalarından yer değiştirme ve gerilme değerleri ile kapasite oran eğrileri elde ederek yapının deprem davranışını değerlendirmişlerdir.

Silva vd. (2018), 1456 yılında meydana gelen şiddetli deprem sonucunda hasar görmüş olan Napoli'nin en uzun çan kulesi özelliği taşıyan Carmine Kulesi'nin yapı-temel-zemin etkileşimini dikkate alarak deprem davranışını incelemişlerdir. Bu amaçla, kayıtlı gerçek depremler ve yapay deprem kayıtları kullanarak yapı üzerinde statik ve dinamik doğrusal olmayan analizler gerçekleştirmişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda, yaygın olarak kullanılan statik doğrusal olmayan analizlerde bile zemin deformasyonundan etkilenecek yapı performansı için yapı-temel-zemin etkileşiminin dikkate alınması gerektiğini belirtmişlerdir.

Kabtanu vd. (2018), 7 ve 12 kattan oluşan iki boyutlu betonarme düzlem çerçevelerin yumuşak zemin üzerinde ve ankastre mesnetli olması durumlarındaki davranışlarını incelemişlerdir. Yumuşak zemin modelini oluştururken Winkler Yay Yöntemi ve Direkt Metodunu kullanmışlardır. SAP2000 sonlu eleman programını kullanarak yapmış oldukları spektrum ve zaman tanım alanındaki deprem analizleri sonrasında, her iki zemin modelleme tekniğinde de titreşim periyotları ile görelî kat ötelemelerinin artarken, taban kesme kuvvetinin ankastre mesnetli modele göre daha az oluştuğunu belirtmişlerdir. Bununla birlikte, zeminin modellendiği çalışmalarda görelî kat ötelemelerinin, ikinci mertebe etkilerinin ve kat kesme kuvvetlerinin yapı yüksekliği boyunca aralarındaki farklılıkları araştırıp bir karşılaştırma yapmışlardır.

Hökelekli ve Al-Helwani (2019) yaptıkları çalışmada, Afyon ilinde bulunan ve 1271 yılında inşa edilen 27 m yüksekliğindeki yığma yapı özelliğine sahip Alaca Cami minaresinin deprem etkisi altındaki hasar dağılımını incelemişlerdir. Sayısal yöntemlerin kullanılarak yapıldığı bu çalışmada, minare ankastre mesnet ve 30m derinliğinde üç farklı zemin türü dikkate alınarak ABAQUS sonlu eleman programında

modellenmiş ve analizler gerçekleştirilmiştir. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan deprem analizlerinde Afyon Dinar depreminin ($M_w=6,1$, 1995) doğu-batı ivme kaydı kullanılmıştır. Çalışma sonucunda; yer değiştirmeler, maksimum ve minimum gerilme ve şekil değiştirmeler ile hasar yüzdeleri sunularak farklı zemin parametreleri altındaki davranışlar karşılaştırılmış olup, yapı-zemin etkileşiminin hasar dağılımına etkisi vurgulanmıştır.

Türkeli (2019) yapmış olduğu bu çalışmada, 75 m yüksekliğindeki bir betonarme bacanın deprem davranışını incelemiştir. SAP2000 sonlu eleman programını kullanarak gerçekleştirmiş olduğu deprem analizlerinde yapının bir zemin üzerine oturması veya ankastre mesnetli olması ile yapı gövdesinde pencere boşluğuna sahip olması gibi durumlarını incelemiştir. Yapı temelinin oturacağı zemini 20 m derinlikte yumuşak zemin olarak kabul etmiş ve viskoz sönümleyicileriyle sınırlandırmıştır. Analizler sonucunda betonarme bacaların sismik davranışlarında yapı-zemin etkileşiminin rolünü vurgulamıştır.

Ge vd. (2019), toplu halde bulunan binaların yapı-zemin etkileşimlerine bağlı olarak deprem esnasındaki davranışlarını grup etkisi altında açıklamaya çalışmışlardır. Bu amaçla, farklı yükleme durumları için sarsma tablasıyla deneysel çalışmalar yapmış ve ANSYS sonlu eleman programında oluşturdukları farklı modelleri bu deneysel çalışma sonuçlarına göre doğrulayıp düzenlemişlerdir. Yapı grubu-zemin etkileşiminin içerdiği yapılar arasındaki boşluk miktarı, yapı sayısı ve zemin türü gibi parametrelerin etkisini belirlemek için birçok analiz gerçekleştirmişlerdir. Yapılan çalışmalar sonucunda toplu bina grubu-zemin etkileşimini içeren sistemlerin doğal frekans sonuçlarının normal tek bir yapı-zemin etkileşiminden daha düşük olduğunu ve yer değiştirmelerin yapıların bulunduğu konumlara göre farklılıklar gösterdiğini belirtmişlerdir. Ayrıca yapı sayısının bu tarz yapı grubu-zemin etkileşiminde önemli bir rol oynadığını da vurgulamışlardır.

Scarfone vd. (2020) yapmış oldukları bu çalışmada, 66m yüksekliğindeki 20 katlı bir binanın yapı-zemin etkileşimini incelemiştir. Bu amaçla, FLAC3D programında oluşturulan üç boyutlu model üzerinde zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizler gerçekleştirmişlerdir. Bu analizlerde, üç farklı temel sistemi (sığ, derin ve kazık) ve iki farklı zemin türünü ele almış ve yapılan çalışma sonucunda da bunların arasındaki farklılıkları kıyaslamışlardır.

Türkeli (2020), Türkiye’de yaygın olarak inşa edilen narin betonarme minare

tipleri üzerine yaptığı bu çalışmada, deprem etkisi altında güçlendirme tekniği olan lifli polimerlerin (LP) ve payandaların etkinliğini incelemiştir. SAP2000 sonlu eleman programını kullanarak üç farklı minare modeli üzerinde dinamik analizler gerçekleştirmiş ve bu analizlerde yapı-zemin etkisini de yapay viskoz sönümleyiciler kullanarak dikkate almıştır. Yapılan bu çalışma ile yapı-zemin etkileşiminin yapının ilk mod periyodunu arttırdığı ve lifli polimer (LP) güçlendirmesinin yükseklik arttıkça payandaya oranla deprem davranışına daha çok etki ettiği sonucuna varılmıştır.

Qaftan vd. (2020), örnek olarak seçtikleri 2 bodrum ve 15 normal kattan oluşan bir karkas yapının 1/50 ölçekli modeli üzerinde deneysel ve sayısal çalışmalar yapmışlardır. Yaptıkları bu çalışma ile gerçek bir yapının ölçekli modelinin deneysel verilerinin sayısal analiz sonuçlarıyla uygunluğunu araştırmayı amaçlamışlardır. Deneyde yapı-zemin ve kazık ilişkilerini inceleyebilmek için esnek zemin tankları oluşturulmuş ve zemin olarak kuru kum tercih edilmiştir. Deney numunesi olan ölçekli yapı, zemin etkileşiminin olmadığı sabit mesnetli durumda, sadece zemin haznesinin olması ve üzerinde hiçbir yapının bulunmaması durumunda ve zemin içerisinde kazık temellerin yer aldığı toplam üç farklı durum için deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Yaptıkları deneysel çalışmaları sonlu eleman programlarında yaptıkları deprem analizleriyle karşılaştırmışlardır. Yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçların su içermeyen kuru kum ortamında yapıldığına dikkat çekerek, gerçek ölçüleriyle yüksek maliyete neden olacak bu tarz çalışmaların ölçekli modellerle yapılabilirliğini ve gerek deneysel gerekse sayısal analizlerde devrilme etkisi görülen yapıdan ziyade çoğu deformasyonların zeminde gerçekleştiğini belirtmişlerdir.

Pinzon vd. (2020) yapmış oldukları bu çalışmada, dinamik yapı-zemin etkileşiminin belirlenmesinde deprem doğrultusunun etkisini incelemiştir. Bu amaçla radye temele oturan bir çelik çerçeve sistemi üzerinde PLAXIS 2D programını kullanarak analizler gerçekleştirmişlerdir. Bu analizlerde; zemin kalınlığı, yer hareketi ve yapı kat sayısı gibi parametrelerin etkisini de araştırmışlardır. Bu çalışma ile hangi açıyla gelen depremlerin yapı üzerinde daha etkili olduğunu sunmaktan ziyade, depremlerin sadece kayıtlı olanlarının hesaba alındığı ve farklı açılarda gelebilecek depremlerin yapı üzerinde farklı tepkilere yol açabileceğini belirterek farklı açıdaki depremlerin basitleştirilmiş yöntemlerle dikkate alınması gerektiğini savunmuşlardır.

Silva (2020) yapmış olduğu bu çalışmada, noktasal tehlike analizlerinin önemli olduğu yığma yapı üzerinde sert ve yumuşak zeminler için yapı-zemin etkileşimine

bağlı olarak dinamik analizler gerçekleştirmiştir. Sahaya özgü deprem davranışına zeminlerin etkisini araştırdığı bu çalışmada üç boyutlu model üzerinde toplam 96 adet doğrusal olmayan analiz gerçekleştirmiştir.

1.3. Yapı-Zemin Etkileşim Modelleri

Yapısal tasarım, yapıya etkiyen statik ve dinamik yükler altında yapıda oluşan kesit tesirleri, gerilme ve yer değiştirmelere göre yapının gerekli standartlara uygun olarak modellenmesi ve boyutlandırılmasıdır. Bir tasarımın doğruluğu ve güvenilirliği, modellemede kullanılan malzeme özelliklerini, eleman davranışlarını ve kullanılan yapı elemanlarının birbirleriyle olan etkileşimini doğru yansıtmakla mümkündür.

Yapısal tasarımlarda genellikle yapı temeli ankastre mesnetli olarak ele alınır ve bu mesnet şartları altında sayısal çözümlemeler yapılarak nihai sonuca varılır. Ancak, bugüne kadar yapılmış ve günden güne sayısı artan çalışmalar yapının zeminle olan etkileşiminin son derece önemli olduğunu ve yapı-zemin etkileşiminin sayısal analizlerde dikkate alınması gerektiğini belirtmektedir.

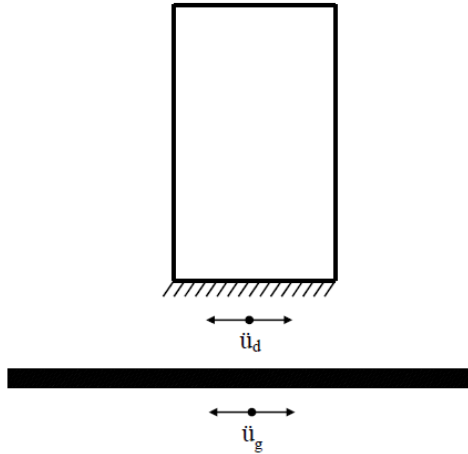
Yapı-zemin etkileşiminin esas amacı, zeminin farklı yüklere maruz kalan yapı üzerinde oluşturacağı etkileri dikkate almaktır. Yapı-zemin etkileşim problemleri, zeminin doğrusal olmayan davranışı, zemin ortamında dinamik enerjinin yayılma şekli, yapının zemin davranışını etkilemesi, sismik yükler altında zeminin sıvılaşması gibi nedenlerden dolayı çok karmaşık bir probleme dönüşmektedir. Bununla birlikte zemindeki süreksizlikler, zeminin yarı sonsuz bir ortam olması, zeminin farklı tabakalardan oluşması ve zemin suyunun bulunma durumu gibi nedenler yapı-zemin etkileşimini klasik analiz problemlerinden ayırır (Garip, 2005).

Yapının davranışında önemli bir etkiye sahip olan zemin ortamı, zeminin farklı özelliklerini tanımlayabilmek ve analizlerde bunu yansıtabilmek amacıyla çeşitli şekillerde modellenebilir ve farklı hesap yöntemleriyle ele alınabilir.

1.3.1. Ayrık Model

Yapı ve zeminin birbirinden bağımsız olarak ele alındığı ve bu modelde (Şekil 2), yapı tabanındaki yer hareketi, üzerinde yapı bulunmayan zemin bölgesine verilen dinamik etkinin çözümü ile belirlenmektedir. Bu çözümde, dinamik etkinin düşey

doğrultuda bir boyutlu olarak yayılan biçim değiştirme dalgaları ile oluştuğu kabul edilmektedir. Yapı tabanı seviyesinde kaydedilen yer hareketi, tabanı ankastre kabul edilen yapının dinamik hesabında kullanılmaktadır. Bu tür bir matematik model zeminin tabakalı olmaması, zemin özelliklerinin kesit boyunca değişmesi ve zemin özelliklerinin tabandaki sınırdaki eğimlilik göstermesi durumunda uygulanamaz (Sesli, 2013).



Şekil 2. Yapı ve zemine ait ayırık model

1.3.2. Elastik Zemin Modelleri

1.3.2.1. Bir Parametrelili Zemin Modeli

Elastik zemin ile yapı arasındaki etkileşimi dikkate alan ilk ve en basit modellerden biri Winkler modelidir. Bu modelde zemin, birbirinden bağımsız, tek boyutta sıkışabilen ve sadece düşey doğrultuda çalışan birbirine sonsuz yakın lineer elastik yaylardan oluşmuş bir sistemdir. Zeminin düşey yer değiştirmesinin (w), sadece o noktaya etki eden taban basıncına (q) ve idealleştirilmiş zemindeki yay sabitine (k) bağlı olduğu kabul edilmektedir. Bu modele ait zemin tepki fonksiyonu (1) denklemindeki gibi yazılabilir (Winkler, 1867)

$$q(x, y) = kw(x, y) \quad (1)$$

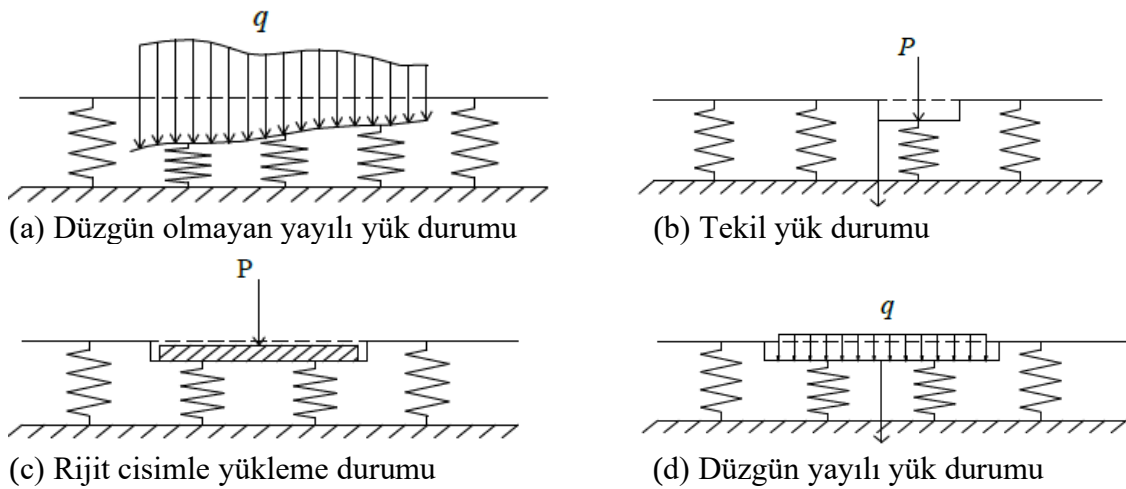
Bu zemin modelinin basit olması ve mühendislere hesaplamalarında kolaylıklar sağlaması gibi nedenlerden dolayı birçok sonlu eleman programı için günümüzde hala

bu model kullanılmaktadır. Zemini temsil eden elastik yay sabiti “zemin yatak katsayısı” olarak adlandırılmaktadır. Bu parametre, birim düşey yer değiştirme için birim alana gelen tepki kuvvetini ifade etmektedir. Zeminin sadece bu parametre kullanılarak ifade edilmesinden dolayı bu model bir parametrelili zemin modeli olarak adlandırılmaktadır. Çeşitli zeminler için yatak katsayısı, farklı değişkenler dikkate alınarak yapılan deneyler ve gözlemler sonucunda Tablo 1’deki gibi verilmektedir. Bu değerler yapılan çalışmaların şartlarına bağlı olarak belirlenmiş olup değer aralıkları çok geniş olduğundan bu parametrenin seçimi oldukça zordur.

Winkler modelinin yaygın olarak kullanılmasının yanı sıra bazı eksik yanları da bulunmaktadır. Birbirine sonsuz yakın elastik yayların sadece doğrudan yüklenmeleri durumunda, düşey yönde yer değiştirmeleri ve yer değiştirmelerin sadece o bölgeyi kapsamaması, diğer komşu yayların yükleme durumundan etkilenmemesi bu modelin eksik yönlerindendir. Bu durum Şekil 3’ te farklı yüklemeler için gösterilmiştir.

Tablo 1. Çeşitli zeminler için yatak katsayıları (Bowles, 1996).

Zemin Türü	k (kN/m ³)
Gevşek kum	4800-16000
Orta sıkılıkta kum	9600-80000
Sıkı kum	64000-128000
Killi orta sıkılıkta kum	32000-80000
Siltli orta sıkılıkta kum	24000-48000



Şekil 3. Winkler zemin modeline göre yer değiştirmeler

Şekil 3'te görüldüğü gibi farklı yükleme altındaki yaylara, yüklü olduğu alan dışındaki zeminin hiçbir etkisi yoktur. Bu durum, zeminin süreksiz bir ortam olmasıyla mümkün olabilir. Elastik yayların yer ve şekil değiştirmeleri sadece etkiyen kuvvetle değiştiğinden ve birbirlerinden etkilenmediklerinden tek parametrelili bu zemin modelinin farklı yaklaşımlarla eksikliği giderilmeye çalışılmıştır.

1.3.2.2. İki Parametrelili Zemin Modelleri

Tek parametrelili Winkler zemin modelinin eksikliklerini gidermek amacıyla birtakım zemin modelleri geliştirilmiştir. Bu zemin modelleri aşağıda verilmektedir.

1. Filonenko-Borodich zemin modeli
2. Hetenyi zemin modeli
3. Pasternak zemin modeli
4. Vlasov zemin modeli

Zemindeki kayma şekil değiştirmelerini dikkate alan bu modelleri Winkler zemin modelinden ve birbirlerinden ayıran özellik, yay sabitine ek olarak yaylar arasındaki etkileşimi sağlamak amacıyla farklı parametre hesaplama yöntemleri kullanılarak elde edilmiş olan ikinci parametrelerdir.

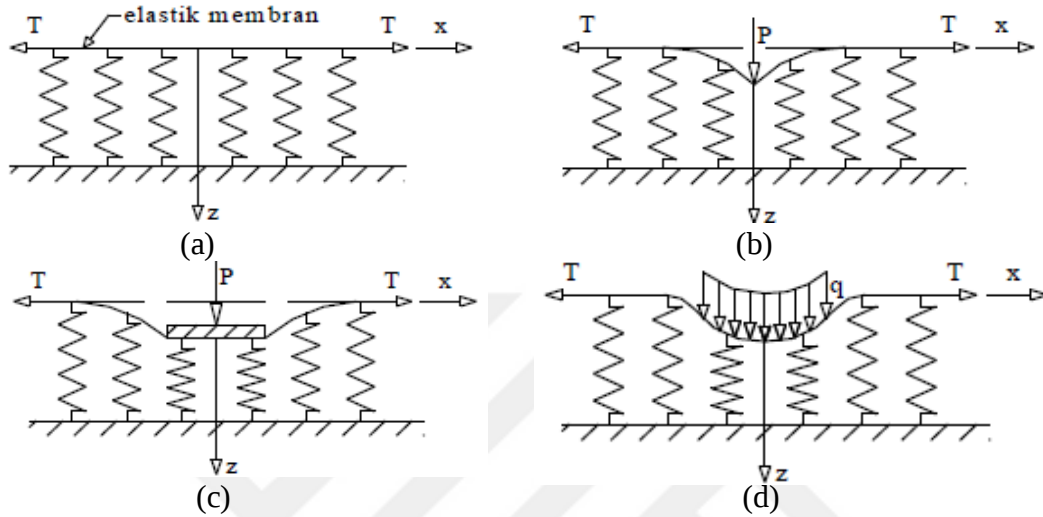
Filonenko-Borodich (1940) zemin modelinde zemin ortamının sürekliliğinin, elastik yaylar üzerindeki sabit bir T gerilmesine sahip elastik bir zar kullanılarak elde edildiği kabul edilmiştir. Bu sayede zemine yük etkimesi durumunda yüzeyde oluşan gerilmeler sonucu yaylar birbirinden etkilenmektedir. Bu modele ait zemin tepki fonksiyonu (2) denkleminde verilmektedir.

$$q(x, y) = kw(x, y) - T \nabla^2 w(x, y) \quad (2)$$

Burada k zemin yatak katsayısını, T membran kuvvetini gösterir. ∇^2 ifadesi ise Laplace operatörüdür ve (3) denklemindeki gibi ifade edilir. Görüldüğü üzere zemin yatak katsayısına T parametresi eklenerek iki parametrelili zemin modeli elde edilmiştir.

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \quad (3)$$

Filonenko-Borodich iki parametrelili zemin modeli için sırasıyla; yük olmayan durum, tekil yük altında zeminin yer değıştirme durumu, rijit tabaka aracılığıyla zeminin yer değıştirme durumu ve yayılı yük altında zeminin yer değıştirme durumu Şekil 4'te gösterilmektedir.



Şekil 4. Filonenko-Borodich zemin modeline göre yer değıştirmeler (a) Yük olmadığı durum, (b) Tekil yük altında zeminin yer değıştirmesi, (c) Rijit tabaka aracılığıyla zeminin yer değıştirmesi, (d) Yayılı yük altında zeminin yer değıştirmesi

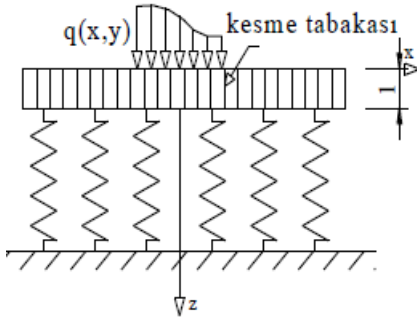
Hetenyi (1946) zemin modelinde, Winkler yaylarının üzerinde üç boyutlu problemler için eğilme rijitliği D_e olan elastik plak olduğu varsayılmıştır. İki boyutlu problemlerde ise plak yerine kiriş kullanılarak zemin ortamının sürekliliği sağlanmıştır. Bu modele ait zemin tepki fonksiyonu,

$$q(x, y) = kw(x, y) - D_e \nabla^2 w(x, y) \quad (4)$$

ile ifade edilmektedir. Görüldüğü üzere, zemin yatak katsayısına D_e parametresi eklenerek iki parametrelili zemin modeli elde edilmiştir.

Pasternak (1954) zemin modelinde, Winkler yaylarının üzerinde sıkışmayan, sadece düşeyde yer değıştirme yapabilen ve deformasyona uğrayabilen bir kayma tabakası tanımlanarak yaylar arasındaki süreklilik sağlanmıştır (Şekil 5). Kayma tabakasının izotropik olması halinde $G_x = G_y = G_s$ alınabilir. Zemine ait tepki fonksiyonu (5) denklemindeki gibi ifade edilmektedir.

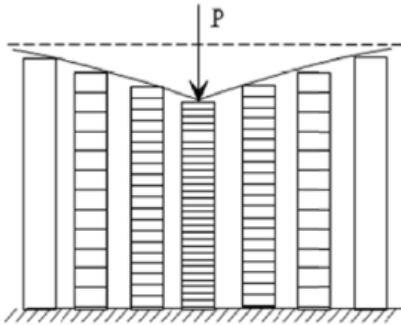
$$q(x, y) = kw(x, y) - G_s \nabla^2 w(x, y) \quad (5)$$



Şekil 5. Pasternak zemin modeli

Görüldüğü üzere zemin yatak katsayısına G_s parametresi eklenerek iki parametrelili zemin modeli elde edilmiştir.

Vlasov ve Leont'ev (1966) zemin modelinde ise Winkler zemin modelindeki yaylar yerine zemin kolonları kullanılmıştır (Şekil 6).



Şekil 6. Vlasov zemin modeli

Plaklar için geliştirilen bu modelin zemin tepki fonksiyonu,

$$q(x, y) = kw(x, y) - 2t \nabla^2 w(x, y) \quad (6)$$

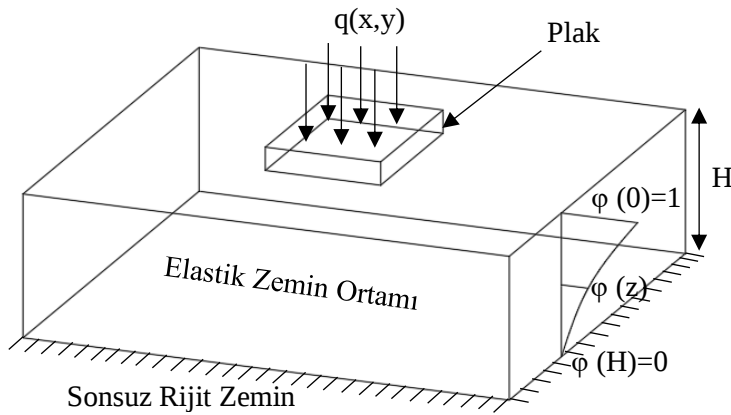
ile ifade edilmektedir. Görüldüğü üzere zemin yatak katsayısına $2t$ ile ifade edilen zemin kayma parametresi eklenerek iki parametrelili zemin modeli elde edilmiştir.

Tek parametrelili Winkler zemin modelinin eksikliklerini gidermek için geliştirilen ve zemin kayma şekil değiştirmelerini dikkate alan iki parametrelili zemin modellerinin de bazı dezavantajları vardır. Zeminin dinamik etkilerini, zemin içerisindeki

gerilmelerin değişimini dikkate almamaları ve modellerde kullanılan ikinci parametrelerin elde edilmesindeki belirsizlikler bu dezavantajlardandır. Bu eksikliklerin araştırmacılar tarafından bilinmesi, onları zemindeki kayma etkilerini derinlik boyunca dikkate alan Vlasov zemin modelini geliştirmeye yöneltmiştir. Yapılan çalışmalarla yay sabiti ve ikinci parametre olan kayma şekil değiştirmelerinin sabit değerler olarak değil, zeminin elastik özelliklerine bağlı olarak hesaplanmasını içeren geliştirilmiş Vlasov zemin modeli elde edilmiştir.

1.3.3. Geliştirilmiş Vlasov Zemin Modeli

Bir ve iki parametrelili zemin modellerinin, zemin içerisinde derinlik boyunca meydana gelen değişimleri dikkate almamasından dolayı, zemin yatak katsayısı (k) ve zemin kayma parametresi ($2t$) olarak adlandırılan parametrelerin zeminin özelliklerine bağlı olarak hesaplanabilmesi için yeni bir zemin modelinin oluşturulması amaçlanmıştır. Bu konuda yapılan farklı çalışmalar sonucunda, Vallabhan ve Das (1988) tarafından zemin parametrelerinin yükleme durumuna, malzeme özelliklerine, yapı geometrisine ve zemin derinliğine bağlı olarak hesaplandığı üç parametrelili model olarak da adlandırılan Geliştirilmiş Vlasov modeli elde edilmiştir. Bu model için elastik zemine oturan bir plak Şekil 7’de gösterilmektedir (Kılıçer, 2016).



Şekil 7. Elastik zemine oturan bir plak

Geliştirilmiş Vlasov zemin modelinde, plağın düşey yer değiştirmesine bağlı olarak alt zeminin etkisi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$q_z = kw - 2t\nabla^2 w \quad (7)$$

Burada bulunan zemin yatak katsayısı k,

$$k = \int_0^H \frac{E_s(1-\nu_s)}{(1+\nu_s)(1-2\nu_s)} \left(\frac{\partial \varphi(z)}{\partial z} \right)^2 dz \quad (8)$$

denklemleri ile, zemin modelinin ikinci parametresi olan zemin kayma parametresi 2t ise,

$$2t = G_s \int_0^H \varphi(z)^2 dz \quad (9)$$

denklemleri ile hesaplanabilir. Yukarıdaki denklemlerde; H zemin derinliğini, G_s zemin kayma modülünü, ν_s zemin Poisson oranını ve E_s ise zeminin elastisite modülünü göstermektedir. Zeminin derinlik boyunca düşey yer değiştirmesini ifade eden fonksiyon (10) denkleminde verilmektedir.

$$\varphi(z) = \frac{\sinh \gamma \left(1 - \frac{z}{H}\right)}{\sinh \gamma} \quad (10)$$

Burada bulunan γ üç parametrelili modelin zemin yüzey parametresidir ve boyutsuz olan bu katsayı aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

$$\left(\frac{\gamma}{H} \right)^2 = \frac{(1-2\nu_s) \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} (\nabla w)^2 dx dy}{2(1-\nu_s) \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} w^2 dx dy} \quad (11)$$

Zemin düşey yer değiştirmesini ifade eden $\varphi(z)$ fonksiyonu $z=0$ için 1, $z=H$ için ise 0 değerini alır. Bu da zeminin H derinliğinde düşey yer değiştirme yapmadığını ve zemin yüzeyindeki yer değiştirmenin de plak elemanın yer değiştirmesine eşit olduğunu göstermektedir.

Yukarıda verilen denklemlerden de anlaşılacağı üzere k ve 2t parametreleri zeminin malzeme özelliklerine (E_s , ν_s , G_s), zemin derinliğine (H) ve düşey yer değiştirme fonksiyonuna ($\varphi(z)$) bağlıdır. Düşey yer değiştirme fonksiyonu ($\varphi(z)$) ise,

zemin derinliği (H) ile zemin yüzey parametresine (γ), zemin yüzey parametresi (γ) de plağın yer değiştirmesi (w), Poisson oranı (ν_s) ve zemin derinliğine (H) bağlı olarak değişmektedir. Bu parametrelerin hesabının karışık olması nedeniyle bir ardışık yaklaşım işlemine gerek duyulmaktadır ve aşağıdaki şekilde sıralanabilir (Turhan, 1992).

- Öncelikle zemin yüzey parametresi (γ) için bir değer belirlenir.
- Belirlenen zemin yüzey parametresine bağlı olarak (8) ve (9) denklemleri kullanılır. Bu işlemler sonucunda zemin yatak katsayısı (k) ve zemin kayma parametresi ($2t$) elde edilir.
- Hesaplanan zemin parametreleri ile tüm yapı sisteminin analizi yapılır.
- Yapılan analiz sonrasında elde edilen düşey yer değiştirme verileri (w) alınır ve (11) denklemi kullanılarak yüzey parametresi (γ) yeniden elde edilir.
- Bu işlemlere, son iterasyonlarda hesaplanan zemin yüzey parametreleri arasındaki farkın önceden belirlenmiş olan bir hata payından küçük olana kadar devam edilir.
- İterasyonların tamamlanması sonucu elde edilen son parametreler, Geliştirilmiş Vlasov modeline göre zemin derinliğine bağlı olarak zeminin parametrelerini ifade eder.

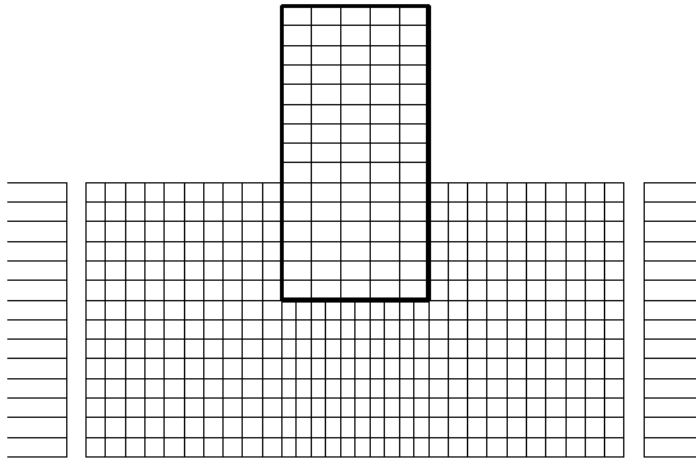
1.3.4. Sonlu Eleman Modeli

Yapı ve zeminin birlikte yer aldığı bu modelde sonlu eleman yöntemi kullanılarak çözüm yapılmaktadır. Sonlu eleman yöntemi, üzerinde çalışılan sistemin sonlu küçük elemanlara bölünerek kısmi diferansiyel denklemlerle ifade edildiği bir sayısal çözüm yöntemidir. Son zamanlarda mühendislik problemlerinin çözümünde aktif şekilde kullanılan sonlu eleman modeli, değişik sınır koşullarını, sistemin geometrik ve malzeme özelliklerini kolaylıkla dikkate alabildiğinden son derece kullanışlı ve tercih edilen bir yöntemdir.

Direkt metot olarak da adlandırılan bu yapı-zemin modelinde, sonsuz hacimdeki zemin ortamının üzerindeki yapının sayısal çözümlemeleri yapılmak istenmektedir. Gerçeği yansıtmaları bakımından sonlu eleman modelinde zeminin büyük hacimlerde ele alınması gerekmektedir. Özellikle dinamik etkilerin, zemin içerisinde yapıdan uzaklaşıkça sönümlenebilmesi için bu son derece önemlidir. Ancak, zemin ortamının

dolayısıyla da sonlu eleman ağının büyük seçilmesi çözüm süresini uzatmaktadır ve bu istenilen bir durum değildir. Bu nedenle, zemin ortamı kesim yüzeyleriyle daha kolay çözülebilir hale getirilmektedir (Şekil 8).

Kesim yüzeyleriyle sınırlı hale getirilen zemin ortamı, sistem enerjisinin belirli sınırlarda kalmasına neden olmaktadır. Kesim yüzeylerindeki bu sınırlamalar, zemindeki dinamik etkilerin absorbe edilememesine ve kendilerinden yansıyarak tekrar zemin ortamına dönmesine yol açmaktadır. Bunun sonucunda da yapay dinamik etkiler ortaya çıkmakta ve gerçeği yansıtmayan sonuçlar elde edilmektedir. Yapay dinamik etkiler, sınırların yapıdan uzak seçilmesi ve zeminde özel sınırlar kullanılması durumunda giderilebilir. Bu amaçla, sonsuz zemin ortamının sınırlı hacimle temsil edilmesi ve ortamda yayılan enerjiyi sönümleyebilecek sınırlar geliştirilmesi gerekmektedir.



Şekil 8. Yapı-zemin etkileşiminin sonlu elemanlarla gösterimi

1.4. Viskoz Sınır Şartı

Yapı-zemin problemleri için kullanılan sonlu eleman modelinde hesaplama sürelerinin uzamasına neden olan zemin ortamının sonsuz büyüklüğü, zeminin yapıdan belirli mesafede kesim yüzeyleriyle bölünmesini gerektirmektedir. Kesim yüzeyleriyle ayrılan zemin ortamında dinamik dalgaların bu yüzeylere çarpıp tekrar zemin ortamına dönerek analiz sonuçlarını etkilememesi istenmektedir.

Bu amaçla, Lysmer ve Kuhlemeyer (1969) tarafından yarı sonsuz zemin ortamında enerjiyi absorbe edebilecek ve zeminin kesim yüzeylerinde dalgaları

yansıtmayacak viskoz sınır şartı geliştirilmiştir (Şekil 9). Viskoz sınır şartına ait denklemler aşağıda verilmektedir.

$$C_n = A\rho V_p \quad (12)$$

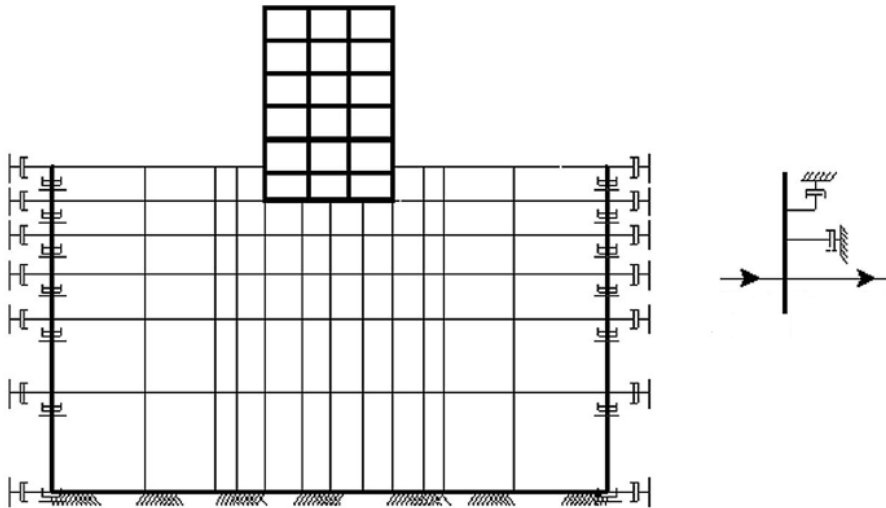
$$C_t = A\rho V_s \quad (13)$$

Bu ifadelerde C_n , C_t , A , ρ , V_p ve V_s sırasıyla yüzey normalindeki sönümleyiciyi, yüzeye teğet sönümleyiciyi, sönümleyicilerin tanımlandığı düğüm noktasının şekil düzlemine dik yüzey alanını, birim hacim ağırlığını, P dalga hızını, S dalga hızını göstermektedir. Gerilme denklemleri ise,

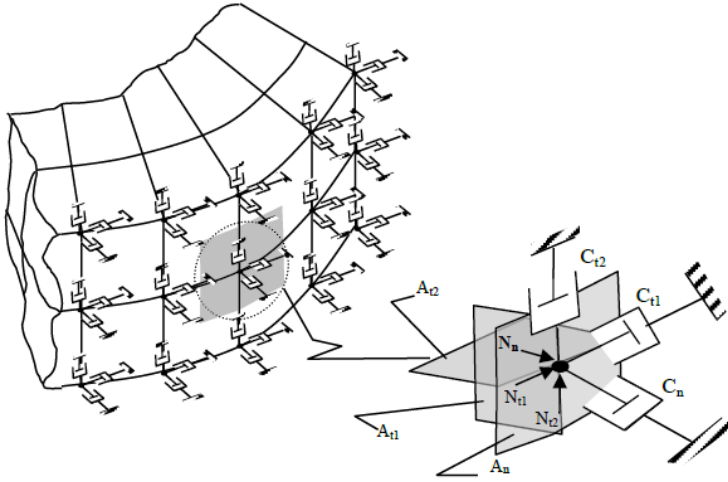
$$\sigma(t) = \rho V_p \dot{\delta}_y(t) \quad (14)$$

$$\tau(t) = \rho V_s \dot{\delta}_x(t) \quad (15)$$

şeklinde ifade edilir ve $\sigma(t)$, $\tau(t)$, $\dot{\delta}_y(t)$ ve $\dot{\delta}_x(t)$ sırasıyla, normal gerilmeyi, kayma gerilmesini ve zamana göre yer değiştirmelerin türevlerini göstermektedir.



Şekil 9. Sonlu eleman modellerinde viskoz sınır şartlarının gösterimi



Şekil 9 (devamı). Sonlu eleman modellerinde viskoz sınır şartlarının gösterimi

1.5. Viskoz Sınırlı Yapı-Zemin Sisteminin Hareket Denklemi

Sonlu eleman yöntemine göre analizi yapılacak sistemin dinamik davranışını temsil eden hareket denklemi aşağıda verilmektedir.

$$[M]\{\ddot{U}\} + [C]\{\dot{U}\} + [K]\{U\} = \{P\} - \{V\} \quad (16)$$

Verilen (16) denkleminde $[M]$, $[C]$, $[K]$, $\{P\}$, $\{V\}$, $\{U\}$, $\{\dot{U}\}$, $\{\ddot{U}\}$ ifadeleri sırasıyla sistemin kütle matrisi, sönüm matrisi, rijitlik matrisi, yük vektörü, yatay ve düşey doğrultudaki viskoz sönüm kuvveti vektörü, yer değiştirme vektörü ile bunun türevleri olan hız ve ivme vektörlerini temsil eder.

1.6. Bacaların Tarihsel Gelişimi, Yapım Amaçları ve Türleri

Bacalar en genel tanımıyla, yanıcı maddelerin yanması sonucu ortaya çıkan gaz ve dumanları insanların bulunduğu yaşam alanlarından uzaklaştıran, gazların düzgün bir şekilde akmasını ve hava çekimini sağlamak amacıyla tipik olarak düşey inşa edilen bir yapı türüdür. Baca içerisinde bulunan gazların çok sıcak olması, yoğunluklarının dış ortamdaki havaya göre daha düşük olmasına neden olmaktadır. Bu düşük yoğunluk baca gazlarının tabandaki basıncın dış havadaki basınçtan daha düşük olmasına sebep olur. Baca dışındaki yüksek basınç, gerekli olan yanma havasını yanma bölgesine

hareket ettiren ve baca gazlarının bacadan yukarı ve dışarı hareket etmesini sağlayan itici gücü oluşturmaktadır. Bacaların çalışma prensibi sonucunda oluşan yanma havası ve baca gazının hareketine; doğal hava akımı, doğal havalandırma veya baca etkisi denir.

Bacaların gelişimi insanların yerleşik fırınları kullanarak pişirme işlemlerini evlerinde yapmalarıyla hız kazanmıştır. Sıradan konutlardaki bacalar ilk önce ahşap, alçı veya çamurdan yapılmıştır. Daha sonra ise hem küçük hem de büyük binalarda bacaların yapımında tuğla veya taş kullanılmaya başlanmıştır. Genellikle binanın çatısından yaklaşık olarak 50-150 cm yükselen, taş veya tuğla kullanılarak inşa edilen duvarlar içinde teşkil edilmiş kanallar vasıtasıyla bacalar yapılmıştır.

İlk endüstriyel bacalar, 17. yüzyılın ortalarında hava çekişinin fırınların yanmasını artırdığının anlaşılması sonucu inşa edilmiştir. Gelişen teknoloji ve sanayi devrimiyle birlikte endüstriyel bacaların önemi anlaşılmış ve 18. yüzyılda çok sayıda baca inşa edilmiştir. Zamanla baca yapımında kullanılan inşaat malzemeleri taş ve tuğla yerine çelik ve daha sonra betonarme olarak değişmiştir (URL-1). Farklı malzemeler kullanılarak inşa edilmiş olan bazı sanayi baca örnekleri Şekil 10'da verilmektedir.



(a) Yığma



(b) Çelik

Şekil 10. Farklı malzeme türleri kullanılarak yapılmış baca örnekleri



(c) Betonarme

Şekil 10 (devamı). Farklı malzeme türleri kullanılarak yapılmış baca örnekleri

Betonarme bacalar, yerinde dökme ve/veya hazır olarak inşa edilmektedir. İlk yerinde dökme betonarme bacalar, 1920’li yıllardan sonra tek olarak koni şeklinde yükselen baca gövdeleri olarak inşa edilmiş, çap ve gövde kalınlıklarının baca boyunca doğrusal olarak değişmesi kesitlerde beton ve kaplamalar için bir tasarruf sağlamıştır. Hazır betonarme bacalarda ısı gerilmelerden dolayı çatlak oluşma eğilimi, yerinde dökme bacalarla hemen hemen aynıdır (Öz, 2007).

Son yıllarda sanayinin ve teknolojinin hızlı gelişimi ile hava kirliliği problemi güncel bir konu haline gelmiştir. Zararlı gaz ve dumanların atmosferde daha yükseğe bırakılması için daha yüksek bacaların inşa edilmesi gerekmiş ve yüksekliğin artmasıyla birlikte baca boyutlandırılmasında daha fazla parametre dikkate alınmaya başlanmıştır. Bu amaçla yüksek betonarme bacaların tasarımlarında kullanılmak üzere farklı standart ve yönetmelikler düzenlenmektedir. Yüksek baca yapımında kullanılan betonarme malzeme özelliği ve taşıyıcı sistemin üstünlükleri aşağıdaki şekilde özetlenebilir (Türkeli, 2009).

- Tuğla bacalardan daha hafiftirler, bu nedenle taşıma gücü düşük olan zeminlerde de gerekli taşıma gücünü sağlayarak inşa edilebilirler.
- Yüksekliğin artmasıyla birlikte mukavemet ve malzeme bakımından tuğla bacalara göre üstünlük sağlarlar.

- Tuğla bacalara göre daha az yer işgal ederler.
- Kayar kalıp tekniğinin uygulanması sebebiyle inşaat hızları yüksektir.
- Estetik bakımdan daha iyidirler.
- Depreme karşı daha dayanıklıdırlar.
- Uzun dönemde bakım masrafları yok denecek kadar azdır.
- Asitli dumanlarla hızlıca oksitlenen çelik saç bacalara göre çok daha uzun ömürlüdürler.
- Rüzgâr etkilerine karşı dayanımı çelik bacalara göre daha fazladır.

1.7. Betonarme Bacalarla İlgili Yapılan Çalışmalar

Aliyazıcıoğlu (2004) yapmış olduğu çalışmada, betonarme sanayi bacaları ve bu bacalarının maruz kaldıkları yükler hakkında bilgiler vermiş, bir baca modeli üzerinde oluşan deprem ve rüzgâr yüklerine göre hesaplamalar yaparak yapısal çözümler gerçekleştirmiştir.

Öz (2007), betonarme bacalar konusunda inşaat mühendislerinin kullanabileceği bir sentez çalışması yapmıştır. Bu çalışma yardımıyla bacaların davranışlarının tartışılmasını ve yapısal çözümlerine ilişkin doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemlerin kullanılabilmesi için hesap sırasını açıklamayı amaçlamıştır.

Jain vd. (2009) yapmış oldukları bu çalışmada, rüzgâr yükleri etkisindeki kazık temel sistemli betonarme bir bacanın doğrusal olmayan dinamik analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Yatay ve düşey yükler altındaki kazıkların doğrusal olmayan karakteristiklerini belirlemek için arazi incelemeleri yapmış ve yapıya rüzgâr tüneli testi uygulamışlardır. Rüzgâr yüklemeleri için iki farklı rüzgâr hızı kullanmış ve SAP2000 sonlu eleman programında doğrusal olmayan analizler gerçekleştirerek rüzgâr hızlarına bağlı olarak elde ettikleri sonuçları sunmuşlardır.

Türkeli (2009), betonarme sanayi bacalarının maruz kaldıkları rüzgâr yüklerinin farklı yük standartlarına göre hesaplamasını yapmıştır. Bacaların narinlik etkisini de dikkate alarak rüzgâr yüklerinin yapıda oluşturduğu içsel kuvvetleri incelemiş ve bu kuvvetlerin etkilerini değerlendirmiştir.

Dieguez vd. (2010), 183 m yüksekliğindeki betonarme kömür santrali bacasının uygulanan deneysel çalışmalarla birlikte model iyileştirmesini yapmışlardır. Bacanın karakteristiklerindeki (frekans, mod şekli, sönüm oranı) değişikliklere bağlı olarak

yapıya ait rijitlik ve yoğunluk değerlerini güncelleyerek yapının gerçek davranışını yansıtabilecek sayısal modelini oluşturmuşlardır.

Şengün (2010), bu çalışma kapsamında betonarme sanayi bacalarının bilgisayar destekli tasarımını yapmıştır. Yazmış olduğu bilgisayar programında genel olarak CICIND (Uluslararası Endüstriyel Bacalar Komitesi) temel alınmakla birlikte, sıcaklık farkı yükleri için ACI307 (Amerikan Beton Enstitüsü), deprem yükleri için de DBYBHY-2007 deprem yönetmeliğini kullanmıştır. Programda ana hesaplamalar dışında farklı standartların yük bileşenlerini karşılaştırmalı olarak vermiş ve çalışma sonunda yazmış olduğu program yardımıyla çözülen iki adet örnek sunmuştur.

Karaca ve Türkeli (2012), betonarme sanayi bacalarının rüzgâr yükü etkisindeki davranışlarını incelemişlerdir. Bu amaçla, on farklı betonarme baca belirleyip, bu bacalar üzerinde beş farklı yük yönetmeliğine göre rüzgâr analizi gerçekleştirmişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda, farklı yönetmelikler kullanılarak hesaplanan rüzgâr yükleri ve elde edilen analiz sonuçları karşılaştırılmıştır.

Akniyazov (2014) yapmış olduğu bu çalışmada, betonarme bacalarda diyagonal köşe donatısının dikey ve yanal yükler altındaki etkinliğini incelemiştir. Betonarme baca açıklıklarında meydana gelen çatlakların engellenmesi için kullanılan diyagonal donatıların etkisini araştırıp, beton ve çeliği doğrusal olmayan malzeme özellikleri ile modelleyerek analizler gerçekleştirmiştir. Bacanın yanal yükler ve yer çekimi altında yapılan analizleri sonucunda açıklık köşe donatıları için alternatif tasarımlar sunmuştur.

Shelly vd. (2014) yapmış oldukları bu çalışmada, 115 m yüksekliğindeki bir betonarme bacanın sismik tepkisini incelemişlerdir. Baca üzerinde, SAP2000 sonlu eleman programını kullanarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analiz ve statik itme analizleri gerçekleştirmişlerdir. Statik itme analizi sonucunda, gövdesinde pencere bulunan bacaya ait nihai yer değiştirme değerlerini belirlemişlerdir. Doğrusal olmayan dinamik analizden ise bacanın kullanılan depreme karşı dayanıksız olduğu sonucuna varmışlardır.

Remyasree ve Megha (2016), betonarme bacalar üzerinde deprem yükü, rüzgâr yükü ve sıcaklığın etkilerini incelemişlerdir. Yükseklikleri 275 m'den 400 m'ye değişen, üç farklı yarıçap-kalınlık oranı ve farklı kesitlere sahip bacaların analizlerini SAP2000 programını kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Analiz sonucunda rüzgâr yüklerine bağlı olarak yer değiştirme ve gerilme değerlerini, deprem yükü ile sıcaklığa bağlı olarak da tepe noktası yer değiştirmesini elde etmişlerdir. Kullanılan farklı

parametreler ve baca özelliklerine göre elde ettikleri sonuçları karşılaştırarak sunmuşlardır.

Kılıç (2017), tekrarlı yüklere maruz kalan ve geniş açıklıkları olan baca tipi yapıların deprem yükleri altındaki performanslarını incelemek amacıyla daha önceden yapmış olduğu deneysel çalışmasını yansıtan bir sonlu eleman modeli oluşturmuştur. Donatı ve betonu birlikte modellediği bu baca kesiti çalışmasında LS-DYNA programını kullanarak sonlu eleman analizinden elde edilen taban momenti-yer değiştirme sonuçlarını ve betonda oluşan çatlakları daha önce elde edilen deney sonuçları ile karşılaştırmıştır.

Maj ve Ubysz (2017), betonarme baca duvarlarında taşıma kapasitesini azaltan sıcaklık, rüzgâr, nem, ısı yalıtımı, kimyasal aktivite, sabit ve hareketli yüklerin neden olduğu düşey ve yatay çatlakların bakımı ve onarımı hakkında bilgi vermektedirler.

1.8. Betonarme Baca Kısımları

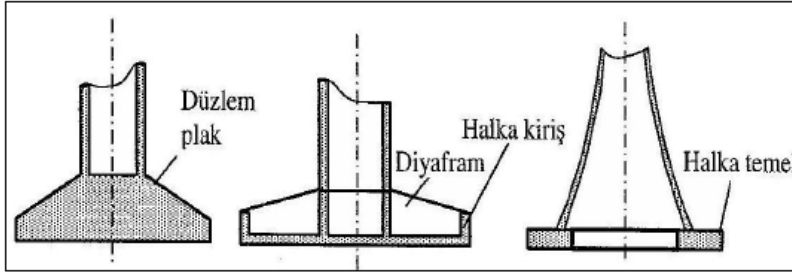
Bir bacanın taşıyıcı sistemi gövde ve temelden oluşmaktadır. Bunlara ek olarak yapıyı sıcaklık ve zararlı gaz etkilerinden korumak için kullanılan kaplamalar yer almaktadır. Bir baca gövdesi dıştan içe doğru aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Asıl taşıyıcı olan betonarme kabuk
- Yalıtım veya yalıtımla birlikte hava boşluğu
- Kaplama

Kaplama ve yalıtımı taşımak için baca gövdesinde yaklaşık 7,5 m’de bir çıkan halka şeklinde konsollar bulunmaktadır. Ayrıca gövdenin üzerinde bakım için gerekli olan çelik merdivenler ve paratoner gibi baca donanımları da yer almaktadır.

1.8.1. Baca Temelleri

Bacadan gelen yükleri güvenli bir şekilde taşıyan ve çok fazla sıcaklığa maruz kalmasının önlenmesi gereken baca kısmıdır. Bacalar için Şekil 11’de verilen temel tipleri kullanılmakla birlikte dairesel plak, halka ve kazıklı temeller daha sık kullanılmaktadır.



Şekil 11. Betonarme bacalarda kullanılan temel tipleri (Aliyazıcıoğlu, 2004)

Zemin gerilmesinin 12 kN/m^2 'den yüksek olması halinde yüzeysel temel, düşük olması halinde ise kazıklı temellerin yapılması uygundur. Temel tasarım ve projelendirilmesi yapılırken zemin incelemeleri, temel çapı üzerinde en az üç bölgede temel çapı çevresinde de eşit derinlikteki gözlem çukurlarıyla yapılmalıdır (Şengün, 2010).

1.8.2. Baca Gövdesi

Betonarme baca gövdeleri farklı baca tiplerinin oluşmasını sağlayan silindirik, bir eğimli koni, iki eğimli koni, üç eğimli koni ve baca yüksekliği boyunca değişen koni gibi çeşitli kesitlerde bulunabilmektedir. Baca gövde kabuklarının kalınlığı ve çapı yükseklik boyunca azalmaktadır. Gövde üzerinde bacanın istenilen şekilde çalışmasını sağlayan boşluklar bulunmaktadır. Bu boşluklar, sanayi tesislerinde oluşan atık gazların bacaya girdiği yuvarlak veya dikdörtgen şekilli büyük boşluklar, işletme esnasında kül boşaltılması ve malzeme girişinin yapıldığı atık gaz giriş ağzı altındaki boşluklar ve diğer boşluklardan daha küçük olan montaj ve kontrol amaçlı açılan boşluklardır. Baca gövdesi atık gaz çıkış ağzında bu bölgeyi burkulma ve eğilmelere karşı koruyan tepe çemberi kullanılmaktadır.

1.8.3. Baca Kaplamaları

Baca gövdeleri, sanayide oluşan atık gazların gereken yükseklikte atmosfere bırakılması aşamasında yüksek sıcaklık ve zararlı gazlara maruz kalmaktadır. Baca gövdeleri ilk başlarda kaplamasız yapıldıklarından dolayı baca gövdeleri yüksek sıcaklık ve asidik gazların beton üzerindeki etkisiyle birlikte hasar almakta ve dayanımları ve yapı ömürleri azalmaktaydı. Bacanın bu zarar verici etkilerden

korunabilmesi için baca gövdesi iç taraftan kaplanmaktadır. Kaplama işleminde ateşe dayanıklı tuğlalar ve betonarme gövde ile kaplama arasında sıcaklığı düşürmek amacıyla yanıcı olmayan yalıtım malzemeleri kullanılmaktadır. Beton gövdenin sıcaklık etkisinden daha da iyi korunabilmesi için beton ile kaplama arasında bir miktar hava boşluğu bırakılmalıdır.

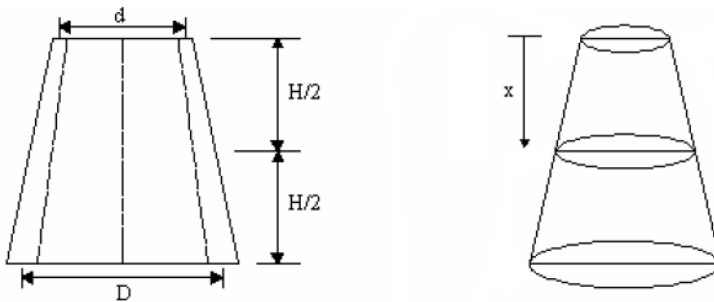
1.9. Betonarme Bacalara Etki Eden Yükler

Betonarme bacalar yapı ömürleri süresince çeşitli yüklere maruz kalırlar. Bunların başında bacanın kendi ağırlığından kaynaklanan sabit yükler, rüzgâr yükleri, sıcaklık değişimlerinden kaynaklanan yükler ve deprem yükleri gelir. Bunların yanı sıra temel dönmesi, ikinci mertebe etkileri, burkulma ve diğer yükler de bacalar üzerinde etkilidir. Bu bölümde bacanın tasarım aşamasında ve aktif şekilde kullanılmasında önemli bir yere sahip olan yüklerden bahsedilecektir.

1.9.1. Sabit (Ölü) Yükler

Baca tasarımında, baca ve üzerinde bulunan donanımlarla birlikte kaplama yüklerini de içeren sabit yükler dikkate alınmalıdır. Bacanın yüksekliği boyunca baca çapı ve yatay yüklerden oluşan etkiler azalmaktadır. Aynı şekilde baca gövde kalınlığı da doğrusal veya kademeli olarak azalır. Dolayısıyla baca içerisindeki kaplama tuğlaları da yükseklik boyunca azalmaktadır.

Gövde kalınlığının değişiminin doğrusal olması durumu için ağırlık ve ağırlık merkezi hesabına yarayan bağıntılar Şekil 12’de verilen, baca eksenini boyunca alınmış H yükseklikli bir dilim üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 12. Sabit yük hesabında kullanılan bir baca dilimi

Yukarıda verilen şekilde d dilimin üst kesit ortalama çapını, D dilimin alt kesit ortalama çapını ve H dilim yüksekliğini göstermek üzere, x kesitindeki ortalama çap D_x ;

$$D_x = d + \frac{x}{H}(D - d) \quad (17)$$

bağıntısı ile ifade edilir. T alt kesit cidar kalınlığını, t üst kesit cidar kalınlığını göstermek üzere, x kesitindeki ortalama kalınlık t_x ;

$$t_x = t + \frac{x}{H}(T - t) \quad (18)$$

bağıntısı ile ifade edilir. x kesitindeki dilimin hacmi V;

$$V = \int_0^H \pi D_x t_x dx = \frac{1}{6} \pi H [2(dt + DT) + dT + Dt] \quad (19)$$

bağıntıları ile hesaplanır. γ malzemenin birim ağırlığı, V dilim hacmi olmak üzere dilim ağırlığı G ve dilimin tepeye göre statik momenti M_u ;

$$G = \gamma V \quad (20)$$

$$M_u = \int_0^H \pi D_x t_x x dx = \frac{1}{12} \pi H^2 [dt + dT + Dt + 3DT] \quad (21)$$

olarak hesaplanır. Dilimin ağırlık merkezinin taban kesitine uzaklığı l_g ;

$$l_g = H - \frac{M_u}{V} = \frac{H}{2} \times \frac{(3dt + DT + Dt + dT)}{[2(dT + DT) + dT + Dt]} \quad (22)$$

bağıntısı ile elde edilir.

Baca kesitlerinin değişken olması halinde bacanın her bölgesi için hacim, ağırlık ve ağırlık merkezi değerlerini hesaplarken Simpson kuralının uygulanması kolaylık sağlar. Bu amaçla baca diliminin alınan kesitlerdeki alanı, hacmi ve ağırlık merkezi Tablo 2’de verilen ifadelerle hesaplanır.

Tablo 2'deki d_m ve t_m sırasıyla ortalama dilim çapını ve ortalama cidar kalınlığını göstermek üzere;

$$d_m = \frac{(D + d)}{2} \quad (23)$$

$$t_m = \frac{(T + t)}{2} \quad (24)$$

şeklinde hesaplanır.

Tablo 2. Baca diliminin hesabında kullanılan Simpson katsayıları

Kesit	A / π	Simpson arpanı	V / π	h	$(Vh) / \pi$
st Alan	dt	1	dt	H	dtH
Orta Alan	$d_m t_m$	4	$4d_m t_m$	$H/2$	$2d_m t_m H$
Alt Alan	DT	1	$\frac{DT}{dt + DT + 4d_m t_m}$	0	$\frac{H}{H(dt + 2d_m t_m)}$

st ve alt kesitler arasındaki baca diliminin hacmi;

$$V = \frac{1}{6} \pi H (dt + DT + 4d_m t_m) \quad (25)$$

ve alt kesite göre ağırlık merkezi;

$$l_g = \frac{1}{6} \pi H (dt + 2d_m t_m) / V = \frac{(dt + 2d_m t_m)}{(dt + DT + 4d_m t_m)} \quad (26)$$

şeklinde ifade edilir.

Simpson kuralı uygulanarak elde edilen sonuçlar ile daha önceden verilmiş olan kesin çözümler örtüşmektedir.

1.9.2. Rüzgâr Yükleri

Rüzgâr yükleri, baca gibi narin ve yüksek yapılar üzerinde en önemli etkiyi oluşturur. Genel olarak rüzgâr etkisi baca türü yapılarda iki önemli kısma ayrılır. Bunlar, boyuna rüzgâr etkisi ve enine rüzgâr etkisidir. Bu etkiler de bacalarda hem statik hem de dinamik etkiler oluşturmaktadır. Narin betonarme bacalar genel olarak boyuna rüzgâr etkilerine maruz kalmakta ve bu yüklere göre yapılan hesaplamalar daha ön plana çıkmaktadır.

Bacalara etkiyen rüzgâr yükü, başta bacanın kurulacağı yere ve baca yüksekliğine bağlı olarak değişen rüzgâr hızının büyüklüğünden ve rüzgârın yönünden etkilenmektedir. Bunların haricinde bacanın rüzgâr yükü, aşağıda verilen etkenlere bağlı olarak da değişebilmektedir (Öz, 2007).

- Yapının yerden yüksekliği
- Bölge topoğrafyası
- Yapının geometrisi
- Türbülans seviyesi
- Baca etrafında başka yapıların bulunması
- Havanın yoğunluğu
- Şekil katsayısı
- Bacanın doğal titreşim frekansı
- Yapı sönüm oranı ve mod şekli

1.9.3. Sıcaklık Değişiminden Kaynaklanan Yükler

Yapım amacı dolayısıyla sürekli sıcak gaz ve duman etkisinde kalan betonarme baca kabuklarında, kabukların iç ve dış yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkından dolayı gerilmeler meydana gelmektedir. Bu sıcaklık farkı iç yüzeyden dış yüzeye yayılma eğilimi göstermektedir. Kabuğun farklı genleşmeler yapması sonucunda iç yüzeyinde basınç, dış yüzeyinde ise çekme gerilmeleri oluşmaktadır. Kabuğun iç yüzey ve dış yüzeyi arasındaki sıcaklık farkları yapıdaki gerilme dağılımını etkilediği için baca tasarımında önemli bir rol oynamakta ve dikkate alınması gereken bir parametre özelliği taşımaktadır.

1.9.4. Deprem Yükları

Yer kabuğundaki faylar üzerinde biriken biçim değıştirme enerjisinin aniden boşalması sonucu ortaya çıkan titreşimlerin dalgalar halinde yayılarak yeryüzünü sarsma olayına deprem denir. Deprem etkileri, zemindeki titreşimlerin yapıya aktarılması ile oluşur. Bu etkiler, yapı kütesinin depreme tepkisi sonucu oluşan eylemsizlik kuvvetleri olduğundan zeminin hareketine göre değışim gösterir. Zemin hareketleri ise birçok değışkene bağıdır. Yapının deprem davranışını etkileyen önemli parametreler ise yapının kütesi, rijitliği ve sönüm oranıdır.

Deprem yükleri de tıpkı rüzgâr yükleri gibi betonarme bacalar üzerine etkiyen yüklerin büyük bir bölümünü oluşturur. Özellikle aktif deprem kuşağında bulunan ülkeler, kullanmış oldukları yönetmeliklerle bu tarz yapıların tasarımında deprem etkisini farklı hesap yöntemlerine bağı olarak dikkate almaya çalışmaktadırlar.

1.10. Newmark Yöntemine Göre Zaman Tanım Alanında Dinamik Analiz

Tez kapsamında yapılan çalışmalarda, betonarme sanayi bacalarının deprem davranışının belirlenmesi için gerçekleştirilen dinamik analizlerde Newmark yöntemi tercih edilmiştir.

Newmark yönteminde, hız ve yer değıştirmeler t ile $t+\Delta t$ zamanı arasında,

$$\dot{U}_{t+\Delta t} = \dot{U}_t + \left[(1-\gamma) \ddot{U}_t + \gamma \ddot{U}_{t+\Delta t} \right] \Delta t \quad (27)$$

$$U_{t+\Delta t} = U_t + \dot{U}_t (\Delta t) + \left[(0.5-\beta) \ddot{U}_t + \beta \ddot{U}_{t+\Delta t} \right] (\Delta t)^2 \quad (28)$$

Şeklindeki gibi ifade edilebilmektedir (Bathe, 1996; Chopra, 2006). Burada U_t , $\dot{U}_t$ ve $\ddot{U}_t$ sırasıyla t anındaki yer değıştirme, hız ve ivme vektörlerini, $U_{t+\Delta t}$, $\dot{U}_{t+\Delta t}$ ve $\ddot{U}_{t+\Delta t}$ ise sırasıyla $t+1$ anındaki yer değıştirme, hız ve ivme vektörlerini göstermektedir. Bu denklemde β ve γ integrasyon parametreleri olup, Δt zaman aralığındaki ivmenin değışimini tanımlamaktadır. Ayrıca bu parametreler, kullanılan yöntemin stabilite ve doğruluk karakteristiklerini belirlemektedir. $\gamma=1/2$ ve $1/6 \leq \beta \leq 1/4$ seçilmesi Newmark yönteminin doğruluğu için yeterli olmaktadır (Chopra, 2006).

Bölüm 1.5’te verilen (16) denkleminin t ve $t+1$ anındaki dengesi dikkate alındığında,

$$M \ddot{U}_t + C \dot{U}_t + KU_t = P_t - V_t \quad (29)$$

$$M \ddot{U}_{t+1} + C \dot{U}_{t+1} + KU_{t+1} = P_{t+1} - V_{t+1} \quad (30)$$

şeklinde ifade edilebilmektedir. Eğer (30) denkleminin (29) denklemi çıkarılırsa artımsal hareket denklemi,

$$M \Delta \ddot{U}_t + C \Delta \dot{U}_t + K \Delta U_t = \Delta P_t - \Delta V_t \quad (31)$$

şeklinde elde edilmektedir. Burada, Δ değişim operatörünü göstermek üzere,

$$\left. \begin{aligned} \Delta \ddot{U}_t &= \ddot{U}_{t+1} - \ddot{U}_t \\ \Delta \dot{U}_t &= \dot{U}_{t+1} - \dot{U}_t \\ \Delta U_t &= U_{t+1} - U_t \end{aligned} \right\} \quad (32)$$

şeklinde ifade edilmektedir. (27) ve (28) denklemleri artımsal olarak düzenlenirse,

$$\Delta \dot{U}_t = (\Delta t) \ddot{U}_t + \gamma (\Delta t) \Delta \ddot{U}_t \quad (33)$$

$$\Delta U_t = (\Delta t) \dot{U}_t + \frac{(\Delta t)^2}{2} \ddot{U}_t + \beta (\Delta t)^2 \Delta \ddot{U}_t \quad (34)$$

ifadeleri elde edilmektedir. (34) denkleminin $\Delta \ddot{U}_t$ çekilecek olursa;

$$\Delta \ddot{U}_t = \frac{1}{\beta (\Delta t)^2} \Delta U_t - \frac{1}{\beta (\Delta t)} \dot{U}_t - \frac{1}{2\beta} \ddot{U}_t \quad (35)$$

elde edilir. (35) denklemi (33) denkleminde yerine konursa,

$$\Delta \dot{U}_t = \frac{\gamma}{\beta(\Delta t)} \Delta U_t - \frac{\gamma}{\beta} \dot{U}_t + \Delta t \left(1 - \frac{\gamma}{2\beta} \right) \ddot{U}_t \quad (36)$$

şeklinde elde edilmektedir. (35) ve (36) denklemleri artımsal hareket denklemi (31)'de yerine konur ve düzenlenirse;

$$\begin{aligned} \left(K + \frac{\gamma}{\beta(\Delta t)} C + \frac{1}{\beta(\Delta t)^2} M \right) \Delta U_t = \\ \Delta P_t - \Delta V_t + \left(\frac{1}{\beta(\Delta t)} M + \frac{\gamma}{\beta} C \right) \dot{U}_t + \left[\frac{1}{2\beta} M + \Delta t \left(\frac{\gamma}{2\beta} - 1 \right) C \right] \ddot{U}_t \end{aligned} \quad (37)$$

ifadesi elde edilmektedir. Dinamik hareket denkleminin, her Δt zaman aralığı içinde statik denge konumu sağlanarak çözümü elde edilmektedir. Burada adım adım çözümde ilk önce ΔU_t (34) denkleminden bulunmaktadır. Daha sonra, (35) ve (36) denklemleri yardımıyla $\dot{U}_t$ ve $\ddot{U}_t$ elde edilmektedir. Bir sonraki adıma ait değerler, (38) denkleminden elde edilmektedir. İşlemler bu şekilde çözüm aralığı boyunca devam etmektedir.

$$\left. \begin{aligned} U_{t+1} &= U_t + \Delta U_t \\ \dot{U}_{t+1} &= \dot{U}_t + \Delta \dot{U}_t \\ \ddot{U}_{t+1} &= \ddot{U}_t + \Delta \ddot{U}_t \end{aligned} \right\} \quad (38)$$

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu tez kapsamında, betonarme sanayi bacasının ankastre mesnetli olma durumunda ve farklı zemin koşulları altındaki dinamik karakteristiklerinde meydana gelen değişimler ile yapısal davranışlarının belirlenmesi ve karşılaştırılmalı olarak irdelenmesi amaçlanmaktadır. Bu kapsamda; sert, orta sert ve yumuşak olmak üzere üç farklı zemin koşulu ele alınmış olup, yapı-zemin etkileşim modeli üzerinde sayısal çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

2.1. Sanayi Bacasının Geometrik Özellikleri

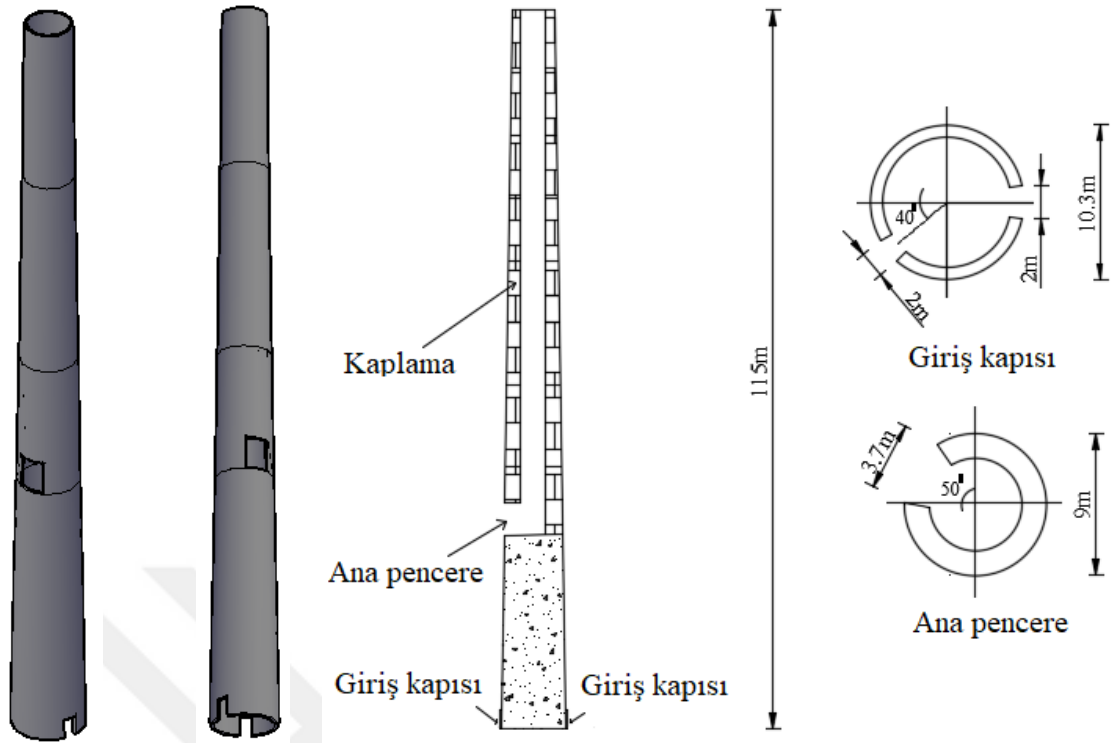
Çalışma kapsamında ele alınan betonarme sanayi bacası örneği, Kocaeli’nde bulunan ve 1999 yılında meydana gelen Kocaeli depremi sırasında hasar alıp yıkılmış olan bir rafineri bacasıdır. Bu baca 115 m yüksekliğinde ve eğimli koni şeklindedir. Dış çapı zemin seviyesinde 10,3 m olup, yapı yüksekliği boyunca azalarak tepe noktasında 6,6 m olmaktadır. Baca gövdesinde atık gazların bacaya girişi için kullanılan dikdörtgen şeklinde bir boşluk yer almaktadır. Baca yüksekliğinin 1/3’ü kadar yükseklikte bulunan bu boşluk, aynı zamanda deprem esnasında hasarın meydana gelmiş olduğu kısımdır. Tablo 3’te baca gövdesinde bulunan açıklıkların ölçüleri, Tablo 4’te ise betonarme sanayi bacasına ait yapı yüksekliği boyunca değişen duvar kalınlıkları, dış çaplar ve eğimler yer almaktadır. Bacaya ait genel görünüş ve kesitler Şekil 13’te verilmektedir.

Tablo 3. Baca gövdesinde bulunan açıklık ölçüleri (Akniyazov, 2016)

	Genişlik(m)	Yükseklik(m)	Açı(derece)
Ana Açıklık	3,73	5,17	50
Giriş Kapıları	2,00	3,00	24

Tablo 4. Bacanın geometrik özellikleri (Akniyazov, 2016)

Yükseklik(m)	Eğim (%)	Dış Çap(m)	Duvar Kalınlığı(m)
115	1,00	6,60	0,20
90	1,00	7,10	0,22
60	1,50	8,00	0,28
40	1,75	8,70	0,30
0	2,00	10,30	0,45



Şekil 13. Betonarme bacaya ait kesit ve görünüşler

2.2. Sanayi Bacasının Sonlu Eleman Modelinin Oluşturulması

Betonarme sanayi bacasının ankastre mesnetli ve yarı sonsuz zemin ortamlı sonlu eleman modelleri ANSYS (2016) programı kullanılarak oluşturulmuştur. Yapı-zemin etkileşiminin sanayi bacasının dinamik davranışına etkisini belirlemek amacıyla modellemede zemin ve zemin üzerindeki yapı program kütüphanesinde yer alan eleman tipleriyle modellenmiştir. Modellemelerde yapının frekans değerlerine donatının etkisinin olmamasından dolayı SOLID186 veya SOLID65 eleman tipleri tercih edilebilmektedir. Bacanın modellenmesinde SOLID65, zeminin modellenmesinde ise SOLID185 eleman tipleri kullanılmıştır. SOLID65 elemanı her bir düğüm noktasında üç ötelenme serbestliğine sahip sekiz düğüm noktalı olup, beton ve betonarme elemanların modellenmesinde kullanılmaktadır. Çekmede çatlama, basınçta ezilme, sünme ve plastik deformasyon yapabilme özelliğine sahip katı bir elemandır. SOLID185 eleman tipi ise katıların üç boyutlu modellenmesinde kullanılan üç ötelenme serbestliğine sahip sekiz düğüm noktalı bir elemandır. Plastisite, hiperplastisite, büyük şekil değiştirme ve büyük yer değiştirme özelliklerine sahiptir. Betonarme bacaya ve kullanılan zemin türlerine ait malzeme özellikleri sırasıyla Tablo 5 ve Tablo 6'da verilmektedir.

Tablo 5. Sonlu eleman modelinde kullanılan baca modelinin malzeme özellikleri

	Malzeme Özellikleri		
	Elastisite Modülü (MPa)	Poisson Oranı (-)	Yoğunluk (kg/m ³)
Beton	30000	0,20	2400

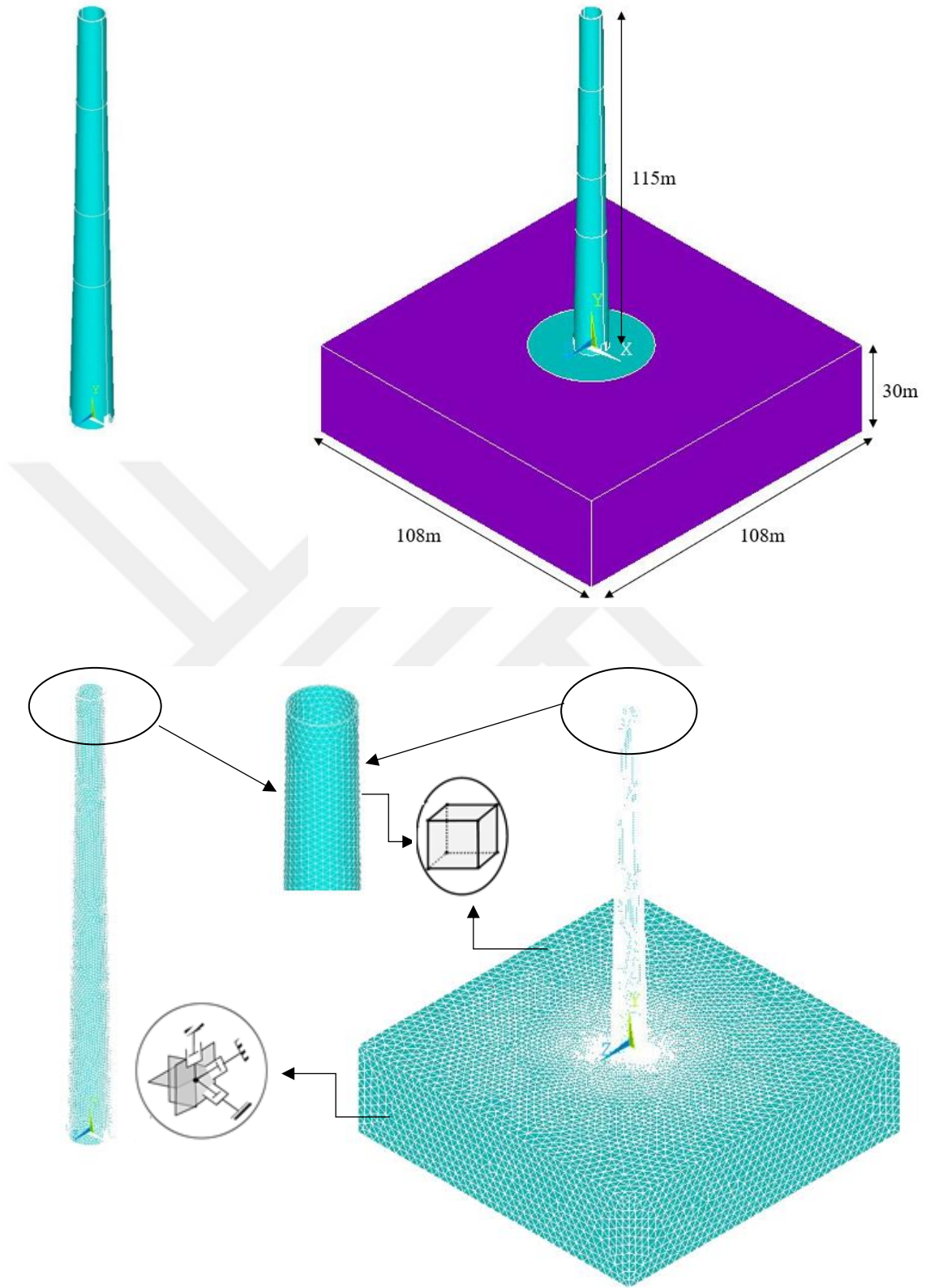
Tablo 6. Sonlu eleman modelinde kullanılan zeminlerin malzeme özellikleri (Hökelekli ve Al-Helwani, 2019)

Zemin	Elastisite Modülü (MPa)	Poisson Oranı (-)	Yoğunluk (kg/m ³)	Vp (m/s)	Vs (m/s)
Sert	5,68E9	0,3	2064	1924,716	1028,804
Orta Sert	3,61E8	0,35	1864	557,519	267,824
Yumuşak	3,45E7	0,4	1667	210,590	85,973

Yapı-zemin etkileşiminin incelendiği her bir sonlu eleman modelinde yarı sonsuz zemin ortamı, zemin parametrelerinin belirlenmesinde kullanılan 30 m derinliğinde ve literatürdeki bilgiler ışığında (Rayhani ve Nagggar, 2008; Hökelekli ve Al-Helwani, 2019) yapı taban dış çapının en az beş katı olacak şekilde her iki yatay doğrultuda 108 metre uzunluğunda kabul edilmiştir. Zemin ortamının çevresinde viskoz sınırlar kullanılmıştır. Bu viskoz sınırlar, model sınırlarına kartezyen koordinat sisteminde her bir doğrultuda yerleştirilmiştir. Çalışma kapsamında oluşturulan sonlu eleman modelleri Şekil 14’te verilmektedir.

Oluşturulan sayısal modellerde farklı büyüklükte sonlu eleman ağları kullanılarak yapının dinamik özelliklerindeki değişimler incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda en ideal ölçü olarak yapı hacmi 0,75 m, zemin ortamları ise 3 m’lik sonlu eleman ağına bölünmüştür. Sonlu eleman ağı ölçüleri, pencere boşlukları bulunan yapıda meydana gelen yapısal davranışları rahat elde edebilmek ve lokal olarak inceleyebilmek için analiz süresi ile analizlerin kaplayacağı bellek alanı da göz önünde bulundurularak bu şekilde tercih edilmiştir.

Sonlu eleman ağına bölünen ankastre mesnetli model 12571 adet düğüm noktası ve 37369 adet elemandan oluşurken, farklı tür zeminler kullanılarak oluşturulan sonlu eleman modelleri ise 115692 adet düğüm noktası ve 202061 adet elemandan oluşmaktadır.

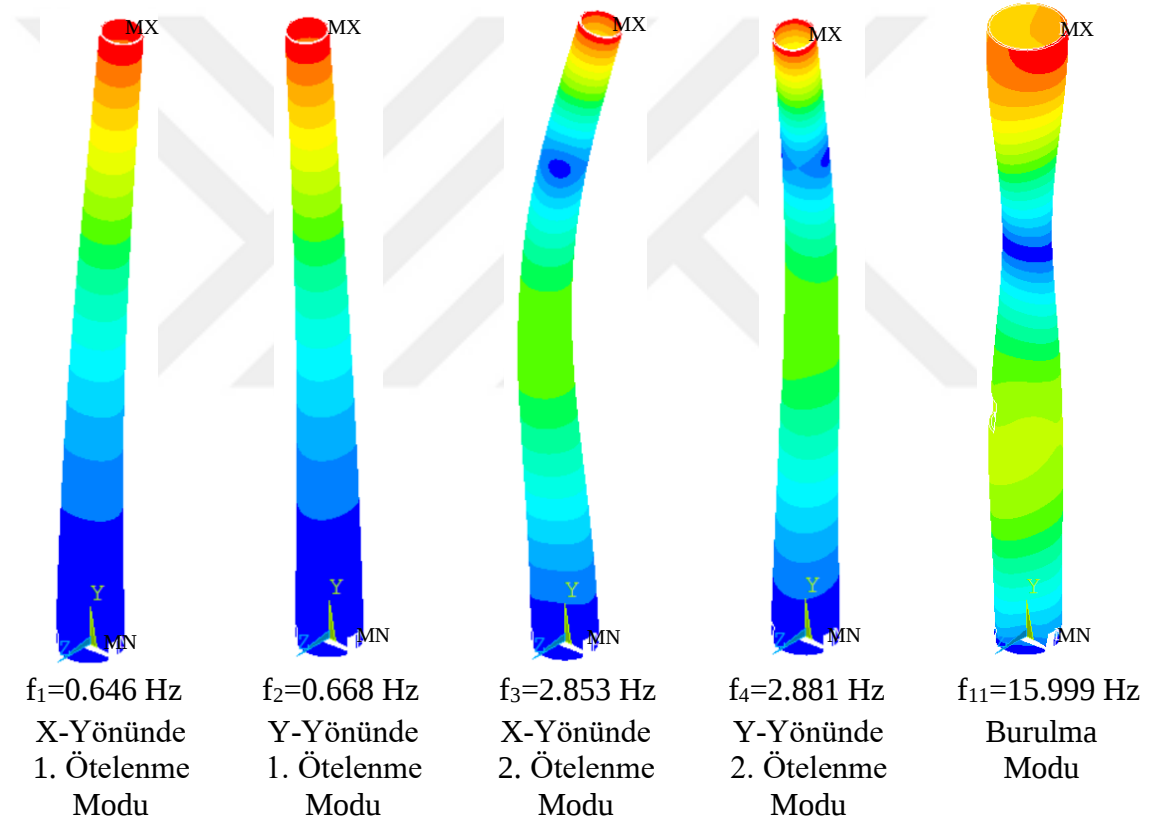


Şekil 14. Bacaya ait ankastre mesnetli ve yapı-zemin etkileşimli sonlu eleman modelleri

3. BULGULAR

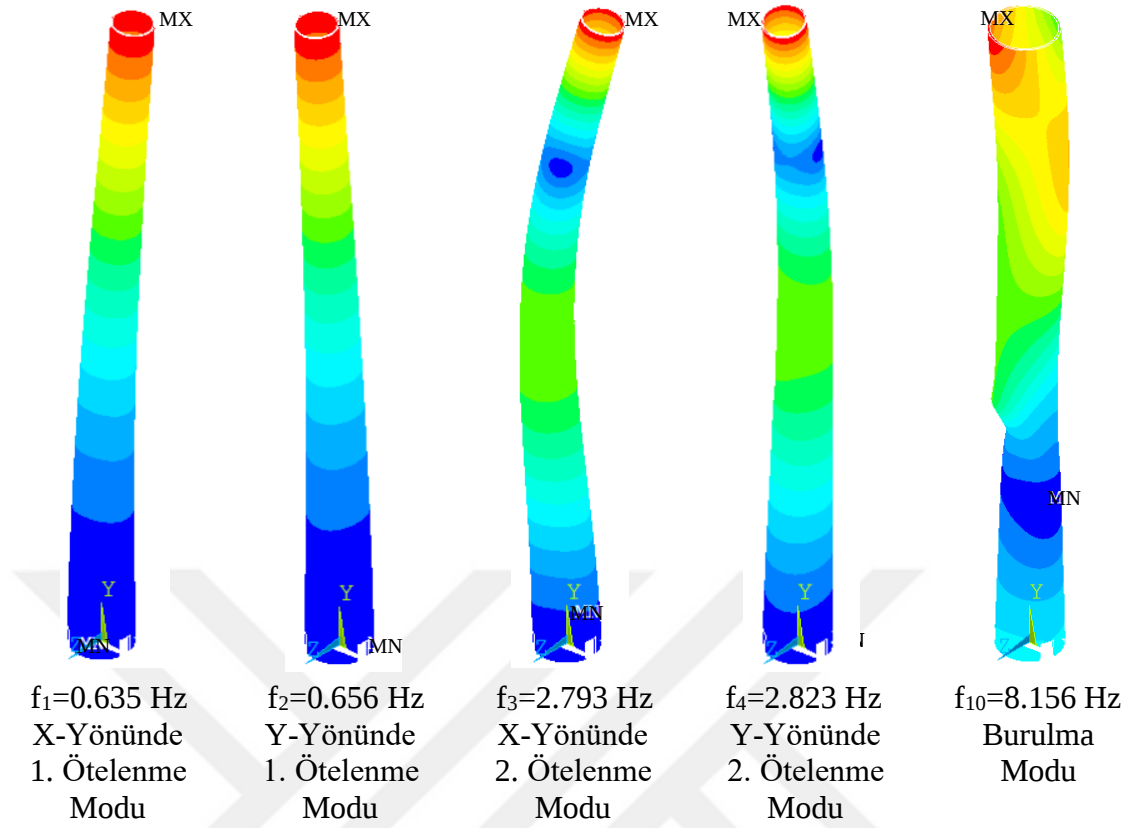
3.1. Modal Analiz ve Dinamik Karakteristiklerin Belirlenmesi

Tez kapsamında, betonarme sanayi bacası örneğinin sonlu eleman modelleri ANSYS programında oluşturulduktan sonra yapının dinamik karakteristikleri olarak adlandırılan frekans ve mod şekilleri modal analizler sonucunda elde edilmiştir. Bacanın ankastre mesnetli olması durumuna ait frekans değerleri ve ilgili mod şekilleri Şekil 15'te gösterilmektedir.

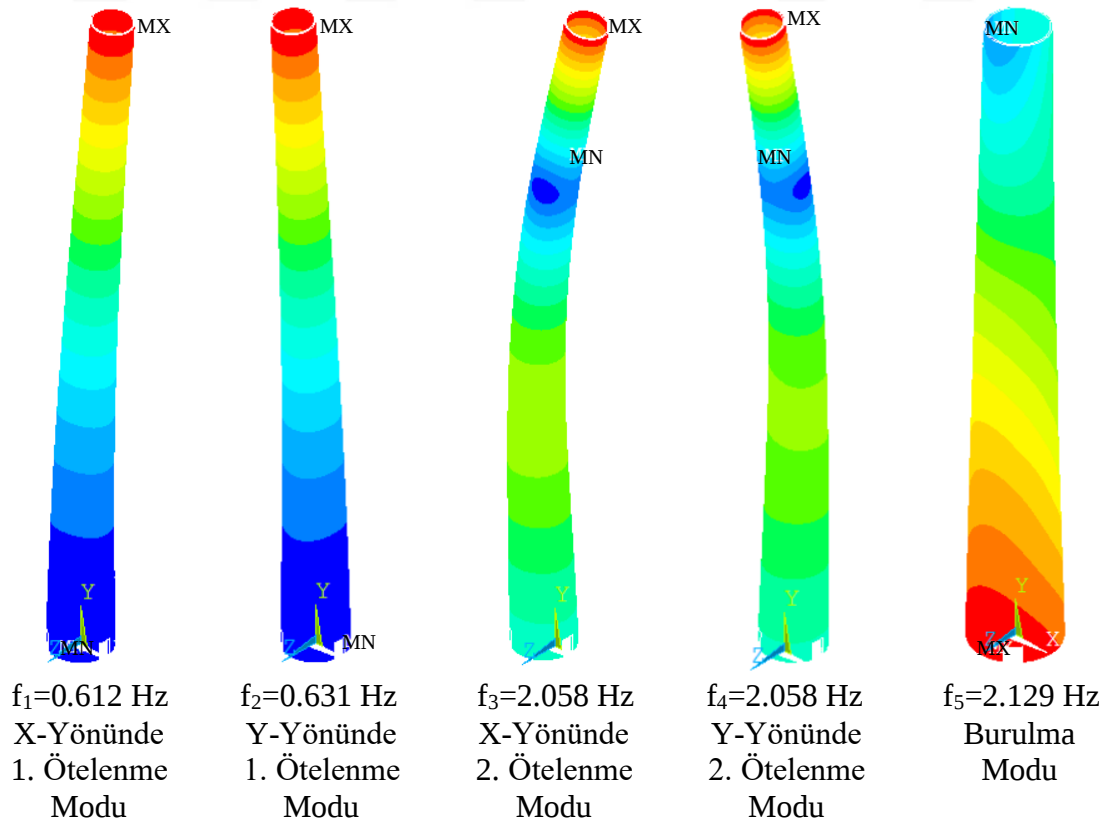


Şekil 15. Ankastre mesnetli baca modeline ait mod şekilleri ve frekanslar

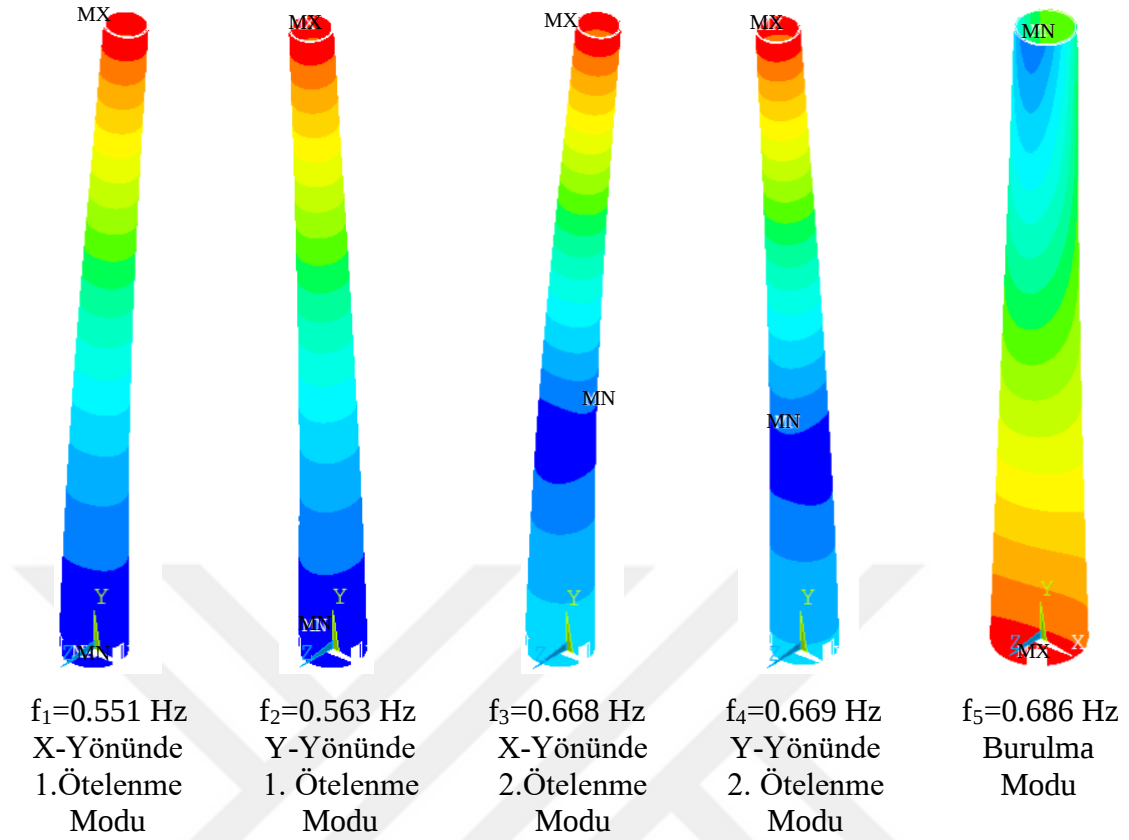
Bacanın sırasıyla sert zemin, orta sert zemin ve yumuşak zemin ortamı üzerinde bulunduğu ve viskoz sınır şartları kullanılarak oluşturulan yapı-zemin etkileşimine ait frekans değerleri ve ilgili mod şekilleri sırasıyla Şekil 16, Şekil 17 ve Şekil 18'de gösterilmektedir. Tüm sayısal modellerden elde edilen frekans değerleri ve bu değerlerin karşılaştırılması Tablo 7'de toplu olarak verilmektedir.



Şekil 16. Sert zemine oturan baca modeline ait mod şekilleri ve frekanslar



Şekil 17. Orta sert zemine oturan baca modeline ait mod şekilleri ve frekanslar



Şekil 18. Yumuşak zemine oturan baca modeline ait mod şekilleri ve frekanslar

Tablo 7. Sayısal analizlerden elde edilen frekans değerleri

Modlar	Ankastre Mesnet Durumu	Fark (%)	Yapı- Sert Zemin Durumu	Fark (%)	Yapı- Orta Sert Zemin Durumu	Fark (%)	Yapı- Yumuşak Zemin Durumu
X-Yönünde 1. Ötelenme	0,646	-1,70	0,635	-3,62	0,612	-9,97	0,551
Y-Yönünde 1. Ötelenme	0,668	-1,80	0,656	-3,81	0,631	-10,78	0,563
X-Yönünde 2. Ötelenme	2,853	-2,10	2,793	-26,30	2,058	-67,54	0,668
Y-Yönünde 2. Ötelenme	2,881	-2,01	2,823	-27,10	2,058	-67,49	0,669
Burulma	15,999	-49,02	8,156	-73,90	2,129	-67,78	0,686

Yukarıda verilen şekiller ve Tablo 7 incelendiğinde modal analiz sonucunda elde edilen frekansların en yüksek değere ankastre mesnetli durumda sahip olduğu ve zemin

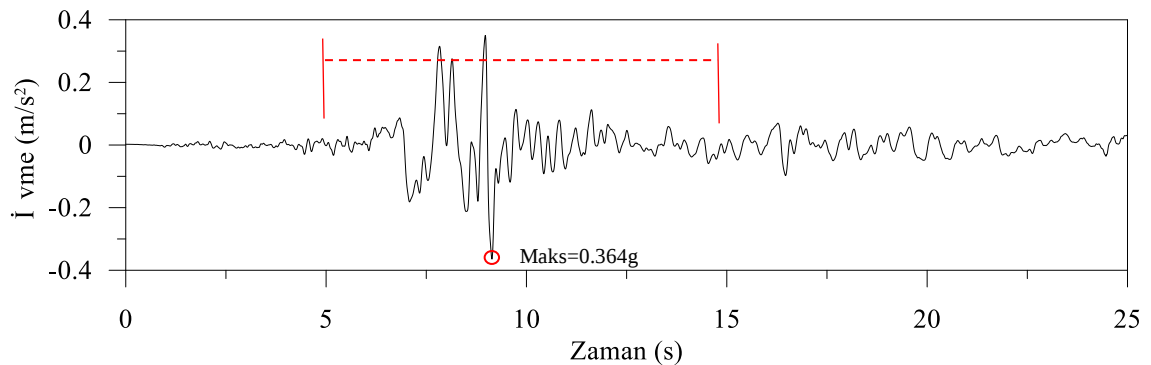
ortamının sert zeminden yumuşak zemine geçişinde frekans değerlerinin azaldığı dolayısıyla da periyodun arttığı görülmektedir. Bütün sayısal modellerde ilk dört mod ötelenme ve eğilme modları olarak elde edilmiştir. Burulma modları ise orta sert zemin ile yumuşak zeminde 5. modda görülmüşken, ankastre mesnetli ve sert zemin ortamlı modellerde daha sonraki modlarda meydana gelmiştir.

3.2. Doğrusal Dinamik Davranışların Belirlenmesi

Bu bölümde, ele alınan sanayi bacasının zemin ortamının modellenmediği ankastre mesnetli olma durumu ile bacanın sert zemin, orta sert zemin ve yumuşak zemin ortamlarında bulunma durumları sonucu oluşan yapı-zemin etkileşimleri dikkate alınarak doğrusal dinamik davranışları incelenmiştir. Burada amaç, farklı zemin koşullarına bağlı olarak yer değiştirme, asal gerilme ve asal şekil değiştirme değerlerindeki değişimi incelemektir.

Zaman tanım alanında doğrusal dinamik analizlerde deprem yer hareketi olarak 1999 yılında meydana gelen ve Düzce istasyonunda kaydedilen $M_w=7,5$ büyüklüğündeki Kocaeli depreminin yatay bileşeni kullanılmıştır. Toplamda 25 saniyeden oluşan ve 0,364g maksimum yer ivmesine sahip bu deprem kaydı baca modeline 0,01 saniyelik zaman adımlarıyla uygulanmış olup, yapılan analizlerde deprem kaydının etkili 10s'lik (5s-15s) kısmı dikkate alınmıştır. Kocaeli depreminin yatay bileşenine ait ivme kaydı Şekil 19'da verilmektedir.

Dinamik hareket denkleminin çözümünde daha önce de bahsedilen Newmark Yöntemi kullanılmıştır. Analizlerde kullanılan Rayleigh sönüm katsayıları yapının ilk 5 frekans değeri ve %5 sönüm oranı dikkate alınarak hesaplanmıştır.

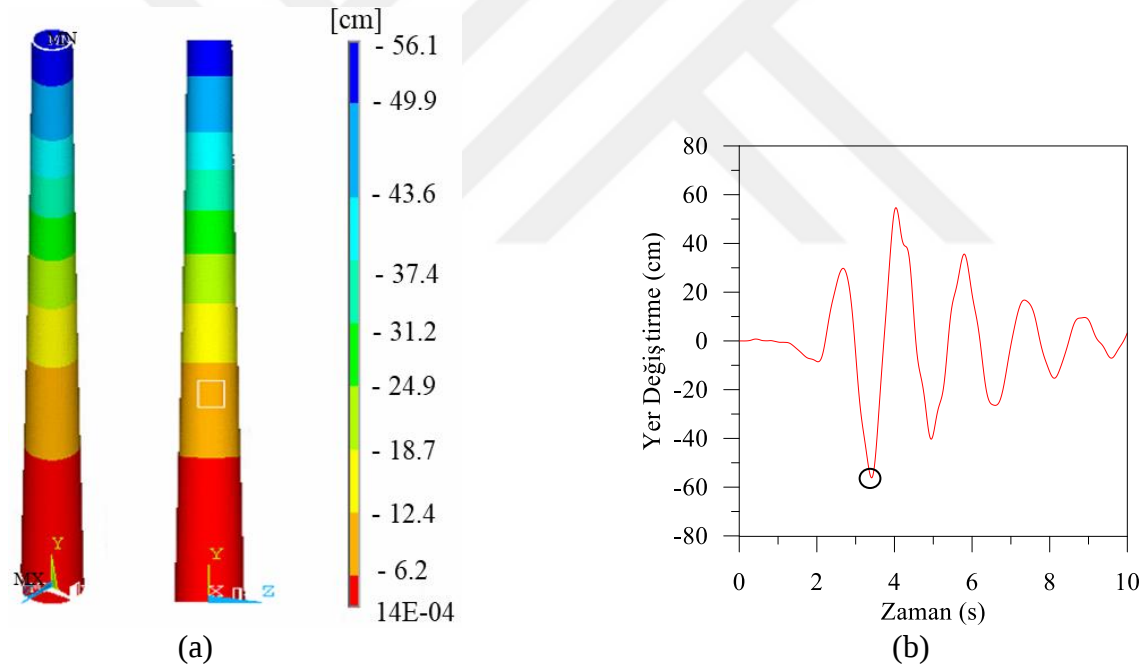


Şekil 19. Düzce istasyonunda kaydedilen Kocaeli depreminin yatay bileşeninin ivme kaydı (KOCAELI_DZC270)

3.2.1. Ankastre Mesnetli Durum Analizi

3.2.1.1. Yer Değiştirmeler

Ankastre mesnetli sanayi bacası sonlu eleman modelinin zaman tanım alanında gerçekleştirilen dinamik analizlerinden elde edilen yer değiştirme kontur diyagramı şekil 20(a)'da verilmektedir. Elde edilen bu kontur diyagramı, maksimum yer değiştirmeye ulaşıldığı andaki yapıda meydana gelen yer değiştirme dağılımını göstermektedir. Ankastre mesnetli sanayi bacası sonlu eleman modelinden elde edilen maksimum yer değiştirmenin zamanla değişimi şekil 20(b)'de verilmektedir. şekil 20(b)'de görüldüğü üzere maksimum yer değiştirme değeri analizin 3,41. saniyesinde, 56,1 cm olarak elde edilmiştir.

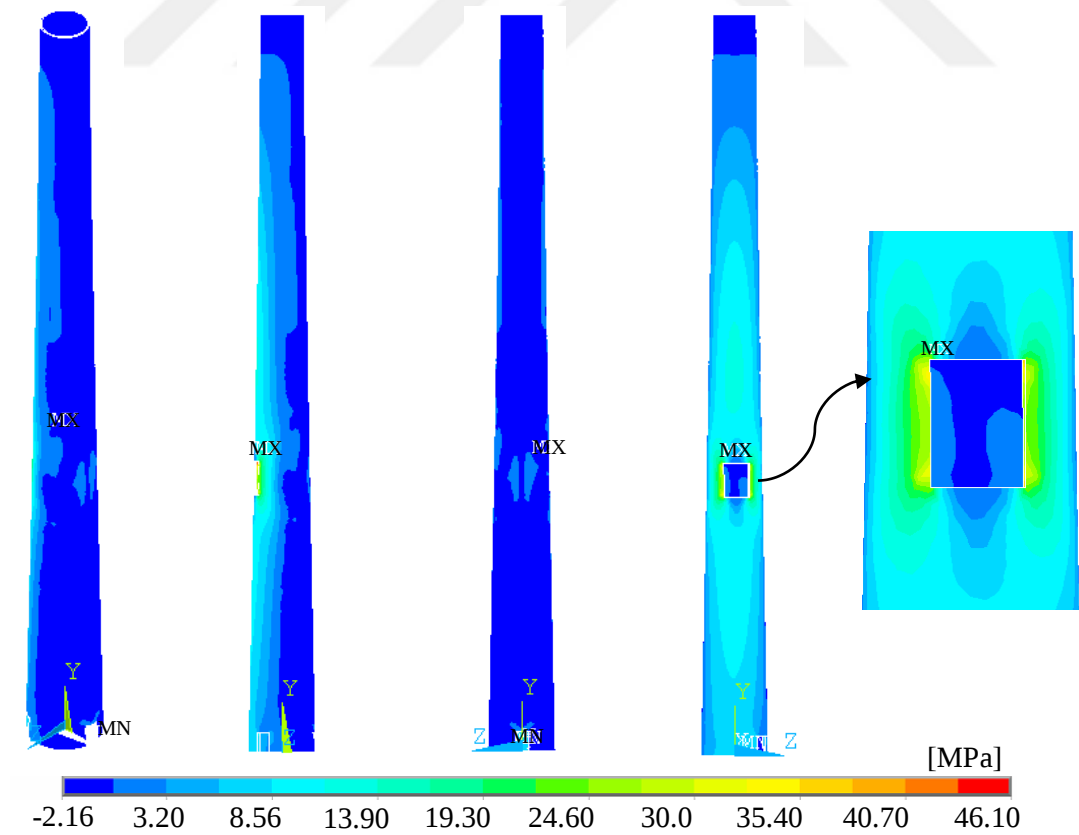


şekil 20. (a) Ankastre mesnetli sonlu eleman modelinden elde edilen yer değiştirme kontur diyagramı, (b) maksimum yer değiştirmenin zamana bağlı değişimi

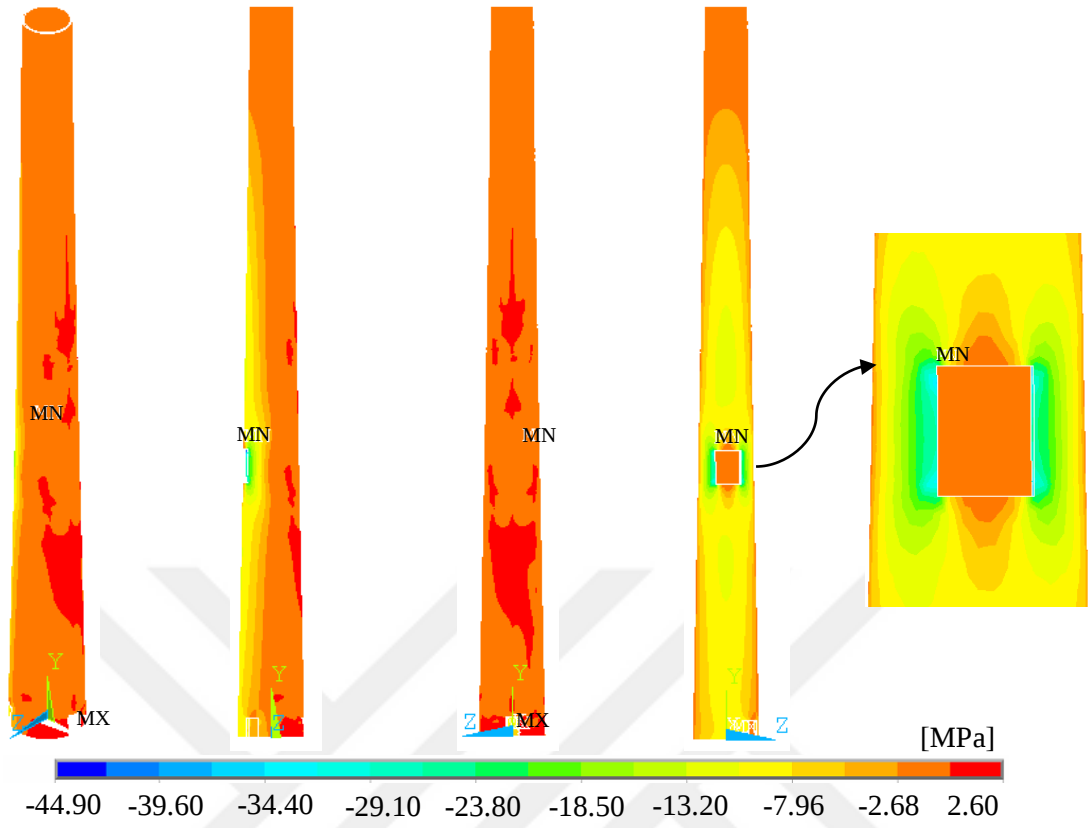
3.2.1.2. Asal Gerilmeler

Ankastre mesnetli sanayi bacası sonlu eleman modelinin zaman tanım alanında gerçekleştirilen dinamik analizlerinden elde edilen maksimum ve minimum asal gerilme kontur diyagramları sırasıyla şekil 21 ve şekil 22'de verilmektedir. Elde edilen bu kontur diyagramları, maksimum ve minimum asal gerilmelere ulaşıldığı andaki yapıda

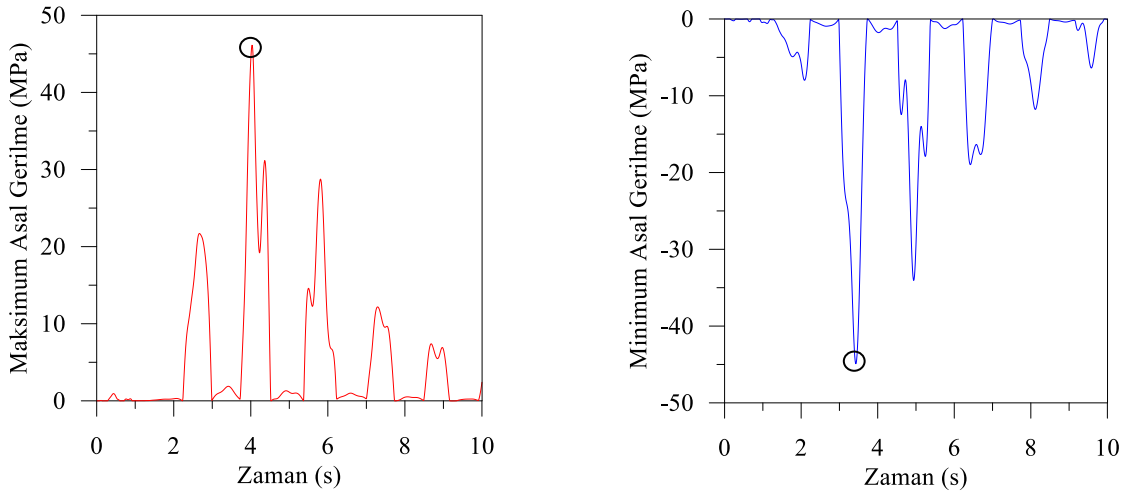
meydana gelen gerilme dağılımlarını göstermektedir. Şekil 21’de görüldüğü üzere, maksimum gerilme değeri 46,10 MPa olup analizin 4,03. saniyesinde yapı gövdesinde bulunan pencere kenarlarında meydana gelmiştir. Bu kısımlar haricinde gerilmeler, genellikle pencerenin bulunduğu cephede yoğunlaşmakta ve pencereden uzaklaştıkça yükseklik boyunca azalış göstermektedir. Bacanın giriş kısmındaki kapı bölgelerinde çekme gerilmesi kısmen oluşmazken, elde edilen maksimum gerilmenin pencere kenarlarında betonun çekme dayanımını aştığı görülmüştür. Şekil 22’de görüldüğü üzere, minimum gerilme değeri 44,90 MPa olup analizin 3,43. saniyesinde yine yapı gövdesinde bulunan pencere kenarlarında meydana gelmiştir. Bu kısımlar haricinde gerilmeler, genellikle pencerenin bulunduğu cephede yoğunlaşmakta ve pencereden uzaklaştıkça yükseklik boyunca artış göstermektedir. Bacanın giriş kısmındaki kapı bölgelerinde kısmen basınç gerilmesi oluşmazken, elde edilen minimum gerilmenin pencere kenarlarında betonun basınç dayanımını aştığı görülmüştür. Ankastre mesnetli sanayi bacası sonlu eleman modelinden elde edilen maksimum ve minimum asal gerilmelerin zamanla değişimi Şekil 23’te verilmektedir.



Şekil 21. Ankastre mesnetli sonlu eleman modelinden elde edilen maksimum asal gerilme kontur diyagramları



Şekil 22. Ankastre mesnetli sonlu eleman modelinden elde edilen minimum asal gerilme kontur diyagramları

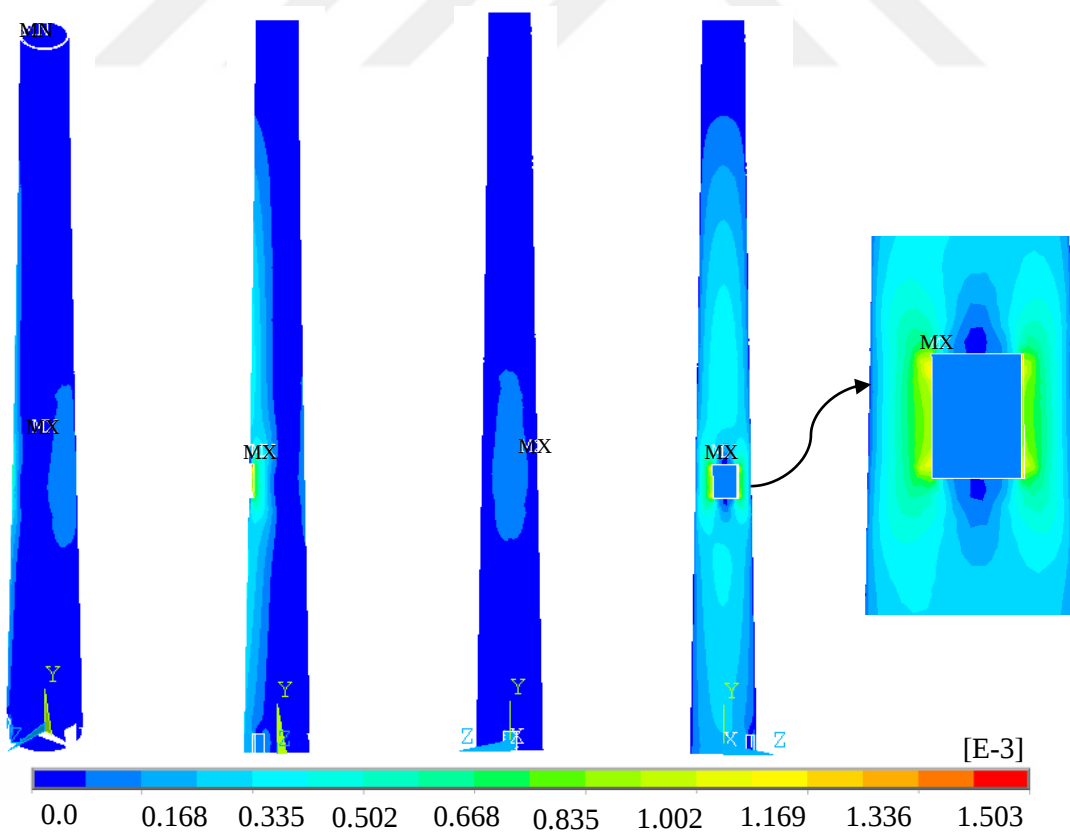


Şekil 23. Ankastre mesnetli sonlu eleman modelinden elde edilen maksimum ve minimum asal gerilmelerin zamanla değişimi

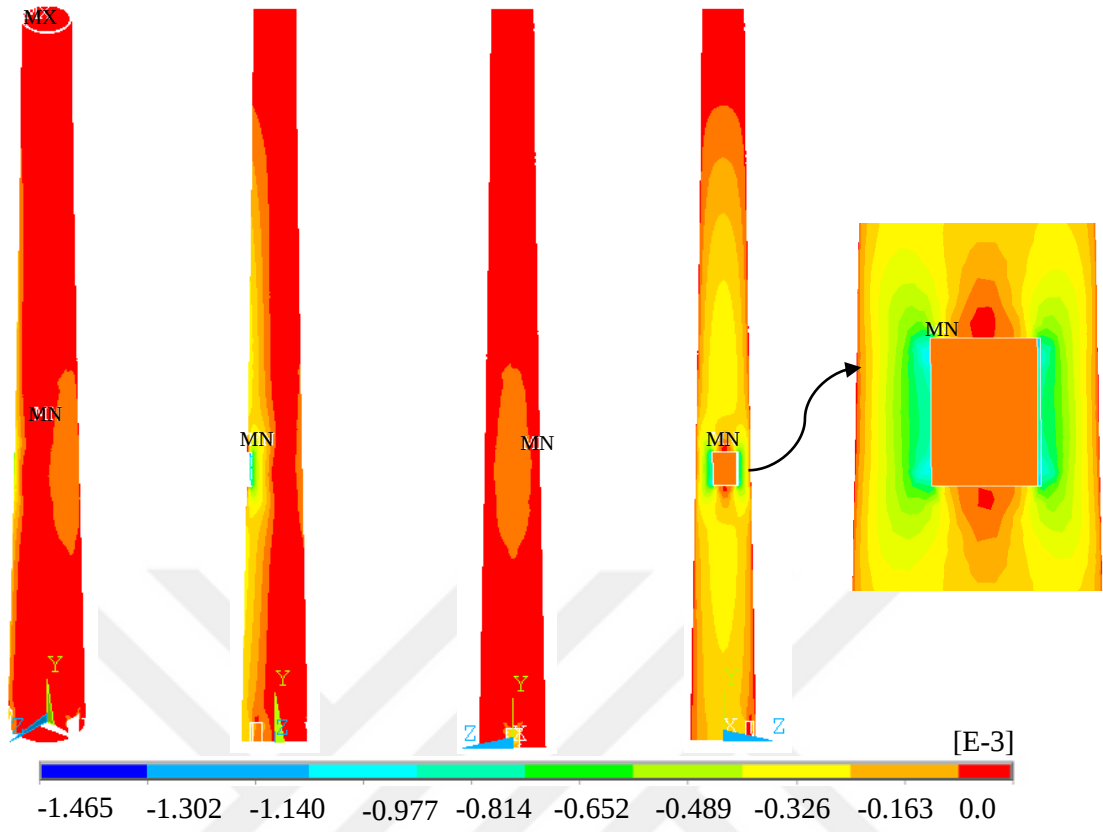
3.2.1.3. Asal Şekil Değişimleri

Ankastre mesnetli sanayi bacası sonlu eleman modelinin zaman tanım alanında gerçekleştirilen dinamik analizlerinden elde edilen maksimum ve minimum asal şekil

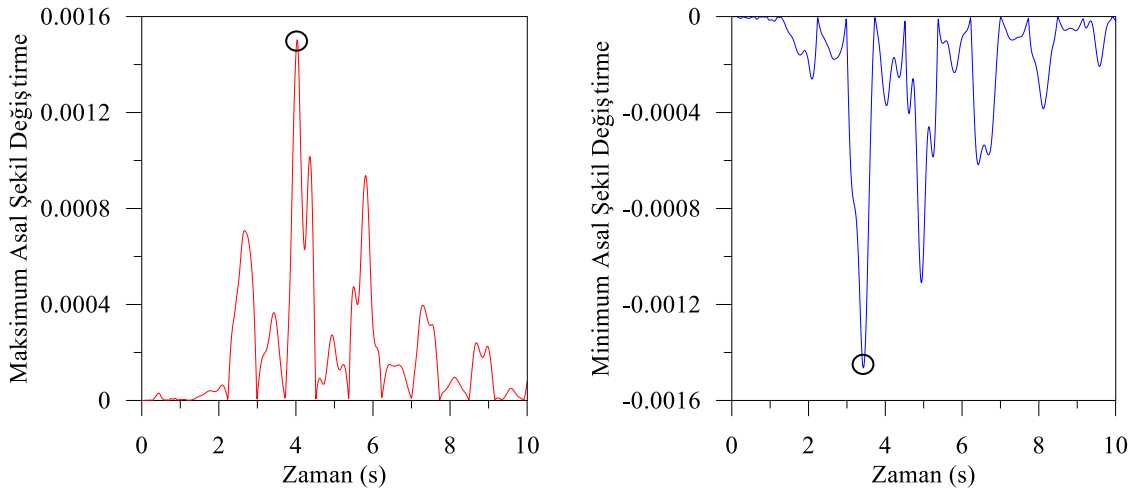
değiştirme kontur diyagramları sırasıyla Şekil 24 ve Şekil 25'te verilmektedir. Elde edilen bu kontur diyagramları, maksimum ve minimum asal şekil değiştirmelere ulaşıldığı andaki yapıda meydana gelen şekil değiştirme dağılımlarını göstermektedir. Şekil 24'te görüldüğü üzere, maksimum şekil değiştirme değeri $1,503 \times 10^{-3}$ olup analizin 4,03. saniyesinde yapı gövdesinde bulunan pencere kenarlarında meydana gelmiştir. Bu kısımlar haricinde şekil değiştirmeler, genellikle pencerenin bulunduğu cephede yoğunlaşmakta ve pencereden uzaklaştıkça yükseklik boyunca azalış göstererek baca tepe noktasında en küçük değerini almaktadır. Şekil 25'te görüldüğü üzere, minimum şekil değiştirme değeri $1,465 \times 10^{-3}$ olup analizin 3,43. saniyesinde yine yapı gövdesinde bulunan pencere kenarlarında meydana gelmiştir. Bu kısımlar haricinde şekil değiştirmeler, genellikle pencerenin bulunduğu cephede yoğunlaşmakta ve pencereden uzaklaştıkça yükseklik boyunca artış göstererek baca tepe noktasında en büyük değerini almaktadır. Ankastré mesnetli sanayi bacası sonlu eleman modelinden elde edilen maksimum ve minimum asal şekil değiştirmelerin zamanla değişimi Şekil 26'da verilmektedir.



Şekil 24. Ankastré mesnetli sonlu eleman modelinden elde edilen maksimum asal şekil değiştirme kontur diyagramları



Şekil 25. Ankastre mesnetli sonlu eleman modelinden elde edilen minimum asal şekil değiştirme kontur diyagramları

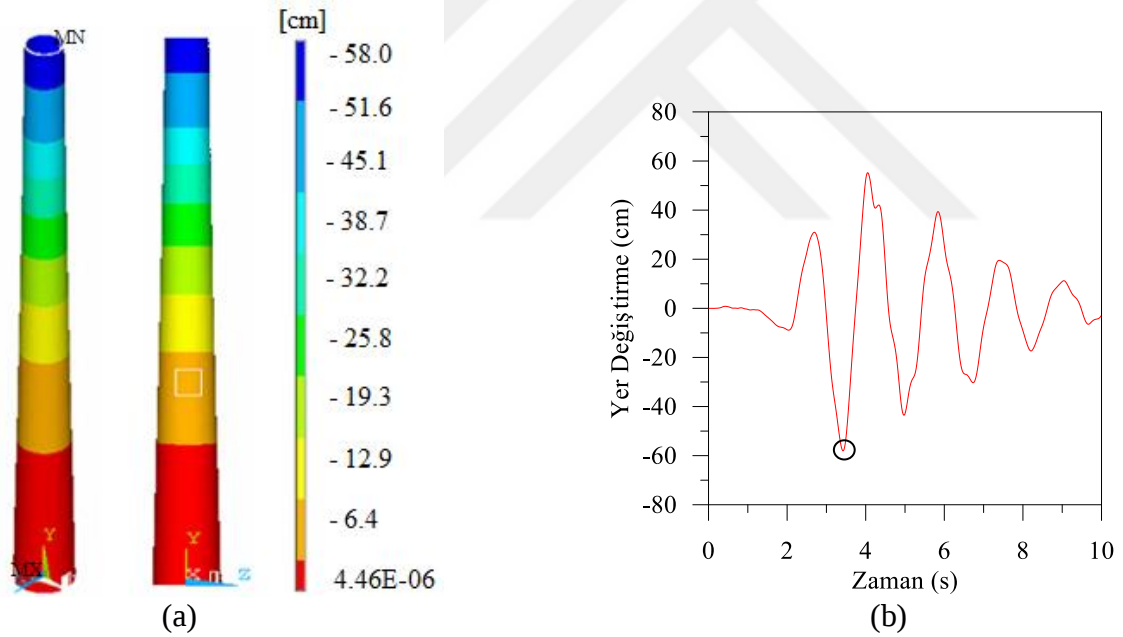


Şekil 26. Ankastre mesnetli sonlu eleman modelinden elde edilen maksimum ve minimum asal şekil değiştirmelerin zamanla değişimi

3.2.2. Yapı-Sert Zemin Etkileşimli Durum Analizi

3.2.2.1. Yer Değiştirmeler

Yapı-sert zemin etkileşimli sonlu eleman modelinin zaman tanım alanında gerçekleştirilen dinamik analizlerinden elde edilen yer değiştirme kontur diyagramı Şekil 27(a)'da verilmektedir. Elde edilen bu kontur diyagramı, maksimum yer değiştirmeye ulaşıldığı andaki yapıda meydana gelen yer değiştirme dağılımını göstermektedir. Yapı-sert zemin etkileşimli sonlu eleman modelinden elde edilen maksimum yer değiştirmenin zamanla değişimi Şekil 27(b)'de verilmektedir. Şekil 27(b)'de görüldüğü üzere maksimum yer değiştirme değeri analizin 3,42. saniyesinde, 58 cm olarak elde edilmiştir.

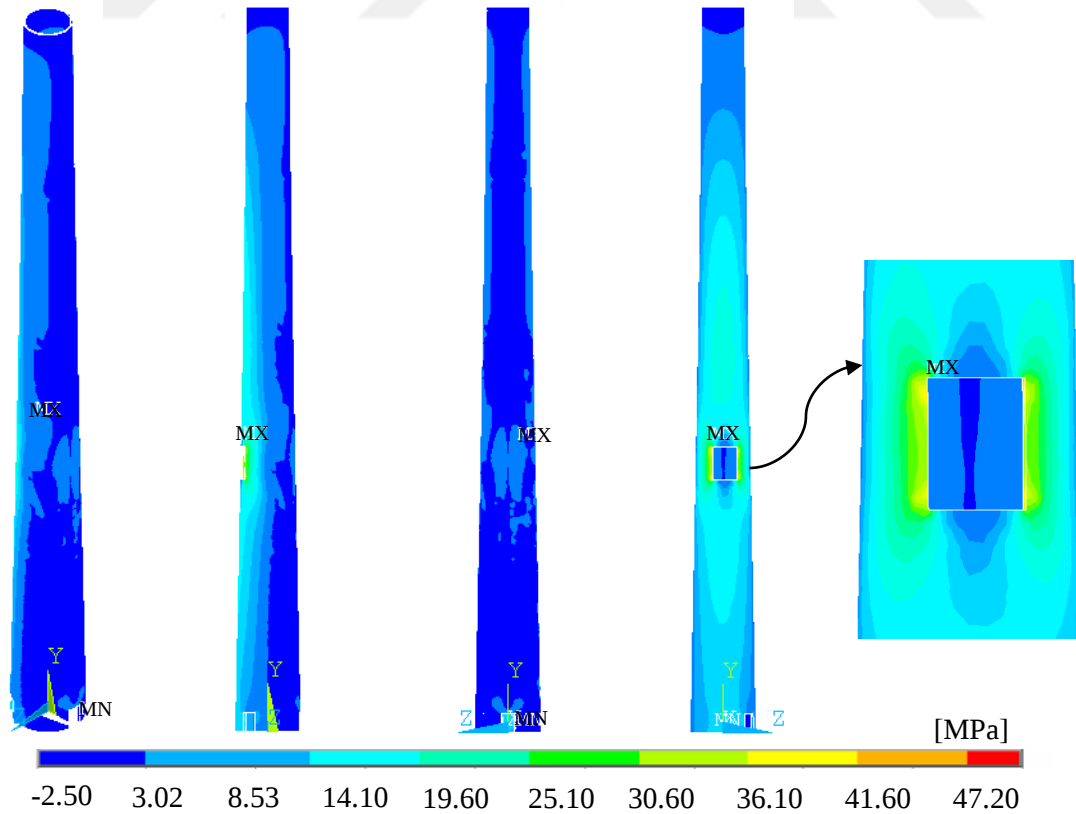


Şekil 27. (a) Yapı-sert zemin etkileşimli sonlu eleman modelinden elde edilen yer değiştirme kontur diyagramı ve (b) maksimum yer değiştirmenin zamana bağlı değişimi

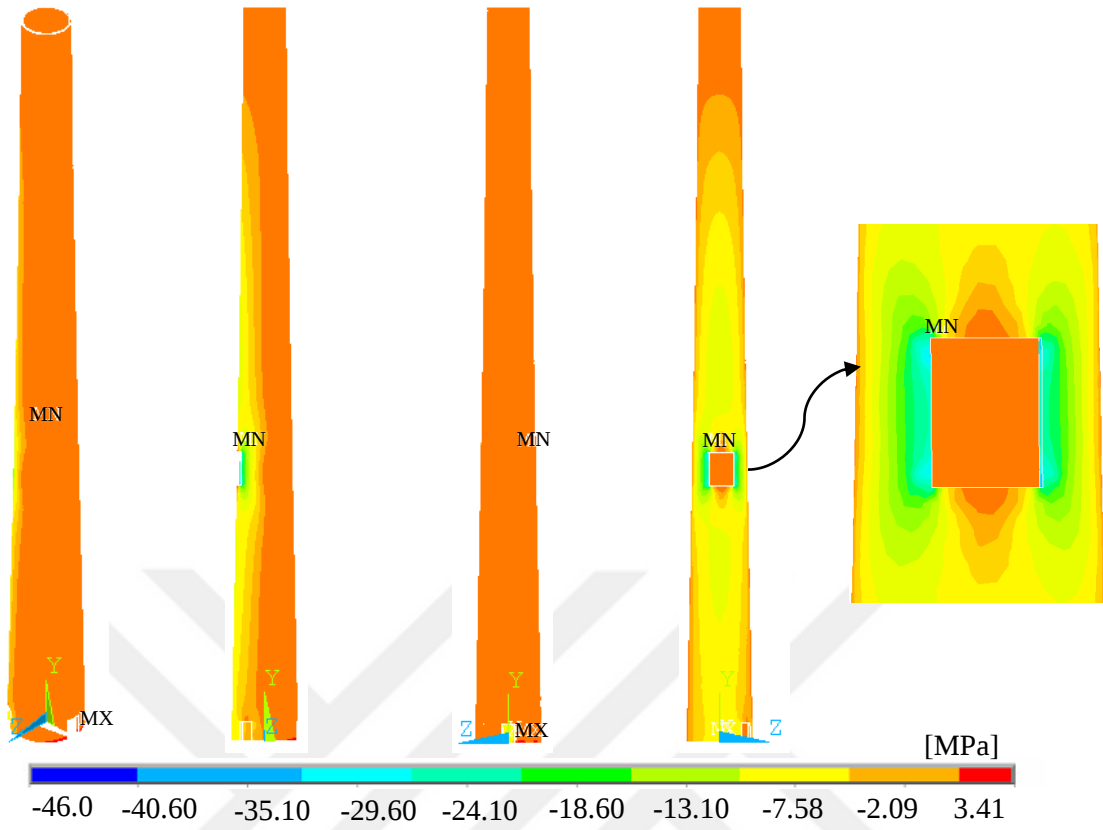
3.2.2.2. Asal Gerilmeler

Yapı-sert zemin etkileşimli sonlu eleman modelinin zaman tanım alanında gerçekleştirilen dinamik analizlerinden elde edilen maksimum ve minimum asal gerilme kontur diyagramları sırasıyla Şekil 28 ve Şekil 29'da verilmektedir. Elde edilen bu

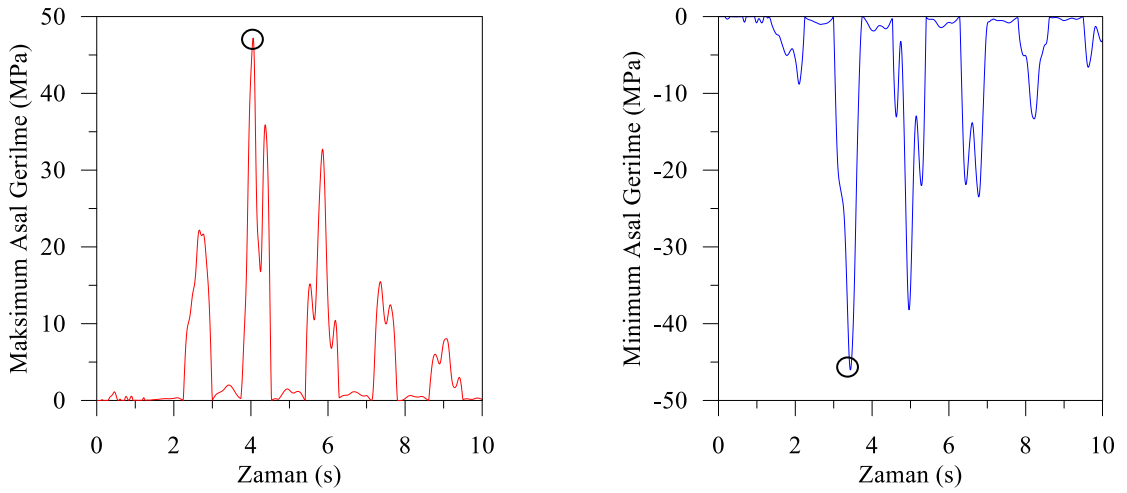
kontur diyagramları, maksimum ve minimum asal gerilmelere ulaşıldığı andaki yapıda meydana gelen gerilme dağılımlarını göstermektedir. Şekil 28’de görüldüğü üzere, maksimum gerilme değeri 47,20 MPa olup analizin 4,06. saniyesinde yapı gövdesinde bulunan pencere kenarlarında meydana gelmiştir. Bu kısımlar haricinde gerilmeler, genellikle pencerenin bulunduğu cephede yoğunlaşmakta ve pencereden uzaklaştıkça yükseklik boyunca azalış göstermektedir. Bacanın giriş kısmındaki kapı bölgelerinde çekme gerilmesi kısmen oluşmazken, elde edilen maksimum gerilmenin pencere kenarlarında betonun çekme dayanımını aştığı görülmüştür. Şekil 29’da görüldüğü üzere, minimum gerilme değeri 46 MPa olup analizin 3,44. saniyesinde yine yapı gövdesinde bulunan pencere kenarlarında meydana gelmiştir. Bu kısımlar haricinde gerilmeler, genellikle pencerenin bulunduğu cephede yoğunlaşmakta ve pencereden uzaklaştıkça yükseklik boyunca artış göstermektedir. Bacanın giriş kısmındaki kapı bölgelerinde kısmen basınç gerilmesi oluşmazken, elde edilen minimum gerilmenin pencere kenarlarında betonun basınç dayanımını aştığı görülmüştür. Yapı-sert zemin etkileşimli sanayi bacası sonlu eleman modelinden elde edilen maksimum ve minimum asal gerilmelerin zamanla değişimi Şekil 30’da verilmektedir.



Şekil 28. Yapı-sert zemin etkileşimli sonlu eleman modelinden elde edilen maksimum asal gerilme kontur diyagramları



Şekil 29. Yapı-sert zemin etkileşimli sonlu eleman modelinden elde edilen minimum asal gerilme kontur diyagramları



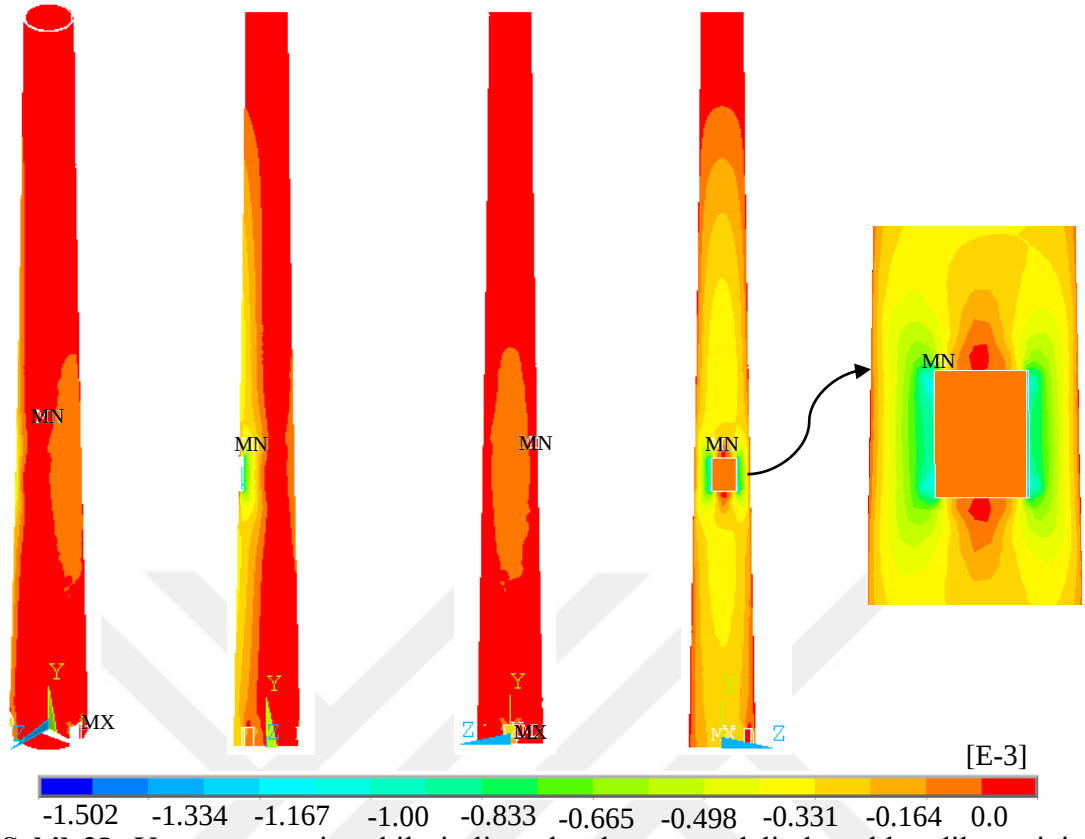
Şekil 30. Yapı-sert zemin etkileşimli sonlu eleman modelinden elde edilen maksimum ve minimum asal gerilmelerin zamanla değişimi

3.2.2.3. Asal Şekil Değişimleri

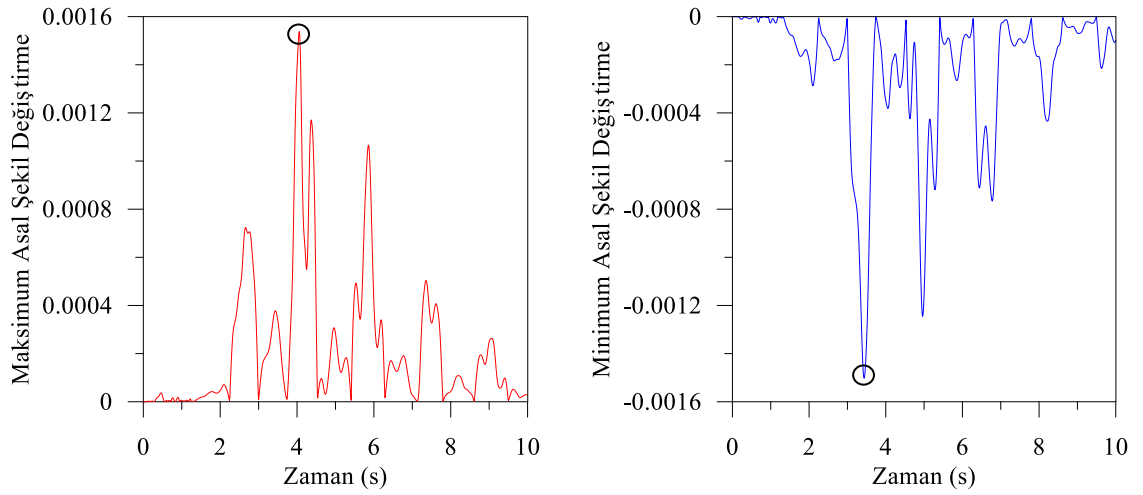
Yapı-sert zemin etkileşimli sonlu eleman modelinin zaman tanım alanında gerçekleştirilen dinamik analizlerinden elde edilen maksimum ve minimum asal şekil

değiştirme kontur diyagramları sırasıyla Şekil 31 ve Şekil 32’de verilmektedir. Elde edilen bu kontur diyagramları, maksimum ve minimum asal şekil değiştirmelere ulaşıldığı andaki yapıda meydana gelen şekil değiştirme dağılımlarını göstermektedir. Şekil 31’de görüldüğü üzere, maksimum şekil değiştirme değeri $1,538 \times 10^{-3}$ olup analizin 4,06. saniyesinde yapı gövdesinde bulunan pencere kenarlarında meydana gelmiştir. Bu kısımlar haricinde şekil değiştirmeler, genellikle pencerenin bulunduğu cephede yoğunlaşmakta ve pencereden uzaklaştıkça yükseklik boyunca azalış göstererek baca giriş kapısı bölgesinde en küçük değerini almaktadır. Şekil 32’de görüldüğü üzere, minimum şekil değiştirme değeri $1,502 \times 10^{-3}$ olup analizin 3,44. saniyesinde yine yapı gövdesinde bulunan pencere kenarlarında meydana gelmiştir. Bu kısımlar haricinde şekil değiştirmeler, genellikle pencerenin bulunduğu cephede yoğunlaşmakta ve pencereden uzaklaştıkça yükseklik boyunca artış göstererek baca giriş kapısı bölgesinde en büyük değerini almaktadır. Yapı-sert zemin etkileşimli sanayi bacası sonlu eleman modelinden elde edilen maksimum ve minimum asal şekil değiştirmelerin zamanla değişimi Şekil 33’te verilmektedir

Şekil 31. Yapı-sert zemin etkileşimli sonlu eleman modelinden elde edilen maksimum asal şekil değiştirme kontur diyagramları



Şekil 32. Yapı-sert zemin etkileşimli sonlu eleman modelinden elde edilen minimum asal şekil değiştirme kontur diyagramları

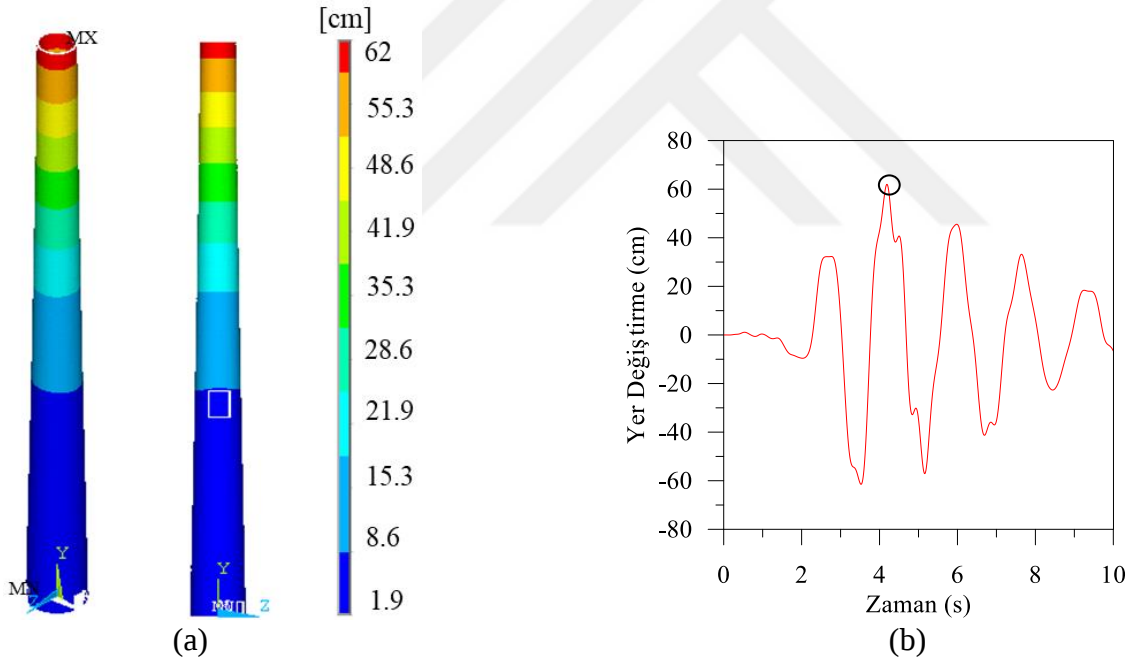


Şekil 33. Yapı-sert zemin etkileşimli sonlu eleman modelinden elde edilen maksimum ve minimum asal şekil değiştirmelerin zamanla değişimi

3.2.3. Yapı-Orta Sert Zemin Etkileşimli Durum Analizi

3.2.3.1. Yer Değiştirmeler

Yapı-orta sert zemin etkileşimli sonlu eleman modelinin zaman tanım alanında gerçekleştirilen dinamik analizlerinden elde edilen yer değiştirme kontur diyagramı Şekil 34(a)'da verilmektedir. Elde edilen bu kontur diyagramı, maksimum yer değiştirmeye ulaşıldığı andaki yapıda meydana gelen yer değiştirme dağılımını göstermektedir. Yapı-orta sert zemin etkileşimli sonlu eleman modelinden elde edilen maksimum yer değiştirmenin zamanla değişimi Şekil 34(b)'de verilmektedir. Şekil 34(b)'de görüldüğü üzere maksimum yer değiştirme değeri analizin 4,19. saniyesinde, 62 cm olarak elde edilmiştir.

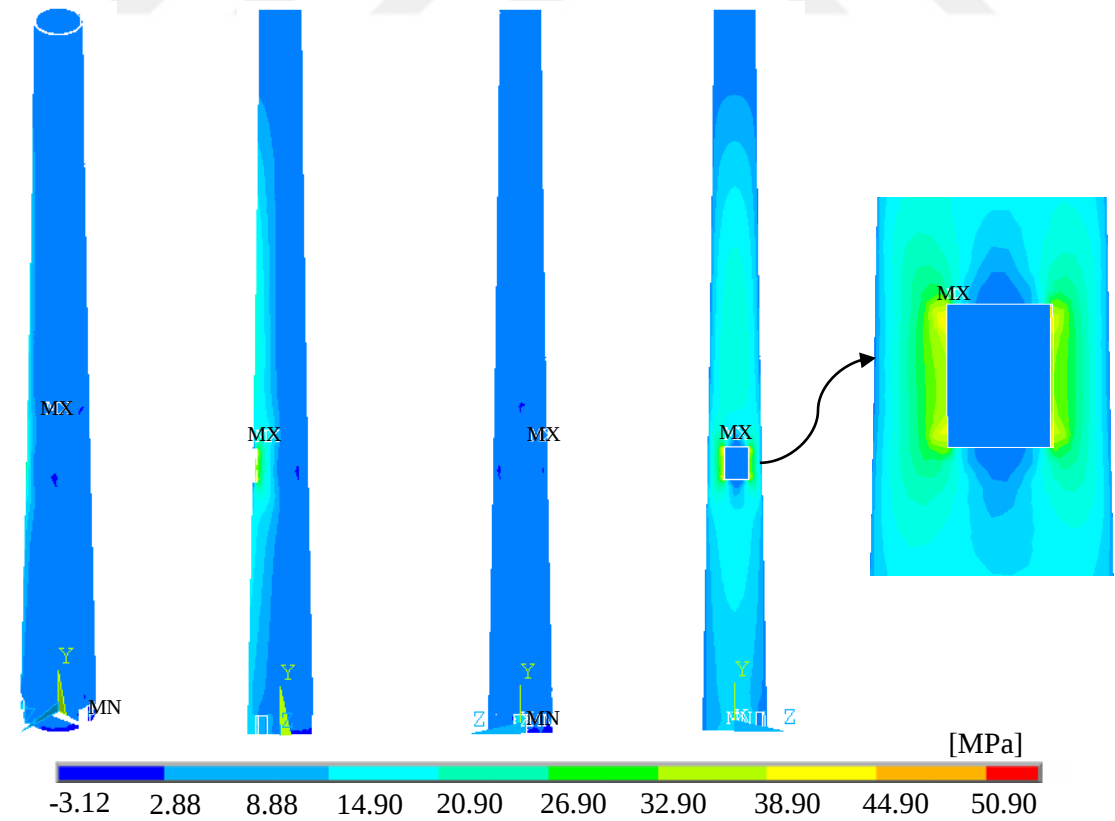


Şekil 34. (a) Yapı-orta sert zemin etkileşimli sonlu eleman modelinden elde edilen yer değiştirme kontur diyagramı ve (b) maksimum yer değiştirmenin zamana bağlı değişimi

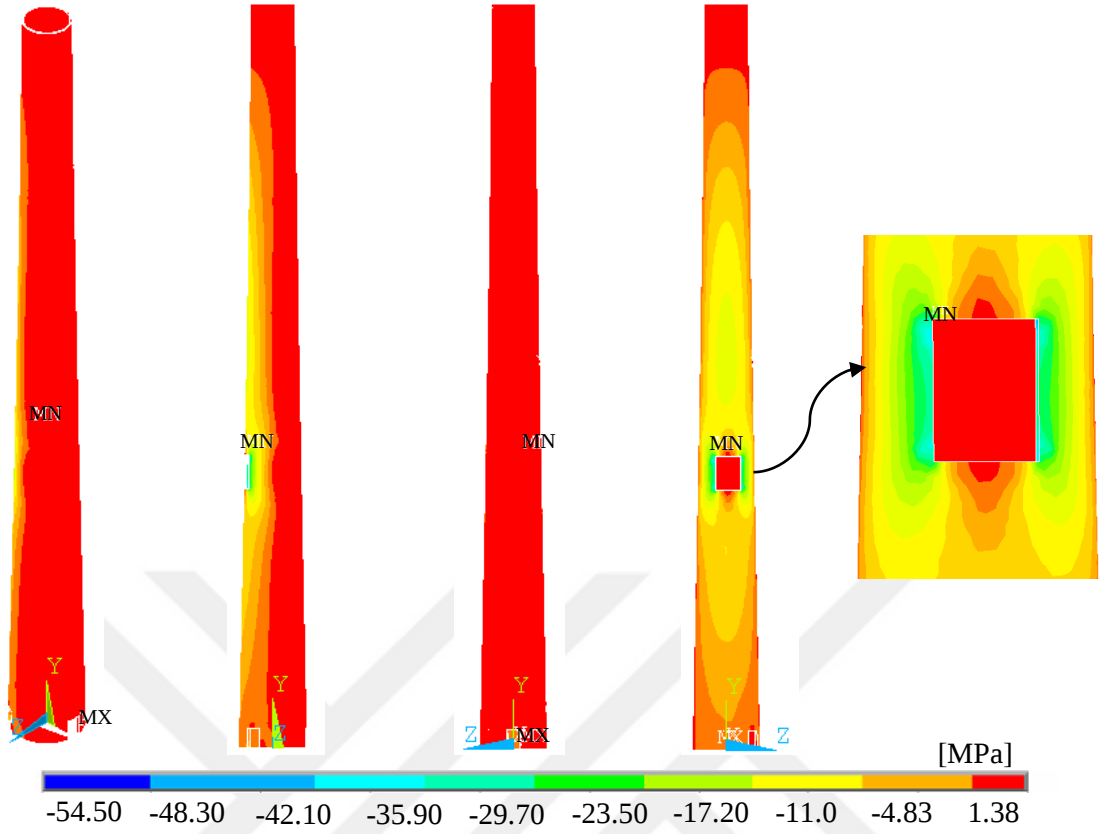
3.2.3.2. Asal Gerilmeler

Yapı-orta sert zemin etkileşimli sonlu eleman modelinin zaman tanım alanında gerçekleştirilen dinamik analizlerinden elde edilen maksimum ve minimum asal gerilme kontur diyagramları sırasıyla Şekil 35 ve Şekil 36'da verilmektedir. Elde edilen bu

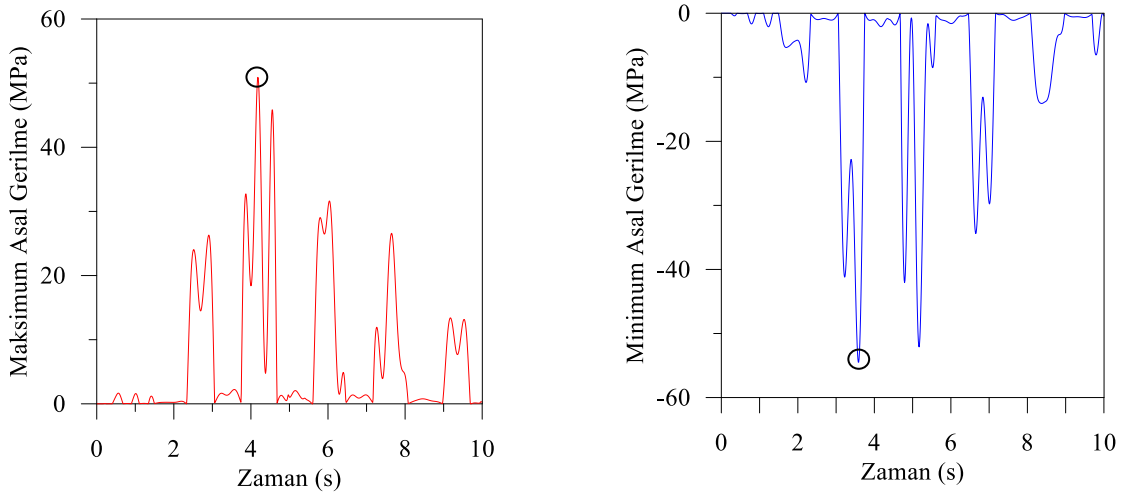
kontur diyagramları, maksimum ve minimum asal gerilmelere ulaşıldığı andaki yapıda meydana gelen gerilme dağılımlarını göstermektedir. Şekil 35'te görüldüğü üzere, maksimum gerilme değeri 50,90 MPa olup analizin 4,18. saniyesinde yapı gövdesinde bulunan pencere kenarlarında meydana gelmiştir. Bu kısımlar haricinde gerilmeler, genellikle pencerenin bulunduğu cephede yoğunlaşmakta ve pencereden uzaklaştıkça yükseklik boyunca azalış göstermektedir. Bacanın giriş kısmındaki kapı bölgelerinde çekme gerilmesi kısmen oluşmazken, elde edilen maksimum gerilmenin pencere kenarlarında betonun çekme dayanımını aştığı görülmüştür. Şekil 36'da görüldüğü üzere, minimum gerilme değeri 54,50 MPa olup analizin 3,59. saniyesinde yine yapı gövdesinde bulunan pencere kenarlarında meydana gelmiştir. Bu kısımlar haricinde gerilmeler, genellikle pencerenin bulunduğu cephede yoğunlaşmakta ve pencereden uzaklaştıkça yükseklik boyunca artış göstermektedir. Bacanın giriş kısmındaki kapı bölgelerinde kısmen basınç gerilmesi oluşmazken, elde edilen minimum gerilmenin pencere kenarlarında betonun basınç dayanımını aştığı görülmüştür. Yapı-orta sert zemin etkileşimli sanayi bacası sonlu eleman modelinden elde edilen maksimum ve minimum asal gerilmelerin zamanla değişimi Şekil 37'de verilmektedir.



Şekil 35. Yapı-orta sert zemin etkileşimli sonlu eleman modelinden elde edilen maksimum asal gerilme kontur diyagramları



Şekil 36. Yapı-orta sert zemin etkileşimli sonlu eleman modelinden elde edilen minimum asal gerilme kontur diyagramları

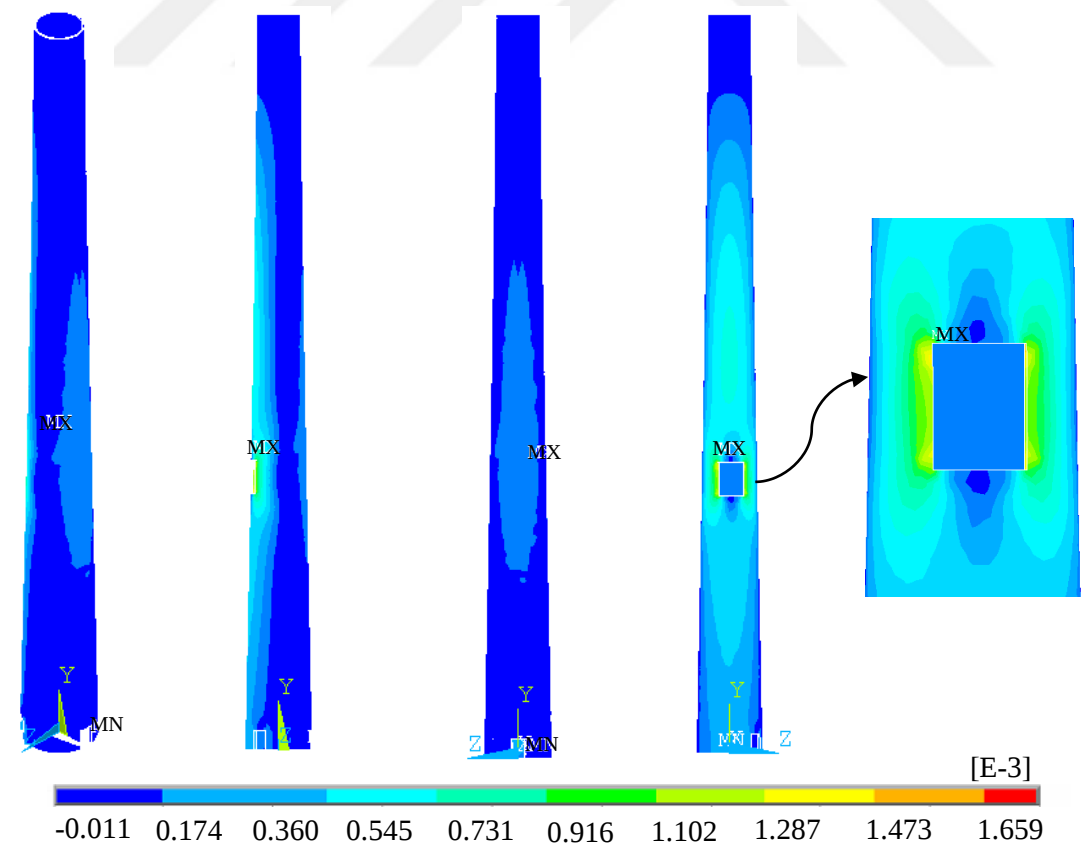


Şekil 37. Yapı-orta sert zemin etkileşimli sonlu eleman modelinden elde edilen maksimum ve minimum asal gerilmelerin zamanla değişimi

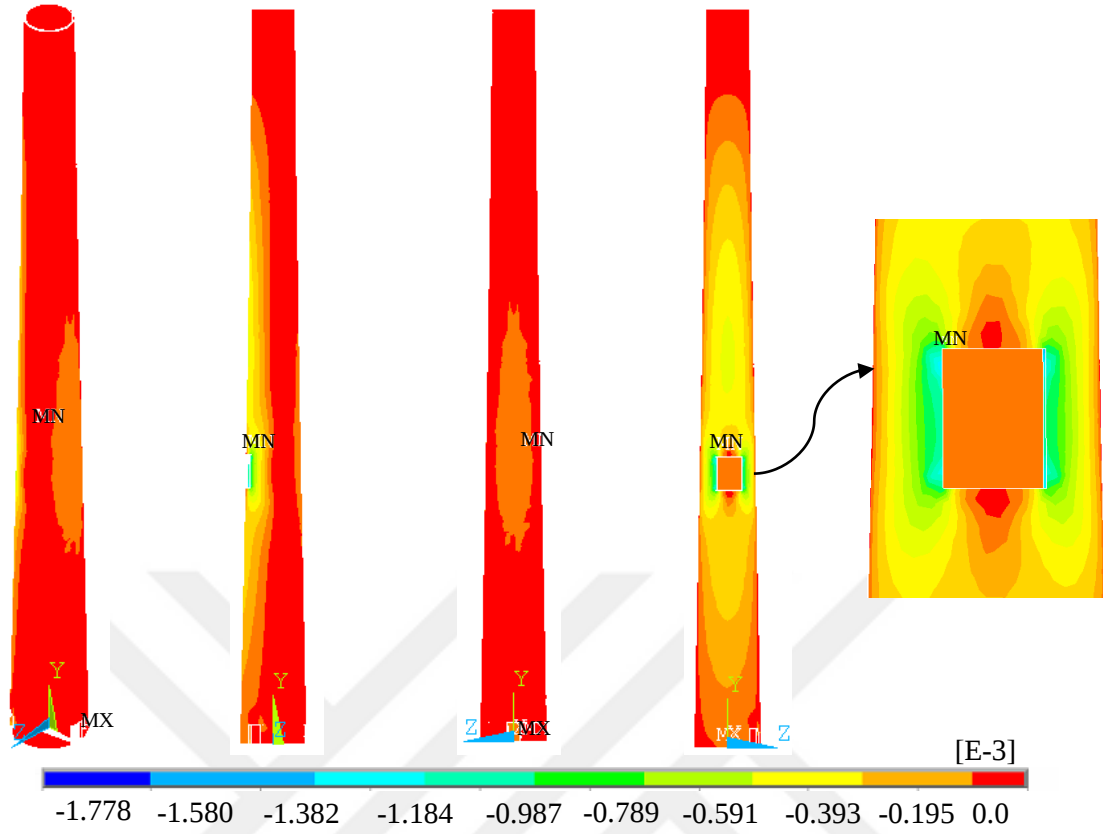
3.2.3.3. Asal Şekil Değişimleri

Yapı-orta sert zemin etkileşimli sonlu eleman modelinin zaman tanım alanında gerçekleştirilen dinamik analizlerinden elde edilen maksimum ve minimum asal şekil

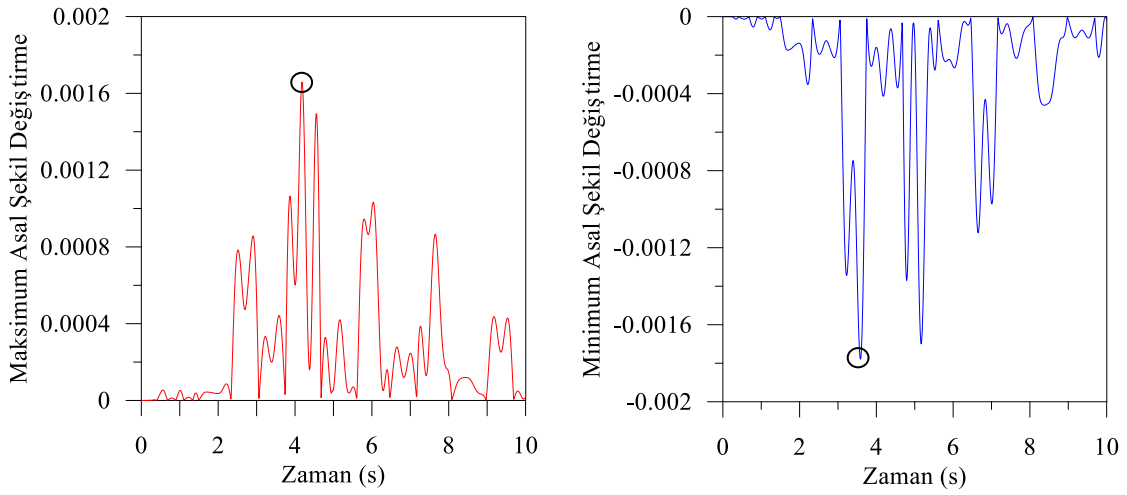
değiştirme kontur diyagramları sırasıyla Şekil 38 ve Şekil 39’da verilmektedir. Elde edilen bu kontur diyagramları, maksimum ve minimum asal şekil değiştirmelere ulaşıldığı andaki yapıda meydana gelen şekil değiştirme dağılımlarını göstermektedir. Şekil 38’de görüldüğü üzere, maksimum şekil değiştirme değeri $1,659 \times 10^{-3}$ olup analizin 4,18. saniyesinde yapı gövdesinde bulunan pencere kenarlarında meydana gelmiştir. Bu kısımlar haricinde şekil değiştirmeler, genellikle pencerenin bulunduğu cephede yoğunlaşmakta ve pencereden uzaklaştıkça yükseklik boyunca azalış göstererek baca giriş kapısı bölgesinde en küçük değerini almaktadır. Şekil 39’da görüldüğü üzere, minimum şekil değiştirme değeri $1,778 \times 10^{-3}$ olup analizin 3,59. saniyesinde yine yapı gövdesinde bulunan pencere kenarlarında meydana gelmiştir. Bu kısımlar haricinde şekil değiştirmeler, genellikle pencerenin bulunduğu cephede yoğunlaşmakta ve pencereden uzaklaştıkça yükseklik boyunca artış göstererek baca giriş kapısı bölgesinde en büyük değerini almaktadır. Yapı-orta sert zemin etkileşimli sanayi bacası sonlu eleman modelinden elde edilen maksimum ve minimum asal şekil değiştirmelerin zamanla değişimi Şekil 40’ta verilmektedir.



Şekil 38. Yapı-orta sert zemin etkileşimli sonlu eleman modelinden elde edilen maksimum asal şekil değiştirme kontur diyagramları



Şekil 39. Yapı-orta sert zemin etkileşimli sonlu eleman modelinden elde edilen minimum asal şekil değiştirme kontur diyagramları

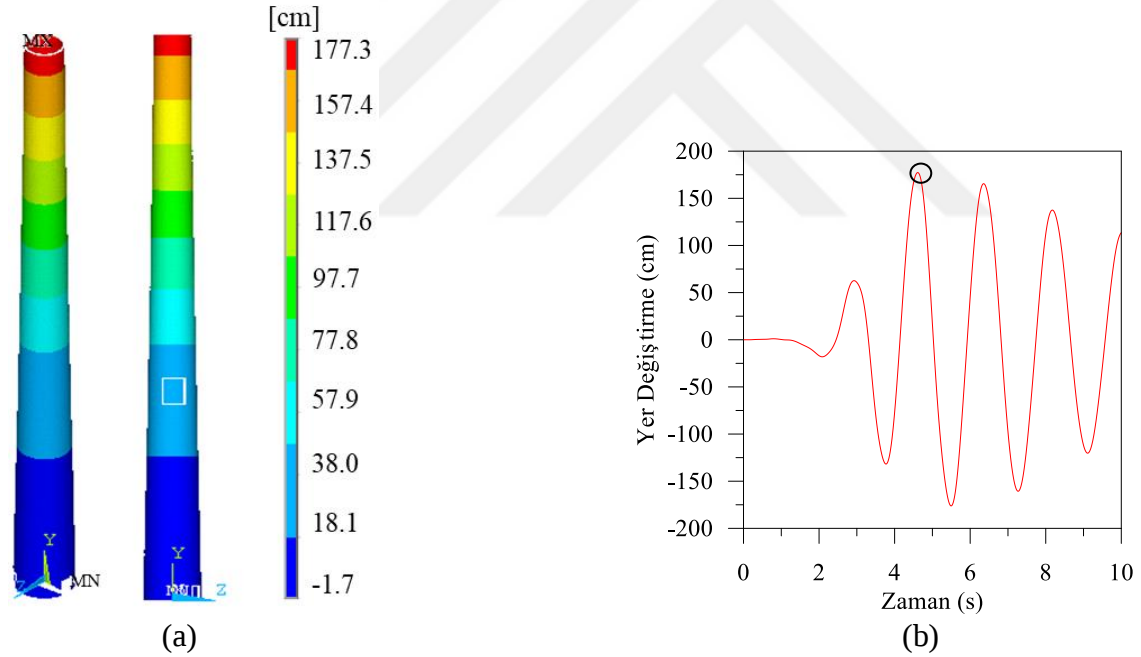


Şekil 40. Yapı-orta sert zemin etkileşimli sonlu eleman modelinden elde edilen maksimum ve minimum asal şekil değiştirmelerin zamanla değişimi

3.2.4. Yapı-Yumuşak Zemin Etkileşimli Durum Analizi

3.2.4.1. Yer Değiştirmeler

Yapı-yumuşak zemin etkileşimli sonlu eleman modelinin zaman tanım alanında gerçekleştirilen dinamik analizlerinden elde edilen yer değiştirme kontur diyagramı Şekil 41(a)'da verilmektedir. Elde edilen bu kontur diyagramı, maksimum yer değiştirmeye ulaşıldığı andaki yapıda meydana gelen yer değiştirme dağılımını göstermektedir. Yapı-yumuşak zemin etkileşimli sonlu eleman modelinden elde edilen maksimum yer değiştirmenin zamanla değişimi Şekil 41(b)'de verilmektedir. Şekil 41(b)'de görüldüğü üzere maksimum yer değiştirme değeri analizin 4,61. saniyesinde, 177,3 cm olarak elde edilmiştir.

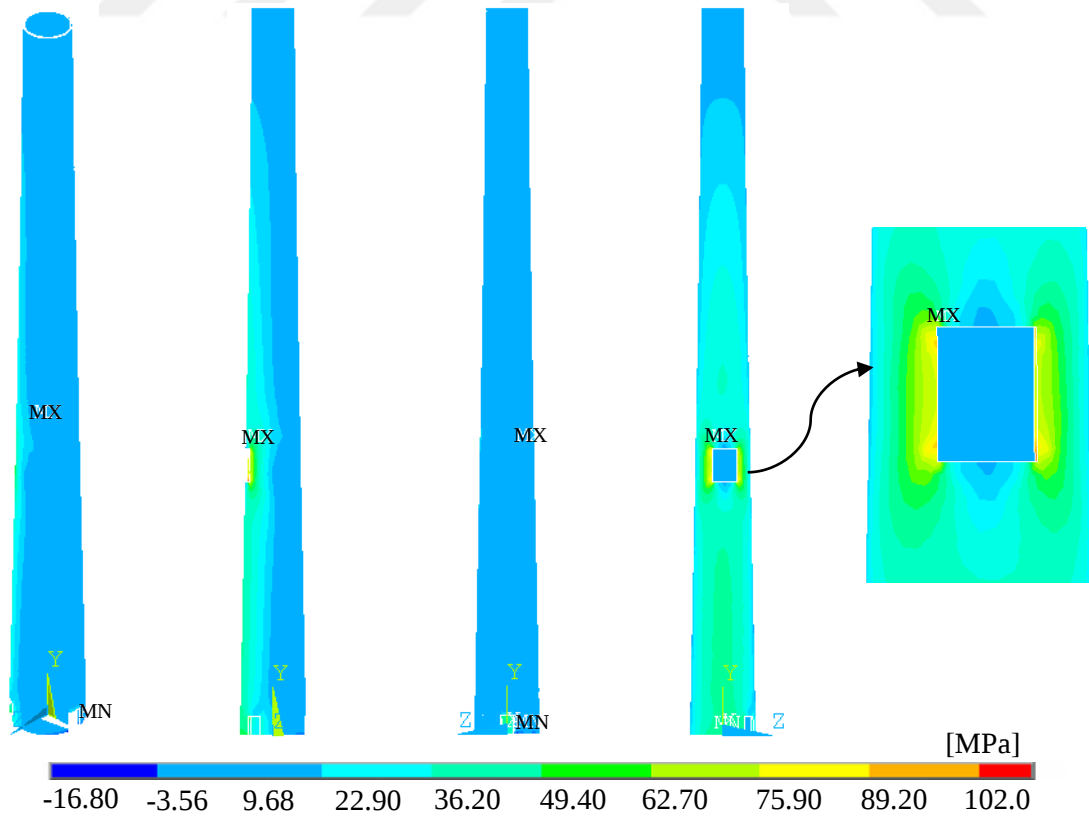


Şekil 41. (a) Yapı-yumuşak zemin etkileşimli sonlu eleman modelinden elde edilen yer değiştirme kontur diyagramı ve (b) maksimum yer değiştirmenin zamana bağlı değişimi

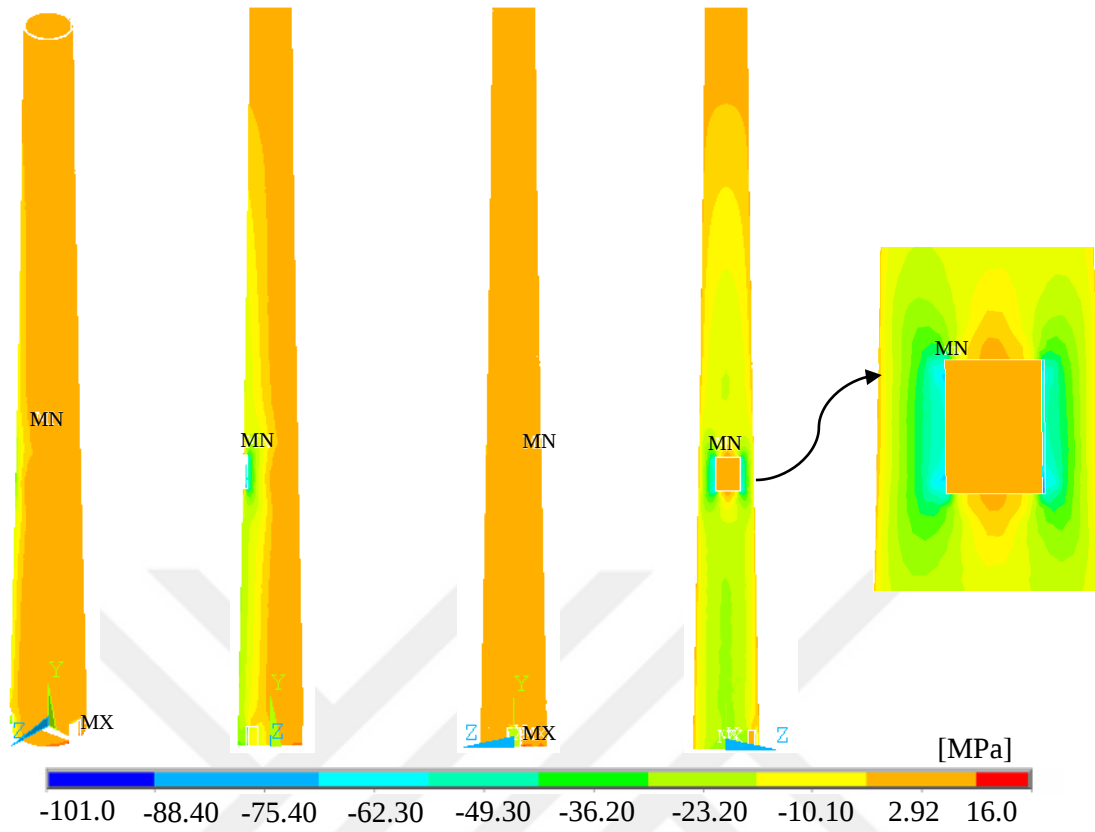
3.2.4.2. Asal Gerilmeler

Yapı-yumuşak zemin etkileşimli sonlu eleman modelinin zaman tanım alanında gerçekleştirilen dinamik analizlerinden elde edilen maksimum ve minimum asal gerilme kontur diyagramları sırasıyla Şekil 42 ve Şekil 43'te verilmektedir. Elde edilen bu

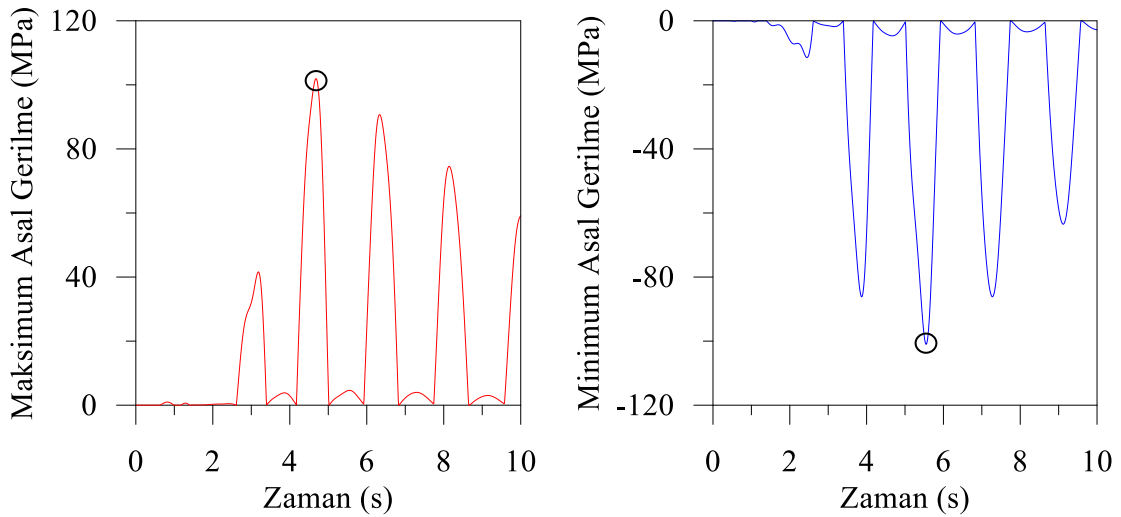
kontur diyagramları, maksimum ve minimum asal gerilmelere ulaşıldığı andaki yapıda meydana gelen gerilme dağılımlarını göstermektedir. Şekil 42’de görüldüğü üzere, maksimum gerilme değeri 102 MPa olup analizin 4,68. saniyesinde yapı gövdesinde bulunan pencere kenarlarında meydana gelmiştir. Bu kısımlar haricinde gerilmeler, genellikle pencerenin bulunduğu cephede yoğunlaşmakta ve pencereden uzaklaştıkça yükseklik boyunca azalış göstermektedir. Bacanın giriş kısmındaki kapı bölgelerinde çekme gerilmesi kısmen oluşmazken, elde edilen maksimum gerilmenin pencere kenarlarında betonun çekme dayanımını aştığı görülmüştür. Şekil 43’te görüldüğü üzere, minimum gerilme değeri 101 MPa olup analizin 5,55. saniyesinde yine yapı gövdesinde bulunan pencere kenarlarında meydana gelmiştir. Bu kısımlar haricinde gerilmeler, genellikle pencerenin bulunduğu cephede yoğunlaşmakta ve pencereden uzaklaştıkça yükseklik boyunca artış göstermektedir. Bacanın giriş kısmındaki kapı bölgelerinde kısmen basınç gerilmesi oluşmazken, elde edilen minimum gerilmenin pencere kenarlarında betonun basınç dayanımını aştığı görülmüştür. Yapı-yumuşak zemin etkileşimli sanayi bacası sonlu eleman modelinden elde edilen maksimum ve minimum asal gerilmelerin zamanla değişimi Şekil 44’te verilmektedir.



Şekil 42. Yapı-yumuşak zemin etkileşimli sonlu eleman modelinden elde edilen maksimum asal gerilme kontur diyagramları



Şekil 43. Yapı-yumuşak zemin etkileşimli sonlu eleman modelinden elde edilen minimum asal gerilme kontur diyagramları

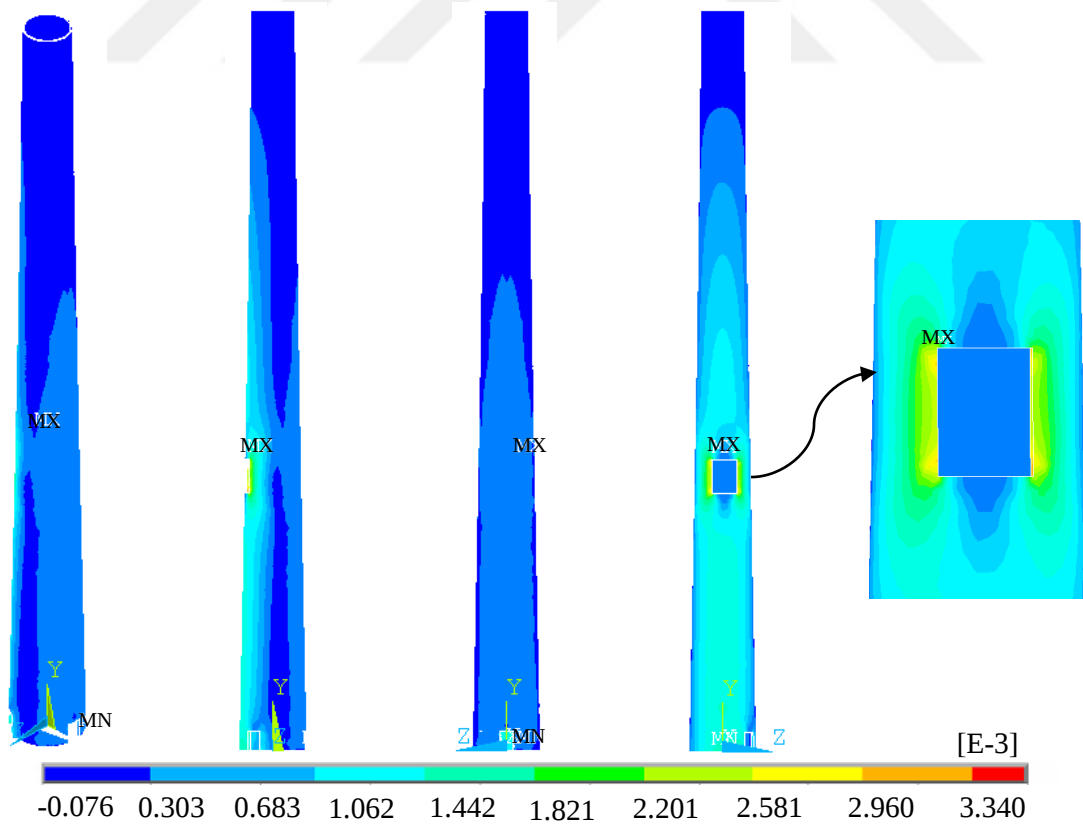


Şekil 44. Yapı-yumuşak zemin etkileşimli sonlu eleman modelinden elde edilen maksimum ve minimum asal gerilmelerin zamanla değişimi

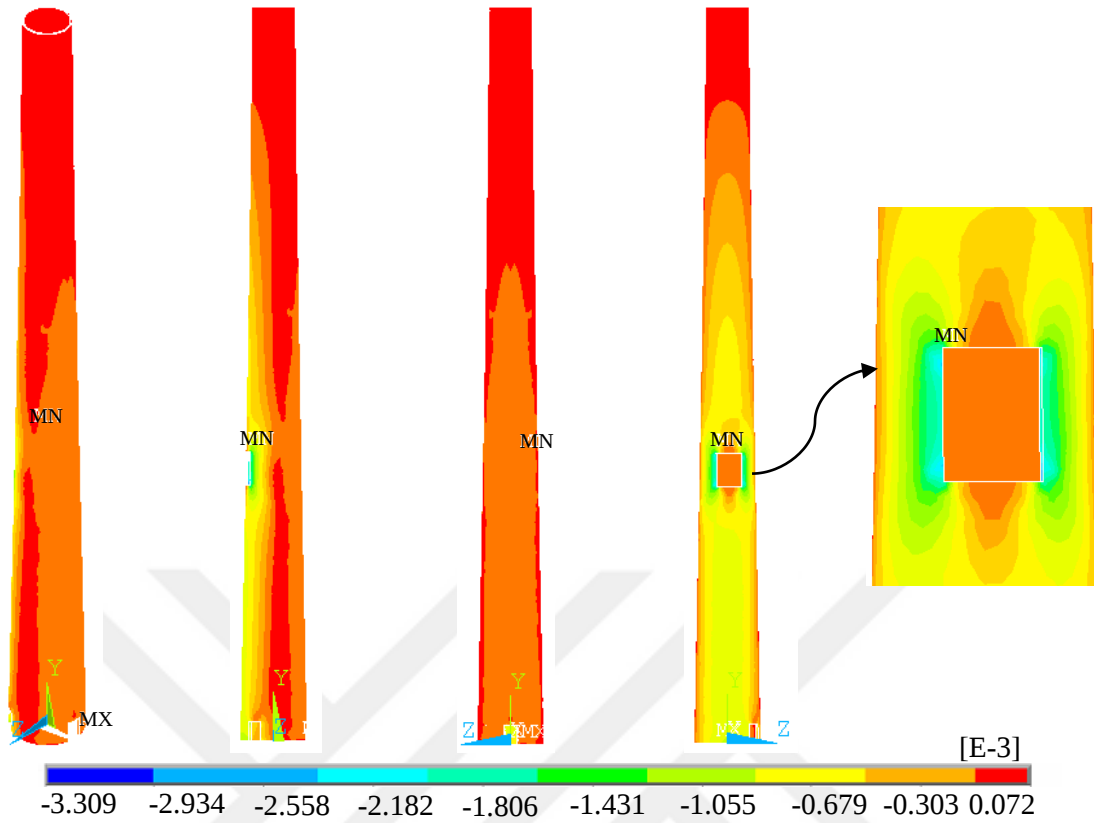
3.2.4.3. Asal Şekil Değişirmeler

Yapı-yumuşak zemin etkileşimli sonlu eleman modelinin zaman tanım alanında gerçekleştirilen dinamik analizlerinden elde edilen maksimum ve minimum asal şekil

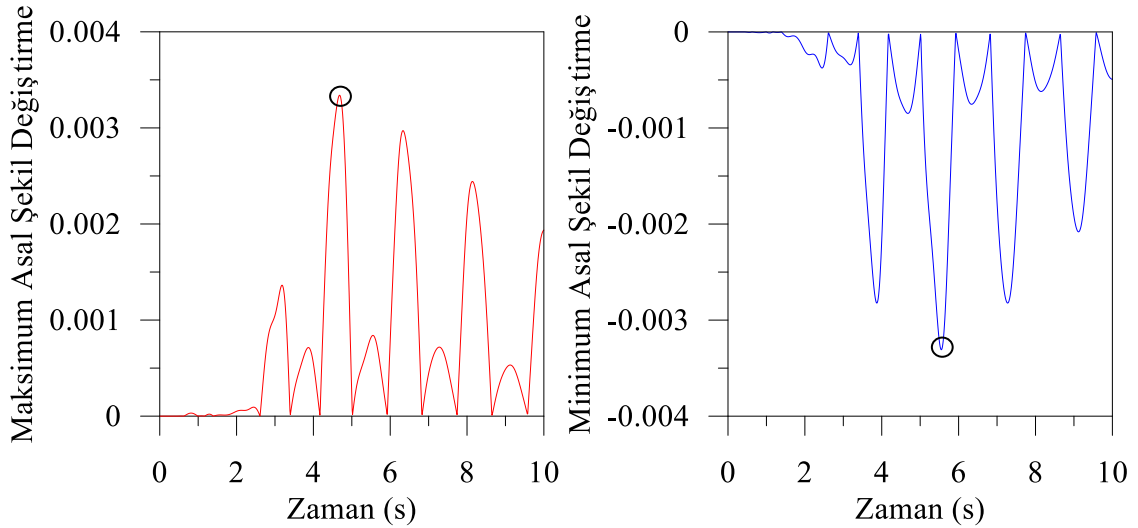
değiştirme kontur diyagramları sırasıyla Şekil 45 ve Şekil 46’da verilmektedir. Elde edilen bu kontur diyagramları, maksimum ve minimum asal şekil değiştirmelere ulaşıldığı andaki yapıda meydana gelen şekil değiştirme dağılımlarını göstermektedir. Şekil 45’te görüldüğü üzere, maksimum şekil değiştirme değeri $3,340 \times 10^{-3}$ olup analizin 4,68. saniyesinde yapı gövdesinde bulunan pencere kenarlarında meydana gelmiştir. Bu kısımlar haricinde şekil değiştirmeler, genellikle pencerenin bulunduğu cephede yoğunlaşmakta ve pencereden uzaklaştıkça yükseklik boyunca azalış göstererek baca giriş kapısı bölgesinde en küçük değerini almaktadır. Şekil 46’da görüldüğü üzere, minimum şekil değiştirme değeri $3,309 \times 10^{-3}$ olup analizin 5,55. saniyesinde yine yapı gövdesinde bulunan pencere kenarlarında meydana gelmiştir. Bu kısımlar haricinde şekil değiştirmeler, genellikle pencerenin bulunduğu cephede yoğunlaşmakta ve pencereden uzaklaştıkça yükseklik boyunca artış göstererek baca giriş kapısı bölgesinde en büyük değerini almaktadır. Yapı-yumuşak zemin etkileşimli sanayi bacası sonlu eleman modelinden elde edilen maksimum ve minimum asal şekil değiştirmelerin zamanla değişimi Şekil 47’de verilmektedir.



Şekil 45. Yapı-yumuşak zemin etkileşimli sonlu eleman modelinden elde edilen maksimum asal şekil değiştirme kontur diyagramları



Şekil 46. Yapı-yumuşak zemin etkileşimli sonlu eleman modelinden elde edilen minimum asal şekil değiştirme kontur diyagramları



Şekil 47. Yapı-yumuşak zemin etkileşimli sonlu eleman modelinden elde edilen maksimum ve minimum asal şekil değiştirmelerin zamanla değişimi

Sanayi bacası sonlu eleman modellerinin zaman tanım alanında dinamik analizleri sonucunda yer değiştirmeler, maksimum-minimum asal gerilmeler ve asal şekil değiştirmeler elde edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda elde edilen yer değiştirmeler ile sonlu eleman modelleri arasındaki artış miktarı Tablo 8’de, asal gerilmeler ve asal

şekil değiştirmeler ile sonlu eleman modelleri arasındaki artış miktarı da Tablo 9’da verilmektedir.

Tablo 8. Sayısal analizlerden elde edilen yer değiştirmeler

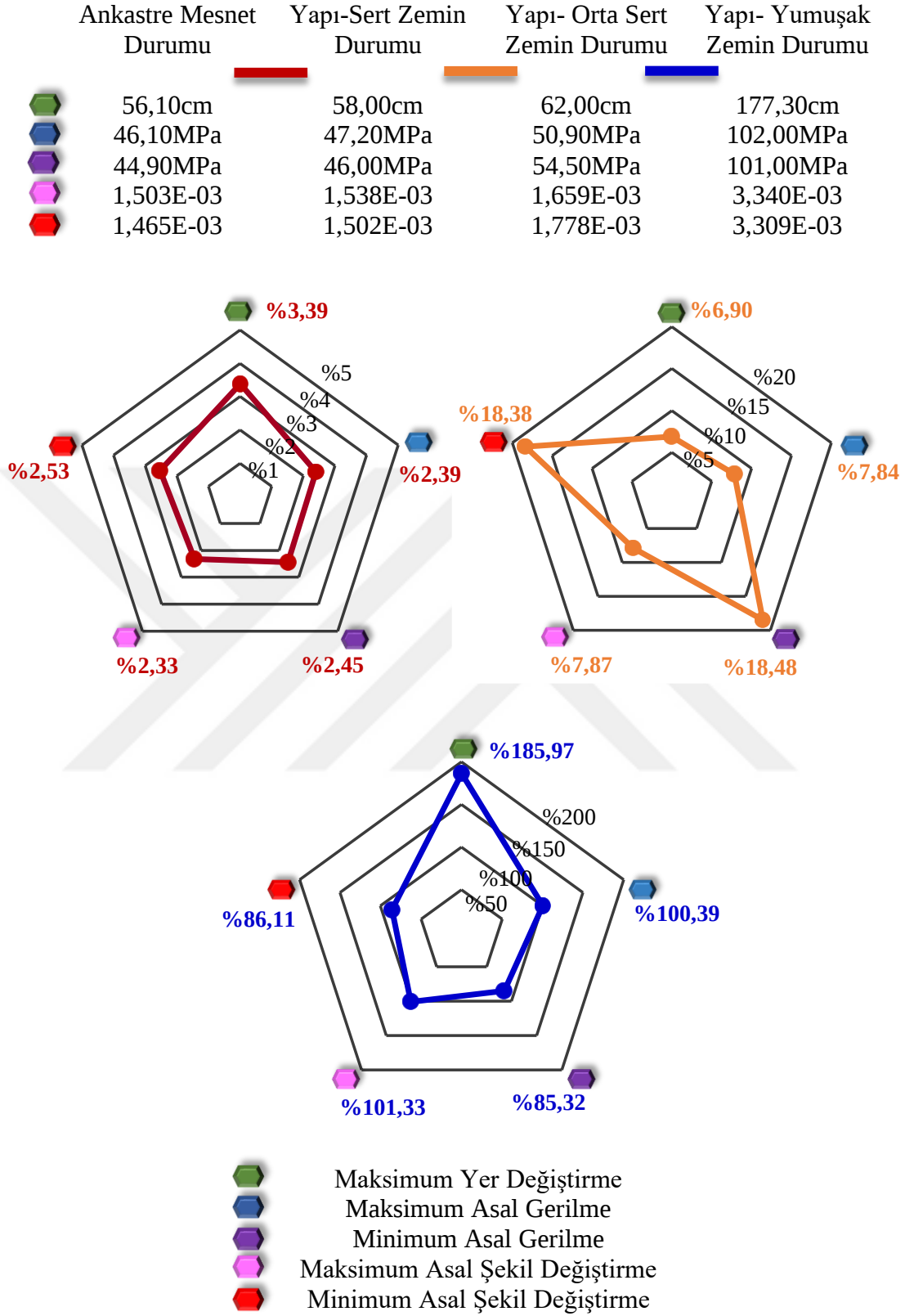
	Ankastre Mesnet Durumu	Fark (%)	Yapı- Sert Zemin Durumu	Fark (%)	Yapı- Orta Sert Zemin Durumu	Fark (%)	Yapı- Yumuşak Zemin Durumu
Yer Değiştirme(cm)	56,1	3,39	58	6,90	62	185,97	177,3

Tablo 8 ve Şekil 48 incelendiğinde baca tepe noktasına ait en küçük yer değiştirmenin ankastre mesnetli durum analizinden, en büyük yer değiştirmenin ise yapı-yumuşak zemin etkileşimli durum analizinden elde edildiği görülmektedir. Ayrıca, yapı-zemin etkileşimli sayısal modellerde zemin türünün sert zeminden yumuşak zemine geçişinde baca tepe noktası yer değiştirmesinin arttığı görülmektedir.

Tablo 9 ve Şekil 48 incelendiğinde analizler sonucunda gerilme ve şekil değiştirmelerin yapının ankastre mesnetli durumunda daha küçük değerlere sahip olduğu görülmektedir. Yapı-zemin etkileşimi içeren analizlerde ise zemin türünün sert zeminden yumuşak zemine geçişinde elde edilen gerilme ve şekil değiştirme değerlerinin arttığı ve yapı-yumuşak zemin etkileşim durumunda en büyük değerlere sahip olduğu görülmektedir.

Tablo 9. Sayısal analizlerden elde edilen asal gerilmeler ve asal şekil değiştirmeler

	Ankastre Mesnet Durumu	Fark (%)	Yapı- Sert Zemin Durumu	Fark (%)	Yapı- Orta Sert Zemin Durumu	Fark (%)	Yapı- Yumuşak Zemin Durumu
Çekme Gerilmesi (MPa)	46,10	2,39	47,20	7,84	50,90	100,39	102
Basınç Gerilmesi (MPa)	44,90	2,45	46,0	18,48	54,50	85,32	101
Çekme Şekil Değiştirmesi	1,503E-3	2,33	1,538E-3	7,87	1,659E-3	101,33	3,340E-3
Basınç Şekil Değiştirmesi	1,465E-3	2,53	1,502E-3	18,38	1,778E-3	86,11	3,309E-3



Şekil 48. Sayısal analizlerden elde edilen yer değiştirme, asal gerilme ve asal şekil değiştirme sonuçları arasındaki farkların grafiksel gösterimi

4. TARTIŞMA ve SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında, betonarme sanayi bacalarının dinamik davranışına farklı mesnet ve zemin koşullarının etkisi sayısal yöntemlerle araştırılmıştır. Çalışma kapsamında bacaya ait sonlu eleman modelleri ANSYS programında oluşturularak dinamik karakteristikler elde edilmiştir. Bacanın zeminin bulunmadığı ankastre mesnet kabulü ve bunun haricinde üç farklı zemin (sert, orta sert, yumuşak) türüne göre viskoz sınır şartıyla oluşturulan yarı sonsuz zemin ortamının ifade edildiği sayısal modeller üzerinde doğrusal dinamik analizler gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sunulmaktadır.

- Yapının dinamik karakteristiklerini belirlemek amacıyla yapılan modal analizler sonucunda yapıya ait frekans ve mod şekilleri, ötelenme ve burulma modları olarak elde edilerek sunulmuştur.
- Analizlerden elde edilen frekans değerleri 0,551 Hz ile 15,999 Hz arasında değerler almaktadır.
- Betonarme sanayi bacasının rijit ankastre mesnet kabulü ile oluşturulan sayısal modelinden elde edilen frekans değerlerinin yapı-zemin etkileşimli sayısal modellere göre daha büyük olduğu ve sert zeminden yumuşak zemine doğru frekans değerlerinin düştüğü dolayısıyla periyodun arttığı görülmüştür.
- Sayısal modeller üzerinde zaman tanım alanında doğrusal dinamik analizler gerçekleştirilerek yer değiştirmeler, maksimum ve minimum asal gerilmeler ile asal şekil değiştirmeler elde edilmiştir.
- Yapılan analizler sonucunda elde edilen yer değiştirmelerin bütün modellerde yapı yüksekliği boyunca arttığı ve baca tepe noktasında maksimum değere ulaştığı görülmüştür. Baca tepe noktası yer değiştirme değeri ankastre mesnetli durumda en küçük değere (0,561 m) sahipken, zemin türünün sert zeminden yumuşak zemine doğru değişmesiyle bu değer arttığı ve yapı-yumuşak zemin etkileşimli durumda ise en büyük değere (1,773 m) sahip olduğu görülmüştür.
- Yapılan analizler sonucunda elde edilen asal gerilmelerin 44,90 MPa ile 102 MPa değerleri arasında, asal şekil değiştirmelerin ise $1,47 \times 10^{-3}$ ile $3,34 \times 10^{-3}$ değerleri arasında değiştiği görülmüştür.
- Yapılan analizler sonucunda elde edilen asal gerilme ve asal şekil değiştirmeler ankastre mesnetli durumda en küçük değere sahipken, zemin türünün sert

zeminden yumuşak zemine doğru değişmesiyle bu değerlerin arttığı ve yapı-yumuşak zemin etkileşimli durumda en büyük değere ulaştığı görülmüştür. Bu da sanayi bacasının yapısal davranışının yapı-zemin etkileşimine ve zemin ortamının türüne bağlı olarak büyük oranda değişebileceğini ve yapılan analiz ile tasarımlarda bu durumun dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.

- Ayrıca, yapılan doğrusal dinamik analizler sonucunda elde edilen maksimum-minimum asal gerilme ve asal şekil değiştirmelerin tüm sonlu eleman modellerinde yapı gövdesinde bulunan pencere kenarlarında meydana geldiği görülmüştür. Pencerenin aynı noktalarında meydana gelen bu asal gerilmeler betonun basınç ve çekme dayanımını aşmıştır. Bu da bu sanayi bacasının 1999 yılında meydana gelen Kocaeli depremi esnasında bu pencere bölgesinden hasar alarak yıkıldığını bir kez daha göstermiştir (şekil 1).
- Pencere bölgesinde yoğunlaşan gerilme ve şekil değiştirmelerin bacaya hasar vermesini önlemek amacıyla yapı pencere bölgesinde çapraz donatıların uygulanması ve gerekli bölgelerin lifli polimerle sarılması veya plakalarla desteklenmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

5. ÖNERİLER

Farklı zemin türleri üzerinde yapı-zemin etkileşiminin dikkate alınarak betonarme sanayi bacalarının dinamik davranışlarının sayısal olarak incelendiği bu çalışmada, viskoz sınır şartlı yarı sonsuz zemin ortamında sert zeminden yumuşak zemine doğru yapıda maksimum yer değiştirme, asal gerilme ve asal şekil değiştirmelerin arttığı görülmüştür. Tek katmanlı olarak modellenen zemin ortamı, arazi çalışmaları ile belirlenecek farklı katmanlar altında incelenebilir. Yapının ve zemin ortamının doğrusal olmayan dinamik davranışı incelenerek yapıda meydana gelecek hasar yerleri ve miktarları belirlenebilir. Viskoz sınır şartı kullanılarak oluşturulan sonlu eleman modeli yerine yarı sonsuz zemin ortamı farklı zemin modelleme teknikleri ile modellenerek aralarındaki farklılıklar karşılaştırılabilir.

KAYNAKLAR

- Acito, M., Bocciarelli, M., Chesi, C. and Milani, G. (2014). Collapse of the clock tower in Finale Emilia after the May 2012 Emilia Romagna earthquake sequence: numerical insight. *Engineering Structures*, 72, 70–91.
- Akniyazov, D. (2016). Effectiveness of diagonal opening reinforcement in reinforced concrete chimneys under gravity and lateral service loads. Master's Thesis. Boğaziçi University, İstanbul, Türkiye, 76s.
- Aliyazıcıoğlu, C. (2004). Bir sentez çalışması ışığında betonarme sanayi bacalarının farklı yöntemlerle yapısal çözümleri ve tasarımları. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye 211 s.
- Altunışık, A. C. (2013). Comparison of earthquake behavior of reinforced concrete minarets using fiber-reinforced polymer composite. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 22, 749-758.
- ANSYS, (2016). Swanson Analysis System, Pennsylvania, USA.
- Aydın, S. ve Er, Y. (2017). Sıkışabilir rezervuar ve yapı-zemin etkileşimi dikkate alınarak Andıraz barajı deprem performansının değerlendirilmesi. 4. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Eskişehir, 11-13 Ekim.
- Bartoli, G., Betti, M., Galano, L. and Zini, G. (2019). Numerical insights on the seismic risk of confined masonry towers. *Engineering Structures*, 180, 713-727.
- Bathe, K. J. (1996). Finite Element Procedures in Engineering Analysis. Hall, New Jersey, USA.
- Bayraktar, A., Hökelekli, E., Halifeoğlu, F. M., Mosallam, A. and Karadeniz, H. (2018). Vertical strong ground motion effects on seismic damage propagations of historical masonry rectangular minarets. *Engineering Failure Analysis*, 91, 115–128.
- Behnamfar, F. and Banizadeh, M. (2016). Effects of soil–structure interaction on distribution of seismic vulnerability in RC structures. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 80, 73-86.
- Bowles, J. E. (1996). Foundation analysis and design. McGraw-Hill Companies. New York, USA.
- Camata, G., Cifelli, L., Spacone, E., Conte, J. and Torrese, P. (2008). Safety analysis of the bell tower of S. Maria Maggiore Cathedral in Guardiagrele (Italy). *The 14th World Conference on Earthquake Engineering*, China, 12-17 October.
- Casolo, S., Milani, G., Uva, G. and Alessandri, C. (2013). Comparative seismic vulnerability analysis on ten masonry towers in the coastal Po Valley in Italy. *Engineering Structures*, 49, 465–490.
- Casolo, S., Diana, V. and Uva, G. (2017). Influence of soil deformability on the seismic response of a masonry tower. *Bulletin Earthquake Engineering*, 15, 1991-2014.
- Chopra, A. K. (2006). Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering. Third Edition, Prentice Hall, USA.
- Çakır, T. and Livaoğlu, R. (2013). Experimental analysis on FEM definition of backfill-

- rectangular tank-fluid system. *Geomechanics and Engineering*, 5(2), 165-185.
- Çakır, T. ve Dağ, S. (2015). Zemin-yapı etkileşimi ve duvar esnekliği dikkate alınarak konsol istinat duvarlarının dinamik yer değiştirme ve gerilme analizi. *Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 33(4), 577-589.
- Çakır, T. (2015). Finite element based investigation of backfill effects on seismic behaviour of a cantilever wall. *Procedia Earth and Planetary Science*, 15, 231-236.
- D'Ambrisi, A., Mariani, V. and Mezzi, M. (2012). Seismic assessment of a historical masonry tower with nonlinear static and dynamic analyses tuned on ambient vibration tests. *Engineering Structures*, 36, 210–219.
- Dieguez, M. G., Koo, K. Y., Middleton, C. M., Brownjohn, J. M. W. and Goddard, C. (2010). Model updating for a 183m of reinforced concrete chimney. *Proceedings of the IMAC-XXVIII*, Florida, 1-4 February.
- Doğangün, A., Livaoğlu, R. and Acar, R. (2007). A study on seismic behavior of minarets considering soil-structure interaction. *International Earthquake Symposium*, Kocaeli, 22-26 October.
- Durmuş, A. (2013). Betonarme silindirik siloların stok malzemesi-yapı-zemin etkileşimleri dikkate alınarak deprem davranışlarının incelenmesi. Doktora Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye, 296s.
- Farahani, R. V., Dessalegn, T. M., Vaidya, N. R. and Bazan-Zurita, E. (2016). Seismic soil–structure interaction analysis of a nuclear power plant building founded on soil and in degraded concrete stiffness condition. *Nuclear Engineering and Design*, 297, 320-326.
- Filenenko-Borodich, M. M. (1940). Some approximate theories of elastic foundation. *Uchenyie Zapiski Moskovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Mekhanika*, 46, 3-18.
- Garip, Z. Ş. (2005). Deprem etkisindeki betonarme yapılarda yapı-zemin etkileşimi. Yüksek Lisans Tezi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, Türkiye, 84s.
- Ge, Q., Xiong, F., Xie, L., Chen, J. and Yu. M. (2019). Dynamic interaction of soil – Structure cluster. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 123, 16-30.
- Genç, A. F., Ergün, M., Günaydın, M., Altunışık, A. C., Ateş, Ş., Okur, F. Y. and Mosallam, A. S. (2019). Dynamic analyses of experimentally-updated FE model of historical masonry clock towers using site-specific seismic characteristics and scaling parameters according to the 2018 Turkey building earthquake code. *Engineering Failure Analysis*, 105, 402-426.
- Ghandil, M. and Behnamfar, F. (2015). The near-field method for dynamic analysis of structures on soft soils including inelastic soil–structure interaction. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 75, 1-17.
- Gould, P. L., Huang, W., Martinez, R. and Johnson, G. S. (2004). Nonlinear analysis of a collapsed heater stack. *13th World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, B. C., Canada.
- Güler, E. ve Hamderi, M. (2014). Zemin ile düşeyde ve yatayda etkileşen bir yapının

- dinamik yükler altında 2 ve 3-boyutlu modellenmesi. *Teori ve Uygulamada Zemin-Yapı Etkileşimi Sempozyumu*, Antalya, 24-25 Nisan.
- Güllü, H. and Karabekmez, M. (2017). Effect of near-fault and far-fault earthquakes on a historical masonry mosque through 3D dynamic soil-structure interaction. *Engineering Structures*, 152, 465-492.
- Hetenyi, M. (1946). Beams on elastic foundations. *The University of Michigan Press*, Ann Arbor, Michigan.
- Hökelekli, E. and Al-Helwani, A. (2019). Effect of soil properties on the seismic damage assessment of historical masonry minaret-soil interaction systems. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 29(2), e1694.
- Invernizzi, S., Lacidogna, G., Lozano-Ramirez, N. E. and Carpinteri, A. (2019). Structural monitoring and assessment of an ancient masonry tower. *Engineering Fracture Mechanics*, 210, 429-443.
- Jain, A., Arya, B., Goddard, C. and Galsworthy, J. (2009). Nonlinear dynamic analysis of an industrial chimney's pile foundation system for hurricane loading. *11th Americas Conference on Wind Engineering*, Porto Riko, 23-26 June.
- Kabtamu, H. G., Peng, G. and Chen, D. (2018). Dynamic analysis of soil structure interaction effect on multi story RC frame. *Open Journal of Civil Engineering*, 8, 426-446.
- Karaca, Z. and Türkeli, E. (2012). Determination and comparison of wind loads for industrial reinforced concrete chimneys. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 21, 133-153.
- Kavitha, P. E., Beena, K. S. and Narayanan, K. P. (2016). Numerical investigations on the influence of soil structure interaction in the dynamic response of SDOF system. *Procedia Technology*, 25, 178-185.
- Kılıç, S. A. (2017). Finite element modeling of cyclic behavior of a reinforced concrete chimney section. *Çukurova University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture*, Adana, 1-8 September.
- Kılıçer, S. (2016). Yapı zemin etkileşiminin betonarme yapıların tasarımına etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye, 92s.
- Krishnamoorthy, A. and Anita, S. (2016). Soil-structure interaction analysis of a FPS-isolated structure using finite element model. *Structures*, 5, 44-57.
- Livaoğlu, R. (2014). The numerical and empirical evaluation of chimneys considering soil structure interaction and high-temperature effects. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 66, 178-190.
- Luo, C., Yang, X., Zhan, C., Jin, X. and Ding, Z. (2016). Nonlinear 3D finite element analysis of soil-pile-structure interaction system subjected to horizontal earthquake excitation. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 84, 145-156.
- Lysmer, J. and Kuhlemeyer, R. L. (1969). Finite dynamic model for infinite media. *Journal of the Engineering Mechanics Division*, 95, 859-877.
- Maj, M. and Ubysz, A. (2017). Cracked reinforced concrete walls of chimneys, silos and cooling towers as result of using formworks. *MATEC Web of Conferences*,

- Micelli, F. and Casacardi, A. (2020). Structural assessment and seismic analysis of a 14th century masonry tower. *Engineering Failure Analysis*, 107.
- Mortezaei, A. and Motaghi, A. (2016). Seismic assessment of the world's tallest pure-brick tower including soil-structure interaction. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 30(5).
- Östlund, J. L., Kustell, M. Ü., Andersson, A. and Battini, J. M. (2017). Considering dynamic soil-structure interaction in design of high-speed railway bridges. *Procedia Engineering*, 199, 2384-2389.
- Öz, E. (2007). Betonarme bacaların doğrusal ve doğrusal olmayan yapısal çözümleme yöntemleri. Yüksek Lisans Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye, 160s.
- Pasternak, P. L. (1954). On a new method of analysis of an elastic foundations by means of two foundation constants, Gosudarstvennoe Izdatelstvo Literaturi po Stroitelstvui Arkhitekture, Moskov, Russia.
- Pinzon, L. A., Manica, M. A., Pujades, L. G. and Alva, R. E. (2020). Dynamic soil-structure interaction analyses considering directionality effects. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 130.
- Preciado, A. (2015). Seismic vulnerability and failure modes simulation of ancient masonry towers by validated virtual finite element models. *Engineering Failure Analysis*, 57, 72–87.
- Qaftan, O. S., Toma-Sabbagh, T., Weekes, L. and Augusthus-Nelson, L. (2020). Validation of a finite element modelling approach on soil-foundation-structure interaction of a multi-storey wall-frame structure under dynamic loadings. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 131.
- Rayhani, M. T. and El Naggar, M. H. (2008). Numerical modeling of seismic response of rigid foundation on soft soil. *International Journal of Geomechanics*, 8(6).
- Rayhani, M. T. and El Naggar, M. H. (2012). Physical and numerical modeling of seismic soil-structure interaction in layered soils. *Geotechnical and Geological Engineering*, 30, 331-342.
- Remyasree, A. R. and Megha, V. (2016). Non-linear seismic analysis of reinforced concrete chimney. *SSRG International Journal of Civil Engineering*, 3(8).
- Scarfone, R., Morigi, A. and Conti, R. (2020). Assessment of dynamic soil-structure interaction effects for tall buildings: A 3D numerical approach. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 128.
- Sesli, H. (2013). Zemin sınır şartlarının yapı-zemin etkileşim sistemlerinin dinamik davranışına etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye, 171s.
- Shelly, T., Jaya, V. and Manju, P. M. (2014). Non-linear analysis of reinforced concrete chimney. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 5(12), 107-116.
- Silva, F., Ceroni, F., Sica, S. and Silvestri, F. (2018). Non-linear analysis of the Carmine bell tower under seismic actions accounting for soil–foundation–

- structure interaction. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 16, 2775-2808.
- Silva, F. (2020). Influence of soil-structure interaction on the site-specific seismic demand to masonry towers. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 131.
- Şengün, İ. (2010). Betonarme sanayi bacalarının bilgisayar destekli tasarımı. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 177s.
- Turhan, A. (1992). Consistent vlasov model for analysis of plates on elastic foundations using the finite element method. Ph. D. Thesis, The Graduate School of Texas Tech. University, Texas, USA.
- Türkeli, E. (2009). Narin betonarme sanayi bacalarında rüzgâr etkilerinin incelenmesi ve bu yapıların rüzgâr yüklerine göre hesabı. Yüksek Lisans Tezi. 19 Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun, Türkiye, 236s.
- Türkeli, E. (2019). Effect of soil-structure interaction on the seismic behavior of RC chimneys. *Düzce University Journal of Science & Technology*, 7, 505-518.
- Türkeli, E. (2020). Comparative dynamic seismic analyses of RC minarets strengthened with FRP and buttresses. *Journal of Natural Hazards and Environment*, 6(1), 119-136.
- URL-1, (2020). https://www.wikiwand.com/en/Flue-gas_stack (14 Nisan 2020).
- Valente, M. and Milani, G. (2016). Non-Linear dynamic and static analyses on eight historical masonry towers in the north-east of Italy. *Engineering Structures*, 114, 241–270.
- Vallabhan, C. V. G. and Das, Y. C. (1988). Parametric study of beams on elastic foundations. *Journal of Engineering Mechanics*, 114(12), 2072-2082.
- Vlasov, V. Z. and Leont'ev, N. N. (1966). Beams, plates and shells on elastic foundations. Translated from Russian, Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem.
- Winkler, E. (1867). Die Lehre von der Elustizitat und Festigkeit, Dominicus, Prague.
- Zanni, A. A., Spyridis, M. S. and Karabalis, D. L. (2020). Discrete model for circular and square rigid tanks with concentric openings – Seismic analysis of a historic water tower. *Engineering Structures*, 211.
- Zheng, H. D., Fan, J. and Long, X. H. (2017). Analysis of the seismic collapse of a high-rise power transmission tower structure. *Journal of Constructional Steel Research*, 134, 180–193.

EKLER

Ek 1. Sonlu Eleman Modellerinin ANSYS Programında Oluşturulması

Ankastre mesnetli durum için;

/PREP7

!*
/

ET,1,SOLID65

!*
/

!Malzeme özellikleri

!Beton

!*
/

MPTEMP,,,,,,,,

MPTEMP,1,0

MPDATA,EX,1,,3.0e10

MPDATA,PRXY,1,,0.2

MPTEMP,,,,,,,,

MPTEMP,1,0

MPDATA,DENS,1,,2400

wpro,,-90,

!Baca geometrisinin oluşturulması

CONE,5.15,4.35,0,40,0,360,

CONE,4.70,4.05,0,40,0,360,

VSBV, 1, 2

CONE,4.35,4.00,40,60,0,360,

CONE,4.05,3.72,40,60,0,360,

VSBV, 1, 2

CONE,4.00,3.55,60,90,0,360,

CONE,3.72,3.33,60,90,0,360,

VSBV, 1, 2

CONE,3.55,3.30,90,115,0,360,

CONE,3.33,3.10,90,115,0,360,

Ek 1 (Devamı).

VSBV, 1, 2

NUMCMP,ALL

!Kapı ve pencerelerin açılması

wpof,0.400000

wpof,0.400000

wpof,0.400000

wpof,0.400000

wpof,0.400000

wpof,0.400000

wpof,0.400000

BLC5, , 8,2,3

VSBV, 1, 5 !doğu kapısı

wpof,-0.400000

wpof,-0.400000

wpof,-0.400000

wpof,-0.400000

wpof,-0.400000

wpof,-0.400000

wpof,-0.400000

wpof,-0.400000

wpof,-0.400000

wpof,-0.400000

wpof,-0.400000

wpof,-0.400000

wpof,-0.400000

wpro,-150.000000,, !40 derecelik kapı

BLC5, , 8,2,3

VSBV, 6, 1

wpro,150.000000,,

wpof,0.400000

wpof,0.400000

Ek 1 (Devamı).

wpof,,0.400000
wpof,,0.400000
wpof,,0.400000
wpof,,0.400000
wpoff,0,0,40
wpof,-0.500000
wpof,-0.500000
wpof,-0.500000
wpof,-0.500000
wpof,-0.500000
wpof,-0.500000
wpro,-45.000000,, !50 derecelik kapı
wpro,-90.000000,,
wpro,-25.000000,,
BLC5, , ,6,3.75,5.25
FLST,2,3,6,ORDE,3
FITEM,2,2
FITEM,2,-3
FITEM,2,5
VSBV,P51X, 1
wpoff,0,0,0
wpro,25.000000,,
wpro,45.000000,,
wpro,90.000000,,
wpoff,0,0,-40
wpof,0.500000
wpof,0.500000
wpof,0.500000
wpof,0.500000
wpof,0.500000
wpof,0.500000

Ek 1 (Devamı).

nummrg,all

!Malzemelerin atanması

VATT, 1, , 1, 0

!Sonlu eleman ağına bölme

FLST,5,96,4,ORDE,24

FITEM,5,3

FITEM,5,5

FITEM,5,8

FITEM,5,-9

FITEM,5,13

FITEM,5,15

FITEM,5,18

FITEM,5,-19

FITEM,5,25

FITEM,5,-28

FITEM,5,30

FITEM,5,35

FITEM,5,-38

FITEM,5,40

FITEM,5,45

FITEM,5,-50

FITEM,5,55

FITEM,5,-60

FITEM,5,65

FITEM,5,-70

FITEM,5,75

FITEM,5,-80

FITEM,5,85

FITEM,5,-138

CM,_Y,LINE

LSEL, , , ,P51X

Ek 1 (Devamı).

```
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1,0.75, , , , ,1
!*
MSHAPE,1,3D
MSHKEY,0
!*
FLST,5,4,6,ORDE,4
FITEM,5,3
FITEM,5,-4
FITEM,5,6
FITEM,5,-7
CM,_Y,VOLU
VSEL, , , ,P51X
CM,_Y1,VOLU
CHKMSH,'VOLU'
CMSEL,S,_Y
!*
VMESH,_Y1
!*
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
CMDELE,_Y2
!*
!Mesnet şartlarının tanımlanması
FLST,2,84,1,ORDE,19
FITEM,2,7221
FITEM,2,-7222
FITEM,2,7235
FITEM,2,-7241
```

Ek 1 (Devamı).

FITEM,2,7249
FITEM,2,-7261
FITEM,2,8639
FITEM,2,-8659
FITEM,2,9911
FITEM,2,9925
FITEM,2,-9930
FITEM,2,9939
FITEM,2,-9950
FITEM,2,11345
FITEM,2,-11362
FITEM,2,12560
FITEM,2,-12561
FITEM,2,12568
FITEM,2,-12569
!*
/GO
D,P51X, , , , ,ALL, , , , ,

Yapı-zemin etkileşimli durum için:

!Sert zemin malzeme özellikleri
ET,2,SOLID185
!*
!*
MPTEMP,,,,,,,,
MPTEMP,1,0
MPDATA,EX,2,,5.68E9
MPDATA,PRXY,2,,0.3
MPTEMP,,,,,,,,
MPTEMP,1,0

Ek 1 (Devamı).

MPDATA,DENS,2,,2064

!Orta sert zemin malzeme özellikleri

ET,2,SOLID185

!*
!*
MPTEMP,,,,,,,,
MPTEMP,1,0
MPDATA,EX,2,,3.61E8
MPDATA,PRXY,2,,0.35
MPTEMP,,,,,,,,
MPTEMP,1,0
MPDATA,DENS,2,,1864
!Yumuşak zemin malzeme özellikleri
ET,2,SOLID185
!*
!*
MPTEMP,,,,,,,,
MPTEMP,1,0
MPDATA,EX,2,,3.45E7
MPDATA,PRXY,2,,0.4
MPTEMP,,,,,,,,
MPTEMP,1,0
MPDATA,DENS,2,,1667
!Zemin geometrisinin oluşturulması
CYL4,0,0,18, , , -2.5
BLOCK,-54,54,-54,54,0,-30,
VSBV, 2, 1
CYL4,0,0,18, , , -2.5
FLST,2,6,6,ORDE,3
FITEM,2,1
FITEM,2,3

Ek 1 (Devamı).

```
FITEM,2,-7
VGLUE,P51X
!Malzemelerin atanması
FLST,5,5,6,ORDE,4
FITEM,5,2
FITEM,5,-4
FITEM,5,6
FITEM,5,-7
CM,_Y,VOLU
VSEL,, , ,P51X
CM,_Y1,VOLU
CMSEL,S,_Y
!*
CMSEL,S,_Y1
VATT, 1, , 1, 0
CMSEL,S,_Y
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
!*
CM,_Y,VOLU
VSEL,, , , 8
CM,_Y1,VOLU
CMSEL,S,_Y
!*
CMSEL,S,_Y1
VATT, 2, , 2, 0
CMSEL,S,_Y
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
!*
!Sonlu eleman ağına bölme
```

Ek 1 (Devamı).

FLST,5,82,4,ORDE,32

FITEM,5,5

FITEM,5,8

FITEM,5,-9

FITEM,5,15

FITEM,5,18

FITEM,5,-19

FITEM,5,25

FITEM,5,-28

FITEM,5,30

FITEM,5,35

FITEM,5,-38

FITEM,5,40

FITEM,5,45

FITEM,5,-50

FITEM,5,55

FITEM,5,-60

FITEM,5,65

FITEM,5,-70

FITEM,5,75

FITEM,5,-80

FITEM,5,85

FITEM,5,-92

FITEM,5,94

FITEM,5,-96

FITEM,5,98

FITEM,5,-104

FITEM,5,106

FITEM,5,109

FITEM,5,112

FITEM,5,-113

Ek 1 (Devamı).

```
FITEM,5,119
FITEM,5,-138
CM,_Y,LINE
LSEL, , , ,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1,0.75, , , , ,1
!*
FLST,5,10,4,ORDE,6
FITEM,5,41
FITEM,5,-44
FITEM,5,51
FITEM,5,-54
FITEM,5,61
FITEM,5,-62
CM,_Y,LINE
LSEL, , , ,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1,1.5, , , , ,1
!*
FLST,5,12,4,ORDE,7
FITEM,5,17
FITEM,5,20
FITEM,5,-24
FITEM,5,29
FITEM,5,31
FITEM,5,-34
FITEM,5,39
```

Ek 1 (Devamı).

```
CM,_Y,LINE
LSEL, , , ,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1,3, , , , ,1
!*
MSHAPE,1,3D
MSHKEY,0
!*
FLST,5,6,6,ORDE,4
FITEM,5,2
FITEM,5,-4
FITEM,5,6
FITEM,5,-8
CM,_Y,VOLU
VSEL, , , ,P51X
CM,_Y1,VOLU
CHKMSH,'VOLU'
CMSEL,S,_Y
!*
VMESH,_Y1
!*
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
CMDELE,_Y2
!*
!Viskoz sönümleyicilerin tanımlanması
!*
ET,3,COMBIN14  !(yatay sönüm D-B Ux)
!*

```

Ek 1 (Devamı).

ET,4,COMBIN14 !(düşey sönüm D-B Uy)

!*

ET,5,COMBIN14 !(yatay sönüm D-B Uz)

!*

ET,6,COMBIN14 !(yatay sönüm K-G Ux)

!*

ET,7,COMBIN14 !(yatay sönüm K-G Uz)

!*

KEYOPT,3,1,0

KEYOPT,3,2,1

KEYOPT,3,3,0

!*

KEYOPT,4,1,0

KEYOPT,4,2,2

KEYOPT,4,3,0

!*

KEYOPT,5,1,0

KEYOPT,5,2,3

KEYOPT,5,3,0

!*

KEYOPT,6,1,0

KEYOPT,6,2,1

KEYOPT,6,3,0

!*

KEYOPT,7,1,0

KEYOPT,7,2,3

KEYOPT,7,3,0

!*

!Sert zemin için sönümleme katsayılarının girilmesi

!*

R,1, ,3707657.859, , , ,

Ek 1 (Devamı).

RMORE, ,

!*

R,2, ,1287458.279, , , ,

RMORE, ,

!*

R,3, ,1287458.279, , , ,

RMORE, ,

!*

R,4, ,1287458.279, , , ,

RMORE, ,

!*

R,5, ,3707657.859, , , ,

RMORE, ,

!*

!Orta sert zemin için sönümleme katsayılarının girilmesi

!*

R,1, ,970189.337, , , ,

RMORE, ,

!*

R,2, ,293367.966, , , ,

RMORE, ,

!*

R,3, ,293367.966, , , ,

RMORE, ,

!*

R,4, ,293367.966, , , ,

RMORE, ,

!*

R,5, ,970189.337, , , ,

RMORE, ,

!*

Ek 1 (Devamı).

!Yumuşak zemin için sönümleme katsayılarının girilmesi

*!**

R,1, ,326778.886, , , ,

RMORE, ,

*!**

R,2, ,81100.948, , , ,

RMORE, ,

*!**

R,3, ,81100.948, , , ,

RMORE, ,

*!**

R,4, ,81100.948, , , ,

RMORE, ,

*!**

R,5, ,326778.886, , , ,

RMORE, ,

*!**

ÖZGEÇMİŞ

Muhammet SARI, 1994 yılında İstanbul’da doğdu. İlköğretimi, 2000-2008 yılları arasında Hasan Yılmaz İlköğretim Okulu’nda, ortaöğretimi ise 2008-2012 yılları arasında Rize Anadolu Öğretmen Lisesi’nde tamamladı. Mezun olduğu yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü’nde lisans eğitimi almaya hak kazandı. Bir yıl İngilizce Hazırlık eğitimi de alarak 2017 yılında bölüm ve fakülte birincisi olarak lisans eğitimini tamamladı. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda “Yüksek Lisans” eğitimine başladı. Daha sonra, Ocak 2020’de Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’na Araştırma Görevlisi olarak atandı. Yatay geçiş sonrası Tezli Yüksek Lisans eğitimine Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda devam etti. İngilizce bilen SARI, halen Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda görevine devam etmektedir.