

**T.C.  
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SABİT KULE TİPİ AÇIK DENİZ YAPILARININ AKDENİZ BÖLGE  
KAYNAKLI DİNAMİK YÜK ALTINDAKİ DAVRANIŞININ  
İNCELENMESİ**

**Tevfik Burak KOCAMAN**

**Danışman  
Dr. Öğr. Üyesi İlyas Devran ÇELİK**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
ISPARTA-2021**



©2021 [Tevfik Burak KOCAMAN]

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
Çizelgeler dizini.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	vii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Sabit Platformlar.....	3
1.1.1. Sabit kule tipi platform (Jacket structures).....	3
1.1.2. Kule tipi platform (Compliant tower).....	4
1.1.3. Jack up yapıları.....	5
1.1.4. Betonarme ağırlık yapısı (Gravity base structures).....	6
1.1.5. Gergi halatlı kule tipi platform (Guyed tower).....	7
1.1.6. Mafsallı kule tipi platformlar (Articulated tower).....	7
1.1.6. Gergi halatlı platform (Tension leg platform).....	8
1.2. Yüzen Yapılar.....	9
1.3. Tasarımda Dikkate Alınan Yükler.....	9
1.3.1. Dalga yükleri.....	9
1.3.1.1. Küçük genlikli dalga teorisi.....	11
1.3.1.2. 5.derece stokes dalga teorisi.....	14
1.3.2. Deprem kuvvetleri.....	15
1.4. Ölü Yükler.....	16
1.5 Hareketli yükler.....	16
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	17
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	32
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	50
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	71
ÖZGEÇMİŞ.....	80

## ÖZET

### Yüksek Lisans Tezi

## SABİT KULE TİPİ AÇIK DENİZ YAPILARININ AKDENİZ BÖLGE KAYNAKLI DİNAMİK YÜK ALTINDAKİ DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Tevfik Burak KOCAMAN

Süleyman Demirel Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi İlyas Devran ÇELİK

Enerji ihtiyacı ve bu ihtiyaca bağlı olarak ortaya çıkan hammadde ihtiyacı insanlık tarihi boyunca arayış içerisinde olmamızı zorunlu hale getirmiştir. Fosil kaynaklı yakıtlar arasında önemli olanlardan petrol ve doğalgaz enerji hammaddesi olarak en önde gelmektedir. Petrol ve doğalgazın çıkarılması ilk olarak karasal alanlarda başlamıştır. Arama ve sondaj çalışmaları karasal alanlardan okyanus, deniz, göl, akarsu gibi alanlara yayılmıştır. Bu açılımın sonucunda sondaj ve arama faaliyetlerinin yapılacağı derinliğe bağlı olarak farklılaşan yapılar ortaya çıkmıştır. Bu yapıların projelendirilme sürecinde farklı çevresel yükler dikkate alınmalıdır. Dalga, rüzgâr, deprem karasal alanlarda yapılan yapılardan farklı olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Zemin durumlarının çok detaylı şekilde incelenmesi temel sistemi belirlenmesi açısından önem arz etmektedir.

Bu tez çalışması Ülkemiz karasularında yapılabilecek olan petrol arama ve sondaj platformlarının değerlendirilmesine bir bakış açısı sunmaktadır. Yapılan çalışmada zemin modellemesi yapılmış olan üç farklı taşıyıcı sistem yüksekliği olan petrol arama ve sondaj platformlarının dalga, dalga ve rüzgâr, deprem kuvvetleri altında dinamik analizlerini içermektedir. Dalga yükseklikleri belirlenirken rüzgâr kaynaklı dalga oluşma ihtimali olan tüm periyotlar dikkate alınmıştır. Deprem analizlerinde ise karşılaşılabilecek olan depremler zemin parametreleri ile ölçeklendirilip zaman tanım alanında analizleri yapılmıştır. Tüm yapılar yönetmelikler doğrultusunda dizayn edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Açık Deniz Platformları, Dinamik Analiz, Dalga Analizi, Deprem Analizi, Sap2000

**2021, 81 sayfa**

## **ABSTRACT**

### **M.Sc Thesis**

# **INVESTIGATION OF THE BEHAVIOR OF JACKET TYPE OFFSHORE STRUCTURES UNDER DYNAMIC LOADS RESULTING FROM THE MEDITERRANEAN REGION**

**Tevfik Burak KOCAMAN**

**Suleyman Demirel University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Civil Engineering**

**Supervisor: Asst. Prof. Dr. İlyas Devran ÇELİK**

Energy requirement and the need for raw materials have lead humanity to search for such acquisitions throughout the history of humanity. Petroleum and natural gas are among the most important fossil fuels as energy raw materials. Extraction of oil and natural gas first has been started in terrestrial areas. Exploration and drilling activities have spread from terrestrial areas to nautical areas such as ocean, sea, lake and river. As a result of this expansion, depending on the drilling depth and exploration activities, different structure types have emerged. Different environmental loads should be taken into consideration in the design process of these structures. Wave, wind, and earthquake should be evaluated differently from the structures built in terrestrial areas. Detailed examination of the ground conditions is crucial in terms of determining the foundation system.

This thesis presents a perspective on the evaluation of oil exploration and drilling platforms that would be built in the coastal waters of our country. The study includes dynamic analyzes of oil exploration and drilling platforms included with soil modeling, for three different carrier system heights under wave, wave and wind, and earthquake forces. All periods with the possibility of wind-induced wave formation were considered while determining the wave heights. In earthquake analysis, earthquakes that may be encountered were scaled with soil parameters and response spectrum analyzes were performed. All structures are designed in accordance with the regulations.

**Keywords:** Offshore Platforms, Dynamic Analysis, Wave Analysis, Earthquake Analysis, Sap2000

**2021, 81 pages**

## TEŞEKKÜR

Süleyman Demirel Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği bilim dalı yapı programında yapılan bu Yüksek Lisans tez çalışmasında bizlere bu vizyonda hareket edebilmemizi sağlayan T.C. Cumhurbaşkanlığı'na ve Cumhurbaşkanımız Sayın Recep Tayyip Erdoğan'a, T.C. Dış İşleri Bakanlığı'na T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'na, T.C. Deniz Kuvvetleri Komutanlığı'na teşekkürü ülkemizin genç mühendisi olarak bir borç bilirim.

Yüksek lisans tez çalışmasının ilk gününden son anına kadar desteklerini hem akademik anlamda hem de bu zorlu süreçte manevi anlamda yanımda hissettiğim Danışmanım Sayın Dr. İlyas Devran ÇELİK'e teşekkürlerimi sunuyorum.

Tezin hazırlanmasında desteğini esirgemeyen ISUBU Öğretim Görevlisi Yusuf Öztürk'e teşekkürlerimi sunarım.

Süleyman Demirel Üniversitesi Çelik Yapılar Laboratuvarında desteklerini esirgemeyen kıymetli arkadaşlarım Kılıç Yasin ARSLAN, Münire FINDIK, Âdem BARLAS, Ercan Egemen BAŞAR, Sena GÜ VEN ve Mehmet Erkan EFE arkadaşlarıma teşekkür ediyorum.

Akademik hayatı ile her zaman bana yol gösteren; Medeniyet Üniversitesi Öğretim Üyesi Doç. Dr. M. Fatih HOCAOĞLU'na teşekkür ediyorum

En önemlisi de Hud Suresi 88. Ayette geçtiği gibi "... Başarmam Allah'ın yardımıyladır..." ayetinin düsturu ile beni yetiştiren babam ve anneme, her daim yanımda olan kardeşime teşekkür ederim.

Tevfik Burak KOCAMAN  
ISPARTA, 2021

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Dünya yıllık bölgesel bazda (a) petrol üretimi ve (b) bölgesel bazda tüketimi verileri .....	2
Şekil 1.2. Açık deniz petrol platformlarının tarihsel gelişimi .....	3
Şekil 1.3. Sabit Kule Tipi Platform .....	4
Şekil 1.4. Kule Tipi Platform .....	5
Şekil 1.5. Jack Up Tower yapısına örnek .....	6
Şekil 1.6. Betonarme ağırlık yapısına ait örnek .....	7
Şekil 1.7. Mafsallı kule tipi platform yapısına .....	8
Şekil 1.8. Gergi halatlı platform yapısına örnek .....	9
Şekil 1.9. Küçük genlikli dalga teorisi kesit .....	12
Şekil 1.10. Kullanılan dalga teorilerinin mertebelerinin dalga şekline etkisi .....	14
Şekil 2.1. Yarı analitik model Abaqus Modeli .....	22
Şekil 3.1. Meyerhof taşıma gücü katsayıları .....	37
Şekil 3.2. Modellere ait görseller. a)M1 modeli, b)M2 modeli, c)M3 modeli .....	40
Şekil 3.3. Dalga yavaşma açısı farklılıkları a) Dalga yavaşma açıları, b) Farklı yavaşma açıları sonucu yatay deplasman yükseklik grafiği .....	41
Şekil 3.5. Deprem kuvveti için değerlendirilen zemin değerlerinin incelendiği noktalar .....	46
Şekil 3.6. Ölçeklendirilen deprem datalarının ivme-spektrum eğrileri .....	48
Şekil 4.1. M1 Modeli kazıklı temel ve ankastre mesnet tasarım yaklaşımları arasındaki modal analiz sonuçları .....	53
Şekil 4.2. M2 Modeli kazıklı temel ve ankastre mesnet tasarım yaklaşımları arasındaki modal analiz sonuçları .....	53
Şekil 4.3. M3 Modeli kazıklı temel ve ankastre mesnet tasarım yaklaşımları arasındaki modal analiz sonuçları .....	54
Şekil 4.4. Tüm modellerde yatay deplasman okumalarının yapıldığı noktalar a) M1 modeli yatay deplasman okuma noktaları, b) M2 modeli yatay deplasman okuma noktaları, c) M3 modeli yatay deplasman okuma noktaları .....	54
Şekil 4.5. M1 modeli dalga yüksekliği yatay deplasman grafikleri .....	55
Şekil 4.6. M2 modeli dalga yüksekliği yatay deplasman grafikleri .....	59
Şekil 4.7. M3 modeli dalga yüksekliği yatay deplasman grafikleri .....	61
Şekil 4.8. Dalga yüksekliği maksimum yatay deplasman .....	62
Şekil 4.9. Tüm modellerin dalga yüksekliği yatay deplasman grafikleri .....	64
Şekil 4.10. M1 modeli için doğrusal olmayan statik itme analizi grafiği a) Statik itme analizi grafiği, b) M1 modeli burkulan elemanlar .....	65
Şekil 4.11. M2 Modeli İçin Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi Grafiği a) Statik itme analizi grafiği, b) M2 modeli burkulan elemanlar .....	66
Şekil 4.12. M3 modeli için doğrusal olmayan statik itme analizi grafiği a) Statik itme analizi grafiği, b) M3 modeli burkulan elemanlar .....	67
Şekil 4.13. M1 modeli deprem grafiği .....	68
Şekil 4.14. M2 modeli deprem grafiği .....	69
Şekil 4.15. M3 modeli deprem grafiği .....	70

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 1.1. Yapı üzerinde kullanılabilir hareketli yükler .....	16
Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan modellerin boyutsal parametreleri.....	33
Çizelge 3.2. Modellerde kullanılan profil tipleri ve kesit özellikleri .....	34
Çizelge 3.3. Modellerde kullanılan malzeme sınıfı ve özellikleri .....	34
Çizelge 3.4. M1 modeli zemin kesiti ve özellikleri.....	35
Çizelge 3.5. M2 modeli zemin kesiti ve özellikleri.....	35
Çizelge 3.6. M3 modeli zemin kesiti ve özellikleri.....	35
Çizelge 3.7. M1 modeli yatak katsayıları .....	37
Çizelge 3.8. M2 modeli yatak katsayıları .....	38
Çizelge 3.9. M3 modeline ait yatak katsayıları.....	38
Çizelge 3.10. M1 modelinde kullanılan dalga yüksekliği ve periyot değerleri.....	43
Çizelge 3.11. M2 modelinde kullanılan dalga yüksekliği ve periyot değerleri.....	43
Çizelge 3.12. M3 modelinde kullanılan dalga yüksekliği ve periyot değerleri.....	44
Çizelge 3.13. M1 modeline ait kullanılan deprem verilerine ait özellikler .....	47
Çizelge 3.14. M2 modeline ait kullanılan deprem verilerine ait özellikler .....	47
Çizelge 3.15. M3 modeli için kullanılan deprem verilerine ait özellikler .....	48
Çizelge 3.16. Yük kombinasyonları.....	49
Çizelge 4.1. M1 modeli için modal analiz sonuçları .....	51
Çizelge 4.2. M2 modeli için modal analiz sonuçları .....	52
Çizelge 4.3. M3 modeli için modal analiz sonuçları .....	52

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

a	Doğrusal dalga teorisinde dalga yüksekliğinin yarısı
A	Birim uzunluktaki alan
c	Kohezyon
C	Dalga hızı
C <sub>D</sub>	Sürüklenme katsayısı
C <sub>m</sub>	Atalet katsayısı
d	Su derinliği
D	Deformasyon yükleri
E	Çevresel yükler (Dalga, Rüzgâr, Deprem)
F	Toplam dalga kuvveti
F <sub>D</sub>	Birim uzunluktaki sürtünme kuvveti
F <sub>I</sub>	Birim uzunluktaki atalet kuvveti
g	Yer çekim ivmesi
H	Dalga yüksekliği
L	Dalga boyu
l	Hareketli yükler (Personel vb.)
P	Kalıcı yükler
T	İki tam dalga çukuru veya tam dalga tepesinin aynı noktadan geçene kadar olan süre
u	Dalga parçacığı yatay hız bileşeni
U	Elemanın eksenine normal etki eden su parçacık hızı bileşeni
U	U değerinin mutlak değer
V	Birim uzunluktaki hacim
w	Açısal frekans
w	Dalga parçacığı düşey hız bileşeni
$\alpha_x$	Dalga parçacığı yatay yöndeki ivme
$\alpha_z$	Dalga parçacığı dikey yöndeki ivme
Y	Birim hacim ağırlık
$\eta$	Dalganın herhangi bir andaki yüzeyde oluşan yükselmesi
$\Phi$	İçsel sürtünme açısı
dU/dt	Eleman eksenine normal etki eden su parçacık ivmesi bileşeni

## 1. GİRİŞ

İnsanlık tarihinin en önemli dönüm noktalarından birisi sanayi devrimi olmuştur. Artan tüketim ve tüketim alışkanlıkları bu duruma bağlı olarak üretimi geliştirmiştir. İnsanlık tarihi daha fazla üretim ve tüketim yoluna girmiştir. Sanayi devrimi öncesinde el gücü ve ufak atölyelerde üretilen malzemeler gelişen teknoloji ile beraber artık fabrika gibi üretim alanlarına dönüşmüştür. Bu dönüşümün oluşmasında en büyük etkenlerden olan buhar kazanlı makineler belli süre sonunda yerini içten yanmalı motor teknolojisine bırakmıştır.

İçten yanmalı motor teknolojisi ana yakıt kaynağı olarak kullanmış olduğu fosil kaynaklı petrol ve doğalgaz günümüzde bile önemini ve değerini korumaktadır. Ülkeler kaynakları elde bulundurmanın hem ekonomik hem de politik gücünü kullanmaktadır. Durum böyle olunca enerji ve enerji kaynaklarının önemli olduğu ve bu sektörde yatırım, araştırma-geliştirme politikalarının önem kazandığı görülmektedir.

Ülkemizde 2010 yılında başlamış olan enerji de yerlilik ve millilik çalışmaları kapsamında kendi enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla çeşitli araştırma geliştirme faaliyetleri hız kazanmıştır.

Fosil kaynakların ilk çıkarılmaya başlandığı alanlar karasal alanlardır. Bu alanlar daha sonra göl, akarsu ve ufak deniz kıyısı yapılarına dönüşmüştür. 1940'lı yıllarda basit olarak başlayan açık deniz petrol rezervi araştırmaları son yıllarda hız kazanmıştır. Özellikle son dönemde ülkemizin de içinde bulunduğu Doğu Akdeniz ve Karadeniz bölgeleri de bu alanlar arasında yer almaktadır. Bu durumun 1,0075 trilyon varil olan karasal bölgelerde petrol rezervine karşılık 2007 yılında açık deniz petrol rezervi 849 milyar varile kadar yükselmiştir ki bu da açık deniz petrol sondajı ve petrol arama faaliyetlerine ne kadar önemli olduğunu göstermektedir (Reddy & Swamidas, 2014).

Dünya yıllık bölgesel bazda petrol üretimi ve tüketimi verileri (2015) şekil 1.1' de gösterilmektedir.

Bölgeler	Üretim Miktarı (Milyon Ton)
Orta Doğu	1 412
Avrupa ve Avrasya	847
Kuzey Amerika	910
Afrika	398
Asya Pasifik	398
Orta ve Güney Amerika	396
<b>Dünya toplamı</b>	<b>4 362</b>

(a)

Bölgeler	Tüketim Miktarı (Milyon Ton)
Asya Pasifik	1 501
Kuzey Amerika	1 036
Avrupa ve Avrasya	862
Orta Doğu	426
Orta ve Güney Amerika	323
Afrika	183
<b>Dünya Toplamı</b>	<b>4 333</b>

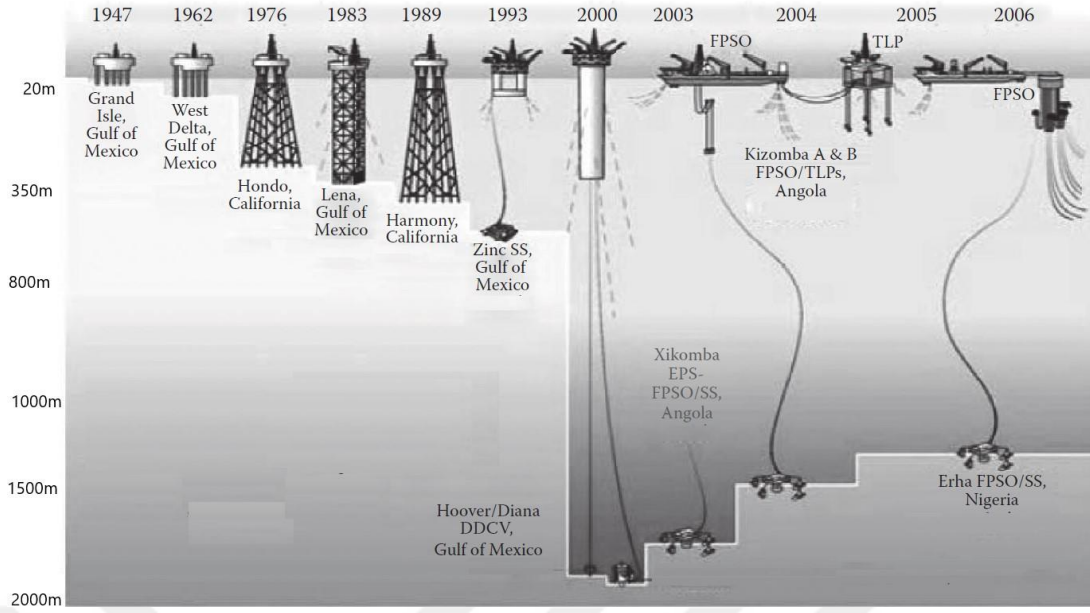
(b)

Şekil 1.1. Dünya yıllık bölgesel bazda (a) petrol üretimi ve (b) bölgesel bazda tüketimi verileri (İstanbul Üniversitesi, 2021)

Şekil 1.1' de anlaşılacağı üzere yıllık tüketim ve üretim arasında bir yakınlık vardır. Yıllardır giderek artan bir petrol ve doğalgaz tüketimi yeni kaynakların araştırılmasını ve bu araştırmanın karasal alanlardan göl, akarsu, deniz ve okyanus gibi su alanlarının tabanından yer küre altında araştırma yapılması durumunu ortaya çıkarmıştır.

Açık deniz platformları hakkında yapılan araştırmalar sonucunda ilk yapılan açık deniz petrol arama platformlarının temelinde iskele tarzında daha sığ sularda kurulmuş platformlar yatmaktadır. California kıyılarında iskele tarzında yapılan yapı açık deniz petrol arama platformlarının ilki olarak 1887 yılında tarihe geçmiştir. İlk açık deniz petrol kuyusu Santa Barbara kıyısında açılmıştır. İlk çelik açık deniz petrol platformu Santa Barbara Kanalı Güney California da 1932 yılında kurulduğu bilinmektedir. Bu platform yaklaşık 12 m (38ft) yüksekliğindedir ve 1940 yılında fırtına esnasında büyük dalgalar tarafından parçalanmıştır (Reddy & Swamidas, 2014).

Okyanusta ilk açık deniz petrol platformu 1947 yılında inşa edilmiş devamında 1956 yılında Shell Louisiana açıklarında 30.5 m yükseklikte bir açık deniz platformu kurmuştur (Reddy & Swamidas, 2014). 1960 yılında Kuzey Denizde ve Basra Körfezinde yapılan keşifler ve açık deniz petrol platformlarında yaşanan gelişmeler sonucunda 1970 yılında daha derin sulara petrol platformları kurulabilir olmuştur. Şekil1.2' de Açık Deniz Petrol Arama Platformlarının tarihsel gelişimine genel bir bakış sunulmuştur.



Şekil 1.2. Açık deniz petrol platformlarının tarihsel gelişimi (Reddy & Swamidas, 2014)

Deniz ortamında yapılan bu yapılar su derinliğine bağlı olarak çeşitli tarzlarda tasarlanabilmektedir. Bu tasarım tamamen ihtiyaca ve çevre koşullarına göre değişmektedir. Açık deniz petrol platformları genel çerçevede bakıldığında iki başlık altında ayrılabilir. Bunlar; Sabit Platformlar ve Yüzer Platformlardır.

### 1.1. Sabit Platformlar

Sabit platformlar deniz okyanus gibi su alanlarının tabanına temel yapıları (kesonlar, kazıklı temeller vb.) ile bağlanan yapılardır. Bu tip yapılar taşıyıcı sistemin tasarım algoritması dikkate alınarak isimlendirilmektedir.

#### 1.1.1. Sabit kule tipi platform (Jacket structures)

Sabit kule tipi platform yapıları deniz ve okyanus tabanına çakılan kazıklı temeller üzerine mesnetlenen daha çok boru tipi elemanlar kullanılarak tasarlanan ve 500 m'ye kadar ekonomik çözümler sunan yapılardır. Bu yapılar temel, taşıyıcı sistem (Jacket) ve güverte olmak üzere üç ana bölümden oluşmaktadır. Literatürde ve uygulamada bu tipteki yapılar genelde 4, 6, 8, 12 taşıyıcı ayak kullanılarak taşınmaktadır (Nallayarasu, 2008). Taşıyıcı sistemde yapı rijtliği çapraz elemanlar ve bunları kuşaklayan yatay elemanlar ile sağlanmaktadır. Literatürde; sabit kule tipi platformların davranış periyotları

genelde 4sn ve altında kalması yapısal davranış ve dış yük etkileşimi açısından önem arz ettiği belirtilmektedir. Açık denizlerdeki dalga hareketine bağlı kütle taşınımı, darbe etkisi ve bu durumların yapı taşıyıcı sistemi ile olan etkileşiminde doğal titreşim periyotlarının düşük olması talep edilmektedir. (Nallayarasu, 2008). Şekil 1.3' de sabit kule tipi petrol arama platformu gösterilmektedir.



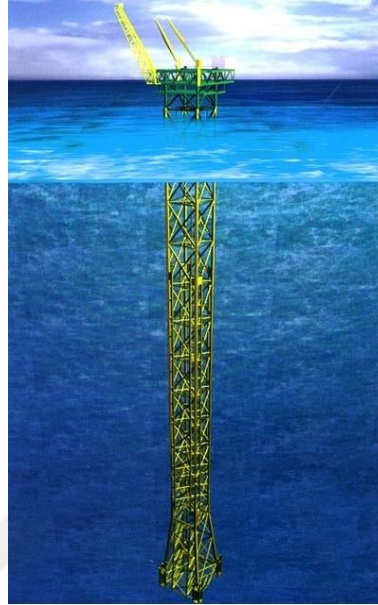
Şekil 1.3. Sabit Kule Tipi Platform (Civil Digital, 2020)

### **1.1.2. Kule tipi platform (Compliant tower)**

Açık deniz araştırma ve sondaj işlemi, teknolojinin gelişmesi sonucunda daha derin sulara da açılmıştır. Bu durumun karşısında petrol bulunan alanların su derinliği artmakta bu da sahada kurulacak olan yapıların yüksekliklerini artırmaktadır. Kule tipi platform yapıları yapıldıkları su derinlikleri 500 m'yi aşan derinliklerde kullanılabilirlerdir.

Kule tipi platform yapıları hem yapım aşamasında hem de kullanılan malzemelerin özellikleri bakımından yatay yönde kısmi olarak hareket edebilme kabiliyeti vardır. Bu hareket kabiliyeti sayesinde döngüsel olarak yapıyı etkileme ihtimali bulunan çevresel yüklerden olan dalga, rüzgâr ve dip-orta akıntı deniz ortamı ile alakalı olan yüklerin ana taşıyıcı sistem üzerindeki oluşabilecek olan gerilme yığılmalarının etkisini yapının tasarım şeklinin azaltması amaçlanmaktadır. Kule tipi platform yapılarında periyotlar genelde 25 sn ve üzerindedir. Kule tipi platform yapılarında kullanılan temel sistemi de üst yapı ile benzer özellikler de esnek ve hareket kabiliyeti olan temel sistemleri olmalıdır. Ayrıca taşıyıcı sistemin hareket kabiliyetini sınırlayacak ve yapıyı eski konumuna

geri getirecek bir kütlede bulunmaktadır (Nallayarasu, 2008). Şekil 1.4' de kule tipi platform yapısına bir örnek gösterilmiştir.



Şekil 1.4. Kule Tipi Platform (Technology, 2020)

### 1.1.3. Jack up yapıları

Jack up yapıları su üzerinde yüzerek işlem yapılacak alana gelip üzerinde bulunan üç veya daha fazla olan ayakları ile deniz tabanına bağlanarak çalışma düzenine ulaşır. Jack up yapısı deniz su yüzeyi ile yapı güvertesi arasında istenilen boşluğu bırakılarak çalışma pozisyonu almaktadırlar. Jack up yapıları boru kesitli kafes örgü şeklinde ve boru kesitli içi boş kolonlar olmak üzere iki tip taşıyıcı sisteme sahip olabilirler. Kolonların açıları zemine dik ve maksimum 15 derece eğime kadar eğimli şekilde tasarlanabilir ve bu şekilde yatay kuvvetlere karşı deplasman yapma direncinin artması sağlanmaktadır (Reddy & Swamidas, 2014). Taşıyıcı kolonlar zemin durumuna göre birbirinden bağımsız derinliklerde zemine “spudcans” kolon alt pabuçları ile bağlanmaktadır. “Spudcans” kolon alt pabuçları zeminde ön sıkışma sağlayarak zemin üzerinde oturma alanı oluşturmaktadır. Bu özelliği sayesinde yapı kendi kolonları üzerinde durmaktadır. Bu yapılar 100 m ye kadar olan su derinliklerinde sadece belirli bölgeler için tasarlanmış olan özel yapılardır. Şekil 1.5' de Jackup yapısına bir örnek gösterilmiştir. (Chakrabarti, 2005).



Şekil 1.5. Jack Up Tower yapısına örnek (Nov, 2019)

#### **1.1.4. Betonarme ağırlık yapısı (Gravity base structures)**

Deniz tabanına kendi ağırlıkları ile oturan ve bu ağırlık sayesinde çevresel yüklere karşı koyabilen yapılara betonarme ağırlık yapıları denilmektedir. Bu yapılar petrol üretimi, sondaj çalışmaları ve depolanması açısından uygundur. Genellikle bu yapılar kıyılara veya fiyort gibi korunaklı alanlara kurulmaktadır. Ağırlık yapıları adında da anlaşılacağı üzere ağırlığının avantajını kullanarak çalışmaktadır bu sebeple ana malzemesi beton ve betonarmedir. (Chakrabarti, 2005). Betonarme ağırlık yapıları kıyıdan uzak ve boru hattı olmayan yerlerde, depolamanın zorunlu olarak yapılması gerektiği yerlerde tercih edilebilir. Betonarme ağırlık yapısı platformunun ağır bir güverteye sahip olduğu ve zemin durumunun yumuşak kazıklı temel için uygun olmaması durumunda 300 m' ye kadar olan su derinliklerinde sabit kule tipi platformlara ve yüzen petrol platformlarına göre daha ekonomik çözümler üretmektedirler (Reddy & Swamidas, 2014). Betonarme ağırlık yapıları yüzdürme ve taşınma sırasında kesonlar kullanılarak hareket ettirilmektedirler. Kesonlar daha sonrasında depolama alanı olarak kullanılmaktadır. Bu durum yapının kendi ağırlığı yanında ekstra ağırlık sağlamaktadır. Betonarme ağırlık yapılarının hasar görme şekilleri genellikle temel altında oluşan oyulma ve boşalmalardan kaynaklanmaktadır ve bu durumun sonucunda da yapıda göçme durumu oluşmaktadır. (Chakrabarti, 2005). Şekil 1. 6' da betonarme ağırlık yapısına ait bir örnek gösterilmektedir.



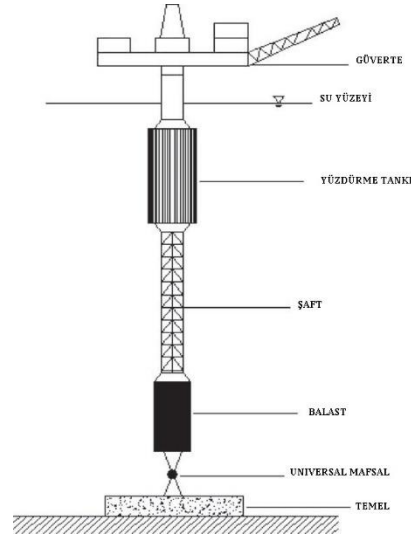
Şekil 1.6. Betonarme ağırlık yapısına ait örnek (Brutgroup, 2019)

### **1.1.5. Gergi halatlı kule tipi platform (Guyed tower)**

Gergi halatlı kule tipi platform zemine bir dizi gergi halatı ile bağlanan bir yapıdır. Bu yapılar aslında kule tipi platform yapıları altında değerlendirilebilir. Yapmış olduğu esnek hareketler ve gergi halatları sayesinde çevresel yükleri gergi halatlarına ve kendi ana taşıyıcı sistemine taşımaktadır. (Chakrabarti, 2005)

### **1.1.6. Mafsallı kule tipi platformlar (Articulated tower)**

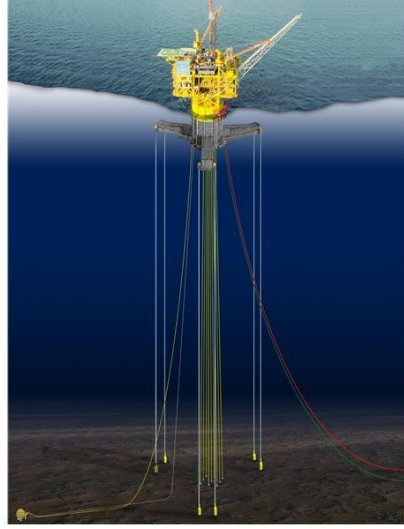
Deniz tabanında mafsala bağlanan bir yapı olan mafsallı kule tipi platform yapısı bir çeşit kule tipi platform yapısıdır. Mafsallı kule tipi platform yapısı yatay yönlerinde hareket edebilen universal bir mafsalla zemine bağlanmış dikey yöndeki hareketi kısıtlanmıştır. Temel sistemi betonarme temel veya kazıklı temellerden oluşur. Zeminde bağlantı yapılan yere yakın olan bir denge tankı su yüzeyine yakın olan bölgede de yüzdürme tankı bulunmaktadır. 150 m ile 500 m arasında ekonomik çözüm sunmaktadır (Nallayarasu, 2008). Yatay deplasmanlar sırasında geri çağırıcı kuvvet yüzdürme tankıdır. Dinamik etki kaynaklı taşıyıcı sistemde meydana gelmesi beklenen yorulma bu tarz hareketli yapılarda en önemli dayanımı azaltıcı parametredir. Şekil 1.7' de Mafsallı kule tipi platform yapısına bir örnek gösterilmiştir. (Chakrabarti, 2005)



Şekil 1.7. Mafsallı kule tipi platform yapısına (Islam, et al., 2009)

### 1.1.6. Gergi halatlı platform (Tension leg platform)

Gergi halatlı yapılar genellikle dikey olarak zemine gergi halatları ile bağlanmış olan yüzer yapılardır. Bu yapılar operasyon halindeyken yapının her köşesinden gruplandırılmış halatlar ile zeminde kazıklı veya betonarme bir temel üzerine sabitlenerek yapının deplasman kabiliyeti sınırlandırılarak daha stabil bir ortam sağlan ışı olur. Bu sayede 1000 m-1250 m' ye kadar olan derinliklerde deplasman kabiliyeti sınırlanmış olarak çalışabilmektedir. TLP, Mini TLP, Spar gibi çeşitli türde gergi halatlı platform vardır. Şekil 1. 8 Gergi halatlı platform yapısına örnek gösterilmektedir (Nallayarasu, 2008).



Şekil 1.8. Gergi halatlı platform yapısına örnek (Formulas, 2017)

## 1.2. Yüzen Yapılar

Yüzen platformlar kendi bünyesinde sondaj çalışmaları yapabilen gemi tarzında çalışan ve sondaj çalışma esnasında gerek bünyesine deniz suyu alarak dinamik konumlama veya çapalama sistemleri ile stabilitesini sağlayan yapılardır. Yüzen platformlar üretmiş oldukları petrol ve doğal gazı başka bir gemiye aktararak karaya ulaştırmaktadır. Yüzen platformlar dinamik konumlama teknolojisi kullanarak kendisini belli bir konumda sabit tutarak sondaj işlemini gerçekleştirmektedir. Çok derin sularda kullanılmaktadırlar.

## 1.3. Tasarımda Dikkate Alınan Yükler

Açık deniz yapıları çalışılan ortamın su olması sebebi ile karasal alanlarda yapılan yapılardan farklı çevresel yüklere ve bilinen yüklerin farklı davranış şekillerine maruz kalmaktadır. Açık deniz yapılarına etkiyen yükler dalga, rüzgâr, buz çarpması, gemi çarpması ve deprem olmak üzere çeşitlilik göstermektedir. (API RP2A WSD)

### 1.3.1. Dalga yükleri

Açık deniz yapıları için dalga kaynaklı yükler tasarım yapılırken en önemli yük olmakla beraber taşıyıcı sistem için en belirleyici kuvvetlerin başında

gelmektedir. Dalga kuvvetleri rüzgârın su yüzeyinde oluşturmuş olduğu hareketin, yapısal elemanlar üzerinde hem su kütlesi ve hem de bu kütleli hareketli halde yapıya etkimesinin meydana getirdiği reaksiyonlardır. Bu kuvvetlerin sonucunda da yapısal elemanlarda deplasman oluşmaktadır. Su yüzeyinde oluşan rüzgâr dalgaları genellikle tasarımın en önemli parametresidir ve dalganın periyodu 3sn-25sn aralığında kalmaktadır (U.S. Army Corps of Engineers, 2015). Su yüzeyinde oluşan rüzgâr kaynaklı dalgaların yanı sıra su yüzeyi altında kademeli olarak derinlikle değişen akıntılarda oluşmaktadır (Chakrabarti, 2005). Dalga kuvvetlerinin hesaplanmasında düzenli dalgalar ve düzensiz dalgalar olmak üzere iki farklı kabul yapılabilir. Düzenli dalgalar iki boyutlu düzlemde sabit yükseklik ve sabit dalga periyodu kabulleri yapılarak matematiksel olarak dalga mekaniğinin anlaşılmasında kullanılır. İki boyutlu olarak kabul edilen dalgalar sinüzoidal formda davrandığı kabul edilir. Küçük genlikli dalga teorisi (Airy dalga teorisi) örnek olarak gösterilebilir.

Küçük genlikli dalga teorisi (Lineer dalga teorisi, Airy dalga teorisi) olarak adlandırılan düzenli dalga teorisinde temelde dalgayı oluşturan su parçacığının herhangi bir anda herhangi bir zamanda hız ivme yer değiştirme gibi hareket denklemleri aracılığıyla kuvvet hesabı yapılır. Dalga yüksekliklerinin artması sonucunda düzenli olan sinüzoidal görünüm sivri tepeler ve kırınımlar oluşturmaya başlarlar. Ancak dalga yükseklikleri arttıkça lineer (Airy) dalga teorisi problemlere çözüm oluşturmakta yetersiz kalmaktadır.

Düzensiz dalga teorileri doğada karşılaşılan üç boyutlu dalga davranışına daha doğru tanımlamaktadır. Düzensiz dalgaların özelliklerini tanımlamak için çeşitli ölçüm teknikleri kullanılarak istatistiksel çalışmalar sonucunda gerçekçi dalga tanımlanması yakalanmış olur. Bu durumda bile dalga davranışının idealleştirilip düzenlenmesi gerekir. Cnoidal, Solitary, 2. Derece Stokes, 3. Derece Stokes, 4. Derece Stokes, 5. Derece Stokes Dalga Teorileri doğrusal olmayan davranış tanımlayabilmek adına geliştirilen teorilerdir.

Düzenli dalgaları tanımlamakta kullanılacak olan Küçük Genlikli Dalga Teorisi (Lineer teori veya Airy teorisi) mühendislik problemlerinin çoğunu doğru bir

şekilde çözmeye yardımcı olmaktadır. (U.S. Army Corps of Engineers, 2015). Dalga teorileri kullanılırken kıyıya yaklaşma durumlarındaki davranış değişiklikleri göz önünde bulundurulmalıdır. Kıyıya yaklaşan dalgalarda dalga şekli olarak farklılık oluşur bu durumda dalgaların tanımlanmasında kullanılan dalga teorilerinde yüksek dereceli dalga teorileri olmalıdır. Kullanılan bu yüksek dereceli dalga teorileri doğrusal olmayan dalga davranışını tanımlamakta kullanılır (Chakrabarti, 2005).

Dalgaların büyümesine sebep olan rüzgâr enerjisi dalgaların belli bir noktaya kadar büyümesini sağlar. Öyle bir nokta vardır ki dalga yüksekliği o noktaya geldikten sonra rüzgâr kuvveti dalga da kırınım oluşturur. Denizlerde meydana gelen rüzgâr etkisiyle oluşan dalgalar genellikle 3sn-25sn arasında olan periyotlara sahiptir. (U.S. Army Corps of Engineers, 2015).

Dalga kuvvetinin hesaplanmasında dalga hesap yöntemi seçildikten sonra Morison formülü kullanılır. Morison formülü ile birlikte hesaplanan statik kuvvetler yapısal elemanlar üzerine etki ederler. Dalga içerisinde ki su parçacığının konumunun değişmesi ile birlikte hız ve ivme değerleri de değişmektedir. Morison formülü her bir hareket süresi için su parçacığının konumuna bağlı olarak hız ve ivme değerlerini hesap ederek statik kuvvete döndürerek yapısal elemanlar üzerine etki etmesini sağlamış olur. Hesaplanan bu kuvvet hareket süresi içerisindeki en büyük kuvveti verecek değerler seçilerek hesaplanır. Dalga kuvvetleri hesap edilirken farklı standartlarda farklı geri dönüş periyotları olan maksimum dalga yükseklikleri kullanılabilirdiği gibi yapı ömrü boyunca olması muhtemel olan dalgaların tamamı da tasarım esnasında dikkate alınabilir (Reddy & Swamidas, 2014).

#### **1.3.1.1. Küçük genlikli dalga teorisi**

Küçük Genlikli Dalga Teorisi (Lineer dalga teorisi veya Airy dalga teorisi) su yüzeyinde rüzgâr etkisi ile oluşan dalgaların tanımlanmasında kullanılan en basit ve kolay çözüm üreten dalga teorisidir. Küçük Genlikli Dalga Teorisinde dalga 2 boyutlu olarak kabul edilir. Bu teoride sabit yükseklik ve sabit periyot kabulü



Burada H/2 dalga yüksekliğinin yarısını tanımlamaktadır.  $\alpha$  doğrusal dalga teorisinde dalga yüksekliği yarısına denk gelmektedir dalga genliği olarak tanımlanır. L dalga boyunu T dalga periyodunu tanımlamaktadır.

$$C = \frac{gT}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) \quad (1.2)$$

C dalga periyot, su derinliği ve dalga boyuna bağlı olarak dalga hızını göstermektedir.

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) = \frac{gT}{w} \tanh(kd) \quad (1.3)$$

$$L \sim \frac{gT^2}{2\pi} \sqrt{\tanh\left(\frac{4\pi^2 d}{T^2 g}\right)} \quad (1.4)$$

L; periyot, su derinliği ve açısal frekansa ( $w=2\pi/T$ ) bağlı olarak dalga boyunu göstermektedir. Denklem 1.4' de gösterilen yöntemde en fazla %10 hata oranıyla yaklaşık sonuç bulmada kullanılabilir.

Dalga hareketi içerisinde yer alan su parçacığının yatay-düşey hız ve ivme değerleri dalga hareketini kuvvete çevirmede önem arz etmektedir.

$$u = \frac{H}{2} \frac{gT}{L} \left[ \left( \frac{\cosh\left[2\pi \frac{(z+d)}{L}\right]}{\cosh\left[\frac{2\pi d}{L}\right]} \right) \right] \cos\theta \quad (1.5)$$

$$w = \frac{H}{2} \frac{gT}{L} \left[ \left( \frac{\sinh\left[2\pi \frac{(z+d)}{L}\right]}{\cosh\left[\frac{2\pi d}{L}\right]} \right) \right] \sin\theta \quad (1.6)$$

Parçacık hızının yatay bileşenini denklem 1.5' de parçacık hızının düşey bileşenini denklem 1.6' da göstermektedir.

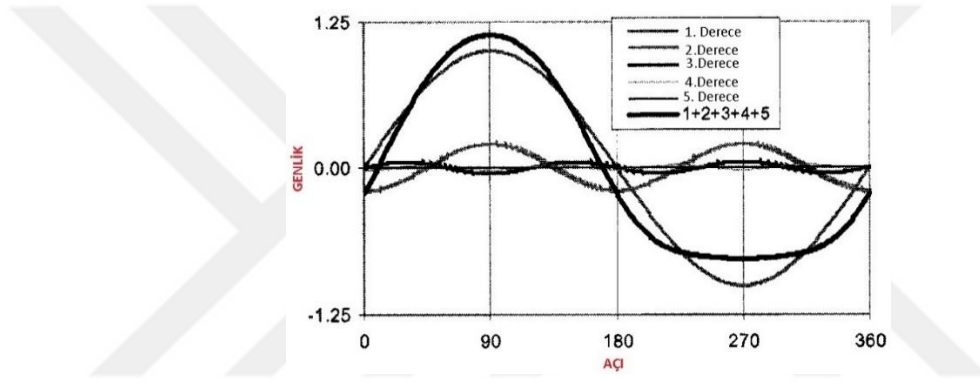
$$a_x = \frac{g\pi H}{L} \left[ \left( \frac{\cosh\left[2\pi \frac{(z+d)}{L}\right]}{\cosh\left[\frac{2\pi d}{L}\right]} \right) \right] \sin\theta \quad (1.7)$$

$$a_z = -\frac{g\pi H}{L} \left[ \left( \frac{\sinh\left[2\pi \frac{(z+d)}{L}\right]}{\cosh\left[\frac{2\pi d}{L}\right]} \right) \right] \cos\theta \quad (1.8)$$

Denklem 1.7 ve 1.8' de tanımlanan formüller ile parçacık hareketinin yatay ve düşey ivme bileşenleri tanımlanmıştır (U.S. Army Corps of Engineers, 2015).

### 1.3.1.2. 5.derece stokes dalga teorisi

5. Derece Stokes Dalga Teorisi adında anlaşılacağı üzere dalgayı tanımlayan potansiyel denklemde dalga hareketinin üst derece etkileri dikkate alınmaktadır. Bu bileşenler art arda daha küçük bir büyüklük sırasındadır. Şekil 1.10' da dalga teorilerinin mertebelerinin dalga davranışını tanımlanması üzerindeki etkisi gösterilmektedir.



Şekil 1.10. Kullanılan dalga teorilerinin mertebelerinin dalga şekline etkisi (Chakrabarti, 2005)

5. Dereceden Stokes Dalga Teorisinde daha yüksek dereceli olan teoriler aslında bir altta olan dalga teorisinin farklı frekanslarının katlarıdır. Küçük Genlikli Dalga Teorisinin yaklaşık çözüm üretebilmesinin temel nedeni de aslında tam da mertebeler arasındaki ilişkidir. Stokes dalga teorisinde olduğu gibi daha yüksek bileşenleri olan dalga teorileri daha kolay bozunuma uğrar dolayısıyla dalganın etkisi sakin su seviyesi civarında kalır. Ama şekil 1.10' da görüldüğü üzere oluşmuş olan derin çukur ve yüksek dalga tepeleri yapısal elemanlar üzerinde ciddi etkilere sahip olmaktadır (Chakrabarti, 2005). Yüksek dalgalar mühendislik tasarımı açısından büyük kuvvetler oluşturur ve bu durumdan dolayı üzerinde daha çok ilgilenilmesi gerekir. Genellikle büyük dalgalar yapısal tasarımda da dikkate alınır Genişletilmiş dalga teorileri parçacık hareketini ve kütle taşınımını daha doğru açıklamaya yardımcı olurlar. Beşinci dereceden Stokes Dalga Teorisi

hem sığ hem de derin sularda uygulamada yaygın olarak kullanılmaktadır (U.S. Army Corps of Engineers, 2015).

Stokes dalgalarında parçacık hareket yörüngesi Küçük Genlikli Dalga Teorisinden farklı olarak artık kapalı bir yörünge de değil dalga ile beraber hareket eden ve kütle taşınımına yol açan bir dairesel veya elipsel yörüngede hareket ederler.

### **1.3.2. Deprem kuvvetleri**

Açık deniz petrol platformlarının kurulacağı alanın sismik olarak incelenmesi gerekmektedir. Yapıların fay hatlarına olan yakınlığı yanı sıra bu fay hatlarından oluşmuş olan depremlerin büyüklükleri incelenmesi gerekir. Fay hatlarından çıkan depremlerin zemin içerisinde ilerlemesi sırasındaki davranışı da önem arz ettiği düşünülür. Özellikle zemin içerisinde sıvılaşma durumları incelenmelidir. Sismik alanın aktivitesi yapı üzerinde yapabilecek olduğu hasar açısından da incelenmeye alınması tavsiye edilir.

Sismik alan içerisinde kalan bir çalışma yapılması durumunda yapı ömrü boyunca karşılaşılabilecek olan en büyük depremlerin çalışması yapılması gerekliliği tavsiye edilir. Ama yapısal dizayn açısından bu depremlerin tekrar periyotları ve yapılar üzerinde bıraktıkları hasar durumları incelenerek dizayn yapılabilir. Büyük depremlerin döngü periyotlarının yapı ömrü içerisinde denk gelmesi durumu dikkate alınarak daha ekonomik tasarımlar yapılabilir. Aynı şekilde tasarımsal açıdan sık oluşan depremlerin yakın, orta, uzak deprem olma durumlarına göre yapı- zemin ilişkisi açısından incelenmesi gerekebilir. Bu durumda aynı büyük depremlerde olduğu gibi yapısal tasarımda daha ekonomik çözümler sağlayabilir. Her iki deprem durumunun dikkate alındığı durum ikili bir yaklaşım ortaya koymayı gerektirebilir.

Bu yaklaşımlar sürekli olabilecek şiddetteki depremler ve nadir olarak görülen depremler açısından yapısal incelemelerdir. Sismik olarak daha az aktif olan yerlerde eğer diğer çevresel yükler olan dalga ve rüzgâr yükleri daha zorlayıcı etkileri varsa bu yükler üzerinden tasarım yapılması deprem yükü açısından da yeteri kadar mukavemet sağlayacaktır. Örnek verecek olursak Kuzey Denizi ve

Meksika Körfezinde deprem dışındaki diğer çevresel yükler daha etkili olacağından tasarım aşamasında deprem kuvvetinin değerlendirilmesine gerek yoktur (Chakrabarti, 2005).

#### 1.4. Ölü Yükler

Ölü yükler açık deniz platformunu kurmakta kullanılan tüm taşıyıcı elemanlar ve güverteden oluşur. Güverte üzerinde bulunan yatakhaneler, tamir atölyeleri, sondaj makinaları ve tüm sondaj makinası ekipmanları, depolama tankları, jeneratörler, yemekhaneler, sağlık birimleri, helikopter pisti gibi yapının üzerinde başlangıcından sonuna kadar olacak yüklerin tamamıdır. Yapılan çalışmada platform ölü yükleri 19614 kN (2000 Ton) olarak alınmıştır.

#### 1.5. Hareketli yükler

Hareketli yükler başlangıçta olmayıp zamanla üzerinde değişebilecek olan yüklerdir. Bu yükler örnek olarak sondaj esnasında çıkarılan malzemeler, çalışan personel vb. diğer yüklerdir. Bu yükler zamanla artabilir ve azabilir hatta güverte üzerindeki konumları da değişiklik gösterebilmektedir. Çizelge 1.1' de Tasarım aşamasında kullanılacak hareketli yükler gösterilmiştir.

Çizelge 1.1. Yapı üzerinde kullanılacak hareketli yükler

Konum	Yük (kN/m <sup>2</sup> )
Depolama Alanları	20
Yürüme Yolları	5
Bağlantı Platformları	5
Galeriler	10

Bu yapılan tez çalışmasında platform üzerindeki hareketli yükler 20kN/m<sup>2</sup> olarak kabul edilip analizlerde kullanılmıştır (Nallayarasu, 2008).

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Yapılan bu tez çalışmasının konusuyla ilgili benzerlik gösteren açık deniz yapılarının analizlerini inceleyen deneysel ve sayısal çalışmalar hakkındaki bilgiler bu bölümde kısaca sunulmaya çalışılmıştır.

Zarrin vd. (2021), yaptıkları çalışmada çok noktalı itme analizi prosedürü üzerine bir çalışma hazırlamışlardır. Statik itme analizleri açık deniz yapılarının çevresel yükler altında yapılan analizlerde performans noktalarının belirlenmesinde önem arz etmektedir. Klasik itme analizlerinde ileri mod durumları göz ardı edilmektedir. Yaptıkları çalışmalarında ileri mod durumlarının değerlendirilmesi yapılmıştır. İtme analizi sonuçlarının kıyaslanmasında uzak bölge depremlerinin tepkileri ile kıyaslama yapılmıştır. Statik itme analizinde açık deniz yapılarının doğrusal olmayan davranışları hakkında fikir vermektedir. Basit ve kullanım kolaylığı itme analizini performans noktasının belirlenmesinde yaygın bir kullanım alanı sağlamaktadır. Statik itme analizi sonucunda taban kesme kuvveti ve deplasman değerlerine ulaşılması bu analizi önemli kılmaktadır. Çalışmanın sonucunda geleneksel olarak uygulanan itme analizi sonuçları birinci modun dikkate alındığı durumlarda yapının üst çaprazlarına ikinci modun dikkate alındığı analiz şekillerinde daha alt kat seviyelerinde burkulma olduğunu göstermektedir. Bu gözlem yaygın olarak öngörülen kafes tipi yapıların davranışının aksine bir davranıştır. İkinci ve üçüncü mod periyotlarının spektral değerleri sismik sürüklenmeler arasında ki istatistiksel çalışmalar temel ve taşıyıcı sistem arasında korelasyon olduğunu göstermektedir. Bu bulgu ileri mod durumlarının taşıyıcı sistem tepkisinin belirlenmesinde etkili olduğu görülmektedir. Daha yüksek mod değerlerinin etkileri platform esnekliği artırabileceği için daha yüksek mod durumlarının yapı davranışına etkisini artırabileceğine atfedilebilir. Bu nedenle zemin yapı kazık etkileşimi için modellenmenin tam doğru bir şekilde yapılması gerekmektedir. Bu nedenle ileri mod durumlarını dikkate alan bir itme analizi prosedürü gerçekleştirmek gerekmektedir.

Çelik vd. (2020), yaptıkları çalışmada aynı dalga yüksekliği altında farklı dalga periyotlarının etkisini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada üç ayrı model üzerinde çalışmışlardır. Yapılan çalışmada modeller 90 m, 150 m ve 250 m olarak tasarlamışlardır. Tasarladıkları modellerde kat içi çaprazlar kullanılmamıştır. Çalışma Sap2000 yapısal analiz programı ile yapılmıştır. Dalga analizleri Sap 2000 içerisinde bulunan dalga modeli oluşturma yöntemleri kullanılarak yapılmıştır. Dalga boyutları belirlenirken Küçük Genlikli Dalga Teorisine (Linear, Airy) bağlı kalınarak belirlenmiştir. Yapısal limitlerin belirlenebilmesi amacıyla statik itme analizi gerçekleştirilmiştir. Dalga hesaplanırken rüzgâr kuvveti ihmal edilmemiş analizlere dahil edilmiştir. Yapılan analizlerin sonucunda kütle katılım değerlerinin ileri mod durumlarında ortaya çıktığını ve bu mod değerlerinde periyotların çok az olması dalga kuvveti ile yapının rezonans yapmasının zor olduğu vurgulanmıştır. Yapılan çalışma Akdeniz bölgesi özelinde oluşabilecek olan dalga koşulları incelenmiştir. Yapılan çalışmada Akdeniz bölgesi özelinde kullanılan dalga yüksekliklerinin yapısal deplasman değerleri statik itme analizi sonuçları ile karşılaştırılmış ve elde edilen grafiklerde lineer sınırdaki kaldığı sonucuna varılmıştır. Çalışmada ayrıca dalga kuvvetinin rüzgâr etkileşimi ile beraber hesap edilmesi gerekliliği vurgulanmıştır. Yapıların modellenmesi esnasında güverte kısmının da modellenmesi rüzgâr kuvveti açısından önemli olduğu sonucuna varılmıştır.

Wang vd. (2020), yaptıkları çalışmalarında 50 m' den daha az su derinliğine sahip olan açık deniz rüzgâr türbinlerinin sabit kule tipi taşıyıcı sisteminin (Jacket) dalga ile olan ilgisini incelemişlerdir. Bu derinlikte yapılan yapılar genellikle dik ve hatta kırılma dalgalarına maruz kaldıklarını bu durumun yapı üzerinde ciddi hasarlara yol açtığını söylemişlerdir. Ayrıca dalga ile ilgili geliştirilen formüller ve hesap yöntemleri genelde tek kolonlu yapılar için geliştirilmiş sabit kule tipi platform yapıları ile ilgili olarak uygun olup olmadığının belirsiz olduğu belirtilmiştir. Yaptıkları çalışmalarında analitik modeller ile deneysel modeller arasında ilişki yakalamaya çalışmışlardır. Morrison denkleminin sabit kule tipi platform yapıları için geçerliliği araştırılmıştır. Morrison denkleminin kırılma olmadan dik dalgalar için çok iyi sonuç verdiği söylemektedirler. Kırılma dalgaları için hesaplanma şekli yarı statik ve darbeli çarpma kuvveti bileşenine

ayrılarak hesaplanacağını söylemektedirler. Yarı statik kuvveti Morrison denklemi ile doğru şekilde hesaplamaktadırlar. Yaptıkları çalışmalarında kırılan dalganın yapı ile olan ilişkisini incelemeyi ve aralarında bir ilişki saptamayı amaçlamışlardır. Yaptıkları çalışmada 1:8 ölçekle yapılmış olan deney sonuçlarını incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmalarında Morrison dekleminin kırılmayan dalgalar için geçerliliğini deneysel olarak incelemişlerdir. Araştırmalarının sonucunda Morrison denkleminin doğruluğunu ve geçerliliğini vurgulamışlardır. Burada önem verdikleri nokta doğru dalga kinematiğinin uygulanmasıdır. Ayrıca yarı statik dalga kuvveti ve çarpma kuvveti olarak iki ayrı eksen de tanımlanan dalga yaklaşımının da sonuç verdiği vurgulanmıştır.

Yan Ji vd. (2016), yaptıkları çalışmalarında açık deniz petrol arama platformlarının korozyon ve yorulma çatlağının çökmeye sebep olduğu eski sabit kule tipi yapılar üzerine deneysel ve sayısal bir çalışma ortaya koymaktadırlar. Deneysel hem korozyon etkileri hem de çatlak etkileri dikkate alınarak sağlam bir yapı ile karşılaştırılmıştır. Hasarlı sabit kule tipi yapılarda davranış modlarının değişeceği tahmininde bulunmuşlardır. Deneysel sonuçları doğrulamak amacıyla sonlu elemanlar programının da doğrusal olmayan analizler yapılmıştır. Tasarım ömürlerinin sonuna yaklaştığında yapıların tekrar yorulma analizleri ile birlikte değerlendirilmesi gerekliliği vurgulanmıştır. Yeniden değerlendirme sonucunda yapı ömrü uzatma olasılığı olabileceği vurgulanmıştır. Yapılan deneylerde kıyaslama yapılabilmesi adına herhangi bir hasarı olmayan modelden elde edilen deney sonuçlarına göre 35 kN kadar olan itmenin sonucunda lineer davranış gözlemlenmişler 40 kN'a gelindiğinde ise yapı üzerinde belirgin deplasman olmaya başlamış 45.7 kN 'da ise yapısal elemanlar plastik şekil değiştirme yapmışlardır. Yaklaşık 110 mm yatay deplasman ve 25 kN yük altında kurulan deney düzeneği yıkılmıştır. Yapılan deneyde yapısal elemanlarda çatlak olması durumunun incelendiği deney numunesinde ise yüklemenin 26.5 kN'a kadar devam ettiği ve bu değerden sonra yapısal elemanlar üzerinde plastik deformasyon olduğu 31.5 kN olduğu anda ise daha fazla yük alamayıp deney düzeneğinde yatay deplasman devam edip yük değeri yükselmekte olduğu anlatılmıştır. Yatay deplasmanın arttığı yükün artmadığı durumda yapısal elemanlarda çatlakların hızla yayıldığı görülmüştür. Yapılan deneyde korozyon etkisinin incelendiği deney modelinde

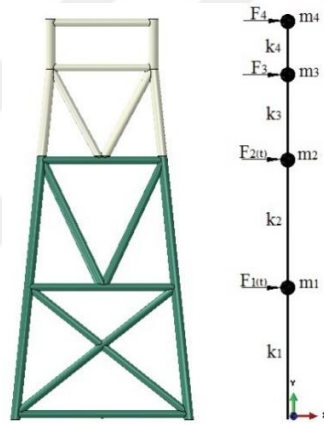
33.4 kN'luk yatay kuvvet alabildiği daha sonrasında yükte azalma olduğu görülmüştür. Yatay deplasman artarken yapı elemanları üzerinde ciddi oranda çatlak artımı görülmektedir. Yapılan deneyde korozif etkilerin yapının göçme modunu ve gerilme yığılmalarını etkilediği görülmüştür. Yapılan tüm deneyler sonlu elemanlar programı ile kıyaslanmıştır. Analizler sonucunda grafikler incelendiğinde çatlak etkisi olan yapı korozif etkilerin olduğu yapıya göre daha rijit başlamış ama son alabildikleri yük açısından bakıldığında da korozif etkilerin olduğu yapı daha fazla yük alabilmiştir. Herhangi bir yapısal bozulma olmayan deney modelinin sonuçları ile diğer deney modellerinin sonuçları arasında %33 civarında bir yük alabilme kapasitesinde azalma olduğu görülmüştür. Bunun yanında yapılan deneyler sonlu elemanlar programı ile de kıyaslanmıştır. Yapılan kıyaslama sonucunda sonlu elemanlar programı ile yapısal elemanlarda herhangi bir bozulmanın olmadığı modelde en son taşınabilecek yük değeri aynı olmasına rağmen sonlu elemanlar programında yapılan modellemede daha rijit bir davranış grafiklerden okunmaktadır. Yapılan deneylerde sonlu elemanlar programındaki sonuçlar ile yapısal elemanlarda çatlak ve korozyon olduğu durumlar kıyaslandığında ise sonlu elemanlar programındaki sonuçların daha yüksek değerlere sahip olduğu görülmektedir. Yapılan çalışmanın sonucunda korozif etki ve çatlak etkilerinin yapının taşıyıcı sistemi üzerinde aynı anda olabileceği vurgulanmış ve bu durumda yapının daha yıkıcı tehlikeler oluşturabileceği söylenmiştir. Aynı zamanda yapısal elemanlar üzerinde oluşan hasarların yapının göçme modunu etkilediği söylenmiştir.

Srikanth (2016), yaptığı tez çalışmasında sabit açık deniz platformlarının yapısal davranışı üzerine çalışmıştır. Yaptığı çalışmayı SACS (Offshore Structure Design and Analysis Program) programı ile yapmıştır. Farklı çaprazlama teknikleri altında yapısal davranışa dalga ve sismik yüklerin etkisi incelenmiştir. Yaptığı modellemede yapı zemin etkileşimi dikkate alınmıştır. Sabit mesnet kabulü ile yapı zemin etkileşimi kıyaslanmıştır. Analizlerde kolon eğimi üzerinde de çalışma yapılmış ve %16 olarak optimum değer bulunmuştur. Yapılan çalışmada bu kolon eğiminde yapılan çalışmada %2 daha hafif olarak çözülmüştür. Yaptığı çalışmada çaprazlama şeklinin çok fazla etki etmediği statik itme analizinde çapraz elemanların hemen hemen aynı yük değerinde burkulduğunu söylemektedir.

Srikanth vd. (2016), yaptıkları çalışmada Kuzey denizi ortamı için sabit platform taşıyıcı sistemi için doğrusal olmayan itme analizi yapılmıştır. Yapı sonlu elemanlar programı SACS (Offshore Structure Design and Analysis Program) kullanılarak modellenmiştir. Yaptıkları çalışmada farklı çapraz sistemleri kullanımının yapısal davranışa etkisi incelenmiştir. Dalga ve sismik yükler altında dinamik ve statik itme analizleri yapmışlardır. Kazıklı temellere sahip olan sabit platformlar sismik kuvvetlerin şiddetine bağlı olarak yapıyı zorlayacak yatay kuvvet oluşturabilir. Bu nedenle sabit platformların tasarım aşamasında dinamik analiz önem kazanmaktadır. Bu çalışmada tipik bir dört bacaklı platformun ilk olarak statik ve dinamik dalga analizi yapılmıştır. Deprem analizi yapılırken zaman tanım alanı yöntemi kullanılmıştır. Son olarak dalga ve deprem yükleri kullanılarak doğrusal olmayan itme analizi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca kolon eğimleri  $3^{\circ}$ - $14^{\circ}$  arasında değiştirilerek ağırlık optimizasyonu yapılmıştır. Modelleme çalışması yapılırken zemin etkisinin dikkate alınabilmesi için yay sabitleri yöntemi kullanılmıştır. Sayısal analiz programında zemin değerlerinin tanımlanması için yay sabitleri P-Y, Q-Z, T-Z eğrileri kullanılmıştır. API standartlarında belirtildiği gibi 4 ayaklı bir yapıda minimum 8 yönde dalga geliş açısı belirlenmelidir ve bu çalışmada bu durum dikkate alınmıştır. Yapılan çalışmaların sonucunda yapının doğal frekansı 2.9sn civarında bulunmuştur ve bu değer için sabit platformlar için ideal olduğunu söylemiştir. Analizlerde sabit mesnet kabulü yapılarak uygulanan analizler ile yapıya temel sistemi tanımlandığı andaki analizler arasında dinamik dalga kuvveti sonucu oluşan tepki %35 daha fazladır. Kazıklı temel tasarımı yapıya dinamik dalga kuvveti altında yatay deplasman serbestliği vermiştir. Taban kesme kuvveti ve devrilme momenti değerleri zaman tanım alanında yapılan analiz sonuçlarında response (tepki) spektrum analizinden elde edilen kuvvetler ile kıyaslandığında %25 daha fazladır. İlk elemanda meydana gelen kırılma anı yapı tasarımında kullanılan çapraz şekillerine bağlı değildir. Farklı çaprazlama şekilleri kullanıldığında karşılaşılan ilk elemanın plastikleşme durumuna geçmesi durumu farklı çaprazlama şekillerinde de hemen hemen yakın değerler göstermektedir.

Gücüyen ve Erdem (2016), yaptıkları çalışmada kafes tipi taşıyıcı alt yapısı olan bir platformun iki yönlü akışkan yapı etkileşimi yapılmıştır. Yapılan çalışmada

etkileşim sonucunda dinamik ve modal davranış üzerine çalışılmıştır. Yaptıkları çalışmada 62.5 m yükseklikte 4 kattan oluşan taşıyıcı sistem oluşturmuşlardır. Yapısal taşıyıcı eleman olarak silindirik elemanlar tercih edilmiştir. Kolonlar eğimli olarak tasarlanmıştır. Çalışmada Eurocode kullanılarak rüzgâr profili oluşturulmuş, dalga parçacık hızları Linear Dalga teorisi kullanılarak hesaplanmıştır. Yapının çevresel yüklerin altında analizi yapılırken Abaqus programı kullanılmıştır. Abaqus programında her bir katın maksimum deplasman değerlerine ulaşılmıştır. Ayrıca modal analiz sonucunda yapının ilk 4 modu da belirlenmiştir. Yapılan çalışmada yarı analitik çalışma ve Abaqus programı arasında kıyaslama yapılmıştır. Şekil 2.1' de Yarı analitik model ve Abaqus programında kullanılan model gösterilmiştir. Yarı analitik model kullanılırken her bir kat içerisinde bir çubuk eleman üzerine kütle tanımlamaları yapılmaktadır.



Şekil 2.1. Yarı analitik model Abaqus Modeli

Çalışmalarının sonucunda çevresel yüklerin deniz ortamında yapısal elemanların dikkatli belirlenmesi gerekmekte olduğu projelendirme ve çalışma esnasında karşılaşılan zor çevresel durumlara karşı koyabilmesi gerekliliği vurgulanmıştır. Yarı analitik model ve bilgisayar programı modeli arasında deplasman değerleri, gerilme değerleri ve modal analiz sonuçları arasında belirli bir uyum görülmüştür. Yapı boyutu arttıkça artan nokta ve eleman sayıları sonlu elemanlar çözümünü güç bir hale getireceğinden sadece yapısal sonuçlara ihtiyaç duyulduğunda yarı analitik modelin kullanılmasında herhangi bir problem olmadığı sonuç kısmında bahsedilmiştir.

Nguyen ve Sinsabvarodom (2015), yaptıkları çalışmalarında sismik etkiler altında yapısal çapraz elemanların yapı performansını incelemiştir. Yaptıkları çalışmada X tipi, V tipi ve tek yöne olacak şekilde 3 adet çapraz şekli kullanılmıştır. Yaptıkları çalışmada lineer olmayan statik analiz yapılmış itme analizi ile de yapının performans noktası belirlenmiş. Ayrıca yapı itme analizi yapılırken yapı üzerinde oluşan plastik şekil değiştirme noktaları belirlenmiştir. Yapılan çalışmada çevresel yükler arasından özellikle deprem kuvvetleri altında incelenmesi yapılmıştır. Yapılan analiz sonucunda yapının kapasite değerleri çıkarılmıştır. Çalışmanın sonucunda elde edilen kapasite grafikleri sonucunda X tipi çapraz sistemi olan yapının diğer V tipi ve tek yöne çaprazları olan yapılara göre daha fazla kapasiteye ulaşabilmiştir.

Abhinav ve Saha (2015), yaptıkları çalışmada açık deniz rüzgâr türbini taşıyıcı sistemi üzerine zemin etkisinin dikkate alındığı dinamik çalışma yapmışlardır. Yapılan çalışmada mevcut olan tek kazıklı (monopile) olarak adlandırılan taşıyıcı sistemin zemin etkileşimi üzerine olmuştur. Yumuşak-orta sert- sert kil tabakaları dikkate alınarak çalışma yapılmıştır. Zemin kazık boyunca tanımlanan yay sabitleri tarafından oluşturulmuştur. Yay sabitleri hesaplanmasında P-Y, Q-Z, T-Z eğrileri kullanılmıştır. Rüzgâr kuvveti ve dalga kuvveti etkisi altında analizler yapılmıştır. Yumuşak kil durumunda açık deniz rüzgâr türbini yapısının periyodu artırdığı için yapının rezonansa girmesi kolaylaştığı anlatılmıştır. Çalışmada düşünülen 5 m, 6 m, 7 m olan kazık çapları sonucunda açık deniz rüzgâr türbini taşıyıcı sisteminde kazık çapının artmasıyla beraber yanal deplasmanda azalma olmuştur. Çalışmanın sonucunda yumuşak zeminlerde yanal deplasmanlar artmaktadır. Ayrıca sert killerde değişen kazık çaplarında yapı nispeten daha rijit bir davranış sergilemektedir.

El Din ve Kim (2014), yaptıkları çalışmada sismik hareketler sonucunda kazıklı temel üzerindeki sabit kule tipi platforma etkisi incelenmiştir. Çalışmada 3 ana değişken üzerinde durulmuştur bunlar; zemin kazık etkileşimi, sabit kule tipi platform modellemesi ile ilgili olan belirsizlikler, yer hareketleri ile ilgili olan belirsizlikler olmak üzere sıralanmıştır. Yapılan çalışmanın amacı proje aşamasında hangi belirsizliklerin dikkatle incelenmesi gerekliliği olduğu söylenebilir. Yapısal performansı etkileyen belirsizlikler ya rastgele olmakta ya

da tahmin yöntemleri kullanılarak ön tahmin yapılabilecek yüklerdir. Yapısal tasarım yapılırken belirsizliklerin ortadan kaldırılması yapının daha ekonomik olarak tasarlanabileceğini vurgulamaktadırlar. Yapılan çalışmada doğrusal olmayan dinamik analiz yapılarak Tornado diyagramı (TDA) ve Birinci Dereceden İkinci Moment (FOSM) yöntemleri kullanılmıştır. TDA 'da belirsizliklerin bir alt bir de üst değeri alınarak karşı gelen cevaplar seçilerek değerlendirmeler yapılır. Bu yapılarda salınım olarak adlandırılır ve bunlar arasındaki farklar bir duyarlılık ölçüsü olarak kabul edilir. FOSM yönteminde girdi parametrelerinin ortalaması ve standart sapması hesaplanır ve yapınıniki basit hesaplama ile hesap edilir. Bu yapılan çalışmada belirsizlik olarak belirtilen kazık zemin ilişkisi içerisinde eksenel kazık sürtünmesi, kazık ucu yatağı, kazık çakılmasından bu yana geçen zamanın etkisi ve kazık çakma sırasında yüklemenin döngüsel doğası olduğu vurgulanmıştır. İkinci belirsizlik olarak belirtilen sabit kule tipi platform hakkındaki belirsizler ise yapısal kütle, sönüm oranı, yapısal elamanların akma dayanımı, elamanların elastisite modülü ve plastik mafsallık noktaları olarak söylenebilir. Son belirsizlik ise depremin doğasından kaynaklanmaktadır. Çalışmanın sonucunda deprem kaynaklı belirsizliğin diğer belirsizliklere göre daha belirleyici olduğu söylenmiştir. Kazık zemin etkileşimi belirsizliğinin yapısal davranış üzerinde etkisi ortalama olarak belirlenmiştir. Yapısal sönüm, kütle ve plastik mafsallık özellikleri yapısal davranış üzerinde etkili olduğu vurgulanmıştır. En büyük tepe deplasmanı deprem belirsizlikleri altında ortaya çıkmıştır.

Maske vd. (2014), yaptıkları çalışmada sismik olarak aktif alanlara yapılan platformlarda deprem etkisi altında yapıda tam göçme olmadan hizmet edebilir durumda olacak şekilde tasarlanması gerektiğini savunmaktadırlar. Açık deniz yapıları sismik etkiler dikkate alınarak yaptıkları çalışmada analizle dinamik olarak yapılmıştır. Bu çalışmalarına Basra Körfezinde kurulmuş olan bir platform modellenmiş ve dalga kuvveti ile deprem kuvveti eş zamanlı olarak etki edilmiştir. Yapılan çalışma Ansys programı kullanılarak yapılmıştır. Yaptıkları çalışmanın sonucunda açık deniz yapılarının tasarımında doğrusal olmayan davranışların incelenmesi gerekliliği anlaşılmıştır. Ayrıca deprem ve dalga

kuvvetinin birleşik olarak etki ettiği duruma kıyasla sadece deprem veya sadece dalga kuvvetinin etki ettiği durumdaki yapısal deplasmanlar daha azdır.

Abdel Raheem (2013), yapmış olduğu çalışmada Jacket structures yapılarının tasarlanırken dikkat edilmesi gereken kuvvetin dalga kuvveti olduğunu düşünmektedir. Ekonomik ve güvenilir bir tasarım için dalga kuvveti tahminin önemli olduğunu söylemektedir. Yapmış olduğu çalışmada dalga hareketine sebep olan parçacıkların kütle taşınımı etkisini de dikkate alabilmek için 5. Dereceden Stokes Teorisini kullanmıştır. 5. Dereceden Stokes Dalga Teorisi ile hesap edilen dalga kuvvetleri yapıyla elemanlar üzerine Morrison denklemi ile statik kuvvet olarak etki ettirilmiştir. Yapmış olduğu çalışmada yapısal model Kızıldeniz'de mevcut olan bir yapıdan esinlenilmiştir. Yapılan çalışmada yapı ile dalga yaklaşma açısı arasında farklılıklar oluşturarak yapısal deplasman durumları incelenmiştir. Ayrıca 1 yıllık ve 100 yıllık olmak üzere iki ana dalga tanımlaması yapmıştır. Sonuç olarak delme ve sondaj işlemleri sırasında yapı sondaj aksını her durumda korumalıdır. Çevresel yüklerin tahmini yapının kurulacağı sahaya özgün olup yapılan çalışmalarda her bir montaj sahası kendi içerisinde değerlendirilmelidir. Genel olarak bir yapının dinamik gerilim genliğinin %15 oranında azaltılması yapısal elemanların ömrünü iki kata kadar artırabilir. Yapı tabanında oluşan deplasman ile güverte hemen altında oluşan deplasman arasında ki büyük göreceli yer değiştirme durumu sondaj aksında ve yapısal taşıyıcı elemanlar üzerinde ciddi sorunlar ortaya çıkartacağı için en istenilmeyen durum olarak anlatılmıştır. Hazırlanmış olan makalede son olarak tasarlanan Jacket yapılarının nonlineer davranışının doğru bir şekilde gerçeğe en yakın yükler ile tasarlanması gerekliliği vurgulanmaktadır.

Raheem ve Abdel Aal (2013), yapmış oldukları çalışmada Açık Deniz Yapılarının maksimum şiddetteki yükler altında tasarlanması gerektiğini ve optimum performans noktasının belirlenmesinde bu yaklaşımın kullanılması gerektiğini savunmuşlardır. Durgun su koşullarında ve maksimum dalga koşullarında karşılaşılabilecek olan yükler doğrultusunda tasarımların yapılması gerekliliği anlatılmıştır. 5. Derece Stokes Dalga teorisi seçilerek birçok birleşik dalga etkisi dikkate alınmış ve parçacık kütle taşınımı da seçilen dalga teorisi ile birlikte dikkate alınmış bulunmaktadır. Dalga kuvvetleri yapısal elemanlara Morrison

denklemleri ile statik kuvvet olarak yüklenilmiştir. Sap2000 statik analiz programı ile bu çalışma yapılmış ve dalga kuvvetleri hesaplatılmıştır. Kızıldeniz’de bulunan mevcut bir platform dikkate alınarak tasarım ve modellemeler yapılmıştır. Dalga kuvvetleri hesaplanırken dalga yaklaşma açısı sırasıyla 0°, 45°, 90°, 135°, 180° yaklaşma açılarından ayrı ayrı etki edilerek davranışsal olarak farklı yaklaşma noktaları sonucunda yapısal deplasman kontrolü yapılmış bulunmaktadır. Yapılan çalışmanın sonucunda platform ömrü boyunca sağlıklı bir şekilde çalışabilmesi için ilk tasarım aşamasında çevresel yük ve bu çevresel yüke bağlı olarak kesit şekil ve tasarımsal optimizasyonların dikkatle incelenmesi ve karar verilmesi gerekmektedir. Platform alt taşıyıcı çelik sisteminde görece olarak katlar arasında deplasmanların oluşması sondaj aksının çalışmasını zorlaştırmaktadır ve bu durum istenilmemektedir. Yapılmış olan çalışmada taşıyıcı sistem elemanlarının her birisi aksel kuvvet, moment, kesme kuvveti ve yapısal elemanların düğüm noktalarının deplasmanları incelenmiştir. Doğal titreşim modları dikkate alınarak çalışma yapılmıştır. Çalışma sonucunda dalga akım geliş açısının değişmesi yapısal elemanların düğüm noktalarında deplasmanı yapı tabanından üst noktalarına doğru doğrusal olmayan bir şekilde arttırdığı görülmüştür.

Mohan vd. (2013), yaptıkları çalışmada Mumbai havzasında bulunan bir petrol platformunun hem operasyonel hem de nihai sınır durumunu statik olarak incelemişlerdir. Strucad analiz programı kullanılarak yapılan çalışmada tipik bir sabit platformun performansı incelenmiştir. Mevcut olan yapının incelenmesi sırasında yapıya etki eden operasyonel ve çevresel yükler tam bir şekilde modellenerek kullanılmıştır. Dalga kuvvetleri Morrison Denklemi ile elemanların her birisi üzerine statik kuvvet olarak etkilmiştir. Çalışma sonucunda araştırmanın önemli bulguları arasında yaklaşık olarak elle yapılan hesap ile bilgisayar programı arasında %4 kadar bir fark olduğu ortaya çıkmıştır. Ayrıca maksimum momenti oluşturan yük kombinasyonu ile analizlere devam edilmesi maksimum kapasiteyi sağlamaktadır.

Raheem vd. (2012), yaptıkları çalışmada dalga kuvveti etkisi altında tasarımın ekonomik ve güvenilir bir tasarım için gerekli olduğunu söylemişlerdir. Dalga kuvvetleri altında sabit bir açık deniz yapısının doğrusal olmayan davranışı analiz

edilmiştir. Dalga kuvvetleri Morrison denklemi kullanılarak yapı üzerine statik kuvvet olarak etki etmiştir. Dalga kuvvetleri sonucunda yapısal taşıyıcı elemanlar üzerinde oluşan moment aksenal kuvvet ve kesme kuvveti değerleri yapının çalışma süresince görevini yerine getirebilmesi için araştırılmıştır. Yapılan araştırmada Apı standartlarında belirtilen 1 yıllık ve 100 yıllık geri dönüş periyodu olan dalgalar için analizler yapılmıştır. Genelde yapılan çalışmalarda statik su kuvveti yaklaşımının kullanıldığını ama yapısal olarak yüksek ve daha esnek yapılar tasarlanırken dinamik davranışın önem kazandığı söylenmektedir. Yapılan analizlerde 1 yıllık ve 100 yıllık geri dönüş periyodu olan dalgaların maksimum deplasman değerleri elde edilmiştir. Akım ve dalga yönünün birbirinden sapması deplasmanları azalttığı görülmüştür. Platform taşıyıcı sisteminde sondaj aksı üzerinde katlar arasında görece olarak farklar oluşması istenmediği vurgulanmıştır. Çalışmanın sonucunda platformların çalışma ömürleri boyunca karşılayacağı kuvvetlere karşı vereceği tepkileri yeterli şekilde karşılaması gerekliliği ayrıca sondaj aksında yanal deplasmanda görece farkların çok fazla olmaması gerektiği vurgulanmıştır. Platformun çalışacağı bölgeye özel çevresel koşullar her platformun kurulacağı bölge de kendi içerisinde teker teker değerlendirilmeli ve tasarımın bu doğrultuda yapılması vurgulanmıştır. Genel olarak bir platformda ki dinamik yük genliğinin %15 oranında azaltılması yapı ömrünü 2 katına kadar çıkardığı söylenmiştir. Platformların tasarım aşamasında doğrusal olmayan analizlerinin yapılması ve çevresel koşulları bulunduğu bölgeye göre tanımlanması gerekliliği vurgulanmıştır.

Bargi vd. (2011), yaptıkları çalışmalarında tipik bir açık deniz platformunun kazık temelle modellemesi yapılmış ve aynı anda etki eden deprem ve dalga kuvvetleri altında analizi yapılmıştır. Analizler Ansys programı kullanılarak yapılmıştır. Mevcut Basra körfezinde bulunan bir petrol platformundan yola çıkmışlardır. Çalışmalarında sismik olarak aktif olan bölgelerde kurulan petrol arama platformlarının birleşik yük etkisi altında davranışını incelemişlerdir. Kurulan modelde 6 ana taşıyıcı kolon vardır. Yapılan çalışmada su derinliği 70.2 m'dir. Yapısal taşıyıcı elemanlar dairesel kesitlerde seçilmiştir. Yaptıkları çalışmada yapı zemin etkileşimi dikkate alınmıştır. Yaptıkları çalışmanın

sonucunda deprem ve dalga yüklerinin birlikte etki duruma göre sadece deprem yükünü etki duruma göre daha fazla deplasman yaptığı bulunmuştur.

Irmawan vd. (2011), yaptıkları çalışmada Endonezya özelinde inceleme yapmışlardır. Yaptıkları çalışmada açık deniz yapılarının Endonezya'da kullanılan deprem kuvveti yaklaşımının alışıla gelen yapısal şekillerden farklı olduğunu ve bu durumun Apı standartlarında belirtilen deprem tasarımı için gerekli olan geri dönüş periyodu ile kendi ülkelerindeki deprem yönetmeliklerinde belirtilen deprem geri dönüş süresi arasındaki farkı incelemişlerdir. Apı standartlarında belirtilen deprem geri dönüş süresinin 800 yıl olduğunu buna karşılık Endonezya'da deprem geri dönüş süresi 500 yıl alınması arasındaki farkı incelemişlerdir. Modellemelerini SACS programı üzerinden yapmışlardır. İtme deplasman grafikleri çıkartarak yapısal performans noktalarını belirlemişlerdir. Doğrusal olmayan analizler ile yapısal davranışın gerçeğe yakın bir şekilde analiz edilmesi sağlanabileceği sonucuna varılmıştır. Ayrıca dinamik itme analizinin açık deniz yapılarında performans noktasının belirlenmesinde etkili olduğu vurgulanmıştır.

Komachi vd. (2011), yapmış oldukları bu çalışmada mevcut bir yapıda yapısal sürtünmeli sönümleyiciler kullanarak deprem kuvvetleri etkisinde açık deniz yapılarının titreşim kontrollerini sağlamaya çalışmışlardır. Yapmış oldukları çalışmada açık deniz yapılarını temelde üç ana parçaya ayırmıştır. Kazıklı temel, taşıyıcı sistem ve güverteden oluşan bu tanımlama yapısal davranış açısından kolay bir tanımlama sağlamaktadır. Açık deniz yapıları konumlandıkları yerlerde genellikle sert çevre koşulları olan dalga, akıntı, rüzgâr, deprem gibi çeşitli kuvvetler sonucunda yer değiştirme hareketi yapmak istemektedir. Bu deplasman talebi sonucunda da yapı temel sistemi de dahil olmak üzere ötelenme olmaktadır. Dinamik yükler zamanla değişen büyüklüklerde yapı üzerinde etki ettiklerinden dolayı yapı ömrünü de belirlemektedirler. Güçlü ve sürekli dinamik yüklere maruz kalan açık deniz yapılarında yapıya etki eden dinamik çevresel yükleri sönümlemek veya azaltmak gerekmektedir. Yapı tasarımı yapılırken dikkate alınan dinamik kuvvetlerde zamanla karşılaşılan temelde bazı problemler olabilir bunlar; eksik ve yetersiz alınmış dinamik kuvvet, sünek tasarlanmamış yapı, kullanım ömrü boyunca meydana gelen hasar-yorulma-

korozyon etkileridir. Yapılan çalışmada dikkat çeken ayrıntılardan birisi de yapı üzerine etki eden hidrodinamik kuvvetlerin %15 oranında azaltılması durumunda yapı ömrünün iki kata kadar artabilecektir. Yapılan çalışma sonucunda sürtünmeli sönümleyicilerin kullanılmasında kullanılmış olan uzak ve yakın deprem ivme analizi sonucunda sürtünmeli sönümleyicilerin yapının güverte deplasmanında azalmaya sebep olduğu görülmüştür. Bu çalışmada mevcut yapılarda güçlendirme amacıyla ekonomik bir sonuç ortaya koymaktadır.

Toğan (2009), yapmış olduğu tez çalışmasında açık deniz yapılarının güvenilirlik analizi üzerine eğilmiştir. Yapılan çalışma mühendislik yaklaşımını en önemli noktalarından olan ekonomiklik ve kesit optimizasyonu üzerine yapılmıştır. Bir sistemin tasarımıda çeşitli algoritmalar kullanılarak maliyetler en aza indirilmeye çalışılır. Genellikle kullanılan algoritmalar yük, malzeme kesit ve sistem geometrisi vb. arasında sıkışıp kalmıştır. Gerçekte yapılan bir projede ve yapı ömrü boyunca karşılaşılabilecek yükler açısından belirsizlik vardır ve bu belirsizlik istatistikî çalışmalar ile gerçek hayata ve mühendislik yaklaşımına entegre edilebilir. Yapılan çalışmada Fortran programı aracılığı ile bir programlama dili kullanılarak açık bir yazılım yardımıyla çeşitli değerlendirmeler yapılmıştır. Bu amaçla optimizasyon işlemi için ardışık ikinci dereceden programlama, diferansiyel gelişim yöntemi, güvenlik metodu olarak birinci dereceden güvenilirlik yöntemi ve tersine güvenilirlik yöntemleri kullanılarak kodlar yazılmıştır. Yapılan çalışmanın amacına uygun olarak maksimum dalga yüksekliği maksimum güverte yükü ve kendi ağırlığı altında 3 ayrı şekilde tasarlanan açık deniz tipi yapının belirsizliklerinde hesaplara dahil edilmesiyle eleman güvenirligi baz alınarak kesit optimizasyonu yapılmıştır. Yapılan çalışmanın sonucunda belirsizlikleri dahil edilmesi durumunda yapı ağırlığının daha fazla olduğu söylenmiştir. Optimizasyon yapılırken belirsizliklerin dahil edilmesi sonucunda tersine güvenlik yönteminin hem yaklaşım hemde analiz ve işlem süresi bakımından daha kısa dolayısıyla avantajlı olduğu söylenmiştir.

Kımaeî vd. (2004), yapmış olduğu çalışmada Sabit açık deniz platformlarının kazıklı temel sistemlerinin sismik davranışı üzerine inceleme yapmıştır. Açık deniz platformları tasarlanma aşamasında doğrusal olmayan toprak davranışları

sonucunda yapısal elemanlarda oluşabilecek olan doğrusal olmayan eleman davranışları dikkate alınmalıdır. Yapılan çalışmada sismik olarak aktif alanlarda kurulan platformların tasarımında yapı kazık zemin etkileşimi en önemli parametrelerden olduğu belirtilmiştir. Yapı kazıklarının dinamik analizinde yapı kazık zemin etkileşimini BNWF modeli ile kurmuşlardır. Yapılan çalışmada toprak kademeli olarak farklı malzemelerden oluşacak şekilde tasarlanmıştır. Yapılan çalışmada kazık ve zemin arasındaki boşluklar dikkate alınmıştır. Yapılan çalışmada çeşitli zemin ivmelerinde kazık ve yapısal eleman deplasmanları kontrol edilmiştir. En iyi sonuçların 0.05g ve 0.2g arasında olduğu bulunmuştur.

Mostafa ve Naggar (2004), çalışmalarında kazıklı temel tasarımı yapılan bir platformu incelenmiştir. Dalga ve akıntı yüklerinden kaynaklanan dinamik yanal yüklerin karşılanmasında kazıklı temeller yaygın olarak kullanılır. Yatay kuvvetlere karşı verilecek yapısal cevap temel tasarımından temel elemanlarının malzemesinden etkilenmektedir. Yapısal tepkiyi etkileyen diğer bir noktada da yapının konumlandırıldığı zemin ve yapı temel sistemi arasındaki ilişkidir. Çalışmalarında zemini tanımlayacak yay sabitleri kullanılmıştır. Yay sabitlerinin değerlerinin hesaplanmasında p-y ve t-z eğrileri kullanılmıştır. Yapı tepkisini etkileyecek çeşitli parametreleri incelemişlerdir. Yapılan çalışma Kuzey Denizi Norveç bölümünde yapılmıştır Su derinliği 190m olan bir alanda yapılmıştır. Dört köşede bulunan ana taşıyıcı eleman etrafında 4 adet kazık üzerine toplamda 16 adet kazıktan oluşan temel sistemi ile zemine bağlanmıştır. Kazık zemin kazık etkileşimi dikkate alındığında kazık grupları ve platformun tepkisini genel manada etkilediği görülmüştür. Kazık zemin kazık etkileşiminin dikkate alınması durumunda yapı üst noktasındaki bir noktayı yer değiştirme, hız ve ivmenin %15 oranında arttığı görülmektedir. Kazık zemin kazık etkileşimi dikkate alındığında eksenel kuvvet, kesme kuvveti ve eğilme momenti değerleri sırasıyla yaklaşık olarak %50, %45, %115 arttığı görülmektedir. Kazık zemin kazık etkileşimi dikkate alınması durumunda kazık aksında meydana gelen maksimum bükülme momentinin olduğu derinlik 12.5 m iken etkileşim göz ardı edildiğinde karşılaşılan derinlik 15 m olmaktadır. Zeminin dinamik direnci dikkate alındığında ise eksenel kuvvet, kesme kuvveti ve eğilme momenti sırasıyla %10, %50 ve %60 oranında azalmıştır. Dinamik toprak basıncının dikkate alınması

durumunda kazık başlarında yatay deplasmanı %70, dönmeyi de %80 oranında azalttığı görülmektedir. Güçlü zeminde ve gevşek zeminde yapılan iki farklı çalışmada yapı üst noktası deplasmanı %30 oranında artmasına sebep olmuştur. Ayrıca kazık başlarındaki deplasman ve dönme de sırasıyla %135 ve %40 artmıştır. Yapılan çalışmanın sonucunda temel sisteminin şekli yapısal davranışı belirlemektedir ve periyodu artırır. Temelde oluşan esneklik açık deniz kulesinin tepkisini de arttırmaktadır ve yapının üst düğüm noktasındaki hızı ve ivmeyi de arttırmaktadır. Dinamik toprak basıncı kazıklarda ve yapıda oluşan deplasmanları azaltır. Bu sebeple açık deniz yapılarının tasarımında kullanılan statik toprak direnci daha büyük kesitler kullanılarak ekonomik olmayan bir sonuca götürmektedir. Üst zemin katmanlarının özellikleri temel sisteminde ve yapısal taşıyıcı sistemde önemli ölçüde etkisi gözükür.

Harnett (1997), yapmış olduğu çalışmada İrlanda güney kıyılarında bulunan bir sabit petrol platformunun modal davranışını incelemiştir. İncelenmiş olan yapıda kazıklı temeller uygulanmıştır. İrlanda'nın güneyinde kurulmuş olan açık deniz petrol arama platformu büyük hidrodinamik yüklere maruz kalmaktadır. Yapılan araştırmada kazıklı temel sistemi ile zemine sabitlenmiş olan platformun doğal titreşim periyodu bulunmaya çalışılmıştır. Bu araştırmanın önemi yapı üzerinde bulunan noktasal ve hareketli yüklerin uygulanmış olan alandaki yapıya etki eden hidrodinamik yüklerle beraber yapı davranışında önemli farklılıklar oluşturmasıdır. Yapılan bu çalışmada yapının doğal frekansı ile çevresel yüklerin frekansı arasındaki ilişki durumu incelenmiştir. Yapılan çalışmada saha da yapısal noktalardan ölçümler de alınarak bilgisayar programı ile kıyaslanmıştır. Yapılan araştırma sonucunda petrol platformunun güverte kısmının kütesinden güçlü bir şekilde etkilenen mod şekilleri ile ilgili frekanslar hidrodinamik kütlede ki büyük değişikliklere karşı çok hassas olmadığı belirlenmiştir. Ayrıca hâkim yönde eğilme ve burulma durumları biliniyorsa hidrodinamik kuvvetler sonucunda yapı yer değiştirmesinde önemli rol oynayabilir. Bu durum tasarım mühendisleri tarafından ayrıca incelenmelidir. Yapı ömrü boyunca tasarımda içi boş olarak tasarlanmış elemanların herhangi bir şekilde içinin dolup yapısal davranış üzerinde değişik etkiler oluşturup oluşturmadığı incelenmelidir.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında, Türkiye karasularında kurulabilecek olan açık deniz yapılarının çevresel yükler altında davranışlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç kapsamında sabit kule tipi çelik konstrüksiyon taşıyıcı sistemi kullanılarak tasarlanan açık deniz yapılarının literatürde yaygın olarak kullanıldığı 100 m, 150 m ve 300 m kule yükseklikleri için tasarımlar yapılmıştır. Bu yükseklikler için ulusal deniz sınırlarımız içerisinde rüzgâr, dalga ve sismik yük kaynakları belirlenmiş ve tüm analizler bu değerler için yapılmıştır.

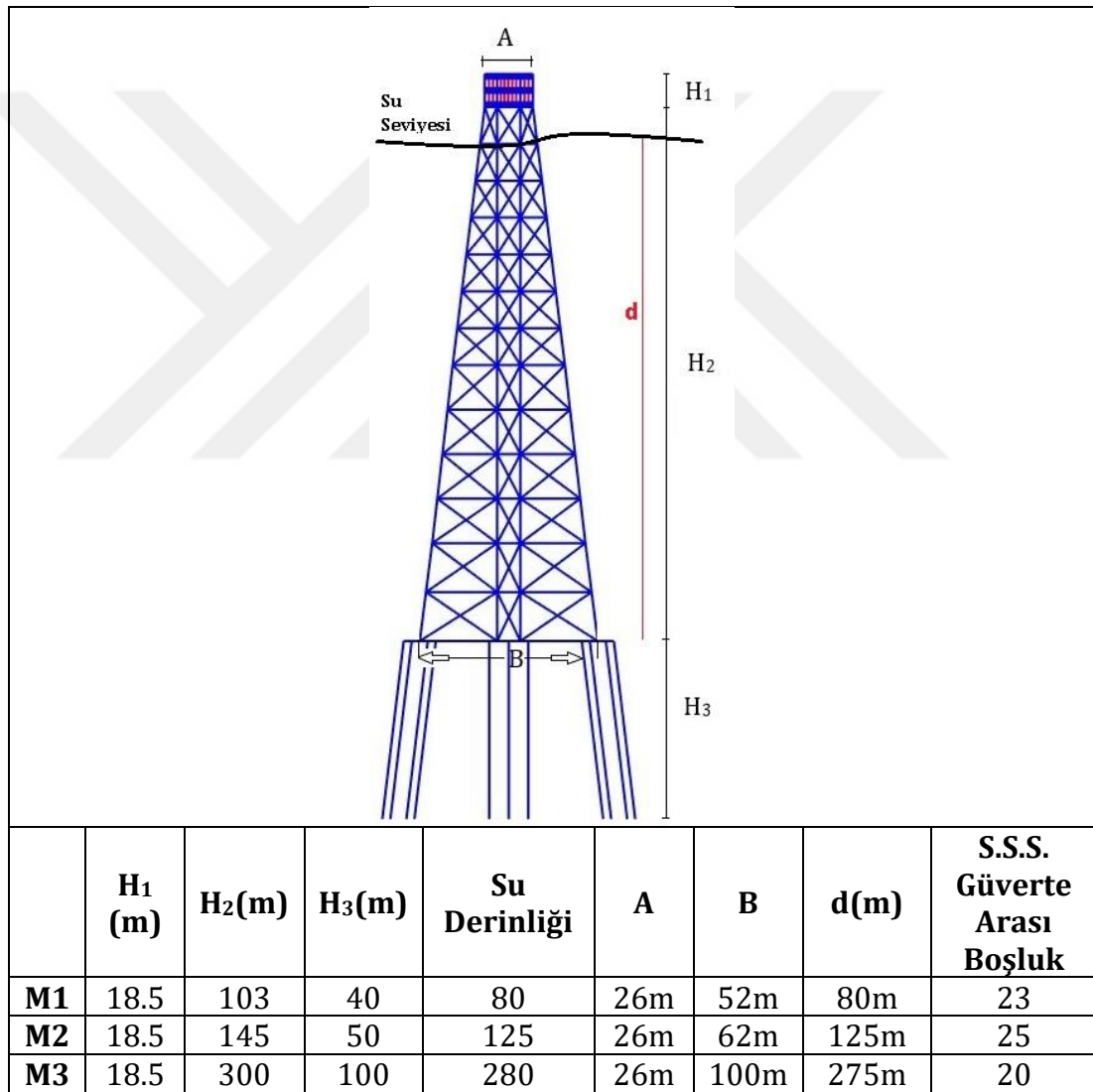
Literatürde bu tipteki yapıların özellikle rüzgâr ve dalga periyotları ile olan ilişkilerinde yapı zemin ilişkisinin önem kazandığı belirtilmektedir. Su kotu üzerinde rüzgâr kuvveti kaynaklı yatay itki ile ilişkilendirilen platform bölümünün yer değiştirmesi yapı davranışı açısından büyük önem arz etmektedir. Ayrıca dinamik olarak etkiyen yükler altındaki platformun sahip olduğu kütle ve rijitlik ilişkisinin yapı davranışı üzerinde etkin olduğu vurgulanmaktadır (Slake, 2016). Bu etki yapı doğal titreşim periyodu kullanılarak sayısal analizlere yansıtılmaktadır. Kule tipi açık deniz yapılarında, sahip olunan ağırlık, ağırlığın taşıyıcı sistemdeki konumu (platform kotu, yapı ağırlık merkezi kotu), sistem geometrisi ve mesnetlenme koşulları yapı doğal titreşim periyotları üzerinde belirleyicidir. Literatürde taşıyıcı sistemin kazıklı ankraj sistemi ile birlikte analiz edilmesinin, özellikle dalga periyotlarının yapı analizlerinde yansıtılmasında etkili olduğu belirtilmiştir (Mostafa & El Naggari, 2004). Bu sebeple çalışma kapsamında kullanılan tüm modellerde platform ve yapı zemin ilişkisi sayısal modellere yansıtılmıştır.

Çalışmada kullanılan tüm modellerde platformun güverte kısmı, oturma alanı ve ağırlığı sabit alınmıştır. Bu kapsamda güverte 26 m-50 m oturma alanına sahip olup hareketli yükler dahil olmak üzere 120000 KN olarak sayısal modellere yansıtılmıştır.

Taşıyıcı sistemin çevresel yükler ile olan ilişkisinde sistem rijitliğini ve güvenliğini artırmak amacıyla yapı tabanından güverte kısmına kadar daralan bir

geometride çerçeve sistem oluşturulmaktadır. Literatürde kolon daralma açısı %2-16 aralığında değişkenlik göstermektedir (Srikanth & Arockiasamy, 2016) (Srikanth, 2016). Bu çalışmada bu yapının geometrik olarak dikdörtgen iz düşüm alanının zayıf tarafında dayanımı artırmak amacıyla %12 olarak tasarlanmıştır. Buna bağlı olarak sabit platform alanı için 103 m-145 m ve 300 m taşıyıcı sistem yüksekliğinde yapı oturum alanları değişkenlik göstermektedir. Çizelge 3.1' de çalışmada kullanılan modellerin boyutsal parametreleri verilmiştir.

Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan modellerin boyutsal parametreleri



Açık deniz yapılarının maruz kaldığı çevresel yüklere ilave olarak diğer bir önemli parametre olan korozyondur. Taşıyıcı elemanlarda dairesel kesitli profiller yüzey şeklinin diğer profil kesitlerine (I,H,U vd.) göre üzerinde organik

madde birikimini en az seviyede tutabilecek olması ve aynı zamanda organik madde temizliğinin de daha kolay yapılması dairesel kesitleri ön plana çıkarmaktadır. Birikintinin en aza inmesi korozyon etkisini de en aza indirecektir. Ayrıca dairesel profillerinin kesit ataletinin her yönde aynı olması sebebi ile hem literatür hem de uygulamada taşıyıcı sistem tasarımında kullanılmaktadır.

Yapılan bu tez çalışmasında da tüm modeller sahip oldukları yüksekliklere göre değişkenlik gösteren yük durumları için analiz edilmiş ve API WSD 2000 standardına göre kesit kapasite analizleri yapılmıştır. Yapı yükleri yapı yüksekliğine göre değişkenlik gösterdiği için her modelde kullanılan profil çapı, cidarı ve geometri içerisindeki dağılımları değişkenlik göstermektedir. Çizelge 3.2' de modellerde kullanılan profil kesitler verilmiştir.

Çizelge 3.2. Modellerde kullanılan profil tipleri ve kesit özellikleri

Yapı Elemanları	Profil Adı	Çap (mm)	Cidar (mm)
<b>KOLONLAR</b>	D3250*125	3250	125
<b>KUŞAK VE ÇAPRAZLAR</b>	D1500*150	1500	150
	D1000*80	1000	80
	D1100*100	1100	100
	D2000*100	2000	100
	D1750*100	1750	100
	D2250*100	2250	100
	D1500*100	1500	100
	D950*50	950	50

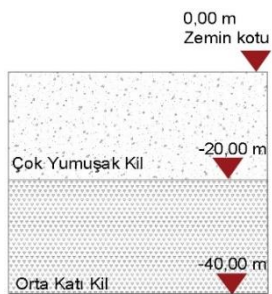
Sayısal modellerde kullanılan tüm yapı elemanları malzeme özeliği olarak S355 sınıfı çelik kullanılmıştır. Sonlu elemanlar programına Çizelge 3.3' de ifade edilen değerler tanımlanmıştır.

Çizelge 3.3. Modellerde kullanılan malzeme sınıfı ve özellikleri

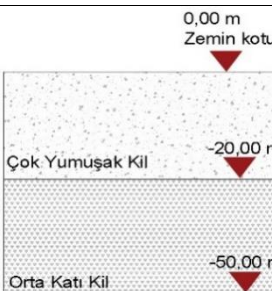
Malzeme	Fy (N/mm <sup>2</sup> )	Fu (N/mm <sup>2</sup> )	E (N/mm <sup>2</sup> )	Poisson oranı (ν)	Yoğunluk Kg/m <sup>3</sup>
S355	355	510	210000	0.3	7850

Bu tipteki yapıların sahip oldukları doğal titreşim periyotlarının, geometri, yükseklik, yapı elemanlarına ve yapı elemanlarının malzemesine bağlı olarak değişkenlik gösterse de literatürde ortalama 1-4 sn aralığında olduğu görülmektedir. Taşıyıcı sistemin temele ankastre kabulü yapılarak analiz edilmesinde bu değer gerçek davranışın altına düşmektedir. Bu tipteki yapılar için en etkin yük durumları olan rüzgâr ve dalga için, doğal titreşim periyodunun gerçeğe en yakın olarak programa tanıtılması önem arz etmektedir. Çünkü dalga ve rüzgâr yüklerinin dinamik etkisinin yapı dinamik reaksiyonu ile etkileşimi maksimum yatay yer değiştirme değeri açısından belirleyicidir. Bu sebeple yapılan çalışmada mesnetlenme koşulları, ankraj kazıklarına her bir metre derinlikte tanımlanan ve zemin yatak katsayıları için hesaplanan yay sabitleri ile sağlanmıştır. Her model için kazık çapı kazık sayısı ve kazık kesiti sabit tutularak yapı yüksekliğine göre değişkenlik gösteren kazık derinliği için her modelde temel tasarımı yapılmıştır. Her modelde farklı derinliklerde tanımlanan kazık derinlikleri için belirlenen zemin kesiti ve zeminin yoğunluğu ( $\gamma$ ), içsel sürtünme açısı ( $\Phi$ ) ve kohezyon (c) özellikleri M1 modeli için çizelge 3.4' de M2 modeli için çizelge 3.5' de M3 modeli için çizelge 3.6' da gösterilmiştir.

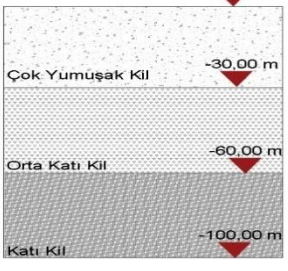
Çizelge 3.4. M1 modeli zemin kesiti ve özellikleri

	<b>Çok Yumuşak Kil (20m)</b>	$\gamma(\text{kn/m}^3)=18$
		$c(\text{kpa})=15$
		$\Phi(\text{derece})=0$
	<b>Orta Katı Kil (20m)</b>	$\gamma(\text{kn/m}^3)=19$
$c(\text{kpa})=53$		
		$\Phi(\text{derece})=0$

Çizelge 3.5. M2 modeli zemin kesiti ve özellikleri

	<b>Çok Yumuşak Kil (20m)</b>	$\gamma(\text{kn/m}^3)=18$
		$c(\text{kpa})=15$
		$\Phi(\text{derece})=0$
	<b>Orta Katı Kil (40m)</b>	$\gamma(\text{kn/m}^3)=19$
$c(\text{kpa})=53$		
		$\Phi(\text{derece})=0$

Çizelge 3.6. M3 modeli zemin kesiti ve özellikleri

	<b>Çok Yumuşak Kil (30m)</b>	$\gamma(\text{kn/m}^3)=18$
		$c(\text{kpa})=15$
		$\Phi(\text{derece})=0$
	<b>Orta Katı Kil (30m)</b>	$\gamma(\text{kn/m}^3)=19$
		$c(\text{kpa})=53$
		$\Phi(\text{derece})=0$
	<b>Katı Kil (40m)</b>	$\gamma(\text{kn/m}^3)=18$
		$c(\text{kpa})=150$
		$\Phi(\text{derece})=0$

Çizelge 3.7, çizelge 3.8 ve çizelge 3.9' da verilen zemin profilleri ve zemin özelliklerine göre Bowles (1996) yatak katsayıları denklem 3.1 denklem 3.2 ve denklem 3.3' de yer alan formüller kullanılarak hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda Sap2000 sonlu elemanlar programına yay sabiti olarak tanımlanan yatak kat sayıları sayesinde yapı altında hesaplanan yay sabitleri kazık derinliği boyunca yatay yer değiştirme rijitliği sağlamaktadır. Bu sayede yapının altında tam bir zemin modellemesi yapılmadan zemin etkisinin yapı davranışı üzerindeki etkisi analizlere dahil edilebilmiştir. Denklemlerde zemin içsel sürtünme açısına bağlı olan Meyerhof taşıma gücü katsayılarından seçilmiştir. Şekil 3.1' de Meyerhof taşıma gücü katsayıları gösterilmektedir. (Bowles, 1996).

$$k_s = A_s + B_s Z^n \quad (3.1)$$

$$A_s = C * (cN_c + 0.5 * \gamma B_p * N_\gamma) \quad (3.2)$$

$$B_s = C * (N_q * \gamma) \quad (3.3)$$

Meyerhof  $N_c$ ,  $N_q$ ,  $N_\gamma$  taşıma gücü katsayıları (Bowles, 1996).

$\Phi$ (derece)	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$
0	5.14	1.0	0.0
5	6.49	1.6	0.1
10	8.34	2.5	0.4
15	10.97	3.9	1.1
20	14.83	6.4	2.9
25	20.71	10.7	6.8
26	22.25	11.8	8.0
28	25.79	14.7	11.2
30	30.13	18.4	15.7
32	35.47	23.2	22.0
34	42.14	29.4	31.1
36	50.55	37.7	44.4
38	61.31	48.9	64.0
40	75.25	64.1	93.6
45	133.73	134.7	262.3
50	266.50	318.5	871.7

Şekil 3.1. Meyerhof taşıma gücü katsayıları (Bowles, 1996)

Çizelge 3.7. M1 modeli yatak katsayıları

Derinlik (m)	p-y (kN/m <sup>3</sup> )	Derinlik (m)	p-y (kN/m <sup>3</sup> )
0	-	21	35104.03
1	4986.00	22	43342.65
2	12122.89	23	43583.98
3	12860.85	24	43820.07
4	13464.06	25	44051.25
5	13988.77	26	44277.82
6	14459.89	27	44500.04
7	14891.28	28	44718.15
8	15291.64	29	44932.38
9	15666.89	30	45142.91
10	16021.24	31	45349.95
11	16357.87	32	45553.65
12	16679.20	33	45754.17
13	16987.15	34	45951.66
14	17283.26	35	46146.25
15	17568.82	36	46338.07
16	17844.87	37	46527.23
17	18112.30	38	46713.83
18	18371.89	39	46897.98
19	18624.28	40	47079.78
20	22868.09	41	39348.22

Çizelge 3.8. M2 modeli yatak katsayıları

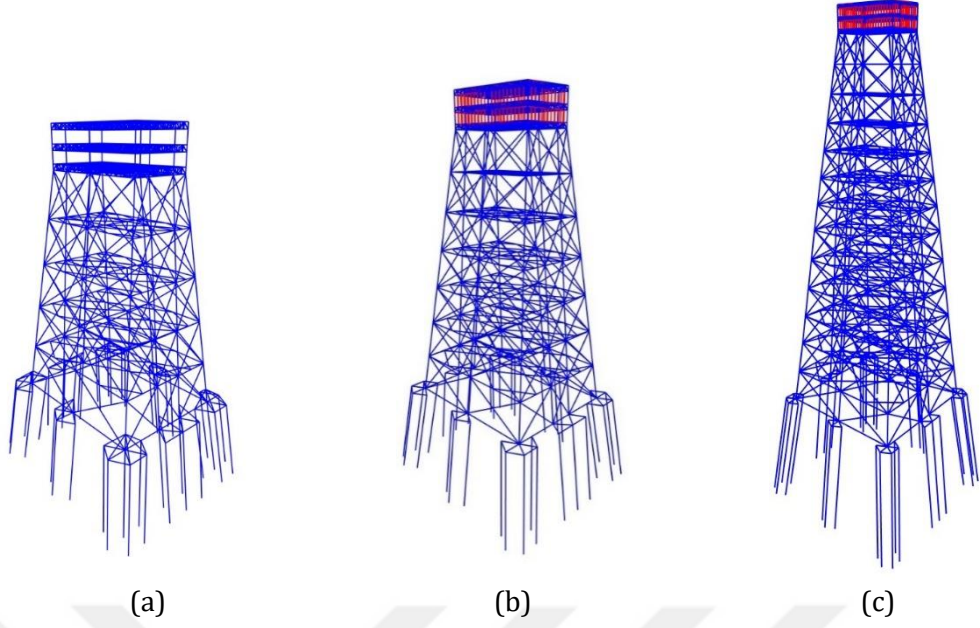
Derinlik (m)	p-y (kN/m <sup>3</sup> )	Derinlik (m)	p-y (kN/m <sup>3</sup> )
0	-	26	22082.83
1	4986.00	27	44500.04
2	12122.89	28	44718.15
3	12860.85	29	44932.38
4	13464.06	30	45142.91
5	13988.77	31	45349.95
6	14459.89	32	45553.65
7	14891.28	33	45754.17
8	15291.64	34	45951.66
9	15666.89	35	46146.25
10	16021.24	36	46338.07
11	16357.87	37	46527.23
12	16679.20	38	46713.83
13	16987.15	39	46897.98
14	17283.26	40	47079.78
15	17568.82	41	47259.31
16	17844.87	42	47436.65
17	18112.30	43	47611.88
18	18371.89	44	47785.08
19	18624.28	45	47956.31
20	22868.09	46	48125.64
21	35104.03	47	48293.13
22	43342.65	48	48458.85
23	43583.98	49	48622.84
24	43820.07	50	48785.16
25	44051.25	51	40757.24

Çizelge 3.9. M3 modeline ait yatak katsayıları

Derinlik (m)	p-y (kN/m <sup>3</sup> )	Derinlik (m)	p-y (kN/m <sup>3</sup> )
0	-	43	47611.88
1	4986.00	44	47785.08
2	12122.89	45	47956.31
3	12860.85	46	48125.64
4	13464.06	47	48293.13
5	13988.77	48	48458.85
6	14459.89	49	48622.84
7	14891.28	50	48785.16
8	15291.64	51	48945.86
9	15666.89	52	49104.98
10	16021.24	53	49262.58

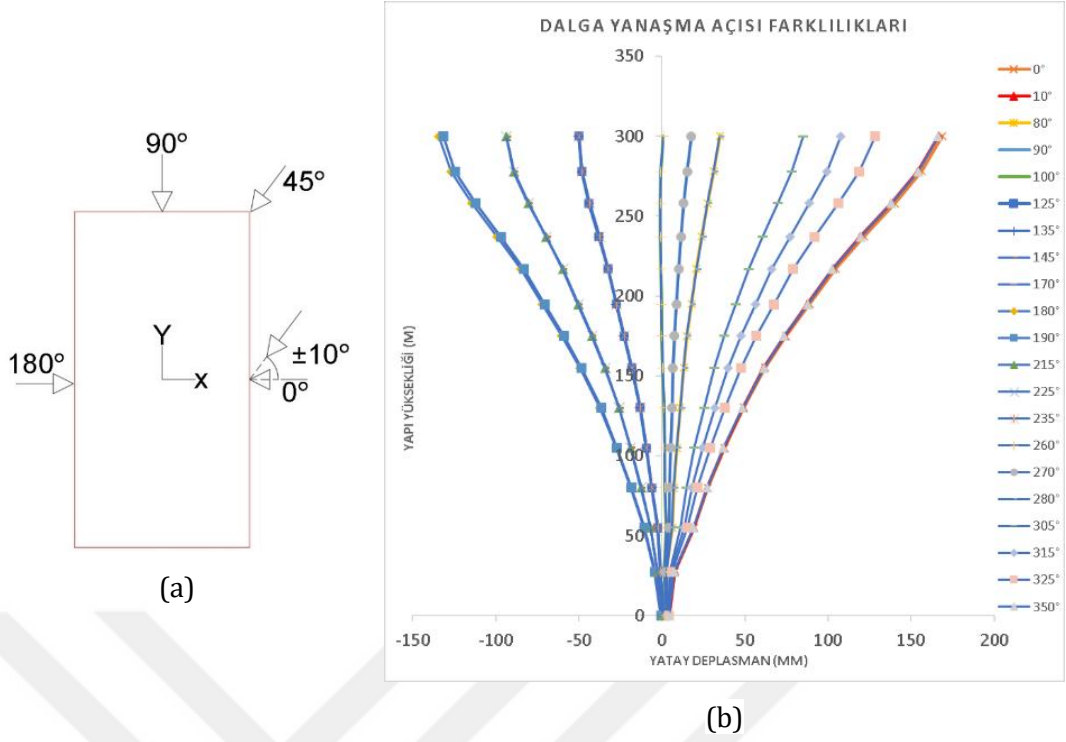
<b>Derinlik (m)</b>	<b>p-y (kN/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Derinlik (m)</b>	<b>p-y (kN/m<sup>3</sup>)</b>
11	16357.87	54	49418.69
12	16679.20	55	49573.36
13	16987.15	56	49726.63
14	17283.26	57	49878.52
15	17568.82	58	50029.09
16	17844.87	59	50178.36
17	18112.30	60	60141.76
18	18371.89	61	89733.45
19	18624.28	62	109504.72
20	18870.04	63	109641.52
21	19109.67	64	109777.24
22	19343.60	65	109911.89
23	19572.23	66	110045.51
24	19795.90	67	110178.12
25	20014.91	68	110309.75
26	20229.56	69	110440.40
27	20440.08	70	110570.11
28	20646.71	71	110698.90
29	20849.66	72	110826.77
30	25066.87	73	110953.76
31	37318.06	74	111079.89
32	45553.65	75	111205.16
33	45754.17	76	111329.59
34	45951.66	77	111453.21
35	46146.25	78	111576.03
36	46338.07	79	111698.06
37	46527.23	80	111819.31
38	46713.83	81	111939.81
39	46897.98	82	112059.57
40	47079.78	83	112178.60
41	47259.31	84	112296.91
42	47436.65	85	112414.52
86	112531.44	94	113443.26
87	112647.67	95	113554.46
88	112763.24	96	113665.08
89	112878.16	97	113775.12
90	112992.43	98	113884.59
91	113106.06	99	113993.50
92	113219.07	100	114101.86
93	113331.47	101	

Çalışmada platform ve kazık temel sistemi ile birlikte tasarlanan sayısal modellerin genel görünüşleri Şekil 3.2' de verilmiştir.



Şekil 3.2. Modellere ait görseller. a)M1 modeli, b)M2 modeli, c)M3modeli

Yapılan çalışma da API standartlarında belirtilen dalga ile yapının farklı açılarda etkileşimi dikkate alınmıştır. API standartlarında belirtildiği üzere 4 ve daha fazla ana taşıyıcı kolonu olan yapılarda en az sekiz farklı yaklaşma açısı dikkate alınması gerekliliği söylenmiştir. Daha sağlıklı bir sonuca ulaşabilmek için en az sekiz farklı yaklaşma açısı dışında bu açıların  $\pm a^\circ$  gibi bir değer ile açı değiştirilerek analizlere dahil edilmesi daha doğru olacağı vurgulanmıştır. Bu çalışmada  $a$  açısı  $10^\circ$  olarak seçilmiştir. Şekil 3.3' de dalga yanaşma açıları ve bu yanaşma açıları karşısında M3 modeline ait grafik verilmiştir.



Şekil 3.3. Dalga yanaşma açısı farklılıkları a) Dalga yanaşma açıları, b) Farklı yanaşma açıları sonucu yatay deplasman yükseklik grafiği

Şekil 3.3.a' da ki grafiklerden de anlaşılacağı üzere bu tez çalışmasında kullanılan modellerde farklı yanaşma açıları, şekil 3.3.b' de gösterildiği üzere bu dalga yanaşma açılarının yatay deplasmanlar üzerinde etkisi değişen yaklaşma açıları için gösterilmiştir. Şekil 3.3.b' de ki grafikteki farklı yaklaşma açıları için elde edilen yatay deplasman değerleri görülmektedir. Tüm modeller ve her bir modeldeki tüm yük durumları için tasarımda yer verilen dalga yanaşma açılarının etkisinde tüm modeller dizayn edilmiştir. Yapılmış olan analizler sonucunda en büyük yatay deplasman değeri 0° ve 180° yanaşma açılarında ortaya çıkmıştır. Yapılan analizler sonucunda tüm modellerde ve dalga analizlerinde 0° yanaşma açısı dikkate alınarak çalışmaya devam edilmiştir.

Yapılan çalışmada dalga yükseklik ve periyotlarının seçimi API standartlarında belirtilen Atkins tarafından tasarlanan API tarafında düzenlenen cetvel kullanılarak karar verilmiştir. Bu cetvelin Y eksenini  $H/gT^2$  X eksenini  $d/gT^2$  boyutsuz değerler kullanılarak seçilmiştir. Dalga yükseklik ve periyotlarının seçiminde kullanılan cetvel şekil 3.4' de gösterilmiştir.



Çizelge 3.10. M1 modelinde kullanılan dalga yüksekliği ve periyot değerleri

Dalga Periyodu (sn)	5m	7.5m	10m	12.5 m	15 m	17.5 m	20 m
8 sn	-	✓	✓	✓	-	-	-
9 sn	-	✓	✓	✓	-	-	-
10 sn	-	-	✓	✓	✓	-	-
11 sn	-	-	-	✓	✓	✓	✓
12 sn	-	-	-	✓	✓	✓	✓
13 sn	-	-	-	✓	✓	✓	✓
14 sn	-	-	-	✓	✓	✓	✓
15 sn	-	-	-	-	✓	✓	✓
16 sn	-	-	-	-	✓	✓	✓
17 sn	-	-	-	-	✓	✓	✓
18 sn	-	-	-	-	✓	✓	✓
19 sn	-	-	-	-	✓	✓	✓
20 sn	-	-	-	-	✓	✓	✓
21 sn	-	-	-	-	✓	✓	✓
22 sn	-	-	-	-	✓	✓	✓
23 sn	-	-	-	-	✓	✓	✓
24 sn	-	-	-	-	✓	✓	✓

Çizelge 3.11. M2 modelinde kullanılan dalga yüksekliği ve periyot değerleri

Dalga Periyodu (sn)	5m	7.5m	10m	12.5 m	15 m	17.5 m	20 m
8 sn	✓	✓	✓	✓	-	-	-
9 sn	-	✓	✓	✓	✓	-	-
10 sn	-	✓	✓	✓	✓	✓	-
11 sn	-	-	✓	✓	✓	✓	✓
12 sn	-	-	✓	✓	✓	✓	✓
13 sn	-	-	✓	✓	✓	✓	✓
14 sn	-	-	-	-	✓	✓	✓
15 sn	-	-	-	-	-	✓	✓
16 sn	-	-	-	-	-	✓	✓
17 sn	-	-	-	-	-	✓	✓
18 sn	-	-	-	-	-	✓	✓
19 sn	-	-	-	-	-	-	✓
20 sn	-	-	-	-	-	-	✓
21 sn	-	-	-	-	-	-	✓
22 sn	-	-	-	-	-	-	✓
23 sn	-	-	-	-	-	-	✓
24 sn	-	-	-	-	-	-	✓

Çizelge 3.12. M3 modelinde kullanılan dalga yüksekliği ve periyot değerleri

Dalga Periyodu (sn)	5m	7.5m	10m	12.5 m	15 m	17.5 m	20 m
8 sn	-	-	-	-	-	-	-
9 sn	-	-	-	-	-	-	-
10 sn	-	-	-	-	-	-	-
11 sn	-	-	✓	✓	✓	✓	✓
12 sn	-	-	-	✓	✓	✓	✓
13 sn	-	-	-	-	✓	✓	✓
14 sn	-	-	-	-	✓	✓	✓
15 sn	-	-	-	-	-	✓	✓
16 sn	-	-	-	-	-	-	✓
17 sn	-	-	-	-	-	-	-
18 sn	-	-	-	-	-	-	-
19 sn	-	-	-	-	-	-	-
20 sn	-	-	-	-	-	-	-
21 sn	-	-	-	-	-	-	-
22 sn	-	-	-	-	-	-	-
23 sn	-	-	-	-	-	-	-
24 sn	-	-	-	-	-	-	-

Sap 2000 programında dalga parametreleri programa tanımlatıldıktan sonra yapısal elemanlara statik kuvvet olarak dönüşümü Morison Denklemi ile yapılmaktadır. Morison Denklemi denklem 3.4' de gösterilmiştir.

$$F = F_D + F_I = C_D \frac{w}{2g} AU|U| + C_m \frac{w}{2g} V \frac{du}{dt} \quad (3.4)$$

F: Eleman boyuna eksenine birim uzunlukta etki eden hidrodinamik kuvvet,

FD: Birim uzunluktaki sürükleme kuvveti,

FI: Birim uzunluktaki atalet kuvveti,

$\omega$ : Suyun yoğunluğu,

g: Yerçekimi ivmesi,

A: Birim uzunluktaki alan,

V: Birim uzunluktaki hacim,

U: Elemanın eksenine normal etki eden su parçacık hızı bileşeni,

|U|: U değerinin mutlak değeri,

dU/dt: Elemanın eksenine normal etki eden su parçacık ivmesi bileşeni,

$C_D$  ve  $C_m$  ise sırasıyla sürüklenme ve atalet katsayılarıdır. (Morison vd 1950) (CSI, 2019)

Morison denkleminde bulunan  $C_D$  ve  $C_m$  katsayıları sert ve yumuşak deniz durumları olarak tanımlanan ve yapısal elemanlar üzerinde oluşan biyolojik birikintilerin etkisini tanımlamakta kullanılmaktadır. Biyolojik birikintiler yapısal elemanların etrafında birikerek daha fazla kuvvete maruz kalmasını sağlamaktadır. Yapılan çalışmada  $C_D$  ve  $C_m$  katsayıları sırasıyla 1.05 ve 1.6 alınmıştır.

Çalışma kapsamında ikinci yükleme tipi Deprem etkisidir. Çalışmada dikkate alınan üç model için çizelge 3.13, çizelge 3.14 ve çizelge 3.15' de tanımlanan ivme kayıtları Doğu Akdeniz Türkiye deniz sınırları içerisinde petrol arama ve sondaj platformlarının oturabileceği derinlik alanlarına göre ölçeklendirilmiştir. Ölçeklendirmede seçilen alanlara en yakın veri okuma noktası Afad Deprem tehlike haritası üzerinden zemin değerleri için alınan raporla deprem ölçeklendirilmesi karasularımız altındaki zemin için yapılmıştır. Yapılan kabul ile karasal alanda bulunan zemin davranışı ile denizsel bölgenin zemin davranışı benzer kabul edilmiştir. Yapılan çalışmada alınan karasal alanlarda değerlendirilmeye tabi olunan alanlar şekil 3.5 üzerinde işaretlenip en büyük olan değer analizlere dahil edilmiştir. **Bu tarz yapıların yapımı esnasında sahaya özgü sondajlar yapıp zemin profillerinin belirlenmesi ve analizlerin zemin tahminleri üzerinden değil oluşturulmuş olan gerçek zemin profilleri üzerinden yapılması tavsiye edilir.**



Şekil 3.5. Deprem kuvveti için değerlendirilen zemin değerlerinin incelendiği noktalar (Trafik, 2021)

Yapılan tez çalışmada literatürdeki araştırmalar sonucunda kabul edilen zemin özelliklerine göre zemin tehlike analizi yapılmıştır. Zemin özellikleri doğrultusunda deprem spektrumu ve spektrum ile uyumlu yer hareketleri özellikleri belirlenmiştir. Zaman tanım alanında lineer analizlerde kullanılacak 3 bileşenli 11 deprem kaydı, kayıtlara ait bileşke spektrumun hedef periyot aralığında  $0.5 T_p-1.5T_p$  olacak şekilde ölçeklendirilmiştir. Çizelge 3.13 M1 modeline ait, çizelge 3.14 M2 modeline ait ve çizelge 3.15 M3 modeline ait deprem adları, büyüklükleri ve ölçeklendirme katsayıları verilmiştir.

Çizelge 3.13. M1 modeline ait kullanılan deprem verilerine ait özellikler

Deprem No	Deprem Adı	Deprem Büyüklüğü	Mesafe (km)	Örnekleme Aralığı	Ölçeklendirme Katsayısı
1	Kocaeli	7.51	51.95	0.005	7.59
2	Chi Chi	7.62	168.26	0.005	0.38
3	Düzce	7.14	15.19	0.005	14.78
4	Imperial Valley	6.53	49.91	0.005	1.46
5	Cape Mendicino	7.01	48.63	0.005	1.10
6	Landers	7.28	3.12	0.005	1.96
7	Kobe	6.9	22.63	0.005	3.37
8	Northridge	6.69	13.94	0.005	6.91
9	San Fernando	6.61	10.72	0.005	1.23
10	Tabas	7.35	69.21	0.005	0.97
11	Loma Prieta	6.93	25.91	0.005	0.50

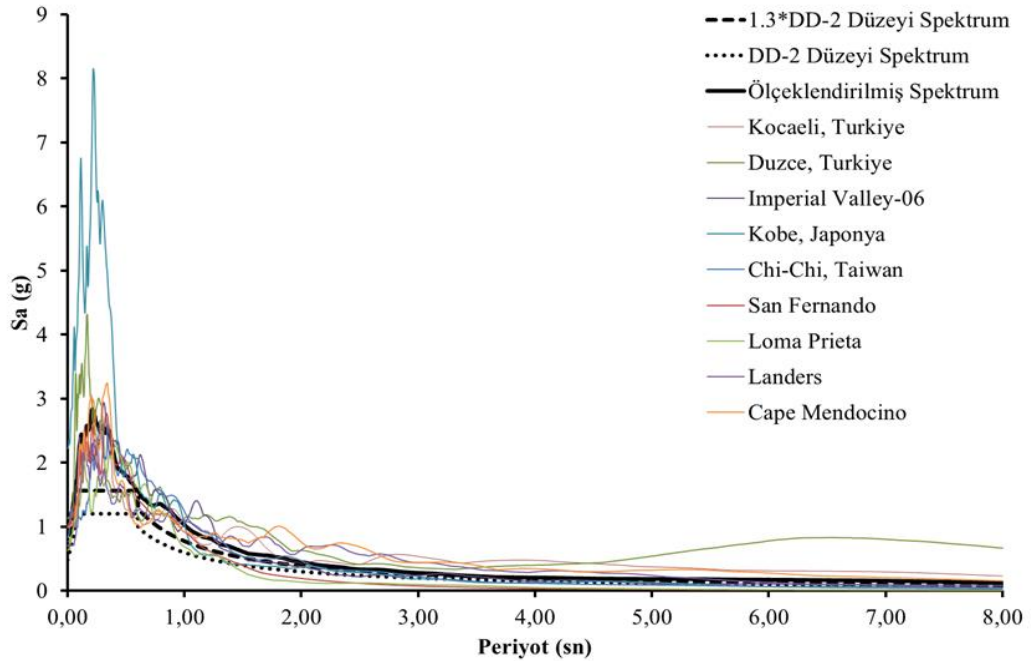
Çizelge 3.14. M2 modeline ait kullanılan deprem verilerine ait özellikler

Deprem No	Deprem Adı	Deprem Büyüklüğü	Mesafe (km)	Örnekleme Aralığı	Ölçeklendirme Katsayısı
1	Kocaeli	7.51	51.95	0.005	6.70
2	Chi Chi	7.62	168.26	0.005	0.39
3	Düzce	7.14	15.19	0.005	15.58
4	Imperial Valley	6.53	49.91	0.005	1.54
5	Cape Mendicino	7.01	48.63	0.005	1.61
6	Landers	7.28	3.12	0.005	2.17
7	Kobe	6.9	22.63	0.005	3.71
8	Northridge	6.69	13.94	0.005	6.41
9	San Fernando	6.61	10.72	0.005	1.24
10	Tabas	7.35	69.21	0.005	0.88
11	Loma Prieta	6.93	25.91	0.005	0.51

Çizelge 3.15. M3 modeli için kullanılan deprem verilerine ait özellikler

Deprem No	Deprem Adı	Deprem Büyüklüğü	Mesafe (km)	Örnekleme Aralığı	Ölçeklendirme Katsayısı
1	Kocaeli	7.51	51.95	0.005	7.029
2	Chi Chi	7.62	168.26	0.005	0.42
3	Düzce	7.14	15.19	0.005	18.67
4	Imperial Valley	6.53	49.91	0.005	1.67
5	Cape Mendicino	7.01	48.63	0.005	1.335
6	Landers	7.28	3.12	0.005	1.892
7	Kobe	6.9	22.63	0.005	7.73
8	Northridge	6.69	13.94	0.005	8.37
9	San Fernando	6.61	10.72	0.005	1.20
10	Tabas	7.35	69.21	0.005	1.105
11	Loma Prieta	6.93	25.91	0.005	0.461

Şekil 3.6' da ölçeklendirilmiş olan deprem datalarının ivme spektrum grafiği gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Ölçeklendirilen deprem datalarının ivme-spektrum eğrileri

Analizlerde kullanılan yük kombinasyonları çizelge 3.16' da verilmiştir. Yapılan analizlerde kullanılan yük kombinasyonları iki ayrı durum için değerlendirilmiştir. Birinci durum operasyonel haldir. Bu durumda yapı güvertesi üzerinde bulunan makine-ekipman ve elemanların üretim ve sondaj işlerine devam edebildiği haldir. İkinci durum çevresel yüklerin (deprem, dalga, rüzgâr vb.) operasyonel durumu bozacak kadar yüksek bir kuvvet oluşturması ve bu kuvvet esnasında personel ve makine ekipmanların güvenle çalışmasını tehlikeye sokacak şekilde olması durumudur. Çizelge 3.16' da operasyonel hal ve fırtına veya deprem durumu yük kombinasyonları verilmiştir.

Çizelge 3.16. Yük kombinasyonları

Operasyonel Hal	Ekstrem Durumu
1.3P+1.3I+1.0D+0.7E	1.0P+1.0I+1.0D+1.3E
P: Kalıcı yükler (Kamara, hastane, Sondaj ekipmanları vb.) I: Hareketli yükler (Personel vb.) D: Deformasyon yükleri (sıcaklık, korozyon vb.) E: Çevresel yükler (Dalga, Rüzgâr, Deprem)	

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Yapılan bu tez çalışmasında uygulamada sıklıkla kullanılan 100 m, 150 m, 300 m yüksekliğinde taşıyıcı sisteme sahip açık deniz yapıları referans alınmıştır. Bu kapsamda 103 m, 145 m, 300 m yüksekliklerinde açık deniz yapılarının Türkiye karasularında olası yük durumlarına karşı yapısal davranışları araştırılmıştır. Bu kapsamda yapılan analizlerde rüzgâr, dalga ve deprem yükleri dikkate alınmıştır. Analizlerde dikkate alınan dalga yüklerinin hesaplanmasında her bir taşıyıcı sistemin sahip olduğu yapı yüksekliği, geometri ve kesit dağılımı sonucunda ortaya çıkan doğal titreşim periyodu ve yüksekliğe bağlı değişkenlik gösteren su derinliği ile ilişkilendirilmiştir. Belirlenen dalga yükseklikleri ve bu yükseklik için 5. Dereceden Stokes Dalga Teorisinde yer alan sınırlar dahilinde kalacak dalga periyodu ve dalga yüksekliği değerleri hesaplanmıştır.

Yapısal tasarımlarda, dinamik yük kaynakları yapının doğal titreşim periyodu yapının oturduğu zemin koşulları ve analizde kullanılan dinamik yükün karakteristik özellikleri taşıyıcı sistemin davranışı üzerinde belirleyicidir.

Dalga yüklerinin dikkate alındığı analizlerde dalga yükleri ile birlikte deniz seviyesi üzerinde kalan taşıyıcı sistem ve güverte kısmı için 30 m/sn rüzgâr yükü kabulü yapılmıştır. Bu kabulde taşıyıcı sistem elemanlarının yüzey alanlarına hesaplanan rüzgâr kuvveti yayılı yük olarak yatayda yapısal elemanlar üzerine etkilmiştir. Yükün taşıyıcı sistem ve platform üzerine etkilmesinde aerodinamik duruma göre değişkenlik gösteren basınç ve emme kuvvetleri API yönetmeliğinde belirtilen rüzgâr hesabına göre yapılmıştır.

Literatürde Açık Deniz yapılarında taşıyıcı sistem açısından belirleyici yüklemelerinin dalga kuvvetleri tarafından olduğu vurgulanmıştır. Yapılan bu çalışmada yapı yüksekliğine göre değişkenlik gösteren dalga yükleri farklı dalga yüksekliklerinde değişen periyot değerleri için hesaplanarak sayısal modellere yansıtılmıştır. Bu şekliyle elde edilen sonuçlar kullanılarak açık deniz yapılarında dalga periyodunun ile dalga yüksekliği arasındaki ilişki belirlenmeye çalışılmıştır.

Açık deniz yapılarında belirleyici yük durumu olan rüzgâr, dalga ve deprem yüklerinin taşıyıcı sistemde oluşturacağı talep doğal titreşim periyodu ve yük periyotlarının ilişkisinin bir sonucudur. Etkili yük durum için belirleyici olan, yük periyodu ile taşıyıcı sistemin doğal titreşim periyodunun birbirine yakın değerlerde olmasıdır. Değerlerin birbirine yaklaşması rezonans etkisini ortaya çıkaracaktır. Bunun dışında etkili periyot aralığında yapının kütle katılımı dinamik analizde belirleyici durumdadır. Çalışmada, yapı kütle katılım oranlarını irdeleyebilmek için ilk yüz mod durumu için modal analizler yapılmıştır. Yapılan hesaplarda her üç modelde de ilk iki doğal titreşim periyodunda X ve Y yatay doğrultu için %57-76 aralığında katılım elde edilmiştir. Toplam kütle katılımı değerlendirildiğinde onuncu moddan sonra her iki yönde de %80 ve üzeri kütle katılımı sağlanmıştır. Kütle katılım oranları toplam katılımda ortalama onuncu mod değerinden sonra X yönünde %88 ve üzerine, Y yönünde %90'a ve üzerine sabitlenmiştir. Çizelge 4.1' de M1 modeli için Çizelge 4.2 M2 modeli için çizelge 4.3 M3 modeli için bu durum ifade edilmiştir.

Çizelge 4.1. M1 modeli için modal analiz sonuçları

Mod Numarası	Period (Sn)	X Yönü Kütle Katılım	Y Yönü Kütle Katılım	X Yönü Toplam Kütle Katılım	Y Yönü Toplam Kütle Katılım	Z Yönü Toplam Kütle Katılım
1	0,708312	0,69	9,64E-04	0,69	9,64E-04	6,677E-05
2	0,635862	9,28E-04	0,76	0,69	0,76	7,422E-05
3	0,489003	6,81E-06	1,02E-06	0,69	0,76	0,03463
4	0,429816	7,24E-06	3,47E-06	0,69	0,76	0,03463
5	0,406758	7,71E-06	1,09E-06	0,69	0,76	0,07547
6	0,308133	0,14	3,647E-07	0,82	0,76	0,07557
7	0,298369	2,35E-05	7,32E-06	0,82	0,76	0,14
8	0,283056	2,33E-06	0,04884	0,82	0,81	0,14
9	0,270076	1,00E-06	0,04459	0,82	0,85	0,14
10	0,26334	2,05E-09	2,53E-04	0,82	0,85	0,14

Çizelge 4.2. M2 modeli için modal analiz sonuçları

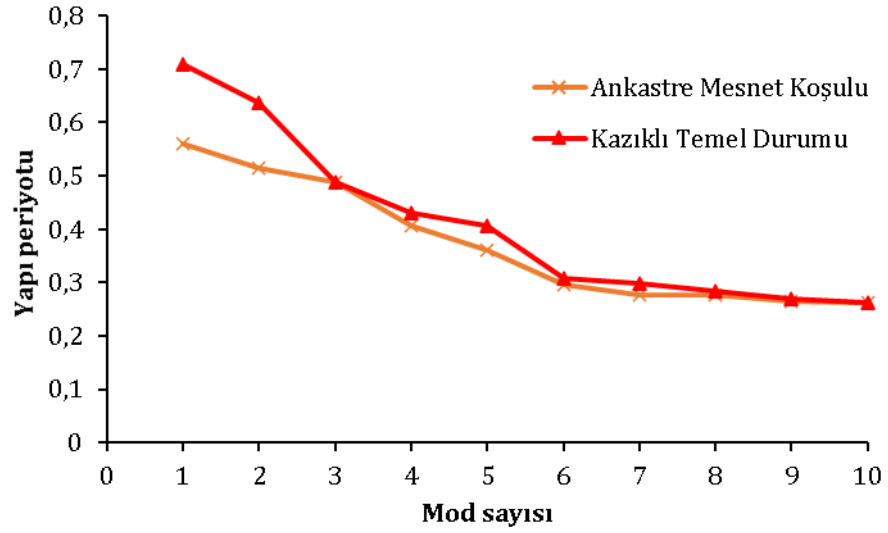
Mod Numarası	Period (Sn)	X Yönü Kütle Katılım	Y Yönü Kütle Katılım	X Yönü Toplam Kütle Katılım	Y Yönü Toplam Kütle Katılım	Z Yönü Toplam Kütle Katılım
1	0,981201	0,67	0,000001733	0,67	1,733E-06	8,87E-08
2	0,885892	3,06E-06	0,73	0,67	0,73	1,134E-07
3	0,528976	3,059E-08	1,442E-10	0,67	0,73	3,951E-07
4	0,52487	1,11E-04	1,57E-05	0,67	0,73	0,0001728
5	0,481964	6,85E-06	2,74E-06	0,67	0,73	0,03613
6	0,433014	0,21	5,36E-05	0,88	0,73	0,03614
7	0,415824	2,081E-08	4,048E-07	0,88	0,73	0,08782
8	0,408292	4,77E-05	0,16	0,88	0,89	0,08782
9	0,345406	5,774E-07	9,188E-10	0,88	0,89	0,22
10	0,335237	3,27E-08	4,354E-07	0,88	0,89	0,22

Çizelge 4.3. M3 modeli için modal analiz sonuçları

Mod Numarası	Period (Sn)	X Yönü Kütle Katılım	Y Yönü Kütle Katılım	X Yönü Toplam Kütle Katılım	Y Yönü Toplam Kütle Katılım	Z Yönü Toplam Kütle Katılım
1	2,304374	0,57	1,606E-07	0,57	1,606E-07	8,866E-11
2	2,112263	1,326E-07	0,62	0,57	0,62	9,095E-08
3	0,794674	0,29	0,005539	0,86	0,62	9,119E-08
4	0,794262	5,82E-03	0,28	0,87	0,9	1,94E-07
5	0,761798	2,17E-05	6,784E-07	0,87	0,9	1,943E-07
6	0,629251	7,334E-09	2,196E-07	0,87	0,9	0,84
7	0,563323	9,424E-09	4,643E-09	0,87	0,9	0,86
8	0,530036	4,61E-06	1,03E-06	0,87	0,9	0,86
9	0,505861	1,756E-09	3,788E-11	0,87	0,9	0,88
10	0,470203	1,07E-08	1,68E-08	0,87	0,9	0,89

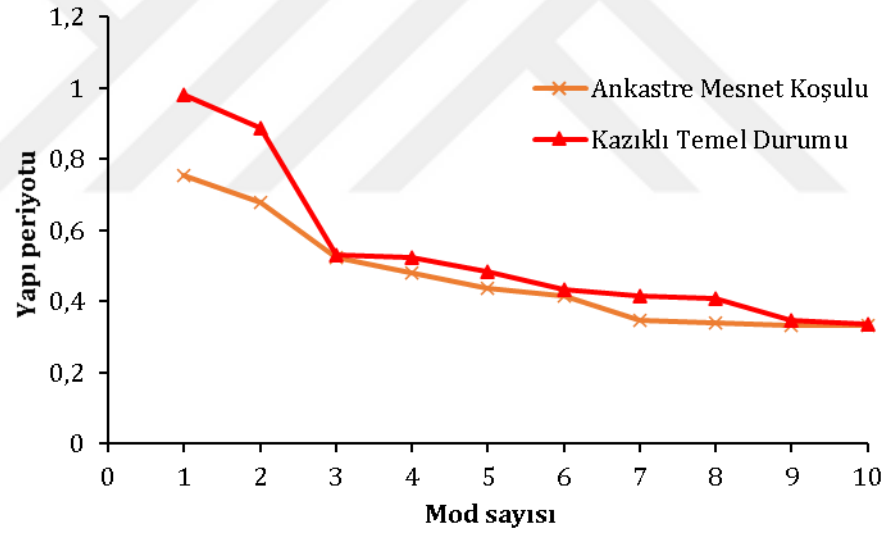
Çalışma da ankastre mesnet ile kazıklı temel durumu periyot farklılıklarını ortaya konulması için ilk on doğal titreşim periyodundaki değerler şekil 4.1, şekil 4.2 ve şekil 4.3' de verilmiştir. Tüm modellerde düşey yöndeki kütle katılımın 3. Periyot değerinde bir yakınsama hesaplanmıştır. Bunun dışında M1 modelinde 6. Mod, M2 modelinde 9. Mod, M3 modelinde 7.Mod ve sonrasında periyot değerleri mesnetleme etkisi devre dışı kalmış, hesaplanan değerler örtüşmüştür. Bu durum modellerde kütle katılımların her iki yatay doğrultuda birbirine yakın seviyelerde kalması ve düşey yönde toplam kütle katılımının etkin olmasının bir sonucudur.

### M1 Modeli modal analiz sonuçları



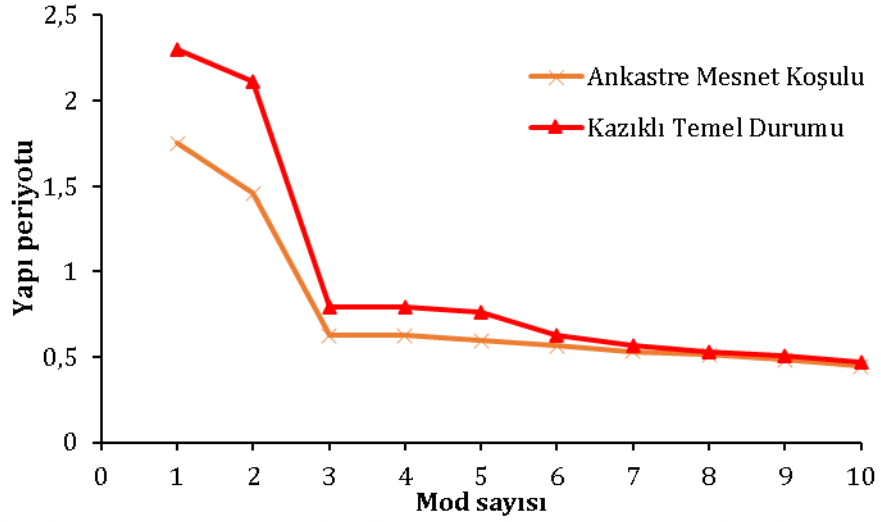
Şekil 4.1. M1 Modeli kazıklı temel ve ankastre mesnet tasarım yaklaşımları arasındaki modal analiz sonuçları

### M2 Modeli modal analiz sonuçları



Şekil 4.2. M2 Modeli kazıklı temel ve ankastre mesnet tasarım yaklaşımları arasındaki modal analiz sonuçları

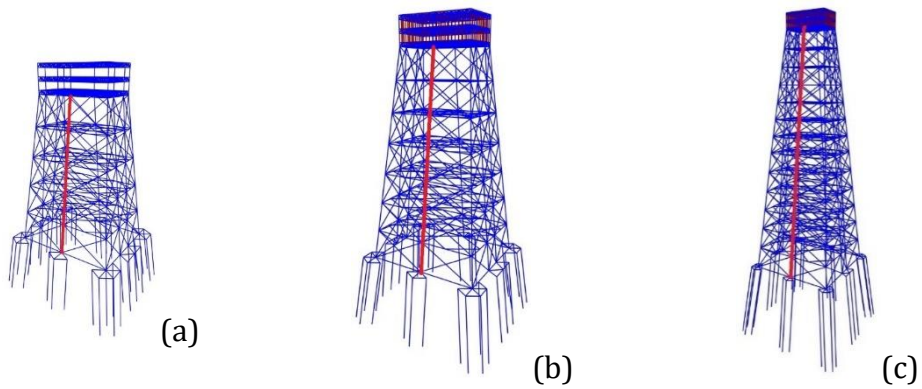
### M3 modeli modal analiz sonuçları



Şekil 4.3. M3 Modeli kazıklı temel ve ankastre mesnet tasarım yaklaşımları arasındaki modal analiz sonuçları

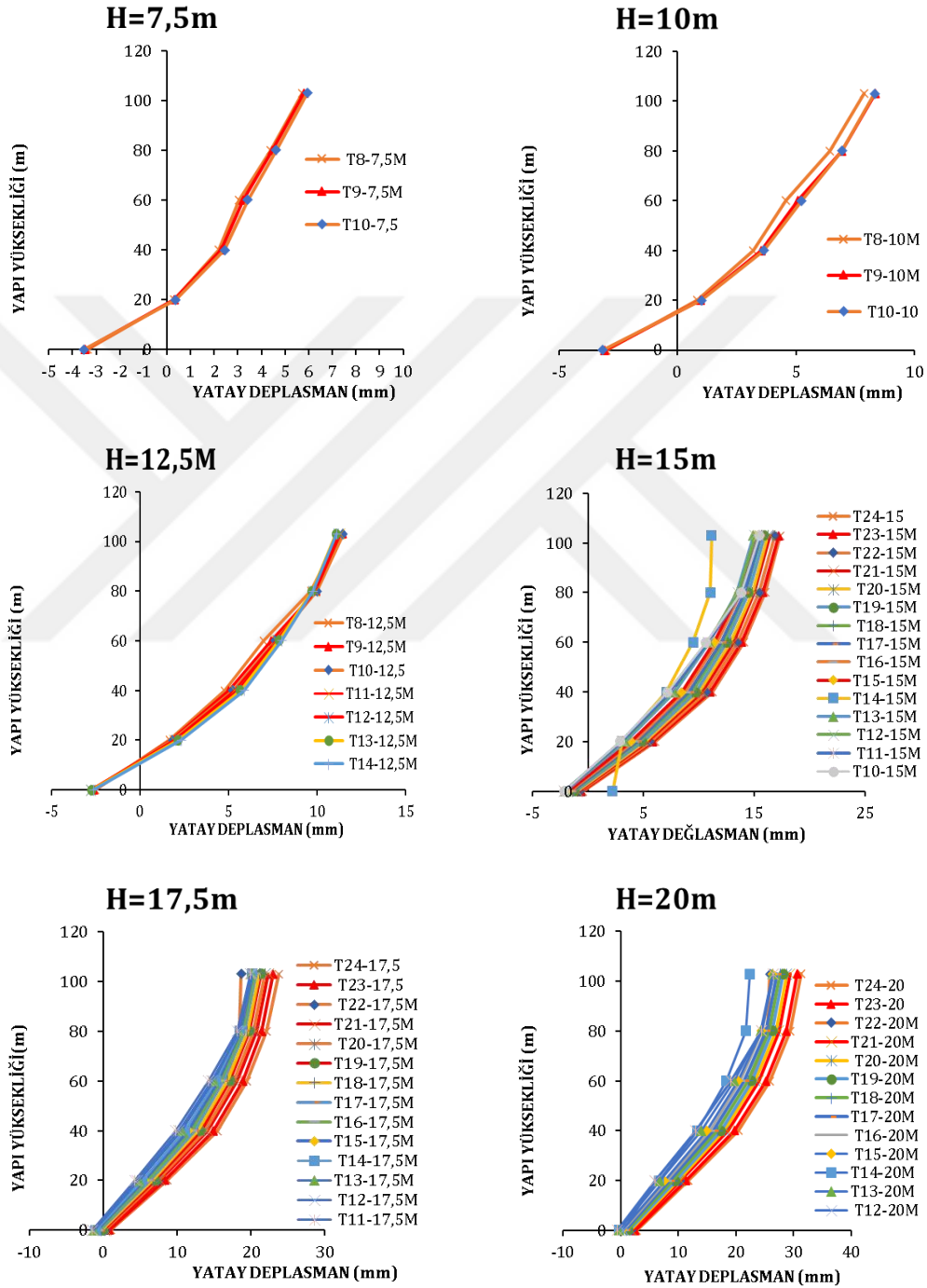
Çalışmanın bu bölümünde her model için hesaplanan dalga yüksekliği ve bu yüksekliğin (Stokes dalga teorisine göre) olası periyot varyasyonlarının taşıyıcı sistem üzerindeki sonuçları hesaplanmıştır. Yapı tipleri için hesaplanan periyot değerleri M1 ve M2 modelinde dalga periyotlarından çok uzakken, M3 modelinde yapı boyundaki artış ile dalga periyoduna diğerlerine oranlara yaklaşmıştır.

Analiz sonucunda tüm modellerde Şekil 4.4' de gösterilen düşey ekseninde yatay yer değiştirme okumaları alınmıştır.



Şekil 4.4. Tüm modellerde yatay deplasman okumalarının yapıldığı noktalar a) M1 modeli yatay deplasman okuma noktaları, b) M2 modeli yatay deplasman okuma noktaları, c) M3 modeli yatay deplasman okuma noktaları

Çalışmada 103 m taşıyıcı sistem yüksekliğine sahip M1 modeli için elde edilen yapı yüksekliği yatay yer değiştirme grafikleri Şekil 4.5' de gösterilmiştir. 5. Dereceden Stokes Dalga Teorisine göre seçilen dalga yükseklikleri ve bu yüksekliklere ait periyot değerleri çizelge 3.10' da gösterilmiştir.



Şekil 4.5. M1 modeli dalga yüksekliği yatay deplasman grafikleri

M1 modeli 7.5 m, 10 m dalga yüksekliklerinde de periyot değerleri  $T=8s$ ,  $9s$ , ve  $10s$  aralığındadır. Dalga yüksekliğinin  $12.5$  m olduğu durumda periyot değerleri  $T=8s$  ile  $14s$  aralığındadır. Her üç dalga yüksekliğinde de yapı düşey ekseninde tespit edilen yatay yer değiştirmeler farklı dalga periyotları için aynı sonuçları vermiş kendi içlerinde göreceli farklar oluşmamıştır. **Bu modelde dikkate alınan bu dalga durumları için yatay yer değiştirme periyot farklılıklarından etkilenmediği tespit edilmiştir.**

Dalga yüksekliğinin  $15$  m,  $17.5$  m,  $20$  m olduğu durumlarda periyot değerleri  $T=10s$  ile  $24s$  aralığındadır. Bu dalga yüksekliklerinde dalga periyodunun yatay yer değiştirme üzerine etkisi farklı periyot durumları için belirgin bir fark oluşturmamakla birlikte yatay yer değiştirmeler arasında ortalama  $10$  mm fark hesaplanmıştır.

M1 modeli için dikkate alınan  $7.5$  m,  $10$  m,  $12$  m dalga yüksekliklerinde dalga periyodunun yanıl yer değiştirmeye olan etkisinin belirgin olmaması sebebi ile maksimum yanıl yer değiştirmeler  $7.5$  m için  $6$  mm,  $10$  m için  $8$  mm,  $12.5$  m için  $11$  mm olarak hesaplanmıştır. Ancak dalga yüksekliğinin  $15$  m,  $17.5$  m,  $20$  m olduğu durumlarda en fazla yanıl yer değiştirme  $15$  m dalga yüksekliği için  $24sn'$  de  $14$  mm,  $17.5$  m dalga yüksekliği için  $24sn'$  de  $24$  mm ve  $20$  m dalga yüksekliği için  $23sn'$  lik dalga periyotunda  $31$  mm olarak hesaplanmıştır. Buradan yola çıkılarak bu model için dalga çarpma kuvveti büyüdükçe periyot farklılıklarına bağlı yanıl yer değiştirme de ki dallanma maksimum periyotların maksimum yer değiştirme yapması ile sonuçlandığı söylenebilir. **Bu periyot değerlerinin yapı doğal titreşim periyodundan çok uzak olması durumu etkinin dinamik yüklemeye bağlı ivmelenme sonucunda olmayıp periyot artışına bağlı parçacık taşımını ile ilişkilendirilmesi olduğu söylenebilir.**

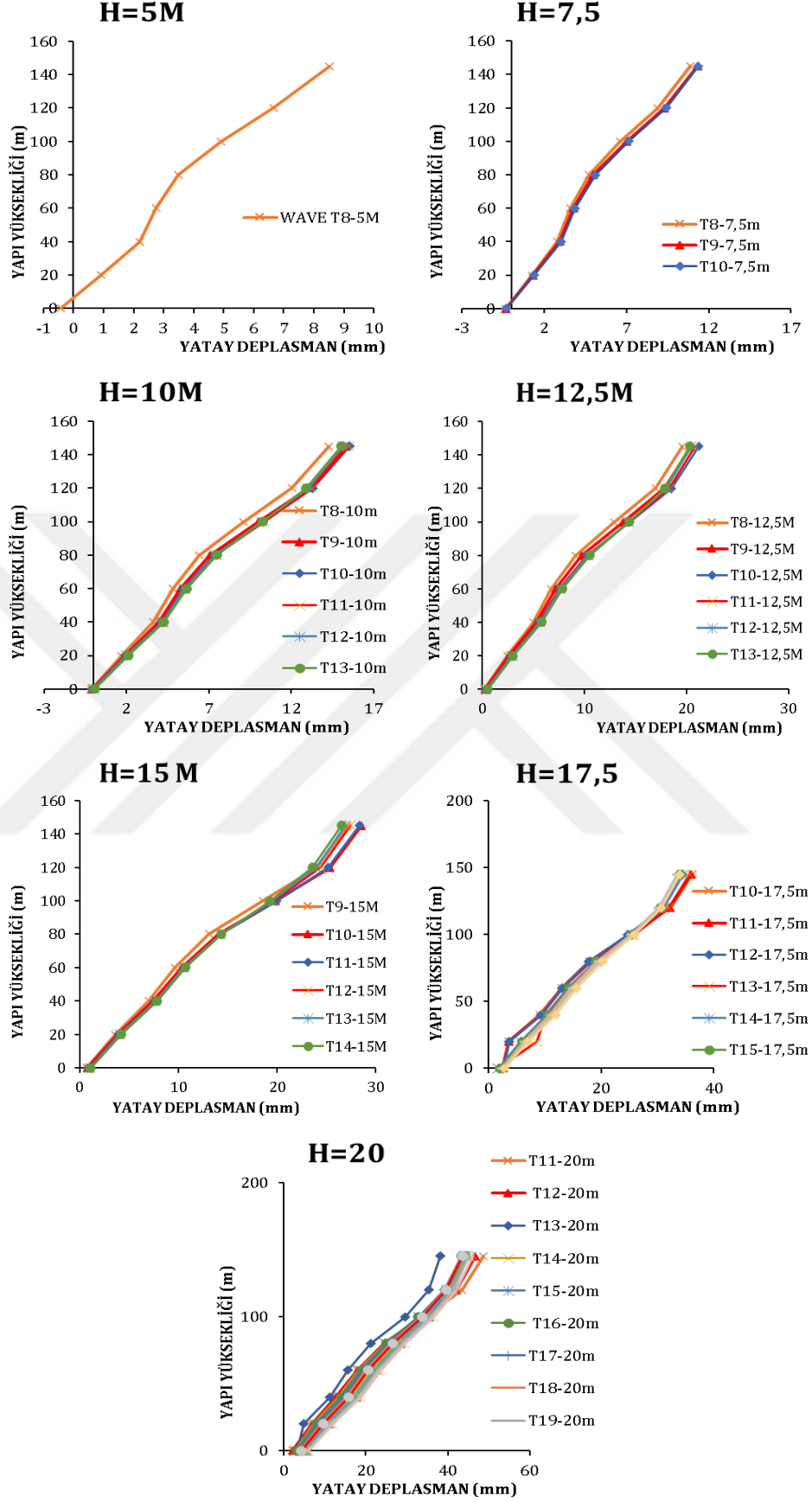
Dalga yüksekliklerinin taşıyıcı sistem tepe kotu yatay yer değiştirmesine olan yansıması değerlendirildiğinde; M1 modelinde dalga yükseklikleri  $7.5$  m- $20$  m aralığında ikişer buçuk metre olarak artırılmıştır. Analiz sonuçlarında her  $2.5$  dalga yüksekliğindeki artışın maksimum yer değiştirmeye yansıması ortalama  $5$ mm olarak belirlenmiştir.

Yapı yüksekliğince yatay yer değiştirmenin sunulduğu grafiklerde taşıyıcı sistemin genel davranışı da görölmektedir. Kule tipi yapıların dinamik analizinde yapı yüksekliği arttıkça mesnetlenme rijitliğinin yanal yer değiştirmeye olan etkisi de azalmaktadır. Bu durum yapısal davranış üzerinde farklılıklar ortaya koymaktadır. Tasarımcılar yapının devrilme momentini ve dinamik etki altında kütleyle bağlı taban kesme kuvvetini kontrol altına alabilmek için yapının ağırlık merkezini mesnete yakın tutmaya yönelik yaklaşımlar kullanmaktadırlar. Bu çalışmada kullanılan taşıyıcı sistemin geometrisi tabandan tepeye doğru daralan bir geometri izlemektedir. Bu sayede taşıyıcı sistemin ağırlık merkezi ve rijitlik merkezi deniz tabanı yaklaştırılmaya çalışılmıştır. Ancak açık deniz yapılarında taşınan konumda olan platform bölümü sahip olduğu ağırlık ve kütle olarak yapısal davranışta belirleyici bir niteliktedir. Literatür ve uygulamada platform ağırlıkları ortalama 10000-25000 ton arasında değişkenlik göstermektedir. Burada kullanılan tüm modellerde platform ağırlıkları 12000 ton olarak analizlere dahil edilmiştir. M1 modeli taşıyıcı sistem ağırlığı yaklaşık 21000 ton civarında olduğu düşünöldüğünde, kullanılan platformun ağırlığı toplam taşıyıcısı sistemin ağırlığının yarısı mertebesindedir. Yapılan hesaplamalarda taşıyıcı sistemin ağırlık merkezi deniz tabanı kotundan 46 m yüksekliktedir. Platform ağırlığı dikkate alındığında ağırlık merkezi deniz tabanı kotundan 63 m' ye ötelenmektedir. Taşıyıcı sistem ağırlık merkezinin kotu ve sistemin platform ile birlikte sahip olduğu kot değerleri dalga analizleri sonucunda elde edilen yatay yer değiştirme grafiklerini etkilemiştir. Grafikler bu kotlarda yatay yer değiştirme rijitliklerin de kırılmalar olmuş bu durum grafiklere yansımıştır.

Dalga yüklerinin zamana bağlı değişkenle yapıya etkidiği düşünölrse, sismik bir yüklemeye olduğu gibi kuvvet taşıyıcı sisteme ağırlık merkezinde etkir taşıyıcı sistem tepkiyi rijitlik merkezinden üretir. Bu yaklaşımla şekil 4.5' de grafikler incelendiğinde etkili yer değiştirmenin olduğu 15 m, 17.5 m, 20 m' lik dalga yüksekliklerinde taşıyıcı sistemin düşey aksında 40 m-70 m ve platform bölümüne yakın kotlarda yer değiştirme çizgisindeki artış hızında değişimlerin olduğu açıkça görölmektedir. Bu durum Platform kotunun tepe kotunda yer alması ve ağırlık merkezinin ortalama 70 m'lerde konumlanması kütle eylemsizliğinin yatay yer değiştirmede sınırlayıcı bir çizgide sonuçlar verdiğini

göstermektedir. Çünkü dalganın çarpma etkisinin yani maksimum yatay kuvvetin platform kotuna yakın olmasına rağmen sistemin ağırlık merkezi noktasında ve platform seviyesine yakın yerlerde ki yatay yer değiştirme hareketinde görece azalma kütle eylemsizliğinin kule tipi yapılarda yatay yer değiştirmede sınırlayıcı sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Çalışmanın ikinci modeli olan M2 no'lu taşıyıcı sisteme ait dalga yüksekliği yatay yer değiştirme grafikleri şekil 4.6' da gösterilmiştir. Bu modelin M1 modeline göre dalga aralığı 5 m-20 m aralığında değişmektedir. Çalışmada kullanılan 5. Dereceden Stokes Dalga Teorisine göre M2 no'lu modelin yüksekliği ile ilişkilendirilen dalga yüksekliği aralığına 5 m dahil edilmiştir. Dalga yüksekliğinin 5 m olduğu durum için elde edilen sonuçlar bu teoriye göre sadece 8sn'lik dalga periyodunu kapsamaktadır. Diğer dalga boylarında dalga periyotları 8sn-24sn aralığında değişkenlik göstermektedir.



Şekil 4.6. M2 modeli dalga yüksekliği yatay deplasman grafikleri

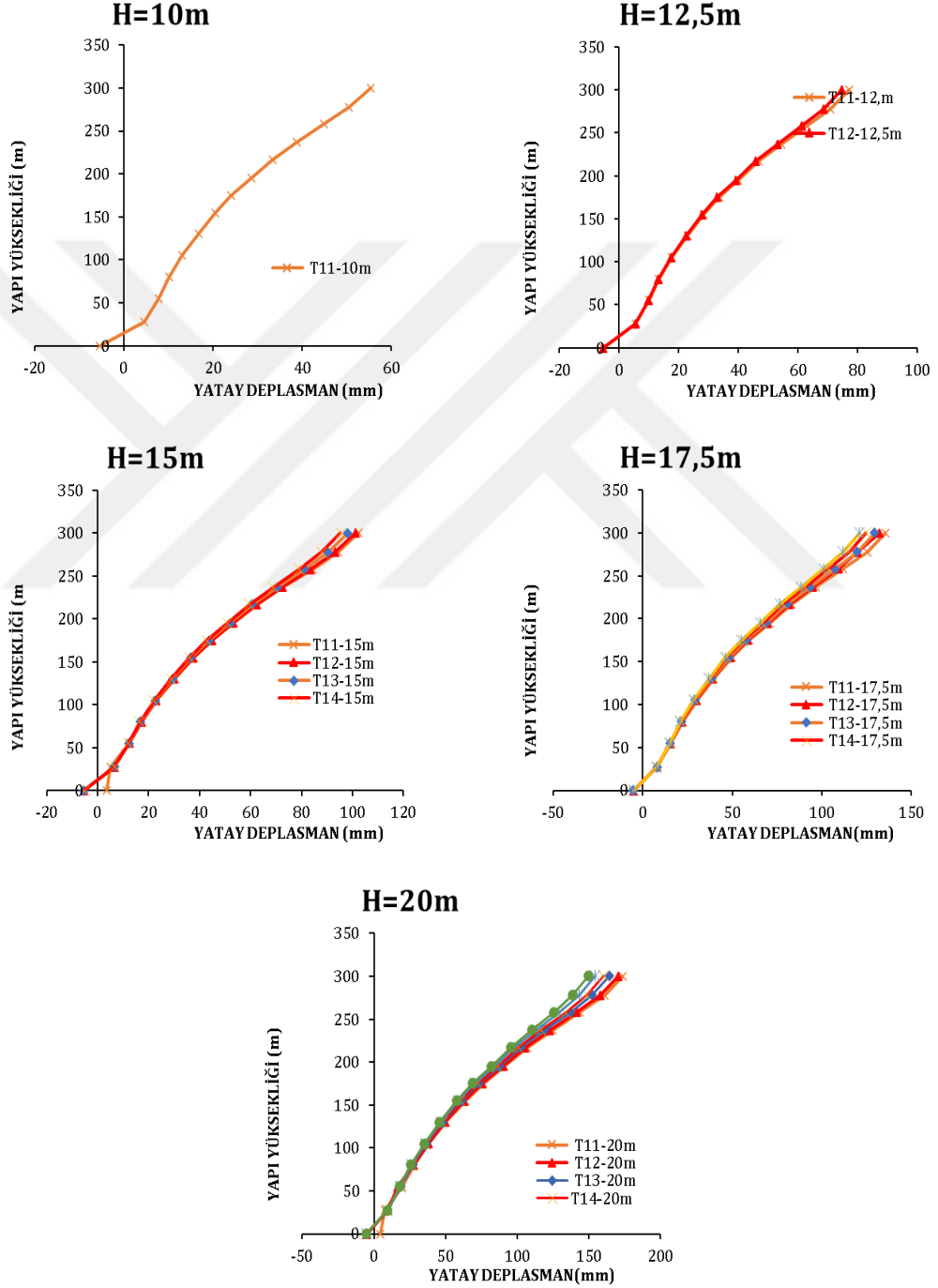
M2 modeline ait olan sonuçlar incelendiğinde M1 modelinden farklı olarak bu modeldeki dalga periyodunun yatay yer değiştirmeye etkisi sadece 20 m dalga yüksekliğinde yapısal davranışta farklılık ortaya koymuştur. Bu dalga yüksekliğine ait yatay yer değiştirme incelendiğinde farklı periyot değerlerine göre en küçük yer değiştirme ile en büyük yer değiştirme arasında ki fark 6 mm olmuştur. Bu yükseklikte bir yapı için 6 mm yatay yer değiştirmenin yapısal davranış açısından bir farklılık ortaya koyması mümkün değildir. **Bu sebeple M2 modelinde aynı dalga yüksekliği için farklı dalga periyotlarının etkinliği olmadığı görülmektedir.**

M2 no'lu modelde de dalga yükseklikleri 5 m'den başlayarak 20 m' ye kadar 2.5 m artışlarla yüklemeler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde M1 no'lu modelde olduğu gibi M2 no'lu modelde de her 2.5 m artış toplam yer değiştirmeye ortalama 5 mm artışa sebep olmuştur.

Grafiklerdeki dalga yüküne bağlı yapı düşey aksındaki yer değiştirmelerin dağılımı incelendiğinde 20 m dalga yüksekliği hariç olmak üzere tüm modellerde 40 m,80 m ve 120 m de yatay yer değiştirme eğrisinde kırılmalar göze çarpmaktadır. Bu modelde taşıyıcı sistem ağırlık merkezi deniz tabanına göre 66 m'de platform kütlesi dahil edildiğinde ise yapı ağırlık merkezi 83 m'dedir. M1 modelinde olduğu gibi yapısal davranışlarda yapı rijitlik merkezi ile yapı ağırlık merkezi davranışça belirleyici olmuştur. 20 m dalga yüksekliği dahil olmak üzere M2 modeline ait tüm dalga boylarında 120 m kotu ve üzerinde yanal yer değiştirmede azalış görülmektedir. Bu azalış güverte kaynaklı kütle eylemsizliği ve deniz seviyesi üst kotu ile ilişkilendirilebilir. Ancak M2 modelinde 20mdalga yüksekliği yapısal davranışça diğer dalga yüksekliklerinden ayrışmaktadır. Bu dalga yüksekliğinde 40 m ve 80 m yüksekliklerde yatay yer değiştirmedeki eğrideki kırılmalar minimize olmuş yapının deniz seviyesine kadar bir bütün olarak hareket ettiği gözlemlenmiştir. Bu durum bu yapı için uygulanan dalga yükünde yapının yanal yer değiştirme rijitliğinin yenildiği bu sebeple yapının bütünsel olarak harekete zorlandığı şeklinde yorumlanabilir. Bu durum her yapı tipi ve yüksekliği için bazı dalga yüksekliklerinin kritik dalga yüksekliği olarak

nitelendirilip davranışların bu kapsamda incelenmesi gerektiğini göstermektedir.

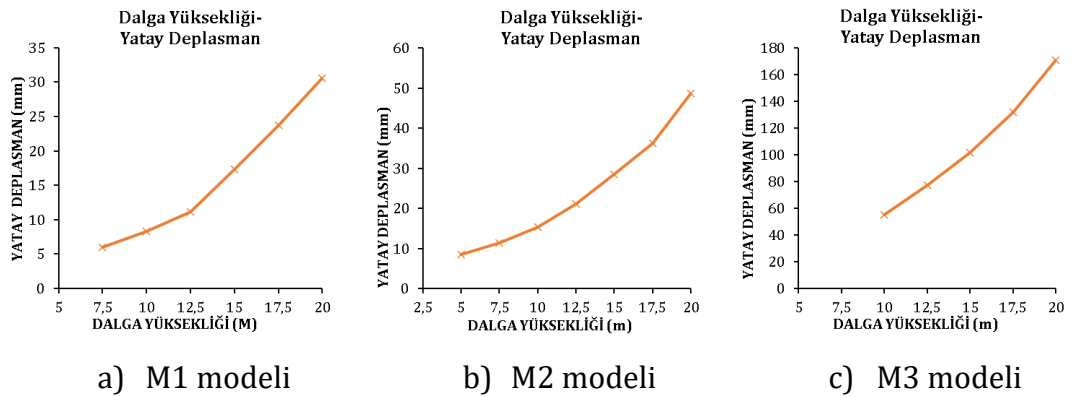
Çalışmadaki en yüksek model olan M3 modeli taşıyıcı sistemin dalga yükleri altındaki yer değiştirmeleri şekil 4.7' de verilmiştir.



Şekil 4.7. M3 modeli dalga yüksekliği yatay deplasman grafikleri

Grafikler incelendiğinde dalga periyotunun yapısal davranış üzerindeki etkisi yapı yüksekliği arttıkça daha da azalmıştır. M1 modelinde bu farklılık bazı dalga yüksekliklerinde kendini göstermiş M2 no'lu modelde sadece 20 m dalga boyunda periyot farklılığının yapısal davranışa etkisi sonuçlara yansımış ancak M3 no'lu modelde dalga periyodunun yanal yer değiştirme üzerindeki etkisi tespit edilmemiştir. Bununla birlikte dalga yüksekliğinin yapı tepe kotu deplasmanında her 2.5 m artışlarda diğer modellerden farklı olarak ortalama 20 mm artışlar tespit edilmiştir. Bu model diğer modellerden tepe kotu yatay yer değiştirme miktarınca belirgin bir şekilde ayrılmıştır. Bu durumun temel sebebi yapı mesnetlenme rijitliğinin yapı yüksekliği arttıkça yanal yer değiştirme rijitliğine katkısının azalması ve ayrıca yapı yüksekliği ile paralel olarak artan yapı ağırlık merkezinin taban kotuna olan mesafesinin artmasıdır. Bu modelde taşıyıcı sistem ağırlık merkezi 124 m yapı ağırlık merkezi 141 m'dedir. Ağırlık merkezi ve rijitlik merkezinin davranışa olan etkisi bu modele ait sonuçlarda daha belirgin şekilde grafiklere yansımıştır.

Yatay yer değiştirmeye ait grafikler taşıyıcı sistemin düşey aksdaki görelî dağılımı incelendiğinde eğrideki ilk değişim 40 m kotunda, ikinci kırılma noktası yapı ağırlık merkezinin konumlandığı 140 m aralığındadır. Diğer modellerde olduğu gibi platform kotu kütle eylemsizlik yatay yer değiştirme üzerinde ki sınırlayıcı etkisi belirgin bir şekilde 4.7' de grafiklere yansımıştır.



Şekil 4.8. Dalga yüksekliği maksimum yatay deplasman

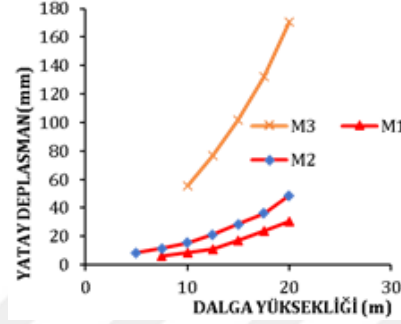
Dalga periyotlarının ve dalga yüksekliklerinin yapısal davranışa etkisinin incelemek için elde edilen sonuçlara göre; her üç modelde de maksimum yer

değiştirmelerin hesaplandığı dalga periyotu ve dalga yüksekliğine ait değerler Şekil 4.8' de gösterilmiştir. Şekil 4.8 incelendiğinde M1 no'lu modelde en büyük yer değiştirmeler 15 m,17.5 m ve 20 m de dalga yüksekliklerinde maksimum periyotlar için elde edilmiştir. Dalga yüksekliğinin 7.5 m-10 m-12.5 m olduğu durumlarda grafiklerde maksimum ve minimum periyot arasında bir fark oluşmamış tüm dalga periyotlarında yaklaşık aynı yatay yer değiştirme tespit edilmiştir. Bu durum bu model için dalga hareketindeki maksimum kütle taşınımının yer değiştirme üzerinde etkili olabileceği sonucunu taşımaktadır. Taşıyıcı sistemin yanal ötelenme rijitliğini yenen dalga yüksekliklerinde dalga periyodu büyüdükçe o dalga ile birlikte hareket eden su kütlesinin artışı yapıda yanal yer değiştirmeyi de artırmaktadır. Grafikte en küçük dalga yüksekliği olan 7.5 m' ye ait sonuç ile maksimum dalga yüksekliği olan 20 m' ye ait sonuç kıyaslandığında yapıdaki yer değiştirmeler de yaklaşık 6 kat arttığı grlmektedir.

M2 modeline ait sonuçlar incelendiğinde yapı yüksekliğinin artması sebebi ile birlikte dalga periyodunun etkinliğinin azaldığı maksimum yer değiştirmelerde farklı periyotlar arasında görelili deplasmanların dikkate alınmayacak seviyede azaldığı saptanmıştır. Grafiklerde 5 m ile 20 m arasında yer değiştirme miktarının yaklaşık 8 kat oranında arttığı hesaplanmıştır.

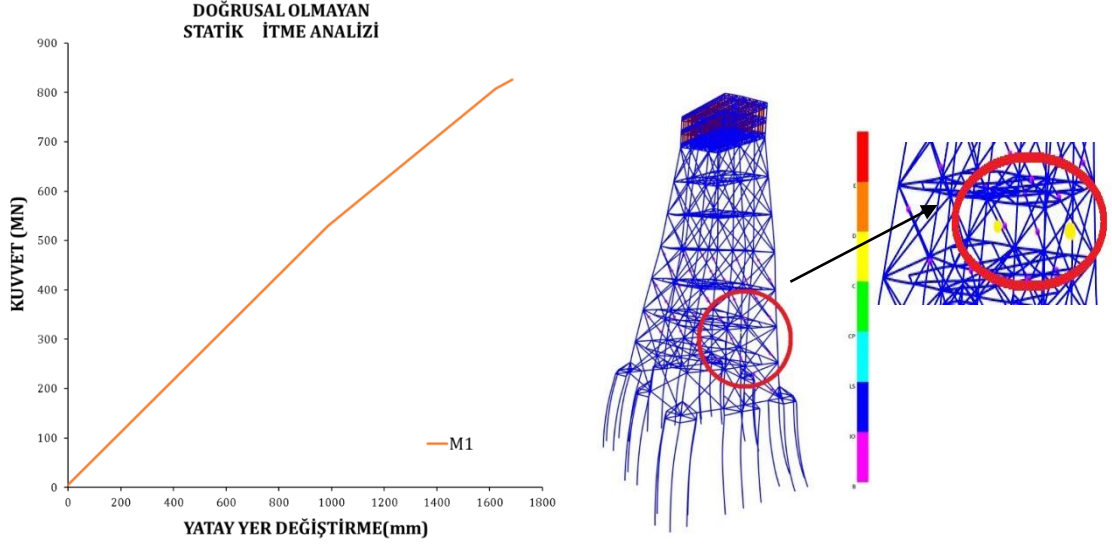
Çalışmanın en yüksek modeli olan M3 modeline ait sonuçlar incelendiğinde yapı yüksekliğinde artışla dalga periyodunun yatay yer değiştirme üzerindeki etkinliğinin kaybolduğu grlmektedir. Yapı yüksekliği arttığıca dalga periyodunun yatay yer değiştirme üzerine etkisinin azalması sebebi ile bu modelde yer değiştirmeler arasındaki farklar en aza düşmüştür. Bu analizlerde en küçük dalga yüksekliği ile en büyük dalga yüksekliği arasında ki yer değiştirme yaklaşık 3.5 katına çıkmıştır. Bu durum yapı yüksekliğinin artması ve buna bağlı yanal ötelenme rijitliğinin azalmasının bir sonucudur. Bu sebeple en küçük dalga yüksekliğinde elde edilen yatay ötelenme ile en büyük dalga yüksekliği sonuncunda elde edilen yatay ötelenme arasında ki makas azalmıştır.

Şekil 4.9’ da her üç modelin farklı dalga yüksekliklerindeki maksimum yer değiştirmeleri bir grafikte toplanmıştır. Grafikte yapı yüksekliğindeki artışın dalga etkileşimi ile olan payı açıkça görülmektedir. M1 ve M2 modelinin dalga yüküne karşı oluşturdukları reaksiyon birbiri ile paralellik dahilindeyken M3 modeli aynı dalga yüksekliklerinde yaklaşık beş katı yatay yer değiştirmeye ortaya koymuştur.



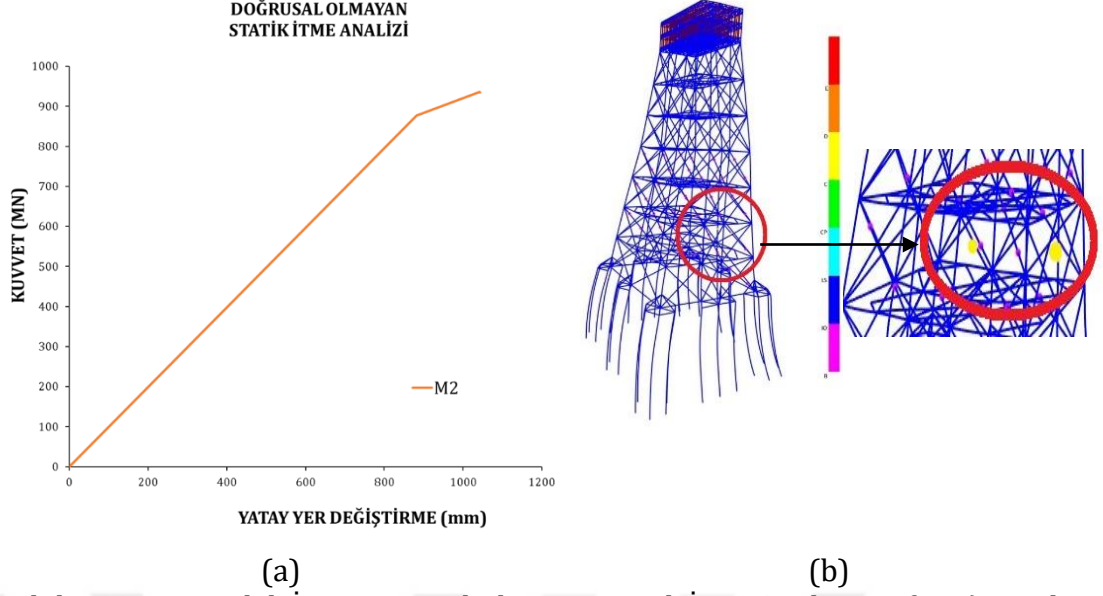
Şekil 4.9. Tüm modellerin dalga yüksekliği yatay deplasman grafikleri

Yapılan bu çalışmada tüm modeller hem dalga yükü hem de deprem yükü kaynaklı yanal yer değiştirmeye sonuçları analiz edilmiştir. Taşıyıcı sistemlerin etkileyen yükler altında, ortaya koydukları yer değiştirmelerin yapısal güvenlik açısından ne durumda olduğunu anlayabilmek için her üç modelde, doğrusal olmayan statik itme analizleri yapılmıştır. Analizlerde, elde edilen sonuçlar M1 modeli için şekil 4.10’ da M2 modeli için şekil 4.11’ de M3 modeli için şekil 4.12’ de verilmiştir. Şekillerde yer alan her bir itme yer değiştirme sonuçları ile birlikte taşıyıcı sistem üzerinde meydana gelen burkulan elemanlar gösterilmiştir. Bu şekli ile hem dalga yükü hem de sismik yüklerde elde edilen düşey aksdaki yatay yer değiştirme grafikleri yorumlanmaya çalışılmıştır.



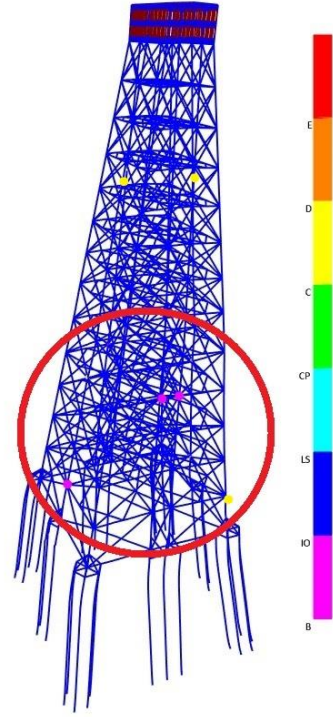
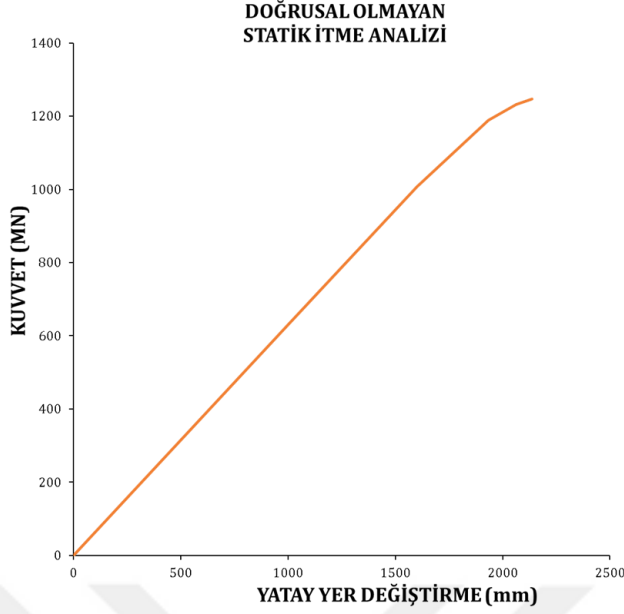
Şekil 4.10. M1 modeli için doğrusal olmayan statik itme analizi grafiği a) Statik itme analizi grafiği, b) M1 modeli burkulan elemanlar

Şekil 4.10' da M1 modeline ait statik itme grafiği verilmiştir. Model de ilk burkulan elemanlar 25 m-50 m Kotunda çapraz elemanlarda burkulma meydana gelmiştir. Sistemin göçme durumuna geçmesi itme yönüne göre basınç bölgesinde yer alan kolonlarda 37.5 m Kotunda aksenal yük kaynaklı göçme durumunda oluşmuştur. Grafikte taşıyıcı sistem, 1000 mm taşıyıcı sistem tepe kotu yatay yer değiştirme değerine kadar orantılılık sınırında kalmıştır. Bunu takip eden yer değiştirmelerde kalıcı deformasyonlar oluşmuştur.



Şekil 4.11. M2 Modeli İçin Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi Grafiği a) Statik itme analizi grafiği, b) M2 modeli burkulma elemanları

Şekil 4.11.a' da M2 modeline ait statik itme grafiği verilmiştir. Model'de ilk burkulma elemanları 30 m-40 m aralığında M1 modelinde olduğu gibi çapraz elemanlarda burkulma meydana gelmiştir. Sistemin göçme durumuna geçmesi itme yönü basınç bölgesinde yer alan kolonlar 35 m Kotunda aksel yük kaynaklı olmuştur. Şekil 4.8.b' de Statik itme analizi sonucunda oluşan burkulma noktaları devamında kolonda oluşan göçme durumu gösterilmiştir. Bu modelde de orantılılık sınırı 950 mm kabul edilebilir. Bunu takip eden yer değiştirmelerde kalıcı deformasyonlar kesitlerde kapasite kaybına sebep olacak seviyelerde oluşmuştur.



(a)

(b)

Şekil4.12. M3 modeli için doğrusal olmayan statik itme analizi grafiği a) Statik itme analizi grafiği, b) M3 modeli burkulun elemanlar

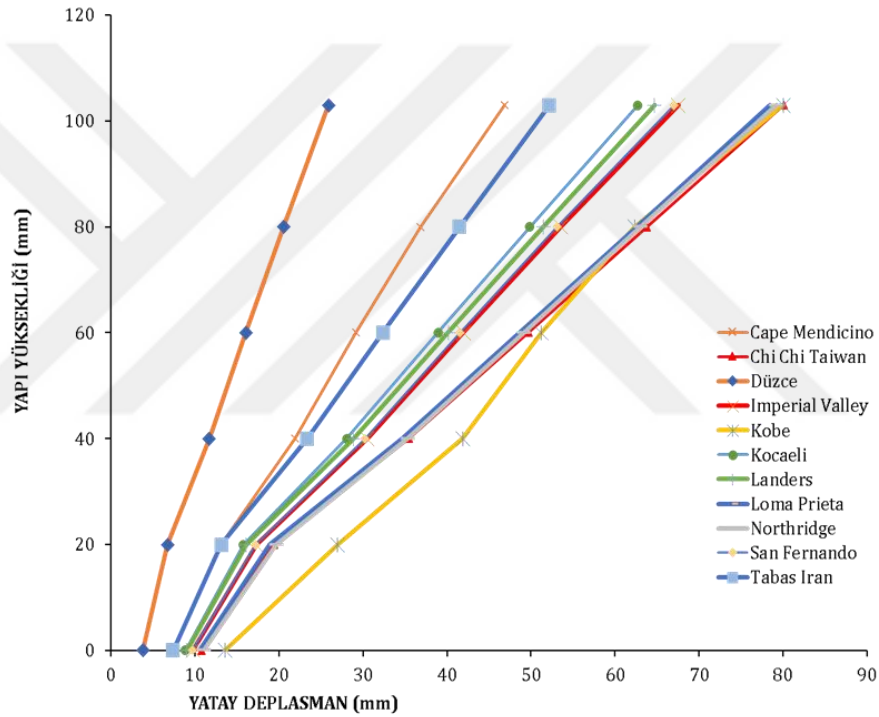
Şekil 4.12.a' da M3 modeline ait statik itme grafiği verilmiştir. Bu model de ilk burkulun elemanlar 27.5 m Kotunda çapraz elemanlarda burkulma meydana gelmiştir. Sistemin göçme durumuna geçmesi diğer modellerde olduğu gibi itme yönü basınç bölgesinde yer alan kolonlarda 27.5 m, 105 m, 237.5 m kotunda yine aksenal yük kaynaklı olmuştur. Bu modelde orantılılık sınırı 1650 mm mertebelerine taşımıştır. Bunu takip eden yer değiştirmelerde kalıcı deformasyonlar kesitlerde kapasite kaybına sebep olacak seviyelerde oluşmuştur. Burkulan elemanlar diğer modellerde olduğu gibi ana kolonlarda basınç bölgesinde oluşmuştur. Burkulan elemanlar sistemin ileri yer değiştirmelerde ani göçme durumunu sergilemesine sebep olmaktadır.

Çalışmada ikinci yükleme tipi olan deprem yüklerinde; ölçeklendirilen ivme kayıtları için hesaplanan İvme Spektrum eğrileri tüm modellerde deprem yüklemesi olarak kullanılmıştır. Analiz sonucunda elde edilen yatay yer değiştirmeler M1 modeli için şekil 4.13' de M2 modeli için şekil 4.14' de M3 modeli için şekil 4.15' de sunulmuştur. Ancak yapılan sismik analizlerde yapıların

su kütlesi içerisinde olması dikkate alınmamıştır. Taşıyıcı sistemin %90' ına yakını su kütlesi içerisinde yer alan bir açık deniz yapsın da suyun taşıyıcı elemanlar üzerinde oluşturduğu sürtünmeye bağlı sönüm etkisi yatay yer değiştirmeleri sınırlandıracaktır ve bu tez çalışmasında bu sönüm etkisi ihmal edilmiştir.

M1 modeli ölçeklendirilmiş ivme spektrum eğrileri için yapılan sismik analiz sonuçları şekil 4.13' de gösterilmiştir.

### M1 MODELİ DEPREM ANALİZİ GRAFİĞİ

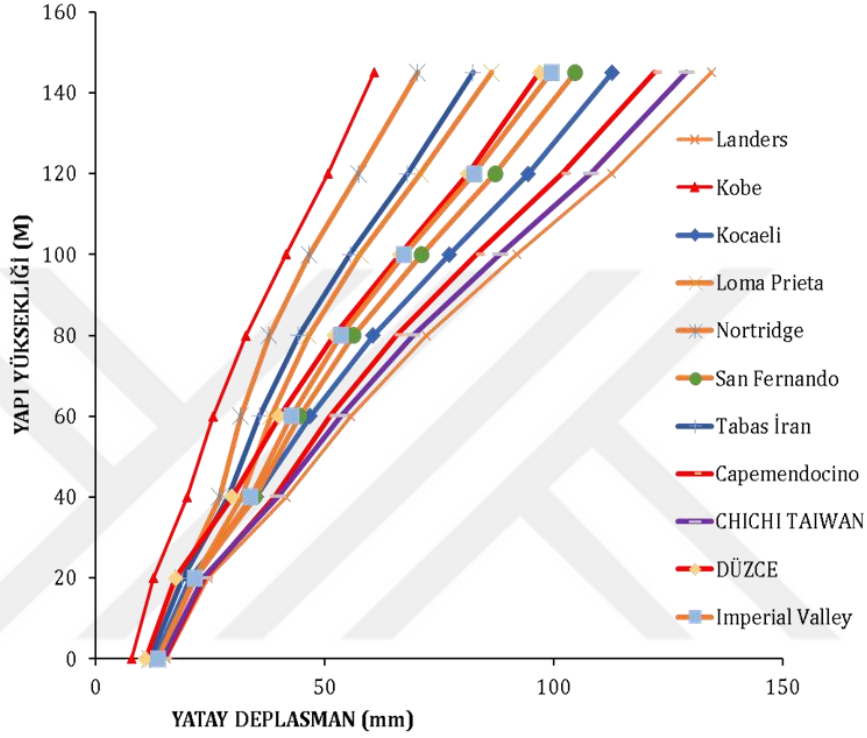


Şekil 4.13. M1 modeli deprem grafiği

Su kütlelerinin etkisinin dikkate alınmadığı sismik analizlerde maksimum yer değiştirme 75 mm olarak hesaplanmıştır. Elde edilen yer değiştirme miktarı dalga yükleri ile karşılaştırıldığında ortalama iki katı kadardır. Suyun sönüm etkisi dikkate alındığında bu değer yapılan yaklaşık hesaplamaya göre %30 mertebesinde azalmaktadır. Her iki durum içinde M1 modeli orantılılık sınırı olan 1000 mm yer değiştirme ile karşılaştırıldığında dalga ve sismik kaynaklı yükler

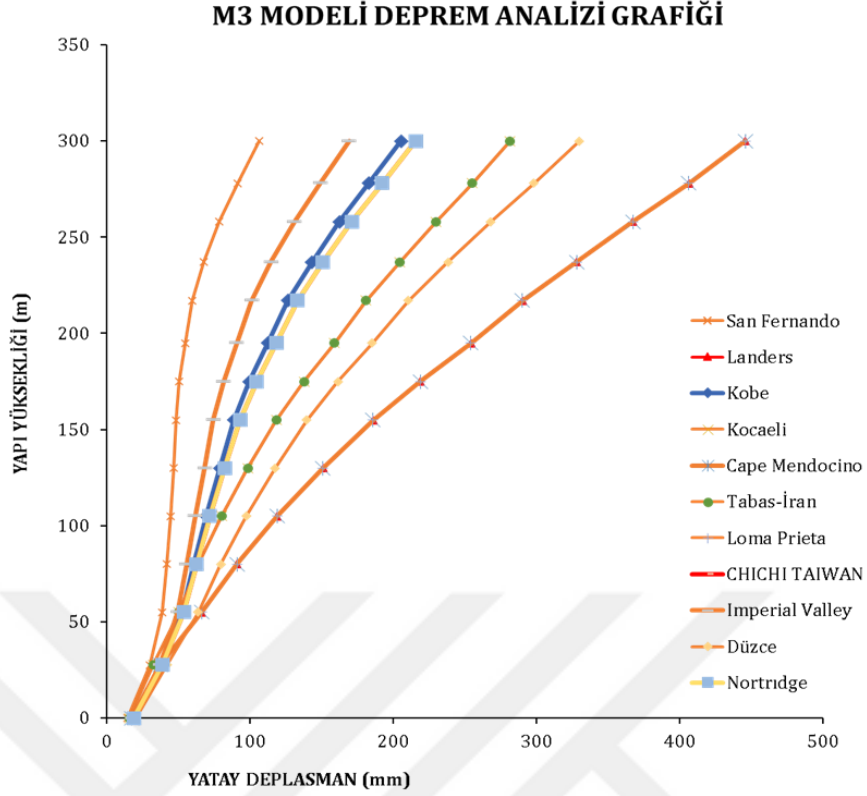
için yapı orantılılık sınırları dahilindedir. Bu kapsamda, yapının dalga yükü ve sismik yük ile hizmet ömrü boyunca etkileşimi düşünüldüğünde dalga yüklerinin tekrar periyodu kesit yorulma etkisi taşıyıcı sistem için daha etkili yük durumu olduğu sonucu çıkmaktadır.

### M2 MODELİ DEPREM ANALİZİ



Şekil 4.14. M2 modeli deprem grafiği

M2 modeli için hesaplanan değerler incelendiğinde maksimum yer değiştirme 125 mm olarak hesaplanmıştır. Elde edilen yer değiştirme miktarı dalga yükleri ile karşılaştırıldığında M1 modelinde olduğu gibi ortalama iki katı kadardır. Bu modelde de suyun sönüm etkisi dikkate alındığında bu değer yapılan yaklaşık hesaplamaya göre %35 mertebesinde azalmaktadır. Bu modelde de orantılılık sınırı olan 950 mm yer değiştirme mertebesinde dir. Bu sebeple dalga ve sismik kaynaklı yükler için yapı orantılılık sınırları dahilindedir.



Şekil 4.15. M3 modeli deprem grafiği

M3 modeli için hesaplanan değerler incelendiğinde maksimum yer değiştirme 425 mm olarak hesaplanmıştır. Elde edilen yer değiştirme miktarı dalga yükleri ile karşılaştırıldığında ortalama iki buçuk katı kadardır. Bu modelde de suyun sönüm etkisi dikkate alındığında bu değer yapılan yaklaşık hesaplamaya göre %38 mertebesinde azalmaktadır. Dalga ve sismik kaynaklı yükler için yapı orantılılık sınırı dahilindedir.

**Deprem kaynaklı yer değiştirmeleri dalgadan ayıran en önemli etki birinde ana etki çarpma yükü kaynaklı iken, sismik yükte ise kütle kaynaklı kuvvettir. Bu da yapıların davranışına yansımaktadır. Dalga kaynaklı etkilerde, çarpma etkinin üstünde kalan platform deplasman sınırlayıcı gibi bir nevi sönümleyici gibi görev alırken, depremde tüm yapı birlikte hareket etmektedir. Bu durumda da taşıyıcı sistemin rijitliği davranışı belirlemektedir.**

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmada Türkiye karasularında olası rüzgâr, dalga ve sismik etkiler için hesaplanan dış yüklere göre; 103 m, 145 m ve 300 m yüksekliğindeki sabit kule tipi açık deniz yapılarının yapısal davranışlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda belirlenen modeller öncelikle API WSD2000 standardına göre operasyonel yük durumları da dikkate alınarak kapasite dağılımları belirlenmiş ve kesit değerlendirmeleri yapılmıştır. Kapasite dağılımları en zorlanan kesit kapasitesini %65'i aşmayacak şekilde dizayn edilmiştir. Taşıyıcı sistemler sahip oldukları yükseklikler ile ilişkilendirilen derinliklerde 5. Dereceden Stokes Dalga Teorisi göre belirlenen yükler altında ve belirlenen olası montaj alanları için hesaplanan sismik yükler altında analiz edilmiştir. Analizler sonucunda; yapı yüksekliği boyunca yatay yer değiştirmeleri hesaplanmıştır. Elde edilen veriler kullanılarak Türkiye karasularında çalışmada kullanılan boyutlardaki sabit kule tipi açık deniz yapılarının yapısal davranışları belirlenmesi ve genel değerlendirme yapılması amaçlanmıştır.

Tüm modellerde yüz mod durumu dikkate alınmıştır. M1 modeli için 0,708s, M2 modeli için 0,98s, M3 modeli için 2,30s birinci doğal titreşim periyot değerleri analizler sonucunda elde edilmiştir. Modal analizlerde her iki ekseninde kütle katılımları ilk on periyot değerinde %55-%76 aralığında sonuçlar vermiştir. Dinamik analizlerde kütle katılımları dikkate alınmıştır.

Ankastre mesnet tanımlaması durumu ve kazıklı temel sistemi tanımlanması durumunda yapılan karşılaştırmada; birinci doğal titreşim periyot değerlerinde M1 modelinde 0,17s daha ankastre sistem rijit kalmıştır. Bu durum M2' de 0,22s, M3' de 0,65s'dir kadar fark oluşturmuştur. Kule boyu arttıkça bu fark açılmaktadır. Takip eden mod değerlerinde; M1 modelinde 6. Mod, M2 modelinde 9. Mod, M3 modelinde 7.Mod ve sonrasında periyot değerleri için mesnetlenme etkisi devre dışı kalmış, hesaplanan değerler birbiri ile uyumlu hale gelmiştir. Uyumlu hale gelen mod davranışının temelinde ilerleyen mod durumlarında tüm yönlerdeki toplam kütle katılım oranlarının birbirine yaklaşması ve düşey katılımın etkinliğinin artmasıdır.

Açık deniz yapıları taşıyıcı sistem davranışı üzerinde belirleyici dış yükler içinde en etkili durumlar olan dalga, rüzgâr ve sismik yüklerin sonuçlarının irdelendiği bu çalışmada; ilk olarak rüzgâr ile birlikte dalga yükleri incelenmiştir.

Dalga'nın yapı ile olan etkileşiminde dalga'nın formu, yaklaşma açısının önem kazandığı literatürde yer almaktadır. Yapılan bu çalışmada yapısal davranışta belirleyici durumun 5. Derece Stokes Dalga Teorisine göre elde edilen sonuçlar olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte davranışta diğer önemli durum dalga yanaşma açısıdır. Yapılan bu çalışmada; öncelikle 0-360° aralığında farklı yaklaşma açıları dikkate alınarak dalga yükü modellere etkilmiştir. Elde edilen sonuçlar içinde en büyük yatay deplasman değeri 0° ve 180° yanaşma açılarında ortaya çıkmıştır. Yapılan analizler sonucunda tüm modellerde ve dalga analizlerinde 0° yanaşma açısı dikkate alınmıştır. Dalga etkisi altındaki tüm analizlerde dalga boyu dalga periyodu ilişkisinin yapısal davranış üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu kapsamda;

- M1 modeli dalga analiz sonuçları incelendiğinde; dikkate alınan dalga durumları için yatay yer değiştirmenin, periyot farklılıklarından etkilenmediği tespit edilmiştir M1 modeli için dikkate alınan 7.5 m, 10 m, 12 m dalga yüksekliklerinde dalga periyodunun yanal yer değiştirmeye etkisi olmaması sebebi ile maksimum yanal yer değiştirmeler 7.5 m için 6 mm, 10 m için 8 mm, 12.5 m için 11 mm hesaplanmıştır. Ancak dalga yüksekliğinin 15 m, 17.5 m, 20 m olduğu durumlarda en fazla yanal yer değiştirme 15 m dalga yüksekliği için 24 sn'de 14 mm, 17.5 m dalga yüksekliği için 24 sn'de 24 mm ve 20 m dalga yüksekliği için 23 sn'lik dalga periyotunda 31 mm olarak hesaplanmıştır. Bu periyot değerlerinin yapı doğal titreşim periyodundan çok uzak olması durumu etkinin dinamik yüklemeye bağlı ivmelenme sonucunda olmayıp periyot artışına bağlı parçacık taşımını ile ilişkilendirilmesi mümkün olduğu sonucuna varılmıştır.
- M2 modeline ait olan sonuçlar incelendiğinde M1 modelinden farklı olarak bu modeldeki dalga periyodunun yatay yer değiştirmeye etkisi sadece 20 m dalga yüksekliğinde ortaya yapısal davranışta bir farklılık oluşturmuştur. Ancak periyot değerlerine göre en küçük yer değiştirme ile

en büyük yer değiştirme arasında ki fark 6 mm'dir. Bu yükseklikte bir yapı için 6 mm yatay yer değiştirmenin yapısal davranış açısından bir farklılık ortaya koyması mümkün değildir. Bu sebeple M2 modelinde aynı dalga yüksekliği için farklılık dalga periyotlarının etkinliği olmadığı sonucu çıkmıştır. M2 modelinde dalga yükseklikleri 5 m' den başlayarak 20 m' ye kadar 2.5 m artışlarla hesaplamalara dahil edilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde M1 modelinde olduğu gibi M2 modelinde de her 2.5 m artış toplam yer değiştirmeye etkisi ortalama 5 mm olarak hesaplanmıştır.

- M3 modelinde dalga periyodunun yanal yer değiştirme üzerindeki etkisi tespit edilmemiştir. Dalga yüksekliğinin yapı tepe kotu deplasmanında her 2.5 m artışlarda diğer modellerden farklı olarak ortalama 20 mm artışlar tespit edilmiştir.
- Dalga yüksekliklerinin yapısal davranışa etkisinin incelendiğinde; M1 modelinde en küçük dalga yüksekliği olan 7.5 m' ye ait sonuç ile maksimum dalga yüksekliği olan 20 m' ye ait sonuç kıyaslandığında yapıda oluşan yatay yer değiştirmeler yaklaşık 6 kat artmıştır. M2 modeline ait sonuçlar incelendiğinde 5 m ile 20 m arasında yapılan kıyaslamada yer değiştirme miktarının 8 kat arttığı hesaplanmıştır. M3 modeline ait sonuçlar incelendiğinde yapı yüksekliğinde artışla dalga periyodunun yatay yer değiştirme üzerindeki etkinliği kaybolmuştur. Yapı yüksekliği arttıkça dalga periyodunun yatay yer değiştirme üzerine etkisinin azalması sebebi ile bu modelde yer değiştirmeler arasındaki farklar en aza düşmüştür. Bu analizlerde en küçük dalga yüksekliği ile en büyük dalga yüksekliği arasında ki yer değiştirme yaklaşık 3.5 katına çıkmıştır. Bu durum yapı yüksekliğinin artması ile yanal ötelenme rijitliğinin azalmasının bir sonucudur. Bu sebeple en küçük dalga yüksekliğinde elde edilen yatay ötelenme ile en büyük dalga yüksekliği sonuncunda elde edilen yatay ötelenme arasındaki makas azalmıştır.
- Tüm modellerde dalga yükünün yapısal davranışa olan etkisi incelendiğinde, yapının taşıyıcı sisteminin ağırlık merkezi ve platform ile

birlikte tüm sistem ağırlık merkezinin yapı yüksekliğince ele alınan yatay yer değiştirmelerde belirgin kırılmalar sergilediği tespit edilmiştir. Yapı yüksekliğinin arttığı M2 ve özellikle M3 modelinde platform kotunun kütlesi sebebi ile yatay yer değiştirmede sınırlayıcı etki göstermiştir. Bu davranış tabana ankastre üst kotunda kütle olan basınç çubuğunun elastik eğrisine benzetilebilir.

Rüzgâr, dalga ve deprem yükleri altında yatay yer değiştirme değerlerinin hesaplanarak yapısal davranışın değerlendirildiği bu çalışmada, yapısal güvenlik açasından sınırlarının değerlendirilmesi için tüm modellerde lineer üstü statik itme analizi yapılmıştır. Analiz soncunda elde edilen yük-yer değiştirme grafikleri incelendiğinde ;

- M1 modelinin 1000 mm orantılık sınırının olduğu, M2 modelinin 950 mm, M3 modelinin 1650 mm de orantılılık sınırları hesaplanmıştır. Tüm modellerde ilk burkulan elemanlar yapı yüksekliğince 30 m-50 m aralığında konumlanan çapraz elemanlarda gözükümüştür. Yapının göçme durumuna geçmesini sağlayacak belirleyici burkulan elemanların 30 m-50 m yükseklik aralığında itme yönüne göre basınca çalışan dış kenar kolonlarda olduğu hesaplanmıştır. Statik itme analizlerinde M3 modeli diğerlerinden farklı olarak platform kotuna yakın 237.5 m yükseklikte çapraz elemanlarda ve ana taşıyıcı kolonlarda burkulma durumu tespit edilmiştir. Bu durum yüksek açık deniz yapılarında platform kütlesinin yapısal elemanların burkulmasının belirleyici sonuçlar doğurabileceğini göstermektedir.

Yapı modellerine ölçeklendirilerek uygulanan sismik yüklemeler su kütlesinin etkisi ihmal edilerek sonuçları incelendiğinde;

- M1 modelinde sismik analizlerde maksimum yer değiştirme 65 mm olarak hesaplanmıştır. Elde edilen yer değiştirme miktarı dalga yükleri ile karşılaştırıldığında ortalama iki katı kadardır. M2 modeli için hesaplanan değerler incelendiğinde maksimum yer değiştirme 125 mm olarak hesaplanmıştır. Elde edilen yer değiştirme miktarı dalga yükleri ile karşılaştırıldığında M1 modelinde olduğu gibi ortalama dalga yükü

kaynaklı yatay deplasmanın iki katı kadardır. M3 modeli için hesaplanan değerler incelendiğinde maksimum yer değiştirme 425 mm olarak hesaplanmıştır. Elde edilen yer değiştirme miktarı dalga yükleri ile karşılaştırıldığında ortalama iki buçuk katı kadardır. Yapılan bu analizlerde su kütesinin sönümü dikkate alınmamıştır. Yapılan hesaplama da su kütesi kaynaklı sönümüm %30-38 aralığında olabileceği tespit edilmiştir.

Yapılan çalışmada M1 modeli taşıyıcı sistemi 203 ton/m, M2 modeli 222 ton/m ve M3 modeli 332 ton/m çelik konstrüksiyon ağırlığı ile çözülmüştür. Yapı ağırlıkları yapı taşıyıcı sistemi ile orantılanmıştır.

Sonuç olarak; rüzgâr kuvveti ile birlikte dikkate alınan dalga yüklerinde dalga periyodunun yapısal davranış üzerinde belirleyici olmadığı ancak dalga yüksekliğinin yapısal yer değiştirme üzerinde yapı yüksekliği arttıkça etkili yer değiştirmelere sebep olduğu hesaplanmıştır. Dalga yükü altında yapısal yer değiştirme için elde edilen grafiklerde, yapı ağırlık merkezi ve taşıyıcı sistem ağırlık merkezinin farklı olması yatay yer değiştirme eğrilerinde kırılmalara sebep olduğu görülmüştür. Bu sebep ile taşıyıcı sistem tasarımında bu bölgelerde gerilme yığılmalarının beklendiği ve bu ek yerlerinin belirlenmesinde bu durumun göz önüne alınması gerekmektedir. Dalga ve deprem yükü altında elde edilen yer değiştirme grafiklerini yapısal performans için yorumlayabilmek için lineer üstü statik itme analizleri yapılmıştır. Statik itme analizlerinde burkulma ve göçme durumu deformasyon durumlarının tüm modellerde benzer olduğu ve görülmüştür. Yapı yüksekliğinin 300m ve üzerinde olduğu durumlarda Platform bölümünün, bu kota yakın bölgelerde burkulmalara sebep olduğu hesaplanmıştır. Ancak çalışmada taşıyıcı sistem kapasite dağılımlarının %65' geçmediği bu modellerde; hesaplanan kapasite eğrileri incelendiğinde, dikkate alın tüm dış yükler için orantılılık sınırının aşılmadığı ve güvenli bölgede kaldığı hesaplanmıştır. Yapılan bu çalışmanın yapılması muhtemel açık deniz yapılarının montaj alanlarına göre zemin durumları detaylandırılarak ve olası sismik aktivitelerin bu bölgeler için göz önüne alınarak daha gerçekçi sonuçlar ile genişletildiğinde daha etkili sonuçların alınması muhtemeldir.

## KAYNAKLAR

- Abdel Raheem, S., Abdel Aal, E. S. M. A., Abdel Shafy, A. G. A. & Abdel Seed, F. K., 2012. *Nonlinear Analysis of Offshore Structures Under Wave Loading*. Lisboa, 15th World Conference On Earthquake Engineering.
- Abdel Raheem, S. E., 2013. Nonlinear Response Of Fixed Jacket Offshore Platform Under Structural and Wave Loads. *Coupled System Mechanics*, 2(1), pp. 111-126.
- Abdel Raheem, S. E., 2014. Study on Nonlinear Response of Stel Fixed Offshore Platform Under Environmental Loads. *Arab Journal for Science and Engineering*, 39(8).
- Abdel Raheem, S. E. & Abdel Aal, E. M., 2013. Finite Element Analysis for tructural Performance of Offshore Plaforms Under Environmental Loads. *Key Engineering Materials*, Cilt 569-570, pp. 159-166.
- Abhinav, K. A. & Saha, N., 2015. Dynamic Analysis Of An Offshore Wind Turbine Including Soil Effectes. *Procedia Engineering*, Cilt 116, pp. 32-39.
- API, 2000. *Recommended Practice for Planning Designing and Construction Fixed Offshore Platforms: Working Stress Design*. Washington: American Petroleum Institute.
- Bargi, K., Hosseini, S. R., Tadayon, M. H. & Sharifian, H., 2011. Seismic Response of a Typical Jacket-Type Offshore Platform (SPD1) under Sea Waves. *Open Journal Of Marine Science*, Cilt 1, pp. 36-42.
- Bowles, J. E., 1996. *Foundation Analysis And Design*. basım yeri: McGraw-Hill.
- Brutgroup, 2019. *Pinterest/Brut Group*. [Çevrimiçi] Available at: <https://nl.pinterest.com/pin/530087818642423772/> [Erişildi: 2021].
- Chakrabarti, S. K., 2005. *Handbook Of Offshore Engineering*. 2005 dü. Amsterdam: ELSEVIER.
- Civil Digital , 2020. *Overviewing offshore structures in civil engineering*. [Çevrimiçi] Available at: <https://civildigital.com/overview-offshore-structures-civil-engineering-classifications-examples/> [Erişildi: 15 9 2021].
- CSI, 2019. *Sap 2000 Guidelines* , basım yeri bilinmiyor: Berkeley, CSI America .
- Çelik, İ. D., Kocaman, T. B. & Öztürk, Y., 2020. Değişen Dalga Periyotları Etkisindeki Açık Deniz Yapılarının Davranışının İncelenmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 25(2).

- El-Din, M. N. & Kim, J., 2014. Sensivity Analysis of Pile fixed Steel Jacket Platforms Subjected to Seismic Load. *Ocean Engineering*, Cilt 85, pp. 1-11.
- Formulas, D., 2017. *Floatin Offshore Structures- Offshore Structures Series*. [Çevrimiçi] Available at: <https://www.drillingformulas.com/floating-offshore-structures-offshore-structure-series/> [Erişildi: 9 15 2021].
- Gücüyen, E. & Erdem, R. T., 2016. Açık Deniz Uzay Kafes Sisteminin Çevresel Yükler Altında Akışkan-Yapı Etkileşimi Analizi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 7(3), pp. 433-444.
- Harnett, M., Mullarkey, T. & Keane, G., 1997. Modal Analysisi of an Existing Offshore Platform. *Engineering Structures*, 19(6), pp. 487-498.
- Irmawan, M. & Piscesa, B., tarih yok Psuhover Analysis of Jacket Structure in Offshore Platform Subjected to Earthquake with 800 Years return Period.
- Irmawan, M. & Piscesa, B., 2011. *Pushover Analysis of Jacket Structure in Offshore Platform Subjected to Eartquake with 800 Years return Period*. Surabaya, Indonesia, 2nd International Conference on Earthquake and Disaster Mitigation.
- Islam, N., Zaheer, M. M. & Ahmed, S., 2009. Double Hinged Articulated Tower Interaction with Wind and Wave. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 97(5-6), pp. 287-297.
- İstanbul Üniversitesi, . A. v. U. E. F., 2021. *Enerji ve Alternatif Enerji Kaynakları*. [Çevrimiçi] Available at: [https://cdnacikogretim.istanbul.edu.tr/auzefcontent/20\\_21\\_Guz/enerji\\_ve\\_alternatif\\_enerji\\_kaynaklari/8/index.html](https://cdnacikogretim.istanbul.edu.tr/auzefcontent/20_21_Guz/enerji_ve_alternatif_enerji_kaynaklari/8/index.html) [Erişildi: 06 2021].
- Ji, C. Y., Xue, H. Z., Shi, X. H. & Gaidai, O., 2016. Experimental and Numerical Study on Collapse of Aged Jacket Platforms Caused by Corrosion or Fatigue Cracking. *Engineering Structures*, Cilt 112, pp. 14-22.
- Kımaei, M., Shayanfar, M. A., El Naggar, M. H. & Aghakouchak, A. A., 2004. *Nonlinear Response Analysisi Of Offshore Piles Under Seismic Loads*. Vancouver, Canada, 13th World Conference On Earthquake Engineering.
- Komachi, Y., Tabeshpour, M. R. & Mualla, I. H., 2011. Retrofit of Ressalat Jacket Platform (Persian Gulf) Using Friction Damper Device. *Journal Of Zheijang University- Science A:Applied Physics&Engineering*, 12(9).
- Maske, A. A., Maske, N. A. & Shiras, P. P., 2014. Seismic Response of Typical Fixed Jacket Type Offshore Platform Under Sea Waves: A Rewiev. *International Journal Of Advance Research In Science And Engineering*, 3(1), pp. 24-35.

- Mohan, P., Sidhaarth, K. A. & Kumar, V. S., 2013. Modelling And Analysis of Offshore jacket Platform. *International Journal Of Advances in Engineering & Technology*, 6(3), pp. 160-1168.
- Morrison, J., O'Brien, M., Johson, J. & Schaaf, S., 1950. Offshore Operation - The Force Exerted by Surface Waves on Piles. *The American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers*, Cilt 189, pp. 149-157.
- Mostafa, Y. E. & El Naggar, M. H., 2004. Response of Fixed Offshore Platforms to Wave and Current Loading Including Soil-Structure Interaction. *Soil Dynamics And Eartquake Engineering*, 24(4), pp. 357-368.
- Nallayarasu, S., 2008. *Offshore Structures Analysis anf Design*. Chennai, India: Department of Ocean Engineering, Indian Institute of Technology Madras.
- Nguyen, D.-D. & Sinsabvarodom, C., 2015. *Nonlinear Behavior of a Typical oil and Gas Fixed-Jacket Offshore Platform with Different Bracing Systems Subjected to Seismic Loading*. Chonburi, THAILAND, 20th National Convention on Civil Engineering.
- Nov, 2019. *nov.com*. [Çevrimiçi] Available at: <https://www.nov.com/products/cj50-jack-up> [Erişildi: 2021].
- Reddy, D. V. & Swamidass, A., 2014. *Essentials Of Offshore Structures*. Boca Raton, Florida: CRC PRESS.
- Slake, T., 2016. *Analysis of Jacket Type Fixed Platforms-Effect of Various Mass Modelling Approaches for Topsides on Structural Response*, Master Thesis,, Stavanger: Universty of Stavanger.
- Srikanth, I., 2016. *Nonlinear Static and Dynamic Analyses of Jacket Type Offshore Platform*. Chennai, India: Division of Structural Engineering Department of Civil Engineering.
- Srikanth, I. & Arockiasamy, M., 2016. Inelastic Pushover Analysis of Fixed Jacket Type Offshore Platform with Different Bracing Systems Considering Soil- Structure Interaction. *Journal Of Shipping and Ocean Engineering*, Cilt 6, pp. 241-254.
- Technology, O., 2020. [Çevrimiçi] Available at: <https://www.offshore-technology.com/projects/baldpate/baldpate1> [Erişildi: 2021].
- Toğan, V., 2009. *Açık Deniz Yapılarının Güvenilirliğe Dayalı Optimizasyonu*. Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Trafik, G., 2021. *Gemi Trafik*. [Çevrimiçi] Available at: <https://www.gemitrafik.com/deniz-haritalari/> [Erişildi: 8 2021].

U. A. C. o. E., 2015. *Coastal Engineering Manual- Part II*. Washington,DC:  
Department of the Army U.S Army Corps of Engineers.

Wang, S., Larsen, T. J. & Bredmose, H., 2020. Experimental and Numerical Investigation of a Jacket Structure Subject to Steep and Breaking Regular Waves. *Marine Structures*, Cilt 72.

Zarrin, M., Gharabaghi, A. R. M. & Poursha, M., 2021. A Multi-Mode N2 (MN2) Pushover Procedure for Ductility Level Seismic Performance Evaluation of Jacket Type Offshore Platforms. *Ocean Engineering*, Cilt 220.

