

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

**AÇIK DENİZ YAPILARININ DIŞ YÜKLER ETKİSİNDEKİ
DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

Melis AKFIRAT

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Asuman Işıl ÇARHOĞLU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ DALI
ISPARTA -2024**



©2024 [Melis AKFIRAT]

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	6
3. MATERYAL VE METOT	11
3.1. Açık Deniz Yapılarına Etkiyen Yükler	15
3.1.1. Sabit Yükler.....	16
3.1.2. Hareketli Yükler.....	16
3.1.3. Kar ve Buz Yükleri.....	16
3.1.4. Rüzgâr Yükleri	19
3.1.5. Deprem Yüğü	21
3.1.5.1. Eşdeğer Deprem Yüğü	25
3.1.5.2. Mod Birleştirme Yöntemi	25
3.1.5.3. Zaman Tanım Alanı Yöntemi.....	25
3.1.5.4. Açık Deniz Yapılarının Sismik Davranışı	25
3.1.6. Dalga Yüğü	30
3.1.6.1. Düzenli Dalgalar	31
3.1.6.2. Düzensiz Dalgalar.....	33
3.1.6.3. Dalga Teorileri.....	34
3.1.6.3.1. Lineer Dalga Teorisi (Airy Teorisi).....	38
3.1.6.3.2. Stokes Dalga Teorisi	40
3.1.6.3.3. Cnoidal Dalga Teorisi	43
3.1.6.3.4. Solitary Dalga Teorisi.....	44
3.1.6.4. Ele Alınan Açık Deniz Yapılarının Dalga Analizi	44
3.1.7. Akıntı Yüğü	46
4. ARAŞTIRMA BULGULAR	48

4.1. Modal Analiz Sonucu Elde Edilen Değerler	49
4.2. Yapılara Depremlerin Uygulanması Sonucunda Elde Edilen Değerler	53
4.3. Yapılara Dalga ve Rüzgâr Yükünün Uygulanması Sonucunda Elde Edilen Değerler	62
5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR.....	65
KAYNAKLAR	68
ÖZGEÇMİŞ.....	73



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

AÇIK DENİZ YAPILARININ DIŞ YÜKLER ETKİSİNDEKİ DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Melis AKFIRAT

**Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Asuman Işıl ÇARHOĞLU

Açık deniz yapıları, deniz ortamlarında var olan enerji kaynaklarının keşfinde ve çıkarılmasında, yenilenebilir enerji potansiyelinin üretilip keşfedilmesinde, kullanılan yapı türleridir. Çok yönlü olmasının yanı sıra gerekli olan temel gereksinimlere alternatifler oluşturduğundan dolayı büyük öneme sahiptir. Petrol, doğalgaz platformlar, rüzgâr türbinleri, araştırma istasyonları gibi farklı formlarda kullanılabilmektedir. Bulundukları ortam nedeniyle bu yapılar, sert çevresel koşullara maruz kalabilmektedir. Bu yapılar, çevresel koşullara dayanacak şekilde tasarlanıp inşa edilmekte olup, tasarımlarında dalga yükü, rüzgâr yükü, deprem yükü ve akıntı yükü vb. yanı sıra platform özellikleri, zemin yapısı da dikkate alınıp yapıların güvenli, dayanıklı ve uzun ömürlü olabilmesi sağlanabilmektedir. Günümüz teknolojisiyle birlikte, açık deniz yapılarının analiz ve optimize edilmesi yazılımlar sayesinde gerçekleştirilmektedir.

Bu tez çalışmasında, 2 adet sabit ceket tipi açık deniz platformunun dış yükler etkisi altındaki davranışları incelenmiştir. Platformlar uzay-kafes sistemine sahip olup çapraz destek elemanları kullanılarak ANSYS sonlu elemanlar programıyla modellenmiştir. 34.5 m ve 106.5 m yüksekliğine sahip 2 adet açık deniz yapısının dalga, rüzgar ve deprem yükü altındaki davranışları 4 farklı çapraz eleman göz önünde bulundurularak incelenmiştir. Deprem analizleri gerçekleştirilirken 6 Şubat Kahramanmaraş-Pazarcık depremine ait 5 adet istasyondan alınan ivme-zaman verileri kullanılmıştır. Dalga analizinde ise; Airy dalga teorisi kullanılıp rüzgâr yüküyle birlikte analizler gerçekleştirilmiştir.

Çalışma 5 ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde açık deniz yapıları, türleri, deprem, dalga, akıntı ve rüzgâr gibi yapıya etkiyen dış yükler hakkında bilgiler verilmiştir. İkinci bölümde literatürde yer alan bazı çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir. Üçüncü bölümde tez çalışmasında ele alınan modellerin özellikleri ve analizlerde kullanılacak olan deprem, rüzgâr, dalga parametreleri hakkında bilgiler verilmiştir. Analiz sonuçlarından elde edilen değerler ve incelemeler dördüncü bölümde olup, beşinci bölümde yapılan elde edilen sonuçlar belirtilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Açık deniz yapıları, Dalga yükü, Rüzgâr yükü, Deprem yükü, Dinamik analiz, Sonlu elemanlar yöntemi

2024, 73 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

INVESTIGATION OF BEHAVIOR OF OFFSHORE STRUCTURES UNDER THE EFFECT OF EXTERNAL LOADS

Melis AKFIRAT

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

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Asuman Işıl ÇARHOĞLU

Offshore structures are the types of structures used in the exploration and extraction of energy resources that exist in marine environments, in the generation and discovery of renewable energy potential. In addition to being very versatile; offshore structures are of great importance as they provide alternatives to essential needs. It can be used in different forms such as oil, natural gas platforms, wind turbines, research stations. Due to the environment in which they are located, these structures can be exposed to harsh environmental conditions. These structures are designed and built to withstand environmental conditions, and their designs can be safe and long-lasting by taking into account wave load, wind load, earthquake load and current load, platform features, ground structure. With today's technology, analysis and optimization of offshore structures can be realized thanks to software.

In this thesis, the behavior of two fixed jacket-type offshore platforms under external loads was examined. The platforms have a space-frame system and are modeled using cross bracing elements with ANSYS finite element program. The behavior of 34.5 m and 106.5 m 2 offshore structures under wave, wind and earthquake load has been examined by considering 4 different cross elements. When performing the earthquake analysis, 5 acceleration-time data obtaining from stations of the 6 February 2023 Kahramanmaraş-Pazarcık earthquake was used. In the wave analysis; airy wave theory was used and analysis were carried out by considering wind load.

The study consists of 5 main sections. In the first section, information is given about the external loads that affect the structure such as offshore structures, types, earthquakes, waves, currents and winds. In the second section, information about some of the studies in the literature is given. In the third section, information about the characteristics of the models examined in the thesis study and the earthquake, wind, wave parameters to be used in the analyzes are given. The values and reviews obtained from the results of the analysis are in the fourth section and the results obtained from the reviews in the fifth section.

Keywords: Offshore structures, Wave load, Wind load, Earthquake load, Dynamic analysis, Finite element method

2024, 73 pages

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının hazırlanmasında bana rehberlik eden, destek ve birikimini cömertçe paylaşan, karşılaştığım problemlere karşı derin bilgi ve deneyimiyle bana çözüm yolları göstererek ilerlememi sağlayan çok değerli Danışman Hocam Dr. Öğr. Üyesi Asuman Işıl ÇARHOĞLU'na en derin teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamın her aşamasında bana destek olan sevgileriyle ve inançlarıyla güç veren aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Melis AKFIRAT
ISPARTA, 2024

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Deepwater Horizon kazası.....	3
Şekil 1.2. Sabit ceket tipi platform	4
Şekil 1.3. Sabit ceket tipi platform	4
Şekil 1.4. Yerçekimi tip platform	5
Şekil 1.5. Gergi ayaklı sabit platform.....	6
Şekil 1.6. Kriko tip platform.....	6
Şekil 3.1. Ceket tipi platform 1.....	12
Şekil 3.2. Ceket tipi platform 2.....	12
Şekil 3.3. Platformun sabitlenmesi	13
Şekil 3.4. Çapraz şekilleri.....	13
Şekil 3.5. Platform 1 çapraz şekilleri.....	14
Şekil 3.6. Platform 2 çapraz şekilleri.....	15
Şekil 3.7. Logaritmik hız profili	20
Şekil 3.8. Analizde kullanılan istasyon merkezleri	26
Şekil 3.9. Analizlerde kullanılan depremlerin zamana bağlı ivme değerleri	29
Şekil 3.10. Birinci platforma uygulanan depremlerin ivme-zaman grafikleri	30
Şekil 3.11. Dalga tipleri.....	30
Şekil 3.12. Dalga görünümü.....	32
Şekil 3.13. Sinüzoidal dalga.....	33
Şekil 3.14. Düzensiz dalgalar.....	33
Şekil 3.15. Dalga teorileri.....	35
Şekil 3.16. Derin, orta ve sık dalga hareketleri.....	37
Şekil 3.17. Lineer (Airy) dalgası	38
Şekil 3.18. Stokes dalgası	41
Şekil 3.19. Cnoidal dalgası	43
Şekil 3.20. Solitary dalgası.....	44
Şekil 3.21. Su hacmi ve platform yapısı.....	45
Şekil 3.22. Su hacmi içindeki platform 2.....	45
Şekil 3.23. Dalga yükü etkisindeki platform 2	45
Şekil 4.1. Birinci model periyot değerleri.....	50
Şekil 4.2. İkinci model periyot değerleri.....	50
Şekil 4.3. Birinci platform mod şekilleri	51
Şekil 4.4. İkinci platform mod şekilleri.....	52
Şekil 4.5. Birinci platforma ait yer değiştirme değerleri	53
Şekil 4.6. İkinci platforma ait yer değiştirme değerleri	53
Şekil 4.7. Platformlarda meydana gelen yer değiştirme şekilleri	54
Şekil 4.8. Birinci platforma ait asal gerilme değerleri	57
Şekil 4.9. Birinci platforma ait kesme gerilme değerleri	58
Şekil 4.10. İkinci platforma ait asal gerilme değerleri.....	60
Şekil 4.11. İkinci platforma ait kesme gerilme değerleri	61

Şekil 4.12. Depremlerin etkimesi durumunda oluşan yer değiştirme değerleri	61
Şekil 4.13. Depremlerin etkimesi durumunda oluşan asal gerilme değerleri	62
Şekil 4.14. Platform 1 ve Platform 2 dalga frekans değerleri	63
Şekil 4.15. Birinci platform frekans tepki fonksiyon grafiği	63
Şekil 4.16. İkinci platform frekans tepki fonksiyon grafiği	64
Şekil 4.17. Birinci platform RAO grafiği	64
Şekil 4.18. İkinci platform RAO grafiği	65



ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1. Modellerde kullanılan istasyon özellikleri.....	27
Çizelge 3.2. Yapıya uygulanan depremle rin özellikleri.....	29
Çizelge 3.3. Akışkana ait malzeme özellikleri	46



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

a	Dalga genliği
A	Rüzgâr etki platform alanı
A_{is}	Buz kütleline ait yüzey alanı
c	Dalga hızı
C	Derin su dalga hızı
C_D	Sürüklenme katsayısı
C_g	Grup hızı
C_L	Kaldırma kuvveti katsayısı
C_M	Atalet katsayısı
C_{ic}	Akım sürüklenme katsayısı
C_{iw}	Sürüklenme katsayısı
C_s	Şekil katsayısı
D	Silindirik yapının çapı
E	Dalga enerjisi
F_T	Toplam kuvvet
F	Rüzgâr kuvveti
F_D	Sürüklenme kuvveti
F_I	Atalet kuvveti
F_{ic}	Akım sürüklenme kuvveti
F_{iw}	Rüzgâr sürüklenme kuvveti
F_L	Kaldırma kuvveti
g	Yerçekimi ivmesi
H	Dalga yüksekliği
H_1	Su derinliği
h_0	Yüzey pürüzlülük uzunluğu
h_2	Rüzgar hızının ölçüldüğü yükseklik
h_z	Referans yükseklik
k	Dalga sayısı
L	Derin su dalga boyu
P	Enerji akısı
T	Dalga periyodu
$\tan H_1$	Hiperbolik tanjant fonksiyonu
u	Yatay hız bileşeni
U	Su akıntısının hızı
U_a	Akım hızı
$U(s)$	Sürekli rüzgâr hızı
V	Yapının hacmi
V_R	Rüzgâr hızı
V_Z	z yüksekliğindeki rüzgar hızı
V_1	Referans yüksekliğindeki rüzgar hızı
w	Dikey hız bileşenleri
z	Suyun yüzeyden olan derinliği
$\frac{du}{dt}$	Su akıntı ivmesi
ρ_s	Su yoğunluğu
ω	Açısal frekans

f	Dalga frekansı
v	Hız vektörü
λ	Dalga boyu
π	Pi sayısı



1. GİRİŞ

Açık deniz yapıları, enerji üretimi, lojistik faaliyetler ve gözlem gibi amaçlarla kullanılan denizlerin ortasında inşa edilen yapılardır. Bu yapılar, günümüz ihtiyaçlarını karşılama açısından oldukça önemli yapılardır. Yaşam için gerekli olan enerji ihtiyacına farklı seçenekler sunan bu yapılar farklı platform tiplerine sahiptir.

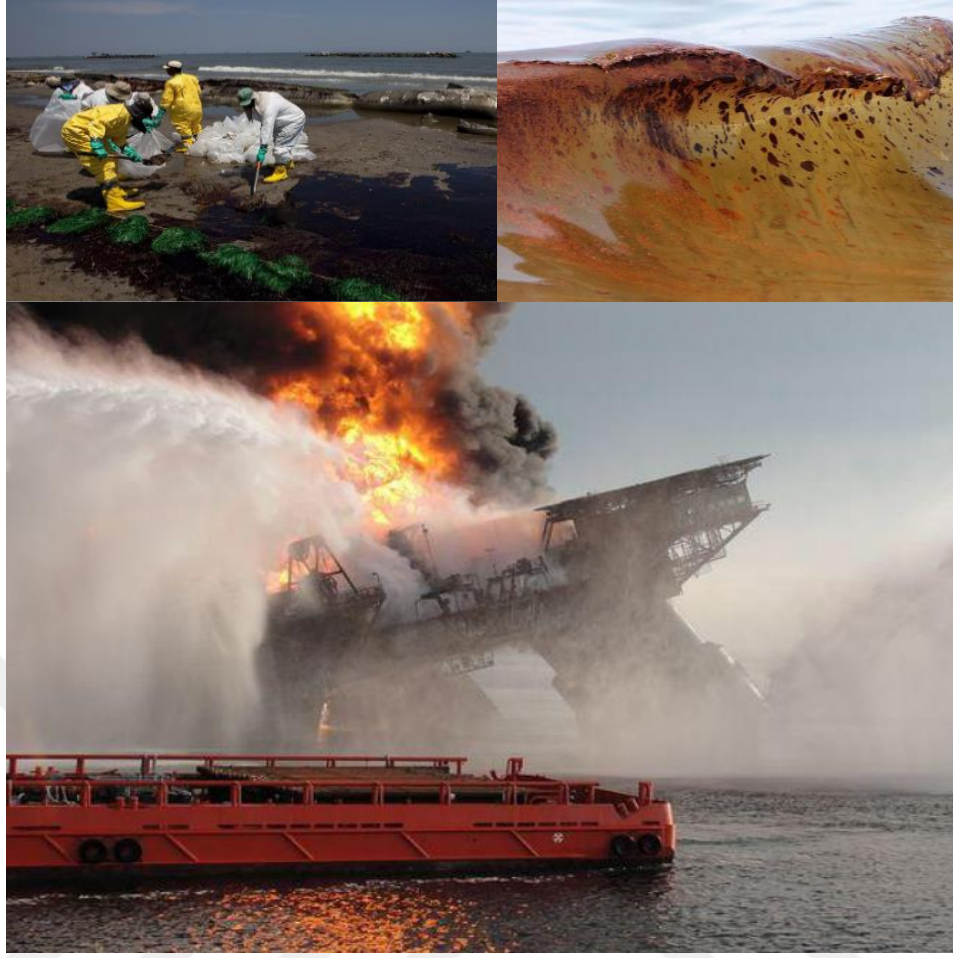
Petrol platformları, sondaj gemileri, yüzer üretim, depolama ve boşaltma sistemleri gibi türleri olan açık deniz yapıları, zorlu deniz ortamlarında çalışmak üzere tasarlanmıştır. Açık deniz yapılarının tasarımı, inşaatı ve dayanımları kapsamlı bir şekilde araştırılmalı ve platform ömrü boyunca oluşabilecek çevresel değişkenler hakkında detaylı bilgilere sahip olunmasını gerektirmektedir. Bu yapılar uzun ömürlü oldukları için, çevresel yüklere ve bozulma süreçlerine maruz kalmaları, ciddi oranlarda hasarlara neden olabilmektedir. Çevresel yükler, platformun belirli tasarım kriterlerine dayanarak tahmin edilmektedir. Açık deniz yapılarının tasarımı ve işletimi, beklenen çevresel parametrelerin ayrıntılı analizini gerektirmektedir. Açık denizlerde inşa edilebilen bu yapıların tasarımında çevresel yük etkileri gibi birçok faktör göz önünde bulundurulmaktadır (Ramadhani vd., 2023). Teknolojinin giderek ilerlemesiyle açık deniz yapıları ile ilgili olarak deniz araştırmalarında ve enerji kapsamında yapılan araştırmalar artmaktadır. Bu yapılar enerji ihtiyaçlarını karşılayabilmeleri, endüstriye ve topluma sağladıkları katkılardan dolayı oldukça önemli bir yere sahip olmaktadır. Çok zor şartlarda inşa edilebilen bu yapıların tasarımı gerçekleştirilirken dalga yükü, akıntı yükü, deprem yükü, rüzgâr yükü, ani gelişen yükler, çevresel yükler, zemin durumu gibi yüklerin etkisinin göz önünde bulundurulması dayanımının daha uzun süre devam edilebilmesi açısından oldukça önem taşımaktadır.

Tarih boyunca hayatın neredeyse her alanında gereken enerji ihtiyacını farklı enerji türlerinden karşılamakta olan bu yapılar, enerji arayışlarının da her geçen gün artmasıyla önemli hale gelmektedir (Güzel, 2012). Çevresel koşullara dayanıklı olarak inşa edilmesi gereken bu yapılar doğalgaz ve petrol sondajının yanı sıra rüzgâr türbinleriyle de yenilenebilir enerji üretimine katkı

sağlamasından dolayı çevresel koruma ve sürdürülebilirlik hedeflerine katkıda bulunmaktadır.

Açık deniz yapıları sabit ve yüzer olarak inşa edilebilmektedirler. Bulundukları koşullara, ortama ve yapılış amaçlarına göre en genel haliyle 4 ana bölüme ayırılabilir. Bunlar; yarı dalgıç yapılar, sondaj gemileri, yükselen platform ve dalgıç yapılarıdır. Sondaj gemileri, dalıp çıkma, yalpa gibi hareketler yapmakta olup geneli sabit kalmayı demir halatlar yardımıyla yapmaktadırlar. Gelişmiş teknolojiyle de birlikte yeni yapılan sondaj gemileri, bulundukları yere dinamik pozisyonlama sayesinde sabitlenmektedirler. Sondaj gemileri, denizin dalga durumuna ayak uydurmak açısından, güverte bölümünün dar olmasından ve çok hareket kabiliyetinin olmaması açısından dezavantajlı olmaktadır. Yarı dalgıç yapılar, farklı geometrik güverte alanlarına sahiptir. Güverteler, ayaklar üzerine oturtulmakta ve bu ayaklar da platformun su üzerinde durmasını sağlamaktadır. Bu yapıların, çalışma alanları değişkenlik göstermektedir. Bu durumdan dolayı da hareket etmeleri kolay olup kötü çevresel ortamlarında bile yönlerini değiştirmemektedirler (Yaylacı, 2007). Açık deniz platformlarında, olası sızıntı ve kazalarda çevre üzerinde gibi çok kötü etkiler yaratabilmektedir.

Deepwater Horizon, Amerika'nın Meksika körfezinde yer alan bir sondaj platformudur. Bu platform 112 metre uzunluğu sahip olup 18.000 fit derinliğe kadar sondaj yapabilme kapasitesine sahiptir. 2010 yılında yüksek basınçlı gaz ve sıvı petrolün, kontrolsüz şekilde bırakılması sonucu patlayan bu platform birçok can kaybına ve Şekil 1.1'de görüldüğü gibi çevresel bir felakete yol açmıştır (Wacunzo, 2015).



Şekil 1.1. Deepwater Horizon kazası (Wacunzo, 2015)

Dalgıç yapılar, sondaj çalışması boyunca deniz tabanına oturtulmuş, batık durumda durdurulmaktadır. Sondaj çalışması bitince platformun sahip olduğu tanklar boşaltılıp yapıya yüzdürme işlemi uygulanmaktadır. Bu sahip olduğu sistemden dolayı emniyetli, kolay çalışma şartları, aktif şekilde hareket edebilmesi açısından avantajlı olmaktadır. Fakat yük taşıma gücünün düşük olması, dalga durumlarına kolay cevap verebilmesi, belirli derinliklere kadar çalışabilmesi de dezavantajlı durumlardandır. Yükselen platformlar, hareket kabiliyeti olan bağımsız güverte ve ayak bölümlerinden oluşmaktadır. Bu platform, maliyetin düşük ve sondaj yerinin sabit olduğu durumlarda kullanılabilir. Hareketleri ağır olup taşıma sırasında çevresel yüklerden çok fazla etkilenmektedir (Yaylacı, 2007).

Açık deniz platformlarının en çok kullanılan türleri de ceket tipi sabit platform, kriko tip platform, gergi ayaklı sabit platform, yerçekimi tip platform olarak ele alınabilmektedir. Ceket tipi platform, sabit yapıdadır ve yapıldığında deniz

tabanına sabitlendiği için de hareket kabiliyeti kısıtlı olup bu platformlar akıntılarının oluşturduğu yüksek riskler, ekonomik olmayan nedenlerden dolayı derin sularda kullanılmamaktadır (Sarhan vd., 2021). Genelde bu yapılar 150 m'den az su derinliklerinde tercih edilmektedirler. Bu platform tipi kafes elik ayaklarda ve yapının st bölümünü oluşturan güverte kısımlarından şekil 1.2 ve şekil 1.3'te görüldüğü gibi oluşmaktadır (Dağlı, 2017).

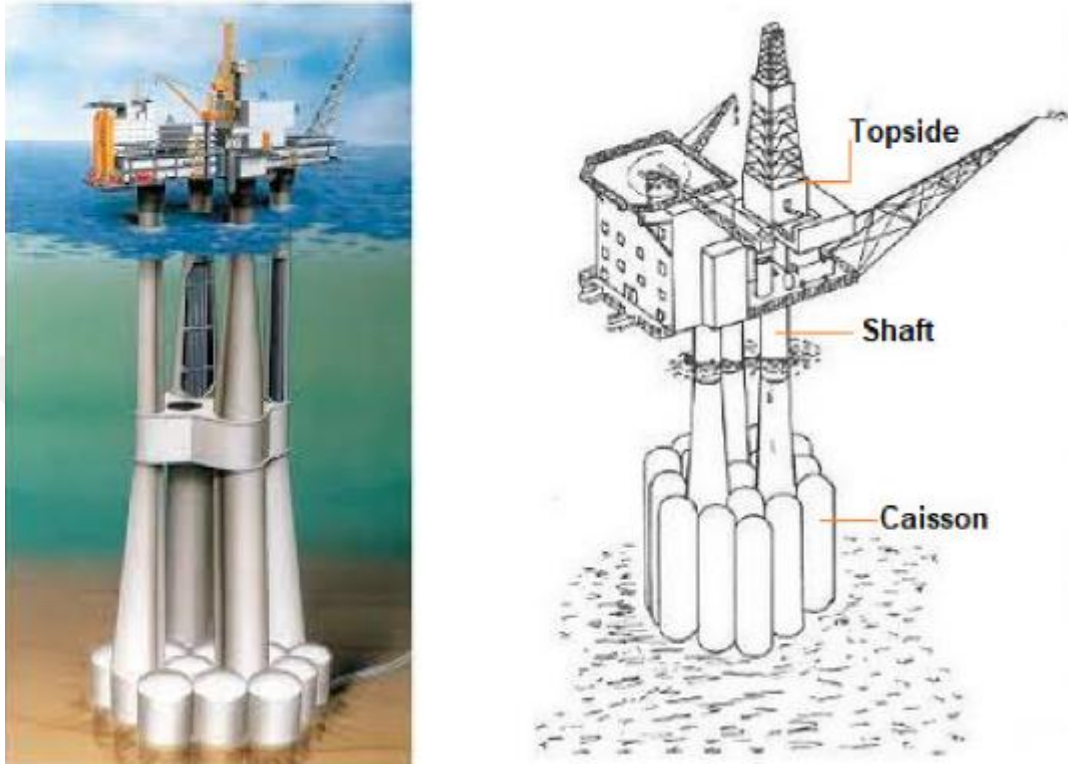


şekil 1.2. Sabit ceket tipi platform (Starokon, 2019)



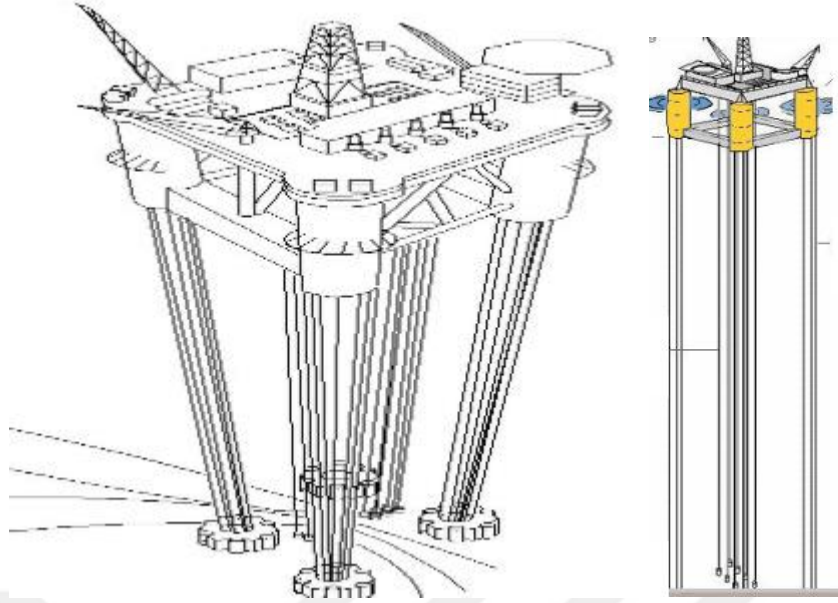
şekil 1.3. Sabit ceket tipi platform (Bull vd., 2019)

Yerçekimi tip platform ise ağırlık betonlar kullanılarak oluşturulmuş platformlardır. Toprak yapısı ve davranışı bu platformda önem taşımaktadır. Bu yapıların ayak tabanları geniş bir platformdan oluşmuş ve bunların üzerinde de güverte kısmı Şekil 1.4'te olduğu gibi oturtulmaktadır (Yaylacı, 2007).



Şekil 1.4. Yerçekimi tip platform (Amaechi vd., 2022)

Yerçekimi tip platform, deniz tabanında oluşan büyük yükleme durumlarına karşı dirençli olduğu bölgelerde kullanılmakta olup, yapının stabilitesi kendi ağırlığı ile sağlanmaktadır. Çok geniş ayak tabanlarına sahip olduklarından dolayı montajı ve imalatı zorlaşmaktadır. (Dağlı, 2017). Gergi ayaklı sabit platform, derin sularda kullanılmaktadır. Gergi ayaklar Şekil 1.5'te de görüldüğü gibi deniz tabanına sabitlenir. 2100 m derinliği olan sularda çalışabilmektedir (Nouban, 2016).



Şekil 1.5. Gergi ayaklı sabit platform (Yaylacı, 2007)

Kriko tip platform Şekil 1.6'da görülmekte olup sığ su derinliği olan yerlerde kullanılmaktadır. Deniz tabanına oturmakta ve hareket edebilen güverteden oluşmaktadır (Dağlı, 2017).



Şekil 1.6. Kriko tip platform (Yaylacı, 2007)

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Raheem vd. (2012), çalışmalarında, sabit bir açık deniz platformunu göz önünde bulundurarak dalga yükleri etkisi altında yapıyı incelemişlerdir. Yapı sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmiş, doğrusal olmayan analizler gerçekleştirilmiştir. Dalga kuvvetleri belirlenirken Morrison denklemi göz önünde bulundurulmuştur. Yatay ve dikey boru elemanlara hidrodinamik

yüklemeler yapılarak; yer değiştirme, eksenel kuvvet ve eğilme momenti dağılımı, düzenli ve aşırı koşullar için elde edilerek incelenmiştir.

Xu vd. (2023), dalga ve deprem yüklerinden dolayı oluşan aşırı titreşimleri azaltmak amacıyla bir ceket tipi açık deniz platform yapısını sönümleyici kullanarak tasarlamışlardır. Çok serbestlik dereceli sisteme sahip olan bu yapıyı, tek serbestlik dereceli sistem olarak tasarlamışlardır. Öncelikle, modal analiz gerçekleştirilmiştir. Dalga analizi gerçekleştirilirken Morison denklemi kullanılmış, 90 m yüksekliğinde 80 m derinliğinde bir su etkisi göz önünde bulundurulmuştur. Yapının deprem etkisindeki davranışları belirlenirken; El Centro, Hachinohe, Northridge, ve Kobe depremleri yapıya uygulanarak elde edilen değerler incelenmiştir.

Yaylacı (2007), çalışmasında 35 m ve 60 m yüksekliklerine sahip iki farklı yapı modellenmiş olup analizleri Ansys sonlu elemanlar programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. 35 m yüksekliğindeki yapıya 500 kN dalga yükü, 450 kN rüzgâr yükü ve 2200 kN güverte ağırlığı varsayımı yapılmıştır. Yükler, modellere etki ettirilerek analizler gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda; gerilme, yerdeğiştirme değerleri elde edilmiştir. İkinci modelde ise dalga yükü 250 N/m, 150 N/m, 200 N/m, rüzgar yükü 100 N/m ve 100 N/m yapı güverte ağırlığı kullanılarak tasarlanmış ve analizler gerçekleştirilmiştir. Bu model de de gerilme ve yerdeğiştirme değerleri belirlenmiştir.

Bargi vd. (2011) çalışmalarında İran Körfezinde mevcut olan bir açık ceket tipi platform yapısını üç boyutlu olarak modellemiş dalga, deprem yüklerini göz önünde bulundurarak analizler gerçekleştirmişlerdir. Yapı Ansys sonlu elemanlar programı kullanılarak modellenmiş periyot değerleri elde edilmiştir. İlk olarak sadece deprem yükü uygulanıp daha sonra, deprem ve dalganın boyuna bileşenleri farklı yönlerde uygulanmıştır. Elde edilen değerler incelendiğinde; sadece deprem uygulanması sonucu elde edilen değerlerin deprem ve dalga birlikte uygulanarak elde edilen değerlerden daha az olduğu görülmüştür

Henry vd. (2017) çalışmalarında; Malezya'da bulunan bir açık deniz yapısının dış yüklemeler etkisi altındaki davranışını incelemişlerdir. Yapıya uygulanan yüklemeler sonucu elde edilen değerlerin, ulusal yönetmeliklere uygun olup

olmadığı ve dayanımı incelenmiştir. Elde edilen sonuçlardan; incelenen ceket yapısının aşırı koşullara dayanıklı ve yönetmeliklere de uygun olduğu belirlenmiştir.

Erez (2020), çalışmasında sabit ceket tipi açık deniz platformunu, aşırı fırtına koşulları etkisi altında incelemiştir. Yapıyı, farklı çapraz şekillerini göz önünde bulundurarak Sap2000 sonlu elemanlar programı yardımıyla modellemiş ve doğrusal olmayan analizler gerçekleştirmiştir. 5 farklı modelin fırtına koşulları için göstereceği tepki belirlenmiştir. API ve ISO yönetmeliklerinden yararlanılmıştır. Dalga ve akıntı yükleri etki ettirilip platformun davranışları belirlenmiştir.

Oua vd. (2007), çalışmalarında sönümleyici bir izolasyon sistemi geliştirerek çelik ceket tipi bir açık deniz platformunun deneysel ve sayısal incelemelerini yapmışlardır. Dört farklı yer hareketine bağlı olarak analizler gerçekleştirilmiştir. Deprem ve buz yükü göz önünde bulundurularak yapılan deneysel ve analitik yöntemlerden elde edilen analiz sonuçlarının uyumlu olduğu görülmüştür. Sönümleme izolasyonlarının elde edilen sonuç değerlerini azaltmada etkili olduğu belirlenmiştir.

Elshafey vd. (2009) çalışmalarında, platformun dinamik etkisini belirlemek amacıyla sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak açık deniz ceket tipi platform modeli tasarlayarak dinamik etkiler altındaki davranışları hem teorik hem de deneysel olarak belirlemişlerdir. Deneyler hem suda hem de hava ortamında gerçekleştirilerek modele rastgele dalga yükleri uygulanmıştır. Deneylerin ve teorik sonuçların uyum içinde olduğu görülmüştür.

Shi vd. (2013) çalışmalarında, 33 m derinlikteki suya yerleştirilecek ve 5 MW'lık bir rüzgâr türbinini desteklemek amacıyla bir ceket yapısı kullanarak rüzgâr türbinini kulesi tasarlamışlardır. Açık deniz rüzgâr türbinin dinamik yükler etkisinde göstereceği davranış araştırılmıştır. Ceket tipi yapılarda maliyetin de uygun olduğu belirlenmiştir.

Harish vd. (2016) çalışmalarında, çevresel yüklerin etkisinde olan açık deniz yapılarının dinamik davranışlarını belirlemeyi amaçlamışlardır. Farklı rüzgâr hızları durumlarında Pierson-Moskowitz (P-M) spektrumunu, dalga yüksekliği ve

dalga periyodunu hesaplamak için kullanmışlardır. 41.67 m/s rüzgâr hızı için, 14.86 m'lik önemli bir dalga yüksekliği ve 21.66 saniyelik dalga periyodu göz önünde bulundurulmuştur. Yapı, farklı su derinliklerinde değişen dalga ve rüzgâr kuvvetlerine maruz bırakılarak dinamik analizler gerçekleştirilmiştir. Açık deniz yapılarının davranışlarını belirlemek için geliştirilmiş olan StruCAD yazılım paketi kullanılarak dış yüklemeler etkisindeki platformun yer değiştirme değerleri elde edilerek karşılaştırılmıştır.

Gücüyen ve Erdem (2016) çalışmalarında, açık deniz platformunun uzay kafes tipini ele almışlardır. Yapının iki yönlü akışkan ve yapı etkileşimi incelenmiştir. 62.5 m yüksekliğindeki yapıya rüzgar ve dalga yükleri uygulanmıştır. Rüzgâr kuvveti belirlenirken Eurocode hız profili kullanılmış ve Lineer dalga hız profili de dalga kuvveti belirlenirken kullanılmıştır. Modellemeler ve analizler ABAQUS sonlu elemanlar programı aracılığıyla yapılmıştır. Yapıya modal analiz uygulanarak mod değerleri belirlenmiştir. Platformun akışkan yapı etkileşimi analiz sonuçlarından; yapıda oluşan yer değiştirme ve gerilme değerleri elde edilmiştir.

AbdAlhusein ve Kadim (2020) araştırmalarında, açık deniz yapılarının dalga yükleri etkisinde yorulma analizlerini yapmışlardır. SAP2000 sonlu elemanlar programı kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Pierson- Moskowitz denklemi ve dalga hızlarını bulmak için de Airy teorisi kullanılmıştır. Yapıya uygulanan dalga hızlarını ve ivme değerlerini belirlemek amacıyla Morison denklemi kullanılmıştır. Yorulma analizleri yapılarak elde edilen değerler incelenmiştir.

Ergin (2015), çalışmasında açık deniz kafes tipi yapının dalga kuvvetleri etkisi altındaki davranışını incelemiştir. Üç katlı bir yapı olup kat yüksekliği de 9 m olarak ele alınmıştır. ABAQUS sonlu elemanlar programı kullanılarak modellenen yapının hidrodinamik yüklerini belirlemek amacıyla bir deniz hacmi oluşturulmuş olup akışkan modelinirken lineer dalga teorisinden yararlanılmıştır. Sonuç olarak; modelin frekansları, yer değiştirme ve gerilme dağılımları elde edilmiştir. Tek serbestlik dereceli sistem modellenirken hareket denklemi 4. dereceden Runge-Kutta Metodu ile belirlenmiştir. Düzenli

dalgalardan dolayı, Morison denklemi kullanılarak analizler gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçları karşılaştırılmıştır.

Baig ve Maqbool (2020) çalışmalarında, farklı çevresel koşullar etkisindeki açık deniz ceket platformlarının dinamik davranışını belirlemek için analizler gerçekleştirilmiştir. Platformun, statik ve dinamik analizleri SACS programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Platforma gelen yükler belirlenirken, API standardı göz önünde bulundurularak hesaplamalar yapılmıştır. Analizler için altı farklı yükleme durumu göz önünde bulundurulmuştur. Rüzgâr hızları 77.2 m/s ve 25.7 m/s, dalga yüksekliği de 6.1 m ve 12.19 m kabul edilmiş olup analizler sonucunda taban kesme kuvveti, maksimum moment ve kesme, frekans değerleri belirlenmiştir.

Nimbekar ve Ghadge (2019) çalışmasında, Kızıldeniz de Süveyş kanalında bulunmakta olan açık deniz sabit ceket tipi platformu incelemiştir. Bu platform, boru profillerden oluşan dört ayaklı bir sistemdir. Uzun kafes sistemine sahip olan bu yapının yapısal rijitliğinin artması için de yatay düzlemlerde çapraz elemanlar oluşturulmuştur. Eğim açıları 0, 20 ve 30 derece olacak şekilde farklı yüklemeler yapılarak incelemeler gerçekleştirilmiştir. El Centro depremi kullanılarak zaman tanım alanı yöntemi ile dinamik analizler gerçekleştirilmiştir. Farklı şekilde çapraz elemanlar kullanılarak SAP2000 sonlu elemanlar programı ile modellenen platform yapısının dinamik yükler etkisindeki davranışları belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlardan, temel kesme kuvvetinin tekli çapraz şeklinde daha fazla olduğu görülmüştür.

Lin vd. (2024) çalışmalarında, 105 m yüksekliğinde büyük ölçekli ceket tipi bir açık deniz yapısını ele alarak akışkan-yapı etkileşimini incelemiştir. Bu platformda güverte bölümü 7 m yüksekliğinde 50 m genişliğinde olup ANSYS sonlu elemanlar programı yardımıyla modellenmiştir. Dalga analizi için oluşturulan su hacmi 160 m genişliğe ve 66 m yüksekliğe sahip olup CFD yazılımı olan Ansys/Fluent kullanılarak üç boyutlu dalga kanalı oluşturularak dalga üretimi gerçekleştirilmiştir. Dalga hareketi, rüzgâr ve akıntının birlikte meydana getirdiği etkileşimden oluşmakta olup dalga hacminin girişteki hızı iki kısımdan oluşturulmuştur. Platformun alt kısmına dalga yükü üst bölümünde rüzgâr yükünün hızları tanımlanmıştır. Bu hızlar, Stokes ikinci mertebe dalga yüzeyi ile

ayrılmaktadır. Dalga yüksekliği 4 m, dalga boyu ise 57.5 m'dir. Akıntı hızı 1 m/s ve rüzgâr hızı 10 m/s şeklinde alınmıştır. Platforma uygulanan modal analiz sonucunda ilk 6 doğal frekansı belirlenmiş dinamik analiz için de Tianjin depreminin 6.5 s ve 10.5 s arasındaki ivme değerleri kullanılmıştır. Kullanılan kayıt aralığı depremin tepe ivme değerleridir. Dinamik analiz yapılırken rüzgâr yükü, dalga yükü, akıntı yükü ihmal edilmiş olup yerdeğiştirme ve gerilme sonuçları elde edilmiştir. X yönünde uygulanmış olan bu depremin en yüksek yerdeğişimi güverte kısmında görülmüştür.

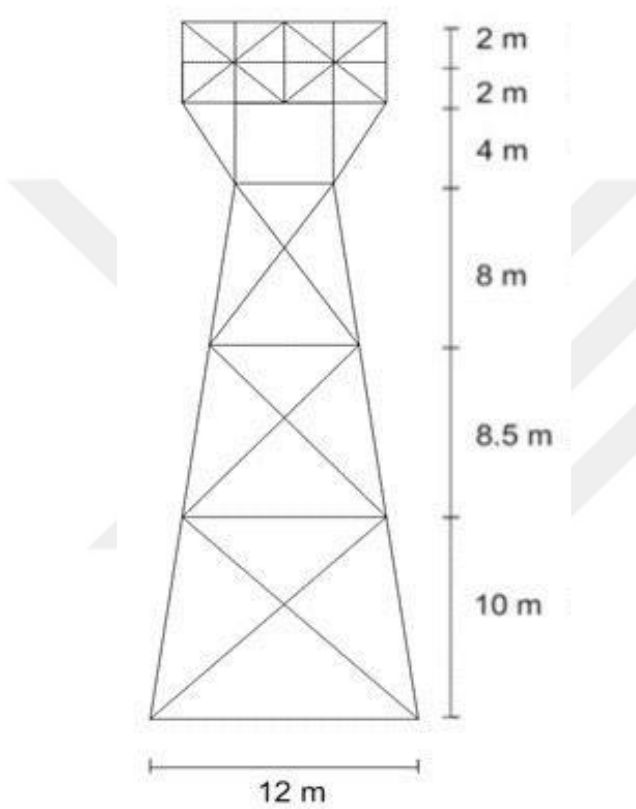
Gücüyen ve Erdem (2022) çalışmasında, çevresel yüklere maruz bırakılmış açık deniz ceket tipi yapının hasar davranışlarını incelemiştir. Model 60 m yüksekliğinde olup farklı iki tip çapraz bağlantı elemanları kullanılarak dört farklı model oluşturmuşlardır. Hasar modelini bir ayak bağlantı elemanın kopması şeklinde gerçekleştirmişlerdir. Tasarlanan model deniz tabanına sabitlenmiş olup yapıya etki ettirilen rüzgâr yükünde Eurocode hız profili ve dalga yükünde de lineer dalga teorisi kullanmışlardır. Analizleri gerçekleştirirken Abaqus sonlu elemanlar yazılımından yararlanılmıştır. Yapı ve deniz ortamı sıvı-yapı şeklinde analiz edilmiştir. Analizler sonucunda, yer değiştirme ve gerilme dağılımları elde edilmiş olup platformun davranışında meydana gelen değişimler incelenmiştir.

Bozorgzadeh vd. (2017) çalışmalarında, Kaliforniyada var olan ceket tipi platformun deprem etkisindeki davranışını incelenmiştir. API RP2A kapsamında, 100 yıllık depremlerin olasılıksal sismik tehlike analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Yapı modellemesinde, SAP2000 sonlu elemanlar programı kullanılmış olup, analizlerde 3 farklı depremin kaydı kullanılmıştır. Platform kazıklı şekilde modellenmiş ve zemin-kazık etkileşimi de incelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda, periyot değerleri, taban kesme kuvveti, yer değiştirme değerleri elde edilerek incelenmiştir.

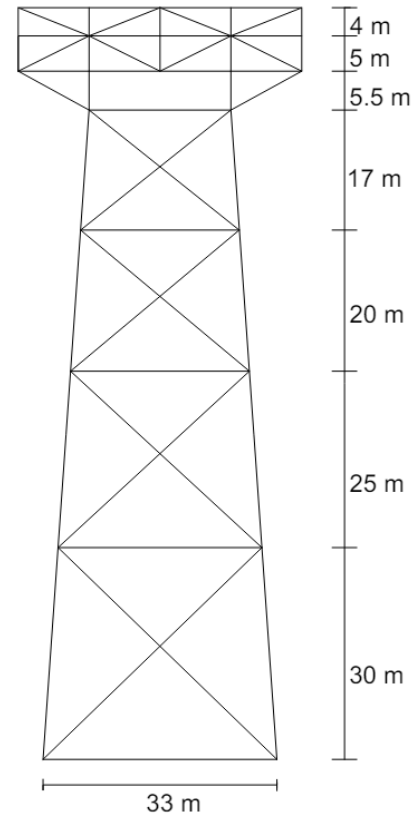
3. MATERYAL VE METOT

Bu tez çalışmasında 2 farklı boyutta sabit ceket tipi açık deniz platformu tasarlanmıştır. Tasarım yapılırken, farklı çapraz elemanlar kullanılarak platformların deprem, dalga ve rüzgâr yükleri etkisinde göstereceği davranışlar

incelenmiştir. Birinci model 34.5m yüksekliğinde olup kat yükseklikleri 10.00m, 8.50m, 8.00m, 4.00m, 2.00m ve 2.00m olacak şekilde Şekil 3.1’de görüldüğü gibi tasarlanmıştır. İkinci platform toplam 106.5m şeklinde ve kat yükseklikleri de sırasıyla 30.00m, 25.00m, 20.00m, 17.00m, 5.50m, 5.00m, 4.00m Şekil 3.2’de görüldüğü şeklindedir. Tasarım sırasında boru profiller kullanılmış olup kullanılan çelik malzeme 7850 kg/m^3 yoğunluğa, 210 GPa elastisite modülüne ve 0.3 poisson oranına sahiptir.



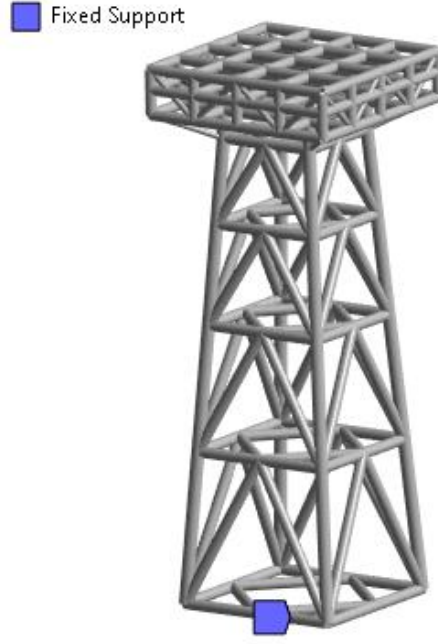
Şekil 3.1. Ceket tipi platform 1



Şekil 3.2. Ceket tipi platform 2

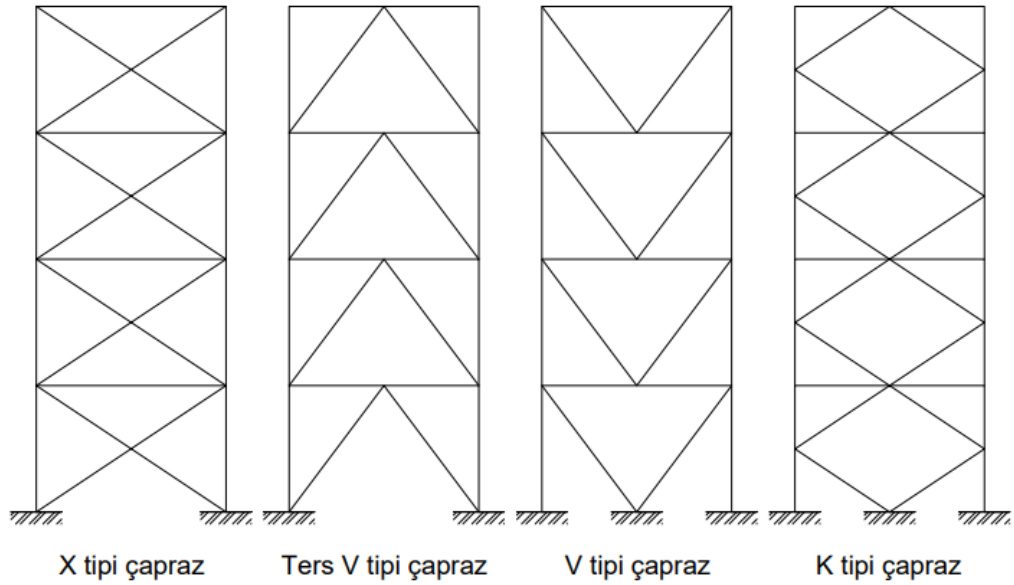
Modeller oluşturulurken mühendislik alanında çok yaygın olan sonlu elemanlar yöntemi (Finite Element Method – FEM) kullanılmıştır. Bu yöntem, karmaşık geometrileri daha küçük parçalara ayırarak analiz etmeye olanak sağlamaktadır.

Platformların modellenmesinde ve analizinde ANSYS sonlu elemanlar programı kullanılmıştır. Model sabit ceket tipi açık deniz yapısı olarak ele alındığı için tabanlardan Fixed Support ile Şekil 3.3’te görüldüğü üzere sabitlenmiştir.



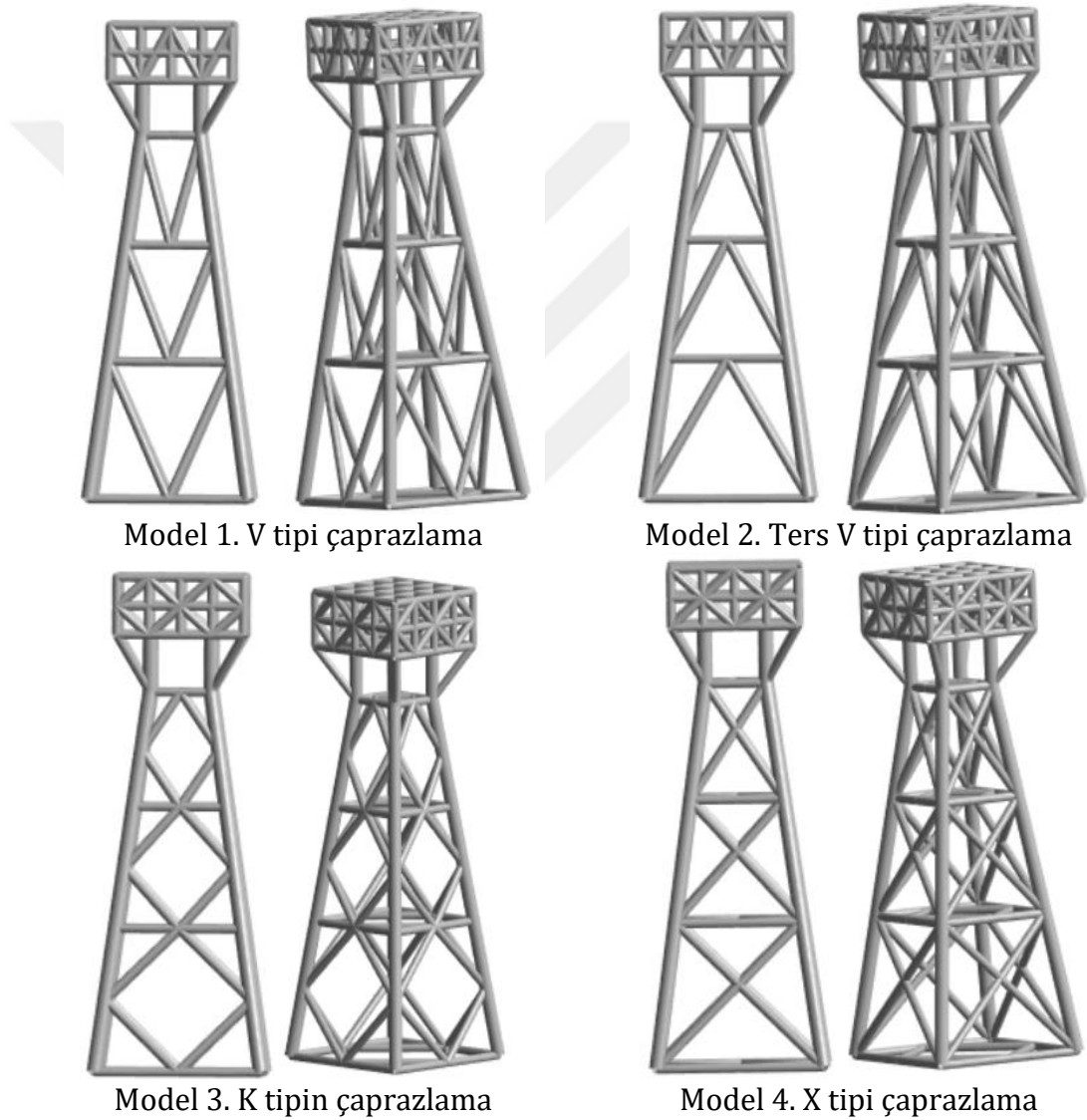
Şekil 3.3. Platformun sabitlenmesi

34.5 m ve 106.5 m yüksekliklerinde tasarlanan her iki modelde de 4 farklı çapraz şekli kullanılmıştır. Çelikten oluşan yapı sistemlerinde, dış yük etkilerini en az seviyeye getirebilmek için çelik çapraz elemanlar kullanılmaktadır. İşçilik açısından da kolaylık sağlamasından dolayı çapraz sistemlerin kullanımı yaygındır. Şekil 3.4'te görüldüğü gibi farklı çapraz şekilleri kullanılabilmektedir.



Şekil 3.4. Çapraz şekilleri

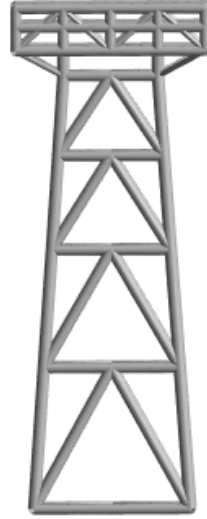
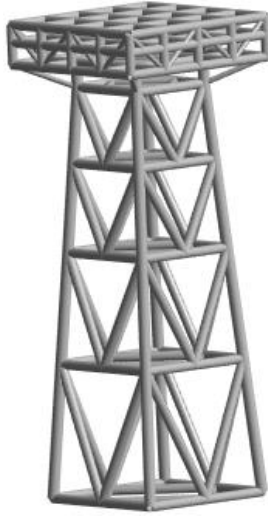
Çelik çapraz elemanlar, yapıya etki eden çevresel yükler karşısında yapının dayanımını arttırmaktadır. Çapraz elemanlar, yapının yatay yükler altındaki burkulmasını ve yer değiştirmesini engelleyerek, yapıların rijitliğini artırmakta ve iç kuvvet dağılımını optimize etmektedir. Çelik çapraz elemanların doğru bir şekilde tasarımı ve yerleştirilmesi, yapıların güvenliği ve dayanıklılığı açısından kritik önem taşımaktadır. Bu çalışmada kullanılan çapraz tipleri K, ters V, V ve X şeklinde olup Platform 1 ve Platform 2’de kullanılan çapraz tipleriyle görünümeler Şekil 3.5 ve Şekil 3.6’da mevcuttur.



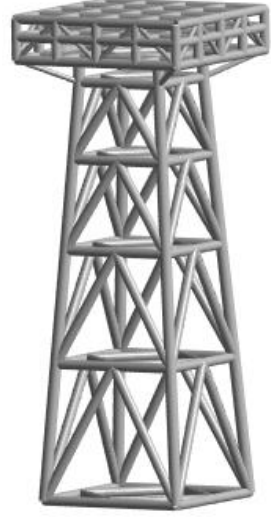
Şekil 3.5. Platform 1 çapraz şekilleri



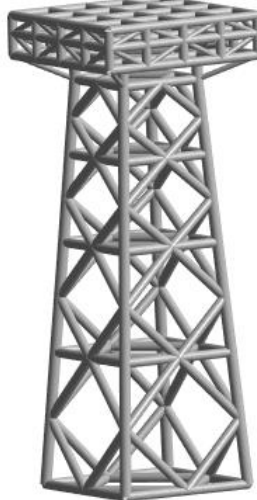
Model 5. V tipi çaprazlama



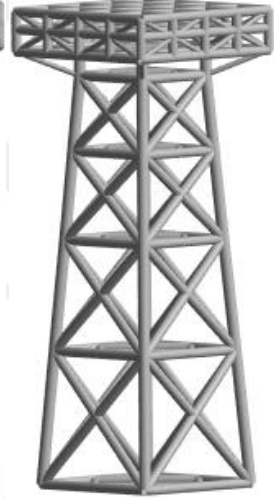
Model 6. Ters V tipi aprazlama



Model 7. K tipi aprazlama



Model 8. X tipi aprazlama



Şekil 3.6. Platform 2 apraz şekilleri

3.1. Açık Deniz Yapılarına Etkiyen Yükler

Açık deniz yapıları bulundukları ortam koşullarının zorlu olması nedeniyle birçok çevresel yük etkisi altında kalmaktadır. Bunlar; dalga yükü, deprem yükü, rüzgâr yükü, kar yükü, buz yükü, sabit yükler, hareketli yükler, akıntı yüküdür. Bu gibi yükleri göz önünde bulundurarak yapının tasarlanması oldukça çok önemlidir ve yapının tasarlanma aşamasında dikkate alınmalıdır.

3.1.1. Sabit Yükler

Bu yükler, yapının kendi ağırlığı ve üzerinde yer alan güvertenin, sürekli bulunan araçların oluşturduğu zamanla değişmeyen yüklerdir. Bu yükler yapının tasarımı, güvenilirliği açısından önemli olup yapının dayanıklılığını, performansını direkt etkilemektedir. Sabit yükler genelde yapının ağırlığı, sabit ekipmanları ve çevresel etmenlerden kaynaklanmaktadır. En yaygın sabit yük türü de l yüklerdir. l yükler yapının kendi ağırlığını ve sabit ekipmanların da ağırlığını içermektedir. Bu yüzden zaman içinde değişmez ve yapı üzerindeki etkisi de sürekli olarak devam etmektedir.

3.1.2. Hareketli Yükler

Kurulum aşamasında meydana gelen yükler vincin çalışması, platformdaki mürettebat ekibi, sondaj sırasında uygulanan kuvvetler gibi birçok etmen de hareketli yükler olarak adlandırılabilir. Bu yükler yapı üzerine belirli aralıklarla etki etmekte ve zaman içerisinde de değişiklik gösterebilmektedir. Geçici olarak kullanılan aletlerin, makineler ve diğer ekipmanların bakım, onarım ve diğer işlemler sırasında faaliyet göstermesi de hareketli yüklere dendir.

3.1.3. Kar ve Buz Yükleri

Buz soğuk ortamlarda karşımıza çıkan bir durum olmakla beraber buzun biçimi, yayılma alanı platformun bulunduğu alandaki rüzgâr ve dalga etkisiyle de etkili hale gelebilmektedir. Oluşan buz kütleleri çevresel etkilerle srklenebilmekte ve yapıyı itebilmektedir (Yaylacı, 2007). ABD Jeolojik Araştırmalar Kurumu'na göre, kuzey kutup bölgesi, keşfedilmemiş petrol kaynaklarının %13n ve keşfedilmemiş doğal gazın da %30unu oluşturmaktadır ve bunların geneli de deniz altında yer almaktadır. Petrol çalışmalarını daha kuzeye kaydırmak ortaya çıkabilecek enerji potansiyeli olarak yüksek olsa da diğer bölgelerde yer alan çalışmalara göre daha fazla zorluğu beraberinde getirmektedir. Bu zorluklardan en önemlisi de açık deniz yapılarının üzerinde oluşturduğu kar yüküdür (Lie vd., 2017).

Kar birikimi, soğuk iklim bölgelerinde faaliyet gösteren yapılar üzerinde olumsuz etkilere yol açabilmektedir. Operasyonel kabiliyeti azaltabilir, mekanizmaların tıkanmasına, güverte ve merdivenlerde kayganlığa, tahliye sistemlerinin çalışmamasına neden olabilir ve en kötü durumda yapısal bütünlüğü veya stabiliteyi tehlikeye atarak gemi veya platformun ve içinde yer alan insanların kaybına yol açabilmektedir. Bu nedenle, gemiler veya platformlar soğuk iklim bölgeleri için tasarlanırken kar birikiminden kaynaklanan ekstra yükler ve risklerin tahmin edilmesi de önemlidir (Lie vd., 2017).

Kar ve buz yükleri, yüksekliğe ve iklim şartlarına göre değişkenlik göstermektedir. Bu yükler, yapı elemanları üzerinde kesit artışı oluşturduğundan hesaplamalarda rüzgârın da dikkate alınması gerekmektedir. Rüzgâr etkisiyle sürüklenen buz kütleleri, platformlara çarpma, sürüklenme, aşınma ve kaldırma gibi etkiler ortaya çıkarabilmektedir (Dağlı,2017). Rüzgârdan kaynaklanan sürüklenme kuvveti Denklem 3.1’de verilmektedir.

$$F_{iw} = 0.0034 C_{iw} V_R^2 A_{is} \quad (3.1)$$

Burada;

- F_{iw} : Rüzgâr sürüklenme kuvveti
- C_{iw} : Sürüklenme katsayısı
- V_R : Rüzgâr hızı
- A_{is} : Buz kütlelerinin yüzey alanı

Akımdan dolayı oluşan sürüklenme kuvveti de Denklem 3.2’de görülmektedir.

$$F_{ic} = C_{ic} U_a^2 A_{is} \quad (3.2)$$

Burada;

- F_{ic} : Akım sürüklenme kuvveti
- C_{ic} : Akım sürüklenme katsayısı
- U_a : Akım hızı (Dağlı,2017).

Buz yükleri, yapı yüzeyine yapışan ve birikmiş olan buzun oluşturduğu statik ve dinamik yükler olup özellikle soğuk denizlerde ve buzullarla çevrili olan bölgelerde bulunan yapılarda kritik önem taşıyan yük türüdür. Buz yüklerinin

türleri vardır. Atmosferik buzlanma, hava sıcaklığının donma noktasının altında olduğu durumlarda yapı yüzeyine doğrudan düşen yağmurun veya sisin donarak oluşturduğu yüklerdir. Deniz buzları, deniz yüzeyinde oluşan buz tabakalarının yapıya çarpmasıyla, yapı etrafında birikmesi sonucu oluşan yüklerdir. Deniz suyunun donmasıyla da oluşan ve su hattının olduğu yerde biriken buzlar da buz birikimi olarak adlandırılmaktadır. Buz yükü platformun boyutuna ve bileşenlerine, platformun bulunduğu konuma, buzun birim buz gücüne bağlıdır. Birim buz mukavemeti ise buzun özelliğine, sıcaklığa, tuzluluk oranına, yükün uygulanma hızına ve bileşenlerine bağlıdır (API RP 2N, 2000).

Buz çok soğuk iklim koşullarında olan açık deniz yapılarını etkileyen bir durumdur. Buzun şekli ve yayılış biçimi yatay ve dikey olarak büyük bir baskı oluşturmaktadır. Büyük buz kütleleri, rüzgâr, akıntı ve dalga gibi dış etmenlerden dolayı belirli hızlarda sürüklenmektedir. Bu sürüklenme hızı da 0.5-1.0 m/s arasında olmakla birlikte ortaya çıkan bu kuvvet yapıyı itebilmekte ve yapının üzerinde bir yük oluşturabilmektedir (Yaylacı, 2007). Dayanım, öncelikle buzun türüne, kristal boyutuna ve yönelimine, tuzluluğa, sıcaklığa, gerilme hızına ve yapıyla olan etkileşimine bağlı olmaktadır. Fakat, ortaya çıkan buz dayanımı ülkeden ülkeye, kaynaktan kaynağa ve en önemlisi temel parametreler ile önceden yapılan varsayımlara göre büyük ölçüde değişiklik göstermektedir. Buz dayanımı ile ilgili öneriler genelde farklılıklar içermekte, eğilme ve basınç dayanımı arasında yaklaşık 1/3 oranında evrensel bir kabul olduğu görülmektedir. Birçok ülkede (Kanada, ABD, Polonya, Norveç) buzun basınç dayanımı sadece tatlı su için belirtilmektedir ve deniz suyu buzunu için de uzman tavsiyesi alınması gerektiği söylenilmektedir (Steenfelt, 2016). Kar ve buz yükü ele alınırken mühendisler, yapının bulunduğu bölgenin iklim koşullarını, malzeme özelliklerini ve yapısal tasarımı göz önünde bulundurarak kar ve buz yüklerine karşı uygun önlemleri almaları gerekmektedir. Bu sayede, açık deniz yapılarının uzun ömürlü ve güvenli bir şekilde hizmet vermesi sağlanabilmektedir.

3.1.4. Rüzgâr Yükleri

En yaygın olan yüklerdendir. Karada, rüzgârın hızını ve etkisini karşılaşılan engeller azaltmakta fakat denizde bu durum görülmemektedir. Bundan dolayı da açık denizlerde oluşan rüzgâr hızları daha yüksek olmaktadır. Bir açık deniz platformunu ele aldığımızda çevresel kuvvetlerin %10'u ile %5 rüzgâr yükünden kaynaklanmaktadır (Dağlı, 2017). Rüzgâr yükü, özellikle yüksek yapılarda, açık deniz platformlarında, köprülerde ve diğer mühendislik yapılarını ele alırken önemli bir tasarım ve güvenlik önleminin alınması gereken bir unsurdur.

Rüzgâr kinetik enerjiye sahip olan bir çevresel yüküdür. Bir yapı, hareket halinde olan havanın yoluna yerleştirildiğinde, rüzgâr durdurulur veya yolundan saptırılırsa, kinetik enerjinin tamamı veya bir kısmı potansiyel enerji basıncına dönüşür. Bu nedenle, herhangi bir yapı üzerindeki rüzgâr kuvvetleri, rüzgârın serbest akışını engelleyen yapının neden olduğu basınç farkından da kaynaklanabilir. Bu kuvvetler, rüzgâr hızı, rüzgâr yönü, yapısal elemanların alanı ve şekli gibi faktörlere bağlıdır (Abdel Raheem vd., 2012).

Açık deniz sularında, rüzgâr hızının ve deniz yükselmesinin uzun vadeli değişimleri, fırtına olaylarını etkilemektedir. Rüzgâr, açık deniz ceket tipi platformlarında büyük sürüklenme kuvvetleri oluşturmaktadır. Ceket tipi platformları için rüzgâr, aşırı yükün toplamının yaklaşık %10'u kadar küçük bir kısmını oluşturur ve ISO standardı, ceket tipi açık deniz platformu tasarımı küresel bir rüzgâr yükünün kullanılmasını söylemektedir. ISO, yapının küresel tasarımı için 10 dakikalık ortalama rüzgâr hızını ve bileşen tasarımı için 3 saniyelik ani rüzgâr hızını tercih etmektedir. Rüzgâr 10 m referans yüksekliğinde ölçülmektedir. Rüzgâr ayrıca dalgaların oluşmasında da etkili olmaktadır (Nizamani, 2015). Rüzgâr yüklerinin yapıya doğru bir şekilde aktarılması da yapısal bütünlük açısından çok büyük önem taşımaktadır. Yanlış hesaplamalar ve yetersiz kalmış olan tasarımlar da yapının zayıf kalmasına ve hasar almasına neden olabilmektedir. Bu özel durumlar göz önüne alınarak hesaplamalar yapılmalıdır. Rüzgâr yüklerinin hesaplanması ve tasarımı için çeşitli ulusal ve uluslararası standartlar bulunmaktadır. Bunlardan bazıları; ASCE 7, Eurocode 1,

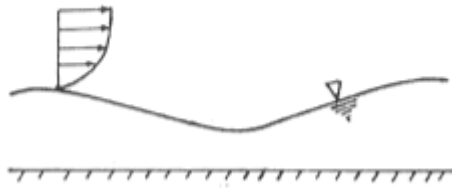
API RP 2A, ISO 19901-1. Bu standartlar, rüzgâr yüklerinin nasıl hesaplanacağını ve hangi faktörlerin dikkate alınacağını belirlemektedir.

Rüzgâr yükünün hesaplanmasında en önemli faktör rüzgâr hızıdır. Rüzgâr hızı süresi ortalama bir dakikadan az olan rüzgarlar ve süresi ortalama bir dakika veya daha uzun süren rüzgarlar şeklinde ayrılır. Rüzgâr verileri, bir saat gibi belirli ortalama süre ile ortalama su seviyesi 33ft gibi standart bir yüksekliğe ayarlanmalıdır (API RP 2N, 2000). Uygun tasarımda olan rüzgâr hızlarını belirlerken normal koşullar için;

- Her ay veya farklı mevsimler için çeşitli yönlerden belirtilen rüzgâr hızlarının görülme sıklığı
- Her ay için belirtilen sınırların üzerinde rüzgâr hızlarının kalıcılığı
- Sürekli olan rüzgâr hızlarının olası rüzgâr hızlarıyla ilişkili olup olmaması

dikkate alınmalıdır (API RP 2N, 2000).

Açık denizlerde yer alan platformlarda rüzgâr profilini belirlemekte bölgenin çevre yapısı önemli olmaktadır. Bulunulan çevre için yüzey pürüzlülüğü kavramı kullanılmaktadır. Bunun için logaritmik rüzgâr profili kullanılmaktadır. Logaritmik rüzgâr profili, atmosferin aşağı kısımlarındaki rüzgâr hızlarının yükseklikle nasıl değiştiğini tanımlayan bir matematiksel ifadedir ve Şekil 3.7’de görülmektedir (Yağcı, 2013).



Şekil 3.7. Logaritmik hız profili (Deo, 2013)

Rüzgâr hızlarının, yüzey pürüzlülüğüne ve referans rüzgâr hızına bağlı nasıl değiştiğini tahmin etmektedir. Açık denizlerde yüzey pürüzlülüğü küçük bir değere sahiptir, büyük şehir merkezlerinde ve ağaçlık alanların fazla olduğu yerlerde artmaktadır. Düşük mesafelerde yapılan ölçümler, yüksek mesafelere

doğru çıktıkça çevre koşulları da hesaplamalarda göz önünü alınmaktadır (Yağcı, 2013). Hesaplamalar Denklem 3.3'te görülmektedir.

$$\frac{V_z}{V_1} = \frac{\ln \frac{h_z}{h_0}}{\ln \frac{h_2}{h_0}} \quad (3.3)$$

Burada;

V_z = z yüksekliğindeki rüzgar hızı ($\frac{m}{s}$)

V_1 = Referans yüksekliğindeki rüzgar hızı ($\frac{m}{s}$)

h_2 = Rüzgar hızının ölçüldüğü yükseklik (m)

h_0 = Yüzey pürüzlülük uzunluğu (m)

h_z = Referans yükseklik (m), genellikle rüzgar hızının bilindiği veya ölçüldüğü yükseklik (Yağcı, 2013).

Amerika Petrol Enstitüsü (API RP 2A, 2000) da açık deniz rüzgâr kuvvetinin hesaplamak için Denklem 3.4'ü kullanmayı önermiştir.

$$F = 0.5\rho C_s A U^2 \quad (3.4)$$

Burada

F (KN)= Rüzgâr Kuvveti

U (s)= Sürekli rüzgâr hızı

C_s = Şekil katsayısı

A (m²)= Rüzgârın Etkilediği Platform Alanı (Harish vd., 2016).

3.1.5. Deprem Yüğü

Deprem yüğü, bir depremin meydana getirdiği yer hareketleri nedeniyle yapıların maruz kaldığı dinamik kuvvetleri ifade etmektedir. İnsanların enerji

taleplerinin artmasıyla okyanusların, denizlerin çeşitli şekillerde kullanılması, konumlandırılması önemli hale gelmektedir. Açık deniz yapıları örneğin; petrol platformları, rüzgâr türbinleri, dalgakıranlar, denizaltı üretim sistemlerinin kullanımı giderek artmaktadır. Fakat bu açık deniz yapıları, özellikle depremin aktif olduğu kıyı bölgelerinde güçlü deniz hareketlerinden kaynaklanan risklerle karşı karşıya kalmaktadır.

Bununla birlikte, deniz yapılarının sismik tasarım ve analizleri gerçekleştirilirken de hala karada gerçekleşmiş olan depremler üzerine yapılan çalışmalardan yararlanılmaktadır (Zhang ve Zheng, 2019). Depremler sonucunda can kayıpları, yaralanmalar, sanat yapıları, konutlar, hastaneler vb. yapılarda deformasyonlar oluşmaktadır. Depremlerde, doğrudan ortaya çıkan hasarların yanı sıra deprem sonrasında su baskınları, yangın, tsunami de tetiklenmekte ve zararlara yol açmaktadır (Gülçimen ve İpek, 2023). Deprem yükü, yapının tasarımı ve güvenilirliği açısından çok büyük bir öneme sahiptir. Deprem anında meydana gelen yatay ve dikey hareketler, yapılarda hem doğrudan hem de dolaylı yoldan hasarlara yol açabilmektedir.

Depremler, neredeyse her yerde meydana gelebilmektedir. Bu yüzden tüm yapıların tasarımında deprem direncine dayanımı arttıracak önlemler alınabilmeli ve bu sayede yıkıcı hasarların önüne geçilmesi gerekmektedir. Ayrıca, sismik olarak aktif bir bölgede bulunan bir binanın ömrü boyunca birçok küçük deprem, bazı orta büyüklükteki depremler, bir veya daha fazla büyük deprem ve muhtemelen çok şiddetli bir deprem yaşaması beklenmektedir. Bina kütlesi, şekli ve yüksekliği, zemin ivmesi ve yapının dinamik tepkisi, deprem kuvvetlerinin büyüklüğünü ve dağılımını etkilemektedir. Öte yandan, düzensiz formlarda yapılar olmaya devam ederse, yapısal dirençteki ani değişikliklerde yük aktarımını hesaba katmak için özel tasarım önlemleri gerekli bir hal almaktadır. Yapının özelliklerini ve bölgedeki geçmiş deprem kayıtlarını dikkate alan yaklaşım, sismik yüklemeyi belirlemek için kullanılmaktadır (Rajmani ve Guha, 2015).

Deprem meydana geldiği sırada yüzey dalgaları ve cisim dalgaları olmak üzere iki farklı türde sismik dalgalar ortaya çıkmaktadır. Yerin iç kısımlarına doğru oluşan

dalga hareketi cisim dalgaları olarak adlandırılmaktadır. Cisim dalgaları, S ve P olmak üzere karşımıza iki çeşit olarak çıkmaktadır. P dalgaları, birincil veya basınç dalgası olarak da bilinmekle beraber geçtikleri ortamda ilk olarak sıkışma ve daha sonrasında genleşme meydana getirmektedir. Bu dalga türü sıvı ve katı ortamdan geçebilmektedir. S dalgaları ise meydana geldikleri ortamda kayma deformasyonları oluşturmaktadır. Bu dalga enine veya kesme, ikinci dalgalar olarak da bilinmektedirler (Gülçimen ve İpek, 2023).

Yüzey dalgaları, zemin katmanları ve yer yüzeyi ile cisim dalgalarının arasındaki etkileşimden ortaya çıkmaktadır. Dalgaların oluşumları sırasında, deprem kaynağından daha uzak mesafelerde meydana gelen yüzey dalgaları daha baskın durumdadır. Mühendislik açısından bakıldığında en önemli yüzey dalgaları Love ve Rayleigh dalgaları olup, Rayleigh dalgalarından etkilenen bir parçacık, yatay ve düşey olarak hareket edebilirken, Love dalgalarında ise titreşim hareketinin düşey bileşeni olmamaktadır (Gülçimen ve İpek, 2023).

Depremler yıkıcı etkiler oluşturarak, yapılarda, altyapılarda, doğa ve insan hayatı üzerinde ciddi hasarlara neden olabilmektedirler. Bununla birlikte depremler, çeşitli fiziksel ve sosyoekonomik etkiler yaratabilmektedirler. Bölgede oluşan yapısal hasarlar, deprem sonrasında oluşacak toprak kayması ve tsunami, can ve mal kaybı, psikolojik hasarlara yol açabilmektedir. Deprem riskine karşı alınan önlemler, yapıların sismik dayanıklılığını artırmak, erken uyarı sistemleri geliştirmek ve halkı bilinçlendirmek gibi çeşitli stratejileri içermektedir. Bu önlemler, deprem sırasında ve sonrasında can ve mal kaybını en aza indirmeyi amaçlamaktadır.

Depremlerin meydana getirdiği yer hareketleri, insan yapımı olan yapılarda da doğal yapılarda deformasyonlara neden olmaktadır. Yer hareketinin direkt ortaya çıkardığı bu hasarların yanında depremler örneğin; yangın, su baskını veya tsunami gibi bazı olayları da harekete geçirmekte ve çevresel zararlara neden olmaktadır (Gülçimen ve İpek, 2023).

Dünyada meydana gelen depremler genellikle coğrafi olarak farklı bölgelerde ve zaman içinde çeşitlilik göstermektedirler. Günlük olarak dünya genelinde birçok

deprem meydana gelmektedir. Ancak çoğu insanın hissetmediği veya sadece küçük sarsıntılar şeklinde algıladığı, düşük büyüklükteki depremler de meydana gelmektedir. Büyük ve yıkıcı depremler daha az sıklıkla meydana gelmekte, ancak potansiyel olarak büyük zararlara neden olabilmektedirler. Dünya üzerindeki büyük tektonik plakaların sınırlarında, özellikle Pasifik Ateş Çemberi boyunca ve diğer büyük tektonik fay hatları boyunca depremler sık görülmektedir. Örneğin, Japonya, Endonezya, Şili, Türkiye, İran ve Amerika Birleşik Devletleri gibi ülkeler, sık sık depremlerle karşı karşıya kalabilir. Küçük depremler (örneğin, 2.0 ve altı) genellikle hissedilmezken, büyük depremler (örneğin, 7.0 ve üzeri) ciddi hasarlara yol açabilmektedir.

Açık deniz yapıları, petrol ve gaz platformları, rüzgâr türbinleri, dalga enerji sistemleri gibi deniz üzerinde kurulan mühendislik yapılarından olup bu yapılar hem inşaat hem de operasyon kurulum aşamalarında birçok doğa olayına karşı dayanıklı olmak zorundadır. Deprem, açık deniz yapıları için büyük bir tehdit oluşturan doğa olaylarından biridir. Depremlerin bu yapılar üzerindeki etkisi, karada var olan yapılardan bazı farklılıklar gösterir ve çeşitli mühendislik zorlukları içermektedir.

Açık deniz yapılarında deprem yükü ele alınırken genellikle API RP 2A, "API Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms" (Sabit Açık Deniz Platformları Planlama, Tasarım ve İnşası için API Tavsiye Edilen Uygulama, 2000) standardı dikkate alınır. API (American Petroleum Institute) deprem yönetmelikleri süneklik ve dayanım şartları olmak üzere iki tasarım kriterine dayanmaktadır. Bunlar; dayanım şartları ve süneklik şartlarıdır. Deprem dayanım şartı, yapıların şiddetli depremlere göre olup, süneklik şartı ise yapıda meydana gelme olasılığı düşük depremlere göre tasarlanmaktadır (Yaylacı, 2007).

Deprem yükleri, genellikle yapıların doğal frekanslarına, sismik dalgaların frekans içeriğine, zemin özelliklerine ve yapının bulunduğu bölgedeki sismik tehlikeye bağlı olarak hesaplanmaktadır. Sismik tehlike, yapının bulunduğu bölgede meydana gelen potansiyel depremlerin aktifliğinin ölçüsüdür. Deprem yükünün hesaplama yöntemleri;

- Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi
- Mod Birleştirme Yöntemi (Response Spectrum Analysis)
- Zaman Tanım Alanında Analiz (Time History Analysis) şeklindedir.

3.1.5.1. Eşdeğer Deprem Yüğü

Eşdeğer Deprem Yüğü Metodu üç metot içerisinde anlaşılması, uygulanabilirliği en kolay olan metod olmakla beraber, bu metodun asıl yöntemi yapının deprem etkisinde olan yapı davranışını etkileyen parametreleri hesaplamak ve bu parametreleri de birer katsayı olarak değerlendirilmesiyle ilişkili olmaktadır. Göz önüne alınacak katsayılar da yapının fay hattına olan uzaklığına, yapının yer aldığı zemin türüne, yapıyı oluşturan taşıyıcı sisteme, yapılacak olan yapının kullanım amaçlarına, yapının doğal periyoduna bağlıdır (Uzun ve Korkmaz, 2019).

3.1.5.2. Mod Birleştirme Yöntemi

Açık deniz yapılarında standartlarda response spektrum analizlerde de önerilen yöntemlerdendir (Zhao vd., 2020). Mod birleştirme yöntemi, yapının daha küçük sistemlere yani modlara ayrılması ve her birinin de davranışının belirlenmesi şeklinde ifade edilmektedir. Bu yöntemde büyük yapı sistemlerinin, birleştirilmiş olan modal tepkilerini, yapıların dinamik yanıtlarını bulmak amaçlanmaktadır.

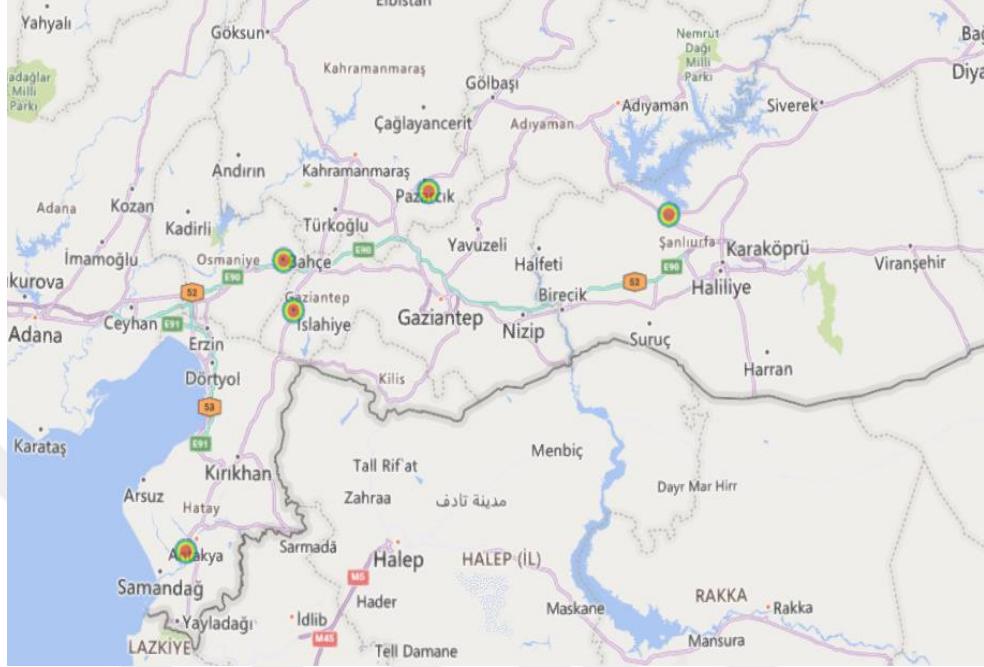
3.1.5.3. Zaman Tanım Alanı Yöntemi

Zaman tanım alanında analiz, yapının deprem etkisindeki davranışını belirleyebilmektedir. Bu yöntem uygulanırken; yapıya ivme-zaman kayıtları uygulanarak yapının belirli zamanlarda nasıl tepki vereceği belirlenmektedir. Yapı mühendisliğinde ve deprem davranışlarını inceleyebilmek adını yaygın biçimde kullanılan bir dinamik analiz yöntemidir.

3.1.5.4. Açık Deniz Yapılarının Sismik Davranışı

Bu çalışmada, farklı iki yüksekliğe sahip sabit ceket tipi açık deniz platformları, ANSYS sonlu elemanlar programı kullanılarak modellenmiştir. Modellenen yapılara deprem, rüzgar ve dalga yükleri etki ettirilmiştir. Deprem analizlerinde, 6 Şubat Kahramanmaraş/Pazarcık depremine ait zamana bağlı ivme verileri kullanılmıştır. Bu depremin 5 farklı istasyon kaydı göz önüne alınmış ve dinamik

analizler gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.8’de kullanılmış olan istasyon merkezlerinin konumları görülmektedir. Çizelge 3.1’de analizlerde kullanılan istasyon kayıtlarının özellikleri verilmiştir.



Şekil 3.8. Analizde kullanılan istasyon merkezleri

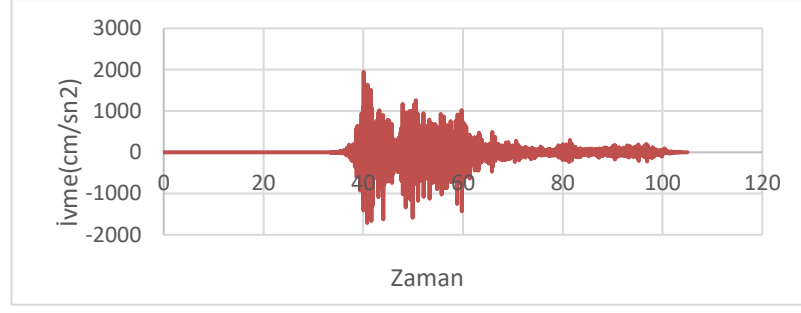
Kahramanmaraş (Pazarcık) depremi, Türkiye saati ile 04:17’te 7.7 büyüklüğünde ve Kahramanmaraş (Elbistan) depremi, 13:27’te 7.6 büyüklüğünde olup bu depremler 06.02.2023 tarihinde meydana gelmiştir. 7.7 büyüklüğünde meydana gelen deprem, yerin 8.6 km derinliğinde iken 7.6 büyüklüğe sahip Elbistan depremi, yerin 7 km derinliğinde oluşmuştur. Ana şoktan sonraki süreç içerisinde, saat 16:00’a kadar da 1300’e yakın deprem kaydedilmiştir. Bu depremin etkisi Kahramanmaraş, Diyarbakır, Malatya, Hatay, Gaziantep, Şanlıurfa, Kilis, Adıyaman, Adana, Osmaniye ve Elazığ’ın da içinde bulunduğu 11 ilde hissedilmiştir. Bu depremler sebebiyle 50.783 kişi hayatını kaybetmiş ve 115.353 kişi de yaralanmıştır. Bu rakamlar ele alındığı zaman bulunduğumuz yüzyıl içinde ülkemizde yaşanmış en büyük depremlerden olan 1999 Kocaeli (Mw:7.6) ve 1939 Erzincan (Mw:7.9) depreminde yaşadığımız kayıplardan daha fazla kayıp yaşanmıştır (AFAD, 2023).

Çizelge 3.1. Modellerde kullanılan istasyon özellikleri (AFAD)

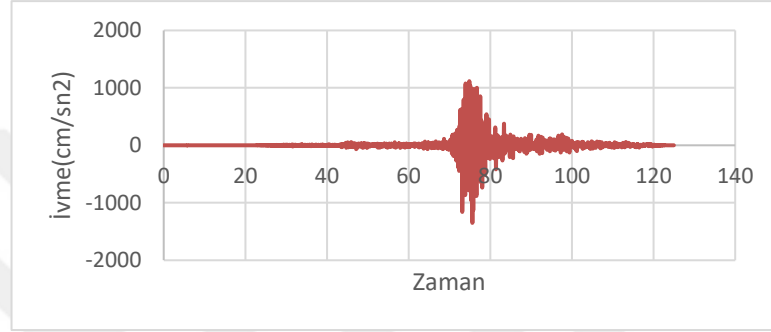
NO	ADI	İSTASYON NO	PGA (cm/s ²)	Boylam	Enlem
1	Gaziantep/İslâhiye	2718	654.43	36.627	37.008
2	Hatay/Defne	3129	1351	36.134	36.191
3	Kahramanmaraş/Pazarcık	4614	2165.62	37.298	37.485
4	Şanlıurfa/Bozova	6304	210.9	38.513	37.365
5	Osmaniye/ Bahçe	8002	242.95	36.562	37.191

Platformun deprem etkisindeki davranışı belirlenirken zaman tanım alanı yöntemi kullanılmıştır. Zaman tanım alanı yöntemi, yapıların dinamik davranışlarını ve deprem etkisinde göstereceği davranışı belirlemek, yapıların farklı deprem ivmelerine maruz kalması durumunda göstereceği davranış değişikliğini belirlemek açısından oldukça önemli bir yöntemdir. Gerçek deprem değerlerini kullanarak, yapının deprem yükü etkisindeki dayanıklılık ve güvenilirliğini optimize etmek amacıyla kullanılmaktadır. Yapıların farklı özelliklere sahip depremlerde nasıl tepki vereceğinin belirlenmesi sayesinde, depreme dayanıklı yapılar inşa edilerek daha performanslı ve deprem güvenliği fazla olan yapılar inşa edilebilmektedir.

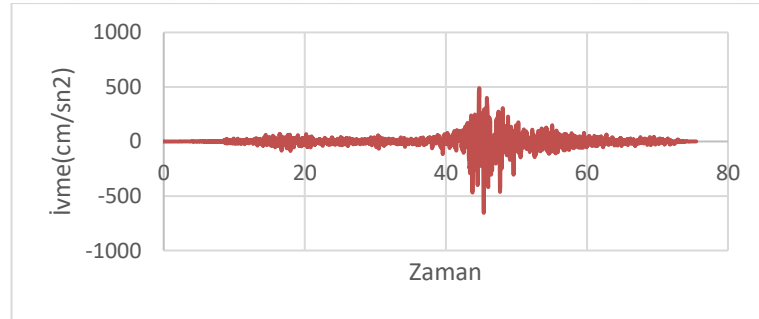
Sonlu elemanlar yöntemi ile modellenen yapılara ivme-zaman verileri etki ettirilerek, yapının farklı depremlerde göstereceği davranış belirlenmektedir. Analizlerde, 4614 Kahramanmaraş/Pazarcık, 3129 Hatay/Defne, 2718 Gaziantep/İslahiye, 8002 Osmaniye/ Bahçe, 6304 Şanlıurfa/Bozova istasyonlarına ait ivme-zaman değerleri kullanılmıştır. Analizlerde kullanılan bu depremlere ait ivme zaman grafikleri Şekil 3.9'da mevcuttur.



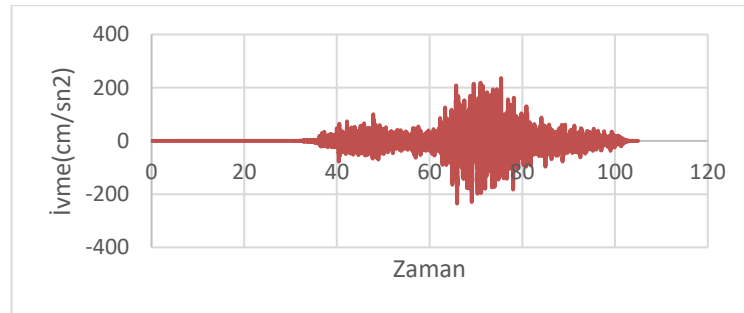
a) 4614 nolu istasyon (Kahramanmaraş/Pazarcık)



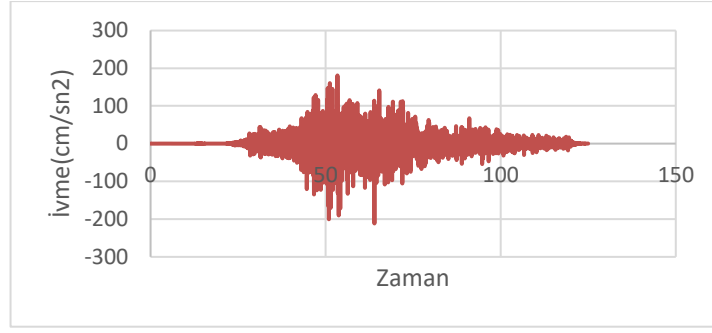
b) 3129 nolu istasyon (Hatay/Defne)



c) 2718 nolu istasyon (Gaziantep/İslahiye)



d) 8002 nolu istasyon (Osmaniye/ Bahçe)



e) 6304 nolu istasyon (Şanlıurfa/Bozova)

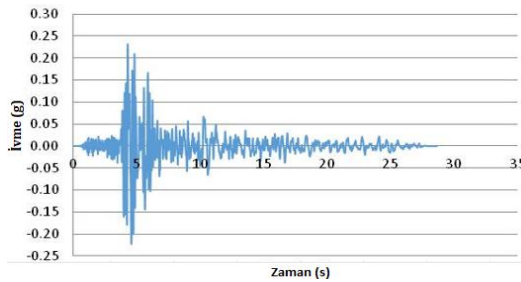
Şekil 3.9. Analizlerde kullanılan depremlerin zamana bağlı ivme değerleri (AFAD)

Tasarlanan birinci platforma, Kahramanmaraş/Pazarcık depreminin yanı sıra Whittier Narrows-01, Loma Prieta, Northridge-01, Parkfield-02, CA depremleri de uygulanmıştır (Akfırat ve Çarhoğlu, 2024). Bu depremlerin özellikleri Çizelge 3.2’de verilmiştir.

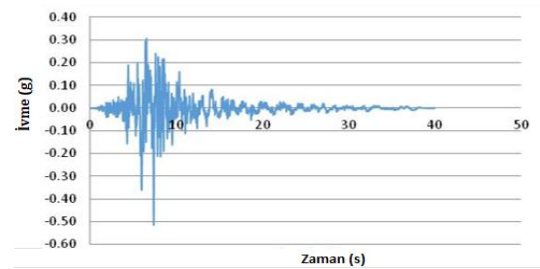
Çizelge 3.2. Yapıya uygulanan depremlerin özellikleri (PEER-NGA)

Deprem Adı	Yıl	Vs 30 (m/s)	Deprem Büyüklüğü	Zemin Sınıfı	İstasyon İsmi
Whittier Narrows-01	1987	245.06	5.99	D	Downey- Birchdale
Loma Prieta	1989	380.89	6.93	C	Saratoga- Aloha Ave
Northridge-01	1994	380.06	6.69	C	LA- Sepulveda VA Hospital
Parkfield-02, CA	2004	522.74	6.00	C	Parkfield- Cholame 2E

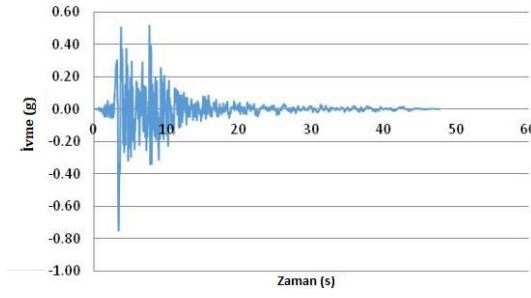
Birinci modele uygulanan Whittier Narrows-01, Loma Prieta, Northridge-01, Parkfield-02, CA depremlerinin ivme zaman grafikleri Şekil 3.10’da görülmektedir (Akfırat ve Çarhoğlu, 2024).



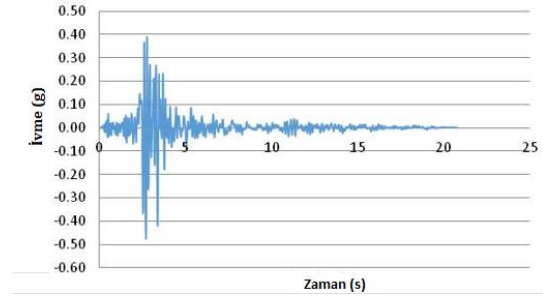
a) Whittier Narrows-01 depremi



b) Loma Prieta depremi



c) Northridge-01

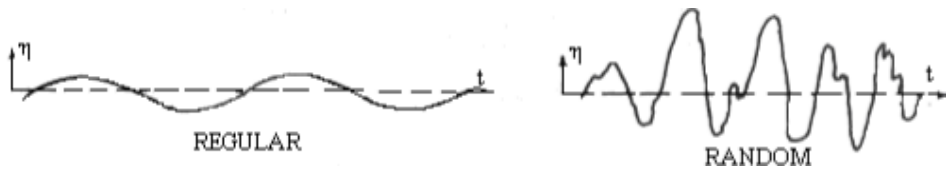


d) Parkfield-02, CA

Şekil 3.10. Birinci platforma uygulanan depremlerin ivme-zaman grafikleri

3.1.6. Dalga Yükleri

Açık deniz yapı tasarımında dalga yükü, yapının güvenliği açısından oldukça önemlidir. Deniz ortamında sürekli olarak değişen dalga yükleri oldukça karmaşık yükler olup yapıya çeşitli şekillerde etki etmektedir. Dalgalar, düzensiz ve zamana bağlı olup kinetik enerjiye sahiptir (Yaylacı, 2007). Dalga incelendiğinde belirli bir noktada dalga yapısında yükselmeler alçalmalar görülmektedir (Varol ve Gökkuş, 2013). Dalgalar en genel biçimiyle düzenli ve düzensiz dalgalar olmak üzere ikiye ayrılırlar. Şekil 3.11’de dalga tipleri görülmektedir (Deo, 2013).



Şekil 3.11. Dalga tipleri (Deo, 2013)

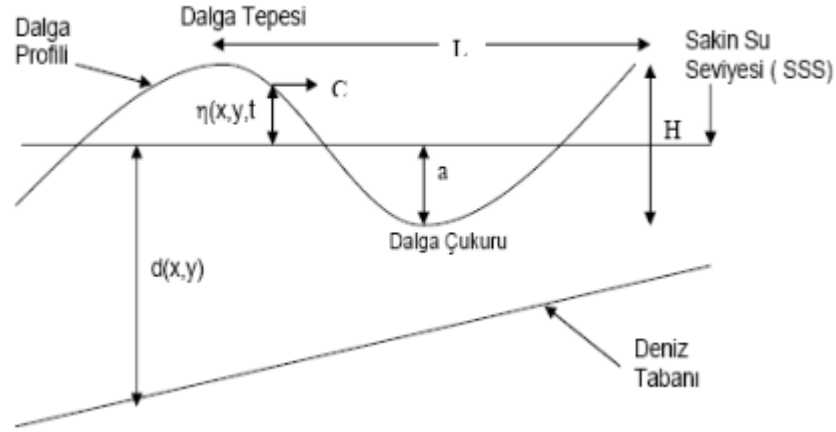
Düzenli ve düzensiz dalgaların, düzgün bir şekilde anlaşılmış olması ve analiz edilmesi, açık deniz yapılarının tasarımı ve güvenliği için çok önemli bir yere sahiptir. Mühendisler, dalga türlerinin farklı özelliklerini ve etkilerini dikkate alarak tasarım yapmakta ve buna karşılık oluşabilecek aksi durumlara gerekli önlemler almaktadırlar. Bu sayede, açık deniz yapıları zorlu deniz koşullarında bile güvenli ve dayanıklı hale gelerek hizmet vermektedir. Düzenli dalgalar; temel mühendislik analizlerinde basit tasarımlarda ve ilk yapılan analizlerde kullanılmaktadır.

Dalgalar, yapı üzerinde düzenli bir yük oluşturmaktadırlar. Sabit ve yüzer şeklinde olan bu yapıların tamamı dalga yüküne maruz kalmaktadır. Dalgaların meydana gelmesinde birçok neden olabilmektedir. Bunlar; gemilerin veya yüzen bir yapının ortaya çıkardığı dalgalar, rüzgâr kuvvetinin neden olduğu dalgalar, astronomik kuvvetlerin etkisinde oluşan dalgalar, depremlerin oluşturduğu dalgalar, akımlardan kaynaklanan dalgalar şeklinde olabilmektedir (Yaylacı, 2007).

3.1.6.1. Düzenli Dalgalar

Düzenli dalgalar, dalga profilini herhangi bir zamanda göstermektedir. Bu dalgalar, sabit bir su derinliğinde aynı dalga yüksekliğe ve dalga boyuna sahip olmaktadır (Yılmaz, 1999). Bu dalgalar belirli bir periyodiklikle meydana gelmekte olup, dalga formunun tekrarına bağlıdır. Genellikle teorik ve deneysel çalışmalarda, açık deniz yapısının tasarım aşamasının ilk adımlarında analizlerin temelini oluşturmaktadır. Düzenli dalgalar, dalga teorilerinin uygulanmasında önemli bir rol oynamaktadır. Doğada bulunan birçok dalga, temelde düzensiz yani rastgele dalgalar olup, analizlerin analitik açıdan basit olmasından dolayı düzenli olduğu varsayılmaktadır.

Denizde yer alan farklı tiplerdeki kayıt cihazları sayesinde ölçümler yapılabilmektedir. Bunlar deniz yüzeyinde ve altında olabilmektedirler (Deo, 2013). Dalga yapısını ele alındığında dalga boyu, dalga boyu, dalga genliği ve su derinliği şeklinde parametreler karşımıza çıkmaktadır. Şekil 3.12’de de dalga görünümü görülmektedir (Varol ve Gökkuş, 2013).



Şekil 3.12. Dalga görünümü (Varol ve Gökkuş, 2013)

Dalga yüksekliği; bir dalganın tepe noktası ile çukur noktasındaki dikey mesafeye verilen addır. Dalga Boyu (λ); ardışık iki dalga tepesi arasındaki yatay mesafedir. Dalga periyodu(T); bir dalganın tam bir devir yapması için geçen süredir. Dalga frekansı; birim zamanda geçen dalga sayısıdır ve dalga periyodunun tersidir. Dalga Sayısı(k); birim mesafede yer alan dalga sayısıdır ve dalga boyunun tersidir. Açısal frekans (ω); birim zamanda geçen dalga sayısının 2π katıdır. Denklem 3.5, Denklem 3.6, Denklem 3.7’de dalga frekansı, sayısı ve açısal frekans formülleri yer almaktadır (Yaylacı, 2007):

$$f = \frac{1}{T} \quad (3.5)$$

Dalga Sayısı (k): Birim mesafede yer alan dalga sayısıdır ve dalga boyunun tersidir.

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (3.6)$$

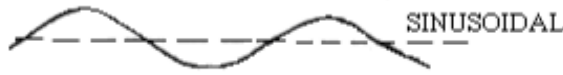
Açısal frekans (ω): Birim zamanda geçen dalga sayısının 2π katıdır.

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} \quad (3.7)$$

Dalğanın en yüksekte olan noktası dalga tepesi olarak adlandırılmaktadır ve en alçak noktası da dalga çukuru olarak bilinmektedir. Dalga çukuru ve tepesinin arasındaki su seviyesi de dalga genliği (a) olarak adlandırılmaktadır. Dalga yüksekliği (H) ise dalga tepesi ile çukurunun dikey mesafesidir (Yaylacı, 2007). Dalgalar akışkan kabul edildiğinden dolayı hız potansiyeli ve akım fonksiyonuna

sahip olup mühendislik uygulamalarına uyum sağlamak için basitleştirilmektedir.

Sinüzoidal dalga için $H = 2a$ 'dır. Şekil 3.13'te sinüzoidal dalga görünümü mevcuttur. Airy teorisinin, dalga boyu ve su derinliğinin dalga yüksekliği ile arasındaki oranların küçük olduğunu ve dolayısıyla su derinliği ile dalga boyu arasındaki oranın da küçük olduğunu varsaymaktadır. Bu teori, sinüzoidal bir profil verir ve basitleştirilmiş denklemler sağlar, ancak genellikle kıyıdan uzak, daha derin sularda geçerlidir (Deo, 2013). Sinüzoidal dalgalar, belirli frekanslarda tekrarlanan ve belirli genlikler arasında salınan gelen dalga türüdür.

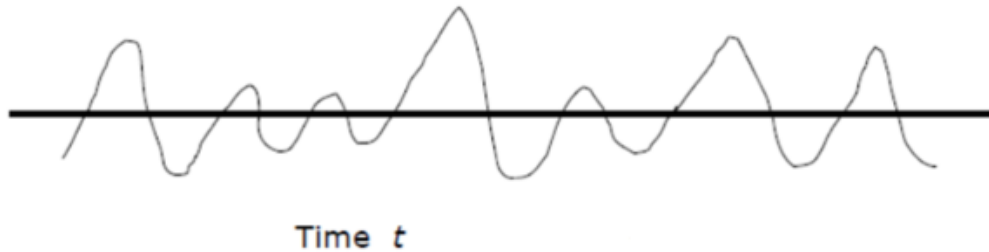


Şekil 3.13. Sinüzoidal dalga (Deo, 2013)

3.1.6.2. Düzensiz Dalgalar

Deniz yüzeyine rüzgârdan geçen enerji yön, yer ve şiddet olarak farklılık göstermektedir. Ana dalganın enerjisinin ilerlemesi rüzgâr yönünde olup değişkenlik göstermektedir. Bu oluşan dalgalara da düzensiz dalgalar denilmektedir (Yaylacı, 2007). Bu dalgalar, düzenli dalgalardan farklı olarak belirli bir periyodiklik göstermeyip genelde rastgele bir dağılım göstermektedirler.

Rüzgârın denizlerde oluşturduğu enerji, yer ve yön açısından farklılıklar göstermektedir. Ana dalga enerjisi, rüzgâr yönünde ilerlediğinden dalga yönlerinde de değişkenlik oluşmaktadır. Bu oluşuma da düzensiz dalgalar denilmektedir (Yılmazer, 1999). Şekil 3.14'te dalga şekli görülmektedir.



Şekil 3.14. Düzensiz dalgalar (Pham, 2019)

Açık denizlerde rüzgârın etkisi sonucunda oluşan ve ilerleyen dalgalara bakıldığında bunların çeşitli yönlerde ve büyükten küçüğe doğru birbirinin üzerine eklenmesiyle oluşan dalgalarda olduğu görülmektedir (Yılmaz, 1999). Düzensiz dalgalarda, karmaşık yapıda olup bunların oluşumlarını tek tek incelemek gerekmektedir. Bundan dolayı da genel varsayımlar yapılarak ele alınmaktadır (Yaylacı, 2007). Düzensiz dalgalarda analizi, açık deniz yapılarının gerçekçi yükleme koşulları altında meydana gelecek performanslarının değerlendirilmesi açısından çok önemli bir yere sahiptir.

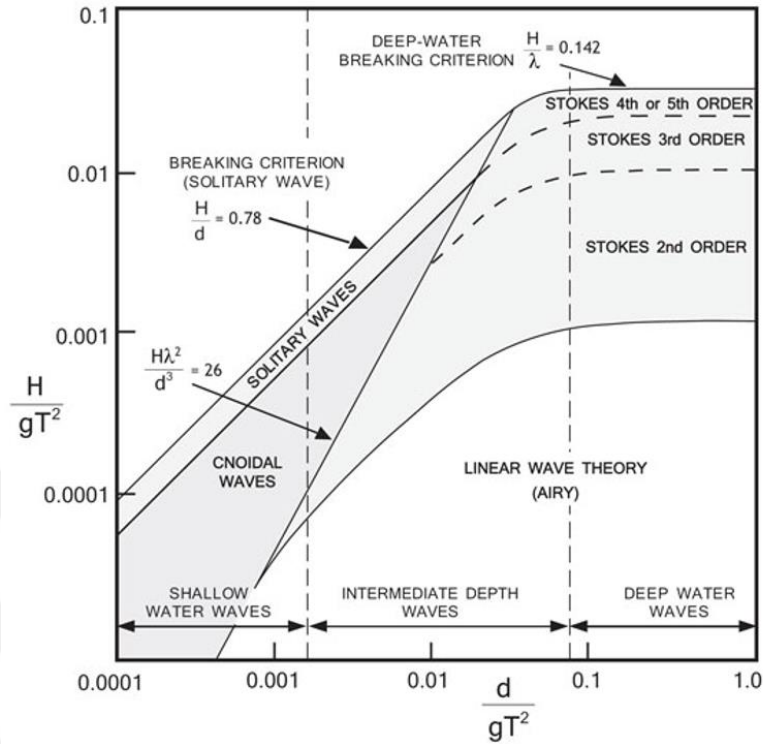
Düzensiz dalgalarda gerçekçilik açısından yani doğal deniz koşullarını iyi temsil etme bakımından ve yapıların güvenli, dayanıklı olmasına katkısından dolayı avantajlı durumda olabilmektedir (Şahin ve Altaş, 2019). Fakat analiz ve hesaplardaki karmaşıklık, hesaplamalarda gereken ileri mühendislik ve yüksek hesaplama gücü de dezavantajları olarak değerlendirilebilmektedir. Uygulama alanları ele alınacak olursak açık deniz yapılarında, petrol platformlarında, rüzgâr türbinlerinde ve denizaltı boru hatları gibi yapılarda düzensiz dalga yükleri hesaplanmaktadır. Kıyı savunma yapılarında, limanlar, dalgakıranlar, gemiler ve diğer deniz araçlarının da tasarımında düzensiz dalga analizleri gerçekleştirilebilmektedir.

3.1.6.3. Dalga Teorileri

Dalga teorileri, suyun potansiyel teorisini ve dalga kinematiklerini inceleyerek tanımlanmaktadır. Serbest su yüzeyinde oluşan denge durumunun bozulması ve yerçekiminin de etkisiyle dalgalarda oluşmaktadır (Yaylacı, 2007). Dalga teorileri, su yüzeyinde oluşan dalgalarda davranışlarını ve özelliklerini anlayabilmek ve tahmin etmek için geliştirilmiş matematiksel modeller ve kavramlardır. Bu teoriler, dalgalarda oluşumu, yayılması, kırılması ve diğer farklı etkileri açıklamaya yardımcı olmaktadır. Açık deniz yapıların tasarımında, deniz mühendisliğinde ve kıyı-liman yapılarında önemli bir yere sahiptir.

Dalga teorileri, genelde dalga yüksekliği, dalga periyodu, dalga boyu ve dalga hızı gibi parametreleri belirlemek için kullanılmaktadır (Yaylacı, 2007). Birçok teori mevcuttur ve tüm teoriler için varsayımsal olarak ortaklıklar vardır. Bu teoriler;

Airy teorisi, Solitary, Cnoidal, Stokes Dalga Teorileri olup Şekil 3.15'te görülmektedir (Sükan, 1985).



Şekil 3.15. Dalga teorileri (Abdel Raheem, 2014)

Serbest su yüzeyinde oluşan denge bozulunca, yerçekiminde, rüzgarlardan ve dış etkilere dolay dalgalar oluşur (Sükan, 1985). Dalgayı tanımlayabilmek için gerekli hız vektörü $v = (u, v, w)$ şeklindedir. İki boyutlu, kararlı, sıkıştırılmaz ve döngüsüz (irrotasyonel) sıvılar için akış koşulu sağlandığı zaman Laplace denklemi de denklem 3.8 ve denklem 3.9'daki gibi ortaya çıkmaktadır.

$$u = \frac{\partial \phi}{\partial x}, \quad v = \frac{\partial \phi}{\partial y}, \quad w = \frac{\partial \phi}{\partial z}; \quad (3.8)$$

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0 \quad (\text{Laplace Denklemi}) \quad (\text{Sükan, 1985}). \quad (3.9)$$

Dalgayı oluşturan unsurlar; dalga dikliği, frekans, bağıl derinlik başta olmak üzere dalganın gerekli olan parametreleri olan boy, derinlik ve yüksekliğe göre sınıflara ayrılmaktadır. Bu sınıflandırmalar dahilinde, dalgayı en anlaşılır şekilde ifade edecek formüller geliştirilmiştir. Bu formüller dalga ivmesi, hızı gibi deniz

yapılarına etki edecek hidrodinamik kuvvetlerin hesaplarında kullanılmaktadır. Geliştirilen formüller; çeşitli dalga teorileri altında ele alınmaktadır (Dağlı, 2017).

Dalga teorilerinde birçok kabul yapılmaktadır. Bunlar;

- Su tanecikleri elips veya dairesel şeklinde yörüngeler çizebilmektedirler.
- Dalga hareketi iki boyutludur.
- Su tanecikleri yalnızca çekim kuvvetinden etkilenmektedir.
- Sürtünme kuvveti ihmal edilir ve su sıkıştırılmaz.
- Dalga boyunca su tanecikleri yörüngeyi tamamlamaktadır (Yılmazer, 1999).

Derin su dalga hızı (C), yalnızca dalga periyoduna veya dalga boyuna bağlı olup ve Denklem 3.10'daki veya Denklem 3.11'deki gibi ifade edilmektedir:

$$C = \sqrt{\frac{gL}{2\pi}} \quad (3.10)$$

Veya

$$C = \frac{gT}{2\pi} \quad (3.11)$$

Burada:

- C: Dalga hızı (m/s).
- g: Yerçekimi ivmesi (9.81 m/s²).
- L: Dalga boyu (m).
- T: Dalga periyodu (s) (Yılmazer, 1999).

Sığ su dalgaları, su derinliğinin dalga boyunun yirmide birinden küçük olduğu durumlarda ortaya çıkmaktadır. Bu durumda, dalga hareketi su tabanına kadar ulaşır ve dalga hızı su derinliğine, yerçekimine bağlıdır (Yılmazer, 1999). Sığ su dalga hızı Denklem 3.12'deki gibi ifade edilmektedir.

$$C = \sqrt{gH_1} \quad (3.12)$$

Burada:

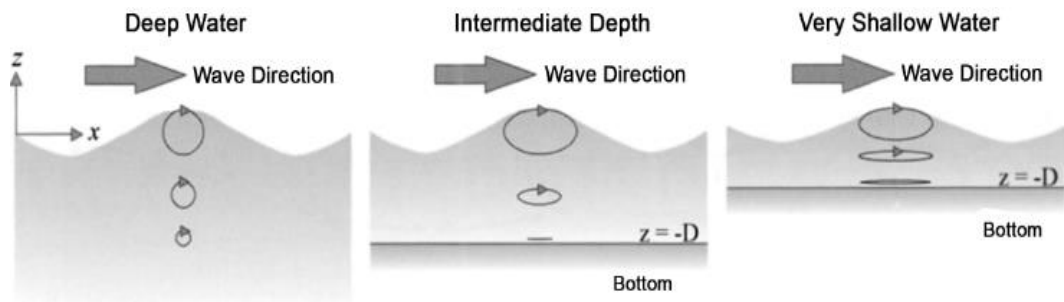
- C : Dalga hızı (m/s).
- g : Yerçekimi ivmesi (9.81 m/s^2).
- H_1 : Su derinliği (m).

Geçiş bölgesi dalga hızı Denklem 3.13'e göre belirlenmektedir. Burada; dalga sayısı $k = \frac{2\pi}{L}$ ve su derinliği; H_1 , $\tanh H_1$; Hiperbolik tanjant fonksiyonu göstermektedir (Sükan, 1985).

$$C = \sqrt{\frac{g}{k} \tanh H_1 (kH_1)} \quad (3.13)$$

Dalga hızı, dalga boyuna, su derinliğine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Derin su dalgaları için dalga hızı; dalga boyuna veya periyoduna bağlıdır ve su derinliğinden bağımsızdır. Sığ su dalgaları için dalga hızı su derinliğine bağlı olup geçiş bölgesinde ise dalga hızı hem dalga boyuna hem de su derinliğine bağlıdır ve daha karmaşık bir ilişki gösterir.

Şekil 3.16'da derin, orta ve sığ sudaki dalga hareketleri görülmektedir. Bu dalga hareketleri, boyuna ve enine salınımlardan kaynaklanmaktadır. Dalga hareketini oluşturan parçacıklar, yörüngesel hareket etmektedirler. Bu yörüngesel hareket, derin su dalgalarında (derinlik, $D > \lambda/2$) ve sığ su dalgalarında ($D < \lambda/20$) mevcuttur. Ancak derin su dalgalarında hareket yörüngesi dairesel iken, sığ su dalgalarında bu yörünge hareketi eliptiktir ve büyük eksen de yatay yöndedir (Ahmed vd., 2010). Bu farklılıklar, dalga davranışlarını belirlemekte ve su dalgalarının mühendislik uygulamalarında kritik öneme sahiptir.



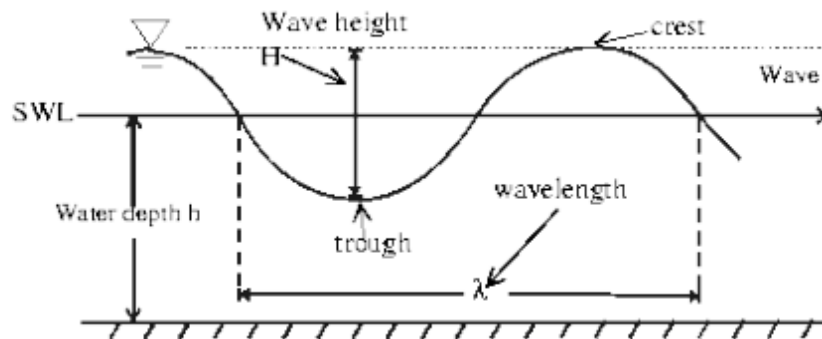
Şekil 3.16. Derin, orta ve sığ dalga hareketleri (Ahmed vd., 2010)

3.1.6.3.1. Lineer Dalga Teorisi (Airy Teorisi)

Lineer dalga teorisi, su dalgalarının davranışlarını belirleyebilmek için en basit ve en yaygın kullanılan teorilerden biridir. Küçük genlikli ve uzun dalga boyu olan iki boyutlu dalgalar için geçerlidir (Yıldırım Sucu, 2023). Airy teorisi basit oluşundan ve kullanışlılığından dolayı deniz mühendisliğinde, kıyı yapıları ve açık deniz deniz platformlarının tasarımında sıkça kullanılmaktadır.

Dalga yüksekliği; su derinliği ve dalga boyu ile karşılaştırıldığında oldukça küçükse matematiksel ifadeler lineer formda olmakta ve bunun içinde lineer dalga teorisi kullanılmaktadır. Lineer dalga teorisinin kullanılmasının birçok avantajı vardır ve en önemlisi de süperpoze edilebilme imkânı sağlamasıdır. Bu teori sinüzoidal formda olup sadece küçük genlikli dalgalarda kullanılmaktadır (Yilmazer, 1999).

Dalga boyuna ve su derinliğine kıyasla dalga yüksekliğinin, çok küçük değerler alması halinde kullanılan en kolay dalga teorisidir. Su yüzeyinde basınç sabittir. Coriolis etkisi ihmal edilerek iki boyutlu ideal akışkan sıvı kabulü altında, hesaplar yapılmaktadır. Airy dalga teorisi, Laplace denkleminin çözümüdür. Laplace denkleminin geçerlilik sınırı olan Airy dalga teorisi bu denklemin çözümüdür. Belirli sınır şartları altında yüzeyde ve tabanda analizler yapılmaktadır (Dağlı, 2017). Şekil 3.17’de Lineer dalga modeli görülmektedir.



Şekil 3.17. Lineer (Airy) dalgası (Nishanka vd., 2021)

Bu dalgada dalga yüksekliği(H); dalganın tepe ile çukur noktası arasındaki dikey ifadeyi, dalga boyu(λ); iki ardışık dalga tepesi veya çukuru arasında oluşan yatay mesafeyi, dalga periyodu (T); bir dalganın bir tam döngüsünü tamamlaması için geçen süreyi, dalga hızı C_1 dalganın yayılma hızını ifade etmektedir. Denklem 3.14'te dalga hızı görülmektedir.

$$C_1 = \frac{L}{T} \quad (3.14)$$

Denklem 3.14'te dalga hızı, dalga boyunun dalga periyoduna oranıyla bulunur (Yilmazer, 1999). Dalga boyu ve dalga periyodu ilişkisi denklem 3.15 kullanılarak belirlenmektedir.

$$\left(\frac{2\pi}{L}\right)^2 = \frac{gk}{\tanh(kd)} \quad (3.15)$$

Burada:

- g yerçekimi ivmesi (9.81 m/s^2),
- k dalga sayısı olup $k = \frac{2\pi}{L}$
- d su derinliği (Yilmazer, 1999).

Bu denklem, dalga boyu (L) ve dalga periyodu (T) arasındaki ilişkiyi belirler.

Lineer dalga teorisi iki boyutlu akışkan kavramları kullanılarak ifade edilmekte ve dalgalar uzun mesafede enerji kaybına uğramadan devam etmektedirler (Yilmazer, 1999). Airy teorisine göre, su parçacıkları dairesel yörüngeler izlemektedir. Bu yörüngeler, yüzeye yakın olduğunda belirgin, derinlik arttıkça daha az belirgin hale gelmektedir. Yüzeydeki su parçacıkları tam bir daire çizerken, daha derinlerdeki parçacıklar eliptik yörüngeler çizmektedir. Parçacık hızı (u, w), yatay ve düşey hız bileşenleri, derinlik ve zamanın bir fonksiyonu olarak Denklem 3.16 ve Denklem 3.17 ile ifade edilmektedir.

$$u(z) = \frac{\pi H \cos h(k(d+z))}{T \sin h(kd)} \cos(kx - \omega t) \quad (3.16)$$

$$w(z) = \frac{\pi H \sin h(k(d+z))}{T \sin h(kd)} \sin(kx - \omega t) \quad (3.17)$$

Burada:

- ω : açısal frekans olup, $\omega = \frac{2\pi}{T}$
- z : suyun yüzeyden olan derinliği (negatif yönde artar).

Airy dalga teorisi, kinetik ve potansiyel enerjinin toplamı olan dalga enerjisini ve enerji akışını hesaplamak için de kullanılabilir (Yılmazer, 1999). Denklem 3.18'de dalga enerjisinin hesabı görülmektedir.

$$E = \frac{1}{8} \rho_s g H^2 \quad (3.18)$$

Burada:

- ρ_s : su yoğunluğu
- E : dalga enerjisi

Enerji akısı, birim zamanda aktarılan dalga enerjisi doğrultusunda ortaya çıkan dalga enerji miktarıdır ve basınç kuvvetleri tarafından yapılan iş miktarını göstermektedir. Denklem 3.19'da dalga gücü ve Denklem 3.20'de ise dalga grup hızı görülmektedir (Yılmazer, 1999)

$$P = EC_g \quad (3.19)$$

$$C_g = \frac{C}{2} \left(1 + \frac{2kd}{\sin h(2kd)} \right) \quad (3.20)$$

Burada;

- P : Enerji akısı
- C_g : Grup hızı (Yılmazer, 1999).

3.1.6.3.2. Stokes Dalga Teorisi

Stokes dalga teorisi, büyük genlikli dalga yapısına sahiptir. Lineer olmayan durumların ihmal edilmesi ile tanımlanması güç olan, dalga çukuru ile tepesi

arasında simetrisinin olmadığı dalga durumlarında geçerli olmaktadır. Büyük genlikli dalga teorilerinden en yaygın olanı Stokes teorisidir (Dağlı, 2017). Stokes dalga teorisinde dalgaların tepeleri dar ve yüksek olmaktadır. Durgun su yüzeyi ele alındığında simetri bozulmaktadır. Orta çizgisi, süreklilik şartından dolayı su yüzeyine çıkmaktadır (Yaylacı, 2007). Stokes dalga teorisi, su dalgalarının davranışlarını belirlemek için kullanılan bir başka dalga teorisidir.

Lineer olan Airy teorisinde $\frac{1}{2}v^2$ ihmal edilmekte olup Stokes teorisinde dalga genliğinin etkisini de belirleyebilmek amacıyla $\frac{1}{2}[(u - c)^2 + w^2]$, Bernoulli denkleminde kullanılmaktadır (Sükan, 1985). Stokes dalga teorisi, özellikle orta büyüklükteki dalgalar için uygundur ve deniz mühendisliğinde sıklıkla Şekil 3.18 'de de görüldüğü gibidir.



Şekil 3.18. Stokes dalgası (Yıldırım Sucu, 2023)

Stokes dalgaları, durağan su seviyesine göre dalga formunun yatay simetrisini bozmakta olup, daha yüksek tepe noktaları ve daha sık dipler oluşturarak daha dik tepe noktaları ve doğrusal dalgalardan daha fazla darbe benzeri kuvvetler yaratır (Slåke, 2016). Stokes dalga teorisi, daha karmaşık dalga hareketlerini modelleyebilmek için lineer dalga teorisinin genişletilmiş ve ilerlemiş versiyonlarını kullanılmaktadır. İkinci mertebe Stokes dalga teorisi en yaygın olanıdır, ancak üçüncü, dördüncü ve daha yüksek mertebelerde de analizler yapılabilmektedir. Diğer dalga teorilerinde olduğu gibi burada da Dalga boyu (L), dalga yüksekliği (H), Dalga periyodu (T) ve dalga hızı (C) kullanılmaktadır.

İkinci mertebe Stokes dalgasında dalga yüzeyi Denklem 3.21'de görüldüğü şekildedir;

$$\eta(x, t) = a \cdot \cos(kx - \omega t) + \frac{1}{2}ka^2 \cos(2kx - 2\omega t) \quad (3.21)$$

Burada;

- a: dalga genliği
- k: dalga sayısı olup $k = 2\pi/\lambda$
- ω : açısal frekans olup $\omega = 2\pi/T$

İkinci mertebeden olan Stokes teorisinin parçacık hızları da Denklem 3.22 ve Denklem 3.23'teki gibidir (Yamaç, 2016).

Yatay hız bileşeni (u);

$$u(z) = \left(\frac{\pi H}{T} \right) \frac{\cosh(k(d+z))}{\sinh(kd)} \left[\cos(kx - \omega t) + \frac{ka}{2} \cosh(2k(d+z)) \cos(2kx - 2\omega t) \right] \quad (3.22)$$

Dikey hız bileşeni (w);

$$w(z) = \left(\frac{\pi H}{T} \right) \frac{\sinh(k(d+z))}{\sinh(kd)} \left[\sin(kx - \omega t) + \frac{ka}{2} \sinh(2k(d+z)) \sin(2kx - 2\omega t) \right] \quad (3.23)$$

Stokes dalga teorisi, kinetik ve potansiyel enerjinin toplamı olan dalga enerjisini ve enerji akışını hesaplamak için de kullanılabilir (Yaylacı, 2007). Genellikle ikinci mertebe etkilerle birlikte değerlendirilmektedir.

Dalga enerjisi (E) Denklem 3.24'te görülmektedir.

$$E = \frac{1}{8} \rho g H^2 \left(1 + \frac{ka}{2} \right) \quad (3.24)$$

Burada:

- ρ : su yoğunluğu
- E: dalga enerjisi
- g: yerçekimi ivmesi

Stokes dalga teorisi; daha büyük genlikli, orta büyüklükteki dalgaların davranışlarının modellenmesi için uygundur. Lineer dalga teorisine oranla

daha doğru sonuçlar alınmakta olup, dalgaların asimetrik ve doğrusal olmayan davranışlarını açıklayabilmektedir.

Stokes teorisinde yüksek dereceden dalgalar birbirlerine eklenmektedirler. Bu dalgaların, tepeleri yüksek ve dar olup durgun suyla karşılaştırıldığında simetrinin bozulmaktadır. Süreklilik şartının gerekliliklerinden dolayı da dalga orta çizgisi durgun su yüzeyine çıkmaktadır (Sükan, 1985). Karmaşıklığını arttırdıkça hesaplamalarındaki zorluklar, çok büyük genlikli dalgalarda, dalga kırılmalarında yetersiz kalması, derin sularda uygun olup sığ sularda doğruluğunun azalması gibi dezavantajlı olduğu durumlarda vardır. Sonuç olarak Stokes dalga teorisi, deniz ve kıyı mühendisliğinde önemli bir araçtır. Dalga yüklerinin ve hareketlerinin daha doğru bir şekilde tahmin edilmesine olanak tanır.

3.1.6.3.3. Cnoidal Dalga Teorisi

Cnoidal dalga teorisi, özellikle sığ su dalgalarının ve uzun dalga boylarının analizinde kullanılan bir dalga teorisidir. Bu teori, sinüzoidal dalgalar yerine Cnoidal dalga profilleriyle karakterize edilen, doğrusal olmayan dalgaları tanımlamaktadır (Benitz vd., 2015). Cnoidal dalga teorisi, geniş dalga çukurlarına ve net bir şekilde ayrılmış olan keskin tepelere sahip olup Ursell parametresinin 30'dan büyük olduğu durumlarda sığ sularda kullanılmaktadır (Dağlı, 2017).

Dalga yüksekliğinin su derinliğine olan oranı küçüldüğü durumda dalga profili lineer olarak belirlenebilmektedir (Yılmaz, 1999). Cnoidal dalga teorisi, doğrusal olmayan dalga hareketlerini tanımlamak için Jacobian eliptik fonksiyonları kullanılmakta olup, dalga boyunun uzaması durumunda Cnoidal dalga teorisi Solitary dalga teorisine indirgenmektedir (Sükan, 1985) ve Şekil 3.19'da Cnoidal dalga görünümü görülmektedir (Yıldırım Sucu, 2023).



Şekil 3.19. Cnoidal dalgası (Yıldırım Sucu, 2023)

3.1.6.3.4. Solitary Dalga Teorisi

Solitary dalga teorisi, genellikle izole dalga formlarını inceleyen bir teori olup, genellikle dalgalar çok dik tepeli, uzun görünüm almaktadırlar. Şekil 3.20’de görüldüğü üzere özel dalga türleridir. Solitary dalga türü daha çok tekil bir dalga olarak düşünülmektedir (Yılmazer, 1999).



Şekil 3.20. Solitary dalgası (Yıldırım Sucu, 2023)

Çok sığ sularda dalga boyu artık karakteristik bir boyut olarak ele alınmaktan çıkmaktadır. Tek dalga olarak da adlandırılan Solitary dalgası birbirinden bağımsız tek dalgalar halinde olmaktadır. Cnoidal dalga teorisini $m=1$ sınır haline indirince Solitary dalga terisi için hız; Denklem 3.25’te görüldüğü gibi olmaktadır (Sükan, 1985).

$$c = \sqrt{gd} \left(1 + \frac{1}{2} \frac{H}{d} \right) \quad (3.25)$$

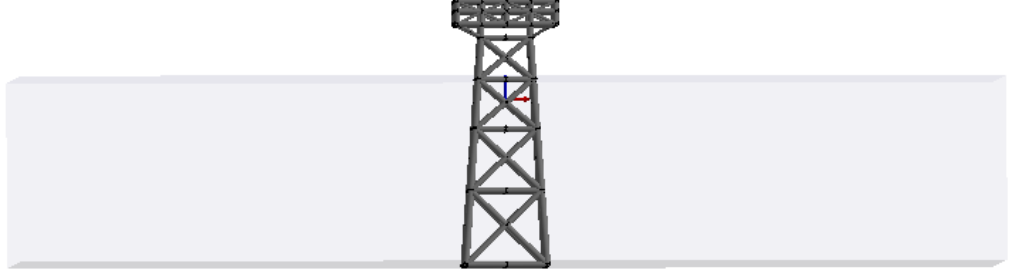
Burada;

- c: Dalga hızı
- g: Yer çekim ivmesi
- H: Dalga yükseklik (Sükan, 1985).

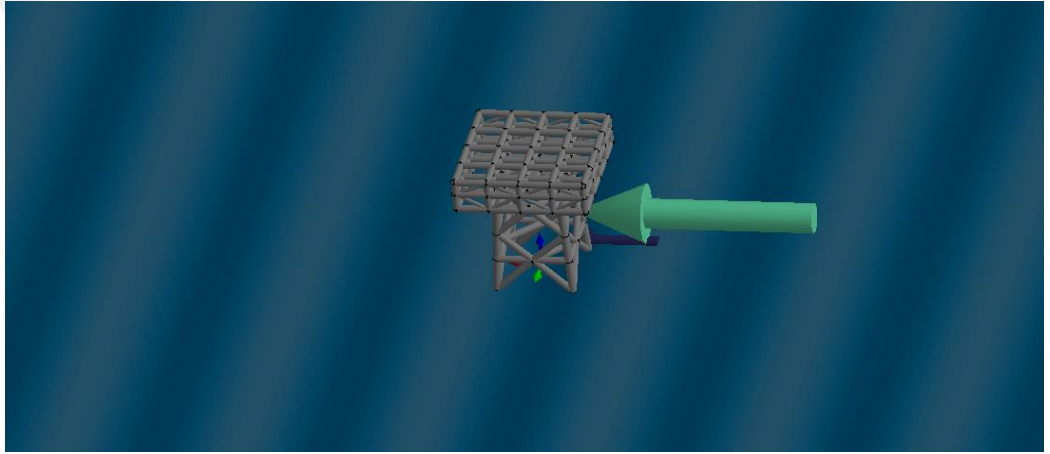
3.1.6.4. Ele Alınan Açık Deniz Yapılarının Dalga Analizi

Açık deniz yapıları hidrodinamik kuvvet olan dalga kuvveti etkisindedir. Yapının bulunduğu ortam itibariyle de dalga kuvvetlerinin yapıları ve ele alınış biçimleri çok önemli olmaktadır. Ele alınan birinci açık deniz yapısı 34.5 m yükseklikte olup 20 m su derinliğinde, ikinci açık deniz yapısı da 106.5 m yükseklikte olup, 75 m su derinliğinde bir su hacminin içinde olacak şekilde oluşturulmuştur ve Şekil 3.21, Şekil 3.22 ve 3.23’te su hacminin ve platformun konumu görülmektedir. Su

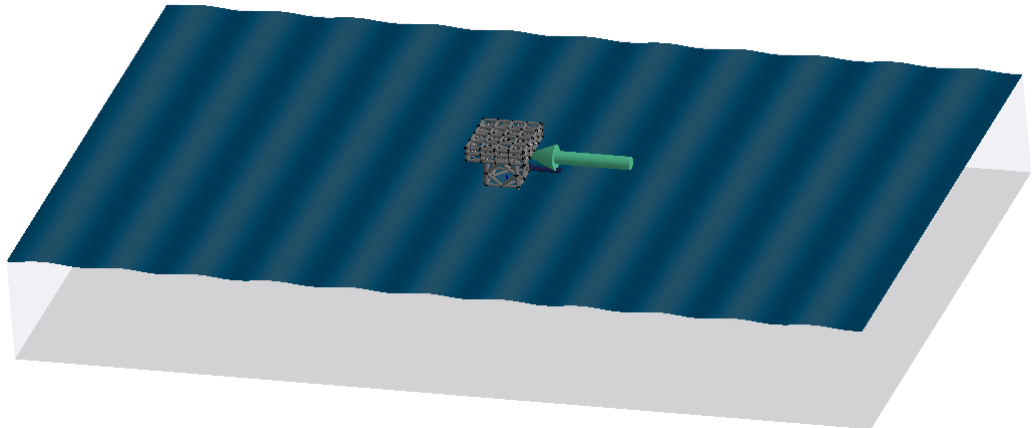
hacminde kullanılacak akışkanın özellikleri Çizelge 3.3'te verilmiştir. Modeller, Ansys/AQWA kullanılarak analiz edilmiştir.



Şekil 3.21. Su hacmi ve platform yapısı



Şekil 3.22. Su hacmi içindeki platform 2



Şekil 3.23. Dalga yükü etkisindeki platform 2

Çizelge 3.3. Akışkana ait malzeme özellikleri (Gücüyen ve Erdem, 2022)

Adı	Yoğunluk (kg/m ³)	Dinamik Viskosite
Tuzlu Su	1025	$1,005 \times 10^{-3}$

Açık deniz yapılarında yapılar farklı dış yüklere maruzdurlar. Bu dış yüklerden biri de dalga yüküdür. Yapıların dalgalar etkisindeki göstereceği davranışı belirleyebilmek için yapıya gelen dalganın yanalma açısında oldukça önem taşımaktadır.

Yanalma açısı dalga yükleri belirlenirken kullanılmakta olup oldukça kritik bir değerdir. API (American Petroleum Institute) standartlarına göre de dalga yanalma açısının hesaplamalarda dikkate alınması gerektiğini belirtmiştir (API RP 2N, 2000). Bu çalışmada da dalga yanalma açısı 0° olacak şekilde analizler gerçekleştirilmiştir. Dalga analizinde doğrusal dalga analizi yani Airy teorisi kullanılmış bu teorisi ayrıca küçük genlikli dalga teorisi olarak adlandırılmaktadır. Rüzgâr yükü de 25 m/s şeklinde alınmıştır.

3.1.7. Akıntı Yükü

Akıntı, su kütlelerinin farklı nedenlerden kaynaklanan hareketi sonucu oluşup açık deniz yapılarının üzerine etki eden güçlü kuvvetler meydana getirmektedir. Rüzgâr, yüzey dalgaları ve hava akımı gibi kaynağına göre sınıflandırılmaktadır (Dağlı, 2016). Açık deniz rüzgâr türbinleri, platformlar, dalgakıranlar gibi yapılarda akıntı yükü, su akıntılarının yapı üzerinde uyguladığı kuvvetleri ifade etmektedir.

Bu yükler yapı tasarımı ve güvenilirliği açısından önemli yere sahiptir. Akıntı yükü, su akıntısının hızına, su derinliğine, etki ettiği yapının şekline ve boyutuna bağlı olarak değişmektedir. Akıntı yükünü dikkate alırken akım profili belirlenmelidir. Belirli aralıklarla farklı ay veya mevsimlerde farklı derinliklerde akıntı hızı yönü araştırılmalı ve bunlar planlanmalıdır (API RP 2N, 2000).

Akıntı yükleri genelde Morison denklemlerinden yararlanılarak hesaplanmaktadır. Morison denklemi, sığ ve derin su yapıları için uygun olan

doğrusal olmayan bir kuvvet modelidir. Bu denklem atalet kuvveti ve süreklenme kuvveti olmak üzere iki farklı bileşene sahiptir.

Morison denklemi Denklem 3.26'da ifade edilmektedir.

$$F_T = F_D + F_I \quad (3.26)$$

Burada:

- F_T : Toplam kuvvet
- F_D : Sürüklenme kuvveti
- F_I : Atalet kuvveti

Sürüklenme kuvveti, su akıntısının hızı ile orantılıdır (Varol vd., 2011) ve Denklem 3.27'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$F_D = \frac{1}{2} \rho C_D D U |U| \quad (3.27)$$

Burada:

- ρ : Su yoğunluğu.
- C_D : Sürüklenme katsayısı
- D : Silindirik yapının çapı
- U : Su akıntısının hızı (Varol vd., 2011).

Atalet kuvveti, su kütlesinin ivmelenmesi ile orantılıdır ve Denklem 3.28'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$F_I = \rho C_M V \frac{du}{dt} \quad (3.28)$$

Burada:

- C_M : Atalet katsayısı
- V : Yapının hacmi
- $\frac{du}{dt}$: Su akıntısının ivmesi (Varol vd., 2011).

Hidrodinamik kaldırma kuvveti de Denklem 3.29’da görüldüğü gibidir:

$$F_L = \frac{1}{2} C_L \rho D u^2 \quad (3.29)$$

Burada:

- F_L = Kaldırma kuvveti
- C_L = Kaldırma kuvveti katsayısı
- ρ = Birim hacim ağırlığı
- D = Silindirik yarı çap
- u = su tanecik hızı (Varol vd., 2011).

Akıntının oluşumunda dört ana etken vardır ve bunların bilinmesi oluşabilecek kuvvetler açısından önemlidir. Bunlar;

- Akıntı, dalga yüzeyinde oluşan su parçacıklarının hızlarını etkilemektedir.
- Akıntı, dalga yüzeyi alanını değiştirebilmekte ve bundan dolayı dalga yüzeyi genişliği de değişmektedir.
- Sabit haldeki elemanların üzerine akıntının çarpması, su yüzeyinde oluşan dalga tiplerine neden olmakta ve böyle ortaya çıkan dalgaların hareketleri, başka bir hareketli yapının veya geminin sebep olduğu dalgalara benzemektedir.
- Akıntıların ortaya çıkardığı son etki de vortex olarak adlandırılan girdap akıntısıdır. Zayıf elemanlar için bu akıntı etkisi çok önemlidir (Yaylacı,2007).

4. ARAŞTIRMA BULGULAR

Bu tez çalışması kapsamında, ANSYS sonlu elemanlar programı yardımıyla modellenen 34.5 m ve 106.5 m yüksekliğinde iki farklı boyutta açık deniz platformu modellenmiştir. Sabit ceket tipi açık deniz platformları 4 farklı türde çapraz bağlantı elemanlardan oluşmaktadır. Yapılara dalga, deprem ve rüzgâr yükleri etki ettirilerek sabit açık deniz yapılarının çevresel yükler etkisi altında göstereceği davranışlar belirlenmiştir.

Bu platformlara odak derinliği 8.6 km, büyüklüğü de 7.7 Mw olan 6 Şubat Kahramanmaraş-Pazarcık depremi uygulanmıştır (AFAD). Doğu Anadolu Fay Hattı'nın kuzeydoğu ve güneybatı yönlerinde oluşan kırılmalar sonucu meydana gelen bu deprem Kahramanmaraş, Adıyaman, Hatay, Malatya, Gaziantep, Diyarbakır, Kilis, Adana, Osmaniye, Elâzığ ve Şanlıurfa'da hissedilmiş ve bu 11 ilde birçok hasar meydana gelmiştir. 50.000'in üstünde can kayıplarının yaşanmasına, binlerce insanın yaralanmasına, tarihi yapılar ve konutların, köprülerin, altyapıların, hastanelerin, karayollarının ciddi derecede hasar olmasına yol açmıştır (Gökdoğan vd., 2024).

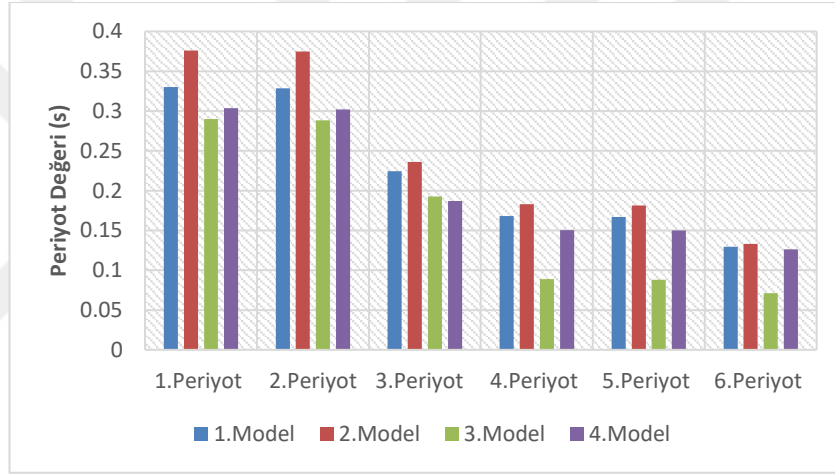
Kahramanmaraş-Pazarcık depremi sırasında kaydedilen 5 farklı istasyondan alınan zamana bağlı ivme değerleri uygulanarak zaman tanım alanında dinamik analizler gerçekleştirilmiştir. Bu kayıtlarda 1 numaralı istasyon kaydı 2718 Gaziantep (İslahiye), 2 numaralı istasyon kaydı 3129 Hatay (Defne), 3 numaralı istasyon kaydı 4614 Kahramanmaraş (Pazarcık), 4 numaralı istasyon kaydı 6304 Şanlıurfa (Bozova), 5 numaralı istasyon kaydı 8002 Osmaniye (Bahçe) istasyonlarına ait ivme-zaman verileridir. Yapılan dinamik analizler sonucunda yapılarda meydana gelen yer değiştirme, gerilme değerleri elde edilmiştir. Farklı çapraz elemanlar kullanılarak platform için en uygun olacak çapraz şekilleri belirlenmiştir.

Dalga yükü, Airy dalga teorisi doğrultusunda ele alınarak analiz edilmiştir. Birinci platformun su derinliği 20 m ve ikinci platformun 75 m su derinliğinde yer aldığı göz önünde bulundurularak modellemeler ANSYS/Aqwa ile yapılmıştır. Akışkanın devam ettiği süre 10 s ve adım aralığı da 0.005 şeklinde alınmıştır. Rüzgâr hızı da 25 m/s olarak ele alınıp dalga ve rüzgâr analizi yapılmıştır.

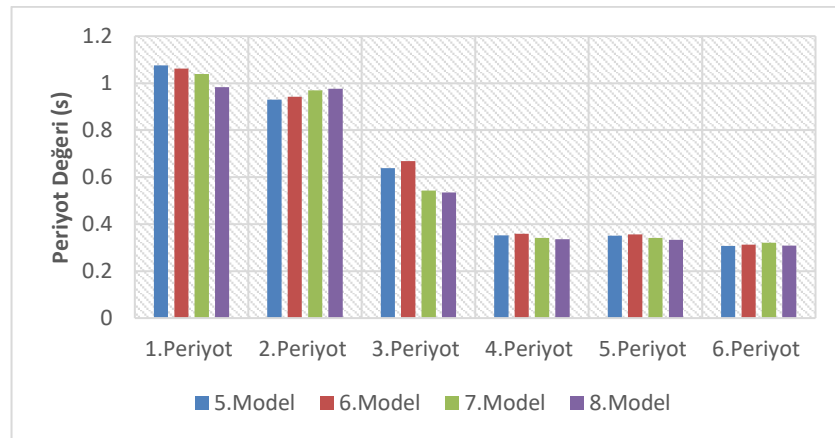
4.1. Modal Analiz Sonucu Elde Edilen Değerler

Gerçekleştirilen modal analiz sonuçlarından ilk 6 mod belirlenmiştir. 34.5 m yüksekliğindeki birinci platform ve 106.5 m yüksekliğindeki ikinci platform için değerler sırasıyla Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de yer almaktadır. İlk 3 periyot değerleri Periyot; 34.5 m yüksekliğindeki birinci platformda (Model 1); V çaprazlama tipinde 0.32996, 0.32849, 0.22458 iken 106.5 m yüksekliğindeki ikinci platformda (Model 5) 1.0756, 0.929734, 0.63866 s elde edilmiştir. Ters V

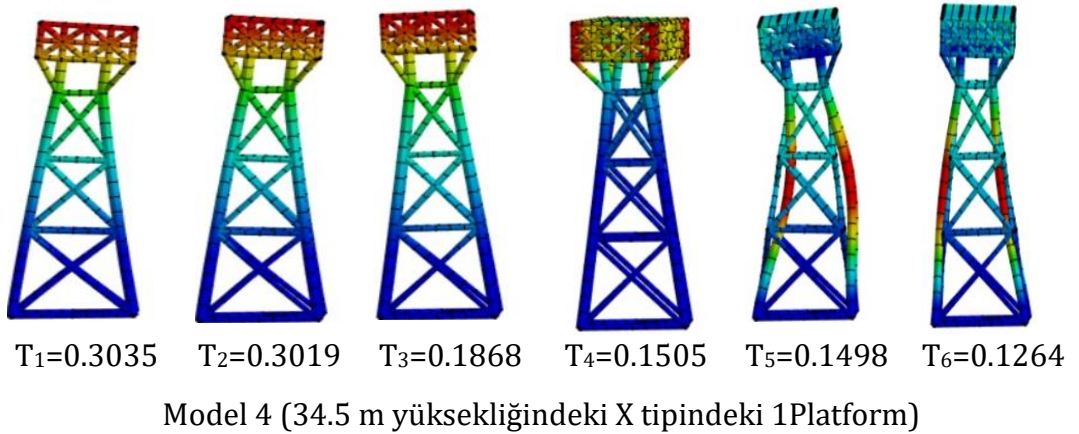
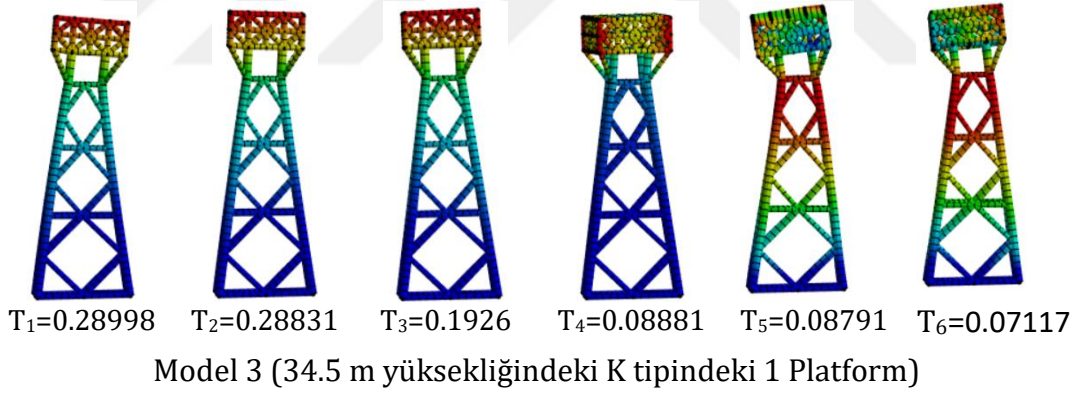
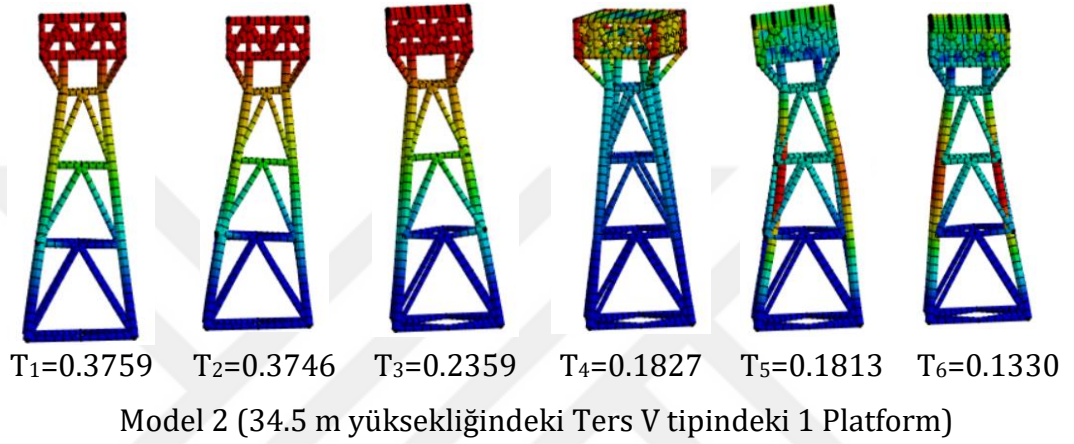
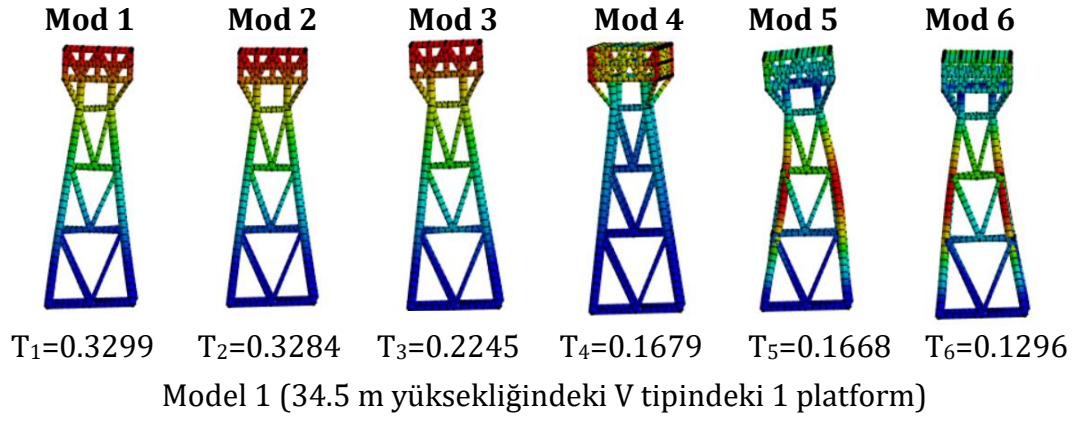
tipindeki çaprazlama durumunda; 34.5 m yüksekliğindeki birinci platformda (Model 2) 0.37599, 0.37462, 0.23599 s, 106.5 m yüksekliğindeki ikinci platformda (Model 6) 1.0618, 0.94173, 0.66783 s olarak elde edilmiştir. K tipindeki çaprazlama durumunda; 34.5 m yüksekliğindeki birinci platformda (Model 3) periyot değerleri; 0.28998, 0.28831, 0.19260 iken 106.5 m yüksekliğindeki ikinci platformda (Model 7) 1.0390, 0.96995, 0.54287 olarak elde edilmiştir. X tipi çaprazlama şekli için; 34.5 m yüksekliğindeki birinci platformda (Model 4) 0.30355, 0.30198, 0.18684 s, iken 106.5 m yüksekliğindeki 2 platformda (Model 8) 0.98334, 0.97575, 0.53437 sn olarak elde edilmiş olup Şekil 4.1 Şekil 4.2 Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te platformlara ait ilk altı periyot değerleri ve şekilleri görülmektedir.



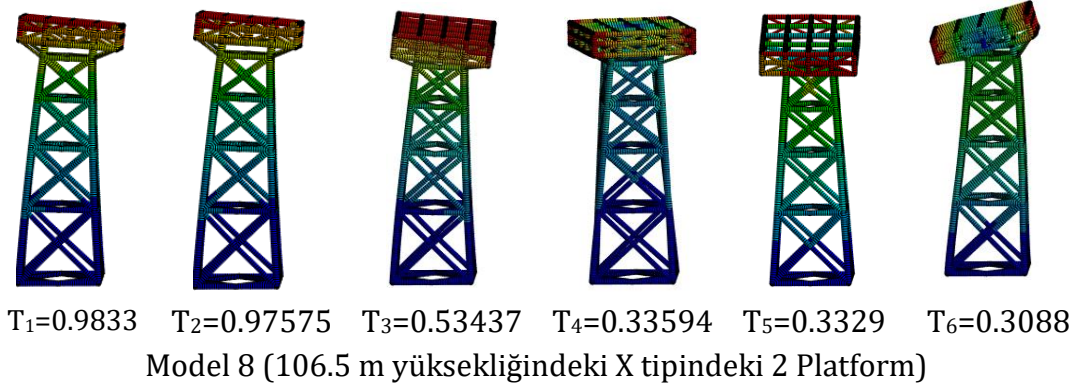
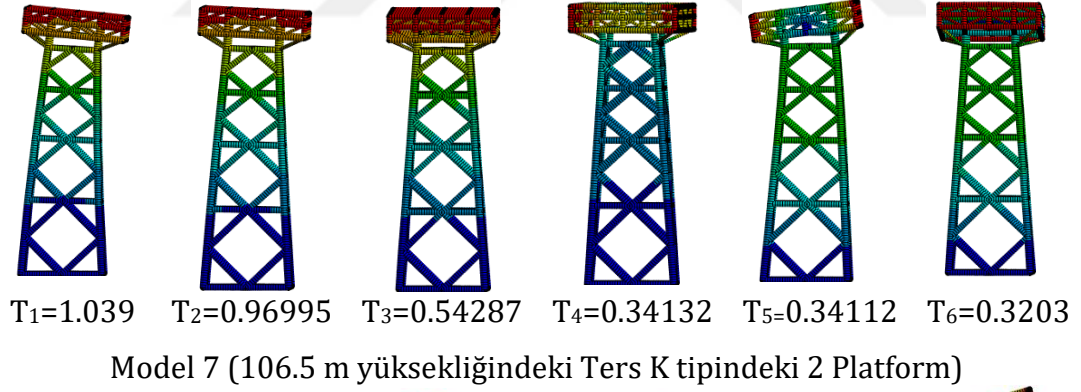
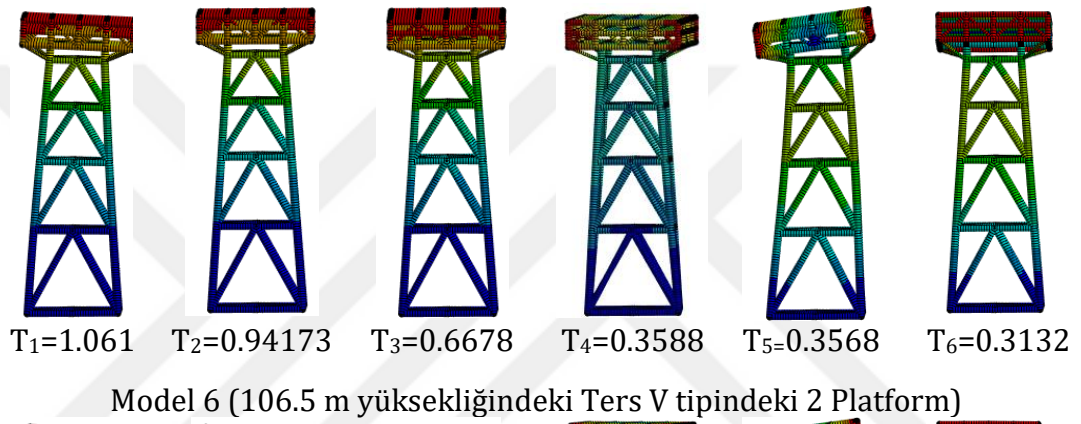
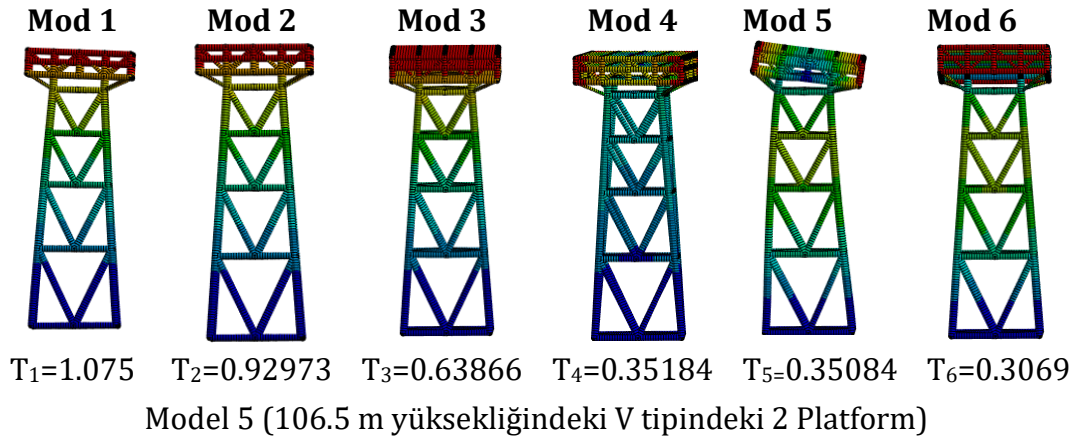
Şekil 4.1. Birinci model periyot değerleri



Şekil 4.2. İkinci model periyot değerleri



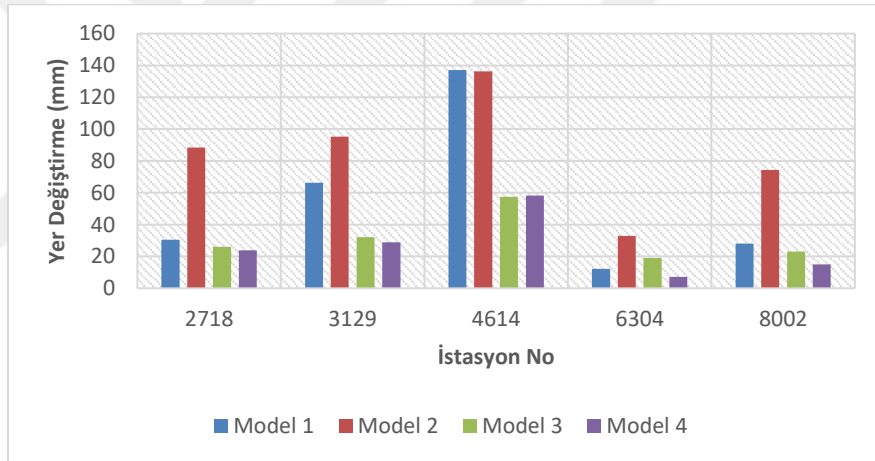
Şekil 4.3. Birinci platform mod şekilleri



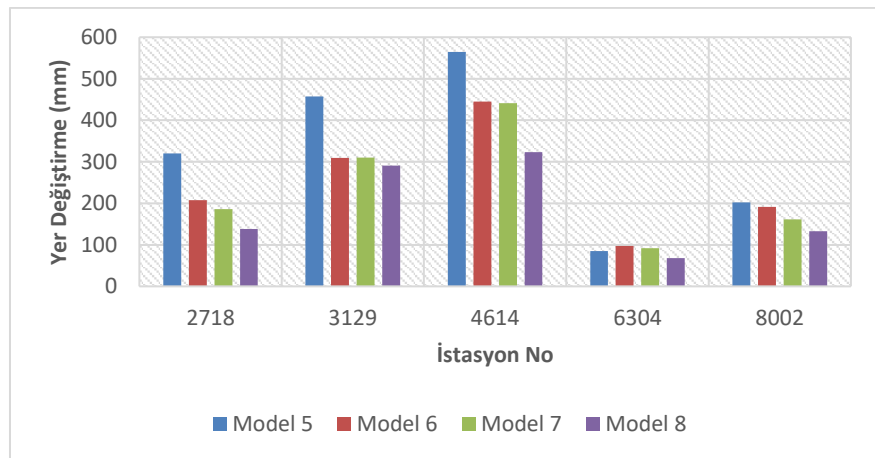
Şekil 4.4. İkinci platform mod şekilleri

4.2. Yapılara Depremlerin Uygulanması Sonucunda Elde Edilen Değerler

Bu çalışmada ANSYS Sonlu elemanlar programı kullanılarak 34.5 m ve 106.5 m yüksekliğindeki platformlar K, Ters V, V ve X tipindeki çaprazlama şekilleri kullanılarak modellenmiştir. Tasarlanan bu yapılara 6 Şubat 2023’de meydana gelen Kahramanmaraş (Pazarcık) depremine ait zamana bağlı ivme-zaman değerleri uygulanarak zaman tanım alanı yöntemi ile dinamik analizler gerçekleştirilmiştir. Yapıya 5 adet yer hareket kaydı uygulanmıştır. Uygulanan kayıtlar; Kahramanmaraş (Pazarcık), Hatay (Defne), Gaziantep (İslahiye), Osmaniye (Bahçe) ve Şanlıurfa (Bozova)’dır. Analizler sonucunda yer değiştirme, gerilme ve taban kesme kuvveti değerleri belirlenmiştir. Birinci platforma ait yerdeğiştirme Şekil 4.5’te ve ikinci platforma ait yerdeğiştirme de Şekil 4.6’da verilmiştir.

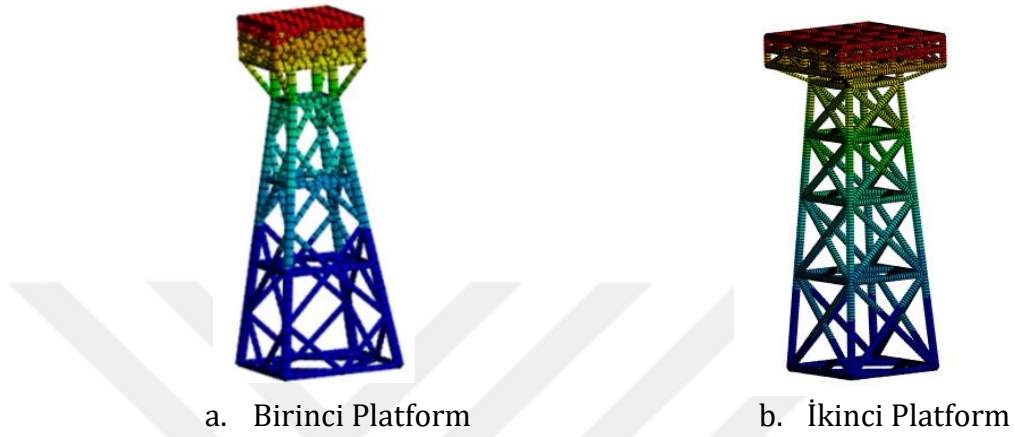


Şekil 4.5. Birinci platforma ait yer değiştirme değerleri



Şekil 4.6. İkinci platforma ait yer değiştirme değerleri

Platformun üst bölümü genellikle daha esnek ve yerdeğiştirme kapasitesi daha fazla olmaktadır. Bu esneklik de deprem sırasında daha fazla hareket ve deformasyona izin vermektedir. Deprem analizleri sonucu tasarlanan birinci ve ikinci platformları ele aldığımızda yerdeğiştirme değerlerinin yapının üst bölgesinde çok fazla meydana geldiği Şekil 4.7’de olduğu gibi görölmüştür.



Şekil 4.7. Platformlarda meydana gelen yer değiştirme şekilleri

Farklı istasyonlardan alınan kayıtların yapılar üzerindeki etkisini görebilmek için; 34.5 m ve 106.5 m yüksekliklerindeki farklı çapraz tiplerine sahip platformlara 6 Şubat 2024’de meydana gelen Kahramanmaraş-Pazarcık depremine ait 5 farklı istasyondan alınan zamana bağlı ivme değerleri uygulanmıştır. Bu istasyonlardan alınan kayıtlardan en büyüğü 4614 nolu Kahramanmaraş-Pazarcık istasyonundan alınan kayıt olup PGA değeri 2165.62 (cm/s^2), 2718 (Gaziantep-İslahiye) depreminin etkin yer ivme değeri 654.43 (cm/s^2) iken 3129 nolu Hatay-Defne istasyonundan alınan en büyük PGA değeri 1351 (cm/s^2)’dir. 6304 Nolu Şanlıurfa-Bozova istasyonundan alınan değer 210.9 (cm/s^2) ve 8002 nolu Osmaniye Bahçe istasyonundan alınan değer 242.95 (cm/s^2)’dir. 34.5 m ve 106.5 m yüksekliğindeki yapılarda en büyük değerler etkin yer ivmesi en büyük olan Kahramanmaraş-Pazarcık istasyonundan alınan kayıtların yapılara uygulanması sonucu elde edilmiştir. En küçük değerler ise etkin yer ivmesi değerinin en küçük olduğu 6304 nolu Şanlıurfa-Bozova istasyonundan alınan kayıtların yapıya uygulanması sonucunda elde edilmiştir.

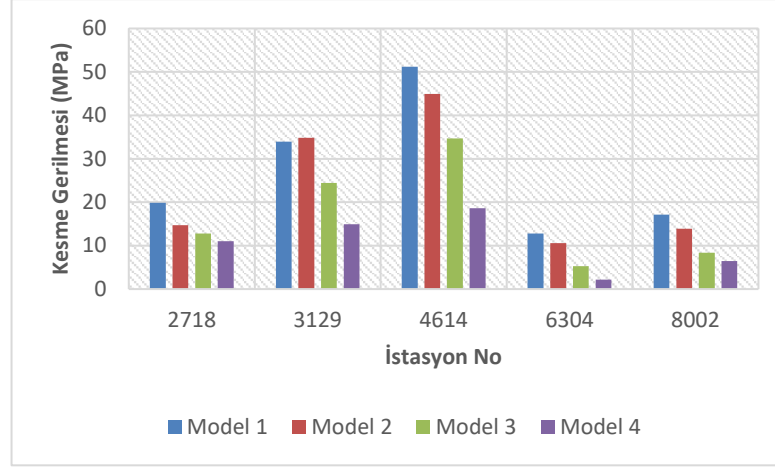
34.5 m yüksekliğindeki V tipi çaprazlama şekline sahip yapıda (Model 1) etkin yer ivmesi $2165.62 \text{ (cm/s}^2\text{)}$ olan 4614 nolu istasyon kaydında yerdeğiştirme değeri 137.19 mm, asal gerilme değeri 512.61 MPa ve kesme gerilme değeri 51.162 MPa iken bu değerleri etkin yer ivmesi değeri $1351 \text{ (cm/s}^2\text{)}$ olan 3129 nolu Hatay- Defne istasyon kaydında oluşan yerdeğiştirme 66.363 mm, asal gerilme 367.33 MPa ve kesme gerilmesi 33.966 MPa olarak izlemektedir. Etkin yer ivmesi değeri $654.43 \text{ (cm/s}^2\text{)}$ olan Gaziantep-Islahiye istasyonundan alınan kayıtların yapıya uygulanması sonucu elde edilen yerdeğiştirme değeri 3129 nolu Hatay-Defne depreminden daha küçük olup 30.432 mm, asal gerilme değeri 193.714 MPa, kesme gerilme değeri 19.8359 MPa'dır. Etkin yer ivmesi değeri $242.95 \text{ (cm/s}^2\text{)}$ olan 8002 nolu Osmaniye-Bahçe istasyon kaydının yapıya uygulanması sonucu elde edilen yerdeğiştirme değeri 28.166 mm, asal gerilme değeri 110.32 MPa ve kesme gerilmesi değeri 17.1428 MPa olup bu değer Gaziantep Islahiye depreminden küçük ve etkin yer ivmesi $210.9 \text{ (cm/s}^2\text{)}$ olan 6304 nolu Şanlıurfa- Bozova istasyonundan 12.159 mm olarak elde edilen yerdeğiştirme değerinden daha büyüktür. Şanlıurfa-Bozova istasyonunun yapıya uygulanması ile elde edilen asal gerilme değeri 36.172 MPa ve kesme gerilmesi değeri 12.7659 MPa'dır. Deprem sonuçlarını ele aldığımızda en büyük sonuçların 4614 nolu istasyonundan alınan değerlerin yapıya uygulanması sonucu elde edildiği, en küçük değerlerin ise 6304 nolu Şanlıurfa istasyonundan elde edilen kayıtların yapıya uygulanması sonucu elde edildiği belirlenmiştir. Diğer çapraz durumları içinde aynı etkilerin söz konusu olduğu elde edilen analiz sonuçlarında mevcuttur.

34.5m yüksekliğindeki Ters V tipi çaprazlama şekline sahip yapıda (Model 2) etkin yer ivmesi $2165.62 \text{ (cm/s}^2\text{)}$ olan 4614 nolu istasyon kaydında yerdeğiştirme değeri 136.3 mm, asal gerilme değeri 685.2 MPa ve kesme gerilme değeri 44.919 MPa değerlerinde ve etkin yer ivmesi değeri $1351 \text{ (cm/s}^2\text{)}$ olan 3129 nolu Hatay- Defne istasyonunda oluşan yerdeğiştirme 95.252 mm, asal gerilme 278.22 MPa ve kesme gerilmesi 34.833 MPa olarak izlemektedir. Etkin yer ivmesi değeri $654.43 \text{ (cm/s}^2\text{)}$ olan Gaziantep-Islahiye istasyonundan alınan kayıtların yapıya uygulanması sonucu elde edilen yerdeğiştirme değeri 3129 nolu Hatay-Defne depreminden daha küçük olup 88.462 mm, asal gerilme değeri

178.71 MPa, kesme gerilme değeri 14.741 MPa'dır. Etkin yer ivmesi değeri 242.95 (cm/s²) olan 8002 nolu Osmaniye-Bahçe istasyon kaydının yapıya uygulanması sonucu elde edilen yerdeğiştirme değeri 74.270 mm, asal gerilme değeri 174.46 MPa ve kesme gerilmesi değeri 13.887 MPa ve etkin yer ivmesi 210.9 (cm/s²) olan 6304 nolu Şanlıurfa-Bozova istasyonunun yapıya uygulanması ile elde edilen yerdeğiştirme değeri 32.839 mm, asal gerilme değeri 165.54 MPa ve kesme gerilmesi değeri 10.588 MPa'dır. Uygulanan istasyon deprem kayıtları sonucunda en büyük sonuçların 4614 nolu istasyonundan alınan değerlerin yapıya uygulanması sonucu elde edildiği, en küçük değerlerin ise 6304 nolu Şanlıurfa istasyonundan elde edilen kayıtların yapıya uygulanması sonucu elde edildiği belirlenmiştir.

34.5 m yüksekliğindeki K tipi çaprazlama şekline sahip yapıya (Model 3), 4614 nolu istasyon kaydının uygulaması sonucunda yerdeğiştirme değeri 57.49 mm, asal gerilme değeri 290.73 MPa ve kesme gerilme değeri 34.676 MPa şeklinde olup bunu 3129 nolu Hatay- Defne istasyonunda oluşan yerdeğiştirme değeri 32.153 mm, asal gerilme değeri 217.87 MPa ve kesme gerilmesi değeri 24.415 MPa olarak izlemektedir. 2718 nolu istasyon kaydına sahip olan Gaziantep-İslahiye istasyonundan alınan kayıtların yapıya uygulanması sonucu elde edilen yerdeğiştirme değeri 3129 nolu Hatay-Defne depreminden daha küçük olup 26.12 mm, asal gerilme değeri 162.13 MPa, kesme gerilme değeri 12.816 MPa'dır. 8002 nolu Osmaniye-Bahçe istasyon kaydının yapıya uygulanması sonucu elde edilen yerdeğiştirme değeri 23.023 mm, asal gerilme değeri 112.24 MPa ve kesme gerilmesi değeri 8.341 MPa ve 6304 nolu Şanlıurfa-Bozova istasyonunun yapıya uygulanması ile elde edilen yerdeğiştirme 19.0998 mm, asal gerilme değeri 74.891 MPa ve kesme gerilmesi değeri 5.2871 MPa'dır.

34.5 m yüksekliğindeki X tipi çaprazlama şekline sahip yapıda (Model 4) etkin yer ivmesi 2165.62 (cm/s²) olan 4614 nolu istasyon kaydında yerdeğiştirme değeri 58.25 mm, asal gerilme değeri 224.06 MPa ve kesme gerilme değeri 18.592 MPa iken bu değerleri etkin yer ivmesi değeri 1351 (cm/s²) olan 3129 nolu Hatay-Defne istasyon kaydında oluşan yerdeğiştirme 28.881 mm, asal gerilme 175.86 MPa ve kesme gerilmesi 14.96 MPa olarak izlemektedir. Etkin yer ivmesi değeri 654.43 (cm/s²) olan Gaziantep-İslahiye istasyonundan alınan kayıtların yapıya



Şekil 4.9. Birinci platforma ait kesme gerilme değerleri

106.5m yüksekliğinde olan ikinci platformda da 4 farklı çapraz tipi kullanılarak modeller oluşturulmuştur. 4 farklı çapraz şeklinden oluşan modellere 4614 Nolu istasyon olan Kahramanmaraş (Pazarcık), 3129 Nolu istasyon Hatay (Defne), 2718 Nolu istasyon Gaziantep (İslahiye), 8002 Nolu istasyon Osmaniye (Bahçe) ve 6304 Nolu istasyon Şanlıurfa (Bozova) olan 5 farklı istasyondan alınan deprem kayıtları uygulanmıştır.

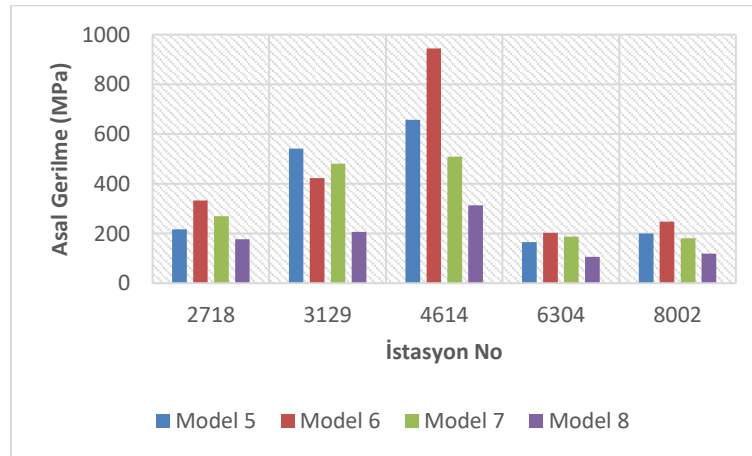
İkinci platformda en büyük yer değiştirme değerlerinin V tipi çapraz şeklinde (Model 5)'te elde edildiği görülmüştür. Bunu sırasıyla Ters V tipi çapraz (Model 6), K tipi çapraz (Model 7) ve X tipi çapraz (Model 8) izlemektedir. 103.5m yüksekliğindeki V tipi çaprazlama şekline sahip yapıda (Model 5) etkin yer ivmesi $2165.62 \text{ (cm/s}^2\text{)}$ olan 4614 nolu depremde yerdeğiştirme değeri 564.88 mm, asal gerilme değeri 657.88 MPa ve kesme gerilme değeri 68.491 MPa iken bu değerleri etkin yer ivmesi değeri $1351 \text{ (cm/s}^2\text{)}$ olan 3129 nolu Hatay- Defne deprem kaydında oluşan yerdeğiştirme 457.5 mm, asal gerilme 540.73 MPa ve kesme gerilmesi 45.783 MPa olarak izlemektedir. Etkin yer ivme değeri $654.43 \text{ (cm/s}^2\text{)}$ olan Gaziantep- İslâhiye deprem kaydında yerdeğiştirme değeri 319.99 mm, asal gerilme 216.44 MPa ve kesme gerilmesi değeri 19.775 MPa şeklinde olup bunu $242.95 \text{ (cm/s}^2\text{)}$ etkin yer ivmesi değerine sahip olan Osmaniye- Bahçe deprem kaydı izlemektedir. 8002 nolu Osmaniye- Bahçe deprem kaydında yerdeğiştirme değeri 202.52 mm, asal gerilme değeri 199.93 MPa ve kesme gerilmesi değeri 13.172 MPa şeklindedir. Etkin yer ivme değeri $210.9 \text{ (cm/s}^2\text{)}$ olan Şanlıurfa-

Bozova deprem kaydında yerdeğiştirme değeri 84.741 mm, asal gerilme değeri 165.58 MPa ve kesme gerilmesi değeri 9.131 MPa şeklindedir.

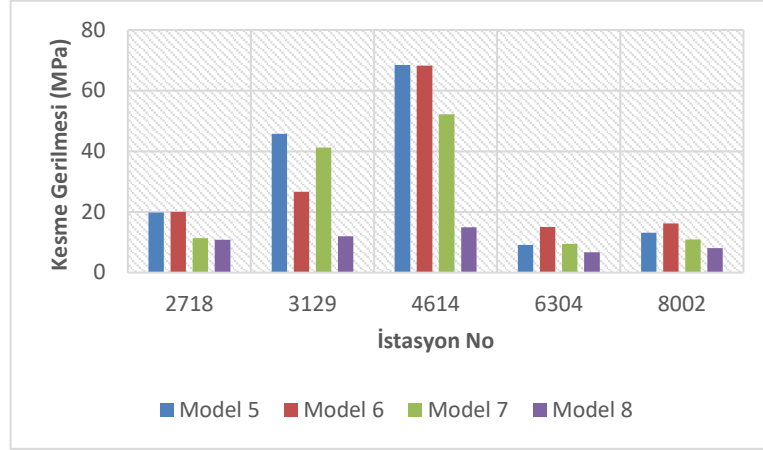
106.5m yüksekliğindeki Ters V tipi çaprazlama şekline sahip yapıda (Model 6) etkin yer ivmesi 2165.62 (cm/s²) olan 4614 nolu istasyon kaydında yerdeğiştirme değeri 444.95 mm, asal gerilme değeri 944.93 MPa ve kesme gerilme değeri 68.272 MPa iken bu değerleri etkin yer ivmesi değeri 1351 (cm/s²) olan 3129 nolu Hatay- Defne istasyon kaydında oluşan yerdeğiştirme 309.15 mm, asal gerilme 423.2 MPa ve kesme gerilmesi 26.65 MPa olarak izlemektedir. Etkin yer ivmesi değeri 654.43 (cm/s²) olan Gaziantep-İslahiye istasyonundan alınan kayıtların yapıya uygulanması sonucu elde edilen yerdeğiştirme değeri 207.78 mm, asal gerilme değeri 332.38 MPa, kesme gerilme değeri 20.012 MPa'dır. Etkin yer ivmesi değeri 242.95 (cm/s²) olan 8002 nolu Osmaniye-Bahçe istasyon kaydının yapıya uygulanması sonucu elde edilen yerdeğiştirme değeri 191.1 mm, asal gerilme değeri 247.95 MPa ve kesme gerilmesi değeri 16.187 MPa olup şanlıurfa-Bozova istasyonunun yapıya uygulanması ile elde edilen yerdeğiştirme değeri 97.609 mm, asal gerilme değeri 202.55 MPa ve kesme gerilmesi değeri 15.039 MPa'dır.

106.5 m yüksekliğindeki K tipi çaprazlama şekline sahip yapıya (Model 7), 4614 nolu istasyon kaydının uygulaması sonucunda yerdeğiştirme değeri 440.86 mm, asal gerilme değeri 508.9 MPa ve kesme gerilme değeri 52.262 MPa şeklinde olup bunu 3129 nolu Hatay- Defne istasyonunda oluşan yerdeğiştirme değeri 310.52 mm, asal gerilme değeri 481.29 MPa ve kesme gerilmesi değeri 41.264 MPa olarak izlemektedir. 2718 nolu istasyon kaydına sahip olan Gaziantep-İslahiye istasyonundan alınan kayıtların yapıya uygulanması sonucu elde edilen yerdeğiştirme değeri 3129 nolu Hatay-Defne depreminden daha küçük olup 186.05 mm, asal gerilme değeri 181.37 MPa, kesme gerilme değeri 11.318 MPa'dır. 8002 nolu Osmaniye-Bahçe istasyon kaydının yapıya uygulanması sonucu elde edilen yerdeğiştirme değeri 161.29 mm, asal gerilme değeri 181.37 MPa ve kesme gerilmesi değeri 10.923 MPa ve 6304 nolu şanlıurfa-Bozova istasyonunun yapıya uygulanması ile elde edilen yerdeğiştirme 92.213 mm, asal gerilme değeri 187.63 MPa ve kesme gerilmesi değeri 9.425 MPa'dır.

106.5 m yüksekliğindeki X tipi çaprazlama şekline sahip yapıda (Model 8) etkin yer ivmesi $2165.62 \text{ (cm/s}^2\text{)}$ olan 4614 nolu istasyon kaydında yerdeğiştirme değeri 322.95 mm , asal gerilme değeri 313.89 MPa ve kesme gerilme değeri 14.998 MPa iken bu değerleri etkin yer ivmesi değeri $1351 \text{ (cm/s}^2\text{)}$ olan 3129 nolu Hatay- Defne istasyon kaydında oluşan yerdeğiştirme 290.6 mm , asal gerilme 207.07 MPa ve kesme gerilmesi 12.008 MPa olarak izlemektedir. Etkin yer ivmesi değeri $654.43 \text{ (cm/s}^2\text{)}$ olan Gaziantep-Islahiye istasyonundan alınan kayıtların yapıya uygulanması sonucu elde edilen yerdeğiştirme değeri 138.52 mm , asal gerilme değeri 177.45 MPa , kesme gerilme değeri 10.815 MPa 'dır. Etkin yer ivmesi değeri $242.95 \text{ (cm/s}^2\text{)}$ olan 8002 nolu Osmaniye-Bahçe istasyon kaydının yapıya uygulanması sonucu elde edilen yerdeğiştirme değeri 132.79 mm , asal gerilme değeri 118.66 MPa ve kesme gerilmesi değeri 8.086 MPa olup bu değer Gaziantep Islahiye depreminden küçük ve etkin yer ivmesi $210.9 \text{ (cm/s}^2\text{)}$ olan 6304 nolu Şanlıurfa- Bozova istasyonundan 67.857 mm olarak elde edilen yerdeğiştirme değerinden daha büyüktür. Şanlıurfa-Bozova istasyonunun yapıya uygulanması ile elde edilen asal gerilme değeri 105.72 MPa ve kesme gerilmesi değeri 6.701 MPa 'dır. Uygulanan deprem kayıtları sonuçlarında en yüksek yerdeğiştirme, asal gerilme ve kesme gerilmesi değerlerinin 4614 nolu istasyonda ve en küçük değerlerin de 6304 nolu istasyonda olduğu görülmüştür. Çapraz şekillerindeki sonuçları ele aldığımızda en küçük değerlerin X tipi çaprazda elde edildiği görülmüştür. 106.5 m yüksekliğe sahip ikinci platformda meydana gelen asal gerilme ve kesme gerilmesi Şekil 4.10 ve Şekil 4.11'de görülmektedir.

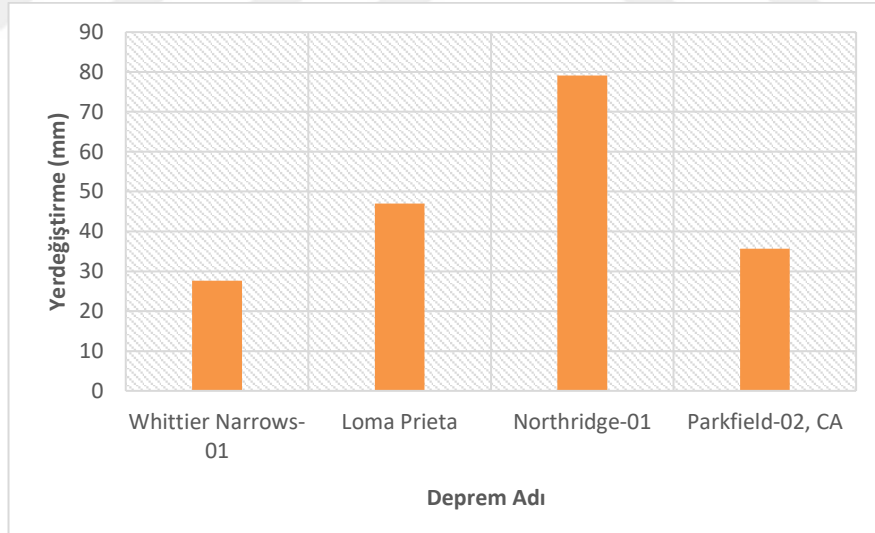


Şekil 4.10. İkinci platforma ait asal gerilme değerleri

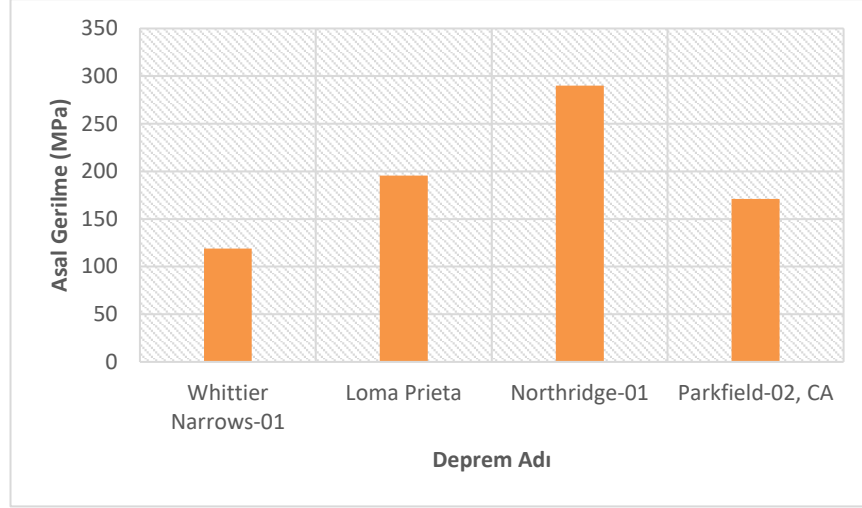


Şekil 4.11. İkinci platforma ait kesme gerilme değerleri

Birinci modele uygulanan uygulanan diğer dört deprem ise; Whittier Narrows-01 (1987), Parkfield 02 CA (2004), Loma Prieta (1989) Northridge 01 (1994) ve depremleridir. Analizlerde kullanılan depremlerin büyüklükleri, odak derinlikleri, etkin yer hızı ve etkin yer ivmesi değerleri farklıdır. Bu depremler sonucunda modelde Şekil 4.12'deki gibi yerdeğiştirme grafiği ve Şekil 4.13'teki gibi de asal gerilme değerleri elde edilmiştir.



Şekil 4.12. Depremlerin etkimesi durumunda oluşan yerdeğiştirme değerleri

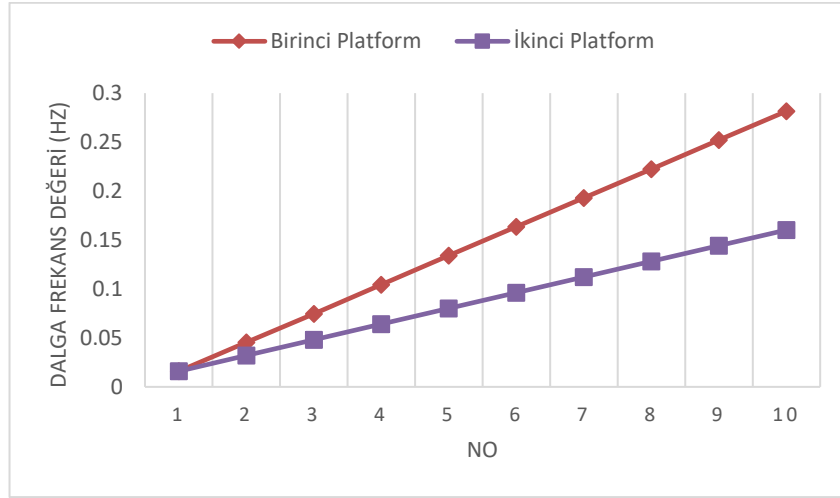


Şekil 4.13. Depremlerin etkimesi durumunda oluşan asal gerilme değerleri

4.3. Yapılara Dalga ve Rüzgâr Yükünün Uygulanması Sonucunda Elde Edilen Değerler

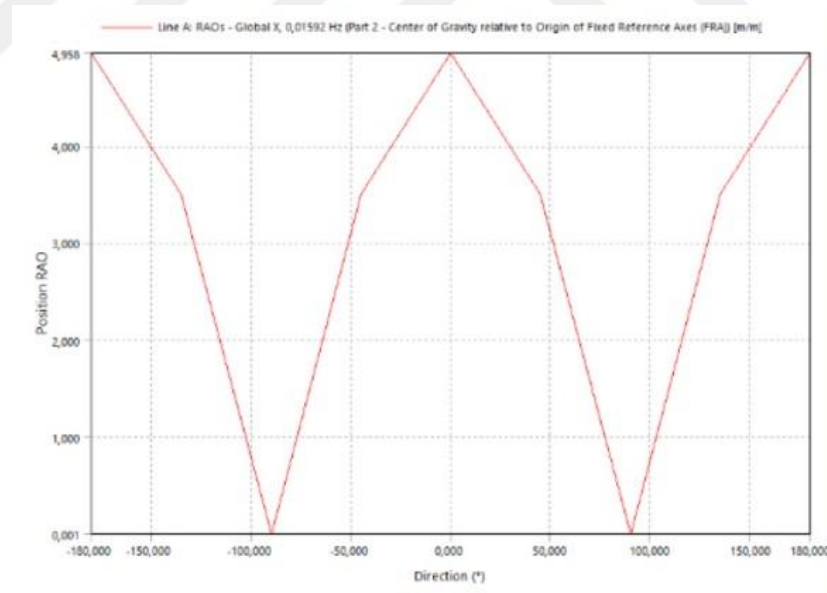
API RP 2A-WSD gibi standartlar, platformu tasarlamak için gerekli olan dalga yükünün hesaplamaları için kullanılacak olan dalga periyotlarını ve frekanslarını belirler. Genel olarak baktığımızda, deniz ortamında gözlemlenen dalga frekanslarının analizi, platformun güvenlik değerlendirmesi ve tasarımı için kritik bir adımdır.

Bu çalışmada, dalga ve rüzgâr analizi sonucunda alınan değerlerde birinci platformdaki dalga özelliklerini incelediğimizde platform da ilk 6 frekans belirlenmiştir bunlar sırasıyla 0.01592, 0.04543, 0.074494, 0.10445 ve 0.13396 şeklinde bulunmuştur. İkinci modelin dalga özellikleri ele alındığında ise frekans değerleri 0.01592, 0.03195, 0.04798, 0.04798, 0.06402, 0.08005 şeklinde devam etmektedir ve Şekil 4.14'te frekans değerleri görülmektedir. 20 m derinliğinde olan birinci platform ve 75 m derinliğinde olan ikinci platform benzer dalga koşullarında incelenmiştir. Airy dalga teorisinden yararlanılan bu analizde 106.5 m yüksekliğinde olan ikinci platformda frekans değerlerinin, 34.5 m yüksekliğinde olan birinci platformdan daha küçük sonuçlara sahip olduğu görülmüştür. Uygulanan dalga ve rüzgâr sonucunda birinci platformdaki ağırlık merkezine göre değişimi 0.057658 m ike ikinci platformda bu 0.1288512 m şeklinde bulunmuştur.

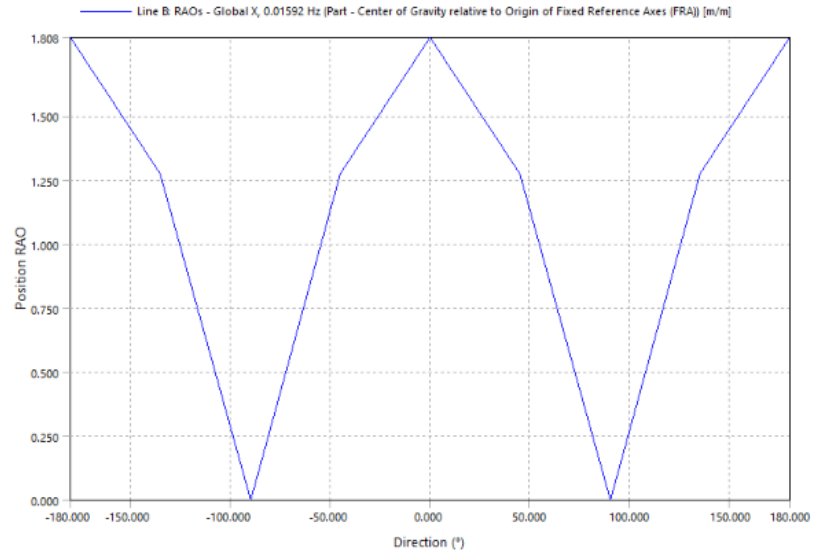


Şekil 4.14. Platform 1 ve Platform 2 dalga frekans değerleri

Şekil 4.15 ve Şekil 4.16 grafikleri incelendiğinde platformlar da oluşan dalga tepkileri düzenli formda olup tepkilerin zaman genliği boyunca benzer olduğu görülmüştür.

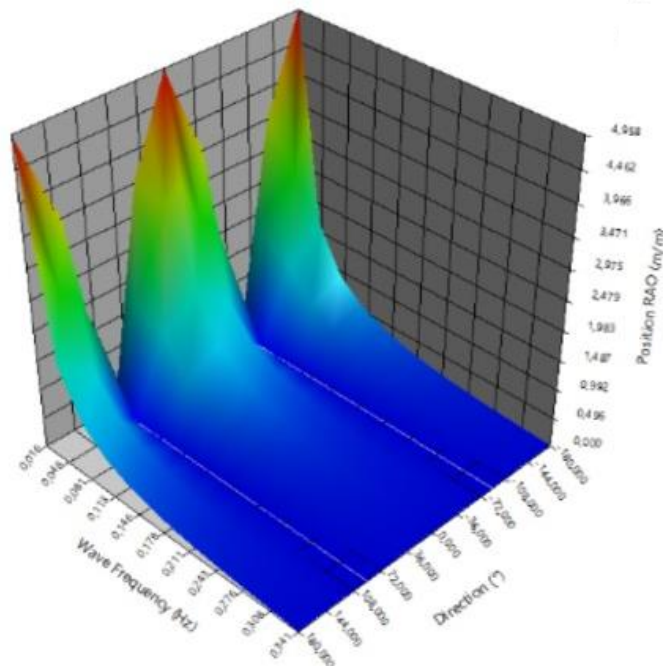


Şekil 4.15. Birinci platform frekans tepki fonksiyon grafiği

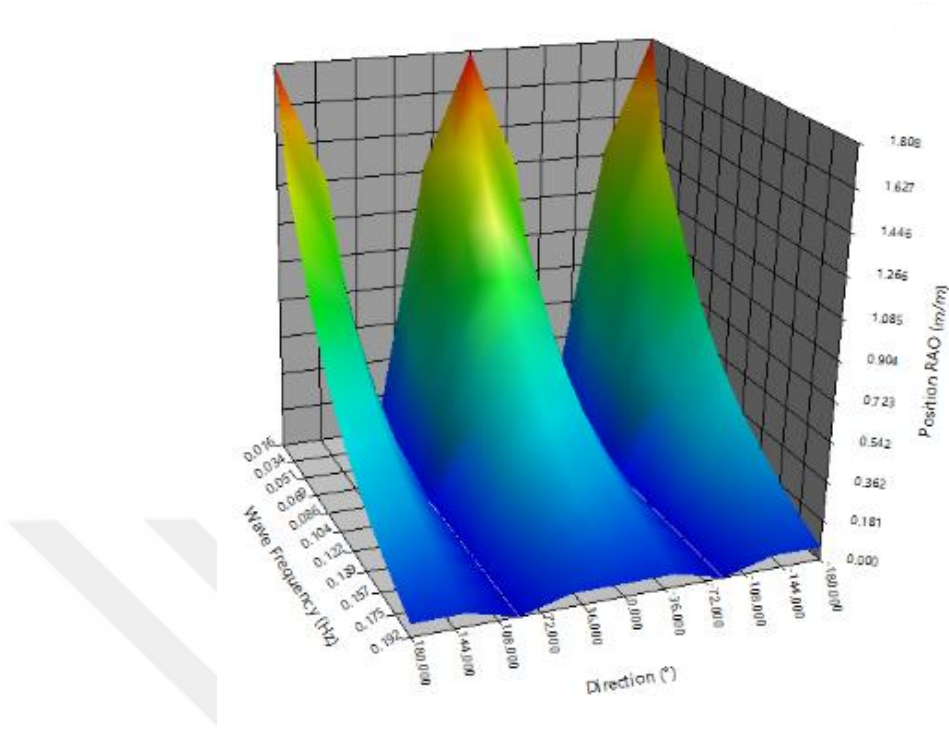


Şekil 4.16. İkinci platform frekans tepki fonksiyon grafiği

Platformların modellemesi için RAO (Response amplitüde operator) hareketin doğal frekansını belirlemek adına önemlidir (Putra ve Koto, 2016). Şekil 4.17 ve Şekil 4.18'de her iki platforma da ait RAO grafiği görülmektedir. Bu grafikler doğrultusunda ikinci platformda RAO değerlerinin birinci platformdan daha küçük olduğu görülmüştür.



Şekil 4.17. Birinci platform RAO grafiği



Şekil 4.18. İkinci platform RAO grafiği

5.TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında 34.5 m ve 106.5 m yüksekliğinde iki farklı açık deniz ceket tipi platform ele alınmıştır. Bu platformlara 4 adet çapraz tipi (V tipi çapraz, Ters V tipi çapraz, K tipi çapraz, X tipi çapraz) kullanılarak Ansys sonlu elemanlar programı yardımıyla modelleme yapılmış olup modal analizleri ve zaman tanım alanı yöntemi kullanılarak dinamik analizleri gerçekleştirilmiştir. Dinamik analizlerde 6 Şubat Kahramanmaraş depreminden alınan 4614 Kahramanmaraş (Pazarcık), 3129 Hatay (Defne), 2718 Gaziantep (İslahiye), 8002 Osmaniye (Bahçe), 6304 Şanlıurfa (Bozova) istasyonlarına ait ivme-zaman kayıtları kullanılmıştır.

34.5 m yüksekliğe sahip birinci Platform ve 106.5 m yüksekliğinde olan ikinci Platform için zaman tanım alanında analiz yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen deprem analizleri sonucunda en küçük yerdeğiştirme değerlerinin X tipi çapraz şeklinde ortaya çıktığı görülmüş olup en büyük yer değiştirme değerinin de V tipi çapraz şeklinde elde edildiği bunu ters V tipi çapraz şekillerinde elde edilen

değerlerin izlediği görülmüştür. Asal gerilme değerleri incelendiğinde; en büyük asal gerilmelerin olduğu platformlar V tipi çapraz şeklinde ve Ters V tipi çapraz şeklinde olduğu, en küçük değerlerin de X ve K tipi yapılarda olduğu görülmüştür.

Birinci ve ikinci platformu ele aldığımızda yerdeğiştirme değerlerinin büyük modelde daha yüksek olduğu ortaya çıkmıştır. Çelik çaprazlar, çelik yapıların ana taşıyıcı elemanları arasında olup çevresel birçok yük altındaki yapı dayanıklılığının artırılması açısından da önemli bir yeredir. Çelik yapıların taşıyıcı elemanlarının olduğu bölgelerde özellikle de kirişler arasında destekleyici ve güçlendirici görevi görmektedir. Bu çaprazlar yapıya gelen yükleri dağıtarak yapı stabilitesini sağlamaktadır. Yapıya rijitlik kazandırır ve yük altındaki deformasyonunu sınırlar. Bu yüzden kullanılan çapraz şekli de büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada yapılan analiz sonuçlarını ele aldığımızda en uygun çapraz şeklinin X tipi çapraz şekli olduğu görülmüştür.

6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen, odak derinliği 8.6 km, büyüklüğü de 7.7 Mw olan Kahramanmaraş (Pazarcık) depreminin oldukça yıkıcı etkisi olmuştur (AFAD). Bu deprem etkisini 11 ilde göstermiştir. Kahramanmaraş, Adıyaman, Hatay, Gaziantep, Malatya, Adana, Kilis, Diyarbakır, Şanlıurfa, Osmaniye, Elâzığ illerinde yıkıcı etkisi olan bu depremde 5 farklı ilin istasyonlarından alınan kayıtların 34.5m ve 106.5 m yüksekliğindeki yapılara uygulanması sonucu elde edilen yerdeğiştirme, asal ve kesme gerilmesi değerleri incelenmiştir. Buna göre etkin yer ivme değeri en büyük olan Kahramanmaraş-Pazarcık istasyonundan alınan kayıtların yapılara uygulanması sonucu en büyük değerlerin elde edildiği bunu Hatay-Defne, Gaziantep-Islahiye, Osmaniye-Bahçe, Şanlıurfa-Bozova istasyonlarından alınan yer hareketlerinin yapıya uygulanması sonucu elde edilen değerlerin izlediği görülmektedir.

Birinci platforma ikinci olarak büyüklüğü sırasıyla 5.99, 6.93, 6.69 ve 6.00 olan Whittier Narrows-01 (1987), Northridge-01 (1994), Loma Prieta (1989), Parkfield-02 CA (2004) depremleri uygulanmıştır, analizler sonucunda yerdeğiştirme ve asal gerilme değerleri elde edilmiştir. En büyük yer değiştirme ve gerilme değerlerinin 1994'te meydana gelen Northridge depreminde meydana

geldiği bunu Loma Prieta depreminin, Parkfield-02, CA depreminin ve Whittier Narrows-01 depremlerinin izlediği görülmektedir. Elde edilen değerlerin farklı olması depremlerin farklı özelliklere sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Depremlerin farklı etkin yer ivmesi, odak derinliği, yer hızı değerlerine bağlı olarak yapıda oluşturacağı etkilerde değişebilmektedir.

Dalga ve rüzgâr analizinde iki farklı boyutta olan 34.5 m ve 106.5 m yüksekliğindeki platformlara aynı dalga ve rüzgar koşulları altında Ansys/AQWA programı yardımıyla analizler gerçekleştirilmiştir. Bu analiz sonucunda platformların frekansları ve merkez değişimleri incelenmiştir. 34.5 m ve 106.5 m yüksekliğine sahip yapıların dalga frekansı dalga periyoduna, deniz koşullarına bağlıdır. Yapılan analiz sonucunda 106.5 m yüksekliğinde olan ikinci platformun frekans değerlerinin, 34.5 m yüksekliğinde olan birinci platformdan daha düşük olduğu sonucuna varılmıştır. Yüksek olan platformların doğal frekansı daha düşük olabilmektedir çünkü daha uzun ve ağır olan bu yapılar genel olarak daha düşük frekanslarda titreşmektedirler. Yapıların doğal frekansları da yüksek olan yapılarda daha düşük olmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında, ele alınan platformlarda büyük olan ikinci platformun dalga frekansı daha küçük olduğundan bu dalgalara uzun süreli maruz kaldığında ortaya çıkan deformasyon da kalıcı olabilmektedir. Daha yüksek dalga frekansına sahip birinci platformda ani hareketlere maruz kalabilmektedir. Platformlara düzenli dalgalar uygulanmış olup RAO grafikleri elde edilmiştir. RAO yapı üzerindeki dalga etkisini gösteren bir parametredir ve bu RAO değeri dalga boyuna, dalga yükseliğine, dalga yayılımına ve yapı geometrisi gibi faktörlere bağlı olarak değişmektedir. Birinci platformdaki dalga etki alanı ikinci platforma göre daha geniş olduğu için yapı üzerinde dalga etkisi de değişebilmektedir. Bu nedenle, RAO değerleri göz önüne alınmalıdır. Bu çalışmada sonucunda birinci platformdaki RAO değeri ikinci platformla karşılaştırıldığında; daha büyük olduğu görülerek bunun dalga etki alanıyla ilgili olduğu belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- AbdAlhusein, T. A., Kadim, J. A., 2020. Fatigue Analysis of Fixed Jacket Platform using FEM. International Journal of Scientific and Engineering Research, 11(7).
- Abdel Raheem, S. E., 2014. Study on Nonlinear Response of Steel Fixed Offshore Platform Under Environmental Loads. Arab Journal for Science and Engineering, 39(8).
- 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.
- Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD), Ankara. Erişim Tarihi: 03.02.2024. <https://www.afad.gov.tr/>
- AFAD, 2023. 06 Şubat 2023 Pazarcık-Elbistan (Kahramanmaraş) Mw: 7.7 – Mw: 7.6 Depremleri Raporu. 140 s.
- Ahmed, M.R., Faizal, M., Prasad, K., Cho, Y.J., Goo, C., Lee, Y.H., 2010. Exploiting the orbital motion of water particles for energy extraction from waves. Journal of Mechanical Science and Technology, 24 (4), 943-949.
- Akfirat, M., Çarhoğlu, A.I., 2024. Investigation of The Behavior of Fixed Offshore Structure Under Earthquake Loads. 4. International Congress of Engineering and Natural Sciences, 188-193, Ankara.
- ANSYS (2023). <http://www.ansys.com>
- Amaechi, C. V., Reda, A., Butler, H.O., Ja'e, I.A., An, C., 2022. Review on Fixed and Floating Offshore Structures. Part I: Types of Platforms with Some Applications. Marine Science and Engineering, 10(8), 1074.
- API, 2000. Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms: Working Stress Design. Washington: American Petroleum Institute.
- Baig, M.A., Maqbool, U., 2020. In-Place Analysis Of Offshore Jacket Platform For Different Wave Directions. International Journal of Engineering Science Technologies, 4(05), 16-25.
- 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, (1), 36-42.
- Benitz, M.A., Lackner, M.A., Schmidt, D.P., 2015. Hydrodynamics of offshore structures with specific focus on wind energy applications. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 44, 692-716.

- Bozorgzadeh, A., Houlahan., Maloney, I., Fury, G., 2017. Nonlinear Time History Analysis For Assessment Of An Existing Offshore Jacket Platform. 16th World Conference on Earthquake, Santiago Chile.
- Bull, A. S., Love, M. S., 2019. Worldwide oil and gas platform decommissioning: A review of practices and reefing options. Ocean and Coastal Management, (168), 274-3.
- Dağlı, B.Y., 2017. Açık Deniz Yapılarında Uzay Taşıyıcı Sistem Elemanlarına Etkiyen Hidrodinamik Kuvvetlerin Katılık Oranına Göre Belirlenmesi. Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 110s, Manisa.
- Deo, M.C., 2013. Waves And Structures. Indian Institute of Technology Bombay Powai, Mumbai.
- Elshafey, A.A., Haddara, M.R., Marzouk, H., 2009. Dynamic response of offshore jacket structures under random loads. Marine Structures (22), 504–521.
- Erez, E., 2020. Metocean Pushover Analysis Of A Jacket-Type Offshore Platform With Different Bracing Systems. Istanbul Technical University, Graduate School Of Science Engineering And Technology, M.Sc. Thesis, 99s, İstanbul.
- Ergin, İ., 2015. Uzay Kafes Tipi Açık Deniz Yapılarının Dinamik Analizi. Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 53s, Manisa.
- Gökdoğan, A.N.T., Işık, N.S., Fırat, S., 2024. 6 Şubat Kahramanmaraş Depremlerinde Zemin Davranışları: Vaka Analizi. Türk Mühendislik Araştırma ve Eğitimi Dergisi.3(1), 48-57.
- 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), 433-444.
- Gücüyen, E., Erdem, R.T., 2022. A Comparative Study on Damaged Behavior of Offshore Jacket Structures. Journal of New Results in Engineering and Natural Science, (15)47-56.
- Gülçimen, S., İpek, C., 2023. Depremde Yüzey Dalgaların Bina Yıkımlarına Etkisinin İncelenmesi. Ases Uluslararası Afet Kongresi 14-16 Nisan, 2023, Kayseri, Türkiye, 44-57.
- Güzel, B., 2012. Açık Deniz Rüzgâr Enerjisi, Fizibilite Adımları ile Bozcaada ve Gökçeada Örnek Çalışması. İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 111s, İstanbul.
- Harish, N., Mandal, S., Shanthala, B., Rao, S., 2016. Analysis Of Offshore Jacket Platform. National Institute of Technology Karnataka Surathkal, 575025.

- Henry, Z., Jusoh, I., Ayob, A., 2017. Structural Integrity Analysis of Fixed Offshore Jacket Structures. *Jurnal Mekanikal*, 40, 23-36.
- Lie, B. B., Teigen, S.H., Hansen, E.S., Eik, K.J., 2017. Estimation of characteristic snow loads on offshore structures in the Barents Sea. *Cold Regions Science and Technology*, 139, 22-35.
- Lin, H., Luan, H., Uzdin, A.M., Zhang, S., Wei, L., Yang, L., 2024. A CFD-FEA coupled model for simulating dynamic response of offshore jacket platform under earthquake considering wind, wave, current and aftershock loads. *Ocean Engineering*, 300, 117481.
- Nimbekar, A.P., Ghadge, K.R., 2019. Time History Analysis Offshore Structures with Different Bracings. *Proceedings of Conference on Advances on Trends in Engineering Projects*, In Association with Novateur Publications, 2394-3696.
- Nishanka, T., Prajwal, D., Nishmitha, M., Bhat, V.S., 2021. Real-time Flow Visualization using Projection Mapping Technique. *IOP Conf. Series Materials Science and Engineering*, 1187, 012013.
- Nizamani, Z., 2015. Environmental Load Factors And System Strength Evaluation Of Jacket Platforms In Offshore Malaysia. *Ocean Engineering and Oceanography*, 335s, Switzerland.
- Nouban, F., French, R., Sadeghi, K., 2016. Guidance For Planning, Design Anduction Of Offshore Platforms. *Academic Research International*, 7(5).
- Oua, J., Longa, X., Li, Q.S., Xiao, Y.Q., 2007. Vibration control of steel jacket offshore platform structures with damping isolation systems. *Engineering Structures* 29, 1525–1538.
- Pham, H.D., 2019. Modeling and Service Life Monitoring of Mooring Lines of Floating Wind Turbines. *Loire Bretagne University*, 160s, France.
- Putra, R.D., Koto, J., 2016. Modelling Recurrence Motion on a Large Volume Semi-Submersible. *Journal of Ocean, Mechanical and Aerospace-Science and Engineering*, Vol.31.
- Rajmani, A., Guam, P., 2015. Analysis Of Wind & Earthquake Load For Different Shapes Of High Rise Building. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 6-2, 38-45.
- Ramadhani, A., Khan, F., Colbourne, B., Ahmed, S., Taleb-Berrouane, M., 2023. A multivariate model to estimate environmental load on an offshore structure. *Ocean Engineering* 274, 114067.

- Sarhan, O., Raslan, M., 2021. Offshore petroleum rigs/platforms: An overview of analysis, design, construction and installation. *International Journal of Advanced Engineering, Sciences and Applications (IJAESA)*, (2)1, 7-12.
- Shi, W., Park, H., Han, J., Na, S., Kim, C., 2013. A study on the effect of different modeling parameters on the dynamic response of a jacket-type offshore wind turbine in the Korean Southwest Sea. *Renewable Energy* (58), 50-59.
- Sl  ke, T., 2016. Analysis of Jacket type fixed platforms – Effect of various mass modelling approaches for Topsides on structural response. Faculty of Science and Technology, Master Thesis, Stavanger, Norway.
- Starokon, I.V., 2019. Methods for solving the problems of extending the resource of offshore stationary platforms: case study. *Journal of Physics: Conference Series*, 1399, 055087.
- Steenfelt, J.S., 2016. Ice Loads on Structures in the Baltic Environment. *Proceedings of 13th Baltic Sea Geotechnical Conference, Lithuania*.
- Sükan, M., 1985. Açık Deniz Yapılarının Hidrodinamiği. İT   Gemi İ  saatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi Yayını, (5).
-   ahin, E., Altaş İ.H., 2019. Düzenli-Düzensiz Dalga Enerji Sistemlerinin Modellenmesi. *Elektrik Mühendisliği*, Sayı-465, 54-59.
- Uzun, M., Korkmaz, H.H., 2019. Deprem Bölgesindeki Bazı   lkelerde Eşdeğer Deprem Yükü Metodunun Karşılaştırılması. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik Bilim ve Teknolojisi Dergisi*, 7(1), 189-212, 2019.
- Varol, B. Y., Gökkuş,   ., 2013. Düzenli Dalga Etkisinde ve Asılı Konumda Bulunan Deniz Boru Hattının Tesir   izgisi Yöntemi ile Analizi. *Celal Bayar Üniversitesi Dergisi*, 8.2, 31 – 42.
- Varol, B.Y., Yıldırım, D., Gökkuş,   ., 2011. Deniz Boru Hattı   zerine Etkiyen Hidrodinamik Kuvvetlerin Dalga Geliş Açısı ile Değişimi. *KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14(3).
- Wacunzo, A., 2015. BP- Deepwater Horizon Tragedy (A deep Analysis after half decade past). *Environmental And Safety Management*, London South Bank University, Petroleum Engineering, 25s, London.
- Xu, T., Li, Y., Leng, D., 2023. Mitigating Jacket Ofshore Platform Vibration Under Earthquake and Ocean Waves Utilizing Tuned Inerter Damper. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 21, 1627–1650.
- Yağcı, E., 2013. Rüzgâr Hızı Y  kseltmelerinde Kullanılan Farklı Yöntemlerin Karşılaştırılması ve Hata Analizleri. *İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 69s, İstanbul.

- Yamaç, H.İ., 2016. Dalga Enerjisi Dönüşüm Sistemlerinde Enerji Hasatı İçin Piezoelektrik Malzeme Kullanılması Durumunda Sistemlerin Modellenmesi ve Analizinin Yapılması. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 53s, Elâzığ.
- Yaylacı, M., 2007. Açık Deniz Yapı Uygulamaları ve Bunların Tasarım Parametrelerinin İrdelenmesi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 160s, Trabzon.
- Yıldırım Sucu, D., 2023. Bazı Kısmi Türevli Denklemlerin B-Spline Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Nümerik Çözümleri. Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 142s, Nevşehir.
- Yılmaz, D., 1999. Su Altı Boru Hatlarının Projelendirilmesi. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 118s, İstanbul.
- Zhang, Q., Zheng, X.Y., 2019. Offshore earthquake ground motions: Distinct features and influence on the seismic design of marine structures. Marine Structures 65, 291–30.
- Zhao, M., Gao, Z., Wang, P., Du, X., 2020. Response Spectrum Method for Seismic Analysis of Monopile Offshore Wind Turbine. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 136, 106212.